

SmartCtrl™

User's Guide

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

目次

1	SmartCtrlについて	4
1.1	SmartCtrlとは	4
1.2	動作環境	4
1.3	画面構成	5
2	SmartCtrlの基本操作	7
2.1	メイン画面操作	7
2.1.1	SmartCtrlの起動・終了	7
2.1.2	Fileメニュー	7
2.1.3	Designメニュー	8
2.1.4	Optionメニュー	8
2.1.5	Viewメニュー	8
2.1.6	Windowメニュー	8
2.2	プラントの設定	9
2.2.1	シングルループDC/DCコンバータ (Single loop)	9
2.2.2	ダブルループDC/DCコンバータ (Double loop)	10
2.2.3	降圧型 (Buck)	14
2.2.4	昇圧型 (Boost)	15
2.2.5	昇降圧型 (Buck-boost)	15
2.2.6	フライバック型 (Flyback)	16
2.2.7	フォワード型 (Forward)	16
2.2.8	PFC昇圧型 (PFC Boost converter)	17
2.3	センサの設定	20
2.3.1	分圧器 (Voltage divider)	20
2.3.2	電流センサ (Current sensor)	21
2.3.3	ホールセンサ (Hall effect sensor)	21
2.4	レギュレータの設定	21
2.4.1	Type3 レギュレータ (Type 3 regulator)	21
2.4.2	Type2 レギュレータ (Type 2 regulator)	21
2.4.3	PIレギュレータ (PI regulator)	22
2.4.4	単極レギュレータ (Single pole regulator)	22
2.4.5	レギュレータ組み込み型分圧器 (Reg. Embedded voltage divider)	22
2.5	ソリューションマップ	23
2.6	回路特性表示	23
2.6.1	ボード線図	23

2.6.2	ナイキスト線図.....	25
2.6.3	過渡応答図.....	26
2.7	パラメータ調整機能.....	27
2.7.1	Kファクタ法.....	27
2.7.2	Kプラス法.....	29
2.7.3	手動調整.....	30
2.8	パラメータスイープ.....	30
2.8.1	入力パラメータスイープ.....	30
2.8.2	レギュレータパラメータスイープ.....	33
2.9	外部とのデータ交換.....	34
2.9.1	データの取り込み（解析実行回路を一般データから取り込み）.....	34
2.9.2	データの取り込み（解析実行回路をPSIM回路図から取り込み）.....	36
2.9.3	データの取り込み（比較用特性データ取り込み）.....	38
2.9.4	データ出力（周波数特性データ出力）.....	40
2.9.5	データ出力（PSIM回路図データ出力）.....	41
3	サンプル例解説.....	44
3.1	コンバータの設定.....	44
3.2	センサの選択.....	45
3.3	レギュレータの選択.....	46
3.4	クロスオーバ周波数と位相余裕.....	46
3.5	制御ループ解析と最適化の実行.....	47

1.1 SmartCtrlとは

SmartCtrl はパワーエレクトロニクス向けの制御系設計ツールです。様々な制御対象(プラント)をフィードバック制御する際の制御ループ設計のために、使いやすいユーザ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利用される DC/DC コンバータや AC/DC コンバータ、インバータなどは事前にプラントとして登録されており、伝達関数モデル(平均値モデル)を用いて解析されます。また任意の伝達関数をプラントとして指定することも可能であり、これにより様々な周波数特性を持つプラントに対して柔軟に対応することができます。

制御系設計の初期値を簡単に設定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、レギュレータ(制御器)に対して、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。ユーザが図上の安定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。

特性表示画面ではボード線図、ナイキスト線図、過渡応答図および各種パラメータを一覧表示します。これらの特性を最適化するためにユーザ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。

1.2 動作環境

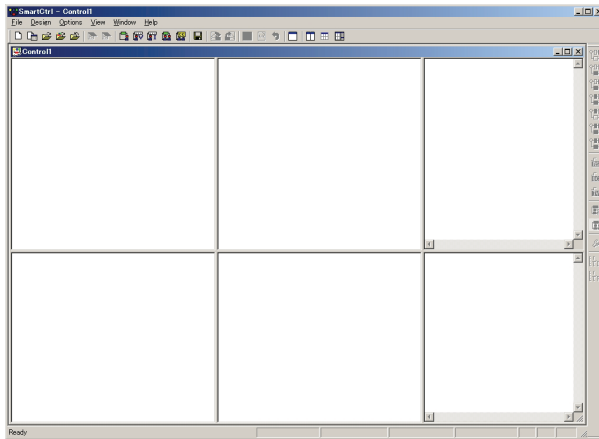
対応OS : Microsoft Windows XP、Vista

※最新の情報はPSIM専用HPをご参照ください。

<http://www.psim.jp/>

1.3 画面構成

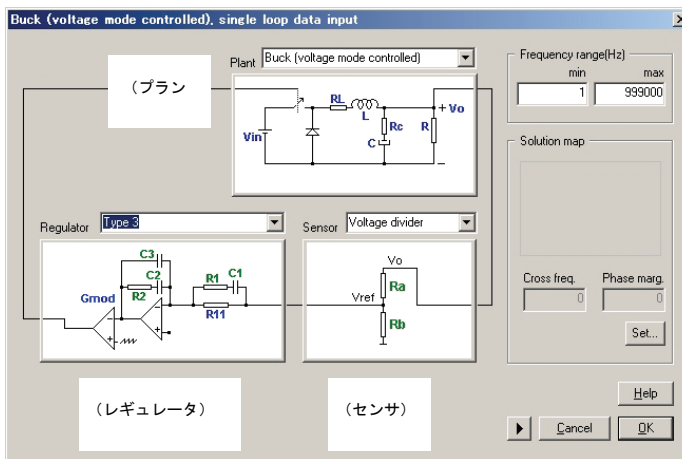
SmartCtrlメイン画面



SmartCtrlを起動したときに表示される画面です。

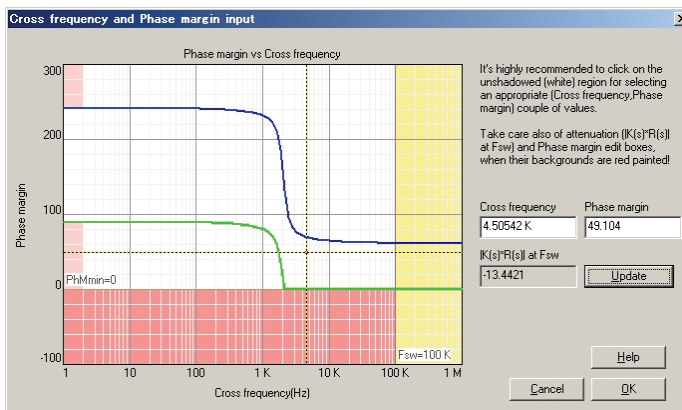
SmartCtrlの設定や新しい回路の立ち上げなどを行います。

回路構成設定画面



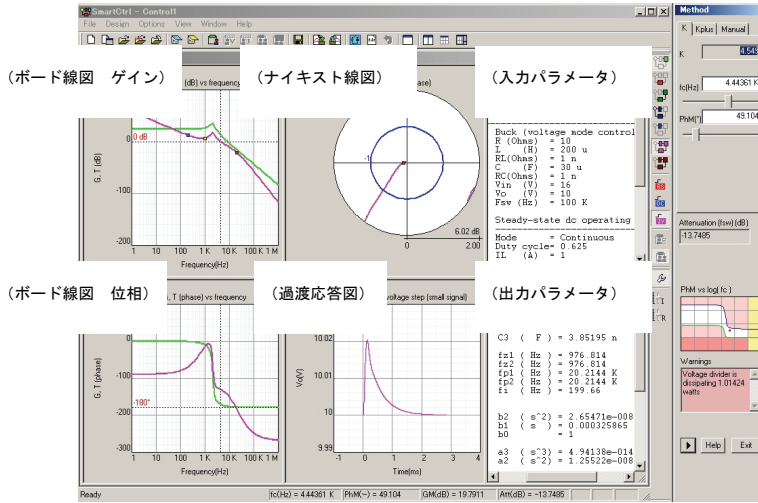
メイン画面から新しい回路立ち上げの後、本画面が現れます。プラント、センサ、レギュレータの回路構成の設定を行います。

ソリューションマップ画面



決定した回路構成から安定領域を表示します。任意のクロスオーバー周波数から位相余裕を選択できます。

特性表示画面



決定した回路の周波数特性や過渡応答を観測することができます。また各種調整も可能です。最終的に決定した回路をPSIMに移行することもできます。

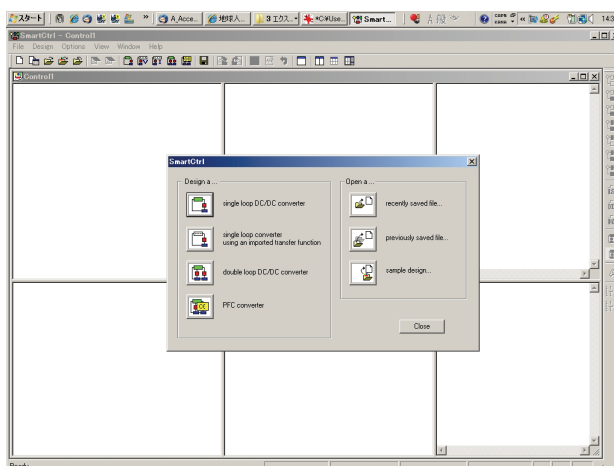
2.1 メイン画面操作

2.1.1 SmartCtrlの起動・終了

SmartCtrl の起動は Windows スタートメニューから[プログラム] → [PSIMxxxx] → [SmartCtrl.exe]を選択します。

SmartCtrl の起動画面が開きます。(下図のようにクイックデザイン用のポップアップ画面が出ます。該当する項目がない場合は Close を選択してください。)

SmartCtrl の終了はメニューバーから[File] → [Exit]を選択します。



2.1.2 Fileメニュー

項目	内容
New	新しい回路ウィンドウを作成します。
New and initial dialog	クイックデザインポップアップウィンドウと一緒に新しい回路ウィンドウを作成します。
Open...	既存のSmartCtrl用保存ファイル.troを開きます。
Open sample designs...	(PSIMインストールフォルダ) ¥examples¥SmartCtrl¥Other Examples内の.troファイルを開きます。
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。
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組み合わせを行います。※2.9.3章参考。
Export	各周波数特性をtxtファイルに出力します。

Generate report	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。
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。

2.1.3 Designメニュー

項目	内容
Predefined topologies	SmartCtrlに登録されているプラントの回路構成を選ぶことができます。
Imported transfer function	外部から周波数特性を読み込んで、回路構成を決定する場合には選びます。
Modify	特性表示画面を表示した状態で、回路構成の変更を行いたい場合に選びます。
Parametric sweep	特性表示画面を表示した状態で、パラメータスイープを実行するときに選びます。
Reset all...	現在表示中のシステムを全て初期化します。

2.1.4 Optionメニュー

項目	内容
Deactive	現在使用中のPSIMおよびSmartCtrlのライセンスをリリースします。 ネットワークライセンス版などの場合に他のユーザにライセンスを渡したい場合に使います。

2.1.5 Viewメニュー

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切り替えをします。
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。
Transient	特性表示画面を表示した状態で、過渡応答図上に表示する信号を選択します。
Organize panels	特性表示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	ウィンドウを大きく強調したい場合に選びます。

2.1.6 Windowメニュー

項目	内容
New window	現在表示中のウィンドウの複製を作成します。
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	全ての特性図をデフォルトの大きさに戻します。

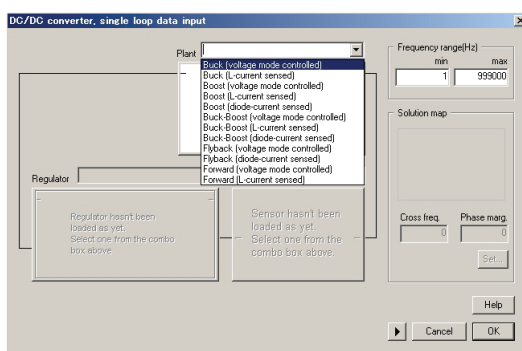
2.2 プラントの設定

2.2.1 シングルループDC/DCコンバータ (Single loop)

シングルループは、プラント、センサ、そしてレギュレータと大きく三つの回路機能によって分かれ、それぞれ順番に決定していきます。

最初にプラントの決定から行います。SmartCtrlに登録されている回路構成から始める方法と任意の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

