

SIMPLIS チュートリアル

- このチュートリアルの目的は、以下のパラメーターで DC/DC バックコンバーターを作成することです：
- 入力電圧 = 12V
 - 出力電圧= 1.2V
 - 出力電流 = 10A
 - スイッチング周波数= 500kHz

このチュートリアルでは以下の方法についてご説明します：

- SIMetrix/SIMPLIS 回路図エディターを使って open loop power stage 回路図を作成する方法
- SIMPLIS の 3 つの解析手法（POP、AC、過渡解析）を使って設計のシミュレーションを行う方法
- 出力曲線を生成し、自動的なスカラー測定をこの曲線に行う
- 3-ポール, 2-ゼロ 電圧モード補償器を電力段に付加して、フィードバックループを閉じる
- コマンドウインドウ(F11) で表現と.VAR ステートメントを使ってパラメータ化した値を付加する
- コンバータの小信号、大信号の安定度を検証する
- 回路図の補償器の部分でどのように階層構造の回路図の部品をつくるか。この階層構造のブロックは他の設計に再利用できます。

Topics in this tutorial

Topics in this chapter

- [1.0 Getting Started with the SIMPLIS Tutorial](#)
- [2.0 Entering the Design](#)
- [3.0 Simulating the Design](#)
- [4.0 Managing Simulation Output](#)
- [5.0 Building High-Level Models](#)
- [Conclusions](#)

1.0 Getting Started with the SIMPLIS Tutorial

このチュートリアルでは、バックコンバーターの設計プロセスを、最初の作図から始まりパラメーターを設定した最終的な階層設計に至るまで、順を追って説明します。すべての回路図および関連ファイルはこのチュートリアルを進めていく中で順にダウンロード可能ですが、同じものが次のセクションで zip ファイルの形でまとめてダウンロードできます。

In this topic:

- [1.1 Downloading the Files](#)
- [1.2 Tips for Navigating this Tutorial](#)
- [1.2.1 Navigation Conventions](#)
- [1.2.2 Text Conventions](#)
- [1.2.3 Schematic Images](#)
- [1.3 SIMetrix/SIMPLIS Environment](#)
- [1.4 Setting General Options](#)
- [1.5 Showing the Part Selector](#)
- [1.6 Setting up the User Interface for the Tutorial](#)
- [1.7 Creating a New Schematic](#)
- [1.8 Saving your Schematic](#)
- [1.9 Add Working Directory to the File View](#)

1.1 ファイルをダウンロードする

このチュートリアルでは回路図のコピー、その他のファイルと製品版の SIMetrix/SIMPLIS.が必要です。製品版の SIMetrix/SIMPLIS.の評価用ライセンスがありますのでご要望下さい。

すでにご自身の PC に SIMPLIS がインストールされている場合には、バージョンが 8.00d またはそれ以降であることをご確認ください。インストールされたバージョンを確認するには、メニューバーから **Help > About...** を選択しダイアログを開けて SIMetrix/SIMPLIS のバージョンを表示して下さい。

T 最新版にアップデートするにはメニューバーから **Help > Check for Updates...** を選択してください。

チュートリアルのファイルは以下のステップに従ってダウンロードします。

- このチュートリアルで使われるすべての回路図が入った zip ファイルをダウンロードするには、こちらをクリックしてください : [simplis tutorial examples.zip](#).
- 製品版の評価ライセンスをご要望下さい。

SIMPLIS welcomes your feedback (positive, negative, bugs, etc.) regarding this tutorial. To send comments, click [here](#).

1.2 このチュートリアルの操作方法

このチュートリアルは、新しいユーザーの方々が SIMPLIS シミュレーターを使い始める際の手助けとなること、また

1.2.1 操作に関するきまり

サブセクションのあるトピックについては、ページ先頭に簡単な目次が記載されています。各セクションの最後には **back to top** のリンクがあり、そこをクリックすることで目次に戻ることができます。

閲覧の順序については、ウィンドウの上部に左右の矢印があります：

- 左の矢印 ⇨ **Previous topic**...前のトピックへ戻る
- 右の矢印 ⇨ **Next topic**...次のトピックへ進む
- The ⇨ **Parent topic** goes to the main section topic; that is 1.0, 2.0, etc.

1.2.2 テキストの表示に関するきまり

内容を読みやすくするために、テキストは次のきまりに従って表示してあります。

- 太字のテキストは通常、画面上で選択するものやキーボードで入力するものを示しています。ファイル名も太字で表示されています。
- 緑の斜体は、番号の付いた手順を行った後に起きる結果を示しています。
結果：緑の斜体...
- メニューの選択方法については、メニューの項目を▶で分けて表示しています。例えば、**File▶ Save** は「メニューバーから、**File** をクリックし、次に **Save** を選択してください」という意味になります。

1.2.3 回路図のイメージ

回路図 have のスクリーンショットでは見やすくするためにレイアウトグリッドはオフとしてあります。

- **Hide grid** オプションはデフォルトでオフとしています。作業の間グリッドが見えるようにしておけば、回路図でシンボルを置いたり配線したりするのに助けになります。
- 回路図エディターのメニュー **View > Toggle Grid** でグリッドオンやオフに変えられます。

1.3 SIMetrix/SIMPLIS の環境

SIMetrix/SIMPLIS ソフトウェアパッケージには 2 つのシミュレーターが含まれています：

- SIMetrix シミュレーターは、優れた収束性を持つ、最適化された **SPICE** シミュレーターです。
- このチュートリアルで扱う **SIMPLIS** シミュレーターは、スイッチング電源設計用に最適化された区分線形 (PWL) シミュレーターです。

Beginning with SIMetrix/SIMPLIS version 8.0, SIMetrix/SIMPLIS has an integrated user interface with a single Main Window and a set of sub windows called **System Windows** which can be moved or docked on the periphery of the main window.

SIMetrix/SIMPLIS の主なウィンドウには次のようなものがあります。

- The **Welcome Page** contains links to open recently used files, to access the documentation system, etc.

- Schematic editor (回路図エディター) は、回路図を編集する際に使用します
- The Waveform Viewer window opens to display output curves after you have run a simulation.
- シンボルエディターは、シンボルの作成や修正に使用するツールです。

The **System Windows** include these:

- The **Command Shell** displays error messages.



Note: In the full versions of SIMetrix/SIMPLIS, the Command Shell includes a text field for entering script commands.

- The **Part Selector** is where you find symbols to place on a schematic. The part selector is populated with symbols based on the simulator mode of the schematic (SIMetrix or SIMPLIS).
- The **File View** allows easy access to your file system for opening files in SIMetrix/SIMPLIS. You can add your commonly used directories to the file viewer.

Finally, when a SIMPLIS simulation is launched, the **SIMPLIS Status** shows the progress of the current SIMPLIS simulation.

[▲ back to top](#)

1.4 全般的なオプションを設定する

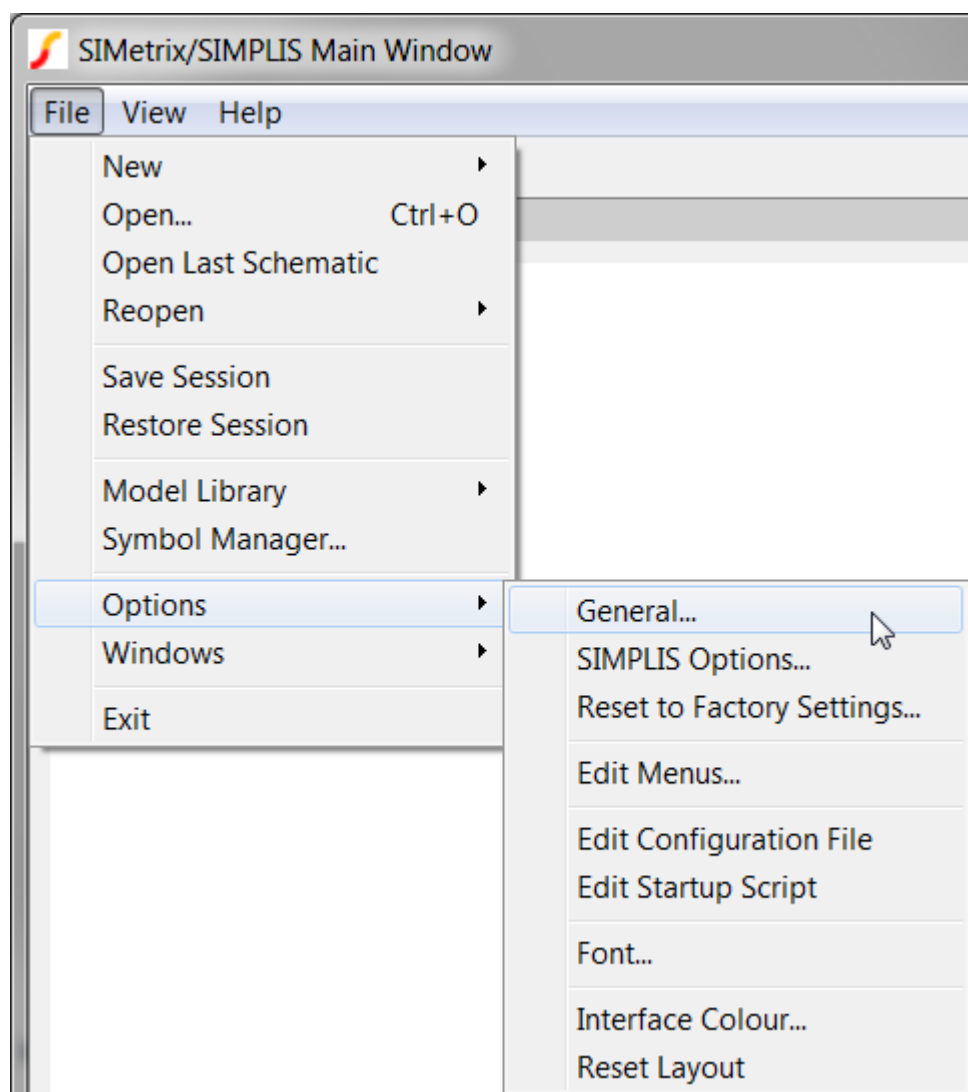
SIMPLIS を初めて使う際には、様々なオプションがデフォルト設定になっています。このチュートリアルでは、新たな回路図に SIMPLIS シミュレーターが使用されるようにするために、シミュレーターモードを変更する必要があります。オプションはすべて、SIMetrix/SIMPLIS メインウィンドウまたはツールバーボタンを通じて制御します。

デフォルトのシミュレーターモードを変更するには、次の手順に従います：

1. スタートメニューから SIMetrix/SIMPLIS を起動します

結果：SIMetrix/SIMPLIS のメインウィンドウが開きます

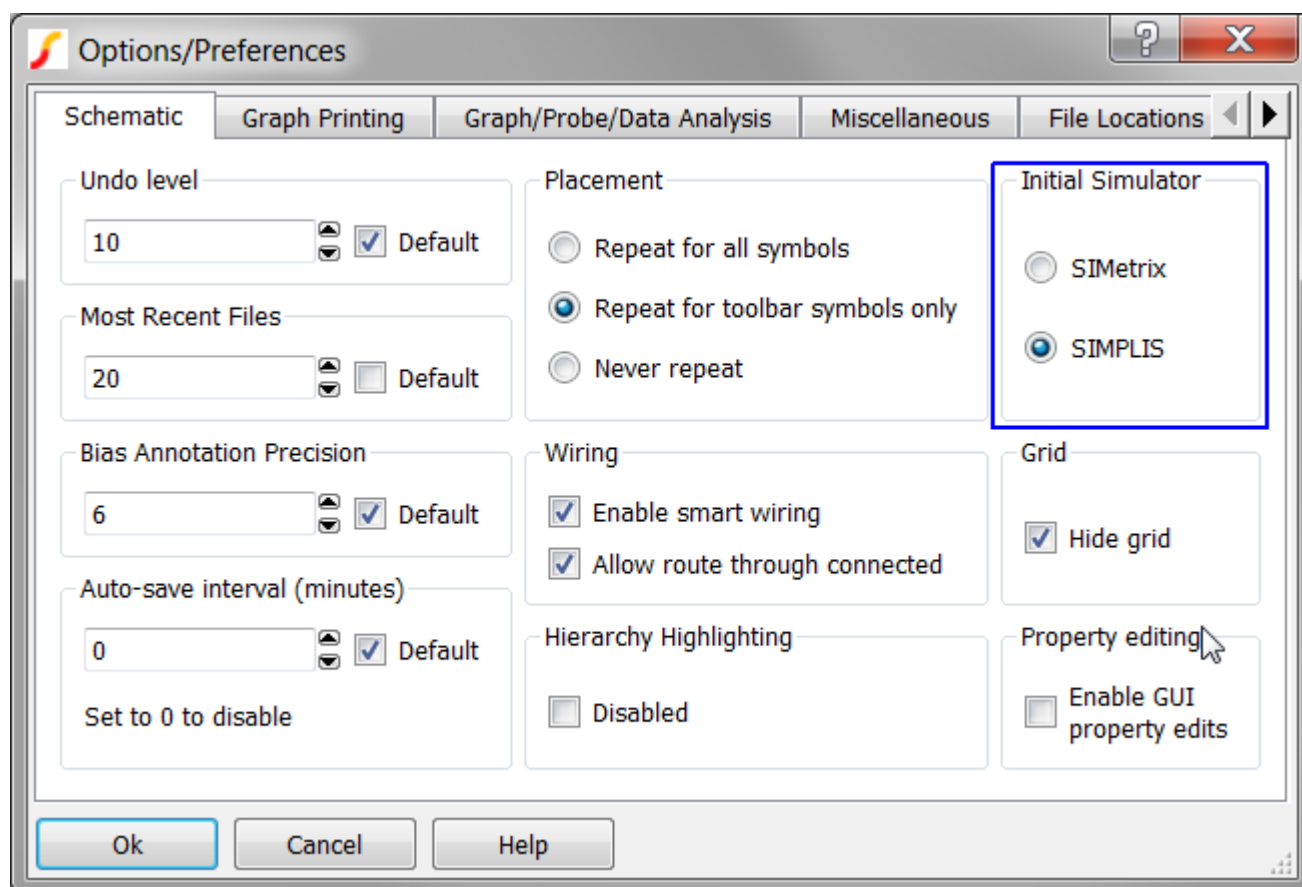
2. SIMetrix/SIMPLIS のメインウィンドウで、**File > Options > General....**をクリックします。



3. **Options** をハイライトし、**General...**をクリックします。

結果 : Options/Preferences ダイアログボックスが開き、Schematic タブが表示されます。

4. 右上の **Initial Simulator** セクションに行き、**SIMPLIS** ラジオボタンをクリックします。



5. **Ok** をクリックします。

結果：一般的なオプションはユーザープロファイルに保存され、SIMetrix/SIMPLIS を閉じた後も保持されます。You may have also noticed the Welcome Page was refreshed after you clicked Ok on the dialog. In particular, the icon at the top of the page changed from the SIMetrix icon to the SIMPLIS icon. In the Create New section of the Welcome Page, the icon next to the Schematic link also changed to a SIMPLIS icon, indicating that each new schematic created will use the SIMPLIS simulator.

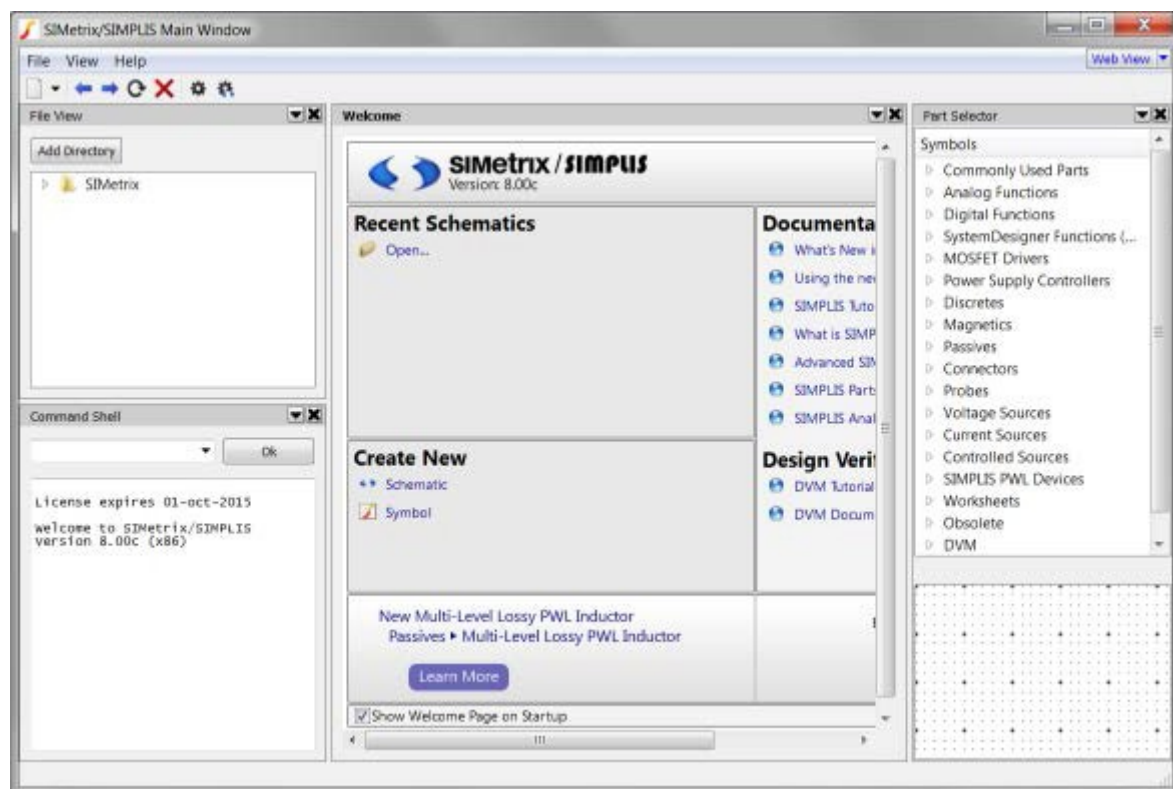
[▲ back to top](#)

1.5 パーツセレクターを表示する

SIMetrix/SIMPLIS のデフォルト設定では、パーツセレクターは非表示になっています。このチュートリアルではパーツセレクターからシンボルを配置するため、シンボルを配置し始める前に、まずパーツセレクターを表示させる必要があります。

パーツセレクターを表示させるには、**View > Show Part Selector** メニューを選択します：

結果：メインウィンドウの右側にパーツセレクターが表示されます。



[▲ back to top](#)

1.6 チュートリアル用にユーザーインターフェースを設定する

前のステップでパーツセレクターシステムウインドウが表示されました。この章では **SIMetrix/SIMPLIS** メインウインドウの左側に全てのシステムウインドウ移動します。パーツセレクターを動かすには以下のステップに従います。:

1. パーツセレクターシステムウインドウの上の灰色のバーにマウスカーソルを動かします。

結果: マウスカーソルがポインターから開いた手に変化します。

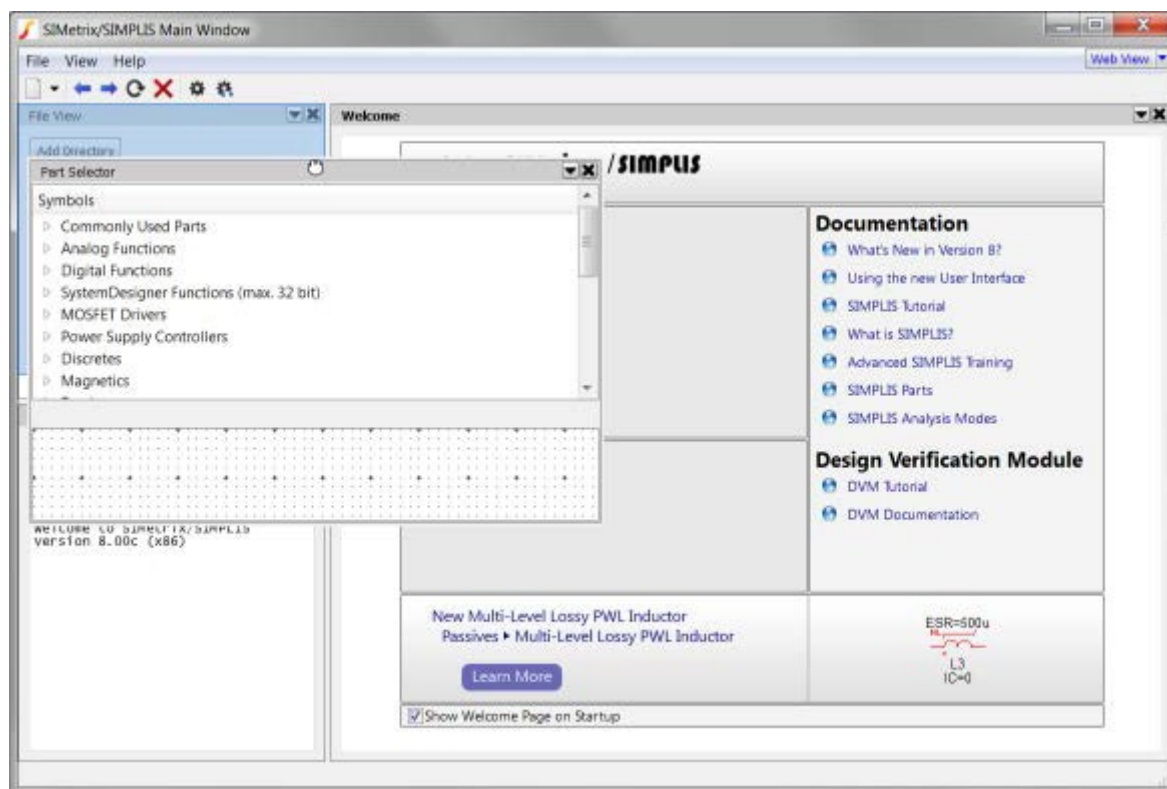


2. 押して左マウスボタンを保持します。

結果: 開いた手が閉じてパーツセレクターシステムウインドウは動かせる状態になります。

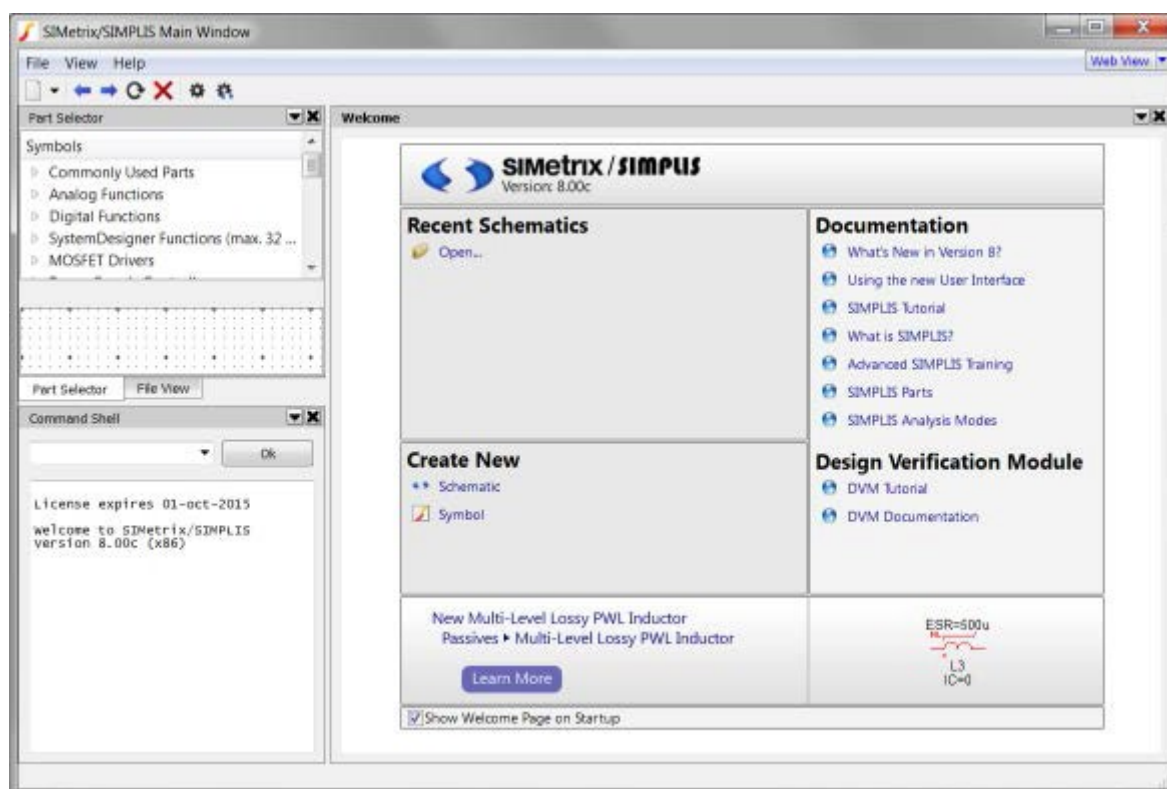


3. マウスの左ボタンを押している間、パーツセレクターシステムウインドウを左にドラッグします。ウインドウをドラッグするとメインウインドウの部分が明るい青に変わるのが分かります。左ボタンを離れた時にシステムウインドウがどこに置かれるかのしるしになります。以下はファイルビューシステムウインドウのタブに重ねられて、パーツセレクターシステムウインドウがメインウインドウの左側に配置されるイメージです。



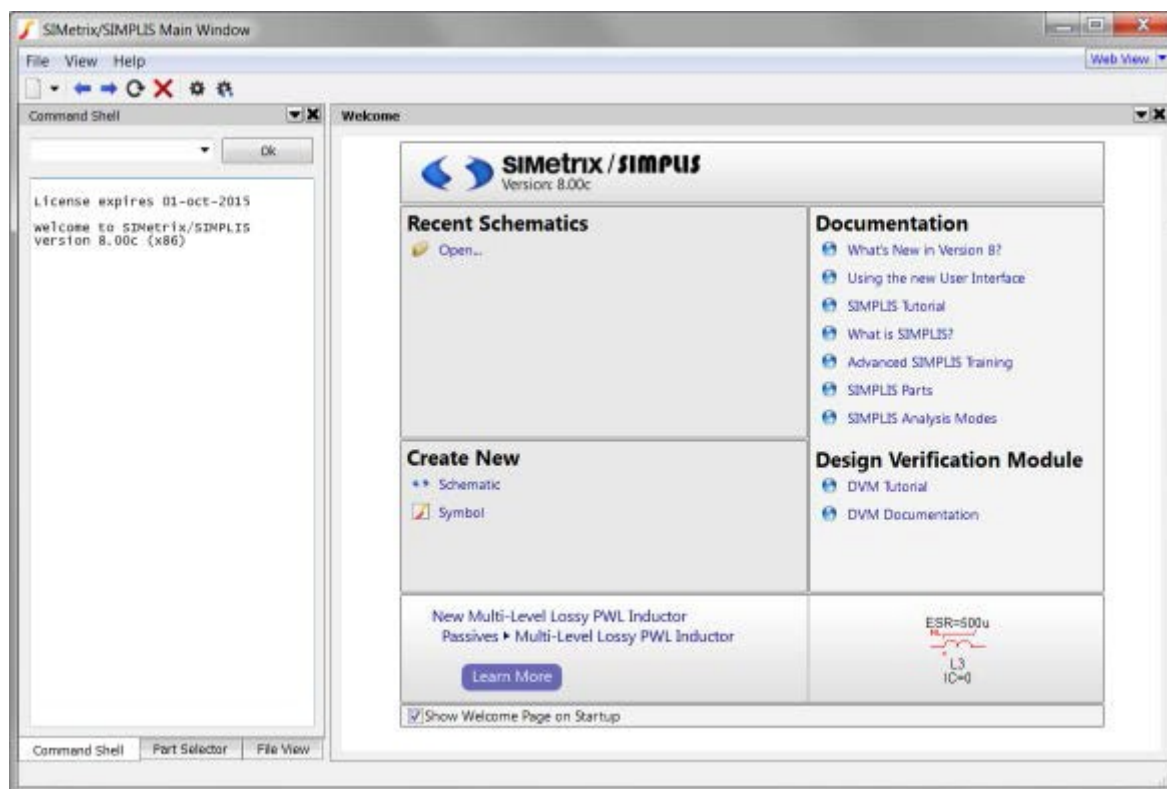
4. アイルビューシステムウインドウにパーツセレクターシステムウインドウを配置するためにマウスのボタンを離します。

結果: パーツセレクターとファイルビューシステムウインドウがタブで一個のシステムウインドウになります。



5. この操作をコマンドシェルシステムウインドウでドラッグして他の二つに繰り返します。

結果: 全ての三つのシステムウインドウはタブで一つのウインドウになっています。チュートリアルではこのシステムウインドウの形態を使います。



1.7 新しい回路図の作成

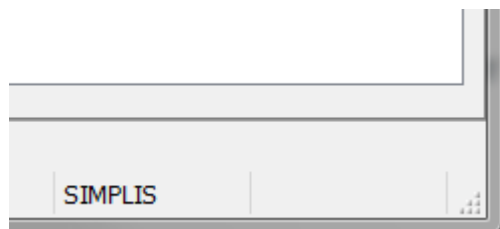
新しい回路図を作るには以下のステップに従います:

1. **Welcome Page** で **Create New** セクションで **Schematic** をクリックします。.



結果: 新しい回路図が開けられます。

2. 右下側の隅でモードが **SIMPLIS** となっているのを確認します。.



1.8 回路図を保存する

この時点では、回路図は白紙で、シミュレーターモードは **SIMPLIS** になっています。回路図を保存するには、次の手順に従います。:

1. **File > Save Schematic** を選択します。

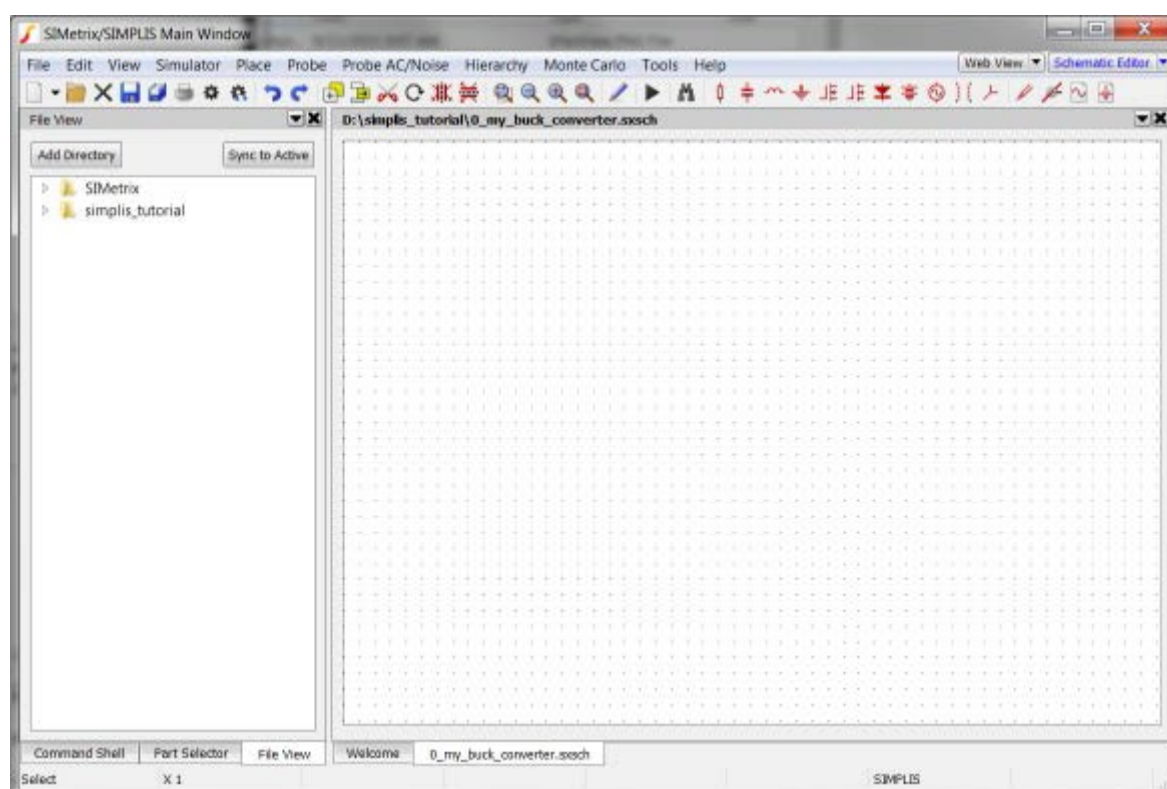
2. 作業ディレクトリーとして使える場所（このチュートリアルで作成する回路図を保存できる場所）を指定します。
このチュートリアルでは **D:\SIMPLIS Tutorial** を使用します。
3. ファイル名は **0_my_buck_converter.sxsch** とします。

[▲ back to top](#)

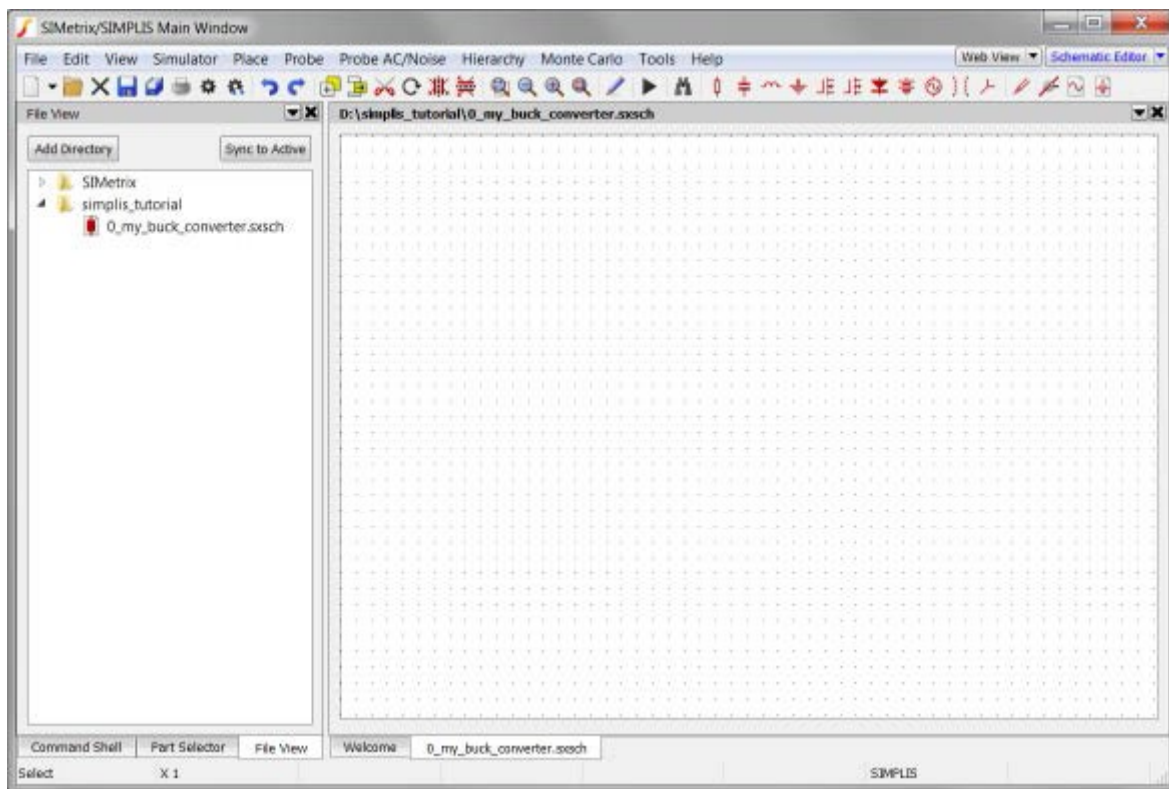
1.9 ファイル閲覧のため作業用ディレクトリーを加える

ファイル閲覧システムウインドウに作業ディレクトリーを追加すると、ファイル閲覧システムウインドウにチュートリアルで使う回路図ファイルに簡単にアクセスできます。ファイル閲覧にディレクトリを追加するには以下のステップで行います。

1. Click on the File View tab in the system window.
Result: The File View system window comes into focus.
2. Click on the **Add Directory** button.
Result: A directory browser window opens to the current directory.
3. On the directory browser, click **Select Folder**
Result: The directory is added to the File View system window.



4. To see the contents of any directory in the File View, simply double click on the directory.
*Result: The directory contents are displayed with the **0_my_buck_converter** schematic being the only schematic file in the directory.*



[▲ back to top](#)

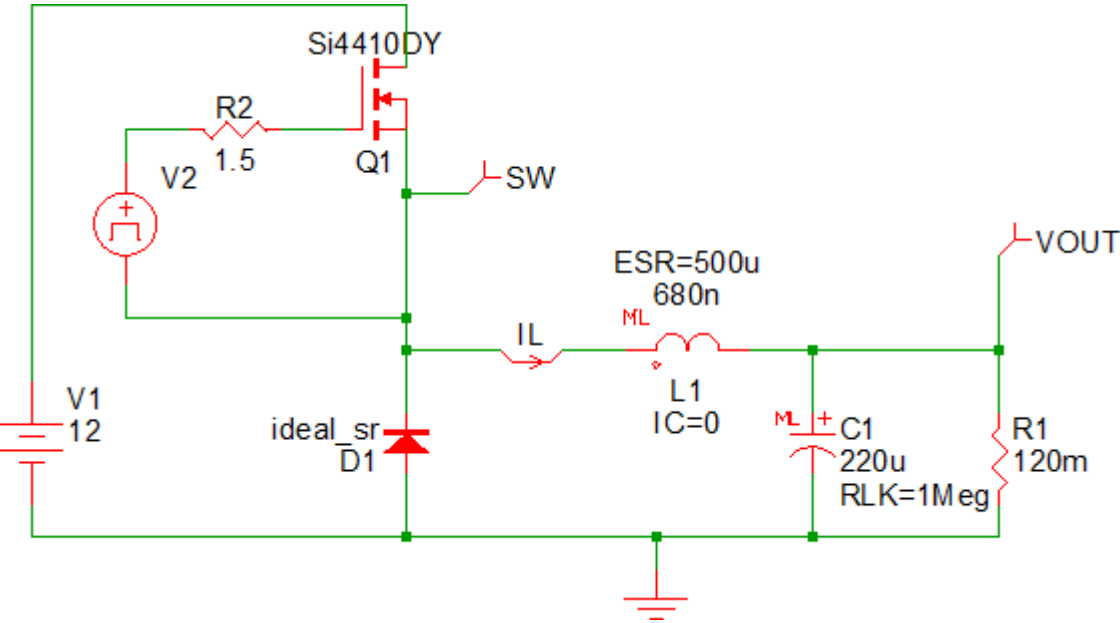


2.0 設計を入力する

チュートリアルはこのセクションでは、[1.0 はじめに](#)で作成した白紙の回路図を使い、以下のやり方について学んでいきます。：

- パーツセレクターとキーボードのショートカットを使ってシンボルを追加する
- 回路図に配線を追加する
- 余分なシンボルや配線を削除する
- シンボルを編集し、様々な変更を加える

シンボルを配置し、配線をつなぎ、コンポーネントの値を変更すると、回路図は以下のようになります：



Topics in this chapter

- [2.1 Add Symbols and Wires](#)
- [2.2 Edit Standard Component Values](#)
- [2.3 Edit Multi-Level Models](#)
- [2.4 Edit Parameter-Extracted Models](#)
- [2.5 Change to a User-defined Model](#)

2.1 シンボルと配線を追加する

チュートリアルはこのセクションでは白紙の回路図からどのように設計を開始するかを述べます。

In this topic:

- [Key Concepts](#)
- [What You Will Learn](#)
- [Getting Started](#)
- [2.1.1 Place the Symbols](#)
- [Step One: Place First Three Symbols](#)
- [Step Two: Place Remaining Symbols](#)
- [2.1.2 Add the Wires](#)
- [2.1.3 Remove Extra Symbols and Wires](#)
- [Special Case: Wires Inside a Symbol Boundary](#)
- [Special Case: Wires Which are Exactly One Grid Square Long](#)
- [2.1.4 Save your Schematic](#)

Key Concepts

This topic addresses the following key concepts:

- パーツセレクターの **Commonly Used Parts** (よく使うパーツ) カテゴリーには、ダイオードと MOSFET を除き、この回路図に使うシンボルがすべて含まれています。
- The SPICE models for discrete semiconductors, such as diodes and MOSFETs, are not directly used by SIMPLIS. Instead, a parameter extraction system uses SIMetrix to simulate the SPICE model and a set of curve-fitting algorithms generate a PWL model for use in SIMPLIS. This process happens before the symbol is placed on the schematic.
- Discrete semiconductors can be placed from the model library or by using keyboard shortcuts.

What You Will Learn

In this topic, you will learn the following:

- How to verify and change the simulator mode.
- Three ways to place symbols on a schematic:
 - By using the Part Selector.
 - By placing symbols from the model library.
 - By using built-in keyboard shortcuts.
- How to wire symbols together to create a circuit.
- How to remove symbols and wires from a schematic.

Getting Started

まず、回路図エディターの右下を見て、シミュレーターのモードが **SIMPLIS** になっていることを確認します。

- モードが **SIMPLIS** になっている場合には、そのままセクション 2.1.1 へ進みます。
- モードが **SIMetrix** になっている場合には、**Simulator > Switch to SIMPLIS Mode** を選択してシミュレーターのモードを **SIMPLIS** に切り替えます。

2.1.1 シンボルを配置する

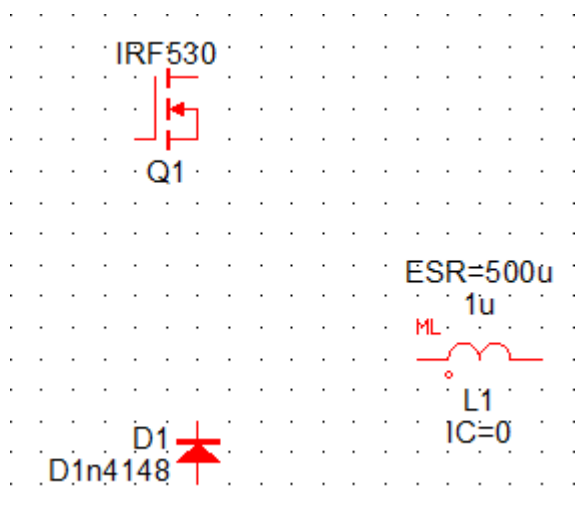
This section demonstrates the three ways to place symbols on a schematic and is divided into two general steps:

- In **Step One**, you will add three symbols to illustrate the three ways to place symbols on a schematic.
- In **Step Two**, you will place the remaining symbols used in this design.

ステップ 1：最初の 3 つのシンボルを配置する

パーツセレクトターの **Commonly Used Parts** (よく使うパーツ) カテゴリーには、ダイオードと MOSFET を除き、この回路図に使うシンボルがすべて含まれています。therefore, you will place the diode from the model library and then use a built-in keyboard shortcut to add the MOSFET.

In this step, you will place the first three symbols, an inductor, a diode, and a MOSFET. Use the illustration below as a general guide to place the symbols on the schematic.



Inductor: To place the inductor (L1), follow these steps:

1. From the **Commonly Used Parts** list, double click **Multi-Level Lossy Inductor (Version 8.0+)**.

結果：インダクターが画面上に表示されます。

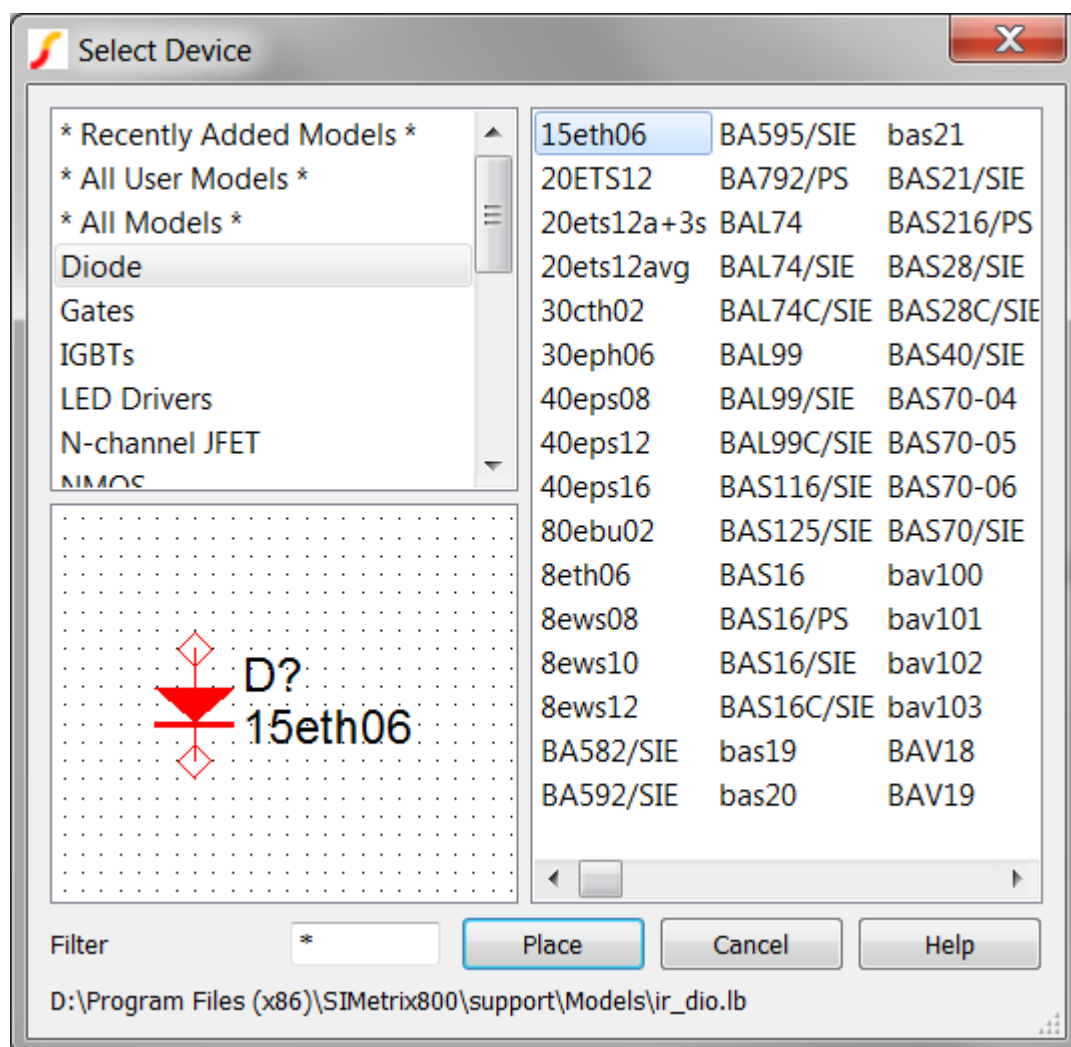
2. Move the mouse to where you want to place the symbol, and press the left mouse button.

