

RT Box *DEMO MODEL*

Modular Multilevel Converter

モジュラーマルチレベルコンバータ

- RT Boxによるグリッド接続型MMCのマルチタスクシミュレーション -

Last updated in RT Box TSP 4.0.1

1 はじめに

この RT Box デモモデルには、開ループ制御を備えたグリッド接続モジュラーマルチレベルコンバータ(Modular Multilevel Converter: MMC)を搭載しています。デモモデルは、FlexArrayソルバまたはCPU(シングルタスクまたはマルチタスクモード)でシミュレートできます。RT Box 2、3、または4のFPGA上のFlexArrayソルバで解く場合、モデルを分割する必要はありません。マルチタスクモードを有効にするには、物理モデルを複数に分割する必要があります。これは、PLECSライブラリのタスクコンポーネントを使用して実行できます。このブロックは、フレームで囲んだコンポーネントをマルチタスク環境内の指定したタスクに関連付けます。RT Box 2、3または4でのリアルタイムシミュレーションでは、指定した各タスクが異なるCPUコアで実行し、全体的な離散化ステップサイズを削減します。RT Box 1では、シングルタスクモードのみが利用可能です。選択した離散化ステップサイズとCPU上の2つの異なるタスクモードにおける平均実行時間を表1に示します。FlexArrayのステップ時間を表2にまとめています。

表1: RT Box 2のアームあたり5つのサブモジュールに対する両方のタスクモードを用いたリアルタイムモデルの離散化ステップサイズと平均実行時間

Discretization Step Size	Average Execution Time Single-Tasking	Average Execution Time Multi-Tasking
5 μ s	4.2 μ s	2.3 μ s

表2: RT Box 2のアームあたり5つのサブモジュールに対するリアルタイムモデルのFlexArray離散化ステップサイズ

CPU discretization Step Size	FlexArray Step Size
3 μ s	1.5 μ s

1.1 要求仕様

このデモモデルを実行するには、次の製品が必要です(www.plexim.com¹から入手可能):

- 1台のPLECS RT Box CE、1、2、3または4²およびPLECSとPLECS Coder³ライセンス1つずつ
- RT BoxのデジタルI/Oを接続するための1本または2本の37ピンD-Subケーブル
- [RT Box Target Support Package](#)⁴
- RT Boxの初期セットアップについては、[RT Box User Manual](#)⁵のクイックスタートガイドに記載されている、PLECSとRT Boxの設定手順に従います。

注意 このモデルには、以下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*

¹ <http://www.plexim.com>

² https://www.plexim.com/products/rt_box

³ https://www.plexim.com/products/plecs/plecs_coder

⁴ https://www.plexim.com/download/rt_box

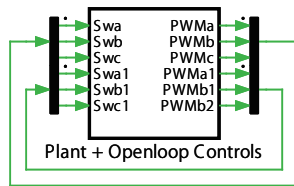
⁵ <https://www.plexim.com/sites/default/files/rtboxmanual.pdf>

2 モデル

図1に示すように、デモモデルのトップレベル回路図には2つのサブシステムが配置されています。CPU Multitaskingサブシステムは、RT BoxのCPU上でシングルタスクとマルチタスクを実行するように構成されています。FlexArrayサブシステム

は、RT Box 2、3、または4のFlexArrayソルバ上で実行するように構成されています。デモモデルは回ループで実行するため、PWM生成と電源回路は同じRT Box上で実行します。RT Boxでサブシステムを実行するには、サブシステムを右クリックして**サブシステム -> 実行の設定...**を選択し、**原子単位系の採用**として構成し、**コード生成機能の有効化**にチェックする必要があります。

図1: MMCデモモデルのトップレベル回路図



2.1 電源回路

図2はACシステムとDCシステムを接続するMMCで構成される"Plant"の回路モデルを示しています。MMCには、アームごとに構成可能なサブモジュールがあり、デフォルト値は5です。各サブモジュールは、1つのフルブリッジと1つのDCリンクキャパシタで構成され、各単相コンバータアームのペアは、アームインダクタとともにACグリッドに接続されます。コンバータアームは、ライブラリコンポーネントのフルブリッジ(直列接続)パワー素子モジュールを使用して実装します。このコンポーネントには、半導体を理想スイッチで表現するスイッチ(Switched)実装と、可変電圧および電流源を使用するサブサイクル平均(Sub-cycle average)構成の2つの構成があります。このモデルは、オフラインおよびリアルタイムシミュレーションに適した、パワー素子モジュールコンポーネントのサブサイクル平均実装を使用するように構成しています。