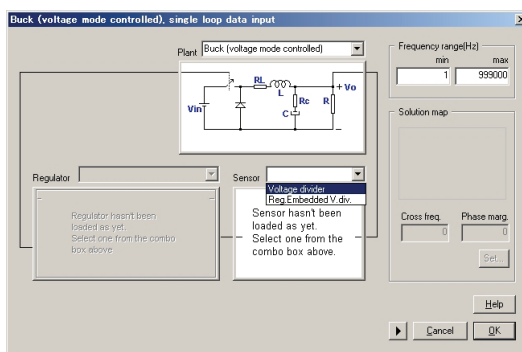


登録されているシングルループ DC/DC コンバータに使用可能なプラントは下記のものがあります。

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

センサ選択

プラントの決定後、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。



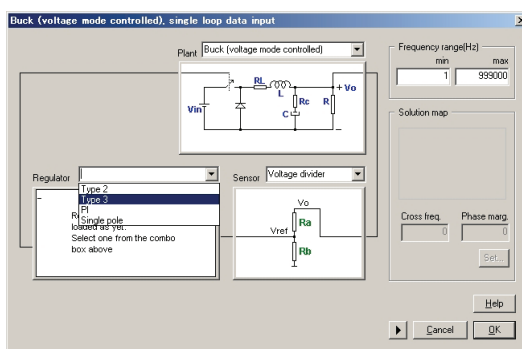
登録されているシングルループ DC/DC コンバータに使用可能なセンサは下記のもので

あります。

- ・分圧器
- ・レギュレータ組み込み型分圧器
- ・電流センサ
- ・ホールセンサ

レギュレータ選択

最後にレギュレータの決定をします。



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レギュレータは下記のものがあります。

- ・ Type3 レギュレータ
- ・ Type2 レギュレータ
- ・ PI レギュレータ
- ・ 単極レギュレータ

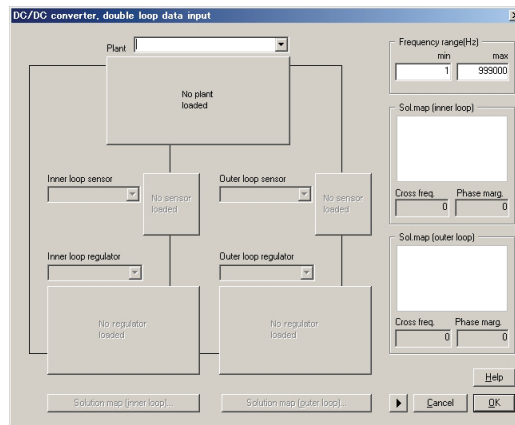
2.2.2 ダブルループDC/DCコンバータ (Double loop)

ダブルループは、内側の電流ループと外側の電圧ループから構成されています。ダブルループもシングルループと同様にプラント、センサ、そしてレギュレータと大きく三つの回路機能によって分かれ、それぞれ順番に決定していきます。

外側のループは電圧ループ (VMC) があり、内側の電流ループはインダクタの電流を取り込むもの (LCS) とダイオードの電流を取り込むもの(DCS)があります。

最初にプラントの決定から行います。SmartCtrl に登録されている回路構成から始める方法と任意の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

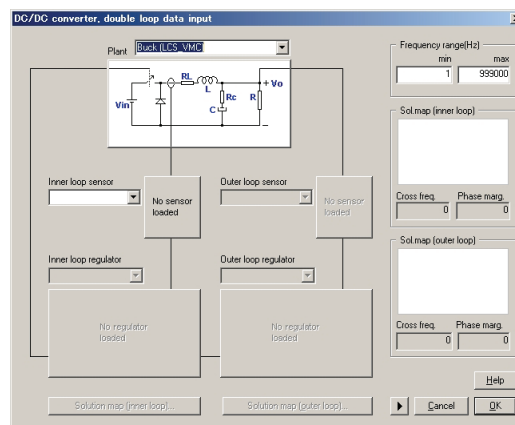


登録されているダブルループ DC/DC コンバータに使用可能なプラントは下記のものがあります。

- ・ 降圧型(LCD-VMC)
- ・ 昇降圧型(LCS-NMC)
- ・ 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)

電流ループセンサ選択

電流ループの設定では電流サンセの選択後、レギュレータの選択をします。

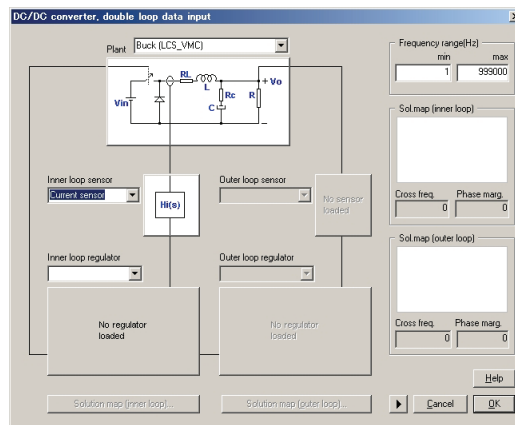


登録されている電流ループに使用可能なセンサは下記のものがあります。

- ・ 電流センサ
- ・ ホールセンサ

電流ループレギュレータ選択

次にレギュレータの決定をします。

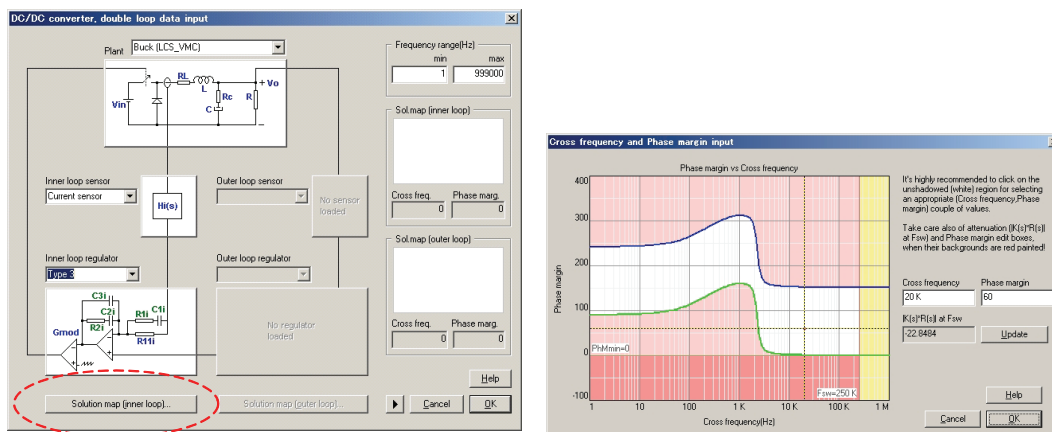


登録されている電流ループに使用可能なレギュレータは下記のものがあります。

- ・ Type3 レギュレータ
- ・ Type2 レギュレータ
- ・ PI レギュレータ
- ・ 単極レギュレータ

ソリューションマップ

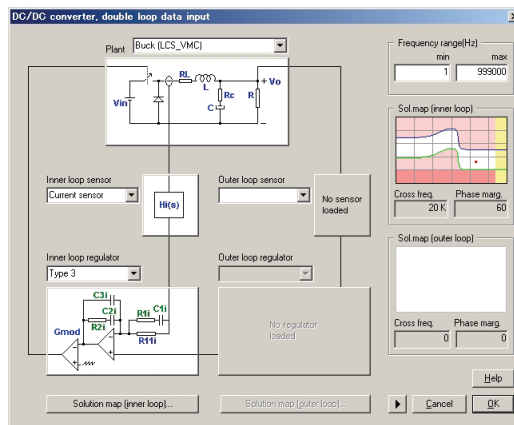
電流ループの回路構成の決定が完了すると、次にソリューションマップから周波数と位相余裕の設定を行います。下図の破線枠内の「Solution map[inner loop]...」をクリックすると、ソリューションマップが現れます。



電圧ループセンサ選択

次に電圧ループの設定を行います。

電圧ループの設定では電圧サンセの選択後、レギュレータの選択をします。

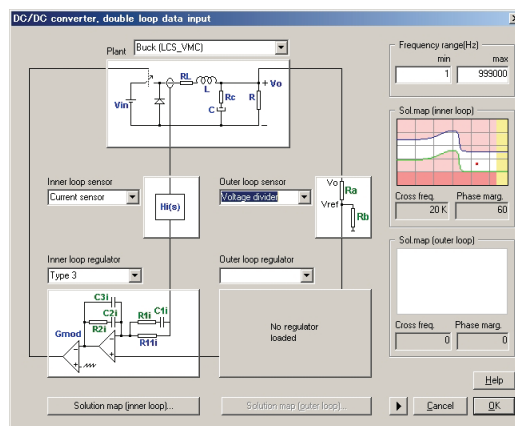


登録されている電圧ループに使用可能なセンサは下記のものがあります。

- ・分圧器
- ・レギュレータ組み込み型分圧器

電圧ループレギュレータ選択

次にレギュレータの決定をします。

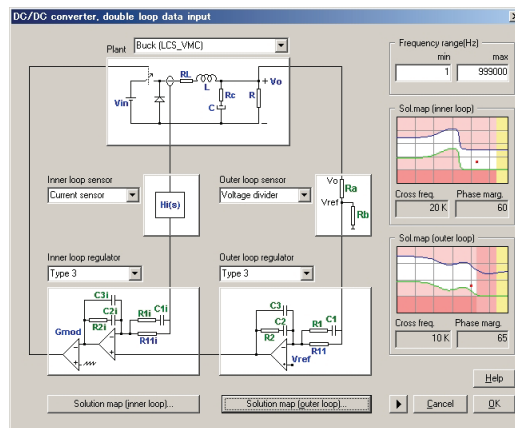
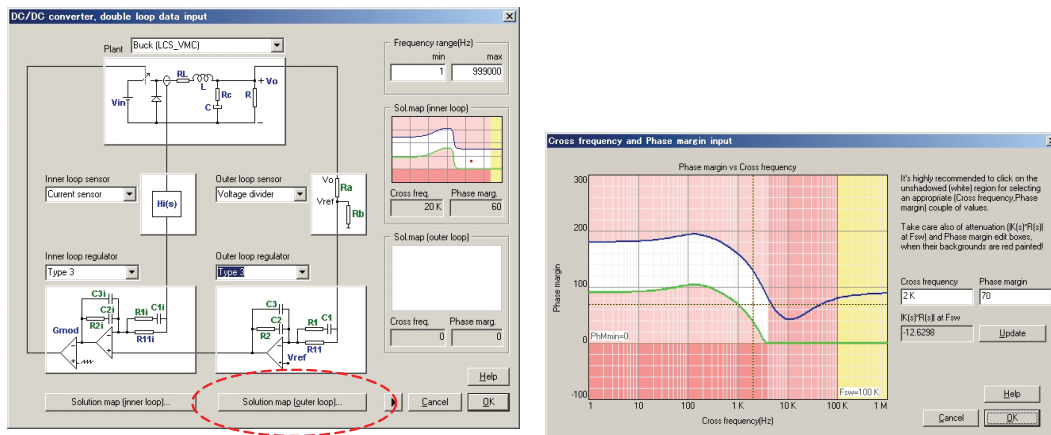


登録されている電圧ループに使用可能なレギュレータは下記のものがあります。

- ・ Type3PI レギュレータ
- ・ Type2 レギュレータ
- ・ PI レギュレータ
- ・ 単極レギュレータ

ソリューションマップ

電圧ループの回路構成の決定が完了すると、次にソリューションマップから周波数と位相余裕の設定を行います。下図の破線円内の「Solution map[inner loop]...」をクリックすると、ソリューションマップが現れます。



ソリューションマップの設定が完了すると画面右に小さく表示されます。

これで回路の設定は終了です。回路を確認後、「OK」を選択すると自動的に回路の特性図が現れます。

2.2.3 降圧型 (Buck)

シングルループ制御の場合、出力電圧、またはインダクタ電流のどちらかの大きさから制御を行う構成になります。

ダブルループ制御の場合、出力電圧とインダクタ電流の二つの大きさから制御を行う構成になります。

両構成とも設定するパラメータの種類は下記ようになります。

入力データ

項目	内容
V_{in}	入力電圧[V]
R_L	インダクタ直列等価抵抗[Ohm]

L	インダクタンス[H]
R _C	出力キャパシタ等価直列抵抗[Ohm]
C	出力キャパシタ[F]
R	負荷抵抗[Ohm]
P _o	出力電力[W]
F _{sw}	スイッチング周波数[Hz]

2.2.4 昇圧型 (Boost)

シングルループ制御の場合、出力電圧、インダクタ電流、そしてダイオード電流のどれかの大きさから制御を行う構成になります。

ダブルループ制御の場合、インダクタ電流とダイオード電流のうち片方と出力電圧の二つの大きさから制御を行う構成になります。

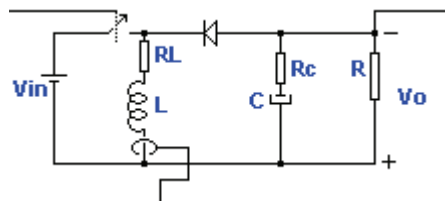
両構成とも設定するパラメータの種類は下記のようにになります。

入力データ

項目	内容
V _{in}	入力電圧[V]
R _L	インダクタ直列等価抵抗[Ohm]
L	インダクタンス[H]
R _C	出力キャパシタ等価直列抵抗[Ohm]
C	出力キャパシタ[F]
R	負荷抵抗[Ohm]
P _o	出力電力[W]
F _{sw}	スイッチング周波数[Hz]