結果：L1 という参照名の付いたインダクターが配置されます。

ダイオード： モデルライブラリからダイオード (D1) を配置するには、次の手順を行います

1. パーツセレクトターで **Discretes** カテゴリーをダブルクリックし、リストを展開します
2. **Diodes** カテゴリーをダブルクリックし、続いて **Select from Model Library...** をクリックします。

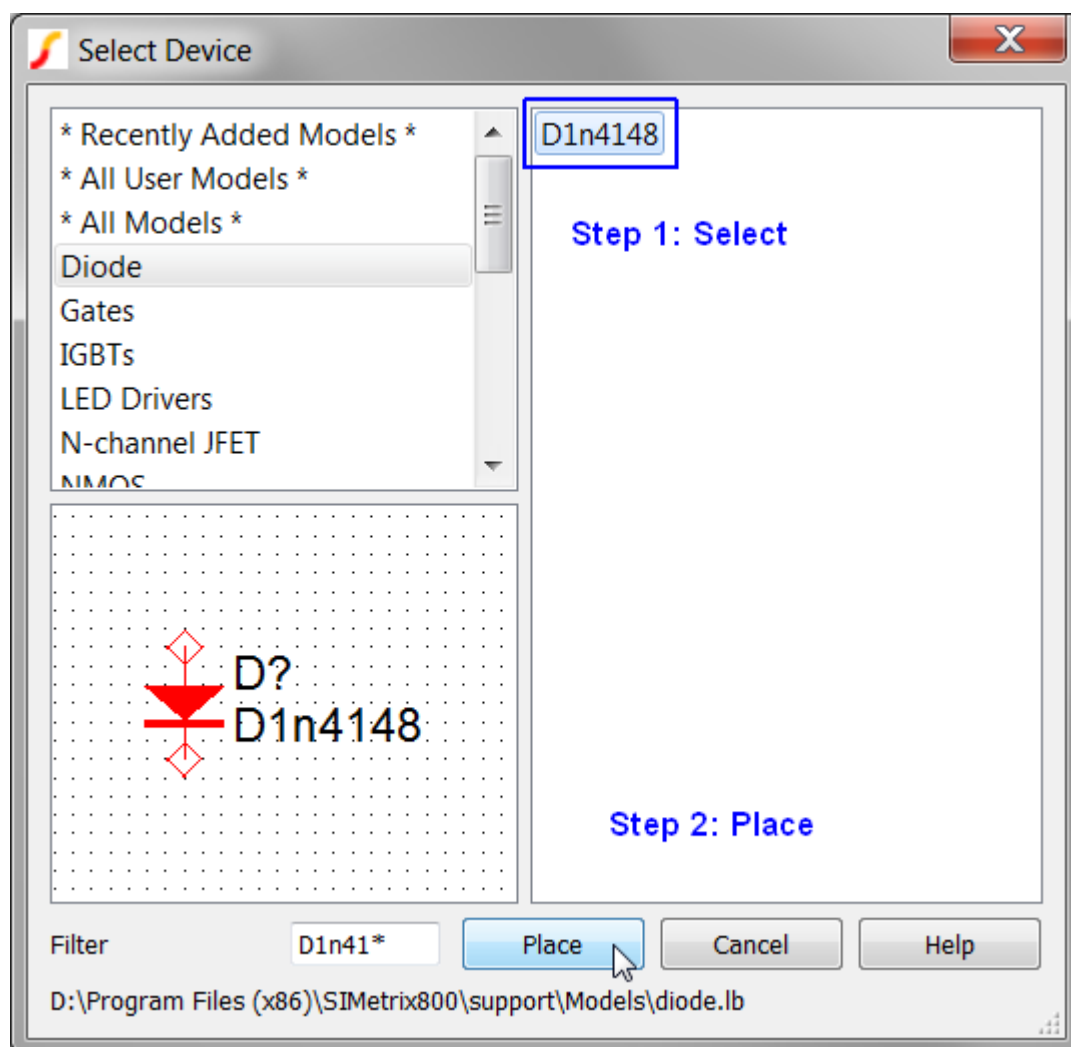
結果：Select Device ダイアログが開きます。



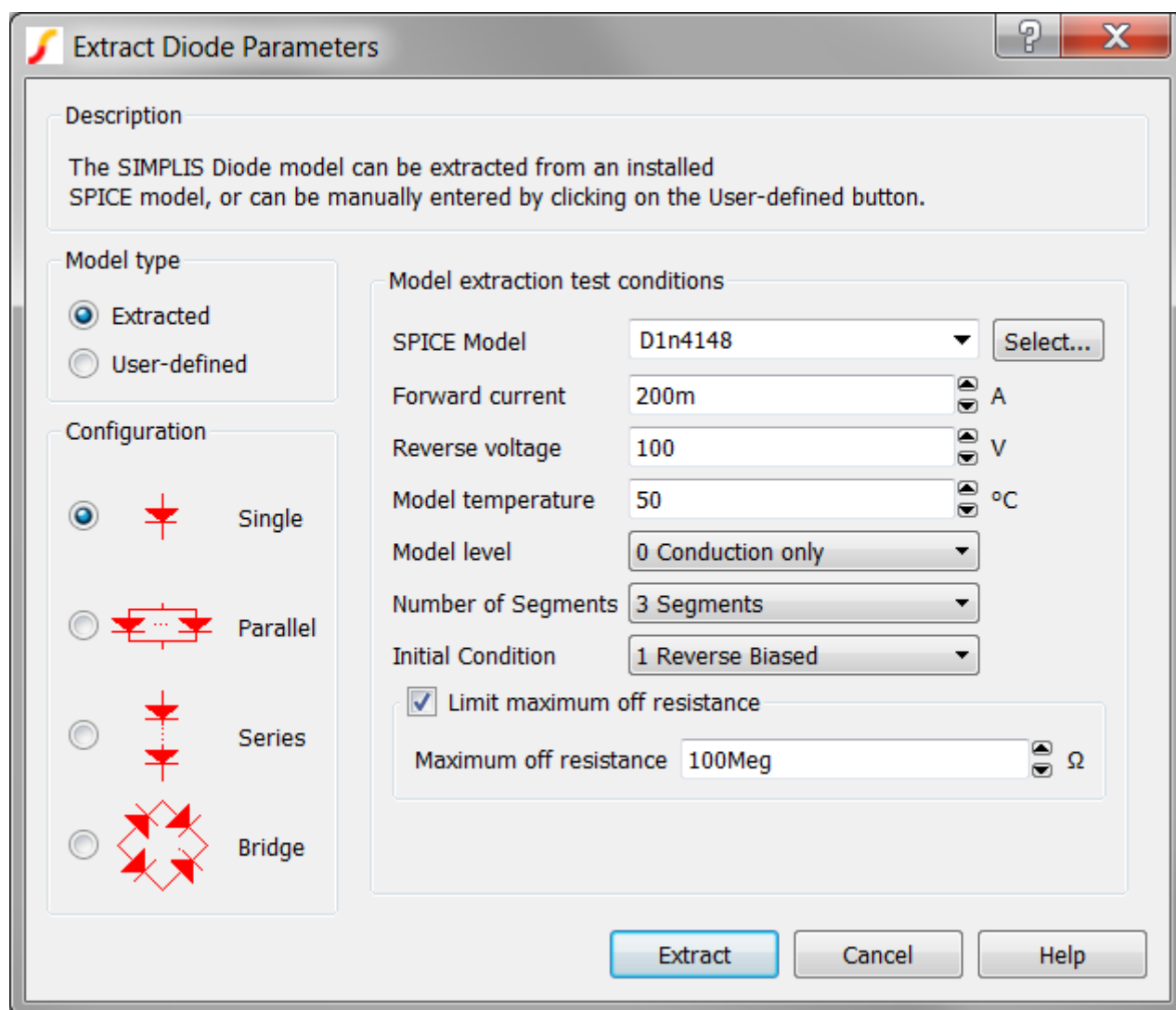
3. Select Device ウィンドウの左下の **Filter** 欄のアスタリスク (*) の前にカーソルを合わせ、**D1n41** と入力します。

*結果：使用できるアイテムとして、**D1n4148** だけが表示されます。*

4. 下図の通り、右上の **D1n4148** を選択し、Select Device ウィンドウの下部にある **Place** ボタンをクリックします。



結果 : Extract Diode Parameters ダイアログが開きます。



5. **Extract** をクリックしてデフォルト値を受け入れ、ダイアログボックスを閉じます。

Result: Several SIMetrix SPICE simulations are run on the SPICE diode model and curve-fitting algorithms calculate a set of PWL parameters for use in SIMPLIS simulations.

Note: Although a small-signal diode such as the D1n4148 is not appropriate for a synchronous rectifier application, you will change this diode model later in section [2.2 Edit Standard Component Values](#).

6. 十字カーソルをインダクターの左下に持っていき、マウスの左ボタンを押します。

結果: **D1** という参照名の付いたダイオードが配置されます。

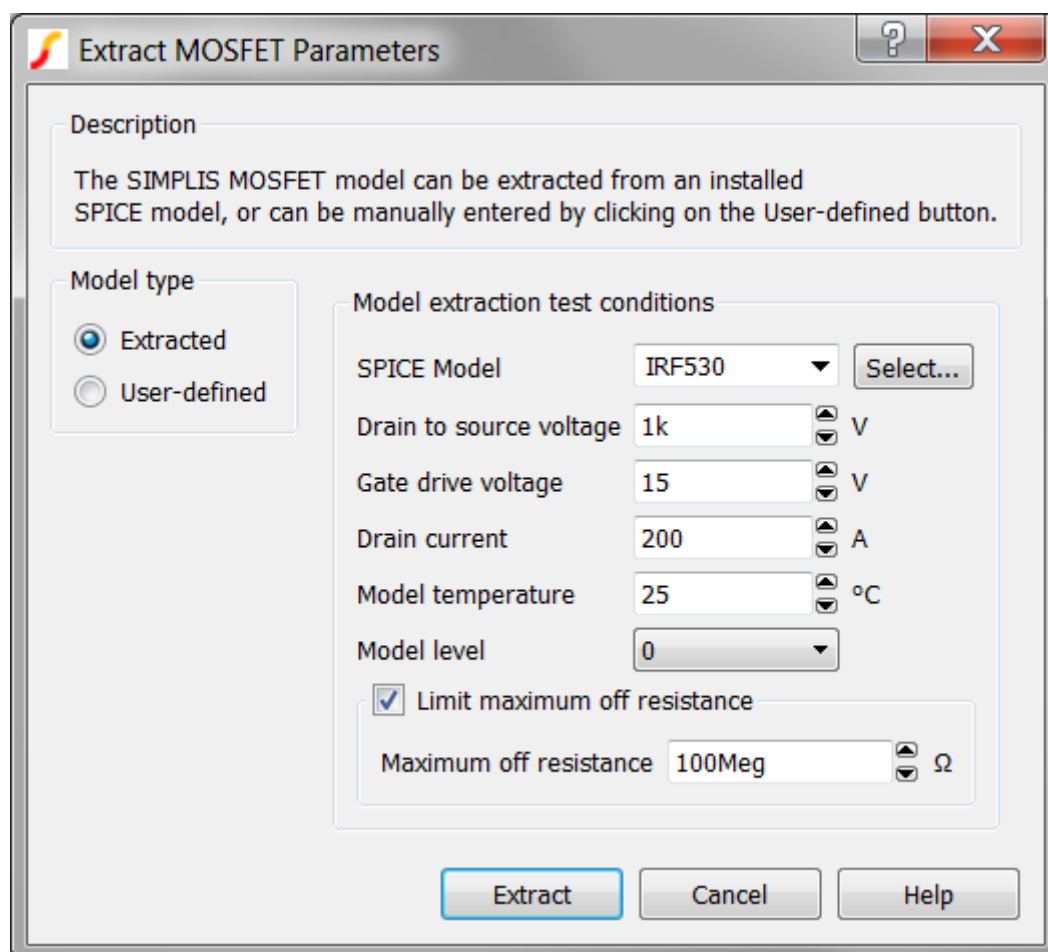
7. ダイオードを選択した状態で、**F5** を 2 回押し、ダイオードを 180 度回転させます。

MOSFET: キーボードのショートカットを使って MOSFET (Q1) を配置するには、次の手順に従います。

1. マウスのカーソルをダイオードの真上に持っていき、**M** と入力します。

Note: The letter **M** is a keyboard shortcut which places a 3-terminal N-type MOSFET, as if you have navigated to the Select Device dialog as in Step 4.

結果: **Extract MOSFET Parameter** ダイアログが開きます。



2. **Extract** をクリックしてデフォルト値を受け入れ、ダイアログボックスを閉じます。

Result: As with the diode placed in the previous step, several SIMetrix SPICE simulations are run on the MOSFET model and curve-fitting algorithms calculate a set of PWL parameters for use in SIMPLIS simulations.

Note: The original SPICE model is **NOT** used in the SIMPLIS simulations. As with the diode, you will change the part number for the MOSFET in section [2.2 Edit Standard Component Values](#).

3. 十字カーソルをダイオードの真上に置いた状態で、マウスの左ボタンを押し、シンボルを回路図上に配置します。

結果: **Q1** という参照名の付いた **MOSFET** が配置されます。

ステップ 2 : 残りのシンボルを配置する

To place the remaining symbols, follow these steps:

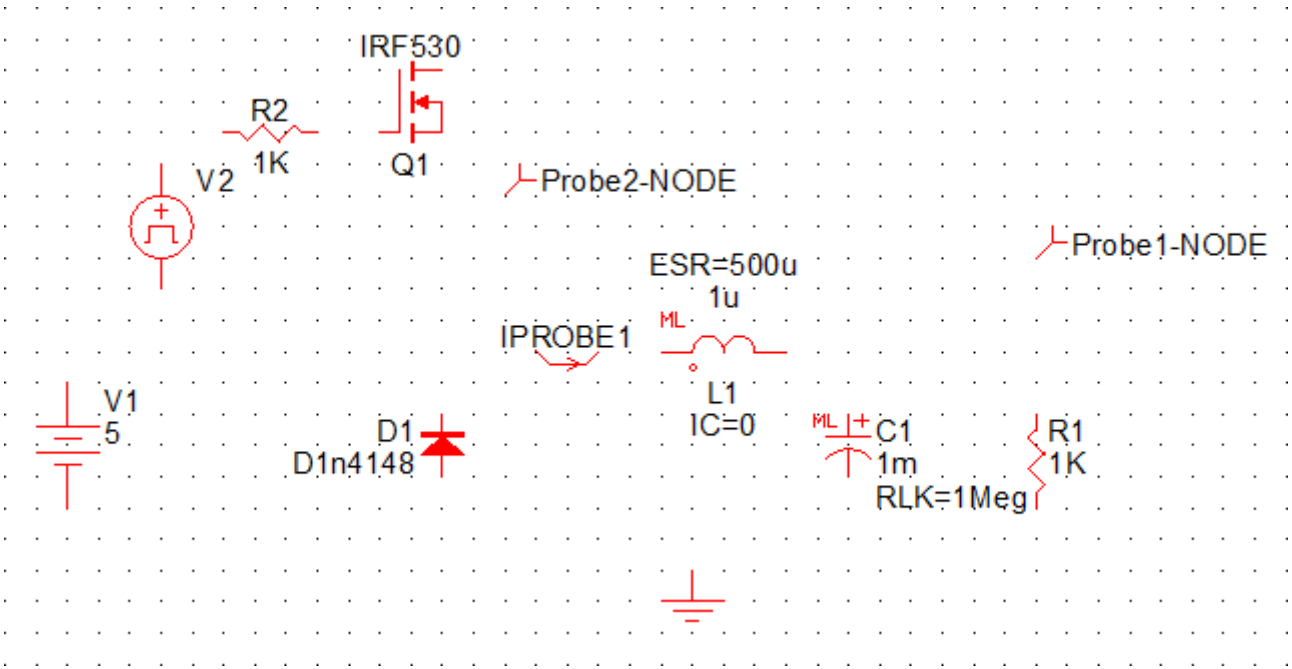
1. 次のいずれかの方法を用い、下記の表 1 に記載されている順序でシンボルを配置します。

- パーツセレクターの **Commonly Used Parts** のカテゴリから、パーツ名をダブルクリックする。

または

- 表 1 にキーボードショートカットが記載されているものについては、そのショートカットを入力する。

2. シンボルがグリッド上に表示されたら、下記の図に示されている位置までマウスを動かし、マウスの左ボタンを押してシンボルを配置します。



ラベル	Commonly Used Parts	ショートカット	コメント
C1	マルチレベルキャパシター（レベル 0～3、数量付き）（バージョン 8 以上）		キーボードショートカットなし
R1	抵抗器（Z 型）	4	
V1	Power Supply 電源	v	
V2	波形発生器（パルス、ランプ…）	w	.
R2	抵抗器（Z 型）	4	F5 を 3 回押して、270 度回転させる
	アース	g	
Probe1-NODE	プローブー電圧	b	
Probe2-NODE	プローブー電圧	b	
IProbe1	プローブー直列電流		キーボードショートカットなし

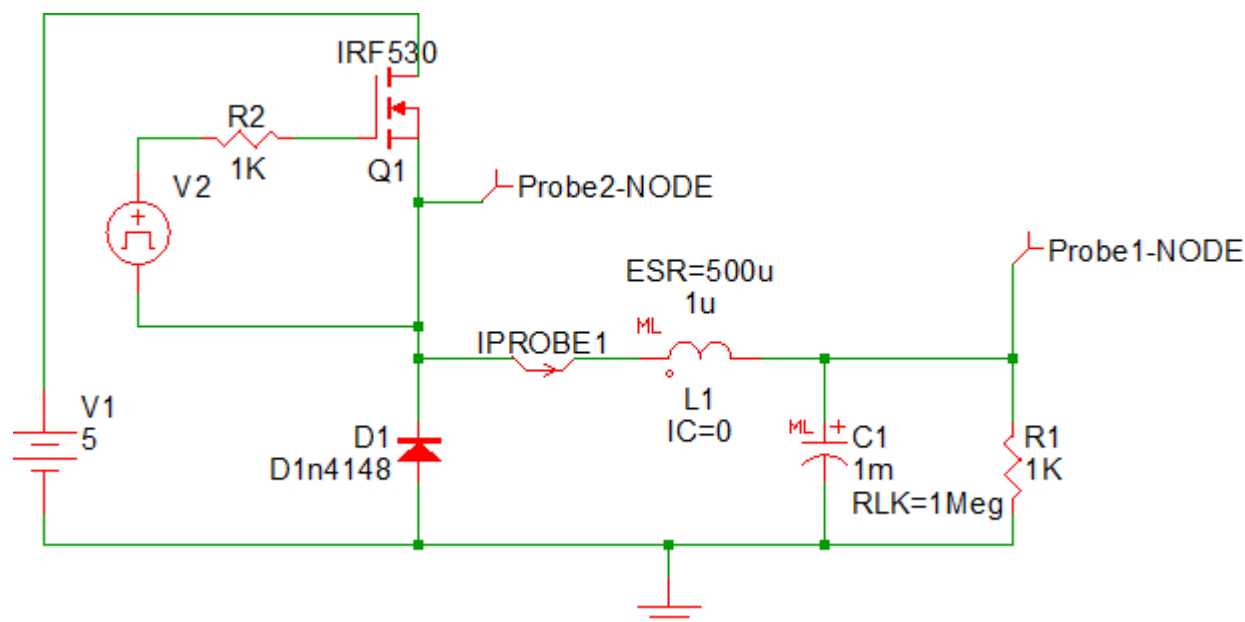
 注：誤って余分なシンボルを配置してしまった場合には、**Ctrl+Z** を押すか、メニューバーから **Edit ▶ Undo** を選択すれば、すぐに削除することができます。その場ですぐに削除しなかった場合の対応方法については、[2.1.3 余分なシンボルや配線を削除する](#)を参照してください。

[▲ back to top](#)

2.1.2 配線を追加する

In this section, you will learn how to add connecting wires to a schematic.

To wire your symbols together, use the diagram and steps below as a general guide:



1. シンボルピンの上にマウスのポインターを置きます

結果：ポインターが鉛筆の形に変わります—これは、回路図が配線モードに切り替わったことを示します。

2. 配線のセグメントを開始するには、マウスの左ボタンをクリックします。
3. 角の点を作るには、つなげるシンボルに到達するまで、マウスの左ボタンを再度クリックします。
4. 一つのセグメントが終わったら、マウスの右ボタンをクリックするか、**Esc** キーを押します。

 **注：**誤って余分なシンボルを配置してしまった場合には、**Ctrl+Z** を押すか、メニューバーから **Edit ▶ Undo** を選択すれば、すぐに削除することができます。その場ですぐに削除しなかった場合の対応方法については、[2.1.3 余分なシンボルや配線を削除する](#)を参照してください。

[▲ back to top](#)

2.1.3 余分なシンボルや配線を削除する

This section explains how to remove symbols and wires individually and in groups.

一つ一つのシンボルや配線を削除するには、次の手順に従います：

1. 削除したいシンボルまたは配線をクリックします。

結果：シンボルまたは配線が青に変わります—これはそのシンボルまたは配線が選択されたことを示しています。

2. **Delete** キーを押します。

複数の余分なシンボルや配線をまとめて削除するには、次の手順に従います：

1. 選択ボックスで囲むには、マウスの左ボタンを押したまま、反対側の角までドラッグします。
2. 範囲を指定したら、マウスのボタンを離します。

結果：ボックス内の配線（およびシンボル）が青に変わります—これはその配線やコンポーネントが選択されたことを示しています。

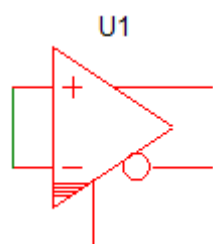
3. **Delete** を押します。

結果：選択された配線とコンポーネントが回路図から消えます。

 **注：**余分な配線やシンボルを選択する際には、回路図上のどこでもクリックできます。

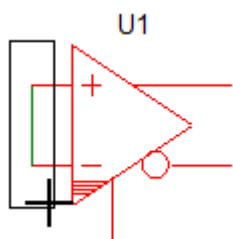
Special Case: Wires Inside a Symbol Boundary

場合によっては、シンボルの境界内の配線を削除したいこともあるかもしれません。以下の例では、入力ピンがまとめて短絡された比較器を使用しています。 **This procedure removes the wires, but leaves the symbol intact.**



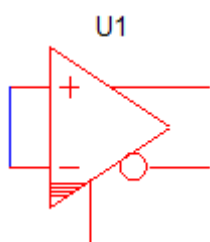
配線の部分だけを削除したい場合には、次の手順に従います：

1. **Shift** キーを押したまま、マウスの左ボタンを押しながらドラッグし、以下のように配線部分を選択します。



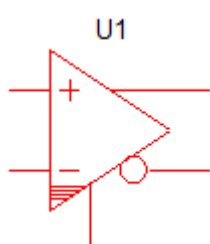
2. 範囲を指定したら、マウスの左ボタンを離します。

結果： ボックス内の配線が青に変わります—これはその配線が選択されたことを示しています。



3. **Delete** を押します。

結果： 選択された配線が回路図上から消えます。



Special Case: Wires Which are Exactly One Grid Square Long

There are times when your schematic will have wires which are exactly one grid square long, and you would like to delete these wires. This is difficult because the program enters the wiring mode whenever the mouse cursor is within one-half grid square distance from a wire end. Here are a few solutions to this problem:

Disable the auto wiring by pressing and holding the **Ctrl** key when selecting the wire.

1. Disable the auto wiring by pressing and holding the **Ctrl** key when selecting the wire.

or

2. Select the wire by dragging a box which encloses the wire.

Once the wires are selected, you can press the **Delete** key to remove them from the schematic.

[▲ back to top](#)

2.1.4 回路図を保存する

回路図を保存するには、次の手順に従います:

- 1. **File > Save Schematic As...**を選択する。
- 2. 回路図を保存する作業ディレクトリーを指定します。
- 3. ファイル名は **1_my_buck_converter.sxsch** とします。

この状態で保存された回路図は、こちらからダウンロードできます: [1 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](#).

[▲ back to top](#)



2.2 標準コンポーネントの値を編集する

This section of the tutorial explains how to edit standard components. [2.1 シンボルと配線を追加する](#) で保存した回路図を使い、コンポーネントの値を変更することで、実設計をより正確に反映したものにします。

In this topic:

- [What You Will Learn](#)
- [2.2.1 Change Component Values](#)
- [2.2.2 Change Probe Curve Labels](#)
- [2.2.3 Configure the Waveform Generator](#)
- [2.2.4 Save your Schematic](#)

What You Will Learn

In this topic, you will learn the following:

- How to edit symbols and change values for standard components.
- How to change probe labels.
- How to configure the waveform generator.

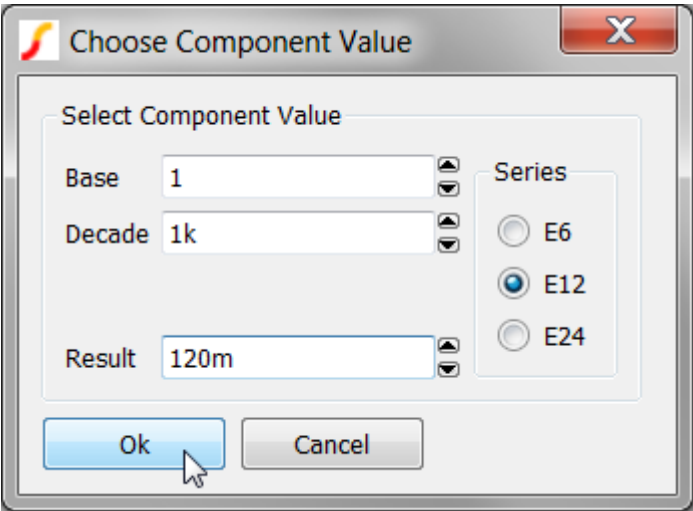
2.2.1 コンポーネントの値を変更する

The full load current for this design is 10A and the output voltage is 1.2V. The load resistance is therefore 120mΩ. 出力負荷レジスタの抵抗を変更するには、次の手順に従います：

1. **R1** のシンボルをダブルクリックし、十字カーソルがラベルではなくシンボルの上にあることを確認します。

Result: The Choose Component Value dialog box opens.

2. 下記の通り、Result フィールドの値を **120m** に変更します。



3. **Ok** をクリックします。
4. ステップ 1～3 を繰り返し、2 つのシンボルの値を下記のように変更します：

参照名	コンポーネントの名称	変更後の値
R2	ゲート抵抗	1.5
V1	入力ソース	12

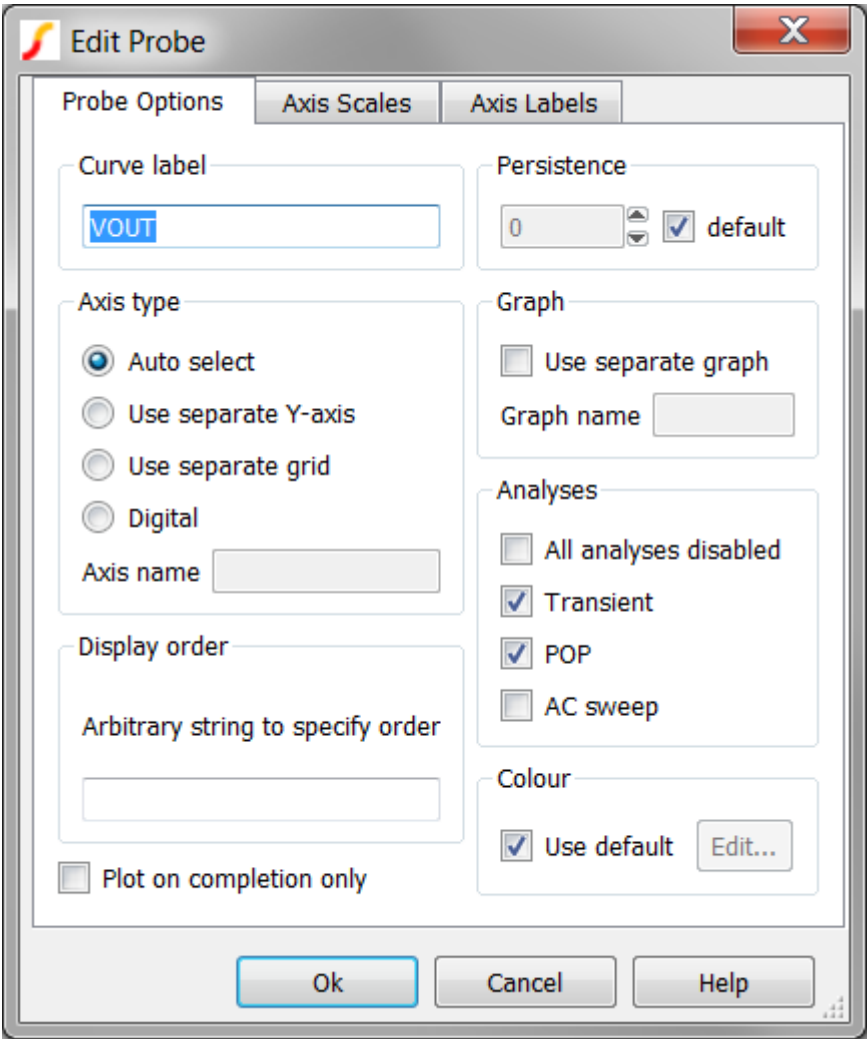
[▲ back to top](#)

2.2.2 プローブの曲線ラベルを変更する

Although not strictly necessary from an electrical perspective, the curve labels should be renamed to indicate which circuit variables are represented on the graph waveforms. 厳密には必要ではありませんが、グラフの波形にどの回路の変数が表されているのかわかるようにするために、曲線の名称を変更するとよいでしょう。

プローブの曲線名称を変更するには、次の手順に従います：

- 1. **Probe1-NODE** のシンボルをダブルクリックします。
結果：Edit Probe ダイアログが開きます。
- 2. **Curve label** テキストボックスで名称を **VOUT** に変更します。



- 3. **Ok** をクリックします。
- 4. ステップ 1～2 を繰り返し、下記のように他の 2 つのプローブの曲線ラベルを変更します：

元の曲線ラベル	回路の変数	変更後のラベル
Probe2 NODE	スイッチングノード	SW
IPROBE1	インダクター電流プローブ	IL

[▲ back to top](#)

2.2.3 波形発生器の設定を行う

波形発生器は、様々な種類の周期波形を作ることのできる柔軟なデバイスです。MOSFET Q1を動作させるには、特定のパルス幅、周波数、振幅のパルス発生器が必要です。

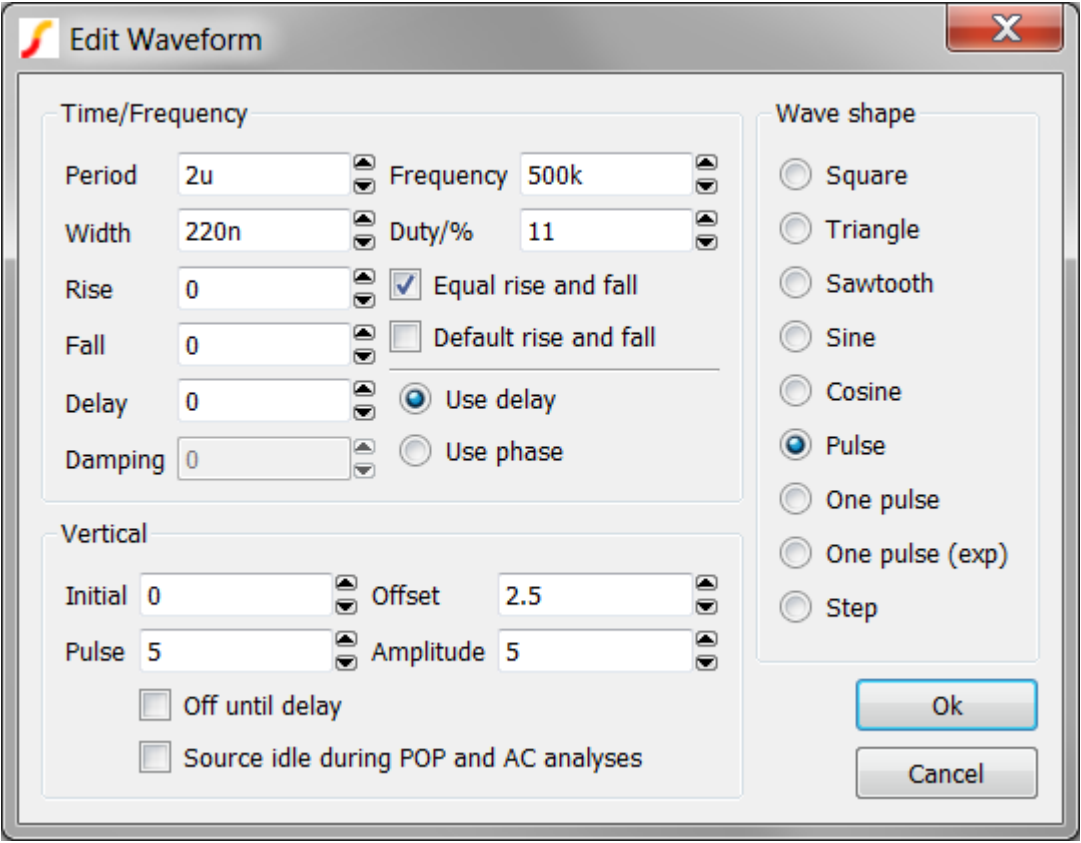
波形発生器をパルス源として設定するには、次の手順に従います：

1. 波形発生器のシンボル、**V2** をダブルクリックします。
結果：Edit Waveform ダイアログが開きます。
2. ダイアログ右側の Wave Shape の部分で、**Pulse** ラジオボタンを選択します。
3. 中央上部にある **Frequency** を **500k** に、**Duty Cycle** を **11** に変更します。

 **Note:** The Edit Waveform Dialog is interactive, which means that as you make changes to certain fields, values for related fields are automatically calculated and updated. For example, after you change the **Frequency** to **500k**, the **Period** is calculated and updated to **2u**. The calculated values update on the dialog when you move the mouse to a new field.

4. ダイアログの一系列目の下の方にある **Pulse** を **5** に変更します。
5. Deselect the **Default rise and fall** check box.
6. In the **Rise** field, enter 0 to set a zero rise time.

Result: The Edit Waveform dialog should now look like this:



7. **Ok** をクリックして、変更後の値を保存します。

ここまで終えたところで、最初のシミュレーションを開始し、さらなる最適化を進められる状態になりました。

[▲ back to top](#)

2.2.4 回路図を保存する

回路図を保存するには、次の手順に従います。

1. **File > Save Schematic As...**を選択します。

2. 回路図を保存する作業ディレクトリーを指定します。
3. ファイル名は **2_my_buck_converter.sxsch** とします。



 **Note:** You will use this schematic in the next section, [2.3 Edit Multi-Level Models](#).

[▲ back to top](#)



2.3 Edit Multi-Level Models

This section of the tutorial explains how to edit multi-level models. You will start with the schematic that you saved in [2.2 Edit Standard Component Values](#) and then change more component values for this design.

In this topic:

- [Key Concepts](#)
- [What You Will Learn](#)
- [2.3.1 Change Capacitor Model Level and Value](#)
- [2.3.2 Change Inductor Model Level and Value](#)
- [2.3.4 Save your Schematic](#)

Key Concepts

This topic addresses the following key concepts:

- Inductors and Capacitors used in SIMPLIS can have multiple model levels. A model level represents the modeling complexity of the device; for example, a single capacitor symbol can model an ideal capacitor or represent a more complex model such as a capacitor with ESR and ESL.
- The multi-level lossy inductor model has a built-in high frequency limit. At frequencies above the corner frequency, the inductor becomes resistive.

What You Will Learn

In this topic, you will learn the following:

- How to edit symbols and change values on multi-level models.
- How to change the model level.

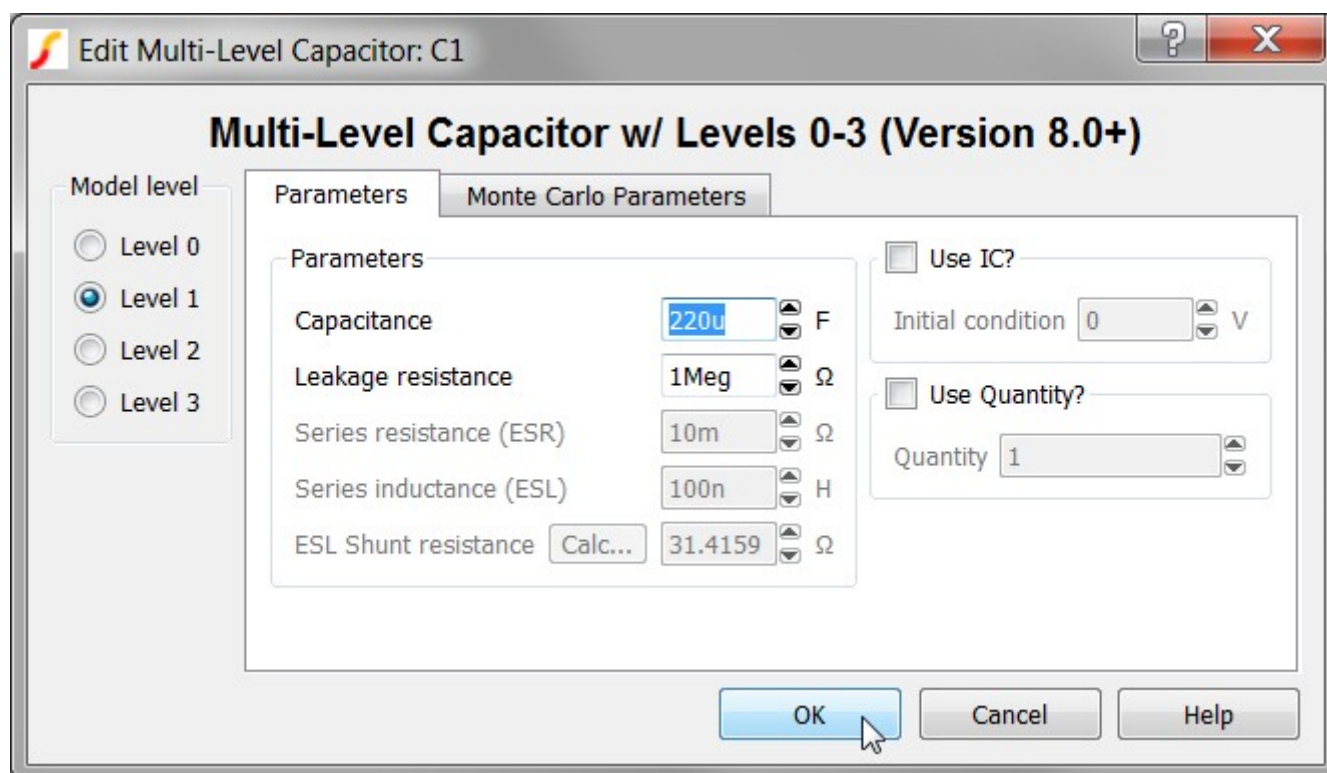
2.3.1 Change Capacitor Model Level and Value

Both the capacitor and inductor in this design are multi-level models, where the model level determines the parasitic elements included in the model. Four model levels, 0 through 3, exist for the capacitor.

- A level 0 capacitor is ideal and no ESR, ESL or leakage is modeled.
- As the level number increases, parasitic elements are added to the model.
- To learn more about the four model levels, click the **Help** button on the editing dialog to open the topic for the capacitor model.

This design is already set to a level 1 model. To change the output capacitor value, follow these steps:

1. Double click the **C1** symbol.
Result: The Edit Multi-Level Capacitor dialog opens.
2. Change the **Capacitance** value to **220u** as shown below.



3. Click **Ok**.

[▲ back to top](#)

2.3.2 Change Inductor Model Level and Value

The inductor used in this design is also a multi-level model. The inductor has two model levels:

- Level 0 represents a pure inductor.
- Level 1 adds an equivalent series resistance (ESR).

Both inductor model levels have a parallel shunt resistance that limits the high-frequency response of the inductor. This is important for reasons that will become apparent later in the tutorial; for now, however, remember that the inductor has a built-in upper frequency limit and, at frequencies above this limit, the inductor becomes a resistor, reflecting the real behavior of the inductor.

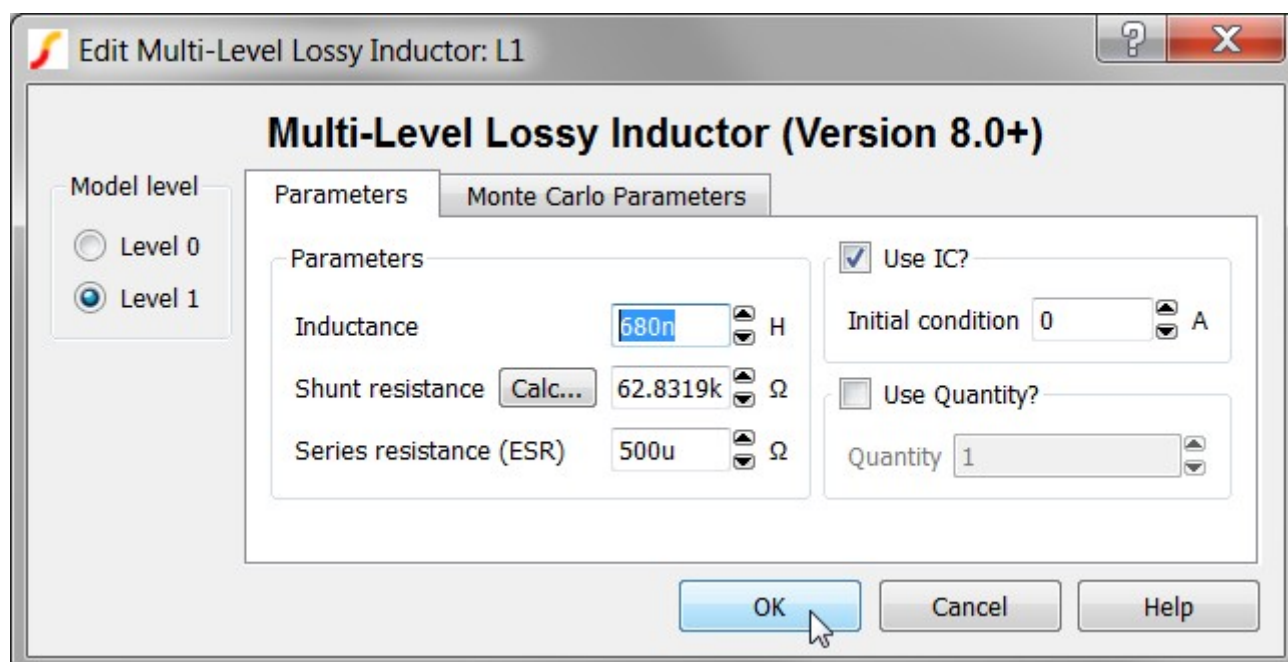
To automatically calculate the shunt resistance value from the corner frequency, click on the **Calc...** button in the editing dialog.

The inductance value for this design is 680nH. To change the inductor value, follow these steps:

1. Double click the **L1** symbol.

Result: *The Edit Multi-Level Lossy Inductor dialog opens.*

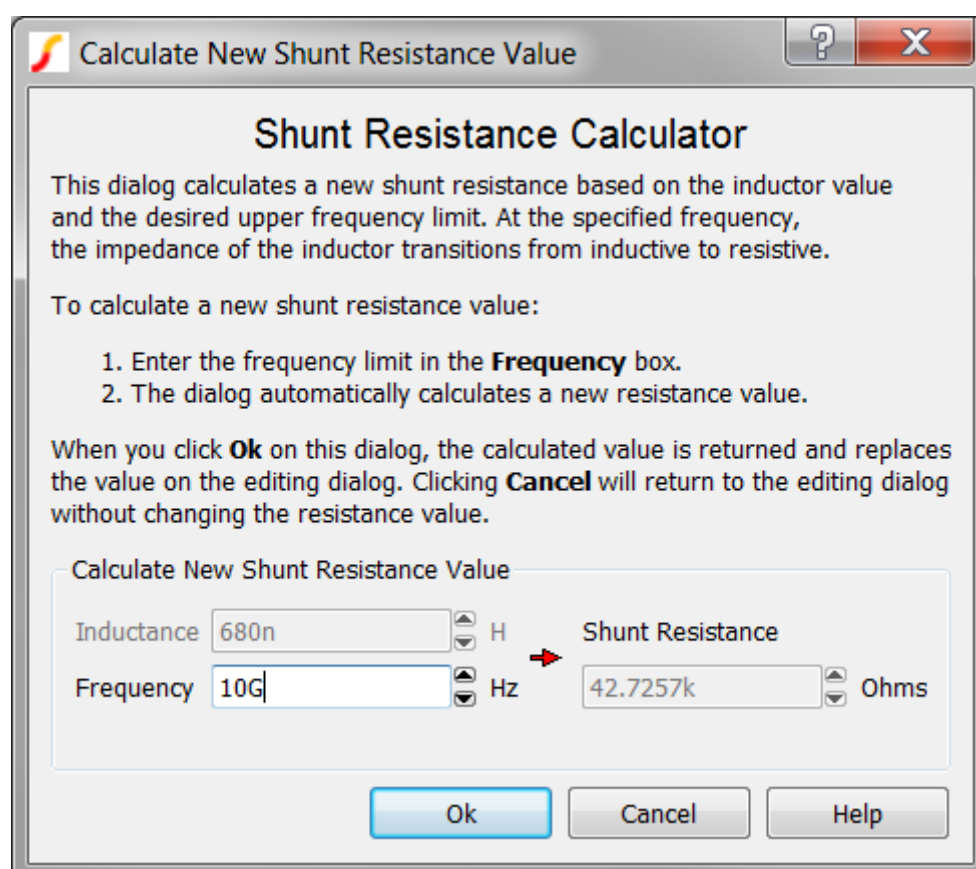
2. Change the **Inductor** value to **680n** as shown below.



3. Next you will change the inductor **Shunt resistance** parameter. To change the shunt resistance, follow these steps:

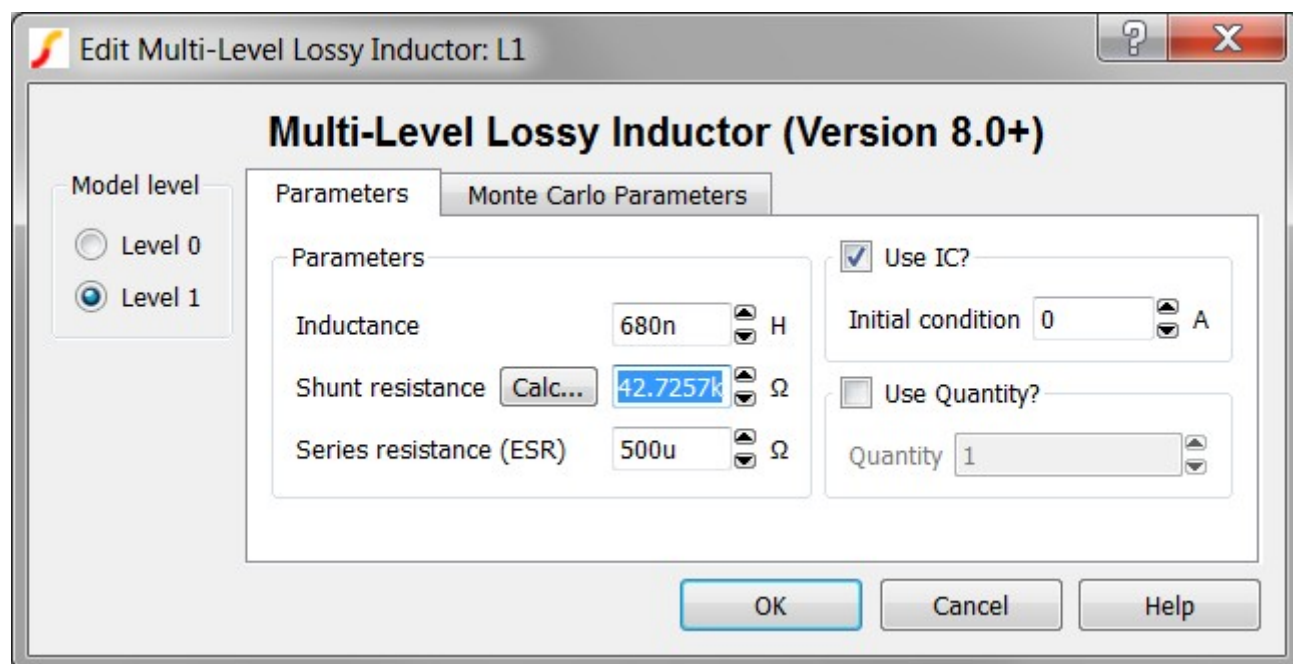
- Click on the **Calc...** button.

Result: The *Calculate New Shunt Resistance* dialog opens with the 680nH inductance value copied from the main dialog into the *Calculate New Shunt Resistance* dialog. The dialog has a built-in calculator function which calculates the new shunt resistance value based on the inductance and the desired frequency. You can change the **Frequency** entry and see the **Shunt Resistance** value change.



- The default frequency value of 10GHz is suitable for almost all switching power applications. This is the frequency above which the inductor will become resistive. Click **Ok** on the Calculate New Shunt Resistance dialog to save the value to the Edit Multi-Level Lossy Inductor dialog.

Result: The calculated shunt resistance value of 42.7257k Ω is returned to the Edit Multi-Level Lossy Inductor dialog.



4. Click **Ok**.

2.3.4 回路図を保存する

回路図を保存するには、次の手順に従います。

1. **File > Save Schematic As...**を選択します。
2. 回路図を保存する作業ディレクトリーを指定します。
3. ファイル名は **2_my_buck_converter.sxsch** とします。
4. When prompted to overwrite the existing file, click **Yes**.

