



SmartCtrl Ver.4.0

マニュアル

Carlos III University of Madrid
Mywayプラス株式会社

目次

1	はじめに.....	6
1.1	なぜ SmartCtrl なのか?	6
2	プログラムレイアウト(Program Layout)	8
3	メインメニュー&ツールバーについて.....	11
3.1	File メニュー	11
3.2	デザインメニュー	12
3.3	View メニュー	12
3.4	Window メニュー	13
3.5	Tools メニュー	14
3.6	メインツールバー	14
3.7	View ツールバー	16
3.7.1	SmartContrl 追加伝達関数.....	18
4	サンプル回路によるトポロジ設計.....	21
4.1	DC-DC パワーステージ及び制御設計	21
4.2	DC-DC コンバータ シングルループ	27
4.3	DC-DC コンバータピーク電流制御.....	30
4.4	DC-DC コンバータ平均電流制御.....	33
4.5	力率改善(Power Factor Corrector).....	38
4.5.1	Power Stage.....	45
4.5.2	Graphic panels.....	46
4.5.2.1	三角波発生器と内部位相補償器.....	47
4.5.2.2	主回路電流.....	47
4.5.2.3	整流電圧と外部位相補償器の出力	48
4.5.3	マルチプライヤ.....	49
4.5.3.1	マルチプライヤ.....	49
4.5.3.2	UC3854A multiplier	49
5	一般的なトポロジの設計.....	51
5.1	s-domain モデルエディタ.....	51
5.1.1	s-domain モデル(数式エディタ)	52
5.1.1.1	.txt ファイルを使用した周波数応答データの読み込み	52
5.1.2	s-domain (数式エディタ).....	57
5.1.2.1	s-domain (数式エディタ) VMC	57
5.1.2.2	s-domain(数式エディタ)CMC	60
5.1.3	S-domain model (多項式係数).....	63

5.1.3.1	Plant Wizard	64
6	一般的な制御システムの設計	67
6.1	プラントの設計(関数エディタ)	67
6.2	センサの設計(関数エディタ)	69
7	DC-DC プラント	71
7.1	降圧 (Buck)	71
7.2	昇圧(Boost)	73
7.3	昇降圧(Buck-Boost)	76
7.4	Flyback(フライバック)	79
7.5	Forward(フォワード)	81
8	センサ	85
8.1	分圧器(Voltage Divider)	85
8.2	組み込み型分圧器(Embedded Voltage Divider)	85
8.3	絶縁電圧センサ (Isolated Voltage Sensor)	86
8.4	抵抗センサ(力率改善)Resistive Sensor (Power Factor Corrector)	86
8.5	抵抗センサ (ピーク電流モード制御) Resistive Sensor (Peak Current Mode Control)	87
8.6	ホールセンサ(Hall effect Sensor)	87
8.7	電流センサ(Current Sensor)	88
9	モジュレータ	89
9.1	モジュレータ(ピーク電流制御)	89
9.2	モジュレータ(PWM)	89
10	補償器	91
10.1	シングルループもしくは内部ループ(Single loop or inner loop)	91
10.1.1	Type3 補償器	91
10.1.2	Type3 非減衰補償器(Type3 Compensator unattenuated)	91
10.1.3	Type2 の補償器(Type2 Compensator)	92
10.1.4	Type2 の非減衰補償器(Type2 Compensator unattenuated)	93
10.1.5	PI 補償器 (PI Compesator)	94
10.1.6	PI 補償器非減衰型(PI Compensator unattenuated)	94
10.2	アウターループとピーク電流モード制御	95
10.2.1	単ポール補償器(Single pole Compensator)	95
10.2.2	単ポール補償器非減衰型(Single pole Compensator unattenuated)	96
10.2.3	Type3 補償器(Type3 compensator)	97
10.2.4	Type3 補償器非減衰型(Type3 Compensator umatenuated)	97
10.2.5	Type2 補償器(Type2 Compensator)	98

10.2.6	Type2 補償器非減衰型 (Type2 Compensator unattenuated)	98
10.2.7	PI 補償器 (PI Compensator)	99
10.2.8	PI 補償器非減衰型 (PI Compensator unattenuated)	99
11	グラフィックとテキストパネル	101
11.1	ボード線図 (Bode plots)	101
11.2	ナイキスト線図 (Nuquist diagram)	103
11.3	過渡応答プロット (Transient response plot)	106
11.4	定常状態波形 (Steady-state waveform)	108
11.5	テキストパネル	110
12	ソリューションマップ	112
13	数式エディタ	114
13.1	エディタボックス	118
14	インポートとエクスポート	119
14.1	エクスポート	119
14.1.1	伝達関数のエクスポート	119
14.1.2	PSIM へのエクスポート	120
14.1.2.1	PSIM へのエクスポート (回路図)  Export to PSIM(Schematic)	121
14.1.2.2	PSIM(パラメータファイル)へのエクスポート  Export to PSIM(Update parameters file)	124
14.1.2.3	パラメータファイルの更新  Update parameters file	124
14.1.3	過渡応答のエクスポート (Export transient responses)	124
14.1.4	エクスポートグローバル (Export Global)	126
14.1.5	波形のエクスポート (Export waveforms)	127
14.1.6	FPGA へのエクスポート (Export to FPGA)	129
14.2	インポート (マージ)	130
14.2.1	関数の追加 (Add Function)	131
14.2.2	機能の変更 (Modify Function)	133
15	設計手法	135
15.1	K-factor Method	136
15.2	Kplus 法	137
15.3	マニュアル法	138
15.4	PI チューニング	139

15.5	単一ポールチューニング (Single Pole tuning)	141
16	パラメトリックスイープ	142
16.1	入力パラメータパラメトリックスイープ	142
16.2	補償器コンポーネントパラメータスイープ	145
16.3	補償器コンポーネントパラメータスイープ(ソースコードパラメーターパラメトリック)	146
17	デジタル制御	147
17.1	デジタル制御の概要	147
17.2	デジタル設定	154
17.3	デジタル制御におけるパラメータスイープ	156
18	周波数設定	158
19	レイアウトの設定	159
20	Warehouse	160

1 はじめに

1.1 なぜ SmartCtrl なのか？

SmartCtrl はパワーエレクトロニクス向けの制御設計ツールです。様々な制御対象(プラント)の制御ループ設計のために、使いやすいユーザーインターフェースを備えています。

SmartCtrl にはパワーエレクトロニクス回路で頻りに使用される異なる DC-DC トポロジーや AC-DC コンバータ、インバータ、モータードライブなどが事前にプラントとして登録されており、伝達関数モデルを用いて定義されています。

またテキストファイルにより任意のプラントを伝達関数としてインポートすることも可能です。これによりどのようなシステムに対しても柔軟に最適化された制御ループ設計が行えます。

制御系設計の初期設定を簡単にするためのツールとして、SmartCtrl にはソリューションマップという安定性を評価し可視化するツールが備わっています。ソリューションマップは選択されたプラント、センサー、レギュレータに基づいて、安定な系を実現することができるクロスオーバー周波数と位相余裕の範囲を図示します。

ユーザーが図上の安定した解の領域からクロスオーバー周波数と位相余裕を選択すると、レギュレータのパラメータが自動的に決定され、以後の検討の初期値とすることができます。これらの特性を最適化するためにユーザーは各種パラメータをダイナミックに変更することができ、変更結果は各特性図にリアルタイムに反映されます。

主な特徴

- ✓ 良く使われる DC-DC コンバータ、PFC (力率補正) コンバータ、センサー、レギュレータの伝達関数は予め登録されています。
- ✓ DC-DC コンバータのための様々な制御方法をサポートしています。
 - シングルループコンバータ:電圧制御、電流制御
 - ピーク電流制御
 - ダブル制御ループ構造:平均電流制御をもつ2つの入れ子になった制御ループ
- ✓ 下記手法によりどのようなコントローラの制御設計も可能です。
 - 基本的なモデルを使ったコンバータのモデリングが可能です。
 - テキストファイルにて周波数応答のデータをインポートします。
 - 数式エディタにて伝達関数を定義します。
- ✓ 一般的な制御システムを設計する機能があります。
- ✓ デジタル制御も可能です。
- ✓ 安定した解の領域を見積もれるソリューションマップがあります。

- ✓システムパラメータの感度解析ができます。
- ✓周波数応答(ボード線図やナイキスト図)、過渡応答、定常状態の波形はリアルタイムで更新されます。
- ✓テキストファイル(.txt)による伝達関数のインポート、エクスポートが可能です。

2 プログラムレイアウト(Program Layout)

SmartCtrl を立ち上げると次の四分割された画面が現れ、使用可能なオプションが表示され、使用したいものを選択できます。

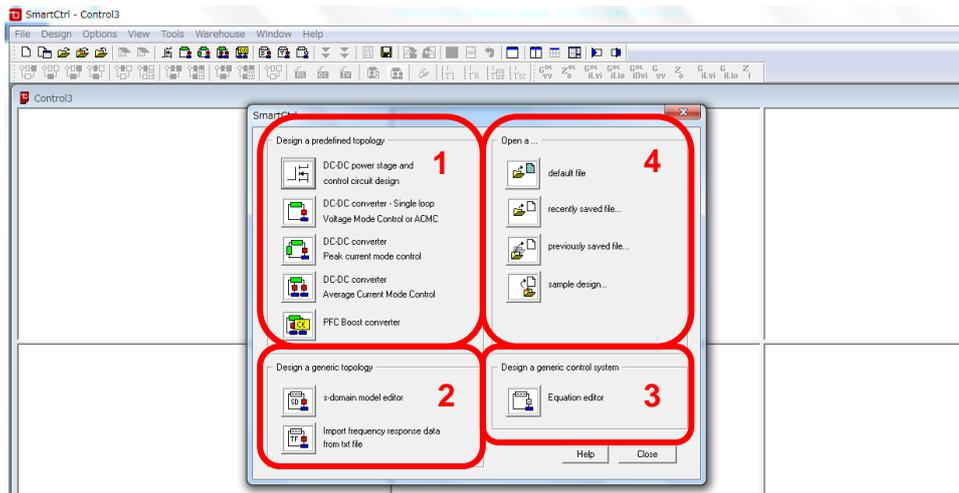


図 2-1 立ち上げ時画面

1. 登録済みトポロジ(回路)での設計

このオプションを使うと、汎用性のあるパワーコンバータの制御回路設計が簡単にできます。ガイド手順に沿って、ユーザーは何種類かの制御手法から選択することができます。

✓ 4.1 DC-DC パワーステージ及び制御設計

✓ 4.2 DC-DC コンバータ シングルループ

電流制御、電圧制御と 2 種類の違った制御手法が使用可能です。

✓ 4.3 DC-DC コンバータピーク電流制御

✓ 4.4 DC-DC コンバータ平均電流制御

二つの入れ子になったループが平均電流制御では必要になります。

外側のループは電圧制御ループ、内側は電流制御ループとなります。

✓ 4.5 力率改善(Power Factor Corrector)

2. 一般的なトポロジでの設計

このオプションでは次の二種類の方法でコンバータの設計をすることができます。

✓ 5.1 s-domain モデルエディタ

✓ 5.1.1.1 .txt ファイルを使用した周波数応答データの読み込み

3. 一般的な制御システムの設計—数式エディタ

SmartCtrl では数式エディタによりシステム全体を定義できるようなオプションがあります。また、例えば温度制御、モータードライブ等の特性を考慮しない制御問題設計過程においてもユーザーをサポートします。

4. Open...

- Default file :** 範例回路を開きます。
- Recently saved file:** ユーザが過去に保存したファイルを開きます。
- Previously saved file :** ユーザが以前設計していたファイルのあるフォルダを開きます。
- Sample design:** 以前に保存された SmartCtrl の範例フォルダーを開きます。

選択されたオプションにかかわらず一旦コンバータの定義が完了しましたらプログラムのメインウィンドウが表示されます。メインウィンドウにあるメニューはいくつかに分かれており、それらについて簡単に説明します。

- ① ドロップダウンメニューの一部は次のようになります。
 - File** ファイルの操作(インポート,エクスポート等) プリンタの設定及び印刷オプションの設定を行います。
 - Design** SmartCtrl ライブラリの入力データの修正、デジタル制御設定とパラメータ振りができます。
 - View** 画面表示する要素の選択を行えます。
 - Window** ウィンドウを生成、配置、分割する機能です。
 - Help** SmartCtrl のヘルプです。
- ② **main** ツールバー 各々のアイコンを左クリックすることで通常使われるプログラム関数に迅速にアクセスできます。
- ③ **View** ツールバー アイコンは表示されている各要素をすぐに選択できます。
- ④ **Status** バー オープンループ制御設計 (クロス周波数、位相マージン、スイッチング周波数の減衰) の重要なパラメータを表示しています。
- ⑤ **補償器設計手法** ソリューションマップと同様に3種類の補償器計算方法があります。
- ⑥ **グラフィックとテキストパネル** システムに最も関連した情報を含んでいます: 周波数応答、ポールプロット、過渡応答、入力データ、設計されたレギュレータ構成要素などです。各ウィンドウで右クリックをすると help へアクセスできます。

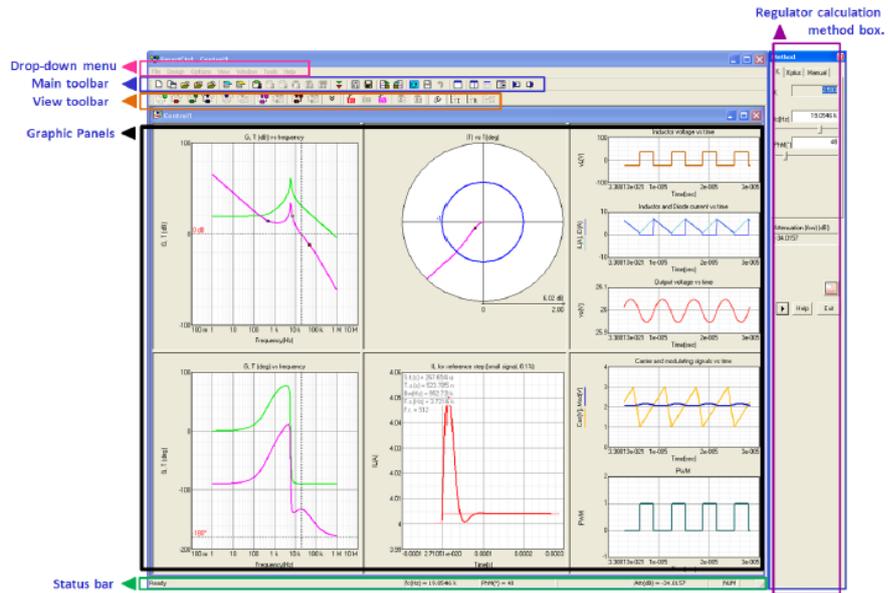


図 2-2 メインウィンドウ

3 メインメニュー&ツールバーについて

3.1 File メニュー

表 1 ファイルメニューの項目及び内容

項目	内容
New	新しい回路ウィンドウを作成します。(Ctrl+N)
New and initial dialog	新しい回路ウィンドウの作成とイニシャルのダイアログボックスを表示します。
Open...	既存のSmartCtrl用保存ファイル.troを開きます。(Ctrl+O)
Open sample designs...	examplesフォルダ内のサンプルファイル.troを開きます。
Close	回路ウィンドウを閉じます。
Save	現在の回路ファイルを保存します。(Ctrl+S)
Save as...	現在の回路ファイルを名前を変えて保存します。
Open txt files...	.txtファイルを開いて中身の確認ができます。
Import (Merge)	現在の特性ファイルに外部ファイルのデータをマージします。二つのファイルの波形を合成できます。(Ctrl+E)
Export	以下の出力方法があります。
1.Export to PSIM	回路図とパラメータファイル、または更新されたパラメータファイルをPSIMへエクスポートします。
2.Export transfer function to a file	プラント、センサー、出力制御、補償器等の伝達関数のエクスポート
3.Export transient responses to a file	電圧リファレンスのステップ、出力電流ステップ、入力電圧ステップの過渡応答の出力
4.Export waveforms to a file	インダクタの電圧及び電流、ダイオードの電圧電流、キャリア、変調信号、PWMの定常状態波形の出力
Generate report	設計結果をテキスト形式(.txtかnotepad)でファイルを作成します。 入力データとしては安定定常状態のDC動作点、プラント入力データ等 出力データとしては補償成分、ゼロクロス周波数、位相マージン等
Print preview	印刷のプレビューを表示します。
Print	印刷をします。
Printer Setup...	印刷用プリンタの設定を行います。
Exit	SmartCtrlを終了します。

3.2 デザインメニュー

SmartCtrl デザインメニューには回路で使用できる要素が含まれています。
ライブラリは次のように分かれています。

表 2 デザインメニューの項目及び内容

項目	内容
Predefined topologies	SmartCtrlに事前登録されている構成を選ぶことができます。AC-DCプラントやDC-DCのシングルとダブルループなどです。
Generic Topology	s-domainか.dat,.txt,.fraファイルを読み込むことで一般的なプラントの伝達関数の定義ができます。また、SmartCtrlによって閉ループ制御システムを設計するための登録済みのセンサや補償器も使えます。
Generic Control System	組み込まれている数式エディタでプラントとセンサーの伝達関数を定義できます。このユーザー定義のシステムで補償器の設計ができます。
Modify Data	特性表示図を表示した状態で回路図のパラメータ変更を行いたい場合に選びます。
Digital Control	デジタルコントロールの設定の際にアクセスします。
Parametric sweeps	システムパラメータの感度解析ができます。 16.1 入力パラメータパラメトリックスイープ、16.2 補償器コンポーネントパラメータスイープ、デジタル要素の三種類の違ったパラメータスイープがあります。
Reset all...	現在表示中のシステムを全て初期化します。

3.3 View メニュー

表 3 View メニューの項目及び内容

項目	内容
Comments	現在のシステムにメモなどを残したい場合にここへ記入し保存します。
Loop	特性表示画面を表示した状態で、特性を表示するループの選択をします。
Transfer functions	特性表示画面を表示した状態で、ボード線図上に表示する伝達関数を選択します。 プラント伝達関数 $G(s)$ センサー伝達関数 $K(s)$ 補償器伝達関数 $R(s)$ レギュレーター伝達関数なしの出力制御 $A(s)$ 伝達関数の出力制御 $T(s)$ 出力伝達関数の参照 $CL(s)$ デジタル補償器伝達関数 出力伝達関数のデジタル制御 出力伝達関数のデジタル基準

Additional transfer function	表示したい追加伝達関数を選択します。入力リプル除去比 G_{vv} 、出力インピーダンス G_{vi} 等。(詳細は3.7.1 SmartCtrl 追加伝達関数を参照してください。)
Additional t.f. toolbar	ツールバーに追加伝達関数を表示できます。(3.7.1 SmartCtrl 追加伝達関数を参照してください。)
Transient	特性表示をした状態で応答を選択します。過渡応答は次より選べます。 入力電圧ステップトランジェント 出力電流ステップトランジェント リファレンスステップトランジェント
Organize panels	各画面を表示した状態で、それぞれの表示パネルを整形します。Enhanceコマンドなどで特性の図を大きくした状況からデフォルト表示へ戻る場合に選びます。
Enhance	ウィンドウをフルスクリーンで表示したい場合に選択します。 ボード図(magnitudes) (Ctrl+Shift+U) ボード図(位相) (Ctrl+Shift+J) ナイキスト線図 (Ctrl+Shift+I) 過渡応答図 (Ctrl+Shift+K) 入力Data図 (Ctrl+Shift+O) 出力(結果)図 (Ctrl+Shift+L)
Input data	Viewの設計入力データ
Output data	Viewの設計出力データ

3.4 Window メニュー

表 4 Window メニューの内容

項目	内容
New window	新しいウィンドウを作成します。
Maximize active window	表示中のウィンドウを最大化します。
Cascade	複数のウィンドウを重ねて表示させます。
Tile horizontal	複数のウィンドウを水平に並べて表示させます。
Tile vertical	複数のウィンドウを垂直に並べて表示させます。
Split	特性図を任意の位置で分割して表示させます。
Organize all	全ての特性図、文字をデフォルトの大きさに戻します。

3.5 Tools メニュー

表 5 Tools メニューの内容

項目	内容
設定 (Settings)	周波数範囲の設定(周波数設定)、グラフやテキストパネルのデフォルト設定(レイアウトの設定)を再設定できます。
数式エディタ (Equations Editor)	数式エディタはSmartCtrlの組み込まれている数式エディタに直接アクセスできます。数式エディタを使用して任意の伝達関数をプログラムでき周波数応答を出力することができます。その後必要であればインポートしボード線図上で可視化できます。

3.6 メインツールバー



新しい回路ウィンドウを作成します。



新しい回路ウィンドウの作成とイニシャルのダイアログボックスを開きます。



既存のSmartCtrl用保存ファイル.troを開きます。(Ctrl+O)



examplesフォルダ内のサンプル、.troファイルを開きます。



回路ウィンドウを閉じます。



設計結果をテキスト形式でまとめたファイルを作成します。



コメントを表示します。



DC-DCコンバータ シングルループ



DC-DCコンバータ ピーク電流制御



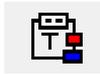
DC/DC平均電流制御



PFC 昇圧型コンバータ



s-domainモデルエディターを使った一般的なトポロジー設計



.txtファイルによる一般的なトポロジー設計



一般的な制御システムの設計をします。



Data修正をします。



Data修正をします。(レポート修正)



デジタルレギュレータの計算開始のためのダイアログボックスを開きます。



現在の回路ファイルを保存します。



伝達関数をファイルへエクスポートします。



現在の回路ファイルとマージする伝達関数をインポートします。



PSIMへ回路をエクスポートします。



PSIMへパラメータファイルをエクスポートします。



回路のパラメータファイルを更新します。



アクティブなウィンドウを最大化します。



ウィンドウを並べます。



全パネルを表示します。



全パネルを整理して表示します。



入力Dataを表示します。



出力Dataを表示します。

3.7 View ツールバー



プラントの伝達関数の周波数応答（ボード線図）を表示します。



センサの伝達関数の周波数応答（ボード線図）を表示します。



補償器伝達関数なしの出力制御の周波数応答（ボード線図）を表示します。



センサ補償器伝達関数の周波数応答（ボード線図）を表示します。



補償器伝達関数の周波数応答（ボード線図）を表示します。



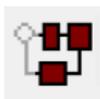
デジタル補償器伝達関数の周波数応答（ボード線図）を表示します。



出力伝達関数への制御の周波数応答（ボード線図）を表示します。



デジタル制御による出力伝達関数制御の周波数応答（ボード線図）を表示します。



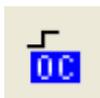
出力伝達関数に関して周波数応答（ボード線図）を表示します。



デジタル制御による出力伝達関数に関して周波数応答(ボード線図)を表示します。



リファレンスの電圧ステップによる過渡応答を表示します。



出力電流ステップによる過渡応答の表示をします。



入力電圧ステップによる過渡応答の表示をします。



インナーループの結果表示をします。



アウトーループの結果を表示します。



補償器計算のToolboxの表示



パラメータスイープのパラメータ入力



パラメータスイープの補償器パラメータ



パラメータスイープのデジタルファクター



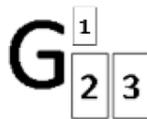
パラメータスイープのソースコード

3.7.1 SmartCtrl 追加伝達関数



図 3-1 ツールバー伝達関数メニュー

灰色になっている伝達関数は設計に使用できません。伝達関数の定義は次のようになっています。



- 1 上付数字の 1 は検証中の伝達関数のタイプを表示しています。文字の OL はオープンループで評価された伝達関数を示しています。そうでない場合はクローズループを参照します。
- 2 下付数字の 2 は perturbed magnitude を示しています。
 - iL : インダクター電流
 - iD : ダイオード電流
 - vo : 出力電圧
- 3 下付数字の 3 は perturbing magnitude を示しています。
 - io : 出力電流
 - vi : 入力電圧

ここで追加される伝達関数は以下の通りとなります。

オープンループ伝達関数

$$G_{vv}^{ol} = \frac{\tilde{v}_o}{\tilde{v}_i} \quad \text{オープンループ入力リプル比}$$

$$Z_o^{ol} = \frac{\tilde{v}_o}{\tilde{i}_o} \quad \text{オープンループ出カインピーダンス}$$

$$G_{iLvi}^{ol} = \frac{\tilde{i}_L}{\tilde{v}_i} \quad \text{オープンループ入力電圧はインダクタ電流伝達関数へ}$$

$$G_{iLio}^{ol} = \frac{\tilde{i}_L}{\tilde{i}_o}$$

オープンループ出力電流はインダクタ電流伝達関数へ

$$G_{iDvi}^{ol} = \frac{\tilde{i}_D}{\tilde{v}_i}$$

オープンループ入力電圧はダイオード電流伝達関数へ

クローズドループ伝達関数

$$G_{vw} = \frac{\tilde{v}_o}{\tilde{v}_i}$$

クローズドループ入力リプル除去比

$$Z_o = \frac{\tilde{v}_o}{\tilde{i}_o}$$

クローズドループ出カインピーダンス

$$G_{iLvi} = \frac{\tilde{i}_L}{\tilde{v}_i}$$

クローズドループ入力電圧はインダクタもしくはダイオード電流伝達関数へ

$$G_{iDvi} = \frac{\tilde{i}_D}{\tilde{v}_i}$$

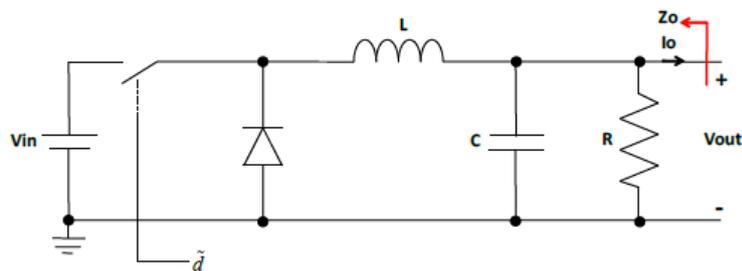
クローズドループ出力電流はインダクタもしくはダイオード電流伝達関数へ

$$Z_i = \frac{\tilde{v}_i}{\tilde{i}_i}$$

クローズドループ入カインピーダンス

以下にオープンループ、クローズドループの例を示します。

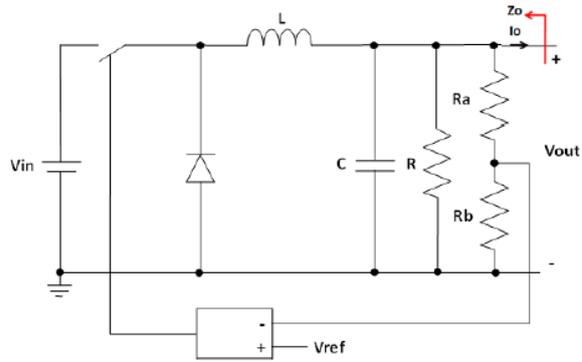
例 1：オープンループ伝達関数



$$Z_o^{ol} = \frac{\tilde{v}_o}{\tilde{i}_o}$$

負荷抵抗は出カインピーダンス伝達関数に含まれています。

例 2 : クローズドループ伝達関数



$$Z_o = \frac{\hat{v}_o}{\hat{i}_o}$$

クローズドループ出カインピーダンス伝達関数

4 サンプル回路によるトポロジ設計

設計の簡易化のために汎用性のあるトポロジについては事前登録されたトポロジとして入手できます。

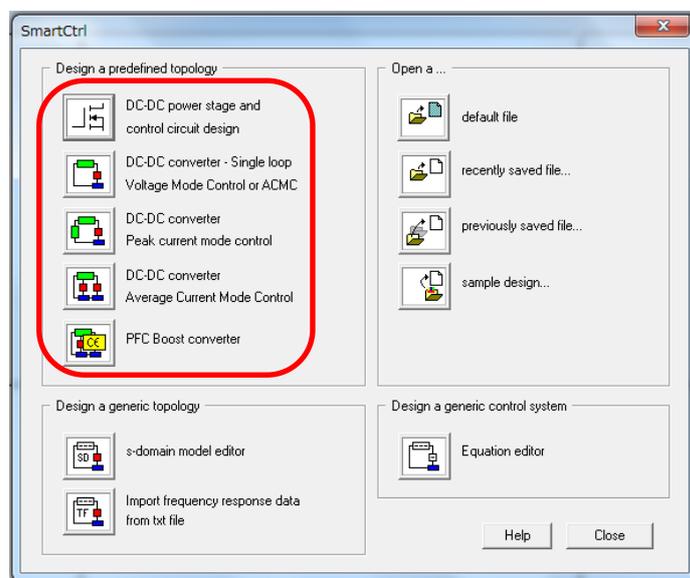


図 4-1 事前登録済みトポロジ

使用できるトポロジとしては次の五つがあります。

- ・ 4.1 DC-DC パワーステージ及び制御設計
- ・ 4.2 DC-DC コンバータ シングルループ（電圧モード制御と電流モード制御）
- ・ 4.3 DC-DC コンバータピーク電流制御
- ・ 4.4 DC-DC コンバータ平均電流制御
- ・ 4.5 力率改善(Power Factor Corrector)

4.1 DC-DC パワーステージ及び制御設計

このオプションが選択された場合は SmartCtrl は登録されている回路構成から完全な DC-DC コンバータ(プラント、センサー、コントローラ)の設計をサポートします。

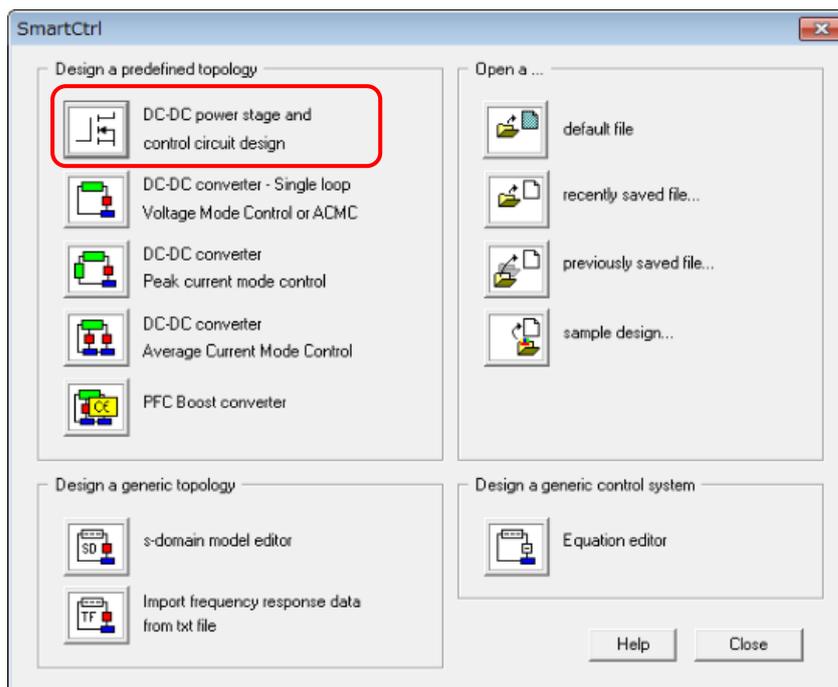


図 4-2 DC-DC パワーステージ及び制御回路設計選択画面

登録されている DC-DC パワーステージ及び制御回路設計で使用可能なプラントは

- ・ 降圧型
- ・ 昇圧型
- ・ 昇降圧型
- ・ フォワード型
- ・ フライバック型

これらはすべて連続伝導モード（CCM）と電圧制御モード(VCM)のために設計されます。

まず最初に回路特性を定義します。

- ・ 入力電圧範囲(最大値と最小値)
- ・ 出力電圧
- ・ 最大出力電圧リップル
- ・ 出力パワー範囲

もし右下のチェックボックス“Isolation”がチェックされると Isolation としてフォワードかフライバックが選択できます。

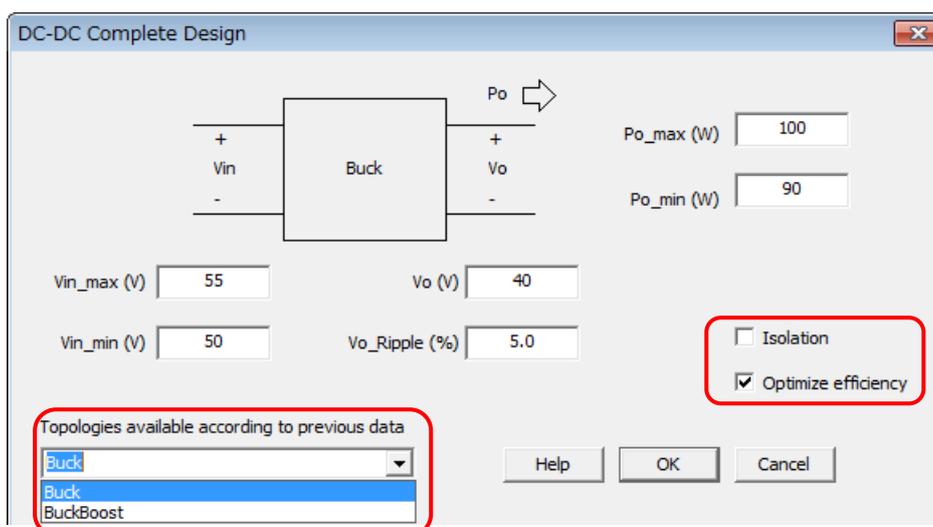


図 4-3 DC-DC Complete Design 設定画面

SmartCtrl はここで設定及び選択した特性の回路を提供します。回路を選択し OK を押します。新しく開いたウィンドウ Modify Data では次の四つのタブが表示されます。

- Schematic
- Efficiency
- Digital compensator
- Part list

タブ “Schematic” では回路はセンサーとレギュレータを含んでおり次のように表示されます。

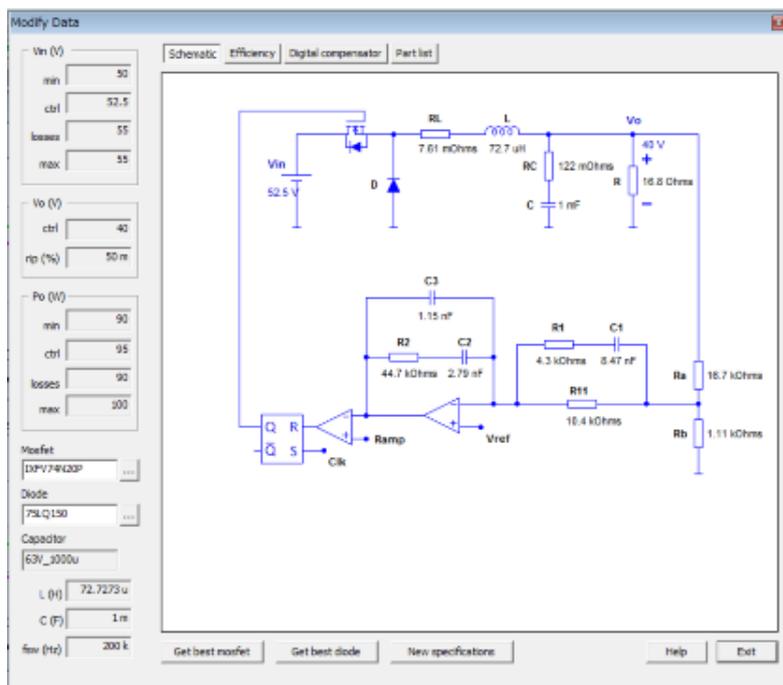


図 4-4 タブ Schematic の画面

各構成部分の値が詳細に表示されています

タブ “Efficiency” では各構成要素の損失が表示されます。

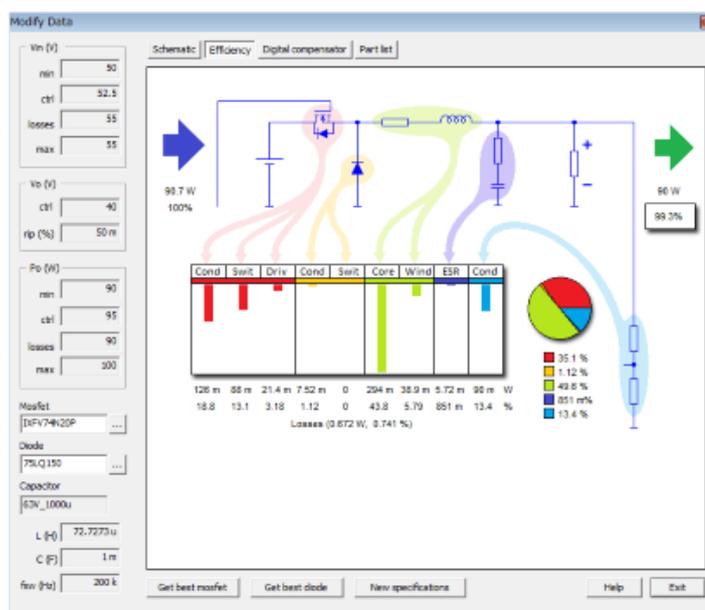


図 4-5 タブ “Efficiency” の画面

タブ “Digital compensator”では Digital control に対する係数が次のように表示されます。

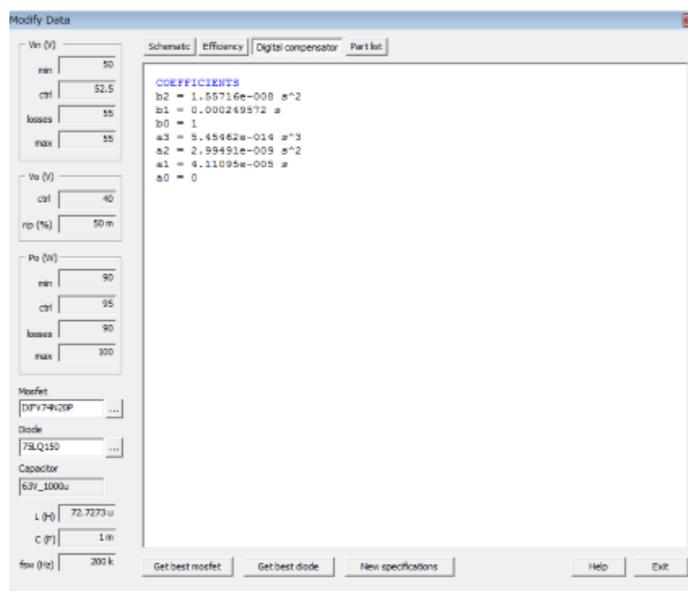


図 4-6 タブ “Digital compensator”の画面

タブ “Part list”では最適設計に使用された warehouse(データベース)からの構成要素のリストが表示されます。

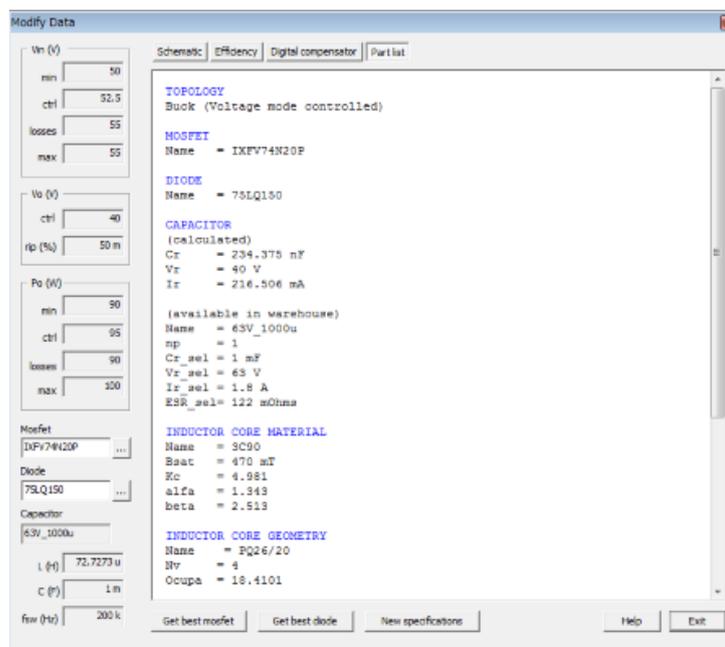


図 4-7 タブ “Part list” の画面

これらのタブでは次の図に赤で囲んだ部分のボタンをクリックしてデータベースからダイオードや MOSFET を選んで変更しても反映されます。

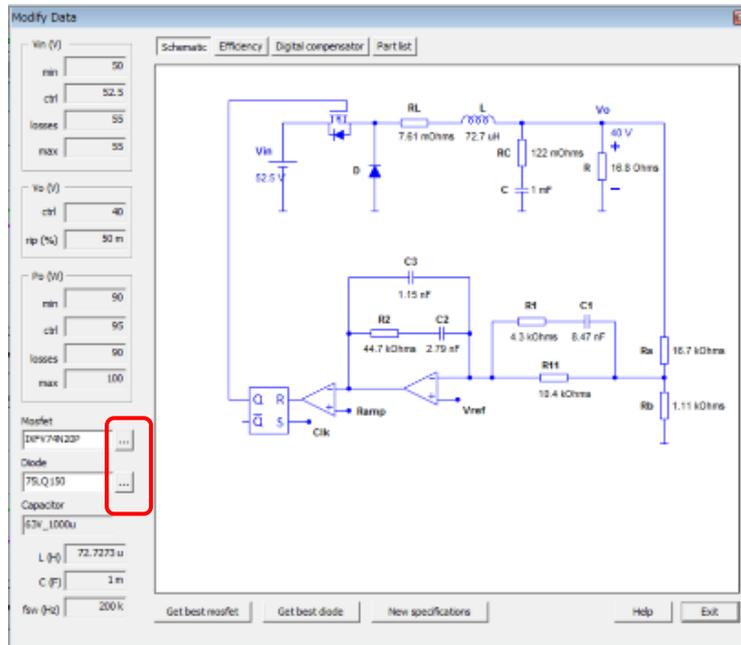


図 4-8 ダイオード、MOSFET 選択部分(赤枠部分)

