

PLECS *DEMO MODEL*

Buck Converter with Cascaded Controls

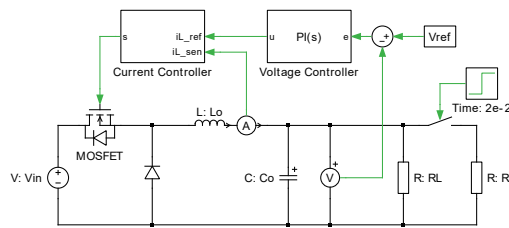
降圧コンバータの直列制御

Last updated in PLECS 4.8.1

1 概要

このデモでは、抵抗性負荷を備えた降圧コンバータを使用します。閉ループコントローラは直列接続で、外側の電圧コントローラと内側の電流コントローラで構成しています。Voltage Controllerは、ライブラリの連続系PID制御器コンポーネントを使用しています。Current Controllerサブシステムには2つの構成があります。最初の構成では、ステートマシンコンポーネントを実装したConstant On-Time Current Controllerを使用します。2番目の構成では、ライブラリのピーク電流制御器ブロックを使用します。図1は、モデルの最上位の回路図を示しています。

図1: カスケード制御付き降圧コンバータ



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

このデモで使用する降圧コンバータ電源回路は、PLECSのdemosライブラリの"Buck Converter with Voltage Controls"で説明しているものと同じです。ただし、この降圧コンバータで使用している変調方式は、従来のパルス幅変調(PWM)方式ではありません。2つの異なる電流制御方法を使用して、MOSFETのオン/オフ信号を直接生成します。したがって、Current Controllerサブシステムの出力信号は、"Buck Converter with Voltage Controls"デモの場合の変調インデックス値 m ではなく、直接MOSFETゲート信号 s になります。

2.2 制御

コントローラは、内側のCurrent Controllerと直列接続した外側のVoltage Controllerで構成されます。ユーザは、Current Controllerサブシステムのマスク ダイアログで、Constant OnTime ControlとPeak Current Controlの2つの構成を選択できます。

電圧制御

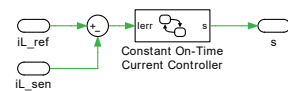
外側ループのVoltage Controllerは、連続系PID制御器ブロックの比例積分(PI)コントローラです。目的の出力電圧リファレンス $V_{ref} = 12V$ は、計測したコンバータ出力のキャパシタ電圧と直接比較します。誤差はPIコントローラの計算を通して電流リファレンスを出力します。

次に、この電流リファレンスは、内部ループCurrent Controllerを介して計測したインダクタ電流と比較します。Current Controllerは、MOSFETゲート信号 s を直接生成します。

コンスタントオンタイム制御

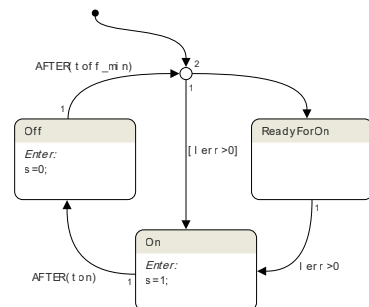
この電流コントローラの構成を図2に示します。電圧コントローラから計算した電流リファレンスは、計測したインダクタ電流と比較します。電流補償器のコンスタントオンタイム制御 (Constant On Time: COT) 方式は次のとおりです: 実際の電流 i_{L_sen} が基準リファレンス i_{L_ref} より小さくなると、MOSFETが一定時間オンになります。MOSFETがオフになった後、再びオンになるまで、最小限の時間オフの状態を維持する必要があります。

図2:コンスタントオンタイム制御の回路図



COT方式は、電流誤差 I_{err} を入力とし、MOSFETスイッチング信号 s を出力とするステートマシンを使用して実装されます。図3にステートマシン図を示します。コンスタントオンタイムと最小オフタイムは、内部定数 t_{on} および t_{off_min} として設定されます。ステートマシンには、MOSFETのオンとオフを切り替えるために使用される2つの状態(OnとOff)とReadyForOn (待機状態)があります。