パワー素子モジュールとPWM生成の両方の実装では、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、モデル初期化コマンドの変数num_sm_xを使用してセル数を設定します。このコンセプトはモデル構造の暗黙的なベクトル化と呼ばれ、ウェブサイトの[チュートリアルページ](#)にあるチュートリアル"[コンポーネントのベクトル化](#)"でさらに詳しく説明しています。

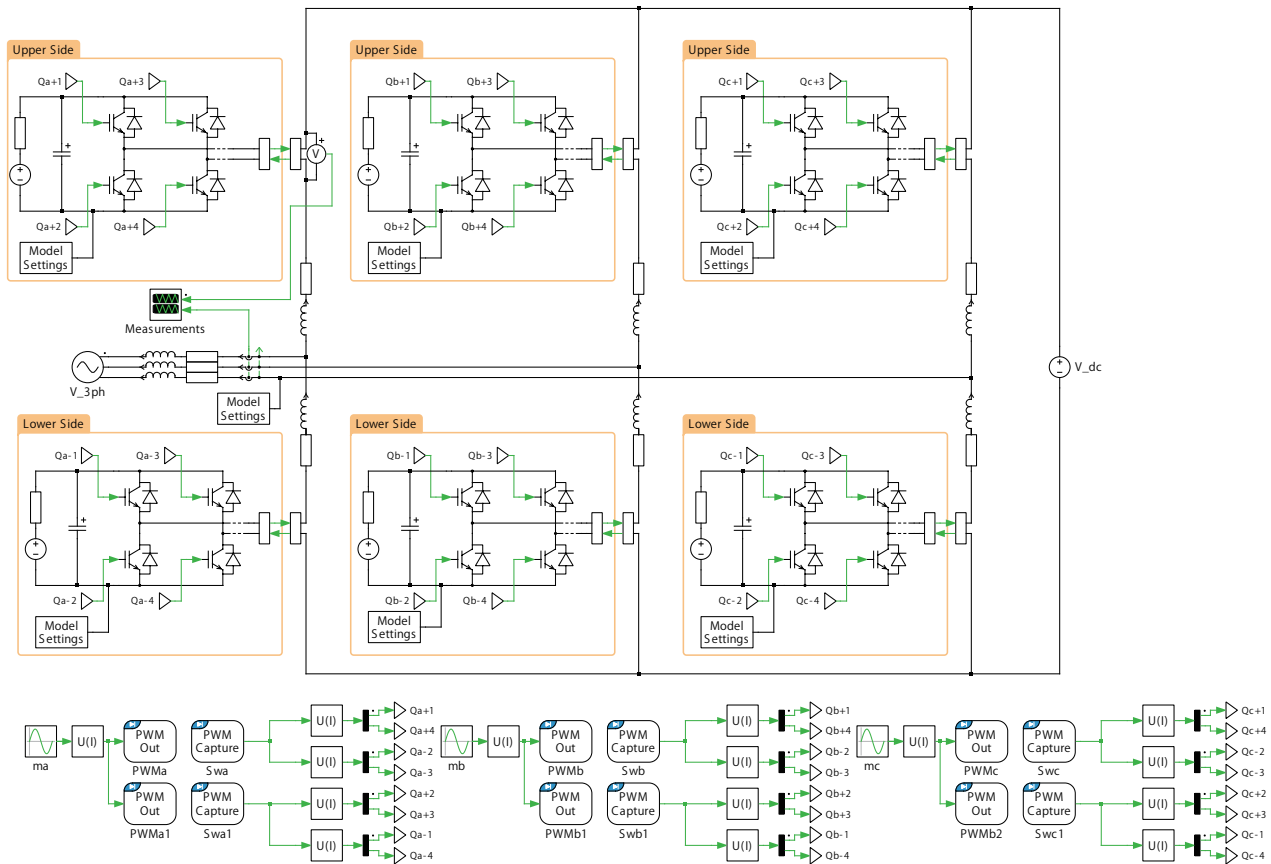
タスクモード

以下は、**CPU Multitasking**サブシステム内のプラントにのみ関係します。物理モデルを RT Box 2、3、または4の異なるCPUコアに分散するには、PLECSライブラリのタスクコンポーネントを使用してモデルを分割します。タスクモードは、図3に示すように、**Coder オプション**ウィンドウのタスクタブの**タスクモード**で設定できます。

シングルタスク タスクモードがシングルタスクとして構成されている場合、すべてのタスクコンポーネントは無視し、物理システムは単一の基本タスクで実行します。この構成は、RT Box 1上のデモモデルのリアルタイムシミュレーションに必要です。