システムが選択されたら Method のウィンドウにある SolutionMapControl のボタンをクリックして開き空間のポイントを選択します。ソリューションウィンドウではポイントを選択すると設計結果が対応し自動的に更新されます。

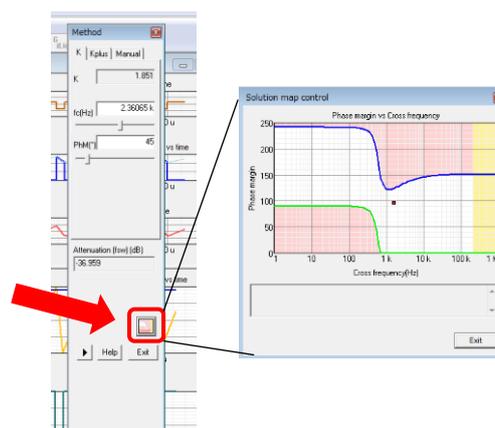


図 4-9 SolutionMapControl 起動ボタン位置(赤枠部分)

設計結果のウィンドウは次の図にある Open と Close のマークボタンをクリックするこ

とで開いたり閉じたりできます。

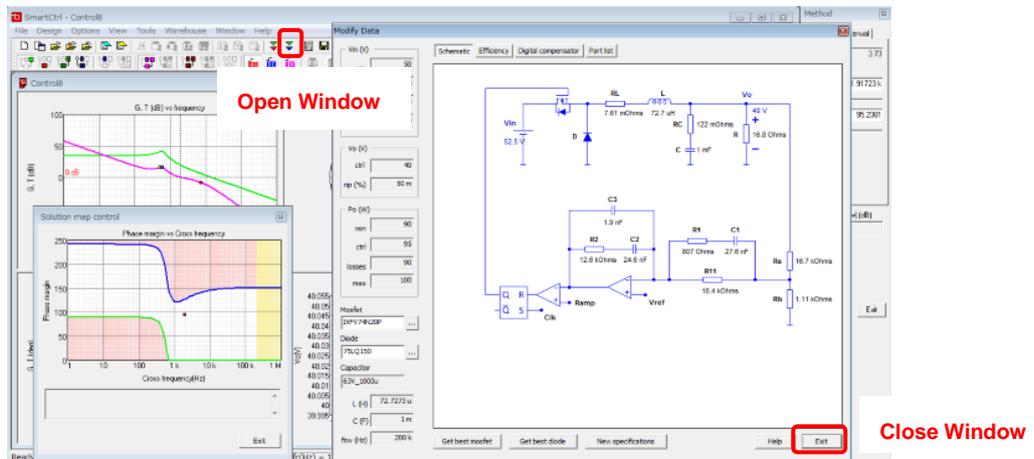


図 4-10 Window の開閉ボタン

4.2 DC-DC コンバータ シングルループ

シングルループはプラント、センサー、補償器の三つの回路機能によって分かれており順番にそれぞれの内容を決めていきます。

最初にプラントの選択から行います。プラントは SmartCtrl に登録されている回路構成から始める方法と任意のユーザー定義の.txt ファイルによる伝達関数を取り込むことから始める方法の二通りがあります。

プラント選択

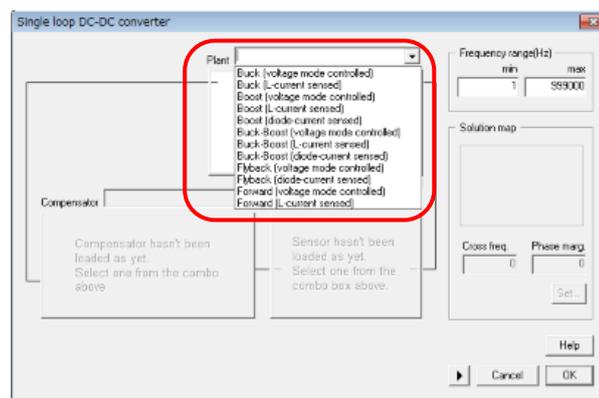


図 4-11 プラント選択画面

登録されているシングルループの DC-DC コンバータに使用可能なプラントは

- ・ 降圧型
- ・ 昇降圧型
- ・ 昇圧型
- ・ フライバック型
- ・ フォワード型

となります。

センサ選択

プラントを決定後、電圧、電流の設定値には関係なく適切なタイプのセンサを表示します。

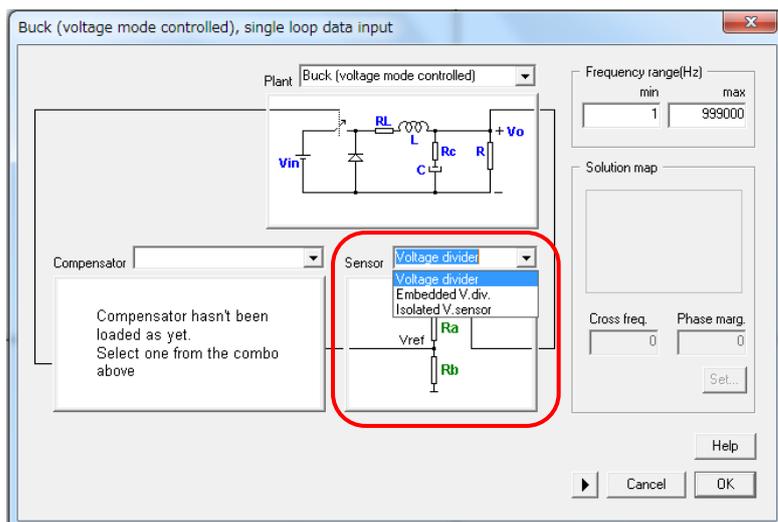


図 4-12 センサ選択画面

登録されているシングルループ DC-DC コンバータに使用可能なセンサーは次のものがあります。

- ・ 分圧器
- ・ 組み込み型分圧器
- ・ 絶縁電圧センサ
- ・ 電流センサ
- ・ ホールセンサ

補償器の選択

最後に補償器を選択します。

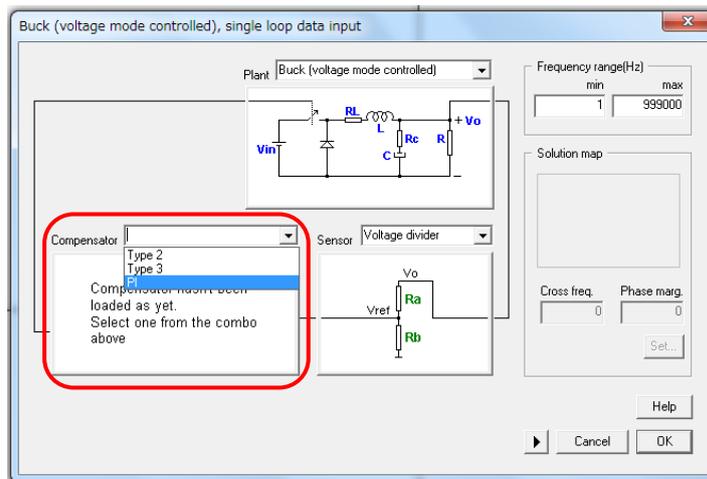


図 4-13 補償器選択画面

SmartCtrlに登録されているものは次の通りとなります。

- ・ Type3
- ・ Type3 非減衰型
- ・ Type2
- ・ Type2 非減衰型
- ・ PI
- ・ PI 非減衰型
- ・ 単ポール型
- ・ 単ポール非減衰型

回路構成を決定しましたら SmartCtrl では周波数と位相マージンの可能な組み合わせから安定領域を計算しグラフ化します。これがソリューションマップといわれるものです。

続いて“Set”をクリックしソリューションマップの白色の領域を選択することで解となる領域内のポイントを選ぶことができます。

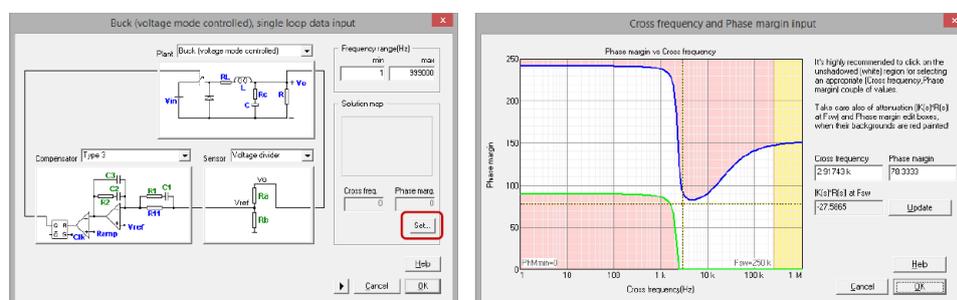


図 4-14 回路構成決定後画面(左)及びソリューションマップ

選択した点が適用され設計を確認するとプログラムは自動的に周波数応答過渡応答の見地から回路の性能を表示します。(詳細はグラフィックとテキストパネルの章を参照してください)

4.3 DC-DC コンバータ ピーク電流制御

ピーク電流制御では次の五つの違った要素を含んでいます。

- ・ DC/DC コンバータ (事前に定義されたトポロジ)
- ・ 電流センサ (抵抗器による)
- ・ モジュレータ
- ・ 電圧センサ
- ・ 補償器

プログラムに沿って順々に様々な違った要素をパラメータ化していきます。

システムを定義する最初のステップは既存のライブラリからプラントを選択することです。

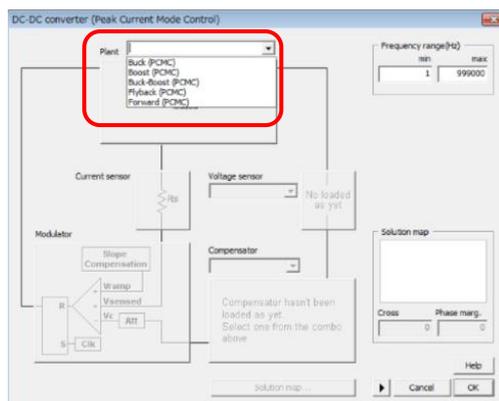


図 4-15 プラント選択画面

DC-DC プラントとしては次の通りとなります。

- ・ 降圧型
- ・ 昇降圧型
- ・ 昇圧型
- ・ フライバック型
- ・ フォワード型

プラントが選択されましたら電流センサの抵抗値を設定します。

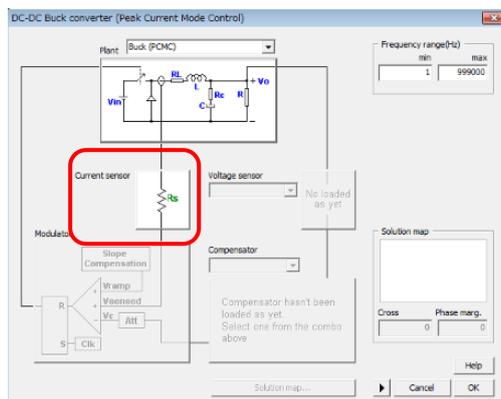


図 4-16 電流センサ抵抗値設定画面

電流センサの抵抗部分をクリックすると抵抗値を入力できます。

次はモジュレータを設定します。

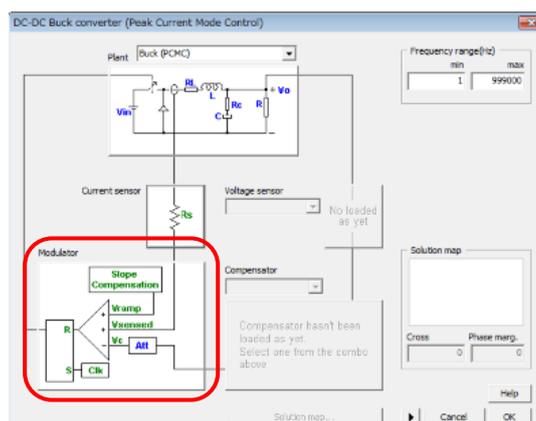


図 4-17 モジュレータ設定画面

モジュレータではピーク電流制御のモジュレータが使用可能です。数値入力後 OK をクリックします。

そして電圧センサを選択します。

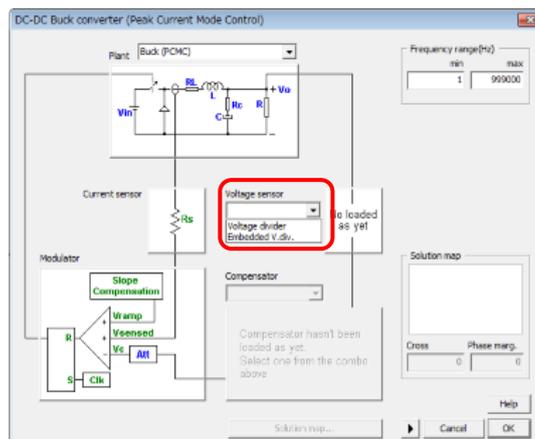


図 4-18 電圧センサ選択画面

電圧センサ次の二つが選択可能です。

- ・ 分圧器
- ・ 組み込み型分圧器

最後に設定するのは位相補償器となります。

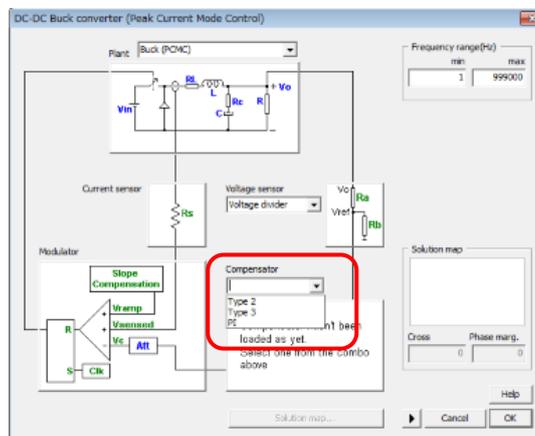


図 4-19 補償器選択画面

補償器のタイプは次のようになります。

- ・ Type3
- ・ Type3 非減衰型
- ・ Type2
- ・ Typ2 非減衰型

- PI 型
- PI 非減衰型

そして制御ループの初期特性(クロス周波数と位相マージン)をソリューションマップを使って選びその後 OK をクリックするとプログラムは自動的にグラフを表示します。

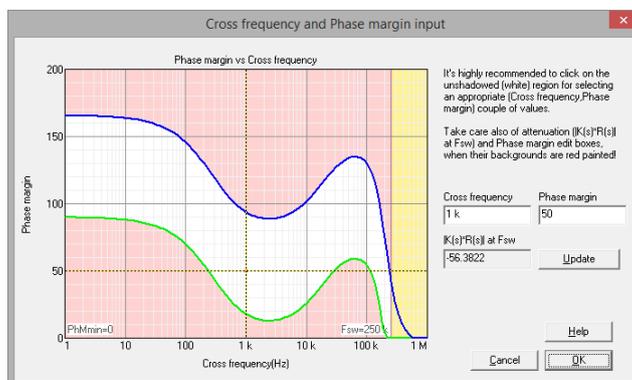


図 4-20 ソリューションマップ画面

4.4 DC-DC コンバータ平均電流制御

平均電流制御は内側電流ループと外側電圧ループから成り立っています。シングルループと同様にダブルループも連続して設定しなければなりません。プログラムに沿って進めることで必要な設定ができるようになっています。

登録されているプラントではアウターループは電圧制御 (VMC)、一方インナーループは電流制御となっています。選択したプラントにより電流はインダクタンス (LCS) がダイオード (DCS) により検出されます。

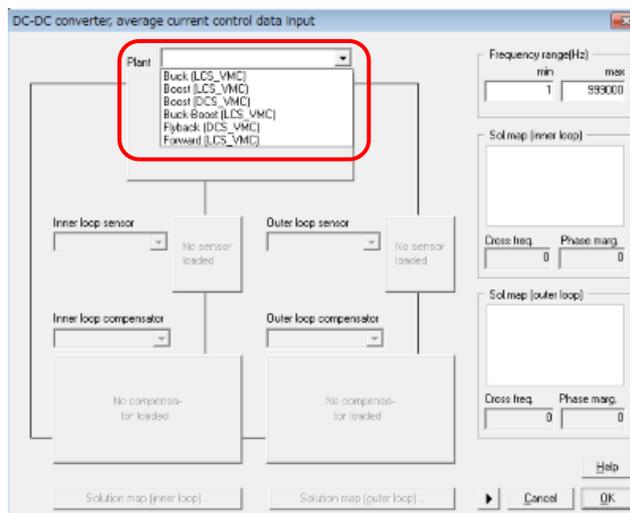


図 4-21 登録済み DC-DC プラント選択画面

登録されている DC-DC プラントは次の通りとなります。

- ・ 降圧型 (LCS-VMC)
- ・ 昇降圧型 (LCS-VMC)
- ・ 昇圧型 (LCS-VMC)
- ・ 昇圧型 (DCS-VMC)
- ・ フライバック型 (DCS-VMC)
- ・ フォワード型 (LCS-VMC)

次はインナー制御ループを設定します。

これは電流センサとレギュレータのタイプを選択する必要があります。

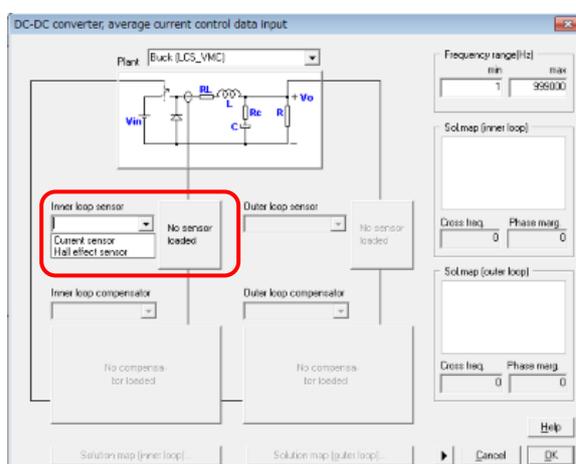


図 4-22 インナー制御センサ選択画面

電流センサは下記二種類があります。

- ・ 電流センサ
- ・ ホールセンサ

最後にインナー制御ループの補償器を選択します。

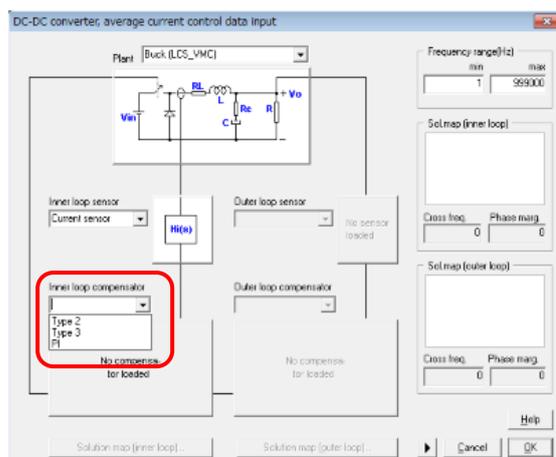


図 4-23 インナーループ補償器選択画面

補償器には次の四種類があります。

- Type3
- Type2
- PI
- 単ポール

インナーループの伝達関数が決まりましたらクロス周波数、位相マージンを選択します。ソリューションマップでは SmartCtrl を使ってカットオフ周波数と位相マージンの組み合わせから安定した解の領域をグラフで表示します。“ソリューションマップ(インナーループ)”ボタンをクリックするだけでインナーループに対応したソリューションマップが表示されます。ユーザーはクロス周波数と位相マージンをウィンドウの白い領域でクリックして選びます。

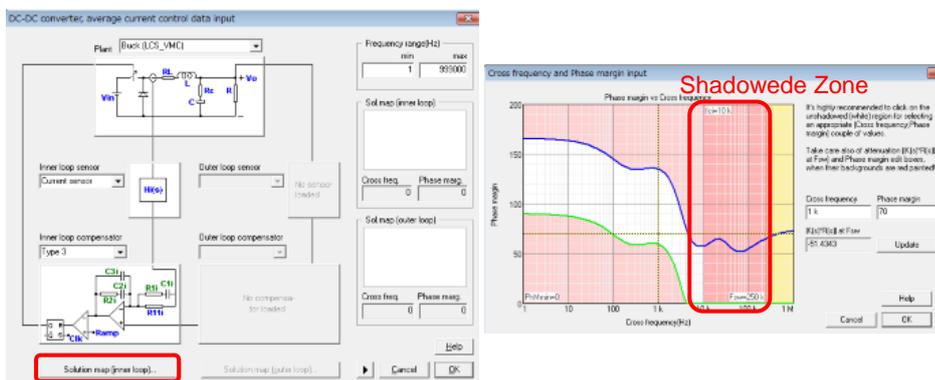


図 4-24 インナーループソリューションマップ設定ボタン(左)とソリューションマップ

クロス周波数と位相マージンを選択しますと DC-DC 平均電流制御データウィンドウの右側にソリューションマップが表示されます。表示されたソリューションマップをクリックすれば前述の二つのパラメータの変更が可能です。次の図を参照ください。

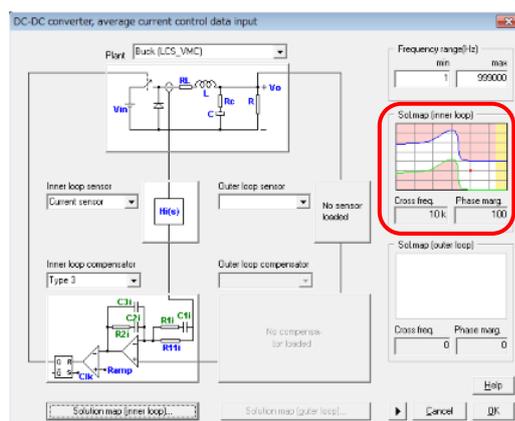


図 4-25 入カウインドウ中のソリューションマップ

次にアウトーループを作成します。

最初に電圧センサーを選択します。

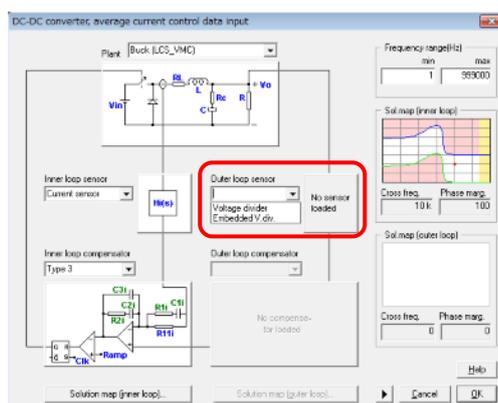


図 4-26 アウターループセンサ選択画面

電圧センサには次の二種類があります。

- ・ 分圧器
- ・ 組み込み型分圧器

次はアウトーループの補償器を選択します。

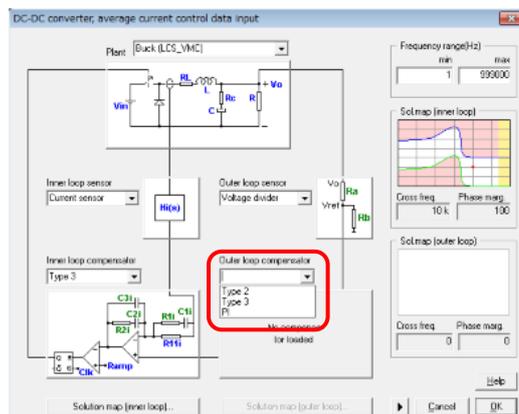


図 4-27 アウターループ位相補償器選択画面

以下の中から選択します。

- Type3
- Type3 非減衰型
- Type2
- Type2 非減衰型
- PI
- PI 非減衰型
- 単ポール
- 単ポール非減衰型

インナーループの場合と同様クロス周波数と位相マージンの選択が必要です。この場合もソリューションマップで安定した解を選択できます。

“ソリューションマップ(アウターループ)” ボタンをおすとソリューションマップが表示されますので白い領域でクリックして点を選んでください。

安定性を保つためにアウターループのクロスオーバー周波数 f_c はインナーループのクロスオーバー周波数よりも大きくできません。設定を間違えないようにピンクの影の領域はアウターループのソリューションマップに含まれるようになっています。



図 4-28 アウターループソリューションマップ設定ボタンとソリューションマップ

クロスオーバー周波数(クロスオーバー周波数)と位相マージンが選択されましたらソリューションマップは DC-DC 平均電流制御データ入力のウィンドウの右側に表示されます。この2つのパラメータを変更する場合は表示されているソリューションマップをクリックします。次の図を参照してください。

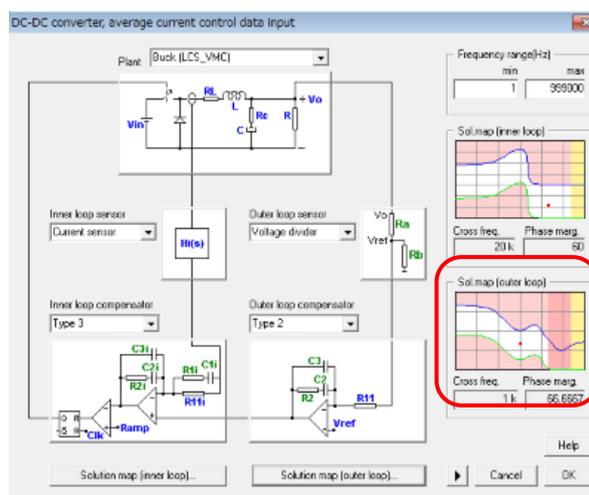


図 4-29 ウィンドウ内のソリューションマップ

構造を選び設計が決まりましたらプログラムは自動的に周波数応答、過渡応答の観点からシステムの性能を表示します。(詳細な情報につきましては[グラフィック](#)と[テキストパネル](#)を参照してください)

4.5 力率改善(Power Factor Corrector)

昇圧回路に基づく力率改善は内部電流ループと外部電圧ループによって形成された二重制御ループを持っています。プログラムのガイドに沿って設定することで連続して必要な設定ができるようになっています。

使用可能なプラントは昇圧コンバータです。アウトーループは電圧制御、インナーループは電流制御で電流はインダクタによって検出されます。

まず最初にマルチプライヤと V_{rms} フィードフォワードの二つのタイプから選択します。

- ・ **4.5.3.1 マルチプライヤ** : 一般的なホール効果電流センサをもつパラメータ化できるマルチプライヤ。
- ・ **4.5.3.2 UC3854A multiplier** : 外部抵抗を選択できる UC3854A マルチプライヤ。

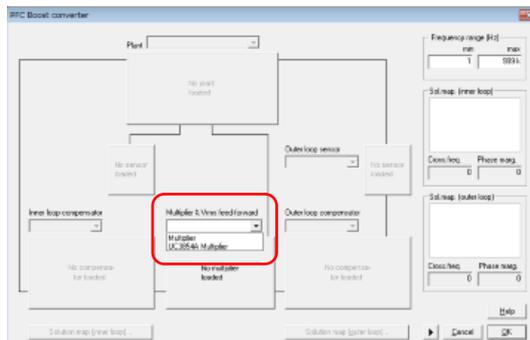


図 4-30 マルチプライヤの選択画面

最初の上記選択に応じて二種類の力率改善のためのオプションがあります。
一般的なマルチプライヤを選択した場合電流はホールセンサ H(s)によって検出されます。

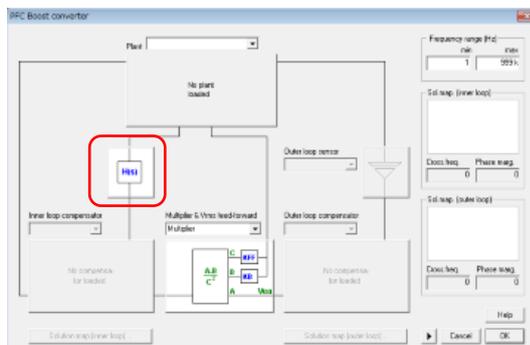


図 4-31 電流検出設定（デフォルトはホールセンサ）

一方 UC3854A マルチプライヤを選択した場合の電流検出は抵抗 R_s となります。

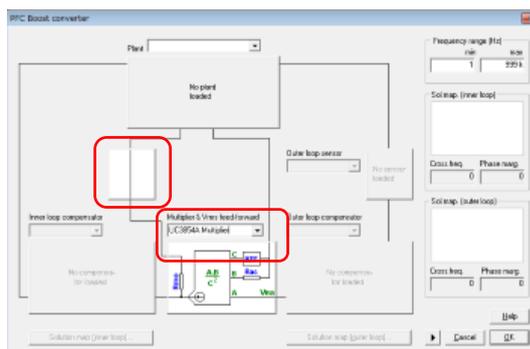


図 4-32 UC3854A マルチプライヤを選択した場合の画面（電流検出デフォルトは抵抗）

次にプラントの選択があります。
登録されているプラントは次の二種類となります。

- ・昇圧 PFC(抵抗負荷)
- ・昇圧 PFC(定電力負荷)

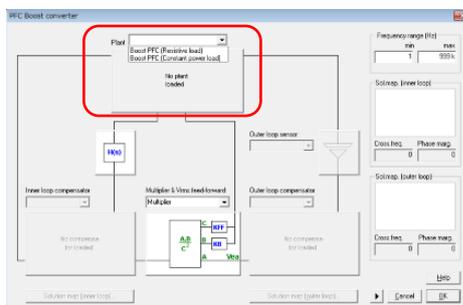


図 4-33 プラントの設定画面

次にインナー制御ループを設定します。

電流センサはすでに設定されていますのでインナーループの補償器を選択します。

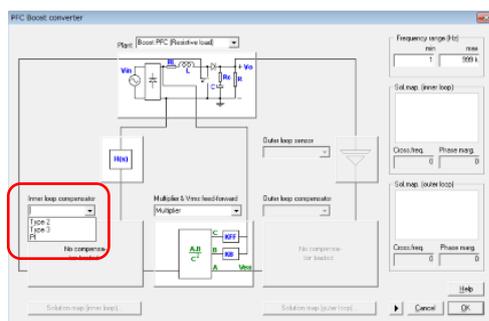


図 4-34 位相補償器選択画面

位相補償器のタイプは以下三種類となります。

- ・ Type3 (マルチプライヤを選択した時のみ対応しています)
- ・ Type2
- ・ PI

すべてのインナーループの伝達関数が定義されましたらクロスオーバー周波数と位相マージンを選択します。SmartCtrl のソリューションマップでは安定した解を導くクロスオーバー周波数と位相マージンのあらゆる組み合わせを安定した解の領域としてグラフ表示で提供しています。“ソリューションマップ(インナーループ)”ボタンをクリックすることでインナーループのソリューションマップが表示されます。

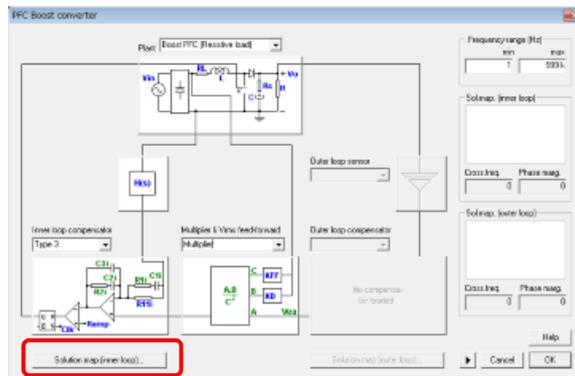


図 4-35 インナーループソリューションマップ設定画面

ユーザーがウィンドウの白い領域でクリックしてクロスオーバー周波数と位相マージンを選択します。

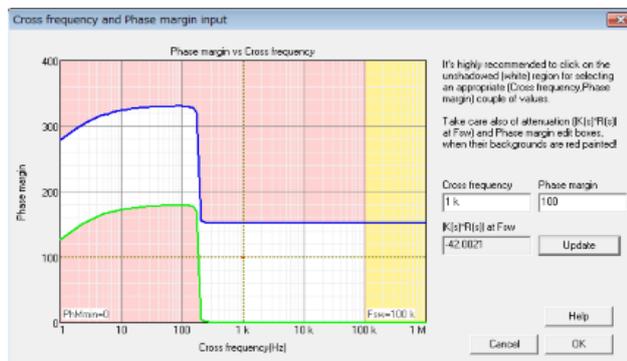


図 4-36 ソリューションマップ

クロスオーバー周波数と位相マージンが選択されましたらソリューションマップが PFC 昇圧回路の入力画面の右端に現れます。この二つのパラメータはソリューションマップ上でクリックすることで変更ができます。(次の画面を参照してください)

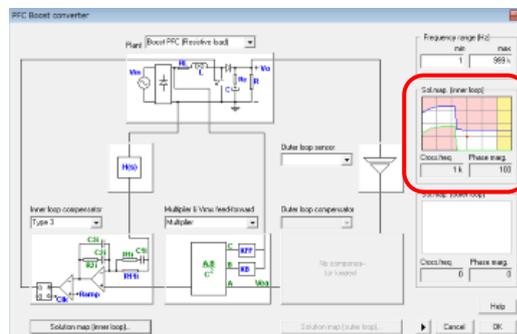


図 4-37 ウィンドウにソリューションマップ組み込み後の画面

次にアウトーループを設定します。

まず電圧センサを選択します。電圧センサは以下の種類があります。

- ・ マルチプライヤ option 用 : 絶縁電圧センサ
- ・ UC3854A マルチプライヤ option 用 :
 - ・ 分圧器
 - ・ 組み込み型分圧器

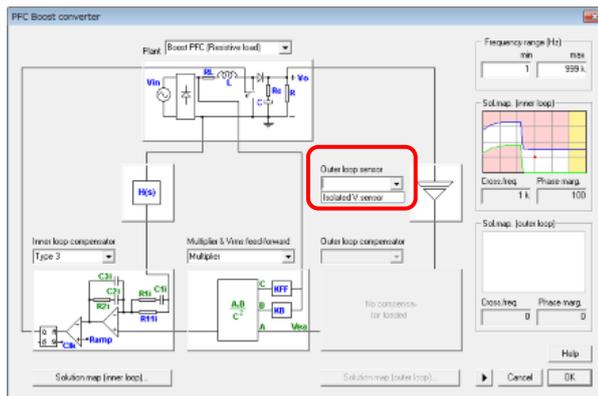


図 4-38 電圧センサ組み込み画面

次にアウトーループの位相補償器を選択します。

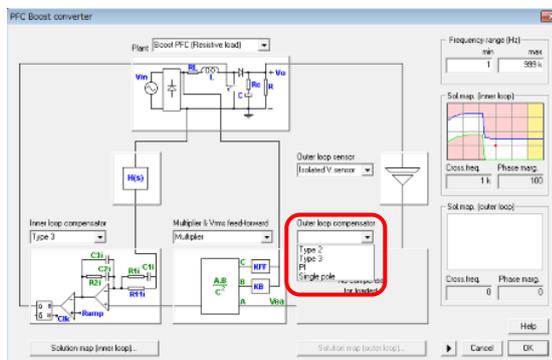


図 4-39 位相補償器選択画面

マルチプライヤオプション向	UC3854	マルチプライヤオプション向
Type 3	分圧器用	組み込み型分圧器用
Type 2	Type 2	Type 2 非減衰型
PI	PI	PI 非減衰型
単ポール	単ポール	単ポール非減衰型

インナーループの場合同様分割周波数と位相マージンを選択します。
 またこの場合ソリューションマップは安定した解を選択するのに役立ちます。
 “ソリューションマップ(アウターループ)”を押すとソリューションマップが表示されます。
 白い領域内でクリックすればそのポイントが選択できます。

