

## GENESYS入門編

### GENESYSの基本操作

ワークスペース(ユーザ・インターフェース)

回路の入力方法と編集

Sパラメータシミュレーション

グラフの作成

 チューニング、数式の導入

最適化

### 回路合成機能の利用

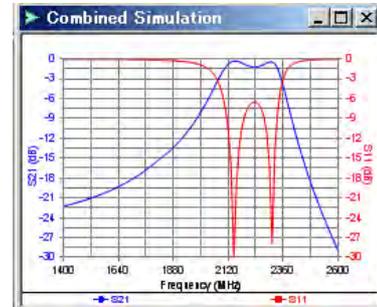
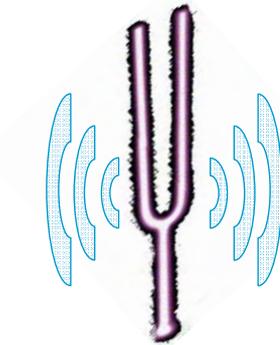
フィルタ回路合成ツールを使ったフィルタの作成

分布定数フィルタ合成ツールを使った分布定数フィルタレイアウト作成

参考: 電磁界 (MomentumGX) シミュレーションの実行

## チューニング

応答をみながらパラメータを調整して、期待する特性にあわせます。



GENESYS では、グラフで応答を見ながら簡単にリアルタイムチューニングを行うことができます。

たとえば、フィルタのコンポーネントの定数を変化させて、グラフの応答をみながら、所望のフィルタを応答を得ることができます。

## チューニングの設定

### ■コンポーネントをチューニング可能に設定

1) L2 をクリック

Make Tunable

Schematic ツールバー

2) Make Tunable ボタンをクリック

チューニングウィンドウに L2 の L の値が表示されます。

色が変わり、パラメータがチューニングされることを示しています。

Page 64

チューニングの設定を行うには、スライドに記述されているようにTuneボタンを利用する方法のほかにも、以下の方法があります。

1. コンポーネントのプロパティを開き「Tune」にチェック

Name	Description	Value	Units	Default	Use Default	Tune	Show
L	Inductance	15	(nH)	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
QL	Inductor Q		( )	1e+6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F	Frequency for Q		(MHz)	1e-5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MODE	1: Prop to Freq, 2: Prop to sqrt(f), 3: Prop to Freq	1	( )	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RDC	DC Resistance		(Ohm)	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. 定数の部分にマウスをあわせ、パラメータウィンドウを開き、「T」にチェック

Symbol	Value	Units
T S L	1.5*Ind	nH

# チューニングウィンドウ

## ■各種アイコンについて

チューニング時  
どのシミュレーションコントローラを  
自動的に実行させるかを設定  
シミュレーション設定が多数ある場合重要

名前をつけて  
チェックポイントを保存します

保存したチェックポイントは  
フォルダのアイコンから呼び出せます。  
以下の例は“test”という名前  
でチェックポイントが保存されて  
いた場合です。

グラフ上の全ての  
チェックポイントを削除します

チューニングの  
割合を設定

パラメータの値

チューニングされる  
パラメータ

チェックポイントをどのグラ  
フに入れるかを選択

チューニング値を  
回路図の定数として  
設定

保存したチューニングの  
設定の呼び出し  
Original はチューニング  
前の値でデフォルトで設  
定されています

Variable Value  
Normal 10%  
L2L 15

Normal: 変更する割合に特  
に制限はありません。  
パラメータは任意の値を選  
ぶことができます。  
Standard: 標準等比係数が  
利用できます。  
(...4.3→4.7→5.1...)  
Multiple: 変化させる加算、  
減算量を設定  
Value=1 のとき、1,2,3... と  
1ずつ増える(減る)

