

Micro-Cap 10

電子回路シミュレーションプログラム
リファレンスマニュアル

原著： 第10版第1刷 20010年10月
翻訳：

著作権

© Spectrum Software. 1982-2010. This manual and the software described in it are copyrighted, with all rights reserved. No part of this publication, or the software, may be reproduced, transmitted, transcribed, stored in a retrieval system, or translated into any language in any form without the written permission of Spectrum Software.

[本マニュアルとその中に記載されたソフトウェアは、著作権で保護されています。この出版物またはソフトウェアのどの部分も、Spectrum Softwareの書面による許可なしに、複写、転送、転写、保管システムへ保存、他の言語への翻訳を行うことはできません。]

© TOYO Corporation, 1996-2002.

日本語翻訳部分に関しては、株式会社東陽テクニカが著作権を有します。

ソフトウェアライセンスに関する注意

製品に同封されたSpectrum Softwareとのライセンス契約には、許可される使用形態と禁止される使用形態に関する記述があります。Micro-Cap 10の全体または一部を、印刷物であれ、他の保管システムであれ、許可なく複製することは明示的に禁じられています。

目次

表記上の規約.....	15
第1章 ウィンドウの基本.....	17
概要.....	18
ウィンドウの各部.....	18
マウスとキーボードの基本的操作.....	21
メニュー.....	22
第2章 回路図エディタ.....	23
回路の構造.....	25
回路図オブジェクト.....	27
回路図モード.....	28
回路図エディタ.....	32
オブジェクトの選択と選択解除.....	34
回路図の作成.....	36
コンポーネントの追加と編集.....	37
属性ダイアログボックス.....	39
回路図へのワイヤの追加.....	44
バスの使用.....	46
グリッドテキストの追加と変更.....	48
フォーミュラテキスト.....	51
グラフィカルオブジェクトの追加と変更.....	53
フラグの追加と変更.....	54
回路図オブジェクトの移動.....	54
回路図オブジェクトの回転.....	54
回路図オブジェクトのステッピング（ステップコピー）.....	55
回路図オブジェクトの反転.....	56
回路図オブジェクトの削除.....	57
元に戻すおよび繰り返しコマンド.....	57
回路図オブジェクトの有効化／無効化.....	58
ノード番号の割当て.....	59
クリップボード.....	60
ドラッグコピー.....	61
情報コマンド.....	62
ヘルプコマンド.....	62
デジタルパスコマンド.....	63
回路図内のナビゲーション.....	65
全般設定.....	66
ファイルメニュー.....	71
編集メニュー.....	76

コンポーネントメニュー	82
コンポーネントパネル	84
ウィンドウメニュー	85
オプションメニュー	87
解析メニュー	106
設計メニュー	108
モデルプログラム	109
モデルエディタ	110
ヘルプシステム	112
第3章 シェイプエディタ	115
シェイプエディタのレイアウト	116
オブジェクトエディタ	123
シェイプライブラリ	125
第4章 コンポーネントエディタ	127
コンポーネントエディタのレイアウト	128
ライブラリへのコンポーネントの追加	134
ライブラリへのサブサーキットの追加	135
部品追加ウィザードの使用	138
インポートウィザードの使い方	140
コピー、貼り付け、置換の使い方	142
回路ファイルを可搬にする方法	143
第5章 パッケージエディタ	145
パッケージエディタのレイアウト	146
基本パッケージの追加	149
複雑なパッケージの追加	150
第6章 トランジェント解析	151
トランジェント解析で行われること	152
トランジェント解析リミットダイアログボックス	154
トランジェントメニュー	160
初期化	161
状態変数エディタ	163
Pキーの使用	164
数値出力	165
動作点法	167

第7章 AC解析	169
AC解析で行われること.....	170
AC解析リミットダイアログボックス.....	172
ACメニュー.....	178
数値出力.....	179
ノイズ.....	181
AC解析のヒント.....	182
第8章 DC解析	185
DC解析リミットダイアログボックス.....	186
DCメニュー.....	192
数値出力.....	193
トラブルシューティングのヒント.....	194
第9章 ダイナミックAC解析	195
ダイナミックAC解析で行われること.....	196
ダイナミックAC解析の例.....	199
第10章 ダイナミックDC解析	203
ダイナミックDC解析で行われること.....	204
ダイナミックDC解析の例.....	207
第11章 伝達関数解析	211
伝達関数解析で何が行われるのか.....	212
伝達関数ダイアログボックス.....	213
伝達関数解析の例.....	214
第12章 感度解析	215
感度解析で何が行われるのか.....	216
感度解析ダイアログボックス.....	217
第13章 歪み解析	221
高調波歪み.....	222
高調波歪み解析リミットダイアログボックス.....	223
高調波歪み解析例.....	226
高調波歪みプロパティダイアログボックス.....	228
その他の変数のプロット.....	231

相互変調歪み.....	232
相互変調歪み解析リミットダイアログボックス.....	233
相互変調歪み解析例.....	236
相互変調歪みプロパティダイアログボックス.....	239
高調波計算に関する注意事項.....	244
相互変調計算に関する注意事項.....	245
第 14 章 スコープ.....	247
解析プロットのモード.....	248
解析プロットのパニング.....	250
プロットのスケールリング.....	251
プロットのタギング.....	252
プロットへのグラフィックスの追加.....	254
スコープメニュー.....	255
プロットプロパティダイアログボックス.....	260
カーソルの位置決めモード.....	274
波形バッファ.....	276
第 15 章 プローブ.....	279
プローブはどのように動作するか.....	280
プローブメニュー.....	281
トランジェント解析の変数.....	283
AC解析の変数.....	285
DC解析の変数.....	287
プローブのアナログ変数.....	288
プローブの領域.....	289
SPICEファイルのプローブ.....	289
プローブでの回路図編集.....	290
マクロとサブサーキットのプロービング.....	290
第 16 章 ステッピング.....	291
ステッピングはどのように動作するか.....	292
何をステップさせることができるか.....	292
ステッピングダイアログボックス.....	293
ライブラリのパブリック vs プライベート.....	296
ステッピングの概要.....	297

第 17 章 オプティマイザ	299
オプティマイザの動作.....	300
最適化ダイアログボックス.....	301
低周波利得の最適化.....	305
マッチング回路の最適化.....	308
オプティマイザによる曲線フィッティング.....	311
第 18 章 モンテカルロ解析	315
モンテカルロはどのように動作するか.....	316
記号パラメータの許容値.....	320
許容値とライブラリのパブリックvs.プライベート.....	321
分布.....	322
オプション.....	323
性能関数.....	326
第 19 章 性能関数	327
性能関数とは.....	328
性能関数の定義.....	329
性能関数ダイアログボックス.....	333
性能関数のプロット.....	336
第 20 章 3Dグラフ	343
3Dプロットはどのように動作するのか.....	344
3Dプロットの例.....	345
3Dプロットのプロパティダイアログボックス.....	348
3Dにおけるカーソルモード.....	354
3Dプロットの性能関数.....	355
プロットの向きを変える.....	357
3Dのスケールリング.....	358
第 21 章 マクロ	359
ABS.....	361
AM.....	362
AMP.....	363
BALUN.....	364
CENTAP.....	365
CLIP.....	366

COMP	367
COMPARATOR	368
CONSTANT POWER	369
CPFSK	370
DC MOTOR	371
DELAY	372
DIAC	373
DIF	374
DIGPOT	375
DIV	376
F	377
FSK	378
FWEIGHTING	379
GYRATOR	380
IDEAL_TRANS2	381
IDEAL_TRANS3	382
INT	383
INT_RESET	384
MEMRISTOR	385
MONOSTABLE	386
MUL	387
NOISE	388
PEAK DETECTOR	389
PHOTODIODE	390
PHOTODIODE_R	391
PID CONTROLLER	392
POT	393
PSK	394
PUT	395
PWM	396
PWM_TおよびPWM_NT	397
RELAY1	398
RELAY2	399
RESONANT	400
RTD	401
SCHMITT	402
SCR	403
SLIP	404
SNUBBER	405
SPARKGAP	406
SUB	407

SUM.....	408
SUM3.....	409
TRIAC.....	410
TRIGGER6.....	411
TRIODE.....	412
VCO.....	413
WIDEBAND.....	414
XTAL.....	415
555.....	416

第 22 章 アナログデバイス.....417

参考文献.....	418
アニメーションアナログバー.....	422
アニメーションアナログLED.....	423
アニメーションDCモータ.....	424
アニメーションDPST、SPDT、SPSTスイッチ.....	425
アニメーションメータ.....	426
アニメーションリレー.....	428
アニメーション信号灯.....	430
アニメーションデジタルスイッチ.....	431
アニメーションデジタルLED.....	432
アニメーション7セグメントディスプレイ.....	433
バッテリー.....	434
バイポーラトランジスタ（基準GUMMEL POONレベル=1）.....	435
バイポーラトランジスタ（PHILIPS MEXTRAMレベル=2 または 21）.....	441
バイポーラトランジスタ（PHILIPS MODELLAレベル=500 または 501）.....	446
コンデンサ.....	450
従属信号源（線形）.....	455
従属信号源（SPICEのデバイスE、F、G、H）.....	456
ダイオード.....	461
ダイオード（PHILIPS JUNCAPおよびJUNCAP2）.....	465
関数信号源.....	471
GAASFET.....	475
IBIS.....	480
IGBT.....	481
独立信号源（電圧源および電流源）.....	486
インダクタ.....	495
定電流源.....	500
JFET.....	501
K（相互インダクタンス/非線形磁気モデル）.....	505

ラプラス信号源.....	510
マクロ.....	514
MOSFET.....	516
MOSFET (EKV)	545
MOSFET PHILIPSモデル 11	562
MOSFET PHILIPSモデル 20	578
MOSFET PHILIPSモデル 31	585
MOSFET PHILIPSモデル 40	588
MOSFET PSPモデル.....	591
N_PORT	615
OPAMP	617
パルス信号源.....	624
抵抗.....	626
S (電圧制御スイッチ)	630
サンプルアンドホールド信号源.....	633
サイン信号源.....	635
サブサーキット呼び出し.....	637
スイッチ.....	640
タイマ.....	642
トランス.....	645
伝送線路.....	646
ユーザファイル信号源.....	649
W (電流制御スイッチ)	651
WAVファイル信号源.....	654
Z変換信号源.....	656
第 23 章 デジタルデバイス.....	657
デジタルシミュレーションエンジン.....	658
デジタルノード.....	658
デジタル状態.....	659
タイミングモデル.....	662
未指定の伝搬遅延.....	663
未指定のタイミング制約.....	664
伝播遅延.....	665
デジタル遅延のあいまい性.....	667
タイミングハザード.....	669
アナログ/デジタルインタフェース.....	671
デジタル基本部品の一般書式.....	675
基本部品.....	678
ゲート.....	681
標準ゲート.....	682

3 ステートゲート.....	686
フリップフロップとラッチ.....	690
エッジでトリガするフリップフロップ.....	691
ゲート型ラッチ.....	696
プルアップとプルダウン.....	701
遅延線.....	703
プログラマブルロジック配列.....	705
マルチビットA/Dコンバータ.....	711
マルチビットD/Aコンバータ.....	715
ビヘイビア基本部品.....	718
論理式.....	719
ピン間遅延.....	724
制約チェック.....	733
ステイミュラスデバイス.....	741
ステイミュラス発生器.....	741
ステイミュラス発生器の例.....	745
ファイルステイミュラスデバイス.....	751
ファイルステイミュラス入力ファイル形式.....	751
I/Oモデル.....	757
デジタル/アナログインタフェースデバイス.....	760
デジタル入力デバイス (Nデバイス).....	760
デジタル出力デバイス (Oデバイス).....	764
第 24 章 ライブラリ.....	767
シェイプライブラリ.....	768
パッケージライブラリ.....	768
コンポーネントライブラリ.....	769
モデルライブラリ.....	771
モデルはどのようにアクセスされるのか.....	772
第 25 章 数式.....	773
数式とは何か.....	774
数値.....	775
記号変数.....	776
配列変数.....	777
定数と解析変数.....	779
電力とエネルギー.....	780
変数.....	781
ワイルドカードデバイスとノード名.....	782
コンポーネント変数.....	785

サブサーキットとマクロの変数.....	787
モデルパラメータ変数.....	788
変数の例.....	789
演算子と関数.....	790
数式の例.....	798
演算子および変数の使用規則.....	801

第 26 章 コマンド文.....803

.AC.....	804
.ARRAY.....	805
.DC.....	807
.DEFINE.....	808
.ELIF.....	810
.ELSE.....	810
.END.....	811
.ENDIF.....	811
.ENDS.....	811
.ENDSPICE.....	812
.FUNC.....	812
.HELP.....	813
.IC.....	813
.IF.....	814
.INCLUDE.....	815
.LIB.....	815
.MACRO.....	816
.MODEL.....	817
.NODESET.....	820
.NOISE.....	821
.OP.....	821
.OPT[IONS].....	822
.PARAM.....	822
.PARAMETERS.....	823
.PATH.....	824
.PLOT.....	824
.PRINT.....	824
.SENS.....	825
.SPICE.....	825
.STEP.....	826
.SUBCKT.....	827
.TEMP.....	829

.TF.....	829
.TIE.....	829
.TR.....	830
.TRAN.....	830
.WARNING.....	831
.WATCH.....	833
第 27 章 モデルプログラム.....	835
モデルの起動のしかた.....	835
モデルウィンドウ.....	836
モデルツールバー.....	838
モデルメニュー.....	840
バイポーラトランジスタでの例.....	845
ダイオードのグラフ.....	851
バイポーラトランジスタのグラフ.....	852
JFETのグラフ.....	854
MOSFETグラフ.....	855
OPアンプのグラフ.....	857
コアのグラフ.....	858
第 28 章 IBISトランスレータ.....	859
IBISとは.....	860
IBISトランスレータ.....	861
IBISファイル変換の例.....	864
第 29 章 フィルタ設計.....	869
アクティブフィルタデザイナの動作.....	870
アクティブフィルタダイアログボックス.....	871
コンポーネントリスト.....	882
フィルタサポートファイル.....	884
フィルタ仕様：モデル 1.....	885
フィルタ仕様：モデル 2.....	891
パッシブフィルタデザイナの動作.....	893
パッシブフィルタダイアログボックス.....	894
第 30 章 収束.....	897
収束の定義.....	898
収束問題の原因.....	899
収束チェックリスト.....	900

第 31 章 フーリエ解析	905
FFT関数の動作.....	906
高速フーリエ変換関数.....	908
FFTの例.....	914
FFTコントロールパネル.....	919
FFTウィンドウ.....	922
第 32 章 周期定常状態	925
周期定常状態の必要性.....	926
周期定常状態サンプル回路.....	929
周期定常状態の前提条件と限界.....	933
索引	935

表記上の規約

マニュアルの理解と使用を容易にするために、一定の表記上の規約を使用しています。以下にそのガイドラインを挙げます。

1. 名前付きキーは、キー名だけを記述します。

例：HOMEを押した後、ENTERを押します。

2. ユーザが入力するテキストは、「」で囲みます。

例：名前「TTLNV」を入力します。

3. 2つのキーの組み合わせは、キー記号の間に + を挿入して表わします。

例：ALT + R

4. オプションの選択は階層的に示します。

例：

オプション / プリフェランス / オプション / 一般 / サウンド

これは、「オプション」メニューの「プリフェランス」ダイアログにある「オプション」グループの「一般」セクションの「サウンド」項目を意味します。

5. [] は、オプション（省略可能）な入力を示します。

例：[low]

6. <> にはユーザ入力が必要となります。

例：<emitter_lead>

7. ユーザの入力内容はイタリック体で記述されます。

例：*emitter_lead*

8. OR記号「|」は、相互に排他的な選択肢を示します。

例：PUL|EXP|SIN

これは、PULまたはEXPまたはSINを意味します。

本章の内容

本章では、Windowsの操作について、基本事項を紹介します。Windowsの共通の構造、例えば、メニュー、ダイアログボックス、リストボックス、ドロップダウンリストボックス、オプションボタン、チェックボックス等について解説します。そのほか、マウスとキーボードによる基本操作や、選択と選択決定の違いについても説明します。

概要

Micro-Capは、Windowsプログラムです。MC9を使用するためには、Windowsの動作についての理解が必要です。ユーザは、Windowsシステムの操作に習熟しているものと想定されていますが、本章ではWindowsについて簡単に紹介し、基本的な機能を解説します。

ウィンドウの各部

Micro-Capの操作の大部分は、ウィンドウという重なり合った四角形の領域から実行します。本項ではこれらのウィンドウのほとんどに共通する部分を説明し、Micro-Capの機能については後に説明します。

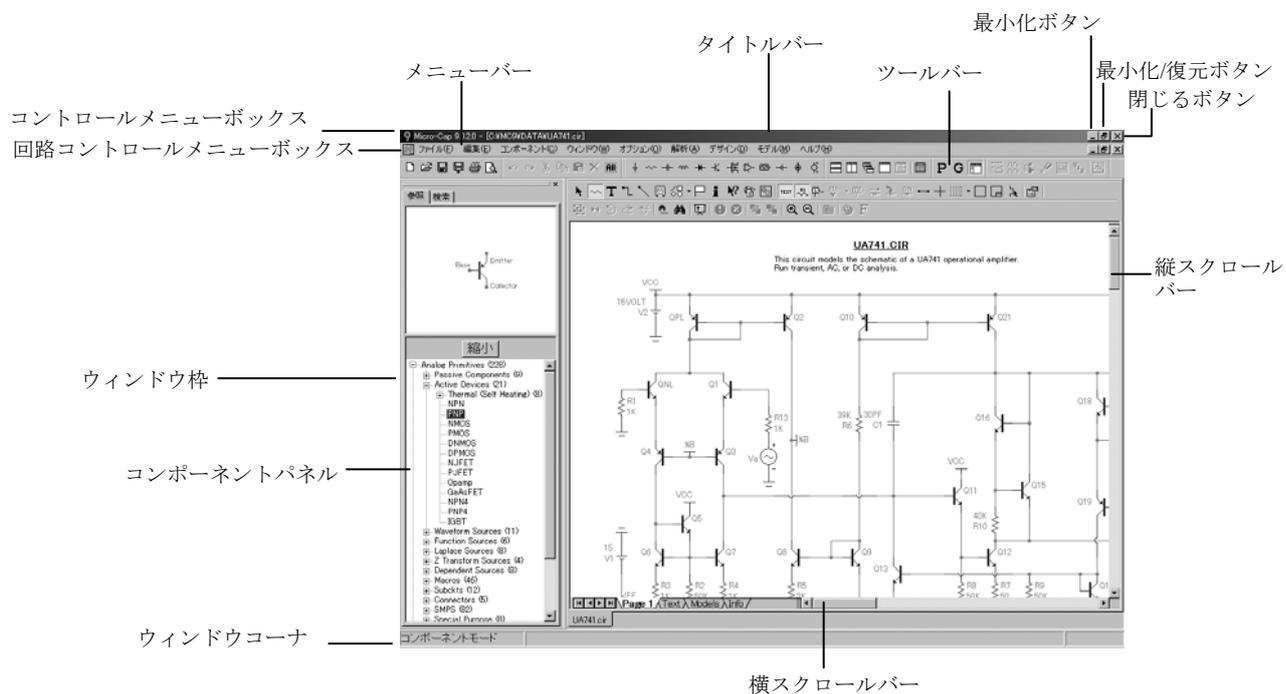


図1-1 ウィンドウの各部

ウィンドウの各部分の名称とその目的はつぎの通りです。

コントロールメニューボックス

コントロールメニューボックスはウィンドウの左上コーナーにあります。このボックスはすべてのWindows対応アプリケーションに共通しており、主としてMicro-Capのウィンドウサイズとデスクトップでの位置を制御するために使います。このボックスを使って、Micro-Capのウィンドウのサイズ変更、移動、最大化、最小化、閉じる、等を行います。これらの操作はマウスをドラッグして行うこともできます。

回路コントロールメニューボックス

回路コントロールメニューボックスは回路ウィンドウのみ制御する点を除いて、標準のコントロールメニューボックスと似ています。同時に複数の回路ウィンドウを開くことができます。この標準ウィンドウ構造は回路ウィンドウを管理するためのものですが、回路ウィンドウをもっと簡単に操作する方法があります。これらの方法については、後の章で説明します。

メニューバー

このバーには利用可能なメニューが表示されます。メニューとはプログラムのさまざまな機能にアクセスするためのコマンドやオプションのリストのことです。メニューの項目の中には、選択するとすぐに効力をもつものとそうでないものがあります。たとえば**ファイルメニューの上書き保存**を選択すると、現在の回路図が直ちにディスクに保存されます。しかし、この他のメニュー項目には、メニュー項目を選択した後の動作やビヘイビアを制御するものもあります。たとえば**オプションメニューのモード項目のワイヤ**を選択すると、すぐには何も変化は起こりませんが、選択後に回路図ウィンドウにマウスをドラッグすると、部品やテキストを描画せずにワイヤを描きます。

タイトルバー

タイトルバーにはウィンドウ名が表示されます。ウィンドウが回路図ウィンドウの場合には、タイトルには回路図名とディレクトリパスが表示されます。ウィンドウが対話またはテキストボックスの場合には、タイトルには対話またはテキストボックス名が表示されます。ウィンドウが数値出力のように解析出力ウィンドウの場合には、タイトルには数値出力がディスクに保存されるファイルの名前とパスが表示されます。

ツールバー

ツールバーにはツールボタンが表示されます。ツールボタンとはメニュー項目をグラフィカルに表示したものです。ツールバーのボタンをクリックすると、対応するメニュー項目をクリックするのと同じ結果が得られます。ツールバーボタンを利用すれば、頻繁に利用するメニュー項目にすばやく簡単にアクセスできます。すぐに効果を生ずるボタンをクリックした場合は、少しの間押された状態になってから元に戻ります。モードボタンの場合は、もう一度クリックするか、ほかのモードを選択するまで押された状態のままになります。モードボタンが押されている状態のときは、そのモードが起動していることを示します。これは対応するメニュー項目にチェックマークがあるのと同じことです。

閉じるボタン

閉じるボタンを押すと、ウィンドウがクローズします。

最大化/復元ボタン

復元ボタンを押すと、ウィンドウが元のサイズに戻るか、最大化します。

最小化ボタン

最小化ボタンを押すと、ウィンドウはアイコンサイズに縮小されます。

スクロールバー

スクロールバーはウィンドウの文書全体を見たいときに使います。ウィンドウが回路図であるとき、スクロールバーは回路図の各部を見る方法の一つとして使うことができます。スクロールバーがリストボックスに含まれている場合、このバーを使ってリストをブラウズすることができます。

ウィンドウ枠

ウィンドウ枠とはウィンドウの外周上の制御対象のことです。マウスが外周を過ぎると、カーソルは縦または横の二重矢印になります。マウスをドラッグして下側の境界を移動すると、ウィンドウのサイズや縦横比を変えることができます。

コンポーネントパネル

オプションであるコンポーネントパネルは回路図ウィンドウに表示するコンポーネントを選択するのに使用します。ウィンドウ内のさまざまな位置に表示することができます。

ウィンドウコーナ

ウィンドウコーナはウィンドウのコーナ上の制御対象です。マウスをコーナに重ねると、カーソルは対角線の二重矢印に変わります。ここをドラッグすると、コーナを中心とした二片が同時に移動してウィンドウのサイズが変わります。

マウスとキーボードの基本的操作

本項では、ウィンドウ、メニュー、リストボックス、ダイアログボックスから項目を選択したり選択決定するための基本的な用語や方法を説明します。項目の定義は次のようになります

用語	意味
クリック	マウスボタンをすばやく押して離すこと。
ダブルクリック	クリックを続けて二回すばやく行うこと。
ドラッグ	マウスボタンを押したままマウスを動かすこと。
ポイント	マウスポインタが画面の希望の位置に来るまでマウスを動かすこと。

マウスボタンはとくに指定のない限り、マウスの左ボタンを押してください。右ボタンは特別な機能に使用します。

選択と選択決定の意味は異なります。何かを選択するとは、通常は選択決定の予備操作としてマークすることをいいます。選択決定するとは、マウスやキーボードを使って、選択した項目、オプション、動作などを選んだり起動することを意味します。

選択はカーソルで項目をクリックするか、対象を含む領域にカーソルをドラッグして行います。選択したテキストは反転表示されます。選択した略図対象はユーザが指定した色で表示されます。ウィンドウまたはダイアログボックスから選択した項目は、強調表示または点線の四角形で表示することができます。

選択した項目を選択決定するには、マウスでクリックするか、スペースバーを押します。強調表示されているボタンは、ENTERを押せば選択決定できます。

ショートカットキーは利用度の高いメニュー項目に対して使います。ショートカットキーを作っておくとツールバーボタンと同様に、一般的メニュー項目をすばやく簡単に選択決定したり起動することができます。ショートカットキーはメニューの起動できる項目の隣にあります。ショートカットキーはユーザが変更することも可能です。

ショートカットキーの使い方を覚えると便利です。よく使われる機能について時間を大幅に節約することができます。付属書Dにショートカットキーのリストがあります。

メニュー

メニューにはMicro-Capの各機能を使うための基本的コマンドとオプションが表示されます。

メニューの選択方法:

マウス

マウスポインタを使って、メニューバーのメニュー名をポイントし、マウスの左ボタンをクリックします。するとメニューが開いて、その内容が表示されます。メニュー名からマウスを項目名に直接ドラッグして、ボタンから指を離して選択決定することもできます。

キーボード

メニュー名にアンダーラインのある文字が含まれているときは、ALTとアンダーラインの文字を同時に押してください。または次のように操作します。

- ALTを押してメニューバーを選択します。
- 左矢印または右矢印を押して希望するメニューを選択します。
- ENTERを押して、選択したメニューを開きます。

メニューを閉じる:

メニューの外側の部分をクリックするか、ESCキーを押します。

メニューから項目を選択決定する:

項目名でマウスをクリックするか、上矢印または右矢印を使って項目を選択してから、ENTERを押してその項目を選択決定します。

メニューの凡例:

凡例	意味
グレー表示された項目	利用できません。単に項目が不適切な場合もあります。例えば、何も選択されていない場合、コピーコマンドはグレー表示されます。
省略記号 (...)	さらなる選択肢を示すダイアログボックスが表示されます。コマンドは、その後で実行されます。
チェックマーク	チェックマークがあるとき、オプションが有効です。
キーの組み合わせ	キーの組み合わせは、項目へのショートカットです。
三角形	さらなる選択肢のリストを示すカスケードメニューを示します。

本章の内容

本章では、Micro-Capのユーザインタフェースの基礎である回路図エディタについて説明します。回路図エディタから、回路の作成、解析、各種エディタ等、プログラムの基本機能すべてにアクセスすることができます。

Micro-Cap 10の新しい機能

- ・Altキーを押しながらテキストをダブルクリックすることで、グリッドテキストを直接編集することが可能になりました。
- ・お気に入りタブがコンポーネントパネルに追加されました。これは、コンポーネントの使用状況を追跡し、最も使用頻度の高い部品をリストの上部に表示します。
- ・実行後にマウスを部品の上に置くと、ベータ、電気容量、コンダクタンス、その他内部デバイス構造からのさまざまな値を含む追加的なデバイス情報を、オプションとしてこのボックスに表示できます。
- ・テキスト検索コマンドが改良され、テキストの入力と同時にすべてのインスタンスが表示されるようになりました。選択中の項目は強調表示されます。マッチしたインスタンスは前へと次へでナビゲートします。
- ・ノード電圧やピン電流、電力値のフォントおよび数値形式が、すべての回路に適用されるグローバル形式に代わり、回路のプロパティページ(F10)から制御されるようになりました。
- ・検索コマンドで、すべての属性やグリッドテキストで検索や置き換え処理を行えるようになりました。
- ・新しく変更/属性機能が拡張され、選択した部品属性テキストの色やフォントを同時に変更できるようになりました。
- ・全般設定において非デフォルトの項目が太字で表示され、変更箇所が強調されるようになりました。
- ・新しい整列コマンドにより、選択したグリッドや属性テキストの位置調整を行えます。

- ・ユーザが、任意のコマンドに対して新しいビットマップを作成し張り当てることが可能になりました。
- ・フォント/色制御とともに、ブール有効化テキストの表示/非表示機能が追加されました。有効化テキストについては、回路図テキスト編集機能が追加されました。
- ・コンポーネントの検索ダイアログボックスのサイズ調節が可能になり、指定したテキスト文字列とマッチする部品の数が多い場合でも、より広いスペースを使用できます。
- ・開いているすべてのファイルを閉じるためのコマンドが追加されました。
- ・ファイルの保存コマンドが、解析中も動作可能になりました。
- ・グラウンドへのパス、電圧ループ、および浮動ノードのチェックがオプションになりました。
- ・PWLテーブル編集領域の文字数制限がなくなりました。ファイルからの読み込み機能が追加されました。
- ・ウィンドウダイアログボックスが追加され、ウィンドウの開閉や開いているウィンドウの保存を容易に行えるようになりました。
- ・部品のグループ化チェックボックスの状態により、（旧バージョンと同様に）部品表レポート内で部品をグループ化できます。また、グループ化の解除も可能です。
- ・プログラムが自動的にウェブサイトをチェックし、最新バージョンが入手可能かどうかを確認します。
- ・オプションで、Micro-Capの終了時に自動クリーンナップを使用できるようにになりました。

回路の構造

Micro-Capは、回路を解析します。回路とは、電気コンポーネントを相互接続したものです。Micro-Capでは、2種類の基本回路を扱います。

- ・回路図ファイル（回路トポロジの図）
- ・ SPICEテキストファイル（回路トポロジのテキスト記述）

回路図ファイル

回路図ファイルは、図面とテキストにより構成されています。図面は回路の内容を記述し、テキストは解析に必要なモデリング/解析情報を記述します。Micro-Capは、回路図に含まれる情報を基に解析をおこないます。回路図をSPICEネットリストに変換せずに、SPICEネットリストを解析することができます。また、Micro-Capは、モデリング情報をライブラリから参照して利用することもあります。

各回路図には図面領域とテキスト領域があります。

図面領域

図面領域には、複数のページがあり、アナログ/デジタル部品がワイヤで相互に接続されています。部品のほかに、グラフィカルオブジェクト（電気的情報を含まない）と、グリッドテキスト（電気的情報を含む場合がある）があります。グリッドテキストは、選択してCTRL+Bを押すと、図面領域とテキスト領域の間で移動することができます。これをシャトルコマンドといいます。ページの追加や削除は、編集メニューから行います。回路図ウィンドウ最下部のページタブを右クリックして行うこともできます。ページ表示は回路ウィンドウの左下にあるページスクロールバーでコントロールします。

テキスト領域

テキスト領域には、テキストだけが表示されます。ここには、ローカルなコマンド文、サブサーキット記述、モデル文、デジタル信号源文といった、図面領域では大きすぎてうまく表示できない文を格納します。1ページまたは複数のテキストページを持つことができます。テキストエディタは、数メガバイトのテキストファイルを扱うことが可能です。

現在のテキストページまたは回路図ページは、CTRL+Gを押して最後に使用したテキストページまたは回路図ページに表示を切り替えることができます。テキスト領域は、ページスクロールバー領域のテキスト領域タブの1つをクリックすると選択できます。回路図に戻るには、希望するいずれかのページタブをクリックするか、CTRL+Gを押してください。

縦または横の分割バーをウィンドウの中央に向かってドラッグして表示を分割し、図面やテキスト領域の別々の部分を同時に表示できます。

SPICEテキストファイル

SPICEテキストファイルは、標準SPICEのテキストで、回路やサブサーキット、モデル文が記述されたものです。Micro-Capは、基本的にオリジナルのBerkeley SPICE 2Gのフォーマットに従いますが、PSpice™やSPICE3の数多くの拡張機能、HSPICE™のいくつかの拡張機能を追加しています。テキストファイルは、テキスト文書として編集されます。新規にSPICEテキストファイルを作成すると、テキスト文書として、任意に編集できます。解析を実行するときに初めて、エラーチェックが行われます。

なお、回路図をさまざまな形式のSPICEテキストファイルに変換することもできます。これは、MC10と他のSPICEシミュレータの精度を比較したい場合に便利です。もちろん、Micro-Capを使用してSPICEテキストファイルを解析することも可能です。

直接SPICEネットリストに包含

プログラムには1組のコマンド、すなわち.SPICEと.ENDSPICEが含まれます。これによりSPICEコード回路を回路図テキストページに直接含むことができます。

例：

```
.SPICE  
L1 IN OUT 1U  
C1 OUT 0 1N  
R1 OUT 0 50  
.ENDSPICE
```

このテキストをテキストページに追加すると、INおよびOUTのラベルの回路図ノードに接続する回路が作成されます。この回路はサブキットである必要はありません。.SPICEと.ENDSPICEコマンド間のライン内に含まれたテキストページのSPICE回路は、どれも回路図で使用でき、同一の回路図とSPICEノード名を使って接続できます。

回路図オブジェクト

ここでいうオブジェクトという用語は、回路図中に収めることができるもの一般を指します。オブジェクトには、次のような種類があります。

- ・ **コンポーネント**：これはすべてのアナログ／デジタルの信号源、能動部品、受動部品、コネクタを含みます。簡単に述べると、コンポーネントメニューで選択するものすべてが含まれます。

- ・ **ワイヤ**：ワイヤはコンポーネント相互を接続するために使います。ワイヤには、直交と斜交の2種類があります。直交ワイヤでは、方向が垂直または水平に限定され、場合によっては垂直／水平の2つの線分を持ちます。斜交ワイヤは任意の角度で描画することができ、1つの部分しかありません。

- ・ **テキスト**：テキストは、グリッドテキストともいいます（原点がグリッドに限られるため）。ノードの命名やコマンド文の作成、一般的な文書化に使用されます。

- ・ **グラフィック**：グラフィカルオブジェクトには、直線、四角形、楕円、ひし形、円弧、扇型、画像などがあります。これらは見た目や文書化のために使用するもので、回路の電氣的ビヘイビアには影響を及ぼしません。

回路図に含むことができる画像ファイルの形式は、WMF、ICO、EMF、JPG、BMP、GIF、TIFF、PNGです。この機能の主な用途として、回路図上に解析プロットの画像を配置することが挙げられます。グラフィックウィンドウの画像ファイルは、**編集メニューのウィンドウ全体を画像ファイルにコピー**コマンドを利用してキャプチャできます。作成した画像ファイルは、回路図にグラフィカルオブジェクトとして含めることができます。

- ・ **フラグ**：フラグは、回路図中の中で繰り返し確認したい場所に印をつけます。フラグにより、回路図の複数の場所を、すばやく切り替え表示することができます。フラグは、非常に大規模な回路において特に有用となります。大規模な回路では、再描画に要する時間が長くなり、スクロールバーだと不便な場合があります。

以上が、回路図中におくことができるオブジェクトです。

テキストは、図面ページと任意のテキストページの間を相互移動できます。

回路図モード

回路図エディタには、複数のモードがあります。すなわち、回路図中でクリックやドラッグを行った場合、その効果は、そのときのモードによって決まります。回路図モードにより、マウス操作の動作や回路図の表示が変化します。

- ビヘイビアモード
 - 回路を変更するモード
 - 選択モード
 - コンポーネントモード
 - テキストモード
 - ワイヤモード
 - パスモード
 - 斜交ワイヤモード
 - グラフィック／ピクチャファイルモード
 - フラグモード
 - 領域有効モード
 - 回路を問い合わせるモード
 - 情報モード
 - ファイルリンクモード
 - ヘルプモード
 - ポイントからエンドへのパスモード
 - ポイント間のパスモード
- ビューモード
 - 属性テキスト
 - グリッドテキスト
 - ノード番号
 - ノード電圧／ノード状態
 - 電流
 - 電力
 - 動作状態
 - ピン接続
 - グリッド
 - クロスヘアカーソル
 - 境界
 - タイトル

ビヘイビアモードの間では、相互に排他性があります。つまり一度に1つのモードだけアクティブになります。モードボタンを見ると、どのモードがアクティブになっているかわかります。アクティブなモードのボタンは押された状態になっています。非アクティブなモードのボタンは飛び出した状態です。

モードを選択するには、対応するボタンをクリックします。これにより、それまで選択されていたモードは解除されます。

ビヘイビアモード：



選択モード：オブジェクトや領域、場所を選択し、次のいずれかのアクションを行います。

- ・選択されたオブジェクトの編集(ダブルクリックが必要)
- ・選択された領域のクリア(削除。クリップボードにはコピーしない)
- ・選択された領域のカット(削除して、クリップボードにコピーする)
- ・選択された領域の移動
- ・選択された領域の回転
- ・選択された領域のステップ移動
- ・選択された領域の反転
- ・選択された領域のマクロ化
- ・選択された領域をクリップボードにコピー
- ・選択された領域のBMPファイルを作成
- ・選択された領域のドラッグコピー
- ・選択されたオブジェクトの前面または後面への移動
- ・選択されたテキストオブジェクトをテキスト領域と図面領域間で移動
- ・選択されたオブジェクトの色やフォントの変更
- ・次のペースト操作時の、左上位置の定義

オブジェクトを選択するには、まず選択モードにしなければなりません。選択モードにするには次のいずれかを実行します。

- ・選択モードのボタンをクリックするか、CTRL+Eを押します。
- ・スペースバーを押します。もう1度押すと元のモードに戻ります。
- ・SHIFTキーを押したままにします。このモードでは、オブジェクトやリージョンの選択を行うことが可能ですが、マウスでドラッグすることはできません。キーを離すと元のモードに戻ります。

複数の連続したオブジェクトを選択するには、オブジェクトを含む領域にマウスをドラッグします。複数の連続していないオブジェクトを選択するには、SHIFTボタンを押したまま、各オブジェクトをマウスでクリックします。



コンポーネントモード：回路図にコンポーネントを追加できます。最後に選んだコンポーネントが追加されます。



テキストモード：回路図にグリッドテキストを追加できます。グリッドテキストはノードの命名、電気的特性の定義、文書化に使用します。



ワイヤモード:回路図に直交ワイヤを追加できます。直交ワイヤは1つまたは2つの線分からなり、方向は垂直、水平、両方のいずれかです。



バスモード:このモデルによりバスコネクタを回路に追加できます。1つの端点がバスコネクタまたはバスの場合、バスはワイヤモードで描画されます。



斜交ワイヤモード:回路図に斜交ワイヤを追加できます。



グラフィック/ピクチャファイルモード:このモードでは、回路にグラフィカルオブジェクト（線、四角形、楕円、扇形、円弧、ひし形、角括弧、画像ファイル）を追加できます。これらのファイルは通常、**編集メニューのウィンドウ全体を画像ファイルにコピー**コマンドで作成します。



フラグモード:フラグマーカを追加します。これにより、ページ数の多い大きな回路図をすばやく移動することができます。



情報モード:このモードでは、クリックした部品に関するモデル情報を得ることができます。情報は、通常、部品のモデル、サブサーキット、コマンド文です。部品がマクロのときは、その部品が表すマクロ回路図が表示されます。部品がサブサーキットのときは、サブサーキット記述が表示されます。部品がモデル文を使用するデバイスときには、モデル文が表示されます。部品をダブルクリックした場合も、属性ダイアログボックスにモデル情報が表示されます。



ファイルリンクモード:このモードでは、部品をクリックしてそのファイルリンクを表示します。リンクはインターネットURL、ローカルpdfファイル、実行可能プログラムまたはその他のファイルとなります。グリッドテキストの一部分をファイルリンクとして利用することも可能です。サンプル回路LINKS.CIRを参照してください。



ヘルプモード:このモードではコンポーネントをクリックして、パラメータの形式と属性構文を表示できます。ALT + F1を押せば、選択したSPICE部品名の構文ヘルプが表示されます。



ポイントからエンドへのパス:デジタルコンポーネントをクリックすると、そのコンポーネントを始点とし、組み合わせ回路部品を駆動しなくなるところを終点とするデジタルパスをすべてトレースします。



ポイント間のパス:2つのデジタルコンポーネントを連続してクリックすると、2つのコンポーネント間のすべてのデジタルパスをトレースすることができます。



領域有効:このモードでは、領域をドラッグにより選択し、それに、一般的に回路内の記号変数(.defineまたは.param)の値に依存する論理式を与えます。

ビューモード



属性テキストモード: このモードはすべての属性テキストの表示をコントロールします。属性テキストは、各属性の表示チェックボックスが有効で、属性テキストモードが有効な場合に限り表示されます。



グリッドテキストモード: このモードはすべてのグリッドテキストの表示をコントロールします。このモードを無効にすると、グリッドテキストはすべて見られなくなります。有効にすると、すべてのグリッドテキストが表示されます。



ノード番号: このモードでは、回路ノードを識別するために用いられ、Micro-Capによって割り当てられるノード番号を表示します。



ノード電圧/状態: このモードでは、時間領域のノード電圧またはデジタル状態を表示します。ダイナミックACモードではACノード電圧を表示します。**プロパティ (F10) /ビュー/表示**から有効化された場合、VIPボタンは最新、RMS、平均、ピークを選択します。



電流: このモードでは、各部品品の時間領域電流を表示します。ダイナミックACモードでは、AC分岐電流を表示します。電流値には、電流の正方向を示す矢印を表示します。VIPボタンは最新、RMS、平均、ピークを選択します。



電力: このモードでは、各コンポーネントに対して蓄積、発生、消費した時間領域の電力値を表示します。ダイナミックACモードでは、AC電力の項を表示します。VIPボタンは最新、RMS、平均、ピークを選択します。



動作状態: 各コンポーネントの最新の動作状態を表示します。BJTの代表的な動作状態には、LIN (リニア)、SAT (飽和)、OFF (両方のジャンクションがオフ)、HOT (電力消費大) があります。



ピン接続: このモードでは、各ピンの位置をドットでマークします。ワイヤや他のコンポーネントのピンに接続される場所があります。



グリッド: このモードでは、回路図グリッドの選択を表示します。すべてのワイヤ、コンポーネント、その他のオブジェクトはグリッドを起点とします。



クロスヘアカーソル: フルスクリーンの十字カーソルを回路図に表示します。主にコンポーネントをそろえるために使用されます。



境界: 回路図の各印刷シートに、境界を加えるかどうかをコントロールします。



タイトル: 各回路図の隅にタイトルブロックを加えます。ページ毎に1つのタイトルブロックをつけるオプションもあります。このオプションは、プロパティダイアログボックス(F10)のタイトルブロックパネルからアクセスします。

回路図エディタ

回路図エディタは回路図の作成と編集に使用します。回路が回路図のときには、回路図エディタになり、次の図のように表示されます。

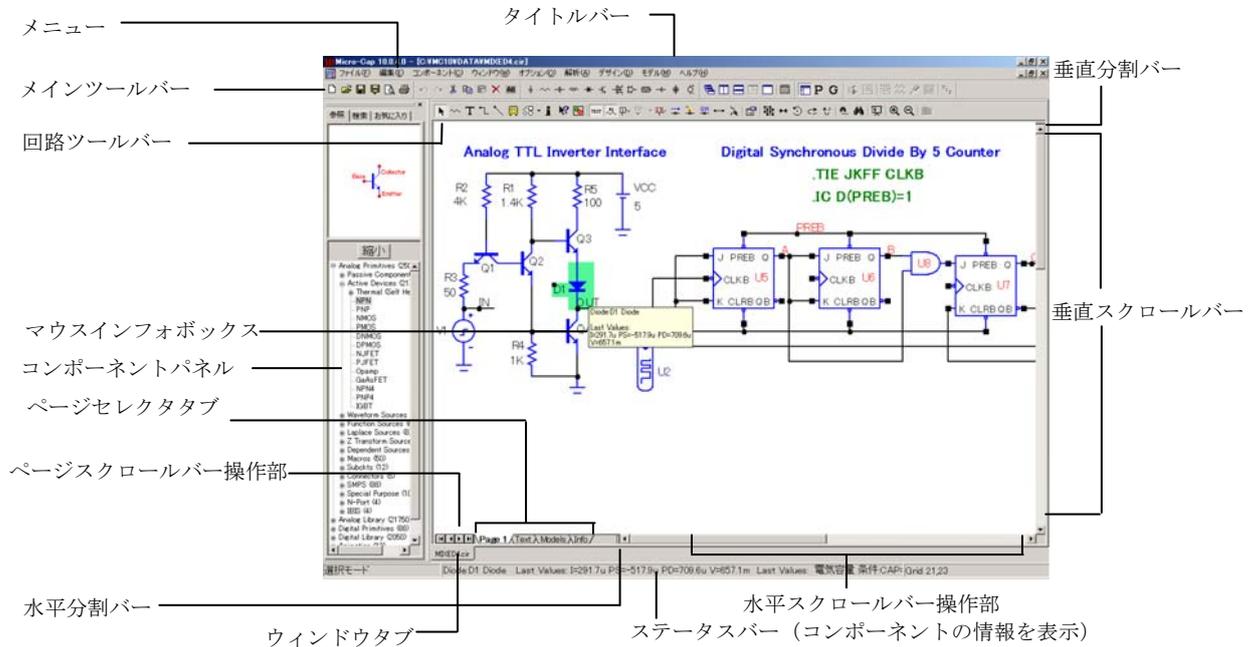


図2-1 回路図エディタ

エディタの主な構成要素は次の通りです。

メニュー：タイトルバーの下にあるメニューは主な機能グループを選択するのに使います。

タイトルバー：タイトルバーはウィンドウの上中央にあり、ウィンドウ名を表示します。マウスでタイトルバーをドラッグすれば、ウィンドウを移動することができます。

メインツールバー：タイトルバーの下にあるツールバーには、ファイル操作やさまざまなエディタへのアクセスなど、最も頻繁に使うメニューオプションを示すボタンがあります。ツールバーを使うと、これらのオプションにすばやくアクセスすることができます。ボタンをクリックすると希望するオプションが有効になります。

回路ツールバー：メインツールバーの下にある回路ツールバーには、特に回路に適用される最も頻繁に使うメニューオプションを示すボタンがあります。ツールバーを使うと、これらのオプションにすばやくアクセスすることができます。

ボタンをクリックすると希望するオプションが有効になります。

マウスインフォボックス：マウスがある部品の上にあるとき、ステータスバーの中央ペインとマウスインフォボックスの両方が、そのコンポーネントライブラリメモ領域を表示します（領域に記述文がある場合）。また、部品タイプおよびその時間領域電圧、電流および電力の最新値についての情報も表示します。部品がデジタル基本部品のゲートである場合、論理式をプリントします。この機能は**プリファレンス/オプション/回路/要素インフォ**から有効または無効にできます。また、このボックスでは拡張デバイスインフォも表示できます。これには、相互コンダクタンス、ベータ、およびその他の内部デバイス構造からの項が含まれます。拡張機能は、**プリファレンス/オプション/回路/要素インフォ/拡張要素インフォ**から有効にできます。

コンポーネントパネル：このパネルにより、コンポーネントライブラリの表示から部品を選択できます。また、部品名欄に部品名を入力することで部品を検索できます。入力と同時になされる同時表示により、部品が簡単に見つけられます。部品の場所、内容、その他の表示オプションは **プリファレンス/パネル/ウィンドウタブ/パネル**で制御されます。

ページセレクトタブ：ページセレクトタブはウィンドウ左下にあり、確認したいページを選ぶために使います。テキストページはテキストタブをクリックして選択されます。また、CTRL + Gも利用可能です。

ページスクロールバーコントロール：これは回路図ページ間のスクロールを制御します。

水平/垂直スクロールバーコントロール：これらのコントロールはウィンドウの右下にあり、回路図を縦または横にパンすることができます。スクロール矢印をクリックする度に、表示はウィンドウ幅の約10%の割合でパンします。ドラッグするかスクロールバーの領域をクリックしてスクロールボックスを移動すると、スクロールバーの終点に対して相対的な位置に対応する新しいスクロールボックス位置に移動します。

ウィンドウタブ：これは開回路または解析ウィンドウから選択します。

水平/垂直分割バー：このバーをウィンドウ中でドラッグすると、縦または横のバーでウィンドウが分割されます。各部分は別々にスクロールしたり、テキスト領域と作図領域を切り替えることができます。分割した各部分はスクロールやパンすることにより、回路図のさまざまな部分を確認することができます。

ステータスバー：このバーには、マウスポインタが現在通過しているアイテムに関する説明が表示されます。情報を提供するメッセージの表示にも使われます。

オブジェクトの選択と選択解除

オブジェクトを回路図に置いた後で操作するには、まず選択をしなければなりません。選択や選択解除にはマウスを使用し、以下のウィンドウの一般的規則が適用されます。

第一のステップ: 選択モードになっていなければ、ツールバーの選択モードボタン  をクリックするかCTRL+Eを押します。選択モードと現在のモードは、スペースバーを使って切り替えることもできます。

第二のステップ:

1つのオブジェクトを選択する:

オブジェクトをクリックします。するとそのオブジェクトが選択されます。

1つのオブジェクトを選択または選択解除する:

SHIFTを押してオブジェクトをクリックします。オブジェクトの選択状態が切り替わります。そのオブジェクトが選択されていたときは、選択が取り消されます。選択が取り消されていたときは、選択されます。

連続する複数のオブジェクトを選択する:

マウスをドラッグして点線の領域ボックスを作ります。これでボックス内を起点とするすべてのオブジェクトが選択されます。

連続する複数のオブジェクトを選択または選択解除する:

SHIFTを押して、マウスをドラッグして点線の領域ボックスを作ります。これでボックス内を起点とするすべてのオブジェクトの選択状態がトグルします。

連続しない複数のオブジェクトを選択または選択解除する:

SHIFTを押しながら、選択状態を変更したい各オブジェクトをクリックするか各グループをドラッグします。するとオブジェクトやグループの選択状態がトグルします。

オブジェクトの選択を取り消すのはどのような場合でしょうか。連続するオブジェクトの大きなグループのほとんどを選択しなければならない場合もあります。この場合には必要なオブジェクトを別々に選択するよりも、グループ全体をドラッグにより選択してから不要なオブジェクトの選択を取り消すほうが簡単ですばやく操作できます。

コンポーネントの属性テキストをクリックすると、そのコンポーネントではなくテキストが選択されます。属性テキストがないコンポーネント内でクリックするときには注意してください。属性テキストをシングルクリックすると、それが選択され移動できます。属性テキストをダブルクリックすると、そのテキストの位置でローカル編集ボックスがオープンし、属性ダイアログボックスを使わなくてもそこで編集できます。

ウィンドウ内のすべてのオブジェクトを選択するには、CTRL+Aを押します。すべてのオブジェクトの選択を取り消すには、ウィンドウ内の空白の部分をクリックします。

選択モードへ、あるいは選択モードからのすばやい切り替え：

回路図を作成、編集中にはしばしば、モード間、特に選択モードとコンポーネントモードやワイヤモードとの間で、切り替えが必要になる場合があります。これを簡単に実行するために、いくつかの短時間モード切り替え機能があります。

- 現在のモードを一時的に中断して、選択モードを有効にするには、SHIFTキーを押したままにします。この擬似的な選択モードは、オブジェクトの選択だけに使えます。オブジェクトをドラッグすることはできません。SHIFTキーを離すと元のモードに戻ります。

- 現在のモードを一時的に中断して、選択モードを有効にするには、CTRLキーを押したままにします。モードは選択モードに切り替わります。必要に応じて選択モードを使うことができます。CTRLキーを離すと元のモードに戻ります。このモードではオブジェクトをマウスで移動できないことに注意してください。CTRL+マウスドラッグを使ってオブジェクトをドラッグコピーできます。

- 現在のモードを一時的に中断して、選択モードを有効にするには、スペースバーキーを押します。押したままにする必要はありません。モードは選択モードに切り替わります。必要に応じて選択モードを使うことができます。終了したらスペースバーを押すと前のモードに戻ります。

スペースバーは、選択モードと他のモードを切り替える最も簡単な方法です。

回路図の作成

新しい回路図を作成するには、ファイルメニューで新規を選びます。これはつぎのような新規ダイアログボックスを示します。

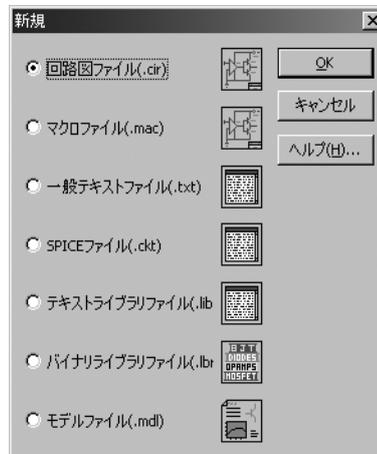


図2-2 新規ダイアログボックス

このダイアログボックスでは、つぎの3種類のファイルを作成できます。

- 回路図ファイル
これらは回路図を記述するテキストファイルです。
- マクロファイル (.mac)
これらはマクロ回路図を記述するテキストファイルです。
- 一般テキストファイル (.txt)
これらは一般的なテキストファイルです。
- SPICEファイル (.ckt)
これらはSPICE回路ネットリストに使われるテキストファイルです。
- テキストライブラリファイル (.lib)
これらはデジタルライブラリ、アナログライブラリ、スペクトラム提供モデルライブラリのサブサーキットとモデル文を含むテキストファイルです。
- バイナリライブラリファイル (.lbr)
バイナリ形式のファイルです。アナログライブラリの中には、この形式でモデルパラメータを保存するものがあります。
- モデルファイル (.mdl)
これらは、モデルルーチンがアナログライブラリで使用されるモデルパラメータを作成する基となるデータシートまたは測定値を保存するバイナリファイルです。

各ファイルを作成するには、項目をクリックしてOKボタンを押します。すると指定した種類のファイルの、空ウィンドウが開き、汎用的なファイル名が表示されます。

コンポーネントの追加と編集

回路図にコンポーネントを追加する方法:

第一のステップ: コンポーネントパネルまたはメニューからコンポーネントを選択します。その際、コンポーネントメニューや、ツールバーのボタン、コンポーネントパレット、コンポーネント検索ダイアログボックス (SHIFT + CTRL + F) が使用できます。すでに必要なコンポーネントが選択されている場合は、このステップを省略できます。コンポーネントメニューは大きく次のカテゴリーに分かれています。

- アナログ基本部品
- アナログライブラリ
- デジタル基本部品
- デジタルライブラリ
- アニメーション
- インポート (回路ファイルからインポートされる部品を保持)
- フィルタ (フィルタデザイナーによってフィルタマクロ作成後に表示)
- マクロ (マクロの作成コマンドでマクロ作成後に表示)

アナログ基本部品の項目には、抵抗、コンデンサ、NPNトランジスタ等の基本部品が含まれます。これらのコンポーネントはすべて、ユーザが電氣的属性 (抵抗値、容量値、適切なモデル文等) 定義を供給する必要があります。モデルパラメータは、属性ダイアログボックスから直接入力することができます。また、アナログライブラリのモデル化済みの部品を、モデルリストから選択することもできます。属性ダイアログでモデルを編集すると、情報がローカライズされます (テキスト領域にモデル文がコピーされます)。属性ダイアログでサブサーキットを編集した場合も、同様に回路のテキスト領域にコピーが作成されます。

アナログライブラリの項目にはモデル化済みのアナログコンポーネントがあり、商品名と類似した部品名で参照されます。この項目には、IRF510、2N2222A、1N914のような部品があります。これらの部品は、サブサーキット、マクロ、モデル文のような形ですすでに電氣的属性が定義されており、モデルライブラリファイルのいずれかに格納されています。モデルライブラリファイルは、マスタインデックスファイルから参照されます。マスタインデックスファイルはすべての回路図から、「LIB NOM.LIB」のようなコマンド文により、自動的にインクルードされます。

デジタル基本部品の項目には、ANDゲート、ORゲート、フリップフロップ、PLA、デジタル信号源のような、基本部品が含まれます。これらのコンポーネントでは、ユーザが適切なモデル文を入力する必要があります。あるいは、モデリング情報にアクセスするために .LIB文を必要とします。

デジタルライブラリの項目には、商用のデジタルコンポーネントがあり、部品名と類似した部品名で参照されます。この項目には、7400、7475、74LS381等の部品があります。これらの部品は、すでに電氣的属性が定義されており、モデルライブラリファイルに格納されています。モデルライブラリファイルは、「NOM.LIB」のようなコマンド文により、すべての回路図から自動的にインクルードされます。

アニメーションの項目には、LED、7セグメントのディスプレイ、リレー、アナログとデジタルの電流、電圧計も含め、ビヘイビアアニメーション部品を保持します。インポートの項目には、回路からインポートされた部品を保持します。フィルタの項目には、フィルタデザイン機能によって作成されるフィルタマクロを格納し、デザインメニューからアクセスします。マクロの項目には、マクロの作成コマンドによって作成されるマクロを保持します。

第二のステップ: Micro-Capをコンポーネントモードにしてください。コンポーネントメニューから部品を選択すると、モードは自動的にコンポーネントに変わります。Micro-Capがコンポーネントモードのとき、ツールバーボタンが押された状態になります。判断できないときには、ツールバーのこのボタンをクリックするか、CTRL + Dを押してください。

第三のステップ: 回路図中でマウスをクリックして、コンポーネントを希望する位置にドラッグします。マウスの右ボタンを押して、部品を希望する方向にします。部品が所定の位置まで移動したら左ボタンを離します。

第四のステップ: 属性ダイアログボックスに適切な属性値を入力します。部品がFilters、Analog Library、Digital Libraryの項で選択した場合には、このステップは不要な上に属性ダイアログボックスは表示されません。部品がアナログ部品またはデジタル部品で選択した場合には、このステップで部品名や値、モデル名のように重要な情報を入力できます。

コンポーネントの属性を修正する:

ツールバー選択モードボタンをクリックします。部品をダブルクリックして、属性ダイアログボックスを呼び出します。修正したい属性の名前をクリックしてから、値フィールドをクリックし、変更したい内容を入力します。モデルリストボックスで新しいモデル名を選択してもモデル名を変更することができます。

サブサーキットとモデルパラメータはダイアログボックス内で編集できます。編集すると、回路テキスト領域のモデル文やサブサーキットのコピーを配置することにより、情報がローカライズされます。

最初に属性を選択してからフォントボタンをクリックし、新しいフォント、スタイル、サイズ、効果を選択すると、属性のフォントを変更することができます。また属性テキストやピン名の表示フラグを変更することもできます。OKを選択すると、変更内容が有効になります。

属性ダイアログボックス

モデル化していない回路図にコンポーネントを追加すると、属性ダイアログボックスが開くのでコンポーネント情報の一部を入力することができます。実際に必要な情報はコンポーネントにより異なりますが、一般に抵抗、コンデンサ、コイルのような簡単な部品には少なくとも部品名と値が必要です。複雑な部品になると部品名とモデル文が必要になる場合があります。デジタル部品では論理式、ブロック名、デジタル信号表名などが必要な場合があります。属性の個数は、コンポーネントの種類によって決まります。ここでは典型的な例として、基本部品のNJFETについて表示されるダイアログボックスを示します。

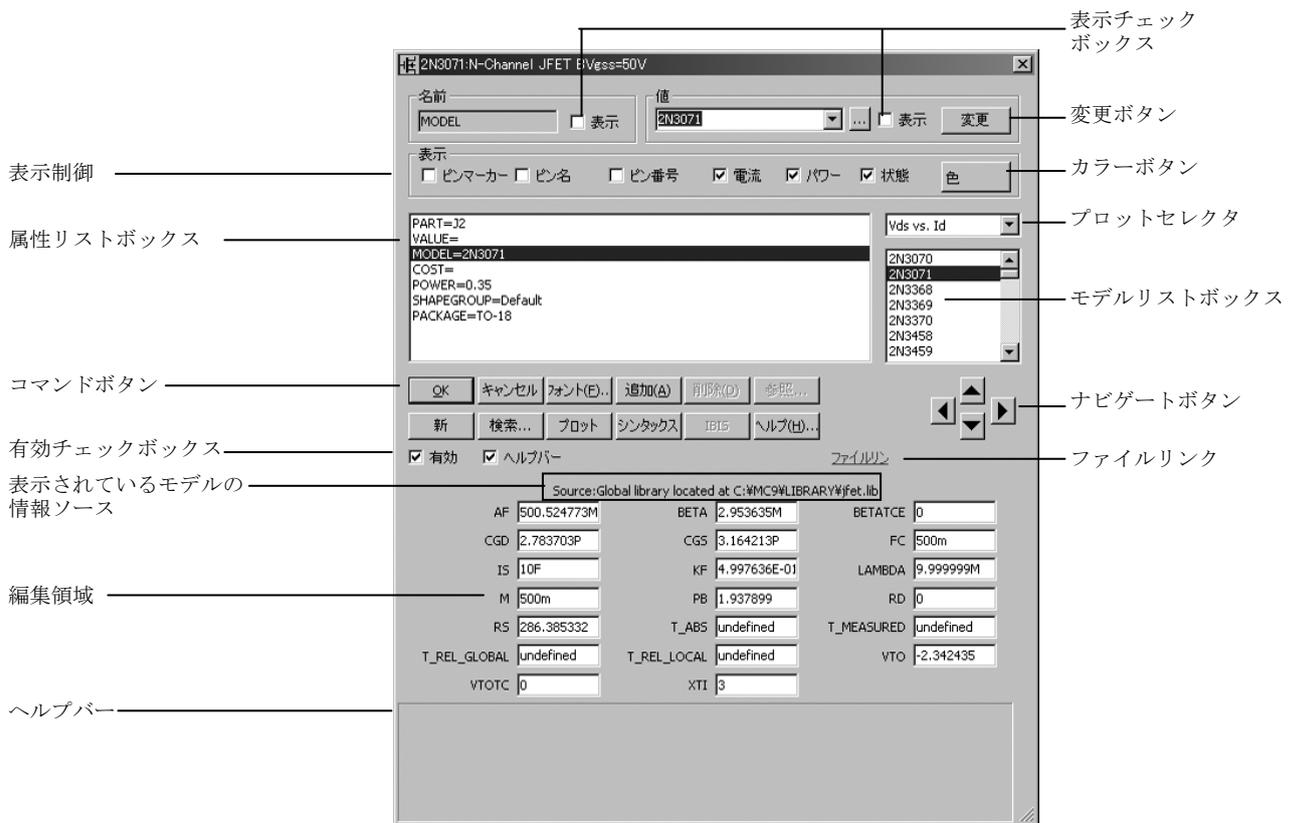


図2-3 属性ダイアログボックス

属性は、属性リストボックスに表示されます。NJFETトランジスタの属性は、PART、VALUE、MODEL、PACKAGE、COST、POWER、SHAPEGROUPです。各属性の名前と値は、次の表のとおりです。

属性名	属性値
PART	J1
VALUE	なし
MODEL	2N3071
COST	BLANK
POWER	0.35
PACKAGE	TO-18
SHAPEGROUP	デフォルト

PART属性は、部品名です。VALUE属性は、省略可能なテキスト文字列で、area（面積）、OFFフラグ、初期状態を記述します。MODELは、モデル名を指定します。モデル名は、一連のモデルパラメータを指定します。モデルパラメータは、回路内のローカルな場所（回路図のテキストページ、モデルページ、または図面ページ）や、全般的な場所（ライブラリ）に置くことができます。PACKAGE属性は、部品の使用する物理的なパッケージを指定します。パッケージ情報は、外部PCB（プリント回路基板）プログラム用のネットリストを作成するために使用されます。SHAPEGROUPは、シェイプが属するシェイプグループを指定します。

COST属性とPOWER属性は、部品表用の単価と電力割り当てを指定します。部品表は、ネットリストの一種で、回路の中の部品の個数、費用、電力割り当てを出力します。POWERはまた、状態表示にも使用されます。電力損失がこの値を超えると、対象の部品がHOTと表示されます。

属性の値を変更するには、属性リストボックスで属性名をクリックして選択した後、値フィールドをクリックし、必要な変更を行います。

ほかの属性を追加することもできます。これらは、デバイスの電気的なビヘイビアには影響しません。属性を追加するには、追加ボタンを押します。これにより新しい属性が追加され、名前フィールドに「USER」という名前が付けられます。値フィールドはブランクのままです。そして名前フィールドと値フィールドを編集できます。

属性を削除するには、属性リストボックスの属性名をクリックして選択します。つぎに削除ボタンをクリックします。ユーザが追加した属性だけ、削除することができます。

フォント、サイズ、スタイル、色、効果を変更するときは、フォントボタンをクリックします。するとフォントダイアログボックスが表示されます。フォントダイアログボックスではテキストの機能を変更することができます。これについては本章の後で説明します。

表示制御：これにより以下の項目を表示または非表示とします。

ピンマーカー：デバイスへのピンマーカーの表示を制御します。すなわちデバイスへの接続の位置を表示します。

ピン名：ピン名の表示を制御します。これは、意味のわかる名前の代わりにノード番号が使われる、ベンダ供給サブサーキットモデルには便利です。通常、このオプションはオフです。

ピン番号：これは、PCB作業で使用するパッケージピン番号の表示を制御します。通常、このオプションはオフです。

電流：これは、電流表示ボタン  が有効な場合、その部品の最新の時間領域またはAC電流値の表示を制御します。

パワー：これは、電力表示ボタン  が有効な場合、その部品の最新の時間領域またはAC電力値の表示を制御します。

状態：これは、状態表示ボタン  が有効な場合、その部品の最新の状態（オン、オフなど）の表示を制御します。

属性リストボックス：これは属性を列挙します。属性の一つを選び、値エディットボックスでその値を編集することで、複数の属性が編集できます。

コマンドボタンは、次の機能を提供します。

OK：行った変更を受け入れ、ダイアログを閉じます。

キャンセル：行った変更をキャンセルし、ダイアログを閉じます。

フォント：選択した属性のフォントとスタイルを変更します。

追加：新しい属性を追加します。

削除：選択した属性を消去します。ユーザが追加した属性のみ、消去することができます。

参照：このボタンは、部品がユーザおよびfstimソース、マクロ、サブサーキット、PLAのようなファイル属性を利用しているときに、ファイルのブラウジングを可能にします。ファイル属性が選択された場合にのみ有効となります。

新規：モデル属性が選択されている場合は、回路にローカルな新しいモデル名が作成されます。ライブラリにないモデル名を入力して、新しいモデルを作成することもできます。

検索：これはパラメータ名および/または記述を検索する検索ダイアログボックスを呼び出します。モダンバイポーラおよびMOSFETモデルは多くのモデルパラメータを有します。編集またはレビューのためにパラメータを検索するには検索コマンドが役立ちます。

プロット：各基本部品の種類に応じて、プロットを生成します。プロットは、テスト回路のミニ解析から作成されます。パルス源の場合、単純な解析により、プロットが1個作成されます（波形の2サイクル）。NPNのような部品の場合、プロットの種類が複数あり、プロットセレクトから選択できます。マクロやサブサーキットなど、プロットがないものもあります。プロットが表示されると、パラメータの編集を動的に反映します。

シンタックス：ヘルプファイルから、その基本部品の構文が表示されます。

再生：WAVソースの場合、WAVファイルを再生します。

IBIS：このボタンは、部品がIBISコンポーネントである場合にIBISトランスレータにアクセスし、IBIS IOモデルの編集または選択を可能にします。

ヘルプ：属性ダイアログボックスのヘルプ項目にアクセスします。

組合せ：抵抗値、容量値、インダクタンス値を概算した標準部品値の直列/並列の最良の組合せを検索します。例えば、1234567オームの値は、

$1.235\text{MEG} = 1.2\text{MEG} + (133\text{K} | 47.5\text{K})$ ($e=0.0035\%$ $n=3$) となります。

これは、1.2MEG抵抗と、133Kと47.5Kの抵抗の並列組合せとを直列に置くことにより、最も近い値が得られたことを意味します。結果値は1.235MEGで、これは要求値の.0035%内です。基本設定は**オプション/プリファレンス/組合せ**で設定されます。

単一：抵抗値、容量値、インダクタンス値を概算した、最も近い単一標準部品値を検索します。基本設定は**オプション/プリファレンス/組合せ**で設定されます。

これらの最後の2つのオプションは基本値にフィットコマンドと同類です。

有効チェックボックス：編集メニューのこのチェックボックスで、または有効  または無効  ツールバーボタンを使って部品を有効または無効にできます。無効部品は回路図に留まりますが、解析や部品表報告、SPICEネットリスト変換には含まれません。部品、テキスト、ワイヤを含むオブジェクトはすべて有効または無効にできます。オブジェクトをグループで有効または無効にするには、マウスでそれらをドラッグして選択し、有効または無効ツールバーボタンをクリックします。

ヘルプバーチェックボックス：ダイアログボックスのさまざまな部品やモデルパラメータに関する記述を表示するヘルプバーを追加します。

表示されているモデルの情報ソース：これは表示されたモデル情報源を示します。通常、ローカライズされた場合は回路のモデルまたはテキスト領域になり、全般的にアクセスされた場合はモデルフォルダーまたはパスとなります。モデルパラメータの編集により、回路モデルまたはテキストページにローカライズされます。

編集領域：これらのフィールドにより、モデルパラメータ、サブサーキット、デジタル信号文、またはその他のモデル情報を編集できます。

ヘルプバー：この領域にはマウス下の項目について有益な情報が表示されます。

ファイルリンク：このリンクをクリックすると、プログラムがリンクを実行します。Adobe PDFデータシートのようなローカルファイルやベンダのウェブサイトへのURLリンクを設定できます。デフォルトURLリンクは<http://www.google.com/search?q=%s+data sheet>で、これは基本的にモデル名を用いてデータシートを検索します。%sはモデル名の置き換えです。

ナビゲートボタン：これらのボタンにより、回路内の他の部品にスクロールできます。左または右のナビゲートボタンをクリックする度に、同じタイプの別の部品が表示されます。上または下のナビゲートボタンをクリックする度に、異なる部品タイプが表示されます。

モデルリストボックス：これはライブラリから利用可能なモデル名のリストを表示します。リスト中をスクロールし、モデルをクリックすることで選択できます。

プロットセレクト：プロットボタンをクリックするとプロットが作成されます。この領域では、デバイスの特徴的プロットリストからの選択が可能です。一部のデバイスは3つものプロットを有しますが、プロットを全然持たないデバイスもあります。

カラーボタン：部品の境界線の色や塗りつぶしの色を変更できます。境界オプションでは輪郭の色を制御し、塗りつぶしオプションでは内側の色を制御します。内部の塗りつぶしは、シェイプに塗りつぶし色が指定されていないと実行できません。塗りつぶしボタンが無効になっている場合は、シェイプに指定されている塗りつぶし色がいないためです。この設定は、シェイプエディタでシェイプの塗りつぶし色を指定することで変更できます。

変更ボタン：表示された属性値が、リストから選択された部品の属性フィールドにコピーされます。たとえば、このコマンドを使って、すべての2N2222モデルの属性を2N3903に変更します。

表示チェックボックス：名前フィールドと値フィールドの隣の表示チェックボックスにより、選択された属性の名前と値を回路図内に表示するかどうかを決めることができます。通常は、属性名は表示されず、いくつかの属性値だけが表示されます。代表的な例では、部品属性値（この場合は「J2」）だけが表示され、しばしばモデル属性値（この場合は、「2N3071」）も表示されることもあります。

回路図へのワイヤの追加

回路図へのワイヤの追加は、ある点からほかの点にマウスをドラッグして行います。マウスを縦や横にまっすぐに動かすと直線のワイヤが描かれます。斜めに動かすとコーナができます。

第一のステップ：ツールバーのワイヤモードボタン  をクリックします。

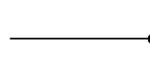
第二のステップ：マウスで希望する始点をポイントし、マウスの左ボタンを押したままにします。

第三のステップ：ワイヤの端点にしたい位置までマウスをドラッグし、そこでマウスボタンを離します。

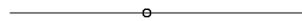
いくつかのポイントに留意するとよいでしょう。

- ・ワイヤが2つの線分からなる場合、ワイヤを描く途中で（左マウスボタンを放す前に）右マウスボタンをクリックすると、向きを変更できます。

- ・接続した部分には、ドットが表示されます。



- ・ワイヤの端点が他のワイヤに触れると、ワイヤは互いに接続されます。



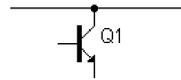
- ・2本のワイヤが、端点で互いに接続されていると、ワイヤは融合して1本となります。



- ・交差するワイヤは接続されません。ワイヤの端点は、他のワイヤの端点、コンポーネントの端子、他のワイヤの中間点にしか接続できません。

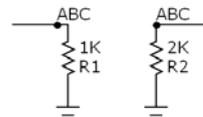


・他のワイヤの端点やコンポーネントの端子ドットを横切ると、ワイヤは接続されます。



・ノードスナップオプションを有効にすると、ワイヤは1グリッド以内で最も近いノードにスナップされます。アナログ部品の場合、スナップはたいして有用ですが、1グリッドピッチの密度の高いデジタル接続では、問題となる場合があります。ワイヤの端点が予想外の位置にジャンプしてしまうような場合は、ノードスナップオプションを無効にすることができます。ノードスナップオプションは、**オプション/プリファレンス/オプション/回路/ノードスナップ**で有効にしたり無効にしたりできます。

・ワイヤはノード間を接続するもっとも基本的な方法ですが、グリッドテキストを使用することもできます。*同じグリッドテキストを持つ2つのノードは、自動的に接続されます。*これは、たくさんのコンポーネントが共通のノードを使用する場合に便利です。このようなノードとしては、アナログのノードVDD、GNDや、デジタルのノードクロック、プリセット、クリアなどがあります。次の図では、R1とR2はそれぞれテキストABCの名前が付いたノードに接続されているので、並列です。



名前付けは、ノード上にテキストをドロップするか、ワイヤをダブルクリックしてノード名を変更して行うことができます。どちらの方法でも名前を付けることができます。

・ワイヤを描きながらSHIFTキーを押し下げると、ワイヤの向きは強制的に水平または垂直になります。どちらになるかは、キーを押す前のワイヤの向きによります。SHIFTキーは、ワイヤを描き始めてから押す必要があります。ワイヤを描き始める前にSHIFTキーを押すと、モードが一時的に選択モードに移行してしまいます。

・2セグメントのワイヤを描きながら、右のマウスボタンをクリックすると、セグメント間の接続は、可能な2つのコーナ位置間で入れ替わります。

バスの使用

バスモード  では、回路図にコネクタを表示できます。バスは多くのワイヤを一度に描画するのに便利です。特に、CPUまたはRAM機能のデータやメモリーセットのような論理的に関連したワイヤには便利です。一般的なバスコネクタは以下のように表示されます。

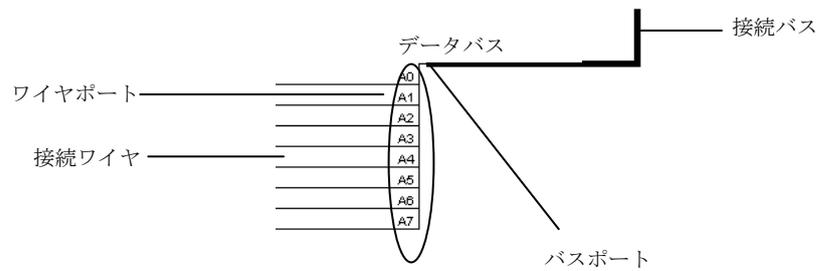


図2-4 一般的なバスコネクタ

バスコネクタにはワイヤポートとバスポートの2ポートがあります。ピンはバスに取り付けられた別のコネクタの同様のピンに電氣的に接続されます。

バスを描画するには、ワイヤモードを選択し、別のバスまたはコネクタのバスポートからマウスをドラッグします。バスはワイヤのように接続し、ラバーバンドします。

バスとそのコネクタは、そのワイヤに取り付けられたコンポーネントのタイプによりアナログまたはデジタル信号を伝達します。

バスコネクタの表示は、以下のようなバスダイアログボックスを呼び出します。



図2-5 バスダイアログボックス

このダイアログボックスには次のような特徴があります。

部：この領域にはバスコネクタ名が含まれます。横にあるチェックボックスでバスコネクタ名を表示または非表示します。

ピン名の入力：この領域にはピン名が含まれ、暗黙的にバスコネクタの別のワイヤ/ノード数を定義します。ピン名は別途リストにしたり、表示されたフォームを用いて列挙することができます。

例：

A, B, C, D	A、B、C、Dのラベルが付けられたピンを有する4ピンバス
A[1:4]	A1、A2、A3、A4のラベルが付けられたピンを有する4ピンバス
C[1:4,8,9]	C1、C2、C3、C4、C8、C9のラベルが付けられたピンを有する6ピンバス
0:7	0、1、2、3、4、5、6、7のラベルが付けられたピンを有する 8 ピンバス
[A,B][1,2]	A1、A2、B1、B2のラベルが付けられたピンを有する4ピンバス

ピン間のグリッド：これはピン間のグリッド数を指定します。

バスノード配置：これはバスコネクタ名をどこに表示するかを指定します。上、中、下の3つのオプションがあります。

ワイヤノード配置：これはワイヤがコネクタからどのように現れるかを指定します。以下の3つのオプションがあります。

ストレート	ワイヤはコネクタに垂直に現れます。
上	ワイヤは一方向に傾斜します。
下	ワイヤは反対方向に傾斜します。

色：これはコネクタの色を制御します。

ピンマーカー：このチェックボックスはピンマーカーの表示を制御します。

ピン名：このチェックボックスはピン名の表示を制御します。

有効：このチェックボックスはコネクタを有効または無効にします。

OK：これは変更を許可し、ダイアログボックスを終了します。

キャンセル：これは変更を無視し、ダイアログボックスを終了します。

回路のバスの使用例についてはANIM3を参照してください。

グリッドテキストの追加と変更

回路図には数種類のテキストがありますが、第一に各コンポーネントの属性テキストがあります。属性テキストは属性ダイアログボックスで作成と変更を行います。第二に、グリッドテキストがあります。グリッドテキストはどんな目的に使用することもできますが、もっとも重要な用途はノードの命名です。

回路図にグリッドテキストを追加する:

第一のステップ: ツールバーのテキストモードボタン **T** をクリックします。

第二のステップ: 回路図上のテキストを追加したい位置でマウスをクリックします。テキストダイアログボックスが現れます。次のようなオプションがあります。

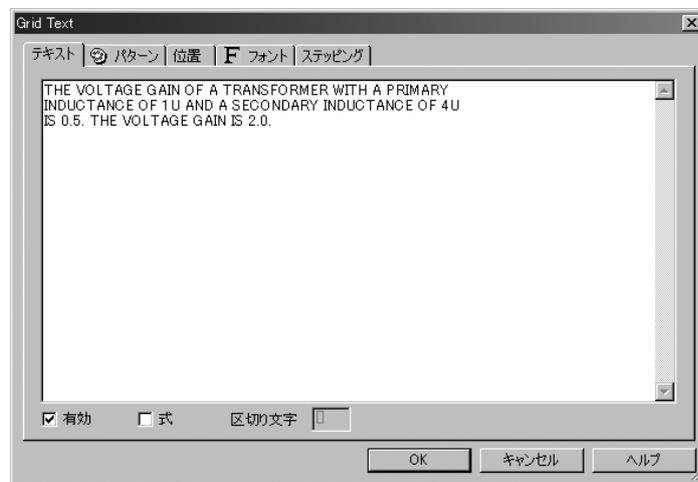


図2-6 テキストダイアログボックス

コマンドボタン

OK: これにより、ユーザは、テキストの入力や変更を行ったり、新しいテキストや変更したテキストをマウスの近くに置くことができます。

キャンセル: これにより、ユーザは変更を無視して、ダイアログボックスを閉じることができます。

ヘルプ: これにより、ヘルプシステムにアクセスします。

オプション

テキスト: これにより、テキストの内容を編集できます。

パターン:これにより、テキストの色、塗りつぶしの色（背景色）、境界の幅と色を変更できます。

位置:これにより、表示順/向きを変更できます。4つの選択肢があります、通常では、左から右の順で指定します。「上」では下から上の順で指定します。「下」では、上から下の順で指定します。「上下逆」では、右から左に上下逆向きの順で指定します。

フォント:これにより、テキストのフォント、サイズ、スタイル、効果を変更できます。

ステップング:これらのオプションは、テキストを追加するときのみ表示されます。増加したテキストの複数の行と列を追加できます。

インスタンスX:テキスト行の数を設定します。

ピッチX:テキスト行の間隔をグリッド数で指定します。

インスタンスY:テキスト列の数を設定します。

ピッチY:テキスト列の間隔をグリッド数で指定します。

ワイヤやノードにグリッドテキストで名前を付けるのに、ステップングを使うことができます。たとえば、A0からA15まで、名前を垂直に16個並べたい場合は、テキストとして「A0」を入力し、インスタンスX=1、インスタンス=16、ピッチY=2（グリッド）を選択します。

ステップングタブはテキストを表示したときのみ存在します。後にグリッドテキストの一部を編集する場合に、それは編集の必要はないのでこのタブは存在しません。

チェックボックス

有効:これはテキストを有効または無効にします。有効化は、ノード名として使用するテキストや、.DEFINE文または.MODEL文のようなコマンドテキストで重要です。

式:これにチェックマークを付けると、テキストが計算式を含んでいることとテキストが含む数式は算出すべきであることをプログラムに伝えます。

区切り文字:これは、組み込まれた数式を定義したり、区切ったりするのにどの文字を使うかをプログラムに伝えます。あらゆる文字を使うことができますが、括弧[]または中括弧 { } を推奨します。

既存のテキストを追加または編集するには、ダイアログボックスのテキストパネルを選択します。テキストを入力または編集し、OKを押します。テキストを改行するには、挿入ポイントのテキストカーソルを望みの位置に置き、ENTERを押します。グリッドテキストを選択してCTRL+Bを押すと、テキスト領域と図面領域の間で移動することができます。回路図ウィンドウの画面は、CTRL+Gを押すと、テキスト領域と図面領域の間で切り替えることができます。

グリッドテキストを変更する:

第一のステップ: ツールバーの選択モードボタン  をクリックします。

第二のステップ: 変更したいテキストでマウスをダブルクリックします。選択したテキストを表示するダイアログボックスが現れます。必要に応じて、テキストを変更します。

Altキーを押しながらテキストをダブルクリックすると、グリッドテキストを回路図上で直接編集することもできます。

フォーミュラテキスト

計算式を使用する回路図グリッドテキストには2種類があります。

第一フォーマット

第一フォーマットは以下の通りです。

$=formula$

この形式のグリッドテキストは、小さな表計算ソフトのように動作します。最初の文字位置に「=」が存在することにより、このテキストが実際には計算式であり、回路図上のテキストが変更される度に値を計算しなければならぬことがわかります。例えば、次の4つのテキストにより、3つの変数L1、C1、C2と、フォーミュラテキストが定義されます。

```
.DEFINE C1 1N  
.DEFINE C2 1N  
.DEFINE L1 10U  
= 2 * PI / SQRT (L1 * C1 * C2 / (C1 + C2))
```

これらは個別のテキストであり、テキストのブロックではないことに注意してください。フォーミュラテキストは、回路図内に配置しますが、テキスト領域には置けません。define文は、テキスト領域と回路図のどちらにも配置できます。

この計算式は、コルピッツ発振器の共振周波数です。テキストを変更すると値が更新され、Micro-Capは次のように表示します。

$2 * PI / SQRT (L1 * C1 * C2 / (C1 + C2)) = 88.858E6$

フォーミュラテキストは、設計に必要な値を複雑な計算式から自動的に計算して表示するために設計されました。たとえば、C1の値を10nFに変更すると、新しい共振周波数が次のように表示されます。

$2 * PI / SQRT (L1 * C1 * C2 / (C1 + C2)) = 65.899E6$

フォーミュラテキストは他の数式で使うことはできません。他の数式で使用するには、計算式を以下のような記号変数名として定義しなければなりません。

```
.DEFINE F0 2 * PI / SQRT (L1 * C1 * C2 / (C1 + C2))
```

F0は、数式中やAC解析リミット周波数範囲の中、またはデバイス属性の中で使用できます。

第二フォーマット

第二フォーマットは以下の通りです。

text...[formula]...text

例えば、以下のグリッドテキストの4部分が入力されます。

.DEFINE L1 1U

.DEINE L2 4U

.DEFINE N SQRT(L1/L2)

[L1]の一次インダクタンスと[L2]の二次インダクタンスを有するトランスの電圧利得は[$\text{SQRT}(L1/L2)$]です。電圧利得は[$1/N$]です。

テキストの最終部分は実際は次のように現れます。

1uの一次インダクタンスと4uの二次インダクタンスを有するトランスの電圧利得は0.5です。電圧利得は2.0です。

この例では、デリミタ文字は[および]です。

テキストダイアログボックスのフォーミュラボックスにチェックマークが付けられた場合にのみ、このタイプのフォーミュラテキストが計算されます。

フォーミュラテキストのいずれの形式においても、V(Out)やI(R1)のような回路変数を方程式で使用することが可能です。結果は、解析が実行されるまで計算されません。

グラフィカルオブジェクトの追加と変更

第一のステップ: ツールバーのグラフィックモードボタンをクリックします。メニューが表示され、利用可能なグラフィカルオブジェクトのリストが表示されます。オブジェクトのいずれかをクリックして選択します。回路図内でマウスをドラッグしてオブジェクトを作成します。

グラフィカルオブジェクトには、線、楕円、四角形、ひし形、円弧、扇形、大括弧、画像があります。オブジェクトにはハンドルが付いていて、ドラッグしてサイズやシェイプを変更することができます。コーナのハンドルをドラッグすると、オブジェクトのサイズを変更できます。その他のハンドルをドラッグすると、オブジェクトの境界ボックスの幅や長さを変更できます。これにより、オブジェクトのアスペクト比や相対的シェイプを変更することができます。

グラフィカルオブジェクトをダブルクリックすると、オブジェクトを編集するためのダイアログボックスが開きます。

オブジェクトが画像である場合、ファイルダイアログボックスが表示されます。画像ファイルの名前、境界と塗りつぶしオプションを選択してOKボタンをクリックします。

次の図は、高調波歪み解析で作成およびキャプチャされた2枚のWMF画像が追加された回路ファイルの例です。

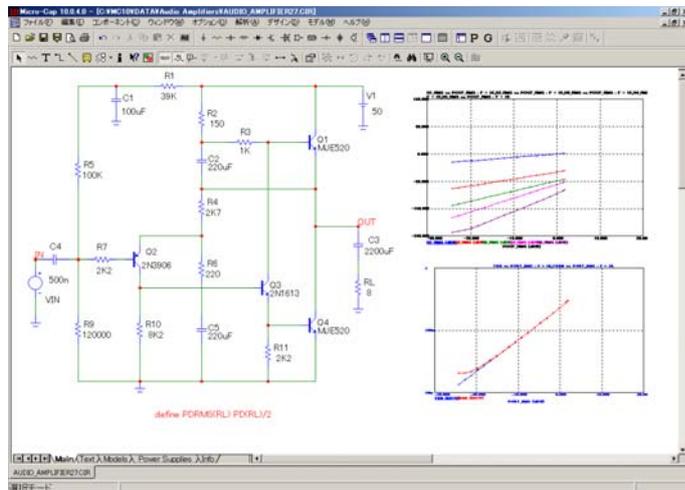


図2-7 WMF画像ファイル2枚を含む回路ファイル

Micro-Capは、画像をTIFF、JPEG、BMP、GIF、PNG、WMF、EMF形式でインポート、エクスポートできます。

フラグの追加と変更

第一のステップ: ツールバーのフラグモードボタン  をクリックします。

第二のステップ: 回路図上のフラグを追加したい位置をクリックするとテキストボックスが現れます。フラグの名前を入力してOKを押してください。

フラグを編集するには、ダブルクリックしてテキストボックスで名前を編集します。

回路図オブジェクトの移動

第一のステップ: ツールバーの選択モードボタン  をクリックします。

第二のステップ: オブジェクトまたはオブジェクトのグループを選択します。

第三のステップ: 選択したオブジェクトやグループをドラッグします。マウスを望みの位置まで動かし、マウスボタンを離します。ドラッグするときは、オブジェクトや選択した領域の中から行うよう気をつけてください。そうしないと、それまでの選択内容がすべて取り消されてしまいます。そのときは、第二のステップからやり直してください。

回路図オブジェクトの回転

単一オブジェクトを回転するには、それをクリックし、マウスの左ボタンを押したままマウスの右ボタンをクリックします。右クリックを行う度に、90度回転します。CTRL + Rでも選択されたオブジェクトを回転させることができます。

オブジェクトのグループを回転するには、次の手順でおこないます。

第一のステップ: ツールバーの選択モードボタン  をクリックします。

第二のステップ: オブジェクトまたはオブジェクトのグループを選択します。

第三のステップ: 回転ボタンのいずれかをクリックします。X軸反転ボタン  は領域を水平軸に対して180度単位で回転させます。Y軸反転ボタン  は領域を垂直軸に対して180度単位で回転させます。回転ボタン  は領域をZ軸（回路図平面に対して垂直な軸）に対して90度単位で回転し、4つの方向を作り出します。CTRL + RでもZ軸に対して回転できません。

回路図オブジェクトのステッピング (ステップコピー)

ステッピングでは、四角形の領域を定義し、その内容を指定した回数だけ複製します。ステッピングという名称は、半導体産業で用いられる写真リソグラフ用語の「step and repeat」に由来します。この機能はPLA、RAM、ROMのように反復の多い回路構造の作成に便利です。手順はつぎの通りです。

第一のステップ: ツールバーの選択モードボタン  をクリックします。

第二のステップ: マウスをドラッグし、ステップしたいオブジェクトを含む領域を定義すると、希望する領域を囲むボックスが作成されます。オブジェクトに触れると、ボックスは作成されずにドラッグになるので、通常は初めてボックスを作成するときには、境界を必要な領域のすぐ外側に描画します。このようにステッピングを行うと、オブジェクトと当初のボックスの境界との間にスペースがあるため、部分と部分がつながらなくなります。普通はこのような結果は望ましくありません。ボックスのハンドルを使うとこれを避けることができます。このハンドルはボックスの4つのコーナと各辺すべてにあります。最初にボックスを作成すると、ハンドルをドラッグしてスペースを削除することができます。これで連続したつながり部分が得られるステッピングを行うことができます。

第三のステップ: ステップボタン  をクリックすると、ダイアログボックスが現れます。



図2-8 ステップダイアログボックス

このダイアログボックスでは、ボックスをステップする方向、コピーする回数、ボックスのグリッドテキストをコピーするかどうかの3つを選択します。領域ボックス内のコンポーネント属性は、すべてコピーされます。ただし、部品名 (PART属性) は例外で、常に増分されます。プリファレンスダイアログのテキストインクリメントオプションが有効である場合、コピーされたグリッドテキストは増分されます。

回路図オブジェクトの反転

反転では、四角形の領域ボックスを定義し、内容を反転したコピーを作成することができます。手順はつぎの通りです。

第一のステップ: ツールバーの選択モードボタン  をクリックします。

第二のステップ: マウスをドラッグして、反転したいオブジェクトやオブジェクトのグループを含む領域を定義します。希望する領域を囲むボックスが作成されます。オブジェクトに触れるとボックスは作成されずにドラッグになるので、通常は初めてボックスを作成するときには、境界を必要な領域のすぐ外側に描画します。このように反転を行うと、オブジェクトと当初のボックスの境界との間にスペースがあるため、部分と部分がつながらなくなります。普通はこのような結果は望ましくありません。ボックスのハンドルを使うとこれを避けることができます。このハンドルはボックスの4つのコーナと各辺すべてにあります。最初にボックスを作成すると、ハンドルをドラッグしてスペースを削除することができます。これで連続したつながり部分が得られる反転を行うことができます。

第三のステップ: ミラーボタン  をクリックします。ミラーダイアログボックスが現れます。ボックスはつぎのようなものです。



図2-9 ミラーダイアログボックス

このダイアログボックスでは、垂直または水平の反射や、ボックスのグリッドテキストをコピーするかどうかを選択できます。垂直反射をおこなうと、もとの領域の真下にコピーされます。水平反射をおこなうと、もとの領域の右側にコピーされます。領域ボックス内のコンポーネント属性は、すべてコピーされます。ただし、部品名 (PART属性) は例外で、常に増分されます。プリファレンスダイアログのテキストインクリメントオプションが有効である場合、コピーされたグリッドテキストは増分されます。

回路図オブジェクトの削除

第一のステップ: ツールバーの選択モードボタン  をクリックします。

第二のステップ: 削除したいオブジェクト (コンポーネント、テキスト、ワイヤ、フラグ、グラフィカルオブジェクト) をクリックして選択します。複数のオブジェクトを削除するには、SHIFTキーを押したまま各オブジェクトをクリックします。マウスをドラッグして矩形の領域 (ボックス) を定義する方法でオブジェクトを選択することもできます。マウスボタンを離すとボックス内にあるすべてのオブジェクトが選択されます。

第三のステップ: Deleteキーを押してオブジェクトを削除します。この方法で削除すると、削除されたオブジェクトはクリップボードにコピーされないため、別の場所にペーストすることができません。オブジェクトを削除して、後でペーストするためにクリップボードにコピーしたいときには、切り取りコマンド (CTRL+X) を使います。

Deleteキーだけで、1つの端点からもう1つの端点まで、選択されたすべてのワイヤセグメントの全体が削除されます。CTRL+Deleteにより、ボックスのちょうど境界のところで選択リージョンボックスと交差するワイヤセグメントがカットされます。

元に戻すおよび繰り返しコマンド

元に戻すコマンドを実行すると、操作の結果を取り消すことができます。これはCTRL+Zを押すか、元に戻すボタン  をクリックするか、編集メニューの元に戻す項目を選択することによって実行します。元に戻すはテキストフィールド、回路図、シェイプ、解析プロットオブジェクトに対して行ったほとんどの編集操作について行うことができます。取消が可能な変更内容には、編集、削除、移動、回転、反射、ステップングがあります。テキストの編集操作は、一度テキストカーソルをほかのフィールドに移動した後では取り消せません。コマンドを取り消せない場合でも、そのコマンドを使う前のファイルを保存しておいて、ファイルメニューの戻すオプションを使ってディスクに保存した前のファイルをロードすればコマンド実行前の状態に戻ることができます。

繰り返しコマンドもあります。CTRL+Yを押す、繰り返しボタン  をクリックする、あるいは編集メニューから繰り返す項目を選択することにより起動されます。これは、元に戻すコマンドの補助です。

これらのコマンドは多段式です。何度も元に戻すことができ、利用可能なメモリによってのみ制限されます。

回路図オブジェクトの有効化／無効化

部品、テキスト、ワイヤを含む回路図のオブジェクトは有効または無効にできます。有効化したオブジェクトは解析、SPICEネットリストの変換、部品表に含められます。無効となったオブジェクトは含められません。有効オブジェクトは通常は色が付けられ、無効オブジェクトは灰色で表示されます。無効色は**プロパティ (F10) /色/フォント/無効**で設定されます。個々のオブジェクトを有効または無効にするには、それをダブルクリックし、有効チェックボックスをクリックして希望する状態にします。

以下は回路図オブジェクトを有効または無効にする方法です。

第一のステップ: ツールバーの選択モードボタン  をクリックします。

第二のステップ: オブジェクトまたはオブジェクトグループを選択します。

第三のステップ: 有効  または無効  ツールバーボタンをクリックします。もしくは、**編集**メニューから**有効**または**無効**項目を選択します。項目が単一オブジェクトの場合、それをダブルクリックし、表示されるダイアログボックスで有効チェックボックスをクリックします。チェックマークを付けることはオブジェクトの有効化を意味します。チェックマークをつけないと無効になります。

有効化機能は、無効にした回路を将来使用するために保持する一方で、テキスト、ワイヤ、回路を一時的に除去してその効果を見るのに便利です。

また、記号変数 (.DEFINEまたは.PARAM文で作成される) を含む数式に依存する領域を有効にすることもできます。これにより、単一パラメータを変更することで回路ブロックを前後に切り替えることが可能です。領域およびその有効数式を定義するには、**オプション/モード/領域有効**の領域有効モードを使うか、または領域有効ツールバーボタン  をクリックしてください。数式を変更するには、領域有効ボックス内の数式テキストをダブルクリックします。

ノード番号の割当て

Micro-Capは、回路ノードに自動的に番号を割り当てます。これは、解析によって要求された場合、ディスクに保存された場合、および、回路に変更が行われており、なおかつ**オプション/ビュー/ノード番号** オプションが有効である場合に行われます。ノード番号は、このオプションが有効である場合のみ回路図に表示されます。ノードの電圧波形をプロットしたい場合、波形はV（ノード名）として参照されます。ここでノード名とは、プログラムが割り当てたノード番号か、ユーザが割り当てたテキスト名のいずれかです。ノードにノード名をつけるには、テキスト外枠の左下隅がノードの直上に来るようにしなければなりません。ノードスナップを有効にしておくと、テキストが1グリッド以内の最も近いノードに移動するため、操作が簡単になります。ノードスナップオプションは、プリファレンスダイアログボックス（CTRL + SHIFT + P）で選択します。

システムは、次の規則にしたがってノード番号を割り当てます。

1. グラウンドはノード番号0ですが、このノード番号は表示されません。
2. その他のノードには、1から順にノード番号が割り当てられます。
3. アナログノードとデジタルノードが接している（またはワイヤで接続されている）ところには、どちらのノードにもユニークな番号が割り当てられます。Micro-Capは、これら2つのノード間にインタフェース回路を自動挿入します。インタフェース回路は、デジタルノードが入力か出力かに応じ、「<num>\$ATOD」もしくは「<num>\$DTOA」の形式のインタフェースノードを生成します。インタフェースノードがアクセス可能なとき（プロット式から参照できるとき）は、回路図に表示されます。一般的に、アナログの部品とデジタル基本部品の間のインタフェースノードはアクセス可能ですが、サブサーキットインタフェースにおけるインタフェースノードは、除外されます。
4. アナログノード番号は角の丸いボックスに表示され、デジタルノード番号は角の四角いボックスに表示されます。
5. グリッドテキストノード名が同じノードは互いに接続されます。つまり、2つの離れたノードにそれぞれ同じテキストが配置されている場合、これらは接続されているものと見なされ、同じノード名を共有します。これは、大量の共通ノードをワイヤを使わずに接続できるので便利です。

クリップボード

クリップボードは一時的な格納領域で、回路図やテキストの断片を保存しておき、後で新しい場所に貼り付けを行うために使用されます。これは回路図やテキスト領域の編集に非常に便利なツールで、時間を大幅に節約することができます。クリップボードのコマンドには、次のようなものがあります。

	コマンド	ショートカット	効果
	削除	DELETE	選択したオブジェクトを削除する。クリップボードへのコピーは行わない。
	切り取り	CTRL + X	選択したオブジェクトを削除し、クリップボードへコピーする。
	コピー	CTRL + C	選択したオブジェクトを、クリップボードにコピーする。
	貼り付け	CTRL + V	クリップボードの内容を、前回のマウスクリック位置に貼り付ける。

何かをクリップボードにコピーするには、オブジェクトを選択するか、マウスをドラッグして領域を選択します。CTRL + Cを押すかコピーボタンをクリックします。選択されたすべてのオブジェクトがクリップボードにコピーされます。

クリップボードの内容をペーストするには、まず希望する位置でクリックします。つぎにCTRL + Vを押すか、ペーストボタンをクリックします。クリップボードの内容は、前回のクリック位置にすべてペーストされます。

他の操作と同様、クリップボード操作は、元に戻すコマンドで取り消すことができます。編集メニューの元に戻す、CTRL + Z、または元に戻すボタンにより、操作を取り消すことができます。

Micro-Capは、2つのクリップボードを管理しています。テキストボックスクリップボードと回路図クリップボードです。テキストボックスでコピーしたテキストと、回路図でコピーしたテキストが混じることはありません。回路図のテキスト領域のテキストは回路図の一部と見なされ、回路図クリップボードから出し入れされます。そのため、テキスト領域からテキストをコピーして、図面領域にペーストすることができます。もちろん、シャトルコマンド (CTRL + B) により、これを直接行うこともできます。クリップボードに保存された回路図オブジェクトは、Micro-Capの中でのみ利用可能で、他のアプリケーションにペーストすることはできません。回路図の画像やプロットをエクスポートするには、編集メニューのウィンドウ全体を画像ファイルにコピーコマンドをご使用ください。

ドラッグコピー

コピーアンドペーストは、回路の一部をコピーしたいときに便利ですが、ドラッグコピーというもっと簡単な方法の方もあります。次のように行います。

- コピーしたい回路図オブジェクトか領域を選択する。
- CTRLキーを押したままにする。
- 項目を選択された領域にドラッグする。

この手順により、選択されたオブジェクトがコピーされ、コピーはマウスと一緒にドラッグされ、もとのオブジェクトはそのままです。ステップング、反転、ペーストなど、他のコピー操作と同様に、部品名は常に増分されますが、グリッドテキストは、テキストインクリメントオプション（プリファレンス）が有効な場合のみ増分されます。

ドラッグコピーはコンポーネント、ワイヤ、グラフィカルオブジェクト、フラグ、テキストなど、どの回路図オブジェクトでも使用できます。

ドラッグコピーでは、カットアンドペーストの2つのステップのプロセスを、一度のステップ操作で行って結果がすぐに表示されるので、とくに便利です。期待通りの結果が得られないときは、CTRL + Zを押して取り消してやり直してください。

ドラッグ操作が始まった後は、CTRLキーを放してドラッグ操作を続けることもできます。

ドラッグコピーは、しばしば新しいコンポーネントを追加する場合に便利です。10Kの抵抗がすでに存在しているときに別の10Kの抵抗を追加する場合、ドラッグコピーした方が速くて簡単です。たとえば、通常の方法では4つのステップが必要です。

1. コンポーネントモードに入る。
2. 抵抗を選択する。
3. 回路図内でクリックする。
4. 抵抗のRESISTANCE属性と、（場合によっては）MODEL属性を入力する。

ドラッグコピーでは、1ステップです。

1. CTRLキーを押したまま10Kの抵抗を新しい場所にドラッグする。

ドラッグコピーは、増幅器の差分ステージのような領域全体をコピーできるので特に便利です。コピーされた領域のオブジェクトになんらかの変更が必要な場合でも、通常、作業全体は簡単で、速く、エラーも少なくなります。

情報コマンド

情報コマンドは、コマンド文やコンポーネントについて、モデル情報を表示します。次のように動作します。

第一のステップ: ツールバーの情報モードボタン  をクリックします。

第二のステップ: コマンドまたはコンポーネントをクリックします。

情報機能を使うと、コンポーネントや一部のコマンド文に関して、情報を得ることができます。通常、簡単に見ることができない情報が表示されます。例えば、外部ファイルのsubcktリストやモデル文、デジタル信号源のステイミュラス表、ラプラス信号源や関数信号源のデータ表等が表示されます。モデル文のない簡単なコンポーネントについては、情報機能を実行すると、属性ダイアログボックスが表示されます。

情報が回路図中にある場合は、ハイライトされて回路図の一部が表示されます。情報が他の場所にある場合は、モデルエディタやテキストエディタで表示されます。

.INCLUDE文や.LIB文について情報を実行すると、コマンド文で参照しているファイルの内容が表示されます。

テキスト領域に情報がある場合、画面表示が切り替えられてその情報が表示されます。回路図のページに戻るには、CTRL + Gを押します。

ヘルプコマンド

通常のヘルプコマンドのほかに、コンポーネント別のヘルプモードがあります。つぎに動作を示します。

第一のステップ: ツールバーのヘルプモードボタン  をクリックします。

第二のステップ: ヘルプを表示したいコンポーネントをクリックします。

ヘルプ機能により、各コンポーネントのパラメータとシンタックスに関する情報を得ることができます。この情報は、通常のヘルプシステムで利用可能なものと同じです。回路図エディタで作業を行っているコンテキストによりアクセスが行われるため、もっと簡単になります。

デジタルパスコマンド

デジタル回路のもっとも重要な特性の一つにパスの遅延があります。パス遅延とは、回路内で可能な多くのパスを信号が伝播するのに要する時間です。Micro-Capには、パスの解析や表示を行うためのコマンドがいくつかあります。これらのコマンドは次の3つのことを行います。

- ・パスに関連するゲートを識別し、リストする。
- ・各パスについて、遅延を表示する。遅延は、パスリストの各ゲートの遅延から計算する。
- ・選択したパスのゲートを回路図上でハイライトし、選択したパスをグラフィカルに表示する。

デジタルパスコマンドには、次の3つがあります。



1. ポイントからエンドへのパス: マウスでクリックしたコンポーネントから終点までのパスをすべて表示します。パスの終点は、ゲートが他のゲート (標準または3ステート) 駆動しなくなったところ



2. ポイント間のパス: 最初にマウスでクリックした位置から、次にマウスをクリックした位置までのすべてのパスを表示します。



3. すべてのパスの表示: 回路の中で、STIM、FSTIM、flip-flopの出力を始点とするパスをすべて表示します。パスの終点は、ゲートが他のゲート (標準または3ステート) 駆動しなくなったところ

これらのコマンドを使う手順はつぎの通りです。

第一のステップ: オプションメニューから3つのコマンドのいずれかを選択します。

第二のステップ: ポイントからエンドへのパスコマンドの場合、ゲートやデジタル信号源の本体をクリックします。ポイント間のパスコマンドの場合、始点コンポーネントと終点コンポーネントをクリックします。

この時点で、選んだコマンドに適したパスのリストがデジタルパスダイアログボックスに表示されます。通常、次のようになります。

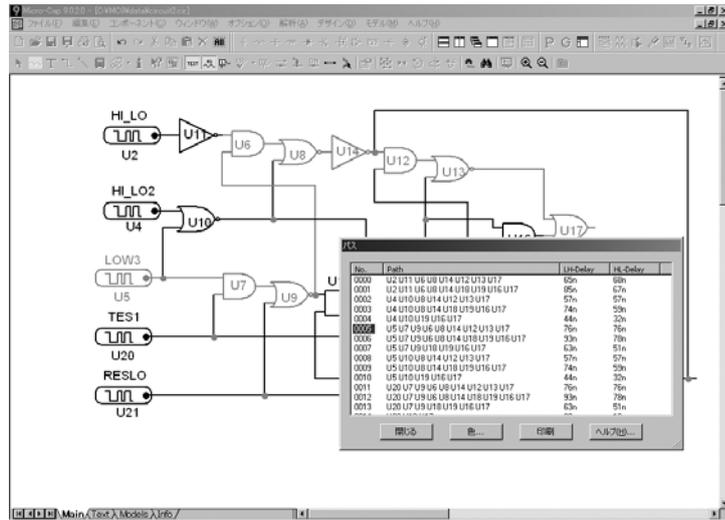


図2-10 デジタルパスダイアログボックス

リストをスクロールしてパスをクリックすると、回路図の再描画とともにパスがハイライトされます。下カーソルキーを使用すると、リスト中の各パスを上から下までトレースすることができます。

各パスについて、パスリストはパス中の各ゲート名、パスの始点におけるローからハイ、ハイからローへの信号遷移に要するパスの合計遅延時間を示します。LH遅延を計算する際は、パスの始点においてローからハイへの遷移があるものと想定されます。つぎにパスをたどり、遅延を加算します。その際、各ゲートの実際の信号遷移、ゲートのタイミングモデル、ゲートのMNTYMXDLY値を使用します。HL遷移を計算する際は、パスの始点でハイからローへの遷移があるものと想定し、同様の解析を行います。

パスは、ゲートが標準ゲートや3ステートゲートを起動しないところで、終了します。パスコマンドは組み合わせゲートのみ処理します。サブサーキットは拡張されません。

回路図内のナビゲーション

ナビゲーションとは、対象となる回路図の各部をすばやく探し出して表示できることをいいます。このためにはいくつかの方法があります。

回路図のスクロール：縦または横のスクロールバーを使って回路図をスクロールします。これは以前からある方法です。速くはありませんが確実です。

スケーリング：ツールバーの縮小または拡大ボタンを使って、回路図のサイズを変更して回路図を把握します。

パニング：回路図をパンします。パニングとは、回路内の異なる場所を表示するために移動することです。キーボードでのパニングではCTRL + 矢印キーを使って矢印方向に視点を移動します。マウスでのパニングでは、マウスの右ボタンをクリックして押したままマウスをドラッグします。すると紙をデスクトップ上ですべらせるような結果になります。

センタリング：SHIFT+右クリックで視点を中心に戻します。SHIFTボタンを押し下げながら、ウィンドウで中心に置きたい位置でマウスの右ボタンをクリックします。クリックするとスケールが1:1と1:4の間で切り替わり、回路図がマウス位置でセンタリングされます。

フラグging：後でまた表示したい場所にフラグを立てておきます。次にツールバーからアクセスするフラグ選択ダイアログボックスでそのフラグを選択するか、**編集メニューのフラグに移動**項目を選択します。

ページスクローリング：見たい部分が他のページにあるとき、ページタブを使います。ページの操作には、CTRL + PGUPやCTRL + PGDNも使えます。

最適な方法を採用するようお勧めしますが、それぞれの方法には、状況によって向き不向きがあります。小さなあるいは中程度の視野の変更にはパンを使ってください。中程度のサイズの回路図について、視野を大きく変化する場合には、センタリングを使います。非常に大きな回路図の非常に大きな視野の変更には、フラグを使ってください。

全般設定

ここに示す数値やオプションは、デバイスモデルや回路解析オプションを制御します。ここで定義した値は、各デバイスモデルで使用されている場合があります。

数値オプション：

ABSTOL：絶対電流許容値です。この重要なSPICEパラメータは、相対電流許容値に加算される、絶対的な許容値を指定します。特定の解析点で収束を得るには、これらの許容値の合計が、電流の解析点間における差より大きい必要があります。大電流デバイスでは、ABSTOLを増やすと収束しやすくなります。

CHGTOL：絶対電荷許容値です。このパラメータはABSTOLに似ていますが、電荷の変数にのみ適用されます。

CSHUNT：ゼロ以外の場合、過度収束への補助としてこの値のコンデンサが各ノードからグラウンドに追加されます。

DEFAD：MOSFET既定のドレイン面積 (m²)。

DEFAS：MOSFET既定のソース面積 (m²)。

DEFL：MOSFET既定のチャンネル長 (m)。

DEFNRD：MOSFET既定のドレインスクウェア数。

DEFNRS：MOSFET既定のソーススクウェア数。

DEFPPD：MOSFET既定のドレイン周囲長 (m)。

DEFPS：MOSFET既定のソース周囲長 (m)。

DEFW：MOSFET既定のチャンネル幅 (m)。

DIGDRVF：デジタルIOモデルの最小駆動（強制）抵抗。

DIGDRVZ：デジタルIOモデルの最大駆動（高インピーダンス）抵抗。

DIGERRDEFAULT：各デジタル制約デバイスに対する、エラーメッセージ上限の既定値。

DIGERRLIMIT : 各解析におけるすべてのデジタルデバイスに対する、エラーメッセージ上限の既定値。

DIGFREQ : デジタルの時間ステップの最小は、 $1/\text{DIGFREQ}$ となります。

DIGINITSTATE : フリップフロップとラッチの初期状態です。0=clear、1=set、2=Xです。

DIGIOLVL : デジタルIOレベルのデフォルトで、1~4です。4つのDtoA、AtoDインタフェース回路から、いずれかを選択します。

DIGMNTYMX : デジタル遅延のデフォルトを指定します。1=Min、2=Typical、3=Max、4=Min/Maxです。

DIGMNTYSCALE : 通常遅延から最小遅延を計算するために使用する、スケール係数を指定します。

DIGOVRDRV : あるノードにおいて、他のゲートをオーバードライブするのに必要な駆動抵抗比の最小値です。

DIGITYMXSCALE : 通常遅延から最大遅延を計算するために使用する、スケール係数を指定します。

GMIN : ブランチの最小コンダクタンスを指定します。

INTERPOLATION_ORDER : トランジェント、高調波歪み解析、および相互変調歪み解析のFFTで使用する補間次数を指定します。

ITL1 : 動作点の反復リミットです。その後、供給緩和が行われます。

ITL2 : DC掃引の各点における、DC伝達関数カーブの反復リミットです。

ITL4 : トランジェント解析の各時間点における反復リミットです。

LONE : これは論理式が真である場合に、その式によって作られる値です。

LTHRESH : これは論理ブーリアン関数がLONE状態を出力するために超えなければならない電圧です。例えば、式 $V(1) \text{ AND } V(2)$ は、 $V(1) \geq \text{VTHRESH}$ かつ $V(2) \geq \text{VTHRESH}$ の場合にのみTRUEであり、LONEのアナログ値を出力します。

LZERO : これは論理式がFALSEである場合に、その式によって作られる値です。

PERFORM_M : これは、あるデータポイントが許容される前に性能関数検索基準を満たすべきデータポイントの各側のデータポイント数です。この機能は、ノイズの多いデータの影響を最小限にするために使います。

PIVREL : マトリックスソルバーのピボットに必要な、最小相対値です。

PIVTOL : マトリックスソルバーのピボットに必要な、最小絶対値です。

RELTOL : 電圧と電流に適用される相対許容値です。各解析点において収束を得るには、電圧や電流の増分が、絶対許容値 (ABSTOL、VNTOL) と相対許容値 (RELTOL) の和より小さくしなければなりません。収束が難しい回路では、RELTOLを増減しなければならない場合があります。

RMIN : これは、抵抗器の抵抗または能動デバイスの端子抵抗 (BJT、RB、RE、RCなど) の最小絶対値です。

RP_FOR_ISOURCE : ゼロ以外の場合、この値の抵抗がすべての電流源に追加されます。

RSHUNT : ゼロでない場合、この値の抵抗はDC動作点そして恐らくは過度収束への支援として各ノードからアースへ追加されます。

R_NODE_GND : これは、DCパスをグラウンドに追加オプション (オプション/プリファレンス) が有効であって、アースへのパスが必要な場合に、ノードとアースの間に追加される抵抗値です。0の値は抵抗が追加されなかったことを意味します。

SANDH_PRECISION : サンプルアンドホールドがいつ収束したかを測定するための精度です。

SD : 許容値バンドの標準偏差です。

SEED : これは、ランダム関数RND、RNDR、RNDC、RNDI (t)のシード数です。SEED > 0である場合には、その関数を使用するたびに乱数は同じになります。

TNOM : モデルパラメータの測定温度、解析温度のデフォルトです。

TRTOL : これは真のエラーを過大評価するために標準LTE式が仮定される量です。

VNTOL : 絶対電圧許容値です。このパラメータは、相対許容値に加算される絶対許容値を指定します。各解析点において収束を得るには、電圧や電流の増分が、絶対許容値 (ABSTOL、VNTOL) と相対許容値 (RELTOL) の和より小さくしなければなりません。高電圧デバイスを収束させるには、VNTOLを増やすと便利な場合があります。

WIDTH : 出力のコラム幅をコントロールします。

チェックボックスオプション :

NOOUTMSG : 出力エラーメッセージを無効にします。

NUMERIC_DERIVATIVE : このフラグが有効である場合、関数ソースについてMicro-Capは代数式の代わりに数値微分を使用します。

PRIVATEANALOG : 有効にすると、すべてのアナログデバイスがプライベートなモデルライブラリを持ちます。デバイスは、モデルライブラリのプライベートコピーとパブリックコピーのいずれかを持つことができます。コピーがプライベートのときは、ステップングやオプティマイザやモンテカルロでモデルの値を変更した場合、1つのデバイスにのみ影響があります。コピーがパブリックのときは、同じモデル名のすべてのアナログ部品から共有されます。そのため、ステップングやモンテカルロでモデルの値を変更した場合、コピーを共有するすべてのデバイスに影響があります。モデル文にDEV許容値があると、強制的にプライベートコピーが利用されます (PRIVATEANALOGフラグの状態は関係ありません)。このオプションのデフォルトは有効状態です。

PRIVATEDIGITAL : 有効にすると、すべてのデジタルデバイスがプライベートなモデルライブラリを持ちます。デバイスは、モデルライブラリのプライベートコピーとパブリックコピーのいずれかを持つことができます。コピーがプライベートのときは、ステップングやオプティマイザやモンテカルロでモデルの値を変更した場合、1つのデバイスにのみ影響があります。コピーがパブリックのときは、同じモデル名のすべてのデジタル部品から共有されます。そのため、ステップングやモンテカルロでモデルの値を変更した場合、コピーを共有するすべてのデバイスに影響があります。モデル文にDEV許容値があると、強制的にプライベートコピーが利用されます (PRIVATEDIGITALフラグの状態は関係ありません)。このオプションのデフォルトは無効状態です。

TRYTOCOMPACT : 有効にすると、プログラムが損失伝送線路の入力電圧・電流履歴をコンパクト化します。

PATH_TO_GROUND : 有効にすると、解析実行前にグラウンドへのパスがチェックされます。可解であるためには、ノードはすべて、グラウンドへのDCパスが必要です。そのようなノードが見つかった場合、オプションでGminコンダクタンスをノードからグラウンドへ追加し、問題を解決することが可能です。

VOLTAGE_LOOP_CHECK : 電圧定義要素（多くの場合、電圧源およびインダクタ）のみで構成されたループがないかチェックを行います。回路が可解であるためには、そのようなループがないことが条件となりますが、チェックは通常一度しか行われず、その後は解析設定時間を短縮するためチェックは省略されます。この時間は通常、非常に大型の回路でのみ問題となります。

FLOATING_NODES_CHECK : 接続点が1つしかないノードがないかチェックします。そのようなノードがあってもMicro-Capでは問題ないので、このオプションは無効にしておくことをお勧めします。ただし、作成した回路を、浮動ノード非対応のシミュレータに（SPICEコマンドへの変換を通じて）ポートする場合で、浮動ノードのチェックを行いたいときは、このオプションを有効にしてください。

メソッドオプション :

EULER : 後退オイラー積分を選択します。多くの場合、学術調査に使用するもので、実践的なシミュレーションではあまり使用されません。これは主に、他の2つのメソッドの方が精度が高いためです。

GEAR : ギア積分を選択します。

TRAPEZOIDAL : 台形積分を選択します。

ファイルメニュー

ファイルメニューには、ファイルを管理するコマンドがあります。ファイルには、回路図ファイル、SPICE回路ファイル、文書テキスト回路ファイル、モデルライブラリファイルがあります。



・**新規**：(CTRL + N) 新しい回路図、SPICEやテキスト、バイナリライブラリ、モデルプログラムファイル等を作成する 新ダイアログボックスを呼び出します。



・**開く**：(CTRL + O) ディスクからファイルをロードする開くダイアログボックスを呼び出します。



・**上書き保存**：(CTRL + S) アクティブなウィンドウのファイルを、タイトルバーに表示されているファイル名・パス名でディスクに保存します。

・**名前をつけて保存**：アクティブなウィンドウファイルを、新しいファイル名と新しいパス名(省略可能)で、ディスクに保存します。

・**保護**：このオプションにより、ファイルは暗号化されユーザ定義のパスワードで保護されて保存されます。それ以降は、パスワードを入力した場合のみ、そのファイルをオープンし、表示/変更できます。保護されたファイルは、パスワードが無くても、マクロとしてシミュレーションするために、使用することが可能です。このオプションは、重要な内容が格納された独自の回路ファイルやマクロファイルの保護に使用してください。保護を解除するには、上書き保存または名前をつけて保存コマンドを使用します。そうすれば、ファイルは暗号化されずに標準のテキスト形式で保存されます。

・**パス**：このオプションにより、データ(回路と出力ファイル)、ライブラリ(モデルライブラリ)、画像(画像ファイル)、文書(リファレンスマニュアル、ユーザーガイドおよびその他の情報ファイル)について、デフォルトパスを指定できます。複数のパスを指定する場合はセミコロン(;)で区切る必要があります。Micro-Capは最初に回路のあるパスを検索します。次にライブラリに指定されたパスが、左から右に順に検索されます。パスの詳細については、24章「ライブラリ」を参照してください。回路内でローカルの.PATHコマンドを使用してさまざまなパスを指定できます。.PATHコマンドの詳細については、26章「コマンド文」に記載されています。

パスダイアログボックスは次のように表示されます。

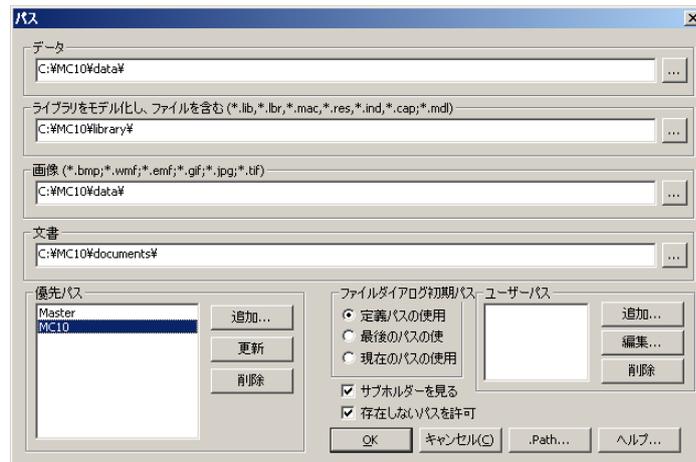


図2-11 パスダイアログボックス

このダイアログボックスは次のオプションを提供します。

データ：このフィールドはデータパスを指定します。このパスは主に回路、信号源データファイル、出力ファイルに使われます。

ライブラリ：このフィールドはライブラリパスを指定します。このパスは主にモデルファイルに使われます。これには、バイナリ (*.LBR)、テキスト (*.LIB)、モデルプログラム (*.MDL) およびマクロ (*.MAC) が含まれます。

画像：このフィールドは画像パスを指定します。このパスは画像ファイルに使われます。

文書：このフィールドは文書パスを指定します。このパスはレファレンスマニュアル、ユーザーガイド、その他の情報ファイルに使われます。

各フィールドはセミコロンで分けられた1つ以上のパスを有することができます。一番左のパスは検索時に優先されます。

優先パス：このグループでは複数のパスセットを選択または管理できます。

リストボックス：このフィールドでは1つのパスセットを選択できます。

追加：これは現在表示されているパスセットに新しいパスセット名を定義します。

更新：これは選択されたパスセット名を現在表示されたパスセットで更新します。

削除：これは選択されたパスセット名を削除します。

ファイルダイアログ初期パス：このグループではファイルオープンダイアログボックスがその最初の表示に使用するフォルダを決定します。

定義パスの使用：これはパスフィールドを採用します。

最後のパスの使用：これはファイルオープン動作で使われた最後のパスを採用します。

現在のパスの使用：これは表示ファイルのパスを採用します。

サブホルダーを見る：このオプションにより指定されたパス内のどのサブホルダーでもプログラムにより検索されます。

存在しないパスを許容する：USBやCDなど、作成時点では存在しないが後で追加されるパスを指定できます。

ユーザーパス：ユーザがパス名の変数や関連するパスを規定し、WAVソースのFILE属性やLIB文の中など、ファイルパスが考えられる場所ではどこでも使用できるようにします。リストの管理には次の3つのコマンドを使用します。

追加：新しいパス名や関連パスを規定します。

編集：選択したユーザーパスを編集します。

削除：選択したユーザーパスを削除します。

OK：これは変更を受け入れ、ダイアログボックスを終了します。

キャンセル：これは変更を無視し、ダイアログボックスを終了します。

.PATH：これは新しい.PATHコマンドを追加するか、上部または表示回路の既存の.PATHコマンドを交換します。

ヘルプ：これはダイアログボックスの使い方を説明します。

・**クリーンナップ**：これはMicro-Capで作成された多くの作業ファイルを削除することにより散らかったファイルを除去できます。頻繁に削除しなければならない最も一般的なファイルは、数値出力ファイル(*.TNO、*.ANO、*.DNO)とプローブデータファイル(*.TSA、*.ASA、*.DSA)です。削除は自動でも手動でも行えます。

・**移動**：これにより、選択されたMicro-Capの旧バージョンのファイルを移動できます。旧バージョンのMCAP.DATファイルの場所を指定した後、Macro-Capはそれを読み込み、妥当なファイルのリストを作成し、オプションでMicro-Capの適切な場所にコピーできるようにします。

・**翻訳**：



・**バイナリライブラリをSPICEテキストファイルへ**：Micro-CapのパラメータファイルFILE.LBR (バイナリ形式)を、モデル文を含むファイルFILE.LIB (テキスト形式)に変換します。



・**SPICEテキストファイルをバイナリライブラリへ**：モデル文を含むテキストファイルFILE.LIBを、Micro-Capのバイナリ形式ファイルFILE.LBRに変換します。



・**回路図をSPICEテキストファイルへ**：アクティブな回路図から、SPICEネットリストを作成します。解析は任意のもの、またはすべてのものを指定できます。SPICEフォーマットは、複数の種類から選択できます。

・**回路図をプリント基板へ**：Protel、Accel、OrCad、PADSへの入力として使用するネットリストファイルを作成します。

・**回路図を旧版へ**：これらのコマンドにより、現在の回路ファイルを旧フォーマットに変換できます。例えば、Micro-Capで作成した回路をMC5、MC6、MC7、MC8、またはMC9でシミュレートしたい場合、これらのコマンドを利用できます。MC10は旧フォーマットのすべてを読むことができますがMC5フォーマットにファイルを保存してからMC10でそれを読み返すと、オリジナルファイルのMC10専用オプションの一部は失われます。

・**部品表**：このコマンドにより、回路図の部品表を作成します。部品表には、部品名、種類、値、数量、その他の属性がリストアップされます。これにより、印刷する項目をフォーマットし、順序を変更できます。

・**モデルをSPICEファイルへ**：このオプションにより、MODELプログラムデータファイルをSPICEテキストファイルのSPICEスタイルのモデル文に変換します。

・ **IBISをSPICEファイルへ**：これによりIBISダイアログボックスにアクセスします。またIBISファイルから、標準モデル形式またはゴールデン波形チェック形式のどちらかによるトランジェント実行用として設定されたSPICEファイルを作成します。

・ **タッチストーンファイル**：このオプションにより、タッチストーンファイルのパラメータの S、Y、Z、G、H、T、ABCD（カスケード）フォーマットを他の任意のフォーマット（S、Y、Z、G、H、T、ABCD）に変換します。

・ **モンテカルロファイルのロード**：回路の数値出力ファイルをロードしてスキャンし、モンテカルロ性能関数への参照を探します。それから、モンテカルロ実行中にエラーが発生した回路を作成し、障害が発生したパラメータ値を持つ回路をそれぞれ表示します。障害とは、元々のモンテカルロ実行時に、指定された性能関数（立ち上がり時間や遅延時間など）の限界値を満たさないことです。



・ **戻す**：（**CTRL + Alt + R**）アクティブウィンドウのファイルを、現在ディスクにある内容に戻します。

・ **閉じる**：（**CTRL + F4**）アクティブファイルを閉じます。これによりMicro-Capのメモリからは消えますが、ディスクから消えてなくなるわけではありません。変更した内容をディスクに保存するかどうかわからずねてくることがあります。この問い合わせは、**オプション/プリファレンス/警告/ファイル**で無効にできます。

・ **すべて閉じる**：このコマンドは、アクティブなファイルをすべて閉じます。



・ **印刷プレビュー**：現在の印刷オプションで、回路図、解析プロット、3Dプロット、性能プロット、モンテカルロプロットがどのように印刷されるか、プレビューすることができます。ここで、回路図やプロットの選択、移動、サイズ変更を行うこともできます。



・ **印刷**：（**CTRL + P**）印刷プレビューで表示される文書を、ページ設定のプリンタ設定に従って印刷します。

・ **ウィンドウの印刷**：このコマンドはアクティブなウィンドウの内容を印刷します。



・ **印刷設定**：プリンタの設定と用紙選択を変更します。形式はプリンタによって異なるものの、通常は使用するプリンタ、用紙サイズ、用紙トレイ、用紙の向きを指定できます。

・ **最近のファイル**：最近使用したファイルのリストです。ファイル名のいずれかをクリックすると、再ロードして、表示できます。表示ファイルの数は、**プリファレンス/オプション/一般/ファイルリストサイズ**で設定します。

・ **終了**：（**ALT + F4**）プログラムを終了します。

編集メニュー

このメニューには以下のオプションがあります。つぎのコマンドの隣に同じ効果があるツールバーボタンが表示されます。



・元に戻す：(CTRL + Z) Micro-Capには、多段階の元に戻す機能があります。回路ファイルを変更する最後のN回の操作を元に戻すことができます。Nは、RAM容量によってのみ制限され、通常は100より大きな数です。テキストカーソルがまだテキストフィールドにある場合、そのフィールドの最後の状態も元に戻すことができます。



・繰り返す：(CTRL + Y) 元に戻すの逆の動作です。回路を前の状態に戻します。元に戻すと同様、回路ファイルを変更した最後のN回の操作を再実行できます。



・切り取り：(CTRL + X) 選択したオブジェクトを削除して、これをクリップボードにコピーします。オブジェクトにはテキストフィールドや回路図オブジェクトからのテキストも含まれます。



・コピー：(CTRL + C) 選択したオブジェクトをクリップボードにコピーします。オブジェクトにはテキストフィールドや回路図オブジェクトからのテキストも含まれます。



・貼り付け：(CTRL + V) クリップボードの内容をカーソル位置にコピーします。貼り付け操作を行う時にテキストフィールドの文字列が選択されている場合、文字列全体が置き換わります。前面のウィンドウが回路図の場合、回路図内のマウスで最後にクリックした点にペーストが実行されます。



・削除：(DELETE) クリップボードにコピーせずに、選択した項目を削除します。選択されたワイヤは、その終点から削除されます。

・クリアカットワイヤ：(CTRL + DELETE) 選択されたワイヤを、選択ボックスの境界のところでカットして削除します。



・全てを選択：(CTRL + A) 現在のウィンドウのすべてのオブジェクト、または現在のテキストフィールドやドキュメントのすべてのテキストを選択します。

・クリップボードへコピー：これらのオプションは、フロントウィンドウのすべて、または見えている部分を複数の形式でクリップボードにコピーします。コピーしたデータは、後で他のプログラムにペーストできます。クリップボード内の画像はMicro-Capにはペーストできませんが、オプション/モードから画像を選ぶか、グラフィックアイコンをクリックすることにより、画像をMicro-Capにインポートできます。ピクチャモードを選択し、回路図内でドラッグやクリックを行うと、画像ファイル名のプロンプトが表示されます。

・**ウィンドウ全体を画像ファイルにコピー**：前面のウィンドウからMicro-Capまたはその他のプログラムにインポート可能な画像ファイルを作成します。



・**有効**：選択された回路領域を有効にします。



・**無効**：選択された回路領域を無効にします。



・**回路図ページの追加**：新しい回路図ページを回路に追加します。

・**テキストページの追加**：新しいテキストページを回路に追加します。



・**ページの削除**：1ページ以上の回路図ページまたはテキストページを削除します。

・**マクロセクションの追加**：新しいマクロセクションを回路図に追加します。



・**モデルのローカライズ**：このコマンドは、macro、subckt、modelのステートメントをライブラリから回路へコピーすることにより、回路モデル情報をローカライズします。これはファイルにモデル情報を埋め込むハンディな方法で、モデルを持たない人に回路ファイルを送る際に便利です。他に、モデルを変更してしまった場合に、マスターのライブラリからモデル情報を復帰させる「リフレッシュ」ステップとしても使用できます。

・**ボックス**：これらのコマンドは、選択したボックス領域で囲まれているオブジェクトについて有効です。



・**ボックスをステップ**：選択された領域を指定された回数だけ垂直または水平（あるいは両方）にすべてのオブジェクトをステップコピーします。



・**ボックスを鏡面コピー**：選択した領域で囲まれたオブジェクトの横または縦方向の反転画像を作成します。



・**回転**：(CTRL + R) 選択した領域にあるオブジェクトを左に回転します。



・**X軸反転**：選択した領域にあるオブジェクトをX軸に対してフリップします。X軸は、選択した領域を分割する水平線として定義されます。



・**Y軸反転**：選択した領域にあるオブジェクトをY軸に対してフリップします。Y軸は、選択した領域を分割する垂直線として定義されます。

・**マクロの作成**：**(CTRL + M)** 現在のボックス領域内の回路からマクロを作成します。このコマンドは、回路要素を新しい回路にコピーし、ピン名のラベルを貼り付け、回路をユーザが選択した名前で保存します。次に、コンポーネントライブラリファイル、Macro.CMPへエントリを記録します。ボックス領域の中の回路要素は、調整可能な記号に置換されます。このコマンドを行った後でも、回路は以前と同様のシミュレーション結果を得ますが、回路図はより簡潔なものとなります。

・**変更**：属性を変更するコマンドです。



・**プロパティ**：**(F10)** 現在のウィンドウのプロパティダイアログボックスにアクセスします。ここでは、ワイヤやコンポーネントなどの色を変更できます。変更は、すべてのオブジェクトに影響します。

・**グラフィックオブジェクトプロパティ**：これによって、グラフィックオブジェクトのライン、楕円、長方形、ダイヤモンド、円弧、大括弧、扇形のプロパティダイアログボックスにアクセスします。そこで、色、塗りつぶし、パターン等のデフォルトのプロパティを変更できます。変更内容は、次に追加されるグラフィックオブジェクトに有効です。個別のオブジェクトのプロパティを変更するには、ダブルクリックしてプロパティを変更します。



属性：回路中のすべてのコンポーネントに対し、5つの主要属性の表示状態を、一度に変更することができます。

許容：1つ以上の部品の許容値を変更できます。

表示プロパティの適用：このコマンドにより、選択された部品の表示プロパティを同じコンポーネント名の他のすべての部品にコピーします。例えば、すべての抵抗器の表示色を青にして、RESISTANCE属性にArialの12ポイントを、PART属性にCourierの14ポイントを使用する等の方法で使用します。適用するには、ある部品を希望通りに変更し、このコマンドを使用して他のすべての類似部品の表示を同じように変更します。



色：選択した部品、テキスト、ワイヤの色を変更できます。



フォント：選択したグリッドテキストおよび部品のフォントを変更できます。

コンポーネントの名前変更：すべての部品の名前を、標準の命名法に従って変更します。また、ノード番号が左から右、上から下の順になるように部品の順を変更します。解析プロット式における部品名は更新され、例えば部品名がRXからR5に変更されると、式もR(RX)からR(R5)に変更されます。ただし、解析数式におけるノード番号は更新されませんので、これらは手動で変更します。

名前変更定義：.defineで定義した記号変数名が、定義済みの名称と衝突する場合、記号変数名を変更します。

ノード位置のリセット：ノード番号、ノード電圧、電流、電力、条件のテキストは、ドラッグして相対表示位置を変更することができます。このコマンドにより、元のデフォルトの位置に戻すことができます。

基本値にフィット：回路内のすべての抵抗器、コンデンサ、インダクタを単一の基準値または直列/並列に組合せた複数の基準値にフィットさせることができます。このダイアログボックスは次の通りです。

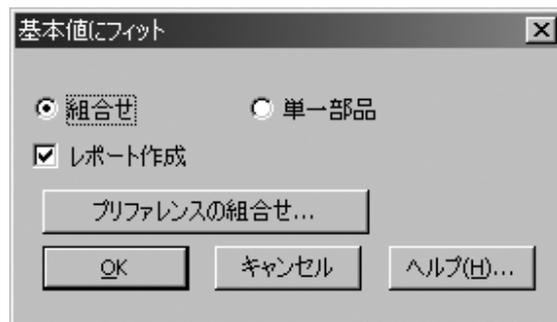


図2-12 基本値にフィットダイアログボックス

このダイアログボックスはいくつかのオプションを提供します。

組合せ：抵抗値、容量値、インダクタンス値を概算した標準部品値の直列/並列の最良の組合せを検索します。例えば、50.45pFの容量は、

$50.435p = (120p + 87p)(e = -0.02973\% \ n = 2)$ となります。

これは、120pFコンデンサと87pFコンデンサとの直列の組合せで最も近い値が得られたことを意味します。結果値は50.435pFで、これはオリジナル値の0.02973%内です。新しい値が抵抗、容量、インダクタンスに割り当てられ、組合せが構成数式に設定されます。その構文は次の通りです。

$v1 + v2$ はv1とv2の直列の組合せを意味します。

$v1 | v2$ はv1とv2の並列の組合せを意味します。

$v1 + (v2 | v3)$ は、v1と、v2およびv3の並列組合せとが、直列に組合わされたことを意味します。

(v1+v2) | (v3+v4) は、v1とv2の直列の組合せがv3とv4の直列の組合せと並列であることを意味します。

単一部品：抵抗、容量、インダクタンスに最も近い単一部品値を検索します。

レポートを作成オプションは、基準値と呼ばれる回路図ページで行った選択について概要を示します。使用する部品ファイル、最大エラー、最大直列/並列/合計使用部品を**オプション/プリファレンス/組合せ**で設定します。

・**位置調整**：これらのオプションを使用すると、グリッドや部品属性テキストの位置を調整できます。

- ・**左寄せ**：テキストをすべて左側に寄せます。
- ・**右寄せ**：テキストをすべて右側に寄せます。
- ・**上揃え**：テキストをすべて上側に寄せます。
- ・**下揃え**：テキストをすべて下側に寄せます。



・**最前面へ移動**：重なり合うオブジェクトをマウスでクリックすると、一番上のオブジェクトが選択されます。このコマンドを実行すると、選択したオブジェクトが一番上になります。



・**最背面へ移動**：選択したオブジェクトを一番下にします。



・**次のオブジェクト (CTRL + タブ)**：スタック内の次のオブジェクトを選択します。



・**フラグに移動**：このダイアログボックスでは、フラグの位置に回路図を移動できます。フラグを選択して、OKボタンをクリックすると、選択されたフラグが表示の中心になるように回路図が再描画されます。



・**検索 (CTRL + F)**：図2-13の検索ダイアログボックスを呼び出し、部品名、ノード名、属性テキスト、コンポーネントタイプ、グリッドテキストなどの回路テキストを検索します。また、オプションで上記テキストの置き換えも可能です。

・**最後の検索を繰り返す**：(F3) 検索を繰り返し、検索基準に合う次のオブジェクトを回路図中から探します。

・**置換**：回路図内のテキスト文書やテキスト領域内のテキストを置換します。属性の置換は、属性ダイアログボックスの変更ボタンで行います。

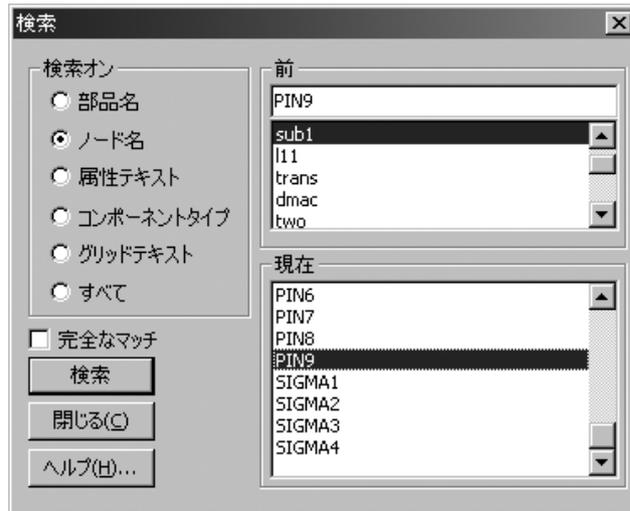


図2-13 検索ダイアログボックス



・**ファイルで検索**：このコマンドによってファイルで検索ダイアログボックスを呼び出し、ディスク内のファイルの検索を行います。特定の文字列（集積Z80マインドワーブジェネレータ等）、シェイプ名（NOR3、OP9等）、定義名（NPN、Resistor等）、コンポーネント名（2N222A、1N914等）、属性値（2.4K、TO5等）を検索できます。このコマンドの主要な目的は、回路の名前は忘れたが、中身の小さな何らかの名前がわかっている場合に（2N4124を使用したことは覚えているのだが・・・等）、その回路を見つけることです。任意のフォルダ内のどんな種類のテキストファイルも検索できます。回路ファイルである必要はありません。



図2-14 ファイルで検索ダイアログボックス

コンポーネントメニュー

この階層メニューはコンポーネントライブラリの内容を示します。このメニューはコンポーネントエディタで作成、編集できますが、大半のユーザは多くの編集作業は必要ないはずで、このメニューの一部分を示します。

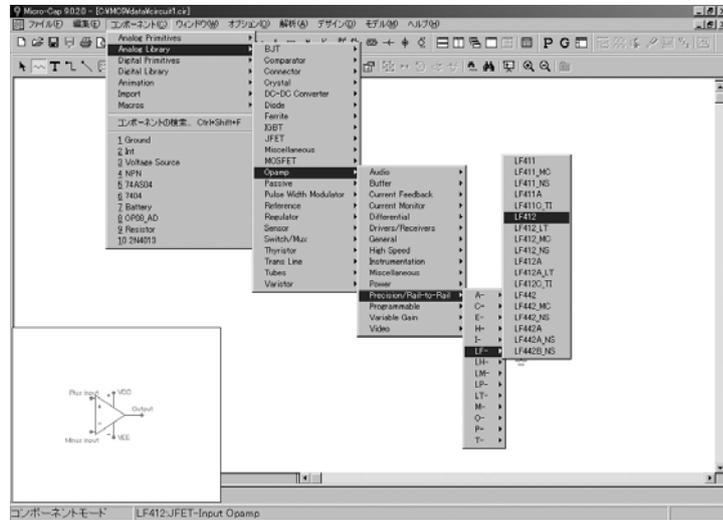


図2-15 コンポーネントメニュー

コンポーネントメニューでは、回路図に配置するコンポーネントを選択できます。ライブラリ内の24,000以上の部品に簡単にアクセスできるように設計されています。よく使われる基本的な部品へのアクセスは、コンポーネントパレットまたはコンポーネントボタンでおこなうのがよいでしょう。このメニューには次のセクションがあります。

Analog Primitives : このセクションには、電気的なビヘイビアを定義する値やモデル文をユーザが入力するアナログ基本部品があります。

Analog Library : このセクションには、商用のアナログコンポーネントのモデルがあります。電気的なビヘイビアを定義する値やモデル文はモデルライブラリによって提供されます。

Digital Primitives : このセクションには、電気的なビヘイビアを定義する値やモデル文をユーザが入力するデジタル基本部品があります。

Digital Library : このセクションには、商用のデジタルコンポーネントのモデルがあります。電気的なビヘイビアを定義する値やモデル文はモデルライブラリによって提供されます。

アニメーション：このセクションには、シミュレーション中に表示が変化したりユーザのクリックに反応するオブジェクトが含まれます。オブジェクトには、メータ、7セグメントディスプレイ、LED、さまざまなデジタルスイッチおよびアナログスイッチがあります。これらは、ダイナミックDC、ダイナミックAC、アニメーションモードで動作します。

インポート：この項目は、回路からインポートされた部品のコンポーネントライブラリデータのための一時的な保持場所です。部品がインポートされると、その名前はコンポートメントメニューに表示され、他の回路に配置できます。部品名はライブラリの他のセクションにここからドラッグできます。

フィルタ：このセクションは、**デザイン**メニューでアクセスされるフィルタデザイン機能によりフィルタマクロが作成されている場合に表示されます。

マクロ：このセクションは、**編集/ボックス/マクロを作成**でアクセスできるマクロを作成コマンドによりマクロが作成されている場合に表示されます。

コンポーネント検索： (**SHIFT + CTRL + F**) コンポーネント検索コマンドにより、名前、シェイプ、定義、メモフィールドによって部品を選択できます。次のように表示されます。

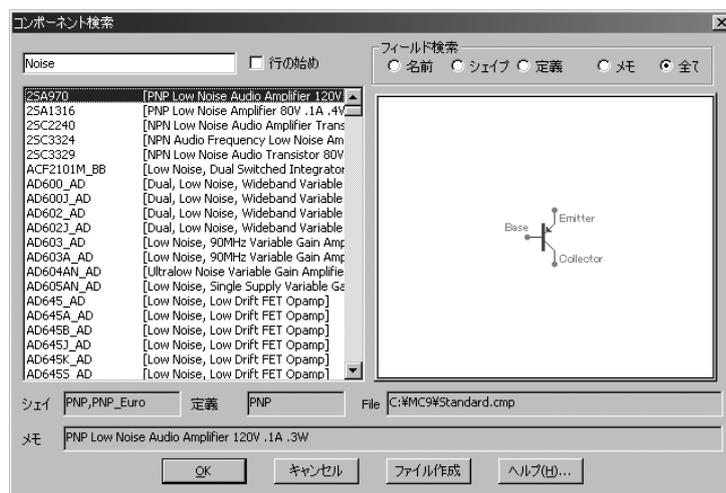


図2-16 コンポーネント検索ダイアログボックス

配置するコンポーネントを選択するには、カーソルキーを使うかコンポーネントの部品の一つをクリックします。コンポーネントを選択すると、自動的にコンポーネントモードになります。実際にコンポーネントを配置するには、回路図でマウスの左ボタンをクリックするか、コンポーネントをクリックして、置きたい場所までドラッグします。左ボタンを離す前に右ボタンをクリックすると、コンポーネントが回転します。

最後に使用した：メニューのこの部分は最近選択した部品を表示します。

コンポーネントパネル

ライブラリからコンポーネントにアクセスする方法であるコンポーネントパネルが加わりました。コンポーネントパネルは次のとおりです。

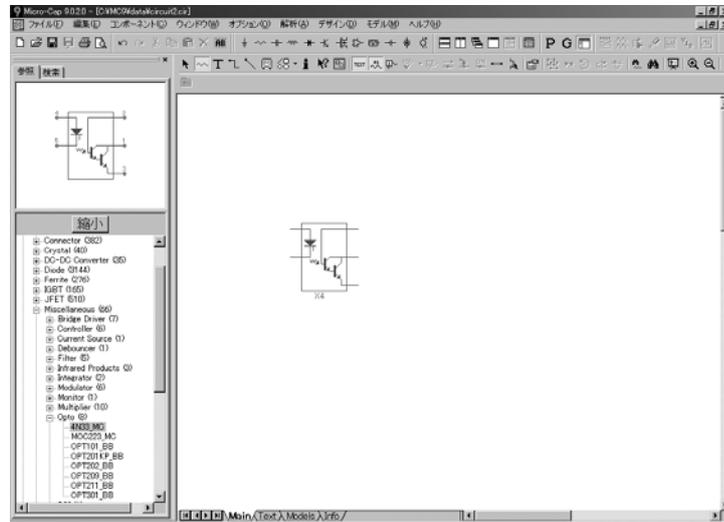


図2-17 コンポーネントパネル

参照パネルは、コンポーネントエディタと同じ階層方法でコンポーネントリストを提示し、選択されたコンポーネントのシェイプを表示します。

検索パネルは、コンポーネント検索コマンド (SHIFT + CTRL + F) と同様に、一致するテキストストリングを求めてライブラリを検索します。

お気に入りパネルには、上から使用頻度の高い順にコンポーネントがリスト表示されます。

パネルは**プリファレンス/パネル/ウィンドウタブ/表示**および**オプション/パネル**から切り換えができます。CTRL + ALT + Xもまたパネル表示を切り替えます。

パネルタブの上をダブルクリックすると、コンポーネントパネルがアンドックされます。同じ場所を再度ダブルクリックすると元のドックした状態に戻ります。

ウィンドウメニュー



・カスケード：(SHIFT+F5) 回路ウィンドウを重ねてカスケードします。



・左右に並べる：(SHIFT+F4) 開いているウィンドウを垂直にタイルします。



・上下に並べる：開いているウィンドウを水平にタイルします。



・オーバーラップ：回路ウィンドウと解析プロットウィンドウをオーバーラップ表示します。トップのプロットオプションが有効な場合、回路が最大化され、その上に1/4サイズの解析プロットが重なります。トップのプロットオプションが無効の場合、解析プロットが最大化され、その上に1/4サイズの回路が重なります。このオプションは解析中のみ利用可能です。



・最大化：選択された回路ウィンドウか、そのアイコンを最大化します。

・アイコンの配列：最小化した回路ウィンドウアイコンをすべてきれいに並べます。



・複数のモニターで最大化：選択されたウィンドウを最大化し、2つまたはそれ以上のモニターに展開します。同じ解像度、同じピクセル数の2つのモニターを有する場合に便利です。左右に並べるまたは上下に並べるコマンドにより、回路図が一方のモニターと他方のモニターの解析ウィンドウに表示されます。



・拡大：(CTRL + テンキーの +) アクティブな回路ウィンドウが回路図の場合、その回路図の中心部分を拡大します。このコマンドは表示にのみ効果があり、印刷時の大きさには関係ありません。アクティブな回路ウィンドウがテキストの場合、次に大きいサイズのフォントを使ってウィンドウを再描画します。



・縮小：(CTRL + テンキーの -) アクティブな回路ウィンドウが回路図の場合、その回路図の中心部分を縮小します。このコマンドは表示にのみ効果があり、印刷時の大きさには関係ありません。アクティブな回路ウィンドウがテキストの場合、次に小さいサイズのフォントを使ってウィンドウを再描画します。

・図/テキストの切り替え：(CTRL + G) 回路図には、図面領域とテキスト領域があります。図面領域には回路図があります。テキスト領域には、ローカルのモデル、サブサーキット、ステイミュラス、ソーステーブル文が格納されます。このコマンドは、表示を図面領域とテキスト領域の間で切り替えます。

・**水平分割**：回路図の別々のパーツを同時に見るために、前面の回路図ウィンドウを2つのウィンドウ枠に水平分割します。

・**垂直分割**：回路図の別々のパーツを同時に見るために、前面の回路図ウィンドウを2つのウィンドウ枠に垂直分割します。

・**スプリッタに均一の間隔をあける**：能動分割を均一に配置します。

・**スプリッタの除去**：ウィンドウの分割ペインをすべて削除します。

・**コンポーネントエディタ**：コンポーネントエディタにアクセスします。

・**シェイプエディタ**：シェイプエディタにアクセスします。

・**パッケージエディタ**：パッケージエディタにアクセスします。このエディタでは、ポピュラーなPCBプログラム用のネットリストを作成するのに必要な情報を管理します。



・**電卓**：電卓ウィンドウを呼び出します。数式を入力すると結果が計算されます。解析モードでは、回路変数を使うことができます。数式の微分も実行できます。次に数式の例を示します。

$(1 + 2 * j) * (1 + 2 * j) \Rightarrow$ 複素数の積。結果は $-3 + 4 * j$

$VBE(Q1) * IB(Q1) + VCE(Q1) * IC(Q1) \Rightarrow$ BJT の電力

$SERIES(N, 0, 25, 1 / FACT(N)) \Rightarrow 1 / FACT(N)$ の項のうち、最初の26個を評価

X^X に関する微分を求めると、 $X * X^{(X-1)} + X^X * LN(X)$ が返ります。

・**モデルライブラリパラメータをチェック**：モデルパラメータリミットエディタで設定された限界値に対して、モデルライブラリ内の部品のモデルパラメータをチェックします。チェックは、NPN、NMOS、JFET、ダイオード等、基本モデルプリミティブから実装される部品に対してのみ実行されます。Subcktおよびマクロベースの部品はチェックされません。

・**メモリ内のファイル**：メモリ内にオープンされているファイルをリスト表示します。複数の回路がロードされている場合、このリストから表示対象を選択できます。

オプションメニュー

- ・ **メインツールバー** : (**CTRL + 0**) メインツールバーのオンオフを切り替えます。
- ・ **デフォルトメインツールバー** : デフォルトのメインツールバーを復帰させます。
- ・ **ステータスバー** : ステータスバーのオンオフを切り替えます。
- ・ **パネル (CTRL + ALT + X)** : このオプションはコンポーネントパネルを切り替えます。
- ・ **ウィンドウタブ** : このオプションはウィンドウタブのオン/オフを切り替えます。
- ・ **エラーウィンドウの表示** : エラーウィンドウを表示します。
- ・ **モード** : このサブメニューには、以下の項目が含まれています。



・ **選択** : (**CTRL + E**) このモードでは、編集したいオブジェクトを選択します。部品名やモデル名などの属性の変更、グリッドテキストの編集、移動や削除の対象選択を行うには、このモードでなければなりません。このモードを呼び出すには、選択ボタンをクリック、スペースバーを押す、CTRL+Eを入力、またはこのメニュー項目を選択します。



・ **コンポーネント** : (**CTRL + D**) このモードでは、回路図にコンポーネントを追加することができます。このモードは、ボタンをクリック、CTRL + D、またはメニュー項目から呼び出すことができます。



・ **テキスト** : (**CTRL + T**) このモードでは、回路図にグリッドテキストを追加することができます。グリッドテキストは、ノード名、モデル文（これもテキスト領域に配置可能）に使うことができます。



・ **ワイヤ** : (**CTRL + W**) このモードでは、回路図に直交ワイヤを追加します。ワイヤはコンポーネント同士を接続するのに使います。



・ **斜交ワイヤ** : このモードでは、回路図中に斜交ワイヤを描画します。



・ **バス** : このモードはバスコネクタを回路図に追加するのに使います。



・ **グラフィック/ピクチャファイル** : これらのモードにより、回路図やプロット上にグラフィカルオブジェクトを描画できます。ここでモードを選択するか、ツールバーの描画ボタンをクリックしてから、ポップアップするメニューで希望するグラフィカルオブジェクトを選択します。



・**多角形**：このコマンドにより、解析プロット上に多角形を配置できます。多角形は、使用の有効範囲を定義するのによく使われます。多角形オブジェクトをラフに描画した後、ダブルクリックすると、より正確な値を入力できます。キーワードMINとMAXにより、多角形の頂点の座標がプロットの側面とそろるように配置されます。



・**左括弧**：このモードを使って回路図内に可変サイズの左の中括弧のグラフィックオブジェクトを配置します。



・**右括弧**：このモードを使って回路図内に可変サイズの右の中括弧のグラフィックオブジェクトを配置します。



・**括弧ペア**：このモードを使って回路図内に可変サイズの左右の中括弧ペアのグラフィックオブジェクトを配置します。



・**フラグ**：このモードでは、回路図にフラグをおきます。フラグは位置をマークしておいて、すばやい移動を行うために使用されます。通常このモードは、ボタンをクリックして呼び出しますが、メニュー項目から呼び出すこともできます。



・**画像**：このモードでは、回路図に画像ファイルを配置できます。



・**スケール**：(F7) 解析プロットをスケールモードにします。



・**カーソル**：(F8) 解析プロットをカーソルモードにします。



・**ポイントタグ**：このモードでは、ポイントタグをプロットにおくことができます。ポイントタグはXおよびYの値に波形の1データポイントのラベルを付けます。



・**水平タグ**：このモードでは2つのデータポイントの間に水平タグを置くことができます。このタグは2つの波形の水平面での差を測定しラベルを付け、X数式が時間であれば、パルス幅または遅延時間が得られます。



・**垂直タグ**：このモードでは2つのデータポイントの間に垂直タグをおくことができます。このタグは2つの波形の垂直面での相違を測定しラベルを付けます。



・**性能タグ**：このモードでは、解析プロットに性能関数タグを表示できます。解析が実行されるたびにタグは関数を計算し、関数値のタグを貼ります。



・ヘルプ：(CTRL + H) コンポーネントヘルプシステムを呼び出します。ここでは回路図コンポーネントでマウスをクリックして、パラメータとモデル構文をみることができます。



・情報：(CTRL + I) 情報モードを呼び出します。このモードでは、コンポーネントをクリックすると、そのモデルパラメータ、モデル文、サブサーキットの記述、コマンド文のいずれかがコンポーネントに応じて表示されます。



・ファイルリンク：リンクモードを呼び出します。このモードでは、グリッドテキストまたは部品をクリックするとリンクが表示されます。リンクは通常はインターネットURL、ローカルファイルアドレス、実行可能ローカルプログラムとなります。



・領域有効：このモードでは、領域をドラッグにより選択し、それに、回路内の記号変数 (.defineまたは.param) の値に一般的に依存する論理式を割り当てることができます。



・ポイントからエンドへのパス：ポイントからエンドへのパスモードを呼び出します。このモードでデジタルコンポーネントをクリックすると、クリックしたコンポーネントから可能なすべての終点までのすべてのパスが表示されます。終点には、フリップフロップとほかのゲートを駆動しないゲートがあります。



・ポイント間のパス：ポイント間のパスモードを呼び出します。このモードでデジタルコンポーネントをクリックすると、クリックした最初のコンポーネントからつぎにクリックしたコンポーネントまでのすべてのパスが表示されます。



・プローブ：(SPACEBAR) プロービング中に回路図を編集できるため、マウスの動作を編集とは対照的にプロービングに設定します。



・ラバーバンディング (SHIFT + CTRL + R)：このオプションが有効である場合、回路のワイヤがノードに接続された状態になるようにドラッグ操作が拡張されます。無効であれば、ドラッグ操作を行うと選択されたワイヤは終点のところで切断され、コンポーネントはシェイプや長さが変わらずにドラッグされます。

・ビュー：これらのオプションは、回路図に表示する内容を決めます。



・属性テキスト：チェックすると、コンポーネントの属性テキストを表示します。



・グリッドテキスト：グリッドテキストを表示します。グリッドテキストはテキストツールで作成するすべてのテキストをいいます。



・ノード番号：このオプションは各ノードに割り当てた数字を表示します。アナログのノード番号は角の丸い四角で囲まれ、

デジタルのノード番号は四角で囲まれています。ノードにおいてグリッドテキストはノード番号の別名として使用できます。



・ **ノード電圧／状態**：これはノード電圧とデジタル状態を表示します。ダイナミックACではAC電圧が表示されます。そうでなければ時間領域値が表示されます。最後に行った解析により、これらはDC動作点またはトランジェント解析終了値もしくはDC掃引終了値となります。



・ **電流**：最後に行った AC、DC、またはトランジェント解析で得られた、時間領域での電流値を表示します。ダイナミックACモードでは、AC電流を表示します。



・ **電力**：最後に行ったAC、DC、またはトランジェント解析で得られた、時間領域での電力値を表示します。ダイナミックACモードでは、AC電力を表示します。



・ **動作状態**：最後に行ったAC、DC、またはトランジェント解析で得られた、時間領域での動作状態を表示します。動作状態とは、BJTのON、OFF、LIN、SAT、HOT等のことです。



・ **ピン接続**：各ピン位置にドットを表示します。これは、部品間の接続位置を表示したり確認するのに便利です。

・ **グリッドなし**：このオプションにより、回路図グリッドは表示されません。



・ **グリッド**：このオプションにより、太いグリッドポイントがない標準の回路図グリッドを表示します。

・ **グリッドBold 5**：このオプションにより、5つ毎に太いグリッドポイントがある標準の回路図グリッドを表示します。

・ **グリッドBold 6**：このオプションにより、6つ毎に太いグリッドポイントがある標準の回路図グリッドを表示します。6はシンプルな部品の標準のグリッド間隔です。

・ **ボールドグリッドユーザ (N)**：これは、N番目のグリッドポイント毎に太いグリッドを表示します。太いグリッド間の距離はプロパティダイアログボックスで選択できます。

次の4つの選択肢もVIPボタンで選択可能です。ただし、この場合それらが**プロパティ (F10) / ビュー / 計算**から有効化された場合に限りです。

・ **最新値**：これは最新の電流、電圧または電力を表示します。

・ **RMS値**：これはRMSの電流、電圧または電力を表示します。

・ **平均値**：これは平均の電流、電圧または電力を表示します。

- ・ **ピーク値** : これはピークの電流、電圧または電力を表示します。



- ・ **クロスヘアカーソル** : クロスヘアカーソルを表示します。



- ・ **境界** : 回路図に境界を追加します。



- ・ **タイトル** : 回路図にタイトルブロックを追加します。



- ・ **すべてのパスの表示** : デジタルパスとその遅延をすべて表示します。選択されたパスは、回路図で強調表示されます。このコマンドでは、結果は直ちに表示されます。一方、ポイントからエンドへのパスコマンドやポイント間のパスコマンドでは、パスのリストが表示される前にマウスをクリックして、パスの終点を指定する必要があります。



- ・ **プリファレンス** : (**CTRL + SHIFT + P**) プリファレンスダイアログボックスでは、多くのユーザ指定項目が選択できます。

- ・ **オプション-一般**

- ・ **時間スタンプ** : すべての数値出力ファイルに時刻のスタンプが追加されます。

- ・ **日付スタンプ** : すべての数値出力ファイルに日付のスタンプが追加されます。

- ・ **ファイルリストサイズ** : ファイルメニューの最近使ったファイルの一覧セクションで表示されるファイルの数が設定されます。

- ・ **ヘルプファイルをトップに固定** : 開いているウィンドウの数にかかわらず、常にヘルプファイルを一番上に表示します。

- ・ **背景印刷** : 有効にすると、印刷出力にユーザが選択した背景色が追加されます。たいてい背景色はうまく印刷できないため、通常は無効にしてあります。

- ・ **警告時間** : 警告メッセージの期間が設定されます。

- ・ **括弧を追加して定義** : これによって、.define文の右に括弧を付け、括弧のペアによって展開に関わる問題を回避します。例えば、括弧を追加すると、.DEFINE A 1 + V(1)は、(1 + V(1))と解釈されます。括弧を付けない場合、1/Aのような式は、1/1 + V(1) = 1 + V(1)となり、意図したものとは異なる可能性が高くなります。括弧を付けると、1/Aは1/(1 + V(1))となり、正しい意味になります。

・**コンポーネントメニューシェイプ表示**：オプションにより、コンポーネントメニューから異なるコンポーネントが選択されるようにシェイプが表示されます。

・**コンポーネント表の数**：この値は コンポーネントメニューの最新部品セクションに含める部品名を設定します。

・**フルパスを表示**：このオプションは、ウィンドウのタイトルバーおよび**ファイル/最終ファイル**にフルファイル名およびフルパスを表示します。長いパス名を用いた場合、このオプションを無効にするとメニューとタイトルバーは整頓されますが、別のフォルダで同じ名前のファイルを区別するのが困難になるでしょう。

・**メニューにビットマップを使用**：このオプションにより、メニューでのビットマップアイコンの使用を有効/無効にします。

・**モデルパラメータの並べ替え**：このオプションは、属性ダイアログボックス、数値出力、モデルパラメータリミットエディタでモデルパラメータを英数字でソートします。

・**グループ名を太字で表示**：コンポーネントメニューおよびパネル階層表示でグループ名を太字で表示します。

・**ユーザ名**：ユーザ名を編集できます。

・**会社名**：企業名を編集できます。

・**サウンド**：これらの3つのオプションは、エラーや不正操作、およびシミュレーション終了を示すサウンドの使用を制御します。

・オプション-解析：

・**選択モード**：別のモードが完了後、モードが選択モードに戻ります。このフラグは解析時にのみ適用されます。

・**DCパスをグラウンドに追加**：このオプションにより、ノードからグラウンドへの抵抗パスがない場合、ノードからグラウンドへの $1/R_NODE_GND$ 抵抗が自動的に追加されます。

・**慣性取消し**：有効にすると、論理シミュレータで慣性取消しが採用されます。これにより、デバイスの遅延時間より短い論理パルスがキャンセルされます。無効の場合は、シミュレータは短いパルスをキャンセルしません。

・**曲線の色を選択**：選択された曲線ブランチを一次色の選択の色で色づけします。このオプションは、ほとんど常にオンです。

・**スマートエントリー**：パラメータの公称値に基づき、ステップフィールドの入力値を示唆します。

・**トップのプロット**：このオプションは解析プロットと回路図が重なっている場合、解析プロットを上にして重ねます。そうでないと回路図がプロットの上に重なります。

・**解析進捗バー**：有効にすると、オプションメニューでステータスバー機能が有効な場合、シミュレーション実行中にステータスバー領域に進捗バーが表示されます。

・**マクロドリルダウン**：Micro-Cap前のバージョンでは、マクロのプロロービングによりマクロノードおよび部品の表が作成され、これを選択して表示することができました。このオプションによりマクロ回路図の直接プロロービングが可能です。

・**収束アシスト**：このオプションは、収束支援を有効にします。これは、選択された全般設定パラメータを最適化して、回路の収束を手助けします。RELTOL、ABSTOL、VNTOL、ITL4、ITL2、GMIN、METHODやその他のパラメータを変更して回路の収束し易いようにします。収束に成功すると、変更したパラメータが付けられた.OPTIONS文を回路に追加します。

・**ダイナミック自動実行**：Micro-Capにはダイナミック解析というモードがあります。このモードでは、回路図を見ながら編集でき、解析プロットを見ることができます。このオプションが有効であれば、プロットは回路図を編集するたびに、同時に更新されます。これが無効である場合、ランボタンをクリックするか、またはF2を押して明示的に要求すれば、解析とプロットは更新されます。

・**導関数しきい値**：数式を使った信号源は偏導関数を必要とします。これらの関数の数式は自動的に作成されます。複雑な数式は、解析を難しくするような複雑な関数に至る可能性があります。偏導関数の記号の長さがこの閾値を超えたら、代わりに数値関数を使用します。

・**データポイントバッファ**：データポイントバッファのサイズを設定します。解析プロット線は、未描写データポイントの数がこの値と同じでないと描写されません。10個のポイントで線をプロットする場合、それらのポイントが狭い間隔で配置されている方が、はるかに速く処理されます。したがって、通常この値を大きく設定すれば、限られたプロット時間の解析でも、処理を高速化できます。

・オプション-回路：

・**テキストインクリメント**：これにより、コマンドではないグリッドテキストをペースト、ステップ、ドラッグ、コピー、ミラーリング操作した場合に、増分するかどうかを制御します。増分とは、テキストの最後の数字を1だけ増加させることです。数字がない場合は、テキストに「1」が追加されます。

・**コンポーネントカーソル**：このオプションが有効である場合、コンポーネントモードがアクティブならば、マウスの矢印が現在選択されているコンポーネントのシェイプに置き換わります。

・**モデル情報のコピー／貼り付け**：このオプションにより、関連する.modelまたは.defineテキスト文をパーツと共にコピー／貼り付けができます。これは回路間のローカライズされたモデルをペーストするのに便利です。

・**ノードスナップ**：ノードの接続ピンのドットが、配置したり移動したりするオブジェクトの1グリッド内にある場合、このフラグにより、コンポーネント、ワイヤ、テキストが強制的にノードの位置から始まるようにします。



・**ラバーバンディング**：ラバーバンディングを有効化/無効化します。

・**ブロック選択表示モード**：このオプションにより、ブロック選択モードが有効になり、選択されたオブジェクトの背景が、ブロック選択で設定された色で表示されます。これにより、特にオブジェクトが1つだけのときは、選択されたオブジェクトを簡単に特定できます。無効にすると、選択されたオブジェクトは標準の前景選択色で描画されます。

・**モデル自動表示**：このモードにより、モデル文が回路図のテキスト領域に追加され、自動的に回路ウィンドウを分割して、新たに追加されたモデル文を表示します。

・**ノード強調表示**：このオプションにより、マウスカーソルがノードの近くを通過するとノード全体が自動的に反転表示になります。

・**OPアンプ電源の自動追加**：このオプションにより、レベル3のオペアンプ部品に対して、VCCとVEEの電源が自動的に追加され、接続されます。電源という名前のバッテリーが、回路図ページに配置されます。ベンダが提供したオペアンプサブサーキットモデルについては動作しないことに注意してください。

・**要素インフォ**：これが有効である場合、マウスポインタ下のオブジェクトのエレメント情報を表示します。一般的にはこれはウィンドウの底部のステータスバーで表示された情報と同じ情報ですが、指しているところに見て近いので、より便利です。

・**拡張要素インフォ**：有効に設定されていると、マウスポインタで示すオブジェクトの付加要素情報を表示します。これには、ベータ、相互コンダクタンス、電気容量など、デバイス構造からのさまざまなデータが含まれます。

・**コンポーネントのインポート**：このオプションにより、部品情報を回路ファイルからインポートし、部品をコンポーネントライブラリにインストールし、回路による使用を可能にします。無効の場合、コンポーネントライブラリには存在しない独自の部品については、表示や解析は実施されません。

・**選択モード**：ほかのモード操作が終了すると、回路図モードがセレクトモードに戻ります。例えば、コンポーネントを置くには、コンポーネントモードでなければなりません。コンポーネントを置いた後も、通常はコンポーネントモードのままです。しかしこのオプションを選択している場合、コンポーネントを置くと直ちに選択モードに戻ります。ワイヤの描画、テキストの配置、部品の問い合わせ等、モードによるすべての操作について同様の結果が得られます。

・**ノード再計算しきい値**：ノード番号の表示オプションが有効である場合、回路図を編集すると、ノードが再計算され、表示されます。大きな回路図では、時間がかかります。この値により、ノード数がこの値を超えると自動ノード再計算が無視される上限値が設定されます。

・**ファイルリンクデフォルト**：このフィールドでは、ファイルリンクの構文を設定できます。デフォルトは `www.google.com/search?q=%s+"data sheet"` で、これは部品名をグーグル検索します。%の記号は部品名を表します。

・**ショートカット**：アクセラレータやショートカットキーをカスタマイズするショートカットダイアログボックスにアクセスします。

・**メインツールバー**：このパネルにより、通常はメインツールバー領域にあるボタンやツールバーを表示したり、隠蔽したりできます。

・**色パレット**：このオプションにより、独自のパレットを定義できます。任意の色の矩形をクリックするとカラーエディタが呼び出され、選択されたパレットカラーの色調、彩度、明度をカスタマイズできます。

- **虹色**：虹色カラーシーケンスを制御します。
- **ステータスバー**：これにより、ステータスバーのテキスト属性を変更できます。
- **パネル／ウィンドウタブ**：このセクションではコンポーネントパネルとウィンドウタブの表示と外観を制御できます。
- **コンポーネントパレット**：これにより、9つのコンポーネントパレットに名前を付けて、メインツールバーでの表示を制御できます。回路図を使っているときに、CTRL + パレット番号を押して表示のオンオフを切り替えることもできます。
- **自動保存**：これにより、自動保存ダイアログボックスにアクセスして、解析を実行する度にあるいは特定のタイムスケジュールで回路ファイルをディスクに自動的に保存するように設定できます。
- **警告**：これにより、警告ダイアログボックスにアクセスし、次のような特定の警告メッセージを有効にできます。
 - **ファイル**：変更した後、保存していないファイルをクローズしようとするすると警告します。
 - **終了**：本当に終了するかどうかを確認します。
 - **OPアンプの電源**：Micro-CapがVCCとVEEの電源を追加することを知らせます。
 - **DCパスをグラウンドに追加**：DCパスがアースされないように抵抗を追加するときに警告します。
 - **過度の時間ポイント**：回路解析の限界値によって過剰な数の時間ポイントが呼び出された場合に警告します。
 - **過度のデータポイント**：回路解析によって過剰な数のデータ点が作成された場合に警告します。データ点数は、時間ポイント数にプロットされる波形やグラフの数を乗じた数です。
 - **過度の信号源ポイント**：PWL、STIMまたはユーザソースが過剰な数のブレイクポイントを発生させたときに警告します。
 - **戻す**：ファイルを元に戻すことができるかを確認します。
 - **AC信号**：回路内のすべてのソースについてAC解析とAC信号をゼロにしようとした時にユーザに警告します。すべてのAC電圧と電流もゼロになるので、ほとんど不正となります。

・ **部品とノードが同じ** : 部品およびノードに同じ名前が使われたときに警告します。同じ名前は合法ですが、紛らわしいプロットになる可能性があり、危険です。D1がノード名およびダイオード名の両方である場合、V(D1)はノードD1の電圧、またはダイオードD1の電圧を意味します。

・ **Spice3 TEMPパラメータ** : SPICE3 Tempパラメータがデバイス属性として使われた場合に、警告を發します。

・ **レベル変更** : モデルパラメータを変更する必要がある場合に、レベルパラメータが変更されると警告を發します。

・ **TNOMとT_MEASURED** : TNOMとT_MEASUREDの両方が部品に対して指定された場合、警告を發します。

・ **モデル属性は使われない** : 抵抗器、コンデンサ、またはインダクタに対して時間変化数式とモデル属性の両方が定義されたときに、警告を發します。時間変化数式が抵抗、インダクタンス、フラックス、容量またはチャージに対して定義された場合は、時間変化モデル属性は使用することはできません。

・ **部品名の変更** : 部品名を変更する必要がある場合に警告を發行します。

・ **部品番号の重複** : 部品名が複数回使用されており、曖昧さが生じる可能性がある場合に警告を發行します。

・ **残す/リトレースとスレッド** : リトレースまたは残すの使用でスレッドの使用が無効化される場合に警告を發行します。

・ **.JC文の作成** : 状態可変エディタで.JC文を生成する場合に警告を發行します。

・ **伝送線路のFまたはS** : 伝送線路コンポーネント内でFまたはS変数が使用されており、ACまたはダイナミックAC解析の他に解析が実行中である場合に警告を發行します。

・ **便利な使い方** : 新機能リマインダのリストにアクセスします。

・ **スタイル** : さまざまな回路スタイルを選択、定義できるスタイルダイアログボックスです。スタイルは、テキストフォント、色、材図、表示スタイルから構成されます。

・ **組合せ** : 基本値にフィットコマンドを制御します。

・**スライダ**：スライダがどのように動作するかを制御します。スライダとは、解析プロットの反応を見ながら、コンポーネント、モデル、記号（.defineまたは.param）変数の値をスムーズに変更するデバイスです。マウスと上下カーソルキーでスライダを制御します。スライダは画面のどこにでも表示できます。

・**国際設定**：メニューやその他のテキストで使用する言語を選択できます。

・**スレッド**：スレッドとは、複数のタスクを平行して実行する場合に使用する、独立した実行ストリームで、多くの場合、実行時間を大幅に短縮できます。使用できるスレッディング制御オプションは次のとおりです。

・**スレッドを使用する**：有効に設定されている場合、お使いのコンピュータが複数のCPUを使用できる設定になっていれば、スレッドを使用します。

・**スレッドカウントを使用する**：スレッドを使用するオプションが有効な場合、使用するスレッドの最大数を指定します。

・**プロット用に予備のスレッドを使用する**：有効に設定されている場合、1本のスレッドを、解析に使用されていない場合に限りプロットに使用します。

・**新規回路のデフォルトプロパティ**：（ALT + F10）これらの項目により、各種回路オプションのデフォルト値または初期値を設定できます。回路が最初に作成された場合は、下記のオプション設定値を利用します。回路がそのプロパティ（F10）ダイアログボックスから作成された後には、これらのオプションはすべて変更できます。

・**回路図**：これにより、回路図のいくつかのタイプの機能を制御します。

・**色/フォント**：コンポーネントの色、属性の色、フォント、背景色など、回路図のさまざまな機能のためのテキストフォントと色を制御できます。

・**形式**：さまざまな数値形式オプションを設定します。

・**ビュー**：デフォルトの太いグリッドスペーシングとシェイプグループを設定します。

・**グリッド**：回路図の太いグリッドスペーシングを設定します。

・**シェイプグループ優先度**：部品が回路図に表示された場合、そのシェイプグループはデフォルトに設定されます。このデフォルトは指定された順序でこのリストからそのシェイプを選択するようにMicro-Capに伝えるものです。シェイプグループを選択し、上下アイコンをリストの新しい位置に移動することにより、順

序（優位性）を変更することもできます。

• **電圧、電流の回路図表示：**

• **計算：**このパネルは、解析中にRMS、平均、ピーク値を計算するかどうかを制御します。これらの計算は実行時間が約10%増えるので、値が必要な場合のみ、これらのフラグを有効にすべきです。

• **デフォルト表示：**このパネルは使用すべきデフォルト表示を設定します。最新は最終値を示し、常に計算されます。RMS、平均、ピークは、実行に対する最終RMS、平均、ピーク値を示します。これらの値の各々は解析実行中に計算されます。

• **タイトルブロック：**このパネルにより、タイトルブロックの存在と内容を指定できます。

• **ツールバー：**このパネルにより、メインツールバーの真下にあるローカルツールバー領域に表示されるツールバーやボタンを選択できます。

• **SPICEファイル：**SPICEテキストファイルの2つのタイプの機能があります。

• **色/フォント：**SPICEファイルのフォントと色を制御できます。

• **ツールバー：**このパネルにより、メインツールバーの真下にあるローカルツールバー領域に表示されるツールバーやボタンを選択できます。

• **解析プロット：**解析プロットのいくつかの機能を制御できます。

• **スケールと形式：**このパネルにより、解析プロット用の単位、スケールファクタ、数値の形式を指定します。X軸とY軸の両方についていくつかのプロットオプションがあります。

• **スケール係数：**無か自動を選択します。自動では、Micro-Capがリストから適切なスケールファクタを選択します（T、G、Meg、K、m、u、n、p、f）。

• **スケール単位：**これにより、プロットに単位（ボルト、アンペアなど）を追加できます。無か自動を選択します。自動が選択されている場合、Micro-Capはプロットの式から単位を推測しようとします。

・**スケール形式**：このオプションにより、プロットのX/Yスケールの数値形式を制御します。選択肢には、科学技術計算（1.00E4）、工学（10.00K）、10進表示（10,000.00）、デフォルト（10K）があります。

・**カーソル形式**：これにより、カーソルテーブルおよび数値出力ページにプリントされる数値の数値形式を制御します。

・**自動/静的グリッド**：これにより、オートスケールまたは静的グリッドオプションが有効な場合に使われるグリッド数を指定します。

・**スケーリングの有効化**：このオプションにより、XまたはY方向へのオートスケールを有効にします。Y方向にだけスケールするには、Xパネルでこのオプションを無効にするなどとします。

・**オプティマイザ**：オプティマイザウィンドウの数値形式を設定します。

・**ウォッチ**：ウォッチウィンドウの数値形式を設定します。

・**各プロットグループに同じYスケール**：これにより、プロットグループのそれぞれの波形を同じ数値スケールとするか、独自のY軸スケールとするかを制御します。

・**静的グリッド**：このオプションを有効にすると、MC6のようにプロットをパンすると所定の位置のままになる固定プロットグリッドを作成します。そうでなければ、Micro-Capの標準では、プロットをパンするとグリッドが移動します。

・**Xスケールを同じに保つ**：有効にすると、異なるプロットグループのXスケールを同じに維持します。

・**勾配計算**：これにより、勾配の測定方法を制御します。通常の方法、dB/オクターブ、dB/オーダーのどちらかです。最後の2つの方法は、特定のACの測定に適しています。

・**保存レンジの編集**：このフラグはレンジ変更を解析リミットダイアログボックスのレンジフィールドにコピーします。

・**色、フォント、線**：スケールやタイトルテキスト、ウィンドウとグラフのバックグラウンドカラー、曲線の色、太さ、パターン等、さまざまなプロット形状のテキストフォントと色を制御します。

・**スコープ**：初期スコープオプションを設定します。

・**ビュー**：以下を含む初期スコープのビューオプションを設定します。

・**データポイント**：プロットの計算された点をマークします。その他すべての値は線形補間されます。

・**トークン**：各曲線プロットにトークンを追加します。トークンは曲線の識別に役立つ小さなグラフィックス記号です。

・**ルーラー**：通常フルスクリーンXおよびY軸グリッドラインをルーラー目盛りに変更します。

・**プラスマーク**：XとYグリッドの交点のところで、連続グリッドを「+」マークに変更します。

・**水平軸グリッド**：水平グリッドを追加します。

・**垂直軸グリッド**：垂直グリッドを追加します。

・**マイナーロググリッド**：2、3、4、...、9の位置で主グリッド間に副ロググリッドを追加しますが、ラベルは付けません。

・**マイナーロググリッド25**：2と5の位置の主グリッド間に副ロググリッドを追加し、ラベルを付けます。

・**ベースライン**：基準としてのゼロベースラインを追加します。

・**水平カーソル**：カーソルモード（F8）で、2つの垂直数値カーソルと交差する水平カーソルをそのデータ点位置で追加します。

・**トラッカー**：このオプションはカーソル、切片、マウストラッカの表示を制御します。これはカーソルデータ点、そのXとYの切片または現在のマウス位置における数値を含む小さなボックスです。

・**カーソル**：以下のオプションは、初期カーソル動作フラッグを制御します。

・**カーソルの整列**：このフラッグは異なるプロットグループのカーソルが常に整列されるよう強制します。

・**カーソルを同じブランチに保つ**：このフラッグは同じ曲線ブランチにカーソルを強制的にとどめます。

・ **ツールバー** : このパネルにより、メインツールバーの真下にあるローカルツールバーの領域に表示するツールバーとボタンを選択します。

・ **FFT** : このパネルにより、FFTルーチンで使われるポイント数、オートスケールオプションも含め、解析プロットで使われるFFT機能のデフォルトのパラメータを選択します。

・ **数値出力** : このグループでは数値出力画面および該当する出力テキストファイル (*.TNO、*.ANO、*.DNO) に何を含めるかを選択できます。

・ **表示** : これは数値出力ファイルに含むマテリアルを選択できます。

・ **数値出力を含む** : これにより、数値出力ファイルの作成が有効になります。その他のオプションはファイルの内容の制御です。

・ **メインヘッダーを含む** : メインヘッダーをプリントします。

・ **解析リミットを含む** : 解析限界値を追加します。

・ **ブランチヘッダーを含む** : ステップされているアイテムまたはモンテカルロケース番号を識別するブランチヘッダーを追加します。

・ **モデルパラメータを含む** : モデルパラメータをプリントします。

・ **ゼロパラメータを含む** : 値がゼロのパラメータのプリントを有効にします。

・ **未定義パラメータを含む** : 未定義のパラメータのデフォルト値を使ってこれらのパラメータをプリントします。

・ **動作点値を含む** : ファイルへの動作点データのプリントを制御します。

・ **ノイズを含む** : 各パートのノイズ値を追加します。

・ **波形値を含む** : ファイルへのすべての波形値のプリントを制御します。各数式に隣接した、解析リミットダイアログボックスの数値出力アイコン  が有効でなければなりません。

・**波形ヘッダーを含む**：これは各数値カラム上の識別数式テキストを印刷します。

・**表形式**：数値出力曲線/波形表をどのように配置するかを制御します。水平は従来のフォーマットであり、水平の列ベクトルを使用します。垂直は一行の解析変数（時間、周波数またはDCINPUT1）を配置し、その後に各出力に対して単一行ベクトルが続きます。Vertical X、Y Alternateも同様ですが、各出力ベクトル間に余分な解析変数列が挿入されます。最後に、Vertical X、Y Pairsは、解析変数と一出力で構成される列のペアを生成します。ペアは垂直に一つずつ配置されます。

・**形式**：以下の設定は数値形式を制御します。

・**数値出力値**：波形/曲線の値以外のあらゆるデータの形式を制御します。

・**曲線X**：波形/曲線（通常トランジェントではT、ACではF）のX値の形式を制御します。

・**曲線Y**：波形/曲線のY値の形式を制御します。

・**3Dプロット**：3Dプロットのいくつかの機能を制御できます。

・**色**：一般のスケールとタイトルテキスト、ウィンドウとグラフの背景色、軸の色、パッチの色、サーフェイスラインの色など、3Dプロットのさまざまな機能のテキストフォントと色を制御できます。

・**フォント**：3Dプロット内のすべてのテキストの色を制御できます。

・**形式**：このパネルにより、X軸、Y軸、Z軸のスケールの数値形式とカーソルテーブル内の数値の形式を選択できます。スロープ計算方法も制御できます。

・**ツールバー**：ローカルツールバー領域に表示されるツールバーやボタンを選択できます。

・**モンテカルロヒストグラム**：これにより、モンテカルロヒストグラムプロット機能を制御できます。

・**色**：一般のスケールとタイトルテキスト、ウィンドウとグラフの背景色、バーの色など、ヒストグラムのさまざまな機能のテキストフォントと色を制御できます。

・**フォント**：ヒストグラム内のすべてのテキストの色を制御できます。

・**ツールバー**：このパネルにより、ローカルツールバー領域に表示されるツールバーやボタンを選択できます。

・**性能プロット**：このパネルにより、性能プロットの機能を制御できます。

・**スケールと形式**：このパネルにより、パフォーマンスプロットの単位、スケールファクタ、数値形式、その他のオプションを指定できます。オプションは、解析プロットのオプションと似ています。

・**色、フォント、線**：さまざまな機能のテキストフォントと色を制御できます。

・**ツールバー**：このパネルにより、ローカルツールバー領域に表示されるツールバーやボタンを選択できます。

・**数値出力**：このグループでは、性能プロット数値出力および対応する出力ファイルに含めるものを選択します。

・**FFT**：このパネルにより、FFTウィンドウの機能を制御します。

・**スケールと形式**：このパネルにより、FFTプロットの単位、スケールファクタ、数値形式、その他のオプションを指定できます。オプションは、解析プロットのオプションと非常に似ています。

・**色、フォント、線**：全体スケールやタイトルテキスト、ウィンドウとグラフのバックグラウンドカラー、個別の曲線の色、太さ、パターン等、さまざまなプロット形状のテキストフォントと色を制御します。

・**ツールバー**：このパネルにより、メインツールバーの真下にあるローカルツールバーの領域に表示するツールバーとボタンを選択します。

・**FFT**：このパネルにより、FFTルーチンで使われるポイント数、オートスケールオプションも含め、FFTウィンドウで使われるFFT演算のデフォルトのパラメータを選択します。これらのパラメータは、解析プロットで使われるFFT演算に指定される類似のパラメータとは区別されます。これらは通常は同じですが、同じである必要はありません。

- **数値出力**：このグループでは、FFT数値出力および対応する出力ファイルに含めるものを選択します。
- **モデル**：このパネルでは、モデルプログラムの機能を制御します。
- **色/フォント**：モデルプログラムの表示のさまざまなプロット機能のテキストフォントと色を制御します。
- **形式**：XおよびYプロットスケール形式を指定します。
- **ツールバー**：このパネルにより、モデルプログラム表示のツールバーの領域に表示するツールバーとボタンを選択します。
- **全般**：このパネルでは、新しいグラフィックオブジェクトのプロパティおよびSPICEファイルの読み込み時に仮定される形式のタイプを制御します。
- **グラフィカルオブジェクト**：このパネルでは、境界、塗りつぶし、フォント、線のパターン等のグラフィックオブジェクトのプロパティを制御します。
- **SPICEのタイプ**：このパネルにより、新しい回路ファイルがSPICEの内容を読み込む時に改訂されるSPICE形式のタイプを設定します。



• **全般設定**：(CTRL + SHIFT + G) これにより全般設定ダイアログボックスにアクセスし、シミュレーション制御の多くの選択をおこないます。これらの設定については、この章の全般設定の節で詳細に説明します。

• **ユーザ定義**：このオプションにより、MCAP.INCファイルが表示されます。MC10.EXEのあるディレクトリにあるこのファイルは、すべての回路で使われる全般的な定義を格納しています。このファイルの内容は、すべての回路ファイルに自動的に含まれます。

• **モデルパラメータリミットエディタ**：このエディタにより、モデルパラメータがとり得る最小値と最大値を設定します。デフォルト値も表示されますが編集はできません。制限値内に入らないパラメータについては、警告メッセージが生成され、数値出力ファイル内に置かれます。**ウィンドウ/モデルライブラリパラメータをチェック**から、すべてのモデルの総合的チェックも実行できます。

• **コンポーネントパレット**：回路図に配置するコンポーネントを選択するときに、パレットはコンポーネントメニューよりもすばやく実行できます。パレットを使用する資格は、コンポーネントエディタで指定します。これらのパレットはユーザが条件に合わせてカスタマイズすることができます。パレット表示はCTRL + パレット番号を押してオンオフを切り替えます。たとえばCTRL + 1を押すと、パレット1の表示に切り替わります。

解析メニュー

解析メニューは、アクティブウィンドウの回路図で行う解析の種類を選択するのに使います。次のようなオプションがあります。

・**トランジェント解析**：(ALT+1) このオプションにより、トランジェント解析を選択します。オシロスコープに表示される波形と似た時間領域の波形をプロットできます。

・**AC解析**：(ALT+2) このオプションにより、AC解析を選択します。スペクトルアナライザに表示される曲線と似た周波数領域の曲線をプロットできます。

・**DC解析**：(ALT+3) このオプションにより、DC解析を選択します。カーブトレーサに表示される曲線と似たDC伝達曲線をプロットできます。

・**ダイナミックDC**：(ALT+4) このオプションでは、現在の回路図のDC解を見つけて表示することにより、ユーザの編集操作にMC10が自動的に応答する解析モードを選択します。スライダコントロールやカーソルキーでバッテリー電圧や抵抗値を変更できます。コンポーネントの追加、削除、パラメータ値の変更など、いかなる変更も可能です。MC10はDC解を計算して応答し、が有効ならば電圧と状態、が有効ならば電流、が有効ならば電力消費量、が有効ならばデバイスの状態がそれぞれ表示されます。

・**ダイナミックAC**：(ALT+5) ダイナミックACでは、MC10はAC解析を実行し、周波数の値のリスト通りにステップ変化させながら、回路図に直接、AC電圧、AC電流、AC電力の項を表示します。プログラムは、が有効な場合はAC電圧、が有効な場合はAC電流、が有効な場合は、AC電力が表示されます。

・**感度**：(ALT+6) このオプションでは、1つまたは複数の入力パラメータ値に対する1つまたは複数の出力式のDC感度を計算する解析モードを選択します。測定に利用可能な入力には、コンポーネントのステッピングに利用可能なすべてのパラメータであり、実際には、すべてのモデルパラメータ、すべての値パラメータ、すべての記号パラメータです。したがって、この解析により、多数のデータを作成できます。デフォルトの集合には、適切に小さなパラメータ集合が指定されていますが、一度に1つのパラメータだけを選択します。

・**伝達関数：(ALT+7)** このオプションでは、プログラムが小さな信号のDC伝達関数を計算する解析モードを選択します。これは、ユーザ指定の出力式の増分変化を、ユーザ指定の入力信号源の非常に小さな変化で除算した値の尺度です。プログラムは、入力と出力のDC抵抗も計算します。

・**高調波歪み (ALT+8)**：このオプションは高調波歪み解析を選択します。トランジェント解析のインスタンスを1回実行し、次にFFTルーチンを使用して出力信号の歪み成分を解析します。入力レベルや周波数のステップング、およびTHD、THDN（ノイズ含む）、SINAD、SNR、その他あらゆる高調波対VIN、VOUT、PINまたはPOUTのプロット作成が可能です。プロットは、電圧または電力比(dB)、パーセント比(%)または単純な数値形式で行えます。PSS法を使用することで、出力波形の高速収束を行いFFTエラーを最小限に抑え、正確な歪み解析を実現できます。

・**相互変調歪み (ALT+9)**：ここでは、相互変調歪み解析を選択します。相互変調歪み解析では、入力レベルや周波数のステップング、およびIM2、IM3またはH1（第1高調波）対F、VIN、VOUT、PINまたはPOUTのプロットを作成できます。プロットは、電圧または電力比(dB)、パーセント比(%)または単純な数値形式で行えます。また、高調波歪みの場合と同様、PSS法を適用できます。入力電圧や周波数に対して、SMPTE、CCIFまたはDIN基準を使用することも、独自の基準を入力することも可能です。

・**プローブトランジェント：(CTRL+ALT+1)** これでトランジェント解析プローブモードを選択します。プローブモードでは、トランジェント解析が実行され、結果がディスクに保存されます。回路図の一部をプローブあるいはクリックすると、クリックしたノードの波形が表示されます。アナログノードの電圧からデジタルの状態まで、すべてのタイプの変数をプロットできます。回路変数に関わる式でもプロットできます。

・**プローブAC：(CTRL+ALT+2)** このオプションでは、ACプローブモードを選択します。

・**プローブDC：(CTRL+ALT+3)** このオプションでは、DCプローブモードを選択します。

設計メニュー

設計メニューでは、フィルタデザイナー機能にアクセスします。

アクティブフィルタ：フィルタ仕様からアクティブフィルタを設計します。フィルタのタイプは、ローパス、ハイパス、バンドパス、ノッチ、ディレイのいずれかです。フィルタの応答は、バターワース、チェビシェフ、ベッセル、楕円、逆チェビシェフのいずれかです。フィルタ仕様から多項式が計算され、古典的なサレンキーからツートーマスまで、いろいろな複数の回路スタイルのいずれかにマッピングされます。オプションで、理想伝達関数のプロットも可能です。フィルタは、回路またはマクロコンポーネントとして作成できます。

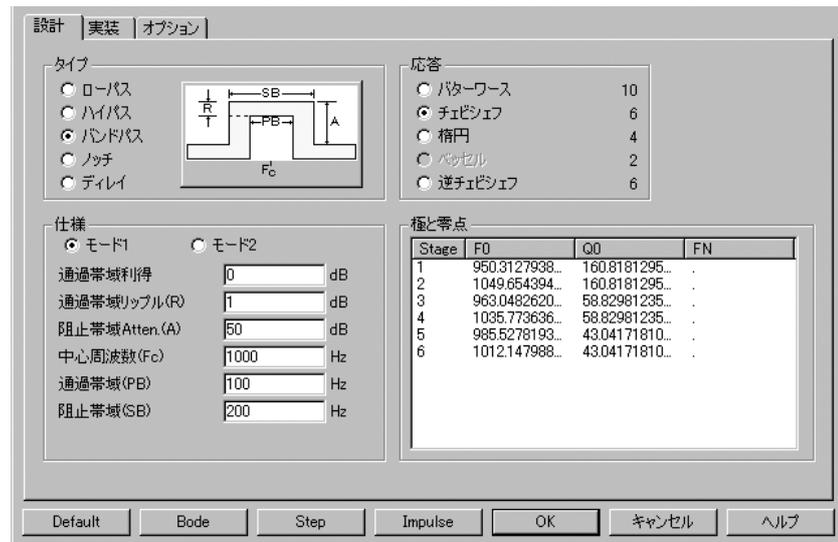


図2-18 アクティブフィルタデザイナー

パッシブフィルタ：フィルタ仕様からコンデンサとインダクタを使ったパッシブフィルタを設計します。フィルタのタイプは、ローパス、ハイパス、バンドパス、ノッチのいずれかです。フィルタの応答は、バターワースかチェビシェフか楕円のいずれかです。フィルタの多項式が計算され、標準またはデュアルの回路構成に実装されます。オプションで、理想伝達関数のプロットも可能です。フィルタは、回路またはマクロコンポーネントとして作成できます。

設計メニューのフィルタ設計機能については、29章で詳細に説明します。

モデルプログラム

モデルメニューからアクセスするモデルプログラムは、商用のデータシートから最適化されたアナログモデルパラメータを生成します。テキスト形式またはバイナリ形式のどちらかでモデルライブラリを作成します。メインディスプレイは次の通りです。

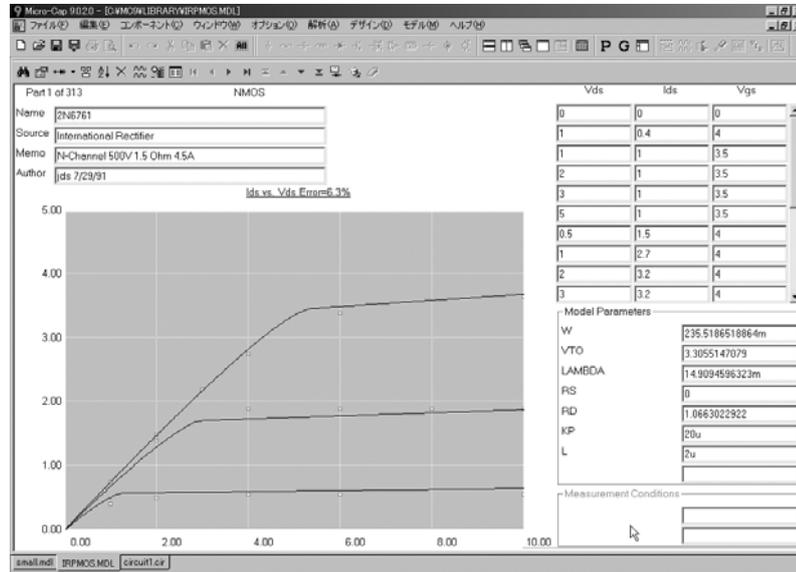


図2-19 モデルプログラム

モデルはデータシートの情報を使い、さまざまなメソッドを使用して、提供されたデータシートの値やグラフに適合するようにモデルパラメータを最適化します。結果として得られるモデルパラメータは保存して、Micro-Capのモデルライブラリ内で使うことができます。

このプログラムについては、27章で詳細に説明します。

モデルエディタ

Micro-Capに付属しているモデルライブラリには、テキスト形式とバイナリ形式の、2つの形式があります。

テキスト形式では、拡張子LIBのファイルに入っており、デバイスモデルを.MODEL、.MACRO、.SUBCKT文としてコード化します。テキストファイルは、Micro-Cap内蔵のテキストエディタなどによって確認や編集が可能です。

バイナリ形式では、モデルライブラリは拡張子LBRのファイルの部品のモデルパラメータのリストとして入っています。これらのバイナリファイルは、モデルエディタを使わなければ確認や編集を行うことができません。モデルエディタは、ファイルメニューを使ってバイナリライブラリを開いたときに呼び出されます。

モデルエディタをモデルプログラムと混同しないようにご注意ください。モデルプログラムはモデルメニューからアクセスします。モデルプログラムは、商用のデータシートから最適化されたアナログモデルパラメータを生成します。モデルプログラムは、テキストとバイナリのどちらの形式でもモデルライブラリを作成できます。

作成したバイナリライブラリの確認や編集を行うために、モデルエディタが使用できます。モデルエディタの表示は、次のようになります。

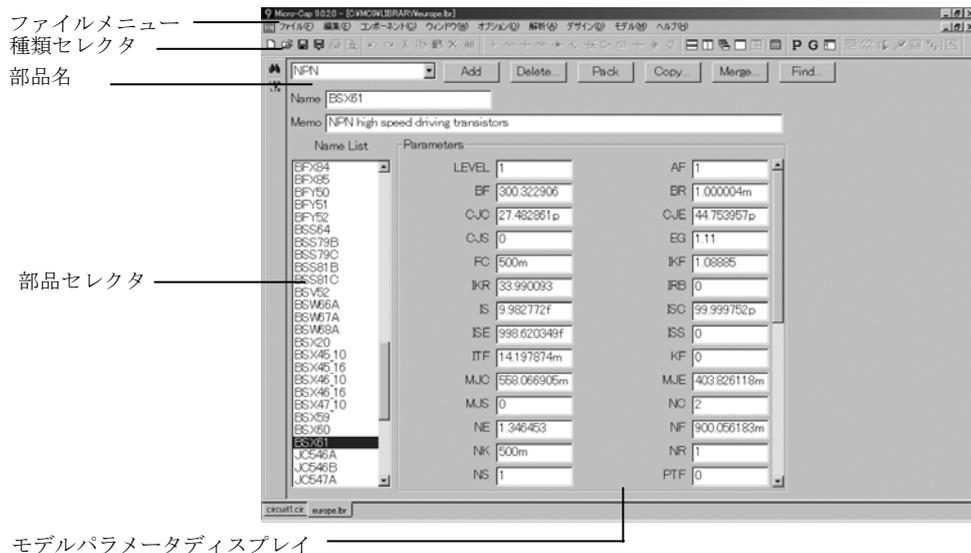


図2-20 モデルエディタ

バイナリモデルライブラリファイル（拡張子がLBRのファイルなど）をロードすることによって、ファイルメニューからモデルエディタが呼び出されます。

エディタの各部には、つぎのような機能があります。

- **Name** : 部品名を入力するフィールドです。その部品が モデルプログラムからインポートされたものであるときは、このフィールドはそのNameフィールドをコピーしたものとなります。

- **Memo** : これはあらゆる説明目的に使用できる簡単なテキストフィールドです。その部品がモデルプログラムからインポートされたものであるときは、このフィールドはそのMomoフィールドをコピーしたものとなります。

- **種類セレクト** : このフィールドは表示したいデバイスの種類を選択するために使います。各ライブラリには種類の異なるデバイスが入っていてもかまいません。例えば、NPNを選択すると、ファイル内にあるNPNバイポーラトランジスタがすべて表示されます。