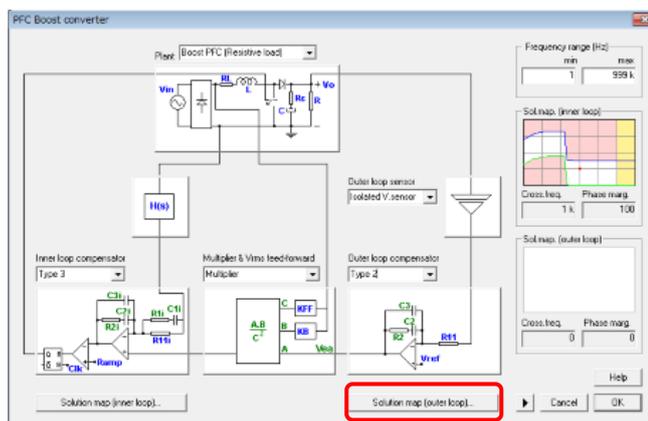


図 4-40 ソリューションマップ設定画面

安定性を保つためにアウターループのクロスオーバー周波数はインナーループのクロスオーバー周波数よりも大きくできないようになっています。設定を間違えないようにピンクの影の領域はアウターループのソリューションマップに含まれるようになっています。



図 4-41 ソリューションマップ

クロスオーバー周波数と位相マージンが選択されましたらソリューションマップがPFC 昇圧コンバータの入力画面の右端に現れます。この二つのパラメータはソリューションマップ上でクリックすることで変更ができます。次の画面を参照ください。

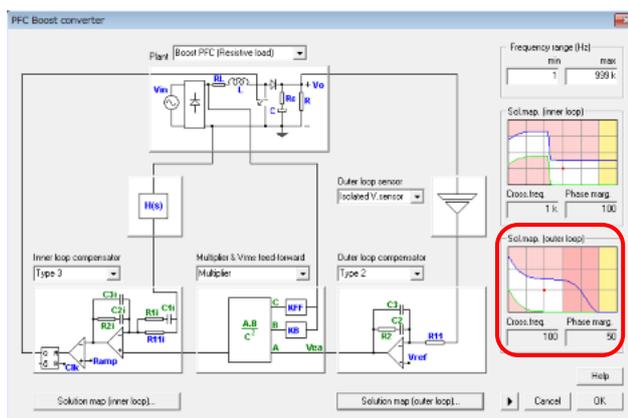


図 4-42 ソリューションマップ組み込み後の画面

構造を選び設計が決まりましたらプログラムは自動的に周波数応答、過渡応答電流波形等の観点でシステムの性能を表示します。(詳細につきましては[グラフィックとテキストパネル](#)を参照してください。)

設計が完了した際にソリューションマップウィンドウに 2 つの“warning”メッセージが現れる場合があります。

- ・アウターループの力率補正として典型的な補償器となる単ポール補償器の場合、低周波でのゲインは低くなるかもしれません。見積もりの V_o (method パネルに表示される) から 10% 以上差が出る場合には“warning”が出ます。この場合は低い周波数でより高いゲインの補償器をお勧めします。

- ・主回路電流波形は電流ループがアウターループによって生成されたリファレンスを完璧に追従していると仮定して計算されています。しかし場合によってはゼロクロス分布があったり実際の電流波形が違っていたりすることがあります。こういった場合にも“warning”が出ます。インナーループ位相補償器のクロス周波数はこの問題を最小化するよう増加させないようになります。

メソッドパネルではインナー、アウター両ループに対して下記追加インフォメーションが出る場合があります。

- ・減衰 (fsw) (dB). これはスイッチング周波数でのセンサーと補償器の組み合わせによる dB 単位での減衰です。インナーループのリファレンスはアウターループにより発生するのでシステムが不安定とならないようになっているはずですが。
- ・減数 (2fl) (dB). これはラパワーライン周波数の 2 倍 (100Hz か 200Hz) の時のセンサーと補償器の組み合わせによる dB 単位での減衰です。インナーループのリファレンスはアウターループにより発生するのでシステムが不安定とならないようになっているはずですが。
- ・ V_o (V) の見積もり. これはコンバータの出力電圧の見積もりとなります。このパラメータは重要です。もしオープンループ伝達関数の周波数ゲインが十分に高くない場合、定常状態のエラーとなり見積もられた出力電圧は特定された出力電圧と違って来るからです。

これを認識した上で、もし見積もられた V_o (method パネルに表示されている値) が特定された値より

10%以上違っている場合は“warning”が出ます。

力率のタイプ別生成フローチャートを以下に示します。

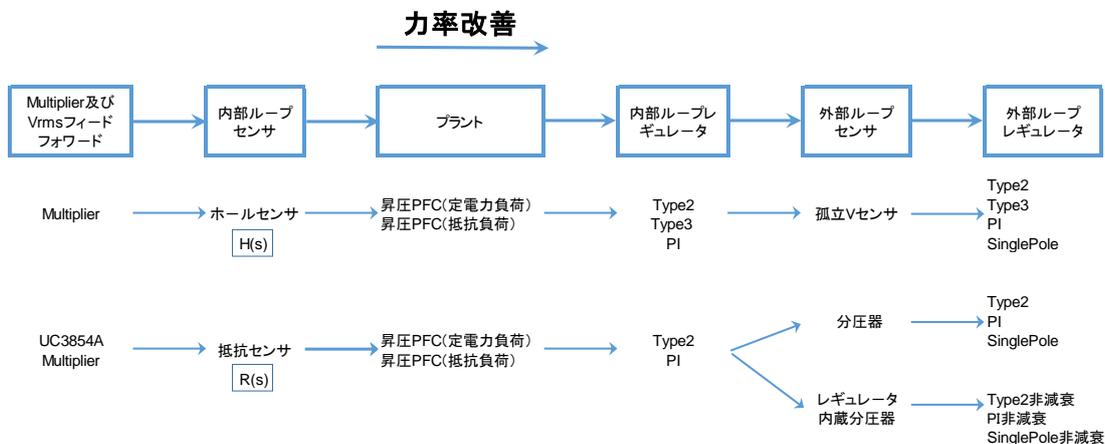
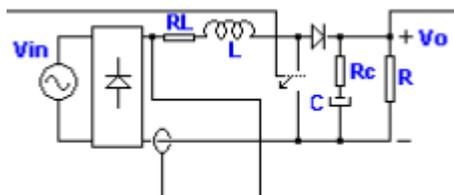


図 4-43 タイプ別力率改善フローチャート

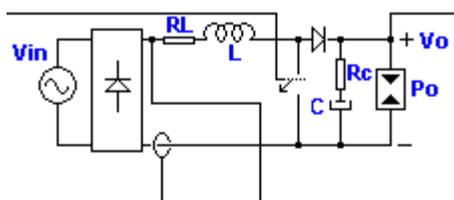
4.5.1 Power Stage

Boost PFC power stage

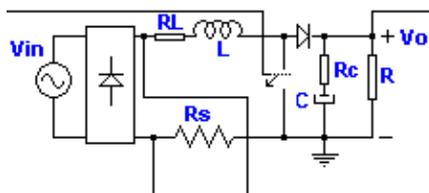
昇圧 PFC はダブルループ制御方式に基づいており、インダクタを介した出力電圧と電流が同時に検出されます。これはプラントに対して負荷とマルチプライヤに依存した四つのオプションがあります。



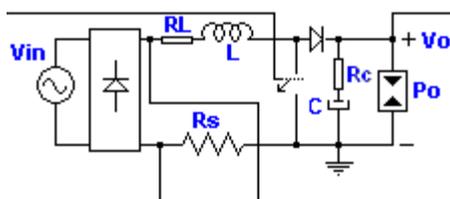
一般的なマルチプライヤ+昇圧 PFC(抵抗負荷)



一般的なマルチプライヤ+昇圧 PFC(定電力負荷)



UC3854A マルチプライヤ+昇圧 PFC(抵抗負荷)



UC3854A マルチプライヤ+昇圧 PFC(定電力負荷)

電流ループはプラントの区分線形関数を考慮して設計されており準定常仮定を使うことで各動作点での小信号モデルは DC-DC 昇圧コンバータとして計算されています。入力データは下記定義となっています。

入力データ

Vin(rms)	入力電圧(V)
RL	インダクタの等価直列抵抗 (Ohms)
L	インダクタンス (H)
Rc	出力コンデンサの等価直列抵抗 (Ohms)
C	出力容量(F)
Vo	出力電圧 (W)
R	負荷抵抗 (Ohms)
Po	出力電力 (W)
wta	位相角。電流ループは動作ポイントを計算されたプラントを考慮して設計されています。この位相角は整流電圧と外部の位相補償器出力を表している出力パネルに赤ドットとして示されています。(詳細につきましては グラフィックとテキストパネル を参照してください。)
Fsw	スイッチング周波数(Hz)
Line frequency	パワーライン周波数(Hz)

4.5.2 Graphic panels

ウィンドウは次の六つのパネルにわかれています。

- ・ボード線図強度(dB)
- ・ボード線図位相(°)
- ・ナイキスト図
- ・主回路電流
- ・三角波発生器と内部位相補償器
- ・整流電圧と外部補償器の出力

4.5.2.1 三角波発生器と内部位相補償器

グラフィックのパネルは三角波発生器(赤線)と比較した内部の補償制御(青線)の出力についての情報を表示しています。内部補償器の出力はインダクタを介した最大電流リップルに一致する位相角を表しています。この位相角は整流電圧と外部補償の出力グラフィックパネルの青いドットによって認識できるようになっています。

この比較は発振有無の決定に有効です。両方の関数の傾きが同等な場合は周期毎に 1 箇所以上の複数の交差点がある可能性があります。

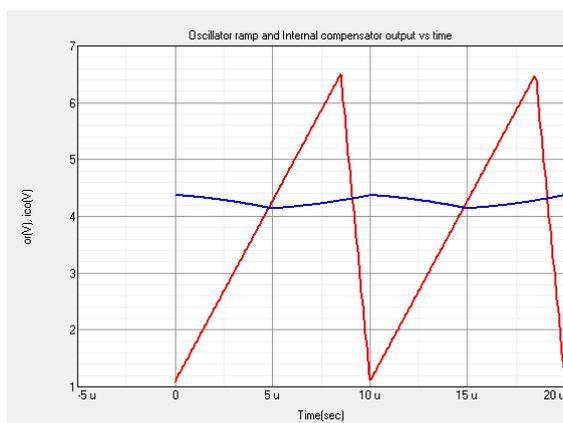


図 4-44 三角波発生器 (赤線) と比較した内部の位相補償制御(青線)の出力

4.5.2.2 主回路電流

グラフィックパネルは主回路電流とその高調波歪の情報を表示しています。主回路電流波形はアウターループによって発生したリファレンスを完全追従しているとし計算されています。しかしながらいくつかのケースではゼロクロス歪があり実際の主回路電流が現実の値と違ってきます。

その場合はソリューションマップウィンドウに Warning メッセージが表示されます。

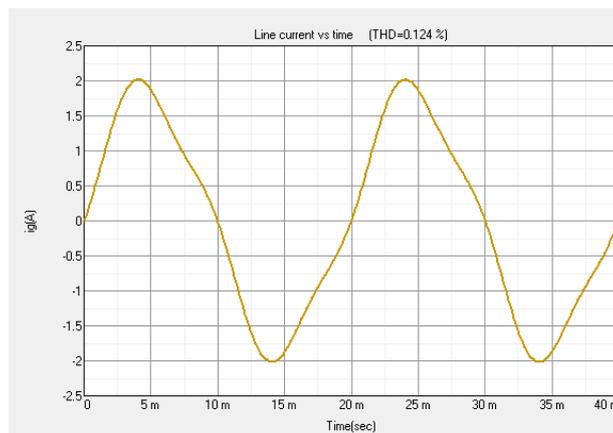


図 4-45 主回路電流とその高調波歪

4.5.2.3 整流電圧と外部位相補償器の出力

このグラフィックパネルは外部補償器の出力電圧の情報を表示しています。

整流電圧と比較した位相シフトを評価できます。補償器の出力電圧が基準となる整流電圧と比較して適切な位相シフトではない場合は主回路電流の歪が大きくなります。

電流ループはプラントの区分線形モデルを考慮して設計されています。

ボードプロット図(グラフィックパネル図を参照してください)の電流プラントは整流電圧における赤のドットでマークされた動作点と一致しています。プラントの小信号モデルはこの動作点に対して DC-DC 昇圧コンバータとして計算されます。このドットはマウスをクリックしドラッグすることで動かせ、ドットの位置を変更するとボード図は K-factor パネルの減衰情報を動作点にあわせて更新するだけでなくインナーループの変更にも対応します。

整流電圧の青のドットはでインダクタを介した最大電流リップルと一致した動作点を表示しています。

発振器傾きと内部補償器パネルのグラフは動作点を表示しています。

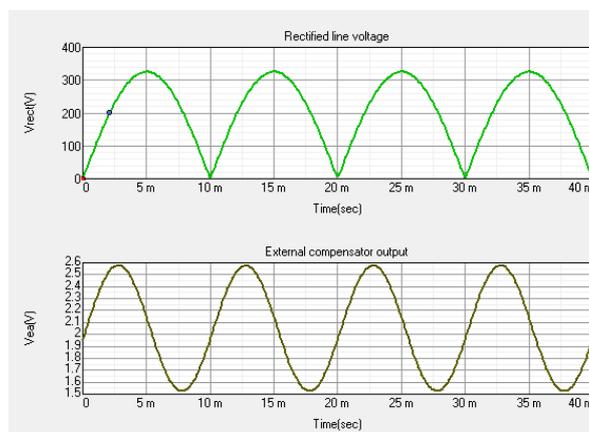


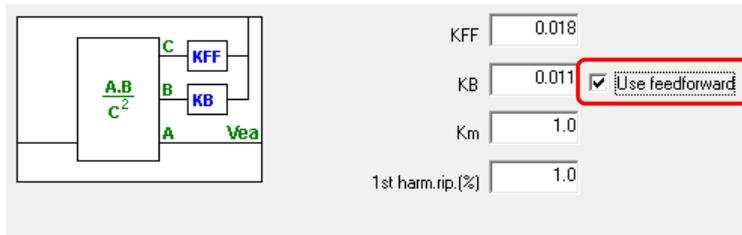
図 4-46 Rectified line voltage(整流線間電圧)と外部位相補償の出力

4.5.3 マルチプライヤ

4.5.3.1 マルチプライヤ



フィードフォワードを使用する場合



マルチプライヤには以下のパラメータがあります。

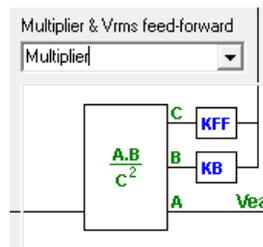
KB インナーループの電流リファレンスのゲイン (利得)

Km マルチプライヤ利得

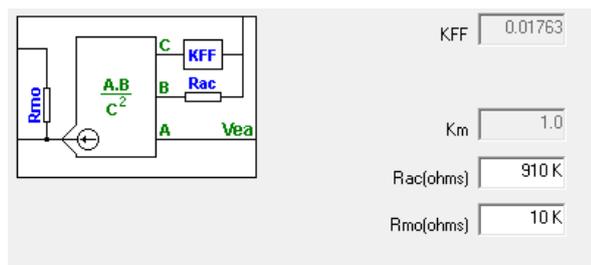
フィードフォワードが選択された場合は

KFF フィードフォワードの利得。rms 入力電圧とマルチプライヤへの平均入力電圧との比。

1st harm.rip.(%) 整流入力電圧の一次高調波の振幅と平均値の比

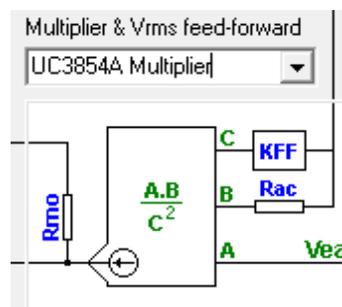


4.5.3.2 UC3854A multiplier



UC3854A マルチプライヤには次のパラメータがあります。

- KFF** フィードフォワードの利得
Rms 入力電圧とマルチプライヤ平均入力電圧との比となります。
- Km** マルチプライヤ利得
- Rac** インナーループのための基準電流を導入する抵抗(Ohms)
- Rmo** 内部補償器のためのマルチプライヤ出力電流を電圧基準に変換する抵抗(Ohms)



5 一般的なトポロジの設計

SmrtCtrl は既存のパワーコンバーターを検討する場合のみならず一般的なコンバーターの制御ループの設計を行う際にも助けになります。

プラントが既存の DC-DC コンバータでない場合、制御設計を進めるにあたり S-domain の伝達関数もしくはプラントの周波数応答を.txt ファイルにより読み込むことにより可能となります。入力方法としては下記から選択してください。

- ・ S-domain モデルエディタ
- ・ .txt ファイルを使用した周波数応答データの読み込み

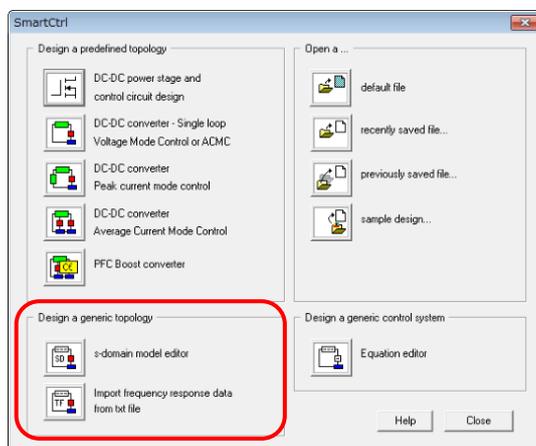


図 5-1 一般的なトポロジの選択画面

5.1 s-domain モデルエディタ

s-domain モデルエディタは下記から使用できます。

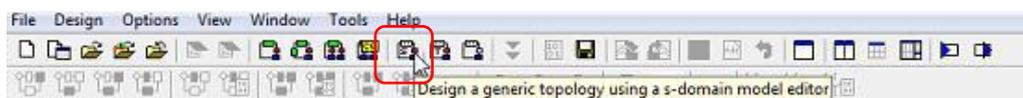


図 5-2 s-domain モデル使用メニュー

s-domain モデルエディタは s-domain 伝達関数プラントを定義するために二つの違ったオプションがあります。

- ・ s-domain モデル(数式エディタ)
- ・ s-domain モデル(多項式係数)

どちらの場合でもユーザは制御方法を選択しなければなりません。

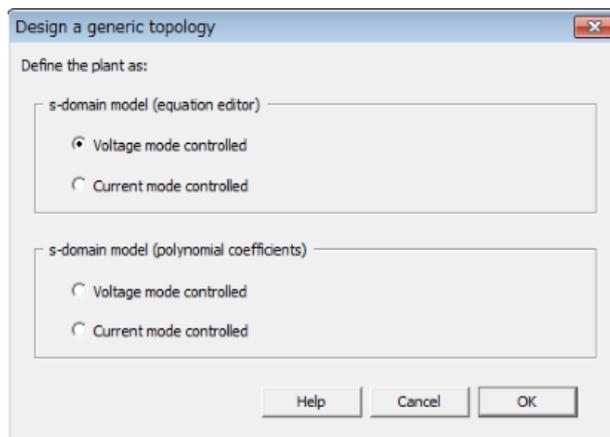


図 5-3 制御方法選択画面

5.1.1 s-domain モデル(数式エディタ)

s-domain モデルはエディタ(数式エディタ)は定義される伝達関数により二つの違うオプションがあります。

- ・電圧モード制御 (VMC)
- ・電流モード制御 (CMC)

5.1.1.1 .txt ファイルを使用した周波数応答データの読み込み

.txt ファイルを使用した周波数応答データの読み込みはメニューバーの下記ボタンからも実行できます。



図 5-4 メニューバー (テキストファイルからの読み込みボタン)

SmartCtrl では伝達関数を読み込み最適制御ループの設計ができます。これはシングルループの設計にのみ可能です。読み込む伝達関数を定義するために使用する制御タイプを設定します。

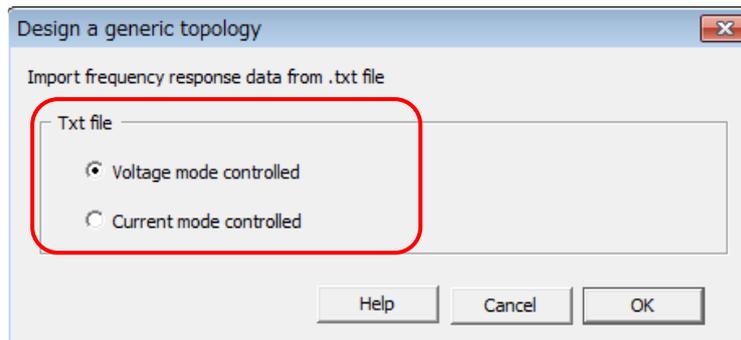


図 5-5 制御タイプの設定

読み込まれたプラントが電流制御モード、電圧制御モードどちらであってもシングルループ設計過程は同じとなります。唯一の違いはそれぞれで利用できるセンサーが違うことです。

制御タイプを選択したらプラントの周波数応答を含んだファイルを選択します。SmartCtrlでは*.dat、*.txt、*.fraの拡張子のファイルが使用できます。

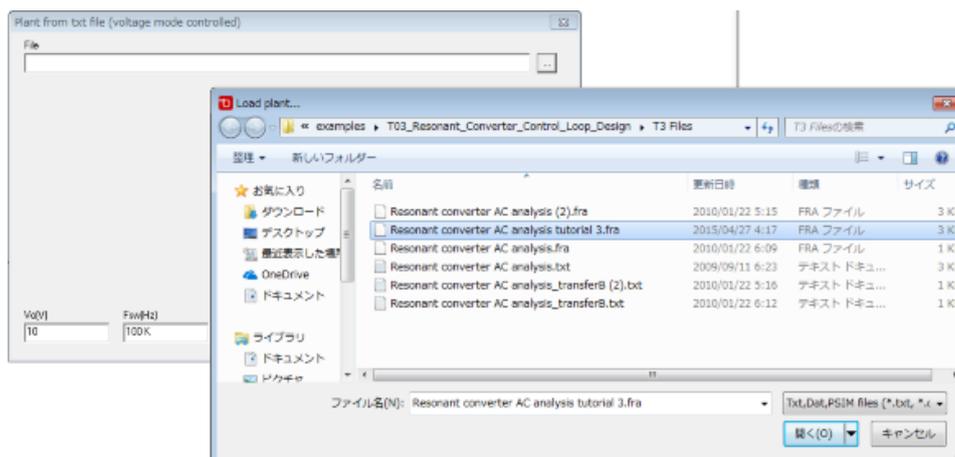


図 5-6 ファイル読み込み画面

ファイルを選択し開くをクリックすると SmartCtrl にデータが読み込まれ、次の図のような強度と位相のグラフが表示されます。

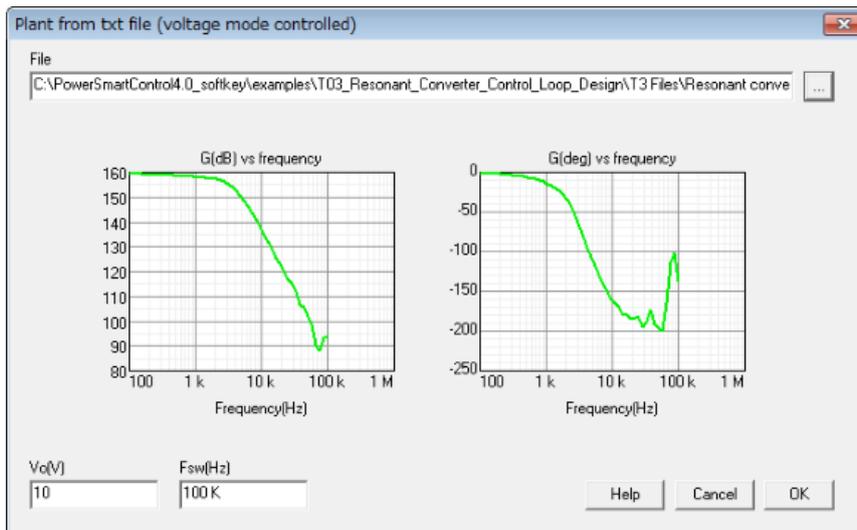


図 5-7 ファイルデータ表示画面

出力電圧(電圧モード制御の時のみ)やスイッチング周波数などのその他のデータについては設定が必要です。

OK ボタンをクリックして続けます。

電流モード制御か電圧モード制御かにより対応可能なセンサは次のようになります。

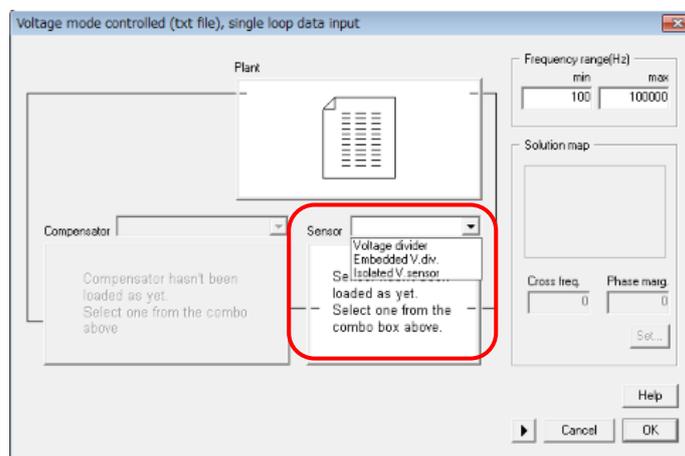


図 5-8 センサー選択画面

電圧モード制御の場合

- ・分圧器
- ・組み込み型分圧器
- ・絶縁電圧センサ

電流モード制御の場合

- ・電流センサ
- ・ホール効果センサ

最後に補償器を選択します。

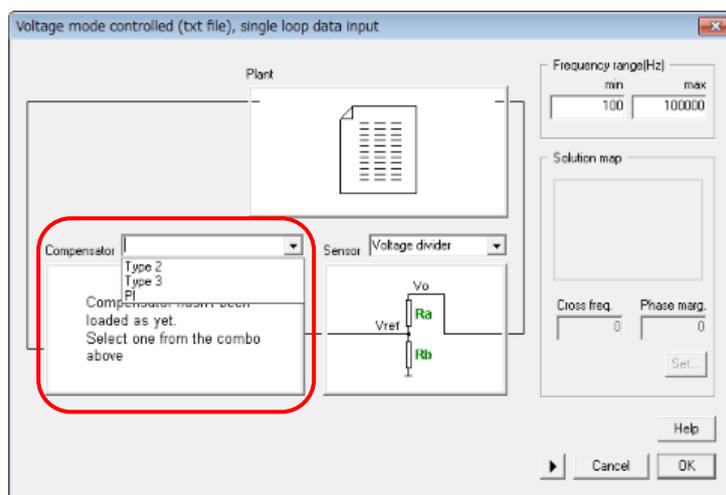


図 5-9 補償器選択画面

補償器のタイプは次のようになります。

- ・ Type3
- ・ Type3 非減衰型
- ・ Type2
- ・ Type2 非減衰型
- ・ PI
- ・ PI 非減衰型
- ・ 単ポール
- ・ 単ポール非減衰型

システム全体の設定が終了したら SmartCtrl は安定解につながるクロスオーバー周波数と位相マージンの組み合わせがグラフで表示されるソリューションマップを計算します。赤枠内の“Set”をクリックするとソリューションマップが表示されます。その後安定解領域（白地の領域）のポイントをクリックし OK をクリックします。

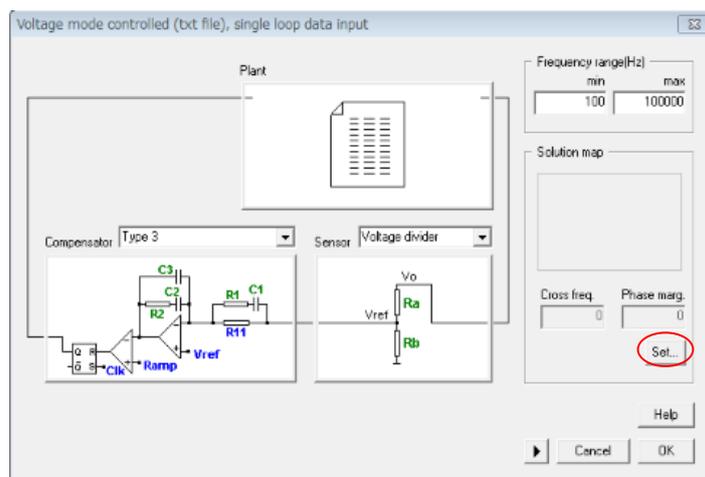


図 5-10 ソリューションマップ設定画面

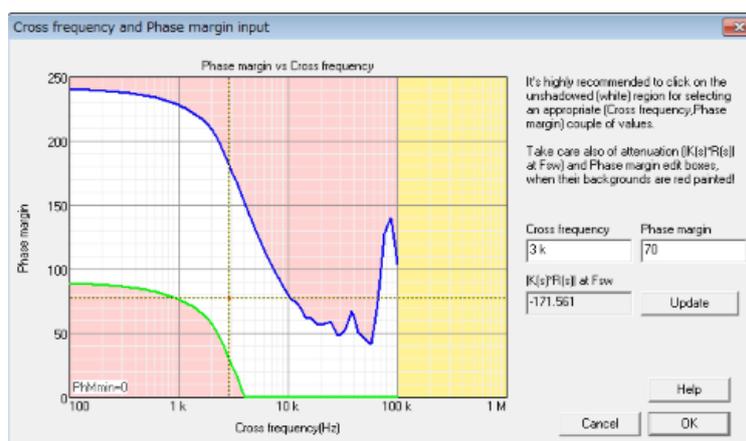


図 5-11 ソリューションマップ表示画面

設計が完了しプログラムは自動的に周波数応答、過渡応答の結果を表示します。

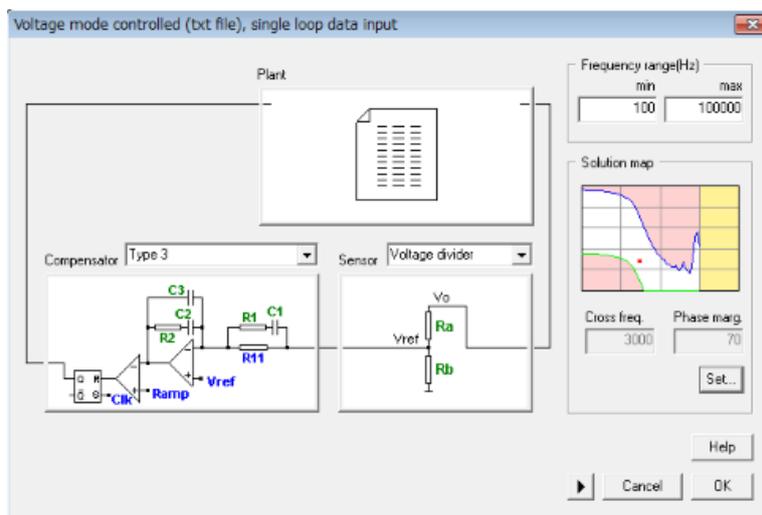


図 5-12 ソリューションマップ設定後画面

5.1.2 s-domain (数式エディタ)

s-domain モデルエディタ(数式エディタ)はプラントの伝達関数をどう定義するかにより次の 2 つの違ったオプションを準備しています。

- ・電圧モード制御 (VMC)
- ・電流モード制御 (CMC)

5.1.2.1 s-domain (数式エディタ) VMC

パワーコンバータが s-domain 伝達関数で定義される場合、設計手順は次のようになります。まずユーザはプラントの s-domain の伝達関数を定義します。

以下の二つの異なるオプションから選択します。

- ・以前の設計から取り込む (open をクリックします)
- ・新しい伝達関数を取り込みます (editor をクリックします)

この場合は[数式エディタ](#)を参照し構文のルールでチェックしてください。

式が導入されましたら

- ・"save"をクリックして数式を拡張子 .tmod のテキストファイルで保存してください。
- ・続けるために"compile"をクリックしてください。
- ・必要な場合は"Export transfer function"をクリックして.txt ファイルで伝達関数の周波数応答を出力してください。

ボード線図を選択した場合、以前定義した伝達関数の周波数応答がパネルの右側に表示されます。

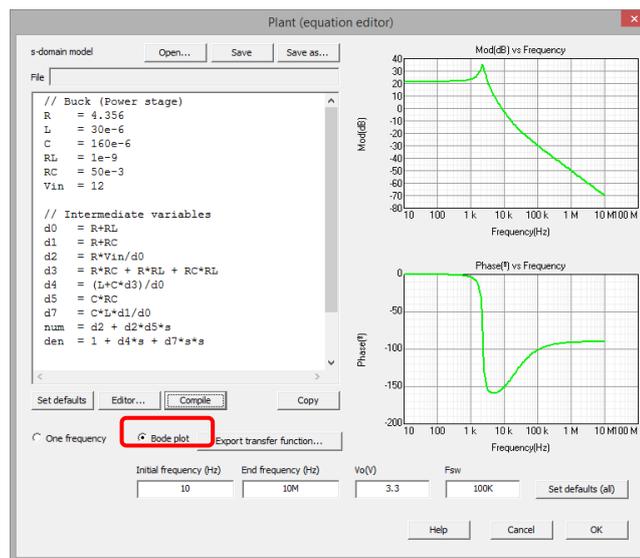


図 5-13 ボード線図選択画面

特定の周波数で周波数応答のゲイン、位相、直交成分を確認するにはオプションで"one frequency"があり以下ようになります。最初に"one frequency"を選びます。次に周波数を決め compile, gain, phase, rectangular component をクリックすると以下ようになります。

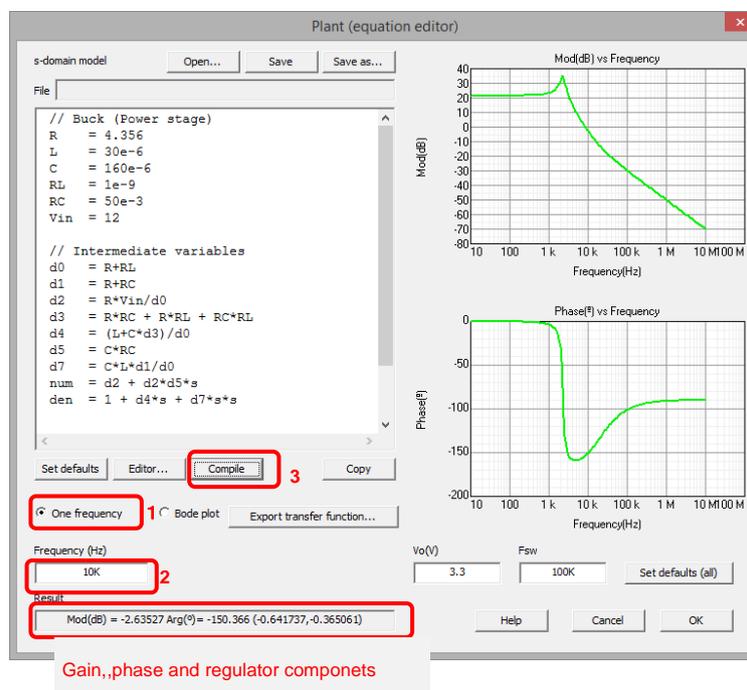


図 5-14 その他入力画面

s-domain 電圧モード制御 (VMC) となった場合、出力電圧とスイッチング周波数は指定しなければ

なりません。次の図の赤枠になります。

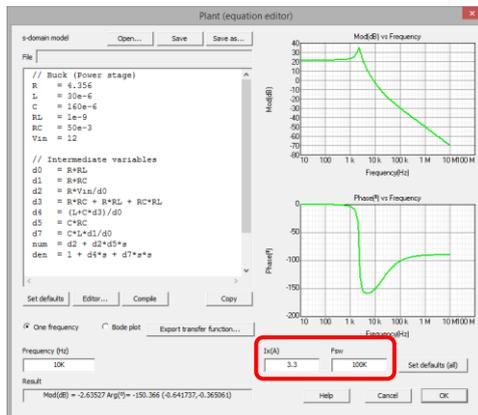


図 5-15 周波数設定ウィンドウ

その後センサを選択します。

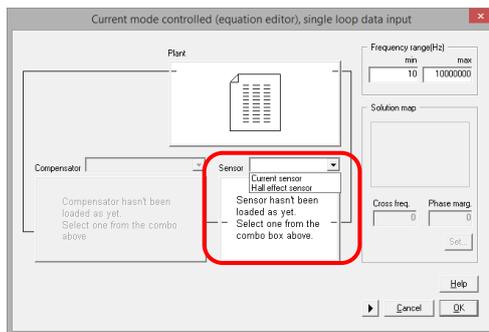


図 5-16 センサの選択画面

補償器を選択します。

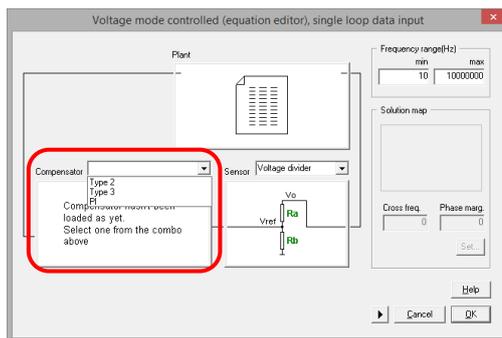


図 5-17 補償器の選択画面

最後にクロス周波数とソリューションマップ上の位相マージンを選択します。

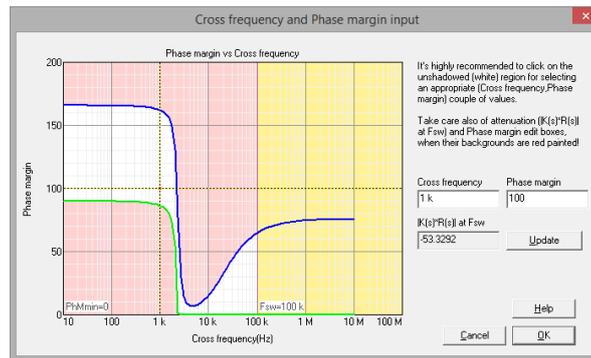


図 5-18 クロス周波数と位相マージン選択画面

5.1.2.2 s-domain (数式エディタ) CMC

パワーコンバータが s-domain 伝達関数で定義されると設計は以下の手順となります。

最初にプラントの s-domain 伝達関数を以下の 2 つの違うオプションから選んで定義します。

- 以前の設計を取り込む (open をクリックします)
- 新規の伝達関数を定義する (editor をクリックします) [数式エディタ](#)を参照
し数式エディタで構文ルールのチェックを行ってください。

一旦数式が読み込まれましたら

- 拡張子.tromod をつけて数式を”save”をクリックし保存してください。
- 続けるために”compile”をクリックしてください。
- 伝達関数の周波数応答を.txt で出力したい場合は”Export transfer function”をクリックしてください。

