



PLECS *DEMO MODEL*

STATCOM Cascaded H-Bridge Converter

STATCOM カスケードHブリッジ コンバータ

Last updated in PLECS 4.8.2

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、自励式無効電力補償装置(Static Synchronous Compensator: STATCOM)システムを紹介します。カスケード接続のコンバータは、中電圧ドライブ、高圧直流送電(High-Voltage Direct Current: HVDC)、フレキシブルAC伝送システム(Flexible Alternating Current Transmission Systems: FACTS)などの高電力アプリケーションで一般的です。これらのタイプのコンバータには、スイッチング損失が低く、冗長性が高いという利点がありますが、セルキャパシタの電圧バランスなどの高度な制御が必要です。

STATCOMの目的は、電力システムのさまざまな負荷に必要な無効電力を補償することです。この10MVA STATCOMシステムのモデルは、シングルスターブリッジセル(Single-Star Bridge-Cells: SSBC)クラスのコンバータから派生しています[1]。さまざまなトポロジーの明確な分類は[2]に示されています。

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

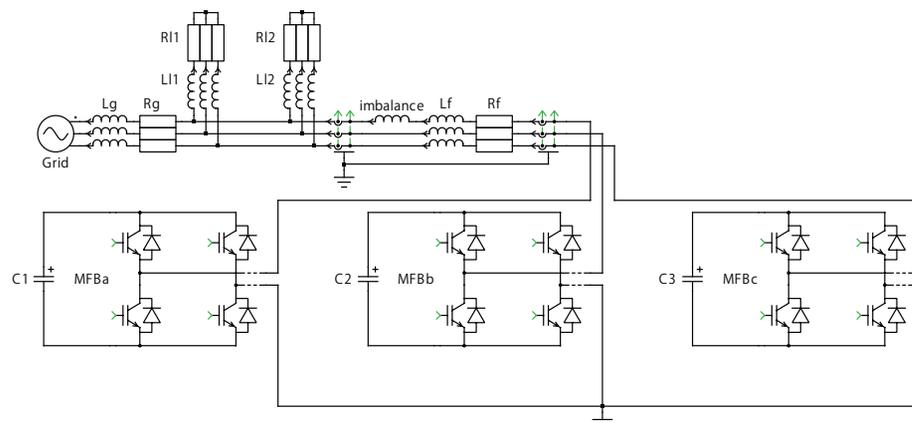
PLECS Blockset: Simulinkモデルウィンドウで右クリック → モデル プロパティ → コールバック → InitFcn*

2 モデル

2.1 電源回路

このシステムには、位相A、B、およびCごとに独立したHブリッジ回路を持っています。各位相は、9つの直列接続したHブリッジセルで構成し、"クラスタ"を形成します。クラスタは、誘導性フィルタLfとその巻線抵抗Rfを介して中電圧(MV)グリッドに接続します。50Hz、MVグリッドは、線間RMS電圧が15kVの理想的なAC電圧源としてモデリングしています。インダクタンスLgと抵抗Rgは、等価グリッドインピーダンスを表します。2つの異なる受動R-L負荷(RI1、LI1およびRI2、LI2)がグリッドに接続されています。

図1: カスケードHブリッジ回路図

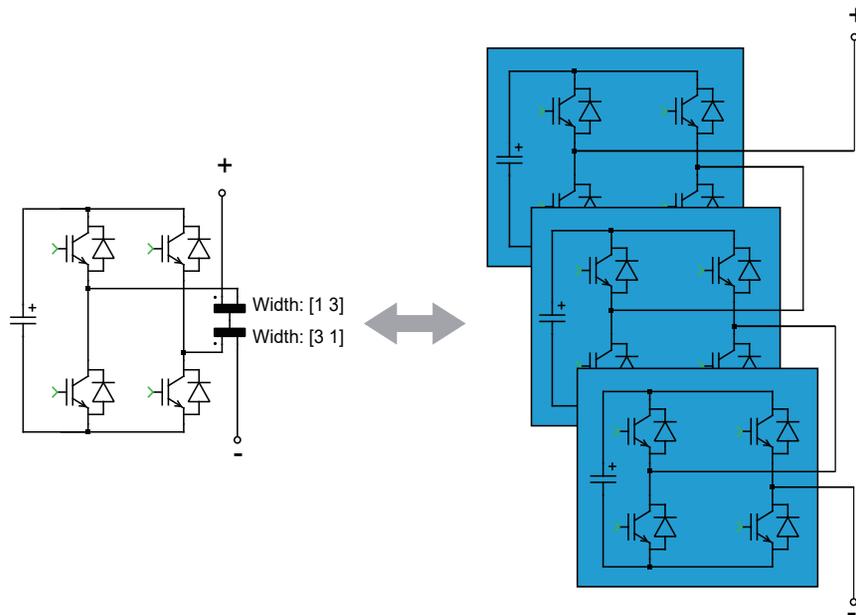


シミュレーション中、個々のデバイスの異なるスイッチングの組み合わせにより、グリッドに供給する電圧源の静電容量の振幅が変化します。コンバータは、端子電圧の振幅がグリッドの振幅より大きい場合に電力施設に無効電流を供給し、グリッドと比較して低い電圧振幅で無効電力を吸収します。