マルチタスク タスクモードがマルチタスクとして構成されている場合、物理モデルは3つの異なるタスクに分割され、それらのタスクはRT Box 2、3または4の使用可能な3つのCPUコアに関連付けられます(図3を参照)。

図2: グリッド接続MMCインバータの回路図



物理モデルは次のように分割されます:

- コア0: AC Gridと位相インダクタンス/抵抗およびDCバス
- コア1: すべてのUpper SideのサブセルとDCリンクキャパシタ
- コア2: すべてのLower SideのサブセルとDCリンクキャパシタ

このシステム分割を可能にするには、結合回路を使用して物理モデルを重要な場所で分割する必要があります。これを行うには、電流源(可変)をモデルの一方の部分に配置し、電圧源(可変)を他の部分に配置します。両方の電源は、モデルの他の部分からそれぞれ測定した電圧/電流状態変数によって制御されます。状態/ソース依存性を回避するには、1つの測定信号を1つの離散化ステップだけ遅延させる必要があります。この手法を図4に示します。

各コア個別のCPU負荷が小さくなり、これにより平均実行時間が大幅に短縮されます。離散化ステップサイズを小さくすると周波数分解能が向上し、リアルタイムシミュレーションの忠実度が向上します。

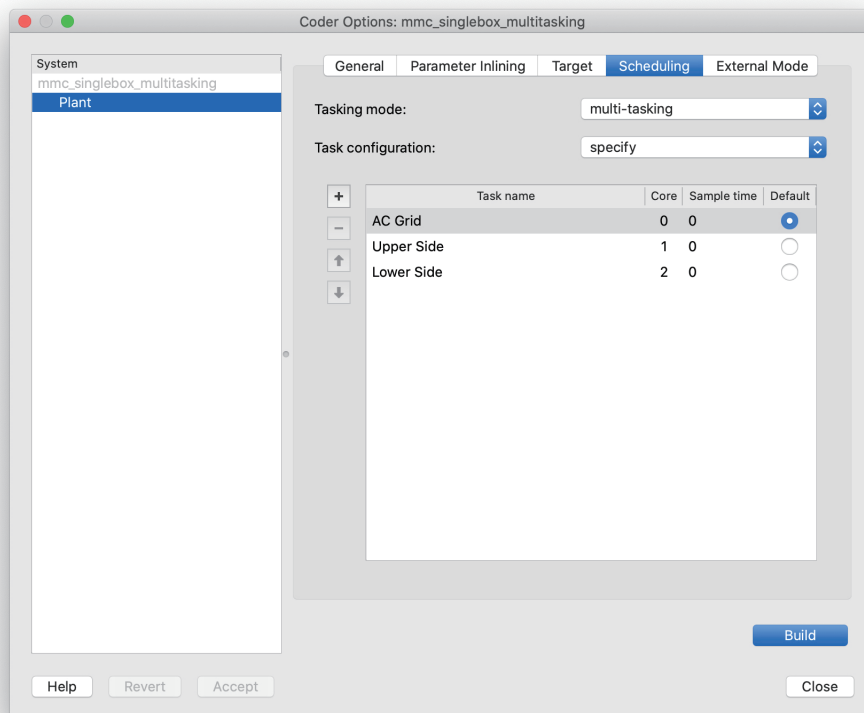
FlexArray

FlexArrayサブシステムは、RT Box 2、3、および4で使用可能なFlexArrayソルバ上で実行されるように構成されています。この構成には、図5のように、電源回路を分割する必要がないという大きな利点があります。

2.2 コントロール

デモモデルは開ループで動作します。PWM生成は同じRT Box内で実行し、PWM Outブロックを介してデジタル出力に出力します。これらのPWM信号は、物理的なループバックケーブルを使用してデジタル入力にフィードバックします。次に、PWM信号はPWM Captureブロックを使用してリアルタイムシミュレーションに取り込みます。

図3: Coderオプションのタスク設定



3 シミュレーション

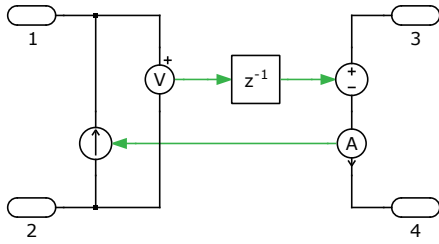
このモデルは、コンピュータ上のオフラインモードと、PLECS RT Box上のリアルタイムモードのどちらでも実行できます。

RT Boxでリアルタイムモードを実行するには、以下の手順に従ってください:

- 図6のように、DB37ケーブルを使用して、RT BoxのDigital OutインタフェースをDigital Inインタフェースに接続します。RT Box3を使用する場合は、2本のD-Subケーブルを接続する必要があります
- Coderオプションウィンドウの**システム**リストから、"Plant"を選択し、**タスク**タブに移動します。タスクモードでシングルタスクまたはマルチタスクのいずれかを選択し、**確認**をクリックします。マルチタスクモードはRT Box 2、3および4でのみ使用可能です。
- **システム**リストに戻り、"Plant"を選択して RT Boxに**ビルド**します。
- モデルがアップロードされたら、**Coder オプション...**ウィンドウの**外部モード**タブから、RT Boxに**接続**し、**自動トリガを有効化**にチェックします。

外部モードでのリアルタイム操作中は、PLECSスコープの"Measurements"で測定値を観察できます。アーム電圧とACグリッド電流を図7に示します。

図4: 物理システムの分割を可能にする回路



4 まとめ

このRT Boxのデモモデルは、開ループ制御によるグリッド接続MMCインバータを示しています。デモモデルは、RT Box 1、2、3および4では1つのCPUコアでシングルタスクモード、またはRT Box 2、3および4では3つのCPUコアでマルチタスクモードを実行できます。さらに、MMCモデルはRT Box 2、3、または4上のFlexArrayソルバ上で実行することもできます。マルチタスクには、平均実行時間を大幅に短縮できるという利点があります。FlexArrayソルバ上で実行する場合の大きな利点は、物理システムを分割する必要がないことです。