デフォルトのオプション“ボード線図”を選択すると以前定義した伝達関数の周波数応答がパネルの右側に表示されます。

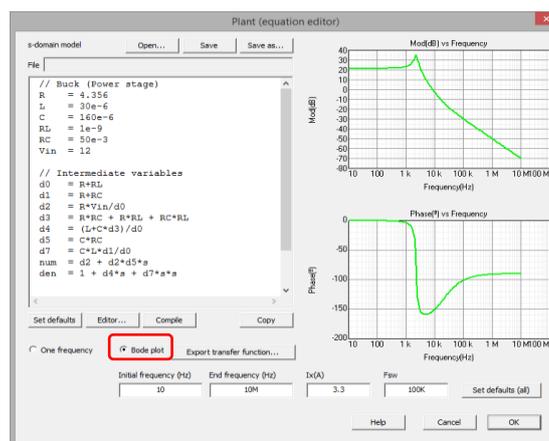


図 5-19 ボード線図選択画面

ある特定の周波数で周波数応答のゲイン、位相、直交成分をチェックするとオプションの"one frequency"が表示されます。次の図に描かれているように最初に"one frequency"を選択し次に周波数を決め最後に compile をクリックすると下記にあるように特定の周波数でのゲイン、位相、直交成分が決まります。

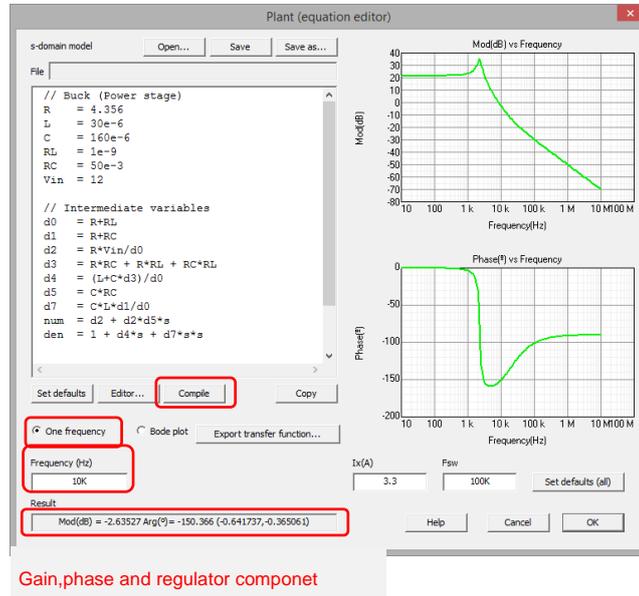


図 5-20 One frequency 設定画面

s-domain モデルが電流モード制御(CMC)に使われる場合電流は制御値を使いスイッチング周波数も指定されます。次の図の赤枠内が該当します。

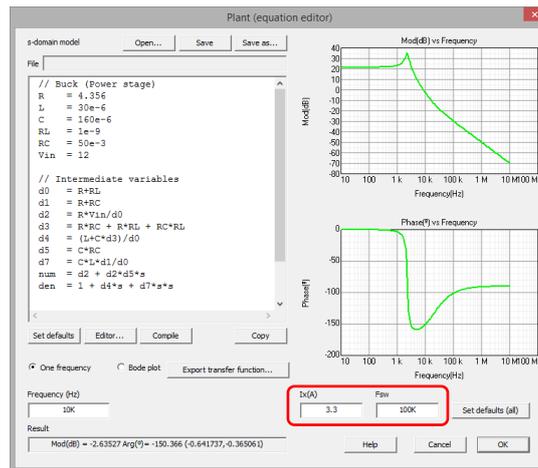


図 5-21 スwitching周波数指定画面

その後センサーを選択します。

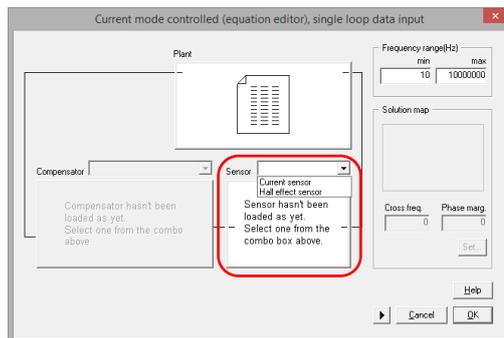


図 5-22 センサ選択画面

そして補償器を選択します。

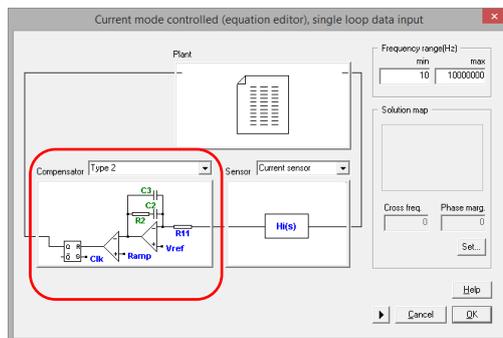


図 5-23 補償器選択画面

最後にクロス周波数とソリューションマップ上で位相マージンを選択します。

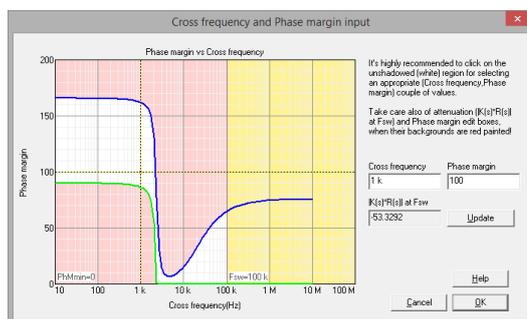


図 5-24 クロス周波数及び位相マージン選択画面

5.1.3 S-domain model(多項式係数)

SmartCtrlはその伝達関数の係数を組み込んだプラントのデータを表現できます。これはシングルループ設計でのみに対応しており次の二つのオプションが可能です。

電圧制御 (Shift+L)

電流制御 (Shift+U)

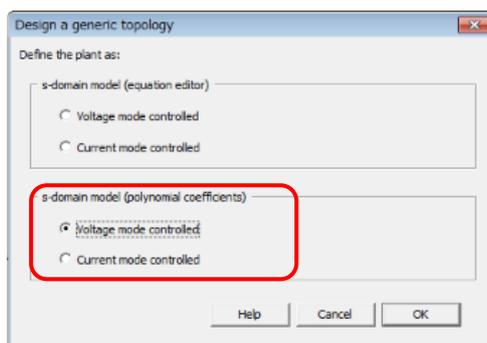


図 5-25 プラント選択画面

s-domain伝達関数の係数は導入すべきもので、伝達関数の最大次数は10です。分子の係数はn0からn10であり分母の係数はd0からd10となります。

オプションの5.1.3.1 Plant Wizard(プラントウィザード)を使うことで伝達関数のデータが導入可能となります。

いくつかの追加データを指定する必要があります。

- ・周波数範囲(最小から最大までの周波数)、単位はヘルツ(Hz)です。
- ・スイッチング周波数、単位はヘルツ(Hz)です。
- ・出力電圧(Vo)で単位はボルト(V)です。(プラントが電圧制御の場合のみ)

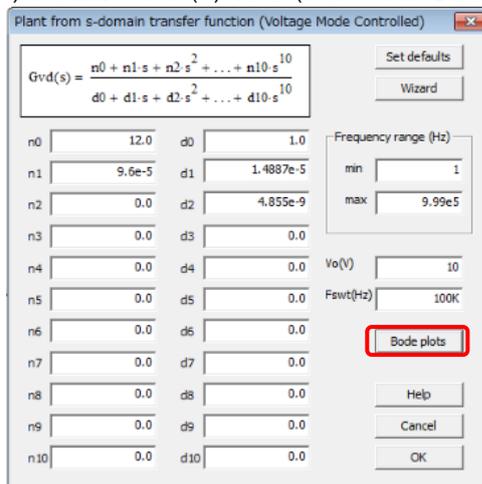


図 5-26 伝達関数の入力画面

“Bode plots”をクリックすると選択した周波数範囲で取り込まれた伝達関数に対応した周波数応答(強度と位相)が表示されます。

5.1.3.1 Plant Wizard

Plant Wizardはシンボルとして表現される(n0,n1,,,,,n10,d0,d1,...d10)各伝達関数の係数を取り込むことを可能とします。

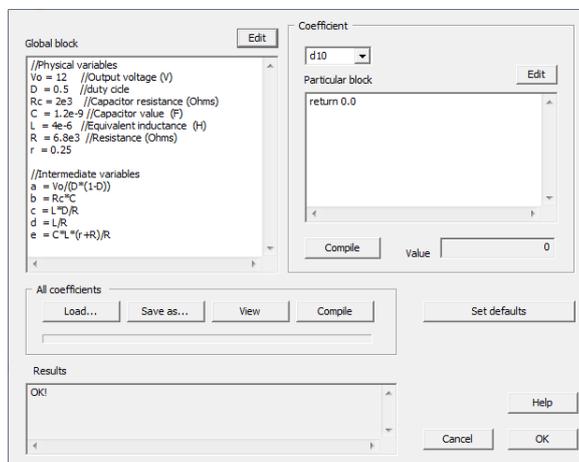


図 5-27 グローバルブロック画面

グローバルブロック(Global block)

“グローバルブロック”は変数の定義や共通の伝達関数の係数の大部分に対応しています。エディットボタンをクリックすると新しいエディットボックスが開きます。ここでDataや式を編集し適切な形式とします。

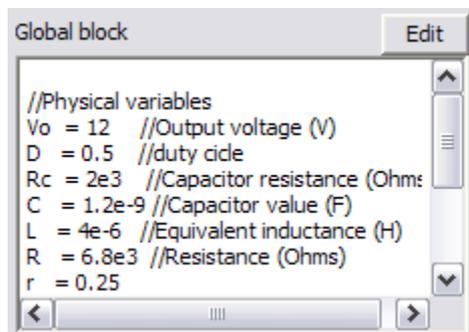


図 5-28 グローバルブロックエディットボックス

係数ブロック(Coefficients block)

係数ブロックはコンボボックスで選択された係数を計算するためのブロックです。これらの式は“グローバルブロック”で定義されたグローバル変数や新規で定義されたローカル変数に使用可能な係数です。

Editボタンをクリックすると新規のエディットボックスが開きます。これは数式を適切なフォーマットにするのとデータの取り込みに役に立ちます。

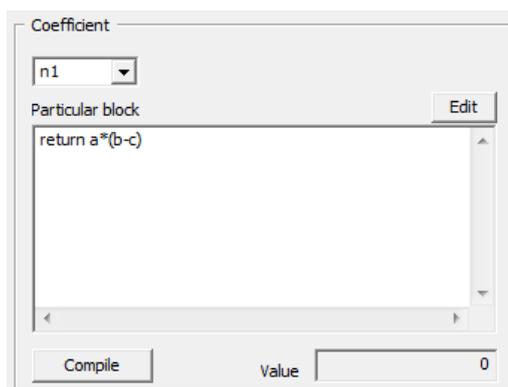


図 5-29 係数入力画面

数式を取り込んだら"Compile"ボタンをクリックしてください。
これにより"グローバルブロック"と"係数ブロック"の両方の変数により計算が更新されます。
もしコンパイルが成功していれば選択した係数の数値が"Value"のボックスに表示されます。
そうでない場合はエラーメッセージが出ます。

グローバルブロックと係数ブロックの構文:

- ① 二種類の構文タイプがあります。(assignmentとreturn)
- ② 一行に一つの命令のみです。(assignmentとreturnどちらも)
- ③ 空白の行は使用可能です。
- ④ 設定された構文 `Var=Expr`ではVarは変数名でExprは数式です。
- ⑤ 設定変数名としては
 - a. アルファベット文字が頭につくこと
 - b. アルファベットか数字か下線 '`_`'が使えます。
 - c. `sqrt`,`pow`,`return`, `PI`は変数名としては使用できない予約名です。
- ⑥ 数式表現について
 - a. 通常の四則演算表現が使えます。 `+`,`-`,`*`,`/`
 - b. `sqrt(a)`はaの平方根、`pow(a,b)`はaのb乗となります。
 - c. グループングには括弧が使えます。
- ⑦ returnの構文は `return Expr`、ここで'Expr'は演算記号です。
- ⑧ 全体のブロックは代入文だけを含みます。
- ⑨ "Coefficients block"では各々の係数が代入文をもつことができますが、少なくとも1つのreturnステートメントを持つ必要があります。それは常にブロックの最終の命令文となります。このreturnステートメントは特定の係数値を定義しています。
- ⑩ コメントではテキストで注釈を書き込めます。
コメントはダブルスラッシュ '`//`' で区切られて始まり行末までになります。これらの注釈はコンパイルでは無視されます。

All coefficients block

"All coefficients block"のブロックでは係数に作用するいくつかのコマンドが実行できます。

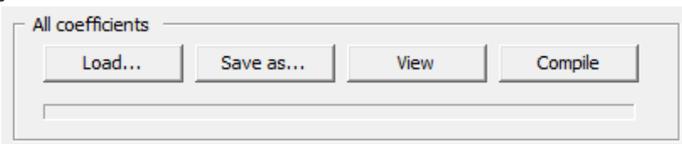


図 5-30 All coefficients block の表示画面

- ・ Load: .throwfunで読み込まれたファイルが読み出されます。
“Global block”と“Coefficients block”は読み出し情報とともに更新されます。
- ・ Save as: “Global block”と“Coefficients block”の内容が拡張子.throwfunで保存されます。
- ・ View: “Global block”と“Coefficients block”の内容が係数の数値とともに新しいウィンドウに表示されます。
- ・ Compile: すべての係数の数値が計算されます。もしエラーが発生した場合はメッセージが表示されます。

Results box と OK ボタン

すべてのワーニングメッセージは“Result”のedit boxに表示されます。

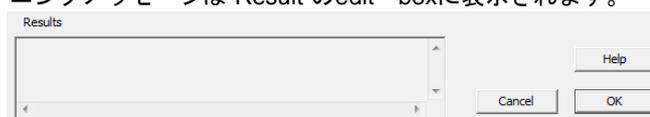


図 5-31 結果の表示画面

“OK”ボタンを押すとすべての係数は自動的に再計算されます。エラーが発生した場合はWarningメッセージが表示されます。計算が成功した場合はs-domainの伝達関数ウィンドウからプラントの画面に係数が表示されます。

6 一般的な制御システムの設計

SmartCtrl は数式エディタでシステム全体を定義できるのでシステムの特徴にかかわらず一般的な制御システムの設計ができます。

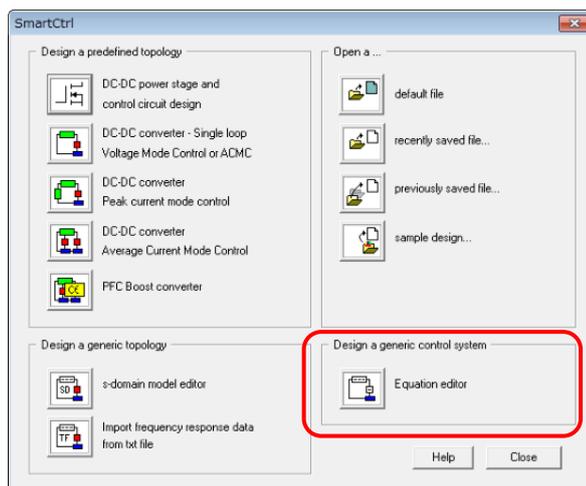


図 6-1 一般的な制御システム設計選択画面

以下の方法でも可能です。



図 6-2 メニューバーでの選択位置

一般的な制御システムを設計するためにすべてのシステム構成の伝達関数の定義が必要です。

1. まず最初にプラントの伝達関数を数式エディタで定義します。
2. 次にセンサの伝達関数を数式エディタで定義します。
3. 最後に補償器をシステム構成から選択して完成させます。

6.1 プラントの設計(関数エディタ)

まずユーザーは異なる 2 つのオプションから選択しプラントの s-domain の伝達関数を定義します。

- ・過去の設計のインポート (open をクリックします)
- ・新規の伝達関数を定義 (エディタをクリックします) 数式エディタの文法チェックについては 12 章の **エディタボックス** を参照してください。

- ・さらに“セットデフォルト”をクリックすることで読み込み可能なあらかじめ定義された伝達関数もあります。

一旦式が読み込まれたら

- ・保存をクリックすることで拡張子.tromod のテキストファイルで数式が保存されます。
- ・コンパイルをクリックするとウィンドウの右側にボード線図があらわれます。
- ・もし必要であれば伝達関数の周波数応答は伝達関数のエクスポートをクリックすることで.txt ファイルでエクスポートできます。

デフォルトのオプション“ボード線図”を選択すると前に定義した伝達関数の周波数応答が右側のパネルに表示されます。

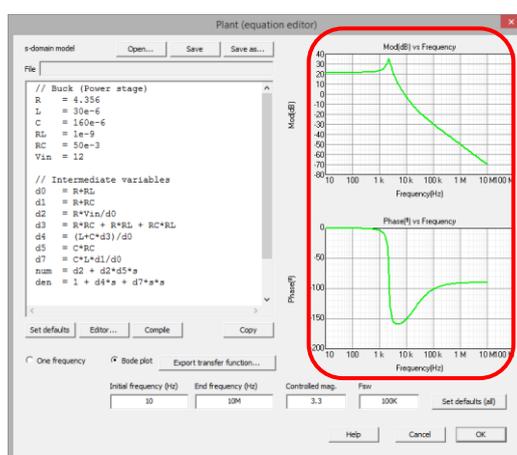


図 6-3 ボード線図選択後の画面

特定の周波数での周波数応答のゲイン、位相、直交成分を確認したい場合は周波数を設定できるオプション“One frequency”があります。次の図に描かれているように最初に“One frequency”を選択し次に周波数を決めて入力し compile をクリックすると特定の周波数でのゲイン、位相、直交成分が次図のように表示されます。

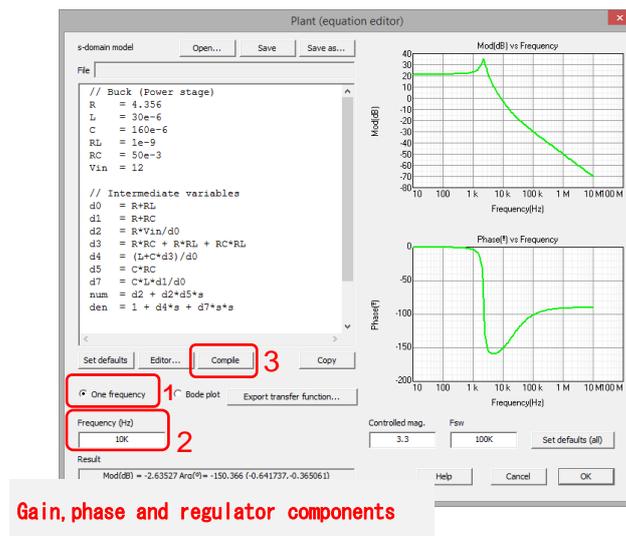


図 6-4 特定の周波数での表示画面

6.2 センサの設計(関数エディタ)

プラント定義の直後に数式エディタによってセンサの伝達関数を定義してください。

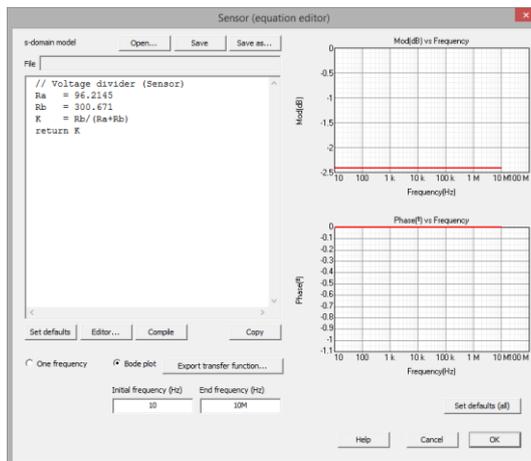


図 6-5 伝達関数設定画面

最後に補償器を選択しシステム構成の定義が終了します。

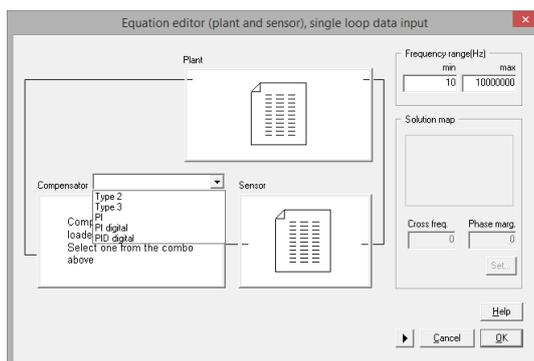


図 6-6 補償器選択画面

補償器のタイプを選択しましたら Solutions Map で位相マージンとクロスオーバー周波数を表示させることができます。

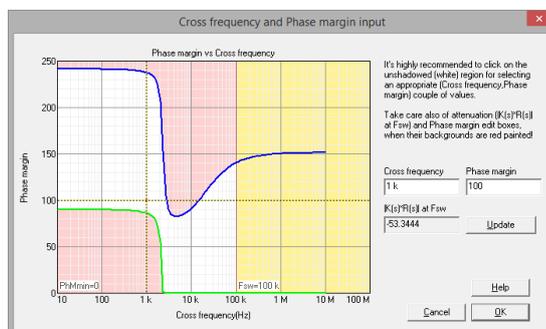


図 6-7 ソリューションマップ

7 DC-DC プラント

各 DC-DC コンバータの入力データのウィンドウはユーザが希望するパラメータを選択でき定常状態の動作点の情報などを得ることができます。検討された DC-DC トポロジのどのようなものに対しても入力データは白抜きボックス部分に入力でき、プログラムによる追加情報は灰色のボックス部分に表示されます。

コンバータについて考えてみましょう。

次の図で定常状態の DC 動作点で定義されたパラメータがコンバータの回路図の直下に表示されています。各々のケースを考慮したトポロジによりいくつかは入力データ、いくつかは出力データとなります。

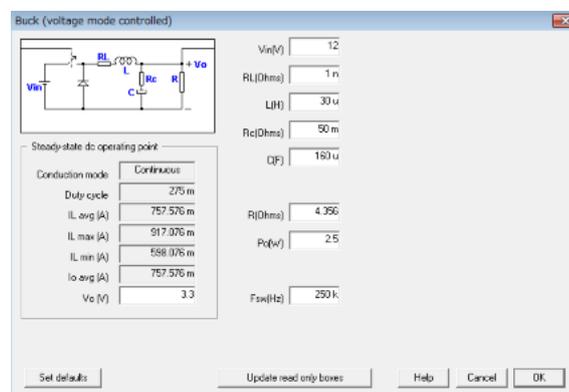


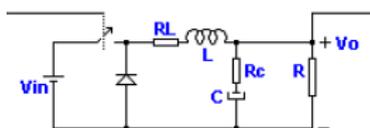
図 7-1 コンバータ回路図のパラメータウィンドウ

DC-DC プラントには以下があります。

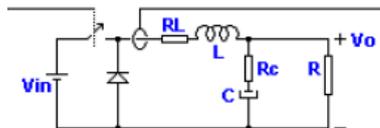
- ・降圧
- ・昇圧
- ・昇降圧
- ・フライバック
- ・フォワード

7.1 降圧 (Buck)

シングルループ制御回路の場合、降圧コンバータの出力電圧かインダクタ電流のどちらかの大きさにより制御を行うことになります。SmartCtrl では両方の場合に対応しています。ピーク電流制御の場合は表にあるようにインダクタの電流を検出します。回路図は次のようになります。



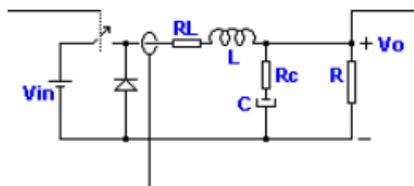
電圧制御降圧回路



L-電流検出降圧回路

ピーク電流制御回路

平均電流制御回路方式の場合は電流と出力電圧の両方が同時に検出されなければなりません。結果として得られる降圧回路は以下となります。



降圧回路 (LCS-VMC)

入力データのウィンドウではユーザーは希望する入力パラメータを選択でき定常状態 DC 動作点等の有益情報が得られます。この情報はコンバータ回路図の直下に表示されています。

入力データウィンドウの二つの例を以下に示します。各々白抜きになったボックス部分が入力データのボックスで灰色の部分はプログラムからの追加情報となります。入力データウィンドウの例は次のようになります。

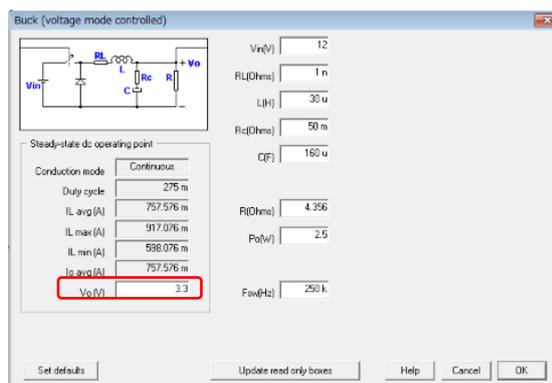


図 7-2 電圧制御降圧回路とピーク電流制御のデータ入力ウィンドウ

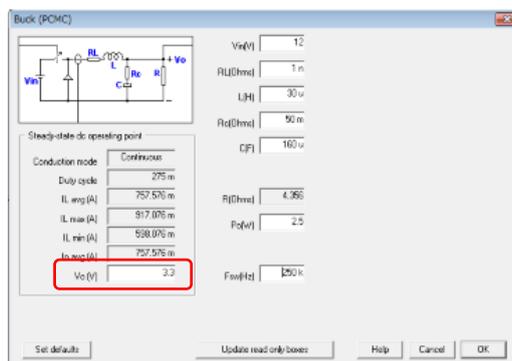


図 7-3 電流制御降圧回路のデータ入力ウィンドウ

入力データ用ウィンドウのパラメータは以下となります。

定常状態DC動作点

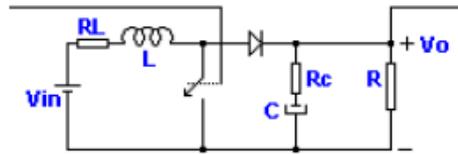
Conduction Mode	連続または不連続の定義
Duty Cycle	アクティブスイッチの t_{on}/T
IL avg	インダクタの平均電流 (A)
IL max	インダクタのスイッチングリップルの最大値(A)
IL min	インダクタのスイッチングリップルの最小値(A)
Io avg	出力平均電流 (A)
Vo	出力電圧 (V)

コンバータの他のパラメータ

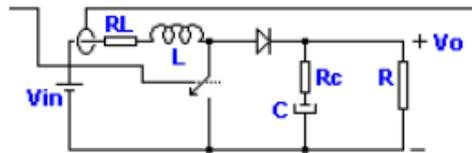
Vin	入力電圧 (V)
RL	インダクタの等価直列抵抗 (Ω)
L	インダクタンス(H)
RLd	出力コンデンサの等価直列抵抗 (Ω)
C	出力コンデンサ(F)
R	負荷抵抗(Ω)
Po	出力電力(W)
Fsw	スイッチング周波数(Hz)

7.2 昇圧(Boost)

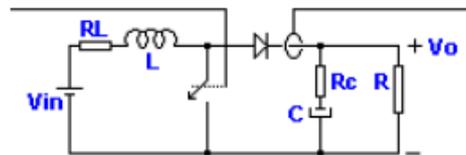
シングルループ制御回路が選択された場合、昇圧コンバータには三つの制御値があります。出力電圧、インダクタ電流、ダイオード電流です。各々に対応した回路は次のようになります。



電圧制御昇圧コンバータ回路

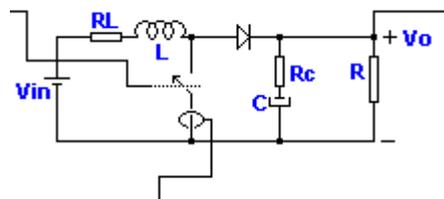


L 電流検出昇圧コンバータ回路



ダイオード電流検出昇圧コンバータ回路

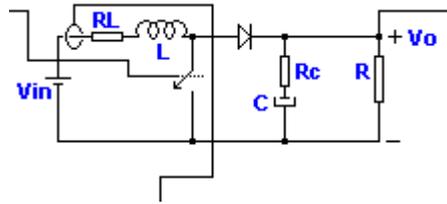
ピーク電流制御（PCMC）の場合出力電圧と電流は同時に検出されなければなりません。



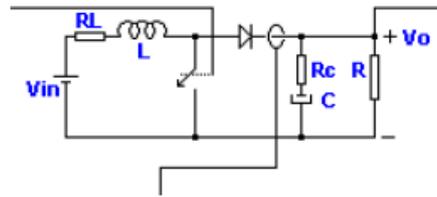
昇圧回路（PCMC）

平均電流制御回路の場合、出力電圧と電流は同時に検出されなければなりません。

平均電流制御が使用可能なプラントは次の回路になります。



昇圧回路(LCS-VMC)



昇圧回路(DCS-VMC)

この入力データのウィンドウで所望の入力パラメータを選択でき、定常状態の DC 動作点のような有益な情報を得ることができます。この入力コンバータイメージのすぐ下にあります。

入力データのウィンドウの二つの例を次に示します。各々の白抜き部分はデータ入力できる部分です。灰色の部分はプログラムによる追加情報がいっている部分となります。

入力データは電圧制御プラント（出力電圧が入力されます）と電流制御プラント（この場合は電流が入力データとして制御されます）で違うことに注意してください。入力データのウィンドウは次のようになります。

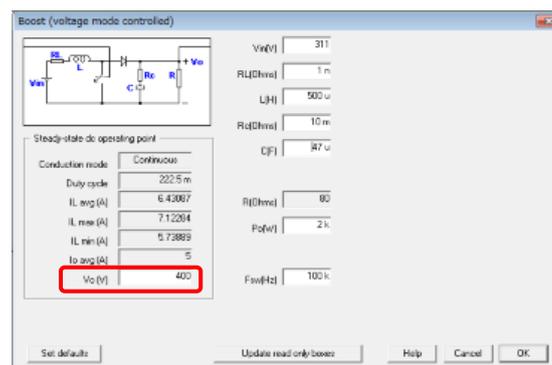


図 7-4 電圧制御昇圧回路とピーク電流制御の入力ウィンドウ

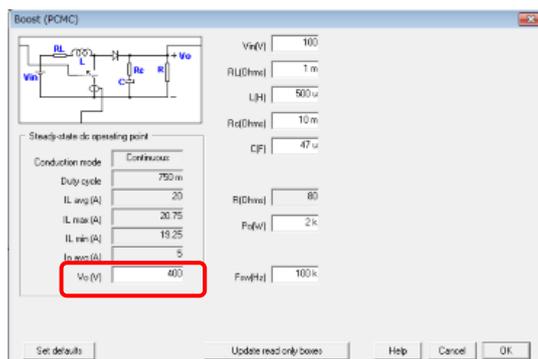


図 7-5 電流制御昇圧回路の入力データのウィンドウ

入力データウィンドウのパラメータは以下のように定義されています。

定常状態 DC 動作点

Conduction Mode	連続または不連続の定義
Duty Cycle	アクティブスイッチの t_{on}/T
IL avg	インダクタの平均電流 (A)
IL max	インダクタのスイッチングリップルの最大値 (A)
IL min	インダクタのスイッチングリップルの最小値 (A)
Io avg	出力平均電流 (A)
Vo	出力電圧 (V)

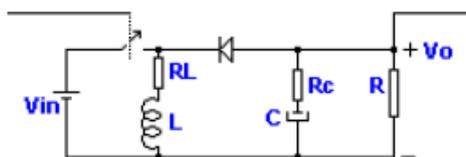
他のコンバータのパラメータ

Vin	入力電圧(V)
Rl	インダクタの等価直列抵抗 (Ω)
L	インダクタンス (H)
Rc	出力コンデンサの等価直列抵抗 (Ω)
C	出力容量 (F)
R	負荷抵抗 (Ω)
Po	出力電力 (W)
Fsw	スイッチング周波数 (Hz)

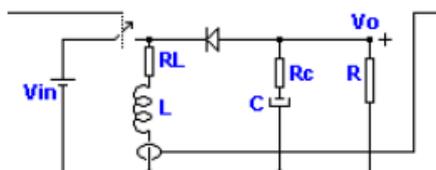
7.3 昇降圧(Buck-Boost)

シングルループ制御回路では昇降圧コンバータで三つの (パラメータ) が制御可能です。

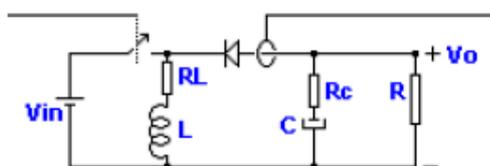
出力電圧、インダクタ電流、ダイオード電流です。回路は次のようになります。



電圧制御の昇降圧コンバータ

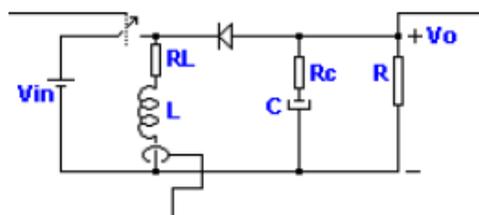


L-電流検出昇降圧コンバータ



ダイオード電流検出昇降圧コンバータ

平均電流制御モードもしくはピーク電流モード制御（PCMC）の場合出力電圧もしくはL電流値を検出します。



昇降圧(LCS-VMC) 昇降圧(PCMC)

入力データのウィンドウでは入力パラメータを選択でき定常状態の dc 動作点等の有益情報が得られます。この情報はコンバータ回路図の直下に表示されています。

入力データウィンドウの二つの例を以下に示します。各々白抜きになったボックス部分が入力データのボックスで灰色の部分はプログラムからの追加情報となります。

入力データは電圧制御プラント(出力電圧は入力)か電流制御プラント(この場合制御される電流値は入力データ)かで違うことに注意してください。入力データウィンドウの例は次のようになります。

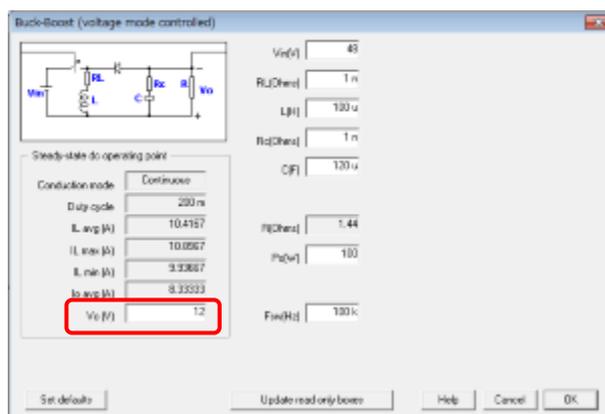


図 7-6 電圧制御昇降圧回路及びピーク電流制御昇降圧回路の入力ウィンドウ

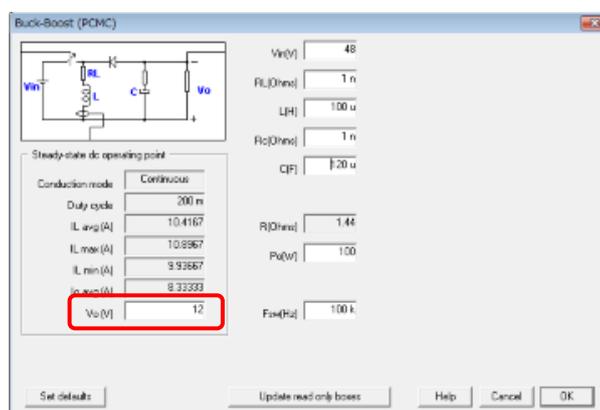


図 7-7 電流制御昇降圧の入力データウィンドウ

入力データウィンドウのパラメータは次のように定義されています。

定常状態 DC 動作点

Conduction Mode	連続、不連続の定義
Duty Cycle	active スイッチの ton/T
IL avg	インダクタの平均電流 (A)
IL max	インダクタンスのスイッチングリップルの最大値 (A)
IL min	インダクタンスのスイッチングリップルの最小値 (A)
Io avg	出力平均電流 (A)
Vo	出力電圧 (V)

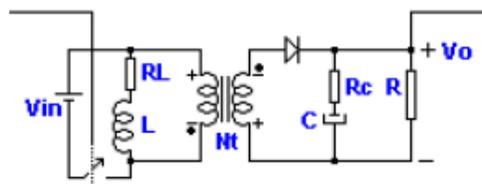
コンバータの他のパラメータ

Vin	入力電圧(V)
RL	インダクタの等価直列抵抗 (Ω)
L	インダクタンス (H)

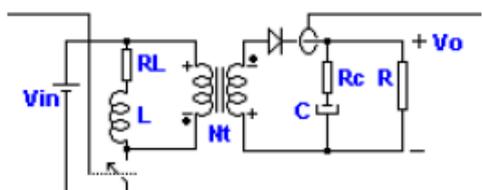
R_c	出力コンデンサの等価直列抵抗 (Ω)
C	出力容量 (F)
R	負荷抵抗 (Ω)
P_o	出力電力 (W)
F_{sw}	スイッチング周波数 (Hz)

7.4 Flyback(フライバック)

シングルループ制御でフライバックコンバータで制御される量は出力電圧かダイオード電流です。SmartCtrl では両方に対応しており回路図は次のようになります。

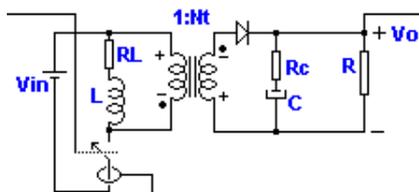


電圧モード制御のフライバック



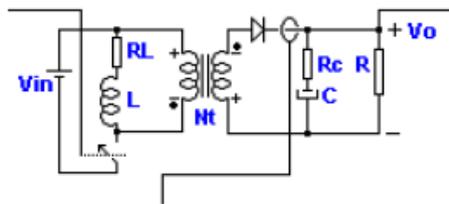
ダイオード電流検出フライバック

ピーク電流制御回路(PCMC)の場合検出される量は出力電圧と MOSFET の電流となります。



フライバック(PCMC)

平均電流モード制御回路の場合検出される量は出力電圧とダイオード電流となります。



フライバック (DCS-VMC)

入力データのウィンドウでは入力パラメータを選択でき定常状態の dc 動作点等の有益情報が得られます。この情報はコンバータ回路図の直下に表示されています。

入力データウィンドウの二つの例を以下に示します。各々白抜きになったボックス部分が入力データのボックスで灰色の部分はプログラムからの追加情報となります。

入力データは電圧制御プラント(出力電圧が入力される)か電流制御プラント(この場合制御される電流が入力データとなる)かで違うことに注意してください。入力データのウィンドウの例は次のようになります。

