

SmartCtrlチュートリアル (T03)
SmartCtrl による
共振コンバータの制御ループ設計

Mywayプラス株式会社

共振コンバータの制御ループ設計

1. はじめに

SmartCtrl は、パワー・エレクトロニクス・アプリケーション用に設計された汎用ソフトウェアです。

このチュートリアルは、共振コンバータの制御ループを設計するための設計ステップのガイドを目的にしています。

共振コンバータの伝達関数を導き出すことは難しいため、共振コンバータの周波数特性を PSIM からインポートされた AC 掃引結果をデータとして入力します。入力されたデータから共振コンバータの制御ループを Smart Ctrl を使用して設計する手順を示します。

この例で、SmartCtrl と PSIM と組み合わせて使用することで、任意の共振型コンバータの制御ループを設計できる能力と柔軟性を示しています。

最初のステップは、PSIM の AC 解析を使用して共振コンバータの周波数応答を取得することから始まります。

SmartCtrl は、パワー・エレクトロニクス・アプリケーション用に設計された汎用ソフトウェアです。

このチュートリアルは、共振コンバータの制御ループを設計するための設計ステップのガイドを目的にしています。

共振コンバータの伝達関数を導き出すことは難しいため、共振コンバータの周波数特性を PSIM からインポートされた AC 掃引結果をデータとして入力します。入力されたデータから共振コンバータの制御ループを Smart Ctrl を使用して設計する手順を示します。

この例で、SmartCtrl と PSIM と組み合わせて使用することで、任意の共振型コンバータの制御ループを設計できる能力と柔軟性を示しています。

最初のステップは、PSIM の AC 解析を使用して共振コンバータの周波数応答を取得することから始まります。

2. AC スウィープ解析

1. PSIM の AC スウィープ機能

回路の周波数応答は、PSIM の AC Sweep を使用して共振コンバータ回路から直接取得することができるため、共振コンバータ回路の平均化されたモデルを生成する必要はありません。コンバータ回路を図 2 に示します。