このチューニングウィンドウ上で、チューニングに関する設定がほとんどできてしまいます。  
このスライドではそれらの主な機能について説明しています。

参考: Standard 時の % と E 系列の値の対応

Standard 20%	E-6	1	—	1.5	—	2.2	—	3.3	—	4.7	—	6.8	—
Standard 10%	E-12	1	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2
Standard 5%	E-24	1	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.7	3
		3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.6
Standard 1%	E-96	1	1.02	1.05	1.07	1.1	1.13	1.15	1.18	1.21	1.24	1.27	1.3
		1.33	1.37	1.4	1.43	1.47	1.5	1.54	1.58	1.62	1.65	1.69	1.74
		1.78	1.82	1.87	1.91	1.96	2	2.05	2.1	2.15	2.21	2.26	2.32
		2.37	2.43	2.49	2.55	2.61	2.67	2.74	2.8	2.87	2.94	3.01	3.09
		3.16	3.24	3.32	3.4	3.48	3.57	3.65	3.74	3.83	3.92	4.02	4.12
		4.22	4.32	4.42	4.53	4.64	4.75	4.87	4.99	5.11	5.23	5.36	5.49
		5.62	5.76	5.9	6.04	6.19	6.34	6.49	6.65	6.81	6.98	7.15	7.32
7.5	7.68	7.87	8.06	8.25	8.45	8.66	8.87	9.09	9.31	9.53	9.76		

## チューニングの基本

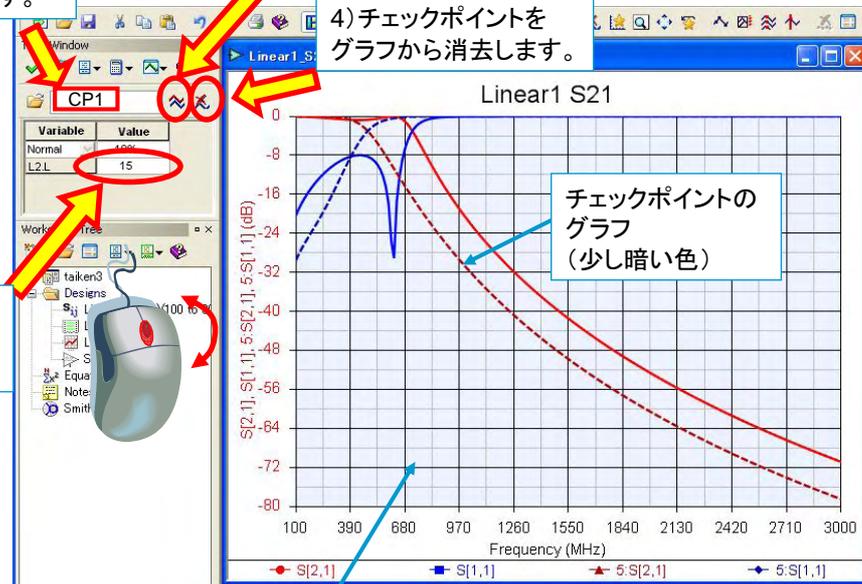
### ■チューニングウィンドウを使ってチューニングを実行

2) チェックポイントの名前を設定します。  
今は CP1 とします。

3) チェックポイントを  
グラフに挿入します。

4) チェックポイントを  
グラフから消去します。

1) ホイールを前後に  
動かし、パラメータを  
変化させます。



チューニング中のグラフ

チューニングを行う標準的な手順は以下の通りです。

1. 各コンポーネントをチューニングできるように設定
2. マウスホイールでパラメータを変化
3. 気に入った応答を CheckPoint として保存

## チューニング後のパラメータの確認

### ■Original パラメータの呼び出しとチューニング設定の解除

2) チューニング設定を解除します。  
L2 を選択して Make Tunable ボタンをクリック

1) Original を呼び出します。

Variable Value  
Standard 5%  
None

Port\_1 ZO=50Ω

L1 L=10nH

C1 C=10pF

L2 L=15nH

C2 C=10pF

L3 L=10nH

Port\_2 ZO=50Ω

Make Tunable

Original

Use mouse to drag handle

1375, 1368mil CAPI NUM SCRL

これまでの操作でチューニングの基本操作を学びました。

ここでいったん Original の設定を呼び出してパラメータを元の値に戻します。

最後に、L2 のチューニング設定を解除しておきます。

## 数式の導入

### ■数式ウィンドウの単位について



数式 (Equation) のアイコンです。

2-1)ここをクリック

1) Equation をダブルクリックします。

2-2) Use Display をクリックします。これは数式中の単位の設定です。Options で設定した単位が利用されます。

たとえば、インダクタンスを nH と Options で設定しているとき 25 は 25nH を意味します。

Variable	Value
Standard	5%
None	

Page 68



Agilent Technologies

数式は、回路図の各パラメータを関連つけたり、既存のデータセットから情報を読み取ったり、グラフに表示させるためのデータを複数の関数で加工したりするのに利用できる、パワフルな機能です。数式を利用することで更に進んだ解析を行うことができます。