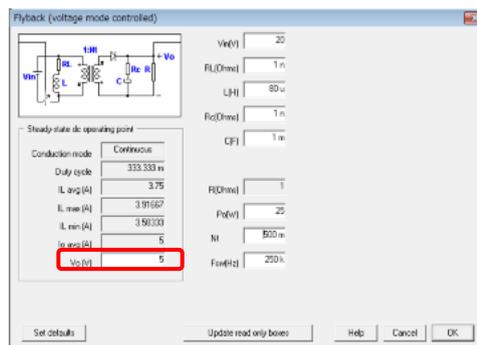


図 7-8 電圧制御フライバック入力データウィンドウ

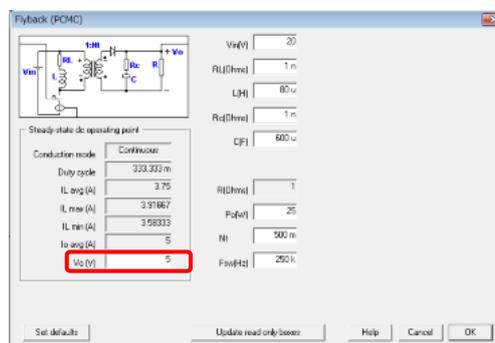


図 7-9 ピーク電流制御の入力データウィンドウ

入力データウィンドウのパラメータは下記のように定義されています。

定常状態 DC 動作点

Conduction Mode	連続、不連続の定義
Duty Cycle	アクティブスイッチの ton/T
IL avg	インダクタの平均電流 (A)
IL max	インダクタのスイッチングリップルの最大値 (A)
IL min	インダクタのスイッチングリップルの最小値 (A)
Io avg	出力平均電流 (A)
Vo	出力電圧 (V)

コンバータの他のパラメータ

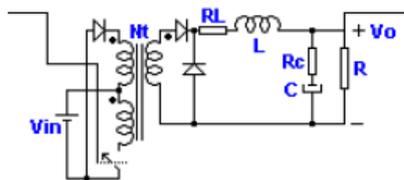
Vin	入力電圧(V)
RL	インダクタンスの等価直列抵抗 (Ω)
L	インダクタンス (H)
Rc	出力コンデンサの等価直列抵抗 (Ω)
C	出力容量 (F)
R	負荷抵抗 (Ω)
Po	出力電力 (W)
Fsw	スイッチング周波数 (Hz)

(*) N2 は変圧器の 2 次側の巻数です。

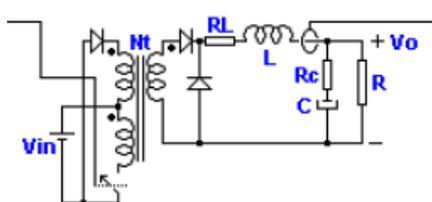
N1 は変圧器の 1 次側の巻数です。

7.5 Forward(フォワード)

フォワードコンバータで制御される量は出力電圧とインダクタ電流です。両方とも SmartCtrl に含まれており回路は次のようになります。

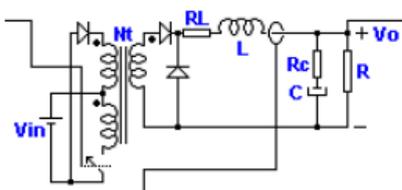


電圧制御フォワード



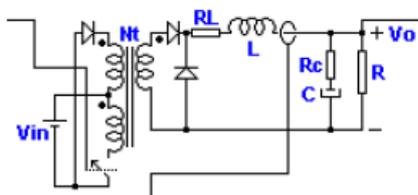
L-電流検出フォワード

ピーク電流制御(PCMC)の場合検出量は出力電圧とL電流(MOSFETで検出される)となります。



フォワード(PCMC)

平均電流制御の場合は出力電圧とL電流が検出量となります。



フォワード(LCS-VMC)

入力データウィンドウでは入力パラメータを選択でき定常状態のdc動作点等の有益情報が得られます。この情報はコンバータ回路図の直下に表示されています。

入力データウィンドウの二つの例を次に示します。各々白抜きになったボックス部分が入力データのボックスで灰色の部分はプログラムからの追加情報となります。

入力データは電圧制御プラント(出力電圧は入力)か電流制御プラント(この場合制御される電流は入力データとなる)かで違うことに注意してください。入力データのウィンドウの例は次のようになります。

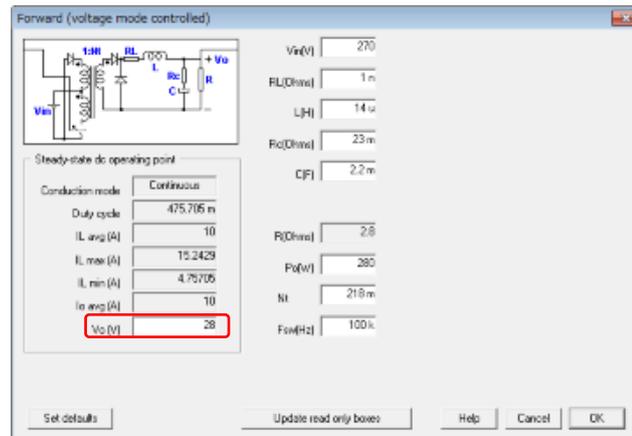


図 7-10 電圧制御フォワードとピーク電流制御の入力データウィンドウ

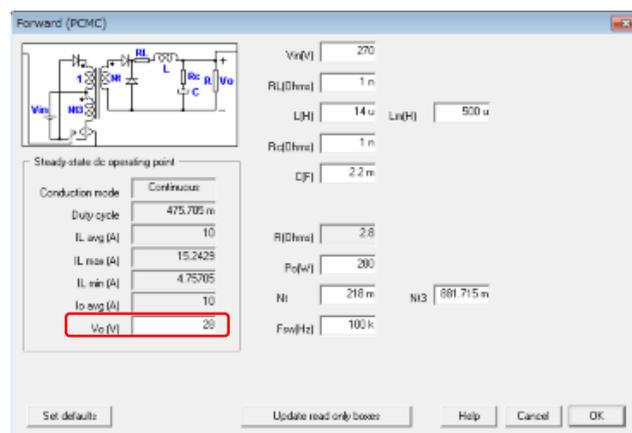


図 7-11 電流制御フォワードの入力データウィンドウ

入力データウィンドウのパラメータは次のように定義されています。

定常状態 DC 動作点

Conduction Mode	連続、不連続の定義
Duty Cycle	アクティブスイッチの ton/T
IL avg	インダクタの平均電流 (A)
IL max	インダクタのスイッチングリップルの最大値 (A)
IL min	インダクタのスイッチングリップルの最小値 (A)
Io avg	出力平均電流 (A)
Vo	出力電圧 (V)

コンバータの他のパラメータ

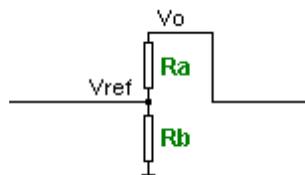
Vin	入力電圧(V)
R _L	インダクタンスの等価直列抵抗 (Ω)
L	インダクタンス (H)
R _c	出力コンデンサの等価直列抵抗 (Ω)
C	出力容量 (F)
R	負荷抵抗 (Ω)
P _o	出力電力 (W)
F _{sw}	スイッチング周波数 (Hz)

(*) N2 は変圧器の 2 次側の巻数です。

N1 は変圧器の 1 次側の巻数です。

8 センサ

8.1 分圧器(Voltage Divider)



分圧器は出力電圧レベルを測定し分圧してレギュレータ電圧の基準レベルに落とす回路です。伝達関数は次のような式になっています。

$$K(s) = \frac{V_{ref}}{V_o}$$

ここで Vref は補償器の基準電圧、Vo は DC-DC コンバータの出力電圧です。

8.2 組み込み型分圧器(Embedded Voltage Divider)

レギュレータ内には分圧器に使われている (R11,Rar) の二つの抵抗が組み込まれています。従って、センサのボックス部分には何も表示されません。分圧器の抵抗は補償器の回路図中で強調されています。

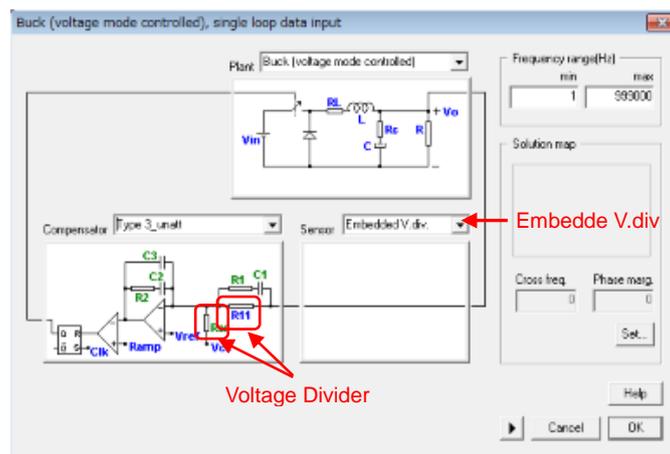


図 8-1 分圧器の抵抗設定部分

所望の出力電圧、補償器の基準電圧と R11 の値を入力すると SmartCtrl は Rar .を

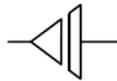
計算します。0Hz の時の分圧器の伝達関数は次のようになります。

$$\frac{V_o}{V_{ref}} = \frac{R_{ar}}{R_{ar} + R_{11}}$$

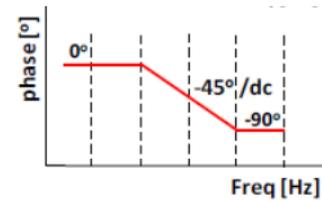
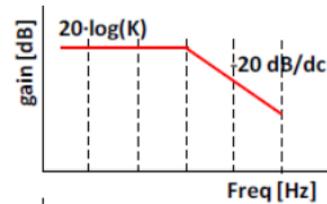
8.3 絶縁電圧センサ (Isolated Voltage Sensor)

絶縁電圧センサは電氣的に絶縁できる電圧センサです。

その伝達関数は下記のようになります。フォワードとフライバック DC-DC トポロジに適用できます。



$$K(s) = \frac{Gain}{1 + \frac{s}{2\pi \cdot fpK}}$$



ここで Gain は 0dB の時のセンサゲインです。これは出力と基準電圧によって与えられます。

$$Gain = \frac{V_o}{V_{ref}}$$

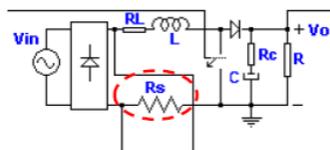
fpk はポール周波数で単位は Hz です。

8.4 抵抗センサ(力率改善)Resistive Sensor(Power Factor Corrector)

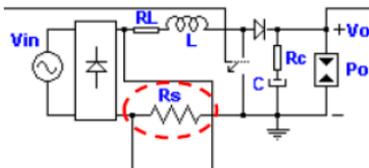
電流が抵抗 R_s で検出される場合、電流センサゲインはこの抵抗 R_s の値となります。

$$K(s) = R_s$$

この抵抗はパワープラントの回路図中に R_s として書かれています。

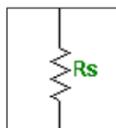


UC3854A マルチプライヤ + 昇圧 PFC (抵抗負荷)



UC3854A マルチプライヤ + 昇圧 PFC (定電力負荷)

8.5 抵抗センサ (ピーク電流モード制御) Resistive Sensor(Peak Current Mode Control)



抵抗センサはインダクタ電流を測定し電流を同等の電圧に変換します。

センサのゲインは抵抗値(Rs)の特性に一致します。

$$G=Rs$$

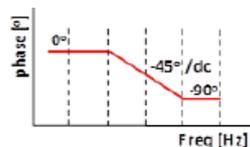
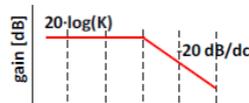
8.6 ホールセンサ(Hall effect Sensor)

ホールセンサは一般的な伝達関数ボックスで表現される電流センサです。

内部の伝達関数は次の式となっています。



$$K(s) = \frac{\text{Gain}}{1 + \frac{s}{2\pi \cdot \text{fpk}}}$$



ここで Gain は 0dB でのセンサゲイン、fpk はポール周波数で単位 Hz です。

8.7 電流センサ(Current Sensor)



電流センサも一般的な伝達関数のボックスによって表現されています。

内部の伝達関数は V/A で一定のゲインとなっています。

$$K(s) = \text{Gain}$$

例えば、電流が抵抗 R_s で検出された場合電流センサのゲインはこの抵抗の値となります。

$$K(s) = R_s$$

9 モジュレータ

9.1 モジュレータ(ピーク電流制御)

あらゆる場合にモジュレータの入力信号は次のように定義されています。

- ・ Vramp : Vramp はこの制御方法で使われる補償勾配の特性です。
この補償勾配はデューティサイクル 50%以上のシステムの安定性を保証するために検出電流に加算されます。
- ・ Vsensed : Vsensed は検出されたインダクタ電流の等価電圧です。
- ・ Vc : Vc は検出されたレギュレータの出力電圧です。

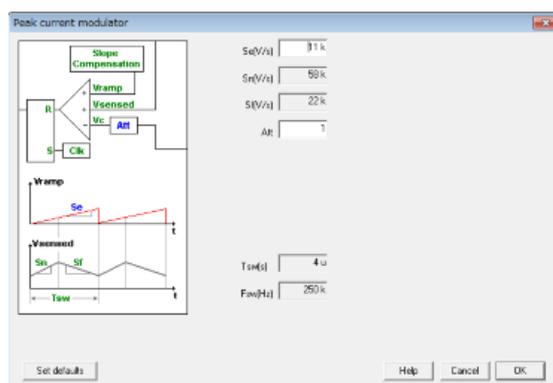


図 9-1 ピーク電流制御モジュレータの設定ウィンドウ

モジュレータの設計基準は次のように定義されています。

- ・ Sn インダクタ充電勾配
- ・ Sf インダクタ放電勾配
- ・ Se 補償傾斜勾配 SnとSの関数として計算されます。
- ・ Att レギュレータの出力電圧に適用される減衰

9.2 モジュレータ(PWM)

PWM モジュレータはレギュレータの一部として表示されます。

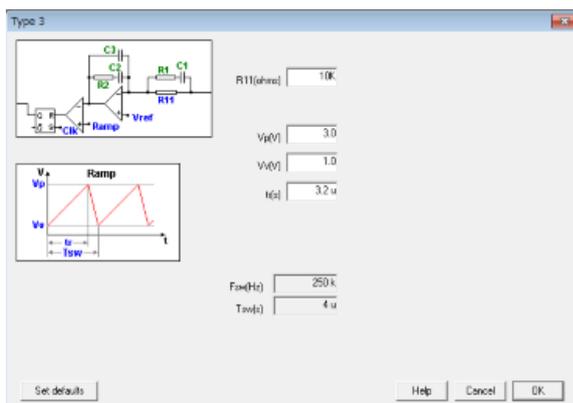


図 9-2 PWM モジュレータ部分

Signal Ramp は以下のように定義されています。

- ・ Vp 最大電圧
- ・ Vv 最小電圧
- ・ tr 立ち上がり時間
- ・ Fsw スイッチング周波数
- ・ Tsw スイッチング周期

10 補償器

10.1 シングルループもしくは内部ループ(Single loop or inner loop)

10.1.1 Type3 補償器

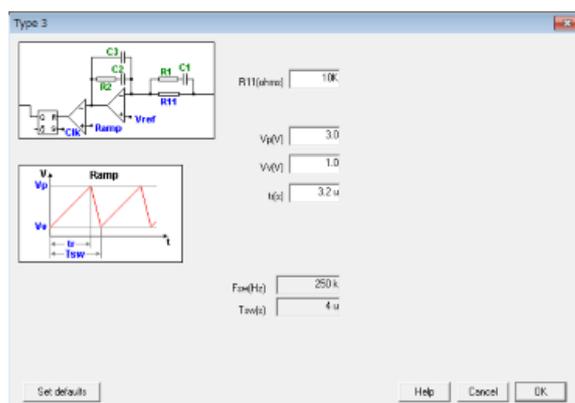


図 10-1 Type3 補償器入力画面

入力データ

- R11(Ω) デフォルト値は 10k Ω
- Vp(V) ランプ電圧の最大値 (PWM モジュレータのキャリア信号)
- Vv(V) ランプ電圧の最小値
- Tr(s) ランプ電圧の立ち上がり時間
- Tsw(s) スイッチング周期

出力データ

補償器の構成値 (C1,C2,C3,R1,R2) はプログラムによって計算されテキスト画面で表示されます。

10.1.2 Type3 非減衰補償器(Type3 Compensator unattenuated)

分圧器は検出された出力電圧を基準電圧とするために補償器内に組み込まれています。R11 と Rar に相当しています。この補償器の構成は外部の分圧器による減衰を取り除きません。

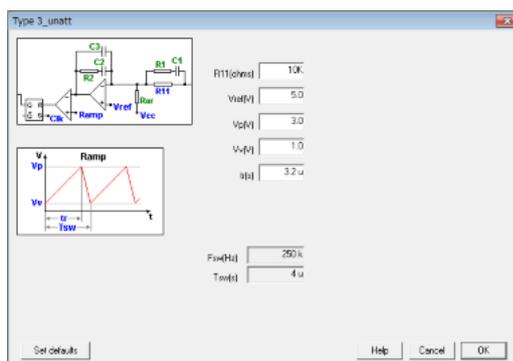


図 10-2 Type3 非減衰補償器の入力画面

入力データ

- R11(Ω) デフォルト値は 10k Ω
- Vref(V) 基準電圧
- Vp(V) ランプ電圧の最大値 (PWM モジュレータのキャリア信号)
- Vv(V) ランプ電圧の最小値
- Tr(s) ランプ電圧の立ち上がり時間
- Tsw(s) スイッチング周期

出力データ

補償器の構成値 (C1,C2,C3,R1,R2) と抵抗 Rar はプログラムによって計算されテキスト画面で表示されます。

10.1.3 Type2 の補償器(Type2 Compensator)

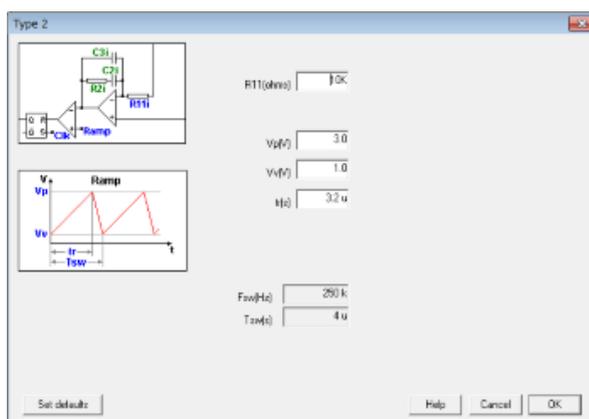


図 10-3 Type2 補償器の入力画面

入力データ

- R11(Ω) デフォルト値は 10k Ω
- Vp(V) ランプ電圧の最大値 (PWM モジュレータのキャリア信号)
- Vv(V) ランプ電圧の最小値
- Tr(s) ランプ電圧の立ち上がり時間
- Tsw(s) スイッチング周期

出力データ

補償器の構成値 (C2,C3,R2) と抵抗 Rar はプログラムによって計算されテキスト画面で表示されます。

10.1.4 Type2 の非減衰補償器(Type2 Compensator unattenuated)

分圧器は検出された出力電圧を基準電圧とするために補償器内に組み込まれています。R11 と Rar に相当しています。この補償器の構成は外部の分圧器による減衰を取り除きます。

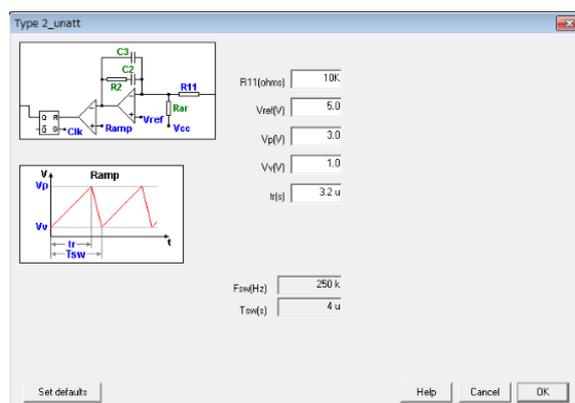


図 10-4 Type2 の非減衰補償器の入力画面

入力データ

- R11(Ω) デフォルト値は 10k Ω
- Vref(V) 基準電圧
- Vp(V) ランプ電圧の最大値 (PWM モジュレータのキャリア信号)
- Vv(V) ランプ電圧の最小値
- Tr(s) ランプ電圧の立ち上がり時間
- Tsw(s) スイッチング周期

出力データ

補償器の構成値 ($C1, C2, C3, R1, R2$) と抵抗 Rar はプログラムによって計算されテキスト画面で表示されます。

10.1.5 PI 補償器 (PI Compesator)

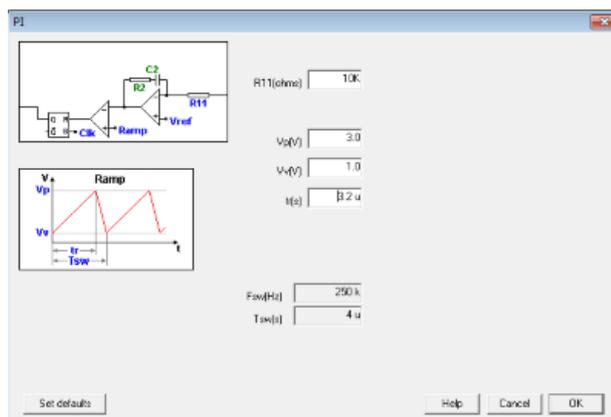


図 10-5 PI 補償器の入力画面

入力データ

$R11(\Omega)$ デフォルト値は $10k\Omega$

$Vp(V)$ ランプ電圧の最大値 (PWM モジュレータのキャリア信号)

$Vv(V)$ ランプ電圧の最小値

$Tr(s)$ ランプ電圧の立ち上がり時間

$Tsw(s)$ スイッチング周期

出力データ

補償器の構成値 ($C2, R2$) はプログラムによって計算されテキスト画面で表示されます。

10.1.6 PI 補償器非減衰型(PI Compensator unattenuated)

分圧器は検出された出力電圧を基準電圧とするために補償器内に組み込まれています。 $R11$ と Rar に相当しています。この補償器の構成は外部の分圧器による減衰を取り除きます。

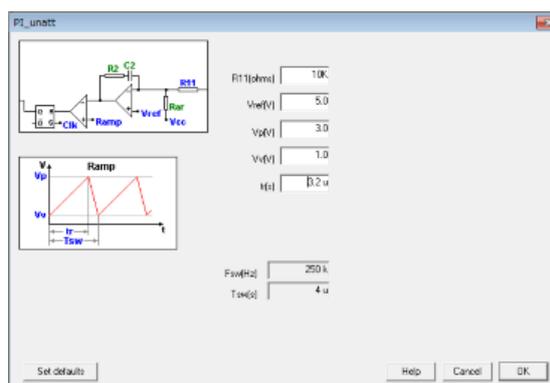


図 10-6 PI 補償器非減衰型の入力画面

入力データ

- R11(Ω) デフォルト値は 10k Ω
- Vref(V) 基準電圧
- Vp(V) ランプ電圧の最大値 (PWM モジュレータのキャリア信号)
- Vv(V) ランプ電圧の最小値
- Tr(s) ランプ電圧の立ち上がり時間
- Tsw(s) スイッチング周期

出力データ

補償器の構成値 (C2,R2) 抵抗 Rar はプログラムによって計算されテキスト画面で表示されます。

10.2 アウターループとピーク電流モード制御

10.2.1 単ポール補償器(Single pole Compensator)

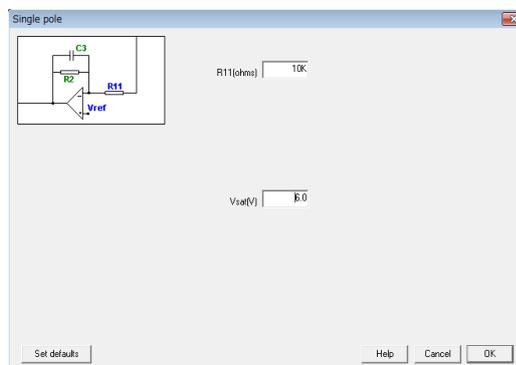


図 10-7 単ポール補償器入力画面

入力データ

R11(Ω) デフォルト値は 10k Ω

Vsat(V) オペアンプの飽和電圧

UC3854A を使った力率改善の場合この値は 6V となります。

出力データ

補償器の構成値 (C3,R2) はプログラムによって計算されテキスト画面で表示されます。

10.2.2 単ポール補償器非減衰型(Single pole Compensator unattenuated)

分圧器は検出された出力電圧を基準電圧とするために補償器内に組み込まれています。R11 と Rar に相当しています。この補償器の構成は外部の分圧器による減衰を取り除きます。

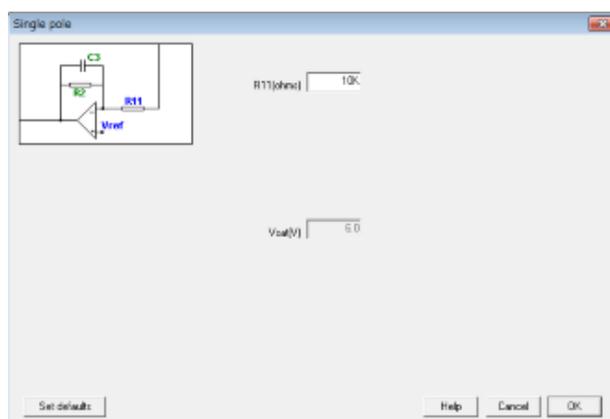


図 10-8 単ポール補償器非減衰型の入力画面

入力データ

R11(Ω) デフォルト値は 10k Ω

Vref 基準電圧

UC3854A を使った力率改善の場合この値は 7.5V となります。

Vsat(V) オペアンプの飽和電圧

UC3854A を使った力率改善の場合この値は 6V となります。

出力データ

補償器の構成値 (C3,R2) と抵抗 Rar はプログラムによって計算されテキスト画面で表示されます。

10.2.3 Type3 補償器(Type3 compensator)

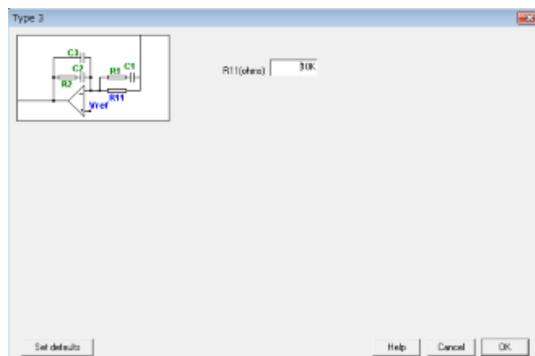


図 10-9 Type3 補償器入力画面

入力データ

R11(Ω) デフォルト値は 10k Ω

出力データ

補償器の構成値 ($C1, C2, C3, R1, R2$) と抵抗 Rar はプログラムによって計算されテキスト画面で表示されます。

10.2.4 Type3 補償器非減衰型(Type3 Compensator unatenuated)



図 10-10 Type3 補償器非減衰型入力画面

入力データ

R11(Ω) デフォルト値は 10k Ω

Vref 基準電圧

出力データ

補償器の構成値 ($C1, C2, C3, R1, R2$) と抵抗 Rar はプログラムによって計算されテキ

スト画面で表示されます。

10.2.5 Type2 補償器(Type2 Compensator)

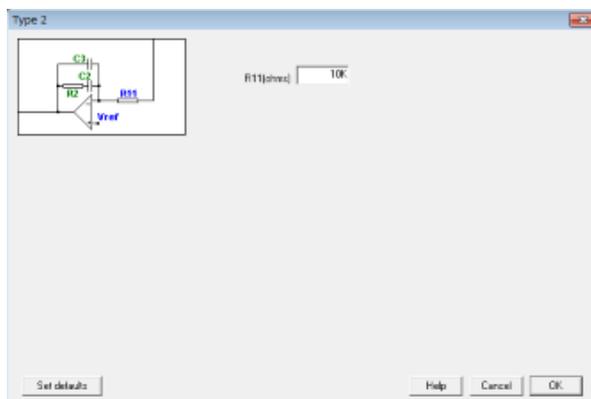


図 10-11 Type2 補償器の入力画面

入力データ

R11(Ω) デフォルト値は 10k Ω

出力データ

補償器の構成値 (C2,C3,R2)はプログラムによって計算されテキスト画面で表示されます。

10.2.6 Type2 補償器非減衰型(Type2 Compensator unattenuated)

分圧器は検出された出力電圧を基準電圧とするために補償器内に組み込まれます。R11 と Rar に相当しています。この補償器の構成は外部の分圧器による減衰を取り除きます。

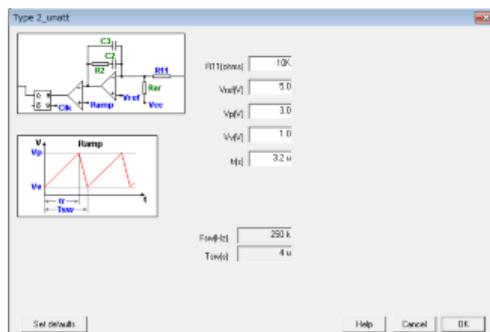


図 10-12 Type2 補償器非減衰型の入力画面

入力データ

R11(Ω) デフォルト値は 10k Ω

Vref 基準電圧

出力データ

補償器の構成値 ($C2, C3, R2$) と抵抗 Rar はプログラムによって計算されテキスト画面で表示されます。

10.2.7 PI 補償器(PI Compensator)

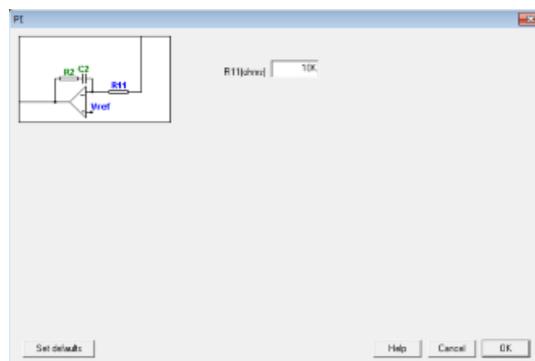


図 10-13 PI 補償器の入力画面

入力データ

R11(Ω) デフォルト値は 10k Ω

出力データ

補償器の構成値 ($C2, R2$) はプログラムによって計算されテキスト画面で表示されます。

10.2.8 PI 補償器非減衰型(PI Compensator unattenuated)

分圧器は検出された出力電圧を基準電圧とするために補償器内に組み込まれます。R11 と Rar に相当しています。この補償器の構成は外部の分圧器による減衰を取り除きます。

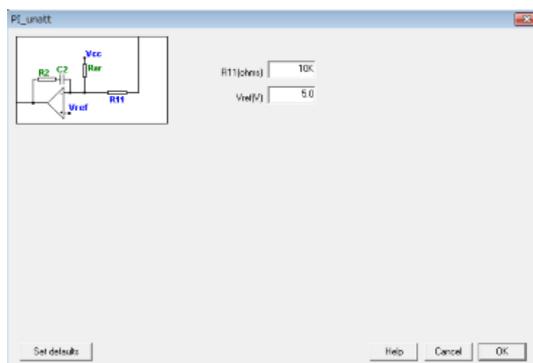


図 10-14 PI 補償器非減衰型入力画面

入力データ

R11(Ω) デフォルト値は 10k Ω

Vref 基準電圧

出力データ

補償器の構成値 (C2,R2) と抵抗 Rar はプログラムによって計算されテキスト画面で表示されます。

11 グラフィックとテキストパネル

ウィンドウは六つのパネルに分割されています。そのうち四つはグラフィックパネルで他の二つはテキストパネルとなっています。

グラフィックパネルは次の通りです。

ボード線図強度 (dB)

ボード線図位相 (°)

ナイキスト図

過渡応答プロット

定常状態波形 (時間領域)

テキストパネルは次のようになります。

入力データ用

出力データ用

です。

11.1 ボード線図 (Bode plots)

ボード線図はシステムの周波数応答特性を示します。二つのグラフより構成されており、一つがゲインまたはモジュールの周波数特性、もう一つが位相の周波数特性です。周波数は Log スケールで表示されています。

ゲイン周波数特性図(dB) : 回路のゲインの周波数特性を dB 表記で示しています。

これはウィンドウの左上に表示されています。

位相周波数特性図(°) : 回路の位相の周波数特性を度(degree)で表記しています。

これはウィンドウの左下に表示されています。

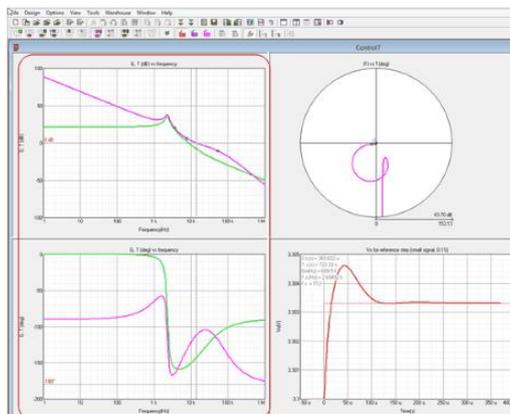


図 11-1 ボード線図 (赤枠内)

SmartCtrl では七種類の異なる伝達関数特性をボード線図上にプロットすることができます。ツールバーか「ViewMenu」にある「Transfer Functions」から選択可能です。

ポールとゼロの手動配置

補償器のポールとゼロはグラフ上に色のついた三つの小さな正方形の点で表示されます。(Type3 か Type2 のレギュレータを使用している場合に現れます。)

黄色 : fz

赤色 : fp

青色 : fi

に対応しています。

前述のゼロとポールはクリックして各正方形をドラッグすることで変更できます。このオプションを有効にするには"method box"にある"manual tag "を選択してから実行してください。

クロス周波数

オープンループ時のクロス周波数はオープンループ伝達関数の一組の破線で示されています。

マウス右ボタンのクリック

各プロット上で右クリックをすると新しいウィンドウがいくつかの追加オプションで開かれます。

Copy	ボード線図をクリップボードにコピーします。
Export	いくつかの形式ですべての周波数応答のデータをエクスポートすることができます。
Help	オンライン SmartCtrl ヘルプへのリンク
Quick help...	プロット上で直接測定する方法についての短い説明の表示

測定ツール

下記二種類が使用できます。

Ctrl+mouse	グラフ上で Ctrl を押したままマウスを動かすと二本の交差した赤いラインが現れマウスの座標が表示され任意の点で測定ができます。
Shift+mouse	Shift キーを押したままマウスをグラフ上のプロット線に近づけるとカーソルがプロット線の位相とモジュールを同時に測定します。他のプロット線上へカーソルを移したい場合は他のプロット線上

で左クリックしてください。

選択したプロット線がオープンループの場合 SmartCtrl はボード線図とナイキスト図の両方を同時に測定します。

各グラフ上で右クリックをすると次図のようなメニューのウィンドウが出ます。Quick help を選択すると使用できる測定ツール等が表示されます。

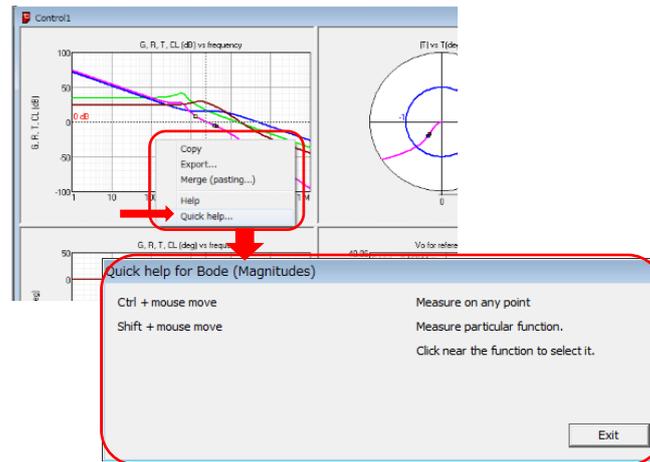


図 11-2 Quick help 表示例

11.2 ナイキスト線図(Nuquist diagram)

ナイキスト線図はボード線図とともに線形システムの周波数応答を表現します。各々の ω に対しオープンループ伝達関数の結果を $\text{Im}(T)$ vs. $\text{R}(T)$ として表現します。 ω の時のゲインは応答点の原点からの距離、位相は角度に対応しています。

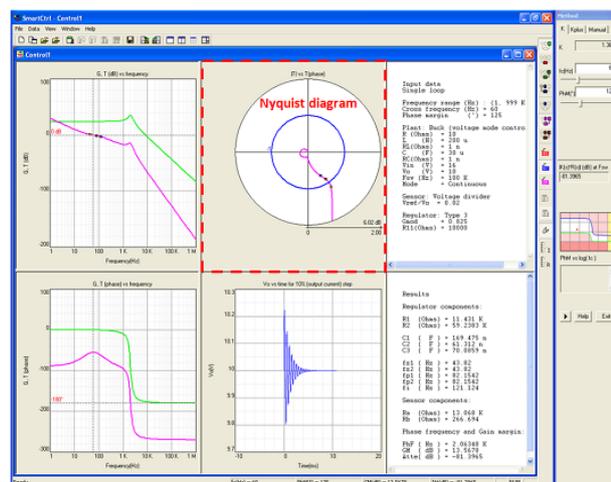


図 11-3 ナイキスト線図（赤枠内）

ナイキスト線図は、オープンループの周波数応答を基にしたクローズドループの安定基準をわかり易くグラフ化しています。例えば、回路がオープンループで安定(右半面でない)だとすると、クローズドループでは(-1, j0)点より内側は不安定になっているということが分かります。

SmartCtrl では青い単位円で描かれているので一目でシステムの安定性を決定することができます。

ポールとゼロ

ポールとゼロは次の三つの小さな正方形で表示されています。

黄色 : fz

赤色 : fp

青色 : fi

ボード線図とは違いマニュアルでは動かさせません。

ズーム

ナイキスト線図内で Shift を押しながらマウス左をドラッグすることでズームイン、ズームアウトができます。相対的なスケールは dB と通常の見盛りでもどちらでもナイキスト線図の外に表示されます。

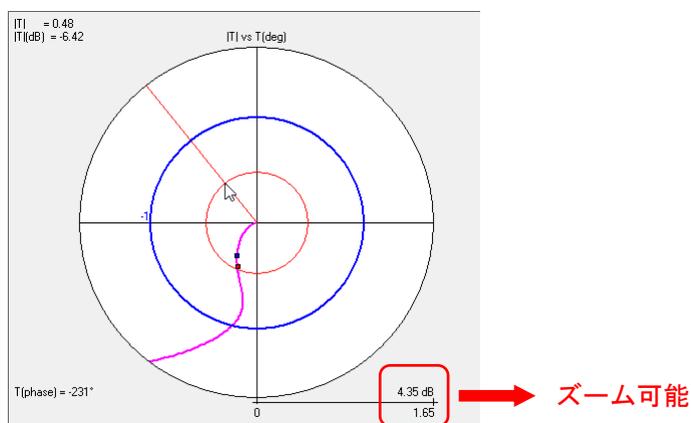


図 11-4 ナイキスト線図

クリップボードへのコピー

ボード線図や過渡応答のプロットと同様にクリップボードへのコピーはポールプロット上で右クリックすることで可能です。

マウス右ボタンのクリック

各プロットのウィンドウでマウス右ボタンをクリックすると追加オプションが開きます。

Copy
Help
Quick help...