 **Note:** You will use this schematic in the next section, [2.4 Edit Parameter-Extracted Models](#).



2.4 Edit Parameter-Extracted Models

This section of the tutorial explains how to edit parameter-extracted models. You will start with the schematic that you saved in [2.3 Edit Multi-Level Models](#) and then continue to make changes that more accurately reflect a practical design.

In this topic:

- [Key Concepts](#)
- [What You Will Learn](#)
- [2.4.1 Change MOSFET SPICE Model](#)
- [2.4.2 Change the Model Extraction Conditions](#)
- [2.4.3 Save your Schematic](#)

Key Concepts

This topic addresses the following key concepts:

- The correct model extraction voltage, current, and temperature parameters are required to produce an accurate PWL MOSFET model.
- The MOSFET SPICE model is not used in SIMPLIS simulations, instead SIMPLIS uses a PWL model which accurately reflects the actual SPICE model behavior.

What You Will Learn

In this topic, you will learn the following:

- How to change the MOSFET SPICE model.
- How to extract a PWL model.

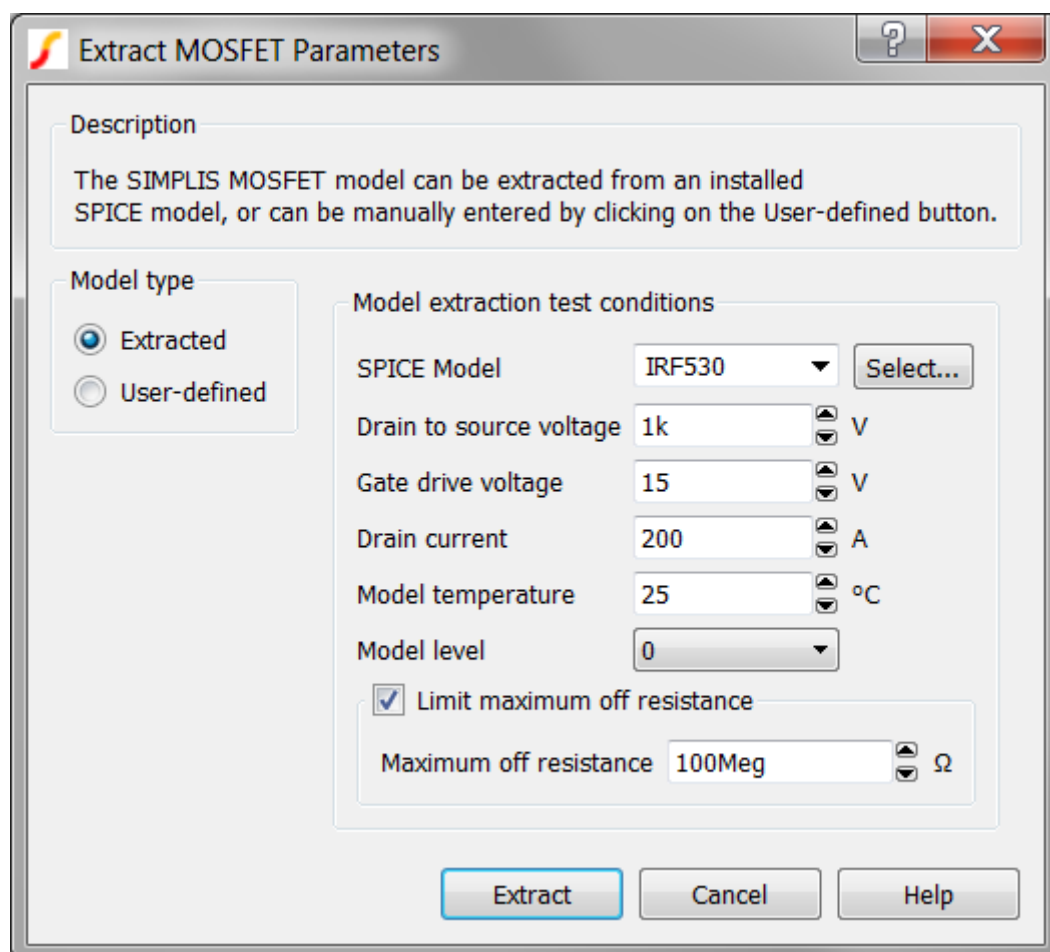
2.4.1 Change MOSFET SPICE Model

In section [2.1 Add Symbols and Wires](#), you placed parameter-extracted models for the MOSFET and diode without considering the suitability of the models. The IRF530 MOSFET is a 100V device with a high on-resistance; when what you need is a 30V-rated device with a lower on-resistance. This design will use the Si4410DY MOSFET, which has a drain-source rating of 30V and an on-resistance of approximately 18mΩ.

To change **Q1** to use the **Si4410DY** model, follow these steps:

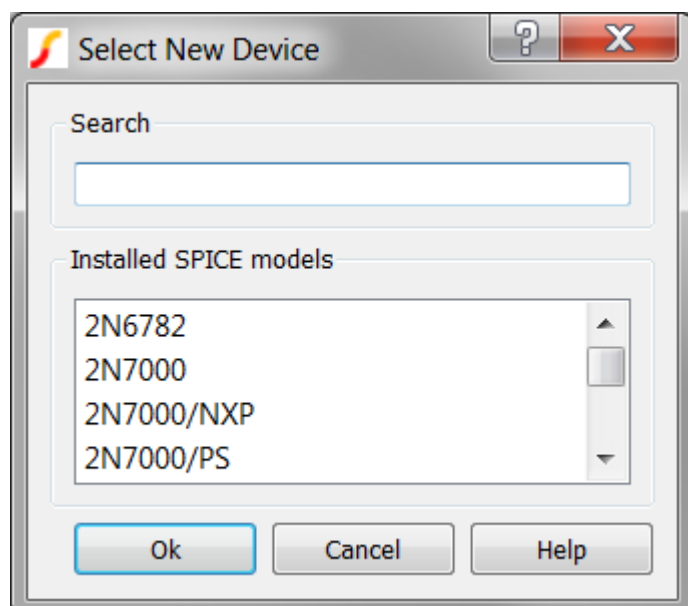
1. Double click the **MOSFET** symbol.

Result: *The Extract MOSFET Parameters dialog opens.*



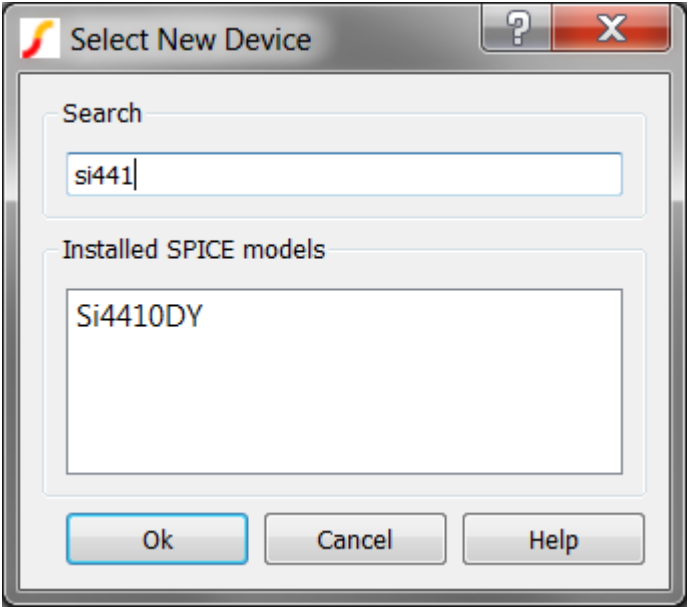
- Click the **Select** button to the right of the **SPICE Model** field.

Result: The *Select New Device* dialog opens.



- In the Search field, type **si441**.

Result: *Si4410DY* is the only model which matches the sub-string **si441** in the *Installed SPICE models* list.



4. Click on the **Si4410DY**, and then click **Ok**.
- Result: On the Extract MOSFET Parameters dialog, the SPICE model for Q1 changes to Si4410DY.*
5. Leave the dialog box open to continue after reading about the parameter extraction routine.

2.4.2 Change the Model Extraction Conditions

Next, you need to change the model extraction conditions to the values used in this circuit. The parameter extraction routine requires the following four circuit parameters:

- The **Drain to source voltage** in order to determine the MOSFET capacitance values.
- The **Gate drive voltage** to determine the conduction characteristics.
- The **Drain current** to determine the threshold and transconductance of the MOSFET.
- The **Model temperature**, which affects most parameters since this is the temperature at which the SPICE simulation is performed.

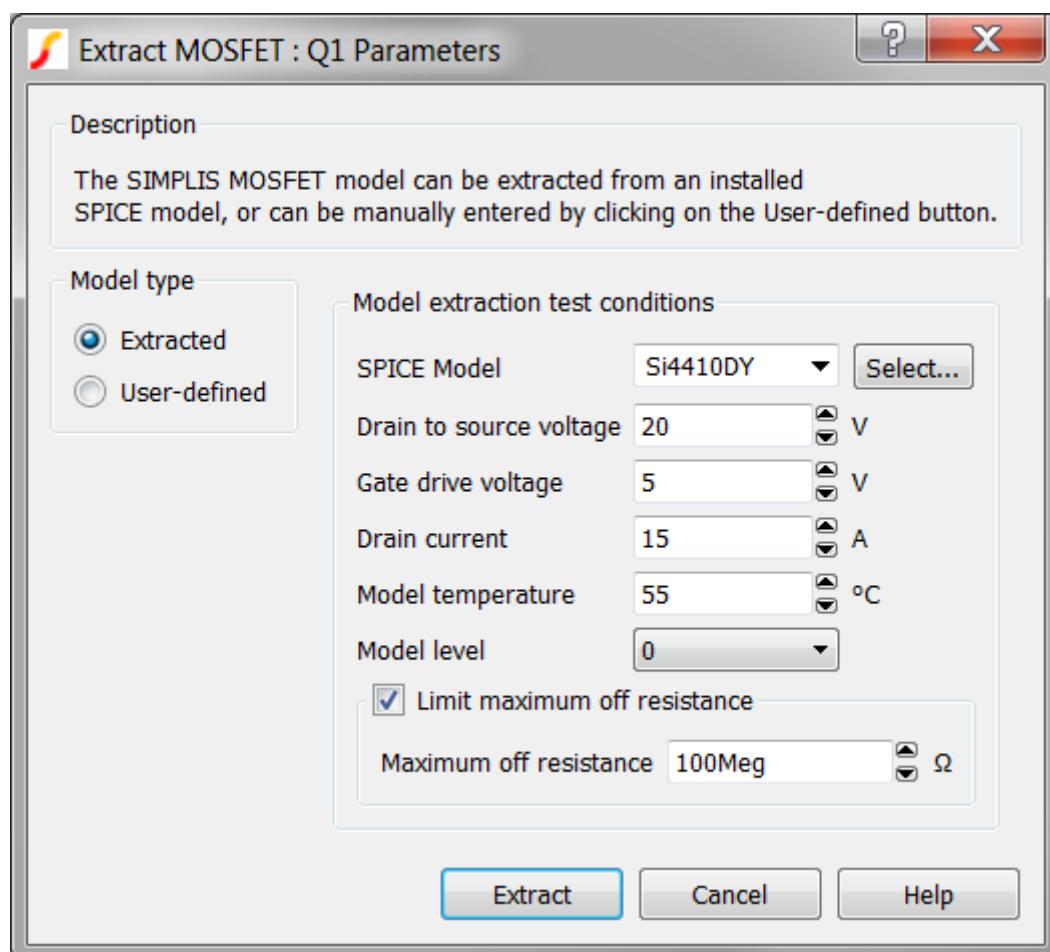
For the optimum model accuracy, all four parameters should accurately reflect the voltage, current, and temperature of the actual circuit.

To change the model extraction conditions, follow these steps:

1. With the Extract MOSFET dialog open from the previous instructions, enter the values as shown in the image below.

Parameter label	Value
Drain to source voltage	20
Gate drive voltage	5
Drain current	15
Model temperature	55

Result: The dialog should now look like the following:



2. Click **Extract**.

Result: The SPICE model Si4410DY is simulated at the supplied test conditions and a PWL model is extracted for use in SIMPLIS.

2.4.3 回路図を保存する

回路図を保存するには、次の手順に従います：

1. **File > Save Schematic As...**を選択します。
2. 回路図を保存する作業ディレクトリーを指定します。
3. ファイル名は **2_my_buck_converter.sxsch** とします。
4. When prompted to overwrite the existing file, click **Yes**.

 **Note:** You will use this schematic in the next section, [2.5 Change to a User-defined Model](#).

[▲ back to top](#)



2.5 Change to a User-defined Model

This section of the tutorial deals with user-defined models. You will continue with the schematic that you saved in [2.4 Edit Parameter-Extracted Models](#) and then change the diode to a user-defined model.

In this topic:

- [Key Concepts](#)
- [What You Will Learn](#)
- [2.5.1 Model a Synchronous Rectifier with a User-defined Diode](#)
- [2.5.2 Save your Schematic](#)

Key Concepts

This topic addresses the following key concepts:

- A user-defined diode model can be used to model an ideal synchronous rectifier, with the minimum of circuit components.
- Diode models are implemented with PWL resistors in SIMPLIS.

What You Will Learn

In this topic, you will learn the following:

- How to model a synchronous rectifier with a user-defined diode.

2.5.1 Model a Synchronous Rectifier with a User-defined Diode

SIMPLIS Diode models are PWL resistors with a high off-resistance and a low on-resistance. The parameter-extracted models use a three segment model, where the third segment represents an intermediate resistance between the high off-resistance segment and the low on-resistance segment.

The user-defined model uses a two segment model and you can enter the resistance and voltage values into the dialog. Although it might not be obvious at first, this model can represent an ideal synchronous rectifier with the following characteristics:

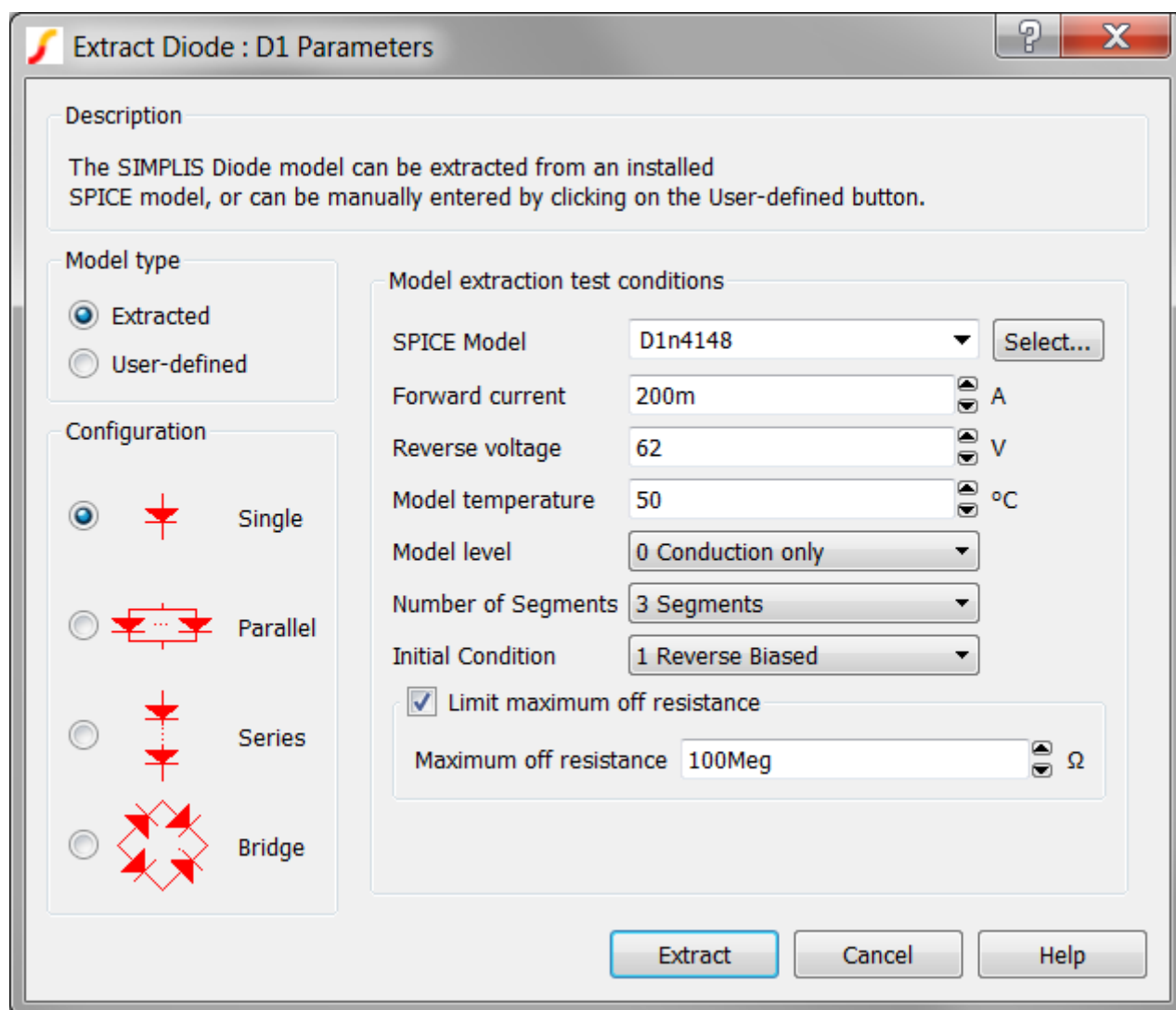
- The forward voltage of the diode is 0V.
- When the diode current is positive, the diode has a forward resistance equal to the on-resistance of the synchronous rectifier MOSFET.
- When the diode current is negative, the diode turns off and the resistance is high, representing the off-resistance of the synchronous rectifier MOSFET.
- Because the diode turns on and off in response to the circuit voltages and currents, the timing for the synchronous rectifier is ideal, that is, no dead time or drive signal is required.

You will now change the diode to use the user-defined model and enter the parameters to make it behave like an ideal synchronous rectifier MOSFET.

To change the diode to a user-defined model, follow these steps:

1. Double click the **D1** symbol.

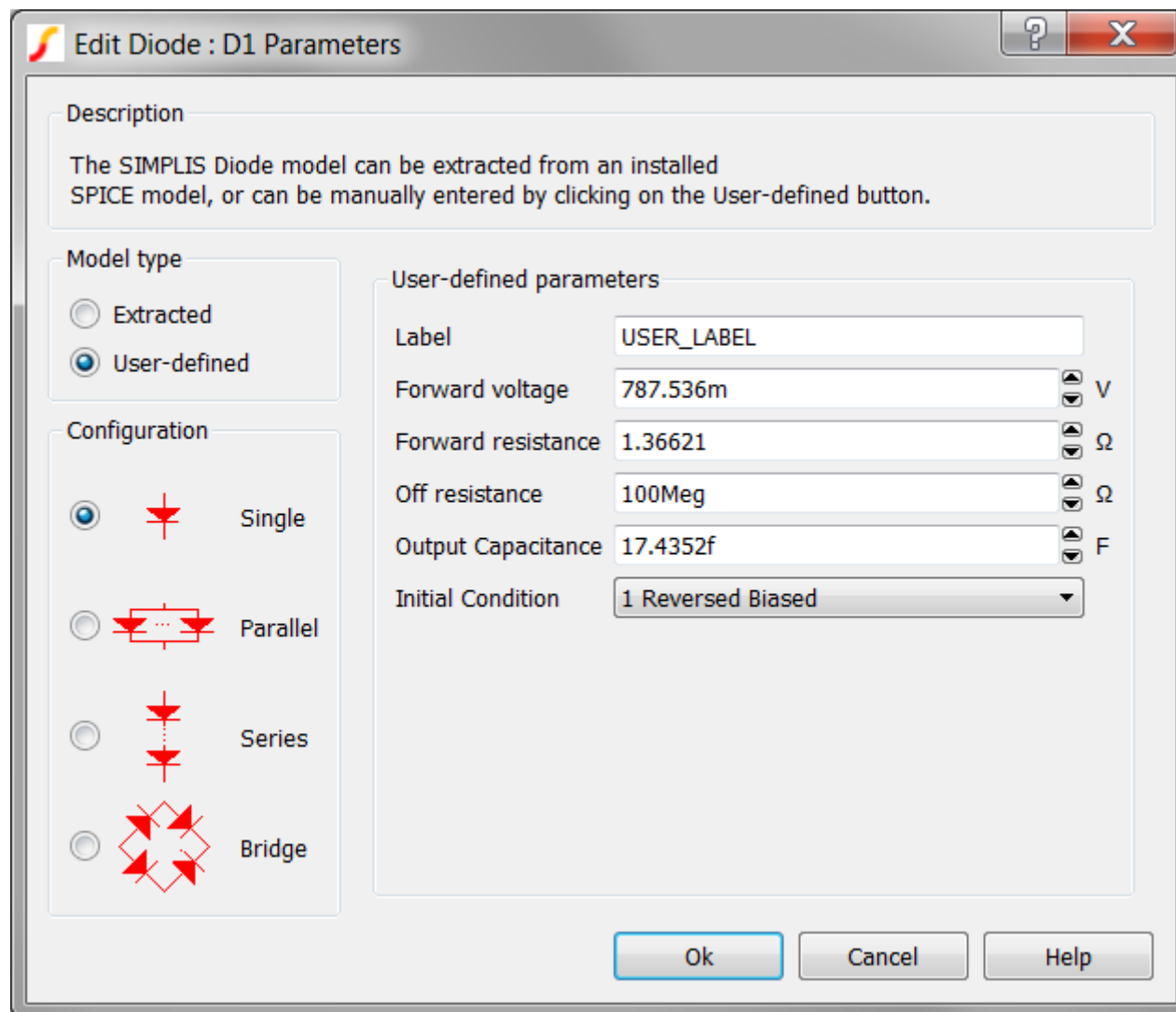
Result: *The Extract Diode : D1 Parameters dialog opens.*



2. Click the **User-defined** radio button on the upper left side of the dialog.

Result: The parameters on the right side of the dialog change to User-defined parameters.

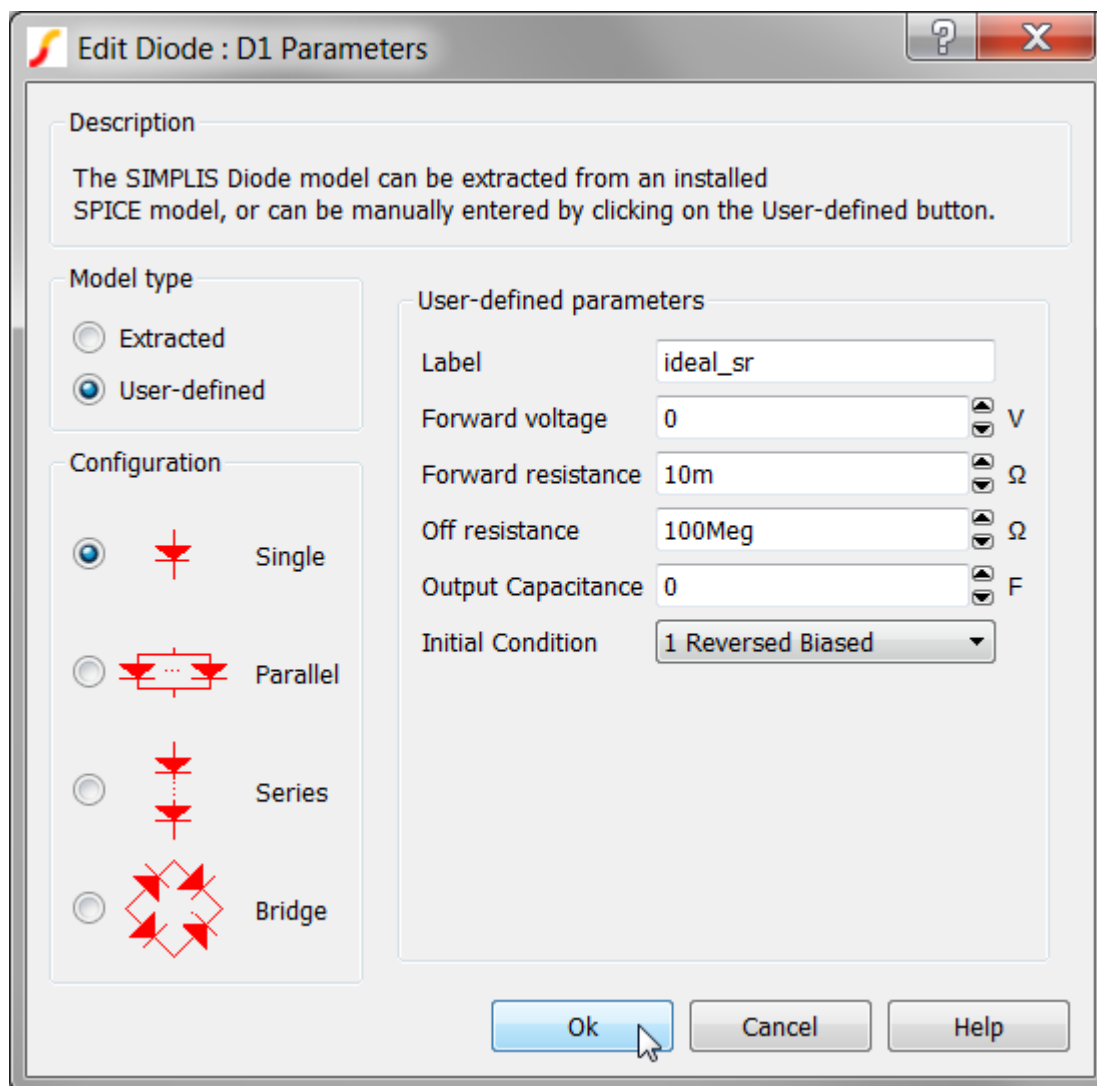
Note: The User-defined parameters are set to the values calculated in the last parameter extraction.



3. Make the following changes to the User-defined parameters:

Parameter label	Value
Label	ideal_sr
Forward voltage	0
Forward resistance	10m
Output Capacitance	0

Result: The dialog should now look like this:



4. Click **OK**.

Result: The diode now represents an ideal synchronous rectifier with a 10mΩ on-resistance and 100MegΩ off-resistance. The forward voltage drop is 0V.

[▲ back to top](#)

2.5.2 回路図を保存する

回路図を保存するには、次の手順に従います：

1. **File > Save Schematic As...**を選択します。
2. 回路図を保存する作業ディレクトリーを指定します。
3. ファイル名は **2_my_buck_converter.sxsch** とします。
4. When prompted to overwrite the existing file, click **Yes**.

この状態で保存された回路図は、こちらからダウンロードできます：[2 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](#).

[▲ back to top](#)



3.1 過渡解析シミュレーションの設定を行う

This section of the tutorial shows you how to set up a transient simulation for a synchronous buck converter.

In this topic:

- [Key Concepts](#)
- [What You Will Learn](#)
- [3.1.1 Specify the Transient Analysis Settings](#)
- [3.1.2 Save your Schematic](#)

Key Concepts

This topic addresses the following key concepts:

- The SIMPLIS transient analysis is similar to the transient analysis available in other simulators, but it runs much faster.
- Although the analysis settings are almost identical to SPICE transient analysis settings, the math used in each simulator is vastly different. This allows SIMPLIS to simulate circuits much faster than SPICE.

What You Will Learn

In this topic, you will learn the following:

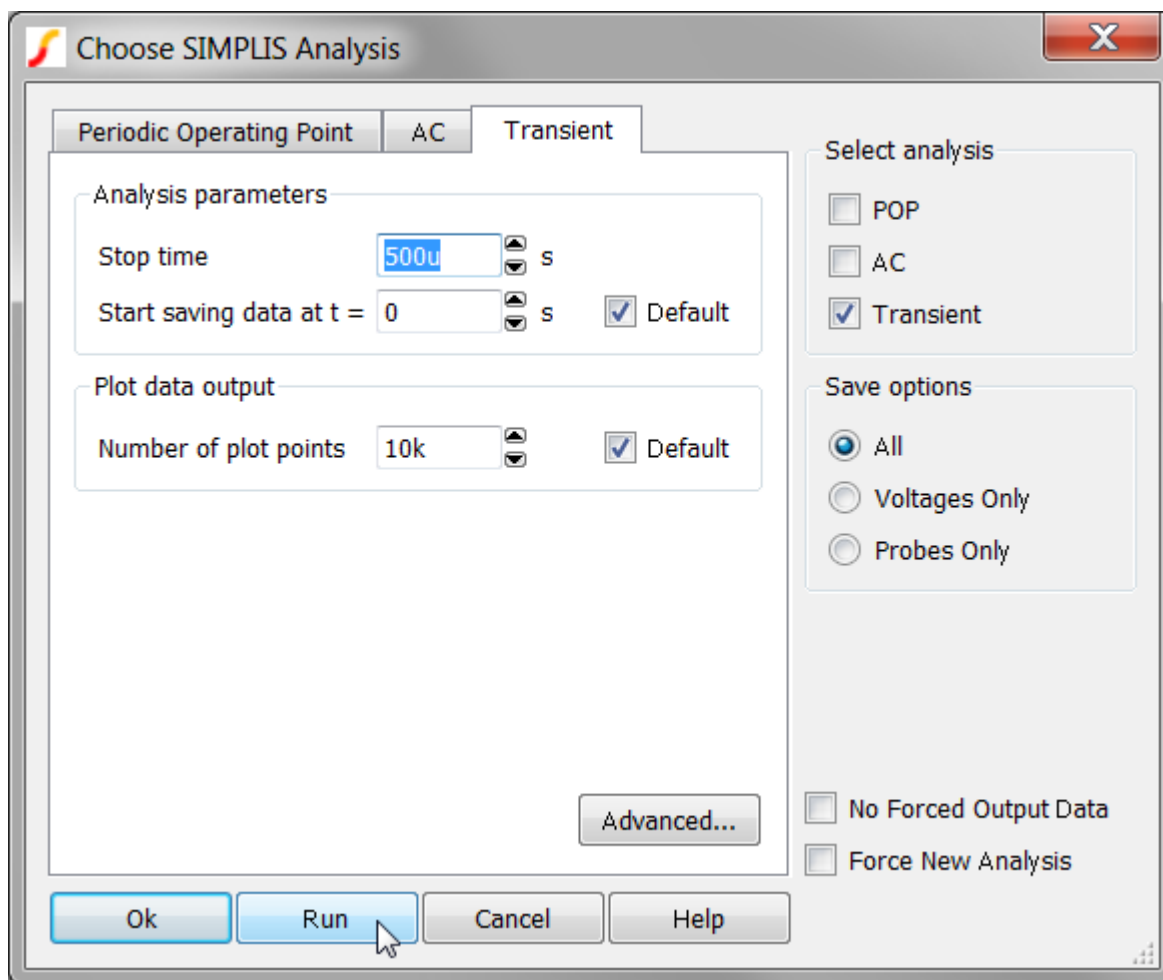
- How to set up the buck converter to run a basic transient analysis.
- How to enlarge a graph and zoom in and out to examine it more closely.

3.1.1 過渡解析シミュレーションの設定を行う

過渡解析シミュレーションの設定を行うには、次の手順に従います：

1. [2.2 Edit Standard Component Values](#) でコンポーネントの値を変更した後に保存した回路図を開くか、または [2 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](#) を開きます。
2. 回路図エディターのメニューバーから、**Simulator > Choose Analysis...** を選択します。
結果 : Choose SIMPLIS Analysis ダイアログボックスが開き、 「Periodic Operating Point」 「AC」 「Transient」 の3つのタブが表示されます。
3. **Transient** タブをクリックし、3つの設定を変更します。ここでは、過渡解析シミュレーションを 0 から 500 μ s まで実行し、回路図の最上位レベルの全ノードからのデータを保存するよう設定を行います。
 - a. ダイアログボックス右上にある **Select analysis** セクションで、**Transient** の前のチェックボックスをクリックします。
 - b. **Analysis parameters** セクションで、**Stop time** を **500u** に設定します。
 - c. **Save options** セクションで、**All** の前のラジオボタンをクリックします。

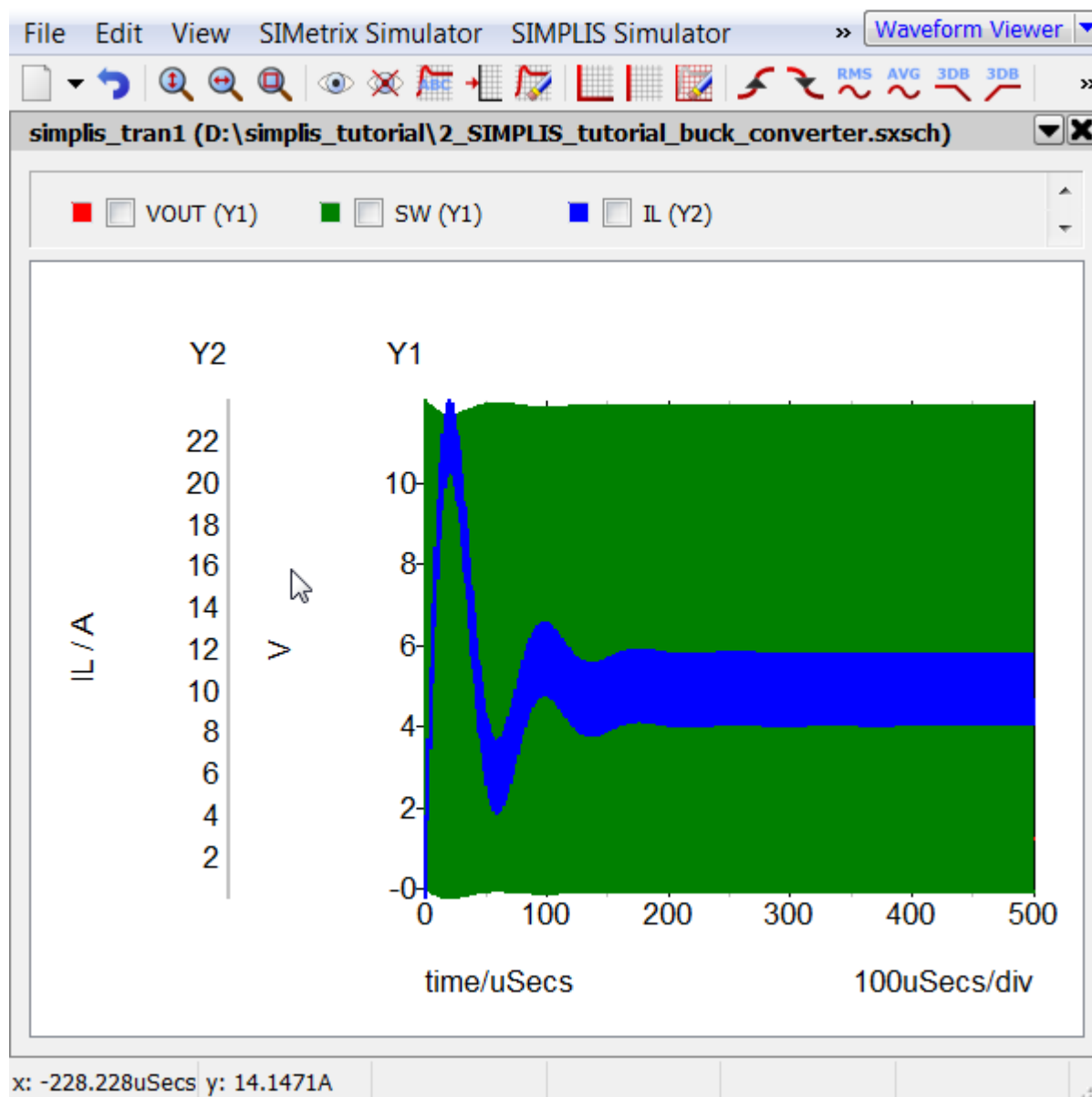
Result: The Transient tab should now look like this:



4. ダイアログボックス下部の **Run** をクリックします。

 注：すでに **Ok** を選択、または **Enter** キーを押している場合には、キーボードの **F9** キーを押してください。

結果：シミュレーションが実行され、*waveform viewer* ウィンドウが開き、3つのプローブの曲線が表示されます。



5. このグラフをさらに詳しく見るためには、ウィンドウを拡大し、以下に従ってズームイン/アウトの操作を行います。:

- ズームインするには、マウスの左ボタンを押したまま、グラフ部分に四角形をドラッグします。
- ズームアウトするには、**Home** キーを押します。
- **Ctrl+Z**. 前のズーム倍率に戻すには、**Ctrl+Z** を押します。

 注: シミュレーション結果を加工し、見やすいグラフにする方法については、第4章の最初の2つのトピック ([4.1 Output Curves to Separate Grids](#) と [4.2 Reorder the Graph Grids](#)) で詳しくご説明します。

[▲ back to top](#)

3.1.2 回路図を保存する

回路図を保存するには、次の手順に従います。

1. **File > Save Schematic As...**を選択します。
2. 回路図を保存する作業ディレクトリーを指定します。
3. ファイル名は **3_my_buck_converter.sxsch** とします。

この状態で保存された回路図は、こちらからダウンロードできます: [3 SIMPLIS tutorial buck_converter.sxsch](#).

3.1 Set up a Transient Simulation

[▲ back to top](#)



3.2 POP 解析の設定を行う

このセクションでは、このコンバーターの定常状態の動作を検証するために、SIMPLIS POP（Periodic Operating Point）解析を行います。

In this topic:

- [Key Concepts](#)
- [What You Will Learn](#)
- [3.2.1 Add a POP Trigger to the Schematic](#)
- [3.2.2 Set up the POP Analysis](#)
- [3.2.3 Save your Schematic](#)

Key Concepts

This topic addresses the following key concepts:

- In order for the POP analysis to find the steady-state operating point it needs to know which node on the schematic represents the lowest periodic frequency. You identify the lowest periodic frequency node with a special SIMPLIS symbol, the **POP Trigger Schematic Device**.
- この POP トリガーモデルは、SIMPLIS 独自のもので、基準電圧および比較器が含まれています
- POP トリガーデバイスは SIMPLIS に対し、POP 解析の際にどの最上位ノードを使って新たな POP 周期の開始を検出するのかを指示します。
- この回路図ノードは、システム全体が周期的になる最低周波数（言い換えれば、システム内のすべてのエネルギー貯蔵素子が周期的な動作を示す最低周波数）でスイッチングするよう、POP トリガーを作動させます。For this converter, any voltage which switches at the 500kHz switching frequency can be used for the POP Trigger input.

What You Will Learn

In this topic, you will learn the following:

- How to add a POP trigger to the schematic

3.2.1 回路図に POP トリガーを追加する

POP トリガーを追加するには、以下の手順に従います。

1. Open the schematic that you saved after running the transient simulation

or
open [3 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](#).
2. From the Part Selector, double click on the **Commonly Used Parts** category to expand the list.
3. 展開したリストの中から **Pop Trigger Schematic Device** をダブルクリックします。
4. インダクターのすぐ上に十字カーソルを持っていき、マウスの左ボタンを押して POP トリガーを配置します。



注：POP トリガーを配置した後、移動させたい場合には、マウスをシンボルに合わせ、左ボタンを押したままドラッグします。

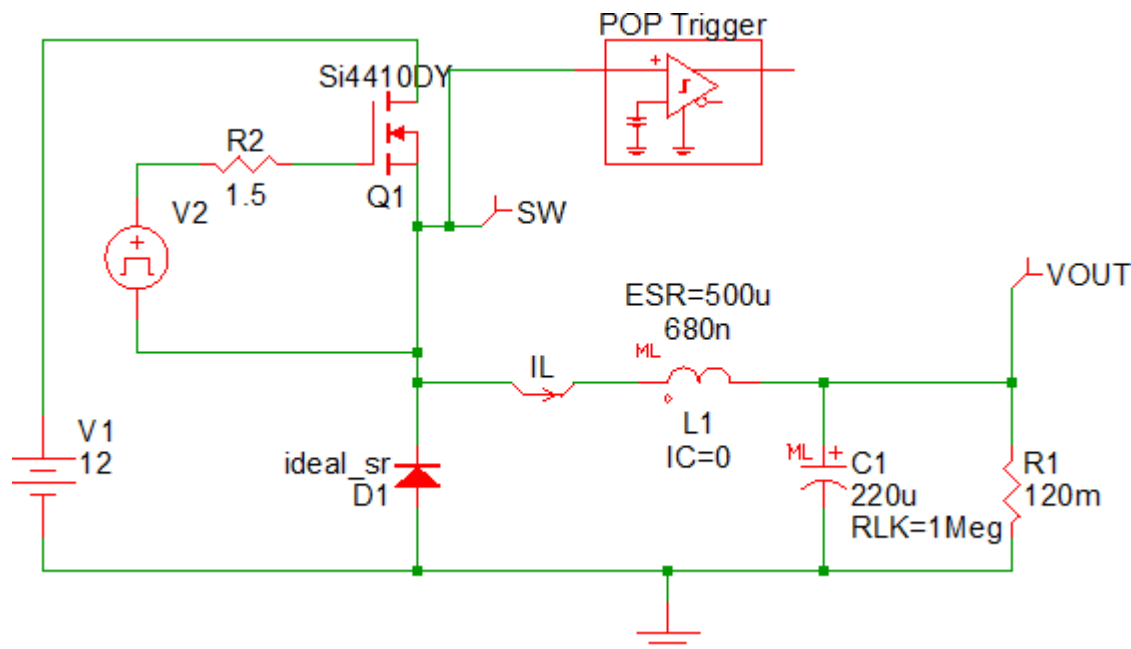
スイッチングノードを周期的なソースとして使用するには、次の手順に従って配線をします。

1. トリガーが選択されていないことを確認し、POP トリガーの左側のラインの端にカーソルを置きます。

結果：カーソルが十字からペンシルに変わります。

2. マウスの左ボタンを押し、左に向かって短い水平の線を引きます。
3. もう一度マウスの左ボタンを押して角を作り、スイッチングノードの電圧プローブに接続するラインまで配線を延ばします。
4. 再度マウスの左ボタンを押して接続し、続いてマウスの右ボタンを押して配線を終わめます。

結果：回路図はこのようになります。



5. このバージョンの回路図を保存するには、回路図エディターのメニューバーから **File > Save Schematic** を選択します。

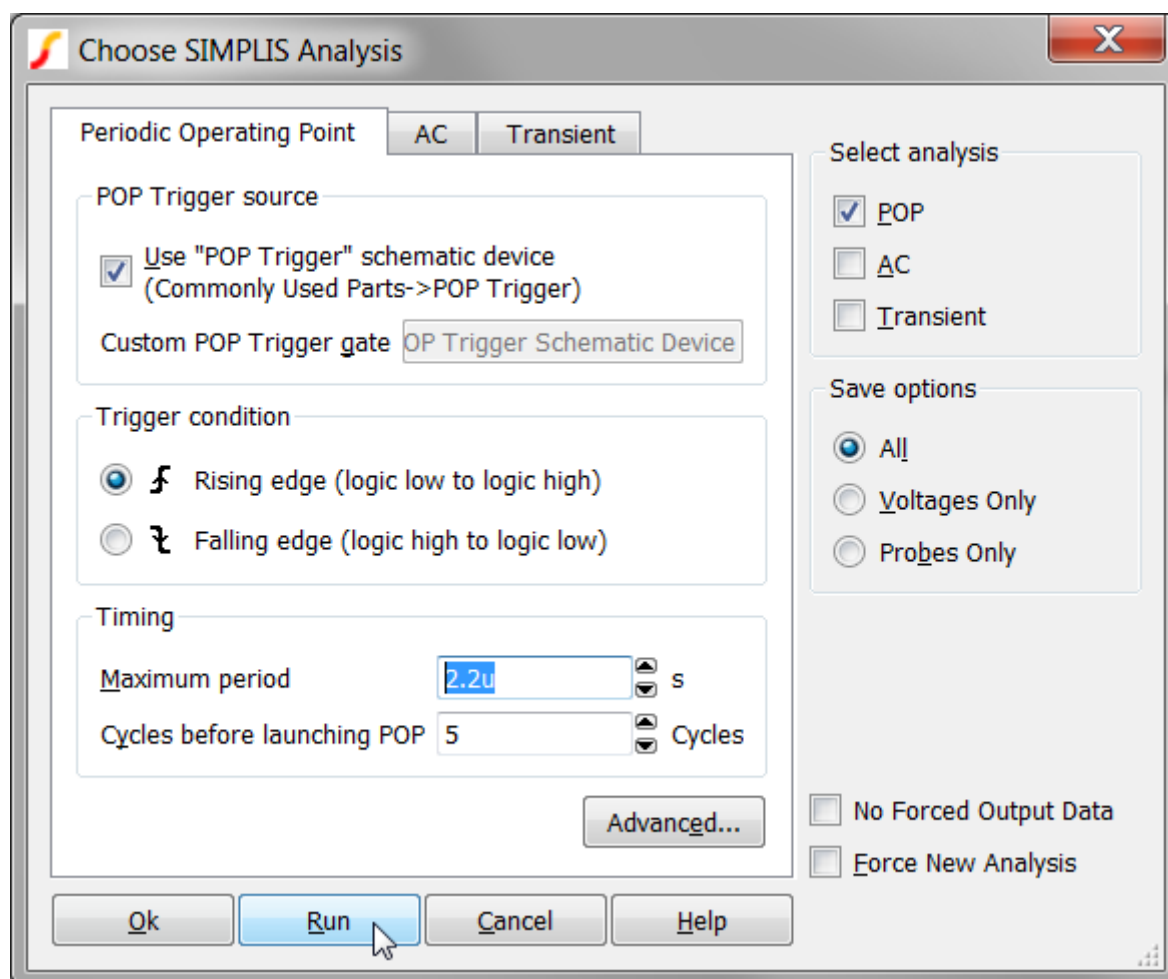
[▲ back to top](#)

3.2.2 POP 解析の設定を行う

POP 解析の指示を設定するには、次の手順に従います。

1. 回路図エディターのメニューバーから **Simulator > Choose Analysis...** を選択します。
結果： *Choose SIMPLIS Analysis* ダイアログが表示されます。
2. **Periodic Operating Point** タブをクリックします。
3. ダイアログボックス右上の **Select analysis** セクションで、**POP** にチェックを入れ、**Transient** からチェックを外します。
4. 回路の最大スイッチング周期を指定するには、ダイアログの **Timing** セクションに行き、**Maximum period** の値を **2.2μs** に変更します。

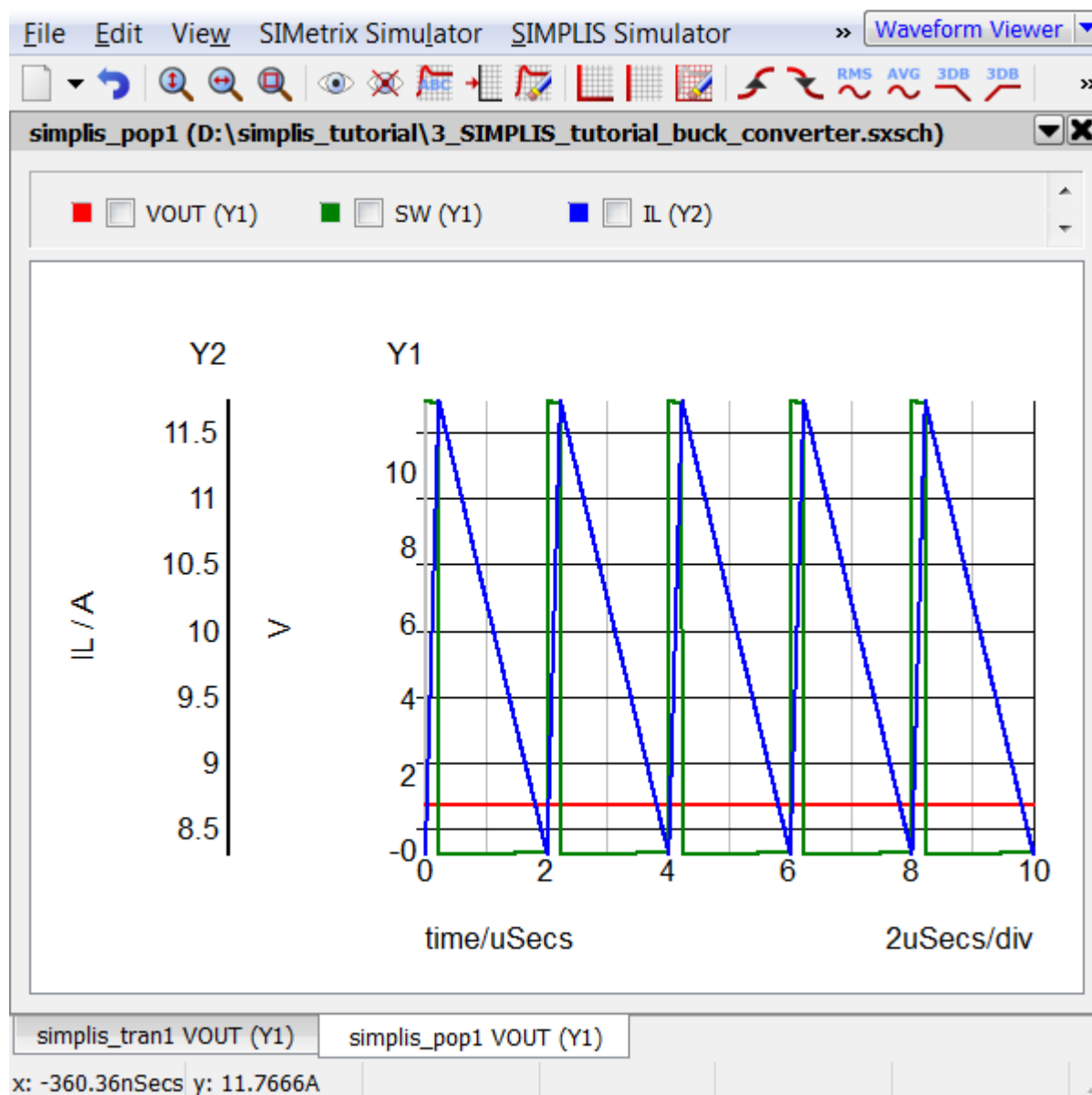
注：これは定常状態の周期の 110%になります。最大周期の設定値は、POP が定常状態を探す解空間を制限します。最大周期の設定値はスイッチング周期よりも大きくなければなりません、スイッチング周期の 2 倍以上には設定しないことをお勧めします。



5. 解析指示の設定を入力し終わったら、次のいずれかを行います：

- **Run** ボタンをクリックする
または
- **Ok** をクリックしてデータを保存し、ショートカットキー**F9** を押してシミュレーションを実行する。

結果： waveform viewer ウィンドウが開き、コンバーターの定常状態の波形が表示されます。



このウィンドウでは、5つの周期的スイッチングサイクルについて、VOUT、SW、ILの波形がプローブ付きで表示されます。Notice that the converter displays no settling behavior and the waveforms are in perfect steady-state. The POP algorithm can save enormous amounts of elapsed time by accelerating the simulation to the correct steady-state operating point.

