

PLECS *DEMO MODEL*

Three-Phase Grid-Connected PV Inverter

三相グリッド接続太陽光発電インバータ

Last updated in PLECS 4.7.1

KESCO KEISOKU ENGINEERING SYSTEM

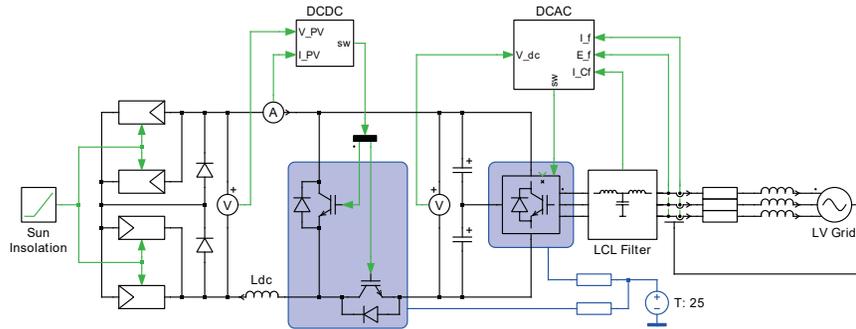
計測エンジニアリングシステム株式会社
<https://kesco.co.jp>

1 概要

三相PVインバータは、一般にオフグリッド産業用途に使用しますが、電力網に接続するための商用周波数ACを生成するように設計することもできます。このPLECSのデモモデルでは、3相2ステージグリッド接続太陽光インバータを紹介しています。PVシステムには、ピーク出力電力が3kWの高精度PVストリングモデルが含まれており、ストリングを直並列接続して、必要なアレイ出力電力に合わせて調整できます。シミュレーションでは、電力回路、DC/DCおよびDC/AC制御方式、半導体の熱挙動を組み合わせます。

2 モデル

図1: インバータシステム



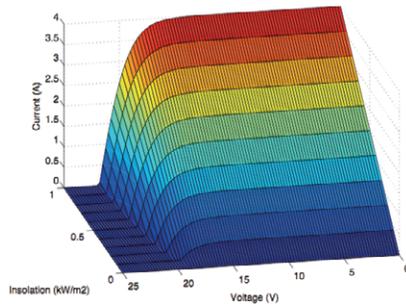
発電システムは、700VDCの定常出力を供給する太陽電池アレイ、2レベルインバータと比較して波形品質が向上した3レベルインバータ、および低電圧230V_{rms}、50Hzグリッドシステムに接続したLCL出力フィルタで構成しています。採用しているトポロジは、パネルからDCリンクへの電圧を(約700Vから800Vに)上昇させる昇圧コンバータステージを備えた中性点クランプコンバータ(Neutral-Point-Clamped converter: NPC)です。出力のLCLフィルタは、グリッド側インバータのPWM変調によって発生する電流リップルを平滑化するために使用します。

2.1 PVストリングモデル

PVストリングコンポーネントは、日射量(太陽光の強さ)が変化するIV特性を正確にモデリングする非線形電流源に基づいています。さらに、さまざまな直列および並列構成で接続でき、オフラインおよびグリッド接続システムの両方のDC電源として使用できます。このモデルは、精度を高めるためにショックレーダイオード方程式に基づいており、PVインバータと電源モジュール間の相互作用を研究するために使用できます。PVモデルの標準的な出力電流特性を図2に示します。

この例では、日射量に依存するデータがBP365 65Wソーラーモジュールと、それぞれ20個の直列モジュールからなる2つの並列ストリングで構成された4つの並列アレイにマッピングしています。現在の表面データは.matファイルに保存され、日射範囲0~1kWhr/m²、電圧値0~25V、および固定温度25°Cにおける特性のIV曲線の情報が含まれています。