- Copy ボード線図をクリップボードへコピー
Help オンラインの SmartCtrl ヘルプへのリンク
Quick Help プロット上で直接測定する方法の簡単な説明の表示

測定ツール

二種類のカーソルが使用できます。

- Ctrl+mouse グラフ上で Ctrl を押したままマウスを動かすと二本の交差した赤いラインが現れマウスの座標が表示され任意の点で測定ができます。
- Shift+mouse Shift キーを押したままマウスをグラフ上のプロット線に近づけるとカーソルがプロット線の位相とモジュールを同時に測定します。他のプロット線上へカーソルを移したい場合は他のプロット線上で左クリックしてください。
- 選択したプロット線がオープンループの場合 SmartCtrl はボード線図とナイキスト図の両方を同時に測定します。

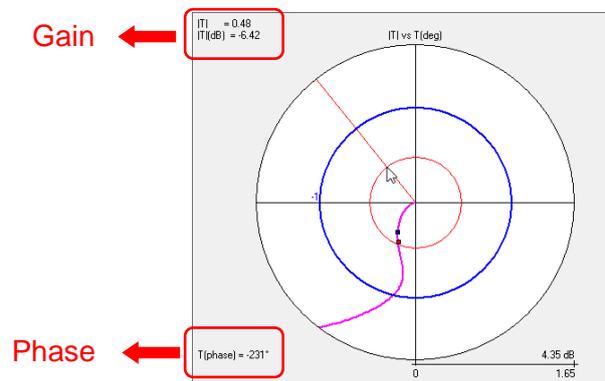


図 11-5 ナイキスト線図

グラフ上で右クリックしメニューから Quickhelp を選択すると下記ウィンドウが表示されます。

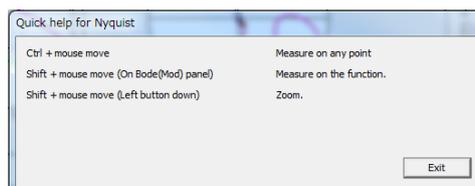


図 11-6 Quick help のウィンドウ

11.3 過渡応答プロット(Transient response plot)

時間や電圧のピーク過渡値の設定などの過渡応答仕様は電力コンバータの制御段設計においてとても重要な部分です。従ってコンバータの過渡応答にクイックビューがあるのは、ユーザーにとって大きなメリットになります。

SmartCtrl では三種類の最も重要な過渡応答が開発されています。ツールバーもしくは「View Menu」の「Transient」から対応するアイコンをクリックすればプロットできます。



図 11-7 過渡応答プロット

過渡応答図でも右クリックをすると次のようなウィンドウが現れ使用する項目を選択できます。



図 11-8 過渡応答プロット上のメニュー

Export

これにより過渡応答のデータを .txt か .smv のファイルでエクスポートできます。

Time shift: 時間軸を移動できます。

Print step: エクスポートされる出力値の数を変更できます。プリントステップ x2 とすると 1 つおきに保存されるのでファイルの容量を減らせます。



図 11-9 過渡応答プロットオプション画面

Copy : クリップボードへコピーできます。

Modify transient parameters :

計算アルゴリズムのパラメータだけでなく過渡応答図をカスタマイズすることができます。

SmartCtrl では設計を変更するようにパラメータの自動選択ができます。

過渡図中で右クリックし Modify transient parameters... を選択すれば次のウィンドウが表示されスライダーを使って設定をカスタマイズできます。

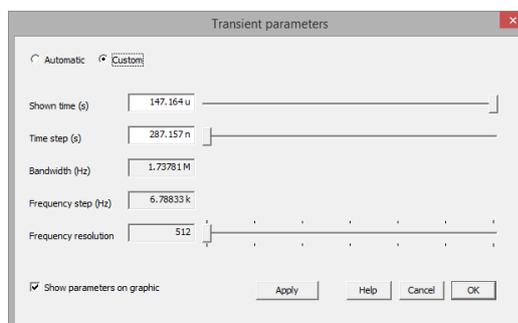


図 11-10 過渡パラメータ入力ウィンドウ

Time step : データポイント間の時間間隔を変更できます。

Frequency resolution : 過渡応答計算は電力コンバータの周波数応答の抽出に基づいており分解能が高いと抽出数も多くなります。高精度が必要であれば計算時間が長くなるためトレードオフとなります。

Shown time : ウィンドウに表示される期間を変更できます。

最大値は周波数分解能をかけた時間ステップによって制限されます。

ズーム効果は表示時間の減少、時間ステップの減少、周波数分解能を高めることとなります。

次の項目は情報目的で表示されます。

Frequency step : 2点間の周波数間隔 周波数分解能とバンド幅で決まります。
過度の高周波数ステップは信憑性に欠けた過渡図となることがあります。

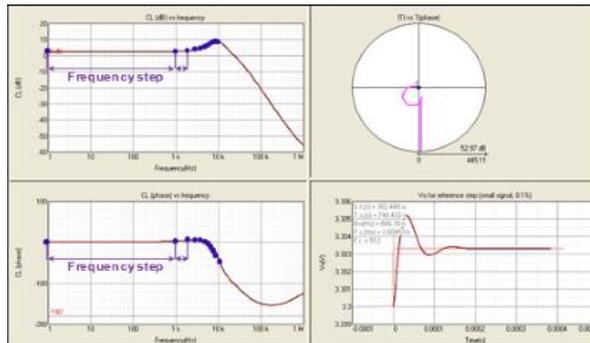


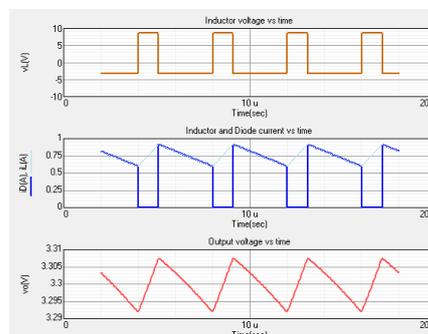
図 11-11 周波数ステップ表示図

Bandwidth : 抽出周波数の最大と選択された時間間隔により決まります。
過度に低い値の場合は過渡図の信憑性に欠けることがあります。

11.4 定常状態波形(Steady-state waveform)

定常状態波形パネルは一旦定常状態に到達した電力プラントとモジュレータの一番重要な波形です。

・ パワー段波形

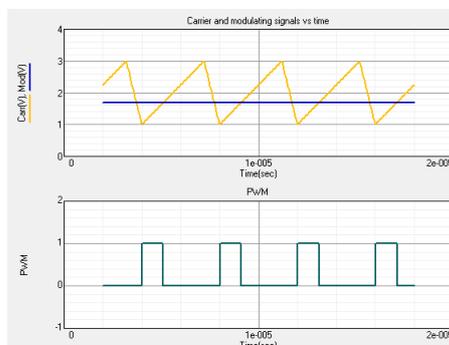


使用できる波形としては

- ・ インダクタ電圧
- ・ インダクタとダイオード電流

・ 出力電圧

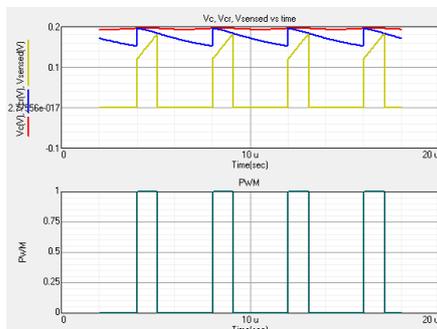
・ PWM変調波形



可能な波形は

- ・ Carr(V) : キャリア信号(ramp)
- ・ Mod(V) : Modulating 信号
- ・ PWM(V) : MOSFET ゲート電圧

・ ピーク電流モード制御波形



使用できる波形は

- ・Vc(t): 変調信号
- ・Vcr(t): 補償器のランプ波
- ・Vsensed(t): 検出された MOSFET かインダクタの電流

フォワードコンバータの場合 Vsil(t)信号は出力フィルタのインダクタ電流を表示するようプロットされています。

- ・PWM(V): MOSFET のゲート電圧

測定ツール

以下の二種類が使用できます。

Ctrl+mouse グラフ上で Ctrl を押したままマウスを動かすと二本の交差した赤いラインが現れマウスの座標が表示され任意の点で測定ができます。

Shift+mouse Shift キーを押したままマウスをグラフ上のプロット線に近づけるとカーソルがプロット線の位相とモジュールを同時に測定します。他のプロット線上へカーソルを移したい場合は他のプロット線上で左クリックしてください。

エクスポートツール

定常状態波形のパネル上で右クリックをするとポップアップメニューが出ます。

コピーとエクスポートのメニューが使用できます。

- Copy グラフィックパネルがクリップボードへコピーされます。
- Export 自動的に、ファイルメニュー内の出力メニューに移動します。

11.5 テキストパネル

二つのテキストパネルがあり、レギュレーター、センサーのタイプなどのいくつかの選択パラメータと同様に回路全体を構成しているすべての要素となる数値の利用が可能です。

テキストパネルは“ViewMenu”から選択するかメインツールバーの対応するアイコンをクリックすれば表示されます。

View Menu

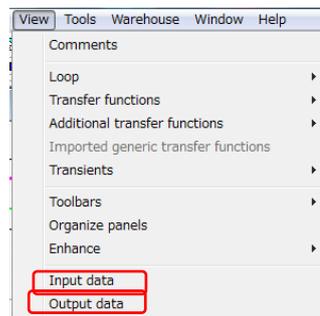


図 11-12 View Menu 画面

Main Tool Bar



Icon  Opens Input Data Panel

Icon  Opens Output Data Panel

Input Data 入力データパネルは電力段パラメータ、定常状態の DC 動作点、レギュレータのパラメータなどのコンバータの入力パラメータを表示します。

Output Data 出力データパネルは補償器の設計数値情報を表示します。ポールやゼロの周波数と同様にレギュレータの抵抗、コンデンサ値がリアルタイムで更新されています。

また最も重要なループ特性もです。すなわちそれはスイッチング周波数での位相マージン、ゲインマージン、減衰の値です。

ダブルループ制御のフォワードコンバータのテキストパネルの内容は次のようになります。 インナーループ、アウトーループに対する入力、出力情報が表示されます。

Input data panel

```
Input data
-----
INPUT DATA
Single loop
-----
Frequency range (Hz) : (1, 999 k)
Cross frequency (Hz) = 202.764
Phase margin (*) = 103.125
-----
Plant
-----
Buck (voltage mode controlled)
R (Ohms) = 4.356
L (H) = 40 u
Rl(Ohms) = 1 m
C (F) = 160 u
Rc(Ohms) = 50 m
Vin (V) = 12
Vo (V) = 3.3
Fsw (Hz) = 250 k
-----
Steady-state dc operating point
-----
Mode = Continuous
Duty cycle = 0.275
Vcomp (V) = 1.6975
Ii (A) = 757.976 m
Iimax(A) = 917.076 m
Iimin(A) = 598.076 m
Io (A) = 757.976 m
Vo (V) = 3.3
-----
Sensor
-----
Voltage divider
Vref/Vo = 0.757576
-----
Compensator
-----
Type 2
Gmod = 0.4
R11(Ohms) = 10000
Vb(V) = 3
```

図 11-13 入力データパネル図

Output data panel

```
Output data
-----
RESULTS
-----
Compensator (Analog):
-----
R2 (Ohms) = 7.1514 k
C2 ( F ) = 139.569 n
C3 ( F ) = 226.217 n
-----
Zs ( Hz ) = 159.456
Zp ( Hz ) = 287.835
Zf ( Hz ) = 49.6104
-----
b2 ( s^2 ) = 0
b1 ( s ) = 0.0009998114
b0 = 1
-----
a3 ( s^3 ) = 0
a2 ( s^2 ) = 2.2579e-006
a1 ( s ) = 0.00365786
a0 = 0
-----
Sensor:
-----
Ra (Ohms) = 160
Rb (Ohms) = 500
-----
Pa (Watts) = 4 m
Pb (Watts) = 12.5 m
-----
Loop performance parameters:
-----
FbF ( Hz ) = 2.33915 k
GM ( dB ) = 6.20602
Aacc( dB ) = -73.4244
```

図 11-14 出力データパネル図

12 ソリューションマップ

f_{cross} と PM(位相マージン)の適切な選択はループ最適化のための重要課題の一つです。

制御ループを設計する際の最初の試みを容易にするためにソリューションマップで定常解の領域での見積もりができるようになっています。プラント、センサそしてレギュレータのタイプを選択することでソリューションマップは安定したシステムとなる f_{cross} と PM の様々な組み合わせで安定した動作領域を表示してくれます。関係する2つのパラメータは周波数 vs.PM として表現されています。

- ・ 白色の領域内でクリックするだけで定常解へと導いてくれる f_{cross} と PM の値を選択できます。
- ・ 入力用の白地ボックスは自動的に更新されます。
- ・ 灰色のボックスは出力パラメータでスイッチング周波数におけるオープンループでの達成減衰を表しています。

さらに、前述の三つの値が際立って低いか高い場合などはボックスのバックグラウンドがユーザーにわかりやすいよう赤色となります。

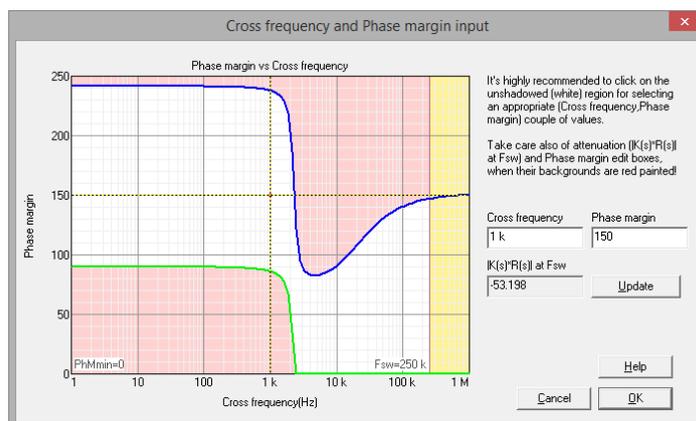


図 12-1 ソリューションマップ

境界 (Boundaries)

境界〈有効領域(白色の領域)を決定する〉は、どのような補償器でも達成できる最大及び最小の位相マージンを表示しています。

- ・ 単純な積分器は任意のレギュレータの特別なケースでもあり、レギュレータ(プラント、センサ、モジュレータ)なしでオープンループの伝達関数の位相に 90 度追加し PM の下限(緑のライン)を表示します。
- ・ ソリューションマップの上限は各種補償器(青ライン)によって提供される最大位相昇圧によ

て決められます。周波数に関して解領域がスイッチング周波数 f_{sw} で制限されます。

Double 180° crossing

定常状態のシステムであっても 180° の二重クロッシングは起こります。動作点変更がゲインドロップにより不安定な状態となる。白い定常状態の領域にあってオレンジ色の破線はダブルクロッシング無しの領域と次の図に示されているような部分の間で新領域として示しています。



図 12-2 Double Crossing zone

最初の設計ポイントが“ソリューションマップ”で選択されたら SmarCtrl はメイン画面を表示します。メイン画面ではソリューションマップはフローティングウィンドウとして表示されます。このウィンドウの位置はソリューションマップのウィンドウで右クリックしてすることで変更できます。重要な Warning メッセージはソリューションマップウィンドウの下の方に表示されます。

13 数式エディタ

数式エディタはその s-domain 伝達関数を用いてシステムの定義や制御ができる強力なツールです。

次の三つの方法でアクセスできます。

- ・初期ダイアログ画面から”Design a generic control system”を選択します。プラントとセンサの伝達関数が提供されます。

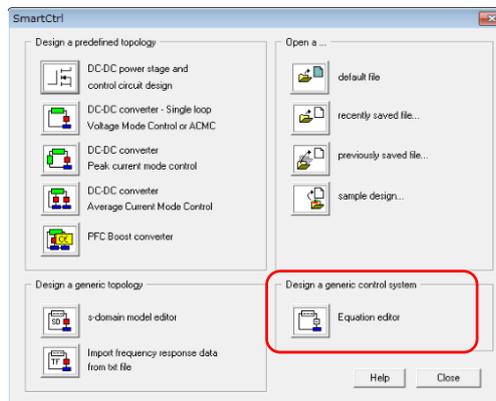


図 13-1 選択画面その 1

- ・初期ダイアログ画面の s-domain model editor を選択します。プラントは s-domain 伝達関数で定義されセンサは準備された中から選択されます。

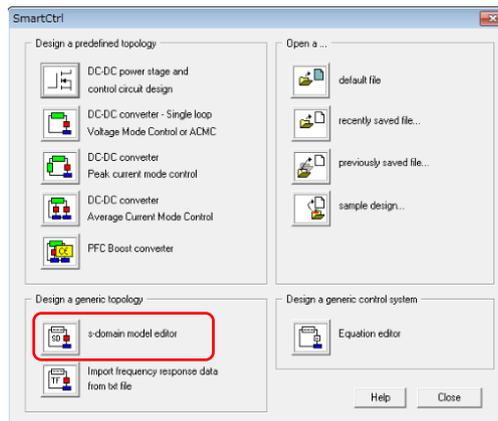


図 13-2 選択画面その 2

- ・メニューバーの Tool メニューから。プラントが設定され、.txt ファイルが生成されます。

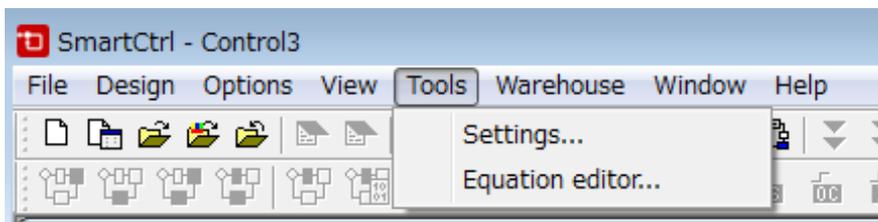


図 13-3 メニューバー

三種類ともオプションや設計手順は同じです。

最初にユーザーは次の二つの異なる Option から選択し s-domain の伝達関数を定義します。

- ・ 以前の設計 Data のインポート(open をクリックしてください)
- ・ 新しい伝達関数を定義します。(エディタボックスをクリックしてください)
次の章のエディターのルールでチェックしてください。
- ・ "set defaults"をクリックすることで load できる定義済み伝達関数があります。

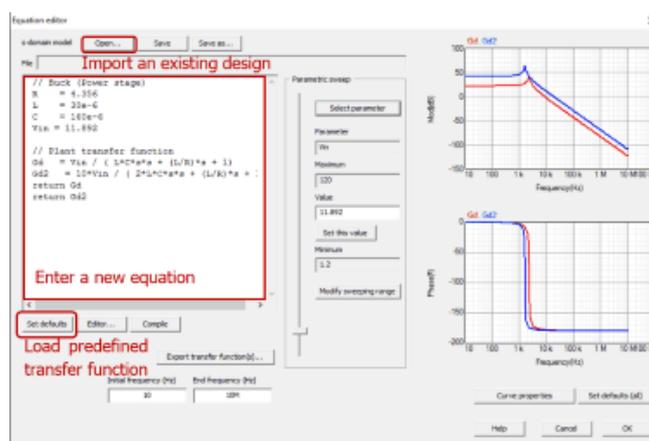


図 13-4 設定画面

数式が決まりましたら

- ・ 伝達関数の名前に続いて最後の文に"return"を書いてください。次図のように複数の伝達関数は同時に戻され結果の比較時間短縮となります。
- ・ "Save"をクリックし拡張子.tromod のテキストファイルで数式を保存します。
- ・ "Compile"をクリックするとウィンドウの右端にボード線図が表示されます。
- ・ 必要であれば伝達関数の周波数応答を "Export transfer function"をクリックすることで.txt ファイルとしてエクスポートすることができます。

エクスポートしたファイルはインポート(マージ)機能にて再度呼び出され
ボード線図のグラフィックパネルで表示できます。

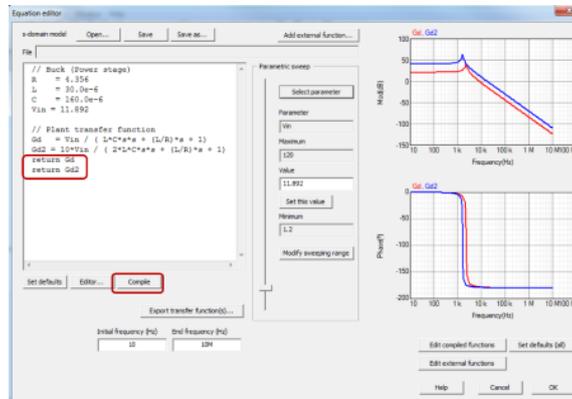


図 13-5 ボード線図のグラフィックパネル画面

必要であれば、数式エディタは“return “で区切ることで追加できいくつかの伝達関数を
表示できます。表示された波形のプロパティを変更するためには”Curve properties”ボタン
をクリックしてください。このボタンは各々の波形の色、太さ、スタイルを選択できます。

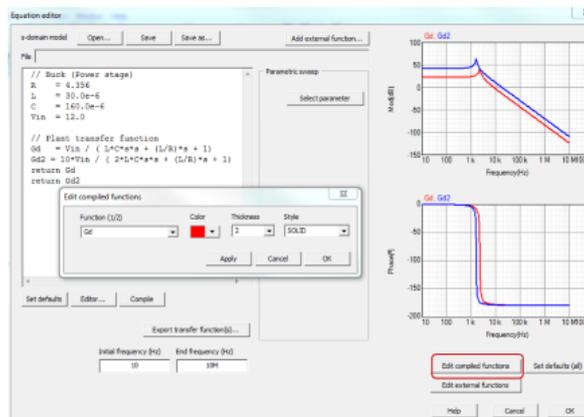


図 13-6 波形プロパティ画面

数式エディタ (Equation editor)

数式エディタでも定義された変数でパラメータスイープを行うことができます。
スイープするときには次の図のように変数の一つが左側のパネルにハイライトされて
いる間に “Select Parameter”をクリックします。
選択された変数値は “Value”ボックスに設定するか、“Modify sweeping range” を
使って範囲設定できるスクロールバーを使ってか定義された範囲内でユーザーは指
定できます。スイープの状態は右のボード線図に
自動的に表示されます。(もしシステム全体、プラント、レギュレータがこの方法

で変更されたら“Modify source code variation”をクリックした後にスイープは実行されます。16.3章を参照してください。)

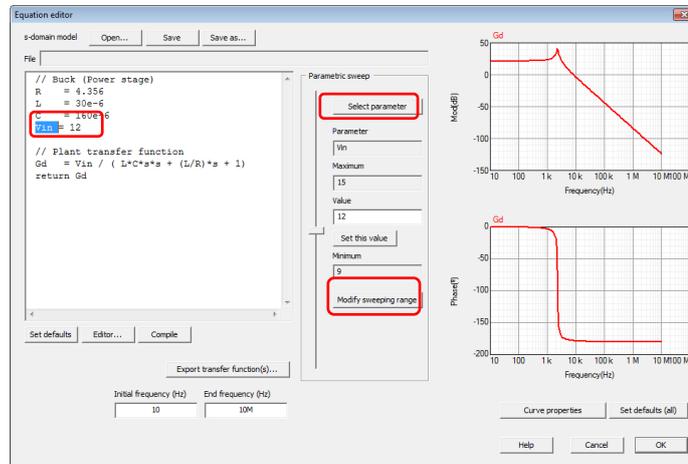


図 13-7 数式エディタのウィンドウ

他の伝達関数と簡単に比較するのであればボード線図を”Add external function...”をクリックするか、周波数、強度、位相のタブで分離された3つのカラムをもつテキストファイルをブラウザするかして読み込みます。

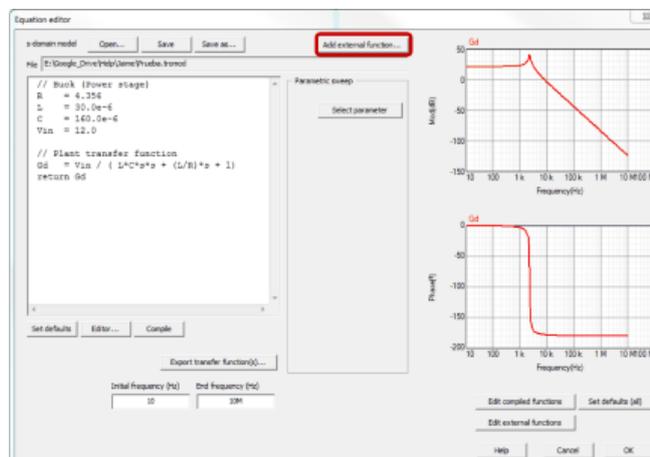


図 13-8 外部値読み込み

13.1 エディタボックス

数式エディタは代数式で伝達関数を定義できます。使用時の基本的なルールは次のようになります。

1. 二つの命令があります：“assignment”と“return”です。
2. 一つの行には一つの命令しか書けません。（“assignment”か“return”かどちらかです。）
3. 空白行は使えます。
4. “assignment”の変数命名方法
 - a. 名前の先頭はアルファベットの文字を使わなければなりません。
 - b. 名前はアルファベットか数字かアンダーラインしか使えません。
 - c. “sqrt”,”pow”,”return”そしてPIは変数名には使用できない名前です。
5. 数学的表現に関するルール
 - a. 数式表現に使える演算子は +, -, *, /. です。
 - b. 式にグループ括弧は使用できます。
 - c. 使用可能な組み込み関数は次のようになります。
sqrt(a) a の平方根
pow(a,b) a の b 乗
 - d. 代数式は組込関数を含むことができます。

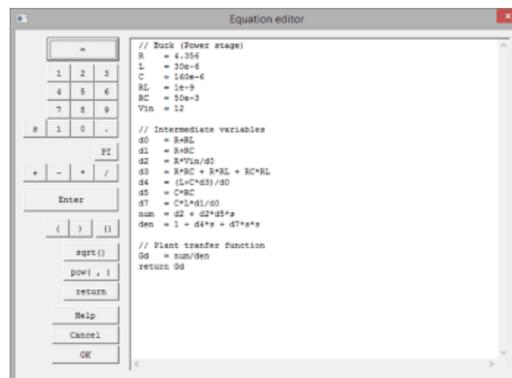


図 13-9 数式エディタのウィンドウ

14 インポートとエクスポート

14.1 エクスポート

14.1.1 伝達関数のエクスポート

SmrtCtrl では File メニューの export のところに三つの違ったエクスポートオプションがあります。

最初のオプションは"export transfer function"でメインのツールバーのアイコン



を左クリックすることでも使えます。

利用可能などの伝達関数も.txt ファイルでエクスポートできます。そのためにはユーザーは available list からエクスポートする関数を選択し対応するダイアログボックスでファイルのオプションの設定の選択をしなければなりません。

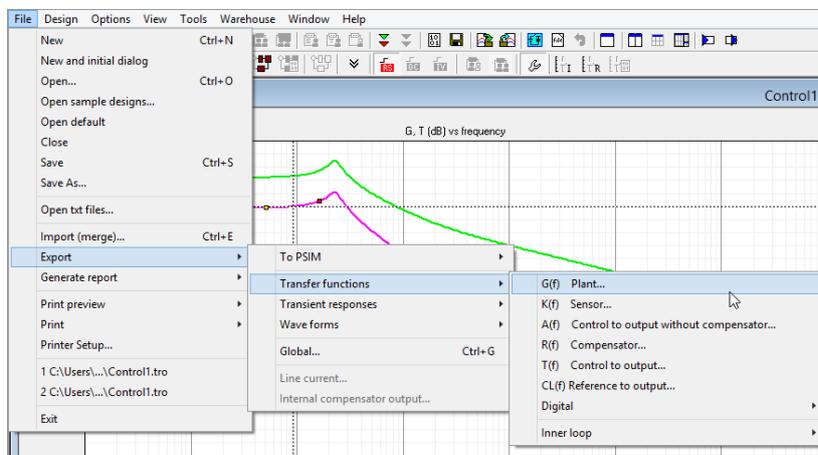


図 14-1 伝達関数のエクスポート画面

ファイルは周波数ベクトル、dB のモジュール、度(degrees)の位相を含む三つの列によって形成されています。ファイルオプションと特性は"Exporting transfer function dialogue box"に含まれ次のように表示されます。

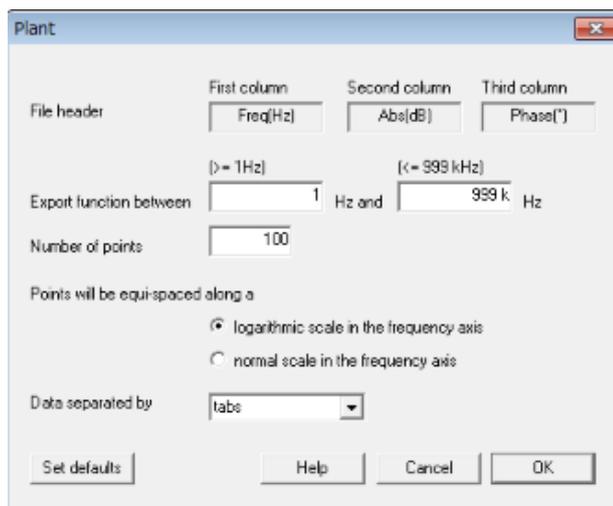


図 14-2 ファイルオプション設定画面

File Header ファイルの三つの列の名前が含まれています。

Export function between ユーザーはエクスポートする伝達関数の周波数範囲を設定できます。

Number of points ポイント数ファイルに保存されます。

Points will be equi-spaced along a
周波数軸を対数目盛りとします。
周波数軸を通常スケール(10進数)とします。

Data separated by: Data 区切り タブ、スペース、カンマの設定をします。

14.1.2 PSIM へのエクスポート

SmartCtrl では PSIM への LINK がはってあります。レギュレータを設計するとパワーステージと補償器を PSIM へ回路図への自動生成、もしくは SmartCtrl における設計パラメータを含んでエクスポートできます。この回路図は PSIM での設計検証に使用できます。

“File”メニューでは PSIM へのエクスポートが可能です。ユーザーは回路図のエクスポートの際に、パラメータファイルのみか、以前エクスポートしたパラメータファイルを更新するかを選択できます。

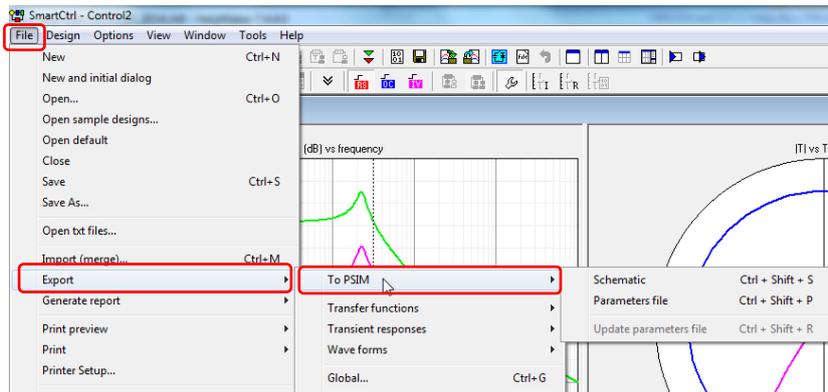


図 14-3 PSIM へのエクスポート画面

14.1.2.1 PSIMへのエクスポート(回路図) Export to PSIM(Schematic)

最初のステップではユーザーは読み込みたい回路図の PSIM ファイル名とパスを選択します。ファイルが作成されていない場合は新規の PSIM ファイルとしてユーザーが名前をつけて作成します。

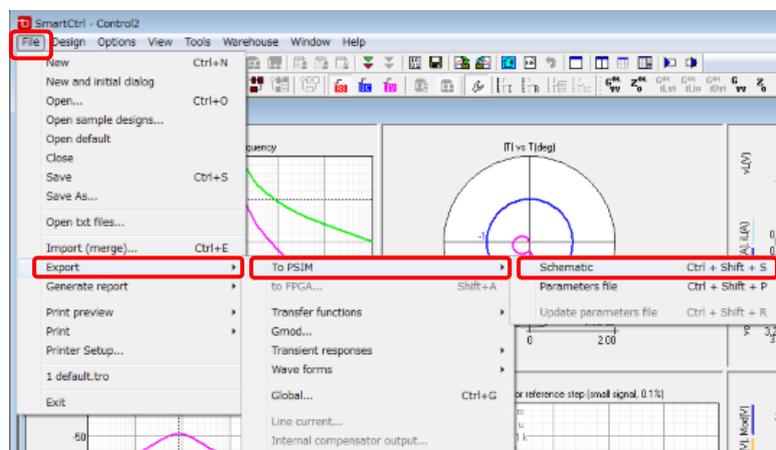


図 14-4 PSIM へのエクスポート選択画面

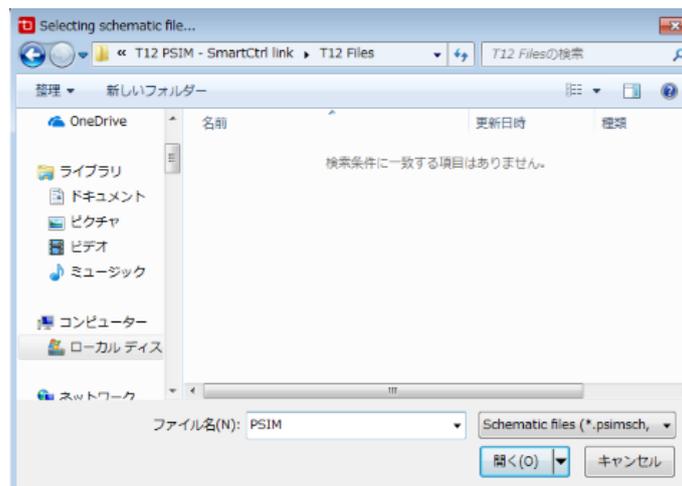


図 14-5 ファイル選択画面

次にユーザーはオプションの選択をします。



図 14-6 エクスポートのオプション選択画面

補償器のエクスポート方法

- ✓ “構成要素 (R1,C1...が既存) “ : 補償器の回路図とパラメータはアナログ実装 (オペアンプや受動素子) とともにエクスポートされます。例は次のようになります。

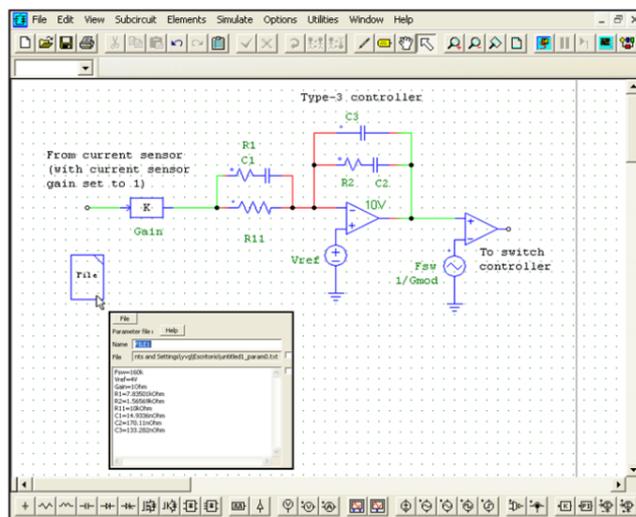


図 14-7 エクスポートされたパラメータ

“s-domain 係数”：補償器の回路図とパラメータは次の例のように PSIM 制御ブロックの形式でエクスポートされます。

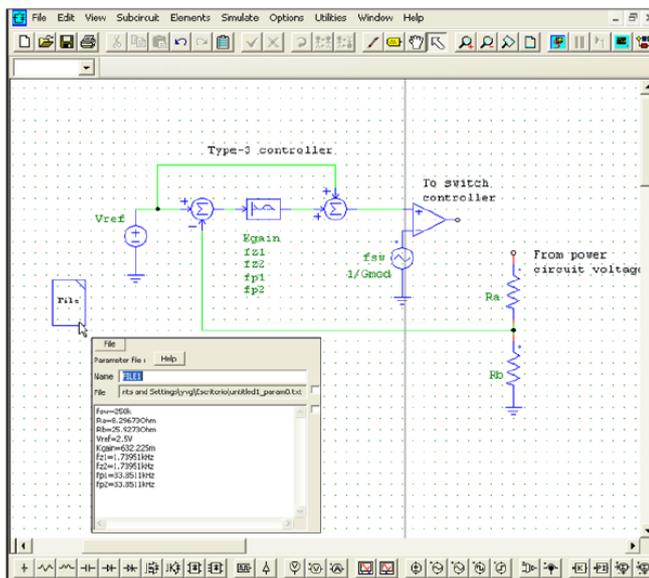


図 14-8 PSIM 制御ブロック形式のエクスポート画面

“z-domain coefficients”：補償器の回路図とパラメータは z-domain 伝達関数の形でエクスポートされます。そのため PSIM へエクスポートする際には z-domain のフォーマット

を選択する前に” Digital Settings “ を設定する必要があります。

デジタル補償器を表現する z-domain 伝達関数の他に追加ブロックが追加されます。

○Time-delay block : モジュレータに相当する制御ループの累積遅延から時間遅延をひいたものを表しています。それは、すなわち ADC 遅延と計算遅延となります。

○Duty サイクルが少なくとも 97%より低いことを保証するモジュレータのコンパレータの前のリミッター。

注釈 1 : センサとして “Embedded V.div” が選択された時にはこのセンサは構成要素としてアナログ実装に向いているため回路図は PSIM へはエクスポートできません。

注釈 2 : ピーク電流制御の場合、補償器のエクスポートできる唯一のオプションは “components”です。s-domain と z-domain はまだ使用できません。

Power stage and sensors

パワーステージの回路図とパラメータ、センサがエクスポートされます。

Initial conditions

出力コンデンサのインisial電圧とインダクタのインisial電流がエクスポートされます。この方法でシミュレーションの初期の過渡信号を低減できます。

14.1.2.2 PSIM(パラメータファイル)へのエクスポート Export to PSIM(Update parameters file)

必要なパラメータを持つテキストファイル (.txt) だけが以前作成された PSIM 回路図へエクスポートされます。前と同様にエクスポートするパラメータファイルを持つ PSIM の回路図のパスを選択します。その後はエクスポートのオプション(レギュレータのエクスポート方法、パワーステージとセンサ及び初期条件)を選択する必要があります。

14.1.2.3 パラメータファイルの更新 Update parameters file

前の説明にあるオプションの 1つを設定したら既存のパラメータファイルの更新を行います。ユーザーがアイコンをクリックすると以前読み込んだパラメータファイルが自動的に更新されます。

14.1.3 過渡応答のエクスポート(Export transient responses)

SmartCtrl ではファイルメニューのエクスポート項目にある三つの違ったエクスポートオプションが使えます。エクスポートオプションの三番目にある”Transient responses”では利用可能な過渡応答をファイルへエクスポートします。

