



PLECS *DEMO MODEL*

Flying Capacitor DC-DC Converter

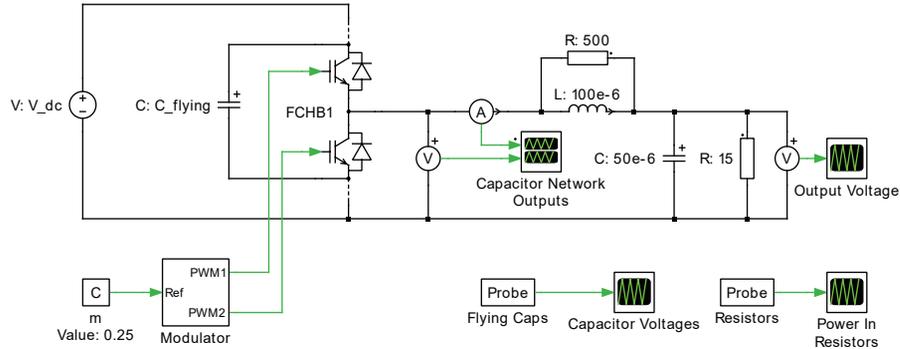
フライングキャパシタDC-DCコンバータ

Last updated in PLECS 4.8.1

1 概要

このデモでは、マルチレベルコンバータの一種であるフライングキャパシタ(Flying Capacitor; FC)DC/DCコンバータ(マルチセル、インブリケートセル、またはスイッチトキャパシタコンバータとも呼ばれます)を紹介します。FCコンバータは、スイッチングセル内のスイッチとキャパシタのみで構成されます。このモデルは入力電圧を、変調器のデューティ比を調整することで出力電圧を降圧するように設計されています。

図1: フライングキャパシタDC/DC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

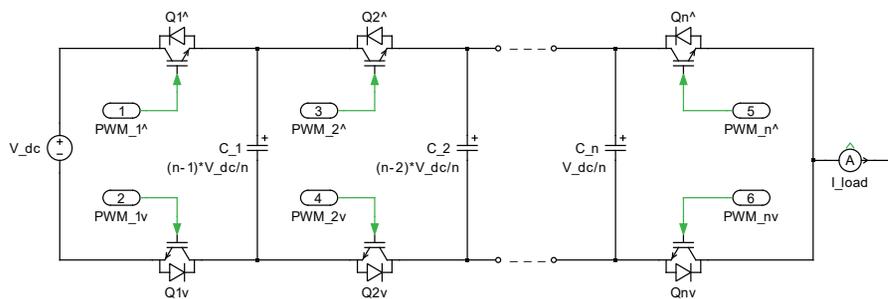
PLECS Blockset: Simulinkモデルウィンドウで右クリック → モデル プロパティ → コールバック → InitFcn*

2 モデル

2.1 電源回路

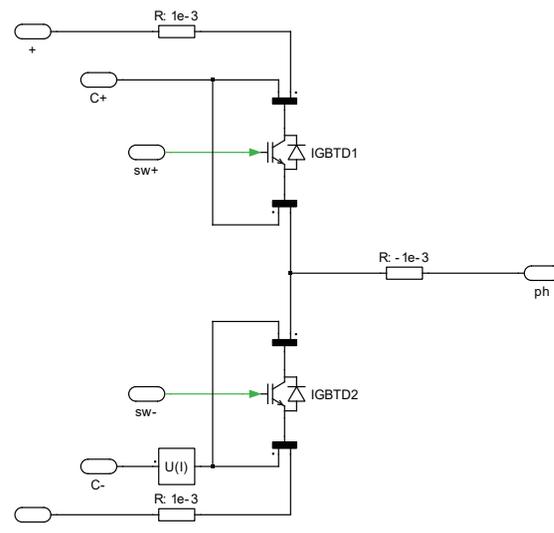
この回路は、モジュラ型マルチレベルのマルチセルネットワークとしてモデリングされており、各セルには、クランプキャパシタで接続された2つのスイッチが含まれています。スイッチペアとキャパシタは直列に接続され、チョップ回路ネットワークを形成します。DC電圧源が入力に電力を供給し、変調器の基準デューティ比に応じて、スイッチトキャパシタネットワークの出力にACまたはDC量を生成します。一般的な長さの構成可能なマルチセルネットワークを図2に示します。

図2: 長さの構成可能なマルチセルネットワーク



PLECSのフライングキャパシタハーフブリッジモジュールは、モジュラサブシステム概念を用いて実装しており、動的にサイズ調整可能なコンポーネントのチェーンを、ワイヤとマルチプレクサを使用して接続します。このモジュールの実装を図3に示します。モジュールの入出力は、フライングキャパシタチェーンの端子として構成されます。整流セルは、ユーザ指定のセル数 n に対して、出力を $n-1$ 回入力に戻すことによって繰り返されます。以下に示すように、この実装の秘訣は、各マルチプレクサのワイヤの1つを $n-1$ の幅に定義することです。配線ループを使用することで、マルチプレクサ間のコンポーネント(スイッチペアとクランプキャパシタ)が直列接続された形で n 回複製されるチェーンが作成されます。

