

シミュレーション

著作権表示

2006年4月

注意

本ドキュメントに含まれている情報は、予告なしに変更されます。

Agilent Technologies 社は、本資料に関して、商品性や特定目的適合性の黙示保証を含め、明示、黙示を問わず他の一切の保証を否認します。Agilent Technologies 社は、マニュアルの中の誤り、または本資料に関連して供給する、性能、あるいは使用法に関する付随的、派生的、結果的損害に対しては責任を負いません。

保証

本ソフトウェア製品が適用される特定保証条項の写しは、要望により Agilent Technologies 社から入手できます。

米国政府制限権利

連邦政府に許諾されたソフトウェアと技術資料の権利には、エンド ユーザのお客様に慣習的に提供される権利のみが含まれます。Agilent 社は、FAR 12.211（技術資料）および 12.212（コンピュータソフトウェア）に準じてソフトウェアおよび技術資料に慣習的な商用ライセンスを提供し、ならびに国防総省に対しては DFARS 252.227-7015（技術資料 - 市販品）および DFARS 227.7202-3（商用コンピュータソフトウェアかコンピュータソフトウェア文書管理の権利）を提供します。

© Agilent Technologies, Inc. 1994-2006

395 Page Mill Road, Palo Alto, CA 94304 U.S.A.

承認

Mentor Graphics は、米国およびその他の国において Mentor Graphics 社の商標です。

Microsoft®、Windows®、MS Windows®、Windows NT®、および MS-DOS® は Microsoft 社の米国登録商標です。

Pentium® は、インテル社の米国登録商標です。

PostScript® と Acrobat® は、Adobe Systems 社の商標です。

UNIX® は、オープングループの登録商標です。

Java (TM) は、Sun Microsystems の米国の商標です。

SystemC® は、米国およびその他の国において Open SystemC Initiative 社の登録商標で、許諾を取得し使用しています。

内容

概要	1
シミュレーション	1
どのシミュレータを使用すべきか？	2
ポート	6
第1章：線形解析	9
概要	9
線形解析プロパティ	10
Sパラメータ	11
概要	11
Sパラメータの基本	12
安定性	14
マッチング	15
GMAX および MSG	16
ユニラテラルなケース	17
利得円	17
雑音円	18
スミスチャート	19
線形解析出力	21
第2章：DC解析	25
DC解析の概要	25
DC解析プロパティ	26
DC解析結果	30
第3章：CAYENNE（トランジェント解析）	31
CAYENNEの概要	31
CAYENNEウォークスルー	31
シミュレーション時間ステップ	35
数値の精度	38
周波数依存モデル	39
収束基準	43
インテグレータと予測値	44
Cayenne オプション	45

シミュレーション

第4章：	HARBEC (ハーモニック バランス解析)	51
	HB (ハーモニック バランス) 解析	51
	ハーモニック バランスの概要	51
	HARBEC オプション	52
	HARBEC ポップアップ メニュー	59
	収束問題を解く	60
	シミュレーション機能の最適化	61
	ハーモニック バランス解析関数	68
	HB オシレータ解析	74
	オシレータのデザインの概要	74
	非線形モデルの入力	84
第5章：	アドバンスドモデリングキット	85
	アドバンスドモデリングキット (Advanced Modeling Kit) の概要	85
	追加 AMK モデルの使用	86
	新規 Verilog-A モデル の作成	86
	内蔵非線形モデルのカスタマイズ	87
	Verilog-A のチュートリアル	88
	Verilog-A のレファレンス	89
	Verilog-A のレファレンスの概要	89
	プリプロセッサ	90
	データ タイプとパラメータ	91
	アナログ ブロック	95
	アナログ関数	101
	システム タスクと関数	102
	Eagleware Verilog-A 拡張子	103
第6章：	SPECTRASYS (システム)	107
	スペクトル伝搬とルートコース解析 (SPARCA)	107
	はじめに	108
	SPECTRASYS ウォークスルー	108
	システム回路図の作成	108
	システム解析の追加	110
	シミュレーションを実行	112
	グラフやテーブルの追加	113

基礎.....	116
一般的なビヘイビア モデルの概要.....	116
ソース.....	116
チャンネル.....	117
パスの指定.....	118
レベル ダイアグラム.....	120
スペクトラム プロットとテーブル.....	124
スペクトル源の特定.....	126
広帯域ノイズ.....	128
伝搬の基礎.....	130
解析データの制御.....	131
詳細.....	132
非線形モデルのビヘイビア.....	132
カスケード ノイズ解析.....	133
カスケード雑音指数方程式.....	136
コヒーレンス.....	137
相互変調と高調波の基礎.....	140
相互変調パス測定の基礎.....	144
カスケード相互変調方程式.....	147
インバンド相互変調パスの測定.....	148
アウトオブバンド相互変調パスの測定.....	148
相互変調パス測定のトラブルシューティング.....	150
ビヘイビア位相雑音.....	151
スペクトラム アナライザ表示.....	154
合成.....	157
方向性エネルギー (ノード電圧とパワー).....	159
透過エネルギー.....	160
シミュレーション速度を上げる.....	161
ファイルサイズを小さくする.....	164
トラブルシューティング.....	164
一般的な RF アーキテクチャのトラブルシューティング.....	164
カスケードによって雑音指数が減少する理由.....	166
スプレッドシートと答えが異なる理由.....	167
フィルタ全域の減衰はない.....	168

シミュレーション

ダイアログ ボックス リファレンス.....	170
システム シミュレーション パラメータ – [全般 (General)] タブ.....	170
システム シミュレーション パラメータ – [パス (Paths)] タブ.....	171
システム シミュレーション パラメータ – [計算 (Calculate)] タブ.....	172
システム シミュレーション パラメータ – [複合スペクトル (Composite Spectrum)] タブ.....	175
システム シミュレーション パラメータ – [オプション (Options)] タブ.....	179
第7章： パラメータ掃引.....	183
パラメータ掃引.....	183
パラメータ掃引プロパティ.....	184
第8章： デバイス データ.....	187
線形デバイス モデルと非線形デバイス モデル.....	187
線形データの概要.....	187
GENESYS データ ファイルを使用する.....	188
付属デバイス データ.....	188
新しい線形データ ファイルの作成.....	188
ファイル記録保持.....	190
データ ファイルのエクスポート.....	190
データ ファイル内のノイズ データ.....	191
第9章： 測定：概要.....	193
概要.....	193
線形測定.....	193
非線形測定.....	196
演算子.....	197
サンプル測定.....	198
非デフォルト シミュレーション/データを使用する.....	199
式の結果を使用する（後処理）.....	200
第10章： 測定：線形.....	201
S-パラメータ.....	201
H-パラメータ.....	202
Y-パラメータ.....	203
Z-パラメータ.....	204
電圧定在波比 (VSWR).....	205

入力インピーダンス / アドミタンス (ZIN _i , YIN _i)	206
電圧利得	207
雑音指標 (NMEAS)	207
定雑音円 (NCI)	208
ノイズ相関行列パラメータ	209
ポート i の同時整合ガンマ (G _{mi})	209
ポート i の同時整合アドミタンス / インピーダンス (ZM _i , YM _i)	210
最大使用可能利得 (GMAX)	211
使用可能利得円と電力利得円 (GA, GP)	211
ポート i のユニラテラル利得円 (GU1, GU2)	212
安定係数 (K)、安定度指標 (B1)	213
入力 / 出力プレーン安定円 (SB1, SB2)	214
ノイズの最適ガンマ (GOPT)	215
ノイズの最適アドミタンス / インピーダンス (YOPT, ZOPT)	215
有効ノイズ入力温度 (NFT)	216
正規化されたノイズ抵抗 (RN)	216
基準インピーダンス (ZPORT _i)	217
第 11 章 : 測定 : 非線形	219
ポート パワー (PPORT)	219
ポート電圧 (VPORT)	219
ノード電圧 (Vnode)	220
基準インピーダンス (ZPORT)	220
大信号 S-パラメータ	221
インターセプト ポイントの計算	224
第 12 章 : 測定 : ロードプル	227
ロードプル コンター	227
ロードプル コンターを使用して新規ファイルを作成する方法 :	227
第 13 章 : 測定 SPECTRASYS	229
SPECTRASYS 測定インデックス	229
[隣接チャンネル周波数 (ACF[U または L][n] (Adjacent Channel Frequency (ACF[U or L][n]))]	241
[隣接チャンネルパワー (ACP[U または L] [n] (Adjacent Channel Power (ACP[U or L][n]))]	242
[追加ノイズ (Added Noise)] (AN)	243

シミュレーション

[搬送波対雑音比 (Carrier to Noise Ratio)] (CNR).....	243
搬送波対雑音および歪み比 (Carrier to Noise and Distortion Ratio) (CNDR)	243
カスケード利得 (Cascaded Gain) (CGAIN).....	244
カスケード雑音指数 (Cascaded Noise Figure) (CNF).....	244
チャンネル (またはパス) の周波数 (Channel (or Path) Frequency) (CF)	246
オフセットチャンネル周波数 (Offset Channel Frequency) (OCF)	247
チャンネル雑音電力 (Channel Noise Power) (CNP).....	247
チャンネルパワー (Channel Power) (CP).....	248
希望のチャンネルパワー (Desired Channel Power) (DCP)	248
オフセットチャンネルパワー (Offset Channel Power) (OCF)	249
チャンネル電圧 (Channel Voltage) (CV).....	249
希望のチャンネル電圧 (Desired Channel Voltage) (DCV)	250
利得 (Gain) (GAIN).....	250
入力インターセプト [全次数] (Input Intercept [All Orders]) (IIP).....	251
入力インターセプト - 受信機 [全次数] (Input Intercept - Receiver [All Orders]) (RX_IIP)	252
干渉源カスケード接続利得 (Interferer Cascaded Gain) (ICGAIN).....	253
干渉源チャンネル周波数 (ICF) (Interferer Channel Frequency (ICF)).....	253
干渉源チャンネルパワー (Interferer Channel Power) (ICP).....	253
干渉源利得 (Interferer Gain) (IGAIN).....	254
イメージ周波数 (Image Frequency) (IMGF).....	254
[イメージチャンネル雑音電力 (Image Channel Noise Power)] (IMGNP)	254
イメージチャンネルパワー (Image Channel Power) (IMGP).....	255
イメージノイズ除去比 (Image Noise Rejection Ratio) (IMGNR)	255
イメージ除去比 (Image Rejection Ratio) (IMGR).....	256
検出可能な最小信号 (Minimum Detectable Signal) (MDS).....	257
ノイズおよび歪みチャンネルパワー (Noise and Distortion Channel Power) (NDCP)	257
[出力インターセプト - 全次数 [全次数] (Output Intercept - All Orders [All Orders])] (OIP)	258
出力インターセプト - 受信機 [全次数] (Output Intercept - Receiver [All Orders]) (RX_OIP).....	259
[パーセント雑音指数 (Percent Noise Figure)] (PRNF)	261
[パーセント相互変調 - 全次数 (Percent Intermods - All Orders)] (PRIM)	262
位相雑音チャンネルパワー (Phase Noise Channel Power) (PNCP).....	263
[スプリアスフリーダイナミックレンジ (Spurious Free Dynamic Range)] (SFDR)	263
[ステージダイナミックレンジ (Stage Dynamic Range)] (SDR)	264

ステージ利得 (Stage Gain) (SGAIN).....	264
[ステージ雑音指数 (Stage Noise Figure)] (SNF).....	265
ステージ入力 1 dB コンプレッション ポイント (Stage Input 1 dB Compression Point) (SIP1DB).....	265
[ステージ入力インターセプト - 全次数 (Stage Input Intercept - All Orders)] (SIIP)	265
ステージ入力飽和電力 (Stage Input Saturation Power) (SIPSAT)	266
ステージ出力 1 dB コンプレッション ポイント (Stage Output 1 dB Compression Point) (SOP1DB).....	266
ステージ出力インターセプト - 全次数 (Stage Output Intercept - All Orders) (SOIP).....	267
ステージ出力飽和電力 (Stage Output Saturation Power) (SOPSAT).....	267
伝導相互変調チャンネルパワー [全次数] (Conducted Intermod Channel Power [All Orders]) (CIMCP).....	268
発生相互変調チャンネルパワー [全次数] (Generated Intermod Channel Power [All Orders]) (GIMCP).....	268
トータル相互変調チャンネルパワー [全次数] (Total Intermod Channel Power [All Orders]) (TIMCP).....	269
トータル相互変調パワー (Total Intermod Power) (TIMP).....	270
トータル ノード パワー (Total Node Power) (TNP).....	270
電圧 DC (Voltage DC) (VDC).....	271
第14章: Sonnet インターフェース : チュートリアル.....	273
はじめに.....	273
スキマティックなしでのレイアウト作成.....	273
レイアウトのシミュレーションを実行.....	274
結果の表示.....	275
カレントおよびファー フィールド ビューワの使いかた.....	276
既存のスキマティックからのレイアウトの作成.....	277
集中定数エレメントを用いたレイアウトのシミュレーション.....	279
Sonnet ネイティブ エディターでのジオメトリの表示.....	281
第15章: Sonnet インターフェース : デザイン フロー.....	283
Sonnet フロー概要.....	283
内部シミュレーション データの削除.....	284
マニュアル モード.....	284

シミュレーション

第16章：	Sonnet インターフェース：変換の詳細	287
	[Sonnet オプション ダイアログ ボックス (Sonnet Options Dialog Box)]	287
	GENESYS がサポートしている Sonnet 機能.....	290
	[GENESYS インターフェース (GENESYS Interface)]	
	でサポートしていない Sonnet 機能.....	291
	カテゴリー 2 – GENESYS の他の方法で利用できる機能	292
	[Sonnet インターフェース (Sonnet Interface)]	
	でサポートされていない EMPOWER 機能.....	293
第17章：	EMPOWER：プレーナ 3次元電磁界解析	295
	EMPOWER：基本	295
	概要.....	295
	基本的幾何学形状	296
	グリッド.....	300
	ビアホールおよび Z 方向ポート.....	303
	EM ポート	304
	EMPOWER オプション	304
	[全般 (General)] タブ	305
	[ビューア / ファーフィールド タブ (Viewer / Far Field Tab)].....	308
	高度なタブ	309
	シミュレーション ステータス ウィンドウ.....	311
	バッチ実行.....	312
	EMPOWER：オペレーション	313
	概要.....	313
	機能.....	313
	例	314
	回路図なしでのレイアウト作成.....	314
	レイアウトの作成	316
	ボックス デイメンジョン	316
	[全般 (General)] レイヤ	317
	EMPOWER レイヤ	318
	レイアウトの作図	320
	レイアウトのセンタリング	322
	EMPOWER ポートの配置.....	322
	レイアウトのシミュレーション.....	323
	結果の表示	325
	ビューアの使用.....	327

既存の回路図からのレイアウトの作成.....	328
レイアウトのシミュレーションを実行.....	331
集中定数素子	332
リアルタイム チューニング.....	333
EMPOWER：チップス	334
概要.....	334
セル サイズ.....	335
最大遮断周波数.....	335
対称.....	336
間引き	337
壁およびカバースペース	337
カバータイプ	337
損失の多い解析.....	338
ビューア データ.....	338
スロット タイプ ストラクチャ.....	339
好ましいセル カウント.....	339
厚いメタル.....	341
EMPOWER：外部ポート	342
概要.....	342
外部ポートの配置.....	342
EMPort オプション.....	343
ディエンベッド.....	346
マルチモード ポート	347
汎用 S パラメータ	350
EMPOWER：分割	351
概要.....	351
基本.....	352
スパイラル インダクタの例.....	353
損失.....	360
ポートの番号付け	360
EMPOWER：集中定数素子および内部ポート	361
概要.....	361
内部ポートの配置.....	362
手動で集中定数素子を追加.....	363
自動ポート配置.....	364
プレーナ(X および Y 方向) ポート	365
共振.....	367

シミュレーション

EMPOWER : ボックス モード	368
概要	368
一様な直交空洞	368
高次ボックス モード	369
部分的誘電体負荷	370
信号メタル効果	370
トップカバー	370
空洞吸収器	371
EMPOWER : ビューアおよびアンテナ パターン	371
概要	371
インタフェース	372
ファーフィールド 放射パターン ビューア	378
例	381
マルチモード ビューア データ	386
ビアホール ビューアの例	387
ビューア理論	389
まとめ	391
EMPOWER : ファイルの説明	391
概要	391
テキスト ファイルとバイナリ ファイル	392
ファイルの拡張子	393
.EMV (EMPOWER ビューア) ファイル	394
.L1, .L2, ..., .Ln (ライン データ) ファイル	394
.LST (リスティング) ファイル	395
.PLX (電流/ビューア データ) ファイル	396
.R1, .R2, ..., .Rn (ポート インピーダンス) ファイル	397
.RGF (ライン データ) ファイル	397
.RX (周波数 対 インピーダンス) ファイル	397
.SS (S パラメータ) Files	398
.TPL (トポロジー) ファイル	398
.WSX (ワークスペース) ファイル	399
.Y (Y パラメータ) ファイル	399
~SS, ~RG, その他。(バックアップ) ファイル	399
EMPOWER : 高度な M/フィルタの例	399
EMPOWER 高度な例 : フィルタの合成	399

EMPOWER : 理論	415
概要	415
歴史的背景	417
問題の定式化	417
ライン手法	420
グリッド上への配置	421
グリッドグリーン関数	423
情報マルチポート	425
数値加速手順	426
ディエンベッドアルゴリズム	427
EMPOWER : 参考文献	428
一般的なバックグラウンド	428
ライン手法	430
リチャードソンの外挿	431
対称プロセッシング	431
EMPOWER エンジン理論およびアルゴリズム	432
テストの例および比較	433
索引	435

概要

シミュレーション

GENESYS は、様々な種類の解析をサポートしており、一連の回路パフォーマンスの探求が可能になります。シミュレーションの実行では、回路で解析を実行するときに関連します。

- DC シミュレーション (非線形) (HARBEC の一部)
- 線形の S パラメータ シミュレーション
- プレーナ 3D の電磁界 (EM) シミュレーション (EMPOWER)
- ハーモニック バランス シミュレーション (非線形) (HARBEC)
- スペクトラム ドメイン システム シミュレーション (SPECTRASYS)
- トランジェントなシミュレーション (非線形、時間ドメイン) (CAYENNE)

さらに、以下のアイテムが使用できます：

- パラメータ スイープ
- TESTLINK (ユーザーズ ガイドに説明されています)

これらのいくつかの性能は一緒に機能します。EM は、直接的には、線形および DC 回路シミュレータと、また間接的には HARBEC、SPECTRASYS および CAYENNE と共同でシミュレーションします。これは、回路シミュレーションの EM 解析の精度を一般原理および速度と組み合わせることによって可能になります。パラメータ スイープは、他のスイープと同様に任意の解析種類と一緒に使用することができます。周波数、抵抗、基板の高さ、および DC 供給レベルは、通常スイープされる一例にすぎません。

以下のように新規の解析を作成：

1. [ワークスペースツリー (Workspace Tree)] ツールバーの [ニュー アイテム (New Item)] ボタン()をクリックして、[解析 (Analysis)] を選択します。
2. 追加したい解析を選択します。
3. 解析プロパティを指定し、[OK] あるいは [今すぐ計算 (Calculate Now)] をクリックしてシミュレーションを実行します。

どのシミュレータを使用すべきか？

Eagleware 社では、ある特定な回路でどのシミュレーション方法を使用すべきか聞かれることがたびたびあります。線形解析では？非線形解析 (HARBEC) では？SPICE (エクスポートで) では？電磁界 (EMPOWER) では？SPECTRASYS では？

ほとんどの回路では、様々なシミュレーションの組み合わせを使用します。弊社では、大抵のアプリケーションに対する決定を簡単にするガイドラインをいくつか開発しました。但し、各方法には、それぞれ利点と欠点があります：

	線形	CAYENNE	EMPOWER	HARBEC
	極めて速い	時間ドメイン	極めて正確	定常状態で非線形
	スキマティックまたはネットリスト	スキマティックまたはネットリスト	回路についての詳細の知識は必要がない - シミュレータはカップリングなどを解決します。	スタディ ミキシング、圧縮、およびインターモジュレーション
	回路のリアルタイム チューニング	波形を開始する (例えばオシレータの開始)	放射線、電流分布を予測することができます	DC バイアス情報
利点	メーカーに提供された測定データを使用します	DC バイアス情報	自動デエンベデング	ベンダー供給の多くのモデル
	殆ど費用がかかりません	ベンダー供給の多くのモデル	ボックス モード効果を予測する (例えば、回路がボックスに置かれるとどうなるか?)	周波数依存式およびポストプロセッシングを使用します
	式およびユーザ関数を簡単に使用します	クロスオーバーひずみの非線形モデリングなど	任意の形状を使用することができます - そのための既存のモデルを必要としません	シミュレーションの測定データを使用します

	線形	CAYENNE	EMPOWER	HARBEC
欠点	時間ドメインがありません	隣接するハーモニックデータでは非常に遅い	極めて遅い	線形よりはるかに遅い
	バイアスする情報がありません	周波数ドメインビヘイビアのモデル化が非常に困難（例えばアンロードされたQ）	多くのメモリが必要です	多くのメモリと時間が必要です
	すべて線形です	ノイズパフォーマンスをモデル化しません	グリッドに適合するように金属パターンを離散化 (discretize) します	非線形モデルが必要です
	回路についての知識が必要です-カップリングファクタ、寄生型など	回路についての知識が必要です-カップリングファクタ、寄生型など	シミュレーション用回路をセットアップするのが困難です	トランジェントビヘイビア（例えばオシレータ開始）を検証できません

使用するシミュレーションの種類を決めるには、様々な問題を検討しなければなりません：

線形か、あるいは電磁界か？

1. **回路理論と EM シミュレーションの両方を使用すべきですか？**
GENESYS の回路理論シミュレーションは、非常に高速でありインタラクティブです。GENESYS の速度と比較できるプログラムは他にはありません。EMPOWER シミュレーションはより精度が高いため、回路モデルの開発が行われてきた特定のジオメトリック オブジェクトを使用する必要はありません。EM シミュレーションは、取って代わるのではなく回路理論シミュレーションを補完します。

2. **回路で使用できる最高周波数はいくつですか？**およそ 1 GHz 未満の場合は、集中定数素子の方が分布要素より使用される頻度は高くなります。この場合、通常、最終ボードレイアウトには、どんなに有効であっても寄生型あるいはカップリング関連を追加しません。しかしながら、線形のシミュレーションと相違がないことを確かめるために、EMPOWER を使用して最終ボードレイアウトをシミュレーションする場合があります。
3. **どれくらい大きな回路を扱えますか？**関連する最も高い周波数の波長と比較して回路自体が非常に小さい場合は、電磁界シミュレーションは必要がない場合もあります。これは共振が波長の 4 分の 1 で発生するからです。また、これよりはるかに小さな回路は、通常、完全線形シミュレーションの予測通りに作用します。
4. **回路では標準でない金属形状、パターン、ジオメトリを持っていますか？**その場合は、電磁界シミュレーションのみがオプションになります。EMPOWER は、グラウンドプレーンポアのようななどのような形状もシミュレーションすることができます。線形シミュレータでは、回路の記述にはネットリストかスキーマティックが必要です。したがって、シミュレーションしようとするパターンとしてモデルが必要になります。
5. **回路のどのモデルでも、SUPERSTAR で公表されたパラメータ範囲を超えたりあるいは超えそうになったりしますか？**その場合、EMPOWER を備えた SUPERSTAR シミュレーションを検証したり、あるいは EMPOWER を排他的に使用することが必要になったりする場合があります。SUPERSTAR のほとんどのモデルは、特定パラメータのバリエーション用のみに得られる測定データから取得されました。許可されたパラメータ範囲は、SUPERSTAR の各モデルのために公開されます。

線形か、またはハーモニック バランスか？

この質問への答は最も簡単です：能動回路では、通常、両方が使用されます。受動回路（フィルタ、カプラ、電力 デバイダなど）では、線形のみが使用されます。受動回路は、線形のハーモニック バランスです。線形シミュレーションから得られなかった必要以上の情報は取得できません。能動回路は本質的には非線形です。ハーモニック バランスにより、DC の動作点および非線形のパフォーマンスの解析が可能になります。

線形シミュレーションは、能動および受動回路双方において、RF デザインには役立つワークホースとなります。マッチング、ノイズおよび安定性の検証は、線形のシミュレーションを使用するとすべて迅速に完了します。ハーモニックバランスは、ほとんどの回路の解析を完了するために使用されます。ハーモニック バランスを使用して、ミキサ コンバージョン利得、アンプ コンプレッション、および検出器効率を検査してください。

線形、あるいは CAYENNE (トランジェント) ?

この質問には直ぐに回答できない場合が多々あります。例えば、多くのエンジニアは、CAYENNE を時間ドメイン シミュレーション、線形シミュレータを周波数ドメインシミュレーションに関連させます。実際、多くの回路には、時間と周波数ドメイン双方に関連するデータがあり、それにより双方のシミュレータを確実に使用することができます。例えば、オシレータには位相雑音、トランスミッションおよび位相特性があり、それらはすべて周波数ドメインの値です。さらにオシレータには、波形の大きさ、スタート時間 およびスタートアップ トランジェントがあり、それらはすべて時間ドメイン値となります。この場合、双方のシミュレータを回路デザインで使用することができます。

CAYENNE および線形シミュレーションのどちらかに決めるためのいくつかのガイドラインがあります：

1. **回路は時間ドメイン特性に依存しますか?** その場合は、この部分のデザインには、CAYENNE を使用しなければなりません。回路が完全にタイム ドメインに依存する場合は、CAYENNE を排他的に使用することができます。但し、周波数ドメイン応答にも関連がある場合は、CAYENNE に加えて線形シミュレーションを使用することもできます。

多くの場合、CAYENNE および線形シミュレーション双方ともデザインには有用です。例えば、アンプデザインでは、線形部分 (利得、マッチング) は線形シミュレータで、デバイス バイアシングは CAYENNE で行うことができます。

ポート

デザインでポートを使用

注：このセクションの情報は、EMPOWER シミュレーションには適用できません。

GENESYS のポートには 2 つの異なる目的があります：

- 1) シミュレーション用の高度なデザインでは、ポートはシミュレーションに直接使用されます。ポートのインピーダンスは、シミュレータで使用されるインピーダンスを指定します。そのようなデザインでは、電源を備えた入力 (INP_PAC [電源付属の入力ポート] および INP_VDC [DC 電圧付属の入力ポート] のように) には十分な効果があります。
- 2) 通常のデザインでは、単一ターミナル ポートは、サブ回路用の接続情報を提供することのみに使用されます。インピーダンスおよび電源 (INP_PAC と INP_VAC のような) は無視されます。サブ回路に電源を置くには、ポート (PAC と VAC のような) のない電源を使用しなければなりません。注：バランス (2 つのターミナル) ポートは、デザインのすべての水準から保存され、基本的には高度なポートになります。

この構成で、テスト用にポートに電源を置いて、線形および非線形モードでサブ回路をテストすることができます。その後、サブ回路がより大きな回路内部で再使用されると、その回路とポートは無効になります。サブ回路内にツールポートを実際に作りたい場合は、サブネットワーク内にバランス ポートを置くことができます。シングル エンドのポートのみが必要な場合は、ディファレンシャル ポートの負の端子をアースするだけです。

GENESYS 2005 の新機能：式の変数を使用してポート番号を指定できます。さらにポートを含んでいるユーザ モデルを作成することもできます。例えば、システム インターモード ソースをワークスペースにロードします：[ワークスペースツリー (Workspace Tree)] の、[ニュー アイテム (New Item)] 作成ボタンから、[ライブラリから追加 (Add From library)] を使用します。システム インターモード ソースを選択し、デザインと式を見てください。

GENESYS 2005 の新機能：バランス (ディファレンシャル) ポートは、すべてのシミュレータでサポートされます。ディファレンシャル ポートを配置するには、選択された部品に進み、Eagleware 部品ライブラリを検索します。

ポートをマスターデザインで使用する場合は、順序良く配置しなければなりません。線形シミュレーションには高度のポートが必要であり、SPECTRASYSでは強く推奨されます。ポートは、DCシミュレーション、HARBECおよびCAYENNEではオプションです。シンボル以外に、標準入力と出力ポートの違いはありません。ポート端の複素数、あるいは、1-ポートデータファイルのいずれかを直接使用することにより、複素数のポートインピーダンスを使用できます。

第1章： 線形解析

概要

線形のシミュレーションは、スキマティックデザインの S パラメータ、およびノイズ パラメータを計算します。回路に非線形要素が含まれている場合は、最初に DC シミュレーションが自動的に実行されます。非線形デバイスは、DC の動作点で線形化されます。

ポート インピーダンスの使用法

- デザインでは、入力／出力ポートが順に配置されなければなりません。
- バランス ポートは、十分にサポートされます。
- インピーダンスは、すべてデザイン ポートで指定されます。
- ポート端の複素数、あるいは、1-ポート データ ファイルのいずれかを直接使用することにより、複素数のポート インピーダンスを使用できます。

線形解析の追加：

1. スキマティックでデザインを作成します。
2. [ワークスペースツリー (Workspace Tree)] ツールバーの [ニュー アイテム (New Item)] ボタン()をクリックし、[解析 (Analyses)] メニューから [線形解析の追加 (Add Linear Analysis)] を選択します。
3. 解析プロパティ を定義し [OK] をクリックします。
4. 解析が実行されデータ セットが作成されます。

以下を参照：

測定 (本マニュアル後半)

出力の概要、ユーザマニュアル

線形解析プロパティ

名称	説明
名称	解析名
デザイン	線形解析が実行されるデザイン。
データセット	データが保存されるデータセットファイル。データセット名が指定されない場合は、「_Data」が追加された解析名になります。
説明	実行されている解析の説明。GENESYS による文書管理目的のみであり、それ以外には使用されません。
今すぐ計算	いずれかの変更が行なわれたかどうかにかかわらず、解析を実行します。
初期設定	値をすべてデフォルトに再設定します。
周波数	開始周波数
	線形シミュレーションの下限（最低周波数）。

範囲	停止周波数	線形シミュレーションの上限（最高周波数）。
	周波数の単位	周波数の指定に使う測定単位。
	温度	ドロップダウンメニューから選択された測定単位で指定され、線形解析が行なわれる周囲温度。
スイープの種類	線形：点の数	全シミュレーションの点の数。
	Log：点/デケード	デケード毎の点の数。
	線形：ステップサイズ (MHz)	開始と停止周波数の仕様および点間のスペースを与えます。
	周波数のリスト (MHz)	解析周波数の明示的な仕様を与えます。これらの点はスペースによって区切られた周波数ボックスのリストに入力されます。

S パラメータ

概要

このセクションの目的は、ネットワーク解析概念を要約し、GENESYS によってプロットされたいくつかのパラメータを定義することです。値に関する詳細については、本説明書の [測定 (Measurements)] のセクションを参照してください。

ネットワークは、「ブラック ボックス」と見なされます。ネットワークは、線形と時不変とみなされるので、ネットワークの特性は、ポート電圧と電流が関係する 1 つの一次方程式として独自に定義されます。H、Y、Z、S、ABCD など、多くのネットワークのパラメータ類はこの目的のために開発されてきました。これらのパラメータは、ネットワーク レスポンスを計算し表示したり、さらに G_{max} （最大利得）や利得円のように回路デザインに役立つ量を計算するために使用される場合があります。パラメータの種類にはそれぞれ利点と欠点があります。[カーソン (Carson [1])] および [アルトマン (Altman [2])] には追加情報があります。

S パラメータの基本

S パラメータは、RF 回路のデザイン、解析および測定において際立った地位を得て来ました。Y パラメータのように以前に使用された RF デザインにおけるパラメータでは、測定中にポートの開放あるいはショートが必要です。これは高周波広帯域の測定では、ほとんど不可能な制限です。パラメータの分散 [3, 4] (S パラメータ) が定義され、特性基準インピーダンスで終了したポートで測定されます。現代のネットワークアナライザは、S パラメータの測定に十分に適応しています。解析されているネットワークは、一般的な特性基準インピーダンスを備えた伝送媒体では、多くの場合挿入によって使用されるため、S パラメータには、挿入利得やリターン損失のような一般的に指定されるパフォーマンスパラメータと直接関連しているというさらなる利点があります。

2 ポートの S パラメータは、1 セットの電圧進行波を考慮して定義されます。電源からの電圧波がネットワークの入射の場合では、電圧波の一部はネットワークを通して送信されます。また、一部は電源に反射します。電圧の入射波や反射波は、ネットワークの出力にも存在する場合があります。新規の変数は、基準インピーダンスの平方根で電圧波を割ることにより定義されます。これらの新規変数の絶対値の平方は、進行波電力として見なされる場合があります。

$|a_1|^2$ = ネットワーク入力の入射電力波

$|b_1|^2$ = ネットワーク入力の反射電力波

$|a_2|^2$ = ネットワーク出力の入射電力波

$|b_2|^2$ = ネットワーク出力の反射電力波

これらの新規の変数およびネットワークの S パラメータは式によって関連づけられます：

$$b_1 = a_1 S_{11} + a_2 S_{12}$$

$$b_2 = a_1 S_{21} + a_2 S_{22}$$

$$S_{11} = b_1/a_1, a_2 = 0$$

$$S_{12} = b_1/a_2, a_1 = 0$$

$$S_{21} = b_2/a_1, a_2 = 0$$

$$S_{22} = b_2/a_2, a_1 = 0$$

基準インピーダンスと等しい負荷を持つネットワークを終端すると、必ず、 $a_2 = 0$ になります。これらの状態では

$$S_{11} = b_1/a_1$$

$$S_{21} = b_2/a_1$$

このとき、 S_{11} はネットワークの入力反射係数であり、また、 S_{21} はネットワークの利得あるいは損失です。

基準インピーダンスと等しい負荷を持つ入力でネットワークを終端して、出力ポートからネットワークを作動すると、必ず、 $a_1 = 0$ になります。これらの状態では

$$S_{22} = b_2/a_2$$

$$S_{12} = b_1/a_2$$

このとき、 S_{22} はネットワークの入力反射係数であり、また、 S_{12} はネットワークの利得あるいは損失です。

線形の S パラメータには単位がありません。それらは電圧波をベースにしているため、線形比のログに 20 を掛けるとデシベル形式に変換されます。線形のパラメータあるいはデシベル パラメータが参照されているかどうかは必ずしも明確ではありません。この混乱を回避するために、オシレータのデザインおよびコンピュータシミュレーション (Oscillator Design and Computer Simulation) の本や、バージョン 5.4 以前の SUPERSTAR では、線形の S パラメータには C、デシベル形式には S を使います。これは必ずしも従来通りではありません。バージョン 6.0 以降の GENESYS では、線形である従来の MAG[S21]、およびデシベル形式である DB[S21] をサポートします。反射パラメータでは、多くの場合、線形形式では反射係数、デシベル形式ではリターン損失と呼ばれます。

$$S_{11} \text{ (dB)} = \text{入力反射利得} = 20 \log S_{11}$$

$$S_{22} \text{ (dB)} = \text{入出力反射利得} = 20 \log S_{22}$$

$$S_{21} \text{ (dB)} = \text{順利得} = 20 \log S_{21}$$

$$S_{12} \text{ (dB)} = \text{逆利得} = 20 \log S_{12}$$

ネットワークが、基準インピーダンスで終端される場合、 S_{21} と S_{12} は順利得とリターン利得（あるいは損失）です。マッチング ネットワークが入力、出力あるいは両方で挿入される場合の利得は後ほど説明します。

S_{11} と S_{22} 係数は正の抵抗を持つ受動ネットワークでは、1 未満です。したがって、入出力反射利得、 S_{11} と S_{22} は、負のデシベルの数字です。Eagleware のマテリアル全体にわたって、デシベル形式 S_{11} と S_{22} は、産業の標準的な仕様に準じてリターン損失と呼ばれます。数学的に正確さを期すために、それらは負の数として残されました。そのため、厳格な仕様ではリターン利得と呼ばれます。

入力 VSWR (VSWR1) および S_{11} は、以下のような相関があります。

$$VSWR_1 = (1 + |S_{11}|) / (1 - |S_{11}|)$$

シミュレーション

類似式によって、出力 VSWR は、 S_{22} と相関があります。スミスチャートを中心とする一定半径の円は、一定 VSWR の円です。複素数の入力インピーダンスは、式では入力反射係数と相関があります：

$$I_1 = Z_0 (1 + S_{11}) / (1 - S_{11})$$

出力インピーダンスは、同様に S_{22} と相関があります。

安定性

デバイス S_{12} はゼロではないので、信号のパスは出力から入力まで存在します。このフィードバック パスにより、発振の条件が作られます。安定度 K は以下のように表されます。

$$K = (1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |D|^2) / (2 |S_{12}| |S_{21}|)$$

ここで、

$$D = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$$

実用的な見地から、 $K > 1$ 、 $S_{11} < 1$ 、および $S_{22} < 1$ のとき、2 つのポートは、完全に安定しています。多くの場合、これは安定性の保証には十分であると言われます。理論上、 $K > 1$ は安定性を保証するには不十分であり、補足条件が必要になります。そのような 1 つのパラメータとしては、 B_1 はゼロを越えなければなりません。

$$B_1 = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |D|^2 > 0$$

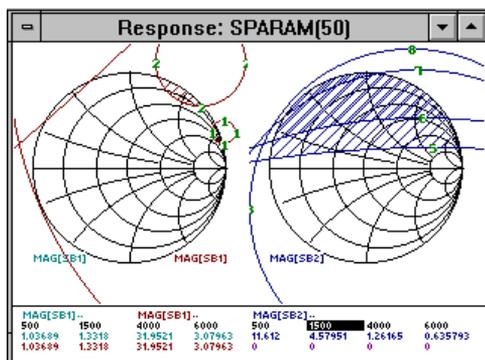
安定円は、より多くの詳細な解析に使用される場合があります。 $S_{11} < 1$ を保証するネットワークの負荷インピーダンスは、スミスチャートでは C に中心を持つ半径 R の円によって指定されます。出力プレーン安定円は、以下のように表されます

$$C_{out} = (S_{22} - DS_{11}^*) / (|S_{22}|^2 - |D|^2), R_{out} = |S_{12}S_{21}| / (|S_{22}|^2 - |D|^2)$$

この円は、 $S_{11} = 1$ のための負荷の位置です。円の内部、あるいはその円の外側の領域は安定した領域の可能性があります。

入力プレーン安定円の式は、下付きの 1 と 2 を変えると、出力プレーン式と同じになります。

下の図は、左側が Avantek AT10135 GaAsFET に関しての入力プレーン安定円、右側が出力プレーン安定円です。陰の領域は不安定の可能性があります。入力では、マーカ 1 の安定円は、約 200 オームの小さな抵抗成分および誘導リアクタンスがあり電源が不安定であることを示します。また、円 2 および 3 は低抵抗および一定の誘導電源インピーダンスがあり不安定です。500MHz の右側の出力プレーンでは、広範囲に渡る誘導負荷で不安定になる可能性があります。



アンプをデザインする場合、マッチング回路を付けないままデバイスの安定性を検討することが最初のステップです。解析では、エミッタまたは電源の接地を行わなければなりません。この安定データは、1) バイポーラ用シャント入出力抵抗、あるいは GaAsFETs 用の電源パスのインダクタンスの安定デバイスを追加したり、2) 安定デバイス（低周波および高周波の）を適切に終了する入出力マッチングネットワークトポロジーを選択するために使われます。

上記の例では、デバイスに隣接している小さな直列キャパシタを持つマッチングネットワークが低周波で容量性負荷を確実にします。これにより安定性が高まります。これは、大抵入力には十分です。但し、Sパラメータデバイスのデータは概算的なものであり、またこのデバイスの出力プレーンには危うさがあることから、直列キャパシタの使用も含めて、このデバイスを安定させることが必要になります。

注：安定性は、アンプ動作周波数だけでなく、Sパラメータデータが利用可能な全周波数範囲にわたりチェックされなければなりません。

マッチング

ネットワーク利得の1つの定義は変換電力利得 G_t です：変換電力利得は、負荷に伝送される電力を電源から供給可能な電力で割った値です。

$$G_t = P(\text{負荷に伝送}) / P(\text{電源から供給可能})$$

他の利得定義には、電力利得 G_p 、および供給可能電力利得 G_a があります。

$$G_p = P(\text{負荷に伝送}) / P(\text{ネットワークに入力})$$

$$G_a = P(\text{ネットワークから供給可能}) / P(\text{電源から供給可能})$$

シミュレーション

ネットワーク用の S パラメータデータは、基準インピーダンスと等しい電源および負荷で測定されます。ネットワークが基準インピーダンスで終了しない場合、 G_t は、ネットワーク終端の反射係数およびネットワークの S パラメータから計算することができます。この点には、反射係数の組み合わせが多数あります：終端やネットワークの S_{11} や S_{22} など。混乱を回避するために、終端反射係数は異なるシンボル G が与えられます。

任意の電源、および負荷反射係数を持つシステムに挿入されたネットワークの変換電力利得は、[4] です：

$$G_t = (|S_{21}|^2 (1 - |R_s|^2)(1 - |R_L|^2)) / |(1 - S_{11}R_s)(1 - S_{22}R_L) - S_{21}S_{12}R_LR_s|^2$$

ここで、

R_s = 電源の反射係数

R_L = 負荷の反射係数

両方ともゼロの場合は、

$$G_t = S_{21}$$

あるいは

$$G_t \text{ (dB)} = 20 \log S_{21} = S_{21} \text{ (dB)}$$

したがって、ネットワークが基準インピーダンスと等しい電源と負荷のシステムに取り付けられた場合、 S_{21} はデシベルのネットワーク変換電力利得となります。

ネットワークの S_{11} および S_{22} は、一般的にはゼロではないため、供給可能な電源電力の一部はネットワーク入力から反射され、電源で消費されます。電源への反射が低減された場合は、ネットワーク入力（または出力）で無損失のマッチング ネットワークを挿入することにより、総合体系の利得を増加させることができます。以下は、ネットワークと電力および負荷の間に挿入された無損失マッチング ネットワークを持つ 2 ポートのネットワークです。

GMAX および MSG

入出力ネットワークが最大利得を求めて同時にデザインされる場合は、電源または負荷には影響はありません。最大の変換電力利得 G_{max} は、以下のように与えられます。

$$G_{max} = (|S_{21}| / |S_{12}|) * (K - \sqrt{K^2 - 1})$$

最大安定利得 MSG は $K=1$ で G_{max} として定義されます。従って

$$MSG = |S_{21}| / |S_{12}|$$

GMAX の GENESYS プロットは、 $K>1$ では G_{max} $K<1$ では MSG になります。

繰り返すと、この最大利得を達成するためには、入力ネットワークは、RS は S_{11} の複素共役、RL は S_{22} の複素共役になるように設計しなければなりません。GENESYS は、それぞれ GM1、GM2、ZM1、ZM2、YM1 および YM2 として入出力ネットワーク用に必要な反射係数、インピーダンスおよびアドミタンスを返します。

ユニラテラルなケース

歴史的には、マッチングに関する上述のセクションの G_t の複素式を簡素化するために、 S_{12} はゼロに設定されました。より高い周波数では、デバイス S_{12} が通常大きい場合、この条件ではそれほど有効ではありません。この条件によりマニュアルとグラフのデザインは簡単になりますが、現代の CAD (computer-assisted design) では不必要です。さらにこの条件では、上記の式を、デザインプロセスを検討する項の要因として含めることが可能です。 $S_{12} = 0$ の場合は、

$$G_{tu} = (|S_{21}|^2 (1 - |R_s|^2)(1 - |R_L|^2)) / |(1 - S_{11}R_s)(1 - S_{22}R_L)|^2$$

ここで、

$$G_{tu} = \text{ユニラテラルな変換電力利得}$$

ネットワークの両方のポートを結合するようにマッチングする場合、 $S_{12} = 0$ 、

$$G_{tu} = |S_{21}|^2 / ((1 - |S_{11}|^2)(1 - |S_{22}|^2))$$

第 1 項および第 3 項は入出力をマッチングすることにより、達成可能な利得増加をそれぞれ示します。 S_{11} または S_{22} が 1 に近づくと、かなりの利得改善がマッチングにより達成されます。マッチングはネットワーク利得を増加させるだけでなく、ネットワークからの影響を低減します。

周波数帯のネットワーク利得平坦度の方が、影響を最小にするより望ましい場合、2 ポートの利得がより低いところの周波数でよりよいマッチが提供されるように、損失がないマッチング ネットワークが設計されます。アンプ マッチング ネットワークを慎重にデザインすることにより、1 オクターブ以上の帯域幅で 1 デシベルの小数内に水平な利得レスポンスを達成することが可能です。

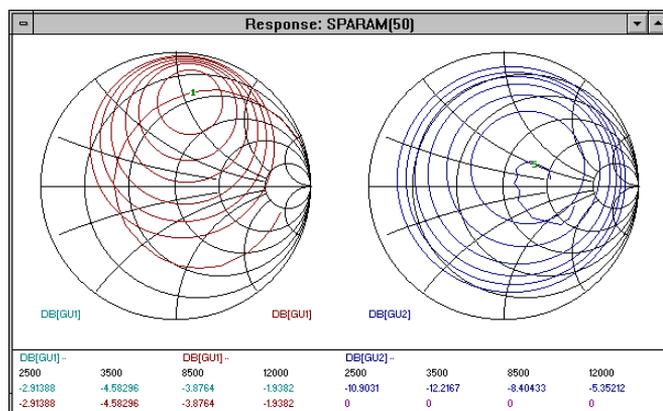
利得円

デバイスが結合するようにマッチングし複雑な場合、変換利得は G_{max} となります。デバイスが、デバイス S パラメータを測定するために使用される同じ抵抗で終了する場合は、伝達利得は S_{21} となります。任意の終端を持つ利得は、利得円を使用してスミスチャートで表示することができます。

GENESYS は、3 つの形式で利得円をプロットします：変換利得ユニラテラル円、入力ネットワーク用の GU1 および出力ネットワーク用の GU2 の変換利得の単位円、電力利得出力ネットワーク円 GP、利用可能な利得入力ネットワーク円 GA。

シミュレーション

以下の図は、Avantek AT10135 GaAsFET トランジスタにおける入出力ユニラテラル変換利得円の GU1 および GU2 を示します。測定円は、最初のマーカの周波数でプロットされており、この場合は 2500MHz です。マーカ 1 は、最大利得点である最小円の中心にプロットされます。増えた半径の各円周の利得は、前の内円より 1dB 低くなります。



利得円を直交する円弧は、最低から最高掃引周波数までの最小円の中心の軌跡です。最初のマーカ周波数をチューニングすると、この円弧に沿って円の中心が移動します。

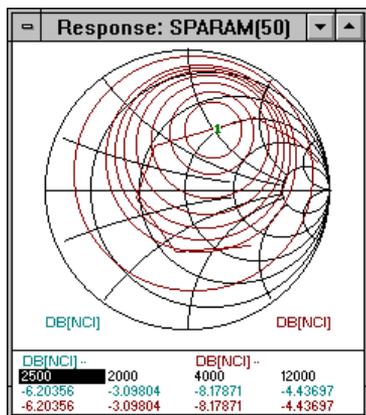
入力での複素共役マッチングでは、マッチしない 50 オームの電源 インピーダンスと比較して 3dB 以上利得が改善されることに注意してください。しかしながら、出力をマッチングすると、利得が 1dB 未満改善されることとなります。2500MHz でデバイス S パラメータデータを検討した結果、出力はもともと 50 オームに極めてマッチしていることが明らかになっています。マッチングネットワークがそれほど有益でないだろうというのは驚くべきことではありません。

雑音円

デバイスから利用可能な最良の雑音指数を取得するには、デバイスに正確なインピーダンスを与えなければなりません。最良のノイズ パフォーマンスが取得されるインピーダンスは、一般的には 50 オームではありませんし、またソースで反射が最小になるインピーダンスでもありません。

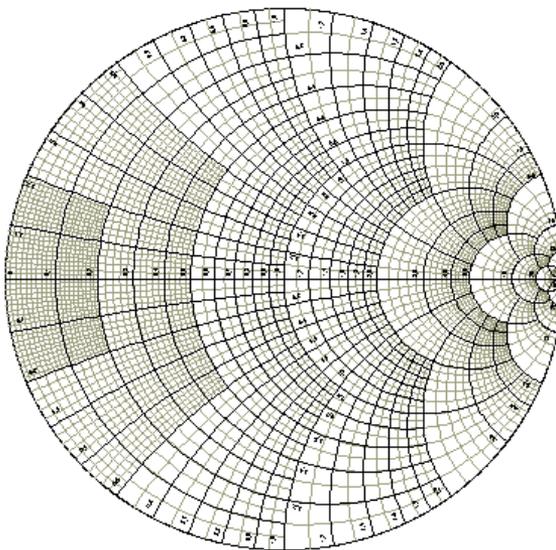
上述した Avantek AT10135 GaAsFET トランジスタの S パラメータ データにはノイズ データが含まれています。このデータは、各周波数につき 4 つの数で構成されます。これらの数というのは、正常に終了した場合における最適な雑音指数の N_{Fopt} (dB)、 G_{opt} の大きさと角度、雑音円半径に影響する感度因子である N_{Fopt} と R_n/Z_o を取得するデバイス入力の終端インピーダンスのことです。

AT10135 用として GENESYS によって 2500 MHz でプロットされた雑音円は、以下の通りです。半径が増えた円は、0.25、0.5、1、1.5、2、2.5、6dB の雑音指数の低下を表わします。この場合、50 オームのソースを持つデバイスの直接の終端は、1dB の雑音指数の低下となります。円に直交する円弧は、 $G_{opt} \text{ v s } \text{周波数}$ の軌跡です。



スミス チャート

1939 年に、フィリップ H. スミスは、伝送系統に関する問題をグラフに表示し、説明のために有効な円形チャートを記述する論文を發表しました[36]。伝送系統の特性は一次方程式によって定義されますが、科学計算用計算機とコンピュータが出現する以前に、グラフの手法を使用してこれらの式の評価が最大に実行されました。スミスチャートは、マイクロ波産業の開発中に広く受け入れられました。スミスチャートは、様々な送電系統の問題の解決策に適用されてきました。それらの多くはフィリップ・スミス著 [37] の本に記述されています。GENESYS によって表示されるスミスチャートは、以下のようになります。スミスチャートが詳細に表示された場合は、正規化された有効分と無効分のラベルが表示されます。



スミスチャートを使用する広帯域伝送システムのデザインには、選択された周波数用に繰り返されたチャート上に、必要範囲全体にわたってグラフ構造が含まれます。計算尺を使用したプロセスは大きく改善されましたが、それは効率的ではありません。高速チューニングおよび最適化手順を持つ現代のインタラクティブなコンピュータ プログラムは、はるかに効率的です。しかしながら、スミスチャートは、教育用、およびコンピュータ生成データのディスプレイオーバーレイの重要なツールとして存続しています。スミス チャートは、伝達システムの行動に対して顕著な洞察力を提供します。

標準単一半径インピーダンス スミス チャートは、円形チャート上へ - から + まで任意のリアクタンスを持つ正の抵抗をすべてマップします。 S_{11} または S_{22} の線形形式の大きさは、基準インピーダンスに完全マッチする長さ 0、およびチャートの円周で全反射の 1 を持つチャート中心からのベクトルの長さです。スミス チャートの基礎をなすグリッドは、与えられた抵抗の円およびインピーダンスの円弧です。

標準スミスチャートの反射係数半径は単一です。1 を越える半径を持つ圧縮されたスミス チャート、および 1 未満の半径を持つ拡張されたチャートを使用できます。

高インピーダンスは、チャート右部分、低インピーダンスは左部分、誘導リアクタンスは上半分、容量性リアクタンスは下半分に置かれます。実数インピーダンスは、左から右までのライン上に、純無効インピーダンスは円周上にあります。反射係数角度は、実軸から、中心右へ 0 度、90° 真上へ、そして -90° 真下で測定されます

増える損失伝送ラインの長さ、あるいは増える周波数を持つ固定長を通じて見られる負荷インピーダンスは、ラインインピーダンスが基準インピーダンスと等しい場合、一定半径で右回りに回転します。ラインインピーダンスと基準インピーダンスが等しくない場合、回転中心はチャートの中心付近ではありません。ラインの電氣的長さが 180° 増加する場合は、完全な 1 回転が発生します。伝送線路損失は、内側に螺旋状になる反射係数が発生します。

スミスチャートの中心から与えられた点までのベクトルの長さは、反射係数の大きさになります。右への実軸に対するベクトルの角度は、反射係数の位相角です。このベクトルの長さを表わすために、いくつかの共通の定義が使用されます。それらは、チャートの中心から円の外へ向かってラジアル距離と関連しているため、放射状にスケールされたパラメータと呼ばれます。

線形解析出力

線形シミュレーションは、以下の変数を生成します：

変数	説明	形状
CS	Sパラメータ形式のノイズ相関行列	[N x N] 複素行列
F	スイープされている周波数	[M] ベクトル
S	インピーダンス ZPORT をポートするために正規化された S パラメータ	[N x N] 複素行列
ZPORT	スキマティックでポート要素から得られたポートインピーダンス	[N] 複素ベクトル

M は周波数の数、N はポートの数です。すべての変数およびショートカット (F 以外の) は、すべての周波数上でスイープされます。

以下のショートカットが利用できます。詳細については、シミュレーションマニュアルの「測定：線形」セクションを参照してください：

変数	説明	等式	形状
VSWR	すべてのポートの VSWR	$vswr(\text{diag}(S))$	[N] 実ベクトル
VSWR _i	ポート <i>i</i> の VSWR	$vswr(S[i,i])$	スカラー
ZIN	他のすべてのポートの終端を含むすべてのポートの入力インピーダンス。	$zin(\text{diag}(S), ZPORT)$	[N] ベクトル

シミュレーション

ZIN i	ポート i の入力インピーダンス	zin (S[i],ZPORT[i])	複素数
YIN	他のすべてのポートの終端を含むすべてのポートの入力インピーダンス。	yin (diag (S),ZPORT)	[N] ベクトル
YIN i	ポート i の入力アドミタンス	yin (S[i],ZPORT[i])	複素数
S ij	特定の S パラメータ。9 を越える i あるいは j では、S[i] 形式を使用する。	S[ij]	複素数
YP	回路の Y パラメータ	stoy (S,ZPORT)	[N x N] 複素行列
YP ij	特定の Y パラメータ。9 を越える i あるいは j では、YP[ij] 形式を使用する。	YP[ij]	複素数
ZP	回路の Z パラメータ	stoz (S,ZPORT)	[N x N] 複素行列
ZP ij	特定の Z パラメータ。9 を越える i あるいは j では、Z[ij] 形式を使用する。	ZP[ij]	複素数
H	H パラメータ、2 ポートのみ	stoh (S,ZPORT)	[2 x 2] 複素行列
H ij	特定の H パラメータ	H[ij]	複素数
E ij	適所にすべての終端インピーダンスを持つポート末端で、ポート j からポート i までの電圧利得	voltage_gain (S,ZPORT, ij)	複素数
K	安定度、2 ポート回路のみに利用可能。	stab_fact (S)	スカラー
B1	安定測定、2 ポート回路のみに利用可能。	stab_meas (S)	スカラー

SB i	ポート i の安定円、2 ポートの回路のみに利用可能。	stab_circle (S, i)	[2] 中心、半径およびサインを含む複素ベクトル
以下のポートを指定しないすべてのノイズの測定は、入力としてポート 1、出力として 2 を使用します。			
NF	ポート 1 からポート 2 への雑音指数	noise_figure (S,CS,2,1)	スカラー
RN	ノイズ抵抗	noise_rn (S,CS,ZPORT,2,1)	スカラー
GOPT	ノイズ最適反射係数 (ガンマ)	noise_gamma_opt (S, CS,2,1)	複素数
ZOPT	ノイズ最適入力インピーダンス	zin(noise_gamma_opt (S, CS,2,1), ZPORT[1])	複素数
YOPT	ノイズ最適入力インピーダンス	yin(noise_gamma_opt (S, CS,2,1), ZPORT[1])	複素数
NFMIN	最小雑音指数	noise_nfmin (S,CS,2,1)	スカラー
NCI	雑音円	noise_circles (S,CS, [0.25;0.5;1;1.5;2;2.5;3;6], 2,1)	複素ベクトル、各サークルで 2 つのエントリ (0 dB も含む)
以下のすべてのノイズ測定は、入力としてポート i、出力としてポート j を使用します。			
NF ji	ポート i からポート j まで雑音指数の任意のポート	noise_figure (S,CS, j,i)	スカラー
RN ji	ノイズ抵抗	noise_rn (S,CS,ZPORT, j,i)	スカラー
GOPT ji	ノイズ最適反射係数 (ガンマ)	noise_gamma_opt (S, CS, j,i)	複素数
ZOPT ji	ノイズ最適入力イン	zin(noise_gamma_opt (S, CS, j,i),	複素数

シミュレーション

	ピーダンス	ZPORT[1])	
YOPT j	ノイズ最適入力インピーダンス	yin(noise_gamma_opt (S, CS, j), ZPORT[1])	複素数
NFMIN j	最小雑音指数	noise_nfmin (S,CS, j)	スカラー
NCI j	雑音円	noise_circles (S,CS, [0.25;0.5;1;1.5;2;2.5;3;6], j)	*
GM i	ポート i の同時マッチガンマ (2ポート回路のみ)	sm_gamma i (S)	複素数
YM i	ポート i の同時マッチガンマ (2ポート回路のみ)	sm_y i (S)	複素数
ZM i	ポート i の同時マッチガンマ (2つのポート回路のみ)	sm_z i (S)	複素数
GU i	ポート i のユニラテラル利得円	gu_circles (S,[-1,-2,-3,-4,-5,-6], i)	*
GP	電力利得円	gp_circles (S,[-1,-2,-3,-4,-5,-6])	*
GA	利用可能な利得円	ga_circles (S,[-1,-2,-3,-4,-5,-6])	*

*円測定は、すべて圧縮形式の複素ベクトルです。各円 (0 dB では半径ゼロの円も含む) は、2つの複素数エントリによって表わされます。最初のエントリは円の中心です。第2の複素数のエントリには、実数部に円の半径、虚数部に補足情報 (円の dB レベル) があります。

第2章： DC 解析

DC 解析の概要

DC シミュレーションは、回路の個々の非線形ノードとポートで静的な動作点（DC 電圧と電流）を解析します。非線形モデルを使用して回路を設計する場合は、線形またはハーモニック バランスシミュレーションを行う前に DC の動作点を常にチェックしなければなりません。DC 解析は非常に迅速であり、使用可能なデザインの入力が行われたことを確認することができます。

注：DC シミュレーションは、一般にハーモニックバランスシミュレーションからの DC（周波数ゼロ）レベルと同じではありません。DC シミュレーションでは、交流電源はすべて切られます。

非線形デバイスモデルには、エラーで入力することができる多くのパラメータがあります。完全な回路を入力する前に、デバイスの DC 特性カーブを見てモデルが正常であることを確かめてください。これらのカーブの作成が簡単にできるワークスペース テンプレートを使用できます（[ファイル(File)] メニューから [新規 (New)] を選択し、次に BJT Test.wsp テンプレートを使用）。

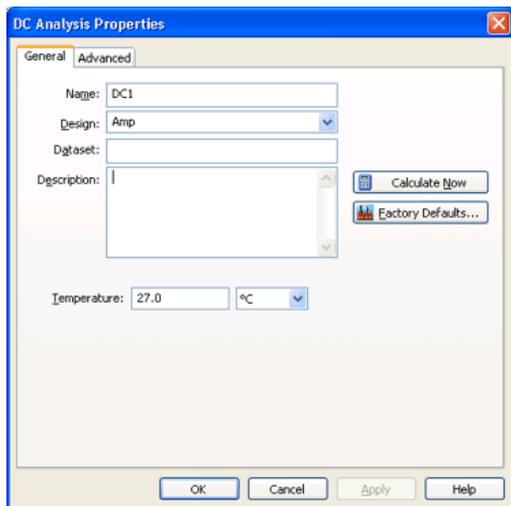
解析後は、DC 結果を最適化することができます。例えば、バイアス抵抗値を最適化すると、バイポーラ トランジスタ用に必要なコレクタ電流および電圧を得ることができます。例として、ウォークスルー DC 解析を参照し、トランジスタ パラメータを確認してください。それは、以下のセクションのうちの 1 つにあります。

DC 解析の追加：

1. スケマティックでデザインを作成します。DC 電源を含め、非線形デバイスモデルを使用します。線形のモデルあるいは S パラメータモデルは、DC では一般に正確な結果を得ることはありません。
2. [ワークスペースツリー (Workspace Tree)] ツールバー上の [ニュー アイテム (New Item)] ボタン () をクリックし、[解析 (Analyses)] メニューから [DC 解析の追加 (Add Linear Analysis)] を選択します。
3. 解析プロパティを定義し、[今すぐ計算 (Calculate Now)] をクリックします。
4. オリジナルのスケマティックは、現在の DC 電圧レベルを示す場合もあります。また、DC 動作点の値が含まれているデータセットが作成されます。

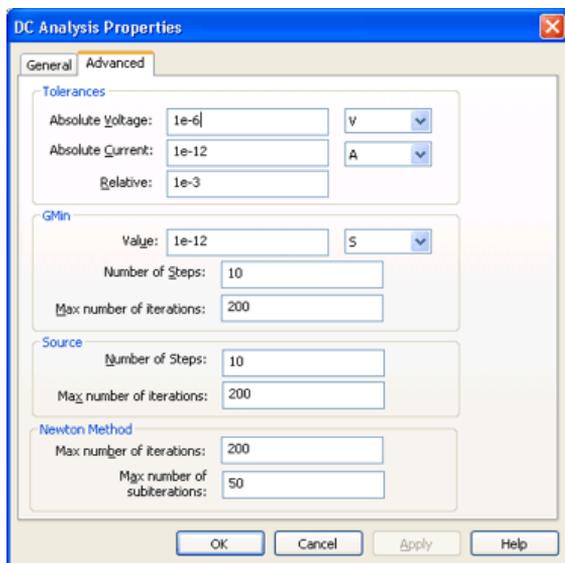
シミュレーション

DC 解析プロパティ



名称	説明
名称	解析名
デザイン	DC 解析が実行されるデザイン。
データセット	データが保存されるデータセットファイル。データセット名が指定されない場合は、「_Data」が追加された解析名になります。
説明	実行されている解析の説明。GENESYS による文書管理のみの目的であり、それ以外には使用されません。
温度	ドロップダウンメニューから選択された測定単位で指定され、DC 解析が行なわれる周囲温度。
今すぐ計算	いずれかの変更が行なわれたかどうかにかかわらず、解析を実行します。
初期設定	値をすべてデフォルトに再設定します。

シミュレーション



以下のテーブルは、高度なタブ上で設定することができるオプションのシミュレーションパラメータを示します。

***注** - 複数のシミュレーションを各パラメータの間にセミコロンを配置して追加することができます。

(例 $gmin=1e-6$; $reltol=1e-4$)

名称		説明
許容誤差少なくとも 1 つの基準がすべてのノードで満たされると、収束が達成されます。	絶対電圧	DC の収束を達成するために、ノード電圧の和がゼロにならない絶対精度。指定周波数で指定ノードを入力する電圧のベクトルの和の大きさが、指定された絶対許容値未満の場合、シミュレータは収束します。デフォルト値は、 $1e-6$ であり、ドロップダウンメニューから選択された測定単位で指定されます。
	絶対電流	DC の収束を達成するために、ノード電流の和がゼロにならない絶対精度。指定周波数で指定ノードを入力する電流のベクトルの和の大きさが、指定された絶対許容値未満の場合、シミュレータは収束します。デフォルト値は、 $1e-12$ であり、ドロップダウンメニューから選択された測定単位で指定されます。

	相対	DC の収束を達成するために、ノード電流の和がゼロにならない相対精度。指定ノード電流への電流のベクトルの和と、そのノードへ入る電流の大きさの和の比が、指定された相対許容値未満の場合は、シミュレータは収束します。デフォルト値は、 $1e-3$ です。
Gmin	値	回路の各非線形ノードに追加されたコンダクタンスの値。デフォルトは、回路の各ノードと収束でアシストする接地間では、1 ピコジーメン スコンダクタンス (1 テラオーム抵抗) です。ドロップダウンメニューから選択された測定単位で指定。
	ステップ数	DC 解析中に使用される Gmin ステップの最大数。公称値を使用する収束障害がある場合、これらのステップが使用されます。デフォルト値は、10 です。
	反復最大数	実行される反復の最大数。収束したり、エラーが生じたり、あるいは、限界に到達するまで解析は反復します。
ソース	ステップ数	DC 解析中に使用される大きさのステップの最大数。DC の収束障害がある場合、回路の独立電源の大きさは、ゼロからゆっくり上げられます。デフォルト値は、10 です。
	反復最大数	実行される反復の最大数。収束したり、エラーが生じたり、あるいは、限界に到達するまで解析は反復します。
ニュートン法	反復最大数	各ノードへの電流の和が、各ノードでゼロ、およびノード電圧収束と等しい場合、終了するニュートン法プロセスの反復の最大数。デフォルト値は、200 です。
	サブ反復最大数	各ノードへの電流の和が、各ノードでゼロ、およびノード電圧収束と等しい場合、終了するニュートン法プロセスの各反復以内のサブ反復の最大数。デフォルト値は、50 です。

シミュレーション

DC 解析結果

線形シミュレーションは、以下の変数を生成します：

変数	説明
Vnet	ネットの直流電圧
RHSerror	シミュレーションの最終エラー。一般的には高度なトラブルシューティングにのみ使用されます。
Tnet	ネットの温度。温度出力を含むトランジスタ（LDMOS のような）のみに有効。
Ibranch	インダクタ内のように内部ブランチを通る電流
Ipart_ IProbe	部品が電流プローブの場合は、電流プローブを通る電流が含まれます。その部品がサブネットワークにあれば、ネットワーク コンテナ部品の名前が含まれます。

第3章： CAYENNE（トランジェント解析）

CAYENNE の概要

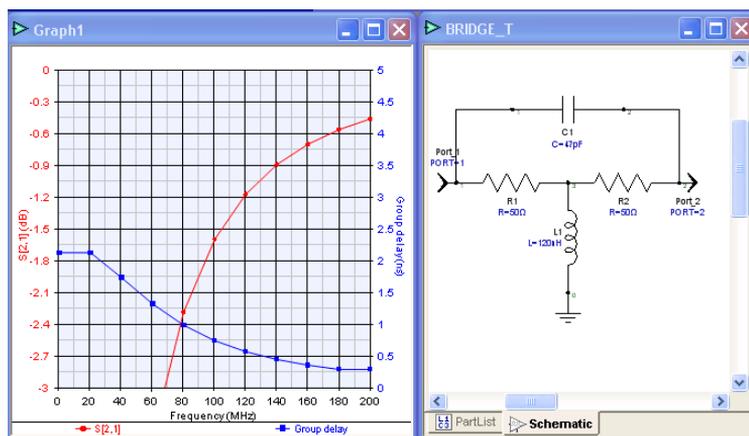
CAYENNE は、SPICE のように、任意の入力波形への回路の時間応答をシミュレーションします。これを達成するには、時間ステップさせた DC 解析を実行し出力波形のサンプルを計算します。すべての要素は、エネルギー格納、線形、あるいは非線形であろうと、ノード解析の実行が可能な形式に分割されます。カーカフの原理に基づいたノード解析は、回路コンダクタンスおよび電圧に関する式であり、回路の電流について記述します。回路のノード数によって、同時に解くための変数と数式が決定されます。

CAYENNE ウォークスルー

この例では、トランジェント解析を含めるために、簡単な回路を修正します。最初に、この例の回路 Bridge-T をロードします：

1. [ファイル (File)] メニューから [新規 (New)] を選択します。開始ページ (Start Page) を無効にしていた場合は、[ヘルプ (Help)] メニューから [開始ページを表示 (Show Start Page)] を選択する必要があります。
2. [例を開く (Open Example)] ボタンを押して、例 フォルダのルートから Bridge-T.wsx ファイルを選択します。

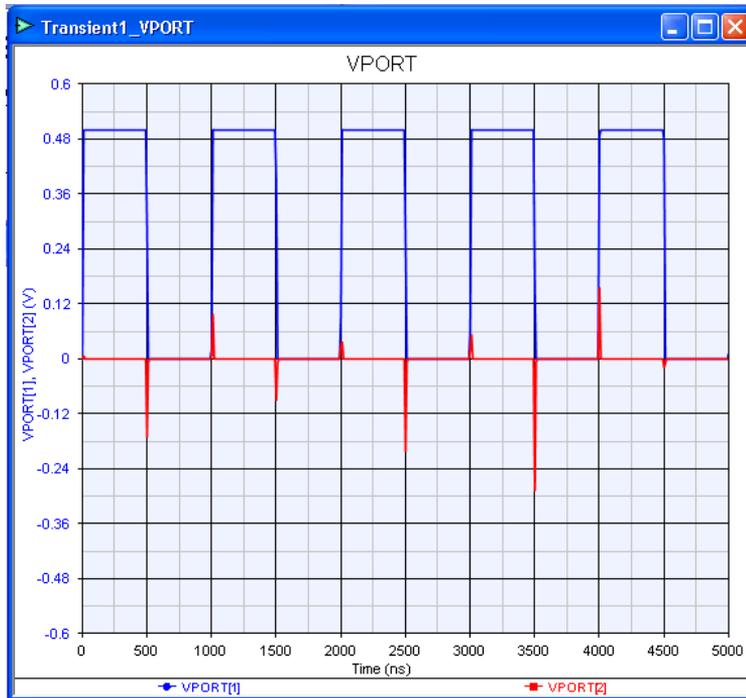
下図のような結果が表示されなければなりません。この回路は低周波でかなりの損失があることに注意してください。



シミュレーション

すべてのトランジェント解析には電源が必要です。電源は DC だけで可能であり、それにより、スタートアップと自励発振を見ることが可能になります。また、波形を伴った電源も可能であり、それにより、励振への過渡応答の表示が可能になります。既存のスキマティックには、電源がありません。したがって、あらゆるトランジェント解析はすべてゼロになります。この例で、意味のあるトランジェント解析を行なうためには、入力を周期的なパルス波形に変えます。そのためには、トランジェント解析を追加し、結果を表示します。

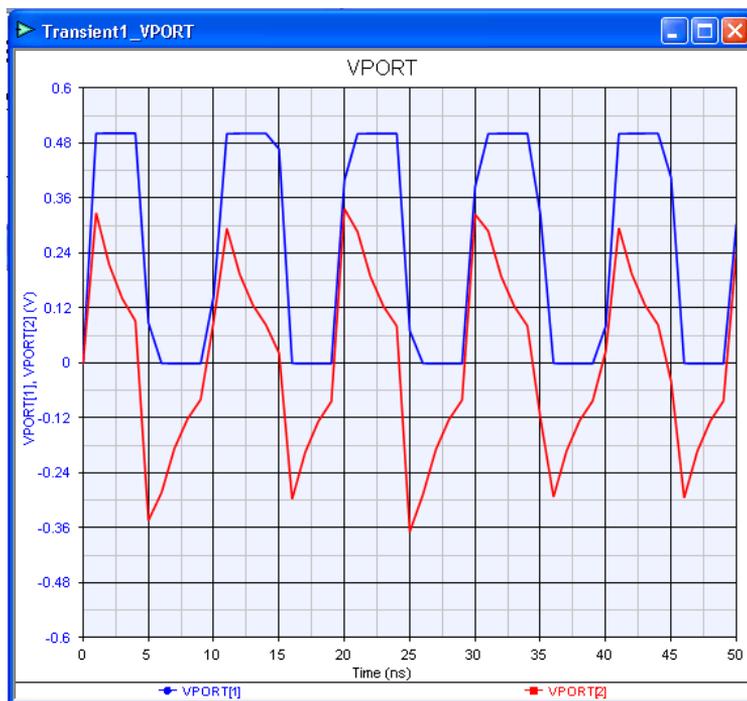
1. スキマティックの入力ポートを削除します。
2. パーツセレクタから、パルスでフィルタします。
3. [入力 (パルス化された電圧)] モデルを検索し、以前入力されたスキマティックに配置します。注：これらの電源も、スキマティック [ベーシック (Basic)] のツールバーの [入力 (Input)] ボタンにあります。
4. [入力 (Input)] をダブルクリックして、パルス幅を 500 ns に設定します。このようにすると、1 MHz のパーツにはデフォルト周波数で 50% の負荷サイクルパルスがかかります。
5. これで、トランジェント解析を追加する準備ができました。ワークスペース ツリー ツールの [ニュー アイテム (New Item)] ボタンをクリックして、[解析 / 追加 (Analyses/Add)] を選択します。
6. [初期設定 (Factory Defaults)] ボタンをクリックし、適切な設定がされたことを確認します。解析が予期しないビヘイビアを開始する場合のよい練習になります。
7. 修正の必要のあるパラメータは、停止時間および最大ステップ サイズしかありません。停止時間を 5000 ns、最大ステップ サイズを 10 ns に設定します。このようにすると、各サイクルで 100 時間点 (time points) を持つ 100MHz で、5 サイクルが示されます。精度を維持するために、必要であればシミュレータはさらに多くの点でシミュレーションします。
8. [今すぐ計算 (Calculate Now)] をクリックします。これでダイアログボックスが閉じ、トランジェント解析が実行されます。
9. [ワークスペース ツリー (Workspace Tree)] の新規に作成された [Transient1_Data] データセットをダブルクリックします。
10. VPORT 変数を右クリックし、[グラフ / 直交グラフ (Graph/Rectangular Graph)] を選択します。下図にあるのは同様のグラフです。



出力には、各トランジションで小さなスパイクしかないことに注意してください。これは、ハイパス応答を持つ弊社の回路と一致します。次に、より高い周波数を持つパルスに対するこの回路の応答を検査します：

1. スケマティックの入力パルス モデルのパラメータを変更します。パルス幅を 5 ns に設定し、周波数を 100 MHz に設定します。周波数の変数には、[デフォルトを使用 (Use Default)] がチェックされていないことを確認します。
2. [ワークスペースツリー (Workspace Tree)] の [トランジェント 1 (Transient1)] 解析をダブルクリックします
3. 停止時間を 50 ns、最大ステップサイズを 1 ns に変更します。1 サイクル当たり 10 点のみを使用していることを確認してください。
4. [今すぐ計算 (Calculate Now)] をクリックします。VPORT グラフは以下に変わりました：

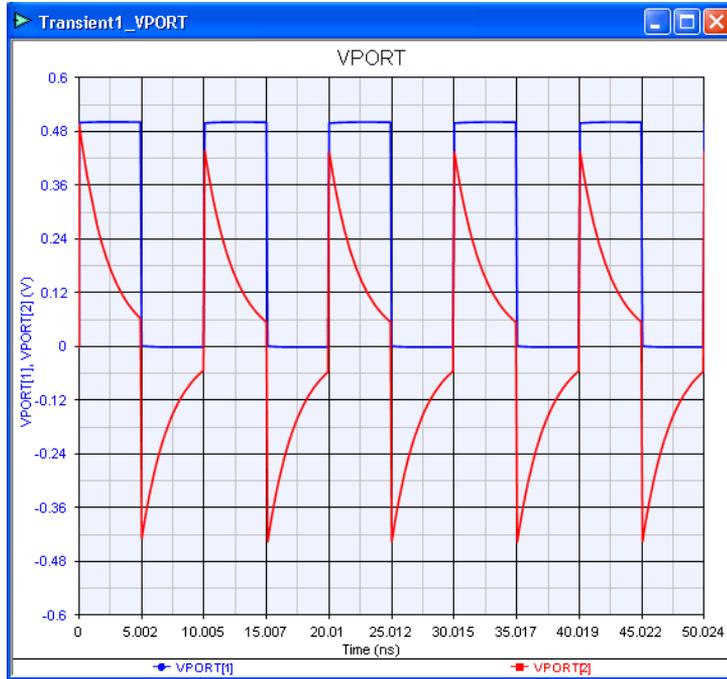
シミュレーション



方形波の辺縁に注意します。一見すると、シミュレーションがあまり正確でないように見えます。しかしながら、これらの問題は、トランジェント シミュレータのデータ処理によって実際に引き起こされます。簡単に内挿された結果ではなく、シミュレーションされている正確な点を実際に見ることができます。このようにするには：

1. [ワークスペースツリー (Workspace Tree)] の [トランジェント 1 (Transient1)] 解析をダブルクリックします。
2. [出力/ミソレニアス (Output/Miscellaneous)] タブをクリックします。[出力ステップ サイズ (Output Step Size)] を、[最大ステップ サイズを使用 (Use Maximum Step Size)] に設定されていることを確認します。これにより、多くの点の数がシミュレーションされても、ナノ秒毎に、等間隔に置かれた点を得ることができます。これは多くのオペレーション (FFT を含む) には非常に好都合ですが、1 つのオペレーションに不正確な精度結果を引き起こす場合があります。
3. [シミュレーションされたすべての点を出力 (Output All Simulated Points)] をクリックし、選択します。これはシミュレーションを修正するのではなく、解析された時間点をシミュレータにすべて出力させることになります。

4. [全般 (General)] タブの [今すぐ計算 (Calculate Now)] をクリックします。下図のグラフが表示されます。マーカのシンボルをオンにすると ([グラフ (Graph)] ツールバーの [トグル シンボル (Toggle Symbols)] ボタンをクリック)、シミュレーションされた点を正確に確かめることができます。



シミュレーション時間ステップ

CAYENNE は、時間ステップされたトランジェント シミュレータです。シミュレータの基本的なフローは以下の通りです：

1. 時間 (time) = 0 で回路を解きます。[スキップ バイアス (Skip Bias)] を選択すると、すべてのノードの最初の解は 0 ボルトです。さもないと、最初の解が DC の解になります。
2. シミュレータで決定された大きさで時間を進めます。全回路が同じ時間の値を常に使用することに注意してください。
3. 新規の時間ステップで回路を解き、電荷をベースにした要素（キャパシタのような）を等価電流電源および抵抗に変えます。回路を解くことができない場合は（あるいは、エラーが大きすぎるような場合）、前回の適正な時間点に戻り、次にステップに戻ります。次は、異なるステップサイズをとってください。

シミュレーション

- 出力に必要な次の 時間点に達した場合は、データセットにデータを保存します。
- 停止時間が過ぎるまで、ステップ 2、3、および 4 を繰り返します。

最も重要なことは、データセットで出力された時間点はシミュレーションによって計算された同じ時間点ではないということです。出力時間点のデータが正確であることを確認するために、CAYENNE は、保存されていない多くの時間点でシミュレーションします。CAYENNE は、以下の基本的な規則により、内部シミュレーション時間ステップを設定します：

- 最初の時間ステップは、[最小時間ステップ (Minimum Time Step)] に設定されます。また、時間ステップは最小時間ステップと少なくとも常に同じです。この値は、[積分/時間ステップ (Integration/Time Step)] タブ上で指定され、デフォルトで自動的に最大時間ステップの 1% になります。注：ただ 1 つの例外としては、回路が非線形性のため収束することができない時期です。その場合、絶対に必要であれば、より小さな時間ステップが使用される場合があります。
- どのような場合でも、シミュレーション時間ステップは、[全般 (General)] タブで指定される最大時間ステップ値より大きくてはいけません。
- 最初のステップがうまくいくと、CAYENNE は、以下のように時間ステップを変更します：
 - シミュレータが固定ステップを使用した場合は、最大時間ステップが到達するまでステップが 2 倍必要になります。その後、最大時間ステップは、シミュレーションのリメインダーに使用されます。
 - シミュレータがロバストなトランケーション エラー コントロール時間を使用している場合、各点は、精度の確認が行われた後に受け入れられます。精度は、すべてのノードの実際の答えを予測値と比較することによってチェックされます。値が十分に接近していない場合は、時間点は受け入れられません。また、時間ステップはより小さな値で繰り返されます。但し、値が一致する（許容値内に）場合、時間ステップは、最大時間ステップを最大として、次のステップで 2 倍になります。

- c. シミュレータが、およそのトランケーション エラー コントロール タイムを使用している場合、シミュレートされた点は常に受け入れられます (収束された場合)。その時、次の時間点のステップをコントロールする精度のチェックが行われます (トランケーション要因および SPICE 状のアルゴリズムの使用により)。その解は予測値から離れるにしたがって、次のステップはより小さくなります。繰り返しますが、ステップは最小および最大のステップ サイズによって制限されています。
4. 数値の精度が非収束 (下記の説明を参照) を引き起こしている場合、その後、ステップ サイズは 2 倍になり、ステップが繰り返されます。ステップ サイズが既に減少していた場合、その後、シミュレーションはエラーで停止します。

これらの規則は、出力時間点ではなく、シミュレーションされた時間点のみにすべて適用されることに注意してください。出力時間点 (データセットへ保存されたもの) は、[出力/ミソレニアス (Output/Miscellaneous)] タブ上のエントリから決定されます。データ点は、デフォルト設定を使用することにより、タイム (time) = 0、および最大ステップによって区切られた点で開始して出力されます。これらのデフォルトを変更するには、以下のエントリを使用します:

- 出力ステップ サイズは、データセットへの最小ステップ出力です。これにより、シミュレータの計算により、より少ない、あるいはより多い点を出力することが可能になります。
- 出力スタート時間は、データ収集が始まる時間をコントロールします。時間がゼロでない場合、その時間点が到達するまで、データは保存されません。出力スタート時間がゼロに設定されていても、シミュレーションは、常に時間が 0 でスタートすることに注意します。
- [正確なステップで出力を強制 (Force Output at Exact Step)] にチェックが入っている場合、Cayenne は予測値 (一般的に第 3 次ギヤ) を使い、シミュレーションされた点を変更します。それによって正確に必要な (出力波形についての FFT 解析を実行するために必要) な時間点で出力波形が一様にサンプリングされます。これがチェックされない場合は、Cayenne はシミュレーションされた時間点で正確な値を出力しますが、間隔が異なります。
- [すべてのシミュレーションされた点を出力 (Output All Simulated Points)] では、シミュレータが計算したすべての点を出力します。それによって多くの場合 10 倍データを多く出力することができます。シミュレータがどこで実際に値を計算しているかを定めるために回路をデバッグする場合、このオプションは役に立ちます。ヒント: これらの点を見るには、レスポンスをグラフ表示し、トレース上でシンボルをオンにします。次にズームインし、どの点をシミュレータが選択するか正確に確認します。

数値の精度

Cayenne には、従来の SPICE シミュレーションとは異なる顕著な方法があります：Cayenne は、各ノードで電流のエラーを追跡しコントロールします。従来の SPICE は電荷を追跡します。それはユーザによって通常観察されません。回路に時間ステップに比べて大きいキャパシタンスがある場合、この違いは重要になります。その問題を理解するためには、トランジェントなシミュレータがキャパシタを持った回路をどのように解析するかを最初に理解しなければなりません。注：このセクションの式は、簡単な一次近似式であり、この問題を容易に理解できます。Cayenne では、より高度で優れた次数法が一般的に使用されます。

線形キャパシタによる電流は以下の方程式によって管理されます：

$$I = C \, dV/dt$$

有限のステップを使用するシミュレータでは、式は一次近似式と変換することができます：

$$I = C * (V1 - V0) / (T1 - T0)$$

使用されている時間ステップが $(T1 - T0)$ の場合は、タイム $T0$ のキャパシタにかかる電圧は $V0$ (既知) です。電圧の解は $V1$ であり、タイム $T1$ のキャパシタにかかる電圧になります。例として、以下の値を使用してみます：

$$V0 = 2 \text{ volts}$$

$$V1 = ?$$

$$T0 = 0.1 \text{ picosecond (} 10^{-13} \text{ seconds)}$$

$$T1 = 0.2 \text{ picoseconds}$$

$$C = 10 \text{ microfarad (} 10^{-5} \text{ Farads)}$$

$V1$ で、 $2.0000000000000001 (2 + 10^{-16})$ を使用した場合は、電流は以下のようになります：

$$I = 10^{-5} * (2.0000000000000001 - 2) / (2 * 10^{-13} - 10^{-13})$$

$$I = 10^{-8} \text{ Amps}$$

問題は、倍精度番号に格納することができる 2 と 2.0000000000000001 の間の値がないことです。 2 に近い数字は、ちょうど 2 に四捨五入されます。すると、 0.1ps (ピコセカンド) の時間ステップでは、すべての解で、電流が 10^{-8} Amps の倍数となります。仮に正しい答え (指定する無限の精度で) が、 $6 * 10^{-9}$ Amps の場合は、 $(10^{-8} - 6 * 10^{-9})$ または $4 * 10^{-9}$ Amps 以上の近似値を得ることができません。 10^{-12} Amps のデフォルトの精度が使用された場合は、収束は達成されません。この例では、収束がこの最小値より、あるいは、およそ 10^{-6} Amps より、約 100 倍厳しい場合、実際には収束問題が発生します。

Cayenne は、この状態を発見し、時間ステップを増加させます。しかし、その大きな時間ステップは精度エラーを引き起こし、Cayenne はエラーを処理しません。この場合、選択がいくつかあります：

1. 現在の許容値を増加させます。それを大きな値に増加させることによりエラーが防止でき、Cayenne は、従来の SPICE と同様な答えを出します。
2. 最小および最大時間ステップの値を増加させます。時間ステップの値を少しでも増加させると、電流精度がそれに応じて増加することが上述の式から分かります。
3. 時間ステップ法を固定に変更します（常に最大ステップを使用することになります）。出力用に非常に小さな時間ステップを無理に実行すると、シミュレータはさらに小さなステップを実行することが不適当な場合があります。上記の例では、10 ps つまり 100 GHz のサンプリング速度の出力を要求した可能性もあります。デフォルトを使用すると、シミュレータは 0.1 p 毎、つまり 10 THz のサンプリング速度の小さなステップを実行するでしょう。それは多くの場合過度です。
4. キャパシタまたはインダクタの値を低減します。上記の例では、GHz から THz の速度でサンプリングしています。10 マイクロファラドのキャパシタを 10 ナノファラドまで減少させることは多くの場合は効果はあまりありません。

SPICE は、直接電流のエラーを追跡しません。また、電流が合理的な許容値内にはない場合にはユーザに警告しないことに注意してください。この問題に関するより詳細については、Ken Kundert の著書である (Kluwer Academic Publishers 発行)、「SPICE と Spectre のデザイナーズ ガイド(The Designer's Guide to SPICE and Spectre)」を参照してください。

周波数依存モデル

周波数依存モデルは、全タイム ドメイン シミュレータに障害を引き起こす場合があります。従来の SPICE シミュレーションは、周波数依存を使用することはできません。SPICE 後のバージョンおよび派生モデルでは、有理多項式によって定義された s-ドメインデバイスをシミュレーションする機能が追加されました。これらのモデルは、フィルタあるいは一次周波数ロールオフ効果のような単純構造に向いている一方、それらは、分散的で連結された伝送線路、測定された s-パラメータデータ、および周波数依存の損失や表皮効果を持った理想要素の測定など、RF およびマイクロ波シミュレーションに通常ある、はるかにより複雑なモデルにはほとんど役に立ちません。

シミュレーション

CAYENNE がタイム ドメイン シミュレータであっても、それには周波数依存モデルのシミュレーションのための様々なストラテジがあります。2 つの基本的方法はおよそのモデルとコンボルーションです。CAYENNE が各要素のセットアップに使用するプロセスは、以下の通りです：

1. モデルが非線形、周波数依存、またはタイム依存か決定します。
 - a. 周波数依存モデルには以下が含まれます：
 - i. それらのパラメータを定義する式で `FREQ` 変数を使用するモデル。
 - ii. 伝送線路、および `INDQ/CAPQ` (周波数依存の `Q` を持つ、インダクタおよびキャパシタ) のように定義の中で周波数を使用する内部モデル。
 - iii. 集合モデル、あるいは上記のいずれかが含まれているユーザモデル。
 - iv. `IAC` や `PAC` のような周波数ドメイン電源は、周波数依存モデルとは見なされません。これらの電源は、すべて `like v=sin(wt)` のように直線的でありまた簡単なタイムドメインの式です。
 - v. 理想インダクタおよびキャパシタのような電荷依存要素は、周波数依存とは見なされません。CAYENNE は、直接、形式 $(R+jwX)$ のインピーダンスまたはアドミタンスを持つモデルをシミュレートすることができます。ここで、`R` と `X` は定数であり、`w` は周波数です。
 - b. タイム依存モデルには以下が含まれます：
 - i. それらのパラメータを定義する式で `TIME` 変数を使用するモデル。
 - ii. それらの定義の中でタイム (あるいは遅延) を使用する内部モデル。現在、このカテゴリのただ 1 つのモデルは非線形のトランジスタあるいは遅延が含まれている Verilog-A のモデルだけです。
 - iii. 集合モデル、あるいは上記のいずれかが含まれているユーザモデル。
 - iv. `IPWL` や `VPULSE` のようなタイムドメイン電源は、タイム依存モデルとは見なされません。これらの電源は、すべてフーリエ変換を使う直線的でありまた簡単な周波数ドメインの式です。

- c. 非線形モデルには、ダイオードおよび非線形のトランジスタのような要素が含まれています (gummel-poon、BSIM など)。
 2. モデルが周波数依存であるが、非線形またはタイム依存の場合は、CAYENNE は警告を与えて周波数依存を無視します。
 3. あるいは、モデルが周波数依存の場合、CAYENNE は [精度確認 (Accuracy Testing)] セクションの [コンボルーション(Convolution)] タブで設定されたレスポンスをチェックします。デフォルトでは、これには 2 つ役割があります：
 - a. 周波数依存だけが損失に起因しており、そしてその [常に一定の損失を使用 (Always Use Constant Loss)] ボックスにチェックが入っている場合は、CAYENNE は、[最も正確な周波数 (Most Accurate Frequency)] (全般タブで指定) でインピーダンスかアドミタンスを使用し、その要素へのすべてのマトリックス エントリのための形式 $(R + jwX)$ の式を計算します。これにより、INDQ、および CAPQ (さらに RLOSS または GLOSS のモデルに基づく WIRE のようなすべての要素) のような要素は、コンボルーションを回避することが可能になります。
 - b. あるいは、要素のレスポンスは、精度確認セクションの中で指定される一連の周波数で計算されます (DC からデフォルトによる [最も正確な周波数 (Most Accurate Frequency)] の 2 倍までの 11 点)。任意のマトリックス エントリの形式 $(R + jwX)$ の式のインピーダンスあるいはアドミタンスに対する R と X 値が、許容値 (デフォルトで 0.01[1%]) を越えて変わるとコンボルーションが使用されます。あるいは、近似精度は許容されます。また、[最も正確な周波数 (Most Accurate Frequency)] の $(R + jwX)$ 式も使用されます。周波数があまり変化しない場合、この近似値は、測定された s-パラメータ データにも使用することができることに注意してください。さらに、伝送ラインのレスポンスはこの形式 (周期的) ではなく、常にコンボルーションを使用しなければならないことに注意します。
4. 要素がコンボルーションを使用する必要がある場合、コンボルーションタブの [インパルス応答 (Impulse Response)] セクションの設定が使用されます。
 - a. 独立インパルス応答は、要素への各マトリックス エントリ用に作成されます。2 つのノード要素は、一般に 4 つのエントリになります。
 - b. 各エントリの点の最小数が最初に (デフォルトで 128) 試みられます。

- c. 周波数ドメイン レスポンスは、DC から最高周波数まで計算されます。
- d. データの逆 FFT は、インパルス応答を得るために得られます。
- e. インパルス応答の後半のエントリが、コンボリューションの絶対トランケーションより大きい場合、または、コンボリューション相対トランケーションとコンボリューションレスポンスの最大エントリの掛け合わせより大きい場合は、精度は、不十分であると見なされ、点の数は 2 倍になり（最大まで）、ステップ C に戻ります。
- f. コンボリューション レスポンスはステップ E からの同じ基準によってトランケーションされます。簡単な伝送ラインでは、これは、多くの場合、遅延を持つ 1 点の コンボリューション エントリという結果になります。
- g. [インパルス応答を保存 (Save Impulse Responses)] がチェックされている場合は、`h_modelname_row_column_numpoints` 名でインパルス応答はデータセットに保存されます。

[精度確認 (Accuracy Testing)] および [最も正確な周波数 (Most Accurate Frequency)] の設定は、CAYENNE の非常に重要かつユニークな機能です。これらの機能により、ユーザは精度とシミュレーション時間の間でトレードオフが可能になります。一方、デフォルト設定では、一般に受け入れ可能な精度となり、コンボリューション ベースのシミュレータに関する多くの障害を避けることができます。一般的には、以下を実行しなければなりません：

- [最も正確な周波数 (Most Accurate Frequency)] を、期待発振周波数のように回路に最も必要な周波数に設定します。モデル誤差は、他の周波数では 1% (デフォルト) に制限されることに注意してください。
- [常に一定の損失を使用 (Always Use Constant Loss)] (周波数依存の損失ではない (Not Frequency Dependent Losses)) をオンにします。この設定では、因果とはならない INDQ および CAPQ 用にほぼ合うモデルを使用します。さもなければ、コンボリューション シミュレータに対する大きな問題の要素となります。これらの要素では、[最も正確な周波数 (Most Accurate Frequency)] で計算されるような損失抵抗 (あるいはアドミタンス) は、タイムドメインシミュレーションに使用されます。フィルタを設計する場合は、例えば、[最も正確な周波数 (Most Accurate Frequency)] を、中心周波数 (バンドパス用) や臨界周波数 (ローパスまたはハイパス用) に設定しなければなりません。レスポンスは近似値によりほとんど変化しません。

- コンボルーション用に、[最高周波数 (Maximum Frequency)] を注意深く設定してください。最長の伝送ラインの遅延を捉えられるように低くしなければなりません。また、時間ステップ エラーを避けるように高くしなければなりません：
 - $1/\text{遅延} < \text{MaxFreq} < \text{MinNumOfPoints}/\text{遅延}$ 。
 - レスポンスに予期しない発振あるいはノイズがある場合は、 $\text{MaxFreq} > 0.1/\text{MaxTimeStep}$ を設定します。
 - 例えば、0.5 ns 遅延の伝送ラインの場合は、10 ps の分解能 (時間ステップ) が必要になり、最高周波数を以下の範囲内で設定しなければなりません： $1/0.5 \text{ ns} < \text{MaxFreq} < 128/0.1 \text{ ns}$ (2 GHz と 256 GHz の間)、0.1/10 ps 以上 (10 GHz 以上)。以下の経験則が一般にうまくいきます：この例では、20 GHz である 10/遅延 を使います。
 - コンボルーションの最高周波数は、一般的にはあまり感度がよくありません。例えば、最も重要なことは、回路が 10 MHz あるいは 20 MHz の範囲で作動している場合、100 GHz に設定されないことを確認する必要があります。

収束基準

CAYENNE には、3 つの収束基準があり、[全般 (General)] タブにすべてあります：電圧、電流、および相対 (これを VoltTol、CurrentTol および RelTol と呼びます。さらに、それは電圧誤差に使用されるので、CurrentTol は AbsTol と呼ばれる場合もあります)。各時間点では、以下のステップが収束が到達したかどうかを判断するために使用されます：

1. 各ノードタイプの最大コントリビューションを見つけます。標準ノードでは、これはノードに入る単一要素からの最大電流です。ブランチ電流では、これは最高電圧です。温度ノード (LDMOS モデルのように) では、これは最大電力です。
2. 次に、各ノードタイプの誤差が計算されます。カーカフの原理では、これはゼロでなければなりません。この誤差は、以下の 与えられる式未満でなければなりません：
 - a. 電圧ノードの電流誤差： $\text{CurrentTol} + \text{RelTol} * \text{MaxCurrent}$
 - b. ブランチ電流の電圧誤差： $\text{CurrentTol} + \text{RelTol} * \text{MaxVoltage}$
 - c. 温度ノードの電力誤差： $1e-5 + \text{RelTol} * \text{MaxPower}$
 - d. Verilog-A で定義された他のノードタイプ：Verilog-A 電源で指定された許容値内。

シミュレーション

これらの許容値が、すべてのノードで適合しない場合は、回路は収束せず、反復は継続します。また、たとえ基準が満たされても、あらゆるノードの解の値が ($\text{VoltTol} + \text{RelTol} * \text{値}$) 以上変化した場合は、著しい改善がまだ継続されているので、反復は継続します。

収束が達成された後、上述のシミュレーション 時間ステップで定義された基準を使用して、解は精度に対してテストされます。

インテグレータと予測値

[積分/時間ステップ (Integration/Time Step)] タブは、インテグレータのオペレーション、時間ステップ コントロール、および予測値 をコントロールします。インテグレータは、コンボリューションを使用しないすべての電荷をベースにした要素に使用されます。デフォルトによって、設定はインテグレータでは [台形 (trapezoidal)]、予測値では第3次 [ギヤ (Gear)] になります。

一般に、RF & マイクロウェーブ回路はデフォルト設定を使用すると問題なくシミュレーションします。シミュレーションに問題があった場合は、時間ステップおよびコンボリューション設定の調節後に、インテグレータを変更することになります。インテグレータを変更した場合は、インテグレータの少なくとも1つ上の次数に予測値が設定されていることを確認しなければなりません。予測値を [自動 (Auto)] に設定すれば、ギヤおよびインテグレータの少なくとも1つ上の次数に自動的に設定されます。

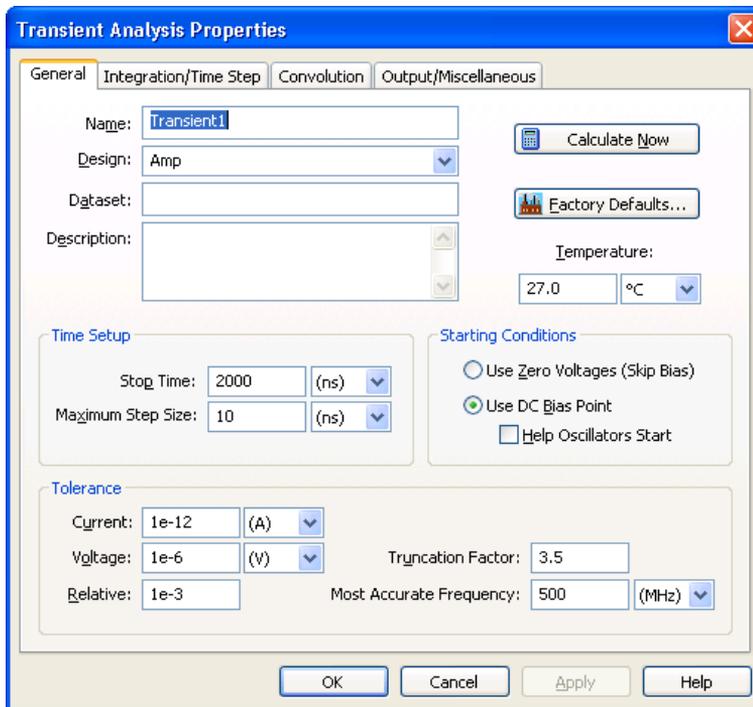
一般に、高次インテグレータを使用すると、CAYENNE はより大きな時間ステップを取ることが可能になり、シミュレーションが促進されます。但し、高次インテグレータは、安定性が無く、不正な発振を引き起こす場合があります。一般的には時間とともに指数関数的に大きくなります。非常に長いシミュレーションを作った場合は、最初に試験的実行をしてシミュレーションが不安定ではないことを確認して、インテグレータの次数を上げることもできます。

各時間ステップで解く場合、CAYENNE は最初の予測をその時間ステップの解に使用することになります。予測値がオフの場合、最初の予測は、単に前時間ステップの解になります。予測値がオンの場合、 n 次数多項式近似値は、前の点 (一般にギヤ インテグレータを使用) に合致します。また、新規の時間点の予測値は、最初の解として使用されます。一般的に、予測値を使用すると迅速にシミュレーションができます。但し、いくつかの著しい非線形の回路では、予測値は事実上収束を妨げることがあります。このような状況が検出されると、CAYENNE は自動的に予測値をオフにする場合があります。

まとめ：

- シミュレーション問題を解決する最後の手段としてのみインテグレータの設定を変更します。第 2 次ギヤ統合に変わることにより解決できる問題の 1 つは、高周波をリングングすることです。
- 非常に長いシミュレーションを実行する場合は、より高次統合（6 番目の次数ギヤまで）、[自動 (Auto)] に設定された予測値、および予測値をオンとオフにしたまま 1 部を実行してみます。次に、最良の設定を使用し、正確さを維持しながら、シミュレーションを迅速に実行します。

Cayenne オプション



時間の設定 (Time Setup)

シミュレーションは、常に 0 秒から開始します。停止時間は、シミュレーションする時間を指示します。[最大ステップ サイズ (maximum step size)] は、シミュレータに出力波形を計算する最小のサンプリング速度を指示します。シミュレータは、[積分/時間ステップ (Integration/Time Step)] タブの設定により、より高いサンプリング速度でサンプルを計算する場合があります。

開始条件 (Starting Conditions)

[ゼロボルトを使用 (Use Zero Voltages)] ([スキップバイアス (Skip Bias)]) では、回路のすべてのノードで 0 ボルトの初期条件の設定ができ、それによりターンオンをシミュレーションすることができるようになります。[DC バイアス点 (Use DC Bias Point)] は、0 時間で直流解析を実行し、回路の初期電圧を決定します。オシレータ開始のオプションでは、わずかに初期電圧をランダム化します。これは、オシレータの発振は、スタートアップ トランジェントに依存するため、オシレータを解析する場合大抵必要になります。

許容値 (Tolerance)

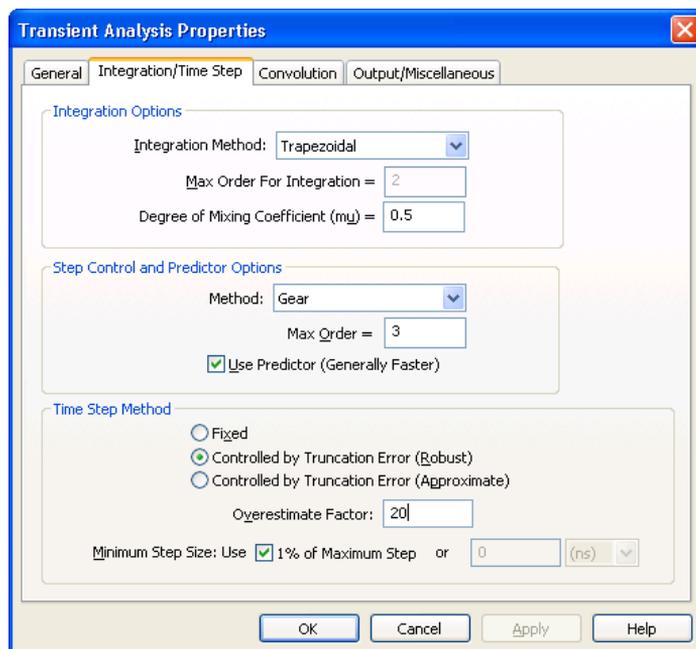
電流と電圧許容値は、回路式を解くために使用される反復的アルゴリズムが終了できる精度をシミュレータに指示します。

最も正確な周波数 (Most Accurate Frequency)

周波数に依存しないモデル 精度の受け入れを CAYENNE が決定すると、すべてのモデルにこの周波数が適用され、他の場合でも適用されます。[コンボリューション (Convolution)] タブの [精度確認 (Accuracy Testing)] セクションは精度要件を設定します。

今すぐ計算 (Calculate Now)

これをクリックすると、CAYENNE は再計算を優先します (モデルをデキャッシュします)。



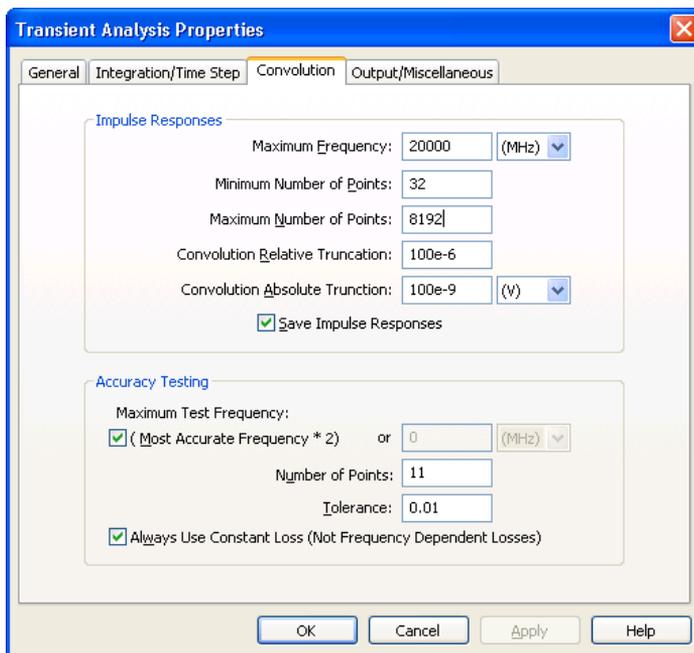
積分オプション (Integration Options)

積分メソッドは、どのメソッドを数値積分に使用するかシミュレータに指示します。利用可能なオプションは、[台形 (Trapezoidal)] と [ギヤ (Gear)] です。

[**積分用最大次数 (Max Order for Integration)**] は、どの次数をギヤ積分用数値積分に使用するべきかをシミュレータに指示します。2 ~ 6 の次数がサポートされます。

[**ステップ コントロール (Step Control)**] は、時間ステップが減少する必要があるかどうか判断する予測値 を計算するために使用されます。[使用予測値 (Use Predictor)] が選択されている場合、これらの予測値も最初の予測として次のシミュレーションの時間点に使用されます。[使用予測値 (Use Predictor)] が選択されていない場合、前時間ステップからの値が最初の予測値として使用されます。

時間ステップ メソッド (Time Step Methods) : [固定 (Fixed)] ステップ モードは、最大ステップ サイズを常に使用することをシミュレータに指示します。[ロバスト (Robust)] なモードは、予測値と実効値の高度なテストを使用し、時間ステップを減少させる必要があるかを決定します。[トランケーション要因 (Truncation Factor)] および [相対許容値 (Relative Tolerance)] (全般タブ上の) は 掛け合わされ、受け入れ可能な誤差を決定します。エラーが大きすぎる場合、解点は廃棄され、前の解のより小さなステップが使用されます。[近似 (Approximate)] モードでは、精度が受け入れ可能でない場合、次回、ステップが減少します (解は決して廃棄されません) 。

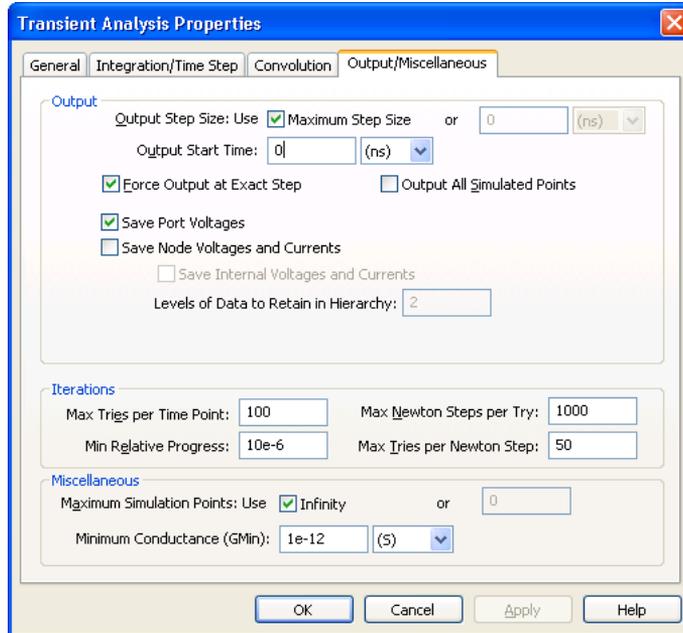


[インパルス応答 (Impulse Responses)] は、周波数ドメイン モデルのみが可能な場合に、結果を計算するために使用されます。コンボルーション（伝送ラインのような）を必要とするすべてのデバイスは少なくとも 2 波長であり、最高周波数はその周波数のところで一致しなければなりません。FFT は、DC から最高周波数までの一定のステップを使用して行なわれます。最初に、最小点数が使用されます。解の品質が十分ではない場合、点数は 2 倍になり、指定最大値になります。トランケーションの値は、解が受け入れ可能かどうかを判断するために使用されます。FFT インパルス波形の後半に、電圧レベルが絶対トランケーションの値を超えており、（常に最大値と比較して）相対トランケーションより比較的大きい場合、その解は受け入れ可能ではありません。

[インパルス レスポンスを保存 (Save Impulse Responses)] がチェックされている場合は、コンボルーション ベースの全要素のインパルスレスポンスは、H から始まる文字で、データセットに保存されます。

[精度確認 (Accuracy Testing)] は、コンボルーションが必要かどうか判断するために使用されます。すべての線形要素は、指定された点の規定数を使用して、すべての指定されたバンドでサンプリングされます。要素の抵抗およびキャパシタンス（あるいはインダクタンス）が許容値以上であり周波数帯で変わらない場合、[最も正確な周波数 (Most Accurate Frequency)] ([全般 (General)] タブ) の値がすべての周波数に使用されます。変化が許容値（上述のように通常 1%）より大きい場合は、すべてのコンボルーションはその要素に使用されます。

損失抵抗は多くの場合 DC でゼロであるので、この精度試験は一般に損失抵抗では予測通りに機能しません。より高い周波数と比較された場合は、100% の誤差になります。このボックスがチェックされると、RLOSS と GLOSS のモデルは、代りに不変抵抗／アドミタンス モードに変わります。不変抵抗／アドミタンス ([最も正確な周波数 (Most Accurate Frequency)] で計算された) が代わりに使用されます。ほとんどの損失のある GENESYS 内蔵モデルは (Q のある、マイクロストリップ ピアホールおよびインダクタ／キャパシタのような)、RLOSS モデルを内部に使用し、この機能を利用します。



出力 (Output)