 注：アウトプットを加工してグラフを読みやすくする方法については、第4章の最初の2つのトピック（[4.1 Output Curves to Separate Grids](#)と[4.2 Reorder the Graph Grids](#)）で取り上げます。

[▲ back to top](#)

3.2.3 回路図の保存

回路図を保存するには、次の手順に従います。

1. **File > Save Schematic As...**を選択します。
2. 回路図を保存する作業ディレクトリーを指定します。
3. ファイル名は **4_my_buck_converter.sxsch** とします。

この状態で保存された回路図は、こちらからダウンロードできます：[4 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](#).

[▲ back to top](#)



3.3 AC 解析の設定を行う

You are now ready to set up the buck converter for an AC analysis. You first will add a basic pulse width modulator (PWM) to the circuit.

In this topic:

- [Key Concepts](#)
- [What You Will Learn](#)
- [Getting Started](#)
- [3.3.1 Prepare the Schematic](#)
- [3.3.2 Add the New Symbols](#)
- [3.3.3 Add Wiring to the Schematic](#)
- [3.3.4 Save your Schematic](#)
- [3.3.5 Change Parameter Values](#)
- [3.3.6 Setup and Run an AC Analysis](#)
- [3.3.7 Save your Schematic](#)

Key Concepts

This topic addresses the following key concepts:

- The SIMPLIS AC analysis simulates the time-domain, switching circuit model, no averaged model is needed.
- Although you could run an AC analysis on the schematic as it is, the AC analysis would have no additional information because the schematic has no modulator.
- Version 8.0 has a Multi-Level gate driver which can represent several kinds of gate drivers and will be used in this design. The driver symbol dynamically changes when you change the model level, depicting the model.
- You can search for symbols using the



tool button.

What You Will Learn

In this topic, you will learn the following:

- How to add a basic PWM modulator, MOSFET gate driver and a AC small signal source.
- How to set the analysis directives and run a POP and AC analysis on the converter.

Getting Started

この演習では、保存してある最新の回路図を使うか

[4 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](#)を開きます。

グリッドが表示されていない場合には、回路図エディターのメニューバーから **View > Toggle Grid** を選択します。

3.3.1 回路図を準備する

To make room for the new modulator symbols, you will need to move several symbols on the previously saved schematic

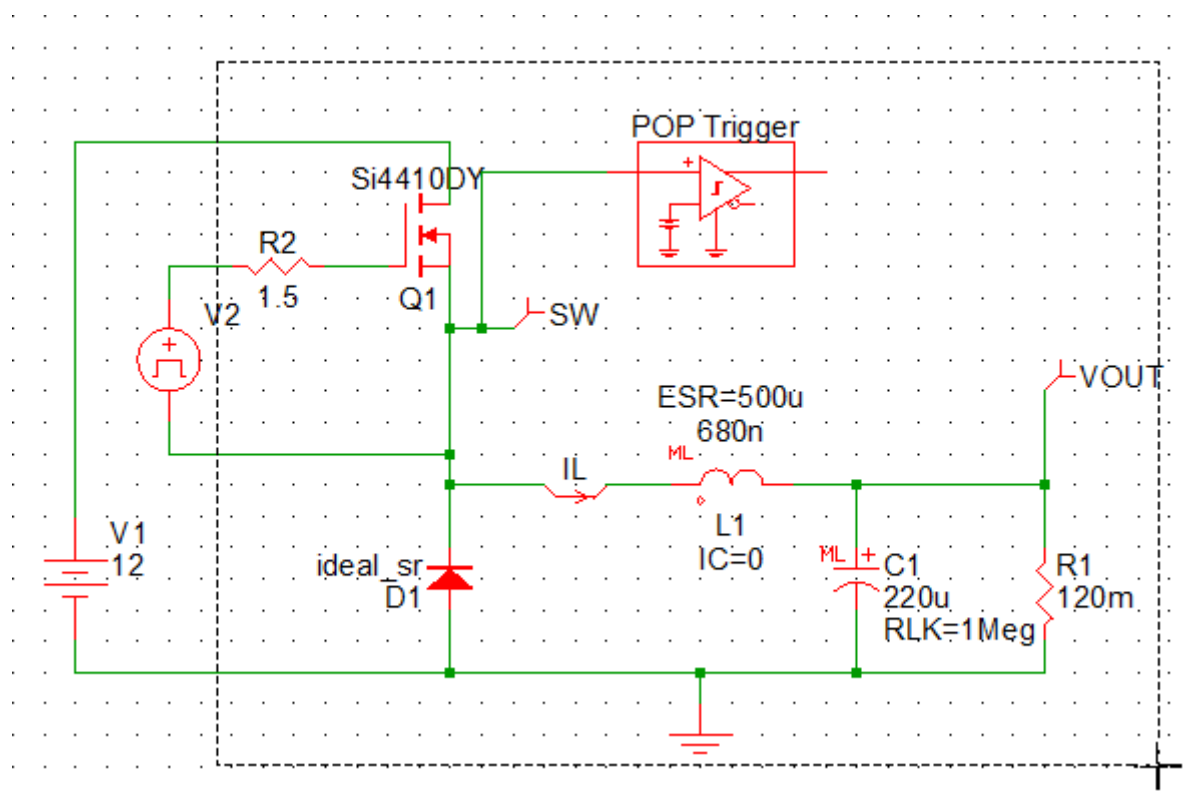
To move the symbols, follow these steps in the schematic editor:

1. Open the schematic that you saved after running the POP simulation

or

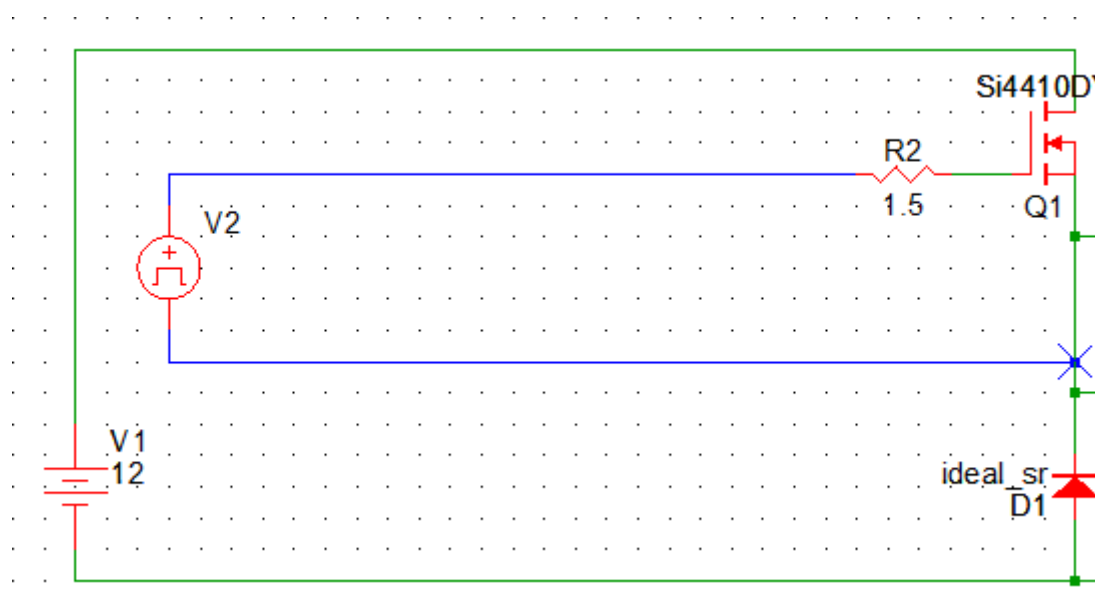
open [4 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](#).

2. コンポーネントを選択して右に移動させるためには、**V2** と **R2** の間のウィンドウ上部に十字カーソルを置き、下図のように右に向かってボックスを描いてすべてのコンポーネントを囲みます。

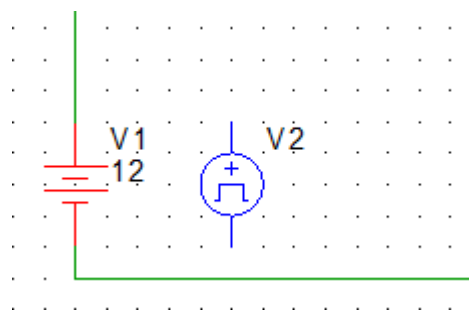


結果： 選択されたコンポーネントが赤から青に変わります。

3. 青い線のどこかに十字カーソルを合わせ、選択されたコンポーネントを右に 20 グリッド分ドラッグします
4. 下図で青く表示されている 4 つの配線をそれぞれ削除するためには、配線に十字カーソルを合わせ、マウスの左ボタンを押し、**Ctrl+X** または **Delete** キーを押します。



5. **V2** のシンボルをクリックし、右に 2 グリッド分ドラッグし、下図のように **V1** と同じ高さになるよう下に移動させます。

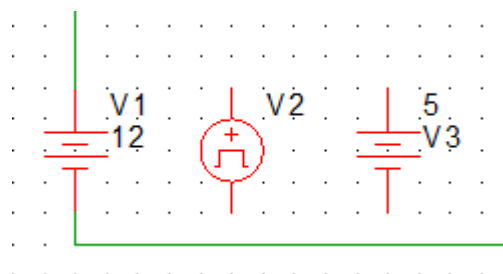


[▲ back to top](#)

3.3.2 新しいシンボルを追加する

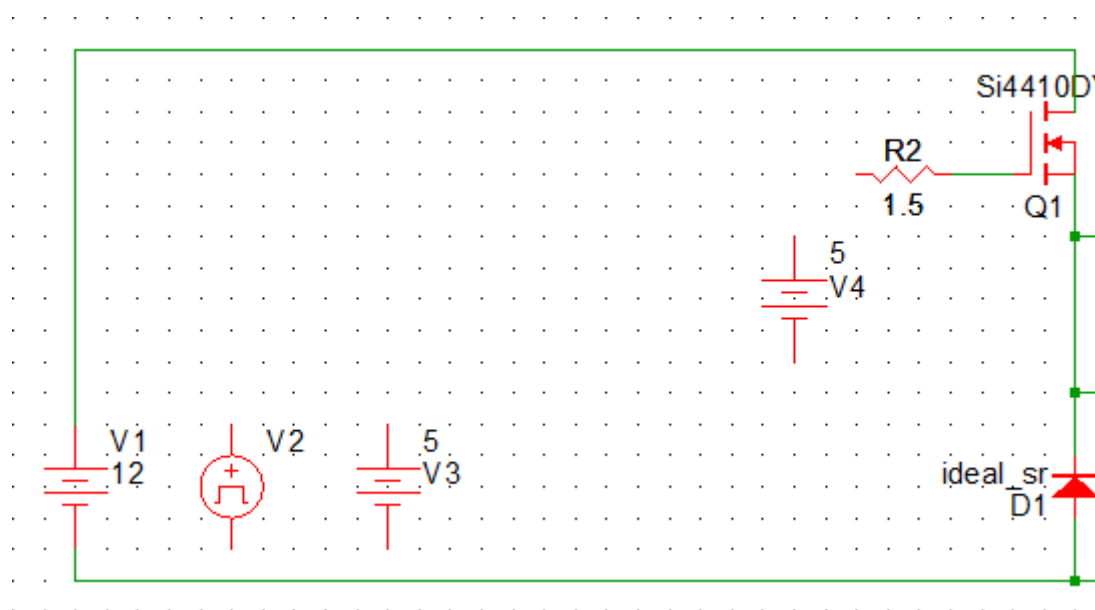
2つの電源と1つの交流電源を追加するには、次の手順に従います。

1. **Commonly Used Parts** のカテゴリの中から **Power Supply** をダブルクリックします。
2. 十字カーソルを **V2** 波形発生器の右側に持っていき、マウスの左ボタンをクリックして下記のように **V3** を配置します。



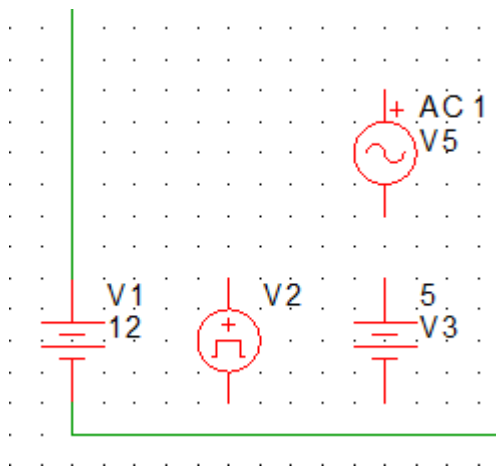
Result: This voltage source V3 will be the duty cycle control for the power supply.

3. 手順 1 を繰り返します。十字カーソルを **D1** の上と左側に合わせ、マウスの左ボタンをクリックして下記のように **V4** を配置します。



Result: V4 will be the floating gate drive power supply.

4. **Commonly Used Parts** のカテゴリの中から **AC source (for AC analysis)** をダブルクリックし、十字カーソルを **V3** シンボルの上に持っていき、クリックして下記のように交流電源を配置します。



Result: This AC source **V5** will perturb the circuit during the AC analysis.

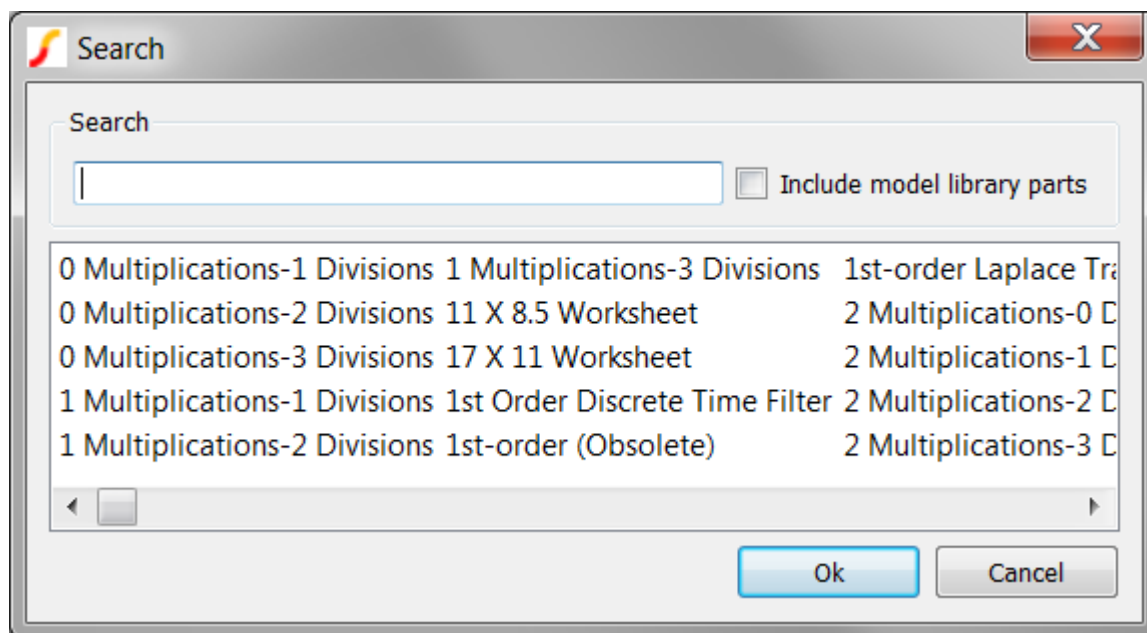
To place the **Comparator** and move some of the symbols, follow these steps:

1. From the toolbar, find the tool button with the binocular icon



. Click on the tool button to open the Search dialog.

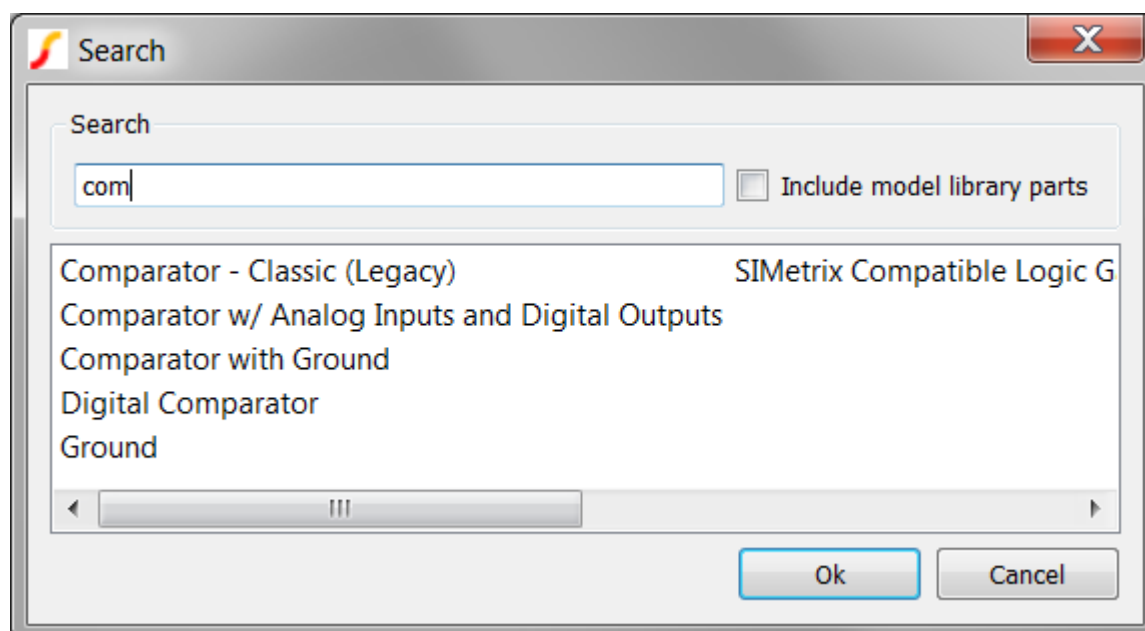
Result: The Search dialog opens.



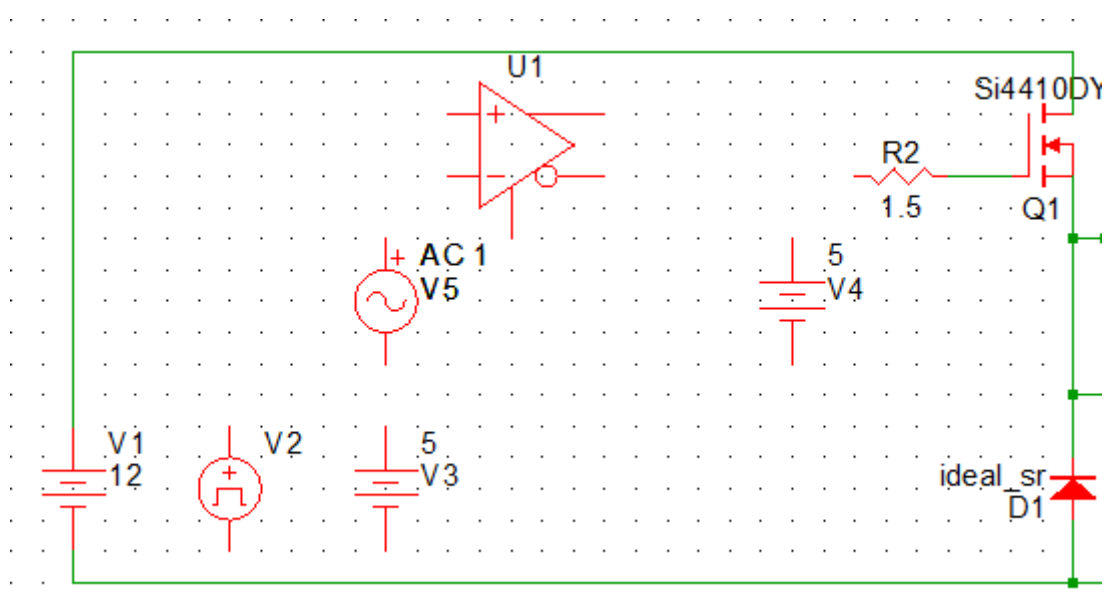
Note: You can also open the Search dialog with the **Place > Search Part...** menu item.

2. Enter **com** in the search field.

Result: The symbols which contain the sub-string **com** are shown.

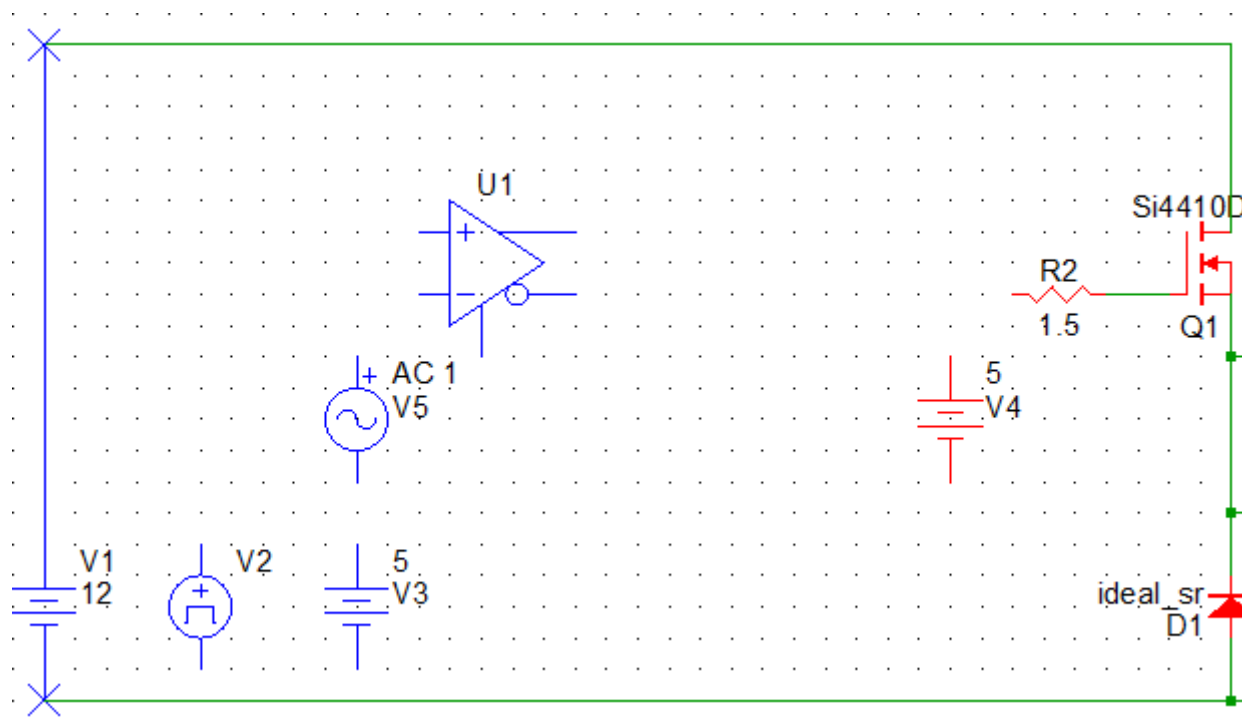


3. Select the **Comparator - Classic (Legacy)** entry and click Ok.
4. Place the cross hair just to the right of **V4** so that the negative input and inverted output line up with the **R2** symbol, and click the left mouse button to place the comparator **U1** as shown below.



Result: **U1** in conjunction with the ramp source **V2** will form the duty-cycle modulator, with **V3** providing a duty cycle input.

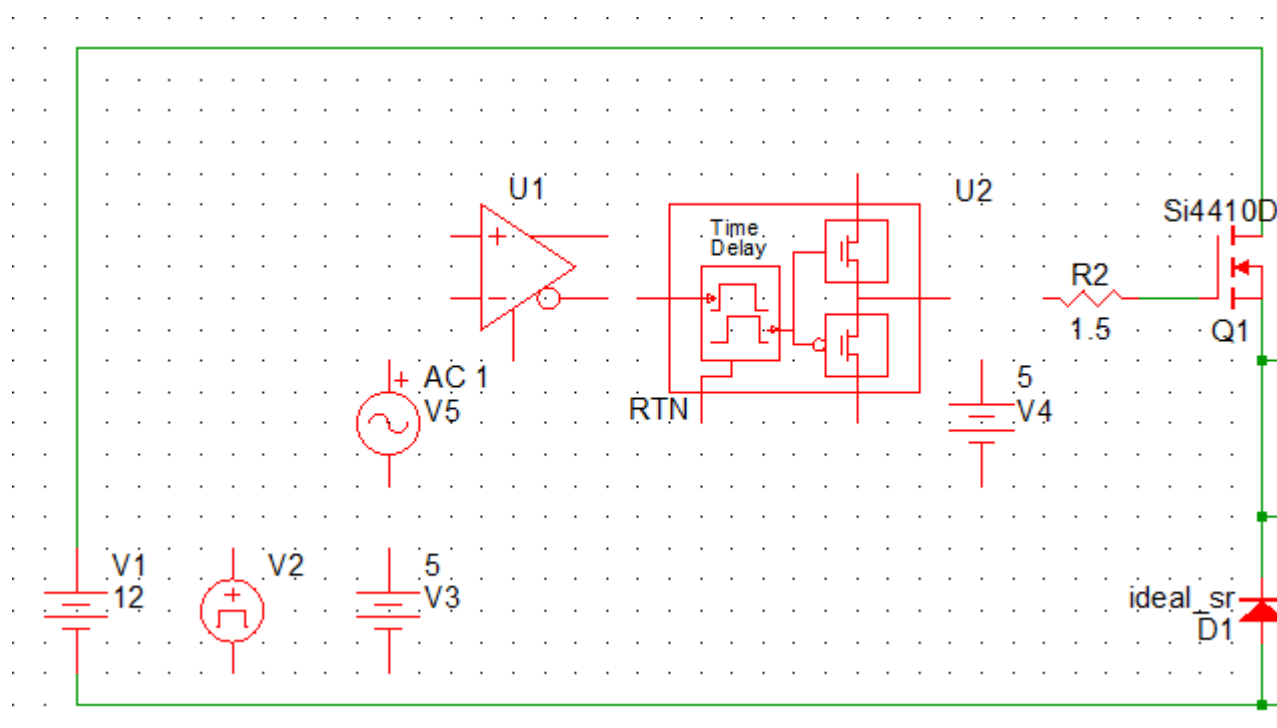
5. Click the line just above the **U1** symbol text and drag the mouse to move it up 4 grid points.
6. Hold down the left mouse button and draw a box around all of the symbols on the left side (**V1**, **V2**, **V3**, **V5**, and **U1**), and then drag them all to the left 6 grid points.



The next symbol for this design is the Version 8.0 Multi-Level MOSFET driver.

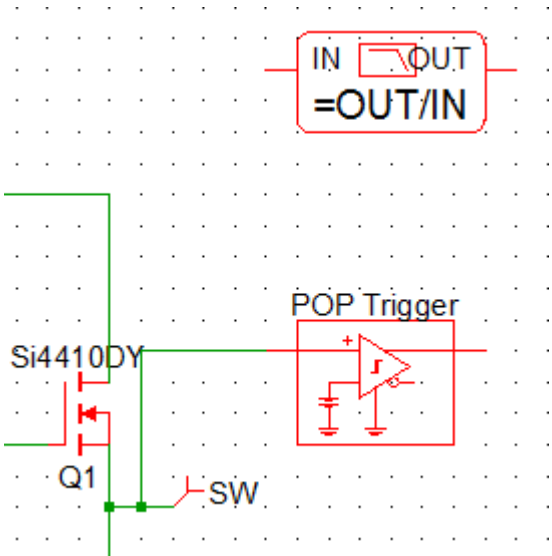
To place a multi-level MOSFET driver, follow these steps:

1. In the Part Selector, double click the **MOSFET Drivers** category and then double click **Multi-Level MOSFET Driver (Version 8.0+)**.
2. Place the cross hair between the comparator **U1** and the resistor **R2**.
3. Click the left mouse button to place the new symbol as shown below.

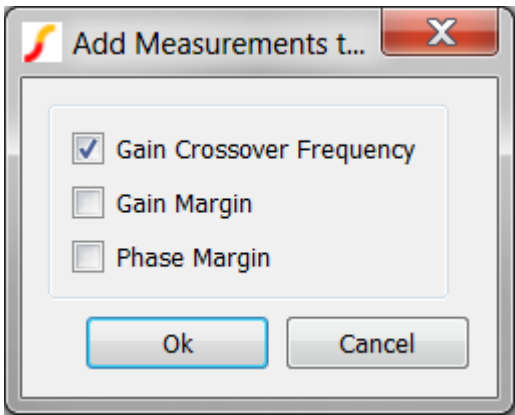


Finally, you need a probe to generate the gain and phase curves. To add a Bode Plot probe, follow these steps:

1. From the **Commonly Used Parts** category, double click **Probe- Bode Plot - Gain/Phase - w/ Measurements**, and move the cross hair to the top of the schematic above the POP Trigger symbol and then click to place it on the grid.



Result: A dialog opens for you to add common measurements to this Bode Plot probe.



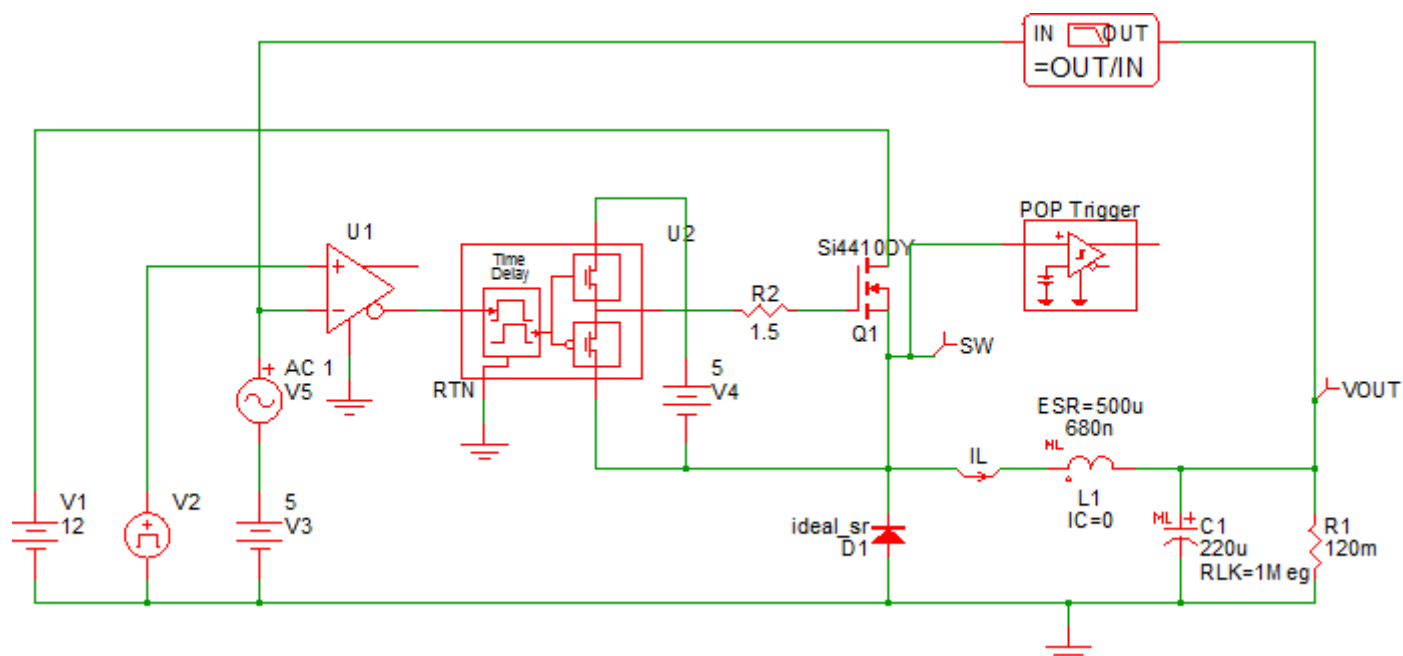
2. Uncheck Gain Margin and Phase Margin, leaving only **Gain Crossover Frequency** checked, and then click **Ok**.

Result: The built-in **Gain Crossover Frequency** measurement is added to the probe. This measurement will be made every time the simulation is run.

[▲ back to top](#)

3.3.3 回路図に配線を追加する

下の表を使い、回路図に配線を追加します。 You will need to add ground symbols to the ground returns of **U1** and **U2**. The keyboard shortcut **G** places ground symbols.



[▲ back to top](#)

3.3.4 回路図を保存する

回路図を保存するには、次の手順に従います。

1. **File > Save Schematic As...**を選択します。
2. 回路図を保存する作業ディレクトリーを指定します。
3. ファイル名は **5_my_buck_converter.sxsch** とします。

この状態で保存された回路図は、こちらからダウンロードできます：[5 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](#).

[▲ back to top](#)

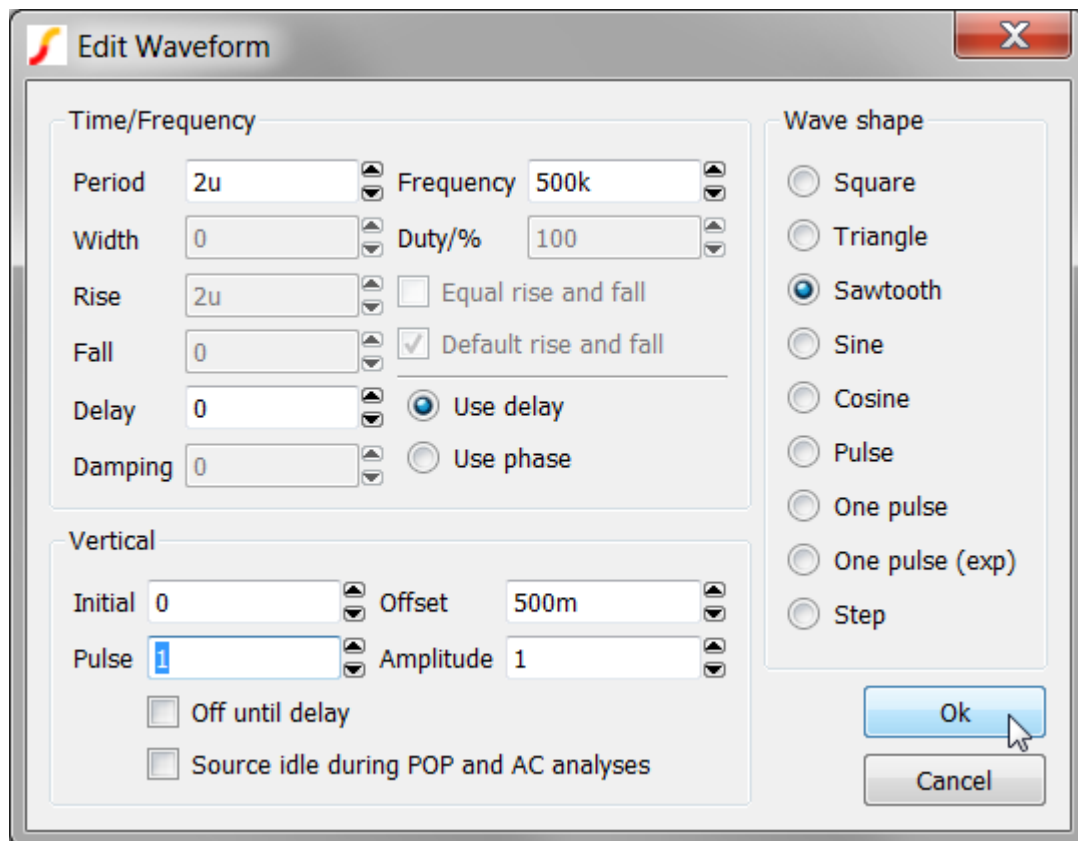
3.3.5 パラメーターの値を変更する

コンポーネントを追加したことで、波形発生器 **V2** の用途をパルス源から変調器ランプの電圧源に変更しました。以下の手順では、変調器ランプを **1V** ピークからピークまでに設定し、**DC** 電源 (**V3**) がコンバーターのデューティーサイクル (**11%**) に等しい **DC** 値 (**0.11V**) になるようにします。

波形発生器のパラメーターの値を変更するには、次の手順に従います：

1. **V2** シンボルをダブルクリックします。

結果： *Edit Waveform* ダイアログボックスが表示されます。



2. ダイアログの右側にある Wave Shape セクションで、**Sawtooth** ラジオボタンを選択します。
3. **Pulse** の値を **1V** に設定します。
4. **Ok** をクリックします。
5. **V3** シンボルをダブルクリックし、**DC Voltage** を **110mV** に変更し、**Ok** をクリックします。

To change values on the MOSFET driver, follow these steps:

1. Double click on **U2**, the Multi-Level MOSFET Driver.
2. Change the **Model level** to 0.
3. Uncheck the **Use delay** checkbox.
4. Click **Ok**.

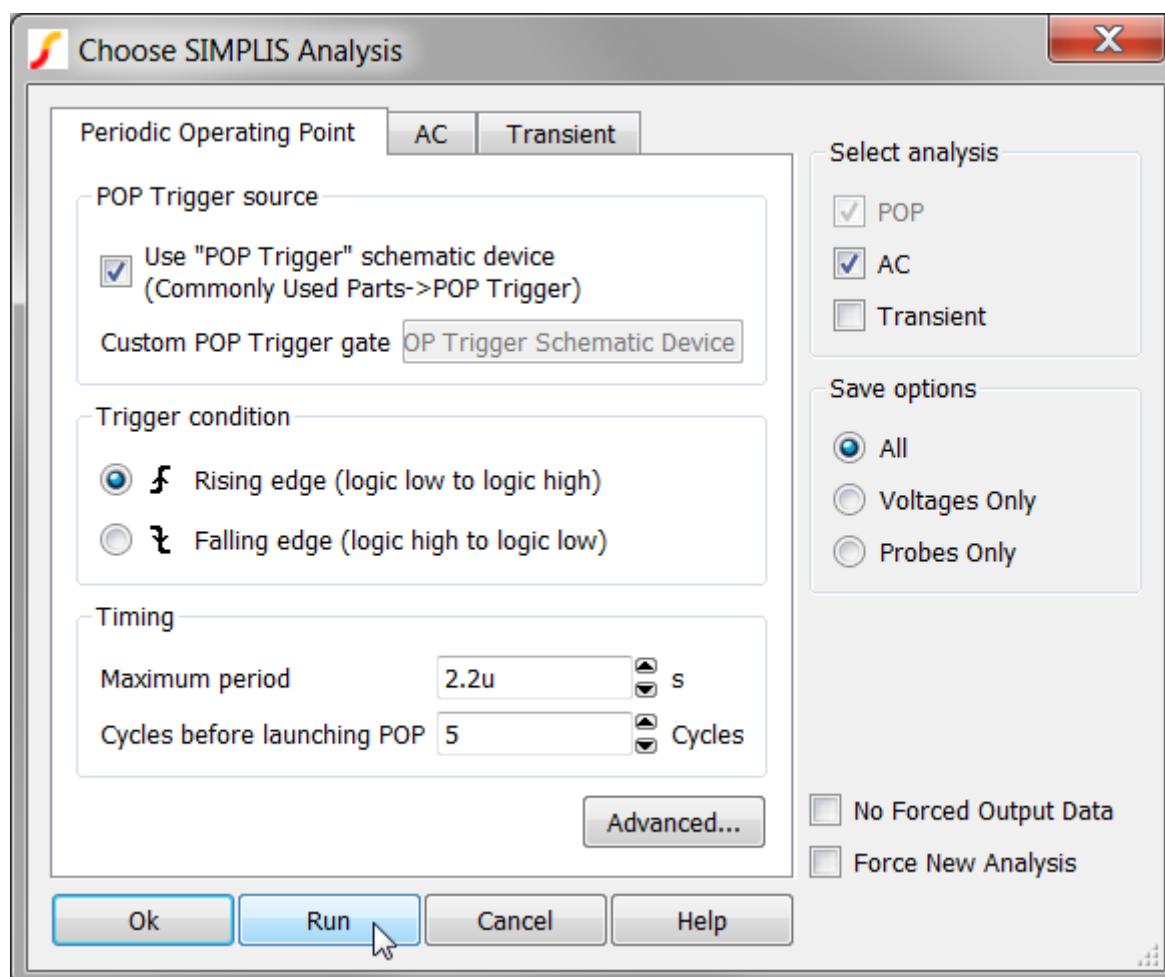
Result: The symbol for the MOSFET driver changes to represent the level 0 driver which uses on/off resistance switches to drive the MOSFET. Additionally, the delay block has been removed from the symbol indicating that the driver has zero delay.

[▲ back to top](#)

3.3.6 AC 解析を設定し実行する

AC 解析を実行するには、次の手順に従います。

1. 回路図エディターのメニューバーから、**Simulator > Choose Analysis...**を選択します。
2. ダイアログの右側で **AC** をクリックして、下記のようにチェックを入れます。



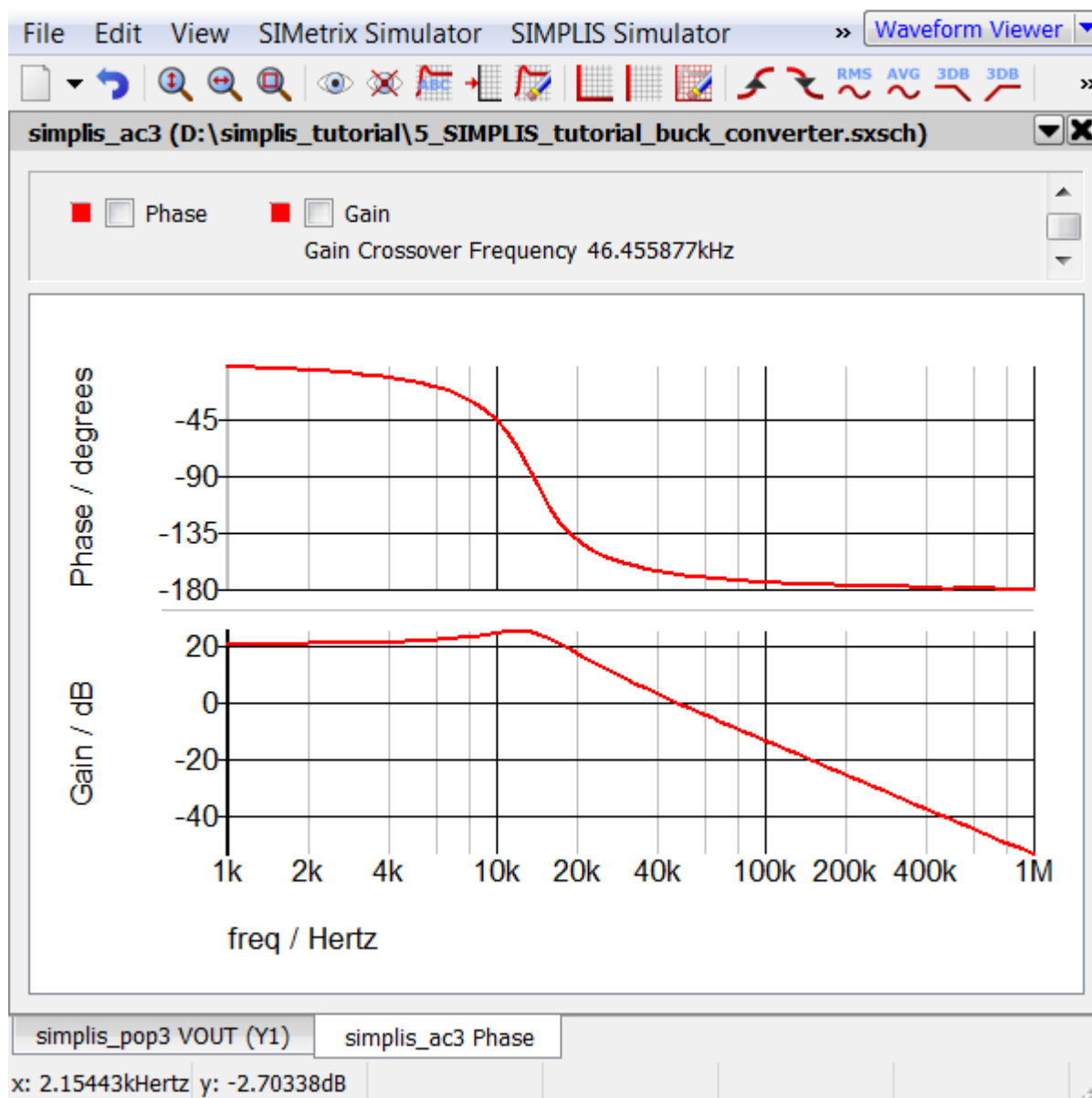
 注：POP のチェックボックスにもチェックが入ってグレーに変わり、POP 解析と AC 解析の両方が実行されることになります。For every AC simulation, SIMPLIS requires a POP simulation to be run first.

3. **Run** をクリックします。

または

Ok をクリックしてから **F9** を押します。

Result: *The control to output response of the buck converter is output to the waveform viewer.*



Notice that the Gain Crossover Frequency is measured and displayed on the Gain curve legend at the top of the box. In this context the Gain Crossover Frequency is simply the frequency where the Gain reaches 0dB. As expected the Gain at low frequency is slightly greater than 20dB, and the control-to-output transfer function has a double pole at the LC frequency of approximately 12.5kHz.

It is important to note that the AC response of this circuit is taken from the full, non-linear switching model, and no small signal AC model is required. As a result, the effects of parasitic elements in the design are accurately modeled and automatically included in the AC analysis. A simple example is the DC gain of the power stage. The DC gain is slightly lower than the predicted value due to losses in the circuit.

3.3.7 回路図を保存する

回路図を保存するには、次の手順に従います：

1. メニューバーから **File > Save Schematic As...** を選択します。
2. 回路図を保存する作業ディレクトリーを指定します。
3. ファイル名は **6_my_buck_converter.sxsch** とします。

この状態で保存された回路図は、こちらからダウンロードできます：[6 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](http://www.simplistechnologies.com/documentation/simplis/simplis_tutorial/topics/3_3_set_up_an_ac_analysis.htm).

In the chapter 4, you will separate the POP waveforms to make it easier to understand the converter operation and

performance.

