

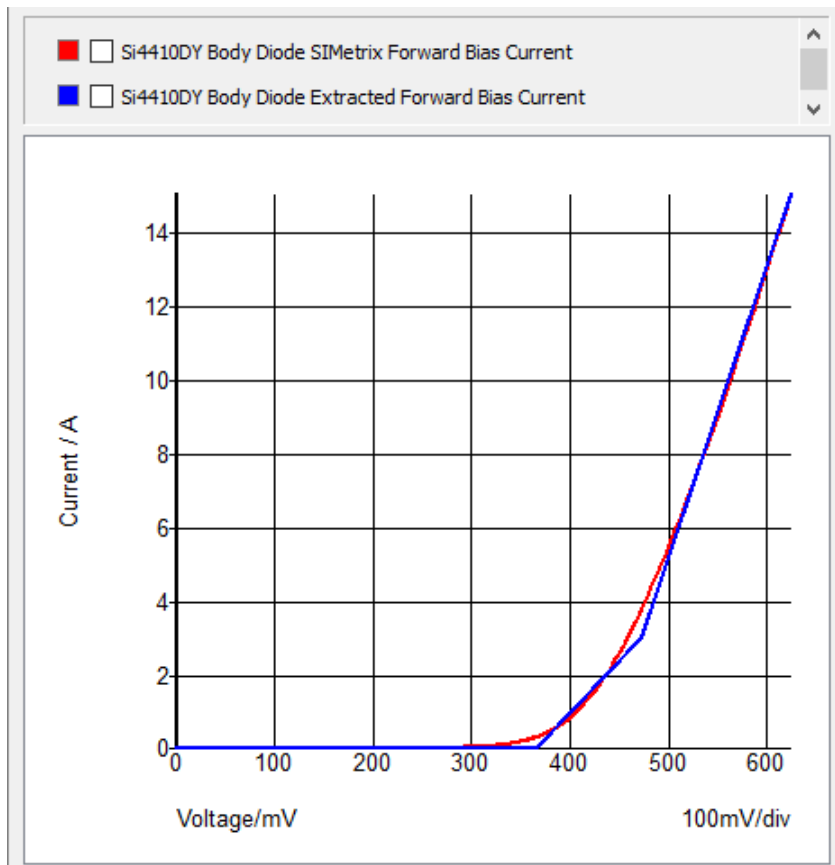
SIMPLIS - 残りのストーリー

区分線形モデリング

SIMPLIS は、指数関数などの非線形の式を解く SPICE 手法を使用するのではなく、一連の区分線形 (Piecewise Linear: PWL) 直線セグメントを使用してデバイスをモデル化することで、計算速度を達成します。