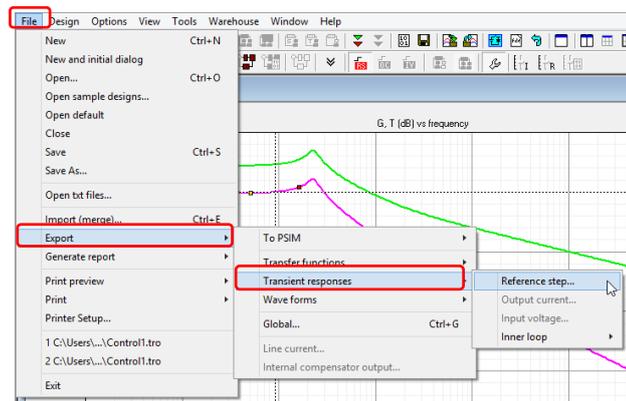


図 14-9 エクスポートの選択画面

このオプションは過渡応答のグラフィックパネル上で右クリックをしても同様に利用可能です。対応しているダイアログボックスは次のようになります。これは過渡応答を次のパラメータとしてエクスポートしています。

- | | |
|------------------------------|--|
| Time shift | ユーザーは必要に応じてタイムシフトを秒単位で設定できます。過渡応答は時間軸に沿って表されます。 |
| No. of points to be exported | SmartCtrl はグラフの合計プロット数を表示します。 |
| Print step | デフォルト値は 1 でこの場合すべてのデータポイントがファイルへエクスポートされます。4 とした場合は 4 点のうち 1 ポイントが保存されます。この設定によりファイルサイズの縮小が図れます。
プリントステップボックスの両側にある二つのボタンを使うと x2 で増加 /2 で減少とプリントステップを簡単に設定できます。 |

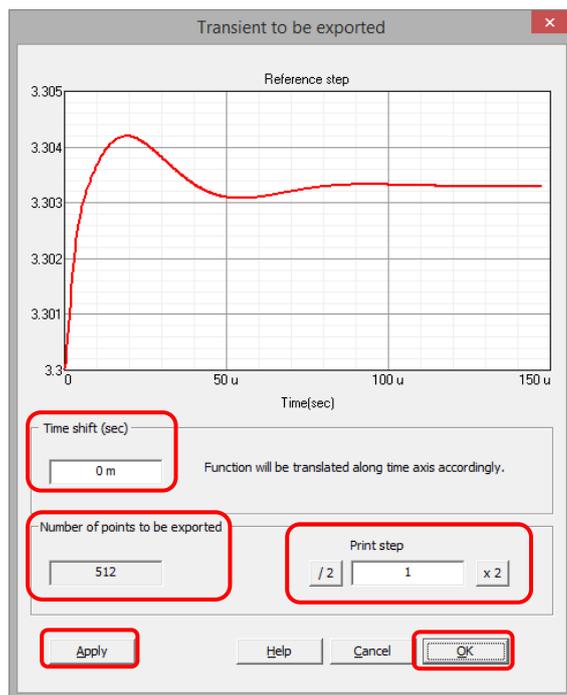


図 14-10 過渡応答エクスポートオプション設定画面

Apply をクリックすることでパラメータが更新され、OK で継続されます。
ここでファイルの場所と名前が必要になります。

14.1.4 エクスポートグローバル(Export Global)

ファイルメニューから Export Global を選択することが可能です。

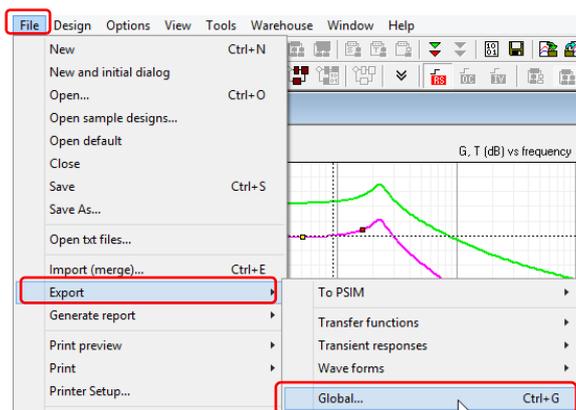


図 14-11 エクスポートグローバル選択画面

このオプションはユーザーが設計に関する様々な情報をテキストファイルでエクスポートすることができます。選択した情報に応じてテキストファイルは対応するチェックボックスの下で別名をもつようになります。

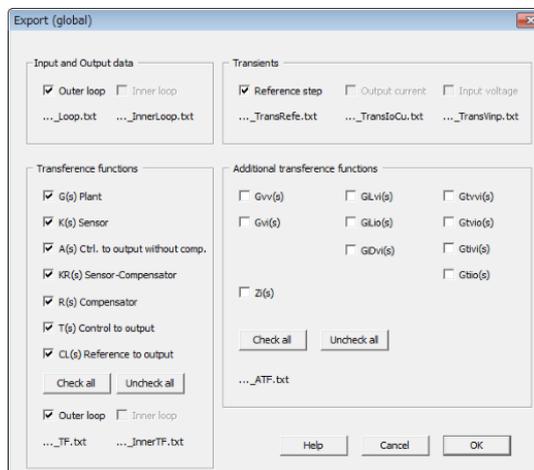


図 14-12 エクスポートグローバルの情報選択画面

次の情報をエクスポートすることが可能です。

- ・ 設計の入力データと出力データ
- ・ Transients : トランジェント(過渡)ステップの時間(s),
電圧および電流の大きさ(magnitude) (V orA)
- ・ Transference functions : 基本的な伝達関数の周波数(Hz),
大きさ magnitude(dB)と位相(deg)
- ・ 追加の伝達関数 : 音声信号感受性やインピーダンスなどの追加伝達関数の周波数(Hz),
ゲイン magnitude と位相(deg)。ユーザーは伝達関数のエクスポート
の時のように伝達関数に対してファイルフォーマットを設定します。
最後にパスを設定しファイルを保存します。

14.1.5 波形のエクスポート(Export waveforms)

SmartCtrl にはファイルメニューのエクスポート項目に三つの違ったエクスポートオプションがあります。四番目にあるのが波形のエクスポートです。

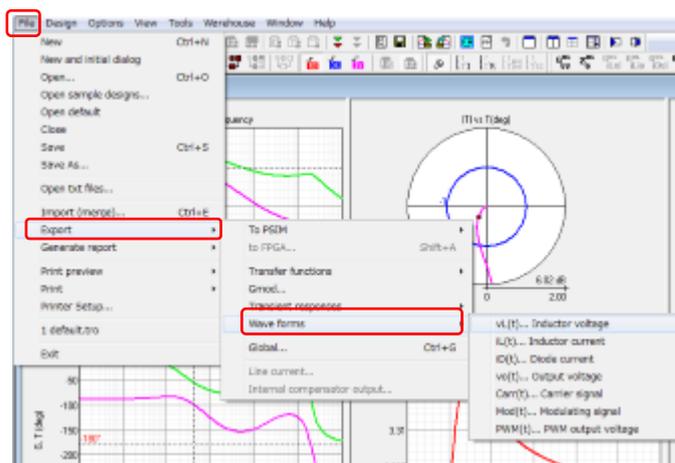


図 14-13 波形のエクスポート選択画面

どのような波形でも.txt ファイルとしてエクスポートできます。これを使うとユーザーは available list からエクスポートする信号を選択でき対応するファイルのダイアグボックスでオプションを設定できます。

アドレスされたファイルはそれぞれ秒単位の時間と電流/電圧の瞬時値を含む二列で形成されています。

ファイルのオプションとその特徴は次のようになっています。

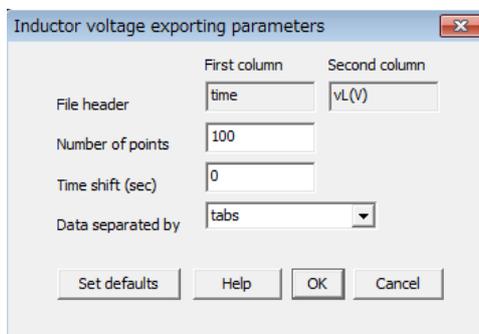


図 14-14 ファイルオプションの画面

- | | |
|---------------------|--|
| File Header : | ファイルの 2 列の名前が含まれています。 |
| Number of points : | ファイルに保存したポイント数 |
| Time shift(sec) : | ユーザーは時間シフト(秒単位)を設定できます。
必要な場合は過渡応答を時間軸で表示します。 |
| Data separated by : | データの区切りはタブ,スペース,カンマでできます。 |

14.1.6 FPGA へのエクスポート(Export to FPGA)

デジタル補償器が設計された場合メニューの File>>Export>>to FPGA(Shift+a)をクリックすることで FPGA へエクスポートできます。

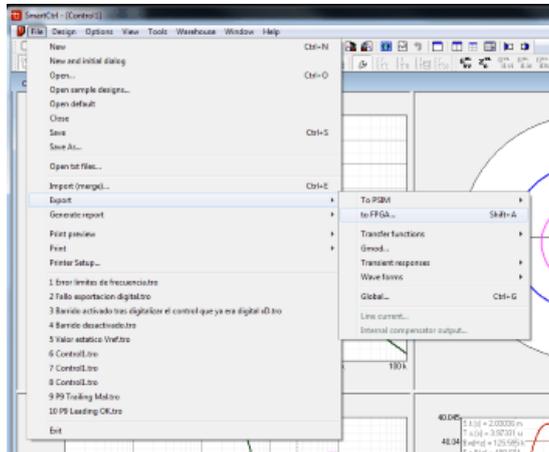


図 14-15 FPGA へのエクスポート画面

クリックすると次のようなウィンドウが開きます。

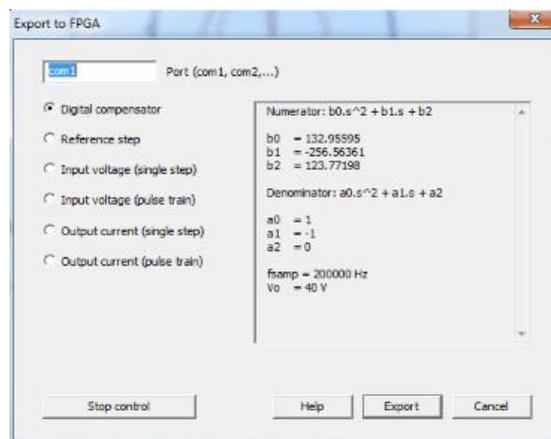


図 14-16 FPGA への出力の詳細設定画面

このウィンドウのオプションは次のようになります。(選択するオプションにあわせてウィンドウの内容は変わります)

- Port: FPGA が接続されている PC ポート
- Digital Compansator: 補償器だけが FPGA へ出力されます。
- Reference step: リファレンス値でのステップで%で表示されます。
- Input voltage(single step): 入力電圧で設定されたステップ

所要時間で定義され 78%から 100%の値となります。

- Input voltage(pulse train) : 入力電圧で実行されるいくつかのステップです。
ある期間で定義され 78%から 100%の値となります。パルス(1/周期)、デューティサイクル、パルス数で設定されます。
- Output current(single step) : 出力電流で実行されるステップです。I_{max} から I_{min} まである期間で設定されます。
- Output current (pulse train):出力電流で実行されるいくつかのステップです。
ある期間で定義され 78%から 100%の値となります。パルス(1/周期)、デューティサイクル、パルス数で設定されます。

このオプションが選択されると “export”ボタンでボードへ出力され、“Stop Control”アイコンで止めることができます

14.2 インポート(マージ)

インポート(マージ)は、既存のデータをもつ別のファイルのデータを表示します。これら二つのファイルの波形がマージされます。マージ機能はファイルメニューからかメニューバーの  をクリックすることで可能です。周波数応答の波形(ボード線図)の比較ができます。マージするファイルは.tro, .txt, または.fra の拡張子をもつファイルになります。これは現在のファイルの結果の比較は以前に.txt 形式でもしくは PSIM 周波数 AC 解析で保存された任意の伝達関数と SmartCtrl プログラムにより保存された最近の結果とを比較することができます。

.tro ファイルもしくは.fra ファイルのいずれもマージ機能で使用するためにフォーマットする必要があります。 .txt ファイルを使用する場合は次の点を考慮する必要があります。

ファイルは三列で左から右へ編成されなければなりません。

最初の列は周波数の値になります。

二列目は dB 単位のモジュールに対応します。

三列目は ° 単位の位相となります。

次のステップは伝達関数を.tro か.txt と比較し追加、修正、削除する場合についてです。

1. マージ (Merge)

File メニューから、もしくはメインのツールバーの  を左クリックすることでマージを実行できます。

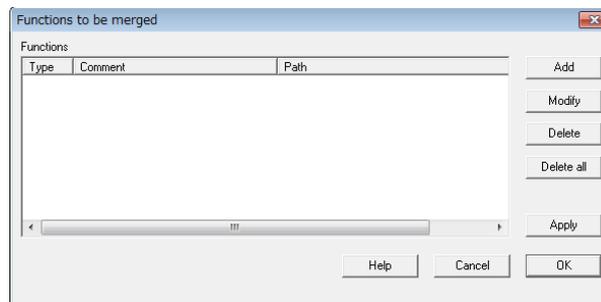


図 14-17 マージ機能の画面

2.使用可能なアクション(Available actions)

次の実行項目が使えます。

- Add 比較のために新しい伝達関数を追加します。
- Modify 伝達関数に追加された設定を修正します(色の変更、元のファイル等)
- Delete 選択した関数を消去します
- Deleteall すべての関数を消去します
- Apply 現在の設定を適用します
- OK 現在の設定を適用しマージウィンドウを閉じます
- Cancel 変更を適用せずにマージウィンドウを閉じます
- Help ヘルプ画面を表示します

14.2.1 関数の追加(Add Function)

マージするための追加関数は比較として新たな伝達関数を追加することができます。

1. 関数タイプの選択

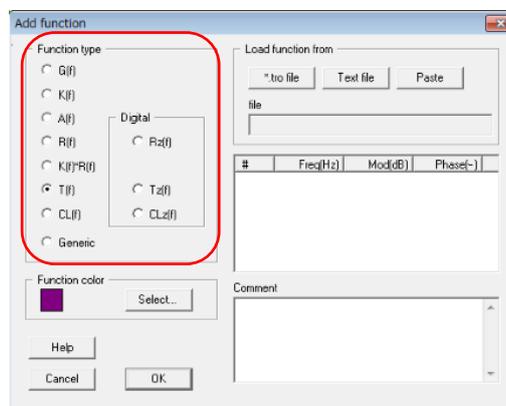


図 14-18 関数タイプの選択画面

ここで

- ・ G(f) プラント伝達関数
- ・ K(f) センサ伝達関数
- ・ A(f) =G(f)・K(f)
- ・ R(f) レギュレータ伝達関数
- ・ K(f)・R(f) K(f)と R(f)の積
- ・ T(f)=A(f)・R(f) オープンループ伝達関数
- ・ CL(f) クローズドループの伝達関数

2. 色の選択

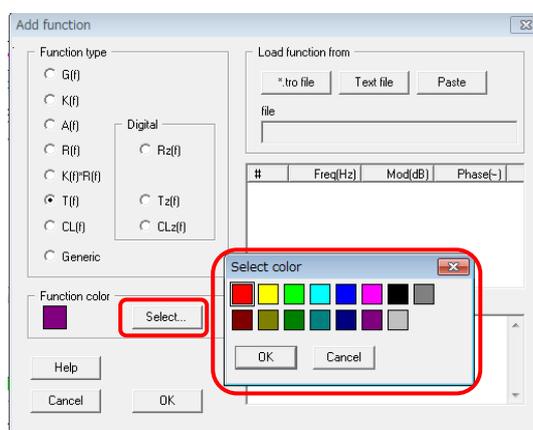


図 14-19 色の選択画面

3. .tro か .txt fileからの関数のロード

.tro か .txt file のどちらからでも関数のロードができます。

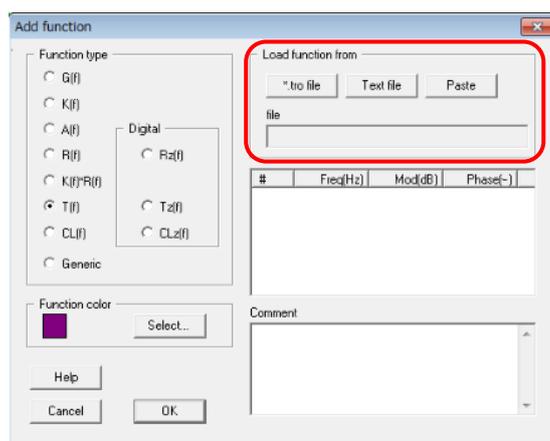


図 14-20 ファイルのロード画面

4. OK

伝達関数はボード線図の位相パネルとモジュールに追加されます。

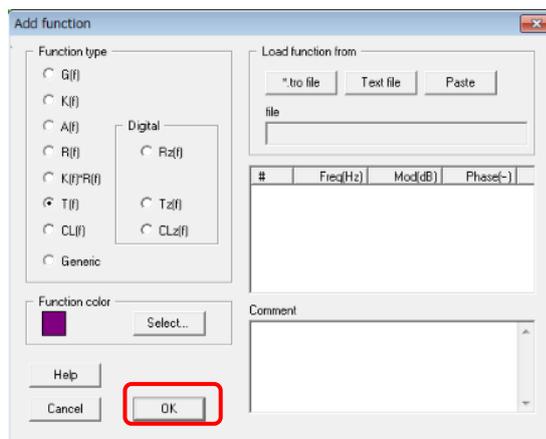


図 14-21 設定完了画面

14.2.2 機能の変更(Modify Function)

機能の変更では以前マージした伝達関数の色の変更、元のファイルなどの設定を修正することができます。

1. 変更する機能の選択(Select the Function to be modified)

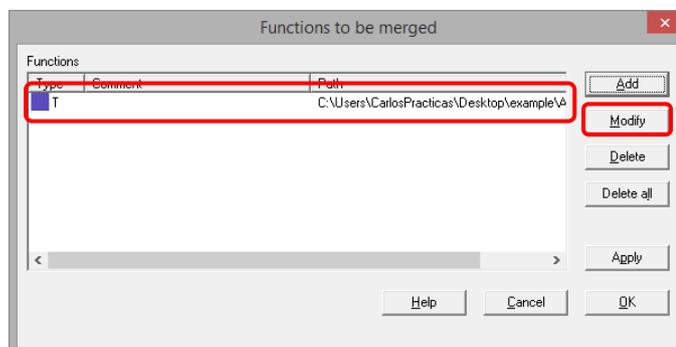


図 14-22 機能変更画面

機能の変更修正は

2. Modify ボタンのクリック
3. Modifysettings

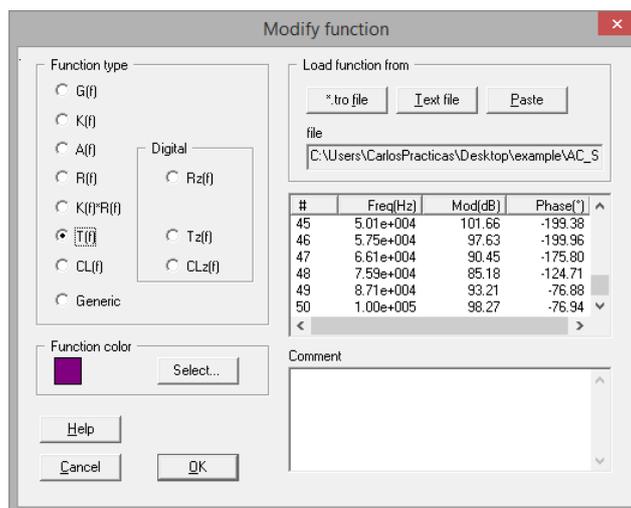


図 14-23 機能修正画面

ユーザーは次のパラメータの変更が可能です。

- ・新しいファイルの Load
- ・トレースの色の変更

関数のタイプを変更する場合は新しいファイルを Load しなければなりません。

15 設計手法

設計手法ボックスは View ツールバーのアイコン  をクリックすることで有効・無効にできます。設計手法ボックスには以下の項目が含まれています。

設計手法のタグ

レギュレータの計算のために利用可能な三つの設計手法に対応したタグは

K-method

K plus method

Manual

となります。

スイッチング周波数における減衰

この出力ボックスはスイッチング周波数におけるオープンループの伝達関数による減衰を表示します。

ソリューションマップ

選択したプラント、センサ、レギュレータのタイプに基づきソリューションマップが定常解領域で定常解となる見積もり結果を提供してくれます。含まれる二つのパラメータは周波数対 PM として表示されます。

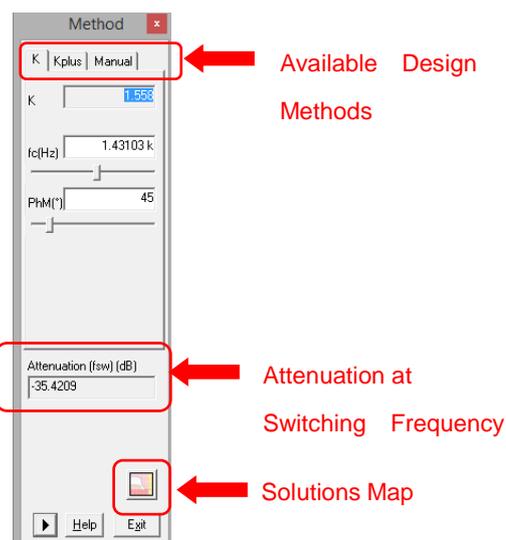


図 15-1 設計手法選択画面

クロス周波数と位相マージンの検討は白いボックスの値をスライダーを使うかソリューションマップの別のポイントをクリックするかで変更することができます。

15.1 K-factor Method

K factor ではユーザーが特定のオープンループのクロスオーバー周波数、位相マージンを選択でき、これらの結果を達成するための必要な要素値を決定することができます。SmartCtrl ではレギュレータのコンポーネント値は結果のテキストパネルに表示されます。K factor(f_c, PM)の二つの入力パラメータはデザインメソッドボックスのKメソッドタグで簡単に変更できます。

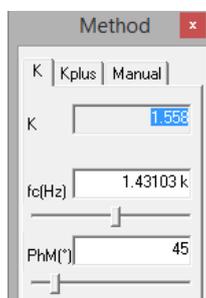


図 15-2 Kファクタ法の設定画面

これらもソリューションマップで修正でき K method では新しい値に適したレギュレータを再計算します。安定定常解は白色の領域です。

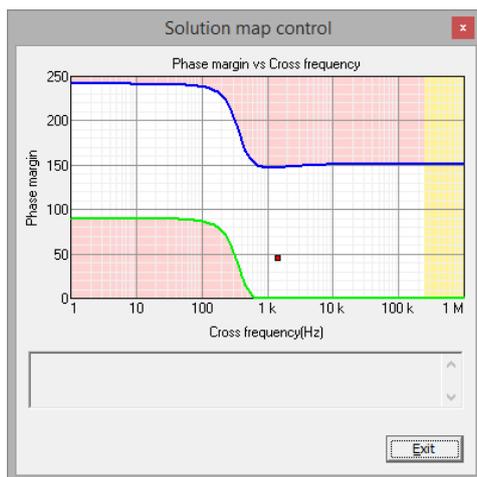


図 15-3 Kファクタ法によるソリューションマップの画面

SmartCtrlではType2とType3の両方のレギュレータに対してK methodが使用できます。

Type3 レギュレーターのK ファクター

Type3のレギュレータは二つのゼロ、二つのポールと一つの低周波のポールから形成されています。

Type3のレギュレータを選択するとKファクター法は二つのポールと二つのゼロが補償器の設計のために設定されなければならないと仮定します。

- ・二つのゼロは f/\sqrt{K} の周波数に設定されます。
- ・二つのポールは $f \cdot \sqrt{K}$ の周波数に設定されます。

Kは二つのポール周波数と二つのゼロ周波数との比で定義され周波数 f は二つのゼロの周波数と二つのポールの周波数との相乗平均となります。

最大オープンループの位相昇圧は周波数 f で達成され、レギュレータはオープンループクロスオーバーもやはり周波数 f で起こるといふ仮定のもとに設計されます。

Type2 レギュレーターのK ファクター

Type2レギュレータは一つのゼロ、一つのポールと低周波のポールで形成されています。Type2のレギュレータでは次のようなゼロとポールになります。

- ・ゼロは f/K で設定
- ・ポールは $f \cdot K$ で設定

Kファクターはポール周波数のゼロ周波数に対する比の平方根で定義されており、 f はゼロ周波数とポール周波数の相乗平均となっています。

ゼロポールペアによる最大位相昇圧は周波数 f で起こります。また、オープンループクロスオーバーは周波数 f で起こるといふ仮定のもとにレギュレータは設計されます。

15.2 Kplus 法

Kplus法はK-factor法に基づいており入力と同じです。

- ・所望のクロスオーバー周波数(f_c)
- ・ターゲット位相マージン (PM)

しかしK-factor法とは異なりクロスオーバー周波数はゼロとポール周波数の相乗平均ではありません。

Kplus法は、従来のKfactor法に追加のデザイン自由度を提供するもので、Kplus法ではダブルゼロ周波数 f_z 、 $f_{cross}(f_z=f_c/\alpha)$ の因子 α とポール $f_{cross}(f_z=f_c \cdot \beta)$ の因子 β を設定します。

ここで α は f_{cross} と位相マージンから設定されています。このパラメータはユーザーがゼロが設定される正確な周波数を選択することができます。

β は自動的に計算されます。

Kplus の追加の自由度には次のような使用方法があります：

- ・ “ α ” が K(K-factor 方法からの)より低く設定された場合、低い周波数で高いゲイン及びスイッチング周波数(fsw)での少量の減衰が含まれます。
- ・ ” α ” が K(K-factor 法からの値)よりも高く設定されると逆に制御ループは fsw でより大きい減衰の低い周波数における少量のゲインを持ちます。
- ・ “ α ”が K に等しい場合は両方の方法は同じとなります。

それゆえ Kplus 法は PWM 変調器の入力でやや高めの周波数リップルが認識されたような場合に制御ループのパフォーマンス全体の性能を改善するために用いられます。

Kmetod と同様に Kplus タグが選択されユーザーは入力パラメータ、位相マージン、クロスオーバー周波数そして追加のパラメータで前述の “ α ” に対応する Kplus が簡単に変更できます。

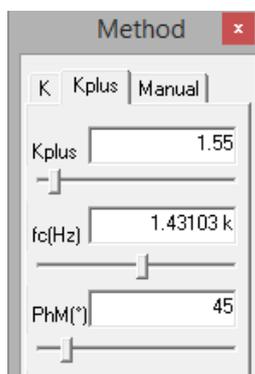


図 15-4 Kplus 法の設定画面

これらはソリューションマップ上でクリックすることで修正でき、Kplus 法は新たな値にフィットするレギュレータを再計算します。安定定常領域は白い領域部分であることを忘れないようにしてください。

15.3 マニュアル法

この方法はポールとゼロを互いに独立して設定できます。

ユーザーが K と Kplus 法の結果をリファインしたい場合か自動で有効な解決策が提供されない場合に使用できます。

マニュアル法は type3 と type2 両方のレギュレータに対して使用できます。ポールとゼロ周波数はボード線図上で直接ドラック、ドロップして変更できます。

もしくはデザインメソッドボックスの入力ボックスにポールとゼロ周波数を入力することも変更できます。

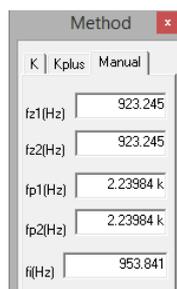


図 15-5 マニュアルの設定画面

Type3 のレギュレータの場合、ユーザーは周波数を調整できます。

- ・二つのゼロ
- ・二つのポール
- ・低周波ポール

Type2 のレギュレータの場合、可能な周波数は次のようになります。

- ・ゼロ
- ・ポール
- ・低周波ポール

15.4 PI チューニング

PI チューニング法の入力パラメータは K-factor 法と同じです。

- ・位相マージン
- ・クロスオーバー周波数

これら二つの入力パラメータから SmartCtrl は比例 (Kp) と積分 (Kint) ゲインの両方を計算し出力ボックスに表示します。

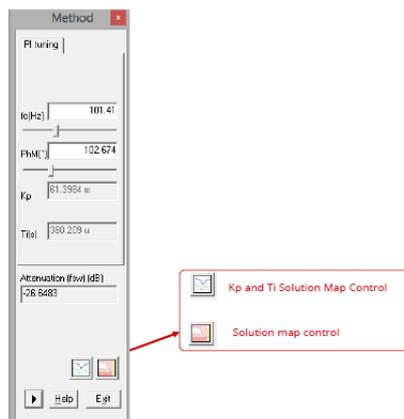


図 15-6 PI チューニングの設定画面

他の自動計算法と同様に位相マージンとクロスオーバー周波数はソリューションマップ上でクリックすることで直接設定できます。

さらにパラメータ K_p と T_i を直接調整することで PI レギュレータを調整できる K_p と T_i のソリューションマップがあります。

比例積分制御器 (PI) は次の伝達関数によって定義されます。

$$G(s) = K_p \cdot \frac{1 + T_i \cdot s}{T_i \cdot s}$$

ここで K_p : PI コントローラのゲイン

T_i : PI コントローラの時定数 (秒)

X 軸が時定数 T_i で Y 軸はゲイン K_p です。どのような変化でもソリューションマップ同様グラフィックパネルの残りのウィンドウも瞬時にアップデートします。

ソリューションマップの推奨エリアにおける各点は K_p と T_i の安定状態となるようなソリューションマップコントロールボックスに対応する同等のポイントがあります。

しかしながら K_p と T_i ソリューションマップコントロールボックスの何点かはソリューションマップにおける特異点に対応している場合があります。

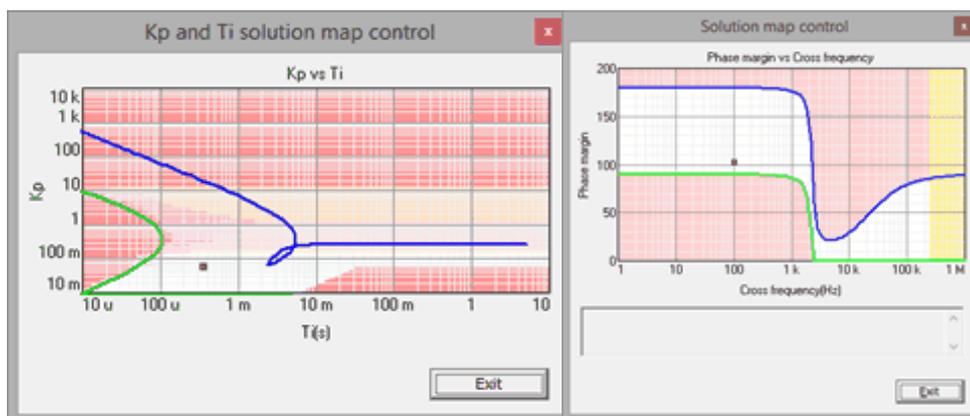


図 15-7 K_p vs T_i ソリューションマップ

同じ性能をもつ補償器となる K_p と T_i の可能な組み合わせはたくさんあるので K_p と T_i のソリューションマップコントロールボックスのいくつかの領域では K_p と T_i のソリューションマップコントロールボックスとソリューションマップの各点の関係の複雑な定義を避けるため色づけされています。

推奨される設計領域は緑と青のラインの間の白い領域となっています。

これらのラインは PI レギュレータに寄与した K_p と T_i の変数の設定限界を表しています。残りの着色領域はゲインマージン、位相マージン、減衰の加重平均を表しています。赤の領域は避けなければなりません。緑と青の線の間の黄色とピンクの領域はスイッチング周波数が 0dB よりも高い減衰の実現可能な補償器に対応する領域となっています。

15.5 単一ポールチューニング (Single Pole tuning)

単一ポールチューニング法はレギュレータがなければマニュアル法と同じです。単純な積分器はユーザーが周波数を選択する単一ポールで形成されています。この周波数を設定すると関連した位相マージンはプログラムにより自動で計算されます。

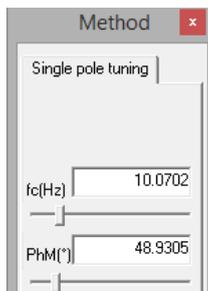


図 15-8 単一ポールチューニング画面

積分器のソリューションマップはレギュレータ伝達関数なしのオープンループに 90° の追加を表示したシングルラインです。

ユーザーは他の設計方法と同様にソリューションマップでクリックすることでクロスオーバー周波数を決定することができます。

16 パラメトリックスイープ

パラメトリックスイープは Design メニューか View ツールバーアイコンからアクセスできます。SmartCtrl では三種類のパラメータスイープを提供しています。

入力パラメータのパラメトリックスイープ

システムのすべての入力パラメータの変数として次があります。

- ・一般データ
- ・プラント
- ・センサー
- ・レギュレータ

補償器の構成要素のパラメトリックスイープ

補償器の構成要素値を変化させることができます。すなわちレギュレータに相当する抵抗、容量です。

(ソースコードパラメトリックスイープ

数式エディタで書かれたすべての変数の変化が可能です。)

16.1 入力パラメータパラメトリックスイープ

入力パラメータのパラメトリックスイープへアクセスするためにユーザーは View ツールバーにあるボタン  のクリックかメニューバー Design の下の Parametric Sweep > Input parameters でアクセスできパラメータの入力ができます。

パラメトリックスイープでの入力パラメータで可能な関数は次のようになります。

ループの変更

変更可能なループ 変更したいループを選択します。このオプションは設計者がインナーループかアウターループかを選択できるダブルループ回路でのみ可能な機能です。

"calculate regulator"ボックスにチェックを入れます

このボックスが選択されると、レギュレータはパラメトリックスイープに沿ったパラメータの新しいセットに対して再計算されます。選択されなかったときにはレギュレータは最後に計算された結果で固定されます。

ループが表示されます

どのループの結果を表示したいかを選択できます。このオプションはユーザーがインナーループかアウターループかを選べるダブルループ設計の場合のみ可能です。

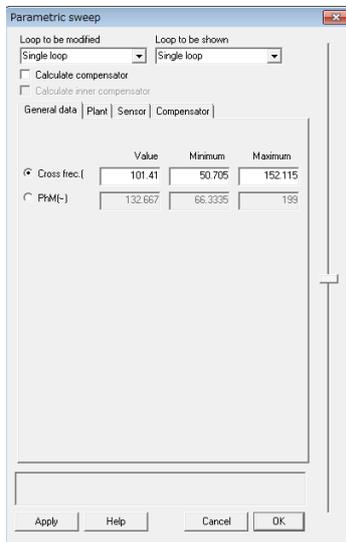


図 16-1 パラメトリックスイープ設定画面

タグ "General Data"

変更できるパラメータはオープンループパラメータに関連しています。

パラメータの変動範囲を入力します。

利用可能なパラメータは

- ・クロス周波数 (Hz)
- ・位相マージン (°)

です。

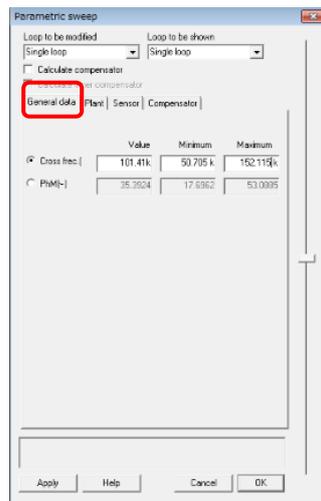


図 16-2 GeneralTag 入力画面

タグ "Plant"

変動可能なパラメータはプラントの入力パラメータに関連した変数です。
 選択した変数の minimum と maximum 値を変数範囲として入力してください。
 一度に一つのパラメータを変化させることができます。

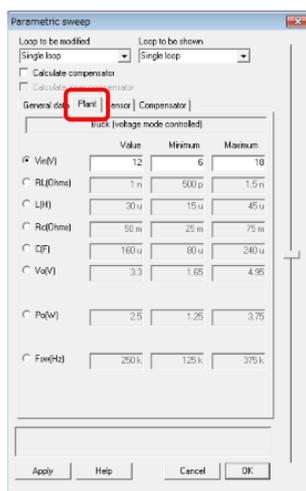


図 16-3 プラント入力画面

タグ "Sensor"

二つの違ったセンサーが使えます。分圧器とホールセンサです。分圧器の変化させるパラメータは電圧ゲイン (V_{ref}/V_o) です。ホールセンサの場合 0Hz でのゲインとポール周波数の二つのパラメータが使えます。

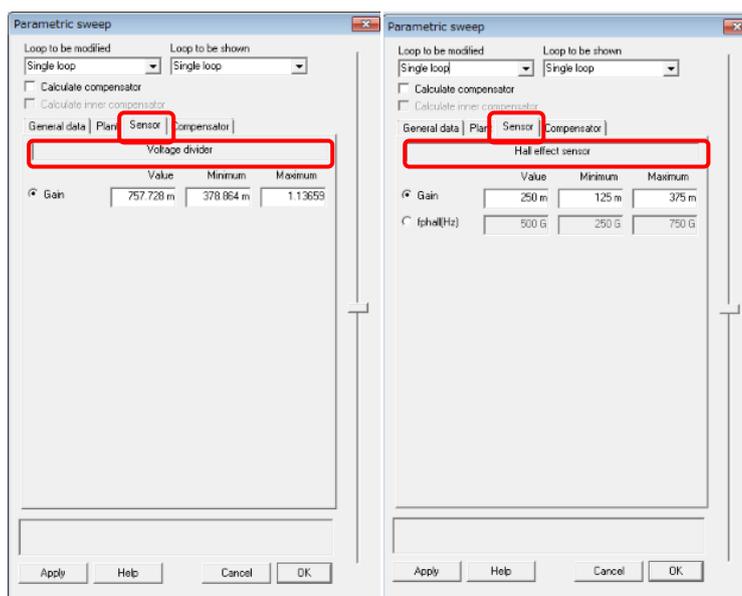


図 16-4 センサタグの画面 (左: 分圧器、右: ホールセンサ)

タグ "Compensator"

モジュレータゲインと R11 抵抗のパラメータが使用可能です。

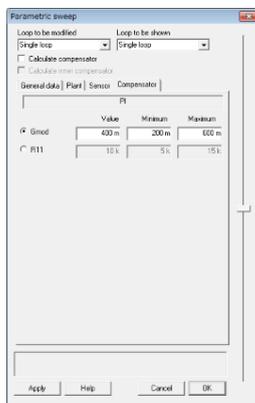


図 16-5 補償器のタグ画面

16.2 補償器コンポーネントパラメータスイープ

補償器成分のパラメトリックスイープにアクセスする場合 View ツールバーにある  をクリックするか、データメニューの下の ParametricSweep>Compensator components から操作できます。

補償器成分のパラメトリックスイープはレギュレータに一致する抵抗や容量の値の振り方を決めます。パラメトリックスイープは Type3 と Type2 のレギュレータで可能です。例えば次にあるのが Type2 のパラメトリックスイープのウィンドウです。