2.2.5 昇降圧型 (Buck-boost)

シングルループ制御の場合、出力電圧、インダクタ電流、そしてダイオード電流のどれかの大きさから制御を行う構成になります。



ダブルループ制御の場合、出力電圧とインダクタ電流の二つの大きさから制御を行う構成になります。

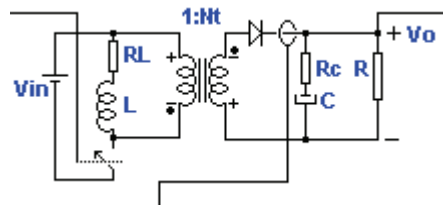
両構成とも設定するパラメータの種類は下記のようにになります。

入力データ

項目	内容
V_{in}	入力電圧[V]
R_L	インダクタ直列等価抵抗[Ohm]
L	インダクタンス[H]
R_C	出力キャパシタ等価直列抵抗[Ohm]
C	出力キャパシタ[F]
R	負荷抵抗[Ohm]
P_o	出力電力[W]
F_{sw}	スイッチング周波数[Hz]

2.2.6 フライバック型 (Flyback)

シングルループ制御の場合、出力電圧とダイオード電流のどちらかの大きさから制御を行う構成になります。



ダブルループ制御の場合、出力電圧とダイオード電流の二つの大きさから制御を行う構成になります。

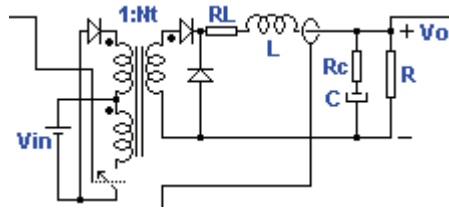
両構成とも設定するパラメータの種類は下記のようにになります。

入力データ

項目	内容
V_{in}	入力電圧[V]
R_L	インダクタ直列等価抵抗[Ohm]
L	インダクタンス[H]
R_C	出力キャパシタ等価直列抵抗[Ohm]
C	出力キャパシタ[F]
R	負荷抵抗[Ohm]
P_o	出力電力[W]
N_t	巻き線比。 N_2/N_1 で定義します。(N2はトランスの二次側巻き数、N1はトランスの一次側巻き数)
F_{sw}	スイッチング周波数[Hz]

2.2.7 フォワード型 (Forward)

シングルループ制御の場合、出力電圧とインダクタ電流のどちらかの大きさから制御を行う構成になります。



ダブルループ制御の場合、出力電圧とインダクタ電流の二つの大きさから制御を行う構成になります。

両構成とも設定するパラメータの種類は下記のようにになります。

入力データ

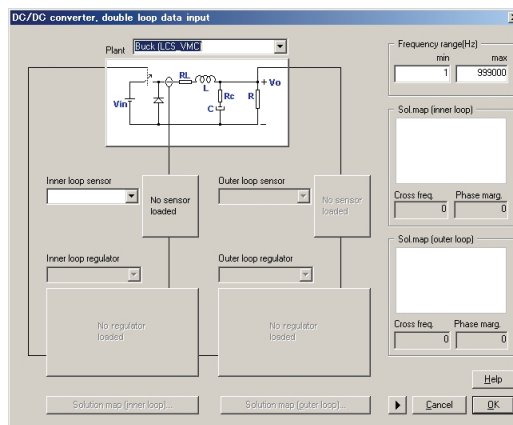
項目	内容
V_{in}	入力電圧[V]
R_L	インダクタ直列等価抵抗[Ohm]
L	インダクタンス[H]
R_C	出力キャパシタ等価直列抵抗[Ohm]
C	出力キャパシタ[F]
R	負荷抵抗[Ohm]
P_o	出力電力[W]
N_t	巻き線比。 N_2/N_1 で定義します。(N2はトランスの二次側巻き数、N1はトランスの一次側巻き数)
F_{sw}	スイッチング周波数[Hz]

2.2.8 PFC昇圧型 (PFC Boost converter)

PFC 昇圧型コンバータはフィードフォワードダブルループ構成になっています。最初にプラント構成を選択します。

電流ループセンサ選択

電流ループの設定では電流サンセの選択後、レギュレータの選択をします。

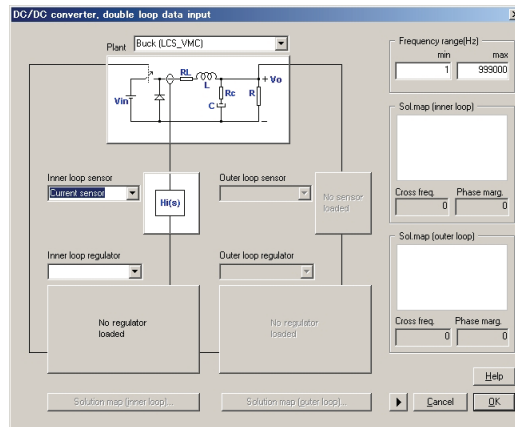


登録されている電流ループに使用可能なセンサは下記のものがあります。

- ・電流センサ
- ・ホールセンサ

電流ループレギュレータ選択

次にレギュレータの決定をします。

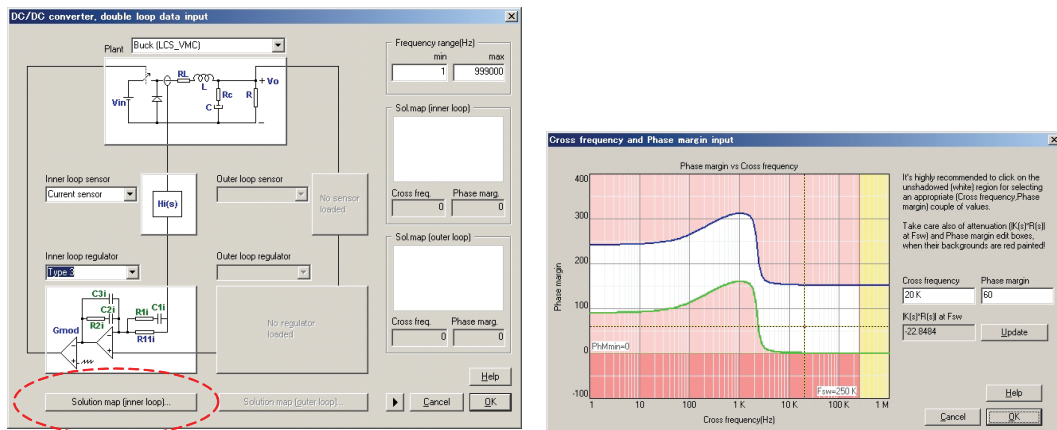


登録されている電流ループに使用可能なレギュレータは下記のものがあります。

- ・ Type3 レギュレータ
- ・ Type2 レギュレータ
- ・ PI レギュレータ
- ・ 単極レギュレータ

ソリューションマップ

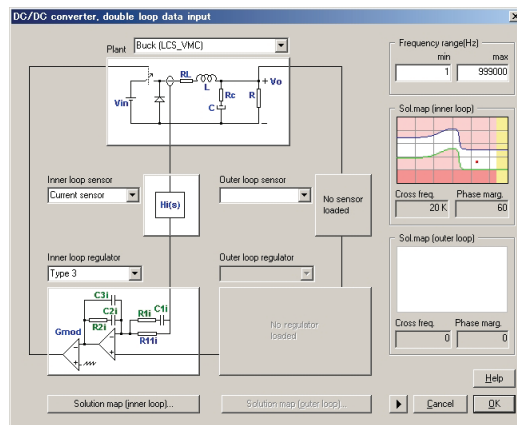
電流ループの回路構成の決定が完了すると、次にソリューションマップから周波数と位相余裕の設定を行います。下図の破線枠内の「Solution map[inner loop]...」をクリックすると、ソリューションマップが現れます。



電圧ループセンサ選択

次に電圧ループの設定を行います。

電圧ループの設定では電圧サンセの選択後、レギュレータの選択をします。

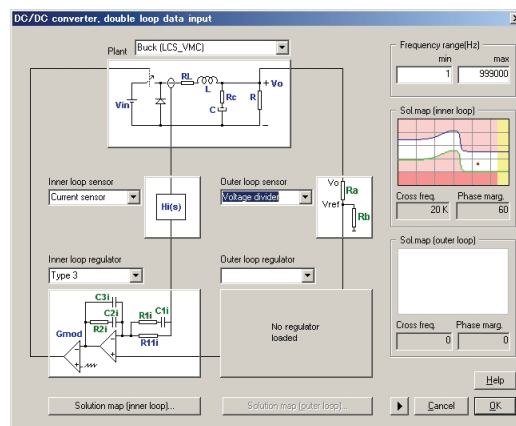


登録されている電圧ループに使用可能なセンサは下記のものがあります。

- ・分圧器
- ・レギュレータ組み込み型分圧器

電圧ループレギュレータ選択

次にレギュレータの決定をします。

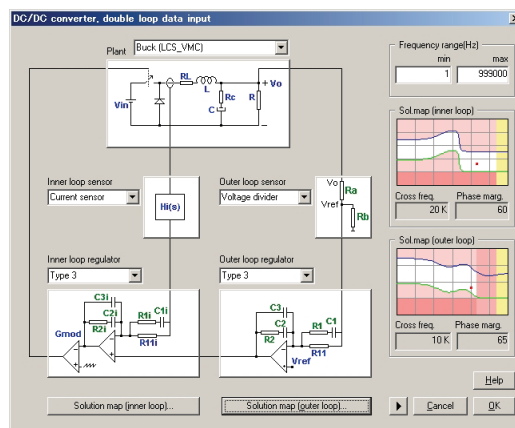
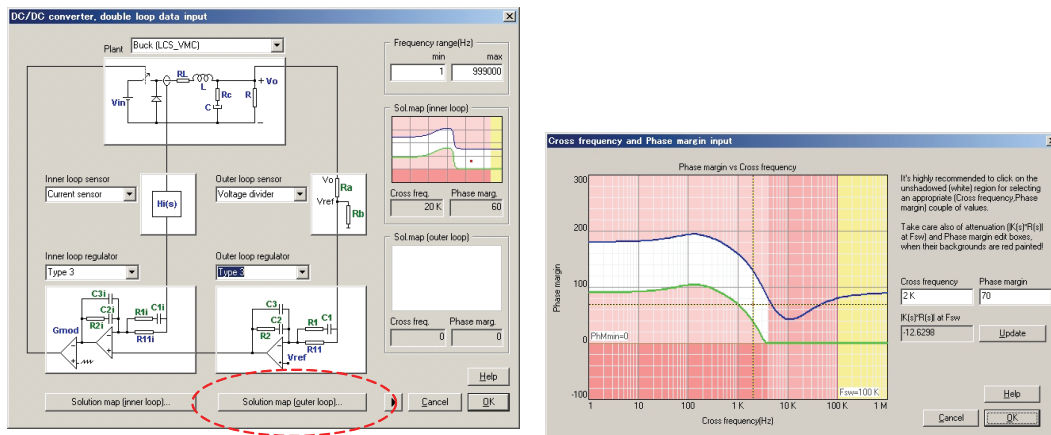


登録されている電圧ループに使用可能なレギュレータは下記のものがあります。

- ・ Type3 レギュレータ
- ・ Type2 レギュレータ
- ・ PI レギュレータ
- ・ 単極レギュレータ

ソリューションマップ

電圧ループの回路構成の決定が完了すると、次にソリューションマップから周波数と位相余裕の設定を行います。下図の破線円内の「Solution map[inner loop]...」をクリックすると、ソリューションマップが現れます。



ソリューションマップの設定が完了すると画面右に小さく表示されます。

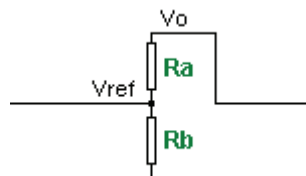
これで回路の設定は終了です。回路を確認後、「OK」を選択すると自動的に回路の特性図が現れます。

2.3 センサの設定

2.3.1 分圧器 (Voltage divider)

分圧器はプラントの電圧レベルを制御の電圧レベルまで落とす回路です。制御の電圧値 (Vref) とプラントの電圧値 (Vo) と Vref の比の 2 点を設定します。

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



2.3.2 電流センサ (Current sensor)

電流センサのイメージ図は、伝達関数のシンボルになっています。内部の式はゲイン値だけになっており、出力は入力の変数倍になります。

$$K(s) = Gain$$



2.3.3 ホールセンサ (Hall effect sensor)

ホールセンサのイメージ図は電流センサと同じですが、内部の式は下記のようになります。

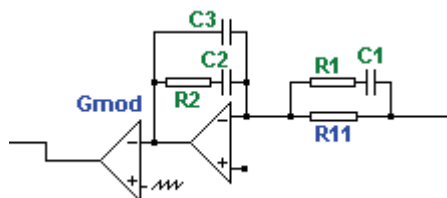
$$K(s) = \frac{Gain}{1 + \frac{s}{2 \cdot \pi \cdot f_{pK}}}$$



