

POP と AC 解析

POP 解析は、SIMPLIS の最も強力な機能の 1 つです。POP 解析は、回路のスイッチング定常状態動作点をすばやく見つける特殊な過渡解析です。定常状態の動作点が見つかり、回路に対して周期的な動作点 (periodic operating point) での AC 解析が実行できます。

POP 解析の後に過渡解析を続けることもできます。その場合、過渡解析は POP 解析で見つかった動作点から開始されます。これは、回路が定常状態で開始するパルス負荷過渡解析などのテストに非常に役立ちます。

POP 解析とは

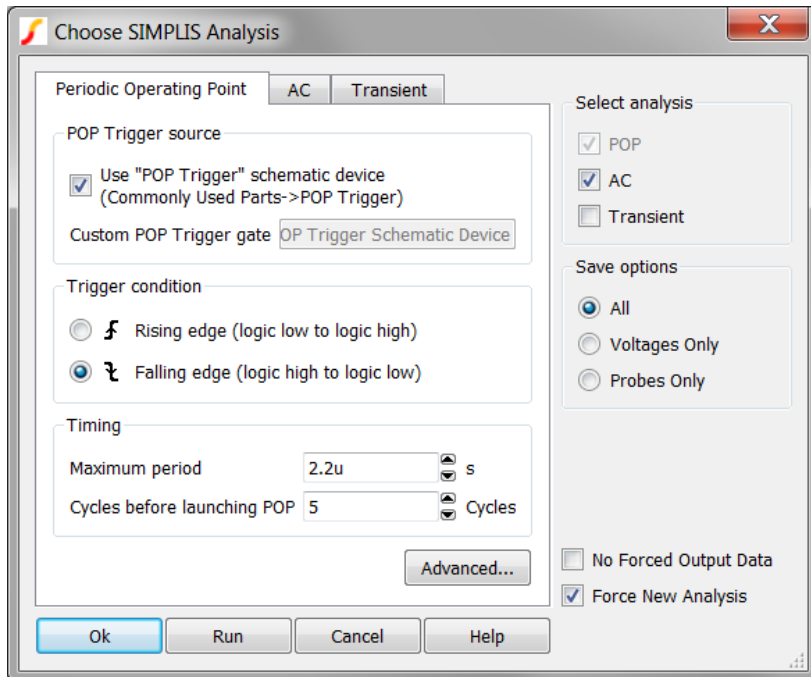
- POP 解析は、特殊な過渡解析です。
- POP 解析は、コンバータの周囲に追加の制御ループを配置することにより、POP の文字通り回路を強制的に定常状態にします。
- POP 解析は、SPICE シミュレータの RELTOL よりもはるかに高い、定常状態の動作点を高レベルの精度で算出します。
- AC 解析を実行するには、POP 解析を最初に完了させる必要があります。
- AC 解析の結果は、POP 解析で検出されたスイッチング動作点で有効になります。

POP および AC 解析を実行してみます

1. 波形ビューアが開いている場合は閉じます。
2. SIMPLIS ステータスウィンドウが開いている場合は、ウィンドウを選択し(**Ctrl+Space**)とし、**Clear Messages** ボタンをクリックして、ウィンドウからすべてのメッセージをクリアします。
3. 添付されている **1.2_SIMPLIS_tutorial_buck_converter.sxsch** というタイトルの回路図面を開きます。(添付の Module_1_Examples.zip を展開するとこの例題が入っています)
4. メニューバーから **Simulator** [シミュレータ] > **Choose Analysis...** [解析の選択...] を選択します。
5. **[Transient]** チェックボックスをオフにし、**[POP]** および **[AC 解析]** チェックボックスをオンのままにします。