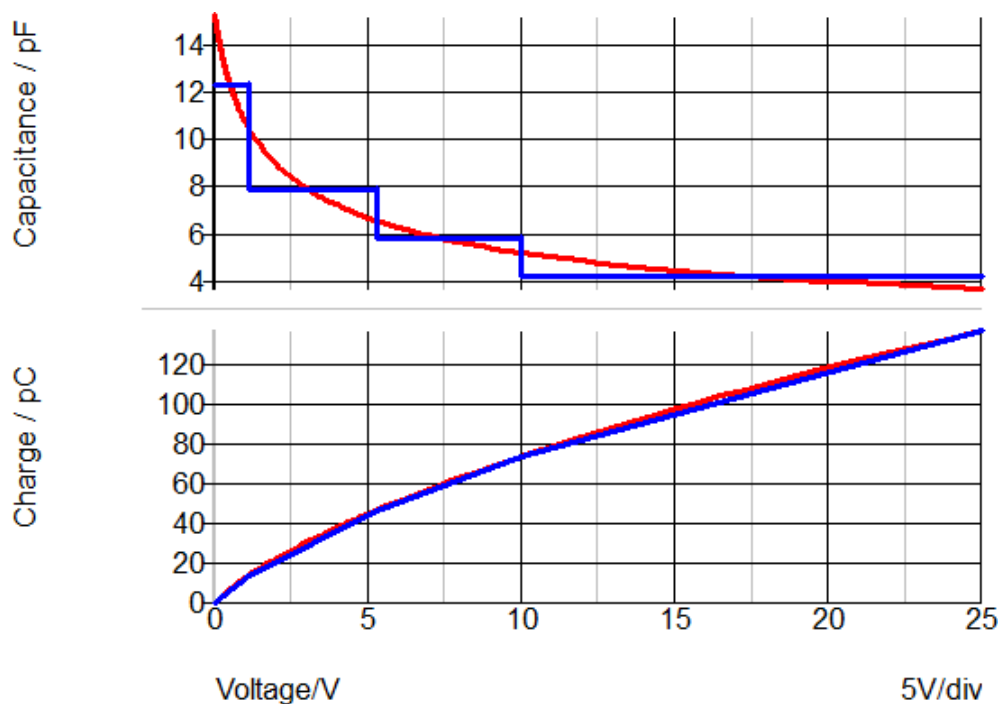
区分線形抵抗

ここでは、ボディダイオード Si4410DY NMOS Q1 の電流対電圧特性について、SPICE モデル(赤色)と SIMPLIS PWL モデル(青色)を比較します。SIMPLIS は、PWL 抵抗を使用してダイオード特性をモデル化します。



区分線形キャパシタ

SIMPLIS PWL キャパシタの良い応用例は、次に示すように、ダイオード接合容量のモデル化に使用される 4 セグメントの PWL キャパシタです。PWL 容量のパラメータ値は、SIMPLIS モデルパラメータ抽出ルーチンによって自動で決定されます。



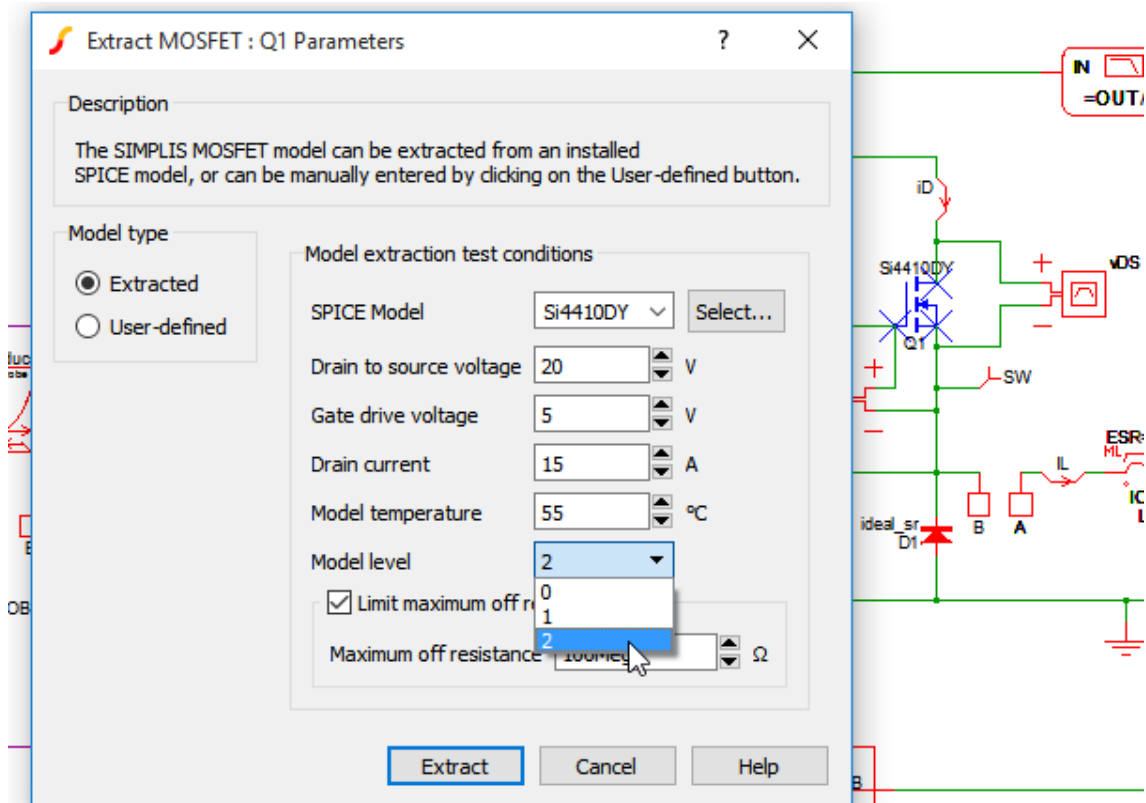
上のグラフは、この例のダイオードの逆電圧に対する容量を示します。赤色の曲線は SPICE モデルの連続的変化を表し、青色の曲線は SIMPLIS モデルの階段状変化を表します。