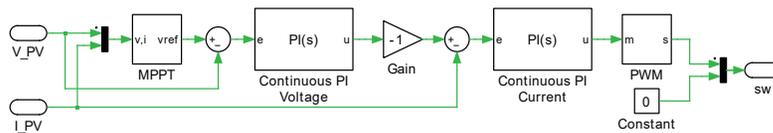
図2: 25°CにおけるBP365 PVモジュールモデルの標準的な出力電流特性



2.2 制御

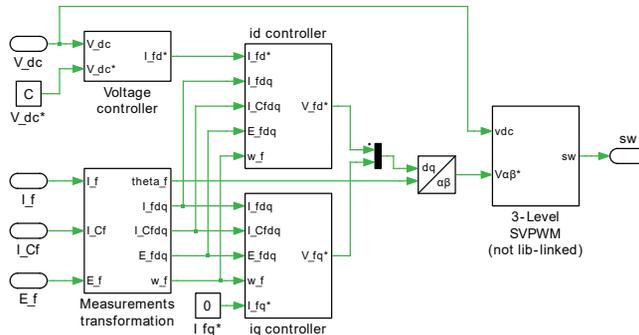
DC/DC制御システムは、最大電力点(Maximum Power Point: MPP)コントローラ、電圧コントローラ、電流コントローラの3つの制御ループで構成されます。外側の制御ループはMPPコントローラで、与えられたの日射レベルでPVストリングから最大電力が抽出されるようにします。これを行うために、 dP/dV 制御として知られるMPPアルゴリズムを使用して、最適なPV端子電圧を計算します。電圧制御ループはPIコントローラを使用し、昇圧ステージに注入する電流レベルを制御することで、PV電圧をこの最適レベルに調整します。最も内側の制御ループである電流コントローラは、必要な電流がDCリンクに注入されるようにIGBTの変調指数を設定します。電流コントローラもPI制御方式に基づいています。

図3: DC/DCコンバータコントローラ



DC/AC制御システムは、グリッドへの電流を調整します。グリッド側コンバータは、LCLフィルタを介してDCリンクからグリッドに電力を伝送し、DCリンク電圧を800VDCに維持します。グリッド側インバータの制御方式は、電圧制御用の外側ループと電流制御用の内側ループの2ループで構成されます。電圧ループは、d軸電流制御のリファレンス信号を提供し、PIコントローラを使用します。電流制御ループはdqフレームに実装され、グリッド電圧と同期します。方向のリファレンスはフェーズロックループ(Phase-Locked Loop: PLL)によって提供されます。d軸およびq軸に分解された電流コントローラは、PI制御スキームに基づいています。PIコントローラには、アクティブダンピング、フィードフォワード、積分アンチwindアップ手法が採用されています。

図4: DC/ACコンバータコントローラ



インバータは空間ベクトルPWM(Space Vector PWM: SVPWM)変調を使用して動作します。このデモで使用している3-Level SVPWMブロックは、ライブラリにリンクされていないコンポーネントであることに注意してください。Symmetricalオプションとは別に、追加のAlternatingZero VectorのModulation strategyを備えています。AlternatingZero Vectorでは、スイッチング遷移の数を最小限に抑えるために各スイッチングセクタでゼロベクトルが交互に適用され、スイッチング損失は低減しますが、変調電圧のTHD成分が高くなります。一方、Symmetrical変調の場合、単一のスイッチングシーケンス中に両方のゼロベクトルが適用されます - 一方はスイッチングサイクルの開始と終了の両方に分割され、もう一方はスイッチングサイクルの中間に適用されます。この方法では、スイッチング損失は高くなりますが、THDは低減します。

2.3 熱

Infineon社のF3L30R06W1E3_B11 600V、30A IGBTを使用した昇圧コンバータおよび電源インバータスイッチに熱モデルが追加されました。これらの設定は、コンポーネントをダブルクリックし、**熱設定**パラメータのドロップダウンメニューから**編集...**を選択することで表示および編集できます。ユーザはIGBT単体の導通損失とスイッチング損失、およびデバイスのジャンクション温度を容易に観察でき、3レベルコンバータのクランプダイオードについても同様な情報を調べることができます。さらに、ユーザはどちらのコンバータにも冷却システムを設計できます。

MOSFETの熱記述は、ディレクトリ/dual_active_bridge_converter_plecsのプライベート熱ライブラリに保存されます。

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して簡単に計算できます。回路図エディタで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プ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。

熱モデリングとデバイスの損失と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。

3 シミュレーション

シミュレーションの開始時の日射量レベルは $0.5\text{kW}/\text{m}^2$ です。PVストリングあたりの最大出力は約 $1,250\text{W}$ で、インバータはグリッドに約 9.9A を出力します。 $t=3$ 秒で、日射レベルは上昇し始め、 $1\text{kW}/\text{m}^2$ の完全な太陽光条件に達します。PVストリングの最終的な最大出力は約 $2,600\text{W}$ になり、インバータはグリッドに約 19.2A を出力します。

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 4.7.1 スイッチ損失算出を使用してモデルを更新



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



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。