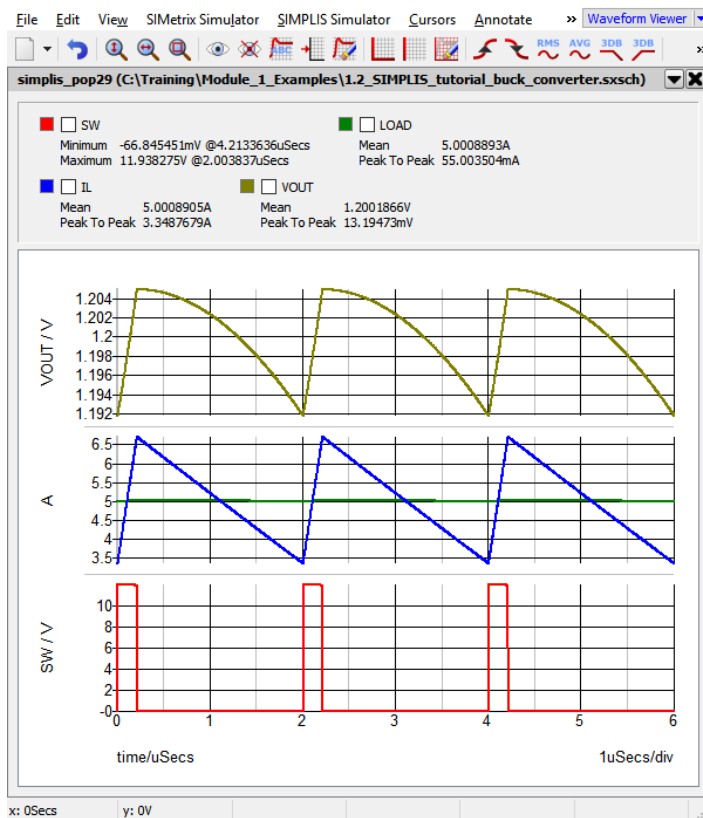
結果: POP チェックボックスもオンになっていますが、灰色で無効になっています。これは、すべての AC 解析の前に POP 解析を実行する必要があることを示しています。

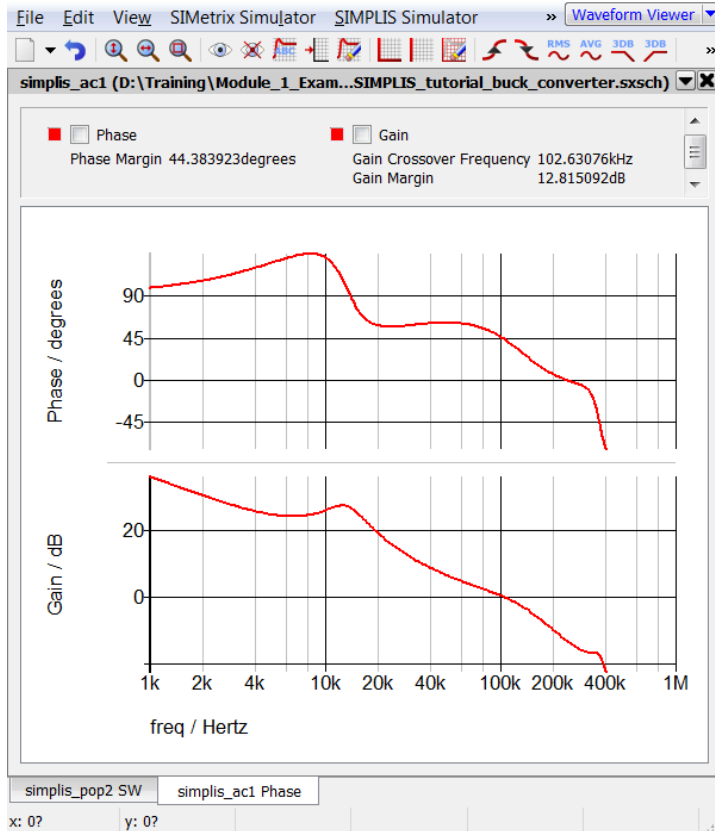
6. ダイアログは次のように表示されます。



7. Run [実行]をクリックします。

結果: POP 解析は同期バックコンバーターで実行され、回路のスイッチング定常状態動作点を見つけてから、AC 解析を実行します。波形ビューアは、制御ループの AC 応答とともにデータの 3 つのスイッチングサイクルで開きます。





解説-POP 解析

実験室に入ってスイッチング電源の電源を入れると、オシロスコープ画像で見た場合、定常状態になるまで数秒かかります。帯域幅が数ヘルツの最も遅い PFC 制御ループでは、回路の電源を入れてから最初に回路にプローブを当てるまで時間がかかります。シミュレーターでの事情は少し異なります-定常状態に到達するために必要な時間を短くする方法が必要です。

これが、Periodic Operating Point (POP 解析)が開発された理由です。

POP はどのように動作するのか

POP は基本的に、電源制御ループの周りをソフトウェアで制御するループです。POP は、コンバータの各スイッチングサイクルを監視します。POPトリガーデバイスは、オシロスコープのトリガーがラボで波形をキャッチするのと同じように、次のスイッチングサイクルの開始を通知する波形エッジを検出します。各エッジで、POP アルゴリズムはいくつかのアクションを実行します。

1. 各コンデンサ電圧と各インダクタ電流をサンプリングして記録します。

2. デバイスが抵抗、コンデンサ、インダクタのいずれであるかに関係なく、各 PWL デバイスの現在の動作セグメントを記録します。
3. 回路内の各スイッチの状態を記録します。