図3: フライングキャパシタDC/DCコンバータのセル実装



このモジュールに接続されているキャパシタはベクトル化されています。バランスを取ったチョップパキャパシタの電圧レベルは、 $(n-1)V_{dc}/n, \dots, 2 \cdot V_{dc}/n, V_{dc}/n$ となり、外側から内側のレベルに順序づけされます。

入力が600VDCで $n=3$ であるため、2つのキャパシタの電圧レベルは400VDCと200VDCになります。キャパシタネットワークの出力には大きなリップルがあるため、負荷の前にフィルタリングする必要があります。この目的のために、LCローパスフィルタを使用します。電圧ブースタもインダクタと並列に組み込まれており、過渡時のシステムのバランス調整を高速化するのに役立ちます[1]。

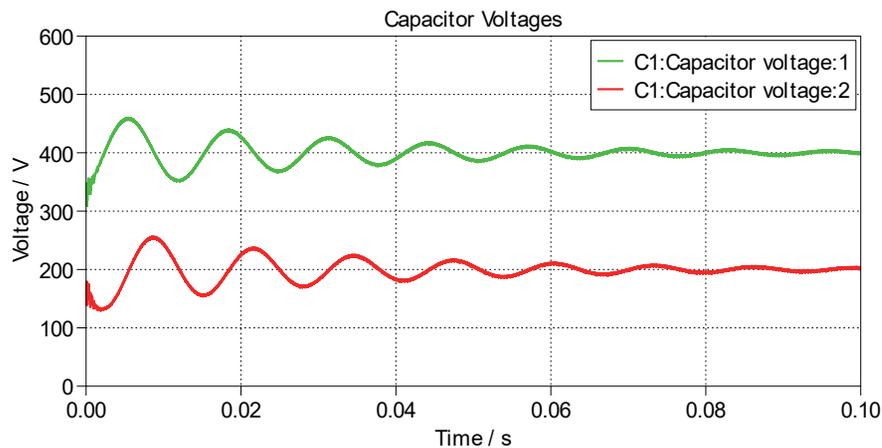
2.2 制御

変調方式は、固定デューティ比を用いた位相シフトキャリアパルス幅変調(Phase Shifted Carrier Pulse Width Modulation: PSCPWM)技術です。 n 個の三角波キャリアがあり、それぞれが前のキャリアから $2\pi/n$ だけシフトしています。コントローラは、2つのパルス幅変調信号を出力し、上下のIGBTを同じデューティ比で相補的にゲート制御します。各スイッチペアのスイッチ整流間のターンオンを遅延させるデッドタイムを設けています。[2]で説明しているように、各整流セルのデューティ比と $2\pi/n$ の位相シフトが等しいため、キャパシタ自体が自己平衡を保っており、コンバータは閉ループ制御を必要としません。DC入力に変化したり、キャパシタの初期電圧が不均衡になると過渡現象が発生しますが、システムはフィードバック調整なしで明確に定義された定常動作点に落ち着きます。

3. シミュレーション

添付したモデルでシミュレーションを実行して信号を表示し、負荷が $V_{dc} \cdot D = 600V \cdot 0.25$ 、つまり約150VDCで安定することを確認します。実際には、出力ネットワークのデッドタイムと非理想性により、負荷の電圧はわずかに低くなります。出力電圧は、Modulatorサブシステムに供給するデューティ比の定数ブロックのRefを変更することで調整できます。また、ネットワーク内のセル数はシミュレーションパラメータのモデル初期化コマンドで変更できます。キャパシタネットワークの自己平衡特性は、PLECSスコープの"Capacitor Voltages"の波形の過渡挙動で示されます。 $n = 3$ の場合の2つのキャパシタ電圧を図4に示します。キャパシタにDCバス(600VDC)とは異なる初期電圧(500VDC)を供給すると、キャパシタ電圧は V_{dc}/n のスタックDCレベルに移行し、セル電圧はすべて $V_{dc}/n = 200VDC$ で相互にバランスをとります。

図4: 異なるセル出力におけるキャパシタ電圧のシミュレーション結果



参照

- [1] T. A. Meynard, H. Foch, P. Thomas, et al, "Multicell converters: Basic concepts and industry applications", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 49, no. 5, pp. 955-964, Oct. 2002.
- [2] R. H. Wilkinson, T. A. Meynard, and H. du T. Mouton, "Natural balance of multicell converters: The general case", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 21, pp. 1658-1666, Nov. 2006.

改訂履歴:

PLECS 4.3.1 初版

PLECS 4.8.1 ライブラリのフライングキャパシタハーフブリッジモジュールを使用



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

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>

PLECS Demo Model

© 2002–2024 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。