今回の演習では、5つの無人の定数を2つの変数でコントロールすることを考えます。

まずは、ワークスペースツリーにデフォルトで格納されている Equation をダブルクリックしてウィンドウを開きます。

## 数式の編集

### ■変数の作成

2) Go ボタンをクリックします。  
このボタンをクリックするまでは Out of date のメッセージが表示され入力が確定しません。

1) このように数式を入力し、  
2つの変数を作成します。  
注意: 大文字小文字を区別します。

Go ボタンをクリックし、  
文法に間違いがなければこのように変数が  
Variable 欄に表示されます  
(Out of date のメッセージは消えます)

Variable	Value
Standard	5%
None	

Page 69

上図のように変数を作成します。

※大文字と小文字を区別しますので入力時には注意してください

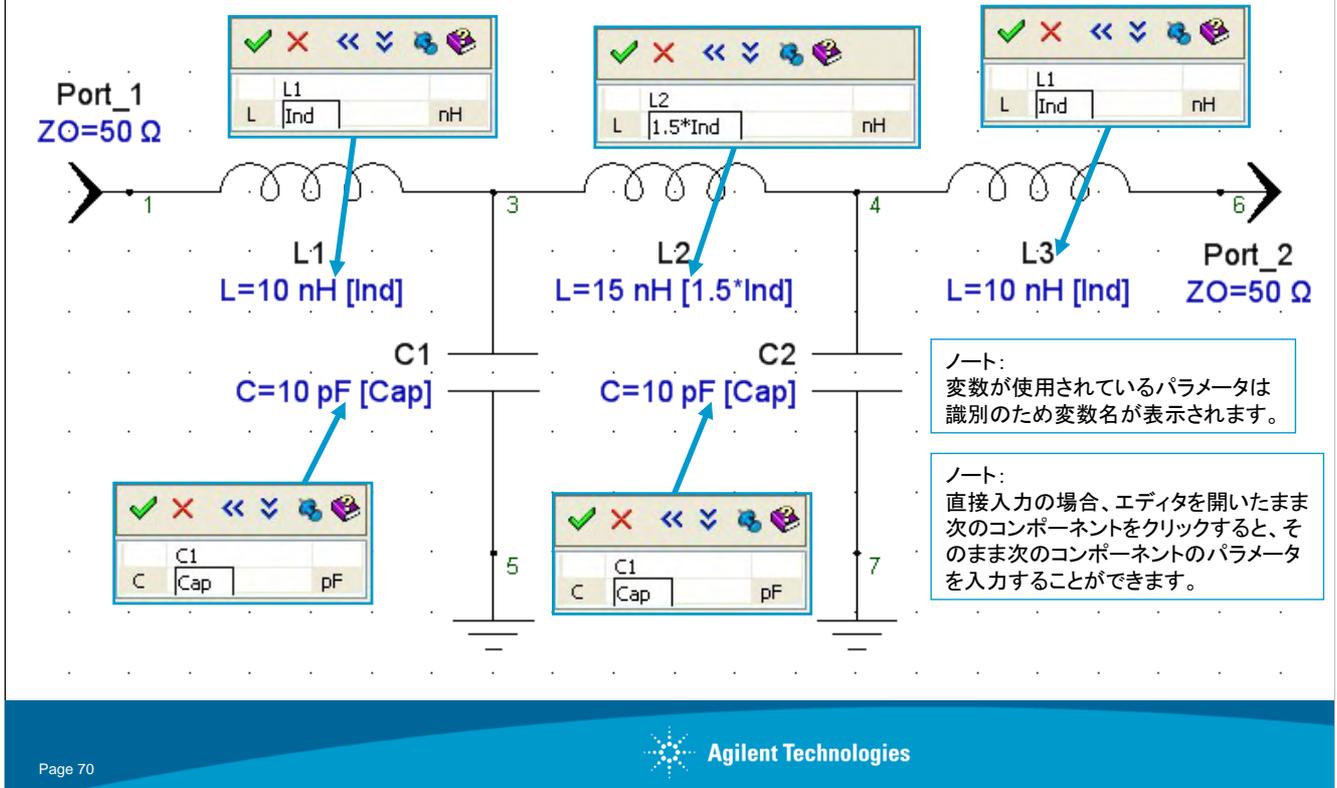
ノート:

Eng ボタンは、Engineering Language (エンジニアリング言語) と Math Language (算術言語) の切替を行います。通常、変数の作成・利用においては Eng を利用して下さい。

- エンジニアリング言語: 測定値、解析値を扱いやすいように環境が整えられている言語体系です。Sパラメータなどを扱うために必要な関数群が充実しています。以前のバージョンからの環境です。
- 算術言語: EngLang よりも幅広い学術用途に利用できるように整えられた言語環境です。TCP/IP を利用した計測器と Genesys との通信環境、数学演算関数、DSP のための窓関数などが用意されています。フレキシブルな演算環境である反面、データアクセスの際の厳密性が強くなっています。Genesys2008.07 から用意された新しい環境です。

## 変数を回路図に入力

作成した変数をコンポーネントの値として入力します。  
それぞれのコンポーネントを開き下図のように入力します。



作成した変数をコンポーネントのパラメータとして設定します。

入力後、コンポーネントのパラメータの隣に、例えば [Ind] と表示され、Equation の Ind という変数を利用していることを示しており、その評価結果が左側に表示されます。

ノート;

直接入力用ウィンドウからも、チューニング設定を行うことができます。

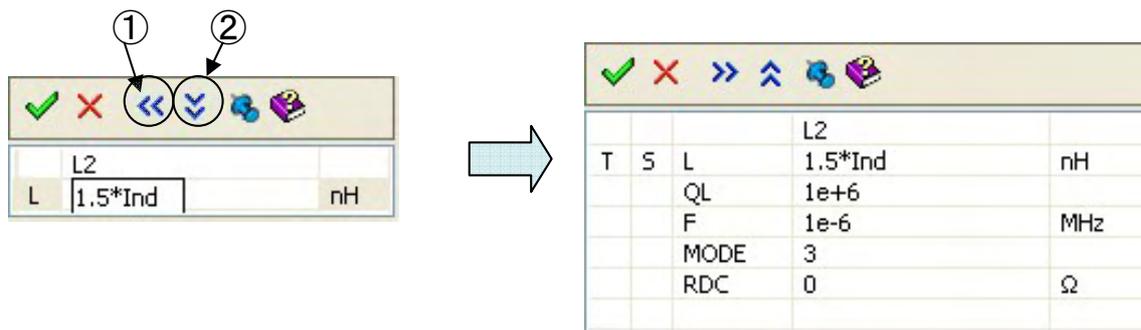
1) 下図①をクリックすることで直接入力用のウィンドウが少し大きくなり、全てのパラメータが表示されます。  
デフォルトでは Show 設定されているパラメータのみが表示されています。

2) 下図②をクリックすることで、チューニングおよびパラメータの表示・非表示を設定できます。

“T” と表示されているパラメータはチューニング設定され、

“S” と表示されているパラメータは回路図上に表示されます。

この2つはトグルになっており、クリックすることで設定を変更できます。



## 数式を使ったチューニング

■ 変数をチューニング可能に設定しチューニングを実行

1) インダクタンス、キャパシタンスとして設定した変数の代入値の前にそれぞれ ? を入力します。

2) Go ボタンをクリック  
チューニングウィンドウに変数が表示されます。

3) 先ほどと同様ホイールでチューニングできることを確認

Variable	Value
Standard	5%
Equation.Cap	10
Equation.Ind	10

Linear1\_S21

Linear1\_S21

Frequency (MHz)

S[2,1] S[1,1] (dB)

PartList Schematic

Equation で変数の数値の前に ? を挿入することで、その変数をチューニング可能とすることができます。入力後、先程と同様にチューニングウィンドウからチューニングを行って下さい。

なお、チューニングの演習はここまでです。

この後最適化の演習を行います。最適化の際にはあらかじめチューニングで、希望する特性に近づけておくことが重要です。

そこで、おおまかで結構ですので、今回のフィルタの仕様である 1GHz のカットオフに近づけておいて下さい。

S21 のトレースの 1GHz あたりにマーカーを配置すると確認しやすくなります。

## GENESYS入門編

### GENESYSの基本操作

ユーザ・インターフェース(ワークスペース)