出力ステップ サイズは、データセットへの最小ステップ出力です。[出力スタート時間 (Output Start Time)] がゼロでない場合、その時間点が到達するまでデータは保存されません。(シミュレーションは、常に時間ゼロで開始します)。[正確なステップで出力を強制 (Force Output at Exact Step)] は予測値 (一般的に第3次ギヤ) を使い、シミュレーションされた点を変更します。それによって出力波形は時間内 (出力波形についての FFT 解析を実行するために必要) に一様にサンプリングされることをチェックします。[すべてのシミュレーションされた点を出力 (Output All Simulated Points)] では、シミュレータが計算したすべての点を出力します。それによって多くの場合 10 倍データを多く出力することができます。より詳細については [シミュレーション時間ステップ (Simulation Time Steps)] セクションを参照してください。

[ポート電圧の保存 (Save Port Voltages)] が選択されている場合、VPORT 配列は各ポートの電圧で作成されます。この機能は、標準およびディファレンシャルポートで機能します。

[ノード電圧および電流の保存 (Save Node Voltages and Currents)] が選択されている場合、ノード電圧および電流はすべてこれらの制限に従って保存されます：[ノード電圧および電流の保存 (Save Node Voltages and Currents)] が選択されていない場合、内部ノード (例えばトランジスタ内部) は保存されません。[データ レベル (Levels of Data)] は、値を保存する階層 (マスター レベルを数える) を指定します。

シミュレーション

[反復 (Iterations)] は、ソルバの詳細な特性をセット アップします。それは通常変更しないでください。

ミソレニアス (Miscellaneous)

[最大シミュレーション点 (Maximum Simulation Points)] は自動実行あるいは最適化の最中は有用です。不適正な値ではシミュレータはステップ サイズを極めて小さくできなく、時間がかかり過ぎることに注意してください。これは出力点ではなく、シミュレーション点に対する制限であることに注意してください。

[最小コンダクタンス (Minimum Conductance)] は、各ノードからグラウンドに加えられ、シミュレータ内の収束やマトリクス安定性の一助になります。上記の例では、1 テラオーム (teraohm) 抵抗が各ノードからグラウンドに加えられます。

第4章： HARBEC（ハーモニック バランス解析）

HB（ハーモニック バランス）解析

ハーモニック バランスの概要

HARBEC ハーモニック バランス シミュレータは、非線形回路の定常特性をシミュレーションします。単一の CW トーン、パルス波、あるいはデュアル トーンなど、様々な周期信号（電圧、電流および電力）で回路をシミュレーションすることができます。様々な周期信号を組み合わせることにより複雑な波形を構築することができます；HARBEC はカスタム電圧および電流電源によって実行します。ハーモニック バランスを使用するには次の 2 つの前提があります；1) 回路信号はスペクトラム トーンの有限数を使用して正確にモデル化することができます。また、2) 回路には定常状態の解があります。

HARBEC は、周波数ドメインでカーカフの電流の原理を解くことにより機能します。HARBEC は、デザインされたネットワークに励振電源を適用します。その後、回路の各ノードおよび各周波数で電流がゼロ となる 1 セットのスペクトラムの電圧を検索します。電流の和がユーザ指定水準未満になるまで、様々な方法によって電圧レベル（各ノードの電圧のスペクトラム）を調節します（「リファレンスマニュアル」の [ハーモニック バランス (Harmonic Balance)] ダイアログ ボックスの [絶対誤差 (Absolute Error)] および [相対誤差 (Relative Error)] を参照）。この検索プロセスは、[収束 (convergence)] として知られています。検索ステップにかかる時間は、周波数と非線形のノード数の積の 3 乗におよそ等しくなります。したがって、回路の周波数を 2 倍にすれば、解はおよそ 8 倍になります。但し、これは概算です。収束プロセスは複雑であり、予測は困難です。

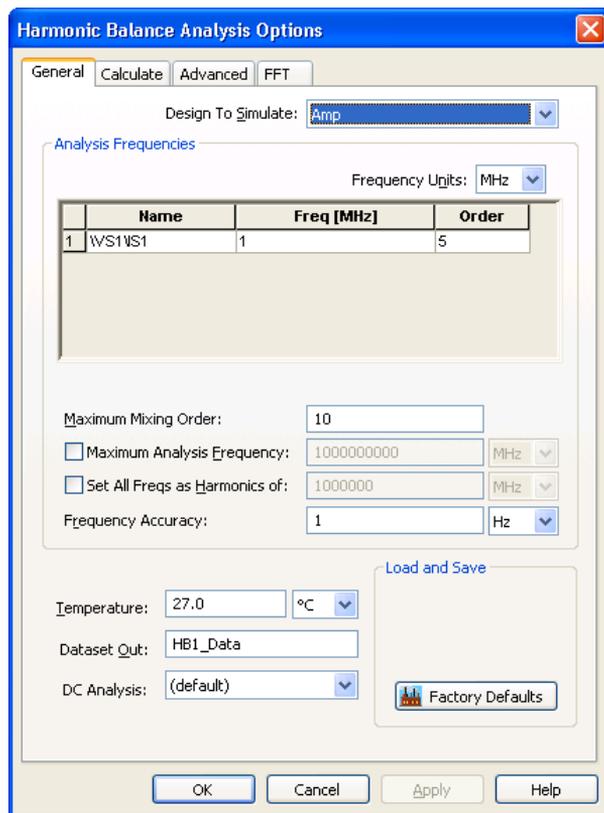
基本水準では、ハーモニック バランスは、非線形微分方程式の同時セットを解きます。数学的なアプローチによって、その問題の解を見つけることは不可能です。最も有効であり、またロバストなストラテジを開発するために、数年間の作業が HARBEC に費やされました。

ハーモニック バランスシミュレーションを加えるには以下のようにします：

1. [ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] で、[ニュー アイテム (New Item)] ボタンをクリックし、解析サブメニューで [ハーモニック バランス の追加 (Add Harmonic Balance Analysis)] を選択します。
2. [HARBEC オプション (HARBEC Options)] ダイアログ ボックスを完了します。詳細は、参照マニュアルを参照してください。

HARBEC オプション

ハーモニック バランス プロパティを編集するには、ワークスペース ウィンドウで、[ハーモニック バランス の解析 (Harmonic Balance Analysis)] をダブルクリック、または [解析 (analysis)] をクリックします。次に、[プロパティ (Properties)] をクリックします。



全般タブ

シミュレーションのデザイン (Design To Simulate) - 解析するスキーマティックか EMPOWER 電磁界シミュレーションを定義します。EMPOWER シミュレーションを選択すると、電磁界結果はレイアウトに関連した回路要素で共同シミュレーションされます。

注： EM シミュレーションを選択すると、[スキーマティックからポートを使用 (Use Ports from Schematic)] オプションを、[EMPOWER プロパティ (EMPOWER Properties)] ダイアログで適切にチェックすることが非常に重要になります。

周波数テーブルと次数管理

名前 (Name) - スケマティックの電源の指定。GENESYS はすべての電源の指定されたデザインを検索し、テーブルにそれらを配置します。

周波数 (Freq) - 電源で指定された周波数。GENESYS は、スケマティックから周波数の読み値を入力します。

次数 (Order) - 解析されるハーモニックの数。ハーモニックの数が大きいほど、波形は正確に表わされます。但し、解を見つける時間の長さは周波数の 3 乗で増加します。次数は、各ブランチ電流の多くのエネルギーをモデル化することができる大きさに常に設定しなければなりません。軽度な非線形回路の通常の数値は 4-5 です。深い圧縮の回路では (方形波で表示)、次数は必要な精度を達成するには、8-16 でなければなりません。

最大ミキシング次数 (Maximum Mixing Order) - シミュレートされる信号の最大ミキシング次数を指定します。この例では、4 番目の次数の積はすべて計算されます。例えば、 $1900*2 - 1905*1 - 1800*1$ (95 MHz) は - ミキサ 3 次インターモジュレーション項 - 4 次数項 (2+1+1) で計算されます。この項はミキシング項に影響するだけであり、周波数テーブルで指定された個々の電源の順序を無効にしません。

温度 (Temperature) - 非線形の解析を行なう摂氏温度。

最大解析周波数 (Maximum Analysis Frequency) - これ以上非線形の解析が実行されない周波数。チェックされない場合は、解析 (入力回数、ハーモニックの規定数、およびインターモード) での周波数点がすべて使用されます。

計算 (Calculation)

自動再計算 (Automatic Recalculation) - このボックスにチェックすると、デザインに変更がある時は、ハーモニック バランス シミュレーションが常に実行されます。ボックスがチェックされない場合、シミュレーション アイコンを右クリックし、[今すぐ再計算 (Recalculate Now)] を選択するか、メイン ツールバーの再計算 (計算機) ボタンをクリックすると、シミュレーションは手動で実行されます。

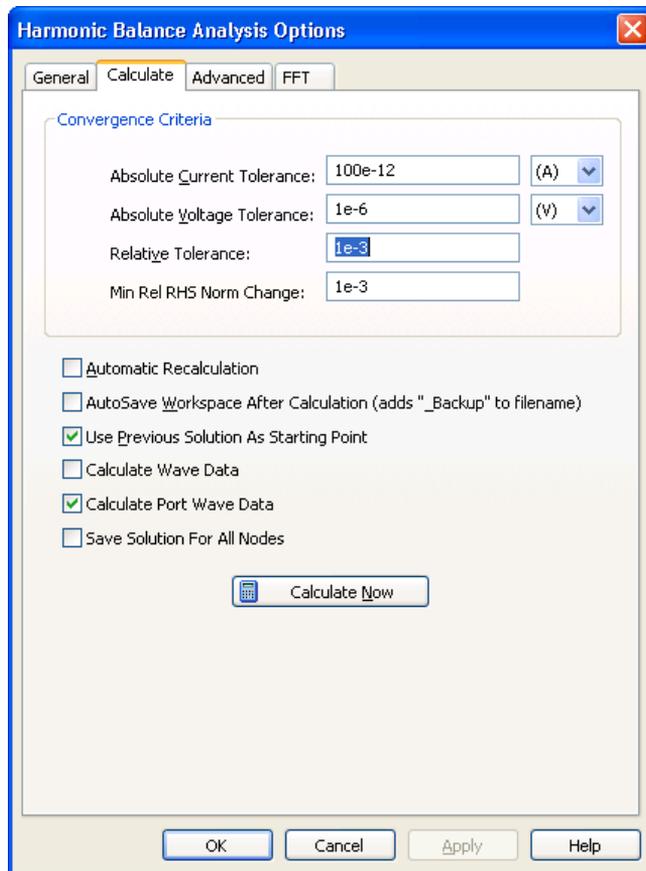
計算後ワークスペースの自動保存 (Auto-save Workspace After Calculation) - このボックスにチェックを入れると、シミュレーションの完了後 GENESYS は、現在のワークスペースを保存することができます。これは、長期のシミュレーション、あるいは終夜実行されるシミュレーションでは特に役に立ちます。最適化する場合にこのボックスがチェックされていると、ファイルは各最適化ステップ後に保存されます。

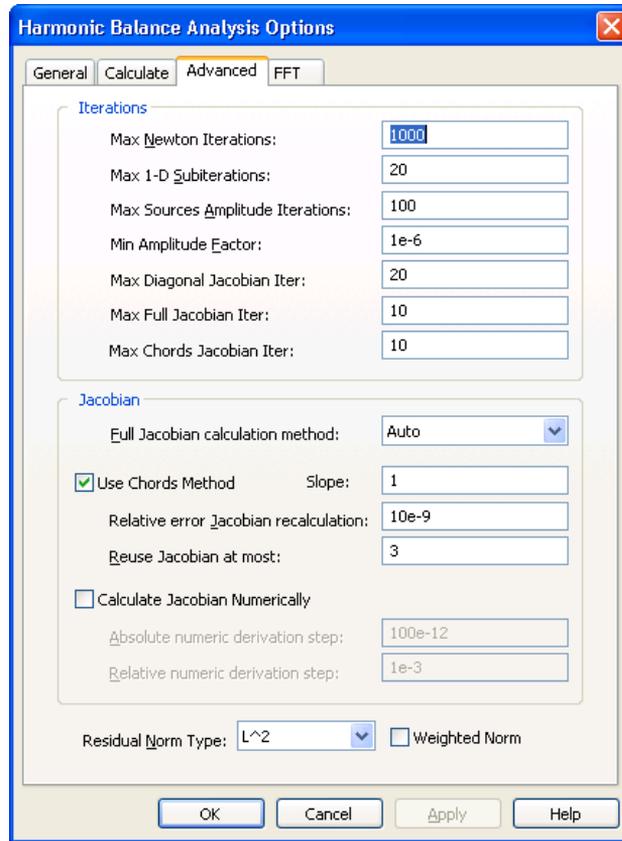
シミュレーション

今すぐ計算 (Calculate Now) - ダイアログを無効にして、シミュレータを開始します。モデル キャッシュはすべて削除されます。

OK - ダイアログを無効にします。自動再計算がオンで、シミュレーションを必要とする場合は、ボックスを無効にするとシミュレータが実行されます。

キャンセル (Cancel) - ダイアログを無効にすると、変更をキャンセルできます。





高度なタブ (Advanced Tab)

収束パラメータ

収束プロセス、および以下に述べるパラメータの使用に関する詳細については、ユーザマニュアルの [シミュレーション機能の最適化 (Optimizing Simulation Performance)] を参照してください。

相対許容値 (Relative Tolerance) - ハーモニック バランスの収束を達成するために、ノード電流の和がゼロにならない相対精度。すべての周波数およびノードでは、(指定ノード電流への電流のベクトルの和と、そのノードへ入る電流の大きさの和の) 比が、指定された相対許容値未満の場合にシミュレータは収束します。

絶対許容値 (Relative Tolerance) - ハーモニック バランスの収束を達成するために、ノード電流の和がゼロにならない絶対精度。全ての周波数ですべてのノードを入力する電流のベクトルの和の大きさが、指定された絶対許容値未満の場合、シミュレータは収束します。

最大振幅のステップ (Maximum Amplitude Step) - シミュレータが、解の検索中に独立電源の振幅を増加させる最大量。通常は、100% に設定します。より小さく設定すると回路収束の速度を改善できる場合があります。

最小振幅のステップ (Minimum Amplitude Step) - シミュレータが別のアプローチを試みたり、終了する前に、独立電源の振幅を増加させる最小量。

周波数分解能 (Frequency Resolution) - シミュレータが周波数項をマージする前の周波数最小差 2 つの計算された周波数の差が（通常は混合周波数項）、周波数分解能未満ならば、それらはシミュレーションの単一周波数項と見なされます。

ヤコビ行列式再使用の最大値 (Maximum Number of Jacobian Reuse) - 他のヤコビ行列式を計算する前に、ヤコビ行列を使用する最大回数。HARBEK は、数値手法を使用し関数行列式を計算するため、他のハーモニック バランスのインプリメンテーションより多くの回数を再使用できることに注目してください。

完全ヤコビ行列式 (Full Jacobian) - 完全ヤコビ行列式かファーストニュートンの検索ステップを収束中に使用するかどうかをコントロールします。[自動 (automatic)]、[使用しない (never)]、あるいは [常に使用 (always)] を選択します。

開始点として前の解を使用 (Use Previous Solution As Starting Point) - 通常チェックされています。このオプションは前のノード電圧のセットを使用し、収束プロセスを開始します。変更された（あるいはスイープされた）パラメータが比較的小さい場合、前の解から開始すると収束を劇的に促進することができます。変更されたパラメータが大きい場合、白紙の状態から開始した方が良い場合があります。回路によっては、常に前の解から収束するより、白紙の状態から開始した方が迅速に収束する場合があります

FFT

Force 1-D FFT - シミュレータは、多次元の FFT を使用し、周波数スペクトルを時間波形に通常変換します（および戻す）。周波数が等間隔の場合（大きな共通因子持つ）、一次元の FFT を使用する方が速い場合もあります。収束が影響される場合もあります。

疑似ハーモニック FFT 計算の許可 (Allow pseudo-harmonic FFT calculation) - 疑似周期信号を、人為的に周期信号に変更します。これにより、マルチトーン解析の計算速度が増加します。この 1 としては、多くのハーモニックによるノイズ解析があります。

2 進法 FFT 以外を許可 (Allow non-binary FFT) - 2^n 以外の指数を持つ FFT の使用を許可。n=1, 2, 3, ...これによりマルチトーン解析の FFT のポイント数の減少、計算速度の増加、および FFT 配列に必要なメモリを減少させることができます。

クルイローフ サブスペース法 (Krylov Subspace Method)

クルイローフ サブスペース法を使用 - このボックスを選択し、クルイローフの手法を使用します。大規模なハーモニック バランスの問題では、この手法は、収束に必要なメモリと時間を劇的に減らすことができます。

クルイローフの反復 (Krylov Iterations) - アボート前に、クルイローフシミュレータが試みる最大ステップ数。

反復の最大数 (Maximum Number of Iterations) - 回路の信号レベルを調節する前に、シミュレータが使用する最大収束ステップ数。

特別オプション (Special Options)

高度なシミュレータ コントロールに以下のパラメータのいずれかを登録します。複数のパラメータをスペースで区切り、ラインに追加することができます。

Gmin - 回路の各非線形ノードに追加されたコンダクタンスの値。デフォルトのシミュレータは、収束でアシストするために、1 ピコジーメンズ コンダクタンス (1 つのテラオーム抵抗) を、回路の各ノードに取り付けます。例えば、1 マイクロジーメンズに値を変更するには、Gmin=1e-6 を入力します。

HB_Oversampl - 非線形デバイスシミュレーション中に追加時間点が計算されるように因子を設定します。これは収束が改善されますが、さらに時間がかかります。要因は、1 以上に設定しなければなりません。標準値は 2-4 です。

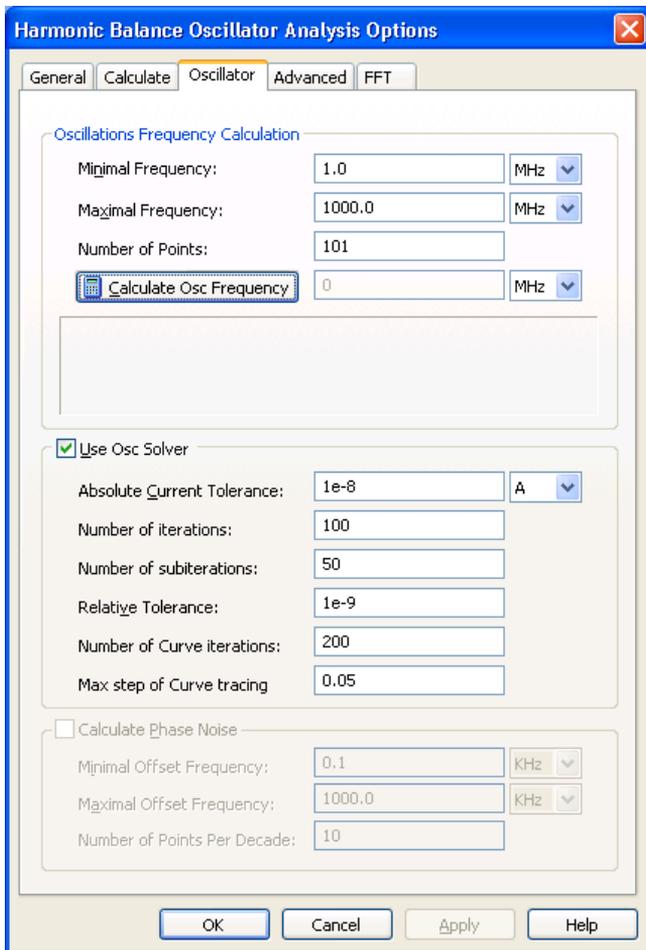
HB_NonBinaryFFT - 2 の指数ではない FFT が使用できます。マルチトーン問題に関しては、必要な FFT のサイズを大幅に低減させることができます。例えば、1 周波数当たり 4 つのハーモニックを持つ 5 つのトーン回路は、通常 1,024,768 点が必要です。しかし、このオプションをチェックすると、必要とするのは、ほんの 100,000 点です。この迅速化により、小さな回路では収束により時間が長くかかる場合があります。そのため、これはデフォルトで設定されていません。

HB_dfRelRec - 新規のヤコビ行列式が計算される前の必要なエラー関数の改善量。デフォルト値は、0.001 です。

シミュレーション

HB_dxRel - 数値導関数の計算に使用される相対ステップ サイズ。デフォルト値は、0.001 です。

HB_dxAbs - 公称パラメータ値がゼロの場合の、数値導関数を計算する場合に使用される絶対ステップ サイズ。デフォルト値は、1e-10 です。



オシレータ (Oscillator) タブ(ハーモニック バランス オシレータ解析でのみ)

初期周波数

初期オシレータポート周波数の検索 (Find Initial Oscillator Port Frequency) - 回路の非線形レスポンスの線形化 (周波数依存の Y マトリックス) を使用して、スキマティックのオシレータ ポートの発振周波数を計算し入力します。

最小検索周波数 (Minimum Search Frequency) - 発振周波数を検索する最小周波数。

最大検索周波数 (Maximum Search Frequency) - 発振周波数を検索する最大周波数。

点の数 (Number of Points) - 発振周波数を検索するために、直線的に間隔が置かれた上記の範囲の周波数。

ハーモニックバランスの計算オプション (Harmonic Balance Calculation Option)

オシレータ ソルバの使用 (Use Oscillator Solver) - 発振周波数の非線形の計算を行ない、その周波数を HARBEC シミュレーションに使用してください

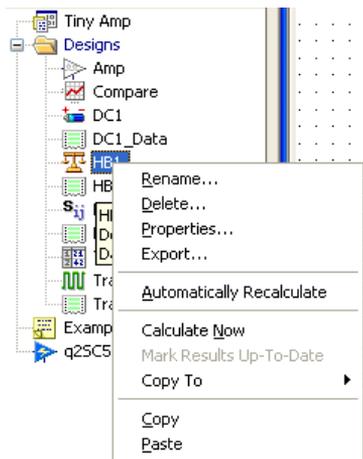
指定のオシレータ ポート周波数および振幅の使用 (Use Oscillator Port Frequency and Amplitude as Specified) - HARBEC シミュレーション用に計算が線形化された上記の「初期周波数」から計算した周波数と振幅を使用します。

オシレータ ポートの編集 (Edit Oscillator Port) - 手動でオシレータ ポートの周波数および振幅を編集します。

スペクトラムおよび波形グラフの表示 (Display Spectrum and Waveform Graphs) - HARBEC シミュレーションにより出力信号の周波数ドメインと時間ドメインが表示されます。

HARBEC ポップアップメニュー

[ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] の HARBEC シミュレーションアイコンを右クリックすると、以下のメニューが表示されます。



名前を変更 (Rename) - アイコン名の変更ができます。

シミュレーション

削除 (Delete) - システムからアイコンとその関連データを削除します。

プロパティ (Properties) - HARBEC オプション ダイアログ ボックスを開きます。

今すぐ計算 (Calculate Now) - シミュレーションを開始します。

自動再計算 (Automatically Recalculate) - デザインに変更するたびに、シミュレーションを開始するステータスのトグルをオン/オフします。

結果を最新にマーク (Mark results up-to-date) - シミュレーションのステータスを最新に変更します。シミュレーション結果に影響しないデザインに変更した場合、この機能を使用します（値を変更したり、戻したりする場合）。

収束問題を解く

シミュレータは、ユーザ指定精度に到達するまで、あるいはステップを検索する規定数まで解を検索します。収束問題に遭遇する場合があります。収束結果の改善に役立つステップをいくつか以下に説明します。以下の各パラメータは、ハーモニック バランス (HARBEC) オプション ダイアログ ボックスで変更されます：

1. 解析で使用される周波数（次数）の数を増加させてください。周波数が十分に使用されない場合は、データはサンプリング不足となり、正確に解を表わすことができません。例えば、3 つのハーモニックを持つ方形波のモデル化では、回路の多くのエネルギーが無効になり、たびたび収束問題が発生します。解析された周波数が増加すると、より正確に信号をモデル化します（より多くの時間が必要）。
2. ヤコビ行列式の計算に対しては、[常に使用 (always)] あるいは [使用しない (never)] を試してみます。ヤコビ行列式が計算された場合は、シミュレータはファースト ニュートン法とは異なる方向に検索します。ヤコビ行列式は適切な方向の場合もありますし、また不適切な方向の場合もあります。両方のアプローチを試みてください。
3. 収束問題がパラメータ スweep中に生じる場合は、より多くの点をスweepし、各シミュレーションが前に近くなるようにします。多くの場合これで合計時間がより少なくなります。あるいは、これが実際的ではなく、また見込みと違う場合は、[開始点として前の解を使用 (Use Previous Solution As Starting Point)] をオフにします。これにより、シミュレータは新規の各パラメータ値で開始することができます。
4. 絶対許容値および相対許容値の値を増加させます。これにより解を促進できますが、一方、特に低い信号レベルでは精度が低くなります。

シミュレーション機能の最適化

収束を見つけるための HARBEC のアプローチ方法には、いろいろ有効な方法やパラメータがあります。解析中の特定の回路にこれらのパラメータを適応させることにより、機能の速度が改善される場合があります。これらのパラメータがどのように機能するかを理解するためには、シミュレータがどのように検索するかについて少し理解を深めることが必要です。

シミュレータは、解を見つけるために、ニュートン・ラブソン検索を使用します。それは最初の予測から開始し、エラー関数を計算します。エラー関数の導関数は次の点を予測するために使用されます。ハーモニック バランスでは、偏導関数はすべてのノードおよびすべての周波数に存在します。偏導関数の完全行列はヤコビ行列式として知られています。

ヤコビ行列式の計算

完全ヤコビ行列式は、通常、次の点を決定する最も正確な方法です。但し、行列は非常に大きくなり、計算したりインバートするためには多くの時間が必要になります。シミュレータをより迅速にするために、HARBEC は、通常、最初にファースト ニュートン ステップを試みます。ファースト ニュートン ステップはヤコビ行列式 部分だけを計算し、それを使って次の点を計算します。多くの回路の場合、ファースト ニュートン ステップのみを使用することにより、すべての解を迅速に見つけることができます。

HARBEC のデフォルトの設定では、ファースト ニュートン および完全ヤコビ行列式ステップの使用が自動的に切り替わります。人工知能法は、どの手法をいつ使用するかを決定するために使用されます。通常、自動スイッチングは解を速く見つけます。但し、回路の中には、常にヤコビ行列式を使用した方がよい回路、またヤコビ行列式を使用しない方がよい回路もあります。HARBEC オプション ダイアログ ボックスでは、完全ヤコビ行列式の [自動 (automatic)]、[使用しない (never)]、あるいは [常に使用 (always)] を指定できます。様々な値での実験により、収束速度は改善する場合があります。

次数 vs 精度と時間

シミュレーションの機能に影響する最も簡単な方法は、シミュレーションで使用する周波数の次数を変更することです。基本信号のハーモニックの有限数、および ミキシング項の有限数を使用することによって、ハーモニック バランスは回路の信号をモデル化します。ハーモニックの数およびミキシング項が大きいほど、実際の信号の近似はよくなります。但し、周波数が大きくなると、シミュレータは機能する時間がかかります。検索ステップにかかる時間の長さは、周波数の 3 乗にほぼ比例します。したがって、周波数を 2 倍にすることは、シミュレートする時間が約 8 倍になることです。

シミュレーション

但し、信号を十分にモデル化するための周波数が存在しない場合は、結果は正確ではありません。さらに、回路のエネルギーが十分にモデル化されない場合は、シミュレータの収束は困難になる場合があります。

次数の選択におけるベストプラクティスは、各信号（通常、5 が推奨される点）のハーモニックの合理的な数から開始し、結果が変化しなくなるまで数を増加させます。[HARBEC オプション (HARBEC Options)] ダイアログ ボックスの、[次数 (Order)]、および [最大ミキシング次数 (Maximum Mixing Order)] は、項の数をコントロールします。このように、速度 vs 精度のトレードオフを作ることができます。

振幅のステップ

HARBEC は DC で回路を解析し収束の検索を開始します。これは、独立交流信号をすべてオフにしたままで行います。最初の予測として DC を使用し、信号を [最大振幅のステップ (Maximum Amplitude Step)] フル信号の比率にオンします。収束がこのステップで到達すると、別の等しいステップをとります。収束が到達しない場合は、ステップサイズを減少させて、より低い信号レベルで試みます。中には、100% ステップだけで収束する回路もあります。解を見つけるには、小さなステップを必要とする回路もあります。より小さなステップが要求された場合は、そのステップで開始した方が迅速な場合もあります。ステップ サイズが小さすぎる場合、シミュレータは、最終解を見つけるための中間のステップを計算して時間を浪費する場合があります。収束速度は、理想的なステップに [最大振幅のステップ (Maximum Amplitude Step)] 設定することにより改善される場合があります。

クルイローフ サブスペース反復

ヤコビ行列が非常に大きくなる場合、計算したり使用したりするのが非常に遅くなる場合があります。クルイローフ サブスペース反復では、劇的に行列サイズが低減され、このように、非常に大規模な回路の計算を促進することができます。しかしながら、一般的には、クルイローフは、完全ヤコビ行列式のステップより多くの収束問題が生じます。また、より小さな回路では、クルイローフは完全ヤコビ行列式のステップより遅い場合もあります。非常に大きな問題が生じた場合には、クルイローフを選択して、メモリ要件を軽減し、収束を促進してみてください。

Genesys 2004 (G4) と Genesys 2005 年 (G5) HB 解析値の比較

以下のセクションでは、HARBEC で使用できる様々な測定値について説明します。これらの測定値の多くは、Genesys 2005 およびそれ以降のバージョンで変更されているため、Genesys 2004 との比較になります。このセクションでは、G2004 の基本的な測定値を説明します。

1. Genesys 2004 HB - 解析の基本的な測定値

1.1) V<ノード>

回路ノード<ノード>電圧スペクトラム。例：「V1」

注：Genesys 2004.07 では、ポートに接続されたノード数は、ポート数と常に同じです（ノードに 1 つ以上のポートが接続されている場合は、その数はそれに接続されている最低ポート数と等しくなります）。Genesys2005 では、ポート電圧スペクトラムは HB 解析データセット変数配列 VPORT へ保存されるので、この基準は適用されません。

1.2) <電圧源名>

電圧源の電流スペクトラム。Genesys 2004.07 には電圧源として実行される少数のモデルがあり、式で使用される場合もあります：電流プローブ (CP)、シグナルグラウンド (SGND)、およびすべての電圧源。

1.3) FHB

HB 解周波数の配列。

(Genesys 2004.07 の以下の測定値は、HB オシレータの解析のみに使用されます)

1.4) FOOSC

小信号発振周波数のソートされた配列。1 つを超える要素がある場合は、HB オシレータ解析は、負の $\text{re}(Z_{osc}(f_{osc}))$ の最大絶対値を有し、第 1 の要素のみを使用します。

1.5) ZOSC

複素入力インピーダンス（発振基準）の周波数スイープデータの配列。

2. HB 解析に使用される Genesys 2004 関数

2.1) GET (文字列)

文字列変数 から測定値を取得。いくつかのテキストから測定値を構成するのに役立ちます。

例：

```
Function GetPortVoltageAtFreq(MeasContext,PortNumber,Freq)
return get (MeasContext+".rect[v"+PortNumber+""]@"+Freq)
```

この関数では、数値 PortNumber および Freq は文字列に変換され、その後連結されます。

ここで、関数を呼びます

```
Vout = GetPortVoltageAtFreq("Hb1.Scb1",2,100.1)
```

これは以下に等しくなります

```
Vout = Get("Hb1.Scb1.rect[V2]@100.1")
```

これは、周波数が 100.1MHz に等しい V2 のスペクトラム成分の複素振幅を返します。

2.2) GETVALUE (式、指数)

ポスト処理された式の値を計算して返します。指数は、2 次元データでは整数スカラー、n次元データ、n > 2 ではベクトルの場合もあります。

例：

```
GETVALUE(HB1.Scb1.dbm(P2),2)
```

デザイン Sch1 に対して計算され、HB1 解析から dBm で P2 スペクトラムの第 2 スペクトラム成分の値を返します；

```
GETVALUE(SweepHB1.Scb1.dbm(P2),2;1)
```

上述とほとんど同じですが、解析 HB1 に対して作成され、スイープ SweepHB1 の第 1 のポイントからのみです；

```
GETVALUE(SweepHB1.Scb1.dbm(P2),2)
```

これは、スイープの P2 スペクトラムの第 2 スペクトラム成分の値のベクトルを返します。

スカラー指数のための、同等である簡単な関数は以下の通りです：

```
.dbm(P2@#2)
```

または、これがデフォルト測定コンテキスト (DMC) で使用される場合 (dBm は電力スペクトラム用のデフォルト単位のため)、以下と同等になります：

```
P2@#2
```

注：測定コンテキスト (MC) は文字列「<解析>.<デザイン>」であり、例えば「HB1.Sch1」となります。

デフォルト測定コンテキストは、出力測定（グラフまたはテーブル）のプロパティ ウィンドウ、あるいは演算子を「使用」する式ブロックで定義されます。

```
using HB2.Scb1
Pfund=getvalueat(.dbm(P2),1959.5e6)
Pintermod=.dbm(P2@1958.5)
```

2.3) GETVALUEAT (式、指数)

指定の独立した値でポスト処理された式の値を返します。2次元データ (X vs.Y) のみで機能します。

注：独立データが周波数の場合は、Hz (MHz ではない) で使用され、MKS 単位と一致します (Hz は、MKS 単位ですが MHz は違います)。

例：

```
GETVALUEAT(Hb1.Scb1.rect[V2], 100.1e6)
```

スカラー指数のための、同等である簡単な関数は以下の通りです：

```
.rect(V2@100.1)
```

または、デフォルト測定コンテキストで使用される場合、以下の簡単な式を使います：

```
V2@100.1
```

次に、HB 解析のみに使用される Genesys 2004 の関数 (2.4 と 2.5) を少し説明します：

2.4) LargeSContext (OutPort,InPort,MeasContext,OutFreq,InFreq)

HB 解スペクトラム周波数において、2つの入出力ポートに対する大きな信号の S パラメータ (LS) の複素数値を計算します。

以下の例のように、デフォルト測定コンテキストでは、関数にいくつかの使用法があります：

```
MixerS(OutPort,InPort,OutFreq,InFreq) =
LargeSContext(OutPort,InPort,"",OutFreq,InFreq)

MixerSdb(OutPort,InPort,OutFreq,InFreq)=
db20(MixerS(OutPort,InPort,OutFreq,InFreq))

MixerSang(OutPort,InPort,OutFreq,InFreq)=
Ang(LargeSContext(OutPort,InPort,"",OutFreq,InFreq))

LargeS(OutPort,InPort)= LargeSContext(OutPort,InPort,"", "#1", "#1")

LargeSdb(OutPort,InPort) = db20(LargeS(OutPort,InPort))

LargeSang(OutPort,InPort) = ang(LargeS(OutPort,InPort))
```

2.5) Genesys 2004 オシレータ解析関数

$Ioscport(MeasContext) = GET(MeasContext + ".mag[in_oscport_1\#branch@\#1]")$

$Voscport(MeasContext) = GET(MeasContext + ".mag[voscport_1@\#1]")$

$FoscHB(MeasContext) = GET(MeasContext + ".mag[FHB@\#1]")$

$FHB@\#1$

大信号発振周波数、あるいは HB 解の第 1 ハーモニックの周波数。

$FOSC@\#0$

小信号発振周波数。

Genesys 2005 HARBEC データセット変数

Freq

HB 解周波数の配列 [nFout];

FreqID

HB 解周波数の ID の文字列配列 [nFout];

FreqIndexIM

指数ベクトル [nFin] の配列 [nFout] です。HB 解周波数の作成で各信号ソース周波数のハーモニック次数を定義します。

例えば、1 トーン HB 解析では、nFin=1 であり、配列の要素は、HB 周波数のハーモニック次数と等しいスカラーです：

Variable	MHz	FreqIndexIM[1]
Freq	0	0
FreqID	850	1
FreqIndexIM	1700	2
Gain = 7.663 = [db 10(hb_transgain(P1,P2,FreqIndexIM,[1],[1]))]	2550	3
GainV = -2.14212 + j1.11808 = [hb_transgain(VPORT[1],VPORT[2],FreqIndexIM,[1],[1])]	3400	4
P1 = [PPORT[1]]	4250	5
P2 = [PPORT[2]]		
Pout1 = -29.015 = [dbm(P2[2])]		
PPORT		
Time		
VPORT		
W_VPORT		
ZPORT		

図 1

1 トーン HB 解析用の FreqIndexIM 変数

2 トーン HB 解析では、FreqIndexIM は $size=nFin=2$ のベクトルの配列です :

Variable	MHz:	FreqIndexIM[1]	FreqIndexIM[2]
ConvLoss=3.997=[PrfdBm-Prf]	0	0	0
Freq	100	1	-1
FreqID	200	2	-2
FreqIndexIM	700	-2	3
P 1=[PPORT[1]]	800	-1	2
P2=[PPORT[2]]	900	0	1
P3=[PPORT[3]]	1000	1	0
Prf=-23.997=[hb_getspcomdbm(P3,FreqIndexIM,[1;-1])]	1100	2	-1
PPORT	1200	3	-2
Time	1700	-1	3
VPORT	1800	0	2
W_VPORT	1900	1	1
ZPORT	2000	2	0
	2100	3	-1
	2600	-1	4
	2700	0	3
	2800	1	2
	2900	2	1
	3000	3	0
	3100	4	-1
	3600	0	4
	3700	1	3
	3800	2	2
	3900	3	1
	4000	4	0
	4500	0	5
	4600	1	4
	4700	2	3
	4800	3	2
	4900	4	1
	5000	5	0

図 2

2 トーン HB 解析用の FreqIndexIM 変数

PPORT

- ポートインピーダンス消費電力のスペクトラムの配列 [nPorts] (単位: dBm) ;

VPORT

- ポート電圧のスペクトラムの配列 [nPorts] (単位: V) ;

ZPORT

- HB 解周波数ポート複素インピーダンスの配列 [nFout] (単位: Ohm) ;

次の変数は、HB 解のための計算波形を定義するチェックボックスを 1 つ設定した後にだけ、データセットに作成されます (HB 解析プロパティウィンドウの [計算 (Calculate)] タブを参照)。

時間

- 独立変数: HB 解のための波形を作成するための時間点の配列 [nTimePoints] (単位: s) ;

シミュレーション

W_VPORT

- ポート電圧波形 (解、時間ドメインへ変換) (単位: V) ;

次の変数は、[すべてのノード用に解を保存(Save solution for all nodes)] チェックボックスを設定した後にだけ、データセットに作成されます (HB 解析プロパティウィンドウの [計算 (Calculate)] タブで) 。

V<ノード_名前>

- ノードの電圧スペクトラム (単位: V) ;

W_I<ブランチ_名前>

- ブランチ電流スペクトラム (単位: A) ;

W_V<ノード_名前>

- ノードの電圧波 ([波データを計算 (Calculate Wave Data)] チェックボックスが設定されると作成されます) (単位: V) ;

W_I<ブランチ_名前>

- ブランチの電流波 ([波データを計算 (Calculate Wave Data)] チェックボックスが設定されると作成されます) (単位: A)

ハーモニック バランス解析関数

注: 解析スイープで解析関数を使用するには、解析データセットに直接定義しなければなりません。また、パラメータスイーププロパティダイアログウィンドウの、[スイープ時にすべての変数を反映 (Propagate All Variables When Sweeping)] チェックボックスを設定しなければなりません。

1] スペクトラムからスペクトラム成分を取得

```
hb_getspcomp(Spectr,FreqIndexIM,IndexS)
```

- スペクトラム *Spectr* から *IM* 指数 *IndexS* を持つスペクトラム成分の複素振幅を返します。

HB 解析データセット変数 *FreqIndexIM* は、相互変調 (IM) インデックスのテーブルです;

```
hb_getspcompdbm(Spectr,FreqIndexIM,IndexS) =  
dbm(hb_getspcomp(Spectr,FreqIndexIM,IndexS))
```

2] インターセプト点

```
hb_ipn(SpectrPout,FreqIndexIM,IndexS1,IndexS2)
```

- 電力スペクトル *SpectrPout* の IM-インデックス *IndexSk* を持つ 2 つの成分に対して、インターセプト点の式 $(P_{im1}-P_{im2})/(N_{im1}-N_{im2})$ の相対部を計算します。ここで:

Pimk – IM 指数 *IndexSk* を持つ k-th スペクトラム成分の dBm の電力。

Nimk – k-th スペクトラム成分のハーモニック次数 (*IndexIMk* 成分の絶対的な和と等しい)、k=1,2;

$$\begin{aligned} hb_iipn(SpectrPout, FreqIndexIM, IndexS1, IndexS2, PindBm) = \\ hb_ipn(SpectrPout, FreqIndexIM, IndexS1, IndexS2) + PindBm \end{aligned}$$

- 電力スペクトラム *SpectrPout* の 2 つの成分の入力インターセプトポイントを計算します;

PindBm – dBm の入力信号電力;

$$\begin{aligned} hb_oipn(SpectrPout, FreqIndexIM, IndexS1, IndexS2) = \\ hb_ipn(SpectrPout, FreqIndexIM, IndexS1, IndexS2) + PoutdBm \end{aligned}$$

- 電力スペクトラム *SpectrPout* の 2 つの成分の出力インターセプトポイントを計算します;

$$PoutdBm = hb_getspcompdbm(SpectrPout, FreqIndexIM, IndexS1)$$

- dBm の出力信号スペクトラム成分電力;

3] 伝達利得

$$hb_transgain(SpectrIn, SpectrOut, FreqIndexIM, IndexIn, IndexOut)$$

- IM 指数 *IndexIn* を持つ入力スペクトラム *SpectrIn* 成分から、IM 指数 *IndexOut* を持つ出力スペクトル *SpectrOut* 成分までの伝達利得を計算します。

$$\begin{aligned} hb_transgaindb(SpectrPin, SpectrPout, FreqIndexIM, IndexIn, IndexOut) = \\ db10(hb_transgain(SpectrIn, SpectrOut, FreqIndexIM, IndexIn, IndexOut)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} hb_gain(In, SpectrOut, FreqIndexIM, IndexS) = \\ hb_getspcomp(SpectrOut, FreqIndexIM, IndexS)/In \end{aligned}$$

- 複素利得を計算します。ここで、*In* – 入力信号の電圧 (あるいは電力) 振幅;

SpectrOut – 電圧 (あるいは電力) 出力スペクトル;

IndexS – IM-出力スペクトラム成分の指数;

4] 大きな信号の S パラメータ

$$hb_LargeS(Vin, Vout, sameport)$$

- 大きな信号の S パラメータを計算します (LS-パラメータ) ;

Vin – 信号のポート電圧源振幅;

シミュレーション

V_{out} – 出力スペクトラム成分の複素振幅 ;

$V_{out} = hb_getspcomp(SpectrVout, FreqIndexIM, IndexOut)$

$sameport = 1$ 、入出力ポートが同じである場合、 $and = 0$ 、さもなければ ;

$hb_LargeSmix(Vin, SpectrVout, sameport, FreqIndexIM, IndexOut) =$

$hb_LargeS(Vin, Vout, sameport)$

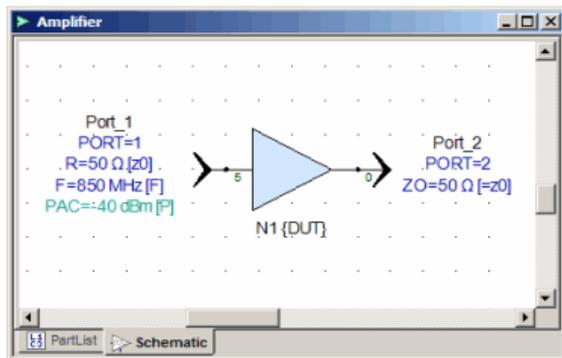
- マルチトーン HB 解析で使用、あるいは周波数変換用に使用して、LS パラメータを計算します ;

CH07_HARBEC の利得測定

HB 解析 1-トーン、利得と圧縮

例

試験回路「Amplifier」には 2 つのポート、入力 (input)=1 および 出力 (output)=2 があります。第 1 ポートは、周波数 (frequency)=850 MHz を持つ 1 トーン信号ソースです。回路を解析するには、HB 解析「HB1」を作成します。



利得の圧縮は次のように定義されます。 **Compression (Pin) = Gain (Pin) – GainSS**、ここで、 **Gain = dbmPout – dbmPin**

GainSS – 小信号利得。値が独立している場合、非常に小さな入力電力で利得として HB 解析で計算されます。

関数を計算するには、HB1 解析「PowerSweep1」のためのパラメータスイープを作成します。パラメータは、step=5dBm を持つ 30~+10dBm の入力電力です。

試験回路では、入力電力 (input power) <-20dBm への利得はほぼ一定です。それを使用して、スイープの最低電力で GainSS を利得として定義します :

GainSS = Gain (-30 dBm)

Genesys 2005 以降では、解析関数は変更されました；

スweepで解析関数を使用するには：

- 関数で定義された変数は、解析データセットで定義される必要があります (データセットで右クリックして、「新規の変数を追加します」を選択します)
- sweep プロパティ ダイアログ ウィンドウの、チェックボックス「スweep時は変数をすべて反映します」を設定しなければなりません。

G5 のゲイン圧縮を計算するには2つの方法があります：

1. sweepされた解析データセットで利得を定義し (あるいは直接 HB 関数を使用します)、それをsweepデータセットに反映します；
2. パラメータ sweep データからそれを直接計算します。

第1の手法。

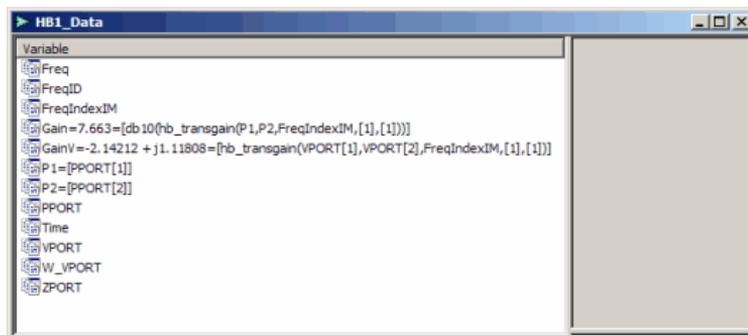
新規の可変利得を、HB1 解析データセット (HB1_Data) に追加します：

利得(Gain) = $\text{db10}(\text{hb_transgain}(\text{P1}, \text{P2}, \text{FreqIndexIM}, [1], [1]))$

注：さらに、それを知る必要があれば、複素電圧可変利得を追加することができます (位相に関する情報を取得するため)

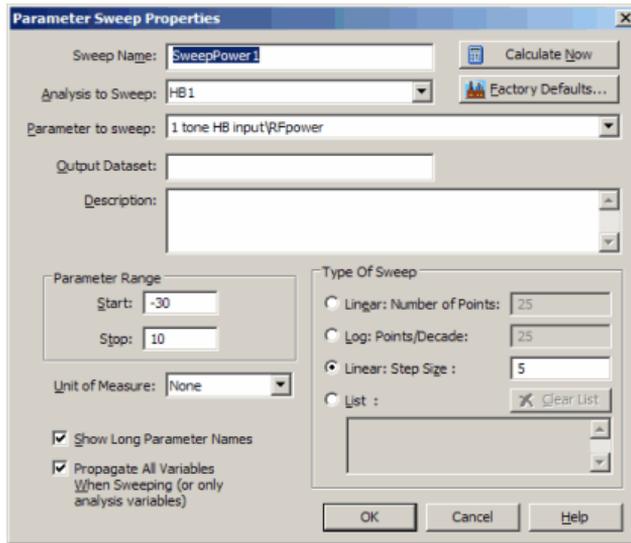
GainV = $\text{hb_transgain}(\text{VPORT}[1], \text{VPORT}[2], \text{FreqIndexIM}, [1], [1])$

以下のデータセットの追加変数に注意してください：



ボックスをチェックしてsweepの変数をすべて反映します：

シミュレーション



スイープの実行後、変数がスイープデータへ反映されたことに注意します：

SweepPower1_Data

Variable	:	Gain
1 tone HB input_RFpower...	-30	7.661
1 tone HB input_RFpower...	-25	7.657
1 tone HB input_RFpower...	-20	7.643
Freq	-15	7.597
FreqID	-10	7.4
FreqIndexIM	-5	5.796
Gain	0	1.842
GainV	5	-2.511
P1	10	-6.758
P2		
Pout1		
PPORT		
Time		
VPORT		
W_VPORT		
ZPORT		

これで、これらの変数をスイープされた変数にプロットすることができます：

HARBEC (ハーモニック バランス解析)

Gain(P) & Compression(P) Properties

General Graph Properties

Default Dataset or Equations: SweepPower1_Data

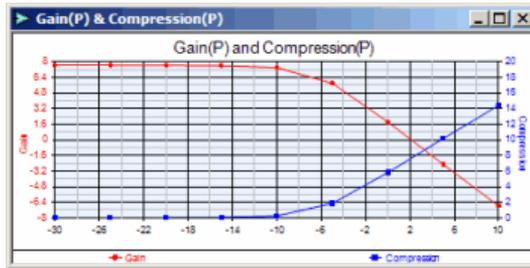
Measurement	Label (Optional)	On Right	Hide?	Color
Gain		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Red
Gain[1]-Gain	Compression	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Blue

Left Y Axis
 Auto-Scale Log
 Min: -8 Max: 8
 Units: None # Divisions: 10

Right Y Axis
 Auto-Scale Log
 Min: 0 Max: 20
 Units: None # Divisions: 10

X Axis
 Auto-Scale Log Scale
 Min: -30 Max: 10
 Units: None # Divisions: 10

Add a Series, then enter dataset.measurement
to graph a measurement, or press a wizard button to guide you through the process of defining a measurement.



シミュレーション

第2の手法。

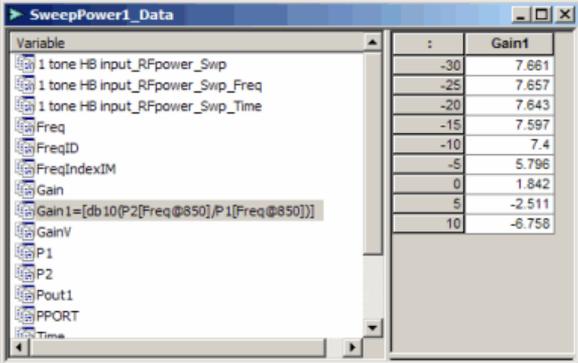
利得スイープは、PowerSweep1_Data のスペクトラム データから直接計算される場合があります。

1 トーン HB 解析データセットの n 番目のハーモニックの周波数インデックスは、ハーモニック次数+1 に常に等しくなります。

利得 (Gain) = $\text{db}10(\text{P}2[\text{P}1[\text{P}2]])$

または、演算子「<配列>@<値>」を使用します。これは、値=<値> を持つ、配列<配列> の第1エレメントのインデックスを返します：

利得 (Gain) = $\text{db}10(\text{P}2[\text{Freq}@850]/\text{P}1[\text{Freq}@850])$



The screenshot shows a software window titled "SweepPower1_Data" with a variable list on the left and a table of Gain values on the right. The variable list includes: 1 tone HB input_RFpower_Swp, 1 tone HB input_RFpower_Swp_Freq, 1 tone HB input_RFpower_Swp_Time, Freq, FreqID, FreqIndexIM, Gain, Gain1=[db10(P2[Freq@850]/P1[Freq@850])], GainV, P1, P2, Pout1, PPORT, and Time. The table on the right has two columns: the first column contains values from -30 to 10 in increments of 5, and the second column, labeled "Gain1", contains corresponding values: 7.661, 7.657, 7.643, 7.597, 7.4, 5.796, 1.842, -2.511, and -6.758.

	Gain1
-30	7.661
-25	7.657
-20	7.643
-15	7.597
-10	7.4
-5	5.796
0	1.842
5	-2.511
10	-6.758

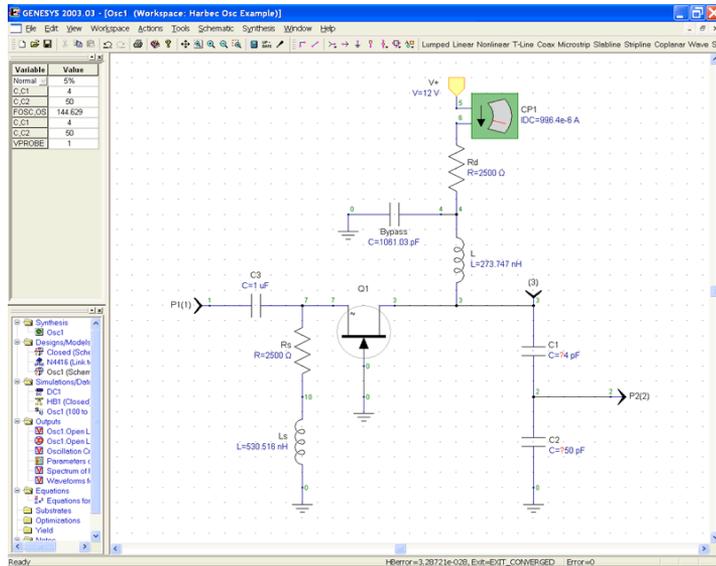
HB オシレータ解析

オシレータのデザインの概要

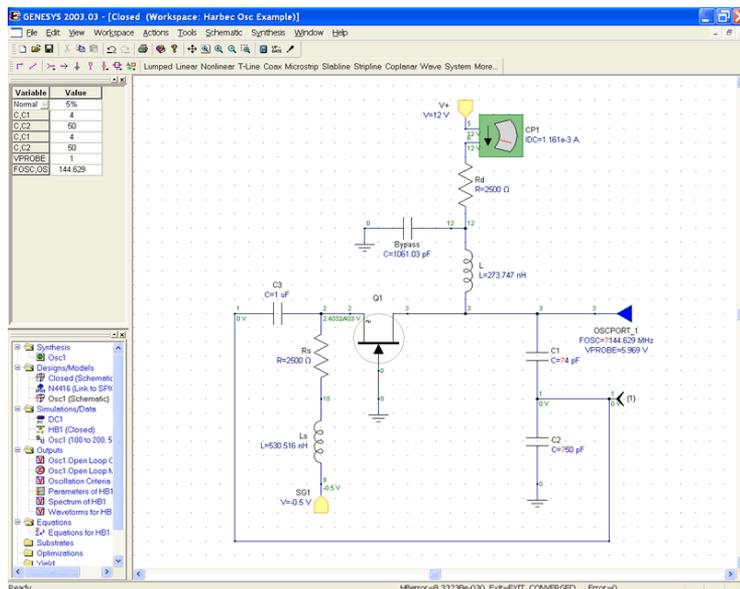
オシレータのデザインは、以下の3つの基礎要素から開始します。増幅、周波数を決定する回路あるいはデバイス、さらにネットワーク損失を克服したり負荷に電力を供給するフィードバック。

必要な周波数で利得を提供する増幅デバイスやトポロジーの選択を開始します（調整可能なオシレータ用周波数帯）。次に、周波数選択回路網の形式を追加します（例えば、クリスタル、L-C 回路、キャビティ、または誘電体共振器）。最後は、アンプ出力背部から周波数選択回路網への電力の流れを供給するフィードバックパスです。正のフィードバックを提供できるトポロジーが、一般には多くありますが、そのパスは、パスを開くことで発振の終了ができるように選択しなければなりません。ブローケン フィードバック ループでは、入力から出力 ($S_{21} > 1$) に正電力の流れを供給するパスが開始点としては優れています。

HARBEC (ハーモニック バランス解析)

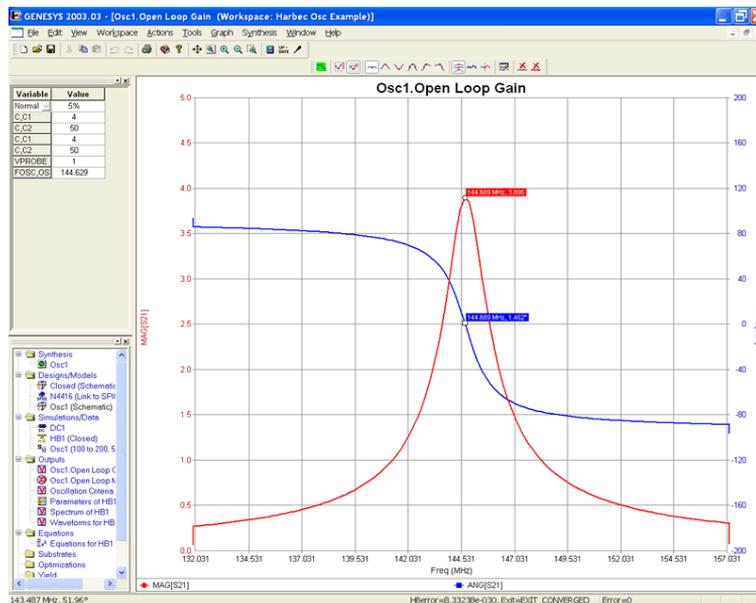


ブロークン フィードバック ループを持つトポロジーが確立されると、回路および能動デバイス利得が与えられた場合、発振が可能かどうかを判断するためにオシレータの 2 ポート線形解析を行ないます。必要な出力周波数で回路を解析する際は、発振を保証するには必要ではありますが、必ずしも十分でない 2 つの条件が満たされなければなりません。必要な出力周波数において、開放回路利得は、1 (1) より大きいか、あるいは等しくなければなりません。また、移相は $2 \pi n(n*360 \text{度})$ の倍数です。ここで、n はゼロが含まれる整数です。



シミュレーション

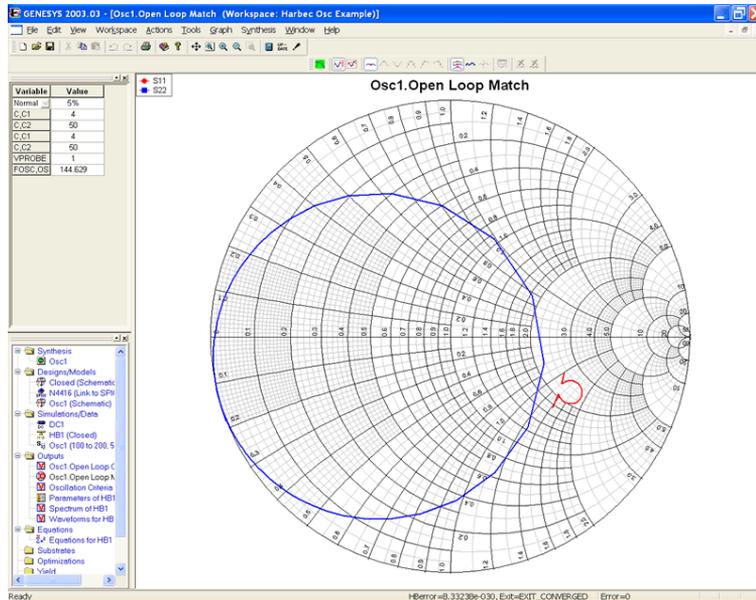
GENESYS のチューニング オプションを使用して、回路要素を正確に選択すると、必要な周波数出力で 1 を超える利得余裕および 0 度の移相を保証することが可能になります。クロズドループでは両方のポートの接続が必要であるという事実から、ネットワーク ポートで反射減衰量を観察することにより、追加のマッチング ストラクチャが電力の最大転送の助けとなるために必要かどうかを判断することが必要です。2 つの線形のポート シミュレーションの結果として、このデータは既に有効です。理想的には、 $S_{11} = S_{22}^*$ となります。ポート インピーダンスが異なる場合には、ループを閉じることにより持続振動を防止できる場合があります。



利得、位相およびマッチングのための条件を満たすと、次のステップは、オシレータの性能を確認し、動作周波数、負荷に送られた電力、およびハーモニックの内容を正確に決定することです。これを実行するために、HARBEC 解析、および OSCPORT 要素を使用します。

2 つのポートを一緒に接続しループを閉じることにより開始します。回路への始動起動力を開始したり提供するために、回路へ OSCPORT コンポーネントを挿入します。配置は重大ではありませんし、どんなノードも使用可能です。但し、出力ポートまたはノードに配置しなければ、最良の結果が得られます。GENESYS ツールバーのソース選択アイコンから OSCPORT 要素にアクセスします。

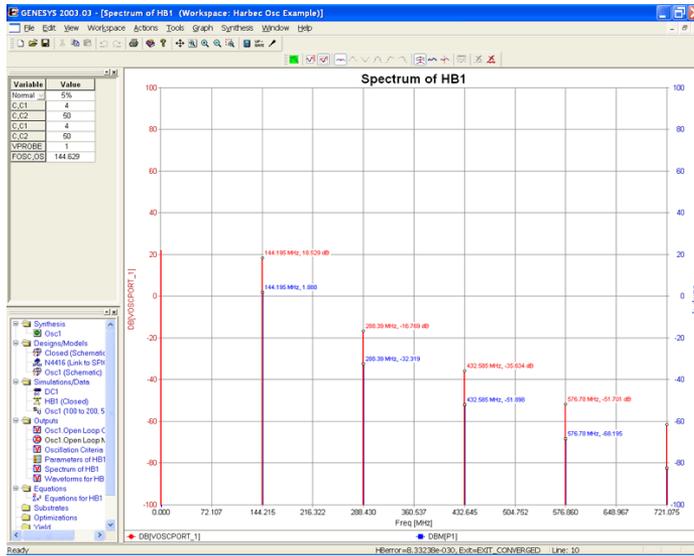
HARBEC (ハーモニック バランス解析)



GENESYS ワークスペース ウィンドウの [シミュレーション/データ (Simulations/Data)] フォルダから、[DC 解析(DC Analysis)] シミュレーションを追加してデバイスの動作点を決定します。これは、あらゆるハーモニック バランス シミュレーションに先立って必要になります。

GENESYS ワークスペース ウィンドウの [シミュレーション/データ (Simulations/Data)] フォルダから、[ハーモニック バランス オシレータ解析 (Harmonic Balance Oscillator)] を追加します。デフォルト名を受け入れるか、あるいは別の名前を選択します。デフォルト解析は電流のスキマティック用であることに注意してください。オシレータ周波数およびノード電圧は、首尾よく実行した後にシミュレータによって入力されます。ハーモニック バランス ダイアログは、ハーモニック数のデフォルト値を設定します。デフォルト値を使用すると迅速にシミュレーションができます。動作オシレータを設定していた場合は、この値は変更され精度が改善される場合があります。一般に、デフォルト値で十分精度を生み出すことができます。

シミュレーション



オシレータのタブを選択すると、解析検索範囲を表示できます。

これによりシミュレータの一連の周波数が示され、正確な発振周波数を見つけることができます。クリスタルのような共振器要素に対しては、より高い Q を扱う正確な周波数を見つけるために追加点が必要となる場合があります。

Harmonic Balance Oscillator Analysis Options

General Calculate **Oscillator** Advanced FFT

Oscillations Frequency Calculation

Minimal Frequency: 100 MHz

Maximal Frequency: 200 MHz

Number of Points: 1000

Calculate Osc Frequency: 153.654402 MHz

Osc Frequency is Found: ReZ=-281.618, dPhase(Zosc(F))/dF=-0.0356847

Use Osc Solver

Osc Port Initial Voltage: 0.0 V

Absolute Current Tolerance: 1e-8 A

Number of Curve iterations: 200

Max step of Curve tracing: 0.05

Number of Adjust iterations: 5

OK Cancel Apply Help

検索範囲を設定したので、解析を行なう準備ができています。

GENESYS ツールバーから更新アイコンを選択し、ハーモニック バランス シミュレーションを行ないます。シミュレーションの結果を表示するには、GENESYS ワークスペース ウィンドウの [出力 (Outputs)] ファイルから [直交グラフ (Rectangular Graph)] を追加します。グラフをダブルクリック、あるいはマウスを右クリックしプロパティを選択、次に「測定ウィザード」を選択し、グラフにスペクトラム データを配置します。あるいは、解析によって生成されたデータをダブルクリックし、測定値を表示します。

ハーモニック バランス シミュレーションでは、ノード電圧の範囲、電流およびポートから選択できます。

ノードまたはポートの波形は、測定ウィザードおよびデータセットによっても有効になります。これにより、回路の様々なノードでひずみや電圧レベルを表示することができます。

HB オシレータ解析の使用法および理論 (Genesys 2006.04 以降のバージョン)

HB 解析からの基本的な測定値は、すべて HB オシレータ解析で使用できます。Genesys 2004 と Genesys 2006 では、異なるオシレータ解析のインプリメンテーションが行われます。Genesys 2004 では、解析は HB 解析の追加機能として実行されますが、Genesys 2006 では完全に独立したオシレータ解析が実行されます。Genesys 2004 は 2 重に入れ子されたニュートンアルゴリズムを使用しました。その内部は基本 HB 解析であり、オシレータ ポートを通して電流の複素振幅を計算します。それにより、ポートの電圧およびその周波数の振幅を外部的にコントロールします。

Genesys 2006 オシレータ解析アルゴリズムは、「トレーシング」機能をベースにしています。そのパラメータは、オシレータ ポート Vprobe の電圧振幅であり、その場合の発振周波数は、トレーシング式を満たす HB ニュートン式システムの新しい付加変数です：

$$\text{Im}(I_{\text{probe1}}) = 0$$

トレーシング アルゴリズムは、Vprobe の非常に小さな振幅から開始され、以下の間は増加します：

$$\text{Re}(I_{\text{probe1}}) < 0$$

条件が失敗すると、アルゴリズムは正確なオシレータ解を見つけます。その解は、トレーシング反復 Vprobe の前の値と最後の値の限定されたバンドにあり条件を満たします：

$$\text{Re}(I_{\text{probe1}}) = 0$$

シミュレーション

ここで、1 は、発振周波数の第 1 ハーモニックです。

Genesys 2006 オシレータ解析法は、G4 でインプリメントされたものより、はるかにロバストでより効率的です。これにより、Genesys 2006 ユーザは、Genesys 2004 で解決することができなかった多くのオシレータ解析タスクを解決することが可能になります。

オシレータ解析に使用される回路には、ノードに接続されている OSCPORT 回路要素が 1 つなければなりません。そこでの小信号発振条件は周波数 F_{osc} で満たされることが可能な場合もあります：

$$\text{Re}(Z_{in}(F_{osc})) < 0$$

$$\text{Im}(Z_{in}(F_{osc})) = 0$$

ここで、 Z_{in} は、回路ノードの複素インピーダンスであり、オシレータポートに接続されています。

通常、試験回路が発振できると、共振器が能動デバイスの入力か出力ノードに接続されているノード、あるいは回路の出力ポートで、条件が満たされます。

新規回路のオシレータ解析を首尾よく開始するためには、以下のステップを行わなければなりません。発振することを必ず確認してください。

1. 「クローズドループ」オシレータ回路を作成します。オシレータ回路には小信号オシレータ条件を満たすノードのオシレータに適切に配置された OSCPORT プローブが備わっています；
2. 回路用の「ハーモニック バランス オシレータ解析」HBOSC を作成します；
3. HBOSC 解析を使用する前に、オシレータタブで「Osc 周波数を計算する」を実行します（周波数検索のために適切な範囲を必ず入れる）。
4. 一旦「Osc 周波数を計算する」が実行されると、回路の OSCPORT プローブは、挿入電圧および発振周波数で自動的に計算されます。
5. これで、完ぺきなオシレータ解析を実行することができます。

オシレータ解析ダイアログには、通常すべての HB 解析ページおよび付加的な「オシレータ」のタブが含まれており、解析のための特定の設定を定義します。Genesys 2006 のタブには Genesys 2004 と同じパラメータが含まれており、新規のタブはほんの少しです。

Harmonic Balance Oscillator Analysis Options

General Calculate **Oscillator** Advanced FFT

Oscillations Frequency Calculation

Minimal Frequency: 1.0 MHz

Maximal Frequency: 4.0 MHz

Number of Points: 101

Calculate Osc Frequency: 2.271822 MHz

Osc Frequency is Found: $\text{Re}Z=-4.50153$, $\text{dPhase}(Z_{\text{osc}}(F))/\text{dF}=-2.41353$

Use Osc Solver

Osc Port Initial Voltage: 0.0 V

Absolute Current Tolerance: $1\text{e-}8$ A

Number of Curve Iterations: 200

Max step of Curve tracing: 0.05

Number of Adjust iterations: 5

OK Cancel Apply Help

シミュレーション

ダイアログ ページのパラメータはすべて 3 つのグループに分けられます。

1. 小信号オシレータ周波数計算 (Small signal oscillator frequency calculation)

- [最低周波数 (Minimal Frequency)]、[最高周波数 (Maximal Frequency)]
 - バンドの低周波数および高周波数。ここでは小信号の発振基準および発振周波数が計算されます；
- [点の数 (Number of Points)]
 - 周波数帯の点の数；

2. 非線形オシレータ ソルバ

- [Osc ソルバを使用 (Use Osc Solver)]
 - 非線形の HB オシレータ ソルバの使用を可能にするチェックボックス。これが無効の場合は、解析は小信号発振周波数のみを計算します（非線形のソルバが収束に多くの時間を費やす場合、VCO の迅速な進行に役立ちます）；
- [Osc ポート初期電圧 (Osc Port Initial Voltage)]
 - OSCPORT 電圧プローブの初期振幅 0 に設定されている場合は、ソルバは内部デフォルト予測を使用します。
- [絶対電流許容値 (Absolute Current Tolerance)]
 - OSCPORT 電流振幅の最小の絶対値（収束基準）。ソルバが OSCPORT プローブ電圧振幅帯を見つけた後のみ基準がチェックされます。ここでは電流の実際の値は符号が負から正に変更されます；
- [カーブ反復の数 (Number of Curve iteration)]
 - 「トレーシング」 OSCPORT 電圧プローブ振幅 (V_{probe}) 反復の最大数；
- [カーブトレーシングの最大ステップ (Max step of Curve tracing)]
 - 電圧プローブ振幅 (V_{probe}) の最大カーブ トレーシング ステップ；
- [反復調節の数 (Number of Adjust iterations)]
 - [$V_{proben-1}$, V_{proben}] の周波数帯 V_{probe} の中で、OSCPORT 電流 I_{probe} (V_{probe}) の実数部の最小絶対値を検索する最終反復の最大数。ここで、関数 $Re(I_{probe}(V_{probe}))$ は、符号を負から正に変更します。
 $V_{proben-1} < V_{proben}$ 、 n – 周波数帯を見つけるために反復をトレースする数

オシレータ解析結果はデータセットに保存されます：

それには、通常の HB 解析のすべての変数とオシレータ解析のための特定の変数が含まれています。以下のような変数があります。

1. 小信号オシレータ解析変数

- 「Zosc」

回路ノードインピーダンス Zosc (F) の周波数スイープ値の複素配列。OSCPORT に接続されます；

- 「SweepFreq」

- 周波数のダブルアレイ (double array)。ここで Zosc (f) が計算されます；

- 「Osc_Freqs」

- 小信号発振周波数 Fosc (1)；

- 「Osc_dPhaseZdF」

- 導関数 (1) $d(\arg(Z_{osc}(F)))/dF$ 周波数 $F = F_{osc}$ ；

- 「Osc_ReZ」

- $\text{Re}(Z_{osc}(F_{osc})) - F = Z_{osc}$ の実部 $F = F_{osc}$ (1)；

2. 大信号 (非線形) オシレータ解析変数(2)

- 「TraceFprobe」

- 「TraceIprobe」

- 「TraceVprobe」

- 従属配列 Fosc (Vprobe)、Vprobe の値をトレースする Iprobe (Vprobe) (3)；

1) 回路に1つ以上の発振周波数がある場合、その変数は配列です (各発振周波数について値がある)；

2) オシレータ解析のみに特定の変数；

3) 配列の最終点は、定常状態のオシレータ解に対応する F_{osc} 、 I_{probe} および V_{probe} の値を保存します。

シミュレーション

以下のテーブルは、Genesys 2004 vs. Genesys 2006（および以降のバージョン）測定用シンタックスの差の要約です。

Table 1. Oscillator HB analysis Measurements

	Measurement	G4	G6
1	HB solution Frequencies	FHB	Freq
2	Steady State Oscillation Frequency	FHB@#1 FOSHb(MeasContext)	Freq[2] ¹⁾ hb_getspcomp(Freq.FreqIndexM,[1,0,...,0]) ²⁾
3	Small Signal Oscillation Frequency	FOSC@#0	Obs_Freq[1]
3	Oscillator port current	Ioscport(MeasContext)	Not supported ³⁾
4	Oscillator port voltage	Voscport(MeasContext)	Not supported ³⁾
5	Frequency sweep of the complex impedance at the oscillator port node	ZOSC	Zosc
6	Trace of oscillation frequency ⁴⁾	Not supported	TraceFprobe
7	Trace of oscillator port current ⁴⁾	Not supported	TraceIprobe
8	Trace of oscillator port voltage (Vprobe) ⁵⁾	Not supported	TraceVprobe

¹⁾ 1-tone HB oscillator analysis

²⁾ Multi-tones HB oscillator analysis (oscillator with external signals: synchronized oscillator, self-oscillating mixer)

³⁾ Created as a basic HB dataset variable, if the "Save Solution For All Nodes" flag is set

⁴⁾ Tracing via Vprobe. Tracing conditions:

$\text{Im}(I(\text{probe}(V\text{probe}))) = 0$

Tracing while $\text{Re}(I(\text{probe}(V\text{probe}))) < 0$.

⁵⁾ Independent variable (Vprobe) for tracing the oscillator measurements.

非線形モデルの入力

GENESYS は、非線形モデルを入力する 3 つの様々な方法をサポートします：

- 直接スキマティック入力
- シングル パート モデル
- 非線形モデルライブラリ

非線形モデルを入力する簡単な方法は、スキマティックに直接入力することです。スキマティック ツールバーから、NPN トランジスタのような非線形デバイスを配置します。次に、デバイスをダブルクリックし、デバイスパラメータを入力します。この手法は簡単であるという利点が挙げられます。一方、別のデザインのデバイスを再使用する場合は簡単ではないという欠点もあります。

非線形モデルを入力する他の方法として、シングル パート モデルの作成があります。これは、他のシミュレータでモデル ステートメントを使用することと類似しています。デザインを参照してください：詳細については、本ユーザーガイドのシングル パート モデルのセクションを参照してください。

非線形モデルを入力する第 3 の方法には、部品の供給ライブラリから 1 つ選択することです。必要な基本非線形モデルを入力します（例えば、PNP）。次に、要素パラメータ ダイアログの [モデル...(Model...)] ボタンを使用してモデルを必要な部品に変更します。

第5章： アドバンスドモデリングキット

アドバンスドモデリングキット (Advanced Modeling Kit) の概要

GENESYS の Advanced Modeling Kit (AMK) は、3つの主要な部分から構成されています：

- HARBEC と CAYENNE で使用される、およそ 11 の追加非線形モデル。これらのモデルは、Verilog-A 言語の知識を必要とすることなく容易に活用できます。
- 独自の非線形モデルを作成するための内蔵 Verilog-A コンパイラ。
- GENESYS に含まれる一部の汎用非線形モデルのための Verilog-A ソースコード。これらのファイルでは、既存の非線形モデルにユーザ定義による変更を加えることができます。例えば、新規のモデルを内蔵のトランジスタと同一にすることができますが、非線形のキャパシタンス計算式を変更することができます。

ハードウェア記述言語は、設計者に抽象化の様々なレベルを提供する手段として開発されました。集積回路は複雑すぎるため、エンジニアは個々のトランジスタおよびワイヤーを指定して作成するのは現実的ではありません。HDL によって、パフォーマンスを記述することが可能になり、シミュレーション シンセサス プログラムはその言語を使うことができ、ゲートレベル記述を生成できます。デジタル機能を超えたビヘイビアが追加されたため、ミックスドシグナル言語が、デジタルとアナログ信号間のインタラクションを管理するために作成されました。このサブセットとして、Verilog-A が定義されました。Verilog-A は、アナログ ビヘイビアについてのみ記述します。但し、デジタル ビヘイビアに対するインターフェースの機能があります。

他のほとんどの Verilog-A インプリメンテーションは、インタープリタ型言語であり、実行が比較的遅くなります。しかしながら、GENESYS AMK には、コンパイルされる C++ コードを作成する Verilog-A コンパイラが含まれており、ハンドコード モデル同様のシミュレーション時間で済みます。さらに、AMK によってシンボリックに計算された導関数は多くの場合、より正確であるので、Verilog-A モデルを使用する回路収束は、一般的により良くなります。これにより、Verilog-A モデルを使用する場合、しばしばスピードアップできます（スローダウンではなく）。

追加 AMK モデルの使用

GENESYS AMK には、追加の非線形モデルが含まれています。本マニュアルの時点では、以下の追加モデルがあります：

- Angelov NFET/PFET
- BSIM4 NMOS/PMOS
- EKV NMOS/PMOS
- HiSIM NMOS/PMOS
- Philips JUNCAP
- MEXTRAM NPN/PNP
- Philips MOS9 NMOS/PMOS
- Philips MOS11 NMOS/PMOS
- Parker/Skellern NFET
- TFT NMOS/PMOS
- UCSD HBT NPN

これらのモデルにアクセスするには、スキマティックの非線形のツールバー、あるいは部品ライブラリから適切な部品を配置します。

新規 Verilog-A モデルの作成

新規 Verilog-A モデル作成における基本ステップは以下の通りです：

1. GENESYS ユーザモデル ディレクトリ に新規の Verilog-A モデルを置くことを推奨します。これは通常、[マイ ドキュメント (My Documents)] フォルダの [マイ モデル(My Models)] ディレクトリになります。[ツール / オプション (Tools/Options)] ダイアログを開いて、[ディレクトリ (Directories)] タブに進み、ここにリストされている [ユーザモデル (User Model)] 場所を確認するか変更します。ここでリストした、ディレクトリに Verilog-A ソースファイルを置かない場合は、モデルを参照するフルディレクトリパスを指定しなければなりません。注：ユーザモデルパスのサブディレクトリに Verilog-A ファイルを置いた場合は、相対パスを追加できます。

2. ウィンドウズ ノートパッドなどのテキスト エディタに Verilog-A ソースコードが含まれている文書ファイルを作成し、ステップ 1 で選択されたディレクトリへそれを保存します。ファイルには拡張子「.va」を必ず使用します。Verilog-A ファイルの作成に関する情報については Verilog-A チュートリアルを参照してください。
3. ユーザのモデルを使用するには、モデルの一部分を「モジュール@ファイル名」に変更しなければなりません。例えば、ユーザのモジュールを「limiter」と呼び、それがファイル「MyLimiter.va」にある場合、そのモデルを「limiter@MyLimiter.va」に設定します。ステップ 1 でディレクトリにファイルを入れない場合は、フルパス（ドライブおよびディレクトリ）を指定しなければなりません。注：また、GENESYS は、ワークスペースを保存したディレクトリを検索します。Verilog-A モジュールを少数のワークスペースのみで使用する場合は、ワークスペースと同じディレクトリにモデルを置くこともできます。
4. GENESYS は、Verilog-A のファイルをコンパイルします。Verilog-A コードにエラーが表示された場合は、それを修正し、ステップ 3 を繰り返してください。
5. モデルが首尾よくコンパイルされた場合は、コンパイルされたサブディレクトリが Verilog-A ソースファイルと同じディレクトリに作成されます。GENESYS は、各 Verilog-A ファイルに対して、コンパイルされたモデルライブラリ (.cm1) ファイル、および XMLmodel (.xml) ファイルを作成します。

内蔵非線形モデルのカスタマイズ

GENESYS は、ほとんどの内蔵非線形モデルの Verilog-A ソースコードを提供します。これにより、ユーザは GENESYS の内蔵非線形モデルと同一のモデルを作成でき、適切と思う場合はこれらをカスタマイズすることができます。

注：内蔵モデルは変更することができません。代わりに、新規モデルを作成し、スケマティックでこの新規モデルを使用しなければなりません。

ソース コードは、[Examples\VerilogA] ディレクトリにあります（通常、**C : \Program Files\GENESYS 2005.11\Examples\VerilogA** にインストールされています）。これらのファイルを使用するには、上述した [新規 Verilog-A モデルの作成 (Creating New Verilog-A Models)] ステップ 1 に記述されている新規のディレクトリにそれらをコピーしなければなりません。

サンプル モジュールは、内蔵モデルと競合しないように、名前の最後に「_va」が追加されています。

Verilog-A ソースファイルをコピーした後は、上述した [新規 Verilog-A モデルの作成 (Creating New Verilog-A Models)] のステップに従ってください。

Verilog-A のチュートリアル

Verilog-A は、C および他の言語に類似している構造を持った手続き型言語です。言語はシミュレータについて少し知識が必要になりますが、ほとんどのモデル記述は実行されている解析タイプについての知識は必要ありません。

大抵、最も簡単な Verilog-A ファイルは、resistor (ライン番号は verilog ファイルの一部ではありません) です：

```

1 : `include "disciplines.vams"
2 :
3 : module resistor(p,n);
4 :   inout p,n;
5 :   electrical p,n;
6 :   parameter real r=50 from (0 : inf] exclude 7;
7 :   analog
8 :     begin
9 :       V(p,n) <+ r*I(p,n);
10 :    end
11 : endmodule

```

この resistor を開始点として自分の Verilog-A ファイルに使用することもできますし、また内蔵の非線形モデルのようなより複雑なファイルで開始することもできます。

ライン 1 : ``include "disciplines.vams"`

このラインには、電気ノードの定義が含まれており、とりわけ、ほとんどの Verilog-A ファイルではこのラインが最初のラインになります。「```」のシンボルを使用することに注意します。これは通常のアポストロフィ「`'`」ではありません。ほとんどのキーボードでは、左上キーにあり、チルダ (`~`) と同じキーになります。

ライン 3 : `module resistor(p,n);`

`p` および `n` の 2 つの外部ターミナルを持つ resistor 名のモジュールの開始を宣言します。これらのターミナルは、GENESYS によって順に使用されます。`p` はピン 1、`n` はピン 2 のシンボルになります。

ライン 4 : `inout p,n;`

これらのポートは、入力/出力ポートであると宣言します。

ライン 5 : `electrical p,n;`

これらのノードは、電気ノードであると宣言します。内部ノードが必要な場合、それらをこのラインへ追加しなければなりません。

ライン 6: `parameter real r=50 from (0 : inf] exclude 7;`

デフォルト値 50 で、モデルパラメータ「r」を宣言します。この値は、ゼロを越え（ゼロを示す開き括弧の使用は許可されません）、無限大まで可能です。角括弧が使用されたので、無限大は有効値になります。7 の値は特に除外されます。

ライン 7: `analog`

アナログ式のヘッダー。すべてのファイルで必要です。

ライン 8: `begin`

実際のアナログ式を開始します。多くの場合、これは 1 インで、「アナログ」と結合します：「アナログ開始」。

ライン 9: `V (p,n) <+ r*I (p,n);`

resistor ($V = IR$) なので、電圧を加えます。V (p, n) はノード p からノード n までの電圧です。I (p, n) は、ノード p からノード n まで流れるブランチ電流です。注：このブランチ電流は、解を求める別の変数として、コンパイラによって自動的に追加されます。また、この変更されたノード解析関係をサポートする行列入力も自動的に追加されます。

ライン 10: `end`

ライン 8 で開始されたアナログ式を完了します。

ライン 11: `endmodule`

ライン 3 で開始された resistor モジュールを完了します。

この簡単な例にはありませんが、一般に使用される他の機能には、ローカル変数/式、および if/then ステートメントがあります。Verilog-A の例、あるいは本マニュアルの Verilog-A レファレンス セクションを参照してください。

Verilog-A のレファレンス

Verilog-A のレファレンスの概要

本マニュアルでは、Verilog-A に完全なテクニカル レファレンスを提供していません。むしろ、目的は、シンタックスチャートや過度に詳細な情報に沈み込むこと無く、モデル開発者に複雑なモデルを実行できる十分な情報を提供することです。Verilog-A の完全なレファレンスを購入するためには、www.accellera.org アクセスし Accellera にご連絡ください。

プリプロセッサ

プリプロセッサは、コード開発を簡単にするために一定のディレクティブをサポートします。これらのディレクティブは、C のこれに相当するものに酷似しています。

Include

`\include` ディレクティブは、コンパイル中にソースファイルの全内容を挿入するために使用されます。`\include` は、グローバルな定義を含めたり、あるいはモジュール境界内でコードを繰り返さないで、コードを簡単にするために使用することができます。コンパイラ ディレクティブ `\include` は、Verilog-A ファイル内のあらゆる場所で指定することができます。ファイル名は、ソースファイルに含められるファイル名（完全パスか相対パスを持つ）です。

余白あるいはコメントのみを `\include` ディレクティブと同じラインに表示することができます。

`\include` を使用しているソースに含まれているファイルには、別の `\include` コンパイラ ディレクティブ が含まれています。

```
\include 「ファイル名」
```

例：

```
\include “/user/include/global_decl.vams”  
\include “../myIncludes.txt”  
\include “myFunctions.va”
```

Macros

文字列置換は、モジュール定義の内部および外部双方の `\define` ディレクティブで実行することができます。マクロは、`\character` に続いてマクロ名を挿入することによりソースファイルで使用します。その時、プリプロセッサは、文字列 `\text_macro_name` の代わりにマクロのテキストを用います。コンパイラ ディレクティブは、すべて定義済みマクロ名と見なされるため、マクロ名としてコンパイラ ディレクティブを再定義することは許可されません。

テキスト マクロは、より柔軟性を提供するために引数で定義する場合があります。但し、マクロを使用するとシンボル デバッグを複雑にすることができるため、ユーザはマクロを注意して使用しなければなりません。

例：

```
\define EPSSI (1.03594e-10)  
\define KboQ (P_K / P_Q)  
\define strobe(flag, xName, X) if (_debug >= flag) $strobe("\n %s = %g",  
xName, 1.0 *(X))
```

その時、マクロは以下のコードでアクセスされます：

```
factor1=sqrt(`EPSSI / `EPSOX * tox);
`strobe(1, "Vth", Vth);
ifdef, else, endif
```

これらは、Verilog-A ソースファイルのラインがオプションで含まれている条件付きのコンパイラ ディレクティブです。`ifdef は、変数名が定義されるかどうかをチェックします。定義される場合、`ifdef に続くラインは、`endif ディレクティブまで含まれます。変数名が定義されないが、`else ディレクティブが存在すると、このソースはコンパイルされます。Ifdef、else、および endif ディレクティブは、Verilog-A ソースファイルのあらゆるところに表れます。

例：

```
`ifdef Thermal
    module bjt(c,b,e,dt);
`else
    module bjt(c,b,e);
`endif
```

注：GENESYS は、（通常コマンドラインのビルドで行われるような）マクロを事前定義するサポートはしていません。Verilog-A ソースのあらゆる必要なスイッチを定義しなければなりません。マクロだけを定義 (define) する Verilog-A ファイルを作成し、次に実際の Verilog-A ソースを含める (includes) ことが有用な方法となります。上の例のファイルでは、bjt モジュールを含める前に、Thermal を定義 (define) しています。

データ タイプとパラメータ

整数 (Integer)

整数宣言は、-231 から 231-1 までの値を持つ 1 つ以上の変数タイプ整数を宣言します。整数の配列は、配列の上位や下位のインデックスを定義する範囲を使用して宣言することができます。その配列では、インデックスは定数式であり、また正負の整数、あるいは 0 に数値を求めます。

例：

```
integer flag, MyCount, I[0: 63];
```

実数 (Real)

実数の宣言は、IEEE STD-754-1985 を使用して、1 つ以上の変数タイプ実数を宣言します (倍精度浮動小数点数用の IEEE 規格)。実数の配列は、配列の上位や下位のインデックスを定義する範囲を使用して宣言することができます。その配列では、インデックスは定数式であり、また正負の整数、あるいは 0 に数値を求めます。

例 :

```
real X[1: 10], Tox, Xj, Cgs;
```

net_discipline

net_discipline は、アナログ ネットの宣言、またデジタル nets および regs の宣言に使用されます。ネットは、次に続く discipline によって特徴づけられます。ネットは、discipline のタイプで宣言されるため、discipline は、ネットを宣言するためのユーザー定義のタイプと見なすことができます。

discipline は、アナログ信号の定義を形成する 1 つ以上の自然定義のセットですが、Nature は、シミュレータ用の量の特性を定義します。discipline は、ドメイン、および電位とフローの nature に定義された属性によって特徴づけられます。

Discipline は、以下と結合することができます :

- 電位を持つ nature
- 電位を持つ nature およびフローを持つ異なる nature
- 電位もフローも持たない (空の discipline)

discipline は、disciplines.vams ファイルで通常事前に定義されます。以下は、その 1 部です。

```
// 電氣的
// 電流 (アンペア)
nature Current
units = "A";
access = I;
idt_nature = Charge;
`ifdef CURRENT_ABSTOL
  abstol = `CURRENT_ABSTOL;
`else
  abstol = 1e-12;
`endif
endnature
// クーロンでチャージ
nature Current
```

```

units = "A";
access = I;
idt_nature = Charge;
\ifdef CURRENT_ABSTOL
  abstol = `CURRENT_ABSTOL;
\else
  abstol = 1e-12;
\endif
endnature
// 電位 (ボルト)
nature Voltage
nature Voltage
units = "V";
access = V;
idt_nature = Flux;
\ifdef VOLTAGE_ABSTOL
  abstol = `VOLTAGE_ABSTOL;
\else
  abstol = 1e-6;
\endif
endnature

```

genvar

Genvars は、静的式を構成する整数値の変数です。それらは、ストラクチャを行動的に実証するために使用されます。例えば、行動ループ構成内のアナログ信号にアクセスします。

```
genvar list_of_genvar_identifiers;
```

ここで、*list_of_genvar_identifiers* は、genvar 識別子がコンマで区切られたリストです。

例：

```
genvar I, j;
```

パラメータ (Parameters)

パラメータは、情報を回路からモデルまで導く方法を提供します。

パラメータ指定は、指定がコンマで区切られたリストです。指定の右側は定数式です（以前に定義されたパラメータも含まれる）。

パラメータ配列では、初期化子は、ブラケット区切記号内 { and } の定数、および事前に定義されたパラメータだけが含まれている定数式のリストです。

パラメータは定数を表わします；それらの値は実行時に変更することはできません。

シミュレーション

パラメータは、コンパイル時に宣言指定から変更することができます。目的は、モジュール インスタンスのカスタマイズを許可することです。但し、パラメータは、`defparam` ステートメント、あるいは `module_instance` ステートメントで変更することができます。外部アナログ変数、あるいはパラメータ値にアクセスするために、アナログブロック内から階層名の参照を使用することは無効となります。例えば：

```
parameter real TestFlag = 0 from [0 : inf] exclude (10 : 100) exclude (200 : 400);
```

一般的な形式は次の通りです：

パラメータ {実数 | 整数} 指定のリスト;
ここで、*list of assignments* は、`parameter_identifier = constant {value-range}` のコマンドで区切られたリストです。

ここで、*value-range* は以下の形式です。

```
from value_range_specifier  
| exclude value_range_specifier  
| exclude constant_expression
```

ここで、*value_range_specifier* は以下の形式です。

```
start_paren expression1 : expression2 end_paren
```

ここで *start_paren* は

```
[ | (
```

また *end_paren* は

```
] | )
```

expression1 は

```
constant_expression | -inf
```

ここで、*expression2* は

```
constant_expression | inf
```

また、ここで *constant_param_arrayinit* は

```
{ param_arrayinit_element_list }
```

ここで *param_arrayinit_element_list* は以下で構成されます

```
param_arrayinit_element {, param_arrayinit_element }
```

ここで、*param_arrayinit_element* は *constant_expression*

(実数 | 整数) のタイプはオプションです。指定されない場合は、所定の指定値になります。括弧は、値は含まれませんが範囲が拡大されることを示します。一方、角括弧は、範囲には端点が含まれることを示します。

value range の仕様は、範囲のチェックに大変役立ちます。この例を以下に示します：

```
parameter real Temp = 27 from [-273.15 : inf];
```

```
parameter R = 50 from (0 : inf];
```

また、*value ranges* では、簡単な除外をすることができます：

```
parameter R = 50 from (0 : inf] exclude (10 : 20) exclude 100;
```

アナログ ブロック

式とステートメント

条件ステートメント (if-else ステートメント)

条件ステートメントは、ステートメントが実行されるかどうか判断するために使用されます。シンタックスは以下の通りです。

```
if ( expression ) true_statement_or_null ;
[ else false_statement_or_null ; ]
```

式が、真 (non-zero) と判定すると、*真_ステートメント* (true_statement) が実行されます (偽の場合は実行されません)。else *偽_ステートメント* (false_statement) があり、式が偽と判定した場合は、*偽_ステートメント* (false_statement) が代わりに実行されます。

Case ステートメント

式に基づいて様々な動作を選択する場合には、case ステートメントは有効です。形式は次の通りです：

```
{ case | casex | casez } ( expression )
  case_item
  { case_item }
endcase
```

```
where case_item is
  expression { , expression } : statement_or_null
| default [ : ] statement_or_null
```

デフォルト-ステートメントはオプションですが、一度だけ使用することができます。*case-expression* および *case_item* 式は実行時に計算することができます (どちらの式も、定数式である必要はありません)。*case_item* 式は、記述順に正確に判定され比較されます *case_item* 式の 1 つが括弧で与えられた case 式と一致する場合、その *case_item* に関連したステートメントが実行されます。比較がすべて失敗すると、デフォルト *item* ステートメントが実行されます (記述されていた場合)。さもないと、*case_item* ステートメントはどれも実行されません。

Repeat ステートメント および while looping ステートメント

repeat() ステートメントは、ステートメントを決まった回数実行します。式の評価は、ステートメントが実行された回数を決定します。

while() looping は、式が偽となるまでステートメントを実行します。ループが入力されたときに式が偽の場合は、そのステートメントは全く実行されません。

repeat() と while() ステートメントのシンタックス は以下の通りです。

```
repeat ( expression ) statement
while ( expression ) statement
```

シミュレーション

For() ステートメント

for() ステートメントは、指数変数を使用して、その関連ステートメントの実行をコントロールします。関連ステートメントが `analog_statement` の場合、制御機構は `genvar_assignments` と `genvar_expressions.operators` から構成されます (手順指定および式は使用しない)。

```
for (procedural_assignment ; expression; procedural_assignment) statement
```

ここで、for `analog_statement` の形式は

```
for (genvar_assignment; genvar_expression; genvar_assignment) analog_statement
```

信号 (Signals)

ネットとブランチ信号へアクセス。

ネットとブランチ信号は、関連 `discipline` のアクセス関数によってのみアクセスされます。ネットまたはブランチ名は、アクセス関数への引数として指定されます。

例：

```
Vin = V(in);  
CurrentThruBranch = I(myBranch);
```

イベント (Events)

コンポーネントのアナログ ビヘイビアは、イベントを使用してコントロールすることができ、それには以下の特徴があります：

- イベントには所要時間がありません。
- イベントは、別部品のビヘイビア モデルでトリガされ、検出することができます。
- イベントは、アナログ ブロックの実行を妨げません。
- イベントは、@ 演算子を使用して検出することができます。
- イベントは、データをホールドしません。
- イベントには、デジタルおよびアナログ イベントの両方があります。

アナログ イベントには、以下の 2 つのタイプがあります：グローバル イベント、およびモニタ イベント。空の引数は、アナログ イベントでは許可されません。

クロス関数

`cross()` 関数は、モニタされたアナログ イベントの生成のために使用されます。`cross()` は、式が指定された方向でゼロと交差する場合に、アナログ信号のしきい値の交差を検出するために使用されます。`cross()` は、時間ステップをコントロールし交差を正確に解くことができます。形式は次の通りです：

```
cross( expr [, dir [, time_tol [, expr_tol]] ] );
```

ここで、*expr* は必須であり、*dir*、*time_tol*、および *expr_tol* はオプションの引数です。*dir* 引数は整数式です；他の引数は実数です。許容値が定義されない場合、それはシミュレータによって設定されます。いずれかあるいは両方の許容値が定義される場合、交差の方向も定義されなければなりません。その方向は、+1、-1、あるいは 0 までの数値を求めるだけになります。その方向が 0 に設定されるか、あるいは指定されない場合は、イベントと時間ステップ制御が、正および負の信号交差の両方で行われます。その方向が、+1、-1 の場合は、イベントと時間ステップ制御が、信号の立ち上がりエッジ（立ち下がりエッジ）トランジションのみで行われます。他の信号のトランジションでは、`cross()` 関数はイベントを生成しません。*expr_tol* and *time_tol* は、推定された交差点と実際の交差点間の最大許容値を表わします。

例：

以下の `sample-and-hold` の記述は、`cross()` 関数の使い方を説明しています。

```
module sample_and_hold (in, out, sample);
    output out;
    input in, sample;
    electrical in, out, sample;
    real state;
    analog begin
        @(cross(V(sample) -2.0, +1.0))
        state = V(in);
        V(out) <+ transition(state, 0, 10n);
    end
endmodule
```

`cross()` 関数は、内部状態を維持します。`cross()` 関数は、その条件式が `genvar` 式でない限りは、`if()`、`case()`、`casex()`、あるいは `casez()` ステートメント内では使用できないという他のアナログ演算子と同じ制限があります。また、`cross()` は、`repeat()` や `while()` 反復ステートメントでは許可されていませんが、`analog_for` ステートメントでは許可されています。

タイマー関数

`timer()` 関数は、アナログ イベントを生成するために使用されます。指定点を検出するために使用されます。一般的な形式は次の通りです：

```
timer ( start_time [ , period [ , time_tol ] ] );
```

ここで、*start_time* は必須の引数ですが、*period* and *time_tol* はオプションです。`timer()` 関数は、絶対時刻 (*start_time*) で実行するイベントを組み入れます。次に、アナログ シミュレータは、イベントの *timetol* 内で時間点を挿入します。その時間点では、イベントは真に評価します。*time_tol* が指定されない場合は、デフォルト時間点は、イベントの時間（ある少し後）になります。時間がゼロを越える場合は、タイマー関数が時間の倍数でその後のイベントを予定します。

シミュレーション

例：

擬似乱数のビット ストリーム ジェネレータは、タイマー関数の使用法を示す 1 つの例です。

```
module bitStreamGen (out);
    output out;
    electrical out;
    parameter period = 1.0;
    integer x;
    analog begin
        @(timer(0, period))
        x = $random + 0.5;
        V(out) <+ transition( x, 0.0, period/100.0 );
    end
endmodule
```

演算子

アナログ演算子は、式で実行され値を返します。また、演算子は、内部状態を維持しながら現在値の引数以上で動作します。その出力は入力と内部状態の関数です。

アナログ演算子は内部状態を維持するので、いくつかの重要な制限に従わなければなりません。以下のような制限があります：

- アナログ演算子は、その条件式が `genvar` 式（解析中にその値を変更することができない）でない限りは、条件(`if` や `case`) あるいはループ(`for`) ステートメントの内部では使用できません。
- アナログ演算子は、反復やループ ステートメントでは許可されません。
- アナログ演算子は、アナログ ブロックの内部のみで使用することができます；`initial` ブロック、または `always` ブロック、あるいはユーザ定義のアナログ関数の内部では使用することができません。

ほとんどの場合、アナログ演算子の引数リストで空の引数を指定することができません。

演算子	関数
時間導関数	ddt 演算子は、その引数の時間導関数を計算します。形式は ddt (<i>expr</i>) です
時間積分	idt 演算子は、その引数の時間積分を計算します。一般的な形式は idt (<i>expr</i>) です
線形の遅延時間	absdelay() は、連続波形の絶対伝送遅延を実行します。一般的な形式は、absdelay (<i>input</i> , <i>td</i> [, <i>maxdelay</i>]) です
離散波形フィルタ (transition、slew)	transition(<i>expr</i> [, <i>td</i> [, <i>rise_time</i> [, <i>fall_time</i> [, <i>time_tol</i>]]]) slew アナログ演算子は、波形の変化率 (スロープ) を制限します。一般的な形式は、slew (<i>expr</i> [, <i>max_pos_slew_rate</i> [, <i>max_neg_slew_rate</i>]]) です。last_crossing () 関数は、信号式 last がゼロと交差した時の、シミュレーション時間を表わす実数値を返します。形式は、last_crossing (<i>expr</i> , <i>direction</i>) です。
ラプラス変換フィルタ	laplace_zp ()、ラプラス変換フィルタのゼロポール形式を実行します。それぞれの一般的な形式は、laplace_zp (<i>expr</i> , <i>z</i> , <i>r</i> [, <i>e</i>]) です。 laplace_zp () は、ラプラス変換フィルタのゼロ分母形式を実行します。laplace_np () は、ラプラス変換フィルタの分子ポール形式を実行します。laplace_nd () は、ラプラス変換フィルタの分子分母形式を実行します。
Z 変換フィルタ	Z 変換フィルタは、線形離散時間フィルタを実行します。各フィルタは、フィルタのサンプリング周期を指定するパラメータ T を使用します。ゼロの引数は、空の引数として表わされる場合があります。空の引数は、引数リストの 2 つの隣接したコンマ (,,) によって生成されます。 すべての Z 変換フィルタは、通常の引数を 3 つ共有します：T、t、および t0。T は、フィルタ期間を指定し、必須であり、正でなければなりません。t はトランジション時間を指定し、オプションであり、負であってははいけません。 zi_zp () は、Z 変換フィルタのゼロポール形式を実行します。一般的な形式は、zi_zp (<i>expr</i> , <i>z</i> , <i>r</i> , <i>T</i> [, <i>t</i> [, <i>t0</i>]]) です zi_zd () は、Z 変換フィルタのゼロ分母形式を実行します。 zi_np () は、Z 変換フィルタの分子ポール形式を実行します。 zi_nd () は、Z 変換フィルタの分子分母形式を実行します。

シミュレーション

コントリビューション指定ステートメント

シーケンスブロック

シーケンス ブロックは、2 つ以上のステートメントが 単一ステートメントにグルーピングされています。形式は次の通りです：

```
begin [ : block_identifier { block_item_declaration } ]  
  { statement }  
end
```

ここで、*block_item_declaration* は
parameter_declaration
integer_declaration | *real_declaration*

間接ブランチの指定

間接ブランチの指定は、式を解くのが難しい場合に有効です。形式は以下の通りです：

```
V(n) : V(p) == 0;
```

これは、「 $V(p)$ が 0 になる $V(n)$ を検出する」を表します。この例は、ノード n は電圧源で作動し、電圧は指定する式が満たされなければならないことを示します。 $V(p)$ はプローブされ作動しません。

間接ブランチの指定は、アナログブロック内のみで許可されます。

ブランチ コントリビューションステートメント

通常、ブランチ コントリビューション ステートメントは、ブランチ コントリビューション 演算子によって区切られ、左辺と右辺から構成されます。右辺は実数値を求める（あるいは実数値なる）様々な式になります。左辺は、RHS を指定するためのソース ブランチ信号を指定します。これは、ブランチに適用された信号のアクセス関数から構成されます。式は以下の通りです：

```
V(n1, n2) <+ expression;
```

ブランチ コントリビューション ステートメントは、ソース ブランチの関係を暗示的に定義します。ブランチは、アクセス関数の最初のネットから第 2 のネットまでです。第 2 のネットがコールで指定されない場合、グローバル レファレンスノード（グラウンド）がレファレンス ネットとして使用されます。

ポート

ポートは、他のモジュールおよびデバイスにモジュールの接続方法を提供します。ポートには方向があります：Input、output、あるいは inout は宣言しなければなりません。ポートは、モジュールの宣言後にリストされます。次に、ポートタイプ、およびポート方向がモジュールのボディで宣言されなければなりません。

例：

```
module resistor(p,n);
  inout p,n;
  electrical p,n;
  ...
module modName(outPort, inPort);
  output outPort;
  input inPort;
  electrical out, in;
  ...
```

ポートは、ベクトル（バス）もサポートすることができます。

アナログ関数

アナログ関数は、ユーザ定義関数がパラメータを受け入れ、かつ値を返すモジュール法を提供します。関数は、アナログまたはデジタルとしてモジュール内に定義されなければなりません。

アナログ関数は、以下の形式です：

```
analog function {real|integer} function_name ;
  input_declaration;
  statement_block;
endfunction
```

input_declaration は、関数の入力パラメータ、およびステートメントブロックの中で使用される様々な変数について記述します：

```
input passed_parameters;
real parameter_list;
```

statement_block とアナログ関数：

- 条件の実行に有効なあらゆるステートメントを使用することができません。アクセス関数を使用することはできません。
- コントリビューション ステートメントやイベント制御ステートメントを使用することはできません。
- 少なくとも宣言された入力が 1 つなければなりません；ブロック アイテム宣言は、使用ローカル変数と同じく入力タイプを宣言します。
- 名前付きブロックは使用できません。
- ローカルに定義された変数、あるいは渡された変数引数を参照することしかできません。

シミュレーション

アナログ関数は、*function_name* 関数と同じ名前の変数を暗示的に宣言します。この変数は、ステートメント ブロックの中で指定されなければなりません；その最後の指定値は返されます。

例：

```
analog function real B_of_T;
  input B, T, T_NOM, XTB;
  real B, T, T_NOM, XTB;
  begin
    B_of_T = B * pow(T / T_NOM, XTB);
  end
endfunction
```

関数は、ラインでコールされます：

```
BF_T = B_of_T(BF, T, T_NOM, XTB);
```

システム タスクと関数

システム関数は、シミュレータ情報と同様にシステム レベル タスクにアクセスを提供しました。

環境パラメータ関数

これらの関数は、シミュレータ環境情報を返します。

関数	返り値
\$temperature	回路周囲温度 (Kelvin)
\$abstime	絶対時刻 (秒)
\$realttime[<i>scale</i>]	\$realttime には、時間をスケールするオプションの引数があります。引数が与えられない場合、\$realttime の返り値は、それを起動したモジュールの <code>time_unit</code> にスケールされます。引数が与えられる場合、\$realttime は引数の値で絶対時刻を割ります (つまり、引数で指定された値にスケールします)。\$realttime に対する引数は、`time_unit のセマンティクスに従います。つまり、それは整数と、続くスケールファクタから構成されます。有効な整数は以下の通りです：1、10、および 100；有効なスケールファクタは以下の通りです：s (seconds)、ms (milliseconds)、us (microseconds)、ns (nanoseconds)、ps (picoseconds)、および fs (femtoseconds)
\$vt[<i>Temperature</i>]	\$vt は、オプションで入力引数として温度 (単位 Kelvin) をとり、所定の温度で熱電圧 (kT/q) を返します。オプションの入力温度引数のない \$vt は、\$temperature を使用する熱電圧を返します

入力／出力操作

これらの関数は、表示やファイル操作へのアクセスを提供します。

関数	返り値
\$fopen (<i>file_name</i>)	\$fopen は、引数として指定されたファイルを開き、ファイルに唯一関連する 32 ビット多チャンネルの記述子を返します。記述ファイルを開くことができなかった場合は、0 を返します。
\$fclose(<i>file_id</i>)	\$fclose は、多チャンネルの記述子で指定されたチャンネルを閉じます。閉じたチャンネルへそれ以上の出力を許可しません。 \$fopen は、閉じているチャンネルを再使用します。
\$strobe(<i>args</i>)	printf() スタイル形式を使用するすべてのノードのための解にシミュレータが収束した場合、\$strobe はシミュレーションデータを表示することができます。
\$monitor(<i>args</i>)	\$monitor は、\$strobe と同じ機能を提供しますが、パラメータを変更した場合だけ出力します。

Eagleware Verilog-A 拡張子

Eagleware は、Verilog-A にいくつかの拡張子を作成しました。これらの拡張子は Verilog-A ファイルでは必要ありませんが、モデルに関してより完全な情報を GENESYS に提供することができます。それにより、ユーザ間での Verilog-A ファイルの受け渡しが簡単にできます。GENESYS では、Verilog-A ファイルが、モデルの完全な記述を提供するため、一般的に他のファイルをユーザ間で共有する必要がありません。

パラメータの記述

まず、パラメータ記述と単位をコメントに含むことができます：

```
parameter real Vtr = 20.0; // ソフト ブレークダウン モデル パラメータ [V]
parameter real P3 = 0.0; // チャンネル電流用の多項式係数 P3 [1/V^3]
parameter real Fnc = 0.0 from [0 : inf]; // ノイズ コーナー周波数 [Hz]
parameter real Cds = 0 from [0 : inf]; // ゼロ バイアス D-S 接合キャパシタンス [F]
```

パラメータと同じラインにあるコメントは、すべてパラメータの記述であると見なされます。また、単位は角括弧内に記述できます。現在サポートされている単位は以下の通りです：Hz、Ohm、mho、H、F、V、A、s、C、deg、m、W、および DB です。これらの単位いずれかを使用すると、パーツを使用する際に、他の関連する単位（pF または dBm など）を指定することができます。承認されていない単位（上述の「1/V³」など）については、パーツ用として入力しなければならない単位を単にユーザに知らせるために記述します。

また、コメントが「未使用 (Unused)」、あるいは「別名 (Alias)」で始まる場合は、パラメータは GENESYS のユーザには表示されなく、デフォルト値が使用されます。コメントが「必要 (Required)」から始まる場合に、パラメータが指定されないと、GENESYS は エラーを表示します。`NOT_GIVEN` 値をデフォルトとして使用する場合は、GENESYS はデフォルトを表示しません。但し、デフォルト値として「オプション (optional)」を表示するのみです。

Eagleware 拡張キーワード

すべての Eagleware 拡張キーワードは、Verilog-A のコメント内の 2 つのペアのパーセント記号間に置かれます。以下ようになります：

```
// %%KEYWORD%%  
// %%KEYWORD=value%%
```

これらのキーワードはコメント内に置かれるので、他のシミュレータでは無視されます。キーワードは、有効なモジュール内に置かなければなりません (モジュール ステートメントの後)。キーワードは、1 つのモジュールのみに有効です。VA ファイルに多数のモジュールがある場合は、多数のモジュールに有効なあらゆるキーワードを複製する **必要** があります。

DEVICE_CLASS キーワード

DEVICE_CLASS キーワードは、モジュールがどのタイプのデバイスを表わすかを GENESYS に命じます。このようにすると、GENESYS では以下のことが可能になります：