PSIM で回路の AC Sweep を実行するためには、AC 掃引ブロック、信号注入用の AC ソース、および AC プローブが必要です。

AC Sweep を実行するためには、図 1 のパラメーターを使用します。

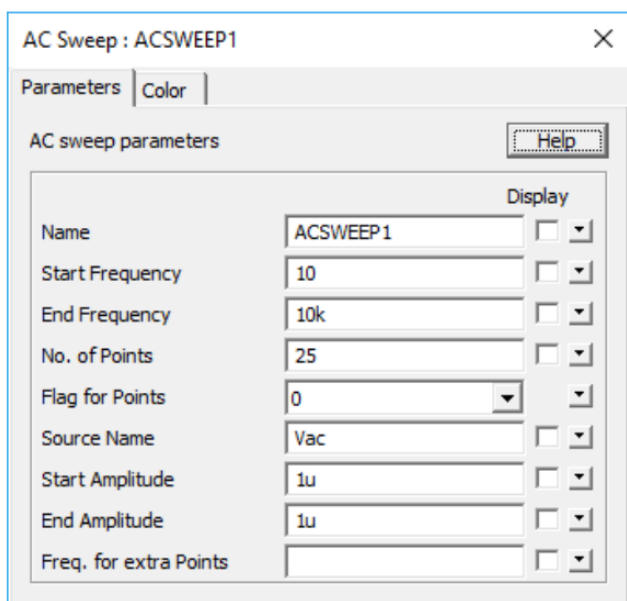


図 1. AC 解析パラメータ

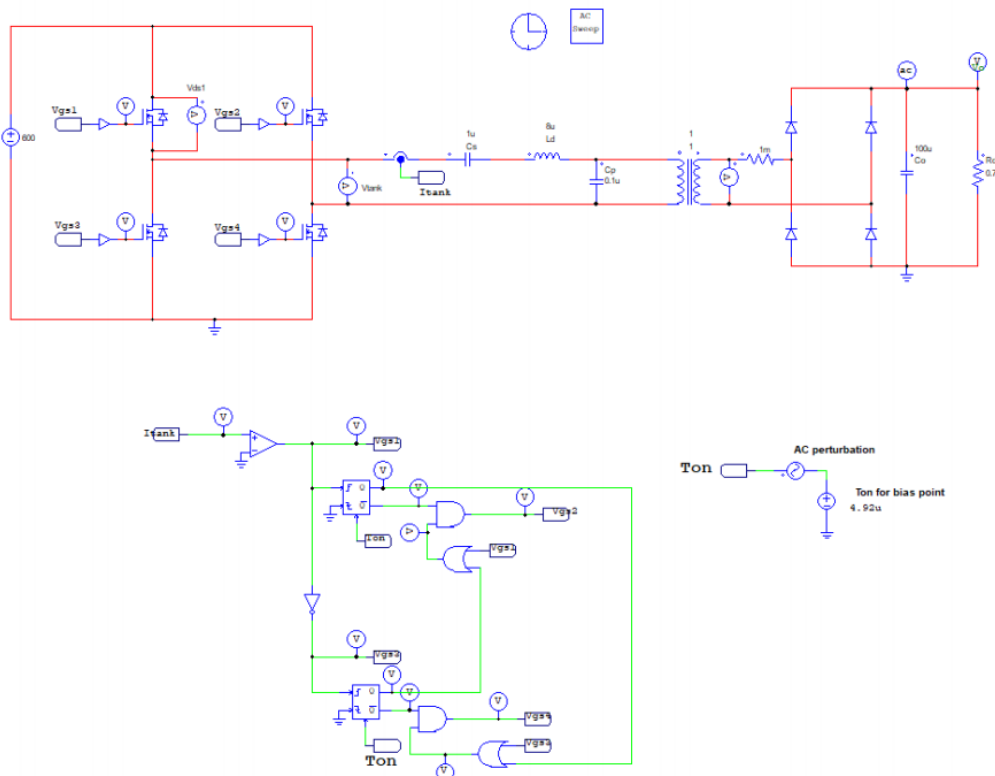


図 2.AC スウィープを実行するための回路図

シミュレーション後、図 3 に示すように、出力電圧と制御変数 Ton の周波数応答が取得されま

す。周波数応答が取得されたら、SmartCtrl に出力することができます。

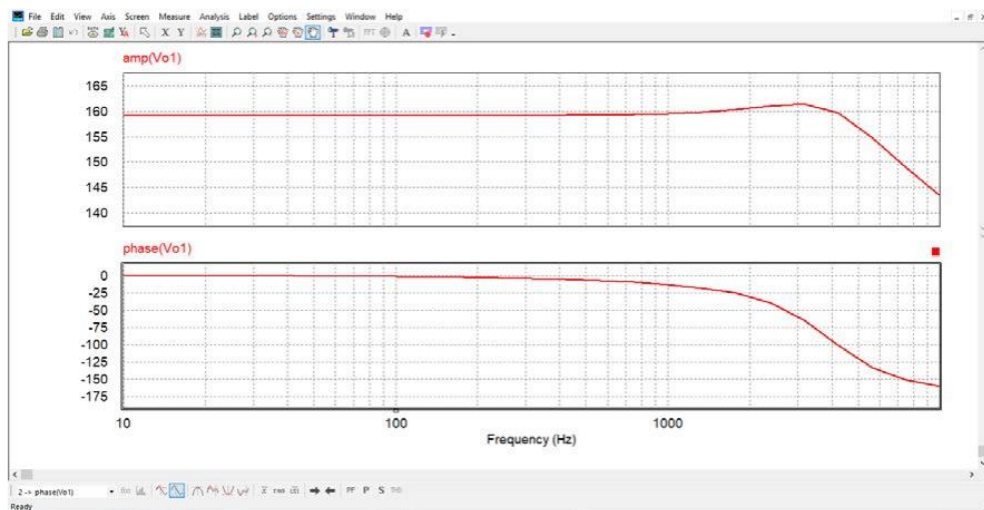


図 3.共振コンバータの周波数特性

1.SmartCtrl による制御設計

1.SmartCtrl へ周波数特性データの入力

図 4 に示す SmartCtrl ボタンをクリックして、SmartCtrl を開きます。この操作で、周波数応答のデータを PSIM AC 分析から SmartCtrl へデータを送信します。