2.4 レギュレータの設定

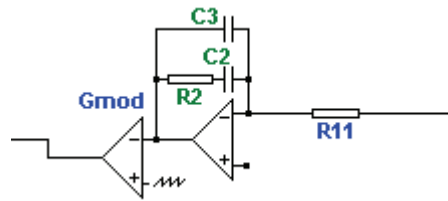
2.4.1 Type3 レギュレータ (Type 3 regulator)

RC を 3 つ (極点を 3 つ) 持つレギュレータです。回路の各素子(C1、C2、C3、R1、R2)の値は特性入力によって自動的に決まります。



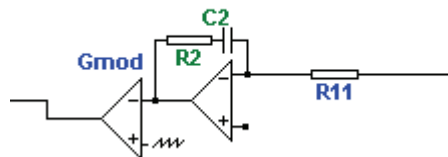
2.4.2 Type2 レギュレータ (Type 2 regulator)

RC を 2 つ (極点を 2 つ) 持つレギュレータです。回路の各素子(C2、C3、R2)の値は特性入力によって自動的に決まります。



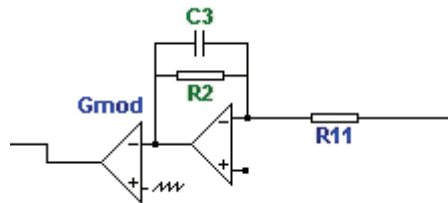
2.4.3 PIレギュレータ (PI regulator)

単極で PI 機能を持つレギュレータです。回路の各素子(C2、R2)の値は特性入力によって自動的に決まります。



2.4.4 単極レギュレータ (Single pole regulator)

RC を 1 つ (極点を 1 つ) 持つレギュレータです。回路の各素子(C2、R2)の値は特性入力によって自動的に決まります。



2.4.5 レギュレータ組み込み型分圧器 (Reg. Embedded voltage divider)

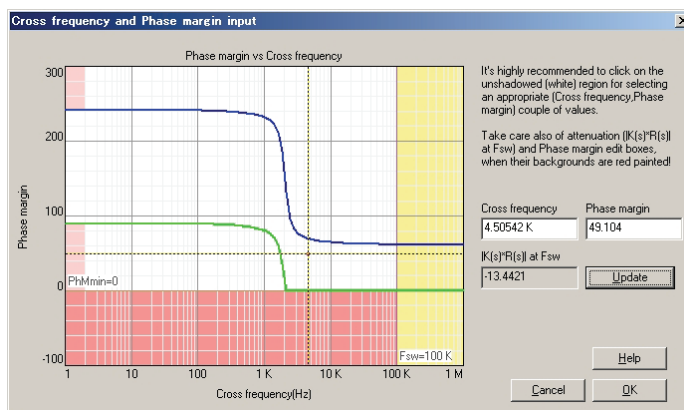
分圧器の二つの抵抗がレギュレータに組み込まれた構成になっています。(この場合、センサのイメージ欄は空欄になります。また、分圧器の抵抗はレギュレータのイメージ内で違う色で素子を描いています。)

出力電圧値は下記の式で表されます。

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

2.5 ソリューションマップ

ソリューションマップは、2.2 から 2.4 章にて決定した回路に対して、任意のクロスオーバー周波数での位相余裕を図で表します。ここで安定領域内にある任意の点を選択すると、SmartCtrl は安定性の高い回路パラメータを自動的に出力します。



1. 白い領域内をクリックすると、安定領域内にある任意のクロスオーバー周波数と位相余裕の点を選択することができます。
2. 周波数と位相の入力欄は、画面をクリックすると自動的にその点の値が表示されます。
3. 設定したスイッチング周波数での減衰率もその下に自動的に表示されます。これはオープンループ時の設定した周波数での減衰率になります。

選択可能な安定領域は、位相補償回路にて実現可能な最大および最小の位相余裕の値になっています。また、周波数側は、1Hzからスイッチング周波数 f_{sw} になります。

※例えば単純な単極レギュレータの場合、位相余裕の下限値は 90 度に回路のレギュレータを除いたオープンループ伝達関数になります。上限値は補償器によって与えられる値になります。

2.6 回路特性表示

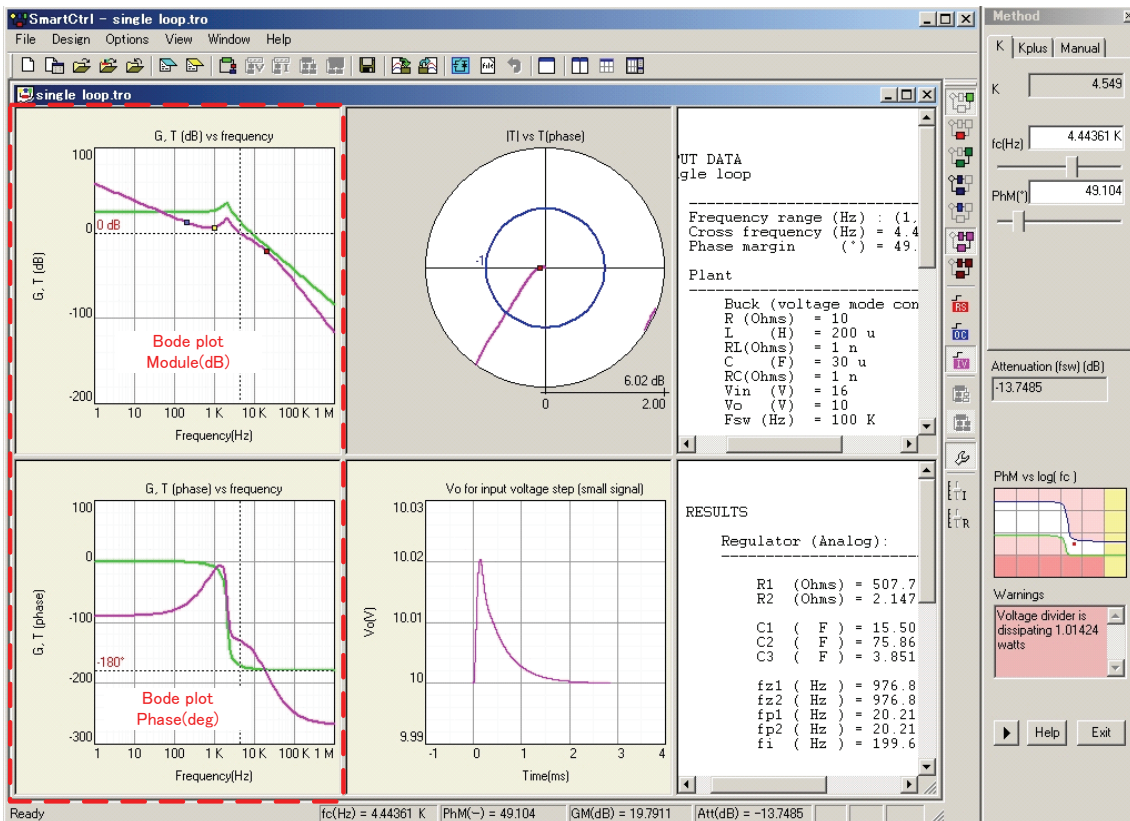
2.6.1 ボード線図

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、一つがゲインの周波数特性、もう一つが位相の周波数特性です。

ゲイン周波数特性図： 回路のゲインの周波数特性を dB 表記で示しています。ウィンドウの左上に位置します。

位相周波数特性図： 回路の位相の周波数特性を度(degree)表記で示しています。ウィンドウの左下に位置します。

SmartCtrl では、7 種類の特性をボード線図上に出力することができます。右のツールバーもしくは「View menu」の「Transfer functions」から選択可能です。



ゼロ点、極点調整

グラフ上の色の付いた各点は回路の極点またはゼロ点を示しています。(Type3 レギュレータ、Type2 レギュレータを使用している場合に現れます。)

黄点 : f_z

赤点 : f_p

青点 : f_i

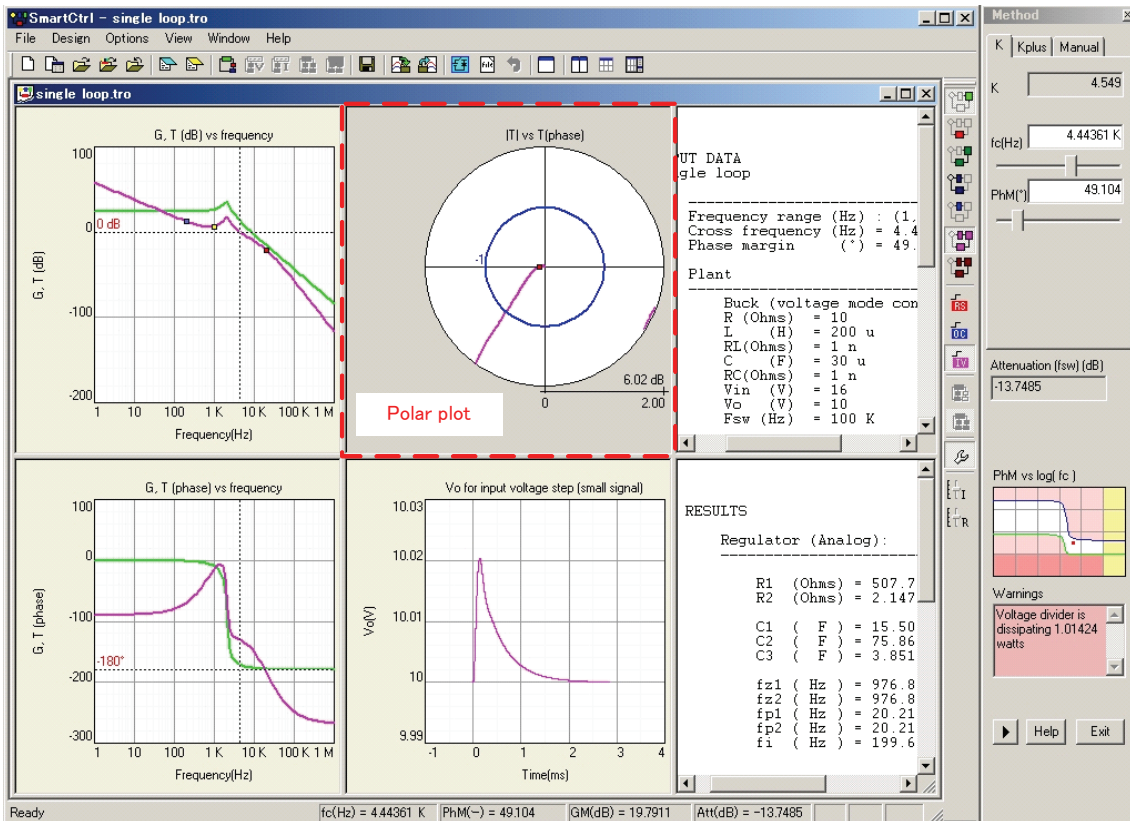
Method ウィンドウの Manual タブ選択時に上記の周波数点が表示されている場合、各点をドラッグで変化させると、リアルタイムに極点変化と特性変化を観ることができます。

クロス周波数

オープンループ時のクロス周波数はグラフ上の黒い点線で示されます。

2.6.2 ナイキスト線図

ナイキスト線図はボード線図と合わせて線形システムの周波数応答を表現します。



ナイキスト線図は、オープンループの周波数応答からクローズループの安定基準を分かりやす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だとすると、クローズループでは(-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。

グラフ上の色の付いた各点は回路の極点またはゼロ点を示しています。(Type3 レギュレータ、Type2 レギュレータを使用している場合に現れます。)

黄点 : f_z

赤点 : f_p

青点 : f_i

測定ツール

Ctrl キーを使うことでナイキスト線図内の各点のゲインと位相を測ることができます。

Ctrl キーを押しながらナイキスト線図にマウスカーソルを持っていくと、測定用の円が現れ、その点と、-1の円との差がゲインと位相の二つに分けて表示されます。(左上にはゲイン差が表示され、左下には位相差が表示されます。ゲインは dB、位相は degree が単

位です。)