- 適切なシンボルを選択できます
- 1 つの Verilog-A ソース から N または P クラスデバイス (NFET または PFET など) 用の複数のモデルを作成できます。
- トランジスタ クラスデバイス用に、ピン 1 および 2 を自動的にリバーシブできます。SPICE (また、大抵の Verilog-A ソース) では、入力ピン 2、出力はピン 1 なのでこのリバーシブは必要です。GENESYS や大抵の RF/マイクロ波シミュレーションでは、入力はピン 1、出力はピン 2 の仕様になります。

デバイスクラス ステートメントの例を以下に示します：

```
// %%DEVICE_CLASS=DIODE%%  
// %%DEVICE_CLASS=FET(NFET,PFET)%%  
// %%DEVICE_CLASS=MOS(NMOS : type=1,PMOS : type=-1)%%
```

一般的なキーワードの形式は、以下の通りです：

```
// %%DEVICE_CLASS=type(option1 : var1=value1,option2 : var2=value2...)%%
```

type は必要であり、以下の中の 1 つになります：

DIODE, BJT, BJT4, BJT5, FET, JFET, MOS, RESISTOR, CAPACITOR, CCCS, CCVS, VCCS, VCVS

BJT4 は基板ノードを追加します。また、BJT5 は基板と温度ノードを追加します。MOS は、3 つおよび 4 つのピンデバイスをサポートします。

option1, option2, ... は必要ありません。それらが提供された場合は、GENESYS は、各オプションにつき 1 つのモデルを作成します。さらに、*var* がオプションとして提供されない場合、オプションの値は 1 に設定されます。上述の FET の例では、GENESYS は、ベース モデル名に「_NFET」および「_PFET」を追加し、2 つのモデルを作成します。NFET モデルでは、値「NFET」は 1 に設定されます。さらに、NFET と PFET は GENESYS ではパラメータとして示されません。GENESYS は、また適切なシンボルをあらゆる認識されたオプションに使用します。以下のオプションは、GENESYS で認識されます：

BJT、BJT4、BJT5：NPN および PNP

FET および JFET：NFET、NJF、PFET および PJF

MOS：NMOS および PMOS

var1, var2, ... が指定された場合は、それらは指定値に設定されます（値に設定されているオプションではなく）。さらに、参照されたパラメータは、GENESYS ではパラメータとして示されません。あるいは、それらは上記の場合と同一に作用します。

EAGLEWARE_LAYOUT キーワード

フットプリントあるいは関連入力をオーバーライドできる高度なキーワード。

EAGLEWARE_OPTIONS キーワード

追加のモデルオプションの仕様を許可する高度なキーワード。

EAGLEWARE_NAME キーワード

通常、GENESYS のモデル名は Verilog-A モデル（このベース名に追加されたあらゆるデバイスクラス オプションを付け）と同じです。ベース名は以下でオーバーライドできます：

```
// %%EAGLEWARE_NAME=modelname%%
```

EAGLEWARE_SWAP12 キーワード

GENESYS のピン 1 および 2 をリバーズする高度なキーワード。その後ファイルに置かれた場合は、DEVICE_CLASS 交換をオーバーライドすることができます。

EAGLEWARE_NOSWAP12 キーワード

ピン 1 および 2 が GENESYS で交換されないようにする高度なキーワード。その後ファイルに置かれた場合は、DEVICE_CLASS 交換をオーバーライドすることができます。

EAGLEWARE_IGNORE キーワード

パラメータを無効にするように GENESYS に命じます。例、

```
// %%EAGLEWARE_IGNORE=x%%
```

GENESYS にパラメータ *x* を表示しません。また、デフォルト値は Verilog-A で使用されます。

第6章： SPECTRASYS（システム）

スペクトル伝搬とルートコース解析 (SPARCA)

RF アーキテクチャのシミュレーションのために新しいシミュレーション技術が開発されました。この技術は、スペクトル伝搬とルートコース解析 (Spectral Propagation and Root Cause Analysis) と呼ばれます。すべてのノードのすべてのソース スペクトラムは、回路図内のすべてのノードに、前進および後進伝搬します。それに沿って、ノイズ、相互変調、高調波、および位相雑音が発生し、これらのスペクトラムは回路図のすべてのノードに伝搬します。これらのスペクトラムにはスペクトル密度情報が含まれるため、帯域幅の影響が自動的に考慮されます。スペクトラムはシステムを通じて伝搬するため、スペクトルシステムが維持され、ユーザは、あらゆるスペクトラムの伝搬パスを識別することができます。さらに、この起源情報にはコヒーレンス情報、希望するまたは希望しない状態、および特定のスペクトラムに関連する周波数方程式も含まれます。スペクトル識別に関して詳細は、[ここをクリックしてください](#)。このシミュレーション技術は、シミュレーション解決のために収束基準や大型行列の数学的反転を必要とするハーモニック バランスのような従来の非線形シミュレーション技術と比べ、きわめて高速です。

ユーザは特定のパス沿いのカスケード接続情報を収集するために、単一のブロック ダイアグラムを通る任意のパスを指定します。各パスには、希望するもの、合計、ノイズ、位相雑音などいくつかの種類のパスが含まれます。指定されたパス沿いの各スペクトラムは、適切なパスに分類されて配置されます。個々のパスの種類について測定が行われ、希望する結果が生成されます。例えば、チャンネル ノイズ電力測定では、すべての信号、相互変調と高調波、および位相雑音スペクトラムがそのパス スペクトラムから除外され、ユーザは、強い信号が同じ周波数にあるかないかに関わらず、チャンネル内のノイズだけを得られます。これは非常に大きなメリットであり、ユーザは真のチャンネル内信号対ノイズ比を調べ、測定することができます。

シミュレーション

SPARCA シミュレーションのメリット：

- 高速シミュレーション速度
- すべてのスペクトラムの特定
- 信号を他の信号の下に表示できる
- 真のチャンネル内信号対ノイズ比測定
- スペクトルの方向性
- すべてのスペクトラムの帯域幅
- 広帯域ノイズ
- 位相雑音
- パス VSWR 効果
- 単一ブロック ダイアグラムの多重パス解析
- 従来のカスケード方程式の制限的前提が除かれる
- 将来の拡張に対する柔軟性

はじめに

SPECTRASYS ウォークスルー

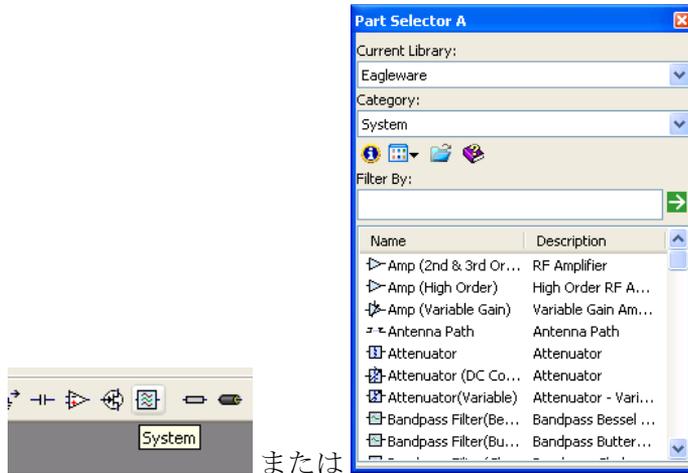
SPECTRASYS は、RF アーキテクチャ デザインをまったく新たなレベルに導く、SPARCA と呼ばれる新しいシミュレーション技術を使用しています。このウォークスルーでは、シンプルな RF チェーンをデザインし、アーキテクチャ ノイズと利得性能を測定するお手伝いをします。

RF システム解析の**基本ステップ**：

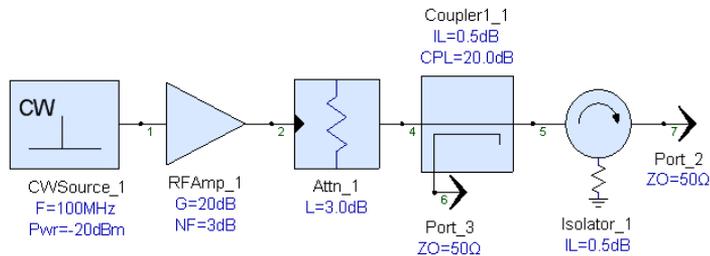
1. 回路図を作成します
2. システム解析を追加します
3. シミュレーションを実行します
4. グラフやテーブルを追加します

システム回路図の作成

SPECTRASYS はすべての線形モデルとビヘイビア非線形モデルをサポートします。ビヘイビア モデルは、システム ツールバーかパーツ **セレクタ**で見つけられます。



以下のシステム回路図を作成します（すべてのモデルのデフォルト パラメータが使用される）。回路図作成に関する追加ヘルプは、ここをクリックしてください。



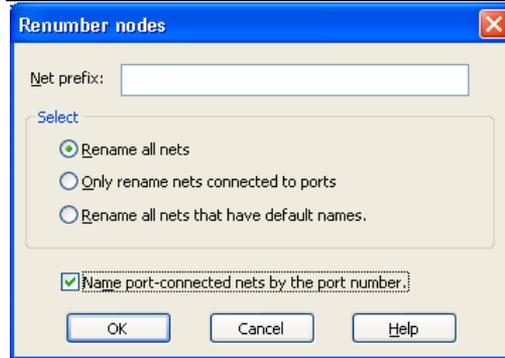
1. システム ツールバーまたはパーツ セレクタから [RF アンプ - 2次 3次 (RF Amplifier - 2nd 3rd Order)] を選択します。
2. カーソルを移動し、回路図ウィンドウの内側をクリックしてパーツを配置します。
3. 前のステップを使って、固定アッテネータ、単方向カップラ、およびアイソレータを配置します。
4. CW ソースを入力に配置します。
5. アイソレータとカップラの出力に出力ポートを配置します。（ヒント：キーボード上の「O」キーを押して出力ポートを配置します）
6. 各要素の出力が次の要素の入りに配線されていることを確認します。

ヒント：パーツがハイライトされているときに「F4」キーを使って、そのパーツの周りのデフォルト位置にパーツ テキストを繰り返し移動します。

シミュレーション

注記：回路図に示されるノード番号は、回路図に配置されたパーツのの順序によって変わることがあります。

[ノード番号の付け直し.(Renumber Nodes..)] を行うには、[回路図 (Schematic)] メニューから [ノード番号の付け直し.(Renumber Nodes)] を選択します。次のダイアログボックスが表示されます：



希望のオプションを選択して [OK] をクリックします。

[概要 (Overview)] に戻ります

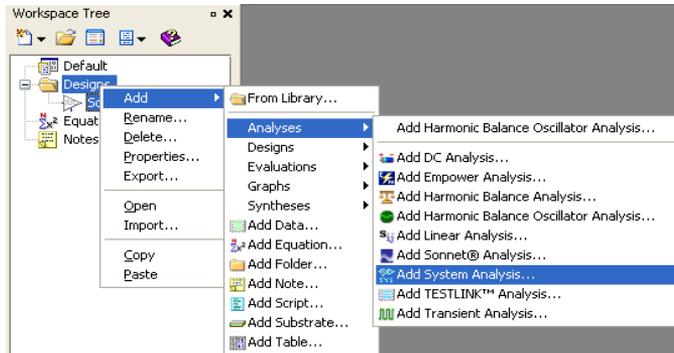
次は [システム解析の追加 (Add a System Analysis)] です

システム解析の追加

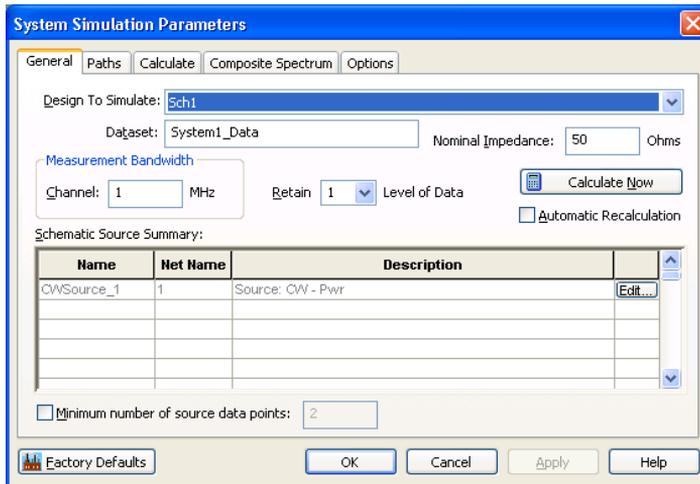
回路図を作成した後は、システム解析を作成します。これを行うにはいくつかの方法があります。ここでは、1つの方法のみ説明します。解析の追加に関する追加情報については、ここをクリックしてください。

システム解析を追加するには以下の手順を実行します：

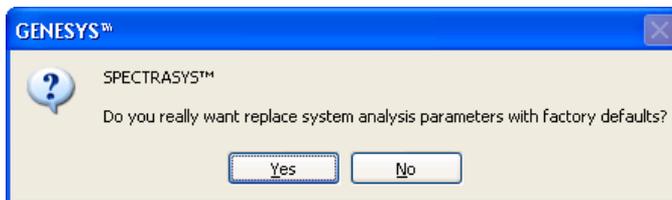
1. 解析を保存するワークスペース ツリー内のフォルダを右クリックします。



2. 選択した上記のサブメニューから、[システム解析の追加...(Add System Analysis...)] を選択します。
3. 以下のような [システム解析 (System Analysis)] ダイアログ ボックスが現われます。

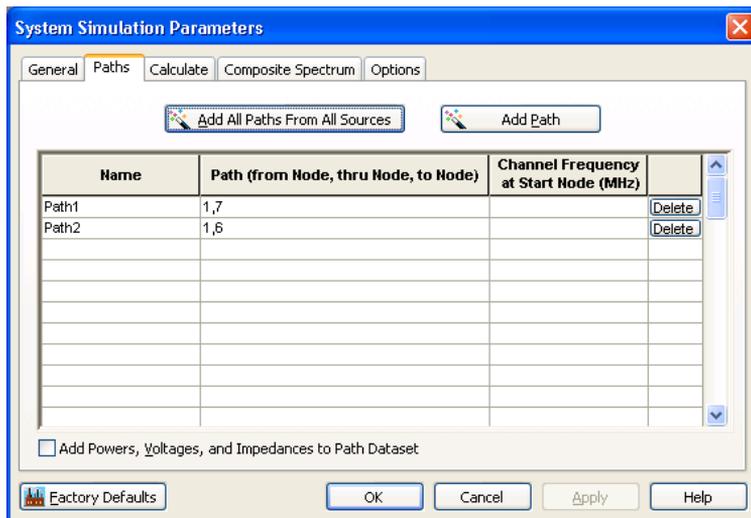


4. [初期設定 (Factory Defaults)] ボタンをクリックし、ダイアログ ボックスを既知の条件に初期化します。
5. [初期設定 (Factory Defaults)] ダイアログボックスの [はい (Yes)] をクリックします。



シミュレーション

- パス測定が必要な場合は（即ち、カスケード利得あるいはカスケード雑音指数）、[パス (Paths)] タブをクリックします。



- [すべてのソースからのパスをすべて追加する (Add All Paths From All Sources)] ボタンをクリックします。上に示されるように、2つのパスが表示されます。注記：ノード番号は、回路図のノード番号が変わると上に示されたのとは異なる場合もあります。パスの指定に関する追加情報については、ここをクリックしてください。
- ダイアログの [OK] ボタンをクリックします。

[システム回路図の作成 (Create a System Schematic)] に戻る

次は [シミュレーションを実行 (Run the Simulation)] です

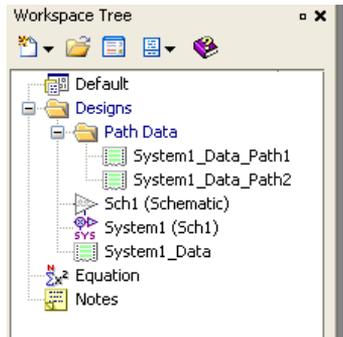
シミュレーションを実行

解析データを作成してからでないとプロットしたり、テーブルに表示したりすることはできません。解析は、[自動的に再計算 (Automatically Recalculate)] を有効にできますが、手動計算が必要な場合もあります。

解析が [自動的に再計算 (Automatically Recalculate)] に設定されている場合は、解析後にデータセットがワークスペースに表示されます。

手動計算が必要な場合は、計算ボタン (🔍) が赤で表示され、他のアイテムはワークスペース ツリーに表示されます。計算ボタンをクリックしてシステム解析を更新し、必要なデータセットを作成します。

計算後、ワークスペース ツリーは以下のようになります：



データセットに関して詳細は、[ここをクリックしてください](#)。

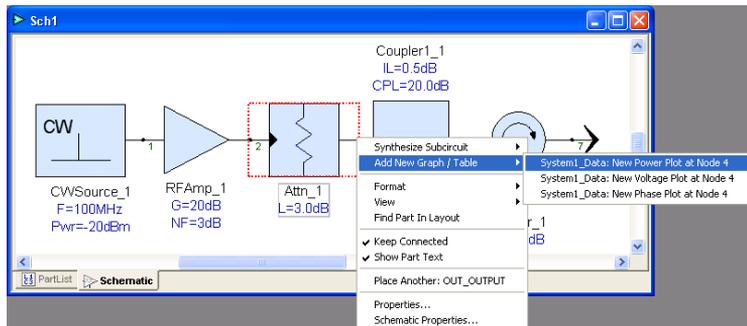
[システム解析の追加 (Add a System Analysis)] に戻ります

次は、[グラフやテーブルの追加 (Add a Graph or Table)] です

グラフやテーブルの追加

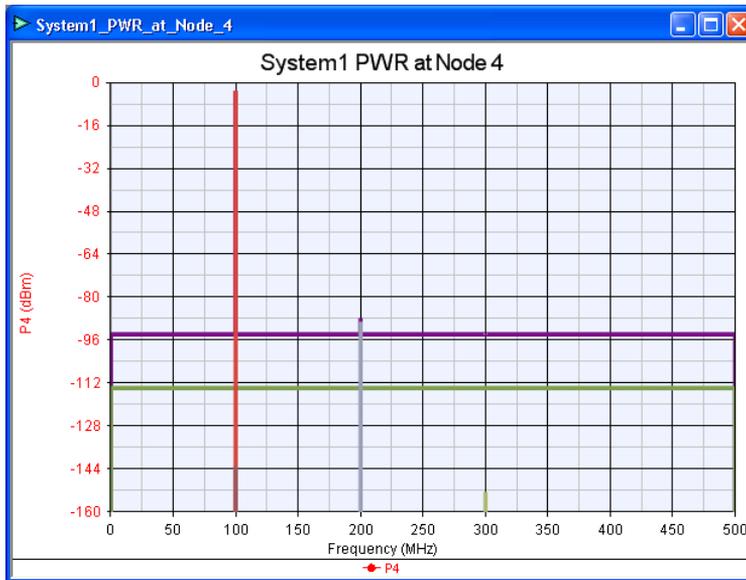
GENESYS には、データ表示するためのいくつかの方法があります。ここでは、1 つの方法のみ説明します。グラフに関する追加情報については、[ここをクリックしてください](#)。

SPECTRASYS でスペクトラム パワー、位相、あるいは電圧プロットを追加する最も簡単な方法としては、表示対象のノードを右クリックして、**[新規のグラフ/テーブルの追加 (Add New Graph/Table)]** サブメニューから **[System1_Data: New Power Plot at Node x]** を選択します。(以下の図では、アッテネータの出力が選択されました)。

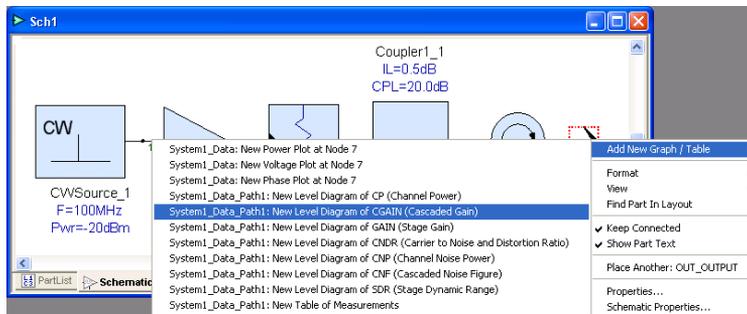


シミュレーション

以下のグラフが表示されます：



レベルダイアグラム（先ずパス番号を定義）を追加するには、パスの終了ノードを右クリックし、[新規のグラフ/テーブルの追加 (Add New Graph/Table)] サブメニューから、[System1_Data_Path1 : CGAIN の新規レベルダイアグラム (カスケード利得) (System1_Data_Path1 : New Level Diagram of CGAIN (Cascaded Gain))] をクリックします。



以下のレベル ダイアグラムが表示されます：



レベル ダイアグラムの追加と同じプロセスに従って共通測定値の定義済みのテーブルを追加します。ただしこの場合は、[新規のグラフ/テーブルの追加 (Add New Graph/Table)] サブメニューから [System1_Data_Path1 : 測定値の新しいテーブル (System1_Data_Path1 : New Table of Measurements)] を選択します。パス測定に関する追加情報については、ここをクリックしてください。

デフォルト テーブルは以下のように見えます：

NodeNames	Parts	CF	CP	CNP	GAIN	CGAIN	CHDR	CNF	SDR
1	CWSource_1	100	-20	-113.826	0	0	93.826	0	120
2	RF Amp_1	100	433.3e-6	-90.826	20	20	90.826	3	60
3	Attn_1	100	-3	-93.804	-3	17	90.804	3.022	103
4	Coupler1_1	100	-3.5	-94.299	-0.5	16.5	90.799	3.027	103.5
5	Isolator_1	100	-4	-94.793	-0.5	16	90.793	3.033	104

ヒント：追加のテーブル オプションを見るには、テーブル データを右クリックしてください。

[シミュレーションを実行 (Run the Simulation)] に戻ります。

基礎

一般的なビヘイビア モデルの概要

ビヘイビア モデルは SPECTRASYS 独自のものです。スペクトル伝搬とルートコース解析 (SPARCA) という独自のシミュレーション技術が使用されているため、様々な種類のスペクトラムのビヘイビアをモデル化することができます。SPARCA は以下の種類のスペクトラムをサポートします：

- 信号
- 相互変調と高調波
- 広帯域ノイズ
- 位相雑音

SPARCA シミュレーション技術は非常に柔軟性があり、将来の必要に備えて、スペクトラムの種類を追加できます。

各モデルがこれらのスペクトラムの種類に関してそのビヘイビアを管理します。さらに、SPARCA では、信号が流れている方向、および希望する信号と希望しない信号を知ることができます。ビヘイビア モデルのどのピンも、入力ピンと出力ピンの両方の役目をします。各ピンは、そのピンとスペクトルの種類に適したビヘイビアを使用して入力スペクトラムを処理します。

線形モデル（抵抗、キャパシタ、伝送ラインなど）は、Y-行列を使用して各スペクトラムの出力伝達関数への入力を求めます。線形モデルの場合、出力伝達関数への同じ入力が、すべてのスペクトラムの種類に適用されます。

非線形モデル（アンプ、マルチプライヤ、ミキサなど）は、P1dB、PSAT、IP3、および IP2 などの非線形パラメータに依存する Y-行列を使用します。非線形パラメータは、特定のモデル、入力ピン、出力ピン、およびスペクトラムの種類に関連するビヘイビアの作成に使用されます。

Y-行列が計算に使用されるため、パス沿いおよび回路図ノードにおける VSWR 効果が自動的に考慮されます。

ソース

システム解析によって有効なデータを得るには、まず、ソースを回路図に配置し、被試験デバイスに接続する必要があります。

注記：熱雑音は自動的にシステム解析に付加されます。

エレメント カタログの具体的なソース情報については、以下のリンクをクリックしてください。

CW ソース

位相雑音のある CW ソース

広帯域ソース

マルチキャリア ソース

相互変調ソース

相互変調ソース (受信機)

連続周波数ソース

ノイズ ソース

チャンネル

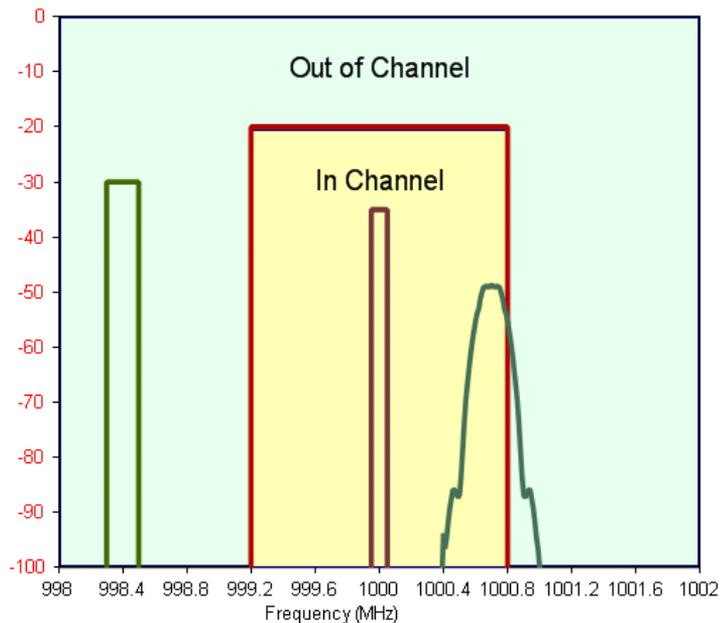
SPECTRASYS における測定はすべてチャンネルに基づきます。

チャンネルは以下によって構成されます：

1. 中心周波数
2. 帯域幅

チャンネルの例

チャンネルの中心周波数は 1000 MHz で、帯域幅は 1.6 MHz (999.2 ~ 1000.8 MHz)。黄色の領域にあるスペクトラムだけがチャンネル測定によって積分されます。



SPECTRASYS ではいくつかの異なるチャンネルが使用されます：

1. パスの**メイン** チャンネル
2. **オフセット** チャンネル
3. **干渉源** チャンネル
4. **隣接** チャンネル
5. 第1 ミキサ **イメージ** チャンネル

注記：オフセット チャンネルを除き、**全**チャンネルの帯域幅は、[チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)] です。

パスのメイン チャンネル (Main Channel of the Path) – 測定のほとんどがこのチャンネルに基づくものです。新しいパスはそれぞれ新しい中心周波数を持つことができますが、すべてのパスの帯域幅は同じになります。

オフセット チャンネル (Offset Channel) – これはユーザ定義チャンネルです。このチャンネルはパスのメイン チャンネルからのオフセットとして指定されます。このチャンネルの指定に関する追加情報については、[ここをクリックしてください](#)。

干渉源チャンネル (Interferer Channel) – これはパスの入力と出力のインターセプト ポイントを求めるために使用されます。このチャンネル周波数は絶対値で指定されます。このチャンネルの指定に関する追加情報については、[ここをクリックしてください](#)。

隣接チャンネル (Adjacent Channel) – このチャンネルはパスのメイン チャンネルに隣接します。これはユーザの便宜のために用意されています。

第1 ミキサ イメージチャンネル (1st Mixer Image Channel) – このチャンネルは、第1 ミキサのイメージ測定を行うのに使用されます。

注記：チャンネルを必要とする測定の場合、チャンネル内に入るスペクトラムだけが積分されます。パスの中心周波数の設定が誤っていたり、あるいは、帯域幅の設定が大きすぎたりまたは小さすぎる場合、測定値が期待と異なることがあります。数学的積分が使用されるため、正確です。スペクトラムがチャンネル帯域幅によって分割される場合、チャンネル内に入るスペクトラムの部分のみが測定されます。もちろん、スペクトラム プロットは、チャンネル内にあるかどうかに関わらず、すべてのスペクトラムを表示します。

パスの指定

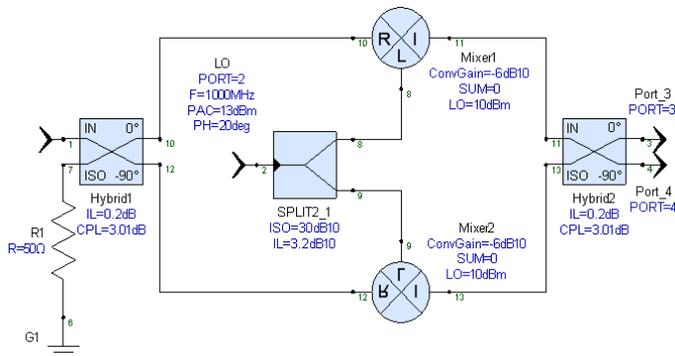
SPECTRASYS は任意のアーキテクチャを通じて多重パスをサポートします。パスは従来の2ポートカスケード接続ラインアップに限定されません。

パスは以下によって構成されます：

1. 名称
2. 開始ノード
3. 終了ノード
4. 周波数

SPECTRASYS は指定ノード間の最短のパスを探します。代替パスを選択したい場合は、「スルー ノード (thru node)」をパスに追加してそのパスを一意に識別することができます。スルー ノードはパスが一意に識別されるまで追加できます。

例



パスが次のように識別された場合は：

Name	Path (from Node, thru Node, to Node)	Channel Frequency at Start Node (MHz)
Path1	1,3	1000

パスは実際には、両方とも同じ長さであるため、「Mixer 1」または「Mixer 2」のいずれも経由可能です。常に「Mixer 1」を経由したい場合は、ノード 10 または 11 をスルー ノードとしてパスに追加するだけでパスを一意に識別できます。

一意のパスは次のように指定されます：

Name	Path (from Node, thru Node, to Node)	Channel Frequency at Start Node (MHz)
Path1	1,10,3	1000

注記：チャンネル周波数がパスに定義されていない場合、SPECTRASYS は、開始パス ノードのソース周波数を調べて、パスの周波数を求めます。ソース周波数が 1 つだけの場合は、それが使用されます。それ以外は、SPECTRASYS がユーザの関心のある周波数がどれか確認できなかったというエラーが表示されます。

注記：複数のパスが同じノードを持ち、周波数が異なることも可能です。

シミュレーション

注記：最高速性能を得るためには、不要なパスを追加しないようにします。パスごとに測定値の計算に時間がかかるからです。

ヒント：ポートと関連するノード番号を使用すると、一般に、パーツがパスに挿入またはパスから削除される時、パスの変更が少なくて済みます。回路図の [ノード番号の付け直し..(Renumber Nodes..)] 機能を使用してポートに接続されたノードの番号を付け直し、パーツがパスに挿入またはパスから削除される時、パスノード番号への変更を最小限に抑えます。

パスの指定に関する追加情報については、ここをクリックしてください。

レベル ダイアグラム

バックグラウンド

レベル ダイアグラムは、ユーザ定義パスに沿ったカスケード段の測定値を表示することができます。グラフの X 軸の水平区分はそれぞれ、パス沿いの段を表します。最初の区分はカスケードへの入力、最後の区分はカスケードの出力を表します。垂直の区分は 2 つの段間のインターフェースです。測定値は縦軸に表示されます。

レベル ダイアグラムにより、カスケード全体の性能を視覚的に素早く確認することができます。ノード番号が横軸に配置され、パスのノードシーケンスを示します。さらに、回路図のシンボルが回路図から抽出され、レベルダイアグラムの下部に配置されます。

レベル ダイアグラムのサンプル



レベル ダイアグラムの追加

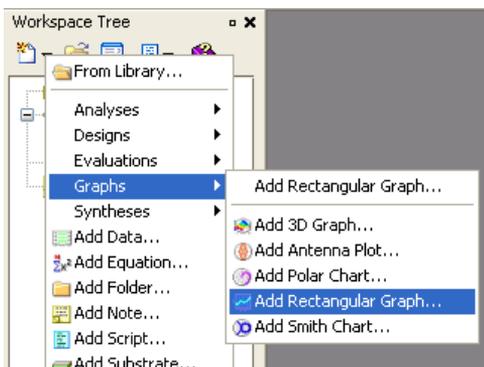
レベル ダイアグラムは様々な方法でワークスペースに追加できます。

共通レベル ダイアグラム :

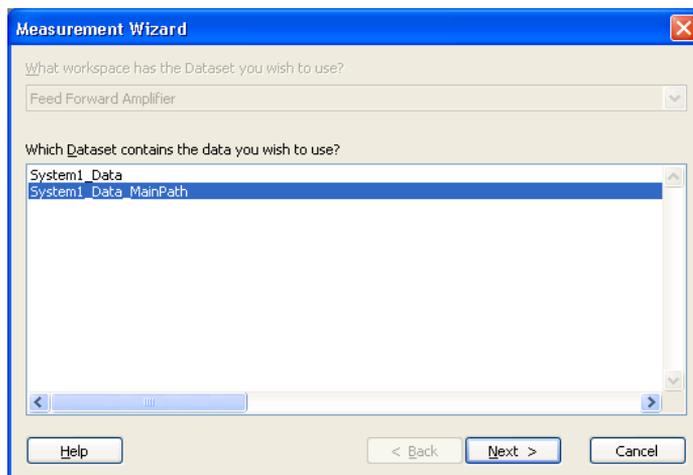
共通レベル ダイアグラムの追加方法については、[ここをクリックしてください](#)。

手でレベル ダイアグラムを追加する :

1. [ワークスペース ツリー (Workspace Tree)] ツールバー上の [ニュー アイテム (New Item)] ボタン () をクリックし、[グラフ(Graph)] メニューから [直交グラフの追加 (Add Rectangular Graph)] を選択します。



2. [グラフ プロパティ (Graph Properties)] タブをクリックします。
3. [測定ウィザード (Measurement Wizard)] ボタン ( Measurement Wizard...) をクリックします。
4. 希望のパス データセットを選択します。

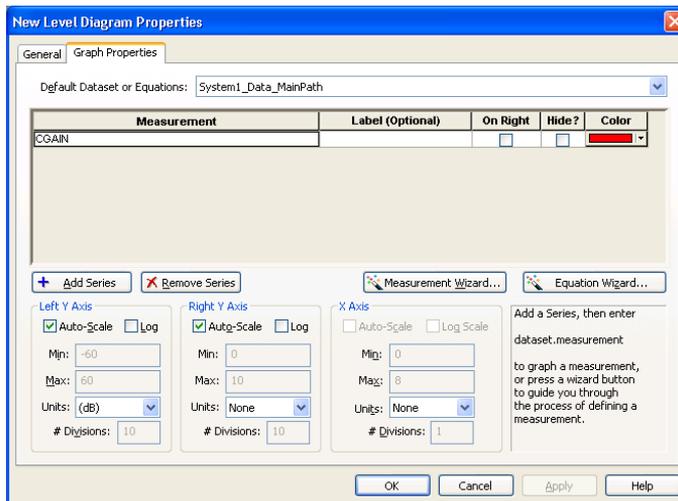


シミュレーション

5. [次へ (Next)] ボタンをクリックします。
6. 希望のパス測定を選択します。



7. [完了 (Finish)] ボタンをクリックします。



グラフに関する追加情報については、ここをクリックしてください。

レベルダイアグラムを最大限活用する

- 右 Y 軸を使って追加パス測定値を調べます。

- レベル ダイアグラムの下部にある**パーツをダブルクリック**して、レベル ダイアグラムから直接、段パラメータを変更します。
- パスが多くの段を含む場合は、マウスのホイールを使って**ズーム イン、ズーム アウト**します。
- X 軸範囲は手動で設定できます。注記：このケースでは、ノード番号でなくインデックスが使用されています。インデックス '0' はパス沿いの最初のノードです。

ヒント：問題のトラブルシューティングの際は、レベル ダイアグラムではなくテーブルを使用してください。テーブルを使うとレベル ダイアグラムよりももっと多くのパラメータを同時に調べることができます。トラブルシューティング時は、チャンネル周波数とパワー レベルのチェックが非常に重要です。

スペクトラム プロットとテーブル

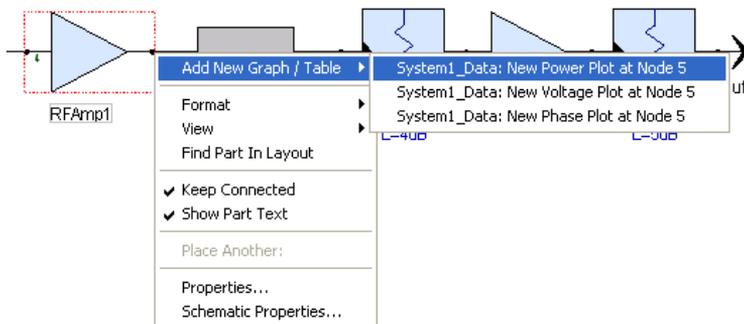
SPECTRASYS のスペクトラム プロットは表示される情報の種類の点で独自なものです。以下を表示することができます：

- 信号、相互変調と高調波、熱雑音、位相雑音などの個々のスペクトラム
- ノードまでのすべての方向のすべての個々のスペクトラムから構成される総スペクトラム
- 各総スペクトラムのスペクトラムアナライザトレース
- 信号、相互変調と高調波、熱雑音、位相雑音のようなスペクトラムは個別スペクトラムとしてではなくグループ化して表示できます。

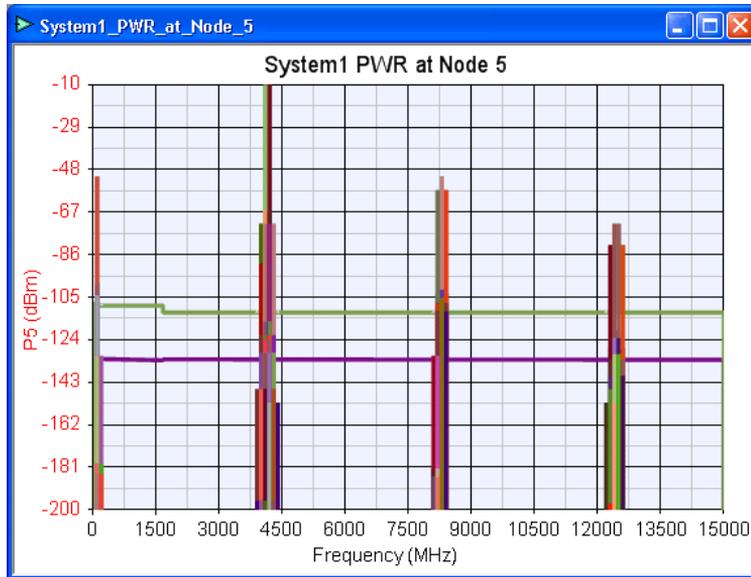
表示されるスペクトラムの種類に関する追加情報については、[ここをクリックしてください](#)。

スペクトラムプロットを追加する最も簡単な方法

スペクトラムプロットを追加する最も簡単な方法は、以下に示すように、関心のあるノードを右クリックし、[新規のグラフ/テーブルの追加 (Add New Graph/Table)] サブメニューからプロットを選択することです。

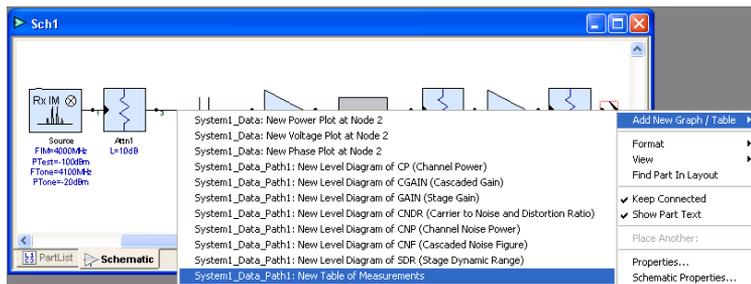


スペクトラムプロットが表示されます。



テーブルを追加する最も簡単な方法

パス テーブルを追加する最も簡単な方法は、以下に示すように、パスが終了するノードを右クリックし、[新規のグラフ/テーブルの追加 (Add New Graph/Table)] サブメニューから [System1_Data_Path1: 測定値の新しいテーブル (System1_Data_Path1: New Table of Measurements)] を選択することです。**注記:** これはデータセットとパス名を基にしているため、パスの名前が異なっているかもしれません。



次のデフォルト テーブルが表示されます：

シミュレーション

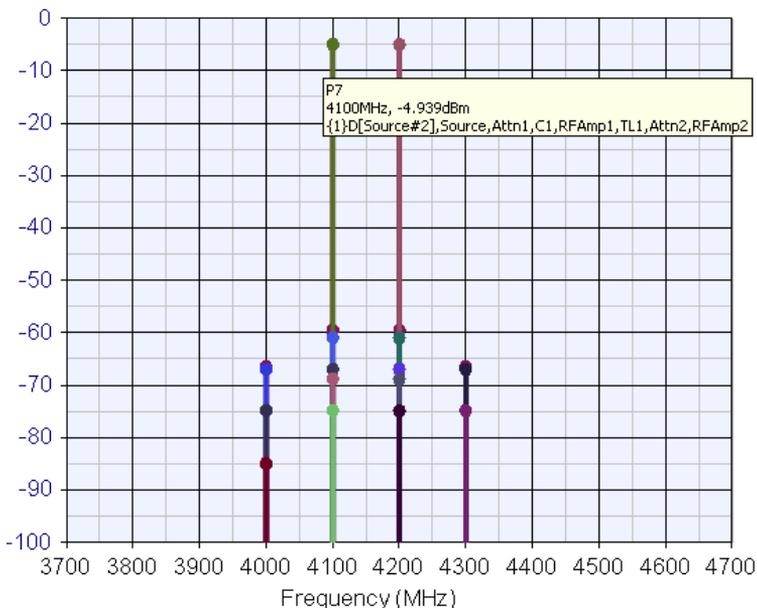
System1_Data_Path1_Measurements										
	NodeNames	Parts	CF	CP	CNP	GAIN	CGAIN	CNDR	CHF	SDR
1		Source	4000	-99.995	-133.826	0	0	29.831	0	116.989
2		Attn1	4000	-109.727	-133.833	-10.007	-10.007	11.779	10	126.996
3		C1	4000	-109.724	-133.833	-21.85e-9	-10.007	11.727	10	126.996
4		RFamp1	4000	-71.962	-111.83	19.985	9.978	-17.992	12.017	18.01
5		TL1	4000	-72.818	-112.724	-0.9	9.078	-18.036	12.024	107.927
6		Attn2	4000	-76.768	-116.673	-4	5.078	-18.087	12.074	111.927
7		RFamp2	4000	-66.451	-106.502	9.994	15.072	-18.415	12.252	21.932
8		Attn3	4000	-71.451	-111.485	-5	10.072	-18.415	12.269	106.932

スペクトル源の特定

各スペクトラムは個々にトラッキングされるため、グラフ上にマーカを付けるか、あるいは、関心のあるスペクトルの上にマウスカーソルを置くことによって、各スペクトラムの源とパスを見つけることができます。グラフマーカがプロットに付加されると、マーカは直近のスペクトルデータポイントに貼り付きます。マウスがスペクトラムデータポイントの上にあるとき、あるいはグラフの右側のマーカテキストの上にあるときのみ、マウス通過時のテキストが表示されます。これらのスペクトラムデータポイントは有効または無効にすることができます。

注記：マウス通過時のテキストの表示が難しい場合は、正確なデータ位置を確認できるように、スペクトラムデータポイントを有効にして見てください。

スペクトラム上のデータポイントの上にマウスを置くと、次のようになります。



スペクトラム識別の形式は以下のとおりです：

一般的な形式

- 1 行目 – 測定の名称
- 2 行目 – マーカ周波数、マーカ パワー (電圧) レベル
- 3 行目 – {コヒーレンス番号} 信号の種類 [周波数方程式]、始点要素、次要素、...、現要素

コヒーレンス番号

SPECTRASYS では、信号はすべて、コヒーレンス番号に従ってグループ化されます。同じコヒーレンス番号を持つ信号はすべて互いに整合性があります。コヒーレンスに関する追加情報については、[ここをクリック](#)してください。

信号の種類

D – 希望する信号。すべてのスペクトラムに希望するか希望しないかの印が付きます。希望するスペクトラムは、一般に、シミュレーションにおいて最も関心のあるスペクトラムです。希望するスペクトラムは、信号ソース、周波数マルチプライヤと周波数ディバイダによる選択された乗算値または除算値、およびユーザによって求められた和積または差積から構成されます。

なし (None) – 希望しない信号。「D」が表示されていない場合は、希望しない信号です。

周波数方程式

周波数方程式から、スペクトラムを生成したソース周波数を確認できます。この方程式は、通常の数学の方程式のように記述されます。方程式には、名前とそのスペクトラムを生成したすべてのソースの組み合わせが含まれます。

パス

スペクトル成分のパスは、スペクトラムが生成された要素を特定する参照番号のカンマ区切りシーケンス、および信号があて先ノードに到着するのにとった要素シーケンスを調べることによって確認できます。周波数方程式を閉じる括弧の後にある最初の参照番号は、スペクトラムが生成された参照番号を示します。その後の参照番号は、スペクトル成分が調査中のノードに到着するのにとったパスを示します。

例

この例は、パワー レベルが -67 dBm の 4000 MHz におけるスペクトラムを示します。コヒーレンス ID は 15 で、'Source#2' と 'Source#3' の間の 3 次相互変調です。相互変調は 'RFamp1' で生成され、'TL1,Attn2,RFamp2' までパスを通りました。'RFamp2' の出力に、スペクトラムが表示されています。

```
P7
4000MHz, -66.925dBm
{15}[-(Source#3)+2x(Source#2)],RFamp1,TL1,Attn2,RFamp2
```

注記：スペクトラム識別情報は、[個々のスペクトラムを表示する (Show Individual Spectrums)] が有効になっている場合のみ表示されます。

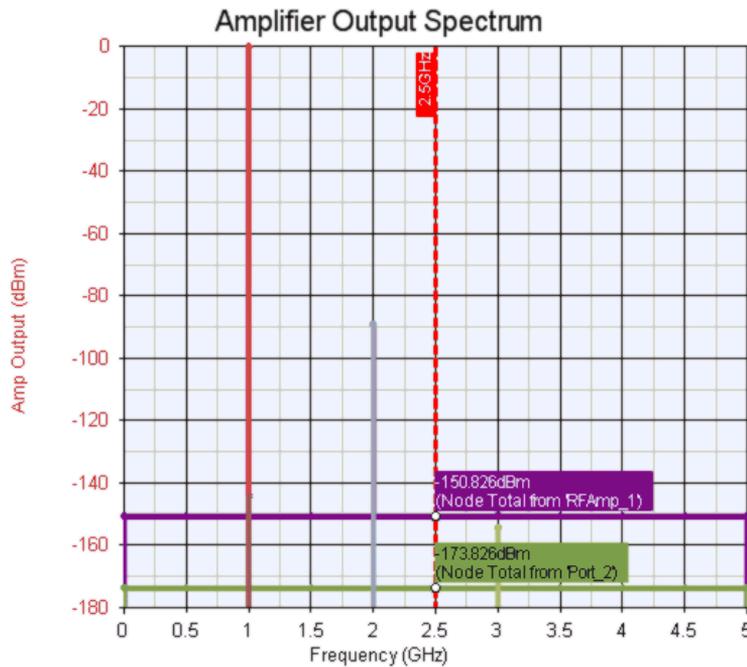
広帯域ノイズ

SPARCA シミュレーション技術によって、SPECTRASYS で広帯域ノイズを高速にシミュレーションすることが可能になります。[周波数を無視する (Ignore Frequency)] 制限を使用して、シミュレータの周波数範囲とともに、広帯域ノイズの周波数を指定します。広帯域ノイズ スペクトラム全体が、少数のシミュレーション ポイントを使用してシミュレーションされます。正確なノイズ測定を行うために、SPECTRASYS では、スマート ノイズ点挿入と呼ばれる特別な技術を使用して、ノイズ データが確実に希望のスペクトル周波数で得られるようにします。そのため、シミュレーションを高速に実行し、正確なノイズ データ測定に必要なノイズ データの数を減少することができます。

広帯域ノイズは、あらゆる方向で、ノードまで流れます。例えば、出力ポートを検査中であれば、スペクトル プロット上に、出力ポートを駆動するデバイスから流れるノイズ電力が見えるでしょう。このノイズははっきりと出力ポートに向かって流れています。出力ポート自体も、出力ポートから入力方向に戻るノイズを発生します。これらのスペクトラムに見えるインピーダンスは、ノードまでのあらゆる方向で異なっているかもしれません。そのため、これらの総ノイズ スペクトラムのそれぞれがスペクトル プロットに表示されるのです。

SPECTRASYS では他の特別なノイズ シミュレーション技術と共に複雑なノイズ 相関行列が使用されており、それによって、ノイズ スペクトラムを、特に、マルチポート デバイスまで伝搬させることができます。デフォルトでは、個々のノイズ スペクトラムがスペクトル プロットに表示されます。必要があれば、この情報を表示することもできます。RF アーキテクチャにおけるノイズ問題をデバッグするときは、この情報が非常に役立つ場合があります。

下の図は、アンプと出力ポート間の多方向ノイズを図示します。アンプの利得は 20 dB、雑音指数は 3 dB です。測定帯域幅は 1 Hz です。



図からわかるように、出力ポートからのノイズは熱雑音であり、アンプ出力からのノイズ電力は、熱雑音 + アンプ利得 20 dB + アンプ雑音指数の追加 3 dB です。

ノイズ解析に関する追加情報については、[ここをクリックしてください](#)。

ノイズ相関行列や他のノイズ シミュレーション技術について詳しく説明するのはこのドキュメントの目的ではありません。ノイズの相関行列に関する追加情報については、「Computer-Aided Noise Analysis of Linear Multiport Networks of Arbitrary Topology」, Vittorio Rizzoli and Alessandro Lipparini, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-33, No. 12, December 1985 を参照してください。

伝搬の基礎

SPECTRASYS の基本動作には、システム内のすべてのノードへの個々のソース スペクトラムおよびそれらの誘導生成物（相互変調、高調波など）の伝搬があります。これらのスペクトラムはそれ以上追加のスペクトラムが生成されなくなるまで伝搬を継続します。例えば、アンプの入力に新しいインプットが到着すると、それによってその特定の時間に相互変調と高調波がアンプの出力に生成されます。後で追加信号がアンプ入力に到着すると、新たな相互変調、高調波、および他の スプリアス生成物がアンプの出力に生成されます。このプロセスはそれ以上追加のスペクトラムが生成されなくなるまで継続します。ループがシステムに存在する場合、1つの要素からの出力は次の要素の入力に送られ、特別な機能がソフトウェアにあってこの無限ループ内でのスペクトラムの生成を制限しない限り、スペクトラム伝搬が永久に継続します。SPECTRASYS は、ループを制御し、生成されるスペクトラムの総数を制限する特別な機能を備えています。

ループ

並列な要素（2 ウェイ スプリッタを介して並列アンプの入力に接続され、出力で 2 ウェイ コンバイナにより再結合される）は、スペクトラムがこの並列パス（またはループ）周辺を伝搬する原因となります。アンプの利得がその逆アイソレーションよりも大きい場合、スペクトラムはパス上を移動するにしがたって増大を続け、消滅することはありません（オシレータになります）。ここでキーとなるのは、システムの回路図にループがある場合、要素パラメータを正しく入力し、信号がループを回るにしがたって大きさが増大しないようにすることです。ループ スペクトラムが、[以下のスペクトラム レベルを無視する (Ignore Spectrum Level Below)] しきい値以下になると、スペクトラムがループを回って伝搬するのを停止します。

周波数範囲

SPARCA は連続周波数シミュレーション技術ですから、周波数上限がありません。したがって、不要なシミュレーション時間とデータがとられて、関心のあ るソリューションに値が追加されない場合があります。2つのパラメータを使用して、シミュレーション エンジンを伝搬する周波数を制御します。[以下の周波数を無視する (Ignore Frequency Below)] および [以上の周波数を無視する (Ignore Frequency Above)] がそのパラメータです。デフォルトでは、下限周波数リミットは 0 Hz、上限周波数リミットは最高電源周波数の 5 倍に設定されています。

解析データの制御

SPECTRASYS ではデータは 1 つあるいは複数のデータセットに保存されます。周波数、電圧、パワーおよび電圧などのすべてのノード スペクトル データを保存する、システム解析に関連するメイン データセットがあります。パスが定義されると、パスごとにデータセットが作成されます。パス データセットには、特定のパスのすべての測定値が含まれます。パスのパワー、電圧、およびインピーダンスもデータセットに保存されます。

SPECTRASYS は、連続周波数シミュレータですから、シミュレータの境界の外側の周波数はありません。しかし、ユーザは関心のある周波数帯で作業するので、特定のウィンドウの外側にある周波数帯を無視することによって、シミュレータをスピードアップすることができます。さらに、スペクトル振幅は広いダイナミック レンジをとることができます。これらのダイナミック レンジは関心のある範囲に限定することができます。一般ルールとして、収集データが増えるとそれだけシミュレーション時間が長くなります。

SPECTRASYS はいくつかの異なるスペクトラムの種類をサポートします。どの種類のスペクトラムをシミュレーションするか、ユーザが選択することができます。

周波数範囲の制御

シミュレーション周波数範囲を制御するパラメータは 2 つあります。このウィンドウの外側の周波数はすべて、条件に基づき、シミュレータによって無視されます。熱雑音はこの周波数範囲で自動的に生成されます ([ノイズを計算 (Calculate Noise)] が有効になっている限り)。

- [以下の周波数を無視する (Ignore Frequency Below)]
- [以上の周波数を無視する (Ignore Frequency Above)]

スペクトラム振幅範囲の制御

シミュレーション振幅範囲を制御するパラメータは 1 つあります。パワー レベルが一定の振幅値以下のスペクトラムはすべて無視されます。

- [以下の振幅を無視する (Ignore Amplitude Below)]

スペクトラムの種類

以下のスペクトルの種類はシミュレーション中に無視することが可能です

- 相互変調
- 高調波
- 熱雑音
- 位相雑音

パスデータの制御

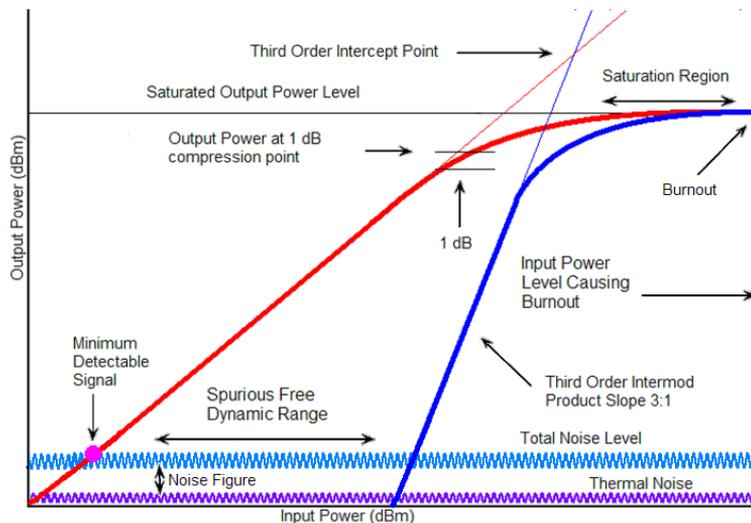
シミュレーション

測定はすべて、1 つまたは複数のスペクトラムの種類に依存します。スペクトラムの種類が有効になっている測定値はすべてそのパスのデータセットに追加されます。さらに、パスのパワー、電圧、およびインピーダンスもデータセットに追加されます。

詳細

非線形モデルのビヘイビア

実世界では、コンポーネントや段は、利得圧縮やパワー出力飽和などの非線形ひずみを生じます。非線形ビヘイビア圧縮ポイントの特性を示すために、飽和、インターセプトポイント、およびスプリアスフリーダイナミックレンジを以下のダイアグラムにしたがって定義します。



カスケードノイズ解析

カスケード雑音指数は特に受信機デザインにとって重要な性能指数です。従来のカスケード雑音指数方程式は SPECTRASYS では使用されません。もっと精密な技術を使用して周波数、インピーダンスまたは VSWR、帯域幅、イメージ周波数、および多重パスをカスケードノイズ測定に取り込みます。

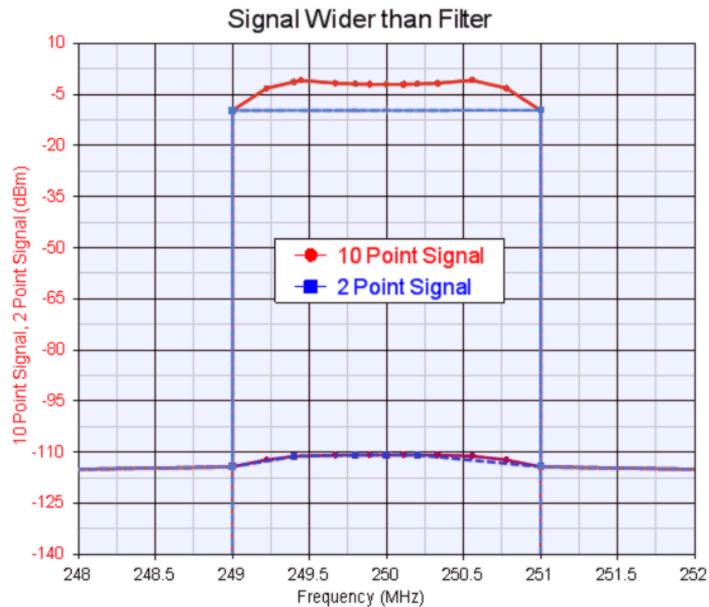
注記：従来のカスケード雑音指数方程式は SPECTRASYS では使用されないため、雑音指数を計算するための新しい方程式が開発されました。この方程式は、カスケード利得測定を信頼してカスケード雑音指数を求めるものです。カスケード利得測定には、測定対象のチャンネルに信号が存在する必要があります。チャンネルにノイズまたは相互変調があるだけでは不十分です。

一般に、正確なノイズ解析を得るためにノイズ設定時に調整は必要ありません。ノイズ精度が改善できるケースがいくつかあります。

信号帯域幅は、シミュレーションにおいて最も狭いフィルタ帯域幅より広い

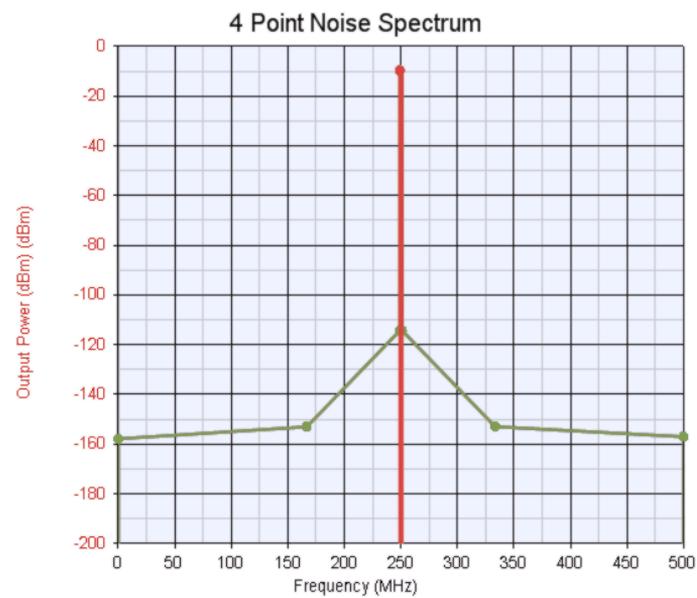
従来のカスケード雑音指数方程式は帯域幅を想定していないため、カスケード雑音指数はノイズファクターと利得値が取得される単一の周波数でのみ有効です。実際には帯域幅を考慮しなければなりません。チャンネルにわたってインピーダンスが一定なのは、特に何らかの種類のフィルタが含まれている場合、きわめてまれなことです。したがって、チャンネル信号とノイズ電力はチャンネルをわたって一定ということはありません。狭フィルタ帯域幅に対して幅の広いチャンネル帯域幅を使うと、チャンネルノイズ電力がカスケードを通じて減少することがあります。これは帯域幅の減少が原因です。さらに、数ポイントだけを使って、チャンネルとともにインピーダンスが変化するデバイスを通る信号やノイズを表現すると、チャンネル積分によるパワーレベルの精度が落ちる場合があります。信号ソースへのデータの追加に関する詳細は、[ここをクリックしてください](#)。

以下の図に見られるように、広帯域信号は、最も狭いフィルタ帯域幅より少し大きくなっています。2ポイントだけ使って信号を表現する場合、チャンネルパワーは2ポイント分の精度にしかなりません。信号にデータポイントを追加すると、信号とノイズの表現がより向上します。カスケード雑音指数はチャンネルノイズ電力はもちろん、カスケード利得にも依存することに留意してください。

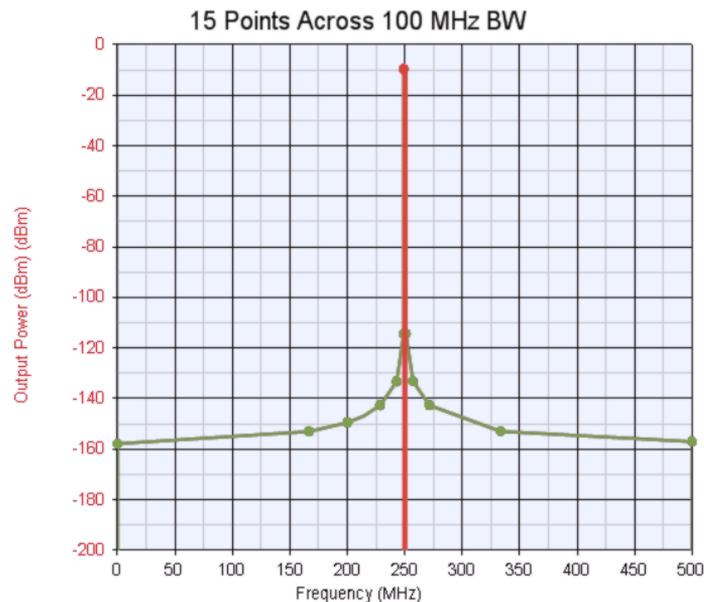


スペクトラムプロット上のノイズ ペデスタルの精度を上げる

SPECTRASYS はデフォルトでは非常に少数のノイズ点を使ってノイズスペクトラム全体を表現します。以下の図は、4点を使って表現されたノイズがどのように見えるかを示します。これらの4点のノイズ点は0と500 MHzの間で均等間隔をあけてあります(0、166.67、333.33、500 MHz)。後で説明するスマートノイズ点挿入によって250 MHz付近にノイズ点が追加されているのがおわかりでしょう。ノイズ点の数は2通りの方法で変更できます: 1) ノイズスペクトラム全体にわたって均等間隔のノイズ点を増やす、2) 希望の周波数のユーザ指定帯域幅の周辺に均等間隔のノイズ点を増やす。



250 MHz という希望の信号周辺の 100 MHz 帯域幅にわたってノイズ点を 15 追加すると、フィルタ ノイズ ペデスタルの表示がより正確になります。注記：ノイズ スペクトル形状を改善しても、一般には、狭帯域フィルタを使用するシステムで広範囲な測定を使用しない限り、カスケードノイズ測定の精度は上がりません、



スマートノイズ点挿入

シミュレーション

SPARCA シミュレーション技術のもう一つの大きな利点は、どのスペクトラムが希望するか、希望しないかがわかることです。これがわかれば、ノイズ点を正確な周波数で追加することが可能となり、ノイズ データを確実に関心のある周波数で収集することができます。このようにノイズ点をシミュレーションに追加することは、「スマート ノイズ点挿入 (Smart Noise Point Insertion)」と呼ばれます。この技術がないと、フィルタを通るノイズ シミュレーションは、4 点のノイズ シミュレーション ポイントを使っている図に示されるように確実に失敗します。この技術は、ミキサ、マルチプライヤ、ディバイダなどあらゆる周波数変換モデルにとって不可欠です。

ノイズ点除去

ノイズ点がシミュレーションに追加されるほど、シミュレーションはますます低速になります。そのため、価値のないノイズ点をスペクトラムから除去します。

注記： 雑音指数測定結果がパス データベースに追加される前に、[ノイズを計算 (Calculate Noise)] オプションを有効にしておく必要があります。

カスケード雑音指数方程式

従来のカスケード ノイズ方程式は以下のとおりです：

$$F_{\text{cascade}} = F_1 + (F_2 - 1) / G_1 + (F_3 - 1) / (G_1 G_2) + \dots + (F_n - 1) / (G_1 G_2 \dots G_{n-1})$$

ここで、 F_n は n 段のノイズファクター、 G_n は n 段の線形利得

注記： この式には、以下に関する情報が含まれていません：

- 周波数
- インピーダンスまたは VSWR
- 帯域幅
- イメージ周波数
- 多重パス

これらの制限は非常に限定的であり、デザイン上の混乱につながります。そのため、従来のカスケード雑音指数方程式は SPECTRASYS では使用されません。周波数、VSWR、帯域幅、イメージ、および多重パスの影響をすべて取り入れ、従来の仮定の下での従来のケースに帰着する、より汎用的な式が使用されます。

この汎用的な式は以下のとおりです：

カスケード 雑音指数 $[n]$ = チャンネル ノイズ電力 $[n]$ – チャンネル ノイズ電力 $[0]$ – カスケード利得 $[n]$ (dB)、ここで n = 段数

カスケード利得 $[n]$ = 希望するチャンネル パワー $[n]$ – 希望するチャンネル パワー $[0]$ (dB)

基本的に、この方法では、カスケード雑音指数は、最初の段と最終の段の間に追加されたノイズ電力からカスケード利得を差し引いた値に相当します。チャンネル ノイズ電力には、増幅されたノイズとモデルごとに追加されたノイズが含まれます。したがって、カスケード利得が差し引かれ、システムによって追加されたノイズだけが得られます。

コヒーレンス

SPECTRASYS では、信号はすべて個々に扱われるため、シミュレーション中に各スペクトラムのコヒーレンスが生成される必要があります。コヒーレント信号は電圧と位相の形で加わりますが、非コヒーレント信号は電力の形で加わります。例えば、2つのコヒーレント電圧が同じ振幅と位相を持っているとすると、その結果の電力は 6dB 高くなります。それらが振幅は同じで位相が正確に 180 度ずれていると、2つの信号は互いに打ち消しあいます。2つの信号が非コヒーレントの場合、電力は、位相に関係なく、3dB しか増えません。

SPECTRASYS のコヒーレンスの一部はユーザが制御することができます。ユーザは、相互変調と高調波がコヒーレントに加算されるかどうか、およびミキサ出力信号がコヒーレンスを判断するとき LO 信号を考慮するか、を決めることができます。この設定に関して詳細は、[システム シミュレーション (System Simulation)] ダイアログの [計算 (Calculate)] タブを参照してください。

動作

新しいスペクトラムが生成されると、コヒーレンス番号が各スペクトラムに割り当てられます。これらのコヒーレンス番号は、スペクトラムをまとめてグループ化し、コヒーレント加算後に結果の合計スペクトルがどうなるかを決定するのに使用されます。コヒーレント加算は、コヒーレント信号からの合計スペクトラムが個々のスペクトラムと異なる電力を生ずるため、非線形デバイスへの入力時には特に重要です。このトータル電力は、非線形デバイスの動作点を正確に求めるのに必要です。コヒーレンス番号は、スペクトラム識別を確認するときにユーザが表示することができます。

新しいスペクトルのコヒーレンス番号は、2つのスペクトラムがコヒーレントなときは、既存のコヒーレンス番号を使います。いくつかのルールに従って、新たに生成されたスペクトラムが既存のスペクトラムとコヒーレントか確認します。

シミュレーション

これらのルールすべてに適合しないと、2つの信号がコヒーレントと見なすことはできません。

注記: [コヒーレント加算 (Coherent Addition)] オプションにチェックが付いていない場合、すべての相互変調と高調波は常に非コヒーレントとなり、かつ以下のコメントに無関係に、ミキサからの混合生成物となります。

1. 各ソースはそれ自体とコヒーレントのみ。

このルールに例外はありません。2つの信号が生成されると、たとえ同じポート上であっても、定義上、それらは互いに非コヒーレントであり、常にそうです。複数のサブ回路を駆動するコヒーレント信号を生成するには、単一のソースを作成して適切なサブ回路に分割する必要があります。

2. 信号は同じ種類でなければならない。

信号は一般に次のカテゴリを持ちます：ソース、相互変調、高調波、および熱雑音。コヒーレント信号は同じカテゴリの信号にのみ適用されます。例えば、ソース スペクトラムは相互変調とコヒーレントになることはあり得ませんし、その逆もそうです。ソース スペクトラムはソース スペクトラムとコヒーレントになり、相互変調スペクトラムは相互変調スペクトラムとコヒーレントになり得えます。位相雑音のコヒーレンスは、位相雑音の親スペクトラムのコヒーレンスによって決まります。位相雑音を持つ2つの親スペクトラムがコヒーレントな場合、位相雑音自体はコヒーレントです。

3. 信号は同じ中心周波数と帯域幅を持たなければならない。

コヒーレント信号はすべて同じ中心周波数と帯域幅を持つ必要があります。例えば、2次高調波は3次高調波とコヒーレントであることはあり得ません。中心周波数と帯域幅が両方とも同じではないからです。ただし、2つのアンプのカスケードがある場合、最初のアンプで生成された2次高調波は、同じ信号ソースから2番目のアンプで生成された2次高調波とコヒーレントになります。このケースでは、中心周波数と帯域幅はどちらも同じであり、どちらの高調波も同じ信号ソースから生成されています。

4. 同じ LO ソースでなければならない (ミキサのみ)。

ミキサの出力に新しいスペクトラムが生成されると、SPECTRASYS は、ミキサ入力信号と LO 信号のコヒーレンスを決定します。新しいコヒーレンス番号が独自の入力と LO 信号に割り当てられます。シミュレーションにおいて 1 つまたは複数のミキサがある場合、入力信号と LO 信号について上記のルールがすべて満たされれば、2 次ミキサのコヒーレンス番号は 1 次ミキサの番号を引き継ぎます。その良い例がイメージリジェクトミキサです。単一の入力ポートが、入力信号を 2 分割し 2 つのミキサを駆動する。単一の LO 信号も 2 方向に分割され、ミキサ LO ポートに適用される前に位相シフトされます。ミキサ出力は再結合され、イメージリジェクトミキサ出力を構成します。どちらのミキサも同じ出力ソースと LO ソースを持つため、同じ種類、周波数および帯域幅のすべての信号が同じコヒーレンス番号を持つことになります。

注記：コヒーレンス番号はスペクトラム識別情報に表示されます。これはユーザが回路の動作を理解する上で、また、問題のデバッグにも役立ちます。詳細については、「スペクトラム識別」のセクションを参照してください。

注記：位相雑音は、その親信号スペクトラムのコヒーレンスを使用します。

コヒーレントと非コヒーレント加算

「コヒーレント加算は非コヒーレント加算より保守的です、すなわち、コヒーレントな仮定の方が非コヒーレント式よりも線形性の弱いシステムを指示したということです。最悪の想定では、コヒーレント加算を使用すべきです。」

「低ノイズ受信システムをデザインした際、カスケードをうまくデザインすると、あたかもひずみ成分が非コヒーレントに加算されているかのように動作することがわかりました。ほとんどの場合、これらのシステムは、非コヒーレント和プラス 1 または 2 dB と等価でした。広帯域システムでは、カスケード SOI [2 次インターセプト] または TOI [3 次インターセプト] が、システムの大部分の周波数範囲にわたって非コヒーレントなレベルに留まります。しかし、狭い周波数範囲では、SOI と TOI はコヒーレント和レベルまで上がります。」

「うまくデザインされたシステムでは (すべてのデバイスの等価インターセプトポイントが等しい)、コヒーレントと非コヒーレント和の間の差異は 4~5 dB です。システムをデザインする際、コヒーレントと非コヒーレントの両方のケースについて数を計算し、時間と周波数にわたって期待される変化を見積もるべきです。」(McClanning, Kevin and Vito, Tom, *Radio Receiver Design*. Noble Publishing, 2000)

コヒーレンスとハーモニック バランスの比較

シミュレーション

ハーモニック バランスは、十分に確立した非線形回路シミュレーション技術です。信号に使用される場合、この技術では帯域幅がなく、スペクトラムはすべて同じ種類になります。ハーモニック バランスでは、デフォルトで同じ周波数を持つ2つのスペクトラムはコヒーレントであると仮定します。

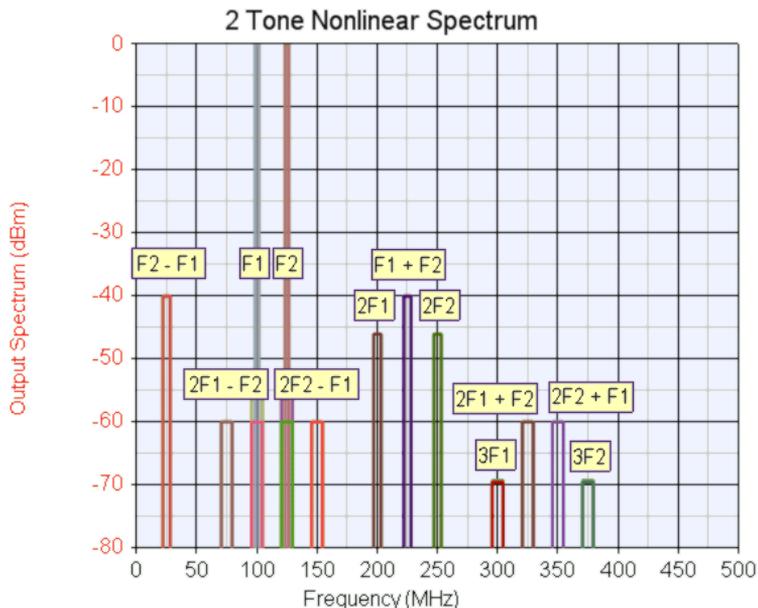
コヒーレンスと SPARCA

SPARCA の大きなメリットの1つは、コヒーレントな総スペクトラム（ハーモニック バランスで使用できる唯一のスペクトラムの種類）だけではなくそれを構成する個々のスペクトラムも使用できることです。これは、デザインの動作を理解する上で助けになり、また、プロセスのデバッグにも役に立ちます。

相互変調と高調波の基礎

このセクションは、相互変調、高調波、およびインターセプト ポイントの間の基本的関係を理解する上で役に立ちます。[相互変調の計算 (Calculate Intermods)] および [高調波の計算 (Calculate Harmonics)] を有効にすると、相互変調と高調波が常に非線形ビヘイビア モデルによって生成されます。システム解析の [計算 (Calculate)] タブの [最大次数 (Maximum Order)] パラメータによって、シミュレーションで使用される最大相互変調および高調波次数が決まります。

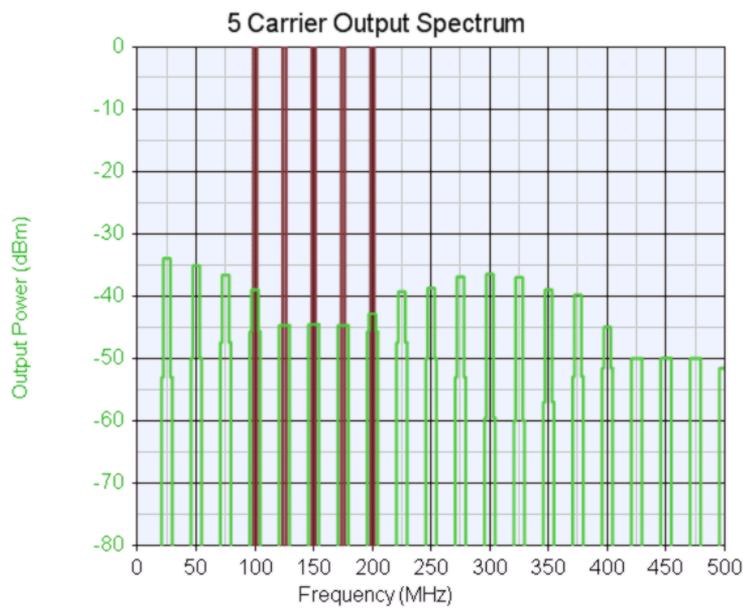
以下は2 トーン入力を持つアンプの出力スペクトラムの例です。



2 トーンは 100 MHz と 125 MHz にあります。2 次成分の帯域幅は基本波の 2 倍であり、3 次成分は基本波の 3 倍になっています。アンプ OIP3 は、+30 dBm で、OIP2 は、+40 dBm です。

注記：チャンネル測定帯域幅は、3 次成分のフル相互変調パワーを表示するには、基本トーンの最低 3 倍に設定する必要があります。この帯域幅は成分の次数が高くなればそれに応じて増やす必要があります。

以下は、同じアンプを通る 5 つの搬送波に起因する相互変調スペクトラムの例です。個々のスペクトラムではなく、スペクトラム グループが表示されています。信号は一色で表示されており、相互変調はすべてグループ化され、別の色で表示されています。

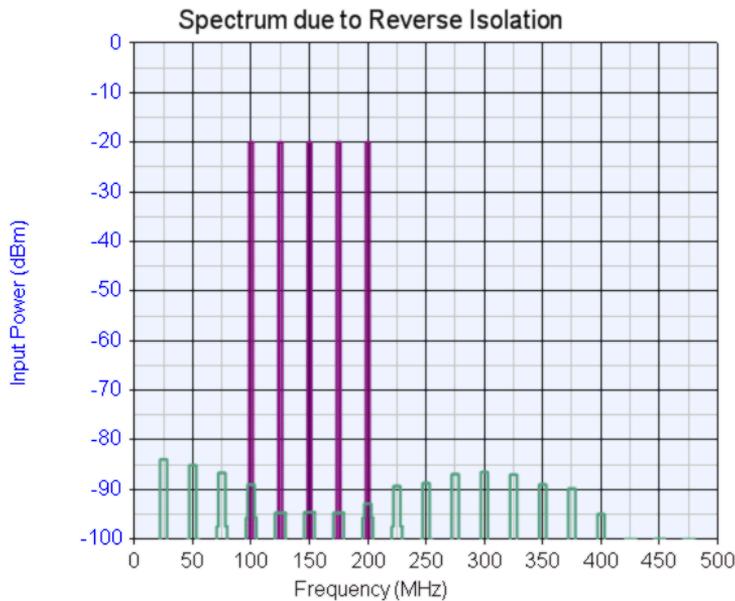


300 および 25 MHz 周辺の相互変調のピーキング効果、およびキャリア トリプルビートと 2 次成分に関連するインチャンネル効果に注意してください。

シミュレーション

逆アイソレーション

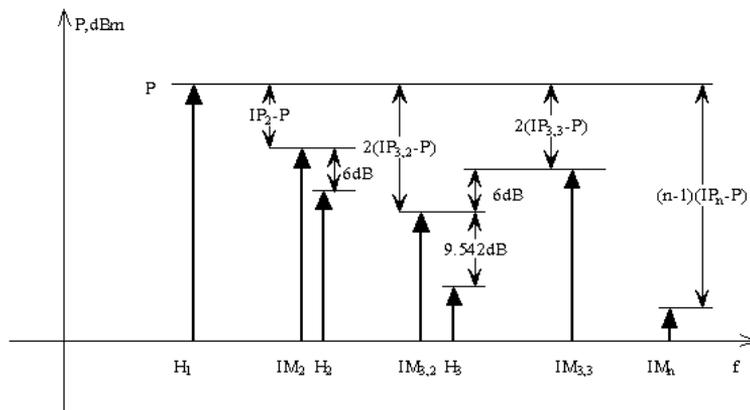
相互変調は、以下の図に示すように、デバイスの逆アイソレーションが原因で非線形段への入力に現れることがあります。



5つの搬送波は一色で表示され、逆相互変調は別の色で表示されています。

計算された成分

以下の図は、2つの入力信号 F_1 と F_2 (F_2 は F_1 より周波数が高い) に関して生成された非線形の2次と3次の成分を示します



小信号型のスペクトル成分と等振幅の信号のトーンの相対レベルを上に表示します。

記号の定義

P – 基本トーンパワー

IP_n – n 次インターセプトポイント

H₁ – 基本トーン

H₂ – 2次高調波

H₃ – 3次高調波

IM_n – n 次相互変調

IM_{n,m} – M トーンによる n 次相互変調

2 次相互変調成分

2 次相互変調成分 ($F_2 - F_1$ そして $F_1 + F_2$) の振幅は、トーンパワー引く IP_2 に等しくなります、すなわち、 $IM_2 = P_{tone} - IP_2$ 。

2 次高調波

2 次高調波の振幅は以下のように計算されます。2 次高調波の振幅はトーンパワーから IP_2 (2 次インターセプト) とデバイスのトーンパワーレベルの差を引いた値と等しくなります。

3 次の 2 トーン成分

3 次成分 ($2F_1 - F_2$ 、 $2F_2 - F_1$ 、 $2F_1 + F_2$ 、および $2F_2 + F_1$) の振幅は、トーンパワーレベルの数量の 2 倍に等しくなります、すなわち、 $IM_3 = 2 (P_{tone} - IP_3)$ 。

キャリアトリプルビート (3 次の 3 トーン成分)

3 つ以上のキャリアが 1 つのチャンネルにある場合、3 次相互変調成分が 3 つのキャリアの乗算によって生成されることがあります。これらの相互変調はキャリアトリプルビートと呼ばれます。SPECTRASYS は、3 つ以上のキャリアをすべて混合して自動的にトリプルビートを生成します。数式を解くと、キャリアトリプルビートは 3 次の 2 トーン成分より 6 dB 高くなります。このトリプルビートレベルの計算は、すべての入力信号が同じであると仮定します。キャリアトリプルビートの周波数の組み合わせは以下のとおりです：

$F_1 - F_2 + F_3$

$F_1 - F_2 - F_3$

$F_1 + F_2 + F_3$

$F_1 + F_2 - F_3$

3 次高調波

3 次高調波の振幅は 3 次の 2 トーン成分より 9.542 dB 低くなります。

高次数

システム解析の [計算 (Calculate)] タブの [最大次数 (Maximum Order)] パラメータによって、シミュレーションで使用される最大相互変調および高調波次数が決まります。相互変調レベルと周波数は、複雑な数学的プロセスに基づいて計算されます。このプロセスの説明はこのテキストの範囲外です。追加情報については、他の資料を参照してください。¹

トーン異種振幅

SPECTRASYS は、特定の相互変調を生成するすべての入力信号の振幅を自動的に考慮します。カスケード相互変調方程式では不均等な振幅の影響は無視されますから、このことによって正確な相互変調の結果が得られます。

チャンネル帯域幅と相互変調

3 次成分の帯域幅は、それを生成したソースの個々の帯域幅よりも大きくなります。例えば、2 つの 1 Hz のトーンが使用されて相互変調が生成されると、その結果の帯域幅は 3 Hz になります。帯域幅は周波数を求める相互変調式に従いますが、その帯域幅を差し引くことはできません。例えば、3 次相互変調式は以下のとおりです： $F_{im3} = F1 - 2 \cdot F2$ 、それから結果の帯域幅の式は： $BW_{im3} = BW1 + 2 \cdot BW2$ 。BW1 = 30 kHz そして BW = 1 MHz の場合、結果の帯域幅は 2.03 MHz になります。ユーザは、[チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)] がこのすべてのエネルギーを積分できる十分な広さに設定されていることを確認する必要があります。

1. Jose Carlos Pedro, Nuno Borges Carvalho, 「Intermodulation Distortion in Microwave and Wireless Circuits」, Artech House, 2003

相互変調パス測定の基礎

相互変調は、相互変調と高調波の計算が有効になっている限り、すべての非線形ビヘイビア モデルによって自動的に生成されます。

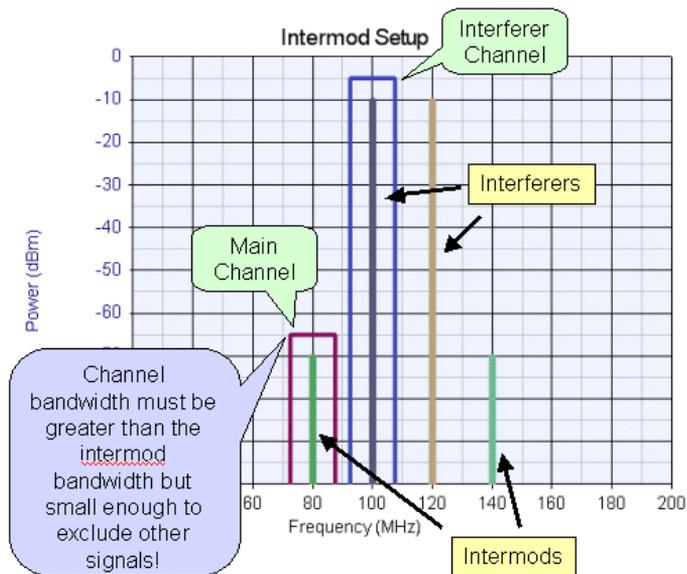
SPECTRASYS での相互変調の測定は、ラボでの相互変調の測定と類似しています。カスケード相互変調方程式は、重大な制限があるため、SPECTRASYS では使用しません。そのため、このような制限を取り除いた新しい測定方法が開発されました。

相互変調を生成 (発生) し、かつそれを前の段から伝導させるか、または、前の段から伝導させるだけのいずれかです。非線形ビヘイビア モデルはすべて、相互変調の生成、および入力からのそれらの伝導の両方を行います。線形モデルは前の段から相互変調を伝導するだけです。

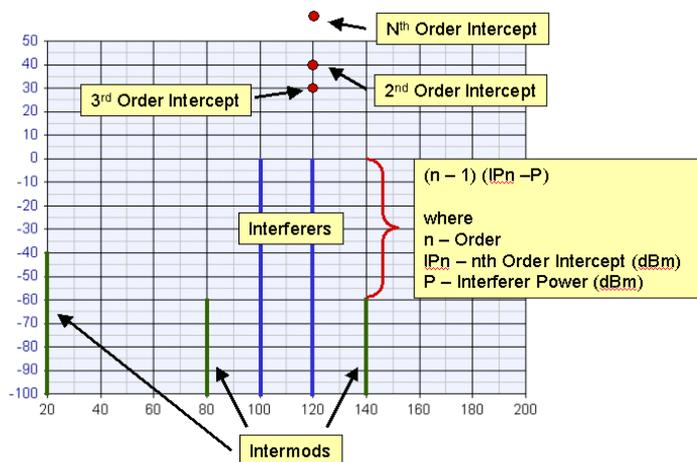
SPECTRASYS (システム)

相互変調測定により、パス沿いに生成され、伝導され、および合計された相互変調チャンネル パワーを表示することができます。さらに、これらの測定は相互変調次数に基づいてデータを分離することもできます。これらのチャンネル ベースの測定は、「合計相互変調パワー (Total Intermod Power)」と呼ばれる測定と混同してはいけません。後者は特定のノードにおけるスペクトラム全体の合計相互変調パワーを含み、次数に基づいてそのデータを分離することはできません。

SPECTRASYS を相互変調パス測定を行うように設定する方法を示す簡単なダイアグラムを示します。



インターセプト ポイント測定は 2 つの干渉トーンを想定します。計算は、以下の図に示されるようにラボで行われる方法に基づいています。



留意事項：相互変調帯域幅は支配相互変調方程式の関数です、例えば、相互変調方程式が、 $2F - F2$ の場合、相互変調帯域幅は次のようになります： $2BW1 + BW2$ 。注記：帯域幅は減算されることなく、常に加算です。チャンネル帯域幅は、期待される結果を達成するために、相互変調の帯域幅全体を含む十分な広さに設定する必要があります。例えば、CW 信号は 1Hz の帯域幅を持ちます。したがって、CW から生成された 3 次相互変調は 3 Hz の帯域幅を持つこととなります。チャンネル帯域幅が 3 Hz 以下に設定されると、3 次相互変調エネルギーのすべてが相互変調測定に現れるとは限りません。

インターセプト ポイントは、干渉源チャンネルで干渉源信号を測定することによってのみ求めることができます。相互変調が測定される周波数に合わせて SPECTRASYS のメインチャンネル周波数を設定する必要があります。また、干渉源チャンネルは、正確な干渉源チャンネルパワーを得るために、干渉源の周波数に設定する必要があります。

インターセプト ポイントは、インバンドまたはアウトオブバンドの方法から求められます。どちらの手法もインバンドと同じ結果が得られます。ただし、干渉信号が減衰されるシステム（受信機に IF フィルタがあるような）でインバンドの方法を使用すると、不正確なインターセプト ポイントが報告されます。

注意：インターセプト ポイントを求めるのに使用される方法は、振幅の等しい 2 つのトーンの場合のみ有効です。

留意事項：相互変調は前進しますが後進もします。後進相互変調（逆アイソレーション パスを通るようなもの）は、チャンネル測定に含まれ、カスケード相互変調方程式の結果と比較する場合に考慮する必要があります。詳細については、特定の関心のある相互変調測定を参考にしてください。

相互変調パス測定の要約

- パス周波数で相互変調を生成するソースを追加します。
- [パス周波数 (Path Frequency)] を相互変調の周波数に設定します。
- [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)] を最も広い次数に設定します (広くしすぎて干渉トーンが含まれなくならないように)。
- システム解析ダイアログ ボックスの [干渉源周波数 (Interferer Frequency)] を、干渉トーンの周波数に設定します。
- [最大次数 (Maximum Order)] が関心のある相互変調を含むように十分な高さに設定されていることを確認します。
- 相互変調測定をレベル ダイアグラムまたはテーブルに追加します。
- **留意事項:** 相互変調は後進も可能ですから、前進の結果だけを期待する場合は、注意してください。

カスケード相互変調方程式

カスケード相互変調方程式は SPECTRASYS では使用しません。これらのカスケード方程式の使用には大きな欠点があります。

1. これらの方程式は、干渉入力信号がフィルタを通ることがなく、すべてのカスケード段を通じて希望する信号と同じ利得を維持すると仮定します。インバンド相互変調測定では良いかもしれませんが、アウトオブバンド相互変調測定ではまったく不正確になります。一般に、受信機のアウトオブバンド干渉源は IF 段でフィルタをかけられます。干渉信号がフィルタをかけられる点を過ぎてカスケード相互変調解析を継続しても誤った結果になります。
2. すべての段が完全にマッチしていると仮定します。
3. すべての干渉源について振幅が均等であると仮定します。
4. 無限逆アイソレーションを仮定し、相互変調が絶対に後進しないと仮定します。
5. 単一の相互変調パスを仮定します。マルチパス アーキテクチャは、並列パスが単一パス モデルに縮小するまで、カスケード相互変調方程式では解析できません。
6. カスケードチェーンの中の弱いリンクの確認には役立ちません。

このような重大な制限があるため、新しい相互変調測定を開発して問題を除去しました。追加情報については、[相互変調パス測定の基礎 (Intermod Path Measurement Basics)] を参照してください。

インバンド相互変調パスの測定

相互変調は、相互変調と高調波の計算が有効になっている限り、すべての非線形ビヘイビア モデルによって自動的に生成されます。

インバンド相互変調パス測定は、被測定アーキテクチャを通じて**干渉信号が減衰されない**と、より正確になります。それができない場合は、アウトオブバンド相互変調パス測定を使用してください。

インバンド相互変調測定の設定は以下のとおりです。

- パス周波数で相互変調を生成するソースを追加します。
- [パス周波数 (Path Frequency)] を相互変調の周波数に設定します。
- [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)] を最も広い次数に設定します（広くしすぎて干渉トーンが含まれなくならないように）。
- システム解析ダイアログ ボックスの [干渉源周波数 (Interferer Frequency)] を、干渉トーンの周波数に設定します。
- [最大次数 (Maximum Order)] が関心のある相互変調を含むように十分な高さに設定されていることを確認します。

これによってパス測定は以下のようにになります。

チャンネルパワー – チャンネル帯域幅内の信号の合計パワーを表します。

トータル相互変調チャンネル パワー – 次数に基づいて分離されたチャンネル内の相互変調パワーを表します。

干渉源チャンネル パワー – 干渉源のチャンネル パワーを表します。このパワーはインターセプト ポイントを求めるのに使用されます。

干渉源利得 – 干渉信号の利得を表します。

干渉源カスケード利得 – 干渉源信号のカスケード利得を表します。

これらのモードの説明図および追加情報に関しては、「相互変調パス測定の基礎 (Intermod Path Measurement Basics)」セクションを参照してください。

注記：「カスケード利得 (Cascaded Gain)」や「利得 (Gain)」など一部のパス測定は、このケースではあまり意味がありません。これらの測定値はスペクトラムの信号の種類に基づくもので、相互変調スペクトラムに基づくものではないからです。

アウトオブバンド相互変調パスの測定

相互変調は、相互変調と高調波の計算が有効になっている限り、すべての非線形ビヘイビア モデルによって自動的に生成されます。

アウトオブバンド相互変調パス測定は、被測定アーキテクチャを通じて**干渉信号が減衰されると**、より正確になります。それができない場合は、インバンド相互変調パス測定を使用してください。

アウトオブバンド相互変調測定の設定は以下のとおりです。

- パス周波数で相互変調およびパイロットまたは試験信号を生成するソースを追加します。
- [パス周波数 (Path Frequency)] を相互変調またはパイロット信号の周波数に設定します。
- [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)] を最も広い次数に設定します (広くしすぎて干渉トーンが含まれなくならないように)。
- システム解析ダイアログ ボックスの [干渉源周波数 (Interferer Frequency)] を、干渉トーンの周波数に設定します。
- [最大次数 (Maximum Order)] が関心のある相互変調を含むように十分な高さに設定されていることを確認します。

これによってパス測定は以下のようになります。

チャンネル パワー – チャンネル帯域幅内の信号の合計パワーを表します。これには相互変調とパイロット信号の両方が含まれます。

カスケード利得 – チャンネルの利得を表し、後でインターセプト ポイントを求めるのに使用される仮想干渉パワー レベルを求めるのに使用されます。

合計相互変調チャンネル パワー – 次数に基づいて分離されたチャンネル内の相互変調パワーを表します。

干渉源チャンネル パワー – 干渉源のチャンネル パワーを表します。これには**減衰された干渉源**も含まれます。そのため、このパワーはインターセプト ポイントを求めるのに**使用されません**。ただし、インチャンネル カスケード利得を伴う最初のノードでのこのチャンネルのパワー レベルは、仮想干渉源パワー レベルを求めるのに使用されます。

干渉源利得 – 干渉源信号の利得を表します。これには**減衰された干渉源**も含まれます。

干渉源カスケード利得 – 干渉源信号のカスケード利得を表します。これには**減衰された干渉源**も含まれます。

仮想干渉源チャンネル パワー – インターセプト計算に使用される仮想干渉源を表します。

これらのモードの説明図および追加情報に関しては、「相互変調パス測定の基礎 (Intermod Path Measurement Basics)」セクションを参照してください。

相互変調パス測定トラブルシューティング

相互変調測定に関するトラブルシューティングを行う際に留意すべきキーポイントがいくつかあります。トラブルシューティングには、レベルダイアグラムよりもテーブルを使う方が一般的には適しています。

- テーブルの「チャンネル周波数 (CF) (Channel Frequency (CF))」測定値を調べます。これは関心のある相互変調の周波数である必要があります。
- [合計相互変調チャンネル パワー (TIMCP) (Total Intermod Channel Power (TIMCP))] を調べて、チャンネル内に相互変調があることを確認します。
- そのチャンネルに相互変調がない場合は、ソース出力スペクトラムを調べて、関心のある次数の相互変調がパスの [チャンネル周波数 (Channel Frequency)] で作成されているか確認します。
- そのチャンネル周波数で相互変調がない場合は、[相互変調の計算 (Calculate Intermods)] が有効になっているか確認します。
- それでも相互変調がない場合は、非線形モデルの非線形パラメータが正しく設定されているか確認します。
- [合計相互変調パワー (Total Intermod Power)] が低すぎると思われる場合は、[チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)] が関心のある相互変調次数を含むのに十分な広さがあるか確認します。
- それでも [合計相互変調パワー (Total Intermod Power)] が正しくないと思われる場合は、[チャンネル パワー (CP) (Channel Power (CP))] 測定値が近似期待パワーを示しているか確認します。[チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)] は、他の干渉源周波数がチャンネル内に入り、かつ [チャンネルパワー (Channel Power)] 測定値が非常に高くなるように広く設定できます。
- [合計相互変調パワー (Total Intermod Power)] が高すぎると思われる場合は、相互変調が次の段から後進している可能性があります。この段の逆アイソレーションを増やしてこの影響を確認することができます。
- インバンド相互変調測定の [入力インターセプト ポイント (IIP) (Input Intercept Point (IIP))] または [出力インターセプト ポイント (OIP) (Input Intercept Point (Receiver) (RX_IIP))] 測定値、あるいはアウトオブバンド相互変調測定の [入力インターセプト ポイント (Receiver) (RX_IIP) (Input Intercept Point (Receiver) (RX_IIP))] または [出力インターセプト ポイント (Receiver) (RX_OIP) (Output Intercept Point (Receiver) (RX_OIP))] 測定値が正しくないと思われる場合は、まず、[干渉源チャンネル周波数

(ICF) (Interferer Channel Frequency (ICF)) が干渉周波数に設定されているか確認します。

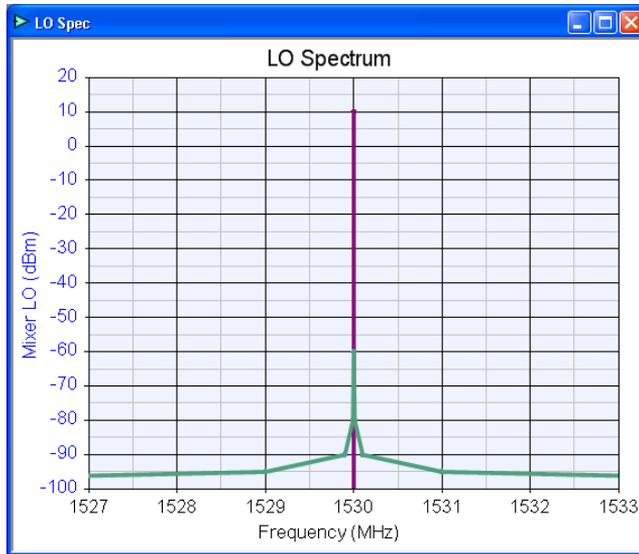
- [干渉源チャンネル周波数 (Interferer Channel Frequency)] が正しく設定されている場合は、インバンド相互変調測定 of [干渉源チャンネル パワー (ICP) (Interferer Channel Power (ICP))] 測定値またはアウトオブバンド相互変調測定 of [仮想トーン チャンネル パワー (VTCP) (Virtual Tone Channel Power (VTCP))] を調べて、干渉チャンネル パワーの期待レベルを確認します。
- [出力インターセプト ポイント (Output Intercept Point)] は正しいが、[入力インターセプト ポイント (Input Intercept Point)] が正しくないと思われる場合は、インバンド相互変調測定 of ケースで [干渉源カスケード利得 (ICGAIN) (Interferer Cascaded Gain (ICGAIN))] が正しいか、あるいは、アウトオブバンド相互変調測定 of ケースで [カスケード利得 (CGAIN) (Cascaded Gain (CGAIN))] が正しいかを確認します。

相互変調パスの測定の説明図および追加情報に関しては、「相互変調パス測定の基礎 (Intermod Path Measurement Basics)」セクションを参照してください。

ビヘイビア位相雑音

SPARCA エンジン はビヘイビア位相雑音をサポートします。位相雑音は、特定のソースおよびオシレータ モデルで指定できます。位相雑音はスペクトラムの種類に依存しないため、測定は他の種類の異なるスペクトラムがあってもこのスペクトラムに対して行うことができます。この独立性により、位相雑音は、親スペクトラムに影響を与えることなく、ミキサ、マルチプライヤ、およびディバイダを通じて修正が可能です。これを下の図に示します。ここでは、信号スペクトラムと位相雑音が別々の色で表示されています。

注記： 位相雑音は、システム解析の [計算 (Calculate)] タブで有効にし、かつソースモデル上でも有効にする必要があります。



位相雑音の指定

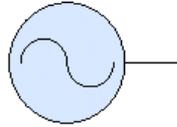
位相雑音は2つのリストによって指定されます。

- 周波数オフセットのリスト
- dBc/Hz 単位のパワー レベルのリスト

位相雑音は、片面または両面でも指定できます。両面の場合は、ネガティブオフセット周波数を使用する必要があります。

注記：周波数と振幅のリスト両方のエントリー数は同じでなければなりません。同じでない場合は、警告が出て、リストが2つのリストのうち小さいほうに切り詰められます。

以下の例は、オシレータの片面指定を示します。この例では、位相雑音は、1、10、100、1000、10000 kHz という個々のオフセット周波数に対して、-70、-90、-100、-105、および -110 dBc/Hz が指定されています。キャリア中心周波数は 1530 MHz です。



Osc

F=1530MHz

Foff=1;10;100;1000;10000KHz

PhaseN=-70;-90;-100;-105;-110dB10

リスト データは、昇順周波数の方が読みやすいですが、必ずしもその順に発生する必要はありません。しかし、最初の周波数エントリは最初の位相雑音電力レベル エントリと関連し、2 番目の周波数エントリは 2 番目の位相雑音電力レベル エントリと関連する、というような関連付けになります。

位相雑音を有効にする

位相雑音スペクトラムが解析を通じて伝搬する前に、2 ヶ所で位相雑音を有効にしておく必要があります。

- ソース自体で (位相雑音有効パラメータ参照)
- システム解析で

位相雑音シミュレーション

位相雑音スペクトラムは親信号スペクトラムと関連します。位相雑音はその親と同じ伝達関数を通過します。すべての線形モデルを通じて、位相雑音は信号スペクトラムであるかのように伝達されます。非線形モデルを通じて、位相雑音はその親スペクトラムに対して、振幅が同じにとどまるか、または増減します。例えば、周波数ダブラを通ると位相雑音はその親スペクトラムに対して 6 dB 増加します。

位相雑音はミキサによっても処理されます。ミックスド出力スペクトラムは、LO の位相雑音を継承します。入力スペクトラムが位相雑音を持ち、指定された LO 位相雑音がない場合、混在スペクトラムは入力スペクトラムの位相雑音を保持します。

位相雑音コヒーレンス

位相雑音のコヒーレンスは親スペクトラムのコヒーレンスと同じです。

位相雑音データの表示

シミュレーション

グラフでは、位相雑音は、チャンネル測定帯域幅が 1 Hz 以外であっても、常に dBm/Hz 単位で表示されます。ただし、マウスが位相雑音帯域幅スケーリングおよび他の情報の上に置かれると、以下のように表示されます。

```
IF Output (P2)
219.1MHz, -170.176dBm
Phase Noise at Carrier 70.0 dBc/Hz
Bandwidth Adjustment 53.0 dB
{3}[(Interferer)-Osc],Interferer,Splitter,Mixer,Filter
```

1 Hz 帯域幅でそのパワーを持つ絶対周波数ポイントが表示されます。キャリア周波数における位相雑音電力は dBc/Hz 単位で表示されます。帯域幅の倍率 (20 Log (チャンネル帯域幅)) も表示されます。最終行には、スペクトラムのコヒーレンス番号が中括弧 (ブレース) 内に、位相雑音式が大括弧 (ブラケット) 内に表示され、その後、位相雑音が表示対象に到達するのにとったパスが続きます。

位相雑音パス測定を行う前に、位相雑音のスケールを適当な帯域幅に合わせてからスペクトラム識別を開始する必要があります。

スペクトラム アナライザ表示

スペクトラム アナライザ モードは、ユーザがスペクトラム アナライザ上で行われるシミュレーションの様子を視覚化するのに役立つ表示ツールです。このモードは、位相がずれた信号によって合計スペクトラムが取り消されるときに非常に役に立ちます。

注記：このモードはパス測定データには使えず、表示のみです。このモードで使用されるパラメータは実際のシミュレーション結果の精度には影響しません。

スペクトラム アナライザ モードは、合計スペクトラム トレース上で 5 極ガウスフィルタのコンボリューションを実行します。ガウス フィルタは実際のスペクトラム解析で使用されるフィルタの種類であるため、ここでも用いられます。

Enable Analyzer Mode

Resolution Bandwidth (RBW): MHz
(Defaults to channel bandwidth)

Filter Shape:

Randomize Noise

Add Analyzer Noise: dBm/Hz

Limit Frequencies

Start: MHz

Stop: MHz

Step: MHz

スペクトラムのコンボリューション演算に関連する課題は以下のとおりです。

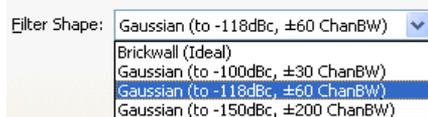
- 広帯域であるため、ノイズ周波数が事実上 DC からデイトライトに移ることがある
- 周波数が均等間隔でない

- スペクトラムがグループ化されて現れ、グループ間の間隔が大きい
コンボリユーション実行に関連する実用上の問題があるため、このモードにいくつかのパラメータを追加してシミュレーション時間を短縮し、収集されるデータ量を制限しています。

シミュレーション

フィルタ波形

矩形フィルタまたは従来のスペクトラム アナライザ ガウス フィルタを使うことができます。ガウス フィルタの変化を使用して、コンボリューションが開始され終了する周波数が求められます。これらの値は、チャンネル帯域幅によって指定されます。当然、フィルタ終端周波数が広ければそれだけ、シミュレーション時間が長くなり、多くのデータが収集されることとなります。一定の終了周波数に関連するフィルタの振幅範囲も、便宜上、与えられます。



システム解析の [複合スペクトル (Composite Spectrum)] タブにアナライザ モードの設定があります。

アナライザ シミュレーション プロセス

アナライザは、アナライザ トレースがグラフに表示される前に、以下のステップを実行します。

1. パスの合計スペクトラム トレースが生成されます。
2. このスペクトラムは、スペクトラム グループを見つけるために帯域に分割されます。各グループは、選択されたフィルタの阻止帯域に相当するガード帯域を持ちます。
3. コンボリューションが発生する前に、グループは離散化されていなければなりません。1 Hz という小さな帯域幅を持つスペクトラムもありますから、標準離散化プロセス中は無視して完了することもできます。スキップされたスペクトラムを除去するために、離散化プロセスは、離散化ポイント間に入るピーク スペクトラム値を追跡します。このプロセスによって、ピークが失われないことが保証されます。
4. アナライザ ノイズフロアが追加されます。
5. 離散化されたスペクトラムは、ガウス フィルタでコンボリューションが行われます。
6. ノイズのランダム化が追加されます。
7. アナライザ スペクトラムがグラフに表示されます。

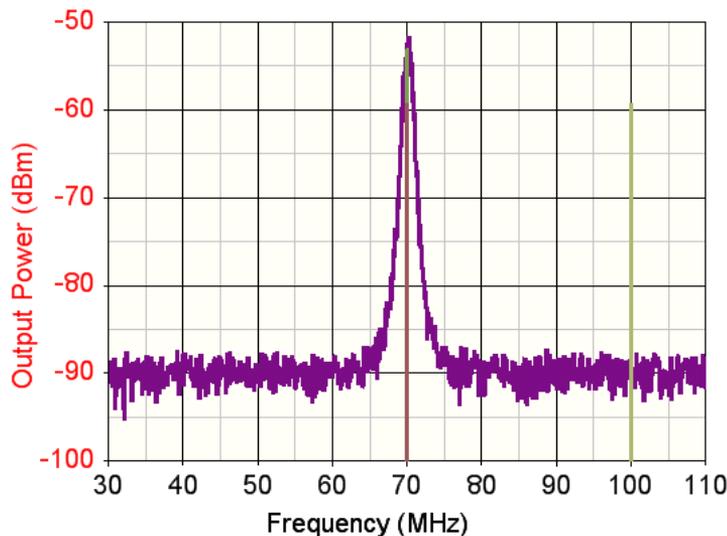
注記：スペクトラム グループ間のノイズフロア スペクトラムはスペクトラムアナライザ モードでは表示されません。

周波数リミット

シミュレーションのスピードアップのために周波数リミットが追加されました。アナライザモードでは、特に周波数範囲が広がると多くのデータとシミュレーション時間が必要とされます。関心のある周波数帯を指定してスペクトラムアナライザモードにそれを適用することができます。開始周波数、停止周波数、およびステップ周波数の設定が必要になります。ステップ周波数は特定の範囲内で設定できます。ステップサイズが小さすぎてアナライザシミュレーションポイントの最大数を超過してしまう場合は警告が出されます。逆にステップサイズが大きすぎて精度に問題が起こる場合も警告が出ます。このようなケースでは、アナライザは適したデフォルトを選択します。

例

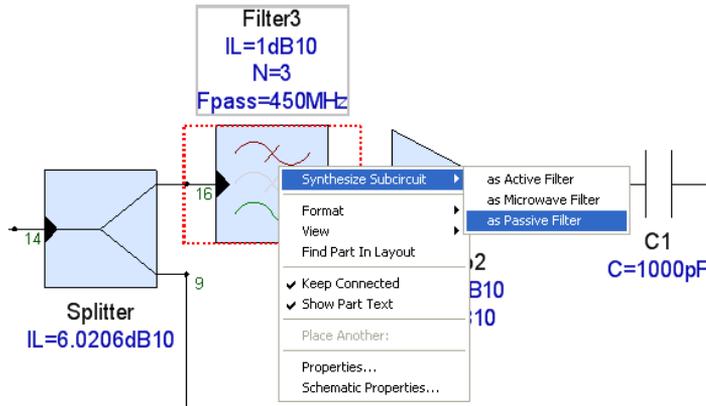
以下の図は、スペクトラムアナライザモードの好例を示します。このプロットは、[イメージ抑圧ミキサ (Image Rejection Mixer)] の例からとったもので、70 MHz の 2 つの信号はコヒーレントに加算されて 6 dB 増加し、また、100 MHz の 2 つの信号は 180 度位相がずれて打ち消しています。スペクトラムアナライザモードを使用すると、70 MHz のピークが素早く見え、100 MHz の個々のスペクトラムでさえ、それらの合計がノイズフロアと同等かまたはそれより低いことがわかります。この例ではランダムノイズも表示されています。



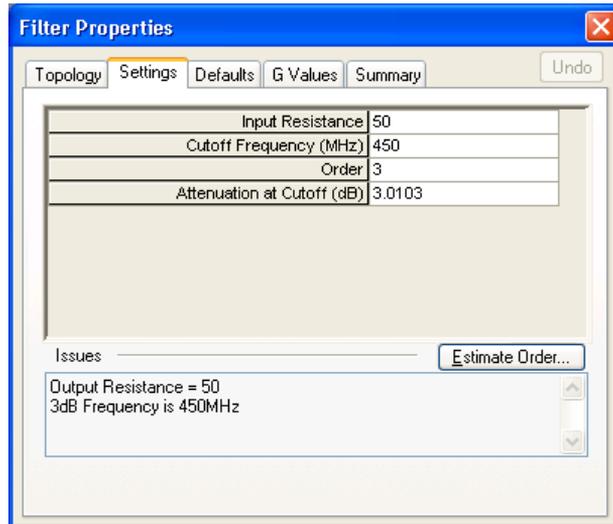
合成

ビヘイビアモデルには、SPECTRASYS から直接合成されるものもあります。ビヘイビアモデルを右クリックするとコンテキストメニューが現れます。このメニューにはその特定のモデルで使用できる合成モジュールの一覧が表示されます。

