

# RT Box *DEMO MODEL*

## Modular Multilevel Converter

RT Box 2/3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 2.2.1

# 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、シングルタスクまたはマルチタスクモードのいずれかでシミュレートできます。マルチタスクモードを可能にするには、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またはRT Box 3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。2つの異なるタスクモードで選択された離散化ステップサイズと平均実行時間を表1に示します。

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 $\mu$ s	4.2 $\mu$ s	2.3 $\mu$ 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.comから入手可能):

- [PLECS](#)および[PLECS Coder](#)ライセンス1つずつ
- 1台の[PLECS RT Box 1, 2または3](#)
- [RT Box Target Support Package](#)
- RT Box の初期セットアップについては、[RT Box User Manual](#)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:

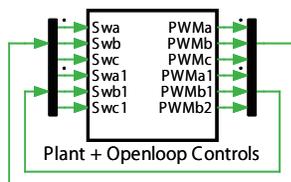
*PLECS Standalone:* シミュレーションメニュー -> シミュレーション・パラメータ... -> 初期化

*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\*

## 2 モデル

デモ モデルの最上位レベルの回路図を図1に示します。デモモデルは開ループで動作するため、PWM生成と電源回路は同一の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、**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

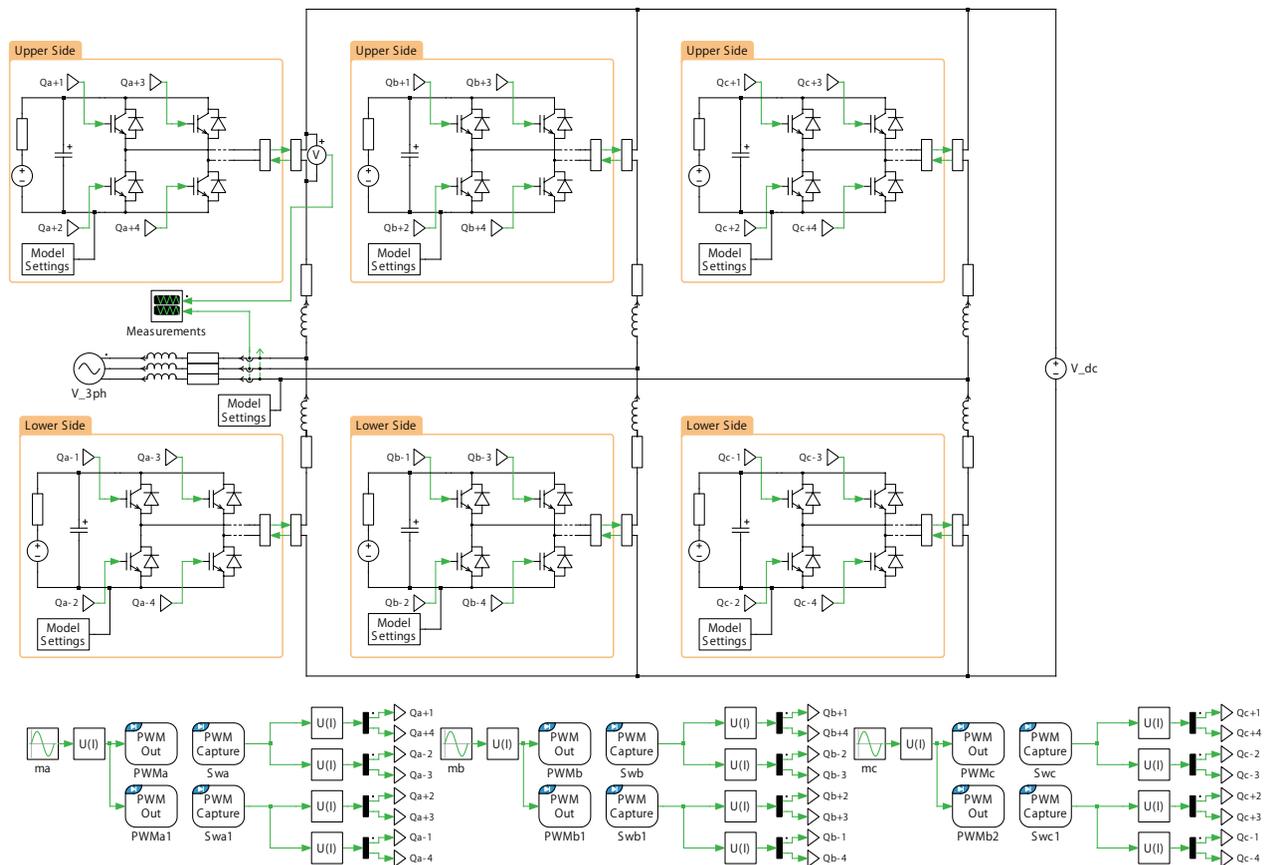


## 2.1 電源回路

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。

図2: グリッド接続MMCインバータの回路図

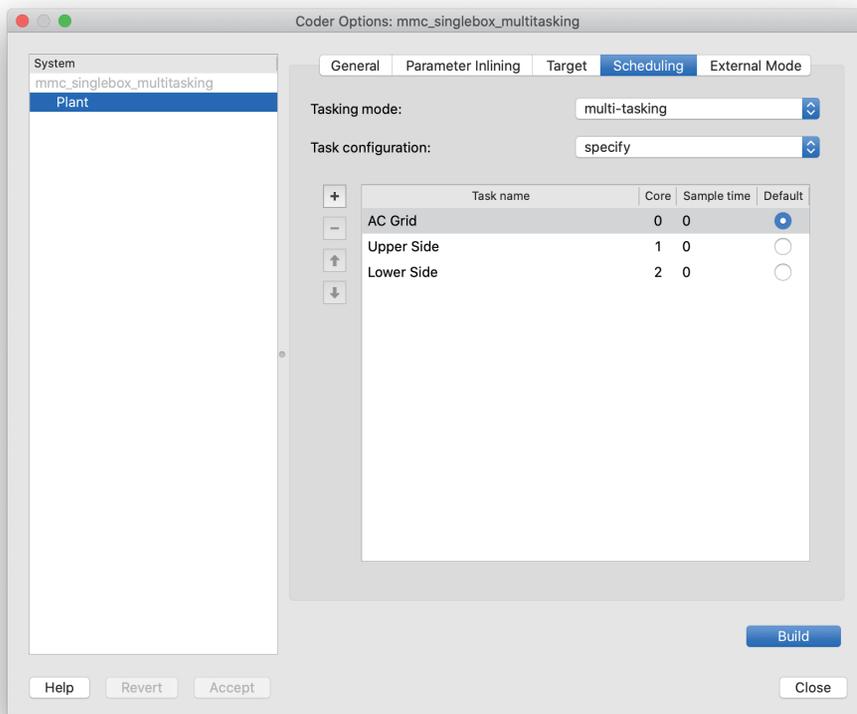


### タスクモード

物理モデルを RT Box 2/3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。

図3: Coderオプションのタスク設定