ズーム

マウスの左クリックを押したまま、ナイキスト線図内を移動させると図のズームインとズームアウトができます。

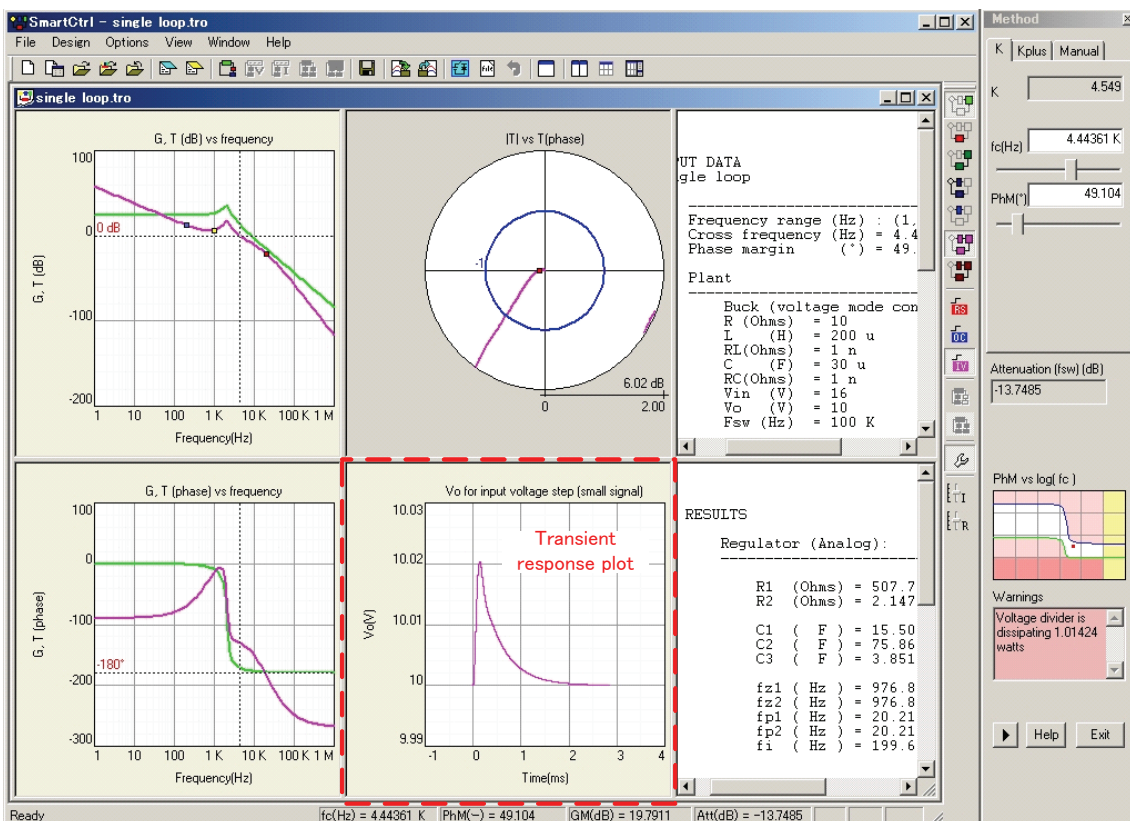
2.6.3 過渡応答図

過渡応答特性は、主にセッティング時間やピーク電圧値などを観るもので電力変換器の制御設計においてとても重要な部分です。従って、回路の過渡応答を簡単に観測することができるのは、設計者にとって大きなメリットになります。

SmartCtrl では、3 種類の特性を過渡応答図上に出力することができます。右のツールバーもしくは「View menu」の「Transients」から選択可能です。

時間ステップとトータル時間の調整

過渡応答図上で右クリックをすると、下記のようなウィンドウが現れます。時間設定は SmartCtrl 側で自動的に決定しますが、ユーザ側で詳細に過渡応答の確認をするために変更することができます。



2.7 パラメータ調整機能

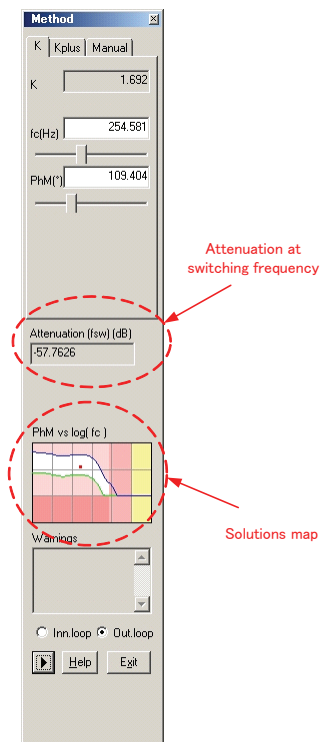
SmartCtrl では、「Method」ウィンドウの機能を使って出力された結果を追加で調整することができます。

Method ウィンドウは、3つの各種設計手法別にタブで分かれています。

K ファクタ法

K プラス法

手動調整



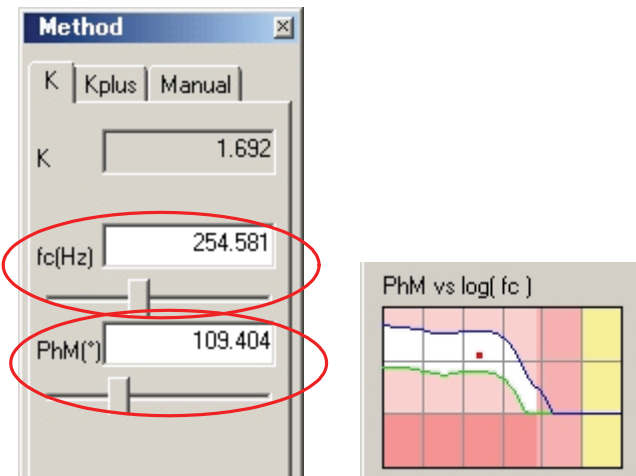
2.7.1 Kファクタ法

K タグではK ファクタ法を使って設計を行うことができます。K ファクタ法では、オープンループクロスオーバー周波数と位相余裕を選択して、それを実現する回路パラメータを自動的に生成します。生成結果はテキスト欄に表示されます。本手法はType3 レギュレータ、Type2 レギュレータでのみ使うことができます。(PI レギュレータを使用しているときはタグの名前がPI tuning に変わりますが、調整の指針は同じです。)

クロスオーバー周波数 (fc) と位相余裕 (PhM) は、直接入力、またはウィンドウ内のバーをドラッグしながら調整で変更することができます。

変更に伴ってウィンドウ内のソリューションマップも変化します。(赤点の位置が移動

します。)



Type3 レギュレータの K ファクタ

Type3 レギュレータは二つの極点とゼロ点、そして低周波の極点によって作られます。Type3 レギュレータのとき、K ファクタ法は二重目の極点とゼロ点ができるように補償回路を設計します。

- ・ 二重目のゼロ点は f/\sqrt{K}
- ・ 二重目の極点は $f \times \sqrt{K}$

K ファクタは、上記の極点とゼロ点の比であり、上の式の f は二重目のゼロ点と極点の間の相乗平均値になります。

周波数が f のとき最大のオープンループ位相幅となるので、一般的にオープンループクロスオーバー周波数が f になるようにレギュレータを設計します。

Type2 レギュレータの K ファクタ

Type3 レギュレータは一つの極点とゼロ点、そして低周波の極点によって作られます。Type2 レギュレータのとき、K ファクタ法は二重目の極点とゼロ点ができるように補償回路を設計します。

- ・ ゼロ点は f/K
- ・ 極点は $f \times K$

K ファクタは、上記の極点とゼロ点の比のルート値であり、上の式の f はゼロ点と極点の相乗平均値になります。

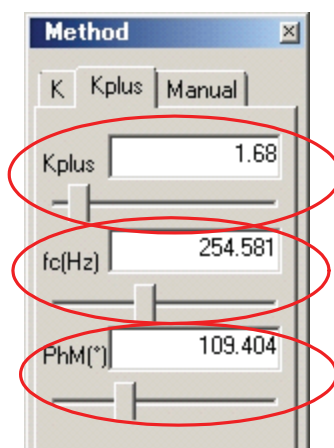
ゼロ点と極点の周波数が f のとき最大のオープンループ位相幅となるので、一般的にオープンループクロスオーバー周波数が f になるようにレギュレータを設計します。

2.7.2 Kプラス法

Kplus タグでは K プラス法を使って設計を行うことができます。K プラス法の入力パラメータは K ファクタ法と同じです。K ファクタ法との違いはゼロ点と極点の相乗平均値をオープンループクロスオーバー周波数に合わせる方法ではないという点です。

K プラス法は K ファクタ法よりも自由度の高い設計が可能で、二重目のゼロ点は、クロスオーバー周波数をパラメータ α で割った値 ($f_z = f_c / \alpha$) で表現し、二重目の極点は、クロスオーバー周波数にパラメータ β を掛けた値 ($f_p = f_c \times \beta$) で表現します。

α はクロスオーバー周波数と位相余裕から決まり、ゼロ点の周波数をより厳密に決めることができます。 β はその後自動的に決まります。



K プラス法では下記のような設計ができます。

α の値をファクタ法の K よりも小さく設定すると低周波で高いゲインを持つが、スイッチング周波数での減衰が小さい特性になります。

逆に α の値をファクタ法の K よりも大きく設定すると低周波でのゲインは低くなるが、スイッチング周波数での減衰が大きい特性になります。

α と K が等しいとき、K ファクタ法と同じになります。

K プラス法では、Kplus とオープンループクロスオーバー周波数と位相余裕を選択して、それを実現する回路パラメータを自動的に生成します。生成結果はテキスト欄に表示されます。(Kplus が上記の α にあたります。)

Kplus とクロスオーバー周波数 (fc) と位相余裕 (PhM) は、直接入力、またはウィンドウ内のバーをドラッグしながら調整で変更することができます。

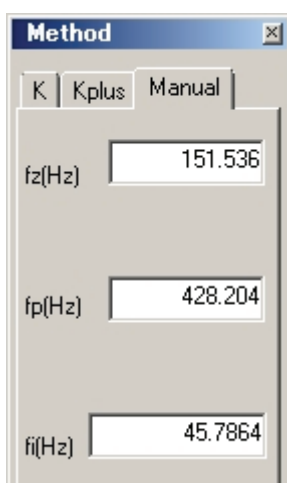
変更に伴ってウィンドウ内のソリューションマップも変化します。(赤点の位置が移動します。)

2.7.3 手動調整

Manual タグでは、極点とゼロ点を互いに独立して設定することができます。K ファクタ法やK プラス法の結果を更に調整したいときに使用します。本手法はType3レギュレータ、Type2レギュレータでのみ使うことができます。（単極レギュレータを使用しているときはタグの名前がSingle pole tuning に変わりますが、調整の指針は同じです。）

手動調整では、各周波数は、直接入力、またはボード線図上の点をドラッグしながら調整で変更することができます。

変更に伴ってウィンドウ内のソリューションマップも変化します。（赤点の位置が移動します。）




2.8 パラメータスイープ

SmartCtrl には、初期入力パラメータと自動出力されたレギュレータのパラメータ結果の 2 種類をスイープさせて、最適解を探す機能が搭載されています。

2.8.1 入力パラメータスイープ

入力パラメータをスイープさせて、最適解を探す機能は下記の方法で使うことができます。

ツールバーの  ボタンをクリック、または「Design」メニュー → 「Parametric Sweep」 → 「Input parameters」 から以下のパラメータスイープ設定ウィンドウを立ち上げます。

パラメータスイープにて利用可能な機能は下記になります。

項目	内容
Loop to be modified	調整を行うループを選択します。 「Inner loop」と「Outer loop」から選択します。 本オプションはダブルループ構造の回路のときにのみ有効になります。
Calculate regulator	チェックを入れるとパラメータスイープ実行と同時に、背景

	にある各回路特性図をリアルタイムに結果を変更するようになります。
Loop to be shown	背景にある各回路特性図を表示するループを選択します。

その下の各種タグから、各回路箇所を選択し、その中からパラメータスイープを実行するパラメータを選択します。

パラメータスイープの手順

1. スイープを実行したい各パラメータをチェックします。

↓

2. Maximum と Minimum を入力します。これはそれぞれパラメータをスイープさせるパラメータの最大値、最小値にあたり、スイープ範囲を決定することになります。

↓

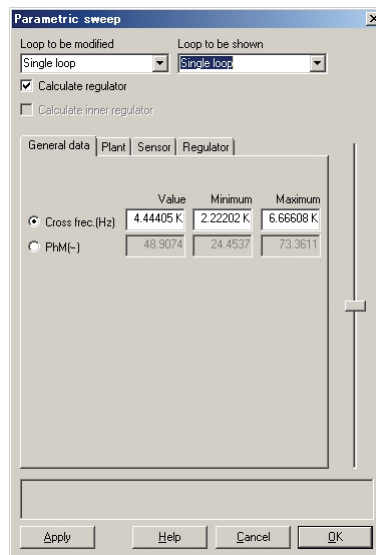
3. ウィンドウ右側のバーをドラッグして調整するとパラメータの値が変化し、スイープを実行することができます。同時にスイープできるパラメータは一つだけです。

