

PLECS *DEMO MODEL*

Dual Active Bridge

デュアルアクティブブリッジ(DAB)

Last updated in PLECS 4.7.1

1 概要

このデモでは、デュアルアクティブブリッジ(Dual Active Bridge: DAB)コンバータを紹介します。DABは、同一の一次側と二次側のフルブリッジ、高周波トランス、エネルギー伝送インダクタ、およびDCリンクキャパシタを備えた双方向DC-DCコンバータです。ここでのシステム仕様は、入力電圧95VDC、出力電圧380VDC、スイッチング周波数250kHzです。このモデルには、理想モデルと、PLECSの磁気回路ブロックを使用してモデリングした飽和動作を含む、より詳細なバージョンの2つの構成で実装された変圧器が含まれています。さらに、PLECSの熱解析により、一次側ブリッジと二次側ブリッジのWolf speed C3M0030090K およびC3M0065090DシリコンカーバイドMOSFETの熱挙動を解析しています。システム起動時の過渡状態から安定した後、1kWから2kWへの負荷ステップ変化もシミュレーションしています。

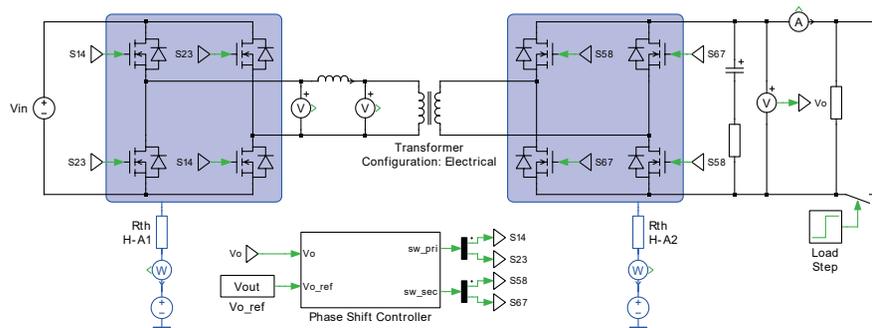
Note このモデルには、次からアクセスできるモデル初期化コマンドが含まれています。

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

図1: DABコンバータ



両方のフルブリッジの2つのレッグは、相補的な方形波パルスで駆動します。DABの電力の流れは、位相シフト変調を使用して、一方のブリッジのパルスを他方のブリッジに対して位相シフトさせることで制御できます。この制御は2つのDCバス間で電力を制御し、先行のブリッジから後続のブリッジに電力を供給します。ブリッジに印加する方形波は、エネルギー伝達インダクタンスの両端に電圧差が生じ、蓄積されたエネルギーを誘導します。モデルにおけるエネルギー伝達インダクタンスとは、変圧器の漏れインダクタンスと必要な外部エネルギー伝達インダクタンスの合計を指します。

DABコンバータの理想的なケースでは、変圧器両端の電圧伝達比(M)が1に等しい場合、ゼロ電圧スイッチング(Zero Voltage Switching: ZVS)を実現できます:

$$M = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

ここで、 n はトランスの巻数比、 V_{out} は出力電圧、 V_{in} は入力電圧です。

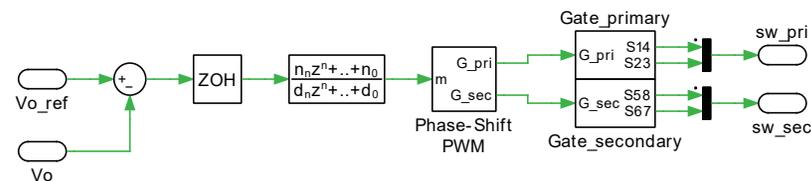
理想的でないケースでは、ZVSは各デバイスの出力容量と、異なるスイッチング間隔における回路の等価インダクタンス間の共振関係に依存します。スイッチングイベント中、相補デバイスの1つを流れる電流は中断されますが、エネルギー伝達インダクタンスにより、電流は出力キャパシタを介して供給され、デバイスの逆並列ダイオードを介して強制的に流れます[1]。