- **部品セレクト** : このフィールドは表示したり、編集する部品を名前を選択します。表示した部品のモデル値を確認するダイアログボックスが表示されます。ほかのウィンドウと同様に、最大化ボタンを使ってウィンドウを拡大して、表示するモデル値を増やすことができます。

- **Add** : 現在のデバイスの種類の新しい部品を現在のライブラリに追加します。

- **Delete** : : 表示されている部品を削除します。

- **Pack** : : 重複していたり、無題の部品をすべて削除し、部品を英数字順に並べ替えます。

- **Copy** : : 表示されているライブラリから部品をターゲットライブラリにコピーします。ターゲットライブラリにすでに同じ名前の部品があるときは、新しく作成したコピーの名前は、「以前の名前_copy」になります。ここで、ターゲットライブラリは現在のライブラリでもかまいません。

- **Merge** : : ディスクのライブラリを現在メモリにあるライブラリとマージします。マージしたライブラリは、表示はされますがディスクへの自動的な保存は行いません。

- **Find** : パラメータ名を指定すると、現在表示されている部品のパラメータリストをスクロールして、指定したパラメータの値を表示できます。

検索機能を使うと、現在のライブラリファイルまたはディスク上のライブラリファイルにある部品を名前で探すことができます。ツールバーの検索ボタン  をクリックしてください。

ヘルプシステム

ヘルプシステムは製品に関する情報をいくつかの方法で提供します。

- **コンテンツ (F1)** : このオプションは、トピックで編成されたヘルプを提供します。
- **ヘルプの検索** : この検索機能では、アルファベット順の一覧からトピックを選択して情報にアクセスします。
- **製品サポート** : このオプションは、テクニカルサポートの問い合わせ番号を提供します。
- **ユーザーガイド** : ユーザーガイドにアクセスします。
- **リファレンスマニュアル** : リファレンスマニュアルにアクセスします。
- **今日のヒント...** : このオプションは製品の特徴に対する短いヒントを提供します。ヒントはMicro-Capがスタートするたびに表示されます。
- **MC10の新機能...** : MC10の新機能の概要を表示します。
- **統計 (ALT + Z)** : キーID、Micro-Capのバージョン番号、実行可能データを表示する統計量のリストが表示されます。解析中には、設定と実行時間、アナログとデジタルのノード数、実行中に計算されるデータ点数、マクロおよびサブサーキットを展開した後の回路内の実際の部品数のリスト、実行時の繰り返し数と解の数のリストも表示されます。
- **更新チェック** : Spectrumウェブサイトから入手可能なMicro-Capの最新バージョンを表示し、ダウンロードを支援します。
- **Spectrumウェブサイト** : Spectrum Softwareウェブサイトを提示します。
- **オンライン登録** : Micro-Capの登録フォームを提示します。
- **キーID** : プログラムのアップグレードや技術サポートにアクセスするために必要になるセキュリティキーIDが表示されます。
- **サンプル回路** : サンプル回路表とそれが図示する特徴を示します。

・**デモ**：これらのライブデモは、主要な特徴の使い方を表示します。回路図作成の基礎および解析実行について説明しています。その他の項目には、ライブラリへの新しい部品の追加、プローブの使い方、IBISファイル、パラメータのステップ変更、フーリエ解析、アナログ・ビヘイビア・モデリング、フィルタのデザイン、アニメーション、歪み解析、最適化、モンテカルロ解析、パフォーマンスプロット、等々が含まれています。

マニュアルは、PDF形式です。読むにはAdobe Acrobatが必要です。次に使う場合のヒントを示します。

・ **CTRL + 0** : ページをウィンドウ内にフィットさせます。これはブラウザするには最適なサイズです。

・ **Page Up** : 次のページに移動します。

・ **Page Down** : 前のページに移動します。

・ **Home** : 最初のページに移動します。目次は3ページから始まります。目次全体にはハイパーテキストリンクが付いています。エントリをクリックすると、その参照ページへ移動します。

・ **End** : インデックスの最後のページに移動します。インデックス全体にはハイパーテキストリンクが付いています。エントリをクリックすると、その参照ページへ移動します。

・ **ALT + 左矢印** : 1ステップ前のページに戻ります。ハイパーテキストリンクを使う場合に便利です。矢印は、テンキーではなく、キーボードの矢印キーを使用してください。キーボードの右矢印を使用すると1ステップ後ろに進みます。

・ **CTRL + F** : テキストを検索する検索コマンドです。

・ **Micro-Cap**について : ソフトウェアのバージョン番号が表示されます。

本章の内容

本書ではシェイプエディタについて説明します。シェイプエディタは、新しいシェイプ(部品の形状)を作成したり、あるいは既存のシェイプを変更するのに使います。シェイプは回路図中でコンポーネントを表現するのに使います。各シェイプはシェイプエレメント(線、円、矩形など)で構成されます。

変更を終了したり保存する際に、コンポーネントエディタでシェイプを利用することができます。このエディタはコンポーネントライブラリを管理しており、ここから回路図で使用するコンポーネントを選択します。

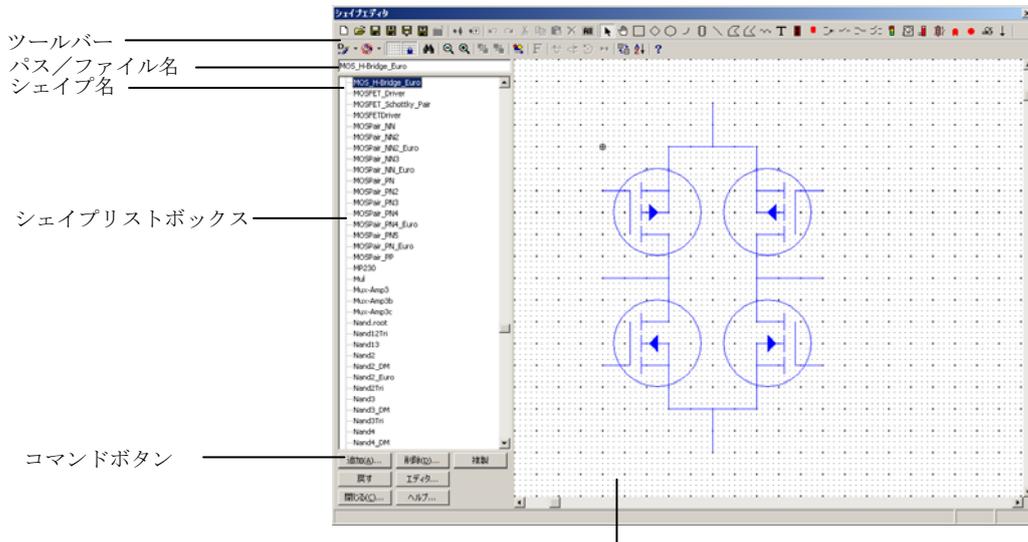
Micro-Capは大規模なシェイプライブラリを備えているので、たいていのユーザはシェイプエディタを使用する必要はありません。シェイプをカスタマイズしたり、新しいシェイプを追加したいときに、本章の内容を参照してください。

MC10の新しい機能

- ・複製ボタンが追加されました。
- ・保存ツールバーコマンドが追加されました。
- ・戻すツールバーコマンドが追加されました。
- ・グループの追加ツールバーコマンドが追加されました。
- ・シェイプの追加ツールバーコマンドが追加されました。
- ・線および塗りつぶしツールバーコマンドが追加され、シェイプの輪郭線とその内側の塗りつぶし色を指定できるようになりました。
- ・シェイプの位置を特定するための検索ツールバーコマンドが追加されました。
- ・部品の移動ツールバーコマンドが追加され、グループ間やファイル間でシェイプを便利に移動できるようになりました。
- ・整列ツールバーコマンドが追加され、英数字順にシェイプの並べ替えができるようになりました。

シェイプエディタのレイアウト

シェイプエディタは、ウィンドウメニューから選択します。画面は次のようになります。



シェイプディスプレイ

図3-1 シェイプエディタ

シェイプリストボックス :

このリストボックスは選択されたシェイプファイルにあるすべてのシェイプを表示します。

コマンドボタン :

追加 : 新しいシェイプをライブラリに追加します。

削除 : 現在選択されているシェイプを削除します。

戻す : 選択したシェイプを、元々の状態(そのシェイプが最初に表示されたときの状態)に戻します。戻すは、表示されているシェイプにのみ効果があります。今回のシェイプエディタ呼び出しで、他のシェイプに変更を行っている場合、その変更は依然として有効です。新しいシェイプを選択すると、以前のシェイプに対して戻す機能が使用できなくなります。しかしながら、シェイプに対して行う変更はすべて一時的なもので、エディタを終了するとき、あるいはファイルを閉じるときに破棄することができます。

エディタ：オブジェクトエディタを呼び出します。オブジェクトエディタでは、選択したシェイプを構成する基本オブジェクトの数値パラメータを変更できます。通常のマウスによる編集と比較して、オブジェクトのサイズやシェイプをより細かくコントロールすることが可能です。デジタルブロックのピンシンボルのように、オブジェクトエディタ以外では変更できない機能もあります。

複製：現在選択されているシェイプをコピーして新しいシェイプを作成します。

閉じる：シェイプエディタを閉じます。変更が行われているときには、保存するかどうかを尋ねます。

ヘルプ：ヘルプシステムにアクセスします。

ツールバー：

ツールバーにはボタンがあり、シェイプの作成、変更、表示を行うツールを選択できます。各ツールとその特徴をつぎに示します。



新規：(CTRL+N) 新しいシェイプライブラリファイルを作成します。このファイルに追加したシェイプは、コンポーネントライブラリから使用することができます。



開く：(CTRL+O) 既存のシェイプライブラリファイルを読み込みます。ファイルの中のシェイプは、コンポーネントライブラリから利用可能になります。



保存：現在のシェイプライブラリファイルと同じ名前で保存します。



名前をつけて保存：現在のシェイプライブラリファイルを、ユーザ指定の新しい名前で保存します。



戻す：現在のシェイプライブラリファイルをディスクから再読み込みします。ファイルを元の状態に戻し、変更をすべて無効にしたい場合に便利です。



変換：現在のシェイプライブラリファイルを古いバージョン (MC9、MC8など) のファイルに変換します。



除去：現在ロードされているシェイプライブラリファイルを削除します。ファイルの中のシェイプは、コンポーネントライブラリから利用できなくなります。



シェイプの追加：現在選択されているシェイプグループやシェイプファイルに、ユーザが指定した名前で新しいシェイプを追加します。



グループの追加：現在選択されているシェイプファイルに、ユーザが指定した名前で新しいシェイプグループを追加します。



元に戻す：(CTRL+Z) 元に戻すコマンドを使用すると、シェイプ変更操作を元に戻せます。元に戻すコマンドは複数回使用できます。



繰り返す：(CTRL+Y) 直前の元に戻すコマンドをキャンセルします。繰り返すコマンドは複数回使用できます。



切り取り：(CTRL+X) 選択したオブジェクトを削除して、クリップボードにコピーします。



コピー：(CTRL+C) 選択したオブジェクトをクリップボードにコピーします。オブジェクトは、クリップボードからシェイプの表示画面に貼り付けすることができます。



貼り付け：(CTRL+V) クリップボードの内容を最後のマウスの位置にコピーします。



削除：(DELETE) 選択した項目をクリップボードにコピーせずに削除します。



全てを選択：(CTRL+A) シェイプ内のすべての項目を選択します。



選択：このボタンをクリックすると、選択モードになります。シェイプの一部を編集したり、編集するシェイプの一部を選択するときには、選択モードでなければ行えません。



パン：このボタンをクリックすると、パンモードになります。パンを使用すると、画面表示を移動して大きなシェイプの各部を見ることができます。通常のパンと同様、キーボードやマウスを使うことができます。マウスによるパンは、右ボタンドラッグを使用し、どのモードでも実行できます。また、パンモードを選択すると、左ボタンドラッグでパンすることができます。



矩形：シェイプに四角形を作成するには、このボタンをクリックし、シェイプディスプレイでドラッグを行います。四角形のシェイプを変えるには、8つのハンドル（小さな黒色の四角形）のいずれかをドラッグします。



ひし形：シェイプにひし形を追加するには、このボタンをクリックして、マウスでドラッグを行います。ひし形のシェイプを変えるには、8つのハンドルのいずれかをドラッグします。



楕円:シェイプに楕円を追加するには、このボタンをクリックして、マウスをシェイプディスプレイでドラッグします。楕円のシェイプを変えるには、8つのハンドルのいずれかをドラッグします。円を描画するには、ドラッグしながら**SHIFT**キーを押します。



弧:シェイプに円弧を追加するには、このボタンをクリックして、マウスをシェイプディスプレイでドラッグします。円弧のシェイプを変えるには、8つのハンドルのいずれかをドラッグします。



ブロック:シェイプ内にデジタルブロックを作成するには、このボタンをクリックして、マウスをシェイプディスプレイでドラッグします。ピンのシェイプと端子数を変えるには、8つのハンドルのいずれかをドラッグします。端子を編集して機能を反映させるには、ブロックを選択してからオブジェクトエディタを呼び出します。



線:シェイプ中に直線を作成するには、このボタンをクリックしてマウスをドラッグします。線の方向や長さを変えるには、選択モードに切り替えた後、2つのハンドルのいずれかをドラッグします。



多角形:閉多角形を作成します。このボタンをクリックして、シェイプディスプレイで各頂点について一度ずつクリックを行ってください。頂点の数に制限はありません。最後の頂点でダブルクリック、または右ボタンクリックを行うと、最初の頂点と最後の頂点が結ばれて、多角形が完成します。多角形のサイズを変えるには、8つのハンドルのいずれかをドラッグします。各頂点の座標を変更するときは、オブジェクトエディタを使います。



開多角形:開多角形を作成します。このボタンをクリックして、シェイプディスプレイで各頂点について一度ずつクリックを行ってください。頂点の数に制限はありません。最後の頂点でダブルクリック、または右ボタンクリックを行うと、多角形が完成します。多角形のサイズを変えるには、8つのハンドルのいずれかをドラッグします。各頂点の座標を変更するときは、オブジェクトエディタを使います。



含まれたシェイプ:シェイプに既存のシェイプを追加します。このボタンをクリックして、シェイプディスプレイの追加したい場所をクリックしてください。すると、既存のシェイプのリストが呼び出されます。このリストから加えたいシェイプを選択決定してください。追加した後のシェイプは、ドラッグすることができます。



テキスト:シェイプにテキストを追加するには、このボタンをクリックして、シェイプディスプレイのテキストを置きたい場所をクリックします。すると、テキストダイアログボックスが呼び出されます。テキストを入力して**OK**をクリックしてください。テキストを変更するには、ダブルクリックします。



7セグメントLED:アニメーションに使用する7セグメントLEDのシェイプを作成します。



デジタルLEDダイオード：このボタンをクリックしてデジタルLEDダイオードシェイプを作成し、アニメーションコンポーネントに使用します。



デジタルスイッチ：このボタンをクリックしてデジタルスイッチシェイプを作成し、アニメーションコンポーネントに使用します。



SPSTスイッチ：このボタンをクリックしてアナログSPSTスイッチを作成し、アニメーションコンポーネントに使用します。



SPDTスイッチ：このボタンをクリックして、アナログSPDTスイッチを作成し、アニメーションコンポーネントに使用します。



DPSTスイッチ：このボタンをクリックしてアナログDPSTスイッチを作成し、アニメーションコンポーネントに使用します。



スポットライト：このボタンをクリックして3色の信号ライトシェイプを作成し、アニメーションコンポーネントに使用します。



メーター：このボタンをクリックしてアナログ/デジタルの電圧計/電流計を作成し、アニメーションコンポーネントに使用します。



アナログバー：このボタンをクリックしてアナログバーシェイプを作成し、アニメーションコンポーネントに使用します。



リレー：このボタンをクリックして動くリレーシェイプを作成し、アニメーションコンポーネントに使用します。



色付きアナログLED：このボタンをクリックして色付きアナログLEDダイオードシェイプを作成し、アニメーションコンポーネントに使用します。



円形の色付きアナログLED：このボタンをクリックして、円形の色付きアナログLEDを作成し、アニメーションコンポーネントに使用します。



モーター：このボタンをクリックして回転するシャフト付きのDCモーターシェイプを作成し、アニメーションコンポーネントに使用します。



電流：正電流の方向インジケータを追加します。回路図の電流  モードが有効な場合だけ使用されます。



線：シェイプの輪郭線の色を選択するには、このボタンをクリックします。デフォルトの選択や、色オプションを一切選択しないことも可能です。



塗りつぶし：シェイプの塗りつぶしの色を選択するには、このボタンをクリックします。デフォルトの選択や、または、塗りつぶしをしない選択も可能です。



グリッド：グリッドを表示します。グリッドは、回路図上の位置を2次元に配列したものです。回路図内でノードとしてアクセスするには、シェイプオブジェクトの開始点終了点が、グリッド上にある必要があります。



グリッドスナップ：すべてのシェイプオブジェクトの座標点が、グリッド点となるよう強制します。これにより、座標点が回路図上で接続点(ピン)として確実に使用できるようになります。



検索：シェイプを名前で特定するには、このボタンをクリックします。シェイプ名を入力すると同時に、入力された名前と一致するシェイプがすべてリストボックスに表示されます。



縮小：表示される画像サイズを小さくします。これは回路図の画像サイズには影響はありません。



拡大：表示される画像サイズを大きくします。これは回路図の画像サイズには影響はありません。



最前面へ：重なり合うオブジェクトのスタックから、選択したオブジェクトをスタックの一番上に送ります。



最背面へ：重なり合うオブジェクトのスタックから、選択したオブジェクトをスタックの一番下に送ります。



次のオブジェクト：重なり合うオブジェクトのスタックから、別のオブジェクトを選択できます。必要なオブジェクトが選択されるまで、ボタンをクリックしてください。



フォント：選択したテキストのテキスト属性を変更します。テキストがつぎにシェイプに追加されるときに使われる規定値のテキスト属性も変更されます。



X軸反転：選択した領域をX軸に対して180度回転します（X軸に対してオブジェクトやグループをフリップします）。



Y軸反転：選択した領域をY軸に対して180度回転します（Y軸に対してオブジェクトやグループをフリップします）。



回転：選択した領域をZ軸（回路図平面に対して垂直な軸）に対して90度回転します。4通りの向きがあります。



ミラー：選択した領域の反転画像を生成します。ミラーダイアログボックスで、垂直反転か水平反転か、テキストをコピーするかどうかを選択決定することができます。垂直反転では、元の領域の真下にコピーが作成されます。水平反転では元の領域の右側にコピーが生成されます。



部品の移動：任意のシェイプグループやファイルから別のシェイプグループやファイルにシェイプを移動します。



整列：グループ内やファイル全体の中で、英数字順または英数字順に別の条件を付けて、シェイプ名をソートします。シェイプ名やグループ名は、グループ内または、グループとそのサブグループ内でソートできます。



ヘルプ：シェイプエディタのヘルプ情報にアクセスします。

シェイプの表示：

選択したシェイプを表示します。画像サイズを変更したり、ウィンドウをパン、またはスクロールして大きなシェイプを見ることができます。

オブジェクトエディタ

大半のオブジェクトは、マウスで簡単に作成や編集が可能です。開閉多角形やブロックでは、オブジェクトのプロパティを変更するためにオブジェクトエディタが必要になります。他のオブジェクトについても、マウスでシェイプをラフに描画した後で、そのオブジェクトのサイズやシェイプを制御する数値をオブジェクトエディタで調整すると便利な場合があります。

オブジェクトエディタは、エディタボタンをクリックするか、編集したいオブジェクトをダブルクリックして呼び出します。表示は次のようになります。

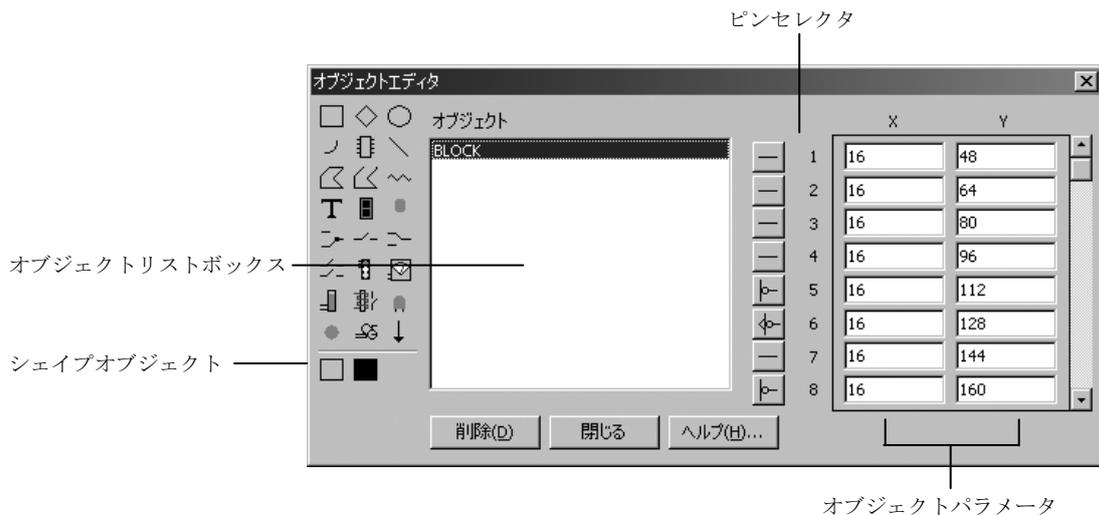


図3-2 オブジェクトエディタ

オブジェクトエディタには、大別して5つの部分があります。

シェイプオブジェクト :

既存のリストに追加する新しいオブジェクトを選択することができます。オブジェクトのいずれかをクリックして、オブジェクトリストに追加します。

オブジェクトリストボックス :

シェイプを構成するオブジェクトを示します。

ピンセレクタ :

選択されたオブジェクトがブロックの場合、ピンシンボルが表示されます。これらのシンボルは、ピンの存在と機能をアイコンによって示すことを目的とします。もちろん、これらはピンの実際のビヘイビアには影響がありません。ピンシンボルには、基本的な5種類があります。



オープン：この位置にはピンがありません。



クロック：クロックピンです。



逆：論理反転です。



逆クロック：反転したクロックピンです。



通常：ピン機能表示がありません。

オブジェクトパラメータ :

これらのフィールドはオブジェクトの性質を決める数値を決めます。矩形、ひし形、楕円、円弧、線、テキストは2組の座標を使って、オブジェクトの境界ボックスのコーナの座標値を定めます。境界ボックスは、オブジェクトのある四角形のボックスです。多角形パラメータは、X、Y形式のN個の座標値の集合です。含まれたシェイプパラメータは収められるシェイプがおかれる位置の座標です。座標値は最大スケールの左上原点からのグリッド数と等しい値です。

シェイプライブラリ

シェイプライブラリには、回路図内でコンポーネントを表すために使用されるグラフィクスシェイプを格納します。各シェイプは、さまざまなグラフィクス基本部品から構成されます。シェイプは、シェイプエディタで作成、編集、整備されます。標準のシェイプライブラリを保持するファイル名は、STANDARD.SHPと呼びます。インストールした時はこのファイルは、MC10.EXEプログラムと同じディレクトリにあります。シェイプエディタ内から場所を移動できます。読み出し専用のディレクトリに移動した場合は、すべての編集コマンドはロックされます。これは、LANからシェイプライブラリに安全にアクセスするための方法です。

シェイプライブラリには複数のシェイプファイルを格納できます。シェイプエディタでは、複数のファイルを保持して、表示できます。

Micro-Cap 7から、シェイプ情報は回路ファイルに保存されます。回路がロードされ、現在のシェイプライブラリにないシェイプ名のコンポーネントが含まれていることがわかると、プログラムがそれらをインポートし、IMPORT.SHPと呼ぶファイル内に格納します。それからこれらのシェイプはシェイプライブラリの一部となり、一般に使用できるようになります。

プリファレンス/オプション/回路/コンポーネントのインポートのチェックボックスは、この機能を無効化するのに使用できます。チェックマークを付けない場合、回路ファイルからのシェイプまたはコンポーネント情報はインポートされません。

本章の内容

コンポーネントエディタがコンポーネントライブラリを管理します。コンポーネントライブラリは、Micro-Capの回路で使用する回路コンポーネントを供給します。このライブラリには、各コンポーネントの名前、各コンポーネントが使うシェイプ、電氣的定義、コンポーネントテキストの位置、ピン情報が保存されます。抵抗からマクロ、SPICEサブサーキットに至るまで、すべての回路部品はコンポーネントエディタを使用してMicro-Capにリンクされます。

この章は次のような構成です。

- ・コンポーネントエディタのレイアウト
- ・ライブラリへのコンポーネントの追加
- ・ライブラリへのサブサーキットの追加
- ・部品の追加ウィザードの使い方
- ・インポートウィザードの使い方
- ・回路ファイルを可搬にする方法

Micro-Cap 10の新しい機能

- ・インポートウィザードと部品の追加ウィザードにプレビュー画面が追加され、選択したシェイプによって対象の部品がどのように見えるかを確認できます。
- ・保存コマンドが追加され、開いているライブラリファイルを保存できるようになりました。
- ・戻すコマンドが追加され、開いているライブラリファイルのディスクを復元することができるようになりました。

コンポーネントエディタのレイアウト

コンポーネントエディタにはウィンドウメニューからアクセスします。
次のような画面が表示されます。

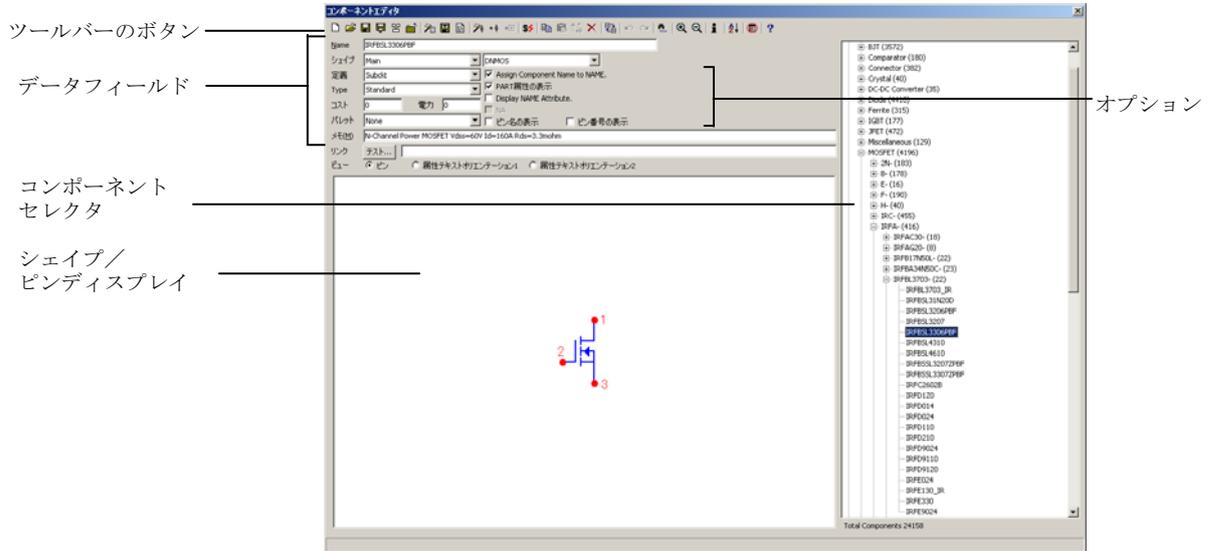


図4-1 コンポーネントエディタ

ツールバーのボタン:



新規: (CTRL+N) コンポーネントライブラリのファイルを新規作成します。初期状態のファイルには、グループが一つあります。そしてそのコンポーネントは回路図で利用可能となり、コンポーネントメニューに現れます。



開く: (CTRL+O) 既存のライブラリファイルをロードします。すると、中のコンポーネントが回路図で利用可能となり、コンポーネントメニューに表示されます。



保存: (CTRL+S) 開いているライブラリファイルを、ファイルを開いてから加えられたすべての変更とともに保存します。



戻す: (CTRL+ALT+R) ライブラリのディスクを、ライブラリを開いてから加えられた変更をすべて無効にして読み込みます。



マージ: 旧コンポーネントライブラリファイルを、現在開いているMC-10コンポーネントライブラリとマージします。ダイアログボックスに、マージしたい外部ライブラリの場所を指定してください。外部ライブラリファイルのうち、ユニークなコンポーネントだけが追加されます。重複した名前のコンポーネントは、マージされません。取り込む部品のシェイプ名が、現在のMC-10シェイプライブラリにない場合、外部シェイプライブラリから現在のMicro-Capシェイプライブラリにシェイプがコピーされます。シェイプ名には「\$」が付加されます。



除去ファイル: コンポーネントライブラリリストからファイルを除去できます。



インポートウィザード: このボタンは、.MODELと.SUBCKTベースの部品をテキストファイルからインポートします。また、モデルのファイルをライブラリフォルダにコピーし、マスタインデックスファイルNOM.LIBにファイル名を追加し、必要なエントリをコンポーネントライブラリに追加します。ウィザードはファイル内のすべてのモデル文とサブサーキットを検索し、.MODELまたは.SUBCKT名の新しい部品として各々を入力します。ライブラリ内にすでに存在する部品名は無視されます。新しい部品を追加する際には、ピン名が一致する部品リストからユーザが選択し、ガイドとして使用されます。ピン名が既存の部品と一致しない場合、汎用のシェイプで部品の追加が行われます。メモフィールドには、完成させるために追加の作業が必要であることを示す注釈が付けられます。通常、適切なシェイプを選択し、そのシェイプ上に適切なピンを配置する必要があります。インポートウィザードは、ベンダによってモデル化された部品を大量にインポートする作業を自動でできるように最適化されています。



翻訳: 翻訳ボタンにより、コンポーネントライブラリファイルをMicro-Capの古い形式に変換して、保存します。



部品リスト: テキストファイルを作成し、現在選択されているグループまたはライブラリ全体の部品名を格納します。



部品追加ウィザード: 一つの部品をMC-10のライブラリに追加するのに必要な作業の全てを一つにまとめたものです。インポートウィザードと同様に、モデルファイルをライブラリフォルダにコピーし、ファイル名をマスタインデックスファイルNOM.LIBに追加し、コンポーネントライブラリに必要なエントリを作成します。



部品の追加: コンポーネントセレクタのウィンドウで選択した名前が、グループ名やコンポーネント名である場合（最上位の階層を除く）、新しいコンポーネントを追加します。



グループの追加: コンポーネントセレクタウィンドウで選択した項目がグループ名である場合、新しいグループ名を追加します。現在の選択項目がコンポーネントである場合、コンポーネントにグループを追加することはできないためこのオプションは無効です。



コストとパワーの設定：このオプションにより、特定の定義のすべての部品にCOST属性とPOWER属性を設定できます。例えば、NPNまたはRESISTORとして定義されているファイル内のすべてのコンポーネントのCOST属性を設定できます。これは、部品が回路内に配置された時の初期属性だけに有効です。



コピー：現在のコンポーネントをクリップボードにコピーし、ペースト操作で使用できるようにします。



貼り付け：クリップボードにあるコンポーネントを、コンポーネントセレクタ内で現在選択されているコンポーネントの前のスロットに汎用名で貼り付けます。



置換：現在のコンポーネント記述を、クリップボード上のもので置換します。ただし、部品名は置換されずそのままです。



削除：選択したファイル、グループ、コンポーネントを削除します。ファイルは、コンポーネントライブラリを含むファイルリストからは削除されますが、ディスクからは削除されません。



部品の移動：このボタンはダイアログボックスにアクセスし、ライブラリのある場所から別の場所へ複数の部品を移動させます。



元に戻す：前の変更内容を元に戻します。データフィールドの編集については多段階の元に戻すが可能です。部品の追加や削除については元に戻すできません。



繰り返す：前の変更内容を復元します。データフィールドの編集については多段階の繰り返しが可能です。部品の追加や削除については繰り返すできません。



検索：名前、シェイプ、定義、メモの各フィールドが、指定したテキスト文字列とマッチする部品を検索します。



拡大：シェイプ表示を拡大します。回路図内のシェイプサイズには影響しません。



縮小：シェイプ表示を縮小します。回路図内のシェイプサイズには影響しません。



情報：部品のモデル関連情報（subcktリストやmodel文など）をロードして表示します。



整列：部品やグループをアルファベット順にソートできます。



パレットクリア: コンポーネントパレットのユーザ定義の内容をクリアします。



ヘルプ: コンポーネントエディタのヘルプにアクセスします。

データフィールド:

名前: コンポーネントメニューに表示されるコンポーネント名です。

シェイプ: これはシェイプのグループと名前です。左のグループ名リストは利用できるグループ名を表示します。右のシェイプ名リストは利用できるシェイプ名を表示します。グループ名リスト上部の<Edit List>項目からグループ/名前の結合を編集できます。

定義: コンポーネントの電氣的定義です。使用する数学的モデルを暗黙的に定義します。数値パラメータの指定は行いません。数値パラメータは、モデルライブラリから供給されます。あるいは、部品を回路図に追加したときの属性ダイアログボックスのモデル名で指定します。

タイプ: このオプションのフィールドは定義がSubcktに設定されたときに現れます。これには次の5つの可能な値があります。

標準	非IBISサブサーキット
IBIS入力	IBIS入力バッファ
電源を伴うIBIS入力	電源ピンを有するIBIS入力バッファ
IBIS出力	IBIS出力バッファ
電源を伴うIBIS出力	電源ピンを有するIBIS出力バッファ

コスト: 省略可能なフィールドで、部品表レポートで使用されます。部品表では、個別にリスト表示され、回路の総計に含まれます。

電力: 省略可能なフィールドで、部品表レポートで使用されます。部品表では、個別にリスト表示され、回路の総計に含まれます。

パレット: 現在表示されている部品を、コンポーネントパレットのいずれかに割り当てることができます。

メモ: あらゆる文書の用途に使用できます。これは主として、コンポーネントの機能を説明するために使います。

リンク: このフィールドは、インターネットURLまたはローカルドキュメントもしくは実行可能ファイルへのリンクに対するスペースを提供します。リンクを使用するには、回路図の部品をダブルクリックし、属性ダイアログボックスを呼出し、次にファイルリンクをクリックします。また、リンクモード  で部品をシングルクリックしてリンクを呼び出すこともできます。

ビュー：これによりシェイプが表示する項目を制御します。

ピン：ピン名を表示します。

属性テキストオリエンテーション1：これらは回転および反射の8つの基本的な組み合わせですが、2つのテキストの向きだけが必要です。オリエンテーション1は、0度と等価な回転に使用します。他の場合と同様に、属性テキストの初期配置だけを制御します。

属性テキストオリエンテーション2：オリエンテーション2は、90度と等価な回転に使用します。

オプション：

コンポーネント名をモデルに指定：(または名前、またはファイル、またはその他)：回路図にコンポーネントを追加したときに、部品名を自動的にMODEL属性やNAME属性に割り当てます。これにより属性ダイアログボックスがバイパスでき、コンポーネントの追加作業が単純化されます。Analog LibraryとDigital Libraryのすべての部品において、このオプションは有効になっています。Analog PrimitiveとDigital Primitiveのすべての部品において、このオプションは無効になっています。

PART属性、VALUE属性、MODEL属性の表示：各属性の表示フラグを設定します。このオプションは、部品を回路図に追加したときの初期設定を制御します。部品を置いた後は、属性ダイアログボックスで表示フラグを切り替えることができます。

マクロパラメータ名と値の表示：このオプションは、各マクロパラメータの値と名前テキストに表示フラグを設定します。このオプションのマクロは、回路図に表示されたすべてのパラメータの名前と値を表示します。当然、表示フラグは表示後に個別に切り替えができます。

ピン名とピン番号の表示：ピン名とパッケージのピン番号の初期表示フラグを設定します。部品を回路図に配置した後は、これらのフラグは部品毎に変更できます。普通、複雑なLSI部品ではピン名が表示されますが、ダイオードやトランジスタなどの単純な部品では、シェイプによって特定できるため、ピン名は表示されません。NPNトランジスタのベース端子を特定するのは簡単ですが、複雑なリニア部品のピン名を特定するのはそれほど簡単ではありません。ピン番号は、PCB機能のために表示することがよくあります。

シェイプ/ピンディスプレイ :

シェイプとそのピンを示します。名前のついたピンをシェイプ上に置くと、その位置が電氣的なピン名定義 (subcktやマクロのピン名) と対応します。基本的なコンポーネント (NPNトランジスタ等) を追加したときは、ピン名は自動的に表示されます。そのため、ピンに関してはシェイプ上の適切な位置にドラッグするだけですみます。ピン (ドット) とピン名 (テキスト) は、ドラッグしてシェイプの別々の位置におくことができます。

マクロやサブサーキットには固有のピン名がないため、ユーザがピンの名前と場所を指定する必要があります。これを行うには、シェイプ/ピンディスプレイをクリックしてください。ピン名ダイアログボックスにピン名を入力し、アナログ/デジタルを指定し、ピンをシェイプ上の適切な位置にドラッグします。

既存のピン名を修正する際には、ピン名かピンドットをダブルクリックしてピン名ダイアログボックスを呼び出します。

隠蔽ピンは、回路図内の固定名のノードに割り当てられますが、表示されることはありません。このタイプのピンは、電源ピンの処理を簡単にするために使われることがあります。

追加ピンフィールド :

デジタル部品の中には、可変個のピンを持つものがあります。従って入力、出力、イネーブルのピンの個数を指定する別のピンフィールドが必要です。たとえばnorゲートは入力数に制限がないことがあります。つまり、Inputフィールドには、入力ピン数を指定します。

コンポーネントセレクタ :

セレクタは、表示・編集するコンポーネントを選択するための階層リストボックスです。グループを開閉するには、ダブルクリックするか「+」「-」のボックスをクリックします。コンポーネントを選択するには、それをクリックします。

コンポーネントエディタにおける表示の順序は、コンポーネントメニューで配置する部品を選択するときにも使用されます。

トータルコンポーネント :

コンポーネントライブラリで、現在オープンされているすべてのファイルのコンポーネント数を表示します。

ライブラリへのコンポーネントの追加

初期状態のコンポーネントライブラリには、通常必要とするコンポーネントがすべて入っています。コンポーネントエディタの主な用途は、新しいマクロとサブサーキットコンポーネントを定義することですが、独自に共通のコンポーネントを追加したい場合もあるでしょう。例えば、異なる物理構成を反映させるために、数種類のグラウンドや抵抗を作成したり、端子の正負を明示的に表示したい場合があります。また、ベンダから供給されたsubckt形式のモデルの部品を追加する必要があるかもしれません。

まず詳細な手順について説明します。後で、いくつかのステップを自動化したり、隠蔽することによって部品の追加を簡単にできるウィザードについて説明します。

ライブラリにコンポーネントを追加するには、まずコンポーネントセレクタのグループ名をクリックして、グループを選択します。次に、部品の追加ボタンをクリックして、次の項目を指定します。

- ・コンポーネントの名前
- ・使用するシェイプの名前
- ・電氣的定義
- ・メモの記述、オプション
- ・属性テキストの初期座標（テキストを希望の位置にドラッグ）
- ・ピン名の位置（ピン名の原点マーカを希望の位置にドラッグ）
- ・表示オプション

コンポーネントがmacro、subcircuit、logic expression、pindly、constraintの場合は、名前をついたピンを明示的に追加する必要があります。通常、logic expression、pindly、constraintは、デジタルライブラリの構築ブロックとしてサブサーキットでのみ用いられます。そのためコンポーネントライブラリには、これらの部品のトークンコンポーネントしかありません。例えば、ユーザがlogic expressionを回路図上に追加することは考えられていませんが、それは可能です。

ここでは、コンポーネントライブラリのセットアップについてのみ説明します。シミュレーションに部品を使用できるようにするには他の手順が必要です。後で説明するようにこれらは、手動であるいは部品追加ウィザードによって自動的に取り扱うこともできます。

ライブラリへのサブサーキットの追加

ベンダが供給するモデルの多くは、すでにライブラリに含まれています。このセクションでは、新規に追加する方法を説明します。OP09_ADという架空のOPアンプを追加します。このコンポーネントは、Analog Devicesが提供するOP08コンポーネントに似ています。通常ベンダによって提供されるサブサーキットを次に示します。

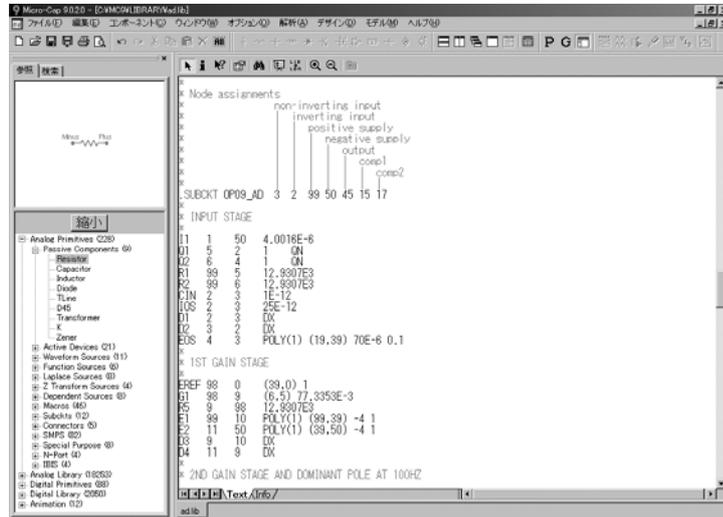


図4-2 OP09_ADサブサーキットモデル

このサブサーキットには、7本のピンがあり、次のような構成となっています。

ピン名	機能
3	non-inverting input (非反転入力)
2	inverting input (反転入力)
99	positive supply (正電源)
50	negative supply (負電源)
45	output (出力)
15	comp1
17	comp2

まず、新しいコンポーネントをメニューの階層構造のどこに置くかを決定します。コンポーネントセレクタのAnalog Libraryの+記号をクリックしてください。Analog Library/Opamp/Precision/Rail-to-Rail/O/OP07_LTを選択します。最後に、部品の追加ボタン **+** をクリックしてください。名前フィールドには「OP09_AD」と入力します。タブキーを押してシェイプグループフィールドに移動します。メイングループを受入れ、シェイプ名フィールドに移動するには、タブを再度押します。「OPAMP7」が表示されるまでOキーを押します。

タブキーを押して定義フィールドに移動し、「Subckt」が表示されるまで「S」を押します。Assign Component Name to NAME機能を有効にします。PART属性の表示とNAME属性の表示機能を有効にします。

次にピンを追加します。シェイプ/ピンディスプレイをクリックします。ピン名ダイアログボックスが現れるので「3」を入力します。ピンタイプは規定値のアナログです。OKボタンをクリックすると、ディスプレイに「3」という名前のピンが配置されます。ピンのドットを非反転 (+) 入力にドラッグして、ここで放します。テキストをピンドットの上にドラッグします。同様に残りのピンを追加してください。属性オリエンテーション1をクリックし、テキストをワイヤ接続パス近傍の適切な位置にドラッグします。属性オリエンテーション2について同じことをします。そしてピンをクリックします。表示は最終的に次のようになります。

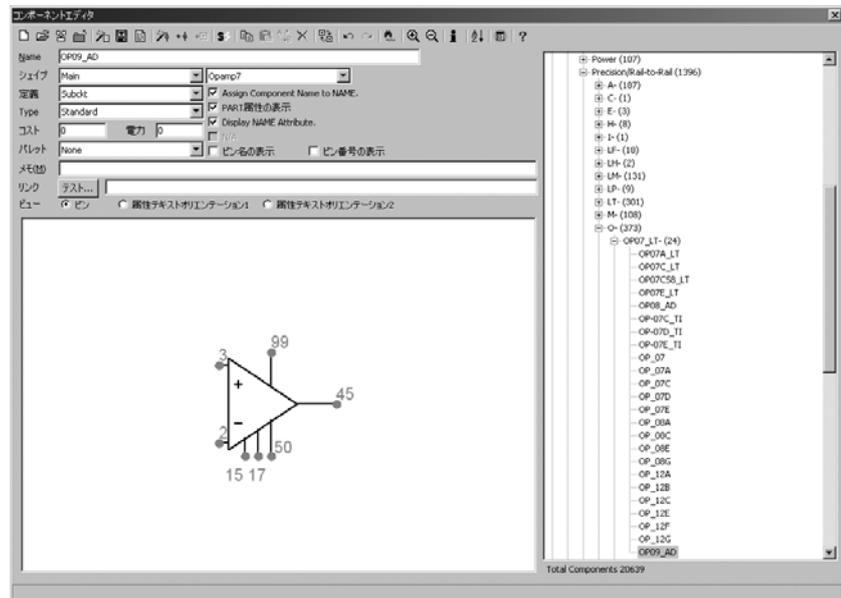


図4-3 コンポーネントライブラリにOP09_AD subcktを入力

これでコンポーネントライブラリへの入力作業は終わりです。コンポーネントエディタを終了してください。部品の編集内容を保存したい場合はOKをクリックします。すると編集した内容がコンポーネントライブラリに保存されてコンポーネントメニューに加わり、回路図に置くことができます。また、Micro-Capはこれがサブサーキットであることを認識し、次のいずれかの場所にサブサーキットモデルがあることを期待します。

1. 回路図のテキストページやモデルページ
2. FILE属性内にリストされている省略可能のファイル
3. ユーザ.LIB文で参照されているファイル
4. 規定値.LIB NOM.LIB文で参照されているファイル

.LIB文を使用する方法が、ベンダ供給モデルの取扱いにおいて最も好まれます。この場合、おそらくベンダからファイルを購入しています。これをAD.LIBと呼ぶこととします。このファイルには、新しいOP09_ADデバイスや他のデバイスのサブサーキットモデルが収められます。回路図で使用することを考えている場合は、このファイルの名前を.LIB文に追加する必要があります。回路図には.LIB文の追加を行わず、NOM.LIBの文を使用することもできます。NOM.LIBファイルに新しいライブラリのファイル名を追加し、Micro-Capからアクセスできるようにしてください。NOM.LIBファイルは標準的なテキストファイルなので、Micro-Capのテキストエディタや任意のテキストエディタでエントリを追加することができます。

この例で処理を完了するには、ライブラリディレクトリからNOM.LIBファイルを読み込み、次のテキストをNOM.LIBファイルに追加します。

.LIB "AD.LIB"

(AD.LIBが現在のライブラリディレクトリにある場合)

.LIB "C:\MYPATH\AD.LIB"

(AD.LIBが、C:\MYPATHにある場合)

次にNOM.LIBファイルにアクセスすると、Micro-Capはそのファイルが変更されていることを発見し、ファイル内のすべてのサブサーキット、モデル、マクロ文に対する新しいインデックスを再生成します。これには数秒かかることがあります。インデックスが生成されると、特定のモデル、サブサーキット、マクロ文の検索は非常に高速になります。インデックスは、NOM.LIBファイルまたはNOM.LIBファイル内で参照されるファイルのいずれかが変更された場合のみ再生成されます。

コンポーネントライブラリに入力するコンポーネント名は、*subckt*名と全く同じでなければならないことに注意してください。

余分な文字や欠けた文字は許容されません。多くのベンダが標準的なコンポーネントを同じ名前でも供給していますが、Micro-Capのライブラリではこれらを区別する必要があります。このため、ベンダによる名前に「_AD」のような2文字が付加されます。例えば、Linear Technology社が供給するLM118はLM118_LTという名前です。National Semiconductor社のバージョンにはLM118_NSという名前が付けられています。重複したコンポーネントを追加する場合、名前を変更する必要があります。ベンダ供給ファイルの.SUBCKT文で使用される名前も、新しい名前に合わせて変更するのを忘れないで下さい。

部品追加ウィザードの使用

ここまで説明した長い手順において、subckt部品を一から追加する方法を記述しましたが、部品追加ウィザードを使用すると、この作業を単純化することができます。このウィザードは、新しい部品を追加するのに必要なすべてのステップを組み合わせたもので、subckt部品の登録に特に有用です。subckt部品では、正しいピン配置やシェイプを、すでにライブラリにある類似の部品に基づいて推定することができます。

Micro-CapのライブラリフォルダにあるサンプルファイルAD.LIBで手順を説明します。これを、メーカーからたった今ダウンロードしたばかりのファイルと考えてください。このファイルの中には、オペアンプOP09_ADのsubckt記述があります。部品追加ウィザードを使ってライブラリへの追加を行うには、次のようにします。

- 1) ウィンドウメニューのコンポーネントエディタを選択します。
- 2) コンポーネントメニュー内に部品名を表示したいグループを選択します。この場合は、Analog Library/Opamp/Precision/Rail-to-Rail/O/OP07_LTを選択します。最後のセクションからこの部品を既に手動で入力している場合は、ここでそれを選択して、削除ボタンを押して削除してください。
- 3) 部品追加ウィザードボタンをクリックします。
- 4) 最初のプロンプトは電氣的定義です。Subcktを選択してください。次へをクリックします。
- 5) プロンプトは、subcktを格納したファイルの名前を尋ねます。AD.LIB（すでにライブラリフォルダにあるためパスは不要）と入力して次へをクリックします。
- 6) 次のダイアログボックスでは、AD.LIBファイルで検索されたすべての候補部品が列挙されます。「OP09_AD」を選択し、次へをクリックします。
- 7) 次のプロンプトは、手の込んだものです。ウィザードは、コンポーネントライブラリをスキャンして、OP09_ADと一致するピン名を持つすべてのサブサーキット部品のリストを集約します。一致する部品は多数ありうるため、実際に表示されるのは、代表的な部品のリストとなります。推奨された選択肢は、典型的な7ピンのオペアンプモデルでした。それを受け入れて次へをクリックします。
- 8) 次のプロンプトは、省略可能なメモフィールドです。次へをクリックします。
- 9) 次のプロンプトは、省略可能なパレット割り当てです。次へをクリックします。

10) 次のパネルでは、様々な部品属性の初期表示を設定できます。
次へをクリックします。

11) 次のパネルでは、コンポーネント名をNAME属性に割り当てる設定を行います。この割り当てにより、部品を回路図に追加した際に属性ダイアログボックスを呼び出さずに済みます。クリックしてオプションを有効にし、次へをクリックします。

12) 最後のパネルでは、すべての要素が正しく選択されているか、エントリを確認するよう促します。特にシェイプの選択とシェイプ上のピン名の場所が重要です。終了をクリックします。

新しい部品は、図4-3の最終例のようになります。

インポートウィザードの使い方

MC10には、同様の.MODELおよび.SUBCKTベースの部品を大量にインポートするインポートウィザードもあります。

MC10のライブラリフォルダにあるサンプルファイルAD.LIBで手順を説明します。これを、メーカーからたった今ダウンロードしたばかりのファイルと考えてください。このファイルの中には、複数のサブサーキットがあります。インポートウィザードを使ってライブラリへの追加を行うには、次のようにします。

- 1) ウィンドウメニューで**コンポーネントエディタ**を選択します。
- 2) 部品名を追加したいグループを選択します。この例では、**Analog Library**を選択します。
- 3) インポートウィザードボタンをクリックします。
- 4) 最初のプロンプトは、ファイル名の入力です。「ad.lib」と入力します。この例ではファイルがすでにMC10のライブラリフォルダにあるため、パスの指定は不要です。必要に応じてパスを指定したり、ブラウズしたりし、次へをクリックしてください。
- 5) 次のプロンプトは、省略可能なサフィックス（接尾辞）です。次へをクリックします。
- 6) プログラムはad.libファイルをスキャンしてサブサーキットとモデルを検索します。1つが検索されると、ライブラリで同じピン名の部品を走査します。この検索の結果には、次のような可能性があります。

完全なマッチ：正確にピンが一致する部品が1つ以上見つかり、それらがすべて同じシェイプを使っている場合、一致する部品のシェイプとピン配置を使用して部品を入力します。

ニアミス：正確にピンが一致する部品が1つ以上見つかったものの、それらが異なるシェイプを使っている場合は、リストが表示され、部品を選択するように尋ねます。どの部品を使えばいいかわからない場合は、情報ダイアログボックスでサブサーキットのリストをスキャンし、.MODELや.SUBCKT行近くのコメント等を探します。これにより適切なシェイプをピックアップするのに十分な部品情報が得られることがよくあります。部品用に特別なシェイプを作成したいと覚えることもあるかもしれません。

マッチしない：正確にピンが一致する部品がない場合、汎用のシェイプとピン配置で部品を入力し、メモフィールドに追加の作業が必要であることを注釈します。

この例では、検索によってニアミスの部品が1つ見つかりました。NチャンネルMOSFETのIRF5101Aです。リストを下方向にスクロールし、DNMOSシェイプを使用しているNMOS_subckt部品を選択します。OKをクリックします。

検索結果はダイアログボックスに表示されます。正確に一致する部品が複数見つかり、手助けなしで入力されました。ODDBALL部品については一致する部品がなかったため、汎用のシェイプで入力されました。IRF5101AがNMOS_SUBCKTをテンプレートとして入力されました。

この時点で、終了ボタンかキャンセルボタンをクリックできます。キャンセルボタンをクリックすると、インポートされた部品は無視されます。終了ボタンをクリックすると、部品は追加されますが、ディスクにはまだ未保存の状態です。コンポーネントエディタを終了するとき、ディスクに書き込むと変更を保存することができます。

IRF5101Aをクリックすると、表示は次のようになるはずです。

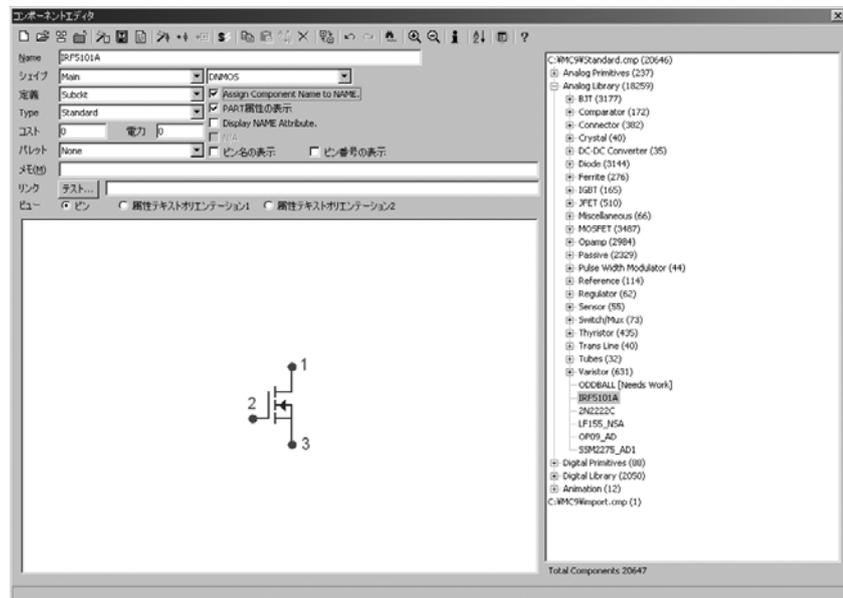


図4-5 インポートウィザードの使い方

コピー、貼り付け、置換の使い方

クリップボードを使って、類似の部品をすばやく入力することもできます。ここでは、Analog Devices製の7ピンOPアンプ部品を大量に追加したいものと仮定します。また、この部品は、OP08_AD（この章の前の方にリストがあります）と同じピンを使用するものとします。

- 1) ウィンドウメニューでコンポーネントエディタを選択します。
- 2) テンプレートとして機能させる部品を選択します。この例では、Analog Library/Opamp/Precision/Rail-to-Rail/O/OP07_LT/OP08_ADを選択します。
- 3) コピーボタン  をクリックすると、OP08_ADがクリップボードにコピーされます。
- 4) 貼り付けボタン  をクリックすると、クリップボードの部品（OP08_AD）が新しい位置にコピーされ、OP08_AD_1と名付けられます。名前をOP09_ADまたは使用されていない任意の名前に変更します。新しく追加された各部品に必要な操作は、1回のクリックと、名前を入力するために2、3回キーボードを叩くことです。

貼り付けを行うと、新しい部品が追加されます。これは、名前以外はクリップボードの部品と同じです。名前については、ユーザが変更する必要があります。

置換は似ていますが、部品は追加されません。選択された部品のプロパティを、クリップボードの部品と同じに置換します。名前については例外で、変更されません。置換コマンドの目的は、ほとんど同一の部品を、新しいテンプレートで置換し、ピン配置と属性テキストの配置を統一することです。

回路ファイルを可搬にする方法

旧版のMicro-Cap 5と6では、回路ファイル中にコンポーネントライブラリにない部品があると、回路ファイルをロードできませんでした。友人と回路を共有したい場合、回路と共にコンポーネントライブラリやシェイプライブラリを送る必要がありました。それが不要になりました。

ファイルの可搬性を改善するために、回路ファイルには、シェイプライブラリとコンポーネントライブラリのデータのコピーが格納されています。友人のMicro-Capでは、シェイプライブラリやコンポーネントライブラリがなくてもその回路ファイルを読むことができます。回路ファイル自体にそれらの情報が格納されているからです。

Micro-Capは、コンポーネントライブラリにない部品を含む回路ファイルをロードすると、回路ファイルからシェイプデータとコンポーネントデータを読み込んで部品のエントリを自動的に作成し、外部のコンポーネントライブラリファイルIMPORT.CMPに格納します。これにより、即座に部品が使えるようになります。なお、この機能を利用するには、回路ファイルがMC7以降の形式で保存されている必要があります。

部品は、ドラッグすることにより、任意のコンポーネントライブラリファイルの任意のグループに移動できます。削除しない限り、その部品は任意の回路で使用することができます。

プリファレンス/オプション/回路/コンポーネントのインポートのチェックボックスは、この機能を無効化するのに使用できます。チェックマークを付けない場合、シェイプまたはコンポーネント情報は回路ファイルからインポートされません。

他の人にシミュレーションを実行してもらいたい場合は、モデル情報も必要です。モデルのローカライズボタン  によりモデル文とサブサーキットとマクロが追加または更新され、回路ファイルにコピーされます。解析に必要なものは回路ファイルだけになります。

本章の内容

パッケージエディタは、パッケージライブラリを管理します。このライブラリはMicro-Capのコンポーネントライブラリ内のコンポーネントに対してパッケージ情報を提供し、外部のPCBプログラムで使用するネットリストファイルを作成できるようにします。パッケージライブラリには、各パッケージの名前とピン情報が格納されます。すべてのパッケージ情報は、パッケージエディタを使用してコンポーネントとリンクされます。

この章の構成は次の通りです。

- パッケージエディタのレイアウト
- ライブラリへの基本的なパッケージの追加
- ライブラリへの複雑なパッケージの追加

MC10の新しい機能

- 名前をつけて保存コマンドが追加されました。
- パッケージを追加するとき、入力しているコンポーネントの最初のインスタンスである場合、チェックボックスが最初から有効化されます。
- 複数のコンポーネントがすべて同じパッケージを共有している場合、複製コマンドでそれらのコンポーネントを入力できるようになりました。

パッケージエディタのレイアウト

パッケージエディタはウィンドウメニューからアクセスします。次のように表示されます。

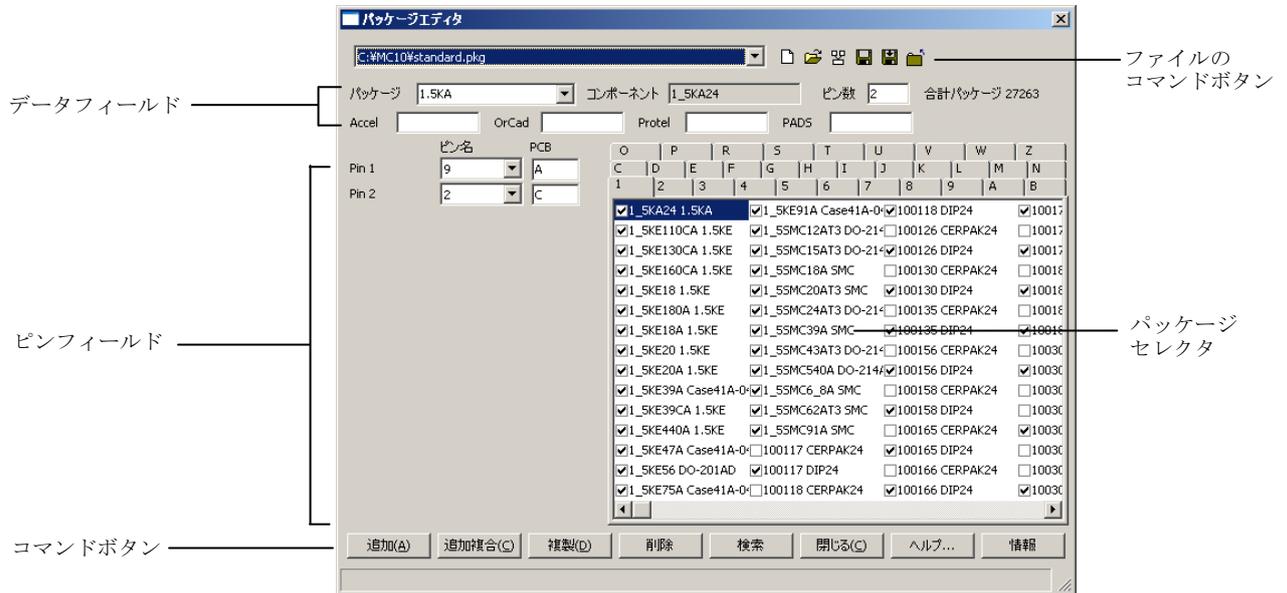


図5-1 パッケージエディタ

コマンドボタン :

追加 : パッケージライブラリにエントリを追加します。検索ダイアログボックスが表示され、パッケージとピン情報を定義するコンポーネントの名前を入力するプロンプトが表示されます。このコマンドは、パッケージに、指定されたコンポーネントのインスタンスが1つだけ含まれるときに選択してください。

追加複合 : パッケージライブラリにエントリを追加します。検索ダイアログボックスが表示され、パッケージとピン情報を定義するコンポーネントの名前を入力するプロンプトが表示されます。このコマンドは、パッケージに、指定されたコンポーネントのインスタンスが複数含まれるときに選択してください。

複製 : 現在選択されているエントリを複製します。ただし、コンポーネント名は例外で、検索ダイアログボックスから選択されます。このコマンドの目的は、新しい部品が既存の部品とよく似ていてコンポーネント名だけが異なる場合に、すばやくデータを入力することにあります。

削除 : ハイライト表示されたパッケージを削除します。

検索：ライブラリから指定されたエントリを検索します。検索ダイアログボックスが表示されるので、エントリのテキストを入力します。このテキストは、通常は部品名の後にパッケージの種類を続けたテキストです。ただし、検索ルーチンはテキストの断片からも動作し、複数の項目を返します。例えば、「740」で検索を実行すると、740で始まるすべてのエントリを返します。

閉じる：パッケージエディタを終了し、パッケージファイルに対しておこなわれた変更を保存できます。

ヘルプ：パッケージエディタのヘルプシステムにアクセスします。

情報：選択された部品のモデル情報を表示します。

ファイルのコマンドボタン：



新規：(CTRL+N) このボタンで、新しいパッケージライブラリファイルを作成します。追加されたパッケージはすべてパッケージライブラリ内で使用できます。



開く：(CTRL+O) このボタンで、既存のパッケージライブラリファイルを読み込みます。するとそのパッケージはパッケージライブラリ内で使用できるようになります。



マージ：このコマンドにより、パッケージライブラリファイル(*.PKG)を現在のパッケージライブラリファイルに結合します。現在のライブラリに結合したい外部のライブラリファイルの場所を特定するダイアログボックスが表示されます。外部のライブラリファイルからは一意のパッケージだけが含まれます。同じ名前のパッケージは結合されません。



ファイルの保存：現在のパッケージライブラリファイルと同じ名前でも保存します。



名前をつけて保存：このコマンドにより、現在のパッケージライブラリファイルをユーザが指定した新しい名前でも保存します。



除去：このコマンドにより、現在ロードされているパッケージライブラリファイルを削除します。するとそのパッケージはパッケージライブラリ内でもはや使用できなくなります。

データフィールド：

パッケージ：パッケージです。これは属性ダイアログボックスでは、PACKAGE属性として表示されます。

コンポーネント：パッケージを定義する対象となるコンポーネントです。追加、追加複合、複製コマンドを使用してパッケージを最初に入力する場合を除き、このフィールドは固定です。

ピン数：このエントリのピンカウントを制御します。

Accel : 回路図がAccelのネットリストに変換される場合、このフィールドがパッケージフィールドを上書きします。

OrCad : 回路図がOrCadのネットリストに変換される場合、このフィールドがパッケージフィールドを上書きします。

Prote : 回路図がProtelのネットリストに変換される場合、このフィールドがパッケージフィールドを上書きします。

PADS : 回路図がPADSのネットリストに変換される場合、このフィールドがパッケージフィールドを上書きします。

ピンフィールド :

PCBネットリスト内のピン構成を定義します。基本パッケージには、2つのフィールド ピン名、PCBがあります。ピン名フィールドには指定されたコンポーネントに対してMicro-Capで表示されるとおりのピン名が含まれます。ピン名は、コンポーネントエディタに表示される通りのものがあります。ピン名がNC#(無接続)に設定されると、対応するPCBフィールドは無視されます。PCBフィールドは、PCBネットリストの出力時に使用するピン名を格納します。通常PCBフィールドは、データシートのピン番号で、ピン名フィールドで指定されたピンに対応します。複雑なパッケージには、ゲートという3番目のフィールドがあります。複雑なパッケージは、コンポーネントの複数のインスタンスを含むため、ゲートフィールドでピン定義の対象となるインスタンスを指定します。ゲートフィールドが「*」の場合、パッケージ内のコンポーネントのすべてのインスタンスがピンを共有することを示します。

パッケージセクタ :

このリストボックスでは、表示したり編集したりするパッケージを選択します。パッケージは、最初の文字によるグループ毎にソートされます。セクタ上部のタブにより、リストボックス内に表示されるグループを切り替えます。

ある部品について複数のパッケージが使用できる場合は、隣のチェックボックスをクリックして規定値のパッケージを指定できます。回路図にその部品を配置すると、PACKAGE属性に対して規定値のパッケージが指定されます。

パッケージエディタウィンドウのサイズの拡大 :

パッケージエディタウィンドウのサイズを拡大するには、マウスをウィンドウのいずれかのエッジに移動して、両矢印アイコンが表示されたら、ウィンドウのエッジを左のマウスボタンでドラッグします。

基本パッケージの追加

パッケージライブラリには、Micro-Capに付属するほとんどのコンポーネントのパッケージ情報が格納されています。パッケージエディタの主な用途は、新しいパッケージを定義することです。図5-2に、74164コンポーネントのパッケージ情報を示します。このパッケージは、基本パッケージを使用しています。このコンポーネントのデータシートは、TI社の「TTL logic data book」にあります。

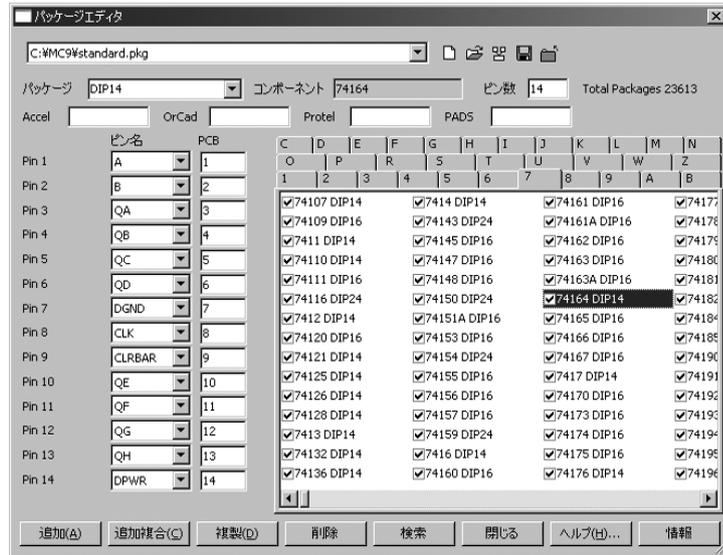


図5-2 74164用のパッケージエディタ設定

次の手順で、基本パッケージを追加します。

- ・追加ボタンをクリックします。
- ・コンポーネントの検索ダイアログボックスで「74164」などコンポーネントの名前を指定します。
- ・パッケージフィールドにDIP14のようなパッケージの種類を定義します。
- ・ピン数フィールドで、ピンの数を「14」のように定義します。
- ・ピン名フィールドと、それに対応するPCBフィールドを定義します。ピン名フィールドのドロップダウンリストをクリックし、利用可能なピン名を確認します。たとえば、TI社の74164のデータシートでは、パッケージのピン1は、Aのピンとして指定されています。パッケージエディタ内では、ピン名フィールドをA、対応するPCBフィールドを1に設定しなければなりません。

複雑なパッケージの追加

図5-3に、7400コンポーネントのパッケージ情報を示します。これは、複雑なパッケージを使用しています。このコンポーネントのデータシートは、TI社の「TTL logic data book」に記載されています。

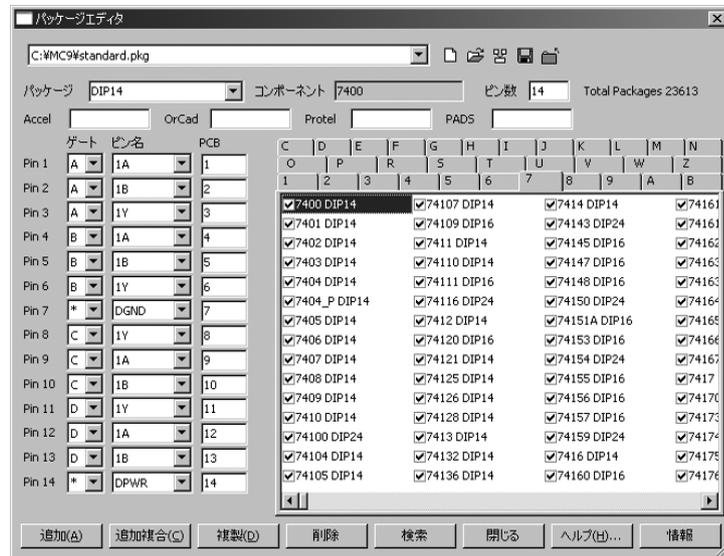


図5-3 7400用のパッケージエディタ設定

次の手順で、複雑なパッケージを追加します。

- ・追加複合ボタンをクリックします。
- ・コンポーネントの検索ダイアログボックスで、7400などコンポーネントの名前を指定します。
- ・パッケージフィールドにDIP14のようなパッケージの種類を定義します。
- ・ピン数フィールドで、ピンの数を「14」のように定義します。
- ・ピン名フィールドと、それに対応するゲートフィールド、PCBフィールドを定義します。ピン名フィールドのドロップダウンリストをクリックして利用可能なピン名を確認してください。例えば、TI社の7400のデータシートでは、パッケージのピン4は、2Aピンとして指定されますが、これはパッケージ内の7400コンポーネントの2番目のインスタンスにとっては1Aピンです。パッケージエディタでは、ピン名フィールドを1A、ゲートフィールドをB（コンポーネントの2番目のインスタンスであることを示す）、PCBフィールドを4に設定しなければなりません。

本章の内容

トランジェント解析では、一組の非線形時間領域方程式に対し、継続して反復解を求める必要があります。方程式は、回路中の各コンポーネントの時間領域モデルから導かれます。デバイスモデルについては後の章で説明します。

本章の基本的なトピックは次の通りです。

- ・トランジェント解析で行われること
- ・トランジェント解析リミットダイアログボックス
- ・トランジェントメニュー
- ・初期化
- ・Pキーの使用
- ・数値出力

MC10の新しい機能

・複数のCPUを備えたシステムでスレッディングが使用できるようになりました。スレッディングは、高調波歪み解析、相互変調歪み解析、ステップング、モンテカルロ解析など、複数の実行を含んでいれば、どの解析モードでも使用できます。

・新しい周期定常状態オプションにより、トランジェントのない波形が実現されました。

・保存する、プロットする、プロットしないボタンにより、プロットに柔軟性が加わりました。

・状態変数エディタに数値形式制御が加わりました。

・ブランチ値をプロット式で使用できるようになりました。

V(1)@1-V(1)@2は、2つのブランチ間におけるV(1)の差異をプロットします。

・カーソル値をフォーミュラテキスト式で使用できるようになりました。たとえば、フォーミュラテキスト”[1/(cursorr_x-cursorl_x)]”は、X変数がTである場合、式の周波数をプロットします。

・時間領域電力：RMSの回路図表示が要求された場合、トランジェント解析電力を $P = \text{RMS}(V) * \text{RMS}(I)$ で計算できるようになりました。

・時間データの保持：トランジェント時間範囲形式であるtmax, [tmin]がtmax, [tstart]に変更されました。解析は常にT=0で開始しますが、tstartより前のデータ点は、プロット後に破棄されるようになりました。

トランジェント解析で行われること

トランジェント解析は、回路の時間領域ビヘイビアを予測します。実験室で回路を作り、電源と信号源を接続し、オシロやロジアナで波形を見たときにどうなるか、予測を試みます。

まず、非線形で時間変化のある微分方程式のセットを構築して、回路を表現します。その後の処理は、次の3つのステップから構成されます。

- ・状態変数の初期化
- ・DC動作点（省略可能）
- ・メインのトランジェント解析

状態変数の初期化

初期化プロセスについてはこの章の後の方で詳しく説明します。状態変数には、ノード電圧、インダクタ電流、デジタルノード状態があります。

DC動作点（省略可能）

動作点の目的は、反復計算により、定常状態を示す安定した状態変数の値のセットを得ることです。トランジェント解析の始点Time = 0では、このときの値が想定されます。動作点はコンデンサを開回路、インダクタを短絡として扱うことにより計算されます。回路の他のデバイスにはDC非線形モデルを使用し、プログラムは前回の状態変数セットにおいてモデルを線形化します。線形化とは、非線形モデルを、デバイスの電圧と電流との間の線形性を示す単純な定数と置き換えることをいいます。これらの定数は通常、状態変数とその制御変数に対して微分して求めます。線形モデルは反復1回以上の間、維持されるものと仮定されます。次に、電圧と電流の増分について解が計算されます。これらの増分値は直前の状態変数に加えられ、安定（収束）したかどうかチェックされます。すべての状態変数が収束すると、動作点は完了となり、メインのトランジェント解析が開始されます。

メインのトランジェント解析

メインのトランジェント解析は、動作点で計算した状態変数で開始されます。動作点がスキップされたときは、初期化値が使用されます。標準の非線形時間領域モデルを回路の各デバイスに適用し、前回の状態変数セットについてモデルが線形化されます。次に電圧と電流の増分に関する線形方程式が解かれます。これらの線形増分が前回の状態変数に加えられ、安定したかどうかチェックされます。

状態変数がすべて安定したら、このデータ点の収束がなされたことになり、今度はLTE (local truncation error) が許容できるかチェックされます。許容できる場合、その時間点を採用してプロットに加え、時間を増分して次のデータ点の処理を試みます。LTEが許容できない場合はデータ点を廃棄し、時間ステップを短縮して新しいデータ点を試みます。時間変数が、指定されたtmaxに達するまでこれがくり返されます。

要約すると、トランジェント解析の基本的概念シーケンスは次のようになります。

1. 状態変数の初期化
2. DC動作点の計算 (省略可能)
3. Tlast = T= tmin、DT = 最小タイムステップとする。
4. すべての状態変数を解く。
5. 変数が収束したらステップ6、収束しなければステップ4に進む。
6. 状態変数のLTEが許容可能であれば、ステップ8に進みます。
7. 時間点を破棄し、DT=DT/2、T=Tlastとしてステップ4に進む。
8. 要求された変数をプロットする。Tlast = Tと設定。
9. Timeがtmaxと等しければ、終了します。
10. Time=Time + 時間ステップ
11. ステップ4に進む。

トランジェント解析リミットダイアログボックス

MIXED4回路ファイルをロードし、**解析メニュー**でトランジェント解析を選択します。Micro-Capは、回路図から直接、必要な回路情報を抽出します。解析を始めるには、もっと情報が必要であり、その情報は、トランジェント解析リミットダイアログボックスによって供給されます。

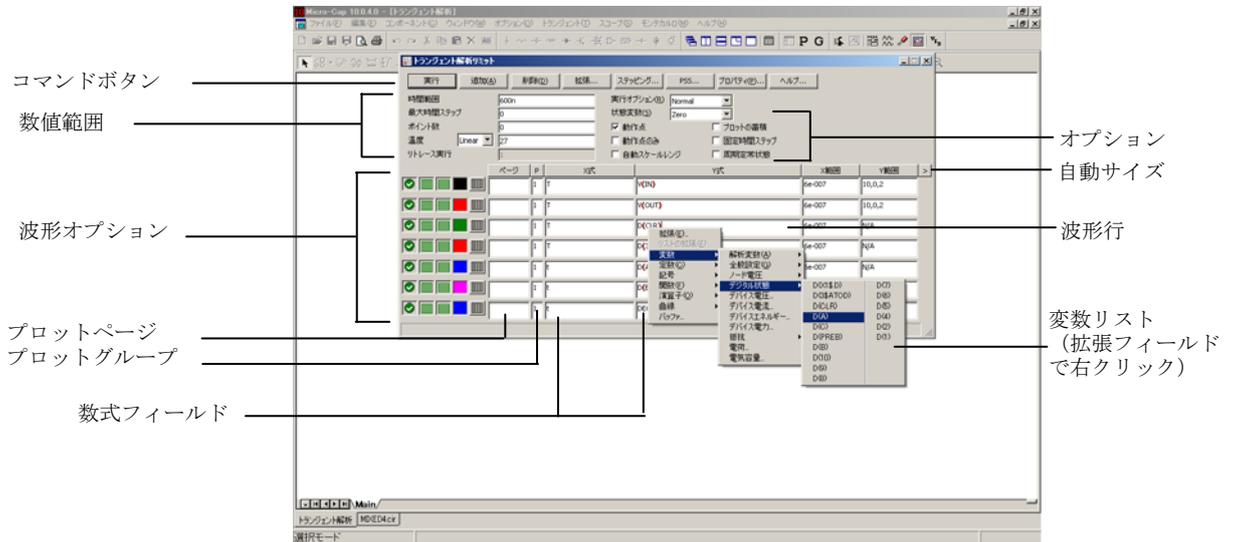


図6-1 解析リミットダイアログボックス

解析リミットダイアログボックスは、コマンドボタン、数値範囲、波形オプション、数式フィールド、オプションの5つの部分に分かれています。

コマンドボタン

コマンドボタンは、数値範囲のフィールドの真上にあります。

実行：解析を開始します。ツールバーの実行ボタン  をクリックするかF2を押しても実行を開始することができます。

追加：テキストカーソルがある行の後に、別の曲線オプションと式フィールド行を追加します。数式フィールドの右にあるスクロールバーで、表示されていない部分にスクロールします。

削除：テキストカーソルがある波形行を削除します。

拡張：テキストカーソルのあるテキストフィールドを大きなダイアログボックスに拡大して編集や表示を行えるようにします。この機能を使うには、マウスで希望するテキストフィールドをクリックしてから、拡張ボタンをクリックします。テキストサイズを調整するには、ズームボタンを使います。

ステップング：ステップングダイアログボックスを呼び出します。ステップングについては、別の章で説明します。

PSS：PSSパラメータを制御する周期定常状態ダイアログボックスを呼び出します。詳細は第32章「周期定常状態」を参照してください。

プロパティ：プロパティダイアログボックスを呼び出し、解析プロットウィンドウと曲線の表示方法を制御できます。

ヘルプ：このコマンドにより、索引と項目毎の情報が表示されるヘルプスクリーンを呼び出します。

数値範囲

数値範囲フィールドにより、解析時間の範囲、時間ステップ、表示ポイント数、使用する温度を制御できます。

・**時間範囲**：解析の開始時間と終了時間を決定します。形式は次の通りです。

`<imax>[, <tstart>]`

実行は、時間がゼロと等しくなったときに開始し、時間が<imax>と等しくなったときに終了します。データのキャプチャは、印刷とプロットングのいずれについても、<tstart>で開始します。

・**最大時間ステップ**：最大時間ステップを設定します。デフォルト値(<imax>)/50は、入力値が0またはブランクである場合に使用されます。

・**ポイント数**：数値出力に出力される値の数を決定します。既定値は51です。表示間隔を均等にするため、通常ここには奇数を設定します。表示間隔とは、連続した表示出力の間の時間間隔です。使われる表示間隔は(<imax> - <tstart>) / ($\text{[number of points] - 1}$)です。

・**温度**：このフィールドでは、実行の全般温度を°Cで指定します。デバイスの個別の温度が指定されない限り、この温度が各デバイスに使われます。温度リストボックスにLinearまたはLogと表示されている場合は、形式は次の通りです。

`<high>[, <low>[, <step>]]`

<low>の既定値は<high>、<step>の既定値は<high>-<low> (リニアモード) またはhigh/low (対数モード) です。温度は<low>から開始し、<high>に到達するまで <step> 毎に増分される (リニアモード) または<step>が乗算されます (対数モード)。

リストボックスにListと表示されている場合は、形式は次の通りです。

<t1>[,<t2>[,<t3>][,...]]

ここでt1, t2 ...は、個別の温度の値です。

指定されたそれぞれの温度で1つの解析が実行され、各実行について1つの曲線ブランチが生成されます。

実行のリトレース

このフィールドはリトレース実行数を指定します。

波形オプション

波形オプションフィールドは、数値範囲フィールドの下、数式フィールドの左にあります。各波形オプションは、同じ行にある曲線にのみ影響を及ぼします。

最初のオプションは、保存してプロットする 、保存するがプロットしない 、および保存もプロットもしない  を切り換えます。「保存するがプロットしない」を選択した場合は、後でプロパティダイアログボックス(F10)からディスプレイにプロットを呼び出して追加できます。

2番目のオプションは、X軸のリニア  と対数  をトグルします。対数のプロットでは、スケール範囲は正でなければなりません。

3番目のオプションは、Y軸のリニア  と対数  をトグルします。対数のプロットでは、スケール範囲は正でなければなりません。

色

 オプションは、カラーメニューを呼び出します。各曲線について64色から選択できます。ボタンの色が曲線の色になります。

数値出力

 オプションは、曲線を表形式で数値出力します。出力する数値の数は、ポイント数の値で指定します。この表は出力ウィンドウに出力され、ファイルCIRCUITNAME.TNOに保存されます。

プロットページ

このフィールドでは波形をグループにします。グループはプロットウィンドウ下部のタブから選択して見ることができます。

プロットグループ

P列の1から9までの数字により、曲線がプロットされるプロットグループが選択されます。同じ数字の曲線は、同じプロットグループになります。P列が空白のときには、曲線はプロットされません。

数式フィールド

X式とY式のフィールドは水平 (X) および垂直 (Y) の式を指定します。Micro-Capは両方の軸について広範な式の評価とプロットをおこなうことができます。通常、これらはT (時間)、V(10) (ノード10での電圧)、D(OUT) (ノードOUTのデジタル状態) のように単一変数の事象です。しかし $V(2,3)*I(V1)*\sin(2*PI*1E6*T)$ のように複雑な数式の場合もあります。

変数リスト

Y式のフィールドで右のマウスボタンをクリックすると、変数、定数、関数、演算子、曲線を選択できる変数リストが呼び出され、それを展開して長い式を編集できます。他のフィールドを右クリックすると、適切な選択肢を表示する簡単なメニューが呼び出されます。

X範囲とY範囲のフィールドにより、X式とY式をプロットするときに使われる数値スケールが指定されます。

形式は次の通りです。

`<high>[,<low>][,<grid spacing>][,<bold grid spacing>]`

`<low>`の規定値はゼロであり、`[,<grid spacing>]`は、グリッド間のスペーシングを設定します。`[,<bold grid spacing>]`は、太線のグリッド間のスペーシングを設定します。XとYの範囲に「AUTO」を置くと、範囲が自動的に計算されます。自動スケールレンジオプションにより、シミュレーションの実行中にすべての範囲のスケールが計算され、XとYの範囲フィールドが更新されます。自動スケール (F6) コマンドにより、範囲の値を変更せずに、すべての曲線がただちにスケールされ、必要ならばCTRL + HOMEで元に戻すことができます。`<grid spacing>`と`<bold grid spacing>`は、リニアスケールだけに使われることに注意してください。対数スケールでは、主グリッドの値の1/10のままのグリッドスペーシングが使われ、太線は使われません。自動スケールコマンドは、**プロパティダイアログボックス (F10) /スケールと形式/自動/静的グリッド**フィールドで指定されているグリッド数を使います。

オプション

・実行オプション

- **Normal** : 保存せずにシミュレーションを実行します。
- **Save** : シミュレーションを実行し、プローブと同じ形式で結果をディスクに保存します。ファイル名は、NAME.TSAです。
- **Retrieve** : 以前に保存したシミュレーションをロードし、新たに実行した場合のようにプロットとプリントを行います。ファイル名は、NAME.TSAです。

・状態変数 :

次の実行開始時の状態変数を決定します。

- **Zero** : 状態変数（ノード電圧、インダクタ電流、デジタル状態）の初期値をゼロまたはXに設定します。
 - **Read** : 以前に保存した状態変数のセットを読みこんで、実行時の初期値として使用します。
 - **Leave** : 状態変数を現在の値のまま放置し、最終値を保持します。最初の実行の場合、値はゼロです。回路図エディタに戻らずに解析を実行したばかりのときには、実行終了時の値です。前回の実行が動作点のみだった時は、値はDC動作点となります。
 - **Retrace** : これにより解析をN回実行します。Nは実行のリトレースフィールドの数値です。最初の実行では通常の初期化が実行され、要求があれば動作点が計算されます。初期条件はその後の実行についても、F2により手動で呼び出すか、実行のリトレースフィールドの数値より1だけ大きな数値を使って自動的に保持されます。
- ・ **動作点** : DC動作点を計算します。状態変数の初期値を開始点として用いて、回路のDC定常状態における新しい状態変数セットを計算します。これは、すべての信号源の $T=0$ の値に対する応答となります。
- ・ **動作点のみ** : DC動作点だけ計算します。トランジェントの実行は行いません。状態変数は、動作点の最終値のままです。

・**自動スケールレンジ**：新たに実行する各解析について、XおよびY範囲を自動的に設定します。これが無効の場合、XおよびY範囲フィールドのスケール値が使われます。

実行オプション、状態変数オプション、解析オプションは、シミュレーションの結果に影響を及ぼします。これらのオプションを変更した場合の影響を見るには、実行コマンドボタンをクリックするか、F2を押して、解析を実行する必要があります。

・**プロットの蓄積**：編集している回路の結果の波形または曲線を蓄積します。プロット蓄積のクリアコマンド  は蓄積したプロットを消去します。

・**固定時間ステップ**：このオプションは、指定された最大時間ステップと同等の固定時間ステップを使用するよう、プログラムに強制します。この機能は理論的研究のためのもので、頻繁には使用されません。局所打ち切り誤差理論に基づいたネイティブの変時間ステップの方がはるかに効率的です。

・**周期定常状態**：このオプションではシューティング法を使用してトランジェントを除去し、定常状態波形を生成します。トランジェントのない波形は、高調波歪み、相互変調歪み、スイッチモード、およびRF回路で正確な結果を得るために必須です。このオプションが有効な場合、プログラムによって一連の完全トランジェント解析が実行され、各反復において理想的な形でより安定した波形が生成されます。プロットされた波形が画面に表示され、ステータスバーには、周期性エラーが反復ごとに表示されるため、画面上で処理の進み具合を確認できます。回路図インフォページの下部にもPSS反復およびエラー履歴について要点が表示されます。PSSの詳細については、第32章「周期定常状態」を参照してください。

サイズ変更

解析リミットダイアログボックスはいろいろな方法でサイズを変更できます。

・**フィールドサイズの調整**：カラムのタイトル（X式やY式等）を分けている線をドラッグしてフィールドのサイズを調整します。

・**自動サイズ**：Y範囲フィールドの右にある自動サイズボタンをクリックして、既存の式の長さとも一致するようにフィールドのサイズを自動的に調整します。

トランジェントメニュー



実行：(F2) 解析の実行を開始します。



リミット：(F9) 解析リミットダイアログボックスを呼び出します。



ステップング：(F11) ステッピングダイアログボックスを呼び出します。



最適化：(CTRL + F11) 最適化ダイアログボックスを呼び出します。



解析ウィンドウ：(F4) 解析プロットを表示します。

ウォッチ：(CTRL + W) ウォッチウィンドウを表示します。ブレークポイント実行中にウォッチする式や変数を定義します。

ブレークポイント：(ALT + F9) ブレークポイントダイアログボックスを呼び出します。ブレークポイントはブール演算式で、どのようなときにシングルステップモードに入るかを定義します。シングルステップモードでは、特定の変数や式を確認できます。

動作点法 (CTRL + SHIFT + O)： 使用すべき動作点法と各々を試す順序が選択できます。

3Dウィンドウ： 3Dプロットウィンドウを追加したり削除したりできます。実行が複数回行われる場合のみ有効です。

性能ウィンドウ： 性能プロットウィンドウを追加したり削除したりできます。実行が複数回行われる場合のみ有効です。

FFTウィンドウ： これによりFFTウィンドウを追加、削除します。FFTダイアログボックスを開き、そこで波長を選択しFFTパラメータを指定できます。

スライダ： スライダーバーを追加または削除し、回路パラメータを制御できます。



数値出力：(F5) 数値出力ウィンドウを表示します。



状態変数エディタ：(F12) 状態変数エディタを呼び出します。

データポイント削減： データポイント削減ダイアログボックスを呼び出します。データ点をn番目毎に削除できます。

解析終了：(F3) 解析を終了します。

初期化

どのような時も、回路を表現する数学システムの状態や条件は、状態変数が定義します。状態変数は、解析を開始する前に、何らかの値に初期化する必要があります。Micro-Capが初期化を行う手順を次に示します。

セットアップ初期化：

最初にトランジェント、AC、DCといった解析を選択すると、状態変数はすべてゼロに、デジタルレベルはすべてXに設定されます。これをセットアップ初期化といいます。

実行初期化：

解析実行を行う度に、解析リミットダイアログボックスの状態変数オプションに基づいて実行初期化が行われます。これは、すべての解析実行が対象となり、F2キー、実行ボタンのクリック、パラメータのステップング、モンテカルロ、温度ステップング等々に適用されます。いくつかの選択肢があります。

Zero：アナログ状態変数、ノード電圧、インダクタ電流は0に設定されます。デジタルレベルはXに、フリップフロップの出力Q、QBの場合は、DIGINITSTATE（全般設定）の値に応じて「0」、「1」、「X」のいずれかに設定されます。DC解析では、これが唯一の選択肢です。

Read：MC10はファイルCIRCUITNAME.TOPから状態変数を読み込みます。このファイルは、状態変数エディタのワイヤコマンドで作成します。

Leave：MC10は状態変数に対して何も行いません。ただ放置するだけです。以下の3つの可能性があります。

最初の実行：状態変数エディタで変更されていないときには、セットアップ初期化時の値のまま使用されます。

以降の実行：状態変数エディタで変更されていないときには、直前の実行の最終値が使用されます。

編集した場合：状態変数エディタで編集されている場合、エディタに表示された値が使用されます。

Retrace：MC10では、初期状態変数については何も実行しません。そのままにしておくだけです。

デバイスの初期化 :

デバイス初期化は、3番目のステップです。最初の実行では必ず実行され、Retraceが無効であれば、その後の実行でも実行されます。

状態変数オプションが処理された後に、.IC文の処理が行われず。デバイスのIC文（例えばインダクタ電流やコンデンサ電圧等）と.IC文による指定が矛盾する場合、前者が後者をオーバーライドします。

.IC文で指定した値は、初期バイアス点計算の間維持されることに注意して下さい。

これらの値は、単純な初期値よりも復元力があります。単純な初期値は、バイアス点の最初の反復計算で変更されてしまいます。これについては、都合が良いことも悪いこともあります。達成しようとしている目的により異なってきます。

初期値を使用して、動作点計算（省略可能）を行ったり、状態変数を変更したりすることができます。動作点計算を行わない場合、状態変数は初期化時に変更されません。動作点計算だけを行った場合、最終的な状態変数は、動作点に等しくなります。

トランジェント解析は、セットアップ、実行、デバイスの初期化が完了した後に開始されます。

一見、リトレースモードはアイダイアグラムに使えると思うかもしれませんが、はるかに簡単な方法があります。通常のTの代わりに次のようなX式を使うことです。

T MOD Period

Periodは、波形の予測周期なので、典型的なX式は次のようになります。

T MOD 2n

この実行例については、回路EYE_DIAGRAM.CIRを参照してください。

状態変数エディタ

状態変数エディタは状態変数の値を確認したり変更するために使います。つぎのような画面が表示されます。



図6-2 状態変数エディタ

エディタはノード電圧、インダクタ電流、ノードレベルのリストを表示します。スクロールバーを使えば、ディスプレイに表示されない値を見ることができます。値はすべて変更することができます。

コマンドボタンの機能は以下の通りです。

- ・ **閉じる** : ダイアログボックスを終了します。
- ・ **クリア** : すべてのアナログ値をゼロに、デジタル値を'X'に設定します。
- ・ **形式** : 書き込み、印刷、および.ICコマンドで使用する数値形式を設定します。
- ・ **読み込み** : 値のセットをディスクから読み込みます。ファイル名を要求します。
- ・ **書き込み** : 表示されている値を、ユーザが指定するファイル名でディスクに書き込みます。このファイルは、解析リミットダイアログで、状態変数に書き込みが選択された場合に使用できるように作成されます。このファイルに格納された値は、読み込みオプションの実行初期化ステージで使われます。
- ・ **印刷** : CIRCUITNAME.SVVというテキストファイルに値をコピーします。

・ **.IC** : 現在の状態変数を.IC文に変換し、回路のテキスト領域に保存します。次の変換を行います。

状態変数	IC文
ノード電圧	.IC V (ノード名) =ノード電圧
インダクタ電流	.IC I (インダクタ名) =インダクタ電流
ノードレベル 状態	.IC D (デジタルノード名) =デジタルノード

このコマンドの目的は、.IC文を簡単に作成する方法を提供することです。一部のユーザは状態変数を初期化する手段として.IC文を重用します。

クリアや読み込みコマンドやすべての手動編集では、変更は直ちに反映される一方、解析リミットオプションでは変更は遅れて反映されることに注意する必要があります。解析リミットダイアログボックスからのZero、Read、Leaveオプションはシミュレーション開始時(実行初期化)の値に影響します。

・ **ヘルプ** : 状態変数エディタのヘルプ項目を呼び出します。

Pキーの使用

シミュレーションの実行中にPキーを押すと、各曲線の数式の値を表示することができます。このキーは、解析プロットの数式隣の数値表示をトグルします。これは、時間のかかる未知の(最初のプロットスケールが不明の)シミュレーションにおいて、過程をチェックするのに便利です。この機能を使うとシミュレーションが極端に遅くなる場合があるので、数値結果を覗いた後はPキーでトグルしてオフにしてください。

数値出力

曲線の行の数値出力ボタンをクリックすると、各曲線の数値出力を得ることができます。内容は、プロパティダイアログボックス (F10) の数値出力パネルからも制御します。

- **曲線** : 印刷する曲線と、その数値形式および曲線名の別名を選択できます。

- **表示** : このセクションでは、数値出力ファイルに含めるその他のマテリアルが選択できます。

- **数値出力を含む** : 数値出力ファイルの作成を可能にします。別のオプションはファイル内容を制御します。

- **メインヘッダーを含む** : メインヘッダーを印刷します。

- **解析リミットを含む** : 解析リミットを追加します。

- **ブランチヘッダーを含む** : ステップされている項目またはモンテカルロケース番号を識別するブランチヘッダーを追加します。

- **モデルパラメータを含む** : モデルパラメータを印刷します。

- **ゼロパラメータを含む** : ゼロ値のパラメータの印刷を可能にします。

- **未定義パラメータを含む** : 未定義モデルパラメータをその既定値を使って印刷します。

- **動作点値を含む** : ファイルへの動作点データの印刷を制御します。

- **ノイズを含む** : 各デバイスノイズの影響についてファイルへの印刷を制御します。これはAC解析でしか有効化できません。

- **波形値を含む** : ファイルへのすべての波形値の印刷を制御します。印刷を実施するには、解析リミットの各波形数式に隣接した数値出力アイコンも有効でなければなりません。

・**波形ヘッダーを含む**：各数値列上の識別数式テキストを印刷します。

・**印刷を始める場所**：波形値の印刷が始まる時間値を指定します。

・**印刷を終了する場所**：波形印刷が発生した最新の時間値を指定します。

・**表フォーマット**：数値出力曲線/波形表をどのようにに配置するかを制御します。*Horizontal*は従来のフォーマットであり、列ベクトルが水平に配置されます。*Vertical*は時間列を印刷し、その後に各出力に対して一つの単一列ベクトルが続きます。*Vertical X, Y Alternate*も同様ですが、各出力ベクトル間に余分な解析変数列が挿入されます。最後に、*Vertical X, Y Pairs*は、解析変数と一出力で構成される列のペアを生成します。ペアは垂直に配置されます。

出力はCIRCUITNAME.TNOファイルに保存され、数値出力ウィンドウに印刷されます。これはF5を押すか、 ボタンをクリックするか、または、F5を押した後で数値出力ウィンドウタブを選択することにより、実行後にアクセスできます。

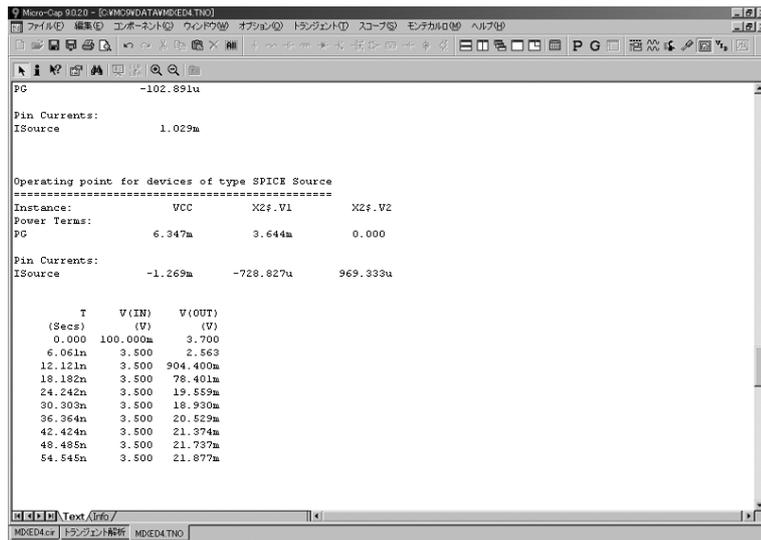


図6-3 数値出力

動作点法

動作点計算法とそれらを試す順序は、多くの解析メニューから利用可能な動作点法ダイアログボックスでユーザが制御できます。このダイアログボックスは次のようになります。



図6-4 動作点法

5通りの基本方法があります。

- **Standard Newton-Raphson法**：これは最も簡単な方法ですが、動作点を解決するのにその成功率が最も高い方法です。
- **Source Stepping法**：これは連続方法の最初で、より簡単な問題を解決する値に制御パラメータを設定し、対象パラメータを徐々に最終100%値まで持って行くものです。この場合、パラメータはすべてのDC電圧源を増大させるスケール係数です。係数は小さい数値から始めて、収束が達成されると100%の係数で収束が得られるまで増加されます。
- **Diagonal Gmin Stepping法**：この方法はソリューションマトリックスの対角線に小さなコンダクタンスを追加します。収束が達成されると、コンダクタンスがゼロで収束が得られるまで減少されます。
- **Junction Gmin Stepping法**：Gminは、多くのデバイスの接点で通常追加されるコンダクタンスです。この方法はGminを大きな値に設定します。収束が達成されると、Gmin値は、Gminが全般設定値で収束が達成されるまで減少されます。

・ **Pseudo Transient法** : この方法では、時間変化源がそのT=0値に設定され、固定コンデンサが各ノードからグラウンドに追加されます。次に、回路が安定するまでトランジェント解析が実施されます。安定した電圧セットが動作点となります。この方法は作用がゆっくりですが、ほとんどの回路に適しています。通常は不安定な回路または振動性回路には効果はありません。

ダイアログボックスでは、どの方法を利用するか、およびそれらを利用する順序が選択できます。最初に利用された方法がリストの一番上に来て、以後、使われた順でリストの下まで続きます。ダイアログボックスは最良の方法に対する試験方法を提供し、その順序を適切に調整します。次のオプションが提供されます。

上向三角 : 選択された方法をリストの上方に移動させます。

下向三角 : 選択された方法をリストの下方に移動させます。

左向三角 : 使用リストから選択された方法を移動させて利用可能リストに置き、停止します。

右向三角 : 利用可能リストから選択された方法を使用リストに移動させ、起動します。

最良テスト : 5つの方法をすべて試験し、その実施順序を早いものから遅いものへと並べます。ある方法が収束できない場合、その旨が表示され、リストの最後に表示されます。

デフォルト : 方法の順序を規定値設定にリセットします。これらは多くの試験回路で最短総時間を生成する設定値です。

OK : なされた変更を許可し、ダイアログボックスを終了します。

キャンセル : なされた変更を無視し、ダイアログボックスを終了します。

ヘルプ : ダイアログボックスのヘルプ情報にアクセスします。

本章の内容

本章では、AC解析ルーチンについて説明します。AC解析はリニアな小信号解析です。メインのAC解析の実行前に、動作点バイアスに基づいて非線形部品を線形化した小信号モデルが作成されます。

MC10の新しい機能

- ・複数のCPUを備えたシステムでスレディングが使用できるようになりました。スレディングは、ステッピングやモンテカルロ解析など、複数の実行を含んでいれば、どの解析モードでも使用できます。
- ・保存する、プロットする、プロットしないボタンにより、プロットに柔軟性が加わりました。
- ・状態変数エディタに数値形式制御が加わりました。
- ・ブランチ値をプロット式で使用できるようになりました。
 $V(1)@1-V(1)@2$ は、2つのブランチ間における(1)の差異をプロットします。
- ・カーソル値をプロット式で使用できるようになりました。たとえば、フォーミュラテキスト” $1/(cursorr_x-cursorl_x)$ ”は、X変数がTである場合、式の周波数をプロットします。
- ・カーソル値をフォーミュラテキスト式で使用できるようになりました。
- ・AC電力を $P = V * \text{共役複素数}(I)$ で計算できるようになりました。

AC解析で行われること

AC解析は、小信号解析すなわちリニア解析の一種です。つまり、すべての回路変数は線形関係にあると想定されます。ある電圧を2倍にすると、関連する電圧値もすべて2倍になります。V(1)をプロットすると、ノード1とACグラウンドノードとの間の小信号の線形電圧が表示されます。

回路内の各デバイスの小信号モデルを使用して、線形ネットワーク方程式のセットが生成され、指定された周波数範囲の各所における電圧・電流が求められます。小信号モデルは、状態変数の値の近傍でデバイスを線形化することにより得られます。これらは、通常は動作点の計算結果になりますが、選択された状態変数オプションに依っては、状態変数エディタの変更内容からの指示値による結果であることもあれば、最後の実行からの繰り越しであることもあります。

線形化とは、あるデバイスの非線形モデルを、端子電圧とデバイスを通る電流間の線形関係を示す単純な定数に置き換えることを意味します。リニアモデルでは、線形化が行われる動作点での信号の小さな変化に対して保持されるものと仮定されます。この動作点は、通常はDC動作点です。線形化のプロセスにおいて、デジタルデバイスは開回路として扱われます。リニアな部品である抵抗器、コンデンサ、インダクタでは、線形化されたAC値は時間領域の定数と同じになります。値がバイアスによって変化する非線形受動コンポーネントでは、線形化されたAC値は、動作点において計算される時間領域の抵抗値、静電容量、インダクタンスとなります。つまり、抵抗の値が数式 $1 + 2 \cdot V(10)$ で表される場合、V(10)はACの小信号値ではなく時間領域のV(10)として参照されます。動作点計算でV(10)のDC値が2.0Vとなった場合、AC解析において抵抗値は $1 + 2 \cdot 2 = 5 \Omega$ となります。AC小信号解析の間、抵抗値、静電容量、インダクタンスは通常は変化しません。しかし、コンポーネントにFREQ属性が指定されている場合は、FREQ数式の値が、ACにおける抵抗値、静電容量、インダクタンスとなります。これは周波数の関数とすることもできます。抵抗器、コンデンサ、インダクタ、NFVとNFIの関数信号源によるFREQ属性の使用方法の詳細については、22章を参照してください。

ダイオード、JFET、MOSFET、バイポーラ・トランジスタのような非線形コンポーネントでは、ACモデルを構成するコンダクタンスやキャパシタンス、制御信号源の値は、偏導関数を動作点で評価することにより得られます。これらの値もAC小信号解析の間は一定となります。

AC小信号解析において、伝達関数やインピーダンスが変化するデバイスは、Z変換信号源とラプラス信号源だけです。FREQ属性が指定されている場合は、抵抗器、コンデンサ、インダクタ、NFV、NFIも含まれません。

Z変換信号源とラプラス信号源では、伝達関数に複素周波数変数 $S (j * 2 * \pi * \text{frequency})$ を使用するため、解析中に伝達関数が周波数変化します。

曲線信号源については、小信号モデルは単純にAC電圧源やAC電流源となります。これらの信号源のAC値は、SPICEコンポーネントではパラメータ行から、回路図コンポーネントでは属性値から決定されます。

SPICEの電圧源または電流源:

AC振幅は、デバイスパラメータの一部として指定されます。例えばVALUE属性「DC 5.5 AC 2.0」の信号源のAC振幅は2.0Vとなります。

パルス信号源とサイン信号源:

AC振幅は1.0ボルトに固定されています。

ユーザ信号源:

ユーザ信号源の信号は、ファイルによって実部と虚部を指定されます。

関数信号源:

FREQ式が指定されている場合のみ、AC信号を作成します。

AC解析はリニアであるため、信号源が一つの場合、入力のAC振幅が1.0Vでも500Vでも違いはありません。回路のある部分から他の部分への相対利得を知りたい場合は「 $V(\text{OUT})/V(\text{IN})$ 」のようにプロットしますが、この比は $V(\text{IN})$ の値に関わらず一定です。 $V(\text{IN})$ が1.0Vだと、比をプロットする必要がなくなります ($V(\text{OUT})/V(\text{IN}) = V(\text{OUT})/1.0 = V(\text{OUT})$)。非ゼロのAC振幅を持つ信号源が複数ある場合は、あるノードから他のノードへの利得を見ても意味がありません。

AC解析の基本的手順をつぎに示します。

1. DC動作点の計算 (省略可能)
2. 各デバイスの線形等価ACモデルを構成
3. 線形化された回路方程式のセットを構築
4. 周波数をfminにセット
5. 線形化モデルの電圧値と電流値をすべて解く。
6. 要求された変数をプロット
7. 周波数を増分する。
8. 周波数がfmaxを超えたら終了、超えていなければステップ5に進む。

AC解析リミットダイアログボックス

解析リミットダイアログボックスは、コマンドボタン、数値範囲値、曲線オプション、数式、オプションの5つの部分に分かれています。



図7-1 解析リミットダイアログボックス

コマンドボタンは、数値範囲フィールドの上にあります。

実行：解析を開始します。ツールメニューの実行ボタン  のクリックやF2キーでも実行を開始することができます。

追加：テキストカーソルがある行の後に、曲線オプションと数式フィールドの行を追加します。必要に応じて数式フィールドの右にあるスクロールバーで、表示されていない行を表示できます。

削除：テキストカーソルがある行の曲線オプションと数式フィールドを削除します。

拡張：テキストカーソルのあるテキストフィールドの作業領域を拡大します。編集や表示をおこなうダイアログボックスが表示されます。この機能を使うには、数式フィールドをクリックしてから、拡張ボタンをクリックします。

ステップング：ステップングダイアログボックスを呼び出します。ステップングについては、別の章で説明します。

プロパティ：プロパティダイアログボックスを呼び出し、解析プロットウィンドウや曲線の表示の仕方を制御できます。

ヘルプ：索引と項目毎の情報が表示されるヘルプシステムを呼び出します。

数値範囲フィールドの各項目の定義は次の通りです。

• **周波数範囲**：このフィールドの内容は、隣のリストボックスで選択された周波数ステップ変更のタイプに依存します。4つのステップ変更オプションがあります。

• **Auto**：この方法では、最初のグループの最初のプロットをパイロットプロットとして使います。ある周波数から別の周波数までプロットがフルスケールの**最大変化%**より大きな垂直の変化をした場合、周波数ステップ変更量を小さくします。そうでなければ大きくします。**最大変化%**は、AC解析リミットダイアログボックスの4番目の数値フィールドの値です。

• **Linear**：この方法では、線形の水平スケールにおいてデータ点の水平距離が等しくなるように周波数ステップを生成します。ポイント数フィールドでは、採用するデータ点の総数を設定します。

• **Log**：この方法では、対数の水平スケールにおいてデータ点の水平距離が等しくなるように周波数ステップを生成します。ポイント数フィールドでは、採用するデータ点の総数を設定します。

• **List**：この方法では、1E8、1E7、5E6のように周波数範囲におけるコンマで区切られた周波数ポイントのリストを使います。

周波数範囲フィールドでは、解析用の周波数レンジを指定します。

Listオプションについて：

構文は、<Frequency1>[,<Frequency2>]...[,<FrequencyN>]となります。

Auto、Linear、Logのオプションについて：

構文は、<Highest Frequency> [,<Lowest Frequency>]となります。

<Lowest Frequency>が指定されていない場合、プログラムは<Highest Frequency>の1つのデータ点を計算します。

• **ポイント数**：数値出力ウィンドウに表示するデータ点の数を決定します。LinearもしくはLogのステップを使う場合は、実際に計算されるデータ点数も決定されます。自動ステップの方法を使う場合、実際に計算されるデータ点の数は<最大変化%>で制御されます。Autoが選択された場合、補間により指定された数の点が生成されません。規定値は51です。通常この設定には奇数を指定し、間隔が偶数個になるようにします。

Linearでは、周波数ステップと表示間隔は次の通りです。

$$(\langle \text{Highest Frequency} \rangle - \langle \text{Lowest Frequency} \rangle) / (\langle \text{Number of points} \rangle - 1)$$

Logでは、周波数ステップと表示間隔は次の通りです。

$$(\langle \text{Highest Frequency} \rangle / \langle \text{Lowest Frequency} \rangle)^{1 / (\langle \text{Number of points} \rangle - 1)}$$

・**温度**：このフィールドでは、実行の全般温度を°Cで指定します。デバイスの個別の温度が指定されない限り、この温度が各デバイスに使われます。温度リストボックスにLinearまたはLogと表示されている場合は、形式は次の通りです。

$\langle \text{high} \rangle [, \langle \text{low} \rangle [, \langle \text{step} \rangle]]$

$\langle \text{low} \rangle$ の規定値は $\langle \text{high} \rangle$ 、 $\langle \text{step} \rangle$ の規定値は $\langle \text{high} \rangle - \langle \text{low} \rangle$ (リニアモード) または high/low (対数モード) です。温度は $\langle \text{low} \rangle$ から開始し、 $\langle \text{high} \rangle$ に到達するまで $\langle \text{step} \rangle$ 毎に増分される (リニアモード) または $\langle \text{step} \rangle$ が乗算されます (対数モード)。

温度リストボックスがListの場合、次の形式です。

$\langle t1 \rangle [, \langle t2 \rangle [, \langle t3 \rangle] [, \dots]]$

$t1$ 、 $t2$ 、 \dots は、それぞれの温度値です。

指定されたそれぞれの温度で1つの解析が実行され、各実行について1つの曲線ブランチが生成されます。

・**最大変化%**：周波数ステップでAutoが選択された場合に使用される周波数ステップを制御します。

・**ノイズ入力**：ノイズ計算に使われる信号源の名前を指定します。数式フィールドに変数INOISE、ONoiseが使われていない場合は、このフィールドは無視されます。

・**ノイズ出力**：このフィールドは、ノイズ計算に使われる出力ノードの名前または番号を保持します。数式フィールドに変数INOISE、ONoiseが使われていない場合、このフィールドは無視されます。

曲線オプションは、数値範囲の下、数式の左にあります。各曲線オプションは、同じ行の曲線だけに影響します。オプションの機能は次の通りです。

最初のオプションは、保存してプロットする 、保存するがプロットしない 、および保存もプロットもしない  を切り換えます。「保存するがプロットしない」を選択した場合は、後でプロパティダイアログボックス(F10)からディスプレイにプロットを呼び出して追加できます。

2番目のオプションにより、X軸をリニア  と対数  のプロットで切り替えます。対数プロットには、正のスケール範囲が必要です。

3番目のオプションにより、Y軸をリニア  と対数  のプロットで切り替えます。対数プロットには、正のスケール範囲が必要です。

色

オプション  により、カラーメニューを起動します。各曲線について64色の選択肢があります。ボタンの色が曲線の色です。

数値出力

オプション  により、曲線の数値の表が表示されます。この表は出力ウィンドウおよびCIRCUITNAME.ANOファイルに出力されます。

プロットタイプ

オプション  により、基本プロットタイプが選択されます。AC解析では3つのタイプが利用可能です。 直交座標、 極座標、 スミスチャートです。

プロットページ

このフィールドでは曲線をグループにします。グループはプロットウィンドウ下部のタブから選択して見ることができます。

プロットグループ

P列の1から9までの数字により、曲線がプロットされるプロットグループが選択されます。同じ数字をもつ曲線はすべて同じプロットグループになります。P列が空白のときには、曲線はプロットされません。

数式フィールドは水平 (X) および垂直 (Y) のスケール範囲と数式を指定します。数式は複素量として取り扱われます。よく利用される数式の例としては、F (周波数)、db(v (1)) (ノード1の電圧のデシベル値)、re(v (1)) (ノード1の電圧の実部) などがあります。数式は複素量として評価され、Y数式の振幅対X数式の振幅のみがプロットされることに注意してください。数式V(3)/V(2)において、MC10はその数式を複素量として評価し、最終的な結果の振幅をプロ

ットします。複素量を直接プロットすることはできません。実部に対する虚部のプロット (Nyquistプロット) や、周波数に対する振幅・実部・虚部のプロット (Bodeプロット) は可能です。

スケール範囲により、X式とY式のプロットに使用される数値スケールが指定されます。範囲の形式は次の通りです。

<high> [,<low>] [,<grid spacing>] [,<bold grid spacing>]

<low>の規定値はゼロです。<grid spacing>は、グリッド間の間隔を設定します。<bold grid spacing>は、太いグリッド間の間隔を設定します。X範囲、Y範囲を「AUTO」とすると、範囲が自動計算されます。自動スケールレンジオプションを利用すると、シミュレーションの実行中にすべてのスケール範囲が計算され、X範囲、Y範囲が更新されます。自動スケール (F6) コマンドを利用すると、すべての曲線が即座にスケールリングされます。範囲の数値は変更されず、必要に応じてCTRL+HOMEで元に戻すことができます。<grid spacing>と<bold grid spacing>は、リニアスケールだけに使われることにご注意ください。対数スケールでは、自然なグリッド間隔であるメジャーグリッドの1/10が使われます。太いグリッドは使われません。自動スケールコマンドは、**プロパティダイアログボックス (F10) /スケールと形式/自動/静的グリッド**フィールドで指定されているグリッド数を使います。

Y式フィールドで右マウスボタンをクリックすると、変数リストが呼び出されます。変数、定数、関数、演算子が選択できるほか、拡張でテキストフィールドを展開し、長い数式を編集することが可能です。他のフィールドで右クリックすると、より単純なメニューが呼び出され、適当な選択肢が表示されます。

オプショングループは次の通りです。

• **実行オプション**

• **Normal** : ディスクに保存せずに解析を実行します。

• **Save** : 解析を実行し、結果をディスクに保存します。

• **Retrieve**: 以前に保存したシミュレーションをロードし、新たに実行した場合のようにプロットと表示をおこないます。

• **状態変数** : 動作点計算 (省略可能) の前に、時間領域の状態変数 (DC電圧、電流、デジタルの状態) に対して何を行うか決定します。

• **Zero** : 状態変数 (ノード電圧、インダクタ電流、デジタルの状態) の初期値がゼロまたはXに設定されます。

・ **Read** : 以前保存した状態変数のセットを読み込み、実行の初期値として使います。

・ **Leave** : 状態変数の現在値をそのままにします。最後の値のままになります。最初の実行の場合、ゼロです。解析を実行した直後で回路図エディタに戻っていない場合、前回の実行で得られた値になります。

・ **動作点** : これによって、DC動作点を計算し、結果的に時間領域状態変数が変化します。動作点が行われない場合、時間領域状態変数は初期化ステップ (zero、leave、またはread) の結果となります。このオプションの動作点の後に線形化が実行されます。動作点が行われない非線形の回路では、小信号解析の有効性はディスクから読み込んだあるいは手動で変更したあるいはデバイスの初期値またはIC文によって強制された状態変数の精度に依存します。

・ **自動スケールレンジ** : これにより、シミュレーションを実行するたびにすべてのレンジを自動的に設定します。無効にすると、レンジのフィールドの既存の値を使ってプロットを生成します。

・ **プロットの蓄積** : 蓄積している回路の結果の波形または曲線を蓄積します。蓄積プロットの消去コマンド  は蓄積されたプロットを消去します。

サイズ変更

解析リミットダイアログボックスはいろいろな方法でサイズを変更できます。

・ **フィールドサイズの調整** : カラムのタイトル (X式やY式等) を分けている線をドラッグしてフィールドのサイズを調整します。

・ **オートサイズ** : Y範囲フィールドの右にあるオートサイズボタンをクリックして、既存の式の長さと同じようにフィールドのサイズを自動的に調整します。

・ **拡張** : ダイアログボックスの右下隅に拡張アイコンを移動して、ダイアログボックスの形状/サイズを変更します。

Pキー

別の解析で示されたように、「P」キーを押すと、解析実行中に各曲線の数式の値を表示することができます。

ACメニュー



実行：(F2) 解析を開始します。



リミット：(F9) 解析リミットダイアログボックスを呼び出します。



ステップング：(F11) ステッピングダイアログボックスを呼び出します。



最適化：(CTRL + F11) 最適化ダイアログボックスを呼び出します。



解析ウィンドウ：(F4) 解析プロットを表示します。

ウォッチ：(CTRL + W) ウォッチウィンドウを表示します。ブレークポイント実行時の数式と変数を定義します。

ブレークポイント：(ALT + F9) ブレークポイントダイアログボックスを呼び出します。ブレークポイントはブール論理式で、特定の変数や式を確認できるようにプログラムがシングルステップモードに入るタイミングを定義します。ブレークポイントの例としては、「 $F \geq 10\text{Meg}$ AND $F \leq 110\text{Meg}$ 」や「 $V(\text{OUT}) > 2$ 」があります。

動作点法 (CTRL+SHIFT+O)： 使用すべき動作点法と各方法を試す順序が選択できます。

3Dウィンドウ： 3Dプロットウィンドウを追加したり削除したりできます。複数の実行が行われた場合のみ有効です。

性能ウィンドウ： 性能プロットウィンドウを追加したり削除したりできます。複数の実行が行われた場合のみ有効です。

スライダ： スライダーバーを追加または削除し、回路パラメータを制御できます。



数値出力：(F5) 数値出力ウィンドウを表示します。



状態変数エディタ：(F12) 状態変数エディタを呼び出します。

データポイント削減： データ点削減ダイアログボックスを呼び出します。データ点をn番目毎に削除できます。非常に小さな時間ステップを使って、高精度な結果を得つつ、すべてのデータ点を必要としない場合に便利です。一度削除されたデータ点は復元できません。

解析終了：(F3) 解析を終了します。

数値出力

曲線の行の数値出力ボタンをクリックすると、各曲線の数値出力を得ることができます。内容は、プロパティダイアログボックス (F10) の数値出力パネルからも制御します。

- **曲線**：印刷する曲線と、その数値形式および曲線名の別名を選択できます。

- **表示**：このセクションでは、数値出力ファイルに含めるその他のマテリアルが選択できます。

- **数値出力を含む**：数値出力ファイルの作成を可能にします。別のオプションはファイル内容を制御します。

- **メインヘッダーを含む**：メインヘッダーを印刷します。

- **解析リミットを含む**：解析リミットを追加します。

- **ブランチヘッダーを含む**：ステップされている項目またはモンテカルロケース番号を識別するブランチヘッダーを追加します。

- **モデルパラメータを含む**：モデルパラメータを印刷します。

- **ゼロパラメータを含む**：ゼロ値のパラメータの印刷を可能にします。

- **未定義パラメータを含む**：未定義モデルパラメータをその規定値を使って印刷します。

- **動作点値を含む**：ファイルへの動作点データの印刷を制御します。

- **波形値を含む**：ファイルへのすべての波形値の印刷を制御します。印刷を実施するには、解析リミットの各数式に隣接した数値出力アイコンも有効でなければなりません。

- **波形ヘッダーを含む**：各数値列上の識別数式テキストを印刷します。

・印刷を開始する場所：これは波形値の印刷が開始される
ときの周波数値を指定します。

・印刷を終了する場所：波形印刷が発生した最新の周波数
値を指定します。

・表形式：数値出力曲線／波形表をどのように配置するか
を制御します。*Horizontal*は従来のフォーマットであり、
列ベクトルが水平に配置されます。*Vertical*は時間列を印刷
し、その後に各出力に対して一つの単一列ベクトルが続き
ます。*Vertical X*、*Y Alternate*も同様ですが、各出力ベクト
ル間に余分な解析変数列が挿入されます。最後に、*Vertical
X*、*Y Pairs*は、解析変数と一出力で構成される列のペアを
生成します。ペアは垂直に配置されます。

出力はCIRCUITNAME.ANOファイルに保存され、数値出力ウィンドウに
印刷されます。これはF5を押すか、 ボタンをクリックするか、また
は、F5を押した後で数値出力ウィンドウタブを選択することにより、実
行後にアクセスできます。

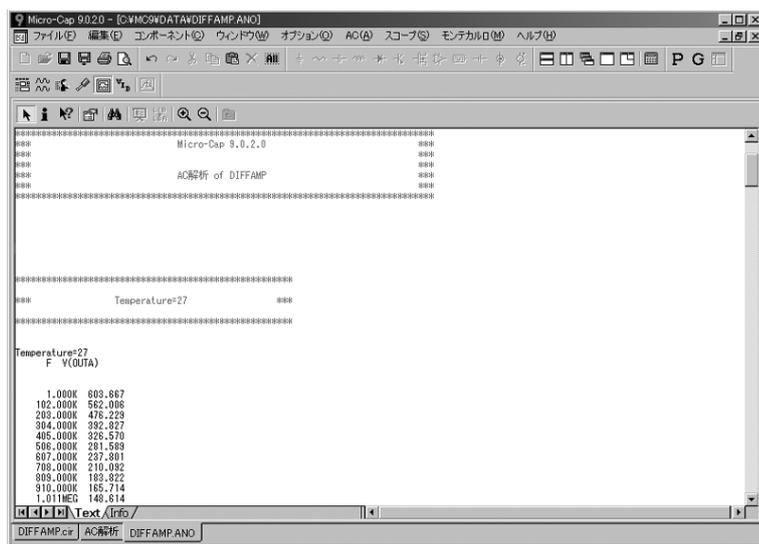


図7-2 数値出力

ノイズ

Micro-Capは3種類のノイズをモデル化しています。

- ・熱ノイズ
- ・ショットノイズ
- ・フリッカノイズ

熱ノイズは、電子のランダムな熱的運動により生じ、つねに抵抗との関連があります。ディスクリット抵抗や、能動デバイスの寄生抵抗が熱ノイズの原因になります。

ショットノイズは、電流の不規則な変動により生じます。たいてい、再結合や注入が原因となります。通常ショットノイズは、能動デバイスのモデルで使用される従属電流源から生じます。半導体デバイスはすべてショットノイズを生成します。

フリッカノイズはさまざまな原因で生じます。普通BJTでは、ノイズ源は汚染トラップやその他の格子欠陥です。これらは、捕捉したキャリアを不規則に放出します。

ノイズ解析では、これらのノイズ発生源すべてについて、それらが入力点と出力点においてどれだけ影響しているか測定します。出力ノイズはノイズ出力フィールドで指定した出力ノードで計算され、プロットするにはY式として「ONoise」を指定します。同様に、入力ノイズは出力ノードにおいて計算された値をもとに、入力から出力への利得により除算したものです。入力ノイズをプロットするにはY式として「INoise」を指定します。

ノイズでは回路方程式が通常AC解析のものとは異なるため、ノイズと同時に電圧や電流などの変数をプロットすることはできません。ノイズと同時に他の変数をプロットしようとする、プログラムはエラーメッセージを出します。

ノイズは本質的に不規則なプロセスであるため、位相情報はありません。ノイズはRMS量として定義されるので、位相演算子 (PH) や群遅延演算子 (GD) を使うことはできません。

ノイズは単位Volts/Hz^{1/2}で測定されます。

AC解析のヒント

AC解析において覚えておく役立つ事項を示します。

式の振幅がプロットされる:

V(OUT)のプロットを要求した場合、V(OUT)には虚部と実部があるので何がプロットされるのかと思うかもしれません。演算子を使わない場合、Micro-Capは振幅をプロットし、振幅は次のように定義されています。

条件	表示またはプロットされる内容
1) IM(V(OUT))がゼロである。	RE(V(OUT))
2) IM(V(OUT))がゼロではない。	MAG(V(OUT))

式が実数の場合（つまり、虚部がゼロ）、実部が得られます。
式が複素数である場合（虚部がゼロではない）、実部と虚部の振幅が得られます。

条件1)では、実部は負になり得るので、極性がわかります。条件2)では、実部を二乗する必要があるので負の実部は必然的にマスクされます。

複素電力のプロット:

ACでの電力式では複素AC電力がプロットされます。例えば次のようになります。

R1で消費されるAC電力	PD(R1)
C1に蓄積されるAC電力	PS(C1)
ダイオードD1に蓄積されるAC電力	PS(D1)
ダイオードD1で消費されるAC電力	PD(D1)
信号源V1で発生するAC電力	PG(V1)
総発生電力	PGT
総蓄積電力	PST
総消費電力	PDT

動作点をバイパスすると予期しない出力となる:

動作点を実行せずに奇妙な結果が得られた場合、与えた初期条件が正しいか確認してください。動作点をスキップした場合、意味のある結果を得るには、すべてのノードの電圧、インダクタの電流、デジタルの状態を与える必要があります。

出力がゼロ:

電圧や電流の出力がゼロの場合、おそらく原因は、信号源がないか、AC振幅がゼロであることにあります。パルス信号源とサイン信号源だけが、非ゼロのAC規定値 (1.0) を持ちます。ユーザ信号源は、ファイルで指定されます。関数信号源は、FREQ式に等しい値のAC発生源となります。その他の信号源では、AC振幅を持たないか、あるいは規定値のAC振幅が0.0ボルトです。

同時に自動周波数ステップと自動スケール:

自動周波数ステップと自動スケールの両方を選択すると、最初のプロットは恐らく粗くなります。自動周波数ステップの場合、実行時に利用されたプロットスケールを用いて、適切な周波数ステップを動的に決定します。自動スケールが有効な場合、プロットスケールは非常に粗いスケールにプリセットされます。スケールは解析後になって初めてわかるため、周波数ステップから参照することができません。これを解決するには、解析を2度実行し、2度目の解析では自動スケールオプションをオフにします。2回目の解析では、曲線の実際のレンジがわかるため、滑らかなプロットが得られます。

平坦な曲線:

非常に帯域の狭いバンドリジェクトフィルタのような回路で、平坦な利得プロットが得られた場合、原因はおそらく周波数ステップコントロールがノッチでサンプリングを行っていないことにあります。この現象は、スイープがノッチのはるか左側の周波数で始まった場合に発生することがあります。プロットが非常に平坦であるため、周波数ステップはすぐに最大値に達します。周波数がノッチに近づくときには、ステップがノッチ幅を超えており、データ点はノッチを飛び越えてしまいます。これは、車が高速で走っているときには、(低速であれば気付くはずの) 小さなぼみに気が付かないのと似ています。これを解決するには、*fmin* を予想されるノッチ幅に近づけるか、周波数ステップに固定ステップ (Fixed LinearかFixed Log) を使用します。固定ステップを用いるときには、必ずノッチより狭い範囲を指定してください。そのためには、ポイント数の値を大きくします。あるいは、周波数レンジを狭めて、予想されるノッチ周波数をレンジの中央付近に持ってきます。

本章の内容

本章ではDC解析の機能について説明します。DCとは直流の略語で、電気技術の開発初期における2つの競合する電力伝送方式の1つです。ここでは、DCとは単に信号源が一定で、時間的に変化しないことを意味します。

DC解析中には、コンデンサは開回路、インダクタは閉回路になり、信号源は、SPICE独立信号源（電圧源や電流源）に対してはDC値、その他のすべての信号源については、時間がゼロのときの値に設定されます。DC解析では、1つか2つの入力独立変数（電流源、電圧源、モデルパラメータ、抵抗値、温度など）を指定範囲で掃引します。各ステップにおいてDC動作点が計算されます。

伝達特性はDC解析の典型的な用途です。

MC10の新しい機能

- ・複数のCPUを備えたシステムでスレッディングが使用できるようになりました。スレッディングは、ステッピングやモンテカルロ解析など、複数の実行を含んでいれば、どの解析モードでも使用できます。
- ・保存する、プロットする、プロットしないボタンにより、プロットに柔軟性が加わりました。
- ・状態変数エディタに数値形式制御が加わりました。
- ・ブランチ値をプロット式で使用できるようになりました。 $V(1)@1-V(1)@2$ は、2つのブランチ間におけるV(1)の差異をプロットします。
- ・カーソル値をフォーミュラテキスト式で使用できるようになりました。

DC解析リミットダイアログボックス

解析リミットダイアログボックスは、コマンドボタン、数値範囲、曲線オプション、数式フィールド、オプションの5つの部分に分かれています。

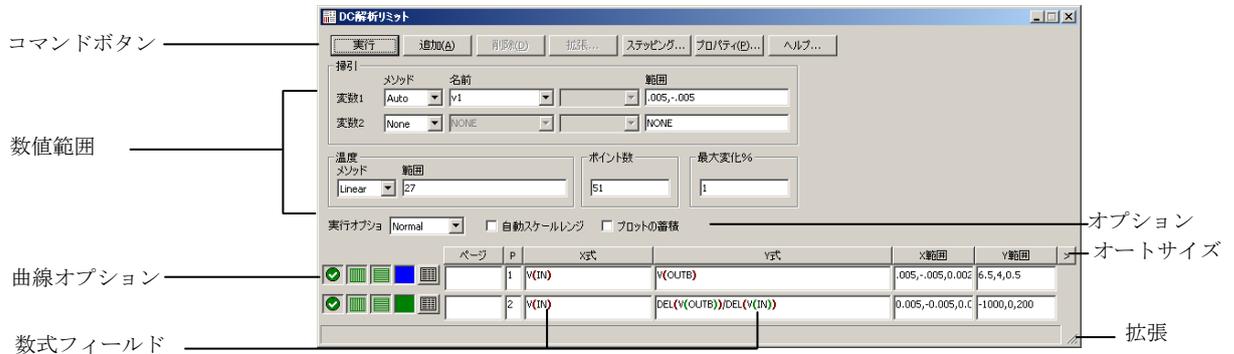


図8-1 解析リミットダイアログボックス

コマンドボタンには、以下のコマンドがあります。

実行：解析を開始します。ツールメニューの実行ボタン  をクリックするかF2を押しても実行を開始することができます。

追加：テキストカーソルがある行の後に、別の曲線オプションと数式フィールド行を追加します。必要ならば数式フィールドの右にあるスクロールバーで、表示されていない曲線行にスクロールします。

削除：テキストカーソルがある曲線オプションと数式フィールド行を削除します。

拡張：テキストカーソルのあるテキストフィールドの作業領域を拡大します。編集や表示をおこなうダイアログボックスがあります。この機能を使うには、数式フィールドをクリックしてから、拡張ボタンをクリックします。

ステップング：ステップングダイアログボックスを呼び出します。ステップングについては、別の章で説明します。

プロパティ：プロパティダイアログボックスを呼び出し、解析プロットウィンドウと曲線の表示方法を制御できます。

ヘルプ : 索引と項目毎の情報が表示されるヘルプスクリーンを呼び出します。

数値範囲フィールドの各項目の定義は次の通りです。

- **変数1** : この行では、変数1のメソッド、名前、範囲のフィールドを指定します。値は、通常、X軸に沿ってプロットされます。それぞれの値によって、曲線あたり少なくとも1つのデータが生成されます。この変数には、4列のフィールドがあります。

- **メソッド** : 変数をステップングする4つの方法、Auto、Linear、Log、Listの1つを指定します。

- **Auto** : ステップサイズのレートは、ポイント間の変更が最大変化%の値より小さく維持されるように調整されます。

- **Linear** : 同じ行の範囲に次の構文を使います。

`<end>[,<start>[,<step>]]`

*start*の規定値は0.0です。*step*の規定値は、 $(start-end)/50$ です。変数1は、*start*から開始されます。それ以降の値は、*end*に到達するまで*step*を加算するコンポーネントにより計算されます。

- **Log** : 同じ行の範囲に次の構文を使います。

`<end>[,<start>[,<step>]]`

*start*の規定値は $end/10$ です。*step*の規定値は、 $exp(\ln(end/start)/10)$ です。変数1は、*start*から開始されます。それ以降の値は、*end*に到達するまで*step*を乗算することにより計算されます。

- **List** : 同じ行の範囲に次の構文を使います。

`<v1>[,<v2>[,<v3>]...[,<vn>]]`

この変数は、*v1*、*v2* ... *vn* の各値に設定されます。

・ **名前** : 変数1の名前を指定します。変数自体は、信号源の値、温度、モデルパラメータ、シンボリックパラメータ (DEFINE文で作成されるパラメータ) のどれかです。モデルパラメータのステップングには、モデル名とモデルパラメータ名の両方が必要です。

・ **範囲** : このフィールドでは、変数の数値範囲を指定します。範囲の構文は、上記のメソッドフィールドにより異なります。

・ **変数2** : この行では、変数2のメソッド、名前、範囲のフィールドを指定します。構文は変数1とおなじですが、ステップングオプションにNoneが含まれ、Autoがないことだけが異なります。ステップの規定値は $(start-end)/10$ です。変数2の各値により、曲線の別のブランチが生成されます。

・ **温度** : 実行温度を制御します。

・ **メソッド** : このリストボックスでは、温度をステップ変更させる1つの方法を指定します。リストボックスにLinearまたはLogと表示されている場合は、形式は次の通りです。

`<high>[, <low>[, <step>]]`

`<low>`の規定値は`<high>`、`<step>`の規定値は`<high>-<low>` (リニアモード) または`high/low` (対数モード) です。温度は`<low>`から開始し、`<high>`に到達するまで`<step>`毎に増分される (リニアモード) または`<step>`が乗算されます (対数モード)。

温度リストボックスがListの場合、次の形式です。

`<t1>[, <t2>[, <t3>][, ...]]`

`t1`、`t2`、... は、それぞれの温度値です。

指定されたそれぞれの温度で1つの解析が実行され、各実行について1つの曲線ブランチが生成されます。温度がステップ変数 (変数1または変数2) のどれかに指定された場合、このフィールドはありません。

・ **範囲** : 温度変数の範囲を指定します。構文は、上記メソッドフィールドにより異なります。

・ **ポイント数** : 数値出力が要求された場合に補間・出力されるデータ点の数です。規定値は51であり、しばしば奇数に設定して、表示間隔が等しくなるようにします。値は次の通りです。

$$(\langle final I \rangle - \langle initial I \rangle) / (\langle Number of points \rangle - 1)$$

$\langle Number of points \rangle$ の値は、変数2の信号源のそれぞれの値について表示されます。

- ・**最大変化%**：この値は、変数1のステップ方法としてAutoが選択された場合のみ使われます。

曲線オプションは、数値範囲の下、式の左にあります。オプションは、同じ行の曲線だけに影響します。各オプションの定義は次の通りです。

最初のオプションは、保存してプロットする 、保存するがプロットしない 、および保存もプロットもしない  を切り換えます。「保存するがプロットしない」を選択した場合は、後でプロパティダイアログボックス(F10)からディスプレイにプロットを呼び出して追加できます。

2番目のオプション：X軸をリニア  と対数  のプロットで切り替えます。対数プロットには、正のスケール範囲が必要です。

3番目のオプション：Y軸をリニア  と対数  のプロットで切り替えます。対数プロットには、正のスケール範囲が必要です。

オプション  はカラーメニューを起動します。各曲線について64色の選択肢があります。ボタンの色が曲線の色です。

数値出力

オプション  は曲線を数値出力表に出力します。表は、出力ウィンドウに表示され、ファイルCIRCUITNAME.DNOに保存されます。

プロットページ

このフィールドでは曲線をグループにします。グループはプロットウィンドウ下部のタブから選択して見ることができます。

プロットグループ

P列の1から9までの単一桁数は曲線を別々のプロットグループに分類します。同じ数字をもつ曲線は全て同じプロットグループになります。P列が空白の場合、曲線はプロットされません。

数式フィールドは水平 (X) および垂直 (Y) のスケール範囲と式を指定します。VCE(Q1) (トランジスタQ1のコレクタ-エミッタ間電圧)、IB(Q1) (トランジスタQのベース電流) 等の形式で利用されます。X範囲、Y範囲により、X式とY式をプロットするときに使われる数値スケールが指定されます。

範囲の形式は次の通りです。

<high>[,<low>][,<grid spacing>][,<bold grid spacing>]

<low>の規定値はゼロであり、[,<grid spacing>]は、グリッド間のスペーシングを設定します。[,<bold grid spacing>]は、太線のグリッド間のスペーシングを設定します。XとYのスケール範囲に「AUTO」を置くと、範囲が自動的に計算されます。自動スケールレンジオプションにより、シミュレーションの実行中にすべての範囲のスケールが計算され、XとYの範囲フィールドが更新されます。

自動スケール (F6) コマンドにより、範囲の値を変更せずに、すべての曲線がただちにスケールされ、必要ならばCTRL+HOMEで元に戻すことができます。<grid spacing>と<bold grid spacing>は、リニアスケールだけに使われることに注意してください。対数スケールでは、主グリッドの値の1/10のままのグリッドスペーシングが使われ、太線は使われません。自動スケールコマンドは、**プロパティダイアログボックス (F10) /スケールと形式/自動/静的グリッド**フィールドで指定されているグリッド数を使います。

Y式のフィールドで右のマウスボタンをクリックすると、変数、定数、関数、演算子、曲線を選択できる変数リストが呼び出され、それを展開して長い式を編集できます。他のフィールドを右クリックすると、適切な選択肢を表示する簡単なメニューが呼び出されます。

オプション領域は、数値範囲の下にあります。自動スケールレンジオプションにはチェックボックスがあります。

実行可能なオプションは、次の通りです。

・実行オプション

- ・ **Normal** : ディスクに保存せずに解析を実行します。
- ・ **Save** : 解析を実行し、結果をディスクに保存します。
- ・ **Retrieve** : 以前に保存したシミュレーションをロードし、新たに実行した場合のようにプロットと表示をおこないます。
- ・ **自動スケールレンジ** : シミュレーションを実行する度にXとYの範囲を自動に設定します。無効である場合、範囲フィールドの値が使われます。

・**プロットの蓄積**：編集している回路の結果の波形または曲線を蓄積します。蓄積プロットの消去コマンドは蓄積されたプロットを消去します。

サイズ変更

解析リミットダイアログボックスはいろいろな方法でサイズを変更できます。

・**フィールドサイズの調整**：カラムのタイトル（X式やY式等）を分けている線をドラッグしてフィールドのサイズを調整します。

・**オートサイズ**：Y範囲フィールドの右にあるオートサイズボタンをクリックして、既存の式の長さと同じようにフィールドのサイズを自動的に調整します。

・**拡張**：ダイアログボックスの右下隅に拡張アイコンを移動して、ダイアログボックスの形状／サイズを変更します。

Pキー

別の解析で示されたように、「P」キーを押すと、解析実行中に各曲線の数式の値を表示することができます。このキーは数式に隣接する解析プロットの数値の印刷を切り替えます。これは新しく長いシミュレーションのコースをチェックするのに便利な方法です。

DCメニュー



実行： (F2) 解析を開始します。



リミット： (F9) 解析リミットダイアログボックスを呼び出します。



ステップング： (F11) ステッピングダイアログボックスを呼び出します。



最適化： (CTRL + F11) 最適化ダイアログボックスを呼び出します。



解析ウィンドウ： (F4) 解析プロットを表示します。

ウォッチ： (CTRL + W) ウォッチウィンドウを表示します。ブレークポイント呼び出し時の式と変数を定義します。

ブレークポイント： (ALT + F9) ブレークポイントダイアログボックスを呼び出します。ブレークポイントは、特定の変数や式を確認できるようにプログラムがシングルステップモードに入るタイミングを定義するブール論理式です。代表的なブレークポイントは、 $V(A) = 1 \text{ AND } V(A) = 1.5$ あるいは $V(OUT) > 5.5$ です。

3Dウィンドウ： 3Dプロットウィンドウを追加したり削除したりできます。複数の実行がおこなわれる場合のみ有効です。

動作点法： (CTRL + SHIFT + O) 使用すべき動作点法とその各々を試す順序を選択できます。

性能ウィンドウ： 性能プロットウィンドウを追加したり削除したりできます。複数の実行がおこなわれる場合のみ有効です。

スライダ： スライダーバーを追加または削除し、回路パラメータを制御できます。



数値出力： (F5) 数値出力ウィンドウを表示します。

状態変数エディタ： (F12) 状態変数エディタを呼び出します。



データ点削減： データ点削減ダイアログボックスが呼び出されます。データ点をn番目毎に削除できます。非常に高精度な結果を得るために非常に小さな時間ステップを使うが、生成されるすべてのデータ点を必要としない場合に便利です。削除すると、データ点は復元できません。

解析終了： (F3) 解析を終了します。

数値出力

曲線の行の数値出力ボタンを有効にすると、各曲線の数値出力を得ることができます。内容は、プロパティダイアログボックス (F10) の数値出力パネルからも制御します。

- **曲線**：印刷する曲線と、その数値形式および曲線名の別名を選択できます。

- **表示**：このセクションでは、数値出力ファイルに含めるその他のマテリアルが選択できます。

- **数値出力を含む**：数値出力ファイルの作成を可能にします。別のオプションはファイル内容を制御します。

- **メインヘッダーを含む**：メインヘッダーを印刷します。

- **解析リミットを含む**：解析リミットを追加します。

- **ブランチヘッダーを含む**：ステップされている項目またはモンテカルロケース番号を識別するブランチヘッダーを追加します。

- **モデルパラメータを含む**：モデルパラメータを印刷します。

- **ゼロパラメータを含む**：ゼロ値のパラメータの印刷を可能にします。

- **未定義パラメータを含む**：未定義モデルパラメータをその規定値を使って印刷します。

- **波形値を含む**：ファイルへのすべての波形値の印刷を制御します。印刷を実施するには、解析リミットの各波形数式に隣接した数値出力アイコンも有効でなければなりません。

- **波形ヘッダーを含む**：各数値列上の識別数式テキストを印刷します。

- **印刷を始める場所**：波形値の印刷が始まるDCINPUT1値を指定します。

・印刷を終了する場所：波形印刷が発生した最新のDCINPUT1値を指定します。

・表形式：数値出力曲線表をどのように配置するかを制御します。*Horizontal*は従来のフォーマットであり、列ベクトルが水平に配置されます。*Vertical*はX式列を印刷し、その後に各出力に対して一つの列ベクトルが続きます。*Vertical X, Y Alternate*も同様ですが、各出力ベクトル間に余分な解析変数列が挿入されます。最後に、*Vertical X, Y Pairs*は、解析変数と一出力で構成される列のペアを生成します。ペアは垂直に配置されます。

出力はCIRCUITNAME.ANOファイルに保存され、数値出力ウィンドウに印刷されます。これはF5を押すか、 ボタンをクリックするか、または、F5を押した後で数値出力ウィンドウタブを選択することにより、実行後にアクセスできます。

トラブルシューティングのヒント

DC解析で覚えておくに有用な事項を示します。

IV曲線：

デバイスのIV曲線を生成するには、出力リード線に電圧源を置き、変数1信号源を使って電圧を掃引します。ベースまたはゲートに電圧源または電流源を置き、変数2信号源を使って電圧または電流をステップングします。実行例については、サンプル回路IVBJTをご覧ください。

掃引中に収束しなくなる：

DC解析の収束は、すべての解析の中でもっとも困難です。トランジエント解析とは異なり、コンデンサやインダクタによる収束効果が得られません。特に掃引中に、収束に失敗したときは、開始値やステップ値を変更して問題のある領域を避けてみてください。

本章の内容

本章では、ダイナミックAC解析の機能について説明します。この解析モードでは、周波数をステップ変更しながら、ACの電圧、電流、電力項を直接回路図内に表示します。また、回路図を変更すると動的に応答するACの値も表示できます。

MC10の新しい機能

- ・ AC電力を $P = V * \text{共役}(I)$ で計算できるようになりました。

ダイナミックAC解析で行われること

ダイナミックACでは、周波数の値のリストについてプログラムはAC解析を実行し、回路図内にACの電圧、電流、電力項を表示します。

ダイナミックACモードが呼び出されると、解析リミットダイアログボックスが表示され、解析条件を設定あるいは変更できます。次のように表示されます。

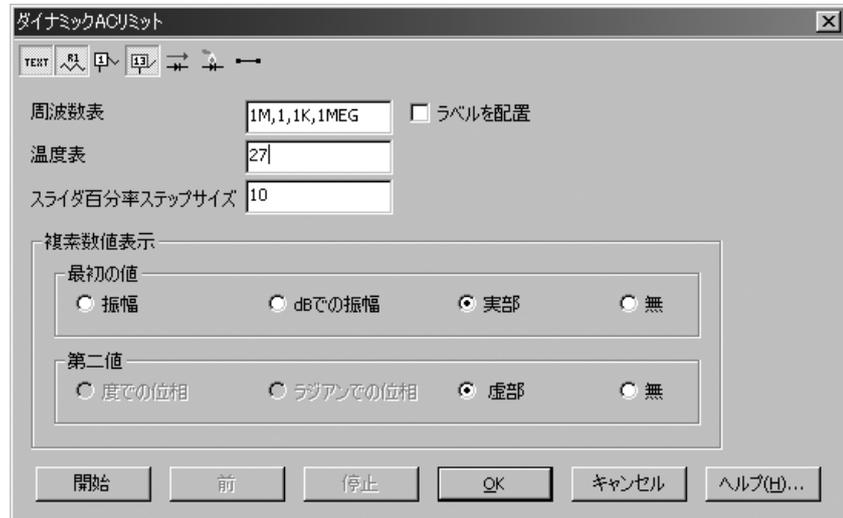


図9-1 ダイナミックACの解析リミットダイアログボックスの表示

解析リミットダイアログボックスには次の項目が含まれています。

- **表示ボタン**：表示を制御するいくつかのボタンがあります。ダイアログボックス内あるいはダイアログボックスを閉じた後にツールバーから個別に有効にすることができます。

	グリッドテキスト		ACピン電流
	属性テキスト		AC電力条件
	ノード番号		ピン接続
	ノードのAC電圧		

- **周波数表**：シミュレーションする周波数値のリストです。ダイナミックACでは、リニアまたは対数の周波数レンジではなく、常に固定の離散周波数のリストを使います。

- **温度表**：解析を実行する温度のリストです。
- **スライダ百分率ステップサイズ**：選択されたコンポーネントの値またはモデルパラメータ値を増加（上向き矢印）または減少（下向き矢印）させるキーを押すたびに起こるパーセント変化量です。
- **複素数値表示：最初の値**：複素数のAC値は一般に2つの数値で表示されます。最初の位置の数に何を表示するかを選択します。
 - **振幅**：実部と虚部の振幅を表示します。
 - **dBでの振幅**：実部と虚部の振幅をデシベルで表示します。
 - **実部**：実部を表示します。
 - **無**：最初の位置には何も表示しません。
- **複素数値表示：第二値**：第2の位置の数に何を表示するかを選択します。
 - **度での位相**：位相を度で表示します。
 - **ラジアンでの位相**：位相をラジアンで表示します。
 - **虚部**：虚部を表示します。
 - **無**：第2の位置には何も表示しません。
- **ラベルを配置**：このチェックボックスによって、周波数、温度、使用する複素数形式も含め、ダイナミックAC解析パラメータを示すグリッドテキストを回路図に配置します。

解析リミットダイアログボックスには次のボタンもあります。

- **開始**：解析を開始します。ボタンを押すたびに1つの周波数で1回の解析が発生します。リストの最後に到達すると、リストの最初の周波数のところをやり直します。最初の値の後に、ボタン名が次へに変わります。

- ・前：このボタンを押すたびに前の周波数のところで解析します。
- ・停止：このボタンを押すと最後の周波数のところで解析を停止します。前ボタンは無効になり、次へボタンは開始ボタンに戻ります。
- ・OK：これでダイアログボックスが終了しますが、ダイナミックACモードは有効のままです。ここで回路図を変更すると、最後の周波数で選択されたACの量が動的に更新されます。
- ・キャンセル：これでダイアログボックスが終了し、ダイアログボックスの内容を変更しても無視されます。ダイナミックACモードは有効のままです。ここで回路図を変更すると、最後の周波数で選択されたACの量が動的に更新されます。
- ・ヘルプ：ダイアログボックスのヘルプ情報にアクセスします。

まとめると、動作は次のようになります。

解析リミットダイアログボックスが表示されている間は、

開始/次へまたは前ボタンを押すたびに、1つの周波数点が計算され、選択されたACの結果が回路図に表示されます。OKを押すとダイアログボックスは終了します。

解析リミットダイアログボックスが表示されていない間は、

プログラムは、新しい解析を実行し、回路上のAC値を更新することによって、変更に応動的に反応します。部品を追加したり、削除したり、カーソルキーを使用して選択された抵抗器、コンデンサ、インダクタ、バッテリー、SPICEの電圧源や電流源の値を変更する等、回路図を変更すると最後の周波数で新しい解析が生成されます。

ダイナミックACの値（ノード電圧、電流、電力項）には、背景が塗りつぶされていて、塗りつぶされた背景がないダイナミックDCの量と簡単に区別できるようになっています。

ダイナミックAC解析の例

ダイナミックAC解析を図示するために、回路ファイルDYAC1をロードします。解析メニューでダイナミックACを選択します。OKボタンをクリックします。次のように表示されるはずですが。

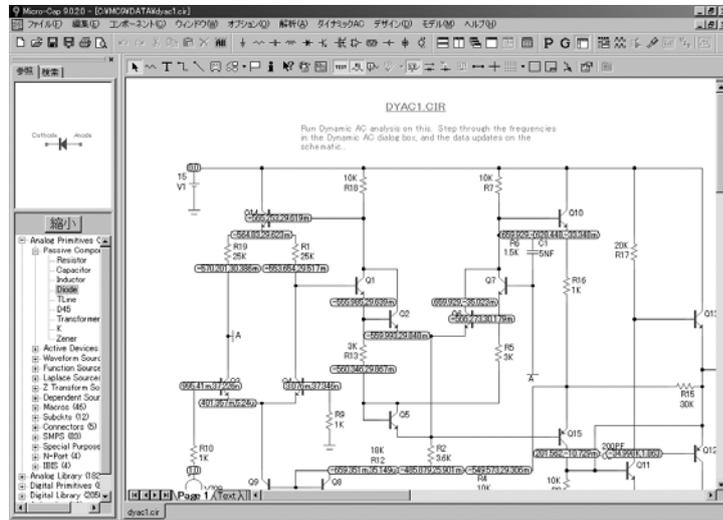


図9-2 AC電圧の実部と虚部

Micro-Capは、リスト内の最初の周波数 (.001Hz) のところでAC電圧を見つけ、規定値の実部、虚部の形式で表示します。F9を押して最初のグループの振幅を選択します。OKボタンをクリックします。今度は次のように表示されるはずですが。

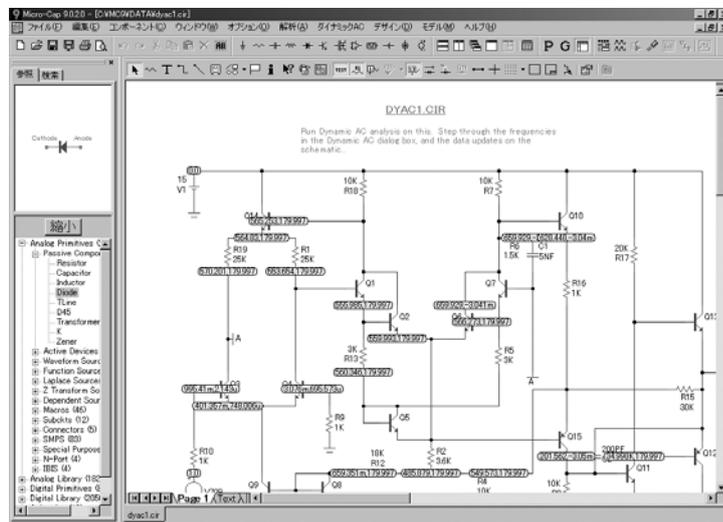


図9-3 AC電圧の振幅と位相（度）

再度、F9を押し、開始ボタンおよび次へボタンをクリックします。MC10は、周波数をリスト内の2番目の項目（1 Hz）に設定し、AC電圧を表示します。

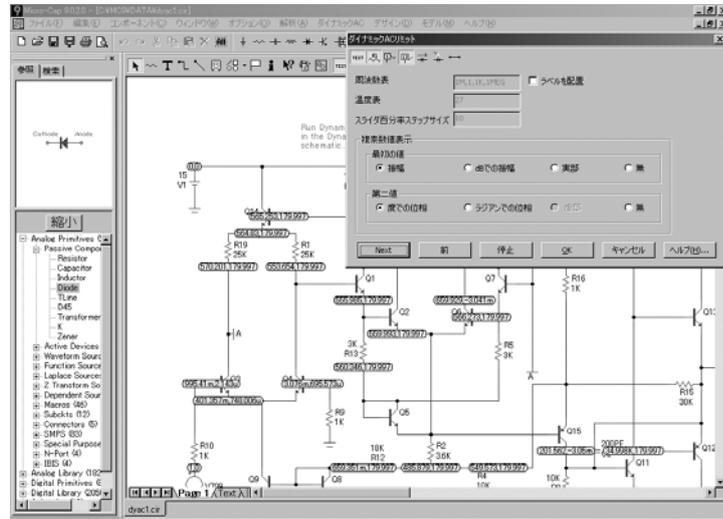


図9-4 周波数リストのサイクル移動

最初のクリックの後、開始ボタンは次へボタンになり、それをクリックするとリストの次の周波数における新しいAC値の集合が生成されます。前ボタンを使って前の周波数を再実行することができます。リストの最後の項目の後、解析は最初値からやり直しになります。

ダイナミックDCと同様に、部品を追加、削除したり、コンポーネントのパラメータ値を変更し、ACの電圧、電流、電力項への影響を直ちに確認できます。抵抗器、コンデンサ、インダクタの値、バッテリー電圧は、カーソルキーとスライダを使って調整可能です。

説明のために、ダイナミックACダイアログボックスを閉じます。次に、CTRL + ALT + Rを押してDYAC1回路をリストアします。電圧ボタン  をクリックしてAC電圧の表示を有効にします(まだ有効ではない場合)。バッテリーV1を選択します。下向き矢印のカーソルキーを1回押します。バッテリー電圧が10%低下して13.5VDCとなり、トランジスタのバイアスが変化したのでAC電圧が変化します。表示は図9-5のようになるはずで

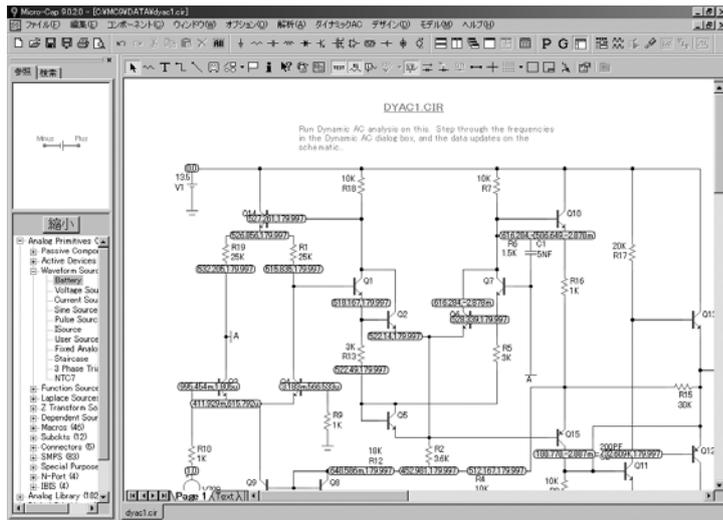


図9-5 V1=13.5VDCでのAC電圧

ここで、電圧ボタン  を無効にして  ボタンを有効にします。表示は次のようになります。

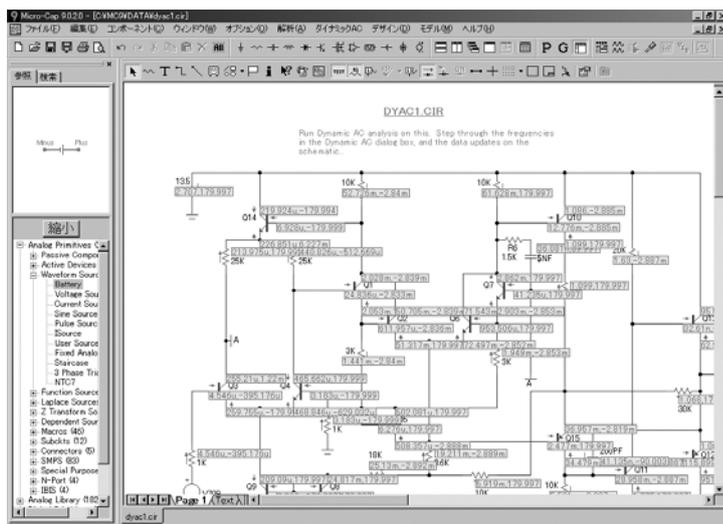


図9-6 V1=13.5VDCでのAC電流

実部、虚部の形式でAC電流が表示されます。SHIFT + F3キーでダイナミックAC解析を終了します。

ダイナミックACは、ACの量を表示し、周波数領域で動作することを除き、ダイナミックDC解析と同様です。

本章の内容

本章では、ダイナミックDC解析の機能について説明します。この解析モードでは、DCにおける電圧、電流、電力、動作状態を動的に表示し、ユーザの変更に対して応答するように設計されています。

ダイナミックDC解析で行われること

ダイナミックDCは、インタラクティブに行われます。ユーザが回路を変更するとプログラムがDC応答をただちに計算し、DC状態を表示します。処理は次のようになります。

- ・ユーザが回路を変更
- ・Micro-CapがDC解を発見
- ・回路図表示が更新

回路図には、4つのオプションボタンがあり、回路の時間領域における数値を表示します。それぞれ、独立に有効にできます。



電圧／状態



デバイスピンの電流



デバイスの電力



デバイスの状態 (ON、OFF、SAT、LINなど)

ダイナミックDCモードを呼び出すと、電圧／状態のボタンが有効になり、回路図に値が表示されます。電流、電力、状態を表示するには、これらのボタンを個別にクリックする必要があります。

回路図には、任意の種類の変更を行うことができます。プログラムは新しいDC状態を計算して応答します。ワイヤの変更、コンポーネントの削除、パラメータ値の変更などいかなる変更も実行でき、ディスプレイに更新された値が表示されます。

バッテリー、電圧源 (V)、電流源 (I)、抵抗の値を調整するのに、次の2つの方法のいずれかを使用できます。

- ・デバイスを選択して隣に表示されるスライダをドラッグ。スライダの存在はプリファレンスダイアログボックス (SHIFT + CTRL + P) のスライダセクションから有効または無効にできます。規定値ではオフです。

- ・デバイスを選択する (クリックする) と、上下矢印キーでソース値を増減できます。同じ方法で複数の部品を選択して同時に操作することができます。各キーを押すたびに、高 (オリジナル値の3倍) および低 (オリジナル値の-1倍) の固定比率値により値が変化します。比率値は解析リミットダイアログボックスで設定されます。

表示ボタンによる値は、すべての解析モードで表示されることにご注意ください。これらのボタンはダイナミックDC専用ものではありません。トランジェント解析の後には、解析終了時の状態が表示されます。これは通常はDC動作点ではなく、トランジェント解析の最後の時間点となります。動作点のみのオプションによる解析の場合は、トランジェント解析による動作点の結果が表示されます。

AC解析の後には、（動作点が行われた場合）解析中に行われたDC動作点の最終値が表示されます。

DC解析の後には、DC掃引の最終値の結果が表示されます。

コンポーネントをドラッグして回路から離し、何もない空間に置くと、解析のセットアップ時に拒否されるのが通常です。グラウンドへのDCパスがないノードが複数作成されるためです。このようなノードは、ダイナミックDC中ではよく発生するため、Micro-CapはダイナミックDCで、DCパスをグラウンドに追加オプションを有効にします。

ダイナミックDCモードを終了すると、このオプションは元の状態に戻ります。

ダイナミックDCモードが呼び出されると、解析リミットダイアログボックスが表示され、解析条件を設定あるいは変更できます。次のように表示されます。



図10-1 ダイナミックDCの解析リミットダイアログボックス

解析リミットダイアログボックスには次の項目が含まれています。

・**表示ボタン**:表示を制御するいくつかのボタンがあります。ダイアログボックス内あるいはダイアログボックスを閉じた後にツールバーから個別に有効にすることができます。

	グリッドテキスト
	属性テキスト
	ノード番号
	ノードのDC電圧
	DCピン電流
	DC電力条件
	条件
	ピン接続

・**温度表**:解析を実行する温度です。

・**スライダ百分率ステップサイズ**: 選択したコンポーネント、モデルパラメータ、またはシンボリックパラメータ値を増加（上向き矢印）または減少（下向き矢印）させるキーを押すたびに起こるパーセント変化量です。

・**ラベルを配置**:このチェックボックスによって、ダイナミックDCパラメータを示すグリッドテキストを回路図に配置します。

解析リミットダイアログボックスには次のボタンもあります。

・**OK**:これでダイアログボックスが終了しますが、ダイナミックDCモードは有効のままです。ここで回路図を変更すると、最後の周波数での選択されたDCの量が動的に更新されます。

・**キャンセル**:これでダイアログボックスが終了し、ダイアログボックスの内容を変更しても無視されます。ダイナミックDCモードは有効のままです。ここで回路図を変更すると、選択されたDCの量が動的に更新されます。

・**ヘルプ**:ダイアログボックスのヘルプ情報にアクセスします。

ダイナミックDCの値は、クリアな塗りつぶしで表示され、影付きの塗りつぶしで表示されるダイナミックACの量と簡単に区別できます。

ダイナミックDC解析の例

ファイルTTLINVをロードしてください。解析メニューでダイナミックDCを選択します。解析リミットダイアログボックスを閉じます。表示は次のようになります。

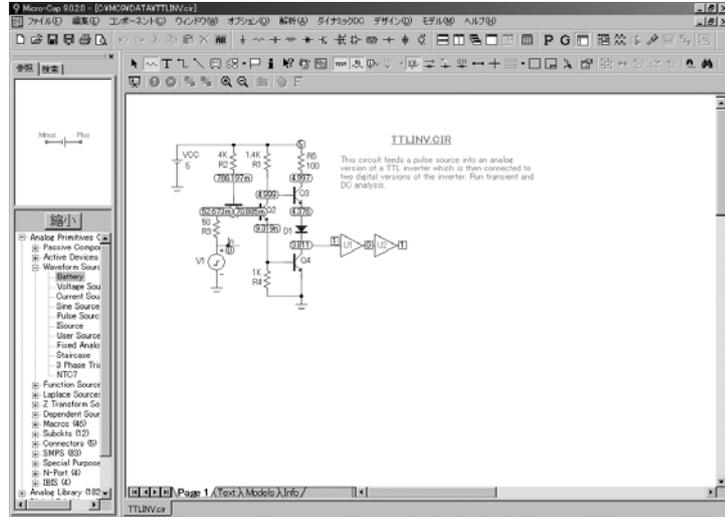


図10-2 初期ノード電圧の表示

Micro-Capは、回路内のDC電圧を求め、画面に電圧とデジタル状態を表示しました。バッテリーをクリックして選択し、下矢印キーを押します。キーを押す度に、バッテリーの電圧は10%ずつ下がり、4回押すと、表示は次のようになります。

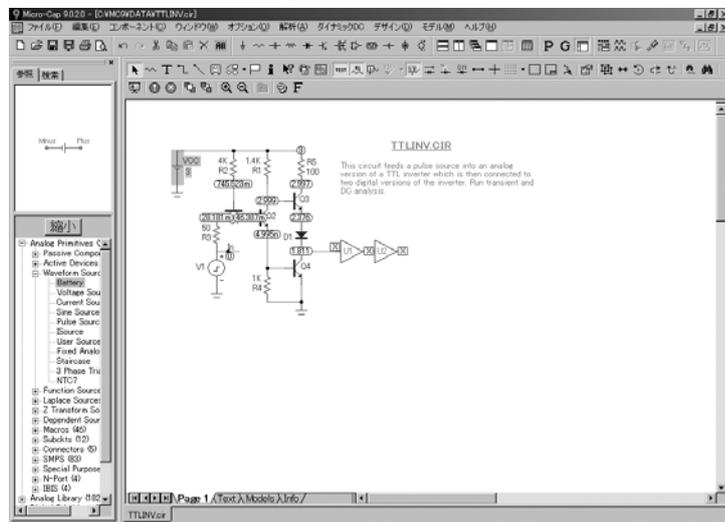


図10-3 切り替えポイントでの電圧表示

バッテリー電圧は約3Vに下がり、アナログ段の出力は約1.8Vに下がりました。デジタル状態はすべてXに変わりました。ダイナミックな制御によりDC電圧を正確に調整し、回路の切り替えポイントを表示することができます。

ここで電圧ボタン  を無効にして、 を有効にすると、次のように表示されます。

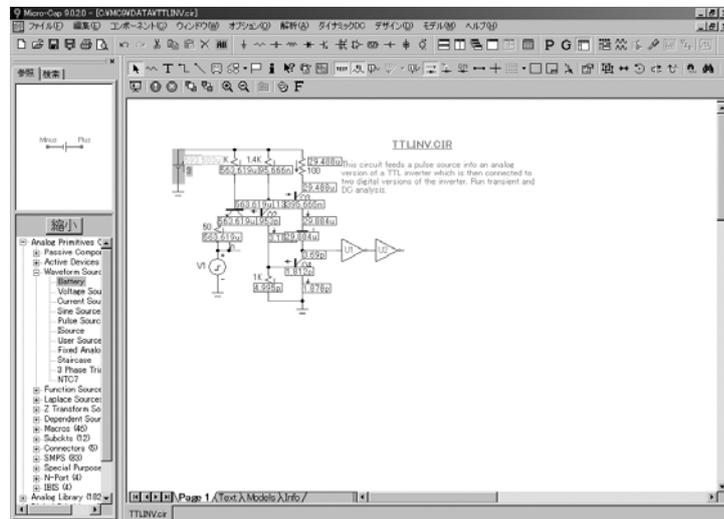


図10-4 デバイスの電流の表示

ここでは、デバイスの各ピンの電流が表示されます。冗長な電流表示は、見やすくするために削除されています。

ディスプレイには、プリファレンス/形式/回路図電圧/電流/電力で指定されている数値フォーマットを使用して、電圧、電流、電力の値が表示されます。このフォーマットを変更し、桁数を増やすこともできます。桁数を増やすと画面に数字がたくさん表示されることになり、わかりにくくなる場合もあります。これはトレードオフです。

電力を表示することもできます。デバイスにより、供給電力、消費電力、蓄積電力があります。一般に、能動デバイスには、蓄積電力と消費電力があります。しかし、DC動作点計算では、蓄積電力の項はゼロになります。信号源には普通、供給電力だけがあります。

電力の表示を確認するために、 ボタンを無効に、 ボタンを有効にします。すると、表示は次のようになります。

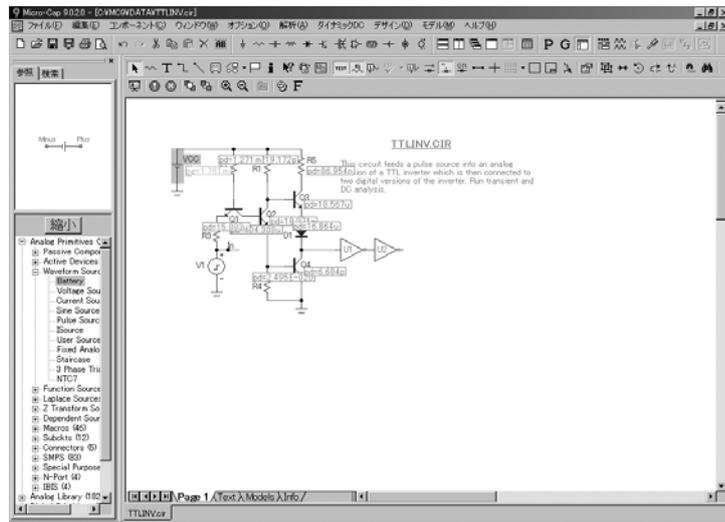


図10-5 デバイスの電力項の表示

最後に、動作状態を確認するために、 ボタンを無効に、 ボタンを有効にします。すると、表示は次のようになります。

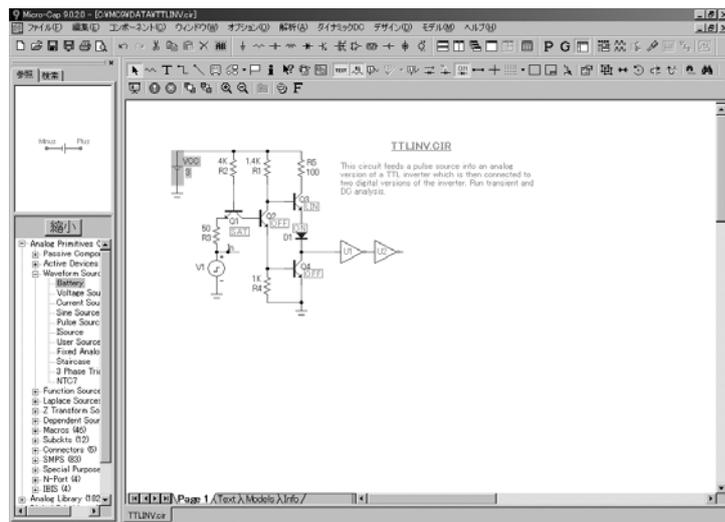


図10-6 デバイスの状態の表示

本章の内容

本章では、伝達関数解析の機能について説明します。この解析モードは、指定した入力信号源から、指定した出力式へのDC伝達関数を計算するように設計されています。

伝達関数解析で何が行われるのか

伝達関数解析では、指定した入力信号源から指定した出力式への小信号のDC伝達関数を計算します。入力信号源と出力式に応じて、次のような伝達関数を計算できます。

- 電圧利得：入力=電圧源、出力式= $V(\text{OUT})$
- 電流利得：入力=電流源、出力式= $I(\text{RL})$
- 相互コンダクタンス：入力=電圧源、出力式= $I(\text{RL})$
- 相互アドミタンス：入力=電流源、出力式= $V(\text{OUT})$

この解析モードでは、小信号における入出力インピーダンスも計算されます。

伝達関数を測定するときには、プログラムは入力信号源のDC値に非常に小さな変化を与え、その結果として出力式に現れる変化を測定します。これら2つの量の比により、伝達関数が生成されます。

入力インピーダンスを測定するときには、プログラムは入力信号源のDC値に非常に小さな変化を与え、その結果として入力電流と入力電圧に現れる変化を測定します。これらの変化の比により、入力インピーダンスが生成されます。

出力インピーダンスを測定するときには、まずプログラムは、出力式で暗黙に設定されているノードにテスト電圧源を追加します。例えば「 $V(10, 20)$ 」のような出力式の場合、ノード10と20の間に電圧源が挿入されます。出力式が「 $IB(Q1)$ 」のようにノードを暗黙に指定していない場合、出力インピーダンスは計算されずにN/A（使用不可）が返されます。出力ノードが、バッテリーやインダクタまたは電圧定義デバイスに接続される場合は、デバイスのDC抵抗がゼロであるため、0.0が返されます。最後に、出力のテスト信号源には小さな変化を与え、その結果として電流に現れる変化を測定します。これらの2つの量の比により、出力インピーダンスが生成されます。

伝達関数ダイアログボックス

実際に解析を行ってみましょう。ファイルDIFFAMPをロードしてください。解析メニューで**伝達関数**を選択すると、次のようなダイアログボックスが表示されます。

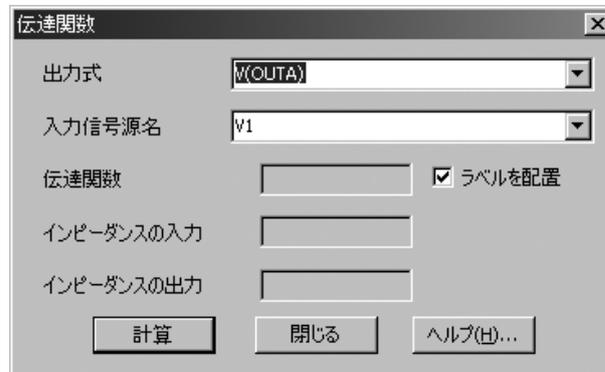


図11-1 伝達関数ダイアログボックス

このダイアログボックスには次の入力フィールドがあります。

- ・出力式：希望の出力式を指定します。式はDCの時間領域変数や関数をいくつ含んでも構いません。通常は、V(A, B)やI(R1)のように単純な式を指定します。
- ・入力信号源名：入力信号源の部品名です。

結果は次のフィールドに置かれます。

- ・伝達関数：伝達関数計算の結果が置かれます。
- ・インピーダンスの入力：入力インピーダンス計算の結果が置かれます。
- ・インピーダンスの出力：出力インピーダンス計算の結果が置かれます。

「ラベルを配置」というオプションもあります。このボックスをチェックしておくと、回路図上に数値結果がグリッドテキストとして配置されます。

伝達関数解析の例

実際にやってみましょう。ラベルを配置オプションを選択して、計算ボタンをクリックすると、次のように表示されます。

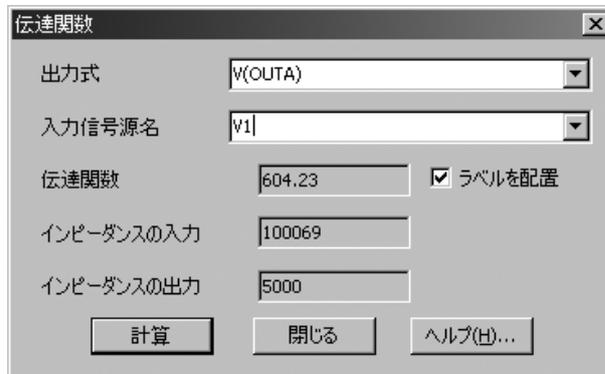


図11-2 解析結果

MC10は伝達関数とインピーダンスを求めて、ダイアログボックスに表示しました。DC解析を実行して手動で小信号DC伝達関数を計算しても同じ結果が得られますが、セットアップに時間がかかります。閉じるボタンをクリックしてください。MC10では、伝達関数解析の結果を説明するグリッドテキストが回路図に追加されます。好きなところへドラッグしてください。

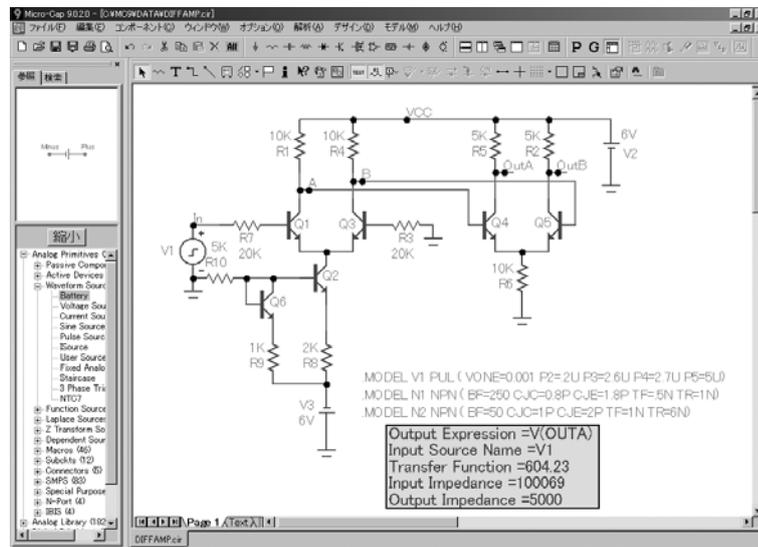


図11-3 注釈付きの回路図

本章の内容

本章では、感度解析の機能について説明します。この解析モードでは、複数の回路パラメータに対する複数の出力式のDC感度を計算します。

MC10の新機能

- ・従来の出力式限界値10がなくなりました。

感度解析で何が行われるのか

感度解析では、小信号DC感度を計算します。これは、1つまたは複数の入力変数に対する1つまたは複数の出力式の感度で、次のように定義されます。

$$\text{(出力式の変化)} / \text{(入力変数の小さな変化)}$$

目的は名目上の動作点における導関数の値を近似することですから、「小さな変化」という部分が重要です。そのため、 $1E-6 * \text{Value}$ の変化量または値がゼロの場合は1Uの変化量が使われます。

感度解析は、伝達関数解析に似ていますが、ステップングできる任意の変数に対して、任意のDC式の感度を計算できます。それに対して、伝達関数解析は、DCの入力信号源に対する、出力式のDC感度を計算するだけです。

感度解析では、ダイアログボックスでの選択によっては、たくさんの値を計算することがあります。入力パラメータには一つ以上のものを選択できます。多数のパラメータまたはすべてのパラメータを選択すると、プログラムの動作に長い時間がかかるので、よく考えてから選択してください。たとえば、全てオンとモデルのオプションを選択すると、MOSFETレベル1～3の各モデルでは51回の動作点計算が必要になります。MOSFETレベル5以上では数百回の計算になります。

感度解析ダイアログボックス

解析の動作を説明するために、ファイルDIFFAMPをロードします。
解析メニューで**感度**を選択すると、次のようなダイアログボックスが表示されます。



図12-1 感度解析ダイアログボックス

ダイアログボックスには次の入力フィールドがあります。

- **感度**：ここに希望の出力式を指定すると、対応する感度が返されます。3つのフィールドがあります。
 - **Output**：1つまたは複数の出力式を指定します。各式は新しい行に置かれます。既存の式を編集するには、そこをクリックします。新しい出力式を追加するには、空白行をクリックして、式を入力します。
 - **Sensitivity**：純粋な比で表現される絶対的な感度です。

・ **Sensitivity (%/%)** : パーセント変化による感度です。これは、出力式のパーセント変化を入力パラメータのパーセント変化で除算することにより得られます。

入力変数が1つだけ選択された場合は、このウィンドウには感度の両方の尺度が表示されます。複数の入力変数が選択された場合は、結果はCIRCUITNAME.SENというテキスト出力ファイルに表示されます。

・ **変数の入力** : 入力パラメータを指定します。このフィールドはステップングダイアログボックスのものと同じで、同じパラメータが利用可能です。入力パラメータをボタンで選択します。

- ・ **コンポーネント** : 部品パラメータの単一インスタンスを指定します。
- ・ **モデル** : モデルパラメータを指定します。そのモデル名を使うすべての部品に影響します。
- ・ **シンボリック** : シンボリックパラメータ (.DEFINE文で作成される変数) を指定します。
- ・ **単一** : テストするパラメータを一つ選択します。
- ・ **複数** : テストするパラメータを複数選択します。特に、変数の入力グループで選択されて表示されるすべてのパラメータを指定します。

入力パラメータが複数ある場合、どのパラメータをテストするか指定するために、次のボタンを使います。

- ・ **すべてオン** : すべてのデバイスのすべてのパラメータを選択します。大量のデータが生成されます。
- ・ **デフォルト** : すべてのデバイスのパラメータから特別なサブセットを選択します。このセットは、よく使う方法を反映するように選択されています。
- ・ **すべてオフ** : すべてのデバイスのすべてのパラメータが選択解除されます。

希望するパラメータを手動で選択することも可能です。CTRL + クリックにより、パラメータのリストを複数選択することができます。

感度計算を開始するには、計算ボタンを使います。閉じるボタンを押すと、変更内容を保存せずにダイアログボックスがクローズします。

NPN N1とそのBFパラメータを選択して計算ボタンをクリックすると、ダイアログボックスに結果が表示されます。



図12-2 NIのBFに対するV(OUTA)とV(OUTB)の感度

感度フィールドには、BFパラメータに対するV(OUTA)とV(OUTB)の生の感度と相対パーセント感度が表示されます。

ここではただ1つのパラメータについて計算するよう選択したため、結果はダイアログボックスに表示されています。

多数のパラメータについて感度の影響を確認するには、モデルオプションと複数オプションをクリックし、デフォルトボタンをクリックします。

計算ボタンをクリックすると、デフォルトのモデルパラメータに対する2つの出力式の感度が計算され、結果はDIFFAMP.SENというテキストページに書き込まれます。図12-3のようになります。

ファイルには選択された各入力変数に対する2つの感度が次のような表形式で表示されます

Name	Value	Sensitivity	Sensitivity (C/%)	Sensitivity	Sensitivity (C/%)	
R1, Value	10000	0.00263545	5.04453	-0.00259296	-4.94406	
R4, Value	10000	-0.00259296	-4.94406	0.00263545	5.04453	
R2, Value	5000	-1.78289e-011	-1.70632e-008	-0.000155125	-0.148463	
R5, Value	5000	-0.000155125	-0.148463	-2.06432e-011	-1.96609e-008	
R6, Value	10000	7.66959e-005	0.146904	7.66959e-005	0.146904	
R3, Value	20000	0.000520174	1.99156	-0.000520222	-1.99156	
R7, Value	20000	-0.000520232	-1.99156	0.000520174	1.99134	
R10, Value	5000	-8.63966e-005	-0.0826961	-8.63966e-005	-0.0826961	
R9, Value	1000	0.000415557	0.012642	0.000415557	0.012642	
R8, Value	2000	-0.000255418	-0.0977792	-0.000255418	-0.0977792	
V2, dc, value	6	0.0990337	0.113737	0.0990337	0.113737	
V2, dc, value	6	0.75352	0.995403	0.75352	0.995403	
NPN N1, BF	250	-9.89612e-006	-0.000473077	-9.89609e-006	-0.000473075	
NPN N1, ER	1	6.16791e-009	1.18053e-009	-4.48053e-009	-8.59554e-010	
NPN N1, IS	1e-016	-8.37147e+013	-0.00121957	-8.37147e+013	-0.00121957	
NPN N1, NC	2	3.00071e-009	3.06284e-009	-7.87229e-009	-3.05198e-009	
NPN N1, NE	1.5	1.06676e-008	3.06284e-009	-1.06291e-008	-3.05196e-009	
NPN N1, NF	1	0.178935	0.0342501	0.178935	0.0342501	
NPN N1, NR	1	8.61179e-009	1.84839e-009	-8.59339e-009	-1.84294e-009	
Comparator	50	0.000290741	0.00278254	0.000290741	0.00278254	
Diac	NPN N2, ER	1	7.34701e-009	1.4063e-009	-1.97679e-008	-3.78367e-009
Di1	NPN N2, IS	1e-016	2.56071e+013	0.000490041	2.56071e+013	
Di2	NPN N2, NC	2	0	0	0	
Di3	NPN N2, NE	1.5	0	0	0	
Di4	NPN N2, NF	1	-0.0661533	-0.0126624	-0.0661533	
Di5	NPN N2, NR	1	1.66835e-008	3.19341e-009	-1.67404e-008	
Di6	NPN N2, NR	1	1.66835e-008	3.19341e-009	-1.67404e-008	

図12-3 複数パラメータに対する感度の表示

本章の内容

この章では2種類の歪み解析機能について説明します。高調波歪み解析では、入力周波数の整数倍周波数で歪みを解析します。相互変調歪み解析では、2つの入力周波数のいずれに対しても非整数倍である周波数で歪みを解析します。

従来の歪み解析(現在の高調波歪み解析)は大幅に修正され、THD、THDN、SINAD、SNR、およびHM(全調波)対F、VIN、VOUT、PIN、およびPOUTのプロットを作成できるようになりました。

相互変調歪み解析は新しい解析モードです。この解析では、H1(基本周波数)、IM2(2次相互変調歪み)、およびIM3(3次相互変調歪み)対VIN、VOUT、PIN、およびPOUTのプロットが可能です。

いずれの歪み解析モードでも、電圧モードと電力モードでのプロットが可能です。結果はパーセンテージ、dB、または素数で表示でき、RF機器や音声機器での一般的な使用方式に対応しています。

概して、本章では以下の項目を説明します。

- ・ 高調波歪み解析
- ・ 相互変調歪み解析

どちらの解析にも、**解析**メニューからアクセスできます。

高調波歪み

高調波歪み解析はトランジェント解析の一種で、正弦波信号を特定の入力源に印可し、指定の周波数と振幅を加え、HARM関数を使って指定の負荷抵抗器で歪みを測定します。

純粹な単一周波数の正弦波信号が回路の入力に印可され、回路が完全に線形であれば、出力は同じ周波数の正弦曲線となります。入力と出力のスペクトルの内容は、おそらく振幅および相を除き、同じです。つまり歪みはないということになります。

回路が完全に線形でない場合、周波数において、入力周波数の他に何らかの出力信号レベルが認められます。言い換えれば、何らかの歪みが発生するという事です。高調波関数を使用すると、それぞれの高調波周波数(入力周波数の整数倍周波数)における信号レベルを測定できます。これらの周波数において顕著な信号レベルが認められる場合、歪みとみなされ、それを最小限に抑えるための処置が施されます。しかし実際には、ミキサー、検波器、周波数通倍器などのRF回路において周波数シフト信号が必要になったり求められたりします。

歪み解析でなされることの多くはトランジェント解析でも実行できます。ただし、プロットは、トランジェント解析で得たデータを使用して別の装置で行う必要があります。高調波歪み解析では、設定を自動化して適切なプロットを作成し、歪み解析結果を簡単に示すことができます。

高調波歪み解析では、Sin信号源、またはタイプSINEの電圧源か電流源を回路入力に接続する必要があります。周波数と振幅は高調波歪み解析リミットダイアログボックスの値によって設定されます。

注意事項

- 歪み解析の精度は初期トランジェントの影響を大きく受けます。PSSを使用しない場合は、最大シミュレーションサイクルを使用してトランジェントを安定させてください。最初は10周期から、プロットが変化しなくなるまで徐々に増大させてください。
- 歪み解析の精度は最大時間ステップの影響を大きく受けます。場合によっては、.01/F0という大きな最大時間ステップを使用することも可能ですが、きれいなTHDプロットの生成には.001/F0が必要な場合もあります。
- 最も高い入力信号レベルで発生する最大THDのみを対象とする場合は、大きい時間ステップを使用して実行速度を高めることができます。THD値が大きくなると相対エラーが小さくなります。

高調波歪み解析リミットダイアログボックス

例として、回路DIST_DEMO1をロードしてください。次に**解析メニュー**で**高調波歪み**を選択します。ダイアログボックスには次の入力フィールドが表示されます。



図13-1 高調波歪み解析リミットダイアログボックス

- **基本周波数**：これは、解析に使用する基本周波数 (F0) です。この値には、入力を駆動する信号源の周波数を設定します。通常のステップング形式は次のとおりです。

List： 値をコンマで区切ったリスト。例：1K,5K,10K

Linear： 終了値、開始値、ステップ値。例：20K、1K、1K

Log： 終了値、開始値、乗算値。例：20K、1K、2

- **入力信号源名**：これは入力として使用する信号源の名前です。タイプSINの正弦波信号源、電圧源、電流源のどれかでなければなりません。歪み解析を実行するには、回路図にこれらの信号源のどれかが存在しなければならず、回路の入力に接続されていなければなりません。

- **入力源振幅**：これは入力正弦波の振幅です。通常のステップング形式が与えられています。

・**負荷抵抗器名**：歪み測定に使用する負荷抵抗器の名前です（RL、RLOAD、R23など）。

・**ノイズ周波数範囲**：ノイズを測定する周波数の範囲です。ノイズの測定は、AC解析を実行し、このフィールドで指定した積分限界で $\text{SQRT}(\text{SD}(\text{ONOISE} * \text{ONOISE}))$ を計算することで行います。ノイズの計算は、THDN (THD+ノイズ)、SINAD (1/THDN)およびSNRでしか使用されません。

・**温度**：シミュレーション時の動作温度です。通常のステッピングオプションがあります。

次の2つのオプションは、周期定常状態オプションが無効化されている場合のみ使用できます。

・**最大シミュレーションサイクル**：シミュレーションが実行される基本周波数の周期数です。初期トランジェントを通過できるだけの十分な長さでなければなりません。多くの場合、回路に適切な数値は50～1000です。MC10は指定された周期数でシミュレーションを実行しますが、FFTの計算には最後のフルサイクルしか使用しないことに注意してください。たとえば、基本周波数に1 kHzを指定し、このフィールドに50を指定した場合、MC10はシミュレーションを $t_{\text{max}} = 50/F_0 = 50/1\text{K} = 50 \text{ ms}$ 間、実行します。そしてFFT計算には、49番目のサイクルの終わり（49 ms）から50番目のサイクルの終わり（50 ms）までの波形部分を使用します。この切り捨てられた波形は、プロットに表示され、抵抗負荷の名前がRLの場合、V(RL)というラベルが付けられます。

・**定常状態許容値**：この値は、THD相対変更許容値を指定します。この許容値を下回ると、最大シミュレーションサイクルが完了する前にプログラムが終了します。すべての最大シミュレーションサイクルを完了させた場合は、この値をゼロに設定してください。

・**時間ステップ比**：この値は、解析で使用する最大時間ステップを制御します。通常、この値は1E-3に設定されます。これは、最大時間ステップを(時間ステップ比)/F0に設定します。この値は通常、1E-2と1E-3の間です。

・**THDの最大高調波**：THDの計算で使用する最大高調波を指定します。7より大きい値が必要になることはほとんどありません。

・**時間点の数**：トランジェント実行時の数値出力におけるデータ点の数です。それぞれの高調波プロットに対する数値出力は、プロパティウィンドウ(F10)の設定で制御します。時間点の数は、周波数の数と振幅の数を乗じて設定します。

・**周波数点の数**: ノイズ計算で使用するAC解析実行時のデータ点の数です。また、HARM(V(RL))など周波数を基準にした曲線の数値出力にも使用されます。

実行、追加、削除、拡張、ステップング、PSS、プロパティおよびヘルプボタンはトランジェント実行時と同様に機能します。また、実行、状態変数、動作点、自動スケール範囲、周期定常状態および蓄積プロットオプションについても同様です。

歪みプロットに必要なプロット式は、自動的に与えられます。別のプロットを追加するには、(プロット番号を与えて)無効化されているプロットを有効にするか、追加ボタンで新規に式をプロットします。

MC10では、FFTで歪みの数を抽出する定常状態波形を、2つの方法で決められます。

・初期トランジェントがなくなるまで、多くのサイクルを実行する。これは、PSSが選択されない場合に使用されるオプションです。入力信号の振幅が低く、付随する歪みの数も低く、また回路が本質的に速い設定時間を持っている場合でも、確実に動作します。

・周期定常状態。このオプションはシューティング法を使用してトランジェントを除去し、定常状態の波形を作ります。このオプションが有効になっていると、プログラムにより完全なトランジェント解析が連続して実行され、実行を繰り返すごとに、波形の安定度が向上します。プロットされた波形が表示されるため、実行の進行具合を画面上で確認できます。またステータスバーには実行ごとに周期性エラーが表示されます。

通常、最適な選択は周期定常状態 (PSS) オプションです。特に、歪みレベルが著しく低い状態で解析を実行する場合にはPSSが最適です。ほとんどの場合、より短い実行時間で、より精度の高いプロットを得られます。

高調波歪み解析例

高調波歪み解析の例として、DIST_DEMO1を使用します。これは、ジョン・リンズレー・フッドにより1965年頃に設計された初期の音声増幅器です。

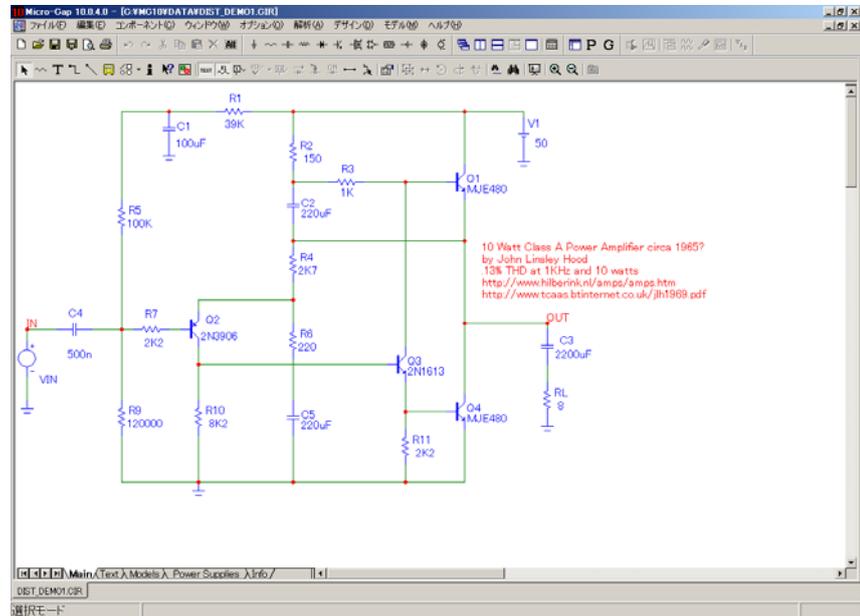


図13-2 高調波歪み解析のサンプル回路

解析メニューから高調波歪みを選択すると、解析リミットダイアログボックスが開きます。ダイアログボックスは、次のプロットのうち2つを作成するよう設定されています。すべて、高調波周波数の倍数または時間に対するプロットです。

HARM(V(RL)) : V(RL)における高調波の倍数をプロットします。

DB(HARMN(V(RL))) : 基本周波数の値に標準化されたV(RL)の高調波をdBでプロットします。

THD(HARM(V(RL))) : V(RL)の高調波のTHDをプロットします。

THDN(HARM(V(RL))) : V(RL)の高調波のTHDN (THD+ノイズ) をプロットします。

V(RL) : 出力抵抗負荷における電圧V(RL)をプロットします。

プロット番号を空白にすると、これらのプロットのいずれかまたはすべてを無効化できます。F2を押すと解析が始まります。結果は次のように表示されます。

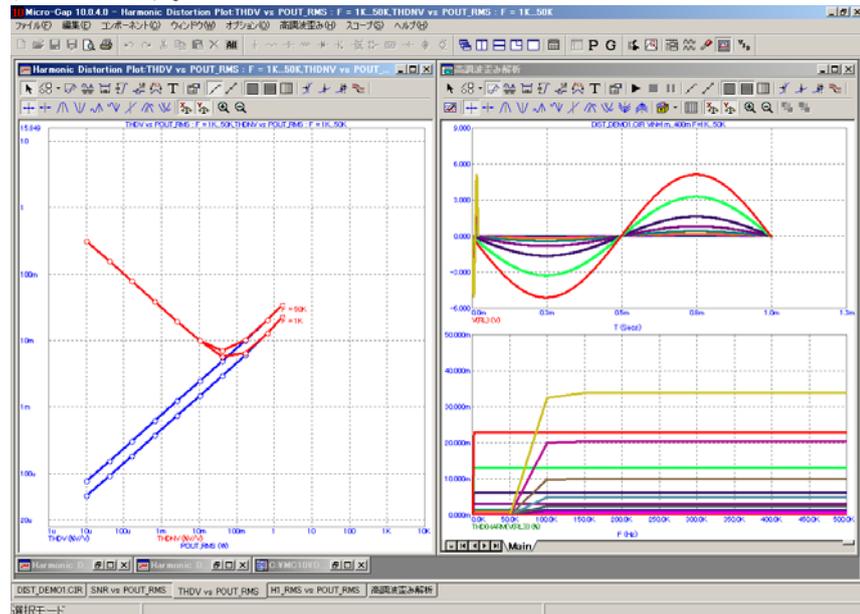


図13-3 THDおよびTHDNプロット

この解析では、VINと呼ばれる入力信号源に1 mV、1 kHzの正弦信号を印可し、収束するまで1 ms周期でPSS解析を実行して要求された歪み値を作成します。その後、400 mVに達するまで、係数2.0で入力レベルをステップします。

全プロセスは、2番目の周波数である50 kHzで繰り返されます。スレッディングが有効になっている場合は、一度に2個（またはそれ以上、使用できるCPUの数による）のポイントが取得され、全体の実行時間が短縮されます。

ウィンドウには、POUT(RMS)に対するTHDとTHDNのトランジェントおよびHARMのプロット（右）と歪みプロット（左）が1 kHzと50 kHzのブランチで表示されます。歪みプロットは、HARMプロットから得られたデータをもとに作成されます。

高調波歪みプロパティダイアログボックス

高調波歪みプロットのいずれかを選択し、F10を押すと、プロパティダイアログボックスが開きます。このダイアログボックスは、さまざまなモードにおいて、さまざまな変数をプロットできるよう制御を行います。ダイアログボックスには次のパネルが含まれています。

・プロット

曲線：実行前および実行後に、プロットの追加、削除、表示/非表示の切り替えを行います。曲線を追加するには追加をクリックします。変数やプロットオプションを選択する場合は、X軸セクションおよびY軸セクションを使用します。チェックマークを入れると選択したプロットが有効になります。空欄にすると選択したプロットが非表示になります。チェックマークのオンとオフを切り替えるには、ボックスをクリックします。

タイトル：このセクションでは、プロットに名前を付けます。自動を選択すると、選択したプロット選択肢からタイトルが自動的に作成されます。

X軸：選択したプロットのX軸について変数を選択できます。選択肢は次のとおりです。

F	基本周波数
VIN	入力電圧レベル
VOUT	出力電圧レベル
PIN	入力電力レベル
POUT	出力電力レベル

別形式で表示には次のオプションがあります。

dB：選択した変数をdBでプロットします。電圧の項を選択すると、 $20 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{値})$ がプロットされます。電力の項を選択すると、 $10 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{値})$ がプロットされます。

dBm：選択した変数をdBmでプロットします。電力の項が選択された場合しか使用できません。 $10 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{値}/1\text{E-}3)$ をプロットします。

数値：選択した変数の値をプロットします。

形式：ピークとRMSのいずれかを選択します。ここでの選択は、X軸とY軸の両方の変数に影響します。RMS電圧値とピーク電圧値の関係は、 $\text{RMS} = \text{ピーク}/\sqrt{2}$ です。RMS電力値とピーク電力値との関係は、 $\text{RMS} = \text{ピーク}/2$ です。Y軸の値のうち、この選択の影響を受けるのはHnのみです。他の値は比率であるため影響を受けません。