回路の入力方法と編集

Sパラメータシミュレーション

グラフの作成

チューニング、数式の導入

 最適化

### 回路合成機能の利用

フィルタ回路合成ツールを使ったフィルタの作成

分布定数フィルタ合成ツールを使った分布定数フィルタレイアウト作成

参考：電磁界 (MomentumGX) シミュレーションの実行

これから回路合成機能をつかって、いままでの演習で設計したフィルタを作成します。

## 最適化

ゴールを決めて、パラメータを決定



最適化とチューニング:

チューニングは、応答を見ながら **ユーザ**がパラメータを変更させていましたが、最適化は応答に対する最終的なゴールを決めて、**GENESYS**にパラメータを振らせて、所望の結果を得ようとする機能です。

## 最適化 1-1

### ■最適化コントローラを追加

1) 最適化コントローラを追加します。

2) Goals タブをクリック

ここで、フィルタの仕様に合うように Goal (希望する最終的な応答) の設定を行います。  
→具体的操作は次ページ

Use	Measurement	Op	Target	Weight	Min	Max
<input checked="" type="checkbox"/>	S[2,1]	>	-0.5	5	0	900
<input checked="" type="checkbox"/>	S[2,1]	<	30	1	1600	1800
<input checked="" type="checkbox"/>	S[2,1]					010
<input checked="" type="checkbox"/>	S[2,1]					010

Page 74

さて、この演習の目的はスペックに見合ったフィルタを作成することでした。

チューニングでもグラフを見ながらできますが、もっとシステムティックに行いたいものです。

最適化は、ゴールとするスペックを設定するとシミュレータが自動的にそのスペックを満たすように変数を調整する便利な機能です。

GUI の操作は、先ほどのグラフの作成ととてもよく似ています。

まずは、**New Item** ボタンから最適化用のコントローラを追加します。

最適化は **Evaluation** カテゴリに含まれます。**Add Optimization** をクリックします。

最適化コントローラの **General** タブが開くので、**Goals** タブをクリックします。

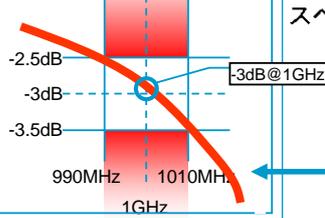
この **Goals** タブで最終的なゴールとなる特性、すなわち今回作成するフィルタの仕様を指定します。

S[2,1] などの解析データとデータの範囲を入力することで、目的とする仕様を **Genesys** に教えます。

## 最適化1-2

## ■ Goal 設定

カットオフのターゲット設定

集中定数のローパス・パッシブフィルタを作成  
スペック

オーダー	5次
トポロジ	LC、π、トップL
パスバンド	Loss<0.5dB, DC-950MHz
カットオフ	-3dB@1GHz
ストップバンド	-30dB@1.8GHz

Use	Measurement	Op	Target	Weight	Min	Max
<input checked="" type="checkbox"/>	S[2,1]	>	-0.5	5	0	900
<input checked="" type="checkbox"/>	S[2,1]	<	-30	1	1600	1800
<input checked="" type="checkbox"/>	S[2,1]	>	-3.5	1	990	1010
<input checked="" type="checkbox"/>	S[2,1]	<	-2.5	1	990	1010

1) スペックに見合うように条件を設定します。Measurement Wizardも使用できます。

Stopping Algorithm  
Stop if the total error is less than 0

フィルタの仕様として、パスバンド、ストップバンド、カットオフの設定がありますが、上図の4行の設定がこれらの設定を表しています。

まず、1行目は、0～900MHzにおいて通過特性S<sub>21</sub>が-0.5dB以上であることを指定しています。これはパスバンドの設定を表しています。同様に2行目はストップバンドの設定です。

3行目、4行目は、2行である程度幅を持たせてカットオフの設定を行っています。

1行でカットオフの設定を行うこともできますが、その場合、その1点に値が来なければ最適化が終了しませんし、収束することは非常に困難です。一般的に、最適化の設定はある程度幅を持たせた設定を行う必要があります。

## ノート: エラー関数について

最適化を行うには、問題とする事象を数式化すること、条件を設定することが必要になります。この数式をエラー関数とよび、この関数の結果が与えられた条件の中で最大、もしくは最小になるような変数を探し出します。