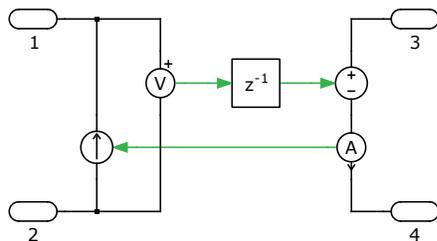
**マルチタスク** タスクモードがマルチタスクとして設定されている場合、物理モデルは3つの異なるタスクに分割され、それらのタスクはRT Box 2/3の使用可能な3つのCPUコアに関連付けられます(図3を参照)。

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。

図4: 物理システムの分割を可能にする回路



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。

## 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。

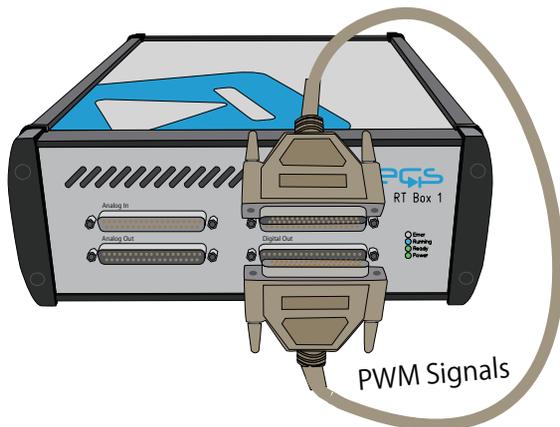
## 3 シミュレーション

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5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。
- **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およびRT Box 3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**にします。

図5: 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

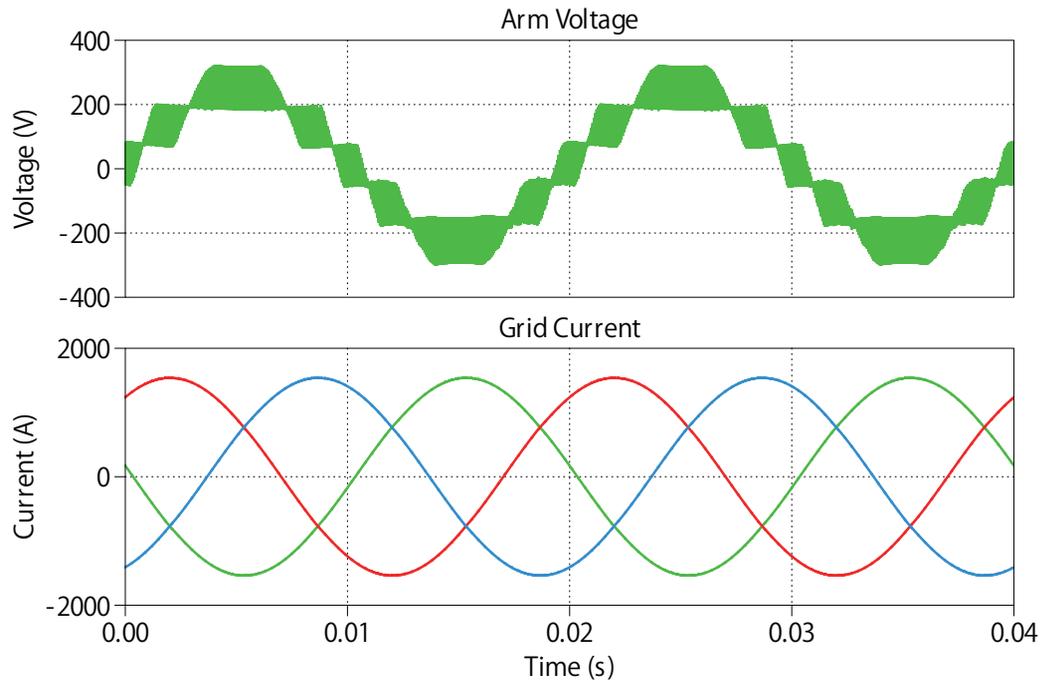


**外部モード**でのリアルタイム操作中は、PLECSスコープの"Measurements"で測定値を観察できます。アーム電圧とACグリッド電流を図6に示します。

## 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 および3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および3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。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。

図6: 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



**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

**KESCO 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

+81 3 6285 0250 Fax

✉ 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*

© 2002–2025 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。