[▲ back to top](#)

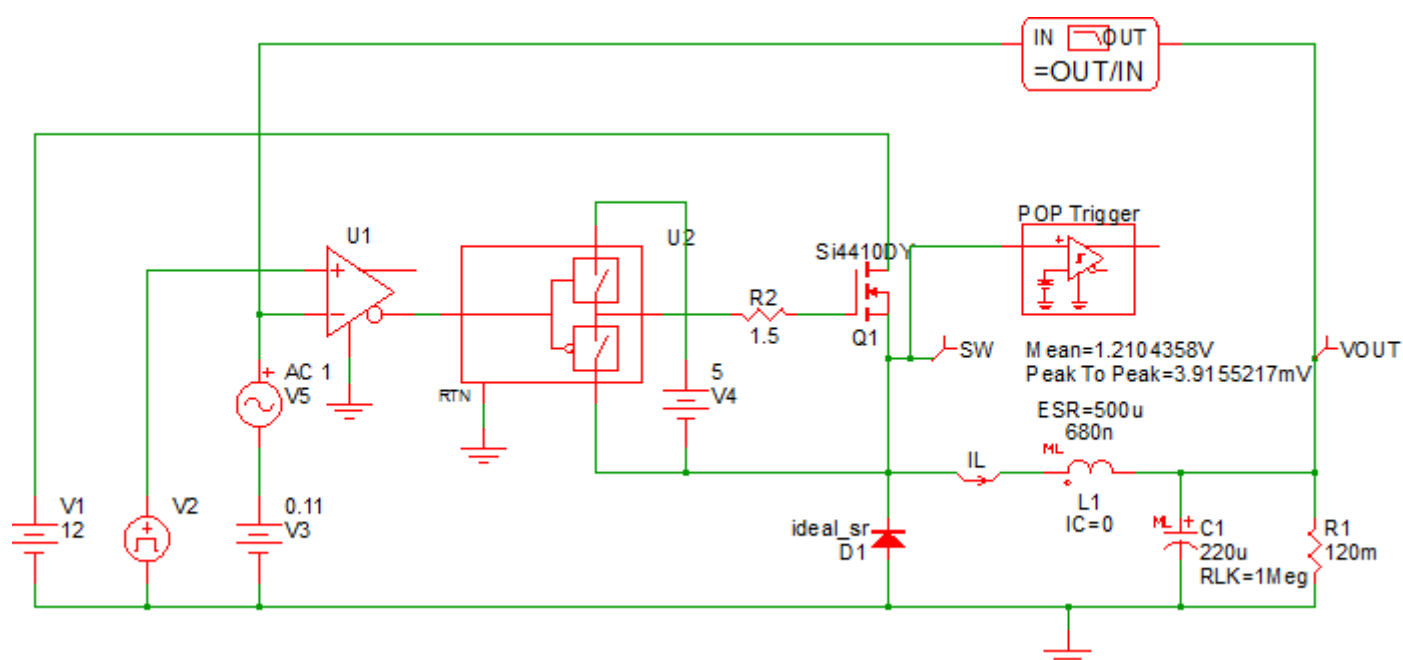


4.0 シミュレーション結果の管理

チュートリアルこのセクションでは、以下を行うことにより、固定プローブの設定を行って見やすいグラフにする方法について学びます。:

- Separate the waveforms onto individual grids and change the vertical order of the grids.
- For each curve, change the number of simulation runs displayed on the waveform viewer.
- Interactively make scalar measurements on the curves after the simulation completes.
- Add scalar measurements to the fixed probe symbols. These measurements are automatically made after each simulation run.

この章を完了すると、回路図は次のようになります:



Topics in this chapter

- [4.1 Output Curves to Separate Grids](#)
- [4.2 Reorder the Graph Grids](#)
- [4.3 Define Waveform Persistence](#)
- [4.4 Add Scalar Measurements to Output Curves](#)
- [4.5 Add Scalar Measurements to Probes](#)

4.1 Output Curves to Separate Grids

This section of the tutorial explains the process of automatically outputting curves to separate grids. While there are several ways to interactively move curves to new grids on the waveform viewer (e.g. **Curves > Stack All Curves**), these methods need to be run after every simulation. Instead of describing the interactive methods, this topic focuses on automatically making these measurements by adding the measurement definitions to the fixed probes.

In this topic:

- [Key Concepts](#)
- [What You Will Learn](#)
- [4.1.1 Separate Curves onto Individual Grids](#)
- [4.1.2 Saving your Schematic](#)

Key Concepts

This topic addresses the following key concepts:

- Why you might want to display curves on separate grids.
- The SIMetrix/SIMPLIS software does not graph vectors with different physical units on the same axis; instead it creates a new axes for each different physical unit.

What You Will Learn

In this section, you will learn to the following:

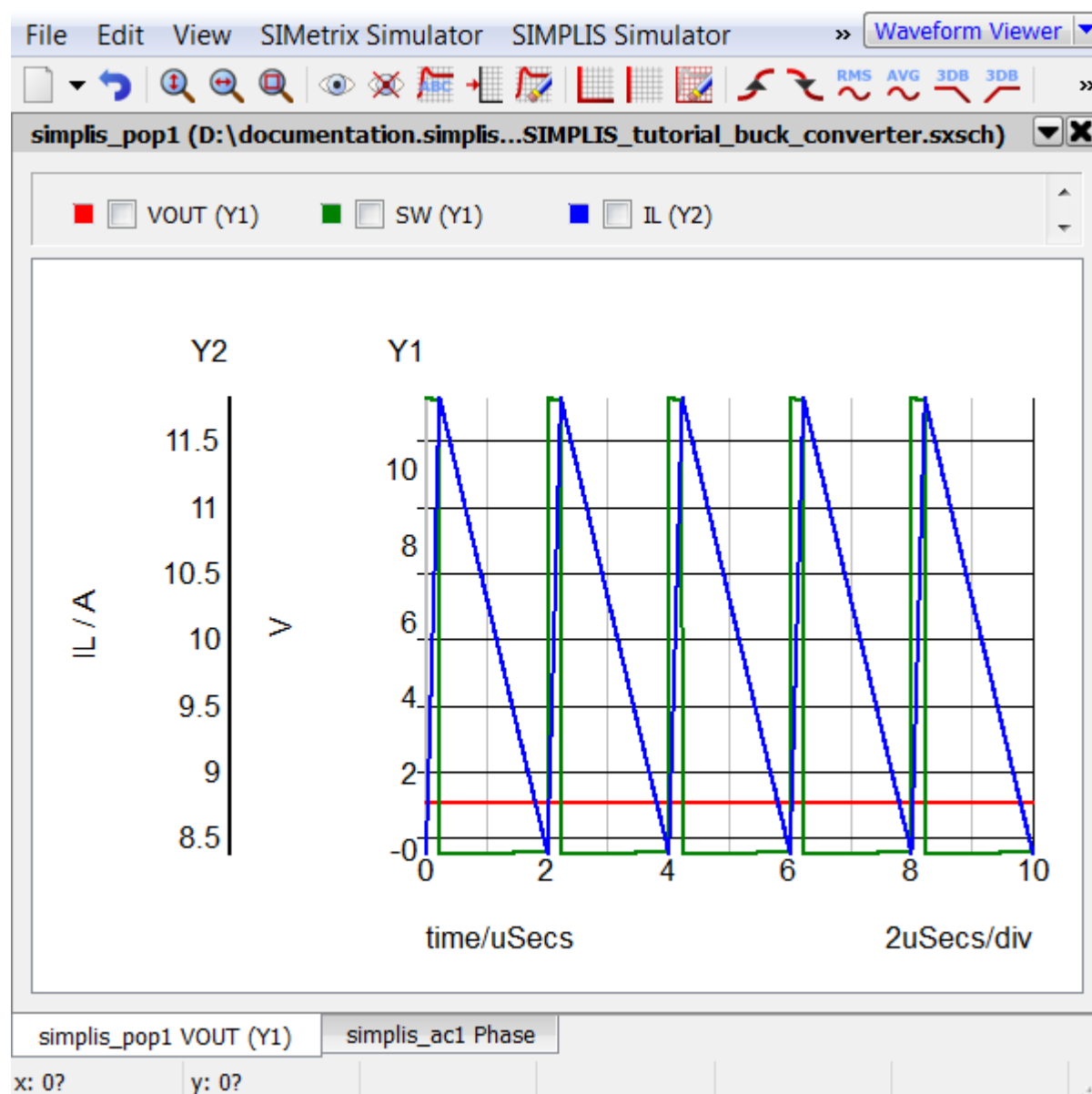
- Why you might want waveforms on separate grids.
- How to output curves to separate grids.

In the graph output from [3.3 Set up an AC Analysis](#), you had two tabs: **simplis_pop1 VOUT (Y1)** and **simplis_ac1**, these are the data groups created by SIMPLIS.



Note: SIMetrix/SIMPLIS adds a integer at the end of the data group name to make the data groups unique. The number after the group names simplis_pop and simplis_ac might be different on your waveform viewer, depending on how many simulations you ran since you started the program.

If you click on the **simplis_pop** tab, you should see three curves on one grid with two axes, as shown below.



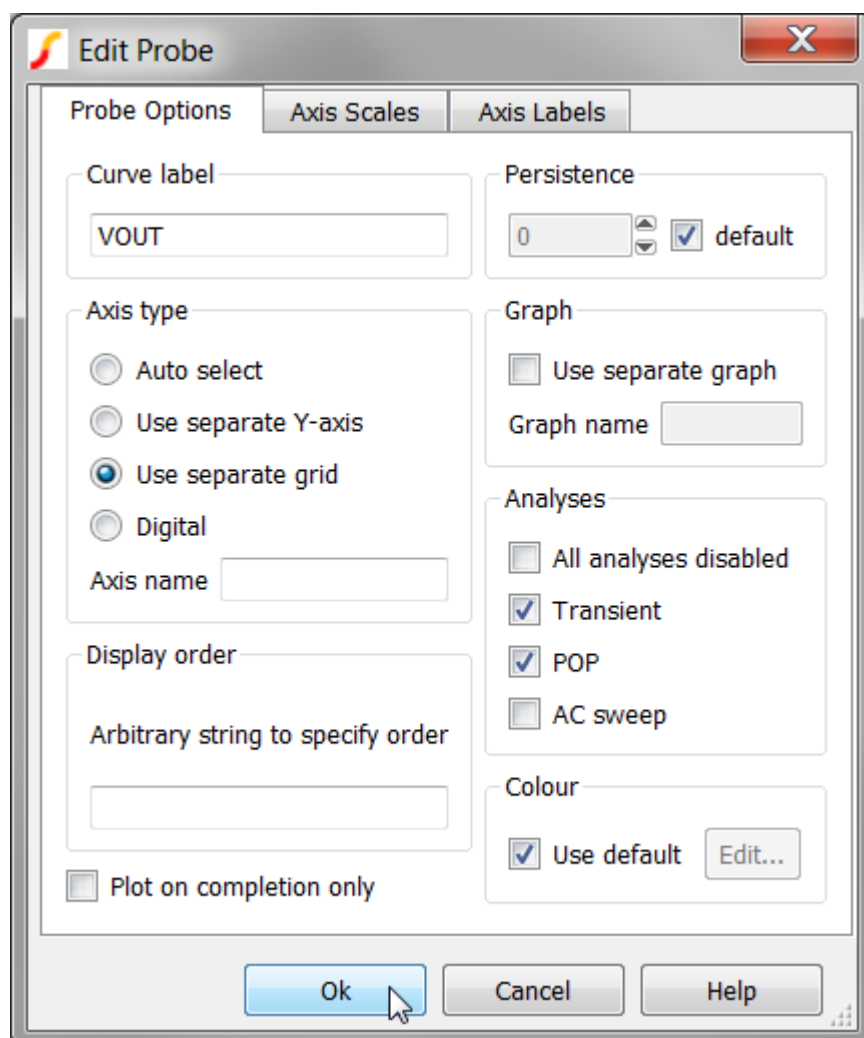
Notice in the illustration above that the voltages are grouped on **Y1** axis and the currents are on the **Y2** axis since each physical unit requires its own axis.

一つのグリッド上の 3 つの曲線（赤 : VOUT、緑 : SW、青 : IL）がある状態では、コンバータの動作や性能を把握しづらくなる可能性があります。例えば、1.2V の出力電圧は、SW 波形と同じ軸上にプロットされると、SW ノード波形の方が相対振幅がはるかに大きいため、平らな線のように見えます。It makes sense to split the waveforms onto multiple axes, or grids, so that the curves with similar amplitudes or functions are grouped together.

4.1.1 Separate Curves onto Individual Grids

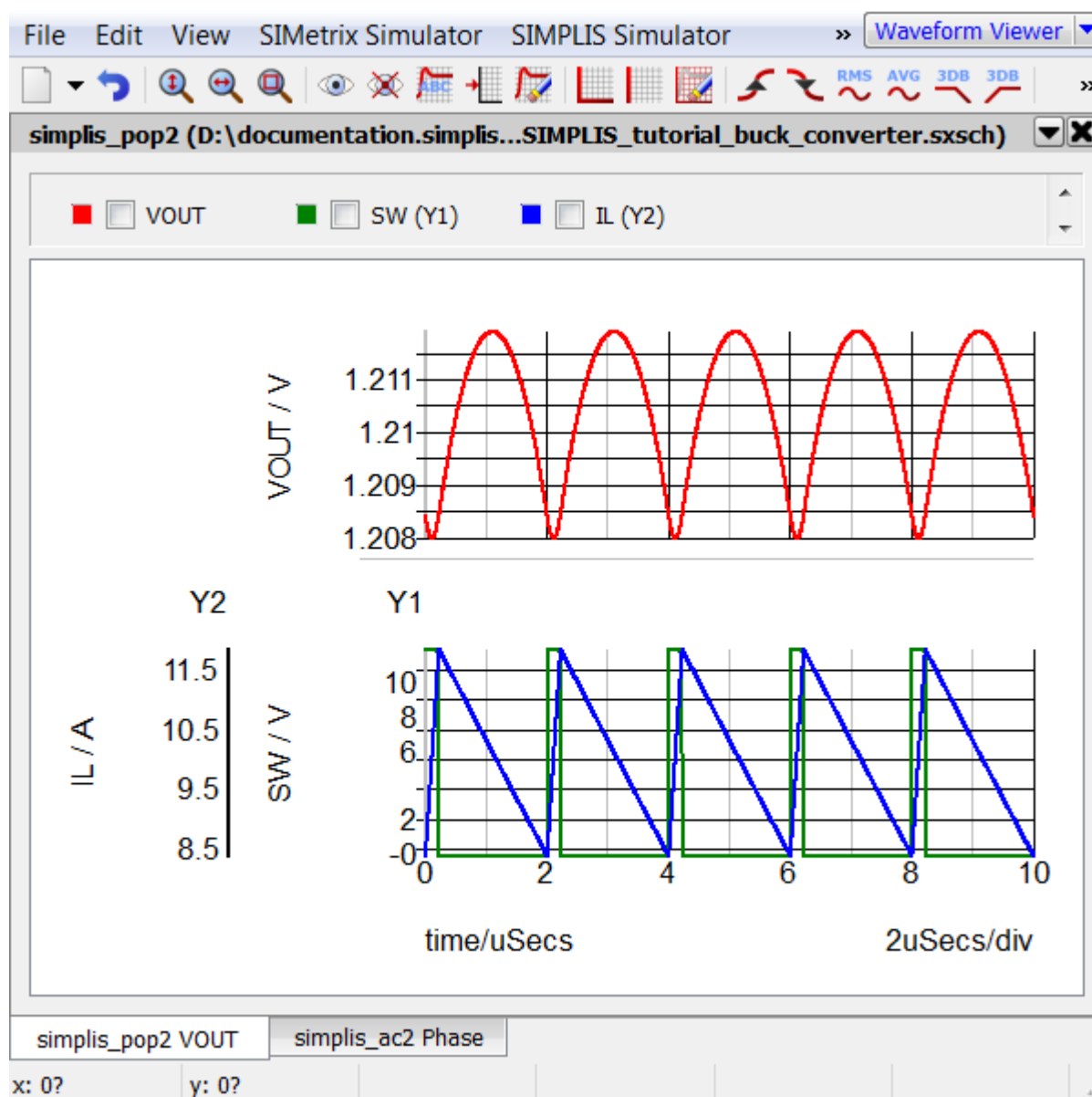
To separate the curves onto grids with one curve per grid, follow these steps:

1. 開いている波形ビューワーを閉じ、回路図エディターに戻り、**VOUT** プロブをダブルクリックします。
結果: Edit Probe ダイアログボックスが表示されます。
2. **Axis type** の部分で **Use separate grid** を選択し、**Ok** をクリックします。

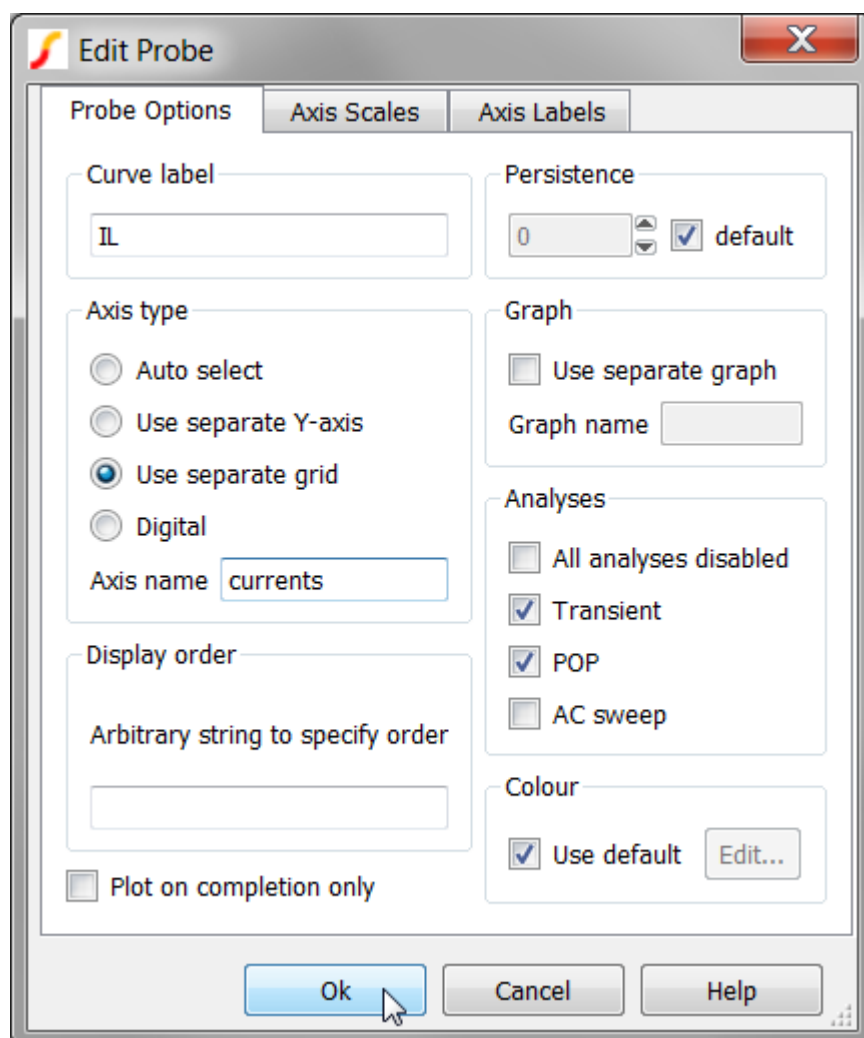


3. **F9** を押し、シミュレーションを再度実行します。
4. 波形ビューワーで **simplis_pop...** タブをクリックします。

結果： 出力電圧、**VOUT** が新しいグリッド上に表示され、波形に合うよう自動的に拡大縮小されます。



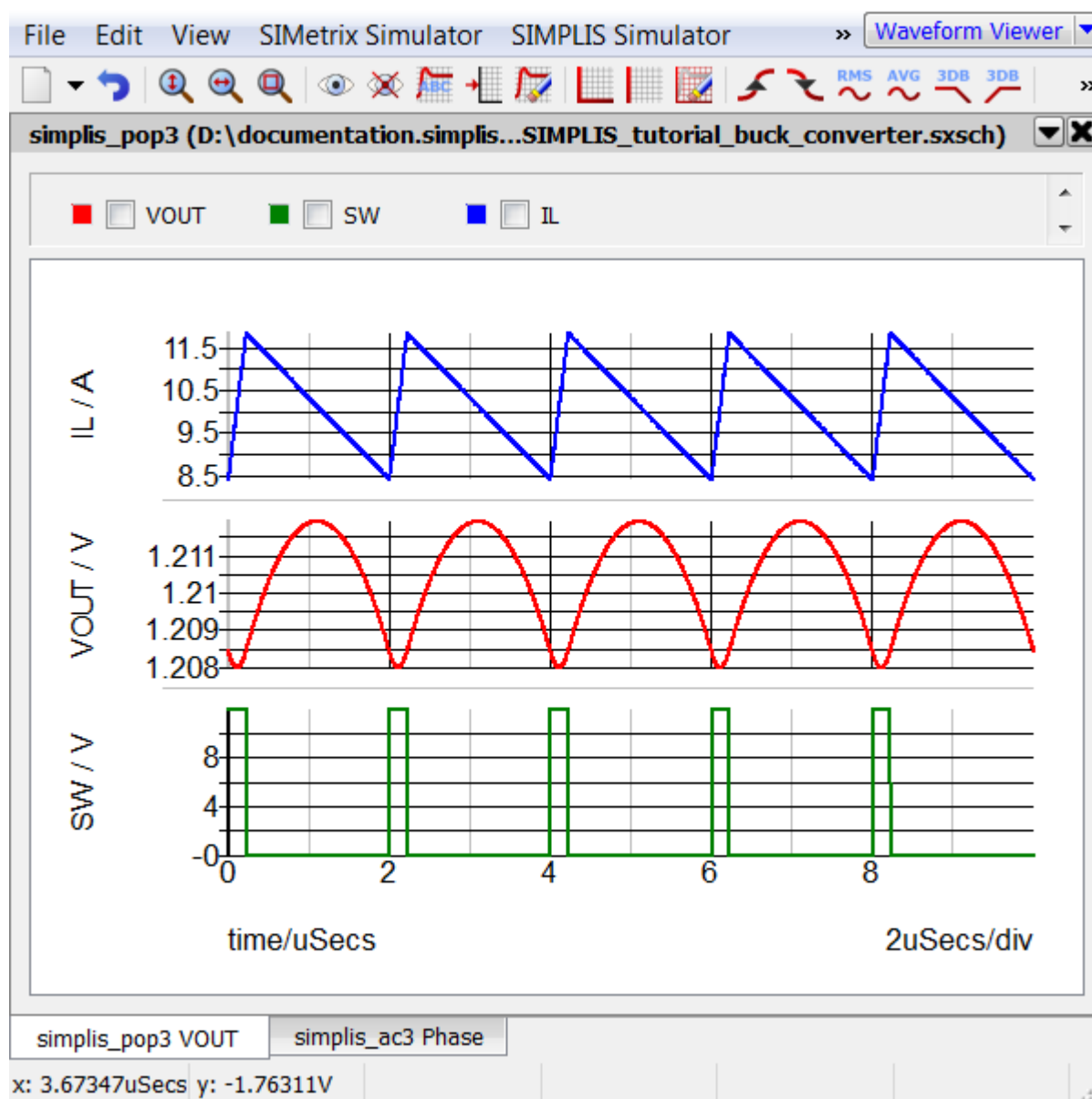
5. 波形ビューワーを閉じ、回路図エディターに戻り、**IL** プローブをダブルクリックします。
6. **Axis type** の部分で **Use separate grid** を選択します。
7. **Axis name** 欄に **currents** と入力します。



 注：Axis name を入力することにより、インダクターの曲線が VOUT と同じグリッドに表示されないようになります。

8. **F9** を押し、シミュレーションを再度実行します。

結果： 下記の通り、それぞれの曲線が別々のグリッド上に表示されます。



[▲ back to top](#)

4.1.2 回路図を保存する

回路図を保存するには、次の手順に従います:

1. メニューバーから **File > Save Schematic As...** を選択します。
2. 回路図を保存する作業ディレクトリーを指定します。
3. ファイル名は **7_my_buck_converter.sxsch** とします。

この状態で保存された回路図は、こちらからダウンロードできます: [7 SIMPLIS tutorial buck_converter.sxsch](#).

In the next section, you will change the order of the grids.

[▲ back to top](#)

Collected links

[3.3 Set up an AC Analysis](#)

[7 SIMPLIS tutorial buck_converter.sxsch](#)



4.2 グラフのグリッドを並び替える

This section of the tutorial deals with the order of the grids in the waveform viewer.

In this topic:

- [Key Concepts](#)
- [What You Will Learn](#)
- [4.2.1 Change the Grid Order](#)
- [4.2.2 Save your schematic](#)

Key Concepts

This topic addresses the following key concepts:

- The default grid, which in this case contains the SW curve, is always the lowest grid in the waveform viewer. The default grid cannot be deleted, but it can be empty; that is it has no curves plotted on it.
- Grids other than the default grid are ordered from top to bottom by alphanumerically sorting the curve names on the grid. The order of the grids up to this point in the tutorial is determined by the curve names: IL and VOUT, with the IL grid appearing above the VOUT grid. You can change this order by assigning an arbitrary string to the probe symbol, the sorting algorithm will use this string in place of the curve name.

What You Will Learn

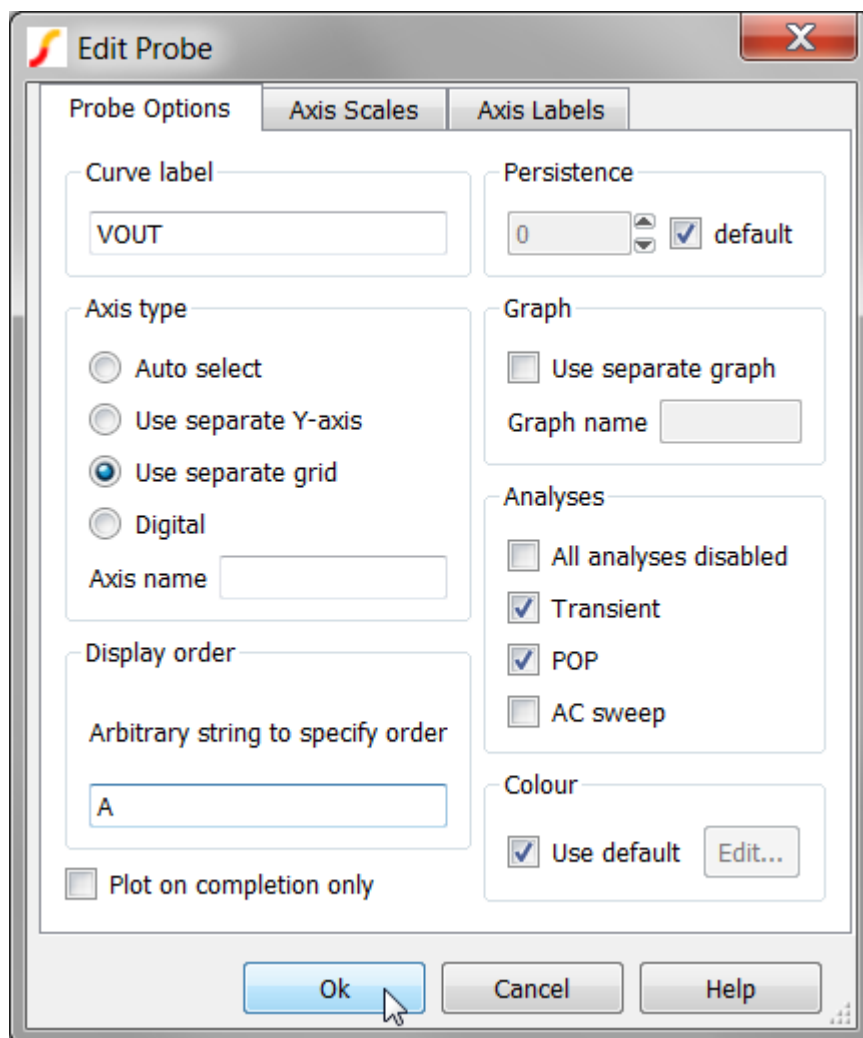
In this topic, you will learn the following:

- How to change the vertical order of graph grids from:
 1. IL
 2. VOUT
 3. SWto
 1. VOUT
 2. IL
 3. SW

4.2.1 グリッドの順序を変える

グリッドの順序を変えるには、セクション [4.1 Output Curves to Separate Grids](#) の [7 SIMPLIS tutorial buck converter](#) の例を使い、次の手順に従います：

1. 波形ビューワーを閉じ、回路図エディターに戻り、**VOUT** プローブをダブルクリックします。
2. 左下隅にある **Display order** の **Arbitrary string to specify order** の下のテキストボックスに **A** と入力します。

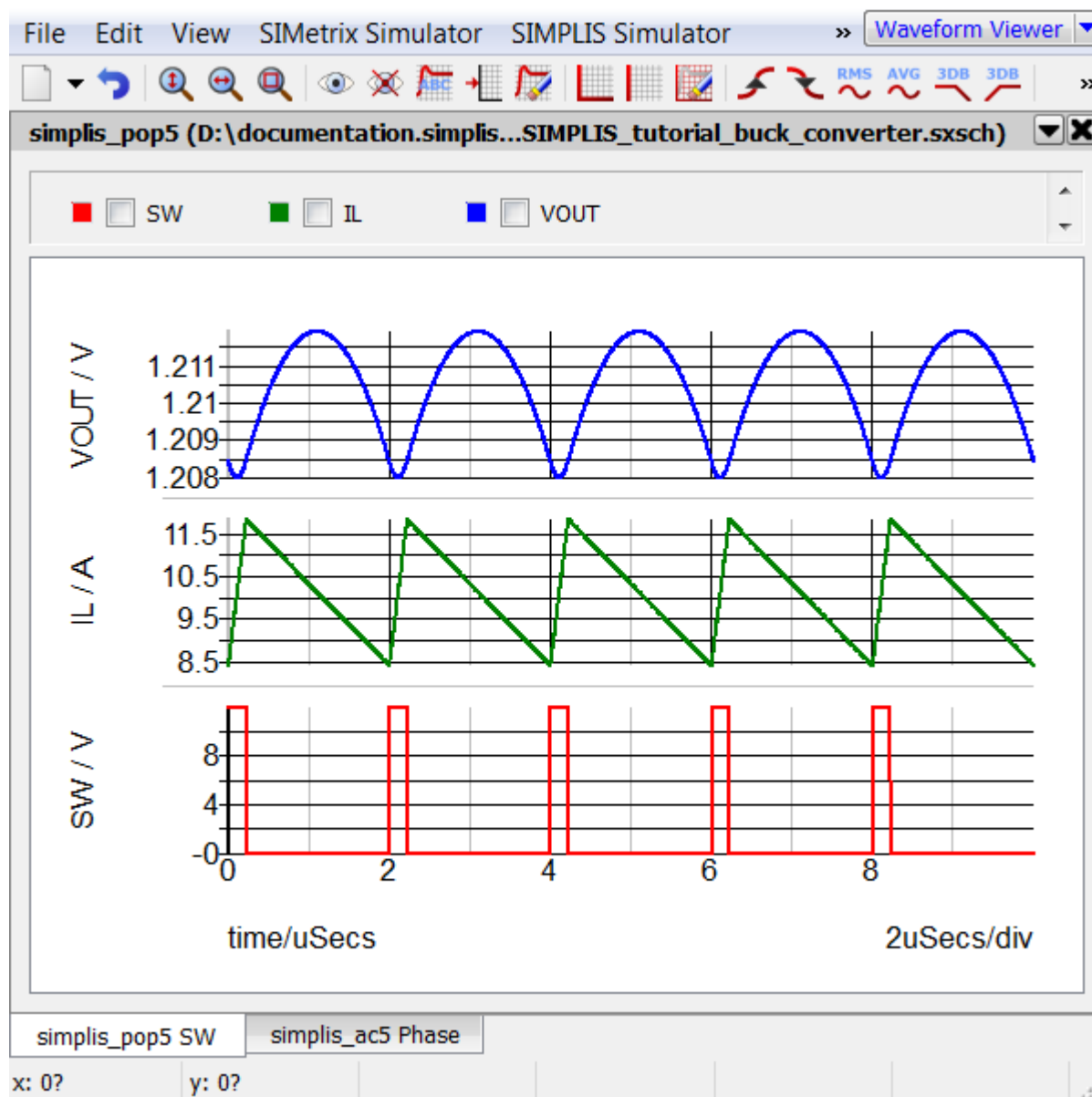


 **Note:** Since the SW curve is on the default grid, you do not need to specify the order for the SW probe.

 **Note:** Any string which is alphanumerically less than **IL** will move the VOUT grid above the IL grid. The sort algorithm is case insensitive.

3. **Ok** をクリックし、**F9** を押してシミュレーションを再度実行します。

*結果：新しい波形ビューワーでは曲線の順序が変わっており、**IL** の上に**VOUT** が表示されています。*



4.2.2 回路図を保存する

回路図を保存するには、次の手順に従います:

1. **File > Save Schematic As...**を選択します。
2. 回路図を保存する作業ディレクトリーを指定します。
3. ファイル名は **8_my_buck_converter.sxsch** とします。

この状態で保存された回路図は、こちらからダウンロードできます: [8 SIMPLIS tutorial buck_converter.sxsch](#).

[▲ back to top](#)

Collected links

- [4.1 Separate the Pop Waveforms](#)
- [8_SIMPLIS_tutorial_buck_converter.sxsch](#)

4.3 波形の持続性を定義する

This section of the tutorial describes how many simulation runs of data are displayed on the waveform viewer. In SIMetrix/SIMPLIS this is controlled by the persistence value, which has both a global setting and a local setting on each probe. Which persistence value is used can be set on a probe-by-probe basis.

In this topic:

- [Key Concepts](#)
- [What You Will Learn](#)
- [4.3.1 Change the Global Persistence Value](#)
- [4.3.2 Change the Persistence on a Probe](#)

Key Concepts

This topic addresses the following key concepts:

- The waveform persistence determines how many simulation runs are displayed on the waveform viewer for each probe.
- The global persistence value is defined in the **Graph/Probe/Data Analysis** section of the **General Options** dialog. The default value is 0.
- A persistence value of 0 means that all simulation runs are displayed. This can be cumbersome when you run many simulations sequentially without closing the waveform viewer.

What You Will Learn

In this topic, you will learn the following:

- How to change the global value of the waveform persistence.
- How to change the waveform persistence value for an individual probe.

4.3.1 Change the Global Persistence Value

デフォルト値の 0 を変更するには、次の手順に従います:

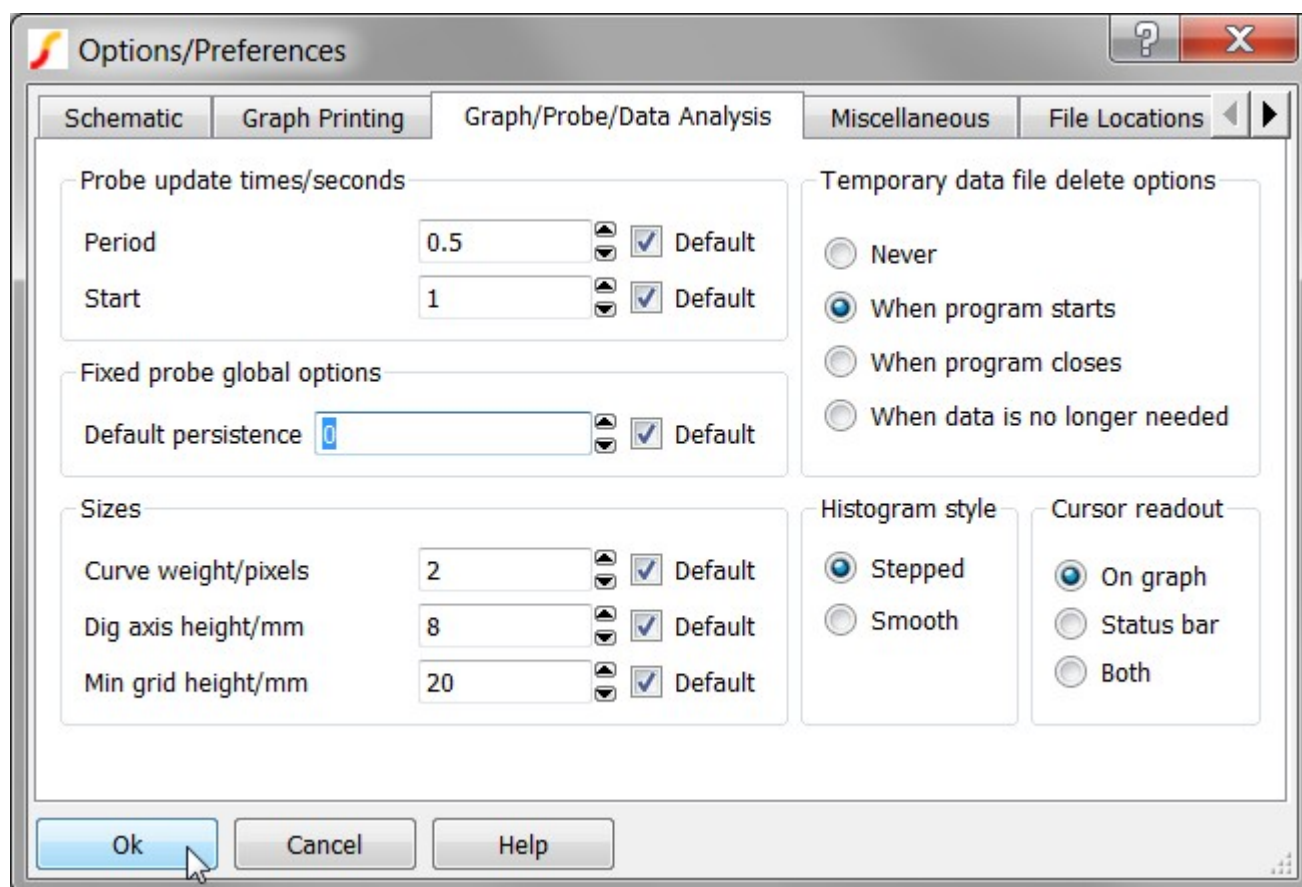
1. メニューバーから **File > Options > General...** を選択します。

結果 : Options/Preferences ダイアログボックスが表示され、Schematic オプションのタブが表示されます。

2. **Graph/Probe/Data Analysis** タブをクリックします。
3. 左側の上から 2 番目の **Fixed probe global options** の部分で、Default Persistence の横にある矢印ボタンを使って数字を変更します。

または

0 を選択し、希望する数字（保持したい回数）を入力します。



4. **Ok** をクリックします。

4.3.2 Change the Persistence on a Probe

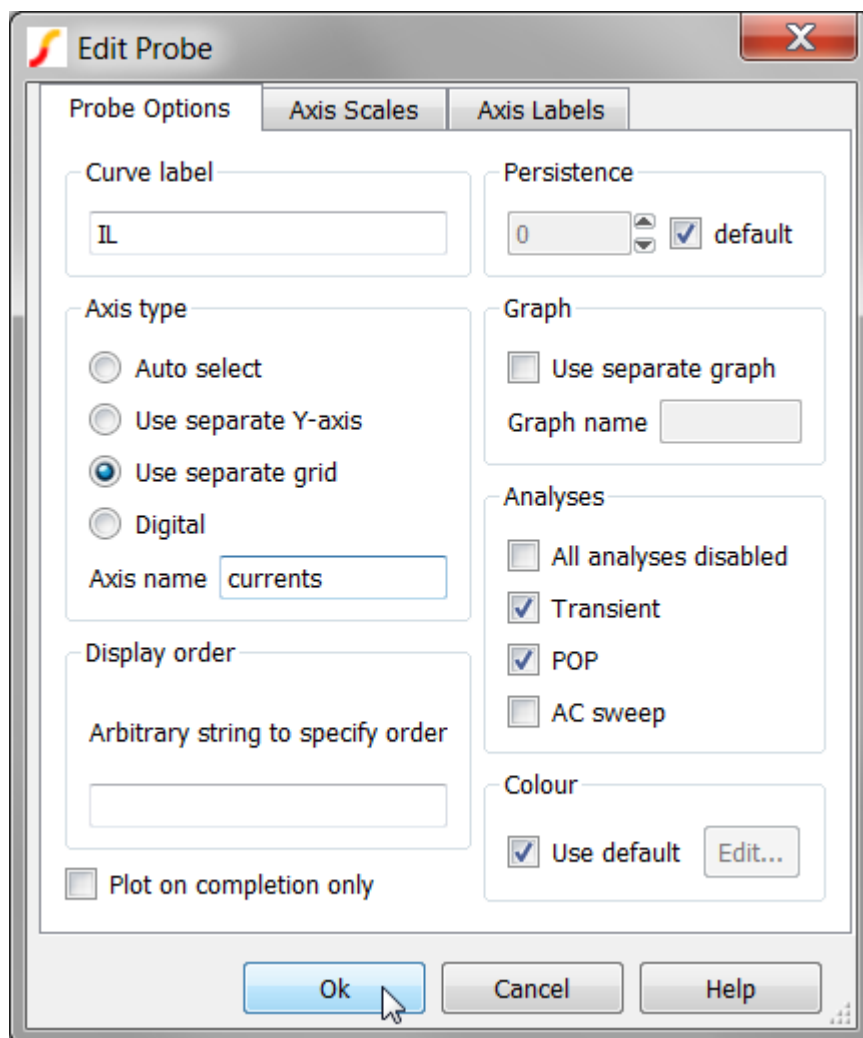
In the upper right corner of the Edit Probe dialog is a **Persistence** field, which normally has the default checkbox checked. On each probe you can specify the persistence or use the global persistence value defined in the **General Options** dialog. This flexibility allows you to customize how many curves are displayed on the waveform viewer, on a probe by probe basis.

For most applications using the default persistence makes the most sense, which allows a single control on the **General Options** dialog to manage the persistence of all probes.

To change the waveform persistence for a individual probe, follow these steps:

1. In the schematic editor, double click the **IL** probe.

Result: The Edit Probe dialog opens with default checked in the Persistence section as shown below.



2. In the **Persistence** section, uncheck **default**, and then use the arrow buttons to increase the number.

or

Select the 0 and type the number of runs you want to retain.

3. Click **Ok**.

[▲ back to top](#)



4.4 出力曲線にスカラー測定値を追加する

This section of the tutorial describes how to add measurements to curves in the waveform viewer.

In this topic:

- [Key Concepts](#)
- [What You Will Learn](#)
- [4.4.1 Add Measurements to the Curve](#)
- [4.4.2 View All Available Measurements](#)

Key Concepts

This topic addresses the following key concepts:

- SIMetrix/SIMPLIS has a powerful set of built-in measurements which can be applied to any curve.
- The **Measure** menu in the waveform viewer gives you access to the curve measurements.

What You Will Learn

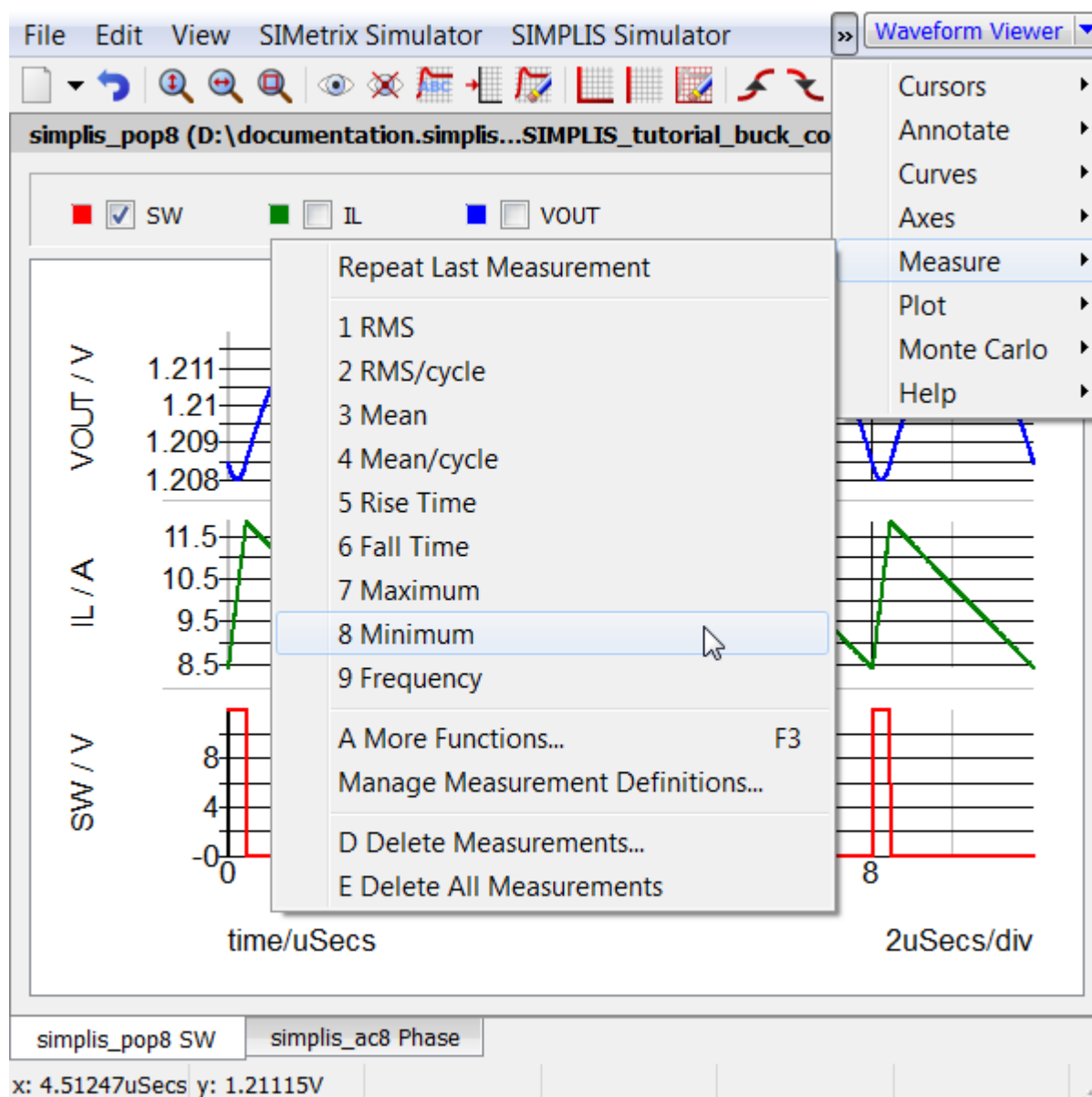
In this topic, you will learn the following:

- How to add measurements to a curve.
- How to access all of the measurements and functions available in the waveform viewer.