フルブリッジ(直列接続)パワー素子モジュールコンポーネントは、各相のカスケード接続したHブリッジをモデリングするために使用します。このコンポーネントには、理想スイッチが半導体を表す"Switched"実装と、電圧源(可変)および電流源(可変)を使用する"Sub-cycle average"構成の2つの構成があります。パワー素子モジュールには、直列接続したセル数のパラメータ設定もあります。電源モジュールとコントローラの両方の実装により、追加の配線やコンポーネントでモデルを拡張することなく、最上位レベルでセルの数を構成できます。さらに、このモデルでは、電源モジュールコンポーネントの"Switched"実装を使用します。セル数を増やすとシミュレーション速度が低下するため、より多くのセルをモデリングする場合は、"Sub-cycle average"の使用を推奨しています。

回路図を簡潔かつ整理されたものにするため、同じ回路図に27個のセル(レッグごとに9個のセル)を表示する代わりに、IGBTとDCキャパシタをベクトル化しています。ワイヤ・マルチプレクサブロックを使用すると、3つのレッグごとに9個のセルを直列接続できるため、各クラスタに表示されるHブリッジは1つだけになります。図2は、ベクトル化の概念を示しています(簡略化するために3つのセルを使用)。ただし、IGBTとDCキャパシタの数はベクトル化の影響を受けないため、この手法を用いた場合のシミュレーション速度は影響がないことに注意してください。また、1つのキャパシタを"プローブ"ブロックにドラッグしてその電圧を観察すると、PLECSスコープに複数の波形を表示します。

図2: Hブリッジのベクトル化

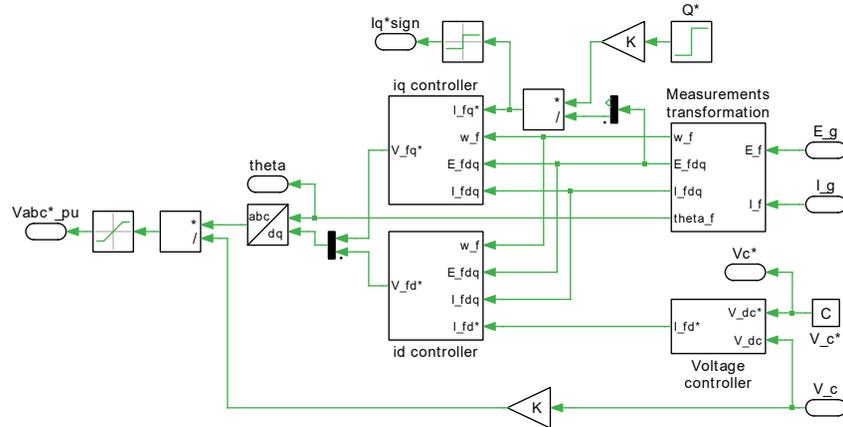


2.2 制御

STATCOMの制御方式は、グリッド端末で必要な量の無効電力を生成し、セルのキャパシタ電圧の平均値を定義した一定レベルに維持する役割を担っています。図3に示すように、最上位レベルでの制御は2つのループで構成しています。電圧コントローラは外側のループです。リファレンス設定値とセルキャパシタの電圧平均値の測定値を比較し、アンチwindアップ手法を備えたPIコントローラを介して内側の電流ループのリファレンス値を提供します。

内部の電流ループは回転基準フレームワークに実装されており、AC端子電圧に同期しています。d軸成分のリファレンスは電圧コントローラから取得し、q軸成分のリファレンスは目的の無効電力から直接計算します。d軸とq軸の両方の電流コントローラの出力はABC座標に変換し、単一セルのキャパシタの電圧とクラスタあたりのセル数(9)の積によって正規化します。結果として得られる値は、PWM生成のための変調指数として後で使用します。

