

PLECS DEMO MODEL

HVDC Transmission System with MMCs

MMCを使用したHVDC送電システム

Last updated in PLECS 4.3.1

1 概要

このデモでは、2つの110kV高電圧ACグリッドを相互接続する2つのモジュラマルチレベル変換器(Modular Multi-level Converters: MMC)を備えた320kV、200MW高圧直流送電(High-Voltage Direct Current: HVDC)システムを紹介します。MMCは、HVDCアプリケーションで使用されている一般的な電圧源変圧器トポロジです。

高電圧では、直流の伝送は交流よりも効率的です。HVACに対するHVDCの効率は、電力配電における利用増加の原動力となっています。これは、大規模な洋上風力発電など、消費者から遠く離れた場所にある再生可能エネルギー源の統合に特に当てはまります。その結果、異なる電力網、電源、および負荷間のインタフェースには、新しいタイプの変換器が必要になります。

MMCは、高電圧ACおよびDC電力システムを接続する双方向電圧源変換器です。これは、3相それぞれに正と負のアームを備えています。各アームにはさらに、直列接続したスイッチングサブモジュールのセットが含まれており、その数は、目的の高調波性能を実現し、IGBTを使用できるように選択されます。

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

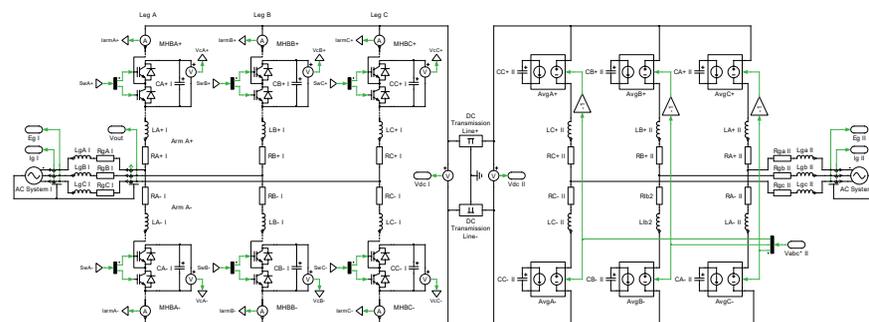
PLECS Blockset: Simulinkモデルウィンドウで右クリック → モデル プロパティ → コールバック → InitFcn*

2. モデル

2.1 電源回路

モデルのシステム レベルの概要を図1に示します。

図1: MMC系統連系とDC送電線を備えたHVDCシステム



両方のACグリッドは、直列インピーダンスを持つ三相電圧源としてモデリングしています。AC system IとDC systemを接続するMMCは、1アームあたり38個のサブモジュールセルで構成しています。各サブモジュールセルは、1つのハーフブリッジと1つのDCリンクキャパシタで構成されます。その結果、各セルの定常状態での最大電圧は約16.8kVDCになります。

変圧器アームの各単相ペアは、それぞれのアームインダクタと共に、AC system Iグリッドに接続します。コンバータアームは、ライブラリコンポーネントのパワー素子モジュールにある"ハーフブリッジ(ローサイド接続)"で実装します。このコンポーネントには2つの構成があります。理想スイッチが半導体を表すSwitchedと、可変電圧および電流源を使用するSub-cycle averageです。電源モジュールには、直列接続されたハーフブリッジのセル数を指定する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は、配線やコンポーネントを追加してモデルを拡張することなく、セルの数を最上位で構成できるようになっています。さらに、このモデルはパワー素子モジュールコンポーネントのSub-cycle averageを使用するように構成されています。PWMゲート信号を入力すると、両方の構成でまったく同じシミュレーション結果が得られることに注意してください。セル数を増やす際に電源モジュールのSwitched構成を使用すると、シミュレーション速度が低下します。これは、Sub-cycle averageの構成には当てはまらないため、アームあたりのセル数が多いモデルを作成する場合に推奨されます。

回路図を簡潔かつ整理するために、同じ回路図でアームあたり38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ます。ワイヤ・マルチプレクサブブロックは、6つのアーム(各相レッグに2つ)のそれぞれに対してハーフブリッジセルの直列接続を有効にします。その結果、各相レッグに76個のセルをシミュレーションしているにもかかわらず、各アームには1つのハーフブリッジとDCキャパシタのみを表示します。このベクトル化の概念の説明は、PLECSのdemosライブラリの"STATCOM Cascaded H-Bridge Converter"を参照してください。