Y軸 : 選択したプロットのY軸について変数を選択できます。

パラメータ : 5つの選択肢があります。

THD	全高調波歪み
THDN	全高調波歪み+ノイズ
SINAD	1/THDN
SNR	信号対ノイズ比
Hn	N次高調波の値

タイプ : 電圧表示または電力表示のいずれかを選択します。

電圧 : 選択した変数を電圧比でプロットします。
Hnの場合は電圧値でプロットします。

電力 : 選択した変数を電力比でプロットします。
Hnの場合は電力値でプロットします。

別形式で表示 : 次のオプションがあります。

% : 選択した変数を、1次高調波H1における値のパーセンテージでプロットします。

dB : 選択した変数をdBでプロットします。電圧の項を選択すると、 $20 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{値})$ がプロットされます。電力の項を選択すると、 $10 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{値})$ がプロットされます。

dBm : 選択した変数をdBmでプロットします。電力の項が選択された場合しか使用できません。 $10 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{値}/1\text{E-}3)$ をプロットします。

数値 : 選択した変数の値をプロットします。

識別子 :

単純 : THDやSNRなどの単純識別子で変数をラベル付けします。

リテラル : THDV(%V/V)など、より複雑な識別子で変数をラベル付けします。変数をさまざまな方法で測定できるため、この形式は変数がどのように計算されるかを特定します。

バッファ：波形バッファにアクセスします。保存済みの歪みプロットを要求できます。プロットを保存するには、対象のプロットで下線の付いた波形名を右クリックし、小さなポップアップメニューが開いたらバッファに追加オプションを選択します。

プロット対象：複数の変数（TEMPERATURE、F0、VIN など）をステップする場合、このドロップダウンリストで、プロットするブランチを選択できます。

各セクションでの選択内容は、選択した曲線にしか適用されません。ただし、すべてオプションを選択すると、選択内容がすべての曲線に適用されます。

グループのプロット：このフィールドでプロット整数を選択すると、プロットを異なるグループに分けることができます。

ラベル：表示フィールドにチェックマークを付けると、選択したプロットのラベルが表示されます。空白にするとラベルが非表示になります。チェックマークのオンとオフを切り替えるには、フィールドをクリックします。フォントオプションでは、ラベルのフォントパラメータを変更できます。

- **スケールと形式**：プロット用数値形式の通常制御を行います。
- **色、フォント、線**：プロットの色、フォント、および線の通常制御を行います。
- **スコープ**：オプションのプロット項目の通常制御を行います。
- **ヘッダー**：数値出力ヘッダーの通常制御を行います。
- **数値出力**：歪みプロットの数値出力について通常制御を行います。プロットされているかどうかにかかわらず、いかなる変数でも数値出力に含めることができます。操作は、変数名の横のボックスにチェックマークを付けるだけです。出力を作成するには、作成ボタンをクリックします。これにより、CIRCUITNAME.HDNOというファイルに数値出力が作成されます。歪みプロットの数値出力は、波形の数値出力とは異なるので注意が必要です。作成は、両方行うか、どちらも行わないかのいずれかです。
- **ツールバー**：ツールバーの通常制御を行います。

その他の変数のプロット

DIST_DEMO1ファイルには3つの歪みウィンドウが入っています。H1対POUTタブをクリックし、最大化アイコンをクリックすると、最初の3つの高調波電力対入力電力PINのプロットが表示されます。どちらの軸もdBでプロットされます。

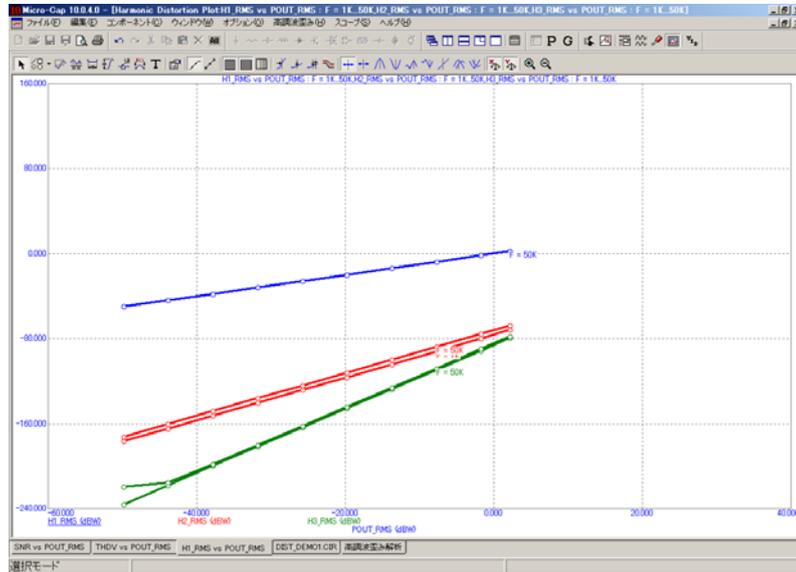


図13-4 高調波電力対PIN

SNR対POUT_RMSタブをクリックすると、他のプロットが表示されます。

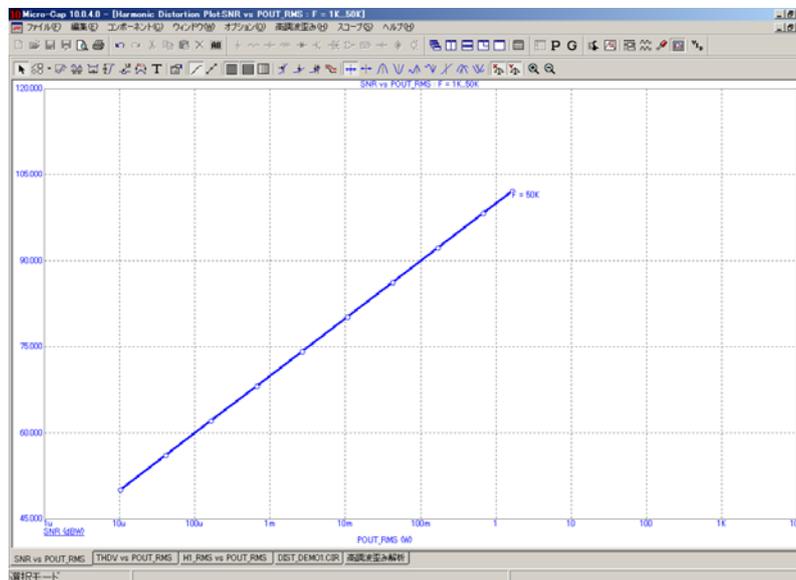


図13-5 SNR対POUT_RMS

相互変調歪み

相互変調歪み解析もトランジェント解析の一種です。2つの正弦波信号を、ユーザが指定した非高調波周波数と振幅で特定の入力源に加え、HARM関数を使用して特定の負荷抵抗器で歪み結果を測定します。

FFTルーチンが適切に機能するためには、全周波数の周期の整数倍と等しい時間、トランジェント解析を実行する必要があります。選択した2つの周波数によっては、長時間の実行が必要になる場合もあります。たとえば、2つの標準的なCCIF周波数 $F1 = 13 \text{ kHz}$ と $F2 = 14 \text{ kHz}$ の場合、必要な実行時間は最短で4 msで、 $F1$ が52周期、 $F2$ が56周期となります。一方、2つの標準的なSMPTE周波数 $F1 = 60 \text{ Hz}$ と $F2 = 7 \text{ kHz}$ の場合、必要な実行時間は200 msとなり、 $F2$ が1400周期、 $F1$ が12周期となります。

この問題は、いずれかの周波数をずらすことで解決する場合があります。たとえば上記の例では、 $F1 = 70$ と $F2 = 7\text{K}$ を使用すれば、必要な実行時間はたったの100 msとなり、70 Hzが7周期、7 kHzが700周期となります。 $F1$ が60から70に変わっても相互変調歪みは大きく変わりませんが、実行時間は半減します。

ミキサーの場合、2つの周波数の比率が近似する場合があります。このような場合、必要となる周期の数が非常に大きくなる場合があります。たとえば $F1 = 920 \text{ MHz}$ で $F2 = 921 \text{ MHz}$ の場合、 $F1$ で920周期、 $F2$ で921周期を実現するには1 usの t_{max} が必要になります。これならば実行可能ですが、 $F1$ が920.99 MHzに変更された場合、0.1 msの t_{max} が必要になり、1E8を越える時間ステップが必要となります。現実的な限界として、 $F1$ と $F2$ の比率は0.999未満にする必要があります。

PSSが選択されている場合、実際の実行時間は、PSSの反復回数と最小実行時間の積です。ほとんどの場合、これが最適な選択です。PSSが使用されないのは、PSSでは回路が収束しない場合のみですが、このようなケースはまれです。

PSSを選択しない場合、実際の実行時間は、最小実行時間と最大シミュレーションサイクルの積です。これは、トランジェントの安定化に十分なだけの総実行時間を確保することが目的です。各正弦波の周期の整数倍が必要なため、通常は最小実行時間が大きくなることから、最大シミュレーションサイクルの値は高調波歪みの場合ほど大きくする必要はありません。

相互変調歪み解析では、Sin信号源、またはタイプSINの電圧源か電流源を回路入力に接続する必要があります。2つの周波数と振幅は解析リミットダイアログボックスの値によって設定されます。

相互変調歪み解析リミットダイアログボックス

相互変調歪み解析の動作を示すために、回路DIST_DEMO1をロードしてください。次に解析メニューで相互変調歪みを選択します。ダイアログボックスには次の入力フィールドが表示されます。



図13-6 相互変調歪み解析リミットダイアログボックス

- **F1周波数**：使用する低周波の値です。
- **F2周波数**：使用する高周波の値です。
- **LO信号源名**：ローカルの発振器信号源がある場合、その信号源の名前です。正弦波信号源、またはタイプSINの電圧源か電流源のいずれかである必要があります。周波数(FL)をH1、IM2およびIM3周波数に加算または減算できるように、RF回路に指定します。加算や減算は相互変調プロパティ(F10)ウィンドウで指定します。
- **入力信号源名**：入力として使用する信号源の名前です。正弦波信号源、またはタイプSINの電圧源か電流源のいずれかである必要があります。歪み解析を実行するには、これらの信号源のいずれかが回路図に存在し、回路入力に接続されていなければなりません。

・ **F1/F2レベル比**：高周波正弦波(F2)の振幅に対する低周波正弦波(F1)の振幅の比率です。

・ **F2レベル**：高周波正弦波の振幅です。

・ **信号源抵抗器名**：入力ポートの信号源抵抗器の名前です。この抵抗値は、入力電力 $P_{IN} = (V/2) * (V/2) / R_{SOURCE}$ を計算するためにRF回路で使用します。なしオプションを選択すると、入力電力に対する通常の音声変換 $P_{IN} = V_{IN} * I_{IN}$ が代わりに適用されます。

・ **負荷抵抗器名**：歪み測定に使用する負荷抵抗器の名前です (RL、RLOAD、R23など)。出力電力 $P_{OUT} = V * V / R_{LOAD}$ の計算に使用します。

・ **ノイズ周波数範囲**：ノイズを測定する周波数の範囲です。ノイズの測定は、AC解析を実行し、このフィールドで指定した積分限界で $SQRT(SD(ONOISE * ONOISE))$ を計算することで行います。ノイズ寄与は、歪みウィンドウのプロパティダイアログボックスでノイズを含むオプションにチェックが入っていないと使用されないの注意してください。

・ **温度**：シミュレーション時の動作温度です。通常のステッピングオプションがあります。

・ **最大シミュレーションサイクル**：シミュレーションの実行時間を決定する最小実行時間の乗数です。初期トランジェントをすべて通過できるだけの十分な長さが必要です。多くの回路で適切な数値は10～100です。最小値は4です。

・ **時間ステップ比**：解析で使用する最大時間ステップを制御するには、この値を使用します。通常、この値は $1e-3$ に設定されます。これは、最大時間ステップを(時間ステップ比)/F2に設定します。

・ **標準**：SMPTE、DIN、およびCCIF標準で指定された振幅や周波数の値を選択するには、これらのボタンを使用します。

・ **時間点の数**：トランジェント実行時の数値出力におけるデータ点の数です。それぞれの高調波プロットに対する数値出力は、プロパティウィンドウ(F10)の設定で制御します。時間点の数は、周波数の数と振幅の数を乗じて設定します。

・**周波数点の数**: ノイズ計算で使用するAC解析実行時のデータ点の数です。また、HARM(V(RL))など周波数を基準にした曲線の数値出力にも使用されます。

実行、追加、削除、拡張、ステップング、PSS、プロパティおよびヘルプボタンはトランジェント実行時と同様に機能します。また、実行、状態変数、動作点、自動スケール範囲、周期定常状態および蓄積プロットオプションについても同様です。Leaveオプションを使用すると、スレッディングを適用できないので注意が必要です。そのため、通常はこのオプションの使用を避けることをお勧めします。スレッディングは全実行時間を大幅に短縮できます。

歪みプロットのデータ作成に必要なプロット式は、表示されている式です。別のプロットを追加するには、(プロット番号を与えて)無効化されているプロットを有効にするか、追加ボタンで新規に式をプロットします。

相互変調歪み解析例

歪み解析の例として、再びDIST_DEMO1ファイルを使用します。解析メニューから**相互変調歪み**を選択すると、解析リミットダイアログボックスが開きます。解析リミットは、次のプロットを作成できるように設定されています。

HARM(V(RL))

出力式V(RL)に存在する高調波の振幅を高調波周波数に対してプロットします。

DB(HARMN(V(RL)),F2)

V(RL)に存在する高調波の標準振幅を、F1周波数とF2周波数の差異に対してDBでプロットします。

V(RL)

出力抵抗負荷全体の電圧V(RL)のプロットを表示します。

解析を開始するにはF2を押します。結果は次のように表示されます。

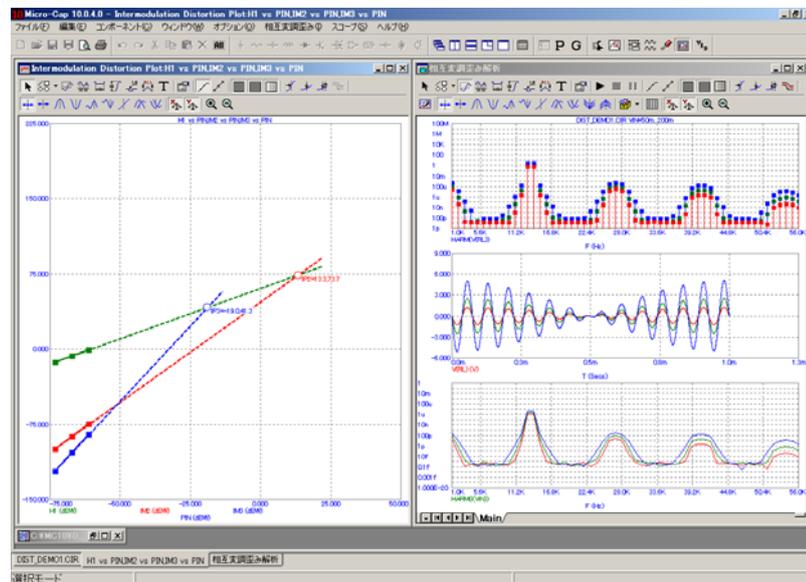


図13-7 DIST_DEMO1におけるH1、IM2、およびIM3のプロット

この解析では、VINと呼ばれる入力信号源に50 mV、14 kHzの正弦信号と50 mV、13 kHzの正弦信号を1 ms加えます。次に、それぞれが200 mVに達するまで、係数2でF1とF2のレベルをステップします。歪みウィンドウには、F1 = 13KとF2 = 14 KHzの単一周波数についてPIN(dBW)に対するH1、IM2およびIM3のプロットが表示されます。両軸ともに、dBと電力で結果を表示します。

RF回路での歪み解析を説明するため、MIXER1をロードします。この回路にはダウンコンバータ構造のNE600pが使用されています。以下に、H1、IM2およびIM3曲線のプロット方法と、1 dB圧縮点およびIM2・IM3インターセプトポイントの測定方法を示します。

解析メニューから**相互変調歪み**を選択します。次のような解析リミットダイアログボックスが開きます。

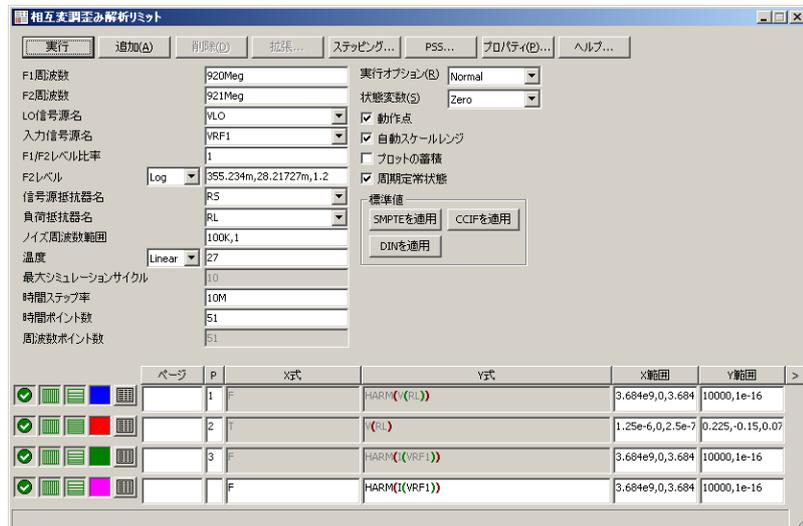


図13-8 MIXER1の歪み解析リミットダイアログボックス

DIST_DEMO1の解析リミットとこの解析リミットの最も大きな違いは、LO信号源と信号源抵抗器の指定です。信号源抵抗器はRF入力電力の計算に必要なものです。LO信号源周波数(FL)は、H1、IM2およびIM3周波数スロットを見つけるために他の周波数に加算または減算されます。加算や減算は、歪みプロパティ(F10)ダイアログボックスの加算および減算ラジオボタンで決定します。新しい回路の場合、デフォルトはFLの減算です。

実行を開始するにはF2を押します。数分後、次のような画面が表示されます。

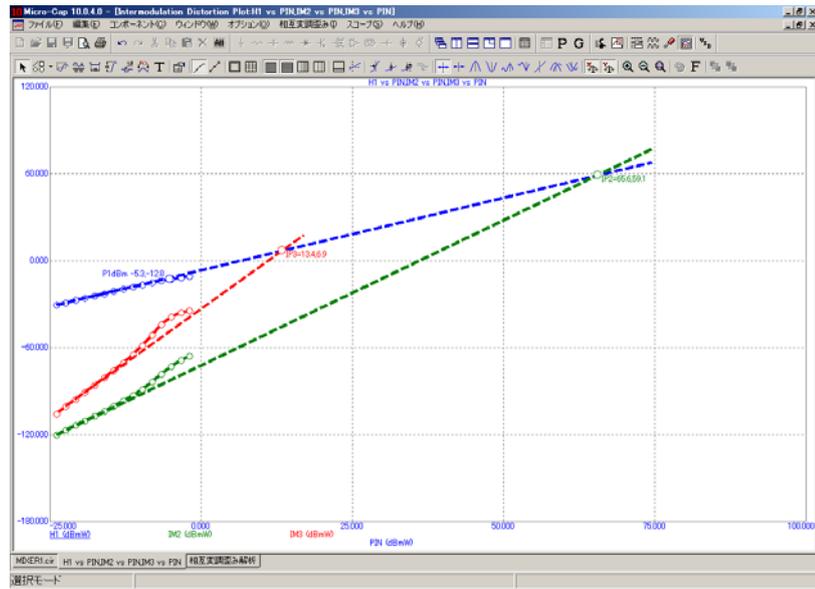


図13-9 MIXER1のH1、IM2およびIM3のプロット

プロットは、入力電力PINに対するH1（1次高調波）、IM2（2次相互変調歪み）およびIM3（3次相互変調歪み）を示します。数量はすべてdBm単位です。入力電圧が28.217 mVから355.234 mVまで掃引され、-24 dBm～-2 dBmのPINを生成します。プログラムにより曲線が走査され、IP2の傾きが2.0に最も近くなるデータ点と、IP3の傾きが3.0に最も近くなるデータ点を特定します。次に、これらの点から、H1との交点（または、飽和しない場合にH1と交わるはずの点）に線を引き、対応する2次インターセプトポイント(IP2)と3次インターセプトポイント(IP3)を計算します。IP2は $IP2 = IIP2, OIP2$ と表示され、IP3は $IP3 = IIP3, OIP3$ と表示されます。どちらも円形のアイコンで印が付いています。

また、1 dB圧縮点(P1dB)も算出されます。これは、1.0の傾きでH1の理想ラインから1 dBm低下するH1曲線上の点です。

インターセプトポイントを正確に計算するのに必要なのは、2カ所の点のみです。これらの点の間の傾きは、IM2では2.0に近く、IM3では3.0に近くである必要があります。この例で行ったほど多くの点を計算する必要はありません。しかし、1 dB圧縮点(P1dB)を正確に計算するには、十分な数の点をプロットし、曲線の傾き=1の部分（低電力で発生する）および圧縮点（高電力で発生する）を確認する必要があります。

相互変調歪みプロパティダイアログボックス

このダイアログボックス(F10)では、さまざまなモードにおいて、さまざまな変数をプロットできるように制御を行います。ダイアログボックスには次のパネルが含まれています。

・プロット

曲線 : プロットの追加、削除、表示/非表示の切り替えを行います。

タイトル : このセクションでは、プロットに名前を付けます。自動を選択すると、選択したプロット選択肢からタイトルが自動的に作成されます。

X軸 : 選択したプロットのX軸について変数を選択できます。選択肢は次のとおりです。

VIN	入力電圧レベル
VOU	出力電圧レベル
PIN	入力電力レベル
POU	出力電力レベル

別形式で表示には次のオプションがあります。

dB : 選択した変数をdBでプロットします。電圧の項を選択すると、 $20 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{値})$ がプロットされます。電力の項を選択すると、 $10 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{値})$ がプロットされます。

dBm : 選択した変数をdBmでプロットします。電力の項が選択された場合しか使用できません。 $10 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{値}/1\text{E-}3)$ をプロットします。

数値 : 選択した変数の値をプロットします。

形式 : ピークとRMSのいずれかを選択します。ここでの選択は、X軸とY軸の両方の変数に影響します。RMS電圧値とピーク電圧値の関係は、 $\text{RMS} = \text{ピーク}/\sqrt{2}$ です。RMS電力値とピーク電力値との関係は、 $\text{RMS} = \text{ピーク}/2$ です。分母をF2とするIM2やIM3は、この選択の影響を受けません。これらは比率であり、RMS因子が分子と分母の双方に適用されて相殺するため、比率そのものは変化しないからです。

Y軸 : 選択したプロットのY軸について変数を選択できます。

分子：基本的な選択肢は次のとおりです。

H1 出力振幅

IM2 2次相互変調歪み

IM3 3次相互変調歪み

各オプションには、選択された周波数スロットのリストが存在します。IM2およびIM3は、分母がF1またはF2に指定されれば比率として計算され、それ以外の場合はフーリエ係数行列からのRAW値となります。IM2を選択すると、その分子の内容を指定できます。F2-F1±FLの値またはF1+F2±FLの値であればいずれの値も選択できます。IM3を選択すると、その分子の内容を指定できます。2F1±F2±FLまたは2F2±F1±FLの組み合わせのいずれも選択できます。FLはLO信号源が指定されていないと加算や減算ができません。

FLの加算：LO信号源が指定されている場合、FLを加算するという項が周波数スロット選択肢に含まれます。たとえばMIXER1回路では、F1 = 920E6、F1 = 921E6、およびFL = 1000E6です。加算オプションを有効化すると、H1はF2 + FL = 1921E6スロットに作られます。同様に、IM2はF2 - F1 + FL = 1001E6に、IM3は2F2 - F1 + FL = 2*921E6 - 920E6 + 1000E6 = 1922E6に作られます。このオプションはアップコンバータミキサーで使用します。

FLの減算：LO信号源が指定されている場合、FLを減算するという項が周波数スロット選択肢に含まれます。たとえばMIXER1回路では、F1 = 920E6、F1 = 921E6、およびFL = 1000E6です。このオプションを有効化すると、H1はF2 - FL = 79E6スロットに作られます（符号は正に変換されます）。同様に、IM2はF2 - F1 - FL = 999E6に、IM3は2F2 - F1 - FL = 2*921E6 - 920E6 - 1000E6 = 78E6に作られます。このオプションはダウンコンバータミキサーで使用します。

ノイズを含む：IM2およびIM3の値にノイズを追加します。ノイズ値はAC解析で計算されます。

タイプ：電圧表示または電力表示のいずれかを選択します。

電圧：選択した変数を電圧比でプロットします。H1の場合は電圧値でプロットします。

電力：選択した変数を電力比でプロットします。H1の場合は電力値でプロットします。

別形式で表示：次のオプションがあります。

%：選択した変数を、パーセンテージでプロットします。IM2およびIM3はH1の割合として計算されます。H1をプロットした場合、常に100(%)となります。

dB：選択した変数をdBでプロットします。電圧タイプを選択すると、 $20 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{値})$ がプロットされます。電力タイプを選択すると、 $10 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{値})$ がプロットされます。

dBm：選択した変数をdBmでプロットします。電力の項が選択された場合しか使用できません。 $10 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{値}/1\text{E-}3)$ をプロットします。

数値：変数の実測値をプロットします。

分母：F2 ± FLまたは1の値を選択できます。F2 ± FLの値はIM2やIM3をH1信号に対する比率としてプロットしたい場合に使用します。1の値はH1、IM2、およびIM3の実測値をプロットしたい場合に使用します。

識別子：

単純：H1、IM2、およびIM3などの単純識別子で変数をラベル付けします。

リテラル：IM3P(dBW)など、複雑な識別子で変数をラベル付けします。変数をさまざまな方法で測定できるため、変数の計算方法や表示形式を特定します。

バッファ：波形バッファにアクセスします。保存済みの歪みプロットを要求できます。プロットを保存するには、対象のプロットで下線の付いた波形名を右クリックし、小さなポップアップメニューが開いたらバッファに追加オプションを選択します。

IM2インターセプトを表示：H1曲線とIM2曲線が、それぞれ1と2という理想的な傾きになっている場合に、両曲線が交差する点を計算します。H1の傾きが0.9～1.1で、IM2の傾きが1.8～2.2の範囲であるようなデータ点の組み合わせがない場合、インターセプトポイントや線は表示されません。IM2曲線を正確にプロットするには、分母が1で、電力とdBまたはdBmを選択する必要があります。また、X軸の変数は使用するdBmおよびPINである必要があります。

IM3インターセプトを表示：H1曲線とIM3曲線が、それぞれ1と3という理想的な傾きになっている場合に、両曲線が交差する点を計算します。H1の傾きが0.9～1.1で、IP3の傾きが2.8～3.2の範囲であるようなデータ点の組み合わせがない場合、インターセプトポイントや線は表示されません。IM3曲線を正確にプロットするには、分母が1で、電力とdBまたはdBmを選択する必要があります。また、X軸の変数は使用するdBmおよびPINである必要があります。

1 dB圧縮点を表示：傾き1.0のH1理想ラインから1 dB低下したH1曲線上の点を検索します。検索した点はP1dB = PIN, H1という印がつけます。XおよびYの数量は、どちらも電力項で、またどちらもdBか、どちらもdBmである必要があります。

プロット対象：複数の変数（TEMPERATURE、F2、VINなど）をステップする場合、このドロップダウンリストで、プロットするブランチを選択できます。

各セクションでの選択内容は、選択した曲線にしか適用されません。ただし、すべてボタンを押すと、選択内容がすべての曲線に適用されます。

グループのプロット：このフィールドでプロット整数を選択すると、プロットを異なるグループに分けることができます。

ラベル：表示フィールドにチェックマークを付けると、F2に複数の値が要求されたときに、選択したプロットのラベルが表示されます。チェックマークのオンとオフを切り替えるには、フィールドをクリックします。フォントオプションを使用するとラベルのフォントパラメータを変更できます。

- **スケールと形式**：数値スケールの形式を制御します。
- **色、フォント、線**：プロットの色、フォント、および線の通常制御を行います。
- **スコープ**：オプションのプロット項目の通常制御を行います。
- **ヘッダー**：数値出力ヘッダーの通常制御を行います。
- **数値出力**：歪みプロットの数値出力について通常制御を行います。プロットされているかどうかにかかわらず、いかなる変数でも数値出力に含めることができます。操作は、変数名の横のボックスにチェックマークを付けるだけです。出力を作成するには、作成ボタンをクリックします。これにより、CIRCUITNAME.IDNOというファイルに数値出力が作成されます。数値出力には2種類あるので注意が必要です。従来のタイプはトランジェントプロット用で自動的に生成されます。歪みタイプは、F10を押して歪みウィットンヴを選択し、数値出力パネルを選択して作成ボタンをクリックします。

- ・ **ツールバー** : ツールバーの通常制御を行います。

以下は、最適な相互変調プロットを得るためのヒントです。

- ・ **PSSを使用する** : PSSを使用すると、ほとんどの場合、より速く、より正確なプロットを生成できます。

- ・ **F2に対するF1の比率を0.99未満にする** : この比率が1.0に近づくほど、長い実行時間が必要になります。比率が0.90の場合と0.99の場合では、結果の違いは通常有意ではありませんが、実行時間は10分の1に短縮されることがあります。

- ・ **高速のIP2およびIP3プロット** : 正確なインターセプトの計算に必要なのは、ステップした入力電圧の2つの適正值のみです。1m,10mや10m,50mなどのF2レベルリストで試し、理想に近い傾き範囲を探します。H1、IM2、およびIM3の傾きは、それぞれ1.0、2.0、および3.0とします。傾き値は、カーソルモードテーブルの傾き欄に表示されます。カーソルモードを呼び出すにはF8を押します。傾き値を確認するには、左右のカーソルをデータ点の近くに合わせます。F2の2値リストの場合、カーソルが自動的に位置決めされ傾きを測定します。最適な開始点は通常、音声増幅器の場合は1 m~10 m、RFミキサーの場合は10 m~50 mです。特定の回路について一度最適な開始点が決定されると、回路がわずかに変化しただけでは、開始点は大きくは変化しません。確信のない場合は、100m,1m,1.2のログステップを使用し、この範囲で傾きを調べてください。

- ・ **インターセプトの欠落** : 特定のインターセプトが、要求されたにもかかわらず表示されない場合、いずれかの傾きが理想値に十分近づいていなかったことを示します。傾きは、F1の場合は0.9~1.1、IM2の場合1.8~2.2、IM3は2.7~3.3である必要があります。

高調波計算に関する注意事項

高調波歪みで使用する計算式は次のとおりです。

記号	割合(%)	dB	数値
THD	$100 \cdot D/S_1$	$A \cdot \text{LOG}(D/S_1)$	D/S_1
THDN	$100 \cdot (D+N)/S_1$	$A \cdot \text{LOG}((D+N)/S_1)$	$(D+N)/S_1$
SINAD	$100 \cdot S_1/(D+N)$	$A \cdot \text{LOG}(S_1/(D+N))$	$S_1/(D+N)$
SNR	$100 \cdot S_1/N$	$A \cdot \text{LOG}(S_1/N)$	S_1/N
H_n	$100 \cdot S_n/S_1$	$A \cdot \text{LOG}(S_n)$	S_n

変数	電圧	電力
A	20	10
S_n	V_n	V_n^2/RL
D	$\text{SQRT}(N_2^2+V_3^2+\dots V_M^2)$	$(V_2^2+V_3^2+\dots V_M^2)/RL$
N	$\text{SQRT}(\text{SUM}(\text{ONOISE}^2))$	$\text{SUM}(\text{ONOISE}^2)/RL$
D+N	$\text{SQRT}(V_2^2+V_3^2+\dots V_M^2+N^2)$	$(V_2^2+V_3^2+\dots V_M^2+N^2)/RL$
VOUT	$\text{SQRT}(V_1^2+V_2^2+\dots V_M^2)$	
POUT	$(V_1^2+V_2^2+V_M^2)/RL$	
PIN	$VIN \cdot IIN$	

定義：

A = dBスケール係数

D = 歪み振幅

H_n = N次高調波

IIN = 入力電流振幅

M = THDおよびTHDNで使用する高調波の数

N = ノイズ振幅

S_n = フーリエ行列からの高調波振幅

$\text{SUM}(\text{ONOISE}^2)$ = ノイズ周波数範囲にわたる ONOISE^2 の積分

VIN = 入力電圧振幅

V_1 = 1次高調波（基本波）の振幅

V_2 = 2次高調波の振幅

V_3 = 3次高調波の振幅

V_n = n次高調波の振幅

相互変調計算に関する注意事項

相互変調歪みで使用する計算式は次のとおりです。

-	-	割合(%)	-	dB	-	数値	
-	H ₁	-	100	-	A*LOG(S)	-	S
-	IM2	-	100*N2/D2	-	A*LOG(N2/D2)	-	N2/D2
-	IM3	-	100*N3/D3	-	A*LOG(N3/D3)	-	N3/D3
-	-	電圧	-	電力	-	-	
-	A	-	20	-	10	-	-
-	S	-	V ₁	-	V ₁ ² /RL	-	-

PIN LO信号源が指定されていない場合V(IN)*I(IN)

PIN LO信号源が指定されている場合(V(IN)/2)*(V(IN)/2)/RSOURCE

このとき、INは指定された入力信号源名を示す。

定義：

A = dBスケール係数

S = フーリエ行列からの高調波振幅

V1 = 基本波の振幅 (F2 ±FL)

電圧選択時：

N2 = IM2分子項のRMS和

D2 = IM2分母項のRMS和*

N3 = IM3分子項のRMS和

D3 = IM3分母項のRMS和*

電力選択時：

N2 = IM2分子項のRMS二乗和

D2 = IM2分母項のRMS二乗和*

N3 = IM3分子項のRMS二乗和

D3 = IM3分母項のRMS二乗和*

*分母項として「1」が選択された場合、電圧と電力はD2 = D3 = 1.0となります。

本章の内容

スコープとは、解析プロットとその曲線の表示、解析、注釈を行うツールの集合を示す用語です。トランジェント、AC、DC、歪み解析の変数により、曲線の拡大、縮小、パン、操作のほか曲線の数値を表示することもできます。コマンドを使ってカーソルを極大、極小、最大、最小、傾き・変曲点・特定の値へ移動することもできます。プロットへの注釈や説明のために、タグ、テキスト、グラフィクスを利用することもできます。

MC10の新しい機能

- ・波形をWAV形式で保存できるようになりました。
- ・指定した時間下限から基本周波数を計算する、または指定した周波数ステップから時間下限を計算する周波数ステップフィールドがFFTパネルに追加されました。
- ・数値形式を、すべての回路ファイルに全般的に指定するのではなく、各回路ファイルのプロットタグ、フォーミュラテキスト、および数値出力に対して指定できるようになりました。
- ・カーソルの位置調整やブランチ操作を、すべての回路ファイルに全般的に指定するのではなく、それぞれの回路ファイルに対して指定できるようになりました。

解析プロットのモード

AC、DC、トランジェントの解析後、解析プロットを検討・解析・注釈するためのいくつかのモードがあります。



・**選択モード**：**(CTRL + E)** 左のマウスボタンを使って、テキスト、タグ、グラフィクスオブジェクトを選択して、移動や編集ができます。



・**グラフィックモード**：グラフィクスオブジェクト（線、楕円、矩形、ひし形、円弧、扇形、多角形）を選択してプロット上に配置できます。オブジェクトを選択すると、マウスでドラッグしてオブジェクトを選択します。



・**スケールモード**：**(F7)** マウスの左ボタンでプロット領域ボックスをドラッグして拡大できます。マウスを離すと、プロットは領域の画像スケールに再描画されます。**CTRL ++** と **CTRL +-** キーを使ってスケールを拡大/縮小することもできます。



・**カーソルモード**：**(F8)** ディスプレイの2つの数値カーソル位置にある各曲線の値が表示されます。マウスの左ボタンで左のプロットカーソルを、右ボタンで右のプロットカーソルを操作します。左のカーソルは最初は最初のデータ点に置かれます。右カーソルは最初は最後のデータ点に置かれます。左右の矢印キーを使って左（SHIFTキーが押されている場合は右）のカーソルを選択した曲線上のポイントに移動します。カーソルの位置決めモードに応じて、次のポイントは次の極大点または極小点、全体の最大値と最小値、変曲点、次のシミュレーションされたデータ点、次の補間されたデータ点、最上部、または最下部のいずれかになります。



・**ポイントタグ**：このモードでは、マウスの左ボタンを使って数値（X、Y）のデータ点をタグします。タグを行うと、もっとも近いデータ点到強制移動（スナップ）します。



・**水平タグ**：このモードではマウスの左ボタンを使って、2つのデータ点の間でドラッグして水平デルタを測定することができます。タグは最も近いデータ点到強制移動（スナップ）します。



・**垂直タグ**：このモードでは、マウスの左ボタンを使って、2つのデータ点の間でドラッグして垂直デルタを測定することができます。タグは最も近いデータ点到強制移動（スナップ）します。



・**性能タグ**：このモードでは、マウスの左ボタンを使い、性能パラメータを測定するパフォーマンスタグをどの後続の実行に対しても表示することができます。これにはステップングされた実行やモンテカルロの実行を始め、シンプルな動的編集も含まれます。各々の場合に、タグは数量を測定すると動的に新しい値を示します。



・**テキスト**：(CTRL + T) このモードにより、解析プロットにテキストを配置できます。相対あるいは絶対テキストを配置できます。相対テキストは、プロットのスケールが変更されたときに、曲線に対する相対位置を維持します。絶対テキストは、プロットのフレームに対する相対位置を維持します。テキストの境界、塗りつぶす色、向き、フォント、スタイル、サイズ、効果も制御できます。

解析プロットのパニング

パニングとは、スケールを変更せずにプロットの位置を変えることをいいます。通常、スケールを拡大した後で使います。プロットをパンする方法はつぎの2つです。

キーボード：

- CTRL + 左矢印キーでプロットを左にパンします。
- CTRL + 右矢印キーでプロットを右にパンします。
- CTRL + 上矢印キーでプロットを上をパンします。
- CTRL + 下矢印キーでプロットを下にパンします。

キーボードパニングはどのモードでも使用できます。

マウス：

カーソルモード：CTRLキーを押したままにします。プロットウィンドウ内にマウスを置き、右のマウスボタンで希望の方向にドラッグします。

他のモード：プロットウィンドウ内にマウスを置き、右のマウスボタンで希望の方向にドラッグします。

パニングは、選択したプロットグループの曲線だけを移動します。別のプロットグループを選択するには、そのプロットグループをクリックするか、別のプロットグループにあるプロット数式をクリックするか、またはタブキーを使います。

プロットのスケールリング

スケールリングとは、解析が終了した後に解析プロットを縮小または拡大することをいいます。拡大では、プロットの細部を拡大し観察できます。縮小では、プロットのサイズが小さくなるので、プロットの全体を見ることができます。プロパティ (F10) /スケールおよび形式パネルのXおよびYセクションのスケールリングの有効化オプションにより、XおよびY方向のいずれかまたは両方でスケールリングが可能です。これは次のスケールリング方法の各々を制御します。

自動スケール：(F6) このコマンドは、選択したプロットグループのスケールリングをただちに実行します。選択されたプロットグループは、選択されたあるいは下線のついた曲線を含むプロットグループです。

リミットスケールの復元：(CTRL + Home) このコマンドは解析リミットダイアログボックスの既存のスケール範囲を使って、すべてのプロットを再描画します。

縮小：(CTRL + テンキーの -) このコマンドは選択したプロットグループの画像サイズを縮小します。縮小ボタン  をクリックしても同じことです。

拡大：(CTRL + テンキーの +) このコマンドは選択したプロットグループの画像サイズを拡大します。拡大ボタン  をクリックしても同じことです。

マウススケールリング：

スケールモード：マウスの左ボタンを使用して、拡大したい領域枠をドラッグ指定します。

カーソルモード：CTRLキーを押したままにします。拡大する領域の1コーナー付近にマウスを置いて、左マウスボタンを別のコーナーにドラッグします。スケールモードと同様ですが、CTRLキーを押しながら行います。

マウススケールリングは、選択モードおよびカーソルモードでしか使用できません。

プロパティダイアログボックス：(F10) このダイアログボックスにより、フロントウィンドウの特性を制御します。フロントウィンドウが解析プロットの場合、解析完了後に曲線のスケールを個別に変更できるスケールと形式パネルがあります。

元に戻す：(CTRL + Z) このコマンドにより、前のスケールに戻ります。

繰り返す：(CTRL + Y) このコマンドにより、最後にスケールを元に戻した内容を再実行します。

プロットのタギング

タグを用いて、データ点や、データ点間の差を測定・表示することができます。タグは、単一の曲線や、曲線上の2点、異なる曲線2点などに対して行うことができます。タグのモードには、4種類あります。



ポイントタグモード：このモードでは、曲線上の1つのデータ点をタグすることができます。このデータ点でのXとYの値が表示されます。このモードはデジタル事象の正確な時間やアナログ曲線の山や谷を測定・表示するのにとても便利です。



垂直タグモード：このモードでは、1つまたは2つの曲線上の2つのデータ点間でドラッグしてタグづけすることができます。2つのデータ点間のYの値の垂直差を示します。



水平タグモード：このモードでは、1つまたは2つの曲線上の2つのデータ点間でドラッグしてタグづけすることができます。2つのデータ点間でXの値の水平差を示します。これはパルス幅や時間遅延などの2つのデジタル事象間の時間差を測定するのにもっとも便利です。



性能タグ：このモードでは、マウスの左ボタンを使い、性能パラメータを測定する性能タグをどの後続の実行に対しても表示することができます。これにはステッピングされた実行やモンテカルロの実行を始め、動的編集も含まれます。各々の場合に、タグは数量を測定すると動的に新しい値を示します。性能タグは性能関数（例：立上がり時間、立下り時間、ピーク、周期、周波数、幅、高、低など）のどれでも使用することができます。

数値カーソルがあるところのデータ点をタギングする、いくつかの即時実行コマンドもあります。

・左カーソルにタグ：(CTRL+L) このコマンドにより、選択された曲線の左カーソルのデータ点にタグを付けます。

・右カーソルにタグ：(CTRL+R) このコマンドにより、選択された曲線の右カーソルのデータ点にタグを付けます。

・水平にタグ：(SHIFT+CTRL+H) このコマンドにより、左から右のカーソルに水平のタグを付け、2つのX式の値の差を表示します。

・垂直にタグ：(SHIFT+CTRL+V) このコマンドにより、左から右のカーソルに垂直のタグを付け、2つのY式の値の差を表示します。

新しいタグの各々に使われる数値形式は、**プロパティ/色、フォント、線/プロットタグ**で設定できます。既存タグをダブルクリックすることで形式を変更できます。これによりそのダイアログボックスが現れます。ダイアログボックスの形式ボタンで数値形式を変更することができます。

フォーミュラテキストのすべてのインスタンスに対する数値形式は、**プロパティ/色、フォント、線/フォーミュラテキスト**で設定できます。フォーミュラテキストのすべてのインスタンスで、この単一の形式設定が共有されます。

プロットへのグラフィクスの追加

グラフィクスモードでは、解析プロットにグラフィクス記号を追加することができます。グラフィクスモードを呼び出すには、グラフィクスボタンをクリックし、ポップアップするメニューでオブジェクトを選択します。グラフィクスオブジェクトを追加するには、プロット領域をクリックして、ドラッグします。オブジェクトを次に示します。

矩形
直線
楕円
ひし形
円弧
扇形
{
}
{}
多角形

これらのオブジェクトは作成後にダブルクリックすると編集できます。これにより、境界や塗りつぶし特性を変更できるダイアログボックスが表示されます。

多角形オブジェクトは、頂点の数値を直接編集できます。これはデザインテンプレートとして使うことを目的とする領域で、仕様を満たすために曲線が収まっている必要のある範囲を記述します。フィルタデザイナーでは、ACプロットに多角形が追加され、ユーザのフィルタ仕様から作成されたボードプロットの許容可能な領域を示します。定数MINとMAXを使って、プロットの最小座標と最大座標を簡単に指定できます。

デザイン多角形の例を確認するには、**デザイン**メニューのアクティブまたはパッシブフィルタ機能を使ってフィルタ回路を作成し、AC解析を実行します。選択モードに入り、黄色の多角形をダブルクリックすると、境界、塗りつぶし、頂点の構造も含め多角形のプロパティを確認できます。

スコープメニュー

スコープメニューには、次のオプションがあります。

・**全オブジェクトの削除**：このコマンドは解析プロットからすべてのオブジェクト（シェイプ、タグ、テキスト）を除去します。オブジェクトを一つずつ削除するには、クリックで選択してからCTRL + Xや削除キーを押します。オブジェクトをすべて削除するには、CTRL + Aですべてのオブジェクトを選択してからCTRL + Xや削除キーを押します。

・**自動スケール (F6)**：このコマンドは選択した曲線を含むプロットグループをスケーリングします。選択された曲線のY式には下線が付けられています。

・**可視領域を自動スケール**：このコマンドは、現在目視可能なX領域すなわち表示されているX領域内のY値のみを考慮することにより、曲線の垂直またはY軸をスケーリングします。このコマンドは曲線の小さい部分を拡大し、X軸スケールを保持しながら垂直領域のみを自動スケーリングするときに便利です。

・**リミットスケールの復元 (CTRL + HOME)**：このコマンドは解析リミットダイアログのスケール範囲に戻します。



・**レベルの上昇 (ALT + Up)**：プローブモードで、階層回路図（マクロまたはサブサーキットを含むもの）の次の最高レベルを表示します。

・**ビュー**：ビューオプションは、シミュレーション結果の表示にのみ影響します。そのため、実行後に変更すると、それに従って画面が再描画されます。これらのオプションには、ツールバーのアイコンでもアクセスできます。



・**データポイント**：これは、曲線プロットについて計算された実際のデータ点をマークします。その他の値すべてが線形補間されます。



・**トークン**：各曲線プロットにトークンを追加します。トークンは曲線の識別に役立つ小さなグラフィクス記号です。



・**ルーラー**：通常X/Yグリッド線全体をルーラー目盛りに変更します。



・**プラスマーク**：これはXとYグリッドの交点で連続グリッドを「+」マークに変更します。



・ **水平軸グリッド** : 横軸にグリッドを追加します。



・ **垂直軸グリッド** : 縦軸にグリッドを追加します。



・ **マイナーロググリッド** : 2、3、4...9の位置の主グリッド間に副グリッドラインを追加しますが、ラベルは付けません。



・ **マイナーロググリッド25** : 2および5位置の主グリッド間に副ロググリッドを追加し、ラベルを付けます。

・ **全てのマイナーグリッドにラベルを貼る** : これは副グリッドにラベルを付けます。



・ **ベースライン** : 基準として使う値0.0のプロットを追加します。



・ **水平カーソル** : カーソルモード (F8) で水平カーソルを追加し、垂直カーソルを補足します。

・ **トラッカー** : カーソル、交点、マウスにおけるトラッカーの表示を制御します。それぞれのトラッカーは小さなボックスで、カーソル位置、X、Y切片、マウス位置における数値を表示します。

・ **カーソル機能** : カーソルモードでのカーソルの位置決めを制御します。詳細はこの章の後半で説明します。



・ **波形バッファ** : このバッファは後の使用のために曲線と波形を保存します。このメニューにはいくつかの項目があります。

・ **波形バッファ** : 波形バッファダイアログボックスにアクセスします。曲線の集合を管理し、曲線を選択して表示できます。

・ **波形をバッファに保存** : プロットされた曲線の一つを波形バッファに追加できます。

・ **保持** : これもプロットされた曲線の一つを波形バッファに追加できますが、保存された波形のプロットを解析リミットに追加します。

・ **ブランチにラベルを貼る** : 曲線の複数のブランチにラベルを貼るため、自動またはユーザ指定のX位置を選択できます。このオプションは、モンテカルロやパラメータ、温度ステップングなどによって、複数のブランチが作成されるときに表示されます。ラベルを削除するには、マウスでそれらを選択するか、CTRL + Aですべてのオブジェクトを選択して、削除キーを押します。

・**データポイントにラベルをつける**：トランジェント、AC、DC解析でそれぞれラベルを付ける必要のある時間、周波数、入力掃引データポイントの一式を指定するダイアログボックスにアクセスします。このコマンドは、ポーラーやスミスチャートで周波数データポイントにラベルを付けるためによく利用されます。ラベル付きの点を削除するには、ダイアログボックスから削除します。

・**エンベロープ**：このオプションは、選択された曲線のブランチのすべてを包む多角形領域を描画します。このオプションを使用するには、曲線の一つを選択し、次にこの項目をメニューから選択します。エンベロープを消去するには、それを選択し、削除キーを押します。

・**アニメーションのオプション**：このオプションは、次のデータ点に移るときに、ノード電圧やデジタル状態を回路図上に表示します。デバイスの電流、電力、動作状態（オンオフなど）も表示可能です。このオプションを使うには、 ボタンをクリックして待ちモードを選択し、左右に並べる  または上下に並べる  を押してから実行を開始します。回路図が表示されている場合は、MC10 はアナログノードにノード電圧、デジタルノードにノード状態が表示されます。デバイスの電流を表示するには 、デバイスの電力を表示するには 、デバイスの状態を表示するには  をそれぞれクリックします。これにより解析が進むにつれ状態の展開を見ることができます。フルスクリーンのプロットに戻すには、 ボタンをクリックします。



・**サムネイルプロット**：このオプションにより、小さなガイドプロットが表示され、現在のプロットが曲線全体のどこに位置するか概観できます。左のマウスボタンで曲線上のボックスをドラッグし、異なる範囲を選択することもできます。右のマウスボタンでボックスをドラッグすると、メインのプロットがパンします。

・**カーソル位置で正規化**：(CTRL + N) 選択された（下線付きの）曲線を、アクティブカーソルの位置で正規化します。アクティブカーソルは最後に移動したカーソルです。もしくは両方とも移動しなかった場合は左のカーソルです。正規化すると、曲線全体のおのおのが現在のカーソル位置の曲線Y値で除算され、その位置での正規化値は1.0となります。Y式にdB演算子が含まれていて、X式がF（周波数）である場合、正規化すると、曲線のデータポイントのおのおのから現在のデータポイントでのY式の値が減算され、現在のカーソル位置で0.0の値となります。

・**最小位置で正規化**：このオプションにより、選択された（下線付きの）曲線を最小値で正規化します。

・**最大位置で正規化**：このオプションにより、選択された（下線付きの）曲線を最大値で正規化します。



・**Xに移動**：(**SHIFT + CTRL + X**) 左右カーソルを、選択された曲線のX式が指定値になる次のインスタンスに移動し、データ点のY値をレポートします。



・**Yに移動**：(**SHIFT + CTRL + Y**) 左右カーソルを、選択された曲線のY式が指定値になる次のインスタンスに移動し、データ点のX値をレポートします。



・**性能に移動**：選択した曲線のY式の性能関数値を計算します。測定点へのカーソルも移動します。例えば、測定対象には、パルス幅・帯域幅・立ち上がり時間・立ち下がり時間・遅延時間・周期・最大値・最小値などがあります。



・**ブランチに移動**：曲線のどのブランチに左右カーソルを置くか選択できます。左カーソルのブランチは、第一選択色、右カーソルのブランチは、第二選択色になります。

・**左カーソルにタグ**：(**CTRL + L**) 選択された曲線の左カーソルのデータ点にタグを付けます。

・**右カーソルにタグ**：(**CTRL + R**) 選択された曲線の右カーソルのデータ点にタグを付けます。

・**水平にタグ**：(**SHIFT + CTRL + H**) 左右カーソル間に水平タグを付け、2つのX値の差を表示します。

・**垂直にタグ**：(**SHIFT + CTRL + V**) 左右カーソル間に垂直タグを付け、2つのY値の差を表示します。

・**カーソルの整列**：このオプションにより、異なるプロットグループの数値カーソルが同じデータ点に置かれるよう強制できます。カーソルモードでだけ利用可能です。

・**カーソルを同じブランチに保つ**：ステップングで複数の実行を行うと、プロットされた各式に対して各実行につき1本の線がプロットされます。これらの線を曲線または式のブランチと呼びます。上矢印および下矢印カーソルキーがいくつかのブランチの数値カーソルを移動するのに使われた場合、このオプションは左右のカーソルを選択された曲線の同じブランチに強制的にとどめます。このオプションが無効の場合、カーソルキーは左右数値カーソルのいずれか（両方ではない）が移動し、互いが曲線の異なるブランチを占めます。

・**カーソル値をクリップボードにコピー**：カーソル表の値をクリップボードにコピーし、別のプログラムやMC10テキストフィールドにペーストできるようにします。

・**各プロットグループに同じYスケール**：このオプションにより、プロットグループのすべての曲線が同じYスケールを使用するように強制されます。曲線のY範囲値が異なる場合、複数のYスケールが表示され、プロットがスケールばかりになってしまう場合があります。

・**Xスケールリングを有効**：このオプションにより、F6（自動スケール）、ズーム（+、-）、パニングコマンドとドラッグスケールコマンドについて水平軸のスケールリングを有効にします。このオプションが有効である場合、F6を押すと選択されたプロットグループ内の曲線は水平方向に自動スケールされます。このオプションは垂直軸には影響しません。解析リミットダイアログボックスの自動スケールオプションは、このオプションおよびX軸とY軸の両方の自動スケールに優先します。

・**Yスケールリングを有効**：このオプションにより、F6（自動スケール）、ズーム（+、-）、パニングコマンドとドラッグスケールコマンドについて垂直軸のスケールリングを有効にします。このオプションが有効である場合、F6を押すと選択されたプロットグループ内の曲線は垂直方向に自動スケールされます。このオプションは水平軸には影響しません。解析リミットダイアログボックスの自動スケールオプションは、このオプションおよびX軸とY軸の両方の自動スケールに優先します。

・**Xスケールを同じに保つ**：このオプションにより、同じX式を使用するすべての水平スケールを同じにします。言い換えれば、プロットグループ1のスケールをドラッグまたはパンすると、同じX式のすべてのプロットグループの水平スケールが変更されます。このオプションは、別のプロットグループにしておきたいがスケールは同じにしたい場合に便利です。



・**蓄積プロットの消去**：蓄積プロットオプションが有効である場合、MC10は回路図変更に起因するプロットを蓄積します。プロットエリアは密集する可能性があります。このコマンドは、次の実行のために蓄積プロットを除去することにより密集をクリアします。

カーソルを除くすべてのモードで、マウスの右ボタンのドラッグによりプロットがパンされます。カーソルモードでは、CTRL + マウスの右ドラッグでプロットがパンされます。

プロットプロパティダイアログボックス

曲線の表示と形式を実行後に変更するには、プロパティダイアログボックスを使用します。次のように表示されます。



図14-1 プロットプロパティダイアログボックス

プロットプロパティダイアログボックスでは、解析プロットウィンドウを制御できます。これはプロット後でもプロット前でも利用できます。まだプロットが存在していないときは、解析リミットダイアログボックスのプロパティボタンをクリックするとこのダイアログボックスが表示されます。ダイアログボックスには次の選択肢があります。

・プロット

曲線：プロットグループフィールドとプロットタイプフィールドを適用する曲線を選択します。チェックボックスは、選択された曲線のプロットを制御します。曲線を非表示にするには、ボックスをクリックしてチェックを外します。

タイトル：プロットのタイトルを指定できます。自動ボタンをチェックすると、回路名と解析の詳細からタイトルが自動的に作成されます。

プロットグループ：プロットグループ番号を制御します。

プロットタイプ：プロットのタイプ、長方形、ポーラーまたはスミスチャートを制御します。後者2つはAC解析でのみ利用可能です。

・スケールと形式

曲線 : 適用する曲線を選択します。

X : グループには次のものが含まれます。

レンジ低 : 選択された曲線をプロットするのに使用するX範囲の最小値です。

レンジ高 : 選択された曲線をプロットするのに使用するX範囲の最大値です。

グリッド間隔 : Xグリッドの間隔です。

ボールドグリッド間隔 : 太線のXグリッドの間隔です。

スケール係数 : リストからオプションでXスケールファクタを指定します (無、自動、T、G、Meg、K、m、u、n、p、f)。

スケール単位 : リストからオプションでX軸の単位を指定します (無、自動、セカンド、ボルト、アンペア、オーム、...)。自動では、時間にSなどの単純な式から適切な単位を選択できますが、T+10などの複雑な式では無視されます。

スケール形式 : X軸のスケールを表示するために使われる数値形式を指定します。

カーソル形式 : カーソルモードのプロット下の表やトラッカーボックスでX値を印刷するのに使用される数値形式を指定します。

自動スケール : このコマンドは、X範囲をスケールリングして、数値をレンジ低、レンジ高の各フィールドに置きます。適用ボタンをクリックすると効果を確認できます。

対数 : チェックするとX対数スケールになります。

自動/静的グリッド : オートスケールや静的グリッドを使用する場合に使用するX軸グリッドの数です。

スケールリングの有効化 : この項目をチェックすると、X軸のスケールリングコマンドおよびパニングコマンドの即時応答アクション (F6、CTRL++, CTRL+-、マウスドラッグ) が有効になります。

Y:このグループはY軸グループに補足的なコマンドを提供します。

レンジ低: 選択された曲線をプロットするのに使用するY範囲の最小値です。

レンジ高: 選択された曲線をプロットするのに使用するY範囲の最大値です。

グリッド間隔: Yグリッドの間隔です。

ボールドグリッド間隔: 太線のYグリッドの間隔です。

スケール係数: リストからオプションでYスケールファクタを指定します (無、自動、T、G、Meg、K、m、u、n、p、f)。

スケール単位: リストからオプションでY軸の単位を指定します (無、自動、セカンド、ボルト、アンペア、オーム、...)。自動では、V(A)にはVなどの単純な式から適切な単位を選択できますが、V(A)^2などの複雑な式では無視されます。

スケール形式: Y軸スケール数値形式です。

カーソル形式: カーソルモードのプロット下の表やトラッカーボックスでY値を印刷するのに使用される数値形式を指定します。

自動スケール: このコマンドは、Y範囲をスケールリングして、数値をレンジ低、レンジ高の各フィールドに置きます。適用ボタンをクリックすると効果を確認できます。

対数: チェックするとY対数スケールになります。

自動/静的グリッド: オートスケールや静的グリッドを使用する場合に使用するY軸グリッドの数です。

スケールリングの有効化: この項目をチェックすると、Y軸のスケールリングコマンドおよびパニングコマンドの即時応答アクション (F6、CTRL ++、CTRL +、マウスドラッグ) が有効になります。

静的グリッド: このオプションは、X軸とY軸のグリッド数に*自動/静的グリッド*フィールドで指定された数Nを使用し、グリッドの間隔を (レンジ高 - レンジ低) / Nに維持します。このオプションでは、プロットがパンされると移動する新しいフローティンググリッドに対して、固定の位置、変数の値、MC6スタイルのプロットグリッドを強制的に使用します。

Xスケールを同じに保つ : このオプションにより、同じX式を使用するすべての水平スケールを同じにします。言い換えれば、プロットグループ1のスケールをドラッグまたはパンすると、同じX式のすべてのプロットグループの水平スケールが変更されます。このオプションは、別のプロットグループにしておきたいがスケールは同じにしたい場合に便利です。

勾配計算 : スロープの計算方法を、リストボックスのNormal、dB/Octave、dB/Decadeから選択します。

各プロットグループに同じYスケール : このチェックボックスが有効の場合、自動スケールコマンドのときに、グループ内のすべてのプロットが単一の共通スケールを使用するよう強制されます。ボックスにチェックがない場合、それぞれの曲線について独立のスケールが与えられます。

保存レンジの編集 : このチェックボックスを有効にすると、レンジフィールドの変更内容が解析リミットダイアログボックスの適切なレンジフィールドにコピーされ、恒久的なものになります。

共通形式の使用 : このボタンをクリックすると、選択された曲線のX/Y形式が、すべての曲線の形式フィールドにコピーされます。

共通Yスケール : このボタンをクリックすると、選択された曲線のY範囲フィールドが同じプロットグループのすべての曲線のレンジフィールドにコピーされます。実行時に個別のレンジの端点から共通レンジを決定します。

スミスチャートスケール係数 : スミスチャートのインピーダンスのスケール係数を指定します。正規化された値には、1.0のスケールファクタを使ってください。

• 色、フォント、線

オブジェクト : このリストボックスにより、その他のコマンド（色、フォント、線）が適用されるオブジェクトを選択できます。コマンドには次のものが含まれます。

ベースラインの色 : ベースラインの色です。

データポイントラベル : データ点のラベルのテキストと色のプロパティを設定します。

一般テキスト : 軸のスケール、タイトル、カーソル、テーブル、曲線名に使われるテキストです。

グラフの背景 : プロットのバックグラウンドです。

グリッド : 解析プロットのグリッドです。

選択 : 選択されたオブジェクトの色です。

選択ボックス : 選択モードボックスの色です。

トラッカー : トラッカーのテキストと色のプロパティを設定します。

一次色の選択 : ブランチに移動の左ボタンで選択されるブランチの色を設定します。

二次色の選択 : ブランチに移動の右ボタンで選択されるブランチの色を設定します。

すべてをプロット : すべての曲線のカラーとスケールテキストのカラー、曲線の幅、パターン選択、データ点、描画スタイルを同時に設定します。

曲線名 : 曲線のカラーとスケールテキストのカラー、曲線の幅、パターン、データ点、描画スタイルを個別に設定します。

ウィンドウの背景 : ウィンドウのバックグラウンドです。

曲線 : このグループにより、プロット線の色、幅、パターン、点、スタイルを変更できます。虹色オプションにより、ステッピングされたそれぞれの曲線にスペクトルの色が割り当てられます。

曲線テキスト : このグループでは、プロットのすぐ下に表示されている、選択された曲線名の色を変更することができます。

フォント : このフィールドにより、選択されたオブジェクトのフォントを変更できます。

サイズ : このフィールドにより、選択されたオブジェクトのテキストサイズを変更できます。

効果 : このフィールドにより、選択されたオブジェクトのテキストの効果を変更できます。

テキストスタイル : オブジェクトリストで選択されている項目のテキストスタイルを設定します。テキストスタイルは、フォント、サイズ、カラー、スタイル、効果から構成されます。テキストスタイルは、一般のテキスト、トラッカー、データ点のラベルに割り当てることができます。

サンプル:このフィールドには、現在のテキスト、線、色、幅、パターンのプロパティを使った選択されたオブジェクトのサンプルが表示されます。

プロットタグ形式:プロットタグの数値形式にアクセスします。

フォーミュラテキスト形式:解析フォーミュラテキストの数値形式にアクセスします。

• **スコープ:**回路のスコープオプションを設定します。

ビュー:以下を含む初期スコープのビューオプションを設定します。

データポイント:プロットの計算された点をマークします。その他すべての値は線形補間されます。

トークン:各曲線プロットにトークンを追加します。トークンは曲線の識別に役立つ小さなグラフィックス記号です。

ルーラー:通常フルスクリーンXおよびY軸グリッドラインをルーラー目盛りに変更します。

プラスマーク:XとYグリッドの交点のところで、連続グリッドを「+」マークに変更します。

水平軸グリッド:水平グリッドを追加します。

垂直軸グリッド:垂直グリッドを追加します。

マイナーロググリッド:2、3、4...9の位置で主グリッド間に副ロググリッドを追加しますが、ラベルは付けません。

マイナーロググリッド25:2と5位置の主グリッド間に副ロググリッドを追加し、ラベルを付けます。

全てのマイナーグリッドにラベルを貼る:これは副グリッドにラベルを付けます。スケールでズームインし、副グリッドにラベルを付ける必要があるときに便利です。

ベースライン:基準としてのゼロベースラインを追加します。

水平カーソル:カーソルモード (F8) で水平カーソルを追加します。

トラッカー：このオプションはカーソル、切片、マウストラッカーの表示を制御します。これはカーソルデータ点やそのXとYの切片またはマウス位置における数値を含む小さなボックスです。

カーソル：次のオプションはカーソル動作を制御します。

カーソルの整列：複数のプロットグループが使用されている場合、このフラグが設定されていると、各プロットグループのカーソルが同じ水平位置に保たれます。

カーソルを同じブランチに保つ：ステッピングなどでプロットに複数のブランチがある場合、このオプションを使用すると、同じブランチにカーソルを保ちます。上下矢印を使用していずれかのカーソルを動かすと、他のカーソルも動き、すべてのカーソルが同じブランチに維持されます。このフラグが設定されていない場合、それぞれのカーソルを個別に、異なるブランチに移動させることが可能です。

• **FFT**：このパネルでは、FFT関数で使うパラメータを制御します。

時間上限：FFT関数の時間上限値を指定します。基本周期の倍数に設定します。

時間下限：FFT関数の時間下限値を指定します。一般にこれは対象の波形の開始時の過渡状態を避けるために基本周期の倍数に設定し、通常は2~4周期です。時間上限値と時間下限値の差は1周期でなければなりません。

周波数ステップ：FFT計算で使用する基本周波数を指定します。新しい値が入力されると、数式にしたがって時間下限が適合するように調整されます。

$$F0 = 1 / (\text{時間上限} - \text{時間下限})$$

ポイント数：FFT関数で使う補間データ点の数を指定します。通常は、1024、2048、4096がほぼ適切な選択肢です。

自動スケーリング：このグループでは、FFT関数の自動スケールのオプションを制御し、次のオプションがあります。

DC調波を含む：自動スケーリングを実行する時にDC高調波を含めます。通常は無効にします。

自動スケールファースト...調波 : この数値により、スケールリング時に含める高調波の数を指定します。

• **ヘッダー** : 数値出力テキストのヘッダ形式を制御します。

左 : テキスト出力の左側にテキストを追加します。

中央 : テキスト出力の中央にテキストを追加します。

右 : テキスト出力の右側にテキストを追加します。

それぞれ、次の形式を使えます。

\$MC	Micro-Capと表示
\$User	ユーザ名を表示
\$Company	会社名を表示
\$Analysis	解析の種類を表示 (トランジェント、AC、DC)
\$Name	回路の名前を表示

以上のテキストや他のテキストを左、中央、右に配置できます。

区切り文字 : 数値出力において、曲線の表の項目間に置く区切り文字を選択できます。選択肢は、タブ、セミコロン、カンマ、スペース、その他です。

• **数値出力** : このグループでは、数値出力テキストファイルに含めるものを選択します。

曲線 : このセクションでは、印刷する曲線とその曲線名に対する仮名を選択できます。

全てをチェック : リストに表示されている波形をすべて印刷します。

全てをクリア : いずれの波形も印刷しません。

矢印 : 印刷順序を調整するときに使用します。

選択されていない項目を非表示にする : リスト内で選択されていないプロットを非表示にします。

オーダー : 1から順番に印刷順を設定します。

別名 : 完全な波形名の代わりに列ヘッダーで仮名を利用できます。

X形式 : 選択した波形のX値に対して数値形式を制御します。

Y形式 : 選択した波形のY値に対して数値形式を制御します。

共通形式を使用する : すべて曲線の形式を、選択した波形の形式に設定します。

曲線リストボックス : 印刷する曲線を選択できます。

表示 : このセクションでは、数値出力ファイルに含めるその他のマテリアルが選択できます。

数値出力を含む : 数値出力ファイルの作成を可能にします。別のオプションはファイル内容を制御します。

メインヘッダーを含む : 主ヘッダーを印刷します。

解析リミットを含む : 解析限界を追加します。

ブランチヘッダーを含む : ステッピング項目またはモンテカルロケース番号を識別するブランチヘッダーを追加します。

モデルパラメータを含む : モデルパラメータを印刷します。

ゼロパラメータを含む : ゼロ値のパラメータの印刷を可能にします。

未定義パラメータを含む : 未定義モデルパラメータをその規定値を使って印刷します。

動作点値を含む : ファイルへの動作点データの印刷を制御します。

ノイズを含む : ACにおける各ノイズ値の印刷を制御します。

波形値を含む : 波形値の印刷を制御します。各数式に隣接した数値出力アイコン  が有効でなければなりません。

波形ヘッダーを含む : 各数値列上で識別される数式テキストを印刷します。

印刷を始める場所 : 波形値の印刷が始まる時間値を指定します。

印刷を終了する場所 : 波形印刷が発生した一番最後の時間値を指定します。

表形式 : 数値出力曲線／波形表をどのように配置するかを制御します。水平は従来の形式で、列ベクトルが水平に配置されます。垂直は時間列を印刷し、その後に各出力に対して一つの単一列ベクトルが続きます。*Vertical X, Y Alternate*も同様ですが、各出力ベクトル間に余分な解析変数列が挿入されます。最後に、*Vertical X, Y Pairs*は、垂直に配置された、解析変数と一出力の列ペアを生成します。

水平 : このオプションは通常の表様式で値を印刷します。

```
Datapoint1 Expr11 Expr21 ...ExprM1
Datapoint2 Expr12 Expr22 ...ExprM2
...
DatapointN Expr1N Expr2N ...ExprMN
```

垂直 : このオプションは以下のように連続した単一垂直列として曲線値を印刷します。

```
Datapoint1
Datapoint2
...
DatapointN
```

```
Expr11
Expr12
...
Expr1N
```

```
Expr21
Expr22
...
```

Expr2N
...
...
...
ExprM1
ExprM2
...
ExprMN

Vertical X, Y Alternate : このオプションは垂直と同じですが、データポイント列が各ExprIJ列間で垂直に繰り返される点が違います。

Vertical X, Y Pairs : このオプションは次の通りに印刷します。

Datapoint1 Expr11
Datapoint2 Expr12
...
DatapointN Expr1N

Datapoint1 Expr21
Datapoint2 Expr22
...
DatapointN Expr2N

Datapoint1 ExprM1
Datapoint2 ExprM2
...
DatapointN ExprMN

その他の出力値 : 動作点値などの非波形値のすべてに対して数値形式を制御します。

• **曲線の保存** : このグループでは、複数の曲線を保存し、後で表示したりユーザ信号源で使ったりできるようにします。次のフィールドがあります。

曲線 : 保存する曲線を選択できます。

保存項目 : 温度やその他の変数をステップすると、リストボックスが表示され、保存するブランチを選択できます。

曲線の保存 : このフィールドは選択した曲線名のコピーです。

自動保存 : このボックスにチェックマークが入っていると、実行後に毎回、選択した曲線が自動的に保存されます。

USR, CSV : 2つのいずれかの形式で曲線を保存するためのパラメータを設定します。下のファイルでリストボックスから*USR*または*CSV*を選択します。

名前をつけて (新しい名前) : 曲線を保存する名前を指定できます。この名前は、後でその曲線を表示したり、ユーザの信号源で使用するときに使用します。

ポイント数 : 実データポイントの保存オプションが無効である場合に実際の曲線から補間によって計算するデータポイントの数を指定します。

実データポイントの保存 : このオプションが無効である場合、ファイルに保存される曲線は、実際の曲線からのポイント数の等距離のデータ点を使って補間により計算されます。このオプションが有効である場合、ファイルに保存される曲線には、実際のシミュレーションデータ点が含まれ、一般に時間間隔 (周波数) が不均一となります。

形式 : ファイルの書き込み時に使用する数値形式を設定します。

削除 : 指定したファイル名から指定した曲線名を削除します。

WAV : *WAV*形式で曲線を保存するためのパラメータを設定します。次のファイルでリストボックスから*WAV*を選択します。

サンプルレート : 使用するサンプルレートを設定します。

ビット数 : 使用するビット数を設定します。

範囲 : 使用する音声振幅幅を設定します。

再生 : 選択した波形をスピーカーで再生します。

停止 : 再生を停止します。

自動範囲 : 使用する範囲を自動設定します。

ファイルで: 曲線を保存するファイル名を指定します。

参考: 曲線を保存・削除したいディレクトリを参照できます。データ形式のファイルタイプを選択することも可能です。USRはユーザーソース向けです。CSV (エクセルファイル用カンマ区切り)。WAVは再生可能音声ファイル向けです。

保存: このコマンドにより、選択した曲線が指定した曲線名とファイル名を使って保存されます。曲線を既存のファイルに保存すると、ファイルに曲線が追加されるので注意してください。ファイル内に同じ曲線がすでに存在する場合は上書きされます。他のすべての曲線には影響しません。

・ **ツールバー**: メインツールバーの下にあるローカルツールバーのボタンを選択できます。

ツールバー: このリストボックスにより、ローカルツールバーを選択できます。

ボタン: このボックスではローカルツールバーボタンを選択できます。

ボタン表示: チェックすると、解析ツールバーに表示されます。

左: このコマンドにより、ツールバーはウィンドウの左側に配置されます。

上: このコマンドにより、ツールバーはウィンドウの上側に配置されます。

右: このコマンドにより、ツールバーはウィンドウの右側に配置されます。

下: このコマンドにより、ツールバーはウィンドウの下側に配置されます。

全てオン: このコマンドにより、ツールバーにすべてのボタンが配置されます。

全てオフ: このコマンドにより、ツールバーにはボタンは配置されません。

規定値: このコマンドにより、ツールバーに規定値のボタンのセットが配置されます。

OK: このボタンにより、すべての変更が確定してダイアログボックスを終了します。解析プロットは再描画されます。それ以降の実行の際は、変更されたプロパティが使用されます。後で回路ファイルで保存するとそこに保持されます。

キャンセル: このボタンによりすべての変更を拒否してダイアログボックスを終了します。解析プロットは元のプロパティで再描画されま

す。

適用：このボタンにより、ダイアログボックス内の現在の設定を使って解析プロットを表示します。変更によって表示が受ける効果を確認できます。OKボタンをクリックするまでは、変更は一時的なものです。

ヘルプ：ローカルのヘルプファイルにアクセスします。

規定値

プロパティのパネルの多くは、規定値を選択、定義できる2つのボタンがあります。

規定値：このボタンは、規定値のパラメータ／オプションの現在の集合をパネルにコピーし、変更内容を上書きします。

規定値の設定：このボタンにより、パラメータ／オプションの現在の集合をそのパネルの標準の規定値にします。これはこのパネルの標準の規定値を変更するだけでなく、デフォルトボタンがこれ以降に使用された場合および新たに作成されるすべての回路に対して変更が有効になるので、注意して使ってください。

オリジナルの規定値をリストアするには、

オプションメニューの新回路の規定値プロパティに移動します。

適切なプロパティパネルを選択し、デフォルトボタンをクリックします。これでF10プロパティパネルの規定値がオリジナルの値に復元されます。

カーソルの位置決めモード

カーソルは、さまざまな便利な方法で位置決めできます。

マウスによる制御

左のマウスボタンで左のカーソル、右のマウスボタンで右のカーソルを制御します。マウスによってシミュレーションデータ点の間でも、任意の場所に移動できます。

キーボードによる制御

左矢印カーソルキーと右矢印カーソルキーで左のカーソル、SHIFT + カーソルキーで右のカーソルを移動します。キーボードでは、位置決めモードによって、カーソルをシミュレーションデータ点の1つに移動できません。

ツールバーボタンで選択する位置決めモードは、次にカーソルキーを押した時にカーソルが移動する場所に影響します。カーソルの位置決めにより、選択されたあるいは下線付きの曲線上の位置をピックアップします。曲線はタブキーまたはマウスでY式をクリックして選択します。



・ **次のシミュレーションデータポイント**：このモードでカーソルキーを押すと、実行している場所からカーソルの矢印の方向の次の実際のデータ点が見つかります。



・ **次の補間データポイント**：このモードでカーソルキーを押すと、カーソルの矢印の方向の次の丸い補間データ点が見つかります。



・ **ピーク**：このモードでカーソルキーを押すと、選択された曲線の次の極大点が見つかります。



・ **谷**：このモードでカーソルキーを押すと、選択された曲線の次の極小点が見つかります。



・ **最大**：このボタンをクリックすると、選択された曲線の現在のブランチ上の最大値のデータ点が見つかります。



・ **最小**：このボタンをクリックすると、選択された曲線の現在のブランチ上の最小値のデータ点が見つかります。



・ **反曲**：このモードでカーソルキーを押すと、選択された曲線の変化率または1階微分値が最大の次のデータ点が見つかります。



・**最上部** : このボタンをクリックすると、*現在のXカーソル位置*における選択された曲線のすべてのブランチでYの値が最も大きいデータ点が見つかります。



・**最下部** : このボタンをクリックすると、*現在のXカーソル位置*における選択された曲線のすべてのブランチでYの値が最も小さいデータ点が見つかります。



・**グローバル高 (全体の最大)** : このボタンをクリックすると、選択された曲線のすべてのブランチで最大のY値のデータ点が見つかります。



・**グローバル低 (全体の最小)** : このボタンをクリックすると、選択された曲線のすべてのブランチで最小のY値のデータ点が見つかります。

カーソルモードを選択すると、2、3の初期化イベントが発生します。選択された曲線は、第1あるいは最上部の曲線に設定されます。次のシミュレーションデータ点モードが有効になります。モードボタンをクリックするとモードだけが変更されるのではなく、最後のカーソルが最後の方向に移動します。最後のカーソルは左のカーソル、最後の方向は右に設定されます。左のカーソルは最初のデータ点の左側に移動します。右のカーソルは、最後のデータ点の右側に移動します。

波形バッファ

波形バッファは、AC、DC、トランジェント、高周波歪み、または相互変調歪みからの曲線および波形の保存場所を提供します。

曲線の保存にはいくつかの方法があります。スコープ/波形バッファまたは波形バッファツールバーボタン  の保持または波形をバッファに保存を使うことができます。波形をバッファに保存はプロットされた曲線をバッファに保存します。保持は曲線を保存し、保存曲線のプロットを解析限界に追加します。どちらのコマンドも、プロットの数式テキストで右クリックしても利用可能です。

バッファに何があるかを見るには、スコープメニューまたはCTRL + SHIFT + Bで波形バッファダイアログボックスを呼び出してください。一般的には次のようになります。

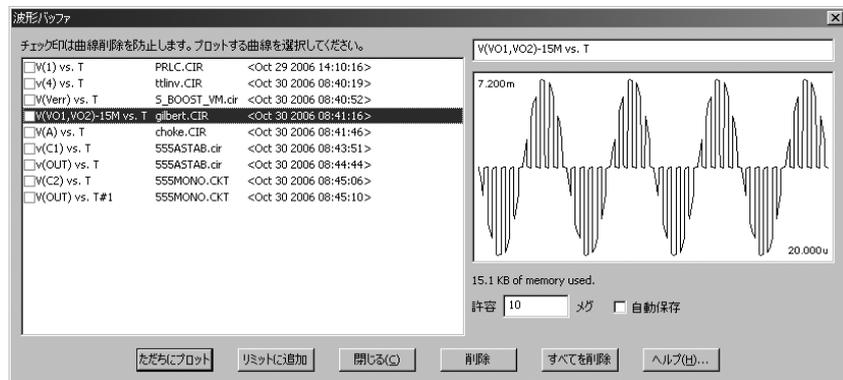


図14-2 波形バッファダイアログボックス

この一覧は波形名、その回路、それらが保存された日時を示します。名前に隣接するチェックボックスは、自動保存モードで曲線が削除されるのを防止します。右のプロットは選択された波形です。底部のボタンは次のように機能します。

- ・ただちにプロット：選択されたプロットを解析限界に追加し、解析プロットを再描画します。

- **リミットに追加** : 選択されたプロットを解析限界に追加しますが、プロットを再描画しません。
- **閉じる** : ダイアログボックスを閉じます。
- **削除** : 選択された波形を削除します。削除キーも利用できます。
- **全て削除** : チェックが外れている波形をすべて削除します。
- **ヘルプ** : ダイアログボックスのヘルプページにアクセスします。

自動保存チェックボックスが有効な場合、ユーザー設定のメモリー限界に達するまですべての波形と曲線は自動的に保存されます。その後、曲線は古いものから適宜削除されます。曲線にチェック印がついていると、削除から保護されます。許容フィールドはメガバイト単位でユーザー設定メモリー限界を含みます。

本章の内容

本章では、プローブの使い方を説明します。プローブは、表示用のツールで、トランジェント、AC、DC解析で使用できます。プローブを選択して解析を実行すると、シミュレーション結果がディスクに保存されます。その後回路図をマウスでプローブすることによって結果を観察します。

プローブはどのように動作するか

プローブはシミュレーションの結果を見るもう一つの方法です。回路図のある位置に注目して、その位置のノードやコンポーネントに付随する曲線を見ることができます。プローブは、通常のシミュレーションと全く同様に機能しますが、各データ点の変数はディスク上のファイルからアクセスされます。プローブを最初に起動すると、プログラムはまず作業データディレクトリに最新のシミュレーションファイルがあるかどうかを判断します。ないときは解析を実行してシミュレーションファイルを作成します。回路図をクリックすると、プローブはマウスポインタの位置を決定し、垂直軸と水平軸の両方について適切な変数をファイルから抽出し、得られる曲線をプロットします。

シミュレーションや解析の実行は、解析リミットダイアログボックス内の設定にしたがっておこなわれます。たとえば、トランジェント解析では、重要な値の1つは時間範囲であり、これによって解析が実行される時間の長さが決まります。時間範囲や他の値を編集するには、F9を押してダイアログボックスにアクセスします。これにより、標準のダイアログボックスの簡略化バージョンが表示されます。必要に応じてフィールドを変更できます。プローブの前にF2を押すと、解析を再実行することができます。

プロットは**オプション/新回路の規定値プロパティ/解析プロット**のプロパティを使用して構築されます。数値スケールやカーソルモードの値は、**スケールと形式**の設定を使って書式化されます。プロットのテキスト、ラインのプロパティ、色は、**色、フォント、線**の設定からとられます。ツールバーの選択は**ツールバー**の設定からとられます。

プロパティダイアログボックス (F10) でプロットのプロパティを一時的に変更できます。これらの変更は、現在のプローブセッションに使われ、プローブを終了すると破棄されます。それ以降のプローブ呼び出しでは、再び**オプション/新回路の規定値プロパティ/解析プロット**の設定で開始されます。

プローブメニュー

・**実行 (F2)** : このオプションは新たな解析を強制的に行います。最後に保存した実行のタイミングが最後の回路図編集よりも前である場合、プローブは自動的に解析を実行します。しかし、RELTROL等の全般設定値やシミュレーションに影響を及ぼすオプションを変更したときは、新しい値を使って新たな実行を強制したいと思う場合があるでしょう。

・**リミット (F9)** : その実行の解析リミットを編集できます。

・**ステップング (F11)** : ステッピングダイアログボックスにアクセスします。

・**動作点法 (CTRL + SHIFT + O)** : 使用すべき動作点方法とその各々を試す順序を選択できます。

・**データポイントの低減** : データポイントの低減ダイアログボックスを呼び出します。すべてのn番目のデータ点を削除できます。

・**カーブの追加** : このオプションでは、任意の回路変数による数式のプロットを追加することができます。たとえば $VCE(Q1) * IC(Q1)$ を入力して、トランジスタのコレクタ電力をプロットできます。

・**カーブの削除** : 選択した曲線を削除します。

・**全カーブの削除** : (CTRL + F9) プロットからすべての曲線を削除します。

・**アナログとデジタルの分離** : アナログとデジタルの曲線を別々のプロットグループに置きます。これはプロットグループの設定をオーバーライドします。

・**1本のカーブ** : このモードでは、1つの曲線だけプロットされます。回路図のプローブをおこなう度に、以前の曲線は新しい曲線で置き換えられます。このモードでも、複数のトレースを追加することはできません。それにはCTRLを押したままオブジェクトをクリックします。これにより、曲線がプロットされていない場合は曲線が追加され、曲線が既にプロットされている場合は削除されます。

・**多数のカーブ** : このモードでは、新しい曲線は既存の曲線を置き換えません。そのため、複数のYスケールで多くの曲線を一緒にプロットできます。

・**すべてを保存** : このオプションを選択するとプローブはすべての変数を強制的に保存します。これは電荷、磁束、容量、インダクタンス、磁束密度または磁場を表示する必要があるときにだけ使います。

・**VとIのみを保存**：このオプションを選択すると、スペースとアクセス時間が節約されます。時間、周波数、デジタル状態、電圧、電流の変数だけが保存されます。電荷、磁束密度、静電容量、インダクタンス、抵抗、電力、磁界の値など、その他の値は破棄されます。

・**3Dウィンドウ**：3Dプロットを生成するために1つ以上のステップングされた実行が可能な場合、このオプションが表示されます。

・**性能ウィンドウ**：性能プロットを生成するために1つ以上のステップングされた実行が可能な場合、このオプションが表示されます。

・**EFTウィンドウ**：このオプションでは、EFTウィンドウを追加、削除、表示できます。

・**スライダ**：スライダダイアログボックスを呼び出します。これはスライダ制御を追加し、それをコンポーネント値またはモデルパラメータに加えます。

・**プロットグループ**：次の曲線を入れるプロットグループを選択します。1～9のグループまたは個別が選択可能です。個別を選択すると、最大9個のプロットグループに達するまで、各新規プロットに未使用のプロットグループ番号が割り当てられます。その後は、最終プロットグループに新しいプロットが配置されます。

・**プローブの終了**：プローブを終了します。F3も有効です。

トランジェント解析の変数

垂直メニューで垂直軸の変数を、水平メニューで水平軸の変数を選択します。回路図中をマウスでクリックすると、プローブはクリック位置のオブジェクトがノードであるかコンポーネントであるか、アナログかデジタルかを判定します。

オブジェクトがデジタルノードのときには、プローブはそのノードのデジタル状態の曲線をプロットします。

マクロドリルダウンが有効であり、オブジェクトがアナログマクロまたはサブサーキットである場合、プローブは回路図またはSPICEネットリストを表示し、通常の方法でそれをプローブします。

マクロドリルダウンが無効であり、オブジェクトがマクロまたはサブサーキットである場合、プローブは内部変数を列挙します。内部変数は変数名をクリックして選択できます。OKボタンをクリックするとプローブは選択された曲線をプロットします。

オブジェクトがアナログノードやアナログコンポーネント（マクロやサブサーキットを除く）である場合、プローブはこれらのメニューで指定された垂直および水平変数を抽出し、これらの変数を使ってアナログ曲線をプロットします。

全てを保存モードでは：*CTRL* + スペースバーで利用可能な測定モード (*V*, *I*, *E*, *P*, *R*, *Q*, *C*, *X*, *L*, *B*, *H*) を繰り返すことができます。

*V*と*I*のみを保存モードでは：*CTRL* + スペースバーを押すことにより、電圧モードと電流モードを切り替えることができます。

• **すべて**：クリックされたコンポーネントに利用できるすべての変数を列挙します。

• **電圧**：マウスでノードをプローブすると、ノードの電圧が選択されます。マウスが2端子のコンポーネントをプローブすると、そのコンポーネントの電圧が選択されます。マウスが3端子または4端子の能動素子のうちの2端子の間をプローブすると、端子間の電圧差が選択されます。

*SHIFT*キーを押したまま2つのノードをクリックすると、2つのノードの電圧差が得られます。

• **電流**：マウスで2端子のコンポーネントをプローブすると、そのコンポーネントの電流が選択されます。3端子または4端子の能動素子の1つの端子をプローブすると、この端子への電流が選択されます。

• **エネルギー**：マウスでコンポーネントをプローブすると、コンポーネントの消費エネルギーED、生成エネルギーEG、蓄積エネルギーESがプロットされます。部品がこれらの一つ以上持つ場合、選択可能なリストが表示されます。回路図の背景をクリックすると、総

エネルギー項のどれか、すなわちPGT（総発生エネルギー）、EST（総蓄エネルギー）、EDT（総消費エネルギー）のいずれかを選択できます。

- **電力**：マウスで部品をプローブすると、コンポーネントの消費電力PD、生成電力PG、蓄積電力PSがプロットされます。一つ以上の選択肢がある場合は、リストが表示されます。回路図の背景をクリックすると、総電力項のどれかを選択できます。それらは、PGT（総発生電力）、PST（総蓄積電力）、PDT（総消費電力）です。

- **抵抗**：マウスで抵抗器をクリックすると、抵抗値が選択されます。

- **電荷**：コンデンサをクリックすると、その電荷が選択されます。プローブを半導体デバイスの端子間で行うと、2つの端子間の内部コンデンサの電荷を選択します。たとえば、NPNのベースとエミッタとの間をクリックすると、CBEの電荷（拡散容量と接合容量に蓄えられる電荷）が選択されます。

- **電気容量**：マウスでコンデンサをクリックすると、その容量が選択されます。半導体デバイスの端子の間でプローブを行うと、2本の端子間の内部コンデンサの容量を選択します。たとえばNPNのベースとエミッタとの間をクリックすると、ベース - エミッタ領域の拡散容量と接合容量が選択されます。

- **フラックス**：マウスでインダクタをクリックすると、磁束が選択されます。

- **インダクタンス**：マウスでインダクタをクリックすると、インダクタンスが選択されます。

- **磁束密度**：非線形コアモデルを指定したK（結合）デバイスの中から参照されているインダクタをクリックすると、コアの磁束密度が選択されます。

- **磁場**：非線形コアモデルを指定したK（結合）デバイスの中から参照されているインダクタをクリックすると、コアの磁場が選択されます。

- **時間**：トランジェント解析のシミュレーション時間の変数が選択されます。

- **リニア**：線形スケールが選択されます。

- **対数**：対数スケールが選択されます。

AC解析の変数

AC解析ではアナログの変数と演算子のみ使用できます。使用できる変数は次の通りです。

- **すべて** : クリックされたコンポーネントに利用できるすべての変数を列挙します。

- **電圧** : オブジェクトがノードの場合、複素ノード電圧が選択されます。オブジェクトが2端子コンポーネントの場合、このコンポーネントの複素電圧が選択されます。マウスで3ないし4端子の能動素子の2端子間をプローブすると、端子間の複素差動電圧が選択されます。SHIFTキーを押したまま、2つのノードをプローブすると差動電圧が得られます。

- **電流** : オブジェクトが2端子コンポーネントの場合、コンポーネントの複素電流が選択されます。マウスで3ないし4端子の能動素子の端子をプローブすると、この端子への複素電流が選択されます。

- **電力** : マウスでコンポーネントをプローブすると、そのコンポーネントの消費 (PD)、発生 (PG)、蓄積 (PS) されるAC電力がプロットされます。そのコンポーネントにこれらのうち複数のものがある場合は、選択するリストが表示されます。コンポーネント以外の背景をクリックすると、総電力項のどれかを選択できます。それらは、PGT (総発生電力)、PST (総蓄積電力)、PDT (総消費電力) です。

- **コンダクタンス** : 2端子部品の複素コンダクタンスをプロットします。

- **インピーダンス** : これは、抵抗、コンデンサ、インダクタ、ダイオード、ソース等の2端子部品の複素インピーダンスをプロットします。ACソース駆動ネットワークをクリックすると、ネットワークの複素入力インピーダンスがプロットされます。コンデンサのような受動エレメントをクリックすると、その複素インピーダンスがプロットされます。コンデンサがMODEL属性を利用し、寄生エレメントを有する場合、これらもインピーダンスに含まれます。

- **Iノイズ** : マウスをクリックした位置と無関係にノイズのプロットを選択します。Iノイズは解析リミットダイアログボックス (F9) のノイズ入力フィールドで指定した信号源を参照します。このオプションは、非ノイズ項がプロットされた場合は無効になります。

- **Oノイズ**：マウスをクリックした位置と無関係にノイズのプロットを選択します。Oノイズは解析リミットダイアログボックス (F9) のノイズ出力フィールドで指定した出力ノードを参照します。このオプションは、非ノイズ項がプロットされた場合は無効になります。
- **周波数**：掃引周波数変数が選択されます。
- **振幅**：プローブした変数の値の大きさ (振幅) をプロットします。
- **振幅 (dB)**：プローブする変数のデシベル値 (振幅) をプロットします。これが規定値の演算子です。
- **位相**：これはプローブする変数の位相をプロットします。
- **群遅延**：プローブする変数の群遅延をプロットします。
- **実部**：プローブする変数の実部をプロットします。
- **虚部**：プローブする変数の虚部をプロットします。
- **リニア**：線形スケールを選択します。
- **対数**：対数スケールを選択します。

ノイズ変数は、その他の変数とは両立できないので注意してください。IノイズやOノイズがプロットされていると、電圧や電流など他の値はプロットできず、またその逆も同様です。プロットは、CTRL + HOMEでクリアできます。

DC解析の変数

DC解析ではアナログ変数とデジタル変数のどちらも使用することができます。以下があります。

- **すべて** : クリックされたコンポーネントに対して可能な変数をすべて列挙します。
- **電圧** : マウスでデジタルノードをプローブすると、このノードのデジタル状態が選択されます。マウスでアナログノードをプローブすると、ノード電圧が選択されます。マウスで2端子コンポーネントの部品形状をプローブすると、そのコンポーネントの電圧が選択されます。マウスで3ないし4端子の能動素子のうち2つの端子間をプローブすると、端子間の電圧差が選択されます。SHIFTキーを押したまま、2つのノードをプローブすると差動電圧が得られます。
- **電流** : マウスでデジタルノードをプローブすると、ノードのデジタル状態が選択されます。マウスで2端子コンポーネントの部品形状をプローブすると、そのコンポーネントの電流が選択されます。マウスで3ないし4端子の能動素子のうち1つの端子をプローブすると、その端子の電流が選択されます。
- **電力** : コンポーネント上にマウスのプローブがある場合、コンポーネントで消費電力PD、生成電力PGがプロットされます。一つ以上の選択肢がある場合、リストが表示されます。コンポーネント以外の回路図の背景をクリックすると、総エネルギー項のいずれか、すなわちPGT（総発生エネルギー）、PST（総蓄エネルギー）、PDT（総消費エネルギー）のいずれかを選択できます。DC解析ではPST（総蓄積電力）はゼロなので、電力変数間の次の一般的関係により、PGTは常にPDTと等しくなります。

$$PGT = PST + PDT$$

- **リニア** : 線形スケールを選択します。
- **対数** : 対数スケールを選択します。

規定値の横軸変数は、DC解析リミットダイアログボックスの変数1に指定されている値です。たとえば、信号源が電圧源の場合、横軸の値は信号源の値、信号源が電流源であれば、横軸の値は信号源を流れる電流です。

この規定値は、プロパティダイアログボックスのプロット項目で変更できます。プロパティダイアログボックスはプローブプロットをクリックしてから、F10を押して呼び出します。X変数が変更できるためには、プロットが存在していなければなりません。

プローブのアナログ変数

水平と垂直メニューはプローブで表示される曲線変数や演算子の選択に使われます。各変数や演算子に表示される曲線はコンポーネントに依存します。変数と演算子は次のようになります。

コンポーネント変数							
コンポーネント	電圧	電流	キャパシタンス/インダクタンス	電荷/フラックス	エネルギー/電力の生成	エネルギー/電力の蓄積	エネルギー/電力の消費
信号源	V	I	NA	NA	EG / PG	NA	NA
抵抗	V	I	NA	NA	NA	NA	ED / PD
コンデンサ	V	I	C	Q	NA	ES / PS	NA
インダクタ	V	I	L	X	NA	ES / PS	NA
ダイオード	V	I	C	Q	NA	ES / PS	ED / PD
伝送線路	VAP, VAM, VBP, VBM	IAP, IAM, IBP, IBM	NA	NA	NA	NA	NA
BJT	VB, VC, VE, VBE, VBC, VEB, VEC, VCB, VCE	IB, IE, IC,	CBE, CBC	QBE, QBC	NA	ES / PS	ED / PD
BJT4	VB, VC, VE, VS, VBE, VBC, VBS, VEB, VEC, VES, VCB, VCE, VCS, VSB, VSE, VSC	IB, IE, IC, IS	CBE, CBC, CCS	QBE, QBC, QCS	NA	ES / PS	ED / PD
MOSFET : LEV 1-3	VG, VS, VD, VB, VGS, VGD, VGB, VDS, VDG, VDB, VSG, VSD, VSB, VBG, VBD, VBS	IG, IS, ID, IB	CGS, CGD, CGB, CBD, CBS	QGS, QGD, QGB, QBD, QBS	NA	ES / PS	ED / PD
MOSFET : LEV 4, 5, 8, 49, 14, 44	VG, VS, VD, VB, VGS, VGD, VGB, VDS, VDG, VDB, VSG, VSD, VSB, VBG, VBD, VBS	IG, IS, ID, IB	NA	NA	NA	NA	NA
OPAMP	VP, VM, VOUT, VPM, VCC, VEE	NA	NA	NA	NA	NA	NA
JFET	VG, VD, VS, VGS, VGD, VSG, VSD, VDG, VDS,	IG, ID, IS	CGS, CGD	QGS, QGD	NA	ES / PS	ED / PD
GaAsFET	VG, VD, VS, VGS, VGD, VSG, VSD, VDG, VDS,	IG, ID, IS	CGS, CGD	QGS, QGD	NA	ES / PS	ED / PD

単に端子を入れ替えただけの変数は、表示されていません。例えばCGSとCSGは同じプロットを生成します。

表15-1 プローブ変数の一般構文

抵抗は抵抗器だけで利用可能です。インダクタンス、磁束密度、磁場はインダクタだけで利用可能です。

プローブの領域

ノード電圧やデジタル状態をプローブするには、ノードに示された丸いドットの1つをマウスでクリックするか、またはノードへ接続している任意のワイヤの任意の部分をクリックします。ノードに複数のドットがあるときは、どれをクリックしても構いません。

プローブは多くの内部デバイス変数をプロットすることができます。たとえば、MOSFET (Level 1~3のみ) の内部電荷と内部容量にアクセスできます。3端子本以上のデバイスのプローブ領域は、比較的複雑です。たとえばトランジスタの変数は、もっとも近いピン間線分により決まります。これらのピン間線分をMOSFETを例にして、つぎの図に示します。マウスをデバイスの近くでクリックすると、各線分からマウスをクリックした位置までの距離が判定されます。最短距離の線分がどれかによって、2つの端子が決まります。変数の種類は垂直と水平メニューの選択内容で決まります。

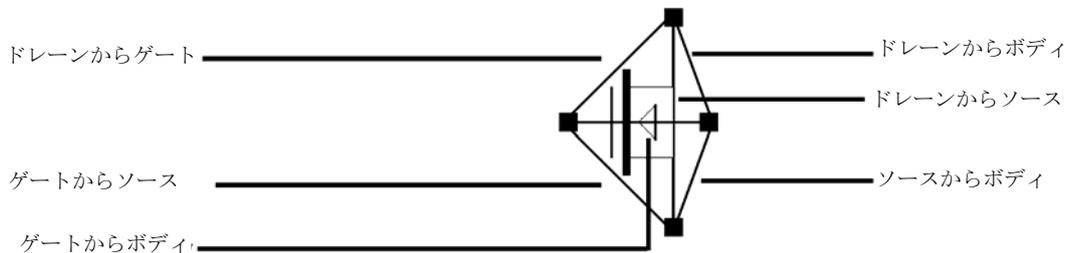


図15-1 MOSFETのピン間線分の図

SPICEファイルのプローブ

SPICEファイルもプローブできます。信号源、抵抗器、ダイオードのような2端子のデバイスをクリックすると、垂直オプションが電圧に設定されているか電流に設定されているかによって、デバイスの両端の電圧または通過電流がプロットされます。3端子デバイスをクリックすると、希望する電圧または電流の変数を選択するダイアログボックスが表示されます。ノード番号をクリックすると、そのノードの電圧がプロットされます。

プローブでの回路図編集

プローブモードで回路図を編集することもできます。これをするには、新しいプローブモードを利用し、マウス編集とマウスプロービングを区別します。

選択、コンポーネント、テキスト、ワイヤおよびその他のモードが編集に使われます。プローブモードは、波形または曲線の回路図をプローブするのに使用されます。

スペースバーを押すと現在の編集モードとプローブモードが素早く切り替わります。

マクロとサブサーキットのプロービング

前のバージョンでは、マクロまたはサブサーキット記号をクリックすると、かなり複雑な変数リストが選択できるダイアログボックスが表示されました。このバージョンでは、マクロまたはサブサーキット記号をクリックすると、1レベルドリルダウンされ、次のレベルの回路図(マクロ)またはネットリスト(サブサーキット)が表示されます。ここからは通常の方法でプローブができます。

マクロまたはサブサーキットをクリックし、1レベル下ります。(メイン回路図に向けて)レベルを上げるには、Upボタンをクリックするか、またはALT+ 上矢印を押します。スコープ/レベルの上昇で同じコマンドを使うこともできます。

この機能はプリファレンス/オプション/解析/マクロドリルダウンから有効にしたり、無効にしたりできます。

本章の内容

ステップングはパラメータの値を変化させる処理で、それによる回路のビヘイビアに対する影響を確認します。トランジエント解析、AC解析、DC解析、歪み解析、ダイナミックAC解析、ダイナミックDC解析にはすべてパラメータ値をステップングする機能があります。

この機能は、モンテカルロ解析と同時には使えません。両方が有効にされると、MC10は最後にオンにされた方を有効にし、他方を無効にします。

ステップングされた波形は、同じグラフにプロットされます。それらを区別するには、カーソルモードで上下カーソルキーを使ってブランチの切り替えを行います。カーソルキーで選択されるブランチ（ステップ値）を変更すると、ウィンドウのタイトルが変更され、ステップングされたパラメータの値を示します。ブランチに個別にラベルを付けたり、マウスやブランチに移動機能を使ってブランチを個別に選択できます。

MC10の新しい機能

- ・解析リミットダイアログボックスでステップングボタンを押すと、アクティブなステップングが太字で表示されるようになりました。
- ・スレッディングが有効化されている場合、ステップングでマルチCPUを活用できるようになりました。シングルCPUと比べ、処理速度が2 CPUでは通常1.6倍、4 CPUでは通常3.0倍高くなります。

ステップングはどのように動作するか

ステップングでは、一つ以上のコンポーネントの一つ以上のパラメータの値を規則的に変更して解析を実行し、各曲線について複数のブランチを描画します。初期のバージョンでは、モデルレベルや寄生抵抗値などの変数の変更に制限がありました。現在は、ほとんどのタイプのパラメータをステップングできます。パラメータには、属性パラメータ（抵抗の抵抗値等）や、モデルパラメータ（トランジスタのbeta等）、記号変数パラメータ（.define文や.param文で定義される）があります。パラメータにより式の行列式が変更される場合、MC10は式を再作成します。それぞれのパラメータのセットについて実行が行われ、指定された波形がプロットされます。パラメータのステップングを有効にすると、3Dプロットが使用できるようになります。性能関数のパラメータへの依存が表示できます。

何をステップさせることができるか

ステップングできる変数には、3つの基本的な種類があります。

- 属性パラメータ
- モデルパラメータ
- 記号変数パラメータ（.DEFINEで生成したもの）

ある種のコンポーネント、例えば単純な従属信号源IOFI、IOFV、VOFI、VOFVなどは、VALUEという単一の属性パラメータによって定義されます。この種類のコンポーネントでは、VALUEがステップングできる唯一のパラメータです。

モデルパラメータしかステップできないコンポーネントもあります。

コンポーネントによっては、属性パラメータとモデルパラメータの両方があり、どちらのパラメータもステップできます。

モデル文のパラメータや属性で使用される記号パラメータもステップングできます。

記号変数を使うと、Listオプションを使ってテキストのステップングが可能です。モデルやスティミュラスファイル、その他のテキストベースのパラメータを変更するのに便利です。

ステップングダイアログボックス

パラメータのステップングはステップングダイアログボックスでコントロールします。このダイアログボックスをつぎに示します。



図16-1 ステッピングダイアログボックス

このダイアログボックスには、いくつかの領域があります。

・パラメータのパネル

このダイアログボックスには最大20のパラメータのタブがありますが、実際に使われるのは最大5つです。それぞれのタブでは、1つのパラメータを制御するパネルにアクセスします。ステップ有効オプションがYesに設定されると、各パラメータのステップングが有効になります。パネルタブのチェック印はどのパラメータがステップングに有効であることを示します。

・ **ステップ有効**：このオプションをYesに設定してパラメータステップングを有効にします。

・対象

各パラメータパネルの左側の対象リストボックスでは、ステップングするモデルパラメータ名、コンポーネント、記号変数値を指定します。異なる部品が同じモデル名を共有する可能性があるため、名前と電氣的定義が同時に表示されます。リストボックスをクリックすると、ステップングに利用可能な項目がリスト表示されます。選択するには、項目をクリックします。各パネルの右側の対象リストボックスでは、ステップングするパラメータの名前を指定します。リストボックスをクリックすると、ステップングに利用可能な項目がリスト表示されます。選択するには、項目をクリックします。

・ **From**：パラメータのステップ開始時の値を指定します。

・ **終了**：パラメータのステップ終了時の値を指定します。

- **値**：パラメータのステップ値を指定します。
- **メソッド**：各パネルのメソッドオプションは値がパラメータ値にどのような影響を及ぼすかをコントロールします。
 - **直線**：リニアステッピングでは値が加算されます。
 - **ログ**：対数グステッピングでは値で乗算されます。
 - **リスト**：リストステッピングではリストフィールドにコンマ区切りで指定された値が代入されます。
- **パラメータのタイプ**：各パネルのこのオプションは、対象フィールドがモデル、コンポーネント、記号名を参照するかどうかを指定します。
 - **コンポーネント**：抵抗の抵抗値などパッシブなパラメータ値に使用します。
 - **モデル**：モデルパラメータ（BJTのBFやデジタルデバイスの遅延パラメータなど）に使用します。
 - **シンボリック**：記号変数は、.DEFINE文や.PARAM文で定義します。これらはコンポーネントの値やモデルパラメータに使用できます。記号変数のステッピングは、多数のパラメータ値を効果的にコントロールできる強力な方法です。例えば、多くのMOSFETデバイスのWとLをコントロールするには、次のようにします。

```
.DEFINE W1 2U
.DEFINE L1 0.3U
```

```
.MODEL NM1 NMOS (W = W1 L = L1 ....)
```

これにより記号変数W1とL1を使用するデバイスのWとLをステップできます。

モデルパラメータの個々のインスタンスをステッピングすることも、すべてのインスタンスをステッピングすることも可能です。コンポーネントのモードでは、ステッピングは1つのデバイスの1つのパラメータにのみ影響します。これは全般設定のオプションPRIVATEANALOGやPRIVATEDIGITALが有効の場合に限ります。モデルのモードでは、ステッピングはすべてのデバイスの一つのパラメータに影響します。これはPRIVATEANALOGとPRIVATEDIGITALのフラグの状態によりません。

・**変更**：変更オプションは複数のパラメータをステップするときのみ意味を持ちます。このオプションは、パラメータの変更をネストするか同時に行うかをコントロールします。

- ・**すべての変数を同時にステップ**：このタイプの変更では、すべてのパラメータが同時に変化します。そのため、マッチするパラメータの小さなセットが得られます。
- ・**入れ子のループの変数をステップ**：このタイプの変更では、各パラメータが独立で変化します。そのため、指定された値のすべての組み合わせが得られます。

たとえば、L1を1uから2uに、C1を1nから2nにステップするとします。同時では2回、ネストでは4回の実行が行われます。

<u>ネスト</u>	<u>同時</u>
L1 = 1u C1 = 1n	L1 = 1u C1 = 1n
L1 = 1u C1 = 2n	L1 = 2u C1 = 2n
L1 = 2u C1 = 1n	
L1 = 2u C1 = 2n	

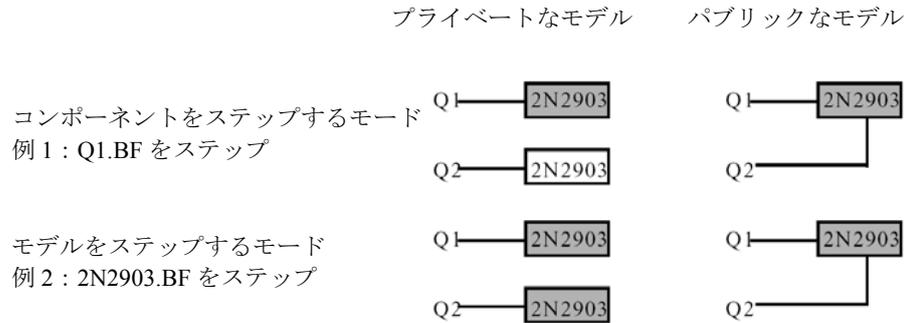
同時ステップングでは、各パラメータのステップ数は同じである必要があります。異なるステップ数で指定されている場合、エラーメッセージが表示されます。パラメータ変化のあらゆる組み合わせが必要なときはネストを、特定の組み合わせのみ必要なときは同時を実行してください。

- ・**すべてオン**：このボタンにより、すべてのアクティブなパネルについてステップ有効フラグをオンにします。
- ・**すべてオフ**：このボタンにより、すべてのアクティブなパネルについてステップ有効フラグをオフにします。
- ・**デフォルト**：このボタンにより、公称パラメータ値の1/2～2倍の範囲のステップ値の集合を作成します。
- ・**OK**：編集内容を決定してダイアログボックスを終了します。
- ・**キャンセル**：編集内容をすべて無視してダイアログボックスを終了します。
- ・**ヘルプ**：このボタンはヘルプシステムにアクセスします。

ライブラリのパブリック vs プライベート

ライブラリのパブリックとプライベート、コンポーネントとモデルによる4つの組み合わせについて説明します。2つのトランジスタからなる回路を考え、それぞれのMODEL属性を「2N2903」とします。

この回路には2つのトランジスタがあり、コンポーネント名をQ1、Q2とします。どちらも2N2903モデルを使います。次の図に、4つの組み合わせを示します。



網かけされているモデルがステップングで変更されます。例1ではQ1.BFをステップングしています。つまり、Q1が参照するモデルがステップされます。ライブラリがプライベートな場合、Q1が参照するモデルはステップされ、Q2が参照するモデルはステップされません。これらはモデル名が同じであっても別々のモデル位置を参照します。ライブラリがパブリックな場合、Q1が参照するモデルをステップングすると、Q2が参照するモデルもステップされます。これは、同じモデル位置が参照されるためです。

例2では2N2903.BFをステップングしています。この場合、2N2903モデルを持つすべてのインスタンスがステップされます。そのモデルのすべてのインスタンスが変更されるため、モデルがプライベートかパブリックかは関係ありません。

ステップする対象をコンポーネントにし、ライブラリをプライベートにしたときにだけ、部品毎のモデルパラメータをステップすることができます。その他の場合は、すべてのインスタンスのモデルパラメータがステップされます。

ステップングの概要

ステップングを使うときの最重要事項は以下の通りです。

1. 以下のコンポーネントのパラメータはステップできません。
 - ・トランス
 - ・ユーザ信号源
 - ・ラプラス信号源
 - ・関数信号源
 - ・SPICE従属信号源 (E、F、G、H)
 - ・旧版のスイッチ (スイッチでもS、Wはステップ可能)

ユーザ、ラプラス、関数、SPICEの各信号源のビヘイビアは、代数式や数値表で埋め込まれるため、ステップするパラメータはありません。記号パラメータを経由してステップすることは可能です。例えば、次のようにします。

```
.DEFINE TAU 5
```

ラプラス関数信号源LAPLACE属性を次のようにして、TAUをステップします。

```
1/(1 + TAU * S)
```

同様にラプラス表信号源では、次のように定義を使用してRVALをステップすると、信号源の動作を変更できます。

```
.DEFINE RVAL 2.0
```

```
.DEFINE TAB (1k, 0, RVAL)
```

ユーザ信号源は外部データファイルからデータを取得します。ステップできるパラメータはありません。

2. コンポーネントをステップするモードでは部品ごとのステップングができますが、これは全般設定のPRIVATEANALOG、PRIVATEDIGITALが有効になっている場合に限りです。モデルをステップするモードでは、モデル名を使用するすべてのデバイスのパラメータがステップされます。つまり、複数のデバイスに影響があります。

これはPRIVATEANALOGまたはPRIVATEDIGITALフラグの状態を問いません。モデルのステップングでは、AKOのモデルは親モデルのステップしたパラメータをなぞります。また、温度モデルパラメータは、すべてステップングに使用できます。

3. MOSFETのレベルモデルパラメータはステップすることができますが、そのモデルがレベル1、2、3用のパラメータを使って作成された場合、レベルがBSIMモデル（レベル4、5、8、14、49）あるいはEKVモデルレベル（レベル44）またはPhilipsモデルレベルに変わると、エラーになります。BSIM、EKVとPhilipsのパラメータ名は、レベル1～3からのものと大きく異なります。

4. 直線ステップングではFromの値から始まり終了の値に達するまで値が加算されます。ログステップングではFromの値から始まり終了の値に達するまで値が乗算されます。対数ステップングでは値を2に設定すると便利です。これをオクターブ (octave) ステップングと呼びます。値を10に設定した場合をデケイド (decade) ステップングと呼びます。リストステップングではFromで指定した値をそのまま使います。

5. 複数のパラメータを同時にステップする場合、それぞれに同じステップ数を指定する必要があります。不一致があるとエラーメッセージが出ます。

6. 3Dプロットを作成するには、2つ以上のパラメータを変更する必要があります。3DプロットのY軸には、性能関数を選択します。

7. 抵抗、コンデンサ、インダクタがその値に数式を使用している場合、ステップングすると、ステップ値が計算値を置き換えます。つまり計算値よりもステップングの値が優先されます。

本章の内容

Micro-Capに含まれているオプティマイザは、さまざまな方法で最適化を行います。

MC10の新機能

・3種類の新しいメソッドが追加され、最適化処理が改良されました。現在使用可能なメソッドの一覧は次のとおりです。

- ・ Powell
- ・ Hooke
- ・ Levenberg-Marquardt
- ・ 微分展開

・ 曲線ファイルのインポートコマンドが追加され、曲線フィッティングのデータ点をインポートできるようになりました。

オプティマイザの動作

オプティマイザは、パラメータを設定済みの限界内に維持し、指定された制約があればそれを守りながら、ユーザが指定したパラメータを大きくしたり、小さくしたり、選択された性能関数に等しくしたり、規則的に変更します。

どの解析モードでも動作し、歪み、トランジェント、AC小信号、DC特性を最適化できます。任意の性能関数により任意の解析モードで測定可能なすべてのものを最大、最小にする、あるいは等しくすることができます。等しくすることとは、曲線上の任意の点に一致させるプロセスです。代表的な用途は、ボード線図のゲイン曲線の点をマッチングさせることです。

最適化の動作を確認するために、回路のOPT1.CIRをロードしてください。次のように表示されます。

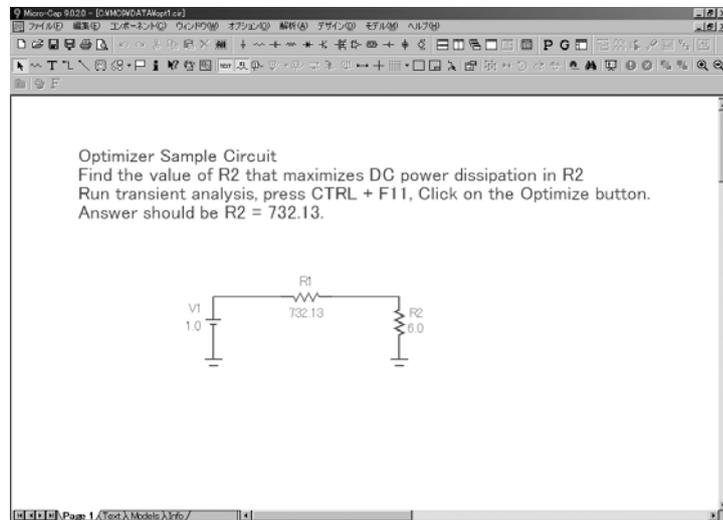


図17-1 OPT1の回路

この回路は、1.0Vのバッテリーから732.13Ωのソース抵抗経由で6.0Ωの負荷に電力を供給します。オプティマイザを使用して電力を最大にするR2の値を見つけます。

最適化ダイアログボックス

トランジェント解析を実行し、トランジェント/最適化を押すかCTRL + F11を押します。これで最適化ダイアログボックスがロードされ、次のように表示されます。

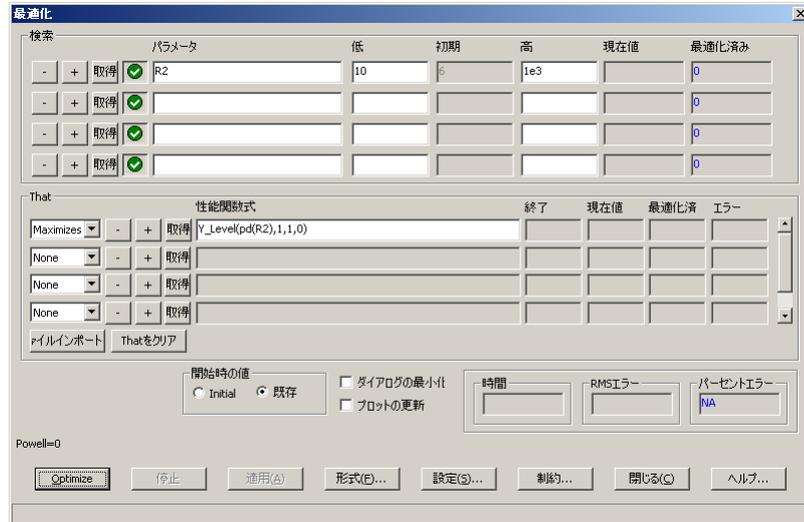


図17-2 最適化ダイアログボックス

最適化プロセスの構文は次の通りです。

検索 {パラメータ値}
条件 {最大化、最小化、等化}{性能関数} To {値}
制約 {論理式による制約}

中括弧 { } 内の項目はユーザが入力します。

ダイアログボックスには、次のオプションがあります。

検索：

パラメータ：これは、最適化するパラメータを選択するところです。
取得ボタンをクリックしてパラメータを選択します。パラメータの
選択は、ステップングダイアログボックスと同じです。

ロー：これは、パラメータの下限值です。

ハイ：これは、パラメータの上限値です。

現在：最適化プロセス中にパラメータの現在の値がここに表示されます。

最適化：最適化プロセス中に、今までに見つかったパラメータの最適な値がここに表示されます。

条件：

Maximizes, Minimizes, Equates, List box：これは最適化する判定基準を選択するところです。選択された性能関数を最大化、最小化できます。等号オプションを使用してYレベルの性能関数に曲線を一致させることができます。

-：これにより現在の行の最適化判定基準を削除します。

+：これによりリストの最後に新しい最適化判定基準を追加します。複数の最大化、最小化判定基準または複数の等化判定基準を持つことができますが、最大化/最小化判定基準と等化判定基準を混在させることはできません。それぞれの判定基準は等しい重み付けを有します。

取得：これにより、性能関数とそのパラメータを選択します。

移動先：等化が選択されると、オブティマイザは選択された性能関数をこの値と一致させようとします。Y_Levelを使用すると、オブティマイザはY式の値をこのフィールドの値と一致させようとします。

現在：最適化プロセス中に、性能関数の現在の値がここに表示されます。

最適化：最適化プロセス中に、今までに見つかった最適な性能関数の値がここに表示されます。

エラー：等号最適化の場合のみ、行の判定基準に対する誤差が表示されます。

曲線フィットファイルのインポート：数式に名前を付けることにより波形を選択したり、波形の保存先ファイルを選択したりするダイアログボックスにアクセスします。ファイル形式は、波形や曲線の数値出力形式と同じです。

条件のクリア：すべての条件フィールドをクリアします。

開始時の値：

初期：各最適化メソッドの開始時に、最適化するパラメータの開始値を初期カラムに表示された値に設定します。先行のメソッドにおける最適値は使用しません。

既存：先行の最適化メソッドにおける最終値を、最適化するパラメータの開始値としてそのまま使用します。各メソッドにおいて（ただし最初のメソッドを除く）、先行のメソッドで最適化済みの値を使用できるので便利です。

ダイアログの最小化：

ダイアログボックスを最小化し、最適化したプロットを見えるようにします。

プロットの更新：

このオプションは、各最適値に対してプロットを更新し、最適目標への進捗を表示します。

時間：

このフィールドには、最適化に要した累計時間が表示されます。

RMSエラー：

等号による最適化についてRMS誤差（目標値と実際の値との差の二乗の和の平方根）を表示します。

パーセント誤差：

等化最適化において、平均パーセント誤差を表示します。

最適化：

オプティマイザを起動します。

停止：

オプティマイザを停止します。

適用：

回路のパラメータを最適化された値に変更して回路を変更します。

形式：

表示された値の数値形式を選択します。

設定：

Powell : Powellメソッドの数値パラメータを設定します。

Hooke : Hookeメソッドの数値パラメータを設定します。

微分展開 : 微分展開の数値パラメータを設定します。

初期レンジ係数 : この値は、ローとハイの初期値を設定するときに適用する係数です。ロー=値/係数、ハイ=値*係数です。

各メソッドを初期化 : このフラグが有効化されている場合、メソッドが開始する前に、各最適化メソッドが初期化フィールドの値に初期化されます。それ以外の場合は、先行メソッドの最終値を使用することができます。

メソッド : このセクションでは、使用する最適化メソッドを選択できます。使用可能なメソッドから1つ以上を選択し、右矢印をクリックして選択したメソッドを使用リストに追加します。制御ツールを使用すると、どのメソッドを、どの順番で使用するかを決定できます。

制約 : 最適化処理に制約を追加します。PDT \leq 1.5のように、ブール式で入力されます。

閉じる :

オプティマイザを終了します。

ヘルプ :

最適化ダイアログボックスのローカルなヘルプ情報にアクセスします。

OPT1回路の設定により、抵抗器R2で消費される電力を最大にするR2の値が決まります。次の式を最大にするR2の値を見つけます。

$$Y_Level (PD (R2), 1, 1, 0)$$

PD (R2)は抵抗器R2で消費される電力です。

Y_Level (PD (R2), 1, 1, 0)は、DC動作点の値であるX式(T)の値が0のところの曲線PD (R2)のY式の値です。

最適化ボタンをクリックします。数秒後にオプティマイザは終了し、最適値R2 = 732.13 Ω を表示します。

回路が単純なのでこの値は推定できます。最大実効電力は、負荷インピーダンスがソースのインピーダンスの共役複素数と等しい時に送出されます。この場合は、R1とR2が同じ値732.13 Ω であるときに最大電力となります。

低周波利得の最適化

回路ファイルOPT2をロードします。次のように表示されます。

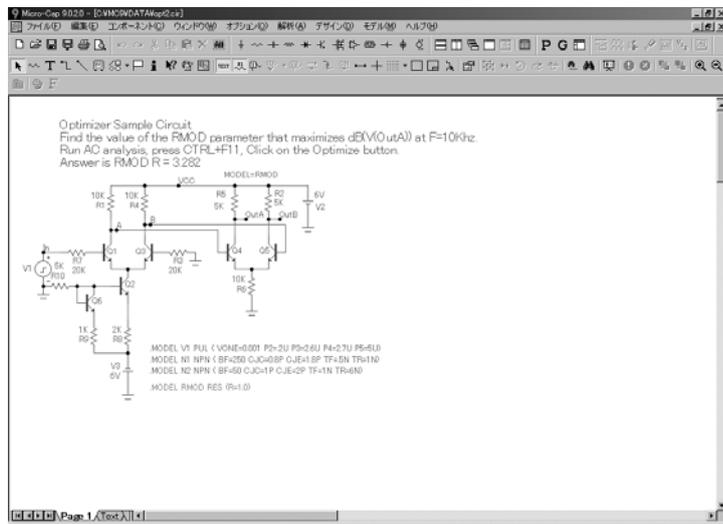


図17-3 OPT2の回路

AC解析を選択し、F2を押します。F=10KHzでの利得は55.6dBであることに注意してください。標準的な実行により次のように表示されます。

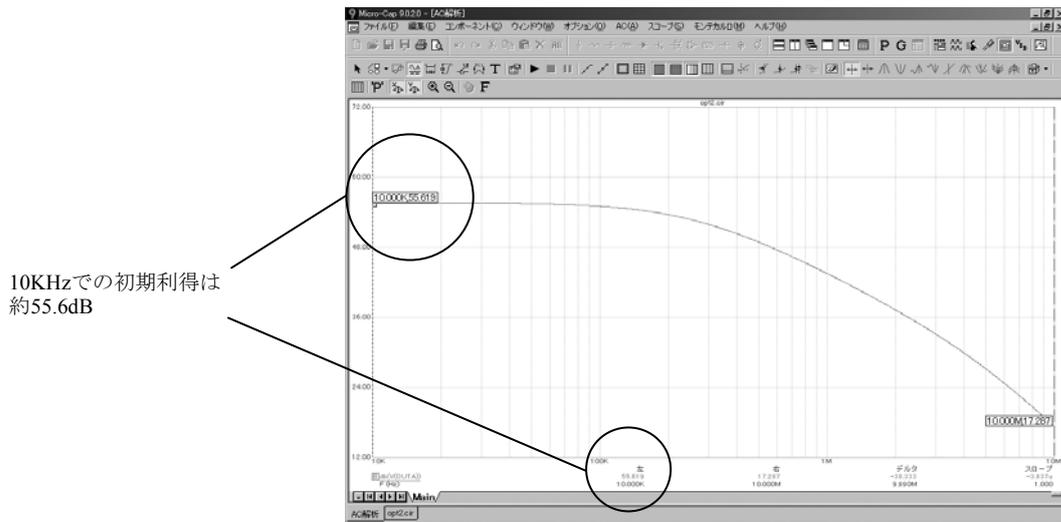


図17-4 最適化前のAC解析

AC/最適化を選択するか、CTRL + F11を押します。これによってAC解析用の最適化ダイアログボックスがロードされます。次のように表示されます。



図17-5 OPT2の最適化ダイアログボックス

OPT2の設定により、回路の10KHzにおける利得を最大にする抵抗器モデルRMODのモデルパラメータRの値が決まります。RMODは、2つの5Kの負荷抵抗器R2とR5が使用しているモデルです。オプティマイザのこれらの設定により、次のように見つかります。

次の式を最大にするRES RMOD (R)の値、

$$Y_Level (db(V(OUTA)), 1, 1, 1e + 004)$$

db(V(OUTA))は、差動アンプ回路の出力電圧のdB値です。

Y_Level(db(V(OUTA)), 1, 1, 1e + 004)は、AC解析実行の最低周波数であるX式(F)の値が1E4における曲線db(V(OUTA))の値です。

最適化ボタンをクリックします。数秒後にオプティマイザは最適値 R=3.282を見つけます。Rには公称抵抗値を乗算するので、db(V(OUTA))を最大にする負荷抵抗器R2とR5の値は次の値となります。

$$3.282 * 5K = 16.4K$$

ここではパウエル法を使用しました。回路最適化のほとんどの問題には、このような単純な局所最小値があり、この方法が最もよく機能します。

適用ボタンと閉じるボタンを押します。そして、F2を押します。実行が終わると、F8を押します。適用ボタンと閉じるボタンにより最適値が回路にコピーされ、F2によって最適化されたモデルパラメータRによって新しい実行結果が得られます。F8によってカーソルモードになるので、新しい値を直ちに読むことができます。表示は次のようになります。

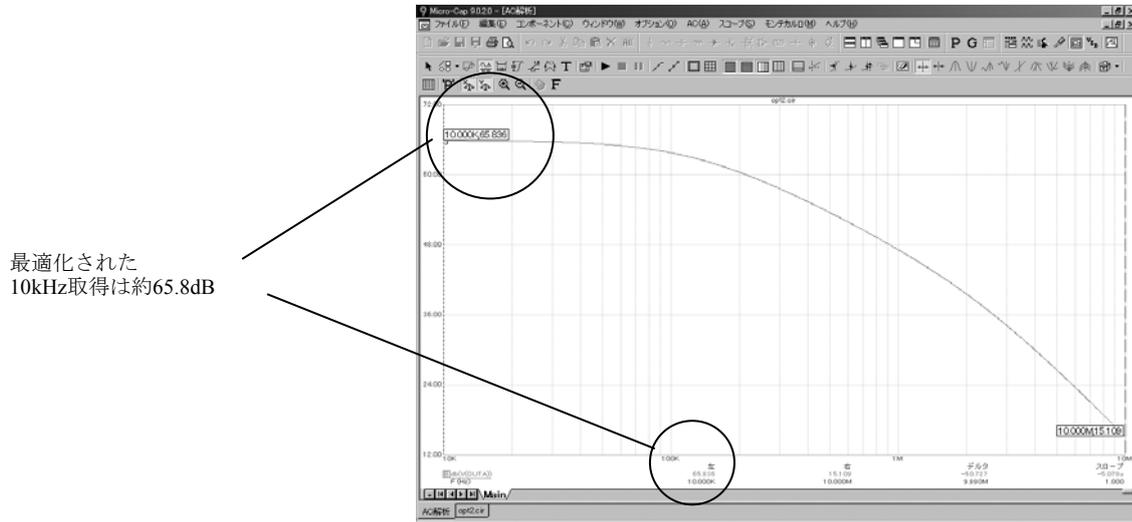


図17-6 最適化後のAC解析

F = 1E4における取得は、65.8dBになりました。

マッチング回路の最適化

回路ファイルOPT3をロードします。次のように表示されます。

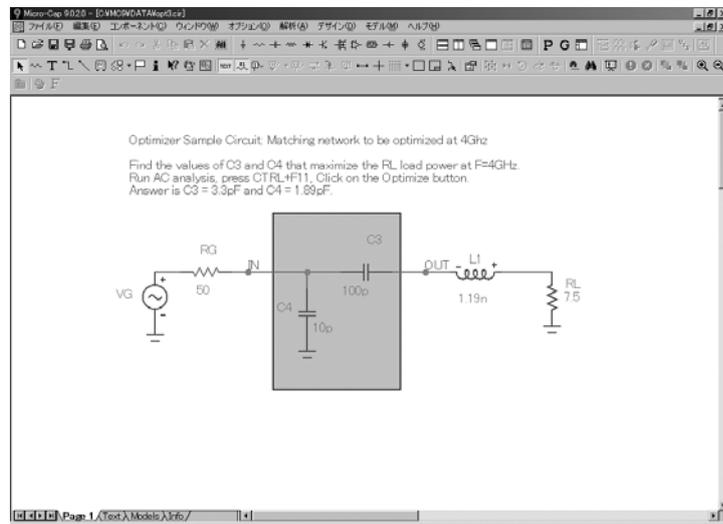


図17-7 OPT3の回路

AC解析を選択し、F2を押します。RLの電力、PD(RL)は約 $F=1.3\text{GHz}$ でピークになることに注意してください。標準の実行では次のようになります。

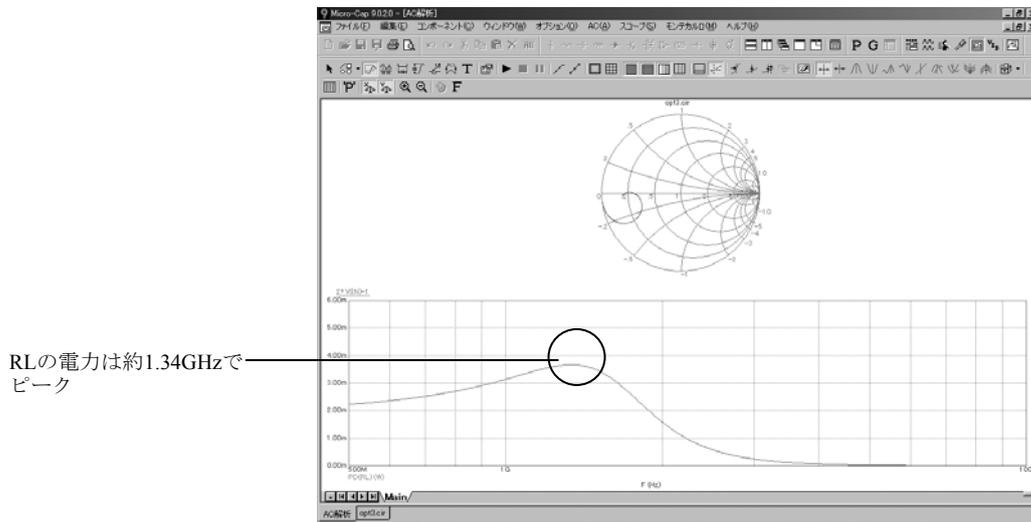


図17-8 最適化前のAC解析

AC/最適化を選択するか、CTRL + F11を押します。これによってAC解析用の最適化ダイアログボックスがロードされます。次のように表示されます。



図17-9 OPT3の最適化ダイアログボックス

これらの設定により、4GHzで負荷RLに送られるAC電力PD(RL)を最大にする回路マッチングコンデンサC3とC4の値を見つめます。まとめると、オプティマイザは次のものを見つめます。

次の式を最大にするC3とC4の値、

$$Y_Level(PD(RL), 1, 1, 4e + 009)$$

PD(RL)は、負荷RLに送られるAC電力です。

Y_Level(PD(RL)、1、1、4e + 009)は、マッチング回路がピーク電力を送出するようにしたい周波数であるX式(F)の値における曲線PD(RL)の値です。

最適化ボタンを押します。数秒後にオプティマイザは最適値、C3 = 3.3pFとC4 = 1.894pFを見つめます。これらの値により、4GHzで負荷に約5mWの電力が送られます。

適用ボタンと閉じるボタンを押します。そして、F2を押します。適用ボタンによりC3とC4の最適値が回路にコピーされ、F2によって最適値で新しく実行が行われます。次のように表示されるはずです。

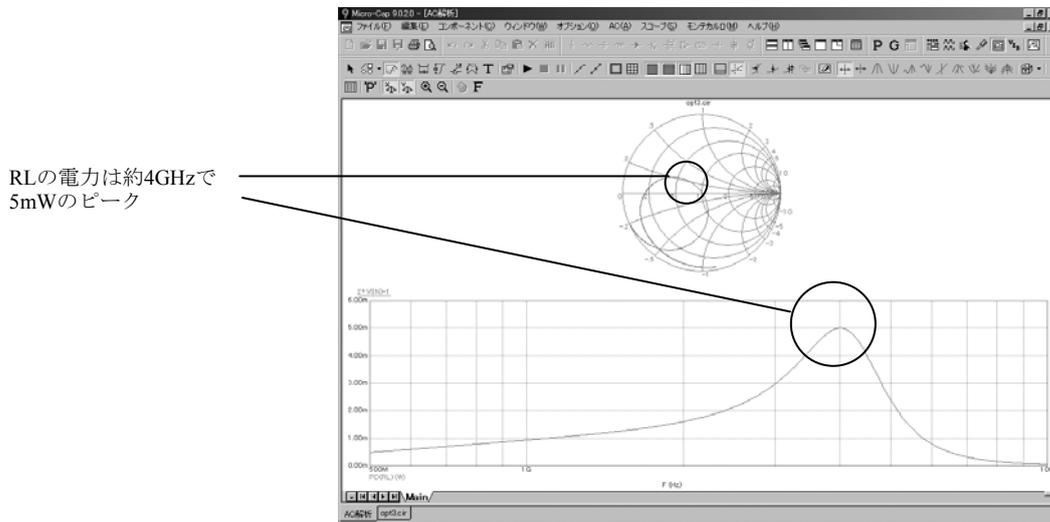


図17-10 最適化後のAC解析

この回路について、スミスチャートは、散乱パラメータS11のプロットと等価な $2 * \text{VIN} - 1$ をプロットすることに注意してください。また、S11は4GHzでスミスチャートの原点(1,0)を通過し、マッチングコンデンサネットワークは負荷への最大AC電力を送出するように最適化されたことにも注意してください。

オプティマイザによる曲線フィッティング

回路ファイルOPT4をロードしてください。次のように表示されます。

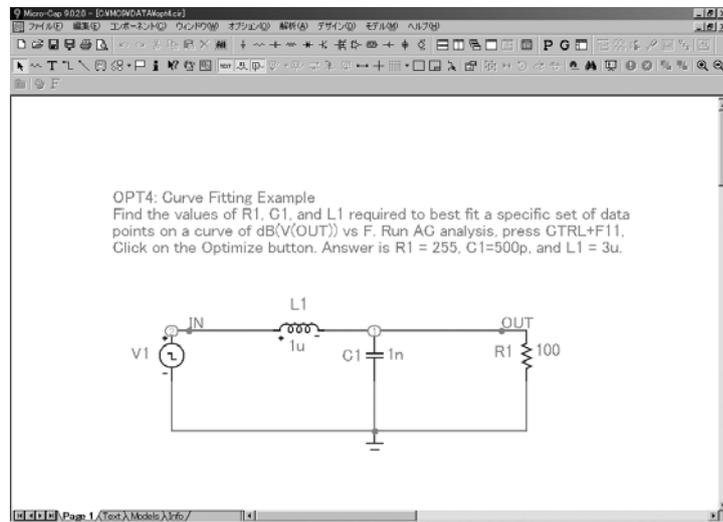


図17-11 OPT4の回路

AC解析を選択し、F2を押します。そしてF8を押します。カーソルを2MHzと10MHzのところの置いた後、標準的な実行により次のように表示されます。db(V(OUT))の値は2MHzで1.397、10MHzで-9.583であることに注意してください。

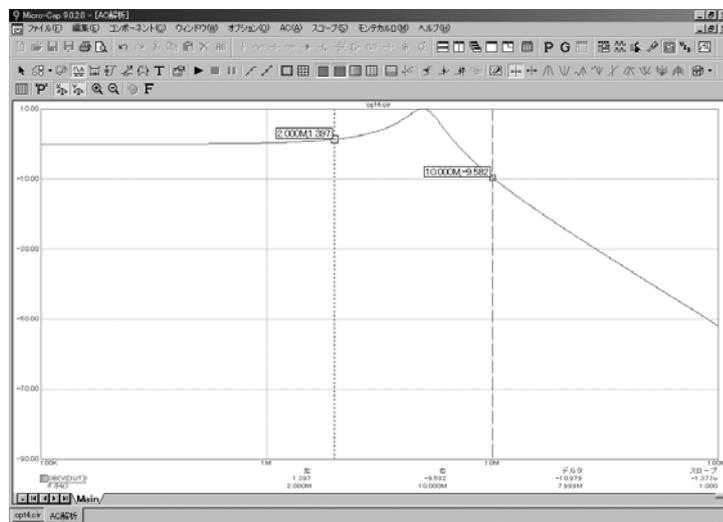


図17-12 最適化前のAC解析

AC/最適化を選択するか、CTRL + F11を押します。これによってAC解析用の最適化ダイアログボックスがロードされます。次のように表示されます。



図17-13 OPT4の最適化ダイアログボックス

OPT4のこれらの設定により、異なる周波数でDB(V(OUT))の6つの値を指定された値に等しくするR1、C1、L1の値が決まります。

次のようなR1、C1、L1の値になります。

- Y_Level(DB(V(OUT)), 1, 1, 2e + 006)を2.188と等しくする。
- Y_Level(DB(V(OUT)), 1, 1, 4e + 006)を10.449と等しくする。
- Y_Level(DB(V(OUT)), 1, 1, 6e + 006)を- 1.696と等しくする。
- Y_Level(DB(V(OUT)), 1, 1, 8e + 006)を- 9.103と等しくする。
- Y_Level(DB(V(OUT)), 1, 1, 10e + 006)を- 13.939と等しくする。
- Y_Level(DB(V(OUT)), 1, 1, 20e + 006)を- 27.134と等しくする。

簡単に言えば、2MHz～20MHzの範囲の周波数で6つのデータ点をdb(v(out))のプロットに一致させようとしているわけです。

等号の最適化では、オプティマイザは、目標値と実際の値の差の二乗和の平方根を最小にします。RMSエラーフィールドには、常にこの二乗平均平方根誤差の値が表示されます。

最適化ボタンをクリックします。数秒後にオプティマイザは最適値、 $R1=80.395$ 、 $C1=1.586n$ 、 $L1=945.775n$ を見つけます。

適用ボタンと閉じるボタンを押します。そして、F2を押します。実行が終わると、F8を押します。適用ボタンにより最適値が回路にコピーされ、F2によって最適値で新しく実行が行われます。カーソルを2MHzと10MHzに置いた後、表示は次のようになるはずです。

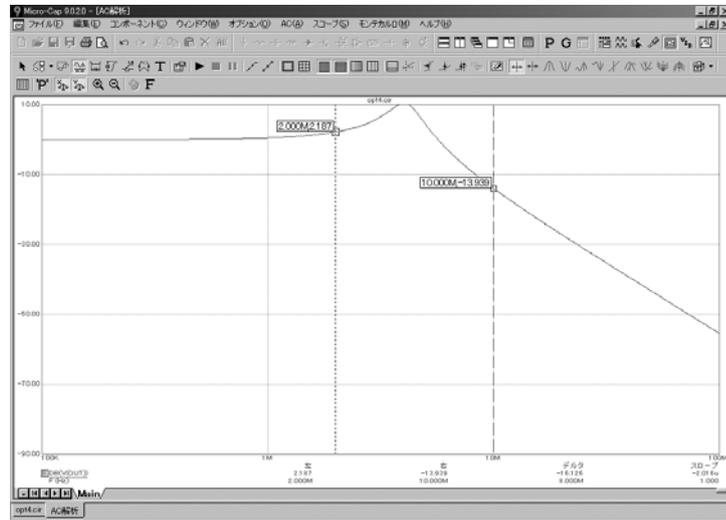


図17-4 最適化されたプロット

2MHzと10MHzのところ、等しくされた2つの値をチェックすると、それぞれ指定された目標値2.188と-13.939に等しいことがわかります。

この例では、オプティマイザはこれらの値を正確に一致させることができました。その理由は、そもそも目標値がこの最適化された回路と同じ回路から取られたからです。目標値は実際の回路から得たので実現可能であることがわかっています。このような場合では、同じ回路についてスケール変更したバージョンも同じ回路応答を示すので、オプティマイザは、場合によってはスケール変更したバージョンを見つけることが可能です。スケール変更した回路は、すべての抵抗値とインピーダンスの値にスケールファクタを乗算し、すべての静電容量の値を同じスケールファクタで除算することによって導きます。そのようなスケール変更した回路は無限にあります。通常、このことが問題になることはありませんが、知っておいてください。この種の問題に対しては多数の最適解を得ることになります。

本章の内容

回路が無事にシミュレートできたら、回路性能がパラメータ変化によりどのように影響を受けるか知りたい場合があります。そのための手段となるのがモンテカルロ解析です。

モンテカルロ解析中では、複数回の解析が実行されます。各実行ごとに数値パラメータ値をランダムに選択した数値パラメータをもつコンポーネントを使って新しい回路が作成されます。このときの数値選択のプロセスは、ユーザが指定したパラメータの許容値や分布の種類によって決まります。Micro-Capは、各実行の結果から性能特性を抽出し、その情報をヒストグラムとしてグラフィック表示したり、また統計パラメータとして数値表示したりします。

MC10の新機能

- ・スレッディングが有効化されている場合、モンテカルロでマルチCPUを使用できます。シングルCPUと比べて、処理速度が2 CPUシステムではおよそ1.5倍、4 CPUシステムではおよそ3.0倍向上します。
- ・Agauss、Gauss、Unif、およびAUnif演算子が追加されました。
- ・外れ値の除去フラグが追加され、許容バンドを外れたガウス分布の値をすべて取り除くことができるようになりました。
- ・ヒストグラムのXおよびYスケールをユーザ設定できるようになりました。
- ・実行回数がヒストグラムに表示されるようになりました。
- ・ヒストグラムバー上で数量とパーセンテージのどちらでも表示が可能になりました。

モンテカルロはどのように動作するか

モンテカルロ解析は回路を複数個解析することによって行われます。各回路は、ユーザが指定した許容値や分布型と一致する母集団から、ランダムにコンポーネントを選択して構成されます。許容値はパラメータに適用されます。モデルパラメータはDEVおよびLOT許容値を持つことができます。シンボリックパラメータ、バッテリー、および電圧源と電流源のパラメータは、LOTしか適用できません。許容値は、公称パラメータの実際の値やパーセント値として指定されます。

許容値には、絶対 (LOT) と相対 (DEV) の2つが指定できます。LOTは各デバイスに絶対的に適用されます。DEVの適用はそれから行われ、最初のデバイスのLOT適用値に対する相対値として、最後のデバイスに至るまで適用されます。つまり、LOTが指定されている場合、最初のデバイスにはLOTが適用されます。次にすべての機器に対して、最初のデバイスのLOT適用値にDEVをプラス/マイナスした値が適用されます。DEVは、デバイスのクリティカルなパラメータ値を揃える手段を提供します。

どちらの許容値も、モデルパラメータの後にキーワードLOT、DEVを追加して指定します。

```
[LOT [t & d]=<value>[%]] [DEV [t & d]=<value>[%]]
```

例えば次のモデル文はトランジスタN1の順方向ベータに10%の絶対許容値を指定します。

```
.MODEL N1 NPN(BF = 300 LOT = 10 %)
```

この例では、最悪の分布の場合、N1のモデル文を使用している各トランジスタの順方向ベータは270か330となります。ガウス分布の場合、標準偏差が30/SD (SDは許容バンド内の標準偏差の数を示す) の分布からランダムな値をとります。均一分布の場合、半値幅30の分布からランダムな値をとります。

下の例では、モデルN1のBFに1%の相対許容値を指定しています。

```
.MODEL N1 NPN(BF = 300 DEV = 1 %)
```

DEVの値は、パラメータ変動の相対パーセント値を指定しています。相対許容値が0%は、完全なトラックングを意味します。DEV許容値1.0%は、最悪の分布で各N1デバイスのBFが±1.0%以内に収まることを意味します。

PRIVATEANALOGまたはPRIVATEDIGITALのフラグ状態に関わらず、DEV許容値は、プライベートなライブラリを必要とします。これらのフラグは**オプション/全般設定**で設定されます。

次の例は、BFに10%の絶対許容値と1%の相対許容値を指定します。

```
.MODEL N1 NPN(BF = 300 LOT = 10 % DEV = 1 %)
```

最悪の分布を仮定すると、最初のN1モデルには、270と330のいずれかがランダムに割り当てられます。この2つの値は、平均値の300とLOT許容差の10%から、次のように計算されます。

$$BF = 270 = 300 - .1 \cdot (300)$$

$$BF = 330 = 300 + .1 \cdot (300)$$

LOT適用後のBFとして、ランダムに330が採用されたと仮定します。すると、最初のトランジスタを含むすべてのN1トランジスタに対して、DEVの1%に基づく下記の値のどちらかがランダムに与えられます。

$$327 = 330 - .01 \cdot 300$$

$$333 = 330 + .01 \cdot 300$$

LOT適用後のBFとして、ランダムに270が採用されたと仮定します。すると、最初のトランジスタを含むすべてのN1トランジスタに対して、DEVの1%に基づく下記の値のどちらかがランダムに与えられます。

$$267 = 270 - .01 \cdot 300$$

$$273 = 270 + .01 \cdot 300$$

最悪の分布では、各実行におけるBFはすべて集合{267, 273, 327, 333}から選択されます。

抵抗、コンデンサ、インダクタは、モデルパラメータの乗数を経由して許容値を設定する必要があります。次の例では、抵抗（の値）に対して10%のLOT許容値と1%のDEV許容値を示しています。

```
.MODEL RMOD RES(R = 1 LOT = 10 % DEV = 1 %)
```

RMODモデルを使用する抵抗には、許容値のある乗数Rで値を乗じることにより、許容値が与えられます。

[t & d]では、次の形式でトラッキングと分布を指定します。

[/lot #>][/distribution name>]

これらの指定は、キーワードDEV、LOTの後に「/」で区切って空白なしで記述する必要があります。

<lot #>は、0～99の番号が付けられた100個の乱数生成器のどれを使ってパラメータ値を計算するかを指定します。これにより、モデル文中のパラメータ同士（NPNのREとRCなど）、あるいは異なるモデル文間のパラメータ同士（NPN AのBFとNPN BのBFなど）を関連させることができます。DEV乱数生成器とLOT乱数生成器は別のものです。<lot #>のない許容値により、ユニークな乱数が得られます。

<distribution name>では、分布を指定します。次のいずれかを指定できます。

キーワード	分布
UNIFORM	確率が等しい分布
GAUSS	正規分布、ガウス分布
WCASE	最悪の分布

[t & d]に分布が指定されていない場合、モンテカルロダイアログボックスで指定された分布が使用されます。

<lot #>の使い方を説明します。まず、次の回路を考えます。

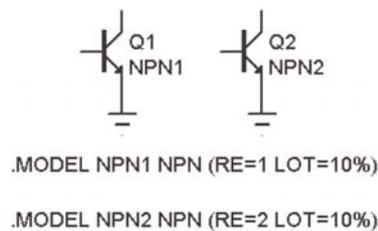


図18-1 相関のないRE値

この例では、Q1のREとQ2のREには相関がありません。モンテカルロの実行中、それぞれランダムな相関のない許容値が適用されます。

ここで次の回路を考えます。

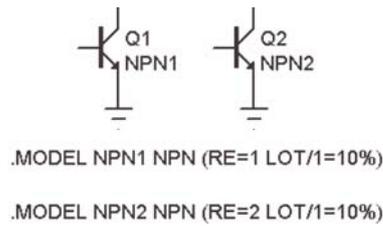


図18-2 <lot #>を使ったRE値の相関

ここでは、両方のREの許容値の指定がLOT/1となっているため、REの値に適用されるLOT許容値が同じになるよう強制されます。公称値が異なるので（1.0と2.0）、値自体は同じにはなりません。

DEVでも[t & d]の指定を使用できます。次の回路を考えましょう。

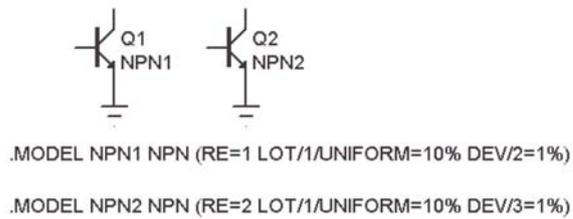


図18-3 DEVとLOTでの<lot #>の使い方

ここでは、LOTの適用されたREの値は完全に揃いますが、さらにDEVが適用されると、REの値は一致しなくなります。これは、DEVについては異なる乱数生成器が使われることによります。

記号パラメータの許容値

.DEFINE文によって作成される記号パラメータにも許容値を持たせることができます。形式は次の通りです。

```
.DEFINE [lotspec] <varname> <expr>
```

ここで、*lotspec*の形式は、DEV許容値がないことを除き、他のパラメータの形式と似ています。記号変数ではインスタンスが1つしかないので、DEV許容は使えません。

```
[LOT [t & d]=<value>[%]]
```

[*t & d*]には、いつもの形式でトラッキングと分布を指定します。

```
[/<lot #>][/<distribution name>]
```

たとえば次のようになります。

```
.DEFINE {LOT/1/GAUSS = 10 %} RATE 100
```

これによりRATEという変数が定義され、LOT許容値10%でガウス分布が指定されます。許容値は乱数生成器1に基づきます。

別の例も見てみましょう。

```
.DEFINE {LOT/3/UNIFORM = 20 %} VOLTAIRE 100
```

これにより、公称値が100のVOLTAIREという変数が定義されます。これはLOT許容値が20%の均一分布です。LOT許容値は、乱数生成器3に基づきます。

分布の指定にはAGAUSS、GAUSS、UNIF、およびAUNIF関数も使用できます。たとえば、抵抗器の値特性が`agauss(1k,100,2)`の場合、これは1k抵抗器を標準偏差2で許容値100に指定します。標準偏差はこの場合、 $50 = 100/2$ です。

許容値とライブラリのパブリックvs.プライベート

相対DEV許容値を実現するには、プライベートなライブラリがあることが必要です。次の場合を考えます。

.MODEL N1 NPN(BF = 300 LOT = 10 % DEV = 1 %)

DEV許容値により、N1モデルを使用するBJTのインスタンスは、ユニークなBFを持ちます。これは、プライベートライブラリでのみ起こりえます。このように、モデルがDEV許容値を使用する場合、PRIVATEANALOGかPRIVATEDIGITALのフラグが有効にされ、そのモデルを使うすべての部品についてプライベートライブラリの使用が強制されます。

まとめると、モデル文を使うすべての部品について、次のようになります。

DEVを使用すると、PRIVATEANALOGやPRIVATEDIGITALのフラグ設定に関わらず、すべてのデバイスはプライベートなモデルパラメータセットを有します。許容値がゼロでない場合、異なるパラメータ値を持つ可能性があります。

DEVを使用せず、PRIVATEANALOGやPRIVATEDIGITALが無効である場合、同じモデル名を使用するすべてのデバイスは同じパラメータ値を持ちます。これは、パブリックライブラリが使用されるためです。

DEVを使用せず、PRIVATEANALOGやPRIVATEDIGITALが有効である場合、許容値がゼロでなければ、同じモデル名を使うデバイスでも異なるパラメータ値を持つ可能性があります。

次の表に、DEVの使用とPRIVATEフラグによって、同じモデルを使う2つの部品のパラメータがどのように変化するかを示します。

	プライベート	パブリック
DEVを使用する	ユニーク	ユニーク
DEVを使用しない	ユニーク	同一

次の表に、LOTの使用とPRIVATEフラグによって、同じモデルを使う2つの部品のパラメータがどのように変化するかを示します。

	プライベート	パブリック
LOTを使用する	ユニーク	同一
LOTを使用しない	同一	同一

分布

許容値を持つパラメータが実際にとる値は、許容値だけでなく分布にもよります。

最悪分布では、すべての値が許容バンドの両端に置かれます。次の2つの値しかありません。

最小=平均 - 許容値

最大=平均 + 許容値

平均の値は、モデルパラメータ値となります。

均一分布では、値は許容バンドに均等に置かれます。値は、次の範囲全体にわたって、等確率で生成されます。

(平均 - 許容値) から (平均 + 許容値) まで

ガウス分布では、平均値の周辺においてパラメータ値のなだらかな変化が生成されます。平均値に近い値は、平均値から遠い値よりも現れやすくなります。標準偏差は、次の式により許容値から得られます。

標準偏差=シグマ= (許容値/100) · 平均/SD

全般設定ダイアログボックスのSDは、許容バンドの中の標準偏差の数です。選択する値は、正規母集団のうちどれだけが許容バンドに属するかによります。代表的な値をいくつか示します。

SD	母集団のパーセント
1.0	68.0
1.96	95.0
2.0	95.5
2.58	99.0
3.0	99.7
3.29	99.9

サプライヤーが、10%抵抗のうちの99.9%が許容差10%に収まっていると保証した場合、値3.29を使用できます。ガウス分布では、1K、10%の抵抗であっても900オーム未満や1100オーム以上になり得ます。SD = 3.29の場合確率は0.1%未満になりますがゼロにはなりません。モンテカルロオプションで外れ値の除去フラグが有効化されている場合は、そのような値はすべて除去されます。

オプション

モンテカルロ解析のオプションダイアログボックスには次の選択肢があります。

・**使用する分布**：[t & d]で分布を指定しないすべてのLOT許容値とDEV許容値に使用する規定値の分布を指定します。

・*ガウス分布*は、次の標準方程式によって支配されます。

$$f(x) = e^{-.5*s*s} / \sigma(2*\pi)^{.5}$$

ここで、 $s = (x - \mu) / \sigma$ であり、 μ は公称パラメータ値、 σ は標準偏差、 x は独立変数です。

・*均一分布*は、許容限界内で等しい確率を有します。最小から最大までの各値の確率は等しくなります。

・*最悪分布*は、最小となるのが50%の確率、最大となるのが50%の確率です。

・**状態**：モンテカルロ解析はオンオプションを選択することにより有効となります。無効にするにはオフオプションをクリックしてください。

・**実行数**：実行回数により、生成される統計量の信頼性が決まります。実行回数が多いほど平均と標準偏差が真の分布を正確に反映するという信頼性が高まります。一般に、高い信頼性を得るには30～300回の実行が必要です。最大実効回数は30000回です。

・**ゼロ許容曲線の表示**：このオプションを有効にすると、最初の実行の許容値がゼロに設定され、一種のベースラインあるいは基準曲線が得られます。

・**外れ値の除去**：このオプションが有効になっている場合、許容バンドから外れた値はすべて除去されます。このオプションはガウス分布でのみ適用可能です。

・**報告時期**：このフィールドでは、障害が発生した場合に報告するタイミングを指定します。ルーチンは、このフィールドの論理式が真になると数値出力ファイルに障害レポートを生成します。フィールドには性能関数の指定が含まれていなければなりません。例えば、次の式は、V(1)の指定された立ち上がり時間が10nsを超えるとレポートを生成します。

```
rise_time(V(1),1,2,0.8,1.4)>10ns
```

レポートには、障害を発生させたモデル文の値が記載されます。これらのレポートは、数値出力ファイル（トランジェントではNAME.TNO、ACではNAME.ANO、DCではNAME.DNO）に含まれ、直接確認できます。また、それらはファイルメニューの**モンテカルロファイルのロード**で使用され、性能の障害を生成した回路を再作成できます。

・**シード**：乱数のシードにより、プログラムによって生成される乱数列を直接制御します。シード数を指定することによって、許容値および対応するヒストグラムを生成するために使用された同じ乱数列を後でシミュレーションする時に識別、呼び出しできます。シードが ≥ 1 であれば、同じ乱数列を繰り返し、シードが空白または < 1 であれば、乱数列は繰り返さない乱数列となります。



図18-4 許容値ダイアログボックス

・**最終値を取得**：最後に使用されたシードをシードフィールドに適用します。

・**許容値 (CTRL+ALT+T)**：許容値ダイアログボックスにアクセスします。許容値は通常、モデル文が作成されたときに定義されます。しかし、最新のMOSFETおよびBJTモデルでは多くのパラメータが存在しているので、たとえこれらの許容値がわかっているとしてもそのすべてを入力するのは困難です。このダイアログボックスはモンテカルロダイアログボックスあるいは**編集/変更/許容値**からアクセスでき、一度に多くのパラメータまたはすべてのパラメータに許容値を割り当てることができます。モデル文を有する部品には**LOT**および**DEV**許容値を適用できます。将来、同じタイプの別のモデルに使用するために許容値セットを保存することもできます。ダイアログボックスは次のフィールドを有します。

・**タイプ**：これは回路で検索された部品タイプのリストです。許容値に1つ以上のタイプを選択できますが、通常は1タイプが選択されます。

・モデル：選択された部品タイプに対して見出された各モデルを列挙します。許容値に対し1つ以上のモデルを選択できます。

・パラメータ：選択された各モデルに対するモデルパラメータを列挙します。

・ロット：ロット許容値のオプションを制御します。

・追加/変更：適用ボタンを押したときに、選択されたパラメータのロット許容値を許容値フィールドの値に追加または変更します。

・残す：このオプションはロット許容値を変更しないで残します。

・除去：このオプションは選択されたパラメータのロット許容値を除去します。

ロット#：このフィールドでは、ロット許容値のロット#を入力できます。

分布：分布のタイプを選択できます。

許容：このフィールドでは許容値を入力できます。絶対許容値またはパーセント許容値を入力できます。

・DEV：DEV許容値のオプションを制御します。オプションは上記のロット許容値と同じです。

・許容セット：これは許容値セットに名前を指定します。これは同じモデル文タイプの別の部品に使うことができます。セットに名前をつけるには、保存をクリックして、60n_MOSFETまたはCaps_5%などの名前を入力します。選択されたパラメータに許容値セットを適用するには、リストからセット名を選択し、許容/適用をクリックします。許容値セットを削除するには、除去すべきセットの名前を選択し、削除ボタンをクリックします。

許容値は、モデル文で定義されていないパラメータで未定義の規定値を有するものには適用できません。これは、例えば、

```
.MODEL MM1 NMOS(Level=1)
```

のようなモデル文です。

この例ではGAMMAパラメータに許容値を適用できません。なぜなら、これはモデル文で定義されておらず、その規定値が未定義だからです。次の例のようにその値がモデル文で定義されていれば、許容値をGAMMAに適用できます。

```
.MODEL MM1 NMOS (Level=1 GAMMA=.65)
```

性能関数

Micro-Capは、各実行の各データ点において、プロットした数式のXとYの値をすべて保存します。そのため、実行完了後に関数による数式を使用してヒストグラムを作成できます。例えば、曲線V(OUT)をプロットした後、次のような式のヒストグラムを実行できます。

Rise_Time (V (OUT), 1, 1, 1, 2) + Fall_Time (V (OUT), 1, 1, 1, 2)

性能関数の数式により、曲線全体が単一の数値に縮小されます。この数値は、特定の実行の重要な動作特性をとらえたものです。それぞれの数値は組み合わせられ、母集団を形成します。この母集団が統計的に解析され、ヒストグラムが表示されます。理想的には、ヒストグラムと母集団の統計により、回路が製造されたときに予測される性能関数数式のばらつきが明らかになります。

性能関数については、第19章「性能関数」で詳細に説明します。

本章の内容

性能関数は数学的な手順で、解析で生成された曲線から回路の性能測定値を抽出するように設計されています。本章はこの機能を説明します。以下が含まれます。

- ・性能関数とは何か
- ・性能関数の定義
- ・性能関数ダイアログボックス

MC10の新機能

- ・AC解析にゲインマージン関数が追加されました。
- ・解析フォーミュラテキストで性能関数を使用できるようになりました。

性能関数とは

Micro-Capには、性能に関わるカーブ特性を測定する一連の関数があります。

これらの関数により、立ち上がり時間、立ち下がり時間、パルス幅、周波数、周期など、性能に関する様々な値を測定できます。性能関数は、解析中に生成された任意の曲線の解析に使用できます。性能関数の使用方法は数種類あります。

- ・即時モード：このモードでは、性能に移動ボタン  をクリックして、リストから関数を選択します。するとその関数が、現在選択されている波形や曲線に適用され、ダイアログボックスに結果の数値が表示されます。

- ・性能タグ：このモードでは、マウスの左ボタンを使い、現在のプロットおよび後続の実行プロットに対する性能パラメータを測定する性能タグを表示します。これにはステップングされた実行、モンテカルロの実行、またはシンプルな動的編集が含まれます。各々の場合に、タグは数量を測定すると同時に適合させ、新しい値を示します。

- ・性能プロット：このモードでは、数値パラメータをステップングして複数の解析を実行してプロットを作成し、ステップした変数とともに性能関数がどのように変化するかを表示します。2次元／3次元の性能プロットを作成できます。

- ・モンテカルロプロット：このモードでは、複数のモンテカルロ解析を実行してヒストグラムを作成し、性能関数が統計的にどう変化するか表示します。

すべての性能関数には、1つの特色があります。数値のグループ（プロットや曲線）から1値の数値（性能関数）を抽出するということです。従って、性能関数は、一種のデータの換算です。V(OUT)対時間のプロット等の点の配列を、立ち上がり時間等の1つの数値に換算します。

性能関数の定義

Micro-Capは、性能に関わるカーブ特性値を測定する一連の関数を提供します。関数には、以下のものがあります。

Average	この関数は選択されたY数式の平均値を見つけます。関数はXminからXmaxまでのレンジに対して計算されます。
Fall_Time	この関数はY式の指定されたローとハイを通過する立ち下がりのN番目をマークします。カーソルは2つのデータ点の位置に配置され、2点間のX式の差が返されます。時間領域カーブの立ち下がり時間の測定に便利です。
Frequency	この関数は周期の逆関数です。周期関数と同じように動作しますが、1/周期を返します。この関数は、カーソルを2点に配置します。
Gain_Margin	この関数はプロットのゲインマージンを見つけます。dB(expr)プロットとPHASE(expr)プロットが存在している必要があります。この関数はAC解析でのみ使用可能です。
High_X	この関数は選択したY式の選択ブランチにおけるグローバル最大値を見つけ、左右いずれかのカーソルをそのデータ点に配置し、そのX値を返します。
High_Y	この関数は選択したY式の選択ブランチにおけるグローバル最大値を見つけ、左右いずれかのカーソルをそのデータ点に配置し、そのY値を返します。
Low_X	この関数は選択したY式の選択ブランチにおけるグローバル最小値を見つけ、左右いずれかのカーソルをそのデータ点に配置し、そのX値を返します。
Low_Y	この関数は選択したY式の選択ブランチにおけるグローバル最小値を見つけ、左右いずれかのカーソルをそのデータ点に配置し、そのY値を返します。
Peak_Valley	この関数はY式のN番目の頂と谷をマークします。この関数は、カーソルを2つのデータ点に配置し、2点のY値の差を返します。リップル、オーバーシュート、振幅の測定に便利です。

Peak_X	この関数は選択されたY式のN番目の頂を検索します。頂とは、近隣のデータ点よりも値が大きいデータ点です。左右いずれかのカーソルはデータ点に配置され、X式の値が返されます。
Peak_Y	この関数はPeak_Xと同じですが、Y式の値を返します。この関数は、時間領域カーブのオーバーシュートを測定したり、AC解析でフィルタのピーク・ゲイン・リップルを測定したりする場合に便利です。
Period	この関数は曲線の時間周期を正確に測定します。これは、Yが平均値をとるXの間で差を測定することにより行われます。まず、シミュレーション期間のブール値が真であるときにおけるY式の平均値を求められます。次に、平均値における立ち上がりインスタンスのN番目とN+1番目が探索されます。X式の差を周期とします。通常ブール値フィールドは「T> 500ns」のように指定し、解析初期の非周期的トランジェントによる誤差を除去するために使用されます。この関数は、発振器やV-F変換器など、高い精度で周期を測定する必要がある場合に便利です。この関数は、基本周期につき1回ずつ平均値を通過するような曲線でうまく動作しません。基本波に対し大きな調波が含まれる曲線についてはうまく動作しません。この関数は、カーソルを2つのデータ点に配置し、2点のX式の値の差を返します。
Phase_Margin	この関数はプロットの位相マージンを見つけます。dB(expr)プロットとPHASE(expr)プロットが存在している必要があります。この関数はAC解析でのみ利用可能です。
Rise_Time	この関数はY式の指定されたローとハイを通過する立ち上がりのN番目をマークします。カーソルは2つのデータ点の位置に配置され、2点間のX式の差が返されます。
RMS	この関数は、指定したX範囲において選択したY式のRMS値を見つけます。

Slope	この関数は、指定されたXの値に最も近いデータ点を挟む2つのデータ点にカーソルを配置し、2点間の傾斜を返します。
Valley_X	この関数は選択されたY式のN番目の谷を検索します。極小とは、近隣のデータ点よりも値が小さいデータ点です。左右カーソルはデータ点に配置され、X式の値が返されます。
Valley_Y	この関数はValley_Xと同じですが、Y式の値を返します。この関数は、時間領域カーブのアンダーシュートを測定したり、AC解析でフィルタの減衰ピークを測定したりする場合に便利です。
Width	この関数は、Y式の幅を測定します。これは、指定したLevel値を持つインスタンスのN番目とN+1番目を探ることによって行われます。次に、カーソルが2つのデータ点に配置され、X式の値の差が返されます。
X_Delta	この関数は、指定したY式範囲のN番目のインスタンスを見つけ、カーソルを2つのデータ点に配置し、X式の値の差を返します。
X_Level	この関数は指定されたYレベル値のN番目のインスタンスを見つけ、左右いずれかのカーソルをそのデータ点に配置し、X式値を返します。
X_Range	この関数は指定したYの範囲のN番目のインスタンスに対するXの範囲(最大-最小)を見つけます。まず、指定したYローとYハイの値を検索します。次に2点間の全データ点について、Xの最大・最小値を検索し、カーソルを2点に配置し、X式の値の差を返します。X_Deltaと異なるのは、指定したYの範囲におけるXの差を返す点です。X_Deltaでは、指定したYの端点におけるXの差を返します。
Y_Delta	この関数は、指定したX式範囲のN番目のインスタンスを見つけ、カーソルを2つのデータ点に配置し、Y式の値の差を返します。

Y_Level

この関数は指定されたYレベル値のN番目のインスタンスを見つけ、左右いずれかのカーソルをそのデータ点に配置し、Y式値を返します。

Y_Range

この関数は指定したXの範囲のN番目のインスタンスに対するYの範囲(最大-最小)を見つけます。まず、指定したXローとXハイの値を検索します。次に2点間の全データ点について、Yの最大・最小値を検索し、カーソルを2点に配置し、Y式の差を返します。Y_Deltaと異なるのは、指定したXの範囲におけるYの最大・最小値の差を返す点です。Y_Deltaでは、指定したXの端点におけるYの差を返します。この関数はフィルタのリプル測定に便利です。

性能関数ダイアログボックス

これらの関数は、モンテカルロ解析、最適化、3Dプロットにおいて、単一の解析プロットに使用することができます。実行が完了したときに性能に移動ボタン  をクリックしてください。次のようなダイアログボックスが表示されます。

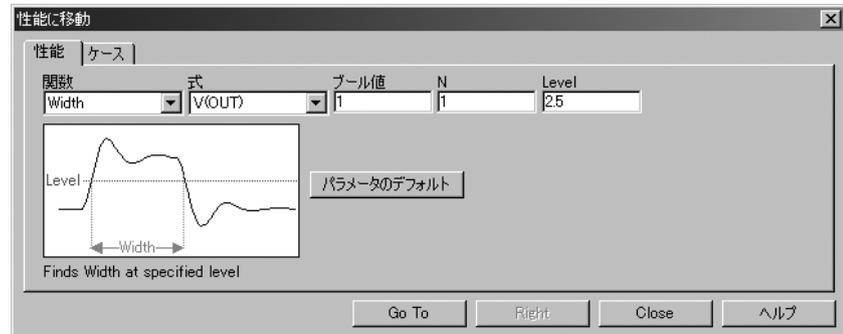


図19-1 性能関数のダイアログボックス

性能とケースの2つのパネルがあります。ケースのパネルでは、ステップングによって複数のブランチがある場合に、いずれかを選択できます。性能のパネルでは、ケースパネルで選択された曲線ブランチに適用する性能関数を選択できます。

性能パネルには、次のフィールドがあります。

関数：いずれかの性能関数を選択します。

式：関数を動作させる数式を選択します。実行中にプロットした式のみ利用可能です。

ブール値：性能関数がデータ点を検索対象とするには、ここでしたブール式が真である必要があります。通常この機能は、曲線の不要な部分を関数による検索から除外するために使用されます。例えば「 $T > 100\text{ns}$ 」を指定すると、 $T \leq 100\text{ns}$ のデータ点が除外されます。値1にすると、常に真なので (≥ 1.0 等)、すべてのデータ点を選択します。

N : この整数は、測定するインスタンスの番号を指定します。例えば、測定するパルス幅が複数ある場合があります。N=1は、最初の時間点で始まる左から1番目のものになります。Nの値は、Go Toボタンをクリックするごとに増分されます。これにより、各インスタンスを連続測定できます。

ロー : このフィールドは検索ルーチンで 사용되는ロー値を指定します。例えばRise_Time関数では、立ち上がりエッジを測定する際のロー値を指定します。

ハイ : このフィールドは検索ルーチンで 사용되는ハイ値を指定します。例えばRise_Time関数では、立ち上がりエッジを測定する際のハイ値を指定します。

Level : このフィールドは検索ルーチンで 사용되는Level値を指定します。例えばWidth関数では、幅を測定する際のLevel値を指定します。

最下部のボタンには次の機能があります。

Go To (Left) : 性能関数が両方のカーソルを配置する場合 (Rise_TimeやFall_Timeなど)、このボタンはGo Toと呼ばれます。関数が左右カーソルのいずれか一方を配置する場合は、Leftという名前になります。Leftという名前の場合、このボタンは、左数値カーソルを性能関数の指示位置に配置します。

Right : このボタンは、性能関数の指示位置に右数値カーソルを配置します。例えばPeak関数では左右いずれかのカーソルを移動することができます。

Close : このボタンでダイアログボックスを閉じます。

ヘルプ : このボタンでこのダイアログボックスだけのヘルプ情報にアクセスします。

パラメータのデフォルト : このボタンは、関数が規定値パラメータを持つ場合のパラメータを計算します。平均値を計算したり、範囲の20%と80%の点を計算することにより、適切な値を予測します。

性能関数は、次の基本特性を共有します。

性能関数のコアは検索である : 対象数式のデータ点の集合が、性能関数とそのパラメータによって指定される判定基準により検索されます。

性能関数はN番目のインスタンスを見つける：多くの性能関数にはパラメータNがあり、関数が何番目のインスタンスを返すか指定します。ただし、Gain Margin、Phase Margin、High、Low、RMS、およびAverageなど、関数によっては、その定義により単一のインスタンスしかないものもあります。

各性能関数は呼び出すごとにNが増分される：性能関数が呼び出されるごとに、Nの値が増分されます。つぎに呼び出しを行うと、次のインスタンスが自動的に見つかり、カーソルが配置されます。例えばPeak関数を呼び出すごとに、カーソルは現在のピークの右側にある次のピークへ移動します。曲線の最後まで達すると、カーソルは曲線の最初に戻ります。性能関数が最適化や3Dプロットで使用される場合は、もちろんNは増分されません。

解析でプロットした曲線だけ使用できる：性能関数は、解析後の曲線データセットについて演算を行うため、実行中に保存した（プロットした）曲線だけが解析可能です。

ブール値が真である必要がある：データ点は、ブール値が真である場合だけ対象とされます。ブール値は、曲線の希望する部分だけを性能関数の検索対象とするために提供されています。

PERFORM_M個以上の近傍点が満たす必要がある：あるデータ点が選択された場合、近傍データ点が検索条件に矛盾しない必要があります。さもなければその点は却下されます。例えばPeak関数では、データ点がピークと見なされるには、両側のPERFORM_M個以上のデータ点のYの値が小さい必要があります。PERFORM_Mは全般設定で、規定値は2です。曲線が特にギザギザなときや、台形のリングングがあるときには、3あるいは4を指定してください。

性能関数のプロット

性能関数のプロットは、温度やパラメータをステップングして複数の解析を実行した場合に作成することができます。例として、ファイルPERF1をロードして下さい。トランジェント解析を実行すると、つぎのようなプロットが得られます。

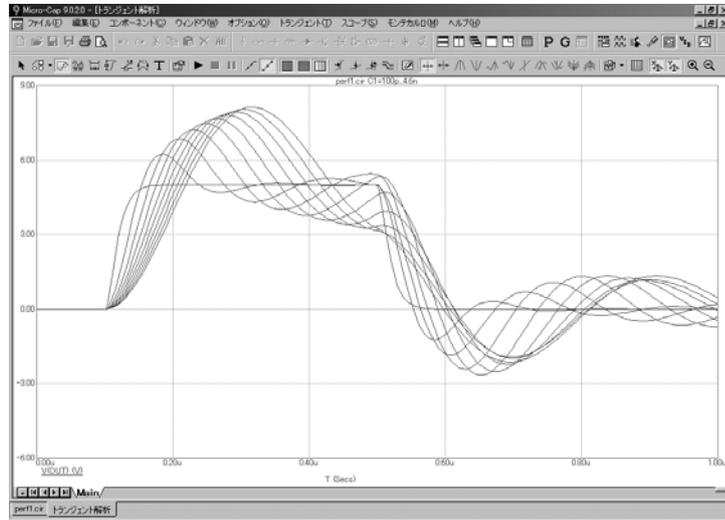


図19-2 トランジェント解析の実行

トランジェントメニューから性能ウィンドウの性能ウィンドウの追加を選択すると、性能プロットのプロパティダイアログボックスが表示されます。

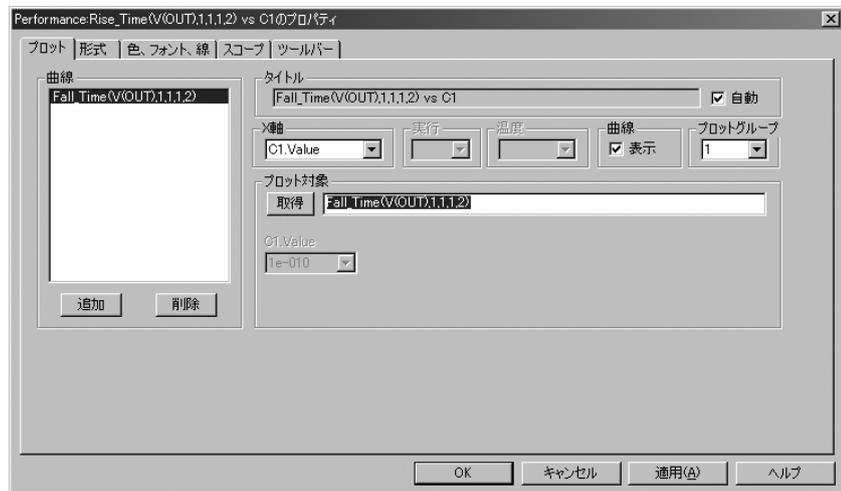


図19-3 性能プロットのプロパティダイアログボックス

プロットプロパティダイアログボックスは第14章で述べた解析プロットのものと同様です。ここではその唯一の違いであるプロットパネルについて述べます。

・プロット

曲線：性能関数の演算対象曲線を選択できます。下の追加ボタンと削除ボタンにより、特定の性能プロットを追加・削除できます。このチェックボックスは、選択された性能曲線がプロットされるかどうかを制御します。曲線をプロットグループで非表示にしたい場合は、ボックスをクリックしてチェックマークを外します。

タイトル：このフィールドにより、プロットのタイトルを指定できます。自動ボタンをチェックすると、タイトルが自動的に作成されます。

X軸：X軸に使用するステップング変数を選択できます。

プロットグループ：このリストボックスにより、プロットグループ番号を制御します。

プロット対象：このグループにより、性能関数とそのパラメータを選択できます。また、X軸に使用されていないステップ済み変数のリストから、プロットする曲線を選択できます。

ステップされた変数リスト：これらのリストでは、X軸に使用されていないステップ済み変数のリストから、プロットする曲線を選択できます。複数の変数がステップングされた場合、複数のリストボックスがあります。これらのリストボックスにより、性能関数で処理するステップング変数のインスタンスを選択できます。例えば、R1、L1、C1をそれぞれ5つの値でステップングし、X軸変数にR1を選択した場合、L1についてのリストボックスとC1についてのリストボックスがあります。これらの2つのリストから $5 \times 5 = 25$ 個の可能な曲線のうちのいずれかを選択し、R1の値に対する性能関数をプロットできます。

実行：蓄積プロットが有効である場合、使用した実行番号を選択できます。すべてを選択すると、複数の性能プロットを表示できます。実行番号は、同時編集モードの編集で生成された新しい実行の数値インデックスです。

プロット対象セクションで取得ボタンをクリックし、リストから Rise_Time関数を選択します。OKボタンをクリックします。これにより、次の性能プロットが作成されます。

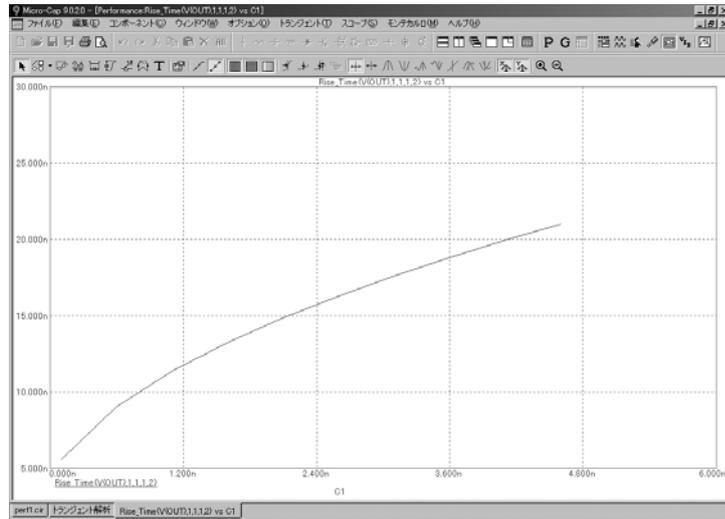


図19-4 立ち上がり時間の性能プロット

このプロットには、ステップングされる唯一の変数C1の値により、V(1)の立ち上がり時間(1Vと2Vの間で測定)が変化の様子が表示されます。グラフをダブルクリックするかF10を押すとプロパティダイアログボックスが呼び出されます。追加ボタンをクリックします。取得ボタンをクリックして、関数リストボックスからFall_Timeを選択します。OKを2度クリックします。これにより性能ウィンドウにFall_Time関数のプロットが追加されます。

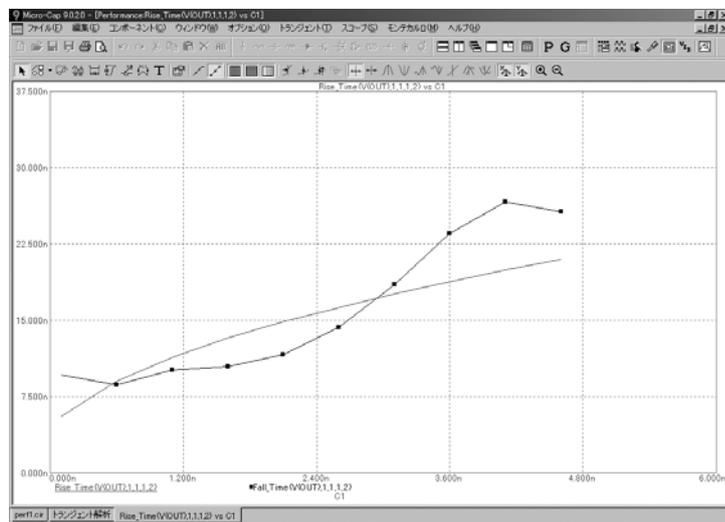


図19-5 立ち上がり時間と立ち下がり時間の性能プロット

このウィンドウはRise_Time関数とFall_Time関数のプロットを表示します。F11を押して、R1パネルのステップ有効グループにあるYesをクリックします。OKをクリックしてF2を押すと、解析結果がつぎのように表示されます。

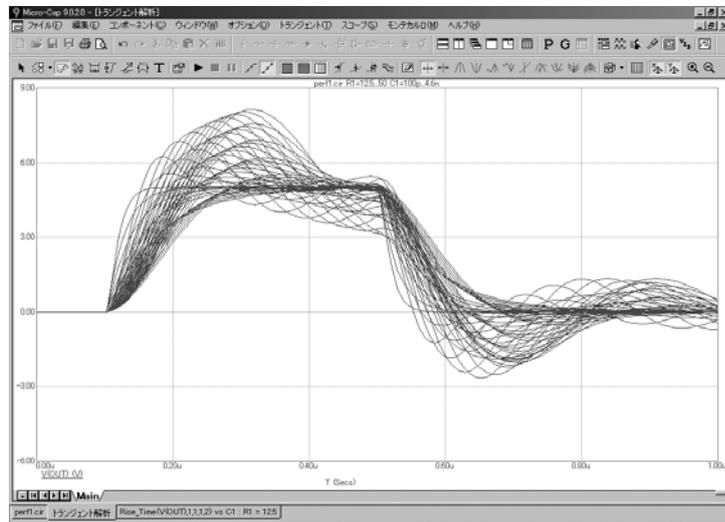


図19-6 C1とR1の両方をステップング

性能プロットが表示されるまでCTRL + F6を押します。次のように表示されるはずです。

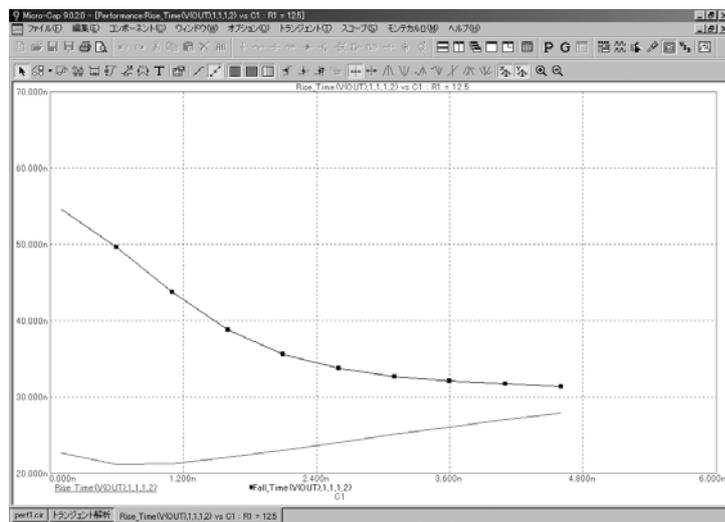


図19-7 R1=12.5の性能プロット

新しい実行では、C1は0.1nから4.6nに、R1は12.5から50に変化します。プロットは変数C1に対する関数だけ表示しています。R1についてはどうでしょうか。2Dプロットでは1変数に対する関数しか表示できないため、もう一つのステップされた変数については、特定の値についてのみ、プロットが作成されます。この場合のプロットはR1=12.5に関するもののみです。他の値を見るには、F10を押してから、2つのプロットのそれぞれについて、R1.Valueリストボックスから新しい値を選択します。R1=25に関するプロットは次のようになります。

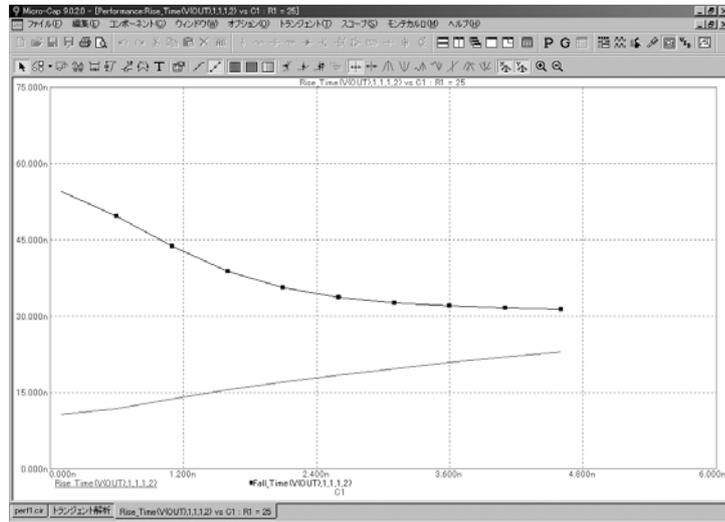


図 19-8 R1=25のFall_Time性能プロット

複数の変数をステップする場合、結果を表示する方法はもう1つあります。3D性能プロットを作成する方法です。トランジェントメニューの**3Dウィンドウ**から**3Dウィンドウの追加**を選択してください。3DプロパティダイアログボックスのY軸リストから性能を選択し、関数リストボックスからFall_Time関数を選択します。OKをクリックすると図19-9のような結果が表示されます。

この3Dプロットは、Y（縦）軸にFall_Time関数、X（横）軸にC1、Z軸（紙面に対して垂直方向）にR1を表示しています。これは、同じデータですが異なる方法で表現されています。実際、3Dプロットをよく見ると、2Dの立ち下がり時間プロットが内包されているのがわかります。

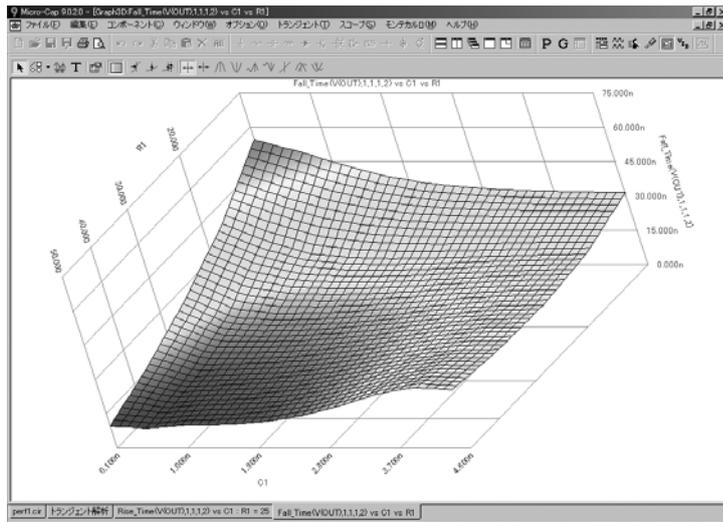


図19-9 3D Fall_Time性能プロット

本章の内容

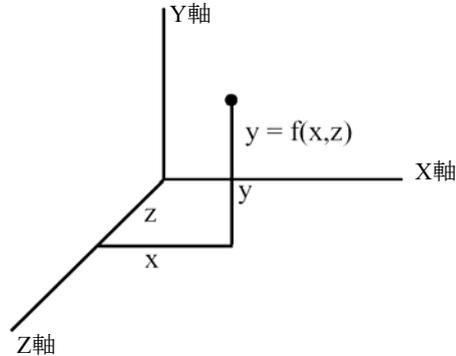
Micro-Capはシミュレーション結果のプロットや視覚化を行うために3Dグラフを提供しています。本章では、この機能の使い方を説明します。

本章は以下のように構成されています。

- 3Dプロットはどのように動作するのか
- 3Dの例
- 3Dダイアログボックス
- 3Dにおけるカーソルモード
- 3Dの性能関数
- プロットの向きを変える
- 3Dにおけるスケーリング

3Dプロットはどのように動作するのか

3Dプロットには3つの変数があります。各変数には、相互に直交するX、Y、Zのいずれかの軸が対応します。Z軸は紙面から手前に伸びる軸です。X軸とY軸は紙面上にある軸です。



Y軸には、以下の2種類のいずれかをプロットできます。

- ・実行中にプロットされた任意の数式（曲線）
- ・実行中にプロットされた曲線を使用した性能関数式

数式は、実行中に温度ステップングかパラメータステップングを行った場合にプロットできます。

性能関数式は、ステップした変数が2つ以上ある場合にプロットできます。2つの変数のうち1つには温度を指定することができます。

1番目にステップされた変数はZ軸にプロットされます。例えば温度をステップしてV(1)をY軸にプロットする場合、普通T (Time) がX軸に、ステップした変数である温度がZ軸にプロットされます。R(R1)をステップしてV(1)をY軸にプロットする場合、普通T (Time) がX軸に、ステップした変数であるR(R1)がZ軸にプロットされます。

Tや2番目にステップされた変数はX軸にプロットされます。例えばR(R1)とC(C1)をステップした場合、V(1)のような数式をプロットする際、TをX軸にし、R(R1)とC(C1)のどちらかをZ軸にしてプロットできます。あるいは、Rise_Timeのような性能関数をプロットする際、R(R1)をX軸にし、C(C1)をZ軸にしてプロットできます。

3Dプロットの例

3Dプロットがどのように行われるかを説明します。ファイル3D1をロードすると、次のような画面が現れます。

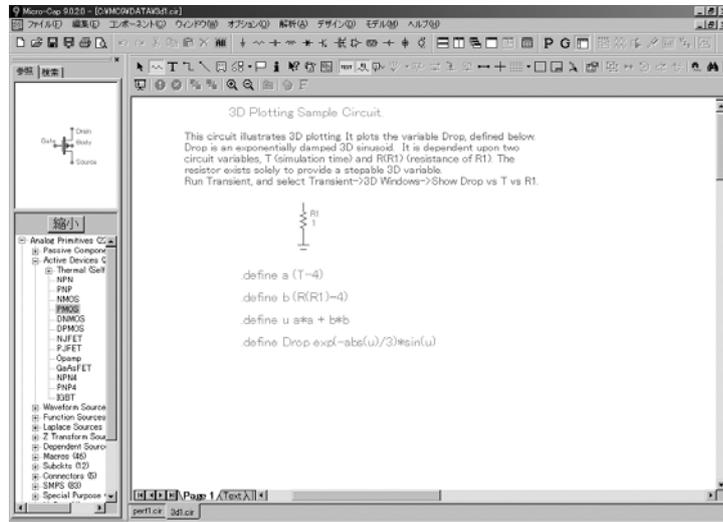


図20-1 3D回路

この回路は抵抗R1と、記号変数Drop (R1の抵抗値とTに依存) から構成されています。解析メニューのトランジェントを選択すると、次のような解析リミットが現れます。



図20-2 3D1の解析リミット

上記の設定値では、Tの値は0から8まで、最大ステップ0.1で変化します。ここでは変数Dropの値をプロットしています。この回路にはコンデンサやインダクタがないので、実際のタイムステップは小さな値から始まりますが、最大値の0.1まですぐに上昇します。

ステップングダイアログボックスを次に示します。



図20-3 R(R1)を0から8までステップ

このダイアログボックスの設定では、R1の値は0.1ステップで0から8まで線形にステップします。OKをクリックし、F2を押して解析を始めると、次のような結果が得られます。

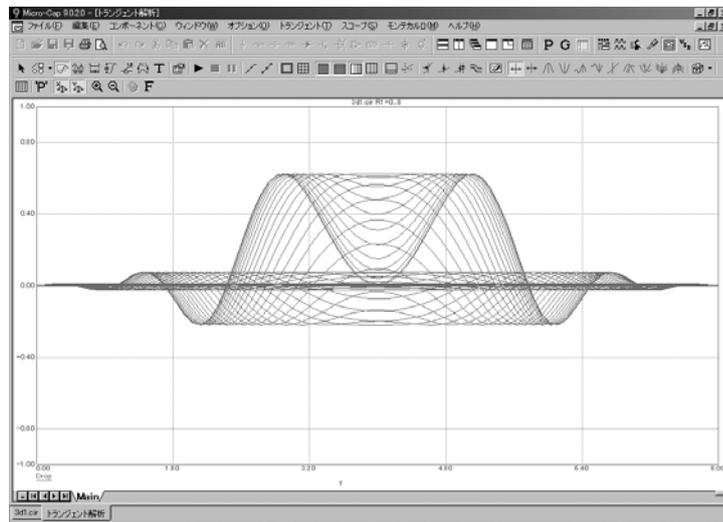


図20-4 Dropの2D解析プロット

このプロットでは、Tが0から8まで、R(R1)が0から8まで変化する際の、変数Dropの値を示しています。81回 $(1 + 8.0/0.1)$ の実行が行われています。

トランジェントメニューの3Dウィンドウから**Drop vs.T vs. R1**を表示項目を選択します。すると次に示すように、記号変数Dropの値がY軸に、TがX軸に、R(R1)がZ軸にプロットされます。

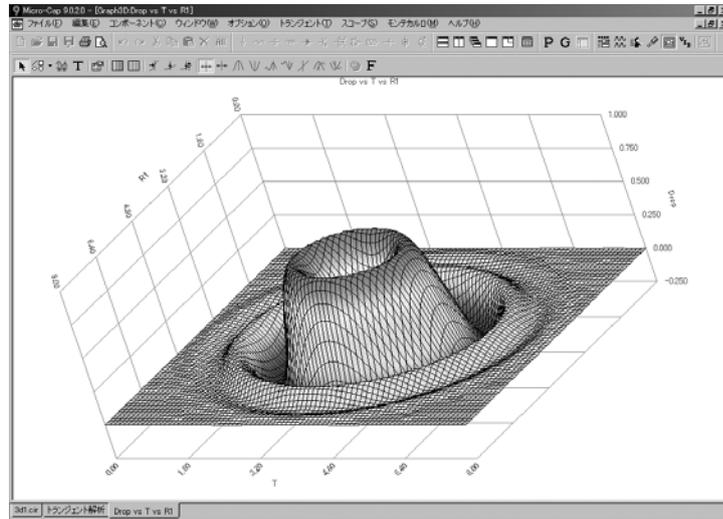


図20-5 Dropの3D解析プロット

ここでは、変数R1のみをステップしました。実行中にMicro-CapはZ軸変数R1の81通りの値を計算し、その値すべてについて、X軸変数Tの値を81個以上ずつ計算しました。およそ6600通りの値について、Drop関数の値が計算されたわけです。

3Dプロットが要求されると、Micro-Capはシミュレーションの実行結果を等間隔に補間し、指定のデータ点数を得ます。それから3Dプロットを作成します。3Dプロットでは、X、Zの等値線の交点により、補間されたデータ点をマークします。グリッド線間のパッチは、隣接する等値線の値に応じて色分けされます。使用される色（スペクトル、グレー、クリアなど）は、3Dプロットプロパティダイアログボックスで指定されます。

3Dプロットのプロパティダイアログボックス

3Dグラフを追加・変更するときには、プロパティダイアログボックスを使用します。表示するには、F10を押します。このダイアログボックスのプロットパネルを次に示します。

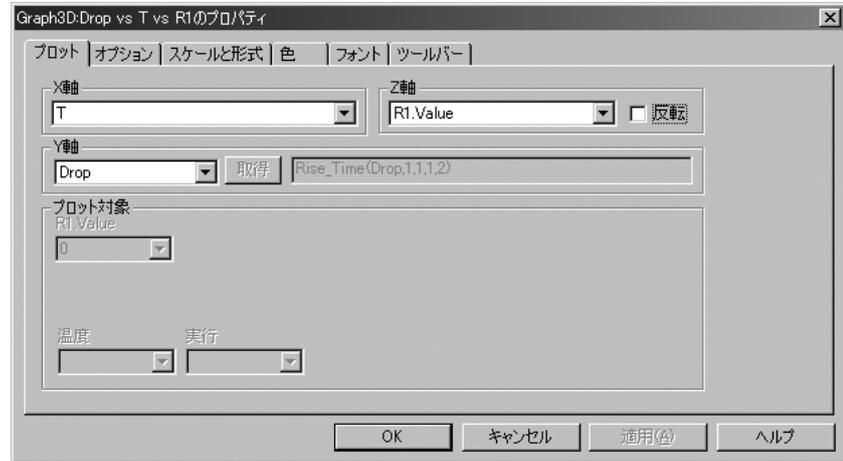


図20-6 3Dダイアログボックスのプロットパネル

このダイアログボックスは3Dグラフのあらゆる側面をコントロールします。下部のコマンドボタンによって、グラフの基本的な属性にアクセスできます。

OK: 行った修正内容を確定し、ダイアログボックスを終了します。

キャンセル: 行った修正内容を取り消し、ダイアログボックスを終了します。

適用: 現在の設定値を使用してダイアログボックスの後ろ側にプロットを再描画できます。実際に設定値を確定する前にあらかじめ確認することができます。

ヘルプ: ヘルプシステムにアクセスします。

パネルは6つあります。

プロット: このボタンは3Dグラフの主要なプロット機能にアクセスします。特に、次の項目があります。

タイトル: 3Dプロットのタイトルです。初期タイトルは必ず軸変数の名前を反映したものになります。書式は“Y軸変数vs.X軸変数vs.Z軸変数”です。自動が無効の場合、このフィールドを編集してタイトルを変更できます。自動が有効の場合、軸変数名を変更した際にタイトルが自動的に軸の名前を反映するようになります。

X軸: このフィールドはX軸のプロットに利用可能な変数のリストを表示します。下のY軸リストから性能が選択されている場合、このリストには、すでにZ軸について選択されている変数以外の、ステップされる数がすべて表示されます。そうでない場合、このリストは解析リミットダイアログボックスから、一意なX式のみを選択して表示します。通常、ここにはT（時間）またはF（周波数）またはDC掃引変数だけが含まれます。

Z軸: このフィールドはZ軸のプロットに利用可能な変数のリストを表示します。X軸用にまだ選択されていないステップされる変数は、すべてリストに含まれます。

反転オプションはZ軸スケールをフリップし、ローからハイへの代わりにハイからローへプロットします。

Y軸: このフィールドはY軸のプロットに利用可能な変数のリストを表示します。プロットされるY式のそれぞれを含み、少なくとも2つの項目がステップされる場合は、性能の項目を含みます。この項目を選択すると、隣の取得ボタンが有効となり、それを使用してプロットする関数を選択します。Y軸変数の選択により、X軸とZ軸の変数の選択が制約されます。

- 性能を選択した場合、X軸の変数はステップされる変数でなければなりません。

- プロットされるY式の1つを選択した場合、X軸の変数はそれに関連付けられたX式でなければなりません。例えば、Y式の1つがV(1)で、X式がTである場合、3DのY軸にV(1)を選択すると、強制的に3DのX軸にTを選択したことになります。

プロット対象:

これらは、軸変数としては選択されていない残りのステップされる変数のリストを表示します。変数が軸変数として使用されていない場合、ステップされた値から、プロットしたいものを選択できます。数値により異なる3D面プロットが得られます。