このモデルの開発に使用したシミュレーションパラメータは、[1]から取得できます。

2.1 制御

各スイッチは、それぞれのスイッチング周期の50%の間オンになります。2つのブリッジのスイッチペアはすべて同じスイッチング周期を持ちますが、各ブリッジ間で、フィードバック測定から得られた変調に基づいて変化する位相シフトが導入されるように動作します。設定値に基づいて出力電圧誤差信号が生成され、これがデジタルPIレギュレータを介して供給され、PWM変調器の位相シフト比を生成します。

図2: 位相シフトコントローラ



2.2 熱モデル

WolfspedのC3M0030090K SiC MOSFETの熱記述は、4つの一次側半導体スイッチすべてに割り当てられており、WolfspedのC3M0065090D SiC MOSFETは、4つの二次側半導体スイッチすべてに割り当てられています。いずれかのMOSFETをダブルクリックすると、カスタムのマスクサブシステムを使用してさまざまな電気的および熱的パラメータが実装されていることがわかります。マスクシステム内にある半導体の熱記述を視覚化するには、メニューから**ウィンドウ**→**熱設定 ライブラリブラウザ**を使用するのが最も簡単な方法です。熱記述は、WolfspedのWebサイトから入手したものです。ここでのMOSFETモデルは、同期整流効果を示します。

2つのヒートシンクコンポーネントが、ブリッジから放出された熱を取り込みます。熱抵抗器は、ヒートシンクを周囲温度に接続します。MOSFETの熱記述は、ディレクトリ:

```
/dual_active_bridge_converter_plecs
```

内のプライベート熱ライブラリに保存されています。

半導体デバイスの平均スイッチング損失、導通損失、および全損失はスイッチ損失算出コンポーネントを使用すると簡単に計算できます。回路図エディタ上の対象のスイッチコンポーネントを選択し、スイッチ損失算出ブロックの"プローブコンポーネント"リストにドラッグします。詳細については、このブロックの**ヘルプ**セクションを参照してください。

"Efficiency Calculator"サブシステムは、電源電力と全スイッチ損失を使用してコンバータの効率を計算します。

熱モデリングと、デバイスの損失および効率の計算の詳細については、PLECSのdemosライブラリの"Buck Converter with Thermal Model"を参照してください。

2.3 磁気モデル

変圧器モデルは、構成可能な"Transformer"サブシステムコンポーネントを使用して実装します。シミュレーションを高速化するための変圧器(理想モデル)として、または飽和動作を考慮したより詳細な変圧器モデルとして構成できます。詳細版では、Payton Planar MagneticsのT250-4-16変圧器をPLECS回路ブロックを使用してモデリングしています。磁気モデルのパラメータはコアの形状と材料特性に直接関連しており、ほとんどの場合、データシートから取得できます。この変圧器は、業界標準のE43/28コアとTDGのTP4Aフェライト材料を使用しています[2]。

3 シミュレーション

シミュレーションは、出力電力が異なる2つの負荷条件を示しています。シミュレーションの開始時、負荷の出力電力は1kWです。0.4後、負荷ステップにより出力電力が2kWに変化します。PLECSスコープには、一次側と二次側の出力信号、スイッチS1とS5の損失とジャンクション温度が表示されます。

XYプロットコンポーネントは、コアの飽和効果のBHループを示します。材料データシート[2]に基づき、0.51Tを超えてコアを動作させないことが決定され、XYプロットは、コアがこの値を超えることなく、近い値で駆動していることを示しています。

参考文献

- [1] George, Kenny, "Design and Control of a Bidirectional Dual Active Bridge DC-DC Converter to Interface Solar, Battery Storage, and Grid-Tied Inverters" (2015). Electrical Engineering Undergraduate Honors Theses. 45. Click to access online: Kenny George's thesis.
- [2] Datasheet for "TP4A". Click to access online: TDG's TP4A material datasheet.

改訂履歴:

- PLECS 4.3.1 初版
- PLECS 4.5.4 温度記述(.xml)ファイルを更新
- PLECS 4.7.1 スイッチ損失算出でモデルを更新



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 |



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

© 2002-2023 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。