出力電圧とスイッチング周波数を入力し、[OK]をクリックして続行します。図 5 を参照してください



Figure 4: SmartCtrl shortcut access

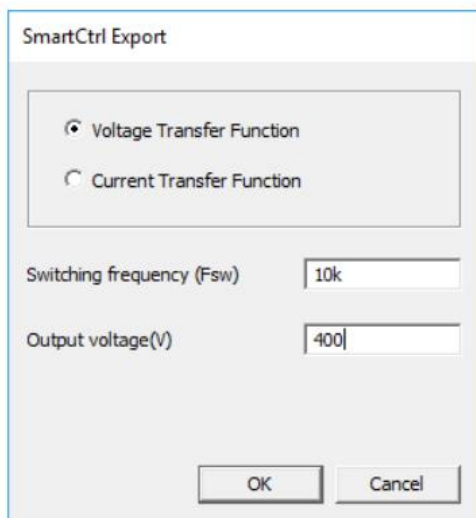


図 5. SmartCtrl のオプション・ウィンドウ

SmartCtrl へロードされた伝達関数は、図 6 に示すように自動的にプロットされます。

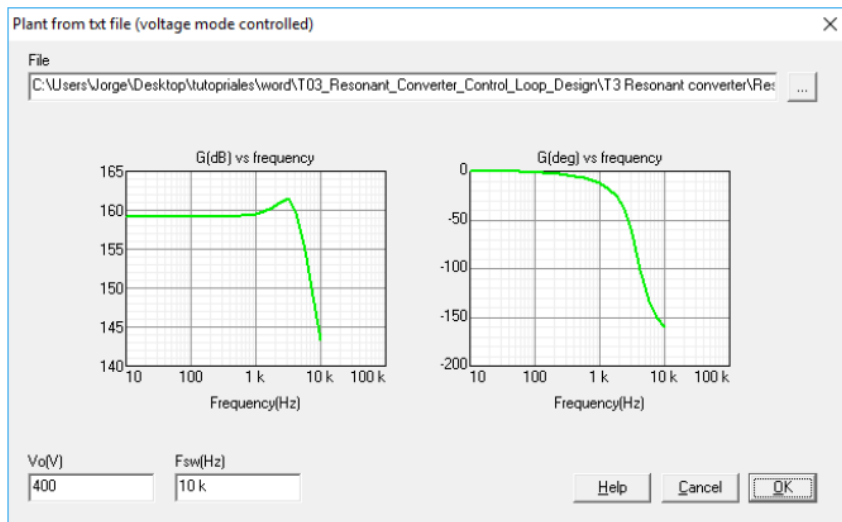


図 6 : 伝達関数が SmartCtrl へ入力される

この時点で、回路は PSIM からの AC Sweep 入力によって完全に定義されています。
次のステップは、センサーとレギュレーターを定義することです。 図 7 を参照してください。