4.4.1 曲線に測定値を追加する

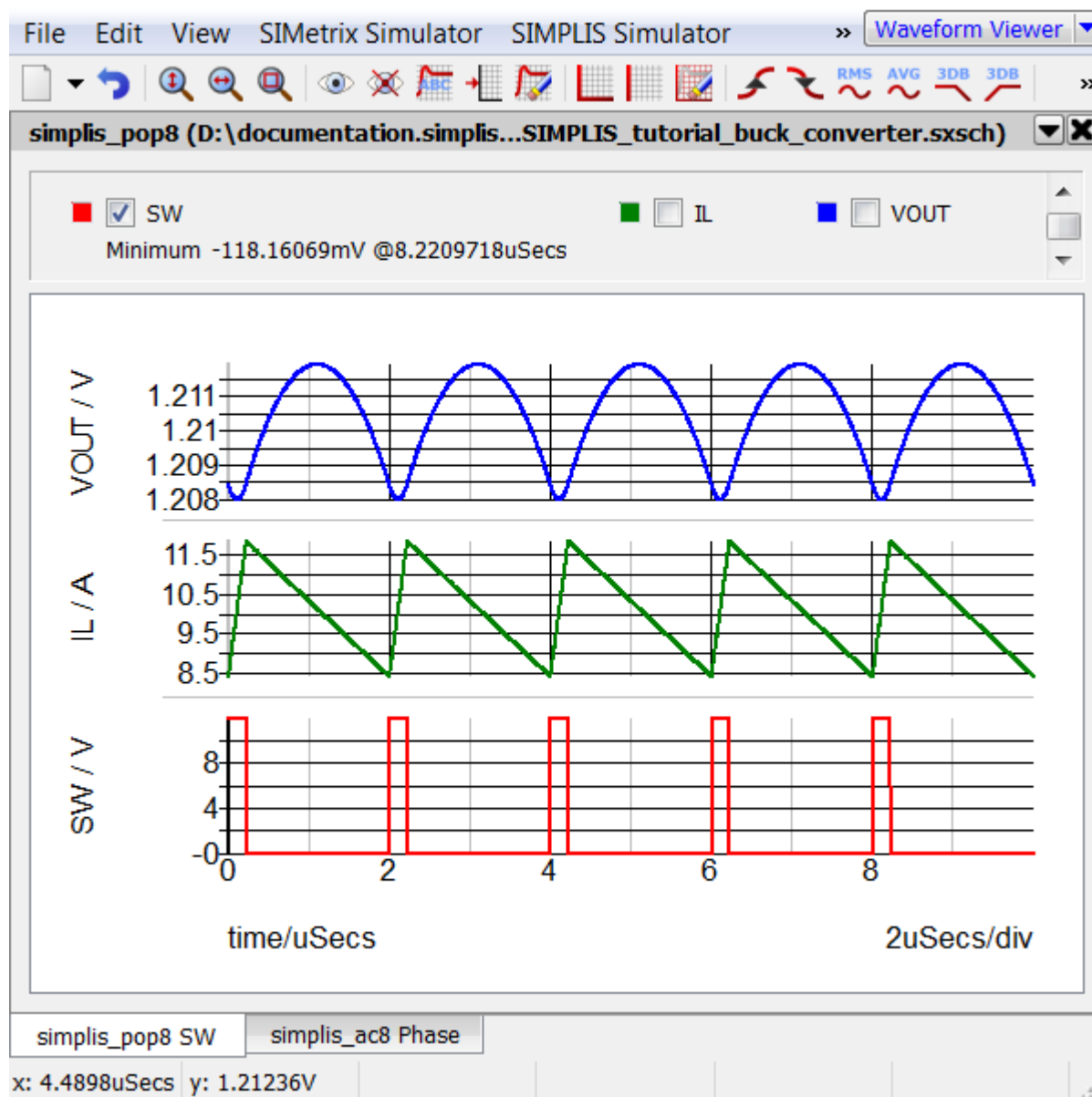
グラフに測定値を追加するには、次の手順に従います：

1. 回路図エディターから、**F9** をクリックしてシミュレーションを実行します。
2. 左上隅の波形ビューワーツールバーのすぐ下にある **SW waveform** にチェックを入れます。
3. 波形ビューワのメニューから **Measure > Minimum** を選択します。



結果：先程 SW にチェックを入れた場所の下にあるグラフの説明部分に、SW 電圧波形の最低値が表示されます。

Note: To see the complete label, you may have to adjust the splitter bar between the label and the tabs for the graphs.



4.4.2 使用可能なすべての測定値を確認する

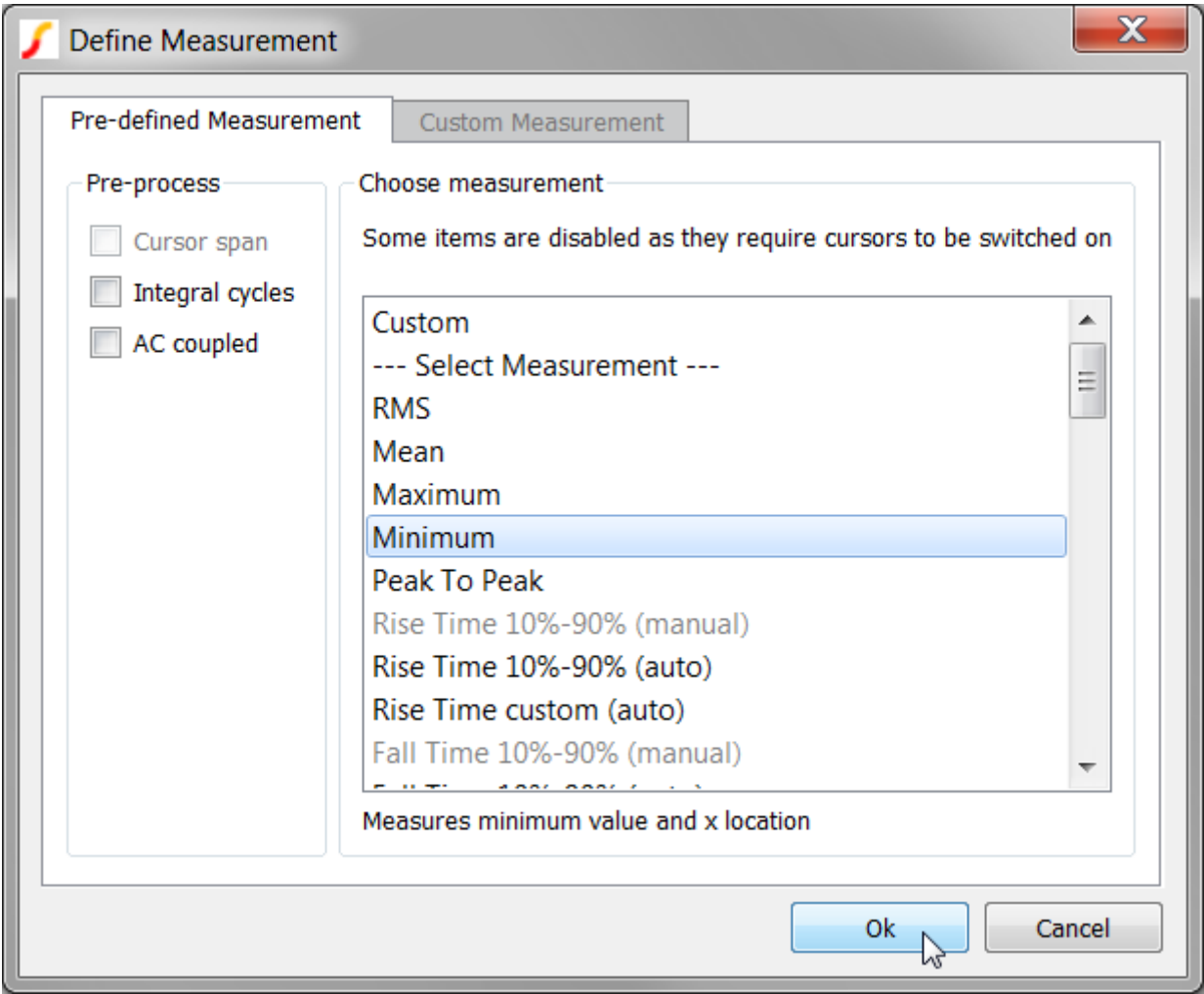
使用できる測定の一覧を見るには、次のいずれかを行います：

- 波形ビューワーのメニューバーから、**Measure** をクリックし、**A More Functions...** を選択します。

または

キーボードの **F3** キーを押します。

結果： *Define Measurement* ダイアログが表示され、より複雑な測定値やユーザー定義の測定値をグラフデータウィンドウに追加することができます。



Define Measurement ダイアログについて詳しく知りたい場合には、[SIMetrix User Manual](#) の第 9 章をご参照ください。



4.5 Add Scalar Measurements to Probes

This section of the tutorial describes how to automatically make the measurements described in [4.4 Add Scalar Measurements to Output Curves](#) after a simulation completes by adding the measurements to the fixed probe symbols.

Any built-in or user defined measurement can be added to the fixed probes on the schematic. Measurements added to the probes are then automatically executed after each simulation run with the scalar measurement output to the waveform viewer and optionally to the schematic. The full version of SIMetrix/SIMPLIS has this feature enabled by default. This feature is available in SIMetrix/SIMPLIS Intro for a time-limited period using the **Unlock Features** option.

In this topic:

- [Key Concepts](#)
- [What You Will Learn](#)
- [4.5.1 SIMetrix/SIMPLIS Intro Users : Unlock Probe Measurements](#)
- [4.5.2 Adding Fixed Probe Measurements](#)
- [4.5.3 Saving your Schematic](#)

Key Concepts

This topic addresses the following key concepts:

- The built-in measurements can be added to any fixed probe.
- Measurements assigned to probes will automatically be made after the simulation completes.
- One or more measurements can be added to multiple probes by selecting the probes and running the context menu **Edit / Add Measurement...**

What You Will Learn

In this topic, you will learn the following:

- How to add measurements to fixed probes.
- How to add the same set of measurements to multiple probes.

4.5.1 SIMetrix/SIMPLIS イントロ版ユーザー：プローブ測定機能のロックを解除する

プローブ測定機能のロックを解除するには、次の手順に従います：

1. メニューバーから **Help > Unlock Features...** を選択します。

結果：Get Unlock Code ウィンドウが表示されます。

2. **Unlock** ボタンをクリックします。

結果：「この機能のロックが解除されました。SIMetrix/SIMPLIS を再起動してください」という内容のメッセージが表示されます。

3. SIMetrix/SIMPLIS を一旦閉じ、再起動します。

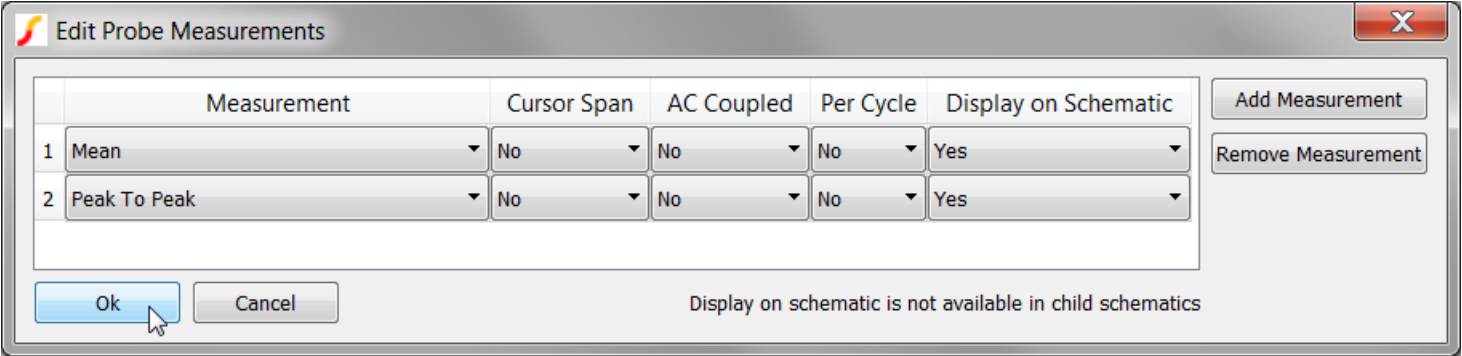
4.5.2 固定プローブ測定を追加する

回路図に固定プローブ測定を追加するためには、前回の回路図を再度開いた後に、次の手順を行います。回路図のコピーはこちらよりダウンロード可能です：[8 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](#).

1. 回路図エディターで、**VOUT** というラベルのついたプローブをクリックし、右クリックで **Edit / Add Measurement** を選択します。（または、キーボードのショートカット **Ctrl+Alt+F7** を使います。）

結果：Edit Probe Measurements ダイアログが表示されます。

2. 一列目の **Select Measurement** ドロップダウンリストから **Mean** を選択します。
3. 右側の **Add Measurement** ボタンをクリックし、2 つ目の測定値として **Peak To Peak** を選択します。
4. 5 列目の **Display on Schematic** で、**Mean** と **Peak to Peak** の両方について **Yes** を選択します。
5. ダイアログの下の方にある **Ok** をクリックし、プローブの測定値を保存します。



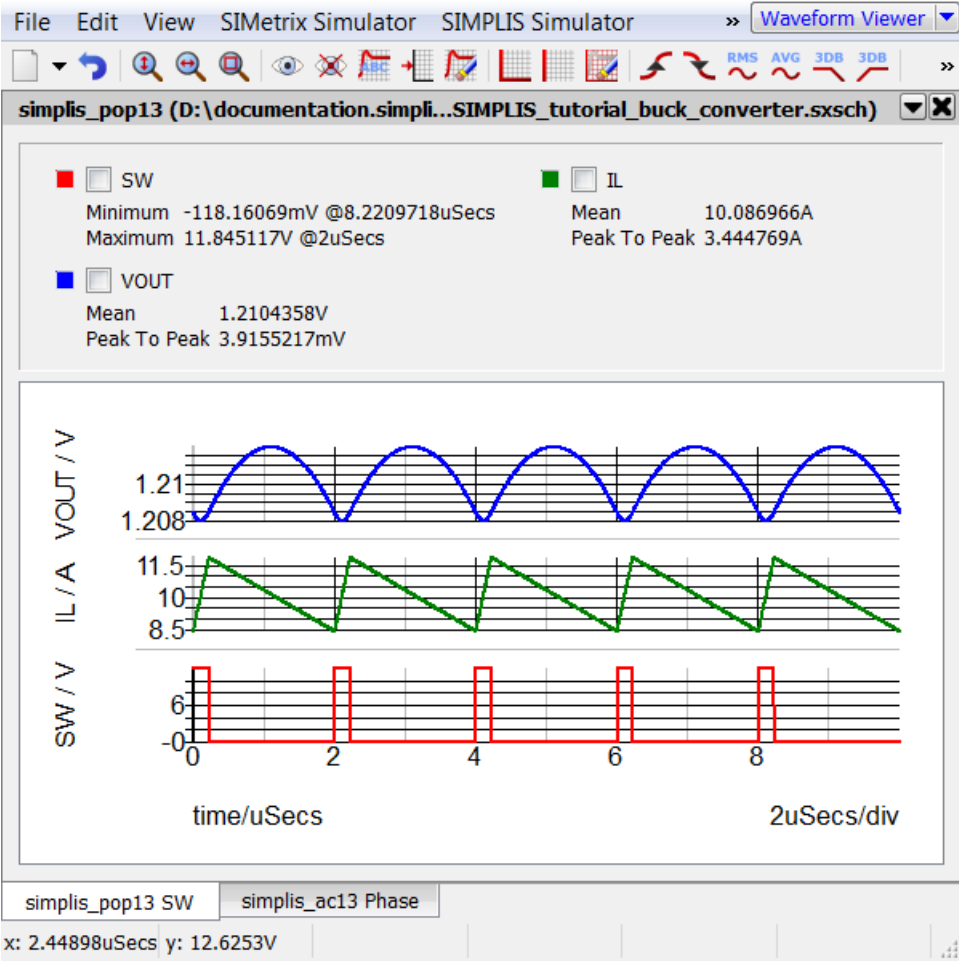
6. 回路図エディターで、**IL** プローブを選択して **Ctrl+Alt+F7** を押し、上記の手順 2 と 3 を繰り返して、**Mean** と **Peak to Peak** を追加し、**Ok** をクリックします。

 注：Display on Schematic のデフォルトは No であるため、IL プローブと SW プローブについては追加で変更を行う必要はありません。

7. 回路図エディターに戻り、**SW** プローブをクリックして **Ctrl+Alt+F7** を押し、**Minimum** と **Maximum** を追加し、**Ok** をクリックします。

8. 波形ビューワーが開いている場合には閉じ、**F9** を押してシミュレーションを実行します。

結果： 回路図に **VOUT** 曲線の測定値が反映され、グラフは **3** つの曲線すべてについて測定値が表示された状態になります。すべての測定値が見えるようにするためには、波形ビューワーのタブのすぐ上にあるスプリッターバーをドラッグする必要があるかもしれません。



 **ヒント：** いくつかのプローブに対して同じ測定を追加したい場合には、複数のプローブを選択して測定を追加することができます。その場合、Edit Probe Measurements ダイアログに入力した内容は、選択したプローブそれぞれに適用されます。

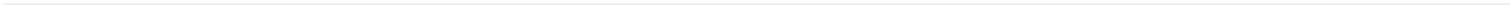
4.5.3 回路図を保存する

回路図を保存するには、次の手順に従います：

- 1. **File > Save Schematic As...** を選択します。
- 2. 回路図を保存する作業ディレクトリーを指定します。
- 3. ファイル名は **9_my_buck_converter.sxsch** とします。

この状態で保存された回路図は、こちらからダウンロードできます：[9 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](#).

[▲ back to top](#)



© 2015 simplistechnologies.com | All Rights Reserved

In this chapter you will learn:

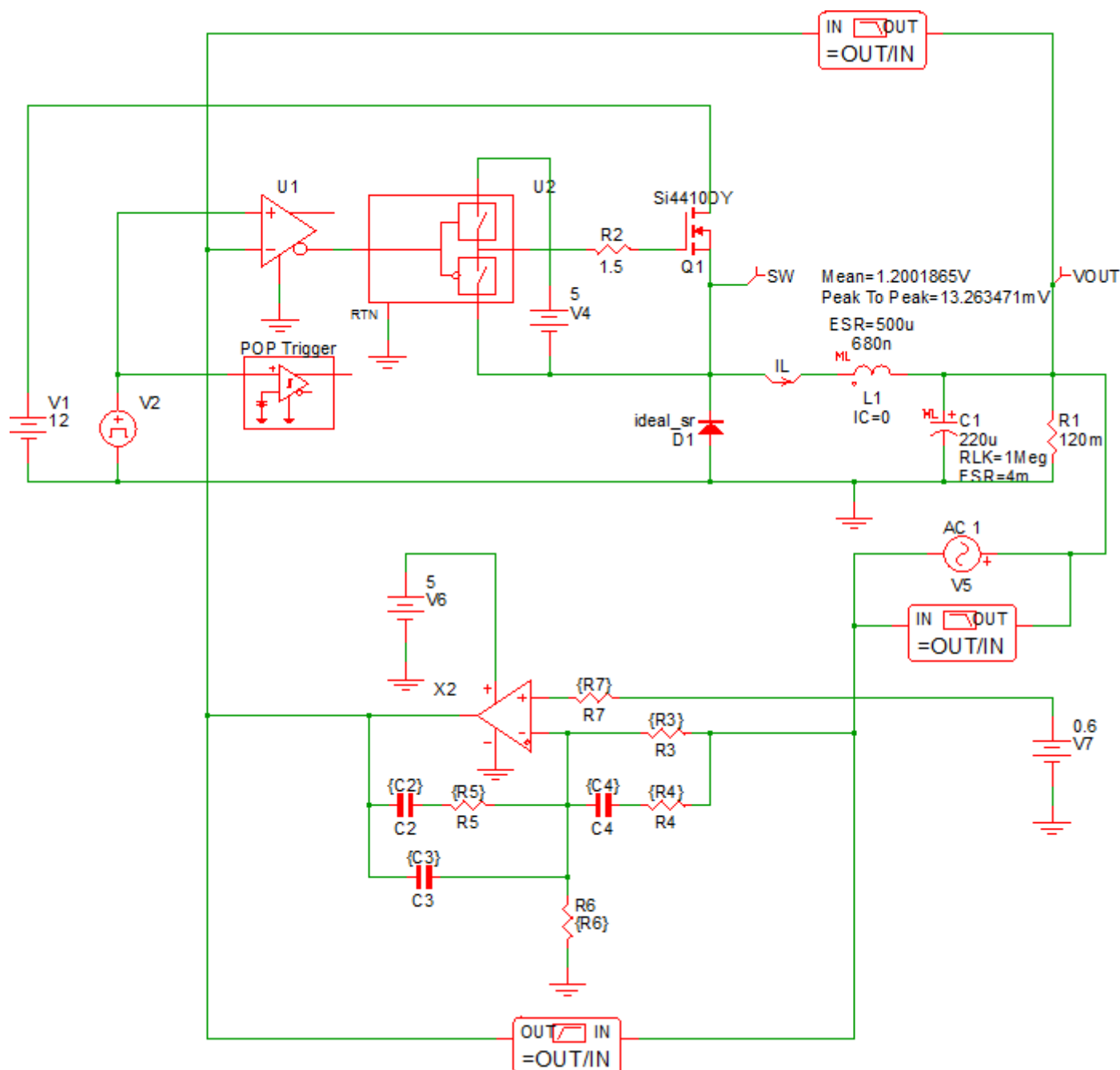
- How to parameterize symbols using expressions and the schematic command (F11) window.
- How to select a POP Trigger schematic node.
- How SIMPLIS runs all three analyses in a specific order - POP, AC, Transient.
- How to add hierarchy to your design.
- How to determine the evaluated values for parameter statements.

- [5.1 Building a Compensator](#)
- [5.2 Set up a Load Transient Simulation](#)
- [5.3 Creating Hierarchical Schematics](#)
- [5.4 Using Schematic Components](#)

5.1 Building a Compensator

In this section of the tutorial, you will build a standard 3-pole, 2-zero voltage-mode compensator using a built-in parameterized OpAmp and passive components.

After finishing this section, you will have a complete closed-loop synchronous buck switching power supply model like the following:



In this topic:

- [Key Concepts](#)
- [What You Will Learn](#)
- [5.1.1 Build the Compensator Schematic](#)
- [5.1.2 Assign Parameterized Values to Symbols](#)
- [5.1.3 Connect the Compensator to the Power Stage](#)
- [5.3.4 Disable Power Stage and Compensator Bode Plot Probes](#)

- [5.1.5 Enter Parameter Values in the Command \(F11\) Window](#)
- [5.1.6 Try to Simulate the Design](#)
- [5.1.7 Move the POP Trigger Gate](#)
- [5.1.8 Verify Loop Stability](#)
- [5.1.9 Save your Schematic](#)

Key Concepts

This topic addresses the following key concepts:

- Symbols can use variables, or parameterized values, that help with schematic reuse. For maximum flexibility, the compensator schematic uses parameterized values.
- Each schematic has a command (F11) window which stores analysis directives and variable statements. The text in the F11 window is included in the simulation deck.
- Parameter values can be assigned or calculated in the command (F11) window.

What You Will Learn

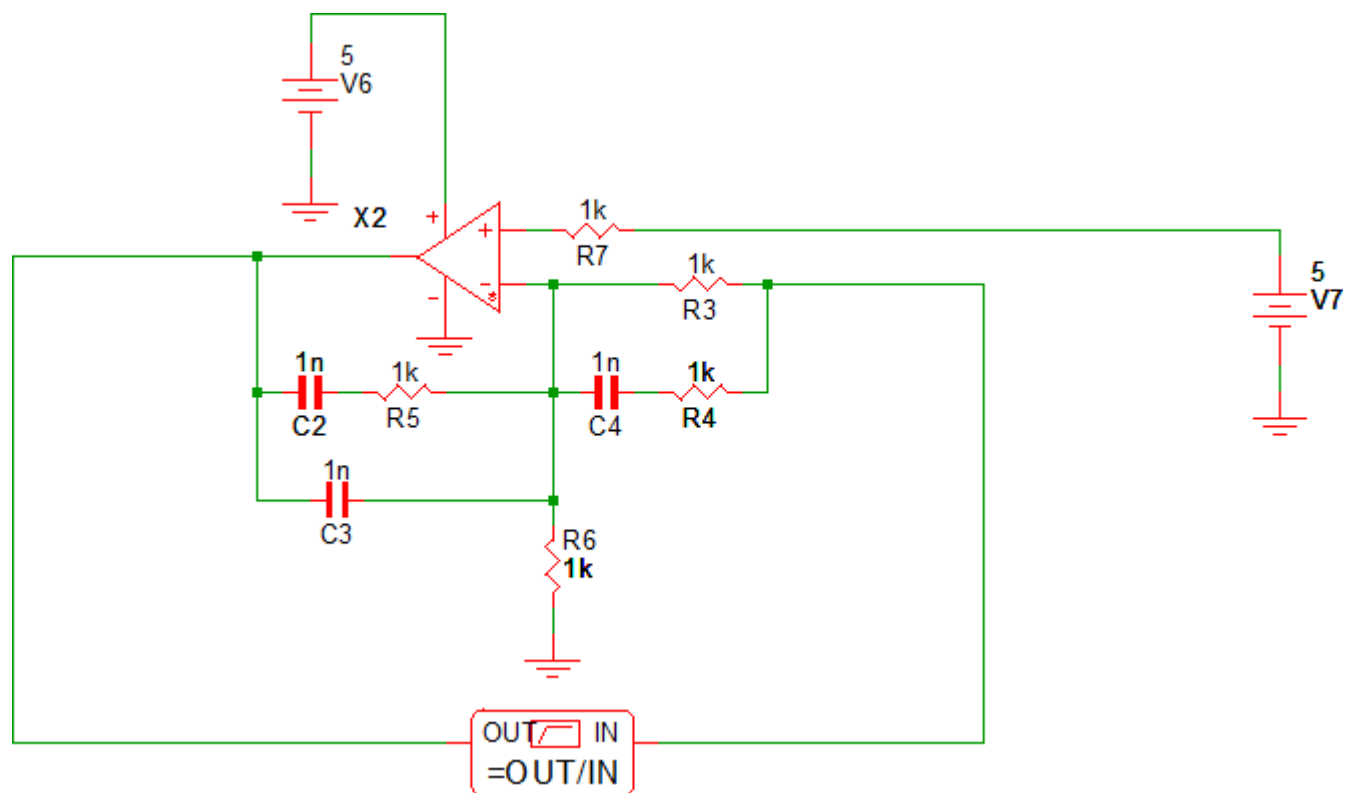
- How to parameterize symbols using expressions and the F11 window.
- Why, based on how POP works, choosing the switching node as the periodic input in section [3.2 Set up a POP Analysis](#) was not the ideal choice.
- How to solve a common POP simulation error by selecting a different POP trigger schematic node.
- How to add parameter debug statements to the F11 window.

5.1.1 Build the Compensator Schematic

In the previous chapters you learned how to place symbols using the parts selector and keyboard shortcuts. Starting with the [9 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](#) schematic, use the following table of shortcuts and the illustration below as a guide to place the compensator symbols in the area below the power stage.

Keyboard Shortcuts for Placing Compensator Symbols

Symbol	Parts Selector Location	Keyboard Shortcut
Multi-Level Parameterized Opamp (Version 8.0+)	Analog Functions	none
Resistor	Commonly Used Parts	4
Capacitor (Ideal)	Commonly Used Parts	C
Power Supply	Commonly Used Parts	V
Bode Plot Probe (Gain/Phase) w/ Measurements	Commonly Used Parts	none



[▲ back to top](#)

5.1.2 Assign Parameterized Values to Symbols

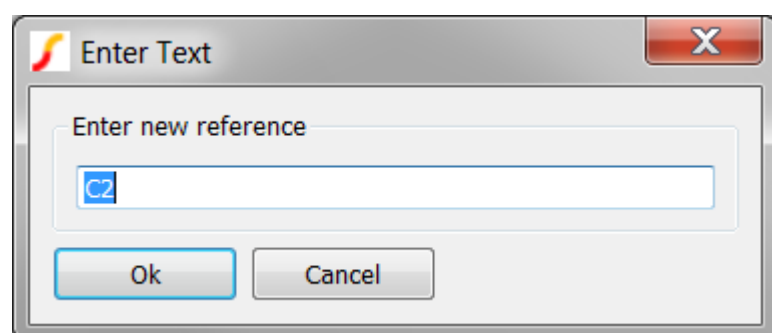
After you have the drawn your schematic, double check that each resistor and capacitor has the reference designator as shown in the schematic above.

Important: The design procedure uses these reference designators to calculate values; therefore, they must match the illustration, or the calculated values will be assigned to the wrong components.

If your reference designators differ from those in the above image, follow these steps to change them:

1. Select the resistor or capacitor symbol.
2. Press **F8**.

Result: A dialog opens for you to enter a new reference designator.



3. Enter the reference designator as shown in the schematic above.

When you assign parameterized values, you enclose the parameter name or expression in curly braces. In this tutorial you will use the reference designator text as the parameter name, for example, the parameterized value for the resistor **R3** will be **{R3}**.

CAUTION:

Both the opening **{** and closing curly brace **}** characters are required. Without an opening and closing curly brace, the

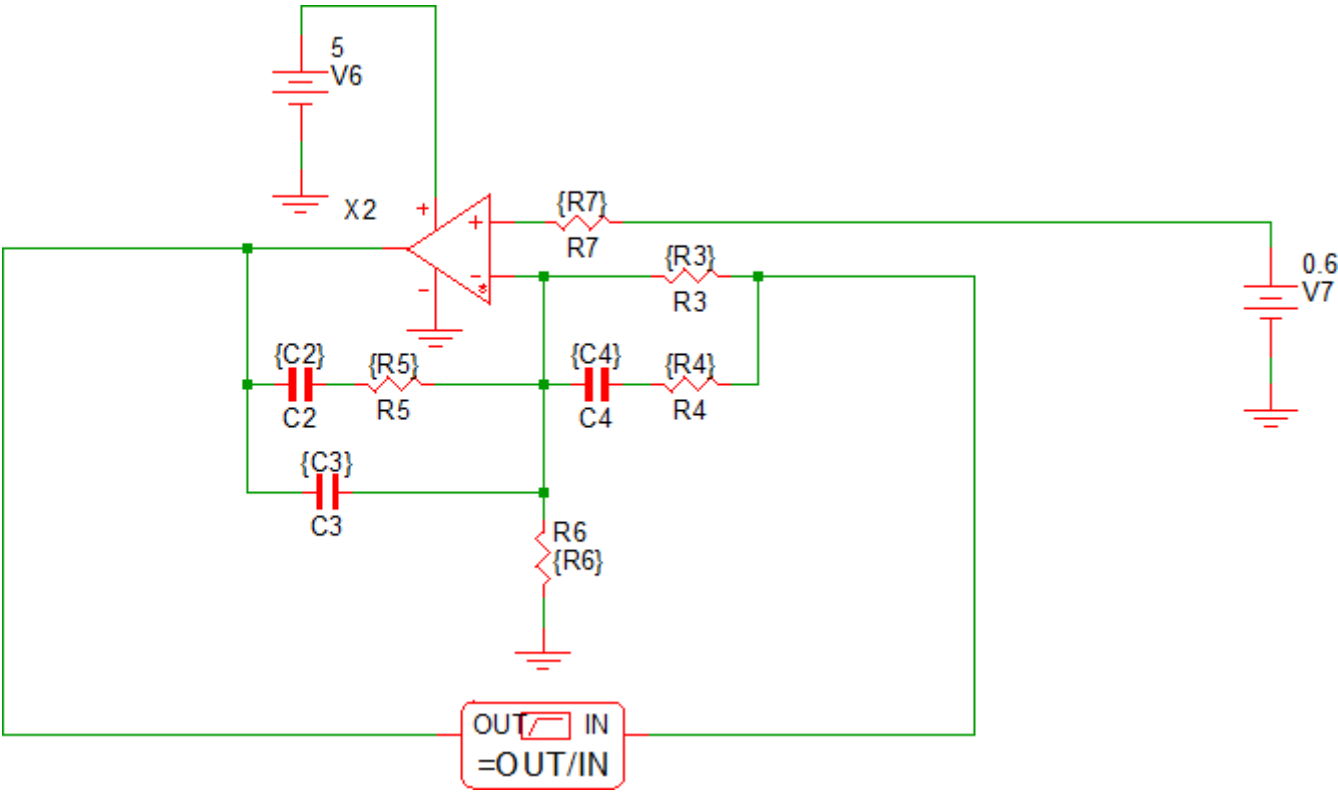
expression will not evaluate correctly and the circuit will not simulate.

To assign parameterized values to the resistor and capacitor symbols, follow these steps:

1. Double click on each resistor or capacitor and change the value of the resistance or capacitance to a parameterized value.
2. For the DC source **V7**, change the value to **0.6V**.

 **Tip:** This will be the reference voltage for the compensator.

Your compensator schematic should now look like the following:



[▲ back to top](#)

5.1.3 Connect the Compensator to the Power Stage

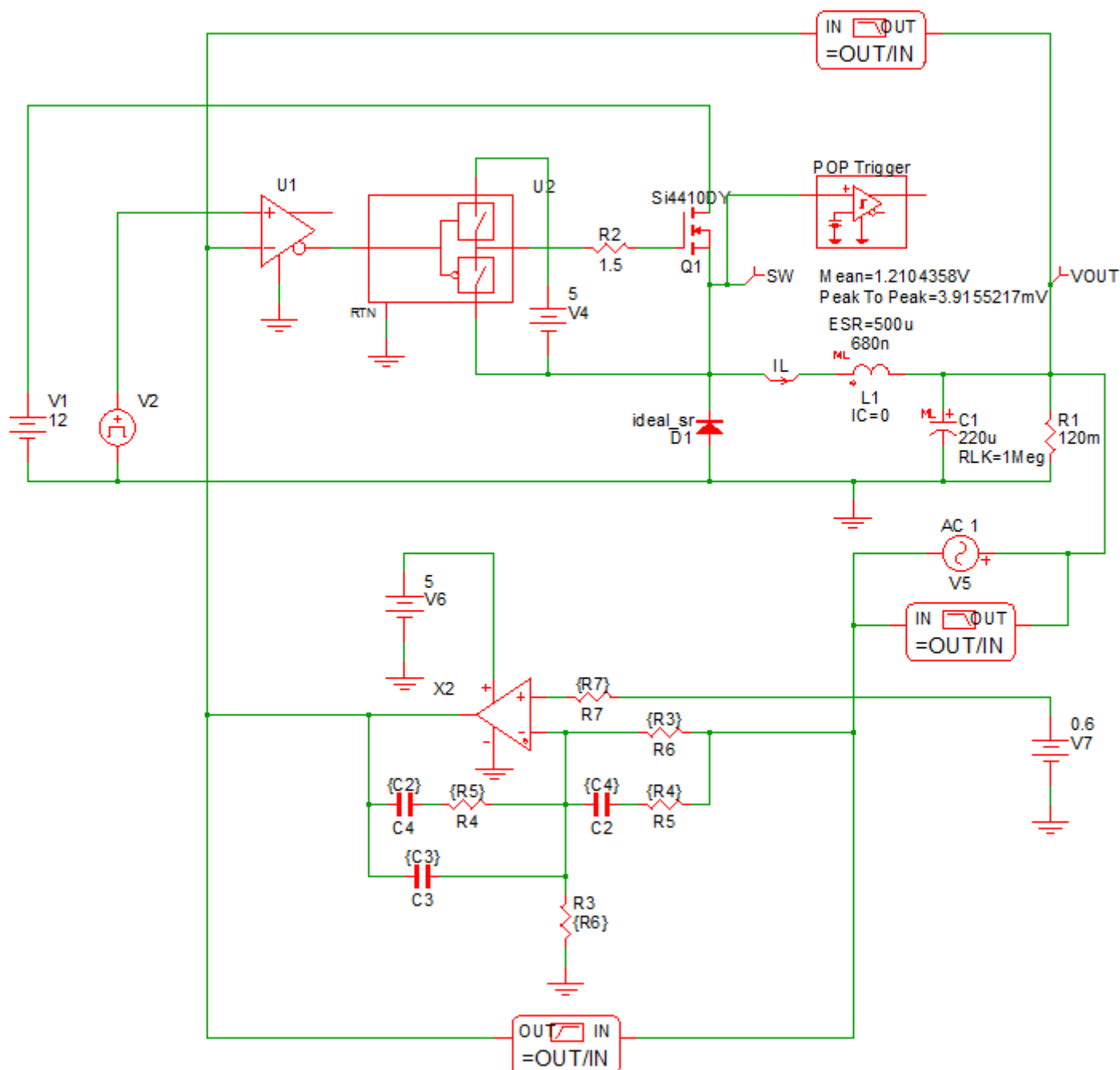
You will now close the feedback loop by connecting the compensator to the power stage.

To connect the compensator to the power stage, follow these steps:

1. Delete **V3**, the DC source which was the duty cycle control.
2. Delete the wires connecting the AC source **V5** to the comparator **U1** input.
3. Move **V5** to the right side of the schematic.

 **Tip:** This will become the loop perturbation source.

4. Wire the compensator to the power stage as shown in the image below:



5. Add the Bode Plot Probe across the **V5** source.

Tip: This will probe the loop gain of the converter.

6. The output capacitor in this design has no ESR. In the previous simulations this was not an issue, but when the compensator is added, the ESR plays a role in calculating the compensator values. To include an ESR on this multi-level capacitor, double-click on **C1** and set the model level to **2**, and assign an ESR of **4mΩ**.

Result: The ESR value of 4m is displayed on the schematic. This indicates the model for the capacitor now includes an ESR.

5.3.4 Disable Power Stage and Compensator Bode Plot Probes

You now have three Bode Plot probes on the schematic and each probe will output a gain and phase curve with the default names of **Gain** and **Phase**. This will make a confusing graph with six curves, so in the next procedure, you will turn off the compensator and power stage probes as well as rename the curves generated by these probes. This will allow easy debugging later when you might want to see the power stage or compensator bode plots.

To turn off the probes and rename the output curves, follow these steps:

1. Double click on the compensator bode plot probe and rename the gain and phase curves to **Compensator Gain** and **Compensator Phase**.
2. Check **Disable gain/phase** at the top of the dialog, and then click **Ok**.
3. Double click on the power stage bode plot probe and rename the gain and phase curves to **Plant Gain** and **Plant Phase**.
4. Check **Disable gain/phase** at the top of the dialog, and then click **Ok**.

[▲ back to top](#)

5.1.5 Enter Parameter Values in the Command (F11) Window

In [5.1.3 Connect the Compensator to the Power Stage](#), you added parameterized values to each symbol by enclosing the variable name in curly braces { }. The curly braces form an expression and tell the program to stop and evaluate the expression; in this case, the program simply substitutes the value for the variables **R3**, **C2**, etc. in place of the expressions, **{R3}**, **{C2}**, etc. At this point in the design, the values for the compensator are not defined. Next, you will assign values to these variables using .VAR statements.

Explaining how to compensate a 3-Pole/2-Zero voltage mode compensator is beyond the scope of this tutorial. Instead of dwelling on the compensator design process, which was taken from this [application note](#), you will copy the text lines from this tutorial and paste them into the F11 window of the schematic. The .VAR lines are actually an entire design process taken from a spreadsheet and turned into variable statements.

To enter the parameter values in the F11 window, follow these steps.

1. Copy all text in the box below:

```
*****
*** Circuit Specifications ***
*****

.VAR VIN = 12
.VAR VRAMP = 1
.VAR L = 680n
.VAR C = 220u
.VAR VOUT = 1.2
.VAR VREF = 0.6
.VAR ESR = 4m
.VAR FXOVER = 80k
.VAR FSW = 500k

*** Calculated Parameters - not used in calculations
.VAR FLC = 13012.31
.VAR FESR = 180857.89

.SUBCKT ONE_PULSE_SOURCE_I 1 2 vars: _T_RISE=0 _T_FALL=0 _DELAY=0 _V1=0 _V2=1 _PWIDTH=1u
.NODE_MAP P 1
.NODE_MAP N 2
{'*'} _DELAY : {_DELAY}
{'*'} _T_RISE : {_T_RISE}
{'*'} _PWIDTH : {_PWIDTH}
I1 1 2 PWL NSEG=4 X0=0 Y0={_V1} X1={_DELAY} Y1={_V1} X2={_DELAY+_T_RISE} Y2={_V2}
X3={_DELAY+_T_RISE+_PWIDTH} Y3={_V2} X4={_DELAY+_T_RISE+_PWIDTH+_T_FALL} Y4={_V1}
.ENDS

*****
*** Compensator Design - Find desired poles and zeros ***
*****

*** Place Second Zero at LC
.VAR FZ2 = {1/(2*pi*SQRT(L*C))}

*** Place First Zero at 75% of FZ2
```

```
.VAR FZ1 = {0.75*FZ2}
```

2. In the schematic editor, press **F11**.

Result: The command (F11) window opens at the bottom of the schematic.

3. Drag the splitter bar between the command (F11) window and the schematic so the command window and the schematic take approximately 50% of the vertical space.
4. In the command window, scroll down past the last statement, which is the

```
.SIMULATOR DEFAULT
```

line and use the keyboard shortcut **Ctrl+V** to paste the copied text in the F11 window below the .SIMULATOR DEFAULT line.

Four sections of text are used to parameterize the compensator.

- The first section has design values. The statement `.VAR VIN = 12` assigns the number 12 to the variable **VIN**. Although **VIN** is not used in the schematic, it is used in calculations for other variables. You could add **VIN** to the input source as a parameter **{VIN}**.
- The second section has the calculations for the compensator poles and zeros. The statement `.VAR FZ2 = {1/(2*pi*SQR(L*C))}` assigns a value to the **FZ2** variable. In this case, the value is the resonant frequency of the converter.

 **Note:** The variables **L** and **C**, as well as the global constant **pi** and the built-in function **SQR()**, are used in the expression on the right side of the equals sign. The variables **L** and **C** must be assigned before they are used; therefore, the order of the lines in the window is important. The global constant **pi** and the function **SQR()** are defined by the program.

- The third section calculates the actual resistor and capacitor values from the first section of the circuit specifications and the poles and zeros from the second section.
- The final section has debug statements. These statements output comments to the simulation deck so you can easily debug which values are being used in the compensator. For example, the values in the design will output the following to the deck file:

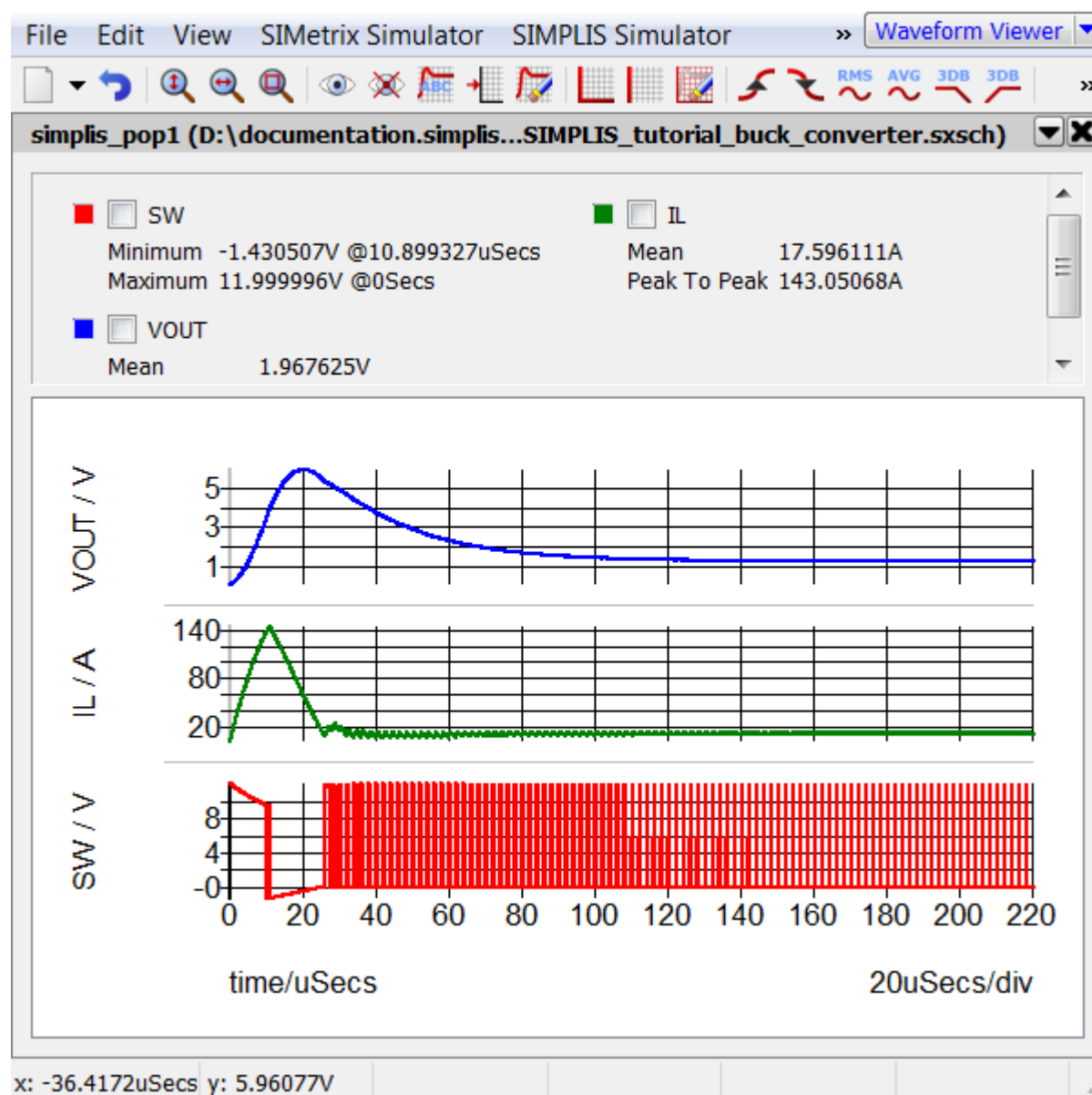
```
* FZ2 : 13012.3080131893
* FZ1 : 9759.23100989196
* FP2 : 375000
* FP3 : 250000
* C4 : 2.2e-009
* R4 : 192.915082535631
* R3 : 5366.67940889006
* R6 : 5366.67940889006
* R5 : 2848.37733925475
* C2 : 5.72541552580328e-009
* C3 : 2.23502610975745e-010
```

A schematic saved at this state can be downloaded here: [10 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](http://www.simplistechnologies.com/documentation/simplis/simplis_tutorial/topics/5_1_building_a_compensator.sxsch).

[▲ back to top](#)

5.1.6 Try to Simulate the Design

When you try to simulate this design you will get simulation errors and SIMPLIS will automatically run a transient simulation so you can see what might be causing the errors. The waveforms will appear as follows:



Clearly, the converter reaches a steady state operating point at the end of the transient simulation so you know that the loop is stable. The cause for the simulation errors is as follows:

- The initial conditions for the converter cause the error: the output voltage starts at 0V, and the compensator attempts to correct this with several cycles of full duty cycle.
- The modulator, at this stage of development, does not have either a duty cycle limit or a current limit; as a result, the inductor current reaches a high value before the output voltage overshoots.
- After the output voltage overshoots the reference, the compensator turns off the switch for several switching periods.
- During the portion of the simulation where there is no switching, SIMPLIS is monitoring the POP Trigger and at 4.4μs, when twice the maximum POP period is reached, SIMPLIS thinks something has gone wrong with the circuit and outputs the following warning and error:

```
*** WARNINGS REPORTED BY SIMPLIS ***
*****
<<<<<<< Error Message ID: 5020 >>>>>>>
```

Periodic Operating-Pt Analysis:

```
Reaching a time duration equal to
`4.40000e-006' without registering the
triggering condition that defines
the start of a period. Check your
```

```

circuit and/or initial conditions.

*** END SIMPLIS WARNING REPORT ***

*** ERRORS REPORTED BY SIMPLIS ***
*****
<<<<<<< Error Message ID: 5039 >>>>>>>

The periodic operating point (POP) analysis
has failed to converge. AC analysis will
not be performed.

*** END SIMPLIS ERROR REPORT ***

```

Two possible solutions exist:

- **Solution 1:** Change the initial conditions of the circuit to initialize the circuit closer to the steady-state conditions. The compensator will then make small corrections to bring the converter into steady-state; the duty cycle will never reach 0 or 100%; and the POP analysis will succeed. This is a good design practice and you will probably need to do this at some point, especially with a more complex circuit.
- **Solution 2:** Change the location of the POP trigger gate so that the input signal crosses the POP trigger threshold on every switching cycle, independent of the commanded duty cycle. Since the oscillator node is independent of the commanded duty cycle, this is a good choice for the POP trigger node.

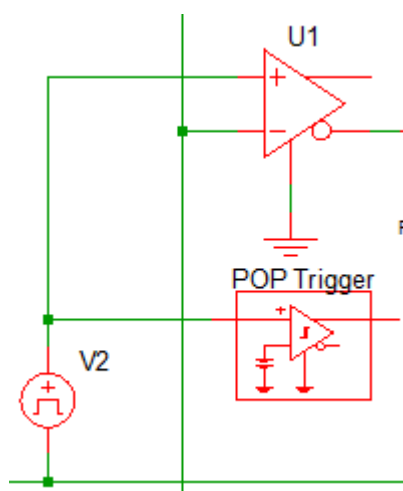
For this tutorial, you will use Solution 2, moving the POP trigger gate to the oscillator node and changing the threshold of the POP trigger gate to **0.5V**.

[▲ back to top](#)

5.1.7 Move the POP Trigger Gate

To move the POP trigger gate to the oscillator node, follow these steps:

1. Click on the POP trigger symbol to select it.
2. Press **Ctrl+X** to cut the symbol.
3. Press **Ctrl+V** to paste the symbol.
4. Place the POP trigger symbol to the right of the oscillator **V2**.



5. Double click on the POP trigger symbol, and change the **Threshold** parameter to **0.5V** and click **Ok** to save your changes.
6. Wire the input of the POP Trigger to **V2** as shown in the image.