下のグラフは、ダイオードの逆電圧に対する電荷を示します。SPICE モデルは赤色の曲線、SIMPLIS モデルは青色の曲線です。容量の曲線では特定の電圧値で大きな誤差が見えますが、電荷の曲線では誤差は非常に小さいことが分かります。ほとんどのスイッチモードアプリケーションでは、総容量性電荷対電圧特性がデバイスの遷移（導通状態から遮断状態、遮断状態から導通状態）を決定する際の主要な要因です。したがって、PWL キャパシタを使用して、スイッチモード電力変換アプリケーションの接合容量を正確に表現できます。

区分線形モデリングの精度

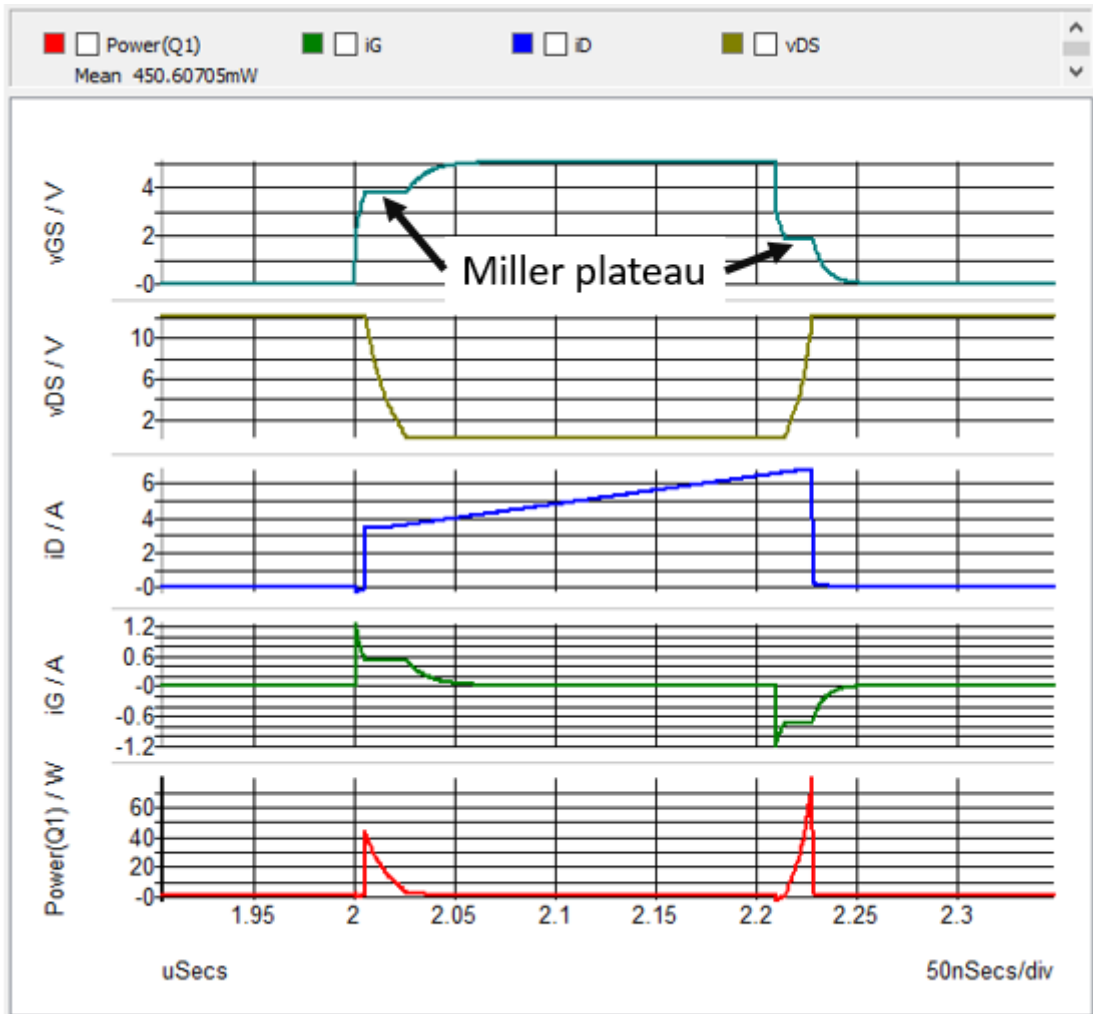
PWL モデリングは、SIMPLIS を初めて使用するユーザにはあまり馴染みがないため、区分線形モデリングと理想化モデルの作成を混同することが珍しくありません。PWL モデリングは、理想化モデルの作成を容易にサポートしますが、DC-DC 電源や AC-DC 電源のスイッチング損失をモデリングするための、最も正確で実用的な方法でもあります。次の例では、バックコンバータの Q1 のモデルレベルをモデルレベル 0（ON 抵抗と OFF 抵抗を持つ瞬時スイッチ）からモデルレベル 2 に変更します。モデルレベル 2 は、MOSFET の非線形なゲート・ドレイン容量とドレイン・ソース容量を、デバイスのアクティブ領域と同様にモデル化します。このようにして、MOSFET のスイッチング遷移を高い精度でモデル化できます。