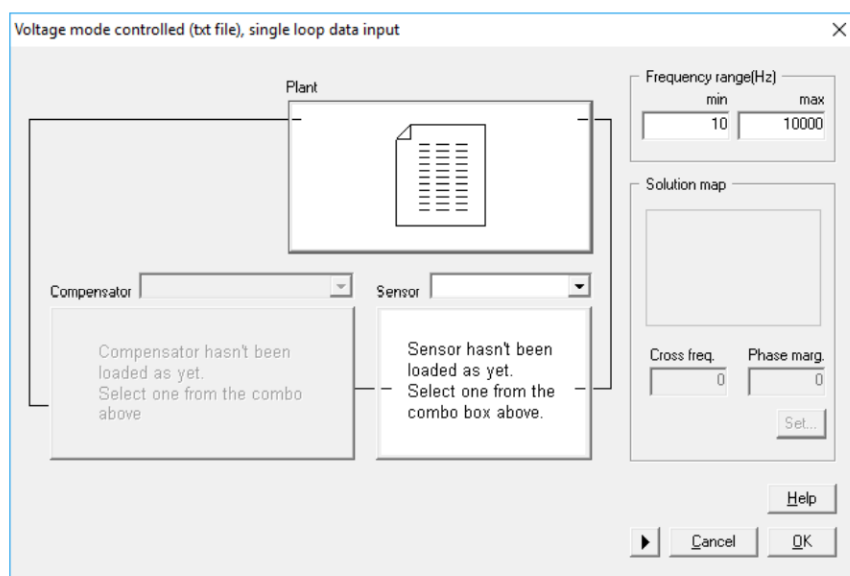


図 7 : 伝達関数の設定

[Sensor]タブをクリックして、「 Voltage Divider 」センサー・トポロジを選択します。4.89uVの基準電圧を入力し、「Calculate Gain」ボタンをクリックします。図 8 を参照してください。

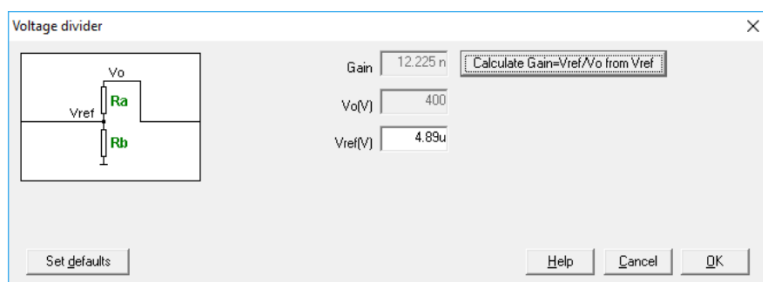


図 8 : センサーの選択

補償器を構成するには、「 Compensator Tab 」をクリックし、PI 補償器を選択して、図 9 に示すようにパラメーター化します。

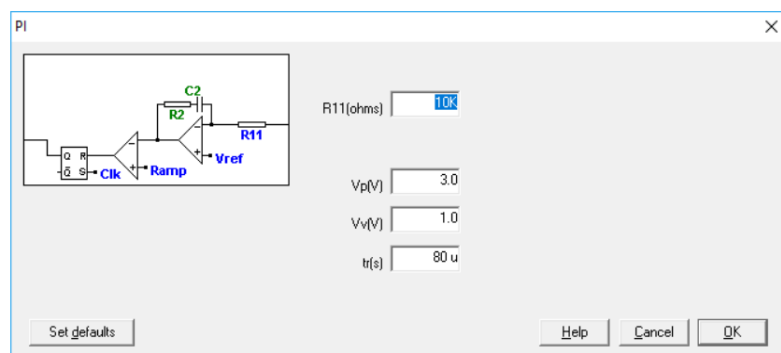


図 9 : 補償器の選択

すべてのループ要素が定義されたら、遮断周波数と位相余裕を選択します。SmartCtrl は、ソリューション・マップを介して遮断周波数と位相余裕を選択するためのガイド・ラインと簡単な方法を提供します。

白い領域内の各ポイントは、安定したソリューションにつながる位相マージンと遮断周波数の組み合わせに対応します。さらに、ポイントが選択されます、スイッチング周波数でセンサーとレギュレーターによって与えられる減衰が提供されます。

スイッチング周波数で十分な減衰がないと、高周波振動が発生する可能性があることに注意してください。

選択を実行するには、[Set] ボタンをクリックすると、SmartCtrl はソリューション・マップを表示します。

次に、白い領域内のポイントを左クリックし、[OK] をクリックして続行します。このチュートリアルでは、4.235kHz の遮断周波数と 72.6 deg の位相余裕が選択されています。