[▲ back to top](#)

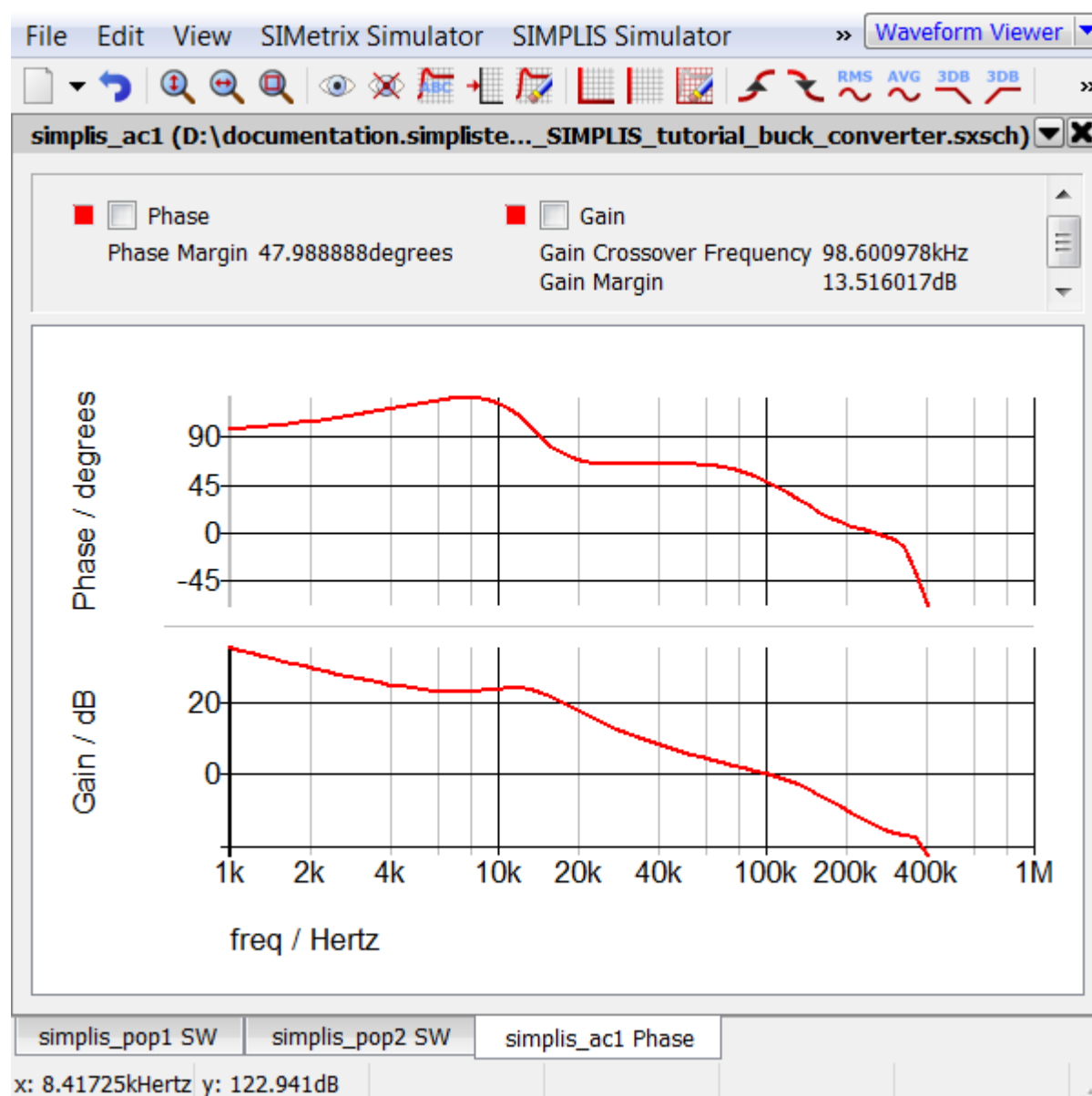
5.1.8 Verify Loop Stability

The circuit should now run the POP and AC analysis configured earlier in the tutorial; however, the maximum frequency for the AC sweep is greater than the switching frequency which will result in plots with a small scale due to the high frequency noise.

To change the maximum frequency, follow these steps:

1. From the schematic editor menu, select **Simulator > Choose Analysis....**
2. In the Sweep parameters section on the AC tab, change the Stop frequency to **400kHz**.
3. Click **Ok**, or press **F9** to run the simulation.

Result: The simulation runs without errors and the bode plot for the converter is output to the waveform viewer. The Gain Crossover Frequency is 98kHz, the Phase Margin is 48 degrees and the Gain Margin is 13.5dB.



[▲ back to top](#)

5.1.9 Save your Schematic

To save your schematic, follow these steps:

1. From the menu bar, select **File > Save Schematic As....**

- 2. Navigate to your working directory where you are saving your schematics.
- 3. Name the file **11_my_buck_converter.sxsch**.

A schematic saved at this state can be downloaded here: [11 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](#).

[▲ back to top](#)



5.2 Set up a Load Transient Simulation

In the previous section you added a compensator to the power stage, closing the control loop. The AC response of the converter shows adequate small-signal stability in terms of gain and phase margin. The next step is to verify the large-signal stability in the time domain when a load transient is applied to the converter output.

In this topic:

- [Key Concepts](#)
- [What You Will Learn](#)
- [5.2.1 Add a Pulse Current Source](#)
- [5.2.2 Set up Analysis Parameters](#)
- [5.2.3 Change POP Trigger Edge](#)
- [5.2.4 Add the AC analysis to the POP/Transient Simulation](#)
- [5.2.5 Save your Schematic](#)

Key Concepts

- SIMPLIS runs the three simulations (POP, AC, and Transient) in that order, which means that the transient simulation begins with the converter in steady state.
- When a transient simulation is run after a POP simulation:
 - Only the transient data is shown on the waveform viewer.
 - The transient simulation starts at the last data point from the POP simulation; that is, the POP simulation determines the initial conditions for the transient simulation.
- During a POP simulation, the pulse current source is held at its initial value of 0A.

What You Will Learn

- How to configure the circuit for a load transient test using a pulse current source.
- How the POP trigger conditions affect the initial conditions for the transient analysis.

5.2.1 Add a Pulse Current Source

To set up the load transient simulation, you will add a pulse current source in parallel with the load resistor and change the output load resistor value.

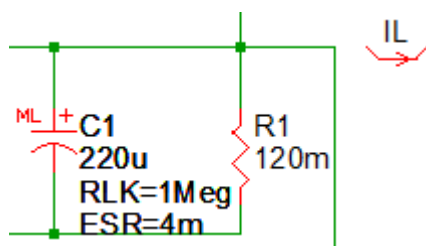
- The converter will be set to start with a 50% load (5A) provided by the load resistor; the current source will apply a 0-5A load pulse.
- The load timing will be set to apply a worst-case pulse load for this trailing edge modulator.
- The worst case pulse load timing conditions are as follows:
 - The step-up occurs when the PWM modulator turns off the high side MOSFET.
 - The step-down occurs when the PWM modulator turns the MOSFET on.
- The timing for the load transient can be set precisely during a POP/Transient analysis.

To get started, you will need the schematic from the last section. You can download a schematic at this stage here:

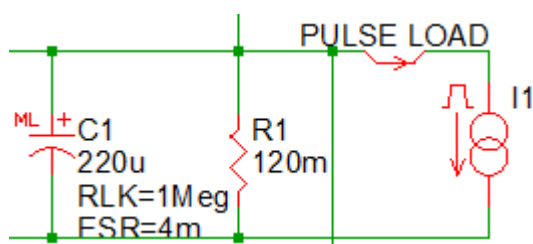
[11 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](#).

To add the pulse current source, follow these steps:

1. Select the inline current probe (**IL**); press **Ctrl+C** to make a copy; and then press **Ctrl+V** to paste the current probe to the right of the load resistor **R1** as shown below.



2. Double click on the probe, and rename the probe **PULSE LOAD**.
3. In the part selector, double click on the **Current Sources** category to expand the list.
4. Double click on **Waveform Generator - Current Source** and place that symbol to the right of the load resistor and the **PULSE LOAD** probe; and then wire it to the load resistor and current probe as shown below:



To edit the waveform generator parameters, follow these steps:

1. Double-click on **I1**.
2. On the right side of the dialog in the Wave Shape section, select the **One pulse** radio button.
3. In the left column, change *Delay* to **10.22u**.

 **Note:** This delay time is equal to 5 switching periods plus a single on-time of the MOSFET.

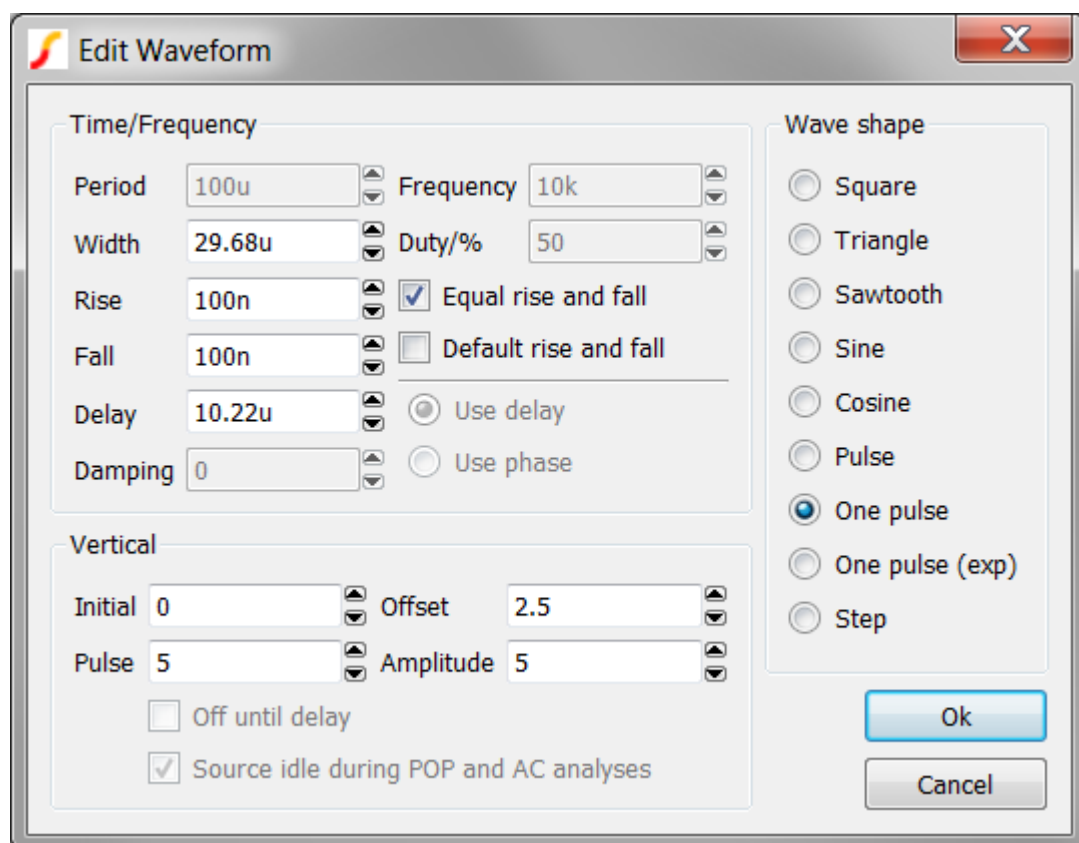
Result: This will delay the start of the load pulse until right after the switch turns off, producing the worst-case load transient.

4. In the first column near the top of the dialog, change *Width* to **29.68u**.

Result: The **Width**, when added to the **Delay** and **Rise** parameters, will delay the load step-down time to 40us.

5. Uncheck **Default rise and fall**.
6. In the **Rise** field, enter **100n** for the rise time.

Result: The fall time is automatically set to 100n. The Edit Waveform dialog should now look like this:



7. Click **Ok** to save the new parameter values.
8. Double click on the load resistor **R1**, and change the value to **240m**.

[▲ back to top](#)

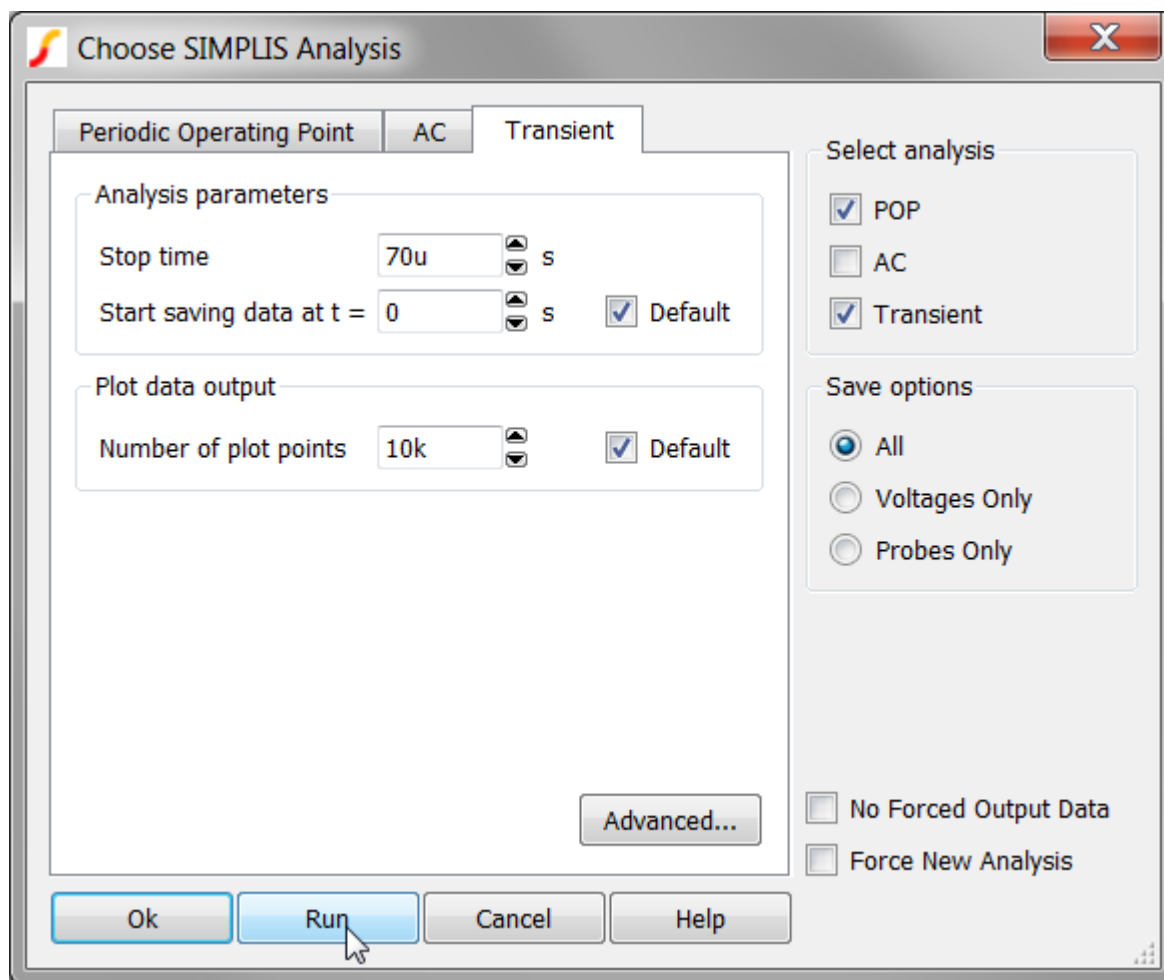
5.2.2 Set up Analysis Parameters

Now that you have configured the schematic for the pulse load test, you are ready to set the analysis parameters to run a POP and transient simulation. The stop time for this simulation is set to 70us, which is long enough to for the converter to recover from the load transient and enter steady-state.

To set the analysis parameters, follow these steps:

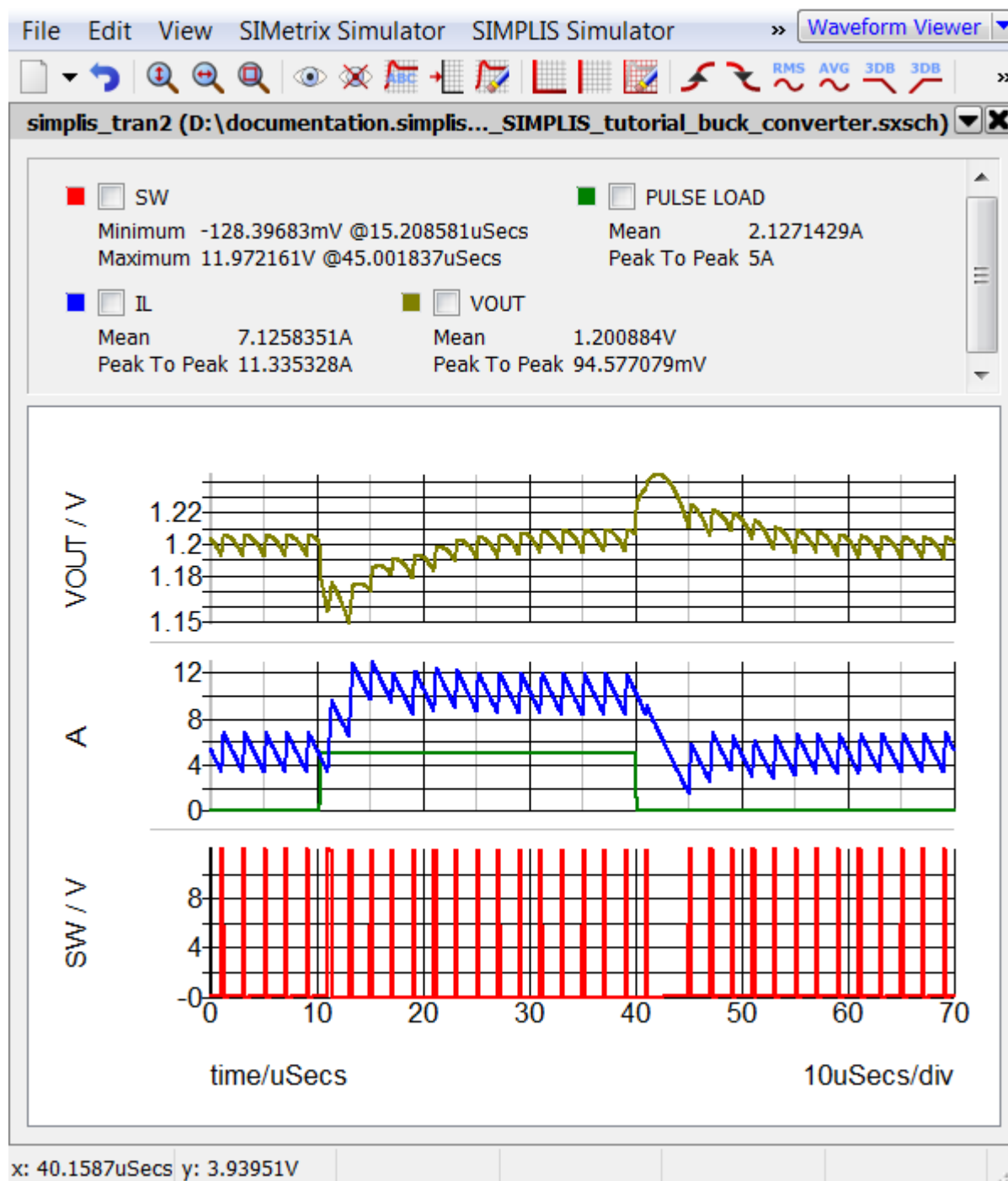
1. From the menu bar in the Schematic editor, select **Simulator > Choose Analysis...**
2. Uncheck **AC**, and check **Transient**.
3. Click the **Transient** tab.
4. In the **Analysis parameters** section, set the **Stop time** to **70u**.

Result: *The Transient tab should now look like this:*

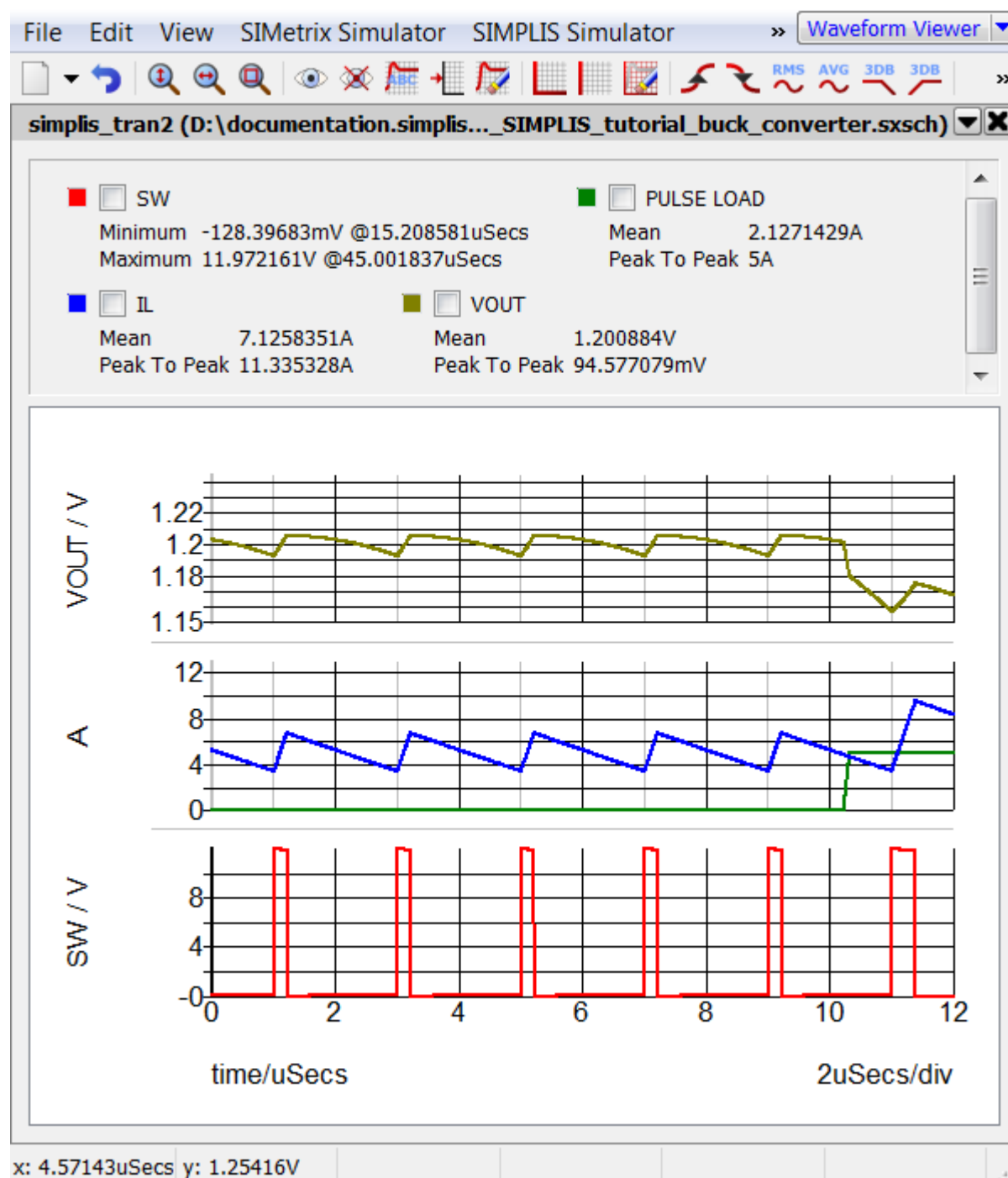


5. To run the POP/Transient simulation, click **Run** button.

Result: SIMPLIS runs POP and Transient simulations. After the POP simulation, SIMPLIS takes the initial conditions of the circuit and applies them to the Transient simulation. The Transient simulation starts with the converter in steady-state.



If you look closely at the waveforms, you will notice that the timing appears to be incorrect. While the pulse load starts rising after the delay time of 10.22 μ s as setup in the previous section, the power stage waveforms are time-shifted by approximately 1 μ s, or half the period. Below is the waveform viewer zoomed in on the first 12 μ s:



The POP trigger conditions are the reason for this apparent time shift. In [5.1 Building a Compensator](#), you moved the POP trigger gate from the switching node to the oscillator source. The POP analysis settings include an edge direction, and the default setting is to trigger on the rising edge. Since the POP Trigger is finding the 500mV level of the rising edge of the oscillator sawtooth ramp, the POP period starts at a time midway between the switching node rising edge. Since the transient analysis begins at the final time point from the POP analysis, there is a 1 μ s time shift in the transient waveforms. In the next section you will change the POP Trigger Edge and see the effect on the transient waveforms.

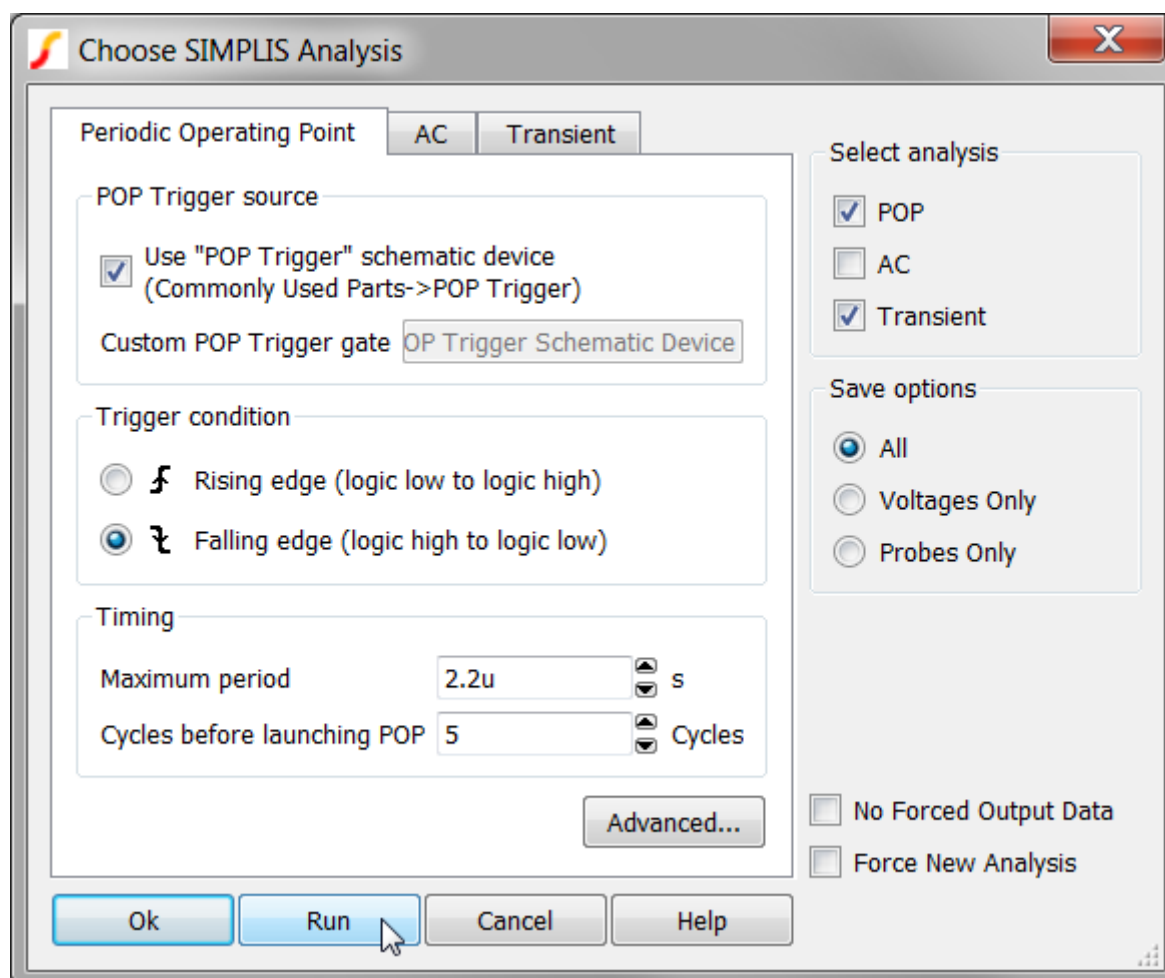
[▲ back to top](#)

5.2.3 Change POP Trigger Edge

To change the POP trigger edge, follow these steps:

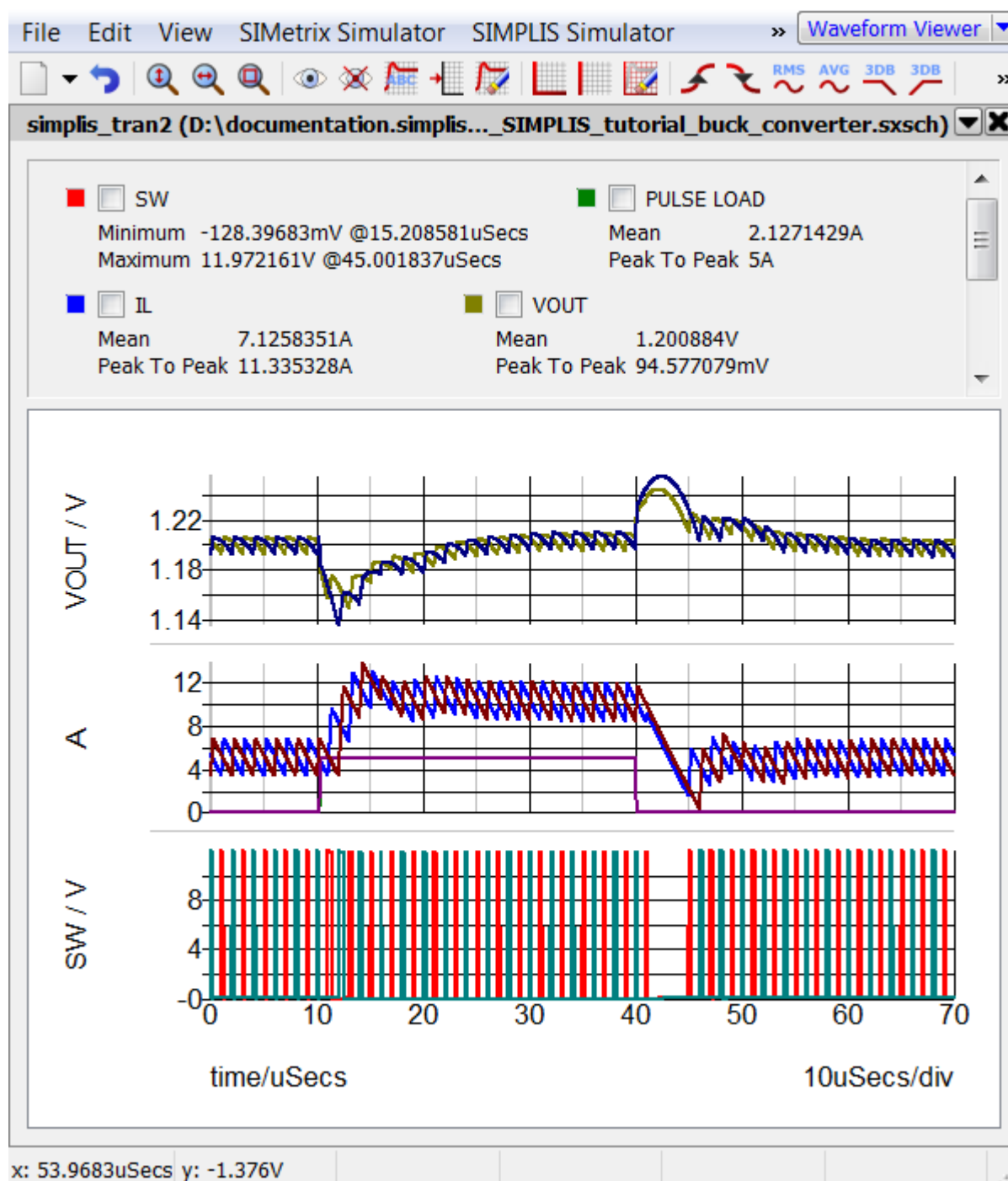
1. From the menu bar in the Schematic editor, select **Simulator > Choose Analysis....**
2. Click on the POP Tab and then select the **Falling edge (logic high to logic low)** radio button.

Result: The dialog should appear as follows:



3. Click **Run** to rerun the POP/Transient simulation.

Result: The simulation runs again, but with a falling edge POP trigger condition. Because the POP Trigger condition is set to the oscillator falling edge, the MOSFET turns on slightly after $t=0$, $t=2\mu\text{s}$, $t=4\mu\text{s}$, etc. The timing of the pulse load is now aligned with the expected switching period and, therefore, the worst-case load transient timing conditions are used.



It is now obvious how the output voltage deviation from steady-state is affected by the timing of the load pulse. The first simulation applied the pulse approximately 1us later (or earlier) in the switching period than the desired worst-case conditions.

[▲ back to top](#)

5.2.4 Add the AC analysis to the POP/Transient Simulation

In the previous section, you set up the converter to run a POP and Transient simulation. This was done for clarity because a single graph tab with the transient results is output for each simulation. You can run an AC simulation in combination with both the POP and transient simulations. SIMPLIS will run the resulting POP/AC/Transient simulations in that order.

Running a POP/AC/Transient simulation allows you to examine both the large- and small-signal behavior of the circuit.

To add the AC analysis and view both types of behavior, follow these steps:

1. From the menu bar in the Schematic editor, select **Simulator > Choose Analysis...**
2. In the Select analyses section on the right, check **AC**.
3. At the bottom of the dialog, click **Run**.

***Result:** The waveform viewer opens with two tabs: an AC tab and a transient tab. The transient tab shows the large-signal behavior.*

4. To view the small-signal behavior, click on the **AC** tab.

[▲ back to top](#)

5.2.5 Save your Schematic

To save your schematic, follow these steps:

1. Select **File > Save Schematic As...**
2. Navigate to your working directory where you are saving your schematics.
3. Name the file **12_my_buck_converter.sxsch**.

A schematic saved at this state can be downloaded here: [12 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](#).

[▲ back to top](#)



5.3 Creating Hierarchical Schematics

In section [5.2 Set up a Load Transient Simulation](#), you modified the schematic to run a pulse load test on the complete closed loop converter. The schematic completed in that section is large and difficult to navigate. A natural progression is to add a level of hierarchy - that is, modify the schematic to use sub-blocks, or child components, with each sub-block representing some portion of the circuit, like the compensator.

SIMetrix/SIMPLIS has an easy-to-use system for dividing schematics into sub-blocks. Each sub-block is called a **Schematic Component** and is saved as an individual file containing both the schematic and the symbol representing that sub-schematic. In this section you will create a schematic component out of the compensator portion of the schematic.

In this topic:

- [Key Concepts](#)
- [What You Will Learn](#)
- [5.3.1 Create a Hierarchical Schematic Component From the Compensator](#)
- [5.3.2 Create Symbol for Schematic Component](#)
- [5.3.3 Enlarge the Symbol](#)
- [5.3.4 Move Symbol Pins](#)
- [5.3.5 Add Graphical OpAmp Symbol](#)
- [5.3.6 Saving Symbols](#)

Key Concepts

The following key concepts are addressed in this section:

- Module ports define the electrical connections from the sub-schematic to the parent schematic.
- Schematic component files are containers similar to schematics but with an additional space reserved for the symbol.
- Symbols can be auto created by SIMetrix/SIMPLIS.
- After circuit blocks are divided into a hierarchy, you can create a truly modular design by swapping blocks that have common functionality and a common symbol. The hierarchical compensator block you create in this topic can also easily be used in other models.

What You Will Learn

In this section of the tutorial, you will learn the following:

- How to add module ports to schematics.
- How to automatically create symbols for hierarchical components which connect to those module ports.
- How to edit symbols using the symbol editor.

[▲ back to top](#)

5.3.1 Create a Hierarchical Schematic Component From the Compensator

Creating a hierarchical block out of a working schematic requires three major steps:

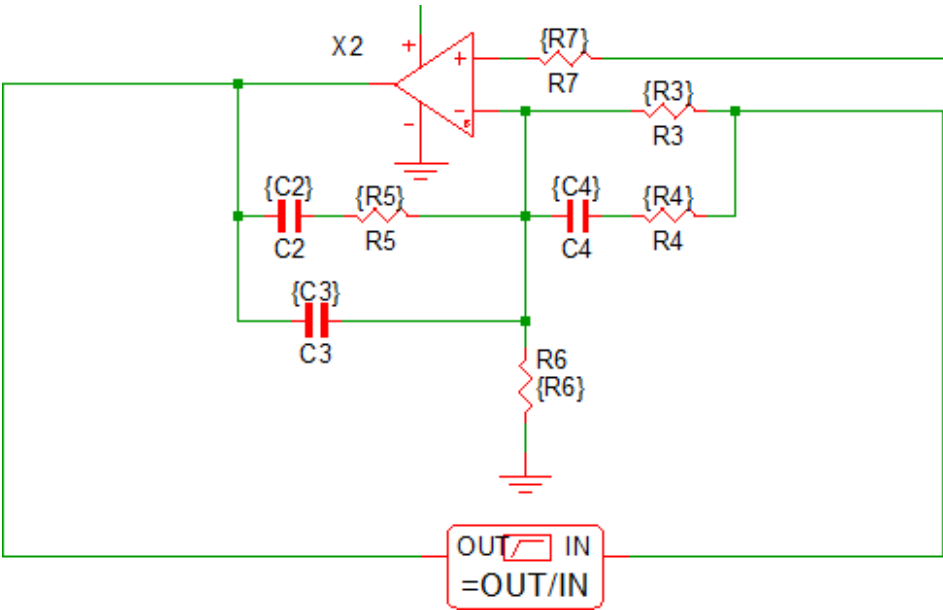
- Adding module ports to the schematic to identify which nodes connect to other blocks.
- Saving the schematic as a schematic component file.
- Creating a symbol which has pins corresponding to the underlying module ports.

 **Note:** An automated system exists to generate symbols for schematic components.

To get started, you will need the schematic from the last section. You can download a schematic at this stage here: [12 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](#).

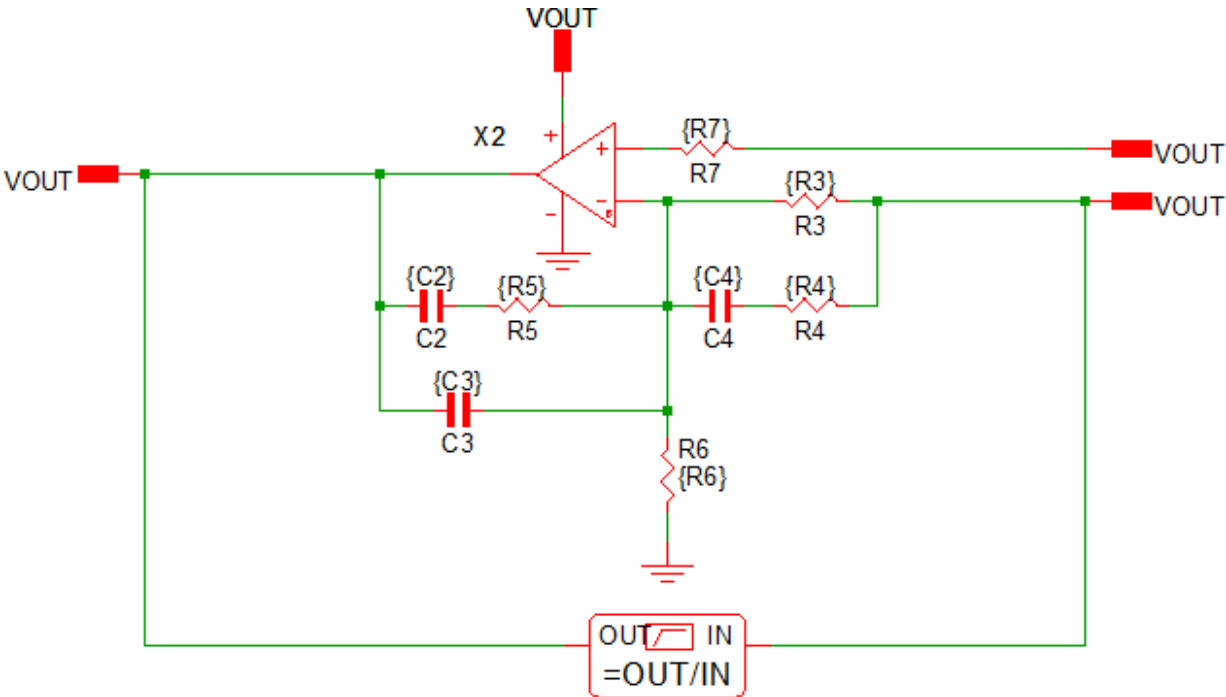
To add the module ports, rename them, and save the schematic, follow these steps:

1. Delete the power stage components until you have only the compensator symbols and wires shown below:



2. Using either the keyboard shortcut **H** or the menu selection, **Hierarchy > Place Module Port**, add module ports to the two inputs, the output, and the power supply of the OpAmp as shown below.

 **Note:** As you place the module port symbols, you can press **F5** to rotate the ports as needed.



3. To save your schematic component to a file, select **File > Save Schematic As....**

 **Note:** To keep your reusable blocks separate from the top-level schematics, it is good practice to save your schematics to a sub-directory of your schematic directory. This tutorial uses **D:\SIMPLIS Tutorial** for the schematic and a sub directory, **D:\SIMPLIS Tutorial\Modeling Blocks**, for the schematic components.

4. Name your schematic component **3p2zcompensator.sxcmp**.

 **Note:** The compensator schematic component file saved at this stage can be downloaded here:

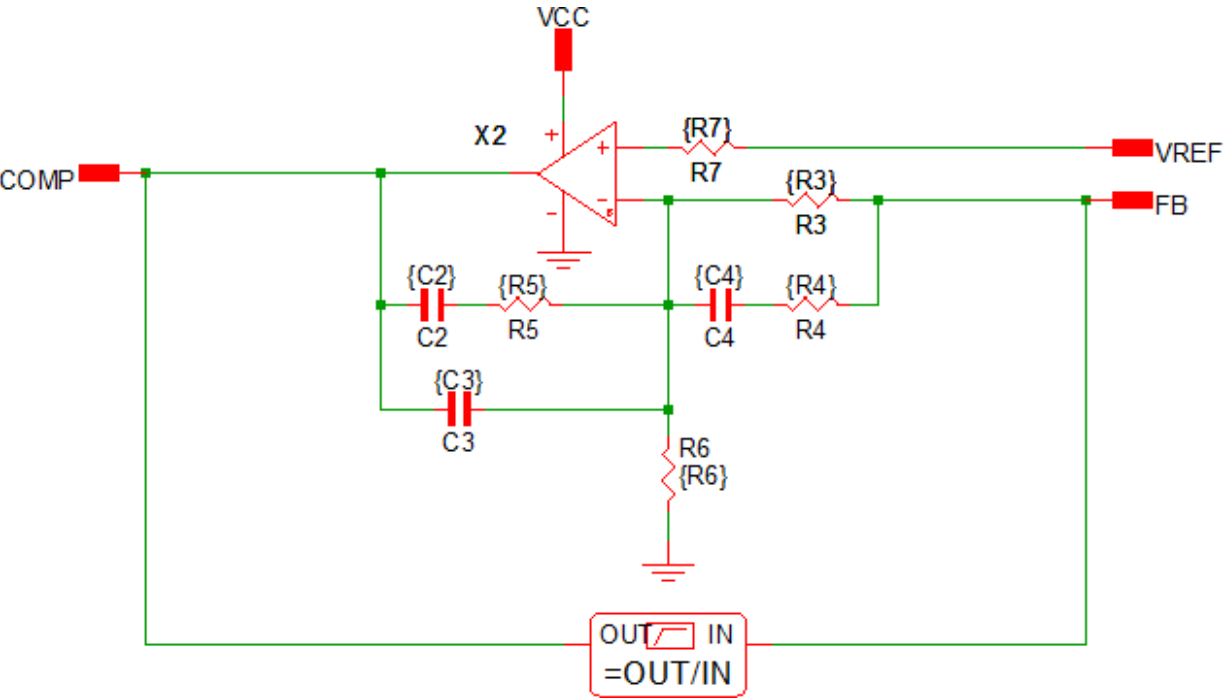
[3p2zcompensator 1.sxcmp](#).

5. After saving your work, double click each module port and change its name to those in the table below:

Compensator Module Port Names

Port Function	Port Name
Reference Input (+ input)	VREF
Feedback Input (- input)	FB
Compensator Output	COMP
Power Supply Input	VCC

Result: When you finish renaming the module ports, the schematic should look like the following:



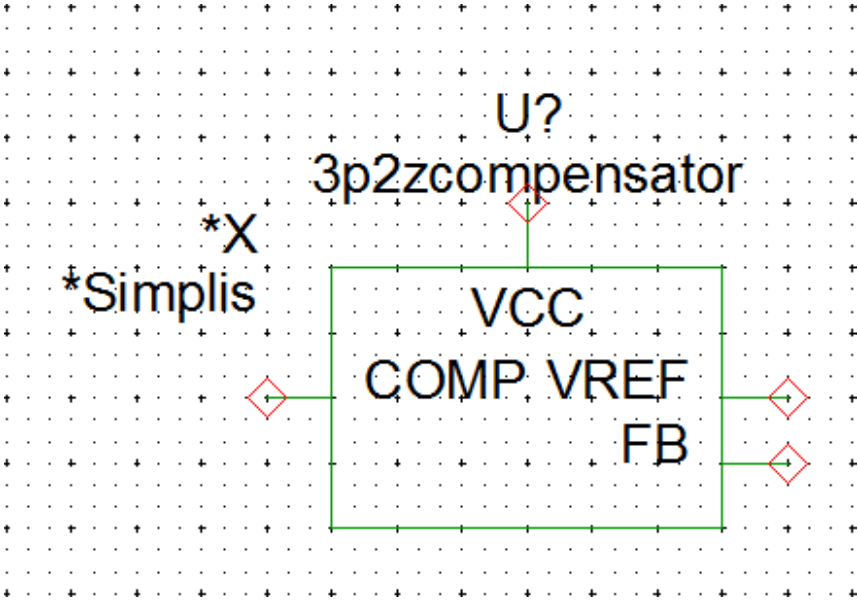
6. Save your schematic component using **Ctrl+S**. The compensator schematic component file saved at this stage can be downloaded here: [3p2zcompensator 2.sxcmp](#).

[▲ back to top](#)

5.3.2 Create Symbol for Schematic Component

With the compensator schematic open, select **Hierarchy > Open/Create Symbol for Schematic...**, or press **S** to create a new symbol for this schematic.

Result: The symbol editor opens with an auto-created, default symbol. This symbol has all the connectivity information and symbol properties to netlist the underlying schematic correctly in SIMetrix/SIMPLIS.



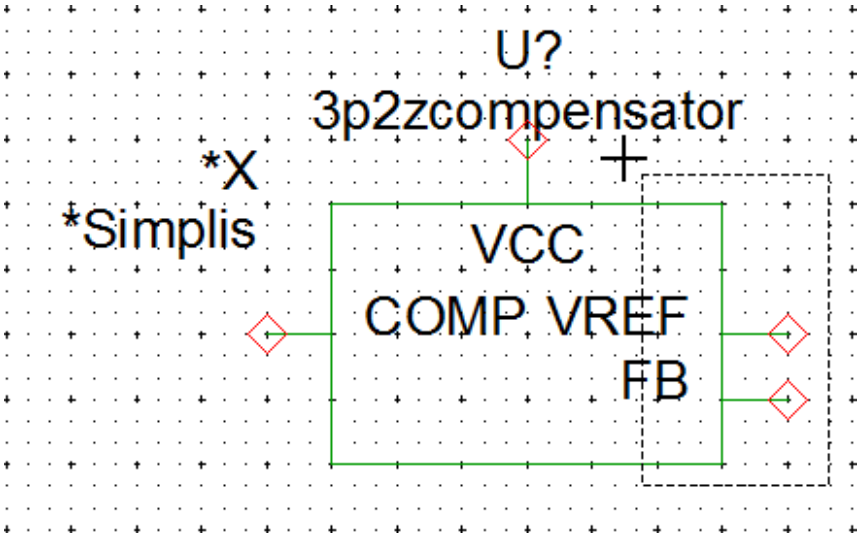
 **Note:** The symbol pins are automatically placed on each side of the symbol corresponding to the locations on the underlying schematic. For example, the VCC port is on the top of the schematic and is also on the top of the symbol.