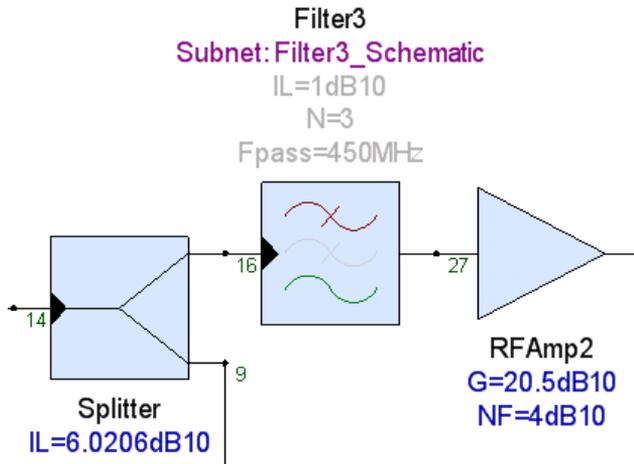
シミュレーション



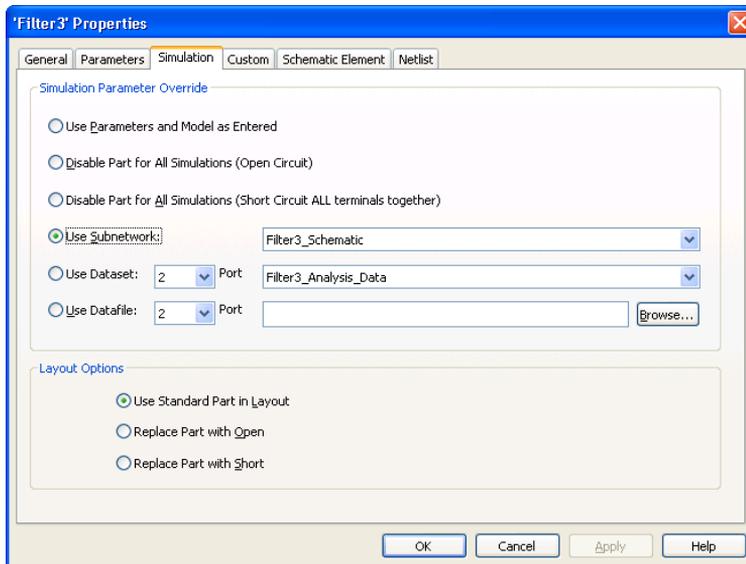
選択された合成モジュールが起動され、ビヘイビア モデルのパラメータが、以下に示すように、この合成モジュールに渡されます。



モデルが合成されると、合成された回路がビヘイビア モデルに入れ替わります。



この時点でビヘイビア モデルのパラメータは無効になります。



各合成ツールに関する詳細は、個々の合成セクションを参照してください。

方向性エネルギー（ノード電圧とパワー）

1つのノードに3つ以上の接続がある場合、パス沿いの情報の意味を理解するために、仕様を設定する必要があります。

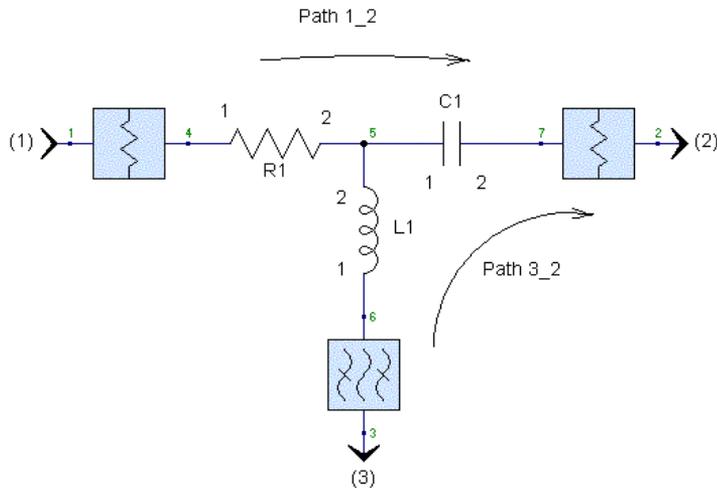
注記：3つ以上の要素を持つパス沿いのノードに関して報告されたパスの値は、そのノードに入るパスにある一連の要素によって示される値です。

シミュレーション

例えば以下の例では、2つのパスを、ノード1からノード2へのパスは「Path1_2」、ノード3からノード2へのパスは「Path3_2」と定義しました。レベルダイアグラムまたはテーブルでは、「Path1_2」についてノード5で報告された値は、ノード5に入る抵抗R1の端子2を出る測定値になります。同様に、このパス沿いに見られるインピーダンスは、ノード5に入る抵抗R1の端子2から見た値になります。結果的に、R1によって見られるインピーダンスは、C1からポート2へのネットワークと並列なL1からポート3へのネットワークとなります。同じように、「Path3_2」についてノード5で報告された値は、ノード5に入るインダクタL1の端子2を出る測定値になります。インダクタL1の端子2から見たノードのインピーダンスは、R1あるいはC1によって見られるインピーダンスと間違いなくまったく異なるでしょう。インダクタから見れば、R1からポート1へのネットワークはC1からポート2へのネットワークと並列だからです。

SPECTRASYS ではすべてのパスの方向がわかり、パスに沿って見た正確なインピーダンスが求められます。結果として、すべての測定値に、関心のあるパス沿いから見た正確な値が含まれます。

絶対ノードインピーダンスとそのインピーダンスに基づく測定値は意味を持たないことに注意してください。なぜなら、それらはノードまでどの方向をとるかに全面的に依存しているからです。



透過エネルギー

入射伝搬波がインピーダンス変化境界に入ると、透過波と反射波が生成されます。当然、前進方向に流れるエネルギーは透過波だけです。SPARCA エンジン

入射波から透過波だけを計算します。この透過エネルギーがすべてのパス測定に使用されます。

この原理の説明図に関しては、「フィルタ全域の減衰はない」を参照してください。

シミュレーション速度を上げる

SPECTRASYS のシミュレーション速度を上げるために使用できるいくつかのオプションがあります。

注記：これらのパラメータがシミュレーション速度に影響する理由に関して理解するには、「伝搬の基礎」を参照してください。

ループ

閉ループ回りの利得が大きいほど、[以下のスペクトラム レベルを無視する (Ignore Spectrum Level Below)] しきい値以下になるスペクトラムは時間がかかります。さらに、スペクトラムがループを回って伝搬する都度、収集データが増えます。

シミュレーションでこれが問題であることを素早く確認するには、ループ内のメイン要素の 1 つのアイソレーションを、例えば、200 や 300 dB に高くして試験してみます。これによってループ スペクトラムが強制的に、[以下のスペクトラム レベルを無視する (Ignore Spectrum Level Below)] しきい値以下になります。

スペクトラムを無視する

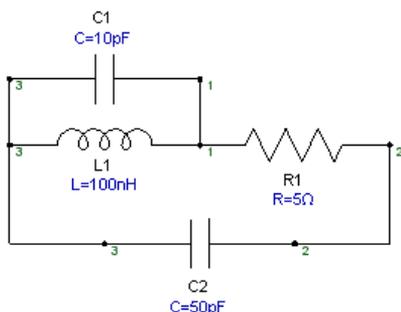
シミュレーション速度と収集データ量に影響する、スペクトラム無視パラメータは 3 つあります。1) [以下のスペクトラム レベルを無視する (Ignore Spectrum Level Below)]、2) [以下のスペクトラム周波数を無視する (Ignore Spectrum Frequency Below)]、および 3) [以上のスペクトラム周波数を無視する (Ignore Spectrum Frequency Above)] の 3 つです。これらのパラメータを変更して、シミュレータが収集し、データを解析する周波数範囲と振幅ダイナミック レンジを小さくすることができます。最も速度の改善が見られるのは、[以下のスペクトラム レベルを無視する (Ignore Spectrum Level Below)] しきい値を上げた場合です。

シミュレーション

密なループ

デザイン内のノードと要素が多いほど、生成され伝搬されるスペクトラムの数が増えます。密なループ内に構成される線形要素はサブサーキットに移し、親デザインから呼び出すようにしてください。サブサーキットに線形要素**だけ**がある場合は、線形解析はスペクトル伝搬エンジンではなく、サブサーキットに適用されます。システム シミュレータがサブサーキット上に非線形ビヘイビア モデルを見つけると、スペクトル伝搬エンジンが使用されます。

例えば、以下のような回路は**線形のみ**のサブサーキットに移してください。



相互変調

SPECTRASYS で最も時間を消費する演算は、多数の相互変調の計算です。生成される相互変調の数は、相互変調の [最大次数 (Maximum Order)] と相互変調生成に使用される搬送波の数によって決まります。最大相互変調次数を下げるだけでなく、[以下のスペクトラムレベルを無視 (Ignore Spectrum Level Below)] しきい値も上げると、このしきい値以下の相互変調が除去されます。

スペクトラム アナライザ表示モード

システム シミュレーション中、システム内のすべてのノードについてアナライザ トレースが生成されます。したがって、多数のノードのあるシステムでは、アナライザのプロパティが最適化されていないと、統合アナライザ トレースだけでも時間を浪費します。シミュレーション速度は、注意して [アナライザ モード (Analyzer Mode)] 設定の選択を行うことで短縮できます。広い周波数範囲が狭い分解能帯域幅に結合されている場合、収集されるデータの量が相当大きくなり、シミュレーション速度が減少します。さらに、[ランダム ノイズ生成 (Randomize Noise)] 機能を有効にしても、シミュレーションが遅くなります。[アナライザ モード (Analyzer Mode)] を有効にした状態でシミュレーション速度を上げるには、[ランダム ノイズ生成 (Randomize Noise)] を無効にし、[分解能帯域幅 (Resolution Bandwidth)] を大きくし、および/またはスペクトラム アナライザ トレースが生成される周波数範囲を制限します。追加情報は、「スペクトラム アナライザ表示」のセクションを参照してください。

パス

シミュレーションに含まれるパスが多いほど、シミュレーションにかかる時間が長くなり、収集されるデータが増えます。不要なパスをすべて削除します。

ノイズ

シミュレーションするノイズ点が多いほど、一般にはシミュレーション実行時間が長くなります。ノイズのコントロールに関する追加情報については、「広帯域ノイズ」と「カスケード ノイズ解析」のセクションを参照してください。

ミキサ

使用される LO 信号が多いほど、あるいは新しいミックスド シグナルを生成する [最大次数 (Maximum Order)] が高いほど、シミュレーション時間が長くなり、収集されるデータが増えます。シミュレーションに使用される LO の数を減らしてシミュレーション速度を上げることができます。相互変調 [最大次数 (Maximum Order)] を下げて生成されるスペクトルの数を少なくすることができます。

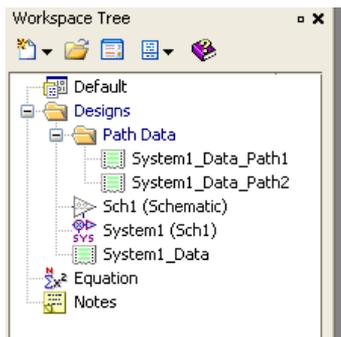
ファイルサイズを小さくする

ファイルサイズのほとんどは、シミュレーションされたデータに依存します。

ファイルサイズは以下を実行することにより小さくすることができます：

1. グラフやテーブルをすべて閉じる（表示するデータがない場合にこれらのアイテムが表示されなくなります）。
2. システム解析およびパス データセットをすべて削除する。スweepに関連するものをすべて必ず含めるようにする。注記：S パラメータなどの静的データやシミュレーション中に変化しないその他のデータを削除しないように注意してください。
3. ファイルを保存します。

例えば、ワークスペース ツリーが以下のような場合：



ファイルサイズは以下を削除することで小さくすることができます：

- System1_Data_Path1
- System1_Data_Path2
- System1_Data

トラブルシューティング

一般的な RF アーキテクチャのトラブルシューティング

これらのステップに従って一般的な RF アーキテクチャのトラブルシューティングを行うことができます。

未知数を減らす

未知数が多いほど、解析に必要なデータが増えますが、その大部分は問題の答えには影響しません。

1. **相互変調と高調波、熱雑音、位相雑音**など、問題の答えに影響しない計算をすべて**無効**にします。
2. 問題の答えに影響しない**複数の搬送波を除去**します。
3. 使用している場合は、**スペクトラムアナライザを無効**にします（これはツールの表示専用であり、パス測定には影響しない）。実際に厳しいケースでは、部品プロパティダイアログボックス [すべてのシミュレーションで部品を無効にする（すべての端子を合わせて短絡する）(Disable Part for All Simulations (Short Circuit ALL terminals together))] のシミュレーションタブ上のオプションで解析から**段を除去**することができます。これは2ポートデバイスで効果があります。

問題を理解するために測定値を比較する

1. 問題のデバッグ時、**レベルダイアグラムはテーブルほど役に立ちません**。パスの終端にあるノードを右クリックし、[新規のグラフ/テーブルの追加(Add New Graph/Table)] サブメニューから、[System1_Data_Path1：測定値の新しいテーブル(System1_Data_Path1：New Table of Measurements)] をクリックしてデフォルトのテーブルをワークスペースに追加できます。
2. 最初に、すべての問題の**チャンネル周波数**をチェックします。測定値はこれらの周波数に基づきます。これらの周波数がユーザが期待するものでない場合、チャンネル測定値もユーザが期待するものでなくなります。
3. **チャンネルパワー**測定値をチェックします。**留意事項**：[チャンネルパワー (CP) (Channel Power (CP))] と [希望するチャンネルパワー (DCP) (Desired Channel Power (DCP))] は測定値が異なります。チャンネルパワーには前進と後進のパワーがあり、希望するチャンネルパワーには前進パワーしかありません。大部分の測定が希望するチャンネルパワーに依存します(GAIN、CGAINなど)。
4. 相互変調パス測定のトラブルシューティングに関しては、**ここをクリック**してください。

スペクトラム問題の根本原因を突き止めるためにグラフ上でスペクトラム識別を使う

1. 測定値を使用して問題が発生するノードを識別したら、その特定のノードでグラフを追加し、問題のチャンネルのスペクトラムを検査します。
2. スペクトラム識別機能を使って疑わしいスペクトラムを識別します。
注記：関心のあるスペクトラムを右クリックし、[スペクトラム/トレースにズームしてフィット(Zoom to Fit Spectrum / Trace)] を選択して「スペクトラムにズーム」することができます。

パスのパワー、電圧、およびインピーダンスを使用する

1. パスのパワー、電圧、およびインピーダンスを有効にして、これらの値をデータセットに追加できるようにします。
2. インピーダンスなどスペクトラムがパス沿いに見る値に関する特定の情報が、パスデータセットに含まれるようになります。

カスケードによって雑音指数が減少する理由

SPECTRASYS のカスケード雑音指数測定の数式は以下のとおりです：

$CNF[n] = CNP[n] - CNP[0] - CGAIN[n]$ (dB)、ここで n = 段番号、 CNP はチャンネルノイズ電力。

カスケード利得の値は以下のとおりです：

$CGAIN[n] = DCP[n] - DCP[0]$ (dB)、ここで n = 段番号、 DCP は希望するチャンネルパワー。

したがって、カスケード利得は、VSWR 効果を受けるチャンネルのすべての前進パワーの関数となります。

- 利得とカスケード利得が期待通りであることを確認します

もう 1 つの問題は、チャンネル測定帯域幅がチャンネル信号よりもかなり広いことです。これは問題ありませんが、チャンネルノイズ電力測定の精度を上げるために、ノイズ点の追加が必要になる場合があります。SPECTRASYS では、すべてのノイズと信号データ点の間に補間を行います。回路に多くの振幅リップルがある場合は、これらの変動を適切に考慮するために、各信号に十分なノイズ点を追加する必要があります。ノイズスペクトラムが棒線画のように見える場合は、さらにノイズ点を追加する必要があるかもしれません。

カスケード雑音指数がハイブリッド連結ネットワークを通じて検査される場合、カスケード雑音指数は、ハイブリッドネットワークであることにより、内部ノードで見掛け上ピークになります。これが発生する原因は、使用されるカス

ケード利得がカレントパスのみのものであり、ハイブリッドネットワークに使用されるすべての並列パスに関するものではないためです。

追加情報については、「広帯域ノイズ」、「カスケードノイズ解析」、および「カスケード雑音指数方程式」を参照してください。

スプレッドシートと答えが異なる理由

SPECTRASYS は、段、スニークパス、逆アイソレーション、周波数応答、チャンネル帯域幅、利得圧縮、広帯域ノイズおよびイメージノイズ間の VSWR を考慮します。スプレッドシートは考慮しません！カスケード雑音方程式は、イメージノイズがないこと、および各段間の完全一致を前提とします。カスケード式相互変調方程式は、干渉トーンの周波数ロールオフがないことを前提とします。これは、特にレシーバブロッキング試験には適さない前提です。

SPECTRASYS のデータをスプレッドシート（または他の計算パッケージやプログラム）と相関させるためには、回路図をスプレッドシートのケースに合わせて変換する必要があります。以下の手順を実行します：

1. VSWR と周波数効果を除去します

- a. ビヘイビア フィルタはリップルの作用であるリターンロスが発生します。リップルを 0.001 dB のような相当小さい値に設定します
- b. ポートと段をすべて同じインピーダンスに設定します
- c. S パラメータ要素（または他の周波数依存要素）を等価利得のアッテネータかアンプで置き換えます。

2. スニークパス効果を除去します

- a. アイソレーションを非常に高く設定します (100 dB)
- b. 逆アイソレーションを非常に高く設定します (100 dB)

3. 利得圧縮効果を除去します

- a. 利得圧縮はチャンネルパワーではなく総ノードパワーに基づきます。ノイズなどすべての不要な信号が、総ノードパワーに影響します。
- b. すべての非線形段の P1dB、PSAT、IP3、IP2 点を増やします

4. イメージノイズ効果を除去します

- a. すべてのミキサのイメージ抑圧を高く (100 dB) 設定します（必ず、希望するチャンネル幅ではなくイメージ周波数幅を抑圧します）

これらの変更を行うと、優れた相関が得られます。

追加情報については、「カスケード雑音指数方程式」と「カスケード相互変調方程式」を参照してください。

フィルタ全域の減衰はない

フィルタによって発生するロスには、1) 消散（抵抗）と 2) インピーダンス不整合の 2 種類があります。フィルタの消散ロスは、その挿入ロスと同じです。インバンド周波数の場合、消散ロスは通常、不整合ロスより大きくなります。しかし、アウトオブバンド周波数の場合は、不整合ロスは挿入ロスの数倍になるのが普通です。フィルタ入力に到達する信号は、反射される、透過されるかのいずれかです。フィルタを透過する信号はすべて、消散により、ロスを受けます。

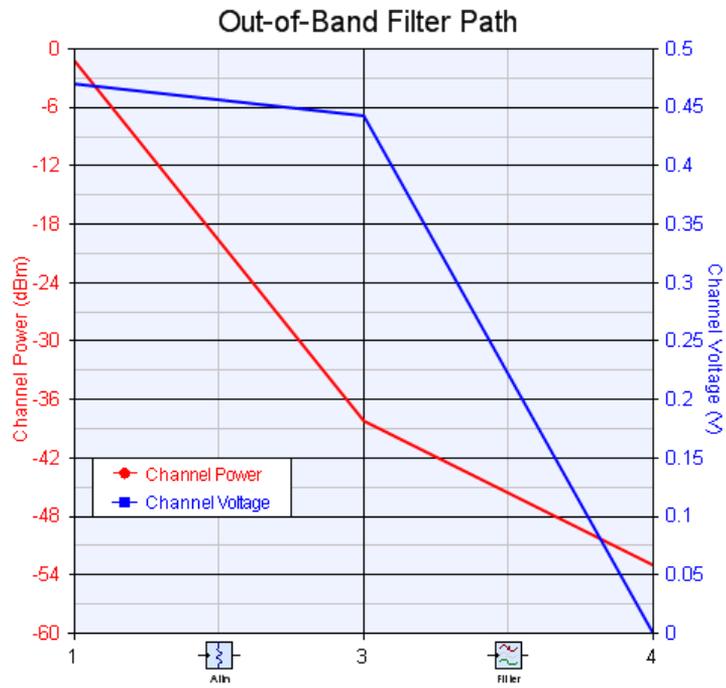
消散ロスはフィルタを構成するコンポーネントの Q の関数です。理想的なコンポーネントは無無限大の Q を持ち、挿入ロスがありません。

アウトオブバンド チャンネル パワーまたはカスケード段沿いの電圧を調べると、フィルタの前の段は期待よりロスが大きく、フィルタ減衰は期待よりずっと小さいことがわかります。これは意外に思われますが、不整合ロスと透過および反射パワーを調べると納得できます。フィルタのアウトオブバンド インピーダンスを調べると、きわめて高いか低いかのいずれかです。フィルタとその前の段の間にはアウトオブバンド インピーダンス不整合があります。フィルタ入力に現れる実際のアウトオブバンド電圧は、フィルタによるアウトオブバンド減衰の原因となる不整合インピーダンスの影響を受けます。ラボでは、フィルタへのアウトオブバンド入力電圧を正確に測定する唯一の方法は、入力ノード接続を切り、順方向電圧、透過電圧、および反射電圧 ($V_{\text{forward}} = V_{\text{transmitted}} + V_{\text{reflected}}$) を測定することです。

シミュレーション プロセスを単純化するために、すべての SPECTRASYS の測定とスペクトラムはすべて、スプレッドシートで仮定される前進信号ではなく、透過信号のみ使用します。スプレッドシートでは一般的に不整合ロスを考慮しませんから、前進信号はすべて透過信号と等しいと仮定します（実際はそのようなことはありません!）。

例

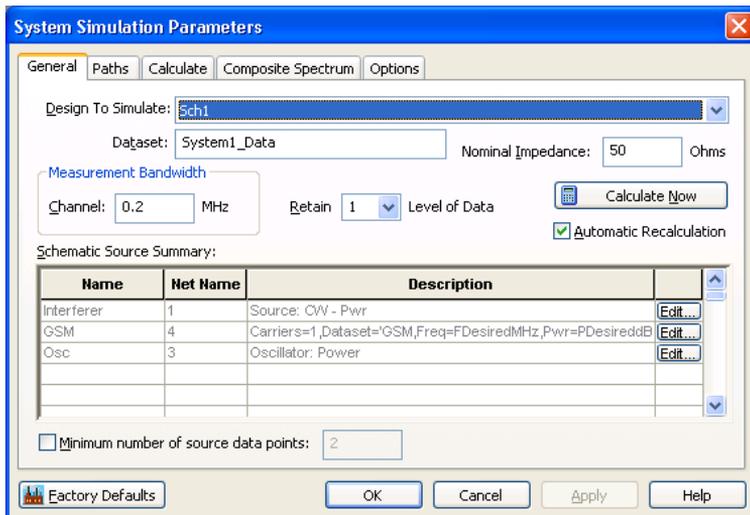
以下の図は、後ろにローパス フィルタが続く 3dB アッテネータを示します。ソース周波数は 1 GHz で、どの周波数でもフィルタは約 50 dB を発生します。チャンネル パワーと電圧が以下のグラフに表示されています。予想どおり、3 dB アッテネータ前後の電圧変化は非常に小さくなっています。しかし、ほとんどのパワー ドロップはアッテネータ前後で発生します。1 GHz でのフィルタへの入力インピーダンスはおよそ 336 オームです。そのため、不整合によりアッテネータ前後に現れる減衰が予想された 3 dB より大きくなります。



ダイアログ ボックス リファレンス

システム シミュレーション パラメータ - [全般 (General)] タブ

このページでは、SPECTRASYS Simulation の全般的な設定を行います。



シミュレーション対象デザイン (Design to Simulate) - シミュレーションされるデザイン名。

データセット (Dataset) - データが保存されるデータセット名。

チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth) - パス測定に使用されるチャンネルの幅。

データの X レベルを保持 (Retain X Levels of Data) - データセットに保存されるデータ レベルの数を指定します。例えば、1 レベルのデータはトップ レベルのデザインのみデータです。このパラメータはデータセットに保持されたデータのみを参照し、サブサーキットの解析に関しては関係しません。サブサーキットはすべて常に解析されます。

公称インピーダンス (Nominal Impedance) - パワー測定に使用されるデフォルトのインピーダンス。

今すぐ計算 (Calculate Now) - ダイアログを閉じてシミュレーションを開始します。

自動再計算 (Automatic Recalculation) - これをチェックすると、SPECTRASYS が必要に応じて自動的にシミュレーションを再計算するようになります。

回路図ソースの要約

シミュレーション

パス (ノードから、ノードを通じて、ノードまで) (Path (from Node, thru Node, to Node)) - パスを一意に識別するカンマによって区切られた一連のノード名。SPECTRASYS は常に、すべての指定ノード名を含む最短パスを探します。2つの名前によってパスを一意に識別できない場合は、希望する最短パスが見つかるまで、名前を追加することができます。

チャンネル周波数 (MHz) (Channel Frequency (MHz)) - 最初のノードにあるパスの周波数。デフォルトでは、このパラメータはブランクであり、SPECTRASYS は開始ノードにある単一ソースの周波数を使います。開始ノードに複数のソースがある場合は、チャンネル周波数が不明なため確定できません。

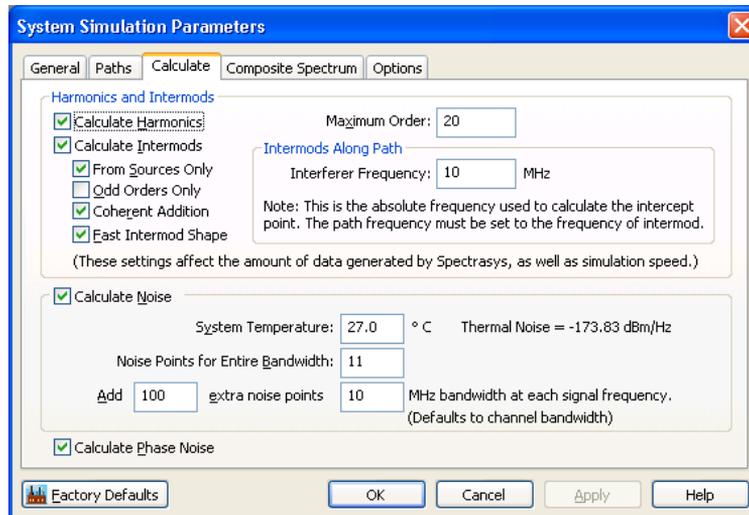
パワー、電圧、インピーダンスをパス データセットに追加 (Add Powers, Voltages, and Impedances to Path Dataset) - これをチェックすると、パス パワー、電圧、およびインピーダンスがデータセットにセットされます。データセットからこれらのパラメータをプロットできます。

削除 (Delete) - 既存のパスを削除します。

システム シミュレーション パラメータ - [計算 (Calculate)] タブ

このページで、相互変調、高調波、ノイズ、および位相雑音の計算を制御します。

ヒント : シミュレーション時間を短縮するには、「システム シミュレーションのヒント」を参照してください。



相互変調と高調波 (Intermods and Harmonics) - 相互変調と高調波に関して詳細は、「相互変調、高調波の計算」のセクションを参照してください。

高調波 (Harmonics) - このオプションを選択すると、非線形要素によって高調波が発生します。通常、高調波の計算は高速です。

相互変調 (Intermods) - このオプションを選択すると、非線形要素によって相互変調が発生します。相互変調のシミュレーション時間は、入力信号の数、発生する相互変調のレベル、および非線形段の数によって異なります。

ソースからのみ (From Sources Only) - このオプションを選択すると、高調波と相互変調はソース信号からのみ発生します。パスに沿って発生する希望しない成分はすべて、高調波と相互変調の計算から除外されます。

チェックを付けない場合、高調波と相互変調は非線形要素への入力に現れるすべての信号から発生します。相互変調、高調波、その他の希望しない信号があります。このオプションを選択すると、スペクトラム成分が生成されるため、通常はシミュレーション時間が長くなります。

奇数次数のみ (Odd Order Only) - これをチェックすると、奇数次の相互変調と高調波のみが発生します。

コヒーレント加算 (Coherent Addition) - これをチェックすると、相互変調、高調波、およびミックスドシグナルがコヒーレントに加算されます。一般に、カスケード相互変調方程式はコヒーレントな相互変調加算を想定しています。注記：この設定に関わりなく、希望する信号は常にコヒーレントに加算されます。詳細は、「コヒーレンス」のセクションを参照してください。

高速相互変調形状 (Fast Intermod Shape) - これをチェックすると、相互変調と高調波がわずか2つのデータ点によって表現されます。多くの場合、これで十分です。しかし、フィルタを通じた相互変調や高調波を調べたい場合は、信号の形状を正確に表現するにはもっと多くの点が必要になります。このチェックを外すと、すべての入力信号からの点の平均数を使用して相互変調または高調波が表現されます。

最大次数 (Maximum Order) - このオプションを使ってシミュレーションで生成されるスペクトラムの次数を制限します。このリミットはすべての非線形要素に適用されます。モデルごとに、発生する最大次数の制限があります。モデルごとの次数制限を確認するには、要素のヘルプを参照してください。

ノイズを計算 (Calculate Noise) - これをチェックすると、ノイズが計算されます。このオプションは、パス ノイズ測定時には有効にする必要があります。回路図内のあらゆるコンポーネントがノイズを発生します。複素ノイズ相関行列を使用し、すべてのノードで要素ごとにノイズ電力を求めます。

システム温度 (System Temperature) - これは、シミュレーション中のデザイン全体のグローバルな周囲温度です。熱雑音電力レベルを求めるのに必要な温度です。実際の熱雑音を便宜のために示します。

帯域幅全体のノイズ点 (Noise Points for Entire Bandwidth) - これはノイズ全体の幅を示すのに使用される点の数です。ノイズは、[以下の周波数を無視する (Ignore Frequency Below)] によって指定された周波数から始まり、[以上の周波数を無視する (Ignore Frequency Above)] で指定された周波数で終了し、自動的に作成されます。これらのノイズ点は帯域幅全体に均一に分布します。

点を追加する (Add Extra Points) - これは [帯域幅内 (In Bandwidth)] パラメータの全域で挿入される追加ノイズ点の数です。これらの追加ノイズ点は帯域幅全体に均一に分布します。これらのノイズ点の中心周波数は、信号周波数の中心周波数です。これらのノイズ点は生成された希望のスペクトラムごとに追加されます。ただし、未使用のノイズ点は、シミュレーション時間短縮のために削除されます。スマート ノイズ点除去 (Smart Noise Point Removal) に関して追加情報は、[広帯域ノイズ (Broadband Noise)] を参照してください。

帯域幅内 (In Bandwidth) - これは追加ノイズ点が挿入される帯域幅です。これらのノイズの中心周波数は、希望する各信号の中心周波数です。このパラメータは、狭帯域中間周波数 (IF) フィルタを通す場合のような、ユーザがノイズの分解能を上げたい場合に使用します。この帯域幅はチャンネル帯域幅のデフォルトになります。

ノイズ シミュレーションに関するヒント: 一般に、シミュレーションで使用するノイズ点が多いほど、シミュレーションの時間が長くなります。各コンポーネントがノイズを発生するため、回路図のコンポーネントが多いとそれだけシミュレーションの時間がかかります。ノイズ計算を無効にするか、またはシミュレーション点の数を減らすことによって、コンポーネントが多くても速度を上げることができます。

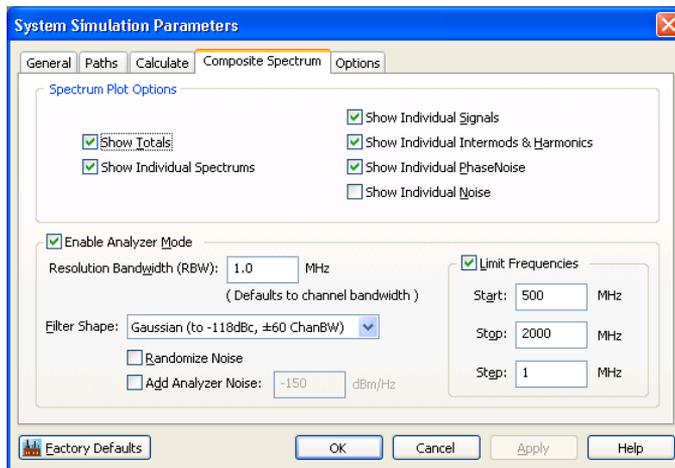
パス沿いの相互変調 (Intermods Along Path) - インターセプト計算は、個々のチャンネル内の干渉信号と相互変調信号の実際の計算されたパワーを基礎とします。注記：従来の周波数に依存しないカスケード相互変調方程式は使用しません。欠点が多いためです。どんな種類の相互変調測定についても、すべての相互変調は、チャンネル測定帯域幅を使用してチャンネル周波数で測定されます。インターセプト測定の場合は、干渉信号を特定する必要があります。干渉源チャンネル帯域幅は、チャンネル測定帯域幅の場合と同じです。詳細は、[パス沿いの相互変調 (Intermods Along a Path)] を参照してください。

干渉源周波数 (Interferer Frequency) - これはすべてのインターセプト測定の基本として使用される干渉チャンネルの周波数です。

位相雑音を計算 (Calculate Phase Noise) - これをチェックすると、位相雑音が計算されます。

システム シミュレーション パラメータ - [複合スペクトル (Composite Spectrum)] タブ

このページで、データをグラフに表示する方法を制御します。



スペクトラム プロット オプション (Spectrum Plot Options) - この情報は表示出力に影響しますが、内部計算には影響しません。スペクトラムはグループ単位で、あるいは個別に表示できます。

合計を表示する (Show Totals) - ノードまでの各移動方向について、合計パワー移動を表すトレースを表示します。例えば、3つの要素が特定のノードに接続されている場合、パワーは異なる3方向に流れます。それぞれのトレースは個別の色で表されます。

個々のスペクトラムを表示する (Show Individual Spectrums) - これがチェックされると、個々のスペクトラムが表示され、チェックがないとグループが表示されます。注記：グループの場合、個々のスペクトラムの識別情報は表示できません。スペクトラムをグループ化すると、同じグループのすべてのスペクトラムが単一のトレースによって代表されます。

個々の信号を表示する (信号グループを表示) (Show Individual Signals (Show Signal Group)) - 各基本信号スペクトラムまたは信号グループのトレースを表示します。

個々の相互変調と高調波を表示する (相互変調と高調波グループを表示) (Show Individual Intermods & Harmonics (Show Intermods & Harmonics Group)) - 各相互変調と高調波スペクトラムまたは相互変調と高調波グループのトレースを表示します。

個々の位相雑音を表示する (位相雑音グループを表示) (Show Individual PhaseNoise (Show PhaseNoise Group)) - 各位相雑音スペクトラムまたは位相雑音スペクトラム グループのトレースを表示します。

個々のノイズを表示する (ノイズ グループを表示) (Show Individual Noise (Show Noise Group)) - 各ノイズ スペクトラムまたはノイズ スペクトラム グループのトレースを表示します。

アナライザ モードを有効にする (Enable Analyzer Mode) - このチェックボックスによりアナライザ モードとその設定が有効になります。このモードは、エンジニアが、シミュレーションしたスペクトラムが共通のスペクトラム アナライザでどのように表示されるかを視覚化するのに役に立ちます。ユーザがシミュレーションデータを、研究室で測定したスペクトラム アナライザ データと関連させることができるようにアナライザ モードが追加されました。注記：このモードは表示にのみ影響し、積算測定値には影響しません。

分解能帯域幅 (RBW) (Resolution Bandwidth) - アナライザ モードは、分解能帯域幅内で総パワーのピークを検出する掃引受信機を持つスペクトラム アナライザのようなものと考えられます。ユーザはこの掃引受信機の分解能帯域幅を指定することができます。デフォルトの分解能帯域幅は、[測定チャンネル帯域幅 (Measurement Channel Bandwidth)] です。

フィルタ波形 (Filter Shape) - このパラメータによって分解能帯域幅フィルタの波形を決めます。このフィルタ波形は、5 極ガウス フィルタを使用するスペクトラム アナライザの分解能帯域幅フィルタ波形と似ています。同様に、SPECTRASYS でもこのフィルタが使用されます。ユーザは、この特定のフィルタについて、チャンネル帯域幅の整数に基づいて 3 つの幅を選択することもできます。スペクトル積分はこのフィルタの幅の外では発生しません。このフィルタの幅は、収集、保存、および処理されるデータ量の削減に使用されます。ブリックウォールフィルタを理論的に作成して、含めることもできます。

ブリックウォール (理想) (Brickwall (Ideal)) - このフィルタは、そのすそが極めて急勾配な理想的な直交フィルタです。

ガウス (-100dBc まで、±30 チャンネル BW) (Gaussian (to -100 dBc, ± 30 Chan BW)) - 中心周波数から 30 チャンネル以上はなれたデータは無視されます。中心から 30 チャンネルの減衰はおよそ -100 dBc です。

ガウス (-117dBc まで、±60 チャンネル BW) (Gaussian (to -117 dBc, ± 60 Chan BW)) - 中心周波数から 60 チャンネル以上はなれたデータは無視されます。中心から 60 チャンネルの減衰はおよそ -117 dBc です。

ガウス (-150dBc まで、±200 チャンネル BW) (Gaussian (to -150 dBc, ± 200 Chan BW)) - 中心周波数から 200 チャンネル以上はなれたデータは無視されます。中心から 200 チャンネルの減衰はおよそ -150 dBc です。

ランダム ノイズ生成 (Randomize Noise) - これを有効にすると、ランダム ノイズがアナライザ掃引の回りに追加されます。出力トレースは、標準的なスペクトラム アナライザよりも表現が豊富ですが、計算時間がかかります。

アナライザ ノイズを追加 (Add Analyzer Noise) - スペクトラムアナライザはすべてダイナミック レンジが限定されています。通常は、上端は、内部ミキサ出力時の相互変調およびスプリアス性能によって制限されます。下端は、アナライザのノイズによって制限されます。このノイズはスペクトラム アナライザと内部 RF アッテネータの内部アーキテクチャの関数になります。

アナライザ ノイズフロア (Analyzer Noise Floor) -
スペクトラムアナライザモードのノイズフロア
を dBm/Hz で指定します。

周波数を制限する (Limit Frequencies) - これをチェックすると、アナライザモードの周波数範囲が制限されます。デフォルトで、[以下のスペクトラム周波数を無視する (Ignore Spectrum Frequency Below)] 低周波数リミットから [以上のスペクトラム周波数を無視する (Ignore Spectrum Frequency Above)] の最高周波数までのスペクトラム全体が、システムにおけるすべてのノードについて、アナライザによって処理されます。場合によって、非常に時間を浪費することもあります。シミュレーション速度を上げて、関心のある領域だけを処理するには、周波数制限を有効にして、アナライザの計算範囲を限定します。

開始 (Start) - アナライザの開始周波数。

停止 (Stop) - アナライザの停止周波数。

ステップ (Step) - これはアナライザのデータ点間の周波数ステップ サイズです。ステップ サイズはシミュレーション点の最大数に達するまで小さくすることができます。

シミュレーション点の数：グラフに使用されるシミュレーション点の数は SPECTRASYS で内部的に求められます。このパラメータはユーザが変更することはできません。SPECTRASYS は大きな周波数範囲を処理できますから、単一のスペクトラムアナライザトレースのために収集されたデータの量が膨大なものになることもあります。さらに、アナライザの機能は後処理機能ではないので、シミュレーション点の数は、シミュレーションを再実行しない限り変更できません。収集データ量はシミュレーション時間に比例しますが、これをうまく制御するために、SPECTRASYS では使用するシミュレーション点の数を内部的に求めます。

シミュレーション速度アップ：システムシミュレーション中、アナライザは、システム内のすべてのノードについて移動方向のアナライザトレースを作成します。したがって、多数のノードを持つシステムの場合、アナライザトレースだけを計算するのに使用されるコンボリューションルーチンは、アナライザのプロパティが最適化されていないと、多大な時間を要する場合があります。シミュレーション速度が重要な場合は、最も狭いフィルタ波形を使用するとシミュレーション速度が最高になります。

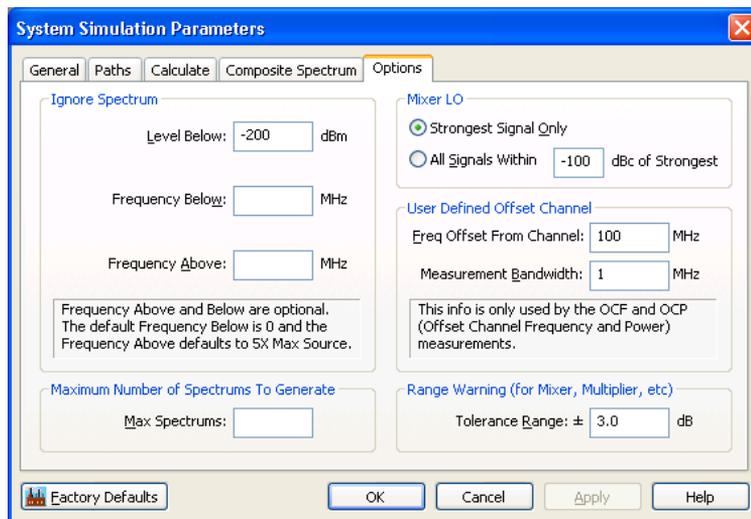
ファイルサイズ：データファイルのサイズは、アナライザモードを有効にすると大きくなります。さらに、ファイルのサイズは、アナライザモードの設

定次第で急激に大きくなることがあります。例えば、分解能帯域幅が小さいほど、データを表現するのにより多くのデータ点が必要になり、データ ファイルが大きいくほど、シミュレーション時間がかかる可能性があります。

アナライザ トラブルシューティング：信号が積算スペクトラムと一致していないようです、というのはどういう意味ですか？ 周波数分解能が十分小さくないため関心のある信号を正確に表現できないということです。このようなケースでは、分解能を上げるためにいくつかの方法があります。第一に、分解能帯域幅を小さくすることができます。それでも足りない場合は、[周波数を制限する (Limit Frequencies)] 機能を有効にして、アナライザで使用する [開始 (Start)]、[停止 (Stop)]、および [ステップ (Step)] 周波数を指定します。

システム シミュレーション パラメータ - [オプション (Options)] タブ

このページには SPECTRASYS の種々のオプションが含まれています。



スペクトラムを無視する (Ignore Spectrum) - このグループを使用して SPECTRASYS によって生成されるスペクトラムの数を制限あるいは限定します。これらのしきい値はすべての計算ノードに適用されます。したがって、信号が大量に減衰され、またはそのパスの一部の間にある特定の周波数範囲の外側にあつて、その後、増幅またはその特定の周波数範囲の中に周波数変換される場合、しきい値を設定してスペクトラムが計算パスに沿って無視されないようにする必要があります。特定のスペクトラムが無視されると、その伝搬が継続しなくなります。しかし、以前に計算されたスペクトラムはすべて、指定リミット内にあったノードにおいてはそのまま使用できます。例えば、IF 周波数 150 MHz の 2 GHz の送信機があり、[以下の周波数を無視する (Ignore Frequency Below)] リミットを 200 MHz に設定すると、IF 信号全体が存在しなくなり、結果的に 2 GHz RF 信号もなくなります。

以下のレベル (デフォルト = -200 dBm) (Level Below (default = -200 dBm)) - このしきい値以下のスペクトラムはすべて、生成も伝搬もされません。高速シミュレーションが重要な場合は、このしきい値を許容最高値に設定する必要があります。スペクトラムは、最大でもこのしきい値よりおよそ 20 dB 下回らない限り、実際には無視されません。いくつかのスペクトラムを一緒に追加して、このしきい値より大きい合計結果にすることが可能だからです。

以下の周波数 (デフォルト = 0 Hz) (Frequency Below (default = 0 Hz)) - 周波数がこのしきい値より低いスペクトル成分はすべて無視されます。このリミット以下のスペクトラムは、伝搬を継続しません。しかし、負の周波数が中間の段階で（すなわちミキサを通じて）計算され、正の周波数に折り返されるケースもあります。このパラメータは、最終的に折り返された周波数にのみ作用し、中間周波数段階には影響しません。同様に、これは下側ノイズ周波数リミットです。

以上の周波数 (デフォルト = 最高ソース周波数の 5 倍) (Frequency Above (default = 5 times the highest source frequency)) - 周波数がこのしきい値より高いスペクトル成分はすべて無視され、生成されません。このリミット以上のスペクトラムは伝搬を継続しません。同様に、これは上側ノイズ周波数リミットです。

シミュレーション速度アップ：他のシミュレーションの種類と同様に、処理する必要のあるスペクトル成分の数が多いほど、シミュレーション時間がかかります。これらのリミットを関心のある周波数および振幅範囲の計算のみに設定すれば、特に相互変調の計算時には、計算プロセスの速度を上げられます。ただし、これらのリミットを設定するときは、対象のスペクトラムが無視されないように注意が必要です。

ユーザ定義オフセット チャンネル (User Defined Offset Channel) - このグループは、必ず、[オフセット チャンネル周波数 (Offset Channel Frequency)] および [オフセット チャンネルパワー(Offset Channel Power)] 測定と連動して使用します。

チャンネルからの周波数オフセット (Freq Offset From Channel) - 現在のチャンネル周波数からの相対周波数オフセット。

測定帯域幅 (Measurement Bandwidth) - [オフセット チャンネルパワー(Offset Channel Power)] 測定の帯域幅。

追加情報については、[オフセット チャンネル (Offset Channel)] を参照してください。

生成スペクトラムの最大数 (Maximum Number of Spectrums To Generate) - このグループを使用して、生成されるスペクトラムの最大数を制限あるいは限定します。

最大スペクトラム (Max Spectrums) - 生成されるスペクトラムの最大数を制限します。シミュレーション中にこのリミットに達すると、それ以上スペクトラムが生成されません。このオプションは、総スペクトラムの数の早期制限により測定精度が影響を受けるため、注意して使用する必要があります。

範囲警告 (ミキサ、マルチプライヤ等) (Range Warning (for Mixer, Multiplier, etc)) - このグループを使用して一部の要素で使用される範囲警告を制御します。

許容値範囲 (Tolerance Range) - このしきい値は、一部の要素で、あるパワー レベルが指定範囲を外れたときユーザに警告を出すために使用されます。この範囲はケースバイケースで各要素に適用されます。例えば、特定のミキサの総 LO パワーはその LO スペクトラムを積分し、このパワー レベルをミキサの [LO ドライブ レベル (LO Drive Level)] と比較して求められます。このパワー レベルが [許容値範囲 (Tolerance Range)] ウィンドウを外れた場合、ミキサがドライブ不足かあるいはドライブ過剰かのいずれかを示す警告が発行されます。

シミュレーション

ミキサ LO

最強の信号のみ (Strongest Signal Only) - これが選択されると、LO に現れる可能性のある他の信号の数に関わらず、最強の LO 信号の周波数を使用して、すべてのミックスド シグナルの出力周波数が求められます。

最強 X dBC 内にあるすべての信号 (All Signals Within X dBC of Strongest) - これが選択されると、ピーク LO 信号の指定範囲内に入る LO 信号のすべての周波数を使用して、新しいミックスド出力スペクトラムを生成します。

第7章： パラメータ掃引

パラメータ掃引

GENESYS の 3D グラフでは、三次元プロットिंगを生成するためにパラメータ掃引が必要です。チューニングされた変数を調整してパラメータ掃引を実行すると、この三次元が得られ、調整ごとに別のシミュレーションが繰り返されます。例えば、キャパシタを調整したときの回路変更の応答を調べるには、キャパシタの値を調整しながら、線形または電磁シミュレーションを掃引するパラメータ掃引を追加します。3-D グラフで結果を見ることができます。

パラメータ掃引評価を追加するには：

1. 回路図を使ってデザインを作成します。
2. チューナブルパラメータを定義します。
3. [ワークスペース ツリー (Workspace Tree)] ツールバー上の [ニュー アイテム (New Item)] ボタン  をクリックして、[評価 (Evaluation)] メニューから [スイープの追加 (Add Sweep)] を選択します。
4. パラメータ掃引プロパティを定義して、**OK** をクリックします。解析が実行され、データ セットが作成されます。

高度なアプリケーションの場合、パラメータ掃引をネスティングして、4-D、5-D、またはそれ以上の次元のデータを作成できます。このデータは後でテーブルに表示できます。

パラメータ掃引プロパティ

Parameter Sweep Properties

Sweep Name:

Analysis to Sweep:

Parameter to sweep:

Output Dataset:

Description:

Parameter Range

Start: (Ohm)

Stop: (Ohm)

Unit of Measure:

Show Long Parameter Names

Propagate All Variables When Sweeping (or only analysis variables)

Type Of Sweep

Linear: Number of Points:

Log: Points/Decade:

Linear: Step Size (Ohm):

List (Ohm):

名称	説明
掃引名 (Sweep Name)	掃引評価名
掃引する解析 (Analysis to Sweep)	パラメータ掃引に使用される解析。選択された解析は、掃引されたパラメータの値ごとに再計算されます。
掃引するパラメータ (Parameter to Sweep)	掃引を作成するために変更されたパラメータ。チューナブルと定義されたすべてのパラメータが掃引可能です。
出力データセット (Output Dataset)	データが保存されるデータセットファイル。データセット名が指定されない場合は、解析名に「_Data」が付加された名前になります。

説明 (Description)	実行されている評価の説明。GENESYSによる文書管理目的のみであり、それ以外には使用されません。	
今すぐ計算 (Calculate Now)	評価を実行します。変更の有無に関わらず、常に解析を実行します。	
掃引時にすべての変数を伝搬 (Propagate All Variables When Sweeping)	掃引プロセス中、ソースデータセットにユーザ定義変数がある場合、これらの変数も掃引され、掃引データセットに集約されます。	
ロングパラメータ名を表示 (Show Long Parameter Name)	省略名 (例えば、C1.C) が同じ複数のパラメータがある場合、パラメータ名をフルネーム (パスを含む) で表示します。	
初期設定 (Factory Defaults)	すべての値を初期値にリセットします。	
パラメータ範囲 (Parameter Range)	開始 (Start)	掃引の下側境界 (最小周波数)。
	停止 (Stop)	掃引の上側境界 (最大周波数)。
	測定単位 (Unit of Measure)	評価に使用する測定単位
掃引の種類 (Type of Sweep)	線形：点の数	掃引全体の点の数。
	ログ：点/10	掃引 10 ごとの点の数。
	線形：ステップサイズ (MHz)	開始および停止周波数、および点間のスペースを指定できます。
	周波数リスト (MHz)	解析周波数を明示的に指定できます。これらの点は、[周波数リスト (List of Frequencies)] ボックスに、スペースで区切って入力します。

第8章： デバイス データ

線形デバイス モデルと非線形デバイス モデル

RF デバイスおよびマイクロ波デバイスの S-パラメータは、普通に入手可能で、ネットワーク アナライザで簡単に測定できます。回路の小信号性能をモデル化するのに最も精度の高い方法です。ただし、特定の動作点（バイアス レベル）でのみ有効です。非線形デバイス モデルもメーカーから普通に入手できますが、測定値を抽出するのは困難です。非線形モデルのメリットは、回路性能をすべてのバイアス レベルと周波数でモデル化することです。さらに、モデルは、圧縮やひずみなどの効果を含み、デバイスの完全な線形および非線形性能の特性を表します。

線形データの概要

GENESYS 内部には、広範囲な要素モデルがあります。また、ユーザのモデル作成用にモデルと式の機能も備わっています。しかし、測定されたまたは外部計算されたデータによって GENESYS で使用されるデバイスの特性を表すことが必要、あるいは望まれることがよくあります。この機能は、S、Y、G、H、または Z-パラメータ データという、ONE、TWO、THR、FOU、NPO、および NPOD 要素を使用することによって実現されます。

注記：このセクションの情報は線形デバイスに適用されます。

線形シミュレータを使用する際、回路は時間不変性があると仮定され（要素値が時間の関数ではない）、サブコンポーネントは、2-ポート S-パラメータ データなどのポート パラメータ セットによって一意に定義されます。

通常、ONE、TWO、THR、FOU、および NPO はアクティブ デバイスに使用されますが、これらは、データを計算または測定できるどのようなデバイスにも使用できます。例えば、アンテナ、指定グループ遅延データを持つ回路、あるいは広帯域トランスやパッドの測定データの特性を表すのに使用できます。

GENESYS データ ファイルを使用する

GENESYS では 2 通りの方法でデータ ファイルを使用することができます :

- パーツのシミュレーション プロパティをオーバーライドする。これによって、測定時にデザインを作成しなくてもデータ ファイルを直接参照することができます。
- 回路図で、ONE、TWO、THR、FOU、NPO、または NPOD 要素を使う。

どちらのケースでも、デバイス データが表現するポートの数をあらかじめ知っておく必要があります。トランジスタでは、これはほとんどの場合 2 です。

付属デバイス データ

GENESYS には多くの異なるデバイスの種類のために 25,000 以上のデータ ファイルが付属します。デバイス データは電子形式でメーカーによって直接提供されたものです。

注意 : Eagleware は提供されたファイルをすべてテストすることはできません。ランダム サンプリングによって、一部のファイルは誤りを修正しました。各ファイルをテストして正確さを確認するのはユーザの責任です。

新しい線形データ ファイルの作成

選択した名前前のファイルにテキスト エディタ (メモ帳など) を使ってデータを入力することにより、簡単に他の装置をライブラリに追加することができます。ファイルは必ず標準 ASCII 形式で保存してください。

ファイルの初期コメントの後の最初の行は、以下の形式の書式指定子です :

単位 タイプ 形式 R インピーダンス

ここで、

単位は、Hz、kHz、MHz、GHz のいずれか

タイプは、データファイルのタイプで、S、Y、G、H、Z のいずれか

形式は dB/角度データの DB、線形の大きさ/角度データの MA、または実数/虚数データの RI

インピーダンスはオーム単位の基準インピーダンスで、通常は 50 か 75

以下は最も一般的な書式指定子です :

MHZ S MA R 50

これは、データが、50 オームに正規化された S パラメータ形式であることを意味します。データは線形極座標形式（大きさと角度）で与えられます。周波数はメガヘルツです。

データは書式指定子の後に続きます。2 ポート ファイルの代表的なラインは以下のとおりです：

```
500 .64 -23 12.5 98 .03 70 .8 -37
```

このケースでは、500 はメガヘルツ単位の周波数です。大きさ S_{11} 、 S_{21} 、 S_{12} および S_{22} はそれぞれ、.64、12.5、.03 および .8 です。位相はそれぞれ、-23、98、70、および -37 度です。

代わりに Y-パラメータ データを使用することも可能です。書式指定子は以下のようになります：

```
# GHZ Y R I R 1
```

これは、直交の非正規化 Y パラメータ データで、周波数は GHz 単位であることを示します。代表的なラインは以下のとおりです：

```
30 0 3E-4 9E-3 -8E-3 2E-5 0 -1E-4 1E-3
```

このケースでは、ギガヘルツ単位の周波数は 30 です。Y11、Y21、Y12、および Y22 の実数値はそれぞれ、0、9E-3、2E-5、および -1E-4 オームです。虚数値はそれぞれ、3E-4、-8E-3、0、および 1E-3 オームです。

S-パラメータ データ ファイルのサンプルを以下に示します。GENESYS に必要なのは、周波数と S-パラメータ データを伴う部分だけです。データ ファイル中で「!」で始まる行はコメントですから無視されます。ファイルの末尾にあるノイズ データは雑音指数の解析に使用されます。（ノイズについては後半のセクションで取り上げます。）

```
! AT41435 S AND NOISE PARAMETERS
```

```
! Vce=8V Ic=10mA
```

```
! LAST UPDATED 06-1-89
```

```
# GHZ S MA R 50
```

```
! FREQ S11 S21 S12 S22
```

```
0.1 .80 -32 24.99 157 .011 82 .93 -12
```

```
0.5 .50 -110 1 2.30 108 .033 52 .61 -28
```

```
1.0 .40 -152 6.73 85 .049 56 .51 -30
```

```
1.5 .38 176 4.63 71 .063 59 .48 -32
```

```
2.0 .39 166 3.54 60 .080 58 .46 -37
```

```
2.5 .41 156 2.91 53 .095 61 .44 -40
```

```
3.0 .44 145 2.47 43 .115 61 .43 -48
```

```
3.5 .46 137 2.15 33 .133 58 .43 -58
```

```
4.0 .46 127 1.91 23 .153 53 .45 -68
```

```
4.5 .47 116 1.72 13 .178 50 .46 -75
```

```
5.0 .49 104 1.58 3 .201 47 .48 -82
```

```
6.0 .59 81 1.34 -17 .247 36 .43 -101
```

シミュレーション

f	Fmin	Gammaopt		Rn/Zo
!GHz	dB	MAG	ANG	-
0.1	1.2	.12	3	0.17
0.5	1.2	.10	14	0.17
1.0	1.3	.05	28	0.17
2.0	1.7	.30	-154	0.16
4.0	3.0	.54	-118	0.35

1 ポート Z パラメータ データ ファイルのサンプルを以下に示します。このデータ ファイルを使用して周波数とともに変化するポート インピーダンスを指定することができます。データは、1 オーム (R1) に正規化されたいくつかの周波数点 (13.90~14.45 MHz) にわたって取得された実数と虚数の (RI) インピーダンス (Z) データです。

```
# MHZ Z RI R 1
13.90 30.8 -29.2
14.00 31.6 -6.6
14.05 32.0 4.7
14.10 32.4 16.0
14.15 32.7 27.2
14.20 33.1 38.4
14.25 33.5 49.5
14.30 33.9 60.7
14.35 34.3 71.7
14.45 35.1 93.7
```

ファイル記録保持

GENESYS に付属するデバイス ファイルはほとんどが、共通エミッタや共通ソースなど、一般的なデバイス構成の S-パラメータ ファイルです。ライブラリに追加するデバイスには接地端子を選択して使用できます。しかし、常に一貫した形式でデータを保持すれば、記録保持の手間が大幅に減少します。

データ ファイルのエクスポート

[ファイル (File)] メニューの [エクスポート/S-パラメータ (Export/S-Parameters)] により、S-パラメータ データがシミュレーションまたはデータ ソースから書き込まれます。この出力データ ファイルは、データをインポートするのに使用した S-パラメータ ファイルと全く同じ形式です。そのため、後で他の回路に使用するために S-パラメータ データ ファイルとして保存されるサブネットワークを、解析、チューニング、および最適化することができます。GENESYS によって書かれた S-パラメータ データ ファイルには、シミュレーション周波数ごとに 1 行のデータがあります。使用できるシミュレーションまたはデザインが回路ファイル

に2つ以上ある場合、GENESYS では、ダイアログ ボックスが表示され、使用するシミュレーションまたはデザインを選択することができます。

データ ファイル内のノイズ データ

GENESYS に付属するデータ ファイルの一部には、雑音指数解析に使用されるノイズ データも含まれます。このデータには、最適雑音指数 (NFopt)、最適雑音指数を達成するためにデバイスに提供される複素ソース インピーダンス (Gopt)、および有効ノイズ抵抗 (Rn) が含まれます。

回路の最良雑音指数は、デバイスが最適ソース インピーダンスになるときに達成されます。通常、この目的を達成する最適入力ネットワークが優れたリターンロス整合につながることはありません。最適雑音指数と良好な整合の両方を達成するために、バランス アンプとアイソレータが使用されることもあります。

入力ネットワークにおけるロス、トランジスタ周辺のフィードバック ネットワーク、エミッタ フィードバックおよび多段のすべてが、回路の雑音指数に影響します。これらの効果はすべて、ノイズ相関行列 [5,6] を使用して、GENESYS で正確にシミュレーションされます。

ノイズ パラメータは、2 ポート データ ファイルに、S、Y、G、H、または Z パラメータの後に追加できます。S、Y、G、H、または Z パラメータの入力に関しては、「新規データファイルの作成」のセクションを参照してください。ノイズ パラメータの各行には以下の5つのエントリがあります：

Frequency NF(dB) Mag_Gamma_Opt Ang_Gamma_Opt Rn/Zo

周波数 (Frequency) - 単位周波数

NF (dB) - dB 単位の最小雑音指数

Mag_Gamma_Opt - 最小雑音指数に関する最適ソース反射係数の大きさ

Ang_Gamma_Opt - 最小雑音指数に関する最適ソース反射係数の角度

Rn/Zo - 正規化された有効ノイズ抵抗

デバイス S パラメータを伴う、ファイル内のノイズ データの例

! BFP620 , Si-NPN RF-Transistor in SOT343

! Vce=2 V, Ic=8 mA

! 共通エミッタ S-パラメータ : 01. 2000年2月

GHz S MA R 50

! f S11 S21 S12 S22

! GHz Mag Ang Mag Ang Mag Ang Mag Ang

0.010 0.8479 -1.3 21.960 179.3 0.0024 27.9 0.9851 0.4

0.020 0.8424 -1.9 21.606 178.2 0.0021 34.2 0.9676 -1.5

0.050 0.8509 -5.7 21.650 175.6 0.0047 66.0 0.9693 -3.8

シミュレーション

0.100	0.8391	-10.7	21.434	171.7	0.0092	74.1	0.9662	-7.7
0.150	0.8420	-16.8	21.349	167.3	0.0138	74.1	0.9584	-11.6
0.200	0.8312	-21.8	21.109	163.1	0.0183	76.1	0.9477	-15.4
0.250	0.8150	-27.0	20.679	159.1	0.0221	72.0	0.9326	-19.2
0.300	0.8049	-32.8	20.328	155.0	0.0267	70.8	0.9157	-22.9
0.500	0.7349	-52.7	18.378	140.2	0.0409	63.9	0.8256	-36.4
0.700	0.6653	-71.1	16.211	127.7	0.0531	57.2	0.7212	-47.9
0.900	0.5930	-87.2	14.148	117.7	0.0614	52.2	0.6237	-57.4
1.100	0.5403	-101.2	12.427	109.4	0.0695	48.8	0.5440	-65.0
1.300	0.4982	-113.9	11.019	102.6	0.0747	46.1	0.4736	-72.0
1.500	0.4710	-125.4	9.834	96.5	0.0795	44.0	0.4168	-77.5
1.700	0.4495	-135.7	8.861	91.3	0.0850	41.9	0.3619	-83.3
1.900	0.4312	-145.4	8.013	86.4	0.0893	40.4	0.3209	-88.2
2.000	0.4229	-150.0	7.670	84.1	0.0917	40.1	0.3021	-90.9
3.000	0.4130	172.7	5.243	64.8	0.1147	34.7	0.1662	-120.6
4.000	0.4749	144.9	3.914	48.5	0.1359	27.8	0.1538	-173.1
5.000	0.5311	125.9	3.037	34.4	0.1524	21.3	0.1899	151.8
6.000	0.5797	113.2	2.457	22.5	0.1699	15.8	0.2239	124.4

!

! f Fmin Gammaopt Rn/Zo ここで Zo = 50

! GHz	dB	MAG	ANG	-
0.900	0.64	0.22	25	0.12
1.800	0.71	0.09	97	0.08
2.400	0.75	0.06	139	0.09
3.000	0.87	0.09	-175	0.10
4.000	0.99	0.19	-147	0.08
5.000	1.17	0.26	-125	0.11
6.000	1.34	0.38	-101	0.17

!

! INFINEON TECHNOLOGIES, Munich

雑音指数とノイズ パラメータ間について詳細は、参考 [38] を参照してください。

第9章： 測定：概要

概要

GENESYS は豊富な出力パラメータをサポートします。すべてのパラメータが、グラフ表示、テーブル表示、最適化、イールド、および後処理などあらゆる目的に使用できます。

線形測定

以下の表は利用可能な測定を示します。ここで、チャートに i と j の表示があり、ポート番号を使ってポートを指定することができます。一部のパラメータ（例えば、 A_i ）は、例えば $A1$ や $VSWR2$ などのポートを 1 つだけ使用します。テーブル出力では、ポートは省略され（即ち、 S や V ）、すべてのポートの測定値が得られます。

ヒント：特定の回路用に利用可能な測定とその演算子はすべて適切な構文と共に測定ウィザードに表示されます。測定ウィザードを起動するには、グラフプロパティダイアログボックスから [測定ウィザード (measurement wizard)] を選択します。

基本的な測定値 (S 、 CS 、 $Freq$ 、...) は、結果データセットに配列として存在します。ここに示す短い形式 (S_{12} など) は、データセットに自動的に配置される式を構文解析することによって生成されます。

注記：このマニュアルの S パラメータに関するセクションには、これらのパラメータの多くに関する詳細情報が含まれています。

シミュレーション

測定	説明	デフォルトの演算子	スミスチャートでの表示
S_{ij}	S パラメータ	dbang	S_{ij}
H_{ij}	H パラメータ*	RECT	--
Y_{Pij}	Y パラメータ	RECT	--
Z_{Pij}	Z パラメータ	RECT	--
ZIN_i	ネットワーク終端設置時のポート i でのインピーダンス	RECT	S_{ii}
YIN_i	ネットワーク終端設置時のポート i でのアドミタンス	RECT	S_{ii}
$ZPORT_i$	ポート i の基準インピーダンス	RECT	
$VSWR_i$	ポート i の VSWR	Linear (実数)	S_{ii}
E_{ij}	ネットワーク終端設置時のポート i からポート j までの電圧利得	DBANG	--
N_{ij}	ノイズ相関行列パラメータ	RECT	--
GMAX	最大使用可能利得*	dB (実数)	--
NF	雑音指数*	dB (実数)	--
NMEAS	雑音指標*	Linear (実数)	--
NFT	有効ノイズ入力温度*	Linear (実数)	--
GOPT	ノイズの最適 ガンマ*	DBANG	GOPT
YOPT	ノイズの最適 アドミタンス*	RECT	GOPT

ZOPT	ノイズの最適インピーダンス*	RECT	GOPT
RN	正規化されたノイズ抵抗*	Linear (実数)	--
NFMIN	最小雑音指数*	dB (実数)	--
ZM _i	ポート <i>i</i> の同時整合インピーダンス*	RECT	GM _i
YM _i	ポート <i>i</i> の同時整合アドミタンス*	RECT	GM _i
GM _i	ポート <i>i</i> の同時整合ガンマ*	DBANG	GM _i
K	安定係数*	Linear (実数)	
B1	安定度指標*	Linear (実数)	
SB1	入力プレーン安定円* 注記：塗りつぶした部分は不安定領域です。	None (円)	SB1 円
SB2	出力プレーン安定円* 注記：塗りつぶした部分は不安定領域です。	None (円)	SB2 円
NCI	定雑音円* (最適雑音指数に満たない、.25、.5、1、1.5、2、2.5、3、および6 dB で表示)	None (円)	NCI 円
GA	利用可能な利得円**	None (円)	GA 円
GP	電力利得円**	None (円)	GP 円
GU1	ポート 1 のユニラテラル利得円**	None (円)	GU1 円
GU2	ポート 2 のユニラテラル利得円**	None (円)	GU2 円

*2 ポートネットワークでしか使用できません

**利得円は 2 ポートネットワークでのみ使用可能。円は最適利得に満たない、0、1、2、3、4、5、および6 dB で表示される。GA と GP では、 $K < 1$ の場合、0 db 円は GMAX にあり、この円の内側は不安定領域としてシェイディングされる。

注記： グラフ上で、あるいは最適化時、デフォルトで DBANG を使う測定では dB 部を示し、MAGANG を使う測定では大きさ示し、RECT を使う測定では実数部を示します。

注記： 9 より大きいポート番号の場合は、カンマを使ってポート番号を区切ります。例えば、12 ポート デバイスでは、S-パラメータは以下のように指定されます：S1,11 S12,2 S12,11 S12,2.

非線形測定

ヒント： 特定の回路用に利用可能な測定とその演算子はすべて適切な構文と共に測定ウィザードに表示されます。測定ウィザードを起動するには、グラフ プロパティ ダイアログ ボックスから [測定ウィザード (measurement wizard)] を選択します。

ここで、indep は非依存性ベクター内の点の数です。ほとんどのケースで短い形式が使用できます。GENESYS では、短い形式を導き出すために、データセット内に適切な式が自動的に作成されます。

測定	説明	サイズ	短い形式
VPORT	すべてのポートでのピーク電圧	indep x nPorts	V_{port} (e.g. $V1$)
PPORT	各ポートに発生する RMS パワー	indep x nPorts	P_{port} (e.g. $P2$)
<i>name__IProbe</i>	プローブを流れるピーク電流 (名前は電流プローブ指定名)	indep	

演算子

測定を演算子と組み合わせてデータ形式を変えることがよくあります。複雑な数式については、ユーザガイドの「式を使用する」の章をお読みください。

演算子を測定と組み合わせるための一般的な書式は、標準的な関数構文です。

operator(measurement)

ここで、*operator* は下のテーブルに記載されている演算子の 1 つであり（または数式で記述された他の関数）、*measurement* は前のセクションのテーブルに記載されている測定の 1 つです。

測定はすべてデフォルトの演算子を持ちます。例えば、テーブル上で、 S_{21} を使うと dB/angle のフォームで表示し、 Z_{32} は直交（実数 & 複素数）フォームで表示します。同様に、グラフ上で、 S_{21} は dB でグラフ表示、 Z_{32} は Z_{32} の実数部をグラフ表示します。

注記： 混乱を生じないように、後処理の式で使用される測定は、演算子を指定する**必要**があります。

演算子	説明	測定	結果
magang()	-180 ~ 180 の範囲の線形の大きさと角度	複素数	複素数*
magang360()	0 ~ 360 の範囲の線形の大きさ	複素数	複素数*
dbang()	-180 ~ 180 の範囲の大きさの dB 値	複素数**	複素数*
dbang360()	0 ~ 360 の範囲の大きさの dB 値と角度	複素数**	複素数*
rect()	直交（実数+虚数）	複素数	複素数
mag()	線形の大きさ	実数/複素数	実数
ang()	-180 ~ 180 の範囲の角度	複素数	実数
ang360()	0 ~ 360 の範囲の角度	複素数	実数
re()	複素数測定の実数部	複素数	実数

シミュレーション

im()	複素数測定の虚数部	複素数	実数
db()	大きさの dB 値	実数／複素数**	実数
gd()	グループ遅延	複素数	実数
ql()	負荷時の Q [$QL = (2 \pi f) GD / 2$]	複素数	実数
time()	逆フーリエ変換によって周波数ドメインをタイムドメインに変換。時間波形を得るために電圧／電流で使用。	複素数	実数

** dB で表示できるのは以下のパラメータのみ : S、GM、E、GOPT、GMAX、NF、NFMIN、および NMEAS。

すべての測定ですべての演算子を使用できるわけではありません。上の「測定」欄は、それぞれの演算子を使用できるパラメータのタイプを示しています。例えば、ANG() (角度) は GMAX などの実数値パラメータでは使用できませんから、ANG[GMAX] は許容されません。

注記： 特定の回路用に利用可能な測定とその演算子はすべて適切な構文と共に測定ウィザードに表示されます。測定ウィザードを起動するには、グラフ プロパティ ダイアログ ボックスから [測定ウィザード (measurement wizard)] を選択します。

サンプル測定

測定	グラフ、スミスチャートにおける結果	テーブル上の結果
S[2,2]	S22 の大きさの dB 値	S22 の大きさの dB 値と角度
ql(S21)	S21 の負荷時の Q	S21 の負荷時の Q
mag(S21)	S21 の線形の大きさ	S21 の線形の大きさ
im(ZIN1)	ポート 1 の入力リアクタンス。スミスチャートでは、S11 が表	ポート 1 の入力リアクタンス

	示され、IM(Zin1) はマーカ読み取りに使用されます。	
S	すべての S パラメータを表示	大きさの dB 値を表示（複素形式によって変更可能）
SB1	スミス チャートまたはポーラチャート上に、入力プレーン安定円を表示	入力プレーン安定円の中心、半径、および安定パラメータを表示
NCI	スミス チャートまたはポーラチャート上に、定雑音円を表示	すべての雑音円の中心と半径を表示（周波数ごとに 27 の数字）

非デフォルト シミュレーション/データを使用する

測定のエントリが可能なすべてのダイアログ ボックスに、[デフォルト データセット (Default Dataset)] コンボ ボックスがあります。このデフォルトはオーバーライドすることができます。データセットをオーバーライドする書式は以下のとおりです：

operator (dataset.measurement)

ここで、*dataset* はワークスペース ウィンドウからのデータセット、*operator (measurement)* は前のセクションに説明があります。オーバーライドは、異なるシミュレーションからのパラメータを同じグラフ上に置く場合に最も有効です。

オーバーライドの例：

測定	意味
Db(Linear1.S[2,1])	Linear1 データセットからの S21 の大きさの dB 値を示す
EM1.S11	EM1 データセットからの S11 を示す
Filter.ql(Filter1.S21)	電流シミュレーションを使用する フィルタ デザインの負荷時の Q 値を示す
Linear1.db(S21) (誤り)	不正。演算子が全体の測定を囲まなければならない。
X	グローバル式変数 X を示し、これは後処理の結果を含まなければならない。

式の結果を使用する（後処理）

測定を使用する場合はどこでも、後処理された式変数を使うことができます。書式は以下のとおりです：

variableName

ここで、*variableName* はワークスペースの式から来た変数です。

測定が使用できるのであればどこでもインライン式を使うこともできます。測定を = で始めてインライン式であることを示します。例：

=mag(V1) - mag(V2)

これは V1 と V2 の差を使用します。

第 10 章： 測定：線形

S-パラメータ

S-パラメータ（または散乱パラメータ）測定は、周波数の複素関数です。周波数範囲と間隔は、[線形シミュレーション(Linear Simulation)] ダイアログ ボックスで指定した値になります。S-パラメータは特に指定がなければ基準インピーダンスを 50 オームと想定します。n ポート ネットワークの S-パラメータは以下の形をとります：

$$S_{ij} \quad \text{for } i, j \text{ equal } 1, 2, \dots, n$$

S-パラメータとそのアプリケーションに関する詳細は、このマニュアルのセクション x.x に説明があります。

値：周波数に対する複素行列

シミュレーション：線形、EMOWER

デフォルト書式：テーブル：dB、角度 グラフ：dB スミス チャート：dB、角度
共通に使用される演算子：

演算子	説明	結果の型
ang(S11)	-180 ～ 180 度の範囲の角度	実数
gd(S22)	グループ遅延	実数
ql(S21)	負荷時の Q	実数

{ 他の演算子：db()、mag()、rect()、ang360()、re()、im()、magang()、magang360()、dbang() }

シミュレーション

例：

測定	グラフ、スミス チャート、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
S22	S22 の大きさの dB 値	S22 の大きさの dB 値と角度
ql(S21)	S21 の負荷時の Q	S21 の負荷時の Q
mag(S21)	S21 の線形の大きさ	S21 の線形の大きさ
S	---	すべての S パラメータの大きさの dB 値と角度を示す
gd(S21)	S21 のグループ遅延	S21 のグループ遅延

注記： 9 より大きいポート番号には、配列にインデックスが必要です。例えば、 $S_{12,33}$ には、 $S[12,33]$ を使います

H-パラメータ

この H-パラメータ（またはハイブリッドパラメータ）測定は、周波数の複素関数です。周波数範囲と間隔は、[線形シミュレーション(Linear Simulation)] ダイアログ ボックスで指定した値になります。H-パラメータは、2 ポート ネットワークの場合のみ定義され、以下の形をとります

$$H_{ij} \quad \text{for } i, j \text{ equal } 1, 2$$

入力電圧 (V_1) と電流 (I_1) を出力電圧 (V_2) と電流 (I_2) に関連付ける式は以下のとおりです：

$$V_1 = H_{11} I_1 + H_{12} V_2$$

$$I_2 = H_{21} I_1 + H_{22} V_2$$

値： 周波数に対する複素行列

シミュレーション： 線形

デフォルト書式： テーブル：RECT グラフ：RE スミス チャート：（なし）

共通に使用される演算子：

演算子	説明	結果の型
rect(H11)	実数／虚数部	実数
re(H22)	実数部	実数
magang(H21)	-180 ～ 180 の範囲の線形の大きさと角度	実数

例：

測定	グラフ、スミスチャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
H22	RE[H22]	H22 の実数部
rect(H)	---	すべての H パラメータの実数／虚数部を示す
mag(H21)	H21 の線形の大きさ	H21 の線形の大きさ
H	---	すべての H パラメータの実数／虚数部を示す

* スミスチャートでは使用できません

Y-パラメータ

この Y-パラメータ（またはアドミタンスパラメータ）測定は、周波数の複素関数です。周波数範囲と間隔は、[線形シミュレーション(Linear Simulation)] ダイアログボックスで指定した値になります。n ポートネットワークの Y-パラメータは以下の形をとります：

$$Y_{P_{ij}} \quad \text{for } i, j \text{ equal } 1, 2, \dots, n$$

2 ポートネットワークの場合、入力電圧 (V_1) と電流 (I_1) を出力電圧 (V_2) と電流 (I_2) に関連付ける式は以下のとおりです：

$$I_1 = Y_{P_{11}} V_1 + Y_{P_{12}} V_2$$

$$I_2 = Y_{P_{21}} V_1 + Y_{P_{22}} V_2$$

シミュレーション

値：周波数に対する複素行列

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：RECT グラフ：RE スミス チャート：（なし）

共通に使用される演算子：

演算子	説明	結果の型
re(YP22)	実数部	実数
Magang (YP21)	-180 ~ 180 の範囲の線形の大きさと角度	実数

例：

測定	グラフ、スミスチャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
YP22	re(YP22)	YP22 の実数部
mag(YP21)	YP21 の線形の大きさ	YP21 の線形の大きさ
YP	---	すべての Y パラメータの実数／虚数部を示す

* スミスチャートでは使用できません

Z-パラメータ

この Z-パラメータ（またはインピーダンスパラメータ）測定は、周波数の複素関数です。周波数範囲と間隔は、[線形シミュレーション(Linear Simulation)] ダイアログ ボックスで指定した値になります。n ポート ネットワークの Z-パラメータは以下の形をとります：

$$ZP_{ij} \quad \text{for } i, j \text{ equal } 1, 2, \dots, n$$

2 ポートネットワークの場合、入力電圧 (V_1) と電流 (I_1) を出力電圧 (V_2) と電流 (I_2) に関連付ける式は以下のとおりです：

$$V_1 = ZP_{11} I_1 + ZP_{12} I_2$$

$$V_2 = ZP_{21} I_1 + ZP_{22} I_2$$

値：周波数に対する複素行列

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：RECT グラフ：RE スミス チャート：（なし）

共通に使用される演算子：

演算子	説明	結果の型
re(ZP22)	実数部	実数
Magang (ZP21)	-180 ~ 180 の範囲の線形の大きさと角度	実数

例：

測定	グラフ、スミス チャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
ZP22	re(ZP22)	ZP22 の実数部
mag(ZP21)	ZP21 の線形の大きさ	ZP21 の線形の大きさ
ZP	---	すべての Z パラメータの実数/虚数部を示す

* スミス チャートでは使用できません

電圧定在波比 (VSWR)

VSWR 測定は周波数の実関数です。他のネットワーク終端器を設置し、ポートからネットワークを探索して測定を行います。周波数範囲と間隔は、[線形シミュレーション(Linear Simulation)] ダイアログ ボックスで指定した値になります。ポートの識別にポート番号「i」が使用されます。

VSWR_i は、ポート i から探索する電圧定在波比です。

VSWR はポートに反射して戻ったエネルギーの単位です。VSWR₁ は次の式によって S-パラメータ S₁₁ に関連付けられます：

$$VSWR_1 = [1 + |S_{11}|] / [1 - |S_{11}|]$$

シミュレーション

したがって、反射エネルギーはゼロになり、 $|S_{11}|$ もゼロになり、VSWR は 1 に近似します。反射エネルギーが増加すると、 $|S_{11}|$ は 1 に近似し、VSWR は無限大に近似します。

値：周波数に対する実数値

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：RE（実数） グラフ：RE（実数）

スミス チャート： S_{ij} （S-パラメータをプロット）

共通に使用される演算子：なし

例：

測定	グラフ、スミス チャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
VSWR1	VSWR1	VSWR
VSWR	---	すべてのポートの VSWR を示す

* スミス チャートでは使用できません、S-パラメータをプロット

入力インピーダンス / アドミタンス ($ZINi$, $YINi$)

ポート インピーダンスとアドミタンスの測定は周波数の複素関数です。他のネットワーク終端器を設置し、ポートからネットワークを探索して測定を行います。周波数範囲と間隔は、[線形シミュレーション(Linear Simulation)] ダイアログ ボックスで指定した値になります。ポートの識別にポート番号「 i 」が使用されます。

$ZINi$ はポート i から探索する入力インピーダンス。

$YINi$ はポート i から探索する入力アドミタンス。

値：周波数に対する複素数。

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：RECT グラフ：RE スミス チャート： S_{ij} （S-パラメータをプロット）

電圧利得

この電圧利得測定は周波数の複素関数です。周波数範囲と間隔は、[線形シミュレーション (Linear Simulation)] ダイアログ ボックスで指定した値になります。電圧利得 E_{ij} は、出力電圧 (V_j) と入力電圧 (V_i) の比率です。

$$E_{ij} = V_j / V_i$$

反射により、利得 E_{ij} は 1 にならないことがあります。

値：周波数に対する複素行列

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：DBANG グラフ：dB スミス チャート：(なし)

雑音指標 (NMEAS)

「雑音指標 (Noise Measure)」測定は、周波数の実関数であり、2 ポート ネットワークのみで使用可能です。

雑音指標は、雑音指数 (NF) と最大使用可能利得 (GMAX) で次のように定義されます：

$$\text{NMEAS} = (\text{NF} - 1) / (1 - (1 / \text{GMAX}))$$

雑音指標は、無限数のカスケード接続されたネットワークの雑音指数を表します。

値：周波数に対する実数値

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：mag() グラフ：mag() スミス チャート：(なし)

共通に使用される演算子：

演算子	説明	結果の型
db(NMEAS)	dB 単位の雑音指標	実数
mag(NMEAS)	雑音指標の大きさ	実数

シミュレーション

例：

測定	グラフ、スミスチャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
NMEAS	mag(NF)	mag(NF)
db(NMEAS)	最小雑音指標の大きさ	最小雑音指標の大きさ

* スミスチャートでは使用できません

「雑音指数(Noise Figure)」測定は、周波数の実関数であり、2ポートネットワークのみで使用可能です。

雑音指数は入力信号対ノイズ電力比 (SNR_{IN}) と出力信号対ノイズ比 (SNR_{OUT}) の比と定義されています：

$$NF = SNR_{IN} / SNR_{OUT}$$

雑音指数は以下の式によって最小雑音指数に関連付けられます：

$$NF = NF_{MIN} + \{R_N / G_S\} * |Y_S - Y_{OPT}|^2$$

ここで

$$Y_S = G_S + j B_S = \text{ソース アドミタンス}$$

$$R_N = \text{正規化されたノイズ抵抗}$$

最小雑音指数は、ソースインピーダンスの理想的な整合（すなわち、 $Y_S = Y_{OPT}$ ）の場合の雑音指数を表します。

値：周波数に対する実数値

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：dB グラフ：dB スミスチャート：（なし）

定雑音円 (NCI)

雑音円は、周波数の関数としての、特定の雑音指数に対する負荷インピーダンスの軌跡です。この軌跡は、マーカによって指示され、スミスチャート上にプロットされます。雑音指数は、最適雑音指数から、0.25、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、6.0 dBの順に劣化しています。

注記：雑音円に関する詳細は、S-パラメータのセクションを参照してください。

値：周波数に対する複素数。

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：中心 (MAG[], ANG[]), 半径 (Linear) グラフ：(なし)
 スミス チャート：円 (6)

共通に使用される演算子：なし

例：

測定	グラフ、スミスチャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
NCI	雑音円	最適雑音指数の負荷インピーダンスの軌跡であり、 各円に関して：中心:MAG[], ANG[] 半径:線形

* スミス チャートおよびテーブルでのみ使用可能です。

ノイズ相関行列パラメータ

ノイズ相関行列要素は周波数の複素関数です。周波数範囲と間隔は、[線形シミュレーション (Linear Simulation)] ダイアログ ボックスで指定した値になります。n ノイズソースに関して、要素は以下の形をとります：

$$CS_{ij} \quad \text{for } i, j \text{ equal } 1, 2$$

注記：ノイズ相関行列プロパティの詳細は、参考 [5,6] を参照してください。

値：周波数に対する複素行列

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：RECT グラフ：RE スミス チャート：(なし)

共通に使用される演算子：

ポート i の同時整合ガンマ (Gmi)

「同時整合ガンマ (Simultaneous Match Gamma)」測定は、周波数の複素関数であり、2 ポート ネットワークのみで使用可能です。入力ポート i で見られる反射係数を計算して、入力と出力の両方での共役整合を実現します。

値：周波数に対する複素数。

シミュレーション

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：RECT グラフ：RE スミス チャート：GM_i

例：

測定	グラフ、スミスチャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
GM	---	すべてのポートのガンマの実数／虚数部
GM1	RE[GM1]	RECT[GM1]

ポート i の同時整合アドミタンス / インピーダンス (ZM_i, YM_i)

「同時整合アドミタンス (Simultaneous Match Admittance)」は、周波数の複素関数であり、2ポートネットワークのみで使用可能です。

これは、ポート i で見られるアドミタンスの値で、入力と出力の両方で同時整合を実現します。

値：周波数に対する複素数。

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：RECT グラフ：RE スミス チャート：GM_i

例：

測定	グラフ、スミスチャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
YM	---	すべてのポートのアドミタンスの実数／虚数部
ZM1	re(ZM1)	ZM1

最大使用可能利得 (GMAX)

「最大使用可能利得 (Maximum Available Gain)」測定は、周波数の実関数であり、2ポート ネットワークのみで使用可能です。

安定係数 (K) がゼロより大きい条件の場合、システムは無条件に安定しており、以下のようになります：

$$GMAX = (|S_{21}| / |S_{12}|) * (K - \sqrt{K^2 - 1})$$

$K < 1$ の場合、GMAX は最大安定利得になり、したがって以下のようになります：

$$GMAX = |S_{21}| / |S_{12}|$$

値：周波数に対する実数値

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：dB グラフ：dB スミス チャート：(なし)

使用可能利得円と電力利得円 (GA, GP)

使用可能利得入力ネットワーク円は、最適利得を下回る特定の利得に関するソース インピーダンスの軌跡です。この軌跡は、マーカによって指示され、スミスチャート上にプロットされ、2ポート ネットワークのみで使用可能です。円の中心は、最大利得となる点です。円は最適利得に満たない、0、1、2、3、4、5、および 6 dB の利得に関して表示されます。同様に、電力利得出力ネットワーク円は、最適利得を下回る特定の利得に関する負荷インピーダンスの軌跡です。安定係数 K が 1 より小さい場合、0 dB 円は GMAX にあり、この円の内側は不安定領域としてシェイディングされます。使用可能電力利得 (G_a) と電力利得 (G_p) は以下のように定義されます：

$$G_a = (\text{ネットワークから使用可能}) / (\text{ソースから使用可能な電力})$$

$$G_p = (\text{負荷への電力伝送}) / (\text{ネットワークへの電力入力})$$

注記：利得円に関する詳細は、S-パラメータのセクションを参照してください。

値：周波数に対する複素数。

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：中心 (MAG[], ANG[]), 半径 (Linear) グラフ：なし
スミスチャート：円

共通に使用される演算子：なし

シミュレーション

例：

測定	グラフ、スミスチャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
GA	利用可能な利得円	中心：MAG[], ANG[] 半径：線形
GP	電力利得円	中心：MAG[], ANG[] 半径：線形

* スミスチャートおよびテーブルでのみ使用可能です。

ポート i のユニラテラル利得円 (GU1, GU2)

ポート 1 のユニラテラル利得円は、最適利得を下回る特定の変換電力利得に関するソース インピーダンスの軌跡です。この軌跡は、マーカによって指示され、スミスチャート上にプロットされ、2ポートネットワークのみで使用可能です。円の中心は、最大利得となる点です。円は最適利得に満たない、0、1、2、3、4、5、および 6 dB の利得に関して表示されます。同様に、ポート 2 のユニラテラル利得円は、最適利得を下回る特定の変換電力利得に関する負荷インピーダンスの軌跡です。変換電力利得 (G_0) は以下のように定義されます：

$$G_r = (\text{負荷への電力伝送}) / (\text{ソースから使用可能な電力})$$

「ユニラテラル」変換利得の場合、 S_{12} はゼロに設定されます。

注記：利得円に関する詳細は、S-パラメータのセクションを参照してください。

値：周波数に対する複素数。

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：中心 (MAG[], ANG[]), 半径 (Linear) グラフ：(なし) スミスチャート：円

共通に使用される演算子：なし

例：

測定	グラフ、スミスチャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
GU1	ポート 1 のユニラテラル利得円	中心：MAG[], ANG[] 半径：線形
GU2	ポート 2 のユニラテラル利得円	中心：MAG[], ANG[] 半径：線形

* スミスチャートおよびテーブルでのみ使用可能です。

安定係数 (K)、安定度指標 (B1)

「安定係数と指標0」パラメータは、周波数の実関数であり、2ポート ネットワークのみで使用可能です。これらのパラメータは、2ポート ネットワークの安定度を求めるのに有用です。デバイスの S_{12} が 0 ではない場合、信号パスは出力から入力まで存在します。このフィードバック パスにより、発振の可能性が生じます。安定係数 K は以下のように表されます：

$$K = (1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |D|^2) / (2 |S_{12}| |S_{21}|)$$

$$\text{ここで、 } D = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$$

実用的な見地から、 $K > 1$ 、 $S_{11} < 1$ 、 $S_{22} < 1$ のとき、この 2ポート ネットワークは、完全に安定しています。多くの場合、これは安定性の保証には十分であると言われます。理論上、 $K > 1$ 自体は安定性を保証するのには不十分であり、補足条件が必要になります。そのような 1 つのパラメータが安定度指標 B1 であり、これが 0 より大きくなければなりません。

$$B1 = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |D|^2 > 0$$

注記：安定度解析に関する詳細は、S-パラメータのセクションを参照してください。

値：周波数に対する実数値

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：線形 グラフ：線形 スミスチャート：(なし)

共通に使用される演算子：なし

例：

測定	グラフ、スミス チャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
K	安定係数	安定係数
B1	安定度指標	安定度指標

* スミス チャートでは使用できません

入力 / 出力プレーン安定円 (SB1, SB2)

出力安定円は、入力反射係数 (S_{11}) が 1 となるための負荷インピーダンスの軌跡です。この軌跡は、マーカによって指示され、スミスチャート上にプロットされ、2 ポート ネットワークのみで使用可能です。この軌跡は、点 C_{out} を中心とした半径 R_{out} の円で、ここで：

$$R_{out} = \frac{|S_{12}S_{21}|}{(|S_{22}|^2 - |D|^2)} \quad C_{out} = \frac{(S_{22} - DS_{11})}{(|S_{22}|^2 - |D|^2)}$$

円の内側または外側の領域は、安定領域の可能性がります。グラフで塗りつぶされた領域は不安定領域です。入力プレーン安定円の式は、添字の 1 と 2 を入れ替えると、出力プレーン式と同じになります。

SB1 と SB2 がテーブルに配置されると、PAR 値がわかります。それがゼロの場合、円の外側の領域が安定しています。それが 180 の場合、円の内側の領域が安定しています。

注記：安定度解析に関する詳細は、S-パラメータのセクションを参照してください。使用法については安定度の例を参照してください。

値：周波数に対する複素数。

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：中心 (MAG[], ANG[]), 半径 (Linear) グラフ：(なし)
スミスチャート：円

共通に使用される演算子：なし

例：

測定	グラフ、スミスチャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
SB1	入力安定円	中心:MAG[], ANG[] 半径:線形「par」**
SB2	出力安定円	中心:MAG[], ANG[] 半径:線形「par」**

* スミスチャートおよびテーブルでのみ使用可能です。

** 不安定領域を示すパラメータ。

ノイズの最適ガンマ (GOPT)

「ノイズの最適ガンマ(Optimal Gamma for Noise)」は、周波数の実関数であり、2ポートネットワークのみで使用可能です。

最適ガンマは基準アドミタンス (Y_0) とアドミタンスの最適値 (Y_{OPT}) によって以下のように定義されます：

$$GOPT = [Y_0 - Y_{OPT}] / [Y_0 + Y_{OPT}]$$

ガンマは、基準アドミタンスが最適な値になるとゼロになります。

値：周波数に対する実数値

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：線形 グラフ：線形 スミスチャート：GOPT

共通に使用される演算子：なし

例：

測定	グラフ、スミスチャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
GOPT	ガンマ係数	ガンマ係数

ノイズの最適アドミタンス / インピーダンス (YOPT, ZOPT)

「ノイズの最適アドミタンス(Optimal Admittance for Noise)」は、周波数の複素関数であり、2ポートネットワークのみで使用可能です。

最適アドミタンスは、ネットワークの雑音指数を最小化した入力アドミタンスの値です。最適アドミタンスはソースアドミタンス (Y_S) とノイズ抵抗 (R_N) と雑音指数 (NF, NF_{MIN}) によって以下のように定義されます：

$$NF = NF_{MIN} + \{R_N / \text{Re}[Y_S]\} | Y_S - Y_{OPT} |$$

最適インピーダンスは最適アドミタンスの逆数、すなわち、 $Z_{OPT} = 1 / Y_{OPT}$ です

値：周波数に対する複素数。

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：RECT グラフ：RE スミスチャート：GOPT

シミュレーション

例：

測定	グラフ、スミスチャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
YOPT	最適アドミタンスの実数部	アドミタンスの実数/虚数部

有効ノイズ入力温度 (NFT)

「有効ノイズ入力温度(Effective Noise Input Temperature)」は、周波数の実関数であり、2ポートネットワークのみで使用可能です。

有効ノイズ温度は、雑音指数 (NF) と標準温度 (NF) によりケルビン温度で以下のように定義されます：

$$NFT = T_o * [NF - 1] \quad \text{ここで } T_o = 300 \text{ ケルビン温度}$$

値：周波数に対する実数値

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：線形 グラフ：線形 スミスチャート：(なし)

共通に使用される演算子：なし

例：

測定	グラフ、スミスチャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
NFT	ケルビン温度でのノイズ温度	ケルビン温度でのノイズ温度

* スミスチャートでは使用できません

正規化されたノイズ抵抗 (RN)

「正規化されたノイズ抵抗(Normalized Noise Resistance)」測定は、周波数の実関数であり、2ポートネットワークのみで使用可能です。

ノイズ抵抗はネットワークの入力インピーダンスに対して正規化されます (Z_o)。RN に関しては、雑音指数 (NF) の定義を参照してください。

値：周波数に対する実数値

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：線形 グラフ：線形 スミスチャート：（なし）

共通に使用される演算子：なし

例：

測定	グラフ、スミスチャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
RN	ノイズ抵抗	ノイズ抵抗

* スミスチャートでは使用できません

基準インピーダンス (ZPORTi)

基準インピーダンス測定は、周波数の複素関数です。測定はネットワーク終端と関連します。周波数範囲と間隔は、[線形シミュレーション(Linear Simulation)] ダイアログ ボックスで指定した値になります。ポートの識別にポート番号「i」が使用されます。

ZPORT_iはポート *i* の基準インピーダンスです。

値：周波数に対する複素数。

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：RECT グラフ：RE スミスチャート：（なし）

例：

測定	グラフ、スミスチャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
ZPORT2	RE[ZPORT2]	RECT [ZPORT2]
mag(ZPORT1)	ZPORT2 の線形の大きさ	ZPORT1 の線形の大きさ
ZPORT	ZPORT 配列	すべてのポートの実数／虚数部を示す

* スミスチャートでは使用できません

第 11 章： 測定：非線形

ポートパワー (PPORT)

パワー測定配列は、ポートに伝達される RMS パワーです。ポート番号が配列の列インデックスになります。

値： 指定単位の実数値。

シミュレーション： 非線形 (DC 解析)

デフォルト書式： テーブル：DBM グラフ：DBM スミスチャート：(なし)

短い形式：*Pport*

例：P1 は PPORT[1] に相当します

例：

測定	グラフ、スミスチャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
PPORT[1]	dbm(PPORT[1]) = port 1 に伝達される RMS パワー	dbm(PPORT[1])

* スミスチャートでは使用できません

ポート電圧 (VPORT)

この電圧測定配列は、ポートでの RMS 電圧です。

値： 指定単位の実数値

シミュレーション： 非線形 (DC 解析)

デフォルト書式： テーブル：MAG グラフ：MAG スミスチャート：(なし)

短い形式：*Vport*

例：V1 は VPORT[1] に相当します

シミュレーション

例：

測定	グラフ、スミスチャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
ICP1	MAG[ICP1] = 電流プローブ 1 を通る電流	MAG[ICP1]

* スミスチャートでは使用できません

ノード電圧 (Vnode)

この電圧測定は、指定ノードでのピーク電圧です。ノードは、回路図やパーツネットリストに記載されたノード（ネット）の名前です。

値：指定単位の実数値

シミュレーション：非線形（DC 解析）

デフォルト書式：テーブル：MAG グラフ：MAG スミスチャート：（なし）

例：

測定	グラフ、スミスチャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
VTP2	mag(VTP2) = テストポイント TP2 における電圧	mag(VTP2)

* スミスチャートでは使用できません

基準インピーダンス (ZPORT)

基準インピーダンス測定は、周波数の複素関数です。測定はネットワーク終端と関連します。周波数範囲と間隔は、[線形シミュレーション(Linear Simulation)] ダイアログボックスで指定した値になります。この測定は、同じ名前の線形測定と同じです。ポートの識別にポート番号「i」が使用されます：

ZPORT[i] はポート i の基準インピーダンスです。

値：周波数に対する複素数

シミュレーション：線形

デフォルト書式：テーブル：RECT グラフ：RE スミスチャート：（なし）

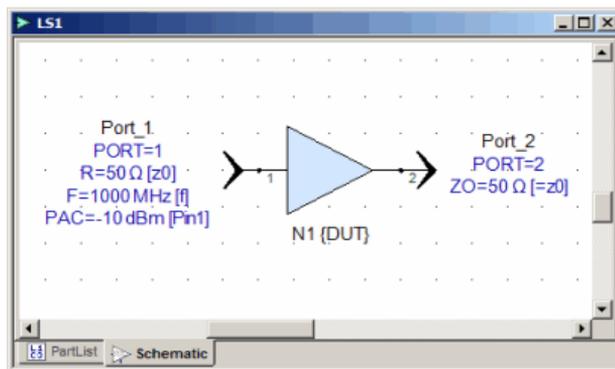
例：

測定	グラフ、スミスチャート*、最適化、またはイールドにおける結果	テーブル上の結果
ZPORT[2]	re(ZPORT[2])	ZPORT[2]
mag(ZPORT[1])	ZPORT1 の線形の大きさ	ZPORT[1] の線形の大きさ
ZPORT	---	すべてのポートの実数／虚数部を示す

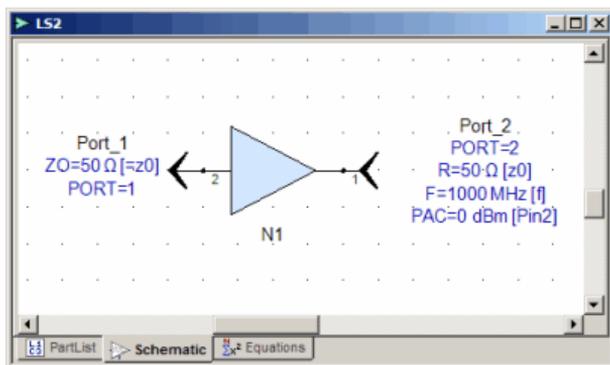
* スミスチャートでは使用できません

大信号 S-パラメータ

2 ポートの非線形デバイスの大信号 S-パラメータを計算するには、最初に被測定デバイス (DUT) の回路図を作成します：



シミュレーション



LS パラメータを計算するには、2つの HB 解析、HB1 と HB2 を作成する必要があります（デザインごとに 1 つ）。入力電力から LS-パラメータを計算するために、2つのパラメータ スweepを作成します：SweepPower1 と SweepPower2（HB 解析ごとに）。

新規：Genesys 2005 では、LS パラメータを計算するために、HB1 解析データセットでは LS11、LS21、HB2 解析データセットでは L12、LS22 という新しい変数を定義する必要があります、これらは Harbec 解析関数 `hb_LargeS()` を呼び出します。

hb_LargeS(Vin,Vout,sameport)

ここで、

V_{in} – ポート ソースの電圧振幅

V_{out} – ポートが回路に接続されたノードにおける 1 次高調波電圧の振幅

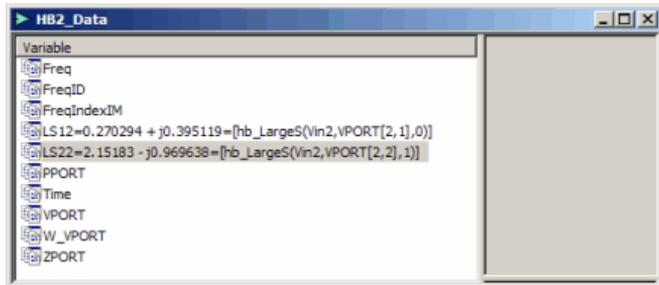
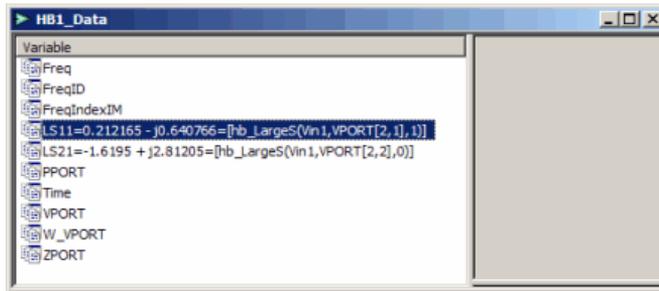
ポート電圧のスペクトラムは、VPORT HB-解析データセット変数に保存されます。n 次高調波の k 番目のポート電圧スペクトラムを得るには、直接インデックスを使うことができます：VPORT[n+1,k]。 (1 は最初の要素の直接インデックスですから、+1 オフセットを使用します)

したがって、最初のポートにおける 1 次高調波の電圧は以下のように計算されます

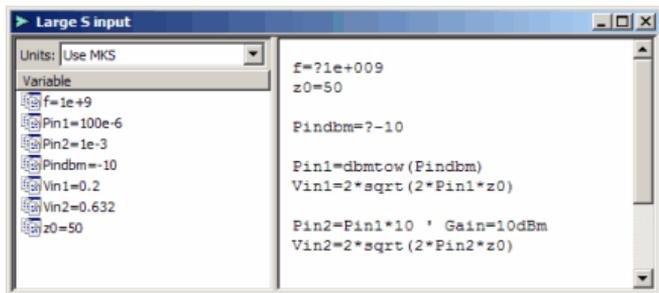
Vout1 = VPORT[2,1]

2 番目のポートの場合は以下ようになります

Vout2 = VPORT[2,2]



方程式に使用される、入力信号 Vin1 と Vin2 の電圧振幅は、グローバル方程式ブロック内の信号ポートの入力電力から計算されます。



注記：

前処理されたデータ（入力デザインまたは解析パラメータ）と後処理されたデータを同じ方程式ブロック内に混在させることは絶対に推奨されません。なぜなら、後処理されたデータがワークスペースから削除された後（例えば、解析の再計算の後）、そのデータセットはクリアされ、前処理されたデータはもう存在しなくなるからです。方程式ブロックの解析エラーとなり、その後、更新されたデザイン（または解析）によって使用される入力がすべてアクセスできなくなります。その結果ワークスペース更新プロセスが停止します。

例えば、上のグローバル方程式ブロックには、前処理されたデータしか含まれず、後処理されたデータは含まれません。

シミュレーション

2つのパラメータ掃引を追加し、[すべての変数を伝搬(propagate all variables)] チェックボックスにチェックを付けて組み込み変数に沿って LSij 掃引を行います。

以下の例を参照してください。ここでは、上記のステップが実行され、RLC回路の場合、大信号 S-パラメータが Sij と完全に一致することが確認されます。

大信号 S-パラメータ線形テスト。

インターセプトポイントの計算

新規 Genesys 2005 以降では、いくつの信号トーンの入力ハーモニック バランスでもスペクトラムの 2 成分に関して IP-n を計算する特別な関数が備わっています：

hb_iipn(SpectrPout,FreqIndexIM,IndexS1,IndexS2, PindBm)

または出力電力：

hb_oipn(SpectrPout,FreqIndexIM,IndexS,IndexIM)

これらを掃引内で伝搬させるには、HB-解析データセットの宣言された変数に直接関数を呼び出す必要があります、かつパラメータ掃引解析の[掃引時にすべての変数を伝搬(Propagate All Variables When Sweeping)] フラグを立てなければなりません。

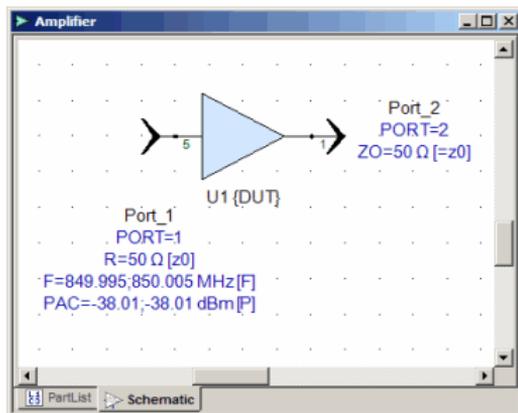
例えば、テストした回路は、パワーの等しい 2 トーン信号のある入力信号ポートを持ちます：

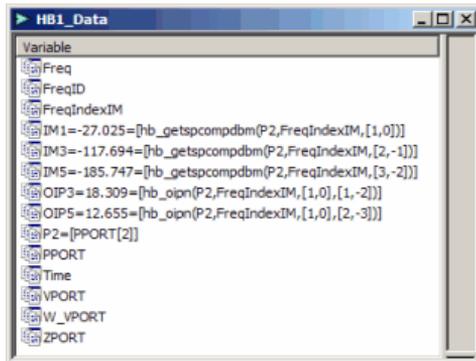
$$F1 = F0 + \text{delta_F} / 2$$

$$F2 = F0 - \text{delta_F} / 2 \quad P0 = -35 \text{ dBm},$$

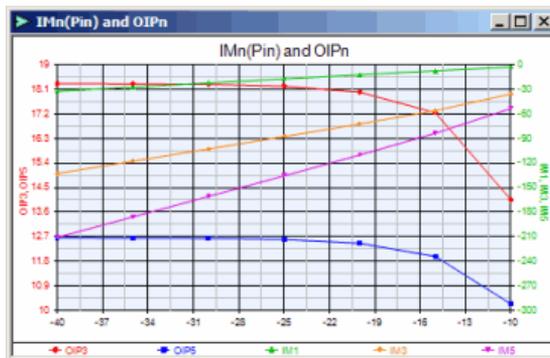
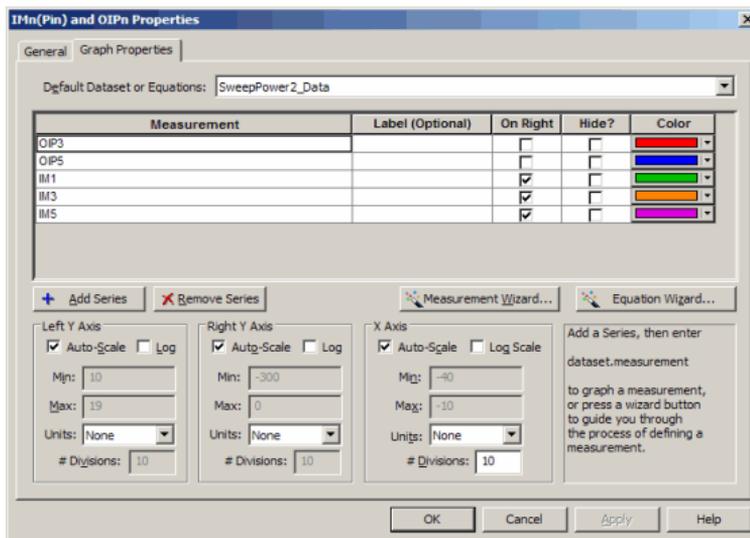
$$F0 = 850 \text{ MHz}, \text{ and } \text{delta_F} = 10 \text{ kHz} : P1 = P2 = P0 - 3.01 \text{ dBm}$$

$$F = [F1; F2] \quad P = [P1; P2]$$





変数は掃引内を伝搬し、プロットすることができます。



アンプ デザインの上の例に関しては、`\Examples\Amplifiers\Amplifier IPn Calculation.wsx` の例を参照してください

第12章： 測定：ロードプル

ロードプルコンター

GENESYS では、Focus Microwaves 社および Maury Microwave 社のロードプルデータファイルから、ロードプルコンター（以下に示すような）を描画できます。

この例 (File/Open Example/Load Pull Contours Example.wsp) では Focus Microwaves 社のデータ ファイルをロードします。ファイルには数列のアンブ測定データが含まれます。プロットでは、データ ファイルの利得 (GAIN) 列を使って、以下に示す 2つの方程式からロード／プルコンターをプロットします：

```
contours = CONTOUR(.GAIN,20,30,1,0,-2,2,-2,2)
datapoints = PLOTPOINTS(.GAIN)
```

最初の方程式 CONTOUR は、関数に渡されたパラメータに基づいてコンターを生成します。これらの関数とそのパラメータに関する説明は、「組み込み関数」を参照してください。