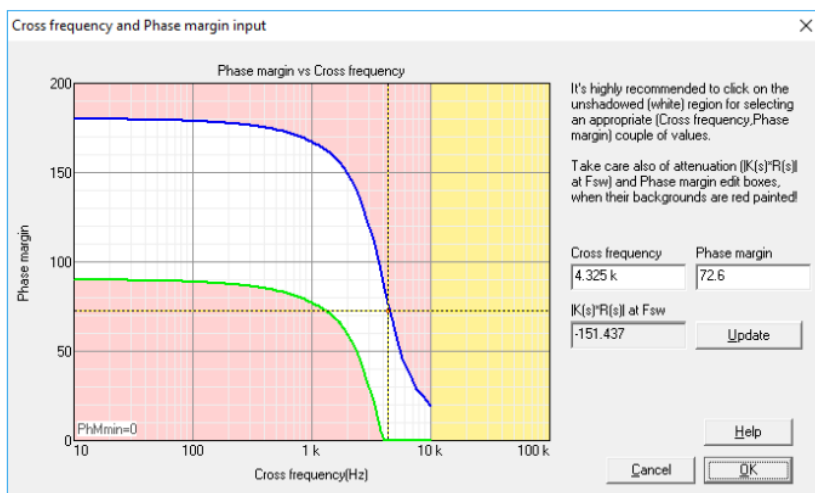


図 10 : 解析マップ

遮断周波数と位相余裕を選択すると、入力データ・ウィンドウの右側にソリューション・マップが表示されます。これらの2つのパラメータを変更する必要がある場合は、表示されているソリューション・マップをクリックするだけでパラメータを変更することができます。

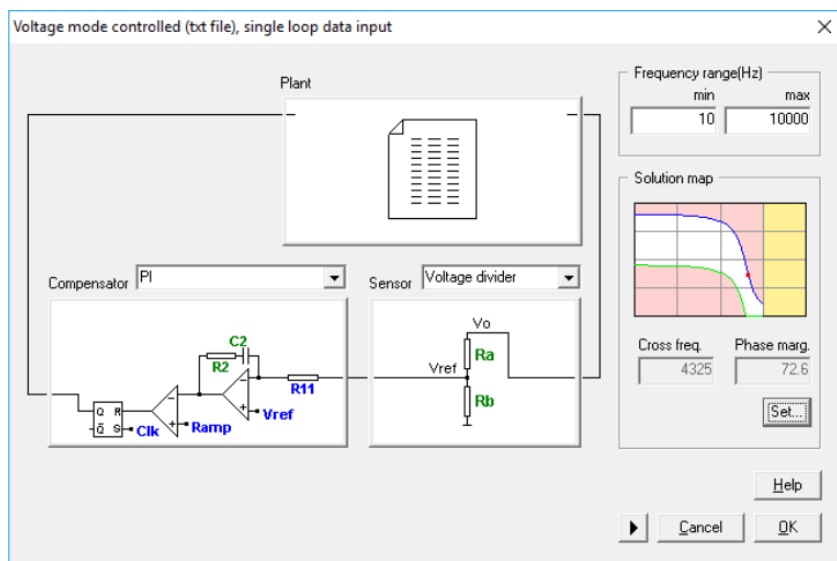


図 11 : SmartCtrl のループ構成

選択した構成で設計を確認すると、プログラムは周波数応答と過渡応答の観点からシステム・パフォーマンスを自動的に表示します。ソリューション・マップ・ウィンドウは常に表示されています。