図5: FlexArrayソルバで実行するためのグリッド接続MMCインバータの回路図

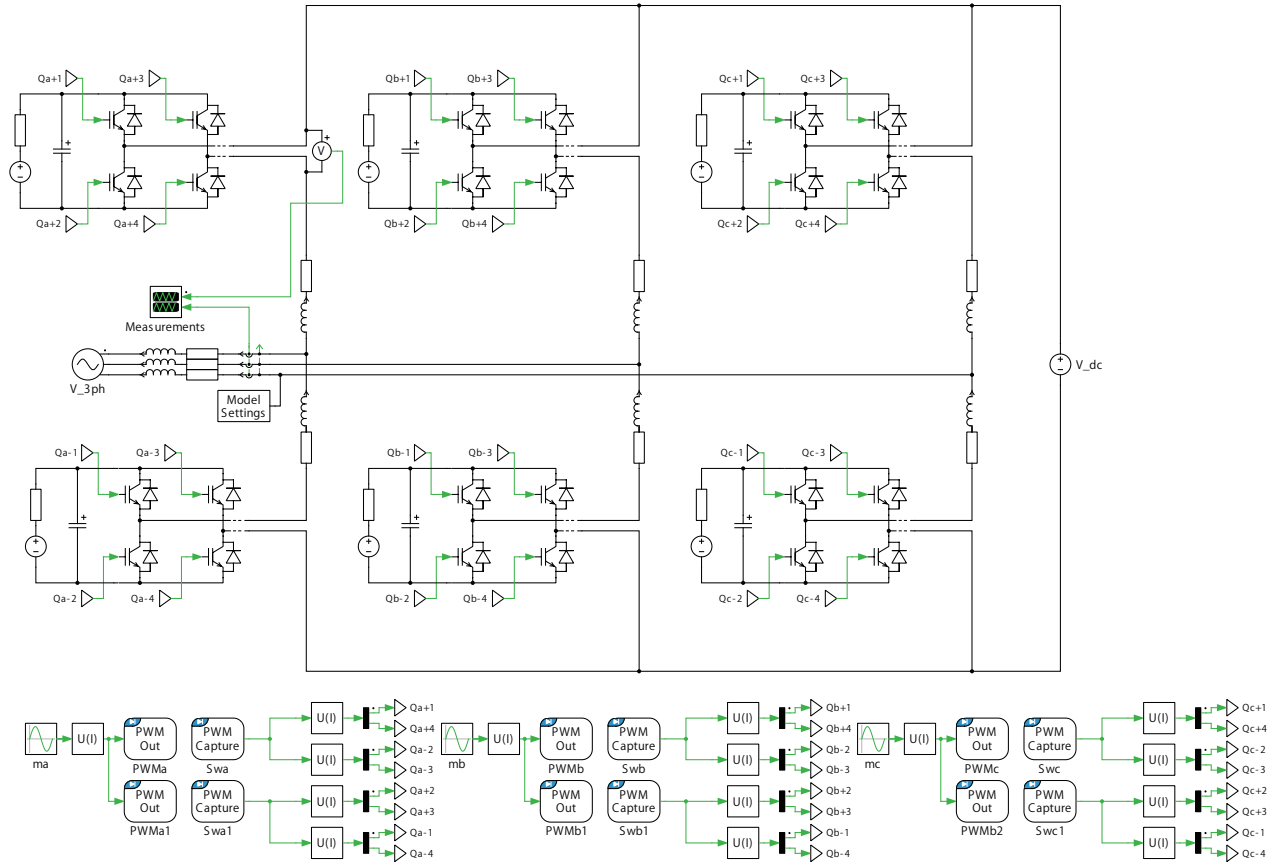


図6: デモモデルのリアルタイム動作のためのハードウェア構成

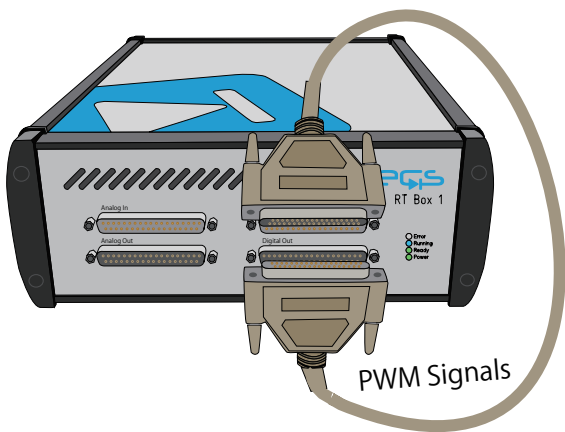
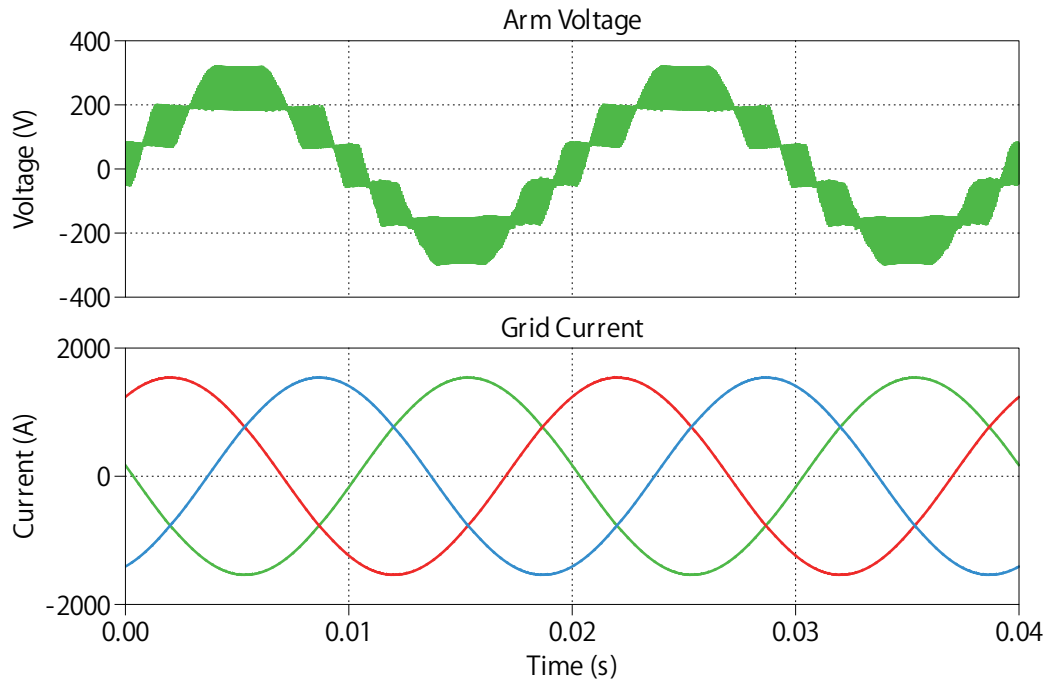


図7: RT Boxのマルチタスクモードで取得したリアルタイム測定



改訂履歴:

RT Box TSP 2.0.5 初版

RT Box TSP 2.1.5 IGBTフルブリッジのアサーションをオンにし、PWM出力ブロックにデッドタイムを追加

RT Box TSP 2.2.1 グリッドインピーダンスを追加

RT Box TSP 4.0.1 RT Box 2、3、4にFlexArrayソルバを使用す

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

計測エンジニアリングシステムへの連絡方法:

☎ +81 3 6273 7505 Phone

✉ Keisoku Engineering System CO.,LTD. Mail

1-9-5 Uchikanda, Chiyoda-ku

Tokyo, 101-0047

Japan

<https://kesco.co.jp> Web

RT Box 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および計測エンジニアリングシステム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。