GENESYS は Maury Microwave 社と Focus Microwaves 社のデータ ファイルをサポートします。

ロードプルコンターを使用して新規ファイルを作成する方法：

1. 新しい GENESYS ファイルから、ツリー上の シミュレーション (Simulations) を右クリックして、データ ファイルへのリンクを選択します。
2. 名前を選んだ後、適切なファイルの種類 (Maury または Focus) を選択してファイル名を参照するかまたは入力します。[OK] をクリックしてこのボックスを閉じます。
3. 出力 (Outputs) を右クリックしてスミス チャート (Smith Chart) を追加します。
4. 名前を選んだ後、[測定ウィザード(measurement wizard)] をクリックします。
5. 最初のダイアログから、ロードプルデータ シミュレーションを選択します。
6. 2番目の測定ウィザードボックスから、[コンター(Contours)] または [プロットポイント(Plotpoints)] を選択します。2列目からプロットするデータを選択します。[OK] をクリックして測定ウィザードボックスを閉じ、[OK] をクリックして [スミス チャート(Smith Chart)] プロパティボックスを閉じます。

これで上に示すようなコンターが見えるはずです。

第13章： 測定 SPECTRASYS

SPECTRASYS 測定インデックス

次の測定が SPECTRASYS で利用可能です。

名称	説明 (Description)	SPECTRASYS 測定値		
		構文 (Syntax)	スペクトラム のタイプ (Spectrum Type)	数式 (Equation)
ACF	[隣接チャンネル周波数 (Adjacent Channel Frequency)]	ACF (サイド、 iChanNo) サイド U または L - 上側 / 下側 iChanNo : 任意 の整数 > 0	なし	
ACP	[隣接チャンネルパワー (Adjacent Channel Power)]	ACP (サイド、 iChanNo)	トータル	ACF でのチャンネルパワー (側、チャンネル番号)
AN	[追加雑音電力 (Added Noise Power)]	AN	CNF と同一	$AN[i] = CNF[i] - CNF[i-1]$ 、このとき $AN[0] = 0$ dB
CNR	[搬送波対雑音比 (Carrier to Noise Ratio)]	Cnr (DCP, CNP)	DCP & CNP と同一	$CNR[i] = DCP[i] - CNP[i]$
*CNDR	[搬送波対雑音および歪み比 (Carrier to Noise and Distortion Ratio)]	Cndr (DCP, NDCP)	DCP & NADP と同一	$CNDR[i] = DCP[i] - NDCP[i]$

シミュレーション

CGAIN	カスケード利得	cgain (X)	X と同一	$CGAIN[i] = X[i] - X[0]$
CNF	[カスケード雑音指数 (Cascaded Noise Figure)]	cnf (DCP, CNP)	CNP と同一	$CNF[i] = CNP[i] - CNP[0] - cgain(DCP)[i]$
CF	[チャンネル周波数 (Channel Frequency)]	CF	なし	
OCF	[チャンネル周波数 (オフセット) (Channel Frequency (Offset))]	OCF	なし	
CNP	[チャンネル雑音電力 (Channel Noise Power)]	CNP	ノイズ	CF での雑音電力
CP	[チャンネルパワー (Channel Power)]	CP	トータル	CF でのトータルパワー
DCP	[チャンネルパワー (希望値) (Channel Power (Desired))]	DCP	希望	CF での希望するパワー
OCP	[チャンネルパワー (オフセット) (Channel Power (Offset))]	OCP	トータル	OCF でのトータルパワー
*CV	[チャンネル電圧 (Channel	CV	トータル	CF でのトータル平均電圧

	Voltage)]			
*DCV	[チャンネル電圧 (希望値) (Channel Voltage (Desired))]	DCV	希望	CF での希望する平均電圧
GAIN	[電力利得 (Power Gain)]	gain(X)	X と同一	GAIN[i] = X[i] - X[i-1]、このとき GAIN[0] = 0 dB
*IIP	[入力インターセプトポイント (全次数) (Input Intercept Point (All Orders))]	iip(OIP, ICGAIN)	OIP & ICGAIN と同一	IIP[i] = OIP[i] - ICGAIN[i]、このとき OIP および IIP は全次数を含む
*IIP2	[2 次入力インターセプトポイント (2nd Order Input Intercept Point)]	iipn(IIP, 2)	IIP と同一	2 次の場合は IIP
IIP3	[3 次入力インターセプトポイント (3rdOrder Input Intercept Point)]	iipn(IIP, 3)	IIP と同一	3 次の場合は IIP
*RX_IIP	[入力インターセプトポイント (受信機) (全次数) (Input Intercept Point (Receiver) (All Orders))]	rx_iip(RX_OIP、CGAIN)	RX_OIP & CGAIN と同一	RX_IIP[i] = RX_OIP[i] - CGAIN[i]、このとき RX_OIP および IIP は全次数を含む

シミュレーション

*RX_IIP2	[受信機 2 次 入力インター セプト ポ イント (Receiver 2nd Order Input Intercept Point)]	iipn (RX_IIP, 2)	RX_IIP と 同一	2 次の場合は RX_IIP
*RX_IIP3	[受信機 3 次 入力インター セプト ポ イント (Receiver 3rd Order Input Intercept Point)]	iipn (RX_IIP, 3)	RX_IIP と 同一	3 次の場合は RX_IIP
*ICGAIN	[干渉源カス ケード接続 利 得 (Interferer Cascaded Gain)]	cgain (ICP)	ICP と同一	ICGAIN[i] = ICP[i] - ICP[0]
^ICF	[干渉源チャ ンネル周波 数 (Interferer Channel Frequency)]	ICF	なし	
^ICP	[干渉源チャ ンネル パワ ー (Interferer Channel Power)]	ICP	トータル	ICF での干渉源パワー
*IGAIN	[干渉源利得 (Interferer Gain)]	gain (ICP)	ICP と同一	GAIN[i] = X[i] - X[i-1] 、このとき GAIN[0] = 0 dB
IMGF	[イメージチャ ンネル周 波数 (Image	IMGF	なし	

	Channel Frequency)]			
IMGNP	[イメージチャンネル雑音電力 (Image Channel Noise Power)]	IMGNP	ノイズ	IMGF での雑音電力
IMGP	[イメージチャンネルパワー (Image Channel Power)]	IMGP	トータル	IMGF でのトータルパワー
IMGNR	[イメージチャンネル雑音除去 (Image Channel Noise Rejection)]	Imgnr (CNP, IMGNP)	CNP & IMGNP と同一	$IMGNR[i] = CNP[i] - IMGNP[i]$
IMGR	[イメージチャンネル除去 (Image Channel Rejection)]	Imgr (DCP, IMGP)	DCP & IMGP と同一	$IMGR[i] = DCP[i] - IMGP[i]$
MDS	[検出可能な最小信号 (Minimum Detectable Signal)]	mnd (CNP, CNF)	CNP & CNF と同一	$MDS[i] = CNP[0] + CNF[i]$
*NDCP	[ノイズおよび歪みチャンネルパワー (Noise and Distortion Channel Power)]	ndcp (CNP, TIMP, PNCP)	PNCP、CNP & TIMP と同一	$NDCP[i] = PNCP[i] + CNP[i] + TIMP[i]$
*OIP	[出力インターセプトポ	oip (ICP, DELTA)	ICP と同一	$OIP[i] = ICP[i] + Delta[i]$ /

シミュレーション

	イント (全次数) (Output Intercept Point (All Orders))]			(次数 -1) $\Delta[i] = ICP[i] - TIMCP[i]$
*OIP2	[2 次出力インターセプトポイント (2nd Order Output Intercept Point)]	oipn (OIP, 2)	OIP と同一	2 次の場合は OIP
OIP3	[3 次出力インターセプトポイント (3rd Order Output Intercept Point)]	oipn (OIP, 3)	OIP と同一	3 次の場合は OIP
*RX_OIP	[出力インターセプトポイント (受信機) (全次数) (Output Intercept Point (Receiver) (All Orders))]	rx_oip (VTCP, DELTA)	VTCP と同一	$OIP[i] = VTCP[i] + \Delta[i] / (\text{次数} - 1)$ 仮想トーンチャンネルパワー $-[i] = ICP[0] + CGAIN[i]$ $\Delta[i] = VTCP[i] - TIMCP[i]$
*RX_OIP 2	[受信機 2 次出力インターセプトポイント (Receiver 2nd Order Output Intercept Point)]	oipn (RX_OIP, 2)	RX_OIP と同一	2 次の場合は RX_OIP
*RX_OIP 3	[受信機 3 次出力インターセプトポイント]	oipn (RX_OIP, 3)	RX_OIP と同一	3 次の場合は RX_OIP

	イント (Receiver 3rd Order Output Intercept Point)]			
PRNF	[パーセント 雑音指数 (Percent Noise Figure)]	PRNF	AN & CNF と同一	$PRNF[i] = \frac{AN[i]}{CNF[iLastStage]}$
*PRIM	[パーセント 相互変調 (全 次数) (Percent Intermods (All Orders))]	prim (GIMCP, ICGAIN, TIMCP)	GIMP、 CGAIN & TIMP と同 一	IMREF = GIMCP[i] + (CGAIN[iLastStage] - CGAIN[i]) PRIM[i] = IMREF[i]/TIMP[iLastSta ge] (これは比率をワット数 で表したものの、このとき PRIM[0] = 0 %
*PRIM2	[パーセント 2次相互変 調 (Percent 2nd Order Intermods)]	primn (PRIM, 2)	PRIM と同 一	PRIM を参照
PRIM3	[パーセント 3次相互変調 (Percent 3rd Order Intermods)]	primn (PRIM, 3)	PRIM と同 一	PRIM を参照
*PNCP	[位相雑音チ ャンネルパ ワー (Phase Noise Channel Power)]	PNCP	位相雑音	CF 時の位相雑音電力
SFDR	[スプリアス フリーダイ ナミックレ ンジ (Spurious Free Dynamic Range)]	SFDR	IIP3 & MDS と同一	$SFDR[i] = 2/3 [IIP3[i] - MDS[i]]$

シミュレーション

SDR	[ステージダイナミックレンジ (Stage Dynamic Range)]	SDR	TNP と同一	$SDR[i] = SOP1DB[i] - TNP[i]$
*SGAIN	[ステージ利得 (Stage Gain)]	SGAIN	なし	ステージ入力値
SNF	[ステージ雑音指数 (Stage Noise Figure)]	SNF	なし	ステージ入力値
SIP1DB	[ステージ入力 1 dB コンプレッションポイント (Stage Input 1 dB Compression Point)]	sip1db (SOP1DB, SGAIN)	SOP1DB & SGAIN と同一	$SIP1DB[i] = SOP1DB[i] - SGAIN[i]$
*SIIP	[ステージ入力インターセプトポイント (全次数) (Stage Input Intercept Point (All Orders))]	Siip (SOIP, SGAIN)	SOIP & SGAIN と同一	$SIIP[i] = SOIP[i] - SGAIN[i]$
*SIIP2	[ステージ 2 次入力インターセプトポイント (Stage 2nd Order Input Intercept Point)]	siipn(X, 2)	なし	2 次の場合は SIIP
*SIIP3	[ステージ 3 次入力インターセプト	siipn(X, 3)	なし	3 次の場合は SIIP

	ポイント (Stage 3rd Order Input Intercept Point)]			
SIPSAT	[ステージ入力飽和ポイント (Stage Input Saturation Point)]	sipsat (SOPSAT, SGAIN)	SOPSAT & SGAIN と同一	SIPSAT[i] = SOPSAT[i] - SGAIN[i]
SOP1dB	[ステージ出力 1 dB コンプレッションポイント (Stage Output 1 dB Compression Point)]	SOP1dB	なし	ステージ入力値
*SOIP	[ステージ出力インターセプトポイント (全次数) (Stage Output Intercept Point (All Orders))]	SOIP	なし	ステージ入力値
SOIP2	[ステージ 2 次出力インターセプトポイント (Stage 2nd Order Output Intercept Point)]	SOIP2	なし	ステージ入力値
SOIP3	[ステージ 3 次出力インターセプトポイント (Stage 3rd Order Output Intercept Point)]	SOIP3	なし	ステージ入力値

シミュレーション

	Intercept Point)]			
SOPSAT	[ステージ出力飽和ポイント (Stage Output Saturation Point)]	SOPSAT	なし	ステージ入力値
CIMCP	[相互変調チャンネルパワー (伝導) (全次数) (Intermod Channel Power (Conducted) (All Orders))]	CIMCP	TIMP & DCP と同一	$CIMCP[i] = TIMP[i-1] + gain(DCP)[i]$ 、このとき $CIMCP[0] = -300 \text{ dBm}$
CIMCP2	[2次伝導相互変調パワー (2nd Order Conducted Intermod Power)]	Cimcpn (CIMCP, 2)	CIMCP と同一	2次の場合は CIMCP
CIMCP3	[3次伝導相互変調パワー (3rd Order Conducted Intermod Power)]	Cimcpn (CIMCP, 3)	CIMCP と同一	3次の場合は CIMCP
GIMCP	[相互変調チャンネルパワー (発生) (全次数) (Intermod Channel Power (Generated) (All Orders))]	GIMCP	発生した相互変調	全次数に対して、CF 時で発生した相互変調パワー

GIMCP2	[2次発生相互変調パワー (2nd Order Generated Intermod Power)]	Gimcpn (GIMCP, 2)	GIMCP と同一	2次の場合は GIMCP
GIMCP2	[3次発生相互変調パワー (3rd Order Generated Intermod Power)]	Gimcpn (GIMCP, 3)	GIMCP と同一	3次の場合は GIMCP
*TIMCP	[相互変調チャンネルパワー (トータル) (全次数) (Intermod Channel Power (Total) (All Orders))]	TIMCP	トータル相互変調次数	CF 時の全次数に対する、トータル相互変調パワー
*TIMCP2	[トータル 2次相互変調チャンネルパワー (Total 2nd Order Intermod Channel Power)]	Timcpn (TIMCP, 2)	TIMCP と同一	2次の場合は TIMCP
TIMCP3	[トータル 3次相互変調チャンネルパワー (Total 3rd Order Intermod Channel Power)]	Timcpn (TIMCP, 3)	TIMCP と同一	3次の場合は TIMCP
TIMP	[トータル相	TIMP	トータル相	CF 時のトータル相互変

シミュレーション

	互変調パワー (Total Intermod Power)]		互変調	調パワー
TNP	[トータルノードパワー (Total Node Power)]	TNP	トータル	ノード i での、全スペクトラムのパワー
VDC	[DC 電圧 (DC Voltage)]	VDC	トータル	DC 電圧

* 2005 年以降での新しい測定値

^ 2005 年以降での名前の変更された測定値 :

旧 - 新

TCF – ICF

TCP – ICP

TIM3P – TIMCP3

2005+ での旧式の測定値 : CGAINIM3 、 DCPIM 、 DCPIM3 、 GAINIM および GAIMIM3

[隣接チャンネル周波数 (ACF[U または L][n] (Adjacent Channel Frequency (ACF[U or L][n]))]

この測定値は指定された隣接チャンネルの周波数です。全ての隣接チャンネル周波数は中心となる [チャンネル周波数 (Channel Frequency)] と関連があります。そのため、チャンネルはメイン参照チャンネル周波数の上下にあります。ユーザは隣接チャンネルが所在している、メインまたは参照チャンネルの側およびチャンネル番号を指定できます。チャンネル番号はメインまたは参照チャンネルと関連があります。そのため、チャンネル 1 が第 1 の隣接チャンネルとなり、チャンネル 2 が第 2 の隣接チャンネルとなります。

U - 上側

L - 下側

n - チャンネル番号 (任意の整数 > 0)

例えば、第 1 の隣接チャンネルが [チャンネル周波数 (Channel Frequency)] で指定されるチャンネルより上側の場合は ACFU1 となります。CF が 100 MHz で、チャンネル帯域幅が 1 MHz の場合、メインチャンネルは 99.5 から 100.5 MHz になります。そのため、ACFU1 がチャンネル 100.5 から 101.5 MHz となり、ACFL1 は 98.5 から 99.5 MHz となります。

注記： [測定ウィザード (Measurement Wizard)] の場合は、参照チャンネル両側の最初の 2 つの隣接チャンネルだけが表示されています。しかしながら、 [隣接チャンネル番号 (Adjacent Channel Number)] の場合は制限がありません。

[隣接チャンネルパワー (ACP[U または L] [n] (Adjacent Channel Power (ACP[U or L][n]))]

この測定値は指定された隣接チャンネルの統合パワーです。全ての隣接チャンネルはメインチャンネルと関連があります（[チャンネル周波数 (Channel Frequency)] および [測定チャンネル帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)] により確認）。そのため、チャンネルはメイン参照チャンネル周波数の上下にあります。ユーザは隣接チャンネルが所在しているメインチャンネルの側およびチャンネル番号を指定できます。チャンネル番号はメインチャンネルと関連があります。そのため、チャンネル 1 が第 1 の隣接チャンネルとなり、チャンネル 2 が 2 番目の隣接チャンネルとなります。

U - 上側

L - 下側

n - チャンネル番号（任意の整数 > 0）

例えば、2 番目の隣接チャンネルのパワーがチャンネル周波数で指定されるチャンネルより下側の場合は ACPL2 となります。CF が 100 MHz で、チャンネル帯域幅が 1 MHz の場合、メインチャンネルは 99.5 から 100.5 MHz になります。そのため、ACPL2 が 97.5 と 98.5 MHz との間の統合チャンネルパワーとなり、ACPL1 が 98.5 と 99.5 MHz との間の統合チャンネルパワーとなります。

注記： [測定ウィザード (Measurement Wizard)] の場合は、参照チャンネル両側の最初の 2 つの隣接チャンネルだけが表示されています。しかしながら、負の数ではないことと、1 以上であること以外に、[隣接チャンネル番号 (Adjacent Channel Number)] に対する制限はありません。

この測定値は [隣接チャンネル周波数 (Adjacent Channel Frequency)] での、単なる [チャンネルパワー (Channel Power)] 測定値です。

使用チャンネル： 対応する [隣接チャンネル周波数 (Adjacent Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ： CP と同一

移動方向： CP と同一

[追加ノイズ (Added Noise)] (AN)

この測定値は指定したパスに沿ったメイン チャンネルの個々のステージからのノイズによるもので、以下により示されます。

$AN[n] = CNF[n] - CNF[n-1]$ (dB)、このとき $AN[0] = 0$ dB、 $n =$ ステージ数

この測定値は単に、現在のノードと前のノードの [カスケード雑音指数 (Cascaded Noise Figure)] 測定値との間の違いを示すものです。この測定値は大変役に立つもので、パスに沿った各ステージによる雑音指数への寄与をユーザが特定する助けとなります。

使用チャンネル： [メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ： CNF と同一

移動方向： 前進方向に移動しているスペクトラムのみがこの測定値に含まれています。

[搬送波対雑音比 (Carrier to Noise Ratio)] (CNR)

この測定値は指定されたパスに沿った [希望するチャンネル パワー (Desired Channel Power)] と [チャンネル雑音電力 (Channel Noise Power)] の比率を表し、以下により示されます。

$CNR[n] = DCP[n] - CNP[n]$ (dB)、このとき $n =$ ステージ数

使用チャンネル： [メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ： DCP と CNP と同一

移動方向： DCP と CNP と同一

搬送波対雑音および歪み比 (Carrier to Noise and Distortion Ratio) (CNDR)

この測定値は指定されたパスに沿った [希望するチャンネル パワー (Desired Channel Power)] と [チャンネル雑音および歪みパワー (Channel Noise and Distortion Power)] の比率を表し、以下により示されます。

$CNR[n] = DCP[n] - NDCP[n]$ (dB)、このとき $n =$ ステージ数

シミュレーション

使用チャンネル：[メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：DCP と NDCP と同一

移動方向：DCP と NDCP と同一

カスケード利得 (Cascaded Gain) (CGAIN)

この測定値は指定されたパスに沿ったメイン チャンネルのカスケード利得です。[カスケード利得 (Cascaded Gain)] とは、 n 次段の [希望するチャンネル パワー (Desired Channel Power)] 測定値から入力での [希望するチャンネル パワー (Desired Channel Power)] 測定値を差し引いたもので、以下により示されます。

$$\text{CGAIN}[n] = \text{DCP}[n] - \text{DCP}[0] \text{ (dB)}、\text{このとき } n = \text{ステージ数}$$

使用チャンネル：[メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：DCP と同一

移動方向：DCP と同一

注記： 整合条件下では、線形解析の CGAIN と S_{21} は、同一です。上記の式に示されているように、第 1 のノードでのカスケード利得は、0 dB と定義されています。ソースとパスの第 1 のモデルとの間でインピーダンス不整合がある場合は、この限りではありません。カスケード利得測定がこの初期不整合を考慮に入れない理由は、カスケード利得が第 1 段において必ず 0 dB であるとみなされているからです。この不整合は、第 1 ノードでの [チャンネル パワー (CP) (Channel Power (CP))] を使用するソースで指定したパワー レベル間との差を取り、この値をカスケード利得に加算することによって、説明することができます。この場合、カスケード利得 + ソース不整合は S_{21} となります。

カスケード雑音指数 (Cascaded Noise Figure) (CNF)

この測定値は指定したパスに沿ったメイン チャンネルのカスケード雑音指数です。[カスケード雑音指数 (Cascaded Noise Figure)] はステージ n の出力での [チャンネル雑音電力 (Channel Noise Power)] 測定値からパス入力での [チャンネル雑音電力 (Channel Noise Power)] 測定値およびステージ n での [カスケード利得 (Cascaded Gain)] 測定値を差し引いたもので、以下により示されます。

$CNF[n] = CNP[n] - CNP[0] - CGAIN[n]$ (dB)、このとき $n =$ ステージ数

注意：広いチャンネル帯域幅が使用される場合、チャンネル雑音電力とカスケード利得は VSWR および周波数効果により影響を受けます。この場合、該当するチャンネルのノイズのために、十分なノイズ ポイントを設けることが非常に重要です。さらに、これらの周波数効果のためにチャンネル雑音電力およびカスケード利得が非線形な様式で変化し、カスケード雑音指数が前のノードからドロップしたかのように見えることがあります。また、ハイブリッド連結ネットワークを通じてカスケード雑音指数を検査しても、誤解を生むことがあります。というのは、カスケード雑音指数を決めるために使われるカスケード利得は、カレントパスからのもので、システム中のすべてのパスからのものでないからです。

詳細は、「広帯域ノイズ」のセクションを参照してください。

使用チャンネル：[メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：CNP と CGAIN と同一

移動方向：CNP と CGAIN と同一

従来のカスケード雑音指数

$$NF_{\text{cascade}} = F_1 + (F_2 - 1) / G_1 + (F_3 - 1) / G_1 G_2 + \dots + (F_n - 1) / G_1 G_2 \dots G_{n-1}$$

注記：従来のカスケード雑音指数式は使われません。この式は多くの制限があり、次の条件が課されます。

- VSWR、周波数および帯域幅の効果を無視
- ノイズはすべて単一のパスからのものと見なす
- ミキサ イメージ ノイズを無視する
- 利得コンプレッションの効果を無視することがある

SPARCA（スペクトル伝搬とルートコズ解析）技術を使用する SPECTRASYS は、これらの制限が課されません。ときおり、SPECTRASYS シミュレーションが従来のアプローチと異なる回答を出した場合、ユーザは混乱することがあります。従来のアプローチと同じ前提のもとで SPECTRASYS を使用すれば、必ず同一の回答が出ます。同じ前提のもとで SPECTRASYS を使うには、アッテネータやアンプのような、周波数と独立したブロックのみを使う必要があります。その場合でも、アンプは無限大逆アイソレーションを用いた線形デバイスとして使用しなければなりません。インピーダンスが周波数により変わるので、フィルタを使うことはできません。ミキサはイメージ帯からのノイズがミキサ出力に変換されるので、使うことができません。パスは単一であると見なされているので、2ポート デバイスを使用する必要があります。もちろん帯域幅は大変狭いものでなければなりません。

チャンネル（またはパス）の周波数 (Channel (or Path) Frequency) (CF)

各スペクトラムには大多数のスペクトラム成分および周波数が含まれている可能性があるため、SPECTRASYS はスペクトラムのエリアを断定し、さまざまな測定値のために統合する必要があります。この統合エリアが [チャンネル周波数 (Channel Frequency)] および [測定チャンネル帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)] に定義され、指定したパスのメイン チャンネルとなります。SPECTRASYS は、指定したパスの「元ノード」に一つしか周波数がないような、あいまいなケースの場合、自動的に希望の [チャンネル周波数 (Channel Frequency)] を確認することができます。二つ以上の周波数が存在する場合は、エラーが表示されます。この特別な場合、ユーザは [システム シミュレーション ダイアログ ボックス (System Simulation Dialog Box)] で、このパス用の目的とする周波数を指定する必要があります。

指定したパスに沿った各ノードに対して、[チャンネル周波数 (Channel Frequency)] が存在します。そのため、パスに沿った各ノードは、ミキサまたは周波数マルチプライヤなどの周波数変換エレメントに遭遇するまでは、同じ [チャンネル周波数 (Channel Frequency)] です。SPECTRASYS はこれらのエレメントを通して、自動的に周波数変換を取り扱います。個々のミキサ パラメータである [希望する出力（トータルまたは差） (Desired Output (Sum or Difference))] および [LO インジェクション（高または低） (LO Injection (High or Low))] は、ミキサの出力での希望の周波数を決めるために使用されます。

ほとんどの測定値はこのパラメータに基づいているので、[チャンネル周波数 (Channel Frequency)] は SPECTRASYS にとって不可欠なパラメータです。この周波数を間違えて指定すると、多くの測定値がこの周波数に基づいているので、ユーザは予期しない結果を得ることがあります。

SPECTRASYS が使用している [チャンネル周波数 (Channel Frequency)] を確認するための一番簡単な方法は、表またはデータセットにおいてこの測定値を見ることです。

オフセット チャンネル周波数 (Offset Channel Frequency) (OCF)

[オフセット チャンネル周波数 (Offset Channel Frequency)] および [オフセット チャンネル パワー (Offset Channel Power)] は SPECTRASYS において、大変役に立つ測定値です。これらの測定値はユーザに、メイン チャンネルと関連があるユーザ定義チャンネルを作成する能力を提供します。ユーザは中心となる [チャンネル周波数 (Channel Frequency)] および [オフセット チャンネル帯域幅 (Offset Channel Bandwidth)] の両方と関連がある [オフセット周波数 (Offset Frequency)] を指定します。[チャンネル周波数 (Channel Frequency)] 測定値と同様、SPECTRASYS はミキサや周波数マルチプライヤなどの周波数変換エレメントなどを通して、[オフセット チャンネル周波数 (Offset Channel Frequency)] の周波数変換に自動的に対応します。[オフセット周波数 (Offset Frequency)] および [オフセット チャンネル帯域幅 (Offset Channel Bandwidth)] は、これらの各パラメータに対して変数を作成することにより調整することができます。この測定値は、指定したパスに沿った各ノードに対して、単純に [オフセット チャンネル周波数 (Offset Channel Frequency)] を返します。

チャンネル雑音電力 (Channel Noise Power) (CNP)

この測定値は、指定したパスに沿ったメイン チャンネルでの統合雑音電力です。

例えば、[チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)] が 100 kHz、そして [チャンネル周波数 (Channel Frequency)] を 2000 MHz に指定した場合、CNP は 1999.95 から 2000.05 MHz までの統合雑音電力となります。

追加情報は、「カスケード雑音指数」測定値または「広帯域ノイズ」セクションのコメントを参照してください。

使用チャンネル: [メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ: ノイズのみ

移動方向: 前進パス方向に移動しているスペクトラムのみ

チャンネル パワー (Channel Power) (CP)

この測定値は、指定したパスに沿ったメイン チャンネルでのトータル統合パワーです。

この測定値は、メイン チャンネル内にあるノードを通してあらゆる方向に移動する、すべての信号、相互変調、高調波、ノイズおよび位相雑音を含みます。

例えば、[チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)] が .03 MHz、そして [チャンネル周波数 (Channel Frequency)] を 220 MHz に指定した場合、CP の統合パワーは 219.985 から 220.015 MHz となります。

使用チャンネル：[メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：すべての信号、相互変調、高調波、ノイズおよび位相雑音

移動方向：ノードを通して、あらゆる方向

希望のチャンネル パワー (Desired Channel Power) (DCP)

この測定値は、指定したパスに沿ったメイン チャンネルでのトータル統合パワーです。

この測定値は、**前進**パス方向に移動している、パスの最初のノードにある、**希望する信号のみ**を含みます。すべての他の相互変調、高調波、ノイズおよび位相雑音信号は無視されます。

注記：スペクトラム プロットの識別フライオーバー ヘルプの式の横にある「D」は、希望する信号を示します。

例えば [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)] が .03 MHz、そして [チャンネル周波数 (Channel Frequency)] を 220 MHz に指定した場合、DCP は 219.985 から 220.015 MHz の統合パワーとなります。このパワー測定値は、振幅がもっと大きい 220 MHz 信号が反対方向に移動しても、影響を受けません。

使用チャンネル：[メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：希望する信号のみ

移動方向：前進方向のみ

オフセット チャンネル パワー (Offset Channel Power) (OCF)

[オフセット チャンネル (Offset Channel)] は、メイン チャンネルに関連があるユーザ定義チャンネルです。[オフセット チャンネル周波数 (Offset Channel Frequency)] および[オフセット チャンネル帯域幅 (Offset Channel Bandwidth)] は [システム解析ダイアログ ボックス (System Analysis Dialog Box)] の [オプション タブ (Options Tab)] に指定されています。[チャンネル周波数 (Channel Frequency)] 測定値と同様、SPECTRASYS はミキサや周波数マルチプライヤなどの周波数変換デバイスを通して、[オフセット チャンネル周波数 (Offset Channel Frequency)] の周波数変換に自動的に対応します。

例えば、[チャンネル周波数 (Channel Frequency)] が 2140 MHz、[オフセット チャンネル周波数 (Offset Channel Frequency)] を 10 MHz、そして [オフセット チャンネル帯域幅 (Offset Channel Bandwidth)] を 1 MHz に指定した場合、OCP は 2149.5 から 2150.5 MHz の統合パワーとなります。

この測定値は [オフセット チャンネル帯域幅 (Offset Channel Bandwidth)] を用いた、[オフセット チャンネル周波数 (Offset Channel Frequency)] での、単なる [チャンネルパワー (Channel Power)] 測定値です。

使用チャンネル：[オフセット チャンネル周波数 (Offset Channel Frequency)] および [オフセット チャンネル帯域幅 (Offset Channel Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：CP と同一

移動方向：CP と同一

チャンネル電圧 (Channel Voltage) (CV)

この測定値は、指定したパスに沿ったメイン チャンネルでの平均電圧です。

この測定値は、メイン チャンネル内にあるノードを通してあらゆる方向に移動する、すべての信号、相互変調、高調波、ノイズおよび位相雑音を含みます。

例えば、[チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)] が .03 MHz、そして [チャンネル周波数 (Channel Frequency)] を 220 MHz に指定した場合、CV は 219.985 から 220.015 MHz の統合パワーとなります。

シミュレーション

使用チャンネル：[メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：すべての信号、相互変調、高調波、ノイズおよび位相雑音

移動方向：ノードを通して、あらゆる方向

希望のチャンネル電圧 (Desired Channel Voltage) (DCV)

この測定値は、指定したパスに沿ったメイン チャンネルでの希望する平均電圧です。

この測定値は、**前進**パス方向に移動している、パスの最初のノードにある、**希望する信号のみ**を含みます。すべての他の相互変調、高調波、ノイズおよび位相雑音信号は無視されます。

注記：スペクトラム プロットの確認用フライオーバー ヘルプの式の横にある「D」は、希望する信号を示します。

例えば [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)] が .03 MHz、そして [チャンネル周波数 (Channel Frequency)] を 220 MHz に指定した場合、DCV は 219.985 から 220.015 MHz の平均電圧となります。この電圧測定値は、振幅がもっと大きい 220 MHz 信号が反対方向に移動しても、影響を受けません。

使用チャンネル：[メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：希望する信号のみ

移動方向：前進方向のみ

利得 (Gain) (GAIN)

この測定値は、指定したパスに沿ったメイン チャンネルでの利得です。[利得 (Gain)] とは、カレント ステージの [希望するチャンネル パワー (Desired Channel Power)] 出力と前のステージの [希望するチャンネル パワー (Desired Channel Power)] 出力との差のことで、以下により示されます。

$GAIN[n] = DCP[n] - DCP[n-1]$ (dB)、このとき $GAIN[0] = 0$ dB、 $n =$ ステージ数

「希望するチャンネルパワー」測定値を参照し、この測定値にどの信号のタイプが含まれているかまたは無視されているか確認します。

使用チャンネル：[メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：DCP と同一

移動方向：DCP と同一

入力インターセプト [全次数] (Input Intercept [All Orders]) (IIP)

この測定値は、パス入力を参照している、インターセプト ポイントです。これはインバンドタイプの相互変調測定値です。

$IIP[n] = OIP[n] - CGAIN[n]$ (dBm)、このとき $n =$ ステージ数

この測定値は単純に計算された [出力インターセプト (Output Intercept)] を取り、カスケード利得を差し引くことにより、入力を参照します。カスケード チェーンの最後の IIP 値が必ず、チェーン全体の実際の入力インターセプトとなります。

この測定値の各列は、[システム解析ダイアログ ボックス (System Analysis Dialog Box)] の [計算タブ (Calculate Tab)] に指定されている [最大次数 (Maximum Order)] までの、異なる相互変調次数に充てられます。列番号は次数と同じ数で、左の 0 から始まります。

これらのテストを構成するには「パスに沿った相互変調」セクションを参照してください。

相互変調帯域幅は支配相互変調式の関数です。例えば、相互変調式が $2F1 - F2$ の場合、相互変調帯域幅は $2BW1 + BW2$ となります。注記：帯域幅は必ず追加されるもので、差し引かれることはありません。期待する結果を得るには、チャンネル帯域幅は相互変調の全帯域幅が含まれるよう、充分広く取る必要があります。[自動相互変調モード (Automatic Intermod Mode)] は帯域幅を適切に設定します。

注意：インターセプト ポイントを決めるために使用するこの方法は、等振幅をもった 2 トーンの場合にのみ有効です。

使用チャンネル：[メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)]、[干渉源チャンネル周波数 (Interferer Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：OIP と CGAIN と同一

移動方向：OIP と CGAIN と同一

入力インターセプト - 受信機 [全次数] (Input Intercept - Receiver [All Orders]) (RX_IIP)

この測定値は、パスに沿った、受信機入力インターセプト ポイントです。これはアウトオブバンドタイプの相互変調測定値です。

$$RX_IIP[n] = RX_OIP[n] - CGAIN[n] \text{ (dBm)}、\text{このとき } n = \text{ステージ数}$$

この測定値は単純に計算された [出力インターセプト (Output Intercept)] を取り、カスケード利得を差し引くことにより、入力を参照します。カスケード チェーン最後の IIP 値が必ず、チェーン全体の実際の入力インターセプトとなります。

この測定値の各列は、[システム解析ダイアログ ボックス (System Analysis Dialog Box)] の [計算タブ (Calculate Tab)] に指定されている [最大次数 (Maximum Order)] までの、異なる相互変調次数に充てられます。列番号は次数と同じ数で、左の 0 から始まります。

これらのテストを構成するには「パスに沿った相互変調」セクションを参照してください。

相互変調帯域幅は支配相互変調方程式の関数です。例えば、相互変調方程式が $2F_1 - F_2$ の場合、相互変調帯域幅は $2BW_1 + BW_2$ となります。注記：帯域幅は必ず追加されるもので、差し引かれることはありません。期待する結果を得るには、チャンネル帯域幅は相互変調の全帯域幅が含まれるよう、充分広く取る必要があります。[自動相互変調モード (Automatic Intermod Mode)] は帯域幅を適切に設定します。

注意：インターセプト ポイントを決めるために使用するこの方法は、等振幅をもった 2 トーンの場合にのみ有効です。

使用チャンネル：[メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)]、[干渉源チャンネル周波数 (Interferer Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：RX_OIP と CGAIN と同一

移動方向：RX_OIP と CGAIN と同一

干渉源カスケード接続利得 (Interferer Cascaded Gain) (ICGAIN)

この測定値は指定されたパスに沿ったメイン チャンネルの干渉源カスケード接続利得です。[干渉源カスケード接続利得 (Interferer Cascaded Gain)] とは、n 次段の [干渉源チャンネルパワー (Interferer Channel Power)] 測定値から入力での [干渉源チャンネルパワー (Interferer Channel Power)] 測定値を差し引いたもので、以下により示されます。

$ICGAIN[n] = ICP[n] - ICP[0]$ (dB)、このとき n = ステージ数

使用チャンネル：[メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：ICP と同一

移動方向：ICP と同一

干渉源チャンネル周波数 (ICF) (Interferer Channel Frequency (ICF))

この測定値は IIP、OIP、SFDR などの相互変調測定値に使用する干渉源周波数です。[干渉源チャンネル周波数 (Interferer Channel Frequency)] は [システム解析ダイアログ ボックス (System Analysis Dialog Box)] の [計算タブ (Calculate Tab)] で設定します。

他の周波数測定値同様、SPECTRASYS はミキサ、周波数マルチプライヤなどを通して、周波数変換に対応することができます。

干渉源チャンネルパワー (Interferer Channel Power) (ICP)

この測定値は干渉源チャンネルのトータル統合パワーです。このパワーは IIP3、OIP3、SFDR などの相互変調測定値に使用します。

この測定値は [干渉源チャンネル周波数 (Interferer Channel Frequency)] での、単なる [希望するチャンネルパワー (Desired Channel Power)] 測定値です。

使用チャンネル：[干渉源チャンネル周波数 (Interferer Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：DCP と同一

移動方向：DCP と同一

干渉源利得 (Interferer Gain) (IGAIN)

この測定値は、指定したパスに沿ったメイン チャンネルでの利得です。「利得」とは、カレント ステージの [干渉源チャンネル パワー (Interferer Channel Power)] 出力と前のステージの [干渉源チャンネル パワー (Interferer Channel Power)] 出力との差のことで、以下により示されます。

$IGAIN[n] = ICP[n] - ICP[n-1]$ (dB)、このとき $IGAIN[0] = 0$ dB、 $n =$ ステージ数

使用チャンネル : [メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ : ICP と同一

移動方向 : ICP と同一

イメージ周波数 (Image Frequency) (IMGF)

この測定値は、入力から第 1 ミキサへのイメージ周波数です。

SPECTRASYS は指定パスの [チャンネル周波数 (Channel Frequency)] を知っているのので、第 1 ミキサまでのイメージ周波数を見つけ出す能力も持っています。第 1 ミキサの後で、[イメージ周波数 (Image Frequency)] 測定値は、メイン チャンネル周波数を示します。この測定値が周波数が何であることを示します。

例えば、低 LO 側インジェクションを使用した、IF 周波数が 150 MHz の 2 GHz 受信機を設計した場合、LO 周波数は 1850 MHz となり、入力から第 1 ミキサまでの全ステージに対するイメージ周波数は 1700 MHz となります。

[イメージチャンネル雑音電力 (Image Channel Noise Power)] (IMGNP)

この測定値は、パス入力から第 1 ミキサまでのイメージ チャンネルの統合雑音電力です。第 1 ミキサの後で、[ミキサ イメージ チャンネル パワー (Mixer Image Channel Power)] 測定値は、同一の雑音電力およびメイン チャンネル雑音電力を示します。

例えば、低 LO 側インジェクションを使用した、IF 周波数が 150 MHz の 2 GHz 受信機を設計した場合、LO 周波数は 1850 MHz となり、入力から第 1 ミキサまでの全ステージに対するイメージ周波数は 1700 MHz となります。受

信機の帯域幅が 5 MHz の場合、イメージ チャンネルは 1697.5 から 1702.5 MHz となります。

この測定値は [イメージ周波数 (Image Frequency)] での、単なる [チャンネル雑音電力 (Channel Noise Power)] 測定値です。

使用チャンネル：[イメージチャンネル周波数 (Image Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：ノイズのみ

移動方向：前進パス方向に移動しているスペクトラムのみ

イメージチャンネルパワー (Image Channel Power) (IMGP)

この測定値は、パス入力から第 1 ミキサまでのイメージチャンネルパワーです。第 1 ミキサの後で、この測定値は同一のパワーおよびメインチャンネルパワーを示します。

例えば、低 LO 側インジェクションを使用した、IF 周波数が 150 MHz の 2 GHz 受信機を設計した場合、LO 周波数は 1850 MHz となり、入力から第 1 ミキサまでの全ステージに対するイメージ周波数は 1700 MHz となります。受信機の帯域幅が 5 MHz の場合、イメージチャンネルは 1697.5 から 1702.5 MHz となります。このチャンネルではすべてのノイズおよび干渉源を除去し、受信機の感度と性能を維持します。

この測定値は [イメージ周波数 (Image Frequency)] での、単なる [チャンネルパワー (Channel Power)] 測定値です。

使用チャンネル：[イメージチャンネル周波数 (Image Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：CP と同一

移動方向：CP と同一

イメージノイズ除去比 (Image Noise Rejection Ratio) (IMGNR)

この測定値は指定されたパスに沿った [チャンネル雑音電力 (Channel Noise Power)] と [イメージチャンネル雑音電力 (Image Channel Noise Power)] の比率を表し、以下により示されます。

$$\text{IMGNR}[n] = \text{CNP}[n] - \text{IMGNP}[n] \text{ (dB)}、\text{このとき } n = \text{ステージ数}$$

シミュレーション

この測定値は選択したパスが提供するイメージ ノイズ除去量を判断する際に、大変役に立ちます。

この特定の測定値に関しては、基本的に 2 つのチャンネルが存在し、両方とも同一の [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)] 1) メイン チャンネルおよび 2) 第 1 ミキサ イメージチャンネルがあります。

使用チャンネル：[メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)]、[イメージ チャンネル周波数 (Image Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：CNP と IMGNP と同一

移動方向：CNP と IMGNP と同一

イメージ 除去比 (Image Rejection Ratio) (IMGR)

この測定値は指定されたパスに沿った [チャンネル パワー (Channel Power)] と [イメージ チャンネル パワー (Image Channel Power)] の比率を表し、以下により示されます。

$$\text{IMGR}[n] = \text{DCP}[n] - \text{IMGP}[n] \text{ (dB)}、\text{このとき } n = \text{ステージ数}$$

この特定の測定値に関しては、基本的に 2 つのチャンネルが存在し、両方とも同一の [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)] 1) メイン チャンネルおよび 2) 第 1 ミキサ イメージチャンネルがあります。これら 2 つのチャンネル間の唯一の違いは周波数で、一方の周波数は [チャンネル周波数 (Channel Frequency)] で、他方は [ミキサ イメージ周波数 (Mixer Image Frequency)] です。

使用チャンネル：[メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)]、[イメージ チャンネル周波数 (Image Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：DCP と IMGP と同一

移動方向：DCP と IMGP と同一

検出可能な最小信号 (Minimum Detectable Signal) (MDS)

この測定値は入力に参照される検出可能（識別可能）な最小信号で、入力チャンネル雑音電力と指定したチェーンのカスケード雑音指数を加算したものと同じです。以下により示されます。

$MDS[n] = CNP[0] + CNF[n]$ (dBm)、このとき $n =$ ステージ数

ステージ n での MDS 値が、ステージ n までのシステム全体の MDS を代表します。そのため、システム全体の MDS は、パスまたはチェーンの最後のステージに示されている値となります。検出可能な最小信号は、受信機が検出できる最小信号を制限している、受信機への入力に存在する雑音電力と同一です。

例えば、受信機への熱雑音電力が -174 dBm/Hz、そしてチャンネル帯域幅が 1 MHz ($10 \text{ Log}(1 \text{ MHz}) = 60$ dB) の場合、入力チャンネルパワーは -114 dBm となります。カスケード雑音指数が 5 dB の場合、検出可能な最小信号は -109 dBm となります。

「チャンネル雑音電力」測定値を参照し、この測定値にどの信号のタイプが含まれているかまたは無視されているか確認します。

使用チャンネル：[メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：CNP および CNF と同一

移動方向：CNP および CNF と同一

ノイズおよび歪みチャンネル パワー (Noise and Distortion Channel Power) (NDCP)

この測定値は、指定したパスに沿った、メイン チャンネルでの統合ノイズおよび歪みチャンネル パワーです。[ノイズおよび歪みチャンネル パワー (Noise and Distortion Channel Power)] は [チャンネル雑音電力 (Channel Noise Power)] と [トータル相互変調チャンネル パワー (Total Intermod Channel Power)] と [位相雑音チャンネル パワー (Phase Noise Channel Power)] のトータルです。これは以下により示されます。

$NDCP = CNP[n] + TIMP[n] + PNCP[n]$ (dB)、このとき $n =$ ステージ数

上記の測定値を参照し、この測定値にどの信号のタイプが含まれているかまたは無視されているか確認します。

使用チャンネル：[メインチャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：CNP、TIMP および PNCP と同一

移動方向：CNP、TIMP および PNCP と同一

[出カインターセプト - 全次数 [全次数] (Output Intercept - All Orders [All Orders])] (OIP)

この測定値は、パスに沿った、出カインターセプトポイントです。これはインバンドタイプの相互変調測定値です。

$OIP[n] = ICP[n] + \Delta[n]$ (dBm)、このとき $n =$ ステージ数、そして次数 = 相互変調の次数

$$\Delta[n] = (ICP[n] - TIMCP[n]) / (\text{次数} - 1) \text{ (dB)}$$

Delta はメインチャンネルの [トータル相互変調チャンネルパワー (Total Intermod Channel Power)] および [干渉源チャンネル (Interferer Channel)] の干渉信号 (次数効果を含む) との間の差 (dB) を指します。

この測定値を得るためには、入力において 2 つ以上の信号 (トーン) が必要です。

- 第 1 の干渉信号
- 第 2 の干渉信号

[チャンネル周波数 (Channel Frequency)] は相互変調周波数に設定し、[干渉源周波数 (Interferer frequency)] は第 1 または第 2 干渉源周波数に設定します。[干渉源周波数 (Interfering Frequency)] を設定するには、[システム解析ダイアログボックス (System Analysis Dialog Box)] の [計算タブ (Calculate Tab)] を参照します。さらに、干渉源トーンの間隔は、相互変調が実際にメインチャンネル内に収まるようにする必要があります。これらの条件が満たされないと、メインチャンネルにおいて相互変調パワーは測定されません。

この測定値の各列は、[システム解析ダイアログボックス (System Analysis Dialog Box)] の [計算タブ (Calculate Tab)] に指定されている [最大次数 (Maximum Order)] までの、異なる相互変調次数に充てられます。列番号は次数と同じ数で、左の 0 から始まります。

これらのテストを構成するには「パスに沿った相互変調」セクションを参照してください。

相互変調帯域幅は支配相互変調方程式の関数です。例えば、相互変調方程式が $2F_1 - F_2$ の場合、相互変調帯域幅は $2BW_1 + BW_2$ となります。注記：帯域幅は必ず追加されるもので、差し引かれることはありません。期待する結果を得るには、チャンネル帯域幅は相互変調の全帯域幅が含まれるよう、充分広く取る必要があります。[自動相互変調モード (Automatic Intermod Mode)] は帯域幅を適切に設定します。

注記：カスケード式相互変調方程式は SPECTRASYS では使用されません。

注意：インターセプト ポイントを決めるために使用するこの方法は、等振幅をもった 2 トーンの場合にのみ有効です。

使用チャンネル：[干渉源チャンネル周波数 (Interferer Channel Frequency)]、
[メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定
帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：ICP と TIMCP と同一

移動方向：ICP と TIMCP と同一

出カインターセプト - 受信機 [全次数] (Output Intercept - Receiver [All Orders]) (RX_OIP)

この測定値は、パスに沿った、受信機出カインターセプト ポイントです。これはアウトオブバンドタイプの相互変調測定値です。

$RX_OIP[n] = VTCP[n] + RX_Delta[n]$ (dBm)、このとき $n =$ ステージ数、そして次数 = 相互変調の次数

$VTCP[n] = ICP[0] + CGAIN[n]$ (dBm)

$RX_Delta[n] = (VTCP[n] - TIMCP[n]) / (次数 - 1)$ (dB)

Delta はメイン チャンネルの [トータル相互変調チャンネル パワー (Total Intermod Channel Power)] および [干渉源チャンネル (Interferer Channel)] の干渉信号 (次数効果を含む) との間の差 (dB) を指します。アウトオブバンド干渉源を考慮に入れて、正しく OIP を計算するために、減衰されていない、インバンドの仮想パワーを持っている、[仮想トーン (Virtual Tone)] が作成されます。このパワー レベルは単に、入力での [干渉源チャンネル パワー (Interferer Channel Power)] に [カスケード利得 (Cascaded Gain)] を加算したものです。

この [仮想トーン チャンネル パワー (Virtual Tone Channel Power)] は [干渉源チャンネル パワー (Interferer Channel Power)] と異なります。というのは、[仮想トーン

シミュレーション

ンチャンネルパワー (Virtual Tone Channel Power)] はアウトオブバンド除外により減衰されていませんが、[干渉源チャンネルパワー (Interferer Channel Power)] はこれが施されている場合があるからです。インバンド干渉源については、[仮想トーンチャンネルパワー (Virtual Tone Channel Power)] と [干渉源チャンネルパワー (Interferer Channel Power)] は同一です。

この測定値を得るためには、入力において3つ以上の信号（トーン）が必要です。

- メインチャンネル信号（カスケード利得およびトータル相互変調チャンネルパワー測定値に使用）
- 第1の干渉信号
- 第2の干渉信号

[チャンネル周波数 (Channel Frequency)] は相互変調周波数に設定し、[干渉源周波数 (Interferer frequency)] は第1または第2干渉源周波数に設定します。[干渉源周波数 (Interfering Frequency)] を設定するには、[システム解析ダイアログボックス (System Analysis Dialog Box)] の [計算タブ (Calculate Tab)] を参照します。さらに、干渉源トーンの間隔は、相互変調が実際にメインチャンネル内に収まるようにする必要があります。これらの条件が満たされないと、メインチャンネルにおいて相互変調パワーは測定されません。

この測定値の各列は、[システム解析ダイアログボックス (System Analysis Dialog Box)] の [計算タブ (Calculate Tab)] に指定されている [最大次数 (Maximum Order)] までの、異なる相互変調次数に充てられます。列番号は次数と同じ数で、左の0から始まります。

これらのテストを構成するには「パスに沿った相互変調」セクションを参照してください。

相互変調帯域幅は支配相互変調方程式の関数です。例えば、相互変調方程式が $2F1 - F2$ の場合、相互変調帯域幅は $2BW1 + BW2$ となります。**注記:** 帯域幅は必ず追加されるもので、差し引かれることはありません。期待する結果を得るには、チャンネル帯域幅は相互変調の全帯域幅が含まれるよう、充分広く取る必要があります。[自動相互変調モード (Automatic Intermod Mode)] は帯域幅を適切に設定します。

カスケード式相互変調方程式は SPECTRASYS では使用されません。

注意：インターセプトポイントを決めるために使用するこの方法は、等振幅をもった2トーンの場合にのみ有効です。

使用チャンネル：[干渉源チャンネル周波数 (Interferer Channel Frequency)]、[メインチャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：ICP、CGAIN と TIMCP と同一

移動方向：ICP、CGAIN と TIMCP と同一

[パーセント雑音指数 (Percent Noise Figure)] (PRNF)

このルーチンは各段毎に、パスの最終 [カスケード雑音指数 (Cascaded Noise Figure)] に対する [パーセント雑音指数 (Percent Noise Figure)] を計算します。

$PRNF[n] = AN[n] / CNF[nLastStage] * 100$ (これは dB 値の比)、このとき $PRNF[0] = 0$ 、 n はカレント ステージ、 $nLastStage$ は指定パスに沿った最終ステージです。

この測定値は、ユーザが全ステージおよび選択したパスのトータル カスケード雑音指数へのそれぞれの寄与を特定する際の手助けとなります。

この測定値はパーセントなので、単位はありません。全ステージのパーセントトータルが 100% とならないケースが少ないながらもあります。例えば、アーキテクチャに並列パスが含まれている場合、各パスはトータル カスケード雑音指数に寄与しますが、測定値には一つのパスしか考慮されません。もう一つのケースとしては、ステージ間のノイズに影響を及ぼす、十分な VSWR 相互作用がある場合です。それにより、ノイズが利得により線形変化しません。スプレッドシートのケースに合わせてアーキテクチャを縮小すると、パーセントに関して、予期されたスプレッドシートの回答が必ず出ます。追加情報は「カスケード雑音指数」測定値を参照してください。

使用チャンネル：[メインチャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：AN および CNF と同一

移動方向：AN および CNF と同一

[パーセント相互変調 - 全次数 (Percent Intermods - All Orders)] (PRIM)

このルーチンは各段毎に、パスの最終 [トータル相互変調チャンネル パワー (Total Intermod Channel Power)] に対する [パーセント相互変調コントリビューション (Percent Intermod Contribution)] を計算します。

IMREF - [出力を参照している同一の相互変調パワー (Equivalent Intermod Power Referenced to the Output)]

$$\text{IMREF} = \text{GIMCP}[n] + (\text{CGAIN}[n_{\text{LastStage}}] - \text{CGAIN}[n])$$

$\text{PRIM}[n] = \text{IMREF}[n] / \text{TIMCP}[i_{\text{LastStage}}]$ (これはワット単位の比)、このとき $\text{PRNF}[0] = 0$ 、 n はカレント ステージ、 $n_{\text{LastStage}}$ は指定パスに沿った最終ステージです。

この測定値は、ユーザが全ステージおよび選択したパスのトータル 3 次相互変調 パワーへのそれぞれの寄与を特定する際の手助けとなります。

この測定値はパーセントなので、単位はありません。全ステージのパーセントトータルが 100% とならないケースもあります。例えば、アーキテクチャに並列パスが含まれている場合、各パスはトータル 3 次相互変調パワーに寄与しますが、測定値には一つのパスしか考慮されません。もう一つのケースとしては、ステージ間の相互変調レベルに影響を及ぼす、VSWR 相互作用が充分にある場合です。スプレッドシートのケースに合わせてアーキテクチャを縮小すると、パーセントに関して、予期されたスプレッドシートの回答が必ず出ます。出力を参照している同等の相互変調パワーが実際のトータル相互変調チャンネルパワーより大きい場合、この測定値は 100% を超える場合があります。例としては、アンプ出力において相互変調がキャンセルされたアンプの場合が挙げられます。この場合、発生した相互変調パワーだけでも、トータル相互変調出力パワーより高い場合があります。

使用チャンネル: [メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ: GIMCP、GAIN と TIMCP と同一

移動方向: GIMCP、GAIN と TIMCP と同一

位相雑音チャンネルパワー (Phase Noise Channel Power) (PNCP)

この測定値は、指定したパスに沿ったメインチャンネルでの統合位相雑音電力です。位相雑音は dBm/Hz 単位でグラフに表示され、位相雑音を表示している際は、チャンネル帯域幅は無視されます。しかしながら、このようなチャンネル測定値の場合、位相雑音は統合される前に、チャンネル帯域幅により計測されます。

使用チャンネル：[メインチャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：位相雑音のみ

移動方向：前進パス方向に移動しているスペクトラムのみ

[スプリアスフリーダイナミックレンジ (Spurious Free Dynamic Range)] (SFDR)

この測定値は、指定したパスに沿ったスプリアスフリーダイナミックレンジで、以下のように示されます。

$SFDR[n] = 2/3 [IIP3[n] - MDS[n]]$ (dB)、このとき $n =$ ステージ数

[スプリアスフリーダイナミックレンジ (Spurious Free Dynamic Range)] は、第3次相互変調を MDS と等しくするような、[検出可能な最小 (識別可能) 信号 (Minimum Detectable (Discernable) Signal)] (MDS) および入力パワーとの間のレンジのことを指します。MDS は検出できる最小の信号で、受信機ノイズフロアと等しく、信号対雑音比が 0 dB です。すなわち、 $MDS = -174 \text{ dBm/Hz} + [\text{システム雑音指数 (System Noise Figure)}] + 10 \text{ Log (チャンネル帯域幅)}$ です。

[入力インターセプト (Input Intercept)] および [チャンネル雑音電力 (Channel Noise Power)] 測定値を参照し、この測定値にどの信号のタイプが含まれているかまたは無視されているか確認します。

使用チャンネル：[メインチャンネル周波数 (Main Channel Frequency)]、[干渉源チャンネル周波数 (Interferer Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：IIP と MDS と同一

移動方向：IIP と MDS と同一

[ステージダイナミックレンジ (Stage Dynamic Range)] (SDR)

この指定パスに沿った測定値は以下により示されます。

$SDR[n] = SOP1DB[n] - TNP[n]$ (dB)、このとき n = ステージ数

この単純な測定値は、ユーザにより入力された、ステージの 1 dB コンプレッションポイントとステージ出力の [トータル ノード パワー (Total Node Power)] の差を示します。この測定値は各ステージ ダイナミックレンジにおいて最適化を試み、どのステージが最初にコンプレッションに入るかを断定する際に、大変役に立ちます。

[ステージ出力 1 dB コンプレッションポイント (Stage Output 1 dB Compression Point)] および [トータル ノード パワー (Total Node Power)] 測定値を参照し、この測定値にどの信号のタイプが含まれているかまたは無視されているか確認します。

使用チャンネル： [メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ： TNP と同一

移動方向： TNP と同一

ステージ利得 (Stage Gain) (SGAIN)

この測定値はユーザが入力したステージ利得です。ビヘイビア受動モデルにおいては、挿入損失パラメータが使用されます。ステージにおいて利得も挿入損失パラメータもない場合は、0 dB が使われます。この測定値は、モデルを通して、パス方向には依存していません。例えば、パスがアンプを通して後進パスで定義された場合、アンプの逆アイソレーションではなく、前進パス利得が報告されます。

使用チャンネル： この測定値にはチャンネルは使用されません。

使用スペクトラムのタイプ： なし

移動方向： 該当なし

[ステージ雑音指数 (Stage Noise Figure)] (SNF)

この測定値はユーザが入力したステージ雑音指数です。ビヘイビア受動モデルでは、挿入損失パラメータが使用されます。ステージにおいて雑音指数も挿入損失パラメータも存在しない場合は、0 dB が使われます。この測定値は、モデルを通る際のパス方向には依存していません。例えば、パスがカップラの結合ポートを通して定義された場合、結合損失ではなく、カップラの挿入損失が報告されます。

使用チャンネル：この測定値にはチャンネルは使用されません。

使用スペクトラムのタイプ：なし

移動方向：該当なし

ステージ入力 1 dB コンプレッション ポイント (Stage Input 1 dB Compression Point) (SIP1DB)

この測定値は、[ステージ出力 1 dB コンプレッション ポイント (Stage Output 1 dB Compression Point)] と [ステージ利得 (Stage Gain)] を使用して計算された、ステージ 1 dB コンプレッション ポイントです。ステージに対してこのパラメータが存在しない場合は、+100 dBm が使用されます。

$$SIP1DB[n] = SOP1DB[n] - SGAIN[n] \text{ (dBm)}、このとき n = \text{ステージ数}$$

使用チャンネル：この測定値にはチャンネルは使用されません。

使用スペクトラムのタイプ：なし

移動方向：該当なし

[ステージ入力インターセプト - 全次数 (Stage Input Intercept - All Orders)] (SIIP)

ステージ入力インターセプト - 全次数 (Stage Input Intercept - All Orders) (SIIP) の測定値は、[ステージ出力インターセプト ポイント (Stage Output Intercept Point)] と [ステージ利得 (Stage Gain)] を使用して計算された、ステージ入力インターセプト ポイントです。ステージに対してこのパラメータが存在しない場合は、+100 dBm が使用されます。

$$SIIP[n] = SOIP[n] - SGAIN[n] \text{ (dBm)}、このとき n = \text{ステージ数}$$

シミュレーション

この測定値の各列は、[システム解析ダイアログ ボックス (System Analysis Dialog Box)] の [計算タブ (Calculate Tab)] に指定されている [最大次数 (Maximum Order)] までの、異なる相互変調次数に充てられます。列番号は次数と同じ数で、左の 0 から始まります。

使用チャンネル：この測定値にはチャンネルは使用されません。

使用スペクトラムのタイプ：なし

移動方向：該当なし

ステージ入力飽和電力 (Stage Input Saturation Power) (SIPSAT)

この測定値は、[ステージ出力 1 dB コンプレッションポイント (Stage Output 1 dB Compression Point)] と [ステージ利得 (Stage Gain)] を使用して計算された、ステージ入力飽和電力です。ステージに対してこのパラメータが存在しない場合は、+100 dBm が使用されます。

$$\text{SIPSAT}[n] = \text{SOPSAT}[n] - \text{SGAIN}[n] \text{ (dBm)}、\text{このとき } n = \text{ステージ数}$$

使用チャンネル：この測定値にはチャンネルは使用されません。

使用スペクトラムのタイプ：なし

移動方向：該当なし

ステージ出力 1 dB コンプレッションポイント (Stage Output 1 dB Compression Point) (SOP1DB)

この測定値はユーザが入力したステージ 1 dB コンプレッションポイントです。ステージに対してこのパラメータが存在しない場合は、+100 dBm が使用されます。

使用チャンネル：この測定値にはチャンネルは使用されません。

使用スペクトラムのタイプ：なし

移動方向：該当なし

ステージ出カインターセプト - 全次数 (Stage Output Intercept - All Orders) (SOIP)

この測定値はユーザが入力したステージ出カインターセプト ポイントです。ステージに対してこのパラメータが存在しない場合は、+100 dBm が使用されます。

この測定値の各列は、[システム解析ダイアログ ボックス (System Analysis Dialog Box)] の [計算タブ (Calculate Tab)] に指定されている [最大次数 (Maximum Order)] までの、異なる相互変調次数に充てられます。列番号は次数と同じ数で、左の 0 から始まります。

使用チャンネル：この測定値にはチャンネルは使用されません。

使用スペクトラムのタイプ：なし

移動方向：該当なし

ステージ出力飽和電力 (Stage Output Saturation Power) (SOPSAT)

この測定値はユーザが入力したステージ飽和ポイントです。ステージに対してこのパラメータが存在しない場合は、+100 dBm が使用されます。

使用チャンネル：この測定値にはチャンネルは使用されません。

使用スペクトラムのタイプ：なし

移動方向：該当なし

伝導相互変調チャンネル パワー [全次数] (Conducted Intermod Channel Power [All Orders]) (CIMCP)

この測定値は、前のステージから伝導された、メインチャンネルのトータル相互変調パワーです。この測定値は前進パス方向に移動しているすべての相互変調を含みます。伝導3次相互変調パワーの式は以下の通りです。

$CIMCP[n] = TIMCP[n-1] + GAIN[n]$ (dBm)、このとき $CIMCP[0] = 0$ dB、 n = ステージ数

この測定値の各列は、[システム解析ダイアログ ボックス (System Analysis Dialog Box)] の [計算タブ (Calculate Tab)] に指定されている [最大次数 (Maximum Order)] までの、異なる相互変調次数に充てられます。列番号は次数と同じ数で、左の0から始まります。

これらのテストを構成するには「パスに沿った相互変調」セクションを参照してください。

相互変調帯域幅は支配相互変調方程式の関数です。例えば、相互変調方程式が $2F_1 - F_2$ の場合、相互変調帯域幅は $2BW_1 + BW_2$ となります。注記：帯域幅は必ず追加されるもので、差し引かれることはありません。チャンネル帯域幅は、期待される結果を達成するために、相互変調の帯域幅全体を含む十分な広さに設定する必要があります。

使用チャンネル： [メインチャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ： TIMCP と GAIN と同一

移動方向： TIMCP と GAIN と同一

発生相互変調チャンネル パワー [全次数] (Generated Intermod Channel Power [All Orders]) (GIMCP)

この測定値は、カレントステージの出力において作成された、メインチャンネルの発生相互変調パワーです。発生3次相互変調パワーの式は以下の通りです。

$GIMCP[n] =$ チャンネル帯域幅 (dBm) に渡り、ステージ n において発生した相互変調の統合

この測定値の各列は、[システム解析ダイアログ ボックス (System Analysis Dialog Box)] の [計算タブ (Calculate Tab)] に指定されている [最大次数 (Maximum Order)] までの、異なる相互変調次数に充てられます。列番号は次数と同じ数で、左の 0 から始まります。

これらのテストを構成するには「パスに沿った相互変調」セクションを参照してください。

相互変調帯域幅は支配相互変調方程式の関数です。例えば、相互変調方程式が $2F_1 - F_2$ の場合、相互変調帯域幅は $2BW_1 + BW_2$ となります。注記：帯域幅は必ず追加されるもので、差し引かれることはありません。チャンネル帯域幅は、期待される結果を達成するために、相互変調の帯域幅全体を含む十分な広さに設定する必要があります。[自動相互変調モード (Automatic Intermod Mode)] は帯域幅を適切に設定します。

使用チャンネル：[メイン チャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：相互変調および高調波のみ (次数により分離)

移動方向：ノードを通して、あらゆる方向

トータル相互変調チャンネル パワー [全次数] (Total Intermod Channel Power [All Orders]) (TIMCP)

この測定値は、前のステージから伝導した、統合トータル相互変調パワーに、カレントステージから発生した相互変調パワーを加算したものです。

伝導 3 次相互変調パワーの式は以下の通りです。

$TIMCP[n]$ = メイン チャンネルに渡る、ステージ n でのトータル相互変調スペクトラムの統合

この測定値の各列は、[システム解析ダイアログ ボックス (System Analysis Dialog Box)] の [計算タブ (Calculate Tab)] に指定されている [最大次数 (Maximum Order)] までの、異なる相互変調次数に充てられます。列番号は次数と同じ数で、左の 0 から始まります。

これらのテストを構成するには「パスに沿った相互変調」セクションを参照してください。

シミュレーション

相互変調帯域幅は支配相互変調方程式の関数です。例えば、相互変調方程式が $2F1 - F2$ の場合、相互変調帯域幅は $2BW1 + BW2$ となります。注記：帯域幅は必ず追加されるもので、差し引かれることはありません。チャンネル帯域幅は、期待される結果を達成するために、相互変調の帯域幅全体を含む十分な広さに設定する必要があります。[自動相互変調モード (Automatic Intermod Mode)] は帯域幅を適切に設定します。

使用チャンネル：[メインチャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：相互変調および高調波のみ (次数により分離)

移動方向：ノードを通して、あらゆる方向

トータル相互変調パワー (Total Intermod Power) (TIMP)

この測定値は、パスに沿ったメインチャンネルでのすべての相互変調次数のトータル統合パワーです。この測定値はすべての相互変調の次数のトータルである点が、[トータル相互変調チャンネルパワー (Total Intermod Channel Power)] と異なります。[トータル相互変調チャンネルパワー (Total Intermod Channel Power)] は次数により分離されています。

使用チャンネル：[メインチャンネル周波数 (Main Channel Frequency)] および [チャンネル測定帯域幅 (Channel Measurement Bandwidth)]

使用スペクトラムのタイプ：相互変調および高調波のみ

移動方向：ノードを通して、あらゆる方向

トータルノードパワー (Total Node Power) (TNP)

この測定値はノードでの全スペクトラムの統合パワーです。デバイス（アンプまたはミキサ LO）の入力において存在するトータルパワーを決める際に、大変役に立つ測定値です。この測定値は、ノードを通してあらゆる方向に移動する、すべての信号、相互変調、高調波、ノイズおよび位相雑音を含みます。

使用チャンネル：この測定値にはチャンネルは使用されません。

使用スペクトラムのタイプ：すべての信号、相互変調、高調波、ノイズおよび位相雑音

移動方向：ノードを通して、あらゆる方向

電圧 DC (Voltage DC) (VDC)

この測定値は、指定パスに沿った DC 電圧です。

この測定値は、ノードを通して**あらゆる**方向に移動する、**すべての信号、相互変調、高調波、ノイズ**および**位相雑音**を含みます。

使用チャンネル：この測定値にはチャンネルは使用されません。

使用スペクトラムのタイプ：すべての信号、相互変調、高調波、ノイズおよび位相雑音

移動方向：ノードを通して、あらゆる方向

第 14 章： Sonnet インターフェース：チュートリアル

はじめに

Genesys-Sonnet インターフェースは、Eagleware および Sonnet 双方のお客様のために作成された、GENESYS および Sonnet との間の使いやすいインターフェースです。このインターフェースは、ほとんどの一般的な Sonnet 機能を直接サポートしています。さらに、マニュアル編集モードを利用することができ、それによりすべての Sonnet 機能をアクセスすると共に、GENESYS と接続性を維持することができます。また、Eagleware の EMPOWER シミュレータ同様、Eagleware のインターフェースは集中定数エレメントを直接サポートしています。

このインターフェースをお使いになる前に、Sonnet Version 9.52 以降をコンピュータに必ずインストールしてください。このインターフェースは Sonnet の詳細のほとんどを非表示にするので、Sonnet の深い知識は必要ありません。しかしながら、Sonnet インターフェースをお使いになる前に、「Sonnet チュートリアル」をお読みになることをお勧めします。

スキマティックなしでのレイアウト作成

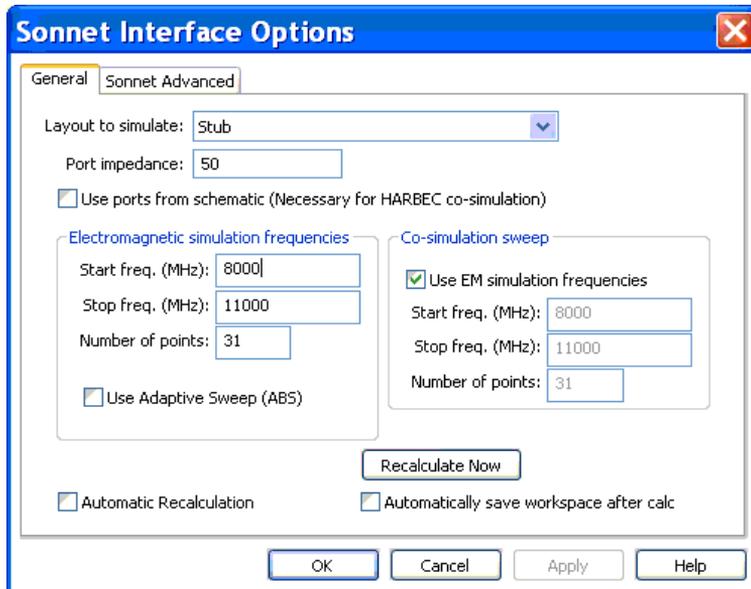
Sonnet のレイアウトを作成するには、EMPOWER のレイアウトを作成する時と基本的に同じ手順に従います。このチュートリアルでは、EMPOWER のチュートリアルで使われたものと同じスタブ例を使用します。このレイアウトを作成するには、EMPOWER 動作に関する章の、以下のセクションに従います。

- スキマティックなしでのレイアウト作成
- ボックスおよびグリッドの設定
- 汎用レイヤ
- EMPOWER レイヤ
- レイアウトの作図
- レイアウトのセンタリング
- EMPOWER ポートの配置

レイアウトが作成済みで、既に EMPOWER とシミュレーションを行っている場合は、既存のファイルを使うこともできます。レイアウトをご自分で作成されたくない場合は、例が入っているディレクトリのルートにある「LayoutOnly.wsp」からファイルをロードすることができます。

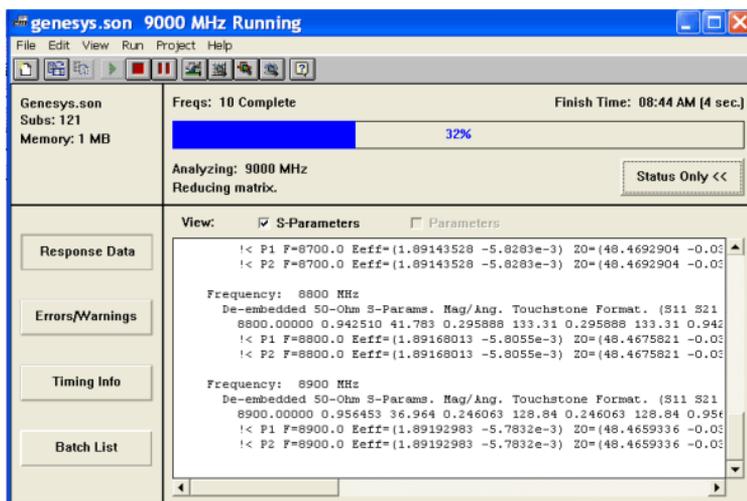
レイアウトのシミュレーションを実行

Sonnet を実行するにはシミュレーションを作成する必要があります。[ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] の [新規作成 (Create New)] アイコンをクリックし、[Sonnet シミュレーションの解析 / 追加 (Analysis/Add Sonnet Simulation)] を選択します。解析名として「Sonnet1」をアクセプトします。[Sonnet オプション (Sonnet Options)] ダイアログが下記のように表示されます。ダイアログオプションの説明は、Sonnet 変換の章を参照ください。今の時点では、以下に示されているようにプロンプトを設定してください。



8～11 Ghz の範囲で 31 サンプルポイントで開始しようとしています。

[今すぐ再計算 (Recalculate Now)] ボタンをクリックします。これによって Sonnet がレイアウトのシミュレーションを開始します。Sonnet が計算している間、下記と同様なウィンドウが表示されます。このウィンドウは計算モード中のそれぞれのステータスを表示します。このウィンドウの詳細については、Sonnet マニュアルを参照してください。



Sonnet が実行中、GENESYS も Sonnet が実行中であることを示す、シミュレーション ステータス ウィンドウを表示します。Sonnet が計算を終了すると、GENESYS は自動的にシミュレーション結果をロードし、画面をアップデートします。

結果の表示

レイアウトの Sonnet シミュレーションの後、データは GENESYS の中で表示される必要があります。これは [直交グラフ (Rectangular Graph)] などの [データ出力 (Data Output)] を作成することによって実行できます。

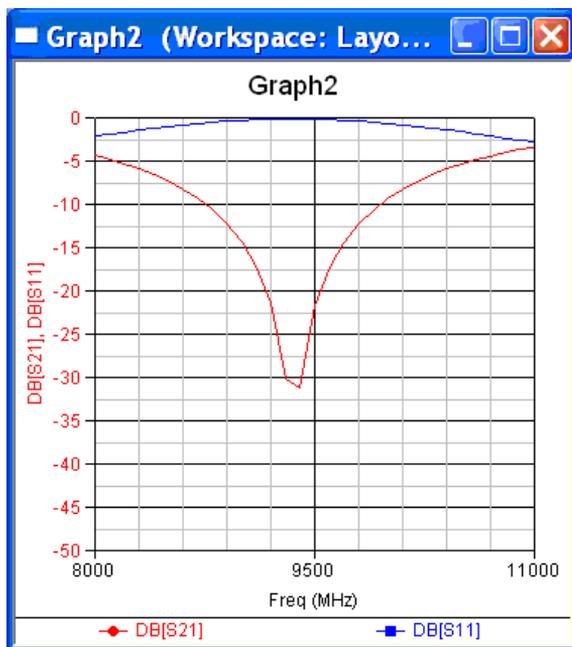
次の手順でこのワークスペースで直交グラフを作成します。

1. [ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] の [新規作成 (Create New)] アイコンをクリックし、メニューから [直交グラフを出力/追加 (Output/Add Rectangular Graph)] を選択します。デフォルト名「Graph2」をアクセプトします。
2. **重要事項** : [デフォルト シミュレーション/データまたは式 (Default Simulation/Data or Equations)] に Sonnet.Stub を選択します。
3. 最初の測定値には S_{21} 、そして2つ目の測定値には S_{11} を入力します。

注記 : シミュレーション結果を選択するには、[測定ウィザード (Measurement Wizard)] をお使いになることもできます。

シミュレーション

これにより GENESYS は下記のように、Sonnet シミュレーションから S_{21} と S_{11} を用いたウィンドウを表示します。（直交グラフの完全な説明に関しては、GENESYS ユーザガイドを参照してください。）



カレントおよびファー フィールド ビューワの使いかた

Sonnet 実行が完了すると、[Sonnet オプション (Sonnet Options)] ダイアログで [ビューワ データ作成 (Generate Viewer Data)] が選択されているときは、カレント ビューワを使用することができます。このデータを作成するとシミュレーションが遅くなるので、通常は最後の実行シミュレーションでチェックします。

注記： ビューワは集中定数エレメントの効果を含みません。

[ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] で [Sonnet シミュレーション (Sonnet simulation)] を右クリックし、[Sonnet カレント ビューワを実行 (Run Sonnet Current Viewer)] または [Sonnet ファー フィールド ビューワを実行 (Run Sonnet Far Field Viewer)] を選択します。これらのビューワの詳細については Sonnet マニュアルを参照してください。

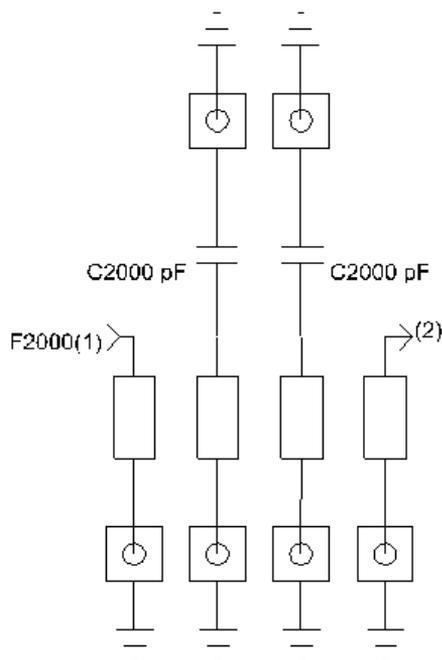
既存のスキマティックからのレイアウトの作成

この例で使われているファイルは FiltersTuned Bandpass.wsp です。この回路はチューニング可能な帯域フィルタです。この例は次のトピックを実際に示します。

- 既存のスキマティックからのレイアウトの作成
- Sonnet データを使用した「チューニング」
- Sonnet を用いた集中定数エレメントの使用

注記：これは EMPOWER チュートリアルで使われた回路と同じものです。

GENESYS において、[ファイル (File)] メニューから [例を開く (Open Example)] を選択します。次に [フィルタ (Filters)] ディレクトリから「Tuned Bandpass.wsp」を選択します。[ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] の [デザイン (Designs)] で F2000 をダブルクリックして、(以下に示されている) このフィルタのスキマティックを表示します。

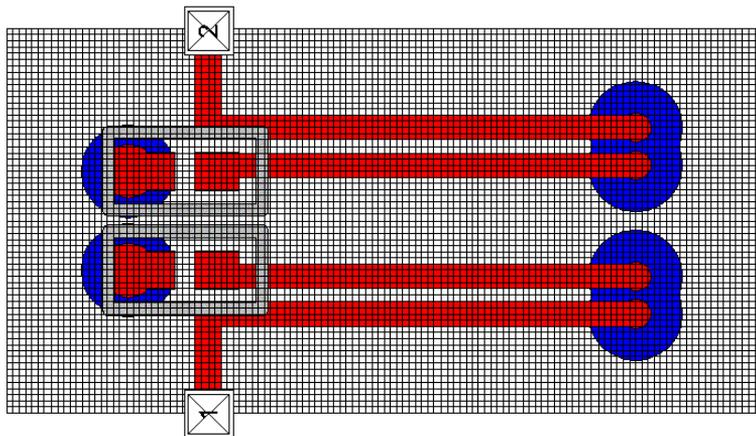


これは入出力に 50Ω 終端抵抗および変圧器結合を備えた 2 次マイクロストリップ結合帯域フィルタのスキマティックです。2 つの中心ラインの共振周波数を調整するために集中キャパシタが連結チューニング結合されています。この

シミュレーション

方法によるチューニングは中心周波数だけに影響を及ぼし、パスバンドの帯域幅は一定に維持します。

[ワークスペース ウィンドウ(Workspace Window)] の [デザイン (Designs)] で Layout1 をダブルクリックして、このスキマティックのレイアウトを表示します。下記がこの例のレイアウトです。



各集中キャパシタに対しては 0402 サイズのチップ キャパシタのフットプリントが使用されました。Sonnet 実行で集中定数エレメントが使用される時はいつも GENESYS は素子の内部ポートを作成します。このポートは次のように配置されます。

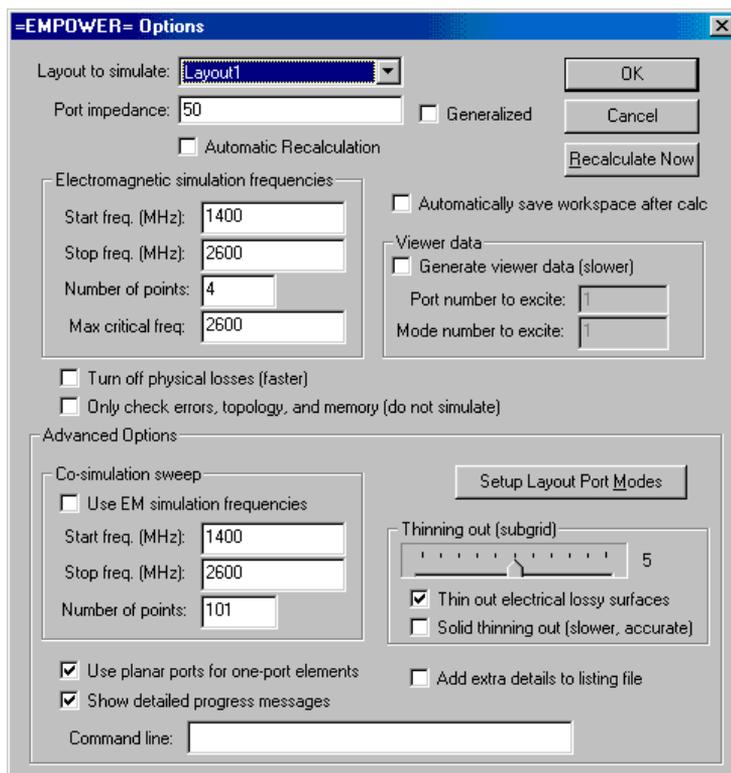
- EMPOWER プロパティ ボックスで [2 ポート素子のプレーナ ポートを使用する (Use Planar Ports for two-port elements)] にチェックが入っているときは、水平または垂直に配列された (抵抗またはキャパシタのような) 2 端子エレメントに対しては 1 ポートが作成されます。
- その他の全ての場合、エレメントの各端子に対して 1 つの内部ビア ポートが使用されます。このポートはパッド フットプリントの中心に配置され、EMPOWER は内部であっても外部であっても作成された各ポートに対してデータを書き込みます。
- 上図で描かれている「1」および「2」ポートは外部ポートの例です。

これは強力な技術であり、一旦 EMPOWER データが計算されると GENESYS でリアルタイム チューニングが使用できます。

集中定数エレメントを用いたレイアウトのシミュレーション

このワークスペースには EMPOWER シミュレーションがありますが、Sonnet シミュレーションがないので、これから追加します。[ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] の [新規作成 (Create New)] アイコンをクリックし、[Sonnet シミュレーションの解析/追加 (Analysis/Add Sonnet Simulation)] を選択します。解析名として「Sonnet1」をアクセプトします。[Sonnet オプション (Sonnet Options)] ダイアログが下記のように表示されます。ダイアログオプションの説明は、Sonnet 変換の章を参照ください。今の時点では、**以下に示されているようにプロンプトを設定してください。**

XXXXX このダイアログボックスのイラストを交換すること。ベータテスタへの注記。1400-2600 MHz、4 ポイントだけ満たすこと。1400-2600 MHz、101 ポイントを用いてコシミュレートを開始し、他のオプションはそのままにしておくこと。XXXXX

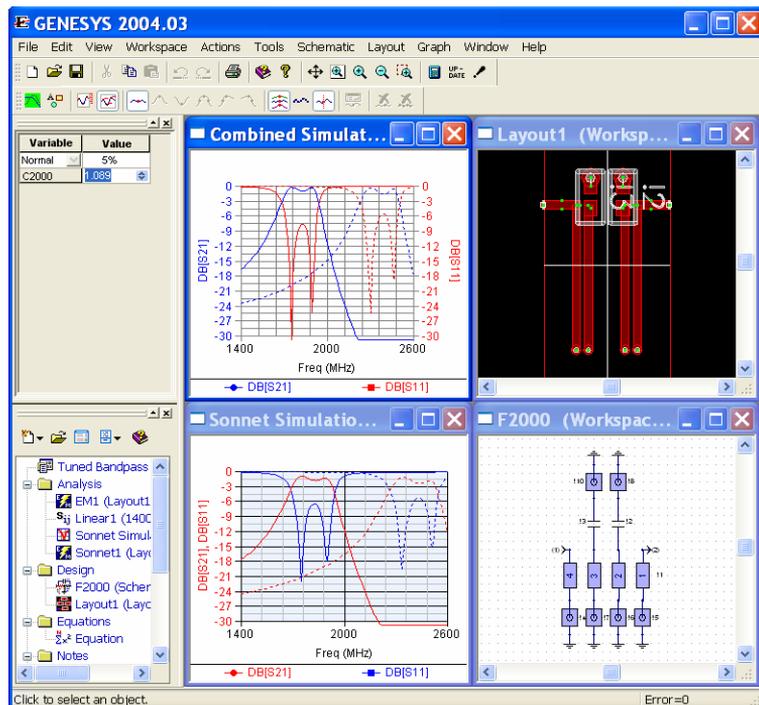


[今すぐ再計算 (Recalculate Now)] ボタンをクリックします。これによって Sonnet がレイアウトのシミュレーションを開始します。

注記： GENESYS は計算する必要があると、明らかになった時のために沢山の情報を与えられています。GENESYS は更新されていると確信した場合には [今すぐ再計算 (Recalculate Now)] をクリックしても何も動作しません。GENESYS にゼロから再計算を強制する場合には、ワークスペース ウィンドウの [Sonnet シミュレーション (Sonnet Simulation)] を右クリックして [すべての内部ファイルを削除 (Delete all internal files)] を選択します。

EMPOWER 計算が完了すると、計算データが表示されます。

[Sonnet シミュレーション (Sonnet Simulation)] という直交グラフを追加し、[デフォルト シミュレーション (Default Simulation)] を「Sonnet1.Layout1」に変更します。グラフに S_{21} と S_{11} を追加します。以下のグラフは Sonnet シミュレーションの後の GENESYS を示しています。Sonnet シミュレーションは、前に表示された EMPOWER シミュレーションとは多少異なります。これは EMPOWER がこの例において、損失なしで実行されたからです。



EMPOWER 動作の章での [集中定数エレメント (Lumped Elements)] および [リアルタイム チューニング (Real-Time Tuning)] の情報は [Sonnet シミュレーション (Sonnet Simulations)] にも当てはまるので、これらのセクションを参照してください。

Sonnet ネイティブ エディターでのジオメトリの表示

注記 : このコマンドは [マニュアル モード (Manual Mode)] がオフのときのみ、利用できます。

Sonnet シミュレーションをお使いの場合、シミュレーションを実行する前に、メモリ使用量およびサブセクションのプレビューをお奨めします。これを行うには、[ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] の Sonnet シミュレーションを右クリックし、[Sonnet ネイティブ エディタで表示 (View in Sonnet Native Editor)] を選択します。Sonnet ネイティブ ジオメトリ エディタが表示されます。

メモリ量を推定するには [解析 (Analysis)] メニューから [メモリーを推定 (Estimate Memory...)] を選択します。サブセクションを表示するには [メモリーを推定 (Estimate Memory...)] を選択してから [サブセクションの表示 (View Subsections...)] を押します。

注記 : 加えた変更は GENESYS ワークスペースには保存されません、そしていつでも上書きされます。Sonnet ジオメトリ ファイルを変更するときは、最初に [マニュアル モード (Manual Mode)] に切り換えます。

第 15 章： Sonnet インターフェース：デザイン フロー

Sonnet フロー概要

Sonnet インターフェース フローでの通常の手順は以下の通りです。

1. 電磁界解析用のレイアウトの作成。
2. Sonnet 解析の作成。
3. Sonnet 解析を再度計算する。GENESYS では次のことが行われます。
 - a. レイアウトを Sonnet (.son) ファイルに変換し、ワークスペースで保存する。
 - b. GENESYS ファイルが「WorkSpace.wsp」で、Sonnet 解析が「Sonnet1」であることを前提として、次のディレクトリ構造およびファイルを GENESYS ワークスペースが保存されているところと同じディレクトリに書き出す。
 - i. Workspace_Sonnet\Sonnet1 (ディレクトリ)
 - ii. Workspace_Sonnet\Sonnet1\Genesys.son (Sonnet ジオメトリ ファイル)
 - iii. Workspace_Sonnet\Sonnet1\SonData\Genesys (ディレクトリ)
 - c. Sonnet を実行する。Sonnet ファイルには「FILEOUT」ディレクトリが含まれており、これは Sonnet が Y パラメータ データを Workspace_Sonnet\Sonnet1\Genesys.yp に書き出すように指示。
 - d. Workspace_Sonnet\Sonnet1\Genesys.yp を読み取り、ワークスペースに保存。
 - e. Workspace_Sonnet\Sonnet1\Genesys.yp およびレイアウト上のあらゆる集中定数エレメントを含む結果を作成する。
4. Sonnet の結果をグラフに追加する。
5. レイアウトまたは Sonnet 設定に変更が加えられると、再計算 (ステップ 3) が再度行われます。しかしながら、再計算を行う前に、ユーザは既存のシミュレーション データを削除するオプションがあります。詳細は「内部シミュレーション データの削除 (Deleting Internal Simulation Data)」のセクションを参照ください。

内部シミュレーションデータの削除

GENESYS がレイアウトまたは Sonnet シミュレーション オプションに対する変更を検出すると、ユーザは既存のシミュレーション データを削除する選択肢を与られます。さらにユーザは、[ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] の Sonnet シミュレーションを右クリックし、[内部シミュレーションデータの削除 (Delete Internal Simulation Data)] を選択することができます。次のことが行われます。

1. Genesys.son (Sonnet ファイル) と Genesys.yp (シミュレーション結果) ファイルを含む、ワークスペース内に保存されているすべてのデータを削除。
2. 次回 Sonnet を実行する際、「WorkSpace_Sonnet\Sonnet1\SonData\Genesys」ディレクトリを空にする。これにより、以前に Sonnet に保存されたシミュレーション結果が全てクリア。

GENESYS は Sonnet キャッシング メカニズムと協力して、さまざまな利点を生み出します。

- Sonnet は実行する前に、シミュレーション データの統一性をチェック。
- 周波数ポイントが追加された場合、以前に計算したポイントは再度計算する必要がない。

協力体制の副作用として、Sonnet がジオメトリ上の変更を見て、再計算を拒否することがあります。このような状況においては単に、[ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] の Sonnet シミュレーションを右クリックし、[内部シミュレーションデータの削除 (Delete Internal Simulation Data)] を選択します。

マニュアル モード

上記に説明した、通常のデザイン フローの他に「マニュアル モード」デザイン フローもあります。[マニュアル モード (Manual Mode)] は GENESYS インターフェースを通して利用することができない Sonnet 機能を使う必要がある場合にのみ使用します。[マニュアル モード (Manual Mode)] の使用を試みる前に、Sonnet の動作に精通してください。[マニュアル モード (Manual Mode)] のデザイン フローは以下の通りです。

1. 電磁界解析用のレイアウトの作成。GENESYS は EMPOWER ポートを数え、Y パラメータ データにいくつかのポートを予想すべきかを決定するので、最低レイアウト上に EMPOWER ポートを配置する必要があります。
2. Sonnet 解析の作成。

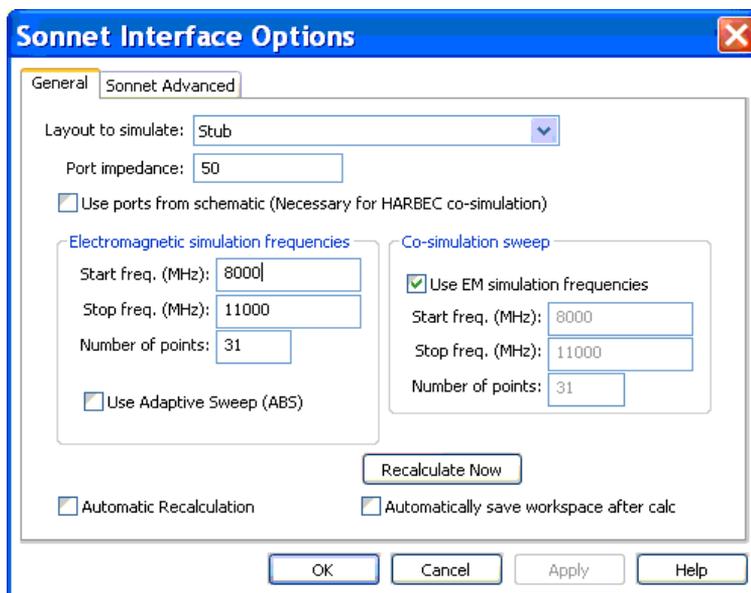
3. 希望に応じて、通常のフロー モードを用いて、Sonnet 解析を再度計算する。
4. [ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] において Sonnet シミュレーションを右クリックし、[マニュアル モード (Manual Mode)] を選択する。
5. [ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] において Sonnet シミュレーションを右クリックし、[マニュアル モード : Sonnet ファイルを作成し、ディスクにエクスポートする (Manual Mode : Create Sonnet Files and Export to Disk)] を選択する。この手順では、オプションとしてカレント レイアウトから Genesys.son ファイルを再作成してから、Genesys.son と Genesys.yp ファイルを Workspace_Sonnet\Sonnet1 ディレクトリにエクスポートする。
6. [ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] において Sonnet シミュレーションを右クリックし、[マニュアル モード (Manual Mode)] を選択する。[Sonnet ネイティブ エディタ (Sonnet Native Editor)] で編集する。Sonnet ファイルに希望する変更を加える。次の制限が当てはまります。
 - a. [レイアウト (Layout)] のポート数を変更しない限り、Sonnet ファイルのポート数を変更しないこと。
 - b. 集中定数エレメントのポート構成を変更しないこと。さもないと結果が間違っただけのものになることがある。
 - c. Genesys.yp 出力を削除しないこと。しかしながら、このファイルの Touchstone フォーマット オプションを変更することはできる。
 - d. Sonnet ファイルを新しい名前として保存したり、新しい場所に保存すると、GENESYS は再度読み取ることができなくなる。これを行うには、結果として生じた Y パラメータ データ ファイルにリンクを作成して、データを GENESYS に読み戻す。
7. Sonnet エディタにいる間、ファイルを保存そして解析する。
8. [ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] において Sonnet シミュレーションを右クリックし、[マニュアル モード (Manual Mode)] を選択する。[計算結果 (Calculation Results)] を GENESYS に読み込む。これにより Genesys.son と Genesys.yp ファイルは GENESYS ワークスペースに読み込まれ、すべての出力グラフがアップデートされる。
9. さらにシミュレーションに変更を加える場合は、ステップ 6 と 7 を繰り返す。

シミュレーション

[マニュアル モード (Manual Mode)] では、アップデートされた Genesys.son ファイルはワークスペースに戻されて保存され（上記ステップ 8）、Sonnet ファイルを別に保存する必要がなくなります。このファイルを他方に渡し、変更された Sonnet ファイルのエクスポート、編集、解析およびアップデートができます。

第16章： Sonnet インターフェース：変換の詳細

[Sonnet オプション ダイアログ ボックス (Sonnet Options Dialog Box)]



[全般タブ (General Tab)]

[レイアウトからシミュレート(Layout to Simulate)] - 現行のワークスペースの中でどのレイアウトをシミュレートするかを選択できます。ワークスペースは複数のレイアウトおよび複数のシミュレーションを持つことが可能なので、同じワークスペース内で多くの異なったレイアウトをシミュレーションできます。

[ポート インピーダンス (Port Impedance)] - Sonnet の結果がグラフ上にプロットされたとき、このインピーダンスに正規化されます。インピーダンスをコマで分離することによって、各ポートに対して異なったインピーダンスを使用することができます。他の全てのインピーダンスの代わりに 1-ポート Device Data File を使って、周波数依存性または複雑なポート インピーダンスを指定することができます。

注記：このインピーダンスは Sonnet では使われていないので、すべてのビューワ データから発生したデフォルトは 50 Ω となります。50 Ω 以外のポートに対しては、Sonnet のカレント ビューワ内のポート インピーダンスを変更する必要があります。

[スキーマティックからのポートの使用(Use Port From Schematic)] - HARBEC ハーモニック バランス 非線形シミュレーションとコ シミュレーションするときはこのボックスにチェックを入れます。これによって全てのソースおよびインピーダンスがシミュレーションに考慮されます。

注記：このシミュレーションを HARBEC シミュレーションのベースに使用するときには[スキーマティックからのポートの使用 (Use Port From Schematic)] に確実にチェックをいれます。さもなければ非線形ソースが利用できません。

[電磁界シミュレーション周波数 (Electromagnetic Simulation Frequencies)] - Sonnet を実行する周波数を指定します。シミュレーション中に集中定数エレメントがあるときは、ここでは周波数の数を減少し、以下の指定されたコシミュレーション スイープの中で周波数の数を増加させることができます。

[開始周波数 (MHz) (Start Freq(MHz))] - 解析する最小周波数を指定します。

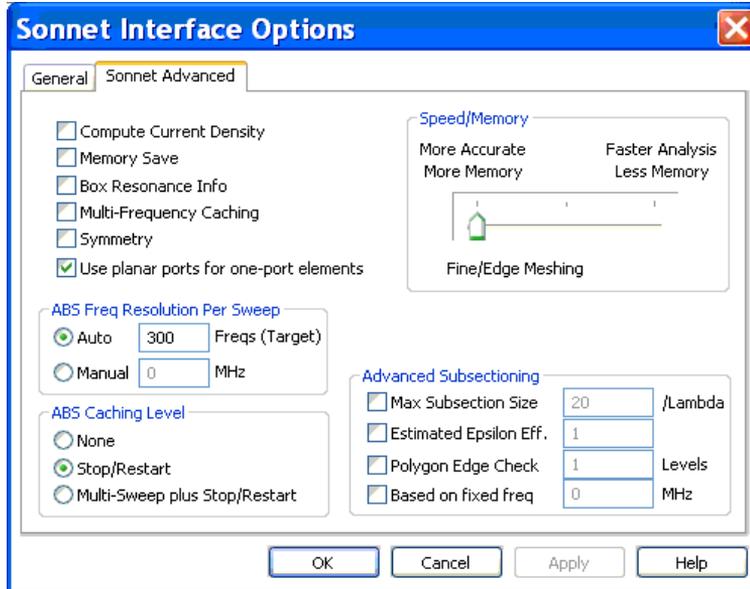
[停止周波数 (MHz) (Stop Freq(MHz))] - 解析する最大周波数を指定します。

[ポイントの数 (Number of Points)] - 解析する周波数ポイントの数を指定します。ポイントは上記で指定された低い周波数と高い周波数の間で線形に分布されています。ABS スイープにおいては、異なるコ シミュレーション スイープが指定されない限り、このポイント数を GENESYS グラフに使用します。

[アダプティブ スイープを使用 (AS) (Use Adaptive Sweep (ABS))] - Sonnet の [アダプティブ スイープ (Adaptive Sweep)] シミュレーションをオンにします。このボックスがチェックされていると、上記の[ポイント数 (Number of Points)] エントリは Sonnet に送付されません。

[コ シミュレーション スイープ (Co-Simulation Sweep)] - 集中定数エレメント + Sonnet データの組み合わせのシミュレーションを実行する周波数を指定します。シミュレーションに集中定数エレメントがない場合は、[EM シミュレーション周波数を使用 (Use EM Simulation Frequencies)] ボックスに通常チェックします。集中定数エレメントを用いた回路の場合、上記の電磁シミュレーション周波数に対して、より少ないポイントを利用することにより、集中定数素子が追加される前に、コ シミュレーションが Sonnet データを補間して、しばしば時間を節約することができます。

[計算後に自動的にワークスペースを保存 (Automatically save workspace after calc)] - このチェックボックスは停電の際に夜通しのバッチを守るために便利です。このボックスをチェックすると、ワークスペース全体が実行のたびに強制的に保存されます。



[アドバンスド (Advanced)] タブは高度な Sonnet オプションのカスタマイズを可能にします。これらのオプションの詳細は、Sonnet 参照マニュアルを参照してください。

[1 ポートエレメントのプレーナポートを使用する (Use planar ports for one-port elements)] - このボックスはほとんどの場合、必ずチェックしておく必要があります。チェックされていないと、EMPOWER は各端子において z 方向ポートをすべてのデバイスに対して使用します。チェックされていると、EMPOWER は抵抗やキャパシタ (2つの端子、1ポートデバイス) のようなエレメントに対して、インラインポートを使用します。これが問題を起す唯一の状況は、エレメントの「下」にラインがある場合です (例えば、抵抗パッドと同じ金属レイヤ中の、抵抗にある2端子間にラインを通す場合)。

注記 : EMPOWER プレーナポートは、エレメントが端子のみの場合がありますが、伝送回線などの、接地基準エレメントに使用することができません。

GENESYS がサポートしている Sonnet 機能

- [最終変更日 (Last modify date)] – 現在の日付が必ず書き込まれます
- [ユニット設定 (Unit Setup)] – 出力は必ず MHz と mm で行われます。マニュアル モードでは、編集を容易にするために、これらの単位を Sonnet で切り替えることができます。
- [基準面 (Reference planes)] – ボックス内のみでシフトされます
- [上下カバー (Top and Bottom Cover)] – 導波路ロード、自由空間、ノーマル、抵抗。
- [金属の種類 (Metal Types)] – ノーマル、抵抗、TMM。
- [ボックス設定 (Box Setup)] – 寸法およびセル カウントはレイアウト [ボックス設定 (Box Setup)] にあります。
- ポート – 標準、ビア、および非接地内部ポート。レイアウト X と Y 方向ポートは非接地内部ポートになります。
- 対称。
- ポリゴン – レイアウト上のすべてのものはサポートされています (テキストおよびポアを含む)。
- ビア ポリゴン – ビアホールを作成したり、レイヤに対して、XYZ または Z 方向の電流を指定することによりサポート
- 周波数設定
 - [アダプティブ スweep (ABS)] および標準スweep (ポイント数) の両方がサポートされています。
 - [ABS キャッシング レベル (ABS Caching Level)]、[ABS スweep 用、マニュアル周波数分解ターゲット (Target for Manual Frequency Resolution for ABS Sweep)]、[ABS スweep 用、自動周波数分解ターゲット (Target for Automatic Frequency Resolution for ABS Sweep)] がサポートされています。
- シミュレーションのオプション
 - ディエンベッド
 - 電流密度を発生
 - [ボックス共振情報 (Box Resonance Info)]
 - [メモリ セーバー (Memory Saver)]

- [マルチ周波数キャッシング (Multi-Frequency Caching)]
- [スピード/メモリー/精度のトレードオフ (Speed/memory/accuracy tradeoff)]
- ラムダごとのサブセクション
- [概算イプシロン効果 (Estimated Epsilon Effective)]
- [最大サブセクション周波数 (Maximum Subsectioning Frequency)]
- [ポリゴン エッジ チェック (Polygon Edge Checking)]。
- 回答ファイル入力 – 必ず GENESYS.yp ファイルを出力します。
- [クイック スタート ガイド情報 (Quick Start Guide Info)] – [Sonnet インターフェース (Sonnet Interface)] が終了したタスクに関する情報を出力します。

[GENESYS インターフェース (GENESYS Interface)] でサポートしていない Sonnet 機能

カテゴリー 1 – 周波数、ジオメトリおよびサブセクションに直接影響を与える Sonnet 機能

- 自動接地ポートおよびその基準面のシフト
- ポリゴン説明
 - 対角および等角フィルタイプ (必ず階段式)
 - 最小・最大サブセクションサイズ (xmin,xmax,ymin,ymax)
 - 等角メッシュ サブセクション最大長
 - エッジメッシュ設定 (必ずオン)
- [ジオメトリ サブディバイダ (Geometry Subdividers)]
- [パラレル サブセクション (Parallel Subsections)]
- [金属の種類および機能 (Metal Types and Features)]
 - 電流比
 - Rdc/Rrf タイプ
 - [一般金属 (rdc, rrf, xdc, ls) (General Metal (rdc, rrf, xdc, ls))]
 - センス メタル

シミュレーション

- NumSheets は厚い金属に対しては必ず 2 に設定してあります。
- ブリック ポリゴンおよびその誘導体素材
- 誘導体での電磁損失
- 誘導体レイヤでの Z パーツ パラメータは、必ず GENESYS から 2 に設定します
- すべての高度および複数周波数スイープはサポートされていません
 - エクスポネンシャル スイープ
 - 周波数用の外部ファイル
 - 最大および最小周波数レスポンスを見つける
- レスポンス ファイル フォーマット (例、Databank、Scompact、Excel CSV)
- SPICE netlist 発生
- 負の数および/または重複した数字を持つポート (プッシュ/プルなど)

カテゴリ 2 – GENESYS の他の方法で利用できる機能

- Sonnet ファイルのポート インピーダンス: ビューワ データは Sonnet では $50\ \Omega$ のデフォルトとなります。
- ジオメトリ パラメータ
- 最適化
- パラメータ スイープ

カテゴリ 3 – シミュレーションに直接影響を与えない、コストメティック Sonnet 機能

- エッジ ビア（通常のビアホールまたは代わりに Z 方向ポリゴン レイヤを使用する）
- 中程度および高重要度ファイルの変更日
- ファイルのコメント
- 基準面用のポリゴン スナップ
- 金属パターン ID セレクション
- ステップサイズを用いたスイープ（代わりにポイント数を使用）
- ジオメトリ上の寸法

[Sonnet インターフェース (Sonnet Interface)] でサポートされていない EMPOWER 機能

- 次の EMPOWER 機能は Sonnet インターフェースでサポートされていません。
- [金属の表面の粗さ (Surface Roughness for metal)]
- スロット モード レイヤ
- 電磁カバー
- マルチモード ポートおよびマルチモード伝送ライン回路モデル
- X のみおよび Y のみの電流方向（XYZ および Z 方向はサポート）
- 下方向厚みのある導体
- 損失のない金属または抵抗膜用の厚い金属モデル
- ライン方向（ポリゴンに接触することにより、自動的に決定）
- 同じサイドウォールの、異なる基準面のシフト
- 負の基準面シフト（ボックス外の基準面）
- 指定された HARBEC シミュレーション周波数の使用（それ以外の HARBEC コシミュレーションは完全にサポート）
- 同一レイアウト上のミキシング基準および非ディエンベッドポート
- コンポーネント パッドはレイヤに対して [現行方向 (Current Direction)] 設定は使わず、XY 電流を使って必ず出力される。すなわち、XYZ ま

シミュレーション

たは Z レイヤ上のコンポーネント パッドは、標準的 [XY 電流方向 (XY Current Direction)] を用いて必ず出力される。手動に配置されているパッド (コンポーネントの一部ではない) は、方向設定を順守する。このビヘイビアは、コンポーネント パッドが現行の方向設定を順守する EMPOWER とは違います。

第 17 章： EMPOWER：プレーナ 3 次元電磁界解析

EMPOWER：基本

概要

全ての電磁界シミュレーションの主要部は、マックスウェルの方程式の近似解が得られるように、問題を管理できる程度のサイズに分割することです。電磁界シミュレータは伝統的に次の 3 つの主要なカテゴリに分類されます。2 次元、3 次元および 2-1/2 次元です。

2 次元シミュレータ

2 次元シミュレータは 1 方向に無限に連続する問題のみを解析できます。理想的な伝送ラインおよびいくつかの導波管の問題がこのカテゴリに入る実際の問題です。2 次元シミュレータは線路の切片を解析し、伝搬、インピーダンスおよび結合値を決定します。2 次元シミュレータは、利用できるシミュレータの中では速度は最高ですが、最も制限されたタイプです。

3 次元シミュレータ

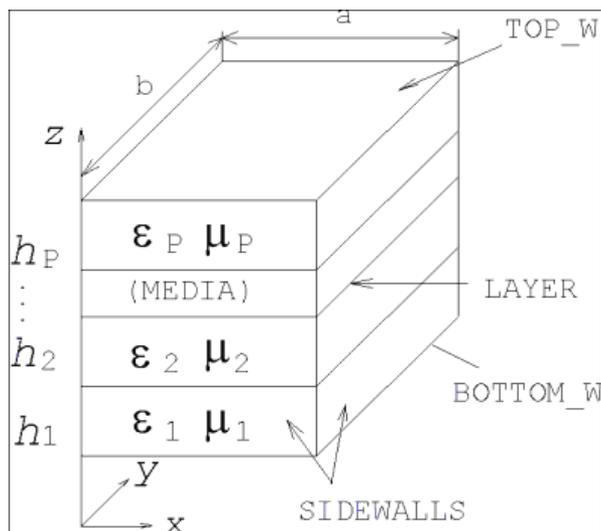
3 次元シミュレータは事実上、全てのタイプの問題を解析することができ、同軸 T ジャンクション、レーダ ターゲットからの反射またはその他の、真に 3 次元問題のような非平面形状の対象物に対して使用するのに理想的です。3 次元シミュレータは、ほとんど全ての問題を解析できるという利点を持っていますが、非常に遅いという欠点を持っています。