温度：

複数の温度が実行され、温度が軸変数として使用されていない場合、このフィールドでどの実行をプロットするかを選択します。

実行：

プロットの蓄積が有効の場合、使用したい実行番号を選択できます。実行番号は、ダイナミック編集モードでの編集で生成された新しい実行の数値インデックスです。

オプション：このボタンは、グラフの各属性について、その有効、無効、数量、内容をコントロールする項目にアクセスします。以下の画面が現れます。



図20-7 3Dダイアログボックスのオプションパネル

オプション：この項目はグラフの各機能の有効・無効をコントロールします。

等高線：このオプションはY軸変数の2D等高線をプロットします。

軸：このオプションを有効にすると、3つの軸X、Y、Zを追加します。各軸はグリッドと重なるため、この機能の効果を見るためには、グリッド機能を無効にしなければならないことに注意してください。

等値線：このオプションにより、プロット上のX、Zが一定な線に沿って、等値線を描画します。これらの線の交点により、3Dプロットの色つきの表面パッチの境界線が構成されます。

グリッド：このオプションは各座標面に平行なグリッド線を描いて、スケールを等間隔に分けます。

スケール: このオプションは各軸に沿って数値スケールを描画します。

背景: このオプションを無効にすると、3つの座標面を透明にペイントします。色の設定は無視されます。

フラッシュカーソル: 2つの数値カーソルを点滅させて見やすくします。

パッチ:

X: これにより、X軸に沿ったパッチ数を制御します。この数値の規定値は40です。必要に応じて大きくできますが、パッチの総数が、X軸とZ軸のパッチ数の積であることにご注意ください。各軸に40を指定すると、 $40 * 40 = 1600$ 個のパッチが必要になります。各軸に1000を指定すると、 $1000 * 1000 = 1,000,000$ 個のパッチが必要になります。各パッチは、3次元変換の集合により処理する必要があります。この計算に時間がかかり、描画が遅くなります。また、パッチが200を超えると、近接した等高線で表面が覆われて見づらくなるので、この値は20~200に制限して下さい。

Z: Z軸方向のパッチ数をコントロールします。これにもX軸と同じ留意点があてはまります。

形式: このパネルは3Dグラフの数値書式の機能にアクセスします。オプションは次のようになります。



図20-8 スケールと形式パネル

X、Y、Zの各軸について、スケール値およびカーソル値の数値形式を制御できます。

スケール形式：軸のスケールを表示するために使用される数値書式です。

カーソル形式：この数値書式はカーソルモードでプロットの下のある表にある曲線のX、Y、Z値を印刷するのに使用します。その書式は上で述べたスケールの書式と同じです。

・**勾配計算**：スロープの計算方法をNormal、dB/Octave、dB/Decadeから選択できます。

・**フォーミュラテキスト**：形式ボタンを押すと、3Dプロットで使用するフォーミュラテキストの数値形式を設定できます。

色：このパネルは色属性にアクセスします。次のようなパネルです。



図20-9 3Dダイアログボックスの色パネル

このパネルでは、下記の色属性をコントロールできます。

オブジェクト：このグループにはテキスト、グリッド、ワイヤ、X/Y/Z軸ウィンドウ背景の色があります。オブジェクトの色を変えるには、それをまず選択してからパレットから新しい色を選択します。

パッチ色：このパネルでは、3Dプロット表面を構成するパッチの色がコントロールできます。以下の選択肢から選択できます。

- ・**クリア：**このオプションはパッチを透明なままにします。ワイヤオプションが有効な場合、ワイヤメッシュのような表示を行います。ワイヤが無効な場合、何もプロットしません。

- ・**スペクトル：**パッチにスペクトラムの色をつけます。最低値は青、最高値は赤となります。

- ・**グレー：**パッチをグレーでシェーディングします。低い値は黒、高い値は白となります。

- ・**赤：**パッチを赤でシェーディングします。低い値は暗い赤、高い値は明るい赤となります。

- ・**緑：**パッチを緑でシェーディングします。低い値は暗い緑、高い値は明るい緑となります。

- ・**青：**パッチを青でシェーディングします。低い値は暗い青、高い値は明るい青となります。

- ・**フォント：**

標準パネルにより、3Dプロットで使用されるすべてのテキストのフォント、サイズ、スタイル、効果を変更できます。

- ・**ツールバー：**

標準パネルにより、3Dウィンドウのローカルツールバーのボタンを選択できます。

3Dプロットウィンドウを追加するには、**トランジェント/3Dウィンドウ/3Dウィンドウの追加**を選択します。これにより、新しい3Dプロパティダイアログボックスが表示され、希望のプロット機能を選択できます。

3Dにおけるカーソルモード

プロットを数値的に調べるには、カーソルモードを使用できます。F8を押すか、カーソルモードボタンをクリックします。3Dプロットは次のようになります。

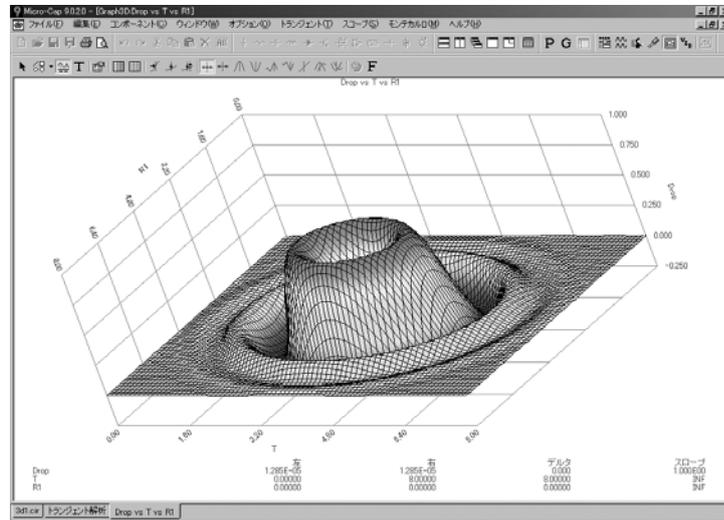


図20-10 カーソルモードの3Dプロット

3D表面プロットの中央付近でマウスをクリックすると、カーソルが現れます。左/右の矢印キーをそれぞれ数回押して下さい。カーソル位置のX軸つまりTの値は変化しますが、Z軸つまりR1の値は一定です。カーソルはZ軸のグリッドに沿って移動します。

下/上の矢印キーをそれぞれ数回押して下さい。カーソル位置のZ軸つまりR1の値は変化しますが、X軸つまりTの値は一定です。カーソルはX軸のグリッドに沿って移動します。

通常のカーソル関数モードがすべて利用可能です。特に次へ、頂、谷、ハイ、ロー、反曲、グローバル高、グローバル低、Xに移動、Yに移動、性能に移動のモードが利用可能です。例えば頂ボタンをクリックし、右矢印キーを数回押すと、左カーソルが、Z軸つまりR1が一定となる曲線のピーク間を順に移動します。

3Dプロットの性能関数

ファイル3D2をロードし、解析メニューからAC解析を選択します。F2を押して解析を実行すると、以下のような実行結果が表示されます。

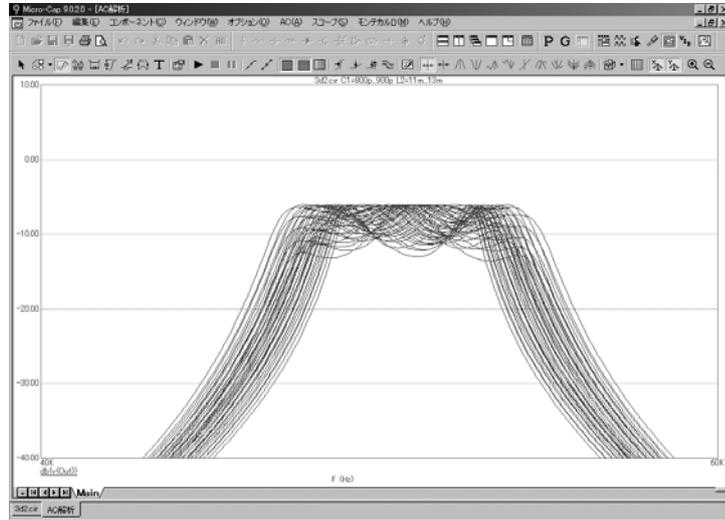


図20-11 3D2の実行結果

AC解析/3Dウィンドウの表示/幅の表示...を選択すると、次のプロットが生成されます。

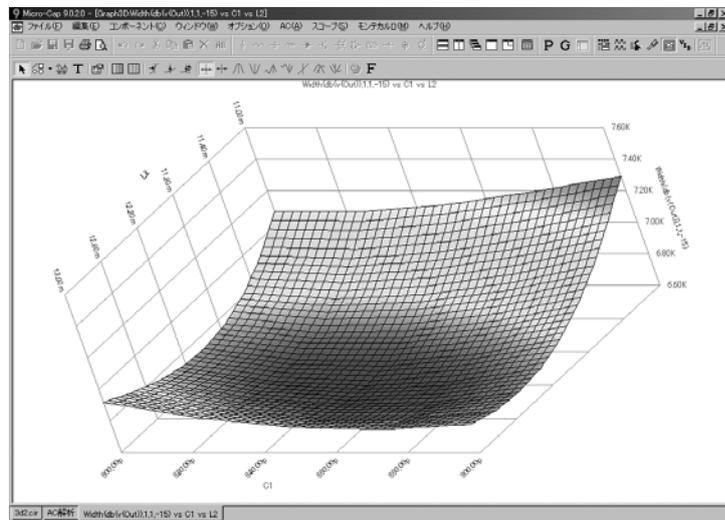


図20-12 L2、C1に対する幅のプロット

ここでは以下の幅性能関数をプロットしました。

Width (db (v (Out)), 1, 1,-15)

この性能関数はdb(V(Out))の幅を測定します。その際ブール1 (常に真)、1番目のインスタンス、Yの値-15を条件とします。これはバンドパスフィルタの-15db帯域幅を効果的に測定します。

L2の値は、11mhから13mhまで0.25mhずつステップされ、C1は800pFから900pFまで25pFずつステップされます。これにより9*5または45回の実行が生成されます。これらの実行のそれぞれについて幅が測定され、3Dグラフが幅関数をプロットします。C1の値をX軸に、L2の値をZ軸にプロットします。プロットはC1とL2に対するフィルタの帯域幅の変化を示しています。

AC解析/3Dウィンドウの表示/Y_Range ()の表示を選択します。これは次のプロットを生成します。

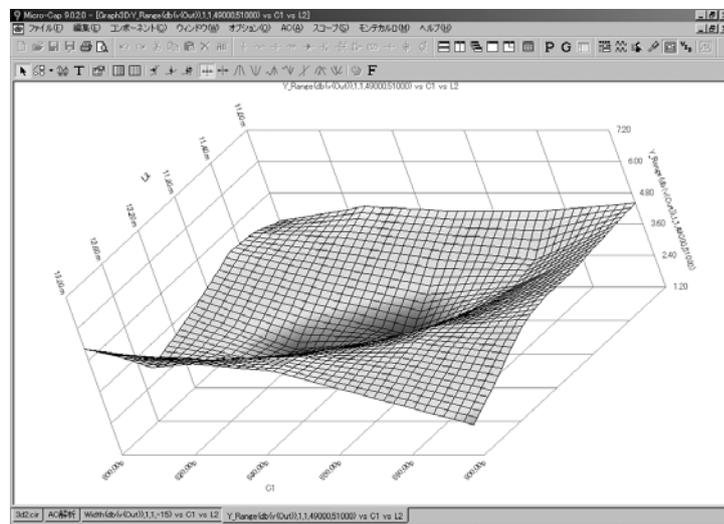


図20-13 L1とC2に対するY_Rangeのプロット

ここではY_Range性能関数をプロットしました。

Y_Range (db(v(Out)), 1, 1, 49000, 51000)

この性能関数はdb(V(Out))の変動範囲を測定します。その際ブール1 (常に真)、1番目のインスタンス、X範囲49KHz~51KHzを条件とします。これはフィルタのパスバンド・リップルを効果的に測定します。

プロットの向きを変える

3Dプロットの向きはいくつかの方法で変更することができます。

- マウスの右ボタンでグラフをドラックする。
- キーボードを使用する。
 - **Q** : プロットをX軸について右回りに回転します。
 - **A** : プロットをX軸について左回りに回転します。
 - **W** : プロットをY軸について右回りに回転します。
 - **S** : プロットをY軸について左回りに回転します。
 - **E** : プロットをZ軸について右回りに回転します。
 - **D** : プロットをZ軸について左回りに回転します。
 - **X** : $X=0$ 平面に対して垂直な視点にします。
 - **Y** : $Y=0$ 平面に対して垂直な視点にします。
 - **Z** : $Z=0$ 平面に対して垂直な視点にします。
 - **CTRL + HOME** : 標準の視点方向にします。
 - **C** : 等高線と3Dビューをトグルします。

3Dのスケーリング

スケールは軸変数の範囲によってのみ決まります。ユーザがコントロールすることはできません。

本章の内容

本章ではMicro-Capパッケージと共に支給される57のマクロ回路ファイルについて説明します。ほとんどのマクロ回路ファイルには、特定の回路が使用できるようにマクロ関数を適合できる数値パラメータがあります。マクロ部品の完全なリストは次の通りです。

- ・絶対値（全波整流）（ABS）
- ・振幅モジュレータ（AM）
- ・増幅器（AMP）
- ・バラン（BALUN）
- ・センタータップつきトランス（CENTAP）
- ・クリップ（CLIP）
- ・比較器（COMPARATOR）
- ・定電力負荷（Constant Power）
- ・位相連続FSK（CPFSK）
- ・DCモータ（DC Motor）
- ・遅延回路（DELAY）
- ・ダイアック（DIAC）
- ・微分器（DIF）
- ・デジタルポテンシオメータ（DIGPOT）
- ・除算器（DIV）
- ・線形伝達関数（F）
- ・周波数シフトキー（FSK）
- ・F重み関数（F Weighting）
- ・インピーダンス変換用ジャイレータ（GYRATOR）
- ・2ポート理想変圧器（IDEAL_TRANS2）
- ・3ポート理想変圧器（IDEAL_TRANS3）
- ・積分器（INT）
- ・リセット付きインテグレータ（INT_RESET）
- ・BiolekまたはJoglekarウィンドウ付きメモリスタ（Memresistor）
- ・モノステーブル（MONOSTABLE）
- ・2入力重みつき乗算器（MUL）
- ・時間領域ノイズ源（NOISE）
- ・ピーク検出器（Peak Detector）
- ・フォトダイオード（PHOTODIODE）

- ・フォトダイオード_r (PHOTODIODE_R)
- ・比例／積分／微分制御器 (PID Controller)
- ・ポテンショメータ (POT)
- ・位相シフトキー (PSK)
- ・プログラマブル単接トランジスタ (PUT)
- ・パルス幅変調器 (PWM)
- ・Tフリップフロップ付きパルス幅変調器 (PWM_T)
- ・Tフリップフロップ無しのパルス幅変調器 (PWM_NT)
- ・単純リレーモデル (RELAY1)
- ・状態可変リレーモデル (RELAY2)
- ・共振回路 (RESONANT)
- ・抵抗温度検出器 (RTD)
- ・シュミットトリガ回路 (SCHMITT)
- ・シリコン制御整流器 (サイリスタ) (SCR)
- ・スリップまたはヒステリシス機能 (SLIP)
- ・スナバ (SNUBBER)
- ・スパークギャップデバイス (SPARKGAP)
- ・2入力重みつき減算器 (SUB)
- ・2入力重みつき加算器 (SUM)
- ・3入力重みつき加算器 (SUM3)
- ・トライアック (TRIAC)
- ・トリガ (TRIGGER6)
- ・三極真空管モデル (TRIODE)
- ・電圧制御発振器 (VCO)
- ・広帯域変圧器 (WIDEBAND)
- ・クリスタルモデル (XTAL)
- ・555タイマ (555)

ABS

全波整流器として参照されるABSブロックは、入力信号の絶対値を出力します。定義は次の通りです。

$$V_{Out}(t) = |V_{In}(t)|$$

この関数はABSマクロで実装されます。

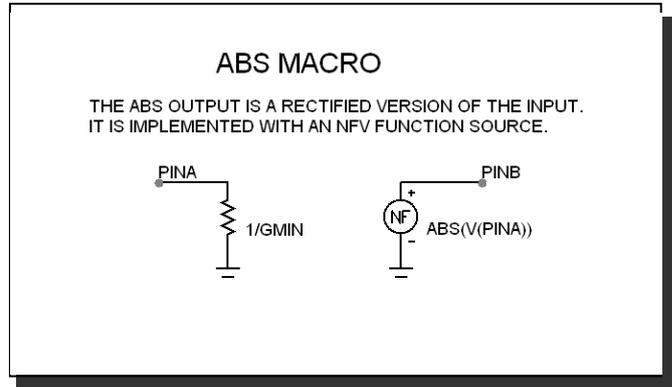


図21-1 ABSマクロコンポーネントシンボル

入力パラメータはありません。NFV関数信号源を使用して絶対値関数を実装しています。このマクロブロックの主な役割は、NFV関数信号源の普通の回路シンボルよりもわかりやすいシンボルを提供することです。

このマクロの使用例については、回路SYSTEM2を参照してください。

AM

このブロックは次のように実施される振幅変調機能を提供します。

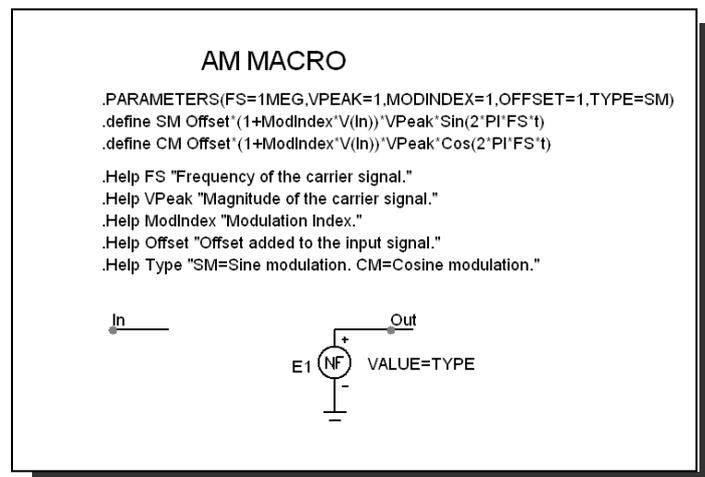


図21-2 AMマクロ回路

このデバイスは、SMまたはCMの2つの値のうちのどちらかとなるTYPEパラメータにより、そのVALUE属性が選択される単一NFVソースで構成されています。これらの2つの記号変数SMとCMは次のように定義されます。

```
.define SM Offset*(1+ModIndex*V(In)*VPeak*Sin(2*PI*FS*t))
.define CM Offset*(1+ModIndex*V(In)*VPeak*Cos(2*PI*FS*t))
```

パラメータ	定義
FS	搬送信号の周波数
VPEAK	搬送信号の大きさ
MODINDEX	変調指数
OFFSET	入力信号に追加されるオフセット
TYPE	変調タイプ.SM=正弦変調 CM=余弦変調

このマクロの使用法例については、回路AMTEST1.CIRを参照してください。

AMP

このブロックは単純な線形増幅器です。定義は次の通りです。

$$V_{Out}(t) = gain V_{In}(t)$$

この関数はAMPマクロで実装されます。

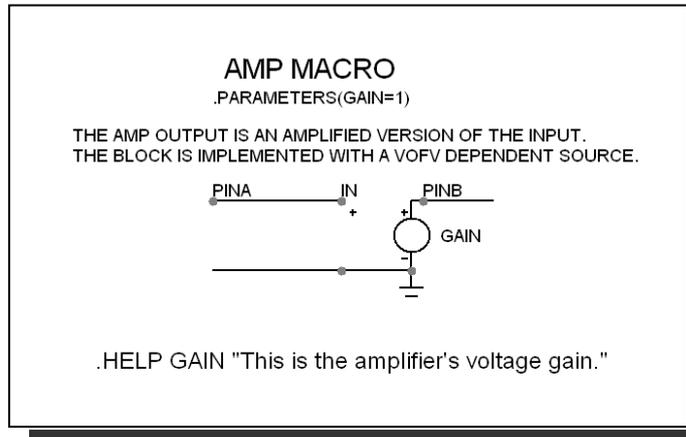


図21-3 AMPマクロ回路

入力パラメータGAINが入力を乗算し、増幅された出力を生成します。これは単純な線形従属信号源VOFVを使用して実装されています。関数信号源やSpiceポリソースでも同じ結果を得ることはできます。一般に、機能を満たす最も単純な信号源を使用することが好まれます。

BALUN

BALUNマクロは、平衡信号から不平衡信号へ、またはその逆へ変換します。

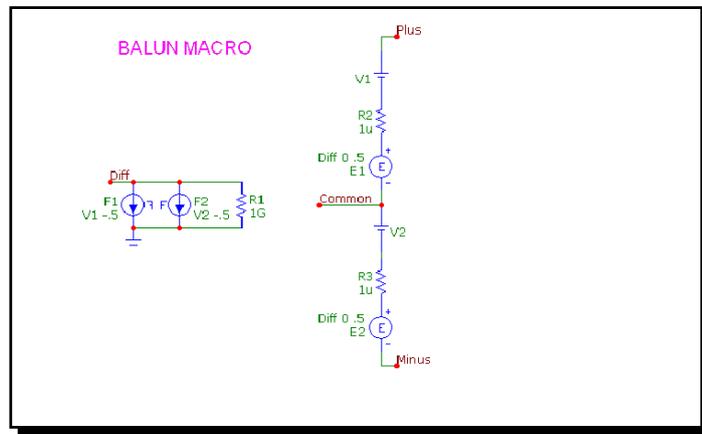


図21-4 BALUNマクロ回路

このマクロの使用例は、回路BALUNMIXERを参照してください。

CENTAP

CENTAPマクロは、センタータップ付きの5端子のトランスで、1次・2次側のインダクタンスをパラメータで定義します。

この回路は3つの線形なインダクタと1つのK（結合）デバイスで実装されています。

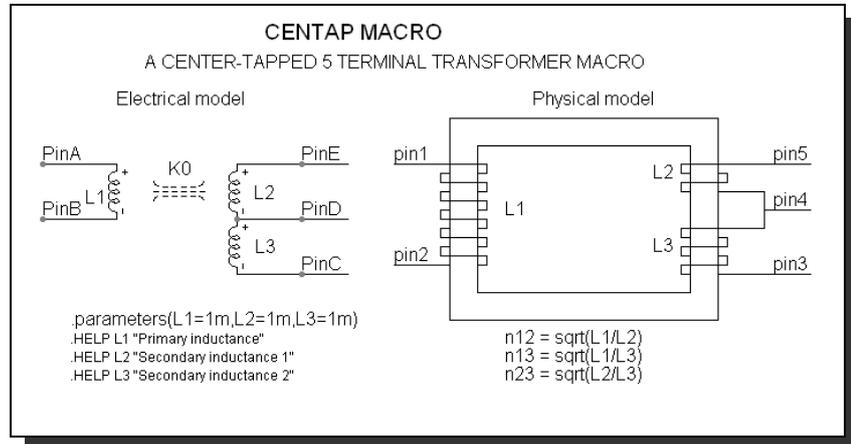


図21-5 CENTAPマクロ回路

パラメータ	定義
L1	1次側インダクタンス
L2	2次側インダクタンス1
L3	2次側インダクタンス2

このマクロの使用例については、回路TRANSを参照してください。

CLIP

CLIPマクロは、リミッタ・理想オペアンプ・インバータとして使用できます。これの出力は、入力をスケールリングしたコピーですが、指定された最大・最小レベルに制限されます。

この関数は次のCLIPマクロで実装されます。

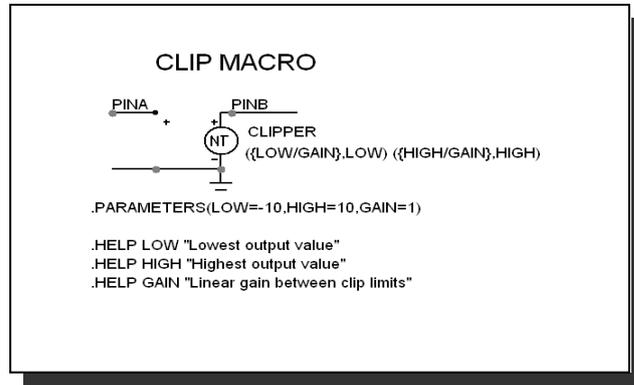


図21-6 CLIPマクロ回路

1組の入力パラメータ、ローとハイで出力の最低値と最高値を定義します。この範囲内で、出力は入りに利得パラメータを掛けた値と等しくなります。このブロックは、関数テーブル信号源NTVOFVにより構成されています。

パラメータ	定義
GAIN	クリップ範囲内のリニア利得
LOW	最小出力値
HIGH	最大出力値

このマクロの使用例については、回路SYSTEM2を参照してください。

COMP

COMPマクロは、TANH関数で実行される、シンプルかつ高速で、収束の容易な電圧比較器です。

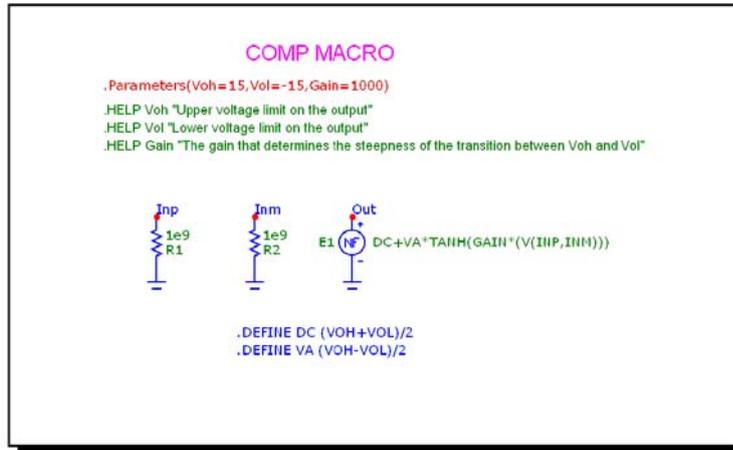


図21-7 COMPマクロ回路

1組の入力パラメータVOLおよびVOHにより、出力の最低値と最高値が規定されます。この範囲内で、出力は入力に利得パラメータを掛けた値と等しくなります。このブロックは、数式が $DC+VA*TANH(GAIN*(V(INP,INH)))$ である関数信号源により構成されています。ここで、

$$VA = (VOH - VOL)/2$$
$$DC = (VOH + VOL)/2$$

連続微分によるスムーズなTANH関数の使用により、重要回路での収束が改良されます。

パラメータ	定義
GAIN	クリップ範囲内のリニア利得
VOL	最小出力値
VOH	最大出力値

COMPARATOR

この回路は、ヒステリシスのある比較器のマクロモデルであり、シュミットマクロと構成が似ています。回路は次のようになります。

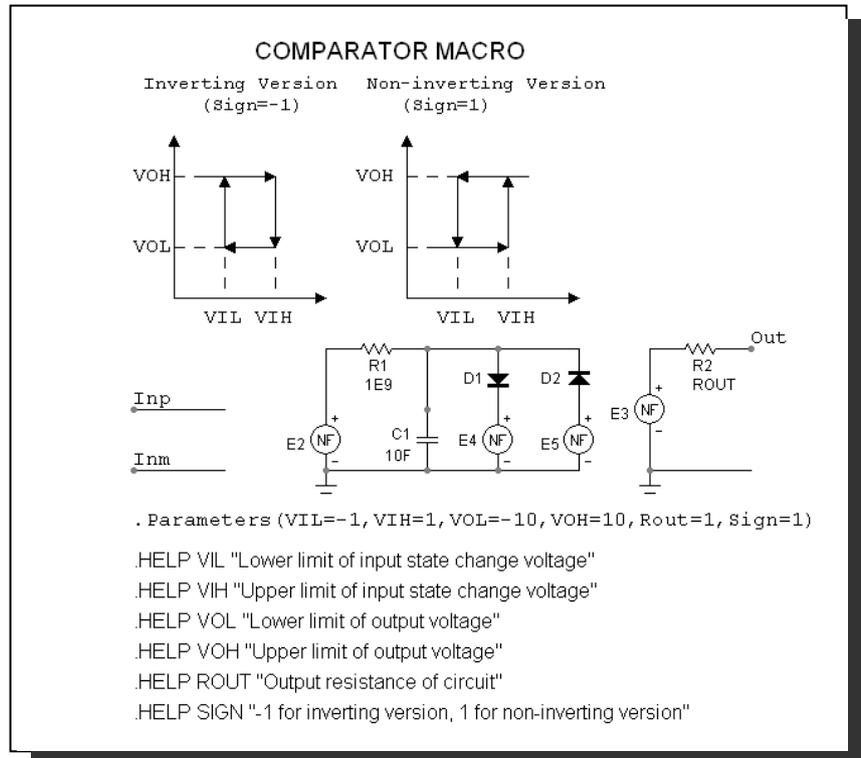


図21-8 COMPARATORマクロ等価回路

パラメータの定義は次の通りです。

パラメータ	定義
VIH	入力状態変化電圧の下限値
VIL	入力状態変化電圧の上限値
VOH	出力電圧の下限値
VOL	出力電圧の上限値
ROUT	比較器の出力抵抗値
SIGN	反転バージョンでは-1、 反転しないバージョンでは1

このマクロの使用例については回路COMPDEMOを参照してください。

Constant Power

Constant Powerマクロは定電力負荷の実装です。

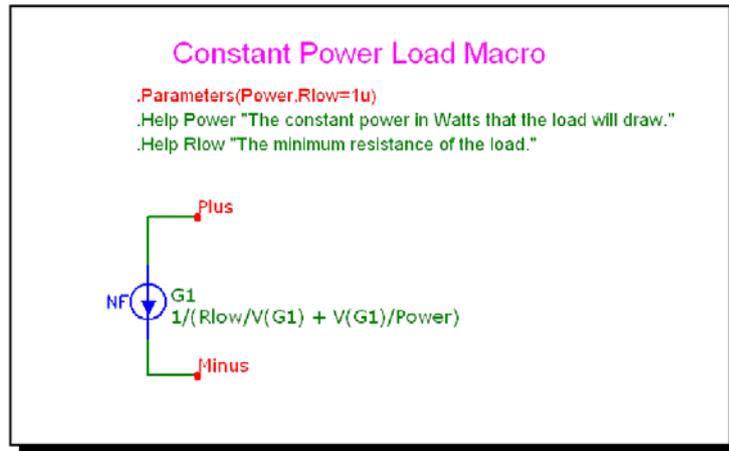


図21-9 Constant Powerマクロ回路

これは、以下の数式で表される関数電流源で実装します。

$$1/(Rlow/V(G1) + V(G1)/Power)$$

パラメータ	定義
Rlow	負荷の最小抵抗
Power	負荷により使用される定電力 (ワット単位)

CPFSK

CPFSKは位相連続FSKの実装です。

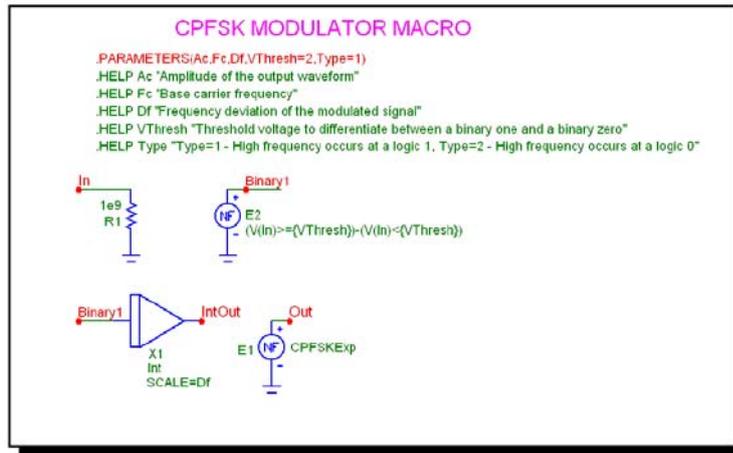


図21-10 CPFSKマクロ回路

パラメータ	定義
AC	出力波形の振幅
FC	基本搬送周波数
DF	変調信号の周波数偏差
VTHRESH	バイナリ1とバイナリ0を区分する閾値電圧
TYPE	Type=1はロジック1で高周波が発生することを示す。 Type=2はロジック0で高周波が発生することを示す。

このマクロの使用例は、回路CPFSKを参照してください。

DC Motor

これはDCモータの電気的および機械的モデルです。

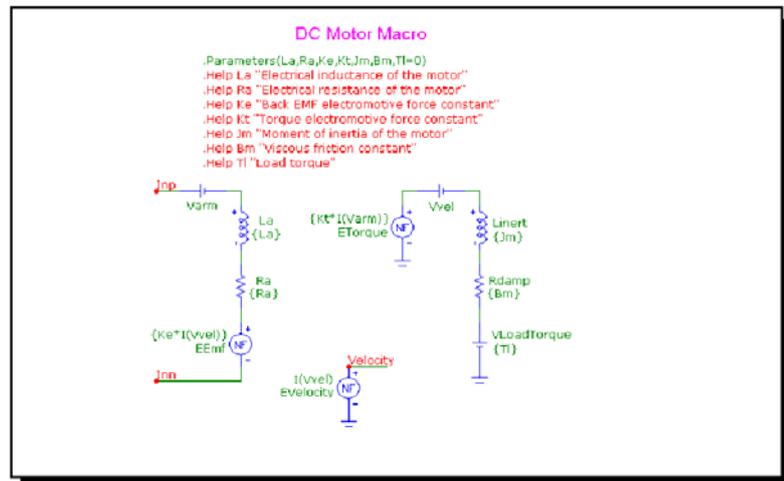


図21-11 DC Motorマクロ回路

パラメータ	定義
LA	モータの電気的インダクタンス
RA	モータの電気抵抗
KE	逆起電力定数
KT	トルク起電力定数
JM	モータの慣性モーメント
BM	粘性摩擦定数
TL	負荷トルク

DELAY

DELAYマクロは、プログラム可能な時間遅延を提供します。

$$V_{Out}(t + delay) = V_{Out}(t)$$

この関数は、DELAYマクロにより実装されます。

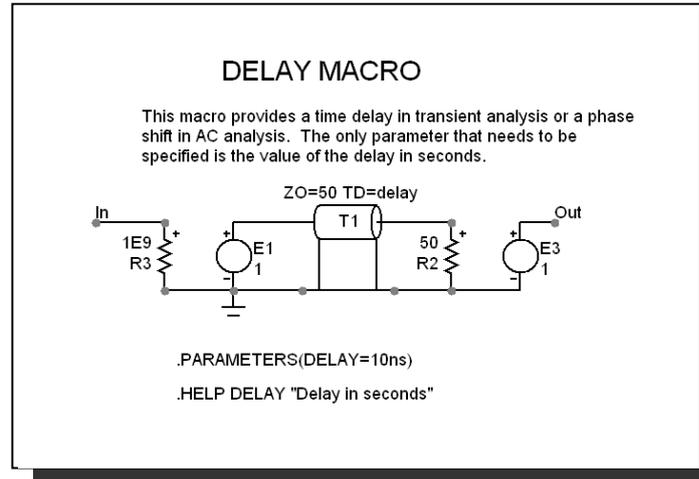


図21-12 DELAYマクロ回路

単一の入力パラメータDELAYにより伝送線路に指定された遅延時間が提供されます。

DIAC

DIACマクロは、TRIACマクロを精巧にしたマクロで、次のような構成です。

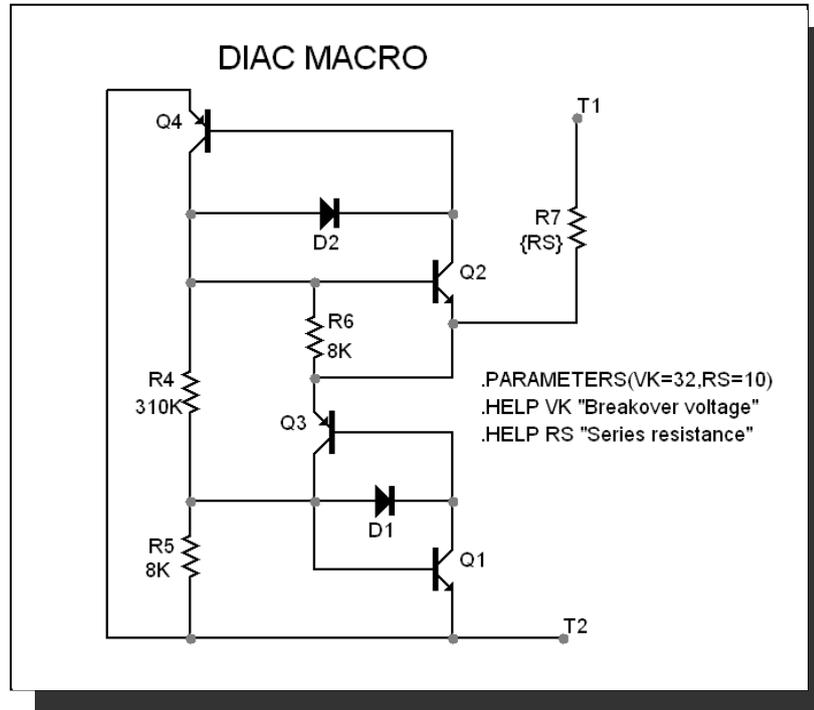


図21-13 DIACマクロ回路

1対の入力パラメータRSとVKにより、直列インピーダンスおよびブレイクオーバーが発生する電圧を定義します。

パラメータ	定義
RS	直列抵抗値
VK	ブレイクオーバー電圧

このマクロの使用例についてはDIAC1とDIAC2の回路を参照してください。

DIF

微分器は積分器の逆です。これにより得られる出力は入力信号の時間微分並型にスケールをかけた波形です。

$$V_{Out}(t) = scale \, d(V_{In}(t)) / dt$$

この関数は次のDIFマクロで実装されます。

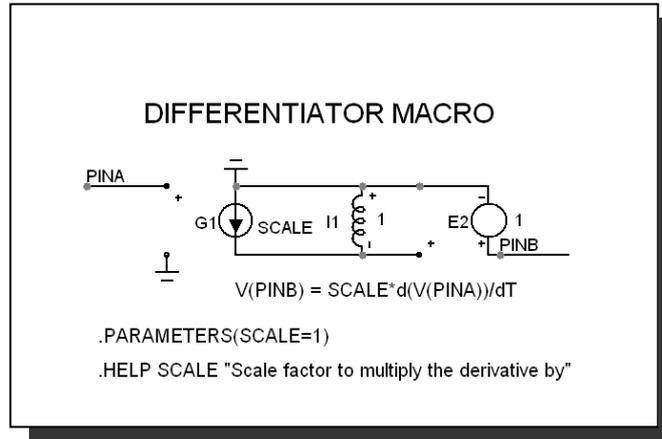


図21-14 DIFマクロ回路

単一入力パラメータSCALEは、導関数を乗算します（スケールリングします）。この実装では出力がバッファされていますから、非常にインピーダンスの低いネットワークを駆動できます。

DIGPOT

デジタルポテンシオメータのマクロは、おおむねMaxim社のMAX5450-5455シリーズのデバイスに基づいています。これらのデバイスは、256個のデジタル制御のワイパー接点（タップ）がある2つの固定抵抗器によって構成されるアップ/ダウンインタフェース付きのデジタルポテンシオメータです。ワイパーにアクセス可能なタップポイントを決める3つのデジタル入力があります。これらのデジタル入力はINC、CS、U/Dです。

INC入力は、ワイパー増分制御入力です。この入力がハイからローに遷移すると、CSとU/Dの状態によってワイパー位置を増分または減分します。CS入力はチップ選択入力です。この入力がローである場合は、ワイパー位置はINCとU/Dによって変更できます。U/D入力はアップ/ダウン制御入力です。この入力がハイである場合、INCのハイからローへの遷移によってワイパー位置が増分され、この入力がローである場合、INCのハイからローへの遷移によってワイパー位置が減分されます。ワイパーが抵抗器のアレイの最高位置または最低位置にある場合、そこから増分あるいは減分しようとしてもワイパー位置は変わりません。言い換えれば、ラップアラウンドの影響はないということです。

最後に、電源投入直後のワイパーの初期設定は中間位置（タップ127）です。

この機能は、DIGPOTマクロによって実装されます。

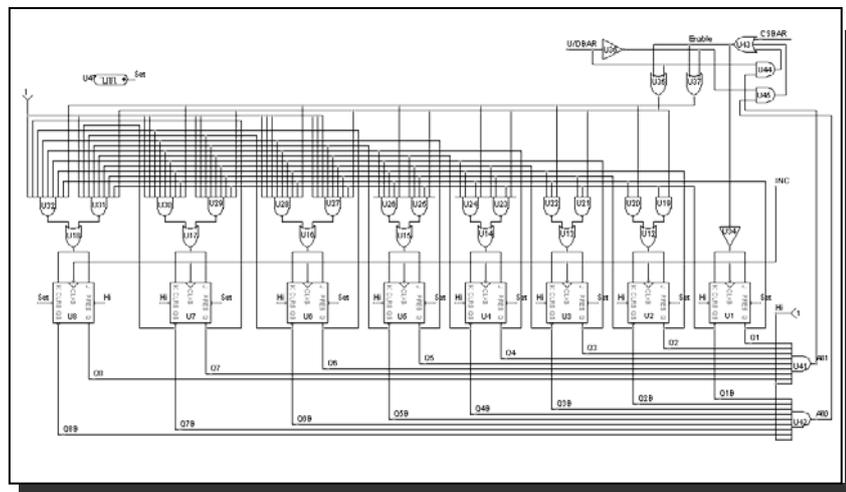


図21-15 DIGPOTマクロ回路

DIV

2つのアナログ信号の除算を行う関数が必要な場合があります。必要な関数は次の通りです。

$$V_{Out}(t) = scale V_a(t) / V_b(t)$$

この関数はDIVマクロで実装されます。

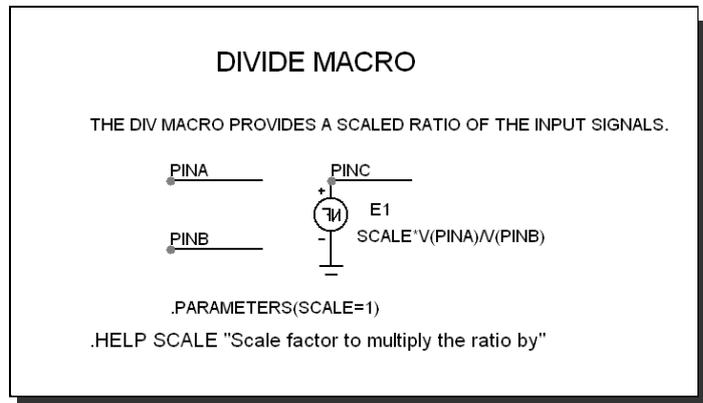


図21-16 DIVマクロ回路

このマクロを呼び出している回路からこのマクロへ渡される唯一の入力パラメータSCALEは、出力部における2つの入力波形の比を乗算するか、またはスケールリングします。

F

このシステムブロックは、一般線形伝達関数 $F(S)$ を収めるための便宜的な図形を与えるものにはすぎません。これは、ラプラス信号源でLFVOFV実装されています。

$$F(s) = V_{Out}(s) / V_{In}(s)$$

この関数はFマクロで実装されます。

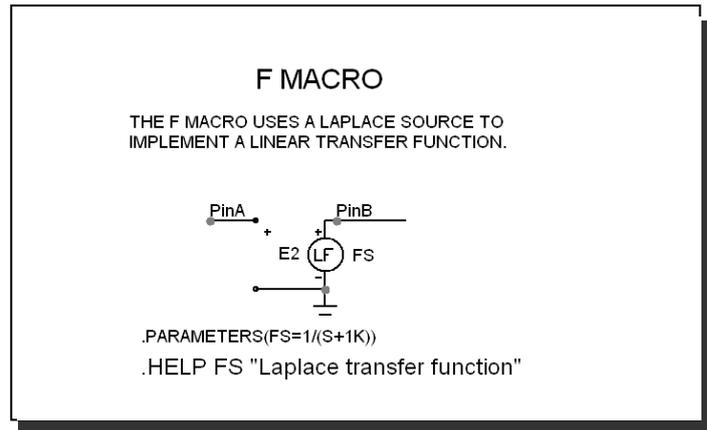


図21-17 Fマクロ回路

入力パラメータは、複素周波数伝達関数を表す式です。

このマクロの使用例については、回路SYSTEM2を参照してください。

FSK

このブロックはFSK（周波数シフトキーイング）のエンコーダを提供します。

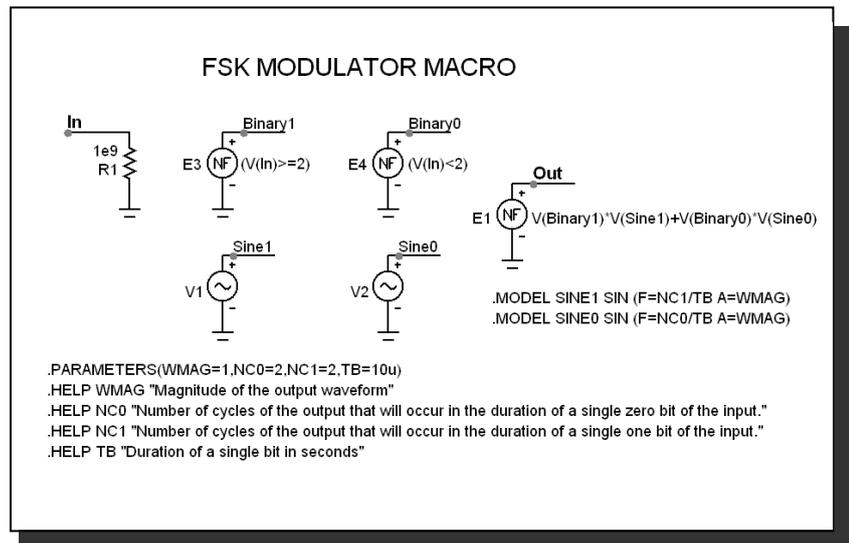


図21-18 FSKマクロ回路

入力パラメータは次の通りです。

パラメータ	定義
WMAG	出力波形の振幅
NC0	入力波形の単一の0ビットの期間に発生する出力波形のサイクル数
NC1	入力波形の単一の1ビットの期間に発生する出力波形のサイクル数
TB	単一ビットの期間（秒）

このマクロの使用例については、回路FSK2を参照してください。

FWeighting

これは周波数重み付けフィルタマクロです。

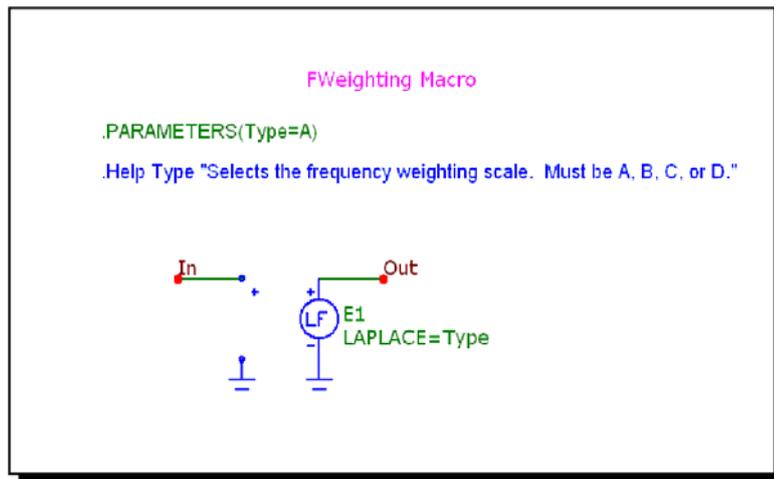


図21-19 FWeightingマクロ回路

パラメータ	定義
TYPE	周波数重み付けスケールを選択します。 A、B、C、またはDである必要があります。

A-Weighting

```
.define Ka 7.39705e9  
.define A (Ka*s^4)/((s+129.4)^2 * (s+676.7) * (s+4636) * (s+76655)^2)
```

B-Weighting

```
.define Kb 5.99185e9  
.define B (Kb*s^3)/((s+129.4)^2 * (s+995.9) * (s+76655)^2)
```

C-Weighting

```
.define Kc 5.91797e9  
.define C (Kc*s^2)/((s+129.4)^2 * (s+76655)^2)
```

D-Weighting

```
.define Kd 91104.32  
.define D (Kd*s*(s^2+6532*s+4.0975e7))/((s+1776.3) * (s+7288.5) *  
(s^2+21514*s+3.8836e8))
```

GYRATOR

ジャイレータは、抵抗的インピーダンスのスケーリングに使用できます。また誘導的インピーダンスを容量的インピーダンスに変換したり、その逆の変換を行うこともできます。

このマクロは2つの相互参照する線形従属信号源VOFIで実装されています。

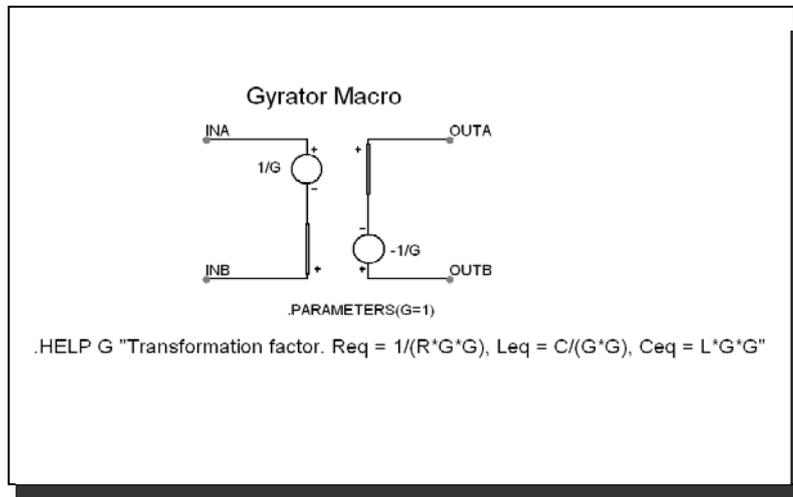


図21-20 GYRATORマクロ回路

パラメータにより、インピーダンス変換は次のように決定されます。

$$R_{eq} = 1/(R * G * G)$$

$$L_{eq} = C/(G * G)$$

$$C_{eq} = L * G * G$$

このマクロの使用例については、回路GYRTESTを参照してください。

IDEAL_TRANS2

これは理想的な2ポート変圧器です。固定の電圧利得となります。

この機能は、2つの相互参照する独立した線形信号源により実装されます。利得は、周波数について一定です。

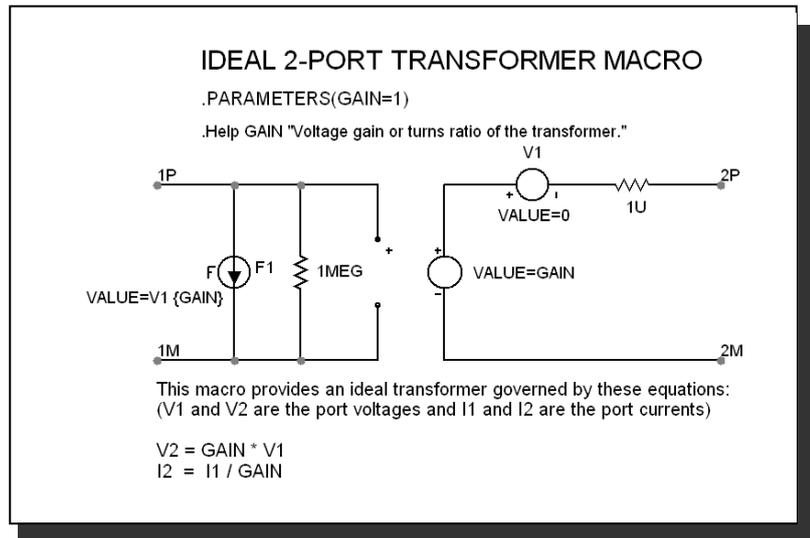


図21-21 Ideal_Trans2マクロ回路

単一のパラメータ、GAINによって変圧器の電圧利得が決まります。

$$VOUT = VIN * GAIN$$
$$IOUT = IIN / GAIN$$

このマクロの使用例については、回路IDEALTRANSを参照してください。

IDEAL_TRANS3

これは理想的な3ポート変圧器です。入力ポート電圧から2つのそれぞれの出力ポートへの電圧利得は固定です。利得は、周波数について一定です。

この機能は、4つの相互参照する独立した線形信号源により実装されます。

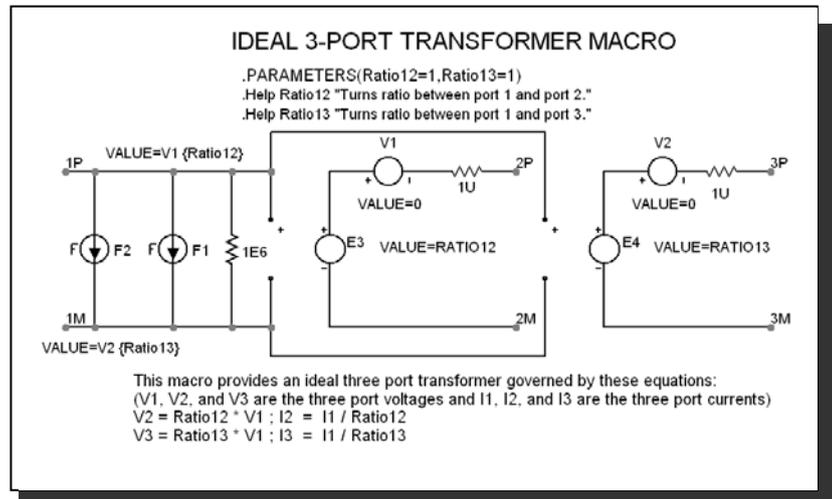


図21-22 Ideal_Trans3マクロ回路

2つのパラメータ、GAIN12とGAIN13によって変圧器の電圧利得が決まります。

$$\begin{aligned} V_{OUT2} &= V_{IN} * GAIN12 \\ I_{OUT2} &= I_{IN} / GAIN12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{OUT3} &= V_{IN} * GAIN13 \\ I_{OUT3} &= I_{IN} / GAIN13 \end{aligned}$$

このマクロの使用例については、回路IDEALTRANSを参照してください。

INT

システムモデリングに最も便利な機能の1つに積分器があります。この機能により得られる出力は、入力信号の積分であるため理想的です。

$$V_{Out}(t) = v_{init} + scale \int V_{In}(t) dt$$

この関数はINTマクロで実装されます。

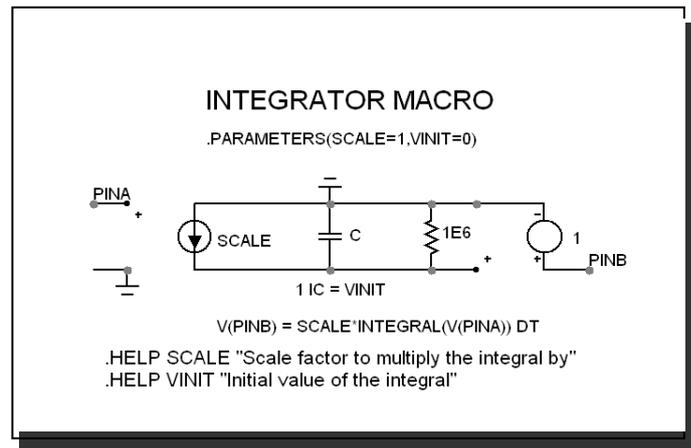


図21-23 INTマクロ回路

回路を呼び出すと、2つのパラメータSCALE、VINITがマクロに渡されます。SCALEは積分値に乗算され、VINITは初期値を提供します。この実装の出力はバッファされているため、非常にインピーダンスの低い回路を駆動できます。電圧を制限するための抵抗もあります。DCの電圧が入力された場合でも、この抵抗により出力電圧は有限の値に維持されます。抵抗値は、周波数応答を制限しないよう十分大きな値である必要があります。

パラメータ	定義
SCALE	積分値を乗算するスケールファクタ
VINIT	積分初期値

このマクロの使用例については、回路SYSTEM1を参照してください。

INT_RESET

このマクロはINTマクロと同様ですが、リセット入力を含みます。これは次のように実施されます。

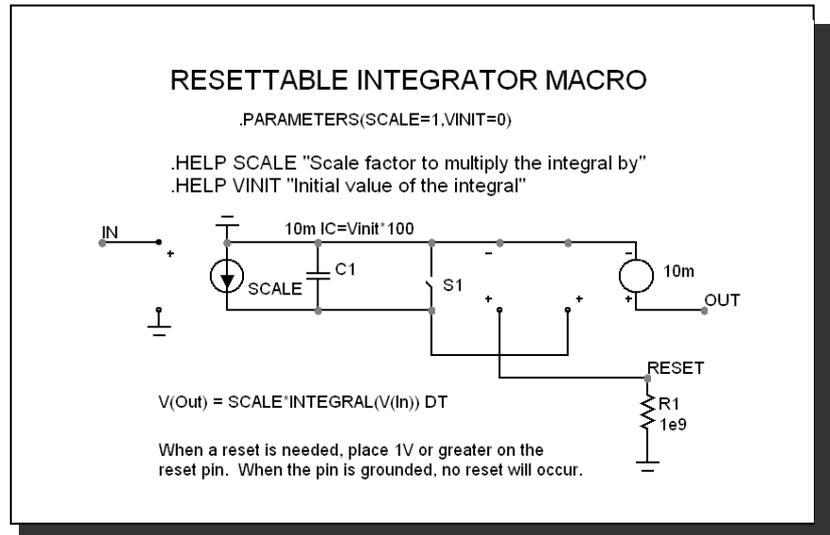


図21-24 INT_RESETマクロ回路

マクロはその親であるINTマクロと同じパラメータを使います。

パラメータ	定義
SCALE	積分に乗算するスケール係数
VINIT	積分の初期値

RESETピンの1ボルトパルスは出力電圧をゼロにリセットします。リセットはスイッチのRON(1e-6)により達成されます。放電時間定数はスイッチの1e-6抵抗と10mFコンデンサにより設定され、完全な放電にはおよそ $10 \cdot 1e-6 \cdot 1e-2$ または100nSが必要です。RESETピン電圧をゼロボルトに戻すと、積分が再開します。

Memristor

メモリスタデバイスは、(抵抗器、コンデンサ、インダクタに次ぐ) 第4の基本的受動素子で、レオン・チュア教授により1971年に理論化され、近年HP Labsが実際の開発に成功したものです。そのベースとなったのは、ズデニェック・ビオレック、ダリボール・ビオレック、ビエルカ・ビオレックにより開発されたモデルです。

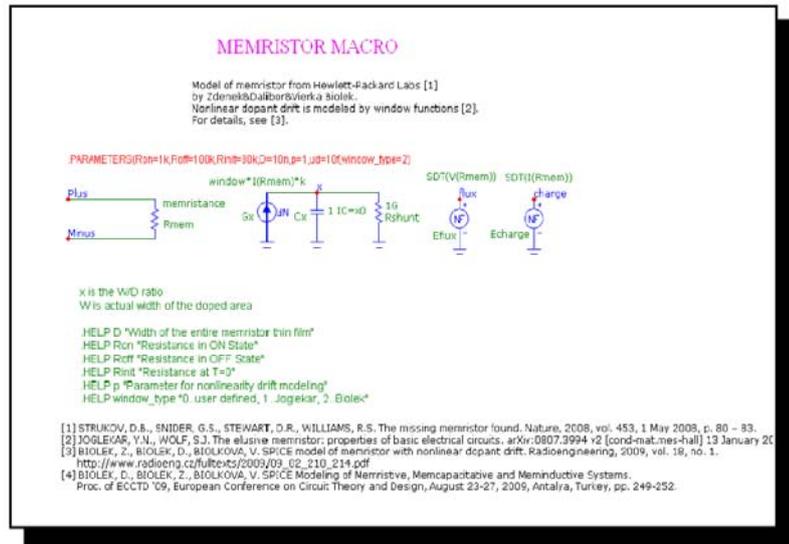


図21-25 Memristorマクロ回路

メモリスタは、非線形ドーパントドリフトのシミュレーションに対し、BialekやJoglekarウィンドウのいずれも使用可能です。

MONOSTABLE

このマクロは、単安定マルチバイブレータ機能を提供します。これは特定の時間の単一パルスを生成します。スイッチバウンスアプリケーションに役立ちます。

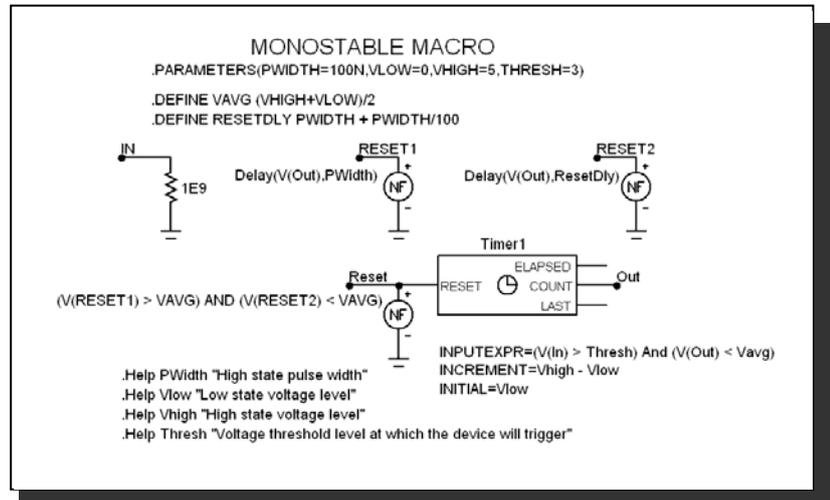


図21-27 MONOSTABLEマクロ回路

このマクロはタイマコンポーネントといくつかの関数信号源を使って単安定マルチバイブレータを実装しています。そのパラメータは次の通りです。

パラメータ	定義
PWIDTH	高状態パルス幅
VLOW	低状態電圧レベル
VHIGH	高状態電圧レベル
THRESH	デバイスがトリガーする電圧閾値レベル

このマクロの使用例については、回路MONOSTABLE_TEST.CIRを参照してください。

MUL

位相検波器などのシステムブロックは、2つのアナログ信号を乗算する機能を必要とします。必要な関数は次の通りです。

$$V_{Out}(t) = scale V_a(t) V_b(t)$$

この関数はMULマクロで実装されます。

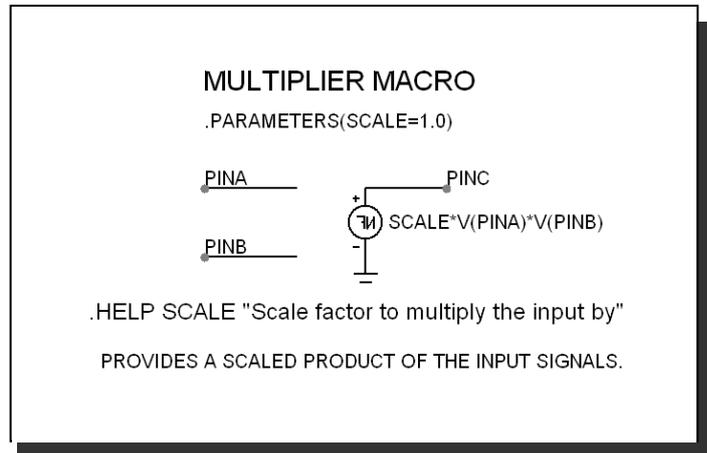


図21-28 MULマクロ回路

呼び出す側の回路からこのマクロへ渡される入力パラメータSCALEにより、2つの入力波形の積が乗算されます。スケールされた積が出力されます。これは、関数信号源NFVにより実装されています。

パラメータ	定義
SCALE	入力を乗算するスケールファクタ

NOISE

このマクロは、ランダムノイズ発生器を実装します。これは、時間領域のノイズ波形を発生します。

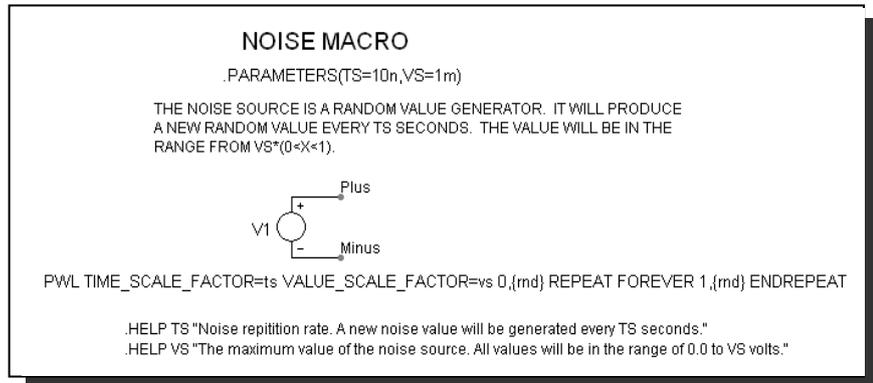


図21-29 NOISEマクロ回路

パラメータの定義は次の通りです。

パラメータ	定義
TS	ノイズ繰り返しレート。TS秒毎に新しいノイズ値が生成されます。
VS	ノイズ源の最大値。すべての値は、0.0～VS(V)の範囲に入ります。

Peak Detector

これは、理想的なピーク検出器のビヘイビアモデルであり、ダイオード検出器の実装で発生し得るドループエラーを除去します。

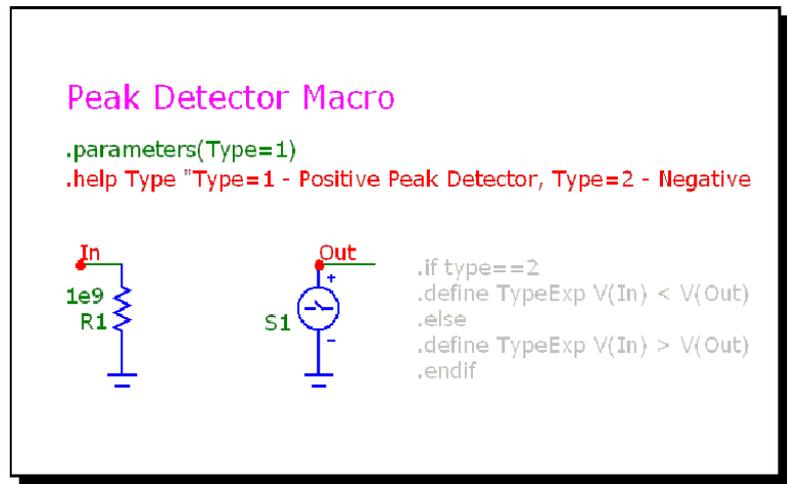


図21-30 Peak Detectorマクロ回路

この実装は、以下の数式で表されるサンプルアンドホールドで実行されます。

```
.if type==2
.define TypeExp V(In) < V(Out)
.else
.define TypeExp V(In) > V(Out)
.endif
```

タイプパラメータの指定により、（マクロのテキストページにある）条件コードが正または負の検出器を実装します。

パラメータ	定義
TYPE	正ピーク検出器用Type=1 負ピーク検出器用Type=2

PHOTODIODE

このモデルは、電圧制御の電流源G1に平行に接続されたダイオードで構成されます。この電流源はINピンにおける電圧制御により接合部で明電流を生成します。このピンの電圧は検出器に入射するワットの屈折力に対しアナログです。

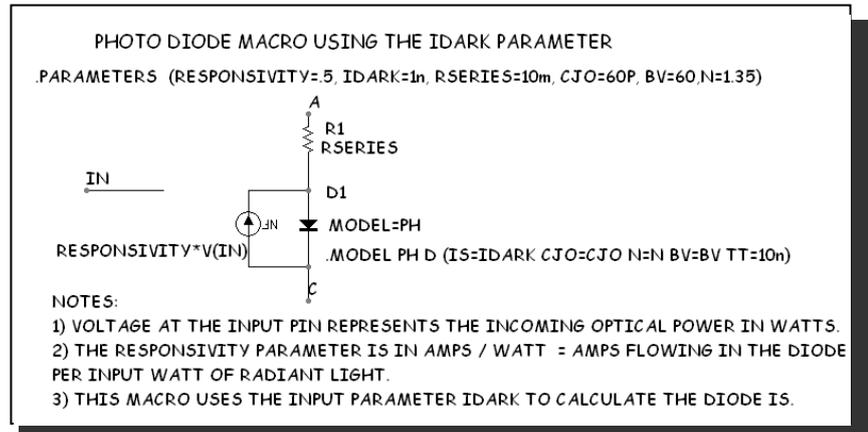


図21-31 PHOTODIODEマクロ回路

パラメータ	定義
RESPONSIVITY	ワット当りのアンペアの単位で表される感度。制御電圧ピンが期待される電流を発生させる限りは、正確な単位は重要ではありません。

$$I = \text{RESPONSIVITY} * V(\text{IN})$$

IDARK	ダイオードに逆バイアスがかかり、照明が無い場合に、接合部を流れる電流。ダイオードIS値パラメータはIDARKに等しく設定されます。
RSERIES	ダイオードと直列の抵抗器の値
CJO	光ダイオードの接合静電容量
BV	接合部絶縁破壊電圧
N	ダイオード放出係数。これは主に暗電流対温度曲線の傾斜に影響します。

PHOTODIODE_R

このマクロはPHOTODIODEマクロと同様ですが、IDARKの代わりにRSHUNTが入力される点が違います。一部のメーカーは両方の値を提供します。光ダイオードが光伝導性モードで操作される場合、ダイオードには逆バイアスがかかります。この場合、IDARK値の正確性がより重要となるのでPHOTODIODEマクロを 사용합니다。光ダイオードが光電池モードで操作される場合、ダイオードがゼロバイアス近くで操作されます。この場合、RSHUNT値の正確性がより重要となるので第二モデルを使用します。

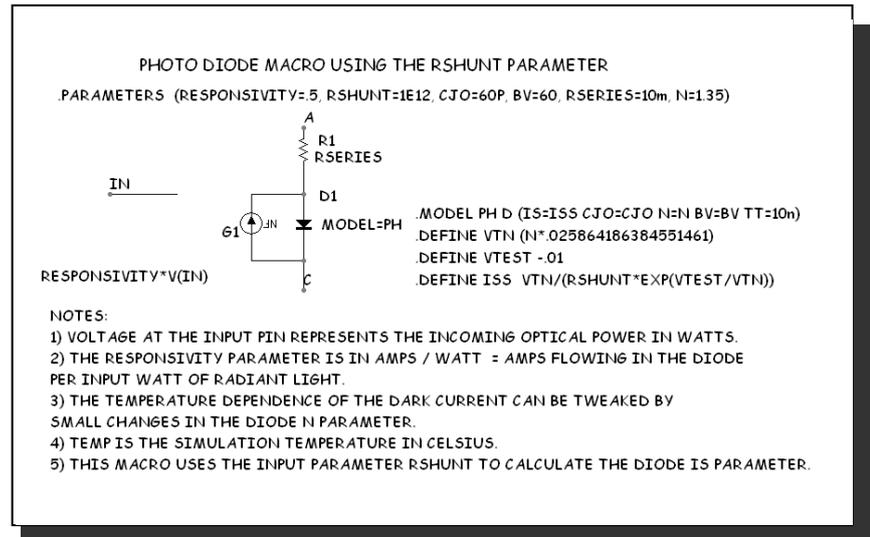


図21-32 PHOTODIODE_Rマクロ回路

パラメータ	定義
RESPONSIVITY	ワット当りのアンペアの単位で表される感度。制御電圧ピンが期待される電流を発生させる限りは正確な単位は重要ではありません。

$$I = \text{RESPONSIVITY} * V(\text{IN})$$

RSHUNT	ゼロバイアスダイオードの増強抵抗
RSERIES	ダイオードと直列の抵抗器の値
CJO	光ダイオードの接合静電容量
BV	接合部絶縁破壊電圧
N	ダイオード放出係数。これは主に暗電流対温度曲線の傾斜に影響します。

PID Controller

PID（比例・積分・微分）制御器は一般的なフィードバック機構で、閉ループ制御システム内で使用されます。この制御器は、任意の設定ポイントにおいて指定された測定値を保持するための変数を自動調節します。温度、流量、および位置制御アプリケーションにあります。このマクロは、その他の数学関数マクロであるSUB, AMP, INT, DEF およびSUMを使用します。

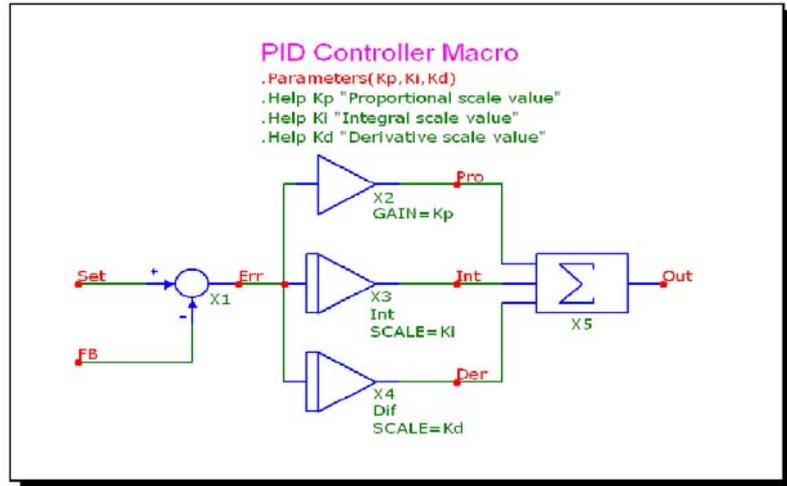


図21-33 PID Controllerマクロ回路

パラメータ	定義
KP	比例スケール値
KI	積分スケール値
KF	微分スケール値

POT

このマクロは、ポテンショメータを実装します。複数の抵抗値に数式を使用します。2つのパラメータで初期設定を決定します。パラメータは%で示すので、70%は.70ではなく70として与えます。

ポテンショを掃引するには、ステップングダイアログボックスを使用して、マクロの中の抵抗R1のVALUE（例えばX1.R1 VALUE）をステップします。ステップングは、パラメータPERCENTに優先します。例としては、POTDEMO.CIRを見て下さい。

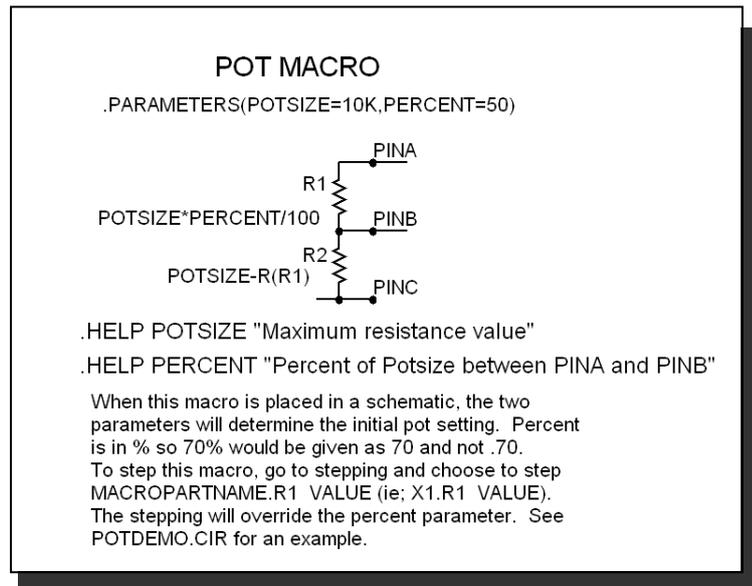


図21-34 POTマクロ回路

パラメータの定義はつぎの通りです。

パラメータ	定義
Potsize	最大抵抗値
Percent	PINAとPINBの間のPotsizeの百分率

このマクロの使用例としては、回路POTDEMOを参照して下さい。

PSK

これは、位相シフトキーです。

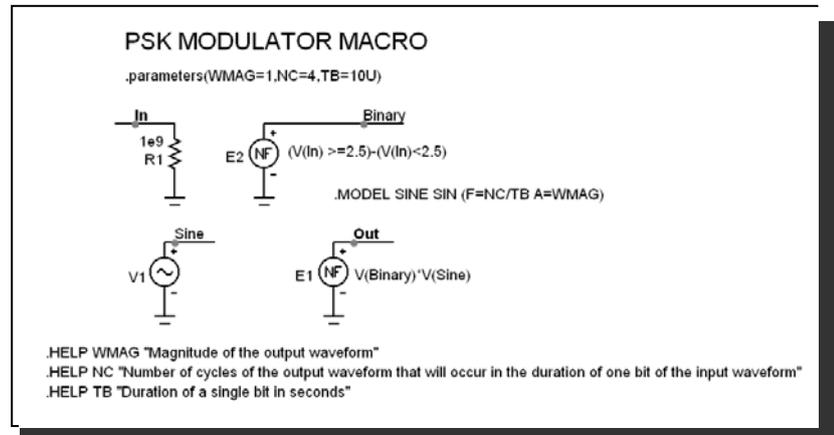


図21-35 PSKマクロ回路

パラメータの定義は次の通りです。

パラメータ	定義
WMAG	出力波形の振幅
NC	入力波形の単一の1ビットの期間に発生する出力波形のサイクル数
TB	ビットの期間 (秒)

このマクロの使用例については、回路PSK2を参照してください。

PUT

この回路は、PUT (programmable unijunction transistor) のマクロモデルです。このマクロの等価回路を次に示します。

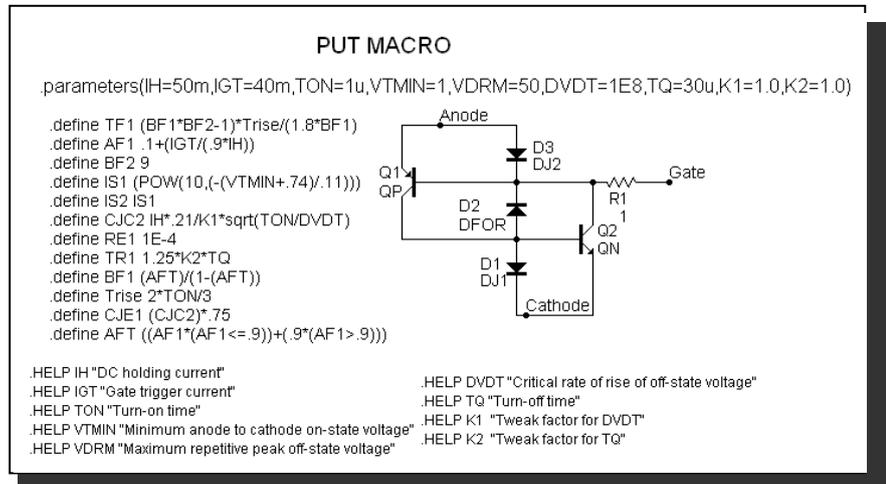


図21-36 PUTマクロ回路

パラメータ定義は次の通りです。

パラメータ	定義
IH	DC保持電流
IGT	ゲートトリガ電流
TON	ターンオン時間
VTMIN	アノード - カソード電圧のオン状態の最小値
VDRM	反復ピーク電圧のオフ状態の最低値
DVDT	オフ状態電圧の臨界上昇速度
TQ	ターンオフ時間
K1	DVDTのTweak係数
K2	TQのTweak係数

このマクロの使用例としては、回路THY1を参照して下さい。

PWM

このマクロはパルス幅変調器をモデリングし、ランプ電圧源や関数信号源によって次の数式で実装されます。

$$V_o + V_a \cdot \tanh(100k \cdot (v(\text{In}, \text{Ramp})))$$

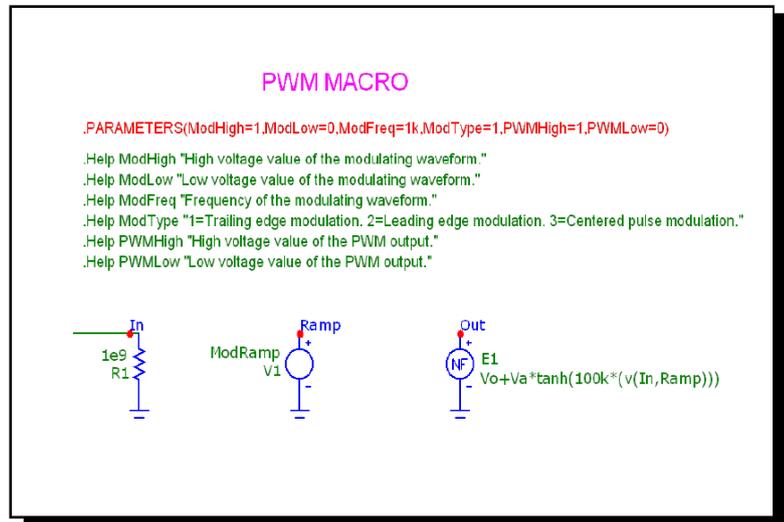


図21-37 PWM Controllerマクロ回路

パラメータ定義は次のとおりです。

パラメータ	定義
MODHIGH	変調波形の高電圧値
MODLOW	変調波形の低電圧値
MODFREQ	変調波形の周波数
MODTYPE	1 = 立ち下り変調 2 = 立ち上がり変調 3 = 中心パルス変調
PWMHIGH	PWM出力の高電圧値
PWMLOW	PWM出力の低電圧値

PWM_TおよびPWM_NT

このマクロ回路は、2002年3月7日のEDNの論文「SPICEシミュレータのためのモジュラマクロモデリング手法」に基づき、UC1845パルス幅変調器の非常に役立つモデルを提供します。弊社はこのモデルをMicro-Capに実装し、UCX84X PWMの全製品群をモデル化するように拡張しました。このマクロは、積分Tフリップフロップ付きのバージョンです。回路図は次のようになります。

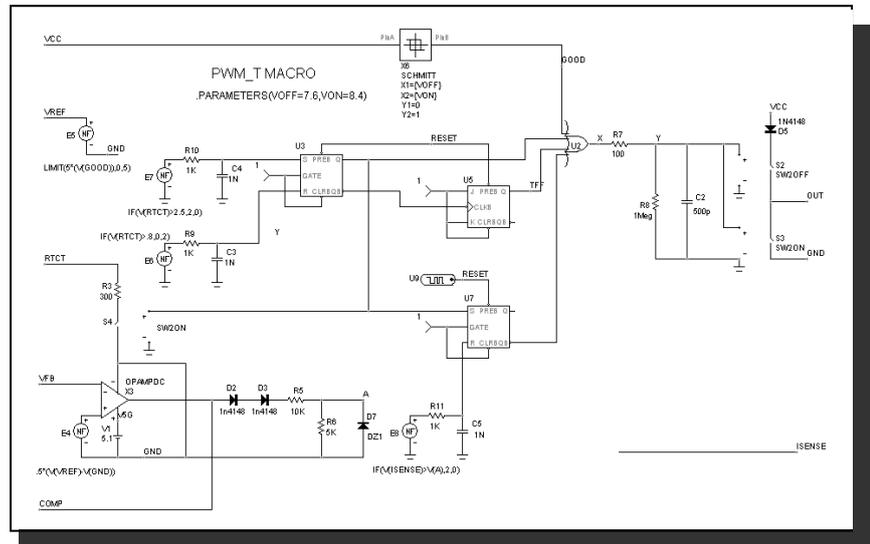


図21-38 PWM_Tマクロ回路

PWM_NTマクロは、Tフリップフロップがない同じ回路です。

パラメータの定義は次の通りです。

パラメータ	定義
VOFF	レギュレーションを止めるVDD電圧
VON	レギュレーションを始めるVDD電圧

このマクロの使用例については、回路UC1845_BOOSTを参照してください。

RELAY1

このリレーモデルには、コイルの抵抗とインダクタンスがあり、ユーザが定義します。コイルの電流は、H1により検知され、電圧に変換されます。H1はSchmittマクロを駆動し、ION電流とIHOLD電流の間のヒステリシスを提供します。Schmittの出力は、標準の電圧制御スイッチS1を駆動します。

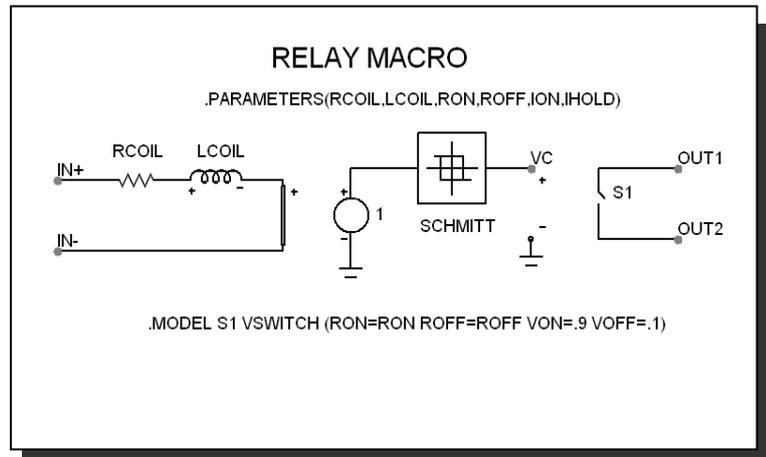


図21-39 RELAY1マクロ回路

パラメータ定義は次の通りです。

パラメータ	定義
RCOIL	リレーコイルの抵抗
LCOIL	リレーコイルのインダクタンス
RON	出力スイッチの閉状態の抵抗
ROFF	出力スイッチの開状態の抵抗
ION	リレー接点を閉にするために必要な入力電流
IOFF	リレー接点を閉に維持するために必要な入力電流

このマクロの使用例については、回路RELAYを参照してください。

RELAY2

このリレーモデルには、磁束回路があり磁束から磁力を導きます。それからリレーのプランジヤに作用する磁化力、制動力、摩擦力、ばねの復元力を代数的に総和します。統合された正味の力により、プランジヤの速度、そして位置が求められます。このプランジヤ位置がスイッチ接点を直接制御します。

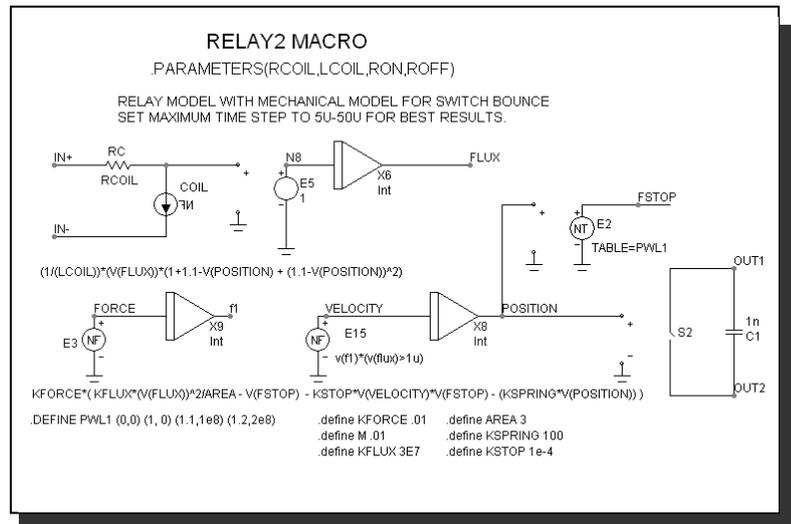


図21-40 RELAY2マクロ回路

パラメータの定義は次の通りです。

パラメータ	定義
RCOIL	リレーコイルの抵抗
LCOIL	リレーコイルのインダクタンス
RON	出力スイッチの閉状態の抵抗
ROFF	出力スイッチの開状態の抵抗

このマクロの使用例については、回路RELAYを参照してください。

RESONANT

このマクロは、抵抗、コンデンサ、インダクタによる共振回路を実装します。Lの値は、入力パラメータLINとして入力されます。Cの値は入力パラメータLINとF0から計算されます。抵抗値は3つの入力パラメータから計算されます。実装は次のようになっています。

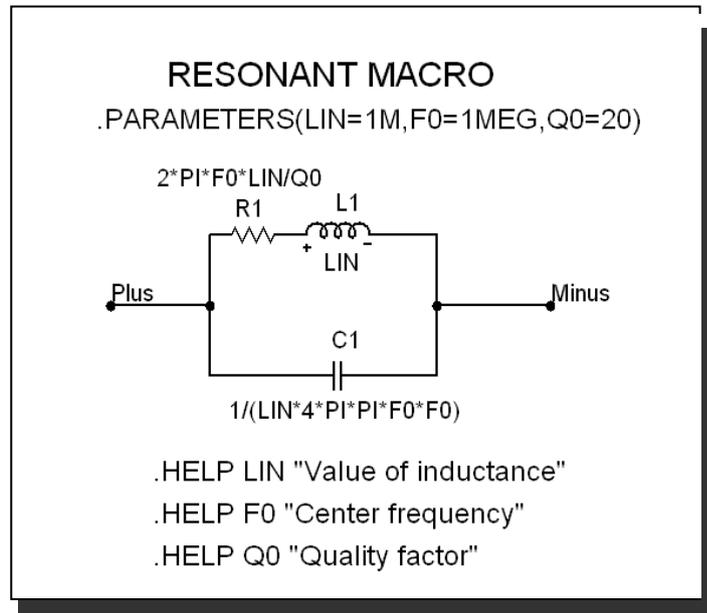


図21-41 RESONANTマクロ回路

パラメータ定義を次に示します。

パラメータ	定義
LIN	インダクタンス値
F0	中心周波数
Q0	Qualityファクター

RTD

RTDマクロは温度測定で一般的に使用される抵抗温度検出器センサです。温度に対する抵抗の応答は、次のCallendar – Van Duesenの式に基づきます。

$$R(\text{Temp}) = R_{\text{nom}} * (1 + A * \text{Temp} + B * \text{Temp}^2 + C * \text{Temp}^3 * (100 - \text{Temp}))$$

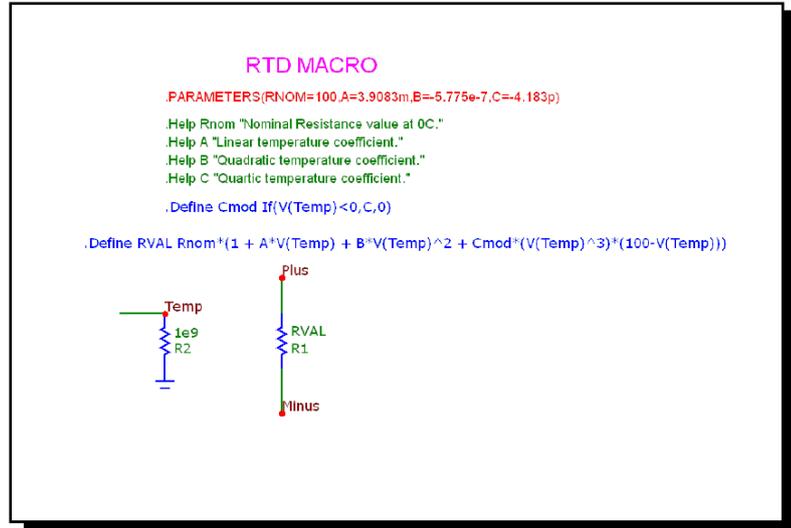


図21-42 RTDマクロ回路

パラメータ定義は次のとおりです。

パラメータ	定義
RNOM	0Cにおける公称抵抗値
A	線形温度係数
B	二次温度係数
C	四次温度係数

SCHMITT

この回路は、Schmittトリガのマクロモデルで、ノイズのフィルタリング、ヒステリシス、レベルのシフトなど多くの用途をもつ回路です。この回路を下図に示します。

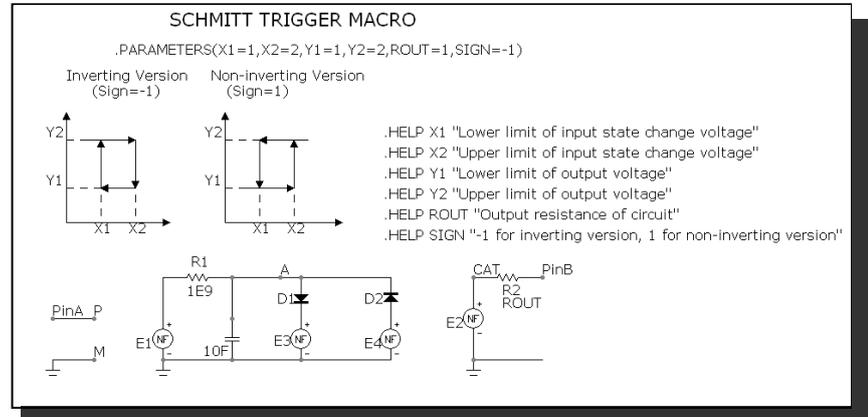


図21-43 SCHMITTマクロ回路

パラメータ定義は、以下の通りです。

パラメータ	定義
X1	入力状態変更電圧の下限
X2	入力状態変更電圧の上限
Y1	出力電圧の下限
Y2	出力電圧の上限
ROUT	回路の出力抵抗
SIGN	反転バージョンは-1、非反転バージョンは1

このマクロの使用例としては、回路OSC1を参照してください。

SCR

この回路はSCR (silicon controlled rectifier) のマクロモデルです。マクロ等価回路を次に示します。

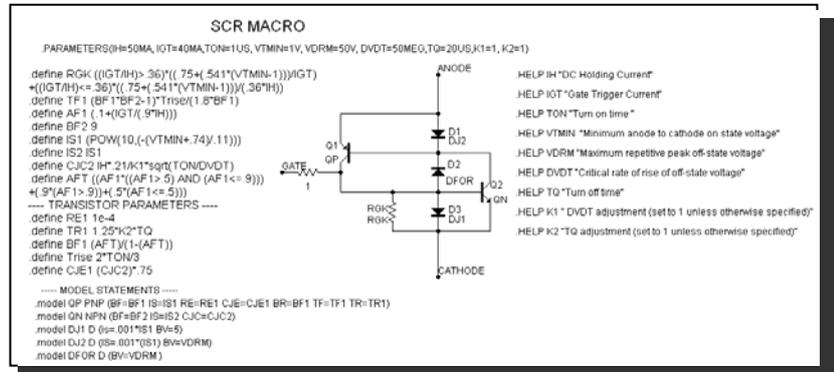


図21-44 SCRマクロ回路

パラメータ定義を次に示します。

パラメータ	定義
IH	DC保持電流
IGT	ゲートトリガ電流
TON	ターンオン時間
VTMIN	アノード - カソード電圧のオン状態の最低値
VDRM	反復ピーク電圧のオフ状態の最高値
DVDT	オフ状態電圧の臨上昇速度
TQ	ターンオフ時間
K1	DVDTのTweak係数
K2	TQのTweak係数

このマクロの使用例としては、回路THY1を参照して下さい。

SLIP

SLIPマクロはヒステリシスまたはバックラッシュをモデリングします。出力は、スリップゾーン $-DX \sim +DX$ の範囲内ではゼロです。ヒステリシスゾーンの外では、出力は入力に比例します。出力はMAXにクリッピングされます。

この関数はSLIPマクロで実装されます。

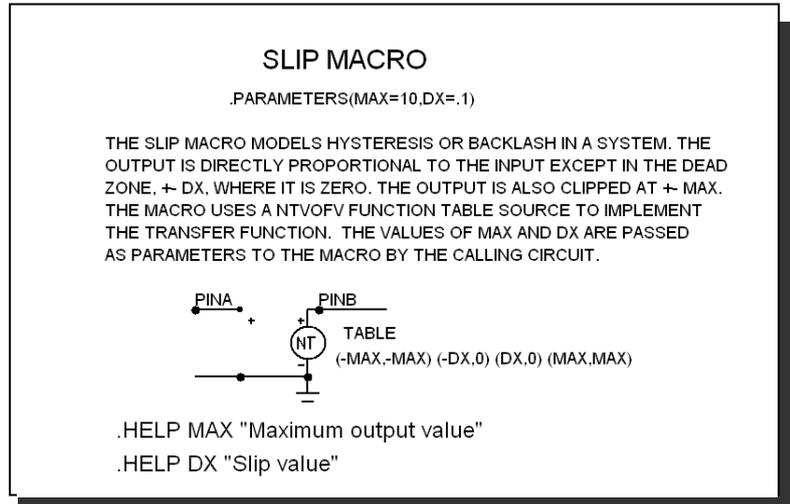


図21-45 SLIPマクロ回路

入力パラメータDX、MAXは、スリップゾーンと最大出力レベルを定義します。この関数は関数数表信号源NTVOFVで実装されています。

パラメータ	定義
DX	スリップ値
MAX	最大値

このマクロの使用例については、回路SYSTEM2を参照してください。

SNUBBER

SNUBBERマクロは、スナバダイオードをモデル化しています。

この機能は、SNUBBERマクロによって実装されます。

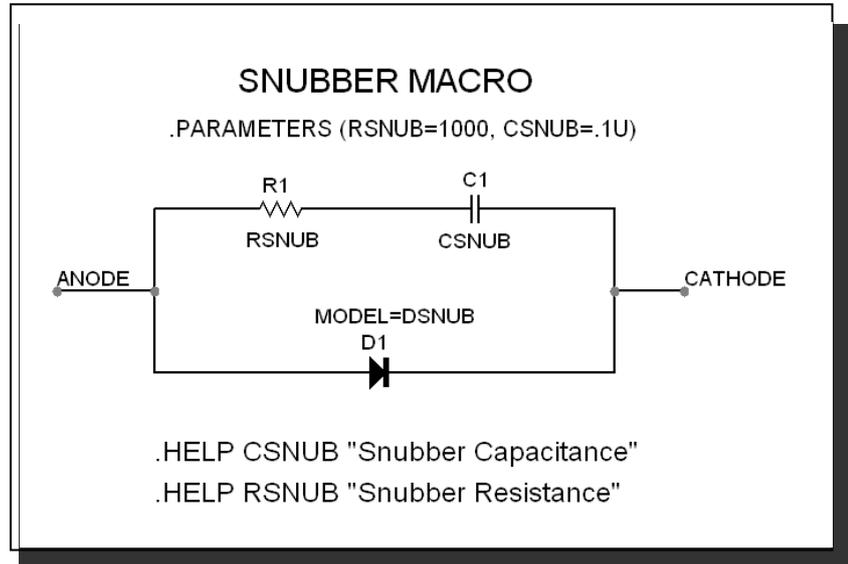


図21-46 SNUBBERマクロ回路

1対の入力パラメータ、CSNUBとRSNUBによりエネルギー吸収寄生回路を提供する並列RC回路を指定します。

パラメータ	定義
CSNUB	並列静電容量値
RSNUB	並列抵抗値

SPARKGAP

これはスパークギャップアレスタのマクロ回路モデルです。

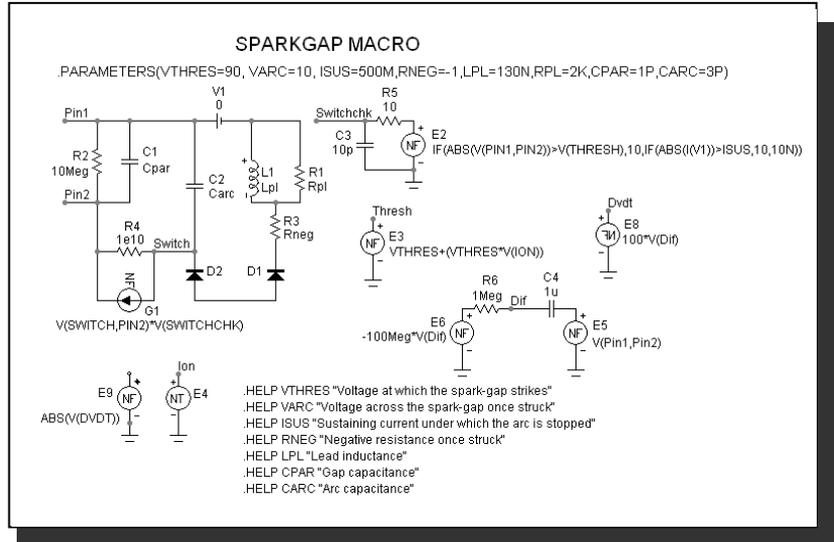


図21-47 SPARKGAPマクロ回路

パラメータ	定義
VTHRES	スパークギャップが放電する電圧
VARC	放電した後のスパークギャップの電圧
ISUS	アークが停止する保持電流
RNEG	放電時の負抵抗
LPL	リードインダクタンス
RPL	LPLに関連するフラックスのロス
CPAR	ギャップの静電容量
CARC	アークの静電容量

このマクロの使用例については、回路SPARKを参照してください。

SUB

2つのアナログ信号の減算が必要となることはよくあります。必要な関数は次の通りです。

$$V_{Out}(t) = ka V_a(t) - kb V_b(t)$$

この関数はSUBマクロで実装されます。

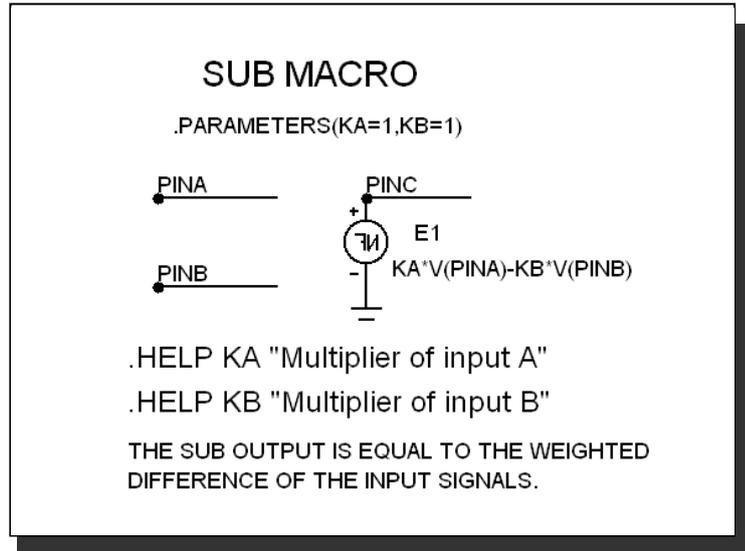


図21-48 SUBマクロ回路

2つの入力パラメータKAとKBが各入力をスケーリングします。スケーリングされた入力信号が減算されて出力が生成されます。これは、関数信号源NFVによって実装されています。

パラメータ	定義
KA	入力Aの乗数
KB	入力Bの乗数

このマクロの使用例については、回路SYSTEM2を参照してください。

SUM

多くのシステムシミュレーションでは、2つの信号のアナログ加算を行うための機能を必要とします。必要な関数は次の通りです。

$$V_{Out}(t) = ka V_a(t) + kb V_b(t)$$

この関数はSUMマクロで実装されます。

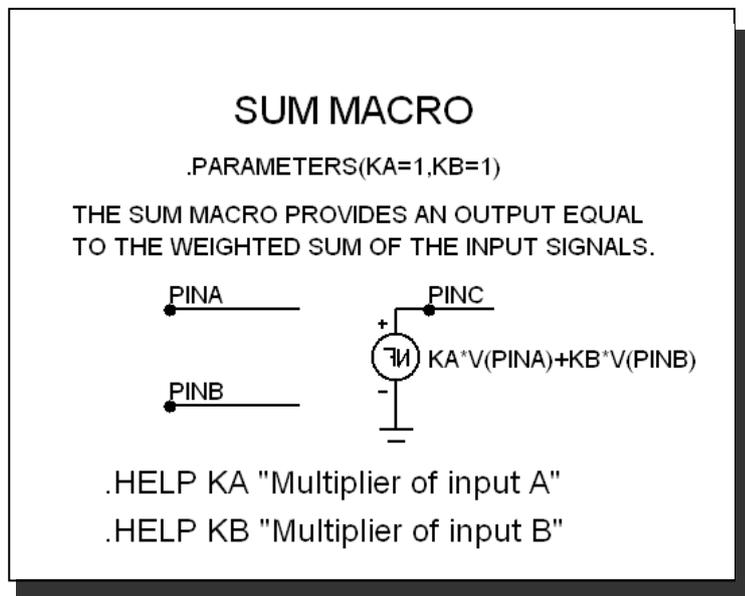


図21-49 SUMマクロ回路

2つの入力パラメータKAおよびKBは、各入力をスケールします。スケールされた入力信号が加算され出力となります。

パラメータ	定義
KA	入力Aの乗数
KB	入力Bの乗数

このマクロの使用例については、回路SYSTEM2を参照してください。

SUM3

3入力加算器があると便利です。必要な関数は次の通りです。

$$V_{Out}(t) = ka V_a(t) + kb V_b(t) + kc V_c(t)$$

この関数はSUM3マクロで実装されます。

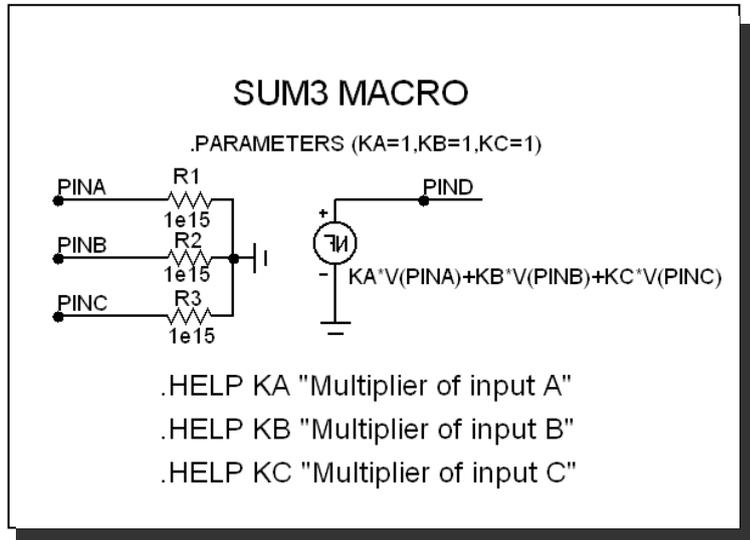


図21-50 SUM3マクロ回路

3つの入力パラメータKA、KB、KCは各入力を乗算します。スケーリングされた3つの入力信号が加算され、出力を生成します。これは関数信号源NFVで実装されています。

パラメータ	定義
KA	入力Aの乗数
KB	入力Bの乗数
KC	入力Cの乗数

このSUM3マクロの使用例については、回路SYSTEM1を参照してください。

TRIAC

この回路はTRIACのマクロモデルです。マクロ回路を次に示します。

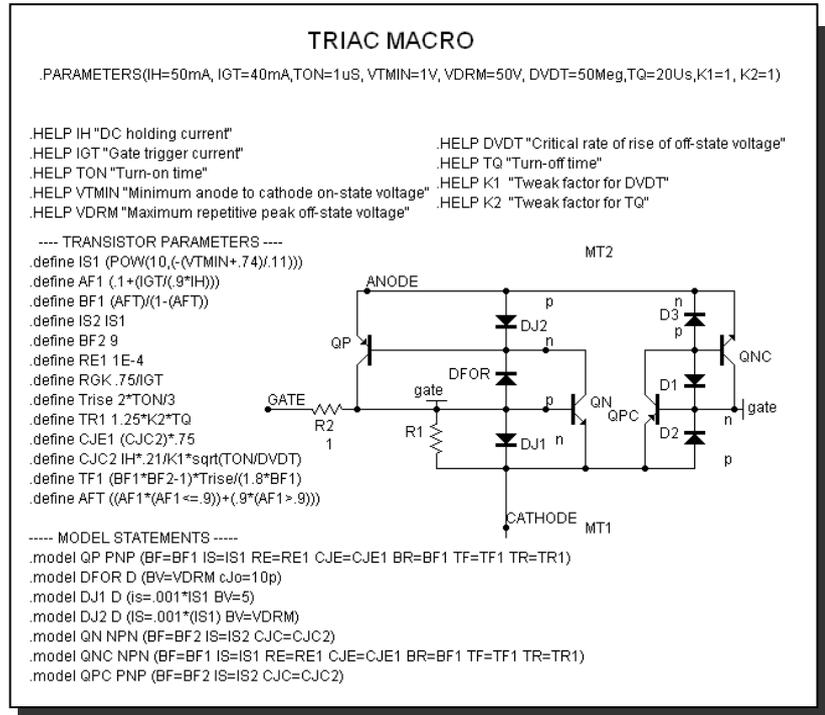


図21-51 TRIACマクロ回路

パラメータ定義を次に示します。

パラメータ	定義
IH	DC保持電流
IGT	ゲートトリガ電流
TON	ターンオン時間
VTMIN	アノード - カソード電圧のオン状態の最低値
VDRM	反復ピーク電圧のオフ状態の最高値
DVDT	オフ状態電圧の臨上昇速度
TQ	ターンオフ時間
K1	DVDTのTweak係数
K2	TQのTweak係数

TRIACマクロの使用例としては、回路THY1を参照して下さい。

TRIGGER6

この回路は、サイリスタのゲートトリガ回路のマクロモデルです。マクロの等価回路は次の通りです。

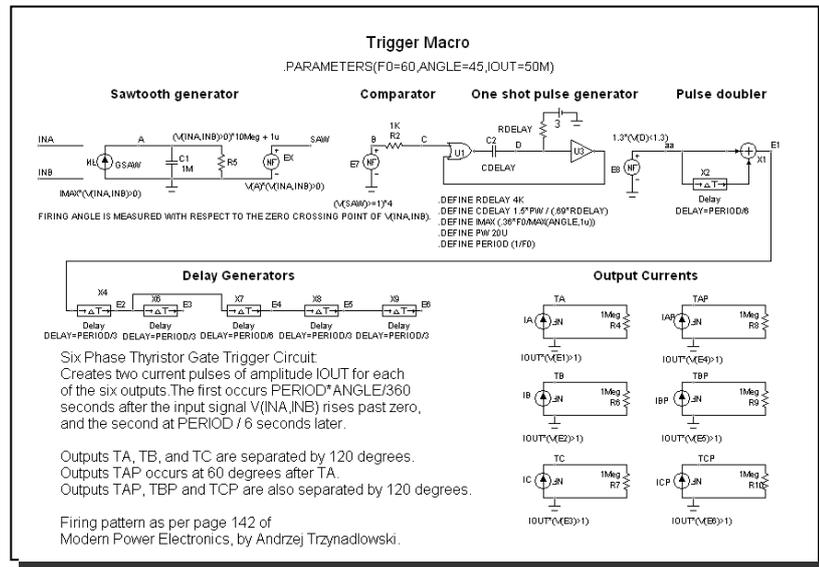


図21-52 TRIGGER6マクロ回路

このマクロにはパラメータはありません。

このマクロの使用例については、回路RECTIFIER_45.CIRを参照してください。

TRIODE

TRIODEは三極真空管デバイスのマクロモデルです。等価回路を次に示します。

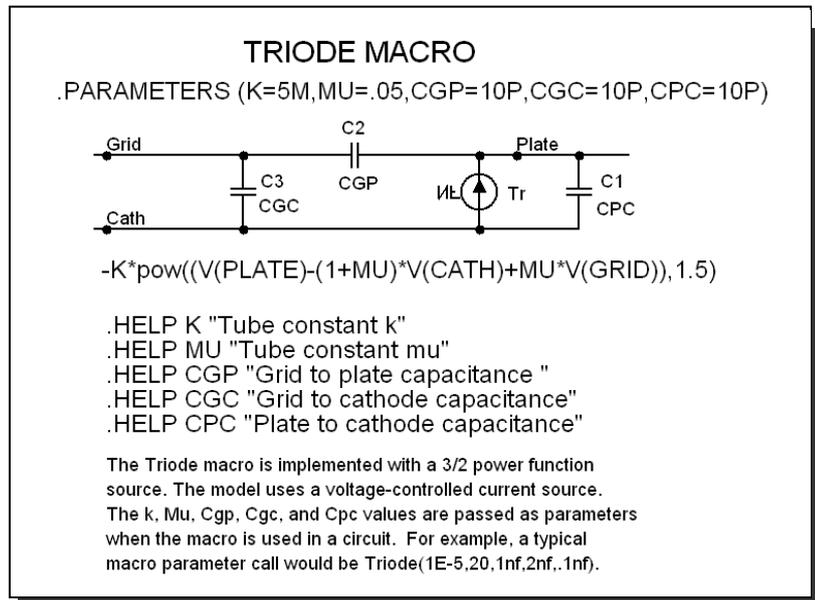


図21-53 TRIODEマクロ回路

Triodeマクロは、3/2乗のパワー関数を使用した関数信号源によって実装されています。K、MU、CGP、CGC、CPCの各値は、マクロが使用されるときにパラメータとして渡されます。

パラメータ	定義
K	真空管の定数k
MU	真空管の定数mu
CGP	グリッド - プレート間容量
CGC	グリッド - カソード間容量
CPC	プレート - カソード間容量

TRIODEマクロの使用例としては、回路F4を参照してください。

VCO

電圧制御発振器VCOは、瞬時周波数が時間変化する電圧に依存するような発振器です。VCOマクロの電圧の時間依存は次式によって与えられます。

$$V_{Out}(t) = vp \cos (2\pi(f_0 t + kf \int V_{In}(t) dt))$$

ここで、 f_0 は中心周波数、 k_f はHz/Volt単位の周波数感度です。この形式の線形VCOはマクロとして簡単に実装できます。

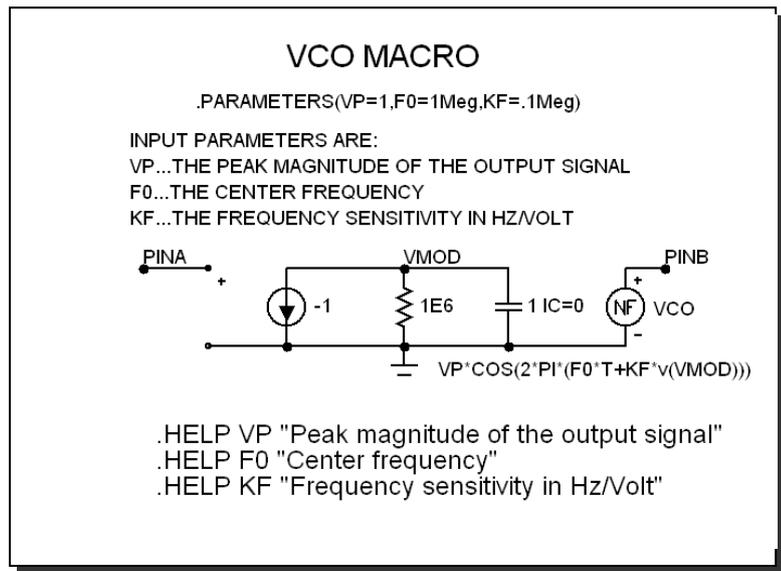


図21-54 VCOマクロ回路

VCOは、非線形関数信号源を使用します。信号源は、積分器の出力を使用して周波数を制御します。入力パラメータで振幅・中心周波数・周波数感度を指定します。

パラメータ	定義
VP	出力信号のピーク振幅
F0	中心周波数
KF	周波数感度 (Hz/Volt)

このマクロの使用例については、回路F1を参照してください。

WIDEBAND

これは変圧器の広帯域モデルです。

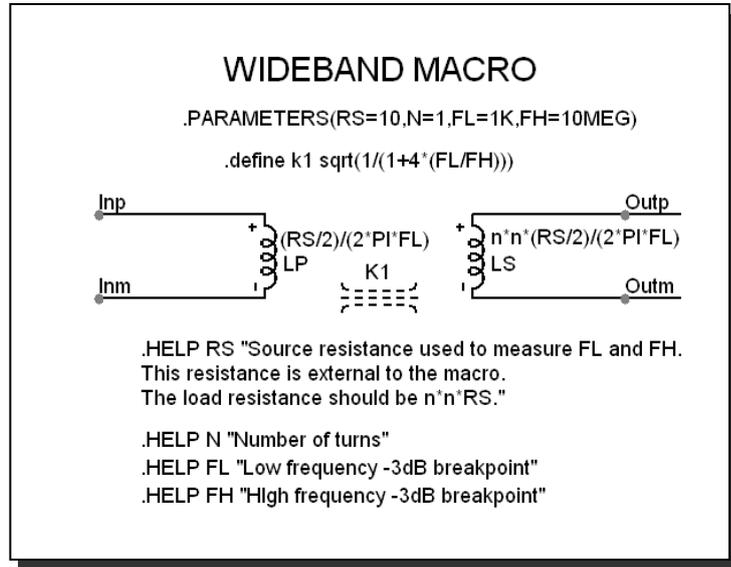


図21-55 WIDEBANDマクロ回路

パラメータ	定義
RS	1次側直列抵抗
N	巻線数
FL	低周波ブレイクポイント
FH	高周波ブレイクポイント

XTAL

XTALは水晶のマクロモデルです。その回路を次に示します。

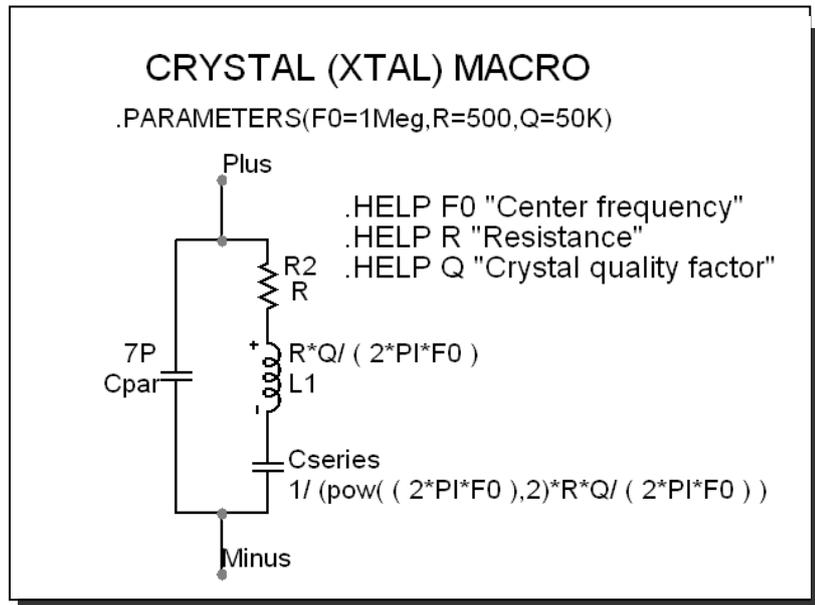


図21-56 XTALマクロ回路

XTALマクロは、水晶の標準タンク回路モデルで実装されています。

パラメータ	定義
F0	中心周波数
R	抵抗
Q	水晶のQualityファクター

マクロの使用例としては、水晶発振器のアプリケーションを示す回路 XTAL1を参照して下さい。

555

555はどこにでもある555タイマー回路のモデルです。その回路を次に示します。

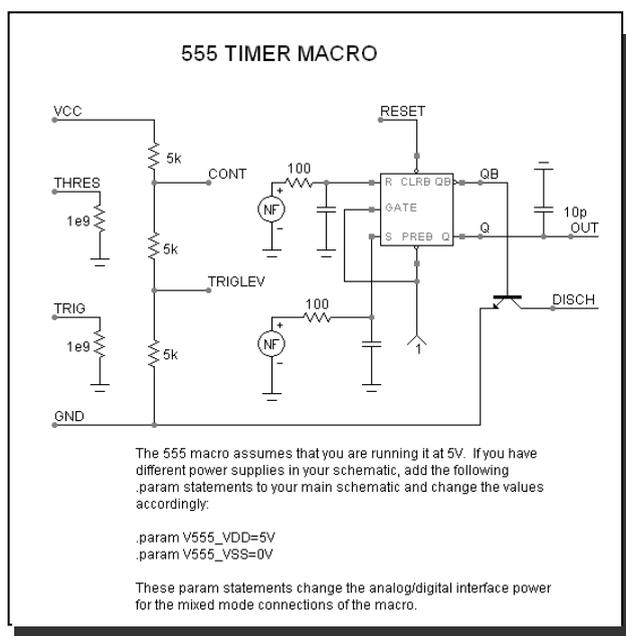


図21-57 555マクロ回路

555では、非線形な関数信号源をいくつか使用して、THRESとTRIGの入力電圧値をモニターします。これらの電圧値が一定の閾値を超えると、信号源は高レベルか低レベルに切り替わり、RSフリップフロップの入力R、Sを駆動するコンデンサを充電します。フリップフロップは出力と、放電パスとなるNPNを駆動します。入力パラメータはありません。

このマクロの使用法の例としては、単安定アプリケーション回路555MONOと、非安定アプリケーション回路555ASTABを参照して下さい。

電源を変更するには、次のように.PARAM文を使用します。

```
.PARAM V555_VDD = <希望するVDDの値>  
.PARAM V555_VSS = <希望するVSSの値>
```

.PARAM文は、テキスト領域、グリッドテキスト、ユーザー定義または適当なテキストライブラリファイルにおくことが可能です。

本章の内容

本章では、Micro-Capの各アナログデバイスが使用するパラメータの構文、モデル文、モデルパラメータ、モデル方程式を説明します。

「モデル文」は比較的複雑なデバイスのモデルパラメータを記述します。

「モデルパラメータ」はモデル方程式で用いられる数値です。モデルパラメータは、モデル文やバイナリモデルライブラリ (*.LBR) から取得されます。

「モデル方程式」は数値方程式のセットの中で数値モデルパラメータ値を使います。方程式は、デバイスの次の電氣的動作を記述します。

1. 端子電流とブランチ電圧間の静的関係
2. デバイス内のエネルギー蓄積
3. ノイズの発生

次の章では、以下の点について各コンポーネントの説明を行います。

1. SPICEのパラメータと回路図属性の書式
2. モデル文の書式 (ある場合)
3. モデルパラメータ (ある場合)
4. 回路図とモデル方程式による電氣的モデル。

SPICEの書式がないコンポーネントは、回路図の回路からのみ利用可能です。SPICEテキストファイルの回路からは利用することはできません。

デバイスには通常、PACKAGE、COST、SHAPEGROUP、POWERの属性があります。PACKAGE属性はPCBネットリストで使われるパッケージを指定します。SHAPEGROUP属性は表示されたシェイプ名に対して最初に検索されるシェイプグループを指定します。COSTとPOWER属性は部品表レポートのコストと電力への寄与を指定します。

MC10の新しいモデル

- ・WAV信号源が音声アプリケーションに追加されました。
- ・準飽和コードが基準GPバイポーラモデルに追加されました。
- ・I/Oオープンドレイン、I/Oオープンソース、I/Oオープンシンク、オープンドレイン、オープンソースおよびオープンシンクモデルに対応するため、IBISモデルが拡張されました。

参考文献

本章では、Micro-Capで使われるデバイスモデルの総合的なガイドを提供します。しかしながら、アナログやデジタルのシミュレーションの原理や半導体デバイスの動作については説明しません。そのようなトピックに関しては、次に挙げる文献が入門として優れております。

回路設計

1. Paul R.Gray, and Robert G.Meyer.
Analysis and Design of Analog Integrated Circuits.
John Wiley and Sons, 1977, 1984.
2. David A.Hodges, and Horace G.Jackson.
Analysis and Design of Digital Integrated Circuits.
McGraw-Hill, 1983.
3. Richard S.Muller and Theodore I.Kamins
Device Electronics for Integrated Circuits.
John Wiley and Sons, 1977, 1986
4. Adel Sedara, Kenneth Smith
Microelectronic Circuits
Oxford, 1998
5. John P.Uyemura
Introduction to VLSI Circuits and Systems
John Wiley & Sons Inc, 2002
6. Martin S.Roden and Gorden L.Carpenter
Electronic Design
Discovery Press, 2002

アナログシミュレーション

7. A.Ruehli, Editor
Circuit Analysis, Simulation and Design
Advances in CAD for LSI, Part 3, Vol 1
North-Holland 1986
8. J.Vlach, K.Singhal
Computer Methods for Circuit Analysis and Design
Van Norstrand Reinhold 1994

9. Kenneth Kundert
Designers Guide to SPICE & Spectre
Kluwer Academic Publishers, 1995
10. William J. McCalla
Fundamentals of Computer-Aided Circuit Simulation.
Kluwer Academic Publishers, 1988
11. Andrei Vladimirescu and Sally Liu
The Simulation of MOS Integrated circuits using SPICE2
University of California, Berkeley
Memorandum No. UCB / ERL M80 / 7
12. Lawrence Nagel.
SPICE2 : A Computer Program to Simulate Semiconductor Circuits
University of California, Berkeley,
Memorandum No. ERL-M520
13. Andrei Vladimirescu
The SPICE Book
John Wiley & Sons, Inc., First Edition, 1994. ISBN # 0-471-60926-9

デバイスのモデリング

14. H. Statz, P. Newman, I. W. Smith, R. A. Pucel, and H. A. Haus
GaAs FET Device and Circuit Simulation in SPICE
IEEE Transactions on Electron Devices, ED-34, 160-169 (1987)
15. Graeme R. Boyle, Barry M. Cohn, Donald O. Petersen, and James E. Solomon
Macromodeling of Integrated Circuit Operational Amplifiers
IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. SCV-9 No. 6 (1974)
16. W. R. Curtice
A MESFET model for use in the design of GaAs integrated circuits
IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques
MTT-28, 448-456 (1980)
17. Ian Getreu
Modeling the Bipolar Transistor
Tektronix, 1979

18. Liu, William
MOSFET Models for SPICE Simulation Simulation including BSIM3v3 and BSIM4
Wiley-Interscience ISBN : 0-471-39697-4
19. *MOSPOWER Applications.*
copyright 1984, Signetics, Inc.
20. Bing Jay Sheu
MOS Transistor Modeling and characterization for Circuit Simulation
University of California, Berkeley Memo No.UCB / ERL M85 /
21. Yannis P.Tsividis
Operation and Modeling of the MOS Transistor.
McGraw-Hill, 1987
22. Paolo Antognetti, and Giuseppe Massobrio
Semiconductor Device Modeling with SPICE
McGraw-Hill, 1988
23. D.C.Jiles, and D.L.Atherton
Theory of Ferromagnetic Hysteresis.
Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 61, 48 (1986)
24. Sally Liu
A Unified CAD Model for MOSFETs
University of California, Berkeley
Memorandum No.UCB / ERL M81 / 31
25. Y.Cheng, M.Chan, K.Hui, M.Jeng, Z.Liu, J.Huang, K.Chen, J.Chen, R.Tu, P.Ko, C.Hu
BSIM3v3.1 Manual
Department of Electrical Engineering and Computer Sciences
University of California, Berkeley
26. Daniel Foty
MOSFET Modeling with SPICE Principles and Practice
Prentice Hall, First Edition, 1997. ISBN # 0-13-227935-5

フィルタ

27. Lawrence P.Huelsman
Active and Passive Filter Design, An Introduction
McGraw-Hill, 1993
28. Kendall L.Su
Analog Filters
Chapman & Hall, 1996
29. Arthur B.Williams
Electronic Filter Design Handbook
McGraw-Hill, 1981

スイッチング電源

30. Christophe Basso
Switch-Mode Power Supplies, SPICE Simulations and Practical Designs
McGraw-Hill, 2008
31. Steven M.Sandler
SMPS Simulation with SPICE 3
McGraw-Hill, First Edition, 1997. ISBN # 0-07-913227-8

SPICEモデリング

32. Ron Kielkowski
SPICE-Practical Device Modeling
McGraw-Hill 1995. ISBN # 0-07-911524-1
33. Ron Kielkowski
Inside SPICE-Overcoming the Obstacles of Circuit Simulation
McGraw-Hill 1993. ISBN # 0-07-911525-X
34. Connelly and Choi
Macromodeling with SPICE
Prentice Hall 1992. ISBN # 0-13-544941-3

RF回路

35. Vendelin, Pavio, and Rhoda
Microwave Circuit Design
Wiley-Interscience, 1990

アニメーションアナログバー

回路図での書式

PART属性

<name>

例

BAR1

LOW属性

<low_value>

例

1

HIGH属性

<high_value>

例

2

アニメーションアナログバーは、高さがその入力電圧に追従する色付きのバーです。電圧が`low_value`と等しいとバーは最低となります。電圧が`high_value`と等しいとバーは最高となります。

アニメーションアナログLED

回路図での書式

PART属性

<name>

例

LED2

COLOR属性

<color name>, <on voltage>, <on current>, [rs], [cjo]

例

Red, 1.7, 0.015, 50m, 30p

このデバイスはダイオード電圧が<on voltage>以上になるとカラーで点灯する発行ダイオードです。これは[rs]に設定されたモデルパラメータRSおよび[cjo]に設定されたCJOの従来のダイオードとしてモデル化されています。その他のモデルパラメータは、ダイオード電圧と電流が指定された<on voltage>と<on current>と一致するように調整されます。[rs]は.500にデフォルトされ、[cjo]は20pFにデフォルトされます。

カラーの選択は、color_nameと関連付けられたユーザ選択のパレットカラーによって制御されます。カラー名や実際のスクリーン上のカラーを変更するには、LEDをクリックし、COLOR属性をクリックし、属性ダイアログボックス内のLED色ボタンをクリックします。これでLED色ダイアログボックスが呼び出され、既存のLED COLOR属性を変更するか、カラーを追加できます。オリジナルのMicro-Capライブラリには次のものがあります。

黄色, 2.0, 15m, 500m, 20pF

緑, 2.1, 15m, 500m, 20pF

青, 3.4, 12m, 500m, 20pF

赤, 1.7, 15m, 500m, 20pF

アニメーションDCモータ

回路図での書式

PART属性

<name>

例

MOTOR1

RPSV属性

<revs_per_sec_per_volt>

例

1

RMOTOR属性

<motor_resistance>

例

50

LMOTOR属性

<motor_inductance>

例

1

アニメーションDCモータは、瞬時入力電圧によって制御される角速度で回転します。回転速度は次の通りです。

毎秒の回転数 = (入力電圧) * (revs_per_sec_per_volt)

モータは、値がmotor_inductanceのインダクタに直列接続された値がmotor_resistanceの抵抗器として電氣的にモデル化されています。

速度ピンの電圧は、毎秒の回転数と等しい値です。

警告：回転速度が速すぎると、高速回転のために表示が停止したように見えます。10RPSの速度がうまく動作する最大値です。

アニメーションDPST、SPDT、SPSTスイッチ

回路図での書式

PART属性

<name>

SPDTスイッチ

STATE属性

<UP | DOWN>

SPSTまたはDPSTスイッチ

STATE属性

<OPEN | CLOSED>

RON属性

<ron>

例

.001

ROFF属性

<roff>

例

1E12

GROUP属性

<group_name | NOT group_name>

例

Group1

NOT Group22

スイッチの領域をダブルクリックすると、スイッチは開と閉（SPSTとDPST）あるいは上と下（SPDT）の間で切り替わります。スイッチは、オンとオフの値が*ron*（規定値=.001）と*roff*（規定値=1E15）によって設定される単純な抵抗器によってモデル化されています。スイッチのすぐ外側の領域をダブルクリックするとデバイスの属性ダイアログボックスにアクセスします。GROUP属性のあるスイッチをクリックすると、同じ属性を持つ他のすべてのスイッチも同じ動作をします。Group_nameの前に予約語NOTを付けると、そのスイッチはgroup_nameのスイッチの動作と逆の動作を行います。

アニメーションメータ

回路図での書式

PART属性

<name>

例

METER1

LOW属性

<low>

例

-10

HIGH属性

<high>

例

10

SCALE属性

<T | G | MEG | K | m | u | n | p | f | none >

例

m

AUTOSCALE属性

<ON | OFF>

例

OFF

ANALOG OR DIGITAL属性

<ANALOG | DIGITAL>

例

ANALOG

AMPS OR VOLTS属性

<AMPS | VOLTS>

例
VOLTS

INPUT RESISTNACE属性
<*rin*>

例
1E9

アニメーションメータは、表示がアナログまたはデジタルの電圧計または電流計です。

メータの形のデジタルまたはアナログのテキストをクリックしてアナログまたはデジタルの表示を選択します。

メータの形のアンペアまたは電圧のテキストをクリックして電流計か電圧計を選択します。

アナログメータの形のオートスケールのテキストをクリックして自動スケールか手動スケールかを選択します。マニュアルのスケールでは、下限値がロー、上限値がハイに設定されます。デジタルメータのモードでは常に自動スケールを使用します。

SCALE属性は、AUTOSCALEがOFFで、ANALOGメータオプションが選択されている場合のみ有効です。入力電圧が8000で、アナログのレンジが10(LOW = 0 と HIGH = 10)の場合、スケールkでの指示値は8となります。

メータが電圧計のモードの場合、入力端子間に*rin*が追加されます。指定されていない場合は、*rin*の値は1/GMINとなります。

メータが電圧計モードの場合、入力抵抗は .001オームです。

アニメーションリレー

回路図での書式

PART属性

<name>

例

RELAY1

LIN属性

<input_inductance>

例

1E-4

RIN属性

<input_resistance>

例

100

ION属性

<input_on_current>

例

50m

IOFF属性

<input_off_current>

例

15m

RON属性

<on_resistance>

例

1

ROFF属性

<off_resistance>

例
1E9

BIDIRECTIONAL属性
< YES | NO >

例
NO

アニメーションリレーは、入力電流の変化に動的に応答するSPSTリレーです。スムーズに遷移する電流制御のWスイッチのように動作します。リレー入力は、値が_inductanceのインダクタおよび値が_resistanceの抵抗器としてモデル化されています。

モデル方程式

BIDIRECTIONAL属性がNOに設定されていれば、

IC = Plus Inputへの電流

そうでなければ、

IC = ABS (Plus Inputへの電流)

LM = 抵抗値の対数平均 = $\ln((RON \cdot ROFF)^{1/2})$

LR = 抵抗値の対数比 = $\ln(ROFF/RON)$

IM = 制御電流の平均 = $(ION + IOFF)/2$

ID = 制御電流の差 = $ION - IOFF$

RS = スイッチ出力抵抗

ION > IOFFの場合

IC >= IONならば

RS = RON

IC <= IOFFならば

RS = ROFF

IOFF < IC < IONならば

RS = $\exp(LM + 3 \cdot LR \cdot (IC - IM) / (2 \cdot ID) - 2 \cdot LR \cdot (IC - IM)^3 / ID^3)$

ION < IOFF の場合

IC <= IONならば

RS = RON

IC >= IOFFならば

RS = ROFF

IOFF > IC > IONならば

RS = $\exp(LM - 3 \cdot LR \cdot (IC - IM) / (2 \cdot ID) + 2 \cdot LR \cdot (IC - IM)^3 / ID^3)$

アニメーション信号灯

回路図での書式

PART属性

<name>

例

LIGHT1

TURN-ON VOLTAGES属性

<on_voltage>

例

2

アニメーション信号灯は、典型的な信号機をシミュレートするように設計されています。赤、黄、緑の3つのカラーがあります。3つのライトのそれぞれは、入力制御ピン電圧が`on_voltage`を超えると点灯します。

アニメーションデジタルスイッチ

回路図での書式

PART属性

<name>

例

U1

I/O MODEL属性

<I/O model name>

例

IO_STD

IO LEVEL属性

<interface subckt select value>

例

1

POWER NODE属性

<digital power node>

例

\$G_DPWR

GROUND NODE属性

<digital ground node>

例

\$G_DGND

STATE属性

<output_state>

例

1

アニメーションデジタルスイッチは、デジタル出力に1または0を出力します。状態を変えるには、スイッチ本体をダブルクリックします。

アニメーションデジタルLED

回路図での書式

PART属性

<name>

例

U1

I/O MODEL属性

<I/O model name>

例

IO_STD

IO LEVEL属性

<interface subckt select value>

例

1

POWER NODE属性

<digital power node>

例

\$G_DPWR

GROUND NODE属性

<digital ground node>

例

\$G_DGND

発光ダイオードの表示を表現するように設計されています。シグナル入力ピンがついています。デジタルの状態または入力ピンのアナログ電圧によって、LEDは回路図上で異なるカラーで点灯します。使用するLEDの色は、回路のプロパティダイアログボックスの色/フォントページで定義されます。このページでは、対応するカラーがあるデジタル状態のリストがあります。

アニメーション7セグメントディスプレイ

回路図での書式

PART属性

<name>

例

U1

I/O MODEL属性

<I/O model name>

例

IO_STD

IO LEVEL属性

<interface subckt select value>

例

1

POWER NODE属性

<digital power node>

例

\$G_DPWR

GROUND NODE属性

<digital ground node>

例

\$G_DGND

ON STATE属性

<HIGH | LOW>

例

HIGH

ディスプレイの各セグメントは、その制御ピンがON STATEの場合に点灯し、そうでなければ消灯します。ON STATEは、ハイまたはローのどちらかに指定できます。

バッテリー

回路図での書式

PART属性

<name>

例

V1

VALUE属性

<value>

例

10

5.5V

バッテリーは一定のDC電圧を発生します。内部的には、SPICE独立電圧源の最も単純な形態として実現されています。

バッテリーは、シンプルな定電圧源を提供します。回路変数や時間に依存する電圧源が必要な場合は、従属信号源や関数信号源（NFV）を使用してください。

バッテリーは、VALUE属性にLot文を追加することにより許容値化できます。たとえば、10Vのバッテリーが20%の許容値を持つ場合、VALUE属性は次のように定義されます。

10 Lot = 20%

バイポーラトランジスタ（基準Gummel Poonレベル=1）

SPICEでの書式

構文

Q <name> <collector> <base> <emitter> [substrate]
+ <model name> [area] [OFF] [IC =<vbe>[, vce]]

例

Q1 5 7 9 2N3904 1 OFF IC = 0.65, 0.35
Q2 5 7 9 20 2N3904 2.0
Q3 C 20 OUT [SUBS] 2N3904

回路図での書式

PART属性

<name>

例

Q1
BB1

VALUE属性

[area][OFF][IC =<vbe>[, vce]]

例

1.5 OFF IC = 0.65, 0.35

MODEL属性

<model name>

例

2N2222A

初期化の「IC =<vbe>[, vce]」は、トランジェント解析で動作点が実行されない（またはUICフラグが設定されている）ときに、接合部の初期電圧を指定します。[area]は、モデルパラメータ表に示されるパラメータの乗算（または除算）を行います。OFFキーワードは動作点の最初の反復においてBJTを強制的にオフにします。

モデル文の書式

.MODEL <model name> NPN ([model parameters])
.MODEL <model name> PNP ([model parameters])
.MODEL <model name> LPNP ([model parameters])

例

.MODEL Q1 NPN (IS = 1E-15 BF = 55 TR = .5N)
 .MODEL Q2 PNP (BF = 245 VAF = 50 IS = IE-16)
 .MODEL Q3 LPNP (BF = 5 IS = IE-17)

名前	パラメータ	単位	既定	領域
IS	飽和電流	A	1E-16	*
BF	理想最大順方向beta		100.0	
NF	順方向電流放出係数		1.00	
VAF	順方向Early電圧	V	∞	
IKF	高電流減少点	A	∞	*
ISE	BE漏洩の飽和電流	A	0.00	*
NE	BE漏洩の放出係数		1.50	
BR	理想最大逆方向beta		1.00	
NR	逆方向電流放出係数		1.00	
VAR	逆方向Early電圧	V	∞	
IKR	BRの高電流減少点	A	∞	*
ISC	BC漏洩の飽和電流	A	0.00	*
NC	BC漏洩の放出係数		2.00	
NK	大電流ロールオフ係数		0.50	
ISS	基板pnの飽和電流	A	0.00	*
GAMMA	エピタキシャル領域ドーピング係数		1e-11	
QUASIMOD	準飽和温度フラグ		0.00	
RC	エピタキシャル領域抵抗	Ω	0.00	
VO	キャリア移動度ニー電圧	V	10.00	
RCO	エピタキシャル領域抵抗	Ω	0.0	/
RE	emitter抵抗	Ω	0.0	/
RB	ゼロバイアスのbase抵抗	Ω	0.00	/
IRB	RBが半分になる電流	A	∞	*
RBM	高電流時の最小RB	Ω	RB	/
TF	理想順方向transit時間	S	0.00	
TR	理想逆方向transit時間	S	0.00	
XCJC	内部baseへのBC空乏容量の割合		1.00	
MJC	BC接合の傾斜係数		0.33	
VJC	BC接合の内部電位	V	0.75	
CJC	BCゼロバイアス空乏容量	F	0.00	*
MJE	BE接合の傾斜係数		0.33	
VJE	BE接合の内部電位	V	0.75	
CJE	BEゼロバイアス空乏容量	F	0.00	*
MJS	CS接合の傾斜係数		0.00	
VJS	CS接合の内部電位	V	0.75	
CJS	ゼロバイアス容量	F	0.00	*
VTF	VBCのtransit時間依存度	V	∞	

名前	パラメータ	単位	既定	領域
ITF	ICのtransit時間依存度	A	0.00	*
XTF	transit時間のバイアス依存係数		0.00	
PTF	過度位相		0.00	
XTB	betaの温度係数		0.00	
EG	エネルギーギャップ	eV	1.11	
XTI	飽和電流温度指数		3.00	
KF	フリッカーノイズ係数		0.00	
AF	フリッカーノイズ指数		1.00	
FC	順バイアス空乏係数		0.50	
T_MEASURED	測定温度	°C		
T_ABS	絶対温度	°C		
T_REL_GLOBAL	相対温度 (対現在値)	°C		
T_REL_LOCAL	相対温度 (対AKO)	°C		
TRE1	REの線形温度係数	°C ⁻¹	0.00	
TRE2	REの二次温度係数	°C ⁻²	0.00	
TRB1	RBの線形温度係数	°C ⁻¹	0.00	
TRB2	RBの二次温度係数	°C ⁻²	0.00	
TRM1	RBMの線形温度係数	°C ⁻¹	0.00	
TRM2	RBMの二次温度係数	°C ⁻²	0.00	
TRC1	RCの線形温度係数	°C ⁻¹	0.00	
TRC2	RCの二次温度係数	°C ⁻²	0.00	

BJTモデル方程式

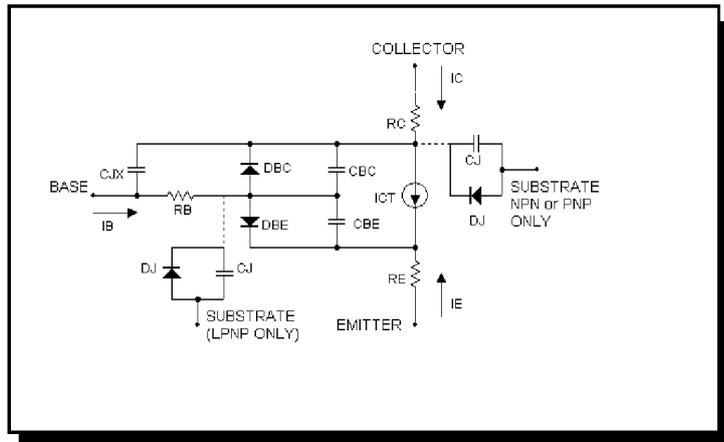


図22-1 バイポーラトランジスタモデル

定義

モデルパラメータIS、IKF、ISE、IKR、ISC、ISS、IRB、CJC、CJE、CJS、ITFは[area]で乗算されます。モデルパラメータRC、RE、RB、RBMは[area]で除算されます。その後、以下の方程式が用いられます。

Tはデバイスの動作温度で、Tnomはモデルパラメータを測定を行った温度です。どちらもケルビン単位で示します。Tは解析リミットダイアログボックスの解析温度に設定されます。TNOMは全般設定のTNOMで決定されますが、.OPTIONS文で上書き可能です。TとTNOMは、モデルごとにカスタマイズできます。それには、パラメータT_MEASURED、T_ABS、T_REL_GLOBAL、T_REL_LOCALを指定します。デバイス動作温度とTnom温度の計算方法の詳細については、26章「コマンド文」の.MODELの項をご覧ください。

基板ノードは省略可能で、指定されていない場合グラウンドに接続されます。SPICEファイルで英数字の名前の基盤ノードを指定する場合、角カッコで囲む必要があります。

モデルタイプNPN、PNPは垂直トランジスタ構造に、モデルタイプLPNPは水平PNP構造に使用されます。絶縁ダイオードDJと容量CJの接続は、NPN、PNPについては基盤ノードから内部のコレクタノード、LPNPについては基盤ノードから内部のベースノードとなります。

4端子のBJTコンポーネントをコンポーネントライブラリへ追加する場合、定義フィールドはNPN4またはPNP4にしてください。

PNP4コンポーネントを回路図に配置すると、LPNPのモデル文が発行されます。垂直のPNP4にしたい場合は、LPNPをPNPに変更してください。

$$VT = k \cdot T/q$$

VBE = 内部base-emitter電圧

VBC = 内部base-collector電圧

VCS = 内部collector-substrate電圧

一般に「X(T) = パラメータXの温度調整後の値」とします。

温度の影響

$$EG(T) = EG - .000702 \cdot T^2 / (T + 1108)$$

$$IS(T) = IS \cdot e^{((T/Tnom-1) \cdot EG / (VT))} \cdot (T / Tnom)^{(XTI)}$$

$$ISE(T) = (ISE / (T / Tnom)^{XTB}) \cdot e^{((T/Tnom-1) \cdot EG / (NE \cdot VT))} \cdot (T / Tnom)^{(XTI / NE)}$$

$$ISC(T) = (ISC / (T / Tnom)^{XTB}) \cdot e^{((T/Tnom-1) \cdot EG / (NC \cdot VT))} \cdot (T / Tnom)^{(XTI / NC)}$$

$$\begin{aligned}
BF(T) &= BF \cdot (T / T_{nom})^{XTB} \\
BR(T) &= BR \cdot (T / T_{nom})^{XTB} \\
VJE(T) &= VJE \cdot (T / T_{nom})^{-3} \cdot VT \cdot \ln((T / T_{nom})) - EG(T_{nom}) \cdot (T / T_{nom}) \\
&\quad + EG(T) \\
VJC(T) &= VJC \cdot (T / T_{nom})^{-3} \cdot VT \cdot \ln((T / T_{nom})) - EG(T_{nom}) \cdot (T / T_{nom}) \\
&\quad + EG(T) \\
VJS(T) &= VJS \cdot (T / T_{nom})^{-3} \cdot VT \cdot \ln((T / T_{nom})) - EG(T_{nom}) \cdot (T / T_{nom}) \\
&\quad + EG(T) \\
CJE(T) &= CJE \cdot (1 + MJE \cdot (.0004 \cdot (T - T_{nom}) + (1 - VJE(T) / VJE))) \\
CJC(T) &= CJC \cdot (1 + MJC \cdot (.0004 \cdot (T - T_{nom}) + (1 - VJC(T) / VJC))) \\
CJS(T) &= CJS \cdot (1 + MJS \cdot (.0004 \cdot (T - T_{nom}) + (1 - VJS(T) / VJS)))
\end{aligned}$$

電流の方程式

$$\begin{aligned}
Q1 &= 1 / (1 - VBC / VAF - VBE / VAR) \\
Q2 &= IS(T) \cdot (e^{(VBE / (NF \cdot VT))} - 1) / IKF + IS(T) \cdot (e^{(VBC / (NR \cdot VT))} - 1) / IKR \\
QB &= Q1 \cdot (1 + (1 + 4 \cdot Q2)^{NK}) / 2
\end{aligned}$$

電流源の値

$$ICT = IS(T) \cdot (e^{(VBE / (NF \cdot VT))} - 1) / QB - IS(T) \cdot (e^{(VBC / (NR \cdot VT))} - 1) / QB$$

Base-emitterダイオード電流

$$IBE = ISE(T) \cdot (e^{(VBE / (NE \cdot VT))} - 1) + IS(T) \cdot (e^{(VBE / (NF \cdot VT))} - 1) / BF(T)$$

Base-collectorダイオード電流

$$IBC = ISC(T) \cdot (e^{(VBC / (NC \cdot VT))} - 1) + IS(T) \cdot (e^{(VBC / (NR \cdot VT))} - 1) / QB / BR(T)$$

Base端子電流

$$\begin{aligned}
IB &= IBE + IBC \\
IB &= IS(T) \cdot (e^{(VBE / (NF \cdot VT))} - 1) / BF(T) + ISE(T) \cdot (e^{(VBE / (NE \cdot VT))} - 1) + \\
&\quad IS(T) \cdot (e^{(VBC / (NR \cdot VT))} - 1) / BR(T) + ISC(T) \cdot (e^{(VBC / (NC \cdot VT))} - 1)
\end{aligned}$$

Collector端子電流

$$\begin{aligned}
IC &= IS(T) \cdot (e^{(VBE / (NF \cdot VT))} - e^{(VBC / (NR \cdot VT))}) / QB \\
&\quad - IS(T) \cdot (e^{(VBC / (NR \cdot VT))} - 1) / BR(T) - ISC(T) \cdot (e^{(VBC / (NC \cdot VT))} - 1)
\end{aligned}$$

Emitter端子電流

$$\begin{aligned}
IE &= IS(T) \cdot (e^{(VBE / (NF \cdot VT))} - e^{(VBC / (NR \cdot VT))}) / QB \\
&\quad + IS(T) \cdot (e^{(VBE / (NF \cdot VT))} - 1) / BF(T) + ISE(T) \cdot (e^{(VBE / (NE \cdot VT))} - 1)
\end{aligned}$$

容量の方程式

Base-emitter容量

$$GBE = \text{base-emitter コンダクタンス} = \partial (IBE) / \partial (VBE)$$

VBE ≤ FC · VJE(T)の場合

$$CBE1 = CJE(T) \cdot (1 - VBE / VJE(T))^{-MJE}$$

そうでない場合

$$CBE1 = CJE(T) \cdot (1 - FC)^{-(1 + MJE)} \cdot (1 - FC \cdot (1 + MJE) + MJE \cdot VBE / VJE(T))$$

$$R = IS(T) \cdot (e^{(VBE / (NF \cdot VT))} - 1) / (IS(T) \cdot (e^{(VBE / (NF \cdot VT))} - 1) + ITF)$$

$$CBE2 = GBE \cdot TF \cdot (1 + XTF \cdot (3 \cdot R^2 - 2 \cdot R^3) \cdot e^{(VBC / (1.44 \cdot VT))})$$

$$CBE = CBE1 + CBE2$$

Base-collector容量

$$GBC = \text{base-collector コンダクタンス} = \partial (IBC) / \partial (VBC)$$

VBC \leq FC \cdot VJC (T)の場合

$$C = CJC (T) \cdot (1 - VBC / VJC (T))^{-MJC}$$

そうでない場合

$$C = CJC (T) \cdot (1 - FC)^{-(1 + MJC)} \cdot (1 - FC \cdot (1 + MJC) + MJC \cdot VBC / VJC (T))$$

$$CJX = C \cdot (1 - XCJC)$$

$$CBC = GBC \cdot TR + XCJC \cdot C$$

Collector-substrate容量

VCS \leq 0 の場合

$$CJ = CJS (T) \cdot (1 - VCS / VJS (T))^{-MJS}$$

そうでない場合

$$CJ = CJS (T) \cdot (1 - FC)^{-(1 + MJS)} \cdot (1 - FC \cdot (1 + MJS) + MJS \cdot VCS / VJS (T))$$

ノイズ

RE、RB、RCは熱ノイズ電流を発生します。

$$I_e^2 = (4 \cdot k \cdot T) / RE$$

$$I_b^2 = (4 \cdot k \cdot T) / RB$$

$$I_c^2 = (4 \cdot k \cdot T) / RC$$

collector電流とbase電流は、いずれも周波数依存のフリッカーノイズ電流およびショットノイズ電流を発生します。

$$I_c^2 = 2 \cdot q \cdot I_c + KF \cdot ICB^{AF} / \text{Frequency}$$

$$I_b^2 = 2 \cdot q \cdot I_b + KF \cdot IBE^{AF} / \text{Frequency}$$

ここで、

KFはフリッカーノイズ係数

AFはフリッカーノイズ指数

です。

バイポーラトランジスタ (Philips Mextramレベル=2 または 21)

SPICEでの書式

構文

O < name > < collector > < base > < emitter > [substrate] [thermal]
+ < model name >
+ MULT= < no_parallel >

例

Q1 1 2 3 MM1
Q2 1 2 3 4 MM2
Q3 1 2 3 4 5 MM3
Q4 1 2 3 4 5 MM3 MULT=20

回路図での書式

PART属性

< name >

例

Q1
BB1

VALUE属性

MULT=< no_parallel >

例

MULT=100

MODEL属性

< model name >

例

MLX

モデル文の書式

.MODEL < model name > NPN (LEVEL=2 [model parameters])
.MODEL < model name > NPN (LEVEL=21 [model parameters])

標準モデルの例

.MODEL MODN NPN (LEVEL=2...)

熱的モデルの例

.MODEL MODP NPN (LEVEL=21...)

Mextramは、ダブルポリ、SiGeプロセス、高電圧電源デバイスおよびLDMOS技術の水平NPNトランジスタに適したバイポーラトランジスタの高性能コンパクトモデルです。デジタルおよびアナログ回路の順方向および逆方向の両モードの操作において、正確なパラメータを提供します。現実的には準飽和、なだれ現象、エピタキシャルコレクター層抵抗、電荷蓄積、初期電圧バイアス依存、不活動領域モデリング、電流集中、ベース抵抗の伝導率変調に対処します。

Mextramモデルと同様の回路は次の通りです。

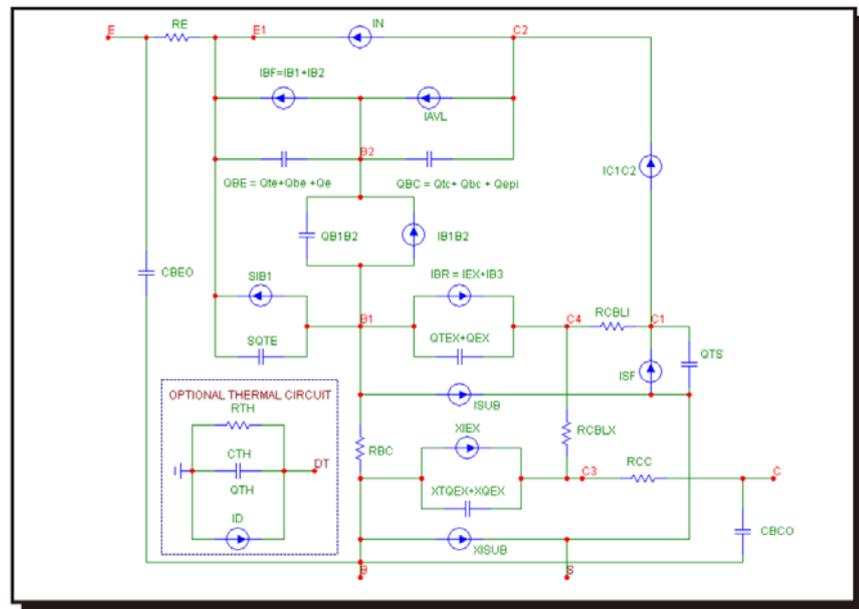


図22-2 Mextramバイポーラトランジスタモデル

Mextramバイポーラトランジスタレベル2/21のモデルパラメータ

名前	既定値	パラメータ
LEVEL	2	標準モデルにはLevel=2、熱的モデルには21
AB	1	ベース抵抗率の温度係数
AC	2	埋め込み層抵抗率温度係数
AE	0	エミッタ抵抗率温度係数
AEPI	2.5	エピレイヤ抵抗率温度係数
AEX	620m	付帯ベース抵抗率温度係数
AF	2	フリッカーノイズ指数
AQBO	300m	ゼロバイアススペースチャージの温度係数
AS	1.58	閉埋め込み層：As=Ac。開埋め込み層：As=Aepi
AXI	300m	準飽和発生 Smoothnessパラメータ
BF	215	理想順方向電流利得
BRI	7	理想逆方向電流利得
CBCO	0	コレクタ/ベースのオーバーラップ静電容量
CBEO	0	エミッタ/ベースのオーバーラップ静電容量
CJC 7	8f	ゼロバイアスのコレクタ/ベースの空乏容量
CJE	73f	ゼロバイアスのエミッタ/ベースの空乏容量
CJS	315f	ゼロバイアスのコレクタ/基板の空乏容量
DAIS	0	コレクタ/エミッタ飽和電流の温度依存度の微調整 パラメータ
DEG	0	ベースのバンドギャップ差
DTA	0	ローカル周囲温度とグローバル周囲温度の差
DVGBF	50m	順方向電流利得のバンドギャップ電圧差
DVGBR	45m	逆方向電流利得のバンドギャップ電圧差
DVGTE	50m	エミッタ蓄積電荷のバンドギャップ電圧差
EXAVL	0	なだれ電流の拡張モデリングフラグ
EXMOD	1	逆方向電流利得の拡張モデリングフラグ
EXPHI	1	トランジェント解析における高周波数影響のフラ グ
IBF	2.7f	非理想順方向ベース電流の飽和電流
IBR	1f	非理想逆方向ベース電流の飽和電流
IHC	4m	エピレイヤの速度飽和臨界電流
IK	100m	コレクタ/エミッタ高注入ニー電流
IKS	250u	ベース/基板高注入ニー電流
IS	.022f	コレクタ/エミッタ飽和電流
ISS	.048f	ベース/基板飽和電流

Mextramバイポーラトランジスタレベル2/21のモデルパラメータ

名前	既定値	パラメータ
KAVL	0	なだれに起因するホワイトノイズ寄与スイッチ
KF	20p	理想ベース電流のフリッカーノイズ係数
KFN	20p	非理想ベース電流のフリッカーノイズ係数
MC	500m	コレクタベース空乏容量の電流変調係数
MLF	2	非理想順方向ベース電流の非理想要因
MTAU	1	エミッタ蓄積電荷の非理想要因
MULT	1	並列デバイス数
PC	500m	コレクタ/ベース傾斜係数
PE	400m	エミッタ/ベース傾斜係数
PS	340m	コレクタ/基板傾斜係数
RBC	23	ベース抵抗の不変パート
RBV	18	ベース抵抗の可変パートのゼロバイアス値
RCC	12	コレクタ抵抗の不変パート
RCV	150	非変調エピレイヤの抵抗
RE	5	エミッタ抵抗
SCRCV	1.25K	エピレイヤのスペース電荷抵抗
SFH	300m	なだれモデルの電流拡散因子 (EXAVL=1のとき)
TAUB	4.2p	蓄積ベース電荷の推移時間
TAUE	2p	蓄積エミッタ電荷の最少推移時間
TAUR	520p	逆方向付帯ベース電荷の推移時間
TEPI	41p	蓄積エピレイヤ電荷の推移時間
TREF	25	基準温度
VAVL	3	なだれ電流の電圧決定曲率
VDC	680m	コレクタ/ベース拡散電圧
VDE	950m	エミッタ/ベース拡散電圧
VDS	620m	コレクタ/基板拡散電圧
VEF	44	順方向初期電圧
VER	2.5	逆方向初期電圧
VGB	1.17	ベースのバンドギャップ電圧
VGC	1.18	コレクタのバンドギャップ電圧
VGJ	1.15	バンドギャップ電圧再結合エミッタ/ベース接合
VGS	1.2	基板のバンドギャップ電圧
VLR	200m	非理想逆ベース電流の交差電圧
WAVL	1.1u	弱なだれモデルに使われるエピレイヤ厚

Mextramバイポーラトランジスタレベル2/21のモデルパラメータ

名前	既定値	パラメータ
XCJC	32m	エミッタ下のコレクタ/ベース空乏容量比
XCJE	400m	側壁に属するエミッタベース空乏容量の割合
XEXT	630m	Vb1c1ではなくVbc1に依存するIex、Qtex、Qex、Isubのパート
XIBI	0	側壁に属する理想ベース電流のパート
XP	350m	Cjcの不変パート
XREC	0	Ib1の再結合部のプレファクタ

熱的モデル (Level=21) では、熱効果进行处理する3つの追加パラメータがあります。

名前	既定値	パラメータ
ATH	0	熱抵抗温度係数
CTH	3n	熱容量
RTH	300	熱抵抗

バイポーラトランジスタ (Philips Modellaレベル=500 または 501)

SPICEでの書式

構文

O< name > < collector > < base > < emitter > [substrate] [thermal]
+ < model name >
+ MULT= < no_parallel >

例

Q1 1 2 3 MM1
Q2 1 2 3 4 MM2
Q3 1 2 3 4 5 MM3
Q4 1 2 3 4 5 MM3 MULT=20

回路図での書式

PART属性

< name >

例

Q1

VALUE属性

MULT=< no_parallel >

例

MULT=100

MODEL属性

< model name >

例

LATPNP

モデル文の書式

.MODEL < model name > LPNP (LEVEL=500 [model parameters])
.MODEL < model name > LPNP (LEVEL=501 [model parameters])

標準モデルの例

.MODEL ML LPNP (LEVEL=500...)

熱的モデルの例

.MODEL MLT LPNP (LEVEL=501...)

Modella (MODEL Lateral) は、デバイスの複雑な平面性質を考慮し、高性能水平PNP構造のモデルです。この物理ベースのモデルでは、主電流と電荷は独立してバイアス依存少数キャリア濃度に関係し、電流集中の現実的なモデリング、ハイレベルの注入、バイアス依存出力インピーダンスを提供します。

Modellaモデルと同様の回路は次の通りです。

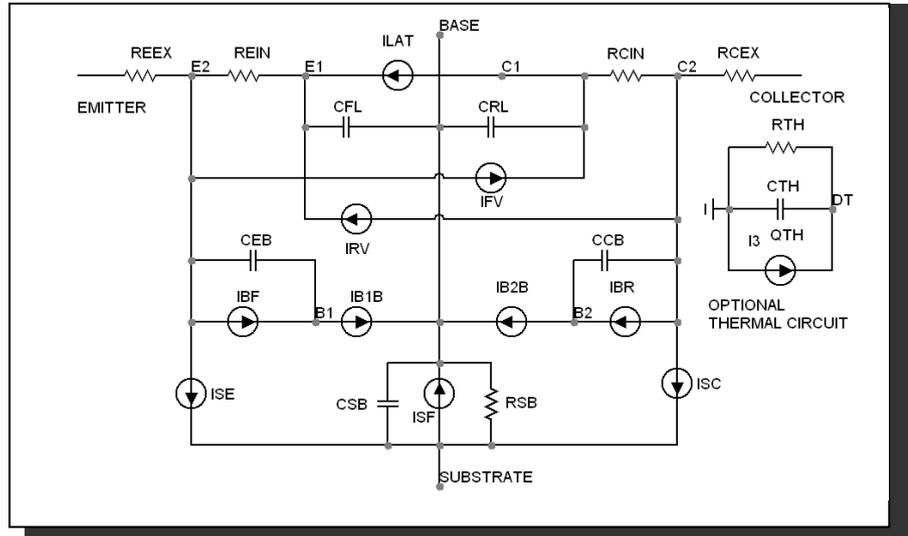


図22-3 Modella水平PNPトランジスタモデル

Modellaトランジスタレベル500/501のモデルパラメータ

名前	既定値	パラメータ
LEVEL	500	標準モデルにはLevel=500、熱的モデルには501
AE	4.48	BFの温度係数
AF	1	フリッカーノイズ指数
BF	131	理想順方向エ共通エミッタ電流利得
BR	25	理想逆方向共通エミッタ電流利得
CJC	390f	ゼロバイアスのコレクタ/ベース空乏容量
CJE	61f	ゼロバイアスのエミッタ/ベース空乏容量
CJS	1.3p	ゼロバイアスの基板/ベース空乏容量
DTA	0	デバイス温度と周囲解析温度の差

Modellaトランジスタレベル500/501のモデルパラメータ

名前	既定値	パラメータ
EAFI	20.5	水平順方向電流コンポーネントの初期電圧
EAFV	75	垂直順方向電流コンポーネントの初期電圧
EARL	13.1	水平逆方向電流コンポーネントの初期電圧
EARV	104	垂直逆方向電流コンポーネントの初期電圧
EXPHI	0	使われていない
IBF	26f	非理想順方向ベース電流の飽和電流
IBR	120f	非理想逆方向ベース電流の飽和電流
IK	110u	高注入ニー電流
IS	.18f	コレクタ/エミッタ飽和電流
ISS	400f	基板/ベースダイオードの飽和電流
KF	0	フリッカーノイズ係数
MULT	1	区域指数
PC	360m	コレクタ/ベース傾斜係数
PE	3000m	エミッタ/ベース傾斜係数
PS	350m	基板/ベース傾斜係数
RBCC	10	ベース抵抗 r_{bc} の不変パート
RBCV	10	ベース抵抗 r_{bc} の変動パート
RBEC	10	ベース抵抗 r_{be} の不変パート
RBEV	50	ベース抵抗 r_{be} の変動パート
RCEX	5	コレクタ抵抗の外部パート
RCIN	47	コレクタ抵抗の内部パート
REEX	27	エミッタ抵抗の外部パート
REIN	66	エミッタ抵抗の内部パート
RSB	1000T	基板/ベース漏れ抵抗
SNB	2.6	エピタキシャルベース電子移動度の温度係数
SNBN	300m	埋め込み層電子移動度の温度係数
SPB	2.853	エピタキシャルホール移動度の温度係数
SPC	730m	コレクタホール移動度の温度係数
SPE	730m	エミッタホール移動度の温度係数
SX	1	エミッタと埋め込み層の結合少数キャリア移動度の温度係数
TFN	200p	エミッタおよびエミッタ下の埋め込み層に蓄積された電荷に起因する低注入順方向推移時間
TFVR	30n	エミッタ下のエピレイヤに蓄積された電荷に起因する低注入順方向推移時間
TLAT	2.4n	エミッタとコレクタ間のエピレイヤに蓄積された電荷の低注入（順と逆）推移時間

Modellaトランジスタレベル500/501のモデルパラメータ

名前	既定値	パラメータ
TREF	25	基準温度。規定値はオプション「tnom」で設定
TRN	3n	コレクタとコレクタ下の埋め込み層に蓄積された電荷に起因する低注入逆方向推移時間
TRVR	In	コレクタ下のエビレイヤに蓄積された電荷に起因する低注入逆方向推移時間
VDC	570m	コレクタ/ベース拡散電圧
VDE	520m	エミッタ/ベース拡散電圧
VDS	520m	基板/ベース拡散電圧
VGB	1.206	エミッタとコレクタ間のベースのバンドギャップ電圧
VGCB	1.206	コレクタ/ベースの空乏領域のバンドギャップ電圧
VGE	1.206	エミッタのバンドギャップ電圧
VGEB	1.206	エミッタ/ベースの空乏領域のバンドギャップ電圧
VGJE	1.123	再結合エミッタ/ベース接合部のバンドギャップ電圧
VGSB	1.206	基板/ベース空乏領域のバンドギャップ電圧
VLF	540m	非理想順方向ベース電流の交差電圧
VLR	480m	非理想逆方向ベース電流の交差電圧
XCS	3	c-b-sトランジスタとc-b-eトランジスタ間の飽和電流比
XES	2.7m	e-b-sトランジスタと e-b-c トランジスタ間の飽和電流比
XHCS	1	高注入を条件としたc-b-sトランジスタの飽和電流の割合
XHES	700m	高注入を条件としたe-b-sトランジスタの飽和電流の割合
XIFV	430m	順方向電流の垂直割合
XIRV	430m	逆方向電流の垂直割合

熱的モデル (Level=501) では、熱影響を取り扱う3つの追加パラメータがあります。

名前	既定値	パラメータ
ATH	0	熱抵抗温度係数
CTH	3n	熱容量
RTH	300	熱抵抗

コンデンサ

SPICEでの書式

構文

C <name> <plus> <minus> [model name]
+ [capacitance e] [IC= <initial voltage>]

例

C2 7 8 110P IC = 2

<plus>は正極、<minus>は負極のノード番号です。極性参照は、初期条件に用いられます。

回路図での書式

PART属性

<name>

例

C5

CAPACITANCE属性

[capacitance] [IC= <initial voltage>]

例

1U
110P IC = 3
1N/(1+V (C1) ^ 2)

CHARGE属性

[charge]

例

ATAN (V (C1))

FREQ属性

[freq]

例

1.2 + 10m * log (F)

MODEL属性
[model name]

例
CMOD

CAPACITANCE属性

[capacitance]は単純な数か時間領域変数を含む数式です。この数式は時間領域でのみ評価されます。次の数式を考えてください。

$$IN/SQRT(1+V(C1))$$

V(C1)はトランジェント解析ではC1の電圧値となります。AC解析前またはDC解析では、DC動作点の計算値となります。これはC1のAC小信号電圧という意味ではありません。V(C1)のDC動作点を3とすると、容量は $IN/SQRT(1+3)) = .5n$ として評価され、定数5nがAC解析に用いられます。

CHARGE属性

[charge]が使用された場合、それは時間領域変数を含む数式で、コンデンサの電圧とおそらくはその他の記号 (.defineまたは.param) 変数を含みます。

CHARGEおよびCAPACITANCE数式の使用ルール

- 1) [capacitance]または[charge]のどちらかを与えます。
- 2) [capacitance]および[charge]の両方が与えられた場合、ユーザはコンデンサ電圧に関して[capacitance]が[charge]の導関数であることを確認してください。[capacitance] = d ([charge]) / dV
- 3) [capacitance]が与えられておらず、[charge]が与えられている場合、Micro-Capはその導関数である $C=dQ/dV$ を取って静電容量の数式を作成します。
- 4) [capacitance]が数式C(V)として与えられており、[charge]が与えられていない場合、MC10は値 $C(V)*DDT(V)$ の電流源で構成される同等の回路を作成します。この場合、コンデンサの電荷変数は常にゼロになります。その他の場合はすべて、電荷変数が利用できます。
- 5) [charge]が与えられている場合、その数式はコンデンサの電圧を含まなければなりません。定数キャパシタンスの場合でも、 $Q(C) = C*V(C)$ です。

6)時間変化数式として[capacitance]か[charge]のどちらかが与えられた場合、MODEL属性は無視されます。静電容量と電荷値はその数式により決定され、モデルパラメータの影響を受けません。

FREQ属性

<fexpr>が使用されている場合、動作点計算において決定される容量値の代わりに使用されます。<fexpr>は単純な数か周波数領域変数を含む数式です。<fexpr>はAC解析では周波数を変化させながら評価されます。例えば<fexpr>属性が次の通りであるとします。

$$\ln + 1E-9 * V(1, 2) * (1 + 10m * \log(f))$$

この数式では、FはAC解析の周波数変数、V(1, 2)はノード1、2の間のAC小信号電圧を意味します。時間領域では<fexpr>と等価なものはないことに注意して下さい。トランジェント解析では<fexpr>があっても<value>が使用されます。

MODEL属性

[model_name]が与えられている場合、ライブラリで指定されたモデルパラメータまたはモデル文が採用されます。時間変化数式として[capacitance]か[charge]のどちらかが与えられた場合、MODEL属性は無視されます。

初期条件

IC =<initial voltage>は、コンデンサにかかる初期電圧を割り当てます。

ステップの影響

CAPACITANCE属性およびすべてのモデルパラメータはステップすることができます。この場合、ステップした値は、[capacitance]が数式であるとしてもそれに置換されます。ステップした値は、二次式や温度効果により、さらに変更することができます。

二次関数の影響

[model_name]を使用すると、<capacitance>は係数QFにより乗算されます。QFはコンデンサの時間領域電圧Vの二次関数です。

$$QF = 1 + VC1 \cdot V + VC2 \cdot V^2$$

これは、古いSPICE 2GのPOLYキーワード（もはやサポートされていません）のサブセットを提供することを目的とします。

温度の影響

[*model name*]が使用されている場合、<*capacitance*>は温度係数TFで乗算されます。

$$TF = 1 + TC1 \cdot (T - Tnom) + TC2 \cdot (T - Tnom)^2$$

TC1はリニア温度係数です。これはデータシートにppm/°Cの単位で記載されていることがあります。ppmによる仕様をTC1に変換するには1E6で割ってください。例えば1500ppm/°Cという仕様では、TC1の値は1.5E-3になります。

Tはデバイスの動作温度で、Tnomは公称容量を測定する温度です。Tは解析リミットダイアログボックスの解析温度に設定します。TNOMは全般設定のTNOM値で決定されますが、このTNOM値は.OPTIONS文で上書きされます。TおよびTNOMはどちらもパラメータT_MEASURED、T_ABS、T_REL_GLOBAL、T_REL_LOCALを指定して、モデル毎にカスタマイズすることができます。デバイス動作温度とTnom温度の計算に関する詳細は、26章「コマンド文」の.MODELの項をご覧ください。

モンテカルロの影響

モンテカルロ許容値LOT、DEVは、[*model name*]を使用したときにのみ利用可能で、モデル文から得られます。%値か絶対値で表現され、T_パラメータを除くすべてのモデルパラメータで利用可能です。いずれの形式で指定しても等価なtolerance percentageに変換され、モンテカルロ係数MFの値を増減します。MFは最終的にモデルパラメータCの値を乗算します。

$$MF = 1 \pm \textit{tolerance percentage} / 100$$

*tolerance percentage*がゼロの場合や、モンテカルロを使用されていない場合、MF係数は1.0に設定され、最終値には影響を及ぼしません。

解析で使用される最終的な容量cvalueは次のように計算されます。

$$cvalue = [\textit{capacitance}] * QF * TF * MF * C$$

ここでCはモデルパラメータの乗数を表す。

モデル文の書式

```
.MODEL <model name> CAP ([model parameters])
```

例

```
.MODEL CMOD CAP (C = 2.0 LOT = 10 % VC1 = 2E-3 VC2 = .0015)  
.MODEL CEL CAP (C = 1.0 LOT = 5 % DEV = .5 % T_ABS = 37)
```

モデルパラメータ

名前	パラメータ	単位	既定値
C	容量乗数		1
LS	直列インダクタンス	Henrys	0
PP	並列抵抗	Ohms	∞
RS	直列抵抗	Ohms	0
VC1	線形電圧係数	V ⁻¹	0
VC2	二次電圧係数	V ⁻²	0
TC1	線形温度係数	°C ⁻¹	0
TC2	二次温度係数	°C ⁻²	0
T_MEASURED	測定温度	°C	
T_ABS	絶対温度	°C	
T_REL_GLOBAL	相対温度 (対現在値)	°C	
T_REL_LOCAL	相対温度 (対AKO)	°C	

LS、RP、RSの寄生値が指定されている場合、コンデンサに使用されるモデルは次の通りです。

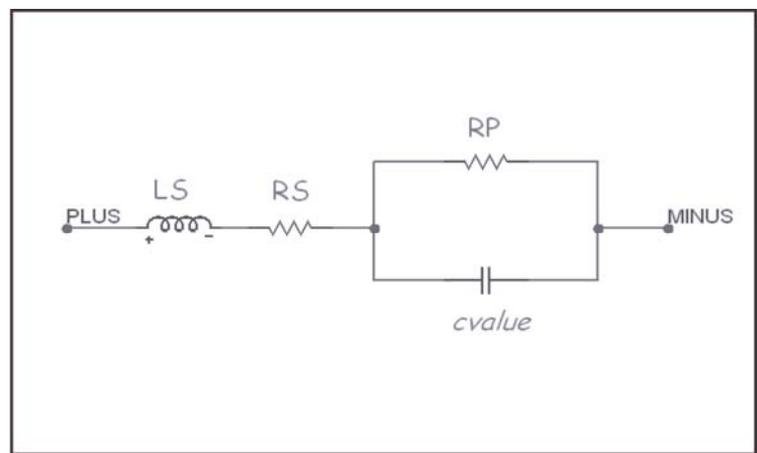


図22-4 コンデンサモデル

ノイズの影響

RSとRPが指定されていれば、それらは通常の方法で熱ノイズ電流を発生させます。

$$I_{RS} = (4.k.T/RS)^{0.5}$$

$$I_{RP} = (4.k.T/RP)^{0.5}$$

従属信号源（線形）

回路図での書式

PART属性

<name>

例

DEP1

VALUE属性

<value>

例

10

これらの理想的な線形の2端子関数は、入力電圧・入力電流を出力電圧・出力電流に変換します。入力電圧は、正負入力端子間の電圧です。入力電流は、正入力端子に流れ込む向きが正と定義されています。

モデル方程式

部品

方程式

IOFI

$I_{out}(I_{in}) = value \cdot I_{in}$

IOFV

$I_{out}(V_{in}) = value \cdot V_{in}$

VOFV

$V_{out}(V_{in}) = value \cdot V_{in}$

VOFI

$V_{out}(I_{in}) = value \cdot I_{in}$

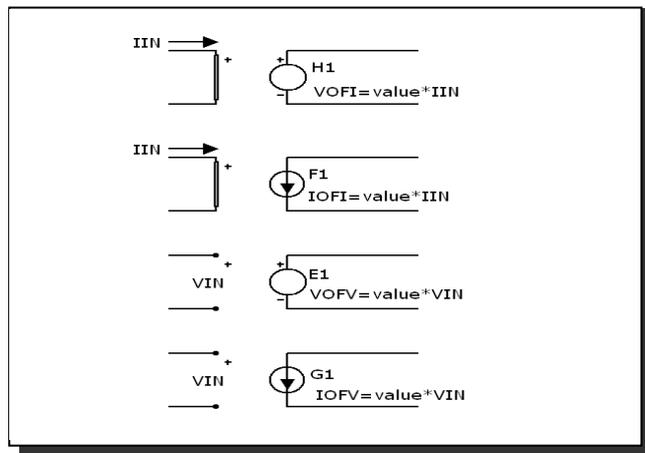


図22-5 従属信号源-線形

従属信号源（SPICEのデバイスE、F、G、H）

標準SPICEでの書式

電圧制御電圧源の構文

E <name> <plusout> <minusout> [POLY (<k>)] n1p n1m
+ [n2p n2m ... nkp nkm] p0 [p1 ... pk] [IC = c1 [, c2 [, c3 ...[, ck]]]]

電流制御電流源の構文

F <name> <plusout> <minusout> [POLY (<k>)] v1 [v2 ... vk]
+ p0 [p1 ... pk] [IC = c1 [, c2 [, c3 ...[, ck]]]]

電流制御電圧源の構文

G <name> <plusout> <minusout> [POLY (<k>)]
+ n1p n1m [n2p n2m ... nkp nkm] p0 [p1 ... pk]
[IC = c1 [, c2 [, c3 ...[, ck]]]]

電圧制御電圧源の構文

H <name> <plusout> <minusout> [POLY (<k>)] v1 [v2 ... vk]
+ p0 [p1 ... pk] [IC = c1 [, c2 [, c3 ...[, ck]]]]

サポートされている標準PSpice™書式：

電圧制御電圧源の拡張構文

[E | G]<name> <plusout> <minusout> VALUE = {<expression>}

[E | G]<name> <plusout> <minusout> TABLE {<expression>} =
+ <<input value>,<output value>>*

[E | G]<name> <plusout> <minusout> LAPLACE {<expression>} =
+ {<Laplace transfer function>}

[E | G]<name> <plusout> <minusout> FREQ
+ {<expression>} = [KEYWORD]
+ <<frequency value>,<magnitude value>,<phase value>>*

n1pは1番目の制御ノード（正）。

n1mは1番目の制御ノード（負）。

nkpはk番目の制御ノード（正）。

nkmはk番目の制御ノード（負）。

p0は多項式の1番目の係数。

pkは多項式のk番目の係数。

V1は電圧源で、流れる電流が1番目の制御変数となる。

v_k は電圧源で、流れる電流が k 番目の制御変数となる。
 $C1$ は1番目の初期条件。
 ck は k 番目の初期条件。

SPICEの例

```
E2 7 4 POLY (2) 10 15 20 25 1.0 2.0 10.0 20.0
G2 7 4 POLY (3) 10 15 20 25 30 35 1.0 2.0 3.0 10.0 20.0 30.0
F2 7 4 POLY (2) V1 V2 1.0 2.0 10.0 20.0
H2 7 4 POLY (3) V1 V2 V3 1.0 2.0 3.0 10.0 20.0 30.0
E1 10 20 FREQ {V (1, 2)} = (0, 0, 0) (1K, 0, 0) (10K, 0.001, 0)
G1 10 20 TABLE {V (5, 6) * V (3)} = (0, 0,) (1, 1) (2, 3.5)
E2 10 20 LAPLACE {V (5, 6)} = {1 / (1 + .001 * S + 1E-8 * S * S)}
```

回路図での書式

回路図での属性は<plusout>と<minusout>ノード番号を除いて、標準SPICE書式と似ています。E、F、G、Hデバイスの回路図版では、TABLE、VALUE、LAPLACE、FREQの機能はサポートされていません。これらの機能は、本章で後述する関数信号源やラプラス信号源でサポートされます。

PART属性

<name>

例

G1

VALUE属性

[POLY (<k>)] $n1p$ $n1m$ [$n2p$ $n2m$... nkp $nk m$] $p0$ [$p1$... pk]
+ [IC = $c1$ [, $c2$ [, $c3$...[, ck]]]]

[POLY (<k>)] $n1p$ $n1m$ [$n2p$ $n2m$... nkp $nk m$] $p0$ [$p1$... pk]
+ [IC = $c1$ [, $c2$ [, $c3$...[, ck]]]]

[POLY (<k>)] $v1$ [$v2$... vk] $p0$ [$p1$... pk] [IC = $c1$ [, $c2$ [, $c3$...[, ck]]]]

[POLY (<k>)] $v1$ [$v2$... vk] $p0$ [$p1$... pk] [IC = $c1$ [, $c2$ [, $c3$...[, ck]]]]

例

```
POLY (2) 10 15 20 25 1.0 2.0 10.0 20.0
POLY (3) 10 15 20 25 30 35 1.0 2.0 3.0 10.0 20.0 30.0
POLY (2) V1 V2 1.0 2.0 10.0 20.0
POLY (3) V1 V2 V3 1.0 2.0 3.0 10.0 20.0 30.0
```

モデル方程式

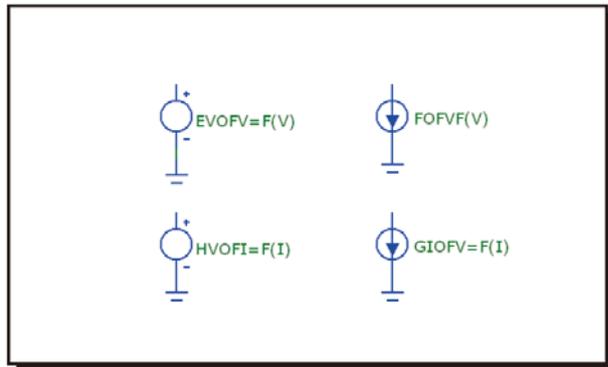


図22-6 従属信号源-SPICE多項式

POLYキーワードが使用されない場合、従属信号源の一般方程式は次の通りです。

$$F = p_0 + p_1 \cdot V_1 + p_2 \cdot V_1^2 + p_3 \cdot V_1^3 + \dots p_k \cdot V_1^k$$

Fは従属電圧源・従属電流源の出力値です。

V1はkに独立な変数です。

$p_0, p_1, p_2 \dots p_k$ は $k+1$ 多項式の係数。

POLYキーワードが使用される場合、多項式の値は次のように計算されます。

$$F = \sum_{j=0}^n p_j \prod_{k=1}^n V_k^{E_k}$$

指数 $E_1, E_2, E_3, \dots E_n$ の値を選択する手順については、表22-1を参照するとよくわかります。

LAPLACEやFREQ版の信号源がどのように動作するかについては、本章のラプラス信号源の項をご覧ください。

	入力変数の数（次数）									
	1	2		3			4			
係数	E1	E1	E2	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E4
P0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
P2	2	0	1	0	1	0	0	1	0	0
P3	3	2	0	0	0	1	0	0	1	0
P4	4	1	1	2	0	0	0	0	0	1
P5	5	0	2	1	1	0	2	0	0	0
P6	6	3	0	1	0	1	1	1	0	0
P7	7	2	1	0	2	0	1	0	1	0
P8	8	1	2	0	1	1	1	0	0	1
P9	9	0	3	0	0	2	0	2	0	0
P10	10	4	0	3	0	0	0	1	1	0
P11	11	3	1	2	1	0	0	1	0	1
P12	12	2	2	2	0	1	0	0	2	0
P13	13	1	3	1	2	0	0	0	1	1
P14	14	0	4	1	1	1	0	0	0	2
P15	15	5	0	1	0	2	3	0	0	0
P16	16	4	1	0	3	0	2	1	0	0
P17	17	3	2	0	2	1	2	0	1	0
P18	18	2	3	0	1	2	2	0	0	1
P19	19	1	4	0	0	3	1	2	0	0

表22-1 多項式の指数

表の薄い網掛けの部分には、入力変数の和をとるのに使う係数が示されています。濃い網掛けの部分には、入力変数の積をとるのに使う係数が示されています。残り部分には、他の組み合わせが示されています。

例えば、3つの入力電圧の和に等しい値をもつ電圧源を構成するには、下記を使います。

E1 4 0 POLY (3) 1 0 2 0 3 0 0 1 1 1

これにより、3組の差動電圧の3次多項関数を出力とする電圧源が構成されます。

入力変数1 = $V(1) - V(0) = V(1)$ = ノード1の電圧

入力変数2 = $V(2) - V(0) = V(2)$ = ノード2の電圧

入力変数3 = $V(3) - V(0) = V(3)$ = ノード3の電圧

指数 $E_1 = 1$ 、 $E_2 = 1$ 、 $E_3 = 1$ は、3次の列の行 p_1 、 p_2 、 p_3 から採用します。信号源の出力は次のようになります。

$$V = p_0 \cdot V_1^0 \cdot V_2^0 \cdot V_3^0 + p_1 \cdot V_1^1 \cdot V_2^0 \cdot V_3^0 + p_2 \cdot V_1^0 \cdot V_2^1 \cdot V_3^0 + p_3 \cdot V_1^0 \cdot V_2^0 \cdot V_3^1$$

$$V = p_0 + p_1 \cdot V_1 + p_2 \cdot V_2 + p_3 \cdot V_3$$

$$V = 0 + 1 \cdot V_1 + 1 \cdot V_2 + 1 \cdot V_3$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

2つの信号源に流れこむ電流の積に等しい値をもつ電流源を構成するには、次のようにします。

F1 3 0 POLY (2) V1 V2 0 0 0 0 1

これにより、信号源 V_1 、 V_2 を流れる電流の2次関数を出力とする電流源が構成されます。

入力変数1 = $I_1 = V_1$ を流れる電流

入力変数2 = $I_2 = V_2$ を流れる電流

指数 $E_1 = 1$ 、 $E_2 = 1$ は、2次列の p_4 行から選びます。この信号源の出力は次の通りです。

$$I = p_0 \cdot I_1^0 \cdot I_2^0 + p_1 \cdot I_1^1 \cdot I_2^0 + p_2 \cdot I_1^0 \cdot I_2^1 + p_3 \cdot I_1^2 \cdot I_2^0 + p_4 \cdot I_1^1 \cdot I_2^1$$

$$I = 0 \cdot I_1^0 \cdot I_2^0 + 0 \cdot I_1^1 \cdot I_2^0 + 0 \cdot I_1^0 \cdot I_2^1 + 0 \cdot I_1^2 \cdot I_2^0 + 1 \cdot I_1^1 \cdot I_2^1$$

$$I = I_1 \cdot I_2$$

ダイオード

SPICEでの書式

構文

D <name> <anode> <cathode> <model name> [area] [OFF]
+ [IC =<vd>]

例

D1 7 8 1N914 1.0 OFF IC = .001

回路図での書式

PART属性

<name>

例

D1

VALUE属性

[area] [OFF] [IC =<vd>]

例

10.0 OFF IC = 0.65

MODEL属性

<model name>

例

1N914

両方の書式

[area]は、モデルパラメータ表の通りにモデルパラメータを乗算・除算します。OFFキーワードがあると、DC動作点の最初の反復においてダイオードが強制的にオフになります。初期条件[IC =<vd>]は、トランジェント解析で動作点が行われない場合(およびUICフラグが設定されている場合)に、接合の初期電圧を割り当てます。

モデル文の書式

.MODEL <model name> D ([model parameters])

例

.MODEL 1N4434 D (IS = 1E-16 RS = 0.55 TT = 5N)

ダイオードモデルパラメータ

ダイオードモデルは、標準PSpice™のダイオードモデルで、漏洩効果を考慮するために線形並列抵抗が付加されています。

名前	パラメータ	単位	既定	領域
Level	モデルレベル (1=SPICE2G, 2=PSpice)		1.0	
IS	飽和電流	A	1E-14	*
N	放出係数		1.00	
ISR	再結合電流パラメータ	A	0.00	*
NR	ISRの放出係数		2.00	
IKF	高注入ニー電流	A	∞	*
BV	逆降伏ニー電圧	V	∞	
IBV	逆降伏ニー電流	A	1E-10	*
NBV	逆降伏理想度		1	
IBVL	低レベル逆降伏電流	A	0	*
NBVL	低レベル逆降伏理想度		1	
RS	寄生直列抵抗	Ω	0	/
TT	transit時間	S	0.00	
CJO	ゼロバイアス接合容量	F	0.00	*
VJ	内部電位	V	1.00	
M	傾斜係数		0.50	
FC	順バイアス空乏係数		0.50	
EG	エネルギーギャップ	eV	1.11	
XTI	ISの温度指数		3.00	
TIKF	IKF温度係数 (線形)	°C ⁻¹	0.00	
TBV1	BV温度係数 (線形)	°C ⁻¹	0.00	
TBV2	BV温度係数 (二次)	°C ⁻²	0.00	
TRS1	RS温度係数 (線形)	°C ⁻¹	0.00	
TRS2	RS温度係数 (二次)	°C ⁻²	0.00	
KF	フリッカーノイズ係数		0.00	
AF	フリッカーノイズ指数		1.00	
RL	漏洩抵抗	Ω	∞	
T_MEASURED	測定温度	°C		
T_ABS	絶対温度	°C		
T_REL_GLOBAL	相対温度 (対現在値)	°C		
T_REL_LOCAL	相対温度 (対AKO)	°C		

パラメータISR、NR、IKF、NBV、IBVL、NBVL、TIKF、TBV1、TBV2、TRS1およびTRS2は、レベルが2に設定されていないと使用できません。RLパラメータはレベルが1に設定されていないと使用できません。

モデル方程式

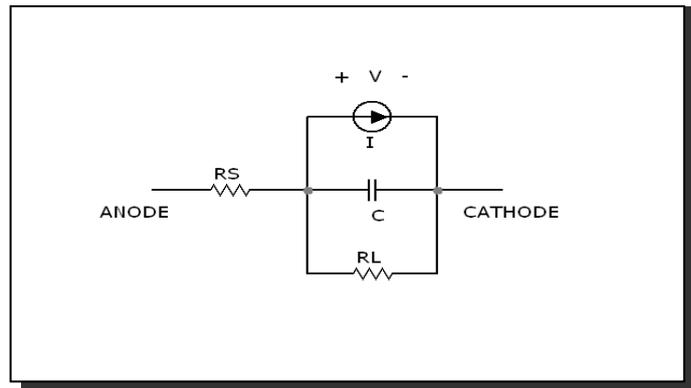


図22-7 ダイオードモデル

注釈・定義

モデルパラメータ IS、ISR、IKF、IBV、IBVL、CJOは[area]で乗算され、モデルパラメータRSは[area]で除算されてから下記のダイオードモデル方程式で使用されます。

Tはデバイスの動作温度で、Tnomはモデルパラメータを測定する温度です。どちらもケルビン単位で示します。Tは解析リミットダイアログボックスの解析温度に設定します。TNOMは全般設定のTNOM値で決定されますが、これは.OPTIONS文で取り消すことができます。TとTnomはT_MEASURED、T_ABS、T_REL_GLOBAL、T_REL_LOCALの各パラメータを指定して、モデル毎にカスタマイズすることができます。デバイスの動作温度とTnom温度の計算方法の詳細については、26章「コマンド文」の.MODELの節を参照してください。

温度の影響

$$VT = k \cdot T / q = 1.38E-23 \cdot T / 1.602E-19$$

$$IS(T) = IS \cdot e^{((T/Tnom)-1) \cdot EG / (VT \cdot N)} \cdot (T/Tnom)^{(XTI/N)}$$

$$ISR(T) = ISR \cdot e^{((T/Tnom)-1) \cdot EG / (VT \cdot NR)} \cdot (T/Tnom)^{(XTI/NR)}$$

$$IKF(T) = IKF \cdot (1 + TIKF \cdot (T-Tnom))$$

$$BV(T) = BV \cdot (1 + TBV1 \cdot (T-Tnom) + TBV2 \cdot (T-Tnom)^2)$$

$$RS(T) = RS \cdot (1 + RSV1 \cdot (T-Tnom) + RSV2 \cdot (T-Tnom)^2)$$

$$VJ(T) = VJ \cdot (T/Tnom) - 3 \cdot VT \cdot \ln(T/Tnom) - EG(Tnom) \cdot (T/Tnom) + EG(T)$$

$$EG(T) = 1.17 - .000702 \cdot T^2 / (T + 1108)$$

$$EG(TNOM) = 1.17 - .000702 \cdot TNOM^2 / (TNOM + 1108)$$

$$CJO(T) = CJO \cdot (1 + M \cdot (.0004 \cdot (T-Tnom) + (1-VJ(T)/VJ)))$$

電流源の方程式

$$I = I_{fwd} - I_{rev}$$

$$I_{nrm} = IS(T) \cdot (e^{(V/(VT \cdot N))} - 1)$$

IKF > 0の場合

$$K_{inj} = (IKF / (IKF + I_{nrm}))^{1/2}$$

それ以外の場合

$$K_{inj} = 1$$

$$I_{rec} = ISR(T) \cdot (e^{(V/(VT \cdot NR))} - 1)$$

$$K_{gen} = ((1 - V / VJ(T))^2 + 0.005)^{M/2}$$

$$I_{rev} = IBV(T) \cdot (e^{-(V+BV)/(VT \cdot NBV)} - 1) + IBVL(T) \cdot (e^{-(V+BV)/(VT \cdot NBVL)} - 1)$$

$$I_{fwd} = K_{inj} \cdot I_{nrm} + K_{gen} \cdot I_{rec}$$

容量の方程式

transit時間容量

Gd = ダイオードのDCコンダクタンス

$$CT = TT \cdot Gd$$

$V \leq FC \cdot VJ(T)$ の場合

$$CJ = CJO(T) \cdot (1 - V / VJ(T))^{-M}$$

それ以外の場合

$$CJ = CJO(T) \cdot (1 - FC)^{-(1+M)} \cdot (1 - FC \cdot (1 + M) + M \cdot (V / VJ(T)))$$

$$C = CT + CJ$$

ノイズの方程式

フリッカーノイズとショットノイズはダイオード電流Iによって発生します。抵抗RS、RLは熱ノイズを発生します。ノイズ電流は次のように計算されます。

$$I_{RS} = (4 \cdot k \cdot T / RS)^{0.5}$$

$$I_{RL} = (4 \cdot k \cdot T / RL)^{0.5}$$

$$I_f = (2 \cdot q \cdot I + KF \cdot IAF / \text{Frequency})^{0.5}$$

ダイオード (Philips JUNCAPおよびJUNCAP2)

SPICEでの書式

構文

D <name> <anode> <cathode> <model name>
+ AB= <diffusion area>
+ LS= <nongate sw length>
+ LG= <gate sw length>
+ MULT= <no_parallel>

例

D1 7 8 MM1 LS=.2u LG=.3u AB=2.4p MULT=50
D2 7 8 MDX LS=11u LG=11u AB=121p MULT=2

回路図での書式

PART属性

<name>

例

D1

VALUE属性

AB = <diffusion area>
LS = <nongate sw length>
LG = <gate sw length>
MULT = <no_parallel>

例

LS=.46u LG=.12u AB=1.5p MULT=5

MODEL属性

<model name>

例

MM2

モデル文の書式

.MODEL <model name> D (LEVEL=4 [*model parameters*])
.MODEL <model name> D (LEVEL=200 [*model parameters*])

例

```
.MODEL JUNCAP D (LEVEL=4...)  
.MODEL JUNCAP2 D (LEVEL=200...)
```

<diffusion_area> は拡散面積です。

<nongate_sw_length>は、ゲート下の拡散面積ABの側壁の長さです。

<gate_sw_length>は、ゲート下の拡散面積ABの側壁の長さです。

<no_parallel>は並列のデバイスの数です。

これらのデバイスインスタンスパラメータはデバイスの属性またはモデルパラメータとして指定できます。デバイスの属性が指定された場合、デバイス属性はモデルパラメータに取って代わります。

JUNCAPモデルはMOSデバイスのソース、ドレイン、壁/バルク接合部により形成されるダイオードの性質を説明するためです。電流方程式が立てられ、準静的近似を利用した電荷方程式でAC効果がモデル化されます。側壁、底部、ゲート/エッジ接合部プロファイルの相違による影響を示すために、モデルではその各々が別々に取り扱われます。モデルでは拡散電流と発生電流の両方が取り扱われ、その各々が独自の温度と電圧依存を有します。

JUNCAPとJUNCAP2モデルはPhilips MOSFETモデル11、20、31、40で使うために提供されます。サブサーキットは通常、ダイオードレスのPhilips MOSFETモデル（11、20、31、40）の一つを、一つ以上のJUNCAPモデルとバンドルするのに使用されます。PSP MOSFETは独自の内蔵式JUNCAP2モデルを採用しています。

JUNCAPダイオードレベル4のモデルパラメータ

名前	既定値	パラメータ
AB	1p	拡散面積
CJBR	1p	V=VRでの底部接合部静電容量
CJGR	1p	V=VRでのゲートエッジ接合部静電容量
CJSR	1p	V=VRでの側壁接合部静電容量
DTA	0	TAに関する接合部の温度オフセット
IMAX	1K	爆発電流
JSDBR	1m	バック接点からの拡散に起因する底部飽和電流密度
JSDGR	1m	バック接点からの拡散に起因するゲートエッジ飽和電流密度
JSDSR	1m	バック接点からの拡散に起因する側壁飽和電流密度
JSGBR	1m	V=VRでの電子正孔発生に起因する底部飽和電流密度
JSGGR	1m	バック接点からの拡散に起因するゲートエッジ飽和電流密度
JSGRS	1m	V=VRでの電子正孔発生に起因する側壁飽和電流密度
LG	1u	ゲート下拡散面積ABの側壁の長さ
LS	1u	ゲート下ではない拡散面積ABの側壁の長さ
MULT	1	並列のデバイス数
NB	1	底部順方向電流の放出係数
NG	1	ゲートエッジ順方向電流の放出係数
NS	1	側壁順方向電流の放出係数
PB	400m	底部接合部傾斜係数
PG	400m	ゲートエッジ接合部傾斜係数
PS	400m	側壁接合部傾斜係数
TR	25	パラメータが決定された温度
VB	900m	逆方向絶縁破壊電圧
VDBR	1	T=TRでの底部接合部の拡散電圧
VDGR	1	T=TRでのゲートエッジ接合部の拡散電圧
VDSR	1	T=TRでの側壁接合部の拡散電圧
VR	0	パラメータが決定された温度

JUNCAP2ダイオードレベル200のモデルパラメータ

名前	既定値	パラメータ
AB	1p	拡散面積
CBBTBOT	1p	底部コンポーネントのバンド間トンネル前因子
CBBTGAT	.001f	ゲート-エッジコンポーネントのバンド間トンネル前因子
CBBTSTI	.001f	STI-エッジコンポーネントのバンド間トンネル前因子
CJORBOT	1m	底部コンポーネントユニット面積当りのゼロバイアス静電容量
CJORGAT	1n	ゲート-エッジコンポーネントユニット長さ当りのゼロバイアス静電容量
CJORSTI	1n	STI-エッジコンポーネントユニット長さ当りのゼロバイアス静電容量
CSRHBOT	100	底部コンポーネントのShockley-Read-Hall前因子
CSRHGAT	100u	ゲート-エッジコンポーネントのShockley-Read-Hall前因子
CSRHSTI	100u	STI-エッジコンポーネントのShockley-Read-Hall前因子
CTATBOT	100	底部コンポーネントのトラップ支援トンネル前因子
CTATGAT	100u	ゲート-エッジコンポーネントのトラップ支援トンネル前因子
CTATSTI	100u	STI-エッジコンポーネントのトラップ支援トンネル前因子
DTA	0	周囲温度に関する温度オフセット
FBBTRBOT	1G	底部コンポーネントのバンド間トンネルの基準温度での規格化フィールド
FBBTRGAT	1G	ゲート-エッジコンポーネントのバンド間トンネルの基準温度での規格化フィールド
FBBTRSTI	1G	STI-エッジコンポーネントのバンド間トンネルの基準温度での規格化フィールド
IDSATRBOT	1p	底部コンポーネントの基準温度での飽和電流密度

