

PLECS *DEMO MODEL*

Multi-Phase Current Source Inverter

多相電流形インバータ

Last updated in PLECS 5.0.1

1 概要

このモデルは、多相電流形インバータ(current source inverter: CSI)を備えています。CSIは、DC電流源からAC電流と電圧を生成するインバータ回路です。多相CSIは、3相、4相、5相のトポロジを示す可変サブシステムによって実装されています。

この回路パラメータの選択には、特に理由はありません。インバータは開ループ制御方式で制御されます。このデモのハイライトは、[1]の著者らが提案した多相CSIの汎用変調戦略のモデリングを実証することです。

注意

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。

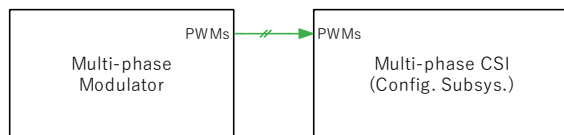
PLECS Standalone: シミュレーションメニュー + シミュレーション・パラメータ... → 初期化

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

デモモデルのトップレベルの回路図を図1に示します。これは、"Modulator"サブシステムと"CSI"サブシステムで構成されています。PWM信号は2つのサブシステム間に接続され、開ループ制御を形成します。

図1: トップレベルの回路図



MOSFETの登場以来、電圧形インバータ(voltage source inverters: VSI)は、CSIに比べて、さまざまな用途で遙かに広く使用されるようになりました。その結果、パワーエレクトロニクスにおける変調および制御技術の進歩は、主にVSIに焦点を当ててきました。最もよく知られている変調技術の一つに、三相VSI向けに導入された空間ベクトル変調(Space Vector Modulation: SVM)があります。

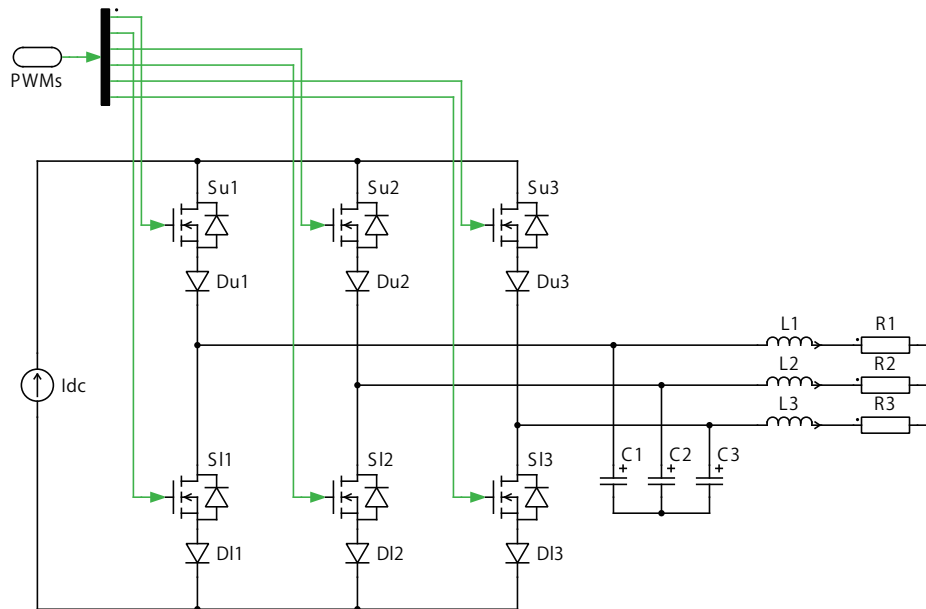
VSIは位相ごとにパルス幅変調(Pulse Width Modulation: PWM)を使用するのに対し、CSIは位相ごとに動作しません。代わりに、DCリンク電流の流れを常に維持する必要があるため、ハイサイド(正極側)レールに接続されたスイッチは一つのまとまった単位として扱われます。同様に、ローサイド(負極側)レール付近のスイッチも一つのまとまった単位として扱われます。

2.1 プラント

プラントサブシステムは、3相、4相、5相のCSIトポロジの3つの構成を持つ可変サブシステムです。**Multi-phase CSI**サブシステムを右クリックし、**サブシステム** -> **サブシステムのモデル表示**を選択することで表示できます。パラメータ n は、モデル初期化コマンドでフェーズ数を選択するために使用され、それによって対応するトポロジ構成が決定されます。これらの3つの構成は、それぞれ図2、図3および図4に示されています。