GENESYSでは、以下の項目を“条件”=ゴールとし、

- 解析項目、望まれる解析結果の範囲、周波数範囲

変数は

- 回路のコンポーネント、数式

などとなります。

ターゲットは明示的に設定されているため、ターゲットとの差がエラーになります。

このエラーを“0”にもっていくことがこの場合の最適化になります。

以下は、エラー関数の例です。(統計解析の分野などでは、目的関数と呼ばれます。)

$$E = \sqrt{\sum_n ((T_n - V_n) W_n)^p}$$

E=エラー(ターゲットからの距離)

P=エラー(目的)関数乗数 2, 4, 6など偶数

T=ターゲット

V=実際の計算結果

W=重み

## 最適化2

### ■変数を設定

1) Variables タブをクリック

Use	Variable	Min	Max
<input checked="" type="checkbox"/>	Equation.Cap	2	20
<input checked="" type="checkbox"/>	Equation.Ind	2	10

2) Get Tuned Variables ボタンをクリック  
自動的にチューニング設定されている変数を選択し、最適化の対象として設定されます。

3) コンポーネントとして現実的な値になるように、最適化時のふり幅を限定します。

4) OK をクリック

Page 76

チューニングである程度のあたりをつけてから、最適化にもっていくのが一般的な設計手順になると思います。GENESYS には、チューニングに利用したパラメータを自動的に読み込む“Get Tuned Variables”という機能があります。(②の手順)

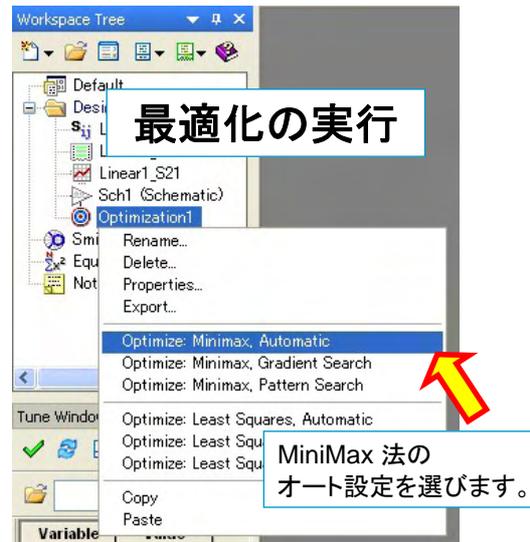
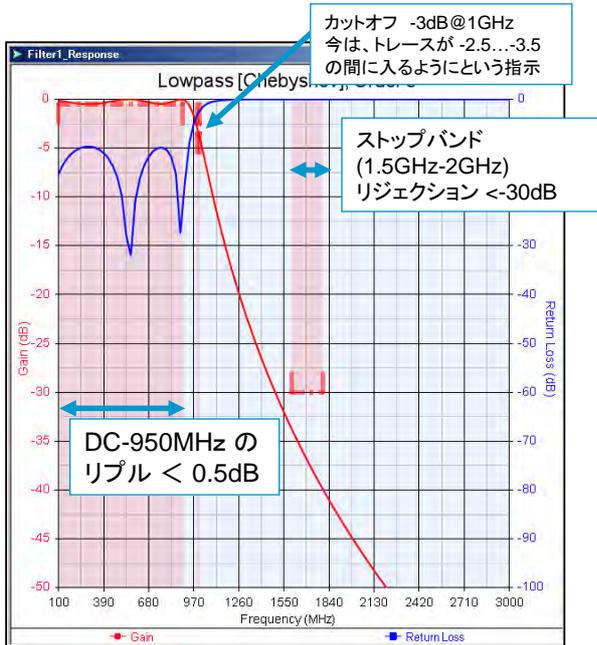
これで最適化の準備は準備完了です。

ノート:

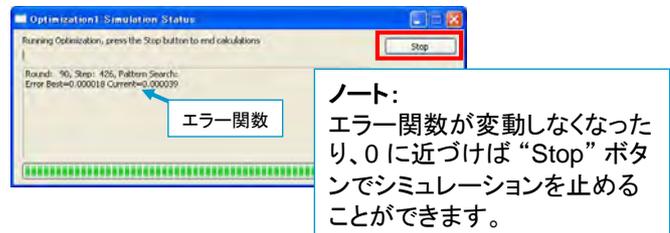
“+Add” というボタンを押すと、このデザインにおいて最適化の変数となりうる候補のリストを表示させて、その中から個別に選択することができます。