JUNCAP2ダイオードレベル200のモデルパラメータ

名前	既定値	パラメータ
IDSATR _{GAT}	.001f	ゲート-エッジコンポーネントの基準温度での飽和電流密度
IDSATR _{STI}	.001f	STI-エッジコンポーネントの基準温度での飽和電流密度
IMAX	1K	順方向電流が指数関数的に動く最大電流
LG	1u	接合部周辺のゲート-エッジパート
LS	1U	接合部周辺のSTI-エッジパート
MEFFTAT _{BOT}	250m	底部コンポーネントのトラップ支援トンネルの有効質量 (m ₀ の単位)
MEFFTAT _{GAT}	250m	ゲート-エッジコンポーネントのトラップ支援トンネルの有効質量 (m ₀ の単位)
MEFFTAT _{STI}	250m	STI-エッジコンポーネントのトラップ支援トンネルの有効質量 (m ₀ の単位)
MULT	1	並列デバイスの数
PBOT	500m	底部コンポーネントの傾斜係数
PBR _{BOT}	4	底部コンポーネントの絶縁破壊発生チューニングパラメータ
PBR _{GAT}	4	ゲート-エッジコンポーネントの絶縁破壊発生チューニングパラメータ
PBR _{STI}	4	STI-エッジコンポーネントの絶縁破壊発生チューニングパラメータ
PGAT	500m	ゲート-エッジコンポーネントの傾斜係数
PHIG _{BOT}	1.16	底部コンポーネントのゼロ温度バンドギャップ電圧
PHIG _{GAT}	1.16	ゲート-エッジコンポーネントのゼロ温度バンドギャップ電圧
PHIG _{STI}	1.16	STI-エッジコンポーネントのゼロ温度バンドギャップ電圧
PSTI	500m	STI-エッジコンポーネントの傾斜係数
STFBBT _{BTO}	-1m	底部コンポーネントのバンド間トンネルの温度スケーリングパラメータ
STFBBT _{GAT}	-1m	ゲート-エッジコンポーネントのバンド間トンネルの温度スケーリングパラメータ
STFBBT _{STI}	-1m	STI-エッジコンポーネントのバンド間トンネルの温度スケーリングパラメータ
TRJ	21	基準温度

JUNCAP2ダイオードレベル200のモデルパラメータ

名前	既定値	パラメータ
TYPE	1	タイプパラメータ、1=n-type、-1=p-type
VBIRBOT	1	底部コンポーネントの基準温度での内蔵電圧
VBIRGAT	1	ゲート-エッジコンポーネントの基準温度での内蔵電圧
VBIRSTI	1	STI-エッジコンポーネントの基準温度での内蔵電圧
VBRBOT	10	底部コンポーネントの絶縁破壊電圧
VBRGAT	10	ゲート-エッジコンポーネントの絶縁破壊電圧
VBRSTI	10	STI-エッジコンポーネントの絶縁破壊電圧
XJUNGAT	100n	ゲート-エッジコンポーネントの接合部深さ
XJUNSTI	100n	STI-エッジコンポーネントの接合部深さ

関数信号源

回路図での書式

PART属性

<name>

例

F1

数式型のVALUE属 (NFVとNFI)

<formula>

数式型の例

$10 * \sin(2 * \pi * 1E6 * T) * V(3) * I(L1) * \exp(-V(IN) / 100NS)$

FREQ属性

[<fexpr>]

例

$1200 * (1 + \sqrt{F / 1e6})$

DERIVATIVE属性

[<Algebraic>|<Numeric>|<Default>]

例

Algebraic

NOISE EXPRESSION属性 (NFIのみ)

[<noise_expr>]

例

$1200 * (1 + \sqrt{F / 1e6})$

数表型のTABLE属性 (NTIOFI、NTIOFV、NTVOFV、NTVOFI)

(<x1, y1> (<x2, y2>) ... ([<yk, yk>])

数式については波括弧 { } が必要ですが、変数については任意です。

数表型の例

(-1m, 25) (1m, 25) (2m, 30)

({start-1m},{25 * level}) (end, level) ({end + 3m}, level2)

関数信号源には、本質的な時間領域アナログビヘイビアモデリング機能があります。回路変数に対する電圧源または電流源の時間領域における依存性を代数式あるいは表形式の関数として表現できます。2つの基本型は、出力電流または出力電圧の値を計算する方法によって区別されます。

式型

SPICE3 Bデバイスに似ている式型は、代数式を使用して出力変数を有効な時間領域変数の任意の集合の関数として計算します。この信号源には2つのバージョンがあります。

NFI 関数電流源
NFV 関数電圧源

3極真空管をモデル化する式の例を示します。

$K * \text{pow}((V(\text{Plate}) - V(\text{Cathode}) + \text{Mu} * (V(\text{Grid}) - V(\text{Cathode}))), 1.5)$

表型

SPICE3 Aデバイスに似ている表型は、出力変数を記述する順序付きデータペアを入力変数だけの関数として使用します。表は、時間領域の伝達関数を記述します。

表信号源の入力変数は、次のどちらかになります。

正の入力リード線に流れ込む電流
正の入力リード線と負の入力リード線の間の電圧

表信号源には4つの基本型があります。

信号源の型	入力	出力	定義
電流制御電流源	I	I	NTIOFI
電流制御電圧源	I	V	NTVOFI
電圧制御電圧源	V	V	NTVOFV
電圧制御電流源	V	I	NTIOFV

TABLE属性内のデータペアを作るには幾つかの規則があります。

1. x, y の値やペアはコンマやスペースで区切ることができます。 x, y の値は、定数またはdefine文で作成される記号変数を含む式で置換できます。

式は、解析のセットアップ段階で1回だけ評価されるので、V(1)やTなど、解析実行中に変化する変数は含んではならず、式が評価される時に未知であるTSTARTのようなシミュレーション制御変数も含んではなりません。

2. データーペアは、入力の昇順に配置しなければなりません。

$$x1 < x2 < \dots < xk$$

3. 解析実行で一定に保たれる値の数式が表で使用できます。これらは中括弧{ }に含めることもできます。例えば、

$$0, 11, 22, \{\text{VAR1}\}$$

VAR1は.defineまたは.param文で作成され、実行間で変更できます。

出力は、入力値から次のように計算されます。

1. 出力値は、 $x1$ 未満の入力値について $y1$ で定数となる。
2. 出力値は、 xk 超の入力値について yk で定数となる。
3. 出力値は、表の値の間にある入力値については、補間される。

例えば、

$$(-.010, -10) (.010, 10)$$

NTVOFVの信号源については、これは出力が±10Vにクリップされる利得が1000の理想増幅器です。入力が.010より大きい時の出力値は+10.0に制限されます。同様に、入力が-0.010より小さい時の出力値は-10.0に制限されます。

FREQの使用方法

<fexpr>が存在する場合、動作点で決定される通常の小信号AC増分値に置き換えます。<fexpr>は単純な数値でもよいし、周波数領域の変数に関わる式でもかまいません。式は、AC解析で周波数が増えると評価されます。例えば、<fexpr>属性が次の式であると仮定します。

$$1 + V(3) * (1 + 1e6 / F)$$

この式で、FはAC解析の周波数変数、V(3)はノード3からアースへのAC小信号電圧です。<fexpr>と等価な時間領域はありません。<fexpr>が存在していても、トランジェント解析では<value>だけが使用されます。

NOISE_EXPRESSIONの使用法

noise_exprが存在する場合、式に等しいノイズ電流が生成されます。ショットノイズをシミュレーションする例では、次のような式になります。

$$1E-16 * \text{pow}(6.5\text{ma}, 1.1) / F$$

式には、周波数 (F) 依存の変数だけを含まなければならないことに注意してください。この機能は、NFIの信号源だけで使用可能です。

DERIVATIVE属性

式の導関数が次のいくつかの方法で評価されます。

代数 :

式内の各変数の各導関数について代数式が作成されます。これは、通常は精度が高いため、一般には望ましい方法です。しかし、多数の変数を有する複雑な式では、しばしば非常に大きな導関数の式となるので、単純な数値微分よりはるかに長い時間がかかります。

数値 :

小さな摂動により、微分値が数値的に計算されます。この方法は、式は複雑であるが良好な動作であって不連続点がない場合に、しばしば最も良好な結果が得られます。

規定値 :

この場合、微分は全般設定NUMERIC_DERIVATIVEフラグの状態に従って評価されます。

表信号源の例については、サンプル回路T1を参照し、式信号源の例についてはサンプル回路F1、F2、F3、F4を参照してください。

GaAsFET

SPICEでの書式

構文

B <name> <drain> <gate> <source> <model name>
+ [area] [OFF] [IC = <vds>[,vgs]]

例

B1 5 7 9 2N3531 1 OFF IC = 1.0, 2.5

回路図での書式

PART属性

<name>

例

B1

VALUE属性

[area] [OFF] [IC = vds [,vgs]]

例

1.5 OFF IC = 0.05, 1.00

MODEL属性

<model name>

例

GFX_01

このデバイスはn-チャンネル型デバイスです。P-チャンネル型はありません。レベル1はCurticeモデル、レベル2はRaytheonまたはStatzモデル、レベル3はTriquintモデルを指定します。[OFF]キーワードを使うと動作点の最初の反復でデバイスを強制的にオフにします。初期条件[IC = vds [,vgs]]は、ドレイン-ソース、ゲート-ソースの初期電圧を割り当てます。さらに知りたい場合は、参考文献(14)、(15)を参照ください。

モデル文の書式

.MODEL <model name> GASFET ([model parameters])

例

.MODEL B1 GASFET (VTO =- 2 ALPHA = 2 BETA = 1E-4 LAMBDA = 1E-3)

モデルパラメータ

名前 域	パラメータ	単位	既定値	レベル	領
Level	モデルレベル(1, 2, または3)		1	ALL	
VTO	ピンチオフ電圧	V	-2.50	ALL	
ALPHA	飽和電圧パラメータ	V ⁻¹	2.00	ALL	
BETA	相互コンダクタンス係数	A/V ²	0.10	ALL	*
B	ドーピングテイルエクステンダ	V ⁻¹	0.30	2	
LAMBDA	チャンネル長変調	V ⁻¹	0.00	ALL	
GAMMA	静的フィードバックパラメータ		0.00	3	
DELTA	出力フィードバックパラメータ	(A-V) ⁻¹	0.00	3	
Q	電源法則パラメータ		2.00	3	
RG	ゲートオーム抵抗	Ω	0.00	ALL	/
RD	ドレインオーム抵抗	Ω	0.00	ALL	/
RS	ソースオーム抵抗	Ω	0.00	ALL	/
IS	ゲートのpn飽和電流	A	1E-14	ALL	
N	ゲートのpn放出係数		1.00	ALL	
M	ゲートのpn傾斜係数		0.50	ALL	
VBI	ゲートのpn電位	V	1.00	ALL	
CGD	ゼロバイアス ゲート-ドレイン間pn容量	F	0.00	ALL	*
CGS	ゼロバイアス ゲート-ソース間pn容量	F	0.00	ALL	*
CDS	固定ドレイン-ソース容量	F	0.00	ALL	*
FC	順バイアス空乏係数		0.50	ALL	
VDELTA	容量遷移電圧	V	0.20	2, 3	
VMAX	容量制限電圧	V	0.50	2, 3	
EG	バンドギャップ電圧	eV	1.11	ALL	
XTI	ISの温度係数		0.00	ALL	
VTOTC	VTOの温度係数	V/°C	0.00	ALL	
BETATCE	BETAの指数温度係数	%/°C	0.00	ALL	
TRG1	RGの温度係数	°C ⁻¹	0.00	ALL	
TRD1	RDの温度係数	°C ⁻¹	0.00	ALL	
TRS1	RSの温度係数	°C ⁻¹	0.00	ALL	
KF	フリッカーノイズ係数		0.00	ALL	
AF	フリッカーノイズ指数		1.00	ALL	
T_MEASURED	測定温度	°C		ALL	
T_ABS	絶対温度	°C		ALL	
T_REL_GLOBAL	相対温度 (対現在値)	°C		ALL	
T_REL_LOCAL	相対温度(対AKO)	°C		ALL	

GaAsFETモデル方程式

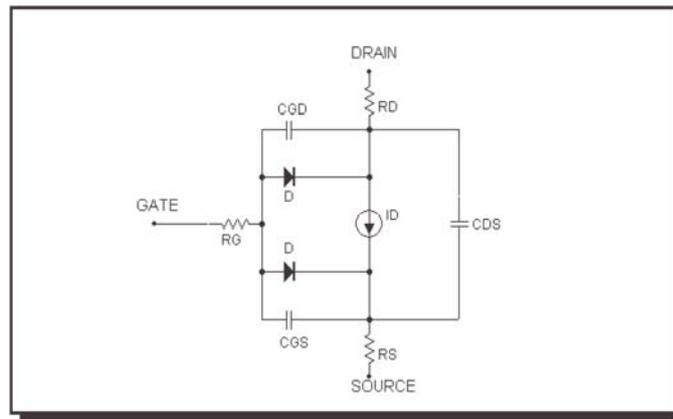


図22-8 GaAsFETモデル

注釈・定義

モデルパラメータBETA、CGS、CGD、CDSは[area]で乗算され、モデルパラメータRG、RD、RSは[area]で除算されてから下記の方程式で使用されます。

Tはデバイスの動作温度で、Tnomはモデルパラメータを測定する温度です。どちらもケルビン単位で示します。Tは解析リミットダイアログボックスの解析温度に設定します。TNOMは一般設定のTNOM値で決定されますが、これは .OPTIONS文で取り消すことができます。TとTnomはT_MEASURED、T_ABS、T_REL_GLOBAL、T_REL_LOCALの各パラメータを指定して、モデル毎にカスタマイズすることができます。デバイスの動作温度とTnom温度の計算方法の詳細については、26章「コマンド文」の.MODELの節を参照してください。

Vgs =内部ゲート-ソース間電圧

Vds =内部ドレイン-ソース間電圧

Id =ドレイン電流

$VT = K \cdot T / q = 1.38E-23 \cdot T / 1.602E-19$

原則として、X(T) =パラメータXの温度調整値。

温度依存性

$$BETA(T) = BETA \cdot 1.01^{BETATCE \cdot (T - Tnom)}$$

$$EG(T) = 1.16 - .000702 \cdot T^2 / (T + 1108)$$

$$EG(Tnom) = 1.17 - .000702 \cdot Tnom^2 / (Tnom + 1108)$$

$$VTO(T) = VTO + VTOTC \cdot (T - Tnom)$$

$$IS(T) = IS(Tnom) \cdot e^{(EG / (VT \cdot N)) \cdot (T / Tnom - 1)}$$

$$RG(T) = RG \cdot (1 + TRG1 \cdot (T - Tnom))$$

$$RD(T) = RD \cdot (1 + TRD1 \cdot (T - Tnom))$$

$$RS(T) = RS \cdot (1 + TRS1 \cdot (T - Tnom))$$

$$VBI(T) = VBI \cdot (T / Tnom) - 3 \cdot VT \cdot \ln(T / Tnom) - EG(Tnom) \cdot (T / Tnom) + EG(T)$$

$$CGS(T) = CGS \cdot (1 + M \cdot (.0004 \cdot (T - Tnom) + (1 - VBI(T) / VBI)))$$

$$CGD(T) = CGD \cdot (1 + M \cdot (.0004 \cdot (T - Tnom) + (1 - VBI(T) / VBI)))$$

電流の方程式 レベル1

遮断領域 : $V_{gs} \leq VTO(T)$

$$Id = 0$$

線形・飽和領域 : $V_{gs} > VTO(T)$

$$Id = BETA(T) \cdot (1 + LAMBDA \cdot Vds) \cdot (V_{gs} - VTO(T))^2 \cdot \tanh(ALPHA \cdot Vds)$$

電流の方程式 レベル2

遮断領域 : $V_{gs} \leq VTO(T)$

$$Id = 0$$

線形・飽和領域 : $V_{gs} > VTO(T)$

$0 < Vds < 3 / ALPHA$ の場合

$$Kt = 1 - (1 - Vds \cdot ALPHA / 3)^3$$

それ以外の場合

$$Kt = 1$$

$$Id = BETA(T) \cdot (1 + LAMBDA \cdot Vds) \cdot (V_{gs} - VTO(T))^2 \cdot Kt / (1 + B \cdot (V_{gs} - VTO(T)))$$

電流の方程式 レベル3

遮断領域 : $V_{gs} \leq VTO(T)$

$$Id = 0$$

線形・飽和領域 : $V_{gs} > VTO(T)$

$0 < Vds < 3 / ALPHA$ の場合

$$Kt = 1 - (1 - Vds \cdot ALPHA / 3)^3$$

それ以外の場合

$$Kt = 1$$

$$I_{dso} = BETA \cdot (V_{gs} - (V_{TO} - GAMMA) \cdot V_{ds})^Q \cdot K_t$$

$$I_d = I_{dso} / (1 + DELTA \cdot V_{ds} \cdot I_{dso})$$

容量の方程式 レベル1

$V_{gs} \leq FC \cdot V_{BI}(T)$ の場合

$$C_{gs} = CGS / (1 - V_{gs} / V_{BI}(T))^M$$

それ以外の場合

$$C_{gs} = CGS \cdot (1 - FC)^{-(1-M)} \cdot (1 - FC \cdot (1 + M) + M \cdot (V_{gs} / V_{BI}(T)))$$

$V_{ds} \leq FC \cdot V_{BI}(T)$ の場合

$$C_{gd} = CGD / (1 - V_{gd} / V_{BI}(T))^M$$

それ以外の場合

$$C_{gd} = CGD \cdot (1 - FC)^{-(1-M)} \cdot (1 - FC \cdot (1 + M) + M \cdot (V_{gd} / V_{BI}(T)))$$

容量の方程式 レベル2およびレベル3

$$V_e = (V_{gs} + V_{gd} + ((V_{gs} - V_{gd})^2 + ALPHA^2)^{1/2}) / 2$$

$(V_e + V_{TO}(T) + ((V_e - V_{TO}(T))^2 + DELTA^2)^{1/2}) / 2 < V_{MAX}$ の場合

$$V_n = (V_e + V_{TO}(T) + ((V_e - V_{TO}(T))^2 + DELTA^2)^{1/2}) / 2$$

それ以外の場合

$$V_n = V_{MAX}$$

$$K1 = (1 + V_e - V_{TO}(T)) / ((V_e - V_{TO}(T))^2 + DELTA^2)^{1/2} / 2$$

$$K2 = (1 + (V_{gs} - V_{gd}) / ((V_{gs} - V_{gd})^2 + ALPHA^2)^{1/2}) / 2$$

$$K3 = (1 - (V_{gs} - V_{gd}) / ((V_{gs} - V_{gd})^2 + ALPHA^2)^{1/2}) / 2$$

$$C_{gs} = CGS \cdot K2 \cdot K1 / (1 - V_n / V_{BI}(T))^{1/2} + CGD \cdot K3$$

$$C_{gd} = CGS \cdot K3 \cdot K1 / (1 - V_n / V_{BI}(T))^{1/2} + CGD \cdot K2$$

ノイズ

寄生端子抵抗RG、RD、RSは、熱ノイズ電流を発生します。

$$I_g^2 = 4 \cdot k \cdot T / RG$$

$$I_d^2 = 4 \cdot k \cdot T / RD$$

$$I_s^2 = 4 \cdot k \cdot T / RS$$

ドレイン電流はノイズ電流を発生します。

$$I^2 = 4 \cdot k \cdot T \cdot gm^2 / 3 + KF \cdot I_d^{AF} / Frequency$$

ここで $gm = \partial I_d / \partial V_{gs}$ (動作点で)

IBIS

回路図の書式

これらはIBIS入力および出力モデルです。

PART属性

<name>

例

X1

NAME属性

<subckt_name>

例

LVC_33_4_MIN

IBIS基本部品は次の4書式になります。

タイプ	目的
IBIS_Input1	内部電源でのみ入力
IBIS_Input3	外部電源でのみ入力
IBIS_Output3	入力、有効、出力ピン。内部電源
IBIS_Output5	入力、有効、出力ピン。外部電源

IBIS部品を回路図に表示する場合、Micro-CapはIBISトランスレータを呼び出します。これによりIBISソースファイルから入力または出力モデルが選択できます。次にMicro-Capは選択された部品に対して同等のSPICEサブサーキットモデルを生成し、サブサーキットを示した属性ダイアログボックスを呼び出します。OKボタンをクリックください。するとIBISモデルが回路図に表示されます。

SPICEトランスレータにIBISを実行して、発生したサブサーキットを回路に表示し、コンポーネントエディタからIBISコンポーネントを生成することにより、上記はすべて手動で実施できます。IBISコンポーネントとそれをサポートする自動ルーチンはIBIS部品を生成するのをより簡単にします。

コンポーネントの使用例については、IBIS3.CIRを参照してください。

IGBT

SPICEでの書式

構文

```
Z <name> <gate> <collector> <emitter> <model name>  
+ [AREA=<area>]  
+ [WB=<base width>]  
+ [AGD=<agd>]  
+ [KP=<kp>]  
+ [TAU=<tau>]  
+ [OFF]  
+ [IC=[vgs[,vae[,vds[,veb]]]]]
```

例

```
Z1 1 2 0 IXGH10N170  
+ AREA=1E-4 WB=100U AGD=.1N KP=1E-5  
+ TAU=100N OFFIC=1,2,3,4
```

回路図での書式

PART属性

<name>

例

Z1

VALUE属性

```
[AREA=<area>] [WB=<base width>] [AGD=<agd>] [KP=<kp>]  
[TAU=<tau>] [OFF] [IC=[vgs[,vae[,vds[,veb]]]]]
```

例

AREA=2E-7 WB=10u

MODEL属性

<model name>

例

IXGH10N170

このデバイスモデルは米国標準技術局（NIST）のAllen R. Hefnerが開発したIGBTモデルのGregory Oziemkiewiczの実装に基づきます。パラメータ名、規定値、単位は、同じモデルのほとんどのSPICEバージョンに適合します。

<area>、<base_width>、<agd>、<kp>、<tau>の属性が指定されている場合は、それらは同じ名前のモデルパラメータに取って代わります。

[OFF]キーワードは動作点での初期反復に対してデバイスをオフにします。初期条件であるIC=[vgs[,vae[,vds[,veb]]]]は、モデルノードへの初期電圧を指定します。その他のモデル情報については次の参考資料で見ることができます。

SPICEベースの商用回路シミュレーターにおけるNIST IGBTモデルの実施と開発、Gregory Todd Ozemkiewicz、技師論文、フロリダ大学、1995年12月

回路シミュレーションのモデリングバッファ層 IGBT、Allen R. Hefner Jr.、IEEE Transactions on Power Electronics、Vol.10、No.2、1995年3月

セイバー回路シミュレータ実装の実験的検証済み IGBTモデル、Allen R. Hefner, Jr.、Daniel M. Diebolt、IEEE Transactions on Power Electronics、Vol.9、No.5、1994年9月

IGBTモデルのモデルパラメータ

名前	規定値	パラメータ
AGD	5u	ゲートドレンオーバーラップエリア
AREA	10u	デバイスエリア
BVF	1	なだれ均一性係数
BVN	4	なだれ現象指数
CGS	12.4n	ユニットエリア当りのゲートソース静電容量
COXD	35n	ユニットエリア当りのゲートドレン静電容量
JSNE	650f	エミッタ飽和電流密度
KF	1	三極管領域係数
KP	380m	MOS相互コンダクタンス
MUN	1.5K	電子の移動度
MUP	50	ホールの移動度
NB	200T	ベースドーピング
T_ABS	未定義	絶対温度
T_MEASURED	未定義	パラメータ測定温度
T_REL_GLOBAL	未定義	現在の温度に対する相対値
T_REL_LOCAL	未定義	AKOモデル温度に対する相対値
TAU	7.1u	同時二極性再結合寿命
THETA	20m	横電界係数

VT	4.7	閾値電圧
VTD	1m	ゲート-ドレンオーバーラップ空乏閾値
WB	90u	冶金ベース幅

IGBTモデル

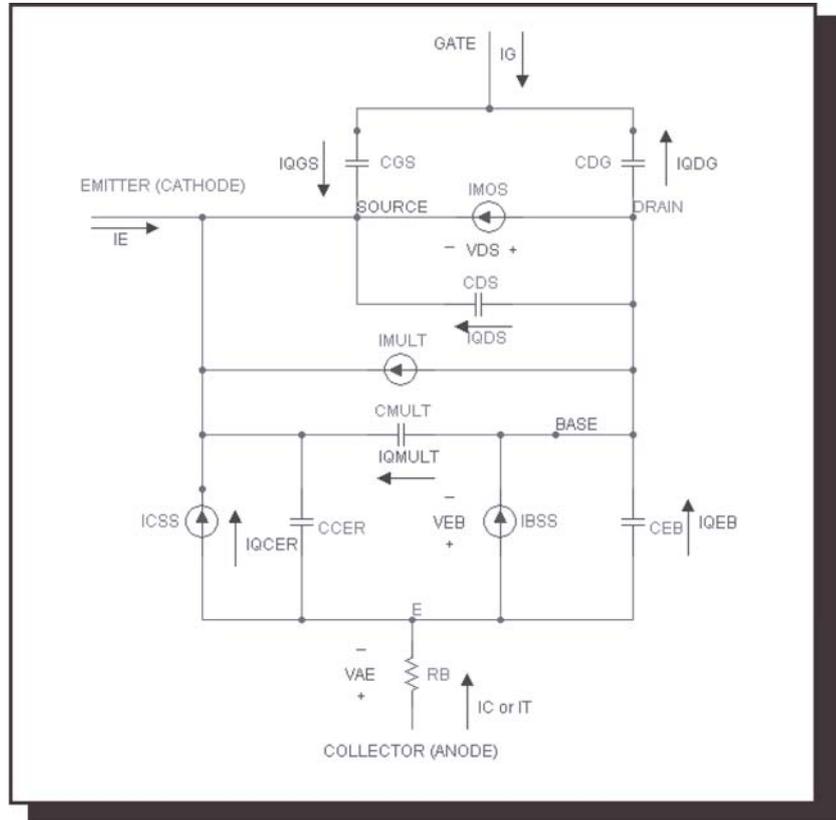


図22-9 IGBTモデル

定義

- IMOS=MOSFETチャンネル電流 (amps)
- IC=IT=コレクタまたは陽極電流 (amps)
- ICSS=定常状態 (バイポーラ) コレクタ電流 (amps)
- IBSS=定常状態ベース電流 (amps)

IMULT=なだれ現象電流 (amps)
 b=同時二極性移動度比
 Dp=ホール拡散性 (cm²/秒)
 Qeb=瞬間過剰キャリアベース電荷 (クーロン)
 Qb=背景移動キャリア電荷 (クーロン)
 NI=真性キャリア濃度 (cm⁻³)
 M=なだれ現象係数
 Igen=二極コレクタ/ベース熱発生電流 (amps)
 Esi=シリコンの誘電体誘電率
 q=電子電荷=1.6e-19 (クーロン)
 wb=100・WB (cm)
 wbcj=sqrt(2・Esi・(0.6+vbc)/(q・NB)) (cm)
 W=準中性ベース幅=wb-wbcj (cm)
 Rb=伝導率-変調ベース抵抗 (ohms)
 Vgst=Vgs-Vt (ボルト)

DC電流源方程式

IMOS

vgst<0
 IMOS=0

vds<=Vgst/KF
 IMOS=KF・KP・(Vgst・Vds-0.5・KF・Vds²)/(1+THETA・Vgst)

Vds>Vgst/KFには
 IMOS=KP・Vgst²/(2・(1+THETA・Vgst))

IC (またはIT)

Vgst<0
 IC=IT=Vae/Rb

ICSS

Veb<=0
 ICSS=0

Veb>0
 ICSS=IT/(1+b)+b・(4・Dp/W²)・Qeb/(1+b)

IBSS

$$\begin{aligned} V_{eb} \leq 0 \\ IBSS = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{eb} > 0 \\ IBSS = Q_{eb}/TAU + (Q_{eb}^2/QB) \cdot (4 \cdot NB^2/Ni^2) \cdot JSNE \cdot AREA \end{aligned}$$

IMULT

$$I_{mult} = (M-1) \cdot (IMOS + ICSS) + M \cdot I_{gen}$$

電荷/静電容量方程式

ゲートソース

$$\begin{aligned} C_{gs} &= CGS \\ Q_{gs} &= CGS \cdot V_{GS} \end{aligned}$$

ドレンソース

$$\begin{aligned} W_{dsj} &= \sqrt{2 \cdot E_{si} \cdot (V_{ds} + .6) / (q \cdot NB)} \\ C_{ds} &= (AREA - AGD) \cdot E_{si} / W_{dsj} \\ Q_{ds} &= q \cdot (AREA - AGD) \cdot NB \cdot W_{dsj} \end{aligned}$$

ドレンゲート

$$\begin{aligned} V_{ds} &< V_{gs} - V_{TD} \\ C_{dg} &= C_{dgj} \cdot COXD / (C_{dgj} + COXD) \\ W_{dgj} &= \sqrt{2 \cdot E_{si} \cdot (V_{dg} + .6) / (q \cdot NB)} \\ C_{dgj} &= AGD \cdot E_{si} / W_{dgj} \\ C_x &= COXD \cdot W_{dgj} / (E_{si} \cdot AGD) \\ Q_{dg} &= (q \cdot NB \cdot E_{si} \cdot AGD^2 \cdot COXD) \cdot C_x \cdot \log(1 + C) - COXD \cdot V_{TD} \end{aligned}$$

Ccer

$$\begin{aligned} W_{bcj} &= \sqrt{2 \cdot E_{si} \cdot (V_{bc} + .6) / (q \cdot NB)} \\ C_{bcj} &= AREA \cdot E_{si} / W_{bcj} \\ C_{cer} &= Q_{eb} \cdot C_{bcj} / (3 \cdot QB) \end{aligned}$$

Cmult

$$\begin{aligned} C_{mult} &= (M-1) \cdot C_{cer} \\ Q_{mult} &= (M-1) \cdot C_{cer} \end{aligned}$$

エミッターベース

$$\begin{aligned} C_{eb} &= d(Q_{eb}) / d(V_{eb}) \\ Q_{mult} &= (M-1) \cdot Q_{cer} \end{aligned}$$

独立信号源（電圧源および電流源）

SPICEでの書式

電圧源の構文

```
Vname <plus> <minus> [[DC] dcvalue]
+ [AC magval [phaseval]]
+ [PULSE v1 v2 [td [tr [tf [pw [per]]]]]]
OR [SIN vo va [f0 [td [df [ph]]]]]
OR [EXP v1 v2 [td1 [tc1 [td2 [tc2]]]]]
OR [PWL t1 v1 t2 v2 ...[tn vn]]
OR [SFFM vo va f0 [mi [fm]]]
OR [NOISE interval [amplitude [start [end [seed]]]]]
OR [GAUSSIAN amp tpeak width [period]]
```

電流源の構文

電流源の構文は、名前の最初の文字にIを使用することを除き、電圧源と同じです。

例

```
V3 2 0 DC 0 AC 1 0 SIN 0 1 1MEG 100NS 1E6 0 ;voltage-sin
V5 3 0 DC 0 AC 1 0 EXP 0 1 100N 100N 500N 100N ;voltage-exp
I3 4 0 DC 0 AC 1 0 SFFM 0 1 1E6 .5 1E7 ;current-sffm
V15 0 DC 1 AC 1 0 NOISE 10N 1 100N 700N 1 ; voltage-noise
```

回路図での書式

これらの部品はコンポーネント/アナログ基本部品/波形ソースの信号源VとIです。

PART属性

<name>

例

V1

VALUE属性

<value>（SPICEでの書式から名前とノード番号プラス、マイナスを除いたもの）

例

```
DC 1 PULSE 0 1MA 12ns 8ns 110ns 240ns 500ns
DC 0 AC 1 0 SFFM 0 2 2E6.5 1E7
```

方程式

次に示す方程式とサンプル波形はトランジェント解析専用のものです。AC解析では、ACの $magval$ (ボルト) と $phaseval$ (度) の値を使用して小信号発生源の振幅と位相を設定します。TSTEPはプリント間隔、TSTOPは実行時間です。これらの値は解析リミットダイアログボックスから得られます。SPICEファイルの場合、Micro-Capはこれらの値を.TRAN文から取得し、解析リミットダイアログボックスへコピーします。

EXP型

名前	説明	単位	既定値
$v1$	初期値	VまたはA	なし
$v2$	波高値	VまたはA	なし
$td1$	立ち上がり遅延	S	0
$tc1$	立ち上がり時間定数	S	TSTEP
$td2$	立ち下がり遅延	S	$td1 + TSTEP$
$tc2$	立ち下がり時間定数	S	TSTEP

EXPオプションによって生成される波形値は次の通りです。

時間間隔	値
0 to $td1$	$v1$
$td1$ to $td2$	$v1 + (v2 - v1) \cdot (1 - e^{-(TIME - td1) / tc1})$
$td2$ to TSTOP	$v1 + (v2 - v1) \cdot ((1 - e^{-(TIME - td1) / tc1}) - (1 - e^{-(TIME - td2) / tc2}))$

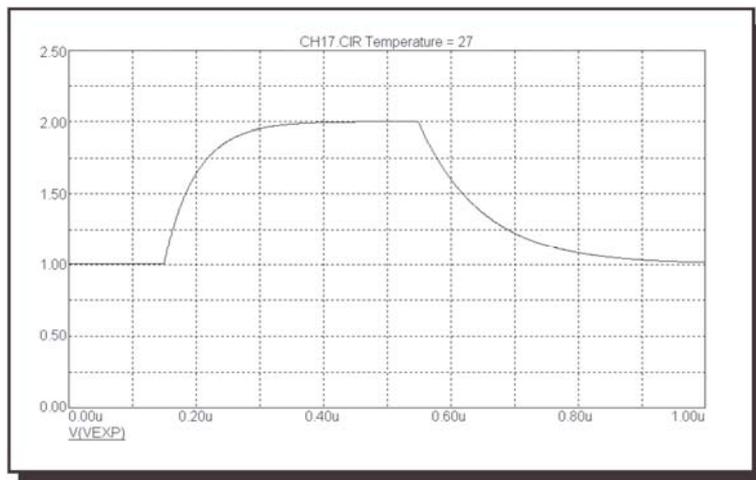


図22-10 “EXP 1 2 150n 50n 550n 100n”の波形

PULSE型

名前	説明	単位	既定値
<i>v1</i>	初期値	VまたはA	なし
<i>v2</i>	パルス値	VまたはA	なし
<i>td</i>	遅延	S	0
<i>tr</i>	立ち上がり時間	S	TSTEP
<i>tf</i>	立ち下がり時間	S	TSTEP
<i>pw</i>	パルス幅	S	TSTOP
<i>per</i>	周期	S	TSTOP

PULSEオプションによって生成される波形値は次の通りです。

From	To	値
0	<i>td</i>	<i>v1</i>
<i>td</i>	<i>td + tr</i>	$v1 + ((v2-v1) / tr) \cdot (T-td)$
<i>td + tr</i>	<i>td + tr + pw</i>	<i>v2</i>
<i>td + tr + pw</i>	<i>td + tr + pw + tf</i>	$v2 + ((v1-v2) / tf) \cdot (T-td-tr-pw)$
<i>td + tr + pw + tf</i>	<i>per</i>	<i>v1</i>

ここでFromとToは $T = \text{TIME mod per}$ の値です。波形は*per*秒ごとに繰り返します。

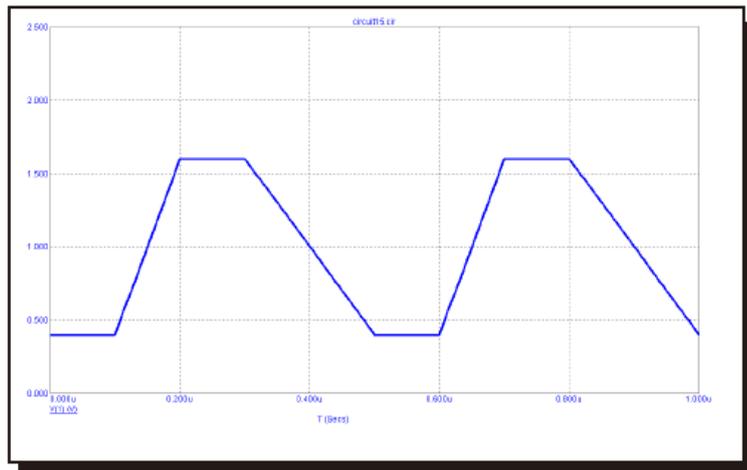


図22-11 “PULSE .4 1.6 .1u .1u .2u .1u .5u”の波形

SFFM型

名前	説明	単位	既定値
<i>vo</i>	オフセット値	VまたはA	なし
<i>va</i>	ピーク振幅	VまたはA	なし
<i>f0</i>	搬送周波数	Hz	1/TSTOP
<i>mi</i>	変調指数		0
<i>fm</i>	変調周波数	Hz	1/TSTOP

SFFMオプションによって生成される波形値は次の通りです。

$$F = vo + va \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f0 \cdot T + mi \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot fm \cdot T))$$

ここでT = トランジェント解析時間

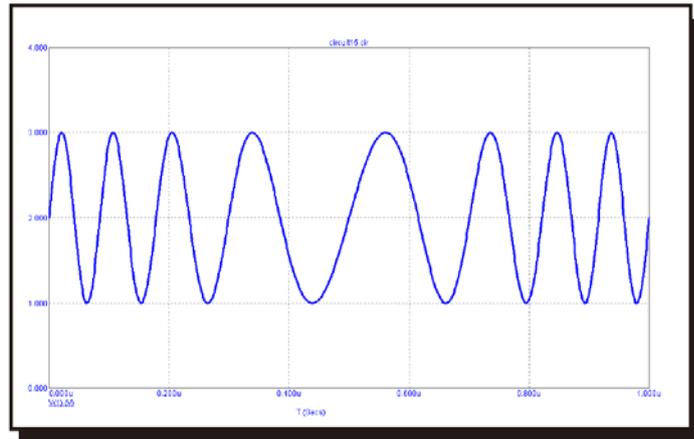


図22-12 “SFFM 2 1 8Meg 4 1Meg”の波形

SIN型

名前	説明	単位	既定値
<i>vo</i>	オフセット値	VまたはA	なし
<i>va</i>	ピーク振幅値	VまたはA	なし
<i>f0</i>	周波数	Hz	1/TSTOP
<i>td</i>	遅延	s	0
<i>df</i>	減衰定数	s ⁻¹	0
<i>ph</i>	位相	degrees	0

SINオプションによって生成される波形値は次の通りです。

From	To	値
0	<i>td</i>	<i>vo</i>
<i>td</i>	TSTOP	$vo + va \cdot \sin(2\pi(f0 \cdot (T - td) + ph / 360)) \cdot e^{-(T - td)df}$ ここでT = トランジエント解析時間

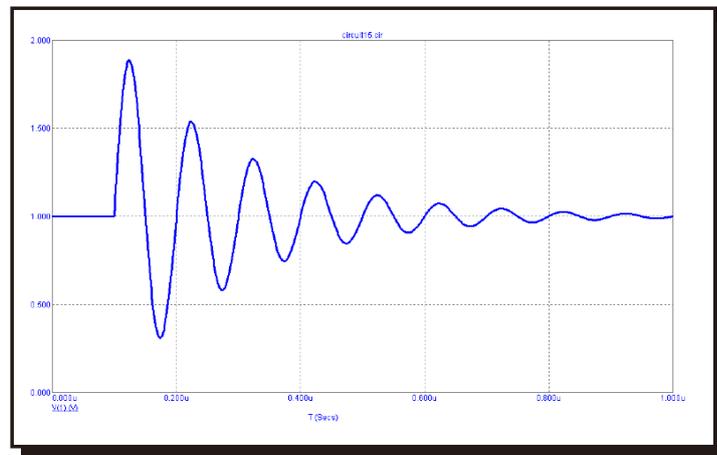


図22-13 “SIN 1 1 10Meg 110n 5E6”の波形

PWL型

一般的な形式：

```
PWL  
+ [TRIGGER =< {trigger_expression} >]  
+ [TIME_SCALE_FACTOR =<ts_value>]  
+ [VALUE_SCALE_FACTOR =<vs_value>]  
+(data_pairs OR FILE="filename")
```

ここで *data_pairs* の構文は次の通りです。

<tin>, <in> データペアはスペースまたはコンマで区切る必要があります。

ts_value があるときは、*tin* の値がすべて乗算されます。 *vs_value* があるときは *in* の値がすべて乗算されます。

波形上の1個の点の構文：

```
(<tin>, <in>)
```

波形上のm個の点の構文：

```
(<tin1122mm
```

(data_pairs)* を n 回反復する構文：

```
REPEAT FOR <n> (data_pairs)* ENDREPEAT
```

(data_pairs)* を無限に反復する構文：

```
REPEAT FOREVER (data_pairs)* ENDREPEAT
```

(filename)* の内容を n 回反復する構文：

```
REPEAT FOR <n> FILE="filename" ENDREPEAT
```

(filename)* の内容を無限に反復する構文：

```
REPEAT FOREVER FILE="filename" ENDREPEAT
```

ファイル "*filename*" はテキストファイルでなければならず、その内容には上記 *data_pairs* と同じ形式が使用されている必要があります。

trigger_expression は、真の場合は波形を有効にし、偽の場合は無効にします。

各データペアは波形の曲線上の1点を指定します。中間値は表から線形補間されます。

表中のデータペアの数に制限は定められていません。システムメモリに余裕がある限り、無限に追加することができます。

例：

単一5Vまたは振幅5ns幅パルスのVALUE属性：

```
PWL (0, 0) (5n, 0) (5n, 5) (10n, 5) (10n, 0)
```

別の単一5Vまたは振幅5ns幅パルスのVALUE属性：

```
PWL TIME_SCALE_FACTOR = 1n (0, 0) (5, 0) (5, 5) (10, 5) (10, 0)
```

単一5000Vまたは振幅5ns幅パルスのVALUE属性：

```
PWL VALUE_SCALE_FACTOR = 1E3 (0, 0) (5n, 0) (5n, 5) (10n, 5) (10n, 0)
```

10nsの矩形波のVALUE属性（20回繰り返す）：

```
PWL REPEAT FOR 20 (0, 0) (5n, 0) (5n, 5) (10n, 5) (10n, 0)
ENDREPEAT
```

10nsの矩形波のVALUE属性（永久繰り返す）：

```
PWL REPEAT FOREVER (0, 0) (5n, 0) (5n, 5) (10n, 5) (10n, 0)
ENDREPEAT
```

ファイルに含まれている内容を無限に反復する場合のVALUE属性：

```
PWL REPEAT FOREVER FILE="my pwl file" ENDREPEAT
```

トリガーされた波形のVALUE属性：

```
TRIGGER = {(V(A1)>2)AND(V(A2)>2)} 0, 0 100n, 3 200n, 2 300n, 1.5
400n, 0
```

次にPWL波形の例を示します。

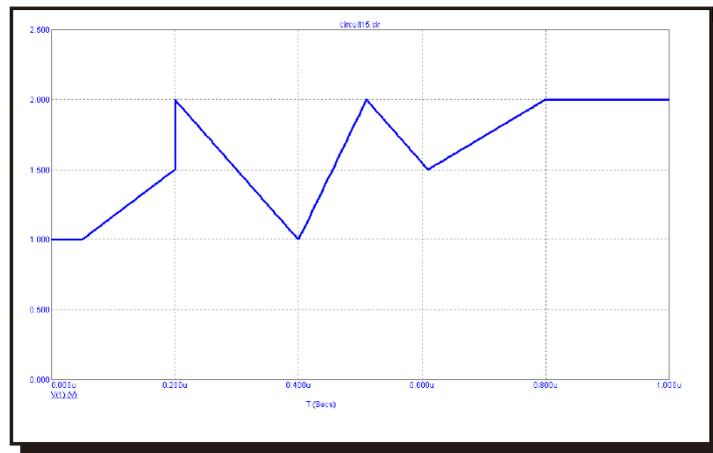


図22-14 “PWL 0.05u,1、0.20u,1.5、0.20u,2、0.40u,1、0.51u,2、0.61u,1.5、0.80u,2”の波形

ノイズのタイプ

名前	説明	単位	規定値
<i>interval</i>	値の間隔	Sec	0
<i>amplitude</i>	ノイズの振幅	VまたはA	0
<i>start</i>	ランダムな間隔の開始	Sec	0
<i>end</i>	ランダムな間隔の終了	Sec	0
<i>seed</i>	乱数のシード	なし	0

波形は $dcvalue$ から始まり、 $start_time$ までそのままです。 $Interval$ 秒後に $+amplitude/2$ と $-amplitude/2$ の間のランダムな値がベースライン $dcvalue$ に加算されます。 $Interval$ 秒後に、別のランダムな数が加算され、信号源が更新されます。このプロセスは、波形値が $dcvalu$ に戻る end_time になるまで、 $interval$ 秒毎に繰り返されます。T= $start_time$ およびT= end_time のときの値は $dcvalue$ であることに注意してください。最初のランダムな値は、T= $start_time+interval$ のところで発生し、最後のランダムな値は、T= $end-interval$ のところで発生します。

$Seed$ が ≥ 1 であれば、値はランダムであるが実行するたびに同じ値になります。そうでない場合は、値はランダムかつ実行の度に異なります。シードは、温度解析、モンテカルロ解析、ステップング解析の実行を開始するたびに初期化されます。

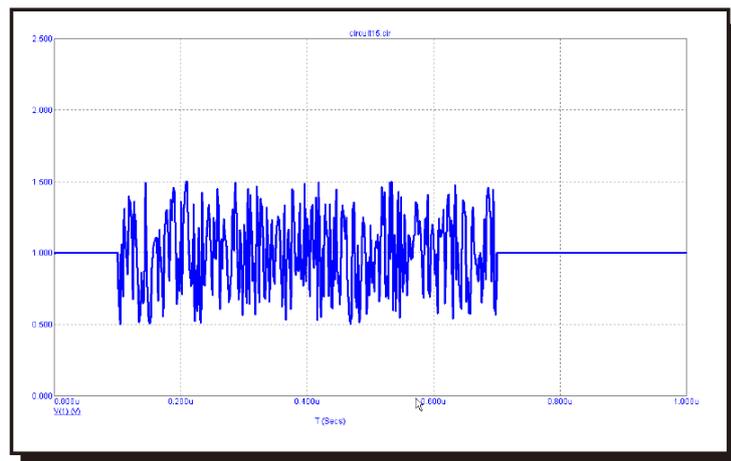


図22-15 “DC 1 AC 1 0 NOISE 2N 1 100N 700N 1”のノイズ波形

この信号源のタイプは、標準のSPICE電圧源および電流源の拡張です。

ガウス波形のタイプ

名前	説明	単位	規定値
<i>amp</i>	振幅	VまたはA	なし
<i>tpeak</i>	Aに到達する時間	Sec	なし
<i>width</i>	50%における幅	Sec	なし
<i>period</i>	繰り返し周期	Sec	0

各*period*内での波形は次のように計算されるガウス波形のパルスであり、Tはシミュレーション開始時からの経過時間です。

$$dcvalue + amp * \exp(-\text{pow}(((T \bmod period) - tpeak) / (width / 1.6652), 2))$$

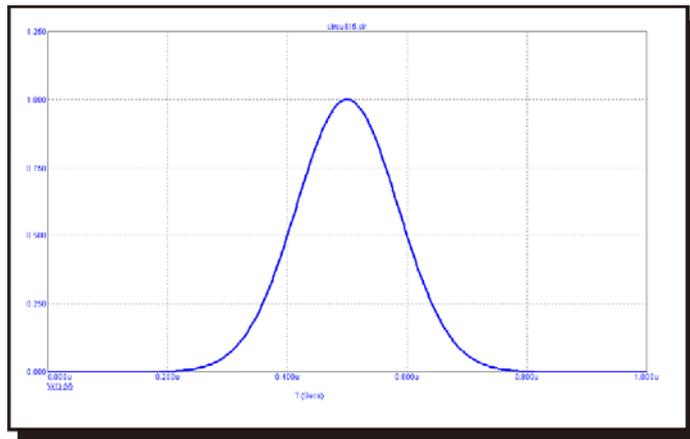


図22-16 “DC 0 AC 1 0 GAUSSIAN 1 500N 200N 1U”のガウス波形

この信号源のタイプは、標準のSPICE電圧源および電流源の拡張です。

インダクタ

SPICEでの書式

構文

L <name> <plus> <minus> [model name]
+ [inductance] [IC =<initial current>]

例

L1 2 3 1U
L2 7 8 110P IC = 2

<plus>と<minus>は正と負のノード番号です。正の電流は、プラスノードに流れ込み、マイナスノードから流れ出ます。

回路図での書式

PART属性

<name>

例

L1

INDUCTANCE属性

[inductance] [IC=<initial current>]

例

1U
110U IC = 3
 $1U / (1 + I(L2)^2)$

FLUX属性

[flux]

例

Iu*ATAN(I(L2))

FREQ属性

[fexpr]

例

1.2mh + 5m * (1 + log(F))

MODEL属性
[model name]

例
LMOD

INDUCTANCE属性

[inductance]は、単純な数か時間変化変数を含む数式です。次の数式を考えてください。

$$1u/(1+I(L2)^2)$$

I(L2)はトランジェント解析ではL2の電流値となります。AC解析前またはDC解析中では、DC動作点の計算値となります。これはAC小信号L2電流という意味ではありません。L2電流の動作点値を2アンペアとすると、インダクタンスは $1u/(1+2^2)=0.2u$ として評価され、定数0.2uがAC解析に用いられます。

FLUX属性

[flux]が使用された場合、それは時間領域変数を含む数式で、インダクタの電流とおそらくはその他の記号 (.defineまたは.param) 変数を含みます。

FLUXおよびINDUCTANCE数式の使用ルール

1) [inductance]または[flux]のどちらかを与えます。

2) [inductance]および[flux]の両方が時間変化数式である場合、ユーザはインダクタ電流に関して[inductance]が[flux]の導関数であることを確認してください。

$$[inductance]=d([flux])/dI$$

3) [inductance]が与えられておらず、[flux]が時間変化数式である場合、MC10はその導関数である $L=dX/dI$ を取ってインダクタンスの数式を作成します。

4) [inductance]が時間変化数式で、[flux]が与えられていない場合、MC10は値 $L(I)*DDT(I)$ の電圧源で構成されるインダクタに対して同等の回路を作成します。

5) [flux]が時間変化数式である場合、その数式はインダクタの電流を含まなければなりません。定数インダクタの場合でも、 $X(L)=L*I(L)$ です。

6) [*inductance*]または[*flux*]が時間変化数式として与えられている場合、MODEL属性は無視され、インダクタはKデバイス（相互インダクタンス）により参照されません。インダクタンスとフラックスの値はその数式により決定され、モデルパラメータの影響を受けません。

時間変化数式とはV(L1)またはI(L2)のようにシミュレーション実行中に変化できる変数を使用する式を意味します。

FREQ属性

<*fexpr*>を使用すると、動作点中に値を置換えします。<*fexpr*>には、単純な数か周波数領域変数による数式が使用できます。この数式はAC解析中に周波数を変化させながら評価されます。例えば、<*fexpr*>属性が次の通りであるとします。

$$10\text{mh} + I(L1) * (1 + 1\text{E-}9 * f) / 5\text{m}$$

この数式でFはAC解析の周波数変数、I(L1)はインダクタL1を流れるAC小信号電流を意味します。時間領域では、<*fexpr*>と等価な手段はないことに注意して下さい。トランジェント解析では、<*fexpr*>があっても、<*inductance*>が使用されます。

初期条件

トランジェント解析で動作点を行わない場合（またはUICフラグが設定されて場合）、インダクタを通じて初期電圧を割り当てます。

ステップの影響

INDUCTANCE属性とすべてのモデルパラメータの両方をステップすることができます。インダクタンスをステップすると、<*inductance*>が数式であってもこれを置き換えます。ステップした値はさらに二次関数や温度の影響により変更することができます。

二次関数の影響

[*model name*]を使うと、<*inductance*>はインダクタを流れる時間領域電流、Iの二次関数である係数QFで乗算されます。

$$QF = 1 + IL1 \cdot I + IL2 \cdot I^2$$

これは現バージョンではサポートしていない以前のSPICE 2G POLYキーワードのサブセットを提供することを目的とします。

温度の影響

温度係数は次のように計算します。

[*model name*]を使用している場合、<*inductance*>は温度係数TFで乗算されます。

$$TF = 1 + TC1 \cdot (T - Tnom) + TC2 \cdot (T - Tnom)^2$$

TC1は直線温度係数であり、1°Cにつき部品を100万単位としてデータシートに記載していることもあります。ppmの仕様をTC1に変換するには1E6で割ります。例えば、1°Cあたり200ppmの仕様なら、TC1値は2E-4となります。

Tはデバイスの動作温度で、Tnomは公称インダクタンスを測定する温度です。Tは解析リミットダイアログボックスの解析温度に設定します。TNOMは全般設定のTNOM値で決定されますが、これはOPTIONS文で取り消すことができます。TとTnomはT_MEASURED、T_ABS、T_REL_GLOBAL、T_REL_LOCALの各パラメータを指定して、モデル毎にカスタマイズすることができます。デバイスの動作温度とTnom温度の詳しい計算方法については、26章の「コマンド文」.MODELの項をご覧ください。

モンテカルロの影響

LOTおよびDEVのモンテカルロ許容値は[*model name*]を使用している場合にのみ利用でき、モデル文から得られます。これらは百分率または絶対値で表し、T_パラメータを除くすべてのモデルパラメータに利用できます。いずれの形式で指定しても等価なtolerance percentageに変換され、モンテカルロ係数MFの値を増減します。MFは最終的にモデルパラメータLの値を乗算します。

$$MF = 1 \pm \text{tolerance percentage} / 100$$

tolerance percentageがゼロであるか、モンテカルロを使用していないときには、MF係数は1.0に設定され、最終的な値には影響ありません。

最終的なインダクタンス、lvalueは次のように計算します。

$$lvalue = [inductance] * QF * TF * MF * L$$

ここで、Lはモデルパラメータの乗数を表す。

非線形インダクタコアおよび相互インダクタンス

Jiles-Athertonモデルを使ったコアに対して非線形磁性材料を指定するには、カップリング(K)デバイスを uses。

モデル文の書式

```
.MODEL <model name> IND ([model parameters])
```

例

```
.MODEL LMOD IND (L = 2.0 LOT = 10 % RS = 5m IL1 = 2E-3 IL2 = .0015)
```

```
.MODEL L_W IND (L = 1.0 LOT = 5 % DEV = .5 % CP = 1.8p T_ABS = 37)
```

モデルパラメータ

名前	パラメータ	単位	既定値
L	インダクタンス増幅器		1
CP	平行板コンデンサ	F	0
RS	直列抵抗	Ohms	0
IL1	線形電流係数	A ⁻¹	0
IL2	二次電流係数	A ⁻²	0
TC1	線形温度係数	°C ⁻¹	0
TC2	二次温度係数	°C ⁻²	0
T_MEASURED	測定温度	°C	
T_ABS	絶対温度	°C	
T_REL_GLOBAL	相対温度 (対現在値)	°C	
T_REL_LOCAL	相対温度 (対AKO)	°C	

CPおよびRSの寄生値が指定されている場合、インダクタに使われるモデルは次の通りです。

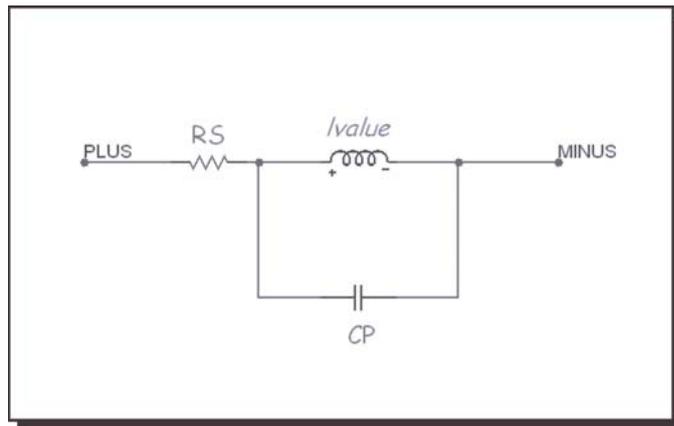


図22-17 インダクタモデル

ノイズの影響

寄生抵抗RSが指定されている場合、それは通常の方法 $I_{RS} = (4 \cdot K \cdot T / RS)^{0.5}$ で熱ノイズ電流を発生させます。

定電流源

書式

PART属性
<name>

例
I1
CURRENT_SOURCE

VALUE属性
<value>

例
1U
10

定電流源は一定のDC電流を生成します。SPICE独立電流源として内部的に実現されます。

JFET

SPICEでの書式

構文

J <name> <drain> <gate> <source> <model name>
+ [area] [OFF] [IC = vds [, vgs]]

例

J1 5 7 9 2N3531 1 OFF IC = 1.0, 2.5

回路図での書式

PART属性

<name>

例

J1

VALUE属性

[area] [OFF] [IC =<vds>[, vgs]]

例

1.5 OFF IC = 0.05, 1.00

MODEL属性

<model name>

例

JFET_MOD

[area]値は規定値が1で、表に示す通りにパラメータを乗算・除算します。
[OFF]キーワードは動作点の最初の反復でJFETをオフにします。初期条件[IC =<vds>[, vgs]]は、ドレイン-ソース間とゲート-ソース間の初期電圧を割り当てます。デバイスは、VTOが負の場合は減損モードで、VTOが正の場合は強化モードです。SPICE 2G.6モデルに準拠します。モデルについては、参考文献(2)に詳しく説明されています。

モデル文書式

.MODEL <model name> NJF ([model parameters])

.MODEL <model name> PJF ([model parameters])

例

```
.MODEL J1 NJF (VTO = -2 BETA = 1E-4 LAMBDA = 1E-3)
.MODEL J2 PJF (VTO = 2 BETA = .005 LAMBDA = .015)
```

モデルパラメータ

名前	パラメータ	単位	既定値	area
VTO	スレッショルド電圧	V	-2.00	
BETA	相互コンダクタンスパラメータ	A/V ²	1E-4	*
LAMBDA	チャンネル長変調	V ⁻¹	0.00	
RD	ドレインオーム抵抗	Ω	0.00	/
RS	ソースオーム抵抗	Ω	0.00	/
CGS	ゼロバイアスゲートソース間接合容量	F	0.00	*
CGD	ゼロバイアスゲートドレイン間接合容量	F	0.00	*
M	ゲート接合傾斜係数		0.50	
PB	ゲート接合電位	V	1.00	
IS	ゲート接合飽和電流	A	1E-14	*
FC	順バイアス空乏係数		0.50	
VTOTC	VTO温度係数	V/°C	0.00	
BETATCE	BETA指数温度係数	%/°C	0.00	
XTI	IS温度係数		3.00	
KF	フリッカーノイズ係数		0.00	
AF	フリッカーノイズ指数		1.00	
T_MEASURED	測定温度	°C		
T_ABS	絶対温度	°C		
T_REL_GLOBAL	相対温度 (対現在値)	°C		
T_REL_LOCAL	相対温度 (対AKO)	°C		

モデル方程式

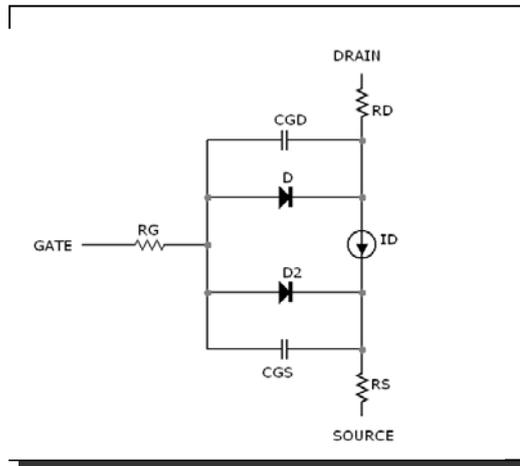


図22-18 JFETモデル

注釈・定義

BETA、CGS、CGD、ISの各モデルパラメータは[area]で乗算され、モデルパラメータRD、RSは[area]で除算されてから下記の方程式で使用されます。

Vgs = 内部ゲート-ソース間電圧
Vds = 内部ドレイン-ソース間電圧
Id = ドレイン電流

温度依存性

Tはデバイスの動作温度で、Tnomはモデルパラメータを測定する温度です。どちらもケルビン単位で示します。Tは解析リミットダイアログボックスの解析温度に設定します。TNOMは全般設定のTNOM値で決定されますが、これは.OPTIONS文で取り消すことができます。TとTnomはT_MEASURED、T_ABS、T_REL_GLOBAL、T_REL_LOCALの各パラメータを指定して、モデル毎にカスタマイズすることができます。デバイスの動作温度とTnom温度の計算方法の詳細については、26章「コマンド文」の.MODELの節を参照してください。

$VTO(T) = VTO + VTOTC \cdot (T - Tnom)$
 $BETA(T) = BETA \cdot 1.01^{BETACE \cdot (T - Tnom)}$
 $IS(T) = IS \cdot e^{1.11 \cdot (T / Tnom - 1) / VT} \cdot (T / Tnom)^{XTI}$
 $EG(T) = 1.16 \cdot .000702 \cdot T^2 / (T + 1108)$
 $PB(T) = PB \cdot (T / Tnom) - 3 \cdot VT \cdot \ln((T / Tnom)) - EG(Tnom) \cdot (T / Tnom) + EG(T)$
 $CGS(T) = CGS \cdot (1 + M \cdot (.0004 \cdot (T - Tnom) + (1 - PB(T) / PB)))$
 $CDS(T) = CDS \cdot (1 + M \cdot (.0004 \cdot (T - Tnom) + (1 - PB(T) / PB)))$

電流の方程式

遮断領域 : $Vgs \leq VTO(T)$

$$Id = 0$$

飽和領域 : $Vds > Vgs - VTO(T)$

$$Id = BETA(T) \cdot (Vgs - VTO(T))^2 \cdot (1 + LAMBDA \cdot Vds)$$

線形領域 : $Vds < Vgs - VTO(T)$

$$Id = BETA(T) \cdot Vds \cdot (2 \cdot (Vgs - VTO(T)) - Vds) \cdot (1 + LAMBDA \cdot Vds)$$

容量の方程式

$V_{gs} \leq FC \cdot PB(T)$ の場合

$$C_{gs} = CGS(T) / (1 - V_{gs} / PB(T))^M$$

そのほかの場合

$$C_{gs} = CGS(T) \cdot (1 - FC \cdot (1 + M) + M(V_{gs} / PB(T))) / (1 - FC)^{(1-M)}$$

$V_{gd} \leq FC \cdot PB(T)$ の場合

$$C_{gd} = CGD(T) / (1 - V_{gd} / PB(T))^M$$

そのほかの場合

$$C_{gd} = CGD(T) \cdot (1 - FC \cdot (1 + M) + M \cdot (V_{gd} / PB(T))) / (1 - FC)^{(1-M)}$$

ノイズ

抵抗 R_S と R_D は、熱ノイズ電流を発生します。

$$I_{rd}^2 = 4 \cdot k \cdot T / R_D$$

$$I_{rs}^2 = 4 \cdot k \cdot T / R_S$$

ドレイン電流はノイズ電流を発生します。

$$I^2 = 4 \cdot k \cdot T \cdot gm^2 / 3 + KF \cdot Id^{AF} / \text{Frequency}$$

ここで $gm = \partial Id / \partial V_{gs}$ (動作点で)

K (相互インダクタンス/非線形磁気モデル)

SPICEでの書式

K <name> L <inductor name> <L <inductor name>>*
+ <coupling value>

K <name> L <inductor name>* <coupling value>
+ <model name>

例

K1 L1 L2 .98

K1 L1 L2 L3 L4 L5 L6 .98

回路図での書式

PART属性

<name>

例

K1

INDUCTORS属性

<inductor name> <inductor name>*

例

L10 L20 L30

COUPLING属性

<coupling value>

例

0.95

MODEL属性

[model name]

例

K_3C8

<model name>を使用する場合、INDUCTORS属性には1つのインダクタ名しかおけません。モデル名を使用しない場合、INDUCTORS属性には2つ以上のインダクタ名を置く必要があります。

Kデバイスは、2つ以上の線形インダクタ間の相互インダクタンスを指定します。MODEL属性を使用して、非線形の磁気コアを指定できます。

1/GMINの抵抗インピーダンスを、結合インダクタの正のピン間に追加し、DCの収束の問題を回避します。

結合線形インダクタ

このモードでは、Kデバイスは複数のインダクタ間で磁気結合を指定する手段を提供します。結合を定義する方程式を次に示します。

$$V_i = L_i I_i' + M_{ij} I_j' + M_{jk} I_k' + \dots$$

ここで、 I_i は、 i 番目のインダクタのプラスの端子に流れ込む電流を表し、 I_i' はその時間導関数を表します。リニアなインダクタでは<model name>は使われません。

非線形磁気コア

<model name>を指定すると、以下の点が変わります。

1. 線形Kデバイスは非線形磁気コアになります。コアのモデルはJiles-Athertonモデルの変形です。
2. インダクタは巻き線と解釈され、各インダクタの<value>は巻き線の巻き数として解釈されます。この場合<value>は定数で、数式は認められません。
3. 結合インダクタのリストには、インダクタが1つしかない場合があります。この方法を使って別のインダクタに結合せずに、1つの磁気コアデバイスを作ります。
4. モデルパラメータを定義するのにMODEL文が必要です。あるいは、.LIB文が参照するモデルライブラリに<model name>がある必要があります。

非線形磁気モデルはJiles-Athertonモデルを基礎としています。このモデルはドメイン壁の曲げと変換に関する現代理論を基礎としています。無ヒステリシスの磁化曲線は平均場のアプローチで記述されます。磁気ドメインは、すべてバルクの磁化・磁場に結合されます。無ヒステリシス曲線は、ドメイン壁のピニングがないときの磁化曲線と考えられます。もちろん、このようなピニングは、欠陥のある位置で主に発生します。ピニングから生ずるヒステリシス効果は、単純な摩擦力としてモデル化され、定数Kで表されます。これによる状態方程式により、現実的な強磁性体モデルが得られます。

コアは、状態可変の非線形インダクタとしてモデル化されます。
Micro-Capは磁束密度 (B場) および磁場 (H場) について差分方程式を解き、これらの値から端子の電流・電圧を導きます。磁束密度と磁場の値は、トランジェント解析の出力変数として利用可能です。

磁束密度と磁場のプロット

B(L1)は、インダクタL1の磁束密度をCGS単位系のガウスでプロット。
H(L1)は、インダクタL1の磁場をCGS単位系のエルステッドでプロット。

BSI(L1)は、インダクタL1の磁束密度をSI単位系のテスラでプロット。
HSI(L1)は、インダクタL1の磁場をSI単位系のA/mでプロット。

回路にコアをおくには、下記の手順を使います。

1. 以下の属性を持つインダクタを回路におきます。

PART	L1
INDUCTANCE	1

値1は巻き数を示します。

2. 以下の属性を持つKデバイスを回路におきます。

PART	K1
INDUCTORS	L1
COUPLING	1.0
MODEL	KCORE

ステップ2により、インダクタL1は、標準の線形モデルから、非線形コアに変更され、モデル文によってプロパティが制御されます。シングルコアのデバイスと、BHループプロット方法の例としては、回路ファイルCOREを参照ください。

回路に2つの磁気結合したコアをおくには、下記の手順を使います。

1. 以下の属性により最初のインダクタを回路におきます。

PART	L1
INDUCTANCE	一次巻き数

2. 以下の属性により2番目のインダクタを回路におきます。

PART	L2
INDUCTANCE	二次巻き数

3. 以下の属性によりKデバイスを回路におきます。

PART	K2
------	----

INDUCTORS	L1 L2
COUPLING	L1とL2の結合係数 (0~1.0)
MODEL	KCORE

以上の手順により、KCOREのモデル文で磁気特性が制御される2つの結合したコアが作成されます。複数の結合したコアのデバイスの例については、サンプル回路CORE3をご覧ください。

モデル文書式

.MODEL <model name> CORE ([model parameters])

例

.MODEL K1 CORE (Area = 2.54 Path = .54 MS = 2E5)
 .MODEL K2 CORE (MS = 2E5 LOT = 25 % GAP = .001)

モデルパラメータ

名前	パラメータ	単位	既定値
Area	平均磁気断面積	cm ²	1.00
Path	平均磁気パス長	cm	1.00
Gap	有効エアギャップ長	cm	0.00
MS	飽和磁化	a/m	4E5
A	形状パラメータ	a/m	25
C	ドメイン壁フレキシング定数		.001
K	ドメイン壁曲げ定数		25

モデルのパラメータでは、MKSまたはSI単位系 (a/m) とCGS単位系 (cm とcm²) が混在しています。

モデル方程式

定義と方程式

計算はすべてMKS (SI) 単位系で行います。

μ_0 = 自由空間の透磁率=4*PI*1e-7 Webers/Amp-meter

N = 巻数

Ma = 無ヒステリシス磁化

H = コア内の磁界

B = コア内の磁束密度

M = 磁区整列による磁化

I = コア電流

V = コア電圧

Ma = MS · H / (|H| + A)

Sign = K (dH/dt > 0.0のとき)

Sign = - K (dH/dt <= 0.0のとき)

$$dM/dH = (Ma-M) / ((\text{Sign}) \cdot (1 + C)) + (C / (1 + C)) \cdot dMa / DH$$

$$B = \mu_0 \cdot (H + M)$$

$$L = \mu_0 \cdot (1 + dM/dH) \cdot N^2 \cdot \text{AREA} / \text{PATH}$$

$$V = L \cdot dI / dt$$

データシート値からモデルパラメータを導くにはMODELプログラムを使います。手作業では以下の手順で行います。

1. 多くのデータシートは、Bsatの値をガウスで記載しています。必要なMSの値をA/mの単位で計算するには、ガウスによるBsat値を79.577で乗算します。これによりMSに必要な値がA/mの単位で得られます。

2. サンプル回路CORE.CIRを実行してA、K、Cの値を調整し、データシートのBH曲線に適合させます。各パラメータ値を大きくしたときの効果は、次のとおりです。

パラメータ	μ	HC	BR
A	-	+	+
K		+	+
C	+	-	-

ここで μ は傾きもしくは透磁率、HCは保磁力値、BRは残留磁気です。

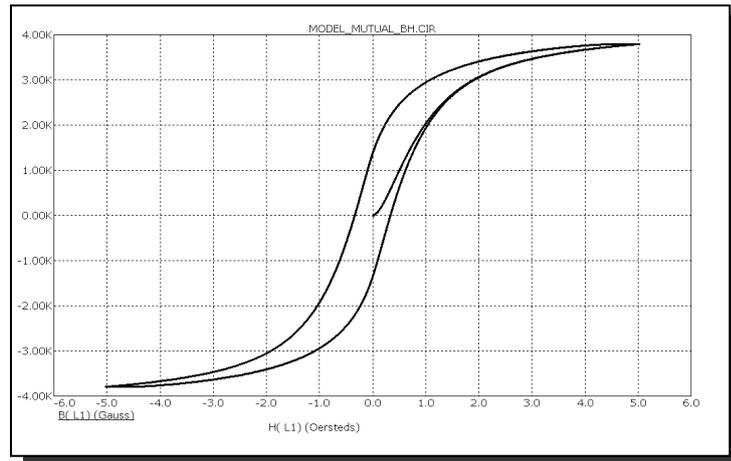


図22-19 代表的なBHループ

ラプラス信号源

回路図での書式

PART属性

<name>

例

FIL1
LOW1

LAPLACE属性 (LFIOI, LFIOFV, LFVOV, LFVOFI)

<expression>

例

$1 / (1 + .001 * S + 1E-8 * S * S)$

FREQ属性 (LTIOI, LTIOFV, LTVOV, LTVOFI)

<(f1, m1, p1) (f2, m2, p2) ... (fn, mn, pn)>

例

(0.0, 1.0, 0.0) (1Meg, 0.9, -10) (10Meg, 0.2, -35)

KEYWORD属性 (FREQ属性と一緒に使用)

[[DB | MAG] [DEG | RAD]] | [R_I]

例

DB RAD
MAG DEG
R_I

SPICEにはラプラス信号源はありません。従属信号源のEまたはGをお使
いください。

キーワードDB、MAG、DEG、RAD、R_Iは次のように解釈されます。

DB：振幅値はデシベルで表します。（規定値）

MAG：振幅値は真の振幅です。

DEG：度の値は度で示します。（規定値）

RAD：度の値はラジアンで示します。

R_I：表には実数部と虚数部があります。

ラプラス信号源は線形伝達関数によって表されます。2つの基本形があり、伝達関数の計算の仕方によって区別されます。数式型は、代数式を使って伝達関数を複素周波数変数Sで記述します。数表型は、伝達関数を記述する順序付けられた3種類のデータを組にした数表を使います。3種類のデータは伝達関数の周波数・振幅・位相からなります。

AC解析の場合、伝達関数の値はSを含む代数式、 $S=2\pi \cdot \text{frequency} \cdot j$ から計算するか、または与えられた数表からの補間によって求められます。

DC解析の場合、伝達関数の値は与えられた、Sを含む代数式(ただし $S=0$)から計算するか、または与えられた最低周波数データポイントを使って数表から求められます。

トランジェント解析の場合、まず最初に関数のインパルス応答を決定する必要があります。インパルス応答は伝達関数の逆フーリエ変換をして求めます。トランジェント解析の実行中は、信号源の入力ノードにおける波形とインパルス応答波形の畳み込みにより出力が得られます。このようにして、ラプラス信号源は単純な事前定義波形だけでなく、任意の入力波形に精度良く応答することが可能になります。

この手順の精度は、インパルス応答の時間点の数や、関数のバンド幅により制限されます。実際問題として、メモリと時間からくる制約から、インパルス応答の時間点は8192ポイントまでしか計算できません。使用される時間点の数、NはRELTOLの値の対数関数となります。

$$N = 2^{6 - \log_{10}(\text{RELTOL})}$$

例えばRELTOL=.0001では、512の時間点が計算されます。

原則として、これらの信号源では、狭帯域の関数の場合に最良のトランジェント解析結果が得られます。微分器 $f(s) = s$ や積分器 $f(s) = 1/s$ のような広帯域の関数は、ディスクリット部品でもっともよくモデリングされます。サンプル回路INT(積分器マクロ)およびDIF(微分器マクロ)を参照ください。

数式型

数式型ラプラス信号源の入力変数と出力変数および定義名は次の通りです。

信号源の種類	入力	出力	定義
電流制御電流源	I	I	LFIOFI
電流制御電圧源	I	V	LFVOFI
電圧制御電圧源	V	V	LFVOFV
電圧制御電流源	V	I	LFIOFV

以下に、いくつかの例を示します。

$1/(1 + .001 * S)$	単純なローパスフィルタ
$1/(1 + .001 * s + 1E-8 * S * S)$	二次フィルタ
$\exp(-\text{pow}((C * S * (R + S * L)), .5))$	単純な損失性伝送路の方程式。R、L、Cは.define文で定数を指定。

具体的には、回路図L1、L2、L3を参照してください。

数表型

数表型では、伝達関数は数表で定義します。数表には、伝達関数の周波数、振幅および位相を示す、順序付けられた3つ組にした数値が入っています。パラメータ文の一般書式は次の通りです。

(F1, X1, Y1) (F2, X2, Y2) ... (FN, XN, YN)

Fiはヘルツ単位のi番目の周波数値。

Xiはi番目の振幅値または実数値。

Yiはi番目の位相値または虚数値。

数表を作る場合、下記の6つの規則が適用されます。

1. 値はカンマで区切ります。3つ組のデータは括弧で囲み、スペースで区切ります。
2. 3つ組のデータは周波数の昇順に並べる必要があります。
3. 入力がF1より小さい場合、関数は常にX1、Y1です。
4. 入力がFNより大きい場合、関数は常にXN、YNです。

5. この関数は、テーブルの値の間で、周波数について対数的に補間されます。

6. 数表は、DC周波数またはゼロ周波数に対して1つのデータポイントを含んでいる必要があります。

数表は、パラメータ行としても直接入力でき、あるいはdefine文を使って間接的に入力することもできます。具体的には、回路図P1を参照してください。

入力変数と出力変数および定義名は次の通りです。

<u>信号源の種類</u>	<u>入力</u>	<u>出力</u>	<u>定義</u>
電流制御電流源	I	I	LTIOFI
電流制御電圧源	I	V	LTVOFI
電圧制御電圧源	V	V	LTVOFV
電圧制御電流源	V	I	LTIOFV

マクロ

回路図での書式

PART属性

<name>

例

2N5168

FILE属性

<macro circuit name>

例

SCR

マクロはサブサーキットを回路図にしたものです。これらは回路構成ブロックで、ほかの回路から使用するためにディスクに保存されています。

マクロの作成 :

1. 回路を作成します。マクロピンとして使いたいノードにグリッドテキストを置きます。数値パラメータをマクロに渡したいときには、属性やモデルパラメータ値の記号変数を使って、これらの名前を.parameters文で宣言します。拡張子.MACが付いた、希望するマクロ名でライブラリホルダーに回路を保存します。

2. 次のようにコンポーネントライブラリにコンポーネントを入力します。

- ・名前フィールドのマクロファイル名を入力します。
- ・適切なシェイプを選択決定します。
- ・定義フィールドのマクロを選択決定します。
- ・シェイプ作図領域をクリックし、シェイプにピンをおきます。ピンには、マクロ回路でノードにつけたテキスト名と同じ名前を付けます。
- ・省略可能な.MACRO文を*.LIBファイルの一つに追加し、長いパラメータのリストの代わりに短い名前を使用します。

または、ステップ1のような回路を作成し、**編集/ボックス/マクロの作成**でマクロの作成コマンドを使います。これでステップ2が自動的に操作されます。

マクロの使用方法：

コンポーネントライブラリからマクロを選択します。使いたい回路に配置し、パラメータがあれば編集します。**.MACRO**文を使用すると**2N5168**などの短い名前を作り、マクロファイルとパラメータセットの組み合わせの別名として用いることができます。

マクロコマンドの書式は次の通りです。

```
.MACRO <alias> <macro circuit name (parameter list)>
```

この文により、**SCR**のような汎用マクロを、**2N5168**のような特定の部品のモデルに変換できます。これにより、部品に**2N5168**などの意味のある簡単な名前でアクセスすることができます。**.MACRO**文の詳細については、26章「コマンド文」をご覧ください。

マクロが回路に配置されると、マクロ回路のファイルが読み込まれ、ファイル内の**.PARAMETERS**文から、パラメータを持つかどうか決定し、属性ダイアログボックスにパラメータと属性値を表示します。パラメータ値は、希望の値に編集してください。

MOSFET

SPICEでの書式

構文

```
M <name> <drain> <gate> <source> <bulk> <model name>  
+ [M =<mval>]  
+ [L =<length>] [W =<width>] [AD =<drainarea>][AS =<sourcearea>]  
+ [PD =<drainperiphery>] [PS =<sourceperiphery>]  
+ [NRD =<drainsquares>] [NRS =<sourcesquares>]  
+ [NRG =<gatesquares>] [NRB =<bulksquares>]  
+ [OFF] [IC =<vds>[, vgs [, vbs]]]
```

例

```
M1 5 7 9 0 IRF350 L = 1.5E-6 W = 0.25 OFF IC = 25.0, 8.0
```

回路図での書式

PART属性

<name>

例

```
M1
```

VALUE属性

```
[M =<mval>]  
+ [L =<length>] [W =<width>] [AD =<drainarea>][AS =<sourcearea>]  
+ [PD =<drainperiphery>] [PS =<sourceperiphery>]  
+ [NRD =<drainsquares>] [NRS =<sourcesquares>]  
+ [NRG =<gatesquares>] [NRB =<bulksquares>]  
+ [OFF] [IC =<vds>[, vgs [, vbs]]]
```

例

```
M = 20 NRD = 10 NRS = 25 NRG = 5  
L = .35u IC = .1, 2.00  
L = .4u W = 2u OFF IC = 0.05, 1.00
```

MODEL属性

<model name>

例

```
IRF350  
MM150
```

サポートされるモデル

レベル	モデル名
1	Schichman-Hodges
2	MOS2 Grove-Frohmanモデル (SPICE3F5)
3	MOS3経験モデル (SPICE3F5)
4	BSIM1オリジナルBSIMモデル (バークレイショートチャネル1GFET)
5	BSIM2第2世代BSIMモデル
8または49	BSIM3第3世代BSIM3v3.3 (7/29/2005)
14	BSIM4第4世代BSIM4.5.0 (7/29/2005)
44	スイス工科大学開発のEKV2.6電荷ベースショートチャネルモデル。このMOSFETの節の後のMOSFET (EKV) の節を参照のこと。
各種	Philips MOSFETモデル。EKVセクションに続く Philips MOSFETセクションを参照してください。

<width>と<length>はデバイスの側方拡散前の描画寸法で、メートル単位です。これらはデバイス属性、モデルパラメータとして、または全般規定値DEFWおよびDEFLを使用することにより指定できます。レベル1~3およびBSIMの1~3ではDEFNRDとDEFNRSはデフォルトドレインと信号源スクウェアを定義し、DEFPSはデフォルトドレインと信号源周辺を定義します。デバイス属性はモデルパラメータに優先し、モデルパラメータは全般設定ダイアログボックスまたはローカルの.OPTIONS文からのグローバル値に優先します。

初期値[IC =<vds>[, vgs [, vbs]]]は、トランジェント解析で動作点を行わない場合 (またはUICフラグが設定されている場合) に、ドレイン-ソース間、ゲート-ソース間、ボディ-ソース間の初期電圧を割り当てます。[OFF] キーワードは、DC動作点の最初の反復においてデバイスを強制的にオフにします。

<sourceperiphery>と<drainperiphery>は拡散外周[m]、<sourcearea>と<drainarea>は拡散面積[m²]です。ソースとドレインの接合容量は、それぞれモデルパラメータCBSとCBDによって直接指定できます。CBSとCBDがない場合、面積と外周から計算されます。

寄生抵抗はモデルパラメータRS、RD、RG、RBで直接指定できます。省略されている場合は、面抵抗率RSHとsquare項<drainsquares>、<sourcesquares>、<gatesquares>、<bulksquares>の積として計算されます。これらの項が省略あるいはゼロで、かつ、モデルパラメータRS、RD、RG、RBが省略あるいはゼロの場合、寄生抵抗はモデルに含まれません。<drainsquares>と<sourcesquares>の規定値は、1.0です。他のパラメータ行の値の規定値はゼロです。

<mv>は乗数（規定値は1）で、多数のデバイスを並列に接続したときの影響をシミュレートします。これは実効的な幅、オーバーラップ、接合容量、接合電流を乗算します。ドレインとソースのエリア、デバイスの幅、2つの外周は乗算され、抵抗RS、RD、RG、RBは除算されます。

モデル文の書式

```
.MODEL <model name> NMOS ([model parameters])
.MODEL <model name> PMOS ([model parameters])
```

例

```
.MODEL M1 NMOS (W = 0.2 L = 0.8U KP = 1E-6 GAMMA = .65)
.MODEL M2 PMOS (W = 0.1 L = 0.9U KP = 1.2E-6 LAMBDA = 1E-3)
```

共通のモデルパラメータ

これらのモデルパラメータはレベル 1、2、3、4、5、8 に共通です。レベル1~5は共通の規定値を共有します。レベル8の規定値は、最後の列に示します。

名前	パラメータ	単位	規定値	
			(レベル1-5)	(レベル8)
LEVEL	モデルレベル		1-5	8
L	チャンネル長	m	DEFL	DEFL
W	チャンネル幅	m	DEFW	DEFW
RDS	ドレイン-ソースシャント抵抗	Ω	∞	∞
RD	ドレインオーム抵抗	Ω	0.00	0.00
RS	ソースオーム抵抗	Ω	0.00	0.00
RG	ゲートオーム抵抗	Ω	0.00	0.00
RB	バルクオーム抵抗	Ω	0.00	0.00
RSH	ソースとドレインの面積抵抗率	Ω/sq	0.00	0.00
CGDO	ゲート-ドレイン間オーバーラップ容量	F/m	0.00	0.00
CGSO	ゲート-ソース間オーバーラップ容量	F/m	0.00	0.00
CGBO	ゲート-バルク間オーバーラップ容量	F/m	0.00	0.00
CBD	バルクp-nゼロバイアスB-D容量	F	0.00	0.00
CBS	バルクp-nゼロバイアスB-S容量	F	0.00	0.00
CJ	バルクp-nゼロバイアス底面容量	F/m ²	0.00	5E-4
CJSW	バルクp-nゼロバイアス側壁容量	F/m	0.00	5E-10
MJ	バルクp-nゼロバイアス底面傾斜係数		0.50	0.50
MJSW	バルクp-nゼロバイアス側壁傾斜係数		0.33	0.33
TT	バルクp-n transit 時間	S	0.00	0.00
IS	バルクp-n飽和電流	A	1E-14	1E-14
N	バルクp-n放出係数		1.00	1.00
JS	Sバルクp-n底面電流密度	A/m ²	0.00	1E-4

JSWまたはJSSW	バルク p-n底部電流密度	A/m	0.00	0.0
PB	バルク p-n底面電位	V	0.80	1.00
PBSW	バルク p-n側壁電位	V	PB	1.00
KF	フリッカーノイズ係数		0.00	0.00
AF	フリッカーノイズ指数		1.00	1.00
FC	順バイアス空乏係数		0.50	0.50
GDSNOI	チャンネルショットノイズ計数		1.0	1.0
NLEV	ノイズ方程式セレクタ		2.0	なし
T_MEASURED	測定温度	°C		
T_ABS	絶対温度	°C		
T_REL_GLOBAL	相対温度 (対現在値)	°C		
T_REL_LOCAL	相対温度 (対AKO)	°C		

33個の共通パラメータに加えて、以下の表のパラメータが、レベル1, 2, 3の各モデルで使用されます。

名前	パラメータ	単位	規定値	レベル
LD	lateral拡散長	m	0.00	1,2,3
WD	lateral拡散幅	m	0.00	1,2,3
KP	process transconductance	A/V ²	2E-5	1,2,3
VTO	ゼロバイアス閾値電圧	V	0.00	1,2,3
GAMMA	ボディ効果係数	V ^{0.5}	0.00	1,2,3
PHI	表面反転電位	V	0.60	1,2,3
LAMBDA	チャンネル長変調	V ⁻¹	0.00	1,2
TOX	薄層酸化物の厚さ	m	1E-7	1,2,3
UO	表面移動度	cm ² /V/s	600	2,3
NEFF	全チャンネル電荷係数		1.0	2
NSUB	基板ドーピング密度	cm ⁻³	None	2,3
NSS	表面状態密度	cm ⁻²	None	2,3
NFS	速い表面状態密度	cm ⁻²	None	2,3
XJ	金属接合深度	m	0.00	2,3
VMAX	キャリアの最高ドリフト速度	m/s	0.00	2,3
DELTA	VTOへの幅の影響		0.00	2,3
THETA	移動度変調	V ⁻¹	0.00	3
ETA	VTOでの静的フィードバック		0.00	3
KAPPA	飽和電界係数		0.20	3
TPG	ゲート材料の種類		1.00	2,3
UCRIT	移動度崩壊臨界磁界	V/cm	1E4	2
UEXP	移動度崩壊指数		0.00	2
UTRA	横方向臨界電圧係数	m/s	0.00	2

レベル1、2、3のモデル方程式

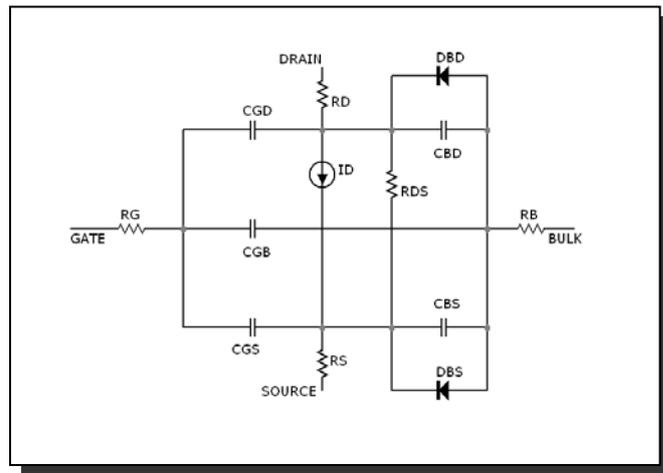


図22-20 レベル1、2、3のMOSFETモデル

定義

V_{gs} = ゲート-ソース間内部電圧
 V_{ds} = ドレイン-ソース間内部電圧
 I_d = ドレイン電流
 $V_T = k \cdot T/q$

温度の影響

T はデバイスの動作温度で T_{nom} はモデルパラメータを測定する温度です。どちらもケルビン単位で示します。 T は解析リミットダイアログボックスの解析温度に設定します。 T_{nom} は全般設定の T_{nom} 値で決定されますが、これは`.OPTIONS`文で取り消すことができます。 T と T_{nom} は`T_MEASURED`、`T_ABS`、`T_REL_GLOBAL`、`T_REL_LOCAL`の各パラメータを指定して、モデル毎にカスタマイズすることができます。デバイスの動作温度と T_{nom} 温度の詳しい計算方法については、26章「コマンド文」の`.MODEL`の項をご覧ください。

$$EG(T) = 1.16 - .000702 \cdot T \cdot T / (T + 1108)$$

$$IS(T) = IS \cdot e^{(EG(T_{nom}) \cdot T / T_{nom} - EG(T)) / V_T}$$

$$JS(T) = JS \cdot e^{(EG(T_{nom}) \cdot T / T_{nom} - EG(T)) / V_T}$$

$$JSSW(T) = JSSW \cdot e^{(EG(T_{nom}) \cdot T / T_{nom} - EG(T)) / V_T}$$

$$KP(T) = KP \cdot (T / T_{nom}) - 1.5$$

$$UO(T) = UO \cdot (T / T_{nom}) - 1.5$$

$$PB(T) = PB \cdot (T / T_{nom}) - 3 \cdot V_T \cdot \ln((T / T_{nom})) - EG(T_{nom}) \cdot (T / T_{nom}) + EG(T)$$

$$PBSW(T) = PBSW \cdot (T / T_{nom}) - 3 \cdot V_T \cdot \ln((T / T_{nom})) - EG(T_{nom}) \cdot (T / T_{nom}) + EG(T)$$

$$PHI(T) = PHI \cdot (T / T_{nom}) - 3 \cdot V_T \cdot \ln((T / T_{nom})) - EG(T_{nom}) \cdot (T / T_{nom}) + EG(T)$$

$$\begin{aligned} \text{CBD}(T) &= \text{CBD} \cdot (1 + \text{MJ} \cdot (.0004 \cdot (T - T_{\text{nom}}) + (1 - \text{PB}(T)/\text{PB}))) \\ \text{CBS}(T) &= \text{CBS} \cdot (1 + \text{MJ} \cdot (.0004 \cdot (T - T_{\text{nom}}) + (1 - \text{PB}(T)/\text{PB}))) \\ \text{CJ}(T) &= \text{CJ} \cdot (1 + \text{MJ} \cdot (.0004 \cdot (T - T_{\text{nom}}) + (1 - \text{PB}(T)/\text{PB}))) \\ \text{CJSW}(T) &= \text{CJSW} \cdot (1 + \text{MJ} \cdot (.0004 \cdot (T - T_{\text{nom}}) + (1 - \text{PB}(T)/\text{PB}))) \end{aligned}$$

寄生リード抵抗には温度依存性はありません。

電流の方程式

ここではレベル1 N-チャンネルのドレイン方程式だけを示します。レベル2およびレベル3の電流の方程式はあまりに複雑でここには示すことができません。詳しくお知りになりたい方は、参考文献(22)をご覧ください。

$$\begin{aligned} K &= K_P \cdot W / (L - 2 \cdot LD) \\ V_{TH} &= V_{TO} + \text{GAMMA} \cdot ((\text{PHI} - V_{BS})^{1/2} - \sqrt{\text{PHI}}) \end{aligned}$$

遮断領域： $V_{gs} < V_T$ の場合

$$I_d = 0.0$$

線形領域： $V_{gs} > V_{TH}$ かつ $V_{ds} < (V_{gd} - V_{TH})$ の場合

$$I_d = K \cdot (V_{gs} - V_{TH} - 0.5 \cdot V_{ds}) \cdot V_{ds} \cdot (1 + \text{LAMBDA} \cdot V_{ds})$$

飽和領域： $V_{gs} > V_{TH}$ かつ $V_{ds} > (V_{gs} - V_{TH})$ の場合

$$I_d = 0.5 \cdot K \cdot (V_{gs} - V_{TH})^2 \cdot (1 + \text{LAMBDA} \cdot V_{ds})$$

容量の方程式

ゲート静電容量のMeyerモデル

レベル1～3ではMeyerが提案したキャパシタンスモデルが使用されます。電荷は3つの非線形静電容量 C_{gb} 、 C_{gd} 、 C_{gs} によってモデル化されます。

$$C_{ox} = C_{OX} \cdot W \cdot L_{eff}$$

蓄積領域 ($V_{gs} < V_{on-PHI}$)

$V_{gs} < V_{on-PHI}$ の場合、

$$C_{gs} = C_{ox} + C_{GBO} \cdot L_{eff}$$

$$C_{gs} = C_{GSO} \cdot W$$

$$C_{gd} = C_{GDO} \cdot W$$

空乏領域 ($V_{on}-PHI < V_{gs} < V_{on}$)

$$C_{gb} = C_{ox} \cdot (V_{on}-V_{gs}) / PHI + CGBO \cdot Leff$$

$$C_{gs} = 2 / 3 \cdot C_{ox} \cdot ((V_{on}-V_{gs}) / PHI + 1) + CGSO \cdot W$$

$$C_{gd} = CGDO \cdot W$$

飽和領域 ($V_{on} < V_{gs} < V_{on} + V_{ds}$)

$$C_{gb} = CGBO \cdot Leff$$

$$C_{gs} = 2 / 3 \cdot C_{ox} + CGSO \cdot W$$

$$C_{gd} = CGDO \cdot W$$

線形領域

$V_{gs} > V_{on} + V_{ds}$ の場合

$$C_{gb} = CGBO \cdot Leff$$

$$C_{gs} = C_{ox} \cdot (1 - ((V_{gs}-V_{ds}-V_{on}) / (2 \cdot (V_{gs}-V_{on}) - V_{ds}))^2) + CGSO \cdot W$$

$$C_{gd} = C_{ox} \cdot (1 - ((V_{gs}-V_{on}) / (2 \cdot (V_{gs}-V_{on}) - V_{ds}))^2) + CGDO \cdot W$$

接合容量

CBS = 0 かつ CBD = 0の場合

$$C_{bs} = CJ(T) \cdot AS \cdot f1(VBS) + CJSW(T) \cdot PS \cdot f2(VBS) + TT \cdot GBS$$

$$C_{bd} = CJ(T) \cdot AD \cdot f1(VBD) + CJSW(T) \cdot PD \cdot f2(VBD) + TT \cdot GBD$$

それ以外の場合

$$C_{bs} = CBS(T) \cdot f1(VBS) + CJSW(T) \cdot PS \cdot f2(VBS) + TT \cdot GBS$$

$$C_{bd} = CBD(T) \cdot f1(VBD) + CJSW(T) \cdot PD \cdot f2(VBD) + TT \cdot GBD$$

$$GBS = DCバルク-ソースコンダクタンス = d(IBS) / d(VBS)$$

$$GBD = DCバルク-ドレインコンダクタンス = d(IBD) / d(VBD)$$

$VBS \leq FC \cdot PB(T)$ の場合

$$f1(VBS) = 1 / (1 - VBS / PB(T))^{MJ}$$

それ以外の場合

$$f1(VBS) = (1 - FC \cdot (1 + MJ) + MJ \cdot (VBS / PB(T))) / (1 - FC)^{(1 - MJ)}$$

$VBS \leq FC \cdot PBSW(T)$ の場合

$$f2(VBS) = 1 / (1 - VBS / PBSW(T))^{MJSW}$$

それ以外の場合

$$f2(VBS) = (1 - FC \cdot (1 + MJSW) + MJSW \cdot (VBS / PBSW(T))) / (1 - FC)^{(1 - MJSW)}$$

$VBD \leq FC \cdot PB(T)$ の場合

$$f1(VBD) = 1 / (1 - VBD / PB(T))^{MJ}$$

それ以外の場合

$$f1(VBD) = (1 - FC \cdot (1 + MJ) + MJ \cdot (VBD / PB(T))) / (1 - FC)^{(1 - MJ)}$$

VBD ≤ FC · PBSW (T)の場合

$$f2(VBD) = 1 / (1 - VBD / PBSW(T))^{MJSW}$$

それ以外の場合

$$f2(VBD) = (1 - FC \cdot (1 + MJSW) + MJSW \cdot (VBD / PBSW(T))) / (1 - FC)^{(1 - MJSW)}$$

BSIM1レベル4のモデルパラメータ

次にBSIM1モデル、レベル4のモデルパラメータを示します。規定値はありません。すべてのパラメータについて、数値を指定する必要があります。すべてのパラメータは、アスタリスクでマークしているものを除き、ビンニング可能です。

名前	パラメータ	単位
DL*	チャンネル長低減	μ
DW*	チャンネル幅低減	μ
TOX*	ゲート酸化膜厚さ	μ
VDD*	MUSの供給電圧	
XPART*	チャンネル電荷分割フラグ	
DELL*	使用しません。S-D拡散の長さの低減	
VHB	フラットバンド電圧	V
PHI	強逆表面電位	V
K1	バルク効果係数1	√V
K2	バルク効果係数2	
ETA	閾値電圧のVDS依存度	
X2E	ETAのVBS依存度	V ⁻¹
X3E	ETAのVDS依存度	V ⁻¹
MUZ*	vds = 0, vgs = vthの移動度	cm ² /Vs
X2MZ	MUZのVBS依存度	
MUS	vds = vdd, vgs = vthでの移動度	
X2MS	MUSのVBS依存度	
X3MS	MUSのVDS依存度	
U0	移動度のVGS依存度	
X2U0	U0のVBS依存度	
U1	移動度のVDS依存度	
X2U1	U1のVBS依存度	
X3U1	U1のVDS依存度	
N0	閾値の勾配	
NB	閾値の勾配のVBS依存度	
ND	閾値の勾配のVDS依存度	

BSIM2レベル5のモデルパラメータ

以下にBSIM2モデル、レベル5のモデルパラメータを示します。すべてのパラメータは、アスタリスクでマークしているものを除き、ビンニング可能です。

名前	パラメータ	単位	規定値
DL*	チャンネル長低減	μ	0.00
DW*	チャンネル幅低減	μ	0.00
TOX*	酸化膜厚さ	μ	0.00
VFB	フラットバンド電圧	V	-1.00
PHI	強反転表面電位	V	0.75
K1	バルク効果係数1	\sqrt{V}	0.80
K2	バルク効果係数2		0.00
ETA0	閾値電圧のVDS依存度		0.00
ETAB	ETA0のVBS依存度	V^{-1}	0.00
MU0*	$v_{ds} = 0, v_{gs} = v_{th}$ での移動度	$m^2/V \cdot s$	400
MU0B	MU0のVBS依存度	$m^2/V^2 \cdot s$	0.00
MUS0	$v_{ds} = v_{dd}, v_{gs} = v_{th}$ での移動度	$m^2/V \cdot s$	500
MUSB	MUSのVBS依存度	$m^2/V^2 \cdot s$	0.00
MU20	双曲線タンジェントでのMUのVDS依存度	$m^2/V^2 \cdot s$	1.5
MU2B	MU2のVBS依存度	$m^2/V^3 \cdot s$	0.00
MU2G	MU2のVGS依存度	$m^2/V^3 \cdot s$	0.00
MU30	MUのVDS依存度 (線形)	$m^2/V^2 \cdot s$	10.0
MU3B	MU3のVBS依存度	$m^2/V^3 \cdot s$	0.00
MU3G	MU3のVGS依存度	$m^2/V^3 \cdot s$	0.00
MU40	MUのVDS依存度 (二次)	$m^2/V^4 \cdot s$	0.00
MU4B	MU4のVBS依存度	$m^2/V^5 \cdot s$	0.00
MU4G	MU4のVGS依存度	$m^2/V^5 \cdot s$	0.00
UA0	移動度の線形VGS依存度	$m^2/V^2 \cdot s$	0.20
UAB	UAのVBS依存度	$m^2/V^3 \cdot s$	0.00
UB0	移動度の二次VGS依存度	$m^2/V^3 \cdot s$	0.00
UBB	UBのVBS依存度	$m^2/V^4 \cdot s$	0.00
U10	移動度のVDS依存度	$m^2/V^2 \cdot s$	0.10
U1B	U1のVBS依存度	$m^2/V^3 \cdot s$	0.00
U1D	U1のVDS依存度	$m^2/V^3 \cdot s$	0.00
N0	閾値下傾き $v_{ds} = 0, v_{bs} = 0$		1.40
NB	NのVBS依存度	\sqrt{V}	0.50
ND	NのVDS依存度	V^{-1}	0.00
VOF0	閾値電圧オフセット $v_{ds} = 0, v_{bs} = 0$	V	1.80
VOFB	VOFのVBS依存度		0.00
VOFD	VOFのVDS依存度		0.00
AI0	熱電子効果のプリファクター		0.00

AIB	AIのVBS依存度	V^{-1}	0.00
BI0	熱電子効果の指数係数		0.00
BIB	BIのVBS依存度	V^{-1}	0.00
VGHIGH	3次スプライン関数の上限	$\mu \cdot V$	0.20
VGLOW	3次スプライン関数の下限	V	-0.15
VDD*	最大VDS	V	5.00
VGG*	最大VGS	V	5.00
VBB*	最大VBS	V	5.00
XPART*	チャンネル電荷分割フラグ		0.00
DELL*	使用しません。S-D拡散の長さの低減	m	0.00

BSIM3レベル8と49のモデルパラメータ

これらはBSIM3モデルのモデルパラメータです。これは2005年7月29日付けBerkeley BSIM3v3.3です。すべてのパラメータは、アスタリスクでマークしているものを除き、ビンニング可能です。

名前	規定値	パラメータ
Level*	8	8または49であること
A0	1	バルク電荷効果係数
A1	0	第一非飽和効果パラメータ
A2	1	第二非飽和効果パラメータ
ACDE	1	有限電荷厚の指数係数
ACNQSMOD*	0	AC NQSモデルセクタ
AF*	1	noimod=1のフリッカーノイズ指数
AGS	0	チャンネル長のゲートバイアス係数
ALPHA0	0	第一衝撃イオン化電流パラメータ
ALPHA1	0	第二衝撃イオン化電流パラメータ
AT	33K	飽和速度温度係数
B0	0	チャンネル幅のバルク電荷効果係数
B1	0	バルク電荷効果幅オフセット
BETA0	30	衝撃イオン化電流の第二パラメータ
BINFLAG*	0	ビンニング方法決定：1=Hspiceビンニング、0=Berkeley SPICEビンニング
BINUNIT*	1	ビンニングユニットセクタ
CAPMOD*	3	短チャンネル容量モデルのフラグ
CBD*	0	ゼロバイアスB-D接合容量
CBS*	0	ゼロバイアスB-S接合容量
CDSC	240u	ドレイン/ソースとチャンネルの結合容量
CDSCB	0	CDSCのボディバイアス感度
CDSCD	0	CDSCのドレインバイアス感度
CF	無	フリンジング磁界容量
CGBO*	無	ゲート-バルクオーバーラップ静電容量/エリア
CGDL	0	単位チャンネル長当りの非LDD領域ドレイン/ゲートオーバーラップ静電容量
CGDO*	無	ゲート-ドレインオーバーラップ静電容量/エリア
CGSL	0	単位チャンネル長当りの非LDD領域ソース/ゲートオーバーラップ静電容量
CGSO*	無	ゲート-ソースオーバーラップ静電容量/エリア
CIT	0	インタフェーストラップ容量
CJ*	500u	バルク底部ゼロバイアス静電容量/エリア
CJSW*	500p	バルク側壁ゼロバイアス静電容量/エリア

BSIM3 レベル8と49のモデルパラメータ

名前	規定値	パラメータ
CJSWG*	CJSW	S/Dゲート側壁接合容量
CKAPPA	600m	低ドーピング領域のオーバーラップフリンジング磁界容量係数
CLC	100n	短チャンネルモデルの定数項
CLE	600m	短チャンネルモデルの指数項
DELTA	10m	実効Vdsパラメータ
DLC*	LINT	C-Vからの長さオフセットのフィッティングパラメータ
DROUT	560m	ROUTのDIBL補正パラメータのL深さ係数
DSUB	DROUT	閾値下領域のDIB係数の指数
DVT0	2.2	閾値電圧に対する短チャンネル効果の第一係数
DVT0W	0	短チャンネル長のVthに対する狭幅効果の第一係数
DVT1	530m	閾値電圧に対する短チャンネル効果の第二係数
DVT1W	5.3MEG	短チャンネル長のVthに対する狭幅効果の第二係数
DVT2	-32m	閾値電圧の短チャンネル効果のボディバイアス係数
DVT2W	-32m	短チャンネル長のVthに対する狭幅効果のボディバイアス係数
DWB	0	Weffの基板ボディバイアス依存度係数
DWC*	WINT	C-Vからの幅オフセットのフィッティングパラメータ
DWG	0	Weff依存度の係数
EF*	1	ノイズモデル=2の周波数指数
ELM	5	チャンネルのエルモア定数
EM*	41MEG	飽和電界
ETA0	80m	閾値以下領域のDIBL係数
ETAB	-70m	閾値以下のDIBL係数のボディバイアス係数
GAMMA1	0	インタフェース付近のボディ効果係数
GAMMA2	0	バルクのボディ効果係数
GDSNOI*	1	チャンネルショットノイズ係数
IJTH*	100m	ダイオード制限電流
JS* 1	00u	バルク底部飽和電流密度

BSIM3レベル8と49のモデルパラメータ

名前	規定値	パラメータ
JSW*	0	バルク側壁飽和電流密度
K1	0	一次ボディ効果係数
K2	0	二次ボディ効果係数
K3	80	狭幅効果係数
K3B	0	K3のボディ効果係数
KETA	-47m	バルク電荷効果のボディバイアス係数
KF*	0	noimod=1のフリッカーノイズ係数
KT1	-110m	閾値電圧の温度係数
KT1L	0	閾値電圧の温度係数のチャンネル長感度
KT2	22m	閾値電圧温度効果のボディバイアス係数
L*	0	メートルによるチャンネル長
LINT*	0	バイアスのないI-Vからの長さオフセットフィッティングパラメータ
LINTNOI*	0	ノイズ計算のLINTオフセット
LL*	0	長さオフセットの長さ依存度係数
LLC*	LL	CVの長さ低減パラメータ
LLN*	1	長さオフセットの長さ依存度の累乗
LMAX*	無	Hspiceビンニングの最高チャンネル長
LMIN*	無	Hspiceビンニングの最小チャンネル長
LREF*	無	Hspiceビンニングの長さ基準
LW*	0	長さオフセットの幅依存度係数
LWC*	LW	CVの長さ低減パラメータ
LWL*	0	長さオフセットの長さ/幅交差項係数
LWLC*	LWL	CVの長さ低減パラメータ
LWN*	1	長さオフセットの幅依存度の累乗
MJ*	500m	バルク底部傾斜係数
MJSW*	330m	バルク側壁傾斜係数
MJSWG*	MJSW	S/Dゲート側壁接合容量傾斜係数
MOBMOD*	1	移動度モデル
MOIN	15	ゲートバイアス依存表面ポテンシャルの係数
NCH	1.7E17	チャンネルドーピング濃度
NFACTOR	1	閾値下スイングファクタ
NGATE	0	ポリゲートドーピング濃度
NJ*	1	エミッション係数 (Nより優先)

BSIM3レベル8と49のモデルパラメータ

名前	規定値	パラメータ
NLEV*	2	Pspieceノイズモデルセクタ
NLX	174n	横方向非均一ドーピング係数
NOFF	1	CVオン/オフパラメータ
NOIA*	1E20,9.9E18	ノイズパラメータA
NOIB*	50K,2.4K	ノイズパラメータB
NOIC*	-L4p,1.4p	ノイズパラメータC
NOIMOD*	1	ノイズモデルのフラグ
NQSMOD*	0	NQSモデルのフラグ
NSUB	60000T	基板ドーピング濃度
PARAMCHK*	0	チェックのオン/オフを制御
PB*	1	バルク底部電位
PBSW*	1	バルク側壁電位
PBSWG*	PBSW	S/Dゲート側壁接合組み込み電位
PCLM	1.3	チャンネル長変調パラメータ
PDIBLC1	390m	第一RoutDIBL補正パラメータ
PDIBLC2	8.6m	第二RoutDIBL補正パラメータ
PDIBLCB	0	DIBLパラメータのボディ係数
PRT	0	RDSW温度係数
PRWB	0	RDSWのボディ効果係数
PRWG	0	RDSWのゲートバイアス効果係数
PSCBE1	424MEG	第一基板電流ボディ効果パラメータ
PSCBE2	10u	第二基板電流ボディ効果パラメータ
PVAG	0	初期電圧のゲート依存度
RB*	0	バルク抵抗
RD*	0	ドレイン抵抗
RDS*	0	ドレイン/ソースシャント抵抗
RDSW	0	単位幅当りの寄生抵抗
RG*	0	ゲート抵抗
RS*	0	ソース抵抗
RSH*	0	ドレイン-ソース拡散シート抵抗
T_ABS*	無	絶対温度
T_MEASURED*	無	パラメータ測定温度
T_REL_GLOBAL*	無	現在の温度に対する相対値
T_REL_LOCAL*	無	AKOモデル温度に対する相対値
TCJ*	0	CJの温度係数
TCJSW*	0	CJSWの温度係数
TCJSWG*	0	CJSWGの温度係数

BSIM3レベル8と49のモデルパラメータ

名前	規定値	パラメータ
TNOM*	無	パラメータ測定温度 (指定されている場合、T_MEASUREDに優先)
TOX*	15n	メートルでのゲート酸化物の厚さ
TOXM*	TOX	抽出で使用されるゲート酸化物の厚さ
TPB*	0	PBの温度係数
TPBSW*	0	PBSWの温度係数
TPBSWG*	0	PBSWGの温度係数
TT*	0	バルクpn推移時間
U0	67m,25m	Temp=TNOMでの移動度
UA	2.25n	一次移動度低下係数
UA1	4.31n	UAの温度係数
UB	.00587f	二次移動度低下係数
UB1	.00761f	UBの温度係数
UC	無	ボディ効果移動度低下係数、mobmod=3なら規定値=-.465または-4.65e-11
UC1	無	UCの温度係数、mobmod=3なら規定値=-.0560または-5.60E-11
UTE	-1.5	移動度温度指数
VBM	-3	Vth計算で適用される最大ボディバイアス
VBX	0	空乏幅がXTに一致するVbs
VERSION*	3.3	モデルバージョン番号、3.3であること
VFB	0	DCI-V計算のフラットバンド電圧
VFBCV	-1	CAPMOD=0のフラットバンド電圧パラメータ
VOFF	-80m	閾値以下領域のオフセット電圧 (大きなW、L用)
VOFFCV	0	ゲートバイアス依存表面の係数
VSAT	80K	Temp=TNOMでの飽和速度
VTH0	700m,-700m	大チャンネル長のvbs=0での閾値電圧
VTH0M*	0	VT短距離マッチングパラメータ
W*	0	メートルでのチャンネル幅
W0	2.5u	狭幅効果パラメータ
WINT*	0	バイアスの無いI-Vからの幅オフセットフィッティングパラメータ
WL*	0	幅オフセットの長さ依存度係数
WLC*	WL	CVの幅減少パラメータ
WLN*	1	幅オフセットの長さ依存度の累乗
WMAX*	無	Hspiceビンニングの最大チャンネル幅

BSIM3レベル8と49のモデルパラメータ

名前	規定値	パラメータ
WMIN*	無	Hspiceビンニングの最少チャンネル幅
WR	1	RdsのWeff計算に対するWeffからの幅オフセット
WREF*	無	Hspiceビンニングの幅基準
WW*	0	幅オフセットの幅依存度係数
WWC*	WW	CVの幅低減パラメータ
WWL*	0	幅オフセットの長さ/幅交差項係数
WWLC*	WWL	CVの幅低減パラメータ
WWN*	1	幅オフセットの幅依存度の累乗
XJ	150u	接合深さ
XPART*	0	チャンネル電荷分割フラグ (Neg = 無、0=40/60、0.5=50/50、1.0=100/0)
XT	155n	ドーピング深さ
XT1*	3	接合電流温度指数係数

BSIM4レベル14のモデルパラメータ

これらは2005年7月29日付けBSIM4.5.0モデルのモデルパラメータです。すべてのパラメータは、アスタリスクでマークしているものを除き、ビンニング可能です。規定値入力はNMOS、PMOS規定値を指定します。(両者が異なる場合)

名前	規定値	パラメータ
LEVEL*	14	モデルレベル、14であること
A0	1	非均一空乏幅効果係数
A1	0	第1非飽和効果パラメータ
A2	1	第2非飽和効果係数
ACDE	1	有限電荷厚の指数係数
ACNQSMOD*	0	ACNQSモデルセレクタ
AF*	1	フリッカーノイズ指数
AGIDL	0	GIDLの指数前の係数
AGS	0	Abulkのゲートバイアス係数
AIGBACC	13.6m	Igb蓄積パラメータ
AIGBINV	11.1m	Igb反転パラメータ
AIGC	13.6m, 9.8m	Igcs、Igcdパラメータ
AIGSD	13.6m, 9.8m	Igs、Igdパラメータ
ALPHA0	0	インパクトイオン化電流の一次パラメータ
ALPHA1	0	長さスケーリングのIsubパラメータ
AT	33K	vsatの温度係数
B0	0	一次Abulk狭幅パラメータ
B1	0	二次Abulk狭幅パラメータ
BETA0	0	基板電流モデルパラメータ
BGIDL	2.3G	GIDLの指数係数
BIGBACC	1.71m	Igbのパラメータ
BIGBINV	949u	Igbのパラメータ
BIGC	1.71m, 759u	Igcのパラメータ
BIGSD	1.71m, 759u	Igs,dのパラメータ
BINFLAG*	0	ビンニング方法：1=HSpice、0=Berkeley
BINUNIT*	1	ビンニングユニットセレクタ、0=メートル、1=ミクロン
BVD*	BVS	ドレインダイオード絶縁破壊電圧
BVS*	10	ソースダイオード絶縁破壊電圧
CAPMOD*	2	容量モードセレクタ
CDSC	240u	ドレイン/ソースとチャンネル結合容量
CDSCB	0	cdscのボディバイアス依存度
CDSCD	0	cdscのドレインバイアス依存度
CF	Computed	フリッジ磁界容量パラメータ
CGBO*	0	長さ当りのゲートバルクオーバーラップ静電容量

BSIM4レベル14のモデルパラメータ

名前	規定値	パラメータ
CGDL	0	新C-Vモデルパラメータ
CGDO*	0	幅当りのゲート-ドレインオーバーラップ静電容量
CGIDL	500m	GIDLのボディ-バイアス依存度パラメータ
CGSL	0	新C-Vモデルパラメータ
CGSO*	0	幅当りのゲート-ソースオーバーラップ静電容量
CIGBACC	75m	蓄積でのIgbパラメータ
CIGBINV	6m	反転でのIgbパラメータ
CIGC	75m, 30m	Igcパラメータ
CIGSD	75m, 30m	Igs,dパラメータ
CIT	0	インタフェース状態容量
CJD*	CJS	単位面積当りのドレイン底部接合静電容量
CJS*	500u	単位面積当りのソース底部接合静電容量
CJSWD*	無	単位外周当りのドレイン側壁接合静電容量
CJSWGD*	無	単位幅当りのドレイン(ゲートサイド)側壁接合静電容量
CJSWGS*	無	単位幅当りのソース(ゲートサイド)側壁接合静電容量
CJSWS*	500p	単位外周当りのソース側壁接合静電容量
CKAPPAD	CKAPPAS	D/GオーバーラップC-Vパラメータ
CKAPPAS	600m	S/GオーバーラップC-Vパラメータ
CLC	100n	C-VモデルのVdsatパラメータ
CLE	600m	C-VモデルのVdsatパラメータ
DELTA	10m	実効Vdsパラメータ
DIOMOD*	1	ダイオードIVモデルセレクト
DLC*	Computed	C-VモデルのデルタL
DLCIG*	LINT	IgモデルのデルタL
DMCG*	0	ゲートエッジへの中間接触距離
DMCGT*	0	テスト構造のゲートエッジへの中間接触距離
DMCI*	DMCG	絶縁への中間接触距離
DMDG*	0	ゲートエッジへの中間接触距離
DROUT	560m	出力抵抗のDIBL係数
DBUS	DROUT	閾値領域のDIBL係数
DTOX*	0	(toxe-toxp)として定義
DVT0	2.2	短チャンネル効果係数0
DVT0W	0	狭幅係数0

BSIM4レベル14のモデルパラメータ

名前	規定値	パラメータ
DVT1	530m	単チャンネル効果係数1
DVT1W	5.3MEG	狭幅係数1
DVT2	-32m	単チャンネル効果係数2
DVT2W	-32m	狭幅効果係数2
DVTP0	0	ポケットに起因するV _{th} シフトの一次パラメータ
DVTP1	0	ポケットに起因するV _{th} シフトの二次パラメータ
DWB	0	幅低減パラメータ
DWC*	WINT	C-VモデルのデルタW
DWG	0	幅低減パラメータ
DWJ*	DWC	S/D接合のデルタW
EF*	1	フリッカーノイズ周波数指数
EGIDL	800m	帯域曲げのためのフィッティングパラメータ
EIGBINV	1.1	I _{gbinv} のSiバンドギャップのパラメータ
EM*	41MEG	フリッカーノイズパラメータ
EPSROX*	3.9	真空に対するゲート酸化物の誘電率
ETA0	80m	一次閾値下領域DIBL係数
ETAB	-70m	二次閾値下領域DIBL係数
EU	1.67,1	移動度指数
FNOIMOD*	1	フリッカーノイズモデルセクタ
FPROUT*	0	ポケットデバイスのR _{out} 劣化係数
GAMMA1	0	一次V _{th} ボディ係数
GAMMA2	0	二次V _{th} ボディ係数
GBMIN*	1p	最少ボディ伝導率
GDSNOI*	1	チャンネルショットノイズ係数
GEOMOD*	0	形状依存寄生モデルセクタ
IGBMOD*	0	ゲートからボディへのI _g モデルセクタ
IGCMOD*	0	ゲートからチャンネルへのI _g モデルセクタ
IJTHDFWD*	IJTHSFWD	順方向ドレインダイオード順方向制限電流
IJTHDREV*	IFTHSREV	逆方向ドレインダイオード順方向制限電流
IJTHSFWD*	100m	順方向ソースダイオード順方向制限電流
IJTHSREV*	100m	逆方向ソースダイオード順方向制限電流
JSD*	JSS	底部ドレイン接合逆方向飽和電流密度
JSS*	100u	底部ソース接合逆方向飽和電流密度
JSWD*	JSWS	絶縁エッジ側壁ドレイン接合逆方向飽和電流密度

BSIM4レベル14のモデルパラメータ

名前	規定値	パラメータ
JSWGD*	JSWGS	ゲートエッジドレイン接合逆方向飽和電流密度
JSWGS*	0	ゲートエッジソース接合逆方向飽和電流密度
JSWS*	0	絶縁エッジ側壁ソース接合逆方向飽和電流密度
JTSD*	JTSS	ドレイン底部トラップ支援飽和電流密度
JTSS*	0	ソース底部トラップ支援飽和電流密度
JTSSWD*	JTSSWS	ドレインSTI側壁トラップ支援飽和電流密度
JTSSWGD*	JTSSWGS	ドレインゲート-エッジ側壁トラップ支援飽和電流密度
JTSSWGS*	0	ソースゲート-エッジ側壁トラップ支援飽和電流密度
JTSSWS*	0	ソースSTI側壁トラップ支援飽和電流密度
K1	0	バルク効果係数1
K2	0	バルク効果係数2
K2WE	0	近接効果のK2シフト係数
K3	80	狭幅効果係数
K3B	0	K3のボディ効果係数
KETA	-47m	非均一空乏幅効果のボディ/バイアス係数
KF*	0	フリッカーノイズ係数
KT1	-110m	Vthの温度係数
KT1L	0	KT1の長さ依存度
KT2	22m	KT1のボディバイアス係数
KU0	0	LODの移動度劣化/強化係数
KU0WE	0	近接効果の移動度劣化係数
KVSAT*	0	LODの飽和速度劣化/強化パラメータ
KVTH0	0	LODの閾値劣化/強化パラメータ

BSIM4レベル14のモデルパラメータ

名前	規定値	パラメータ
KVTH0WE	0	近接効果の閾値シフト係数
LAMBDA	0	速度オーバーシュートパラメータ
LC*	5n	バック散乱パラメータ
LINT*	0	チャンネル長オフセットパラメータ
LINTNOI*	0	ノイズ計算のリントオフセット
LL*	0	長さオフセットの長さ依存度係数
LLC*	LL	CVの長さ低減パラメータ
LLN*	1	長さオフセットの長さ依存度累乗
LLODKU0*	0	u0 LOD効果の長さパラメータ
LLODVTH*	0	VTH LOD効果の長さパラメータ
LMAX*	1	モデルの最大長
LMIN*	0	モデルの最少長
LODETA0*	1	ストレス効果のETA0シフト変更係数
LODK2*	1	ストレス効果のK2シフト変更係数
LP	10n	移動度のチャンネル長指数係数
LPE0	174n	ゼロバイアスでのポケット領域の等価長
LPEB	0	ボディバイアスのポケット領域アカウンティングの等価長
LREF*	無	Hspice ビンニングの長さ基準
LW*	0	長さオフセットの幅依存度の係数
LWC*	LW	CVチャンネル長オフセットの幅依存度の係数
LWL*	0	長さオフセットのL*W積項係数
LWLC*	LWL	CVの長さ低減パラメータ
LWN*	1	長さオフセットの長さ依存度の累乗
MINV	0	中程度の反転のVgsteffフィッティングパラメータ
MJD*	MIS	ドレイン底部接合静電容量傾斜係数
MJS*	500m	ソース底部接合静電容量傾斜係数
MJSWD*	MSDWS	ドレイン側壁接合静電容量傾斜係数
MJSWGD*	MJSWGS	ドレイン (ゲートサイド) 側壁接合静電容量傾斜係数
MJSWGS*	MJSWS	ソース (ゲートサイド) 側壁接合静電容量傾斜係数
MJSWS*	330m	ソース側壁接合静電容量傾斜係数
MOBMOD*	0	移動度モデルセレクタ

BSIM4レベル14のモデルパラメータ

名前	規定値	パラメータ
MOIN	15	ゲート-バイアス依存表面電位の係数
NDEP	1.7E17	減損エッジでのチャンネルドーピング濃度
NFACTOR	1	閾値下のスイングファクタ
NGATE	0	ポリゲートドーピング濃度
NGCON*	1	ゲート接触部の数
NIGBACC	1	Igbaccスロープのパラメータ
NIGBINV	3	Igbinyスロープのパラメータ
NIGC	1	Igcスロープのパラメータ
NJD*	NJS	ドレイン接合放出係数
NJS*	1	ソース接合放出係数
NJTS*	20	底部接合非理想係数
NJTSSW*	20	STI側壁接合非理想係数
NJTSSWG*	20	ゲート-エッジ側壁接合非理想係数
NLEV*	無	Pspiceノイズ方程式セレクタ
NOFF	1	C-Vオン/オフパラメータ
NOIA*	6.25E41,6.188E40	一次フリッカーノイズパラメータ
NOIB*	3,125E26,1.5E25	一次フリッカーノイズパラメータ
NOIC*	8.75G	フリッカーノイズパラメータ
NSD	1E20	S/Dドーピング濃度
NSUB	60000T	基板ドーピング濃度
NTNOI*	1	熱ノイズパラメータ
NTOX	1	Tox比の指数
PARAMCHK*	1	モデルパラメータチェックングセレクタ
PBD*	PBS	ドレイン接合内蔵電位
PBS*	1	ソース接合内蔵電位
PBSWD*	PBSWS	ドレイン側壁接合静電容量内蔵電位
PBSWGD*	PBSWGS	ドレイン (ゲートサイド) 側壁接合静電容量内蔵電位
PBSWGS*	PBSWS	ソース (ゲートサイド) 側壁接合静電容量内蔵電位
PBSWS*	1	ソース側壁接合静電容量内蔵電位
PCLM	1.3	チャンネル長変調係数
PDIBLC1	390m	一次DIBL係数
PDIBLC2	8.6m	二次DIBL係数

BSIM4レベル14のモデルパラメータ

名前	規定値	パラメータ
PDIBLCB	0	ドレインを含む傷害低下に対するボディ効果
PDITS	0	ドレインを含むVthシフトの係数
PDITS _D	0	ドレインを含むVthシフトのV _{ds} 依存度
PDITSL*	0	ドレインを含むVthシフトの長さ依存度
PERMOD*	1	P _d とP _s モデルセレクタ
PHIN	0	非均一垂直ドーピングに起因する表面電位の調整パラメータ
PIGCD	1	I _{gc} 分割のパラメータ
POXEDGE	1	ゲートエッジToxの係数
PRT	0	寄生抵抗の温度係数
PRWB	0	寄生抵抗のボディ効果
PRWG	1	寄生抵抗のゲートバイアス効果
PSCBE1	424MEG	一次基板電流ボディ効果係数
PSCBE2	10u	二次基板電流ボディ効果係数
PVAG	0	出力抵抗パラメータのゲート依存度
RBDB*	50	bNodeとdbNode間の抵抗
RBDBX0*	100	ボディ抵抗RBDBXスケールリング
RBDBY0*	100	ボディ抵抗RBDBYスケールリング
RBODYMOD*	0	拡散ボディRモデルセレクタ
RBPB*	50	bNode PrimeとbNode間の抵抗
RBPBX0*	100	ボディ抵抗RBPBXスケールリング
RBPBXL*	0	ボディ抵抗RBPBXLスケールリング
RBPBXNF*	0	ボディ抵抗RBPBX NFスケールリング
RBPBXW*	0	ボディ抵抗RBPBX Wスケールリング
RBPBY0*	100	ボディ抵抗RBPBYスケールリング
RBPBYL*	0	ボディ抵抗RBPBY Lスケールリング
RBPBYNF*	0	ボディ抵抗RBPBY NFスケールリング
RBPBYW*	0	ボディ抵抗RBPBY Wスケールリング
RBPD*	50	bNode PrimeとdbNode間の抵抗
RBPD0*	50	ボディ抵抗RBPDスケールリング
RBPDL*	0	ボディ抵抗RBPDLスケールリング
RBPDNF*	0	ボディ抵抗RBPDL NFスケールリング
RBPDW*	0	ボディ抵抗RBPDL Wスケールリング
RBPS*	50	bNode PrimeとsbNode間の抵抗
RBPS0*	50	ボディ抵抗RBPSスケールリング
RBPSL*	0	ボディ抵抗RBPS Lスケールリング
RBPSNF*	0	ボディ抵抗RBPS NFスケールリング
RBPSW*	0	ボディ抵抗RBPS Wスケールリング

BSIM4レベル14のモデルパラメータ

名前	規定値	パラメータ
RBSB*	50	bNodeとsbNode間の抵抗
RBSBX0*	100	ボディ抵抗RBSBXスケーリング
RBSBY0*	100	ボディ抵抗RBSBYスケーリング
RBSDBXL*	0	ボディ抵抗RBSDBX Lスケーリング
RBSDBXNF*	0	ボディ抵抗RBSDBX NFスケーリング
RBSDBXW*	0	ボディ抵抗RBSDBX Wスケーリング
RBSDBYL*	0	ボディ抵抗RBSDBY Lスケーリング
RBSDBYNF*	0	ボディ抵抗RBSDBY NFスケーリング
RBSDBYW*	0	ボディ抵抗RBSDBY Wスケーリング
RDSMOD*	0	バイアス依存S/D抵抗モデルセクタ
RDSW	200	幅当りのソース/ドレイン抵抗
RDSWMIN*	0	高V _g での幅当りのソース/ドレイン抵抗
RDW	100	幅当りのドレイン抵抗
RDWMIN*	0	高V _g での幅当りのドレイン抵抗
RGATEMOD*	0	ゲートRモデルセクタ
RNOIA*	577m	一次熱ノイズ係数
RNOIB*	516.4m	二次熱ノイズ係数
RSH*	0	ソース/ドレインシート抵抗
RSHG*	100m	ゲートシート抵抗
RSW	100	幅当りのソース抵抗
RSWMIN*	0	高V _g での幅当りのソース抵抗
SAREF*	1u	ODエッジから片側のポリへの基準距離
SBREF*	1u	ODエッジから他方の片側のポリへの基準距離
SCREF*	1u	SCA、SCB、SCCを計算するための基準距離
STETA0*	0	VTHへのストレス効果に関するETA0シフト係数
STK2*	0	VTHへのストレス効果に関するK2シフト係数
T_ABS*	無	絶対温度
T_MEASURED*	無	パラメータ測定温度
T_REL_GLOBAL*	無	現在の温度に対する相対値
T_REL_LOCAL	無	AKOモデル温度に対する相対値
TCJ*	0	CJの温度係数
TCJSW*	0	CJSWの温度係数
TCJSWG*	0	CJSWGの温度係数
TEMPMOD*	0	温度モデルセクタ

BSIM4レベル14のモデルパラメータ

名前	規定値	パラメータ
TKU0*	0	KU0の温度係数
TNJTS*	0	NJTSの温度係数
TNJTSSW*	0	NJTSSWの温度係数
TNJSSWG*	0	NJTSSWGの温度係数
TNOIA*	1.5	総チャンネル熱ノイズのチャンネル長依存度の係数
TNOIB*	3.5	チャンネル熱ノイズ分割のチャンネル長依存度パラメータ
TNOIMOD*	0	熱ノイズモデルセレクタ
TNOM*	無	パラメータ測定温度 (指定された場合、T_MEASUREDに優先)
TOXE*	3n	メートルにより電気ゲート酸化物厚
TOXM*	TOXE	パラメータが抽出されるゲート酸化物厚
TOXP*	TOXE	メートルによる物理的ゲート酸化物厚
TOXREF*	3n	目標tox値
TPB*	0	PBの温度係数
TPBSW*	0	PBSWの温度係数
TPBSWG*	0	PBSWGの温度係数
TRNQSMOD*	0	トランジエントNQSモデルセレクタ
TVFBSDOFF	0	VFBSDOFFの温度パラメータ
TVOFF	0	VOFFの温度パラメータ
U0	67m、25m	Tnomでの弱い電解での移動度
UA	マルチプル	移動度の線形ゲート依存度、MOBMOD=2には1f、または1n
UA1	1n	UAの温度係数
UB	.0001f	移動度の二次ゲート依存度
UB1	-.001f	UBの温度係数
UC	マルチプル	移動度のボディ-バイアス依存度、MOBMOD=1では-.0465、または-.465n
UC1	マルチプル	UCの温度係数、MOBMOD=1では-.056、または-.056n
UD	100T	移動度のクーロン拡散係数
UD1	0	UDの温度係数
UP	0	移動度のチャンネル長線形係数
UTE	-1.5	移動度の温度係数
VBM	-3	最大ボディ電圧
VBX	0	Vth過度ボディ電圧

BSIM4レベル14のモデルパラメータ

名前	規定値	パラメータ
VERSION*	“4.5.0”	モデルバージョンパラメータ
VFB	0	フラットバンド電圧
VFBCV	-1	capmod=0の場合にのみ、フラットバンド電圧パラメータ
VFBSDOFF	0	S/Dフラットバンド電圧オフセット
VOFF	-80m	閾値電圧オフセット
VOFFCV	0	C-V水平シフトパラメータ
VOFFL*	0	Vthオフセットの長さ依存パラメータ
VSAT	80K	tnomの飽和速度
VTH0	700m, -700m	閾値電圧
VTH0M*	0	VT短距離マッチングパラメータ
VTL	200K	熱速度
VTSD*	VTSS	ドレイン底部トラップ支援電圧依存度パラメータ
VTSS*	10	ソース底部トラップ支援電圧依存度パラメータ
VTSSWD*	VTSSWS	ドレインSTI側壁トラップ支援電圧依存パラメータ
VTSSWGD*	VTSSWGS	ドレインゲート-エッジ側壁トラップ支援電圧依存パラメータ
VTSSWGS*	10	ソースゲート-エッジ側壁トラップ支援電圧依存パラメータ
VTSSWS*	10	ソースSTI側壁トラップ支援電圧依存パラメータ
W0	2.5u	狭幅効果パラメータ
WEB*	0	SCBの係数
WEC*	0	SCCの係数
WINT*	0	チャンネル幅オフセットパラメータ
WL*	0	幅オフセットの長さ依存度の係数
WLC*	WL	CVの幅低減パラメータ
WLN*	1	幅低減パラメータ
WLOD*	0	ストレス効果の幅パラメータ
WLODKU0*	0	U0 LOD効果の幅パラメータ
WLODVTH*	0	VTH LOD効果の幅パラメータ
WMAX*	1.0	モデルの最大幅
WMIN*	0.0	モデルの最小幅
WPEMOD*	0	WPEモデルのフラグ(このモデルを起動するにはWPEMOD=1)
WR	1	RDSの幅依存度

BSIM4レベル14のモデルパラメータ

名前	規定値	パラメータ
WREF*	無	Hsiceビンイングの幅基準
WW*	0	幅低減パラメータ
WWC*	WW	CVチャンネル幅オフセットの幅依存度の係数
WWL*	0	幅オフセットの無さがと幅積項依存度の係数
WWLC*	WWL	CVチャンネル幅の長さとは幅積項依存度の係数
WWN*	1	幅オフセットの幅依存度の累乗
XGL*	0	Ldrawnの変動
XGW*	0	ゲート接触部中心からデバイスエッジまでの距離
XJ	150n	メートルでの接合深さ
XJBVD*	XJBVS	ドレインダイオード絶縁破壊電圧のフィッティングパラメータ
XJBVS*	1	ソースダイオード絶縁破壊電流のフィッティングパラメータ
XL*	0	マスク/エッチング効果に起因するチャンネル長のLオフセット
XN	3	バック散乱パラメータ
XPART*	0	チャンネル電荷分割
XRCRG1	12	ias依存Rgの一次フィッティングパラメータ
XRCRG2	1	ias依存Rgの二次フィッティングパラメータ
XT	155n	ドーピング深さ
XTID*	XTIS	ドレイン接合電流温度指数
XTIS*	3	ソース接合電流温度指数
XTSD*	XTSS	JTSDの温度への依存度の累乗
XTSS*	20m	JTSSの温度への依存度の累乗
XTSSWD*	XTSSWS	JTSSWDの温度への依存度の累乗
XTSSWGD*	XTSSWGS	JTSSWGDの温度への依存度の累乗
XTSSWGS*	20m	JTSSWGSの温度への依存度の累乗
XTSSWS*	20m	JTSSWSの温度への依存度の累乗
XW*	0	マスク/エッチング効果に起因するチャンネル幅のWオフセット

ビンニング

ビンニングは、描画されたチャンネル長 (L) と幅 (W) のさまざまな値についてモデルパラメータを調整するプロセスです。BSIMのすべてのバージョンで使用できます。アスタリスクでマークされたものを除き、すべてのモデルパラメータはビンニング可能です。

BSIM1とBSIM2のビンニングでは、Berkeleyの方法を使用し、長さと同幅の項だけを使用します。

BSIM3 (Level = 8またはLevel = 49) とBSIM4 (Level = 14) のビンニングでは、長さ、幅、積の項を使用します。これらのモデルのビンニングには2つの方法があります。

Berkeleyのオリジナルの方法

この方法は、パラメータBINFLAGが ≤ 0.9 またはWREFパラメータかLREFパラメータのどちらかがない場合に使用します。

公称値 X_0 のビンニング可能なパラメータ X は、任意の L と W について次のように計算します。

$$\begin{aligned}L_{\text{eff}} &= L - 2 * DL \\W_{\text{eff}} &= W - 2 * DW \\X &= X_0 + XL / L_{\text{eff}} + XW / W_{\text{eff}} + XP / L_{\text{eff}} / W_{\text{eff}}\end{aligned}$$

XL = パラメータ X の長さ依存度

XW = パラメータ X の幅依存度

XP = パラメータ X の積 (長さ*幅) 依存度

HSPICEの方法

この方法では、モデルパラメータ、LMIN、LMAX、WMIN、WMAX、LREF、WREFを使用して複数のセルビンニングを提供します。LMIN、LMAX、WMIN、WMAXはセルの境界を定義します。LREFとWREFは、セル境界内の値を補間するために使用するオフセット値です。モデルパラメータは、 $L_{\text{eff}} = L_{\text{ref}}$ 、 $W_{\text{eff}} = W_{\text{ref}}$ の場合に適用するものと仮定されます。

この方法を使用する場合、Micro-Capは次の形式の複数のモデル文 (またはパラメータ集合) を見つけるものと期待されます。

```
.MODEL NC.1 NMOS (WMIN=1U WMAX=5U LMIN=.1U LMAX=.3U...)  
.MODEL NC.2 NMOS (WMIN=5U WMAX=20U LMIN=.1U LMAX=.3U...)  
.MODEL NC.3 NMOS (WMIN=1U WMAX=5U LMIN=.3U LMAX=1U...)  
.MODEL NC.4 NMOS (WMIN=5U WMAX=20U LMIN=.3U LMAX=1U...)
```

ここでNCは基本モデル名であり、NC.1、NC.2、...は、WMINとWMAXの間のW値およびLMINとLMAXの間のL値のモデルパラメータです。

Micro-Capは、次の両方の文が真であるモデル文またはパラメータ集合を選択します。

$$\begin{aligned} & \text{WMIN} \leq \text{W AND W} \leq \text{WMAX} \\ & \text{LMIN} \leq \text{L AND L} \leq \text{LMAX} \end{aligned}$$

これらの条件が真であるモデル文（またはパラメータ集合）が見つからない場合は、エラーメッセージが発生します。

モデル文（またはパラメータ集合）が選択されると、ビンニング可能なパラメータが次のように計算されます。

$$\begin{aligned} \text{Leff} &= \text{L} - 2 * \text{DL} \\ \text{Weff} &= \text{W} - 2 * \text{DW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{X} &= \text{X0} + \text{Xl} * (1 / \text{Leff} - 1 / \text{LREF}) + \text{Xw} * (1 / \text{Weff} - 1 / \text{WREF}) \\ &+ \text{Xp} / (1 / \text{Leff} - 1 / \text{LREF}) / (1 / \text{Weff} - 1 / \text{WREF}) \end{aligned}$$

ここで、Xl = パラメータXの長さ依存度

Xw = パラメータXの幅依存度

Xp = パラメータXの積（長さ*幅）依存度

LとWの開始値は、SPICEネットリストデバイスのデバイス行で指定される値または回路図のデバイスのVALUE属性内で指定される値です。

Micro-Capでは、LとWをモデル文でも指定できますが、ビンニングでは常にデバイスレベルで指定されるLとWが使用されます。

モデルパラメータBINUNIT = 1と設定することにより、形状パラメータの単位をミクロンに選択できます。BINUNITで他の選択をすると、寸法はm（メートル）になります。

BSIM3とBSIM4の短距離マッチング

BSIM3とBSIM4では、パラメータVTH0Mを使用し、短距離VTHマッチングを行います。デバイスの閾値は次のように調整されます。

$$\text{VTH} = \text{VTH} + \text{VTH0M} / \text{SQRT}(\text{Weff} * \text{Leff})$$

MOSFET (EKV)

SPICE形式

EKVデバイス形式は、他のMOSFETと似ていますが、他のモデルにはない数個のデバイスパラメータがあります。

SPICE形式

構文

```
M<name> <drain> <gate> <source> <bulk> <model name>
+ [L=<length>] [W=<width>] [AD=<drainarea>]
  [AS=<sourcearea>]
+ [PD=<drainperiphery>] [PS=<sourceperiphery>]
+ [NRD=<drainsquares>] [NRS=<sourcesquares>]
+ [NRG=<gatesquares>] [NRB=<bulksquares>]
+ [NP|M=<no_parallel>] [NS|N=<no_series>]
+ [SCALE=<scale>] [GEO=<geometry_model>]
+ [TEMP=<temperature>]
+ [OFF][IC=<vds>[,vgs[,vbs]]]
```

デバイスのインスタンスの例

```
M1 5 7 9 0 IRF350 L=1.5E-6 W=0.25 NP=10 OFF IC=25.0,8.0
MS 1 2 3 4 NSC SCALE=.8 GEO=2 NRD=1 NRS=2 AS=1E-11
AD=1E-11
```

回路図での形式

PART属性

<name>

PART属性の例

M1

VALUE属性

```
+ [L=<length>] [W=<width>] [AD=<drainarea>] [AS=<sourcearea>]
+ [PD=<drainperiphery>] [PS=<sourceperiphery>]
+ [NRD=<drainsquares>] [NRS=<sourcesquares>]
+ [NRG=<gatesquares>] [NRB=<bulksquares>]
+ [NP|M=<no_parallel>] [NS|N=<no_series>]
+ [SCALE=<scale>] [GEO=<geometry_model>]
+ [TEMP=<temperature>]
+ [OFF][IC=<vds>[,vgs[,vbs]]]
```

VLALUE属性の例

M=20 NRD=10 NRS=25 NRG=5
L=.35u IC=.1, 2.00
L=.4u W=2u OFF IC=0.05,1.00

MODEL属性

<model name>

MODEL属性の例

IRF350

<width>と<length>は、描画されたデバイスのサイド拡散前のメートルでの寸法です。これらは、デバイス属性、モデルパラメータ、全般的な規定値DEFWとDEFLで指定できます。デバイスの属性はモデルパラメータに取って代わり、モデルパラメータは全般設定ダイアログボックスまたはローカルの .OPTION文の全般的なDEFWとDEFLの値に取って代わります。

初期化[IC=<vds>[, vgs [, vbs]]]は、動作点計算が行われない場合（またはUICフラグがセットされている場合）、トランジェント解析でのドレインソース、ゲートソース、ボディソース項の初期電圧を割り当てます。キーワード[OFF]により、DC動作点の最初の繰り返し中にデバイスは強制的にオフになります。

<sourceperiphery>と<drainperiphery>は、拡散外周 (m) です。<sourcearea>と<drainarea>は拡散面積 (m²) です。ソースとドレインの接合静電容量は、モデルパラメータCBSとCBDにより直接指定できます。ない場合は、面積と外周の項から計算されます。

拡散抵抗は、モデルパラメータRS、RD、RG、RBにより直接指定できます。指定されていない場合、シート抵抗率RSHおよび平方項<drainsquares>、<sourcesquares>、<gatesquares>、<bulksquares>の数値の積から計算されます。これらの項がないあるいはゼロの場合およびモデルパラメータRS、RD、RG、RBがないあるいはゼロの場合、寄生抵抗はモデル内には含まれません。抵抗値を計算するために使用される手順は、ACMモデルパラメータに依存します。これについては、「EKVダイオードパラメータの計算方法」の節で説明します。

<drainsquares>、<sourcesquares>の規定値は1.0です。他のパラメータ行の値の規定値はゼロです。

<no_parallel>は、並列のデバイスの数です。<no_series>は、直列のデバイスの数です。

<no_parallel>は、ドレイン面積、ソース面積、デバイス幅、ドレインとソースの外周に乘算され、端子抵抗RS、RD、RG、RBを除算します。

<no_series>は、デバイス長を除算します。

<scale>は、デバイスの幾何学的スケーリングを考慮するためにデバイスパラメータに乘算したり、除算したりするスケーリングパラメータです。

<geometry_model>は、形状モデルセレクタです。ACM（面積計算方法）モデルパラメータが3に設定されている場合のみ使用されます。

<temperature>は、省略可能なデバイスの動作温度です。指定されている場合は、モデルパラメータT_MEASURED、T_ABS、T_REL_GLOBAL、T_REL_LOCALから計算される動作温度に優先します。モデルパラメータからデバイスの動作温度とTnom温度を計算する方法の詳細については、26章「コマンド文」の.MODELの節を参照してください。

EKVレベル44のモデルパラメータ

セットアップパラメータ

名前	規定値	レンジ	説明
LEVEL	なし	44	MOSFETモデルレベル。EKVでは44でなければならない。
EKVINT	なし	なし	補間方法セクタ。EKVINT = 1で $F(v) = \ln^2(1 + \exp(v/2))$ を選択。
EKVDYN	0	0-1	EKVDYN = 1ですべての本質静電容量はゼロに設定。
UPDATE	なし	なし	ACM = 1のRD、RSセクタ。
SATLIM	exp(4)	なし	飽和限界を定義する比。動作点の情報についてのみ。
XQC	0.4	なし	電荷/静電容量モデルセクタ。XQC = 1で、よりシンプルな静電容量のみのモデルを選択。

プロセス関連のパラメータ

名前	規定値	レンジ	説明
COX	0.7E-3 F/m ²	なし	ゲート酸化層静電容量/面積
XJ	0.1E-6 m	>=1.0E-9	接合深さ
DW	0 m	なし	チャンネル幅補正 (通常は負)
DL	0 m	なし	チャンネル長補正 (通常は負)

基本本質モデルパラメータ

名前	規定値	レンジ	説明
L	DEFL m	DEFL m	チャンネル長
W	DEFW m	DEFW m	チャンネル幅
VTO	0.5 V	なし	長チャンネル閾値電圧
GAMMA	1.0 V ^{1/2}	>=0	ボディ効果パラメータ
PHI	0.7	>=0.1	バルクフェルミ電位
KP	50.0E-6 A/V ²	なし	トランスコンダクタンスパラメータ
E0 or EO	1.0E12 V/m	>=1E5	移動度低減係数
UCRIT	2.0E6 V/m	>=1E5	長手方向の臨界電界

EKVレベル44のモデルパラメータ

次のパラメータは、プロセスのスケーリングビヘイビア、基本本質モデルパラメータ、統計回路シミュレーションに対応するパラメータです。パラメータTOX、NSUB、VFB、UO、VAMXは、それぞれCOX、GAMMAかつ/またはPHI、VTO、KP、UCRITが指定されていない場合だけ使用されます。さらに、垂直電界に起因する簡単な移動度低減モデルにアクセスできます。移動度低減係数THETAは、E0が指定されていない場合だけ使用されます。

省略可能なパラメータ

名前	規定値	レンジ	説明
TOX	0 m	なし	酸化層厚み
NSUB	なし cm ³	なし	チャンネルドーピング
VFB	なし V	なし	平坦帯域電圧
UO	なし cm ² /(Vs)	>=0	弱い電界での移動度
VMAX	なし m/s	>=0	飽和速度
THETA	0 V ⁻¹	>=0	移動度低減係数

チャンネル長変調と電荷共有パラメータ

名前	規定値	レンジ	説明
LAMBDA	0.5	>=0	チャンネル長変調の減損長係数
WETA	0.25	なし	狭チャンネル効果係数
LETA	0.1	なし	短チャンネル効果係数

逆短チャンネル効果パラメータ

名前	規定値	レンジ	説明
Q0 or QO	0 A·s/m ²	なし	逆短チャンネル効果ピーク電荷密度
LK	0.29E-6m	>=1.0E-8	逆短チャンネル効果特性長

インパクトイオン化関連パラメータ

名前	規定値	レンジ	説明
IBA	0 1/m	なし	一次インパクトイオン化係数
IBB	3.0E8 V/m	>=1.0E8	二次インパクトイオン化係数
IBN	1.0	>0.1	インパクトイオン化の飽和電圧ファクタ

EKVレベル44のモデルパラメータ

温度パラメータ

名前	規定値	レンジ	説明
TR1	0 1/K	なし	線形抵抗温度係数
TR2	0 1/K	なし	二次抵抗温度係数
TCV	1.0E-3 V/K	なし	Vth温度係数
BEX	-1.5	なし	移動度温度の指数
UCEX	0.8	なし	長手方向臨界温度の指数
IBBT	9.0E-4 1/K	なし	IBBの温度係数
TNOM	27 °C	なし	パラメータ測定温度。TNOMはT_MEASUREDに優先。
XTI	0.0	なし	接合電流温度の指数係数
T_MEASURED	なし °C	>0.0	測定温度
T_ABS	なし °C	>0.0	絶対温度
T_REL_GLOBAL	なし °C	なし	現在の温度に対する相対値
T_REL_LOCAL	なし °C	なし	AKO温度に対する相対値

付帯抵抗パラメータ

名前	規定値	レンジ	説明
RDS	∞	なし	ドレイン-ソースシャント抵抗
RDC	0 Ω	なし	ドレイン接触抵抗
RSC	0 Ω	なし	ソース接触抵抗
RD	0 Ω	なし	ドレインオーム抵抗
RS	0 Ω	なし	ソースオーム抵抗
RG	0 Ω	なし	ゲートオーム抵抗
RB	0 Ω	なし	バルクオーム抵抗
RBSH	0 Ω /sq	なし	バルクシート抵抗率
RGSH	0 Ω /sq	なし	ゲートシート抵抗率
RSH	0 Ω /sq	なし	ソース/ドレインシート抵抗率

付帯静電容量パラメータ

名前	規定値	レンジ	説明
CGDO	0.0 F/m	なし	ゲート-ドレインオーバーラップ静電容量
CGSO	0.0 F/m	なし	ゲート-ソースオーバーラップ静電容量

EKVレベル44のモデルパラメータ

付帯静電容量パラメータ

名前	規定値	レンジ	説明
CGBO	0.0 F/m	なし	ゲート-バルクオーバーラップ静電容量
CBD	0.0 F	なし	バルクp-nゼロバイアスバルクドレイン静電容量
CBS	0.0 F	なし	バルクp-nゼロバイアスバルクソース静電容量
CJ	0.0 F/m ²	なし	バルクp-nゼロバイアス底部静電容量
CJSW	0.0 F/m	なし	バルクp-nゼロバイアス側壁静電容量
CJGATE	0.0 F	なし	ゼロバイアスゲート-エッジ側壁バルク接合静電容量。 ACM = 3の場合のみ使用。

付帯接合パラメータ

名前	規定値	レンジ	説明
MJ	0.50	>0.0	バルクp-nゼロバイアス底部グラディエント
MJSW	MJ	>0.0	バルクp-nゼロバイアス側壁係数

PN接合パラメータ

名前	規定値	レンジ	説明
ACM	0	0-3	面積計算パラメータ 0 = SPICEスタイル 1 = ASPECスタイル 2 = HSPICEスタイル 3 = HSPICEおよびスタックデバイス
TT	0.00 s	>=0	バルク遷移時間
IS	1e-14 A	>0	バルク飽和電流
N	1.00	なし	バルクエミッション係数
JS	0.0 A/m ²	>=0	バルク底部電流密度
JSW	JSW A/m ²	>=0	側壁電流密度
PB	0.80 V	なし	バルク底部電位
PBSW	PB V	なし	側壁電位
FC	0.50	なし	順方向バイアス減損係数

EKVレベル44のモデルパラメータ

マッチングパラメータ

名前	規定値	レンジ	説明
AVTO	0 V·m	なし	面積関連閾値電圧ミスマッチパラメータ
AKP	0 m	なし	面積関連ゲインミスマッチパラメータ
AGAMMA	0.0 V ^{1/2} ·m	なし	面積関連ボディ効果ミスマッチパラメータ

ノイズパラメータ

名前	規定値	レンジ	説明
KF	0	なし	フリッカーノイズパラメータ
AF	1	なし	フリッカーノイズの指数
GDSNOI	1.0	なし	チャンネルショットノイズ係数
NLEV	2.0	なし	ノイズ方程式セレクト

形状パラメータ

名前	規定値	レンジ	説明
SCALM	1.0	>0	モデルパラメータスケールファクタ
HDIF	0 m	なし	重ドーピングされた拡散部の接触部から軽ドーピングされた領域までの長さ (ACM=2、3のみ) HDIFwscaled = HDIF x SCALM
LD	なし m	なし	ソースとドレインの拡散部からチャンネルへの水平拡散。LDとXJが指定されていない場合、LDの規定値は= 0.0。LDが指定されていないがXJが指定されている場合、LDはXJから計算。LDの規定値は、0.75xXJ
LDIF	0 m	なし	ゲート (AMV=1,2) 近傍の軽ドーピングされた拡散の長さ。IDIFscaled = LDIFxSCALM
WMLT	1	なし	幅拡散層収縮低減ファクタ
XJ	0 m	なし	冶金学的接合深さ。XJscaled = XJ x SCALM

EKVダイオードパラメータの計算方法

EKVモデルは、ACM（面積計算方法）パラメータを採用してドレインとソースのダイオードパラメータのさまざまな計算方法を選択します。この方法は、HSPICEで採用された方法と似ています。

ACM = 0で、オリジナルのSPICEの方法を指定します。

ACM = 1で、オリジナルのASPECの方法を指定します。

ACM = 2で、改善されたHSPICEの方法を指定します。これは、ASPECの方法に似たモデルに基づいています。

ACM = 3で、共有されたソースとドレインの静電容量、ゲートエッジソース/ドレインとバルク外周の静電容量を取り扱い、スタックされたデバイスのモデル化を容易にしたさらに洗練されたHSPICEの方法を指定します。

ACMモデルパラメータが設定されていない場合は、規定値でACM = 0のSPICEモデルとなります。

ACM = 0とACM = 1のモデルは、HDIFを使用しません。ACM = 0ではLDIFを使用しません。

形状要素パラメータAD、AS、PD、PSは、ACM = 1のモデルでは使用されません。

ACM = 0 SPICEスタイルのダイオード

有効面積と外周

$$A_{\text{Deff}} = M \cdot AD \cdot WMLT2 \cdot SCALE^2$$

$$A_{\text{Seff}} = M \cdot AS \cdot WMLT2 \cdot SCALE^2$$

$$P_{\text{Deff}} = M \cdot PD \cdot WMLT \cdot SCALE$$

$$P_{\text{Seff}} = M \cdot PS \cdot WMLT \cdot SCALE$$

ソースダイオード飽和電流

$$\text{val} = JS_{\text{scaled}} \cdot A_{\text{Seff}} + JSW_{\text{scaled}} \cdot P_{\text{Seff}}$$

val > 0の場合、

$$is_{\text{bs}} = \text{val}$$

そうでない場合、

$$is_{\text{bs}} = M \cdot IS$$

ドレインダイオード飽和電流

$$\text{val} = JS_{\text{scaled}} \cdot A_{\text{Deff}} + JSW_{\text{scaled}} \cdot P_{\text{Deff}}$$

val > 0の場合、

$$is_{\text{bd}} = \text{val}$$

そうでない場合、

$$is_{\text{bd}} = M \cdot IS$$

ソース抵抗

$$\text{val} = NRS \cdot RSH$$

val > 0の場合、

$$R_{\text{Seff}} = (\text{val} + RSC) / M$$

そうでない場合、

$$R_{\text{Seff}} = (RS + RSC) / M$$

ドレイン抵抗

$$\text{val} = NRD \cdot RSH$$

val > 0の場合、

$$R_{\text{Deff}} = (\text{val} + RDC) / M$$

そうでない場合、

$$R_{\text{Deff}} = (RD + RDC) / M$$

ACM = 1 ASPECスタイルのダイオード

ACM = 1の場合は、ASPECの方法を使用する。パラメータAD、PD、AS、PSは使用しない。JSとCJの単位は、(ACM = 0)SPICEの場合と異なる。

有効面積と外周

$$\begin{aligned}W_{\text{eff}} &= W_{\text{eff}} \cdot M \cdot (W_{\text{scaled}} \cdot W_{\text{MLT}} + XW_{\text{scaled}}) \\A_{\text{Deff}} &= A_{\text{Seff}} = W_{\text{eff}} \cdot W_{\text{MLT}}^2 \\P_{\text{Deff}} &= P_{\text{Seff}} = W_{\text{eff}}\end{aligned}$$

ソースダイオード飽和電流

$$\text{val} = JS_{\text{scaled}} \cdot A_{\text{Seff}} + JSW_{\text{scaled}} \cdot P_{\text{Seff}}$$

val > 0の場合、
isbs = val
そうでない場合、
isbs = M · IS

ドレインダイオード飽和電流

$$\text{val} = JS_{\text{scaled}} \cdot A_{\text{Deff}} + JSW_{\text{scaled}} \cdot P_{\text{Deff}}$$

val > 0の場合、
isbd = val
そうでない場合、
isbd = M · IS

ソース抵抗

UPDATE = 0の場合、
$$R_{\text{Seff}} = RS \cdot (LD_{\text{scaled}} + LDIF_{\text{scaled}}) / W_{\text{eff}} + (NRS \cdot RSH + RSC) / M$$

そうではなく、UPDATE >= 1 かつ LDIF = 0 の場合、
$$R_{\text{Seff}} = (RS + NRS \cdot RSH + RSC) / M$$

それ以外の場合、
RSeff = 0

ドレイン抵抗

UPDATE = 0の場合、
$$R_{\text{Deff}} = RD \cdot (LD_{\text{scaled}} + LDIF_{\text{scaled}}) / W_{\text{eff}} + (NRD \cdot RSH + RDC) / M$$

そうではなく、UPDATE >= 1 かつ LDIF = 0 の場合、
$$R_{\text{Deff}} = (RD + NRD \cdot RSH + RDC) / M$$

それ以外の場合、
RDeff = 0

ACM = 2 HSPICE™スタイルのダイオード

この方法では、SPICEの手順とのモデルパラメータの互換性を完全に保ちながら、ASPECの方法と似た折り畳み計算を使用します。また、(LD、LDIF、HDIFのパラメータを設定することにより) 軽ドーピングされた拡散と重ドーピングされた拡散の両方をサポートします。SPICEで使用するJS、JSW、CJ、CJSWの単位は維持され、完全な互換性を保ちます。ACM = 2の場合、ACM = 1のダイオードパラメータ値よりも妥当性があるダイオードパラメータ値を生成します。ACM = 2の形状は、次のどちらかの方法で生成できます。

デバイスパラメータ：AD、AS、PD、PSが指定される場合は、それらを寄生生成に使用できます。これらのパラメータのデフォルトオプション値は適用できません。

ダイオードを抑制する場合は、IS = 0、AD = 0、AS = 0に設定します。

エレメント内にAS = 0が設定され、モデル内にIS = 0が設定されている場合はソースダイオードを抑制でき、これは共有接点の設定に便利です。

有効面積と外周

ADが設定されない場合、

$$A_{\text{Deff}} = 2 \cdot HDIF_{\text{eff}} \cdot W_{\text{eff}}$$

そうでない場合、

$$A_{\text{Deff}} = M \cdot AD \cdot WMLT^2 \cdot SCALE^2$$

ASが設定されない場合、

$$A_{\text{Seff}} = 2 \cdot HDIF_{\text{eff}} \cdot W_{\text{eff}}$$

そうでない場合、

$$A_{\text{Seff}} = M \cdot AS \cdot WMLT^2 \cdot SCALE^2$$

PDが設定されない場合、

$$P_{\text{Deff}} = 4 \cdot HDIF_{\text{eff}} + 2 \cdot W_{\text{eff}}$$

そうでない場合、

$$P_{\text{Deff}} = M \cdot PD \cdot WMLT \cdot SCALE$$

PSが設定されない場合、

$$P_{\text{Seff}} = 4 \cdot HDIF_{\text{eff}} + 2 \cdot W_{\text{eff}}$$

そうでない場合、

$$P_{\text{Seff}} = M \cdot PS \cdot WMLT \cdot SCALE$$

ACM = 2 HSPICE™スタイルのダイオード

ここで、項は次のように定義されます。

$$\begin{aligned}W_{\text{eff}} &= M \cdot (W_{\text{scaled}} \cdot W_{\text{MLT}} + XW_{\text{scaled}}) \\HDIF_{\text{scaled}} &= HDIF \cdot W_{\text{MLT}} \cdot SCALM \\HDIF_{\text{eff}} &= HDIF_{\text{scaled}}\end{aligned}$$

ソースダイオード飽和電流

$$val = JS_{\text{scaled}} \cdot A_{\text{Seff}} + JSW_{\text{scaled}} \cdot P_{\text{Seff}}$$

val > 0の場合、
isbs = val
そうでない場合、
isbs = M · IS

ドレインダイオード飽和電流

$$val = JS_{\text{scaled}} \cdot A_{\text{Deff}} + JSW_{\text{scaled}} \cdot P_{\text{Deff}}$$

val > 0の場合、
isbd = val
そうでない場合、
isbd = M · IS

ソース抵抗

NRSが指定される場合、
$$R_{\text{Seff}} = RS \cdot (LD_{\text{scaled}} + LDIF_{\text{scaled}}) / W_{\text{eff}} + (NRS \cdot RSH + RSC) / M$$

そうでない場合
$$R_{\text{Seff}} = RSC / M + (HDIF_{\text{eff}} \cdot RSH + (LD_{\text{scaled}} \cdot LDIF_{\text{scaled}}) \cdot RS) / W_{\text{eff}}$$

ドレイン抵抗

NRDが指定される場合、
$$R_{\text{Deff}} = RD \cdot (LD_{\text{scaled}} + LDIF_{\text{scaled}}) / W_{\text{eff}} + (NRD \cdot RSH + RDC) / M$$

そうでない場合
$$R_{\text{Deff}} = RDC / M + (HDIF_{\text{eff}} \cdot RSH + (LD_{\text{scaled}} \cdot LDIF_{\text{scaled}}) \cdot RD) / W_{\text{eff}}$$

ACM = 3 改善されたHSPICE™スタイルのダイオード

ACM = 3の方法は、スタックされたデバイスを正しくモデル化するように設計されています。CJGATEモデルパラメータは、ゲートエッジに沿ったドレインとソースの外周静電容量を独立してモデル化しますので、PDとPSの計算にはゲートの外周長は含まれません。CJGATEの規定値はCJSWです。つまり規定値は0ということです。

AD、AS、PD、PSの計算は、デバイスのレイアウトに依存し、これはデバイスパラメータGEO（属性ダイアログボックス内で指定するか、1つのエレメント行についてSPICEファイル内で指定する）の値によって決まります。それは次のような値になります。

GEO = 0 (規定値) ドレインもソースも別のデバイスと共有しない。

GEO = 1 ドレインが別のデバイスと共有する。

GEO = 2 ソースが別のデバイスと共有する。

GEO = 3 ドレインとソースが両方とも別のデバイスと共有する。

有効面積と外周

ADが指定されない場合、

GEO = 0または2について： $A_{Deff} = 2 \cdot HDIFeff \cdot Weff$

GEO = 1または3について： $A_{Deff} = HDIFeff \cdot Weff$

そうでない場合、

$A_{Deff} = M \cdot AD \cdot WMLT^2 \cdot SCALE^2$

ASが指定されない場合、

GEO = 0または1について： $A_{Seff} = 2 \cdot HDIFeff \cdot Weff$

GEO = 2または3について： $A_{Seff} = HDIFeff \cdot Weff$

そうでない場合、

$A_{Seff} = M \cdot AS \cdot WMLT^2 \cdot SCALE^2$

PDが指定されない場合、

GEO = 0または2について： $PDeff = 4 \cdot HDIFeff + Weff$

GEO = 1または3について： $PDeff = 2 \cdot HDIFeff$

そうでない場合、

$PDeff = M \cdot PD \cdot WMLT \cdot SCALE$

PSが指定されない場合、

GEO = 0または1について： $PSeff = 4 \cdot HDIFeff + Weff$

GEO = 2または3について： $PSeff = 2 \cdot HDIFeff$

そうでない場合、

$PSeff = M \cdot PS \cdot WMLT \cdot SCALE$

W_{eff}とHDIF_{eff}は次のように計算します。

$$\begin{aligned}W_{\text{eff}} &= M \cdot (W_{\text{scaled}} \cdot W_{\text{MLT}} + XW_{\text{scaled}}) \\HDIF_{\text{scaled}} &= HDIF \cdot SCALM \\HDIF_{\text{eff}} &= HDIF_{\text{scaled}} \cdot W_{\text{MLT}}\end{aligned}$$

有効飽和電流計算

(ACM = 2と同じ)

ソースダイオード飽和電流

$$\text{val} = JS_{\text{scaled}} \cdot A_{\text{Seff}} + JSW_{\text{scaled}} \cdot P_{\text{Seff}}$$

val > 0 の場合、
isbs = val
そうでない場合、
isbs = M · IS

ドレインダイオード飽和電流

$$\text{val} = JS_{\text{scaled}} \cdot A_{\text{Deff}} + JSW_{\text{scaled}} \cdot P_{\text{Deff}}$$

val > 0の場合、
isbd = val
そうでない場合、
isbd = M · IS

有効ドレイン抵抗と有効ソース抵抗

(ACM = 2と同じ)

ソース抵抗

NRSが指定される場合、

$$R_{\text{Seff}} = RS \cdot (LD_{\text{scaled}} + LDIF_{\text{scaled}}) / W_{\text{eff}} + (NRS \cdot RSH + RSC) / M$$

そうでない場合

$$R_{\text{Seff}} = RSC / M + (HDIF_{\text{eff}} \cdot RSH + (LD_{\text{scaled}} \cdot LDIF_{\text{scaled}}) \cdot RS) / W_{\text{eff}}$$

ドレイン抵抗

NRDが指定される場合、

$$R_{\text{Deff}} = RD \cdot (LD_{\text{scaled}} + LDIF_{\text{scaled}}) / W_{\text{eff}} + (NRD \cdot RSH + RDC) / M$$

そうでない場合

$$R_{\text{Deff}} = RDC / M + (HDIF_{\text{eff}} \cdot RSH + (LD_{\text{scaled}} \cdot LDIF_{\text{scaled}}) \cdot RD) / W_{\text{eff}}$$

ノイズモデル

次に説明するMOSFETのノイズモデルは、レベル1、2、3、4、5、EKMのモデルに使用されます。

NLEVが定義されている場合は、BSIM3（レベル8）とBSIM4（レベル14）でも使用されます。NLEVが定義されていない場合、ネイティブなBerkeley BSIM3とBSIM4のノイズモデルが使用されます。

ピン抵抗サーマルノイズの項

$$I_{rg}^2 = 4 \cdot k \cdot T / RG$$

$$I_{rd}^2 = 4 \cdot k \cdot T / RD$$

$$I_{rs}^2 = 4 \cdot k \cdot T / RS$$

$$I_{rb}^2 = 4 \cdot k \cdot T / RB$$

チャネルとショットフリッカーノイズの項

$$I_{channel}^2 = I_{shot}^2 + I_{フリッカー}^2$$

本質フリッカーノイズ

$$\text{NLEV} = 0 \text{ の場合、} I_{フリッカー}^2 = KF \cdot I_{drain}^{AF} / (COX \cdot Leff^2 \cdot f)$$

$$\text{NLEV} = 1 \text{ の場合、} I_{フリッカー}^2 = KF \cdot I_{drain}^{AF} / (COX \cdot Weff \cdot Leff \cdot f)$$

$$\text{NLEV} = 2 \text{ または } 3 \text{ の場合、} I_{フリッカー}^2 = KF \cdot Gm^{AF} / (COX \cdot Weff \cdot Leff \cdot f^{AF})$$

本質ショットノイズ

NLEV < 3 の場合、

$$I_{shot}^2 = (8/3) \cdot k \cdot T \cdot gm$$

NLEV = 3 の場合、

$$I_{shot}^2 = (8/3) \cdot k \cdot T \cdot gm \cdot GDSNOI \cdot beta \cdot (Vgs - Vth) \cdot (1 + a + a^2) / (1 + a)$$

ここで、 $Vds \leq Vdsat$ （リニア領域）の場合は $a = 1 - Vds / Vdsat$ 、それ以外の場合は $a = 0$

EKVの短距離マッチング

EKVモデルは、閾値電圧にはAVTO、ガンマにはAGAMMA、KPにはAKPの短距離マッチングパラメータを提供します。これらのパラメータは次のように計算します。

$$V_{TH} = V_{TH} + AVTO / \text{SQRT}(W_{eff} * L_{eff})$$

$$GAMMA = GAMMA + AGAMMA / \text{SQRT}(W_{eff} * L_{eff})$$

$$KP = KP + AKP / \text{SQRT}(W_{eff} * L_{eff})$$

MOSFET Philipsモデル 11

Philips Model 11はコンパクトなMOSFETモデルで、最新CMOS技術におけるデジタル、アナログ、RF回路シミュレーションを対象とします。表面電位の定式化により、運転境界全域での導関数の連続性が保証されます。インスタンス書式は他のMOSFETデバイスと同様ですが、パラメータの数は少なくなっています。モデルはソースもドレインダイオードも含まないことに注意してください。これらは、必要な場合に、通常MOSFETを含むサブサーキットの一部として、JUNCAPダイオードモデルを用いて追加されます。

SPICEでの書式

幾何およびピンニングモデルの構文

M<name> <drain> <gate> <source> <bulk> <model name>
+[L=<Length>] [W=<width>] [M=<no_parallel>]

電気モデルの構文

M<name> <drain> <gate> <source> <bulk> <model name>
+[M=<no_parallel>]

幾何およびピンニングモデルのデバイスインスタンスの例

MS 1 2 3 4 NSC L=.25u W=1.2u M=20

回路図での書式

PART属性

<name>

PART属性の例

M1

幾何およびピンニングモデルVALUE属性の構文

[L=<Length>] [W=<width>] [M=<no_parallel>]

幾何およびピンニングモデルのVALUE属性の例

M=20 L=.4u W=2u

電気モデルVALUE属性の構文

[M=<no_parallel>]

MODEL属性

<model name>

MODEL属性の例
IRF350

<width>と<length>はデバイスの側方拡散前の描画寸法で、メートル単位です。これらは、デバイス属性またはモデルパラメータとして指定できます。デバイスの属性が指定された場合、デバイス属性はモデルパラメータに優先します。モデル属性もデバイス属性も指定されていない場合、それらは規定値 $W=10\mu$ 、 $L=2\mu$ と仮定します。

<no_parallel>は、並列のデバイスの数です。これが指定されると、電流依存度および酸化層静電容量モデルパラメータを乗算するMULTモデルパラメータに優先します。

Philips Model 11の等価回路は次のとおりです。

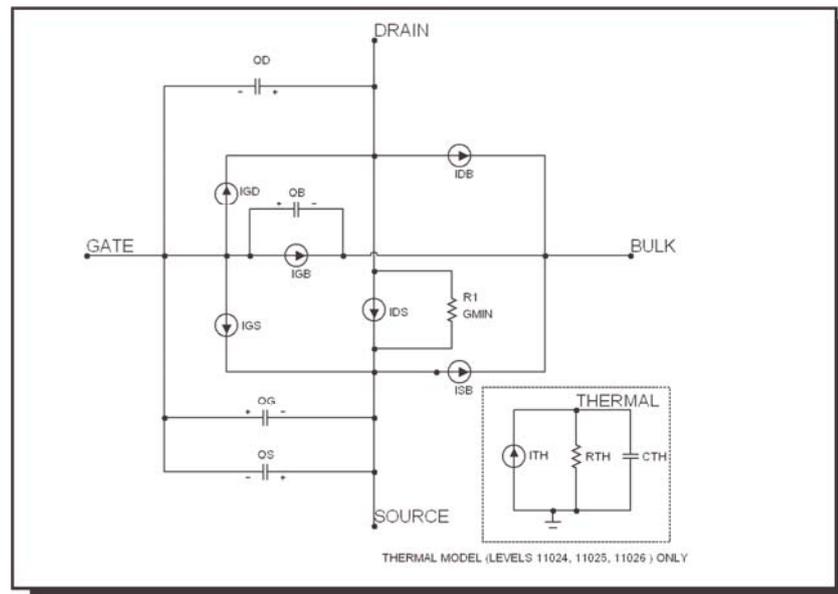


図22-21 Philipsモデル11の電気モデル

モデルパラメータ

Micro-Capで使用できるModel 11は実際には14バージョンあります。初回のリリース(1100)は電気と幾何の2タイプしかありませんでした。Philipsがリリースした最新の2バージョン(1101と1102)の各々は、3つのバリエーション(電気、幾何、ビンニング)の2種類(熱と標準)です。どれもが従来のものでしてMicro-Capで利用できますが、本書では2006年3月付けの最新モデル1102.3について述べます。

初回リリース1100

Micro-Cap	Philips	説明
11001 1100	電気	
11002 1100	幾何	

2回目リリース1101

Micro-Cap	Philips	説明
11011 1101	電気	
11012 1101	幾何	
11013 1101	ビンニング	
11014 1101	電気サーマル	
11015 1101	幾何サーマル	
11016 1101	ビンニングサーマル	

3回目リリース1102

Micro-Cap	Philips	説明
11021 1102	電気	
11022 1102	幾何	
11023 1102	ビンニング	
11024 1102	電気サーマル	
11025 1102	幾何サーマル	
11026 1102	ビンニングサーマル	

次のパラメータ表ではレベルパラメータが先に示され、その他のモデルパラメータはアルファベット順に列挙されています。NMOSとPMOSデフォルトパラメータが異なる場合、それらはNMOSおよびPMOSとして示されています。

アスタリスクの付いたパラメータはPhilips 1102モデルでは新しいもので、以前のバージョンでは使用できません。NMOS、PMOS規定値が異なる場合は、規定値入力で両者を指定します。

レベル11021/11024のモデルパラメータ (Philips 1102.3電気)

名前	規定値	説明
LEVEL	11021または11024	モデルレベル。標準モデルには11021を使用し、サーマルモデルには11024を使用。
A1	6.0221,6.8583	弱なだれ電流の係数
A2	38.017,57.324	弱なだれ電流の指数
A3	0.6407,0.4254	上回ると弱なだれが発生するドレイン-ソース電圧の係数
AGIDL	0	ゲート誘導漏れ電流の利得係数
ALP	25m	チャンネル長変調の係数
BACC	48	蓄積での本質ゲートトンネル電流の確率係数
BET	1.9215m,381.4u	利得係数
BGIDL	41	基準温度でのゲート誘導ドレイン漏れ電流の確率係数
BINV	48,87.5	反転での本質ゲートトンネル電流の確率係数
CGDO	6.392f,6.358f	ゲート-ドレインオーバーラップの酸化物容量
CGIDL	0	ゲート誘導漏れ電流の水平磁界依存度の係数
CGSO	6.392f,6.358f	ゲート-ソースオーバーラップの酸化物容量
*CS	0	クーロン散乱係数
COX	29.8f,27.17f	本質チャンネルの酸
DTA	0	デバイスの温度オフセット
ETABET	1.3,0.5	利得係数の温度依存度の指数
*ETACS	0	CSの温度依存度指数
ETAMOB	1.4,3	空乏電荷への依存度に対する実効磁界パラメータ
ETAPH	1.35,3.75	THEPH温度依存度指数
ETAR	950m,400m	THER温度依存度指数
ETASAT	1.04,860m	THESAT温度依存度指数
ETASR	650m,500m	THESR温度依存度指数
GATENOISE	0	誘導ゲートサーマルノイズフラグ (1=含む)
IGACC	0	蓄積での本質ゲートトンネル電流の利得係数
IGINV	0	反転での本質トンネル電流の利得係数
IGOV	0	ソース/ドレインオーバーラップトンネル電流の利得指数
KO	500m	ボディ効果係数

レベル11021/11024のモデルパラメータ (Philips 1102.3電気)

名前	規定値	説明
KOV	2.5	ソース/ドレインオーバーラップ 拡張のボディ効果係数
KPINV	0	ポリ-シリコンゲートのボディ効果 係数の逆数
MEXP	5	スムージング係数
MO	0	短チャンネル閾値下傾きのパラ メータ
MULT	1	並列のデバイスの数
NFA	8.32E22,1.9E22	フリッカーノイズの第一係数
NFB	25.14E6,5.04E6	フリッカーノイズの第二係数
NFC	0,362.7p	フリッカーノイズの第三係数
NT	.00001624f	サーマルノイズ係数
NU	2	移動度モデルの電界依存度の指 数
NUEXP	5.25,3.23	パラメータNUの温度依存度の指 数
PHIB	950m	強い反転開始時の表面電位
SDIBL	853u,35.51u	ドレイン誘導バリア低下パラメ ータ
SSF	12m,10m	静的フィードバックパラメータ
STA1	0	A1温度係数
STBGIDL	-363.8u	BGIDL温度係数
STETAMOB	0	ETAMOB温度係数
STPHIB	-850u	PHIB温度係数
STVFB	500u	VFB温度係数
THEPH	12.9m,1m	フォノン散乱に起因する移動度 劣化パラメータ
THER	81.2m,79m	直列抵抗係数
THER1	0	直列抵抗のゲート電圧依存パー トの分子
THER2	1	直列抵抗のゲート電圧依存パー トの分母
THESAT	251.3m,172.8m	光/音響型フォノン散乱に起因す る速度飽和パラメータ
THESR	356.2m,730m	表面粗度散乱に起因する移動度 劣化パラメータ
THETH	10u,0	自己発熱の係数

レベル11021/11024のモデルパラメータ (Philips 1102.3電気)

名前	規定値	説明
TOX	3.2n	ゲート酸化物層の厚さ
TR	21	基準温度
VFB	-1.05	基準温度でのフラットバンド電圧
VFBOV	0	ソース/ドレインオーバーラップ 拡張に対するフラットバンド電圧
VP	50m	チャンネル長変調の特性電圧

サーマルモデル (レベル=11024) では、熱的效果に対応するために3つの追加パラメータがあります。

名前	規定値	説明
ATH	0	熱抵抗温度係数
CTH	3n	熱容量
RTH	300	熱抵抗

レベル11022/11025のモデルパラメータ (Philips 1102.3幾何)

名前	規定値	説明
LEVEL	11022または11025	モデルレベル。標準モデルには11022を使用し、サーマルモデルには11025を使用。
A1R	6	弱なだれ電流係数
A2R	38	弱なだれ電流指数
A3R	1	上回ると弱なだれが発生するドレインソース電圧の係数
AGIDLR	0	ゲート誘導漏れ電流の利得係数
ALPEXP	1	ALPの長さ依存度の指数
ALPR	10m	チャンネル長変調の指数
BACC	48	蓄積での本質ゲートトンネル電流の確率係数
BETSQ	370.9u,115u	無限スクウェアトランジスタの利得係数
BGIDL	41	基準温度でのゲート誘導ドレイン漏れ電流の確率係数
BINV	48,87.5	反転での本質ゲートトンネル電流の確率係数
CGIDL	0	ゲート誘導漏れ電流の水平磁界依存度の係数
CSEXP	1	CSの長さ依存度の指数
COL	.32f	1umのチャンネル幅のゲートオーバーラップ容量
*CSR	0	クーロン散乱係数
DTA	0	デバイスの温度オフセット
ETABETR	1.3,500m	利得係数温度依存度指数
*ETACS	0	CSの温度依存度指数
ETAMOBR	1.4,3	空乏/反転電荷への依存度の実効磁界パラメータ
ETAPH	1.35,3.75	THEPH温度依存度指数
ETAR	950m,400m	THER温度依存度指数
ETASAT	1.04,860m	THESAT温度依存度指数
ETASR	650m,500m	THESR温度依存度指数
FBET1	0	第一水平プロフィールに起因する相対移動度減少
FBET2	0	第二水平プロフィールに起因する相対移動度減少
GATENOISE	0	誘導ゲートサーマルノイズフラグ (1=含む)
IGACCR	0	蓄積での本質ゲートトンネル電流の利得係数

レベル11022/11025のモデルパラメータ (Philips 1102.3幾何)

名前	規定値	説明
IGINVR	0	反転での本質トンネル電流の利得係数
IGOVR	0	ソース/ドレインオーバーラップゲートトンネル電流の利得指数
KOR	500m	基準デバイスのボディ効果係数
KOV	2.5	ソース/ドレインオーバーラップ拡張のボディ効果係数
KPINV	0	ポリゲートのボディ効果係数の逆数
L	2u	レイアウトでの描画チャンネル長
LAP	40n	サイド当りの実効チャンネル長低減
LMIN	150n	スムージング係数mの計算に使われる技術における最少実効チャンネル長
LP1	800n	第一水平プロファイルの特性長
LP2	800n	第二水平プロファイルの特性長
LVAR	0	実際のポリシリコンゲート長とプログラムされたものとの差異
MOEXP	1.34	MOの長さ依存度の指数
MOO	0	短チャンネル閾値下傾きパラメータ
MOR	0	ユニット長当たりの短チャンネル閾値下傾きパラメータ
MULT	1	並列のデバイスの数
NFAR	1.573E23,3.825E24	1um ² のチャンネル領域に対するフリッカーノイズの第一係数
NFBR	4.752G,1.015G	1um ² のチャンネル領域に対するフリッカーノイズの第二係数
NFCR	0,73n	1um ² のチャンネル領域に対するフリッカーノイズの第三係数
NT	.00001624f	サーマルノイズ係数
NU	2	移動度磁界依存度指数
NUEXP	5.25,3.23	NU温度依存度指数
PHIB	950m	強い反転開始時の表面電位
SDIBLEXP	1.35	SDIBL長さ依存度指数
SDIBLO	100u	ドレイン誘導バリア低下パラメータ
SL2KO	0	KOの長さ依存度の第二係数
SL2PHIB	0	PHIBの長さ依存度の第二係数
SLA1	0	A1長さ依存度係数

レベル11022/11025のモデルパラメータ (Philips 1102.3幾何)

名前	規定値	説明
SLA2	0	A2長さ依存度係数
SLA3	0	A3長さ依存度係数
SLALP	1	ALP長さ依存度係数
*SLCS	0	CS長さ依存度係数
SLETABET	0	ETABETRの長さ依存度係数
SLKO	0	KO長さ依存度係数
SLPHIB	0	PHIB長さ依存度係数
SLSSF	1	SSF長さ依存度係数
SLTHESAT	1	THESATの長さ依存度係数
SSFR	6.25m	静的フィードバックパラメータ
STA1	0	A1温度係数
STBGIDL	-363.8u	BGIDL温度係数
STETAMOB	0	ESAMOB温度係数
STPHIB	-850u	PHIB温度係数
STVFB	500u	VFB温度係数
SWA1	0	A1幅依存度係数
SWA2	0	A2幅依存度係数
SWA3	0	A3幅依存度係数
SWALP	0	ALP幅依存度係数
*SWCS	0	CS幅依存度係数
SWETAMOB	0	ETAMOB幅依存度係数
SWKO	0	KO幅依存度係数
SWPHIB	0	PHIB幅依存度係数
SWSSF	0	SSF幅依存度係数
SWTHEPH	0	THEPH幅依存度係数
SWTHER	0	THER幅依存度係数
SWTHESAT	0	THESAT幅依存度係数
SWTHESR	0	THESR幅依存度係数
SWTHETH	0	THETH幅依存度係数
THEPHR	12.9m,1m	フォノン散乱に起因する移動度 低減係数
THER1	0	直列抵抗のゲート電圧依存パート の分子
THER2	1	直列抵抗のゲート電圧依存パート の分母
THERR	155m,80m	直列抵抗の係数
THESATEXP	1	THESATの長さ依存度の指数
THESATR	500m,200m	光/音響型フォノン散乱に起因する 速度飽和パラメータ

レベル11022/11025のモデルパラメータ (Philips 1102.3幾何)

名前	規定値	説明
THESRR	400m,730m	表面粗度散乱に起因する移動度低減パラメータ
THETHEXP	1	THETH長さ依存度指数
THETHR	1m,500u	自己発熱の係数
TOX	3.2n	ゲート酸化物層の厚さ
TR	21	基準温度
VFB	-1.05	基準温度でのフラットバンド電圧
VFBOV	0	ソース/ドレインオーバーラップ拡張のフラットバンド電圧
VP	50m	チャンネル長変調の特性電圧
W	10u	レイアウトでの描画チャンネル幅
WOT	0	サイド当りの実効チャンネル幅低減
WVAR	0	実際の磁界酸化物オープニングとプログラムされたものとの差異

サーマルモデル (レベル=11025) では、熱的效果に対応するために3つの追加パラメータがあります。

名前	規定値	説明
ATH	0	熱抵抗温度係数
CTH	3n	熱容量
RTH	300	熱抵抗

レベル11023/11026のモデルパラメータ (Philips 1102.3ピンニング)

名前	規定値	説明
LEVEL	11023または11026	モデルレベル。標準モデルには11023を使用し、サーマルモデルには11026を使用。
DTA	0	デバイスの温度オフセット
GATENOISE	0	誘導ゲートサーマルノイズフラグ
KOV	2.5	ソース/ドレインオーバーラップ拡張のボディ効果係数
KPINV	0	ポリ-シリコンゲートのボディ効果係数の逆数
L	2u	レイアウトの描画チャンネル長さ
LAP	40n	サイド当りの実効チャンネル長さ低減
LVAR	0	実際のポリシリコンゲート長とプログラムされたものとの差異
MULT	1	並列のデバイスの数
NT	.00001624f	サーマルノイズ係数
NU	2	移動度モデル磁界依存度指数

長さ依存度の係数

名前	規定値	関連パラメータ
PLA1	0	A1
PLA2	0	A2
PLA3	0	A3
PLAGIDL	0	AGIDL
PLALP	0	ALP
PLBACC	0	BACC
PLBET	0	BET
PLBGIDL	0	BGIDL
PLBINV	0	BINV
PLCGDO	0	CGDO
PLCGIDL	0	CGIDL
PLCGSO	0	CGSO
PLCOX	0	COX
PLCS	0	CS
PLETAMOB	0	ETAMOB
PLIGACC	0	IGACC
PLIGINV	0	IGINV
PLIGOV	0	IGOV
PLKO	0	KO
PLMEXP	0	MEXP
PLMO	0	MO

レベル11023/11026のモデルパラメータ (Philips 1102.3ビンニング)

長さ依存度係数

名前	規定値	関連パラメータ
PLNFA	0	NFA
PLNFB	0	NFB
PLNFC	0	NFC
PLPHIB	0	PHIB
PLSDIBL	0	SDIBL
PLSSF	0	SSF
PLTA1	0	STA1
PLTBGIDL	0	STBGIDL
PLTETABET	0	ETABET
*PLTETACS	0	ETACS
PLTETAMOB	0	STETAMOB
PLTETAPH	0	ETAPH
PLTETAR	0	ETAR
PLTETASAT	0	ETASAT
PLTETASR	0	ETASR
PLTHEPH	0	THEPH
PLTHER	0	THER
PLTHESAT	0	THESAT
PLTHESR	0	THESR
PLTHETH	0	THETH
PLTNUEXP	0	NUEXP
PLTPHIB	0	STPHIB
PLTVFB	0	STVFB

長さ*幅積依存度の係数

名前	規定値	関連パラメータ
PLWA1	0	A1
PLWA2	0	A2
PLWA3	0	A3
PLWAGIDL	0	AGIDL
PLWALP	0	ALP
PLWBACC	0	BACC
PLWBET	0	BET
PLWBGIDL	0	BGIDL
PLWBINV	0	BINV
PLWCGDO	0	CGDO
PLWCGIDL	0	CGIDL
PLWCGSO	0	CGSO

レベル11023/11026のモデルパラメータ (Philips 1102.3ピンニング)

長さ*幅積依存度の係数

名前	規定値	関連パラメータ
PLWCOX	0	COX
*PLWCS	0	CS
PLWETAMOB	0	ETAMOB
PLWIGACC	0	IGACC
PLWIGINV	0	IGINV
PLWIGOV	0	IGOV
PLWKO	0	KO
PLWMEXP	0	MEXP
PLWMO	0	MO
PLWNFA	0	NFA
PLWNFB	0	NFB
PLWNFC	0	NFC
PLWPHIB	0	PHIB
PLWSDIBL	0	SDIBL
PLWSSF	0	SSF
PLWTA1	0	STA1
PLWTBGIDL	0	STBGIDL
PLWTETABET	0	ETABET
*PLWTETACS	0	ETACS
PLWTETAMOB	0	STETAMOB
PLWTETAPH	0	ETAPH
PLWTETAR	0	ETAR
PLWTETASAT	0	ETASAT
PLWTETASR	0	ETASR
PLWTHEPH	0	THEPH
PLWTHER	0	THER
PLWTHESAT	0	THESAT
PLWTHESR	0	THESR
PLWTHETH	0	THETH
PLWTNUEXP	0	NUEXP
PLWTPHIB	0	STPHIB
PLWTVFB	0	STVFB

幾何依存値

名前	規定値	値
POA1	6.022,6.858	A1
POA2	38.02,57.32	A2
POA3	640.7m,425.4m	A3

レベル11023/11026のモデルパラメータ (Philips 1102.3ピンニング)

幾何依存度値

名前	規定値	値
POAGIDL	0	AGIDL
POALP	25m	ALP
POBACC	48	BACC
POBET	1.922m,381.4u	BET
POBGIDL	41	BGIDL
POBINV	48,87.5	BINV
POCGDO	6.392f,6.358f	CGDO
POCGIDL	0	CGIDL
POCGSO	6.392f,6.358f	CGSO
POCOX	29.8f,27.17f	COX
*POCS	0	CS
POETAMOB	1.4,3	ETAMOB
POIGACC	0	IGACC
POIGINV	0	IGINV
POIGOV	0	IGOV
POKO	500m	KO
POMEXP	200m	MEXP
POMO	0	MO
PONFA	8.323E22,1.9E22	NFA
PONFB	25.14E6,5.043E6	NFB
PONFC	0,362.7p	NFC
POPHIB	950m	PHIB
POSDIBL	853u,35.51u	SDIBL
POSSF	12m,10m	SSF
POTA1	0	STA1
POTBGIDL	-363.8u	STBGIDL
POTETABET	1.3,500m	ETABET
*POTETACS	0	ETACS
POTETAMOB	0	STETAMOB
POTETAPH	1.35,3.75	ETAPH
POTETAR	950m,400m	ETAR
POTETASAT	1.04,860m	ETASAT
POTETASR	650m,500m	ETASR
POTHEPH	12.9m,1m	THEPH
POTHER	81.2m,79m	THER
POTHESAT	251.3m,172.8m	THESAT
POTHSR	356.2m,730m	THESR
POTHETH	10u,0	THETH

レベル11023/11026のモデルパラメータ (Philips 1102.3ピンニング)

幾何依存度値

名前	規定値	値
POTNUEXP	5.23,3.23	NUEXP
POTPHIB	-850u	STPHIB
POTVFB	500u	STVFB

幅依存度の係数

名前	規定値	関連パラメータ
PWA1	0	A1
PWA2	0	A2
PWA3	0	A3
PWAGIDL	0	AGIDL
PWALP	0	ALP
PWBACC	0	BACC
PWBET	0	BET
PWBGIDL	0	BGIDL
PWBINV	0	BINV
PWCGDO	0	CGDO
PWCGIDL	0	CGIDL
PWCGSO	0	CGSO
PWCOX	0	COX
*PWCS	0	CS
PWETAMOB	0	ETAMOB
PWIGACC	0	IGACC
PWIGINV	0	IGINV
PWIGOV	0	IGOV
PWKO	0	KO
PWMEXP	0	MEXP
PWMO	0	MO
PWNFA	0	NFA
PWNFB	0	NFB
PWNFC	0	NFC
PWPHIB	0	PHIB
PWSDIBL	0	SDIBL
PWSSF	0	SSF
PWTA1	0	STA1
PWTBGIDI	0	STBGIDL
PWTETABET	0	ETABET
*PWTETACS	0	ETACS
PWTETAMOB	0	STETAMOB

レベル11023/11026のモデルパラメータ (Philips 1102.3ピンニング)

幅依存度値の係数

名前	規定値	関連パラメータ
PWTETAPH	0	ETAPH
PWTETAR	0	ETAR
PWTETASAT	0	ETASAT
PWTETASR	0	ETASR
PWTHEPH	0	THEPH
PWOTHER	0	THER
PWTHESAT	0	THESAT
PWTHESR	0	THESR
PWTHETH	0	THETH
PWTNUEXP	0	NUEXP
PWTPHIB	0	STPHIB
PWTVFB	0	STVFB

残りのパラメータ

名前	規定値	説明
THER1	0	直列抵抗のゲート電圧依存パートの分子
THER2	1	直列抵抗のゲート電圧依存パートの分母
TOX	3.2n	ゲート酸化物層の厚さ
TR	21	基準温度
VFB	-1.05	基準温度でのフラットバンド電圧
VFBOV	0	ソース/ドレインオーバーラップ拡大に対するフラットバンド電圧
VP	50m	チャンネル長変調の特性電圧
W	10u	レイアウトの描画チャンネル幅
WOT	0	サイド当りの実効チャンネル幅低減
WVAR	0	実際の磁界酸化物オープニングとプログラムされたものとの差異

サーマルモデル (レベル=11026) では、熱的効果に対応するために3つの追加パラメータがあります。

名前	規定値	説明
ATH	0	熱抵抗温度係数
CTH	3n	熱容量
RTH	300	熱抵抗

MOSFET Philipsモデル 20

Philips Model 20は非対称、表面電位ベースのLDMOSモデルで、チャンネル領域における弱い反転から強い反転への遷移およびドリフト領域における蓄積から空乏への遷移についても説明します。また、チャンネル領域の弱反転および強反転、ドリフト領域の蓄積と空乏、チャンネルおよびドリフトの両領域における移動度低減、チャンネル領域の速度飽和、チャンネル領域のコンダクタンス効果（チャンネル長変調、DIBLおよび静的フィードバック）、チャンネル領域の弱なだれ電流等、LDMOSデバイスに対する重要な効果の物理的性質についても十分に説明します。

モデルはソースもドレインダイオードも含まないことに注意してください。これらは、必要な場合に、MOSFETを含むサブサーキットの一部として、JUNCAPダイオードモデルを用いて追加されます。

SPICEでの書式

電気モデルの構文

```
M<name> <drain> <gate> <source> <bulk> <model name>  
+ [M=<no_parallel>]
```

幾何モデルの構文

```
M<name> <drain> <gate> <source> <bulk> <model name>  
+ [W=<channel_width>][WD=<drift_width>][M=<no_parallel>]
```

幾何モデルのデバイスインスタンスの例

```
MS 1 2 3 4 NSC L=20u W=25u M=200
```

回路図での書式

PAR属性

```
<name>
```

PART属性の例

```
M1
```

幾何VALUE属性の構文

```
[W=<channel_width>][WD=<drift_width>][M=<no_parallel>]
```

幾何モデルのVALUE属性の例

```
W=30u WD=15u M=5
```

電気モデルVALUE属性の構文
[M=<no_parallel>]

MODEL属性
<model name>

MODEL属性の例
MODS12

幾何モデルでは、<channel_width>と<drift_width>は、側方拡散前のチャンネルおよびドリフト領域の描画寸法で、メートル単位です。これらは、デバイス属性またはモデルパラメータとして指定できます。デバイスの属性が指定された場合、デバイス属性はモデルパラメータに優先します。モデル属性もデバイス属性も指定されていない場合、それらは規定値W=20u、WD=20uと仮定します。

<no_parallel>は、並列のデバイスの数です。これが指定されると、電流依存度および酸化層静電容量モデルパラメータを乗算するMULTモデルパラメータに優先します。

Micro-Capで使用されるModel 20には電気と幾何の2バージョンがあります。本書では2006年3月付けの最新モデルについて述べます。

Micro-Capレベル		Philipsレベル	説明
20011	20.01	MOS20電気	
20012	20.01	MOS20幾何	
20014	20.01	MOS20電気サーマル	
20015	20.01	MOS20幾何サーマル	
20021	20.02	MOS20電気	
20022	20.02	MOS20幾何	

下記の表では、モデルパラメータがアルファベット順に列挙されています。

アスタリスクの付いたパラメータはPhilips 20.02モデルでは新しいもので、Philips 20.01モデルでは使用できません。

パラメータMOSFETレベル20011/20021/20014 (Philips 20電気)

名前	規定値	説明
A1	15	TREFでの弱なだれ電流の係数
A2	73	弱なだれ電流の指数
A3	800m	上回ると弱なだれが発生するドレインソース電圧の係数
ALP	2m	チャンネル長変調の係数
BET	1.4m	TREFでのチャンネル領域の利得係数
BETACC	1.4m	TREFでのチャンネル領域での蓄積に対するドリフト領域の利得係数
CGDO	0	ゲートからドレインへのオーバーラップ容量
CGSO	0	ゲートからソースへのオーバーラップ容量
COX	15f	本質チャンネル領域の酸化物容量
COXD	15f	本質ドリフト領域の酸化物容量
DTA	0	周囲温度への温度オフセット
ETABET	1.6	BETに対する温度スケーリング指数
ETABETACC	1.5	BETACCに対する温度スケーリング指数
ETARD	1.5	RDに対する温度スケーリング指数
ETATHE3	1	THE3に対する温度スケーリング指数
*ETATHE3D	1	THE3Dに対する温度スケーリング指数
KO	1.6	チャンネル領域のボディ係数
KOD	1	ドリフト領域のボディ係数
LAMD	200m	VSB=0でのドリフト領域の実効厚さに対する空乏層厚の比
MEXP	2	線形から飽和へのスムージング係数
*MEXPD	2	線形から準飽和へのスムージング係数
MO	0	短チャンネル閾値下傾きパラメータ
MSDIBL	3	バックゲートバイアスへの、ドレイン誘導バリア低減依存度の指数
MULT	1	並列のデバイスの数
NFA	7E23	フリッカーノイズの第一係数
NFB	10MEG	フリッカーノイズの第二係数
NFC	0	フリッカーノイズの第三係数
NT	.00001625f	TREFでのサーマルノイズ係数
PHIB	860m	TREFでのチャンネル領域の強い反転開始時の表面電位
PHIBD	780m	TREFでのドリフト領域の強い反転開始時の表面電位

パラメータMOSFETレベル20011/20021/20014 (Philips 20電気)

名前	規定値	説明
RD	200	TREFでのドリルと領域のオン抵抗
SDIBL	1m	ドレイン誘導バリア低下の係数
SSF	1p	静的フィードバック係数
STA1	0	A1に対する温度スケーリング係数
STPHIB	-1.2m	PHIBに対する温度スケーリング係数
STPHIBD	-1.2m	PHIBDに対する温度スケーリング係数
STVFB	0	VFBに対する温度スケーリング係数
STVFBD	0	ドリフト領域のフラットバンド電圧に対する温度スケーリング係数
THE1	90m	強い反転で発生した垂直電界に起因するチャンネル領域での移動度低減係数
THE1ACC	20m	蓄積で発生した垂直電界に起因するドリフト領域での移動度低減係数
THE2	30m	空乏で発生した垂直電界に起因するチャンネル領域でのVSB>0に対する移動度低減係数
THE3	400m	速度飽和で発生した水平電界に起因するチャンネル領域での移動度低減係数
*THE3D	0	速度飽和で発生した水平電界に起因するドリフト領域での移動度低減係数
TOX	38n	チャンネル領域上の酸化物の厚さ
TREF	25	基準温度
VFB	-1	TREFでのチャンネル領域のフラットバンド電圧
VFBD	-100m	TREFでのドリフト領域のフラットバンド電圧
VP	50m	チャンネル長変調の特性電圧