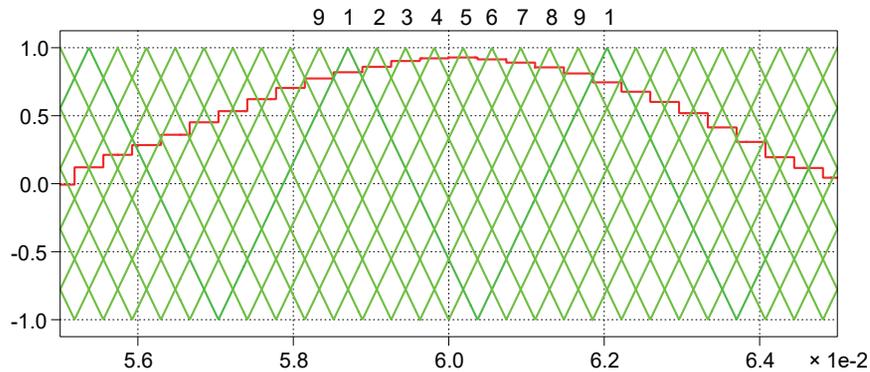
図3: STATCOM電流レギュレータの概要



2.3 PWM生成

Hブリッジのスイッチング信号は、変調指数と300Hzの三角波キャリアを比較することで生成します。図4に示すように、1つのクラスタでは、セル1~9のキャリアは40度ずつインターリーブします。このようにして、9レベルの出力電圧が達成し、高調波歪みが大幅に低減します。

図4: PWM信号の生成



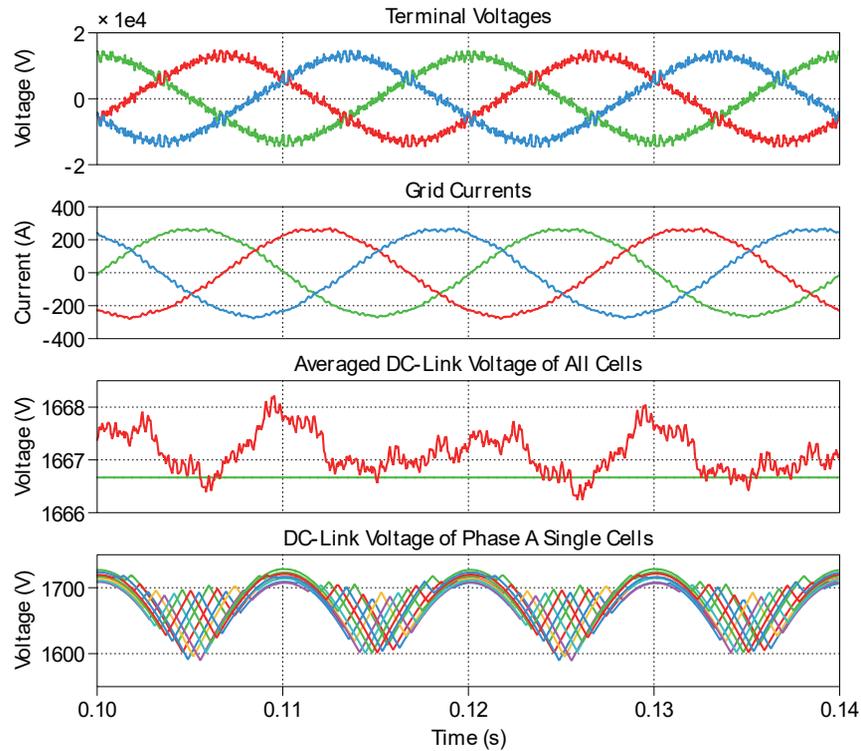
2.4 セルキャパシタの電圧バランス

インターリーブ変調では、グリッド端子からの無効電力量がすべてのセルキャパシタに自動で均一に分配されることが保証されないため、セルキャパシタは異なる速度で充放電します。これにより、許容できない電圧のばらつきが生じます。この望ましくない状況を回避するには、個々のセルの変調指数を、外側の制御ループから提供される設定値から変更する必要があります。このシミュレーションモデルでは、[2]によって提案された手法を採用しています。電圧バランスは2段階で実行します: 最初に、1つのクラスタ内の9個のセル電圧が平均値を維持し(段間バランスとして知られています)、次に、クラスタ内のすべてのキャパシタの平均電圧が3つのクラスタの平均電圧に等しくなるようにします。後者は、ケーブルインピーダンスにおける非対称性の影響を排除するために使用します(相間バランスとして知られています)。

3 シミュレーション

添付したモデルを使用してシミュレーションを実行し、信号を表示します。9レベルコンバータの、シミュレーションした負荷端子電圧、グリッド電流、DCリンクキャパシタ電圧の平均値および単一値を図5に示します。セル平衡化アルゴリズムの効果に注目してください。例えば、初期化コマンドでセル数を12に変更すると、システムの複雑さがシミュレーション速度に与える影響も確認できます。

図5: 電氣的シミュレーションの結果



参考文献

- [1] H. Akagi, S. Inoue, T. Yoshii, "Control and Performance of a Transformerless Cascade PWM STATCOM With Star Configuration", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 43, no. 4, pp. 1041-1049, 2007.
- [2] H. Akagi, Classification, "Terminology, and Application of the Modular Multilevel Cascade Converter (MMCC)", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 26, no. 11, pp. 3119-3130, 2011.

改訂履歴:

PLECS 4.3.1 初版

PLECS 4.8.2 フルブリッジ(直列接続)コンポーネントを使用してデモ ドキュメントを更新。



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



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。