2-1/2 次元シミュレータ

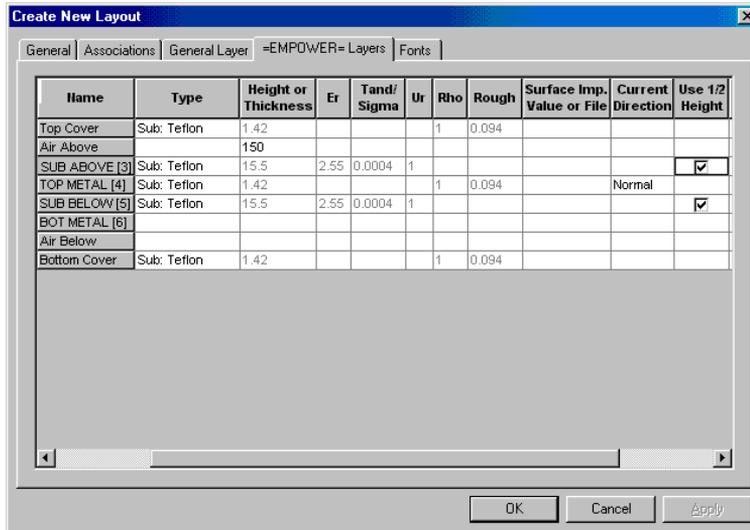
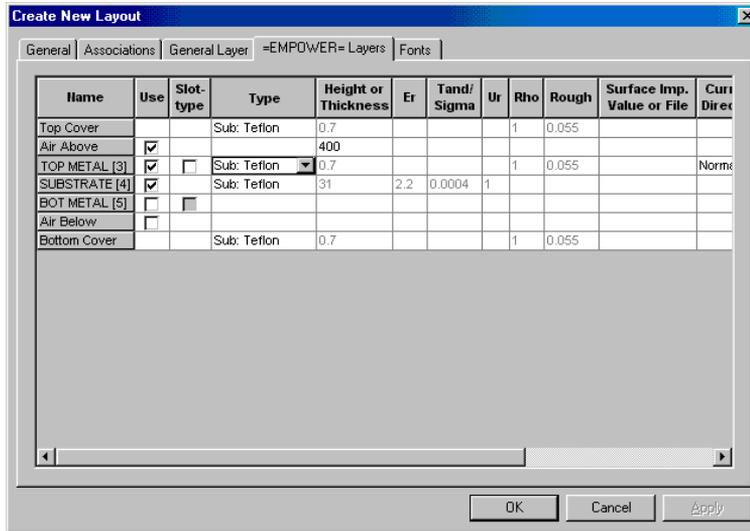
2-1/2 シミュレータは主として平面（マイクロストリップ、ストリップラインなど）回路用に設計されたシミュレータです。これは 3 次元シミュレータよりも柔軟性が少ない代わりに 3 次元シミュレータよりもずっと高速でマイクロストリップ、ストリップラインおよびその他類似の形状に対して理想的に適合しています。EMPOWER は最新の 2-1/2 次元シミュレータです。EMPOWER は平面問題の他にビアホールの問題や z 方向電流を解決することができるので、 z 方向電流を解決できない本来の 2-1/2 次元シミュレータよりも 1 クラス上に位置されています。事実上、大抵の人々は EMPOWER が z 方向電流を取り扱えるので 3 次元シミュレータと見なすかもしれません。

基本的幾何学形状

EMPOWER の中では全ての回路は以下に示すように方形ボックスで存在します。メディア（基板）レイヤは各々特定の誘電率、透磁率および損失係数を持っています。少なくとも 2 つのメディア レイヤが存在する必要があります。1 つはメタル レイヤの上側で 1 つは下側です。標準のマイクロストリップに対しては、下側に基板があり、上側にエアがあります。中空のマイクロストリップに対しては 3 つのメディア レイヤ（2 つのエアおよび 1 つの基板）があります。埋め込みのマイクロストリップに対しても 3 つのメディア レイヤ（2 つの基板および 1 つのエア）があります。



以下のダイアログは 2 つの典型的な [EMPOWER レイヤ(EMPOWER Layer)] タブの設定を示しています。1 つはマイクロストリップに対するもので、もう 1 つはストリップライン（トリプレート）に対するものです。[EMPOWER レイヤ(EMPOWER Layer)] タブは、EMPOWER 実行を設定するときのほとんどのエラーの原因になるので、新規に問題を作成するときは注意してチェックする必要があります。



[EMPOWER レイヤ(EMPOWER Layer)] タブは、次のメイン エントリから構成されています。

[**トップ カバー(Top Cover)**] および [**ボトム カバー(Bottom Cover)**] - 回路のトップおよびボトム カバー（接地面）を記述します。

- 無損失。カバーは理想的なメタルです。
- 物理的記述。カバーは損失ありです。これらの損失は Rho（銅を規準とした比抵抗）、厚みおよび表面の粗さで記述されます。

シミュレーション

- 電氣的記述。カバーは損失ありでインピーダンスまたはファイルで記述されます。詳細については以下のメタルの下の記述を参照してください。
- 半無限導波管。カバーなしで、回路はボックスの壁および最上部の基板/エア レイヤが上または下に無限（無限の管）に存在していると仮定してシミュレーションされます。
- 磁気の壁。カバーは理想的な磁気の壁です。この設定は高度なアプリケーションでのみ使用されます。
- SCHEMAX 基板。1つの SCHEMAX 基板を選択するとカバーはその rho、厚み、および粗さパラメータをその基板の定義から入手します。[SCHEMAX] および [LAYOUT] でパラメータをコピーする必要がないように可能な場合はいつもこの設定を使用することをお勧めします。

[上部エア] および [下部エア] - 通常ボックスのトップのエア（マイクロストリップのように）またはボックスのボトムのエア（空中のマイクロストリップ）が存在するので、これらのケースのために特別入力が準備されています。ボックスにチェックを入れてこれらのレイヤを ON することは、基板レイヤに $\epsilon_r=1$ 、 $\mu_r=1$ および指定された高さ（ディメンジョン タブで指定された単位で）を追加することと等価です。

注意：新規に回路を設定するとき、しばしばこれがこのタブで変更されるべき唯一のパラメータであり、忘れ易いので、上側のエアの高さを確実にチェックします。

[メタル レイヤ(Metal Layers)] - [LAYOUT] の中でメタル レイヤ間にメディアレイヤがなければ、複数のメタル レイヤ（例えば、銅および抵抗膜）は自動的に1つの EMPOWER 信号レイヤに変換されます。

[全般レイヤ(General Layer)] タブの全てのメタルレイヤも [EMPOWER レイヤ(EMPOWER Layer)] タブに示されています。これらのレイヤは、メタルや抵抗膜のような他の導体材料のために使用されます。次のタイプが利用可能です。

- 無損失。レイヤは理想的なメタルです。
- 物理的記述。レイヤは損失ありです。これらの損失は Rho（銅を規準とした比抵抗）、厚みおよび表面の粗さで記述されます。
- 電氣的記述。レイヤは損失ありで、インピーダンスまたはファイルで記述されます。このタイプは抵抗膜および超電導体に共通に使用されます。このボックスへの入力が数字の場合は、1 平方当りの材料のインピーダンスを Ω 単位で指定します。このボックスへの入力がファイ

ル名の場合は、周波数に対するインピーダンス データを含む 1 ポート データ ファイルを指定します。このデータ ファイルは必要に応じて内挿/外挿されます。1 ポート データ ファイルの説明に関しては、リファレンスマニュアルを参照してください。

- **SCHEMAX 基板。** 1つの SCHEMAX 基板を選択するとレイヤーはその rho、厚み、および粗さパラメータをその基板の定義から入手します。[SCHEMAX] および [LAYOUT] でパラメータをコピーする必要がないように、可能な場合はいつもこの設定を使用することをお勧めします。

注意：厚みは損失の計算だけに使用されます。厚みはその他には使用されず、全てのストリップはそれらがあたかも無限に薄いかのようにして計算されます。

メタルレイヤは次の 3 つの追加設定が利用可能です。

[スロット タイプ (Slot Type)] - このボックスにチェックを入れて EMPOWER の中で非-無損失-メタル エリア (メタル エリアに対して) をシミュレーションします。これを接地面および他の本来メタルであるレイヤのために使用します。これを損失ありのレイヤで使用しないでください。詳細については EMPOWER マニュアルを参照してください。

[電流方向 (Current Direction)]- このレイヤで電流がどちらの方向に流れるかを指定します。デフォルトでは X および Y 方向です。長く伸びた一般的なラインで、時間を節約するために [X のみ (X Only)] または [Y のみ (Y Only)] を使用することができます。[Z アップ (Z Up)]、[Z ダウン (Z Down)]、および [XYZ ダウン (XYZ Down)] は次の上下のレベルまたはカバーへ行く、厚いメタルを作成することを可能にします。

[厚いメタル (Thick Metal)] - このボックスにチェックを入れると EMPOWER は厚みを含んだメタルのモデルを作成します。EMPOWER は互いに接近した 2 つのメタル レイヤを配置し、互いのトレースをコピーし、それらを z 方向電流で接続してこれを実行します。厚いメタルが使用された場合、[電流方向 (Current Direction)] は無視されます。

エレメント Z ポート (Element Z-Ports) - この設定は自動的に作成されるエレメント ポートのデフォルト方向を、上のレベルまたは下のレベルに指定します。一般に、この方向として電氣的に最も短いパスを選択する必要があります。

[基板/メディア レイヤ (Substrate/Media Layer)] - [全般レイヤ (General Layer)] タブからの全ての基板レイヤも [EMPOWER レイヤ (EMPOWER Layer)] タブに示されています。これらのレイヤは基板や他のトップカバー内の吸収体のような、

シミュレーション

連続する材料に使用されます。無限の数の基板／メディア レイヤを使用できます。次のタイプが利用できます。

- 物理的記述。レイヤは損失ありです。これらの損失は高さ ([ディメンジョン タブ(Dimension Tab)]で指定された単位で)、 ϵ_r (比誘電率)、 μ_r (比透磁率、通常は1) および T_{and} (損失係数) で記述されます。
- SCHEMAX 基板。1つの SCHEMAX 基板を選択するとカバーはその高さ、 ϵ_r 、 μ_r 、 T_{and} パラメータをその基板の定義から入手します。[SCHEMAX] および [LAYOUT] でパラメータをコピーする必要がないように、可能な場合はいつもこの設定を使用することをお勧めします。

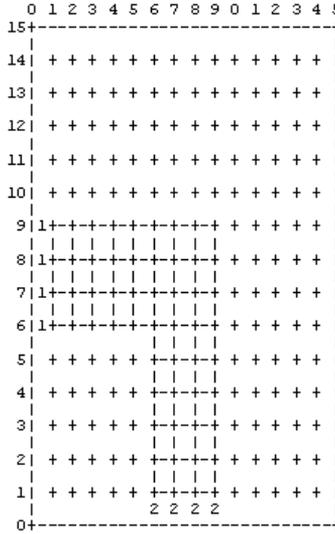
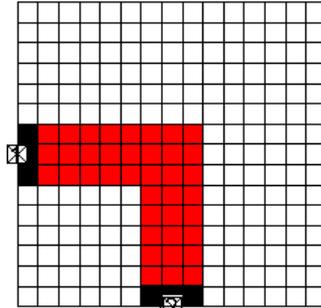
注意： 真のストリップライン (トリプレート) では、[SCHEMAX] から基板を使用する場合には、[1/2 高さ使用(Use 1/2 Height)] チェック ボックスに必ずチェックを入れます。これによって EMPOWER は各基板 (上および下) に対して [SCHEMAX] 基板高さの 1/2 を使用し、両方のメディアレイヤの全体の高さが適正になります。

メタライゼーションおよび基板レイヤに加えて、ビアホールおよび z 方向電流を使用できます。これらの電流はメタライゼーションレイヤから1つのメディア／エアレイヤを経由してトップまたはボトム壁へ流れることができます。

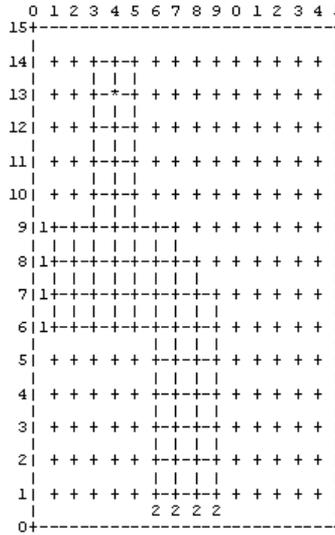
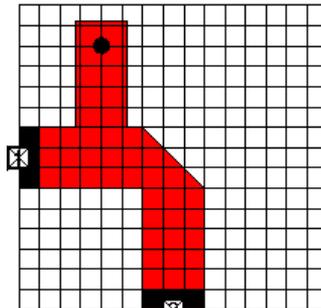
導電体材料の他にメタルレイヤには z 方向を向いた位置にポートが配置されます。

グリッド

全ての導体表面およびポートはグリッド上にある必要があります。このグリッドは規則正しい直交のセルから構成されています。グリッドにマイクロストリップ ベンドをマッピングした例が以下に示されています。左半分の図は [LAYOUT] で示される回路を示しています。回路の右半分は EMPOWER リスティング ファイルの一部を示しています。リスティング ファイルの各プラス記号 (+) はレイアウトに示されているように2つのグリッドラインの交点を表しています。プラス記号を接続するラインはメタルを表しています。数字はポートの位置を表しています。ポートはメタルの代わりにグリッド上に配置されており、ポートはラインの終端と接地 (壁) の間を接続し、各ポートは予期されるように接地基準を持っていることにご注意ください。

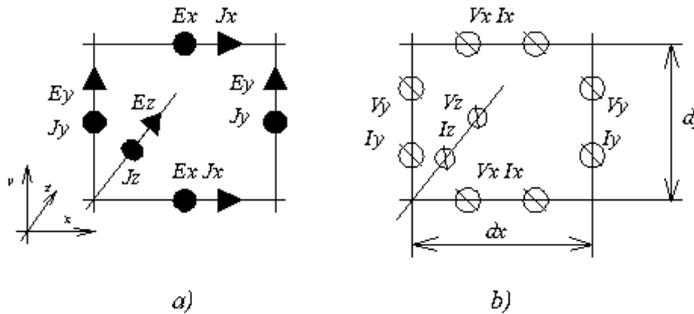


EMPOWER は回路を解析する前に、全ての表面を最近接のグリッドセルに移動します。EMPOWER はストラクチャをセルの境界にマップするのであって、セルの内側の空間にはマップしません。正確にグリッドにフィットしない、もう少し複雑な例が以下に示されています。この図の中で 次の 3 つの重要な点があります。1) 上方へ伸びるスタブ ラインは大体 2 1/2 セルの幅ですが、EMPOWER では 2 セルの幅として近似されています。2) 面取りされたコーナは「階段状に」で近似されています。3) スタブの終端近傍のビアホールは、リスティングではアスタリスクで表示されています。



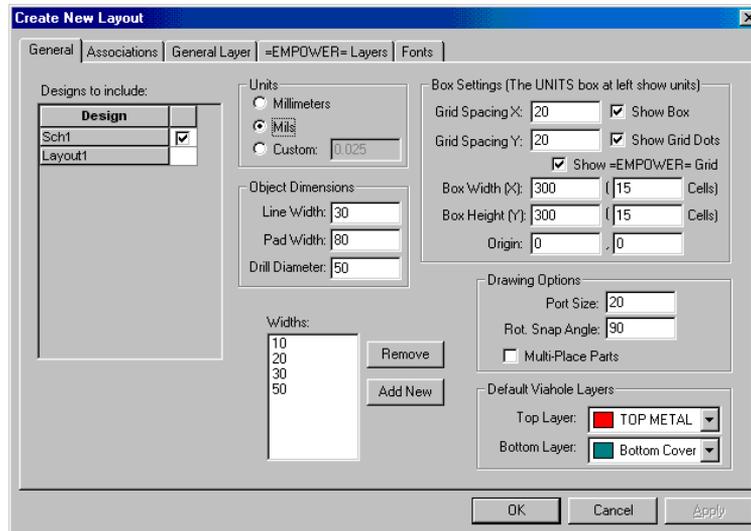
シミュレーション

以下に拡大図が示されており、メタルとポートがどのようにセルの境界に配置されているかを見ることができます。グリッドに沿ってメタルまたは導体が存在すると、EMPOWER はグリッドに沿って接続を閉じます。EMPort が存在するとラインは開放され、最終データ ファイルの中でポートへ向かうオープンサーキットを作成します。



注記： ラインを細くしてラインをセル間の 1 つの境界（セル幅ゼロ）にマップすることが可能です。これは規則上可能ですが通常はお勧めしません。これは DC 電源ラインのような精度を必要としない、非常に大きなインピーダンスラインのためだけに使用されるべきです。

グリッドおよびボックスは [レイアウト ファイル (LAYOUT File)] メニューから [プリファレンス (Preference)] ボックスの中のパラメータによってコントロールされます。以下に示された [ディメンジョン (Dimension)] タブは上記のマイクロストリップ ベンドのために設定されたものです。



次のエントリは特に EMPOWER に関係しています。

[EMPOWER グリッド表示(Show EMPOWER Grid)] - このチェック ボックスにチェックを入れると [LAYOUT] が直交の EMPOWER グリッドを表示します。これはさらに X および Y デイメンジョンに異なったグリッド間隔を与えることができます。EMPOWER のためのレイアウトを作成するときは何時でもこのチェック ボックスにチェックをいれることを強くお勧めします。

[グリッド間隔 X(Grid Spacing X)] および [グリッド間隔 Y(Grid Spacing Y)] - これらは [LAYOUT] のグリッド スナップ機能および EMPOWER 実行のセル サイズをコントロールします。[EMPOWER グリッド スタイル(EMPOWER Grid Style)] を使用するとき、必要に応じて各グリッド ライン間に、ライン中心が 2 つのグリッド ポイント間の中央に来ることを可能にする [LAYOUT] スナップ ポイントが存在します。それらはしばしば dx および dy と呼ばれ、解析する最大周波数での波長に対して小さく、なるべく波長の 1/20 より小さく、常に波長の 1/10 未満である必要があります。

[ボックスの幅(Box Width)] および [ボックスの高さ(Box Height)] - これらは EMPOWER シミュレーションのボックス サイズです。それらは TPL ファイルの [サイズ(SIZE)] ステートメントに直接対応しています。ボックスの中のセルの数 (幅または高さをグリッド間隔 X または Y で割った値) が参考までに表示され、ページ幅を調整するために変更できます。注記: 完全にボックスの外側に配置された全てのメタルは EMPOWER によって無視されます。これは EMPOWER シミュレーションから一時的または恒久的にメタルまたはコンポーネントを取り除くために効果的に使用できます。

[デフォルトのビアホール レイヤ(Default Viahole Layer)] - [開始レイヤおよび終了レイヤ(Start Layer and End Layer)] コンボ ボックスがビアホールのデフォルト レイヤをコントロールします。これらは個別に各ビアホールのためにオーバーライドされます。

ビアホールおよび Z 方向ポート

EMPOWER のグリッドは真の 3 次元グリッド (直交格子) です。Z 方向電流およびポートは交点からトップまたはボトム カバーへ配置されます。2 つの注意点があります。メタルおよび z 方向のポートは 1 つの連続した電流としてモデル化されているので、ビアホールは波長と比較して小さい必要があります。またポートとメタルを同じグリッド ラインに沿って配置することができないので、ビアホールを直接内部ポートの下に配置するときは、十分に気を付ける必要があります。リスティング ファイル ([EMPOWER シミュレーション右クリック(EMPOWER Simulation Right-Click)] メニューから [リスティング ファイルを表示(Show Listing file)] を選択) を注意深くチェックして、ポートおよびビアホールの両方がグリッド上に表示されているかどうかをチェックする必要があります。

シミュレーション

基板中のビアホールの物理的長さは、解析周波数領域内で波長の 1/10 から 1/20 よりも短く保つ必要があります。長すぎると EMPOWER の中で計算が不正確になります。例えば、10 ミルの基板で誘電率 2.4 が使用されたマイクロストリップ回路を仮定します。この設定で正確な計算ができる最大周波数はいくらかでしょうか。

注記： 基板レイヤが各々オリジナルの高さの 1/2 の高さをもつ 2 つの基板レイヤ（追加レイヤを追加することによって）に分割されたとすると、ビアホールはオリジナル周波数の 2 倍の周波数で正確でしょう。この手順は必要に応じて繰り返すことができます。

$$\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$\mu_0 = 1.2566 \times 10^{-6} \text{ H/m}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \epsilon_0 \mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{2.4 \epsilon_0 \mu_0}} = 1.935 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\frac{\lambda}{15} = 10 \text{ mils} = 2.54 \times 10^{-4} \text{ m} \Rightarrow \lambda = 3.81 \times 10^{-3} \text{ m}$$

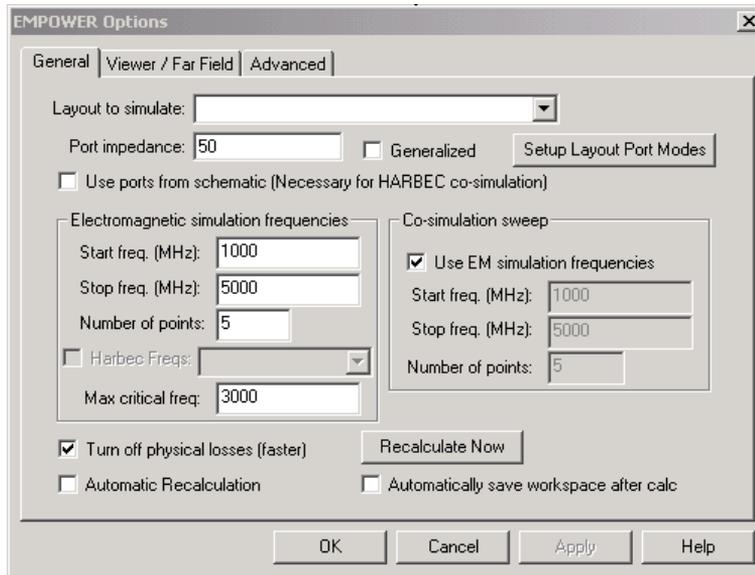
$$f_{\max} = \frac{c}{\lambda} = \frac{1.935 \times 10^8 \text{ m/s}}{3.81 \times 10^{-3} \text{ m}} \approx 50 \text{ GHz}$$

EM ポート

EMPOWER シミュレーションからデータを取得するためには、全ての回路は少なくとも 1 つの EM ポートを含んでいる必要があります。ポートの数は解析すべき EMPOWER ネットワークの中のポートの数に等しい値です。それらは [EM ポート(EMPort)] ボタンを使用してレイアウトに配置され、ノーマルダイエンベッド外部ポート（灰色）、非ダイエンベッド外部ポート（白色）または内部ポート（白色）の可能性があります。外部ポート(External Ports) および集中定数素子および内部ポート(Lumped Elements and Internal Ports) はそれぞれのセクションで説明されています。

EMPOWER オプション

開くためにはプレーナ 3 次元電磁シミュレーションを作成するか、ダブルクリックします。



[全般 (General)] タブ

[レイアウトのシミュレーション(Layout to Simulate)] - 現行のワークスペースの中でどのレイアウトをシミュレートするかを選択できます。ワークスペースは複数のレイアウトおよび複数の EMPOWER シミュレーションを持つことが可能なので、同じワークスペース内で多くの異なったレイアウトをシミュレーションできます。

[ポート インピーダンス (Port Impedance)] - EMPOWER S パラメータがグラフ上にプロットされたとき、それはこのインピーダンスに正規化されます。インピーダンスをコマで分離することによって、各ポートに対して異なったインピーダンスを使用することができます。[1 ポート デバイス データ ファイル (Device Data File)] が周波数依存性または複雑なポート インピーダンスを指定するために、他の全てのインピーダンスの代わりに使用できます。

[汎用(Generalized)]- このボックスがチェックされると、EMPOWER で計算された各ラインのインピーダンスがそれらの終端インピーダンスとして使用されます。汎用 S パラメータについての詳細は EMPOWER マニュアルを参照してください。

[回路図からのポートの使用(Use Port From Schematic)]- [HARBEC] ハーモニック バランス 非線形シミュレーションと共にコシミュレーションするときはこのボックスにチェックを入れます。これによって全てのソースおよびインピーダンスがシミュレーションに考慮されます。

注記：このシミュレーションを [HARBEC] シミュレーションのベースに使用するときは、[回路図からのポートの使用(Use Port From Schematic)] に確実にチェックをいれます。さもなければ非線形ソースが利用できません。

[電磁界シミュレーション周波数 [(Electromagnetic Simulation Frequency)] - EMPOWER を実行する周波数を指定します。シミュレーション中に集中定数素子があるときは、ここでは周波数の数を減少し、以下の指定されたコシミュレーションスイープの中で周波数の数を増加させることができます。

[開始周波数 (MH z) (Start Freq(MHz)) - 解析する最小周波数を指定します。

[停止周波数 (MH z) (Stop Freq (MHz)) - 解析する最大周波数を指定します。

ポイントの数 - 解析する周波数ポイントの数を指定します。ポイントは上記で指定された低い周波数と高い周波数の間で線形に分布されています。

[HARBEC 周波数 (HARBEC Freq)] - このボックスを選択すると EMPOWER はハーモニック バランス シミュレータで計算された各周波数でレイアウトをシミュレーションします。このボックスをチェックすると、EM 結果が全ての周波数で利用可能となり、データをハーモニック バランス 解析のために内挿、外挿される必要がなくなります。

[最大遮断周波数 (Max Critical Freq (MHz)) - この回路で実行される全ての解析の重要な最大周波数を指定します。MAXFRQ は [DIM] ブロックで定義される単位で指定されます。(デフォルトの単位は MH z です)。解の品質パラメータ、間引きの閾値およびディエンベッドのためのライン長は最大遮断周波数の値に基づいています。言い換えると、この値はシミュレーションの精度と計算時間の両方に影響を与えます。この値を小さくするとシミュレーションは加速されますが、特にこの値以上の周波数でのモデルエラーが増加する可能性があります。一方、不必要に大きな値を使用すると精度は目に見えるほど改良しないにもかかわらず、解を得るのに時間がかかります。

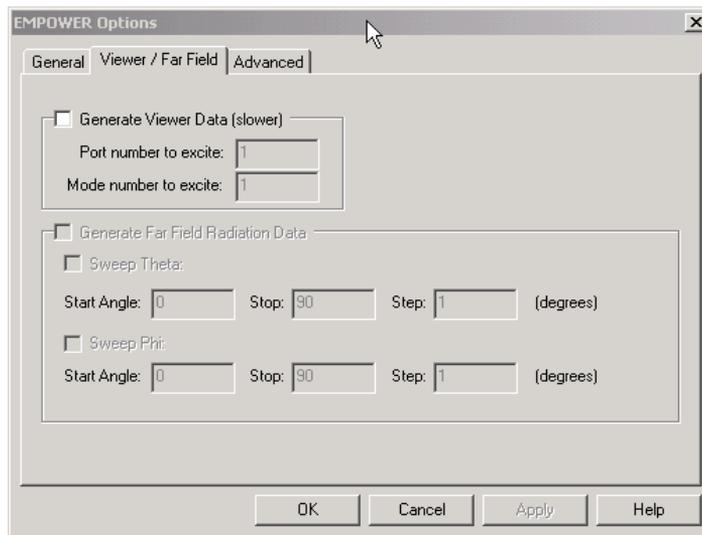
注記：MAXFRQ を指定する重要な理由。デフォルトでこの値は [EMFRQ] で指定される最高のスイープ周波数に等しく設定されています。この値をわずかでも変更するとグリッドが変更され、ディエンベッド パラメータの再計算が強制され、その結果不必要にシミュレーション時間を長くします。この変更はまた回答をわずかに変更し、データをマージしようとするときは取り返しのつかない結果となります。MAXFRQ を使用すると、このようなことは起こりません。周波数領域を大きく変更したときは、これを更新することを覚えておくことも大事です。

[コシミュレーション スイープ (Co-Simulation Sweep)] - 集中定数素子と EMPOWER データの組み合わせで、シミュレーションを実行するときの周波

数を指定します。シミュレーションに集中定数素子がない場合は、通常 [電磁界シミュレーション周波数を使用(Use EM Simulation Frequency)] ボックスにチェックを入れる必要があります。集中定数素子を伴った回路に対しては、上記電磁界シミュレーション周波数の数点を使用してコシミュレーションを実行して、集中定数素子が追加される前に EMPOWER データを内挿することによって、しばしば多くの時間を節約することができます。

[物理損失をオフ (より高速) (Turn off physical losses (Faster))] - これにチェックが入ると、EMPOWER は [EMPOWER レイヤ(EMPOWER Layer)] タブで指定された全ての損失を無視します。このオプションは全ての予備的実行を加速するために非常に有効です。

[計算後に自動的にワークスペースを保存(Automatically save workspace after calc)] - このチェック ボックスは夜を徹して実行するときの停電に対する保護として便利です。このボックスにチェックを入れると、各実行の後で全てのワークスペースが保存されることにご注意ください。



[ビューア / ファーフィールド タブ(Viewer / Far Field Tab)]

[ビューア データ作成 (より低速) (Generate Viewer Data (Slower))] - このボックスにチェックを入れると EMPOWER は EMPOWER 電流/電圧 ビューア プログラムにロードできる [*EMV] ファイルを作成します。このボックスを選択すると、問題を解決するために必要な時間が増加します。このボックスはファーフィールド放射データを作成するためにチェックされる必要があります。詳細についてはビューア セクションを参照してください。

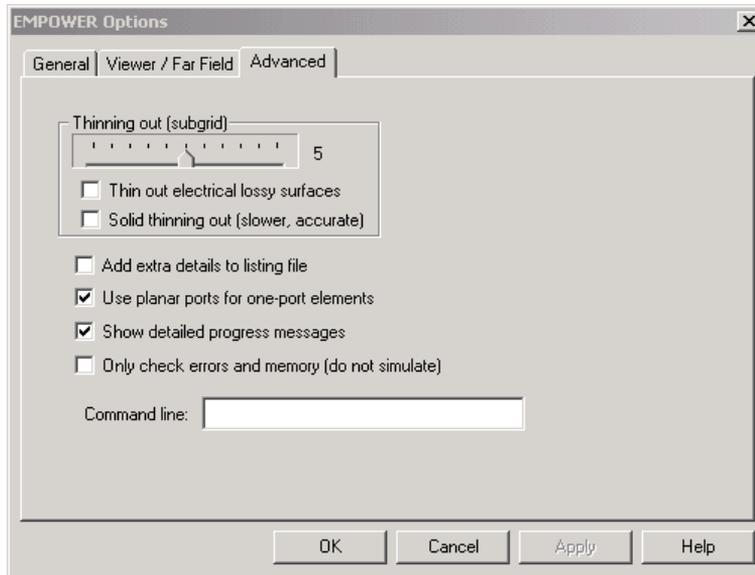
[励起するためのポート番号 (Port number to excite)] - このオプションは上記の [ビューア データ作成(Generate viewer data)] にチェックを入れると利用できます。それはビューア データのためにどの EMPort を励起するかを指定します。デフォルトでモード 1 が励起されますが、入力が多モードの場合は、代わりにオプション -Imj を追加してモード j を励起することができます。

[励起するモード番号 (Mode number to excite)] - このオプションは上記の [ビューア データ作成(Generate viewer data)] にチェックを入れると利用できます。それはビューア データのためにどのモードを励起するかを指定します。一般にモード 1 が励起されますが、入力が多モードの場合は最大その入力のモード数までいくつのモードでも追加して励起できます。

[ファーフィールド放射データの作成 (Generate Far Field Radiation Data)] - このボックスにチェックを入れると EMPOWER はファーフィールド領域でのそのストラクチャの放射電界のデータを作成します。作成されたデータは球面座標システムの θ 、 ϕ 座標で指定されています。

[スイープ θ (Sweep Theta)] - このオプションは上記の [ファーフィールド データを作成(Generate Far Field Data)] にチェックが入っていると利用できます。それは球面座標システムで θ を変化させてデータを作成します。 θ は z 軸から 3 次元空間内の 1 つの点へ形成される角度です。もし [スイープ θ] (Sweep Theta) のチェックが外されると固定角が指定され、ファーフィールド電磁界はこの θ 角でのみ作成されます。

[スイープ ϕ (Sweep Phi)] - このオプションは上記の [ファーフィールド データを作成(Generate Far Field Data)] にチェックが入っていると利用できます。それは球面座標システムで ϕ を変化させてデータを作成します。ファイは正の x 軸から 3 次元空間内の x y 平面へ投影された 1 つの点へ形成される角度です。もし [スイープ ϕ] (Sweep Phi) のチェックが外されると固定角が指定され、ファーフィールド電磁界はこの ϕ 角でのみ作成されます。



高度なタブ

エラー、トポロジーおよびメモリだけチェック (シミュレーションなし) **(Only check errors, topology, and memory (do not simulate))** - 長い EMPOWER 実行の前に適切にシミュレーションおよびレイアウト設定ができていることを確認するために有効です。このオプションはグリッド配置および必要なメモリをチェックするための両方で、非常に重要な手段を提供します。EMPOWER は問題をグリッドに配置し、各周波数に対してグリッド変数の必要な数を計算します。リスティング ファイルで [ターミナルの配置 (Map of Terminal)] をチェックして、問題のグリッド モデルを見て、リスティング ファイルで MEMORY ラインをチェックして問題の複雑さおよび推定シミュレーション時間の感覚をつかみます。

[レイアウト ポート モードの設定 (Setup Layout Port Modes)] - EMPOWER マニュアルの分割 (Decomposition) セクションの中に記述されているように [マルチモード設定 (Multi-Mode Setup)] ダイアログ ボックスを立ち上げます。このボタンに感嘆符が付いているときは、マルチモード ラインがアクティブです。

[間引き (スライダ) (Thinning out (slider))] - 間引きの量をコントロールします。デフォルトの間引きの量は 5 です。スライダをゼロに設定すると間引きは消えます。間引きについての詳細は EMPOWER マニュアルを参照してください。

[

電氣的に損失のある表面の間引き(Thin out electrical lossy surfaces)] - これにチェックが入ると、電気パラメータを使用して記述されている損失のあるメタルも間引きされます。間引きモデルは大半の電流がラインのエッジを流れると仮定しているため、このオプションは抵抗膜（電流が材料全体により一層様に流れるので）に対しては幾分不正確になります。これらの場合には、恐らく以下に示されている [ソリッド間引き(Solid thinning)] オプションをチェックする必要があります。

[ソリッド間引き（より遅い）(Solid Thinning out (slower))] - これにチェックが入ると、より遅いソリッド間引きモデルが使用されます。このモデルは間引きによって失われたキャパシタを再度保存するので、メタルの大きな部分が間引きされたときには最も有効です。

[1 ポート素子のためのプレーナ ポートを使用(Use Planar Ports for One-port Elements)] - このボックスはほとんど常時チェックを入れておく必要があります。チェックが入っていないと、EMPOWER は全てのデバイスのために各端子でz方向ポートを使用します。これにチェックが入っていると、EMPOWER は抵抗やキャパシタのような素子に対してインライン ポートを使用します（2 端子、1 ポート デバイス）。これが問題を引き起こす唯一のケースは、素子の「下」を走るラインがあるときです（例えば、抵抗の上で2つの端子の間にラインが走る、同じメタル内で抵抗パッドとして）。

注記：EMPOWER プレーナ ポートは、素子が端子のみをもっている場合でも、伝送ラインのように接地基準素子としては使用できません。

[リスティング ファイルに特別な詳細を追加(Add extra details to listing file)] - これにチェックが入っていると、設定をダブルチェックする特別な情報がリスティング ファイルに挿入されます。

[詳細な進行メッセージを表示(Show detailed progress messages)] - このオプションをオフにすると EMPOWER ログからほとんど全ての出力が消去されます。（リスティング ファイルは影響されません）。これをオフにすることによって、非常に小さなシミュレーションの実行を劇的に加速することができます。

[コマンドライン Command Line)] - このダイアログ ボックスで示されていない、いくつかのオプションが利用できます。コマンドの一例は [-On] オプションで、これはライン解析のボックスのサイズをコントロールします。

[NC] - このオプションが使用されると EMPOWER はディエンベッド ポートが壁から離れることを許容します。このオプションは、細かいラインおよびスロットライン構成に特に有効です。

[VM] - 仮想メモリの使用を許可します。複雑な問題を解決するために、EMPOWER は常にコンピュータの仮想メモリ（ハードディスク）の使用を合理的な方法で制限しています。コンピュータはシミュレーションのいくつかの数値的に集中的な部分にメモリを使用しません。オプション [VM] は EMPOWER に仮想メモリを、もっと自由に使用することを指示します。しかし、このオプションを使用しても、プログラムはシミュレーションのいくつかの部分に大きなハードディスク スペースが関連すると計算を停止します。計算機がどれくらいメモリ不足しているか、または問題を縮小するかアイデアを得るために、リスティング ファイルの MEMORY ラインをチェックします。

[Sg] - 間引きの代替方法である「グローバル」間引きを使用します。これはいくつかの状況の下で、メモリの要求を減少します。

[On] - ディエンベッド計算のために (n 倍小さな) 小さなライン セグメントを使用します。これはライン解析を加速できます。

[IT] - ビューア データ ファイルをテキスト フォーマット(.PLX)で出力します。

シミュレーション ステータス ウィンドウ

```

EM1 =EMPOWER= Log [Running] [Workspace: layonly]
Press Escape to stop the =EMPOWER= run

=EMPOWER= Planar 3D EM Simulator Version 7.00 (C) 1998,99 Eagleware Corp.
FREQ< 11000 MHz> Mode<DISC> View<X> Loss<X> Thin<X> Sym< YZ MIRR>
Estim time: 00:00:01 Each frq: 00:00:01 Estim RAM: 340K

*** Starting Line Analysis to De-embed PORT 1 ***
  9500 MHz  Zo=44.932 G=1280.930
 11000 MHz  Zo=45.040 G=1326.051
*** Starting Discontinuity Analysis ***
  8000 MHz  S11=-1.46<-295. S21=-5.92<-204.
  9500 MHz  S11=-0.263<-1.69 S21=-16.2<-95.8

```

EMPOWER が実行されているときは上記ウィンドウが表示されます。

2 行目のラインのオブジェクトは次の事項を表しています。

周波数 (FREQ) - 現行の計算周波数。

モード (Mode) - DISC (不連続)、LINE (ライン分析)、または LN+D (両方)。

シミュレーション

ビュー (View) - ビューア データが作成されるべきか否かがチェックされます。

損失 (Loss) - 物理的損失がモデル化されているか否かがチェックされます。

間引き (Thin) - 間引きがイネーブルにされているか否かがチェックされます。

対称 (Symm) - 解析されている回路の持っている対称のタイプを表示します。このオプションは XZ、YZ、ミラー、2 方向ミラーまたは 180° 回転の可能性があります。

3 行目のラインのオブジェクトは次の事項を表しています。

推定時間 (Estime Time) - 現行の計算モデルを完了するための推定の全体時間。

各周波数 (Each f r q) - 現行モードの周波数ごとの推定の計算時間。

推定 RAM (Estim RAM) - 現行のシミュレーションのために必要な全体の推定メモリ量。

4 行目は現行周波数のシミュレーション時間および対称、プラス対称ステージを表示しています。

5 行目は計算ステージを表示しています。

5 行目以降の行は各周波数の計算データを記述しています。ライン解析の間に、インピーダンス(Z)および伝搬定数(G)が各周波数に対して表示されます。不連続計算モードでは、S マトリクスの第一行が各周波数で表示されます。

バッチ実行

マルチプル ワークスペースは同時にロードでき、全ての EMPOWER シミュレーションはシーケンシャルに更新されます。単純に必要なだけ多くのワークスペース ファイルを開きます ([ツール(Tools)]メニューからオプション(Option) を選択し、[ワークスペースのマルチプル オープン許可 (Allow Multiple Open Workspaces)] にチェックを入れます) 。ツールバーの赤い [計算(Calculator)] ボタンをクリックして全ての解析を実行します。

注記： 夜を徹してのバッチを実行している場合には [計算後自動的にワークスペースを保存 (Automatically save workspace after calc)] にチェックを入れて、停電のときに結果を失わないようにする必要があります。

EMPOWER : オペレーション

概要

EMPOWER シミュレーションはボード レイアウト記述を必要とします。最も容易な（そしてお勧めする）方法は希望するレイアウト パターンのグラフィカル表示をするために [レイアウト(LAYOUT)] を使用することです。ボードはそれから EMPOWER シミュレーションを作成してシミュレーションすることができます。

この章は [レイアウト (LAYOUT)] を使用してボード レイアウト を作成し、EMPOWER シミュレーションを得る方法を説明します。その後 GENESYS が使用されて EMPOWER データから線形シミュレーションが表示、比較されます。

機能

EMPOWER は競合他社の最新の電磁界シミュレータにまだ搭載されていない多くの機能を組み込んでいます。主要な機能は次のとおりです。

- ベンチマークの精度
- 使いやすいグラフィカルな回路レイアウト エディタ
- GENESYS の回路シミュレーション、合成 およびレイアウト ツールの完全な統合
- マルチレイヤ シミュレーション (EMPOWER ML 使用)
- 集中定数素子の自動組込み
- 対称の自動検出とソリューション
- 汎用 S パラメータ サポート
- ポートおよびラインのマルチモード サポート
- 分割を使用した GENESYS での EM オブジェクトのチューニング
- ディエンベッドまたは非ディエンベッドポート
- 作成されたフィールドを含むビアホール
- 任意の数の誘電体レイヤ
- 誘電体およびメタル損失
- ボックス モードおよびパッケージ効果を含む
- スロットおよびコプレーナ回路用スロットモード
- 厚いメタル シミュレーション (EMPOWER ML 使用)

シミュレーション

- Windows 95/98/NT/XP 用の 32 ビット コード

例

例は全て EXAMPLES マニュアルに含まれています。EMPOWER を示す例は次の事項を含んでいます。

- マイクロストリップ ライン.WSP
- ストリップライン 標準 WSP
- スパイラルインダクタ 2.WSP
- ボックス モード.WSP
- フィルムアッテネータ(Atten.) WSP
- エッジカップラ WSP
- デュアル モード.WSP
- 8 方向 (Way.) WSP
- エッジカップルド WSP
- カップルド ステップド Z.WSP
- チューンドバンドパス WSP
- パッチ アンテナ インピーダンス.WSP

例 (Examples) マニュアルの中で指定されている必要な RAM は EMPOWER によって推定された値です。それらはおおよその値であり、使用されたメモリのテストよりも、むしろアルゴリズムによって決定されています。実行時間は Windows 98 で動作する 256 MB の RAM 付きの 266 MHz Pentium II での値です。大抵の場合、実行時間は不連続モードに対する値です。

回路図なしでのレイアウト作成

このウォークスルーのための完全なファイルは [GENESYS の例(GENESYS Examples)] フォルダにあります。EMPOWER\Layout Only.wsx。

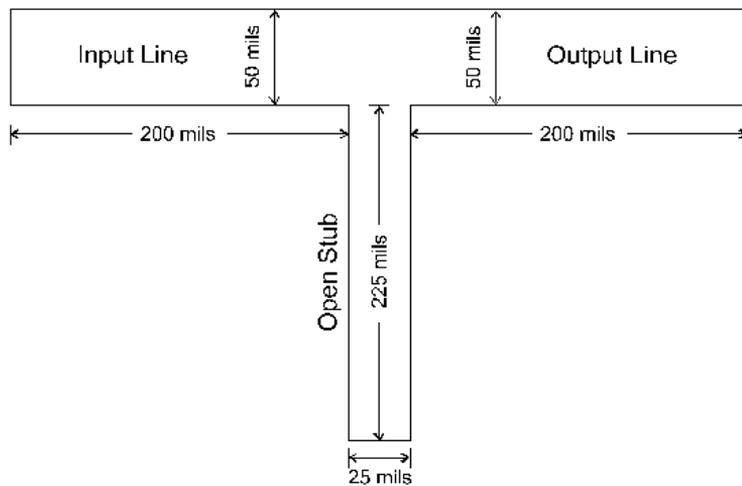
この例は次のトピックスを実際に示します。

- 回路図なしでのレイアウト作成
- グリッド間隔の選択
- ボックス サイズの選択

9.5 GHz に伝送ゼロがあるマイクロストリップ スタブ ノッチ フィルタがシミュレーションされます。フィルタの仕様は次のとおりです。

- 15 ミル RT/Duroid 基板 ($\epsilon_r=2.2$, $\tan d=0.0009$)
- 銅メタライゼーション
- 50 Ω 終端
- スタブラインは 70W で 9.5 GHz で 90° とします。

シリーズラインおよびスタブの寸法は T/LINE を使用して計算され、最近接の 5 ミル インCREMENT で丸められています。最終ライン寸法が以下に示されています。



注記： この例を始める前に、[ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] が見えることを確認しておく必要があります。必要に応じて[表示 (View)] メニューから [ドッキング ウィンドウ\ワークスペース ウィンドウ (Docking Windows\Workspace Window)] を選択します。

最初に [GENESYS ファイル (GENESYS File)] メニューから [新規 (New)] を選択します。この回路の回路図は必要ないので、回路図を消去します。ワークスペース ウィンドウで [Sch1 (回路図) (Sch1 (Schematic))] の上で右クリックして [削除 (Delete)] を選択します。次にレイアウトを作成します。ワークスペース ウィンドウで [新規アイテム (New Item)] ボタンをクリックして [デザイン/レイアウト付きデザインの追加 (Design/Add Design with a Layout)] を選択します。デザイン名として「スタブ (stub)」を入力します。

注記： 全てのダイアログ ボックスで、図に示されているように正確に入力するように注意してください。

レイアウトの作成

ボードレイアウトを次の2つの方法のうちの1つで作成することができます。

- 回路図なしで開始する。
- 既存の回路図から開始する。

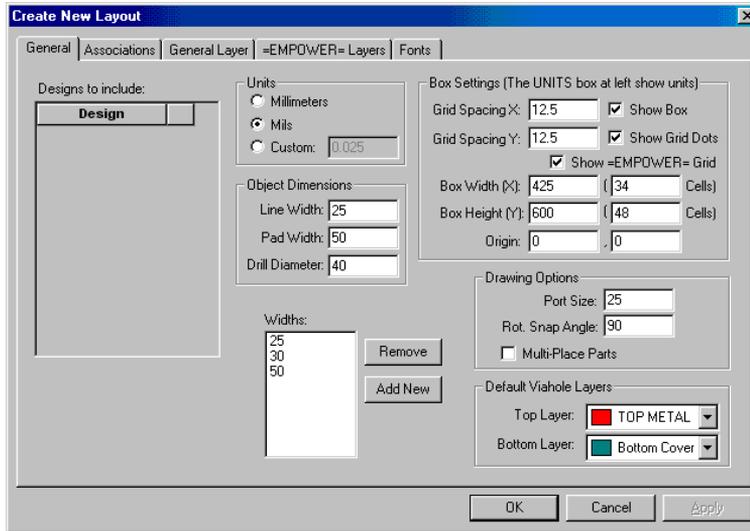
第一の方法では [GENESYS 環境(GENESYS Environment)] で関連する回路図なしでレイアウトを作成して開始します。レイアウトは [レイアウト(LAYOUT)] エディタでラインを引き、フットプリントを配置して生成されます。

第二の方法は回路図を出発点とし、回路図のオブジェクトをベースにしてボードレイアウトを作成します。この方法は通常、回路上で (GENESYS を使用した) 線形シミュレーションが実行されたとき、および EMPOWER シミュレーションが望まれるとき、または EMPOWER シミュレーションで集中定数素子が必要なときに使用されます。回路図オブジェクトの他に、全ての希望するレイアウト(LAYOUT) オブジェクトは、シミュレーションの前にボードに追加できます。例えば、線形シミュレーションは通常、グラウンドプア(ground pour)、電源レール、集中定数素子パッドを含んでいません。しかしこれらは EMPOWER の実行に含まれており、これらの効果を検査することができます。

ボックス ディメンジョン

注記: EMPOWER では [レイアウト(LAYOUT)] ボックス ディメンジョンが [バウンディング ボックス(Bounding Box)] を定義するために使用されます。

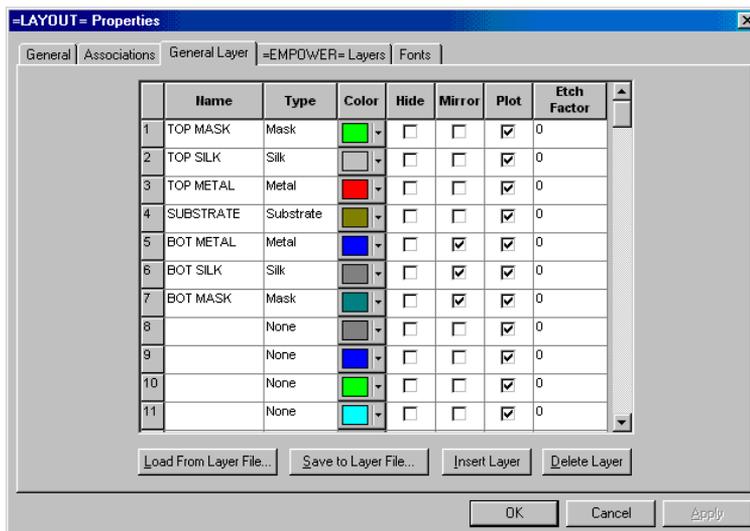
レイアウトをダブルクリックして [レイアウトプロパティ(LAYOUT Properties)] ダイアログ ボックスを開きます。ボックス ディメンジョンが以下に示されます。ボックスの幅はフィルタの幅である 425 が選択されます。その理由は2つの 200 ミル ラインがあり、スタブの幅が 25 ミルだからです。フィルタの高さは 275 ミルでスタブの長さで一連のライン幅を含んでいます。ボックスの高さは 600 ミルに選択されて、フィルタの両側に十分なスペースを与えます。これによってフィルタの周波数応答の壁面干渉が最小化されます。



この例の EMPOWER グリッド設定が右上に示されています。メタルが可能な限り正確にグリッドサイズと等しい大きさに配置されるように、ディメンジョンが選択されると EMPOWER のシミュレーション時間は大きく減少されます。このフィルタのグリッドの幅と高さ設定は 12.5 と選択されました。その理由はフィルタのディメンジョン (425x275) がこの値で正確に割り切れるからです。

[全般 (General)] レイヤ

この例のための [全般(General)] レイヤ設定が以下に示されています。[レイアウトプロパティ(LAYOUT Properties)] ダイアログ ボックスの [全般レイヤ(General Layer)] タブをクリックします。



シミュレーション

このフィルタ用には3レイヤだけ定義する必要があります。

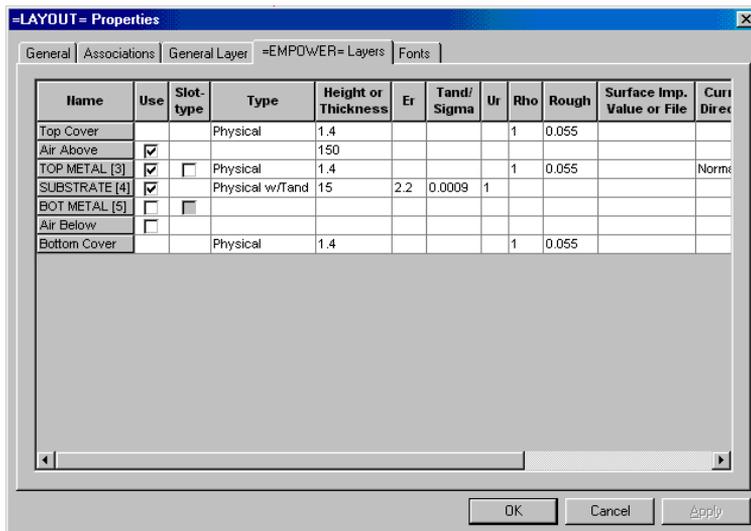
- トップメタル
- 基板
- ボトムメタル

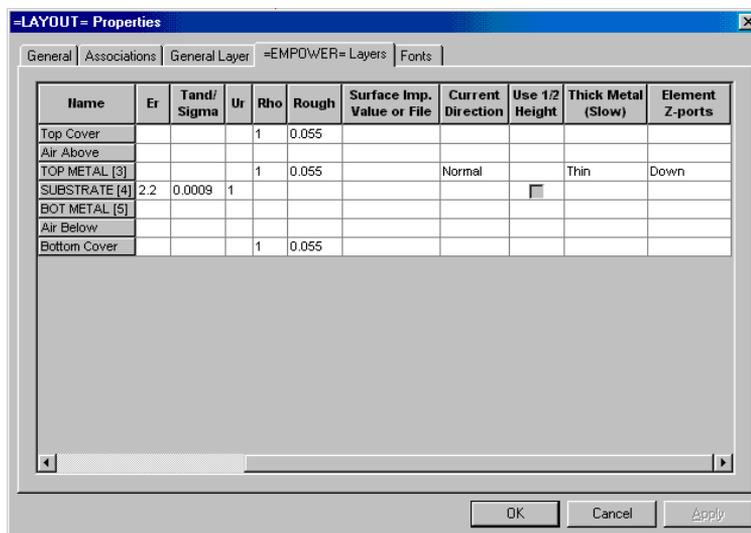
マイクロストリップフィルタをシミュレーションするためには、これらのレイヤだけが必要です。[全般(General)] レイアウトのためには、より多くのレイヤがしばしば(特定の)目的のためだけに含まれます。例えば、フィルタメタルはそれらのレイヤ上に配置されないため、シルクスクリーンまたはマスクレイヤを定義してもシミュレーションに影響しません。

注記：ボックスのボトムは接地面として使用されるので、上記で定義されているボトムのメタルレイヤは技術的には必要ありません。しかしながら、それはしばしば製造のために必要なため、通常ここに定義されています。

EMPOWER レイヤ

次に [EMPOWER レイヤ (EMPOWER Layers)] タブをクリックします。EMPOWER レイヤは、利用可能な [全般(General)] レイヤから自動的に選択されます(前のセクション参照)。それらは利用可能なメタルおよび基板レイヤから選択され、EMPOWER によるシミュレーションのためにイネーブルまたはディセーブルにできます。



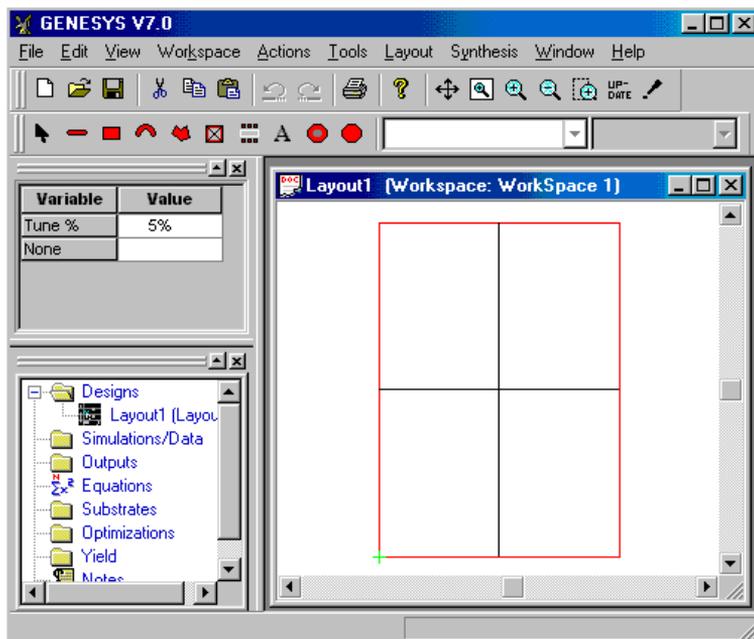


基板の上下のエアレイヤは共通なので、ここでそれらを追加する特別オプションが与えられています。個別のレイヤ オプションに関する詳細は、EMPOWER の基本 (EMPOWER Basics) セクションを参照してください。

[BOT METAL] および [下部エア (Air Below)] はイネーブルでないことにご注意ください。これはボックスの底を下部の基板境界に配置するので、接地面の役目をします。

注記：完全にベタの接地面が使用されているほとんどの場合は、それをシミュレーションするためにトップまたはボトムカバーを使用しなければなりません。これは余分のメタルレイヤを使用するよりもより効果的です。

OK をクリックします。[レイアウト (LAYOUT)] エディタが表示されます。以下と良く似た画面が表示されます。

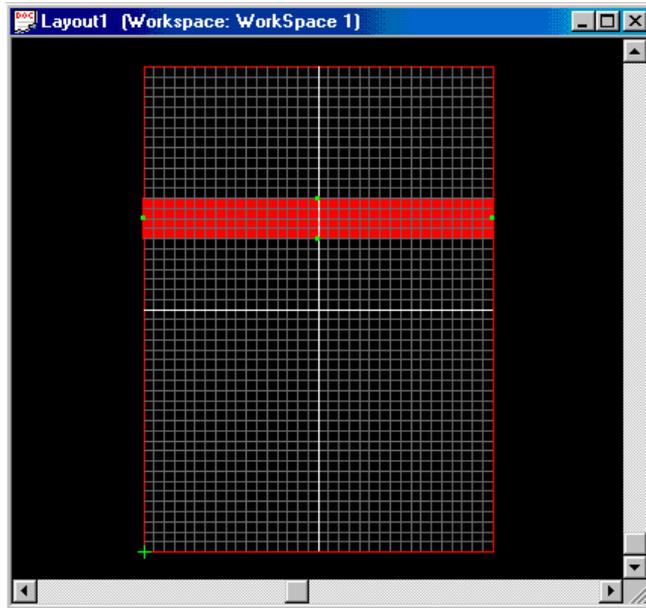


レイアウトの作図

次の手順でシリーズラインを引きます。

1. [レイアウト(LAYOUT)] ツールバー (ツールバーの 6 番目のボタン) から [直交(Rectangle)] ボタンを選択します。
2. ページの境界の左エッジをクリックし、[ステータス(Status)] バー (スクリーンの最下部) が DX=425 および DY=50 を示すまで右下へドラッグします。
3. マウスボタンを離します。

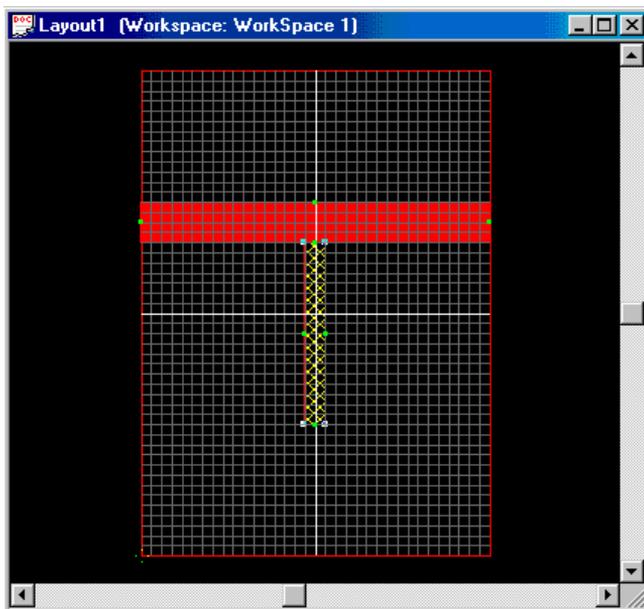
これはシリーズ伝送ラインです。以下のような画面が見えるはずです。ラインが正確にページと同じ位置になくてもかまいません。レイアウトはあとから中央へ移動できます。



次の手順でオープン スタブを作図します。

1. ツールバーから [直交(Rectangle)] ボタンを選択します。
2. 作図したばかりのラインの下部エッジでシリーズライン中心から 1 グリッドセル分だけ左をクリックします。
3. ステータス バーが $DX=25$ 、 $DY=225$ を示すまで右下へドラッグします。
4. マウスボタンを離します。

次のような画面が見えるはずですが、スタブ ラインが画面上で水平方向中心に配置されていない場合は、ライン上でクリックしてスタブを選択し、適切な位置までドラッグします。



レイアウトのセンタリング

一般的なルールとして、シミュレーション対象の回路が複数の面のいずれに対しても対称を示せば EMPOWER のシミュレーション時間は大きく減少します。ページエリアで中央部に配置されると、なんらかの対称形を示す回路が沢山あります。

例のフィルタを中央部に配置するには、次のように操作します。

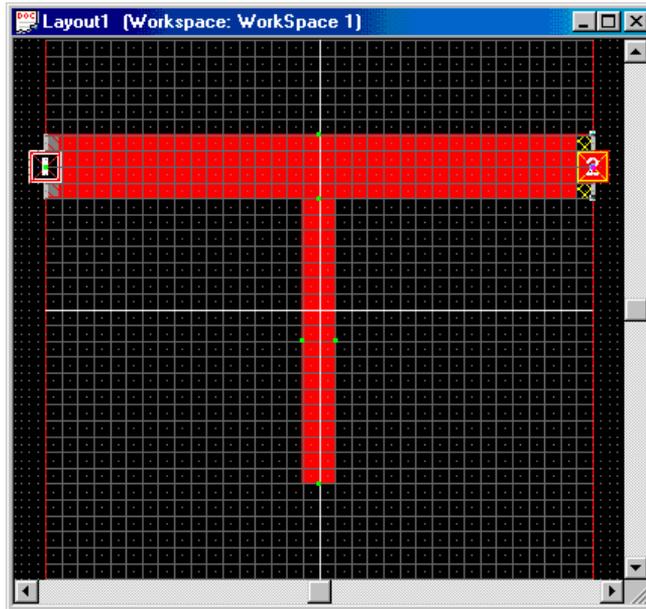
1. [編集(Edit)] メニューから [選択/全て(Select/All)] を選びます。
2. [レイアウト(Layout)] メニューから [選択されたページの中央(Center Selected On Page)] を選択します。

EMPOWER ポートの配置

EMPOWER を実行する前に、フィルタのポートを指定する必要があります。[レイアウト (LAYOUT)] ツールバー上で [EM ポート (EMPort)] ボタン を選択し、シリーズ ラインの中央左端をクリックします。[EM ポート プロパティ (EM Port Properties)] ダイアログが表示されます。[描画サイズ (Draw Size)] を 25 に設定します。これは [レイアウト (LAYOUT)] スクリーン上で描かれるポート数をコントロールします (しかしシミュレーションには影響ありません)。デフォルト ポート番号は 1 であることにご注意ください。[OK] ボタンを選択します。

次に再度ツールバー上の [EM ポート (EMPort)] ボタンを選択します。シリーズラインの中央右端をクリックします。[EM ポート プロパティ (EM Port Properties)] ダイアログが表示されます。再度 [描画サイズ (Draw Size)] ボックスに 25 と入力します。デフォルト ポート番号は 2 であることにご注意ください。[OK] ボタンを選択します。

次のような画面が表示されるはずです。

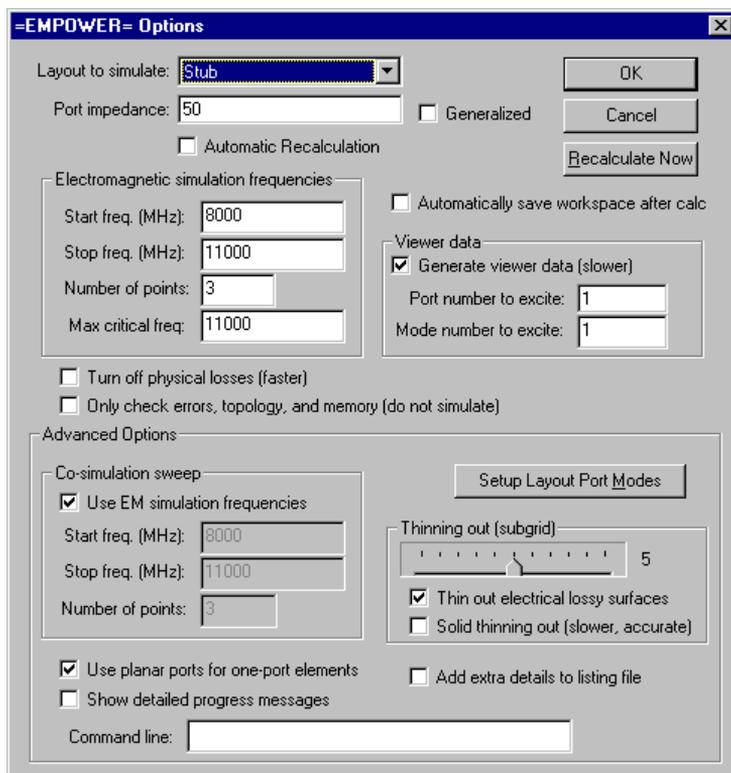


シミュレーションのために EMPOWER はこれらのポートから S パラメータを取得します。

レイアウトのシミュレーション

EMPOWER を実行するにはシミュレーションを作成する必要があります。[ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] で [アイテムの追加 (Add Item)] ボタンをクリックし、[解析/Empower 解析の追加 (Analyses/Add Empower Analysis)] を選択します。これによって [EMPOWER オプション (EMPOWER Options)] ダイアログが表示されます。このダイアログは以下に示されています。ダイアログ オプションの説明については外部ポート (External Ports) のセクションを参照してください。次は以下に示されているようにプロンプトを設定してください。

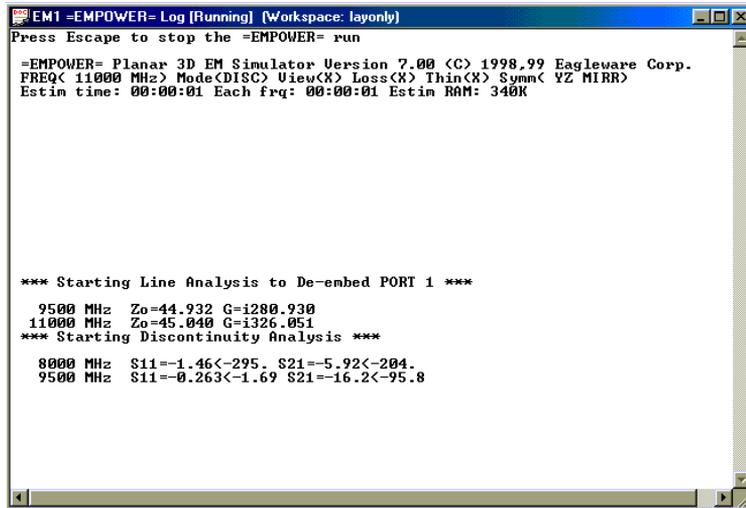
シミュレーション



8～11 GHz の範囲で 3 サンプル ポイントで開始しようとしています。これによって 1 点がそれぞれ 8、9.5(共振点と考えられている) および 11 GHz に配置されます。

[今すぐ再計算 (Recalculate Now)] ボタンをクリックします。これによって EMPOWER がレイアウトのシミュレーションを開始します。

注記： EMPOWER が 2 秒以上かかる全てのシミュレーションを計算している間、以下に良く似たウィンドウが表示されます。このウィンドウは計算モード中のそれぞれのステータスを表示します。コンテンツ ウィンドウの詳細はベーシック コンソール(Basics Console)セクションを参照してください。



```

EM1 -EMPOWER- Log [Running] [Workspace: layonly]
Press Escape to stop the =EMPOWER= run

=EMPOWER= Planar 3D EM Simulator Version 7.00 (C) 1998,99 Eagleware Corp.
FREQ< 11000 MHz> Mode<DISC> View<X> Loss<X> Thin<X> Symm< YZ MIRR>
Estim time: 00:00:01 Each frq: 00:00:01 Estim RAM: 340K

*** Starting Line Analysis to De-embed PORT 1 ***

9500 MHz Zo=44.932 G=1200.930
11000 MHz Zo=45.040 G=1326.051
*** Starting Discontinuity Analysis ***

8000 MHz S11=-1.46<-295. S21=-5.92<-204.
9500 MHz S11=-0.263<-1.69 S21=-16.2<-95.8

```

結果の表示

レイアウトの EMPOWER シミュレーションの後、データは GENESYS の中で表示される必要があります。これは最初にデータセットを調べて、次に直交グラフのようなデータ出力を作成することによって実行できます。

このワークスペースに (InstaGraph) を使用して次の手順で直交グラフを作成します。

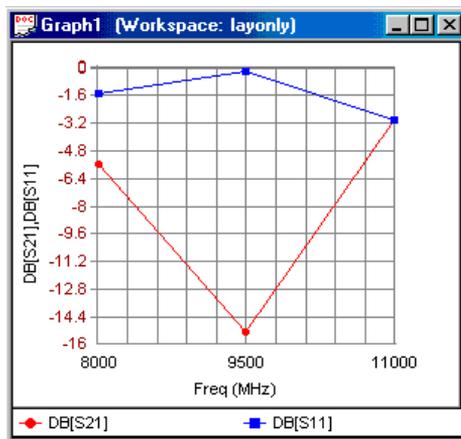
1. ワークスペース ツリーで [EM1_Data] をダブルクリックして [EMPOWER 結果(EMPOWER results)] を開きます。
2. [S]の上で右クリックして [グラフ/直交グラフ(Graph/Rectangle Graph)] を選択します。

これは GENESYS に EMPOWER S パラメータ データを含むグラフを作成することを命令します。データは 8000、9500 および 11000 MHz で表示されます。

(直交グラフの完全な説明に関しては、GENESYS ユーザガイドを参照してください)。

以下の GENESYS の表示は 3 つのサンプル ポイントで EMPOWER を実行した様子を示しています。

シミュレーション



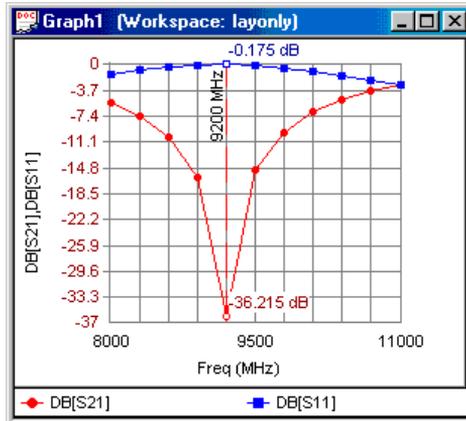
このレスポンスでノッチ周波数がちょうど 9.5 GHz で現れているように見えますが、正確に説明するためにはポイントが不足しています。EMPOWER シミュレーションにより多くの周波数ポイントを追加します。

次の手順でより多くのポイントを追加して再度シミュレーションします。

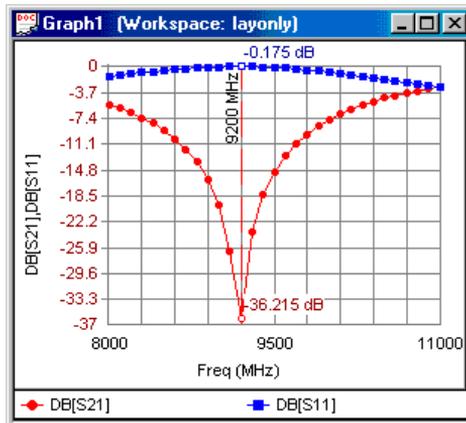
1. [ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] 中の[シミュレーション/データ (Simulations/Data)] の下で「EM1」をダブルクリックします。
2. [電磁シミュレーション周波数 (Electromagnetic Simulation Frequencies)] 中の [ポイント数 (Number of Points)] を 11 に変更します。
3. [今すぐ再計算 (Recalculate Now)] ボタンをクリックします。

これは先の EMPOWER シミュレーションに追加されて 3 データポイントの代わりに 11 データポイントを持つこととなります。EMPOWER は賢明にも追加ポイントだけを再計算します。

以下の図は EMPOWER の 11 データポイントを使用したシミュレーションを示しています。ノッチ周波数は今回 9.2 GHz で現れています。実際のノッチ周波数を得るために、シミュレーションにポイントを追加して 31 ポイントにします。EMPOWER ポイント数を 31 に変更して再計算するために先のステップを繰り返します。



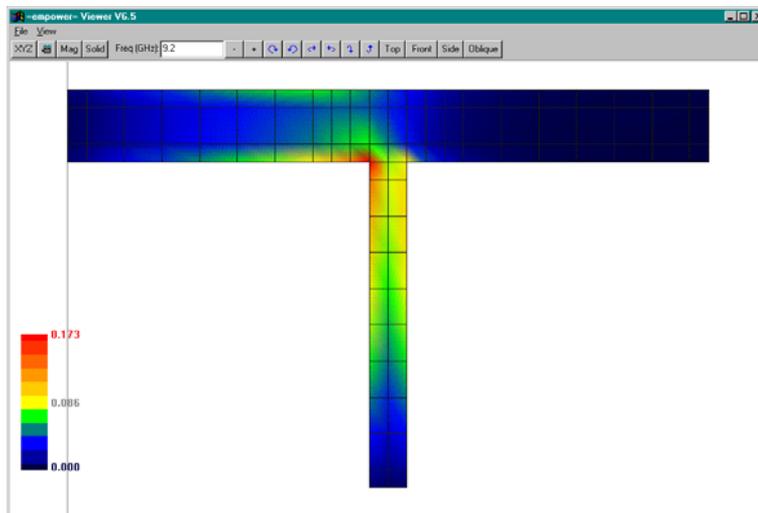
以下の表示は 31 ポイントで EMPOWER を実行した結果を示しています。レスポンスは 11 ポイントのシミュレーションと比較して顕著に変更されていないので、これで正しいノッチ周波数を見つけたはずです。



ビューアの使用

EMPOWER 実行が完了すると、[EMPOWER オプション (EMPOWER Options)] ダイアログで [ビューア データ作成 (Generate Viewer Data)] が選択されているときは、ビューアをロードできます。このデータを作成することは EMPOWER シミュレーション結果を示すことなので、通常これは最後の実行シミュレーションだけでチェックを入れます。

シミュレーション



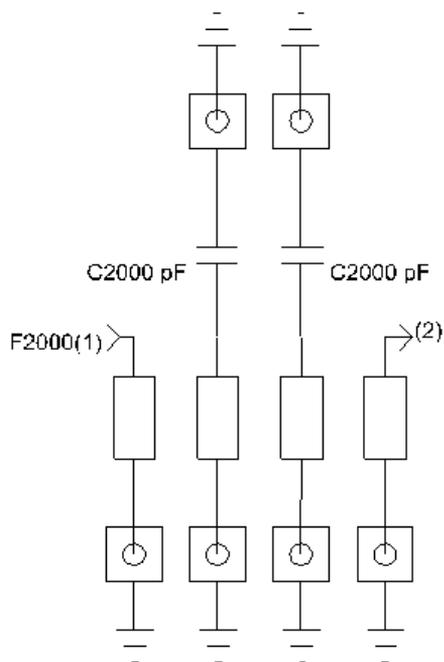
[ワークスペース ウィンドウ(Workspace Window)]の中で [EMPOWER] シミュレーション (EM1) を右クリックし、[EMPOWER ビューアの実行 (Run EMPOWER Viewer)] を選択します。トップ ダウン ビューが選択されており、ノッチ周波数が指定されています。ポート番号 1 は画像の左にあり、ポート番号 2 は右にあります。プロットは図の左下のスケールによってカラーコード化されています。ポート番号 2 はほとんど黒であることに注目してください。これは期待していたようにこのポートには 9.2 GHz で非常に少ないエネルギーしか供給されていないことを意味しています。

既存の回路図からのレイアウトの作成

この例で使用されているファイルは Filters\Tuned Bandpass.wsp です。この例は次のトピックスを例示しています。

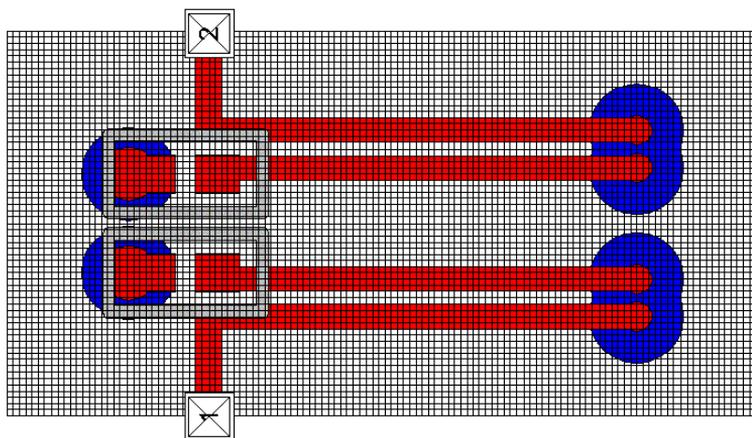
- 既存の回路図からのレイアウトの作成
- EMPOWER データを使用しての「チューニング」
- EMPOWER による集中定数素子の使用

GENESYS で例 Filters\Tuned Bandpass.wsx を開きます。[ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] で F2000 デザインをダブルクリックして、(以下に示されている) このフィルタの回路図を表示します。



これは入出力に $50\ \Omega$ 終端抵抗および変圧器結合を備えた 2 次マイクロストリップくし形帯域フィルタの回路図です。2 つの中心ラインの共振周波数を調整するために、集中キャパシタが連結同調結合されています。この方法によるチューニングは中心周波数だけに影響を及ぼし、通過帯域の帯域幅は一定に維持します。

[ワークスペース ウィンドウ(Workspace Window)] のデザインの下 [レイアウト 1 (Layout1)] をダブルクリックして、(以下に示されている) このフィルタの回路図を表示します。



シミュレーション

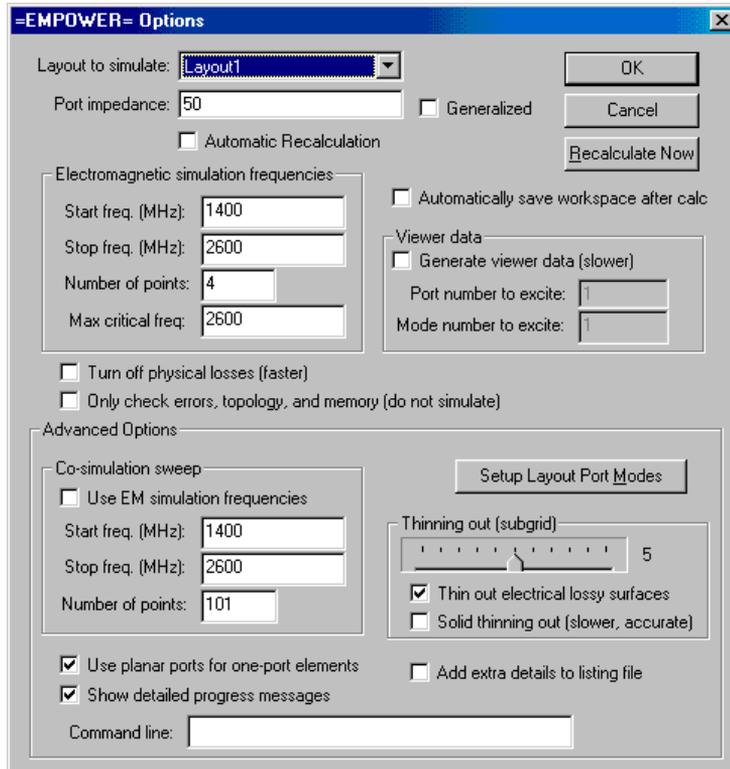
各集中定数キャパシタに対しては 0402 サイズのチップキャパシタのフットプリントが使用されました。EMPOWER 実行で集中定数素子が使用されるときはいつも GENESYS は素子の内部ポートを作成します。このポートは次のように配置されます。

- もし [EMPOWER] プロパティ ボックスで [2 ポート エlementのプレーナポートを使用する(Use Planar Ports fro two-port elements)] にチェックが入っていると 水平または垂直に配列された 2 つの端子エレメント (抵抗またはキャパシタ) に対して 1 つのポートが作成されます。
- その他の全ての場合、素子の各端子に対して 1 つの内部ポートが使用されます。このポートはパッド フットプリントの中心に配置され、EMPOWER は内部であっても外部であっても作成された各ポートに対してデータを書き込みます。
- 上図で描かれている「1」および「2」ポートは外部ポートの例です。

ポートは 外部ポート (External Ports) および 内部ポート (Internal Ports) セクションで説明されています。自動ポート配置は強力な技術であり、一旦 EMPOWER データが計算されると GENESYS でリアルタイムのチューニングが使用できます。

レイアウトのシミュレーションを実行

[ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] ウィンドウの中の [EM1] をダブルクリックします。これによって以下に示す [EMPOWER オプション (EMPOWER Options)] ダイアログが表示されます。



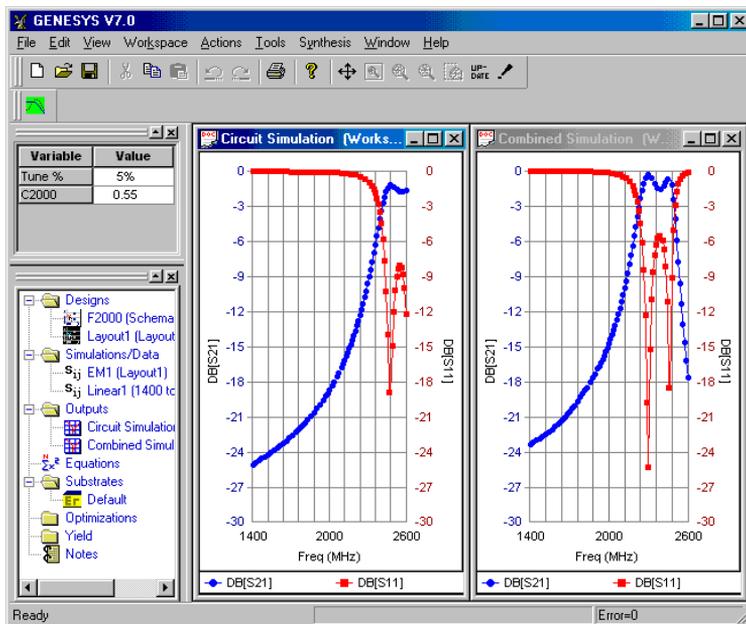
[今すぐ再計算 (Recalculate Now)] ボタンをクリックします。最後の EMPOWER 実行から何か修正されていたら、これによって EMPOWER が開始されてレイアウトをシミュレーションします。

注記 : EMPOWER は計算する必要があるときを決定するために沢山の情報を与えられています。EMPOWER は更新されていると確信している場合には [今すぐ再計算 (Recalculate Now)] をクリックしても何も動作しません。EMPOWER にゼロから再計算を強制する場合には、[ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] の [電磁シミュレーション (Electromagnetic Simulation)] を右クリックして [完全解析を実行 (Force Complete Analysis Now)] を選択します。

EMPOWER 計算が完了すると GENESYS は計算データを表示します。以下のグラフは EMPOWER シミュレーションの後の GENESYS を示しています。

シミュレーション

([ワークスペース ウィンドウ(Workspace Window)] 中のグラフ アイテムをダブルクリックして開き、[ウィンドウ(Window)] メニューから [垂直分割 (Tile Vertical)] を選択して以下に表示されているように編成します)。



集中定数素子

このセクションの最初の例は、正確なノッチ周波数を見つけるためにいくつかのデータポイントを必要とします。この 2 番目の例は 4 データポイントだけを使用しており、SUPERSTAR シミュレーションに非常に近いデータを生成しています。これは結合されたラインの負荷を形成する（中心周波数で共振の原因となる）キャパシタが EMPOWER シミュレーション中は削除されるからです。これはシミュレーション範囲から効果的に共振を取り除き、オープン結合ラインからフラット レスポンスを作成します。フラット レスポンスは線形補間法に適しているため、EMPOWER シミュレーションでは多くのデータポイントが必要としません。[EMPOWER] オプションダイアログでは集中定数素子が追加された後、より多くのポイントでシミュレーションを設定するために [コシミュレーション スweep (Co-Simulation Sweep)] ボックスが使用されます。

GENESYS が EMPOWER の結果を使用するとき、集中キャパシタを置き換え、その結果前のセクションで示されているバンドパス レスポンスを得ます。

この技術は集中定数素子フィルタを作成するとき、インダクタおよびキャパシタに対して近似を使用するのと似ています。各素子のレスポンスはシンプルで、

非常に少数の広い間隔のポイントから補間できますが、完全なフィルタのレスポンスは非常に複雑で、特性を評価するためにはより多くの点が必要となります。

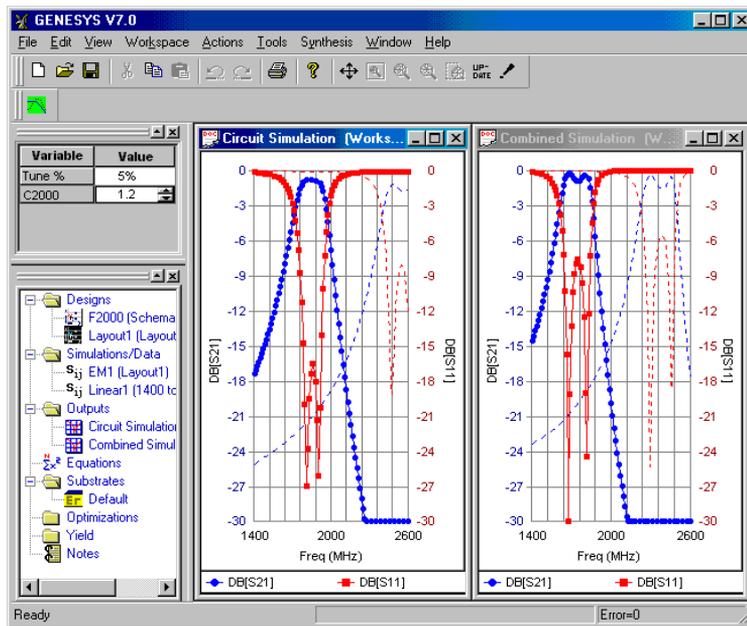
リアルタイム チューニング

先に述べたように GENESYS は EMPOWER を呼び出す前に集中定数素子を含むレイアウト ストラクチャに内部ポートを作成します。計算の途中で EMPOWER は内部、外部全てのポートに対してポート データで S パラメータ データを作成します。これによって GENESYS は元の EMPOWER データを使用しながら集中定数素子をチューニングできます。

チューニング の例を見てみます。

1. [チューン ウィンドウ (Tune Window)] で [Equation.C2000] プロンプトの内側をクリックします。
2. キャパシタの新しい値を入力するか、または [ページアップ/ページダウン (Page Up/Page Down)] キーまたはスピン ボタンを使用してチューニングします。

キャパシタを 0.55 pF から 1.2 pF にチューニングした後、以下の GENESYS 画面が表示されます。この図の左側に示されているレスポンスは SUPERSTAR 線形シミュレーション レスポンスです。EMPOWER データは右端のレスポンスで、集中定数素子と組み合わされています。



EMPOWER : チップス

概要

しばしば電磁界シミュレーションは、可能な限り高い精度を得る間、シミュレーション時間とメモリの要求が可能な限り小さくなるように、トレードオフと妥協を伴います。このセクションはいくつかの選択を見て、トレードオフを明らかにします。表 3-1 は各種の特徴をリストしており、それらのシミュレーション時間、精度およびメモリの要求の影響を与えています。これらの各々の選択が以下で詳細に調査されています。値は近似されており、変化することがあります。

選択	メモリ	精度	時間
セルサイズを半分に減少する。	x16	x2	x64
最大遮断周波数を大きくする	x1.5	x1.5	x2
対称を定める	x1/4 から x1/16	0	x1/4 から x1/16
間引きを停止する	x16	x1.2	x64
壁およびカバースペースを増加する	x1.1	x1.5	x1.1
正しいカバーを選択する	0	x4	0
損失を含む	x2	損失が多い	x4
ビューア データを作成する	x1.2	0	x2 から x10
スロットタイプストラクチャを訂正する	x1/64	0	x1/256
お好みのボックスセルカウント (Preferred Box Cell Count) を使用する	0	0	
厚いメタルを使用する	x6	?	x16

セル サイズ

結果が正確であるためにセルは十分小さい必要があります、少なくとも最大遮断周波数で波長当り 10 セルが必要です（以下参照）。さらに全てのラインおよびギャップをまたいで少なくとも 1 つおよびなるべく 1 つ以上のセルがあるようにセルは十分に小さい必要があります。セル サイズを減少させると、解の全ての段階で時間が長くかかるので、セル サイズを減少させることは、より良い精度を得るために無駄の多い方法かもしれません。逆に、数時間かかるシミュレーションを開始する前に、解が閉じていることを確認するために、問題の最初の実行としてセル サイズを増加させることは非常に良い方法です。

セルおよび問題の幾何学形状 (cells and the problem geometry) の詳細情報は EMPOWER の基礎 (EMPOWER Basics) セクションを参照してください。

最大遮断周波数

このパラメータはシミュレーションを開始するときに [EMPOWER] ダイアログボックスで設定されます。このパラメータを変更することは 3 つの（そして 3 つだけの）効果があります。

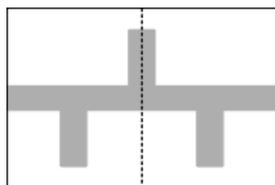
1. 最大間引き量が影響を受けます。EMPOWER はデフォルトの間引きモードでこの周波数でエリアが波長の 1/20 になるまで間引きます。
2. ディエンベットの解析のライン長は、自動モードでこの周波数では 1/2 波長です。
3. リスティングファイルの多くのパラメータはこの周波数を基にしています。

最大遮断周波数について知っておくべき最も重要なことは、解析する周波数領域を変更しても、同じ問題を実行している間は複数の実行間でこの値を同一に保つことです。これが変更されると間引きが変更され、全体の問題の幾何学形状がわずかに異なります。例として、15 GHz 近傍のリエントランス モードで（追加パスバンド）5.1 から 5.5 GHz のパスバンドを持ったフィルタを解析しているとき、恐らく最大遮断周波数を 5.5 GHz に設定するでしょう。これは大体どこでフィルタがリエントラーするかを知りたいだけの場合は、リエントランスモードの正確な特徴は重要ではないからです。一方、パスバンドがどこにあるかを正確に知りたいはずなので、最大遮断周波数をそれより上に設定します。

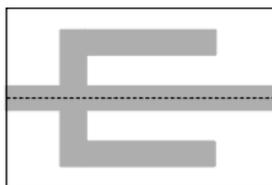
最大遮断周波数の影響は一般に二次的です。上記の表の中でのほかの選択の大半が精度に大きな影響を持っています。

対称

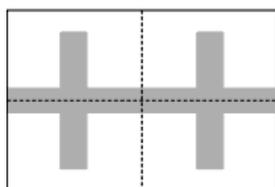
問題を正確に対称的にすることは、精度を犠牲にしないで問題がより少ないメモリと少ない時間を要求するようにする容易な方法です。EMPOWER で認識される 4 つのタイプの対称があります。YZ ミラー対称、XZ ミラー対称、2 ミラー対称および 180° 回転対称です。これらのタイプは以下に示されています。



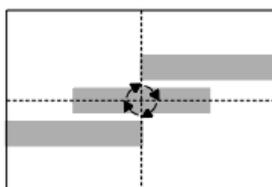
YZ Mirror



XZ Mirror



Two Mirror



Rotational

EMPOWER が実行されているとき、画面のトップの情報エリアを見て対称がアクティブかどうかを見る必要があります。アクティブでなければ、それが正確にボックスの真中に配置されているかどうかを見るために、問題を再チェックしてそれが実際に対称であることを見ます。2 つのツールがこれを助けます。

1. LAYOUT の [編集 (Edit)] メニューから [ページの選択された中心 (Center Selected on Page)] を使用する。この命令は回路が正確にページの中心に配置されていることの確認を容易にします。
2. [EMPOWER] 右クリック メニューから [リスティング ファイルを表示 (Show Listing File)] を選択してリスティング ファイルを表示します。このファイルはどのように問題がグリッド上に配置されたかを正確に示し、しばしば対称性がないことが明白になります。

非対称問題を対称にすることによって、大抵の場合、実行は 4 倍高速になり、問題が 2 つのミラー対称を使用できれば 16 倍高速になります。

セルおよび問題の幾何学形状の詳細情報は EMPOWER 基本 (EMPOWER Basics) セクションを参照してください。リスティング ファイルの詳細情報についてはファイルセクション (File section) を参照してください。

間引き

大抵の例では、デフォルトの間引きを使用する必要があります。一般ルールとして、間引きを使用すると、与えられた時間およびメモリに対してより良い精度を得ます。間引きはほとんどの、または全く影響のない電流を取り除くことによって実行を助けます。これは解の精度に影響を与えずに、問題の変数の数を大幅に減少します。間引きを使用してはいけない 2.3 の問題があり、それらは一般に間引きによって大きな影響を受ける大きな面積のメタルを含んでいます。デュアル-モード パワーディバイダ (Dual-Mode Power Divider) の例がこれらの場合の 1 つです。

壁およびカバースペース

一般に、壁およびカバースペースはモデル化しようとする問題に適合させる必要があります。これによって回路性能だけでなく、ボックスの共振も正確な評価を与えます。しかしながら 2,3 の状況でこれが不可能なことがあります。

1. ストラクチャがボックスの中にある。
2. 大きな回路の一部を解析中で、ボックスの壁はモデル不可能なくらい大きい。
3. 多くの異なった回路で再使用される部品（巻き線インダクタなど）を設計中で、カバーの高さが不明。

これらのケースでは近似を使用する必要があります。壁が回路から少なくとも基板の 3 倍、なるべく 6 倍の厚みだけ分離されているようにボックス サイズを設定します。マイクロストリップに対しては、カバースペース（上部エア）を基板の厚みの 5 から 10 倍に設定します。

詳細については [ボックス モード (Box Modes)] を参照してください。壁スペースのライン インピーダンスへの影響の例については、マイクロストリップ ライン (Microstrip Line) を参照してください。

カバータイプ

適切なカバータイプの選択は、測定結果に適合する解析を得るために非常に重要です。選択は通常オープン カバーを使用するか、クローズド カバーを使用するかを選択です。正しいカバーの選択は通常は解析時間には関係ありません。従ってこれを適切なタイプに選択しない理由はありません。オープン カバーでは放射があり、これは回路性能に大きな影響を持ちます。EMPOWER 実行を開始するときに [レイヤ タブ (LAYER Tab)] で正しいカバータイプを選択できます。

カバー (cover) についての詳細情報は [EMPOWER 基本 (EMPOWER Basics)] および [ボックス モード (Box Modes)] を参照してください。カバーを取外すことの回路性能への影響についての例は [エッジ 結合フィルタの例 (Edge-Coupled Filter example)] を参照してください。

損失の多い解析

回路損失についての情報が必要ないときは EMPOWER の実行を開始するときに [物理損失を使用しない (より速い) (Don't use physical loss (Faster))] のラベルのボックスにチェックをいれることができます。損失をオフにすると損失ありの場合に比べて、問題が要求するメモリは 1/2、時間は 1/4 に減少します。

損失を含めて全てのレイヤをそれらの適切な特性で定義することをお勧めします。その後で上述のように損失あり、および損失なしモードをすばやく変更することができます。共通のテクニックとしては最初は損失なしで回路を解析し、次は損失ありにして小数点で解析を実行することです。これによって解析の大半に費やす追加時間を待つことなく、損失の大きさを決定でき、損失が他の主要な影響を性能に与えないということを確認できます。

スロット タイプ ストラクチャのセクションで記述された損失に関して追加の注意があります。

インターディジタル フィルタへの損失の効果の例については、狭帯域インターディジタル の例 (Narrowband Interdigital example) を参照してください。

ビューア データ

ビューアの電流をみることは、回路性能の洞察を得るために非常に良い方法です。しかしながら、このビューア データの作成は追加の時間が必要で、実行時間の長さを 2 から 10 倍増加し、ときには追加のメモリを要求することがあります。ビューア データの作成は与えられた解になんの影響も持っていません。従ってビューアを実際実行しようとする意図がない限り、このオプションをオンにすべきではありません。EMPOWER 実行を開始するとき、[ビューア データの作成 (より遅い) (Generate Viewer Data (Slower))] という名前のチェックボックスを使用してこのオプションをオン/オフできます。

通常はビューア データは不要であり、それが必要なときでも全ての周波数に対して通常はビューア データは必要ありません。お勧めは次のとおりです。

1. 全ての問題を最初はビューア データなしで実行します。回答が全く期待外れのとき、ファイル記述のエラーをチェックします。これによって実験段階で多くの時間を節約できます。

2. ビューア データが欲しいと決定したら [EMPOWER オプション(EMPOWER Option)] ダイアログ ボックスを開きます。解析する周波数点の数を減少し、[ビューア データ作成 (より遅い) (Generate VGiewer Data (Slower))] をオンします。EMPOWER シミュレーションを再計算すると、いくつかの点に関してビューア データが得られます。
3. 問題が非常に大きい場合、セル サイズを増加するか、または計算するために必要な時間を減少させるために、他のトレードオフをしたいことがあります。このテクニックを使用するときは、ビューア データを作成する前にファイルを新しい名前で保存し、既存の S パラメータ データを壊さないようにします。

より詳細については EMPOWER ビューア セクション (EMPOWER Viewer section) を参照してください。

スロット タイプ ストラクチャ

通常モードでは EMPOWER はメタル中の電流に対して解を作成します。EMPOWER がギャップおよび損失のあるメタルで電圧に対して解を作成する追加のモードがあります。GENESYS から EMPOWER 実行開始のときに [スロット タイプストラクチャ (Slot-Type structure)] にチェックを入れるか、または [IPL] ファイルで [LAYER] を記述するときに [VOLTAGE] キーワードを使用して手動で、このモードをオンにする必要があります。

一般にメタライゼーション レイヤがオープン スペースよりもむしろ損失なしメタルを多く含んでいるときは [スロット タイプストラクチャ (Slot-Type structure)] にチェックを入れる必要があります。これはコプレーナ導波管のようなスロット タイプストラクチャでしばしば起こるケースです。答えは常に同一ですが、このチェック ボックスが適切な値に設定されていることで、メモリおよびシミュレーション時間を数桁節約できます j。注記：この設定は常に電流として計算される z 方向メタル (ビアホールなど) では効果がありません。

このオプションで損失のある問題を記述するときの注意があります。全ての非理想メタルが解析される必要があります、問題の中でメタルが損失ありの場合は [スロットタイプストラクチャ (Slot-Type structure)] をオンすると、解析するエアとメタルの両方でオンされ、メモリおよび要求時間に破滅的な影響を与えます。[スロット タイプストラクチャ (Slot-Type structure)] ボックスにチェックを入れるときは、メタル レイヤが損失なしに設定されていることに注意します。

好ましいセル カウント

EMPOWER 実行の第一部は、グリッドのフーリエ変換をすることに関連しています。これらの変換はボックスの各辺に沿ったセルの数が $2^a 3^b 5^c 7^d 11^e 13^f$ の形式をしていると非常に速く実行できます。ここで e と f ゼロまたは 1 で

シミュレーション

a、b、c および d は任意の整数です。言い換えると、512 x 512 セル (28 x 28) のセルのあるボックスの回路は 509 x 509 セル (509 は素数です) のあるボックスよりも速く解析されます。一方を好ましい数にするだけでも効果があり、509 x 512 のセルは 509 x 509 のセルよりも速く解析できます。EMPOWER がフーリエ変換している間の時間だけが影響を受け、このことは通常 100 x 100 よりも大きいボックスで重要であることを注意します。メッセージに FFT が長時間表示されている状態がある場合には、ボックスの幅と高さが好ましい数のセルかどうかチェックしてください。(上記の形式に適合する) 10,000 以下の数は次のとおりです。

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 18 20 21 22 24 25 26 27 28 30 32 33 35 36 39 40 42
44 45 48 49 50 52 54 55 56 60 63 64 65 66 70 72 75 77 78 80 81 84 88 90 91 96 98 99 100
104 105 108 110 112 117 120 125 126 128 130 132 135 140 143 144 147 150 154 156 160
162 165 168 175 176 180 182 189 192 195 196 198 200 208 210 216 220 224 225 231 234
240 243 245 250 252 256 260 264 270 273 275 280 286 288 294 297 300 308 312 315 320
324 325 330 336 343 350 351 352 360 364 375 378 384 385 390 392 396 400 405 416 420
429 432 440 441 448 450 455 462 468 480 486 490 495 500 504 512 520 525 528 539 540
546 550 560 567 572 576 585 588 594 600 616 624 625 630 637 640 648 650 660 672 675
686 693 700 702 704 715 720 728 729 735 750 756 768 770 780 784 792 800 810 819 825
832 840 858 864 875 880 882 891 896 900 910 924 936 945 960 972 975 980 990 1000
1001 1008 1024 1029 1040 1050 1053 1056 1078 1080 1092 1100 1120 1125 1134 1144
1152 1155 1170 1176 1188 1200 1215 1225 1232 1248 1250 1260 1274 1280 1287 1296
1300 1320 1323 1344 1350 1365 1372 1375 1386 1400 1404 1408 1430 1440 1456 1458
1470 1485 1500 1512 1536 1540 1560 1568 1575 1584 1600 1617 1620 1625 1638 1650
1664 1680 1701 1715 1716 1728 1750 1755 1760 1764 1782 1792 1800 1820 1848 1872
1875 1890 1911 1920 1925 1944 1950 1960 1980 2000 2002 2016 2025 2048 2058 2079
2080 2100 2106 2112 2145 2156 2160 2184 2187 2200 2205 2240 2250 2268 2275 2288
2304 2310 2340 2352 2376 2400 2401 2430 2450 2457 2464 2475 2496 2500 2520 2548
2560 2574 2592 2600 2625 2640 2646 2673 2688 2695 2700 2730 2744 2750 2772 2800
2808 2816 2835 2860 2880 2912 2916 2925 2940 2970 3000 3003 3024 3072 3080 3087
3120 3125 3136 3150 3159 3168 3185 3200 3234 3240 3250 3276 3300 3328 3360 3375
3402 3430 3432 3456 3465 3500 3510 3520 3528 3564 3575 3584 3600 3640 3645 3675
3696 3744 3750 3773 3780 3822 3840 3850 3861 3888 3900 3920 3960 3969 4000 4004
4032 4050 4095 4096 4116 4125 4158 4160 4200 4212 4224 4290 4312 4320 4368 4374
4375 4400 4410 4455 4459 4480 4500 4536 4550 4576 4608 4620 4680 4704 4725 4752
4800 4802 4851 4860 4875 4900 4914 4928 4950 4992 5000 5005 5040 5096 5103 5120
5145 5148 5184 5200 5250 5265 5280 5292 5346 5376 5390 5400 5460 5488 5500 5544
5600 5616 5625 5632 5670 5720 5733 5760 5775 5824 5832 5850 5880 5940 6000 6006
6048 6075 6125 6144 6160 6174 6237 6240 6250 6272 6300 6318 6336 6370 6400 6435
6468 6480 6500 6552 6561 6600 6615 6656 6720 6750 6804 6825 6860 6864 6875 6912
6930 7000 7007 7020 7040 7056 7128 7150 7168 7200 7203 7280 7280 7350 7371 7392
7425 7488 7500 7546 7560 7644 7680 7700 7722 7776 7800 7840 7875 7920 7938 8000
8008 8019 8064 8085 8100 8125 8190 8192 8232 8250 8316 8320 8400 8424 8448 8505
8575 8580 8624 8640 8736 8748 8750 8775 8800 8820 8910 8918 8960 9000 9009 9072

9100 9152 9216 9240 9261 9360 9375 9408 9450 9477 9504 9555 9600 9604 9625 9702
9720 9750 9800 9828 9856 9900 9984 10000

厚いメタル

[Thick up] または [Thick Down] メタルの使用は EMPOWER の実行を大いに複雑にします。その理由は（厚いメタルのトップとボトムのために）全てのメタルレイヤがコピーされねばならず、全てのメタルの側面に沿って z 方向電流が追加されねばならないからです。

メタル レイヤの定義の詳細は次の [EMPOWER] レイヤ ダイアログ ボックスに説明されています。

[メタル レイヤ (Metal Layer)] - [全般レイヤ (General Layer)] タブの全てのメタルレイヤも [EMPOWER レイヤ (EMPOWER Layer)] タブに示されています。これらのレイヤは、メタルや抵抗膜のような他の導体材料のために使用されます。次のタイプが利用可能です。

- 無損失。レイヤは理想的なメタルです。
- 物理的記述。レイヤは損失ありです。これらの損失は ρ （銅を規準とした比抵抗）、厚みおよび表面の粗さで記述されます。
- 電氣的記述。レイヤは損失ありで、インピーダンスまたはファイルで記述されます。このタイプは抵抗膜および超電導体に共通に使用されます。このボックスへの入力がある場合は、1 平方当りの材料のインピーダンスを Ω 単位で指定します。このボックスへの入力がある場合は、周波数に対するインピーダンス データを含む 1 ポート データ ファイルを指定します。このデータ ファイルは必要に応じて内挿/外挿されます。1 ポート データ ファイルの説明に関しては [デバイス データ セクション (Device Data section)] を参照してください。
- 基板：1 つの基板を選択すると、レイヤはその ρ 、厚み、および粗さパラメータをその基板の定義から入手します。基板とレイアウトの間でパラメータをコピーする必要がないように、可能な場合はいつもこの設定を使用することをお勧めします。

注意：厚いメタルが選択されない限り、厚みは損失の計算だけに使用されます。厚みはその他には使用されず、全てのストリップはそれらがあっても無限に薄いかのようにして計算されます。

メタル レイヤは次の 3 つの追加設定が利用可能です。

[スロット タイプ (Slot Type)]- このボックスにチェックを入れて EMPOWER の中で非-無損失-メタル エリア（メタル エリアに対して）を

シミュレーション

シミュレーションします。これを接地面および他のプライマリ メタルであるレイヤのために使用します。これを損失ありのレイヤで使用しないでください。詳細については EMPOWER マニュアルを参照してください。

[電流方向 (Current Direction)]- このレイヤで電流がどちらの方向に流れるかを指定します。デフォルトでは X および Y 方向です。長く伸びた一般的なラインで時間を節約するために [X のみ (X Only)] または [Y のみ (Y Only)] を使用することができます。[Z アップ (Z Up)]、[Z ダウン (Z Down)]、および [XYZ ダウン (XYZ Down)] は次の上下のレベルまたはカバーへ行く厚いメタルを作成することを可能にします。

[厚いメタル (Thick Metal)] - このボックスにチェックを入れると EMPOWER は厚みを含んだメタルのモデルを作成します。EMPOWER は互いに接近した 2 つのメタル レイヤを配置し、互いのトレースをコピーし、それらを z 方向電流で接続してこれを実行します。厚いメタルが使用された場合、[電流方向 (Current Direction)] は無視されます。

エレメント Z-ポート (Element Z-Ports) - この設定は自動的に作成されるエレメント ポートのデフォルト方向を上のレベルまたは下のレベルに指定します。一般に、この方向として電氣的に最も短いパスを選択する必要があります。

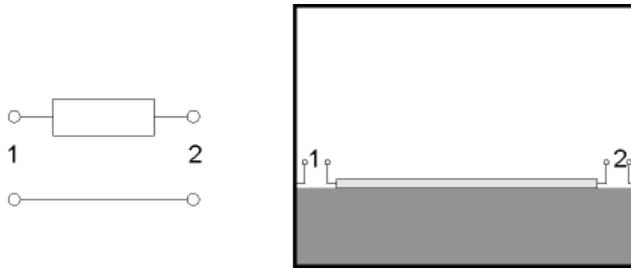
EMPOWER : 外部ポート

概要

全ての EMPOWER 回路は少なくとも 1 つのポートを含む必要があります。これらのポートは 2 つの大きなカテゴリに分割されます。側壁にある外部ポートおよびボックス内にある内部ポートです。このセクションは外部ポートだけを説明します。内部ポートはこのマニュアルの後のセクションで説明されます。

外部ポートの配置

ここからは外部ポート (EMPorts) の配置に精通しているとして説明を進めます。もし精通していないならば、最初の例を参照して手短に概要をつかむ必要があります。外部ポートは [LAYOUT] でツールバーから [EMPort] を選択して配置されます。これらのポートは、一般にラインの最後のボックスのエッジ上に配置されます。

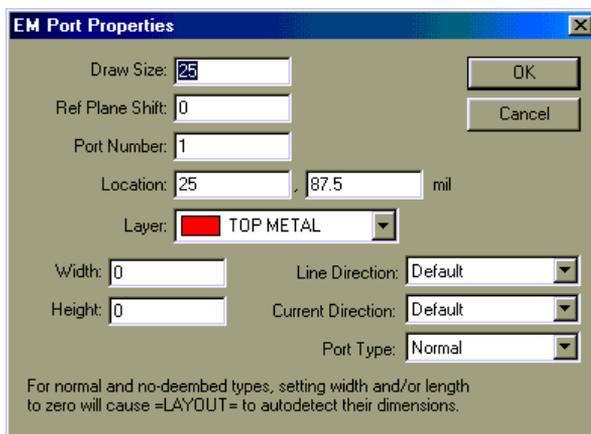


この図は回路理論におけるポートと EMPOWER のポートの比較を示しています。左側の回路理論図で 2 つのポートがあります。各ポートは 2 つの端子を持っており、ボトム端子は通常接地です。

図の右側に示された EMPOWER 図で、線分はボックスのエッジの手前（通常は 1 セル幅離れて）で停止し、そこからポートが開始しています。これがどのようにグリッド上にマップされるかは 基本セクション (Basics section) のグリッドの説明 (Grid discussion) を参照してください。回路理論の図と同様に、2 つのポートがあり、各ポートは 2 つの端子を持っています。しかしながら、EMPOWER では接地面を簡単な短絡回路でモデル化する代わりにボックスを流れる電流の影響が考慮されています。

EMPort オプション

最初にポートを作成したとき、ポートは自動的に伝送ラインの終端に配置され、適切な特性を備えた外部ポートとして設定されます。多くのアプリケーションでは、ポートを配置したとき、これらの特性を変更できます。これらの特性はポートを配置したときに自動的に表示される [EM ポート 特性 (EM Port Properties)] ダイアログ ボックスに表示され、後にポートをダブルクリックするか、ポートを選択して [編集 (Edit)] メニューから [詳細 (Details)] を選択してアクセスできます。通常の [EP ポート 特性 (EM Port Properties)] ダイアログ ボックスが以下に示されています。次のセクションはこのダイアログ ボックスへの入力を説明します。



描画サイズ (Draw Size) - これはシミュレーションに影響を及ぼしません。これはポート番号が画面に表示される大きさ、および印刷される大きさを制御します。

リファレンス面シフト (Ref Plane Shift) - このパラメータは [ポートタイプ (Port Type)] が [通常 (Normal)] に設定されているときだけ利用できます (以下リファレンス)。大半の完全な回路ではこの値はゼロにしておくことができます。正のリファレンス面シフトはディエンベッドが回路に余分のライン長を追加させます。負の値がより一般的でリファレンス面がボックス内部へ移動します。(リファレンス面シフトを使用したパッチ アンテナ シミュレーションの例としてのパッチ アンテナ インピーダンスの例およびエッジ結合フィルタの例 (Edge-Coupled Filter example) を参照してください)。基準面はレイアウト上では 1 つの矢で示されています。さらに、[EMPort] が選択されると、[ハンドル (Handles)] が基準面に表示され、それをマウスで移動することができます。