インバータは固定DCリンク電流源 I_{dc} によって駆動されます。インバータは、 $2n$ 個の単方向スイッチで構成され、上部スイッチ $S_{u1} \sim S_{un}$ と上部ダイオード $D_{u1} \sim D_{un}$ 、および下部スイッチ $S_{l1} \sim S_{ln}$ と下部ダイオード $D_{l1} \sim D_{ln}$ で構成されています。

図2: 3相電流形インバータの回路図



2.2 コントローラ

変調器の詳細については[1]を参照してください。図5にコントローラの回路図を示します。PLECSの回路図は[1]のFig. 6に従って構築しています。ここではセクタ識別など、SVMの代表的な要件を一切必要としない、CSI専用に調整されたPWM方式が使用されています。

[1]で提案されている変調戦略の主な目的は、線形代数を使用して、上位セルの平均デューティ比値 d_{uk} と下位セルの平均デューティ比値 d_{lk} を決定($k = 1, \dots, n$)することです。これらは、図5に示されている回路図において、それぞれ"du"と"dl"という名前の信号ジャンプ(出力)タグで表されます。

これらの値は、提案されているMulti-phase Modulator(MTM)に適用され、 S_{uk} と S_{lk} を制御するPWMスイッチング信号を生成し、最終的にインバータ出力電流の望ましい平均値を保証します。例えば、図6は、3相CSI用MTMの上部セルの回路図を示しています。MTMは、上側のセルと下側のセルに対して同一のアルゴリズムを使用することに注意してください。さらに、そのパターンは3相から多相CSIアプリケーションへと容易に拡張可能です。

MTMサブシステム前の図5の制御信号は、 n (位相数)の次元に合うようにベクトル化されます。MTMは可変サブシステムであり、その構成はモデル初期化コマンド n の定義に一致するように自動的に選択されます。

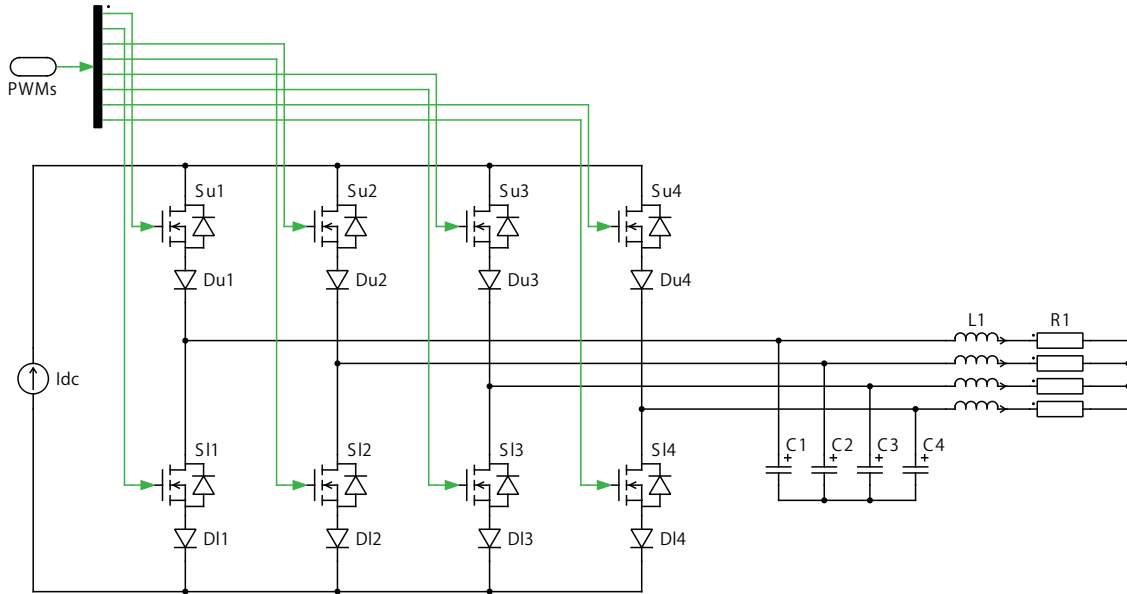
3. シミュレーション

主なシミュレーション結果は、3相、4相、5相のCSIについて、それぞれ図7、図8、図9に示されています。これらの結果は、[1]のFig. 7に示されている結果とよく一致しています。

4. まとめ

このデモは、任意の位相数を持つ電流形インバータ向けの新しい変調技術を紹介することを目的としています。

図3: 4相電流形インバータの回路図



5. 参考文献

[1]Pejović, P., Ohno, T., Borović, U. and Mirić S., “Pulse width modulation for current source inverters with arbitrary number of phases,” in *Scientific Reports* 15, 8744 (2025). Available: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92388-9>. [Accessed: Aug. 28, 2025].