図3: ステートマシンを使用したコンスタントオンタイムコントローラ



On状態に入ると、そのEnterアクションは出力信号 s を1に設定します。On状態の開始からちょうど t_{on} 秒後に、ステートマシンが再度実行され、タイマイベント $AFTER(t_{on})$ がアクティブになります。これにより、ステートマシンがOff状態に遷移し、出力信号 s が0に設定されます。このイベントからちょうど t_{off_min} 秒後に、ステートマシンが再度実行され、タイマイベント $AFTER(t_{off_min})$ がアクティブになります。このタイマイベントの遷移はジャンクションで分岐します。この時点で入力信号 I_{err} がすでに0より大きい場合、ステートマシンは再びOn状態に直接遷移します。それ以外の場合、ステートマシンは待機状態ReadyForOnに遷移し、 I_{err} が0より大きくなるまでそこに留まります。デフォルトの遷移は同じジャンクションをターゲットとするため、ステートマシンは I_{err} が0より大きいかどうかに応じてOn状態またはReadyForOn状態で開始します。シミュレーション開始時は0です。

標準の制御器ブロックを使用したCOT実装は、PLECS demosライブラリの"Series Capacitor Buck Converter"デモモデルで紹介しています。

ピーク電流制御器

この電流コントローラの構成を図4に示します。スイッチ変調は、ピーク電流制御器(PCC)ライブラリブロックによって生成されます。図5は、このライブラリブロックのマスク下での実装を示しています。各スイッチング周期の開始時に、出力信号sが設定されます。Isense入力がIref入力を超えると、出力がリセットされます。次のスイッチングサイクルを再び開始すると、出力信号sが再度設定されます。これにより、インダクタを流れるピーク電流を制御します。

図4: ピーク電流制御器の回路図

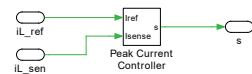
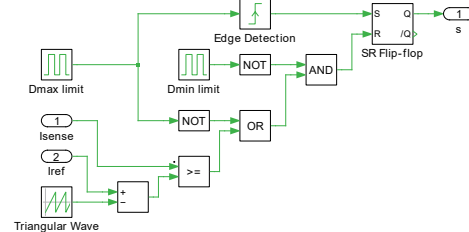


図5: ライブラリのピーク電流制御器ブロックのマスク下での実装



このピーク電流制御器ブロック内では、デューティ比が50%を超えた場合の安定性を確保するためにスロープ補償を使用します。飽和を避けるために、最小デューティ比と最大デューティ比を設定します。

3 シミュレーション

まず、デフォルトのCurrent Controllerの回路名Constant On-Time Controlのシミュレーションを実行します。

シミュレーション結果を図6に示します。シミュレーションを開始すると、出力電圧は0から上昇し始めます。いくつかの初期ダイナミクス後、目的の12Vリファレンスに到達します。20msの時点で負荷抵抗は半分になります。電流は2倍になり、カスケード制御の反応として、負荷電圧の変動は約10msで調整されます。これは閉ループ制御の安定性を証明しています。

シミュレーションが終了したら、Current Controllerのサブシステムを開きConstant On-Time Controlのステートマシンブロックを開きます。設定アイコンをクリックして、ステートマシン設定ダイアログを開きます。次に、"アニメーション"ボックスをチェックし、シミュレーションを度開始します。ズームインしたスコープ波形のアニメーションを表示するには、キーボードのスペースバーを使用してステートマシンの遷移を段階的に実行します。

次に、構成をPeak Current Controlに変更してシミュレーションします。図7は、20ミリ秒のステップ負荷の瞬間に拡大した、重ねられた2つのトレースの比較を示しています。2つの構成はどちらも、ステップ負荷に対する出力電圧の安定性を制御できます。ただし、特に各スイッチング周期内のインダクタ電流とMOSFETスイッチング信号では、まったく異なる波形が示されます。これは、COTのオン時間は固定ですがスイッチング周波数は可変であり、PCCのスイッチング周波数は固定であるためです。