次の回路図では、MOSFET Q1 のモデルレベルをモデルレベル 0 からモデルレベル 2 に変更します。



[Buck Converter Schematic](#) をクリックしてダウンロードします。この回路図では、MOSFET モデル Q1 はレベル 2 に変更されています。

デフォルトのシミュレーションを実行します。システムの定常状態を見つけるために、周期的動作点 (POP) 解析を実行するように設定されています。波形ビューアで、**Power(Q1)** というラベルのタブをクリックします。このタブは、Q1 のゲート-ソース電圧 v_{GS} 、ドレイン-ソース電圧 v_{DS} 、およびドレイン電流 i_D の波形をプロットしています。また、ゲート電流 i_G と Q1 で消費される瞬時電力もプロットされています。次に示すように、ON-OFF 遷移の 1 セットを拡大表示します。



これらの波形の有限な遷移で、Miller 効果が明瞭に見えます。ターンオン遷移とターンオフ遷移の両方で、vGS 波形に Miller プラトーがあります。

次のリンクは、SIMPLIS の PWL モデルの精度がよく分かるサマリーです。

Accuracy of PWL Models

このサマリーでは、SIMPLIS シミュレーション結果は次の実験室の測定値と比較されます。

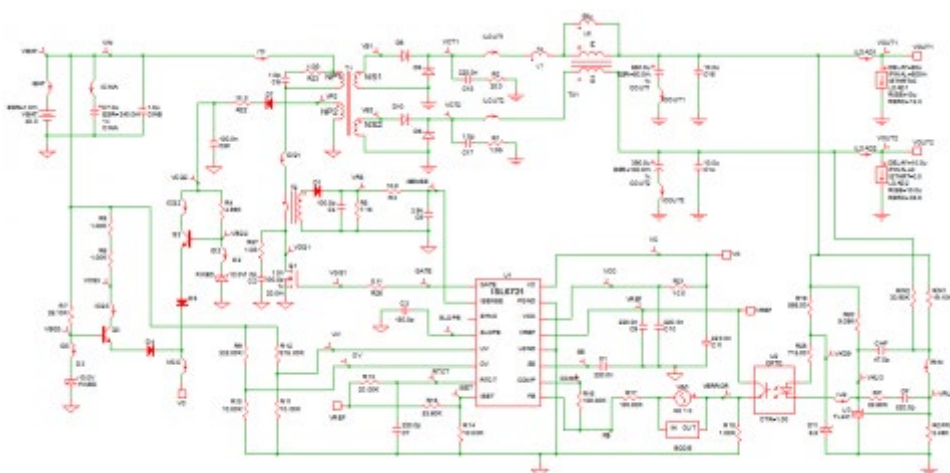
1. 同期バックコンバータの出力でのステップ負荷の変化
2. パワーMOSFET の詳細なスイッチング波形
3. 可変周波数フライバック DC・DC コンバータのボード線図

このように PWL デバイスモデルを採用することにより、SIMPLIS は複雑な非線形システムを区分線形回路トポロジの繰り返しシーケンスとみなすことができ、非常に正確な結果を達成します。電源システムの非線形性を処理するこの方法は、通常、SPICE よりも 10~

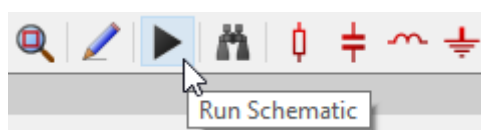
50倍高速であり、SPICE型アプローチに特有な収束の問題を回避します。この方法は、典型的なスイッチング電源システムの閉ループ性能を正確に表現するだけでなく、高周波スイッチとして機能する半導体デバイスの詳細なスイッチング遷移も正確に予測できます。