5.3.3 Enlarge the Symbol

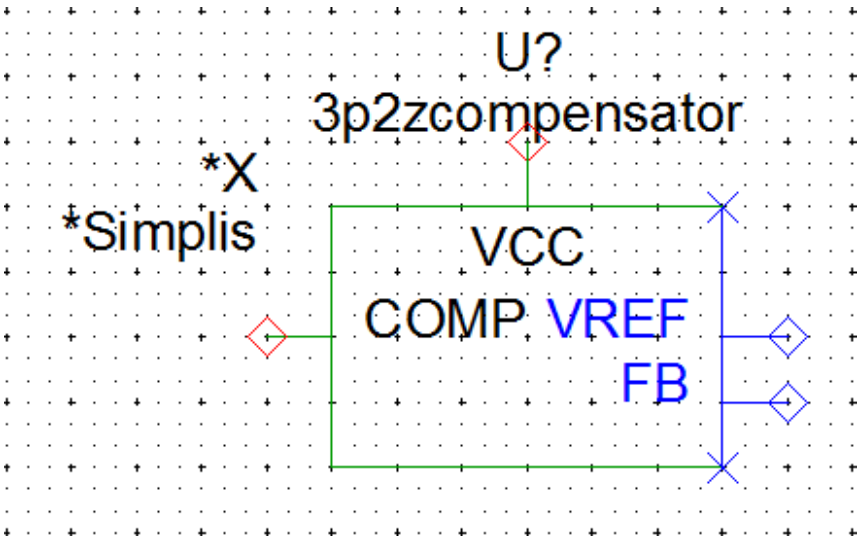
Although this symbol has all the needed electrical functionality, it could use some modification to make the function of the underlying block easier to see. In this next procedure, you will select the symbol pins and make the symbol larger than the auto-created size.

To enlarge the symbol, follow these steps:

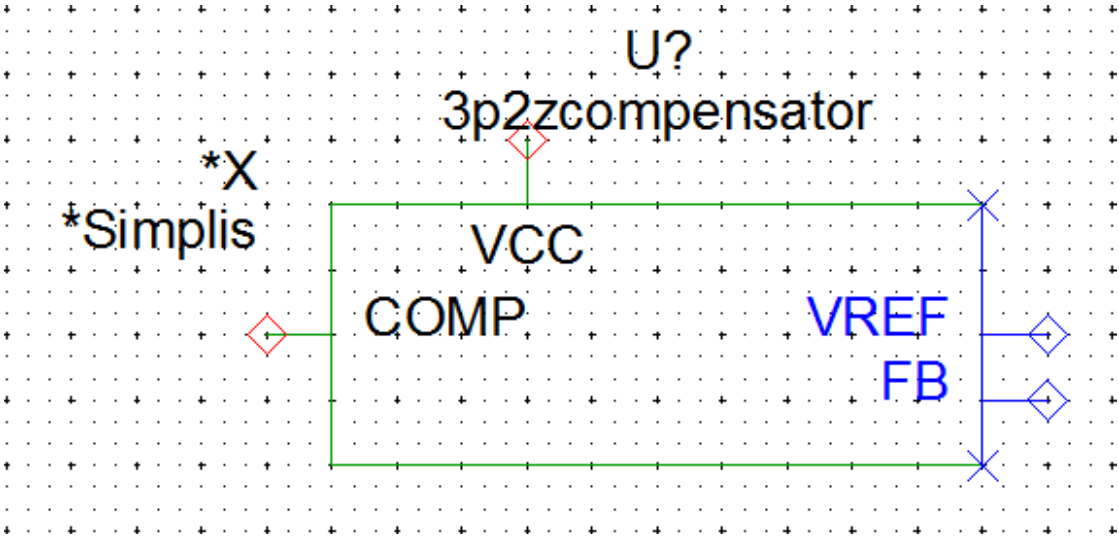
1. Hold down the left mouse button and drag a box around the input pins on the right side of the symbol. Make sure your box includes any portion of the VREF and FB text so these elements will be selected.



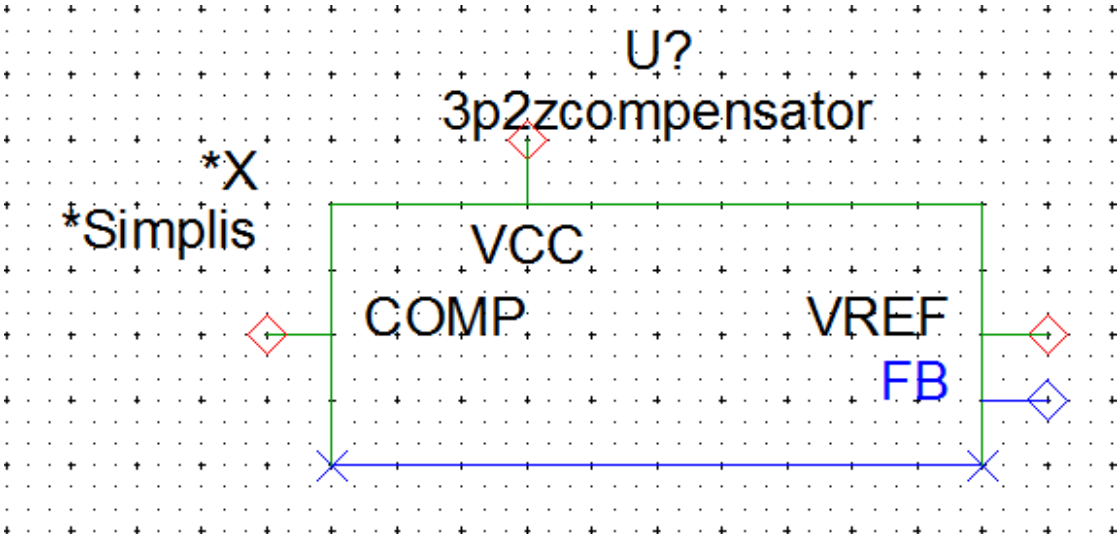
Result: The symbol pins, symbol pin text, and the vertical line on the right hand side are selected.



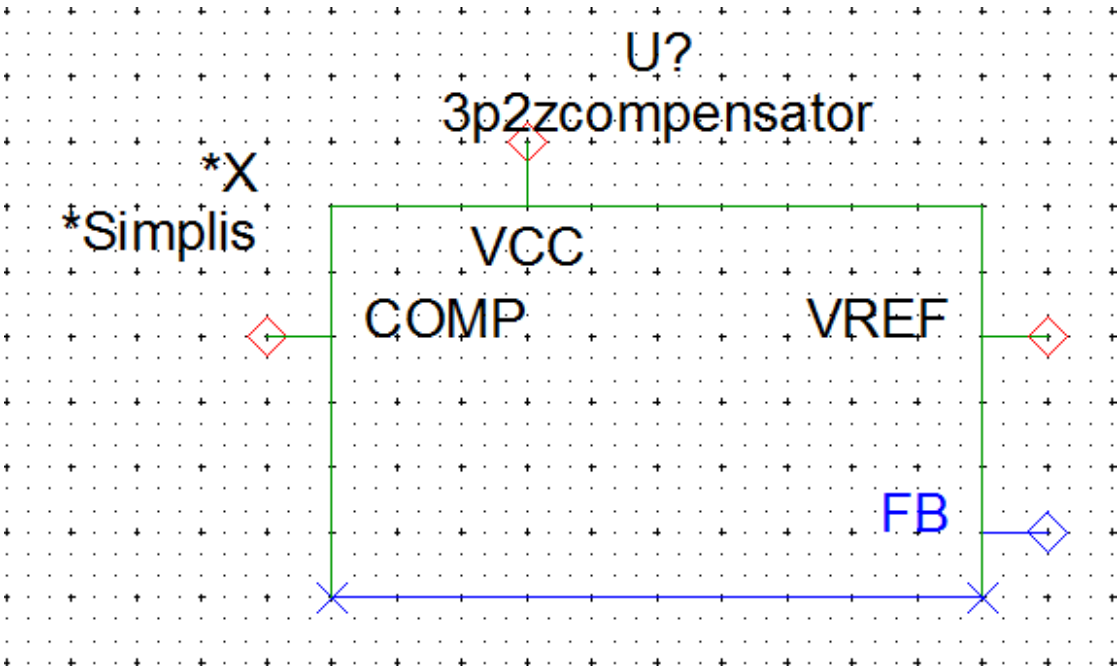
2. Drag the selected portions of the symbol to the right 4 grid squares so your symbol looks like the image below.



3. Using the same technique as steps 1 and 2, select the **FB pin**, the **FB pin text** and the horizontal line at the bottom of the symbol:



4. Drag the selected portions of the symbol down two grid squares:

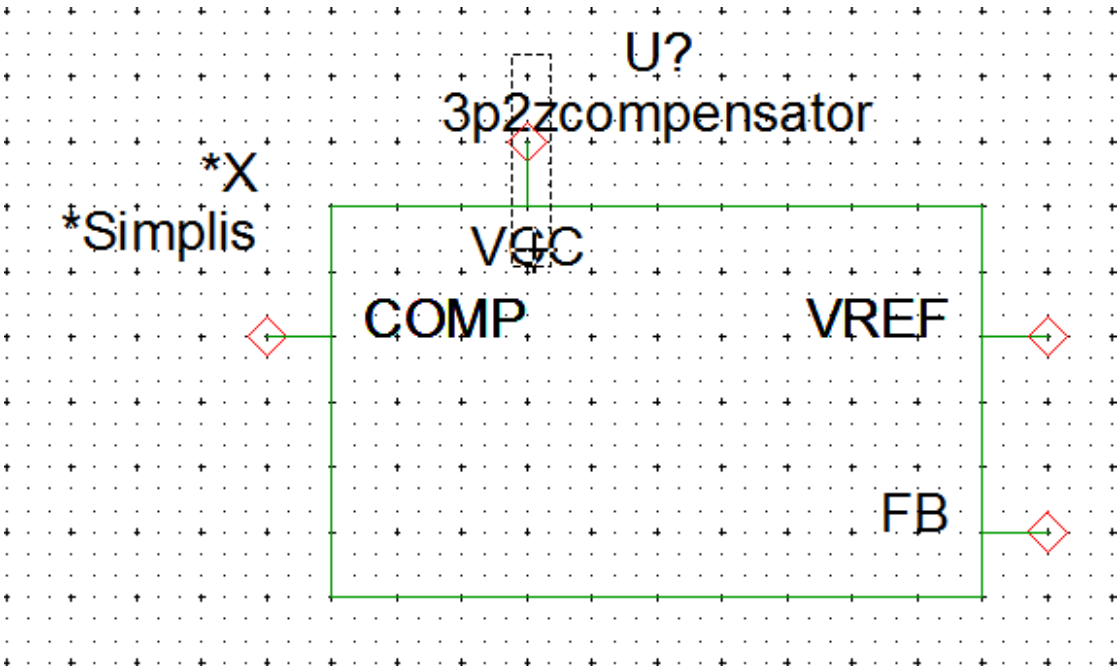


[▲ back to top](#)

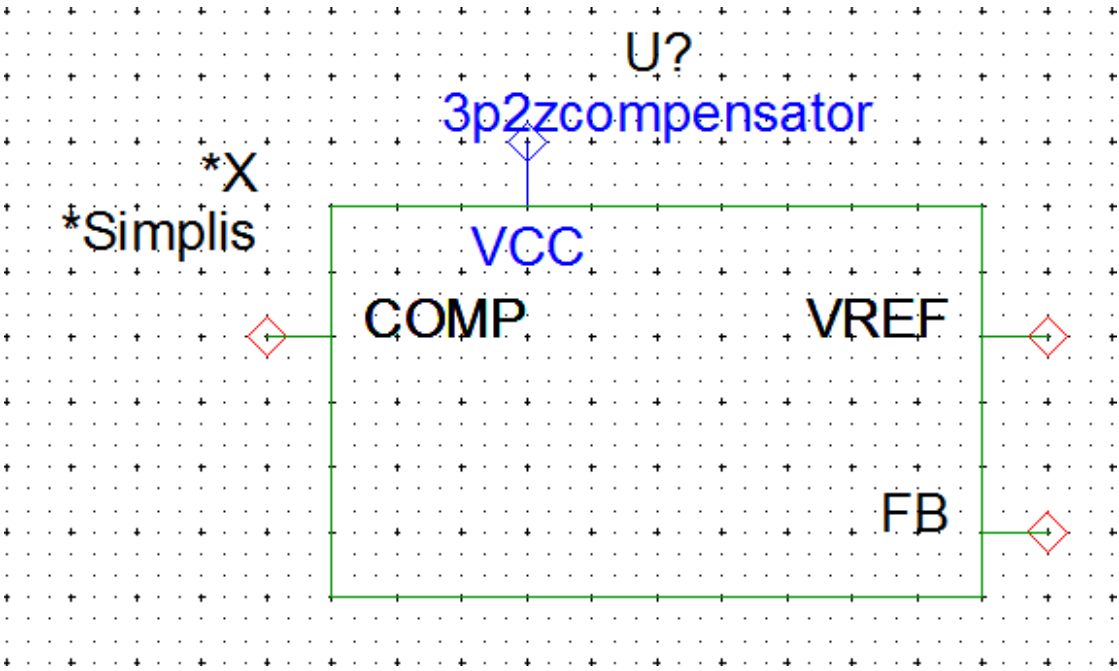
5.3.4 Move Symbol Pins

Now that you have enlarged the symbol, you can move the pins to locations which will make it easier to wire the components to the parent schematic. In the next procedure, you will swap the positions of the **VREF** and **FB** pins, and center the pins on the symbol.

1. To move the **VCC** pin, select the pin and text with a box as show below:

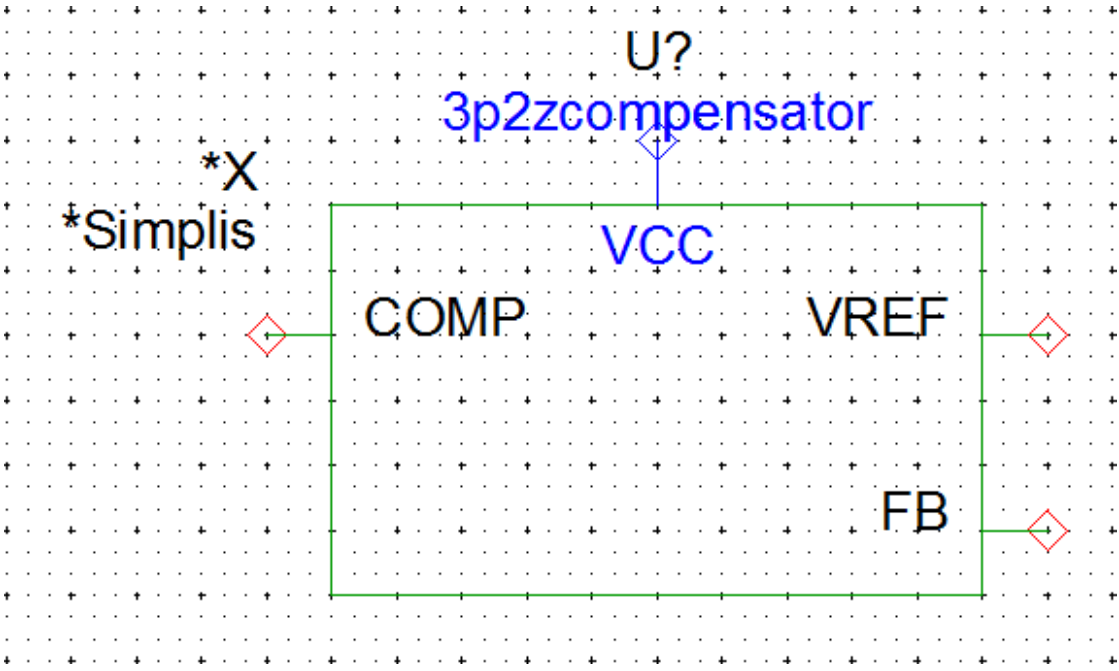


Result: The **VCC** pin and **VCC** text are selected.



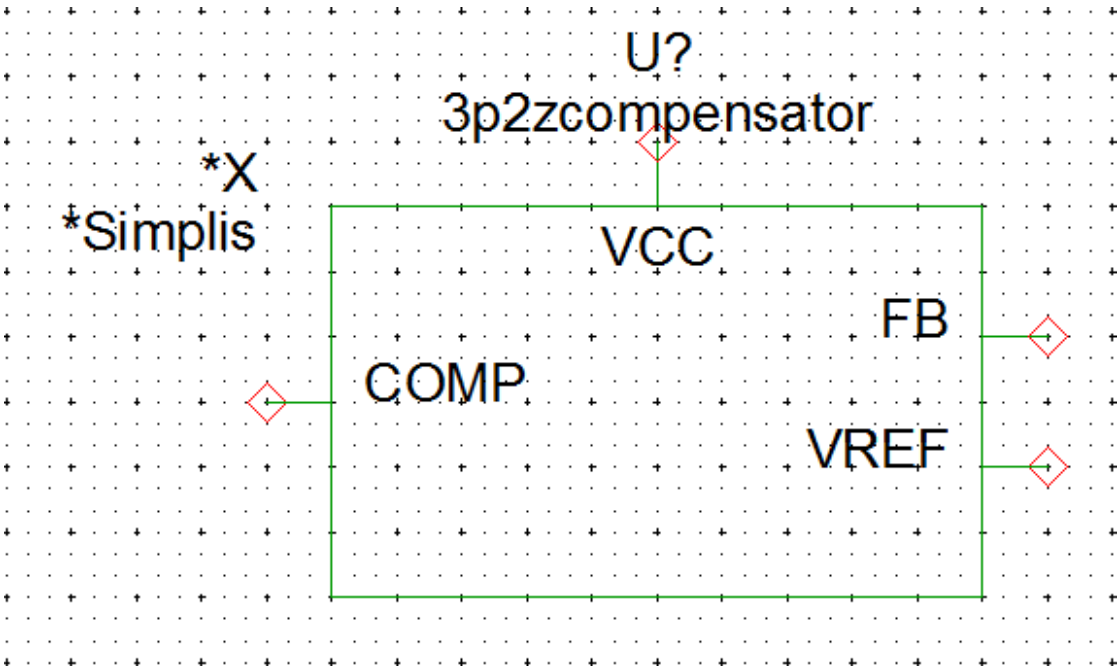
 **Note:** The 3p2zcompensator text is also selected but this text is a symbol property and its position is controlled elsewhere. This symbol property is set to be centered on top of the symbol, so it does not matter that it is selected.

2. Move the selected **VCC** pin to the right two grid squares, bringing it to the center of the symbol.



3. Using the same technique as in steps 1 and 2, move the **COMP**, **VREF** and **FB** pins as shown in the diagram below:

 **Tip:** It will be easier to move the VREF and FB pins if you move the VREF pin before you move the FB pin.



[▲ back to top](#)

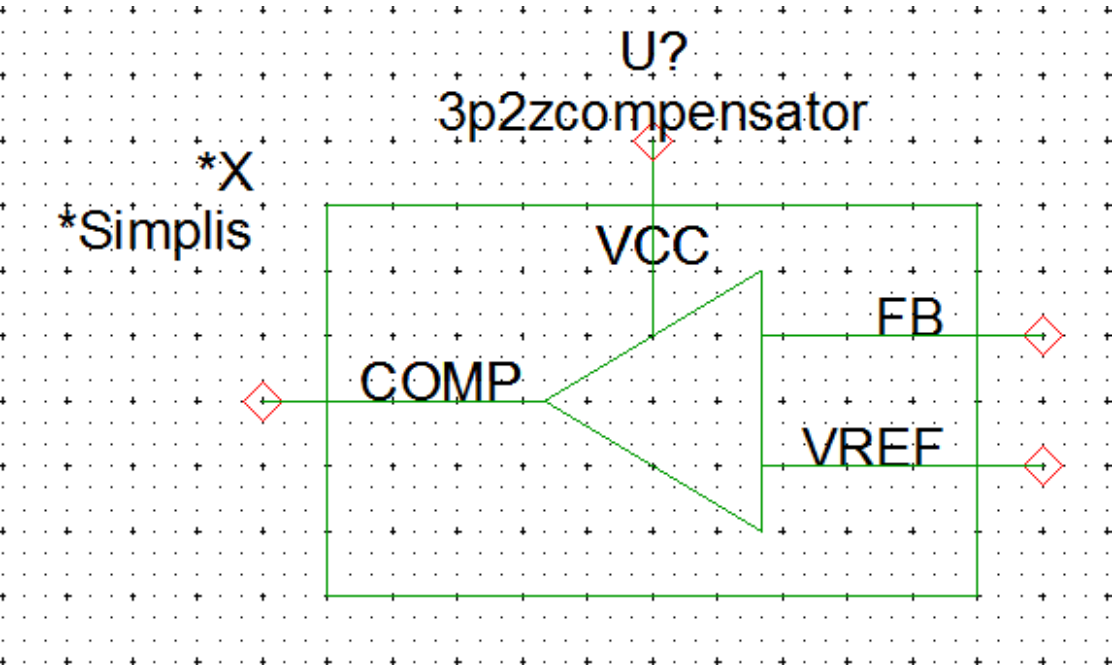
5.3.5 Add Graphical OpAmp Symbol

The final step in modifying the symbol is to add graphical lines which describe the functionality of the underlying symbol. Although this step is completely optional, these graphical elements are helpful for others to identify the function for each block on your schematic.

Drawing lines on symbols works just like drawing wires in the schematic editor. To add the lines, follow these basic guidelines:

- Double-click to start a line.
- Single-click to add a corner to a line.
- Right click or press **Esc** to end a line.

Using these techniques, draw graphical lines on the symbol so your symbol appears as follows:



[▲ back to top](#)

5.3.6 Saving Symbols

As mentioned in the introduction to this section, symbols for schematic components are saved to the schematic component file along with the schematic. Other symbols for built-in parts, such as the resistor and waveform generator, are stored in symbol libraries. The program knows that this symbol, however, is configured to be saved to the schematic.

To save the symbol, follow these steps:

- 1. Type **Ctrl+S**.
- 2. Click **Ok**.

 Save Symbol

Define Symbol

User Name

Internal Name

Category

The user name is for display only and does not affect the function of the symbol

The internal name is a unique reference to the symbol and is used to identify it. If creating a new symbol you must enter a unique name that is not already used by another symbol. If editing an existing symbol you must not change the internal name unless you want to create a new symbol keeping the original unchanged

The category defines where the symbol will be placed in GUI displays such as the symbol library manager

Options

☒ All references to symbol automatically updated

It is recommended that this is always checked. If not checked existing instances of the symbol in schematics will not be updated

File

D:\SIMPLIS Tutorial\Modeling Blocks\3p2zcompensator.sxcmp

Browse...

Save to

☐ Library file

☒ Component file

☐ Current schematic file

Ok

Cancel

Help

[▲ back to top](#)

The compensator schematic component saved at this stage can be downloaded here: [3p2zcompensator.sxcmp](#).



5.4 Using Schematic Components

This section focuses on placing hierarchical components and navigating between schematic levels.

In this topic:

- [Key Concepts](#)
- [What You Will Learn](#)
- [5.4.1 Placing Schematic](#)
- [Components 5.4.2 Save your](#)
- [Schematic](#)
- [5.4.3Cleanup Top Level F11 Window](#)
- [5.4.4Clean up Schematic Component F11 Window](#)
- [5.4.5 Simulate the Design](#)

Key Concepts

The following key concepts are addressed in this section:

- Schematic components can be placed with either the full path or with a path relative to the parent schematic.
- Schematic designs using relative path symbols are portable and can be easily shared with colleagues.
- The keyboard shortcut **Ctrl+E** allows you to descent into child components; **Ctrl+U** takes you back up to the parent level.

What You Will Learn

In this section of the tutorial, you will learn the following:

- How to place the symbols contained in schematic component files.
- How to navigate between hierarchical schematics.

5.4.1 Placing Schematic Components

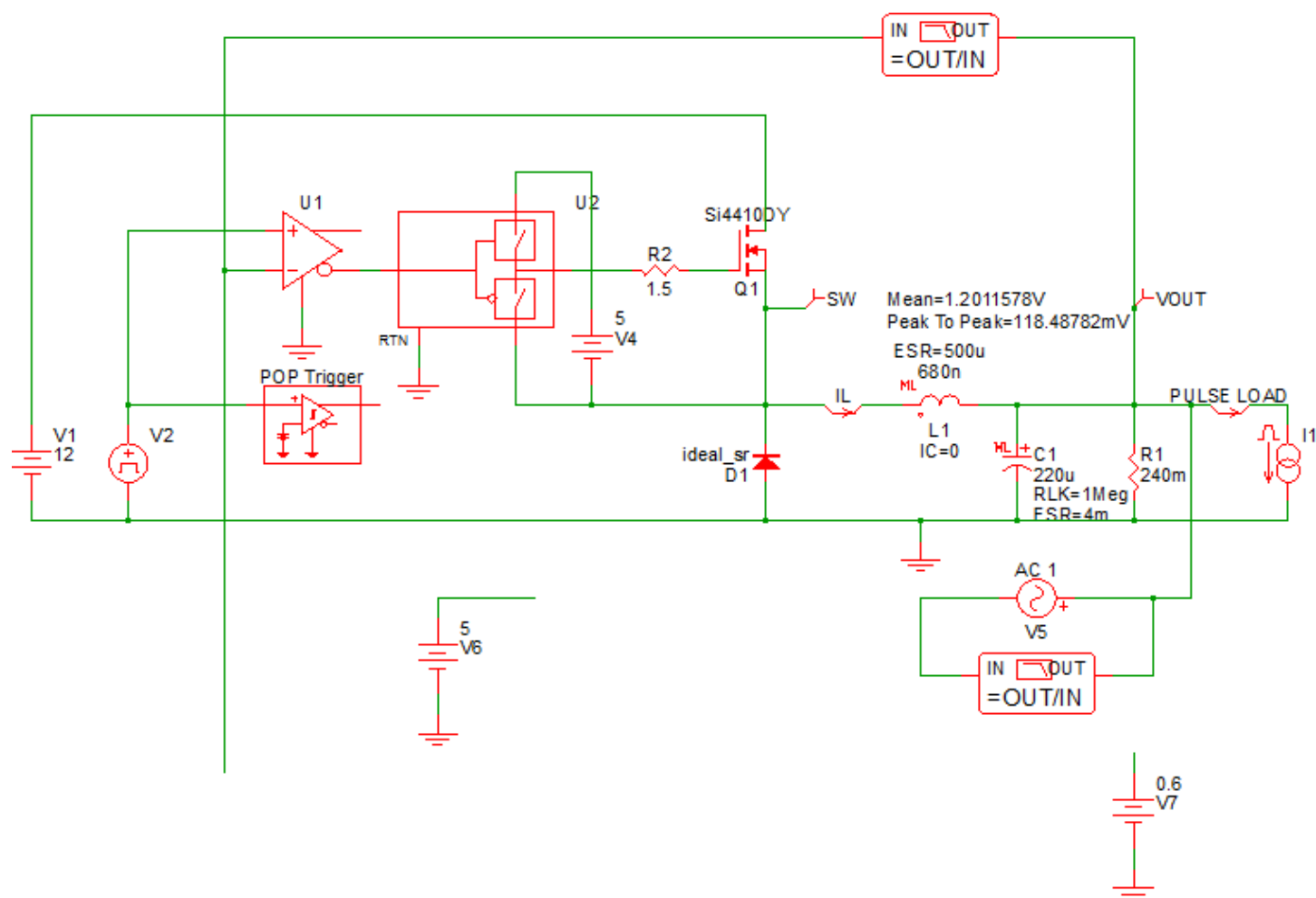
In this section you will start with the schematic from the end of section [5.2 Set up a Load Transient Simulation](#) and place the schematic component symbol created in [5.3 Creating Hierarchical Schematics](#).

Open the schematic you saved at the end of section [5.2 Set up a Load Transient Simulation](#) or use [12 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](#) from [simplis_tutorial_examples.zip](#).

To place the compensator hierarchical schematic symbol, follow these steps:

1. Delete the compensator symbols you moved into the 3p2zcompensator hierarchical block in section [5.3 Creating Hierarchical Schematics](#).

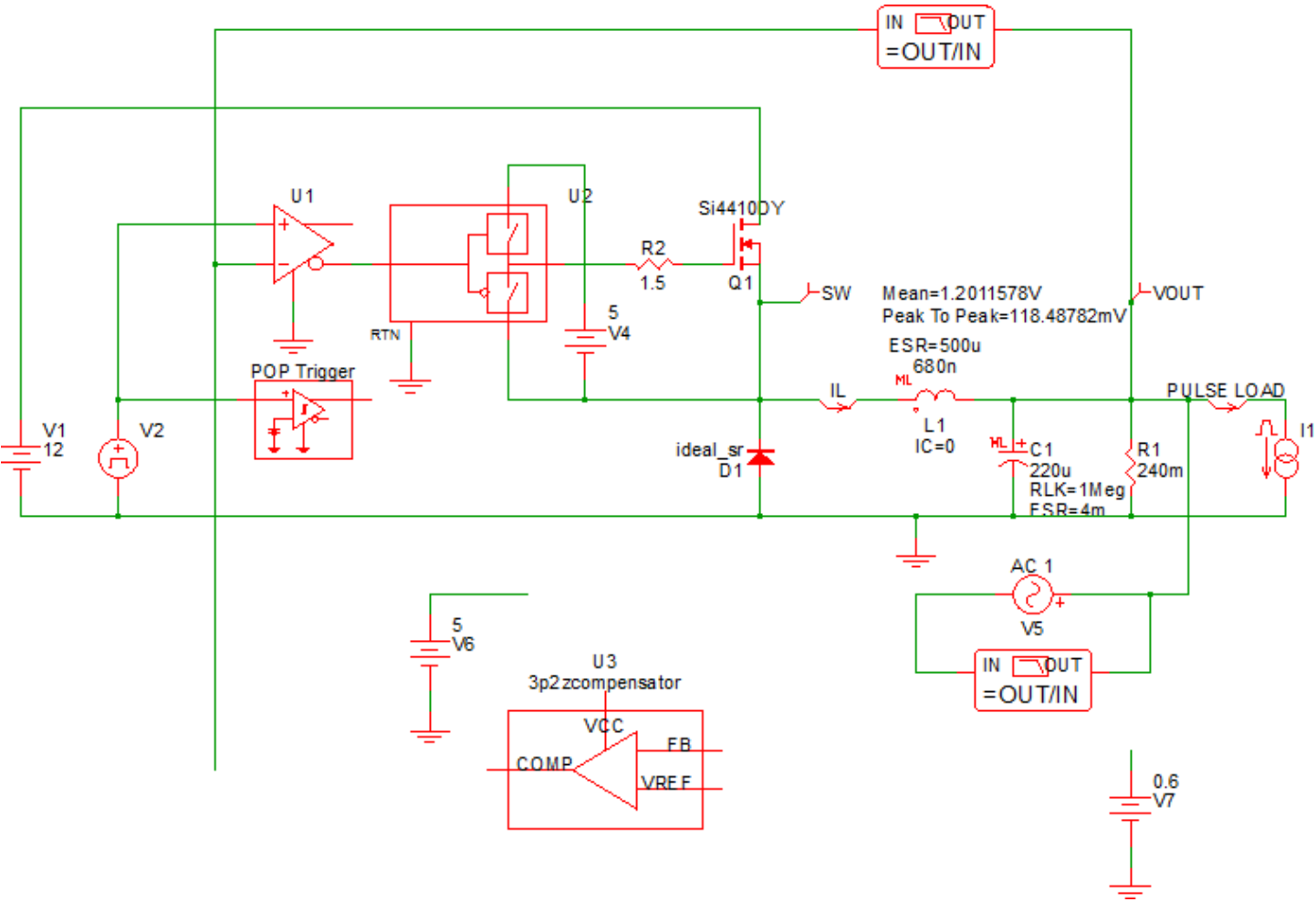
Result: *Your schematic should look similar to this:*



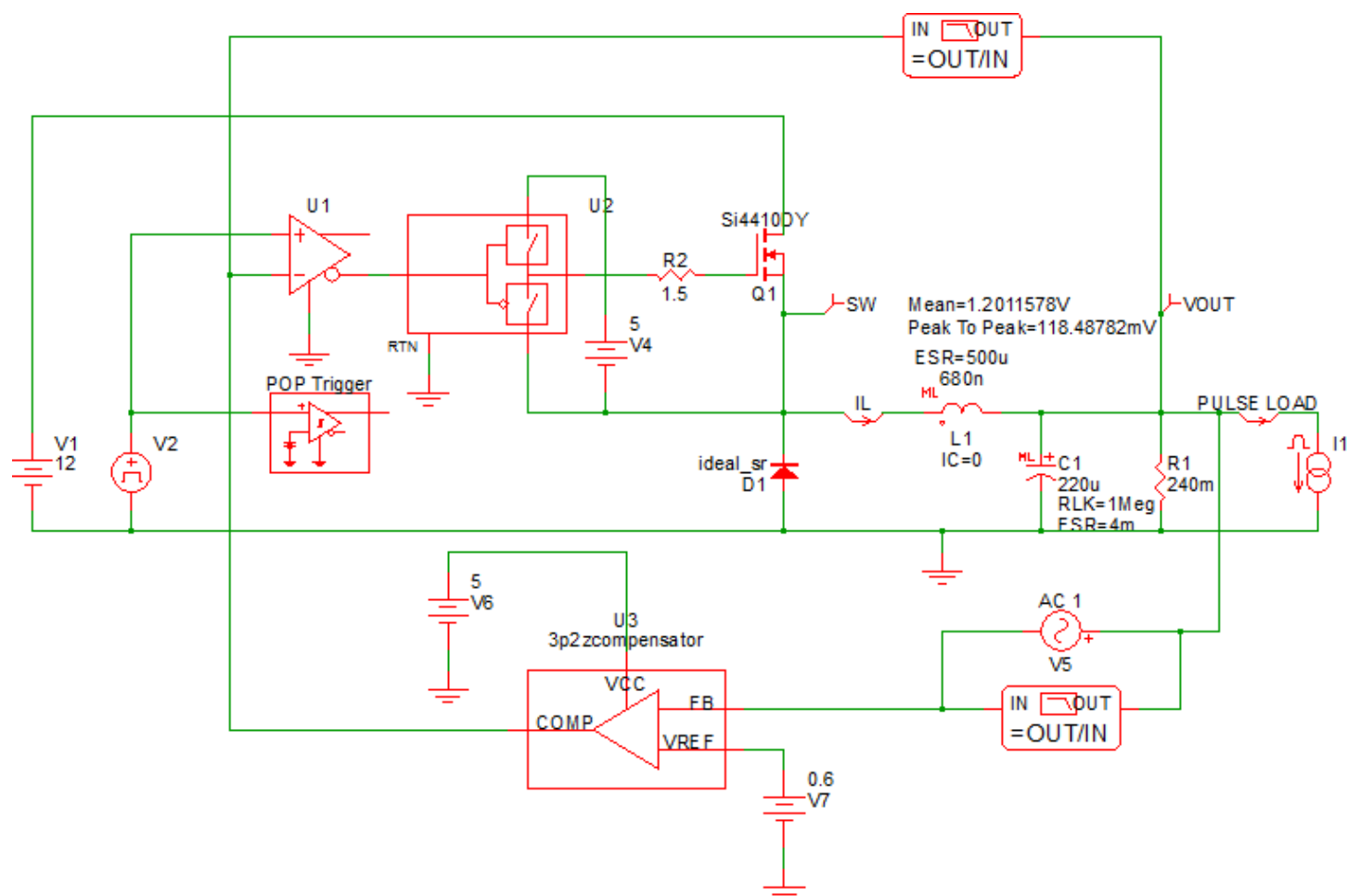
- From the menu bar, select **Hierarchy > Place Component (Relative Path)....**

Result: A File Selection dialog opens.

- Open the Modeling Blocks folder.
- Select the **3p2zcompensator.sxcmp** schematic component, and click **Open**.
- Place the symbol where the compensator components used to be:



6. Wire the compensator to the power stage. You can move symbols around to clean up the wiring. After this step, your schematic should look like the following:



5.4.2 Save your Schematic

To save your schematic, follow these steps:

1. Select **File > Save Schematic As....**
2. Navigate to your working directory where you are saving your schematics.
3. Name the file **13_my_buck_converter.sxsch**.

 **Note:** A schematic saved at this state can be downloaded here: [13 SIMPLIS tutorial buck converter.sxsch](#).

[▲ back to top](#)

5.4.3 Cleanup Top Level F11 Window

When you save a schematic to a new name or save a schematic to a schematic component, the content of the F11 window is also copied to the new file. Normally, this is not a problem, but in this case, the compensator has unused analysis directives and the parent schematic has compensator calculations which are not used. While this extra text does not cause a simulation issue, the extra text might confuse a colleague who is unfamiliar with the design.

In this section, you will remove the analysis directives from the F11 window of the compensator and the compensator calculations from the parent schematic. To remove the extra text from the main schematic, follow these steps:

1. Press **F11** to open the command window.
2. In the command window, scroll down past the **.SIMULATOR DEFAULT** line and select all text below that line.
3. Press **Delete** to remove the text.

 **Note:** You can undo editing in the F11 window with the keyboard shortcut **Ctrl+Z**, or by selecting the menu **Edit > Undo**.

Result: The text remaining in the command (F11) window should be only the analysis directives:

```
.SIMULATOR SIMPLIS
*.AC DEC 25 1k 400k
.PRINT
+ ALL
.OPTIONS
+ PSP_NPT=10001
+ POP_ITRMAX=20
+ POP_OUTPUT_CYCLES=5
+ SNAPSHOT_INTVL=0
+ SNAPSHOT_NPT=11
+ MIN_AVG_TOPOLOGY_DUR=1a
+ AVG_TOPOLOGY_DUR_MEASUREMENT_WINDOW=128
.POP
+ TRIG_GATE={TRIG_GATE}
+ TRIG_COND=1_TO_0
+ MAX_PERIOD=2.2u
+ CONVERGENCE=1p
+ CYCLES_BEFORE_LAUNCH=5
+ TD_RUN_AFTER_POP_FAILS=-1
.TRAN 70u 0

.SIMULATOR DEFAULT
```

4. Press **Ctrl+S** to save your schematic.

5.4.4 Clean up Schematic Component F11 Window

You need to descend into the schematic for the compensator and clean up the F11 window, using **Ctrl+E** to descend the hierarchy and **Ctrl+U** to ascend to the parent level.

To clean up the compensator F11 window, follow these steps:

1. Select **U3**, the 3p2zcompensator schematic symbol.
2. Press **Ctrl+E** to descend into the schematic.

Result: *The schematic for the 3p2zcompensator opens just as if you opened it from a file browser.*

3. Press **F11** to open the command window.

Result: *Since the compensator schematic is open, you are viewing the F11 window for the compensator component.*

4. Select the analysis directives from the first line, .SIMULATOR SIMPLIS, to the .SIMULATOR DEFAULT line.
5. Press **Delete** to remove the text.

Result: *The text remaining in the command (F11) window should be only the compensator calculations:*

```
*****
*** Circuit Specifications ***
*****

.VAR VIN = 12
.VAR VRAMP = 1
.VAR L = 680n
.VAR C = 220u
.VAR VOUT = 1.2
.VAR VREF = 0.6
.VAR ESR = 4m
.VAR FXOVER = 80k
.VAR FSW = 500k

*** Calculated Parameters - not used in calculations
.VAR FLC = 13012.31
.VAR FESR = 180857.89

.SUBCKT ONE_PULSE_SOURCE_I 1 2 vars: _T_RISE=0 _T_FALL=0 _DELAY=0 _V1=0 _V2=1 _PWIDTH=1u
.NODE_MAP P 1
.NODE_MAP N 2
{'*'} _DELAY : {_DELAY}
```

```
{ '*' } _T_RISE : { _T_RISE }
{ '*' } _PWIDTH : { _PWIDTH }
I1 1 2 PWL NSEG=4 X0=0 Y0={ _V1 } X1={ _DELAY } Y1={ _V1 } X2={ _DELAY+_T_RISE } Y2={ _V2 } X3=
{ _DELAY+_T_RISE+_PWIDTH } Y3={ _V2 } X4={ _DELAY+_T_RISE+_PWIDTH+_T_FALL } Y4={ _V1 }
.ENDS

*****
*** Compensator Design - Find desired poles and zeros ***
*****

*** Place Second Zero at LC
.VAR FZ2 = { 1/(2*pi*SQRT(L*C)) }

*** Place First Zero at 75% of FZ2
.VAR FZ1 = { 0.75*FZ2 }
```

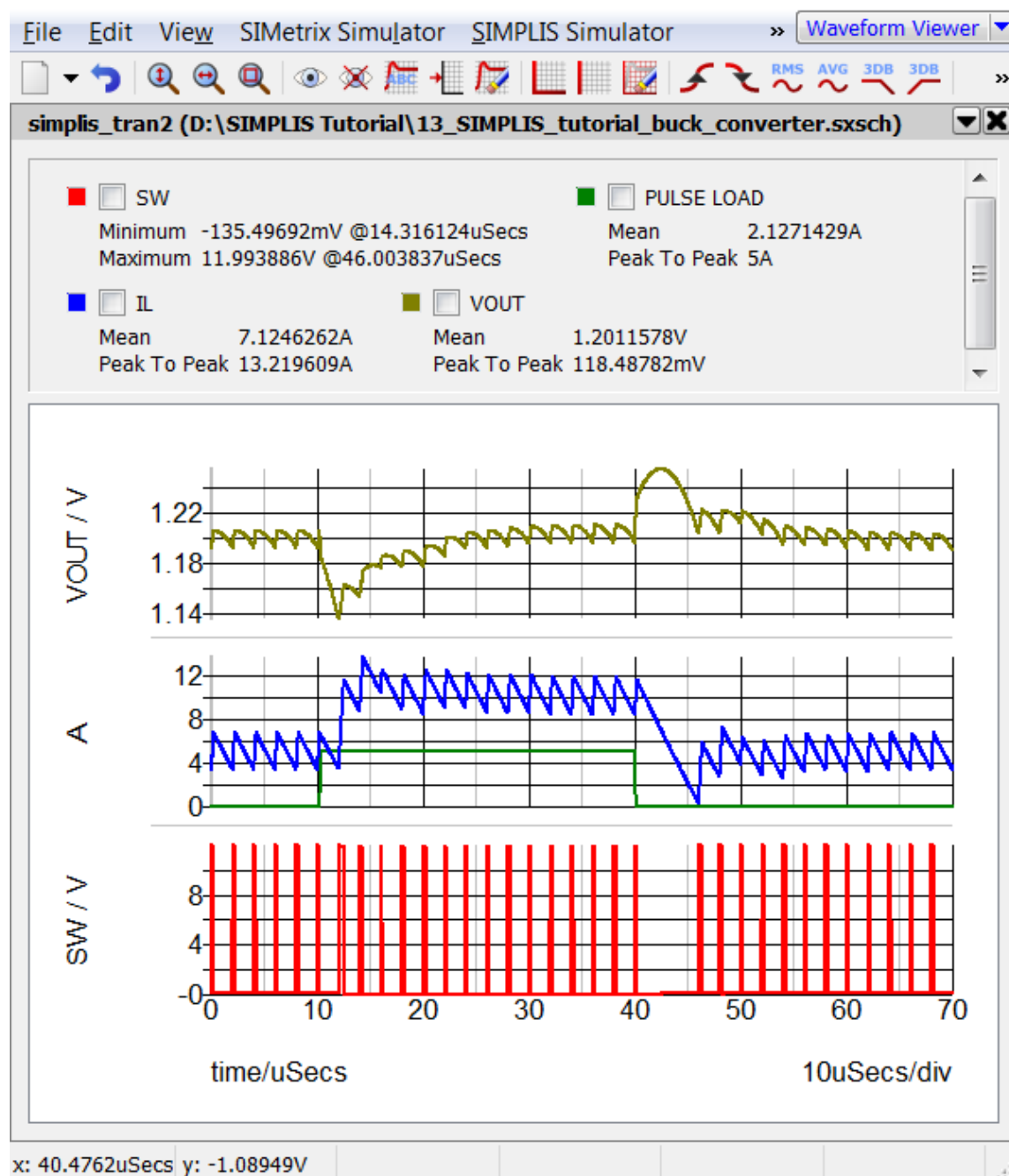
6. Press **Ctrl+S** to save the compensator schematic.

5.4.5 Simulate the Design

You are now ready to simulate the design. When you are working with a hierarchical design, you can simulate the design from any level of the hierarchy.

To simulate this design, press **F9**.

Result: *The top level schematic comes into focus and the analysis directives defined in that schematic will be used. The waveform viewer opens with the results from the load transient simulation:*



The schematic at this point is a complete hierarchical design. Although only one hierarchical block is used, the concepts in this chapter can be used to create larger and more complex hierarchical models.

The electrical model for the synchronous buck converter is electrically unchanged by adding hierarchy. Moving the compensator into a hierarchical block allows that block to:

- Be used in other controllers which need a 3-pole/2-zero compensator.
- Replaced with a different compensator, using an alternative control approach. The symbol used in the hierarchical block can be saved to another compensator block, allowing drop-in replacement of the compensator block on the parent schematic.
- Parameterized with the values defined in the parent schematic. For example, the poles and zeros could be passed into the compensator from the synchronous buck converter schematic. Parameterization is described in the [Advanced SIMPLIS Training Course: Module 5 - Parameterization](http://www.simplistechnologies.com/documentation/simplis/simplis_tutorial/topics/5_4_using_schematic_components.htm) topic.



Conclusions

After completing the tutorial, you have a closed-loop synchronous buck converter model which uses a hierarchical schematic for the compensator. The compensator parameter values are calculated in the F11 window of the compensator from desired poles and zeros, effectively abstracting the design.

This model runs in all three analysis modes: POP, AC, and transient. By running all three analyses, you can verify the large- and small-signal stability of the converter.

Summary of Key Concepts

Following are the key concepts presented in the tutorial.

The SIMPLIS Simulator

- SIMPLIS is a time-domain simulator for all three analyses modes: POP, AC, and transient.
- The POP analysis finds the switching steady-state operating point of the circuit.
- The AC analysis finds the small-signal response of the circuit perturbed around the switching steady-state operating point found with the POP analysis.
- The AC analysis is performed in the time domain on the full switching PWL model; therefore, all non-linearities are included in the AC analysis.
- A successful POP analysis is required to run an AC analysis.
- During a POP/transient simulation, the transient simulation begins with the initial conditions found during a POP analysis.

Modeling

- All models used in SIMPLIS are Piecewise Linear (PWL).
- MOSFETs and diodes are represented by collections of PWL devices with the parameters often calculated by built-in parameter extraction routines.
- Multi-level models can represent different schematic views depending on the model level. Built-in multi-level models include semiconductors, MOSFET drivers, inductors, capacitors, and a parameterized OpAmp.
- An ideal synchronous rectifier can be made using a user-defined diode. The resulting PWL resistor model has a zero-volt forward voltage and two segments, one each for the on and off resistances

Graphing and Measurements

- You can control where curves appear on the waveform viewer by changing properties of the fixed probe symbol.
- Measurements can be made on output curves either interactively with the waveform viewer menus or automatically by adding the measurement definition to the fixed probes on the schematic.

Follow-on Work and Suggested Reading

Although the converter model at the end of the tutorial is relatively simple, it provides a good foundation on which to expand the model. The [Advanced SIMPLIS Training](#) course picks up where this tutorial leaves off. The Advanced SIMPLIS Training course, which is presented several times per year in different locations, provides expert level material in a tutorial format. You can access the Advanced SIMPLIS Training Course material here: [Advanced SIMPLIS Training](#)

[Course Material.](#)

Suggested Exercises

The tutorial circuit is a good starting point for further exercises. A few suggested exercises are listed below.

- Modify the schematic to use hierarchical schematic components for all functional blocks.
- Modify the circuit to use a MOSFET for the synchronous rectifier, adding a driver and drive logic.
- Add current limiting. Examine the converter behavior when in current limit using a POP analysis.
- Explore different control techniques. Use hierarchical blocks to maximize reuse and to change between different control methods.
- Measure the [efficiency](#) of the converter by changing the MOSFET model level to level 2 and verify the switching losses for the circuit.
- Experiment with changing the MOSFET drive characteristics. Remove the gate resistor and use a level 1 or level 2 MOSFET driver to tailor the gate drive current.
- Change the compensator to use parameters passed into the component from the parent schematic. Parameterization is described in the [Advanced SIMPLIS Training Course: Module 5 - Parameterization](#) topic.