図6: コンスタントオンタイム(COT)制御構成の負荷電圧とインダクタ電流のシミュレーション結果

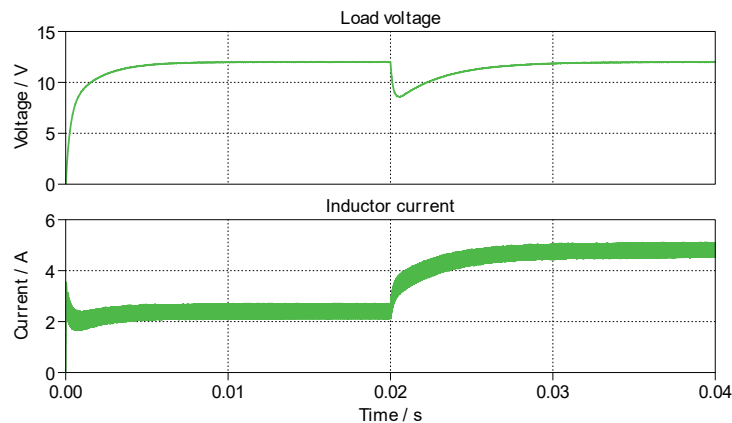
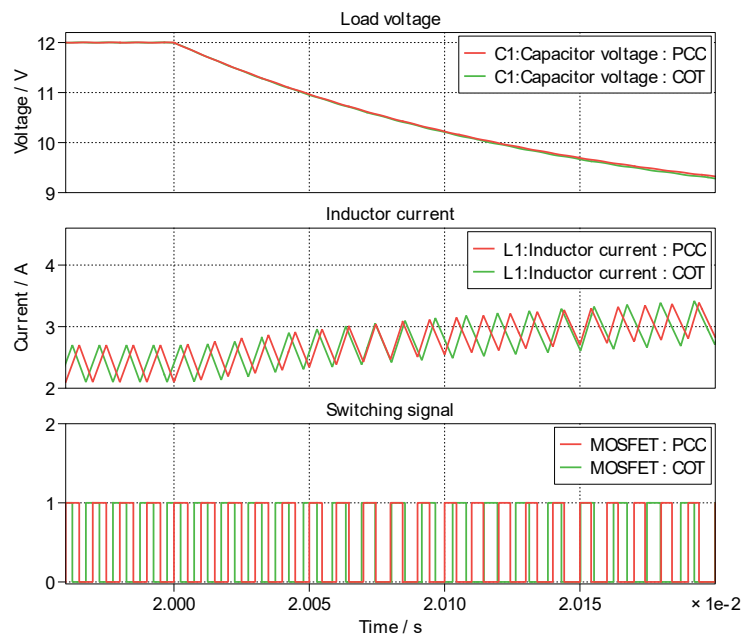


図7: 負荷ステップ付近の定オン時間(CPT)構成とピーク電流制御(PCC)構成の拡大結果の比較



4 結論

このモデルは、PLECSコンポーネントを使用して電圧コントローラと直列接続した降圧コンバータの電流コントローラをモデリングする2つの異なる方法を示しています。閉ループ制御の安定性は、負荷ステップを適用することで検証されます。

改訂履歴:

PLECS 4.3.1 初版

PLECS 4.4.2 PIコントローラコンポーネントを更新

PLECS 4.8.1 buck_converter_with_constant_on_time_controlのデモを廃止し、このデモに結合



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



アドバンオートメーションへの連絡方法:

☎ +81 3 5282 7047	Phone
+81 3 5282 0808	Fax
✉ ADVAN AUTOMATION CO.,LTD	Mail
1-9-5 Uchikanda, Chiyoda-ku	
Tokyo, 101-0047	
Japan	
@ info-advan@adv-auto.co.jp	Email
https://adv-auto.co.jp/	Web

PLECS Demo Model

© 2002–2024 by Plexim GmbH

このマニュアルで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。