次に、SIMPLISの精度と速度を活用して、SPICEベースのアプローチで実現できるよりもはるかに複雑なトポロジをモデル化する方法を探求します。出力インダクタが結合されたシングルスイッチデュアル出力フォワードコンバータの次の回路例を使って、これを説明します。

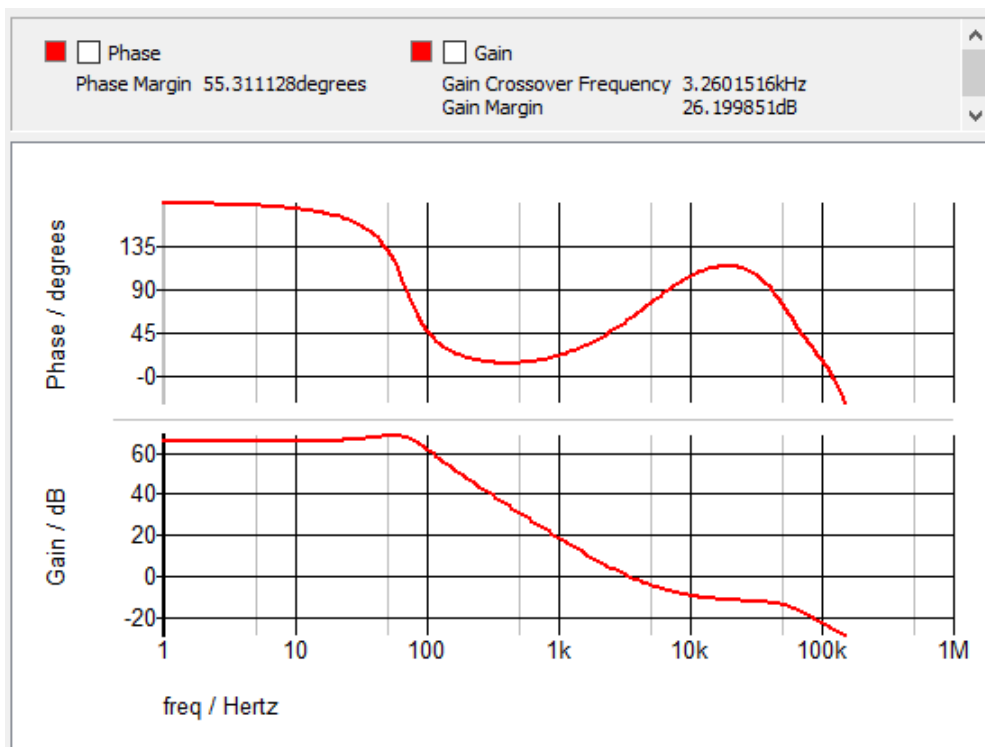
[this link](#) をクリックして、回路図をダウンロードします。



F9 キーを押すか、**Run Schematic** アイコンをクリックしてシミュレーションを実行します。この回路図は、POP解析の後に **Bode** 線図のプロット、そしてメイン出力 **VOUT1** のステップ負荷過渡解析を実行するように設定されています。



完全な非線形時間領域スイッチング回路について、AC解析が実行されることに注意してください。AC解析を実行するのに平均モデルを導出する必要はありません。



大規模で非常に複雑なこの回路をシミュレートする速度は、最初のハードウェアモデルを製作する前に、SIMPLIS が詳細な設計検証を実用に行っている要因の 1 つです。

SIMPLIS がシミュレーションプロセスを高速化するもう 1 つの要因は、POP 解析を使用することです。

SIMPLIS POP のしくみ

SIMPLIS 周期的動作点 (POP) 解析は、安定な周期的スイッチングシステムの定常状態の ON-OFF リミットサイクルを見つけるのに優れています。SIMPLIS POP 解析は、長い時間領域の過渡シミュレーションを実行するのに比べて、はるかに高速に、より正確に、はるかに再現よく実行できます。POP 解析の高い精度により、実用的な損失解析が可能となり、完全な非線形時間領域シミュレーションモデルに基づく小信号 AC 解析も可能になります。損失分析と AC 解析が役に立つは、正確で再現性のある結果を達成するために、システムが周期的な定常状態にあることが必要です。SIMPLIS を習得するうえで、POP 解析は難しいですが、十分に報いられます。

Dual Output Single Switch Forward Converter Schematic は、複雑な電源システムの定常状態の動作点を SIMPLIS が非常に迅速かつ正確に見つける好例です。