↓

4. 最適な値を探し、パラメータスイープを完了します。

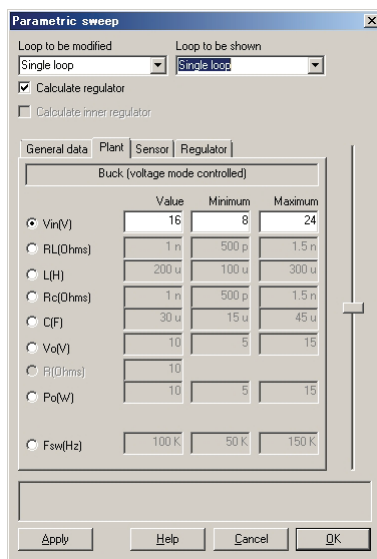
General Dataタグ

このタグでは、ソリューションマップで決定したパラメータ（主にクロスオーバー周波数、位相余裕）をスイープすることができます。



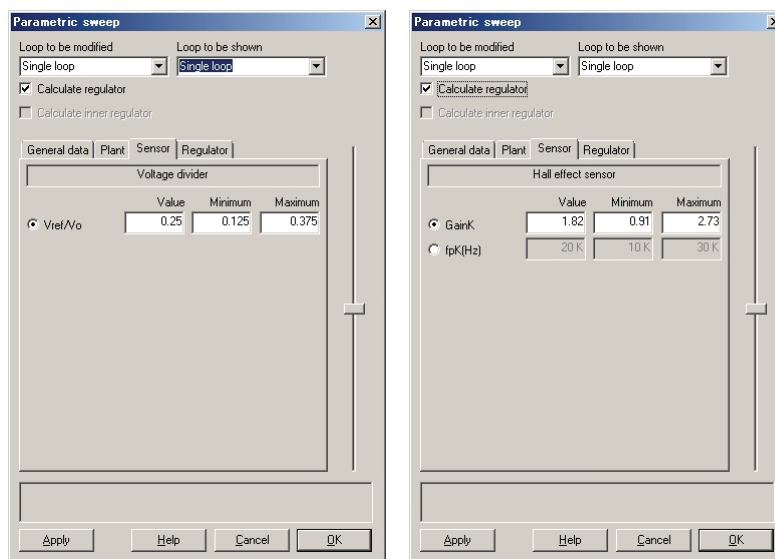
Plantタグ

このタグでは、プラントに関するパラメータをスイープすることができます。



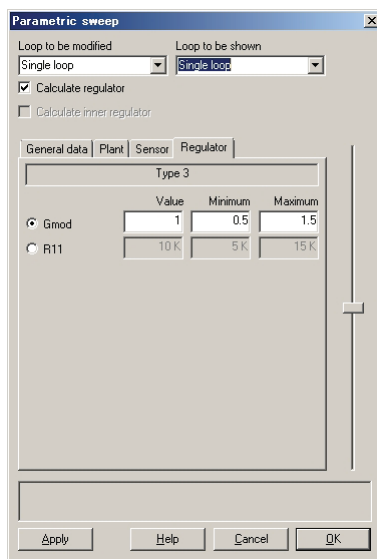
Sensorタグ

このタグでは、センサに関するパラメータ（主にゲインなど）をスイープすることができます。




Regulatorタグ

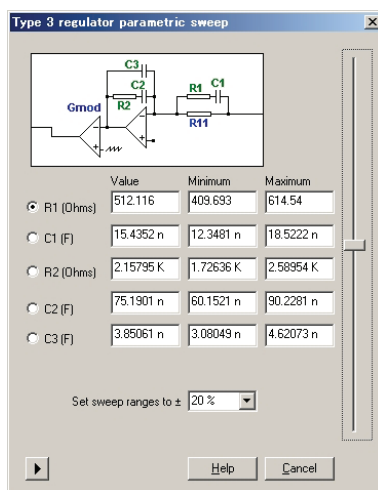
このタグでは、レギュレータに関するパラメータの一部をスイープすることができます。



2.8.2 レギュレータパラメータスイープ

自動出力されたレギュレータパラメータの結果をさらにスイープさせて、最適解を探す機能は下記の方法で使うことができます。（Type3、または Type2 レギュレータを使用している場合にのみ、本機能を使うことができます。）

ツールバーの  ボタンをクリック、または「Design」メニュー → 「Parametric Sweep」 → 「Regulator components」から以下のパラメータスイープ設定ウィンドウを立ち上げます。



パラメータスイープの手順

1. スイープを実行したい各パラメータをチェックします。

↓

2. Maximum と Minimum を入力します。これはそれぞれパラメータをスイープさせるパラメータの最大値、最小値にあたり、スイープ範囲を決定することになります。

※「Set sweep ranges to ±」の欄を使って範囲を設定することもできます。この欄では、自動出力された各レギュレータパラメータの結果に対してスイープ可能範囲を設定します。

↓

3. ウィンドウ右側のバーをドラッグして調整するとパラメータの値が変化し、スイープを実行することができます。同時にスイープできるパラメータは一つだけです。

↓

4. 最適な値を探し、パラメータスイープを完了します。

2.9 外部とのデータ交換

SmartCtrl では、PSIM の AC スイープ結果や測定データなど外部からの周波数特性データを取り込んで最適化を実行することや、逆に SmartCtrl の最適化結果を周波数特性のテーブルや PSIM の回路図として出力することが可能です。

大きく下記 5 種類のデータ交換が実行可能です。

データ取り込み（最適化実行回路を一般データから取り込み）

データ取り込み（最適化実行回路を PSIM 回路図から取り込み）

データ取り込み（比較用特性データ取り込み）

データ出力（周波数特性データ出力）

データ出力（PSIM 回路図データ出力）

2.9.1 データの取り込み（解析実行回路を一般データから取り込み）

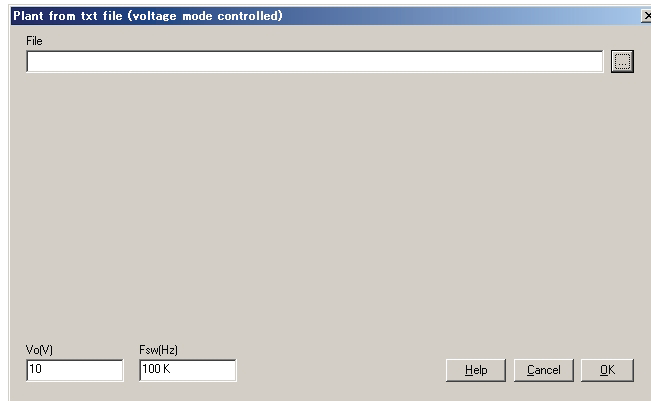
新規回路に対して SmartCtrl を使って解析を実行するとき、SmartCtrl に登録されている回路に対して実行する他に、プラントの周波数特性データを取り込み、そこから実行する方法もあります。

1. SmartCtrl のメインウィンドウから「Design」→「Imported transfer function」→「Single loop」を選択し、回路構成に合わせて下記 2 つのどちらかを選択します。

「Voltage mode controlled」： 電圧センサを用いた制御の場合に選択します。

「Current mode controlled」： 電流センサを用いた制御の場合に選択します。

2. 下記の画面にて、取り込むプラントの周波数特性を選択します。（スイッチング周波数と出力電圧値も選択します。）



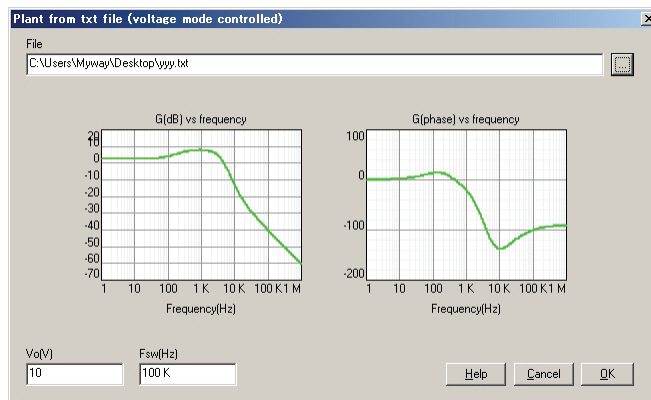
項目	内容
File	取り込む回路の周波数特性データを選択します。
Switching frequency (Fsw)	回路のスイッチング周波数を入力します。
Output voltage (Vo)	設計する出力部の電圧値を入力します。

取り込むデータフォーマット

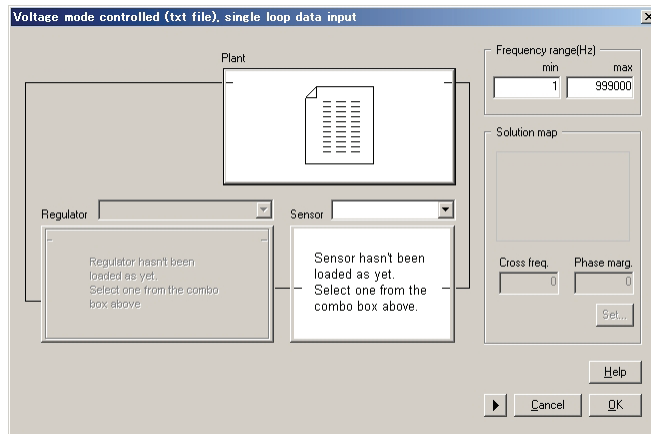
取り込むデータは下記の条件を満たしたフォーマットである必要があります。

- ・ 一行目にはデータを入力しないこと（一行目は取り込まれず無視されます。）
- ・ タブ区切りであること。
- ・ 左から右へ下記三つのパラメータが表記されていること。
 - 1 列目：周波数の値
 - 2 列目：各周波数における振幅の値(単位は dB)
 - 3 列目：各周波数における位相の値（単位は度）

3. 取り込みが成功すると、下図のようにウィンドウが変化します。PSIM の AC スイープ結果から取り込んだプラントの周波数特性が図示されています。問題がなければ「OK」を選択します。



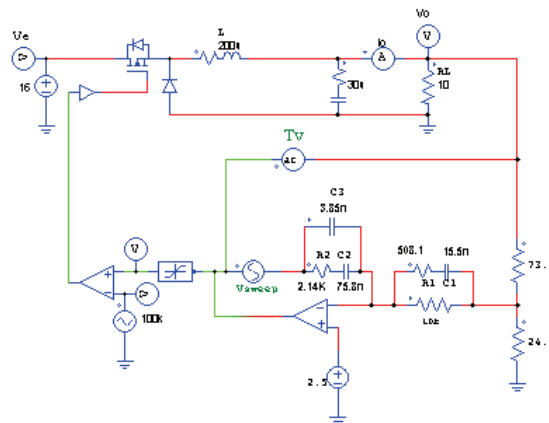
4. 取り込みが成功すると、プラントの部分が下図のようなシンボルになった図が表示され、以降は2.2.1章と同じ手順になります。



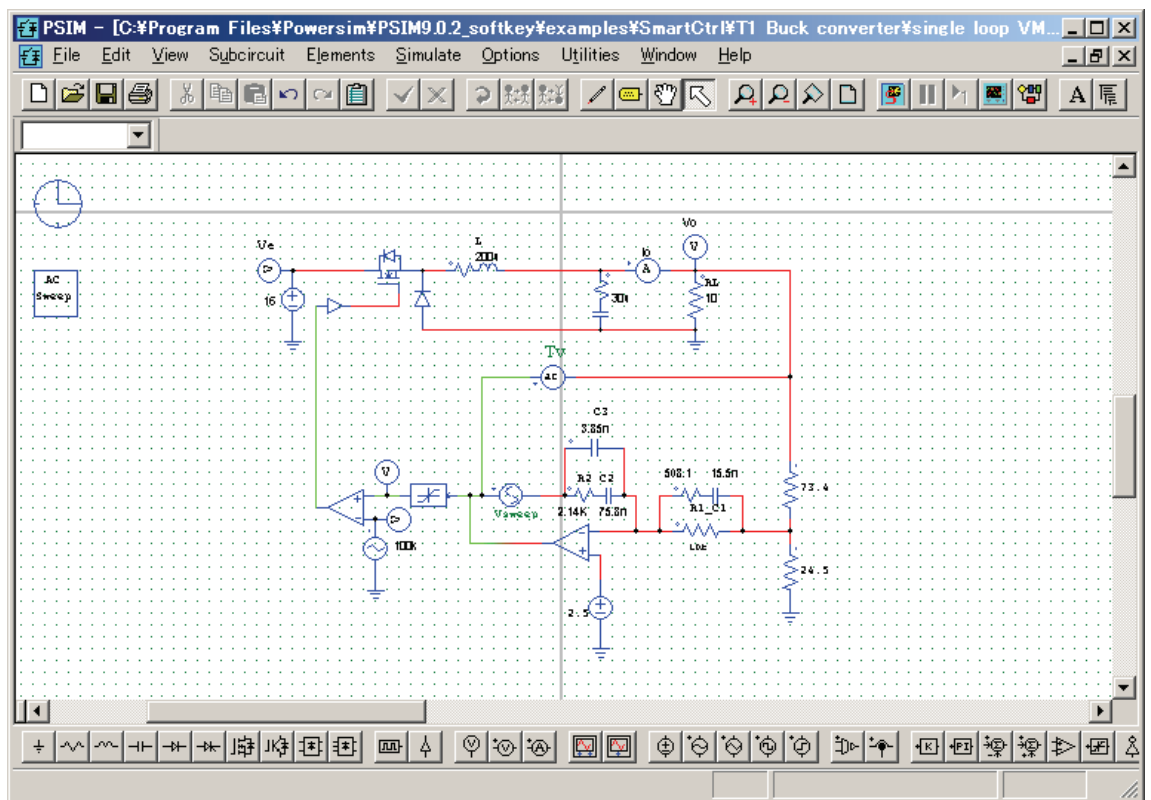
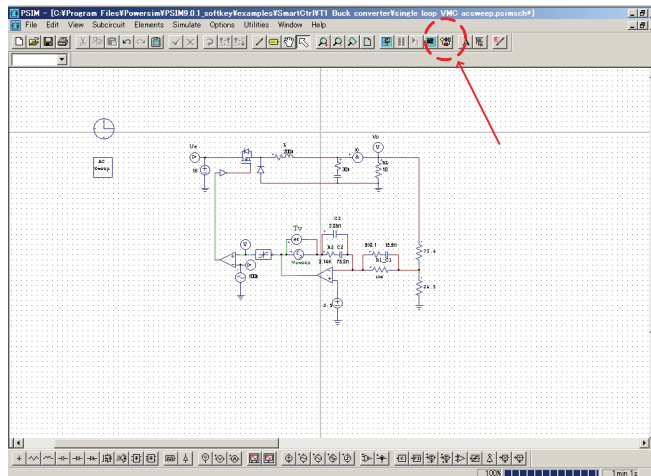
2.9.2 データの取り込み（解析実行回路をPSIM回路図から取り込み）