この情報を利用して、POP は次のスイッチングサイクルの回路をシミュレートします。次に、POP はコンデンサの電圧とインダクタの電流を再サンプリングし、値が 1 つのスイッチングエッジから次のスイッチングエッジまで本質的に同じであるかどうかを判断するための計算を行います。パーセント誤差が POP 収束仕様よりも小さい場合、POP アルゴリズムは、コンバーターが定常状態にあると判断して終了します。シミュレーション時間はゼロにリセットされ、ユーザーが指定したスイッチングサイクル数(この場合は 3)がシミュレーションされ、波形ビューアーにプロットされます。

あるスイッチングエッジから次のスイッチングエッジへのサンプリング値が収束仕様よりも大きい場合はどうなるか？POP は各パス中に、ループを通してもう一つのパスを取ります。

1. POP は、コンバーターが定常状態になるためのコンデンサ電圧とインダクタ電流を予測します。
2. POP はこれらの初期条件を回路にロードし、シミュレーションを再開します。
3. 次のスイッチングエッジで、プロセスが繰り返されます。

SIMPLIS ステータスウィンドウに POP の進行状況が表示されます

SIMPLIS シミュレータは、シミュレーションの進行状況を SIMPLIS Status Window (SIMPLIS ステータスウィンドウ) に直接出力します。データ出力には次のものが含まれます。

- 各解析の完了率。
- 各解析の経過時間と CPU 時間。
- POP プロセスがパスして通過するたびに検出された POP 収束。
- 新しいトポロジー情報。新しいトポロジーは独自の回路構成です。たとえば、この降圧コンバーターには、MOSFET がオンになると新しいトポロジーがあり、MOSFET がオフになると別のトポロジーがあります。新しいトポロジーの詳細については、セクション [2.0 Transient Analysis Settings](#) ([2.0 過渡解析設定](#))を参照してください。

SIMPLIS ステータスウィンドウでは、POP アルゴリズムがどのように機能するかが確認できます。[以下に示すのは、POP シミュレーション実行からの出力です。1.0.5 simplis status window pop analysis.log](#) をクリックすると、ステータスウィンドウのテキストを新しいブラウザウィンドウでファイルとして表示できます。

[1.0.5 simplis status window pop analysis.log](#):

POP アルゴリズムを通過するたびに、パス番号と測定された収束が SIMPLIS ステータスウィンドウに出力されます。各パスは、上記のように POP アルゴリズムを介した完全なループです。この回路の最終的な収束は

2.45E-13%です。SIMPLIS は、このレベルの精度で回路を恒常的に解決します。これにより、次のセクションで説明するように、時間領域モデルで AC 解析が実行できます。

ここまでは、POP 解析の概要です。POP アルゴリズムの詳細については、[2.2 How POP Really Works](#). をご覧ください。

解説-AC 解析

[1.0.1 SIMPLIS is a Time-Domain Simulator, all the Time, for Every Analysis, Period](#) で説明されているように、[SIMPLIS は時間領域シミュレーターであり、すべての解析、期間](#)について、最初に周期的な動作点を見つけ、次に単一の時間領域で正弦波信号を注入することにより、時間領域モデルで AC 解析が実行されます。次に、注入信号に対する時間領域の応答から AC 結果が計算されます。次に、注入された信号は解析対象の次の周波数に変更され、要求された周波数範囲全体がカバーされるまで測定プロセスが繰り返されます。平均化されたモデルは使用されません。すべての AC 解析結果は、完全な非線形システムの時間領域応答から導出されます。

POP が成功しない場合

1. 回路が正常に POP しない場合、つまり SIMPLIS が安定した定常状態の周期的動作点を見つけられない場合、AC 解析は実行されません。コマンドシェルに警告メッセージが表示されます。
2. POP 解析中に回路は収束しますが、予期しない POP になることがあります。一般的な例は、POP 解析の結果、回路が電流制限またはその他の障害状態で動作している場合に発生します。電流制限動作中、電圧ループは本質的に開いているため、電圧ループのゲインは通常の動作に比べて大幅に減衰します。

結論と重要なキーポイント

- POP 解析を使用して定常状態に到達するまでの時間が短縮できれば、設計業務の反復プロセスの時間が大幅に短縮されます。
- POP アルゴリズムは、回路が周期的にスイッチする場合にのみ機能します。
- SIMPLIS PWL 回路方程式は、非常に高い精度で解かれます。POP 収束仕様は、SPICE シミュレータの相対許容誤差 (RELTOL) よりも桁違いに小さくなっています。
- すべての AC 解析を行う前に POP 解析が必要です。
- AC の結果は、POP 解析中に検出された動作点に完全に依存しています。