SIMPLIS のシミュレーション能力から最大の便益を得るには、SIMPLIS POP 解析と POP アルゴリズムのしくみを理解することが重要です。

定常状態を見つけるために、POP は次のタスクを実行して、システムを時間領域でシミュレートします。

1. 各スイッチングサイクルの開始時に、すべてのキャパシタ電圧とすべてのインダクタ電流のスナップショットを取得します。
2. 追加のスイッチングサイクルについてシステムをシミュレートし、次のスイッチングサイクルの開始時に、システムの別のスナップショットを取得します。
3. これらの 2 つのスナップショット間で各キャパシタ電圧の差と各インダクタ電流の差を取り、差をゼロに駆動しようとします。

実際には、POP がスイッチングシステムの定常状態を検出すると、キャパシタ電圧またはインダクタ電流の 2 つの連続したスナップショット値の最大の差は $1.0E-10\%$ から $1.0E-13\%$ の範囲内です。これらは、SPICE の典型的な RELTOL の $1.0E-3$ と比較して非常に小さい誤差です。

妥当な初期条件のシステムでは、SIMPLIS POP アルゴリズムは次の条件を繰り返し求めて定常状態に到達します。

- 各キャパシタ電圧について、サイクル間のスナップショット値の差がほぼゼロ
- 各インダクタ電流について、サイクル間のスナップショット値の差がほぼゼロ

SIMPLIS POP アルゴリズムは、次のようなスイッチング時間サンプリングシステムの定常状態の動作点を見つけるのに最適です。

- スwitching電源
- フェーズロックループ
- D 級増幅器
- スイッチトキャパシタフィルタ

これらのシステムの多くは、制御にフィードバックループを使用します。フィードバックループのあるシステムが不安定で、定常状態の動作点がない場合、POP 解析は成功しません。フィードバックシステムが安定している限り、POP 解析は成功します。

SIMPLIS POP が重要な理由

実際には、スイッチング電源などのスイッチングシステムの特性を調べるとき、測定の 95% 以上は、定常状態で動作しているシステムで始まります。SIMPLIS POP 解析は、スイッチ

ング回路を迅速に定常状態に駆動します。システムが定常状態に到達すると、システムに摂動を与え、結果として生じるシステム応答を測定できます。

圧倒的多数のシステム測定では、測定の基準点は初期の定常状態の周期的動作点です。典型的な設計プロジェクトで設計者は数千のシミュレーションを実行するので、システムを定常状態にするために必要な CPU 時間を短縮できることは、エンジニアにとって時間の節約になります。定常状態に到達するまでの時間を 10 分から 10 秒に短縮できれば、プロジェクトの存続期間中の時間の節約は数百時間になります。

SIMPLIS は比較的短時間に非常に多くのシミュレーションを実行できるので、SIMPLIS POP 解析により、スイッチング電源システムの本格的なシミュレーション解析が可能になります。POP を使用しない場合、許容される実際の時間で実行できるのは、シミュレーション解析の粗いセットだけです。しかし、POP を使用すると、設計プロセスの間に徹底的なシステム性能評価が可能になります。その結果、設計エラーの大部分は、設計プロセスの非常に早い段階で検出できます。デザインをハードウェアに渡す前に設計エラーを検出することにより、エラーを修正する時間と費用は最小になります。

定常状態の平均を見つけることができる区分線形 SIMPLIS POP 解析の速度と精度のために、次の 2 つのプロセスに基づいて SIMPLIS AC 解析が可能です。

1. 定常状態のシステムで時間領域過渡シミュレーションを実行します。その間、システムに注入される非常に小さい AC 信号は、システムを妨害する（信号経路のデバイスを誤って飽和させるような）ものがないことを保証します。
2. 注入された信号に対するシステム応答は、時間領域で再度測定されます。SIMPLIS の精度は非常に高いので、注入された AC 信号が非常に小さくても、システム応答は非常に良い信号対雑音比で測定できます。

次のステップ

1. 次に、実践的なイントロダクションである [SIMPLIS Tutorial](#) に沿って、回路図の作成とシミュレーションの実行をお勧めします。
2. [SIMPLIS Tutorial](#) を終了すると、無償の [SIMetrix/SIMPLIS Evaluation License](#) を十分に活用する準備が整います。これは、[SIMetrix/SIMPLIS](#) の完全な機能を備えた期間限定ライセンスへのアクセスを提供します。無償でダウンロードできる [SIMetrix/SIMPLIS Elements](#) と異なり、回路のサイズに制限はありません。