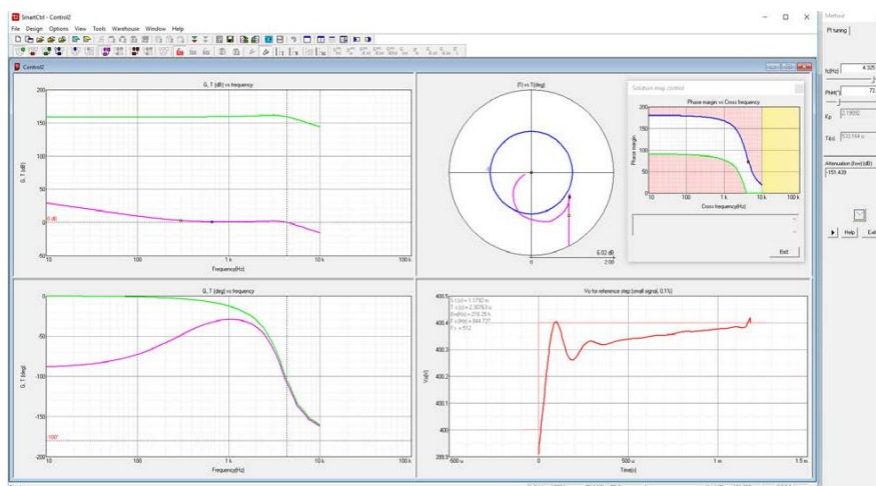


図 12 : SmartCtrl ループ特性

4. 検証

1. 制御ループ設計の検証

SmartCtrl から 2 つの異なるデザインが取得されます。

次の表は、これら 2 つの設計の制御ループ帯域幅 (BW) と位相マージン (PM)、およびレギュレーターのパラメーターを示しています。

SmartCtrl から 2 つの異なるデザインが取得されます。次の表は、これら 2 つの設計の制御ループ帯域幅 (BW) と位相余裕 (PM)、およびレギュレーターのパラメーターを示しています。

Design #1	Design #2
Bandwidth = 3.5kHz	Bandwidth = 1kHz
Phase Margin = 55°	Phase Margin = 90°
Kp = 1.198	Kp = 471m
Kint = 38.92u	Kint = 35.56u