新規回路に対して SmartCtrl を使って解析を実行するとき、PSIM で作成した回路図からプラントの周波数特性データを取り込み、そこから実行する方法もあります。

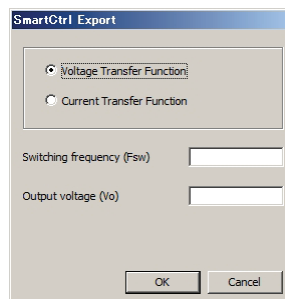
1. 下図のように PSIM で回路を作成し、ループの AC 解析の設定、実行をします。



2. AC 解析終了後、PSIM のメインウィンドウの右上のシンボル、または「Utilities」→「Launch/Export to SmartCtrl」を選択します。

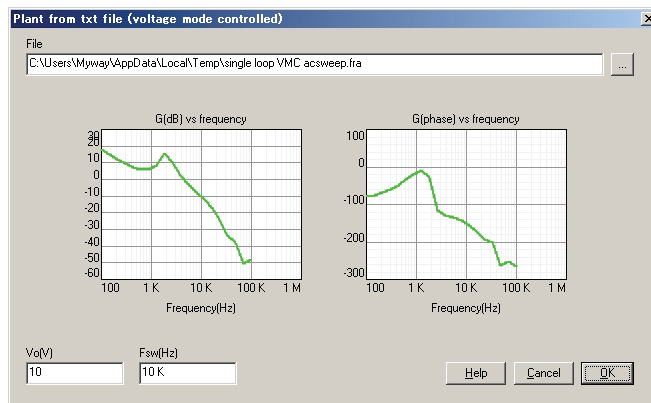


3. 下図のようなウィンドウが現れます。各部の設定を入力し、「OK」を選択します。

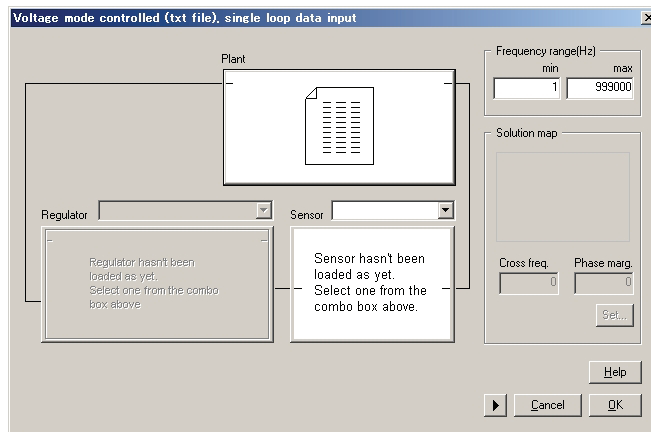


項目	内容
制御方式選択	Voltage Transfer Function : 電圧センサを用いた制御の場合に選択します。 Current Transfer Function : 電流センサを用いた制御の場合に選択します。
Switching frequency (Fsw)	回路のスイッチング周波数を入力します。
Output voltage (Vo)	設計する出力部の電圧値を入力します。

3. 下図のようなウィンドウが現れます。PSIM の AC スイープ結果から取り込んだプラントの周波数特性が図示されています。問題がなければ「OK」を選択します。



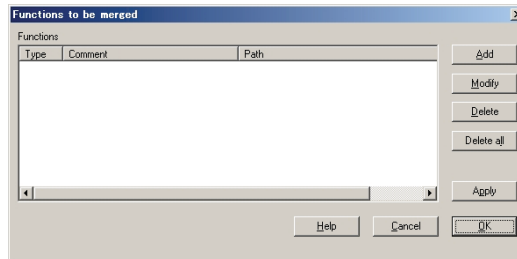
4. 取り込みが成功すると、プラントの部分が必要なシンボルになった図が表示され、以降は2.2.1章と同じ手順になります。



2.9.3 データの取り込み（比較用特性データ取り込み）

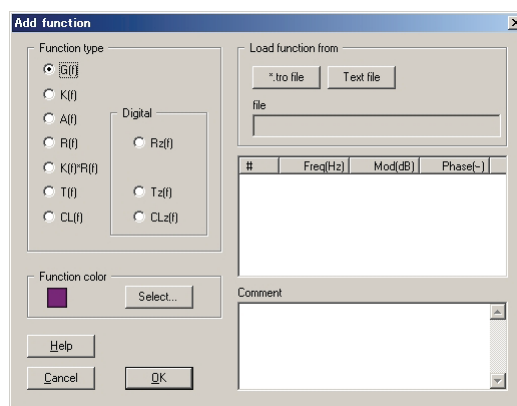
SmartCtrl では、現在表示中の回路に対して、比較のために他回路の特性をグラフに取り込むことができます。

1. 設計中の回路特性を表示した状態で、SmartCtrl のメインウィンドウから「File」→「Import(merge)...」を選択すると下記のような取り込むデータの選択ウィンドウが現れます。



項目	内容
Add	Voltage Transfer Function : 電圧センサを用いた制御の場合に選択します。 Current Transfer Function : 電流センサを用いた制御の場合に選択します。
Modify	取り込み設定中のファイルを再編集します。
Delete	選択している取り込み設定中のファイルの取り込みを解除します。
Delete all	取り込み設定中のファイルの取り込みを全て解除します。
Apply	現在のファイル取り込み設定をSmartCtrlへ適用します。

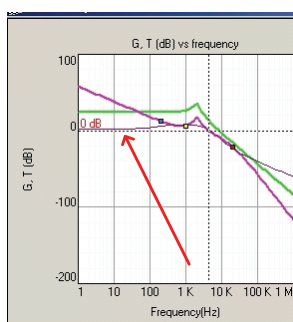
2. ここで「Add」を選択すると下記のようなウィンドウが現れます。取り込むデータを各種設定を実行した後、「OK」を選択してください。「Functions to be merged」のウィンドウに戻ります。「OK」を選択してください。



項目	内容
Load function from	データファイルを選択します。 *.tro file : SmartCtrl形式のデータを取り込みます。 *Text file : テキスト形式のデータを取り込みます。
Function type	G(f) : プラントの周波数特性としてデータを取り込みます。 K(f) : センサの周波数特性としてデータを取り込みます。 A(f) : レギュレータを除いたオープンループの周波数特性

	<p>としてデータを取り込みます。 R(f) : レギュレータの周波数特性としてデータを取り込みます。 K(f)*R(f) : 制御部の周波数特性としてデータを取り込みます。 T(f) : レギュレータを含めたオープンループの周波数特性としてデータを取り込みます。 CL(f) : クローズループの周波数特性としてデータを取り込みます。</p>
Function color	データをグラフに表示するときの色を選択します。

3. 下図のように、現在設計中の回路の特性の他に、取り込んだデータと一緒に表示されます。



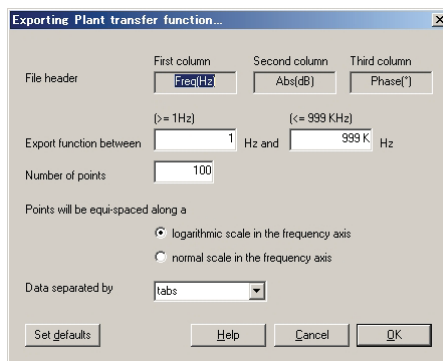
2.9.4 データ出力（周波数特性データ出力）

現在表示中の回路特性をテキスト形式で出力することができます。

1. メインウィンドウから「File」→「Export」→「Transfer functions」を選択します。

項目	内容
Transfer functions	<p>G(f) Plant : プラントの周波数特性をデータ出力します。 K(f) Sensor : センサの周波数特性をデータ出力します。 A(f) Open loop without regulator : レギュレータを除いたオープンループの周波数特性をデータ出力します。 R(f) Regulator : レギュレータの周波数特性をデータ出力します。 T(f) Open loop : レギュレータを含めたオープンループの周波数特性をデータ出力します。 CL(f) Closed loop : クローズループの周波数特性をデータ出力します。</p>

2. 上記選択肢のどれかを選択すると下図のようなウィンドウが現れます。（下図は「G(f) Plant」を選択したときの画面）



項目	内容
Export function between	出力する周波数特性データの範囲を設定します。
Number of points	上記の欄で設定した周波数区間で何点のデータを取るかを選択します。
Points will be equi-spaced along a	データポイントをどのスケールで取るかを選択します。 logarithmic scale : 対数でみたときに等間隔でデータポイントを取ります。 normal scale : 実数でみたときに等間隔でデータポイントを取ります。
Data Separated by	出力するデータテキストの区切りを選択します。 tabs : タブ区切りにします。 spaces : スペース区切りにします。 commas : コンマ区切りにします。

3. 「OK」を選択後、ファイル名を入力してデータ出力は完了です。

2.9.5 データ出力（PSIM回路図データ出力）

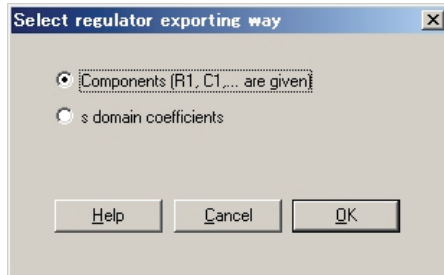
現在表示されている回路の制御回路部の特性を PSIM の回路図として出力することができます。

1. メインウィンドウから「File」→「Export」→「regulator」を選択します。

項目	内容
Regulator	To txt file : 制御回路部の各回路素子パラメータをテキスト形式で出力します。 To PSIM(schematic) : 制御回路部をPSIMの回路モデルとして出力します。 To PSIM(parameters file) : 制御回路部の各回路素子パラメータをPSIMのパラメータファイルブロックとして出力します。 Update parameters file : 現在開いている回路をPSIMに出力しており、SmartCtrlの回路に変更を加えた場合、そのパラメータをPSIM側にも反映することができます。

2. 上記選択肢の「To txt file」を選択した場合、ファイル名を選択してデータ出力は完了です。

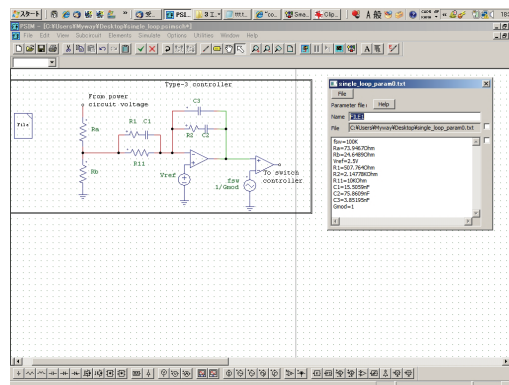
「To PSIM...」の二つのいずれかを選択した場合、回路図の名称および保存先を設定する画面のあと、下図のような出力する PSIM 回路モデル形式を選択するウィンドウが立ち上がります。



項目	内容
Components (R1, C1,... are given)	オペアンプを使ったPSIMの制御回路モデルを出力します。
s domain coefficients	S領域の関数ブロックを使ったPSIMの制御回路モデルを出力します。

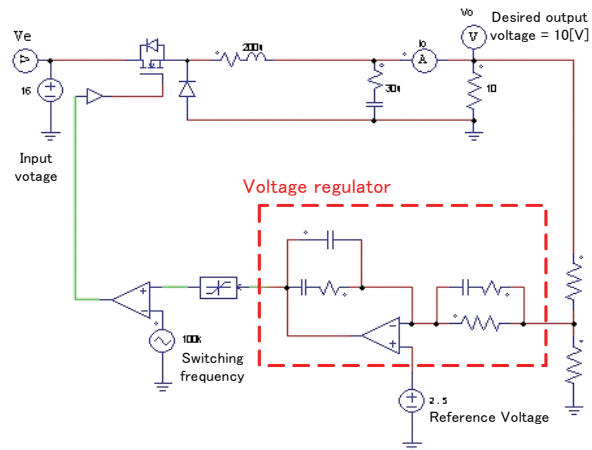
3. 「OK」を選択すると、PSIM が自動的に立ち上がり、下図のような回路モデルとしてそれぞれデータ出力されます。