## 最適化の実行

### 最適化の範囲をグラフで確認



最適化が始まります。



入力したゴールをグラフで確認することができます。最適化を行う前に、一度確認すると誤りが少ないです。グラフの薄い赤色の領域は、赤色のトレース(S21)の Goal 範囲外です。この範囲に入らなければ Goal 設定を満たしていることになります。

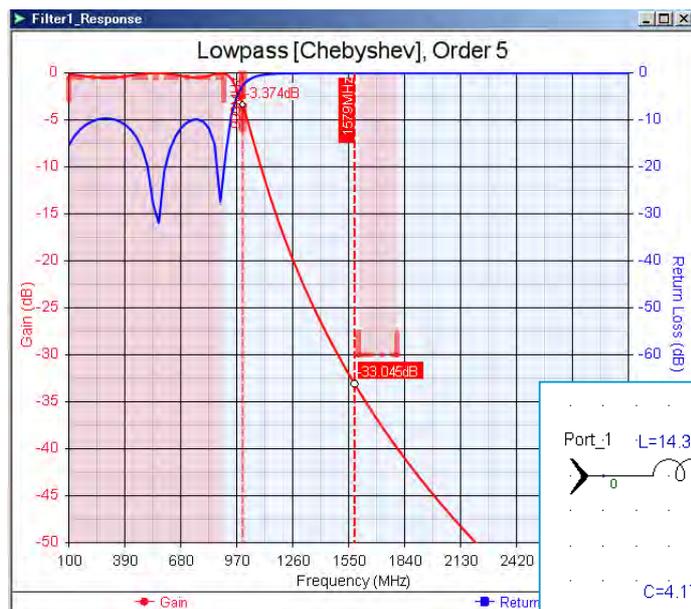
最適化の実効は、2通りの方法があり、ひとつはスライドに書かれている方法で、もうひとつが最適化プロパティウィンドウの General タブ内の “Calculate Now” ボタンを押す方法です。どちらの方法でも同じ動作をします。

最適化を実行すると、シミュレーションステータス (Simulation Status) ウィンドウが表示されます。このウィンドウでエラー関数を確認することができます。今回の場合、特に問題がなければ最適化はすぐに終了します。

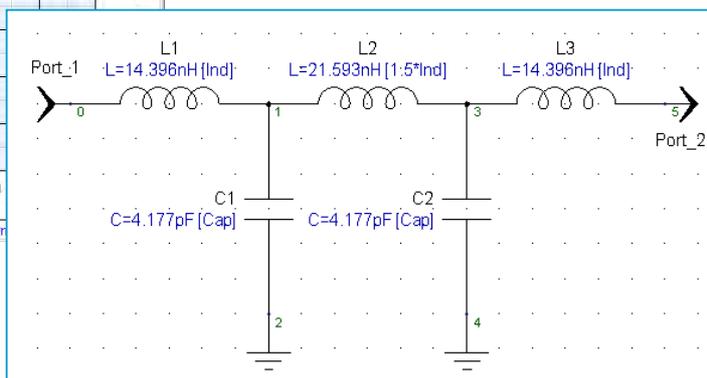
ノート:

シミュレーションステータスウィンドウはシミュレーション終了後自動的に閉じてしまいますが、シミュレーション終了後は、シミュレーションログウィンドウにてログが確認できます。

完成！



この値は一例です。  
初期値によって、結果は変化します。



Page 78

Agilent Technologies

所望のフィルタが完成しました。

ノート:

最適化が完全に終了しない場合は、**Error** が 0 に近くなった時点で、**Stop** ボタンをクリックして、最適化を終了させてください。終了させると、今までの中でエラーが一番少ない、最適な値に自動的に設定されます。

最適化を強制的に終了させた場合でも、グラフを確認すると、スペックをほぼ満たしていることが分かります。

これは、数式によるチューニング時の初期値によって、収束に向かう点が変わってしまうために起こる現象です。また、今回のゴール設定は、エラー 0 で収束しやすいように、ゆるい設定になっていますので、条件を満たすキャパシタ、インダクタの値は、何通りもあることが分かっています。つまり、初期値が違えば、最適解も変化します。