ポート番号 (Port Number) - EMPOWER が実行されるとき、ここで指定されたポート番号は結果のデータのポート番号に対応しています。これらのポート番号は連続している必要があります (番号はスキップできません)、ノーマルポート (Normal port) は常に非ディエンベッドおよび内部ポートよりも低い番号である必要があります。[LAYOUT] は EMPort が配置されると自動的に新しいポート番号を割当て、ポート番号がポートのレイアウトに表示されます。

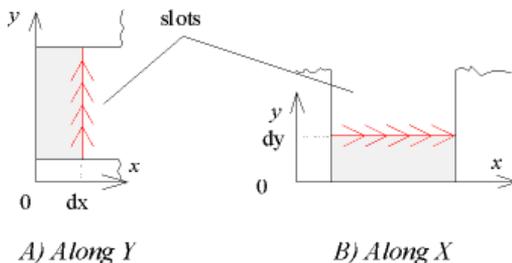
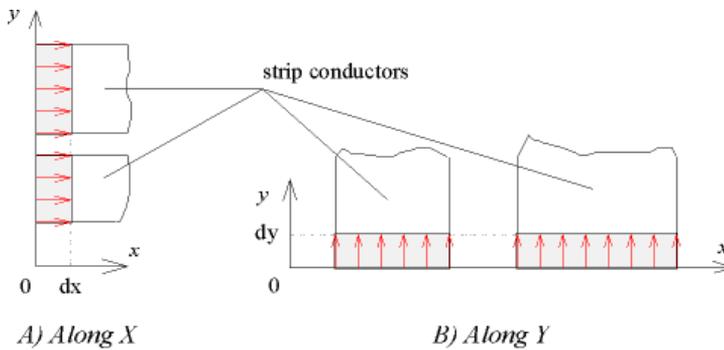
幅および長さ (Width & Length) - 外部ポートをストリップタイプの伝送ラインに配置するとき、通常はこれらの値をゼロにしておき、[LAYOUT] にポートのサイズを自動的に決めさせます。サイズを上書きしたいときは、またはスロットタイプまたは内部ポートに対しては、ここで幅と長さを指定できます。注記：幅と長さはライン方向に測定され、これらのパラメータは反転して表示されることが可能です。長さは (ラインに沿った) 伝搬の方向で、幅はストリップの幅です。

レイヤ (Layer) - その上にポートが配置されるメタルレイヤを指定します。

[ロケーション (Location)] - 外部ポートに対してはポートのエッジを指定し、内部ポートに対してはポートの中心を指定します。

[ラインの方向 (Line Direction)] - ポートでのラインの方向を与えます。デフォルト モードでは最近接の壁がラインの方向を決定します。この値はほとんど上書きが必要になることはありません。

[電流方向 (Current Dir)] - ポートの中での電流の方向を指定します。以下の第一の図はマイクロストリップおよびストリップ ラインのようなストリップ タイプ ストラクチャ上の外部ポートに対するデフォルトの電流方向を示しています。第二の図はコプレーナ導波管のようなスロット タイプ ストラクチャの外部ポートのデフォルトの電流方向を示しています。内部ポートに対して、デフォルト電流方向は「Z 軸に沿って」います。この値もほとんど上書きされる必要はありません。



[ポート タイプ (Port Type)] - ポートの基本タイプを指定します。ノーマル、非エンベデッド、および内部。

- ノーマル ポートはディエンベッドで、マルチモードの可能性のある外部ポートです。それらはレイアウトでは灰色で表示されます。
- 非ディエンベッドポートは非ディエンベッドでマルチモードの可能性のない外部ポートです。それらはレイアウトでは白色で表示されます。

シミュレーション

- 内部ポートも非ディエンベッドで、マルチモードの可能性はありません。それらはレイアウトでは白色で表示されます。

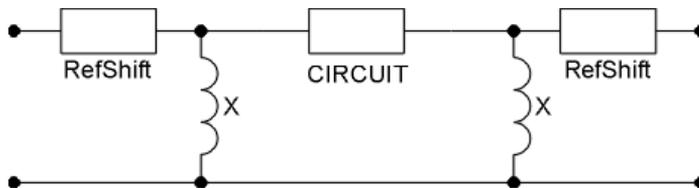
ディエンベッドおよびマルチモード ラインについての詳細は以下を参照してください。

ディエンベッド

EMPort と同じスタイルで回路を現在設計している場合には、即ち、同軸マイクロストリップ ジャンクションのケースでしばしば見られるようにポートが終端の壁の手前で停止するラインから構成されている場合には、EMPOWER は現在設計しようとしている回路をシミュレーションしているので、ディエンベッドを使用する必要はありません。

しかしながら、回路がこのような種類の構成をしていないか、または大きな回路の小さな部分をシミュレーションしている可能性があります。外部ポートでは、ラインの開放端と壁との間の結合によるポートでの容量があります。ディエンベッドはこの余分なリアクタンスを取り除き、伝送ラインに完全に整合し、ラインとボックスが無限に外方向に伸びているかのようにモデル化します。

ディエンベッドはまたリファレンス面シフトを定義することを可能にします。デフォルトでリファレンス面シフトはゼロで、このことは結果のデータは正確に側壁の位置で測定されていることを意味します。リファレンス面シフトが負の場合、データはボックス内部で測定され、回路から長さを実効的に減算します。リファレンス面シフトが正の場合、データはボックス外部で測定され、回路に長さを実効的に加算します。



これはディエンベッドがアクティブのときに使用される等価ネットワークです。図の中心で CIRCUIT と名前が付けられたものは EMPOWER シミュレーションの未補正の結果を含んでいます。（上記でインダクタとして示されている）リアクタンス X は終端壁による容量をキャンセルし、同時に他のリアクタンスを補正します。（ X の値は負である可能性があり、この値は周波数に依存します）。外側の RefShift ラインはリファレンス面を正しい位置へ移動します。RefShift ラインはまたボックス壁での不連続性を補正する助けもし、リファレンス面シフトがそのポートでゼロを指定していてもそれらの長さは通常ゼロではありません。RefShift ラインのインピーダンスはポート ライン インピーダン

スと等しく、これらのラインの追加によって位相だけがシフトされます。反射係数の大きさは影響を受けません。

ディエンベットのパラメータは回路解析の前に計算されます。EMPOWER はこれを自動的に実行し、2 つの異なった長さのラインを各周波数で各使用ポートに対して解析し、リアクタンスおよび基本 RefShift 値を求めます。

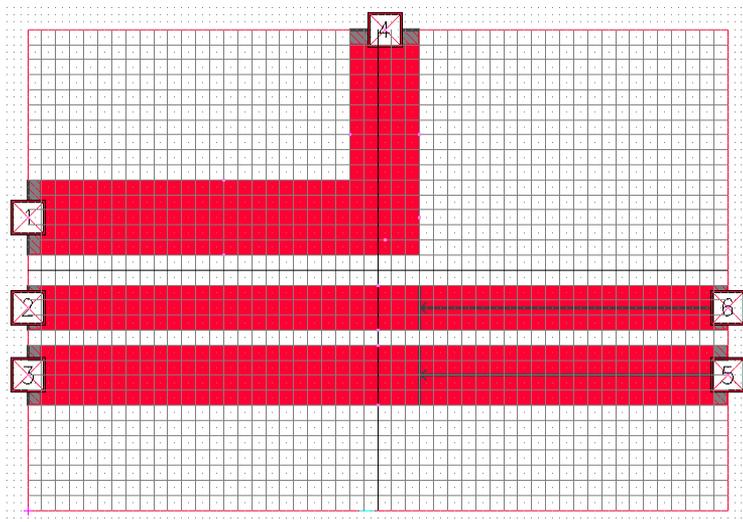
注記 : ディエンベッドは実行の開始時に追加のライン解析モードを要求するので、ディエンベッドを使用した実行はかなり長時間かかることがあります。

広いラインはボックスの全体の長さに渡ってシミュレーションされるので、ポートの位置でのラインが広い場合に、特にこのことが言えます。しかしながら、ライン解析は常に対称的であり、ポートラインが正確にボックスの中央に配置されたときには 2 つの面に対して対称な可能性もあります。EMPOWER はまたライン解析結果をキャッシュし、ボックスとポート ラインが実行と実行の間で変更がなければ以前のデータが使用されます。これらのラインのデータは内部で ワークスペース (WSP) ファイルに内部ファイル名 EMPOWER.R1、EMPOWER.R2 などを使用して保存されます。EMPOWER はまた 2 つ以上のポートが同じ構成 (幅、位置など) をしているときはこれを検出し、ライン解析を一度だけ実行する賢明さを備えています。

ディエンベッドを調べる完全な例についてはマイクロストリップ ライン (Microstrip Line) を参照してください。

マルチモード ポート

これまで、見てきた全てのポートはシングル モード ポートでした。シングル モード ポートは SUPERSTAR の正規ノードのように動作し、外部コンポーネントをこれらのポートに直接追加することができます。EMPOWER も 2 つの EMPort が十分に接近して結合している場合の外部マルチモード ポートをサポートしています。この回路はポート 1、2、3 を 3 モードポートとし、4 を通常のシングル モードポートとし、ポート 5、6 を 2 モードポートとしたマルチモード ポートを使用しています。



マルチモードポートは次の特徴を持っています。

- それらは1つの壁に互いに接近した2つまたはそれ以上のラインのネットワークの性能をより正確に特徴付けます。
- それらは通常のSUPERSTARノードのように使用できません。それらはマルチモードラインおよびマルチモードEMPOWERデータを備えた他のマルチモードポートと接続できるだけです。さらに一緒に接続された全てのマルチモード素子は各ポートに対して同じ数のモードを持っている必要があります。

注意：標準の集中定数素子をマルチモードポートに接続しないでください。結果が正しくなくなります。コンポーネントに直接接続しようとする場合はシングルモードポートを使用する必要があります。マルチモードポートは他のマルチモードポートまたはマルチモードラインと接続するためだけに使用します。

- それらはシングルEMPOWER回路で可能であるよりもっと大きなストラクチャを正確に解析するために、分割と共に使用できます。より詳細については分割セクション (Decomposition section) を参照してください。

マルチモードポートを作成するにはEMPOWERを実行するときに[EMPOWER]設定ダイアログボックスで[モード設定 (Mode Setup)]ボタンをクリックします。このセクションの終わりにあるものと類似のボックスが表示されます。ポートをマルチモードにするためには、その間のボックスにチェックを入れます。EMPort 1、2 および 3 は1つのマルチモードポートを形成し、

EMPort 5 および 6 はもう 1 つのマルチモード ポートを形成します。EMPort 4 はシングル モード ポートです。マルチモード ポートを作成するには次の規則に従います。

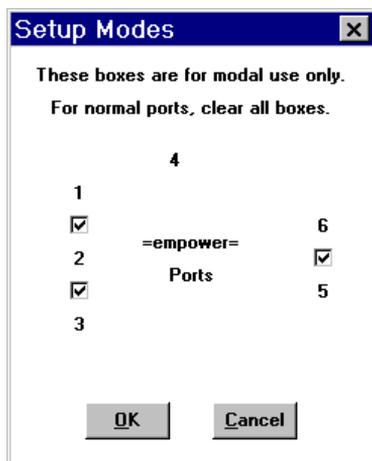
- マルチモード ポートの全ての EMPort は同じ壁上になければなりません。
- 全ての EMPort は同じ長さ、ライン方向、電流方向およびリファレンス面シフトを持たなければなりません。EMPort は（しばしばそうであるように）上記のように異なった幅を持つことができます。
- 全ての EMPort は「ノーマル」でなければなりません（「非ディエンベッド」または「内部」ではなく）。
- ポート番号はシーケンシャルで、順番に並んでいなければなりません。例えば、上記のポート 1 と 2 を交換した場合、ポートが側壁に沿って 2-1-3 の順序になるので 3 モードポートは使用できません。

上記の回路で EMPOWER を実行すると、図を見て予期されるように 6 ポート データを与えます。しかしながら、第 4 ポートは唯一ノーマルのシングル モード ポートです。データ ファイルでデータの最初の 3 ポートはモード スペース内であり、データの最後の 2 つのポートはモード スペース内にあります。例えばデータファイルの中で、

- S41 はマルチモード ポート (1, 2, 3) のモード 1 からポート 4 へのエネルギーの伝送を表しています。
- S25 はマルチモード ポート (5, 6) のモード 1 からマルチモード ポート (1, 2, 3) のモード 2 へのエネルギーの伝送を表しています。
- S66 はマルチモード ポート (5, 6) のモード 2 内のエネルギーの反射を表しています。

マルチモード データは注意深く接続される必要があります。マルチモード ポートは他の同一のマルチモード ポートまたはライン構成（同じボックス、ライン幅、スペーシングなど）にのみ接続できます。さもなければ、接続は物理的でなく結果は意味がなくなります。

マルチモード ラインの使用についての詳細は分割セクション(Decomposition section) のスパイラルインダクタの例を参照願います。



汎用 S パラメータ

通常の回路理論解析が実行されたとき、ポートはしばしば $50\ \Omega$ とか $70\ \Omega$ の標準インピーダンスで終端されます。しかしながら EMPOWER は汎用 S パラメータを使用すると、もっと正確な結果を与えます。汎用 S パラメータでは、ポートが $50\ \Omega$ とか $70\ \Omega$ で終端される代わりに、ポートは EMPOWER で計算されたラインの特性インピーダンスで終端されます。これはより内部一貫性のある表現であり、結果はしばしばより正確です。次の 3 つの条件が成立するときは汎用 S パラメータを使用すべきです。

1. ノーマルのディエンベッドポートを使用している。「非ディエンベッド」または「内部」とマークされたポートは汎用 S パラメータを報告するには適切でないので、汎用パラメータが要求される場合、それらは $50\ \Omega$ で正規化されます。
2. ポートでのラインのインピーダンスを（例えば T/LINE を使用して）計算し、それらが $50\ \Omega$ （または $75\ \Omega$ ）であるとき。
3. EMPOWER を実行したがポートインピーダンスが少し異なって計算された（例えば $50\ \Omega$ の代わりに $47\ \Omega$ ）。このエラーは一般にグリッドサイズの結果によるものです。（グリッドサイズを細かくするとインピーダンスのエラーが減少します）。

この場合、ポートラインは $50\ \Omega$ であるはずとわかっているけれども、EMPOWER は $47\ \Omega$ と報告しています。そこで汎用 S パラメータを要求すると、GENESYS は終端インピーダンスとして $47\ \Omega$ を使用し、グリッドに起因する解析エラーの大半はキャンセルされます。結果は $50\ \Omega$ のネットワークアナライザで回路を測定して得られる結果と近い値になるでしょう。

GENESYS から汎用 S パラメータを得るためには [EMPOWER プロパティ (EMPOWERproperty)] ダイアログ ボックスの [汎用(Generalized)] ボックスにチェックをいれます。

EMPOWER が実行されたとき、R1、R2、R3 など拡張子付きインピーダンスの各ポートに対するファイル(GENESYS から実行されたときはストラクチャードストレージに) を出力します。従って EMPOWER 解析 EM1 での 2 ポート ネットワークに対する 「汎用」 インピーダンスの使用は 「WSP : Simulations\EM1\EMPOWER.R1, WSP : Simulations\EM1\EMPOWER.R2」 のインピーダンスを使用することと等価です。

汎用 S パラメータの使用例については例のマニュアルを参照してください。

EMPOWER : 分割

概要

注記：分割を使用するのに必要なシングルおよびマルチモード伝送ラインは、GENESYS の現在リリースされているバージョンでは利用できません。分割を使用したいときには、当社の技術サポートチームにご連絡ください。暫定的には GENESYS 2004 も使用できます。

EMPOWER では大きな回路を伝送ライン セクションで接続された小さなセグメントに分割できます。分割は実行に時間がかかることがありますが、それによって得られることは、シミュレーションが短時間および少ない周波数点で、正確に実行されるということです。分割の主要な利点は次のとおりです。

- EMPOWER でシミュレーションした回路内部のシングルおよび結合伝送ラインをチューニングする能力。例えば、EMPOWER シミュレーションを再実行しないで、曲線部を備えたラインのサイズを変更したり、またはインターディジタル フィルタのタップ ポイントを調整できます。
- 大抵の回路は正確な解析にははるかに少ない周波数点を要求します。その理由は 1/4 波長共振ラインは共振しない非常に小さなラインに分割され、内挿が可能だからです。例えば、7 次のインターディジタル フィルターが EMPOWER 実行でわずか 5 周波数点でシミュレーション可能で、一方出力スイープには 100 点が表示されます。
- その他の方法では大きすぎて実行できない問題をシミュレーションする能力。

分割の主要な欠点は次のとおりです。

- 回路設定に長時間がかかる。シミュレーションが回路図と組み合わせられて、複数回の EMPOQWER 実行を必要とする。

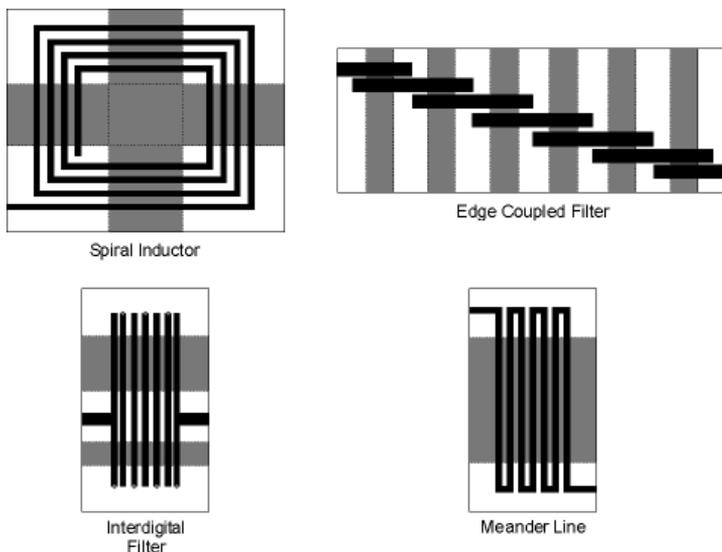
シミュレーション

- 全体の問題に関連するボックス モードおよび他の現象がモデル化されていない。しかしながら、EMPOWER が結合ライン接続のモデル化にモード スペースを使用するので、このことは他のシミュレータと比べて問題は小さくなります。
- 結合ラインの損失がモデル化されていない。

基本

注記：分割を使用するのに必要なシングルおよびマルチモード伝送ラインは GENESYS の現在リリースされているバージョンでは利用できません。分割を使用したいときには、当社の技術サポートチームにご連絡ください。暫定的には GENESYS 2004 も使用できます。

分割はシングルまたはマルチプル伝送ラインで接続された部分を備えた回路に適用できます。分割できるいくつかの典型的な回路が以下に示されています。各回路で陰影のついていないエリアは、個別にシミュレーションされます。その後、分割された部分は陰影を付けられたエリアのラインである部分を接続するマルチモード伝送ラインを使用して結合されます。



分割が可能であるためには、回路を伝送ラインによって互いに接続された直交エリアに分割する必要があります。例えば、上記のスパイラル インダクタは各コーナーが 1 つの 4 個の直交エリアに分割されます。これらのセクションはマルチモード伝送ラインで接続されます。

上記の各回路で分割の 3 つの主要な利点を見ることができます。

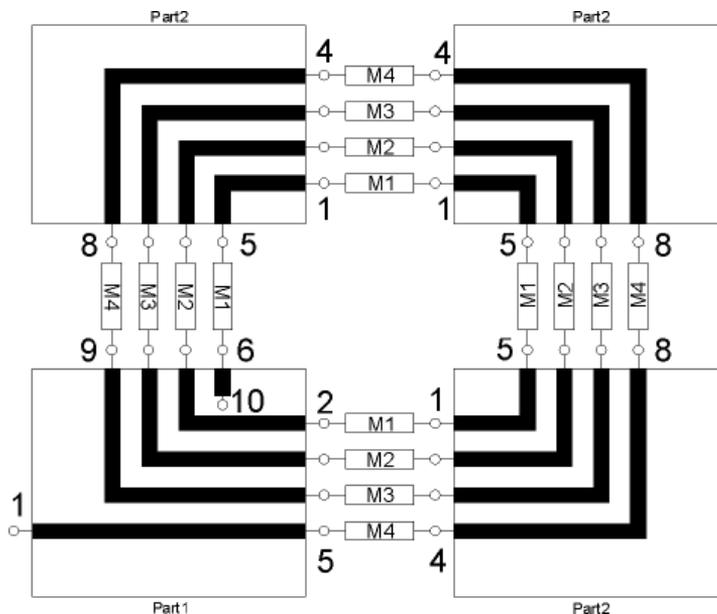
- 接続する伝送ラインの長さは変更できる。スパイラル インダクタでこれによってスパイラルのサイズ（およびインダクタンス）は GENESYS によってチューニングまたは最適化できる。
- 解析に必要な点のはるかに少ない。これは部分の各々が簡単で内挿がうまく働くからです。例えば、エッジ結合フィルタでは、各部分は共振しない開放端とラインの短い部分だけを含んでいるからです。結果として、このフィルタはうまく解析するためにわずか 5 周波数点を必要します。
- これらの回路の全てで、灰色のエリアは容易に大きくなり、問題を解析するために数百 MB のメモリが必要となります。曲線部を備えたラインで、結合ラインの長さ（灰色エリア）が非常に長くなると EMPOWER シミュレーションは長時間を要します。回路が分割されると、GENESYS で結合セクションがいかに長くても簡単に 1 つの長さの値を変更してほとんど一瞬で解析します。

スパイラル インダクタの例

注記：分割を使用するのに必要なシングルおよびマルチモード伝送ラインは GENESYS の現在リリースされているバージョンでは利用できません。分割を使用したいときには、当社の技術サポートチームにご連絡ください。暫定的には GENESYS 2004 も使用できます。

最初の分割の例として、スパイラル インダクタを解析します。最初のステップは、ここに示されているような分割の図面を用意することです。マルチモード解析の問題を設定するときは、紙の上に同様の図を描くことを強くお勧めします。

シミュレーション



最初のステップは、各単一部品のレイアウト付きのワークスペースを作成することです。この例では2つの独自の部品があります。第一は左下の角の部品で、第二は他の3つの角の同一の部品です。これらの部品を作成するには2つの基本的な方法があります。

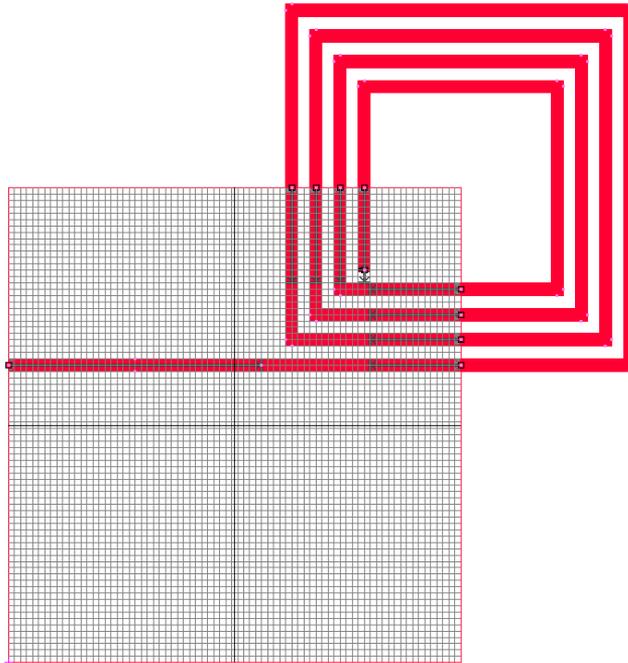
- 個々の部品を独立に作成し、この部品でシミュレーションされる部分だけを描きます。このケースでは個々のレイアウトは上記に示された形状をしています。

または、

- 最初に全体の問題の完全なレイアウトを作成します。そして希望する部品だけがシミュレーションされるようにボックスを小さくしていきます。これがスパイラルインダクタに使用する方法です。

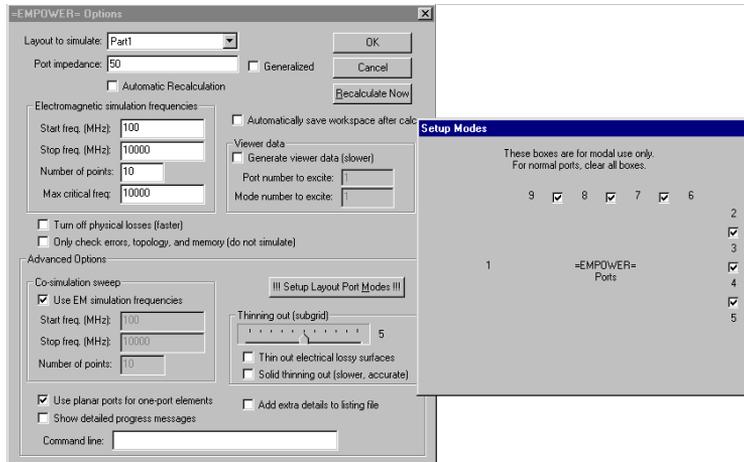
出発点として全体のスパイラル インダクタのレイアウトを作成しました (\EAGLE\EXAMPLES\DECOMP\FULL.WSP)。このファイルは MRIND エレメントから出発してレイアウトがほとんど自動的に作成されるようにして作成されました。追加した唯一の事項はポート 1 から EMPort へ導かれる余分の長さの引き出しです。ポート 1 のリファレンス面はスパイラル モデルの実際の出発点にシフトされていることにご注意ください。ポート 2 は内部ポートです。この回路は直接解析できますが、周波数当り数分の時間と 37 MB の RAM を必要とします。

このファイルは COMBINE.WSP として保存されます。ボックスは縮小され、回路は移動されてボトム左の 1/4 だけがボックスの中にあります。スパイラルインダクタの終端の内部ポートの数は 10 に変更されました。ポート 2~5 が右側に、ポート 6~9 が追加されました。これらのポートは終端の代わりにラインの中央にあるので、それらの幅は手動で設定する必要があります。さらにポート上のリファレンス面は中へシフトされています。第一部分のレイアウト結果が以下に示されています。



EMPOWER が Part1 に対して実行されました。設定は以下に示されている通りです。個々の部品は共振しないのでわずか 5 点のみを必要とします。[レイアウト ポート モードの設定(Setup Layout Port Mode)] ボタンがクリックされ、[設定モード(Setup Mode)] ダイアログボックスが設定されて、これらの入力がモード的に関連付けられていることを表示します。

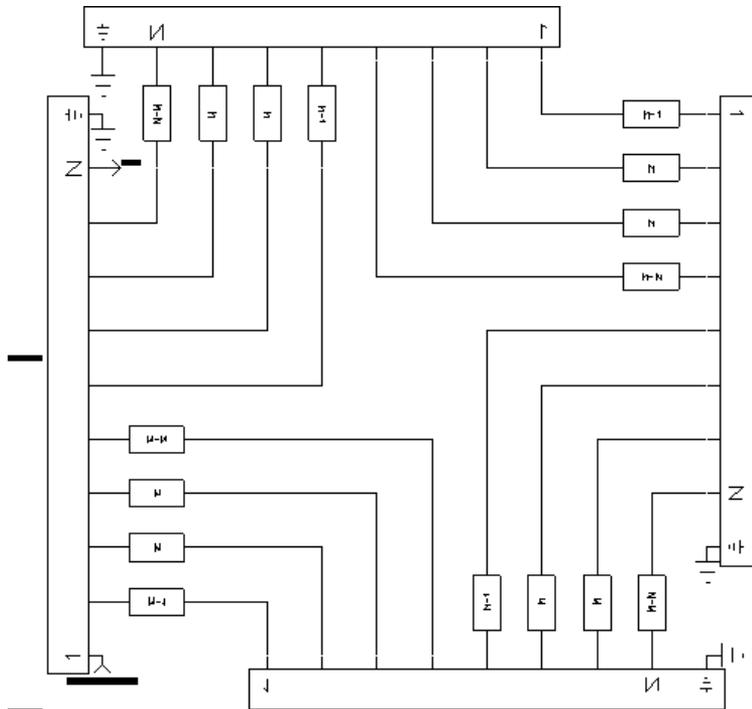
注意：分割で解析するときは、モードの設定を忘れないようにします。[モード設定(Mode Setup)] ボックスはいずれかの入力がモード的に関連付けられていると赤色になります。分割で一番共通のエラーの 1 つは不適切なモード設定です。



類似のステップが Part2 に対して実行されました。

分割解析での最終ステップは、部品を組み合わせることです。これを実行する回路図 (COMBINE) がここに示されています。使用された部品は PART1 および PART2 のデータのための (SCHEMAX の「DEVICE」下の) NPO10 と NPO8 および相互接続ラインのための (マルチモード 物理的伝送ラインで「T-LINE」の下の) NMTLP8 です。NPO10 のためのデータは WSP : Simulations\EMPart1\EMPOWER.SS にあり、NPO8 のデータは WSP : Simulations\EMPart2\EMPOWER.SS にあります。

注記： 部品を結合するためには、ユーザによっては、テキスト Netlist を書いた方が易しいかもしれません。Eagleware でこの目的のためには SCHEMAX を使用した方が易しいと思いますが使い易い方法をご利用ください。



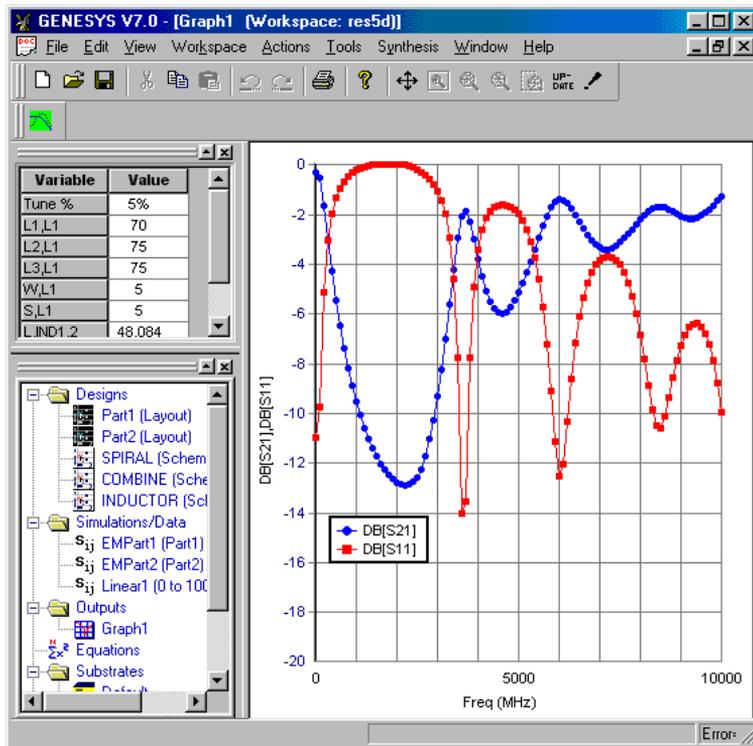
ディエンベッドポートが使用されている場合は、いつでも SMTLP および NMTLP モデルのために適切なデータファイルは EMPOWER 実行の LINE の部分実行中に自動的に作成されます。MMTLP8 ラインに関しては WSP : Simulations\EMPart1\EMPOWER.L2 ファイルが使用されました。これは PART1 の入力の第二セットに対応しています。リスティング ファイルを調べ ([EMPart1] を右クリック)、ポート番号を見てどの [EMPOWER.L*] ファイルが必要なラインデータを含んでいるかを決定します。

注記： WSP : Simulations\EMPart1\EMPOWER.L2 のような名前のファイルは現行のワークスペースの中から取得されています。これらのファイルがどのように名前が付けられるかについての完全な説明は、ファイル フォーマットセクションを参照してください。

基板もまた指定される必要がありますが MMTLP8 モデルでは UNITS パラメータだけが使用されます。

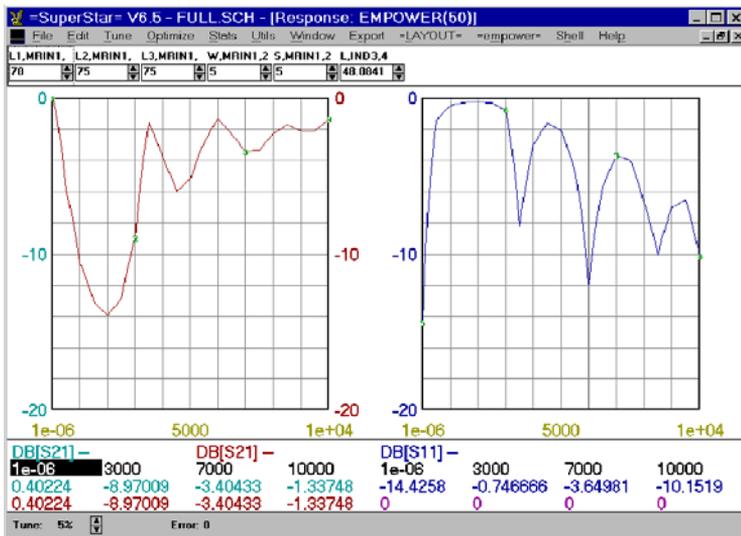
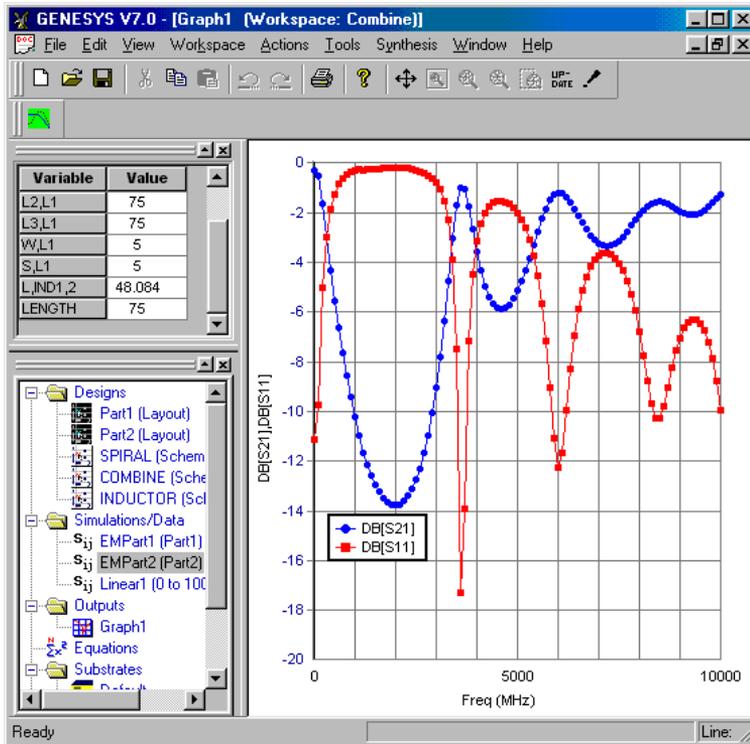
変数 (長さ (LENGTH)) はスパイラルのサイズを変更し、インダクタンスを迅速に変更して、ラインの長さが GENESYS で同時にチューニングできるように設定されています。

シミュレーション



この結果が上記に示されています。周波数帯でわずか5個の解析点だけでも内挿が非常に良好であることに注目願います。これを示すためにスパイラルインダクタンスは以下で10点で再計算されました。2つの結果がかなり良く一致していることがお分かりでしょう。分割解析の正しさをテストするために、全体のスパイラルが解析され、結果が以下の第二の図に示されています。この完全解析は266MHzペンティアムIIで数時間かかり、スパイラルの長さを変更されると再度実行する必要があります。

EMPOWER : プレーナ 3次元電磁界解析



損失

注記：分割を使用するのに必要なシングルおよびマルチモード伝送ラインは GENESYS の現在リリースされているバージョンでは利用できません。分割を使用したいときには、当社の技術サポートチームにご連絡ください。暫定的には GENESYS 2004 も使用できます。

分割の現在の制限事項は、マルチモード伝送ライン セクションまたはリファレンス面シフトで損失が考慮されていないということです。スパイラル インダクタではこのことは、計算された損失は公称サイズでは正しいけれどもマルチモード ラインを使用した長さの変更は計算された損失に影響を与えないということを意味します。

一般に、分割された部品が回路を完全にカバーするときは（スパイラル インダクタのように）損失は正しいでしょう。部品が完全に回路をカバーしないときは（ラインの一部が EMPOWER 解析の外に残され、MMTLP セクションと加算されたときには）損失はこれらのセクションを含まないことになります。これはリファレンスシフトが損失に影響を与えないので、使用されたリファレンス面シフトの有無に無関係に正しいことです。

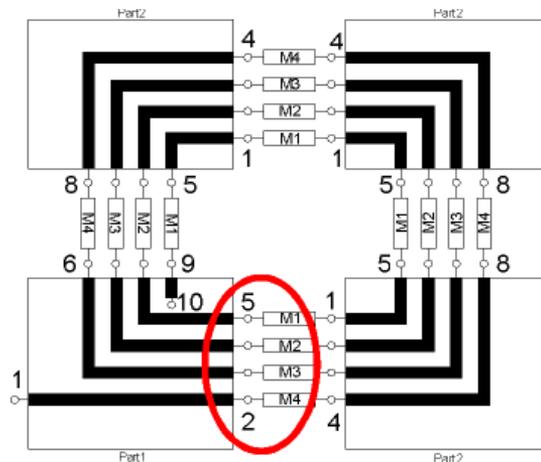
ポートの番号付け

注記：分割を使用するのに必要なシングルおよびマルチモード伝送ラインは、GENESYS の現在リリースされているバージョンでは利用できません。分割を使用したいときには、当社の技術サポートチームにご連絡ください。暫定的には GENESYS 2004 も使用できます。

分割解析のためにポートを設定し、番号付けをするときは十分に注意する必要があります。次の規則に従う必要があります。

- モード的に関連している入力に MMTLP ライン、または他の同様なモード入力以外を接続しないこと。モード入力に集中定数素子を接続することは、不適切で良くない結果を与えます。
- モード的に関連しているポートは、シーケンシャル番号を持っている必要があります。それらは全て同じリファレンスシフトを持っている必要があります。
- モード-スペース入力のためのポートは、「非ディエンベッド」または「内部」ではなく「ノーマル」と印が付けられている必要があります。これに対応してそれらの番号は、全ての「非ディエンベッド」または「内部」ポートよりも小さい必要があります。

- 使用されるポートの順番は、使用される部品と MMTLP ラインの間に対応している必要があります。模式的に関連している入力セットの最小のポート番号は、MMTLP ラインのモード 1 に接続されている必要があります。入力セット中の最大のポート番号は、MMTLP ラインのモード N に接続されている必要があります。さらにポートの順番は MMTLP ラインで接続された両方の部品で、正確に同一である必要があります。**以下の図はスパイラル インダクタの不適切な番号付けを示しています。**この例では PART1 および PART2 は矛盾して番号付けされています。その理由は PART1 上で最も外側の入力（番号 2 および 6）は最小番号であり、一方 PART2 は最も内側の入力（番号 1 および 5）で最小の番号だからです。



- 部品は MMTLP を使用しないで、直接接続することが可能です。このケースでは模式的に関連する入力セットの最小番号のポートは互いに接続することができます。

EMPOWER : 集中定数素子および内部ポート

概要

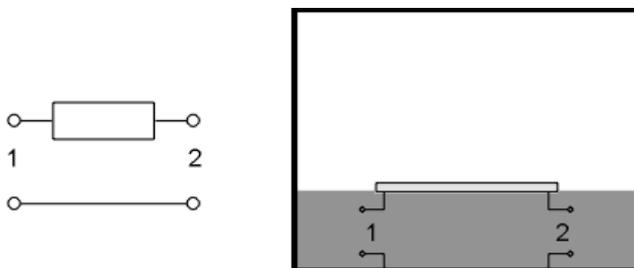
外部ポートセクションで説明されているように、全ての EMPOWER 回路は少なくとも 1 つのポートを備えている必要があります。このセクションは集中定数素子および内部ポート（ボックス内部のポート）を説明します。外部ポート（側壁に沿った）は外部ポートのセクションで説明されています。

内部ポートの配置

内部ポートの配置は外部ポートの配置プロセスと類似しています。要約すると次のとおりです。外部ポートは [レイアウト(LAYOUT)] で、ツールバーから [EMPort] を選択して配置されます。内部ポートはボックス内のどこにでも配置できます。[EMPort プロパティ(EMPort Properties)] ダイアログ ボックスが表示されたら、最初に [ポートタイプ コンボ(Port Type combo)] ボックス内で [内部(Internal)] を選択します。次にパッドの幅と長さを入力します。[OK] を押して配置を完了します。

注記： [EMPort プロパティ(EMPort Properties)] ダイアログ ボックスは「ポート オプション(Port Option)」のセクションに説明されています。これらのオプションをここで復習します。

以下の図は回路理論のポートと、EMPOWER の内部ポートの比較を示しています。左側の回路理論図で2つのポートがあります。各ポートは2つの端子を持っており、ボトム端子は通常接地です。



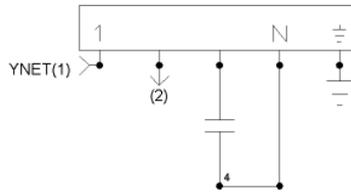
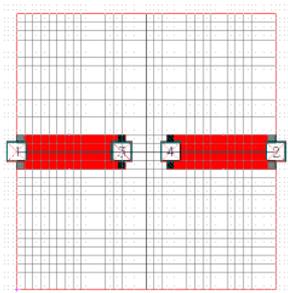
EMPOWER の図ではラインの終端ごとに1つずつ合計2つの z 方向ポートがあります。これらの z 方向ポートは、ビアホールが配置されるのと非常に良く似た方法で、グリッド上で Z に沿って配置されます。(グリッド上への配置についての詳細情報は、「基本セクション(Basic section)」を参照ください。回路理論の図と同様に、2つのポートがあり、各ポートは2つの端子を持っています。回路図の真の接地であるボトム端子は、接地の物理的表現であるボトム壁(接地面)に接続されています。

Z 方向の内部ポートは SCHEMAX またはテキストファイルのノードのように GENESYS でエレメントを接続するために使用できます。言い換えると抵抗およびトランジスタのような部品を、これらのポートに直接接続できます。これらのケースでは部品のパッドの中央に z 方向ポートを配置します。注記：このセクションの後の方で説明されているように、SCHEMAX はこれを自動で実行します。

手動で集中定数素子を追加

注記： GENESYS は部品がレイアウト上にあると、シミュレーションに自動的に集中定数素子を追加します。このセクションは背景情報および高度なアプリケーションのためのものです。

以下に示されている回路は [レイアウト (LAYOUT)] で完全に描かれた EMPOWER 回路を含んでいます。(このネットワークの回路図は空白でした)。これは 4 ポートを持っており、ポート 1 および 2 は外部ポートで、ポート 3 および 4 は内部ポートです。EMPOWER はこの回路のために 4 ポートデータファイルを作成します。



注記： 「内部」ポートおよび「非ディエンベッド」ポートは常にノーマル、外部、ディエンベッドポートより大きい番号を持っている必要があります。上記の図では内部ポートは番号 3 および 4 で、外部ポートは番号 1 および 2 です。

EMPOWER で作成されたデータファイルは GENESYS で使用できます。上記右側の回路は、完全なネットワーク中の結果データを使用しています。最初に FOU (4 ポートデータ) デバイスが、空白の回路図に配置されました。この FOU ブロックに割り当てられた名前は、EMPOWER 実行からの内部ファイルの名前でした(「WSP : Simulations\EM1\EMPOWER.SS」)

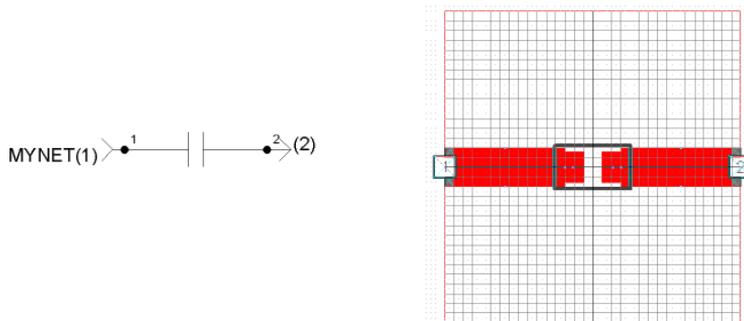
FOU ブロックのノード 1 および 2 に 1 つの入力と出力が追加され、接地ノードに接地が追加され、キャパシタがポート 3 と 4 間に接続されました。これはキャパシタを EMPOWER シミュレーション「中」に配置する効果があります。このキャパシタは GENESYS 中の他のエレメントと同様にチューニングされ、最適化されることが可能になります。

MYPNET の S パラメータが表示されると、全体回路の S パラメータが見えます。

自動ポート配置

EMPOWER の 1 つの利点は、その真の統合性にあります。大半の電磁界シミュレータでは、選択の余地なく、上記の複雑なステップを踏まざるを得ません。(ボックスに集中定数素子が 10 個、トランジスタが 2 個およびオペアンプが 1 個あるとすれば、このステップがどのくらい長くなるか、想像してみてください)。幸いなことに EMPOWER が SUPERSTAR、SCHEMAX および LAYOUT と結合されると、内部ポートおよび集中定数素子が自動的に作成され、追加されます。

以下の回路は自動ポート配置を使用しています。最初に左側の回路が SCHEMAX で描かれます。すると図の右側のレイアウトが作成されます。チップ キャパシタのフットプリントは自動的に配置されました。ラインおよび EMPorts が次に手動で追加されました。EMPOWER が起動されると、内部ポートが自動的に追加され、シミュレーションされる回路は以下の左側とほぼ同一となり、結果が 4 ポートデータ ファイルとなります。



次に EMPOWER は自動的に前のセクションで示されたネットワークと同一のネットワークを作成します。この結果は基本的には以下の MYNET の結果と同じです。以下のキャパシタがチューニングまたは最適化されたとき、MYNET および EMPOWER は両方とも同時に更新されます。

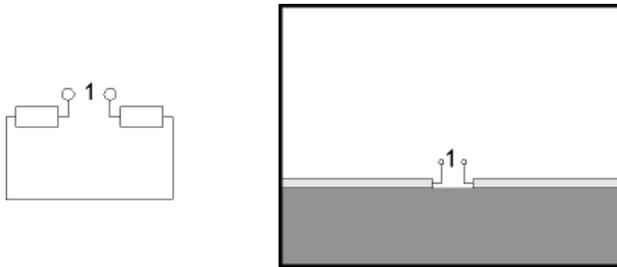
レイアウトだけを作成 (回路図なし) しても、自動ポート配置を使用することができます。単純に部品をブランクの回路図に配置し、それらをダミーのネットワークに接続します。部品は「レイアウト(LAYOUT)」に表示され、必要に応じて移動し、ラバーバンドを無視します。(ラバーバンドはダミーネットワークの無意味な接続を指しています)。EMPOWER シミュレーション結果を表示すると、それはコンポーネントを含んでいます。回路図から結果を表示する必要はありません。

プレーナ(X および Y 方向) ポート

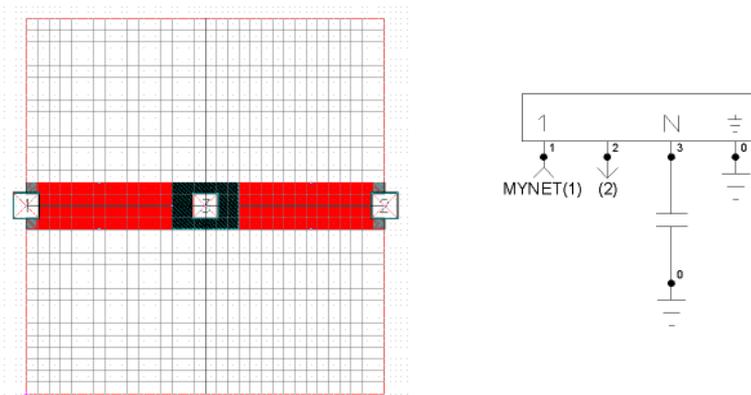
注記 : [EMPOWER] オプション ダイアログで [1 ポート エLEMENTのプレーナ ポートを使用する(Use Planar Ports for one-port elements)] ボックスにチェックが入れられていると EMPOWER は集中定数素子のためのプレーナポートを作成します。詳細についてはリファレンスマニュアルを参照してください。

いくつかの状況では X- または Y- 直接電流を備えた内部ポートを配置したいことがあります。これらのポートは接地を基準にしていないので、手動で使用するには非常に扱いにくくなります。レイアウトのためのコンポーネントに対して、EMPOWER は自動的にプレーナ ポートおよび集中定数素子を配置しますが、このセクションは背景および高度なアプリケーションを説明します。

この図はこれらのポートの構成を示しています。ポートが集中定数素子の物理的接続をより正確に表しているため、これらのポートは集中定数素子を EMPOWER データに手動で接続するためにより正確であるはずですが。



以下に示されている回路は [レイアウト (LAYOUT)] で完全に描かれた EMPOWER 回路を含んでいます。(このネットワークの回路図は空白でした)。それは 3 個のポートを持っています。ポート 1 および 2 は外部ポートでポート 3 は「X に沿った」電流方向を備えた内部ポートです。EMPOWER はこの回路の 3 ポート データファイルを作成します。しかしながら、ポート 3 は直列接続のポートで**ノーマル マナーでは使用できない**ことを知っておく必要があります。



EMPOWER で作成されたデータファイルは、前のセクションで説明したように、その後で「WSP : Simulations\EM1\EMPOWER.SS」を使用して GENESYS で使用できます。右側の回路は完全なネットワーク中の結果のデータを使用しています。最初に、EMPOWER の実行からの EMPOWER.SS ファイルを使用して、ブランクの回路図に THR (3 ポートデータ) デバイスが配置されます。THR ブロックのノード 1 および 2 に入力および出力が追加され、接地ノードに接地が追加され、キャパシタがポート 3 と接地の間に接続されました。これは EMPOWER シミュレーションの中へ、ポート 3 のキャパシタを配置する効果があります。「X に沿って」および「Y に沿って」内部ポートをフォローする規則は簡単です。

- それらをトランジスタまたは他の 3 端子（またはそれ以上）デバイスのために使用しないでください。
- 上記左側のレイアウトのように、コンポーネントに沿った電流が左から右へ流れるときは、EMPort の [電流方向(Current Direction)] を「X に沿って」（x-軸に沿って）設定します。上記左側のレイアウトからキャパシタが 90° 回転されたように、コンポーネントに沿った電流がトップからボトムに流れる場合には、EMPort の [電流方向(Current Direction)] を「Y に沿って」（y-軸に沿って）に設定します。
- 結果のデータを使用するときに、[SCHEMAX] で集中定数素子をポートから接地へ接続することは [レイアウト (LAYOUT)] で集中定数素子をポートの長さに渡って接続することと等価です。このことはコンポーネントが接地されていることを意味するわけではありません。それは単にコンポーネントがポート間に接続されていることを意味します。このコンセプトは X- および Y- 方向のポートを理解する鍵です。

MYNET の S パラメータがグラフ中に表示されると、全体回路の S パラメータが見えます。

共振

しばしば、回路が集中定数素子を含んでいるとき、EMPOWER 実行で非常に少ない周波数点でを使用することができます。集中定数素子は EMPOWER データの中に含まれていないので、一般に共振は非常に少なく、データは非常により正確に内挿します。この場合、ほんの 2、3 点だけを電磁界解析に使用して全体のネットワークの結果を 100 点以上で示すことができます ([EMPOWER オプション ダイアログ (EMPOWER Option Dialog) ボックスの中のコシミュレーションスイープ (Co-Simulation Sweep) で指定)。

この性質の利点を取り入れた完全な例については、狭帯域インターディジタル (Narrowband Interdigital) の例を参照してください。

EMPOWER : ボックス モード

概要

完全に閉じた直方体のボックスは、空洞共振器として振る舞います。各共振モードに近い周波数で、希望の信号メタライゼーションと空洞の間に大きな結合が存在します。この結合は可逆性なので、結合は信号メタライゼーションのセグメント間で発生します。これは動作周波数が空洞の第一共振周波数に近づくか、または超えると、ほぼ間違いなく回路応答を不安定にします。EMPOWER はこれらの効果を本質的に予測しますが、デザインの性能に大きな破壊的影響を及ぼすことがあります。ボックスモードはこの例を明確に例示しています。

一様な直交空洞

以下の式で幾何学的形状セクションの定義を使用します。ボックスの z 方向の高さは h で、x 方向の長さは a で、y 方向の幅は b です。

直交空洞の共振波数は次式で与えられます。

$$k_{mnp} = \left[\left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{h} \right)^2 + \left(\frac{p\pi}{b} \right)^2 \right]^{1/2}$$

(MKS 単位) および比誘電率 ϵ_r の一様な物質で充填されたときの共振周波数は次式で与えられます。

$$f_{mnp} = \frac{k_{mnp} c}{2\pi \sqrt{\epsilon_r}}$$

ここで c は真空中の光の速度 2.997925x10⁸m/sec です。基本モードの周波数 f₁₀₁ (最低の共振周波数) は、真空中で次式によって表されます。

$$f_{101} = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}}$$

空気中では長さをインチとし、周波数を MHz として次式が得られます。

$$f_{101} = 5900 \text{ MHz} \cdot \text{inches} \sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}}$$

長さの単位をミリメートルとし、周波数を GHz とすると、次式になります。

$$f_{101} = 149.8 \text{GHz} \cdot \text{mm} \sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}}$$

例えば、空气中 ($\epsilon_r = 1.0006$) で、2x4 インチで高さが 0.5 インチ、即ち $b=101.6\text{mm}$ 、 $a=50.8\text{mm}$ 、 $h=12.7\text{mm}$ とすると、次の値が得られます。
 $k_{101}=69.14$ および $f_{101}=3297 \text{MHz}$ 。

高次ボックス モード

$b < a$ および $b < h$ とすると、基本モードの周波数は空洞の高さの関数でないことに注目することは興味のあることです。このことはいくつかの高次モードでは適用されません。基本モードの次に高い周波数のモードは h 、 a および b の相対値の関数です。

例えば、先の 2 x 4 x 0.5 インチのボックスの例（またはサイズの比が $b=2a$ 、 $h=1/4$ の全てのサイズのボックス）を考えて見ます。従って、波数は次式のようになります。

$$k_{mnp} = \frac{\pi}{a} \sqrt{\left(m^2 + 16n^2 + \frac{p^2}{4} \right)}$$

この形状のボックスの最低周波数モードの波数、および $a=2$ インチの共振周波数がリストされています。

モード	波数	A が 2 インチのときの周波数(MHz)
101	$1.118 \pi / a$	3299
102	$1.414 \pi / a$	4173
103	$1.803 \pi / a$	5319
201	$2.062 \pi / a$	6083
104	$2.236 \pi / a$	6598
105	$2.693 \pi / a$	7945
301	$3.041 \pi / a$	8974
106	$3.162 \pi / a$	9331

高次モードがしばしば、基本モード共振の後で発生していることに注目してください。共振周波数の中間で動作させることによって、狭帯域のアプリケーションでは不安定を最小にすることが可能です。しかしながら、上記の解析は純粋で、一様な直交空洞および誘電体を仮定しています。空洞中の誘電体負荷および信号メタルが部分的な場合には、周波数が影響を受けます。より保守的で、安全なアプローチは、関心のある最大の周波数よりも高い周波数の基本モードを備えたボックスに回路を閉じ込めることです。

部分的誘電体負荷

空洞が一様でなく、誘電体によって部分的に充填され、残りが空気で満たされているときは、基本モードの共振周波数は減少し、充填率を使用して近似できる可能性があります (Johanson 1987)。基板が空洞の床の上に搭載されていると仮定して、部分的に充填された直交空洞の共振周波数 $f_{partial}$ は次式で表されます。

$$f_{partial} = f_{101} \sqrt{1 - \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r} \left(\frac{t}{h} \right)}$$

ここで t は基板の厚みで、 h は基板を除いた空洞の厚みです。例えば、2 x 4 インチ ボックスで $t=62$ ミルおよび $\epsilon_r=4.8$ の f_{101} は 3299 MHz から 3133 MHz に減少されます。

電界の向きの線は z 方向に平行ではなく、これらの線の一部成分が側壁に終端するので、この表現式は近似的です。このモードは擬似 TEM₁₀₁ モードと呼ばれます。

信号メタル効果

比較的まばらな信号メタルは共振周波数にあまり影響を与えません。大きなメタル セグメント、特にそれが接地されていると、大きく共振周波数を減少させます。信号メタルの意義の感覚をつかむために、ボックス モードの例 10 の基板に問題とは無関係のメタルを追加してみて、伝送ピークのシフトを観察してください。

トップカバー

伝送ラインの不連続性は電流の流れを乱し、伝送ストラクチャからエネルギーが失われます。この失われるエネルギーは通常小さいが、空洞共振器の Q は高く、これらの周波数での結合は大きい。空洞のカバーを取り除くと、エネルギーが自由空間へ失われ、共振効果が減少します。これは回路のメタルセグメント間の結合を大きく減少させ、このことは先に説明したボックス モードの例でカバーを取外したときに得られた応答で明らかです。トップカバーの取外しの影響は、例

「Filters\EdgeCoupledOpen.WSP」および「Components\Box Modes.WSP」に示されています。詳細については例マニュアルを参照してください。

空洞吸収器

同様の利点が、空洞のカバーに吸収物質を配置することによって得られます。フィルタのストップバンド内でのわずかの最終的に残ったリジェクション (pour ultimate rejection) は再生できないけれども、セグメント間の大きな結合は避けることができます。これは、オーバサイズの筐体の高利得増幅器の発振を消去するために、ときには必要となります。

ボックス モード問題を最小化する最もエレガントで安全なアプローチは、小さな筐体の中に回路を配置することです。

EMPOWER : ビューアおよびアンテナ パターン

概要

このセクションはどのようにして EMPOWER ビューア プログラムを実行し、EMPOWER によって作成された電流（または電圧）をどのようにして見て解釈するかを説明します。ビューア インタフェースも説明します。

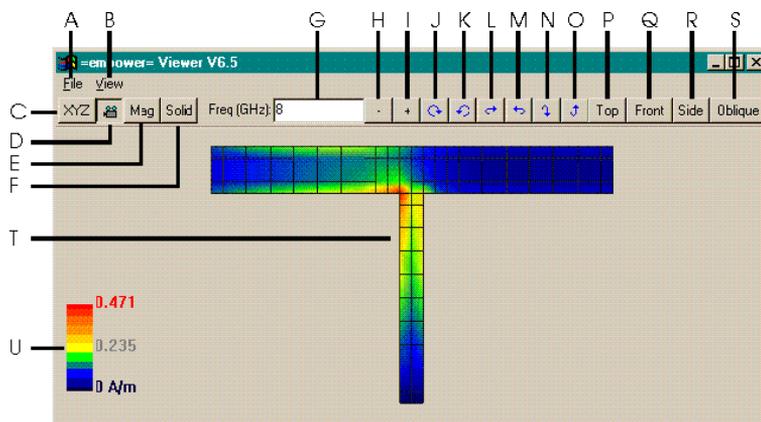
EMPOWER ビューアはボード レイアウトの電流分布および密度を視覚化することに役立ちます。それは電流密度の大きさと角度を処理し、それらを 2 または 3 次元スタティックまたはダイナミック グラフにプロットします。これらのプロットは電流のビヘイビアの実態への洞察を提供し、しばしば性能を改良するための変更を示唆します。大抵の電磁界シミュレータは、視覚化ツールを含んでいます。EMPOWER ビューアは 3 次元グラフ、真のアニメーション能力および電流位相についての正確な情報などの独自の利点を持っています。EMPOWER ビューアの完全な潜在能力は実行によって認識されるので、回路をビューアで調査し、観察した結果を反映させることをお勧めします。

ビューアは EMPOWER シミュレーション (GENESYS の[ワークスペース ウィンドウ(Workspace Window)] の右クリック メニューから [ビューア実行(Run Viewer)] を選択して開始されます。

インタフェース

このセクションはビューアメニューアイテム、およびボタンを説明します。それは一般にインタフェースに慣れるために、リファレンスセクションと同様に使用できます。

サンプルビューア画面が以下に示されています。この図の目的は以下に説明されています。



A - [ファイルメニュー (File Menu)]

[開く (Open)] - 新規にビューアデータファイルを開きます。

[終了 (Exit)] - ビューアを終了する。

[バックグラウンドカラーをトグル (Toggle Background Color)] - 背景を黒から白または白から黒にトグルします。画面またはウィンドウ印刷の前には、通常白色背景が選択されています。

[画面印刷 (Print Screen)] - 全体画面のコピーをビットマップファイルまたはプリンタへ送ります。

[ウィンドウ印刷 (Print Window)] - ビューアウィンドウのコピーをビットマップファイルまたはプリンタへ送ります。

B - [ビューメニュー (View Menu)]

このメニューのオブジェクトは、電流イメージがどのように表示されるかに影響を及ぼします。

[トップ (ホーム) (Top (Home))] - 電流イメージのトップダウンビューを示します。このオプションは [ホーム (Home)] を押しても選択できます。

[正面 (Ctrl+Home) (Front (Ctrl+Home))] - 電流イメージの「正面」ビューを示します。このビューは y 軸の z=0 からです。このオプションは [Ctrl+Home] を押しても選択できます。

[側面 (Ctrl+End) (Side (Ctrl+End))] - 電流イメージの「側面」ビューを示します。このビューは x 軸の z=0 からです。このオプションは [Ctrl+End] を押しても選択できます。

[斜め (End) (Oblique (End))] - 電流イメージの斜めビューを示します。これは x - y 平面上でわずかにオフセットをもって上から下を見たビューです。このオプションは [終了 (End)] を押しても選択できます。

[回転 (Rotate)] - このサブメニューのオブジェクトは、電流イメージを回転します。

[左 - 回転 (左矢印) (Rotate - Left (Left Arrow))]- 画面に垂直な水平面内で、電流イメージを時計方向に回転します。ビューア イメージ ウィンドウの中心は常に回転の中心です。

[右 - 回転 (右矢印) (Rotate - Right (Right Arrow))] - 画面に垂直な水平面内で、電流イメージを反時計方向に回転します。ビューア イメージ ウィンドウの中心は常に回転の中心です。

[上 - 回転 (上矢印) (Rotate - Up (Up Arrow))] - 画面に直交する垂直面内で電流イメージを前方向に回転します。ビューア イメージ ウィンドウの中心は常に回転の中心です。

[下 - 回転 (下矢印) (Rotate - Down (Down Arrow))] - 画面に直行する垂直面内で電流イメージを後方向に回転します。ビューア イメージ ウィンドウの中心は常に回転の中心です。

[時計方向 - 回転 (PgDn)(Rotate - Clockwise (PgDn))] - 画面の面内で電流イメージを時計方向に回転します。ビューア イメージ ウィンドウの中心は常に回転の中心です。このオプションは [ページダウン(Page Down)] を押しても選択できます。

[反時計方向 - 回転 (PgUp) (Rotate - Counter-Clockwise (PgUp))] - 画面の面内で電流イメージを反時計方向に回転します。ビューア イメージ ウィンドウの中心は常に回転の中心です。このオプションは[ページダウン (Page Up)] を押しても選択できます。

[パン (Pan)] - このサブメニューのオブジェクトは電流イメージに対して、ビューア ウィンドウの見かけの位置をシフトします。

[左 - パン (Ctrl+Lef)(Pan - Left (Ctrl+Left))] - ビューアの位置を左へ移動します (電流イメージに対して)。これはビューア ウィンドウ内でイメージを右へ移動します。

シミュレーション

[右 - パン (Ctrl+Right) (Pan - Right (Ctrl+Right))] - ビューアの位置を右へ移動します (電流イメージに対して)。これはビューア ウィンドウ内で、イメージを左へ移動します。

[上 - パン (Ctrl+Up) (Pan - Up (Ctrl+Up))] - ビューアの位置を上へ移動します (電流イメージに対して)。これはビューア ウィンドウ内で、イメージを下へ移動します。

[下 - パン (Ctrl+Down) (Pan - Down (Ctrl+Down))] - ビューアの位置を下へ移動します (電流イメージに対して)。これはビューア ウィンドウ内で、イメージを上へ移動します。

[ズーム - パン (Ctrl+PgUp) (Pan - Zoom In (Ctrl+PgUp))] - ビューアの位置を電流イメージに対して近くへ移動します。これはビューア ウィンドウ内で、イメージのサイズを増加します。

[ズームアウト - パン (Ctrl+PgDn) (Pan - Zoom Out (Ctrl+PgDn))] - ビューアの位置を電流イメージに対して遠くへ移動します。これはビューア ウィンドウ内で、イメージのサイズを減少します。

[トグル (Toggle)] - このサブメニューのオブジェクトは、以下にリストされた利用可能なオプションをトグルします。

[トグル - 絶対値表示 (Toggle - Absolute Value Display)] - 選択されると、ビューアは絶対値だけを表示します。選択されないと、流れの方向についての情報を伴った実際の値が表示されます。違いは絶対値が常に正であり、実際の電流値が前進方向の電流については正で、後進方向の電流については負であることです。負の振幅は $x-y$ 平面の下に描かれています。このオプションは選択されると、そばにチェックマークが付けられます。

[トグル - アニメーション (Toggle - Animation)] - 選択されると、ビューアはイメージをリアルまたはアングル モードで動かします。これは個々の電流に $\exp(jw)$ を乗算することによって実現されます。ここで w は 0 から 2π の間を循環し、 w の増加に対して一連のスナップ ショット イメージが表示されます。

[トグル - スケール (Toggle - Scale)] - 選択されると、ビューアはビューア ウィンドウの左下にスケールを表示します。このオプションは選択されると、そばにチェックマークが付けられます。

[トグル - 値モード (実部、振幅、角度) (Toggle - Value Mode (Real, Mag, Ang))] - このオプションは、電流表示オプションを選択します。このオプションは電流分布のスナップショット、およびアニメーションの電流の実部、時間平均電流値の振幅、電流位相遅延分布スナップショットの角度を含んでいます。

[トグル - ワイヤフレーム (Toggle - Wireframe)] - 選択されると、ビューアは電流プロットのワイヤフレーム バージョンを表示します。ワイヤフレームは EMPOWER グリッド電流のアウトラインを描いてできた多角形を充填しないことによって作成されます。このオプションが選択されないと、ビューアは多角形を充填し、電流パターンのソリッド表面プロットを結果として生じます。このオプションは選択されると、そばにチェックマークが付けられます。

[ロード - ユーザ ビュー # (1-10) から (Load - From User View #(1-10))] - 選択されたビュー # に対して、以前に保存されたビューア設定をロードします。保存されていた設定は希望する設定 # に対応する番号キーを押すことによってもリストアできます。

[保存 - ユーザ ビュー # (1-10) へ (Save - To User View # (1-10))] - 選択されたビュー # へ、現行のビューア設定を保存します。設定は後に、上述の [ロード (Load)] サブメニューから希望する # を選択してリストアできます。このメニューのオプションは (Shift + 保存を希望する # に対応するキー番号) を押すことによっても選択できます。

ヒント : 保存およびロード機能は非常に有効です。回転およびパンして希望するビューにしたとき、(Shift+番号 (矢印ではない)) を押してそのビューを保存します。単純に番号だけを押すとそのビューに戻ります。これらのビューはビューアを終了しても記憶されているので、お好みのビューを容易に保存することができます。

C - [X / Y / Z / XY ボタン (X / Y / Z / XY Button)]

このボタンを押すと 4 つの可能なモードの間をトグルします。

[X] - x 方向の電流密度分布を表示します。

[Y] - y 方向の電流密度分布を表示します。

[Z] - z 方向の電流を表示します。

[XY] - 付加的な表面電流密度分布機能を表示します。

D - [アニメート ボタン (Animate Button)]

このボタンは電流イメージ上で、ビューアの「アニメーション」をトグルします。このオプションが選択されると、ボタンは押されたように見えます。ビューア アニメーションは個々の電流に $\exp(jw)$ を乗算することによって実現されます。ここで w はゼロから 2π まで周期的に変化し、連続する時間に対してスナップショット グラフがプロットされます。アニメートされるものは [表示 オプション ボタン (Display Option Button)] によってコントロールされます (以下の E 参照)。

シミュレーション

[E] – [表示オプション ボタン (Display Option Button)]

このボタンは電流表示オプションを選択します。

[実部 (Real)] - 電流値の実部を表示します。

[振幅 (Mag)] - 電流の振幅または時間平均値を表示します。

[角度 (Ang)] - 電流値の位相遅れを表示します。

[F] – [ソリッド/ワイヤ ボタン (Solid/Wire Button)]

このボタンは表示のための表面プロットのタイプをトグルします。

[ワイヤ (Wire)] - 電流パターンのワイヤフレーム バージョンを表示します。ワイヤフレームは 結果の多角形の内部を塗りつぶさずに、EMPOWER グリッド電流のアウトラインを描くことによって作成されます。

[ソリッド (Solid)] - 電流パターンのソリッド表面プロットを表示します。これはワイヤフレーム 多角形の内部を塗りつぶすことによって作成されます。

[G] – [周波数 (GHz)(Freq (GHz))]

このボックスは電流イメージデータが表示されたシミュレーション周波数 (GHz) を示します。このボックスは EMPOWER がデータを作成できる周波数に限定されています。値は [+] ボタンをクリックして増加でき (以下の I 参照)、[-] ボタンをクリックして減少できます (以下の H 参照)。

[H] – [周波数減少ボタン (Decrease Frequency Button)]

電流周波数を減少します (上記 G 参照)。既に最小の計算周波数にあるときは、このボタンは無効です。

[I] – [周波数増加ボタン (Increase Frequency Button)]

電流周波数を増加します (上記 G 参照)。既に最大の計算周波数にあるときは、このボタンは無効です。

[J] – [時計方向ボタン (Clockwise Button)]

画面の面内で、電流イメージを時計方向に回転します。ビューア イメージ ウィンドウの中心は常に回転の中心です。このオプションは [ページダウン (Page Down)] を押しても選択できます。

[K] – [反時計方向ボタン (Counter-Clockwise Button)]

画面の面内で、電流イメージを反時計方向に回転します。ビューア イメージ ウィンドウの中心は常に回転の中心です。このオプションは [ページダウン (Page Down)] を押しても選択できます。

[L] – [右回転ボタン (Rotate Right Button)]

画面に垂直な水平面内で、電流イメージを反時計方向に回転します。ビューアイメージ ウィンドウの中心は常に回転の中心です。

[M] – [左回転ボタン (Rotate Left Button)]

画面に垂直な水平面内で、電流イメージを時計方向に回転します。ビューアイメージ ウィンドウの中心は常に回転の中心です。

[N] – [下方回転ボタン (Rotate Down Button)]

画面に垂直な垂直面内で、電流イメージを後方向に回転します。ビューアイメージ ウィンドウの中心は常に回転の中心です。

[O] – [上方回転ボタン (Rotate Up Button)]

画面に垂直な垂直面内で、電流イメージを前方向に回転します。ビューアイメージ ウィンドウの中心は常に回転の中心です。

[P] – [トップ ボタン (Top Button)]

電流イメージのトップダウン ビューを示します。このオプションは [ホーム (Home)] キーを押しても選択できます。

[Q] – [正面ボタン (Front Button)]

電流イメージの「正面」ビューを示します。このビューは y 軸の $z=0$ からです。このオプションは [Ctrl+Home] を押しても選択できます。

[R] – [側面ボタン (Side Button)]

電流イメージの「側面」ビューを示します。このビューは x 軸の $z=0$ からです。このオプションは [Ctrl+End] を押しても選択できます。

[S] – [斜めボタン (Oblique Button)]

電流イメージの斜めビューを示します。これは $x - y$ 平面上でわずかにオフセットをもって上から下を見たビューです。このオプションは [終了 (End)] を押しても選択できます。

[T] – [電流プロット (Current Plot)]

ロードされた EMPOWER 作成ビューアデータ ファイルの色わけされた電流パターンを表示します。メニューおよびツールバー ボタンは、このイメージが表示される条件をコントロールします。

[U] – [電流プロットのカラースケール (Color Scale For Current Plot)]

このスケールはプロット パターンを描くために使用されたカラーを基にした、相対電流および電流密度の大きさを示します。

ファーフィールド放射パターンビューア

EMPOWER のファーフィールド放射データは、ストラクチャから放射されたファーズン領域での電界パターンを記述しています。ファーズンは R をストラクチャからの距離とし、 λ をストラクチャを励起する信号の波長として $2R/\lambda \gg 1$ で定義される領域です。ファーフィールド放射パターンは球面座標システムで記述され、ここで ϕ は正の x 軸から xy 平面上への角度、 θ は正の z 軸からの角度です。ファーズンと仮定されているので距離は指定されていません。

ファーフィールド放射データを作成するときになされる仮定

ファーフィールドでの放射データはストラクチャのレイアウトについて、簡素化の仮定をした方程式を使用して作成されます。従って、それはこれらの仮定を考慮して、正確な解を得るためにフォローする必要があります。

- ボックスの壁は、ストラクチャから無限に遠い位置にあると仮定されます。
- 基板が使用される場合は、横方向の大きさが無限に広がっていると仮定されます。
- Z 方向の電流から作成された電界は考慮されないため、レイアウトにビアを含むことはお勧めできません。

[EMPOWER ボックス (EMPOWER box)] の設定

ファーフィールド放射パターンの良好な結果を得るためには、次の規則に従う必要があります。

- ストラクチャはボックスの中心に配置されること。
- ボックスの壁はストラクチャから遠く離れた位置に配置すること。
- メタルの1レイヤだけ使用すること。
- メタルレイヤの下には厳密に1つの基板、または1つの下部エアレイヤだけが存在し、両方は存在しないこと。

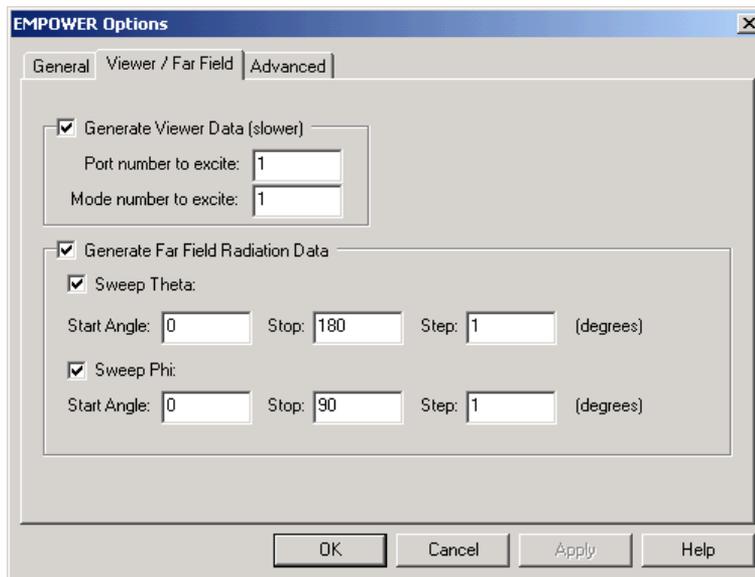
ファーフィールド放射パターンが作成できる3つの異なったアンテナタイプがあります。

- 自由空間にあるアンテナ
- 接地面より上にあるアンテナ
- 基板および接地面より上にあるマイクロストリップアンテナ

自由空間のアンテナをシミュレーションするためには、基板は使用されてはならず、メタル レイヤの下の唯一のレイヤが下部エアである必要があります。この場合、下部エア レイヤの高さは関係ありません。トップ カバーとボトム カバーの両方は、表面インピーダンスが 377Ω の、電気タイプに設定される必要があります (377Ω はフリースペースの特性インピーダンスです)。

基板なしの接地面より上にあるアンテナをシミュレーションするためには、アンテナが接地面の上にあるように下部エア レイヤの高さを設定する必要があります。ボトム カバーは無損失タイプに設定され、トップ カバーは電気タイプに設定され、表面インピーダンスが 377Ω に設定される必要があります。

マイクロストリップ アンテナをシミュレーションするためには下部エア レイヤを使用すべきではありません。その代わりに基板レイヤを使用すべきです。ボトム カバーは無損失タイプに設定され、トップ カバーは電気タイプに設定され、表面インピーダンスが 377Ω に設定される必要があります。



スイープパラメータの指定

ファーフィールド放射データを作成するためには [ビューアデータを作成 (より遅い) (Generate Viewer Data (Slower))] および [ファーフィールド放射データ作成 (Generate Far Field Radiation Data)] にチェックを入れる必要があります。そのあとで θ 、 ϕ または両方を選択してスイープします。データは θ および ϕ の開始角と停止角の間の全ての点で、[ステップ (Step)] フィールドで指定された大きさのステップで作成されます。全ての角度の単位は「度」です。

シミュレーション

上図ではデータは θ と ϕ の両方をスイープして作成されています。 θ は 0 から 180 まで 1 度ずつ、スイープされ、一方 ϕ は 0 から 90 度まで同様に 1 度ずつ増加されています。

測定およびプロット

一端ファーフールド放射データが作成されると、次の測定値をプロットすることができます。

[ETHETA (ϕ 、 θ 、周波数) (ETHETA (*phis, thetas, freqs*))] – 全電界の θ 成分です。 ϕ 、 θ 、周波数は単一の値または値の範囲をとることができます。

[EPHI (ϕ 、 θ 、周波数) (ETHETA (*phis, thetas, freqs*))] – 全電界の ϕ 成分です。 ϕ 、 θ 、周波数は単一の値または値の範囲をとることができます。

[ETOTAL (ϕ 、 θ 、周波数) (ETHETA (*phis, thetas, freqs*))] – 全電界の振幅です。 ϕ 、 θ 、周波数は単一の値または値の範囲をとることができます。

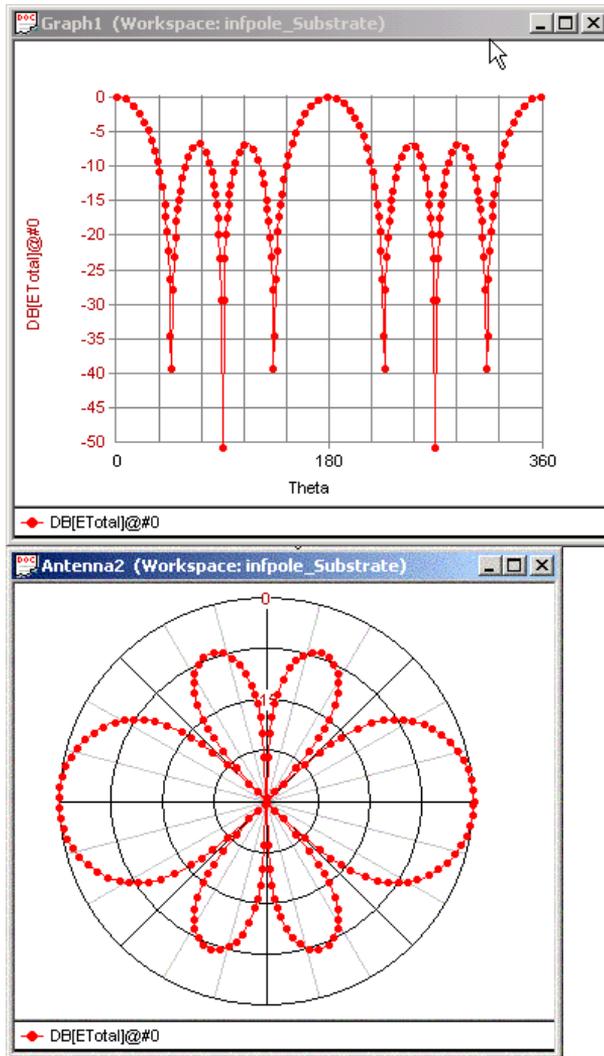
[ELHCP] – 電界左旋円偏波

[ERHCP] – 電界右旋円偏波

[EAR] – 電界軸比

これらの測定値を選択するために、測定ウィザードが使用でき、適切なシンタックスが自動的に作成されます。

直交、アンテナ（ポーラ）および 3 次元チャートが作成されたアンテナデータを表示します。2 次元チャートに表示するときは ϕ 、 θ 、周波数の中から唯一 1 つの変数だけがスイープされ、3 次元チャートに表示するときは 2 変数がスイープされます。以下は ETOTAL 測定値の直交およびアンテナプロット（ポーラ）であり、個々では θ が 0 から 360 度スイープされ、 ϕ が 0 で固定され、周波数が固定されています。この特定のアンテナは基板上の、接地面から 1 波長だけ上に配置された非常に小さいダイポールアンテナです。



例

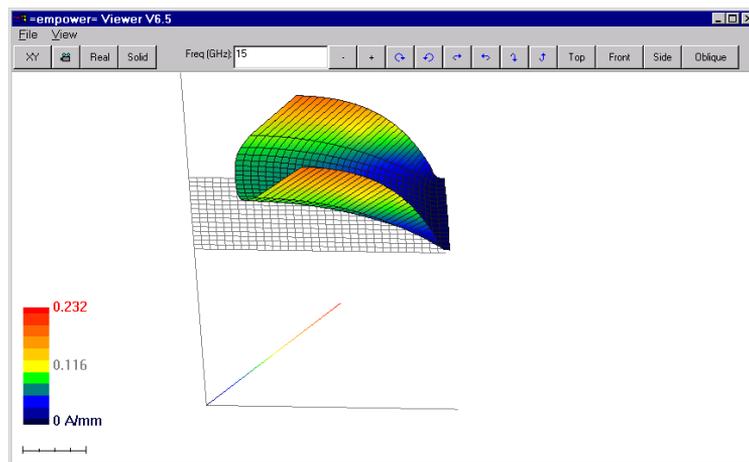
このセクションは、いくつかの例を使用して EMPOWER ビューアの使用例を説明します。例の WSP ファイルは GENESYS 例の WIEWER サブディレクトリにあります。説明を読み進むに従ってそれらをロードしてください。

ビューアは電流分布を 2 または 3 次元グラフで表示します。ビューアは電流の各種コンポーネントを異なった観点から表示するために使用する、いくつかのモードを持っています。大抵の問題の最適な表示は、しばしば見る角度をわずかに調整することで見つけられます。次の例は、そのような調整のいくつかの例を含んでいます。いくつかの例は結果を予測可能だという理由で選択された、

シミュレーション

簡単な問題です。それでもそれらは興味深く、より複雑な問題に適用できる概念を例示しています。

簡単なラインセグメント解析のための、可能なグラフを考えてみます。この例の回路図ファイルは、METR16.WSX です。それは例の章でも議論された $50\ \Omega$ 標準ストリップライン [Rautio, 1994] のセグメントの説明を含んでいます。セグメントは幅が 1.4423896mm で長さが 4.996540mm であり、 z 方向のボックスサイズは 1mm です。セグメントの長さは $15\ \text{GHz}$ で 90° および $30\ \text{GHz}$ で 180° です。GENESYS の METR16.WSP をロードします。[シミュレーション「EMI」(Simulation「EMI」)] の右クリックメニューから [EMPOWER ビューア実行 (Run EMPOWER Viwer)] を選択してビューアを実行します。メインウィンドウに表示されるデフォルトプロットは、ストリップ面の表面電流を反映する表面電流密度分布関数のアニメーションです。初期時刻 $t=0$ で、そのプロットは以下に示されたグラフと良く似ています。



このスナップショットを得るためには [アニメーション (Animation)] カメラアイコンをクリックしてアニメーションを停止し、表示をわずかに調整し、背景カラーを白色に切り替えました。この表示を得るためには、表示開始した後に単純に、ツールバーの [斜め (Oblique)] ボタンを押します。他の全ての設定はデフォルトです。

- XY 電流密度分布を表示します (XY/X/Y/Z ボタン)。
- 電流密度分布の実部を表示します [ビューメニュー/スイッチ/値モードまたは値モードボタン (View Menu/Switches/Value Mode or Value Mode) button]。
- 電流密度の大きさの絶対値を表示します [ビュー/メニュー/スイッチ/絶対値表示 (View Menu/Switches/Absolute Value Display)]。

- アニメーションはオフで時刻は初期値に設定されます [ビュー/メニュー/スイッチ/アニメーションまたはアニメーション カメラ (View Menu/Switches/Animation or Animation Camera button)]。
- スケールはオンです [ビューメニュー/スイッチ/スケール (View Menu/Switches/Scale)]。
- ソリッド多角形を表示します [ビューメニュー/スイッチ/ワイヤフレーム またはソリッド/ワイヤ (View Menu/Switches/Wireframe or Solid/Wire) ボタン。

注記 : 印刷のためには、ファイルメニューから [トグル 背景カラー (Toggle Background Color)] もまた背景を白色に変更するために使用されました。時刻を初期値にリセットするためにアニメーションはオフにされ、[実部/振幅/角度 (Real/Mag/Angle)] ボタンが 3 回クリックされ、モードを実部に戻し、かつ時刻がリセットされました。

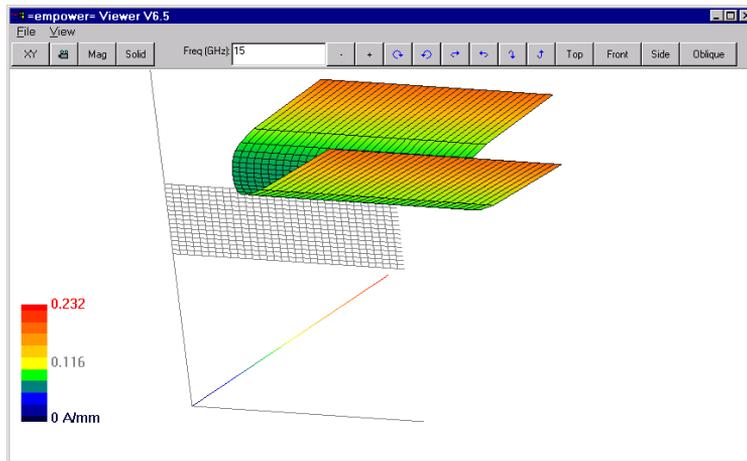
メインビューア ウィンドウに結果として表示された描写は、問題を解決するために作成されたグリッドとともに示された表面電流密度の 3 次元プロットです。メタル面 (グリッド面) の軸は、ボックスの X および Y 軸に対応しています。座標 X および Y の原点は [レイアウト (LAYOUT)] のボックスの幾何学的原点 (0,0) に対応しています。メタル面に対して垂直な z 軸はプロットされた電流/電圧値に対応しています。軸上の赤色は大きな値で暗い青色はゼロです。色分けされたスケールは、電流密度の実際の値を評価することを可能にします。プロットされた値は、電流密度の内挿された X および Y 成分の加算関数です。電流成分はセルの角ではなく、セル辺に沿って計算されています。X および Y 電流成分はグリッドの角に対して内挿され、それから加算されています。

X-Y 電流表示は、電流のビヘイビア一般的な洞察を提供します。もう一度上記で与えられた表示を考えて見ます。ストリップ ラインの基本固有波は、ストラクチャの左入力で励起されています。X=0 断面での典型的な電流分布を観察します (これをより良く見るために [側面表示 (Side View)] ボタンをクリックします。このとき、右出力では電流はほとんどゼロに減少します ([正面表示 (Front View)] ボタンをクリック)。このことはラインの長さが 90° であることを立証しています。次に [アニメート (Animate)] ボタンを再度クリックして応答を動かします。基本ストリップ ライン波がストラクチャの中をどのように伝搬しているかに注目します。アニメーションは連続する時刻に対するスナップ ショットの簡単なセットです。時刻はゼロと入射波の周期の間で変化します ($1/f$ 秒)。

前の例は波の伝搬を例示しています。大小の電流密度領域の簡単な評価に対しては、電流密度の時間平均値がより実用的です。このプロットを得るには [実

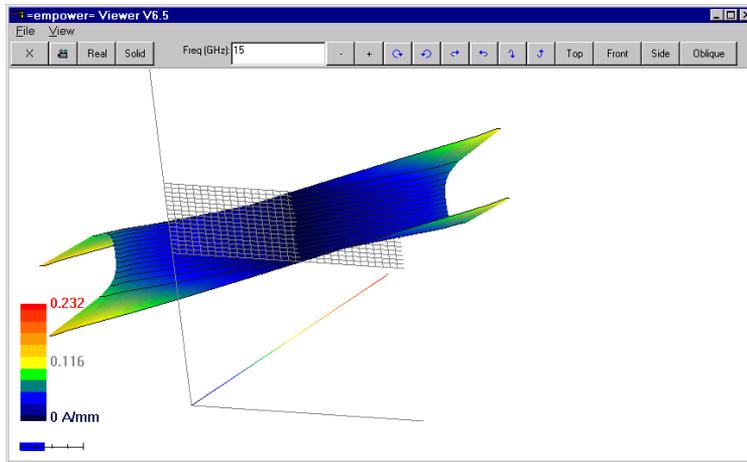
シミュレーション

部 (Real)] ボタンをクリックして [振幅 (Magnitude)] モードに切り替えます。このモードのビューアが以下に示されています。伝送ライン セグメントに対して予期されていたような結果です。電流密度はエッジで最大で、中央で最小です。エッジでの電流密度の絶対値は、使用されたグリッド セルサイズに大きく影響されることに注目します。グリッド セルサイズが小さいと、エッジ電流密度が増加します。しかしながら、電流密度の積分値は当然のことながらほぼ不変です [Mexiner, 1972]。正確な電流密度が要求される場合には、グリッド セルサイズをメタライゼーションの厚みに等しいように選択することをお勧めします。



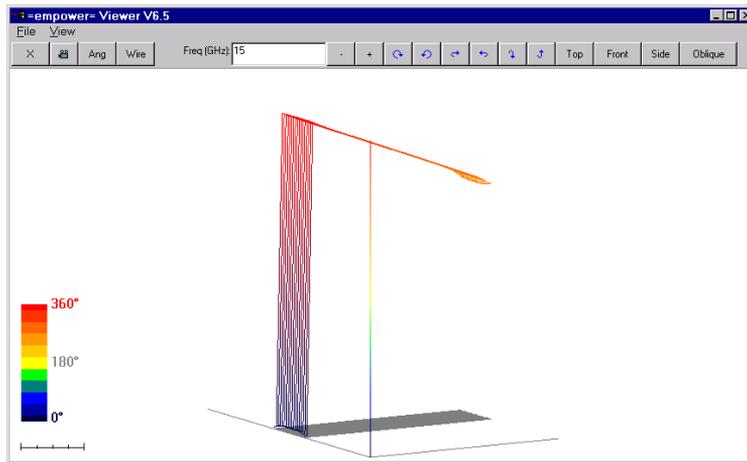
各種電流成分を調査するために XY モードから X モードへ切り替えることができます ([XY/X/Y/Z] ボタン)。グラフはわずかしか変化しません。その理由は予測されるように、電流が主としてライン セグメントに沿って流れるからです。しかしながら、EMPOWER で作成された値に直接対応していますので、成分視覚化モード (X、Y、Z) で表示された値はより正確です。このモードでは内挿が不要です。

電流密度の絶対値が現在表示されています。[ビューメニュー/スイッチ/絶対値表示 (View Menu/Switches/Absolute Value Display)] メニューを使用して [実部 (Real)] モードを選択します。アニメーションもオンされる必要があります ([アニメーション (Animation)] カメラ ボタン)。プロットのスナップショットが以下に示されています。実部モードは電流密度値および方向の両方を表示します。表示値がメタル レイヤの上であれば電流は正の X の方向に流れます。表示値がメタル面の下であれば電流は反対の方向に流れます。



シミュレーション

さらに追加の洞察を得るためには、ラインに沿った信号の位相を表示することができます。X 成分モードのままにして、アニメーションをオフし、[表示オプション (Display Option)] ボタンを[角度 (Ang)] が表示されるまでクリックして、[角度 (Angle)] モードに切り替えます。[ワイヤ/ソリッド (Wire/Solid)] ボタンを [ワイヤ (Wire)] が表示されるまでクリックして、[ワイヤフレーム (Wireframe)] モードを表示することもできます。初期値 $t=0$ 、およびマッチング回転で、以下と良く似た画面が表示されます。それはストラクチャに沿って複素ベクトル回転角に関する電流密度の遅延を表示します。位相の 360° は 1 波長遅延期間に対応します。入力点および出力点での電流位相の差は、再び 90° ラインセグメントであることを立証しています。

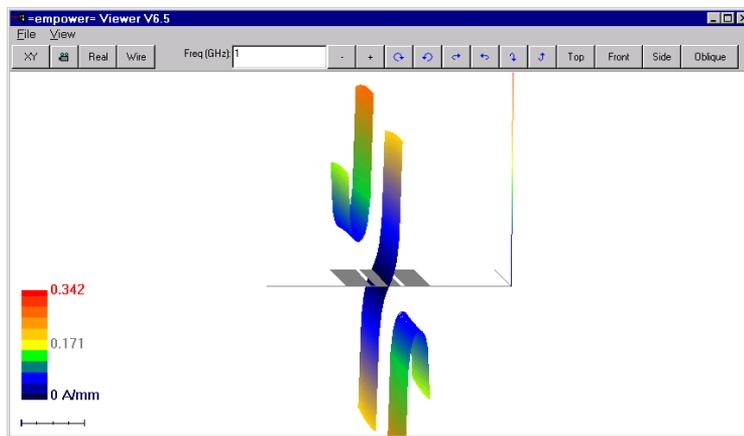


ライン セグメントの例は 2 つの周波数点で準備されています。ここで提供されたすべてのグラフおよび説明は、第一周波数点 15 GHz を使用しています。第二点は 30 GHz で、対応するセグメント長は波長の半分です。[+] ボタンをクリックして希望の表示を選択して 30 GHz での結果を表示できます。

マルチモード ビューア データ

この例は EMPOWER の固有波マルチモード励起能力を例示しています。[Farr, Chan, Mittra, 1986] からの 3 導体結合マイクロストリップ ラインセグメントは、回路図ファイル LNMIT3.WSP に記述されています。3 本のマイクロストリップは、幅が 1 mm で 0.2 mm 離れています。それらは比透磁率が 10 の 1 mm の基板の上にあります。セグメントの長さは 8 mm です。ストラクチャは 3 つのモード結合入力を反対側のセグメント側に持っています。少なくとも 3 つの伝搬モードが期待されます。GENESYS の例をロードします。リスティング ファイル ([ワークスペース ウィンドウ (Workspace Window)] の [EMPOWER] シミュレーション上で右クリック) は伝搬波についての情報を提供します。第一の固有モードは、積分電流分布パターン +++ の偶モードで、第二固有モードは奇

モード (パターン +0-) で第三固有モードは再び偶モード (パターン ++-) です。例のように奇モードを励起するためには、[ビューアデータ作成 (Generate Viewer Data)] を選択し、[EMPOWER プロパティ (EMPOWERProperties)] の [励起するモード番号 (Mode Number to Excite)] ボックスに 2 を入力します。ビューアを実行します。計算された電流密度関数のスナップショットが、ここに示されています。[絶対値表示 (Absolute Value Display)] をオフにする必要があります ([ビューメニュー/スイッチ (Viewer Menu/Switch)])。2 つを除いて、全ての設定は以前の例と同じです。初期表示は「側面表示」に設定されており ([ビューメニュー/側面 または側面 (View Menu/Side or Side)] ボタン)、多角形表示が「ワイヤフレーム」に設定されていました ([ビューメニュー/スイッチ /ワイヤフレームまたはソリッド/ワイヤ]) ボタン)。



プロットは、これが奇モードで、典型的な電流密度分布であることを立証しています。左側ストリップ上の電流が前方へ流れるときは、右側ストリップ上の電流は後方へ流れ、中央のストリップ電流は対向するストリップ側で、反対方向へ流れます。ダイナミック表示するには、アニメーションをオンし、伝搬波のより良い表示のためにプロットを回転します。

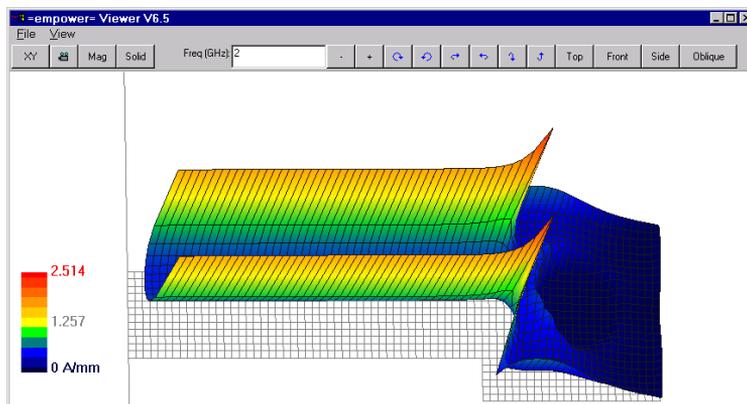
他の固有波のビューアデータを計算するためには、EMPOWER をオンし、[励起するモード番号 (Mode Number to excite)] で 1 および 3 を設定してビューアをさらに 2 回実行します。新しく計算されたデータは以前のデータを上書きすることにご注意ください。これを避け、全ての励起実験のビューア データを保存するためには、次の実行の前に既存のワークスペース (この場合は LNMT3.WSP) のコピーを保存する必要があります。

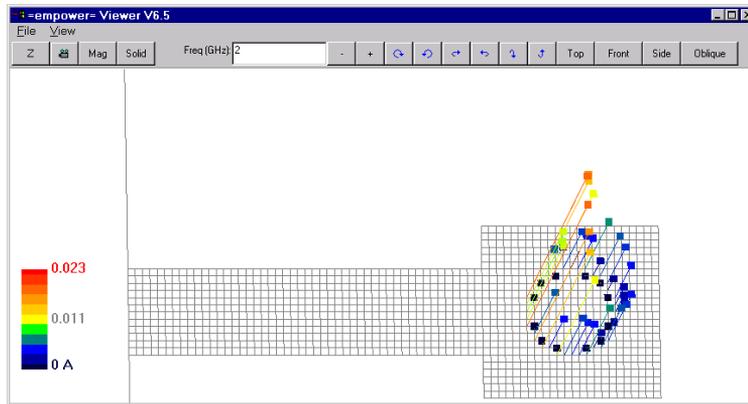
ビアホール ビューアの例

最後の視覚化の例は、ゼロでない X、Y、および Z 電流成分を持ったストラクチャを示しています。[Swanson, 1992] からの、ビアホールで終端されたマイクロストリップ ラインのセグメントは、ファイル VIA.WSP に記述されています。

シミュレーション

ラインの幅は 12 ミルで中央に 13 ミルの直径の円形ビアホールを備えた 24 x 24 ミルの正方形メタルで終端されています。基板の高さは 15 ミルで比誘電率は 9.8 です。ボックス サイズは 120 x 120 ミルです。GENESYS のこの例をロードして EMPOWER ビューアを実行します。以下の第一図は、加算 (XY) 電流密度の時間平均プロットを示します ([ビューメニュー/スイッチ/値モード (View Menu/Switches/Value Mode)] または [値モード (Value Mode)] ボタン)。表示点は 2、3 の小さな調整をした斜め表示です。プロットは基本マイクロストリップモード電流が正方形のメタルパッドの中で広がっている様子を示しています。電流密度関数の典型的なピークは、表面電流が流れの方向を変換するメタルの内部コーナ付近にあることがわかります。電流を X および Y 成分に切り替えて (XY/X/Y/Z ボタン)、表面電流がどのようにストラクチャのいろいろな部分で方向を変換しているかを調査できます。Z 電流視覚化モードに切り替えると、以下の第二図のようなプロットを示します。Z 方向電流のスケールはアンペアで、電流密度ではないことにご注目ください。各電流はグリッドセル全体で積分された体積電流密度を表します。それらはグリッド面内の対応する幾何学的な点を結ぶラインとして示されており、点は実際の電流値に対応しています。ビアホール表面形状が既知の場合は、アンペア単位の電流を使用してビアホール表面の電流密度を推定することが可能です。描写から、電流密度はマイクロストリップラインセグメントにより近いビアホール側で大きいことが明らかです。





ビューア理論

EMPOWER ビューアは EMPOWER で作成された電流分布データを読み込み、処理して視覚化するプログラムです。ストラクチャ内部の電流分布を得るためには、励起条件が定義される必要があります。これは実際の測定で入射波があり、反射波があることを反映しています。ビューアは 1 つの入力に 1 つの入射波があるケースを描写します。励起条件は EMPOWER テキスト ファイルを実行するときに EMPOWER のコマンドライン中に渡されます。GENESYS から EMPOWER が実行開始されると、[ビューア データ作成 (Generate Viewer Data)] チェック ボックスがアクティブのときは、励起条件は自動的に [EMPOWER 設定 (EMPOWER Setup)] ダイアログ ボックスから定義されます。[ビューア データ作成 (Generate Viewer Data)] が選択されると、デフォルトの入射波は第一入力の固有波です。入力番号は [EMPOWER 設定 (EMPOWER Setup)] ダイアログの [励起するポート番号 (Port Number to Excite)] ボックスの中で変更でき、入力モード番号は [励起するポート番号 (Port Number to Excite)] で変更できます。ストラクチャ中でその入力とモードが現在励起されているかについてのコントロール情報は、リスティング ファイルに印刷されます (リスティング ファイルの「PPLT 入力モードが入力される (PPLT Input __ mode __ will be incident)」参照)。

拡張子 [.EMV] 付きのバイナリ ファイルが EMPOWER によって作成され、データがビューア プログラムに渡されます。(GENESYS ワークスペース (GENESYS Workspace) では、このファイルの内部の名前は EMPOWER.EMV です)。オプションの拡張子 [.PLX] 付きの組み込まれた文書形式の ASCII データファイルも、他のプログラムへインポートするために書くことができます。

ビューアを理解するには EMPOWER の入力およびモードの表現の復習が役立ちます。1 つの回路は外部および/または内部入力を持つことができます。外部入力は固有モードスペースに変換され、ディエンベッドされて、固有モードの特性インピーダンスに正規化されます。それらは シングルモードまたは (模式的に結合された) マルチモードであり、これらの入力の入射波は入力

固有モードの1つであり得ます。入射波は時間の調和関数です。その大きさは1であり、瞬間電力1Wでかつ時間平均電力1/2ワットの両方に対応しています。入射波の初期位相はゼロです。ストラクチャの他の固有モードは、それらの特性インピーダンスで終端され、完全に整合されています。それは数学的には、一般化された散乱マトリクスの中の1つの行を表しています。

内部ポートはしばしば集中定数素子が GENESYS によって含まれる位置にあります。集中定数素子のパラメータは EMPOWER シミュレーションには必要ありません。このようにして内部ポートのデフォルト値は 1Ω に正規化されます。このケースでは、集中定数素子がビューアによって考慮されないため、ビューア データはそれほど有効でないかもしれません。

内部ポートをストラクチャ励起のためのエネルギー ソースとして使用することも可能です。終端インピーダンスは、オプションの `-NI<n>` を使用して指定することが可能です。このケースでは、内部入力指定された特性インピーダンスを備えた、仮想伝送ラインによって終端されています。単位の入射波が指定された入力で励起されます。オプションの `-NI<n>` が使用されると、必要に応じてディエンベッド、モードスペースへ変換した後で、外部入力もこのインピーダンスを備えた伝送ライン（または負荷）で終端されることにご注意ください。

励起条件が定義されると、EMPOWER は最初にデフォルトまたは正規化して定義された散乱マトリクス S を計算します。次にそれは特定の入力に対応するユニットエレメントだけを含む励起ベクトル $A=[0\dots,1,\dots,0]$ を作成します。このベクトルの他のエレメントはゼロです。反射波ベクトル B は次の式から計算されます。

$$B = S * A$$

次にシミュレータはモードスペース中の正規化された電圧および電流を定義し、それらを非正規化し、全ての表面電流領域に対応する領域内のグリッド電流、電圧をリストアップします。最後に入力領域変数を使用して、プログラムはストリップ状ストラクチャのための、非ゼログリッド電流 I_g またはスロット状ストラクチャの電圧 V_g を計算します。グリッド電流および電圧はローカルに定義された電流および電圧であり（理論セクション参照）、それらの単位はそれぞれアンペアとボルトです。グリッド電流および電圧はそれらの座標と一緒に `[EMV]` ファイルに保存されます。（同じデータは組み込まれた文書形式のテキスト ファイルに拡張子 `[PLX]` 付きで書くこともできます）。ビューアは `[EMV]` ファイルを読み、データを表示します。

初期電流（電圧）分布はモデルの表現で複素数表記法を使用して扱われていることにご注意ください。電流（電圧）は複素数で、時間の調和関数です。従って、それらの振幅は励起波の周期の間の最大値です。実部成分は電流の瞬時値に対応し、その位相は初期値 $t=0$ での電流の位相遅延を反映しています。これ

らの初期データを使用して電流分布が時間に対して計算されます。f を入射波の周波数とするとし、時刻 t での電流分布 $I_g(t)$ は次式で与えられます。

$$I_g(t) = I_g(0) \exp(j*2*\pi*f*t)$$

同じ式は電圧分布に対しても成立します。時刻を進ませると、電流または電圧分布のスナップショットが表示され、このようにしてアニメーションが表示されます。

上記で説明したように、ビューアはグリッド電流（または電圧）を座標と一緒に読み、それらをプロットする準備をします。準備段階は、グリッド変数をより一般的な電流密度関数（ストリップ状問題に対しては表面電流密度関数、スロット状問題に対しては表面磁気電流）に変換することを含んでいます。電流密度の大きさの単位は、ミリメートル当りのアンペア (A/mm) です。磁気電流密度の大きさの単位は、ミリメートル当りのボルト (V/mm) です。より値を読み易いように、グラフスケールとしてミリメートルを使用します。電流密度関数は、信号またはメタル中の電流のためだけに作成されます。ビアホールおよび z 方向ポートは常にアンペア単位で z 方向電流として表現されます。

まとめ

ビューアのビヘイビアをまとめると次のとおりです。

- [ビューア データ作成(Generate Viewer Data)] が選択されるなら、デフォルトの入射波は入力第一固有波です。
- [EMPOWER プロパティ(EMPOWER Properties)] ダイアログで入力番号およびモード番号を定義します。
- 入射波は単位の大きさと、初期位相がゼロの時間調和関数です。
- 外部ポートは対応するモードの特性インピーダンスで終端され、一方内部ポートは、オプション -NI<n> で他の終端が定義されていない場合は、1 Ω で終端されます。
- 入射波の瞬時電力は 1 W で、時間平均電力は 1/2W です。
- 表面電流密度関数は、信号またはメタルレイヤに対して使用され、積分電流はビアホールおよび z 方向入力に対して使用されます。

EMPOWER : ファイルの説明

概要

タスクを実行しながら EMPOWER は多くの異なったタイプのファイルを作成します。これら異なったファイルを理解すると EMPOWER を理解する手助け

になります。これらのファイルは回路のトポロジー、外部ポート ライン データ、インピーダンスを正規化して作成された S パラメータ、出力情報、S パラメータ データ、バッチコマンド、Y パラメータ データ、ビューア データおよびバックアップ データなどです。

これらのファイルはどこにあるか。

バージョン 2005 から、GENESYS はそのワークスペース ファイルに XML 形式の保存を使用しています。このセクションで説明されているファイルは、通常ワークスペース内部に保存されています。これらの内部ファイルにアクセスする必要がある場合は、ツリーの EMPOWER シミュレーション上で [内部ファイルに保存(Write Internal Files)] をクリックします。これによって、自動的にシミュレーションと同じ名前のディレクトリが作成され、そこへファイルのコピーが配置されます。

注記：以前のバージョンの GENESYS は、全ての内部 EMPOWER ファイルに実際のディスク ファイルを使用していたので、各回路に対して個別のサブディレクトリが要求されました。このことは、もはや通常の使用では必要ありません。

テキスト ファイルとバイナリ ファイル

データ ファイルには 2 つの基本的なタイプがあります。テキスト（しばしば ASCII と呼ばれる）およびバイナリです。テキスト ファイルは人間が読めるファイルです。それらは汎用性があり、NOTEPAD などの各種プログラムで編集可能です。EMPOWER で使用されているテキスト ファイルにはバッチ、トポロジー、リスティングおよび S パラメータ ファイルがあります。

注記：ワードプロセッサもテキスト ファイルを編集できますが、特に（「名前を付けてテキスト形式で保存 (Save as ...Text)」と指定されない限り、ファイルの中にバイナリ フォーマット 情報を保存するので、テキスト ファイルを編集するときにはお勧めしません。

これに対し、バイナリ ファイルは人間が読めません。それらは 1 と 0 に変換された数字でエンコードされた情報を含んでおり、そこからバイナリという名前が付けられています。テキスト ファイルと異なり、バイナリ ファイルは汎用性がなく、使用している特定のバイナリ ファイル用に設計されたプログラムによってのみ編集できます。バイナリ ファイルを通常のワードプロセッサやテキスト エディタで編集すると必ず破損します。EMPOWER および GENESYS で使用されているいくつかのバイナリ ファイルは ワークスペース、ライン、および Y パラメータ ファイルです。

ファイルの拡張子

通常、その拡張子を見るとファイルの種類がわかります（名前の最後のピリオドの後の部分）。いくつかの通常使用されている拡張子は EXE（実行可能）、TXT（テキスト）および HLP（ヘルプ）などです。EMPOWER で使用されている各種ファイルはその独自の拡張子を持っています。これらの拡張子は以下に示されています。これらのタイプの各々は、個別に次のセクションで説明されます。

注記：残念ながら Windows は、実際のファイルと同様に、ユーザから隠したファイル拡張子を設定できます。この「機能」をオフしておくことをお勧めします。[ビューア (Viewer)] メニューから[マイコンピュータ (My Computer)] をダブルクリックし、[ビューア (Viewer)] タブをクリックし、[全てのファイルを表示 (Show All Files)] [登録されているファイル タイプの MS-DOS ファイル拡張子を隠す (Hide MS-DOS file extensions for file types that are registered)]のチェックを外し、[OK] をクリックします。Windows のバージョンが異なると、手順がわずかに異なるかもしれません。

拡張子	タイプ	目的
EMV	バイナリ	ビューア データ
L1, L2, など.	バイナリ	ポートのディエンベッドおよびポート 1、2、などのラインデータなど。
LST	テキスト	全ての EMPOWER データをまとめるリスティング ファイル
PLX	テキスト	ビューア電流をリスティングするテキスト
R1, R2, など.	テキスト	ポートの正規化インピーダンス
RGF	バイナリ	ユーザ指定のディエンベッド ファイル名を備えたポートのポート ディエンベッドおよびラインデータ
RX	テキスト	周波数に対するインピーダンス データ
WSP	バイナリ	GENESYS ワークスペース ファイル
SS	テキスト	S パラメータの結果
TPL	テキスト	EMPOWER の「ネットリスト」

