

PLECS *DEMO MODEL*

Series Capacitor Buck Converter

直列キャパシタ降圧コンバータ

Last updated in PLECS 4.3.1

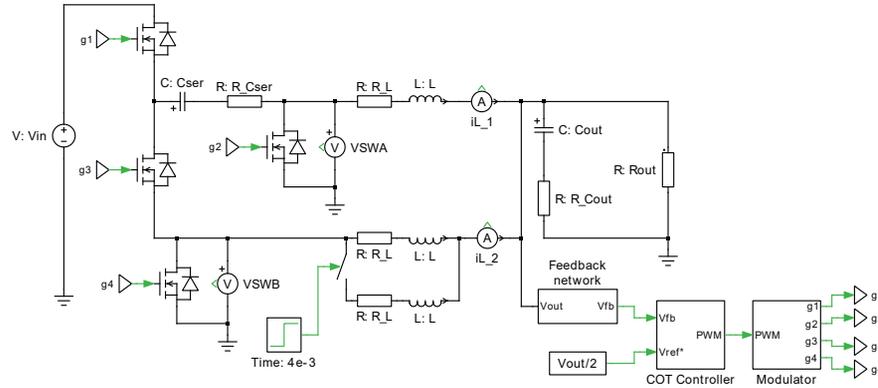
KESCO KEISOKU ENGINEERING SYSTEM

計測エンジニアリングシステム株式会社
<https://kesco.co.jp>

1 概要

このデモでは、[1]で提案されたコンスタントオンタイム(Constant On-Time: COT)制御を備えた2相直列キャパシタ降圧コンバータ回路を紹介します。

図1: COT制御を備えた2相直列キャパシタ降圧コンバータ回路



Note このモデルには、次からアクセスできるモデル初期化コマンドが含まれています。

PLECS Standalone: シミュレーションメニュー + シミュレーション・パラメータ... → 初期化

PLECS Blockset: Simulinkモデルウィンドウで右クリック → モデル プロパティ → コールバック → InitFcn*

2. モデル

2.1 電源回路

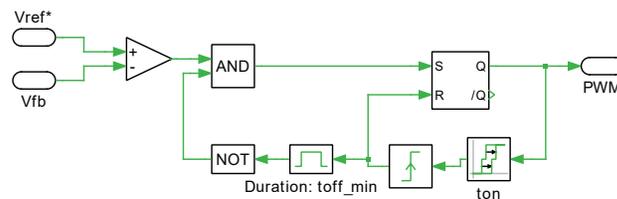
直列キャパシタ降圧コンバータは、スイッチトキャパシタ回路と2相降圧コンバータを1ステージに統合したDC/DCトポロジです。直列キャパシタ(電圧は定格入力半分)は、2対1の電圧降下を実現します。出力フィルタから見ると、入力電圧が半分の降圧コンバータと言えます。スイッチノード(VSWAおよびVSWB)は、降圧コンバータのように全入力電圧ではなく、半分に整流するため、スイッチング損失が低減します。

このトポロジは、電流検出回路や負荷分散制御ループを使用せず、自動的にインダクタ電流のバランスをとります。コンバータには50%のデューティ比制限があり、直列キャパシタによって生成される本来の2対1の電圧降下と組み合わせることで、最大出力電圧が入力電圧の4分の1になります。出力電圧の実質的な限界は、入力電圧の1/5程度です[1]。このデモでは、必要な出力電圧を入力電圧の1/10としています。

2.2 制御

回路の出力電圧は、COT制御を使用して調整します。これは、オン時間が一定に保たれる可変周波数ソリューションです。この制御は、出力電圧リップル(V_{rb})をPWMランプ信号として使用します。この信号はリファレンス(V_{ref})と比較するため、ある程度の出力電圧リップルが必要になります。これは出力キャパシタESRによって提供されます。比較器はフィードバック電圧(V_{fb})を監視し、フィードバック出力がリファレンス値よりも低い場合にハイサイドスイッチのオン時間をトリガします。オン時間は一定に保たれるため、コントローラはスイッチのオフ時間のみを調整します。さらに、Minimum Off-timeブロックにより、負荷の急激な変化時のインダクタ飽和を防止します。COT制御は、大きな電圧降下(低デューティ比)に特に効果的です[3]。

図2: コントローラの回路図



3. シミュレーション

シミュレーションを実行して、12V入力Point of Load(POL)電圧レギュレータアプリケーションのコンバータの定常動作を観察します。直列キャパシタの平均電圧は入力電圧の約半分(6V)、負荷電圧は入力電圧の約10分の1(1.2V)、スイッチノード電圧VSWAとVSWBは両方とも入力電圧の半分(6V)に制限されます。さらに、インダクタ電流は完全にバランスが取れています。