電気サーマルモデル (レベル=20014) では、熱的効果に対応するために3つの追加パラメータがあります。

名前	規定値	説明
ATH	0	熱抵抗温度係数
CTH	3n	熱容量
RTH	300	熱抵抗

パラメータMOSFETレベル20012/20022/20015 (Philips 20幾何)

名前	規定値	説明
A1R	15	TREFでの無限に広いトランジスタの弱なだれ電流の係数
A2	73	弱なだれ電流の指数
A3	800m	上回ると弱なだれが発生するドレインソース電圧の係数
ALP	2m	チャンネル長変調の係数
BETACCW	70u	TREFでの1um幅ドリフト領域の利得係数
BETW	70u	TREFでの1um幅チャンネルの利得係数
CGDOW	0	1um幅のドリフト領域のゲートからドレインへのオーバーラップ容量
CGSOW	0	1um幅のチャンネル領域のゲートからソースへのオーバーラップ容量
COXDW	.75f	1um幅の本質ドリフト領域の酸化物容量
COXW	.75f	1um幅の本質チャンネル領域の酸化物容量
DTA	0	周囲温度への温度オフセット
ETABET	1.6	BETに対する温度スケール指数
ETABETACC	1.5	BETACCに対する温度スケール指数
ETARD	1.5	RDに対する温度スケール指数
ETATHE3	1	THE3に対する温度スケール指数
*ETATHE3D	1	THE3Dに対する温度スケール指数
KODR	1	W=無限大でのドリフト領域ボディ係数
KOR	1.6	W=無限大でのチャンネル領域ボディ係数
LAMD	200m	VSB=0でのドリフト領域の実効厚さに対する空乏層厚の比
MEXP	2	線形から飽和へのスムージング係数
*MEXPD	2	線形から準飽和へのスムージング係数
MO	0	短チャンネル閾値下傾きパラメータ
MSDIBL	3	バックゲートバイアスへの、ドレイン誘導バリア低減依存度の指数
MULT	1	並列のデバイスの数
NFAW	1.4E25	1um幅のチャンネル領域に対するフリッカーノイズの第一係数
NFBW	200MEG	1um幅のチャンネル領域に対するフリッカーノイズの第二係数

パラメータMOSFETレベル20012/20022/20015 (Philips 20幾何)

名前	規定値	説明
NFCW	0	1 μ m幅のチャンネル領域に対するフリッカーノイズの第三係数
NT	.00001645f	TREFでのサーマルノイズ係数
PHIB	860m	TREFでのチャンネル領域の強い反転開始時の表面電位
PHIBD	780m	TREFでのドリフト領域の強い反転開始時の表面電位
RDW	4K	TREFでの1 μ m幅ドリフト領域の抵抗
SDIBL	1m	ドレイン誘導バリア低下の係数
SSF	1p	静的フィードバック係数
STA1	0	A1に対する温度スケールリング係数
STPHIB	-1.2m	PHIBに対する温度スケールリング係数
STPHIBD	-1.2m	PHIBDに対する温度スケールリング係数
STVFB	0	VFBに対する温度スケールリング係数
STVFBD	0	ドリフト領域のフラットバンド電圧に対する温度スケールリング係数
SWA1	0	A1の幅スケールリング係数
SWKO	0	KOの幅スケールリング係数
SWKOD	0	ドリフト領域のボディ係数に対する幅スケールリング係数
SWTHE1	0	THE1の幅スケールリング係数
SWTHE2	0	THE2の幅スケールリング係数
SWTHE3	0	THE3の幅スケールリング係数
SWTHE3D	0	THE3Dの幅スケールリング係数
THE1ACC	20m	蓄積からの垂直電界に起因するドリフト領域での移動度低減係数
THE1R	90m	チャンネル領域での垂直強反転に起因する無限に広いトランジスタの移動度低減係数
THE2	30m	チャンネル領域での垂直空乏電界に起因する無限に広いトランジスタのVSB>0に対する移動度低減係数
*THE3DR	400m	速度飽和で発生する水平直空乏電界に起因するドリフト領域の移動度低減係数
HE3R	400m	速度飽和に起因する無限に広いトランジスタのチャンネル領域の移動度低減係数

パラメータMOSFETレベル20012/20022/20015（Philips 20幾何）

名前	規定値	説明
TOX	38n	チャンネル領域上の酸化物の厚さ
TREF	25	基準温度
VFB	-1	TREFでのチャンネル領域のフラットバンド電圧
VFBD	-100m	TREFでのドリフト領域のフラットバンド電圧
VP	50m	チャンネル長変調の特性電圧
W	20u	チャンネル領域の描画幅
WD	20u	ドリフト領域の描画幅
WDVAR	0	ドリフト領域の幅オフセット
WVAR	0	チャンネル領域の幅オフセット

幾何サーマルモデル（レベル=20015）では、熱的效果に対応するために3つの追加パラメータがあります。

名前	規定値	説明
ATH	0	熱抵抗温度係数
CTH	3n	熱容量
RTH	300	熱抵抗

Philips Model 20の等価回路は次のとおりです。

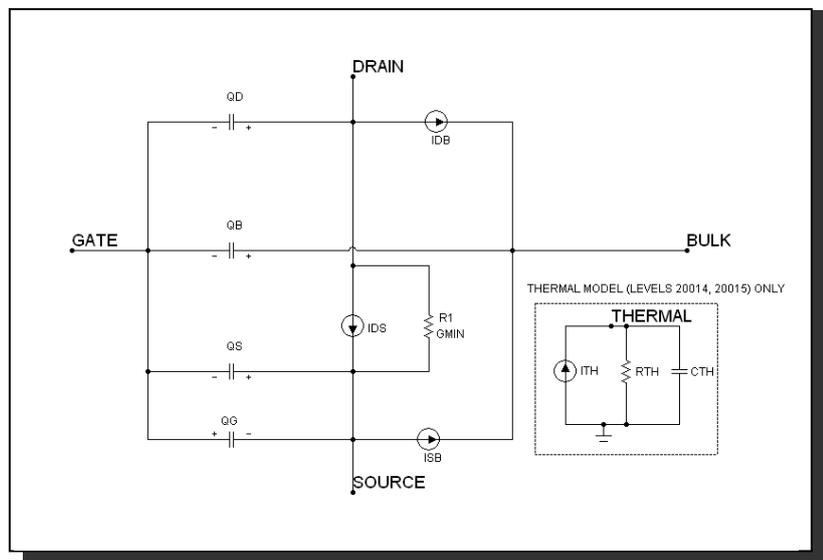


図22-22 Philipsモデル20の等価回路

MOSFET Philipsモデル 31

Philips Model 31は物理学ベースのデバイスモデルで、高電圧アプリケーションに適しています。モデルは接合部絶縁蓄積/空乏MOSFETの電氣的動作について説明します。モデルは、水平ダブル拡散 (LDMOS)、垂直ダブル拡散 (VDMOS)、拡張MOSトランジスタのような高電圧MOSデバイスのドレイン拡張として利用されます。

モデルはソースもドレインダイオードも含まないことに注意してください。これらは、必要な場合に、通常MOSFETを含むサブキットの一部として、JUNCAPダイオードモデルを用いて追加されます。

SPICEでの書式

構文

```
M<name> <drain> <gate> <source> <bulk> <model name>  
+ [M=<no_parallel>]
```

デバイスインスタンスの例

```
MS 1 2 3 4 NSC M=200
```

回路図での書式

PART属性

```
<name>
```

PART属性の例

```
M1
```

VALUE属性

```
[M=<no_parallel>]
```

VALUE属性の例

```
M=5
```

MODEL属性

```
<model name>
```

MODEL属性の例

```
LM1
```

<no_parallel>は、並列のデバイスの数です。これが指定されると、電流依存度および酸化層静電容量モデルパラメータを乗算するMULTモデルパラメータに優先します。

Micro-Capで使用できるModel 31は2バージョンあります。一方は自己発熱（サーマル）効果を含み、他方は含みません。本書では2006年3月時点の最新モデルについて述べます。

Micro-Capレベル	Philipsレベル	説明
31001	3100.3	モデル31
31004	3100.3	モデル31サーマル

Philips Model 31の等価回路は次のとおりです。

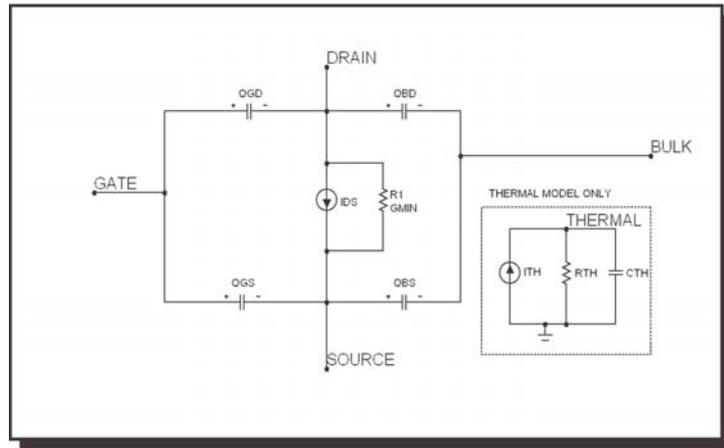


図22-23 Philipsモデル31の等価回路

MOSFETレベル31001/31004のモデルパラメータ（Philipsモデル31）

下記の表では、モデルパラメータはアルファベット順に列挙されています。

名前	規定値	説明
LEVEL	31001または31004	標準モデル=31001、サーマルモデル=31004
ACH	1	チャンネル抵抗温度係数
ACHMOD	0	拡張温度スケールリングフラグ (0=オフ)
ACHRON	0	ゼロバイアスでのオーム抵抗の温度係数
ACHRSAT	0	ゼロバイアスでのスペース電荷抵抗の温度係数
ACHVSAT	0	ホットキャリアに対する臨界ドレイン-ソース電圧の温度係数
CGATE	1p	ゼロバイアスでのゲート容量
CSUB	500f	ゼロバイアスでの基板容量
DCH	1E22	ドーピングレベルチャンネル
DSUB	1E21	ドーピングレベル基板
DTA	0	デバイスの温度オフセット
MULT	1	並列のデバイスの数
PSAT	1	速度飽和係数
RON	10	ゼロバイアスでのオーム抵抗
RSAT	100	ゼロバイアスでのスペース電荷抵抗
TAUSC	1p	チャンネルのスペース電荷トランジット時間
TOX	100n	ゲート酸化物厚さ
TREF	25	基準温度
VGAP	1.206	バンドギャップ電圧チャンネル
VP	10	ゼロゲートでのピンチオフ電圧および基板電圧
VSAT	1	ホットキャリアに対する臨界ドレイン-ソース電圧
VSUB	600m	基板拡散電圧

サーマルモデル（レベル=31004）では、熱的效果に対応するために3つの追加パラメータがあります。

名前	規定値	説明
ATH	0	熱抵抗温度係数
CTH	3n	熱容量
RTH	300	熱抵抗

MOSFET Philipsモデル 40

Philips Model 40は物理学ベースのモデルで、高電圧アプリケーションに適しています。モデルはシリコン-オン-インシュレータ (SOI) プロセスにおける蓄積/空乏タイプのMOSFETの電氣的動作について説明します。モデルは水平ダブル拡散MOS (LDMOS)、垂直ダブル拡散MOS (VDMOS)、拡張MOSトランジスタのような高電圧MOSデバイスのドレイン拡張として利用されます。

モデルはソースもドレインダイオードも含まないことに注意してください。これらは、必要な場合に、通常MOSFETを含むサブキットの一部として、JUNCAPダイオードモデルを用いて追加されます。

SPICEでの書式

構文

```
M<name> <drain> <gate> <source> <bulk> <model name>  
+ [M=<no_parallel>]
```

デバイスインスタンスの例

```
MS 1 2 3 4 NSO M=100
```

回路図での書式

PART属性

```
<name>
```

PART属性の例

```
MS1
```

VALUE属性

```
[M=<no_parallel>]
```

VALUE属性の例

MODEL属性

```
<model name>
```

MODEL属性の例

```
LM1
```

<no_parallel>は、並列のデバイスの数です。これが指定されると、電流依存度および酸化層静電容量モデルパラメータを乗算するMULTモデルパラメータに優先します。

Micro-Capで使用できるModel 40は2バージョンあります。一方は自己発熱（サーマル）効果を含み、他方は含みません。本書では2006年3月付けの最新モデルについて述べます。

Micro-Capレベル	Philipsレベル	説明
40001	40.2	モデル40
40004	40.2	モデル40サーマル

Philips Model 40の等価回路は次のとおりです。

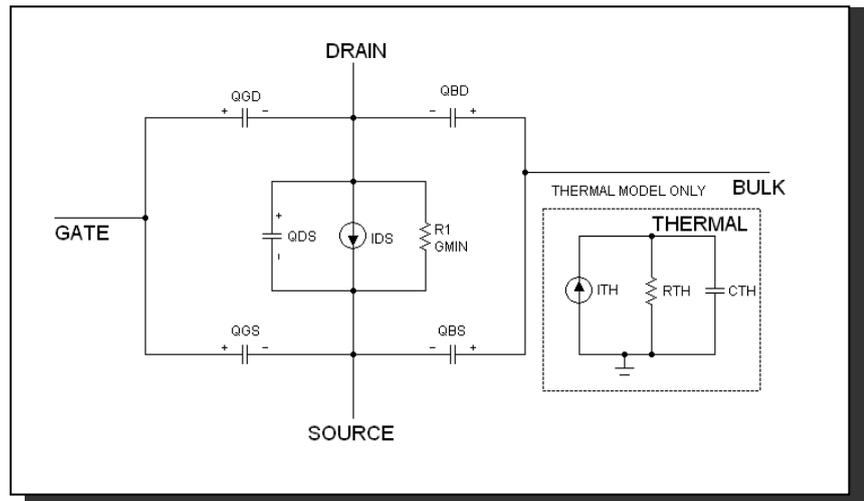


図22-24 Philipsモデル40の等価回路

MOSFETレベル40001/40004のモデルパラメータ (Philipsモデル40)

下記の表では、モデルパラメータはアルファベット順に列挙されています。

名前	規定値	説明
ACH	0	チャンネル抵抗温度係数
ACHMOD	0	拡張温度スケールに切り替えるパラメータ
ACHRON	0	ゼロバイアスでのオーム抵抗の温度係数
ACHRSAT	0	ゼロバイアスでのスペース電荷抵抗の温度係数
ACHVSAT	0	ホットキャリアに対する臨界ドレイン-ソース電圧の温度係数
CBOX	0	ウエハー容量
CGATE	0	ゼロバイアスでのゲート容量
DCH	1E21	ドーピングレベルチャンネル
DTA	0	デバイスの温度オフセット
MULT	1	並列のデバイスの数
PSAT	1	速度飽和係数
RON	1	ゼロバイアスでのオーム抵抗
RSAT	1	ゼロバイアスでのスペース電荷抵抗
TAUSC	0	チャンネルのスペース電荷トランジット時間
TBOX	-1	ボックス厚
TOX	-1	ゲート酸化物の厚さ
TREF	25	基準温度
VP	-1	ゼロゲートでのピンチオフ電圧および基板電圧
VSAT	10	ホットキャリアに対する臨界ドレイン-ソース電圧

サーマルモデル (レベル=4000) では、熱的効果に対応するために3つの追加パラメータがあります。

名前	規定値	説明
ATH	0	熱抵抗温度係数
CTH	3n	熱容量
RTH	300	熱抵抗

MOSFET PSPモデル

PSPモデルは比較的新しいコンパクトなMOSFETモデルで、フィリップスリサーチとペンシルバニア州立大学が共同で開発しました。これは表面電界ベースのMOSモデルで、最新の奥深いサブミクロンバルクCMOS技術をモデル化するのに必要な主要物理効果を説明します。これらの効果には移動度低減、速度飽和、DIBL、ゲート電流、水平ドーピング傾斜係数、STIストレスが含まれます。JUNCAP2モデルと呼ばれるソース/ドレイン接合モデルは、PSPモデルの内蔵パートです。

SPICEでの書式

電気モデルの構文

```
M<name> <drain> <gate> <source> <bulk> <model name>
+[ABSOURCE=<bottom area source>]
+[ABDRAIN=<bottom area drain>]
+[LSSOURCE=<sti edge source>] [LSDRAIN=<sti edge drain>]
+[LGSOURCE=<gate edge source>] [LGDRAIN=<gate edge drain>]
+[AD=<drainarea>] [AS=<sourcearea>]
+[PD=<drainperiphery >] [PS=<sourceperiphery>]
+[MULT=<no_parallel>]
+[JW=<jw>]
```

幾何およびビンニングモデルの構文

```
M<name> <drain> <gate> <source> <bulk> <model name>
+[L=<length>] [W=<width>]
+[SA=<source od-poly distance>] [SB=<drain od-poly distance>]
+[ABSOURCE=<bottom area source>]
+[ABDRAIN=<bottom area drain>]
+[LESSOURCE=<sti edge source>] [LSDRAIN=<sti edge drain>]
+[LGSOURCE=<gate edge source>] [LGDRAIN=<gate edge drain>]
+[AD=<drainarea>] [AS=<sourcearea>]
+[PD=<drainperiphery>] [PS=<sourceperiphery>]
+[MULT=<no_parallel>]
```

電気モデルインスタンスの例

```
MS 1 2 3 4 NSO ABSOURCE=2.5p ABDRAIN=3p
```

幾何およびビンニングモデルインスタンスの例

```
MS 1 2 3 4 NSO W=.2u L=.09u SA=.12u SB=.12u
```

回路図での書式

PART属性

<name>

PART属性の例

MP1, MX2

電気モデルVALUE属性の構文

[ABSOURCE=<bottom area source>]
[ABDRAIN=<bottom area drain>]
[LESSOURCE=<sti edge source>] [LSDRAIN=<sti edge drain>]
[LGSOURCE=<gate edge source>] [LGDRAIN=<gate edge drain>]
[AD=<drainarea >] [AS=<sourcearea>]
[PD=<drainperiphery>] [PS=<sourceperiphery>]
[MULT=<no_parallel>]
[JW=<jw>]

幾何およびピンニングモデルVALUE属性の構文

[L=<l>] [W=<w>]
[SA=<source od-poly distance>] [SB=<drain_ad-poly_distance>]
[ABSOURCE=<bottom area source>]
[ABDRAIN=<bottom area drain>]
[LESSOURCE=<sti edge source>] [LSDRAIN=<sti edge drain>]
[LGSOURCE=<gate edge source>] [LGDRAIN=<gate edge drain>]
[AD=<drainarea>] [AS=<sourcearea>]
[PD=<drainperiphery>] [PS=<sourceperiphery>]
[MULT=<no_parallel>]

電気モデルのVALUE属性の例

ABSOURCE=5p ABDRAIN=18p LSSOURCE=.2u

幾何またはピンニングモデルのVALUE属性の例

MULT=10 W=.5u L=.1u SA=.2u SB=.25u

MODEL属性

<model name>=

MODEL属性の例

P102_N

<w>と<l>はデバイスの側方拡散前の描画寸法で、メートル単位です。

<source_od-poly_distance>は、ソース側のODエッジとポリ間の距離です。

<drain_od-poly_distance>は、ドレイン側のODエッジとポリ間の距離です。

<bottom_area_source>は、ソース接合底部領域です。

<bottom_area_drain>は、ドレイン接合底部領域です。

<sti_edge_source>は、ソース接合周囲のSTI-エッジパートです。

<sti_edge_dain>は、ドレイン接合周囲のSTI-エッジパートです。

<gate_edge_source>は、ソース接合周囲のゲート-エッジパートです。

<gate_edge_drain>は、ドレイン接合周囲のゲート-エッジパートです。

<sourcearea>と<drainarea>は、拡散領域（平方メートル）です。

<sourceperiphery>と<drainperiphery>は、拡散外周（m）です。

<no_parallel>は、並列のデバイスの数です。これが指定されると、電流依存度および酸化層静電容量モデルパラメータを乗算するMULTモデルパラメータに優先します。

<jw>はソース/ドレイン接合部のゲート-エッジ長です。これが指定されると、JWモデルパラメータに優先します。

これらのデバイスインスタンスパラメータはデバイス属性またはモデルパラメータとして指定できます。デバイス属性が指定された場合、モデルパラメータに優先します。

PSPモデルには、電気モデルと幾何モデルとビンニングモデルの3バージョンあります。各々は2006年7月付けのPhilipsモデル102に基づいています。このモデルにはサーマルバージョンはありません。

Micro-Capレベル	Philipsレベル	説明
102	102.0	PSP電気
1020	102.0	PSP幾何
1021	102.0	PSPビンニング

PSPモデルの等価回路は次のとおりです。

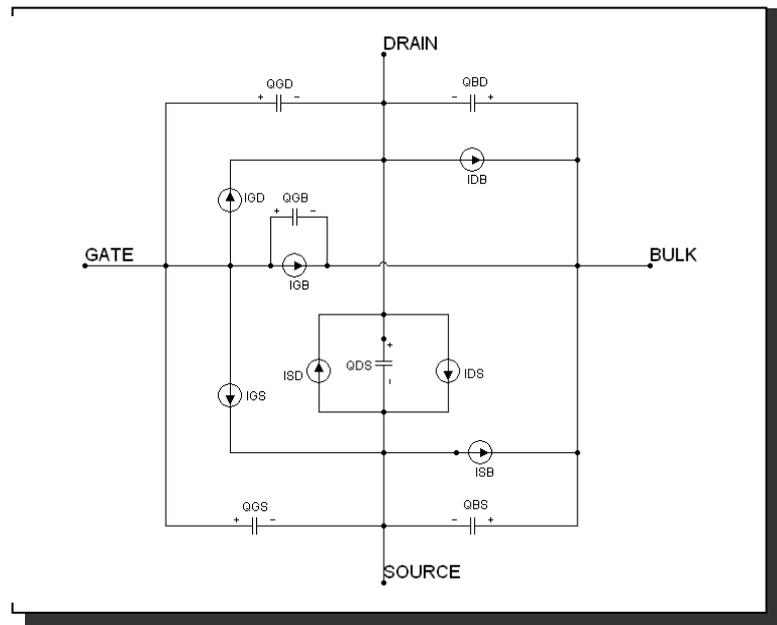


図22-25 PSPモデル等価回路

下記の表では、レベルパラメータが先に示され、残りのモデルパラメータはアルファベット順に列挙されています。

MOSFETレベル102のモデルパラメータ (PSP電気モデル)

名前	規定値	説明
LEVEL	102	モデルレベル=102
A1	1	インパクトイオン化全因子
A2	10	TRでのインパクトイオン化指数
A3	1	インパクトイオン化の飽和電圧依存度
A4	0	インパクトイオン化のバックバイアス依存度
ABDRAIN	1p	ドレイン接合部の底部領域
ABSOURCE	1p	ソース接合部の底部領域
AD	1p	ドレイン接合部の底部領域
AGIDL	0	GIDL前因子

MOSFETレベル102のモデルパラメータ (PSP電気モデル)

名前	規定値	説明
ALP	10m	CLM前因子
ALP1	0	閾値より高いCLM強化係数
ALP2	0	閾値より高いCLM強化係数
AS	1p	ソース接合部の底部領域
AX	3	線形/飽和遷移係数
BETN	70m	チャンネルアスペクト比×ゼロ電 界移動度
BGIDL	41	TRでのGIDL確率係数
CBBTBOT	1p	底部パートのバンド間トンネル 前因子
CBBTGAT	.001f	ゲート-エッジコンポーネントの バンド間トンネル前因子
CBBTSTI	.001f	STI-エッジコンポーネントのバ ンド間トンネル前因子
CF	0	DIBLパラメータ
CFB	0	CFのバックバイアス依存度
CFR	0	外部フリンジ容量
CGBOV	0	ゲート-バルクオーバーラップの 酸化物容量
CGIDL	0	GIDLのバックバイアス依存度
CGOV	1f	ゲート-ドレイン/ソースオー バーラップの酸化物容量
CHIB	3.1	トンネルバリア高さ
CJORBOT	1m	底部コンポーネントの単位面積 当りのゼロバイアス容量
CJORGAT	1n	ゲート-エッジコンポーネントの 単位長さ当りのゼロバイアス容 量
CJORSTI	1n	STI-エッジコンポーネントの単 位長さ当りのゼロバイアス容量
COX	10f	本質チャンネルの酸化物容量
CS	0	TRでのクーロン散乱パラメータ
CSRHBOT	100	底部パートのShocklery-Read-Hall 前因子
CAT	100u	ゲート-エッジパートの Shocklery-Read-Hall前因子
CSRHSTI	100u	STI-エッジパートの Shocklery-Read-Hall前因子
CT	0	インタフェース状態係数
CTATBOT	100	底部パートのトラップ支援トン ネル前因子
CTATGAT	100u	ゲートエッジパートのトラップ 支援トンネル前因子
CTATSTI	100u	STI-エッジパートのトラップ支 援トンネル前因子
DNSUB	0	実効ドーピングバイアス依存度 パラメータ
DPHIB	0	PHIBのオフセットパラメータ
DTA	0	温度オフセットw.r.t.周囲温度

MOSFETレベル102のモデルパラメータ (PSP電気モデル)

名前	規定値	説明
FBBTRBOT	1G	底部パートのバンド間トンネルに対する基準温度での規格化フィールド
FBBTRGAT	1G	ゲート-エッジパートのバンド間トンネルに対する基準温度での規格化フィールド
FBBTRSTI	1G	STI-エッジパートのバンド間トンネルに対する基準温度での規格化フィールド
FETA	1	実効フィールドパラメータ
FNT	1	サーマルノイズ係数
GC2	375m	ゲート電流傾斜係数
GC3	63m	ゲート電流曲率係数
GCO	0	ゲートトンネルエネルギー調整
IDSATRBOT	1p	底部パートの基準温度での飽和電流密度
IDSATRGAT	.001f	ゲート-エッジパートの基準温度での飽和電流密度
IDSATRSTI	.001f	STI-エッジパートの基準温度での飽和電流密度
IGINV	0	ゲートチャンネル電流前因子
IGOV	0	ゲートオーバーラップ電流前因子
IMAX	1K	順方向電流が指数関数的に動く最大電流
JW	1u	ソースドレイン接合部のゲート-エッジ長
LGDRAIN	1u	ドレイン接合部のゲート-エッジ長
LGSOURCE	1u	ソース接合部のゲート-エッジ長
LSDRAIN	1u	ドレイン接合部のSTI-エッジ長
LSSOURCE	1u	ソース接合部のSTI-エッジ長
MEFFTATBOT	250m	底部パートのトラップ支援トンネルに対する実効質量 (m0単位)
MEFFTATGAT	250m	ゲート-エッジパートのトラップ支援トンネルに対する実効質量 (m0単位)
MEFFTATSTI	250m	STI-エッジパートのトラップ支援トンネルに対する実効質量 (m0単位)
MUE	500m	TRでの移動度低減係数
MULT	1	並列のデバイスの数
NEFF	5E23	実効基板ドーピング
NFA	8E22	フリッカーノイズの第一係数
NFB	30MEG	フリッカーノイズの第二係数
NFC	0	フリッカーノイズの第三係数

MOSFETレベル102のモデルパラメータ (PSP電気モデル)

名前	規定値	説明
NOV	5E25	オーバーラップ領域の実効ドーピング
NP	1E26	ゲートポリ-シリコンドーピング
NSLP	50m	実効ドーピングバイアス依存パラメータ
PBOT	500m	底部コンポーネントの傾斜係数
PBRBOT	4	底部パートの破壊開始チューニングパラメータ
PBRGAT	4	ゲート-エッジパートの破壊開始チューニングパラメータ
PBRSTI	4	STI-エッジパートの破壊開始チューニングパラメータ
PD	1u	ドレイン接合部のパラメータ
PGAT	500m	ゲート-エッジパートの傾斜係数
PHIGBOT	1.16	底部パートのゼロ温度バンドギャップ電圧
PHIGGAT	1.16	ゲート-エッジパートのゼロ温度バンドギャップ電圧
PHIGSTI	1.16	STI-エッジパートのゼロ温度バンドギャップ電圧
PS	1u	ソース接合部の周囲
PSTI	500m	STI-エッジコンポーネントの傾斜係数
QMC	1	量子力学的修正率
RS	30	TRでの直列抵抗
RSB	0	直列抵抗のバックバイアス依存度
RSG	0	直列抵抗のゲートバイアス依存度
STA2	0	A2温度係数
STBET	1	BETN温度依存度
STBGIDL	0	BGIDL温度依存度
STCS	0	CS温度依存度
STFBBTBOT	-1m	底部コンポーネントのバンド間トンネルに対する温度スケーリングパラメータ
STFBBTGAT	-1m	ゲート-エッジコンポーネントのバンド間トンネルに対する温度スケーリングパラメータ
STFBBTSTI	-1m	STI-エッジコンポーネントのバンド間トンネルに対する温度スケーリングパラメータ
STIG	2	IGINVおよびIGOVの温度依存度
STMUE	0	MUE温度依存度
STRS	1	RS温度依存度
STTHEMU	1.5	THEMU温度依存度
STTHESAT	1	THESAT温度依存度

MOSFETレベル102のモデルパラメータ (PSP電気モデル)

名前	規定値	説明
STVFB	500u	VFB温度依存度
STXCOR	0	XCOR温度依存度
SWGIDL	0	GIDL電流のフラグ、0=IGIDL停止
SWGATE	0	ゲート電流のフラグ、0=IG停止
SWIMPACT	0	インパクトイオン化電流のフラグ、0=II停止
SWJUNCAP	0	juncapのフラグ、0=juncap停止
THEMU	1.5	TRでの移動度低減指数
THESAT	1	TRでの速度飽和パラメータ
THESATB	0	速度飽和のバックバイアス依存度
THESATG	0	速度飽和のゲートバイアス依存度
TOX	2n	ゲート酸化物層の厚さ
TOXOV	2n	オーバーラップ酸化物の厚さ
TR	21	公称 (基準) 温度
TRJ	21	基準温度
VBIRBOT	1	底部パートの基準温度での内蔵電圧
VBIRGAT	1	ゲート-エッジパートの基準温度での内蔵電圧
VBIRSTI	1	STI-エッジパートの基準温度での内蔵電圧
VBRBOT	10	底部パートの絶縁破壊電圧
VBRGAT	10	ゲート-エッジパートの絶縁破壊電圧
VBRSTI	10	STI-エッジパートの絶縁破壊電圧

MOSFETレベル1020のモデルパラメータ (PSP幾何モデル)

名前	規定値	説明
LEVEL	1020	幾何モデルに対するモデルレベル1020
A1L	0	A1の長さ依存度
A1O	1	幾何独立インパクトイオン化前因子
A1W	0	A1の幅依存度
A2O	10	TRでのインパクトイオン化指数
A3L	0	A3の幅依存度
A3O	1	IIの幾何独立飽和電圧依存度
A3W	0	A3の幅依存度
A4L	0	A4の長さ依存度
A4O	0	IIの幾何独立バックバイアス依存度
A4W	0	A4の幅依存度
ABDRAIN	1p	ドレイン接合部の底部領域
ABSOURCE	1p	ソース接合部の底部領域
AD	1p	ドレイン接合部の底部領域
AGIDLW	0	GIDL前因子の幅依存度
ALP1L1	0	閾値より高いCLM強化係数の長さ依存度
ALP1L2	0	ALP1の二次長さ依存度
ALP1LEXP	500m	ALP1の長さ依存度に対する指数
ALP1W	0	ALP1の幅依存度
ALP2L1	0	閾値より低いCLM強化係数の長さ依存度
ALP2L2	0	ALP2の二次長さ依存
ALP2LEXP	500m	ALP2の長さ依存度に対する指数
ALP2W	0	ALP2の幅依存度
ALPL	500u	ALPの長さ依存度
ALPLEXP	1	ALPの長さ依存度に対する指数
ALPW	0	ALPの幅依存度
AS	1p	ソース接合部の底部領域
AXL	400m	AXの長さ依存度
AXO	18	幾何独立線形/飽和遷移係数
BETW1	0	BETNの第一高次幅スケーリング係数
BETW2	0	BETNの第二高次幅スケーリング係数
BGIDLO	41	TRでのGIDL確率係数
CBBTBOT	1p	底部パートのバンド間トンネル前因子
CBBTGAT	.001f	ゲート-エッジパートのバンド間トンネル前因子

MOSFETレベル1020のモデルパラメータ (PSP幾何モデル)

名前	規定値	説明
CBBTSTI	.001f	STI-エッジ部分のバンド間トンネル前因子
CFBO	0	CFのバックバイアス依存度
CFL	0	DIBLパラメータの長さ依存度
CFLEXP	2	CFの長さ依存度に対する指数
CFRW	0	1 μ m幅チャンネルに対する外部フリンジ容量
CFW	0	CFの幅依存度
CGBOVL	0	平方ミクロン当りのゲート-バルクオーバーラップの酸化物容量
CGIDLO	0	GIDLのバックバイアス依存度
CHIBO	3.1	トンネルバリア高さ
CJORBOT	1m	底部部分の単位面積当りのゼロバイアス容量
CJORGAT	1n	ゲート-エッジ部分の単位長さ当りのゼロバイアス容量
CJORSTI	1n	STI-エッジ部分の単位長さ当りのゼロバイアス容量
CSL	0	CSの長さ依存度
CSLEXP	0	CSの長さ依存度に対する指数
CSLW	0	CSの領域依存度
CSO	0	TRでの幾何独立クーロン散乱パラメータ
CSRHBOT	100	底部部分のShocklery-Read-Hall前因子
CSRHGAT	100u	ゲート-エッジ部分のShocklery-Read-Hall前因子
CSRHSTI	100u	STI-エッジ部分のShocklery-Read-Hall前因子
CSW	0	CSの幅依存度
CTATBOT	100	底部部分のトラップ支援トンネル前因子
CTATGAT	100u	ゲート-エッジ部分のトラップ支援トンネル前因子
CTATSTI	100u	STI-エッジ部分のトラップ支援トンネル前因子
CTL	0	インタフェース状態係数の長さ依存度
CTLEXP	1	インタフェース状態係数の長さ依存度に対する指数
CTLW	0	インタフェース状態係数の領域依存度
CTO	0	幾何独立インタフェース状態係数
CTW	0	インタフェース状態係数の幅依存度
DLQ	0	CVに対する実効チャンネル長低減
DNSUBO	0	実効ドーピングバイアス依存度パラメータ
DPHIBL	0	PHIBの長さ依存度オフセット
DPHIBLEXP	1	PHIBのオフセットの長さ依存度に対する指数
DPHIBLW	0	PHIBのオフセットの領域依存度
DPHIBO	0	PHIBの幾何独立オフセット
DPHIBW	0	PHIBのオフセットの幅依存度

MOSFETレベル1020のモデルパラメータ (PSP幾何モデル)

名前	規定値	説明
DTA	0	温度オフセットw.r.t.周囲回路温度
DWQ	0	CVに対する実効チャンネル幅低減
FBBTBTRBOT	1G	底部パートのバンド間トンネルに対する基準温度での規格化フィールド
FBBTBTRGAT	1G	ゲート-エッジパートのバンド間トンネルに対する基準温度での規格化フィールド
FBBTBTRSTI	1G	STI-エッジパートのバンド間トンネルに対する基準温度での規格化フィールド
FBET1	0	第一水平プロフィールに起因する相対移動度低減
FBET1W	0	第一水平プロフィールに起因する相対移動度低減の幅依存度
FBET2	0	第二水平プロフィールに起因する相対移動度低減
FETAO	1	実効フィールドパラメータ
FNTO	1	サーマルノイズ係数
FOL1	0	短チャンネルボディ効果に対する第一長さ依存度係数
FOL2	0	短チャンネルボディ効果に対する第二長さ依存度係数
GC2O	375m	ゲート電流傾斜係数
GC3O	63m	ゲート電流曲率係数
GCOO	0	ゲートトンネルエネルギー調整
IDSATRBOT	1p	底部パートの基準温度での飽和電流密度
IDSATRGAT	.001f	ゲート-エッジパートの基準温度での飽和電流密度
IDSATRSTI	.001f	STI-エッジパートの基準温度での飽和電流密度
IGINVLW	0	1 μ m ² チャンネル領域に対するゲートチャンネル電流前因子
IGOVW	0	1 μ m幅チャンネルに対するゲートオーバーラップ電流前因子
IMAX	1K	順方向電流が指数関数的に動く最大電流
KUO	0	移動度劣化/強化係数
KVSAT	0	飽和速度劣化/強化係数
KVTHO	0	閾値シフトパラメータ

MOSFETレベル1020のモデルパラメータ (PSP幾何モデル)

名前	規定値	説明
L	10u	デザイン長さ
LAP	0	サイド当りの実効チャンネル長さ低減
LGDRAIN	1u	ドレイン接合部のゲート-エッジ長
LGSOURCE	1u	ソース接合部のゲート-エッジ長
LKUO	0	KUOの長さ依存度
LKVTHO	0	KVTHOの長さ依存度
LLODKUO	0	UOストレス効果に対する長さパラメータ
LLODVTH	0	VTHストレス効果に対する長さパラメータ
LODETAO	1	ストレス効果に対するEta0シフト修正係数
LOV	0	ゲート/ドレインおよびゲート/ソースのオーバーラップ容量に対するオーバーラップ長さ
LP1	10n	第一水平プロファイルの移動度関連特性長
LP1W	0	第一水平プロファイルの移動度関連特性長の幅依存度
LP2	10n	第二水平プロファイルの移動度関連特性長
LPCK	10n	水平ドーピングプロファイルの特性長
LPCKW	0	水平ドーピングプロファイルの特性長の幅依存度
LSDRAIN	1u	ドレイン接合部のSTI-エッジ長
LSSOURCE	1u	ソース接合部のSTI-エッジ長
LVARL	0	LVARの長さ依存度
LVARO	0	実際のゲート長とプログラムされたものとの幾何独立差
LVARW	0	LVARの幅依存度
MEFFTATBOT	250m	底部コンポーネントのトラップ支援トンネルに対する実効質量 (m0単位)
MEFFTATGAT	250m	ゲート-エッジパコンポーネントのトラップ支援トンネルに対する実効質量 (m0単位)
MEFFTATSTI	250m	STI-エッジコンポーネントのトラップ支援トンネルに対する実効質量 (m0単位)
MUEO	500m	TRでの幾何独立移動度低減係数
MUEW	0	TRでの移動度低減係数の幅依存度
MULT	1	並列のデバイスの数
NFALW	8E22	1um^2のチャンネル領域に対するフリッカーノイズの第一係数

MOSFETレベル1020のモデルパラメータ (PSP幾何モデル)

名前	規定値	説明
NFBLW	30MEG	1 μ m ² のチャンネル領域に対するフリッカーノイズの第二係数
NFCLW	0	1 μ m ² のチャンネル領域に対するフリッカーノイズの第三係数
NOVO	5E25	オーバーラップ領域の実効ドーピング
NPCK	1E24	ポケットドーピングレベル
NPCKW	0	偏析に起因するポケットドーピングNPCKの幅依存度
NPL	0	ゲートポリ-シリコンドーピングの長さ依存度
NPO	1E26	幾何独立ゲートポリ-シリコンドーピング
NSLPO	50m	実効ドーピングバイアス依存パラメータ
NSUBO	3E23	幾何独立基板ドーピング
NSUBW	0	偏析に起因するバックグラウンドドーピングNSUBOの幅依存度
PBOT	500m	底部コンポーネントの傾斜係数
PBRBOT	4	底部パートの破壊開始チューニングパラメータ
PBRGAT	4	ゲート-エッジパートの破壊開始チューニングパラメータ
PBRSTI	4	STI-エッジパートの破壊開始チューニングパラメータ
PD	1 μ	ドレイン接合部のパラメータ
PGAT	500m	ゲート-エッジパートの傾斜係数
PHIGBOT	1.16	底部パートのゼロ温度バンドギャップ電圧
PHIGGAT	1.16	ゲート-エッジパートのゼロ温度バンドギャップ電圧
PHIGSTI	1.16	STI-エッジパートのゼロ温度バンドギャップ電圧
PKUO	0	KUOの交差項依存度
PKVTHO	0	KVTHOの交差項依存度
PS	1 μ	ソース接合部の周囲
PSTI	500m	STI-エッジパートの傾斜係数
QMC	1	量子力学的修正率
RSBO	0	直列抵抗のバックバイアス依存度
RSGO	0	直列抵抗のゲートバイアス依存度
RSW1	2.5K	TRでの1 μ m幅チャンネルに対するソース/ドレイン直列抵抗
RSW2	0	RSの高次幅スケールリング
SA	0	片側からポリへのODエッジ距離
SAREF	1 μ	片側からポリへのODエッジ基準距離
SB	0	他方の片側からポリへのODエッジ距離
SBREF	1 μ	他方の片側からポリへのODエッジ基準距離

MOSFETレベル1020のモデルパラメータ (PSP幾何モデル)

名前	規定値	説明
STA2O	0	A2温度係数
STBETL	0	BETN温度依存度の長さ依存度
STBETLW	0	BETNの温度依存度の領域依存度
STBETO	1	BETNの幾何独立温度依存度
STBETW	0	BETNの温度依存度の幅依存度
STBGIDLO	0	BGIDL温度依存度
STCO	0	CS温度依存度
STETAO	0	VTHO変更に関するEta0シフト係数
STFBBTBOT	-1m	底部コンポーネントのバンド間トンネルに対する温度スケールパラメータ
STFBBTGAT	-1m	ゲート-エッジコンポーネントのバンド間トンネルに対する温度スケールパラメータ
STFBBTSTI	-1m	STI-エッジコンポーネントのバンド間トンネルに対する温度スケールパラメータ
STIGO	2	IGINVおよびIGOVの温度依存度
STMUEO	0	MUE温度依存度
STRSO	1	RS温度依存度
STTHEMUO	1.5	THEMU温度依存度
STTHESATL	0	THESAT温度依存度の長さ依存度
STHTESATLW	0	THESATの温度依存度の領域依存度
STTHESATO	1	THESATの幾何独立温度依存度
STTHESATW	0	THESATの温度依存度の幅依存度
STVFBL	0	VFBの温度依存度の長さ依存度
STVFBLW	0	VFBの温度依存度の領域依存度
STVFBO	500u	VFB幾何独立温度依存度
STVFBW	0	VFBの温度依存度の幅依存度
STXCORO	0	XCOR温度依存度

MOSFETレベル1020のモデルパラメータ (PSP幾何モデル)

名前	規定値	説明
SWGIDL	0	GIDL電流のフラグ、0=IGIDL停止
SWGATE	0	ゲート電流のフラグ、0=IG停止
SWIMPACT	0	インパクトイオン化電流のフラグ、0=II停止
SWJUNCAP	0	juncapのフラグ、0=juncap停止
THEMUO	1.5	TRでの移動度低減指数
THESATBO	0	速度飽和のバックバイアス依存度
THESATGO	0	速度飽和のゲートバイアス依存度
THESATL	50m	THESATの長さ依存度
THESATLEXP	1	THESATの長さ依存度に対する指数
THESATLW	0	速度飽和パラメータの領域依存度
THESATO	0	TRでの幾何独立速度飽和パラメータ
THESATW	0	速度飽和パラメータの幅依存度
TKUO	0	KUOの温度依存度
TOXO	2n	ゲート酸化物層の厚さ
TOXOVO	2n	オーバーラップ酸化物の厚さ
TR	21	公称 (基準) 温度
TRJ	21	基準温度
UO	50m	TRでのゼロ電界移動度
VBIRBOT	1	底部パートの基準温度での内蔵電圧
VBIRGAT	1	ゲート-エッジパートの基準温度での内蔵電圧
VBIRSTI	1	STI-エッジパートの基準温度での内蔵電圧
VBRBOT	10	底部パートの絶縁破壊電圧
VBRGAT	10	ゲート-エッジパートの絶縁破壊電圧
VBRSTI	10	STI-エッジパートの絶縁破壊電圧
VFBL	0	フラットバンド電圧の長さ依存度
VFBLW	0	フラットバンド電圧の領域依存度
VFBO	-1	TRでの幾何独立フラットバンド電圧
VFBW	0	フラットバンド電圧の幅依存度
VNSUBO	0	実行ドーピングバイアス依存パラメータ
VPO	50m	CLM対数依存度パラメータ
W	10u	デザイン幅
WBET	1n	BETNの幅スケールリングに対する固有幅
WKUO	0	KUOの幅依存度
WKVTHO	0	KVTHOの幅依存度
WLOD	0	幅パラメータ

MOSFETレベル1020のモデルパラメータ (PSP幾何モデル)

名前	規定値	説明
WLODKUO	0	UOストレス効果に対する幅パラメータ
WLODVTH	0	VTHストレス効果に対する幅パラメータ
WOT	0	サイド当りの実効チャンネル幅低減
WSEG	10n	バックグラウンドドーピング
WSEGP	10n	NSUBOの偏析の固有長さ ポケットドーピングNPCKの偏析の固有長さ
WVARL	0	WVARの長さ依存度
WVARO	0	実際の磁界酸化物オープニングとプログラムされたものとの幾何独立差異
WVARW	0	WVARの幅依存度
XCORL	0	非普遍性パラメータの長さ依存度
XCORLW	0	非普遍性パラメータの領域依存度
XCORO	0	幾何独立非普遍性パラメータ
XCORW	0	非普遍性パラメータの幅依存度
XJUNGAT	100n	ゲート-エッジパートの接合部深さ
XJUNSTI	100n	STI-エッジパートの接合部深さ

MOSFETレベル1021のモデルパラメータ (PSPビンニングモデル)

名前	規定値	説明
LEVEL	1021	ビンニングモデルに対するモデルレベル1021
ABDRAIN	1p	ドレイン接合部の底部領域
ABSOURCE	1p	ソース接合部の底部領域
AD	1p	ドレイン接合部の底部領域
AS	1p	ソース接合部の底部領域
CBBTBOT	1p	底部パートのボンド間トンネル前因子
CBBTGAT	.001f	ゲート-エッジパートのボンド間トンネル前因子
CBBTSTI	.001f	STI-エッジパートのボンド間トンネル前因子
CJORBOT	1m	底部パートの単位面積当りのゼロバイアス容量
CJORGAT	1n	ゲート-エッジパートの単位長さ当りのゼロバイアス容量
CJORSTI	1n	STI-エッジパートの単位長さ当りのゼロバイアス容量
CSRHBOT	100	底部パートのShocklery-Read-Hall前因子
CSRHGAT	100u	底部パートのShocklery-Read-Hall前因子
CSRHSTI	100u	STI-エッジパートのShocklery-Read-Hall前因子
CTATBOT	100	底部パートのトラップ支援トンネル前因子
CTATGAT	100u	ゲート-エッジパートのトラップ支援トンネル前因子
CTATSTI	100u	STI-エッジパートのトラップ支援トンネル前因子
DLQ	0	CVに対する実効チャンネル長低減
DTA	0	温度オフセットw.r.t.周囲回路温度
DWQ	0	CVに対する実効チャンネル幅低減
FBBTRBOT	1G	底部パートのバンド間トンネルに対する基準温度での規格化フィールド
FBBTRGAT	1G	ゲート-エッジパートのバンド間トンネルに対する基準温度での規格化フィールド
FBBTRSTI	1G	STI-エッジパートのバンド間トンネルに対する基準温度での規格化フィールド
IDSATRBOT	1p	底部パートの基準温度での飽和電流密度
IDSATRGAT	.001f	ゲート-エッジパートの基準温度での飽和電流密度
IDSATRSTI	.001f	STI-エッジパートの基準温度での飽和電流密度
IMAX	1K	順方向電流が指数関数的に動く最大電流
KUO	0	移動度劣化/強化係数
KVSAT	0	飽和速度劣化/強化係数

MOSFETレベル1021のモデルパラメータ (PSPビンニングモデル)

名前	規定値	説明
KVTHO	0	閾値シフトパラメータ
L	10u	デザイン長さ
LAP	0	ソース/ドレインドーパントイオンの水平拡散に起因するサイド当りの実効チャンネル長さ低減
LGDRAIN	1u	ドレイン接合部のゲート-エッジ長
LGSOURCE	1u	ソース接合部のゲート-エッジ長
LKUO	0	KUOの長さ依存度
LKVTHO	0	KVTHOの長さ依存度
LLODKUO	0	UOストレス効果に対する長さパラメータ
LLODVTH	0	VTHストレス効果に対する長さパラメータ
LODETAO	1	ストレス効果に対するEta0シフト修正係数
LSDRAIN	1u	ドレイン接合部のSTI-エッジ長さ
LSSOURCE	1u	ソース接合部のSTI-エッジ長さ
LVARL	0	実際のポリ-シリコンゲート長とプログラムされたものとの差異の長さ依存度
LOVARO	0	実際のポリ-シリコンゲート長とプログラムされたものとの幾何独立差異
MEFFTATBOT	250m	底部コンポーネントのトラップ支援トンネルに対する実効質量 (m0単位)
MEFFTATGAT	250m	ゲート-エッジコンポーネントのトラップ支援トンネルに対する実効質量 (m0単位)
MEFFTATSTI	250m	STI-エッジコンポーネントのトラップ支援トンネルに対する実効質量 (m0単位)
MULT	1	並列のデバイスの数
PBOT	500m	底部コンポーネントの傾斜係数
PBRBOT	4	底部パートの破壊開始チューニングパラメータ
PBRGAT	4	ゲート-エッジパートの破壊開始チューニングパラメータ
PBRSTI	4	STI-エッジパートの破壊開始チューニングパラメータ
PD	1u	ドレイン接合部の周囲
PGAT	500m	ゲート-エッジコンポーネントの傾斜係数
PHIGBOT	1.16	底部パートのゼロ温度バンドギャップ電圧
PHIGGAT	1.16	ゲート-エッジパートのゼロ温度バンドギャップ電圧
PHIGSTI	1.16	STI-エッジパートのゼロ温度バンドギャップ電圧
PKUO	0	KUOのクロスターム交差項依存度
PKVTHO	0	KVTHOの交差項依存度
PLA1	0	A1の長さ依存度係数
PLA3	0	A3の長さ依存度係数
PLA4	0	A1の長さ依存度係数
PLAGIDL	0	AGIDLの長さ依存度係数

MOSFETレベル1021のモデルパラメータ (PSPビンニングモデル)

名前	規定値	説明
PLALP	0	ALPの長さ依存度係数
PLALP1	0	ALP1の長さ依存度係数
PLALP2	0	ALP2の長さ依存度係数
PLAX	0	AXの長さ依存度係数
PLBETN	0	BETNの長さ依存度係数
PLCF	0	CFの長さ依存度係数
PLCFR	0	CFRの長さ依存度係数
PLCGBOV	0	CGBOVの長さ依存度係数
PLCGOV	0	CGOVの長さ依存度係数
PLCOX	0	COXの長さ依存度係数
PLCS	0	CSの長さ依存度係数
PLCT	0	CTの長さ依存度係数
PLDPHIB	0	DPHIBの長さ依存度係数
PLIGINV	0	IGINVの長さ依存度係数
PLIGOV	0	IGOVの長さ依存度係数
PLMUE	0	MUEの長さ依存度係数
PLNEFF	0	NEFFの長さ依存度係数
PLNFA	0	NFAの長さ依存度係数
PLNFB	0	NFBの長さ依存度係数
PLNFC	0	NFCの長さ依存度係数
PLNOV	0	NOVの長さ依存度係数
PLNP	0	NPの長さ依存度係数
PLRS	0	RSの長さ依存度係数
PLSTBET	0	STBETの長さ依存度係数
PLSTSAT	0	STSATの長さ依存度係数
PLSTVFB	0	STVFBの長さ依存度係数
PLSAT	0	SATの長さ依存度係数
PLSATB	0	SATBの長さ依存度係数
PLSATG	0	SATGの長さ依存度係数
PLVFB	0	VFBの長さ依存度係数
PLWA1	0	A1のL*W依存度係数
PLWA3	0	A3のL*W依存度係数
PLWA4	0	A4のL*W依存度係数
PLWAGIDL	0	AGIDLのL*W依存度係数
PLWALP	0	ALPのL*W依存度係数
PLWALP1	0	ALP1のL*W依存度係数
PLWALP2	0	ALP2のL*W依存度係数
PLWAX	0	AXのL*W依存度係数
PLWBETN	0	BETNのL*W依存度係数

MOSFETレベル1021のモデルパラメータ (PSPビンニングモデル)

名前	規定値	説明
PLWCF	0	CFのL*W依存度係数
PLWCFR	0	CFRのL*W依存度係数
PLWCGBOV	0	CGBOVのL*W依存度係数
PLWCGOV	0	CGOVのL*W依存度係数
PLWCOX	0	COXのL*W依存度係数
PLWCS	0	CSのL*W依存度係数
PLWCT	0	CTのL*W依存度係数
PLWDPHIB	0	DPHIBのL*W依存度係数
PLWGINV	0	GINVのL*W依存度係数
PLWIGOV	0	IGOVのL*W依存度係数
PLWMUE	0	MUEのL*W依存度係数
PLWNEFF	0	NEFFのL*W依存度係数
PLWNFA	0	NFAのL*W依存度係数
PLWNFB	0	NFBのL*W依存度係数
PLWNFC	0	NFCのL*W依存度係数
PLWNOV	0	NOVのL*W依存度係数
PLWNP	0	NPのL*W依存度係数
PLWRS	0	RSのL*W依存度係数
PLWSTBET	0	STBETのL*W依存度係数
PLWSTSAT	0	STTHESATのL*W依存度係数
PLWSTVFB	0	STVFBのL*W依存度係数
PLWTHESAT	0	THESATのL*W依存度係数
PLWTHESATB	0	THESATBのL*W依存度係数
PLWTHESATG	0	THESATGのL*W依存度係数
PLWVFB	0	VFBのL*W依存度係数
PLWXCOR	0	XCORのL*W依存度係数
PLXCOR	0	XCORの長さ依存度係数
POA1	1	A1の幾何独立パート
POA2	10	A2の幾何独立パート
POA3	1	A3の幾何独立パート
POA4	0	A4の幾何独立パート
POAGIDL	0	AGIDLの幾何独立パート
POALP	10m	ALPの幾何独立パート
POALP1	0	ALP1の幾何独立パート
POALP2	0	ALP2の幾何独立パート
POAX	3	AXの幾何独立パート
POBETN	70m	BETNの幾何独立パート
POBGIDL	41	BGIDLの幾何独立パート
POCF	0	CFの幾何独立パート

MOSFETレベル1021のモデルパラメータ (PSPビンニングモデル)

名前	規定値	説明
POCFB	0	CFBの幾何独立パート
POCFR	0	CFRの幾何独立パート
POCGBOV	0	CGBOVの幾何独立パート
POCGIDL	0	CGIDLの幾何独立パート
POCGOV	1f	CGOVの幾何独立パート
POCHIB	3.1	CHIBの幾何独立パート
POCOX	10f	COXの幾何独立パート
POCS	0	CSの幾何独立パート
POCT	0	CTの幾何独立パート
PODNSUB	0	DNSUBの幾何独立パート
PODPHIB	0	DPHIBの幾何独立パート
POFETA	1	FETAの幾何独立パート
POFNT	1	FNTの幾何独立パート
POGC2	375m	GC2の幾何独立パート
POGC3	63m	GC3の幾何独立パート
POGCO	0	GCOの幾何独立パート
POIGINV	0	IGINVの幾何独立パート
POIGOV	0	IGOVの幾何独立パート
POMUE	500m	MUEの幾何独立パート
PONEFF	5E23	NEFFの幾何独立パート
PONFA	8E22	NFAの幾何独立パート
PONFB	30MEG	NFBの幾何独立パート
PONFC	0	NFCの幾何独立パート
PONOV	5E25	NOVの幾何独立パート
PONP	1E26	NPの幾何独立パート
PONSLP	50m	NSLPの幾何独立パート
PORS	30	RSの幾何独立パート
PORSB	0	RSBの幾何独立パート
PORSG	0	RSGの幾何独立パート
POSTA2	0	STA2の幾何独立パート
POSTBET	1	STBETの幾何独立パート
POSTBGIDL	0	STBGIDLの幾何独立パート
POSTCS	0	STCSの幾何独立パート
POSTIG	2	STIGの幾何独立パート
POSTMUE	0	STMUEの幾何独立パート
POSTRS	1	STRSの幾何独立パート
POSTTHEMU	1.5	STTHEMUの幾何独立パート
POSTTHESAT	1	STTHESATの幾何独立パート
POSTVFB	500u	STVFBの幾何独立パート

MOSFETレベル1021のモデルパラメータ (PSPビンニングモデル)

名前	規定値	説明
POSTXCOR	0	STXCORの幾何独立パート
POTHEMU	1.5	THEMUの幾何独立パート
POTHE SAT	1	THESATの幾何独立パート
POTHE SATB	0	THESATBの幾何独立パート
POTHE SATG	0	THESATGの幾何独立パート
POTOX	2n	TOXの幾何独立パート
POTOXOV	2n	TOXOVの幾何独立パート
POVFB	-1	VFBの幾何独立パート
POVNSUB	0	VNSUBの幾何独立パート
POVP	50m	VPの幾何独立パート
POXCOR	0	XCORの幾何独立パート
PS	1u	ソース接合部の周囲
PSTI	500m	STI-エッジコンポーネントの傾斜係数
PWA1	0	A1の幅依存度係数
PWA3	0	A3の幅依存度係数
PWA4	0	A4の幅依存度係数
PWAGIDL	0	AGIDLの幅依存度係数
PWALP	0	ALPの幅依存度係数
PWALP1	0	ALP1の幅依存度係数
PWALP2	0	ALP2の幅依存度係数
PWAX	0	AXの幅依存度係数
PWBETN	0	BETNの幅依存度係数
PWCF	0	CFの幅依存度係数
PWCFR	0	CFRの幅依存度係数
PWCGBOV	0	CGBOVの幅依存度係数
PWCGOV	0	CGOVの幅依存度係数
PWCOX	0	COXの幅依存度係数
PWCS	0	CSの幅依存度係数
PWCT	0	CTの幅依存度係数
PWDPHIB	0	DPHIBの幅依存度係数
PWIGINV	0	IGINVの幅依存度係数
PWIGOV	0	IGOVの幅依存度係数
PWMUE	0	MUEの幅依存度係数
PWNEFF	0	NEFFの幅依存度係数
PWNFA	0	NFAの幅依存度係数
PWNFB	0	NFBの幅依存度係数
PWNFC	0	NFCの幅依存度係数
PWNOV	0	NOVの幅依存度係数
PWNP	0	NPの幅依存度係数

MOSFETレベル1021のモデルパラメータ (PSPビンニングモデル)

名前	規定値	説明
PWRS	0	RSの幅依存度係数
PWSTBET	0	STBETの幅依存度係数
PWSTTHESAT	0	STTHESATの幅依存度係数
PWSTVFB	0	STVFBの幅依存度係数
PWTHESAT	0	THESATの幅依存度係数
PWTHESATB	0	THESATBの幅依存度係数
PWTHESATG	0	THESATGの幅依存度係数
PWVFB	0	VFBの幅依存度係数
PWXCOR	0	XCORの幅依存度係数
QMC	1	量子力学的修正率
SA	0	片側からポリへのODエッジ距離
SAREF	1u	片側からポリへのODエッジ基準距離
SB	0	他方の片側からポリへのODエッジ距離
SBREF	1u	他方の片側からポリへのODエッジ基準距離
STETAO	0	VTHO変更に関するEta0シフト係数
STFBBTBOT	-1m	底部コンポーネントのバンド間トンネルに対する温度スケーリングパラメータ
STFBBTGAT	-1m	ゲート-エッジコンポーネントのバンド間トンネルに対する温度スケーリングパラメータ
STFBBTSTI	-1m	STI-エッジコンポーネントのバンド間トンネルに対する温度スケーリングパラメータ
SWGIDL	0	GIDL電流のフラグ、0=IGIDL停止
SWGATE	0	ゲート電流のフラグ、0=IG停止
SWIMPACT	0	インパクトイオン化電流のフラグ、0=II停止
SWJUNCAP	0	juncapのフラグ、0=juncap停止
TKUO	0	KUOの温度依存度
TR	21	公称 (基準) 温度
TRJ	21	基準温度
VBIRBOT	1	底部パートの基準温度での内蔵電圧
VBIRGAT	1	ゲート-エッジパートの基準温度での内蔵電圧
VBIRSTI	1	STI-エッジパートの基準温度での内蔵電圧
VBRBOT	10	底部パートの絶縁破壊電圧
VBRGAT	10	ゲート-エッジパートの絶縁破壊電圧
VBRSTI	10	STI-エッジパートの絶縁破壊電圧

MOSFETレベル1021のモデルパラメータ (PSPビンニングモデル)

名前	規定値	説明
W	10u	デザイン幅
WKUO	0	KUOの幅依存度
WKVTHO	0	KVTHOの幅依存度
WLOD	0	幅パラメータ
WLODKUO	0	UOストレス効果に対する幅パラメータ
WLODVTH	0	VTHストレス効果に対する幅パラメータ
WOT	0	チャンネル停止ドーパントイオンの水平拡散に起因するサイド当りの実効チャンネル幅低減
WVARO	0	実際の磁界酸化物オープニングとプログラムされたものとの幾何独立差異
WVARW	0	実際の磁界酸化物オープニングとプログラムされたものとの差異の幅依存度
XJUNGAT	100n	ゲート-エッジコンポーネントの接合部深さ
XJUNSTI	100n	STI-エッジコンポーネントの接合部深さ

N_Port

回路図での形式

PART属性
<name>

例
SP1

FILE属性
<file name>

FILE属性は、N_Portパラメータファイルのパスと名前を指定します。

例
E:¥MC10¥data¥Gg10v20m.s2p

N_PORTデバイスは、標準のTouchstoneデータファイルに格納されるS、Y、Z、G、H、T、またはABCDパラメータの集合によって特性付けられるN個のポートを有する汎用デバイスです。

通常、これらのファイルは、値の表としてテキストファイルでRFサプライヤから提供されます。この例は、代表的な2ポートのSパラメータの集合です。

```
! SIEMENS Small Signal Semiconductors
! BFG194
! Si PNP RF Bipolar Junction Transistor in SOT223
! VCE = -10 V IC = -20 mA
! Common Emitter S-Parameters:      August 1996
# GHz S MA R 50
! f S11 S21 S12 S22
! GHz MAG ANG MAG ANG MAG ANG MAG ANG
0.010 0.3302 -25.4 35.370 169.9 0.0053 85.3 0.9077 -10.0
0.020 0.3471 -48.2 33.679 161.6 0.0108 77.5 0.8815 -19.8
0.050 0.4525 -95.0 27.726 139.2 0.0226 61.4 0.7258 -43.7
0.100 0.5462 -131.5 19.023 118.7 0.0332 52.2 0.5077 -68.7
0.150 0.5723 -149.4 13.754 106.4 0.0394 49.1 0.3795 -84.8
0.200 0.5925 -159.8 10.787 99.1 0.0443 50.1 0.3068 -95.0
0.250 0.6023 -167.0 8.757 93.4 0.0497 51.2 0.2581 -104.8
0.300 0.6089 -172.2 7.393 89.0 0.0552 52.4 0.2298 -112.2
...
```

Micro-Capは、入力されるパラメータをYパラメータに変換し、N_PORTデバイスをラプラス表信号源の集合として実装します。ここでの例は、4ポートと等価な回路です。

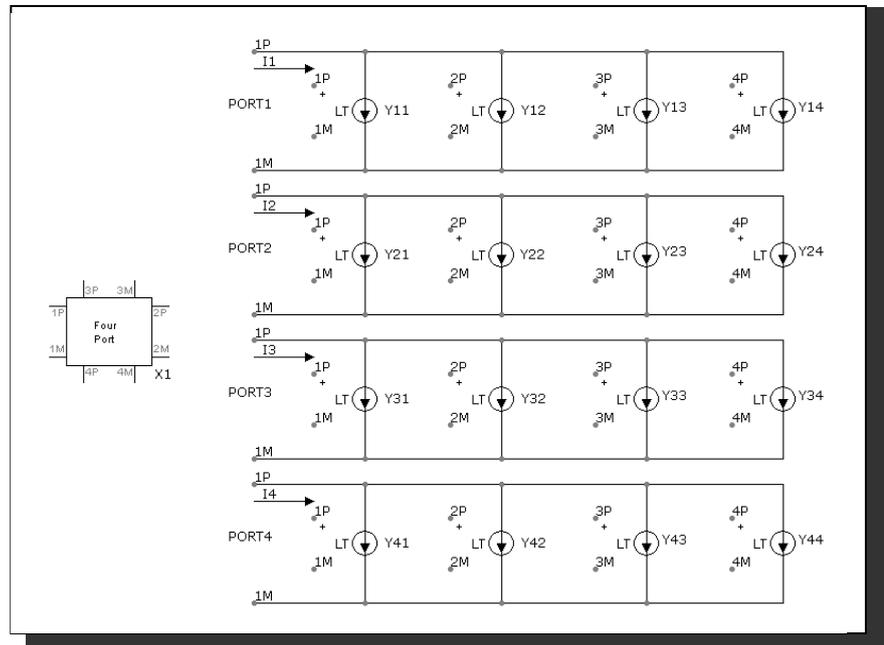


図22-26 4ポート等価回路

方程式は次の通りです。

$$I1 = Y11 * V(1P,1M) + Y12 * V(2P,2M) + Y13 * V(3P,3M) + Y14 * V(4P,4M)$$

$$I2 = Y21 * V(1P,1M) + Y22 * V(2P,2M) + Y23 * V(3P,3M) + Y24 * V(4P,4M)$$

$$I3 = Y31 * V(1P,1M) + Y32 * V(2P,2M) + Y33 * V(3P,3M) + Y34 * V(4P,4M)$$

$$I4 = Y41 * V(1P,1M) + Y42 * V(2P,2M) + Y43 * V(3P,3M) + Y44 * V(4P,4M)$$

Nポートデバイスの使用方法の例については、サンプル回路ファイル NPORT4.CIRを参照してください。

OPAMP

回路図での書式

PART属性
<name>

例
OP1

MODEL属性
<model name>

例
LF351

OPAMPには3つのモデルレベルがあります。レベルが高くなるほどより現実的になりますが、代償として等価回路が複雑になります。

レベル1は、単純な電圧制御電流源で、出力抵抗と開ループゲインが有限です。

レベル2は、3段・2ポールのモデルで、制限されたスルーレート・有限のゲイン・有限の出力抵抗を持ちます。

レベル3は、拡張Boyleモデルで、他のSPICEプログラムでサブサーキットとして実現されるものに似ています。ただし、これはマクロやサブサーキットではなく、完全な内部デバイスモデルです。正負スルーレート、AC/DCの出力抵抗、入力オフセット電圧・電流、位相マージン、同相電圧除去、ユニティゲイン帯域幅、3種類の差動入力、出力の現実的な電圧・電流制限をモデリングします。

モデル文の書式

.MODEL <model name> OPA ([model parameters])

例
.MODEL LM709 OPA (A = 45K VOFF = .001 SRP = 250K GBW = 1E6)
.MODEL LF155 OPA (LEVEL = 2 TYPE = 1 A = 50K SRP = 330K)

モデルパラメータ

名前	パラメータ	単位	規定値	レベル
LEVEL	モデルレベル (1,2,3)		1	1,2,3
TYPE	1=NPN,2=PNP,3=JFET		1	3
C	補償コンデンサ	F	30E-12	3
A	DC開ループゲイン		2E5	1,2,3
ROUTAC	AC出力抵抗	Ω	75	1,2,3
ROUTDC	DC出力抵抗	Ω	125	1,2,3
VOFF	入力オフセット電圧	V	0.001	3
IOFF	入力オフセット電流	A	1E-9	3
SRP	最大正方向スルーレート	V/S	5E5	2,3
SRN	最大負方向スルーレート	V/S	5E5	2,3
IBIAS	入力バイアス電流	A	1E-7	3
VCC	正電源	V	15	3
VEE	負電源	V	-15	3
VPS	正方向最大スイング電圧	V	13	3
VNS	負方向最大スイング電圧	V	-13	3
CMRR	同相電圧除去比		1E5	3
GBW	利得帯域幅		1E6	2,3
PM	位相マージン	度	60	2,3
PD	消費電力	W	.025	3
IOSC	短絡電流	A	.02	3
T_MEASURED	測定温度	°C		
T_ABS	絶対温度	°C		
T_REL_GLOBAL	相対温度 (対現在値)	°C		
T_REL_LOCAL	相対温度 (対AKO)	°C		

VCCとVEEは、VPSとVNSが指定される場所の公称電源の値です。OPAMPを他の電源電圧で動作させることは可能です。VEEとVCCは、電力消費と出力飽和特性にのみ影響します。

モデルの回路図と方程式

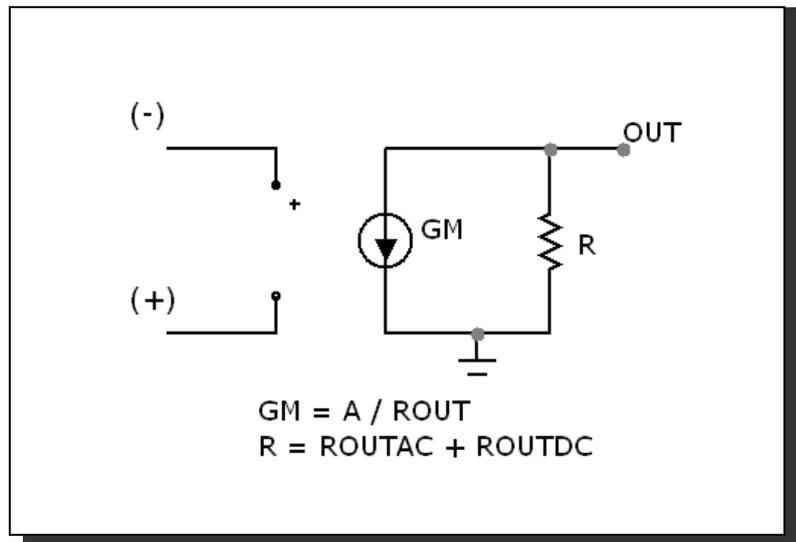


図22-27 レベル1オペアンプモデル

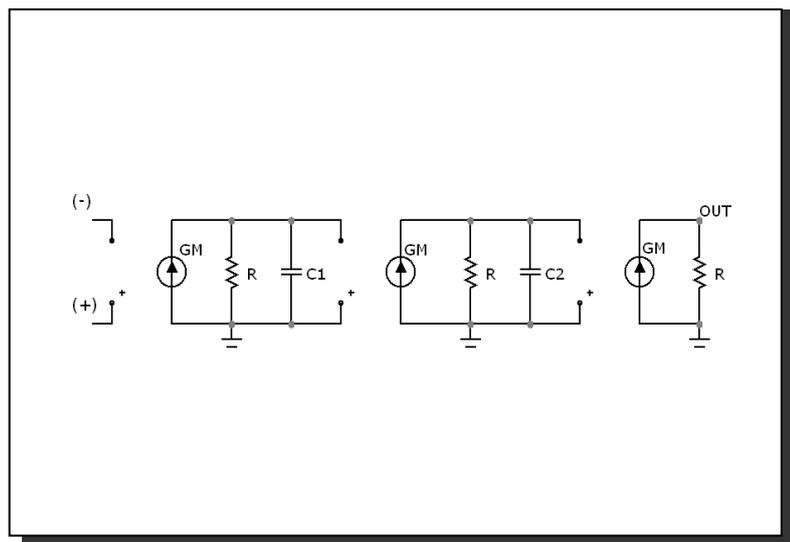


図22-28 レベル2オペアンプモデル

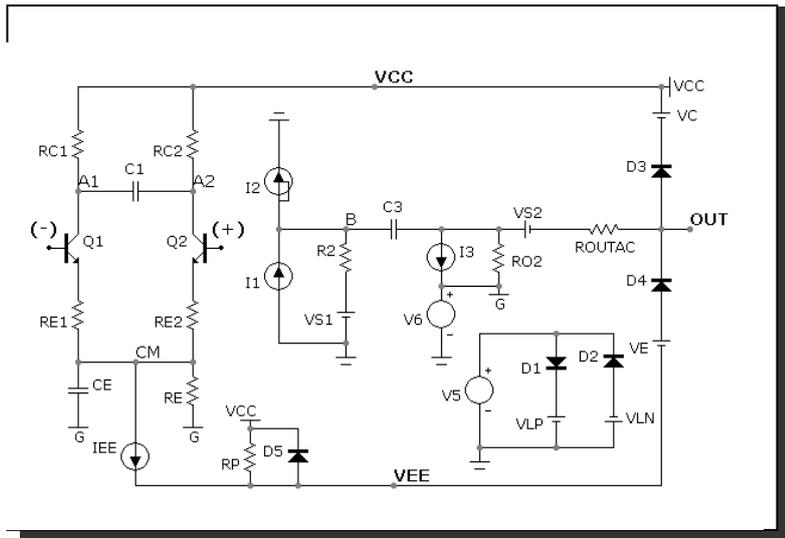


図22-29 レベル3オペアンプモデル、NPN入力

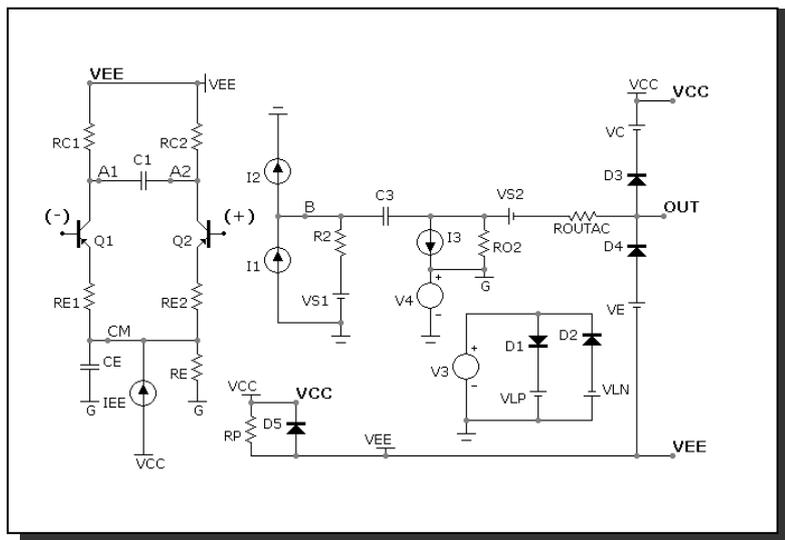


図22-30 レベル3オペアンプモデル、PNP入力

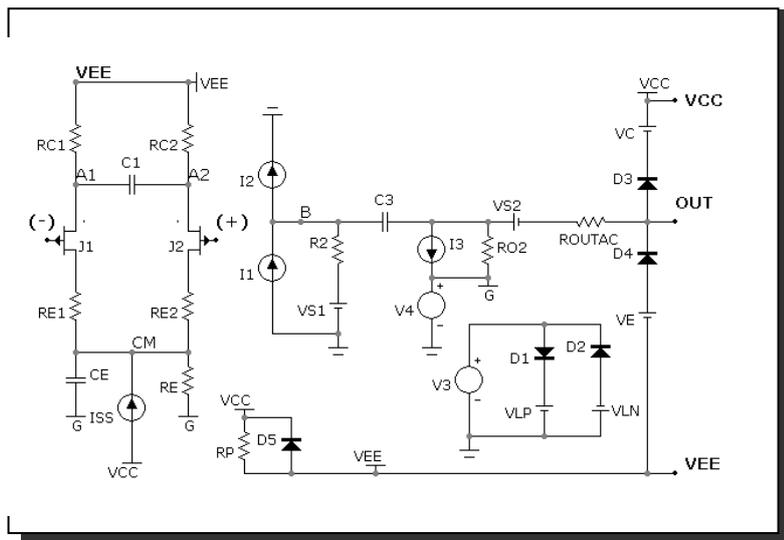


図22-31 レベル3オペアンプモデル、JFET入力

定義：

- T ケルビン単位の接合温度
- VT $k \cdot T/q$
- BETA1 Q1の順方向beta
- BETA2 Q2の順方向beta
- BJT1IS Q1の飽和電流 (IS)
- BJT2IS Q2の飽和電流 (IS)
- V(A1) ノードA1の電圧
- V(A2) ノードA2の電圧
- V(CM) ノードCMの電圧
- I(VS1) 信号源VS1を流れる電流
- I(VS2) 信号源VS2を流れる電流
- I(VC) 信号源VCを流れる電流
- I(VE) 信号源VEを流れる電流
- I(VLP) 信号源VLPを流れる電流
- I(VLN) 信号源VLNを流れる電流
- V(VCC) 信号源VCCの電圧
- V(VEE) 信号源VEEの両端間の電圧
- I(GA) 信号源GAの電流
- I(GCM) 信号源GCMの電流
- I(F1) 信号源F1の電流
- V(E1) 信号源E1の電圧
- V(H1) 信号源H1の電圧

温度の影響 :

温度が通常、ダイオード、BJTおよびJFETに及ぼす影響はこれらのデバイスのモデルの項で説明した通りです。規定値の温度パラメータを使います。

レベル1方程式 :

$$R = R_{OUTAC} + R_{OUTDC}$$
$$GM = A / R$$

レベル2方程式

$$R = R_{OUTAC} + R_{OUTDC}$$
$$GM = A^{1/3} / R$$
$$F1 = GBW / A \quad (\text{第1極})$$
$$F2 = GBW / \tan(90 - PM) \quad (\text{第2極})$$
$$C1 = 1 / (2 \cdot \pi \cdot F1 \cdot R)$$
$$C2 = 1 / (2 \cdot \pi \cdot F2 \cdot R)$$

レベル3方程式 :

$$C3 = C$$
$$C1 = 0.5 \cdot C \cdot \tan(90 - PM)$$
$$RC1 = 1 / (2 \cdot \pi \cdot GBW \cdot C3)$$
$$RC2 = RC1$$
$$R2 = 1E5$$
$$GA = 1 / RC1$$

NPNおよびPNP入力段

$$VAF = 200$$

NPN input

$$IC1 = SRP \cdot C3 / 2$$

$$CE = 2 \cdot IC1 / SRN - C3$$

PNP input

$$IC1 = SRN \cdot C3 / 2$$

$$CE = 2 \cdot IC1 / SRP - C3$$

$$BETA1 = IC1 / (IBIAS + IOFF / 2)$$

$$BETA2 = IC1 / (IBIAS - IOFF / 2)$$

$$IEE = (((BETA1 + 1) / BETA1) + ((BETA2 + 1) / BETA2)) \cdot IC1$$

$$RE1 = ((BETA1 + BETA2) / (BETA1 + BETA2 + 2)) \cdot (RC1 - VT / IC1)$$

$$RE2 = RE1$$

$$RP = (|VCC| + |VEE|)^2 / (PD - |VCC| \cdot 2 \cdot IC1 - |VEE| \cdot IEE)$$

$$RE = VAF / IEE$$

$$BJT1IS = 1E-16$$

$$BJT2IS = BJT1IS \cdot (1 + VOFF / VT)$$

JFET入力段

$$\begin{aligned} IEE &= C3 \cdot SRN \\ CE &= IEE \cdot SRP - C3 \\ RE &= VAF / IEE \\ RE1 &= 1 \\ RE2 &= 1 \\ BETA1 &= 0.5 \cdot GA^2 / IEE \\ BETA2 &= BETA1 \\ RP &= (|VCC| + |VEE|)^2 / PD \end{aligned}$$

すべての段

$$\begin{aligned} RO2 &= ROUTDC - ROUTAC \\ GCM &= 1 / (CMRR \cdot RC1) \\ GB &= RC1 \cdot A / RO2 \\ VLP &= IOSC \cdot 1000 \\ VLN &= VLP \\ VC &= VCC - VPS \\ VE &= -VEE + VNS \end{aligned}$$

制御信号源方程式

$$\begin{aligned} I(GA) &= GA \cdot (V(A1) - V(A2)) \\ I(GCM) &= GCM \cdot V(CM) \\ I(F1) &= GB \cdot I(VS1) - GB \cdot I(VC) + GB \cdot I(VE) + GB \cdot I(VLP) - GB \cdot I(VLN) \\ V(E1) &= (V(VCC) + V(VEE)) / 2 \\ V(H1) &= 1000 \cdot I(VS2) \\ V(VS1) &= 0.0 \text{ (電流測定時のみ使用)} \\ V(VS2) &= 0.0 \text{ (電流測定時のみ使用)} \end{aligned}$$

レベル2と3のモデルでは、入力パラメータとして利得帯域幅 (GBW) を使用します。これらのモデルは、指定された位相マージン (PM) および $F=GBW$ における利得-3.01dBを開ループ構成において発生させる OPAMPを構成します。利得曲線の漸近線 (利得曲線と接する直線) と線 $F = GBW$ の交点は、0.0dBで発生します。

注意: $PM = \text{位相マージン} = \text{位相アングル} + 180$ 。V(OUT)の位相マージンをプロットするには、Y式は $PH(V(OUT) + 180$ となります。

パルス信号源

回路図での書式

PART属性
<name>

例
P1

MODEL属性
<model name>

例
RAMP

PULSE信号源は、SPICEの独立電圧源のPULSEと似ていますが、モデル文を使用し、タイミング値がT = 0に対して定められる点が異なります。

モデル文の書式

.MODEL <model name> PUL ([model parameters])

例
.MODEL STEP PUL (VZERO = .5 VONE = 4.5 P1 = 10n P2 = 20n + P3 = 100n P4 = 110n P5 = 500n)

モデルパラメータ

名前	パラメータ	単位	規定値
VZERO	0レベル	V	0.0
VONE	1レベル	V	5.0
P1	立ち上がり点までの遅延時間	S	1.0E-7
P2	1レベル点までの遅延時間	S	1.1E-7
P3	立ち下がり点までの遅延時間	S	5.0E-7
P4	0レベルに戻る点までの遅延時間	S	5.1E-7
P5	繰り返し周期	S	1.0E-6

方程式

波形値は次のように生成されます。

From	To	値
0	P1	VZERO
P1	P2	$VZERO + ((VONE - VZERO) / (P2 - P1)) \cdot (T - P1)$
P2	P3	VONE
P3	P4	$VONE + ((VZERO - VONE) / (P4 - P3)) \cdot (T - P3)$
P4	P5	VZERO

ここではFrom、ToはTで、 $T = \text{TIME} \bmod P5$ です。波形はP5秒ごとに繰り返し返します。P5 ≥ P4 ≥ P3 ≥ P2 ≥ P1にご注意ください。

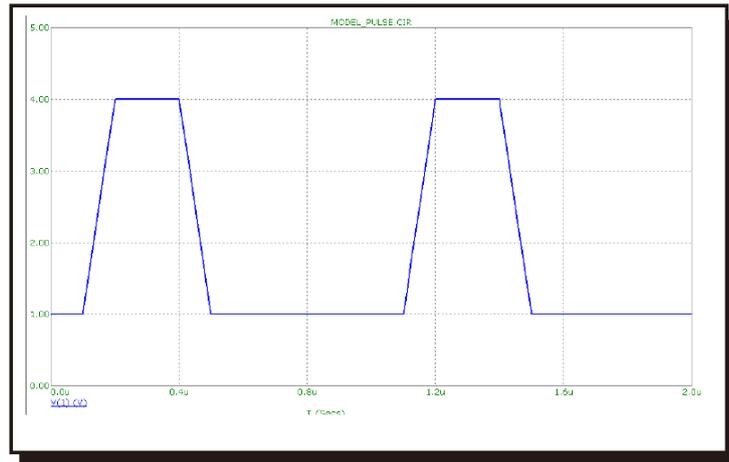


図22-32 サンプル波形。モデルパラメータはvzero =1vone=4
P1=.1u P2 =.2u P3=.4u P4=.5u P5=1u

抵抗

SPICEでの書式

構文

R <name> <plus> <minus> [model name]
+ <resistance> [TC=<tc1>[,<tc2>]]

例

R1 2 3 50

<plus>は正のノード番号、<minus>は負のノード番号です。極性参照は、抵抗の電圧、V(RX)、電流I(RX)をプロットまたはプリントする目的にのみ使います。

回路図での書式

PART属性

<name>

例

R5
CARBON5

RESISTANCE属性

<resistance> [TC =<tc1>[,<tc2>]]

例

50
10K
50K * (1 + V (6) / 100)

FREQ属性

<fexpr>

例

2K + 10 * (1 + F / 1e9)

MODEL属性

[model_name]

例

RMOD

RESISTANCE属性

<resistance>は単純な数か時間領域変数を含む数式が使用できます。数式は時間領域でのみ評価されます。次のような式を考えてみます。

$$100 + V(10) * 2$$

V(10)はトランジェント解析や、またはAC解析の前の動作点電圧計算や、DC解析中におけるノード10の電圧を示します。ノード10のAC小信号電圧を意味するものではありません。ノード10のDC動作点値が2であった場合、抵抗は $100 + 2 * 2 = 104$ となります。AC解析では、定数値104が使用されます。

FREQ属性

<fexpr>を使用すると、動作点計算時に値を置き換えます。<fexpr>は単純な数値または周波数領域変数を含む数式が利用可能です。数式は、AC解析において、周波数を変化させながら評価します。例えば、次の<fexpr>属性を考えます。

$$V(4, 5) * (1 + F / 1e7)$$

この数式でFはAC解析の周波数変数、V(4, 5)はノード4と5のAC小信号電圧を示します。時間領域においては、<fexpr>と等価な指定はされませんのでご注意ください。<fexpr>が指定されている場合でも、トランジェント解析では<resistance>が使用されます。

ステップの影響

RESISTANCE属性と、すべてのモデルパラメータをステップすることができます。ステップすると、<resistance>が数式であっても<resistance>を置き換えます。ステップした値を温度の影響によりさらに変更することができます。

温度の影響

温度係数には二次係数と指数係数の2種類があります。二次係数はモデルパラメータTC1とTC2、またはパラメータ行の<tc1>と<tc2>で決定されます。指数係数はモデルパラメータTCEで決定されます。

[TC =<tc1>[,<tc2>]]がパラメータ行で指定されている場合、<resistance>は温度係数TFで乗算されます。

$$TF = 1 + \langle tc1 \rangle \cdot (T - T_{nom}) + \langle tc2 \rangle \cdot (T - T_{nom})^2$$

[*model_name*]を使用し、TCEが指定されていない場合、<*resistance*>は温度係数TFで乗算されます。

$$TF = 1 + TC1 \cdot (T - T_{nom}) + TC2 \cdot (T - T_{nom})^2$$

TC1は、リニア温度係数であり、しばしばデータシートにppm/°Cの単位で記載されています。ppm指定をTC1に変換するには、1E6で除算してください。例えば、3000ppm/°Cの場合、TC1の値は、3E-3になります。

[*model_name*]を使用し、TCEが指定されている場合、<*value*>は温度係数TFで乗算されます。

$$TF = 1.01^{TCE \cdot (T - T_{nom})}$$

[*model_name*]と[TC=<*tc1*>[,<*tc2*>]]が両方とも指定されている場合、[TC=<*tc1*>[,<*tc2*>]]が優先されます。

Tはデバイスの動作温度でTnomは公称抵抗を測定する温度です。Tは解析リミットダイアログボックスの解析温度に設定します。TNOMは全般設定のTNOM値で決定されますが、これは.OPTIONS文で取り消すことができます。TとTnomはT_MEASURED、T_ABS、T_REL_GLOBAL、T_REL_LOCALの各パラメータを指定して、モデル毎に変更することができます。デバイスの動作温度とTnom温度の詳しい計算方法については、「コマンド文」の.MODELの項をご覧ください。

モンテカルロの影響

LOTおよびDEVのモンテカルロ許容値は[*model_name*]を使用している場合にのみ利用でき、モデル文から得られます。これらは百分率または絶対値で表し、T_パラメータを除くすべてのモデルパラメータに利用できます。いずれの形式で指定しても等価なtolerance percentageに変換され、モンテカルロ係数MFの値を増減します。MFは最終的にモデルパラメータRの値を乗算します。

$$MF = 1 \pm \text{tolerance percentage} / 100$$

tolerance percentageがゼロであるか、モンテカルロを使用していないときには、MF係数は1.0に設定され、最終的な値には影響ありません。

最終的な抵抗値、*rvalue*は次のように計算します。

$$rvalue = \langle value \rangle * TF * MF * R$$

ここで、Rはモデルパラメータの乗数を表す。

モデル文の書式

.MODEL <model_name> RES ([model parameters])

例

.MODEL RM RES (R = 2.0 LOT = 10 % TC1 = .015)

モデルパラメータ

名前	パラメータ	単位	規定値
R	抵抗増幅器		1.0
LS	直列インダクタンス	H	0.0
CP	並列容量	F	0.0
TC1	線形温度係数	°C ⁻¹	0.0
TC2	二次温度係数	°C ⁻²	0.0
TCE	指数温度係数	%/°C	0.0
NM	ノイズ増幅器		1.0
T_MEASURED	測定温度	°C	
T_ABS	絶対温度	°C	
T_REL_GLOBAL	相対温度 (対現在値)	°C	
T_REL_LOCAL	相対温度 (対AKO)	°C	

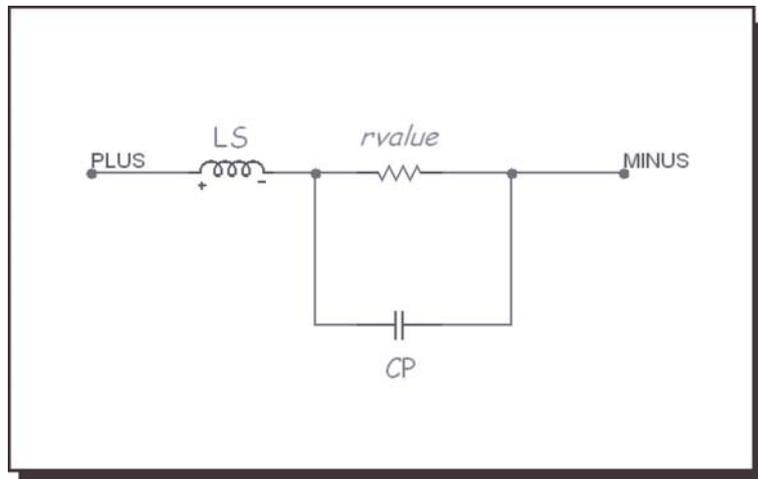


図22-23 抵抗モデル

ノイズの影響

抵抗ノイズはサーマルノイズ電流でモデル化されます。

$$I = NM * \text{sqrt}(4 * K * T / rvalue)$$

NMは、抵抗のノイズ電流を乗算します。値がゼロの場合、そのモデルを使用する抵抗によるノイズ寄与がすべて実効的に除去されます。

S (電圧制御スイッチ)

SPICEでの書式

S <name> <plus output node> <minus output node>
+ <plus controlling node> <minus controlling node>
+ <model name>

例

S1 10 20 30 40 RELAMOD

回路図での書式

PART属性
<name>

例

S1

MODEL属性
<model name>

例

RELAY

このスイッチは、2つの異なる動作モード、スムーズ遷移とヒステリシスで動作できます。

スムーズ遷移モード：

入力ヒステリシスが必要ない場合にこのモードを使用します。スムーズ遷移では、収束の問題が小さくなります。このモードでは、VONとVOFFを指定します。VTとVHは無視されます。スイッチのインピーダンスは、制御電圧がVONからVOFFに変化するにつれてRONからROFFに、制御電圧がVOFFからVONに変化するにつれてROFFからRONにスムーズに変化します。

ヒステリシスモード：

入力ヒステリシスが必要であり、回路が収束の問題について厳しくない回路である場合に、このモードを使用します。ヒステリシスモードでは、VTとVHを指定します。VONとVOFFは無視されます。スイッチのインピーダンスは、制御電圧がVT+VHより高くなるとROFFからRONに、制御電圧がVT-VHより低くなるとRONからROFFにすぐに変化します。

このスイッチは、2つの入力ノードの電圧により制御され、スイッチインピーダンスは入力電圧と出力ノードに印加されます。

RONとROFFは、0より大きく、1/Gminより小さい必要があります。

遷移領域VON-VOFFは小さすぎないようにしてください。小さすぎると領域を横切るのに大量の時間点が必要になります。VON-VOFFに許される最小値は $RELTOL \cdot (\max(VON, VOFF)) + VNTOL$ です。

モデル文の形式

```
.MODEL <model name> VSWITCH ([model parameters])
```

例

```
.MODEL S1 VSWITCH (RON = 1 ROFF = 1K VON = 1 VOFF = 1.5)
.MODEL S2 VSWITCH (RON=1 ROFF=1K VT=3 VH=1)
```

モデルパラメータ

名前	パラメータ	単位	規定値
RON	オン抵抗	Ω	1
ROFF	オフ抵抗	Ω	1E6
VON	オン状態の制御電圧	V	1
VOFF	オフ状態の制御電圧	V	0
VT	閾値電圧	V	なし
VH	ヒステリシス電圧	V	なし

モデル方程式

VC = 制御ノード間の電圧

LM = 抵抗の値の対数平均 = $\ln((RON \cdot ROFF)^{1/2})$

LR = 抵抗の値の対数比 = $\ln(ROFF / RON)$

VM = 制御電圧の平均 = $(VON + VOFF) / 2$

VD = 制御電圧の差 = $VON - VOFF$

k = ボルツマン定数

T = 解析温度

RS = スイッチの出力抵抗

スムーズ遷移モード：（VONとVOFFが定義されている場合に使用）

VON > VOFFの場合

IVC >= VONならば

RS = RON

IVC <= VOFFならば

RS = ROFF

VOFF < VC < VONならば

$RS = \exp(LM + 3.LR.(VC-VM)/(2.VD) - 2.LR.(VC-VM)^3/VD^3)$

IVON < VOFFの場合

VC <= VONならば

RS = RON

VC >= VOFFならば

RS = ROFF

VOFF > VC > VONならば

$RS = \exp(LM - 3.LR.(VC-VM)/(2.VD) + 2.LR.(VC-VM)^3/VD^3)$

ヒステリシスモード：（VONとVOFFが定義されていない場合に使用）

IVC >= VT + VHの場合

RS = RON

IVC <= VT - VHならば

RS = ROFF

その他は

RSは変化なし

ノイズの影響

ノイズは、DC動作点解析での抵抗値に等しい抵抗としてモデリングされます。熱ノイズ電流は、次のように計算されます。

$$I = \sqrt{4 \cdot k \cdot T / RS}$$

サンプルアンドホールド信号源

SPICEでの書式

SPICEまたはPspiceには等価なサンプルアンドホールドデバイスは
ありません。

回路図での書式

PART属性

<name>

例

S1

S10

SA

INPUT EXPR属性

<input expression>

例

V (1, 2)

V (INPUT)

V (10, 20) * I (R1)

SAMPLE EXPR属性

<sampling expression>

例

V (1, 2)> 1.2

V (5)> 1.1 AND V (4)> 1.2

I (RL)> 1e-3

PERIOD属性

<sampling period>

例

100ns

tmax/100

1U

PRECISION属性

<precision>

例
1e-3
1U

このデバイスは、理想的なサンプルアンドホールドです。<sampling expression>が真であるとき、あるいはサンプル時間秒ごとに<input expression>がサンプルされます。ビヘイビアモードは次のように区別されます。

<sampling expression>が指定の場合：

<sampling expression>が ≥ 1.0 のとき<input expression>がサンプルされます。<sampling expression>には通常ブール論理式を指定します。信号源の出力電圧は、サンプルした値に設定され、次のサンプルまで一定の値を保ちます。

<sampling expression>が未指定、<sampling period>が指定の場合：

信号源は<sampling period>秒毎に<input expression>の数値をサンプルして保存します。サンプリングは0から開始されます。信号源の出力電圧は、サンプルした値に設定され、次のサンプルまで一定の値を保ちます。

<sampling expression>と<sampling period>がともに未指定の場合：

エラーメッセージが発生します。<sampling expression>と<sampling period>のどちらかを指定する必要があります。

<sampling expression>と<sampling period>が指定の場合：

<sampling expression>が ≥ 1.0 のとき<input expression>がサンプルされます。これは最初の場合と同じです。<sampling period>は無視されます。

<precision>はトラッキングのレベルを決定します。値が小さいほど、サンプリングする数式のトラッキングが厳密になります。つまり、<precision>の値が小さいほど、時間ステップが細かくなり、トラッキングの精度が高くなります。

これで<input expression>は通常ノード電圧になるので、数式は第二例のように回路変数を呼び出すことができます。<sampling period>には第二例のように時間不変な数式を含むことができます。ここでは解析実行の<tmax>がサンプリング周期の計算に使用されます。

サンプルアンドホールドコンポーネントの使用例については、サンプルファイルSH2.CIRを参照ください。

サイン信号源

回路図での書式

PART属性
<name>

例
S1

MODEL属性
<model name>

例
Line60

サイン信号源はSPICE独立電圧源のSINに似ています。SPICEの信号源とは異なり、この部品はモデル文を使用します。

モデル文の書式

.MODEL <model name> SIN ([model parameters])

例
.MODEL V1 SIN (F = 1Meg A = 0.6 DC = 1.5)

モデルパラメータ

名前	パラメータ	単位	規定値
F	周波数	Hz	1E6
A	振幅	V	1.0
DC	DCレベル	V	0.0
PH	位相シフト	ラジアン	0.0
RS	信号源の抵抗	Ω	0.001
RP	指数関数の反復周期	S	0.00
TAU	指数関数の時定数	S	0.00

モデル方程式

TAU = 0の場合

$$V = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot F \cdot \text{TIME} + \text{PH}) + \text{DC}$$

それ以外の場合

$$V = A \cdot e^{(-T/\text{TAU})} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot F \cdot \text{TIME} + \text{PH}) + \text{DC}$$

ここで $T = \text{TIME} \bmod \text{RP}$

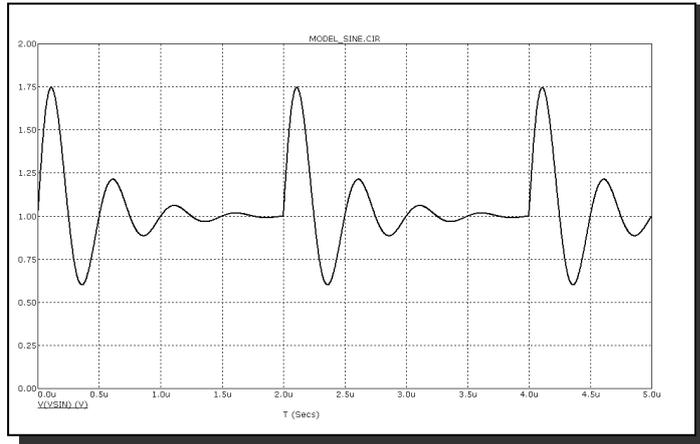


図22-34 モデルパラメータ $F=2\text{Meg}$ $A=1$ $DC=1$ $RP=2U$ $TAU=.4U$ の
サンプル波形

サブサーキット呼び出し

SPICEでの書式

X <name> [node]* <subcircuit name>
+ [PARAMS : <<parameter name>=<parameter value>>*]
+ [TEXT : <<text name>=<text value>>*]

例

X1 10 20 AMP
XDIF1 100 200 DIFF PARAMS : GAIN = 10

回路図での書式

PART属性
<name>

例

X1

NAME属性
<subcircuit name>

例

FILTER

FILE属性
[<file name>]

例

MYFILE.MOD

PARAMS属性
[<<parameter name>=<parameter value>>*]

例

CENTER = 10KHZ BW = 1KHZ

OPTIONAL属性
[<<pin_name>=<node_name>>*]

例

DPWR=\$G_DPWR_VCC

TEXT:属性

[<<text name>=<text value>>*]

例

JEDEC = "FILENAME"

[*node*]*は.SUBCKT文で指定されるノード番号かノード名です。サブサーキット呼び出し中のノード数は、.SUBCKT文のノード数と同じでなければなりません。サブサーキットが呼び出されると、呼び出したノードは、.SUBCKT文と同じ順でサブサーキット本体のノードに置き換わりません。

.SUBCKT文でOPTIONAL：キーワードで定義されるノードは、[*node*]*の後にオプションで指定できます。省略可能なノードは、サブセットとして指定することができ、OPTIONAL文で指定された通りの順番でsubcktの内部ノードに割り当てられます。ノードを省略する場合は、リストの最後のノードから省略する必要があります。この文は、デジタルライブラリにおいて、省略可能な電源ノードを指定するのに使用されます。省略可能なノードは、OPTIONAL属性でも指定できます。

SPICE <*subcircuit name*>または、NAME属性はサブサーキットの名前を定義します。.SUBCKT文で定義した名前と同じでなければなりません。

FILE属性は、.SUBCKT文のあるファイルの名前を定めます。Micro-Capは、.SUBCKT文を見つけるために下記の場所を順に検索します。

- ・回路が回路図の場合
 - ・テキスト領域
 - ・FILE属性のファイル
 - ・「.LIB」文で挙げられた複数のファイル
 - ・規定値の「.LIB NOM.LIB」文で挙げられた複数のファイル
- ・回路がSPICEテキストファイルの場合
 - ・回路記述テキスト
 - ・「.LIB」文で挙げられた複数のファイル
 - ・規定値の「.LIB NOM.LIB」文で挙げられた複数のファイル

サブサーキットは、コンポーネントライブラリで広く使用されています。これらには、規定値の.LIB文によりアクセスします。SPICEキーワードまたは回路図PARAMS属性では、複数の数値パラメータをサブサーキットにパスできます。<parameter name>はパラメータ名、<parameter value>はパラメータ値を定義します。この値は、サブサーキット呼び出しにパラメータが含まれないときに使用されます。例えば

```
.SUBCKT CLIP 1 2
+ PARAMS : LOW = 0 HIGH = 10
```

上のようなサブサーキット定義を以下のように呼び出せます。

```
X1 10 20 CLIP ;結果はLOW=0, HIGH=10
X2 10 20 CLIP PARAMS : LOW=1, HIGH=2 ;結果はLOW=1, HIGH=2
X3 10 20 CLIP PARAMS : HIGH=4 ;結果はLOW=0, HIGH=4
```

サブサーキットには、SPICEキーワードまたは回路図TEXT:属性により、テキストパラメータを渡すことができます。<text name>はテキストパラメータの名前、<text value>は値を定義します。この値は、サブサーキット呼び出しにパラメータが含まれないときに使用されます。例えば

```
.SUBCKT STIMULUS 1 2 3 4
+ TEXT : FILE = "T1.STM"
```

上のようなサブサーキット定義を以下のように呼び出せます。

```
X1 10 20 30 40 STIMULUS ;結果は
FILE="T1.STM"
X2 10 20 30 40 STIMULUS TEXT : FILE="P.STM" ;結果はFILE="P.STM"
```

subcktコンポーネントをMicro-Capの回路図ファイル内で使うのは簡単です。最初に、コンポーネントエディタを使用してサブサーキットをコンポーネントライブラリに入力する必要があります。その際、次の項目の入力が必要です。

- **サブサーキット名** : ユニークな名前を使用してください。厳密には必要ではありませんが、混乱を避けるため、SUBCKT制御文で使用された名前と同じにしてください。
- **シェイプ名** : 適切な名前を使用してください。
- **定義** : SUBCKTを使用します。

以上の項目を入力したら、ピン割当てを定義する必要があります。これにより、SUBCKT制御文のノード番号が、シェイプのどこに位置するか決定されます。ピンを割り当てるには、シェイプの描画領域をクリックし、ピンにサブサーキットのノード番号の名前をつけます。ピンはその後シェイプ上の希望する位置にドラッグします。

サブサーキットは、通常の方法で回路図に配置できるようになります。

サブサーキット呼び出しの方法については、サンプル回路ファイルのSUBCKT1とPLA2をご覧ください。

スイッチ

SPICEでの書式

PART属性

<name>

例

S1

VALUE属性

<[V | T | I], <n1, n2> [, <ron> [, <roff>]]

例

V, 1, 2

I, 2ma, 3ma

T, 1ms, 2ms, 50, 5Meg

これは3種類のスイッチのうちもっとも古いタイプです。新しいスイッチ S、Wでは、オンオフの遷移がより低速かつなめらかです。

電流制御・電圧制御・時間制御の3種類の従属スイッチがあります。

スイッチは4端子のデバイスです。電流制御で使用する場合、2つの入力ノードの間に電流検出用インダクタを接続する必要があります。電圧制御スイッチは、2つの入力ノード間の電圧によって制御されます。時間依存スイッチはトランジェント解析の時間変数によりスイッチの開閉を制御します。

時間制御スイッチでは、2つの制御ノードは使用しません。これらのノードを、グラウンドや2つの出力ノードに接続させると、ノード総数を2つ減らすことができます。

トランジェント解析では、シミュレーションの時間ステップの選び方に注意する必要があります。時間ステップが大きすぎると、スイッチがONにならない可能性があります。スイッチが開閉するためには、指定した範囲内に時間点が一つ以上必要です。

スイッチのパラメータ構文によって、normally-onまたはnormally-offを選べます。normally-onスイッチは、指定された範囲外でオン、範囲内でオフになるスイッチです。normally-offスイッチは、範囲外でオフ、範囲内でオンになるスイッチです。

<ron>抵抗は省略可能で、規定値は1E-3オームです。<roff>は省略可能で、規定値は1E-9オームです。<roff>を指定するときは、回路の負荷になるほど小さくしないように注意してください。また、大きすぎないようにも気をつけてください。大きすぎると、インダクタや電流源の電流を阻止して過度の電圧が発生します。

動作の規則

n1 <n2の場合

次の場合にスイッチが閉じる (ON)。

$$n1 \leq X \leq n2$$

次の場合にスイッチが開く (OFF)。

$$X < n1 \text{ or } X > n2$$

n1 > n2の場合

次の場合にスイッチが開く (OFF)。

$$n1 \geq X \geq n2$$

次の場合にスイッチが閉じる (ON)。

$$X > n1 \text{ or } X < n2$$

スイッチパラメータの最初の文字がVの場合：

スイッチは電圧制御スイッチ

X = 入力ノード間の電圧

n1、n2は電圧値

スイッチパラメータの最初の文字がIの場合：

スイッチは電流制御スイッチ

X = 入力ノード間におかれたインダクタを流れる電流

n1、n2は電流値

スイッチパラメータの最初の文字がTの場合：

スイッチは時間制御スイッチ

X = TIME .

n1、n2はTIME変数

スイッチが閉じると抵抗値が<ron>になります。スイッチが開くと<roff>になります。

タイマ

SPICE形式

SPICEやPSpiceには、等価なタイマデバイスはありません。

回路図での書式

PART属性

<name>

例

T1

S1

INPUTEXPR属性

<input expression>

例

V(1,2)>=1.3

I(R1)>=1ma AND I(R1)<=5ma

T>110ns AND V(3)>5

ELAPSED SCALE属性

<elapsed scale>

例

1E6

1

INCREMENT属性

<increment>

例

-1

1

INITIAL属性

<initial value>

例

0

16384

MIN属性

<min>

例 2

0

-100

MAX属性

<max>

例

16384

10

このデバイスは、次の出力を提供します。

- ・ **カウント**：シミュレーション実行開始あるいは最後のリセットパルス以降のイベント数。

- ・ **経過時間**：イベント発生以降の経過時間。

- ・ **最後の時刻**：イベントが発生した最後の時刻。

<input expression>が ≥ 1.0 と評価されると、イベントが発生します。

代表的な<input expression>は、 $V(IN) \geq 3.4$ 等のイベントの条件を定義するブール式です。

カウントは、シミュレーション開始時およびRESETピンの電圧が1.0を超えると、初期値<initial value>に設定されます。

イベントが発生するたびに、カウントは<increment>だけ増分されます。カウントは、<min>より小さくならず、<max>より大きくなりません。

ピン：3つのピンELAPSED、COUNT、LASTがあります。ピンはすべて出力であり、経過時間、カウント値、最後のイベント時刻を反映する値を有する電圧源に接続されます。

ELAPSEDピンの値は、

(最後のイベント発生以来経過したシミュレーション時間) ・

<elapsed scale>

COUNTピンの値は、
 $\langle initial\ value \rangle + (T = 0\ \text{の時あるいは最後のリセット以来のイベント数}) \cdot \langle increment \rangle$

LASTピンの値とはイベントが発生した最後のシミュレーション時間(秒)です。

Resetピンは、COUNT値だけをリセットすることに注意してください。ELAPSED値やLAST値には影響しません。

タイマの使用法の例については、サンプルファイルTIMER.CIRを参照してください。

トランス

回路図での書式

PART属性
<name>

例
T1

VALUE属性
<primary inductance>,<secondary inductance>,<coupling coefficient>

例
.01, .0001, .98

トランスは、相互インダクタンスを持つ2つのインダクタで構成されます。これは、2つの個別インダクタと線形Kデバイス（相互インダクタンスを定義）に等価です。

結合の係数は、次の方程式により相互インダクタンスに関連づけられます。

$$k = M / (LP * LS)^{0.5}$$

Mは相互インダクタンス
kは結合係数と $-1 \leq k \leq 1$
LPは一次側インダクタンス
LSは二次側インダクタンス

1/GMINの抵抗性インピーダンスが正の入力ピンと負の入力ピンの間に追加され、DC収束の問題を回避します。

負の結合係数は、トランスの片側の極性変更に相当します。

伝送線路

SPICEでの書式

理想線路

```
T <name> <A port + node> <A port-node>  
+ <B port + node> <B port-node>  
+ [model name]  
+ [Z0 =<value> [TD =<value>] | [F =<value> [NL =<value>]]]
```

例

```
T1 10 20 30 40 Z0 = 50 TD = 3.5ns  
T1 10 20 30 40 Z0 = 150 F = 125Meg NL = 0.5  
T1 20 30 40 50 TLMODEL
```

損失線路

```
T <name> <A port + node> <A port-node>  
+ <B port + node> <B port-node>  
+ [<model name> [physical length]]  
+ [LEN =<len value> R =<rvalue> L =<lvalue> G =<gvalue>  
+ C =<cvalue>]
```

例

```
T1 20 30 40 50 LEN = 1 R = .5 L = .8U C = 56PF  
T3 1 2 3 4 TMODEL 12.0
```

回路図での書式

PART属性

<name>

例

T1

理想線路のVALUE属性

Z0 =<value> [TD =<value>] | [F =<value> [NL =<value>]]

理想線路の例

Z0 = 50 TD = 3.5ns

損失線路のVALUE属性

<*physical length*> LEN =<len value> R =<rvalue> L =<lvalue>
G =<gvalue> C =<cvalue>

損失線路の例

LEN = 1 R = .5 L = .8U C = 56PF
R = .5 L = .8U C = 56PF

MODEL属性

<model name>

例

RELAY

モデル文の書式

.MODEL <model name> TRN ([model parameters])

例

.MODEL TIDEAL TRN (Z0 = 50 TD = 10ns)
.MODEL TLOSS TRN (C = 23pF L = 13nH R = .35 LEN = 10)

理想線路のモデルパラメータ

名前	パラメータ	単位	規定値
ZO	特性インピーダンス	Ω	なし
TD	伝送遅延	S	なし
F	NLの周波数	Hz	なし
NL	相対波長		0.25

損失線路のモデルパラメータ

名前	パラメータ	単位	規定値
R	単位長あたり抵抗	Ω /単位	なし
L	単位長あたりインダクタンス	ヘンリー/単位	なし
G	単位長あたりコンダクタンス	モー/単位	なし
C	単位長あたりキャパシタンス	ファラド/単位	なし
LEN	物理長	RLGCと同じ	なし

LEN、R、L、G、Cは、長さ共通の単位を使用する必要があります。
例えば、Cの単位がファラド/cmの場合、Rはオーム/cm、Lはヘンリー/cm、Gはモー/cm、LENはcm単位でなければなりません。

R、L、CおよびGは通常固定値ですが、AC解析においてのみ、周波数Fまたは複素周波数 $S(2*PI*F*j)$ を使用する数式とすることも可能です。その他の解析では、数式が $F=0$ で評価されます。

モデル方程式

理想線路と損失線路は図22-35のモデルで表されます。

2つのモデルの基本的な違いは、遅延の実装方法にあります。理想線路モデルでは、遅延はデータペア（時間、値）とブレイクポイントのリンクリストとして実装されます。SPICE3の畳み込み法を使用して、損失線路を正確に表現します。採用している方法は、入力波形を損失線路の入パルス応答で畳み込んで出力波形を生成します。

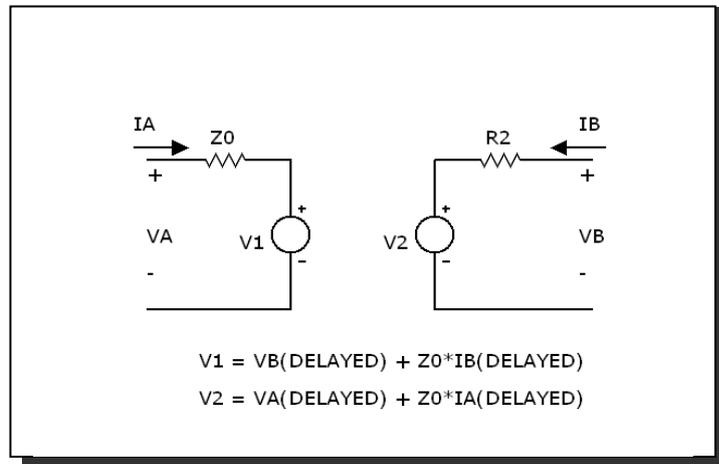


図22-35 伝送線路モデル

インパルス応答は、事前に解かれた解析的計算式から得られます。畳み込みにより、任意の波形を扱うことが可能になります。入力にはステップや線形ランプに限りません。

線はRLC、RC、RG、LCだけがサポートされています。R、L、C、Gの非ゼロ値の組み合わせにより、ほかの線種が指定されている場合、エラーが発生します。

両方のタイプの伝送線路について、VALUE、MODELパラメータは記述することができます。VALUEパラメータはMODELパラメータを置換し、最終的な結果がVALUE属性の構文規則に従っているかどうかをチェックします。

なお、VALUE、MODELのパラメータには「Z0」（Zゼロ）と「ZO」（Zオー）の両方が使用できます。

長さ変更子<physical length>が与えられた場合、<model name>使用時のモデルパラメータLENを上書きします。

無損失伝送線路の回路例については、回路TL1、TL2、TL3をご覧ください。損失伝送線路の回路例については、回路LTRA3およびSkinEffect1をご覧ください。後者では、Rの表皮効果のモデリングに周波数依存の式を使用します。

ユーザファイル信号源

回路図での書式

PART属性
<name>

例
U1

FILE属性
<file name>

例
AMP.USR

EXPRESSION属性
[expression]

例
V(OUT)対T

REPEAT属性
[number]

例
5

ENABLE_EXPR属性
[enable_expression]

例
V(OUT) > 3.2
Time > 110ns

これはテキストファイルの曲線を有する電圧源です。曲線は、トランジエント解析では[number]回分繰り返され、AC解析やDC解析では1回だけ実行されます。

ファイルの中には、ヘッダとN行の連続行があり、各行には可変個のデータ値が格納されます。

トランジェント解析：

行あたりデータ値2つ：時間、Y (Xは時間に設定されています)

行あたりデータ値3つ：時間、X、Y

AC：

行あたりデータ値3つ：周波数、実部 (Y)、虚部 (Y)

(XはFrequencyに設定されています)

行あたりデータ値5つ：周波数、実部 (X)、虚部 (X)、実部 (Y)、虚部 (Y)

DC：行あたりデータ値3つ：

DCINPUT1, X, Y

ここで、XはX式の値、YはY式の値、DCINPUT1は変数1の値です。

ユーザファイルは、外部でも作成できるし、解析の実行後に1つまたは複数の曲線や波形を保存して作成することも可能です。特定の波形を保存するには、解析実行後にF10を押してプロットプロパティダイアログボックスを呼び出し、曲線の保存セクションで保存する波形を選択します。

回路図にユーザ信号源を配置すると、Micro-Capは現在のデータディレクトリを読み、拡張子が*.USRのファイルを検索します。その後ファイルが読み込み、どの波形が利用可能か確認します。ファイルはFILEフィールドに、波形は式フィールドにドロップダウンリストとして表示されるため、ユーザは簡単に選択することができます。

ユーザファイルに保存された曲線は、変数リストの曲線セクションから選択することにより解析時に表示することもできます。このリストを呼び出すには、Y式フィールドを右クリックします。波形のX部とY部は曲線Xと曲線Yとして保存されるため、独立に選択することができます。

[*enable_expression*]が与えられた場合、信号源をゲートでコントロールします。与えられていない場合、信号源は常に有効です。[*enable_expression*]が真である場合、波形が始まります。[*enable_expression*]が偽となると、信号源はその現在の出力レベルに留まります。

シンプルな信号源の例についてはUSERを参照してください。2つの信号源の例についてはUSER2を、トリガーされた信号源の例についてはUSER3を参照してください。信号源で使用されているデータファイルを調べるには、情報モード  をクリックし、次に信号源をクリックします。

W（電流制御スイッチ）

SPICEでの書式

W <name> <plus output node> <minus output node>
+<controlling voltage source name> <model name>

例

W1 10 20 V1 IREF

回路図での書式

PART属性
<name>

例

W1

REF属性

<controlling voltage source name>

例

VSENSE

MODEL属性

<model name>

例

SW

Wスイッチは、2つの異なる動作モード、スムーズ遷移とヒステリシスで動作できます。

スムーズ遷移モード：

入力ヒステリシスが必要ない場合にこのモードを使用します。スムーズ遷移では、収束の問題が小さくなります。このモードでは、IONとIOFFを指定します。ITとIHは無視されます。スイッチのインピーダンスは、制御電流がIONからIOFFに変化するにつれてRONからROFFに、制御電流がIOFFからIONに変化するにつれてROFFからRONにスムーズに変化します。

ヒステリシスモード：

入力ヒステリシスが必要であり、回路が収束の問題について厳しくない回路である場合に、このモードを使用します。

ヒステリシスモードでは、ITとIHを指定します。IONとIOFFは無視されます。スイッチのインピーダンスは、制御電流がIT+IHを通過するとROFFからRONに、制御電流がIT-IHを通過するとRONからROFFにすぐに変化します。

このスイッチは、<controlling voltage source name>によって定義される信号源の電流によって制御されます。

RONとROFFは、ゼロより大きく、1/Gmin未満でなければなりません。

モデル文の書式

.MODEL<model name> ISWITCH ([model parameters])

例

.MODEL W1 ISWITCH (RON = 1 ROFF = 1K ION = 1 IOFF = 1.5)

.MODEL W2 ISWITCH (RON=1 ROFF=1K IT=1 IH=1.5)

モデルパラメータ

名前	パラメータ	単位	規定値
RON	ON抵抗	Ω	1
ROFF	OFF抵抗	Ω	1E6
ION	ON状態の制御電流	A	.001
IOFF	OFF状態の制御電流	A	0
IT	閾値電流	A	なし
IH	ヒステリシス電流	A	なし

モデル方程式

IC = 制御電流

LM = 抵抗値の対数平均 = $\ln(\text{RON} \cdot \text{ROFF})^{1/2}$

LR = 抵抗値の対数比 = $\ln(\text{RON} / \text{ROFF})$

IM = 制御電流平均値 = $(\text{ION} + \text{IOFF}) / 2$

ID = 制御電流の差 = $\text{ION} - \text{IOFF}$

k = Boltzmann定数

T = 解析温度

RS = スイッチ出力抵抗

スムーズ遷移モード：(IONとIOFFが定義されている場合に使用)

ION > IOFFの場合

IC >= IONならば

RS = RON

IC <= IOFFならば

RS = ROFF

IOFF < IC < IONならば

$RS = \exp(LM + 3 \cdot LR \cdot (IC - IM) / (2 \cdot ID) - 2 \cdot LR \cdot (IC - IM)^3 / ID^3)$

ION < IOFFの場合

IC <= IONならば

RS = RON

IC >= IOFFならば

RS = ROFF

IOFF > IC > IONならば

$RS = \exp(LM - 3 \cdot LR \cdot (IC - IM) / (2 \cdot ID) + 2 \cdot LR \cdot (IC - IM)^3 / ID^3)$

ヒステリシスモード：(IONとIOFFが定義されていない場合に使用)

IC >= IT + IHの場合

RS = RON

IC <= IT - IHならば

RS = ROFF

その他は

RSは変化なし

ノイズの影響

ノイズはDC動作点計算における抵抗値に等しい抵抗としてモデル化されます。熱ノイズ電流は次のように計算されます。

$$I = \sqrt{4 \cdot k \cdot T / RS}$$

WAVファイル信号源

回路図での書式

PART属性

<name>

例

W1

FILE属性

<file name>

例

AUDIO2.WAV

ode_to_joy.wav

CHANNEL属性

<channel number>

例

0

1

SCALE属性

<scale>

例

1

15

REPEAT属性

<repeat number>

例

1

3

ENABLE属性

<enable_expression>

例

```
Time>110mS  
Record_flag=TRUE
```

<*file name*> : WAV信号源の名前です。

<*channel number*> : 使用するチャンネル番号です。

<*scale*> : ファイル値を乗じるスケールファクタです。この値を大きくすると、ボリュームも大きくなります。

<*repeat number*> : ファイル内容の反復回数です。

<*enable expression*> : ファイルの再生は、ブール式の評価結果がTRUEでないと行えません。

DC動作点の計算では、信号源の値がファイルの初期値になります。

属性ダイアログボックスの再生ボタンを押すと、WAV信号源の内容を再生できます。信号源の再生は、トランジェント解析/F10/曲線の保存/再生ボタンでも行えます。

WAV信号源の例は、回路ファイルWAV.CIRを参照してください。

Z変換信号源

回路図での書式

PART属性

<name>

例

E1

ZEXP属性

<transform expression>

例

$$(.10 * (Z + 1) * (POW (Z, 2) - .70 * Z + 1)) / ((Z - .56) * (POW (Z, 2) - 1.16 * Z + .765))$$

CLOCK FREQUENCY属性

<clock frequency>

例

24Khz

Z変換信号源は電圧源で、波形は複素数のZ変数数式で表現されます。これはZを $\text{EXP}(S/\text{<clock frequency>})$ で置き換えたラプラス信号源のように動作します。なお、 $S = j * 2 * \text{PI} * F$, F = 周波数です。

この信号源の使用例についてはサンプルファイルZDOMAIN.CIRを参照ください。

本章の内容

本章では、Micro-Capのデジタルシミュレータを説明します。まず、デジタルシミュレーションエンジン、遅延モデル、デジタル状態、デジタル強度に関する一般的な説明を行い、次に、デジタル基本部品のそれぞれを説明します。基本部品は標準商用部品をモデル化する基本構築ブロックです。これらはデジタルライブラリにおいてモデリング要素として広く使用されます。基本部品は、回路図でもSPICE回路でも使用できます。

本章では以下の項目を説明します。

- デジタルシミュレーションエンジン
- デジタルノード
- デジタル状態
- デジタル強度
- タイミングモデル
- 伝搬遅延
- デジタル基本部品
- アナログ/デジタルインタフェース
- デジタルステイミュラスデバイス
- デジタル入力D/Aインタフェースデバイス
- デジタル出力A/Dインタフェースデバイス
- 標準ゲート
- 3ステートゲート
- フリップフロップとラッチ
- 遅延線
- ブルアップ、ブルダウンデバイス
- プログラマブルロジック配列
- マルチビットのA/D、D/A
- デジタルビヘイビア関数
 - 論理数式
 - ピン遅延
 - 制約チェック
- ステイミュラス発生器

デジタルシミュレーションエンジン

Micro-Capは汎用のイベントドリブンデジタル論理シミュレータを備えています。これはアナログシミュレータと完全に統合され、時間同期しています。

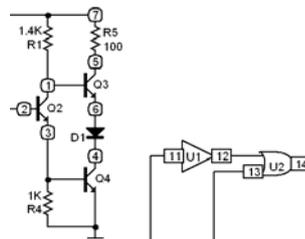
デジタルシミュレータの基本部品やビヘイビアを定義するには、様々な方法が考えられます。Micro-CapはPSpice™の構文を採用していますが、採用した理由としては、比較的効率が良いこと、広く知られていること、多くのユーザにとって新しいやり方を覚える必要がないこと等が挙げられます。Micro-CapとPSpice™のライブラリを、いずれのシミュレータでも読み込めることにより、移植性も向上しました。PSpice™は、Micro-Capの回路図ファイルを読むことはできませんが、Micro-CapのSPICEテキスト回路を読むことは可能です。Micro-Capは、PSpice™のほとんどのテキスト回路ファイルを読むことが可能です。一部例外はありますが、大半の機能はサポートしています。

Micro-Capの回路図でもSPICEテキストファイル回路でも、アナログ回路とデジタル回路は自由に混在できます。システムはアナログ部とデジタル部のインタフェースを自動的に処理します。アナログ部とデジタル部が同じノードを共有すると、システムは自動的に接続を切断し、間にユーザ指定のインタフェース回路を挿入します。インタフェースの要は、アナログ-デジタル変換器（デジタルノードが入力の場合）かデジタル-アナログ変換器（デジタルノードが出力の場合）です。この自動A/Dインタフェースは、本章の「アナログ/デジタルインタフェース」のセクションで詳しく説明します。

デジタルノード

デジタルノードはアナログノードと同様に表現され、ノード番号やノード名で参照されます。ノードにはMC10によって自動的に番号が付けられます。ノード名はユーザが対象ノードにグリッドテキストを配置して割り当てます。

デジタルのノード番号は、回路図中では角のある四角形で表示され、デジタル波形の角張った外観を反映しています。アナログのノード番号は、角の丸い四角形で表示されます。これはよりソフトなアナログ波形の性質を反映しています。



デジタル状態

デジタルノードの状態とは、デジタルレベルとデジタル強度の組み合わせです。デジタルレベルとデジタル強度によって、デジタル状態が特定されます。状態は下記のいずれかのシンボルで表現されます。

状態	説明
0	ロー
1	ハイ
R	立ち上がり (0から1への遷移)
F	立ち下がり (1から0への遷移)
X	未知 (0、1、または不安定)
Z	高インピーダンス (レベルは0、1、R、F、Xまたは不安定)



表23-1 デジタル状態

論理レベル

以上6つのシンボルは、デジタルノードで何が起きているかを表します。最初の5つのシンボル{0, 1, R, F, X}は高インピーダンスよりも高い強度の論理レベルを示します。「Z」シンボルは、高インピーダンス強度にあるレベルのすべてを示します。

ノード状態シンボルが「Z」の場合、出力ノードの強度は高インピーダンス（「Z」状態）と同じです。シンボルが「1」の場合、状態は定常的にハイレベルです。シンボルが「0」の場合、状態は定常的にローレベルです。シンボルが「R」の場合、状態は「1」への立ち上がり状態です。シンボルが「F」の場合、状態は「0」への立ち下がり状態です。シンボルが「X」の場合、状態は「0」、「1」、または不安定のいずれかです。

論理レベルは電圧の特定の範囲に対応します。対応はI/Oモデル文で定義されます。論理レベルは特定の電圧値には対応しません。例えば、「1」をモデル文で定義し、1.7から7.0ボルトの電圧範囲とすることもできます。デジタルノードが「0」と「1」との間で遷移するとき、アナログ電圧としては「最低1.7ボルト」が暗示されますが、もっと高い可能性もあります。デジタルモデリングでは、抽象化を行い、情報量と引き換えに、単純かつ高速なシミュレーションを提供します。

論理強度

複数のデジタル出力ピンが一緒に1つのノードに接続されると、共有ノードの状態は次のように決定されます。

- すべての出力のレベルが同じであるとき：

共通のレベルが、新しいレベルになり、強度は最も強いノードの強度に等しくなります。

- すべての出力のレベルが同じではないとき：

最強の出力強度が、2番目の強度をDIGOVRDRV以上上回る場合、最強の出力のレベルと強度が共有ノードに割り当てられます。

その他の場合、共有ノードのレベルは「X」、最強の出力強度に設定されます。

最低の強度を、高インピーダンスまたは「Z」強度といいます。これはDIGDRVZの値で定義されます。出力インピーダンスがDIGDRVZ以上の場合、出力は「Z」に設定されます。

DIGDRVFで決定される最高の強度を、強制インピーダンスと呼びます。

デバイスの出力の強度は、出力インピーダンスで定義されます。インピーダンスは、出力がハイかローかに応じてDRVHかDRVLになります。DRVHとDRVLはデバイスのI/Oモデル文から取得されます。DRVHとDRVLは次の範囲に制限されます。

$$\text{DIGDRVF} \leq \text{インピーダンス} \leq \text{DIGDRVZ}$$

この範囲は、対数スケールで定義します。スケールには64段階のスケールがあり、DIGDRVZのインピーダンスが強度0、DIGDRVFのインピーダンスが強度63となります。シミュレーションの実行が開始される前に、各出力のインピーダンスDRVH、DRVLは、スケールDIGDRVF～DIGDRVZ内における該当位置に応じて、0から63までの強度を割り当てられます。強度は次のように計算されます。

$$\text{LZ} = \ln(\text{DIGDRVZ})$$

$$\text{LF} = \ln(\text{DIGDRVF})$$

$$\text{DRVH_STRENGTH} = 63 \cdot (\ln(\text{DRVH}) - \text{LZ}) / (\text{LF} - \text{LZ})$$

$$\text{DRVL_STRENGTH} = 63 \cdot (\ln(\text{DRVL}) - \text{LZ}) / (\text{LF} - \text{LZ})$$

シミュレーションの実行中、各出力は現在の状態に応じて強度DRVHまたはDRVLを割り当てられます。

DIGOVRDRV、DIGDRVF、DIGDRVZは全般設定ダイアログボックスで指定します。.OPTIONSコマンドで回路ごとに変更することができます。

3ステート出力

複数の強度があるとモデリングに役立つ状況として、3ステートバスがあります。この場合、数多くの3ステートデバイスが共通のノードに接続されます。各デバイスには有効ピンがあります。有効ピンを無効にすると、出力インピーダンスDIGDRVZ、強度0となります。出力は、1つを除いてすべて無効にされ、強度0です。出力のうち1つが有効にされ、強度は0より大きくなります。よって、出力の状態は有効にされた出力により決定されます。有効にされた出力がノード状態を制御するためには、DRVH、DRVLがDIGDRVZをDIGOVRDRVだけ上回っている必要があります。

オープンコレクタ出力

複数の強度があると役に立つもう一つの状況として、オープンコレクタ出力のモデリングがあります。この場合、多くのデバイスが共通のノードに接続されます。各デバイスのインピーダンスは、通常DRVL = 100、DRVH = 20Kです。PULLUPデバイスが共有ノードに接続されると、弱い「1」（通常1K）を供給します。出力のいずれかが「0」になると、その強度は、PULLUPの「1」の強度（1K）や、他の出力デバイスのZ強度（20K）をよりも強力です。よって、出力は「0」になります。すべての出力がZ強度（20K）で「1」の場合は、PULLUPによりZ強度より強い「1」が供給され、出力が「1」になります。

タイミングモデル

PULLUP、PULLDN、CONSTRAINT、PINDLYを除くすべてのデジタルの基本部品は、タイミングモデル文を使用して、部品固有のさまざまなタイミング特性を指定するパラメータを指定します。一般的なパラメータとして、伝搬遅延、パルス幅、セットアップ時間、ホールド時間、切り換え時間があります。パラメータ名は、次の標準的な略語により構成されます。

TP	伝搬遅延
TW	パルス幅
TSU	セットアップ時間
THD	ホールド時間
TSW	切り換え時間
MN	最小値
TY	通常値
MX	最大値
LH	ローからハイへの遷移
HL	ハイからローへの遷移
ZL	Zからローへの遷移
ZH	Zからハイへの遷移
LZ	ローからZへの遷移
HZ	ハイからZへの遷移

いくつかの例を示します。

TPLHMN: ローからハイへの遷移の最小伝搬遅延。標準/3ステートのゲートに適用。

TWPCLTY: JKFFのprebar、clearbarのロー状態のパルス幅通常値。ピン名prebarのPとピン名clearbarのCがパラメータ名に組み込まれています。

THDCLKMN: アクティブCLK遷移後のJおよびKまたはD入力のホールド時間最小値。

次に示すのは、標準ゲートのタイミングモデル文の例です。

```
.MODEL DL_01 UGATE (TPLHMN = 8NS TPLHTY = 11NS  
+ TPLHMX = 13NS TPLHMN = 6NS TPLHTY = 9NS TPLHMX =  
12NS)
```

とくに注記のない限り、タイミングパラメータの規定値はすべて0です。

未指定の伝搬遅延

タイミングモデルの構文は、伝搬遅延の各パラメータ値の最小、通常、最大を提供します。これらのパラメータ名は、必ず「TP」で始まります。データブックに3つのパラメータが揃っていないことも少なくありません。未指定のパラメータについて、単純に規定値のゼロとして扱うことはできないため、以下の規則に従って計算されます。

通常値が指定されているとき：

最小値が未指定の場合：

$$TPXXMN = DIGMNTYSCALE \cdot TPXXTY$$

最大値が未指定の場合：

$$TPXXMX = DIGTYMXSCALE \cdot TPXXTY$$

通常値が未指定のとき：

最小値と最大値が両方とも指定されている場合：

$$TPXXTY = (TPXXMN + TPXXMX) / 2$$

最小値だけ指定されている場合：

$$TPXXTY = TPXXMN / DIGMNTYSCALE$$

最大値だけ指定されている場合：

$$TPXXTY = TPXXMX / DIGTYMXSCALE$$

すべてが未指定のとき：

$$TPXXMN = TPXXTY = TPXXMX = 0$$

パラメータDIGMNTYSCALEとDIGTYMXSCALEの規定値は、全般設定ダイアログボックスで指定されます。.OPTIONSコマンドで回路ごとに変更することができます。例えば、次の通りです。

```
.OPTIONS DIGMNTYSCALE = .35
```

このコマンドを回路に配置するとDIGMNTYSCALEの値が変更されます。

以上の規則は伝搬遅延のパラメータにのみ適用されます。

未指定のタイミング制約

タイミング制約には、パルス幅とセットアップ/ホールド時間があります。タイミング制約の通常値・最大値は、データブックに記載されていないことがよくあります。伝搬パラメータと異なり、未指定値を単純なスケールリングで得ることはできません。シミュレータは以下の手順で未指定値を計算します。

最小値が未指定:

$$\text{最小値} = 0$$

最大値が未指定:

通常値が指定されていれば

$$\text{最大値} = \text{通常値}$$

最小値が指定されていれば

$$\text{最大値} = \text{最小値}$$

通常値が未指定:

$$\text{通常値} = (\text{最大値} + \text{最小値}) / 2$$

モデル文にパラメータがない場合、そのパラメータは未指定になります。例えば、未指定のパラメータのモデル文は次のようになります。

`.MODEL TOR UGATE ()`

別の方法は未指定のパラメータを含み、それを特殊な値-1に設定することです。これは未指定とみなす生成ルーチンへ信号を送る一方法となります。モデル文は次のようになります。

`.MODEL TOR UGATE (TPLHMN = -1 TPLHTY = -1 TPLHMX = -1
+ TPHLMN = -1 TPHLTY = -1 TPHLMX = -1)`

パラメータは-1に設定されると、未指定として扱われます。そのため、他のパラメータから上記規則に従って計算されます。未指定のパラメータ名を常に利用可能にしておくと、変更するときに便利です。

伝播遅延

負荷遅延

デジタルデバイスを通過する際の伝搬遅延は、主にタイミングモデルの伝搬遅延パラメータによって指定されます。一方、I/Oモデルも負荷遅延を通じて伝搬遅延に影響する可能性があります。2つの負荷遅延（ローからハイ、ハイからロー）は、シミュレーション実行の前に、ノードへの容量負荷から計算されます。容量負荷はノードに接続されているデバイスのI/Oモデルに由来します。合計容量負荷は、入力ピンが接続されているデバイスのINLD値と、出力ピンが接続されているデバイスのOUTLD値の和として得られます。合計容量負荷は、デバイスの駆動インピーダンス、DRVHまたはDRVLにより駆動されるものと想定されます。2つの負荷遅延は各デバイスに対し、次のように計算されます。

$$\text{ローからハイへの負荷遅延} = \ln(2) \cdot \text{DRVH} \cdot \text{CTOTAL}$$

$$\text{ハイからローへの負荷遅延} = \ln(2) \cdot \text{DRVL} \cdot \text{CTOTAL}$$

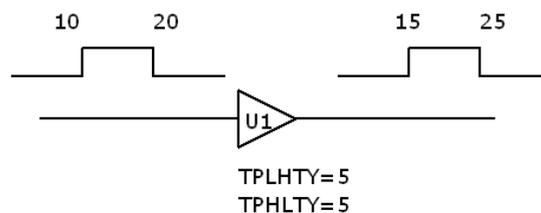
シミュレーション時には、遷移に応じていずれかの遅延が、タイミングモデルのイベントスケジュール時の遅延に追加されます。

慣性遅延

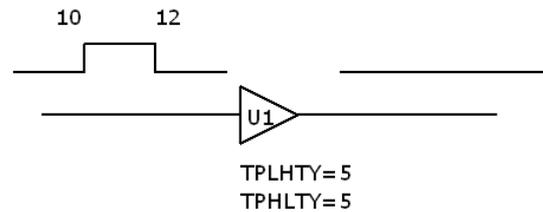
Micro-Capは、すべての遅延をモデリングしますが、慣性モデルのDLYLINEを除きます。慣性遅延モデルは、信号をある時間以上印加しなければデバイスは応答しない、という物理原則に則って動作します。この原則は次のように表現することもできます。

パルス幅が遅延時間よりも短い場合、そのパルスは取り消される。

次の回路では、パルス幅は10です。これは遅延の5よりも大きいので、パルスは通過します。



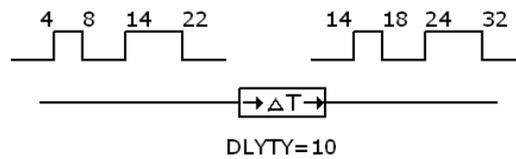
次の例では、パルス幅は2です。これは指定された遅延5よりも小さいため、このパルスは慣性により取り消されます。



慣性によるパルスの取り消しはプリファレンスダイアログボックスでオフにすることができます。

移動遅延

移動遅延は、慣性遅延とは別のやり方です。この遅延モデルでは、すべての信号がパルス持続時間に関わらず通過します。例えば、次の回路は、指定された遅延より短いパルスもすべて通過します。



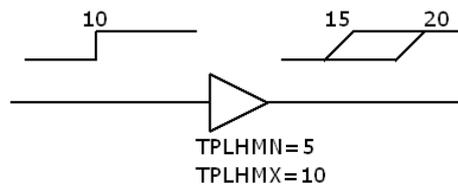
このタイプの遅延は、狭いパルスをまったく除去せずに、一定の遅延で信号をシフトしたいときに便利です。DLYLINEデバイスだけが移動遅延を使用します。ほかのすべてのデバイスでは、慣性取り消しが無効でない限り、すべての遅延パラメータが慣性として扱われます。

デジタル遅延のあいまい性

デジタルデバイスには、各タイミング値の最小、通常、最大値を指定するモデルパラメータがあります。MNTYMXDLYパラメータにより、使用する遅延を指定することができます。

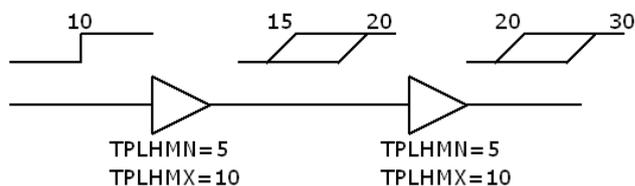
MNTYMXDLY	意味
0	MNTYMXDLY = DIGMNTYMXに設定
1	最小遅延を使用します。
2	通常遅延を使用します。
3	最大遅延を使用します。
4	最悪の場合遅延（最小と最大の両方）を使用します。

最悪の場合遅延を使用すると、シミュレータは最小遅延と最大遅延の間にあいまい領域を生成し、信号が変化している期間を表現します。信号は、前の状態でも新しい状態でもなく、2つの状態の過渡状態としか言いようがありません。このあいまい領域は立ち上がりまたは立ち下がり状態によって表現されます。例えば、次の回路では、入力は10で「0」から「1」に変化します。

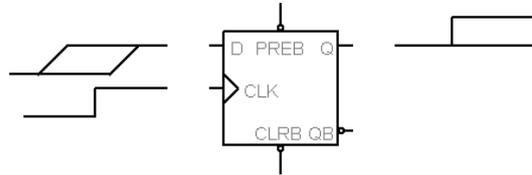


MNTYMXDLYに4を指定して最悪の場合で実行すると、ローからハイへの最小遅延が5であるため、15で立ち上がり状態になります。「TPLHMN = 5」は、遅延が最小で5であることを意味します。「TPLHMX = 10」では、遅延が最大で10であることを意味します。15から20までの立ち上がり状態は、不確定性を反映しています。

あいまい領域は、信号が複数のデバイスを続けて通過するにつれて蓄積することがあります。例えば、次の回路では、信号が2つのバッファを通過するごとに、立ち上がり状態のあいまい領域が増加しています。

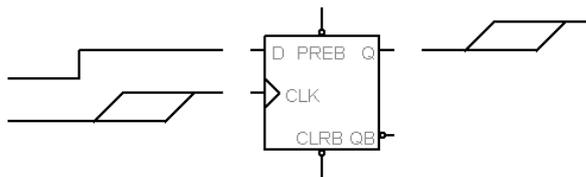


あいまい性には、信号エッジをあいまいにする以上の働きがあります。あいまい性は、シミュレーション結果を劇的に変えます。次の回路では、Dのあいまいな信号によって2通りの結果があり得るため、出力は「X」になります。入力Dが変化する前に、クロックの立ち上がりが完了すると、出力Qは「0」のままです。D入力が増加した後に、クロックの立ち上がりが完了すると、新しい「1」の状態がロードされ、Q出力は「1」になります。



D入力が増加したタイミングに依存してQには反対の2つの状態があり得るので、Q出力には不確定性を示す「X」が割り当てられます。

立ち上がり入力の結果は、必ずしも「X」とは限りません。入力Dが安定のときに入力CLKがサンプリングすれば、あいまい性はなく出力Qの状態は明らかになります。これは次の例に示すように入力CLKが「R」であるときも同じことが言えます。



タイミングハザード

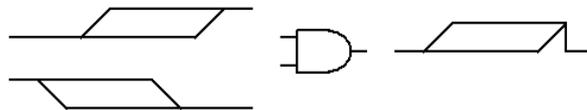
デジタルデバイスの入力への正確な到達時間がわからない場合、出力にグリッチが出たり、「X」に設定されます。この状態をタイミングハザードと呼びます。

ハザードには、下記のように数種類があります。

- ・収束ハザード
- ・累積あいまい性ハザード
- ・致命的ハザード

収束ハザード

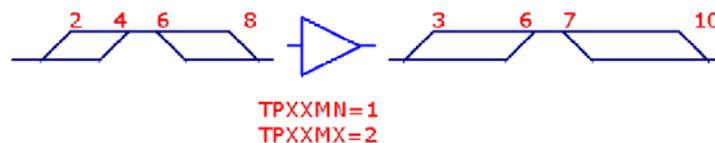
2つの信号がゲートの入力に収束していて、次の例のように到着時間にあいまい性の重なり合う部分があると、収束ハザードが生じます。このハザードは、0-X-0遷移または0-R-0遷移として表現できます。



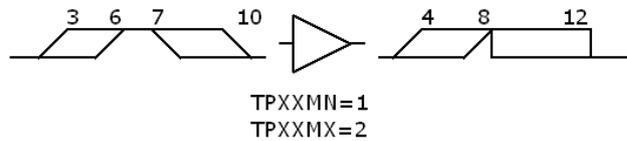
このハザードの通常の表現に合わせて、0-R-0遷移という表現を使用しました。これは、短パルスの可能性として解釈します。短パルスは、2つの入力信号の不確定部分が重なり合う部分の中にあります。

累積あいまい性ハザード

デジタルの最悪の場合タイミングは、ゲートのMNTYMXDLY値が4に設定されると有効になります。この場合、シミュレータは、各0-1、0-R遷移において、「R」状態を指定された最小/最大遅延の間に加えます。また、各1-0、1-F遷移において、「F」状態を指定された最小/最大遅延の間に加えます。最悪の場合タイミングを指定すると、信号がゲートを通過するときの遷移の不確実性が、次の例のように高まります。



信号がその次のステージを通過したときに、次の例のように不確実性が累積し、信号の一部があいまいになることがあります。



7の位置において、シミュレータは8(=7+1)で「F」状態になるスケジュールを試みます。しかし8(=6+2)にはすでに「1」状態がスケジュールされています。これはあいまいであるため、シミュレータは8で「X」とし、ハザードを通知します。

累積あいまい性は、入力に反転したゲート出力を帰還してオシレータとするような回路で特に問題となります。このような場合、オシレータとするゲートのMNTYMXDLYパラメータを4(最悪の場合)以外の値に設定して、信号の破壊を止める必要があります。

致命的ハザード

収束ハザードやあいまい性ハザードは潜在的な問題で、回路上、問題を起こす場合も起こさない場合もあります。ハザードによりフリップフロップや他の記憶デバイスが誤ったデータを蓄積した場合には、ほぼ確実に回路の障害となるため、致命的ハザードになります。

アナログ/デジタルインタフェース

デジタルノードとアナログノードが回路内で一緒に接続されていると、プログラムはこの接続を遮断し、2つの部分の間にI/Oモデルで指定されたインタフェース回路を挿入します。このインタフェース回路には、抵抗、コンデンサ、ダイオード、トランジスタ等のアナログデバイスが入っています。またアナログ-デジタル、デジタル-アナログのインタフェースデバイスのいずれかも入っています。これらのデバイスは、アナログ回路とデジタル回路の間の基本的変換を行います。

さらにシミュレータは、インタフェース回路を駆動するアナログ電源回路を、I/Oモデルの指定に従って生成します。I/Oモデル文のパラメータIO_LEVELは4種類のインタフェース回路から使用するものを1つ選択します。電源サブサーキットを変更することにより、インタフェース回路で使用されるデジタル用の電源を変更することも可能です。

シミュレータはアナログ回路とデジタル回路の間のインタフェースに、新たにノードを生成します。これらのノードの値をプロットするには、ノードの生成・命名のされ方を理解することが重要です。

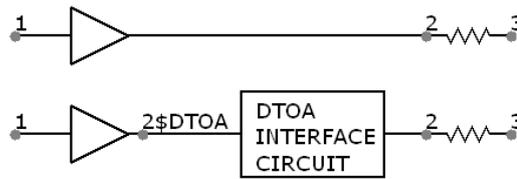
ノード

ノードにはアナログとデジタルの2種類しかありません。アナログノードをデジタルノードに接続するとどうなるでしょうか。Micro-Capは接続を遮断し、2つの部分の間にインタフェース回路を追加します。このインタフェース回路はI/OモデルのIO_LEVEL属性に基づいて選択されます。選択は次の表に基づきます。

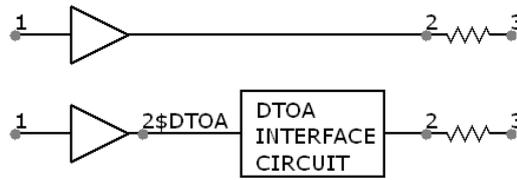
レベル	サブサーキット	ビヘイビア
1	AtoD1/DtoA1	AtoDはレベルR、F、Xを生成
2	AtoD2/DtoA2	AtoDはレベルR、F、Xを生成しない
3	AtoD3/DtoA3	レベル1と同じ
4	AtoD4/DtoA4	レベル2と同じ

表23-2 デジタルインタフェース回路

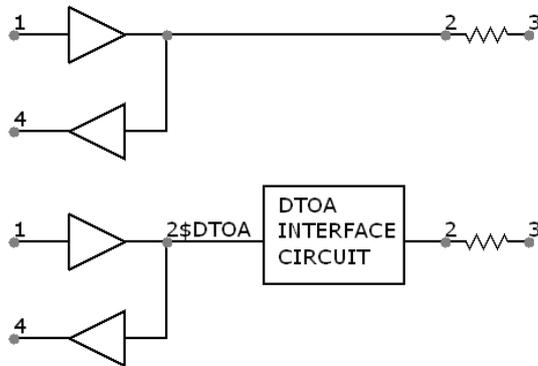
アナログノードをデジタル出力に接続：DtoAが使用されます。
アナログノードをデジタル入力に接続：AtoDが使用されます。
アナログノードをデジタル入力とデジタル出力の両方に接続：DtoAが使用されます。以下にそれぞれの場合を示します。



デジタルノードが出力ノードの場合、新しいデジタルノード2\$D\$TOAが生成され、デジタル出力に割り当てられます。I/Oモデル文のIO_LEVELパラメータで指定されるD\$T\$O\$A\$インタフェース回路が、新しいデジタル出力ノードとアナログノードの間に挿入されます。



デジタルノードが入力ノードの場合、新しいデジタルノード2\$A\$T\$O\$D\$が生成され、デジタル入力に割り当てられます。I/Oモデル文のIO_LEVELパラメータで指定されるA\$T\$O\$D\$インタフェース回路が、新しいデジタル入力ノードとアナログノードの間に挿入されます。



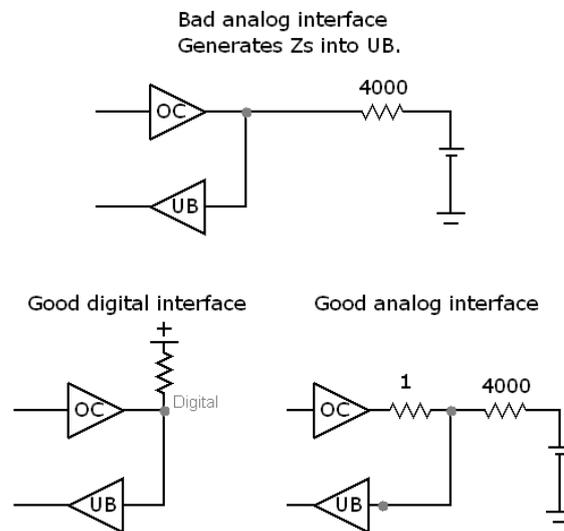
アナログノードが、入力と出力の両方が接続されたデジタルノードに接続されると、新しいデジタルノード2\$D\$TOAが生成され、デジタルノードに割り当てられます。インタフェース回路が、新しいデジタルノードとアナログノードの間に挿入されます。

3ステートインタフェースの注意点

直前の例のように、デジタルノードに入力ピンと出力ピンが接続されており、かつ、デジタル出力が3ステート/オープンコレクタのデバイスから来る場合、アナログ抵抗をノードに置くとZ状態になり、これがデジタル入力に入力されます。これは、抵抗による出力がデジタル入力を駆動しないために起こります。そのため、プルアップやプルダウンの動作は起こりません。この問題を回避するには、以下に示す3ステートに関する黄金律を常を守るようにしてください。

3ステートのノードには、デジタルのプルアップ、プルダウンを使用します。アナログの抵抗は使用しないでください。アナログの抵抗を使用する必要がある場合は、小さな値の抵抗によりデジタル出力をデジタル入力から分離します。

この状況を次にまとめます。



インタフェース回路

I/OモデルのパラメータIO_LEVELは、4つのインタフェース回路のうち使用するものを表に基づいて指定します。IO_LEVELが0の場合、インタフェース回路は全般設定のパラメータDIGIOLVLの値によって選択されます。

レベル1インタフェース回路

レベル1インタフェース回路は、VILMAXとVIHMINの間の電圧範囲に、中間論理レベル（R、F、X）を生成します。VILMAXの下からスムーズに立ち上がりVIHMINを超え、それから戻るような電圧では、シーケンスは0、R、1、F、0になります。電圧値がVILMAXVIHMIN領域で始まったり、VILMAX-VIHMIN領域で反転して一度通過したしきい値を通過したりすると、Xが生成されます。レベル1のインタフェース回路はレベル2よりも高い精度をもちます。

レベル2インタフェース回路

レベル2インタフェース回路は、論理レベル（0、1）のみを生成します。正確な切り換え電圧が想定されます。インタフェース回路の精度としてはやや落ちますが、シミュレーション上問題を生ずる可能性のある不確定状態（R、F、X）を生成しません。

レベル3とレベル4のインタフェース回路

それぞれレベル1とレベル2と等価ですが、標準のデジタルライブラリでは現在使用されておりません。

電源回路

アナログノードとデジタルノードが一緒に接続され、インタフェースATOD、DTOAが必要になると、回路には電源が必要です。電源は、7400TTLなど特定のデジタルファミリに関するI/Oモデル文のパラメータDIGPOWERを使用して自動的に生成されます。このパラメータは使用する電源サブサーキットの名前を指定します。メインの電源サブサーキットを「DIGIFPWR」といいます。このサブサーキットは電圧源と、インタフェース回路が必要とする電源ピンを供給します。もちろん電源回路は、別のサブサーキット名を指定したり、DIGIFPWRサブサーキット自体を変えることにより、変更することができます。オリジナルのDIGIFPWRサブサーキットには手を加えず、関連する名前の新しいサブサーキットをクローン生成することを推奨します。こうすることにより、I/Oモデル文のうちDIGPOWER = DIGIFPWR分を変えるだけで、以前のサブサーキットに簡単に戻すことができます。I/Oモデル文はモデルライブラリファイルDIGIO.LIBにあります。

モデルライブラリファイルDIGIO.LIB

このファイルには、I/Oモデル文、インタフェース回路ATOD/DTOA、ATOD（Oデバイス）とDTOA（Nデバイス）のモデル文、デジタルライブラリ全体のための電源回路が含まれています。

デジタル基本部品の一般書式

デジタルデバイスの書式は、SPICEコンポーネントの一般書式に似ています。アナログとデジタルのいずれの基本部品でも、ノード番号、パラメータ（省略可能）、モデル文を必要とします。アナログデバイスでは、多くても一つのモデル文しか使いませんでした。デジタルデバイスでは、タイミングモデル文とI/Oモデル文が必要です。

タイミングモデル文は、伝搬遅延とタイミング制約を定義します。I/Oモデル文は、アナログ/デジタルインタフェースモデルのインピーダンス、等価回路、切り換え時間を定義します。I/Oモデルは主として、デジタルノードとアナログノードが接続されたときのために使用されますが、強度の異なる出力ピンが互いに接続されているときに状態を解決するインピーダンスの定義にも使用されます。

タイミングモデル文には、各デバイス固有のタイミング情報が含まれるため、ほとんどのデバイスは固有のタイミングモデル文を持ちます。I/Oモデルについては事情が異なります。なぜなら、一般に特定のデジタルファミリ内のデバイスについては、インタフェースが標準化されているからです。例えばすべての74LSデバイスは、同じインタフェース仕様を使います。

一般書式

```
U<name> <primitive type> [(<parameter value>*)]  
+<digital power node> <digital ground node> <node>*  
+<timing model name> <I/O model name>  
+[MNTYMXDLY=<delay select value>]  
+[IO_LEVEL=<interface subcircuit select value>]
```

例

```
U1 JKFF (1) $ G_DPWR $ G_DGND PRB CLB CKB J K Q QB + D0_74  
IO_STD  
U1 NOR (3) $ G_DPWR $ G_DGND 10 20 30 40 D0_74 IO_STD
```

定義

U <name>
これは部品名です。

<primitive type>

部品が、NAND、NOR、JKFF、PLAなどのうち、どの基本部品であるか指定します。

[(<parameter value>*)]

<primitive type> に応じて、0個以上のパラメータを指定します。パラメータは、入出力ノードの数を表します。

<digital power node> <digital ground node>

アナログノードをデジタルノードに接続したときに使用されるA/Dインタフェース回路に、電源を供給します。通常は、グローバルピン \$G_DPWR, \$G_DGND が使用されます。詳細は「アナログ/デジタルインタフェース」の項を参照ください。

<node>*

基本部品のタイプに応じて、実際の入出力ノードのノード名を指定します。

<timing model name>

タイミングモデル文を参照します。タイミングモデル文は伝搬や制約のタイミング値を指定します。各モデルの各タイミングパラメータには、最小値、通常値、最大値があります。デバイスパラメータ MNTYMXDLY により、これらの値のいずれかを選択できます。DIGMNTYMX により、これらの値のいずれかをグローバルに選択することもできます。

<I/O model name>

I/Oモデル文を参照します。I/Oモデル文は、アナログ/デジタルインタフェースのインピーダンスやインタフェース回路情報を指定します。

[MNTYMXDLY =<delay select value>]

下記のように、各タイミングパラメータの最小値、通常値、最大値を選択します。

0 = DIGMNTYMXの現在値

1 = 最小値

2 = 通常値

3 = 最大値

4 = 最悪の場合。最小値と最大値の両方を使用します。

[IO_LEVEL =<interface subcircuit select value>]

I/Oモデルで挙げられた4つのインタフェース回路の1つを選択します。これらのインタフェース回路は、デジタル/アナログインタフェースで使用されます。詳細については、本章末のI/Oモデルのトピックをご覧ください。

タイミングモデルの書式

.MODEL <model name> <model type> (<model parameters>*)

各primitive typeごとに、固有の<model type>と<model parameters>があります。

I/Oモデルの書式

.MODEL <model name> UIO (<model parameters>*)

これはすべての基本部品が使用するI/Oモデルの構造です。

デジタル基本部品の項の部品は、回路図に配置する際に、I/Oモデルとタイミングモデルの情報を指定する必要があります。デジタルライブラリの項の部品は、サブサーキットとしてモデル化されます。必要なI/Oモデルとタイミングモデルの情報は、テキストファイルライブラリDIGXXXX.LIB中のサブサーキットにおいて事前に定義済みです。これらは下記のようにタイミングおよびI/Oモデルにリンクされています。

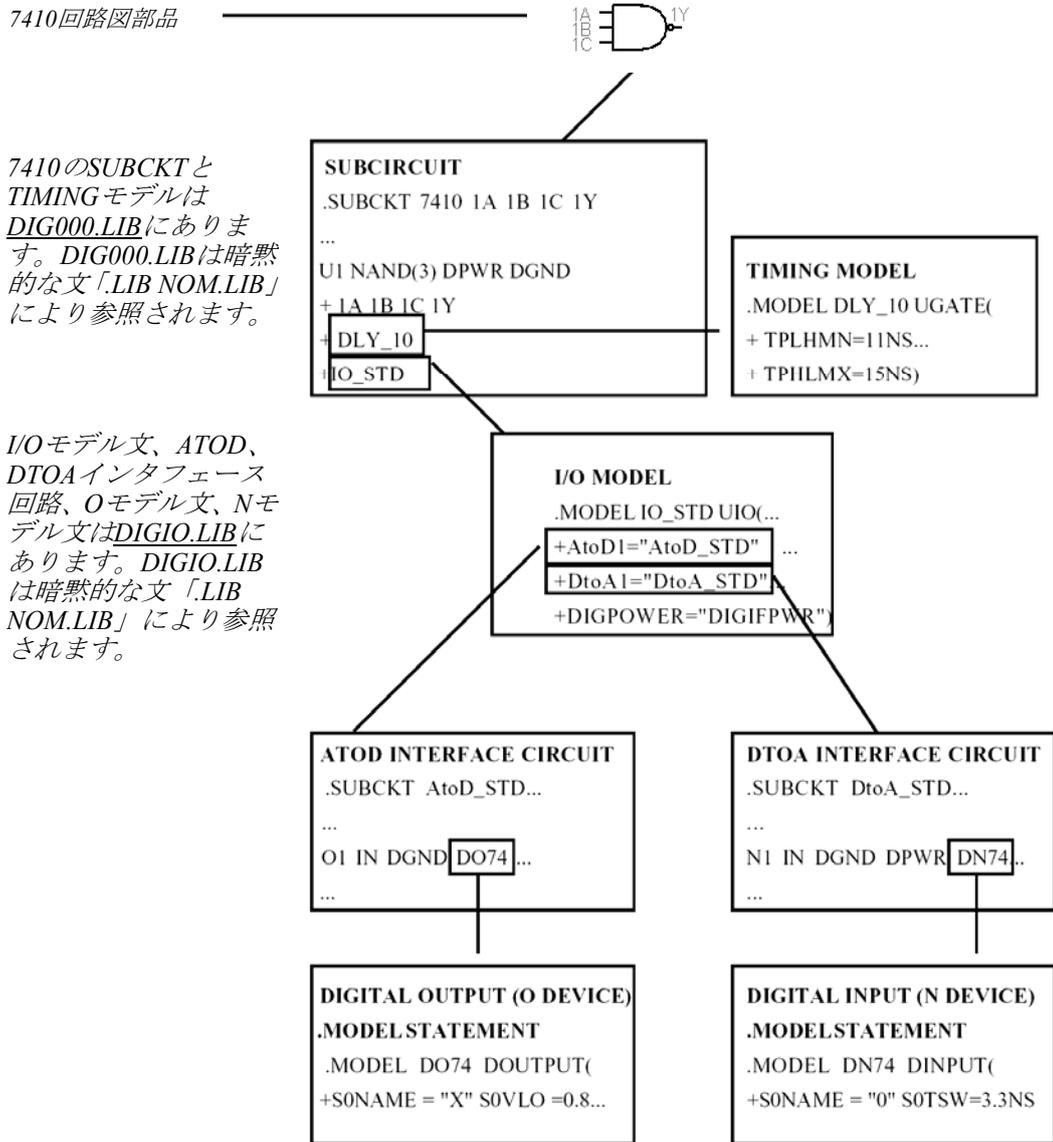


図23-1 デジタルモデルの参照

基本部品

デジタル基本部品を下記に示します。

クラス	タイプ	内容
標準ゲート	BUF	バッファ
	INV	インバータ
	AND	ANDゲート
	NAND	NANDゲート
	OR	ORゲート
	NOR	NORゲート
	XOR	排他的OR
	NXOR	排他的NOR
	BUFA	バッファ配列
	INVA	インバータ配列
	ANDA	ANDゲート配列
	NANDA	NANDゲート配列
	ORA	ORゲート配列
	NORA	NORゲート配列
	XORA	排他的ORゲート配列
	NXORA	排他的NORゲート配列
	AO	AND-OR複合ゲート
	OA	OR-AND複合ゲート
	AOI	AND-NOR複合ゲート
	OAI	OR-NAND複合ゲート

表23-3A デジタル基本部品

クラス	タイプ	内容
3ステートゲート	BUF3	バッファ
	INV3	インバータ
	AND3	ANDゲート
	NAND3	NANDゲート
	OR3	ORゲート
	NOR3	NORゲート
	XOR3	排他的OR
	NXOR3	排他的NOR
	BUF3A	バッファ配列
	INV3A	インバータ配列
	AND3A	ANDゲート配列
	NAND3A	NANDゲート配列
	OR3A	ORゲート配列
	NOR3A	NORゲート配列
	XOR3A	排他的OR配列
	NXOR3A	排他的NOR配列
フリップフロップ /ラッチ	JKFF	JKタイプ負エッジ
	DFF	Dタイプ正エッジ
	SRFF	SRゲート型ラッチ
	DLTCH	Dゲート型ラッチ

表23-3B デジタル基本部品 (続き)

クラス	タイプ	内容
プルアップ/ プルダウン	PULLUP	プルアップ抵抗配列
	PULLDN	プルダウン抵抗配列
遅延線	DLYLINE	非慣性遅延線
プログラマブル 論理配列	PLAMD	AND配列
	PLOR	OR配列
	PLXOR	排他的OR配列
	PLNXOR	排他的NOR配列
	PLNAND	NAND配列
	PLNOR	NOR配列
	PLANDC	補値AND配列
	PLORC	補値OR配列
	PLXORC	補値XOR配列
	PLNANDC	補値NAND配列
	PLNORC	補値NOR配列
	PLNXORC	補値NXOR配列
	マルチビット コンバータ	ADC
DAC		マルチビットDIOAコンバータ
ビヘイビア モデル	LOGICEXP	論理数式
	PINDLY	ピンツーピン遅延
	CONSTRAINT	制約チェック

表23-3C デジタル基本部品 (続き)

ゲート

ゲートには次の2種類があります。

標準ゲート:

出力はつねに有効です。出力インピーダンスは次の通りです。

出力状態	インピーダンス
0	DRVL (I/Oモデルから)
1	DRVH (I/Oモデルから)

3ステートゲート:

出力は有効ピンにより有効になります。出力インピーダンスは有効状態に応じて異なります。

有効状態	出力状態	インピーダンス
1	0	DRVL (I/Oモデルから)
1	1	DRVH (I/Oモデルから)
0	Z	DIGDRVZ

DIGDRVZはZ状態に相当するインピーダンスです。これは全般設定ダイアログボックスやOPTIONS文で指定します。DRVHとDRVLはI/Oモデルに由来します。

ゲートには、「単純ゲート」と「配列」の2つの形式があります。単純ゲートは、入力1つ以上ですが、出力は1つだけです。配列には、1つ以上の単純ゲートがあり、各単純ゲートあたり1つの出力を備えています。配列は、SPICEのテキスト回路・サブサーキットライブラリでのみ利用可能ですのでご注意ください。回路図におけるゲートは、常に単純ゲートです。

ゲートには、通常のブール代数規則が適用されます。入力状態「X」については、入力「1」と入力「0」について出力を計算します。2つの計算結果が異なる場合、出力は「X」です。これにより、悲観的なX状態の伝播を防ぐことができます。X状態をこのように定義すると、以下のようになります。

0 AND X = 0	0 NOR X = X
1 AND X = X	1 NOR X = 0
0 NAND X = 1	1 XOR X = X
1 NAND X = X	0 XOR X = X
0 OR X = X	
1 OR X = 1	

標準ゲート

SPICEでの書式

```
U <name> <gate type>[(<parameters>)*]  
+<digital power node> <digital ground node>  
+<input node>* <output node>*  
+<timing model name> <I/O model name>  
+[MNTYMXDLY =<delay select value>]  
+[IO_LEVEL =<interface subckt select value>]
```

例:

5入力NORゲート:

```
U1 NOR (5) $ G_DPWR $ G_DGND IN1 IN2 IN3 IN4 IN5 OUT  
D0_GATE IO_STD MNTYMXDLY = 0 IO_LEVEL = 2
```

3ゲートNAND配列。各ゲート2入力:

```
U17 NANDA (2, 3) $ G_DPWR $ G_DGND 1A 1B 2A 2B 3A 3B  
O1 O2 O3 DLY1 IO_ACT
```

AND-OR複合ゲート。入力ゲート2つ、各ゲート3入力:

```
UCMPD AO (3, 2) $G_DPWR $G_DGND i1a i1b i1c i2a i2b i2c out  
dlymod io_hc_oc MNTYMXDLY = 3
```

回路図での書式

PART属性

<name>

例

U1

TIMING MODEL属性

<timing model name>

例

74LS

I/O MODEL属性

<I/O model name>

例

IO_STD

MNTYMXDLY属性
<delay select value>

例
2

IO_LEVEL属性
<interface subckt select value>

例
1

POWER NODE属性
<digital power node>

例
\$G_DPWR

GROUND NODE属性
<digital ground node>

例
\$G_DGND

モデル文の書式

.MODEL <timing model name> UGATE ([model parameters])

例

.MODEL TOR UGATE (TPLHMN = 3ns TPLHTY = 5ns TPLHMX = 7ns
+ TPHLMN = 4ns TPHLTY = 6ns TPHLMX = 7ns)

標準ゲートのタイプとパラメータを、表23-4に示します。この表では、次の標準構文を使用しています。

in	入力ノード
in*	1つ以上の入力ノード
out	出力ノード
out*	1つ以上の出力ノード

<# of inputs> は、ゲートあたりの入力数を意味します。<# of gates>は配列内のゲート数を意味します。

タイプ	パラメータ	ノード	内容
BUF		In, out	バッファ
INV		In, out	インバータ
AND	<# of inputs>	in*, out	ANDゲート
NAND	<# of inputs>	in*, out	NANDゲート
OR	<# of inputs>	in*, out	ORゲート
NOR	<# of inputs>	in*, out	NORゲート
XOR		in1, in2, out	排他的ORゲート
NXOR		in1, in2, out	排他的NORゲート
BUFA	<# of gates>	in*, out*	バッファ配列
INVA	<# of gates>	in*, out*	インバータ配列
ANDA	<# of inputs>, <# of gates>	in*, out*	AND配列
NANDA	<# of inputs>, <# of gates>	in*, out*	NAND配列
ORA	<# of inputs>, <# of gates>	in*, out*	OR配列
NORA	<# of inputs>, <# of gates>	in*, out*	NOR配列
XORA	<# of gates>	in*, out*	排他的OR配列
NXORA	<# of gates>	in*, out*	排他的NOR配列
AO	<# of inputs>, <# of gates>	in*, out	AND-OR複合ゲート
OA	<# of inputs>, <# of gates>	in*, out	OR-AND複合ゲート
AOI	<# of inputs>, <# of gates>	in*, out	AND-NOR複合ゲート
OAI	<# of inputs>, <# of gates>	in*, out	OR-NAND複合ゲート

表23-4 標準ゲートのタイプ

入力ノードは、出力ノードの前にリストされます。ゲート配列におけるノードの順番は「1番目のゲートの入力、2番目のゲートの入力、... 1番目のゲートの出力、2番目のゲートの出力、...」です。出力ノードの数はゲート数と等しくなります。

複合ゲートには、2段の論理が含まれています。<# of inputs>は第1段ゲートのゲートあたりの入力数、<# of gates>は第1段ゲートの数です。第1段ゲートの出力ピンはすべて1つの第2段ゲートに接続されるので、デバイスには出力ピンは1つしかありません。ノードの順番は、「1番目の第1段ゲートの入力、...、最後の第1段ゲートの入力、出力ノード」です。OAゲートでは、第1段ゲートは<# of inputs>入力のORゲートで、これらは出力を生成する1つのANDゲートに接続されます。

パラメータ	内容	単位
TPLHMN	遅延最小値: (L→H)	秒
TPLHTY	遅延通常値: (L→H)	秒
TPLHMX	遅延最大値: (L→H)	秒
TPHLMN	遅延最小値: (H→L)	秒
TPHLY	遅延通常値: (H→L)	秒
TPHLMX	遅延最大値: (H→L)	秒

表23-5 標準ゲートタイミングモデルパラメータ

コンポーネントエディタの特別フィールド

Inputs <number of inputs>

コンポーネントエディタには、標準ゲート用に特別なInputsフィールドがあります。これにより、ゲートの入力ピン数を指定することができます。値を入力すると、システムはディスプレイに出力ピンと、<number of inputs>個の入力ピンをおくので、ドラッグしてシェイプ上に配置します。

3 ステートゲート

SPICEでの書式

```
U <name> <tri-state gate type> [(<parameters>*)]  
+<digital power node> <digital ground node>  
+<input node>* <enable node> <output node>*  
+<timing model name> <I/O model name>  
+[MNTYMXDLY =<delay select value>]  
+[IO_LEVEL =<interface subckt select value>]
```

例

3入力3ステートNORゲート:

```
U20 NOR3 (3) $ G_DPWR $ G_DGND IN1 IN2 IN3 ENABLE OUT  
D0_GATE IO_STD MNTYMXDLY = 0 IO_LEVEL = 2
```

3ゲートの3ステートAND配列。ゲートあたり2入力:

```
UBX AND3A (2, 3) $ G_DPWR $ G_DGND 1A 1B 2A 2B 3A 3B EN O1 O2  
O3 DLY1 IO_ACT
```

回路図での書式

PART属性

<name>

例

U1

TIMING MODEL属性

<timing model name>

例

74ALS

I/O MODEL属性

<I/O model name>

例

IO_STD

MNTYMXDLY属性
<delay select value>

例
1

IO_LEVEL属性
<interface subckt select value>

例
1

POWER NODE属性
<digital power node>

例
\$G_DPWR

GROUND NODE属性
<digital ground node>

例
\$G_DGND

モデル文の書式

.MODEL <timing model name> UTGATE ([model parameters])

例

.MODEL TRIG UTGATE (TPLHMN=2ns TPLHTY=3ns TPLHMX=5ns
+ TPZLMN=4ns TPZLTY=6ns TPZLMX=8ns)

3状態ゲートのタイプとそのパラメータを表23-6に示します。この表では次の標準構文を使用します。

en	有効ノード
in	入力ノード
in*	1つ以上の入力ノード
out	出力ノード
out*	1つ以上の出力ノード

タイプ	パラメータ	ノード	内容
BUF3		In, en, out	バッファ
INV3		In, en, out	インバータ
AND3	<# of inputs>	in*, en, out	ANDゲート
NAND3	<# of inputs>	in*, en, out	NANDゲート
OR3	<# of inputs>	in*, en, out	ORゲート
NOR3	<# of inputs>	in*, en, out	NORゲート
XOR3		in1, in2, en, out	排他的ORゲート
NXOR3		in1, in2, en, out	排他的NORゲート
BUF3A	<# of gates>	in*, en, out*	バッファ配列
INV3A	<# of gates>	in*, en, out*	インバータ配列
AND3A	<# of inputs>, <# of gates>	in*, en, out*	AND配列
NAND3A	<# of inputs>, <# of gates>	in*, en, out*	NAND配列
OR3A	<# of inputs>, <# of gates>	in*, en, out*	OR配列
NOR3A	<# of inputs>, <# of gates>	in*, en, out*	NOR配列
XOR3A	<# of gates>	in*, en, out*	排他的OR配列
NXOR3A	<# of gates>	in*, en, out*	排他的NOR配列

表23-6 3ステートゲートタイプ

<# of inputs>はゲートあたりの入力数、<# of gates>は配列中のゲート数です。入力ノード、有効ノード、出力ノードという順になります。ゲート配列ではノードの順番が「1番目のゲートの入力、2番目のゲートの入力、...、有効ノード、1番目のゲートの出力、2番目のゲートの出力、...」となります。出力ノードの数はゲート数と同じです。3ステートゲートの配列では、ゲートの有効入力はすべて共通となります。

パラメータ	内容	単位
TPLHMN	遅延最小値: (L→H)	秒
TPLHTY	遅延通常値: (L→H)	秒
TPLHMX	遅延最大値: (L→H)	秒
TPLHMN	遅延最小値: (H→L)	秒
TPLHTY	遅延通常値: (H→L)	秒
TPLHMX	遅延最大値: (H→L)	秒
TPLHMN	遅延最小値: (L→Z)	秒
TPLZTY	遅延通常値: (L→Z)	秒
TPLZMX	遅延最大値: (L→Z)	秒
TPLZMN	遅延最小値: (H→Z)	秒
TPHZTY	遅延通常値: (H→Z)	秒
TPHZMX	遅延最大値: (H→Z)	秒
TPZLMN	遅延最小値: (Z→L)	秒
TPZLTY	遅延通常値: (Z→L)	秒
TPZLMX	遅延最大値: (Z→L)	秒
TPZHMN	遅延最小値: (Z→H)	秒
TPZH TY	遅延通常値: (Z→H)	秒
TPZHMX	遅延最大値: (Z→H)	秒

表23-7 3ステートゲートのタイミングモデルパラメータ

コンポーネントエディタの特別フィールド

Inputs <number of inputs>

Inputsフィールドにより、ゲートの入力ピン数を指定することができます。値を入力すると、システムはディスプレイに出力ピンと、<number of inputs>個の入力ピンをおくので、ドラッグしてシェイプ上に配置します。

フリップフロップとラッチ

フリップフロップには、エッジでトリガするものとレベルでゲートが開閉するものがあります。エッジでトリガするフリップフロップには、JKフリップフロップ (JKFF) とDタイプフリップフロップ (DFF) があります。どちらもクロックのアクティブエッジから指定の遅延時間後に状態が変化します。JKFFのアクティブエッジは負または立ち下がりエッジです。DFFのアクティブエッジは正または立ち上がりエッジです。ゲート型デバイスには、セット・リセットフリップフロップ (SRFF) とD-ラッチ (DLTCH) があります。これらのデバイスの出力は、ゲートノードがハイ状態の間、入力に追随します。ゲートノードがハイ状態の間サンプリングされた入力状態は、ゲートノードがロー状態になってもラッチされて安定です。デバイスはフリップフロップの配列として定義されるため、1つのデバイスで1つ以上のフリップフロップを実体化することができます。プリセットバー、クリアバー、クロックまたはゲートノードは配列にあるすべてのフリップフロップで共通です。

初期化

フリップフロップデバイスはDIGINITSTATEを使用して一定の状態に初期化することができます。フリップフロップの真理値の出力は次の表によって設定されます。

DIGINITSTATE	フリップフロップの出力Q
0	0
1	1
その他	X

DIGINITSTATEは、全般設定ダイアログで設定します。.OPTIONSコマンドにより、特定の回路について変更することもできます。

Xレベル

X状態は、論理的に起こらないと判断される場合は、出力ピンに伝播しません。例えばclearbar = XでQ = 0の場合、Qは0に留まります。なぜなら、クリアバーの2通りの可能性 (clearbar = 0およびclearbar = 1) は両方ともQ = 0だからです。同様に、clearbar = XでQ = 1の場合、QはXになります。なぜなら、クリアバーの2通りの可能性 (clearbar = 0およびclearbar = 1) の各々が異なるQ出力 (Q = 0とQ = 1) を生み出すからです。

タイミング違反

表23-8と表23-11で指定したタイミング制約は、値が非ゼロの場合のみチェックされます。制約に違反した場合、シミュレータは数値出力ウィンドウ (CIRCUITNAME.TNO) に警告メッセージを出力します。

フリップフロップの配列

フリップフロップやラッチの配列は、SPICEのテキスト回路やサブサーキットライブラリでのみ利用可能です。回路図上のフリップフロップやラッチは常に単独です。

エッジでトリガするフリップフロップ

エッジでトリガするフリップフロップには、JKFFとDFFの2種類があります。どちらもクロックのアクティブエッジから指定の遅延時間後に状態を変えます。JKFFのアクティブエッジは負または立ち下がりエッジです。DFFのアクティブエッジは正または立ち上がりエッジです。

SPICEでの書式

```
U <name> JKFF (<# of flip-flops>)
+<digital power node> <digital ground node>
+<presetbar node> <clearbar node> <clockbar node>
+<first j node>...<last j node>
+<first k node>...<last k node>
+<first q node>...<last q node>
+<first qbar node>...<last qbar node>
+<timing model name> <I/O model name>
+[MNTYMXDLY =<delay select value>]
+[IO_LEVEL =<interface subckt select value>]
```

```
U <name> DFF (<# of flip-flops>)
+<digital power node> <digital ground node>
+<presetbar node> <clearbar node> <clock node>
+<first d node>...<last d node>
+<first q node>...<last q node>
+<first qbar node>...<last qbar node>
+<timing model name> <I/O model name>
+[MNTYMXDLY =<delay select value>]
+[IO_LEVEL =<interface subckt select value>]
```

例

```
U1 JKFF (2) $G_DPWR $G_DGND
+PREBAR CLRBAR CLKBAR
+J1 J2 K1 K2 Q1 Q2 Q1BAR Q2BAR
+D0_EFF IO_STD IO_LEVEL = 1
```

```
U4 DFF (1) $G_DPWR $G_DGND
+PREB CLRB CLK
+DIN Q QBAR DLY_DFF IO_ACT
```

回路図での書式

PART属性

<name>

例

U10

TIMING MODEL属性

<timing model name>

例

74XX

IO_LEVEL属性

<I/O model name>

例

IO_STD

MNTYMXDLY属性

<delay select value>

例

1

IO_LEVEL属性

<interface subckt select value>

例

0

POWER NODE属性

<digital power node>

例

\$G_DPWR

GROUND NODE属性

<digital ground node>

例

\$G_DGND

パラメータ	内容	単位
TTPCQLHMN	遅延最小値:preb/clrb→q/qb (L→H)	秒
TTPCQLHTY	遅延通常値:preb/clrb→q/qb (L→H)	秒
TTPCQLHMX	遅延最大値:preb/clrb→q/qb (L→H)	秒
TTPCQHLMN	遅延最小値:preb/clrb→q/qb (H→L)	秒
TTPCQHLY	遅延通常値:preb/clrb→q/qb (H→L)	秒
TTPCQHLMX	遅延最大値:preb/clrb→q/qb (H→L)	秒
TWPCLMN	幅最小値:preb/clrb (L)	秒
TWPCLTY	幅通常値:preb/clrb (L)	秒
TWPCLMX	幅最大値:preb/clrb (L)	秒
TPCLKQLHMN	遅延最小値:clk/clkb edge→q/qb (L→H)	秒
TPCLKQLHTY	遅延通常値:clk/clkb edge→q/qb (L→H)	秒
TPCLKQLHMX	遅延最大値:clk/clkb edge→q/qb (L→H)	秒

表23-8a エッジでトリガするフリップフロップのタイミングモデル
パラメータ

モデル文の書式

.MODEL <timing model name> UEFF ([model parameters])

例

.MODEL JKDLY UEFF (tppcqlhty = 10ns tppcqlhmx = 25ns
+ tpcclkqlhty = 12ns twpcclty = 15ns tsudclkty = 4ns)

パラメータ	内容	単位
TWCLKLMN	幅最小値:clk/clkb (L)	秒
TWCLKLTY	幅通常値:clk/clkb (L)	秒
TWCLKLMX	幅最大値:clk/clkb (L)	秒
TWCLKHMN	幅最小値:clk/clkb (H)	秒
TWCLKHTY	幅通常値:clk/clkb (H)	秒
TWCLKHMX	幅最大値:clk/clkb (H)	秒
TSUDCLKMN	セットアップ最小値:j/k/d→clk/clkb edge	秒
TSUDCLKTY	セットアップ通常値:j/k/d→clk/clkb edge	秒
TSUDCLKMX	セットアップ最大値:j/k/d→clk/clkb edge	秒
TSUPCCLKHMN	セットアップ最小値:preb/clrb hi→clk/clkb edge	秒
TSUPCCLKHTY	セットアップ通常値:preb/clrb hi→clk/clkb edge	秒
TSUPCCLKHMNX	セットアップ最大値:preb/clrb hi→clk/clkb edge	秒
THDCLKMN	ホールド最小値:clk/clkb edge後のj/k/d	秒
THDCLKTY	ホールド通常値:clk/clkb edge後のj/k/d	秒
THDCLKMX	ホールド最大値:clk/clkb edge後のj/k/d	秒

表23-8b エッジでトリガするフリップフロップのタイミングモデル
パラメータ (続き)

パラメータ<# of flip-flops>はフリップフロップの数を指定するもので、SPICEの回路やライブラリのみで利用可能です。回路図上のフリップフロップのコンポーネントは、単独の部品としてのみ利用可能です。3つの<prebar node>、<clearbar node>、<clock node>は、配列内にあるすべてのフリップフロップで共通です。

J	K	CLK	PREB	CLRB	Q	QB
X	X	X	1	0	0	1
X	X	X	0	1	1	0
X	X	X	0	0	不安定	不安定
X	X	0	1	1	Q'	QB
X	X	1	1	1	Q'	QB
0	0	F	1	1	Q'	QB'
0	1	F	1	1	0	1
1	0	F	1	1	1	0
1	1	F	1	1	QB'	Q'

表23-9 JKFFフリップフロップ真理値表

D	CLK	PREB	CLRB	Q	QB
X	X	0	1	1	0
X	X	0	1	1	0
X	X	0	0	不安定	不安定
X	0	1	1	Q'	QB'
X	1	1	1	Q'	QB'
0	R	1	1	0	1
1	R	1	1	1	0

表23-10 DFFフリップフロップ真理値表

ゲート型ラッチ

ゲート型ラッチには、SRFFとDLTCHの2種類があります。いずれのデバイスも、ゲートがハイレベルのときに変化します。

SPICEでの書式

```
U <name> SRFF (<# of latches>)  
+<digital power node> <digital ground node>  
+<presetbar node> <clearbar node> <gate node>  
+<first s node>...<last s node>  
+<first r node>...<last r node>  
+<first q node>...<last q node>  
+<first qbar node>...<last qbar node>  
+<timing model name> <I/O model name>  
+[MNTYMXDLY =<delay select value>]  
+[IO_LEVEL =<interface subckt select value>]
```

```
U <name> DLTCH (<# of latches>)  
+<digital power node> <digital ground node>  
+<presetbar node> <clearbar node> <gate node>  
+<first d node>...<last d node>  
+<first q node>...<last q node>  
+<first qbar node>...<last qbar node>  
+<timing model name> <I/O model name>  
+[MNTYMXDLY =<delay select value>]  
+[IO_LEVEL =<interface subckt select value>]
```

例

```
U1 SRFF (2) $G_DPWR $G_DGND  
+PREBAR CLRBAR CLK  
+S1 S2 R1 R2 Q1 Q2 Q1BAR Q2BAR  
+D0_SRFF IO_STD IO_LEVEL = 1
```

```
U4 DLTCH (1) $G_DPWR $G_DGND  
+PREB CLRB GATE  
+D1 Q QBAR D_DLTCH IO_ALS
```

回路図での書式

PART属性

<name>

例

U10

TIMING MODEL属性

<timing model name>

例

D74

IO_LEVEL属性

<I/O model name>

例

IO_LS

MNTYMXDLY属性

<delay select value>

例

1

IO_LEVEL属性

<interface subckt select value>

例

0

POWER NODE属性

<digital power node>

例

\$G_DPWR

GROUND NODE属性

<digital ground node>

例

\$G_DGND

パラメータ	内容	単位
TPPCQLHMN	遅延最小値:preb/clrb→q/qb (L→H)	秒
TPPCQLHTY	遅延通常値:preb/clrb→q/qb (L→H)	秒
TPPCQLHMX	遅延最大値:preb/clrb→q/qb (L→H)	秒
TPPCQLHMN	遅延最小値:preb/clrb→q/qb (H→L)	秒
TPPCQLHTY	遅延通常値:preb/clrb→q/qb (H→L)	秒
TPPCQLHMX	遅延最大値:preb/clrb→q/qb (H→L)	秒
TWPCLMN	幅最小値:preb/clrb (L)	秒
TWPCLTY	幅通常値:preb/clrb (L)	秒
TWPCLMX	幅最大値:preb/clrb (L)	秒
TPGQLHMN	遅延最小値:gate→q/qb (L→H)	秒
TPGQLHTY	遅延通常値:gate→q/qb (L→H)	秒
TPGQLHMX	遅延最大値:gate→q/qb (L→H)	秒
TPGQLHMN	遅延最小値:gate→q/qb (H→L)	秒
TPGQLHTY	遅延通常値:gate→q/qb (H→L)	秒
TPGQLHMX	遅延最大値:gate→q/qb (H→L)	秒

表23-11A ゲート型ラッチのタイミングモデルパラメータ

モデル文の書式

.MODEL <timing model name> UGFF ([model parameters])

例

.MODEL SR1 UGFF (tpqcqlhty = 10ns tpcqqlhmx = 25ns + tpgqqlhty = 12ns
+twpcclty = 15ns tsudgty = 4ns)

パラメータ	内容	単位
TPDQLHMN	遅延最小値:s/r/d→q/qb (L→H)	秒
TPDQLHTY	遅延通常値:s/r/d→q/qb (L→H)	秒
TPDQLHMX	遅延最大値:s/r/d→q/qb (L→H)	秒
TPDQHLMN	遅延最小値:s/r/d→q/qb (H→L)	秒
TPDQHLTY	遅延通常値:s/r/d→q/qb (H→L)	秒
TPDQHLMX	遅延最大値:s/r/d→q/qb (H→L)	秒
TWGHMN	幅最小値:gate ハイ	秒
TWGHTY	幅通常値:gate ハイ	秒
TWGHMX	幅最大値:gate ハイ	秒
TSUDGMN	セットアップ最小値:s/r/d→gate edge	秒
TSUDGTY	セットアップ通常値:s/r/d→gate edge	秒
TSUDGMX	セットアップ最大値:s/r/d→gate edge	秒
TSUPCGHMN	セットアップ最小値:preb/clrb (H) →gate edge	秒
TSUPCGHTY	セットアップ通常値:preb/clrb (H) →gate edge	秒
TSUPCGHMX	セットアップ最大値:preb/clrb (H) →gate edge	秒
THDGMN	ホールド最小値:gateエッジ後j/k/d	秒
THDGTY	ホールド通常値:gateエッジ後j/k/d	秒
THDGMX	ホールド最大値:gateエッジ後j/k/d	秒

表23-11B ゲート型ラッチのタイミングモデルパラメータ (続き)

パラメータ<# of latches>は配列中のラッチの数を指定するもので、SPICEのテキスト回路やサブサーキットでのみ利用可能です。回路図では、ラッチは単独部品としてのみ利用可能です。<presetbar node>、<clearbar node>、<clock node>の3種類は、配列内にあるすべてのラッチに共通です。

S	R	GATE	PREB	CLRB	Q	QB
X	X	X	1	0	0	1
X	X	X	0	1	1	0
X	X	X	0	0	不安定	不安定
X	X	0	1	1	Q'	QB'
0	0	1	1	1	Q'	QB'
0	1	1	1	1	0	1
1	0	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	不安定	不安定

表23-12 SRFFラッチ真理値表

D	GATE	PREB	CLRB	Q	QB
X	X	1	0	0	1
X	X	0	1	1	0
X	X	0	0	不安定	不安定
X	0	1	1	Q'	QB'
0	1	1	1	0	1
1	1	1	1	1	0

表23-13 DLTCHラッチ真理値表

プルアップとプルダウン

以下のデバイスは、ユーザが指定した強度の定数出力レベルを提供します。出力値は下記の通りです。

デバイス	レベル	強度
Pullup	1	DRVH (I/Oモデルから)
Pulldn	0	DRVL (I/Oモデルから)

これらのデバイスは、出力ピンが互いに接続されたオープンコレクタデバイスに、強い「1」（プルアップ）や強い「0」（プルダウン）を供給します。

SPICEでの書式

```
U <name> <resistor type> (<number of resistors>)  
+<digital power node> <digital ground node>  
+<output node>*  
+<I/O model name>  
+[IO_LEVEL =<interface subckt select value>]
```

<resistor type>は次のいずれかです。

PULLUPデジタルのプルアップ抵抗の配列
PULLDNデジタルのプルダウン抵抗の配列

<number of resistors>は配列にある抵抗の数を指定します。

これらのデバイスがデジタルデバイスであり、アナログデバイスではないことに注意してください。目的は、出力が互いに接続されたオープンコレクタデジタルデバイスのセットに、強い定数レベルを提供することだけです。オープンコレクタは、デジタルデバイスで、I/OモデルのDRVHとして非常に大きな値を持ちます。

PULLUPおよびPULLDNデバイスには遅延は関係ないため、タイミングモデルは使用しません。ただし、デジタルデバイスであるため、I/Oモデルは必要です。

例

```
U1 PULLUP (8)  
+$G_DPWR $G_DGND  
+ A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 A8  
+ IO_STD
```

回路図での書式

PART属性

<name>

例

U1

IO_LEVEL属性

<I/O model name>

例

IO_ALS

IO_LEVEL属性

<interface subckt select value>

例

1

POWER NODE属性

<digital power node>

例

\$G_DPWR

GROUND NODE属性

<digital ground node>

例

\$G_DGND

遅延線

このデバイスは、タイミングモデルのパラメータに基づいて定数の遅延を提供します。ほかのデジタルデバイスと異なり、短パルスの慣性取消はありません。

SPICEでの書式

```
U <name> DLYLINE  
+<digital power node> <digital ground node>  
+<input node> <output node>  
+<timing model name> <I/O model name>  
+[MNTYMXDLY =<delay select value>]  
+[IO_LEVEL =<interface subckt select value>]
```

例

```
U1 DLYLINE  
+ $G_DPWR $G_DGND  
+ IN OUT  
+ DMOD IO1
```

回路図での書式

PART属性

<name>

例

U1

TIMING MODEL属性

<timing model name>

例

DELAY1

I/O MODEL属性

<I/O model name>

例

IO_STD

MNTYMXDLY属性

<delay select value>

例
2

IO_LEVEL属性
<interface subckt select value>

例
1

POWER NODE属性
<digital power node>

例
\$G_DPWR

GROUND NODE属性
<digital ground node>

例
\$G_DGND

パラメータ	内容	単位
DLYMN	遅延最小値	秒
DLYTY	遅延通常値	秒
DLYMK	遅延最大値	秒

表23-14 遅延線タイミングモデルパラメータ

プログラマブルロジック配列

プログラマブルロジック配列は、さまざまなプログラマブルロジックデバイスのモデリングを行えるように設計されています。このデバイスは、指定した数の入力（カラム）と指定した数の出力（行）で構成されます。各出力（行）はゲートで、その入力はカラムから選択されます。デバイスのプログラムは、ゲートに組み込む入力を選択することで行います。ゲートのタイプは、PLAのタイプで決定されます。PLNANDはNANDゲート、PLORはORゲートを提供します。PLAデバイスは、商用のPLA部品をモデリングするためのコアとなります。

PLAをプログラムする方法には、2通りあります。通常の方法では、データをJEDEC形式のファイルに保存します。通常これらのファイルは、PLA設計プログラムの基本出力として作成されます。2つ目の方法では、SPICEコマンド行や回路図のDATA属性に、データを直接インクルードします。

SPICEでの書式

```
U<name> <pld type> (<# of inputs>,<# of outputs>)  
+<digital power node> <digital ground node>  
+<input node>* <output node>*  
+<timing model name> <I/O model name>  
+[FILE =<"file name constant" | file name expression |>]  
+[DATA =<data constant> | <radix flag>$<program data>$]  
+[MNTYMXDLY =<delay select value>]  
+[IO_LEVEL =<interface subckt select value>]
```

回路図での書式

PART属性

<name>

例

U10

TIMING MODEL属性

<timing model name>

例

PL_04

IO MODEL属性

<I/O model name>

例
IO_ACT

FILE属性

<"file name constant" | file name expression >

例

"JED_FILE" (定数の場合「"」で囲みます。)
| FILEVAR | (数式の場合「|」で囲みます。)

DATA属性

<data constant> | <radix flag>\$<program data>\$

例

data_table ; data_tableは他の場所の.define文で定義。
b\$010101 ; 複数行のプログラムデータ
+ 101011
+ 011001\$

MNTYMXDLY属性

<delay select value>

例

1

IO_LEVEL属性

<interface subckt select value>

例

0

POWER NODE属性

<digital power node>

例

\$G_DPWR

GROUND NODE属性

<digital ground node>

例

\$G_DGND

コンポーネントエディタの特別なフィールド

Inputs <number of inputs>

Outputs <number of outputs>

コンポーネントエディタには、PLAデバイス用にInputsとOutputsの2つの特別なフィールドがあります。これらの値を入力すると、Micro-Capは指定された入出力ピンをディスプレイにおくので、これらをシェイプ上でドラッグしてください。

定義

<pld type>は、次のリストからゲートのタイプを選択します。

タイプ	内容
PLAND	AND配列
PLOR	OR配列
PLNAND	NAND配列
PLNOR	NOR配列
PLXOR	排他的OR配列
PLNXOR	排他的NOR配列
PLANDC	AND配列 (真値・補値入力)
PLORC	ORア配列 (真値・補値入力)
PLNANDC	NAND配列 (真値・補値入力)
PLNORC	NOR配列 (真値・補値入力)
PLXORC	排他的OR配列 (真値・補値入力)
PLNXORC	排他的NOR配列 (真値・補値入力)

表23-15 PLAのタイプ

<“file name constant” || file name expression>

FILE属性は下記の2つのうちいずれかの書式でJEDEC形式ファイルの名前を示します。

ファイル名が定数の場合、引用符「"」で囲みます。

ファイル名が数式の場合、バー「|」で囲みます。

SPICEのテキストファイルやライブラリでは、`|file name expression|`または“`file name constant`”のいずれかを使用することができます。`|file name expression|`は、サブサーキットのTEXT:文による単一の`<text name>`に制限されます。この方法は、次の例のようにPLAデバイスでモデル化された商用PLD部品のサブサーキットにJEDECファイル名を渡すのに使用されます。

```
. SUBCKT PLD24 I1 I2 O1 O2 O3 O4
+ TEXT : JFILE = "JD.STM"
...
U1 PLOR (2, 4)
+ $G_DPWR $G_DGND
+ I1 I2
+ O1 O2 O3 O4
+ PLAMODEL
+ IO_STD_PLD
+ FILE =| JFILE |
```

ここでPLAは、JFILEに代入されたファイル名を使用します。サブサーキットを回路図やSPICEファイルで使用するときにFILE属性値を入力すると、JFILEに名前を割り当てることができます。値が割り当てられないときには、JFILEには規定値“JD.STM”が使用されます。

回路図上のPLAデバイスはFILE属性を使用しますが、必ず“`file name constant`”を使用する必要があります。回路図で`|file name expression|`を定義する方法はありません。

FILE属性が使用される場合、DATA属性は無視されます。JEDECファイルデータのマッピングは、タイミングモデルのパラメータでコントロールされます。

データ定数により、テキスト領域やグリッドテキストでデータ表を作成することができます。データ表は`.define`文で作成します。解析を実行すると、データ定数は定義文の内容に置換されます。例えば、次の定義文を考えます。

```
.DEFINE TAB1 B$01 01 10 11 01 11 01 10 01$
```

PLAが「TAB1」というデータ定数を使用するとします。解析を実行すると、テキスト「B\$01 01 10 11 01 11 01 10 01\$」がTAB1を置換します。`.define`文を使用することにより、任意の属性フィールド（PARTを除く）の長い定義をテキスト領域に移動したり、便利な圧縮定数を生成することができます。

`<radix flag>$`

DATA属性のデータの種類の種類を定義する1文字のフラグです。下記のいずれかです。

- B バイナリデータ
- O 8進データ (MSB = 最下位アドレス)
- X 16進データ (MSB = 最下位アドレス)

<program data>\$

このテキストストリングには、PLAをプログラムするデータ値が含まれます。入力カラムの変数のデータ値が「0」の場合、その入力カラムはゲートに接続されません。データ値が「1」であるとき、その入力カラムはゲートに接続されます。「接続される」とは、ゲートに新しい入力ピンが作成されて、入力カラム線が接続されることを意味します。データ値は0アドレスから始まります。次の例を考えてみます。

```

U1 PLOR (3, 4)           ; 3-INPUT, 4-OUTPUT OR TYPE PLA
+ $G_DPWR $G_DGND      ; POWER PINS
+ I1 I2 I3              ; THREE INPUT PIN NAMES
+ O1 O2 O3 O4          ; FOUR OUTPUT PIN NAMES
+ PLAMODEL              ; PLA TIMING MODEL NAME
+ IO_STD_PLD           ; PLA I/O MODEL NAME
+ DATA = B$           ; PLA DATA PROGRAM
+ 1 1 1                ; O1 = I1 | I2 | I3
+ 0 1 0                ; O2 = I2
+ 1 0 1                ; O3 = I1 | I3
+ 0 0 1$               ; O4 = I3
...