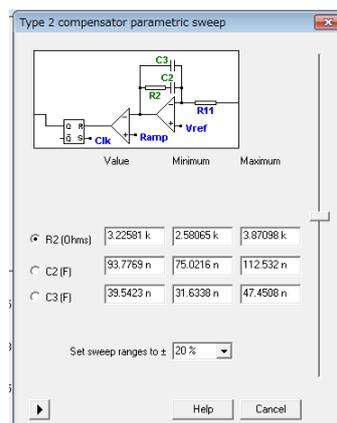


図 16-6 Type2 のパラメトリックスイープ画面

16.3 補償器コンポーネントパラメータスイープ(ソースコードパラメータパラメトリック)

ソースコードのパラメトリックスイープへアクセスするためには view ツールバーにある  をクリックするかメニューバー Design の Parametric Sweep >Source code variables から操作できます。このオプションは数式エディタで行う回路設計の時だけ使用できます。スイープさせるためには変数を選択しないとなりません。そして次の図にマークしたボタンをクリックしてください。

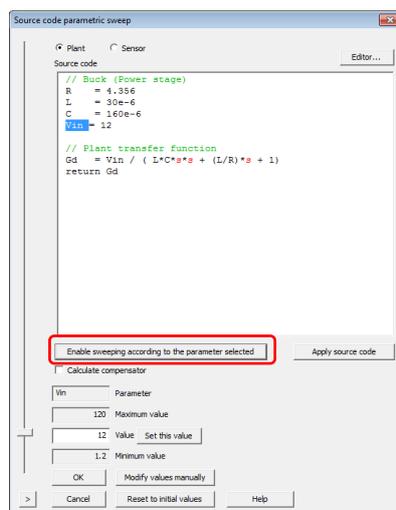


図 16-7 ソースコードパラメトリックスイープの画面

左スクロールで選択された max 値と min 値間の変数を変更できます。これらの変数の変更は自動的に設計ウィンドウで表示されます

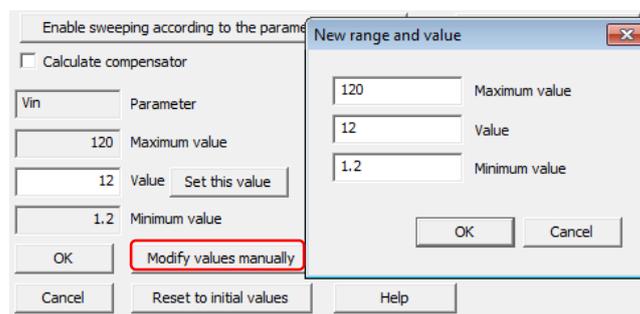


図 16-8 ソースコードパラメトリックスイープの変数変更画面

一旦値を設定したら “Apply Source Code” をクリックすればソースコードが変更されます。

17 デジタル制御

17.1 デジタル制御の概要

SmartCtrl のデジタルコントロールモジュールはデジタルデバイス（FPGA や ASIC のハードやマイクロプロセッサ、マイクロコントローラや DSP のプログラムで特定される）により実現できるようにデジタル補償器の係数を計算します。

デジタル補償器は z-domain に直に含まれ、z-domain ブロックを使って PSIM へエクスポートできます。SmartCtrl は次に説明するコントローラと ADC の両方に関する特性が考慮されています。

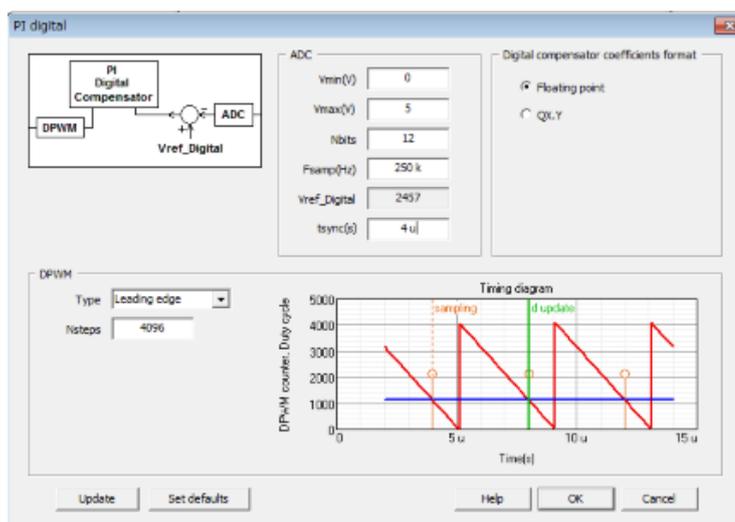


図 17-1 ADC パネル画面

ADC パネル:

- ・Vmin(V): ADC が読んでゲインを計算できる最小電圧
- ・Vmax(V): ADC が読んでゲインを計算できる最大電圧
- ・Nbits: アナログ入力値を表している ADC のビット数。この数は以下で述べるようにリファレンスの計算に影響します。
- ・Fsamp(Hz): デジタルレギュレータのサンプリング周波数です。サンプリング周期 $T_{\text{samp}}=1/f_{\text{samp}}$ はレギュレータの出力信号の 2 つの連続的なサンプル間の時間となります。多くのアプリケーションではレギュレータのサンプリング周波数 (f_{samp}) はパワーコンバータのスイッチング周波数 (f_{sw}) と等しくなります。SmartCtrl ではスイッチングとサンプリングで違う周波数の値を選択できます。

* 但し、サンプリング周波数はスイッチング周波数の倍数もしくは約数でなければなりません。

電流ループでは、コンバータの制御された強度は重要なリップルをもっており、アンチエイリアスフィルタとして働く1次ローパスフィルタを含むホールセンサーを使用することを推奨します。

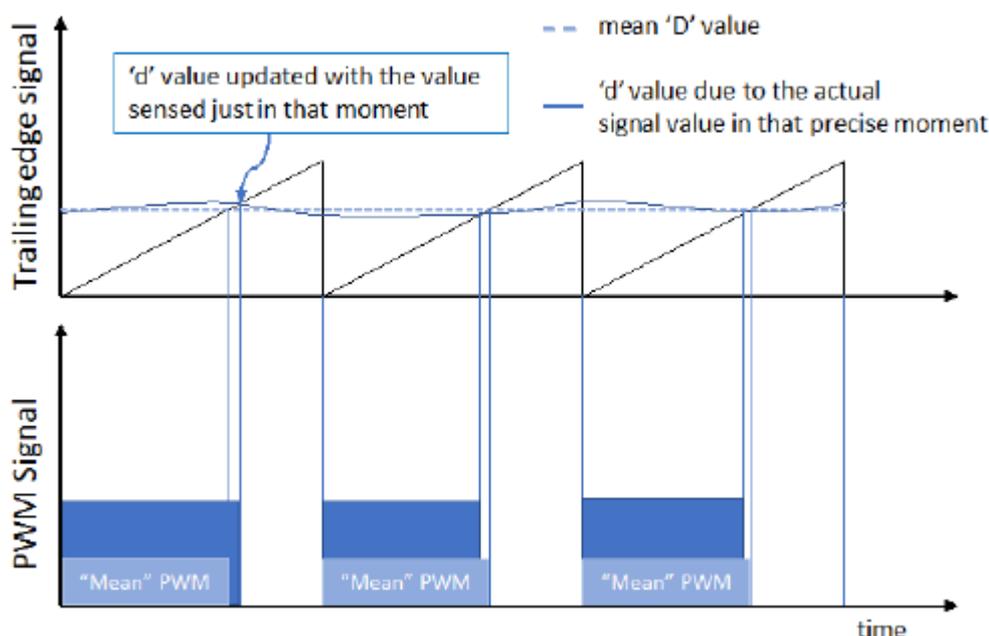
• Vref_Digital: デジタル補償器によるリファレンス値。計算式は次のようになります。

$$V_{refDigital} = (ValueToBeSensed \cdot SensorGain - V_{ADCmin}) \cdot \frac{2^{NbitsADC}}{V_{ADCmax} - V_{ADCmin}}$$

• tsync(s): 信号のサンプリングやレギュレータの出力を更新などの際に瞬間の時間差を説明します。センサーが連続的に測定し制御信号が各瞬間で更新されるアナログコントローラーとは違い、デジタル補償器が設定されると、信号が測定される瞬間やPWM信号によって観察される変化は同じにはなりません。

アナログコントローラー:

参考までにアナログコントローラーのタイムスタンプを次に示します。



デジタルコントローラー

デジタルコントローラーが設定されるといくつかの追加パラメータがあります。

- t_{delay}: ランプ開始時と測定時の時間差です。(同時の場合は0となります)
- t_{digital}: デジタル値へ変換し必要なレギュレータ計算を行うアナログ信号を測定するためのデジタルシステムに必要な時間
- t_{sync}: 信号が測定された時間と測定が出力される時間の時間差です。この最後のパラメータは

SmartCtrl へ組み込まれるものです。この t_{sync} を正しく設定できるようここに例を挙げます。

他の時間差の定義をわかりやすくするために例を説明します。

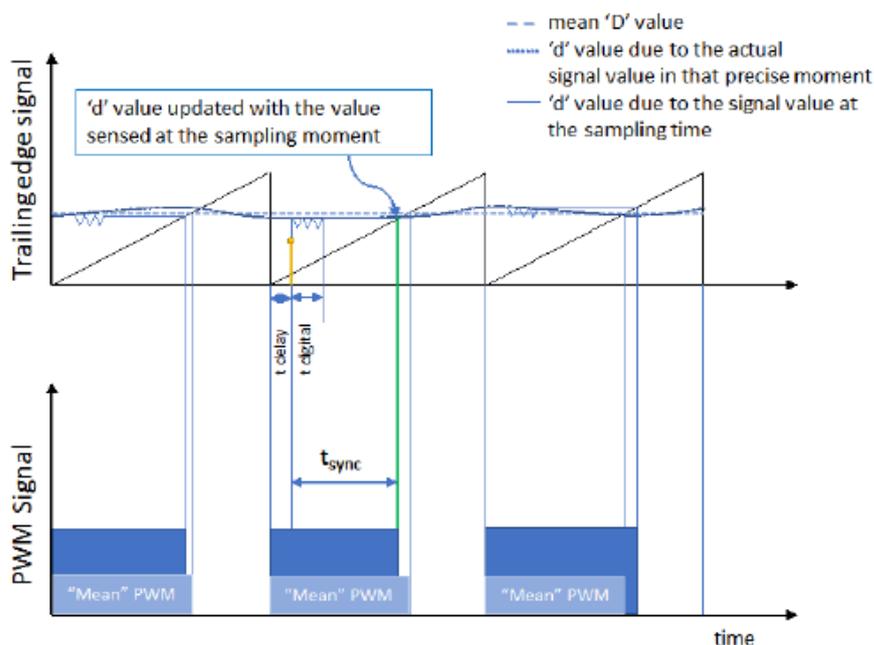
デジタルコントローラー ($f_{sampling} < \leq f_{switching}$)

Digital controller (Trailing edge) with $t_{digital} < t_{on} - t_{delay}$

もし t_{delay} が 0 であればパラメータ t_{sync} は t_{on} と等しくなります。

式は次のようになります。

$$t_{sync} = t_{on} - t_{delay} = d \cdot \frac{1}{f_{sw}} - t_{delay}$$



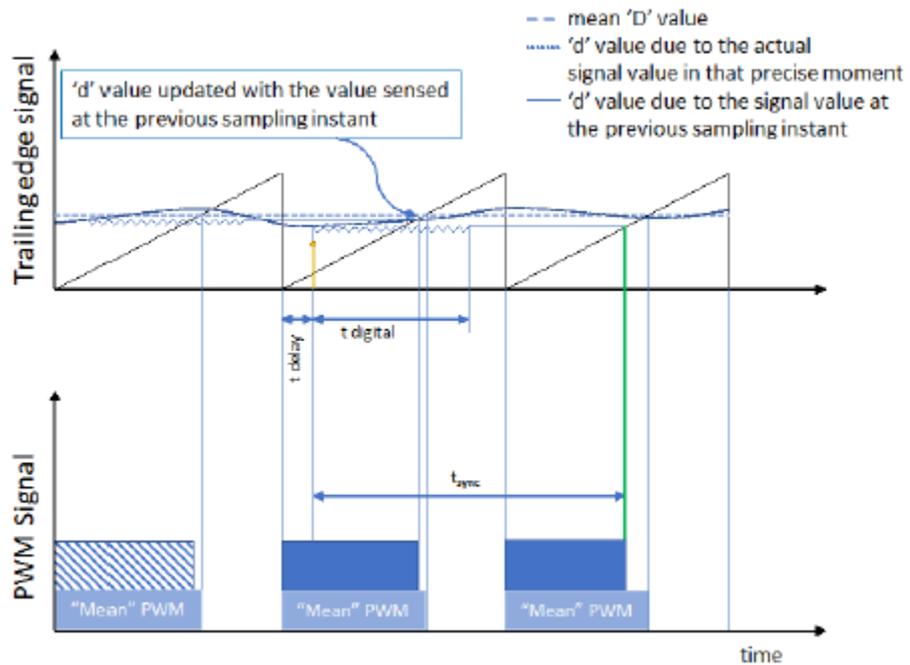
デジタルコントローラー (Trailing edge) with $t_{digital} > t_{on} - t_{delay}$

これはデジタル回路が測定とのこぎり波の交差する間の時間で毎回計算するのに対して十分な余裕がなく遅れる場合に起こります。

この場合、得られた情報は次の周期まで出力に影響しません。 t_{sync} はスイッチング周期が追加され

$$t_{sync} = t_{on} - t_{delay} + T = (1 + d) \cdot \frac{1}{f_{sw}} - t_{delay}$$

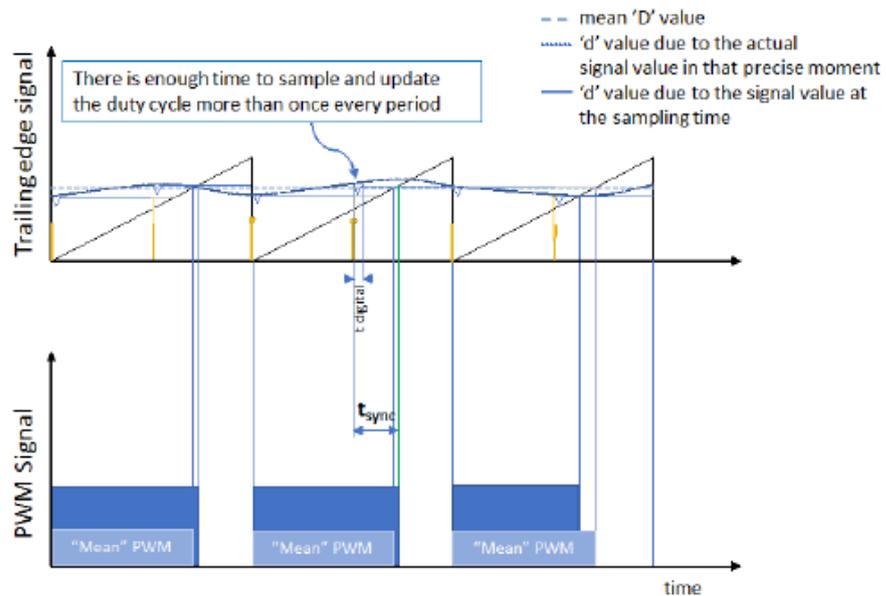
となります。



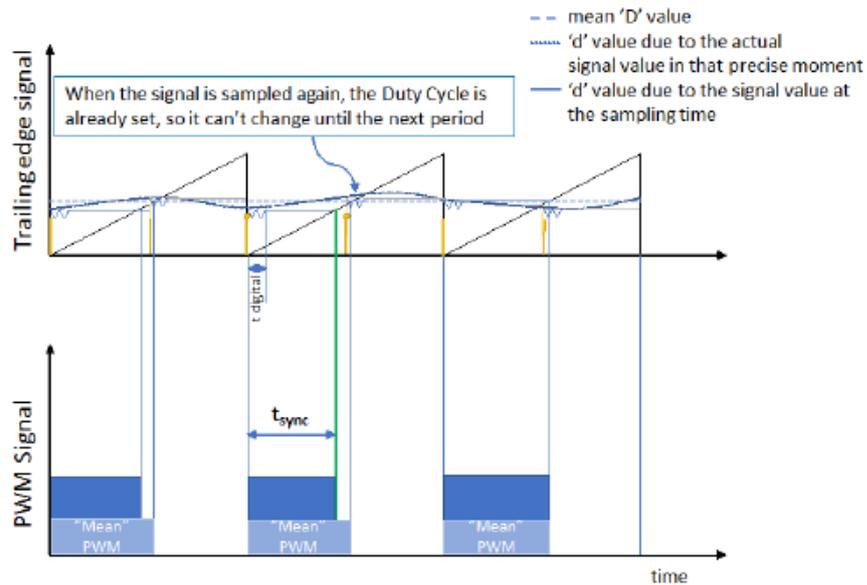
デジタルコントローラ ($f_{\text{sampling}} > f_{\text{switching}}$)

スイッチング周波数(常に倍数)より高い周波数でサンプリングする時には次の2つのシナリオがあります。

- ・すべての測定に出力の変化を起こすのに十分な時間がある場合



- ・いくつかの測定のみがスイッチング周期ごとに出力信号に影響することができる場合

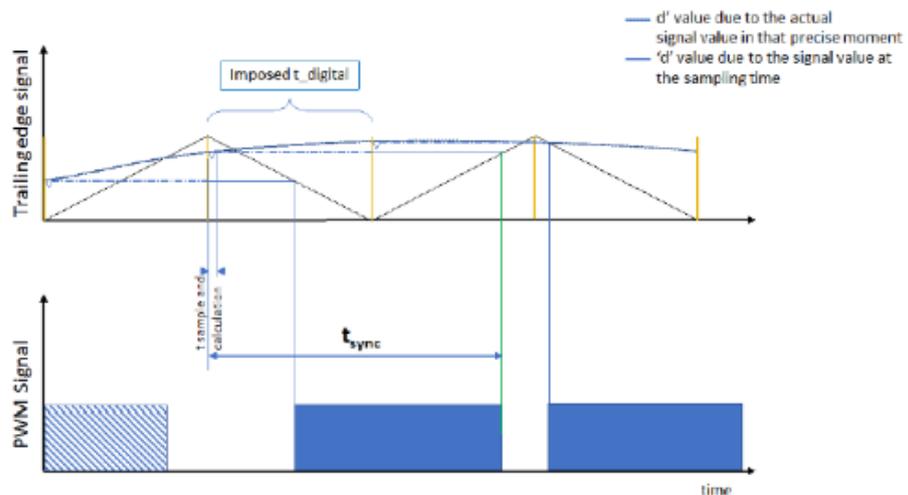


t_{sync} は常に最小値として t_{digital} に、最大値 (t_{digital} < T_{sw} を仮定し) として 1/f_{sw} により制限されています。

$$t_{digital} < t_{sync} < \frac{1}{f_{sw}}$$

デジタルコントローラー (f_{sampling} > f_{switching}) with set t_{digital}

多くの場合、よりよい制御となるために t_{digital} を選択します。インバータを制御するためによく使われる例は次のようになります。



この例ではあるサンプリング周期(スイッチング周期の 1/2)の t_{digital} の最小値が使用され、 t_{sync} は常にその瞬間での DutyCycle(より高い t_{sync} 、より高い Duty cycle) に依存した T_{sampling} と $T_{\text{switching}}$ の間の値となります。

$$T_{\text{sampling}} < t_{\text{sync}} < T_{\text{switching}}$$

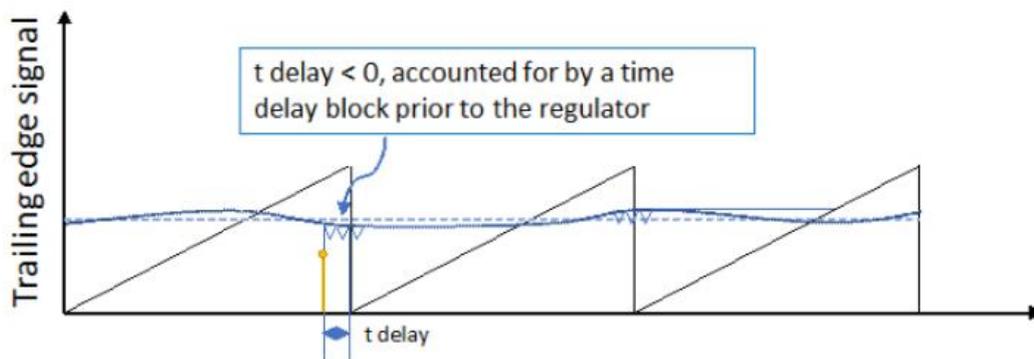
* インバータの場合、Duty cycle は正弦波に沿って 0 から 1 で変化し最悪の場合を仮定します。この場合最大の Duty cycle が一番高い T_{sync} となりますので T_{sync} は $T_{\text{switching}}$ に設定されなければなりません。

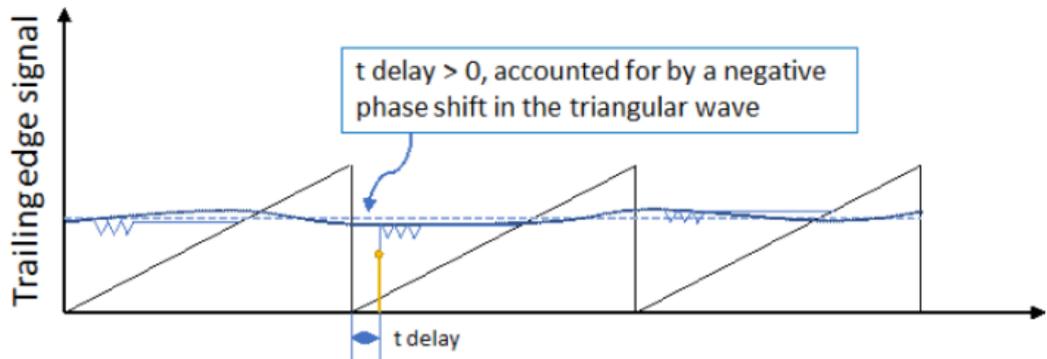
この時間遅れ(t_{sync})は設計されたデジタルレギュレータを含んだ実際の位相マージンへ影響を及ぼします。この遅れはボード線図のオープンループ伝達関数の位相を引き算した位相となります。オープンループ伝達関数及びクローズドループ伝達関数のボード線図上で遅れの影響を確認することを推奨します。

PSIM implementation

SmartCtrl から PSIM へ設計をエクスポートする時には t_{delay} 前の図の t_{delay} は次の 2 つの方法で自動的にモデル化されます。

- ・ 時間遅れブロックの追加 これはランプの初期に優先的に測定される値で 0 未満の t_{delay} を説明します。
- ・ ランプに位相シフトが追加されます。ランプがすでに上昇もしくは下降している時に測定される値です。





SmartCtrl から PSIM へ回路がエクスポートされる時、時間遅れブロックが回路上に表示され、次の図のような制御ループの違った時間遅れとして考慮されます。この時間遅れブロックは t_{delay} で定義された時間だけを表示します。モジュレータの遅れは PWM モジュレータの動作に含まれるので。

注) SmartCtrl に入力するパラメータは t_{delay} ではなく、前記説明によるパラメータで計算された t_{sync} であることに十分注意してください。

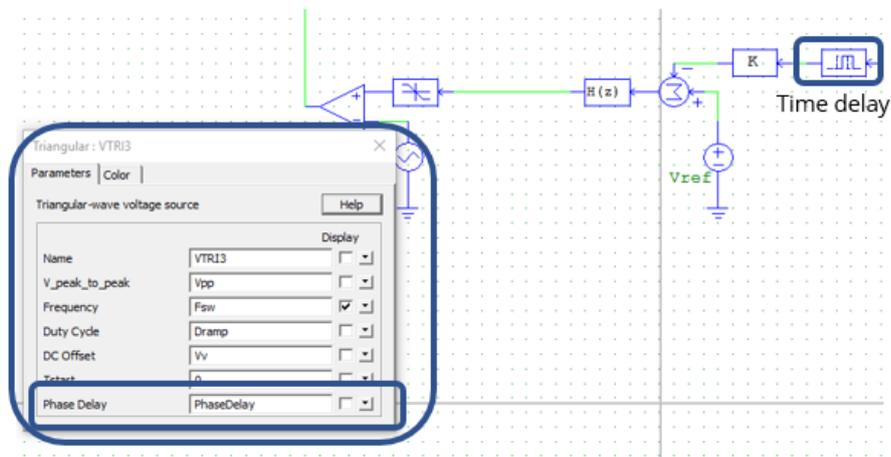


図 17-2 SmartCtrl から PSIM へエクスポートされた回路図

17.2 デジタル設定

メインツールバーにあるアイコン  を押すとデジタルレギュレータの計算が開始されます。このオプションはアナログレギュレータの計算後に有効になります。デジタルレギュレータは双一次かタスティン変換を用いたアナログレギュレータの離散化によって SmartCtrl で計算されます。

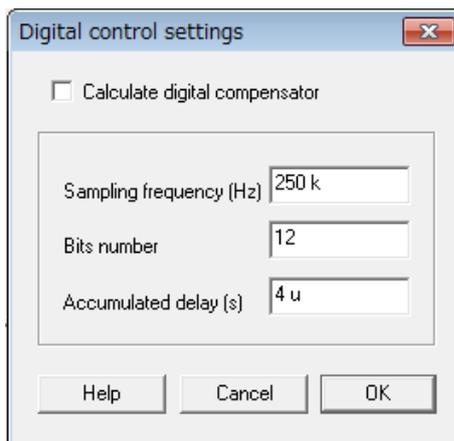


図 17-3 デジタル設定画面

デジタルレギュレータの計算開始には三つのパラメータの定義が必要です。サンプリング周波数、ビットナンバー、蓄積された遅延（秒）

サンプリング周波数

デジタルレギュレータのサンプリング周波数です。サンプリング周期 $T_{\text{samp}}=1/f_{\text{samp}}$ はレギュレータの出力信号の二つの連続したサンプル間の時間です。

多くのアプリケーションの中でレギュレータのサンプリング周波数(f_{samp})はパワーコンバータのスイッチング周波数(f_{sw})と同じです。SmartCtrl ではユーザーがスイッチングとサンプリング周波数で違った値を選択できますが**サンプリング周波数はスイッチング周波数の倍数もしくは約数でなければなりません**。このパラメータはアナログレギュレータの離散化によりデジタルレギュレータを計算するために使われます。

電流ループではコンバータの制御量は重要なリップルを含んでいます。そのためアンチエイリアス（スムージング）フィルタとして機能する一次ローパスフィルタを含むホールセンサを使用することを推奨します。

ビット数

固定小数点の表現を考慮したデジタル補償器の係数を表すために使われるビット数です。得られた係数は、指定されたビット数で表現できる最も近い数に丸められます。一ビットは符号として使われ残りは、整数部と小数部を表します。

少ないビット数は結果としてアナログレギュレータとかなり違うデジタルレギュレータをもたらします。アナログとデジタルレギュレータの類似点の確認をお勧めします。もしアナログとデジタルの応答が大きく違う場合は、特に低周波、中間周波数において差が大きい場合“ビット数”を増やすことをお勧めします。

累積遅延

これは制御ループの総遅延時間(モジュレーターの遅延、計算遅延、ADC 遅延等々)を表示しています。

この遅延は設計されたデジタルレギュレータによって得られた実際の位相マージンに影響します。この遅延はボード線図におけるオープンループの伝達関数の位相を引き算した負の位相です。元の(アナログ)レギュレータは遅延時間を考慮せずに計算され、結果の位相マージンはアナログレギュレータのものよりも低くなります。この位相マージン損失はアナログレギュレータの仕様においてより高い位相マージンを選択することで補償されます。

オープンループとクローズドループの伝達関数のボード線図で遅延の影響を確認することをお勧めします。累積遅延は離散型補償器のボード線図では表示されていません。

いったん離散化したら、メインツールバーに表示されているアイコンで両方の補償器のボード線図を比較できます。

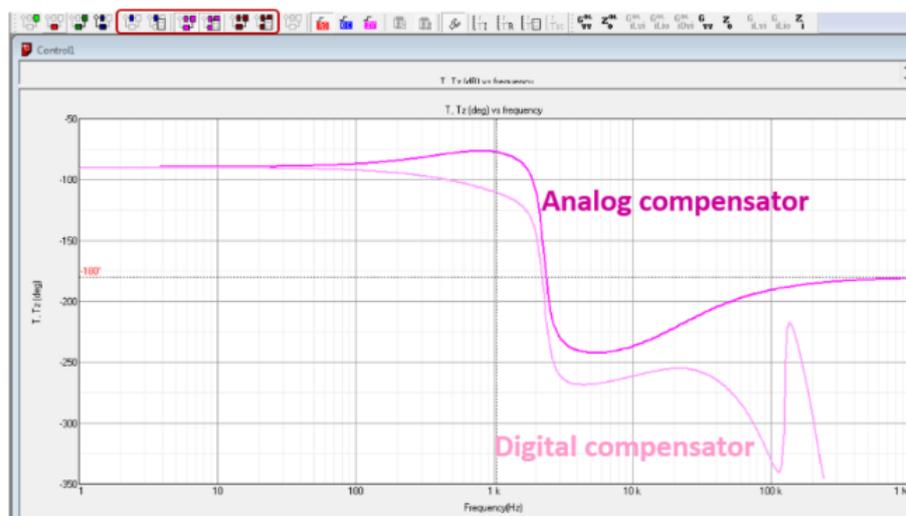


図 17-4 補償器のボード線図比較

17.3 デジタル制御におけるパラメータスイープ

デジタルレギュレータの三つの特定されたパラメータでスイープできます。サンプリング周波数、ビット数、累積時間遅延です。

ワーニングボックスはユーザにリミットサイクルを知らせます。この章末の参考資料[1][2]で言及しているリミットサイクルの四条件からレギュレータの計算に考慮すべき二条件を考えます。

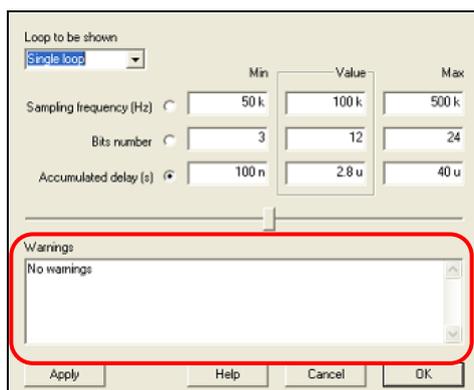


図 17-5 ワーニング表示部分

積分ゲインとゲインマージンは評価されリミットサイクル条件[1],[2]に準じていない場合はワーニングが出ます。ワーニングが出たらリミットサイクル効果は取りのぞかなければならないためレギュレータの再設計が必要になります。

リミットサイクルがゲインマージンが低すぎるために起きる時には増加させなければなりません。ゲインマージンを高くするために位相マージンを増加させ所望の値とします。

リミットサイクルが高い積分ゲインのためにおきていたら、低積分ゲインが必要な所望のクロスオーバー周波数へ下げないようにします。

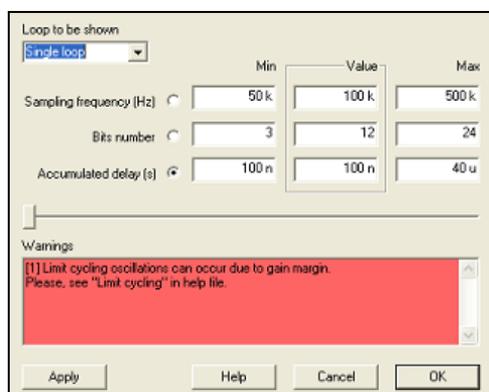


図 17-6 ワーニング表示画面

- [1] A.V.Peterchev, S.R.Sanders, "Quantization resolution and limit cycling in digitally controlled PWM converters," IEEE Transactions on Power Electronics, Volume 18, No.1, Jan. 2003, pp.301-308
- [2] H.Peng; D.Maksimovic, A.Prodic, E.Alarcon, "Modeling of quantization effects in digitally controlled DC-DC converters," IEEE PESC 2004, pp.4312-4318.

18 周波数設定

このオプションはメニューバーの Tool > Setting の Frequency range のタブから設定できます。
ボード線図、ソリューションマップなどの計算の周波数レンジ min と max を設定できます。

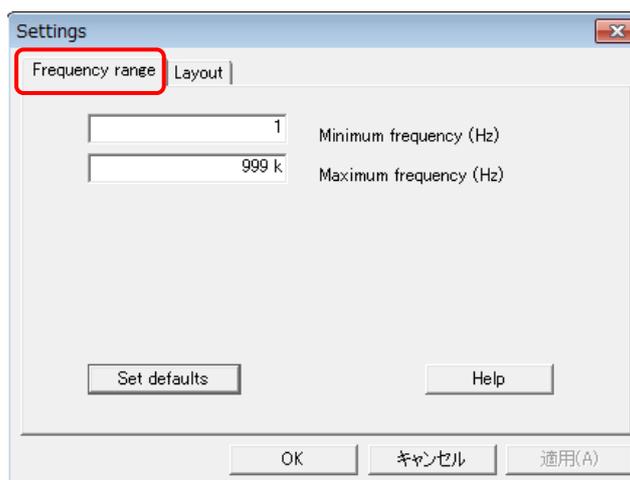


図 18-1 周波数レンジ設定画面

19 レイアウトの設定

このオプションはメニューバーの Tools >Settings の Layout タブで設定できます。

次のような場合にユーザーが定義することが可能です。

- ・ 新規のドキュメントを読み込んだ後
- ・ ソリューションマップで修正、変更を行った後

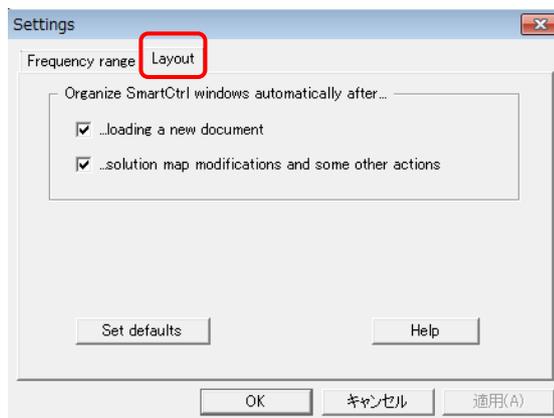


図 19-1 レイアウト設定画面

20 Warehouse

SmartCtrl では warehouse と呼ばれているパワー回路の設計で使用される様々な構成要素を選択できる豊富なデータベースがあります。

このデータベースではメニューバーの次のボタンで使用できます。

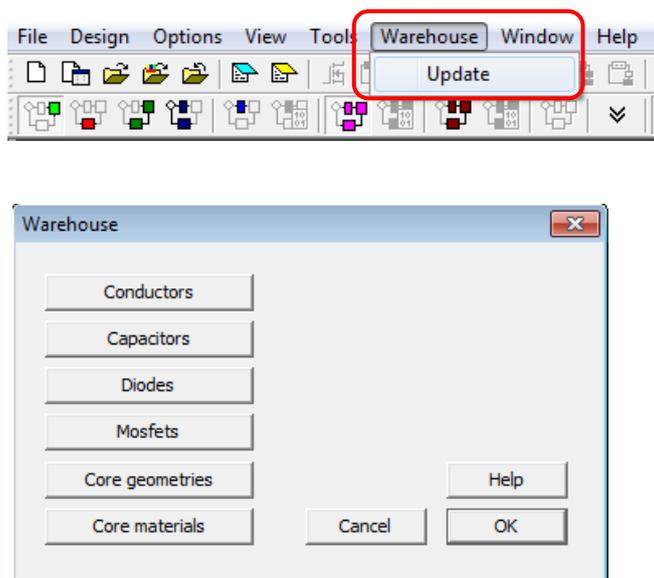


図 20-1 Warehouse のコンテンツ表示画面

warehouse には次の要素項目の情報が含まれています。

- ・コンダクタ
- ・コンデンサ
- ・ダイオード
- ・MOSFET
- ・コア形状 (geometries)
- ・コア材料

これらの要素 LIST の一つを選択するとユーザーは特定のデータベースを追加、削除、変更や外部のテキストファイルから新しいデータベースへのインポートすることもできます。

実際のデータベースをテキストファイルへエクスポートすることも可能です。

Name	VFo	Rd	VFp	tfr	Qrr	trr	Ifav	Vrrm
DSS40-0008D	0.05	0.0025	0	0	0	0	40	8
BAT60A	0	0.00066	0	0	0	0	3	10
BAT60B	0	0.0011	0	0	0	0	3	10
DSS20-0015B	0.01	0.004	0	0	0	0	20	15
SB320	0.1	0.07	0	0	0	0	3	20
JN5620	0.1	0.28	0	0	0	0	3	20
SB520	0.3	0.0072	0	0	0	0	5	20
DSS25-0025B	0	0.00818	0	0	0	0	25	25
BAS3005B	0.14	0.0005	0	0	0	0	0.5	30
BAS3010B	0.07	0.00012	0	0	0	0	1	30
B130-E3	0.15	0.5	0	0	0	0	1	30
SS23	0.2	0.033	0	0	0	0	2	30
30SCLJQ030	0	0.04	0	0	0	0	30	30
30SLJQ030	0	0.01	0	0	0	0	30	30
BAT165	0.13	0.0088	0	0	0	0	0.5	40
SB340	0.1	0.07	0	0	0	0	3	40
BAS52	0.27	0.0111	0	0	0	0	0.5	45
DSS10-0045B	0.31	0.04667	0	0	0	0	10	45
22CGQ045	0	0.01667	0	0	0	0	30	45
3SSCGQ045	0.32	0.02	0	0	0	0	35	45
MBR15H50CT	0.1	1	0	0	0	0	7.5	50
GI2401	0.3	1.111	0	0	7.5017...	3.5e-008	16	50
FEP16AT	0.43	1	0	0	0.0002...	3.5e-008	16	50
MBR760	0.3	0.333	0	0	0	0	7.5	60
MBR1060	0	0.022	0	0	0	0	10	60
M6060P	0.06	0.07368	0	0	0	0	30	60
3SSCGQ060	0.34	0.024	0	0	0	0	35	60
DSSK80-006B	0.31	0.03	0	0	0	0	40	60
75SLQ060	0.3	0.015	0	0	0	0	75	60
SS28	0.4	0.1	0	0	0	0	2	80
VT1080S	0.08	0.02	0	0	0	0	10	80
DSSK40-008B	0	0.00875	0	0	0	0	20	80

Diode

Add...

Delete...

Delete all...

Modify...

Data base

Add from txt file...

Export to txt file...

Help

Cancel

OK

図 20-2 要素 LIST(ダイオードの例)

SmartCtrl マニュアル

発行：Myway プラス株式会社
〒222-0022
神奈川県横浜市西区花咲町 6-145
横浜花咲ビル
TEL.045-548-8836
FAX.045-548-8832

ホームページ：<https://www.myway.co.jp>
Eメール：sales@myway.co.jp