インダクタ電流の自動バランスは、インダクタの1つの値を変更することで実証できます。シミュレーションの開始時に、両方のインダクタは220nHに設定されます。t=4msで、一方の相のインダクタンスを110nHに変更します。図4のシミュレーション結果は、平均インダクタ電流(緑色の i_{L1} 、赤色の i_{L2})がバランスを保ち続け、出力に同じ電流を供給していることを示しています。

図3: 定常動作におけるシミュレーション結果

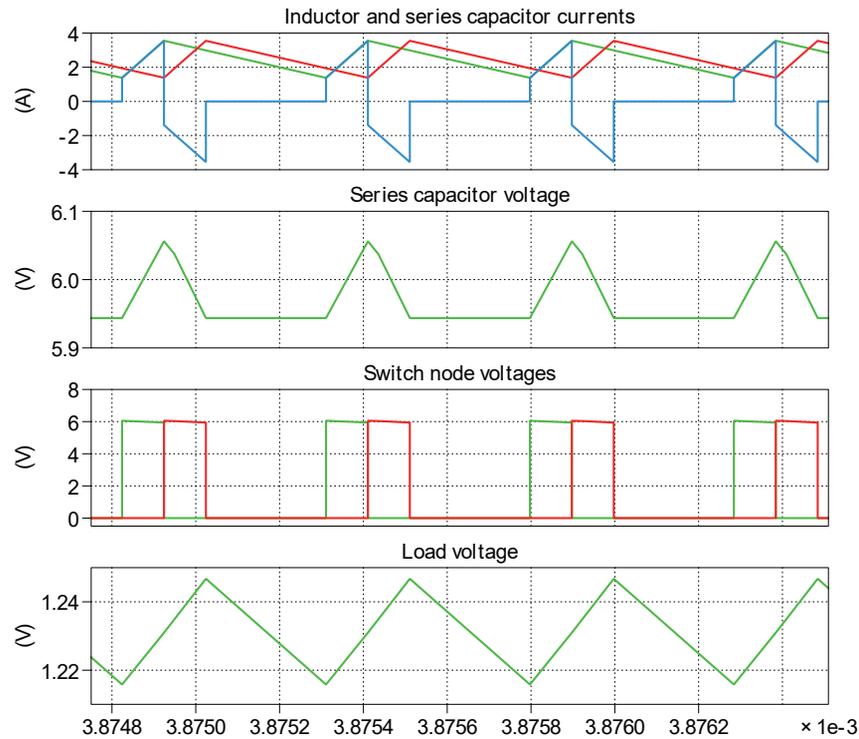
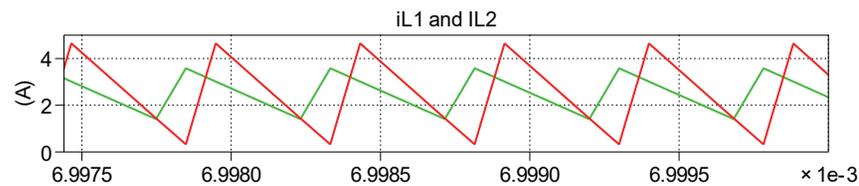


図4: 平均インダクタ電流



参考文献

- [1] Pradeep Shenoy, "Design of a high-frequency series capacitor buck converter," white paper from the TI Power Supply Design Seminar 2016/17.
- [2] Pradeep Shenoy, "Introduction to the Series Capacitor Buck Converter."
Click to access online: [Texas Instruments SLVA750A Application Report](#).
- [3] Robert Mammano, "Switching control algorithms," in Fundamentals of Power Supply Design, 1sted.

改訂履歴:

PLECS 4.3.1 初版



Pleximへの連絡方法:

☎ +41 44 533 51 00	Phone
+41 44 533 51 01	Fax
✉ Plexim GmbH	Mail
Technoparkstrasse 1	
8005 Zurich	
Switzerland	
@ info@plexim.com	Email
http://www.plexim.com	Web



計測エンジニアリングシステム株式会社

<https://kesco.co.jp>

PLECS Demo Model

© 2002-2023 by Plexim GmbH

このマニュアルに記載されているソフトウェアPLECSは、ライセンス契約に基づいて提供されています。ソフトウェアは、ライセンス契約の条件の下でのみ使用またはコピーできます。Plexim GmbHの事前の書面による同意なしに、このマニュアルのいかなる部分も、いかなる形式でもコピーまたは複製することはできません。

PLECSはPlexim GmbHの登録商標です。MATLAB、Simulink、およびSimulink Coderは、The MathWorks、Inc.の登録商標です。その他の製品名またはブランド名は、それぞれの所有者の商標または登録商標です。