```

真値のみPLAND、PLOR、PLNAND、PLNOR、PLXOR、PLNXOR

1番目のデータで、1番目の入力→1番目の出力ゲートの接続を指定します。2番目のデータで、2番目の入力→1番目の出力ゲートの接続を指定します。これを繰り返し、1番目のゲートへの入力接続をすべて指定します。同じプロセスで2番目～最後のゲートについても指定します。

真値・補値PLANDC、PLOC、PLNANDC、PLNORC、PLXORC、PLNXORC

真値・補値のプログラミングは真値のみの場合と似ていますが、補値がインターリーブされて真値の後におかれる点が異なります。ゼロアドレスは最初の真値入力を最初の出力ゲートにプログラムします。次の入力は第二の真値入力の接続を第一出力ゲートにプログラムします。次の入力は第二の補値入力の接続を第一ゲートにプログラムし、このように可能な真および補値入力接続はすべてプログラムされます。第二ゲートから最終ゲートまですべてプログラムされるまで、すべての可能な真および補値入力接続に対してこのプロセスが繰り返されます。

データ値は、ドル記号 (\$) で区切る必要があります。スペースを挿入したり、複数行で入力することもできます。

モデル文の書式

.MODEL <timing model name> UPLD ([model parameters])

例

.MODEL PLD1 UPLD (TPLHMN = 10ns TPLHTY = 25ns TPLHMX = 35ns)

パラメータ	内容	規定値
TPLHMN	遅延最小値: (L→H)	0
TPLHTY	遅延通常値: (L→H)	0
TPLHMX	遅延最大値: (L→H)	0
TPHLMN	遅延最小値: (H → L)	0
TPHLY	遅延通常値: (H → L)	0
TPHLMX	遅延最大値: (H → L)	0
OFFSET	JEDECファイルマッピング:1番目の入力と1番目のゲートのプログラムアドレス	0
COMPOFFSET	JEDECファイルマッピング:1番目の入力と1番目のゲートの補値プログラムアドレス	1
INSCALE	JEDECファイルマッピング:新しい入力ピンごとのJEDECファイルアドレス変化量	真値のみ:1 真値・補値:2
OUTSCALE	JEDECファイルマッピング:新しい出力ゲートごとのJEDECファイルアドレス変化量	真値のみ: <# of inputs> 真値・補値: 2*<# of inputs>

表23-16 PLAタイミングモデルパラメータ

マルチビットA/Dコンバータ

SPICEでの書式

```
U <name> ADC (<bits>)  
+<digital power node> <digital ground node>  
+<in node> <ref node> <gnd node> <convert node>  
+<status node> <over-range node>  
+<output msb node> <output lsb node>  
+<timing model name> <I/O model name>  
+[MNTYMXDLY =<delay select value>]  
+[IO_LEVEL =<interface subckt select value>]
```

例

```
U10 ADC (8) $G_DPWR $G_DGND  
+ analog_in reference 0 convert status over B7 B6 B5 B4 B3 B2 B1 B0  
+ IO_STD_OC_ST
```

回路図での書式

PART属性

<name>

例

U10

TIMING MODEL属性

<timing model name>

例

AF_04

I/O MODEL属性

<I/O model name>

例

IO_AC

MNTYMXDLY属性

<delay select value>

例

1

IO_LEVEL属性

<interface subckt select value>

例

0

POWER NODE属性

<digital power node>

例

\$G_DPWR

GROUND NODE属性

<digital ground node>

例

\$G_DGND

コンポーネントエディタの特別なフィールド

Bits <bits>

コンポーネントエディタには、ADCデバイス用の特別なBitsフィールドがあります。このフィールドにより、ADCの出力ビット数を指定することができます。ビット数を入力すると、システムはディスプレイに下記のピンを配置します。これらをシェイプ上でドラッグしてください。

In
Convert
Ref
Gnd
Status
Over-range
Out0
Out1
.
.
.
OutN-1

Nビットを指定すると、出力ピンはOut0、...、OutN-1のN個になります。

ADCデバイスは、<in node>ピンと<gnd node>ピンの間のアナログ電圧差を、等価のデジタル値に変換します。デジタル出力は、次の式のバイナリ表示です。

$$\frac{V(in\ node, gnd\ node)^{2^{<bits>}}}{V(ref\ node, gnd\ node)}$$

アナログ入力値V (in node, gnd node) がゼロより小さい場合、データビットはすべて0、オーバーレンジは1に設定されます。アナログ入力値がV(ref node, gnd node) より大きい場合、データビットはすべて1、オーバーレンジは1に設定されます。

入力電圧のサンプリングはCONVERT信号の立ち上がりエッジで生じます。立ち上がりエッジごとに変換が1回だけ行われます。

CONVERT信号の立ち上がりエッジのTPCS秒後に、データ出力ピンは「X」状態、STATUSピンは「1」状態になります。そのTPSD秒後には、データ出力ピンは有効なデータに変わります。そのTPDS秒後に、STATUSピンが「0」状態になります。このタイミングを下図に要約します。

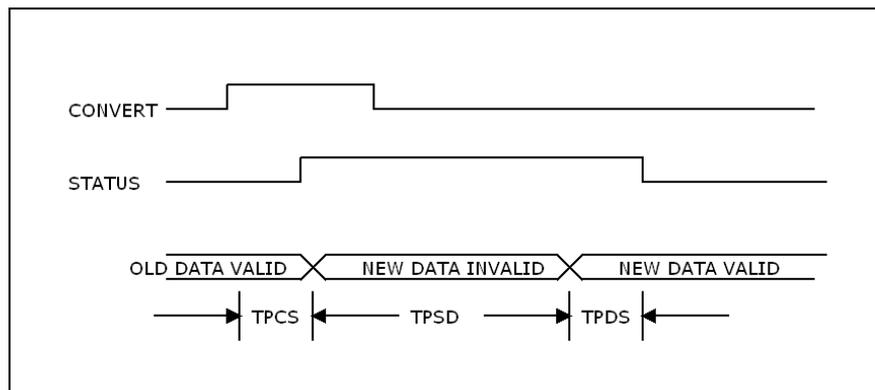


図23-2 ADCタイミング図

モデル文の書式

.MODEL <timing model name> UADC ([model parameters])

例

.MODEL A1 UADC (TPCSMN = 5ns TPCSTY = 15ns TPCSMX = 25ns)

パラメータ	内容	単位
TPCSMN	遅延最小値: コンバータの立ち上がりエッジ→状態の立ち上がりエッジ	秒
TPCSTY	遅延通常値: コンバータの立ち上がりエッジ→状態の立ち上がりエッジ	秒
TPCSMX	遅延最大値: コンバータの立ち上がりエッジ→状態の立ち上がりエッジ	秒
TPSDMN	遅延最小値: 状態の立ち上がりエッジ→データ出力が有効	sec
TPSDTY	遅延通常値: 状態の立ち上がりエッジ→データ出力が有効	秒
TPSDMX	遅延最大値: 状態の立ち上がりエッジ→データ出力が有効	sec
TPDSMN	遅延最小値: データ出力が有効→状態の立ち下がりエッジ	秒
TPDSTY	遅延通常値: データ出力が有効→状態の立ち下がりエッジ	秒
TPDSMX	遅延最大値: データ出力が有効→状態の立ち下がりエッジ	秒

表23-17 ADCのタイミングモデルパラメータ

このタイプのデバイスの使用例については、サンプル回路AD16を参照してください。

マルチビットD/Aコンバータ

SPICEでの書式

```
U <name> DAC (<# of bits>)  
+<digital power node> <digital ground node>  
+<out node> <ref node> <gnd node>  
+<input msb node> <input lsb node>  
+<timing model name> <I/O model name>  
+[MNTYMXDLY =<delay select value>]  
+[IO_LEVEL =<interface subckt select value>]
```

例

```
U10 DAC (8) $G_DPWR $G_DGND  
+ analog_out reference 0 B7 B6 B5 B4 B3 B2 B1 B0  
+ D0_EFF IO_STD_ST
```

回路図での書式

PART属性

<name>

例

U10

TIMING MODEL属性

<timing model name>

例

DACTM

I/O MODEL属性

<I/O model name>

例

IO_HCT

MNTYMXDLY属性

<delay select value>

例

1

IO_LEVEL属性

<interface subckt select value>

例

0

POWER NODE属性

<digital power node>

例

\$G_DPWR

GROUND NODE属性

<digital ground node>

例

\$G_DGND

コンポーネントエディタの特別なフィールド

Bits <bits>

コンポーネントエディタには、DACデバイス用の特別なBitsフィールドがあります。このフィールドにより、入力ビット数を指定することができます。ビット数を入力すると、システムはディスプレイに下記のピンを配置します。これらをシェイプ上でドラッグしてください。

Out
Ref
Gnd
In0
In1
.
.
.
In <bits-1>

DACデバイスはバイナリ入力値の10進値をアナログ電圧に変換し、<out node>と<gnd node>の間に印加します。n入力のビット (bn-1、...、b1、b0) によるアナログ出力は次の通りです。

$$V(\text{out}) = V(\text{ref, gnd}) (b_{n-1} 2^{n-1} + \dots + b_1 2^1 + b_0 2^0) 2^{-n}$$

「X」状態のバイナリ入力は、「0」状態と「1」状態のアナログ電圧の中間のアナログ電圧に変換されます。

バイナリ入力の変化に追従して、アナログ出力は線形に変化します。次のタイミング図に示すように、以前の状態から新たな状態に、指定された時間TSWで変化します。

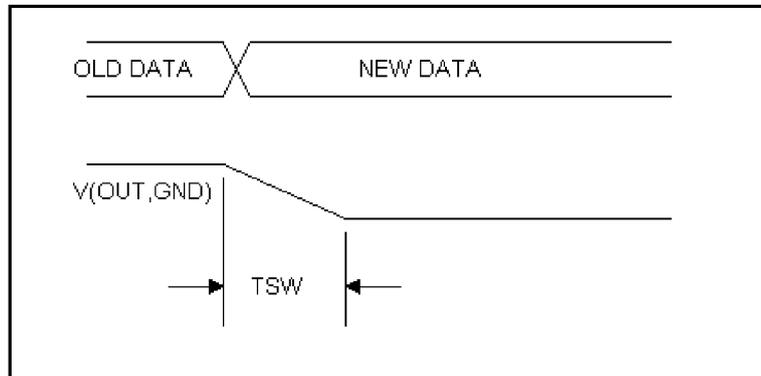


図23-3 DACタイミング図

このタイプのデバイスの使用例については、サンプル回路AD16を参照してください。

モデル文の書式

.MODEL <timing model name> UDAC ([model parameters])

例

.MODEL DAC1 UDAC (TSWMN = 5ns TSWTY = 15ns TSWMX = 25ns)

パラメータ	内容	単位
TSWMN	切り換え時間最小値:データ変化→安定アナログ出力	秒
TSWTY	切り換え時間通常値:データ変化→安定アナログ出力	秒
TSWMX	切り換え時間最大値:データ変化→安定アナログ出力	秒

表23-18 DACタイミングモデルパラメータ

ビヘイビア基本部品

ビヘイビア基本部品は複雑なデジタル部品のモデリングを簡略化するためのデバイスです。これらは3種類があります。

論理式

これらのデバイスにより、ブール代数による論理式でデジタルビヘイビアを記述することができます。

ピン間遅延

これらの遅延により、ピン間の伝搬遅延を支配する規則を記述することができます。規則は、入力ピンのビヘイビアを基礎とする論理式です。

制約

これらのデバイスにより、タイミング制約をチェックして、制約違反があったときに警告メッセージを出すことができます。タイミング制約にはパルス幅、パルス周波数、セットアップ時間、ホールド時間、一般ユーザ定義タイプがあります。

以上のデバイスは、デジタルライブラリにおいて、商用の論理ファミリ部品をモデル化するために広く使用されています。ビヘイビア基本部品についてまったく学習しなくても、デジタル論理ファミリ部品を使用することは可能です。とはいえ、ライブラリにない部品をモデル化したいときには、これらの部品が非常に役に立つことがわかります。時間をかけて学習する価値は十分にあります。

論理式

論理式基本部品は、複雑なデジタルビヘイビアを記述する手段を提供します。これにより、出力のビヘイビアを標準的なブール代数で定義できます。式には、変数、入力状態、一時的状態、出力状態を使用できます。

SPICEでの書式

```
U <name> LOGICEXP (<# of inputs>,<# of outputs>)  
+<digital power node> <digital ground node>  
+<first input node>...<last input node>  
+<first output node>...<last output node>  
+<timing model name>  
+ <I/O model name>  
+[MNTYMXDLY =<delay select value>]  
+[IO_LEVEL =<interface subckt select value>]  
+ LOGIC :<logic assignments>*
```

回路図での書式

論理式は通常、テキストファイルのライブラリで使用されます。回路図のコンポーネントとしてはあまり使用されません(使用自体は可能です)。このため、コンポーネントライブラリには、サンプルとなる論理式コンポーネントが数個だけあります。

PART属性

<name>

例

U10

TIMING MODEL属性

<timing model name>

例

DLOGIC

I/O MODEL属性

<I/O model name>

例

IO_STD

LOGIC属性

LOGIC : {<logic expression>}

この属性は、完全なLOGIC文かLOGIC文の名前を指定します。普通はLOGIC文の名前を使用し、テキスト領域でdefine文により定義します。{<logic expression>}の前には「LOGIC:」キーワードが必要です。

例

LOFEXP1 ;define文で定義します。
LOGIC : C = {A | B & C} ;キーワード「LOGIC:」が不可欠です。

MNTYMXDLY属性

<delay select value>

例

1

IO_LEVEL属性

<interface subckt select value>

例

0

POWER NODE属性

<digital power node>

例

\$G_DPWR

GROUND NODE属性

<digital ground node>

例

\$G_DGND

コンポーネントエディタの特別なフィールド

Pins <input pins, output pins>

コンポーネントエディタには、これらのデバイスのための特別なPinsフィールドがあります。このフィールドは、直接の編集はしません。その代わりに、シェイプ/ピン表示をクリックして、入出力ピンを追加します。論理式デバイスで使用するピンの名前と位置はこのように定義します。

これらのデバイスは、主として商用部品のモデリングに使用され、基本的にデジタルライブラリのテキストファイル内のサブサーキットにあります。これらは可変個の入力ピン・出力ピンを持っているため、ピンの組み合わせは無限にあります。コンポーネントライブラリのコンポーネントにはピン位置の指定が必要なため、とりうる論理式基本部品をすべてライブラリに収めるのは、明らかに不可能です。したがってライブラリには、主として説明のためにいくつかのデバイスがあるにすぎません。これらのデバイスの真の目的は、デジタルライブラリセクションのサブサーキットで使用する事です。回路図から直接使用することも可能ですが、回路図に簡単に配置でき、使用できる商用部品のモデルで、真価は発揮されます。

書式の定義

LOGIC:

1つ以上の <logic assignmnet> によるグループの始まりを示します。
<logic assignmnet> の書式は次のいずれかです。

<temporary value> = {<logic expression>}
<output node name> = {<logic expression>}

<temporary value>

デバイスのピン名リストにない名前を使用すると、一時値が自動的に作成され、他の<logic assignments>から使用できるようになります。一時値を使用すると、論理式が非常に簡単で読みやすくなるので、間違いが減ります。

<output node name>

これは出力ノード名のうちの1つです。<output node name>への代入により、<logic expression>の評価結果が出力ノードに出力されます。これは、タイミングモデルによる適切な遅延の後にスケジュールされます。

<logic expression>

これはC言語ライクな挿入記法の数式で、5つの有効なデジタル論理レベル{0, 1, R, F, X}のいずれかを生成します。数式は波カッコ{}で囲む必要があります。<logic expression>は継続記号「+」を使用して複数行にできます。

論理式の演算子とその優先順位は次の通りです。

演算子	定義	優先順位
~	単項の否定	1
&	論理積	2
^	排他的論理和	3
	論理和	4

表23-19 論理式の演算子

オペランドは次のいずれかです。

<input nodes>

代入済みの<temporary values>

代入済みの<output nodes>

定数 '0', '1', 'R', 'F', 'X'。「'」は定数名の一部として不可欠です。

カッコを自由に使用し、数式をまとめることができます。

タイミングモデルの書式

タイミングモデルは、標準ゲート部品UGATEの書式と同じです。

.MODEL<timing model name> UGATE ([model parameters])

シミュレータのビヘイビア

LOGIC文は、入力・出力ピンの状態が変化したときに評価されます。各<logic assignment>は、LOGIC文内にリストされている順に評価されます。数式には遅延はありません。<output node name>の変化は、タイミングモデルの適切な遅延後にスケジュールされます。通常はタイミングモデルの遅延はゼロに設定しますのでご注意ください。遅延は、論理式の出力でピン間遅延デバイスの入力を駆動することによってモデル化されます。これらのデバイスによって、入力に基づく遅延を論理的に制御し、データシートの遅延を簡単に実装することができます。内部フィードバックは禁止されています。つまり<logic assignment>では、代入済みの<temporary values>または<output nodes>だけが使用できます。

以下は、デジタルライブラリで7483A全加算器をモデル化するために使用された論理式の例です。

```
* ----- 7483A -----
* 4-Bit Binary Full Adders With Fast Carry
* The TTL Logic Data Book, 1988, TI Pages 2-257-2-261
U1LOG LOGICEXP (9, 5) DPWR DGND
+ C0 A1 A2 A3 A4 B1 B2 B3 B4
+ S1_O S2_O S3_O S4_O C4_O
+ D0_GATE IO_STD MNTYMXDLY = {MNTYMXDLY}
+ IO_LEV = {IO_LEVEL}
+
+ LOGIC :
+ c0bar = {~ C0}
+ nor1 = {~ (A1 | B1)}
+ nand1 = {~ (A1 & B1)}
+ nor2 = {~ (A2 | B2)}
+ nand2 = {~ (A2 & B2)}
+ nor3 = {~ (A3 | B3)}
+ nand3 = {~ (A3 & B3)}
+ nor4 = {~ (A4 | B4)}
+ nand4 = {~ (A4 & B4)}
+ C4_O = {~ (nor4 | (nor3 & nand4) |
+ (nor2 & nand4 & nand3) |
+ (nor1 & nand4 & nand3 & nand2) |
+ (nand4 & nand3 & nand2 & nand1 & c0bar))}
+ S4_O = {(nand4 & (~ nor4)) ^ (~ (nor3 | (nor2 &
+ nand3) | (nor1 & nand3 & nand2) |
+ (nand3 & nand2 & nand1 & c0bar)))}
+ S3_O = {(nand3 & (~ nor3)) ^ (~ (nor2 | (nor1 &
+ nand2) | (nand2 & nand1 & c0bar)))}
+ S2_O = {(nand2 & (~ nor2)) ^ (~ (nor1 | (nand1 &
+ c0bar)))}
+ S1_O = {(nand1 & (~ nor1)) ^ C0}
```

この例は、7483Aモデルの論理式部分だけを示しています。7483Aのような商用デジタルデバイスの完全なモデルには、論理式、ピン間遅延、制約デバイス、その他ゲートやフリップフロップなどのロジック基本部品が含まれています。これらがすべて、7483Aのような商用部品名のサブサーキットに収められています。

ピン間遅延

基本部品PINDLYは、複雑な条件のピン遅延をモデリングする方法を提供します。概念的には、これはチャンネルのセットで、それぞれを通る際の遅延がユーザ定義の規則でコントロールされるものと考えられます。規則は、ピンの変化に応じて各チャンネルに遅延を割り当てます。規則は通常次のようになります。

$$\text{OUT1} = \{\text{CHANGED}(\text{REF1}, 0) \& \text{TRN_LH}, + \text{DELAY}(10\text{NS}, 15\text{NS}, 18\text{NS})\}$$

これは「直前0秒でREF1ピンが変化し、チャンネルノードOUT1がローからハイへの遷移中である場合、OUT1チャンネルの遅延を最小10ns、通常15ns、最大18nsとする」ことを意味します。

PINDLYは、通常サブサーキットの中で使用し、論理式の出力とサブサーキットの出力の間に入れます。つまりたいていの場合、PINDLYへの入力、論理式の出力です。たいていの場合、PINDLYの出力は、デジタル部品をモデル化するサブサーキットの出力となります。

PINDLYは、複数の条件規則を使用して、各チャンネルにおける遅延を決定することができます。規則ロジックでは、基準ピンや有効ピンの状態を使用できます。

SPICEでの書式

```
U <name> PINDLY (<# of paths>,<# of enables>,<# of refs>)
+<digital power node> <ground node>
+<first input node>...<last input node>
+<first enable node>...<last enable node>
+<first reference node>...<last reference node>
+<first output node>...<last output node>
+ <I/O model name>
+[MNTYMXDLY =<delay select value>]
+[IO_LEVEL =<interface subckt select value>]
+[BOOLEAN :<boolean assignments>*]
+[PINDLY :<delay assignments>*]
+[TRISTATE : ENABLE LO | HI <enable node> <delay assignments>*]
+[SETUP_HOLD :<setup_hold specifications>]
+[WIDTH :<width specifications>]
+[FREQ :<freq specifications>]
+[GENERAL :<general specifications>]
```

回路図での書式

PINDLYはテキストファイルライブラリにあるのが普通です。回路図のコンポーネントとして直接使用されることはあまりありません（使用自体は可能です）。このため、コンポーネントライブラリには、少数のPINDLYコンポーネントのサンプルしかありません。

PART属性

<name>

例

P20

PINDELAY属性

[BOOLEAN :<boolean assignments>*]

+ [PINDLY :<delay assignments>*]

+ [TRISTATE : ENABLE LO | HI <enable node> <delay assignments>*]

完全なPINDELAY文か、PINDELAY文の名前を指定します。名前を指定するのがより一般的な方法です。名前は.define文で定義します。

例

CARRY_DELAYS ;テキスト領域内で.define文で定義されます。

PINDLY : OUT1 = {(DELAY (10NS, 20NS, 30NS))}

PINDLY : BIT2 = {CASE (CHANGED (REF1, O), + DELAY (10NS, 20NS, 30NS))}

BOOLEAN :

+ READY = {CHANGED_LH (GATE, 0)}

+ LOW = {CHANGED_LH (SEC, 0)}

+ PINDLY : BIT2 = {CASE (READY & LOW),

+ DELAY (10NS, 20NS, 30NS)}

I/O MODEL属性

<I/O model name>

例

IO_STD

MNTYMXDLY属性

<delay select value>

例
1

IO_LEVEL属性

<interface subckt select value>

例
0

POWER NODE属性

<digital power node>

例
\$G_DPWR

GROUND NODE属性

<digital ground node>

例
\$G_DGND

コンポーネントエディタの特別なフィールド

Pins <paths, enable pins, reference pins>

コンポーネントエディタには、PINDLYデバイスのための特別なPinsフィールドがあります。このフィールドは直接編集しません。その代わりに、シェイプ/ピン表示をクリックして、パス、有効、基準のピンを追加します。パスには2つのピンがあり、間に矢印があります。矢印は、パスの入力から出力へと描画されます。このようにPINDLYデバイスが使うピンの名前と位置を定義します。

PINDLYデバイスは主として商用の部品をモデリングするために使用されます。基本的には、デジタルライブラリのテキストファイルのサブサーキットで使用されます。コンポーネントライブラリのコンポーネントでは、ピン位置を指定する必要があります。PINDLYでは、ピンの組み合わせが無限にあるため、すべての組み合わせをライブラリに収めるのは明らかに不可能です。ライブラリには、主として説明のための少数のデバイスだけ収めてあります。PINDLYの真の目的は、テキストファイルのサブサーキットです。回路図で直接使用することも可能ですが、商用の部品モデルにおいて真価を発揮します。

書式の定義

BOOLEAN:

1つ以上の<boolean assignmnet>の始まりを示します。<Boolean assignmnet>は、一時変数として後続の<delay assignments>で使用されます。<boolean assignmnet>の書式は次のいずれかです。

<boolean variable>={<boolean expression>}

<boolean variable>= 任意の有効な変数名

<boolean expression>

これはC言語ライクな挿入記法の数式で、TRUEかFALSEの2つのブール状態のいずれかを生成します。数式は波カッコ{..}で囲む必要があります。<boolean expression>は継続記号「+」を使用して複数行にできます。ブール数式演算子とその優先順位は下記の通りです。

演算子	定義	優先順位
~	単項の否定	1
==	等価	2
!=	不等	3
&	論理積	4
^	排他的論理和	
	論理和	

表23-20 ブール式演算子

書式の定義

BOOLEAN:

1つ以上の<boolean assignmnet>の始まりを示します。<Boolean assignmnet>は、一時変数として後続の<delay assignments>で使用されます。<boolean assignmnet>は次のいずれかです。

オペランドは以下のいずれかです。

代入済みの<boolean variables>

基準関数

遷移関数

<boolean constants> (TRUEまたはFALSE)

論理レベル ('0', '1', 'R', 'F', 'X') は、演算子「==」と「!=」のオペランドとしてのみ使用できます。これにより、「START = {COUNT == 'R & RESET == '0}」のように、ブール論理で入力状態を調べることができます。引用符「'」は、定数名の一部として不可欠です。

基準関数

基準関数は、<reference nodes>と<input nodes>における論理レベルの遷移を検出する手段を提供します。これらはブール値を返し、任意の<boolean expression>内で使用できます。以下の関数があります。

CHANGED (<node>, <reference time>)

CHANGED_LH (<node>, <reference time>)

CHANGED_HL (<node>, <reference time>)

CHANGED関数は、<node>が現在時刻の直前の<reference time>秒の間に遷移している場合、TRUEを返します。

CHANGED_LH関数は、<node>が現在時刻の直前の<reference time>秒の間にローからハイに遷移している場合、TRUEを返します。

CHANGED_HL関数は、<node>が現在時刻の直前の<reference time>秒の間にハイからローに遷移している場合、TRUEを返します。

基準関数は、直前または現在の遷移のみを考慮します。直前の<reference time>秒に生じたすべての遷移を考慮するわけではありません。

<reference time>にはゼロが指定できます。この場合、評価した時点の遷移のみ考慮されます。

遷移関数

これらの関数により、<delay expression>の判定が行われている<output nodes>での変化を検出することができます。これらの関数はブール値を返します。これらの関数は引数をとらず、現在の時点における<output nodes>での変化を暗黙的に参照します。関数の書式は次の通りです。

TRN_pc ... pは直前の状態、cは現在の状態です。

状態値は{L, H, Z, \$}から選択されます。「\$」状態は、「Don't care」状態を示します。つまりTRN_L\$は、ロー状態から他の状態に遷移した場合にTRUEを返します。pとcには、異なる状態を指定する必要があります。例えばTRN_HH関数は存在しません。関数の完全なリストを次に示します。

TRN_HL	TRN_HZ	TRN_HS
TRN_LH	TRN_LZ	TRN_LS
TRN_ZL	TRN_ZH	TRN_ZS
TRN_\$H	TRN_\$L	TRN_\$S

Z状態を使用した遷移関数は、TRISTATEセクションでのみ使用します。オープンコレクタの遷移は、TRN_LHかTRN_HLでモデル化する必要があります。

PINDLY:

1つ以上の<delay assignments>のグループの始まりを示します。<delay assignments>は、パス遅延をPINDLYの入力/出力チャンネルに割り当てるのに使用されます。<delay assignments>の書式は次の通りです。

<output node>* = {<delay expression>}

<output node>

リスト<first digital output node>...<last digital output node>で挙げられたPINDLYの出力ノード名です。左辺をスペースやコンマで区切りることにより、複数の出力ピンで同じ規則を共有することができます。

<delay expression>

指定された出力遅延チャンネルで使用する3つの遅延値（最小、通常、最大）のセットを返す数式です。2つの書式があります。

DELAY (<min>, <typ>, <max>)

この書式では、次の例のように遅延を直接指定します。

```
...
+PINDLY : OUT1, OUT2 = {DELAY (10ns,-1, 20ns)}
...
```

-1を使用すると、未指定の伝播遅延の規則を使用して値が計算されます。

2番目の書式では、より複雑なCASE文を使用します。書式は次の通りです。

```
CASE (<boolean expression_1>,<delay expression_1>,           ; 規則1
<boolean expression_2>,<delay expression_2>,                 ; 規則2
...
<boolean expression_n>,<delay expression_n>,                 ; 規則n
<default delay expression>)
```

CASE文は、1つ以上の規則のセットで構成されます。各規則には<boolean expression>と<delay expression>があり、CASE文のリスト順に評価されます。TRUEを返す最初の<boolean expression>により、<delay expression>が<output nodes>に割り当てられます。どの<delay expression>もTRUEを返さない場合、<default delay expression>が<output nodes>に割り当てられます。この状態は容易に発生するため、<default delay expression>が不可欠です。

例

```
+ BOOLEAN :
+   DATA = {CHANGED (DI1, 0) | CHANGED (DI2, 0) |
+           CHANGED (DI3, 0) | CHANGED (DI4, 0)}
+   SELECT = {CHANGED (S1BAR, 0) | CHANGED (S2, 0)}
+   CLEAR = {CHANGED_HL (CLRBAR, 0)}
+   STROBE = {CHANGED_HL (STB, 0)}
+ PINDLY :
+   B1 B2 B3 B4 = {
+   CASE (
+     DATA & STROBE & TRN_HL, DELAY (- 1, 16ns, 25ns),
+     CLEAR, DELAY (- 1, 14ns, 22ns),
+     SELECT & TRN_LH, DELAY (- 1, 12ns, 20ns),
+     DELAY (- 1, 17ns, 26ns))}
```

上の例は、出力B1、...、B4における遅延を記述しています。4つの出力は4つの遅延規則を共有します。

規則1: DATA & STROBE & TRN_HL, DELAY(-1, 16ns, 25ns)

意味:DATAがTRUE (入力DI1 ... DI4のいずれかが変化した) かつ STROBEがTRUE (STBはハイからローに遷移した) の場合、ハイからローに遷移しているすべての出力 (B1...B4) について、遅延 (-1、16ns、25ns) が生じます。

規則2: CLEAR, DELAY(-1, 14ns, 22ns)

意味:CLEARがTRUE (CLRBARがハイからローに遷移した) の場合、何らかの遷移が生じているすべての出力 (B1...B4) について、遅延 (-1、14ns、25ns) が生じます。

規則3: SELECT & TRN_LH, DELAY(-1, 12ns, 20ns)

意味:SELECTがTRUE (S1BARまたはS2が変化した) の場合、ローからハイに遷移しているすべての出力 (B1...B4) について、遅延 (-1、12ns、20ns) が生じます。

規則4: DELAY (-1, 17ns, 26ns)

意味: 規則1、2、3のすべてに違反したとき、何らかの遷移が生じているすべての出力 (B1...B4) について、遅延 (-1, 17ns, 26ns) が生じます。

TRISTATE:

1つ以上の3ステートの<delay assignment>のグループの始まりを示します。<delay assignment>は、パス遅延を3ステート入力/出力チャンネルに割り当てるために使用されます。PINDLYとは異なり、TRISTATEは<enable node>でコントロールされます。

キーワード「TRISTATE:」に続いて、<enable node>とその極性が指定されます。極性は次の2つのキーワードのいずれかを指定します。

ENABLE LO ロー状態が有効状態であることを意味します。

ENABLE HI ハイ状態が有効状態であることを意味します。

<enable node>は現在のTRISTATEセクションにあるすべての<output nodes>をコントロールします。

TRISTATEセクションの<delay expression>は、Z状態の遷移関数を使用できます。

シミュレーションビヘイビア

PINDLY文は、入力、有効、出力のいずれかの状態が変化したときに評価されます。各<input node>は対応する<output node>に関連づけられます。関連付けは、行の中に現れる順番で行われます。最初にBOOLEANセクションが評価され、次にPINDLYとTRISTATEセクションが評価され、変化している<output nodes>の遅延が計算されます。変化している<output nodes>は、適切な遅延の後に新しい<input node>状態に変化するようスケジュールされます。

例

次の例は、BOOLEAN、PINDLY、TRISTATEセクションを同時に表示したものです。

```
U4DLY PINDLY (9, 1, 13) DPWR DGND
+   Q1 Q2 Q3 Q4 Q5 Q6 Q7 Q8 INTBAR_O
+   OE
+   STB M S1BAR S2 CLRBAR DI1 DI2 DI3 DI4 DI5 DI6 DI7 DI8
+   DO1 DO2 DO3 DO4 DO5 DO6 DO7 DO8 INTBAR
+   IO_S MNTYMXDLY = {MNTYMXDLY} IO_LEVEL = {IO_LEVEL}
+
+ BOOLEAN :
+   DATA = {CHANGED (DI1, 0) | CHANGED (DI2, 0) |
+           CHANGED (DI3, 0) | CHANGED (DI4, 0) |
+           CHANGED (DI5, 0) | CHANGED (DI6, 0) |
```

```

+   CHANGED (DI7, 0) | CHANGED (DI8, 0)}
+   SELECT = {CHANGED (S1BAR, 0) | CHANGED (S2, 0)}
+   MODE = {CHANGED (M, 0)}
+   CLEAR = {CHANGED_HL (CLRBAR, 0)}
+   STROBE = {CHANGED (STB, 0)}
+
+ TRISTATE :
+   ENABLE HI = OE
+   DO1 DO2 DO3 DO4 DO5 DO6 DO7 DO8 = {
+   CASE (
+     CLEAR & TRN_HL, DELAY (- 1, 18ns, 27ns),
+     (STROBE | SELECT) & TRN_LH, DELAY (- 1, 18ns, 27ns),
+     (STROBE | SELECT) & TRN_HL, DELAY (- 1, 15ns, 25ns),
+     DATA & TRN_LH, DELAY (- 1, 12ns, 20ns),
+     DATA & TRN_HL, DELAY (- 1, 10ns, 20ns),
+     TRN_ZH, DELAY (- 1, 21ns, 35ns),
+     TRN_ZL, DELAY (- 1, 25ns, 40ns),
+     TRN_HZ, DELAY (- 1, 9ns, 20ns),
+     TRN_LZ, DELAY (- 1, 12ns, 20ns),
+     DELAY (- 1, 26ns, 41ns))}
+
+ PINDLY :
+   INTBAR = {
+   CASE (
+     STROBE & TRN_HL, DELAY (- 1, 16ns, 25ns),
+     SELECT & TRN_LH, DELAY (- 1, 12ns, 20ns),
+     DELAY (- 1, 17ns, 26ns))}

```

制約チェッカ

基本部品CONSTRAINTは、複雑な条件のタイミングパラメータをチェックする手段を提供します。この部品により、セットアップ/ホールド時間、パルス幅、周波数をチェックでき、一般的なユーザ定義のチェックにより、モデル固有の要件をチェックすることも可能です。たいいていの場合、制約部品は部品やサブサーキットの入力を入力値として受け取ります。通常は、論理式・ピン間遅延などのデジタル基本部品と協調して動作します。制約部品は、受動的な警告デバイスです。これらは、タイミング違反メッセージを生成し、数値出力ウィンドウに出力します。シミュレーション結果には影響を及ぼしません。I/Oモデルの属性は、制約のデジタルノードがアナログノードにたまたま接続してしまった場合の処理のためにのみ必要とされます。

SPICEでの書式

```
U <name> CONSTRAINT (<# of inputs>
+<digital power node> <digital ground node>
+<first digital input node>...<last digital input node>
+<I/O model name>
+[IO_LEVEL =<interface subckt select value>]
+[BOOLEAN :<boolean assignments>]
+[SETUP_HOLD :<setup_hold specifications>]
+[WIDTH :<width specifications>]
+[FREQ :<freq specifications>]
+[GENERAL :<general specifications>]
```

回路図での書式

制約は、テキストファイルのライブラリでよく使用されます。回路図のコンポーネントとしては、あまり使用されません。コンポーネントライブラリには少数の制約コンポーネントのサンプルがあります。

PART属性

<name>

例

C20

CONSTRAINT属性

```
[BOOLEAN :<boolean assignments>]
+[SETUP_HOLD :<setup_hold specifications>]
+[WIDTH :<width specifications>]
+[FREQ :<freq specifications>]
+[GENERAL :<general specifications>]
```

この属性には完全なCONSTRAINT文かCONSTRAINT文の名前を指定します。名前を使用する方法が比較的一般的です。名前は、テキスト領域の.define文により定義されます。

例

```
C381_STD ;テキスト領域で定義
WIDTH : NODE = MRBAR MIN_LO = 5n
FREQ : NODE = CP MAXFREQ = 130MEG
```

I/O MODEL属性

<I/O model name>

例

```
IO_STD
```

IO_LEVEL属性

<interface subckt select value>

例

```
0
```

POWER NODE属性

<digital power node>

例

```
$G_DPWR
```

GROUND NODE属性

<digital ground node>

例

```
$G_DGND
```

コンポーネントエディタの特別なフィールド

Inputs <inputs>

コンポーネントエディタにはCONSTRAINT用に特別なInputsフィールドがあります。これらのフィールドは直接の編集はしません。その代わりに、シェイプ/ピン表示をクリックして、入力ピンを追加します。これで制約デバイスが使用する入力ピンの名前とピン位置を決めることができます。

これらのデバイスは、主として商用部品のモデリングに使用され、基本的にデジタルライブラリのテキストファイル内のサブサーキットにあります。これらは多くの入力ピンを持っており、またコンポーネントライブラリのコンポーネントにはピン位置の指定が必要となるので、可能な制約デバイスをすべてライブラリに納めるのは不可能です。

したがってライブラリには、主として説明のためにいくつかのデバイスがあるにすぎません。これらのデバイスの真の目的は、テキストファイルのサブサーキットで使用するということです。回路図から直接使用することも可能ですが、真価は商用部品のモデルで発揮されます。

書式の定義

BOOLEAN:

1つ以上の<boolean assignment>のグループの始まりを示します。<boolean assignment>は、後に続く<specification>で一時変数として用いられます。<boolean assignment>の書式は次の通りです。

<boolean variable>={<boolean expression>}

<boolean expression>

PINDLYと同じですが、遷移関数 (TRN_pc) が利用できない点だけ異なります。

SETUP HOLD :

<setup_hold specification>の始まりを示します。書式は下記の通りです。

+ SETUP_HOLD :

+ CLOCK <assertion edge> = <input node>

+ DATA (<# of data inputs>) = <first input node>...<last input node>

+ [SETUPTIME =<time value>]

+ [HOLDTIME =<time value>]

+ [WHEN =<boolean expression>]

+ [MESSAGE = "<extra message text>"]

+ [ERRORLIMIT =<limit value>]

CLOCKの引数<input node>はsetup_hold specificationで基準となる入力ノードを定義します。CLOCKの<assertion edge>は、次のいずれかです。

- LH クロックの低から高エッジがアサーションエッジであることを指定します。
- HL クロックの高から低エッジがアサーションエッジであることを指定します。

DATAの引数<first input node>...<last input node>は、セットアップ/ホールド時間を測定する入力ノードを1つ以上指定します。最低1つの入力ノードが必要です。引数はスペースかコンマで区切る必要があります。

SETUPTIMEの引数<time value>は、クロックの<assertion edge>以前に、すべてのDATAの<input nodes>入力ノードが安定している必要がある最小時間値を指定します。<time value>は正数かゼロを指定します。入力ノードのセットアップ時間が、データのLO/HIに依存する場合、次の特別な書式を使用できます。

SETUPTIME_LO =<time value>

これはクロックの<assertion edge>前の、ローデータ状態のセットアップ時間です。

SETUPTIME_HI =<time value>

これはクロックの<assertion edge>前の、ハイデータ状態のセットアップ時間です。

以上のセットアップ時間のいずれかがゼロに指定されていると、Micro-Capはそのチェックを省略します。

HOLDTIMEの引数<time value>は、クロックの<assertion edge>後にDATA<input nodes>が安定していなければならない最小時間を指定します。<time value>は正かゼロでなければなりません。<input nodes>のホールド時間が、データのLO/HIに依存する場合、次のいずれかの書式を使うことができます。

HOLDTIME_LO =<time value>

これはクロックの<assertion edge>後の、ローデータ状態のホールド時間です。

HOLDTIME_HI =<time value>

これはクロックの<assertion edge>後の、ハイデータ状態のホールド時間です。

どのように動作するか

評価は、CLOCKノードに指定された<assertion edge>が生ずると開始されます。WHEN<boolean expression>が評価されてTRUEであった場合、このクロックサイクルの間、非ゼロ値のSETUPTIMEとHOLDTIMEブロックがすべて、チェックされます。WHENの評価結果がFALSEの場合、このクロックサイクルについてのチェックは行われません。WHEN機能により、適切でないとき（例えばRESETやPRESETの動作中）のチェックを無効にできます。

セットアップ時間のチェックは、CLOCKの<assertion edge>で起こります。指定されたホールド時間がゼロの場合、CLOCKとDATAの同時遷移が許されますが、前回のDATA遷移がセットアップ時間についてチェックされます。ホールド時間がゼロ以外の場合、CLOCKとDATAの同時遷移はエラーとして報告されます。ホールド時間のチェックは、CLOCKの<assertion edge>の後に変化するすべてのDATA入力について行われます。セットアップ時間がゼロの場合、CLOCKとDATAの同時遷移が許されますが、非<assertion edge>前に生ずる次のデータ遷移がホールド時間についてチェックされます。セットアップ時間がゼロ以外のとき、CLOCKとDATAの同時遷移はエラーとして報告されます。

CLOCKノードとDATAノードのいずれかが不明 (X) の場合、チェックはスキップされます。これは、大量のエラーが発生するのを避けるためです。DATAの変化時にCLOCKがXの場合や、その逆の場合には、おそらくすでにほかの場所でエラーフラグが立っています。

制約は、<*boolean expression*>が真のときのみチェックされます。制約の警告メッセージの数が<*limit value*>を超えると、それ以上のメッセージは出力されません。<*extra message text*>があれば、標準エラーメッセージに追加されます。

WIDTH:

1つ以上の<*width specification*>のグループの始まりを示します。以下の書式です。

```
+ WIDTH :  
+ NODE =<input node>  
+[MIN_LO =<time value>]  
+[MIN_HI =<time value>]  
+[WHEN =<boolean expression>]  
+[MESSAGE = “<extra message text>”]  
+[ERRORLIMIT =<limit value>]
```

NODEの引数<*input node*>は、入力を幅についてチェックするノードを指定します。

MIN_LOの引数<*time value*>は、<*input node*>が0レベルであることが可能な最小時間を指定します。<*time value*>がゼロと指定されると、幅のチェックは行われません。

MIN_HIの引数<*time value*>は<*input node*>が1レベルであることが可能な最小時間を指定します。<*time value*>がゼロと指定されると、幅のチェックは行われません。

各WIDTH仕様の中には、MIN_LOとMIN_HIのうちいずれかがある必要があります。

制約は<*boolean expression*>が真のときのみチェックされます。制約警告メッセージの数が<*limit value*>を超えると、それ以上のメッセージは出力されません。<*extra message text*>があれば、標準エラーメッセージに追加されます。

FREQ:

1つ以上の<*freq specifications*>のグループの始まりを示します。以下の書式です。

+ FREQ :
+ NODE = <input node>
+[MINFREQ =<freq value>]
+[MAXFREQ =<freq value>]
+[WHEN =<boolean expression>]
+[MESSAGE = “<extra message text>”]
+[ERRORLIMIT =<limit value>]

NODEの引数<input node>は、入力の周波数をチェックするノードを指定します。

MINFREQの引数<freq value>は、<input node>で許容される最低周波数を指定します。

MAXFREQの引数<freq value>は、<input node>で許容される最高周波数を指定します。

FREQの指定では、MINFREQかMAXFREQのいずれかが必要です。

どのように動作するか

FREQのチェックでは、<input node>の周波数を<freq value>と比較します。周波数がMAXFREQより大きい場合やMINFREQより小さい場合、それぞれのエラーメッセージが出力されます。

WIDTHのチェックでは、<input node>のローとハイのパルス幅を<time value>と比較します。ハイパルス幅がMIN_HIより大きい場合やローパルス幅がMIN_LOより小さい場合、それぞれのエラーメッセージが出力されます。

WIDTHとFREQのチェックは、パルスのデューティサイクルがちょうど50%の場合、等価になります。その他の場合、WIDTHのチェックのほうが幾分柔軟で、非対称なデューティサイクルを許容できます。

制約は<boolean expression>が真のときのみチェックされます。制約警告メッセージの数が<limit value>を超えると、それ以上のメッセージは出力されません。<extra message text>があれば、標準エラーメッセージに追加されます。

GENERAL:

1つ以上の<general specifications>のグループの始まりを示します。以下の書式です。

+ GENERAL :
+ WHEN =<*boolean expression*>
+ MESSAGE = “<*message text*>”
+ ERRORLIMIT =<*limit value*>

どのように動作するか

CONSTRAINT入力のいずれかが変化すると、<*boolean expression*>が評価されます。結果がTRUEの場合、シミュレーション時間と<*message text*>を含むエラーメッセージが出力されます。

制約に関する留意点:

- ・制約は1つでも複数でも構いません。
- ・制約は任意の順番で起こりえます。
- ・制約は重複することができます。つまり、1つ以上のWIDTH、SETUP_HOLDを指定できます。
- ・制約には<*extra message text*>を含めることができます。これは標準の内部生成メッセージテキストにアペンドされます。
- ・制約仕様値のそれぞれについてERRORLIMITがあります。規定値は全般設定のDIGERRDEFAULTからコピーされます。DIGERRDEFAULTは、他の全般設定値と同様に、OPTIONコマンドで上書きすることができます。つまり次のテキストを回路におくと、その回路のDIGERRDEFAULT値が変更されます。

.OPTIONS DIGERRDEFAULT = 12

特定の制約チェックの違反の数がERRORLIMITを超えると、それ以上メッセージは出力されません。他の制約に関しては引き続きメッセージが出力されます。

- ・全般設定のDIGERRLIMITを使用して、エラーメッセージの総数を制限できます。

例

デケードカウンタで使用されているCONSTRAINTの例を示します。
複数のWIDTHとSETUP_HOLDが指定されていることに注意してください。

```
Ucnstr CONSTRAINT (9) DPWR DGND
+   MRBAR PEBAR CP CEP CET D0 D1 D2 D3
+   IO_STD
+
+   FREQ :
+     NODE = CP
+     MAXFREQ = 130MEG
+   WIDTH :
+     NODE = CP
+     MIN_HI = 4ns
+   WIDTH :
+     NODE = MRBAR
+     MIN_LO = 5n
+   SETUP_HOLD :
+     CLOCK LH = CP
+     DATA (4) = D0 D1 D2 D3
+     SETUPTIME = 5n
+     WHEN = {(MRBAR != `0)}
+   SETUP_HOLD :
+     CLOCK LH = CP
+     DATA (2) = CET CEP
+     SETUPTIME_LO = 6n
+     SETUPTIME_HI = 11n
+     WHEN = {(MRBAR != `0)}
+   SETUP_HOLD :
+     CLOCK LH = CP
+     DATA (1) = PEBAR
+     SETUPTIME_HI = 11ns
+     SETUPTIME_LO = 7ns
+   SETUP_HOLD :
+     CLOCK LH = CP
+     DATA (1) = MRBAR
+     SETUPTIME = 5ns
```

スティミュラスデバイス

デジタル回路では、テストやシミュレーションのためにスティミュラスデバイスを必要とします。このデバイスは、デジタル状態の時間シーケンスを生成し、回路に刺激を与えます。これらはアナログ信号源のSIN、PULSE、USER、電圧信号源、電流信号源に相当するデジタルデバイスです。

2種類の信号源があります。スティミュラス発生器 (STIM) とファイルスティミュラス (FSTIM) です。STIMデバイスは基本的なコマンド言語を使用して事実上任意の波形を作り出します。FSTIMデバイスは外部ファイルから波形を読み込みます。

タイミング情報はスティミュラスデバイスに内在しているため、タイミングモデルはありません。

スティミュラス発生器

スティミュラス発生器の基本部品は柔軟なコマンド言語を提供し、非常に複雑なデジタル波形を生成します。書式は次の通りです。

SPICEでの書式

```
U <name> STIM (<width>,<format array>)  
+<digital power node> <digital ground node> <node>*  
+<I/O model name>] [IO_LEVEL =<interface subckt select value>  
+[TIMESTEP =<stepsize>] <commands>*
```

回路図での書式

PART属性

<name>

例

C20

FORMAT属性

<format array>

例

1111 ; four binary values

COMMAND属性
<command_name>

例
BINARY 1/6

I/O MODEL属性
<I/O model name>

例
IO_STD

TIMESTEP属性
[<stepsize>]

例
10ns

IO_LEVEL属性
<interface subckt select value>

例
0

POWER NODE属性
<digital power node>

例
\$G_DPWR

GROUND NODE属性
<digital ground node>

例
\$G_DGND

定義
<width>

SPICEファイルでは、これは信号または出力ノードの数です。回路図の部品では、<width>は部品がコンポーネントライブラリに入力される時に設定されます。そのため、ライブラリメニューからSTIMデバイスを選択した時点でこの情報は取得済みです。

`<format array>`

`<command>`文は、`<value>`文を使用して出力状態を記述します。`<format array>`は文字の配列で、`<value>`で使用するデータのフォーマットを定義します。この文字のシーケンスで出力（信号）の個数を指定し、`<value>`の各文字は信号に対応します。`<value>`の各文字は、基数 $2^{\langle m \rangle}$ の数として扱われます。ここで $\langle m \rangle$ は、`<format array>`の対応する文字です。各`<value>`は`<format array>`と同じだけの文字を持ちます。つまり`<format array>`が '1111'のとき、`<command>`文で使用する`<value>`も4文字でなければなりません。`<format array>`の合計文字数は`<width>`と等しい必要があります。各文字は、データのタイプに応じて選択します（1 = 2進、3 = 8進、4 = 16進）。

`<node>*`

SPICEのコンポーネントでは、これにより出力ノード名を定義します。回路図のコンポーネントでは、ノードは自動的に取得されるため、指定する必要はありません。

`<stepsize>`

TIMESTEPの引数`<stepsize>`はクロックサイクルあたりの秒数を定義します。遷移時間は文字「c」を使用してクロック単位で指定することができます。実際の時間は、クロック数の`<stepsize>`倍になります。規定値はゼロです。

`<command name>`

これは、デジタルパターンコマンドの記号名です。通常は、回路のテキスト領域（やライブラリファイル）において次の形式で定義されます。

```
.DEFINE <command_name> <command>*
```

ここで、`<command>*`は、ステイミュラスコマンドの集合であり、次のように定義されます。

`<command>*`

```
<<time> <value>>  
<LABEL =<label name>>  
<<time> GOTO <label name> <n> TIMES>  
<<time> GOTO <label name> UNTIL GT <value>>  
<<time> GOTO <label name> UNTIL GE <value>>  
<<time> GOTO <label name> UNTIL LT <value>>  
<<time> GOTO <label name> UNTIL LE <value>>  
<<time> INCR BY <value>>  
<<time> DECR BY <value>>  
REPEAT FOREVER  
REPEAT <n> TIMES  
ENDREPEAT
```

<time>

これは時間を指定します。その時間において、新しい値が生じたり、コマンドINCR、DECR、GOTOが実行されたりします。<value>は2つの単位（クロックと秒）と2つの形式（絶対と相対）で指定できます。時間をクロック単位で表すには、「5C」のように数字に接尾辞「C」を付けます。時間を秒単位で表すには、接尾辞「S」を使用するか、何もつけません。

相対時間は、直前の時刻から計測します。絶対時間はシミュレーションの開始時点から計測されます。相対時間を使用するには、「+10ns」や「+23C」のように<time>の前にプラス記号「+」を付けます。

<value>

これにより、それぞれの出力ノードの新しい値を定義します。値は<format array>によって解釈されます。<value>は、バイナリ集合{0, 1, R, F, X, Z, ?}、8進集合{0-7}、16進集合{0-F}から選択されます。「?」の文字は、単一のランダム状態、0または1を指定します。RNDは、各出力ノードにランダム状態の配列を指定します。

<label name>

GOTO文の位置を識別します。「GOTO<label name>」は、「LABEL = <label name>」に続く文にジャンプします。

<n>

GOTOループを反復する回数です。-1と指定すると、永久に反復するループが生成されます。

注意

- ・ループ内の絶対時間は、最後に使用した時間と増分幅に従って相対時間に変換されます。

- ・GOTOラベルはLABEL文であらかじめ定義してある必要があります。前方参照は認められません。

- ・絶対時間値は昇順でなければなりません。ただしGOTOの後の時間は、GOTOの時間と同じであってもかまいません。

- ・GOTOコマンドによって、実行が1番目の文のラベルに移った場合、プログラムはこの1番目の文の時間値を無視します。

- ・UNTIL GT<value>はノード値が<value>を超えるまでループを実行することを意味します。同様にGEは「以上」、LTは「未満」、LEは「以下」を意味します。

ステイミュラス発生器の例

つぎの各例では、様々な波形のコード方法を示します。例1、2、3はSTIM1（出力数1）を使用します。例4はSTIM2（出力数2）を使用します。また例5はSTIM8（出力数8）デバイスを使用します。

回路図の場合

FORMAT属性とCOMMAND属性に、次の項目を入力します。

例	FORMAT	COMMAND
1	1	IN1
2	1	IN2
3	1	IN3
4	11	IN4
5	44	IN5

回路図のテキスト領域やグリッドテキスト、またはMCAP.INCにおいて、次のようにIN1、IN2、IN3、IN4、IN5を別名定義します。

```
.DEFINE IN1  
+ 0NS 1  
+ 10NS 0  
+ 20NS 1
```

```
.DEFINE IN2  
++ 0NS 1  
++ 10NS 0  
++ 10NS 1
```

```
.DEFINR IN3  
+ 0NS 0  
+ LABEL = BEGIN  
++ 5NS 1  
++ 5NS 0  
++ 5NS GOTO BEGIN-1 TIMES
```

```
.DEFINE IN4
+ LABEL = BEGIN
++ 0NS 00
++ 5NS 01
++ 5NS 10
++ 5NS 11
++ 5NS GOTO BEGIN-1 TIMES
```

```
.DEFINE IN5
+ LABEL = BEGIN
++ 0NS INCR BY 01
++ 10NS GOTO BEGIN UNTIL GE 06
++ 10NS F0
++ 10NS F1
```

これらのパターンによって生成されるデジタル出力は、次のページ以降に示すSPICEの例に含まれています。

回路ファイルSTIMSAMP.CIRを実行することにより、パターンを確認することもできます。この回路ファイルには、これらすべてのパターンによるSTIM信号源が入っています。スティミュラスコマンドの更なる例としては、サンプル回路STIM_DEMO.CIRがあります。

SPICEテキストファイルの場合

次の例では、SPICEファイルでサンプルパターンを作成する方法について説明します。

例1

最初の例は、出力1のデバイスで、10nsから20nsまでの単発ゼロパルスを出力します。ループはありません。

```
U1 STIM (1, 1) $G_DPWR $G_DGND
+ 1 ; Output node number
+ IO_STD
+ 0NS 1
+ 10NS 0
+ 20NS 1
```

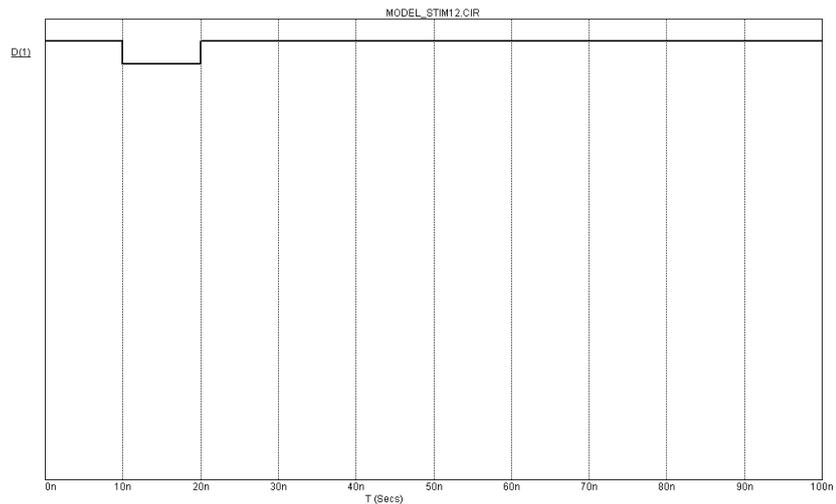


図23-4 例1および2のスティミュラス波形

例2

例1と同じ出力を生成しますが、絶対時間ではなく相対時間を使用します。

```
U1 STIM (1, 1) $G_DPWR $G_DGND
+ 1 ; Output node number
+ IO_STD
++ 0NS 1
++ 10NS 0
++ 10NS 1
```

最初の例と同様に、最初の遷移は0nsで、次は0ns + 10ns = 10nsで、最後の遷移は0ns + 10ns + 10ns = 20nsで生じます。

例3

1出力で、0-1が交代するシーケンスは、次のようにして生成します。

```
U1 STIM (1, 1) $ G_DPWR $ G_DGND
+ 1          ; Output node number
+ IO_STD
+ 0NS 0
+ LABEL = begin
++ 5NS 1
++ 5NS 0
++ 5NS GOTO begin-1 TIMES
```

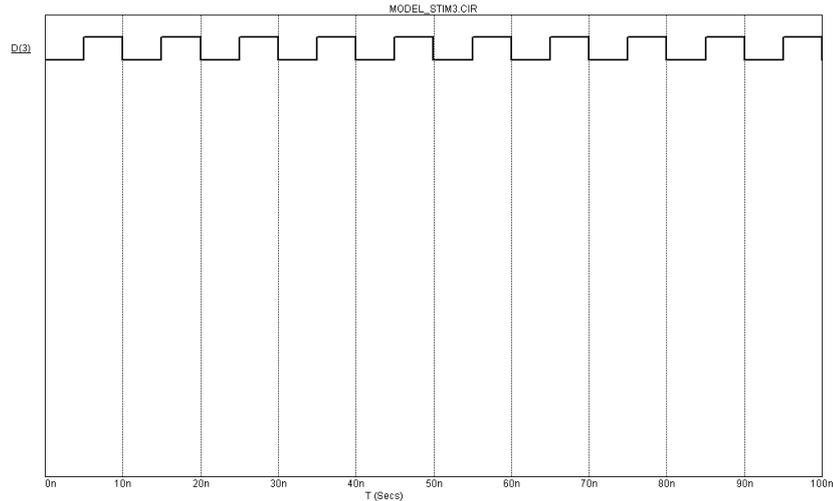


図23-5 例3のスティミュラス波形

実行は、 $T = 0\text{ns}$ で出力が「0」に設定された状態で開始します。 $T = 5\text{ns}$ ($0\text{ns} + 5\text{ns}$)で出力が「1」に設定されます。 $T = 10\text{ns}$ ($5\text{ns} + 5\text{ns}$)で出力が「0」に設定されます。 $T = 15\text{ns}$ ($10\text{ns} + 5\text{ns}$)でGOTOが実行され、制御は文「LABEL = begin」の次の文「+ 5ns 1」に移ります。時間の命令 (+ 5ns)は無視されて出力が「1」に設定されます。GOTOの結果実行される最初の文の<time>値は、常に無視されます。同じ波形は、「+ LABEL = begin ... + 5NS GOTO begin-1 TIMES」の部分で次のものと置き換えても実現できます。

```
+ REPEAT FOREVER
++ 5NS 1
++ 5NS 0
++ ENDREPEAT
```

例4

2出力で、0-1が交代するシーケンスは次のように生成します。

```
U1 STIM (2, 11) $G_DPWR $G_DGND
+ 1 2 ; Output node numbers
+ IO_STD
+ LABEL = begin
++ 0NS 00
++ 5NS 01
++ 5NS 10
++ 5NS 11
++ 5NS GOTO begin-1 TIMES
```

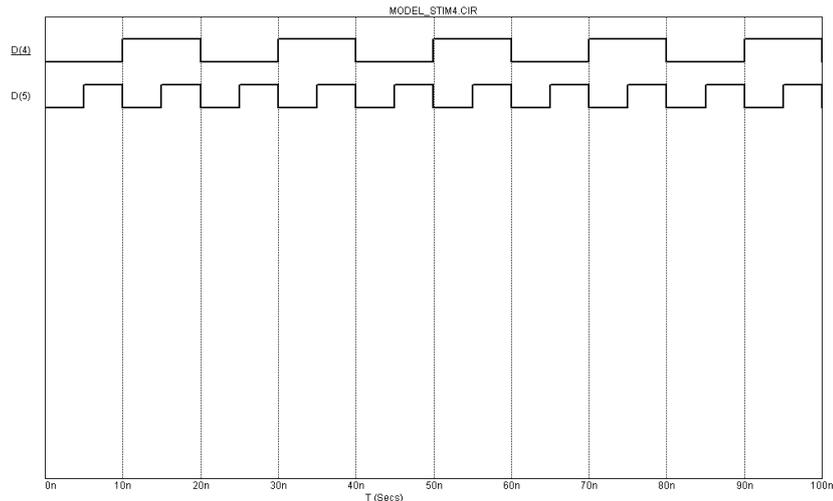


図23-6 例4のスティミュラス波形

STIM(2, 11)文で2出力とバイナリ形式を指定していることに注意してください。実行は「+ 0NS 00」文で始まり、出力が「00」に設定されます。次のコマンド「+ 5NS 01」は $T = 5\text{ns}$ ($0\text{ns} + 5\text{ns}$)で生じ、出力が「01」に設定されます。次のコマンド「+ 5NS 10」は $T = 10\text{ns}$ ($5\text{ns} + 5\text{ns}$)で生じ、出力が「10」に設定されます。次のコマンド「+ 5NS 11」は $T = 15\text{ns}$ ($10\text{ns} + 5\text{ns}$)で生じ、出力が「11」に設定されます。次のコマンド「+ 5NS GOTO begin-1 TIMES」は $T = 20\text{ns}$ ($15\text{ns} + 5\text{ns}$)で生じ、文「+ 0NS 00」(「LABEL = begin」に続く文)にジャンプします。ここからループはシミュレーション終了まで反復します。

例5

次の例はINCRとUNTILコマンドの使用方法を示します。

```
U1 STIM (8, 44) $G_DPWR $G_DGND
+ 1 2 3 4 5 6 7 8
+ IO_STD
+ LABEL = begin
++ 0NS INCR BY 01           ; Increment by hex 01
++ 10NS GOTO begin UNTIL GE 06 ; Count until 06 hex
++ 10NS F0                 ; After 10NS goto F0 hex
++ 10NS F1                 ; After 10NS goto F1 hex
```

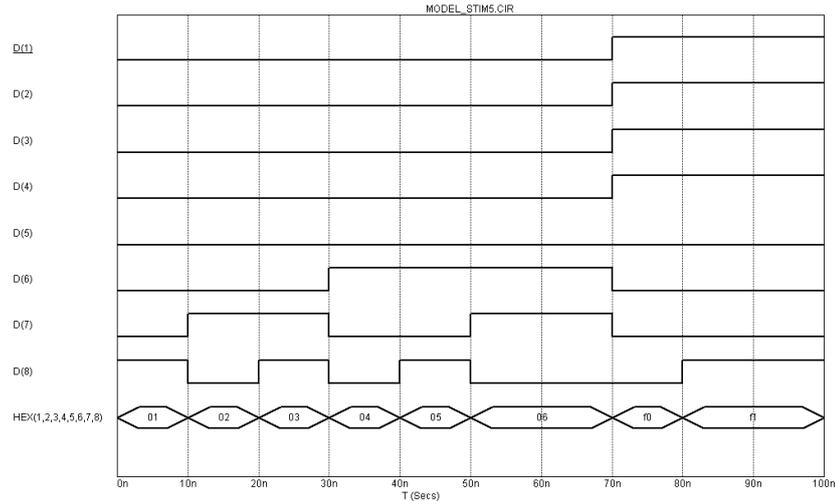


図23-7 例5のスティミュラス波形

このSTIMは8つの出力を生成します。シーケンスは動作点中に8出力が16進00に設定されて始まります。0nsで出力は01で増分され、00から01になります。10nsでGOTO-UNTILがチェックされ、真であることがわかります。制御はLABEL = beginの次のINCR文に移り、ここで出力は02に増分されます。T = 50nsで出力は05に達し、GOTO-UNTILテストは実行をINCRコマンドに戻します。このコマンドはT = 50nsで出力を06に増分します。T = 60nsで出力は06で、GOTO-UNTILテストが失敗します。実行は「+ 10NS F0」コマンドに進み、T = 70nsとなります。出力はF0となり、実行は「+ 10NS F1」コマンドに進み、T = 80nsとなります。出力はF1となり、STIMプログラムが終了します。以後の出力はF1のままになります。

ファイルスティミュラスデバイス

ファイルスティミュラスデバイスにより、テキストファイルからデジタル波形をインポートすることができます。このデバイスにより、デジタル波形を他のシミュレータやMicro-Cap出力ファイルからインポートできます。

ファイルスティミュラス入力ファイル形式

ファイルスティミュラスデバイスは、次の形式でファイルを読み込みます。

<Header>
複数空白行
<Transition tables>

<Header>
これは下記のもので構成されます。
[TIMESCALE =<time scale value>]
[<first signal name>...<last signal name>]
OCT (<signal name bit 3>...<signal name of lsb>) ...
HEX (<signal name bit 4>...<signal name of lsb>) ...

<Header>には、省略可能な行[TIMESCALE =<value>]と信号名からなる1行のリストがあります。信号名はスペース、コンマ、タブで区切ることができます。行は継続記号「+」で続けることはできません。信号は最高256まで含むことができます。信号名は<Transition tables>の信号値と同じ順に関連付けられます。

オプションの基数関数OCT (<sig 1>、<sig2>、<sig3>)により、遷移表のセグメントを8進値として宣言することができます。表の8進値の各桁が3つのバイナリ値に復号され、3つの信号名に割り当てられます。関数は引数として正確に3つの信号名を持つ必要があります。関数は遷移表の各行のうち、8進の1桁を消費します。

オプションの基数関数HEX (<sig 1>、<sig2>、<sig3>、<sig4>)により、遷移表のセグメントを16進値として宣言することができます。表の16進値の各桁が4つのバイナリ値に復号され、4つの信号名に割り当てられます。関数は引数として正確に4つの信号名を持つ必要があります。関数は遷移表の各行のうち、16進の1桁を消費します。

信号名は、関数HEXやOCTを使用しない場合、バイナリ形式だと仮定されます。バイナリ形式の信号名のそれぞれは、遷移表のうち2進の1桁を消費します。

物理的な出力の数の合計は下記の通りです。

$$\text{出力の数} = 2\text{進の信号数} + 3 \cdot 8\text{進の信号数} + 4 \cdot 16\text{進の信号数}$$

遷移表の状態部分の桁数の合計は下記のようになります。

$$\text{桁数} = 2\text{進の信号の数} + \text{OCT文の数} + \text{HEX文の数}$$

<Translation tables>

遷移表の形式は、以下の通りです。

<time> <state value>*

<Transition tables> は、ヘッダ後の最初の非空白行から始まります。各行には、遷移時間<time>、続けてスペースまたはタブ、1つ以上の<state values>があります。

<time>

<time>は常に整数で表現します。ここには絶対値を指定するか、前に「+」をつけて前回の時間に対する相対値として指定します。<time>は<time scale value>で乗算されて実際の遷移時間となります。

<value>

<value>の各桁は、2進の信号では1つの状態、各OCTセットでは3つの状態、各HEXグループでは4つの状態を提供します。各桁は表から取り出されて、左から右に同じ順番で信号名に割り当てられます。有効な桁のリストを次に示します。

	2進	8進	16進
論理状態	0, 1	0-7	0-F
不明	X	X	X
高インピーダンス	Z	Z	Z
立ち上がり	R	R	無
立ち下り	F	F	無

表23-21 ファイルステイミュラスデバイスの桁コード

遷移表の例

TIMESTEP = 1NS

A B C D HEX (A4, A3, A2, A1) OCT (D3, D2, D1)

0 0000F3 ; 遷移時間= 0
1 000104 ; 遷移時間= 1NS
+ 2 001015 ; 遷移時間= 3NS (1NS + 2NS)
5 001126 ; 遷移時間= 5NS

SPICEでの書式

U <name> FSTIM (<# of outputs>)
+<digital power node> <digital ground node>
+ <node>*
+<I/O model name>
+ FILE =<stimulus file name>
+[IO_LEVEL =<interface subckt select value>]
+[SIGNAMES =<signal names from stimulus file>]

回路図での書式

PART属性

<name>

例

FS1

I/O MODEL属性

<I/O model name>

例

IO_STD

FILE属性

<file_name>

例

MYFILE.STM

REPEAT属性

<count>

例

1

IO_LEVEL属性

<interface subckt select value>

例

0

SIGNAMES属性

<signal names from stimulus file>

例

LCEAR PRESET Q QB

POWER NODE属性

<digital power node>

例

\$G_DPWR

GROUND NODE属性

<digital ground node>

例

\$G_DGND

定義

<# of outputs>

SPICEファイルでは、信号または出力ノードの数を指定します。回路図コンポーネントでは、この値はそのコンポーネントが最初にコンポーネントライブラリに入力されたときに決定されます。コンポーネントライブラリメニューのFSTIMデバイスを指定した時点でこの情報は供給されています。

<digital power node> <digital ground node>

これらのノードはI/O回路が使用します。

<node>*

SPICEコンポーネントでは、出力ノードのノード名を定義します。回路図コンポーネントでは、データは出力ノード番号やノード名から自動的に取得されます。ノード名は出力ノードにグリッドテキストをおいて定義します。このリストの名前の数は<# of outputs>と等しい必要があります。

<I/O model name>

この名前アナログノードとデジタルノードが接続されたときに使用する電氣的インタフェースを指定するI/Oモデル文を参照します。出力ピンが別のデジタル出力ピンに接続されたときの信号強度を決定するDRVHおよびDRVLインピーダンスを指定します。

<file name>

これはステイミュラスファイルの名前です。テキストストリングを二重引用符で囲みます。引用符は、このデバイスを回路図で使用する場合は必要ありません。

<count>

これは出力で波形が発生する回数です。1の値は波形を1回発生させます。

<interface subcircuit select value>

これはI/Oモデル規定値の中で指定された4つのインタフェース回路のいずれかを選択します。これらの回路はデジタル/アナログインタフェースで使用します。

<signal names from stimulus file>

ステイミュラスファイルの<Header>から、1つ以上の信号名を選択します。これは、出力ノード<node>*の1つで使用します。ステイミュラスファイルの信号は、位置的に対応する<node>を駆動するように割り当てられます。信号名が指定されていない場合、プログラムは出力ノード名<node>*に適合する信号名をステイミュラスファイルから探します。このコマンドは、SPICEファイルのコンポーネント指定における最後のコマンドでなければなりません。

例1

```
U1 FSTIM (3) $G_DPWR $G_GND
+ A B C
+ IO_FS
+ FILE = "PATTERN.STM"
```

例1では、SIGNAMESコマンドがないため、ステイミュラスファイル PATTERN.STMは、<Header>に信号名A、B、Cがある必要があります。信号A、B、CがFSTIMの出力ピンA、B、Cに割り当てられます。

例2

```
U2 FSTIM (3) $G_DPWR $G_GND
+ A B C
+ IO_FS
+ FILE = "PATTERN.STM"
+ SIGNAMES = X Y Z
```

例2では、SIGNAMESコマンドがあるため、ステイミュラスファイル PATTERN.STMは、<Header>に信号名X、Y、Zが必要です。信号X、Y、ZがFSTIMの出力A、B、Cに割り当てられます。

例3

```
U3 FSTIM (4) $G_DPWR $G_GND
+ TOM RAY CAR TALK
+ IO_FS
+ FILE = "PATTERN.STM"
+ SIGNAMES = CLIK CLAK
```

ステイミュラスファイルPATTERN.STMには、信号名CLIK、CLAK、CAR、TALKが必要です。信号CLIKとCLAKは、FSTIM出力のTOMとRAYにそれぞれ割り当てられます。信号CARとTALKは、FSTIM出力のCARとTALKにそれぞれ割り当てられます。

サンプル回路FSTIM8で、ファイルステイミュラスデバイスの使用方法を説明しております。

I/Oモデル

I/Oモデルはデバイスと一緒にOR接続されたときの出力強度を決定したり、デジタル部品がアナログ部品に接続されたときにインタフェース回路を生成したりするのに必要な情報を提供します。

I/Oモデルは、設計や製造に用いるIC技術や回路テクニックに共通な電気的情報を捕捉します。したがって通常のデジタルファミリはI/Oモデルを4~5つだけ持ちます。同じデジタルファミリ内のI/Oモデル同士の違いは、例えばオープンコレクタ出力とSchmittトリガ入力のように、入力・出力で使用される回路の違いを考慮するためです。

I/Oモデルの書式

.MODEL <I/O model name> UIO ([model parameters])

パラメータ	内容	単位	規定値
INLD	入力負荷容量	ファラッド	0
OUTLD	出力負荷容量	ファラッド	0
DRVH	出力ハイレベル抵抗	オーム	50
DRVL	出力ローレベル抵抗	オーム	50
DRVZ	出力Z状態抵抗	オーム	250K
INR	入力漏洩抵抗	オーム	30K
TSTOREMN	電荷蓄積ノードの最小蓄積時間	秒	1E-3
AtoD1	レベル1のAtoDインタフェース回路		AtoDDefault
DtoA1	レベル1のDtoAインタフェース回路		DtoADefault
AtoD2	レベル2のAtoDインタフェース回路		AtoDDefault
DtoD2	レベル2のDtoAインタフェース回路		DtoADefault

表23-22 I/Oモデルパラメータ

パラメータ	内容	単位	規定値
AtoD3	レベル3のAtoDインタフェース回路		AtoDDefault
DtoA3	レベル3のDtoAインタフェース回路		DtoADefault
AtoD4	レベル4のAtoDインタフェース回路		AtoDDefault
DtoA4	レベル4のDtoAインタフェース回路		DtoADefault
TSWLH1	DtoA1のL→Hの切り換え時間	秒	0
TSWLH2	DtoA2のL→Hの切り換え時間	秒	0
TSWLH3	DtoA3のL→Hの切り換え時間	秒	0
TSWLH4	DtoA4のL→Hの切り換え時間	秒	0
TSWHL1	DtoA1のH→Lの切り換え時間	秒	0
TSWHL2	DtoA2のH→Lの切り換え時間	秒	0
TSWHL3	DtoA3のH→Lの切り換え時間	秒	0
TSWHL4	DtoA4のH→Lの切り換え時間	秒	0
TPWRT	パルス幅拒絶しきい値	秒	Prop delay
DIGPOWER	電源サブサーキット名		DIGIFPWR

表23-22 I/Oモデルパラメータ（続き）

INLDとOUTLDは、オプションの負荷遅延を計算するために使用されます。高いファンアウトによりノードに生じる過度の容量負荷を説明するために、この値はデバイスを通過する際の伝播遅延を高めめます。ファンアウトとは、デバイスの出力に接続されたゲート入力の数です。

DRVHとDRVLは、ハイ状態およびロー状態のインピーダンスで、出力強度を決定するために使用されます。強度はデジタル出力ピン同士が接続されているときに、出力状態を解決するために使用されます。

DRVZ、INR、TSTOREMNは、どのノードを電荷蓄積ネットとして扱うか決定するために使用されます。電荷蓄積ネットは現在のバージョンでは利用できません。

AtoD1～AtoD4、DtoA1～DtoA4は、インタフェース回路の名前を指定します。ステイミュラス信号源には入力がないため、INLDとAtoDは適用されません。詳細は「アナログ/デジタルインタフェース」のセクションを参照ください。

切り換え時間TSWLH1～TSWLH4、TSWHL1～TSWHL4は、アナログデバイスに接続された出力におけるデジタルデバイスの伝播遅延を差し引きます。これはDtoAインタフェース回路が切り替わるのに要する時間を補正することを目的とします。このように補正することにより、DtoAインタフェースの反対側におけるアナログ信号はデジタルデバイスが実際に指定通りに遅延している時にちょうど切り替えレベルに達します。これらの切り換え遅延の値は、デジタル出力ピンに公称負荷を与えて切り替え時間を測定することにより決定されます。切り換え時間が指定遅延時間よりも長い場合、遅延ゼロが使用されます。これらのパラメータは、アナログノードがデジタル出力ピンに接続されているときにのみ使用されます。

DIGPOWERパラメータは、AtoD/DtoAインタフェースが必要な場合に使用する電源サブサーキットの名前を指定します。規定値はDIGIFPWRです。この電源サブサーキットはDIGO.LIBにあります。これはTTL回路については標準の回路です。

現在のバージョンにはTPWRTパラメータがないことに注意してください。これはパラメータとして許容されますが、処理は行われません。

デジタル/アナログインタフェースデバイス

デジタルノードとアナログノードが回路内で一緒に接続されている場合、システムはこの接続を遮断して、2つの部分の間にI/Oモデルで指定されたインタフェース回路を挿入します。これらのインタフェース回路には、抵抗、コンデンサ、ダイオード、トランジスタなどのアナログデバイスが入っています。またアナログ-デジタルまたはデジタル-アナログインタフェースデバイスのいずれかも入っています。これらのデバイスは、アナログ回路とデジタル回路の間で基本的変換機能を提供します。

デジタル入力デバイス (Nデバイス)

デジタル出力ノードがアナログノードに接続されている場合、インタフェース回路はNデバイスを必要とします。この機能はデジタルレベルをアナログの電圧とインピーダンスに変換し、アナログノードを駆動します。

SPICEでの書式

```
N <name> <interface node> <low level node> <high level node>  
+<model name>  
+ DGTLNET =<digital node name>  
+<I/O model name>  
+[IS =<initial state>]
```

回路図での書式

PART属性
<name>

例
FS1

MODEL属性
<model name>

例
D0_AD

I/O MODEL属性
<I/O model name>

例
IO_STD

IS属性

<initial state>

例

1

モデルの書式

.MODEL <model name> DINPUT ([model parameters])

パラメータ	内容	単位	規定値
CLO	ローレベルノードへの容量	ファラッド	0
CHI	ハイレベルノードへの容量	ファラッド	0
S0NAME	状態'0':略字		
S0TSW	状態'0':切り換え時間	秒	
S0RLO	状態'0': ローレベルノードへの抵抗	オーム	
S0RHI	状態'0': ハイレベルノードへの抵抗	オーム	
S1NAME	状態'1':略字		
S1TSW	状態'1':切り換え時間	秒	
S1RLO	状態'1': ローレベルノードへの抵抗	オーム	
S1RHI	状態'1': ハイレベルノードへの抵抗	オーム	
.	.		
.	.		
.	.		
S19NAME	状態'19':略字	オーム	
S19TSW	状態'19':切り換え時間	秒	
S19RLO	状態'19': ローレベルノードへの抵抗	オーム	
S19RHI	状態'19': ハイレベルノードへの抵抗	オーム	

表23-23 Nデバイスモデルパラメータ

デジタルデバイスの出力がアナログノードに接続されると、Micro-Capは自動的にこの接続を遮断して、I/Oモデルで指定されたDtoA回路を挿入します。この回路は必ずNデバイスを使用します。Nデバイスの機能は、デジタル状態をアナログ側におけるインピーダンス変化に変換することです。この過程は、本章の「アナログ/デジタルインタフェース」のセクションで詳しく説明します。

Nデバイスの等価回路を次に示します。

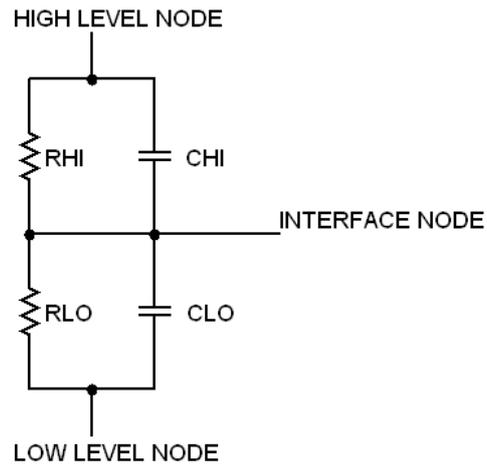


図23-8 Nデバイスの等価回路

Nデバイスには、2つの抵抗と2つの省略可能なコンデンサがあります。抵抗の値は、デジタル入力の変化に応じて変わります。SPICEファイルでは、デジタル入力ノードは<digital node name>で指定されます。回路図では、デジタル入力ノードは単純にNデバイスのデジタルピンのノードになります。デジタル入力ノードが「0」から「1」に変化すると、RHIの値は「0」状態ハイ抵抗から「1」状態ハイ抵抗へ、リニアに時間変化します。同様に、RLOの値は「0」状態ロー抵抗から「1」状態ロー抵抗へ、リニアに時間変化します。

古い抵抗値から新しい抵抗値への遷移は、新しい状態についてDINPUTモデルで指定されている切り換え時間でリニアに行われます。出力電圧はこの切り換え時間中に以前のレベルから新しいレベルに変化します。2つの抵抗の値が同時に変化するので、出力曲線は指数曲線にいくらか似たものとなります。各状態の抵抗の遷移値はDINPUTモデルから取得します。

通常、<*high level node*>と<*low level node*>は、最高および最低の論理レベルに対応する電圧源に接続されます。この接続は通常、I/Oモデル内で要求された特定のDtoAインタフェース回路内で行います。

デジタル入力は、状態{0, 1, R, F, X, Z}のいずれかです。その他の状態が入力された場合、Nデバイスはエラーメッセージを生成します。

Nデバイスのデジタル入力の初期状態は、最初の動作点計算中に決定されます。この値をオーバーライドするには、次のISコマンドを使用します。

IS =<*initial state*>

デジタル入力はT = tminにおいて<*initial state*>に設定されます。これは、ノードを駆動するデバイスによって状態が変化するまで維持されます。

デジタル出力デバイス（Oデバイス）

デジタル入力ノードがアナログノードに接続されると、A/Dインタフェース回路がOデバイスを必要とします。Oデバイスの機能は、アナログ電圧をデジタルノードのデジタルレベルに変換することです。

SPICEでの書式

```
O <name> <interface node> <reference node>  
+<model name>  
+ DGTLNET =<digital node name>  
+<I/O model name>
```

回路図での書式

PART属性

<name>

例

FS1

MODEL属性

<model name>

例

D_AD

I/O MODEL属性

<I/O model name>

例

IO_STD

デジタルデバイスの入力アナログノードに接続されると、システムは自動的にこの接続を遮断して、I/Oモデルで指定されたAtoD回路を挿入します。AtoD回路は常にOデバイスを使用します。Oデバイスの機能は、アナログ側のアナログ電圧をデジタル側のデジタル状態に変換することです。正確なプロセスは本章の「アナログ/デジタルインタフェース」のセクションで詳しく説明します。

モデルの書式

```
.MODEL <model name> DOUTPUT ([model parameters])
```

パラメータ	内容	単位	規定値
RLOAD	出力抵抗	オーム	1/Gmin
CLOAD	ハイレベルノードへの出力容量	ファラッド	0
S0NAME	状態'0':略字		
S0VLO	状態'0':ローレベル電圧	V	
S0VHI	状態'0':ハイレベル電圧	V	
S1NAME	状態'1':略字		
S1VLO	状態'1':ローレベル電圧	V	
S1VHI	状態'1':ハイレベル電圧	V	
.	.		
.	.		
.	.		
S19NAME	状態'19':略字		
S19VLO	状態'19':ローレベル電圧	V	
S19VHI	状態'19':ハイレベル電圧	V	
SXNAME	電圧がすべての状態範囲の外にあるとき使用される状態		

表23-24 Oデバイスモデルパラメータ

Oデバイスの等価回路を次に示します。

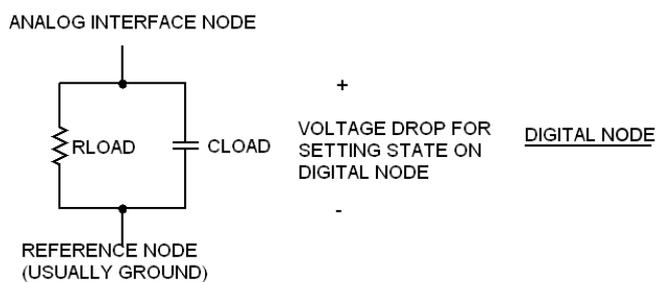


図23-9 Oデバイス等価回路

Oデバイスには、並列の抵抗RLOADとコンデンサCLOADがあります。これらはアナログの<interface node>と、<reference node>（通常はアナログ接地）の間に接続されています。これらにかかるアナログ電圧が、Oデバイスによりモニターされます。Oデバイスのデジタル出力状態をNとすると、並列RCネットワーク間の実際の電圧は「状態Nローレベル電圧」と「状態Nハイレベル電圧」のブラケット内にあります。どのブラケットが電圧レベルを含むか決定する際には、プログレッシブ検索が行われます。この検索は、現在の状態のブラケットから開始されます。電圧が状態範囲外るとき、次に高いブラケットが検索されます。検索が状態19で失敗すると、状態0がチェックされます。状態0で失敗すると、次に高い状態が検索されます。モデル全体を検索しても成功しない場合、定義されていればSXNAMEが使用されます。定義されていないときには、もっとも近い電圧を持つ状態を使用します。

この検索アルゴリズムにより、ヒステリシスループを簡単に生成することが可能です。次のモデル文について考えます。

```
S0NAME = '0' SOVLO = -1.5 SOVHI = 1.7
S1NAME = '1' S1VLO = 0.9 S1VHI = 7.0
```

電圧は0.0で始まるものとし、デジタルレベルは「0」です。電圧が上昇するとき、「0」状態を抜けるためには「SOVHI = 1.7」を超える必要があります。この値を超えると「1」状態に進みます。電圧が下降するとき、「0」状態に進むためには、「S1VLO = 0.9」未満まで下降する必要があります。これにより、ヒステリシス値SOVHI-S1VLO = 1.7 - 0.9 = 0.8ボルトが得られます。同様のヒステリシス値をほかの状態にも設定することができます。

モデル文で使用する状態の文字は以下の集合から選択する必要があります。

0、1、R、F、X、Z

「Z」状態は、レベル情報を含まず、インピーダンスレベルに関する文にすぎないため、通常は使用しません。その他の文字の場合、エラーメッセージが生成されてシミュレーションが停止します。

本章の内容

本章では、Micro-Capにある各種のライブラリを説明します。これらを作成、編集、使用方法を説明します。

本章では以下の各ライブラリを説明します。

- シェイプライブラリ
- パッケージライブラリ
- コンポーネントライブラリ
- モデルライブラリ

シェイプライブラリ

シェイプライブラリには、回路図中でコンポーネントを表すのに使用するグラフィカルな形状が入っています。各シェイプは、1つまたは複数のグラフィカルな基本要素あるいは他のシェイプから構成されています。シェイプの作成・編集・保守はシェイプエディタで行います。オリジナルの標準のシェイプライブラリが格納されるファイルは、**STANDARD.SHP**と呼ばれます。このファイルは、**Micro-Cap**のインストール時に、**Micro-Cap.EXE**と同じディレクトリに置かれますが、シェイプエディタによって場所を変更することもできます。ファイルが読み出し専用のディレクトリにあり、ユーザが書き込みの権限を持っていない場合、編集コマンドはすべてロックされます。これにより、すべてのユーザがLANにより、安全にライブラリにアクセスできますが、書き込みの権限を有する人しかファイルを変更できません。

複数のシェイプライブラリを持つことが可能です。複数のライブラリをシェイプエディタで保守・表示できますが、オリジナルのシェイプライブラリ**STANDARD.SHP**は、変更せずに元の状態のままにしておくことをお勧めします。ユーザが作成した補助ライブラリに新しいシェイプを追加できます。この方法により、プログラムを再インストールしたり更新しても、**STANDARD.SHP**ライブラリファイルを安全にコピーでき、ユーザが更新版を利用できます。

パッケージライブラリ

パッケージライブラリには、ピンやパッケージの情報が格納されます。これらの情報は、外部PCBパッケージとインタフェースするためのネットリストファイルを作成するのに必要です。PCBネットリストファイルに含まれる各コンポーネントについて、パッケージライブラリ内にエントリが必要です。これらのエントリは、パッケージエディタによって作成・編集・保守されます。**Micro-Cap**同梱のオリジナルのパッケージライブラリを保持するファイルは、**STANDARD.PKG**と呼ばれます。

ファイルが読み出し専用のディレクトリにあり、ユーザが書き込みの権限を持っていない場合、編集コマンドはすべてロックされます。これにより、すべてのユーザがLANにより安全にライブラリにアクセスできますが、書き込みの権限を有する人しかファイルを変更できません。

コンポーネントライブラリ

コンポーネントライブラリは、Micro-Capの回路図で使用される回路部品を提供します。部品に関する次の情報が格納されます。

- ・各コンポーネントの名前 (2N2222A等)
- ・そのシェイプグループ (メイン、ユーロ、極性等)
- ・そのシェイプ名 (NPN等)
- ・電氣的定義 (NPN等)
- ・コンポーネント属性テキスト配置 (部品名を表示する場所等)
- ・ピン名およびテキスト配置 (コレクタ、ベース、エミッタピン名を表示する場所等)
- ・コスト属性 (0.15等)
- ・電力属性 (500mW等)
- ・パレットフィールド (my_comps等)
- ・メモフィールド (NPN汎用トランジスタ30V、0.8A等)
- ・リンクフィールド (<http://www.linear.com/products/LT3481>等)

これらのエンタリは、回路図の情報を提供するものであって、電氣的なモデル化の情報を直接提供するものではありません。部品名はマクロファイル名やサブサーキット名を表すので、そのような情報はマクロとサブサーキットが間接的に提供し、間接的に電氣的な挙動を支配することになります。

リンクフィールドは部品へのリファレンスを表示するのに便利な場所で、恐らくはデータシートやアプリケーションノートを提供します。規定のリンクは、部品名 + 「データシート」のグーグル検索をするように設定されています。例えば、2N2608JFETは以下の検索ストリングを有します。

“2N2608”+“data sheet”

抵抗器からマクロやSPICEサブサーキットまで、すべてのコンポーネントは、コンポーネントライブラリから選択されます。複数のコンポーネントファイルを持つことができます。コンポーネントファイルはすべて拡張子CMPを使用します。

Micro-Cap同梱のオリジナルのコンポーネントライブラリを保持するファイルは、STANDARD.CMPと呼ばれます。このファイルは、オリジナルのMicro-Capのインストール時に、Micro-Cap.EXEと同じディレクトリに置かれますが、コンポーネントエディタによって場所を変更することもできます。ファイルが読み出し専用のディレクトリにあり、ユーザが書き込みの権限を持っていない場合、編集コマンドはすべてロックされます。これにより、すべてのユーザがLANにより、安全にライブラリにアクセスできますが、書き込みの権限を有する人間しかファイルを変更できません。

ライブラリ自体は、階層的に構成されており、次のグループがあります。

- アナログ基本部品
- アナログライブラリ
- デジタル基本部品
- デジタルライブラリ
- アニメーション
- インポート (少なくとも1コンポーネントがインポートされた場合に表示)
- フィルタ (ユーザによりフィルタマクロが作成されている場合に表示)
- マクロ (編集/ボックス/マクロの作成コマンドによりマクロ回路が作成されている場合に表示)
- サブサーキット (ファイル/翻訳/サブサーキットの作成コマンドにより回路がサブサーキットに翻訳されている場合に表示)

アナログ・デジタル基本部品セクション内のコンポーネントには、モデル名または抵抗器のような単純なコンポーネントには値が必要です。これらは「独自に作る」部品です。アナログ・デジタルライブラリセクション内のコンポーネントではモデル名は必要ありません。ユーザは希望の部品名を選択するだけです。これらの部品により、モデル名やサブサーキット名が自動的に部品名と等しく扱われます。部品名を選択すると、電気的モデリング情報にアクセスするために使用されるモデル名、サブサーキット名、マクロ名も選択することになります。

アナログライブラリやデジタルライブラリの部品が使用するモデル文やサブサーキットは、すでにモデルライブラリ内で利用可能です。これらは、各回路に暗黙に含まれているデフォルトの文「*LIB NOM.LIB*」によりアクセスされます。

コンポーネントライブラリは複数使用することができます。複数のライブラリをコンポーネントエディタで保守・マージ・表示できますが、オリジナルのコンポーネントライブラリ *STANDARD.CMP* は変更せずに元の状態のままにしておくことをお勧めします。

部品に追加ウィザードを使用して新しい部品をコンポーネントライブラリに追加します。4章「コンポーネントエディタ」を参照してください。

モデルライブラリ

モデルライブラリは、任意の解析・シミュレーションに必要な、電氣的モデリング情報を提供します。Micro-Capのモデルライブラリは、LIBRARYパスまたはフォルダ内にあるインデックスファイルNOM.LIBにリストされたファイル群に入っています。NOM.LIB内にリストされているファイルを調べると、モデルには次の4種類の形式があることがわかります。

モデルパラメータリスト: 部品の名前・タイプ・モデルパラメータのリストです。リストは拡張子LBRのバイナリファイルに格納されます。LBRファイルは、モデルエディタでのみ表示・編集することができます。アナログライブラリ部品のいくつかはこの形式で格納されます。ベンダが提供するほとんどのモデルは、拡張子がLIBのテキストファイルに格納されたサブサーキットです。

モデル文: これらは従来からあるSPICEの.MODEL文です。部品の名前・タイプ・モデルパラメータを保持しています。MODEL文は、拡張子LIBのテキストファイルに格納されています。

サブサーキット: 従来からあるSPICEのサブサーキットです。部品の等価回路を記述します。サブサーキットは拡張子LIBのテキストファイルに格納されます。デジタルライブラリはすべてサブサーキットで実装されています。

Macros: 従来からあるMC10のマクロで、部品の等価回路を記述します。一般のマクロは、拡張子CIRまたはMACの回路図ファイルに格納されます。特定の部品モデルを実装する特定のマクロコールは、拡張子LIBのテキストファイルにマクロコールとして格納されます。アナログライブラリの部品の一部は、この形式で実装されています。

これらの基本形式のうち、最も一般的なのは、モデル文とサブサーキットです。

Micro-Capでは、それぞれのモデルライブラリファイルについてインデックスファイルを作成し、モデルライブラリファイル内のモデルにすばやくアクセスできるようにします。これらのインデックスファイルは、モデルファイル自体と同じ場所に書かれます。モデルライブラリファイルが読み出し専用の場所（パブリックなLAN上のフォルダ等）にある場合には、インデックスはMicro-Capフォルダ内のプライベートなフォルダに書き込まれます。

モデルはどのようにアクセスされるのか

解析を選択すると、Micro-Capは回路のモデルを必要とする部品すべてに関して、電氣的モデリング情報をアクセスします。これはどのように行われるのでしょうか。Micro-Capはモデリング情報（モデルパラメータリスト、モデル文、サブサーキット、マクロ文）を探す際に、次の順番で検索します。

回路内のローカル検索

- ・回路が回路図の場合
 - ・グリッドテキスト/テキスト領域
 - ・File属性で挙げられたファイル（File属性がある場合）
 - ・「.LIB filename」文で挙げられたファイル
 - ・規定値の「.LIB NOM.LIB」文で挙げられたファイル
- ・回路がSPICEテキストファイルの場合
 - ・回路記述テキスト
 - ・「.LIB filename」文で挙げられたファイル
 - ・規定値の「.LIB NOM.LIB」文で挙げられたファイル

ライブラリパス内のグローバル検索

検索はこの順序で行われます。

- 1) .PATH LIBRARYコマンドで得られる回路内の任意のパス。
- 2) ファイルメニュー/パス/ライブラリをモデル化し、ファイルを含むからの任意のパス。

複数のパスが指定されている場合、左から右の順番で検索します。例えば、次のパスを考えます。

C:¥Micro-Cap¥LIBRARY; D:¥OTHER ; E:¥ELSEWHERE

この例では、検索はC:¥Micro-Cap¥LIBRARYから開始し、D:¥OTHERへと進みます。最後にE:¥ELSEWHEREが検索されます。

本章の内容

数式は、ある種のコンポーネントのパラメータに使用されたり、シミュレーション結果のプロット時に使用されたりします。数式をきちんと理解しておくことは、Micro-Capを活用するのに不可欠です。本章では以下の内容を取り上げます。

- ・数式とは何か
- ・数値
- ・定数
- ・変数
- ・コンポーネント変数
- ・サブサーキットとマクロの変数
- ・モデル変数
- ・変数の例
- ・数学演算子と関数
- ・数式の例
- ・演算子および変数の使用規則

MC10の新しい機能

- ・ **AGAUSS、GAUSS、UNIFおよびAUNIF関数**：これらの関数はモンテカルロ分布を指定するもので、HSPICEユーザへのサポートとして追加されました。
- ・ **Int演算子**：INT演算子が追加されました。INT(2.7) = 2
- ・ **Nint演算子**：NINT演算子が追加されました。NINT(2.7) = 3
- ・ **Harm関数**：HARMN関数が追加されました。出力はHARM関数と同じですが、1次高調波の値に標準化されています。

数式とは何か

数式とはユーザが入力するテキスト文字列で、数値、定数、変数、演算子があります。印刷またはプロットすべきすべての曲線は解析リミットダイアログボックスで数式を用いて定義されます。抵抗、コンデンサ、インダクタ、ラプラス信号源、関数信号源の数値的ふるまいは、数式で定義されます。

数式中では大文字小文字の区別はないため、RLOADはRloadと同じ変数になります。数式の値は、数式を構成する変数が1つでも変化すると更新されます。

典型的な数式をいくつか示します。

10.0
V(10)
V(OUT)*I(L1)
VCE(Q1)*IC(Q1)

数値

数字は以下の幾つかの書式のどれかで表します。

- ・ 実数:
1.0、6.7
- ・ 浮動小数点数: 標準科学表記法を用います。
1.87E-12, 23E3
- ・ 工学表記法
2.7K, 12pF, 10.5ma, 1MEGhz
- ・ 国際工学表記法
0R1=0.1
2K3=2300
3m3=3.3E-3
34u56H=34.56E-6
42n5=42.56E-9

この表記法では標準工学短縮語を使用します。単位の文字 (F、a、Hz) はオプションです。数字と文字の間にスペースを入れることはできません。

短縮語	名称	値
F	フェムト	1E-15
P	ピコ	1E-12
N	ナノ	1E-9
U	マイクロ	1E-6
M*	ミリ	1E-3
K	キロ	1E3
MEG*	メガ	1E6
G	ギガ	1E9
T	テラ	1E12

*スペースを節約するため、Micro-Cap のグラフの X および Y スケールでは、小文字の m で「ミリ」大文字の M で「メガ」を表します。

記号変数

次のようなコマンド文でローカル変数を定義できます。

```
.DEFINE GAMMA.15
```

または、次のような文でグローバル変数を定義できます。

```
.PARAM CNODE=.08pF
```

ローカル変数はそれらが定義された回路レベルでのみ有効です。グローバル変数はそれらが作成されたレベル以下のすべてのマクロ/サブサーキットで有効となります。これらのコマンドはグリッドテキストとして回路図に、ノーマルテキストとしてテキストページの1つに表示されます。

記号変数は、モデル文のパラメータ値に利用することができます。数値が期待されるほとんどの場所では、記号変数が数値に優先します。これにより、コンポーネントの値を「パラメータ化」して容易に変更できます。記号変数はまたスライダに割り当てることができ、スライダがその値を「調整」できます。

`.param`で作成された記号変数はステップまたは最適化できます。`.define`で作成された記号変数はステップ、許容値化、最適化が可能です。

配列変数

配列変数は、実数または複素の値となるその値が配列の要素を選択するインデックスによってアクセスされることを除き、記号変数と似ていません。

一次元配列構文

V値が実数または複素である場合、`.ARRAY arrayname V1[,V2[,V3...[,Vn]...]`。列には少なくとも1つの要素(V1)があることに注意してください。

実数の一次元配列をつぎのように定義できます。

```
.ARRAY RVAL50,100,150
```

値にアクセスするには、通常、次のように作成されるインデックスが必要です。

```
.DEFINE IND 1
```

インデックス名は、予約名以外の任意の名前をつけることができます。次のように配列の内容にアクセスできます。

`RV(IND)`

例えば、抵抗器のRESISTANCE属性をRV(IND)に設定し、抵抗器の値は、INDが設定されるRV配列の要素を取ります。INDがdefine文で1に設定された場合、抵抗値は100となります。INDが0、1、2の値とステップ変更されると、抵抗値はそれぞれ50、100、150となります。

N+1のサイズの一次元配列は、0、1、2、...Nの位置の値を有することに注意してください。

二次元配列構文

```
.ARRAY arrayname (m, n)
```

```
{v11,v12, ...v1n}
```

```
{v21,v22, ...v2n}
```

```
{v31,v32, ...v3n}
```

```
...
```

```
{vm1,vm2,...vmn}
```

以下は3つの複素数値の2行を有する二次元配列です。

```
.ARRAY RV (2,3)
{1+2*j,2+3*j,4+6*j}
{5+2*j,3+7*j,4+2*j}
```

これらの定義では、RV(I)(J)は行Iから列Jにアクセスします。RV(1,2)は要素4+2*jにアクセスします。要素は0で始まることを覚えているでしょう。従って、J=2はI=1または第二行のJ=2は第三要素にアクセスします。

三次元配列構文

```
.ARRAY RV arrayname (m,n,p)
{
  {v111,v121,...v1n1}
  {v221,v231,...v2n1}
  {v311,v321,...v3n1}
  ...
  {vm11,vm21,...vnm1}
},
{
  {v112,v122,...v1n2}
  {v222,v232,...v2n2}
  {v312,v322,...v3n2}
  ...
  {vm12,vm22,...vnm2}
},
...
...
{
  {v11p,v12p,...v1np}
  {v22p,v23p,...v2np}
  {v31p,v32p,...v3np}
  ...
  {vm1p,vm2p,...vmp}
}
```

最初と最後の次元を除いてすべての次元に中括弧をつけます。二次元配列では、各行に括弧をつけます。三次元配列では、各行および各二次元配列に括弧をつけます。

定数と解析変数

記号	値
T	時間 (秒)
F	周波数 (Hz)
E	EXP(1) = 2.718281828459045
PI	3.141592653589793
S	複素周波数 = $2 * PI * J * F$
J	複素数に使用する虚数単位。例えば $1 + J$ 、 $10 + 23 * J$
TEMP	解析温度や規定値のデバイス温度(°C)
VT	$1.3806226e-23 * (273.15 + TEMP) / 1.6021918e-19$ $= 2.586419e-2 (TEMP = 27°C)$
CASE	モンテカルロケース番号
GMIN	接合の最小コンダクタンス
TSTART	トランジェント解析のデータ収集開始
TMAX	トランジェント解析の終了時間
DT	トランジェント解析の時間ステップ
DCINPUT1	DC解析での掃引変数1の値
DCMIN	DC解析での掃引変数1の開始値
DCMAX	DC解析での掃引変数1の終了値
FMIN	AC解析の開始周波数
FMAX	AC解析の終了周波数
INOISE	AC解析の入力ノイズ
ONoise	AC解析の出力ノイズ
ANALYSIS	=_TRANSIENT (トランジェント解析の場合) =_AC (AC解析の場合) =_DC (DC解析の場合) =_ダイナミックAC (ダイナミックAC解析の場合) =_ダイナミックDC (ダイナミックDC解析の場合) =_TF (伝達関数解析の場合) =_SENS (感度解析の場合) =_HM_DISTORTION (高調波歪み解析の場合) =_IM_DISTORTION (相互変調歪み解析の場合) 例えば数式「ANALYSIS=_AC」はAC解析ではTRUE(1.0)、他の解析ではFALSE(0.0)です。
全般設定値変数	GMIN、ABSTOL、RELTOL等、全般設定ダイログボックスの任意の数値

電力とエネルギー

電力変数とエネルギー変数は各部品および回路全体に利用できます。

電力は3グループごとに表にされます。そのグループとは信号源により生成される電力、コンデンサまたはインダクタを有する部品により蓄積される電力、抵抗要素により消費される電力です。この公式化は回路全体に対し、以下を保証します。

$$\begin{aligned} \text{生成電力} &= \text{蓄積電力} + \text{消費電力} \\ \text{生成エネルギー} &= \text{蓄積エネルギー} + \text{消費エネルギー} \end{aligned}$$

電力項はAC、DCおよびトランジェント解析で利用できます。

エネルギー項はトランジェント解析でのみ利用できます。エネルギー項は電力項をシミュレーション時間間隔に積分することで計算されます。

回路全体

- PGT 回路の信号源により生成される総電力
- PST インダクタンスおよびキャパシタンスに蓄積される総電力
- PDT 回路で消費される総電力

- EGT 回路の信号源により生成される総エネルギー
- EST インダクタンスおよびキャパシタンスに蓄積される総エネルギー
- EDT 回路で消費される総エネルギー

個別の部品

- PG(Vn) 信号源Vnにより生成される電力
- PS(Qn) デバイスQnに蓄積される電力
- PD(Dn) デバイスDnで消費される電力

- EG(Vn) 信号源Vnにより生成されるエネルギー
- ES(Qn) デバイスQnに蓄積されるエネルギー
- ED(Dn) デバイスDnで消費されるエネルギー

変数

以下において、記号AとBはノード名を示すものとします。ノード名は次のいずれかです。

1. プログラムが割り当てたノード番号。
2. テキストノード名（ノード上におかれたグリッドテキスト）

テキストノードの名前は、数字・英字・特殊文字(+,-,*,/,\$,%)・下線と、それに続く最大50の英数字からなります。

ノード名を数字だけにすることも可能ですが、お勧めできません。プログラムが割り当てたノード番号とユーザが指定した整数ノード名とが混同しやすいためです。競合がある場合Micro-Capはノード番号を優先します。そのため、ノード番号2にテキスト「1」を置いてV(1)をプロットした場合、ノード番号1の電圧が得られます。これは「1」のラベルのノードの電圧ではありません。

テキストノード名ではスペースは使用できません。

A1、Out、_721、+、-、Resetは有効なノード名です。B&&4は、英数字ではない文字「&」を使っているため無効です。T1は有効ですが、T 1はノード名にスペースを使用できないため無効です。

グローバルノードは、回路のすべての部品から全般的に利用可能なノードです。トップレベルの回路から呼び出しているマクロやサブサーキットからも利用可能です。グローバルノードには、常に先頭に\$G_が付けられます。例えば、\$G_ABCという名前のノードがあるサブサーキットを使っている場合、V(\$G_ABC)でその電圧をプロットできます。別の例では、ノード\$G_DPWRを使うデジタル部品があれば、V(\$G_DPWR)をプロットすると、規定値のTTL電源の電圧波形（5.0Vのフラットなライン）がプロットされます。

グローバル変数は.PARAMコマンドで作成され、マクロまたはサブサーキットレベルで利用できます。ローカル変数は.DEFINEコマンドで作成され、作成された回路レベルでのみ利用できます。

ワイルドカードデバイスとノード名

ワイルドカード構文は解析リミットダイアログボックスのY式フィールドで使用できます。この構文により、ユーザは多くの同じような数式のプロットをコンパクトに指定できます。括弧[]と文字@がワイルドカードとして使われます。[]は中括弧内のコンテンツの拡張を意味し、@はデバイス、@@はノードです。

ノードの例

D([@@])は全デジタルノード状態D(*all_digital_nodes*)と全アナログノード電圧V(*all_analog_nodes*)のプロット意味します。

V([@@])は全アナログノード電圧V(*all_analog_nodes*)と全デジタルノード状態D(*all_digital_nodes*)のプロットを意味します。

V([A@@])はAで始まる全ノード電圧のプロットです。

デバイスの例

V([@])は全デバイス電圧V(*all_device_names*)のプロットを意味します。

V([R@])は全デバイス電圧V(R1)、V(R2)、...V(Rall)のプロットを意味します。

V([C1,C2,C3])は電圧V(C1)、V(C2)、およびV(C3)のプロットを意味します。

V([L1:3])はデバイス電圧V(L1)、V(L2)、およびV(L3)のプロットを意味します。

V([C,B]([@]))は電圧VC(Q1)、VC(Q2)、...VB(Q1)、VB(Q2)...のプロットを意味します。

I([L@])は書式の全デバイス電流I(L1)、I(LAB)、...I(Lall)のプロットを意味します。

I([@])は全デバイス電流のプロットを意味します。

[V,C,I,Q,X]([C@,L@])は、デバイス名がCかLで始まる電圧(V)、容量(C)、電流(I)、電荷(Q)、フラックス(X)のプロットを意味します。回路がC1とC22と言う名の2つのコンデンサとL3と言う名の1つのインダクタを有する場合、プロットはV(C1)、V(C22)、C(C1)、C(C22)、I(C1)、I(C22)、Q(C1)、Q(C22)、V(L3)、I(L3)、X(L3)となります。X(C1)、X(C22) (コンデンサは通常フラックスを有さない) やC(L3) (インダクタは通常容量を有さない) やQ(L3) (インダクタは通常電荷を有さない) のような存在しない項は無視されます。寄生値を有するモデルを採用した場合、抵抗器、コンデンサおよびインダクタは抵抗、電荷、フラックスを有することに注意してください。

一般的な変数のリストをつぎに示します。

D(A)	ノードAのデジタル状態またはノードAの電圧
V(A)	ノードAの電圧またはノードAのデジタル状態
V(A, B)	ノードAの電圧 - ノードBの電圧
V(D1)	デバイスD1の電圧
I(D1)	デバイスD1の電流
I(A, B)	ノードA、Bによるデバイスの電流
IR(Q1)	デバイスQ1のR端子への電流
VRS(Q1)	デバイスQ1の端子RとSの間の電圧
CRS(Q1)	デバイスQ1の端子RとSの間の容量
QRS(Q1)	デバイスQ1の端子RとSの間の電荷
R(R1)	抵抗R1の抵抗値
C(X1)	コンデンサやダイオードX1の容量 (ファラッド)
Q(X1)	コンデンサやダイオードX1に蓄積された電荷 (クーロン)
L(L1)	インダクタL1のインダクタンス (ヘンリー)
X(L1)	インダクタL1の磁束 (ウェーバー)
B(L1)	インダクタL1のコア材料の磁束密度 (ガウス)
BSI(L1)	インダクタL1のコア材料の磁束密度 (テスラ)
H(L1)	インダクタL1のコア材料の磁場 (エルステッド)
HIS(L1)	インダクタL1のコア材料の磁場 (A/m)
T	時間
F	周波数
S	複素周波数 = $2 * \pi * F * j$
ONoise	出力ノードでのノイズ電圧
INoise	入力換算のノイズ電圧 = $Oノイズ / 利得$
EG(V1)	信号源V1によって生成されるエネルギー
ES(Q1)	デバイスQ1に蓄積されるエネルギー
ED(D1)	デバイスD1で消費されるエネルギー
PG(V1)	信号源V1によって生成される電力
PS(Q1)	デバイスQ1に蓄積される電力
PD(D1)	デバイスD1で消費される電力

上記の表でDは、任意の2端子デバイスや制御信号源を表します。Qは、すべての能動素子と伝送線路を表します。リード線の名前の略語、RとSは、次の表から選択されます。

デバイス	略語	端子名
MOSFET	D、G、S、B	Drain、Gate、Source、Bulk
JFET	D、G、S	Drain、Gate、Source
GaAsFET	D、G、S	Drain、Gate、Source
BJT	B、E、C、S	Base、Emitter、Collector、Substrate

電力項PG ()、PD ()、PS ()は、対応するAC値を参照するAC解析とダイナミックAC解析を除き、時間領域の値を参照します。

コンポーネント変数

各コンポーネントで使用できる変数のリストをつぎの表に示します。

コンポーネント変数							
コンポーネント	電圧	電流	キャパシタンス/インダクタンス	電荷/フラックス	電力/エネルギーの生成	電力/エネルギーの蓄積	電力/エネルギーの消費
信号源	V	I			PG/EG		
S/Wスイッチ	V	I					PD/ED
抵抗	V	I					PD/ED
コンデンサ	V	I	C	Q		PS/ES	
インダクタ	V	I	L	X		PS/ES	
ダイオード	V	I	C	Q		PS/ES	PD/ED
伝送線路	VAP, VAM, VBP, VBM	IAP, IAM, IBP, IBM					
BJT	VB, VC, VE, VBE, VBC, VEB, VEC, VCB, VCE	IB, IE, IC	CBE, CBC	QBE, QBC		PS/ES	PD/ED
BJT4	VB, VC, VE, VS, VBE, VBC, VBS, VEB, VES, VEC, VCB, VCE, VCS, VSB, VSE, VSC	IB, IE, IC, IS	CBE, CBC, CCS	QBE, QBC, QCS		PS/ES	PD/ED
MOSFET LEVELS 1-3	VG, VS, VD, VB, VGS, VGD, VGB, VDS, VDG, VDB, VSG, VSD, VSB, VBG, VBD, VBS	IG, IS, ID, IB	CGS, CGD, CGB, CBD, CBS	QGS, QGD, QGB, QBD, QBS		PS/ES	PD/ED
MOSFET LEVELS 4, 5, 8, 14, 44	VG, VS, VD, VB, VGS, VGD, VGB, VDS, VDG, VDB, VSG, VSD, VSB, VBG, VBD, VBS	IG, IS, ID, IB					
OPAMP	VP, VM, VOUT, VPM, VCC, VEE						
JFET	VG, VD, VS, VGS, VGD, VSG, VDG, VDS, VSD	IG, ID, IS	CGS, CGD	QGS, QGD		PS/ES	PD/ED
GaAsFET	VG, VD, VS, VGS, VGD, VSG, VSD, VDG, VDS	IG, ID, IS	CGS, CGD	QGS, QGD		PS/ES	PD/ED

単に端子を入れ替えただけの変数は、表示されていません。例えばCGSとCSG、QGSとQSGは、同じプロットを生成します。

表25-1 共通変数の構文

コンポーネント変数					
コンポーネント	抵抗	磁束	インダクタンス	磁束密度	磁場
S/Wスイッチ	R				
抵抗器	R				
インダクタ		X	L	B, BSI	H, HSI
完全な変数名には適切なデバイス名が含まれます。例えば、デバイスL1の磁束密度は、B(L1)として参照されます。					

表25-2 抵抗、磁束、インダクタンス、磁束密度/磁場の変数の構文

サブサーキットとマクロの変数

マクロまたはサブサーキット内にあるオブジェクトのノード名や部品名を使用するときは、つぎのようにドットを使って表記します。

サブサーキット名 + 「.」 + ノード名または部品名

たとえば、サブサーキットX41のノード10を参照するには、次式を使います。

X41.10

上のノードにおけるノード電圧を参照するには、次式を使います。

V(X41.10)

サブサーキットCHOPPER4内のダイオードDSTUBの電流を参照するには、次式を使います。

I(CHOPPER4.DSTUB)

サブサーキットAMP1のNPN N3のベース-エミッタ接合の電荷を参照するには、次式を使います。

QBE(AMP1.N3)

ノードや部品が、マクロやサブサーキットによって複数回ネストされる場合は、つぎのように、マクロ名やサブサーキット名を続けます。

V(X1.X2.X3.10)

これはマクロX1の中のマクロX2の中のマクロX3のノード10の電圧を指定します。

更なる例を見るには、回路SUBCKT1をロードしてトランジェント解析を実行し、Y式フィールドで右クリックして下さい。すると変数のメニューが現われ、利用可能な回路変数がすべて表示されます。これはサブサーキット変数の良い例になると思われます。

モデルパラメータ変数

下記の構文を使って、部品のモデルパラメータをプロットすることができます。

PART_NAME.MODEL_PARAMETER_NAME

いくつか例を示します。

Q1.BF	BJT Q1の順方向ベータ
M1.GAMMA	MOSFET M1のGAMMAパラメータ
J1.VTO	JFET J1のVTO

解析中にモデルパラメータは変化しないので、プロットすると直線になります。ではなぜわざわざプロットするのでしょうか。ステップングやモンテカルロにおいて、特定の実行におけるパラメータ値を確認したい場合があります。モデルパラメータ値をプロットすることにより、ステップングが意図通りの値で行われていることをすばやく確認することができます。

変数の例

以下に変数の例を示します。

T	時間[秒]
F	周波数[Hz]
D(A)	ノードAのデジタル状態またはノードAの電圧
HEX(A1, A2, A3, A4)	ノードA1、A2、A3、A4の16進値
BIN(A1, A2, A3, A4)	ノードA1、A2、A3、A4の2進値
OCT(A1, A2, A3)	ノードA1、A2、A3の8進値
DEC(A1, A2, A3, A4)	ノードA1、A2、A3、A4の10進値
V(16, 4)	ノード16の電圧-ノード4の電圧
V(A, B)	ノードAの電圧-ノードBの電圧
I(R1)	抵抗器R1を流れる電流
I(2, 3)	ノード2と3の間に接続された抵抗・コンデンサ・信号源・インダクタに流れる電流
B(L1)	インダクタL1の磁束密度 (ガウス)
H(L1)	インダクタL1の磁場 (エルステッド)
X(L2)	インダクタL2の磁束
IB(Q1)	デバイスQ1に流れ込むベース電流
VBE(Q1)	デバイスQ1のベース-エミッタ間電圧
IG(M1)	デバイスM1に流れ込むゲート電流
VGS(M1)	デバイスM1のゲート-ソース間電圧
QBE(Q1)	Q1のベース-エミッタ容量に蓄積された電荷
VAP(T1)	伝送線路T1の入力ポートのプラスピンの電圧
ID(J1)	デバイスJ1に流れ込むドレイン電流
I(D1)	ダイオードD1に流れ込む電流
L(L1)	インダクタL1のインダクタンス
C(C2)	コンデンサC2の容量
R(R7)	抵抗R7の抵抗
I(R1)	抵抗R1を流れる電流
I(Lap1)	ラプラス信号源Lap1の電流
I(V1)	波形信号源V1の電流
V(F1)	関数信号源F1の電圧
V(X1.MID)	サブサーキットX1のノードMIDの電圧
IB(G3.Q1)	マクロ回路G3のNPN Q1のベース電流
V(G1.G2.N)	マクロG1内のマクロG2のノードNの電圧
ES(C1)	コンデンサC1に蓄積される電力
PS(D1)	ダイオードD1に蓄積される電力
PG(V1)	信号源V1によって生成される電力
PD(Q1)	トランジスタQ1で消費される電力

演算子と関数

以下の記号凡例を用いて定義します。

記号	内容
n, m	整数
dt	DSPの時間ステップ
x, y, u	実数の数式。例えば「26.5」、トランジェント解析における「T」、DC解析における「V(10)」
z	複素数。 $z = x + i \cdot y$ 。例えば、AC解析における「V(1)」
S	スペクトラム。信号処理演算子によって生成されます。
D1, D2	デジタルノード状態。たとえば「D(1)」 「D(QB)」

四則演算子

+	加算
-	減算
*	乗算
/	除算
MOD	モジュール（整数除算後の剰余）
DIV	整数除算

デジタル演算子

AがMSB（最大ビット）、DがLSB（最小ビット）です。これらの演算子は、論理数式の波形をプロットするのに用いられます。

D(A)	ノードAのデジタル状態
HEX(A,B,C,D)	ノードA、B、C、Dのデジタル状態の16進値
BIN(A,B,C,D)	ノードA、B、C、Dのデジタル状態の2進値
DEC(A,B,C,D)	ノードA、B、C、Dのデジタル状態の10進値
OCT(A,B,C,D)	ノードA、B、C、Dのデジタル状態の8進値
+	2つの2進値、8進値、16進値、10進値の和
-	2つの2進値、8進値、16進値、10進値の差
MOD	2つの2進値、8進値、16進値、10進値の剰余 （整数除算の余り）
DIV	2つの2進値、8進値、16進値、10進値の整数 除算
&	2つのデジタルノード状態のビットAND
	2つのデジタルノード状態のビットOR
^	2つのデジタルノード状態のビットXOR
~	2つのデジタルノード状態のビットNOT

三角関数 (xとyは実数、zは複素数、 $z = x + i \cdot y$)

SIN(z)	サイン関数
COS(z)	コサイン関数
TAN(z)	タンジェント関数
COT(z)	コタンジェント関数
SEC(z)	セカント関数
CSC(z)	コセカント関数
ASIN(z)	逆サイン関数
ACOS(z)	逆コサイン関数
ATAN(z)	逆タンジェント関数
ATN(z)	逆タンジェント関数
ARCTAN(z)	逆タンジェント関数=ATN(z)
ATAN2(y, x)	逆タンジェント関数= ATN(y/x)
ACOT(z)	逆コタンジェント関数
ASEC(z)	逆セカント関数
ACSC(z)	逆コセカント関数
SINH(z)	双曲線サイン
COSH(z)	双曲線コサイン
TANH(z)	双曲線タンジェント
COTH(z)	双曲線コタンジェント
SECH(z)	双曲線セカント
CSCH(z)	双曲線コセカント
ASINH(z)	逆双曲線サイン
ACOSH(z)	逆双曲線コサイン
ATANH(z)	逆双曲線タンジェント
ACOTH(z)	逆双曲線コタンジェント
ASECH(z)	逆双曲線セカント
ACSCH(z)	逆双曲線コセカント
LN(z)	自然対数: $\log_e(x + i y) + i \tan^{-1}(y / x)$
LOG(z)	常用対数: $\log_{10}(x + i y) + i \tan^{-1}(y / x) / \log_e(10)$
LOG10(z)	常用対数: $\log_{10}(x + i y) + i \tan^{-1}(y / x) / \log_e(10)$
EXP(z)	指数: $e^x(\cos(y) + i \sin(y))$
EXPL(x,max)	指数: $X < \max \exp(x)$ または $\exp(\max) \cdot (x+1-\max)$ の場合
EXPLP(x,max)	EXPL(x,max)w.r.t.xの導関数
POW(z, x)	複素指数関数= $z^x = e^{x \ln(z)}$ たとえば、 $\text{POW}(-1 + j, 2) = -2j$, $\text{POW}(2, 2) = 4$
^または**	POW(z, x)と同じ。 $z^x = z ** x = \text{POW}(z, x)$ たとえば、 $(-1 + j, 2) ** 2 = -2j$, $j^2 = -1$

PWR(y, x)	実数のべき乗 = y^x たとえば、PWR(-2, 3) = -8、PWR(-2, 2) = 4
PWRS(y, x)	符号付きの実数のべき乗 $y < 0$ の場合PWRS(y, x) = $- y ^x$ $y > 0$ の場合PWRS(y, x) = $ y ^x$ たとえば、PWRS(-2, 2) = -4、PWRS(2, 2) = 4
DB(z)	20 * LOG(z)
RE(z)	zの実部
dBm(z)	10 * LOG(z /1e-3)。zがべき乗である場合のみ使用可能。
IM(z)	zの虚部。IMAG ()、IMG ()も利用可能。
MAG(z)	zの大きさ・振幅。M ()も利用可能。
PH(z)	zの位相[度]。PHASE ()、P ()も利用可能。
GD(z)	群遅延 = ∂ (zの位相[rad]) / ∂ (角周波数)

SPICE3のブール演算子

& ~	これらの演算子では、V(A) >= VTHRESHである場合はA = VONE そうでなければ、A = VZERO。パラメータ、VTHRESH、VONE、VZEROは全般設定ダイアログボックスで設定される。
&	アナログのAND
	アナログのOR
~	アナログのNOT

標準のブール演算子と不等式演算子

ブール式がゼロでなければTRUE(1.0)、そうでなければFALSE(0.0)です。例えば、V(1) = 0.00001であれば、ブール式のV(1)はTRUEあるいは1.0と評価される。

AND	And演算子
NAND	Nand演算子
OR	Or演算子
NOR	Nor演算子
XOR	排他的OR演算子
NOT	否定演算子
<	より小さいの演算子
>	より大きいの演算子
<=	以下の演算子
>=	以上の演算子
!=	不等号
<>	不等号
==	等号

制限演算子および条件演算子

MIN(z1, Z2)	z1とz2の実部と虚部の最小
MAX(z1, z2)	z1とz2の実部と虚部の最大
LIMIT(z, z1,z2)	実部がRE(z1)～RE(z2)に制限され、虚部がIM(z1)～IM(z2)に制限されたzを返します。
IF(b, z1, z2)	Bが真であれば、関数はz1を返し、そうでなければz2を返します。

信号処理関数

HARM(u [, bw])	波形uの高調波。BW=オプションのバンド幅。
HARMN(u[,bw])	HARMと同じですが1次高調波の値に標準化されています。
THD(S [,F])	スペクトラムSの全高調波歪み。基準周波数Fにおけるパーセント値。省略された場合、Fは第1高調波に設定されます(トランジェント解析では1/tmax)。
IHD(S [,F])	Sの個別高調波歪み。Fにおける%値で表されます。THDに似ているが、結果は累積されません。
FFT(u)	波形uの標準フオワードフーリエ変換
FFTS(u [,bw])	波形uのフオワードフーリエ変換であり、RE(FFTS(u))がフーリエ級数のコサインの係数を生成し、IM(FFTS(u))がフーリエ級数のサインの係数を生成するようにスケールされています。BW=オプションのバンド幅。
FS(u, [n1[,n2]])	波形uの部分フーリエ級数表現であり、n1項からn2項によってまとめられます。n1の規定値は0、n2の規定値はFFTのポイント数/2です。
RES(u,[n1 [,n2]])	剰余関数により、波形からフーリエ項のn1項からn2項を減算した値を示します。n1の規定値は0です。n2の規定値は1であり、このことによりRES(u)はRES(u, 0, 1)であり、従って、基本的に2次およびそれより高次の次数の高調波による歪み成分を示します。
IFT(S)	スペクトルSの標準逆フーリエ変換。
IFST(S)	スペクトルSのスケールされた逆フーリエ変換。スケールは、IFTS(FFTS(u))=uとなるようにするスケールです。
CONJ(S)	スペクトラムSの共役複素数
CS(u, v)	相互スペクトラム = CONJ(FET(v))*FET (u) * dt * dt
AS(u)	波形uの自己スペクトラム = CS(u, u)
CC(u, v)	uとvの相互相関 = IFT(CS(u, v))/dt
AC(u)	波形uの自己相関 = IFT(AS(u))/dt
COH(u, v)	uとvのコヒーレンス = $CC(u,v)/\sqrt{AC(u(0))*AC(v(0))}$
REAL(S)	FFTで生成されたスペクトラムSの実部
IMAG(S)	FFTで生成されたスペクトラムSの虚部
MAG(S)	FFTで生成されたスペクトラムSの絶対値
PHASE(S)	FFTで生成されたスペクトラムSの位相

数値積分と数値微分:

任意の変数に関する関数

- DER(u, x) xに関するuの解析導関数を計算します。
- SUM関数(y, x [,start]) xに関するyの移動積分。パラメータstartは省略可能。積分はx = startで開始。Xが解析変数で、その最少 (tmin、fmin、dcmi) に規定されたときのみ、Startが利用されます。

解析変数 (T、F、DCINPUT1) に関する関数

- SD(y [,start]) トランジェントではT、ACではF、DCではDCINPUT1に関する、yの移動積分。パラメータstartは省略可能。積分はstartで開始。startの規定値は、解析のタイプに応じて0、fmin、dcmiとなります。
- DD(y) トランジェントではT、ACではF、DCではDCINPUT1に関する、yの導関数値。
- RMS(y [,start]) トランジェントではT、ACではF、DCではDCINPUT1に関する、yの移動RMS。パラメータstartは省略可能。積分はstartで開始。startの規定値は、解析のタイプに応じて0、fmin、dcmiとなります。
- AVG(y [,start]) トランジェントではT、ACではF、DCではDCINPUT1に関する、yの移動平均。省略可能なパラメータstartの規定値は0、fmin、dcmi。

T (時間) に関する関数

- SDT(y) T (時間) に関するyの移動積分。積分はT = tminで開始。
- DDT(y) T (時間) に関するyの導関数値
- DEL(y) yの前のデータ点からの変化。導関数値は2つの演算子の比によって形成されます。たとえば、DEL(y)/DEL(t)でyの時間微分値を近似できます。
- LAST(y, n) yのn回前の値。N = 1では、最後のタイムステップでのyの値を返します。N = 2では、最後の1つ前のタイムステップでのyの値を返し、以降同様となります。

特殊関数

- ABS(z) 絶対値関数 = $(|z|^2)^{0.5}$
- BUFFER("W") 波形バッファからW波形をインポートします。
- CURVEY("F";"W") ユーザ信号源Fから曲線WのY成分をインポートします。Fはプロットプロパティダイアログボックスの曲線の保存セクションで標準書式に保存します。ファイルの形式については、22章のユーザ信号源の節を参照してください。

CURVEX("F","W")	ユーザ信号源Fから曲線WのX成分をインポートします。
DELAY(x,d)	D秒だけ遅延した式xを返します。
DIFA(u, v [,d])	DIFAは、2つのアナログ曲線の差をレポートします。すべての解析点でu式とv式を比較し、結果の絶対値がdよりも大きい場合1を返します。その他の場合0を返します。uとvはインポートされた曲線でも構いません (IMPORT関数を参照)。dは省略可能で、規定値は0です。
DIFD(u, v [,d])	DIEDは、2つのデジタル曲線の差をレポートします。すべての解析点でuレベルとvレベルを比較し、dを超える時間の間異なる場合に1を返します。その他の場合0を返します。uとvはインポートされた曲線でも構いません。dは省略可能で、規定値は0です。
FACT(n)	整数nの階乗 (factorial)。
U!	整数値uの階乗。!の表記を使用する場合、uは記号変数または定数でなければなりません。
G(X1)	G(X1)二端子デバイスX1の複素コンダクタンス。X1は抵抗、コンデンサ、インダクタまたはダイオードとします。
IMPORT(f, y)	ファイルfから曲線yをインポートします。ファイルは、SPICEやMC10の出力したテキストファイルである必要があります。ファイルの中にはF(周波数)、T(時間)、V(電圧)、I(電流)のいずれかの値と数式yの値があります。数式yには、ファイル中のものと全く同じものを入力する必要があります。また、括弧の数は対応している必要があります。
INT(x)	切り捨ての整数関数。INT(2.7) = 2
NINT(x)	切り上げの整数関数。INT(2.7) = 3
IMPULSE(y)	大きさがy、面積が1.0のインパルス関数。
JN(n,z [,m])	複素数zの第1種N次のベッセル関数であり、m項までを使用した級数から作られます。mの規定値は10です。
J0(z)	複素数zの第1種0次ベッセル関数。JN(0, z, 10)と同じ。
J1(z)	複素数zの第1種1次ベッセル関数。JN(1, z, 10)と同じ。
LAST(z, n)	n個の時間点だけ遅延した曲線z。LAST(z, 1) _i = Z _{i-1}
MAXR(x)	トランジェント解析またはDC掃引解析実行中の任意の時刻に発生したxの最大値を返します。
MINR(x)	トランジェント解析またはDC掃引解析実行中の任意の時刻に発生したxの最小値を返します。
NORM(z, x0)	X式がx0と等しい場合にzにおける値で正規化された曲線z。DB演算子は0に正規化されます。
NORMMAX(z)	zが最大値のところで正規化された曲線z。

NORMMIN(z)	zが最小値のところで正規化された曲線z。
PN(n,x)	xのN次ルジャンドル多項式関数
PROD(n,n1,n2,z)	n = n1からn = n2までについて複素式 $z = z(n)$ の級数項の積を計算します。例えば、 $PROD(n, 1, 3, j + n) = (j + 1) * (j + 2) * (j + 3) = 0 + 10j$ 。
SERIES(n,n1,n2,z)	複素数式 $z = z(n)$ の数列の和を、n = n1からn = n2について、計算します。例えば、 $SERIES(n, 1, 3, n + j) = (j + 1) + (j + 2) + (j + 3) = 6 + 3j$
SGN(y)	+ 1 (y > 0), 0 (y = 0), -1 (y < 0)
SQRT(z)	複素数の平方根 = $z^{0.5}$
STP(x)	T >= xで振幅1のステップ関数。
TABLE(x, x1, y1... xn, yn)	この関数は表のルックアップを行いません。xの値に関連するyの値を、表から補間して返します。xがx1より小さい場合y1を返します。xがxnより大きい場合ynを返します。
W(z)	複素数zのランベルトのW関数。
YN(n, z [,m])	複素数式zの第2種N次ベッセル関数。m項の級数から構成されます。mの規定値は10。
Y0(z)	複素数式zの第2種0次ベッセル関数。YN(0, z, 10)と同じ。
Y1(z)	複素数式zの第2種1次ベッセル関数。YN(1, z, 10)と同じ。
Z(X1)	二端子デバイスX1の複素インピーダンス。X1は抵抗、コンデンサ、インダクタまたはダイオードとします。

ランダム関数

次の関数は、**全般設定/シード**のシードの値を使用して0～1の乱数を返します。シードが ≥ 1 である場合は、すべて0～1の乱数のシーケンスを繰り返して返します。シードがブランクまたは < 1 である場合は、繰り返されることのない乱数のシーケンスを返します。シードは、温度解析、モンテカルロ解析、ステップング解析の実行の度ではなく、手動で実行を開始する（F2を押す）たびに開始時に初期化されます。

関数	次の時に新しい乱数を返す。
RND	各時間点毎。
RNDR	各実行（F2）コマンド開始時。
RNDC	温度解析、モンテカルロ解析、ステップング解析の各実行の開始時。
RNDI(t)	シミュレーション時間のt秒毎。

ランダム関数

AGAUSS(val,abs,s)	平均値valと標準偏差abs/sによりガウス分布で決定された乱数を返します。
GAUSS(val,rel,s)	平均値valと標準偏差val*rel/sによりガウス分布で決定された乱数を返します。
UNIF(var,rel)	val - val*relとval + val*relの間で均等に分布した乱数を返します。
AUNIF(var,abs)	val - absとval + absの間で均等に分布した乱数を返します。

数式の例

デジタル

D(10) ノード10のデジタル状態またはアナログ電圧
V(20) ノード20のデジタル状態またはアナログ電圧
D(1)&D(2) ノード1のデジタル状態またはアナログ電圧
とノード2のデジタル状態またはアナログ電
圧のAND。ノードは両方ともアナログまたは
デジタルとします。

V(1) | V(2) ノード1のデジタル状態またはアナログ電圧
とノード2のデジタル状態またはアナログ電
圧のOR。ノードは両方ともアナログまたはデ
ジタルとします。

Hex(A, B, C, D) + Hex(R, S, T, U)
2つの16進数値の16進による和。最初の項は、
ノードA、B、C、Dの状態の16進数値。第2項
は、R、S、T、Uの状態の16進数値。結果は、
これらの16進数の和です。

ラプラス信号源伝達関数

$1.0/(1.0 + 0.001 * s + 1e-12 * s * s)$
二次フィルタの伝達関数
 $\exp(-(s * C * (R + s * L)) ^ 0.5)$
損失伝送線路の伝達関数方程式。R、L、Cは単
位長あたりの値。

関数信号源

$\exp(-T/.5) * \sin(2 * PI * 10 * T)$
指数関数的に減衰する10Hz正弦波
 $-k*(v(p) - v(c) + mu *(v(g) - v(c)))**1.5$
三極真空管の電流方程式。v(p)、v(g)、v(c)はそ
れぞれプレート、グリッド、カソードの電圧。

容量

$2pF/((1-v(p, n) /.7) ^ .5)$ 典型的な接合キャパシタンス式
 $5.0pF*(1 + 2e-6 * T)$ 時間依存のコンデンサ

抵抗

$5*(1 + 2 *(TEMP-273) ^ 2)$ 温度依存の抵抗

インダクタンス

$(1u/(1 + I (L1) ^ 2))$ 非線形のインダクタンス
 $2.6uH*(1 + (t-1e-7) **2.0)$ 時間依存のインダクタンス

電力およびエネルギー

DC解析とトランジェント解析では、PとEは時間領域における電力とエネルギーを示します。AC解析では、Eはなく、PはAC電力を示します。

V(VCC)*I(VCC)	電源VCCの瞬時電力
PD(R1)	抵抗R1で消費される電力
PS(Q1)	トランジスタQ1で蓄積される電力
PG(V1)	信号源V1で生成される電力
ED(D3)	ダイオードD3で消費されるエネルギー
ES(C2)	コンデンサC2に蓄積されるエネルギー
ES(L4)	インダクタL4に蓄積されるエネルギー
EG(VCC)	信号源VCCによって生成されるエネルギー
EST	回路に蓄積される総エネルギー
EDT	回路で消費される総エネルギー
EGT	回路によって生成される総エネルギー
PST	回路に蓄積される総電力
PDT	回路で消費される総電力
PGT	回路によって生成される総電力
SUM(V(VCC)*I(VCC),T)	電源VCCから供給されたエネルギー
その他	
HARM(V(A))	V(A)の高調波
HARM(V(A),2E6)	2MHzのBWでのV(A)の高調波
HARM(V(1),TABLE(F,2.99E6,1E6,3E6,2.1E6))	表定義BW
HARM(V(1),(F<3E6)*1E6+(F>=3E6)*2.1E6)	数式定義のBW
FFT(V(A)+V(B))	V(A)+V(B)のフーリエ変換
IFT(2*fmax*V(Out))	AC解析でY軸にこの式を、X軸にTを使用すると、回路のインパルス応答が得られます。 V(Out)は複素出力電圧、fmaxは実行の最大周波数です。
DEL(I(L1))/DEL(T)	L1を流れる電流の導関数値
SUM(V(Out), T)	電圧曲線V(Out)の積分値
SUM(V(Out), T, 5n)	ノードOutの電圧波形の時間に関する積分値。 積分区間は、T = 5ns~tmax。
SUM(V(A), V(B), 2)	ノードAの電圧波形のV(B)に関する積分値。積分区間は、V(B)>= 2 から実行終了時のV(B)の最後の値まで。

RMS(V(Out))	数式V(Out)の移動RMS
5*((Tmod50)>10AND (T mod 50)<20)	10s~20sのパルス幅、大きさが5V、周期50s のパルス
IM(V(7))	ノード7の複素電圧の虚部
TABLE(V(1),-10,-1,10,1)	この表関数はV(1)が-10未満の場合-1、V(1)が-10 から+10の間の場合0.1*V(1)、その他の場合+1を 返します。
IMPORT(A.OUT, V(1))	ファイルA.OUTから波形V(1)をインポートしま す。
CURVEX("T1", "I(V1)")	ユーザ信号源のファイルT1から曲線I(V1)のX成 分をインポートします。
CURVEY("T2", "I(V1)")	ユーザ信号源のファイルT2から曲線I(V1)のY成 分をインポートします。
FACT(V(10))	INT(V(10))の階乗を計算します。
10!	INT(10)の階乗3628800を計算します。
JN(5, 1 + J, 6)	級数の最初の6項を使用して、第1種5次ベッセル 関数を計算します。
.DEFINE_EXP(X)(1 + SERIES(N, 1, 10, POW(X, 1)/FACT(N)))	級数を使ってexp(x)を計算するマクロを作成し ます。_exp(1.0)は2.718282 = eを返します。
DELAY(V(A) + V(B), 5n)	5ns遅延した波形V(A) + V(B)を返します。
Z(L1)	インダクタL1の複素ACインピーダンス

ランダム関数

RNDI(10n)	シミュレーション時間の10ns毎に0~1の乱数を 返します。
2*RNDR	実行開始 (F2キーを押す) 毎に0~2の乱数を返 します。
1 + 2*RNDC	モンテカルロ解析、温度解析、ステップング解析 の各実行の開始時に1~3の乱数を返します。

モンテカルロ関数

AGAUSS(1000,100,2)	標準偏差50 = 100/2によりガウス分布で決定され た乱数を返します。
GAUSS(1000,0.1,2)	標準偏差50 = (1000*0.1)/2によりガウス分布で決 定された乱数を返します。
UNIF(1000,100)	900と1100の間で均等に分布した乱数を返します。
AUNIF(1000,0.10)	900と1100の間で均等に分布した乱数を返します。

演算子および変数の使用規則

ここでは、数式を使用時に念頭におくべき重要な規則を説明します。

1. 比較演算子・ブール演算子は、TRUEの場合は1を、FALSEの場合は0を返します。
2. ブール演算子 (&、|、~) は、TRUEであればVONEを返し、FALSEであればVZEROを返します。VONEとVZEROは、全般設定ダイアログボックスで指定されます。
3. ONOISE、INOISEは、AC解析にのみ使用できます。また、V (ノード名) のような他の変数とは混用できません。
4. AC解析では、すべての中間計算は複素数で行われます。数式が完全に評価された後、複素数の結果の振幅値が出力されます。例えばV(1)*V(2)では、複素数の乗算後の振幅を出力します。虚部を出力する場合はIM(V(1)*V(2))、実部を出力する場合はRE(V(1)*V(2))を使用します。振幅をプロットする場合はV(1)*V(2)またはMAG(V(1)*V(2))を使用します。
5. AC解析とDC解析では、時間変数Tの値は0に設定されます。
6. トランジェント解析とDC解析では、周波数変数Fの値は0に設定されます。トランジェント解析では、Harm()またはFFTS()関数がFをバンド幅式の一部として使用する場合、それはFFT周波数を意味するように解釈します。これにより、FFT周波数の関数であるバンド幅数式が可能となります。
7. ラプラス式は実数の周波数変数Fと複素周波数変数Sを使用します。実行中に変化しない記号変数も使用することができます。FとS両方が失われた場合、エラーとなります。定ゲインブロックにはラプラス信号源を使用しないでください。独立信号源、SPICE多項式信号源または関数信号源を使用してください。
8. モデル文内で記号変数を使用することができます。ただし、変数はパラメータの値にのみ使用できます。パラメータの名前に使用することはできません。例えば、次の例は動作します。

```
.define VALUE 111
.model Q1 NPN (BF = VALUE ...)
```

展開後、このモデル文は次のようになります。

```
.model Q1 NPN (BF = 111 ...)これは有効です。
```


本章の内容

コマンド文はピリオドで始まるテキスト文字列です。コマンド文は、回路図ではグリッドテキストやテキストエリアとして、SPICE回路では通常のテキストとして配置されます。

.AC

一般形式 (SPICEファイルのみ)

.AC [[DEC]][[OCT]][[LIN] <data points> <fmin> <fmax>

例

.AC DEC 30 20 20K

.AC LIN 10 100 200

.ACコマンドの引数は、**解析メニューのAC解析**を選択したときに、Micro-Cap AC解析リミットダイアログボックスの適切なフィールドにマップされます。DEC (デケード)、OCT (オクタル)、LIN (リニア) は、AC解析で使用する周波数ステップの種類を指定します。DECとOCTではログ周波数ステップオプションが、LINではリニア周波数ステップオプションがそれぞれ選択されます。

<data points>は、デケードオプションでは1デケード当たりのデータ点の数、リニアオプションではデータ点の合計数を指定します。これはポイント数フィールドにマップされます。<fmin>はシミュレーションの開始周波数を、<fmax>は終了周波数を指定します。これらは周波数範囲フィールドにマップされます。

回路中に波形信号源がある必要はありませんが、その場合すべての出力がゼロになります。波形信号源の小信号モデルは、単なるACの電圧源・電流源になります。信号源のAC値は、SPICEコンポーネントではパラメータ行により決定され、回路図コンポーネントでは属性値により決定されます。

SPICEの信号源VまたはI:

AC振幅値は、デバイスパラメータの一部として指定されます。たとえば、値の属性「DC 5.5 AC 2.0」の信号源のAC振幅は2.0Vになります。

パルス信号源・サイン信号源:

AC振幅は1.0ボルトに固定されています。

ユーザ信号源:

ファイルによって指定される実部と虚部からなる信号を出力します。

関数信号源:

FREQ式が指定された場合のみ、AC信号を生成します。

.ARRAY

一次元配列構文

`.ARRAY arrayname V1[,V2[,V3...[,Vn]]]` V 値は実数または複素です。

例

```
.ARRAY RESISTANCE 3.3K,4.5K,5.0K
.ARRAY WIDTHS .07u,1u,1.2u,1.5u,2u
```

.ARRAYコマンドは、デバイス属性フィールドおよびモデルパラメータで利用できる値の配列を宣言します。配列の要素は、ゼロからNAME (0)、NAME (1) 等のように、あるいは固定整数または整数変数によってアクセスします。

例えば、次の文を考えます。

```
.ARRAY CAP 1p,10p,15p,24p,36p
.DEFINE INDEX 0
```

これらの宣言により、1つまたは複数のコンデンサのCAPACITANCE属性としてCAP (INDEX)を使用でき、INDEX変数をステップ変更することによりコンデンサに値、1p、10p、15p、24p、36pを逐次的に割り当てることができます。

次のような別の例を示します。

```
.MODEL N1 NPN ( BF=BETA1(INDEX) CJE=1.8P CJC=0.8P TF=.5N)
.MODEL N2 NPN ( BF=BETA2(INDEX) CJC=1P CJE=2P TF=1N TR=1N)

.DEFINE INDEX 0
.ARRAY BETA1 100,200,300
.ARRAY BETA2 60,70,90
```

これらの宣言により、INDEXをステップ変更し、両方のベータ配列に同時にアクセスし、値の固有なペアを割り当てて、2つのモデル文で使用できます。

二次元配列構文

```
.ARRAY arrayname (m, n)
    {v11,v12, ...v1n}
    {v21,v22, ...v2n}
    {v31,v32, ...v3n}
    ...
    {vm1,vm2,...vmn}
```

以下は3つの複素値の2行を有する二次元配列です。

```
.ARRAY RV (2,3)
{1+2*j,2+3*j,4+6*j}
{5+2*j,3+7*j,4+2*j}
```

これらの定義では、RV(I)(J)は行Iから列Jにアクセスします。RV(1,2)は要素4+2*j にアクセスします。要素は0で始まることを覚えているでしょう。従ってJ=2はI=1または第二行の第三要素にアクセスします。

三次元配列構文

```
.ARRAY arrayname (m,n,p)
{
  {v111,v121,...v1n1}
  {v221,v231,...v2n1}
  {v311,v321,...v3n1}
  ...
  {vm11,vm21,...vnm1}
},
{
  {v112,v122,...v1n2}
  {v222,v232,...v2n2}
  {v312,v322,...v3n2}
  ...
  {vm12,vm22,...vnm2}
},
...
...
...
{
  {v11p,v12p,...v1np}
  {v22p,v23p,...v2np}
  {v31p,v32p,...v3np}
  ...
  {vm1p,vm2p,...vmp}
}
```

最初と最後の次元を除いてすべての次元に中括弧をつけます。二次元配列では、各行に括弧をつけます。三次元配列では、各行および各二次元配列に括弧をつけます。

.DC

一般形式 (SPICEファイルのみ)

リニア掃引のタイプ

```
.DC [LIN] <v1> <start1> <end1> <increment1>  
+<v2> <start2> <end2> <increment2>]
```

ログ掃引のタイプ

```
.DC <OCT | DEC>  
+<v1> <start1> <end1> <オクターブまたはデケード毎のpoints1>  
+[<v2> <start2> <end2> <オクターブまたはデケード毎のpoints2>]
```

リスト掃引のタイプ

```
.DC <v1> LIST <value>* [<v2> LIST <value>*]
```

<v1> と<v2> は、次のいずれかである必要があります。

1. 回路内の独立信号源の名前。例：「VCC」
2. 次の形式のモデルパラメータ
 <model type> <model name (parameter name)> 例：「NPN QF (BF)」
3. 動作温度「TEMP」
4. 次の形式の記号パラメータ
 PARAM <symbolic parameter name> 例：「PARAM temp1」

掃引の指定は、<v1>と<v2>で異なってもかまいません。つまり、1つの値にリニアの掃引、別の値にログの掃引を使うことができます。

例

```
.DC VIN1 -.001.001 1U  
.DC VCC 0 5 0.1 IB 0 0.005 0.0005  
.DC DEC RES RMOD (R) 1m 100 5  
.DC PARAM FILTER_Q 10 20 1  
.DC VCC LIST 4.0 4.5 5.0 5.5 6.5 VEE LIST 24 25 26
```

.DEFINE

一般形式 (SPICEまたは回路図)

```
.DEFINE [{LOT [t & d]=<n>[%]}] <text1> <text2>
```

ここで、*t & d*は[[/*lot #*>]]/[GAUSS | UNIFORM | WCASE]]です。

例

```
.Define V1 (2 * t * sin (2 * pi * T))  
.DEFINE RVAL 128.5K  
.DEFINE {LOT = 10 %} LVAL 1200MH  
.DEFINE {LOT / 1 / GAUSS = 10 %} CVAL 1200NF
```

この形式の文により、記号変数の値を作成・定義します。すべての場所の<text1>が<text2>で置換されますが、PART属性値やモデルパラメータ名のテキストを除きます。この文は、部品名やパラメータ名の変更には使用できませんが、モデル自体の名前の変更には使用することは可能です。

一般形式 (回路図のみ)

```
.DEFINE <name (<p1>[,<p2>][...,<pn>])> f (<p1>[,<p2>][...,<pn>])
```

ここでf()はパラメータ<p1>[,<p2>][...,<pn>]による数式です。

この形式の文は、C言語のマクロとまったく同様に動作します。実行時に<p1>[,<p2>][...,<pn>]の値が置換されます。SPICEのFUNC文にも似ています。

例：文字列置換

良い例として、デジタルSTIMデバイスの文字列置換があります。デジタルSTIMデバイスでは、COMMAND属性に動作を記述する文字列が必要です。典型的なコマンドは次のようになります。

```
.define SQUAREWAVE  
+ 0NS 0  
+ LABEL = START  
++ 10NS 1  
++ 10NS 0  
++ 10NS GOTO START 10 TIMES
```

STIMのCOMMAND属性には「SQUAREWAVE」と入力します。後で解析を実行するときMicro-Capは長いテキストで置換します。

.DEFINE文は、STIMのCOMMAND属性、PLAのDATA属性、非線形表信号源のTABLE属性、ラプラス表信号源のFREQ属性によく使用されます。

例：記号変数

次の書式により、MXのモデル文を使用するMOSFETのWとLを1ヶ所で割り当てることができます。ステップングすることもできます。

```
.DEFINE W1 2U
.DEFINE L1.3U

.MODEL MX NMOS (W = W1 L = L1 ...)
```

例：ユーザ関数

```
.DEFINE IMPEDANCE(X) V(X)/I(X)
.DEFINE CONDUCTANCE(X) I(X)/V(X)
```

これらの例はデバイスXのインピーダンスとコンダクタンスを計算するマクロを定義します。AC解析のIMPEDANCE(C12)はコンデンサC12の複素インピーダンスをプロットします。

次の関数によりトランジスタのコレクタ電力が計算できます。

```
.DEFINE PC (Q) VCE (Q) * IC (Q)
```

ここでPC(Q10)とすると、トランジスタQ10のコレクタ電力をプロットできます。

次のHOT関数は、過度のトランジスタコレクタ瞬時電力があると、1を返します。

```
.DEFINE HOT (Q, MAX) IF ((VCE (Q) * IC (Q) > MAX), 1, 0)
```

この定義でHOT(QX3, 100MW)は、トランジスタQX3のコレクタ瞬時電力が100mWを超えたとき1をプロットします。

回路内の定義文はその回路にのみ有効です。一方、ファイルMCAP.INCで定義した定義文は、すべての回路に対しグローバルに利用可能です。このファイルはオプションメニューのユーザ定義の項からアクセスします。このファイルは、ユーザが編集できます。

.ELIF

一般形式 (SPICEファイルと回路図テキスト領域のみ)

.ELIF *expression*

例

.ELIF test1

この文は条件ブロックを .IF 文ブロックに追加します。これらのブロックは回路のテキスト領域に表示されます。 .IF、.ELIF、.ELSE、.ENDIF が共にコントロールブロックをカプセル化します。

例 :

```
.IF USING WORST_CASE1
.MODEL B1 NPN (BF=110...)
.ELIF USING_WORST_CASE2
.MODEL B1 NPN (BF=150...)
.ENDIF
```

数式は、解析中に一定である変数 (例えば、.DEFINE や .PARAM コマンドで作成される記号変数) のみを使用しなければならないことに注意してください。もちろんこのような変数は解析実行の間に変更することができます。例えば、変数がステップングされたとき、.ELIF は .LIB ファイルでは使用できません。

.ELSE

一般形式 (SPICEファイルと回路図テキスト領域のみ)

.ELSE

例

.ELSE

この文は条件ブロックを .IF 文に追加します。 .IF、.ELIF、.ELSE、.ENDIF は共にコントロールブロックをカプセル化します。

例 :

```
.IF BP1>1
.DEFINE F0 1.0Meghz
.ELSE
.DEFINE F0 2.0Meghz
.ENDIF
```

.END

一般形式 (SPICEファイルのみ)

```
.END
```

例

```
.END
```

この文はSPICEネットリストの終りを指定します。これらのブロックは回路のテキスト領域に表示されます。回路記述やコマンドはすべて.END文よりも前にある必要があります。

.ENDIF

一般形式 (SPICEファイルと回路図テキスト領域のみ)

```
.ENDIF
```

例

```
.ENDIF
```

この文は.IF文ブロックを終了します。.IFおよび.ENDIFの両方でコントロールブロックをカプセル化します。

例 :

```
.IF BEST_CASE  
.DEFINE C1 1.2pF  
.ENDIF
```

.ENDS

一般形式 (SPICEファイルと回路図のテキスト領域のみ)

```
.ENDS [<subcircuit name>]
```

例

```
.ENDS  
.ENDS FILTER
```

この文はサブサーキット記述を終了します。サブサーキット名ラベルは省略可能で、明確化するためにのみ使用されます。

.ENDSPICE

一般形式（テキスト領域のみ）

```
.ENDSPICE
```

例

```
.ENDSPICE
```

この文は.SPICEコントロールブロックの終りを指定します。これらのブロックは回路のテキスト領域に表示されます。

例：

```
.SPICE  
.MODEL DD D ()  
D1 OUT A DD  
C10 A 100N  
.ENDSPICE
```

このコマンドの集合はダイオードとコンデンサで小さなネットワークを作り、それを主回路のOUTノードに接続します。ノードAはプロットに利用されます。

.FUNC

一般形式（SPICEまたは回路図）

```
.FUNC <name (<p1>[,<p2>][...,<pn>])> f (<p1>[,<p2>][...,<pn>])
```

このコマンドは.DEFINEコマンドのマクロ形式に似ていますが、商用モデルで使用される場合があるため、独立したコマンドとして用意されています。関数名は、定義済みの関数名（sin、cos、expなど）と同じ名前であってはなりません。

例

```
.FUNC MAX3 (A, B, C) MAX (MAX (A, B), C)  
.FUNC QUAD (A, B, C, X) A * X ^ 2 + B * X + C  
.FUNC DIVIDER (A, B, C) V (B, C) / V (A, C)
```

.HELP

一般形式（回路図のみ）

.HELP <parameter name> <"help text">

このコマンドにより、マクロ回路図にパラメータのヘルプ文字列を置きます。*help text*は、カーソルが*parameter name*のところにあるときに、属性ダイアログボックスのステータスバーに表示されます。

<parameter name>は、.PARAMETERS文でリストしたマクロパラメータのいずれかである必要があります。

いくつかの例を示します。

.HELP VP "Peak magnitude of the output signal"

.HELP KF "Frequency sensitivity in Hz / Volt"

.IC

一般形式（SPICEまたは回路図）

アナログノード

.IC <V (<analog node1>[,<analog node2>]) = <voltage value>>*

インダクタ

.IC <I (<inductor>) = <current value>>*

デジタルノード

.IC <D (<digital node>) = <digital value>>*

例

.IC V (VOUT) = 2.0

.IC I (L1) = 6.0 V (3) = 2

.IC D (1440) = 0

.IC D (DIN) = X D (12) = 1

.IC文は、AC解析およびトランジェント解析における動作点の計算中やDC解析での第一データ点の計算中に、電圧、インダクタ電流、デジタル論理状態の初期値を割り当てます。この文は、ノードやブランチにアナログやデジタルの値を割り当て、動作点計算の間この値を保ちます。動作点計算の後に、ノードは解放されます。

回路に.NODESET文と.IC文の両方がある場合は.IC文が優先します。つまり.NODESET文は無視されます。

インダクタや電圧源の電圧設定に.IC文を使うのは無駄なので注意してください。動作点の計算中、インダクタ電圧はゼロ、電圧源はTIME = 0の値が想定されます。

AC解析・トランジェント解析では、IC文は次のように動作します。

1. トランジェント解析で動作点オプションが有効な場合、およびAC解析の場合、DC動作点が計算されます。動作点計算の間、.IC文で指定した値は固定されます。
2. トランジェント解析で動作点が無効の場合、DC動作点は計算されません。 .IC文の初期条件とデバイスの初期化値が割り当てられ、トランジェント解析の最初の時間点がこれらの初期値を使用して開始されます。

.IF

一般形式 (SPICEファイルと回路図テキスト領域のみ)

.IF *expression*

例

.IF Temp > 55.0

この文は条件付IFブロックを作成します。 .IF、.ELIF、.ELSE、.ENDIFは共にコントロールブロックをカプセル化します。

例：

```
.IF BANDPASS_FILTER1
.DEFINE FCTR 41.563Meg
.ELSE
.DEFINE FCTR 42.563Meg
.ENDIF
```

数式は、解析中に一定である変数（例えば、.DEFINEや.PARAMコマンドで作成される記号変数）のみを使用しなければならないことに注意してください。もちろんこのような変数は解析実行の間に変更することができます。例えば、変数がステップングされたとき、.IFはLIBファイルでは使用できません。

.INCLUDE

一般形式 (SPICEまたは回路図)

```
.INC [LUDE] <“Filename”>
```

例

```
.INCLUDE “C :¥ Micro-Cap ¥ DATA ¥ EX1DEF.TXT”  
.INC “C :¥ Micro-Cap ¥ DATA ¥ MAYSMALL.LIB”
```

この文は、解析の前に外部テキストファイルからテキストを回路図やSPICEファイルにコピーします。これは、テキストファイル形式にモデル文の外部ライブラリがある場合に便利です。回路図エディタのテキストツールを使って、この文を回路図に加えてください。<“Filename”>にはパスを含めることができます。引用符は省略可能です。

このコマンドはファイルのすべてのテキストをインクルードするため、対象ファイルが大きいとすぐにメモリ容量を使い過ぎてしまいます。小さなテキストファイルにのみ使うようにしてください。大きなファイルについてはLIBコマンドを使ってください。

.LIB

一般形式 (SPICEまたは回路図)

```
.LIB [“Filename”]
```

例

```
.LIB  
.LIB “C :¥ Micro-Cap ¥ DATA ¥ BIPOLAR.LIB”
```

.LIBコマンドは、モデル文を回路図ファイルやSPICEファイルにおくことの代替手段かつ補完手段です。これにより、バイナリライブラリファイル (*.LBR) のデバイスモデル、テキストファイル (*.LIB) のMACRO文、.MODEL文、.SUBCKT文にアクセスできます。“Filename”は、任意の有効なファイル名で、パスを含むことも可能です。引用符は省略可能です。規定値の拡張子はないため、ファイル名には拡張子をつける必要があります。.LIBファイルには、.MODEL文、.SUBCKT文、.MACRO文、.ENDS文、.LIB文を入れることができます。他の文は無視されます。テキスト行は、行頭に「*」を置くと無効になります。「;」を使用すると、行の残りの部分が無効になります。

“Filename”は、規定値でNOM.LIBです。Micro-Capに同梱されるオリジナルのNOM.LIBは、構成する各モデルライブラリファイルをリストすることによって、モデルライブラリ全体をアクセスします。各回路には、規定値のコマンド「LIB NOM.LIB」が自動的に適用されます。これは、Micro-Capのモデルライブラリにアクセスする主要なメカニズムとなります。

マクロ文、モデル文、サブサーキットによるモデル情報が必要な場合はいつでも、次の場所から順番に探索されます。

- ・回路が回路図の場合：
 - ・グリッドテキストまたはテキスト領域
 - ・File属性で指定されたファイル（デバイスが1つの場合）
 - ・回路の.LIB文内でリストされた任意のファイル
 - ・NOM.LIBで列挙された任意のファイル
- ・回路がSPICEテキストファイルの場合：
 - ・回路記述テキスト
 - ・回路の.LIB文内でリストされた任意のファイル
 - ・NOM.LIBで列挙された任意のファイル

モデルライブラリファイルを検索するときに、Micro-Capはファイルパスで指定されているライブラリフォルダをスキャンします。複数のフォルダが指定されている場合は、左から右の順序で検索します。検索が失敗した場合、エラーメッセージがでます。一般に、Micro-Capはまず回路内をローカルに検索し、その後ライブラリフォルダ内をグローバルに検索します。

.MACRO

一般形式（回路図のみ） 一般形式（SPICEまたは回路図）

.MACRO <alias> <macro circuit name (parameter list)>

例

```
.MACRO MCR3818_2 SCR (50m, 40m, 1u, 1, 50, 50Meg, 20u,.5, 1)
.MACRO MAC320_4 TRIAC (6m, 50m, 1.5u, 1.4, 200, 50Meg, 0, 1, 1)
.MACRO KDS_049_S XTAL (4.9152Meg, 120, 30K)
```

この文の働きは.DEFINE文と非常によく似ています。この文を使うことにより、マクロのVALUE属性の長いマクロパラメータ呼び出しを、マクロのビヘイビアを簡潔に説明する短いモデル名で置き換えることができます。

動作の例については、ライブラリファイルTHY_LIB.LIBをロードし、B25RIA10を探します。次のような.MACRO文が見つかるはずですが、

```
.macro B25RIA10 SCR (100m, 60m, .9u, .9, 100, 100MEG, 110u, 1, 1)
```

この部品を使用した回路で解析を実行すると、FILE属性B25RIA10がSCRで置換され、パラメータは、マクロ文の(100m、60m、9u、9、100、100MEG、110u、1、1) から割り当てられます。割り当ては、マクロSCRの中の.PARAMETERS文で定義された順序と同じ順序で行われます。

SCRマクロの文は次の通りです。

```
.PARAMETERS (IH = 50mA, IGT = 40mA, TON = 1uS, VTMIN = 1V,  
VDRM = 50V, DVDT = 50Meg, TQ = 20Us, K1 = 1, K2 = 1)
```

B25RIA10を使用すると、パラメータIHは100m、IGTは60m、TONは.9u...のように設定されます。

.MODEL

一般形式 (SPICEまたは回路図)

```
.MODEL <model name> [AKO :<reference model name>] <model type>  
+ ([<parameter name>=<value>]  
+ [LOT [t & d]=<value>[%]] [DEV [t & d]=<value>[%]])
```

例

```
.MODEL Q1 NPN (IS = 1e-15)  
.MODEL VIN1 PUL (Vone = 10V p1 = 0 p2 = .1u p3 = 10u  
+ p4 = 10.1u p5 = 15u)  
.MODEL M1 NMOS (Level = 3 VTO = 2.5 LOT = 30 % DEV = 1 %)  
.MODEL R1 RES (R = 2.0 TC1 = .015)  
.MODEL 2N2222A AKO : 2N2222 NPN (BF = 55 ISE = 10F)  
.MODEL NPN_A NPN (RE = 12 LOT / 1 / GAUSS = 30 % DEV / 2 /  
UNIFORM = 2 %)
```

モデル文は、デバイスの電氣的ビヘイビアを定義する方法の一つです。<model name>は特定のモデルを参照・アクセスする際に使用される名前です。<value>には、次の例のように実行時不変な数式を含むことができます。

```
.MODEL M2 NMOS (VTO = 3.5 + TEMP *.0015 ...
```

TEMP (動作温度) は実行中は一定なので、上の文が有効です。

AKO (A Kind Ofの頭字語) オプションにより、既存のモデルのクローンを作ることができます。AKOのパラメータは、LOTとDEV許容値を除いて親モデルと同じで、それに指定のモデル値が上書きされます。次の例では1N914Aは、RS = 10を除いて1N914と同じです。

.MODEL 1N914A AKO : 1N914 D (RS = 10)

許容値は、実際の値か公称パラメータ値のパーセント値で指定できます。絶対トラッキング許容値 (LOT) と相対 (DEV) 許容値の両方が指定できます。

どちらの許容値もパラメータの後にキーワードを配置して指定します。

[LOT [*t & d*]=<tol1>[%]][DEV [*t & d*]=<tol2>[%]]

この例では、Q1の順方向ベータに10%の許容値を指定します。

.MODEL Q1 NPN (BF = 100 LOT = 10 %)

[*t & d*]は、次の形式でトラッキングと分布を指定します。

[/<lot #>][/<distribution name>]

これらの指定は、キーワードDEVとLOTの後にスペースなしで記述し、「/」で区切る必要があります。

<lot #>は、0~9の番号が付けられた10個の乱数生成器のどれを使ってパラメータ値を計算するかを指定します。これにより、モデル文のパラメータ間の相関 (NPNトランジスタのREとRCなど) をとることができます。あるいは、パラメータのモデル間の相関 (NPNAのBFとNPNBのBFなど) をとることができます。DEV乱数生成器とLOT乱数生成器の間には区別があります。<lot #>を指定しないと、ユニークな乱数が得られません。

<distribution name>は分布を指定します。次のいずれかです。

キーワード	分布
UNIFORM	一様確率分布
GAUSS	正規分布、ガウス分布
WCASE	ワーストケース分布

[*t & d*]に分布が指定されていない場合、モンテカルロダイアログボックスで指定された分布が使用されます。

コンデンサ、インダクタ、抵抗器、ダイオード、GaAsFET、JFET、MOSFET、BJTデバイスのモデル文では、次の2つの温度を別々にコントロールできます。

測定温度:これはモデルパラメータが測定された温度です。パラメータ値を調節する際の基準点として役立ちます。規定値は、.OPTIONS TNOM文の設定値（存在する場合）、存在しない場合はTNOM全般設定値（規定値は27°C）です。

デバイス動作温度:モデルパラメータを調整するために使う温度です。

測定温度を修正するには、モデルパラメータT_MEASUREDに値を指定します。次に例を示します。

```
.Model M710 NMOS (Lvel = 3 VTO = 2.5 T_MEASURED = 35)
```

デバイスの動作温度を変更するには、下記の3つの方法があります。

キーワード	デバイス動作温度
T_ABS	T_ABS
T_REL_LOCAL	T_REL_LOCAL + AKOの親のT_ABS
T_REL_GLOBAL	T_REL_GLOBAL + グローバル温度

グローバル温度は次のように決定されます。

SPICE回路

SPICE回路では、TEMP文があればそれによって、.OPTIONS TNOM = XXXがあればそれによって、あるいは全般設定のTNOMにより、グローバル温度が設定されます。解析のタイプを選択すると、グローバル温度が決定されて解析リミットダイアログボックスの温度フィールドに配置されます。このダイアログボックスの表示後、解析を開始する前に温度を変更することもできます。

回路図

回路図では、グローバル温度は解析リミットダイアログボックスの温度フィールドの値です。.TEMP文の効果はありません。

例

次の例ではN1の動作温度は47°Cです。

```
.TEMP 47  
.MODEL NI NPN (BF = 50)
```

次の例では、動作温度は35°Cです。

```
.MODEL N1 NPN (BF = 50 T_ABS = 35)
```

次の例では、動作温度はN1で30°C、N2で55°Cです。

```
.MODEL N1 NPN (BF = 50 T_ABS = 30)
.MODEL N2 AKO : N1 NPN (T_REL_LOCAL = 25)
```

次の例では、N1の動作温度は75°Cです。

```
.TEMP 35
.MODEL N1 NPN (BF = 50 T_REL_GLOBAL = 40)
```

デバイス動作温度の各デバイスパラメータへの影響に関する詳細は、22章「アナログデバイス」をご覧ください。

.NODESET

一般形式 (SPICEまたは回路図)

アナログノード

```
.NODESET <V (<analog node1>[,<analog node2>])=<voltage value>>*
```

インダクタ

```
.NODESET <I (<inductor>)=<current value>>*
```

デジタルノード

```
.NODESET <D (<digital node>)=<digital value>>*
```

例

```
.NODESET V (IN1) = 45UV V (OUT) = 1.2MV D (H1) = 1
.NODESET I (L10) = 3.5ma
```

.NODESET文は、AC解析・トランジェント解析の動作点計算において、ノードの電圧・電流・デジタル状態の初期推定値を与えます。アナログやデジタルの値がノードに割り当てられますが、.IC文と異なり動作点計算の間、値は保持されません。.IC文と.NODESET文の両方が回路にある場合.IC文が優先します(.NODESET文は無視されます)。

.NODESET文を使ってインダクタや電圧源の電圧を設定しても無駄です。これらの初期電圧は事前に決定されています。

このコマンドは、動作点をスキップした場合でも、トランジェント解析に影響を与える場合があります。これは.NODESET文が状態変数を設定するためです。

.NOISE

一般形式 (SPICEファイルのみ)

.NOISE V (<node1> [,<node2>]) <source name> [<interval value>]

例

.NOISE V (10) V1

.NOISE V (4, 3) VAC1 50

.NOISE V (10, 12) I1 100

ノイズコマンドの引数は、**解析メニューのAC解析**を選択したときに、解析リミットダイアログボックスの適切なフィールドにマップされます。ユーザは、プロットのX、Yの数式について、ONoise、INoiseの一方または両方を選択する必要があります。これらの変数のいずれかを選択するとノイズ解析モードが有効になります。

V(<node1> [,<node2>])は、任意のAC電圧変数で、ノイズ値を測定する出力値を定めます。<source name>には独立電流源、独立電圧源のいずれかを指定できます。等価的な入力ノイズを計算するための入力ノードを定めます。

ノイズ解析は、V(<node1>[,<node2>])で指定される出力におけるRMS値を、回路内のすべてのノイズ源による寄与から計算します。半導体と抵抗は、すべてノイズに寄与します。

ノイズ変数を選択すると、通常のAC小信号変数（ノード電圧など）がプロットできなくなることに注意してください。例えば、INoiseとV(1)を同時にプロットすることはできません。

.OP

一般形式 (SPICEファイルのみ)

.OP

例

.OP

SPICEファイルでは、このコマンドによって動作点計算を表示するということを指定します。これらは、常に数値出力ウィンドウやCIRCUITNAME.TNOファイルまたはCIRCUITNAME.ANOファイルに表示されます。

.OPT[IONS]

一般形式 (SPICEまたは回路図)

```
.OPTIONS [<option name>]* [<option name>=<option value>]*
```

例

```
.options GMIN = 1e-9 VNTOL = 1n ABSTOL = 1n DEFAS = .1u  
.options NOOUTMSG
```

このコマンドにより、各回路の定数値を変更できます。オプション文は、全般設定ダイアログボックスの値を上書きします。個々のオプションについては、第2章「回路エディタ」で詳しく説明しています。

.PARAM

一般形式 (SPICEまたは回路図)

```
.PARAM <<name> = {<expression>}>*
```

例

```
.PARAM VSS = 5 VEE = -12  
.PARAM RISETIME = {PERIOD / 10}
```

.PARAM文は.DEFINE文と似ています。この文は、回路ファイルとライブラリファイルの両方で使用できます。これは、商用ベンダによるライブラリとの互換性を確保するために提供されています。

変数を定義し、使用するときには{}でくくる必要があります。変数が定数の場合、上記例の1つ目のように.PARAM文の{}は必要ありません。

例えば、次のようにBF1を定義します。

```
.PARAM BF1 = {100 + TEMP / 20}
```

ここでこのようにモデル文に使用できます。

```
.MODEL Q1 NPN (BF = {BF1})
```

等価な.DEFINE文と使用例は、次のようになります。

```
.DEFINE BF1 100 + TEMP / 20
```

以下は同様の使用法です。

```
.MODEL Q1 NPN (BF = BF1)
```

基本的に.PARAM文は定義し、使用する際に{ }が必要ですが、.DEFINE文では必要ありません。

.DEFINE文と同様に、<name>に予約済み変数名 (T (時間)、F (周波数)、S (複素周波数) など) や、予約済み定数名 (VT、TEMP、PI、GMINなど) を使用することはできません。

.PARAMETERS

一般形式 (回路図のみ)

```
.PARAMETERS (<parameter [= value]> [> [<parameter [=<value>]>] ]*)
```

例

```
.parameters (GBW, Slew, Iscp, F1 = 1K, F2 = 1.1K)
```

```
.Parameters (Gain, ROUT = 50)
```

.PARAMETERS文は、マクロ回路内のグリッドテキストやテキスト領域に置かれ、呼び出す側の回路から渡されるパラメータの名前を宣言します。パラメータとは、マクロのVALUE属性 (または等価な.MACRO文) からマクロ回路に渡す数値です。パラメータは、マクロ回路内において、例えば抵抗のRESISTANCE属性やモデルパラメータ値 (BJTトランジスタのBFなど) として使用できます。

省略可能な[=<value>]により、パラメータの規定値を指定します。この値は、その部品が回路図内に配置されるときに割り当てられる値です。値は属性ダイアログボックスで編集できます。マクロの.PARAMETERS文で規定値が指定されていない場合は、マクロを回路に配置するときに値を指定する必要があります。

このコマンドの例については、マクロ回路SCR、XTAL、PUT、TRIACを参照してください。

.PATH

一般形式 (SPICEまたは回路図)

```
.PATH DATA <datapath1>  
.PATH LIBRARY <libpath1>  
.PATH PICTURE <picpath1>  
.PATH DOCUMENT <docpath1>
```

例

```
.PATH DATA C:\Micro-Cap\DATA  
.PATH LIBRARY D:\LIB1
```

このコマンドにより、データフォルダの内容 (通常は、回路ファイル)、ライブラリフォルダの内容 (通常は、モデルファイル)、ピクチャフォルダの内容にアクセスするための1つのパスを指定できます。これは、ファイルパスのグローバルパスより優先します。

.PLOT

一般形式 (SPICEファイルのみ)

```
.PLOT <analysis typ e> [<output variable >]*  
+ ([<lower limit value >,<upper limit value >]) *
```

例

```
.PLOT AC V (10) V (1, 2) (0, 10)
```

この文は、解析プロットで何をプロットするか指定します。指定した変数は、解析リミットのY式フィールドに単純な波形数式として入力されます。<analysis type>は、AC、DC、NOISE、TRANのいずれかです。出力変数は任意の有効なノード電圧・信号源電流・デジタル状態です。

.PRINT

一般形式 (SPICEファイルのみ)

```
.PRINT <analysis type> [<output variable>]*
```

例

```
.PRINT TRAN V (1) D (10)
```

この文は、数値出力ウィンドウにプリントする内容を指定します。

指定した変数は、解析リミットのY式フィールドに数式として入力されます。<analysis type>はAC、DC、NOISE、TRANのいずれかです。出力変数にはノード電圧、信号源電流、デジタル状態があります。出力ファイルの名は以下のとおりです。

CIRCUITNAME.TNO	トランジェント解析
CIRCUITNAME.ANO	AC解析
CIRCUITNAME.DNO	DC解析

.SENS

一般形式 (SPICE ファイルのみ)

.SENS <output expression> [<output expression>]*

例

```
.SENS V (1) V (3)
.SENS V (D1) * I (D1)
```

この文は感度解析特性を制御します。この文は規定値パラメータに指定された<output expression>の各々のDC感度を計算するようプログラムに伝えます。規定値パラメータは、可能性のある全モデルパラメータのサブセットで、内容は感度解析ダイアログボックスで変更することができます。

.SPICE

一般形式 (テキスト領域のみ)

.SPICE

例

```
.SPICE
```

この文は.SPICE制御ブロックの始まりを指定します。これらのブロックは以下の例のように回路のテキストエリアに配置されます。

例

```
.SPICE
R1 OUT A 100
C10 A0 100N
.ENDSPICE
```

このコマンドセットは抵抗とコンデンサで小ネットワークを作成し、それを主回路のOUTノードに接続します。プロットにはノードAが利用できます。

.STEP

一般形式 (SPICEファイルのみ)

リニアステップ形式

```
.STEP LIN <name> <start> <end> <step> ;$MCE <parameter>
```

この形式では、値は<start>から開始し、<end>に到達するまで<step>が加算されます。それぞれの値についてシミュレーションが新たに実行されます。

ログステップ形式

```
.STEP [DEC | OCT] <name> <start> <end> <points> ;$MCE<parameter>
```

この形式では、値は<start>から開始されます。値には、<start>と<end>の間に<points>個の点を生成するように内部で計算された値が乗算されます。それぞれの値についてシミュレーションが新たに実行されます。

リストステップ形式

```
.STEP <name> LIST <value>* ;$MCE <parameter>
```

この形式では、値はリスト内の値に順次ステップ変更されます。それぞれの値についてシミュレーションが新たに実行されます。

例

```
.STEP LIN RES RES1( R ) 0.5 2 0.3  
.STEP DEC CAP POLY1 ( C ) 10P 1N 10  
.STEP RES RCARBON ( R ) LIST 1 2 3 4 5
```

このコマンドは、SPICEファイルのステップ機能を実装します。回路図の回路で使用可能なすべてのステップ機能は、このコマンドによりSPICEネットリスト回路で使用できます。

;\$MCE<parameter>の追加により、抵抗器、コンデンサ、インダクタの値等、シンプルなコンポーネントのパラメータを取り扱えるように標準のSPICEの構文を拡張しています。SPICEの多くの種類では、乗数モデルパラメータによりこれらが間接的にステップ変更されることが必要です。

.SUBCKT

一般形式 (SPICEファイルおよび回路図テキスト領域のみ)

```
.SUBCKT <subcircuit name> [node]*  
+ [OPTIONAL :<<interface node>=<default value>>*]  
+ [PARAMS :<<parameter name>=<parameter default value>>*]  
+ [TEXT :<<text name>=<text default value>>*]
```

例

```
.SUBCKT LT1037 1 2 3 50 99  
.SUBCKT CLIP IN OUT PARAMS : LOW = 0 HIGH = 10  
.SUBCKT 7400 D1 D2 Y1  
+ OPTIONAL : DPWR = 44 DGND = 55
```

この文によりサブサーキット定義が開始されます。サブサーキット定義は.ENDS文で終了します。.SUBCKTと.ENDS文の間にあるすべての文がサブサーキット定義に含まれます。

<subcircuit name>はサブサーキットの名前で、そのサブサーキットが呼び出されたり、別の回路が使用するときに使います。

[<node>]*はサブサーキットから呼び出し回路に渡されるノード番号です。サブサーキット呼び出しのノード数は、.SUBCKT文のノード数と同じである必要があります。サブサーキットが呼び出されると、呼び出しのノードは、.SUBCKT文と同じ順にサブサーキット本体内のノードに置き換わります。次の例を考えてみます。

X1 1 2 BLOCK

```
.SUBCKT BLOCK 10 20  
R1 10 0 1K  
R2 20 0 2K  
.ENDS
```

上の例では、抵抗R1はノード1とノード0の間、R2はノード2とノード0の間に接続されています。

OPTIONALキーワードにより、サブサーキット呼び出しにノードを追加することができます。ノードを追加すると、規定値のノード値を上書きします。このオプションは規定値のデジタルグローバル電源ピンを上書きするためにもっともよく使います。サブサーキット呼び出しでは、複数の省略可能なノードを指定できますが、その際指定したいノードまでのすべてのノードを指定する必要があります。スキップされているノードをパーサが判断することはできないため、ノードをスキップすることはできません。

次の例を考えてみます。

```
.SUBCKT GATE 1 2  
+ OPTIONAL : A = 100 B = 200 C = 300
```

下記の例はいずれも有効な呼び出しです。

```
X1 1 2 GATE ; 結果:A = 100 B = 200 C = 300  
X2 1 2 20 GATE ; 結果:A = 20 B = 200 C = 300  
X3 1 2 20 30 GATE ; 結果:A = 20 B = 30 C = 300  
X4 1 2 20 30 40 GATE ; 結果:A = 20 B = 30 C = 40
```

PARAMSキーワードにより、複数の数値パラメータをサブサーキットにわたすことができます。<parameter name>はパラメータ名を定義し、<parameter default value>はそのパラメータがサブサーキット呼び出しに含まれないときに想定される値を定めます。次の例を考えてみます。

```
.SUBCKT BAND 10 20 30  
+ PARAMS : F0 = 10K BW = 1K
```

下記の例はいずれも有効な呼び出しです。

```
X1 10 20 30 BAND ; Yields F0=10K BW = 1K  
X2 10 20 30 BAND PARAMS : F0=50K BW=2K ; Yields F0=50K BW = 2K  
X3 10 20 30 BAND PARAMS : BW=2K ; Yields F0=10K BW = 2K
```

キーワードTEXTにより、テキストパラメータをサブサーキットに渡すことができます。<text name>はテキストパラメータ名を定め、<text default value>はパラメータがサブサーキット呼び出しに含まれないときに想定する値を定めます。次の例を考えてみます。

```
.SUBCKT PLA 1 2 3 4 TEXT : FILE = "J10.JED"
```

下記の例はいずれも有効な呼び出しです。

```
X1 10 20 30 40 PLA ; Yields FILE = "J10.JED"  
X2 10 20 30 40 PLA TEXT : FILE = "J20.JED" ; Yields FILE = "J20.JED"
```

テキストパラメータは以下の目的に使うことができます。

- PLDコンポーネントのJEDECファイル名を指定する。
- FSTIMデバイスのステイミュラスファイル名を指定する。
- サブサーキットにわたすテキストパラメータを指定する。
- 上記のいずれかのテキスト数式の一部として使う。

.TEMP

一般形式 (SPICEファイルのみ)

.TEMP <temperature value>*

例

```
.TEMP 50 ; TEMP = 50で1回実行  
.TEMP 0 50 100 ; TEMP = 0、50、100度で計3回実行
```

.TEMP文は回路を解析する動作温度を指定します。規定値は、27°Cです。温度依存のパラメータは、動作温度とパラメータ測定温度の差による関数になります。

デバイスパラメータの測定が行われたときの温度を測定温度またはTNOMといいます。この温度は.OPTIONS TNOM = XXのような文で定義します。この文が回路にないときは、全般設定のTNOMを使います。

.TF

一般形式 (SPICEファイルのみ)

.TF <output expression> <input source name>

例

```
.TF V (OUT) V1  
.TF VBE (Q1) * IB (Q1) VIN
```

このタイプの解析では、指定された<input source name>から指定された<output expression>までの小信号DC伝達関数が計算されます。小信号DC入力抵抗・出力抵抗も計算されます。

.TIE

一般形式 (回路図)

.TIE <part name> <pin name>

例

```
.TIE JKFF CLKB  
.TIE LF155 VCC
```

.TIE文は、指定された<part name>の指定された<pin name>をすべて接続します。たくさんの共通ピンを同時に接続する際に便利です。これは通常、電源、クロック、リセット、プリセットのピンに対して利用します。上記1つ目の例では、すべてのJKFF部品のCLKBピンが互いに接続されます。

なお、<part name>は、コンポーネントライブラリにある一般的な部品名であり、回路図上の部品名を指すものではありません。例えば、3つのJKFF部品U1、U2、U3がある回路において「.TIE JKFF CLKB」とするとCLKBピンが接続されます。

.TR

一般形式（回路図）

.TR <s1 t1> [s2 t2 ...sn-1 tn-1 sn tn]

.TR文により、トランジェント解析の異なる部分の最大時間ステップを設定できます。

例

.TR 1n 100n.1n 200n 10n 1u

この例では、時間ステップは、tmin~100nでは1n、100ns~200nsでは0.1n、200ns~1usでは10nに制限されます。

このコマンドの目的は、難しい回路をシミュレーションするための柔軟性を提供することです。重要部分の実行に、用心深く（小さな）最大時間ステップが必要な場合によく使用されます。全体に小さな最大時間ステップを指定すると実行時間が非常に長くなってしまいます。このコマンドがない場合は、解析リミットダイアログボックスで指定された最大時間ステップパラメータにより、実行全体の時間ステップが制御されます。

.TRAN

一般形式（SPICEファイルのみ）

.TRAN <printstep> <run stop time>
+ [<print start time> [<max time step>]] [UIC]

例

```
.TRAN 10ps 110ns  
.TRAN 1ns 1us 500ns.5ns UIC
```

.TRANコマンドの引数はトランジェント解析の実行パラメータをコントロールします。これらは**解析メニュー**から**トランジェント**を選択すると、該当する解析リミットダイアログボックスのフィールドにコピーされます。変換は次のように行われます。

<u>.TRANの値</u>	<u>Micro-Capにおける割当て</u>
<printstep>	Number of Points = 1 +<run stop time> / <printstep>
<run stop time>	Time Range = <run stop time>
<print start time>	影響なし
<max time step>	最大時間ステップ = <max time step>
UIC	動作点オプションを無効

<printstep>値は数値プリントアウト間隔を宣言します。<run stop time>値はシミュレーションする最後の時間点を指定します。UICキーワード (Use Initial Conditionsの頭字語) は、シミュレータが通常の動作点計算をスキップし、.IC文やデバイスの初期条件で指定される初期条件を用いるように指示します。

.WARNING

一般形式 (回路図)

```
.WARNING ["Title" [,]] "Message" [,] condition [,print_expr]
```

例1

```
.WARNING "Capacitor overvoltage", V(C1)>50
```

この例でのトランジェント実行からの一般的なアウトプット

Warning:

Capacitor overvoltage at T = 0

例2

```
.WARNING "Reminder", "Power is excessive", PDT>5, V(VCC)
```

この例でのトランジェント実行からの一般的なアウトプット

Reminder :

Power is excessive at V(VCC) = 5.5

例3

.WARNING "AC Gain inadequate", dB(V(OUT))<41
この例でのAC実行からの一般的なアウトプット

Warning:
AC Gain inadequate at F = 1E3

このコマンドでは、条件がTRUEである場合に現れる警告メッセージを定義します。条件は $I(R1)>2$ のような論理式です。条件が解析中に真である場合、メッセージは回路図でプリントされます。そのとき *print_expr* が指定されていればその値もプリントされます。*print_expr* が指定されていない場合、解析掃引変数(トランジェントのT、ACのF、DC解析のDCINPUT1)が印刷されます。

「Title」は規定値の「Warning」に優先します。

*print_expr*に先行するコンマ以外のすべてのコンマはスペースとなります。テキスト「 \n 」はメッセージテキストの新しいラインを強制します。これはコマンドがグリッドテキストボックスを使って入力されたときは不要です。

条件にグローバル部品名を使うことができます。

例

単一部品に適用される警告条件の例：

R1の電圧が1を超えた場合、 $V(R1)>1$ がメッセージをトリガーします。
C3に蓄積されたエネルギーが100nを超えた場合、 $ES(C3)>100n$ がメッセージをトリガーします。

複数の部品に適用される警告条件の例：

Dの文字で始まる名前の二端子デバイスの電力消費が100mWを超えた場合、 $PD(D@)>100mW$ がメッセージをトリガーします。

RXの文字で始まる名前の二端子デバイスの電流が15mを超えた場合、 $I(RX@)>15m$ がメッセージをトリガーします。

このコマンドの使用法例については、サンプル回路WARN.CIRとWARN2.CIRを参照してください。

.WATCH

一般形式 (SPICEのみ)

```
.WATCH [ DC ] [ AC ] [ TRAN ] [<output_var>]*
```

例

```
.WATCH TRAN V ( 220 ) I ( L1 )  
.WATCH AC DB ( V ( 1 ) ) PH ( V ( 1 ) )  
.WATCH DC V ( OUT )
```

.WATCHコマンドにより、SPICEファイル解析実行中に観察する数値を指定できます。1つまたは複数の<output_var>式の値が計算され、ウォッチウィンドウに表示されます。

このコマンドのすべての動作は、ウォッチウィンドウとブレークポイントウィンドウでも実行可能です。このコマンドが主として実行することは、.WATCHコマンド内の監視情報をSPICEファイルと共に保存できるようにエンコードすることなので、後で再使用できます。

本章の内容

本章では、モデルプログラムの操作について説明します。

モデルは、データシートからデバイスモデルパラメータを迅速、簡単、正確に作成するためのものです。モデルは対話型の最適化カーブフィッターで、データシートのグラフや表から数値を取り出し、モデルパラメータの最適化されたセットを生成します。

一般的なガイドラインとしては、2～5個のデータペアを、データシートの該当するグラフから読み取ってください。グラフがない場合は、スペック表の1組のデータを使います。スペック表がない場合は規定値を使います。代表的な室温値を使用して下さい。データの入力後は、最初の推定のために**初期化オプション**を使用し、それから**最適化オプション**を使用します。

MC10の新機能

- ・3種類の新しいメソッドが追加され、最適化が改良されました。現在使用可能なメソッドはPowell、Hooke、Levenberg-Marquardt、および微分展開です。
- ・新しいユーザオプションにより、テスト回路を定義し、その中の部品について最適化の方法を指定できるようになりました。その結果、BSIM3、BSIM4、PSP、Mextramなどの部品のモデリングが簡易化されました。

モデルの起動のしかた

モデルには、ファイルメニューでモデルデータファイル（拡張子MDLのもの）をオープンまたは作成する、あるいはモデルメニューでモデルデータファイルをオープンしてアクセスします。

モデルウィンドウ

モデルウィンドウには、データファイルの作成やアクセス、最適化モデルの生成に必要な全機能が収められています。画面は次のようになります。

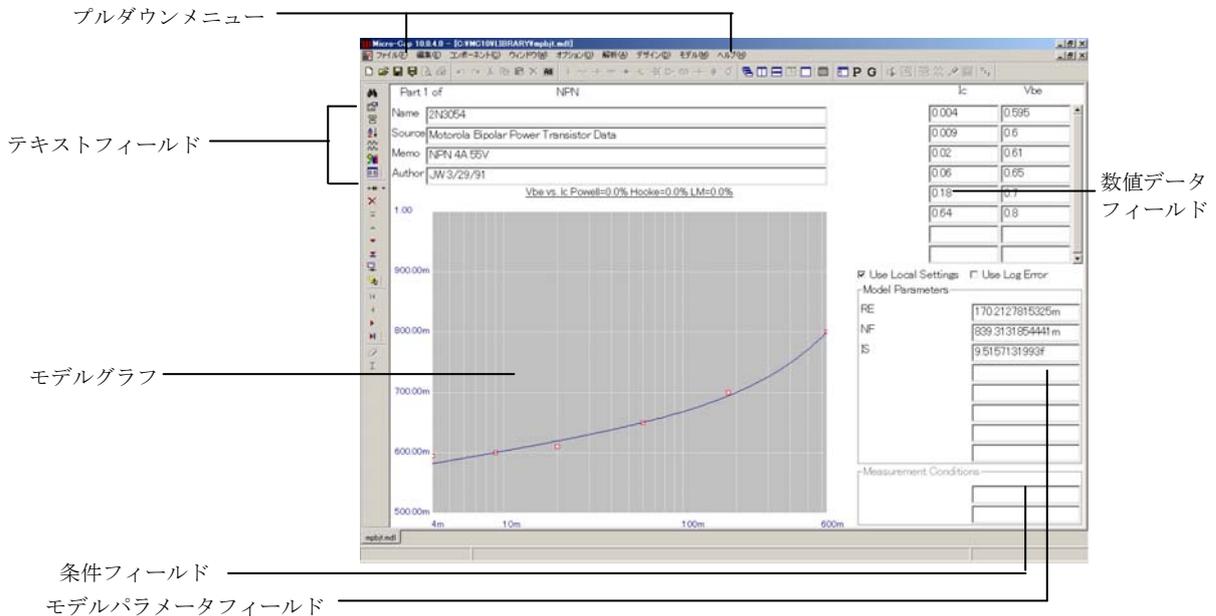


図27-1 メインディスプレイ

モデルウィンドウの主な構成要素は、以下の通りです。

テキストフィールド：Name、Source、Memo、Authorの4つがあります。Name、Memoの各フィールドはMicro-Capのコンポーネントライブラリへインポートされます。Nameフィールドには部品名が格納され、ソートに使用されます。他のテキストフィールドは追加説明としてのみ使います。

数値データフィールド：デバイスタイプやグラフによりますが、1～3列のデータフィールドがあります。1～50までのデータセットを入力できます。データは通常、データシートのグラフから得られます。グラフがない場合、スペック表のデータ点を1つ入力します。スペック表に求める値がない場合、データを入力せずに、モデルパラメータの規定値を使用します。

モデルグラフ：モデルグラフは、モデルフィールド内のモデルパラメータによる曲線プロットを表示します。また、ユーザが入力した数値データ点もプロットします。フィッティングの程度は、データ点と曲線との一致を見ることで判定できます。より厳密な推定は、エラーとして表示されます。このエラーは、全データ点の百分率誤差の平均です。

ローカル設定を使用する：このチェックボックスでは、最適化で全般設定またはローカル設定のどちらを使用するかを制御します。ローカル設定はファイル固有です。このチェックボックスが有効になっている場合、ローカル設定が全般設定に優先します。この設定はモデル/オプションで使用できます。

対数誤差を使用する：このチェックボックスでは、誤差（測定データ点と計算値との差）の計算で対数ベースまたは線形ベースのどちらを適用するかを制御します。

モデルパラメータフィールド：モデルパラメータは初期化や最適化によって変更されますが、直接編集することもできます。これは、モデルパラメータの変更の影響を評価するのに便利なことがあります。より良いパラメータを得るために、マニュアルでモデルパラメータを初期化するのに使用できます。

条件フィールド：これらのフィールドには、データ点が得られたときの、測定の外部試験条件を入力します。

モデルツールバー

このツールバーはモデル機能へのアクセスを提供します。



・**検索**：これは一致するストリングに対してテキスト領域を検索します。通常は部品名の検索に利用されます。



・**プロパティ (F10)**：ウィンドウのプロパティダイアログボックスにアクセスします。ここでは画面領域の色やフォント、ツールバーのレイアウトを制御できます。



・**マージ**：現在のファイルをディスクのファイルとマージします。その結果は現在のデータファイルに表示されますが、ユーザが上書き保存または名前をつけて保存コマンドで要求した場合またはファイルがアンロードされたときにのみ、ディスクに保存されます。



・**並べ替え**：名前により英数字でファイルの部品をソートします。



・**ステップ**：このコマンドはモデルパラメータの一つをステップイングします。



・**これらの部品をコンポーネントライブラリに追加**：このコマンドにより、ファイル内の部品の各々についてモデル文を作成し、それらをユーザが名前を付けたファイル (.LIB) に配置し、部品をコンポーネントライブラリに入力して、それらをすぐに回路図で使えるようにします。



・**部品リスト (CTRL+L)**：部品リストダイアログボックスを開き、モデルファイルを開きます。開いたファイルから部品を移動、コピー、削除できます。



・**部品の追加**：現在のファイルに新しい部品を追加できます。部品タイプはサブメニューから選択でき、ファイルの最後に追加されず。



・**部品の削除**：このコマンドは現在表示されている部品を削除します。



・**最初のグラフ**：(CTRL + SHIFT + LEFT ARROW) 現在の部品の最初のグラフを表示します。



・**前のグラフ**：(CTRL + LEFT ARROW) 前のグラフを表示します。



・**次のグラフ**：(CTRL + RIGHT ARROW) 次のグラフを表示します。



・**最後のグラフ**：(CTRL + SHIFT + RIGHT ARROW) 最後のグラフを表示します。



・最初の部品 (CTRL + HOME) : ファイルの最初の部品を表示します。



・前の部品 (CTRL + UP ARROW) : 前の部品を表示します。



・次の部品 (CTRL + DOWN ARROW) : 次の部品を表示します。



・最後の部品 (CTRL + END) : ファイルの最後の部品を表示します。



・最適化 : (CTRL + T) 提供されたデータ点に適合するようにモデルパラメータ値を最適化します。最適化は、現在の部品の選択されたグラフについて実行されます。最適化は、データ点とパラメータの特定の集合により予測されたプロット値の間のRMS差を最小化することによって実行されます。



・初期化 : (CTRL + 1) 部品の表示グラフのモデルパラメータ値を初期化します。これは通常は最適化の前に実行します。



・データの削除 : (CTRL + D) このオプションは、現在カーソルが位置しているデータ領域のデータ対や、3個のデータを削除します。テキスト領域ではなく、数値データ領域だけに影響します。テキストカーソルが数値データ領域の一つに位置しているときだけ有効です。

モデルメニュー

このメニューからモデルのほとんどの機能にアクセスできます。

- ・ **新規**：モデルファイルを新規作成します。
- ・ **開く**：既存のモデルファイルを開きます。
- ・ **マージ**：現在のファイルと、ディスク上のデータファイルをマージします。結果は現在のデータファイルとして表示されますが、保存や名前をつけて保存コマンドによって要求したときや、ファイルをアンロードするときだけディスクに保存されます。
- ・ **これらの部品をコンポーネントライブラリに追加**：このコマンドにより、ファイル内の各部品のモデル文を作成し、それらをユーザが名前を付けたファイル (.LIB) 内に配置し、部品をコンポーネントライブラリに入力して、それらをすぐに回路図内で使用できるようにします。
- ・ **並べ替え**：このコマンドにより、部品を英数字でソートिंगします。
- ・ **極性変更**：表示されているデバイスの極性を変更することができます。例えばバイポーラトランジスタの極性をNPNからPNPに変更したり、MOSFETをPMOSからNMOSに変更したりできます。
- ・ **コアユニットの変更 (CTRL + U)**：SI単位のテスラ、A/mとcgs単位のガウス、エルステッドを切り替えることができます。これは、プロットのスケール値とB-H曲線のデータだけに影響します。最適化されたモデルパラメータは、常に両方の単位の元のハイブリッドシステムのままです。
- ・ **データの削除 (CTRL + D)** このオプションは、現在カーソルが位置しているデータフィールドのデータ対や3個のデータを削除します。テキストフィールドではなく、数値データのフィールドだけに影響します。テキストカーソルが数値データフィールドのどれかに位置している時だけ有効です。
- ・ **部品の追加**：このオプションは、現在のファイルに新しい部品を追加します。サブメニューから部品のタイプを選択し、ファイルの最後に追加します。
- ・ **部品の削除**：このコマンドは、現在表示されている部品を削除します。

・ **部品をテンプレートライブラリに保存** : このコマンドは、表示中のユーザ定義部品をテンプレートライブラリに追加し、別の部品を作成するときその形式 (グラフなど) を使用できるようにします。その後、部品名が部品の追加ドロップダウンリストに追加されます。

・ **テンプレートライブラリの編集** : このコマンドを使用すると、テンプレートライブラリ内のユーザ定義部品を削除できます。

・ **この部品に対してモデルを作成** : 部品が基本部品 (NPN、NMOS など) の場合は.model文、部品がUSER部品の場合はサブサーキット、マクロ、または必要に応じてモデル文を含むライブラリファイルを作成します。オプションでコンポーネントライブラリに部品を追加することも可能です。

・ **すべての部品に対してモデルを作成** : 上のコマンドと同じですが、開いているモデルファイルのすべての部品に対してモデルを作成するという点だけが異なります。オプションでコンポーネントライブラリに部品を追加することも可能です。

・ **グラフの追加** : 現在の部品に新しいグラフを追加します。このオプションは部品がユーザタイプの場合のみ使用可能です。

・ **グラフの並べ替え** : ユーザグラフの順序を変更します。このオプションは部品がユーザタイプの場合のみ使用可能です。

・ **グラフの削除** : 選択したユーザグラフを削除します。このオプションは部品がユーザタイプの場合のみ使用可能です。

・ **データの入力** : XやZのデータ値が一定で繰り返しが多いBJTやMOSFETのIV曲線など、複数のデータフィールドを素早く入力できます。

・ **データのインポート** : テキストファイルからUSERデバイスのデータをインポートします。形式は標準解析の数値出力と同じです。

・ **オプション** : これで多数のオプションにアクセスします。

・ **全般最適化設定** : オプティマイザの全般パラメータを編集できます。

・ Powell

・**最大反復変更**：ある繰り返しから次の繰り返しまでのRMS誤差関数の変動がこの値を下回ると、最適化が停止します。通常、この値は1u~1mです。

・**最大パーセント反復変更**：ある繰り返しから次の繰り返しまでのRMS誤差関数のパーセント差がこの値を下回ると、最適化が停止します。通常、この値は1u~1mです。

・**最大パーセントエラー**：RMS誤差関数の実際のパーセント差がこの値を下回ると、最適化が停止します。通常、この値は0.1~5.0です。

・ Hooke

・**最大反復変更**：ある繰り返しから次の繰り返しまでのRMS誤差関数の変動がこの値を下回ると、最適化が停止します。通常、この値は1u~1mです。

・**最大パーセントエラー**：ある繰り返しから次の繰り返しまでのRMS誤差関数のパーセント差がこの値を下回ると、最適化が停止します。

・**ステップ長乗数**：次のステップの選択時にアルゴリズムで使用する乗数です。

・**ステップ長許容値**：この値を下回ると最適化が停止する許容値ステップです。

・**最大反復**：目的関数への最大コール数です。

・ 微分展開

・**最大反復**：目的関数への最大コール数です。

・**最小反復**：目的関数への最小コール数です。

・**交叉確率**：パラメータが特定の世代において変化する確率です。

・ **変異係数** : 各世代における変異率を決定する係数です。

・ **乗数** : 母集団を設定する係数です。母集団のサイズは「乗数*変数の数」と同等です。

・ **初期レンジ係数** : デフォルトの上限および下限を設定します。下限=初期値/係数。上限=初期値/係数。

・ **各メソッドの初期化** : 有効時、各メソッドの開始前にパラメータセットを初期化します。無効時は、前回のメソッドの最終値が使用されます。最終値を使用することで、以前の推定値を改良することが可能になる場合があります。