Y	バイナリ	Yパラメータの結果
~SS, ~RG, など	バックアップ	名前または拡張子でチルド (~) から始まる全てのファイルはバックアップファイルであり、消去しても安全です。

.EMV (EMPOWER ビューア) ファイル

書き込み: EMPOWER

タイプ: バイナリ

編集できるか: いいえ。平均サイズ: 10 から 100 kB。これより大きいこともあります。**使用:** 電流または電圧を表示するためのデータ。

EMV ファイル (EMPOWER ビューア) ファイルは完全に独立ファイルで、ビューアで回路の電流および電圧を表示するために必要な全ての情報を含んでいます。これらのファイルは各周波数での実際の複素電流値または電圧値のみならず、回路のボックスおよびグリッドマッピングについての情報を含んでいます。EMPOWER は [ビューア データ作成(Generate Viewer Data)] にチェックが入れているか、または [-In] オプションが指定されているといつでも [.EMV] ファイルを作成します。

[.EMV] ファイルは EMPOWER だけが読むことができます。他のプログラムへインポートするために、ビューア データを作成したいときには、[.PLX] ファイルを作成する必要があります。ビューア ファイルに関する詳細は ビューア セクションを参照ください。

.L1, .L2, ..., Ln (ライン データ) ファイル

書き込み: EMPOWER

タイプ: バイナリ

安全に編集できるか: いいえ

平均サイズ: 1 から 5 kB。しかしこれよりも大きいことがある。

使用: Empower の内部ファイルですが GENESYS で SMTLP および MMTLP の中でも使用できます。

EMPOWER は全ての外部ポートに対して個別のライン解析を実行する必要があります。ユーザによってファイル名が指定されていないときには、ライン解析の結果は [Ln] ファイルに保存されます。これらのファイルはまた全てのボックスおよびポート情報を保存し、賢明にも必要なときだけ再計算され、そのときでも必要な周波数だけ再計算されます。回路が変更されても、変更がライン解析に影響を与えるときだけ、再計算されます。注記: これらのファイルに

番号が付けられるとき、モード的に関連するポート グループは 1 つと数えられます。また 2 つのポートが同一であれば、最初のポートだけが [Ln] ファイルを作成します。

.LST (リスティング) ファイル

書き込み : EMPOWER

タイプ : テキスト

安全に編集できるか : できます

平均サイズ : 50 k から 200 k B。しかしこれよりも大きいことがある。

使用 : EMPOWER からの全ての計算データおよびグリッドマッピングを人間が読めるフォームで提供します。

このファイルは EMPOWER が実行されるときはいつでも上書きされます。新しい回路が解析される時、特にその回路がテキスト TPL ファイルから手動で記述されたときは、常に注意深くチェックする必要があります。次のセクションは、リスティング ファイルの内容を説明しています。注記：以下に説明されているいくつかの情報は [リスティング ファイルに追加情報を出力(Output Additional info in listing file)] にチェックが入れられているとき、または [-La] が指定されているときだけ出力されます。

QCHK セクション

このセクションは解の品質のチェックを可能にします。エントリは次の項目を含んでいます。

メッシュサイズに対する媒質の波長の最小比 - 少なくとも 20 であること。

間引きの閾値 - 1 つの行の中で間引きできる最大のライン数を指定します。

ボックス サイズと媒質波長の比の最大比 - ボックスが大きすぎるとボックスが共振します。このラインが感嘆符 (!) で終わると、大きすぎる可能性があります。より詳細については ボックス モード (Box Modes) セクション を参照してください。

パッケージストラクチャ

このセクションは [リスティング ファイルの特別詳細(Extra Details in Listing File)] オプションが使用されているときだけ現れます。それはセルサイズのみならず、使用された基板とメタルレイヤのまとめを提供します。

メモリ セクション

リスティング セクションを通じて、いくつかのメモリ セクションはシミュレーションの各部分に対するメモリ要求を与えます。

ターミナルの配置

シミュレーション

このセクションは問題のグリッド表現を示します。

SDTC セクション

対称検出セクションは、ストラクチャが対称であるかどうかを指定します。対称プロセスは、さらにどこに差異があり、ストラクチャが対称でない箇所を見つけることが非常に有用であるかもしれないことを示します。指定された座標は、上記に示されたターミナル配置を参照します。

ライン解析モード結果

リスティングのこのエリアは、ライン解析に関連する上記の説明と同一のセクションを含んでいます。このセクションの下に、各周波数に対するラインパラメータの表があります。エントリは次のとおりです。

[Nm] - ポート番号

[タイプ (Type)] - インピーダンスのタイプ、実部 (re) または虚部 (im)。ノーマルラインのインピーダンスは実数のはずです。

[Zo (オーム)] - ライン インピーダンス

[Gw (rad/m)] - 伝搬定数

[Gw/Go] - 自由空間に対する伝搬定数

[位相補正、アドミッタンス補正(Comp Phase, Compensation Admittance)] - デイエンベッドのための位相およびアドミッタンスの補正值。

S マトリクス テーブル

各テーブルは 1 つの周波数での回路の S パラメータを与えます。ノーマルの、非マルチモード入力では、例として、行に入力番号 2 および 1 (この順番で) を持った S_{21} があります。

.PLX (電流/ビューア データ) ファイル

書き込み : EMPOWER

タイプ : テキスト

安全に編集できるか : できます

平均サイズ : 200 kB から 2MB。しかし、各種あります。

使用 : EMPOWER から Matlab または Excel などの他のアプリケーションへの電流データのインポート。

このファイルは周波数当り 2 つのテーブルを含んでいます。x 方向および y 方向電流にそれぞれ 1 つずつです。各テーブルは x および y 座標に続く各電流の実部および虚部を含んだ 4 つの列を含んでいます。これらのテーブルは編集できますが、手動で編集するには時間がかかり、修復ミスが多いのでそ

のままにしておく方が良いでしょう。EMPOWER ビューアが完成する前に Eagleware のエンジニアが電流をグラフ表示するためにサードパーティのアプリケーションで使用したことから、これらのファイルは他のアプリケーションで非常に有用なはずです。

.R1, .R2, ...Rn (ポート インピーダンス) ファイル

書き込み : EMPOWER

タイプ : テキスト

安全に編集できるか : できます*

平均サイズ : 1 kB。

使用 : 汎用 S パラメータが要求されたときに GENESYS によって読まれます。

これらのファイルは、周波数に対する各ポートのインピーダンスを含んでいます。これらのポートは終端インピーダンスの代わりにキーボード GEN が使用されると GENESYS によって読み込まれます。ファイルは GENESYS の RX ファイルのようにフォーマットされています。GENESYS から EMPOWER が実行されると、常にこれらのファイルが要求されます。

注記 : これらのファイルは Ln ファイルとは異なって番号付けされています。これらのファイルに番号付けされる時、関連するポート グループの各ポートは個別に数えられます。

.RGF (ライン データ) ファイル

書き込み : EMPOWER

タイプ : バイナリ

安全に編集できるか : いいえ

平均サイズ : 1 から 5 kB。しかしこれよりも大きいことがあります。

使用 : Empower の内部ファイルですが GENESYS で SMTLP および MMTLP の中でも使用できます。

これらのファイルは、ファイル名が TPL ファイルの PORT ラインで与えられていると [Ln] ファイルの代わりに使用されます。GENESYS から実行されたとき、このファイル タイプは利用できません。代わりに [Ln] ファイルを使用してください。その他の点では、それらは先に説明した [Ln] ファイルと完全に同一です。

.RX (周波数 対 インピーダンス) ファイル

書き込み : ユーザ

タイプ : テキスト

安全に編集できるか : できます

シミュレーション

平均サイズ : 1 kB。

使用 : 電気損失を指定します。

これらのファイルは、導体の 1 平方当りのインピーダンスをオーム単位で指定するのに使用されます。これらのファイルは [EMPOWER] レイヤ設定ダイアログ ボックスまたは TPL ファイルで使用されます。ファイルは GENESYS の RX ファイルのようにフォーマットされています。

.SS (S パラメータ) Files

書き込み : EMPOWER

タイプ : テキスト

安全に編集できるか : できます*

平均サイズ : 5 から 50 kB。しかしこれよりも大きいことがあります。

使用 : EMPOWER によって計算された S パラメータを含んでいます。

このファイルは EMPOWER で書かれた S パラメータ データを含んでいます。それは工業標準の S2P フォーマットで大抵の RF およびマイクロ波シミュレータにロードできます。これらのファイルは編集できますが EMPOWER が再度実行されると上書きされます。

.TPL (トポロジー) ファイル

書き込み : ユーザまたは GENESYS

タイプ : テキスト

安全に編集できるか : できます*

平均サイズ : 1 から 5kB

使用 : 回路を EMPOWER に対して記述する。

このファイルは EMPOWER で解析されるべき回路の完全な記述を含んでいます。GENESYS は GENESYS の [EMPOWER] メニューから EMPOWER が実行されたときはいつでも自動的にこのファイルを作成します。これらのファイルは編集できますが EMPOWER が GENESYS 内で再度実行されると上書きされます。

.WSX (ワークスペース) ファイル

書き込み : GENESYS

タイプ : バイナリ

安全に編集できるか : できます。しかし GENESYS を使用してのみ可能です。

平均サイズ : 10 から 2,000 kB。

使用 : GENESYS からの完全なシミュレーション、グラフおよびレイアウト情報を含んでいます。

完全な GENESYS ワークスペースを含んでいます。

.Y (Y パラメータ) ファイル

書き込み : GENESYS

タイプ : バイナリ

安全に編集できるか : いいえ

平均サイズ : 2 から 25 kB。しかしこれよりも大きいことがあります。

使用 : EMPOWER のための内部データ ファイル。

このファイルはディエンベッド前の計算された Y-パラメータを含んでいます。マージ (-ME) が指定されると、このファイルに保存されていた以前のデータは新規に計算されたデータと結合され、[SS] (S-パラメータ) ファイルは書き換えられます。

~SS, ~RG, その他。(バックアップ) ファイル

名前または拡張子でチルド (~) から始まる全てのファイルはバックアップファイルで消去しても安全です。これらのファイルの例は ~OMBINE.TPL および COMBINE.~RG です。

EMPOWER : 高度な M/フィルタの例

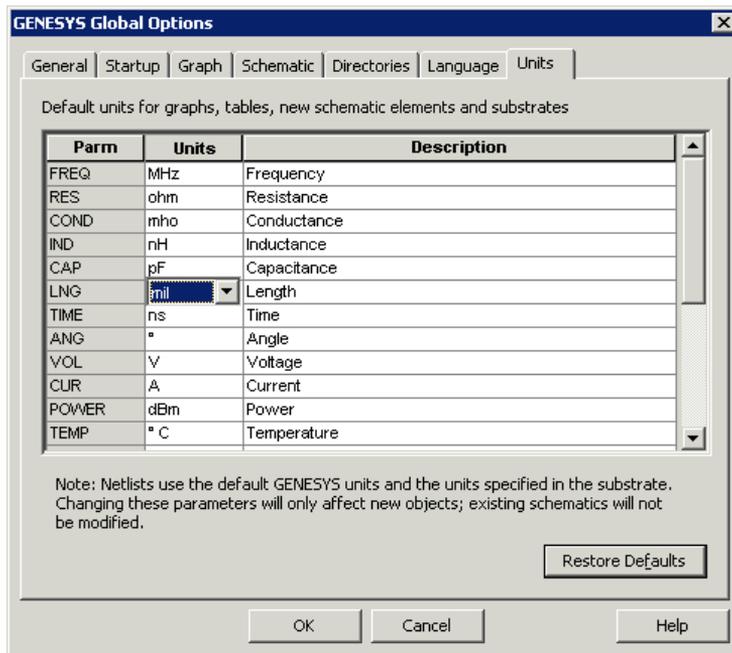
EMPOWER 高度な例 : フィルタの合成

この高度な例は、どのようにして M/フィルタ、回路シミュレーションおよび電磁シミュレーションを組み合わせるかを示しています。下限遮断周波数が 2100 MHz で上限遮断周波数が 2300 MHz のバンドパス フィルタをデザインします。フィルタをデザインするために M/フィルタを使用し、フィルタの線形および EM シミュレーションを実行します。

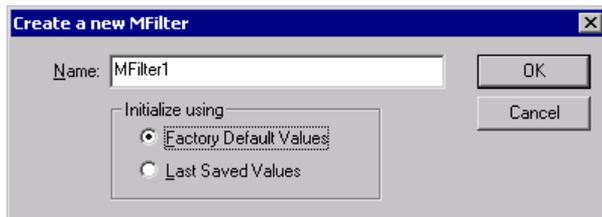
1. 最初に、この例の全ての単位はミルを使用します。この例で結果を得るためにデフォルト単位はミルに変更する必要があります。これは [メイン (Main)] メニューから [ツール (Tools)] を選択し、それから [単位

シミュレーション

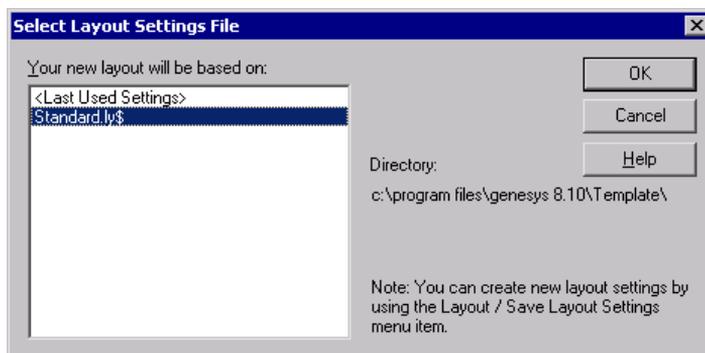
[Unit] タブを選択します。[長さ (Length)] パラメータが以下に示されているように[ミル(Mils)]になっていることを確認します。



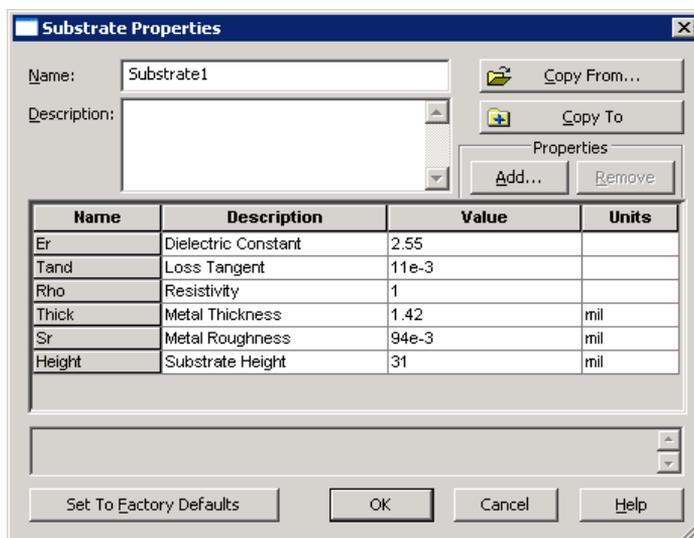
- 次に [GENESYS] ツリーから [マイクロ波フィルタ (Microwave Filter)] モジュールを開き、[新規アイテム (New Iteme)] ボタンを選択し、[合成／追加マイクロ波フィルタ (Synthesis / Add Microwave Filter)] を選択してデザイン プロセスを開始します。[新規マイクロ波フィルタ作成 (Create a new Microwave Filter)] ダイアログ ボックスの中で [Initialize using] を [初期設定値(Factory Default Value)] に変更し、[OK] を選択します。



- [レイアウト設定ファイルの選択(Select Layout Setting File)] ダイアログ ボックスで、プリント基板レイヤ設定のための入力が促されます。「Standard.ly\$」を選択し、[OK]を選択します。

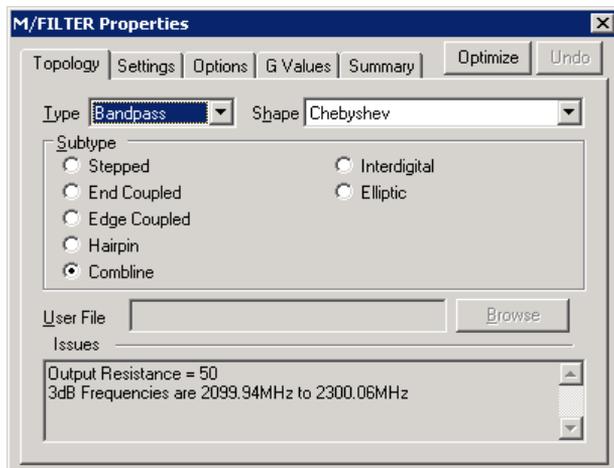


4. 基板を指定するように求められます。この例では全てデフォルト値を選択して、 $Er=2.55$ 、高さ=31 ミルで [OK] を選択します。

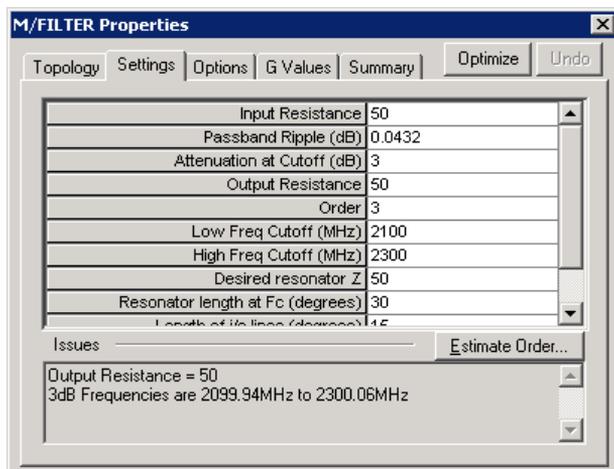


5. タイプとして「バンドパス」、サブタイプとして「くし形」を選択します。このワークスルーではチェビシェフ フィルタ形状を選択します。[トポロジー (Topology)] タブは以下のように見えるはずですが、注記：デザインは完了していないので、このプロセス中に作成されたローカルエラーは無視します。

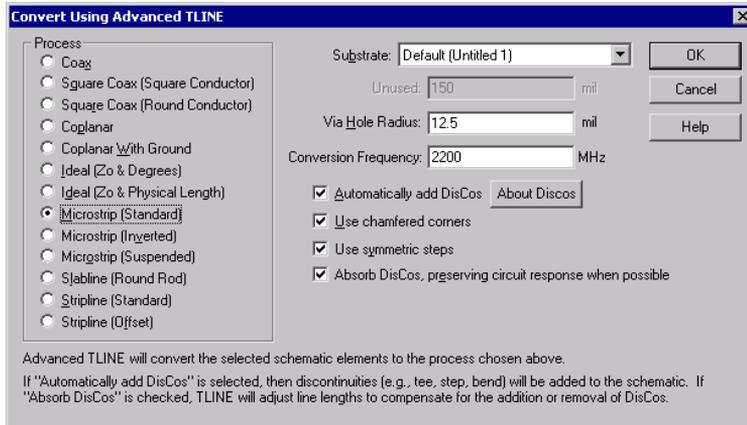
シミュレーション



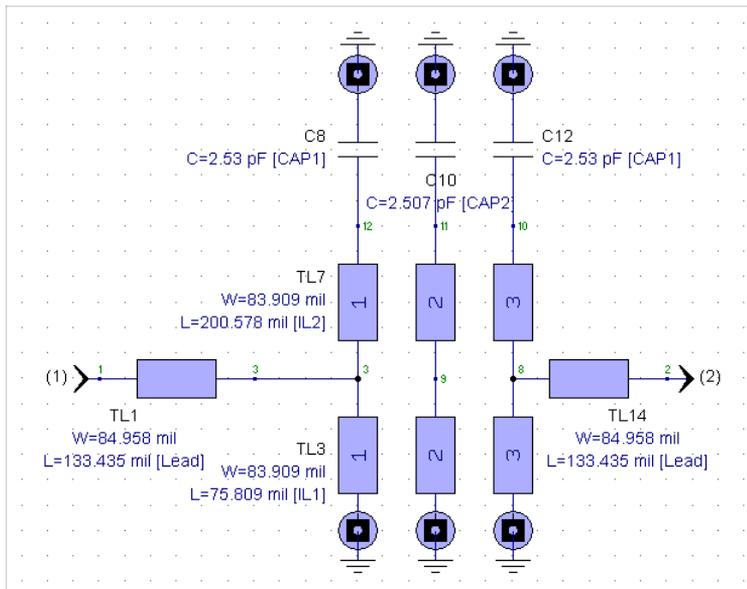
6. 次のステップでは以下のような [設定 (Setting)] タブで全てのフィルタパラメータを指定します。



7. [オプション (Option)] タブで製造プロセスを選択する必要があります。この例ではプロセスとして、マイクロストリップ (標準) を使用します。変換プロセスは以下とほぼ同じはずです。[OK] をクリックすると、以下のような回路図を得るはずです。



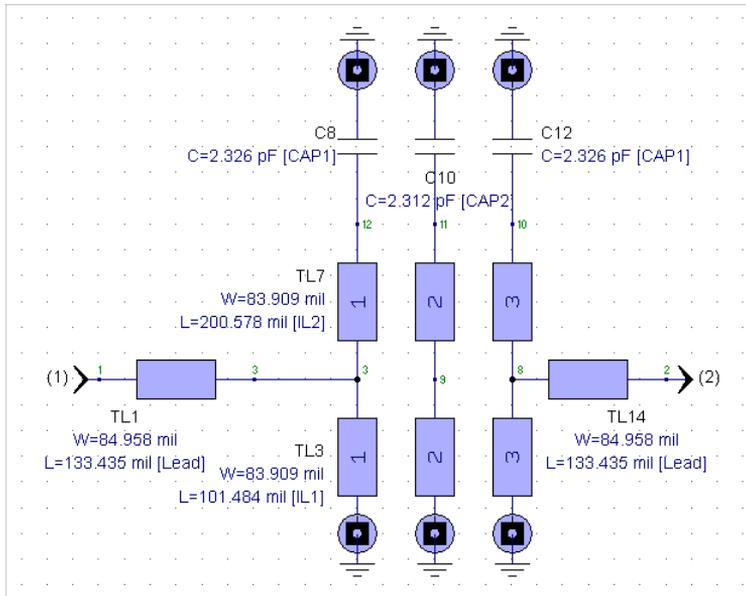
合成された、最適化されていないフィルタの回路図



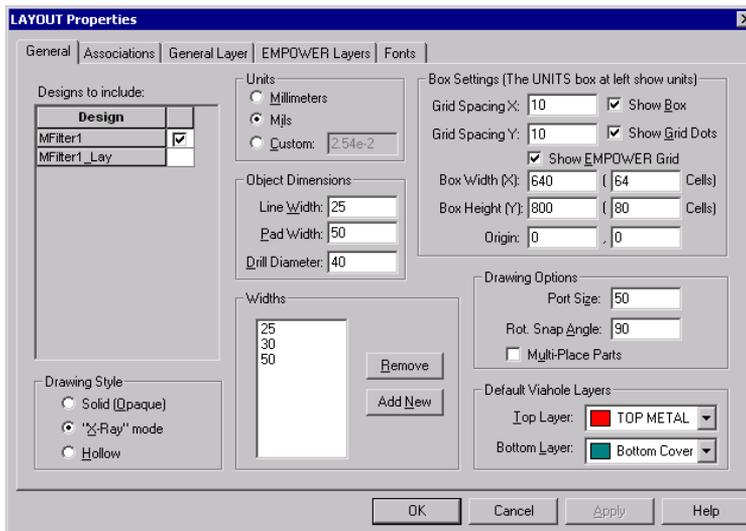
それらの影響をモデル化するために、どのようにして M/フィルタが自動的に不連続性を挿入するかにご注目ください。

8. 次に [MFilter] ダイアログ ボックスのトップの [最適化 (Optimise)] ボタンを押してこのフィルタを最適化する必要があります。この例で期待するフィルタ性能を得るために、このことは非常に重要です。最適化の後、回路図は以下のように見えるはずです。

注記 : エラーの値があまり改良しない場合は [Esc] キーを押して最適化を停止する必要があります。

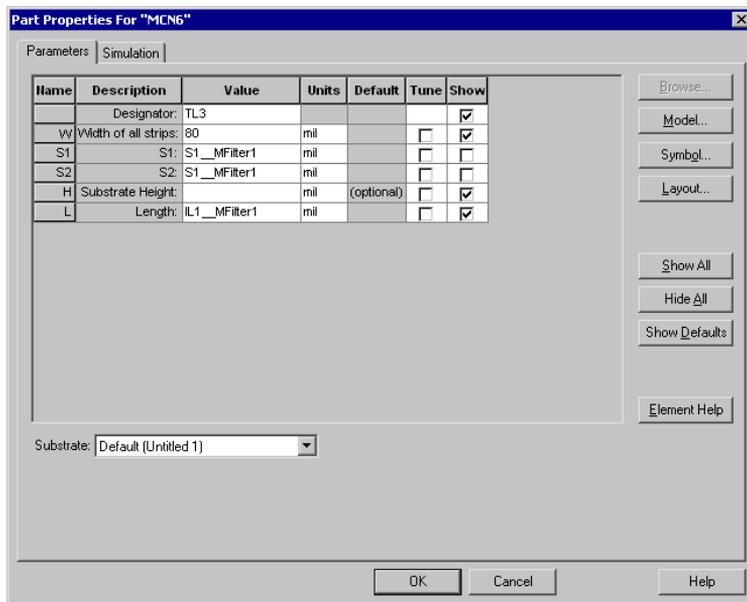


- 次にボード デイメンジョンおよび EMPOWER グリッド スペースを設定する必要があります。このワーク スルーでは [グリッド スペース (Grid Spacing)] X : 10 および [グリッド スペース (Grid Spacing)] Y : 10 および [ボックス幅 (Box Width (X))] を 640 そして [ボックス幅 (Box Width (Y))] を 800 に設定します。グリッド スペースを 10 に選択した理由は、合成フィルタの幅と長さが 10 ミルの整数倍に非常に近いからです。

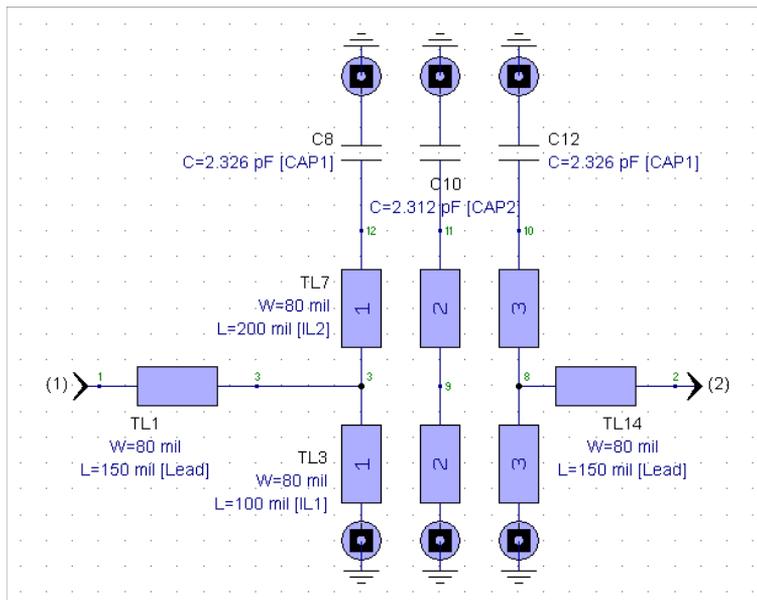


- 今度はレイアウトをわずかに編集する必要があります。究極の目的は、共振器のデイメンジョンがグリッドデイメンジョンの正確な整数倍になるこ

シミュレーション

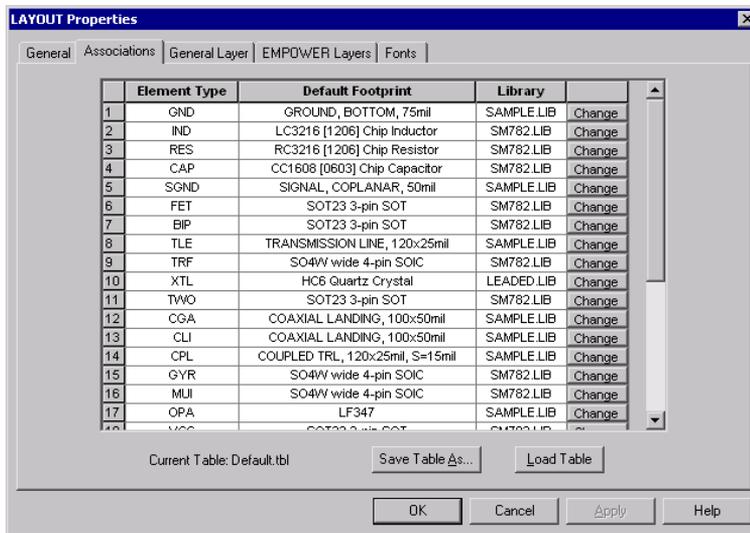


12. 最適化され、再調整されたフィルタ図は以下のように見えるはずです。



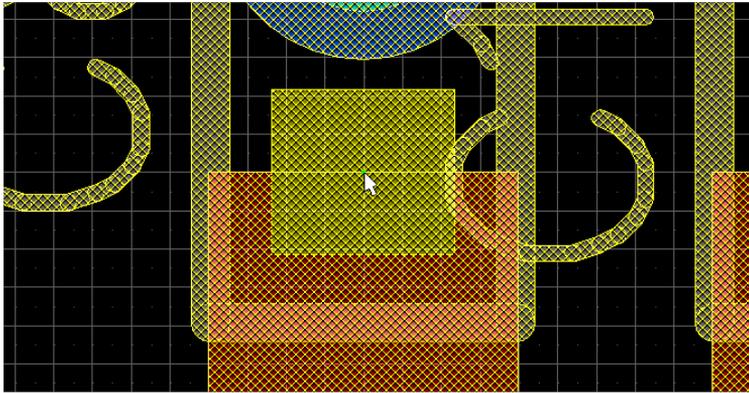
13. キャパシタのフットプリントを 0603 に変更する必要があるかもしれません (デフォルトのフットプリントによります)。これは [レイアウトバックグラウンド (Layout Background)] でダブルクリックし、[関連 (Association)] タブを選択して [レイアウトプロパティ (Layout Properties)]

を開いて実行できます。次に [変更 (Change)] ボタンをクリックし、「SM782.LIB」から「CC1608 [0603] チップ キャパシタ (Chip Capacitor)」を選択します。

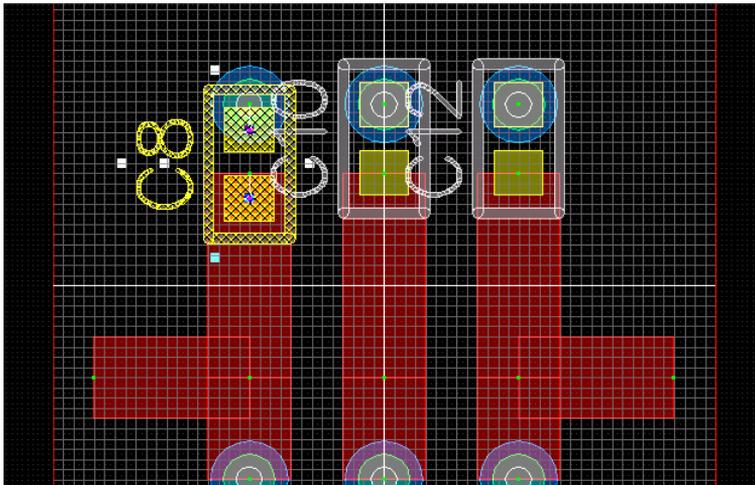


14. 次のステップは、部品を PWB の中心に配置することです。これは [MFilter1_Lay レイアウト (MFilter1_Lay Layout)] ウィンドウを選択し、[編集 (Edit)] メニューから [全てを選択 (Select All)] を選択して実行できます。それから [レイアウト (Layout)] メニューで [選択された部品を接続 (Connect Selected Parts)] および [ページ上で選択された中心 (Center Selected on Page)] を選択します。次に [最大に拡大 (Zoom Maximize)] ボタンをクリックします (十字の矢)。レイアウトは PWB 上で中心に配置されているはずですが、しかし、伝送ラインは正確にグリッド上に配置されていない可能性があります。これらはマウスをボトム キャパシタ パッドの 1 つの中心に置いて、全体のフィルタ ストラクチャを最近接のグリッドラインの上へドラッグすることによって、グリッド上に配置できます (全体のフィルタをドラッグするには、全ての部品を選択する必要があります)。

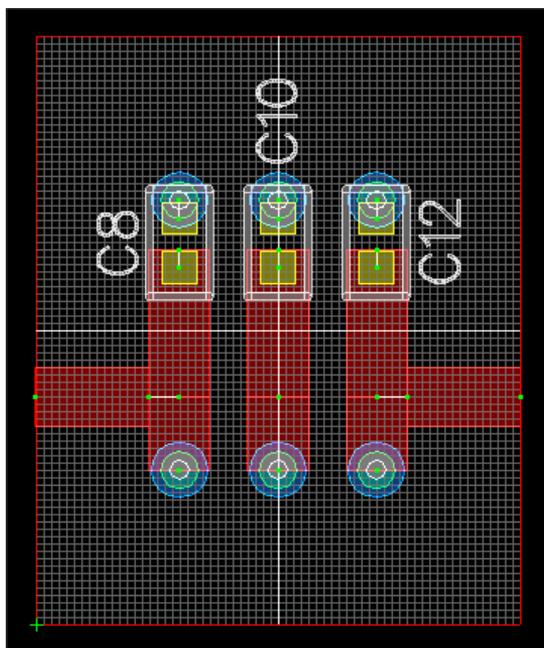
シミュレーション



15. キャパシタのフットプリントを移動して、キャパシタのパッドが共振器の長さを超えないようにする必要があります。さらに、左側の共振器上に表示されているように、ドリルの孔が上部キャパシタのトップにあるように、グラウンドビアを上方に移動する必要があります。



16. 次に入力および出力ラインの配置を変更する必要があります。矢印キーを使用して、合成回路図に適合するように、それらを共振器の中心から引っ張ってエッジへ移動します。レイアウトは以下のように見えるはずです。

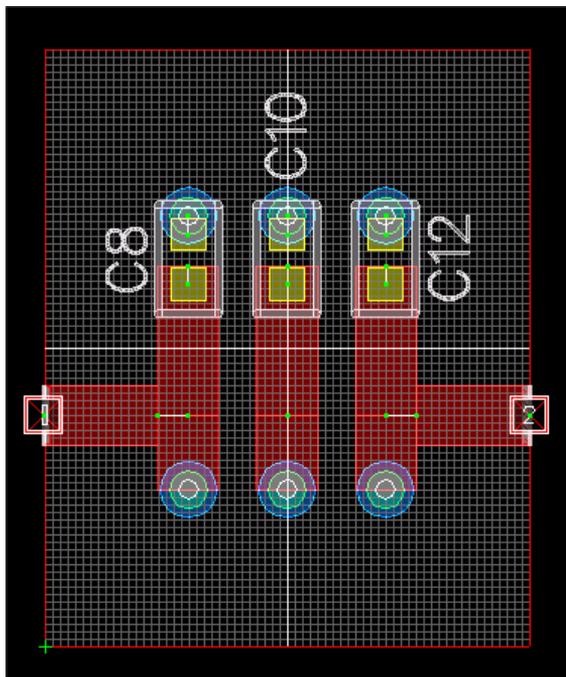


ヒント : 記述テキストを、希望するならば、テキスト ブロックの中央のハンドルをつかんで移動することができます。

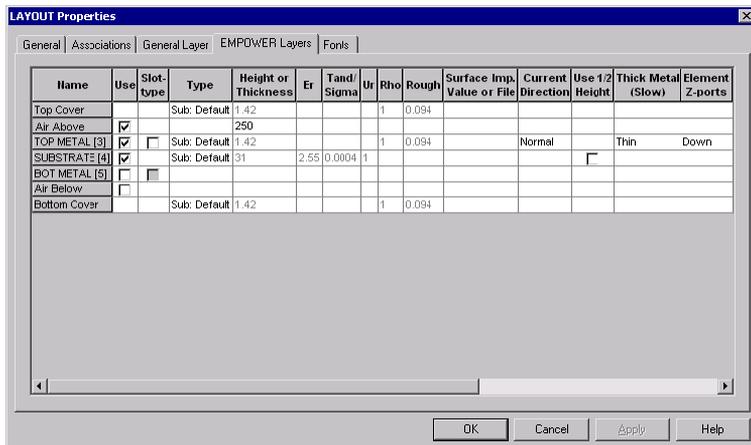
17. ここで入力と出力ポートを追加します。EM ポートは [GENESYS] ツールバーにあります (以下参照)。EM ポートは正確に PWB のエッジに整列する必要があり、[EM] ポートの下の灰色の影のバーが現れて、それらが正しくトップメタルレイヤに配置されたことを示します。



回路図のフィルタ レイアウト



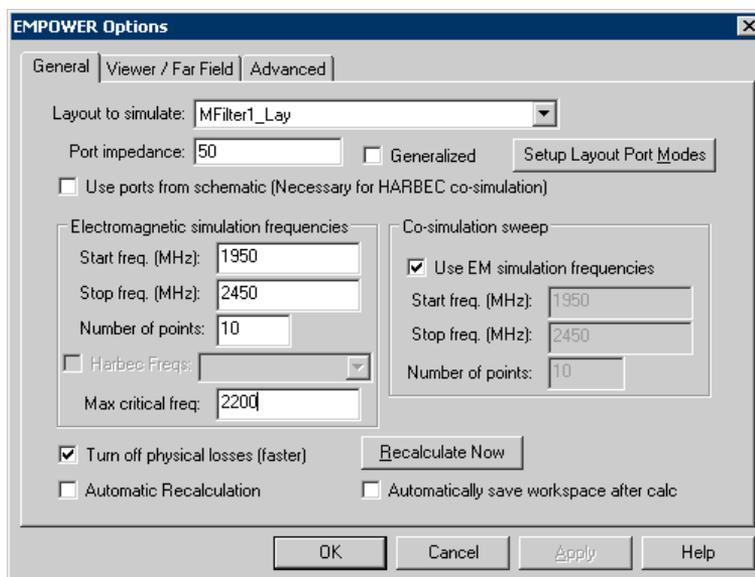
18. 次に以下に示されたように EM レイアウト プロパティを設定する必要があります。これは [レイアウトバックグラウンド (Layout Background)] でダブルクリックし、[EMPOWER レイアウト (EMPOWERLayout)] タブを選択して [レイアウトプロパティ (Layout Properties)] を開いて実行できます。



19. 次のステップはレイアウトの EM シミュレーションの作成です。これは [シミュレーション/データ (Simulation/Data)] フォルダを右クリックして、[プレーナ 3 次元 EM 解析を追加 (Add Planar 3D EM Analysis)] を選

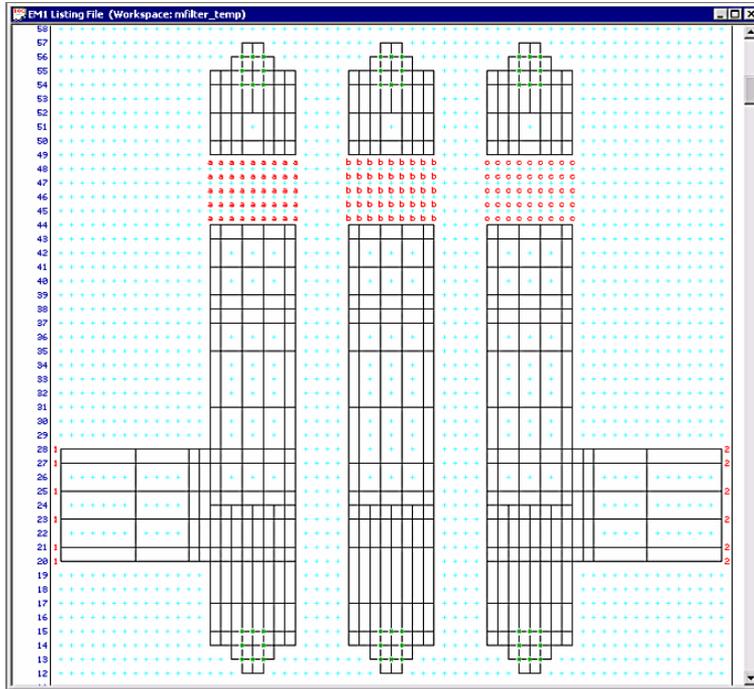
択して実行します。次にポイント数を変更しながらシミュレーションを設定します。EMPOWER オプションは以下のように設定される必要があります。[今すぐ再計算 (Recalculate Now)] を押して EM シミュレータを開始します。このシミュレーションは 192 MB RAM 付きのペンティアム III、500 MHz CPU で数分かかります。

注記 : 応答のより広い描写を得るために、より広いシミュレーション周波数を指定しました。



20. シミュレーションが実行された後、最初に [EMPOWER リスティング (EMPOWER Listing)] ファイルをみる必要があります。EM1 というタイトルの EMPOWER シミュレーション (ワークスペース ツリーの中で) を右クリックし、[リスティング ファイルを表示する (Show Listing Files)] を選択します。このファイルを調べて、シミュレーションの幾何学形状を検証します。これでわかるとおり、このリスティングは希望するレイアウトにマッチしています。

シミュレーション



21. 今度はリニア応答と同じグラフ上で EM 応答を見て、2 つを比較します。これはリニアグラフのプロパティの「MFilter1.Response」を開き、以下に示されているように測定の第三行と第四行に「MFilter1.EM1.DB[S21]」および「MFilter1.EM1.DB[S11]」をタイプ入力して実行します。

The figure shows a screenshot of the Graph Properties dialog box. The window title is "Graph Properties". The "Default Simulation/Data or Equations:" field is set to "MFilter1.MFilter1". The dialog contains a table for measurements and options for axis scaling and display.

	Measurement	On Right	Hide ?	Color
1	DB[S21]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Red
2	DB[S11]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Blue
3	MFilter1.EM1.S21	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Green
4	MFilter1.EM1.S11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Orange
5		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Purple
6		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Brown
7		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dark Blue
8		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Light Green

Left Y Axis: Auto-Scale
 Min: -50
 Max: 0
 # Divisions: 10

Right Y Axis: Auto-Scale
 Min: -50
 Max: 0
 # Divisions: 10

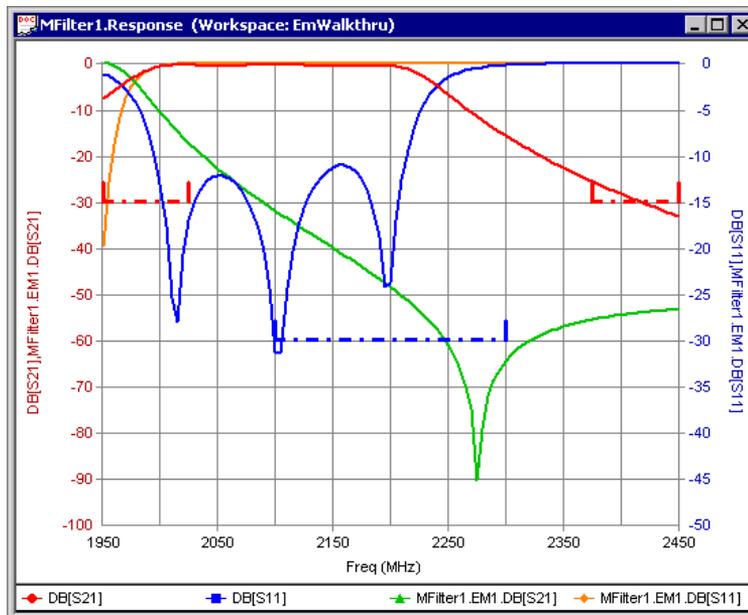
X Axis: Auto-Scale Log Scale
 Min: 1950
 Max: 2450
 # Divisions: 10

Buttons: OK, Help, Cancel, Measurement Wizard..., Equation Wizard..., Advanced Properties...

Enter the name of a parameter to graph or press a wizard button to guide you through the process of creating a measurement.

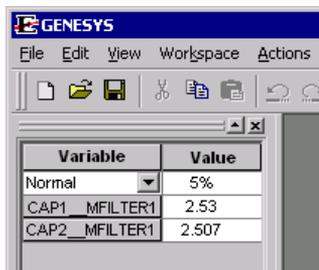
注記 : 測定に手動でタイプ入力する代わりに [測定ウィザード (Measurement Wizard)] を使用することもできます。

22. 各シミュレーションが何を示しているのか解析します。以下はリニアおよび EM シミュレーションの両方を示すグラフです。EM 応答がわずかに周波数で低いことに注目します。リニアシミュレータは EM シミュレータが考慮しているような寄生損失およびボックス効果を考慮に入れていません。EM 応答の周波数が低い方向にシフトしている主要な理由は、(キャパシタの) フットプリントパッドが実際にフィルタにより多くの容量を追加しているからです。フィルタ応答が以下に示されています。赤と青の応答は、リニア応答シミュレーションの S_{21} および S_{11} で、橙の応答の S_{21} 、緑の応答の S_{11} は EM シミュレーションです。

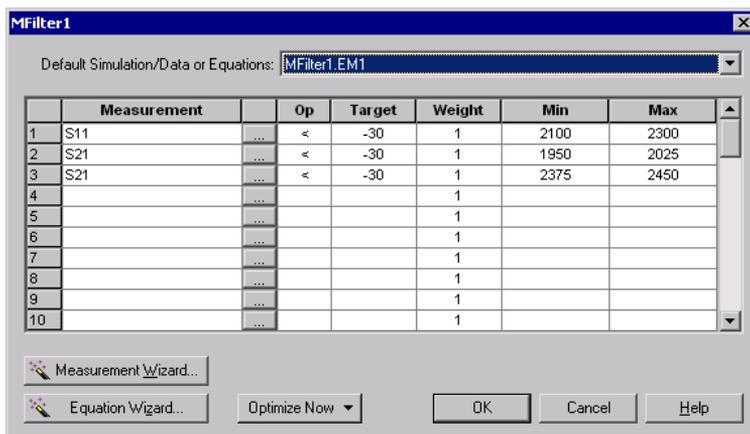


23. Eagleware のコシミュレータの真の実力を見るときです。コシミュレータを使用すると EM シミュレーションを再実行することなく、リアルタイムでフィルタをチューニングできます。言い換えると、EMPOWER を再実行することなく、キャパシタの値をチューニングできます。応答が周波数の低い方向へシフトしていたので、全てのキャパシタの容量を減少させる必要があります。[チューニングウィンドウ (Tune Window)] で手動によってキャパシタの値をチューニングできます。

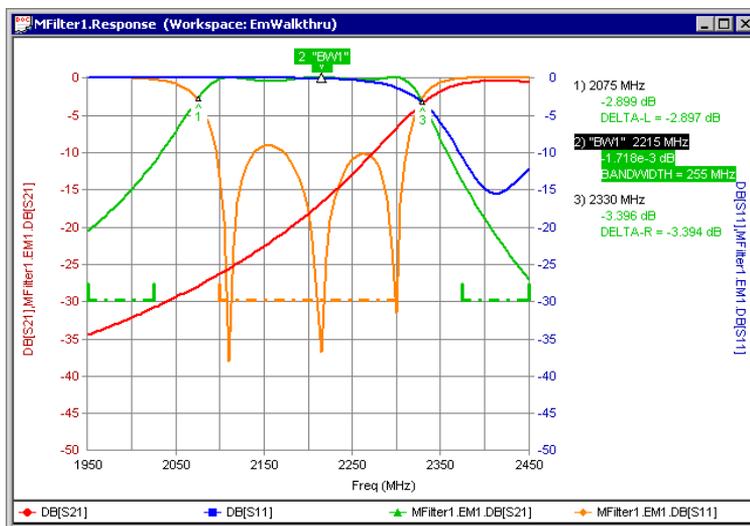
シミュレーション



24. しかしながら、フィルタをチューニングするために、オプティマイザを使用することができます。[最適化 (Optimization)] フォルダに配置されている [MFilter1] というタイトルの最適化ターゲットを開き、[デフォルト シミュレーション/データまたは方程式 (Default Simulation / Data or Equations)] を [MFilter1.EM1] に変更します。次に [今すぐ最適化 (Optimize Now)] および [自動 (Automatic)] を選択します。



25. 最適化されたフィルタの最終応答が以下に示されています。最後のステップは キーボードの F5 を押して、新しいトレースを更新することです。希望する場合は帯域幅マーカを追加して、最終結果を表示できます。



最終的キャパシタの値は次のとおりです。

Variable	Value
Normal	5%
CAP1_MFILTER1	1.806
CAP2_MFILTER1	1.71

オリジナルのリニア応答は、電磁シミュレーションよりもずっと高い周波数であることにご注目ください。

EMPOWER : 理論

概要

このセクションは、基本的な EMPOWER アルゴリズムの技術説明をします。市場にある大半の類似のツールと異なり、EMPOWER はライン法 (MoL) を基にしており、計算の精度を増加させながら、計算速度を上げるための一連の数値技術を含んでいます。幾何学的対称性 (回転を含む) の組み込み、間引きとリニア再拡張手順を使用した問題の複雑性の減少、同時対角化法によるマルチモード ディエンベッドがここに説明されています。この理論セクションは EMPOWER ユーザに、数値電磁基礎に親しんでいただくためのものです。モーメント法または有限差分法に比べて、MoL があまり良く知られていないのでこの資料を追加しました。

MoL はモーメントおよび有限差分法の両方の単純な組み合わせで表現できます。従って共通部分をスキップし、アルゴリズムのオリジナルな部分に注意を払いました。特定のアルゴリズム部、精度および収束の調査結果は EMPOWER エンジン 理論およびアルゴリズム セクションのリファレンスにリストされた出版物に掲載されています。

基本的にはシミュレータの背後にある理論は次のように帰結できます。層状媒質の最初の 3 次元問題は、マックスウエル方程式の部分的離散化およびグリッド スペクトル ドメインの一樣レイヤに対する解を通じて 2 次元問題に縮小されます。結果として得られるローカル グリッド 電流および電圧に関するマトリクスは、ポートの積分電流および電圧に関するイミタンス マトリクスに縮小されます。イミタンス マトリクスから問題の一般的な散乱マトリクスを抽出するために、同時対角化法が使用されます。

このイントロダクションの後で、電磁界シミュレータの基礎として MoL を使用する理由を式で説明します。3 次元問題は 2 次元方向のみに離散化され、自然にプレーナ MIC ストラクチャに対応する 2 次元問題に縮小されています。モーメント法と対照的に、MoL は数値モデルの全てのパラメータを定義する唯一つの変数を備えた自己調整解決法を提供します。それが結局は計算データの単調収束および計算誤差の予測可能性につながります。MoL を基礎とするアルゴリズムの高度な内部対称性は、メイン マトリクスの計算段階の数値的複雑性を大いに減少させることを可能にしています。等間隔グリッドを使用すると変数の数が過剰になる可能性があるという制約は、間引きおよび再拡張手順を導入することによって克服されました。基本的には、問題の離散アナログはモーメント法と類似の方法で処理されますが、解およびプログラミングの各種アспектを容易にする有限差分アプローチのように、離散スペースで処理されています。

このようにして、MoL の主要な利点は、計算誤差を予測でき、汎用目的のプログラムの開発を容易にする比較的簡単明瞭なアルゴリズムおよび計算を加速し、解の精度を増加する多くの可能性を備えた信頼性の高い解にあります。これらの理由などで、電磁シミュレーションに使用することが決定されました。このセクションは問題の定式化および加速技術に力点をおいて、理論的背景をまとめて説明します。

歴史的背景

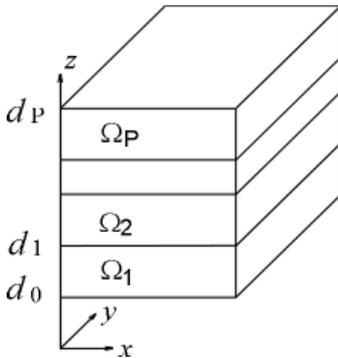
MIC および MMIC ストラクチャのためにデザインされた大抵の市販の電磁 (EM) シミュレータは積分方程式およびモーメント法 (MoM) を基づいています。EMPOWER はライン法 (MoL) に基づいています。この技術は優れたエラー収束特性を備えており、数値的複雑性を最小化するためのコード最適化に良く従っています。

EMPOWER のルーツは 1987 年にノボシビルスク電気工学インスティテュートで開始された研究にあります。これはモスクワでの 1991 年の TAMIC の市販品開発に結びつきます。TAMIC はソビエト ユニオン他で、市販品として使用されました。1996 年後半に、Eagleware は TAMIC を買収し、主要な開発に寄与した人達が Eagleware に参加して、大きな改良を開始しました。そのコードは 1998 年に、GENESYS 環境のリリース バージョン 6.5 に組み込まれました。

問題の定式化

このセクションは解決すべき境界値問題の、一般的な数式化を説明します。それは問題のドメインの全ての制約を定義します。特定の問題が数式に適合するかどうかを決定するために、このセクションを使用できます。

解析のためにパッシブな MIC ストラクチャが電氣的または磁氣的壁で境界を限られた 3 次元直方体の中に閉じ込められます。立体は以下に示されているように、任意の数の等方性の一様な誘電体または磁性体レイヤから構成された、レイヤ媒質によって充填されています。



電界 (\mathbf{E}) および磁界 (\mathbf{H}) ベクトルは、マクスウエル方程式システムで関連付けられています。

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{H} &= i\omega \varepsilon_p \mathbf{E} + \mathbf{J}_z \\ \operatorname{rot} \mathbf{E} &= -i\omega \mu_p \mathbf{H} \\ \operatorname{div} \mathbf{E} &= 0 \\ \operatorname{div} \mathbf{H} &= 0 \end{aligned} \right\} (x, y, z) \in \Omega_p \quad (\text{A-1})$$

ここで \mathbf{J}_z はレイヤ媒質内部の z 方向電流の体積密度ベクトルです。 ε_p および μ_p は媒質の誘電率および透磁率で、損失のある媒質では ε_p は複素数です。 z 方向電流はレイヤの中で一定な値ですが、レイヤごとに異なっても良く、このことは z 軸に沿って問題を離散化する可能性を示します。このようにして、レイヤの中で一定の電流を持った全ての 6 つの電界、磁界成分を得ます。 x および y 電流成分は、媒質境界に平行な信号レイヤ $z=d_j$ 内でのみ存在します。信号レイヤに対する一般化された境界条件は次のとおりです。

$$\begin{aligned} 1_z * \{ \mathbf{H}(+d_j) - \mathbf{H}(-d_j) \} &= \boldsymbol{\eta} \\ 1_z * \{ \mathbf{E}(+d_j) - \mathbf{E}(-d_j) \} &= 0 \end{aligned} \quad (\text{A-2})$$

信号レイヤ面は任意の形状の完全なメタライゼーション領域、複素表面インピーダンス領域（損失のあるメタル）、抵抗膜、および集中定数素子接続をモデル化する領域を含むことができます。全ての領域の厚みはゼロです。ボックスのトップおよびボトム壁は、理想的な電気的および磁氣的壁または表面インピーダンスを持つ壁です。ストラクチャはまたボックスのトップまたはボトム面内で半無限の直方体の導波管によって終端されることが可能です。媒質レイヤ境界に対する境界条件（A-2）の説明が以下のテーブルに与えられています。

1.	メタライゼーションのない領域	$\eta = 0$
2.	損失のないメタライゼーション	$1_z * E(d_j) = 0$
3.	表面インピーダンス	$\eta = \sigma E$
4.	X 軸に沿ったポート領域または X 軸 (y 軸も同様) に沿った内部ポート (集中定数素子領域) C は領域の断面、l は領域の長さ。	$\int_C \eta dy = Y_i \int_l E_x dx$
5.	Z 軸に沿った内部ポート	$\iint_C j_z dx dy = Y_l \int_l E_z dz$

ストラクチャの内部ポートは、外部境界に接近するセグメント (ライン コンダクタ) およびライン コンダクタが立体の壁に接近する領域での、表面電流源によってモデル化されています。入力および集中定数素子内部の電流は、電流の方向で一定で対応する領域に沿った電界成分はその領域を通じて一定であると仮定されています。このようにして領域に渡った電流の積分は積分電流を与え、領域に渡った電界の積分は領域の積分電圧を与えます。

電磁界問題の希望する解は、ポートおよび集中定数素子領域内での積分電圧および電流を関連付けるイミタンスマトリクスです。これは実際にはポートおよび集中定数素子領域での、一種のグリーン関数の縮退です。集中定数素子を接続した後で、イミタンスマトリクスは同時対角化法を使用して一般化された Y または S マトリクスに変換されます (ディエンベッドセクション参照)。

このようにして、プレーナ フィルタ、ディバイダ/コンビナ、整合回路、位相シフタ、減衰器、ダイプレクサ、アンプおよびそれらの部品のような、広範囲のマイクロ波およびミリ波に対して適性な問題の定式化を得ます。

ライン手法

部分離散化法（後にライン法 [MoL] と呼ばれる）は、解へのアプローチとして偏微分方程式および有限差分法アプローチと同じくらい古くから存在します。その痕跡は J.-L. ラグランジュの 18 世紀の作品にみることができます。楯岡問題の数値解に対する最初のその意識的な使用は、M.G. スロボディアンスキーに帰することができます。[1939]。1900 年の初めから 60 年代までの MoL 開発および応用のほぼ完全な参考資料が、リスコフェの論文の中に述べられています[1965]。

B.L. レンナートソン [1972] のネットワーク アナログ法は、恐らく MoL のプレーナ マルチコンダクタ ラインの統計的数値解析への最初の技術的応用です。それが発表されたときには、それはあまり簡単明瞭でなく、この方法の実際のマイクロ波集積回路ストラクチャへの探求は、1980 年始めにドイツの科学者 H. ディーステル、R. プレグラ、U. シュルツ、S.B. ウォーム他によって開始されました [プレグラ、パッシャー 1989]。

EMPOWER のアルゴリズムも、その半離散化の性質から MoL に分類できます。最初はネットワーク アナログ法 [クロン 1944 / セストロレッツキー 1977] および一様なレイヤ内のグリッド スペクトラム表現は、レイヤ状の 3 次元ストラクチャを解析するのに使用され [セストロレッツキー、シュレンプネフ、1988]、これは 3 次元有限差分法アプローチおよびスペクトラム ドメイン技術の組み合わせに対応しています。後に、メタル プレーンの離散化だけが残されましたが、この方法はネットワーク インピーダンス アナログ法としていくつかの利点を保持しています。それがときには EMPOWER 数値技術を、ラインのインピーダンス解釈法と呼ぶ理由です。

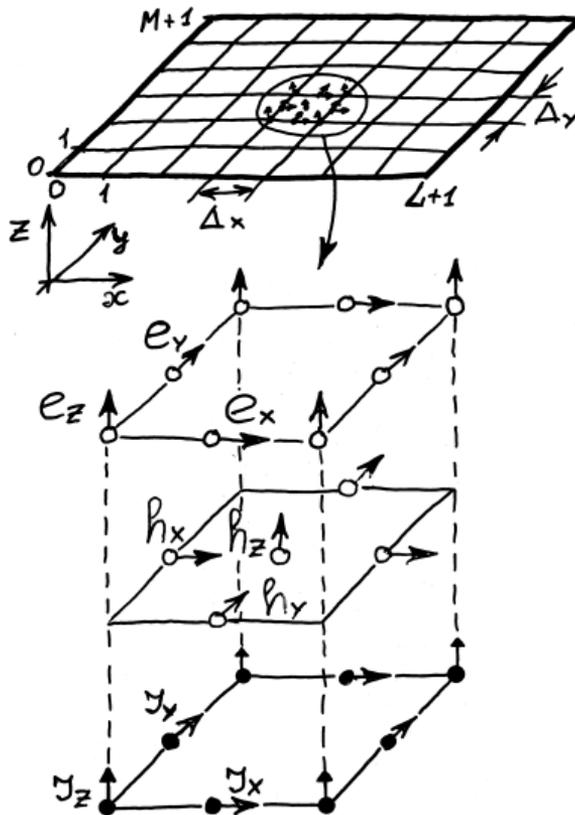
以下は MoL のインピーダンス解釈の主要な解の段階です。

- メタライゼーション面内 ($x-y$ 面) だけで、マックスウェルの方程式の部分離散化。
- 一様なレイヤ内の電磁界のグリッド スペクトラム表現。
- レイヤ内の解のインピーダンス形式を使用してスペクトラム ドメインで、グリッドグリーン関数 (GGF) マトリクスを作成。
- 各 GGF マトリクス要素を、高速デジタル フーリエ変換 (DFFT) 技術を使用して得られた補助アレイの 4 つの要素の和として表現。
- 間引きおよび線形再拡張手法を使用して、等間隔グリッドを非等間隔グリッドに変換。
- 対称およびほぼ対称問題に対して、対称の自動検出（反射および 180° 回転）。

- 部分反転を使用して、線形代数方程式の主要システムの解。
- 入力および集中定数素子領域内の Y または Z マトリクス関連の積分グリッド電流および電圧に対する解。

グリッド上への配置

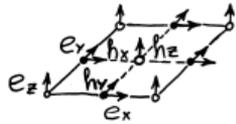
偏微分方程式の境界値問題をグリッド上に配置することは、基本的には連続関数の空間で定義された解を、不連続な空間で定義された解と置き換えることを意味します。モデルの解は、可能な限り連続の解に近い必要があります。問題を解決するために、信号面内の偏微分を、グリッドに印加されたフィールド成分と類似の有界値の差分で近似しました。対応するグリッドはここに示されています。



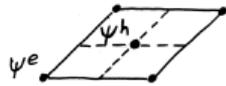
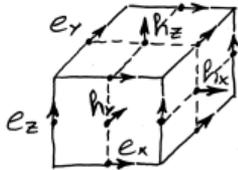
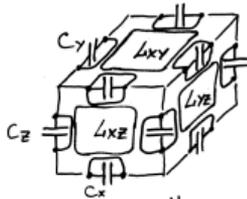
シミュレーション

x 軸にそって $L+1$ 個の等間隔のセルおよび y 軸にそって $M+1$ 個のセルがあります。電界 (e) および磁界 (h) のグリッド等価は、上記のグリッドセルに対して示されているように、オフセットグリッド点での対応する連続関数値として定義されます。グリッド関数は z 方向に沿って連続です。グリッドの x および y 方向電流変数 (J_x, J_y) は、グリッドセル中のメタル面での表面電流の積分として定義されます。グリッドの z 方向電流 (J_z) はグリッドセル中の体積電流密度の表面積分として定義されます。

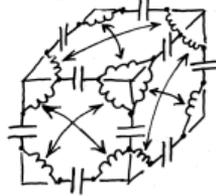
マックスウェル方程式の最初のオフセットモデルは G. クロンによって提案されました [1944]。以下のセルは、いろいろな著者によって実行された類似のモデルのまとめを示しています。微分-差分方程式の結果のシステムは、初期システムをレイヤ内でローカルに 2 次で近似します。初期の境界値問題は、無限に薄いメタル領域を含み、結果としてメタルエッジで電磁界と導体電流に特異点を持つことが可能です [メイックスナ、1972]。それが問題のグローバル近似オーダが通常低く、ストラクチャの積分パラメータ (Y, S マトリクス要素、特性インピーダンス) の最大の計算誤差部分が、通常グリッドセルサイズと共に減少する理由です。即ち、初期等間隔グリッド上で解かれたほとんど全ての問題に対して、単調な収束が観測されました。これはリチャードソンの外挿 [リチャードソン、1927、マルシュク、シャイデュロフ、1979] のような強力な収束の加速技術を使用することを可能にしました。これは 1 つの観察であって、全ての問題に対して働くということは証明できないことにご注意ください。ここで使用されたメタルプレーン内の電流ソースを使用したデスクリプタ マトリクス評価技術は経験的なものです。評価の精度は電流ソースによって励起される可能性のある寄生高次モードに依存しており、もしそれらが遮断周波数に近いか、伝搬するならば、推定されたデスクリプティブ マトリクスは正しいものから程遠いものになります。しかしながら、遮断周波数近傍の予期されない高次モードを持つ実際の回路は、実際には適切に動作しないので、このことが期待されます。



=empower=

S. B. Worm,
R. Pzegla, 1984K. S. Yee, 1966
Also T. Weiland, 1977

B. Sestroretzkiy, 1977



G. Kron, 1944

グリッド グリーン関数

グリッド グリーン関数 (GGF) は、いままであまり話題にされてきませんでした。GGF は単位大きさのグリッド電流 (J_x, J_y または J_z) で励起された、マックスウエル方程式 (A-1) の微分-差分アナログの 1 つの解です。解または応答関数は x, y 平面内で離散的な関数で、 z 軸方向に沿ったレイヤ内で連続です。実際には、数式化問題を解くためには GGF の信号プレーンおよびゼロでない z 方向電流をもつ領域への縮約だけが必要です。この縮約は離散化によるマトリクスです。

GGF マトリクスを見つけるために、スペクトラム ドメイン技術で使用されたもの、またはモーメント法[ニコルスキー、1982、ヴェスニン、1985、ラウチオ、ハリントン、1987、ダンレヴィー、カテヒー、1988] で使用されたものに類似のスペクトラム アプローチを使用しました。連続 TE および TM 方形導波管固有波 [サマルスキー、チクハノフ、1948] の代わりに、彼らのグリッド アナログが電磁界をレイヤの中で拡張するための基礎として使用されています。グリッド TE および TM 波の数は有限で、それらのシステムは完全です。このことは

スペクトラム ドメイン アプローチでのようにシリーズの和を求める代わりに、有限の和を持つことを意味します。さらに各基本グリッド固有波は連続スペクトラム ドメイン アプローチで得たシリーズの和へ収束を与えるグリッド補正を持っています。バックワード プロセスは不可能で、単純なシリーズの切断はグリッド技術と同じ回答を与えないことにご注意ください。有限の和およびグリッド補正は、アルゴリズムの単調な収束に最も重要なことです。

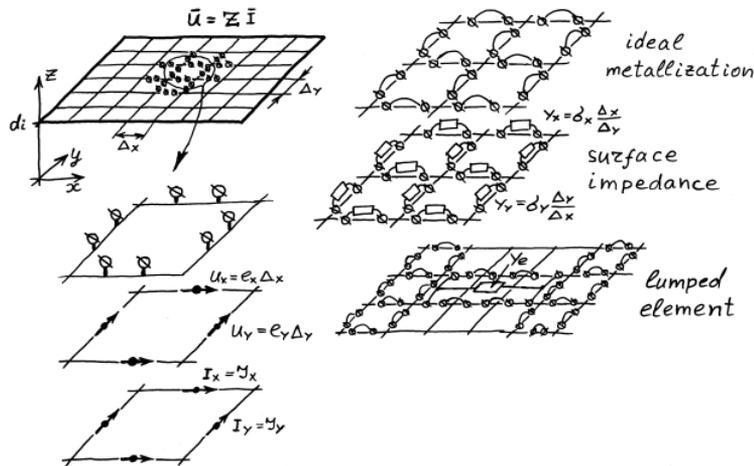
グリッド スペクトラム ドメインで、GGF マトリクスを作成するために、レイヤの解のインピーダンス形式が使用されました。解の基本はグリッド スペクトラム ドメインのレイヤ アドミッタンス マトリクスです。このマトリクスはレイヤの対向する表面での接線方向電磁界成分のグリッド アナログ、レイヤ内の z 方向電流および z 方向電流に沿った z 方向グリッド電界の積分を関係付けます。これら全てはグリッド固有波の基本の中にあり、このようにしてグリッド固有波の各ペアに対して一式の独立したマトリクスを持ちます。ストラクチャの中で全てのレイヤのこれらマトリクスを結合するとグリッド スペクトラル GGF 表現が得られます。任意のレイヤの構成に対して解作成手順は完全に自動化されています。この技術はスペクトラム ドメインのインピーダンス アプローチと似ています [上野、伊藤、1989]。グリッド スペクトラム GGF 表現は GGF 固有値ベクトルとも呼ばれましたがこの言葉は正しくはありません。ベクトルのディメンジョンは 1 シグナル レイヤがあるときはおよそ $3*L*M$ です。

初期空間で GGF マトリクスを得るために必要なことは、グリッド スペクトラム ドメインから空間ドメインへ GGF 固有値ベクトルのバックワード変換を実行することです。それを実行するために、全般サム アレイと呼ばれる補助アレイが導入されます。全般サム アレイのディメンジョンもまた約 $3*L*M$ です。GGF マトリクスの各要素は汎用サム アレイの 4 要素の和として得ることができます。全般サム アレイはボックスおよび媒質ストラクチャおよびグリッドのセルサイズに依存します。その要素はプライム ファクタ (Prime Factor) アルゴリズムを使用して GGF 固有値ベクトルの離散フーリエ変換経由で計算されます。このステージは境界のある等間隔グリッドの内部対称の最大限使用を基にしており、通常無視できるほどの CPU タイムを使用します。さらに同じボックス、媒質およびグリッドを持つ、全てのストラクチャでわずか 1 回だけ実施します。上述の技術は、ここでは有限の空間に対して実行され、追加の切断（またはシリーズ和）誤差がなく GGF マトリクスの要素を計算することを除けば、スペクトラム ドメイン技術のためにデザインされた主要マトリクス充填手順 [ヒル、トリパティ、1991] と非常に良く似ています。それはまた [プレグラ、パッシャ、1989] に従ってマトリクス形式に再定式化できます。GGF マトリクスは、テプリッツおよびハンケル マトリクスの和によって表現でき、それらの行は全般サム アレイから直接得ることができます。

情報マルチポート

情報マルチポート タームは B.V.セストロレッツキー[1987]によって導入され、簡単な方法で追加の境界条件を重畳する前のオブジェクトの電磁界特性を反映するモデル マルチポートです。それは追加条件の異なった組み合わせによって形成できる、全ての可能性のあるストラクチャの情報を含んでいます。重畳される境界条件は情報マルチポート端子付きの一式の簡単な操作として表現できます。このセクションは数値電磁解と回路理論の関係性を明確にするために追加されました。この技術はまた境界条件の重畳のインピーダンス解釈としても知られています。

先のセクションで得られた GGF マトリクスは、以下の左で示されているようなマルチポートのインピーダンス マトリクス Z として表現できます。

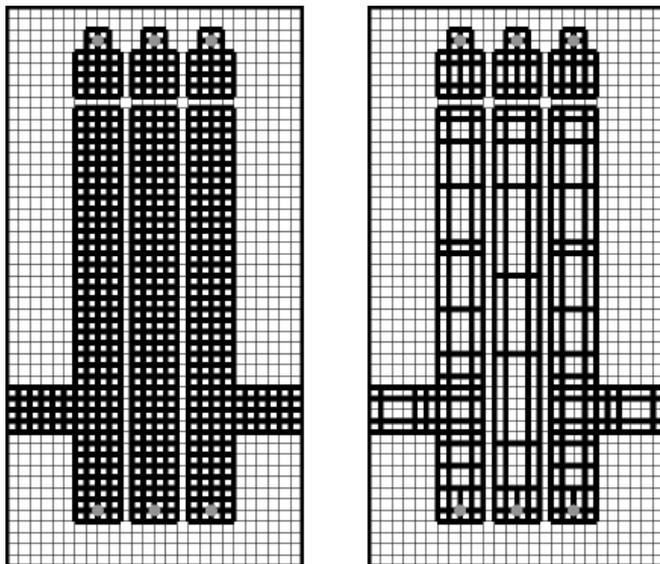


マルチポート端子は概念的で、それらの位置は単なる図の表現です。4つの概念的ポートまたは端子対は、図に示されているようにグリッドセルに対応しています。x軸方向を向いた全ポートの数は $M \cdot (L+1)$ です。y軸方向を向いた全ポートの数は $L \cdot (M+1)$ です。マルチポートはビアホールまたはz方向内部入力に対応する一連のz方向を向いたポートを持つことができます。マルチポート インピーダンス マトリクスの全ての要素を計算する必要がなく、いくつかのポートは負荷がないかまたは短絡されていることを考慮して、その次数を減少することができます。負荷なしの端子は導体電流のない信号レイヤの領域に対応しています。図の右半分は境界条件の他のタイプと情報マルチポート端子の相関を例示しています。z方向端子の動作は同様です。

情報マルチポート端子の離散空間での動作は、通常のエレクトロニクス理論と完全に一致しています。例えば、集中定数素子を接続するために、素子に沿った電界積分に対応する素子に沿った端子の直列接続および素子の表面電流積分に対応する素子間の並列接続を実行しました(上記のテーブル参照)。上記のアナロジーは数値電磁理論の理解を容易にするために説明されています。与えられている例は、物理的電磁等価物を備えた端子の、唯一可能な操作ではないことにご注意ください。

数値加速手順

減少された GGF マトリクスを満たす前に、線形再拡張手順および問題に幾何学的対称性を組み入れることによって、さらに GGF マトリクスの次数および必要な保存スペースを減少することが可能です。



間引きは小さな電流の数字で表現できるメタライズ領域のグリッド電流を、精度を落とすことなく簡単に消去することです。例として、上記の左半分はグリッド上に配置された3つの共振フィルタを示しています。ゼロでない導体電流の可能性のあるグリッドセル（メタライゼーション領域）は太い線で描写されています。間引き手順によって、問題の電流の数が減少され、上記の右半分で示すように太い線で描写した電流だけが残されました。これは等間隔のグリッドに対して、エッジ、コーナおよびビアホールで細かく、中の詰まったメタル領域では粗い擬似非等間隔グリッドのように見えます。間引きのあとの拡大された2次グリッドセルは、各辺にそって収束しない電流の境界から構成されており、線形再拡張を使用して、グリッド上の2つの変数に置き換えることができます。これら2つの手順の組み合わせは、等間隔グリッドの主要な利点を維持しながら等間隔グリッドのMoLの制約を克服することを可能にします。

上述された、中の詰まったメタル領域内部のいくつかの電流の全ての消去をとまなう手順は、ワイヤモデルと呼ばれます。それは基本的に問題を小さなメタライゼーション片を削除したもう1つの問題と置き換えます。それは確かに誤差が追加されますが、幸いにもこの誤差は等間隔グリッドモデルの誤差と正反対です。言い換えると、ワイヤ間引きモデルはストラクチャが適切に間引きされたときは、現実に解の精度を増加させます。しかしながら、メタルが多く取

り除かれすぎると、間引きエラーが大きくなります。そこで、ソリッド間引きモデル手順がそれを防止するために導入されました。ソリッドモデルはワイヤモデルの簡単な修正として表現できます。それを説明するために、上記に示されたような、フィルタに対して形成された電流の擬似非等間隔グリッドから出発します。拡大されたグリッドセル内部の電流を完全に消去する代わりに、メタル表面をソリッドに維持するためにそれらのいくつかを残します。これらの残された電流も、線形再拡張手段によって2つの変数に置き換えられます。ソリッドモデルはより正しいのですが、ワイヤモデルと比較して同様に間引きされた問題ではより多くの変数を与えます。(ソリッドモデルは実際には離散スペース内でグリッド関数再拡張を伴った非等間隔グリッドを形成する1つの方法です)。

対称問題のGGFマトリクスは、中心に対して対称なマトリクス(2プレーン対称の場合の中心に対して対称なブロックを備え)に縮小することができ、[Weeks, 1979]で記述されているのと類似の方法で処理されます。この縮小はCPUメモリを4から16倍必要とし(部分マトリクスのシリアルアロケーション)、計算を4から16倍加速します。1プレーン、2プレーンおよび180°回転対称がプログラムに含まれています。

その後、古典的なガウスの反転アルゴリズムが少し変更されて使用されています。解のこのステージの結果は入力ソース領域のグリッド電流および電圧に関連するマトリクス(YまたはZマトリクス)であり、このようにしてこれらの変数に対応する反転マトリクスのわずかに小さな部分を得るだけで必要となります。部分的な反転手順がそれを実行し、さらに加速されます。

ディエンベッドアルゴリズム

同時対角化法(MoSD)[Shlepnev, 1990, 1998]がマルチモードまたは一般化Sマトリクスを抽出するために使用されます。MoSDはディエンベッドされるべきMICストラクチャポートに対応する2本のラインセグメントの電磁界解析に基づいています。セグメントは異なった長さおよび初期ストラクチャと同じ表面電流ソース領域を持っています。電磁界解析の結果はソース領域の積分グリッド電流および電圧に関する2つのYマトリクスです。これらのマトリクスは、グリッド関数のスペースからライン固有モードのスペースに変換されており、ラインセグメントの連続部中を伝搬する独立モードを記述するYマトリクスに等しいと設定されます。それは固有波伝搬定数と特性インピーダンスに関連する、基本的な方程式の非線形システム、グリッド関数スペースからモードスペースへの変換のマトリクス(変換マトリクス)および伝搬モードを完全に整合することを助ける補助マトリクス(補償マトリクス)を提供します。システムの解はYマトリクスブロックの同時対角化に基づいています。MICポートの各ポートまたは不連続性は予め計算されたラインパラメータ、変換および補償マトリクスを使用してディエンベッドされることが可能です。こ

のアプローチの主要な利点は、ライン断面の直接スペクトラム解析なしでマルチモード ディエンベッドができること、およびライン セグメントの解析でライン固有モードの理想的な整合ができて、不連続解析の精度が増加することです。

理論的にはメタル プレーンで表面電流ソースを使用して、全ての伝搬ライン固有波を励起し、整合することができるが、ディスクリット モデルでは常にはうまくはいかないことにご注意ください。ソース領域で有限の数の変数を使用すると、異なったモードを完全に分離することは時には不可能です。さらに、MoSD アプリケーションの成功は、結果に本質的に大きく影響を及ぼす可能性のある高次モードに依存しています。これは上記で述べた MoSD のプレーナストラクチャへの適用の主要な欠点です。

EMPOWER : 参考文献

一般的なバックグラウンド

J.A.Stratton, *Electromagnetic theory* (電磁気学理論), McGraw-Hill Co., New-York, 1941.

G. Kron, 「Equivalent circuit of the field equations of Maxwell.-Part I., (マックスウェルの場の方程式の等価回路、I 部)」 Proc. of IRE, 1944, May, p. 289-299.

C.G. Montgomery, R.H. Dick, E.M. Purcell, *Principles of microwave Circuits* (マイクロ波回路の原理), McGraw-Hill Co., New-York, 1948.

O. Heaviside, *Electromagnetic theory* (電磁理論), AMS Chelsea Publishing Co., New-York, 1950.

A.A. Samarskii, A.N. Tikhonov, 「About representation of waveguide electromagnetic fields by series of TE and TM eigenwaves (導波管電磁場の一連の TE および TM 固有波による表現について)」 (in Russian), GTF (Journal of Theoretical Physics), 1948, v. 18, p. 959-970.

P.I. Kuznetsov, R.L. Stratonovich, *The propagation of electromagnetic waves in multiconductor transmission lines* (複数導体伝送ラインの中の電磁波の伝搬), Pergamon Press, Oxford, 1964 (originally published in Russian, 1958).

K.S. Yee, 「Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media (等方性媒質の中のマックスウェル方程式を含む初期値・境界値問題の数値解)」, IEEE Trans. v. AP-14, 1966, p. 302-307.

V.V. Nikol'skii, *Variational approach to internal problems of electromagnetics* (in Russian) (電磁気の内部問題への変分アプローチ (ロシア語)), Moscow, Nauka, 1967.

J. Meixner, 「The behavior of electromagnetic fields at edges (エッジにおける電磁場のビヘイビア)」, IEEE Trans, v. AP-20, 1972, N 7, p.442-446.

B.V. Sestroretzkiy, 「RLC and Rt analogies of electromagnetic space」 (in Russian), in Computer aided design of microwave devices and systems (デバイスおよびシステムのコンピュータ支援設計中の (電磁空間の RLC および Rt アナロジー) (ロシア語)) , Edited by V.V. Nikol'skii, Moscow, MIREA, 1977, p. 127-128.

T. Weiland, 「Eine Methode zur Losung der Maxwellschen Gleichngen for Sechskomponentige Feleder auf Dikreter Basis (ディスクリートベースの 6 成分の場のマックスウエル方程式を解く 1 つの方法) 」 , Arch. Electron. Uebertragungstech., v. 31, N 3, 1977, p.116-120.

Computer-aided design of microwave devices (in Russian) (マイクロ波デバイスのコンピュータ支援設計 (ロシア語)) , Edited by V.V. Nikol'skii, Moscow, Radio i Sviaz', 1982.

R.H. Jansen, 「The spectral-domain approach for microwave integrated circuits (マイクロ波集積回路のスペクトラム ドメインアプローチ) ,」 IEEE Trans., v. MTT-33, 1985, N 10, p. 1043-1056.

S.G. Vesnin, *Electromagnetic models for design of microstrip microwave structures* (in Russian) (マイクロストリップ マイクロ波ストラクチャのデザインのための電磁モデル (ロシア語)) , Ph.D. Thesis, MPEI, Moscow, 1985.

E.F. Johnson, 「Technique Engineers the Cavity Resonance in Microstrip Housing Design (マイクロストリップ筐体デザインにおける空洞共振器の技術テクニク) ,」 MSN & CT, 1987, Feb., p. 100-102, 107-109.

J.C. Rautio, R.F. Harrington, 「An electromagnetic time-harmonic analysis of shielded microstrip circuits (シールドされたマイクロストリップ回路の電磁的時間調和解析) ,」 IEEE Trans., v. MTT-35, 1987, N 8, p. 726-730.

B.V. Sestroretzkiy, V.Yu. Kustov, 「Electromagnetic analysis of multilevel integrated circuits on the base of RLC-networks and informational multiport approach」 (in Russian) (RLC ネットワークおよび情報多重アプローチを基にしたマルチレベル 集積回路の電磁氣的解析 (ロシア語)) , Voprosi Radioelektroniki, ser.OVR, 1987, N 1, p. 3-23.

L.P. Dunleavy, P.B. Katehi, 「A generalized method for analyzing shielded thin microstrip discontinuities (シールドされた薄いマイクロストリップ不連続性の解析のための一般化法) 」 , IEEE Trans., v. MTT-36, 1988, N 12, p.1758-1766.

T. Uwaro, T. Itoh, 「Spectral domain approach,」 in *Numerical techniques for microwave and millimeter-wave passive structures* (マイクロ波およびミリ波パッシブストラクチャの数値技術中の (スペクトラム ドメインアプローチ)) , Edited by T. Itoh, John Willey & Sons, 1989.

R.H. Jansen, 「Full-wave analysis and modeling for CAD of mm-wave MMICs (ミリ波 MMIC の CAD のためのフルウエーブ解析およびモデリング) ,」 Alta Frequenza, v. LVIII, 1989, N 5-6, p. 115-122.

A. Hill, V.K. Tripathi, 「An efficient algorithm for the three-dimensional analysis of passive microstrip components and discontinuities for microwave and millimeter-wave integrated circuits (マイクロ波およびミリ波集積回路のパッシブ マイクロストリップ部品および不連続性の3次元解析のための効率の良いアルゴリズム)」, IEEE Trans., v. MTT-39, 1991, N 1, p. 83-91.

ライン手法

M.G. Slobodianskii, 「A new method of approximate solution of partial differential equations and its application to the theory of elasticity (偏微分方程式の近似解の新しい方法およびその弾性理論へのアプリケーション)」 (in Russian), Prikladnaia Matematika i Mekhanika (Applied Mathematics and Mechanics), v. 3, 1939, N 1, p. 75-82.

O.A. Liskovets, 「The method of lines, Review」 (in Russian) (ライン手法、再検討(ロシア語)), Differenzial'nie Uravneniya, v. 1, 1965, N 12, p. 1662-1668.

B.L. Lennartson, 「A network analogue method for computing the TEM characteristics of planar transmission lines (プレーナ伝送ラインのTEM特性計算のためのネットワークアナログ手法)」, IEEE Trans., v. MTT-20, 1972, N 9, p. 586-590.

U. Schulz, 「On the edge condition with the method of lines in planar waveguides (プレーナ導波管内のライン手法によるエッジ条件について)」, Arch. Electron. Uebertragungstech., v. 34, 1980, p.176-178.

U Schulz, R. Pregla, 「A new technique for the analysis of the dispersion characteristics of planar waveguides and its application to microstrips with tuning septums (プレーナ導波管の分散特性の解析のための新しい技術およびそのチューニング隔壁付きのマイクロストリップへの応用)」, Radio Science, v. 16, 1981, Nov.-Dec., p. 1173-1178.

S.B. Worm, R. Pregla, 「Hybrid-mode analysis of arbitrarily shaped planar microwave structures by the method of lines (ライン手法を使用した任意形状のプレーナマイクロ波ストラクチャのハイブリッドモード解析)」, IEEE Trans., v. MTT-32, 1984, N 2, p. 191-196.

R. Pregla, W.Pascher, 「The method of lines,」 in Numerical techniques for microwave and millimeter-wave passive structures, (マイクロ波およびミリ波パッシブストラクチャの数値技術中の(ライン手法)), Edited by T. Itoh, John Wiley & Sons, 1989.

S.B. Worm, 「Full-wave analysis of discontinuities in planar waveguides by the method of lines using a source approach (ソースアプローチを使用したライン手法によるプレーナ導波管の不連続部のフルウェーブ解析)」, IEEE Trans., v. MTT-38, 1990, N 10, p.1510-1514.

リチャードソンの外挿

L.F. Richardson, 「The differed approach to the limit 1 : Single lattice (リミットへの異なったアプローチ。1: シングル格子) ,」 *Philos. Trans. of Royal Society, London, ser.A*, 226, 1927, p.299-349.

A. Premoli, 「A new fast and accurate algorithm for the computation of microstrip capacitances (マイクロストリップ キャパシタンスの計算のための新しい高速で正確なアルゴリズム) ,」 *IEEE Trans. v. MTT-23*, 1975, N 8, p. 642-647.

G.I. Marchuk, V.V. Shaidurov, *Difference methods and their extrapolations (差分法およびその外挿)* , Spr.-Verlag, 1983 (originally published in Russian, 1979).

A.G. Vikhorev, Yu.O. Shlepnev, 「Analysis of multiple-conductor microstrip lines by the method of straight lines (直線法による複数導体マイクロストリップ ラインの解析) ,」 *Journal of Communications Technology and Electronics*, 1991, N 12, p. 127-129, originally published in *Radiotekhnika i Elektronika*, v. 36, 1991, N 4, p. 820-823.

対称プロセッシング

M. Hammermesh, *Group theory and its application to physical problems (群論およびその物理的問題への応用)* , Pergamon Press, Oxford, 1962.

I.J. Good, 「The inverse of a centrosymmetric matrix (中央対称マトリクスの逆マトリクス) ,」 *Technometrics, Journal of Statistics for Physical Chemical and Engineering Science*, v. 12, 1970, p. 925-928.

P.R. McIsaac, 「Symmetry-induced modal characteristics of uniform waveguides, Part I : Summary of results, Part II : Theory (一様な導波管の対称誘導モード特性、I 部 結果のまとめ、II 部 理論) ,」 *IEEE Trans.*, v. MTT-23, 1975, N 5, p.421-433.

W.T. Weeks, 「Exploiting symmetry in electrical packaging analysis (電氣的パッケージ解析における対称性の開発) ,」 *IBM Journal of Research and Development*, v. 23, 1979, N 6, p.669-674.

A.B. Mironov, N.I. Platonov, Yu.O. Shlepnev, 「Electrodynamics of waveguiding structures of axisymmetrical microwave integrated circuits (軸対称マイクロ波集積回路の導波管ストラクチャの電気力学) ,」 *Journal of Communications Technology and Electronics*, 1990, N 7 p. 71-76, originally published in *Radiotekhnika i Elektronika*, v. 35, 1990, N 2, p. 281-286.

E.V. Zakharov, S.I. Safronov, D.P. Tarasov, 「Abelian Groups of finite order in numerical solution of potential theory boundary value problems (ポテンシャル論境界値問題の数値解における有限次元のアベリアン グループ) 」 (in Russian), *GVM & MF (Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics)*, v. 32, 1992, N 1, p. 40-58.

EMPOWER エンジン理論およびアルゴリズム

B.V. Sestroretzkiy, V.Yu. Kustov, Yu. O. Shlepnev, 「Analysis of microwave hybrid integrated circuits by informational multiport network method」 (in Russian) (情報マルチポートネットワーク手法によるマイクロ波ハイブリッド集積回路の解析 (ロシア語)) , Voprosi Radioelektroniki, ser.OVR, 1988, N 12, p. 26-42.

B.V. Sestroretzkiy, V.Yu. Kustov , Yu.O. Shlepnev, 「Technique of electromagnetic analysis of microstrip devices using general purpose programs」 (in Russian) (汎用目的プログラムを使用したマイクロストリップ デバイスの電磁界解析技術 (ロシア語)) , Voprosi Radioelektroniki, ser.OVR, 1990, N 1, p. 3-12.

Yu.O. Shlepnev, *Method of lines in mathematical modeling of microwave integrated circuit planar elements* (in Russian) (マイクロ波集積回路プレーナ素子の数学的モデルにおけるライン手法 (ロシア語)) , Ph.D. Thesis, NEIS, Novosibirsk, 1990.

V.Yu. Kustov, B.V. Sestroretzkiy, Yu.O. Shlepnev, 「Electromagnetic analysis of planar devices with resistive films and lumped elements (抵抗膜および集中定数素子を備えたプレーナ デバイスの電磁界解析) ,」 Proc. of Europ. Symp. on Numerical Methods in Electromagnetics (JEE'93), Toulouse, France, 17-19 November, 1993, p. 227-234.

V.Yu. Kustov, B.V. Sestroretzkiy, Yu.O. Shlepnev, 「Three-dimensional electromagnetic analysis of planar devices with resistive films and lumped elements, (抵抗膜および集中定数素子を備えたプレーナ デバイスの 3 次元電磁界解析) 」 Proc. of 27th Conference on Antenna Theory and Technology (ATT'94), Moscow, Russia, 23-25 August, 1994, p. 352-356.

K.N. Klimov, V.Yu. Kustov, B.V. Sestroretzkiy, Yu.O. Shlepnev, 「Efficiency of the impedance-network algorithms in analysis and synthesis of sophisticated microwave devices (複雑なマイクロ波デバイスの解析および合成におけるインピーダンスネットワーク アルゴリズムの効率) ,」 Proc. of the 27th Conference on Antenna Theory and Technology (ATT'94), Moscow, Russia, 23-25 August, 1994, p. 26-30.

V.Yu. Kustov, B.V. Sestroretzkiy, Yu.O. Shlepnev, 「TAMIC package for 3D electromagnetic analysis & design of MICs (MIC の 3 次元電磁界解析およびデザインのための TAMIC パッケージ) ,」 Proc. of the 5th Intern. Symp. on Recent Advances in Microwave Technology (ISRAMT'95), Kiev, Ukraine, September 11-16, 1995, p. 228-233.

Yu. O. Shlepnev, B.V. Sestroretzkiy, V.Yu. Kustov, 「A new method of electromagnetic modeling of arbitrary transmission lines (任意の伝送ラインの電磁モデルの新しい方法) ,」 Proc. of the 3rd Int.Conference Antennas, Radiocommunication Systems and Means (ICARSM'97), Voronezh, 1997, p.178-186.

Yu.O. Shlepnev, B.V. Sestroretzkiy, V.Yu. Kustov, 「A new approach to modeling arbitrary transmission lines (任意の伝送ラインをモデル化する新しいアプローチ) ,」 Journal of Communications Technology and Electronics, v. 42, 1997, N 1, p. 13-16, originally published in Radiotekhnika i Elektronika, v. 42, 1997, N 1, p. 13-16.

Yu.O. Shlepnev, 「A new generalized de-embedding method for numerical electromagnetic analysis (数値電磁界解析のための新しい一般化されたディエンベッド手法) ,」 Proceedings of the 14th Annual Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics, Monterey, CA, March 16-20, 1998, v.II, p. 664-671.

Yu.O. Shlepnev, 「Extension of the method of lines for planar 3D structures (プレーナ 3 次元ストラクチャのためのライン手法の拡張) ,」 Proceedings of the 15th Annual Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics, Monterey, CA, 1999, p. 116-121.

テストの例および比較

E.G. Farr, C.H. Chan, R. Mittra, IEEE Trans., v. MTT-34, 1986, N 2, p. 307.

G. Gronau, I. Wolff 「A simple broad-band device de-embedding method using an automatic network analyzer with time-domain option (タイムドメイン オプション付きの自動ネットワーク アナライザを使用した簡単な広帯域デバイスのディエンベッド手法) 」 , IEEE Trans., v. MTT-37, 1989, N 3, pp. 479-483.

D.J. Swanson, 「Grounding microstrip lines with via holes (ビアホール付きのグラウンディング マイクロストリップ ライン) 」 , IEEE Trans., v. MTT-40, 1992, p. 1719-1721.

J.C. Rautio, 「An ultra-high precision benchmark for validation of planar electromagnetic analysis (プレーナ 電磁界解析の検証のための超高精度ベンチマーク) 」 , IEEE Trans., v. MTT-42, 1994, N 11, p. 2046-2050.

T. Kawai, I. Ohta, 「Planar-circuit-type 3-dB quadrature hybrids (プレーナ回路タイプの 3dB 直交ハイブリッド) 」 , IEEE Trans., v. MTT-42, 1994, N 12, p. 2462-2467.

Y. Gao, I. Wolff, 「Miniature electric near-field probes for measuring 3-D fields in planar microwave circuits (プレーナ マイクロ波回路で 3 次元場を測定するためのミニチュア 電気近接場プローブ) 」 , IEEE Trans., v. MTT-46, 1998, N 7, p. 907-913.

記号

2ポート S-パラメータ	187
2ポート ファイル	188
2ポートの Sパラメータ	12
2ポートのファイル	12, 14, 15, 17
2-ポート	193

A

ABCD	11
AbsTol.....	26
ACF.....	241
ACP.....	242
amplitude stepping.....	61
AN.....	243
ANG.....	197
ANG360.....	197
artificial intelligence techniques.....	61

B

B1	14, 193
----------	---------

C

CF	246
CGAIN.....	244
CIM3P.....	268
CIMCP.....	268
circles.....	12
CNDR.....	243
CNF	244
CNP	247
CNR.....	243
COMBINE.WSP.....	353
convergence.....	61
CP	248
CV.....	249

D

DB.....	193, 196, 197
DBANG.....	193, 196, 197
DBANG360.....	197

DBMAG.....	193
DC : バイアス.....	2
DC : 解析.....	25, 26
DCP.....	248
DCV.....	250

E

Eij.....	193
EM ポート.....	300, 304, 342, 343
EMPOWER : ウォーク スルー.....	399
EMPOWER : ビューア.....	325, 327, 381
EMV.....	389, 394

F

fast Newton.....	61
FFT.....	52
Force 1-D FFT.....	52
FOU.....	187, 188
Full Jacobian.....	61

G

GD.....	197
GIM3P.....	268
GIMCP.....	268
GM.....	197
GM1	16
GM2	16
GMAX.....	11, 16, 17, 193, 197
GMin.....	193
Gmin	26, 52
GminSteps.....	26
GOPT.....	191, 193, 197
GP.....	15, 17
GP 円.....	193
Gt.....	15
GU1.....	17
GU1 円.....	193
GU2.....	17
GU2 円.....	193

H		maximum amplitude step.....61	
H パラメータ.....193		maximum mixing order.....61	
HARBEC.....51, 52, 59, 60, 61		MDS.....257	
HARBEC, optimization.....61		measurements.....12	
HARBEC, 最適化.....61		measuring S-parameters.....12	
HARBEC, 収束問題.....60		MMTLP.....394, 397	
harmonic balance.....61		MSG.....16	
HB_dfRelRec.....52		N	
HB_dxAbs.....52		NCI.....198	
HB_dxRel.....52		NCI 円.....193	
HB_NonBinaryFFT.....52		NDCP.....257	
I		Newton-Raphson.....61	
ICF.....253		NF.....193, 197	
ICGAIN.....253		NFMIN.....193, 197	
ICP.....253		NFOpt.....191	
IGAIN.....254		NFT.....193	
IIP.....251		NMEAS.....193, 197	
IIP3.....251		NPO.....187, 188	
IM.....197		O	
IMGF.....254		OCF.....247	
IMGNP.....254		OCP.....249	
IMGNR.....255		OIP.....258	
IMGP.....255		OIP3.....258	
IMGR.....256		ONE.....187, 188	
input VSWR.....12		opt/yield/recalc.....59	
Iprobe.....196		optimizing simulation performance.....61	
Id1.....26		oscillator design.....12	
J		P	
Jacobian.....61		PLX.....396	
K		PLX テキストファイル.....394	
K 193		PNCP.....263	
Krylov.....61		PRIM.....262	
L		PRIM3.....262	
L1 394		PRNF.....261	
linear S-parameters.....12		Q	
LNMIT3.WSP.....386		QL.....197	
M		R	
MAG.....196, 197		R1397	
MAGANG.....193, 196, 197		RE.....197	
MAGANG360.....197		RECT.....193, 196, 197	
		reflection coefficient.....12	

RefTol	26
RGF	397
Rho.....	296
RN.....	191, 193
RX.....	397
RX_IIP.....	252
RX_OIP	259

S

S パラメータの値.....	12
SB1	214
SB1 円.....	193
SB2 円.....	193
SDR.....	264
SFDR.....	263
SGAIN.....	264
SIIP.....	265
SIP1DB.....	265
SIPSAT	266
SMILP.....	353, 394, 397
SNF.....	265
SOIP	267
SOIP2.....	267
SOP1DB.....	266
SOPSAT.....	267
sources.....	116
SPARCA.....	107
SPECTRASYS.....	108
SPECTRASYS、トーンチャンネル 周波数.....	253
SPECTRASYS、コヒーレンス	137
SPECTRASYS、スペクトル源	126
SPECTRASYS、ソース.....	116
SPECTRASYS、チャンネル周波数.....	117
SPECTRASYS、レベルダイアグラム.....	120
SPECTRASYS、広帯域ノイズ	128
SPECTRASYS、相互変調と高調波.....	140
SPECTRASYS、複合スペクトル.....	124
SPICEによる：使用シミュレータの決定...2	
SrcSteps.....	26
SS	398
system models	116

T

TCF.....	253
TCP.....	253
THR.....	187, 188
TIM3P.....	269
TIMCP.....	269
TIMP	270

TNP.....	270
TWO	187, 188
two-port file.....	12
two-port S-parameters.....	12

V

VDC.....	271
Vnode.....	196
VSWR.....	12
VSWRi.....	193

W

wxs	399
-----------	-----

Y

YINi.....	193
YM1	16
YM2.....	16
YMi.....	193
YOPT.....	193
Y-parameters	12
YPij.....	193
Yパラメータ	188, 193, 399
Yパラメータ	12

Z

Z方向ポート.....	296, 303, 339, 341, 362, 387, 389, 391
ZINi.....	193
ZM1	16
ZM2.....	16
ZMi.....	193
Zo.....	12
ZOPT.....	193
ZPij.....	193
Zパラメータ	193

あ

アウトオブバンド相互変調パスの測定...148	
アドミタンス.....	16, 193
アナライザ.....	175
アニメーション.....	372, 381
アルゴリズム.....	415

い

イールド	198
イメージチャンネルパワー	255
イメージチャンネル雑音電力	254
イメージノイズ除去比	255
イメージ周波数	254
イメージ除去比	256
インターディジタル	351
インターモジュレーション	52
インバンド相互変調パスの測定	148

え

エディットメニュー	336
エンジン理論	415

お

オシレータ	52, 74
オシレータウォークスルー	74
オシレータのデザイン	12
オフセットチャンネルパワー	249
オフセットチャンネル周波数	247

か

カスケードノイズ解析	133
カスケードノイズ指数	166
カスケードノイズ指数	244
カスケード雑音指数方程式	136
カスケード相互変調方程式	147
カスケード利得	244
カバー	296, 342, 362
カバー スペーシング	337
カバータイプ	337

く

グリーン関数	417
グリッド	300, 336, 362, 421
グリッドグリーン関数	423
グリッドマッピング	395
クルイローフ	52, 61
クルイローフ サブスペース法を使用	52

こ

コヒーレンス	137
コヒーレント加算	172
コプラナー	339
コンソール ウィンドウ	311
コンター	227

さ

サスペンデッドマイクロストリップ	296
サブディレクトリ	391
サンプル測定	198
サンプル不足	60

し

システムシミュレーションパラメータ	170, 171, 172, 175, 179
システムシミュレーションのヒント	130
シミュレーション/データの削除	59
シミュレーション: 線形	9
シミュレーション: 非デフォルト	199
シミュレーション機能の最適化	61
シングルパートモデル	84

す

ステージダイナミックレンジ	264
ステージ雑音指数	265
ステージ出力 1 dB コンプレッション ポイント	266
ステージ出力 2 次インターセプト	267
ステージ出力飽和電力	267
ステージ入力 1 dB コンプレッション ポイント (Stage Input 1 dB Compression Point)	265
ステージ入力インターセプト (Stage Input Intercept)	265
ステージ入力飽和電力 (Stage Input Saturation Power)	266
ステージ利得 (Stage Gain)	264
ストリップライン	295, 296
スパイラルインダクタ	337, 352, 353, 360
スプリアス フリー ダイナミックレンジ	263
スプレッドシート	167

スペクトラムアナライザ表示.....	154
スペクトラムを無視する.....	179
スペクトル源.....	126
スペクトル源の特定.....	126
スロットタイプ.....	338, 339

せ

セルサイズ.....	300, 335, 338, 381, 415
------------	-------------------------

そ

ソリッド/ワイヤ.....	372, 381
---------------	----------

た

タンデルタ.....	296
------------	-----

ち

チャンネル.....	117
チャンネルパワー.....	248
チャンネル(パス)周波数.....	117
チャンネル雑音電力.....	247
チャンネル周波数.....	117
チャンネル電圧(Channel Voltage).....	249

て

ディエンベッド.....	304, 343, 346, 399
ディエンベッドアルゴリズム.....	427
ディエンベッドポート.....	363
ディメンジョン.....	296, 316
ディメンジョンタブ.....	300
データファイルのエクスポート.....	190
データファイルの作成.....	188
データ:シミュレーション.....	1
デフォルトシミュレーション/データ.....	199
デフォルトの演算子.....	193, 196, 197

と

トータル3次相互変調パワー.....	269
トータルノードパワー.....	270
トータル相互変調パワー (Total Intermod Power).....	270
トーンチャンネルパワー.....	253
トーンチャンネル周波数.....	253

トップカバー.....	296, 370
トランジスタ.....	18, 188, 191
トリプレート.....	296

の

ノイズ.....	128, 193
ノイズサークル.....	193, 198
ノイズデータ.....	191
ノイズおよび歪みチャンネルパワー (Noise and Distortion Channel Power).....	257
ノイズを計算.....	172
ノイズ指数減少.....	166
ノイズ相関.....	191, 193
ノーマルディエンベッド.....	304
ノーマルポート.....	343

は

パーセント3次相互変調.....	262
パーセント雑音指数.....	261
ハーモニックバランス.....	51, 60, 61
バイナリファイル.....	392
パス.....	118, 171
パスの指定.....	118
パス沿いの相互変調.....	172
バックアノテーション.....	26
バッチアンテナ.....	343
バッチ実行.....	312
パラメータ:線形測定.....	193
パラメータのスweep.....	60
パラメータ掃引.....	183
パラメータ掃引プロパティ.....	184
バランスアンプ.....	191

ひ

ビアホールビューアの例.....	387
ビアホール:Z方向ポート付き.....	303
ビヘイビア位相雑音.....	151
ビューメニュー.....	372
ビューア.....	327, 338, 371, 372, 381, 389, 391, 394
ビューアデータの作成.....	338, 394
ビューアデータ作成.....	372, 386, 389, 391

ふ

ファーストニュートン.....	52, 60, 61
-----------------	------------

シミュレーション

プレーナ365, 415, 417

へ

ベンダー供給のモデル2

ほ

ポート インピーダンス397
ポート：内部362
ポート：番号193
ボックスモード2
ボックス2, 300, 316, 336, 342, 362
ボックスモード337, 368, 369, 370
ボトムカバー296, 303

ま

マックスウエルの方程式415
マルチモード347, 352, 353, 360, 386, 389, 415
マルチモードライン360

み

ミキサ LO179

め

メーカー187
メタライゼーション381
メタライゼーション レイヤ296, 339
メタル レイヤ296, 337, 341

も

モード設定ボックス353

や

ヤコビ行列式52, 60, 61

ゆ

ユーザ機能2
ユニラテラルなケース17

ら

ライン インピーダンス337, 395
ライン方向343
ライン手法420

り

リアルタイム チューニング333
リスティング ファイル336, 395
リチャードソンの外挿431

れ

レイアウト：シミュレーション323
レイアウト：作図320
レイアウトのセンタリング322
レイヤ：厚いメタル341
レベル ダイアグラム120

ろ

ロードプル コンター contours227
ロス タンジェント296

わ

ワイヤ/ソリッド381

漢字

圧縮52, 187
安定193, 198
安定円214
安定係数213
安定度指標213
位相雑音2
位相雑音チャンネルパワー (Phase Noise
Channel Power)263
一次元 FFT52
一般化415, 417
一般化された散乱389
一般的なバックグラウンド参考文献428
一様368, 369, 415
円12, 18, 19, 193, 198
演算子197, 199
温度193

- 下部エア 296
 解析データの制御 131
 開始点として前の解を使用 52, 60
 外部ポート 342, 362, 391
 拡張子 393
 角度 197, 371
 完全ヤコビ行列式 52, 61
 干渉源カスケード接続利得 (Interferer Cascaded Gain) 253
 干渉源利得 (Interferer Gain) 254
 感度 18
 簡素化 2
 間引き 337, 415
 間引きの使用 337
 基準面 347, 353, 360
 基準面シフト 343
 基板：基本的幾何学形状 296
 基板の厚み 337
 基板レイヤ 296, 303
 基本的幾何学形状 296
 奇数次数のみ 172
 寄生型 2
 希望のチャンネルパワー 248
 希望のチャンネル電圧 (Desired Channel Voltage) 250
 記録保持、ファイル 190
 共振 337, 367, 368, 370
 空洞吸収器 371
 空洞共振器 368
 結合マイクロストリップ 386
 検出可能な最小信号 257
 固有モード 386, 389
 固有波 389, 391
 公差 26, 52
 厚いメタル 341
 厚み 296
 好ましいセルカウント 339
 広帯域ノイズ 128
 項 188
 高速相互変調形状 172
 合成 157
 今すぐ再計算 59
 最高精度周波数 303
 最新 59
 最大ミキシング次数 61
 最大安定利得 16
 最大次数 172
 最大振幅のステップ 61
 最適アドミタンス 193
 最適ガンマ 193
 最適化 193, 196, 198
 作成式 126
 雑音円 18
 磁気壁 296
 自動デエンベディング 2
 自動ポート配置 364
 自動計算 59
 自動再計算 26, 52
 収束 26, 51, 52, 60, 61, 415
 周波数 10
 終端 188
 集中定数素子 304, 332, 365, 417
 出力 3 次インターセプト 258
 出力インターセプト (受信機) (Output Intercept (Receiver)) 259
 上部エア 296, 337
 情報マルチポート 425
 信号メタル効果 370
 振幅のステップ 61
 新規データ ファイル 188
 人工知能法 61
 数値加速手順 426
 正規化されたノイズ抵抗 193
 精度 300, 335, 337
 絶対誤差 51
 絶対公差 52, 60
 線形シミュレーション 2, 9
 線形シミュレーションのプロパティ 10
 線形の S パラメータ 12
 線形の大きさ 197, 198
 線形測定 193
 粗さ 296
 相互変調 147
 相互変調と高調波 140, 172
 相互変調と高調波の基礎 140
 相互変調パス測定のトラブルシューティング 150
 相互変調パス測定の基礎 144
 相対誤差 51
 相対公差 52, 60
 測定 229
 測定 12, 26, 118, 193, 196, 197, 199, 200
 測定ウィザード 193
 測定値 389
 損失 338, 360

シミュレーション

損失のあるメタル	339	波長	300, 335
多次元 FFTs	52	背景カラーのトグル	381
対角化	415, 417	発生 3 次相互変調パワー	268
対称	336, 415	半無限導波管	296
対称処理	395	反射係数	12, 15, 16, 19
大きさ	381	搬送波対雑音および歪み比 (Carrier to Noise and Distortion Ratio)	243
大きさの dB 値	198	搬送波対雑音比	243
単方向	193	汎用 S パラメータ	350, 397
単方向利得円	193	比誘電率	296
値モード	381	比誘電率定数	296
注釈	26	非正規化 Y パラメータデータ	188
超電導	296	非線形	2, 25
追加ノイズ	243	非線形デバイス モデル	187
定ノイズ サークル	193	非線形モデル	84
定数	193	非線形測定	196
抵抗	193	標準ではない金属形状	2
抵抗率	296	表面粗さ	296
伝送	15, 16	不安定領域	193
伝送ラインの種類	19	付属デバイス データ	188
伝導 3 次相互変調パワー	268	負荷時の Q	197, 198
電圧	371	部分的誘電体負荷	370
電磁界	2	複合スペクトル	124
電磁界シミュレーション	2, 52, 295	分解	347, 351, 352, 353, 360
電流、電圧	381	分布	2, 387
電流/ビューア データ	396	補償アドミッタンス	395
電流方向	343	方形空洞	368, 369
透過エネルギー	160	方形導波管	417
透磁率	417	方向性エネルギー	159
同時整合インピーダンス	193	面取りしたコーナ	300
同軸 T ジャンクション	295	問題の定式化	417
導関数	52	有効ノイズ入力温度	193
導波路	2	誘電体	296, 370
銅	296	誘電体定数	303
特性インピーダンス	350	誘電体負荷	369
特定	126	誘電率	296, 386, 387, 417
特別な詳細	395	利得	250
特別のオプション	52	利得円	11, 15, 17, 193
内部データ ファイルを書く	391	利用可能な利得円	193
内部ポート	303, 304, 353, 362, 389, 417	離散化	415
入力 3 次インターセプト	251	離散化モデル metal	2
入力 VSWR	12	隣接チャンネル パワー	242
入力インターセプト (受信機) (Input Intercept (Receiver))	252	隣接チャンネル周波数	241