図4: 5相電流形インバータの回路図

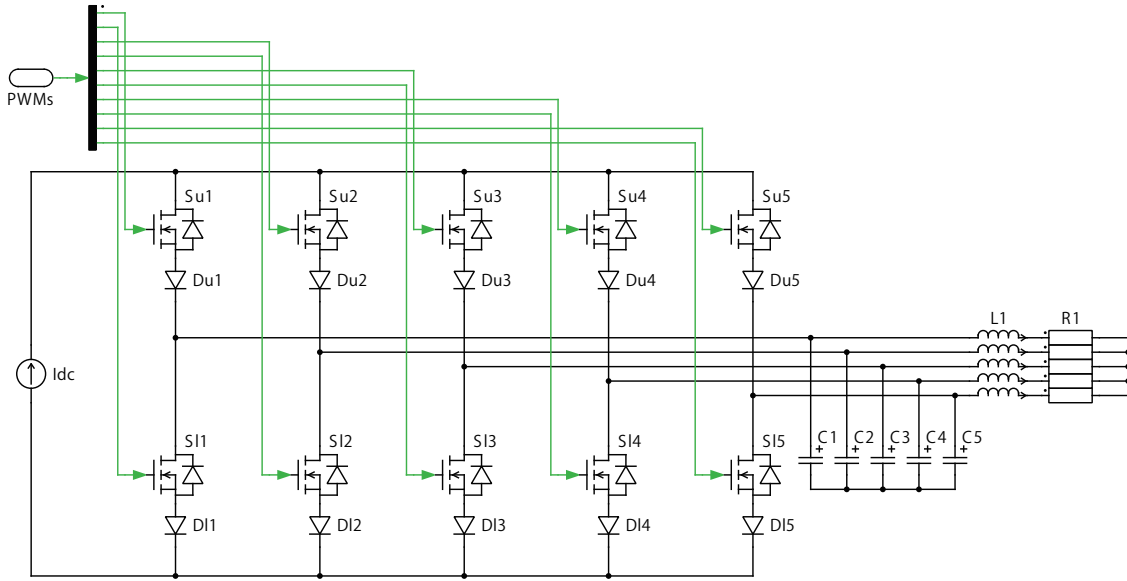


図5: 多相CSIの制御回路図

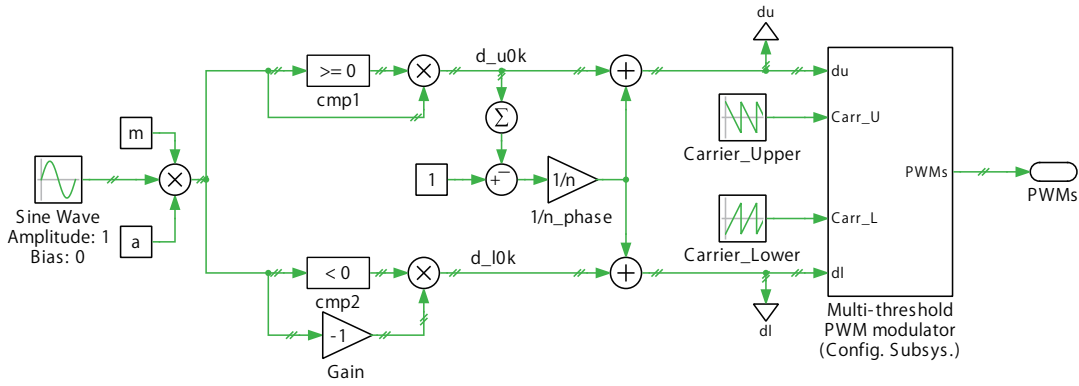


図6: 3相CSIにおけるMTMの上部セルの回路図

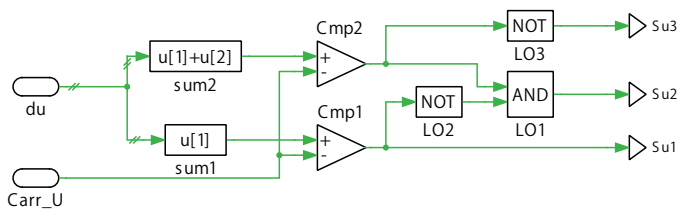


図7: 3相CSIのシミュレーション結果

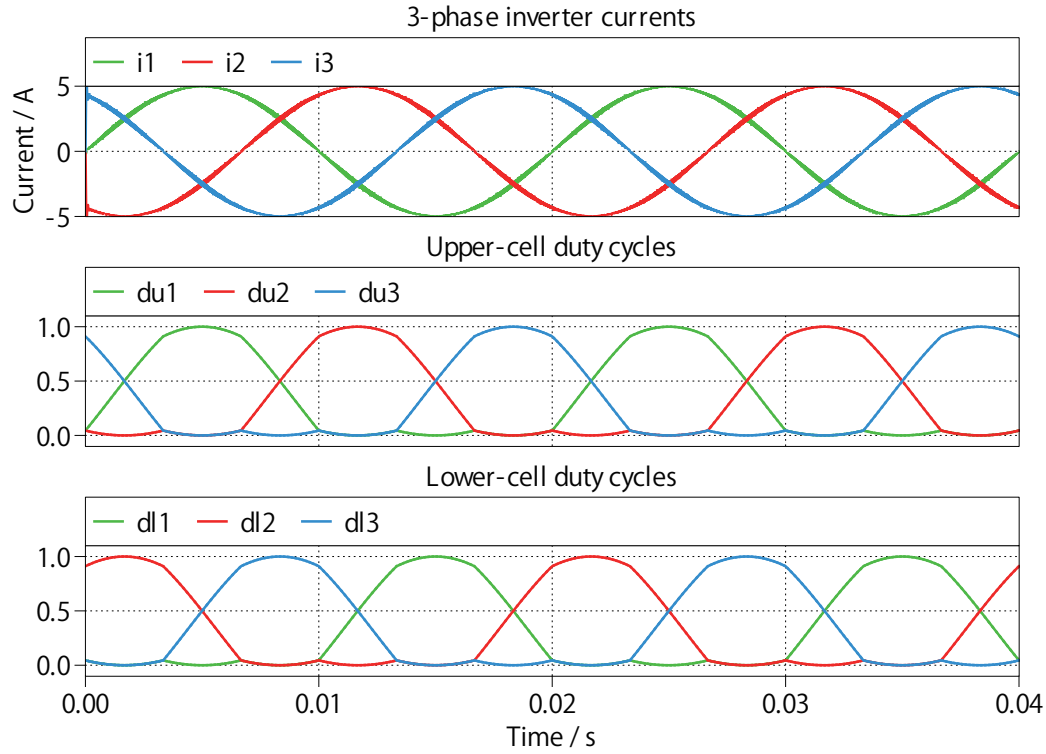


図8: 4相CSIのシミュレーション結果

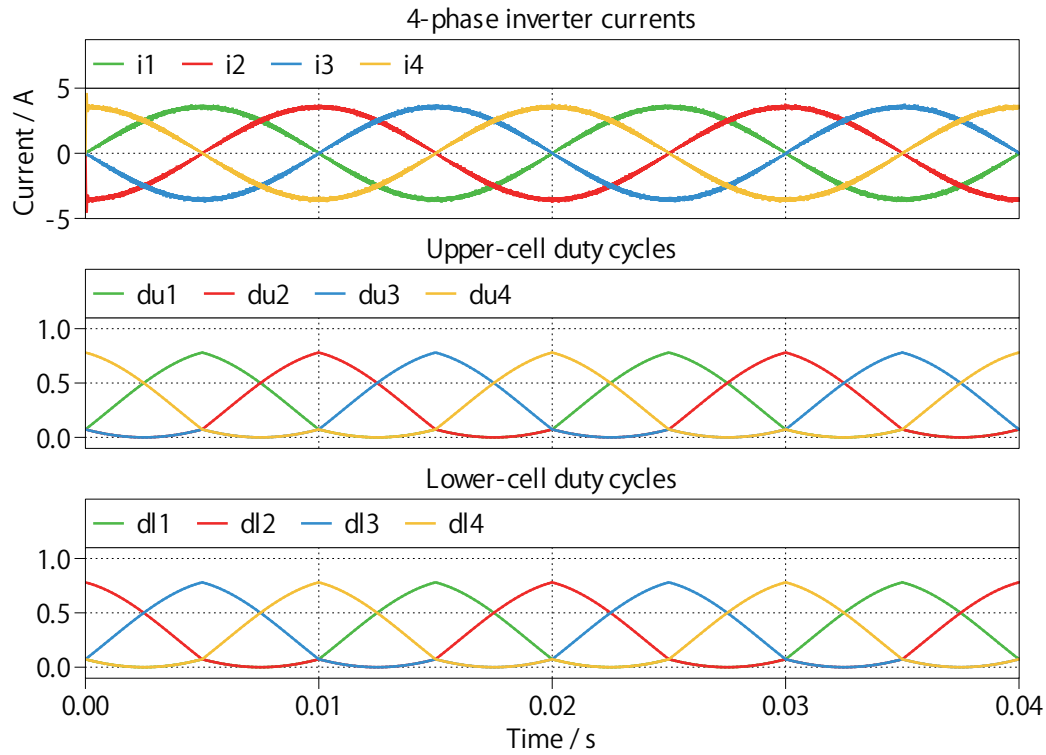
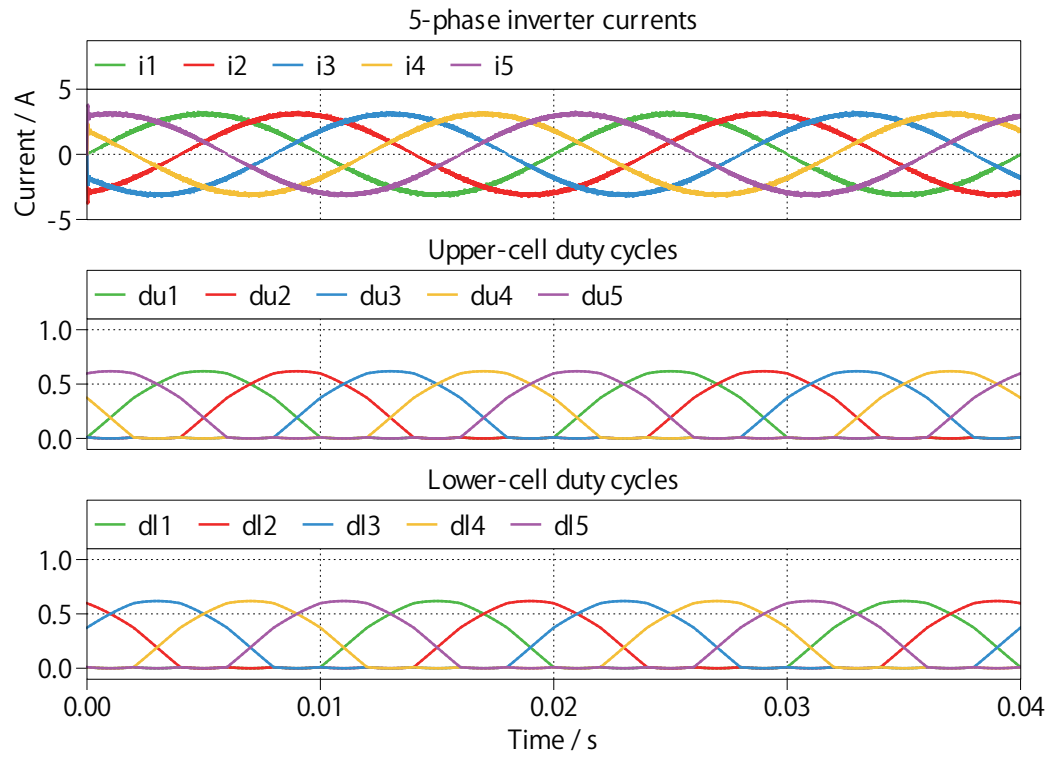


図9: 5相CSIのシミュレーション結果



改訂履歴:

PLECS 5.0.1 初版



Pleximへの連絡方法:

☎ +41 44 533 51 00	Phone
✉ Plexim GmbH	Mail
Technoparkstrasse 1 8005 Zurich Switzerland	
@ info@plexim.com	Email
https://www.plexim.com	Web



アドバンオートメーションへの連絡方法:

☎ +81 3 5282 7047	Phone
✉ ADVAN AUTOMATION CO.,LTD	Mail
1-9-5 Uchikanda, Chiyoda-ku Tokyo, 101-0047 Japan	
@ info-advan@adv-auto.co.jp	Email
https://adv-auto.co.jp/	Web

PLECS Demo Model

© 2002–2026 by Plexim GmbH

このマニュアルで説明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の書面による事前の同意なしに、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。

本マニュアルは、Plexim社の英文マニュアルを日本語に翻訳したものです。本マニュアルと英文マニュアルとで差異がある場合、英文マニュアルを正とします。

本マニュアルの内容に基づいて発生した負傷や損害などに対して、Plexim GmbHおよびアドバン オートメーション株式会社は一切責任を負いません。製品とアプリケーションに関連したリスクを最小限に抑えるため、ユーザが適切な設計および保護対策を用意する必要があります。