・ **メソッド** : このリストボックスとコントロールで、使用可能ボックスから一連のメソッドを選択します。

・ **ローカル最適化設定** : オプティマイザのローカルパラメータです。形式は上記の全般設定と同じですが、ローカル設定を使用するフラグが設定されていないと使用できません。

・ **モデル規定値** : すべてのモデルパラメータの最小値、初期値、最大値を変更するエディタにアクセスします。最小値と最大値は、最適化するパラメータの限界値です。初期値は、最適化前の初期化に使用します。

・ **自動スケール (F6)**

このコマンドは、プロットを自動的にスケールリングします。

・ **手動スケール (F9)**

このオプションで、プロットのスケールを手動で変更できません。

・ **モデルパラメータのステップ**

このオプションで、任意のモデルパラメータをステップングして曲線への影響を確認します。

・ **ビュー**

部品やそのグラフにアクセスすることができます。左から右へと配列したグラフおよび上から下への部品を有する二次元構造としてデータファイルを見ることが出来ます。CTRL + 矢印キーにより、ファイルへの一種の2次元アクセスが可能です。

- ・ **部品リスト (CTRL + L)** : このコマンドで、部品リストダイアログボックスを開きます。開いたファイルから部品を移動、コピー、削除できます。
- ・ **最初の部品 (CTRL + HOME)** : ファイル内の最初の部品を表示します。
- ・ **前の部品 (CTRL + 上矢印)** : 前の部品を表示します。
- ・ **次の部品 (CTRL + 下矢印)** : 次の部品を表示します。
- ・ **最後の部品 (CTRL + END)** : ファイル内の最後の部品を表示します。
- ・ **最初のグラフ (CTRL + SHIFT + 左矢印)** : 現在の部品の最初のグラフを表示します。
- ・ **前のグラフ (CTRL + 左矢印)** : 前のグラフを表示します。
- ・ **次のグラフ (CTRL + 右矢印)** : 次のグラフを表示します。
- ・ **最後のグラフ (CTRL + SHIFT + 右矢印)** : 最後のグラフを表示します。
- ・ **すべてのグラフ** : すべてのグラフを表示します。
- ・ **一度に1つのグラフ** : 1つのグラフを表示します。
- ・ **グラフのリスト** : 部品のグラフリストからグラフを追加できます。
- ・ **初期化** : (CTRL + I) 部品の表示グラフのモデルパラメータ値を初期化します。これは、通常最適化の前に実行します。
- ・ **最適化** : (CTRL + T) 提供されたデータ点に適合するようにモデルパラメータ値を最適化します。最適化は、現在の部品の選択されたグラフについて実行されます。
- ・ **すべてのグラフを初期化** : 部品の全グラフを初期化します。
- ・ **すべてのグラフを最適化** : 部品の全グラフを最適化します。
- ・ **すべての部品を初期化** : ファイル内のすべての部品の全グラフを初期化します。
- ・ **すべての部品を最適化** : ファイル内のすべての部品の全グラフを最適化します。

バイポーラトランジスタでの例

モデルを使用方法を説明します。ここではトランジスタ2N3903を使用しましょう。以下の例はデータブック *Motorola Small-Signal Transistors, FETs, and Diodes Device Data Rev 5* のページ2-3以降に記載されている製品データシートに基づいています。

まず新しいファイルを作成するところから始めましょう。ファイル/新規/モデルファイルを選択し、OKボタンをクリックします。これにより、MDL1.MDLと呼ぶモデルファイルが作成されます。ダイアログボックスからNPNタイプを選択します。これにより、データ点がないNPN部品が追加されます。Nameテキストフィールドに「2N3903」と入力します。

これで、データを入力できます。モトローラのハンドブックのページ2-7、図27の“ON” VOLTAGESグラフを見て下さい。2つあるVbe vs.Icのプロットから、Vbe (sat) @ Ic/Ib = 10の曲線を採用します。TabキーやマウスでカーソルをIcのデータフィールドへ移動させます。グラフから、下記のデータセットを入力します。

Ic	Vbe
.001	.65
.01	.74
.025	.80
.1	.93

CTRL + Iを押して値を初期化し、CTRL + Tを押して値を最適化します。結果は次のようになります。

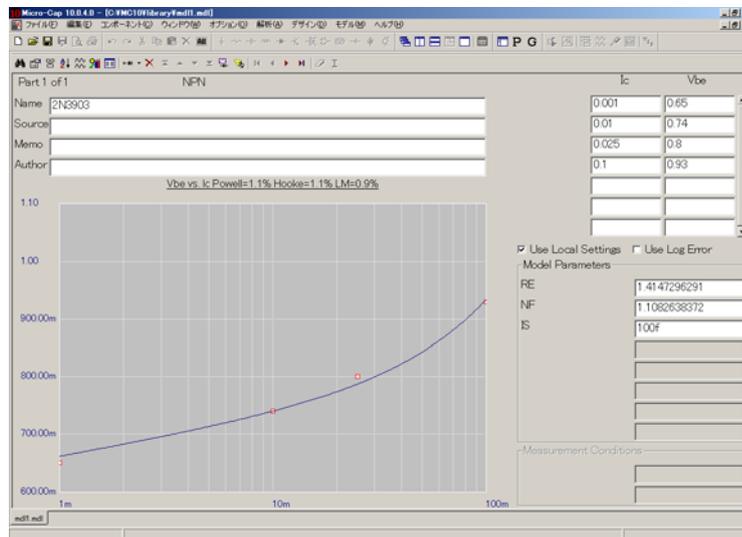


図27-2 Vbe vs. Icプロット

モデルパラメータRE、NF、ISが4種類のメソッドで最適化されます。
Levenberg-Marquardt法で、Vbe vs. Icの曲線が1%より少し低い誤差でフィットされました。これはこの種類のグラフにおける平均誤差より若干よい結果です。

CTRL + 右矢印を押すと、Hoe vs.Icグラフが表示されます。Hoeの表から最大値 (Ic = 1mA、Hoe = 40E-6)を入力します。CTRL + Tを押します。

CTRL + 右矢印を押すと、Beta vs.Icグラフが表示されます。ページ2-6、図15のグラフDC Current Gainを見てください。25度のときのプロットを採用し、グラフからつぎのデータ点を入力します。

Ic	Beta	Ic	Beta
.0001	44	.030	72
.001	77	.050	50
.005	98	.100	27
.010	100		

カーソルを測定条件フィールドへ移動させ、Vceに1.0を入力します。
CTRL + Iで初期化、CTRL + Tで最適化を行います。結果は次のようになります。

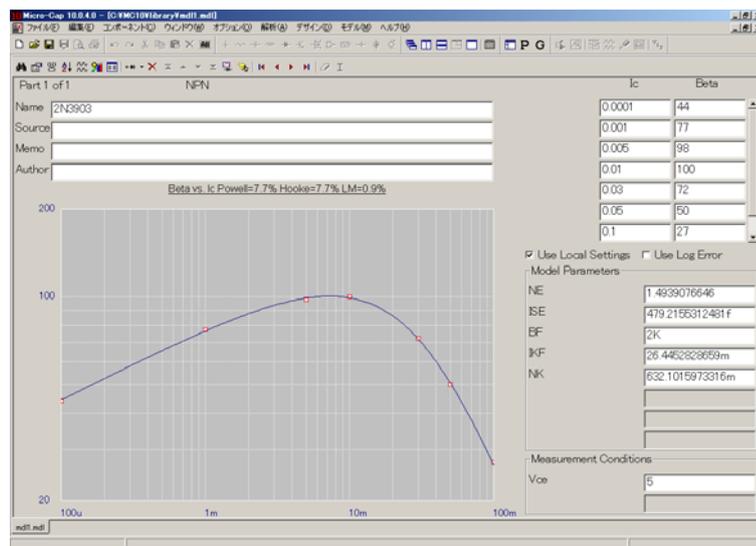


図27-3 Beta vs. Icプロット

モデルパラメータNE、ISE、BF、IKF、NKが4種類すべてのメソッドで最適化されます。最も良好なフィットはLevenberg-Marquardt法によるもので、約1%の誤差でフィットされました。このプロットの場合、誤差範囲は通常5%~20%です。CTRL + 右矢印を押すと、モデルは次のグラフ Vce vs. Icを表示します。

前に使ったのと同じ“ON” VOLTAGESグラフから、Vce (Sat) 曲線を採用します。この曲線からつぎのデータ点を入力します。

Ic	Vce
.001	.1
.010	.11
.05	.2
.10	.35

カーソルを測定条件フィールドへ移動させ、Ic/Ibに10を入力します。値を初期化・最適化すると、結果は次のようになります。

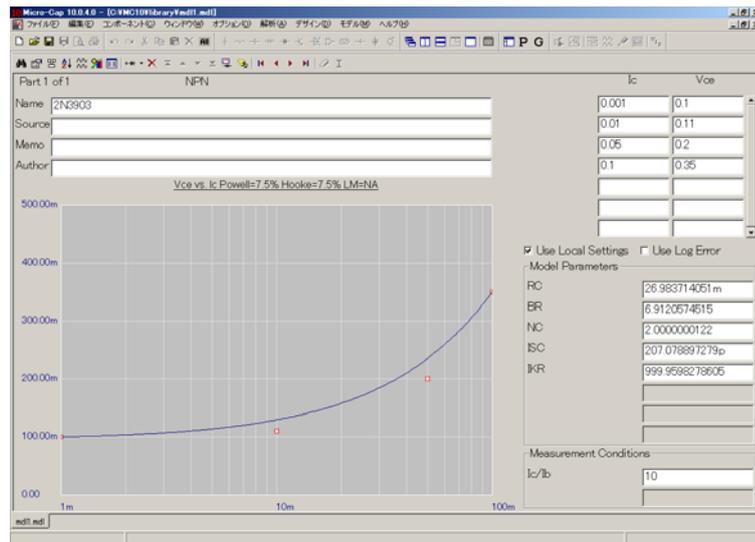


図27-4 Vce vs. Icプロット

モデルパラメータRC、BR、NC、ISC、IKRが最適化され、Vce vs. Icのプロットがフィットされました。微分展開が最も良好なフィットで、約5%の誤差でした。これはVceプロットとしては良好なフィットです。一般的に、ここでは5%~25%の誤差範囲が見込まれます。

CTRL + 右矢印を押して、次のプロットCob vs. Vcbを選択します。ページ2-4の図3、CAPACITANCEグラフのCoboプロットから、次の値を入力します。

Vcb	Cob
0.10	3.5pF
1.00	2.7pF
10.0	1.7pF

値を初期化および最適化すると、図27-5のように表示されます。

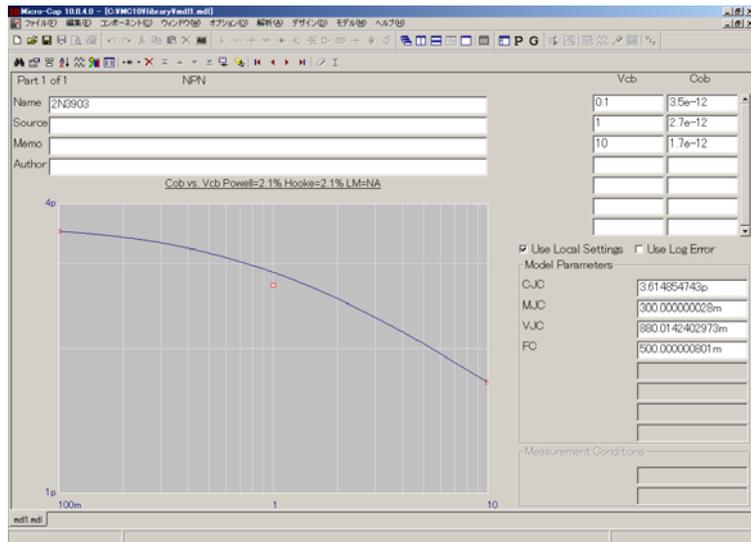


図27-5 Cob vs. Vcbプロット

CTRL + 右矢印を押して、次のプロットCib vs.Vebを選択します。ページ2-4の図3、CAPACITANCEグラフのCiboプロットから、次の値を入力します。

Veb	Cib	Veb	Cib	Veb	Cib
.10	4.2pF	1.0	3.3pF	5.0	2.5pF

値を初期化および最適化すると、つぎのように表示されます。

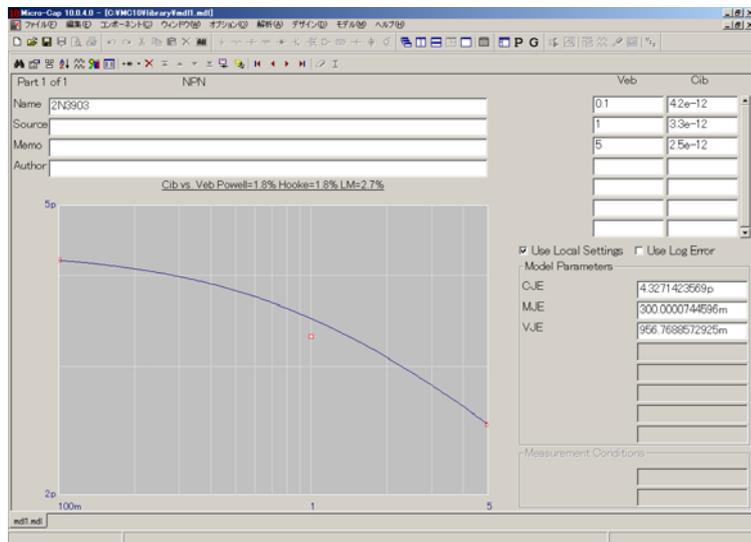


図27-6 Cib vs. Vebプロット

CTRL + 右矢印を押して次のプロットTS vs. Icを選択します。ページ2-5の図7、STORAGE TIMEのIc/Ib=10の曲線から、次のコレクタ電流と蓄積時間を入力します。

Ic	TS
1m	100n
10m	130n
200m	53n

測定条件 Ic/Ibフィールドを10に設定します。初期化して最適化すると、結果は次のようになります。

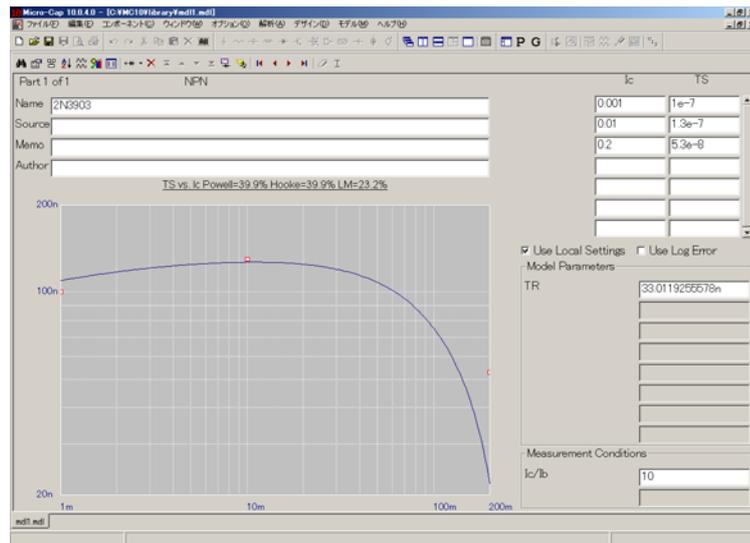


図27-7 TS vs. Icプロット

モデルパラメータTRが最適化され、平均誤差が14%以下になりました。

CTRL + 右矢印を押して次のプロットFT vs. Icを選択します。小信号特性の表から下記のデータ点を入力します。

Ic	FT
10m	250E6

測定条件フィールドのVceに10.0を入力します。値を初期化および最適化すると、つぎのように表示されます。

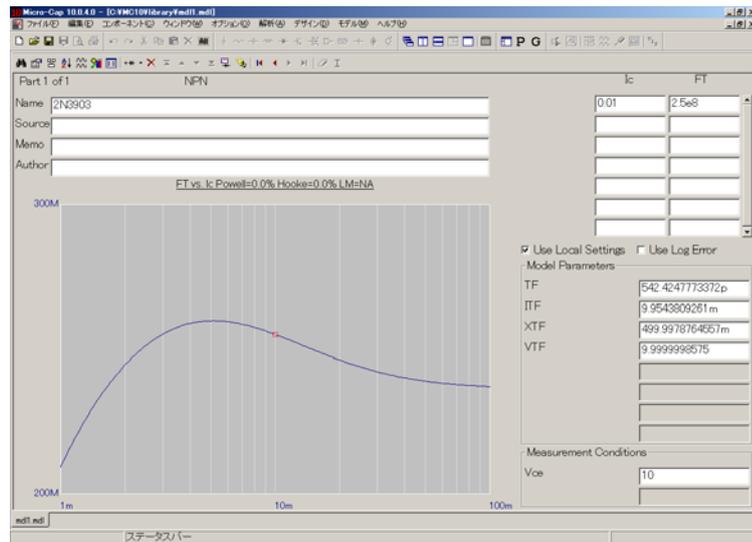


図27-8 FT vs. Icプロット

モデルパラメータTFとITFが最適化され、1つのデータ点にほぼ完璧にフィットしました。XTFとVTFには、最適化されていない標準値が使用されます。

これで2N3903における例は完了です。非常によく使われている部品であるためか、使用できるグラフやスペック値が豊富にあります。他の部品では、あまり文書化されていないこともあります。そのような場合、次の3つの選択肢があります。

1. 実際の部品サンプルでデータシートの値を測定する。
2. 規定値のモデルパラメータを使う。
3. 他の製造業者のよりよいドキュメントのある部品を使用する。

結果は、ファイルメニューの**保存**オプションを使用して、モデルファイルに保存します。

最後のステップとして、Micro-Capコンポーネントライブラリに部品を追加します。モデルメニューからこれらの部品をコンポーネントライブラリに追加オプションを選択します。使用するモデルライブラリファイルのパスと名前を指定できる翻訳ダイアログボックスが表示されます。OKボタンを押して規定値名のMDL1.LIBを受け入れます。これでライブラリファイルは保存され、Micro-Capで使用できるようになります。

他のデバイスについても同様の方法でパラメータを求めます。以降のページには、各グラフのサマリとガイドラインがあります。

ダイオードのグラフ

タイトル Forward current vs. Forward voltage
目的 IS、N、RSを推定します。
入力 1ペア以上のIf値とVf値。
出力 IS、N、RSのモデル値。
方程式 $V_f = V_T \cdot \ln(I_f / I_S) + I_f \cdot R_S$
ガイドライン If vs. Vfグラフのデータを使用します。グラフがない場合は、代表的な値を表から拾います。低電流レンジと高電流レンジの両方からデータを入力して下さい。低電流のデータからIS、NFの値が、高電流のデータからRSの値が決定されます。

タイトル Capacitance C vs. Reverse voltage
目的 CJO、M、VJ、FCを推定します。
入力 1ペア以上のCj値とVr値
出力 CJO、M、VJ、FCのモデル値
方程式 $C = CJO / (1 + VR / VJ)^M$
ガイドライン C vs. Vrグラフのデータを使用します。Vrは逆電圧の値で、常に正です。

タイトル Id vs. Vrev
目的 RLを推定します。
入力 1ペア以上のIrev値とVrev値。
出力 RLのモデル値。
方程式 $I_{rev} = V_{rev} / R_L$ (ブレークダウン領域は無視)
ガイドライン Irev vs. Vrevグラフのデータを使用します。グラフがない場合は、代表的な値を表から拾って下さい。RLは逆方向漏れ電流の主要成分をモデリングします。BVは最適化されません。

タイトル Trr vs. Ir/If ratio
目的 トランジット時間TTを推定します。
入力 1ペア以上のTrr値とIr/If値。Ir/IfはTrrの測定時に使用した順方向ベース電流と逆方向ベース電流の比。
出力 TTのモデル値。
方程式 $t_{rr} = t_t \cdot \log_{10}(1.0 + 1.0 / \text{ratio})$
ガイドライン Trr vs. Ir/If ratioグラフのデータを使用します。グラフがない場合は、代表的な値を表から拾って下さい。それも無い場合は、最小値と最大値の平均値を使用して下さい。

バイポーラトランジスタのグラフ

タイトル Vbe vs. Ic
目的 IS、NF、REを推定します。
入力 1ペア以上のVbe値とIc値。
出力 IS、NS、REのモデル値。
方程式 $V_{be} = V_T \cdot NF \cdot \ln(I_c/IS) + I_c \cdot RE$
ガイドライン VbeSat vs. Icグラフのデータを使用します。グラフがない場合は、代表的な値を使用して下さい。

タイトル Hoe vs. Ic
目的 順方向アーリ電圧VAFを推定します。
入力 1ペア以上のHoe値とIc値。
条件 Vceの値。
出力 VAFのモデル値。
方程式 $Hoe = I_c / (VAF + Vce - 0.7)$
ガイドライン Hoe vs. Icグラフのデータを使用します。グラフがない場合は代表的な値を使用して下さい。

タイトル Beta vs. Ic
目的 パラメータNE、ISE、BF、IKF、NKを推定します。これらのパラメータは、順方向ベータを低下させる低電流再結合と高準位注入の影響をモデリングします。
入力 1ペア以上のBeta値とIc値。
条件 Vceの値。
出力 モデル値NE、ISE、BF、IKF、NK。
方程式 $BF = f(Ic) = (BF \text{ vs. } Ic \text{ の数表換算関数})$
ガイドライン Beta vs. Icグラフのデータを使用します。グラフがない場合は代表的な値を表から拾って下さい。

タイトル Vce vs. Ic
目的 NC、ISC、BR、IKR、RCを推定します。これらは、逆方向ベータを低下させる低電流再結合と高準位注入の影響をモデリングします。コレクタ抵抗も推定されます。
入力 1ペア以上のVce値とIc値。
条件 測定に使われたIc/Ib比の値。
出力 モデル値NC、ISC、BR、IKR、RC。
方程式 $Vce = (Vce \text{ vs. } Ic \text{ の数表換算関数}) + I_c \cdot (RC + RE)$
ガイドライン Vce vs. Icグラフのデータを使用します。グラフがない場合は代表的な値を表から拾って下さい。

タイトル Cob vs. Vcb
目的 CJC、MJC、VJC、FCを推定します。
入力 1ペア以上のCob値とVcb値。
出力 モデル値CJC、MJC、VJC、FC。
方程式 $Cob = CJC / (1 + Vcb / VJC)^{MJE}$
ガイドライン Cob vs. Vcbグラフを使用して下さい。Vcbはコレクタ-ベース電圧で常に正です。

タイトル Cib vs. Veb
目的 CJE、MJE、VJEを推定します。
入力 1ペア以上のCib値とVeb値。
出力 モデル値CJE、MJE、VJE。
方程式 $Cib = CJE / (1 + Veb / VJE)^{MJE}$
ガイドライン Cib vs. Vebグラフを使用して下さい。Vebはエミッタ-ベース電圧で常に正です。

タイトル TS vs. Ic
目的 逆方向トランジット時間Trを推定します。
入力 1ペア以上のTS値とIc値。
条件 測定のときのIc/Ibの値。
出力 Trモデル値。
方程式 $ar = br / (1.0 + br)$, $af = bf / (1.0 + bf)$
 $k1 = (1.0 - af \cdot ar) / ar$, $k2 = (af / ar) \cdot TF$
 $TS = ((Tr + k2) / k1) \cdot \ln(2.0 / ((Ic / Ib) / bf + 1.0))$
ガイドライン TS vs. Icグラフか、代表的な値を使用して下さい。それもない場合、最小値と最大値の平均を使用してください。

タイトル Ft vs. Ic
目的 TF、ITF、XTF、VTFを推定します。
入力 1ペア以上のFt値とIc値。
条件 Vceの値。
出力 TF、ITF、XTF、VTFのモデル値。
方程式 $vbe = VT \cdot N \cdot \ln(Ic / ISS)$, $vbc = vbe - Vce$
 $atf = 1 + XTF \cdot (Ic / (Ic + ITF))^2 \cdot e^{(vbc / (1.44 \cdot VTF))}$
 $tf = TF \cdot atf + 2 \cdot (atf - 1) \cdot ITF / (Ic + ITF) + VT \cdot N \cdot (atf - 1) / (1.44 \cdot VTF)$
 $fa = (1 - vbc / VAF) \cdot (1 - vbc / VAF)$
 $Ft = 1 / (2 \cdot \pi \cdot (tf / fa + VT \cdot N \cdot (cje + cjc \cdot (1 + Ic \cdot RC / (VT \cdot N))) / Ic))$
ガイドライン Ft vs. Icグラフのデータを使用します。グラフがない場合は、代表的な値を使用します。それもない場合は、最小値と最大値の平均値を使用して下さい。

JFETのグラフ

タイトル	Id vs. Vgs
目的	BETA、VTO、RSの値を推定します。
入力	VgsとIdの値。
出力	BETA、VTO、RSのモデル値。
方程式	$V_{gs} = R_S \cdot I_d - V_{TO} - \sqrt{I_d / BETA}$
タイトル	Gos vs. Id
目的	LAMBDAの値を推定します。
入力	GosとIdの値を入力します。
出力	LAMBDAのモデル値。
方程式	$G_{os} = I_d \cdot LAMBDA$
タイトル	Crss vs. Vgs
目的	CGD、PB、FCの値を推定します。
入力	CrssとVgsの値を入力します。
条件	容量を測定したときのVdsの値。
出力	CGD、PB、FCのモデル値。
方程式	$Cr_{ss} = CGS / (1 - (V_{ds} - V_{gs} / PB)^5) \quad \{(V_{ds} - V_{gs}) < FC \cdot PB\}$ $Cr_{ss} = CGS / (1 - FC)^{1.5} \cdot (1 - FC \cdot 1.5 + 5 \cdot (V_{ds} - V_{gs}) / PB) \quad \{(V_{ds} - V_{gs}) \geq FC \cdot PB\}$
タイトル	Ciss vs. Vgs
目的	CGSの値を推定します。
入力	CissとVgsの値を入力します。
条件	容量を測定したときのVdsの値。
出力	CGSのモデル値。
方程式	$Cr_{ss} = C_{iss} + CDS / (1 - V_{ds} / PB)^5 \quad \{(V_{gs} < FC \cdot PB)\}$ $Cr_{ss} = C_{iss} + CDS / (1 - FC)^{1.5} \cdot (1 - FC \cdot 1.5 + 5 \cdot V_{gs} / PB) \quad \{(V_{gs} \geq FC \cdot PB)\}$
タイトル	Noise
目的	KFとAFの値を推定します。
入力	Enと周波数の値を入力します。
条件	測定時のIdの値。
出力	KFとAFのモデル値。
方程式	$v_{gs} = V_{TO} + I_d \cdot R_S + \sqrt{I_d / BETA}$ $g_m = 2.0 \cdot BETA \cdot (v_{gs} - V_{TO})$ $E_n = \sqrt{(8 \cdot k \cdot T \cdot g_m) / 3 + (KF \cdot I_D^{AF}) / \text{freq}} / g_m$

MOSFETグラフ

電圧と電流の値はすべて、Nチャンネルデバイスの場合は正の値、Pチャンネルデバイスの場合は負の値として入力します。

タイトル	Transconductance vs. Ids graph
目的	KP、W、L、VTO、RSを推定します。
入力	1ペア以上のGfs値とId値。
出力	モデル値KP、RS、W、VTO、L。
方程式	$\beta = KP \cdot W / L$ $t1 = (2 \cdot Id \cdot \beta)^{1/2}$ $Gfs = t1 / (1 + RS \cdot t1)$
ガイドライン	Gfs vs. Idグラフのデータを使用します。グラフがない場合、仕様表の代表的な値を使用して下さい。最も正確なRS値を得るためには、最高電流におけるデータ点を使用して下さい。
タイトル	Static drain-source on resistance vs. Drain current
目的	Ron vs.Id曲線からRDを推定します。
入力	1ペア以上のRon値とId値。
条件	Vgsの値。
出力	RDのモデル値。
方程式	$\beta = KP \cdot W / L$ $vgst = Vgs - VTO - Id \cdot RS$ $vds = vgst - (vgst^2 \cdot Id / \beta)^{1/2}$ $RON = RD + RS + 1 / (\beta \cdot (vgst - vds))$
ガイドライン	Ron vs.Id曲線のデータを使用して下さい。グラフがない場合、表の代表的な値を使用して下さい。最良の結果を得るためには、低電流時の値を使用して下さい。
タイトル	Output Characteristic Curves
目的	容量値を除いた基本的なモデル値を、全て推定します。既に推定されたW、VTO、RD、RS、LAMBDA、KP、Lの値を使用して、特性曲線Id vs.Vdsのデータ点へのフィットを最適化します。
入力	Id、Vds、Vgsの3つの値の組
出力	W、VTO、RD、RS、LAMBDA、KP、Lのモデル値。KPとLは最適化されませんが、計算には使用されます。
方程式	$Ids = 0.0 \quad Vgs < VTO$ $Ids = (KP \cdot W / L) \cdot (Vgs - VTO - .5 \cdot Vds) \cdot Vds \cdot (1 + LAMBDA \cdot Vds) \quad Vgs - Vth > Vds$ $Ids = (.5 \cdot KP \cdot W / L) \cdot (Vgs - VTO)^2 \cdot (1 + LAMBDA \cdot Vds) \quad Vgs - Vth < Vds$

ガイドライン 一つ前の画面がすでに使用されている場合は最適化の前の初期化を行わないで下さい。その他の場合は、最適化の前に初期化を行って下さい。出力特性曲線が利用できない場合、この画面はスキップして、以前の画面で生成されたモデル値を使用して下さい。

タイトル Idss vs. Vds

目的 ドレイン-ソース間の固定抵抗RDSを推定します。これはドレイン-ソース漏れ電流をモデリングします。

入力 1ペアのIdss値とVds値。

出力 RDSのモデル値。

方程式 $RDS = Vds/Idss$

ガイドライン スペック表やグラフのデータを使用して下さい。

タイトル Cds vs. Vds

目的 CBD、PB、FC、MJの値を推定します。

入力 Ciss、Coss、Crssの値。

出力 CBD、PB、FC、MJのモデル値。

方程式 $Cds = CBD/(1-Vds/PB)^{MJ}$

ガイドライン スペック表やグラフのデータを使用して下さい。

タイトル Vgs vs. Qg

目的 CGSOとCGDOの値を推定します。

入力 Q1とQ2を入力します。Q1はグラフの最初のブレイクポイントのゲート電荷、Q2は2番目の折点のゲート電荷です。

条件 測定を行ったVDS（またはVDD）とIDの値。

出力 CGSOとCGDOのモデル値。

方程式 回路シミュレーションを実行してVgsとQgsを測定します。

ガイドライン スペック表やグラフのデータを使用して下さい。

タイトル Gate Resistance

目的 ゲート抵抗RGの値を推定します。

入力 90%～10%立ち下がり時間Tfの値を入力します。

条件 測定を行ったVDDとIDの値。

出力 RGのモデル値。

方程式 回路シミュレーションを実行して立ち下がり時間を測定し、RGを調整して指定されたTfの値にフィットさせます。

ガイドライン スペック表やグラフのデータを使用して下さい。

OPアンプのグラフ

タイトル	Screen 1
目的	データシートから以下のモデルパラメータを直接入力します。 LEVEL : モデルレベル常に3を使用します。 TYPE : 入力の種類。1 = NPN、2 = PNP、3 = NJFET C : 補償コンデンサ A : DC開ループ電圧ゲイン ROUTAC : AC出力抵抗 ROUTDC : DC出力抵抗 VOFF : オフセット電圧
入力	LEVEL、TYPE、C、A、ROUTAC、ROUTDC、VOFFの値
出力	LEVEL、TYPE、C、A、ROUTAC、ROUTDC、VOFFの値
タイトル	Screen 2
目的	データシートから以下のモデルパラメータを直接入力します。 IOFF : 入力オフセット電流 SRP : 正スルーレート (V/Sec) SRN : 負スルーレート (V/Sec) IBIAS : 入力バイアス電流 VEE : 負電源 VCC : 正電源 VPS : 正電圧スイング
入力	IOFF、SRP、SRN、IBIAS、VEE、VCC、VPSの値
出力	IOFF、SRP、SRN、IBIAS、VEE、VCC、VPSの値
タイトル	Screen 3
目的	データシートから以下のモデルパラメータを直接入力します。 VNS : 負電圧スイング CMRR : 同相電圧除去比 GBW : 利得帯域幅積 PM : 位相マージン PD : 消費電力 IOSC : 出力短絡電流
入力	VNS、CMRR、GBW、PM、PD、IOSCの値
出力	VNS、CMRR、GBW、PM、PD、IOSCの値

コアのグラフ

タイトル	Core B-H
目的	この画面では、非線形磁気コアのモデル値MS、A、C、Kを推定します。Area、Path、Gapのモデル値は、データシートを表から直接入力します。
入力	H、B、領域の値の組。
出力	MS、A、C、Kのモデル値。
方程式	Jiles-Atherton状態方程式
ガイドライン	次のどちらかの方法でB-Hグラフのデータを入力します。

単位系	B	H
CGS	ガウス	エルステッド
SI	テスラ	アンプ/メートル

規定値は、エルステッド/ガウスのCGSです。モデルメニューのコアユニットの変更コマンド (CTRL+U) により、2つの単位系を切り替えることができます。

BH領域の値は、1または2または3です。

領域	値	あるいは次のように呼ぶ
H = 0 ~ Hmax	1.0	初期透磁率曲線
H = Hmax ~ -Hmax	2.0	上部B-H曲線
H = -Hmax ~ Hmax	3.0	下部B-H曲線

初期透磁曲線が利用できない場合は、領域1をスキップし、領域2、3の値を入力して下さい。最良の結果を得るためには、各領域ごとに同数のデータ点を入力します。場合によってはB-H曲線の上の部分しか得られないことがあります。このようなときにも、3つの領域の所定の部分それぞれについて、同数のデータ点を選択します。

データは、コアの材料ごとに入力します。一度材料をモデル化したら、それをコピーしてテンプレートとして使用し、Area、Path、Gapのいずれかの値を変えて部品のモデル化を行います。このようにすると、同じB-H曲線を繰り返し入力する手間が省けます。

本章の内容

本章では、IBISトランスレータについて説明します。

本章で説明する主な項目は次の通りです。

- ・ IBISとは
- ・ IBISトランスレータ
- ・ IBISのサンプルファイル

MC10の新しい機能

・ I/Oオープンドレイン、I/Oオープンソース、I/Oオープンシンク、オープンドレイン、オープンソースおよびオープンシンクモデルに対応するため、IBISモデルが拡張されました。

IBISとは

IBISは、入出力バッファ情報仕様（Input Output Buffer Information Specification）の頭字語です。これは、デバイスの特性を作り出す独自の回路について記述しなくても、その特性を入力/出力レベルで記述する方法です。デジタルシステムの伝送線路のシミュレーションに適するビヘイビアモデリング仕様的一种と見なすことができ、ほとんどのデジタルコンポーネントに適用できます。

ほとんどのシミュレータは、IBISファイルを直接的には使用できません。使用可能なモデル言語に変換しなければなりません。代表的には、SPICE互換の構文に変換されます。

Micro-Capは、そのようなツールを提供します。IBISファイルをMicro-Capやその他の互換シミュレータが使用できるSPICEモデルに変換します。

IBISトランスレータ

IBISトランスレータの使用法を示すために、ファイルメニューで**翻訳/IBISをSPICEファイルへ**を選択します。すると、IBISトランスレータダイアログボックスが表示されます。

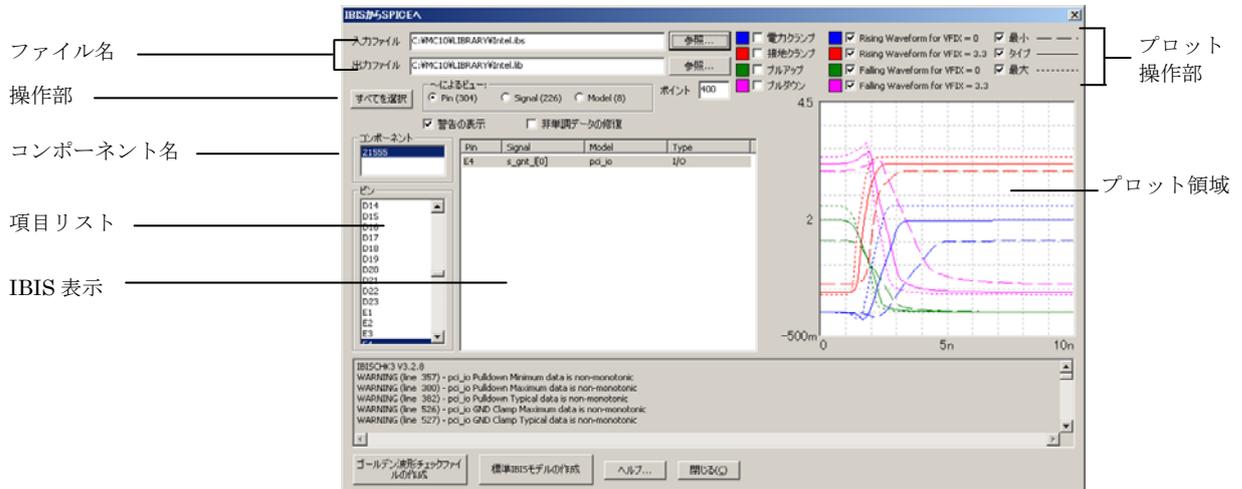


図28-1 IBISトランスレータ

入力ファイル: このフィールドは、入力ファイル名を指定します。ファイルの拡張子はIBISの拡張子（IBS）でなければなりません。参照ボタンを使用してライブラリやその他のフォルダのIBIS入力ファイルをブラウズできます。

出力ファイル: このフィールドは、出力ファイル名を指定します。変換されるバッファモデルをプロットするSPICEコードも含まれますが、通常は、ライブラリファイルとして使用することを示すために、拡張子LIBが割り当てられます。

操作部:

すべてを選択: 表示やモデル作成のためにすべてのピンを選択します。

~によるビュー: 項目リストに表示するピン名、信号名またはモデル名を選択します。

警告の表示: トランスレータがIBISファイルを読み込むと、自動的に「ゴールデンパーサ」に送り込まれます。この小さなコードは、IBISファイルが標準に従っているかをチェックし、よくある形式エラーを特定するためにIBIS委員会によって開発されました。パーサがエラーを見つけると、メッセージボックスに適切なメッセージを表示します。

パーサが警告を発すると、このチェックボックスによってメッセージボックスに表示するかどうかを決めます。

ポイント：これによって、トランスレータが「ゴールデン波形」に一致させるためにPWLテーブル内で使用するデータ点数を決定します。通常は500が適切です。

非単調データの修復：非単調データを補正します。

コンポーネント：

これにより、ファイル内のコンポーネントの1つを選択します。通常は、ファイルあたり、コンポーネントは1つだけです。

項目リスト（ピンまたは信号またはモデル）：

これには、～によるビューの設定により、ピン名、信号名、モデル名のどれかが表示されます。このリストから1つまたは複数の項目を選択するとIBIS表示に表示されます。

プロット操作部：

電力クランプ：プロット領域に、選択したピンのパワークランプのIVプロットが表示されます。ファイルにそのピンの「電力クランプ」文が含まれていない場合は、このオプションは無効です。

接地クランプ：プロット領域に、選択したピンの接地クランプのIVプロットが表示されます。ファイルにそのピンの「接地クランプ」文が含まれていない場合は、このオプションは無効です。

プルアップ：プロット領域に、選択したピンのプルアップデバイスのIVプロットが表示されます。ファイルにそのピンの「プルアップ」文が含まれていない場合は、このオプションは無効です。

プルダウン：プロット領域に、選択したピンのプルダウンデバイスのIVプロットが表示されます。ファイルにそのピンの「プルダウン」文が含まれていない場合は、このオプションは無効です。

上昇波形 ($V_{fixture}$)：プロット領域に、選択したピンの立ち上がり波形のIVプロットが表示されます。ファイルにそのピンの「上昇波形」文が含まれていない場合は、このオプションは無効です。

$V_{fixture}$ は、測定が実行された時の $R_{fixture}$ 抵抗を通した出力に接続されている電圧を表示します。通常は、2つの曲線があり、1つは $V_{fixture} = 0$ の曲線、もう1つは $V_{fixture} = VCC$ の曲線です。

下降波形 ($V_{fixture}$)：プロット領域に、選択したピンの立ち下がり波形のIVプロットが表示されます。ファイルにそのピンの「下降波形」文が含まれていない場合は、このオプションは無効です。

$V_{fixture}$ は、測定が実行された時の $R_{fixture}$ 抵抗を通した出力に接続されている電圧を表示します。通常は、2つの曲線があり、1つは $V_{fixture} = 0$ の曲線、もう1つは $V_{fixture} = VCC$ の曲線です。

最小：選択したプロットの最小のバージョンを表示します。
タイプ：選択したプロットの代表的なバージョンを表示します。
最大：選択したプロットの最大のバージョンを表示します。

プロット領域：

IBISファイルのIV曲線や波形が表示される場所です。

コマンドボタン：

ゴールデン波形チェックファイルの作成：これによって、指定されたテストフィクスチャコンポーネント (R_{FIX} 、 C_{FIX} 、 L_{FIX} 、 V_{FIX} 等) と共にロードされた、選択されたモデル名の出力モデルが入ったテキストファイルを作成します。ゴールデン波形に準拠していることを示すためにバッファを駆動する信号源も作成します。それぞれの一意な出力ピンについて、最小、代表、最大の場合およびそのそれぞれについてハイの $v_{fixture}$ およびローの $v_{fixture}$ について、1つのバッファモデルを作成します。それぞれの一意な出力タイプのデバイスについて、最大6つのバッファモデルを作成できます。作成された*.LIBファイルについてトランジェント解析を実行すると、最初の一意な出力タイプのバッファモデルについて、次の波形が表示されます。

- 1) 入力パルス波形
- 2) 元のIBISファイルによる予測されるゴールデン波形
- 3) バッファモデルによって作成された実際のバッファモデルの波形

ゴールデン波形とモデルの波形は、非常に近い波形になるはずですが、他のバッファプロットも含まれていますが無効になっています。プロット番号によって任意のプロットを有効にできます。

標準IBISモデルの作成：このボタンによって、指定された出力寄生値 (R_{PIN} 、 L_{PIN} 、 C_{PIN} 等) と共にロードされた、選択されたモデル名のスタンダードバッファモデルを格納したテキストファイルを作成します。入力ピンモデルも作成します。作成された*.LIBファイルについてトランジェント解析を実行すると、最初の出力タイプのバッファモデルについて、次の波形が表示されます。

- 1) 入力テストパルス波形
- 2) 入力波形に対する出力バッファモデルの応答波形

標準モデルファイルは、通常、システムのテストに使用するものです。

IBISファイル変換の例

ファイルメニューから**翻訳/IBISをSPICEファイル**へオプションを選択します。これで、IBISトランスレータがロードされます。入力ファイル参照ボタンをクリックし、フォルダからINTEL.IBSを選択します。これは、Intel 21555部品のIBISモデルです。次のように表示されます。

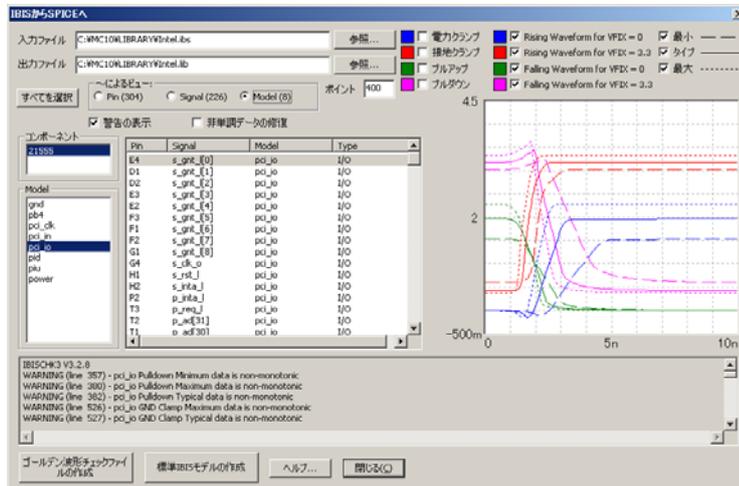


図28-2 IBISサンプルファイル

最初にファイルをロードした時に、トランスレータはそのファイルを構文解析して、エラーや警告があればメッセージボックス領域に表示します。上記の例では、非単調警告は多数ありますがエラーはありません。そしてトランスレータはファイルをスキャンして、立ち上がり波形と立ち下がり波形のあるモデルを探し、そのモデルを使用するピンの1つを表示します。

すべてを選択ボタンをクリックします。そして、ゴールデン波形チェックファイルの作成ボタンをクリックします。これによって、INTEL.LIBと呼ぶファイルが作成されます。閉じるボタンをクリックします。INTEL.LIBファイルには次の12個のモデルが格納されています。

- * PB4_TYP_LOWVFIX
- * PB4_TYP_HIGHVFIX
- * PB4_MIN_LOWVFIX
- * PB4_MIN_HIGHVFIX
- * PB4_MAX_LOWVFIX
- * PB4_MAX_HIGHVFIX
- * PCI_IO_TYP_LOWVFIX
- * PCI_IO_TYP_HIGHVFIX
- * PCI_IO_MIN_LOWVFIX

- * PCI_IO_MIN_HIGHVFIX
- * PCI_IO_MAX_LOWVFIX
- * PCI_IO_MAX_HIGHVFIX

このファイルには2つの出力モデル、PCI_IOとPB4があります。これらの2つの基本モデルのそれぞれについて、最小モデル、代表モデル、最大モデルがあり、これらのそれぞれについてハイのv_fixtureとローのv_fixtureの場合があります。総計で次のようになります。

総モデル数=2つの出力モデル*3つ（最小、代表、最大）の場合*2つのV_Fixtureの場合
 総モデル数= 12

これらはゴールデン波形チェックモデルです。このファイルを作成する唯一の目的は、トランジェント解析を実行して、実際の波形が指定された「ゴールデン波形」と一致することを確認することです。

トランジェント解析を実行します。次のように表示されます。

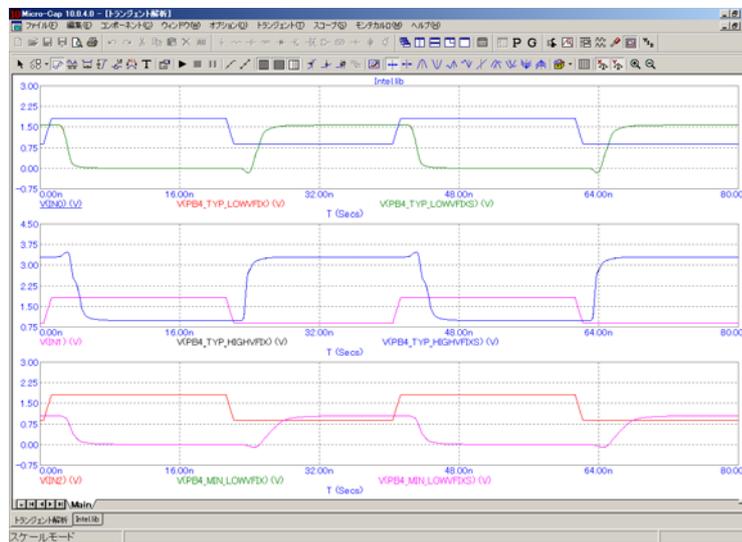


図28-3 サンプルゴールデン波形のプロット

トランスレータには、次の3つの場合について、入力波形、バッファ出力、ゴールデン波形のプロットをセットアップします。

- PB4_TYP_LOWVFIX
- PB4_TYP_HIGHVFIX
- PB4_MIN_LOWVFIX

実際の波形と予測（ゴールデン）波形は、非常に一致します。

トランスレータは、出力モデルのすべての組み合わせについてプロットを作成しますが、最初の2つだけを有効にします（そのプロットグループ番号を示します）。波形のP列にプロットグループ番号を入力することによって他の任意のプロットを有効にできます。すべてのプロットは、別にチェックできる数値出力を生成します。

F3を押して解析を終了します。CTRL + SHIFT + Iを押して、IBISトランスレータを再度呼び出します。INTEL.IBSはロードされたままです。すべてを選択ボタンを選択します。そして、標準IBISモデルの作成ボタンをクリックします。これで、INTEL.LIBと呼ぶファイルが作成されます。閉じるボタンをクリックします。INTEL.LIBには、672個のモデルが格納されています。

* 出力バッファモデル

* PB4_J1_TYP

* PB4_J1_MIN

* PB4_J1_MAX

....

* PCI_IO_Y7_MAX

* PCI_IO_Y9_TYP

* PCI_IO_Y9_MIN

* PCI_IO_Y9_MAX

* 入力バッファモデル

* PCU_H3_TYP

* PCU_H3_MIN

* PCU_H3_MAX

....

* PCI_IN_U21_TYP

* PCI_IN_U21_MIN

* PCI_IN_U21_MAX

*

* 総数：672のピンモデルを作成

各入出力ピンは固有の回路を駆動するあるいは固有の回路によって駆動されるので、プログラムは、総計672個のモデルについて、224個の入力ピンと出力ピンのそれぞれについて、3つのモデルを作成しました。このファイルには、224個の入力と出力のタイプおよびパワーまたはグラウンドのモデル名の80個のピン（304-224）で、総計304このピンがあり、定義されたモデルはありません。

トランジェント解析を実行します。図28-4のように表示されます。

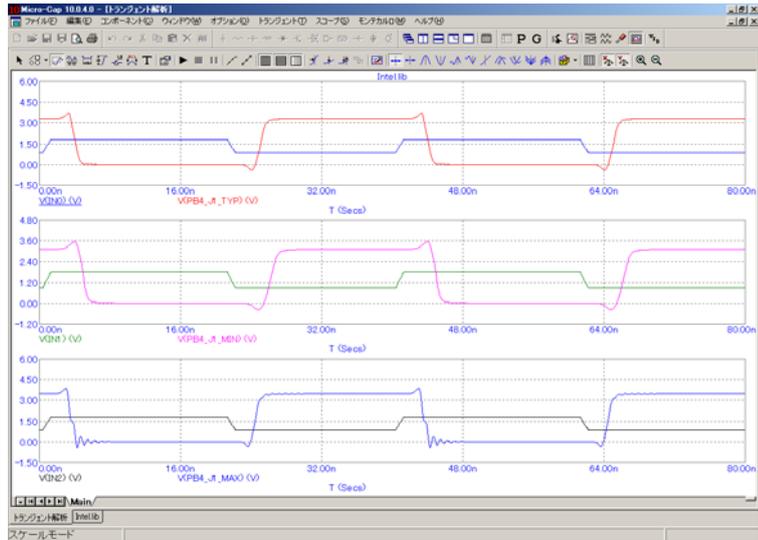


図28-4 標準出力プロットの例

トランスレータは、出力モデルのそれぞれの組み合わせについてバッファモデルを駆動する入力パルスのSPICEコードおよび波形を表示する.PRINTコマンドを作成しますが、最初の2つのプロットだけを有効にします。ゴールデン波形の場合のように、波形のP列にプロットグループ番号を入力することによって他の任意のプロットを有効にできます。すべてのプロットは、別にチェックできる数値出力を生成します。

ファイルには何百もの入力モデルと出力モデルがありますが、数値出力には6つしか表示されず（表示するにはF5を押す）、最初の1つしかプロットされないことに注意してください。これは、プロットの作成方法を示すだけのものです。実際のテストに使用するには、おそらく1つまたは複数の伝送線路デバイスを追加し、出力負荷にはその他の負荷要素を接続することになるでしょう。プロットコマンドは、テキストファイルの最後にあります。

本章の内容

Micro-Capには、フィルタ回路を作成できるフィルタ設計機能があります。フィルタの種類、応答、回路実装を選択すると、フィルタの回路図が自動的に作成されます。本章では、この機能の使い方について説明します。

アクティブフィルタとパッシブフィルタの、2種類のフィルタが設計可能です。どちらも、設計メニューからアクセスできます。

アクティブフィルタデザイナの動作

Micro-Capのアクティブフィルタデザイナは、設計メニューから選択します。フィルタのタイプ、仕様、応答、回路実装を選択すると、必要なフィルタ回路が生成されます。

基本的なフィルタの種類には、次のものがあります。

- ローパス
- ハイパス
- バンドパス
- ノッチ
- デイレイ

最初の4つは、ボード線図の特性により定義されます。デイレイフィルタは、時間遅延特性により特性付けられます。

利用可能なフィルタ応答は次の通りです。

- バターワース
- チェビシェフ
- ベッセル
- 楕円
- 逆チェビシェフ

これらの応答は、すべてのフィルタの種類に対して利用可能とは限りません。例えば、ベッセルはデイレイフィルタに対してのみ利用できます。

実装つまり回路実装は、各ステージで異なるものを指定できます。

- Sallen-Key
- MFB (Multipul Feedback)
- Tow-Thomas
- Fleischer-Tow
- KHN
- Acker-Mossberg
- Tow-Thomas 2
- DABP (Dual Amplifier Bandpass)

これらの回路は、すべての応答に対して利用可能とは限りません。回路によっては、実現できない応答もあります。利用可能な回路は3~8種類です。

アクティブフィルタダイアログボックス

アクティブフィルタデザイナーは、設計メニューにあります。このメニューを選択すると、次のダイアログボックスが呼び出されます。

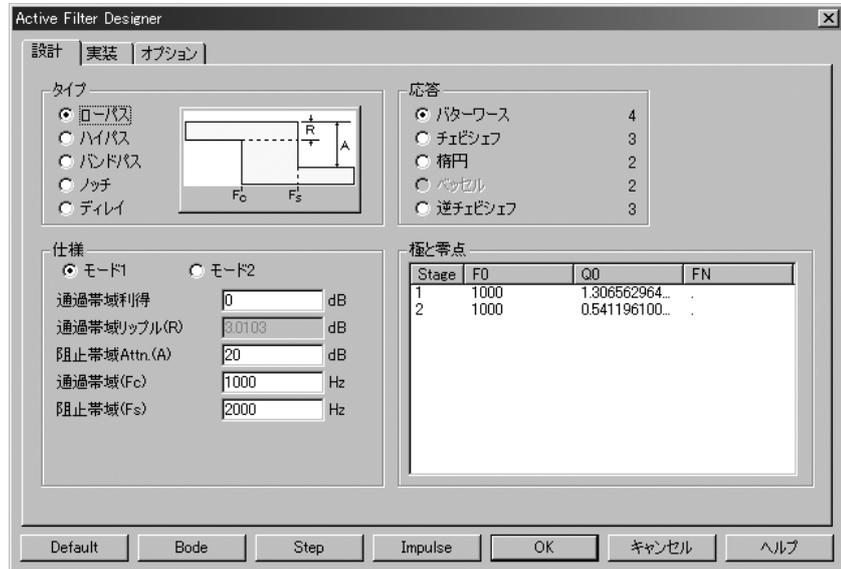


図29-1 アクティブフィルタダイアログボックス

このダイアログボックスには、3つのメインパネルがあり、それぞれタブをクリックしてアクセスできます。

設計

フィルタのタイプ、仕様、応答特性を選択できます。これらの選択を変更する度に、ステージの数、極の位置、Qの値、各ステージのゼロ（応答の種類による）が計算され、極と零点に表示されます。F0（極の周波数）、Q0（Q値）、FN（零点の周波数）の値を編集すると、応答のシェイプを変更できます。

実装

実装に関する決定をおこないます。決定事項には、使用する回路、使用するOPアンプ、奇数次の段を構築する方法があります。

オプション

コンポーネントの値に使用する精度の桁数、プロット対象、マクロを作成するか回路を作成するか、既存の回路を使うか新しい回路を使うかを選択します。

設計パネル：3つの部分に分かれています。

タイプ：5つの基本的なフィルタ種類のいずれかを選択できます。

- ・ローパス
- ・ハイパス
- ・バンドパス
- ・ノッチ
- ・ディレイ

応答：理想フィルタの数学的近似を選択できます。

- ・バターワース
- ・チェビシェフ
- ・ベッセル
- ・楕円
- ・逆チェビシェフ

それぞれの応答には、それぞれの設計上のトレードオフがあります。バターワースフィルタには、与えられた仕様に対してより多くの回路要素が必要ですが、時間応答はよりフラットです。チェビシェフや逆チェビシェフでは、必要なステージ数は少なくなりますが、遅延時間の変動が大きくなります。楕円応答では、必要なステージ数は最も少ないものの、遅延時間の変動が最大になります。ベッセルは、遅延カーブが非常にフラットなローパスフィルタで、実際はディレイのタイプに適します。現在の設計を実装するのに必要なステージ数は、各応答の右に表示されます。

仕様：ここには、フィルタの数値仕様を入力します。フィルタの指定には、モード1とモード2の二つの方法があります。モード1では、機能的な特性、例えば通過帯域の利得、カットオフ周波数、阻止周波数、減衰などを指定します。ユーザが望むものを指定すると、指定された応答近似を使用して、目的を達成するために必要なステージ数が決定されます。一方、モード2では、主要な設計値やステージ数を直接指定することができます。

極と零点：このセクションには、応答多項式の極、ゼロ、Qの値が表示されます。本質的にフィルタの数学的な設計が表示されます。タイプ、応答、仕様の各フィールドを変更すると、多項式の係数が再設計され、このセクションの数値も更新されます。Bode、Step、Impulseボタンがクリックされている場合は、プロットも再描画されます。応答プロットは、オプションパネルの選択に従って、利得・位相・群遅延が表示されるボード線図、または遅延プロットになります。

プロットは、選択された応答に対する標準多項式と計算されたあるいは変更されたF0、Q0、QNの値に基づいているので理想的なものです。プロット結果が正確に再現されるのは、完全な部品を用いたときのみです。現実の部品で作られる実際のフィルタは、振る舞いが異なることがあります。回路の完成後に解析を実行すると、どの程度うまくいったか確認できます。実際の回路は、ライブラリの任意のオペアンプにより構成できます。オペアンプには、理想的なものから普通のものまで、いろいろなものがあります。抵抗やコンデンサは、正確な値で使用することも、標準値リストから選択することもできます。現実のオペアンプやコンポーネントの近似値により、応答曲線に大きな影響が生じる場合があります。

値を編集すると、プロットに対する影響を確認できます。修正された値でフィルタを作成することもできます。理想的なフィルタは生成されませんが、作成されたフィルタは表示されるプロットにほぼ等しくなります。タイプ、応答、仕様の任意の項目を編集すると、極と零点セクションの値が再計算され、編集値が上書きされることにご注意ください。

各ステージの正確な近似多項式を次に示します。Uは、指定されたFCに対して正規化された複素周波数変数Sです。

**定義
記号**

記号	定義
F	周波数の変数
S	$J*2*PI*F$ 複素周波数
U	$S/(2*PI*FC) = J*F/FC$ 正規化された複素周波数
F0	極の位置[Hz]
Q0	Q値
FN	ゼロの位置[Hz] (楕円と逆チェビシェフのみ)

FC ローパスの阻止帯域周波数
 ハイパスの通過帯域周波数
 ノッチ、バンドパスの中心周波数
 指定された中心周波数は、対称な帯域通過/阻止領域を生成するために、微妙に変更されることがあります。調整されたF0は、定義文内で確認できます。例えば、バターワースバンドパスフィルタで、規定値の中心周波数を1000、帯域幅を100とすると、実際には中心周波数998.75Hzで設計されます。

FCI ローパスの通過帯域周波数
 ハイパスの阻止帯域周波数
 ノッチとバンドパスではFCI = FC

W0 F0/FC 正規化極周波数

W0I F0/FCI 逆チェビシェフの正規化極周波数

WN FN/FC 正規化ゼロ周波数

WNI FN/FCI 逆チェビシェフの正規化ゼロ周波数

ローパス、ディレイ

バターワース $F(U) = 1 / (U^2 + U / Q0 + 1)$

チェビシェフ $F(U) = 1 / (U^2 + U * W0 / Q0 + W0^2)$

楕円 $F(U) = (U^2 + WN^2) / (U^2 + U * W0 / Q0 + W0^2)$

逆チェビシェフ $F(U) = (U^2 + WNI^2) / (U^2 + U * W0I / Q0 + W0I^2)$

ハイパス

バターワース $F(U) = U^2 / (U^2 + U / Q0 + 1)$

チェビシェフ $F(U) = U^2 / (U^2 + U / (W0 * Q0) + 1 / W0^2)$

楕円 $F(U) = (U^2 + WN^2) / (U^2 + U / (W0 * Q0) + 1 / W0^2)$

逆チェビシェフ $F(U) = (U^2 + WNI^2) / (U^2 + U / (W0I * Q0) + 1 / W0I^2)$

バンドパス

バターワース $F(U) = U / (U^2 + U / (W0 * Q0) + 1 / W0^2)$

チェビシェフ $F(U) = U / (U^2 + U / (W0 * Q0) + 1 / W0^2)$

楕円 $F(U) = (U^2 + WN^2) / (U^2 + U / (W0 * Q0) + 1 / W0^2)$

逆チェビシェフ $F(U) = (U^2 + WNI^2) / (U^2 + U / (W0I * Q0) + 1 / W0I^2)$

ノッチ

バターワース $F(U) = (U^2 + 1) / (U^2 + U / (W0 * Q0) + 1 / W0^2)$

チェビシェフ $F(U) = (U^2 + 1) / (U^2 + U / (W0 * Q0) + 1 / W0^2)$

楕円 $F(U) = (U^2 + WN^2) / (U^2 + U / (W0 * Q0) + 1 / W0^2)$

逆チェビシェフ $F(U) = (U^2 + WNI^2) / (U^2 + U / (W0I * Q0) + 1 / W0I^2)$

実装パネル:フィルタの設計をどのように構築・実装するか決定します。



図29-2 実装パネル

Stageの値：このセクションにより、ステージ毎に回路の種類と利得を指定できます。極、Q、零点もステージ毎に編集できます。極/Qの組み合わせを他のステージと交換するには、右マウスボタンでF0またはQ0のフィールドをクリックし、ポップアップメニューで他の行を選択します。信号スイングとノイズ感度を最適化する必要がある場合に、ポップアップメニューで他の行を選択し、F0/Qの組み合わせを入れ替えることができます。回路の実装によっては、大きなスイングを扱うことが可能で、ノイズ感度が小さいものがあります。ゼロは固定で交換できません。

ステージを変更するには、変更したい行のCircuit欄を左マウスボタンでクリックします。すると、選択されたフィルタの種類と応答において利用可能な回路実装のリストが表示されます。このリストには最大で8個の選択肢がありますが、3個しかない場合もあります。これは、すべての回路が必要な伝達関数を実現できるわけではないためです。

フィルタ回路が作成される際には、ステージは左から右の順で追加され、番号が1からNまで付けられます。入力常は常に左にあり、出力つまり最終ステージは常に右にあります。

各ステージに同じ回路：すべてのステージで同じ回路が使うよう強制します。無効にすると、各ステージに異なる回路を指定できます。

インピーダンススケール係数：すべてのパッシブコンポーネントの値に適用されるスケールファクタを指定できます。このファクタにより、すべての抵抗値が乗算され、コンデンサの値が除算されます。応答カーブの形は変わりませんが、コンポーネントの値は、より適切・実際的な値にシフトします。

使用すべきOPアンプモデル：規定値では、モデルは\$IDEALに設定されます。このモデルは、出力抵抗が小さい電圧制御電流源です。利得は非常に大きく、帯域幅は無限で、漏れ電流はありません。目的は、完全に近いデバイスで回路がどうなるか見せることにあります。リストから他のモデルを選択することもできます。何百ものポピュラーなオペアンプのモデルが含まれています。ベンダが提供するオペアンプのサブサーキットモデルは、リストには含まれません。

抵抗値：抵抗の値の選択方法を決定します。正確に計算された値または標準部品表から選択された単一値もしくは直列/並列の組合せ値のどれを使って回路を作成するかを選択することができます。標準部品にはいくつかのリストがあり、特殊な要件に対しては追加したり、新しいリストを作成できます。本章のコンポーネントリストのセクションを参照してください。

コンデンサ値：コンデンサの値がどのように決定されるか指定します。抵抗値と同様に動作します。

プリファレンスの組合せ：このボタンにより、単一部分または組合せのオプションを選択できます。標準部品ファイルを含みます。

奇数ローパスステージ：このオプションにより、ローパスフィルタに使う最終ステージを選択できます。数種類から選択できます。LODD1は単純なRCフィルタです。LODD2はRCフィルタですが、非反転ユニティゲイン増幅器でバッファされています。LODD3はRCフィルタですが、反転ユニティゲイン増幅器によりバッファされています。

奇数ハイパスステージ：このオプションにより、ハイパスフィルタに使う最後のステージを選択できます。3つの選択肢があります。HODD1は、単純なRCフィルタです。HODD2はRCフィルタですが、非反転ユニティゲイン増幅器でバッファされています。HODD3はRCフィルタですが、反転ユニティゲイン増幅器でバッファされています。

利得調整ステージ：このオプションにより、利得調整が必要なときに使用するステージを選択できます。2つの選択肢があります。NULLではステージは追加されません。つまり利得の仕様は無視されます。GADJは単純な反転増幅器です。

オプションパネル：いくつかのオプションを設定します。次のように表示されます。



図29-3 オプションパネル

コンポーネント値形式：コンポーネントの値を科学、工学、デフォルトのどれを使用して表記するか指定します。数値指定時の桁数も設定できます。これらの選択肢は主に体裁のためのものですが、非常に高次のフィルタでは、正確なボード線図を得るために、桁数を規定値の5から増やしていく必要があることもあります。

多項式形式：多項式の係数を科学、工学、デフォルトのどれを使用して表記するか指定します。これは**コンポーネント値形式**と同じように動作します。多項式の値は、伝達関数、LP、HP、BP、BRを定義するのに使用されます。これらの関数は、AC解析で実際のフィルタの伝達関数の隣に理想的な伝達関数をプロットし、比較を行うために用いられます。

プロット：このオプションにより、プロット対象を選択できます。次の中から選択します。

- ・利得
- ・位相
- ・群遅延
- ・別のプロット

これらのオプションの効果を及ぼす対象には、次のものがあります。

まず、**Bode**ボタンがクリックされている場合は、ボード線図に影響します。このプロットは単に、理想的な複素周波数伝達関数のグラフです。理想コンポーネントで作成した場合の回路の動作が表示されます。

次に、保存先/新規回路オプションが選択されている場合に作成された回路のAC解析のセットアップが変わります。AC解析を選択してF2を押すだけで回路と理想伝達関数の両方の実際の解析を表示し、ボード線図オプションで選択した変数をプロットするように、解析プロットの式をセットアップします。

・自動スケール

チェックされると、このオプションは自動的にプロットを計測します。

・データポイント数

プロット内で計算されるデータ点の数も設定できます。内蔵のプロットもAC解析プロットも、自動ではなく固定ログの周波数ステップを使用します。プロットされるデータ点の数は、ここで決定されます。規定値の500は通常十分な値ですが、非常に高次のフィルタでは、点の数を増やして、帯域の急なエッジにおける忠実度を維持する必要があります。

保存先：このオプションにより、フィルタが配置される場所を選択できます。

・**新規回路**：フィルタは新しい回路に配置されます。

・**現在の回路**：フィルタは現在選択されている回路に配置されます。

文字列：いくつかのテキストを含むかどうかが決めます。

・**タイトルの表示**：これは、自己をドキュメント化するテキストブロックで、タイトルとして形成されます。フィルタの主な仕様を識別するのに使用できます。

・**多項式の表示**：設計を構成する多項式関数が、利用可能となります。これは、一連の.define文によるもので、回路にオプションで含めることができます。リファレンスとして手軽に使用できます。多項式関数は記号変数で、標準として周波数に対してプロットし、実際のものと比較することができます。多項式の名前は次のとおりです。

タイプ	記号多項式の名前
ローパス	LP
ハイパス	HP
バンドパス	BP
ノッチ	BR
ディレイ	LP

回路：

- ・ **表示：** チェックすると、フィルタの回路がバックグラウンドに表示され、ユーザの仕様変更に応答します。

作成： フィルタをどのように作成するか選択します。

- ・ **回路：** 作成されたフィルタは、新規回路か現在の回路のどちらかに配置されます。

- ・ **マクロ：** フィルタはマクロとして作成され、新しい回路か現在の回路のどちらかに配置されます。回路オプションと同様に多数のステージから構成されますが、マクロ回路内に格納されて保存される点で異なります。マクロ部品は、独立のコンポーネントライブラリファイルFILTERS.CMPに登録され、他の回路から利用可能となります。

ボタン： ダイアログボックス下部にはボタンがあります。

- ・ **Default：** これにより、すべてのデータフィールドとオプションボタンが規定値に戻ります。

- ・ **Bode：** 選択された特性のボード線図が表示されます。オプションパネルで有効にされた項目によって、利得、位相、群遅延が表示されます。このプロットは、選択されたフィルタの理想的な伝達関数のグラフです。選択された回路によって実現される実際の伝達関数ではありません。実際の伝達関数をプロットするには、完成した回路でAC解析を実行する必要があります。仕様でモデル1が設定されている場合、プロットには設計多角形が含まれ、設計仕様に基づいて許容される領域を示します。

これは設計多角形を含むボード線図の例です。

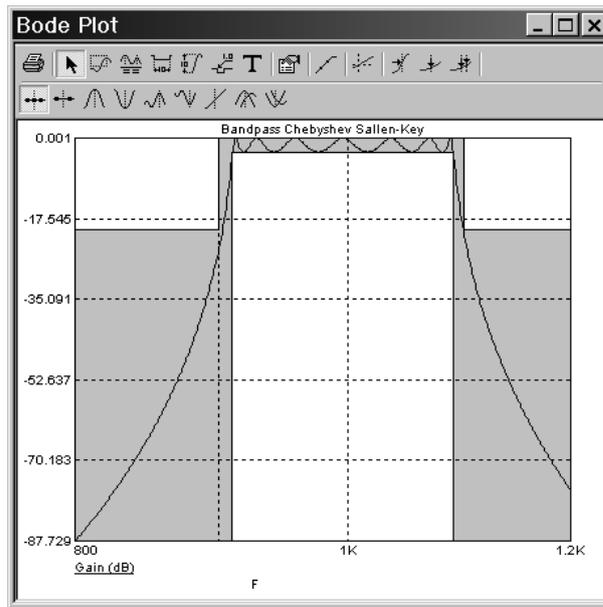


図29-4 フィルタ特性のプロット

Step: これは、入力電圧を0Vから1Vにステップ変化させたフィルタの応答を示します。Stepプロットの例を示します。

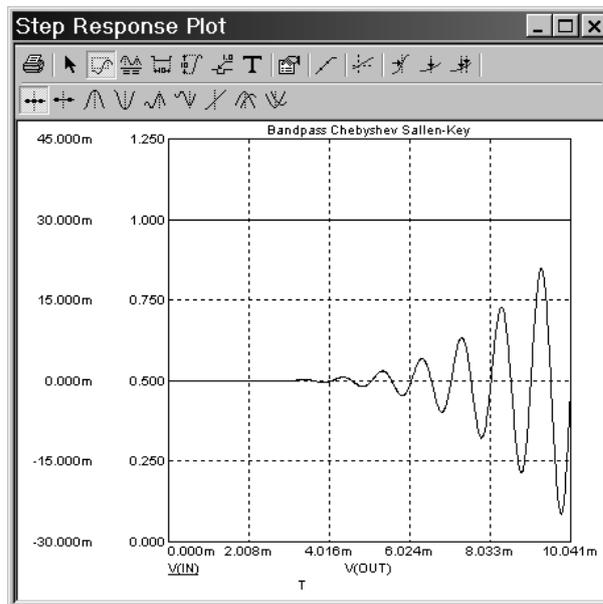


図29-5 Step応答

Impulse: これは、入力にインパルスを入力したフィルタの応答を示します。インパルスは、1E-9秒間継続する0Vから1E9Vまでの大きさのパルスです。Impulseプロットの例を示します。

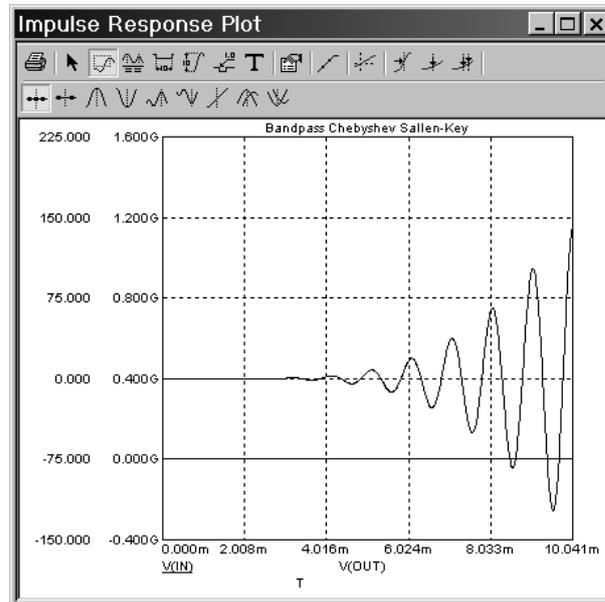


図29-6 Impulse応答

OK: 選択された設計に合致する回路を、各ステージに指定された回路を使用して構築します。新規回路オプションが有効な場合、AC解析のダイアログボックスもセットアップされ、回路の伝達関数と理想の伝達関数を、適切な周波数スケールでプロットできるようになります。仕様がモデル1に設定されているとプロットには設計多角形が含まれ、設計仕様に基づく許容領域が表示されます。また、ステップまたはインパルス応答のシミュレーションに対するトランジェント解析限界をセットアップします。フィルタ入力アニメイトスイッチをダブルクリックして一方または他方のものを選択できます。フィルタ回路作成後プログラムはダイアログボックスを終了します。

キャンセル: 変更内容を保存せずにダイアログボックスを終了します。

ヘルプ: ヘルプシステムにアクセスします。

コンポーネントリスト

回路の構築には、正確な値を使用することも、標準リストから選択した最適値を使用することもできます。リストはASCIIテキストファイルに保持され、拡張子としてCAP（コンデンサ）、IND（インダクタ）、RES（抵抗）を使用します。これらのファイルのフォーマットは次のとおりです。

TOLERANCE
<tolerance>[%]

DIGITS
<digit 1>
<digit 2>
...
<digit n>

MULTIPLIERS
<multiplier 1>
<multiplier 2>
...
<multiplier m>

ADD
<value 1>
<value 2>
...
<value p>

REMOVE
<value 1>
<value 2>
...
<value q>

<tolerance>値はコンポーネントにモデル文をセットアップするときだけ使用され、モンテカルロ解析にだけ影響します。

プログラムは、DIGITSとMULTIPLIERSのすべての積を計算して許容される値のリストを作成します。次にADDキーワードの下にある値を追加し、REMOVEキーワードの下にある値を削除します。

例：

TOLERANCE

1 %

DIGITS

10

50

80

MULTIPLIERS

1

10

100

ADD

26

135

REMOVE

8000

この例では、プログラムはまずDIGITSグループとMULTIPLIERSグループから、仮のリストをコンパイルします。

10, 50, 80, 100, 500, 800, 1000, 5000, 8000

次にプログラムは、値26と135を追加し、8000を削除して最終的なリストを作ります。

10, 26, 50, 80, 100, 135, 500, 800, 1000, 5000

このようにリストを作ることにより、標準コンポーネント値の指定が簡単になります。標準値は、値の短いリストに10の累乗を乗算して作成できますが、通常高い方と低い方の値に例外があります。DIGITSとMULTIPLIERSでリスト仕様を簡潔に表現し、ADDとREMOVEで例外に対処することができます。すべてのキーワードは省略可能です。ADD要素だけでリストを作成することもできます。

フィルタサポートファイル

フィルタ設計プログラムはFILTER.BINと呼ぶファイルを使います。これはMC10.EXEと同じディレクトリにあります。このファイルは、完全なフィルタ回路を作るために使われるさまざまな回路実装用の汎用の回路ステージを格納しているのです、削除しないでください。このファイルがないと、フィルタプログラムは、設計の数学的な部分しか実行できません。つまり、FILTER.BINファイルがないと実際のフィルタ回路を作成することができません。

Micro-Capは、ダイアログボックスで最後に使った設定をPASSIVE.FLTとACTIVE.FLTファイルに保存します。これらの設定は、ダイアログボックスの下部にあるDefaultボタンをクリックして元の規定値設定に戻すことができます。

オプション/新規回路オプションを選択してOKを押すと、プログラムにより回路が作成され、指定されたフィルタが実装されます。回路にはCIRCUITNという名前が付けられます。回路名は、ディスクに保存するときに変更できます。オプション/現在の回路が有効になっていると、開いている回路図にフィルタが配置されます。

フィルタ仕様：モデル1

アクティブフィルタプログラムは、モデル1とモデル2の2つのモードでフィルタ仕様を定義します。モデル1には、次の項目があります。

ローパスフィルタ：

フィルタ仕様は、次の図にしたがって定義されます。

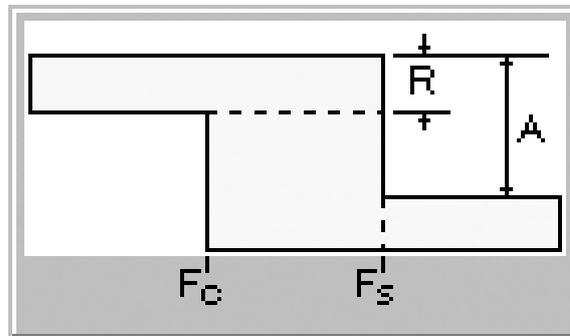


図29-7 ローパスフィルタ仕様

通過帯域利得

低周波数側の利得 (dB) です。

通過帯域リップル (R)

通過帯域全体の利得の変動 (dB) です。

阻止帯域Atten. (A)

通過帯域の最大利得 (dB) から阻止帯域の最大利得 (dB) を差し引いた値です。減衰量は正の値です。

通過帯域周波数 (Fc)

Fc未満では、利得は通過帯域利得 ± リップルと等しい値です。

阻止帯域周波数 (Fs)

Fsを超えると、利得は通過帯域利得 ± リップルから阻止帯域Atten.だけ低い値以下です。

チェビシェフフィルタと楕円フィルタでは、通過帯域利得は、次のようにフィルタの次数により変化します。

次数	DCでの利得	通過帯域エッジでの利得
偶数	通過帯域利得	通過帯域利得 + リップル
奇数	通過帯域利得	通過帯域利得 - リップル

バターワースと逆チェビシェフでは、通過帯域利得は次のように変わります。

タイプ	DCでの利得	通過帯域エッジでの利得
バターワース	通過帯域利得	通過帯域利得 - リップル
逆チェビシェフ	通過帯域利得	<通過帯域利得 - リップル

逆チェビシェフフィルタは、マージンありで通過帯域仕様に合致し、マージンなしで阻止帯域の仕様に正確に合致します。他のフィルタを理想的に実現すると、その逆になります。つまり、マージンありで阻止帯域の仕様に合致し、マージンなしで通過帯域の仕様に正確に合致します。

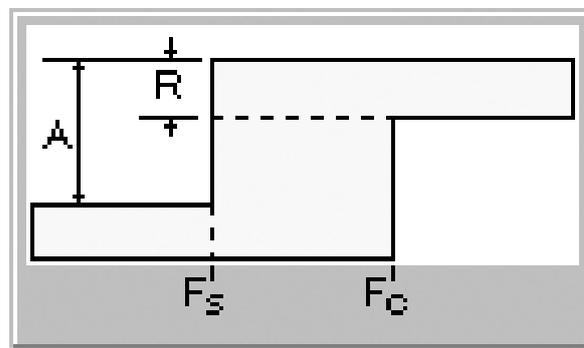


図29-8 ハイパスフィルタの仕様

ハイパスフィルタ：

ハイパスフィルタのスペックは低パス類と非常によく似ており、上図に関連して定義されます。

通過帯域利得
高周波数側の利得 (dB) です。

通過帯域リップル (R)
これは通過帯域全体の利得の変動 (dB) です。

阻止帯域Atten. (A)
通過帯域の最大利得 (dB) から阻止帯域の最大利得 (dB) を差し引いた値です。減衰量は正の値です。

通過帯域周波数 (F_c)

F_c を超えると、利得は通過帯域利得 \pm リップルとなります。

阻止帯域周波数 (F_s)

F_s 未満では、利得は通過帯域利得 \pm リップルから阻止帯域Attn.だけ低い値以下です。

次数	DCでの利得	通過帯域エッジでの利得
偶数	通過帯域利得	通過帯域利得 + リップル
奇数	通過帯域利得	通過帯域利得 - リップル

バターワースと逆チェビシェフでは、通過帯域利得は次のように変わります。

タイプ	DCでの利得	通過帯域エッジでの利得
バターワース	通過帯域利得	通過帯域利得 - リップル
逆チェビシェフ	通過帯域利得	<通過帯域利得 - リップル

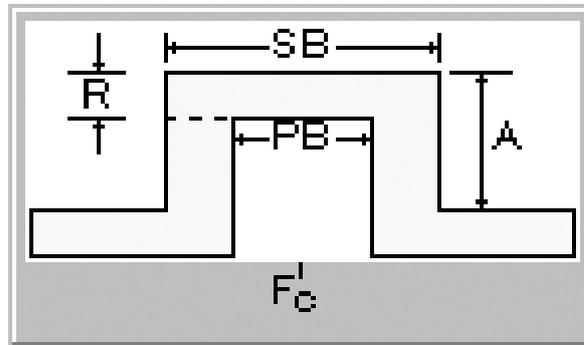


図29-9 通過帯域フィルタの仕様

逆チェビシェフフィルタは、マージンありで通過帯域仕様に合致し、マージンなしで阻止帯域の仕様に正確に合致します。他のフィルタを理想的に実現すると、その逆になります。つまり、マージンありで阻止帯域の仕様に合致し、マージンなしで通過帯域の仕様に正確に合致します。

通過帯域フィルタ :

通過帯域フィルタの仕様は、図29-9にしたがって定義されます。

通過帯域利得

通過帯域の最大利得 (dB) です。

通過帯域リップル (R)

通過帯域全体の利得の変動 (dB) です。

阻止帯域Attn. (A)

通過帯域の最大利得 (dB) から阻止帯域の最大利得 (dB) を差し引いた値です。減衰量は正の値です。

中心周波数 (Fc)

通過帯域の中心周波数です。

通過帯域 (PB)

フィルタの利得が通過帯域の利得 (±リップル) に等しい周波数の帯域です。

阻止帯域 (SB)

PBに加えて通過帯域の上下の2つの遷移領域を含む周波数の帯域です。

チェビシェフと楕円では、通過帯域利得は、次のようにフィルタの次数により変化します。

次数	DCでの利得	通過帯域エッジでの利得
偶数	通過帯域利得	通過帯域利得 + リップル
奇数	通過帯域利得	通過帯域利得 - リップル

バターワースと逆チェビシェフでは、通過帯域利得は次のように変わります。

タイプ	DCでの利得	通過帯域エッジでの利得
バターワース	通過帯域利得	通過帯域利得 - リップル
逆チェビシェフ	通過帯域利得	<通過帯域利得 - リップル

逆チェビシェフフィルタは、マージンありで通過帯域仕様に合致し、マージンなしで阻止帯域の仕様に正確に合致します。他のフィルタを理想的に実現すると、その逆になります。つまり、マージンありで阻止帯域の仕様に合致し、マージンなしで通過帯域の仕様に正確に合致します。

Notchフィルタ :

Notchフィルタと帯域阻止フィルタの仕様は、次の図で定義されます。

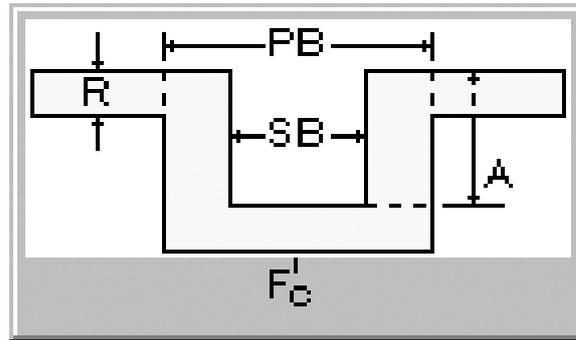


図29-10 Notchフィルタの仕様

通過帯域利得

通過帯域外の最大利得 (dB) です。

通過帯域リップル (R)

通過帯域外の利得の変動 (dB) です。

阻止帯域Attn. (A)

通過帯域外の最大利得 (dB) から阻止帯域の最大利得 (dB) を差し引いた値です。減衰量は正の値です。

中心周波数 (Fc)

阻止帯域の中心周波数です。

通過帯域 (PB)

SBに加えて阻止帯域の上下の2つの遷移領域を含む周波数の帯域です。

阻止帯域 (SB)

フィルタの利得が通過帯域の利得から阻止帯域の減衰量を差し引いた値 (±リップル) より小さい周波数の帯域です。

チェビシェフフィルタと楕円フィルタでは、通過帯域利得は、次のようにフィルタの次数により変化します。

次数	DCでの利得	通過帯域エッジでの利得
偶数	通過帯域利得	通過帯域利得 + リップル
奇数	通過帯域利得	通過帯域利得 - リップル

バターワースと逆チェビシェフでは、通過帯域利得は次のように変わります。

タイプ	DCでの利得	通過帯域エッジでの利得
バターワース	通過帯域利得	通過帯域利得 - リップル
逆チェビシェフ	通過帯域利得	通過帯域利得 - リップル

逆チェビシェフフィルタは、マージンありで通過帯域仕様に合致し、マージンなしで阻止帯域の仕様に正確に合致します。他のフィルタを理想的に実現すると、その逆になります。つまり、マージンありで阻止帯域の仕様に合致し、マージンなしで通過帯域の仕様に正確に合致します。

フィルタ仕様：モデル2

モデル2の形式では、フィルタの次数を直接指定できます。形式は次の通りです。

ロー（ハイ）パスフィルタ：

利得

低い（高い）周波数の利得（dB）です。

通過帯域周波数

利得が上記の利得と等しい周波数未満（より大きい）周波数です。

リップル

通過帯域全体の利得の変動（dB）です。

次数

フィルタの次数です。

通過帯域とNotchフィルタ：

利得

中心周波数の利得（dB）（通過帯域）または低い/高い周波数の利得（dB）（Notch）です。

中心周波数

最大の利得（通過帯域）または最小の利得（Notch）が達成される周波数です。

リップル

通過帯域または通過帯域外（Notch）の利得変動（dB）です。

次数

フィルタの次数です。

Q

フィルタのQ係数です。Qは、中心周波数近傍の共振の尺度です。

ディレイフィルタ :

利得

低い周波数の利得 (dB) です。

次数

フィルタの次数は、3で固定です。

ディレイ

フィルタの遅延時間 (秒) です。

パッシブフィルタデザイナの動作

パッシブフィルタデザイナは、アクティブフィルタの機能と同様に動作します。設計メニューで選択します。アクティブフィルタと同様に、フィルタのタイプ、仕様、応答、回路の実装を選択すると、必要なフィルタ回路が作成されます。

基本的なフィルタのタイプには、次のものがあります。

- ローパス
- ハイパス
- バンドパス
- ノッチ

フィルタの応答には、次のものがあります。

- バターワース
- チェビシェフ
- 楕円

実装は次の2つです。

- スタンダード
- デュアル

パッシブフィルタダイアログボックス

パッシブフィルタデザイナーは、設計メニューにあります。このメニューを選択すると、次のダイアログボックスが呼び出されます。

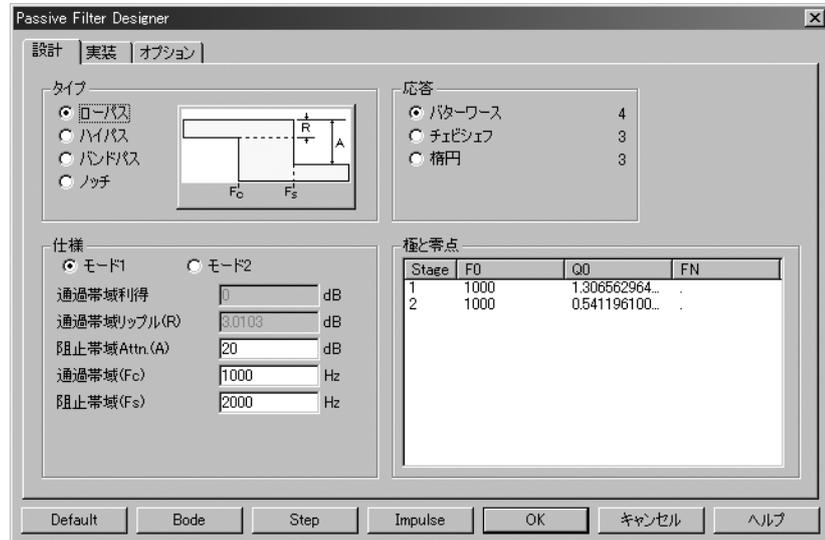


図29-11 パッシブフィルタデザイナーパネル

このダイアログボックスには、3つのメインパネルがあり、それぞれタブをクリックしてアクセスできます。

設計

フィルタのタイプ、仕様、応答特性を選択できます。これらの選択を変更する度に、ステージの数、極の位置、Qの値が変化し、極と零点に表示されます。F0（極の周波数）、Q0（Q値）の値を編集して応答のシェイプを変更できます。

実装

実装に関する決定をおこないます。決定事項には、使用する回路、パッシブ部品の値は正確な値を使用するか/指定されたリストから選択するか、値をスケールするか否か、ソースと負荷の抵抗値があります。

オプション

コンポーネントの値に使用する精度の桁数、プロット対象、マクロを作成するか回路を作成するか、既存の回路を使うか新しい回路を使うかを選択します。

設計パネル

メインパネルには、3つの選択肢があります。

タイプ：このセクションでは、次のいずれかを選択できます。

- ローパス
- ハイパス
- バンドパス
- ノッチ

応答：このセクションでは、理想フィルタに対する数学的近似を選択できます。

- バターワース
- チェビシェフ
- 楕円

それぞれの応答には、設計に関してトレードオフがあります。バターワースでは、与えられた仕様に対してより複雑な回路が必要ですが、よりフラットな時間応答が得られます。チェビシェフや逆チェビシェフでは、ステージ数が少なくてすみませんが、遅延時間の変動は大きくなります。現在の設計を実装するためのステージ数は、各応答の右に表示されます。

仕様：ここは、フィルタの数値仕様を入力するところです。フィルタの指定には、2つの方法、モデル1とモデル2があります。モデル1では、通過帯域の利得、カットオフ周波数、阻止周波数、減衰などの機能特性を指定します。欲しい特性を指定するとプログラムは、指定された応答近似を使ってそれを達成するために必要なステージ数を決めます。一方、モデル2では、主要な設計値やステージ数を直接指定することができます。

極と零点：このセクションには、応答多項式の極、Qの値が表示されます。これは、基本的にフィルタの数学的な設計を表示します。タイプ、応答、仕様のフィールドを変更すると、プログラムは多項式の係数を再設計してこのセクションの数値を更新します。プロットボタンをクリックしている場合、応答プロットも再描画されます。

プロットは、選択された応答に対する標準多項式および計算あるいは編集されたF0、Q0の値に基づくので、理想化されたプロットです。このプロットは、完全なコンポーネントによってのみ正確に実現できます。実在するコンポーネントによって作られる実際のフィルタのビヘイビアは異なることがあります。回路が完成すると、解析を実行して、どの程度うまくいったか確認できます。実際の回路は、標準のインダクタとコンデンサのリストから構成できます。コンポーネント値の近似は、応答曲線に大きな影響を与えることがあります。

値を編集して、プロットに対する影響を確認できます。修正された値でフィルタを作成することもできます。この場合、理想的なフィルタは生成されませんが、作成されたフィルタは表示されるプロットの近似となります。タイプ、応答、仕様の領域の項目を編集すると、プログラムは値を再計算し、編集された値を上書きすることに注意してください。

実装パネル：

フィルタ設計を実装する方法を決定できます。

回路：このセクションにより、スタンダードのLCパッシブ回路を使うか、デュアル回路を使うかを指定できます。

抵抗値：このオプションは抵抗値の選び方を決定します。正確に計算された値または標準部品表から選択された単一値もしくは直列/並列の組合せ値のどれを使って回路を作成するかを選択することができます。標準部品にはいくつかのリストがあり、特殊な要件に対しては追加したり、新しいリストを作成できます。本章のコンポーネントリストのセクションを参照してください。

コンデンサ値：このオプションはコンデンサの値をどのように選択するかを決定します。その動作は抵抗値のセクションに述べられているとおりです。

インダクタ値：このオプションはインダクタの値をどのように選択するかを決定します。その動作は抵抗値のセクションに述べられているとおりです。

プリファレンスの組合せ：このボタンにより、単一部品または組合せのオプションを選択できます。標準部品ファイルを含みます。

インピーダンススケール係数：このオプションにより、すべてのパッシブコンポーネントの値に適用されるスケールファクタを指定できます。このファクタは、すべての抵抗値とインダクタ値に乘算され、コンデンサの値を除算します。応答曲線のシェイプは変更されませんが、コンポーネントの値は、より適切あるいは実際的な値にシフトされます。

信号源/負荷抵抗器：このオプションにより、信号源と負荷の抵抗に希望する値を指定できます。正確なオプションが選択されると、インピーダンススケールファクタが乘算された後、この値は、最終的な回路で信号源と負荷の抵抗に使われます。正確なオプションがチェックされておらず、レジスタファイル(*.res)が選択されると、希望する値に最も近いレジスタファイル内の値が使われます。

オプションパネル

オプションパネルの内容と使い方は、アクティブフィルタ設計機能のオプションパネルと同じです。コンポーネントの値と多項式の数値形式を設定でき、プロット対象、プロット方法、回路を作成するかマクロを作成するか、フィルタを現在の回路に配置するか新しい回路に配置するか、タイトルと多項式テキストを追加するかを決定することができます。

本章の内容

本章では収束と非収束について説明します。非収束エラーメッセージの数多くの原因といくつかの可能な対策を説明します。

収束の定義

Micro-Capが動作するためには、非線形の方程式を解かなければなりません。人間もコンピュータもこのような方程式を解析的に解くことはできないので、数値的に解かなければなりません。方程式を数値的に解く方法は多数ありますが、それらはすべて、あるルールに則ってアルゴリズムを停止するようになっています。たいていは、次のようにコーディングされています。

```
while (error > RELTOL * V + VNTOL and
iterations < MAXITERATIONS)
{
    error = Solve ();
    iterations = iterations + 1 ;
}
```

このコードは、誤差が定められた許容値よりも大きく、なおかつ、反復回数が指定された最大を超えない間、解の推定を反復し続けることを指示しています。誤差そのものは、連続する推定値間の差として定義されます。したがって、前の反復と同じ解が得られたり、前の反復との差が許容値よりも十分小さいときには、解が収束したといい、このデータ点において解が正確だとみなされます。

上の基準は、回路の非線型な変数すべてについてチェックされます。もし変数が1つでも収束しないと、次のようなメッセージが表示されます。

“Internal time step too small” (内部タイムステップが小さすぎます)

別のメッセージが表示される場合もあります。

収束チェックは、非線形解析のすべてについて行われます。非線形解析には、トランジェントやACにおける動作点計算、トランジェント解析の全データ点、DC伝達解析の全データ点があります。収束チェックの必要がないのはAC解析の線形部分のときだけです。

収束とは、連続する推定値が解と一致することです。

収束問題の原因

収束しない原因は数多くあります。以下は、よく疑われる項目です。

モデル特性の不連続：モデルのコンダクタンス、トランスコンダクタンス、キャパシタンスの値が不連続である場合があります。解析中に、これら不連続点を通過すると、比例的でない結果が出ます。すると不連続点付近で、繰返し計算が反復の上限まで実行され、エラーとなります。対策としては、不連続の生じる領域を使用しないといったことしかありません。

双安定または不安定な回路：回路が不安定だったり、複数の安定状態がある場合、計算が安定した状態間で交互に繰り返されることがあります。このような場合、一つの安定した状態に解が収束しないため、収束は失敗します。通常この問題は、DC動作点と伝達関数解析だけで発生します。この問題を解決するには、DC動作点はバイパスして、電源をランプ波形で供給します。また、伝達関数解析の場合、DCトランジェント解析で代用します。

正しくない回路のモデリング：最も多いトラブルのもとです。インピーダンスや信号源の値が非現実的であったり、コンデンサの容量がゼロだったり、浮いたノードや意図しないショートがあったりすることが、よく問題になります。最も多いのは、コンポーネントの接続間違いです。どの解析モードでも完璧に正しく解析できるような回路を用意し、接続を削除・追加してランダムにトポロジーを変えてみてください。収束に失敗することが良くあります。二番目に多い原因が、容量ゼロのキャパシタです。キャパシタはトランジェント解析において、ショック・アブソーバーのような役目をします。キャパシタは、数値解析ルーチンと協調して、より現実的で収束しやすい解を導きます。モデルのキャパシタは、ほとんどの場合ゼロにすべきではありません。必要に応じて $1E-15$ のような小さな値を使用できますが、絶対にゼロは避けてください。三番目に多い原因が、ダイオードやスイッチが、インダクタに直列に接続されていることです。自動車の熟練工なら知っていることですが、インダクタを流れる電流を遮ると、非常に大きな電圧がインダクタ両端に発生します。理想ダイオードは、まさにこの現象を起こします。この現象が起こると、時間ステップルーチンは、時間ステップを非常に小さい値にまで減らすため、非収束を起こす場合があります。解決策としては、問題のダイオードやスイッチと並列に中程度の抵抗を接続し、電流を吸収させてください。抵抗の値は、通常の回路動作に影響しない程度に大きく、OFFになったときの電流を十分吸収できる程度に小さくします。実際の値は、 $1E6$ です。非収束の問題がないときでも、このテクニックによって解析速度を向上することが可能です。

収束チェックリスト

収束問題が起こった場合に試すべきことがあります。

回路トポロジーの確認：

グラウンドへのパス：すべてのノードは、グラウンド・ノードへのDCパスを持つ必要があります。古典的な例として、二つのキャパシタを直列に接続した回路があります。キャパシタ間の接続ノードはグラウンドへのDCパスを持たないため、DC動作点を見つけるのに失敗します。解決策としては、等価なキャパシタに置き換えたり、高抵抗（ $1E12$ 程度）を接続ノードとグラウンドの間に接続します。他の回路構成としては、グラウンド接続されていない伝送線路をカスケードで接続する場合があります。伝送線路の入力と出力の間にはDCパスがないため、接続ノードにグラウンドへのDCパスを与えない限り、動作点の収束はたいてい失敗します。解決するには、高抵抗（ $1E12$ 程度）を接続ノードとグラウンドの間に置きます。

電流源の直列接続：値の異なる電流源が直列に接続すると、論理的に矛盾しているため、収束エラーを発生することがあります。収束エラーをなくすには、信号源と並列に大きな抵抗を追加します。

電圧源やインダクタのループ：電圧源やインダクタは、ともに電圧定義ブランチです。電圧定義ブランチだけで構成されたループは、いろいろなトラブルの元となります。これは、ループを一巡したときの電圧の和がゼロにならない可能性があるためです。Micro-Capは、これらについてチェックしますが、問題を解決するためにループに微小抵抗を挿入して回路のループ電圧を吸収させる場合は、抵抗値があまりに小さくならないように、あるいは不良なマトリクスおよび収束しないエラーを発生させないように注意してください。

ショートとオープン：回路のショートとオープンを確認する簡単な方法は、ノード番号オプションをオンにすることです。ノード間がショートして一つのノードになっている場合は、ノード番号は一つだけ表示されます。また、ノード間が離れている場合は、異なるノード番号が各ノードに表示されます。

浮動ノード：浮動ノードが問題を起こすことがあります。必ず浮動ノードチェックオプション（オプション/プリファレンス/オプション/回路）を有効にしてください。これにより各ノードについて少なくとも2つの接続点があることがチェックされ、浮動ノードは一掃されます。このチェックは、解析を選択したときに実行されます。

回路モデリングの確認：

ダイオードの直列抵抗がゼロでないこと：ダイオードのRSには、指数関数的に流れる電流を自己制限する働きがあります。このような電流は、外部電圧源がダイオードに接続された場合に流れる可能性があります。同じことが、BJTトランジスタのリード抵抗にも当てはまります。

ダイオードの並列抵抗がゼロでないこと：ダイオードのRLには、逆電圧を制限する働きがあります。逆電圧は、ダイオードにインダクタが並列に接続された場合に発生することがあります。ISだけによる逆方向の抵抗は、通常 $1e15\Omega$ のオーダーです。これは非常に大きな値で、現実のダイオードとしては非現実的です。RLパラメータにより $1E6\sim 1E9$ の現実的な漏れ抵抗を簡単に指定できます。ダイオードの大きな逆方向抵抗と直列インダクタは「時間ステップが小さすぎる」エラーのほか、シミュレーション速度の遅い原因にもなります。非常に小さな時間ステップが強制されるためです。

キャパシタがゼロでないこと：キャパシタの容量にゼロを使っていますか。その場合、回路内の他のキャパシタと比較して十分小さい値に設定してください。

直列に接続されたスイッチとインダクタ：これらによって問題が引き起こされている場合は、10K以上の並列抵抗を追加してください。どんな種類のスイッチでも、インダクタと直列に接続すると問題の原因となります。ここでいうスイッチとは、ダイオードやスイッチや能動素子も含まれます。

MOSFETのドレイン-ソース・コンダクタンス：MOSFETのモデルパラメータLAMBDAに対して0.01から0.001の小さな値（0は不可）を設定すると、出力コンダクタンスが有限になり、MOSFETの収束問題が解決することがよくあります。あるいは、ドレイン-ソース間に1K~10Kの抵抗を接続すると同じ効果が得られます。この抵抗値は、ドレイン側回路の負荷とにならないように十分大きくしてください。

全般設定の値を調整する：

GMINの値を大きくする：GMINはブランチの最小コンダクタンスです。この値を大きくすると、DC動作点解析の収束性が向上する場合があります。

RELTOLの値を大きくする：RELTOLは最大相対許容誤差です。この値を規定値の0.001から0.01に変更すると、収束の困難な回路の収束性が向上する場合があります。

ABSTOLやVNTOLの値を大きくする：これらの全般設定の値はそれぞれの電流変数や電圧変数の絶対許容誤差を指定します。規定値は次のようになります。

ABSTOL = 1E-12
VNTOL = 1E-6

これらの規定値は、通常集積回路では適切な値です。この場合、電流値は10mA、電圧値は10V程度です。解析する回路の電流や電圧が非常に大きい場合、予想される値に比例して、設定値を大きくしてください。例えば回路に1000Aの電流が流れる場合、ABSTOLを1E5 (1000/10mA) 倍の1E-7 (1E5 * 1E-12) に変更してください。

ITL1の増加 : DC動作点で収束しない場合、ITL1を通常の100から大きな値に増やすとうまくいくことがあります。150回、または300回の繰り返しで収束する回路があります。収束アシストが有効の場合ITL1は自動的に増加します。

ITL4の増加 : トランジェント解析で収束しない場合、ITL4を20や50に増加させてください。ITL4は、各時間点における反復回数の限界です。解を破棄してより小さな時間ステップで再試行する場合の回数を指定します。収束アシストが有効の場合、自動的に増加されます。

動作点をOFFにする :

問題が動作点における非収束である場合、試しに動作点をやめて、現実の回路の電源オン時と同様のやりかたで動作点を安定させてみます。何回も解析を行う場合は、すべての信号源をTime = 0の値に設定し、回路を動作点で安定させ、そのときの状態変数を状態変数エディタで保存します。あとで解析を行う場合は、ファイルから動作点値を読み込むように設定します。これは解析リミットダイアログボックスの状態変数リストボックスの読み込みオプションを選択することで実行できます。回路を大きく変更したことにより、動作点が変わってしまうような場合は、動作点をもう一度行う必要があります。その際、初期近似としてファイルの値を使用すると、収束がかなり改善されます。

抜本的な対策 :

信号源をゆっくりランプさせる : 回路内のすべてのDC電源を、等価なパルス信号源で置き換えます。パルス信号源のタイミングパラメータは、値が徐々にランプ上昇するように設定します。すべての信号源の初期値に0を使うか、解析リミットダイアログボックスの動作点オプションを無効にしてDC動作点を完全にバイパスします。このオプションはトランジェント解析でだけ利用可能です。

Nodeset コマンドを使用する : *Nodeset* コマンドは、動作点解析を行う前のノード電圧初期推定値を指定します。この推定値が実際の値に近い場合、収束が容易になる場合があります。

OFF キーワードを使用する : *OFF* キーワードを用いて、能動素子を *Off* にします。該当する能動素子が収束しない回路領域に含まれている場合、特に有効です。

IC デバイスオプションを使用する : 能動素子の初期状態を指定します。該当するデバイスが収束しない回路部分に含まれている場合に有効です。これを使用するには、初期状態（電圧や電流）を推定する必要があります。

数値出力ファイルをチェック : 収束に失敗したら、数値出力を確認します (F5)。収束に失敗したデバイスの情報があります。どのデバイスの収束に失敗したかを確認することにより、問題についてのヒントが得られます。

収束アシストを有効にする : オプション/*プリファレンス/オプション/解析*にあるこのオプションは、しばしば難しい回路の収束に役立ちます。これは全般設定のパラメータをいくつか組み合わせて試行し、収束を試みます。成功した場合は、収束に成功したパラメータの *OPTIONS* 文を回路内に配置して、将来実行したときに、よりすばやく収束するようにします。

別の動作点法を試す : 問題が動作点の不具合である場合は、動作点方法を変えてみてください。手順は第6章「動作点方法」に説明されています。5通りの動作点方法が試される順を評価し、選択できます。

数値微分を使用する : 複雑な代数式を含む関数信号源を使用する場合は、デフォルトの代数微分の代わりに数値微分を使用してみてください。これは、**オプション/全般設定/Numeric_Derivative** で全般的に有効化できます。または、属性ダイアログボックスでそれぞれのデバイスに対して個別に有効化することも可能です。

本章の内容

本章では、FFT関数を使用して回路波形のフーリエ解析を実行する方法について説明します。次の項目があります。

- FFT関数の動作
- 高速フーリエ変換関数
- FFTの例
- FFTのコントロールパネル
- FFTウィンドウ

MC10の新しい機能

• HARMN関数が追加されました。この関数はHARM関数と同じですが、1次高調波の値に標準化されています。

• FFTウィンドウ関数が拡張され、以下が含まれるようになりました。

- HARM
- HARMN
- dB(HARM)¥
- dB(HARMN)
- REAL
- IMAG
- THD
- IHD
- PHASE

FFT関数の動作

高速フーリエ変換 (FFT) は、トランジェント解析波形やAC解析曲線から、周波数、時間情報を抽出する数学関数のグループです。すべての関数は、内蔵の同じ高速フーリエ変換ルーチンを採用しています。このルーチンは、2つの基本パラメータを必要とします。それは、データ点数Nとサンプリング周波数DFです。

N : データ点数

Nは、プロットプロパティ (F10) ダイアログボックスのFFTパネルのポイント数の値と等しい値です。通常は、1024です。

Nは必ず2のべき乗の数で、つぎの範囲内に制限されます。

- ・最小= 64または 2^6
- ・最大= 1048576または 2^{20}

DF : サンプリング周波数

サンプリング周波数DFはつぎのように計算されます。

トランジェント解析

$DF = 1 \text{ 次高調波} = 1 / (<Upper Time Limit> - <Lower Time Limit>)$
ここで<Upper Time Limit>と<Lower Time Limit>はプロットプロパティ (F10) ダイアログボックスのFFTパネルの値です。

AC解析

$DT = \text{時間ステップ} = 1 / DF = N / <Upper Freq Limit>$
<Upper Freq Limit>はプロットプロパティ (F10) ダイアログボックスのFFTパネルの値です。

DFとはFFT出力のサンプルポイント間の間隔で、1次高調波とも呼びます。サンプリングされる周波数範囲はつぎの通りです。

データ点	内容
1	0HzまたはDC値
2	H1 = (F = DFにおける一次高調波)
3	H2 = (F = 2 * DFにおける二項次調波)
...	...
N	HN = (F = (N-1) * DFにおけるN-1次高調波)

FFT関数はAC解析とトランジェント解析の両方で使用できます。

トランジェント解析では、時間領域波形（実数電圧vs.時間の曲線）がサンプリングされ、FFTルーチンに入力されます。このルーチンは通常、周波数ステップDFのサンプルをN個使用して、関数FFTやHARMを計算します。

AC解析では、周波数スペクトル（複素電圧対周波数の曲線）がサンプリングされ、FFTルーチンに入力されます。このルーチンは、時間ステップDTのサンプルをN個使用して、通常はIFT関数を計算します。これらの関数を使用することは、ほとんど理論的な意味を持たせるものです。

分解能、レンジおよび精度はFFTパラメータのNとDFでコントロールされます。

トランジェント解析の場合：

トランジェント解析で t_{max} を大きくすると、DFは小さくなります。結果として周波数分解能が細かくなり、 $f_{max} = (N-1) * DF$ なので、最高周波数が低くなります。

Nの値を大きくすると、周波数レンジの上限が大きくなります。

AC解析の場合：

AC解析で f_{max} を大きくすると、時間ステップDTが小さくなります。結果として時間ステップ分解能が細かくなり、 $t_{max} = (N-1) * DT$ なので t_{max} が小さくなります。Nの値を大きくすると、最大時間レンジが大きくなります。

高速フーリエ変換関数

高速フーリエ変換（FFT）関数には、下記のものがあります。

・ HARM (u [,BW])

この関数は波形uの調波の振幅を返します。BWはオプションのバンド幅数式です。振幅とは、サインまたはコサイン関数の乗数です。たとえばつぎの関数を例にあげます。

$$V(T) = 3.0 * \text{SIN}(2 * \text{PI} * 1\text{E}6 * T)$$

HARMは1E6に対する高調波について、3.0を返します。

HARMは下記の値を返します。

データ点	内容
1	H0 = DC値
2	H1 = 1次高調波の振幅
3	H2 = 2次高調波の振幅
...	...
N	HN = (N-1)次高調波の振幅

・ THD(S [,FR])

この関数は、スペクトラムSの全高調波歪みの実行中の和を、基準周波数FRにおける1次高調波の振幅に対する%値として返します。次のような値を返します。

データ点	内容
1	0
2	0
3	2次高調波の歪み（1次高調波に対する%）
4	2次・3次高調波の歪み（1次高調波に対する%）
...	...
N	全高調波歪み（1次高調波に対する%）

一般にTHDのm番目の値は次式により与えられます。

$$\text{THD}_m = 100 * ((H_2^2 + H_3^2 + H_4^2 + \dots + H_m^2) / H_1^2)^{0.5}$$

$$\text{ここで } H_m = (\text{REAL}(H_m)^2 + \text{IMAG}(H_m)^2)^{0.5}$$

FRが指定されていない場合、もしくは、指定したFRの値が高調波の周波数 $n \cdot DF$ と誤差1%以内で一致しなかった場合、FRは1次高調波に設定されます。

例

THD(HARM(V (1))) 波形V(1)の高調波のTHD
 THD(HARM(I (D1))) 波形I(D1)の高調波のTHD

• HARMN(u[,BW])

HARM()と同じですが、基本波つまり1次高調波の値に標準化されています。

• IHD(S [,FR])

この関数は、THD関数と同様に動作しますが、個別の高調波歪みを、基準周波数FRにおける高調波の振幅に対する%値として返します。次のような値を返します。

データ点	内容
1	0
2	0
3	2次高調波の歪み (1次高調波に対する%)
4	3次高調波の歪み (1次高調波に対する%)
...	...
N	N-1次高調波の歪み (1次高調波に対する%)

一般に、IHDのm番目の値は次の式で与えられます。

$$IHD_m = 100 * (\text{mag}(H_m) / \text{mag}(H_1))$$

FRが未指定の場合、もしくは、指定されたFRの値が高調波周波数 $n \cdot DF$ のいずれかと1%以内で一致しない場合、FRは1次高調波に設定されます。

例

IHD (HARM (V (A))) 波形V(A)の高調波のIHD
 IHD (HARM (IB (Q1))) 波形IB(Q1)の高調波のIHD

• FFT(u)

この関数は波形uの古典的フーリエ変換を返します。HARMのように高調波を返すものではありません。FFT関数は、N/2によってスケールされたフーリエ係数集合を計算します (DCはNによってスケールされます)。フーリエ級数は波形x(t)を次の式で近似します。

$$x(t) = a_0 / 2 + \sum (a_N \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot N \cdot f_1 \cdot t) + b_N \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot N \cdot f_1 \cdot t))$$

ここでf1は基本周波数です。

FFT関数は複素数の量を返します。複素数の実部にはフーリエ級数の係数 a_N を、虚部にフーリエ級数の係数 b_N を含んでいます。

データ点	REAL (FFT ())	IMAG (FFT ())
1	$a_0 \cdot N$	0
2	$a_1 \cdot N / 2$	$b_1 \cdot N / 2$
3	$a_2 \cdot N / 2$	$b_2 \cdot N / 2$
...
N	$a_{N-1} \cdot N / 2$	$b_{N-1} \cdot N / 2$

FFTとその逆関数IFTは、 $IFT(FFT(x(t))) = x(t)$ となるよう定義されます。つまり、フーリエ変換された波形を逆関数にかけると、最初の波形と等しくなります。

例

FFT (V (A)) 電圧波形V(A)のFFTです。
 FFT (IB (Q1)) コレクタ電流波形IB(Q1)のFFTです。
 FFTS(V(1),2E6) 2E6のバンド幅(BW)のV(1)のFFTSです。

HARM、*THD*、*FFT*の各関数は時間領域波形を周波数領域スペクトラムに変換します。そのため、これらの関数をY式で使用するときは、X式を周波数Fにする必要があります。X範囲の初期値は、 $5 \cdot DF$ と $10 \cdot DF$ の間に設定する必要があります。

• FS(u,[[n1],n2])

波形uの部分フーリエ級数表現であり、n1項からn2項によってまとめられます。n1の規定値は0、n2の規定値はFFTプロットプロパティのFFTのポイント数/2です。

• RES(u,[[n1],n2])

剰余関数により、波形からフーリエ項のn1項からn2項を減算した値を示します。n1の規定値は0です。n2の規定値は1です。RES(u)はRES(u, 0, 1)であり、従って、基本的に2次およびそれより高次の高調波による歪み成分を示します。

• FFTS(u [,BW])

波形uの漸進フーリエ変換であり、RE(FFTS (u))がフーリエ級数のコサインの係数を生成し、IM(FFTS (u))がフーリエ級数のサインの係数を生成するようにスケールされています。HARM ()関数と似ています。BWはオプションのバンド幅数式です。

・ IFT(S)

この関数はスペクトラムSの古典的逆フーリエ変換を返します。スペクトラムとは、周波数式vs.複素数のリストです。AC解析では数式はすべてスペクトラムであるため、IFT(V (1))は有意な結果を生成します。トランジェント解析ではV(1)は時間領域波形であるため、IFT(V (1))は無意味です。しかしトランジェント解析でも数式 IFT(FFT(V (1)))は有意な結果を生成します。

例 :

IFT(V (5) * I (R10)) スペクトラムV(5) * I (R10)のIFT

*IFT関数は周波数領域のスペクトラムを時間領域の波形に変換します。そのため、Y式でIFTを使用するときは、X式を時間Tにする必要があります。初期時間範囲は、10*DTと100*DTの間に設定する必要があります。*

・ IFTS(S)

スペクトルSのスケールされた逆フーリエ変換。スケールリングは、IFTS(FFTS (u)) = uとなるようにするスケールリングです。

・ CONJ(S)

この関数はスペクトラムSの共役 (conjugate) を返します。複素数a + b · jの共役はa-b · jです。この関数はスペクトラムの虚部を単純に反転します。

例 :

CONJ(FFT (V (1)))スペクトラムFFT(V (1))の共役です。

・ CS(u1,u2)

この関数は、2つの波形u1とu2の相互スペクトル (cross spectrum) を返します。相互スペクトルは、CONJ (FFT (u2)) * FFT (u1) * DT * DTと定義されます。

例 :

CS (V (1), V (2)) V (1)とV (2)の相互スペクトル

・ AS(u)

この関数は、波形uの自己スペクトル (auto spectrum) を返します。自己スペクトルは、AS (u) = CONJ (FFT (u)) * FFT (u) * DT * DTで定義されます。

例 :

AS (I (RL))波形I (RL)の自己スペクトル

・ AC (u)

これは波形uの自己相関 (auto correlation) です。つぎのように定義されます。

$$AC(u) = IFT(CONJ(FFT(u)) * FFT(u)) * DT$$

この関数は、ノイズの多い波形に埋もれた周期的信号を見つけるのに便利です。

例 :

RE (AC (V (10)))波形V (10)の自己相関

この関数の例については、サンプル回路FFT5.CIRを参照して下さい。

・ CC (u,v)

これは波形uとvの相互相関 (cross correlation) です。つぎのように定義されます。

$$CC(u,v) = IFT(CONJ(FFT(v)) * FFT(u)) * DT$$

この関数は2つの周期的信号の間の時間遅延を見つけるのに便利です。

例 :

CC (V (1), V (2))波形V (1)とV (2)の相互相関です。

この関数の例としては、サンプル回路FFT3.CIRを参照して下さい。

・ COH (u,v)

この関数は波形uとvのコヒーレンスです。つぎのように定義されます。

$$COH(u,v) = CC(u,v) / \text{sqrt}(AC(u(0)) * AC(v(0)))$$

例 :

COH (V (1), V (2))波形V (1)とV (2)のコヒーレンスです。

FFTの演算子

FFT関数の出力を扱うために利用可能な数学関数はつぎの通りです。

<u>短縮形式</u>	<u>長い形式</u>	<u>関数</u>
RE (S)	REAL (S)	スペクトラムSの実部
IM (S)	IMAG (S)	スペクトラムSの虚部
MAG (S)	MAG (S)	スペクトラムSの振幅
PH (S)	PHASE (S)	スペクトラムSの位相

長い形式と短い形式のどちらにも使用できます。なお、MAG関数は冗長となります。プロットルーチンはつねに最終結果の振幅をプロットするため、V(1)のプロットとMAG(V(1))のプロットは同じになります。

FFTの精度

比較的低い高調波の精度は、主として解析実行の時間の長さや周波数ステップの影響を受けます。高周波コンポーネントが多い場合、精度は、fmaxを決定するNの影響を受けます。

以下の表は、回路FFT1.CIRにおいて、精度が時間ステップによってどのような影響を受けるかまとめたものです。この回路には信号源が1つあり、DC、1MHz、2MHz、3MHzのサイン波の純粋な混合波形を生成しています。つぎの結果は、信号源ノードに適用したHARM関数「HARM(V1)」のもので、理想的には、HARM関数は正確に値1.5、1.0、2.0、3.0を返します。結果がこれらの正確な値からどれだけ離れるかにより、精度が決定できます。

誤差をN = 1024において十億分率 (1E9) で表すと、次のようになります。

最大時間ステップ (1次高調波に対する%)	1次 高調波	2次 高調波	3次 高調波
1ns (.1%)	3300	13000	30000
.1ns (0.01%)	33	130	300
.01ns (0.001%)	0.3	1.3	3.0

誤差をN = 1024においてデシベルで表す (DB(ERROR)) と、次のようになります。

最大時間ステップ (1次高調波に対する%)	1次 高調波	2次 高調波	3次 高調波
1ns (.1 %)	-109	-97	-91
.1ns (0.01 %)	-149	-137	-131
.01ns (0.001 %)	-191	-177	-170

Nは、低い高調波の精度について、事実上何の影響も及ぼしていません。

FFTの速度

FFTルーチンの速度は、ほぼNに対して線形です。Nの値はできるだけ小さいものを使用して下さい。1024くらいの値なら、たいいていの場合大丈夫です。fmax = N * DFにより、Nはfmaxにのみ影響を及ぼすことにご留意ください。ときにtmaxの値を大きくしてDFを下げ、周波数分解能を高めたいことがあります。この場合fmaxが下がるという副作用があるので、必要なfmaxが維持されるようにNの値を大きくする必要があります。

FFTの例

FFT関数の使用例を解説します。ファイルFFT1をロードして下さい。つぎの図のようになります。

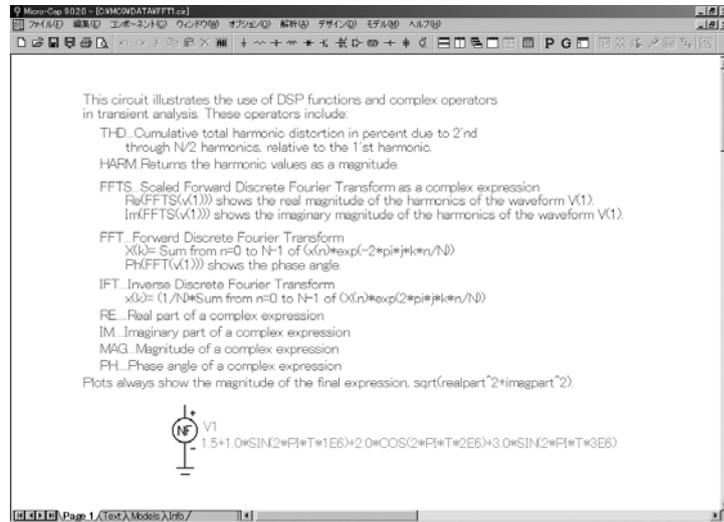


図31-1 回路FFT1

この回路のノードには、つぎの出力数式をもつ関数信号源があります。

$$1.5 + 1.0 * \sin(2 * \pi * T * 1E6) + 2.0 * \cos(2 * \pi * T * 2E6) + 3.0 * \sin(2 * \pi * T * 3E6)$$

この信号源は下記の純粋な正弦波が混合された波形を生成します。

F	振幅
0	1.5
1E6	1.0
2E6	2.0
3E6	3.0

この回路には、コンデンサやインダクタがないので、興味の対象である定常状態出力を得る際の妨げとなる、初期トランジェントはありません。

解析メニューのトランジェントを選択します。このダイアログボックスでは、FFT関数を使用して良好な結果を得るためのいくつかの重要な作業を行います。

FFT1解析リミットダイアログボックスはこのようになります。

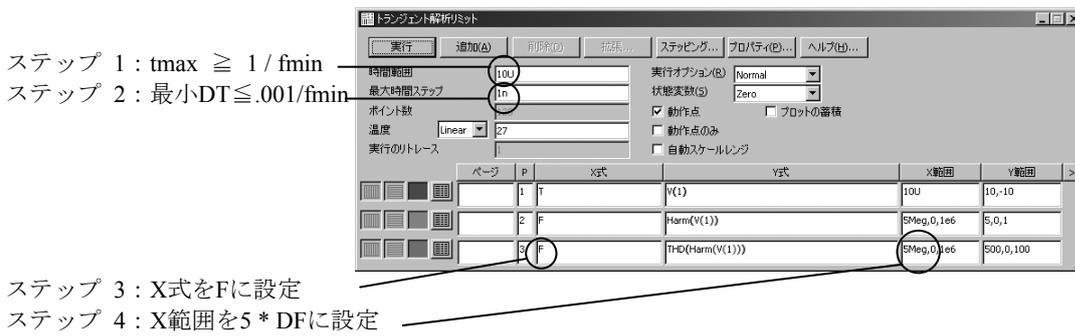


図31-2 FFT1解析リミットダイアログボックス

ステップ1 :

FFT関数は、サンプリング周波数DFの適切な選択と、十分なデータ点数Nに依存します。DFの値は次のようになります。

$$DF = 1 \text{ 次高調波} = 1 / (<Upper Time Limit> - <Lower Time Limit>)$$

ここで<Upper Time Limit>と<Lower Time Limit>はプロットプロパティ (F10) ダイアログボックスのFFTパネルの値です。初期値は次のとおりです。

$$Upper Time Limit = t_{max}$$

$$Lower Time Limit = 0$$

これは、以下を必要とします。

$$t_{max} \geq 1 / F_{MIN} \quad F_{MIN} \text{は予想される最小高調波です。}$$

この条件はステップ 1に盛り込まれています。

$$\text{ステップ1 : } t_{max} \geq 1 / F_{MIN} \text{に設定}$$

FMINが不確かな場合、回路網内の信号源の最低周波数に等しいと考えてください。たとえば発振器で信号源がない場合などには、予想される発振周波数をお使いください。

ステップ2:

FFTの精度は最小時間ステップでコントロールされます。値は小さいほどよいのですが、DTが小さいと解析にかかる時間が長くなります。経験則ですが、DTをFMINの周期の0.1%に設定すると良いでしょう。これがステップ2になります。

ステップ2: 最小時間ステップを0.001/FMINに設定

ステップ3:

FFTやHARMのように、引数が時間領域であるFFT関数の場合、X式をF(周波数)にする必要があります。これでステップ3が得られます。

ステップ3: X式をFに設定します。

ステップ4:

対象となる周波数を見るように水平スケールを設定してください。

*ステップ4: X範囲をDFの小さな倍数、たとえば $10 * DF \sim 50 * DF$ に設定します。*

ステップ5:

FFT関数は、波形が周期的であると仮定します。回路に周期性のない初期トランジェントがあると、FFTの計算結果に誤差が生じます。この誤差は、プロットプロパティダイアログボックスのFFTパネルを使用して取り除いてください。この回路ではコンデンサやインダクタがないので初期トランジェントはなく、とくに注意する必要はありません。

ステップ5: FFTパラメータダイアログボックスの時間下限を設定し、初期トランジェントを除外します。

F2を押して、シミュレーションを実行すると、以下のような結果が得られます。

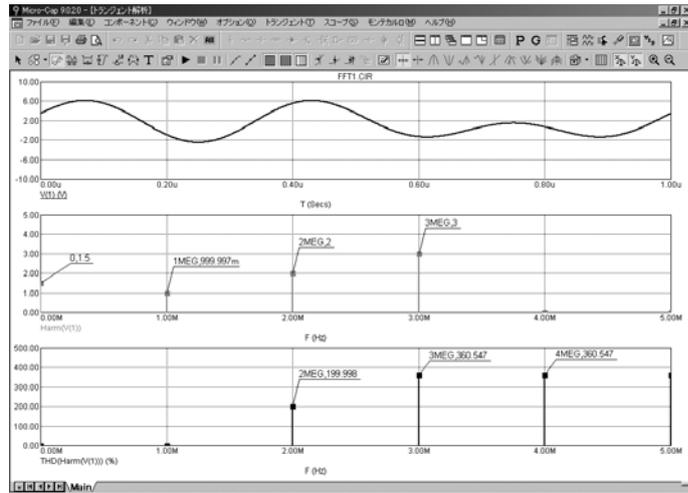


図31-3 tmax = 1uでのグラフ

2番目のグラフのHARM(V(1))は、予想通りの結果を生成しています。

DC	0	1.5
1	1MHz	1.0
2	2MHz	2.0
3	3MHz	3.0

tmaxの値を変えた場合の影響を見るために、時間範囲を10uに、V(1)のX範囲を10uに変更します。F2を押して解析を実行します。

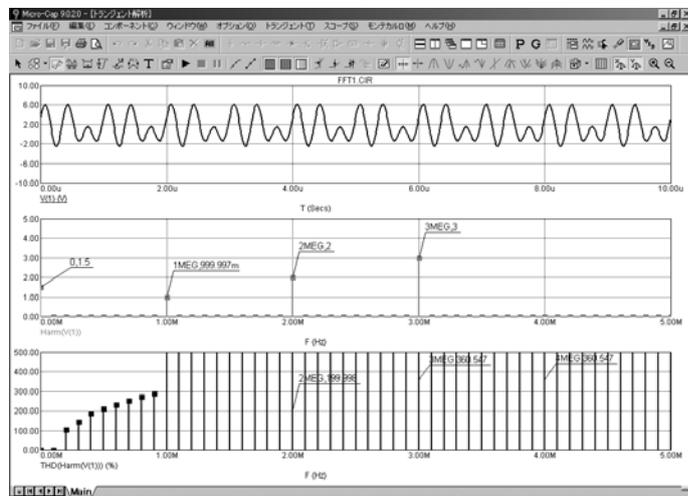


図31-4 tmax = 10uでのグラフ

HARM()関数が依然として0MHz、1MHz、2MHz、3MHzを正確にプロットしているのに対し、THD関数には違いが見られます。これは、THD関数が1次高調波または基準周波数を使用するからです。tmaxを1uから10uに変更したため、1次高調波の周波数は次のように変化しました。

$$\text{変更前の1次高調波} = 1\text{Meg} = 1/1\text{u}$$

$$\text{変更後の1次高調波} = 100\text{K} = 1/10\text{u}$$

基準周波数は1MHzから100KHzに移動しました。

この問題を防ぐために、省略可能な2番目のパラメータFRを使用できます。例えばこの場合、以下のようにします。

THD (HARM (V (1)), 1MEG)

プログラムはN * DFの値をスキャンして、N = 10で一致する値を見つけます。

$$10 * DF = 10 * 100\text{KHz} = 1\text{MHz}$$

すると10次高調波（1MHz）がTHDの基準周波数として使用されます。プロットは以下のようになります。

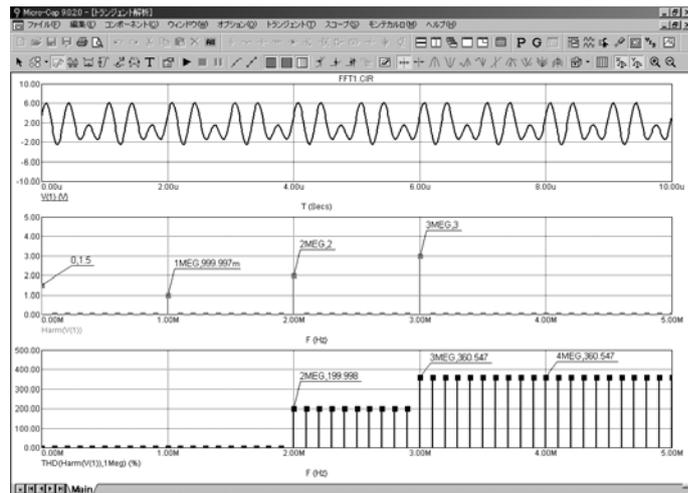


図31-5 tmax = 10u、FR = 1MHzのグラフ

今度は、THDは1MHzで100%、2MHzで200%と期待通りの値を表示しています。

FFTコントロールパネル

FFT関数とFFTウィンドウは、プロットプロパティ (F10) ダイアログボックスのパラメータを使用してFFT関数を制御します。それには、解析プロットが表示されている時にF10を押してアクセスします。また、解析プロットをダブルクリックする、または解析リミットダイアログボックスのプロパティボタンからもアクセスできます。FFTパネルは次のように表示されます。



図31-6 FFTコントロールパネル

時間上限 : FFT関数の時間上限値を設定します。一般に、これは基本周期の倍数に設定され、通常は3～5周期です。

時間下限 : FFT関数の時間下限値を指定します。一般に、これは目標波形の開始時の過渡状態を避けるために基本周期の倍数に設定し、通常は2～4周期です。PSSを使用する場合（通常PSSの使用を推奨）、1周期を適用できます。

周波数ステップ : 時間上限と時間下限の差から計算した基本周波数です。値を入力すると、MC10により時間下限の適正值が計算されます。使用する計算式は次のとおりです。

$$\text{周波数ステップ} = 1 / (\text{Upper Time Limit} - \text{Lower Time Limit})$$

これらの変数は、タイムリミットフィールドでも使用できます。

TMAX	トランジェント解析の最長時間
TMIN	トランジェント解析の開始時間

例えば、TMAXを時間上限フィールドの入力として使用したり、TMINあるいは（スタートアップ時の過渡状態を避けるために） $0.5 * TMAX$ を時間下限フィールドの入力として使用することもあります。

ポイント数：FFT関数で使う補間データ点の数を指定します。通常は、1024、2048、4096がほぼ適切な選択肢です。

自動スケーリング：このグループでは、FFT関数の自動スケールのオプションを制御し、次のオプションがあります。

DC調波を含む：自動スケーリングを実行する時にDC高調波を含めます。通常は無効にします。

自動スケールファースト：この数値により、スケーリング時に含める高調波の数を指定します。

制御パラメータをどのように使用するか説明します。ファイルFFT7をロードしてください。画面は次のようになります。

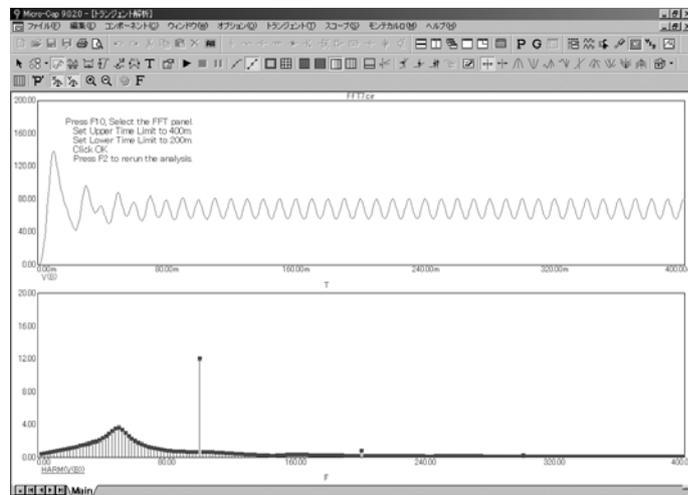


図31-7 最初の過渡状態のグラフ

V (B)のプロットには、最初に非周期的な過渡状態が含まれます。FFTは周期的波形に適用するためのもので、周期性がないとスプリース低周波の高調波が生じます。過渡状態および付随する高調波を除去するには、F10を押し、FFTパネルをクリックします。時間上限を400mに設定します。時間下限を200mに設定します。OKをクリックし、F2を押してトランジェント解析を再実行します。これらの数値は、すべてのFFT関数が、200msから400msの範囲のウィンドウに対して適用するよう指定します。つまり200msより前の波形は廃棄されます。波形の200msから400msの部分のみ維持されます。プロットの結果は図31-8のようになります。

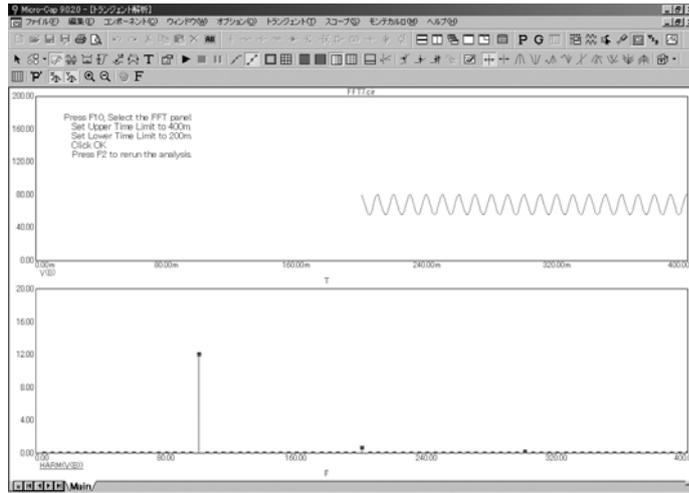


図31-8 最初の過度状態を除去したグラフ

FFTパネルでは、次のように指定しました。

1. 波形V(B)の0-200msの部分除去します。
2. 元の波形の古い200ms～400msの領域を等間隔に1024ポイントで補間して、新しい波形を作成します。
3. 補間した波形にHARM関数を適用します。

上のグラフは、0-200msの部分除去し、切り捨てられ補間されたV(B)の波形です。下のグラフは、HARM(V(B))です。波形のトランジェントと、それによるスプリアス高調波を除去した結果、真の安定した状態の高調波成分（主に100Hzの倍数で）をはっきり見ることができます。

PSSはトランジェントの除去にも使用できます。その効果を確認するには、F3を押し、次にCTRL + ALT + Rを押してFFT7回路を修復します。次にトランジェント解析を選択して周期定常状態チェックボックスをクリックし、F2を押します。上記の図と似たような結果が表示されます。実際には、結果の精度は大幅に向上しているのですが、変更は小さくなります。PSSを使用すると、200 Hzの値は860.638 mから691.919 mに、100 Hzの値は12.135から12.082になります。

FFTウィンドウ

FFT関数を少し簡単にするには、FFTウィンドウを使用できます。実行方法を示すために、FFT1回路をロードし、トランジェント解析を実行します。解析が完了したら、トランジェント/FFTウィンドウ/FFTウィンドウの追加オプションを選択します。これでFFTウィンドウプロパティダイアログボックスが表示されます。

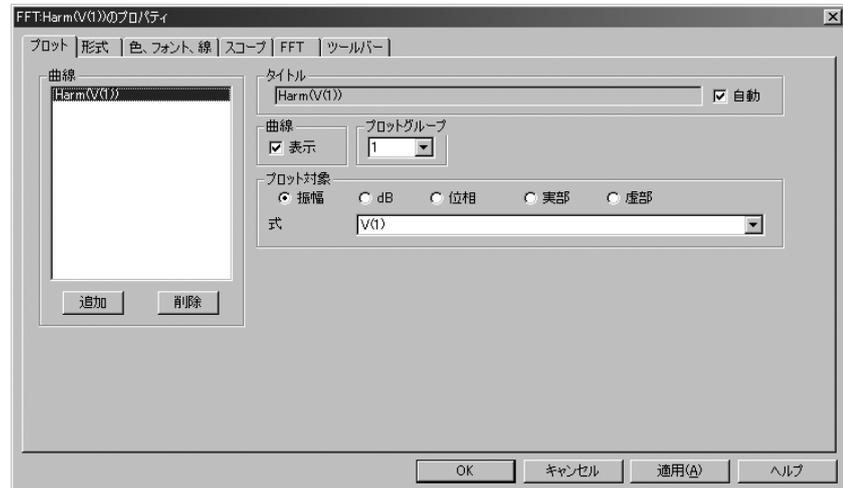


図31-9 FFTウィンドウプロパティダイアログボックス

プロット

曲線：タイトル、表示、プロットグループ、プロットの対象、式フィールドが適用されるFFT曲線を追加/選択します。チェックボックスで、選択した曲線の表示を有効化または無効化できます。

タイトル：プロットのタイトルを選択します。

プロットグループ：FFT関数のプロットグループを選択します。

プロット対象：複数の演算子のどれを使用するかを選択します。選択可能な項目はHarm、dB(Harm)、Harmn、dB(Harmn)、Real、Imag、THD、IHD、およびPhaseです。また、関数を適用する数式も選べます。

スケールおよび形式

このパネルは解析プロットのパネルと似ています。FFTウィンドウ内のプロットのさまざまな形式、スケーリング、数値機能を制御します。

色、フォント、線

このパネルも解析プロットのそれと似ています。FFTウィンドウ内の色、フォント、その他の表示機能を制御します。

スコープ

プロットの通常のスコープ関数にアクセスします。

FFT

FFTコントロールパネルは、解析プロットですでに説明したパネルと似ています。FFTウィンドウで使用するFFT関数を制御します。解析プロットで採用されるFFT関数には適用されません。

数値出力

このパネルでは、FFTウィンドウの数値出力を制御できます。トランジェント解析の数値出力パネルと似ていますが、このパネルにはFFTプロットしか含まれていません。出力を確認するには、FFTウィンドウを選択してF5を押します。

ツールバー

ツールバーパネルは、解析プロットのそれと似ています。FFTウィンドウに表示されるツールバーボタンを制御します。

キャンセルボタンをクリックし、トランジェント/FFTウィンドウ/Harm(V(1))の表示を選択すると、次のような画面が表示されます。

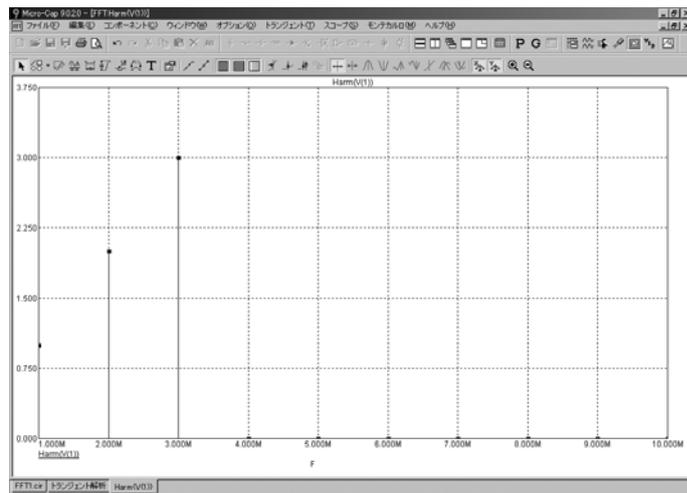


図31-10 FFTウィンドウ

これにより、図31-3の中央のプロットグループと非常によく似たV(1)の最初の10次の高調波のプロットを生成します。

本章の内容

本章では、周期定常状態解析オプションについて説明します。本章の内容には以下の項目が含まれます。

- ・ PSSの必要性
- ・ 周期定常状態サンプル回路
- ・ 周期定常状態の前提条件

MC10の新機能

・ MC10には周期定常状態が新機能として追加されました。この機能は、トランジェント解析、高調波解析、および相互変調解析で使用できます。

周期定常状態の必要性

PSSが何をするもので、どのような効果をもたらすのかについては、対象となる方程式の基本的性質にその答えがあります。Micro-Capを含め、すべてのシミュレータは、解に過渡領域と定常領域の両方を持つ一連の微分方程式を立て、それらの方程式を数値的に解きます。非周期的な一連の初期条件が与えられている場合、方程式は、両方を含む解を生成します。次の回路で考えてみましょう。

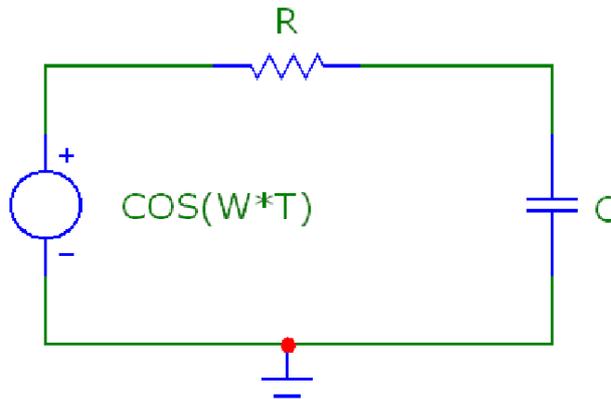


図32-1 PSSサンプル回路

この回路の動作を規定する微分方程式は、カーカフの電力法則により、以下のように表すことができます。

$$C \cdot dV/dT + (V - \text{COS}(W \cdot T)) / R = 0$$

ここで $W = 2 \cdot \text{PI} \cdot 1000$ 、入力信号源は $\text{COS}(W \cdot T)$ 、 R は抵抗、 C はキャパシタンス、 T は時間、 V はコンデンサにかかる電圧を表します。

この方程式は標準的な方法で解が得られ、次の式で与えられます。

$$V = VSS + VTR$$

$$VSS = \text{COS}(W \cdot T - \text{ATAN}(W \cdot C \cdot R)) / \text{SQRT}(1 + (W \cdot R \cdot C)^2)$$

$$VTR = -\text{EXP}(-T/(R \cdot C)) / (1 + (W \cdot R \cdot C)^2)$$

ここで VSS は定常領域、 VTR は過渡領域を表します。

多くの場合、問題となるのは定常応答であり、初期トランジェントはあまり注目されません。実際、トランジェントがあると、得ようとする結果が不明瞭になるという問題が生じることがあります。たとえば歪み解析では、初期トランジェントによってスプリアス高調波が生じますが、PSSを使用せずにこの波長を除去するためには、過渡領域が有意でないレベルに減衰するまで解析実行時間を延長する必要があります。このとき余分にかかる時間により、実時間の負担が増えます。

次の図は、 $T_{max} = 5ms$ 、 $R = 10k$ 、 $C = 100n$ の場合のシミュレーション実行結果です。

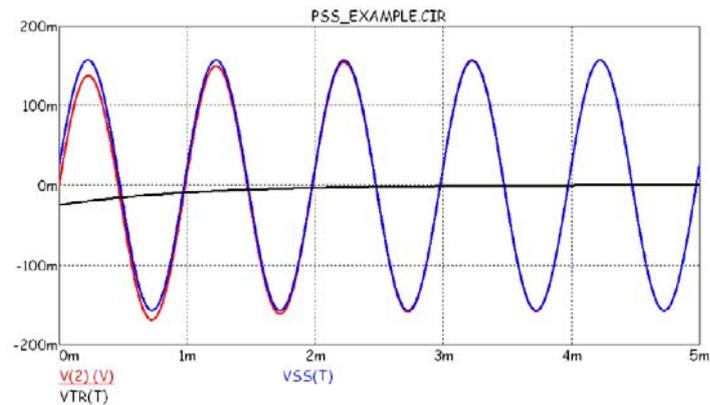


図32-2 定常波形、過渡波形および全波形

出力波形は小さな指数関数波と定常正弦波で構成されています。5周期後、指数関数波が減衰して定常解と同等化し1000分の1以内になります。しかしそれでも歪み測定には不十分です。下図はPSSを使用した場合の解です。

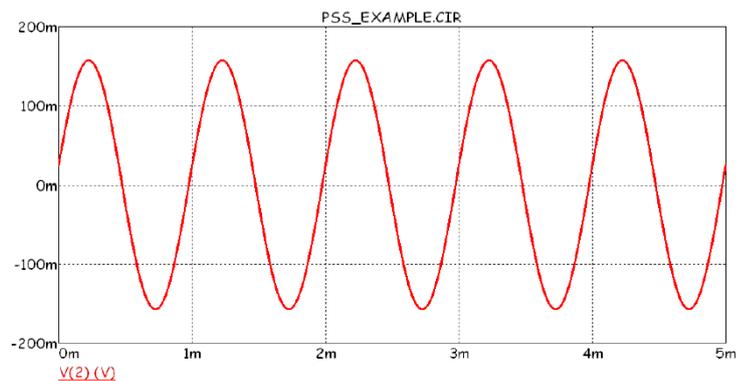


図32-3 PSS波形

5周期後、周期誤差は100万分の1より小さくなります。周期誤差とは、初期値と最終値との間の相対的差異をいいます。周期は常に $t_{max} - t_{start}$ とします。

誤差の許容範囲はPSSダイアログボックスの設定によって異なります。ダイアログボックスは次のように表示されます。

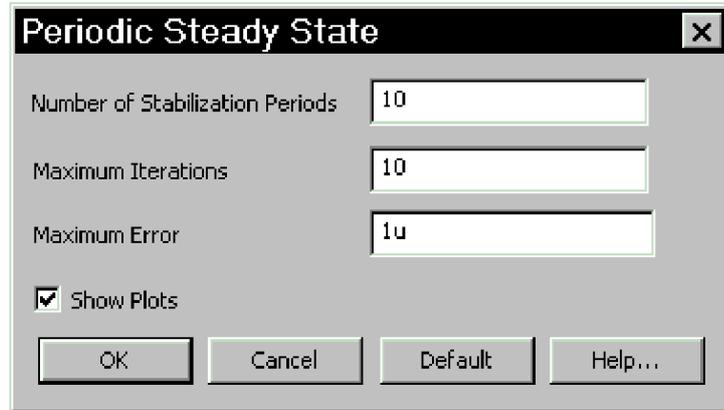


図32-4 PSSダイアログボックス

このダイアログボックスは、トランジェント解析、高調波歪み解析、相互変調歪み解析の解析リミットダイアログボックスから開きます。PSSダイアログボックスには次の3つの数値フィールドがあります。

安定化周期数：PSS計算の開始前にプログラムが解析を実行する周期数を指定します。

最大反復数：指定された最大誤差より低い値まで周期誤差を減少させるためにPSSが実行できる最大反復数です。

最大誤差：最大周期誤差です。実際の周期誤差がこの値より低ければPSSが問題なく完了します。

プロットの表示チェックボックスにチェックが入っていると、反復ごとに1本のプロットが描かれ、最終的な解への進展具合が表示されます。PSS誤差と反復回数はステータスバーと回路図インフォページの下端に表示されます。

周期誤差は状態変数（ノード電圧、ソース電流およびインダクタ電流）の反復間における最も大きい相対変化です。

周期定常状態サンプル回路

下記のバックコンバータ回路を例に考えてみます。この回路を $T_{MAX} = 200E-6$ または約400周期で実行する場合、 $V(OUT)$ が約 $4e-6$ で実行時間が約40秒の定常状態周期誤差が生じます。

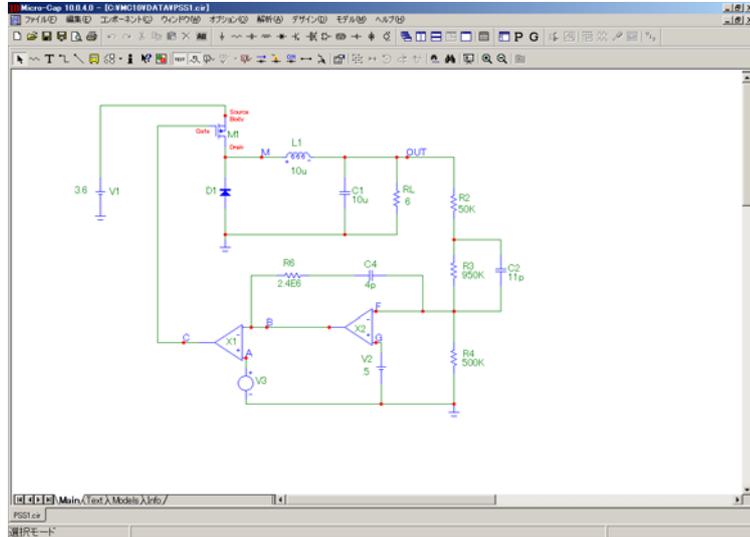


図32-5 SMPSバックコンバータ

PSSを使用した場合、10周期、反復10回で次の波形が得られます。この実行では $V(OUT)$ が $2E-6$ の周期誤差が生じ、約5秒かかります。

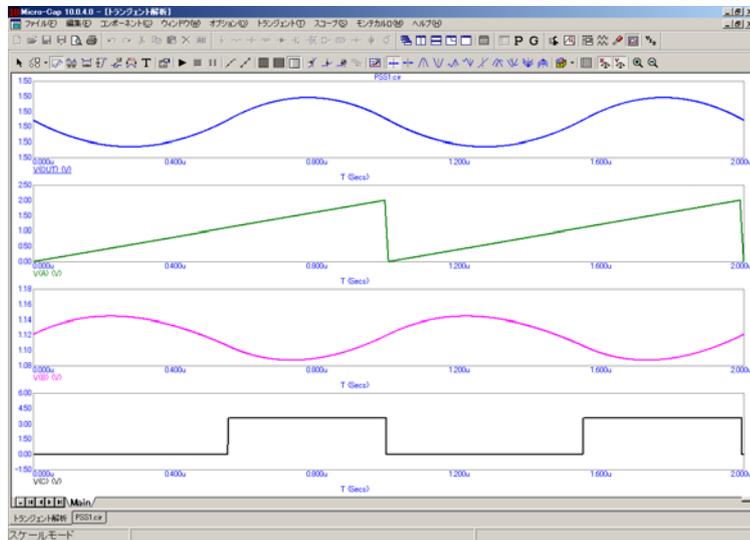


図32-6 SMPSバックコンバータ波形

下図は別の例です。ここでは、音声増幅器で高調波歪みを計算します。

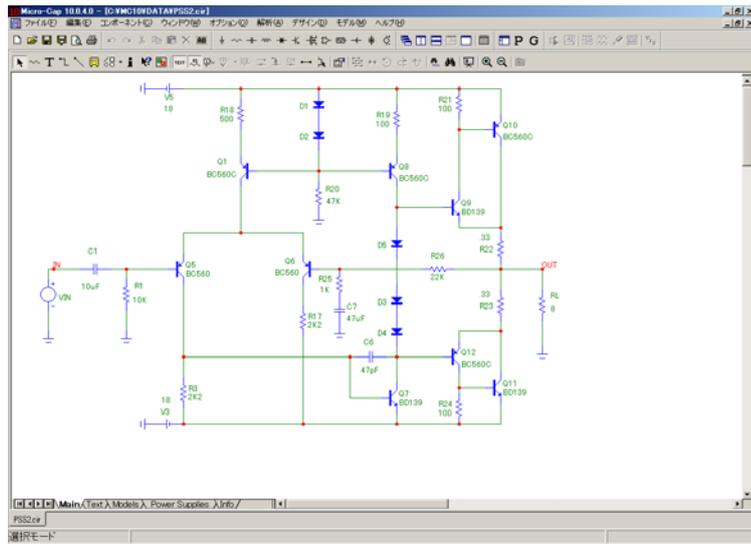


図32-7 高調波歪み解析の例

下図はPSSを使用しない場合の高調波歪み解析です。

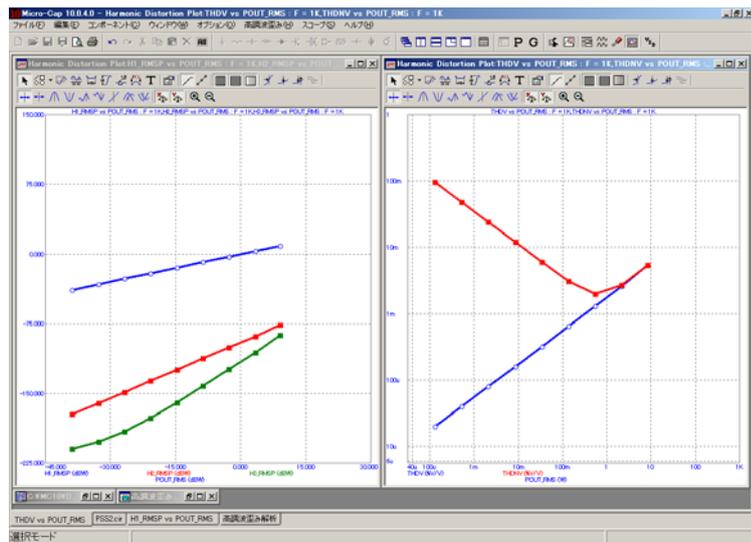


図32-8 PSSを使用しない場合の歪み解析

この解析の実行時間は247秒で、H3プロットの下端で誤差が生じた（プロットは線形にならなくてはなりません）。

下図は、同じ解析でPSSを使用した場合です。

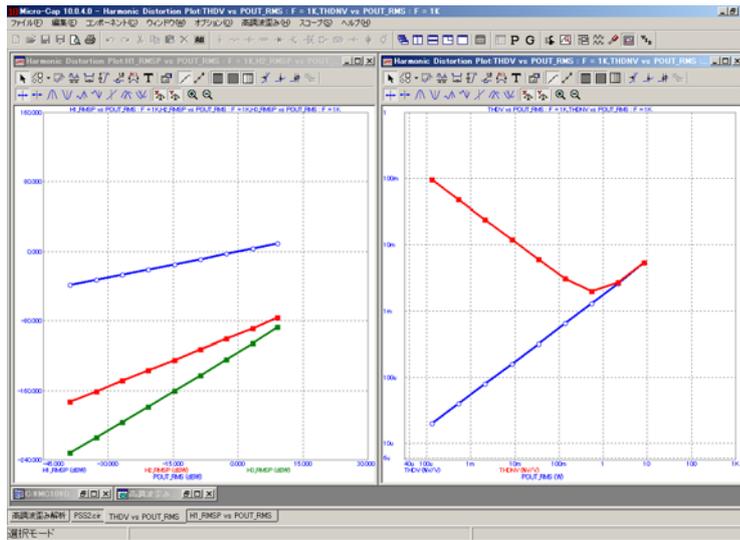


図32-9 PSSを使用した場合の歪み解析実行例

この解析は実行時間が26秒で、H2プロットやH3プロットの下端でもきれいな曲線が生成されています。H2やH3の下端における信号レベルは、それぞれ約-182dBおよび-245dBです。

下図は非常に単純な例で、整流器を表しています。

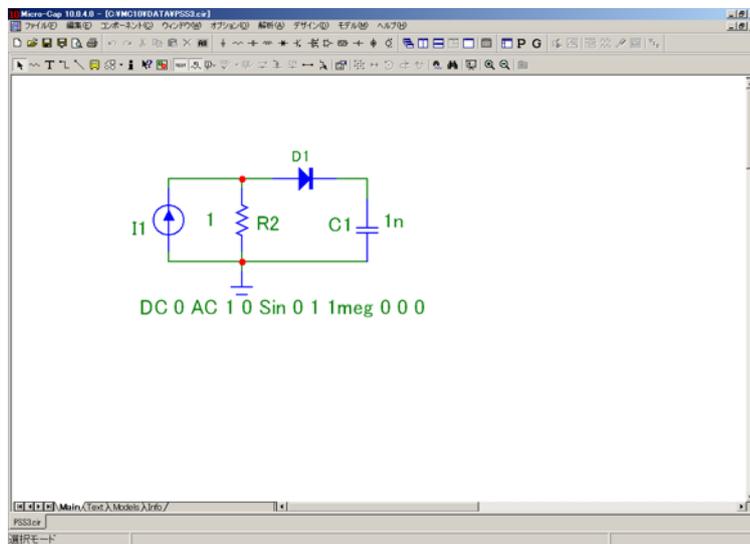


図32-10 整流器回路

下図はPSSを使用した場合の解です。実行時間は0.5秒未満で、周期誤差は1E-4を下回っています。

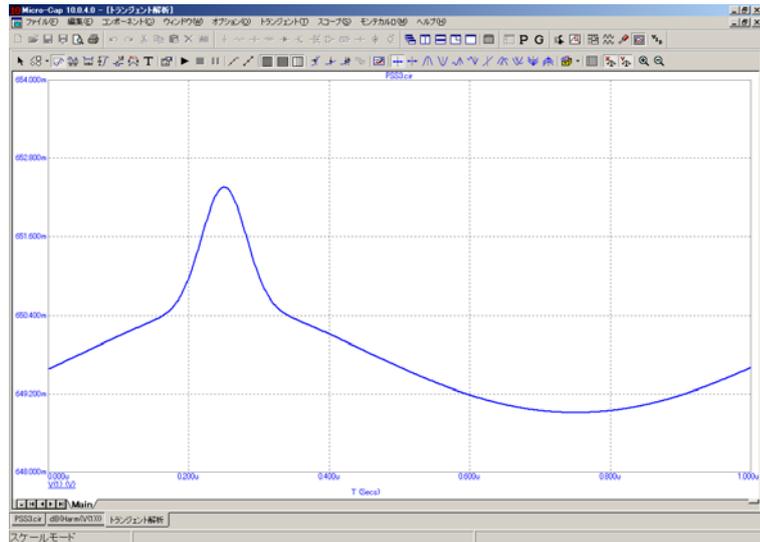


図32-11 PSSを使用した場合の整流器実行例

この回路でPSSを使用しない場合、周期誤差を1E-4以下に抑えるには3000を超える周期と40秒を上回る実行時間が必要になります。

これらの例は、PSSを使用することにより、簡単に定常波形を生成し、さらに実行時間の面でも大きなメリットがあることを示しています。通常、PSSのメリットは回路サイズにしたがって縮小しますが、とはいえ400ノードという大型の回路でも依然として大きな効果を得られます。

周期定常状態の前提条件と限界

前提条件：

周期性：回路応答は周期的でなければなりません。複数の信号源で駆動する場合、 t_{max} は信号源の周期の倍数である必要があります。

線形性：シューティング区間の初期点と終了点の関係は近線形である必要があります。完全な線形の場合、通常、1～3回の反復で収束が生じます。2つの点の関係が著しい非線形の場合、反復数を大幅に高くする必要があります。PSSがまったく収束しなかったりする可能性があります。

非カオス回路：PSSは、デルタ・シグマ・モジュレータやSMPS回路の一部など、無秩序に応答する回路や発振器には対応できません（ただし周期が分かっている場合を除く）。

限界：

PSSは、伝送線路、ラプラス信号源、Z変換信号源またはNポートを含む回路では使用できません。

索引

記号

!

!=演算子, 792

.

.ENDS 関数, 811
.FUNC 関数, 812
.INCLUDE, 62
.LIB, 62, 138, 514
.MACRO, 515, 816
.MODEL, 817
.NODESET 関数, 820
.OPTIONS, 819
.SUBCKT, 638

<

<=演算子, 792
<>演算子, 792
<演算子, 792

=

==演算子, 792

>

>=演算子, 792
>演算子, 792

2

2 次インターセプト, 238
2 端子, 784

3

3D, 344
X 軸, 349
Y 軸, 349
Z 軸, 349
ウィンドウ, 160, 178, 192
カーソルモード, 354
等高線, 350
等値線, 350
プロット, 160, 178, 192, 298, 348
プロットパッチ, 351
3D プロット, 103
3 次インターセプト, 238

5

555 マクロ, 416

A

A/m, 507
ABSTOL, 66, 901
ABS マクロ, 361
ABS 関数, 794
Accel PCB インターフェース, 74, 148
ACM (面積計算方法) パラメータ, 553
ACOSH 関数, 791
ACOS 関数, 791
ACOTH 関数, 791
ACOT 関数, 791
ACSCH 関数, 791
ACSC 関数, 791
AC 解析, 106, 820
AC 関数, 912
AC 信号源振幅, 182, 183
AC 解析, 169, 170, 511
AC 関数, 793
AGAUSS 関数, 773, 797
AMP マクロ, 363, 364
Analog Library, 82
Analog Primitives, 82
And 演算子, 792
ARCTAN 関数, 791
ASECH 関数, 791
ASEC 関数, 791
ASINH 関数, 791
ASIN 関数, 791
ASPEC の方法, 556
AS 関数, 793, 911
ATAN2 関数, 791
ATANH 関数, 791
ATAN 関数, 791
ATN 関数, 791
AUNIF 関数, 773, 797
Auto ステッピング, 173
Average 性能タグ, 329
AVG 関数, 794

B

BH 曲線, 509

BIN 関数, 789
Boyle OPAMP モデル, 617
BSIM1, 517, 523
BSIM2, 517, 524
BSIM3, 517, 526
BSIM4, 517, 532

C

CAPACITANCE 属性, 450
CC 関数, 793, 912
CENTAP マクロ, 365
CGS 単位系, 507
CHARGE 属性, 450
CHGTOL, 66
CLIP マクロ, 366
COH 関数, 793, 912
COMPARATOR マクロ, 368, 369, 370, 371
COMP マクロ, 367
CONJ 関数, 911
CONJ 関数, 793
COSH 関数, 791
COS 関数, 791
COTH 関数, 791
COT 関数, 791
CSCH 関数, 791
CSC 関数, 791
CSHUNT, 66
CS 関数, 793, 911
CURVEY 関数, 794

D

db 演算子, 286
DB 演算子, 792
DC 解析, 106
DC 解析, 185, 511
DDT 関数, 794
DD 関数, 794
DEC 関数, 789
DEFAD, 66
DEFAS, 66
DEFL, 66
DEFNRD, 66
DEFNRS, 66
DEFPD, 66
DEFPS, 66
DEFW, 66
DELAY マクロ, 372
DEL 関数, 794
DER 関数, 794
DEV 許容値, 453, 498, 628
DIAC マクロ, 373
DIF マクロ, 374

DIGDRVF, 66
DIGDRVZ, 66
DIGERRDEFAULT, 66
DIGERRLIMIT, 67
DIGFREQ, 67
DIGINITSTATE, 67
DIGIOLVL, 67
Digital Library, 82
Digital Primitives, 82
DIGITYMXSCALE, 67
DIGMNTYMX, 67
DIGMNTYSCALE, 67
DIGOVRDRV, 67
DIGPOT マクロ, 375
DIV マクロ, 376
DIV 演算子, 790
DT, 779

E

EDT 変数, 780
EGT 変数, 780
EKV MOSFET モデル, 517
EKV MOSFET モデル, 545
ENDREPEAT キーワード, 491
EST 変数, 780
EXPL 関数, 791
EXP 関数, 791

F

Fall Time 関数, 329
FFTS 関数, 910
FFT ウィンドウ, 160
FFT 関数, 266, 906, 909, 911
FFT 関数の精度, 907, 913
FFT 関数の分解能, 907
FFT 関数, 793
FLUX 数式, 496
FLUX 属性, 495
FMAX, 779
FMIN, 779
Frequency 関数, 329
FREQ 属性, 170
FSK マクロ, 378, 379
FS 関数, 910

G

G (複素コンダクタンス) , 285
GaAsFET, 475, 784
Gain_Margin 関数, 329
GAUSS 関数, 773, 797
GEAR, 70
GMIN, 67, 779, 901

Gummel Poon モデル, 435
GYRATOR マクロ, 380
G パラメータ, 615

H

HARM 関数, 908
HARM 関数, 793
HEX 関数, 789
High_X 関数, 329
High_Y 関数, 329
HSPICE, 26, 558
H パラメータ, 615

I

IBIS, 42
IBIS コンポーネント, 480
IDEAL_TRANS2 マクロ, 381
IDEAL_TRANS3 マクロ, 382
IFTS 関数, 911
IFT 関数, 793
IF 関数, 793
IGBT, 481
IHD 関数, 909
IHD 関数, 793
IMAG 関数, 793
INDUCTANCE 数式, 496
INDUCTANCE 属性, 495
INOISE, 181, 779, 783
INT マクロ, 383
ITL1, 67
ITL2, 67
ITL4, 67
IV 曲線, 194
IV 曲線, 194
I ノイズ, 285

J

JFET, 501, 784
J 定数, 779

K

K デバイス, 505

L

Linear ステッピング, 187
LIMIT 関数, 793
Linear ステッピング, 173
List ステッピング, 173, 187
LN 関数, 791
LOG10 関数, 791

Log ステッピング, 173, 187
LOG 関数, 791
LONE, 67
LOT 許容値, 453, 498, 628
Low_X 関数, 329
Low_Y 関数, 329
LTE, 153
LTHRESH, 67
LZERO, 68

M

MAG 関数, 793
MAX 関数, 793
MC ファイルのロード, 75
Mextram バイポーラモデル, 441
MIN 関数, 793
MNTYMXDLY, 64
Modella バイポーラモデル, 446
MOD 演算子, 790
MOSFET, 289, 516, 784, 901
MUL マクロ, 387

N

Nand 演算子, 792
NOISE マクロ, 388, 389
NOOUTMSG, 69
Nor 演算子, 792
NUMERIC_DERIVATIVE, 69

O

OCT 関数, 789
ONoise, 181, 779, 783
OPAMP, 617
OPTIONAL キーワード, 638
OrCad PCB インターフェース, 74
OrCad インターフェース, 148
Or 演算子, 792
O ノイズ, 286

P

PADS PCB インターフェース, 74
PARAMS キーワード, 638
PCB インターフェース, 145
PDT 変数, 780
Peak_Valley 関数, 329
Peak_X 関数, 330
Peak_Y 関数, 330
PERFORM_M, 68, 335
Period 関数, 330
PGT 変数, 780
Phase Margin 関数, 330

PHASE 関数, 793
Philips JUNCAP2 モデル, 465
Philips JUNCAP モデル, 465
Phillips MOSFET PSP モデル, 591
PIVREL, 68
PIVTOL, 68
PI 定数, 779
POT マクロ, 393
POW 関数, 791
PRIVATEANALOG, 69, 294, 298, 317
PRIVATEDIGITAL, 69, 294, 298, 317
Protel PCB インターフェース, 74
Protel インターフェース, 148
PSK マクロ, 394
PSpice, 26, 456
PST 変数, 780
PUT マクロ, 395, 396
PWL 信号源, 491
PWM マクロ, 397
PWRS 関数, 792
PWR 関数, 792
P キー, 164

Q

Q (電荷), 783, 789

R

R_NODE_GND, 68
REAL 関数, 793
RELAY1 マクロ, 398
RELAY2 マクロ, 399
RELTOL, 68, 511, 631, 901
REPEAT FOREVER キーワード, 491
REPEAT キーワード, 491
RESONANT マクロ, 400, 401
RES 関数, 910
RMIN, 68
RMS 性能タグ, 330
RMS 関数, 794
RNDC 関数, 796
RNDR 関数, 796
RND 関数, 796
RP_FOR_ISOURCE, 68
RSHUNT, 68

S

SCHMITT マクロ, 402
SCR マクロ, 403
SD, 68
SDT 関数, 794
SD 関数, 794

SECH 関数, 791
SEC 関数, 791
SEED, 68
SINH 関数, 791
SIN 関数, 791
SI 単位系, 507
SLIP マクロ, 404
Slope 関数, 331
SNUBBER マクロ, 405
SPARKGAP マクロ, 406
SPICE, 26, 434, 456, 461, 465, 501, 505, 510, 516, 545, 562, 578, 585, 588, 591, 626, 630, 638, 646, 651
SPICE3, 26
SPICE テキストファイル, 25, 26
SPICE ファイル, 36
SPICE ファイルのプロンプト, 289
SUB マクロ, 407
SUM, 794
SUM3 マクロ, 409
SUM マクロ, 408
S スイッチ, 630
S パラメータ, 615
S 変数, 779

T

TANH 関数, 791
TAN 関数, 791
TEMP, 779
TEXT キーワード, 639
THD 関数, 908
THD 関数, 793
tmax, 634
TMAX, 779
TNOM, 68
TRAPEZOIDAL, 70
TRIAC マクロ, 410
TRIGGER6 マクロ, 411
TRIODE マクロ, 412
TRTOL, 69
TRYTOCOMPACT, 69
TSTART, 779

U

UNIF 関数, 773, 797

V

Valley_X 関数, 331
Valley_Y 関数, 331
VCO マクロ, 413
VIP ボタン, 31
VNTOL, 69, 631, 898, 901

VT, 779

W

WAV ファイル信号源, 654

WIDEBAND マクロ, 414

WIDTH, 69

Width 関数, 331

Windows

ウインドウコーナ, 20

ウインドウ枠, 20

回路コントロールメニュー, 19

各部の名称, 18

基本事項, 17

コントロールメニュー, 19

コンポーネントパネル, 20

最小化ボタン, 20

最大化/復元ボタン, 20

スクロールバー, 20

タイトルバー, 19

ツールバー, 19

閉じるボタン, 20

メニュー, 22

メニューバー, 19

W スイッチ, 651

X

X (磁束), 783, 789

X_Delta 関数, 331

X_Level 関数, 331

X_Range 関数, 331

XTAL マクロ, 415

X 式, 175

X 軸反転コマンド, 77

X に移動コマンド, 258

X 軸反転, 54

Y

Y_Delta 関数, 331

Y_Level 関数, 332

Y_Range 関数, 332

Y 式, 175

Y 軸反転コマンド, 77

Y に移動コマンド, 258

Y パラメータ, 615

Y 軸反転, 54

Z

Z (複素インピーダンス), 285

Z パラメータ, 615

Z 変換信号源, 171, 656

あ

アイダイアグラムプロット, 162

新しい回路図の作成, 36

アナログ・ビヘイビア・モデリング, 113

アナログ基本部品, 37

アナログビヘイビアモデリング, 472

アナログライブラリ, 37

アニメーション, 83, 119

い

位相, 181

位相演算子, 286, 792

色メニュー, 156, 175

印刷コマンド, 75

印刷設定コマンド, 75

印刷プレビューコマンド, 75

インダクタ, 495

インダクタンス, 281, 284, 783

インパルス応答, 511

隠蔽ピン, 134

インポートウィザード, 141

う

ウィザード

インポート, 141

部品追加, 139

ウインドウメニュー, 85

ウオッチウインドウ, 160, 178, 192

え

エネルギー, 283, 780, 783

エルステッド, 507

演算子, 790

演算子と関数, 790

お

同じ Y スケールコマンド, 259, 263

オブジェクト, 27

オブジェクトエディタ, 124

オブジェクトパラメータ, 125

オブジェクトリストボックス, 124

ピンセレクタ, 125

オブジェクトの非表示, 40

オブジェクトの表示, 40

オブジェクトの無効化, 58

オブジェクトの有効化, 58

オブティマイザ, 299

オブティマイザによる曲線フィッティング,
311

温度, 155, 174, 188, 779

か

カーソル位置で正規化コマンド, 257

カーソルの整列, 258

カーソルモード, 88, 247, 248

カーソルを同じブランチに保つ, 258

階乗関数, 795

解析変数, 779

解析メニュー, 106

解析リミットダイアログボックス, 154

オプション

Normal 実行, 158, 176, 190

Retrieve 実行, 158, 176, 190

Save 実行, 158, 176, 190

自動スケールレンジ, 159, 190

動作点, 158

動作点のみ, 158

コマンドボタン

拡張, 155, 172, 186

削除, 154, 172, 186

実行, 154, 172, 186

ステップング, 155, 172, 186

追加, 154, 172, 186

プロパティ, 155, 172, 186

ヘルプ, 155, 173, 187

状態変数オプション

Leave, 158, 177

Read, 158, 177

Zero, 158, 176

数値範囲フィールド

ポイント数, 188

数値範囲フィールド

温度, 155

最大時間ステップ, 155

最大変化%, 173, 174

時間範囲, 155

温度, 174

周波数範囲, 173

ノイズ出力, 174

ノイズ入力, 174

変数 1, 187

ポイント数, 155, 173

オプション

自動スケールレンジ, 177

動作点, 177

数値範囲フィールド

温度, 188

回転コマンド, 54, 77

回路図/テキスト切替コマンド, 25

回路図エディタ, 23, 32

回路図オブジェクトの移動, 54

回路図オブジェクトの削除, 57

回路図オブジェクトのステップング, 55

回路図オブジェクトの反転, 56

回路図の作成, 36

回路図ファイル, 25, 36

回路ツールバー, 32

ガウス, 507

ガウス信号源, 494

ガウス分布, 318, 322

確率が等しい分布, 318

カスケードコマンド, 85

画像ファイルにコピーコマンド, 77

括弧, 88

関数信号源, 62, 297, 471

慣性取消し, 92

感度解析, 215, 216

き

ギア積分, 70

キーID, 112

記号変数, 776

基準周波数, 909

基本値にフィット, 42, 79

基本周波数, 223

基本パッケージ, 148

逆チェビシェフフィルタ応答, 108

旧フォーマット, 74

境界, 31

境界表示コマンド, 91

極座標, 175

曲線ブランチ, 174, 188

虚部演算子, 286, 792

許容値

絶対, 316

相対, 316

許容値ダイアログボックス, 324

切り取りコマンド, 57, 76

均一分布, 322

く

組合せコマンド, 42

グラフィカルオブジェクト, 25, 27, 53

グラフィクスオブジェクト, 254

グラフィックモードコマンド, 87

クリアカットワイヤコマンド, 76

繰り返しコマンド, 57, 76, 251

クリック, 21

グリッド, 31

グリッドテキスト, 25, 31

グリッドテキスト表示コマンド, 89
グリッドテキストモード, 31
クリップボード, 60
 回路図, 60
 切り取りコマンド, 60
 コピーコマンド, 60
 削除コマンド, 60
 テキスト, 60
 貼り付けコマンド, 60
クリップボードへコピーコマンド, 76
グローバルノード, 781
グローバル変数, 776, 781
クロスヘアカーソル, 31
クロスヘアカーソル表示コマンド, 91
群遅延, 181, 286
群遅延演算子, 792

け

ゲインマージン関数, 327
結合係数, 645
結合線形インダクタ, 506

こ

コア, 507
工学表記法, 775
高調波歪み, 107, 222, 930
国際工学表記法, 775
固定時間ステップ, 159
コピーコマンド, 76
コンデンサ, 450
コンポーネント
 コンポーネントライブラリ
 コンポーネントの追加, 127, 135
 サブサーキットの追加, 127
 サブサーキットの追加, 136
 追加, 37
 定義, 27
 編集, 37
 変数, 785
 モード, 38
 ライブラリ, 127
コンポーネントエディタ
 値とモデル名の表示, 133
 インポートコマンド, 129
 拡大コマンド, 131
 繰り返しコマンド, 131
 グループの追加コマンド, 129
 検索コマンド, 131
 コストフィールド, 132
 コンポーネントセレクタ, 134

 削除コマンド, 131
 シェイプフィールド, 132
 縮小コマンド, 131
 情報コマンド, 131
 整列コマンド, 131
 タイプフィールド, 132
 追加ピンフィールド, 134
 定義フィールド, 132
 電力フィールド, 132
 名前フィールド, 132
 貼り付けコマンド, 131
 パレットフィールド, 132
 ビューフィールド, 133
 ピン名とピン番号の表示, 133
 部品追加ウィザード, 129
 部品の移動コマンド, 131
 部品の追加コマンド, 129
 部品リストコマンド, 129
 マージコマンド, 129
 メモフィールド, 132
 元に戻すコマンド, 131
 割り当てコマンド, 133
コンポーネント検索, 83
コンポーネントの位置決め, 38
コンポーネントの回転, 38
コンポーネントパネル, 33, 84
コンポーネントメニュー, 82
コンポーネントライブラリ, 514

さ

最悪の分布, 318
最悪分布, 322
最下部カーソルの位置決めモード, 275
最近のファイルコマンド, 75
最後の検索を繰り返すコマンド, 80
最小位置で正規化コマンド, 257
最上部カーソルの位置決めモード, 275
最前面へ移動コマンド, 80
最大位置で正規化コマンド, 258
最大化コマンド, 85
最大時間ステップ, 155
最適化, 160, 178, 192
最背面へ移動コマンド, 80
サイン信号源, 635
削除コマンド, 76
サブサーキット, 637
左右に並べるコマンド, 85
参照コマンド, 41
サンプルアンドホールド信号源, 633

し

シェイプエディタ, 115
7セグメントモード, 119
LED モード, 119, 121
X 軸反転コマンド, 122
Y 軸反転コマンド, 122
開多角形モード, 119
回転コマンド, 122
拡大コマンド, 122
切り取りコマンド, 118
矩形モード, 118
コピーコマンド, 118
弧モード, 119
削除コマンド, 116, 118
縮小コマンド, 122
スイッチモード, 121
選択モード, 118
線モード, 119
楕円モード, 119
多角形モード, 119
追加コマンド, 116
ツールバー, 117
次のオブジェクトコマンド, 122
テキストモード, 119
閉じるコマンド, 117
貼り付けコマンド, 118
パンモード, 118
ひし形モード, 118
フォントコマンド, 122
含まれたシェイプモード, 119
ブロックモード, 119
ヘルプコマンド, 117
ミラーコマンド, 123
戻すコマンド, 116
シェイプグループ, 98
シェイプライブラリ, 126
時間, 284, 779, 783, 789
磁気コア, 506
磁束, 281, 783, 789
磁束密度, 281, 284, 507, 783, 789
磁束密度 (テスラ) , 783
実数, 775, 790
実部演算子, 286, 792
自動スケールオプション, 157, 176, 190
自動スケールコマンド, 251
磁場, 281, 284, 507, 783, 789
磁場 (エルステッド) , 783
シャトルコマンド, 25, 50, 60
周期定常状態, 151, 159, 224, 225, 925
収束, 194, 897, 898
収束アシスト, 93

収束しない原因

双安定または不安定な回路, 899
正しくない回路のモデリング, 899
モデル特性の不連続, 899

従属信号源 (SPICE) , 297, 456

従属信号源 (線形) , 455

収束チェックリスト

GMIN の値を大きくする, 901
IC デバイスオプションを使用する, 903
ITL1 の増加, 902
Nodeset コマンドを使用する, 903
OFF キーワードを使用する, 903
RELTOL の値を大きくする, 901
回路トポロジーの確認, 900
キャパシタがゼロでないこと, 901
ショートとオープン, 900
信号源をランプさせる, 902
直列に接続されたスイッチとインダクタ,
901
電圧源のループ, 900
電流源の直列接続, 900
動作点を OFF にする, 902
浮動ノード, 900

周波数, 286, 779, 783, 789

周波数表, 196

周波数従属パラメータ, 473, 497, 627

周波数独立属性, 452

出力インピーダンスの測定, 212

上下に並べるコマンド, 85

小信号解析, 170

状態変数エディタ, 160, 163, 192

.IC コマンド, 164

OK コマンド, 168

印刷コマンド, 163

書き込みコマンド, 163

クリアコマンド, 163

読み込みコマンド, 163

消費電力変数, 780, 783

情報, 30

情報コマンド, 62, 89

初期化, 152

実行, 161

セットアップ, 161

方法, 161

初期条件, 452, 497

信号処理関数

FFT 関数, 793

HARM 関数, 793

IFT 関数, 793

IHD 関数, 793

THD 関数, 793

信号変換関数
AC 関数, 912
AS 関数, 911
CC 関数, 912
COH 関数, 912
CONJ 関数, 911
CST 関数, 911
FFTS 関数, 910
FFT 関数, 909, 911
FS (フーリエ級数) 関数, 910
HARM 関数, 908
IFTS 関数, 911
IHD 関数, 909
RES (剰余) 関数, 910
THD 関数, 908
振幅演算子, 792

す

図／テキストの切換え, 85
垂直にタグコマンド, 253
垂直タグ, 88
垂直タグコマンド, 248
垂直分割, 86
スイッチ, 297, 640, 901
水平／垂直分割バー, 33
水平カーソル, 101, 256, 265
水平にタグコマンド, 252
水平タグ, 88
水平タグコマンド, 248
水平分割, 86
数式, 773
関数
演算, 790
信号処理, 793
ブール演算子と不等式演算子, 792
数値
工学表記法, 775
国際工学表記法, 775
実数, 775
浮動小数点数, 775
定義, 774
変数
インダクタンス, 783
エネルギー, 780, 783
時間, 783
磁束, 783
磁束密度, 783
磁束密度 (テスラ) , 783
磁場, 783
周波数, 783
出力ノイズ, 783

抵抗, 783
デジタル状態, 783
電荷, 783
電流, 783
電力, 780, 783
入力ノイズ, 783
複素周波数, 783
容量, 783
電圧, 783
数値出力, 160, 165, 175, 178, 179
DC, 188
スケール
自動, 251
リミットスケールの復元, 251
スケールモード, 88, 248
スコープ, 247
カーソルの位置決めモード, 274
最下部, 275
最上部, 275
谷, 274
ピーク, 274
コマンド
X スケーリングを有効, 259
X スケールを同じに保つ, 259
X に移動, 258
Y スケーリングを有効, 259
Y に移動, 258
アニメーションのオプション, 257
エンベロープ, 257
カーソル位置で正規化, 257
カーソル機能, 256
カーソルの整列, 258
カーソルを同じブランチに保つ, 258
各プロットグループに同じ Y スケール,
259
可視領域を自動スケール, 255
最小位置で正規化, 257
最大位置で正規化, 258
サムネールプロット, 257
自動スケール, 255
垂直軸グリッドビュー, 101
垂直にタグ, 258
水平カーソル, 101, 265
水平軸グリッドビュー, 101
水平にタグ, 258
性能に移動, 258
全オブジェクトの削除, 255
蓄積プロットの消去, 259
データポイントのビュー, 255, 265
データポイントビュー, 101
トークンのビュー, 255, 265
トークンビュー, 101

左カーソルにタグ, 258
ビュー, 255
ブランチに移動, 258
ベースラインのビュー, 265
ベースラインビュー, 101
マイナーロググリッド, 265
マイナーロググリッドビュー, 101
右カーソルにタグ, 258
リミットスケールの復元, 255
ルーラーのビュー, 255, 265
ルーラービュー, 101
レベルの上昇, 255
コマンド
データポイントにラベルをつけるソル
機能, 257
スコープ/レベルの上昇コマンド, 290
ステータスバー, 33
ステップング, 69, 291, 452, 497, 627
入れ子, 295
オクターブ, 298
コンポーネント, 296
ダイアログボックス, 160, 178, 192
第ログボックス, 55
デケイド, 298
動作, 292
同時, 295
モデル, 296
スペクトラム, 790
スミスチャート, 175
図面領域, 25
スライド, 160, 178, 192, 197, 204
スレッド, 98

せ

生成電力変数, 780, 783
性能
ウィンドウ, 160, 178, 192
関数, 328
Fall Time, 329
Frequency, 329
High_X, 329
High_Y, 329
Low_X, 329
Low_Y, 329
Peak_Valley, 329
Period, 330
Phase Margin, 330
Rise Time, 330
Slope, 331
Width, 331
X_Delta, 331
X_Level, 331
X_Range, 331

Y_Delta, 331
Y_Level, 332
Y_Range, 332
ダイアログボックス, 333
プロット, 160, 178, 192, 328, 336
性能関数, 326, 327
性能に移動コマンド, 258
積分, 794
積分器マクロ, 383
セキュリティキー, 112
絶対許容値 (LOT) , 316
線形温度, 437
線形化, 170
選択, 34
1つのオブジェクトを選択する, 34
1つのオブジェクトを選択または選択解
除する, 34
すべてのオブジェクトを選択, 35
全てを選択コマンド, 76
定義, 21
複数のオブジェクトを選択する, 34
メニュー
キーボード, 22
マウス, 22
モード, 87
全般設定, 66, 105
全般設定値, 779

そ

相互インダクタンス, 645
相互変調歪み, 107, 232
相対許容値 (DEV) , 316
属性
PACKAGE, 40
PART, 40
USER, 40
値, 39
ダイアログボックス, 38
ダイアログボックス, 62
テキスト表示コマンド, 89
編集, 40
モデルリストボックス, 43
リストボックス, 40
属性ダイアログボックス, 39
属性テキストモード, 31
属性リストボックス, 41
測定温度, 437, 453, 463, 477, 498, 503, 520,
628

た

ダイオード, 461, 901

台形積分, 70
対数ステッピング, 294
対数プロットオプション, 175
対数プロットオプション, 189
タイトル, 31
タイトルバー, 32
ダイナミック AC 解析, 195
ダイナミック DC 解析, 203, 204
ダイナミック自動実行, 93
楕円フィルタ応答, 108
タグ
 垂直タグモード, 252
 水平タグモード, 252
 性能タグ, 252
 性能タグモード, 252
 ポイントタグモード, 252
多項式, 459
畳み込み, 511
タッチストーン, 75
ダブルクリック, 21
単一コマンド, 42
短距離マッチング, 561
 BSIM3, 544
 BSIM4, 544
 EKV, 561

ち
チェビシェフフィルタ応答, 108
置換コマンド, 80
蓄積電力変数, 780, 783
蓄積プロット, 159, 177, 191
蓄積プロットの消去コマンド, 259

つ
ツールバー, 38, 48, 87

て
抵抗, 284, 626, 783, 789
定数, 779
定流源, 500
ディレイフィルタ, 108
データ点削減, 192
データポイント削減, 160, 178
テキスト, 27
 改行, 50
 グリッド, 87
 増分, 55, 56, 61
 第ログボックス, 48
 フォーミュラ, 51
 モード, 87

テキストエディタ, 62
テキスト領域, 25
デジタル, 690
 エッジトリガフリップフロップ, 690, 691
DIV
 &, 790
MOD
 &, 790
関数
 加算, 790
 減算, 790
関数
 BIN, 790
関数
 DEC, 790
関数
 &, 790
関数
 |, 790
関数
 ^, 790
関数
 ~, 790
ゲート型ラッチ, 690, 696
状態, 783, 790
タイミングハザード
 3 ステート, 661, 662, 673
 TRISTATE キーワード, 731
デジタルライブラリ
 デジタル基本部品, 37
 デジタルライブラリ, 38
伝播遅延, 662, 665
ビヘイビア基本部品
 ピン間遅延, 718, 724
 論理式, 718, 719
ピンシンボル
 逆, 125
 逆クロック, 125
 クロック, 125
 通常, 125
 オープン, 125
ライブラリ, 718
論理ゲート
 標準ゲート, 681, 682
デジタルパスコマンド, 63
デジタルライブラリ, 38
テスラ, 507
電圧, 283, 285, 287, 783, 789
電圧源, 472, 486
電圧源, 434
電荷, 281, 284, 783, 789
伝送線路, 646

電卓, 86
伝達関数, 511
伝達関数解析, 211
 出力インピーダンス, 212
 入力インピーダンス, 212
電流, 31, 283, 285, 287, 789
電流源, 472, 486, 500
電流表示コマンド, 90
電力, 31, 285, 287, 780, 783
電力表示コマンド, 90

と

動作温度, 453, 463, 477, 498, 520, 628
動作状態, 31
動作状態表示コマンド, 90
動作点, 152, 177
動作温度, 503
独立信号源, 486
 EXP 型, 487
 PULSE 型, 488
 PWL 型, 491
 SFFM 型, 489
 SIN 型, 490
 ガウスタイプ, 494
 ノイズのタイプ, 493
閉じるコマンド, 75
トラッカー, 101
ドラッグ, 21
ドラッグコピー, 61
トラブルシューティングのヒント, 194
トランジェント解析, 106, 151, 511
トランス, 297, 645

な

ナビゲーション, 65
 スクロール, 65
 スケーリング, 65
 センタリング, 65
 パニング, 65
 フラグging, 65
 ページスクローリング, 65

に

虹色オプション, 264
二次温度係数, 437, 462, 497, 550, 627
入力インピーダンスの測定, 212

ね

ネットリスト, 86

の

ノイズ, 181, 440, 454, 464, 479, 499, 504, 629, 632, 653, 783
ノイズ信号源, 493
ノードスナップ, 59
ノード接続, 45, 59
ノード電圧表示コマンド, 31, 90
ノードに名前をつける, 781
ノード番号, 31, 781
ノード番号の割当て, 59
ノード番号表示コマンド, 89
ノード名, 59, 781
ノード名をつける, 59
ノッチフィルタ, 108

は

排他的 OR 演算子, 792
ハイパスフィルタ, 108
バイポーラトランジスタ, 435
配列変数, 777
波形, 157
波形バッファ, 276, 794
波形保持コマンド, 256
バス, 30, 46, 87
パス
 LIBRARY, 771, 772
 画像, 71
 データ, 71
 文書, 71
 ライブラリ, 71
バスコネクタ, 46
バターワースフィルタ応答, 108
パッケージ
 エディタ, 146
 ライブラリ, 145
パッケージエディタ, 86, 145
 PCB フィールド, 148
 基本パッケージの追加, 149
 ゲートフィールド, 148
 検索コマンド, 147
 削除コマンド, 146
 追加コマンド, 146
 追加複合コマンド, 146
 閉じるコマンド, 147
 パッケージセレクタ, 148
 パッケージフィールド, 147
 ピン数フィールド, 147
 ピン名フィールド, 148
 複雑なパッケージの追加, 150
 複製コマンド, 146

- ヘルプコマンド, 147
- マージコマンド, 147
- バッテリー, 434
- パニング, 65, 250
- 貼り付けコマンド, 76
- パルス信号源, 624
- バンドパスフィルタ, 108

ひ

- ピクチャモード, 76
- ヒステリシスモード, 630, 651
- 左カーソルにタグコマンド, 252
- 否定演算子, 792
- 微分, 794
- 微分器マクロ, 374
- ビュー
 - 境界, 31
 - グリッド, 31
 - グリッドテキスト, 31
 - クロスヘアカーソル, 31
 - 属性テキスト, 31
 - タイトル, 31
 - 電流, 31
 - 電力, 31
 - 動作状態, 31
 - ノード電圧, 31
 - ノード番号, 31
 - ピン接続, 31
- ビューモード, 89
- 表示
 - RMS 値, 90, 99
 - 最新値, 90
 - ピーク値, 91, 99
 - 平均値, 90, 99
- 標準偏差, 322
- ピン接続, 31
- ピン接続表示コマンド, 90
- ビンニング, 543

ふ

- ファイルで検索コマンド, 81
- ファイルメニュー, 71
 - 上書き保存, 71
 - 新規, 71
 - 名前をつけて保存, 71
 - パス, 71
 - 開く, 71
 - 保護, 71
- ファイルリンク, 30, 89
- フィルタデザイン, 83, 108

- フィルタデザイン機能, 38
- フーリエ解析, 905
- フーリエ変換, 511, 793
- ブール関数, 792
- フォーミュラテキスト, 51
- 複素インピーダンス機能, 285
- 複素コンダクタンス機能, 285
- 複素周波数, 783
- 複素数, 86, 790
- 複素数値表示, 197
- 複素電力, 182
- 複素量, 175
- 浮動小数点数, 775
- 浮動ノード, 900
- 部品追加ウィザード, 139
- 部品の追加コマンド, 837, 839
- 部品表, 74
- フラグ, 30, 54, 88
- フラックス, 284
- ブランチ値, 151
- フリップフロップ, 690, 691
- 振幅演算子, 286
- プリファレンスコマンド, 91
 - 色パターン, 95
 - オプション一覧
 - 括弧を追加して定義, 91
 - 警告時間, 91
 - コンポーネント表の数, 92
 - コンポーネントメニューシェイプ表示, 92
 - サウンド, 92
 - 時間スタンプ, 91
 - 背景印刷, 91
 - 日付スタンプ, 91
 - ファイルリストサイズ, 91
 - フルパスを表示, 92
 - メニューにビットマップを使用, 92
 - モデルパラメータの並べ替え, 92
- オプション解析
 - DC パスをグラウンドに追加, 92
 - 解析進捗バー, 93
 - 慣性取消し, 92
 - 曲線の色を選択, 93
 - 収束アシスト, 93
 - ダイナミック自動実行, 93
 - 導関数しきい値, 93
 - トップのプロット, 93
 - マクロドリルダウン, 93
- オプション回路
 - OA アンプ電源の自動追加, 94
 - コンポーネントカーソル, 94

- コンポーネントのインポート, 95
- 選択モード, 95
- テキストインクリメント, 94
- ノード強調表示, 94
- ノード再計算しきい値, 95
- ノードスナップ, 94
- ファイルリンクデフォルト, 95
- ブロック選択表示モード, 94
- モデル自動表示, 94
- モデル情報のコピー/貼り付け, 94
- 要素インフォ, 95
- ラバーバンディング, 94
- 組合せ, 97
- コンポーネントパレット, 96
- ショートカット, 95
- 自動保存, 96
- 警告, 96
- スタイル, 97
- ステータスバー, 96
- スライダ, 98
- パネル/ウィンドウタブ, 96
- メインツールバー, 95
- プリント基板インターフェース, 74
- フルパスを表示, 92
- ブレイクポイント, 160, 178, 192
- プローブ, 279, 280
 - 1本のカーブ, 281
 - 3Dウィンドウ, 282
 - AC解析, 107
 - DC解析, 107
 - FFTウィンドウ, 282
 - VとIのみを保存, 282
 - アナログとデジタルの分離, 281
 - アナログ変数, 288
 - カーブの削除, 281
 - カーブの追加, 281
 - 解析リミットダイアログボックス, 280
 - 実行コマンド, 281
 - スコープ/レベルの上昇, 290
 - ステップング, 281
 - すべてを保存, 281
 - スライダ, 282
 - 性能ウィンドウ, 282
 - 全カーブの削除, 281
 - 線形スケール, 284, 286, 287
 - 多数のカーブ, 281
 - データポイントの低減, 281
 - 動作点法, 281
 - トランジェント解析, 107
 - プローブの終了, 282
 - プロットグループ, 282

- プロパティダイアログボックス, 280
- 変数, 285, 287
- マクロドリルダウン, 290
- 領域, 289
- 対数スケール, 284, 286, 287
- プロットグループ数, 189
- プロットグループ番号, 157, 175
- プロットプロパティダイアログボックス, 348
- プロパティ
 - 規定値の設定, 273
 - 規定値の選択, 273
- プロパティダイアログボックス, 155, 172, 186, 260

へ

- ページ, 65
- ページスクロールバー, 33
- ページセレクトタブ, 33
- ページの削除コマンド, 77
- ベッセル関数, 795, 796, 800
- ベッセルフィルタ応答, 108
- ヘルプ, 30
- ヘルプコマンド, 62
- ヘルプシステム, 112
- ヘルプモードコマンド, 30, 89
- 変更コマンド, 78
 - 色, 78
 - 基本値にフィット, 79
 - グラフィックオブジェクトプロパティ, 78
 - コンポーネントの名前変更, 78
 - 属性, 78
 - ノード位置のリセット, 79
 - フォント, 78
 - プロパティ, 78
 - 名前変更, 79
- 編集メニュー, 76
- 変数, 781, 787
- 変数リスト, 157, 190, 787

ほ

- ポイント, 21
- ポイントからエンドへのパス, 30
- ポイントからエンドへのパスモード, 89
- ポイント間のパス, 30
- ポイント間のパスモード, 89
- ポイント数, 155
- ポイントタグ, 88, 248
- ボックス, 77
- ボックスを鏡面コピーコマンド, 77

ボックスをステップコマンド, 77
翻訳オプション, 74

ま

マウスインフォボックス, 33
マクロ, 514
マクロドリルダウン, 93
マクロドリルダウンコマンド, 290
曲げ, 506
マッチング回路の最適化, 308
マッチングパラメータ, 552

み

右カーソルにタグコマンド, 252

め

メインツールバー, 32
メニュー, 22

も

モード
グラフィック/ピクチャファイル, 30
コンポーネント, 29
斜交ワイヤ, 30
情報, 30
テキスト, 29
バス, 30
ファイルリンク, 30
フラグ, 30
ヘルプ, 30
ポイントからエンドへのパス, 30
ポイント間のパス, 30
領域有効, 30
ワイヤ, 30
モードコマンド, 87
モデルエディタ, 62, 110, 111
Add コマンド, 111
Copy コマンド, 111
Delete コマンド, 111
Find コマンド, 111
Memo, 111
Merge コマンド, 111
Name, 111
Pack コマンド, 111
種類セレクト, 111
部品セレクト, 111
モデルパラメータ, 417
モデルプログラム, 109
モデル文, 417
モデル方程式, 417

モデルライブラリ, 36, 110
テキスト形式, 110
バイナリ形式, 110
戻すコマンド, 75
元に戻すコマンド, 57, 76, 251
モンテカルロ, 453, 628
オプション
シード, 324
実行数, 323
使用する分布, 323
状態, 323
報告時期, 323
許容値
DEV, 316
LOT, 316
許容値ダイアログボックス, 324
動作, 316
標準偏差, 322
分布
ガウス, 322
均一, 322
最悪, 322
モンテカルロ解析, 291, 315

や

やモンテカルロ, 69

ゆ

ユーザ信号源, 794
ユーザ信号源, 297
ユーザ定義, 105
ユーザパレット, 105
ユーザファイル信号源, 649
歪み解析, 221

よ

容量, 281, 284, 783, 789

ら

ラバーバンディング, 94
ラプラス信号源, 62, 170, 297, 510
乱数のシード, 324
ランダム
数のシード, 493
関数, 68
熱の伊豆, 181
マクロ, 388

り

リストステッピング, 294
リニア解析, 170
リニアステッピング, 294
リニアプロットオプション, 189
リニアプロットオプション, 156, 175
領域有効, 30, 58

れ

連続しない複数のオブジェクトを選択または
は選択解除する, 34
連続する複数のオブジェクトを選択または
選択解除する, 34

ろ

ローカル変数, 776, 781
ローパスフィルタ, 108
ログプロットオプション, 156

わ

ワイヤ, 27, 30, 87
切り取りコマンド, 57
斜交, 27, 87
接続ルール, 44
直交, 27
モード, 30
ワイルドカード構文, 782