ここまでで手作業によるフィルタの設計は終了です。

## 参考: Genesysの最適化機能について

### 最適化の定義

目標(ゴール)を設定し、変化させる変数を設定し、エラー=目標-試行*i*変数のようにエラー(目的)関数を定義し、最終的にエラー=0になることを最適化成功と定義します。

これを実現するためにGenesysには2段階のプロセスが用意されています。

### 探索・最適化手法(Search Method)...探索方向の決定

#### Gradientサーチ(ランダム性あり)

変数を変化させる上で、エラー変化量(勾配)が削減方向の大きくなる場所を集中的に探索をすすめる

→最適値がよくわからない場合はこれからはじめると見通しがよい(オートモードの振る舞い)

→最適値と判断されたところ以外にさらに鋭いエラー勾配と最適値があるかもしれない

#### Patternサーチ(アダプティブ・ステップ量変位機能あり)

変数変化させる空間を“パターン”とし、エラー削減量が一番大きく寄与した変数を変化させて探索をすすめる

→最適値に近い場合、Gradientより視野を広く見られるので、終盤で利用するとよい(オートモードの振る舞い)

→初期値が最適値から遠い場合、見つけ出すまでに時間がかかる

### エラー関数(Error[Objective] Function Formulation)...エラー値を算出

#### 最小二乗法

最適化試行中の解と目標との差を最小にする値を最小二乗法式によって求める。

#### MiniMax法

試行中の解と目標の差の最大値(不利...Mini)を最小(有利...Max)にする最適化手法

行われた試行がたとえ最適でなくても、行われた試行における解の中で一番有利な(残差が小さくなる)解を得る。

この方法は、試行先読みが必要のため、探索手法と結びついて動作する。詳細は、「ゲームの木」の原理などを参照。

注:重み付け...エラー値を出すために、目標に対して重みを付け、各項目で最適化の優先順位を決定できます。

厳密には、最適化手法、探索手法、エラー関数の3要素で最適化システムは議論されますが、ここでは便宜上2種類に大きく分類しています。

参考文献:

Virginia Torczon, Pattern search methods for nonlinear optimization, SIAG/OPT Views and News, 1995

Randal W. Rhea, The Effectiveness of Four Direct Search Optimization Algorithms, IEEE MTT-S Digest, 1987

2008.07時点の搭載機能で説明



## ノート:実用上のヒント

### ・最適化方法の選び方

Genesysには、2つのエラー評価方法(最小二乗法、MiniMax法)とそれぞれにGradient、Pattern検索方法が用意されています。

評価方法は、最適な解が1つしかない場合、どちらの評価方法を選んでもほとんど変化が見られないです。複数の解が存在する一般的な場合は、評価方法が素直な最小二乗法は最もエラーが小さい解を見つけられる確率が高くなります。一方、定数決定させるために最適化を利用する場合、定数変化による系の変化量を小さく(感度を小さく)したいため、MiniMax法を選んだほうがよい場合もあります。

探索方法は、通常“Automatic”を選択することをおすすめします。ゴールに対してエラーの減り方によって、2つの探索方法をGenesysが選んでくれます。この場合、始めにGradientが利用され、ある程度エラー値がおちつくとPattern探索に切り替えます。エラー値の変化が大きく変化した場合、さらにGradient探索に変更するというルーチンを繰り返します。

### ・チューニングと最適化の利用

最適化を行う場合、エラーが0にならない、なかなかユーザが思うほど“最適”な応答を示さないことが多々あります。ゴールの見直しもエラー値に直結しますが、チューニングによる初期値の見直しも効果的です。

チューニング→最適化→Stop→チューニング→最適化...ということをするので、探索エンジンに最適解に近い初期値を与えることができます。

## 各サーチアルゴリズムの基本動作概要

### Gradientサーチ

- 1 初期値(探索開始点)
- 2 探索方向決定
- 3 直線探索
- 4 判定(エラー関数の評価)→2へ  
(エラー評価:MiniMax・最小二乗法)

### Patternサーチ

- 1 初期値(探索開始点)
- 2 指定されたステップサイズで変数変化
- 3 試行で収縮される“パターン”として定義されたポイントを計算
- 4 前回の試行と比較しエラー値が最も削減された変数を変更対象とする
- 5 判定(エラー関数の評価)→2へ  
(エラー評価:MiniMax・最小二乗法)