「To PSIM(schematic)」 「Components」 の場合



「To PSIM(schematic)」 「s domain coefficients」 の場合


本章では、降圧型の DC/DC コンバータ設計の例を使って、SmartCtrl の使い方の解説を行います。今回例とする回路は下図です。抵抗分圧で電圧を取り込み、レギュレータにて制御を行う回路になります。

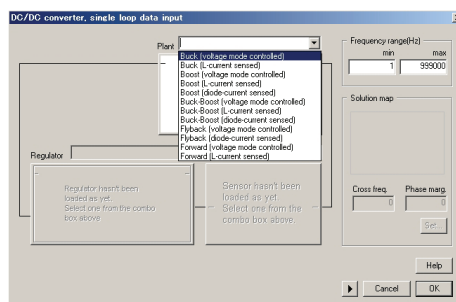


Converter parameters:

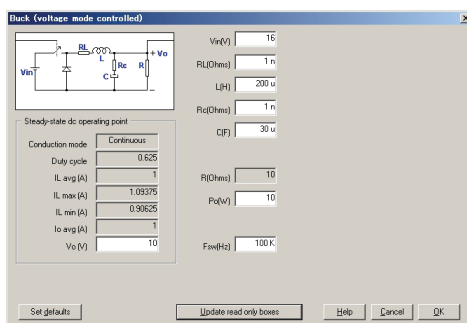
- Input voltage: 16V
- Output voltage: 10V
- Reference voltage: 2.5V
- Output inductance: 200uH
- Output capacitance: 30uF
- Switching frequency: 100kHz

3.1 コンバータの設定

SmartCtrl を立ち上げた後、メインウィンドウのアイコン  をクリックします。すると下図のウィンドウが現れますので、「Plant」の欄で「Buck(Voltage mode controlled)」を選んでください。

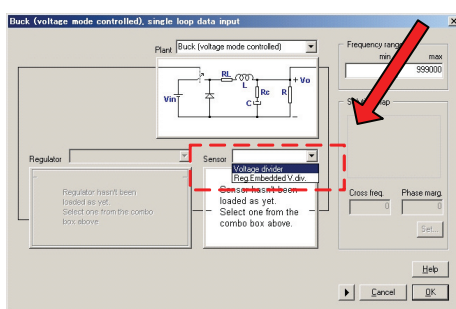


または Data メニューから「Predefined topologies」 → 「DC/DC converters」 → 「Single loop」 → 「Buck」 → 「Voltage mode controlled」を選択してください。下図のウィンドウが立ち上がりますので、プラント部のパラメータの入力をした後、OK をクリックしてください。（特に問題がなければ初期設定値のまま進めてください。）



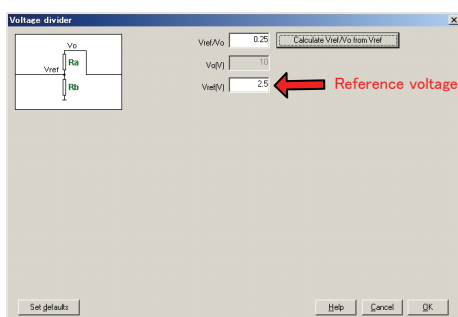
3.2 センサの選択

プラントの設定が終わると、制御対象によって Sensor の選択肢が現れます。（下図参照）



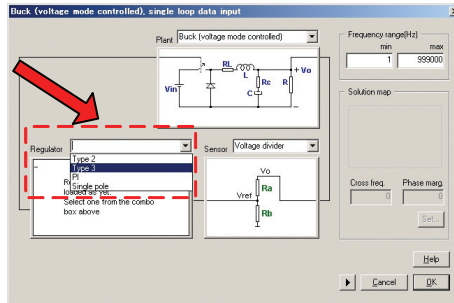
分圧回路の場合、リファレンス電圧値を入力します。「Calculate Vref/Vo from Vref」をクリックすると、自動的にセンサの抵抗値を計算、出力します。下図ではリファレンス電圧を 2.5V に設定した場合の例を示しています。（設定が完了したら OK をクリックしてください。）

※制御全体のゲインは、SmartCtrl で選択できる分圧回路の抵抗値とレギュレータの素子値を合わせたものになることに注意してください。

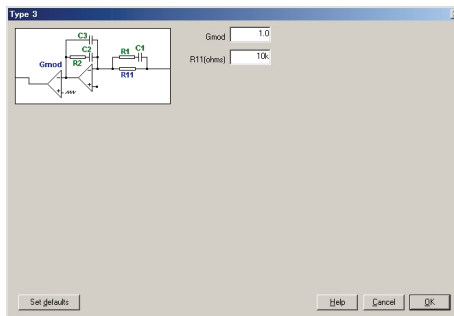


3.3 レギュレータの選択

レギュレータ選択の図を下図に示します。



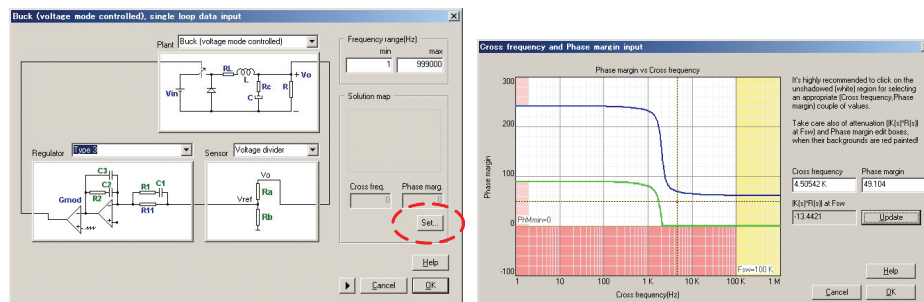
二次の制御システムの場合は、位相余裕や帯域幅の視点から「Type 3 regulator」を選択します。Type3レギュレータの場合は下図のようにパラメータを入力します。（Gmod はゲインです。）



3.4 クロスオーバ周波数と位相余裕

SmartCtrl ではクロスオーバ周波数（または帯域幅）の決定やソリューションマップを使った位相余裕の決定を簡単に行うことができます。

左下図の「Set」をクリックするとソリューションマップが立ち上がります。（右下図参照）



ソリューションマップの x 軸はクロスオーバ周波数で y 軸は位相余裕です。コンバータのプラントパラメータやレギュレータの設定を基に SmartCtrl はソリューションマップ内に安定領域を描きます。（白地の領域）白地の中であれば、任意のクロスオーバ周波数での任意の位相余裕の値を選択することができます。

各入力欄にクロスオーバ周波数と位相余裕を直接入力して「Update」ボタンをクリックする方法と、ソ

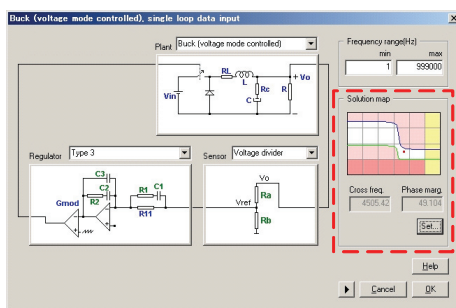
リユーションマップ内に左クリックして選択する方法の二通りの方法を選べます。

センサや指定したスイッチング周波数におけるレギュレータの減衰率が「 $|K(s) \cdot R(s)|$ at Fsw」の欄に表示されます。指定するスイッチング周波数で十分な減衰がない場合、回路は高周波領域で発振してしまう可能性があります。設定値が適切に安定な値でない場合、入力欄が赤地になります。

一般的には、最初、クロスオーバ周波数はスイッチング周波数の 1/10、位相余裕は 45 から 60 度の間くらいになるように設計します。今回の例ではクロスオーバ周波数は 4.4436kHz にて位相余裕は 49.1 度に設定しており、安定領域内に納まっています。

OK をクリックしてください。

ソリューションマップは下図の右側のデータ入力ウィンドウから見るすることができます。



設計確認の OK をクリックすると SmartCtrl は自動的に回路の特性としてボード線図、ナイキスト線図、そして過渡応答の図を作成します。

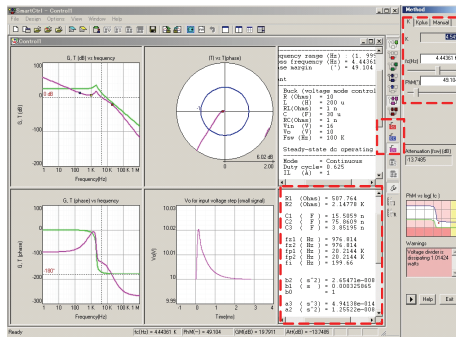
3.5 制御ループ解析と最適化の実行

クロスオーバ周波数と位相余裕の設定をすると、レギュレータのパラメータが設定され、制御ループの特性を確認することができます。SmartCtrl は、ボード線図、ナイキスト線図、そして過渡応答の図を使い、ユーザに分かり易い形で制御ループ特性を表現します。

「View」メニュー、または右側のツールバーから、回路やレギュレータ特性のボード線図、オープンおよびクローズループの伝達関数、また入出力のステップ応答をリファレンスと合わせて表示することができます。（Viewメニューの内容は2.1.5を参照してください。）

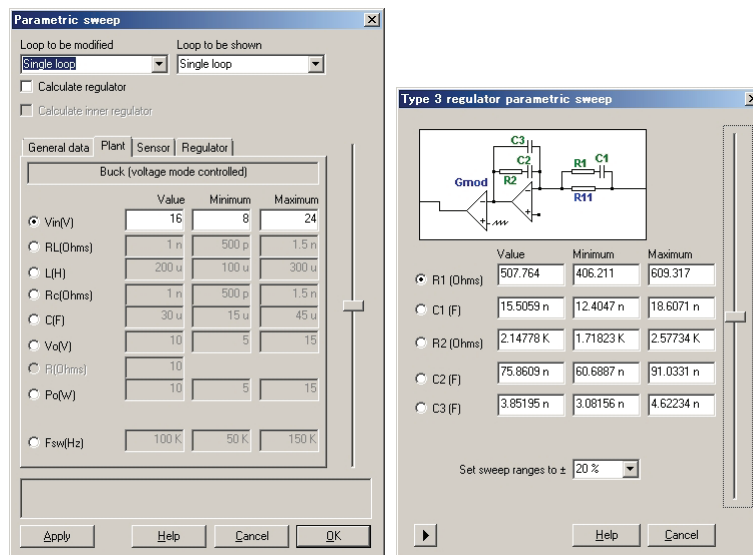
レギュレータのタイプによってパラメータの計算方法には幾つかの方法があります。例えば、Type3 レギュレータでは 3 つの方法があります。K ファクタ法、K プラス法（K ファクタ法を改良したものです。）手動による極点/ゼロ点設定法です。

バーの調整によってボード線図と時間応答が即座に変化するので、各パラメータに対して制御ループ特性がどのように変化するかを見ることができます。（下図参照）



更にメインウィンドウ内で「Design」 → 「Parameter sweep」 → 「Input parameters(または Regulator components)」を選択することで、更に細かいパラメータ調整を実行することができます。下図では、入力パラメータとレギュレータパラメータのスイープの設定を示しています。

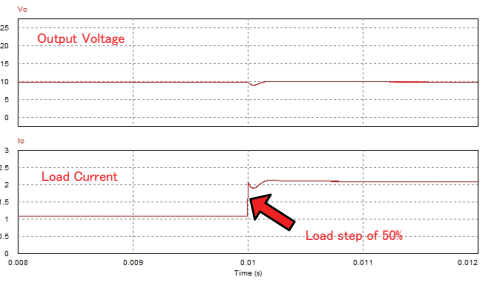
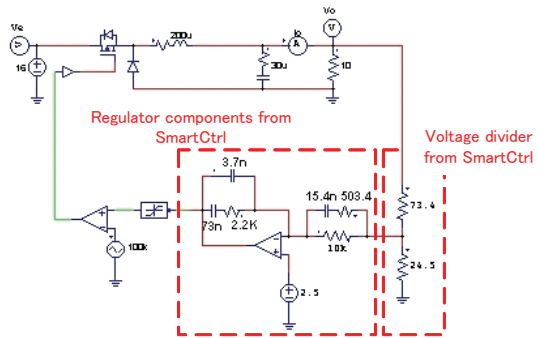
パラメータ設定後、横のバーを使って各パラメータに対して制御ループ特性がどのように変化するかを見ることができます。



設計が完了すると SmartCtrl はセンサやレギュレータの素子値を出力します。PSIM の時間軸シミュレーションで設計の妥当性などを再確認することができます。

下図は PSIM の回路例を示しています。SmartCtrl から出力されたパラメータ値とほぼ同じ値を使っています。

制御ループ特性確認として、50%の負荷ステップ信号を印加します。シミュレーション結果より、小さなオーバーシュート、短いセトリングタイムで制御ループの応答が大きく改善していることが分かります。(下図参照)



SmartCtrl User's Guide

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 : <http://www.myway.co.jp>
Eメール : sales@myway.co.jp