2つのACネットワークのDC側は、伝送線路コンポーネントを使用してモデリングした2本のDC送電線を介して接続しています。AC system IIのグリッド側MMCの変圧器アームは、パワー素子モジュールのSub-cycle average構成と同様に、純粋に平均化されたモデルとしてモデリングします。実効電圧と電流源を使用していますが、ここではスイッチング周波数のリップル効果は完全に無視しています。アームごとに1つのDCリンクキャパシタのみが物理的に存在します。これは、すべてのセルキャパシタの平均的な直列接続を表します。Averaged powerモジュールの実装と比較して、この設計はより単純で、シミュレーション速度が向上します。

2.2 制御

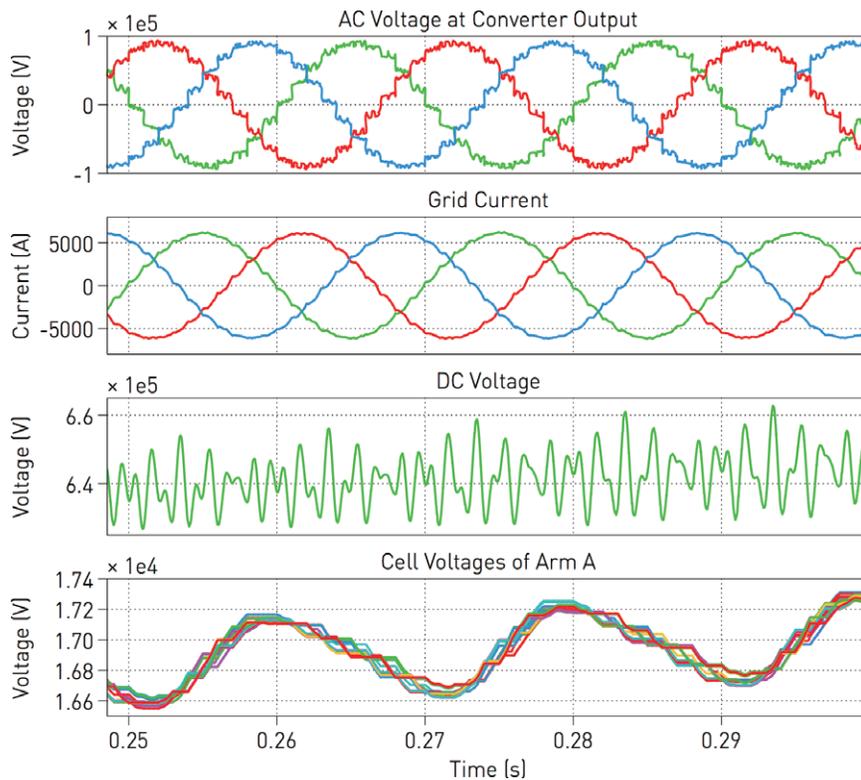
AC system IのMMC制御方式は、2つのレベルで説明しています。最上位のコントロールは、2つのループで構成されています。外側のループPI controllerは、DC送電電圧を調整し、内側の電流制御ループにd軸のリファレンス電圧を提供します。内側の電流ループは、dおよびq軸のグリッド電流を調整し、MMCレッグにリファレンス電圧を供給します。低レベル変調器は、リファレンス電圧に従ってAC電圧を生成すると同時に、セル電圧の素早くバランス調整する役割を担っています。垂直方向にシフトされたキャリアを使用するセル選択アルゴリズムが実装されており、各アームのすべてのセル間の電圧がほぼ同じ値に維持されます。

AC system IIのMMCは、q軸電流の形で電力の流れのみを調整します。変調スイッチのない純粋に平均化されたモデルを使用するため、この側では最上位のコントローラのみを実装しています。AC電圧リファレンスは、6つのアームモジュールに直接供給されます。

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。38レベル変圧器のAC system I変圧器の出力電圧、グリッド電流、DC電圧、およびArm Aの正のセル電圧のシミュレーションを以下に示します。ユーザは、シミュレーションパラメータの初期化コマンドでセル数を変更し、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を観察できます。モデルのシステム状態は、0.3秒の過渡シミュレーションの最終状態から初期化されることに注意してください。これは、アームインダクタと伝送線路容量間の共振によるシミュレーションの開始時の大きな起動振動をスキップするためです。実際には、起動時の通電手順が変圧器システムに適用されますが、このシミュレーションの焦点ではないため、ここでは無視します。

図2: シミュレーション結果



参照

- [1] S. Rohner, S. Bernet, M. Hiller, R. Sommer, "Modulation, Losses and Semiconductor Requirements of Modular Multilevel Converters," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 57, No. 8, August 2010.
- [2] B. Jacobson, P. Karlsson, G. Asplund, L. Harnefors, T. Jonsson. "VSC-HVDC Transmission with Cascaded Two-Level Converters," CIGRE 2010.

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。