これらの値は、図 13 に示すように SmartCtrl から取得できます。

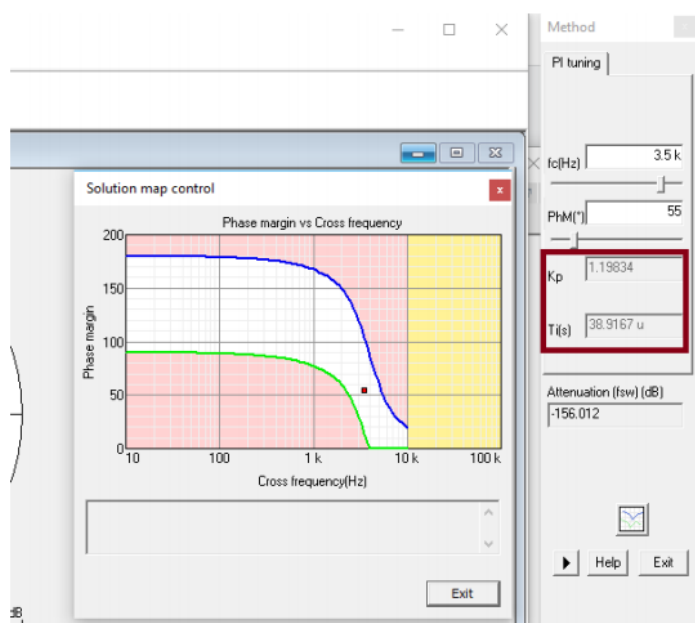


図 13 : Kp と Ti の値は SmartCtrl で求めることができます。

上記の表の 2 つのレギュレーターを使用して、対応する閉ループ応答が PSIM でシミュレートされます。

PSIM の回路図を図 14 に示します。この回路図では、計算された補償器の動的応答をテストするために、5ms の入力電圧ステップが追加されています。

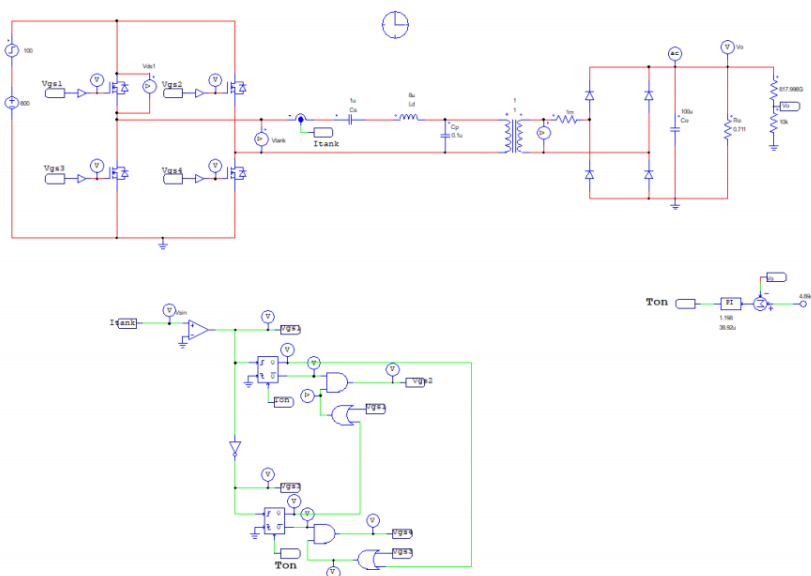


図 14 : PSIM 回路図 入力にステップ電圧を加算しています。

シミュレーションの結果を図 15 に示します。定常状態の出力電圧は指定どおり 400V であり、100V の入力ステップでもどのように維持されているかがわかります。

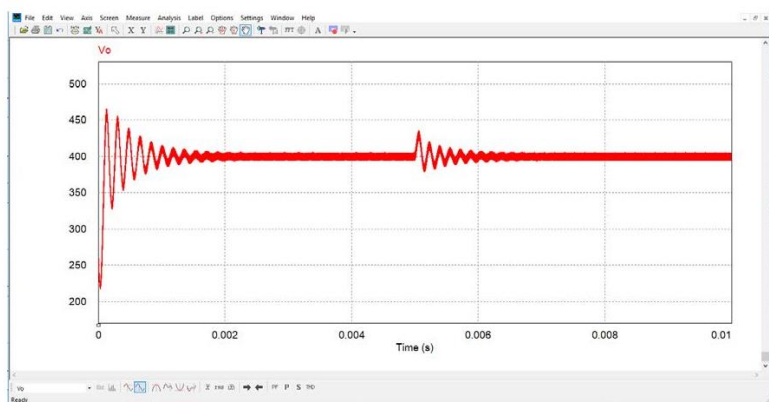


図 15 : 出力電圧波形

このシミュレーションを繰り返しますが、PI 補償器の他の値 ($K_p = 471m$ / $K_{int} = 35.56u$) を使用すると、波形から、最初の設計 (Design#1) が 2 番目の設計よりも正確に基準信号をトレースすることがわかります。(Design#2)

Design#1 は、減衰が不十分な発振で位相マージンが低くなりますが、帯域幅が広く、低周波数ゲインが高いため、応答は速くなります。

この例は、SmartCtrl を PSIM と組み合わせて、PSIM から周波数応答の結果を SmartCtrl へインポートする機能により、制御ループの設計とコンバータの最適化のための高速で強力なプラットフォームを提供できることを示しています。

ご注意

1. 本資料に記載された製品の仕様は、予告なく変更することがあります。
2. 本資料の内容については、万全を期しておりますが、万一ご不明な点などがありましたら、弊社までお申しつけください。
3. 本資料に記載された情報に起因する損害または特許権その他権利の侵害に関しては、弊社は一切の責任を負いません。
4. 本資料によって第三者または弊社の特許権その他権利の実施権を許諾するものではありません。
5. 弊社の書面許諾なく、本資料の一部または全部を無断で複製することを固くお断りします。
6. 本資料に記載されている会社名、商品名は、各社の商標または登録商標です。

Copyright 2021 by Myway Corporation

All rights reserved. No part of this manual may be photocopied or reproduced in any form or by any means without the written permission of Myway Corporation.

発行: Myway プラス株式会社

〒220-0022

横浜市西区花咲町 6-145 横浜花咲ビル

TEL: 045-548-8836

FAX: 045-548-8832

ホームページ: <https://www.myway.co.jp>

Eメール: sales@myway.co.jp
