



RT Box Tutorial

Building a Simple Voltage Source Inverter

シンプルな電圧源インバータの構築

- RTBox 1台とD-Subループバックケーブル1本だけを使用 -

Tutorial Version 1.0

1 はじめに

このチュートリアルでは、RT Boxに実装するためのシンプルな三相電圧源インバータ(Voltage Source Inverter: VSI)を構築します。このチュートリアルは、PLECS Standaloneを使用してRT Box用の実用的なモデルを初めて作成するユーザを対象としており、作成中に起こりうる潜在的なミスを特定します。

このチュートリアルの主な学習目標は、リアルタイムアプリケーションにおける従来のスイッチモデルの限界を示し、後のチュートリアル演習でサブサイクル平均化と特殊なハイブリッド電源モジュールを使用するように促すことです。

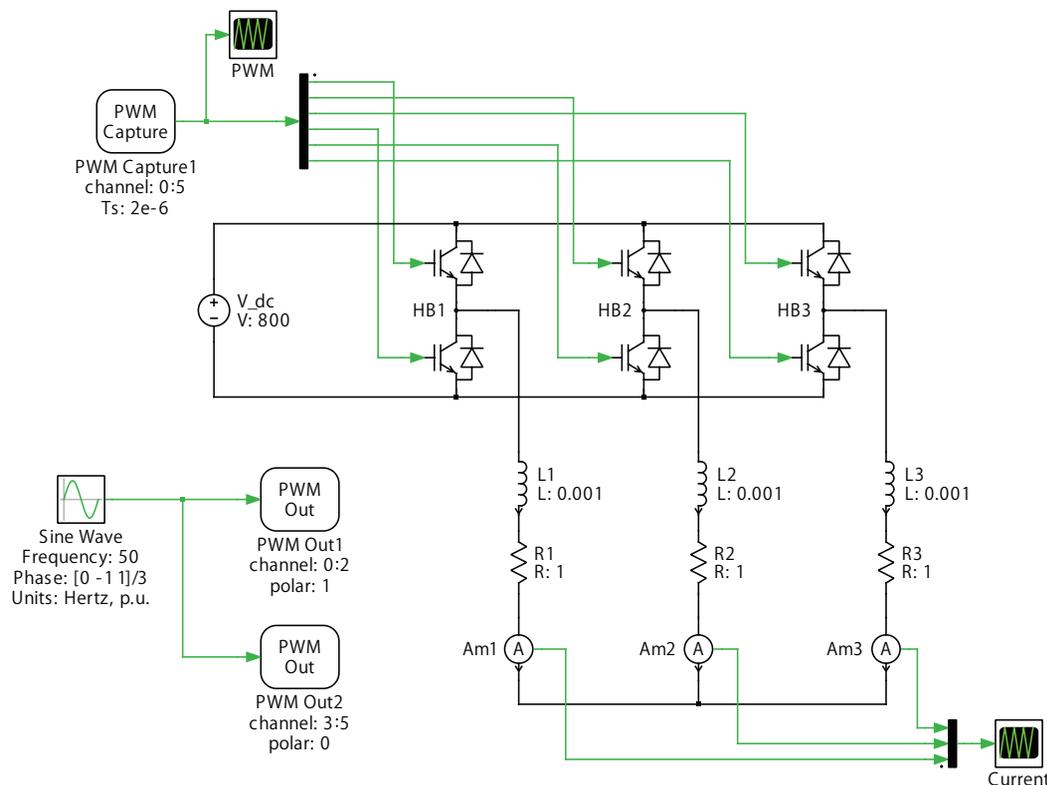
始める前に: RT Boxを初めて使用する場合は、このチュートリアルを始める前に"PLECSを使ったRT Boxの紹介"を完了して、基本的なモデルの構築とデプロイの方法を理解しておく必要があります。

このチュートリアルは、RT Boxとループバックケーブルのみで完了できるように設計されています。ループバックケーブルは、RT Boxの出力からRT Boxのアナログ入力とデジタル入力を駆動するために使用します。この目的には、D-SUB 37ピンのオス-メスケーブルを使用します。

2 PLECSでVSIモデルを構築

このセクションでは、PLECSパワー素子モジュールと開ループPWMジェネレータを用いて、シンプルなVSIモデルを作成します。次に、プラントと変調器を1つのRT Boxで実行します。ここで注意すべき点は、プラントとモジュレータを同時に実行することは、ラピッドコントロールプロトタイプング(Rapid Control Prototyping: RCP)やハードウェアインザループ(Hardware-In-the-Loop: HIL)シミュレーションでは通常の手法ではないということです。これらのケースでは、コントローラまたはプラントを1つのRT Boxに別々にデプロイし、実際のハードウェアまたはコントローラを使用してテストします。しかしながら、1つのRT Boxで両方のシミュレーションを実行することで、サンプリング分解能や実行時間といった重要な効果を1つのRT Boxだけで確認することが可能です。

図1: シンプルなリアルタイムVSIモデル





あなたのタスク:

- 1 PLECSモデルを新規作成し、[図1](#)に示すVSIおよびPWMモジュレータを構築します。PLECSコンポーネントライブラリの"電気回路ブロック" -> "パワー素子モジュール"セクションにあるハーフブリッジコンポーネントを使用します。PLECS RT BoxライブラリのPWM Captureブロックを使用し、[図1](#)に示すようにIGBTのゲート入力に接続します。また、2つのPWM出力コンポーネントの極性設定の違いに注意してください。

[図1](#)に別途記載がない限り、デフォルトのコンポーネントパラメータを使用します。

- 2 DSUBループバックケーブルを使用して、RT Boxの前面パネルのデジタル出力ポートとデジタル入力ポートを接続します。
- 3 メニューから**Coderオプション...**を開き、**タスク**タブの離散化ステップサイズを5e-6秒に入力し、**ターゲット**タブでRT Boxターゲットを選択して**ビルド**をクリックします。

? 外部モードに接続し、シミュレーションスコープを確認してください。何が見えますか?この結果は妥当でしょうか?

A "PWM"スコープには、0から1の範囲にある6つのPWM信号が表示されます。スコープウィンドウを右クリックし、"信号を分離表示"を選択すると、6つの入力すべてを一度に表示できます。"Current"スコープには、平衡した三相正弦波インダクタ電流が表示されます。これらの結果は、PWM出力ブロックへの正弦波入力信号に基づいて予測されたものです。

? モデルとプロセッサの読み込みの実行時間はどれくらいですか? これらのパフォーマンス指標はRT BoxのWebインタフェースからアクセスできます。モデルの複雑さを増やすことは可能ですか?

A モデルの平均実行時間は約2.2 μ s、プロセッサ負荷は40%~45%となるはずで、プロセッサ負荷は100%をはるかに下回っているため、モデルの複雑さを上げることができます。あるいは、シミュレーションの時間ステップをさらに短縮することも可能です。



この段階では、コードはvsi_loopback_1.plecsと同じになっているはずで、

3 PLECSで離散コンポーネントを使用したVSIモデルを構築

このセクションでは、ハーフブリッジ電源モジュールを離散IGBTコンポーネントに置き換えます。この演習では、リアルタイムアプリケーションにおける従来の(離散)スイッチモデルの限界をいくつか明らかにします。



注意: 離散コンポーネントを使用するとシミュレーションの精度が大幅に低下する可能性があるため、リアルタイムシミュレーション用のコンバータトポロジを構築するときは、必ず専用の電源モジュールを使用してください。

PLECSモデルをリアルタイムシミュレーションするには、固定ステップソルバを用いて、モデルを固定サンプル時間で離散化する必要があります。理想的なサンプル時間、すなわち離散化ステップサイズは、システムモデルの忠実度とシミュレーション結果の精度との間の妥協点となります。従来のスイッチモデルは、リアルタイムアプリケーションにおいて、選択された離散化ステップサイズと密接に関係しています。これは、スイッチの状態がシミュレーション時間ステップごとに1回しか変化できないためです。これにより、スイッチング周期内で実現可能なデューティ比の数が制限されます。

従来のスイッチモデルでは、許容可能なモデル忠実度を達成するために、PWMスイッチング周波数に対して比較的小さなステップサイズを選択する必要があります。小さな時間ステップを選択した場合、次のモデル時間ステップの開始前にCPU上で必要なモデル計算を実行する時間は限られています。



あなたのタスク:

1 1のハーフブリッジ電源モジュールを、PLECSライブラリの"電気回路ブロック -> パワー半導体"セクションにあるダイオード内蔵IGBTの離散部品に置き換えます。PLECS RT BoxライブラリのDigital Inブロックを使用し、図に示すようにスイッチゲート信号に接続します。モデルのその他の部分は1と同じです。

2 Coderオプションで、以前と同じ $5e-6$ 秒の離散化ステップサイズで、モデルをRT Boxにデプロイします。

外部モードに接続し、シミュレーションスコープを確認してください。何が見えますか? 電流測定に予期しない特性は見られますか?

"PWM"スコープには、0または1の6つのPWM信号が表示されます。"Current"スコープには、平衡した三相正弦波のインダクタ電流が表示されます。ただし、前回の演習の結果と比較すると、ピーク電流の振幅に周期的な振動が見られ、高調波歪みが増加していることに気付くでしょう。これは、PWM分解能の限界によるものです。

3 外部モードから切断し、離散化ステップサイズを $2e-6$ 秒に変更します。モデルをビルドし、RT Boxにデプロイします。外部モードに接続し、シミュレーションスコープを確認します。

リアルタイムシミュレーションの結果は妥当と思われますか?

離散化時間ステップを $5e-6$ 秒から $2e-6$ 秒に短縮すると、PWM分解能が向上します。これにより、これらの動作条件下では、電流波形の歪みと非理想的な特性も減少します。

モデルとプロセッサの読み込みの実行時間はどれくらいですか? これらのパフォーマンス指標はRT BoxのWebインターフェースからアクセスできます。モデルの複雑さを増やすことは可能ですか?

プロセッサ負荷はほぼ100%となり、実行時間は $2.0\mu s$ になります。モデルの複雑さをこれ以上増やすことはできません。

4 外部モードから切断します。正弦波信号をパラメータのインライン化タブの例外リストに追加します。再度モデルをビルドし、離散化ステップサイズを $2e-6$ 秒に維持しながらRT Boxにデプロイします。

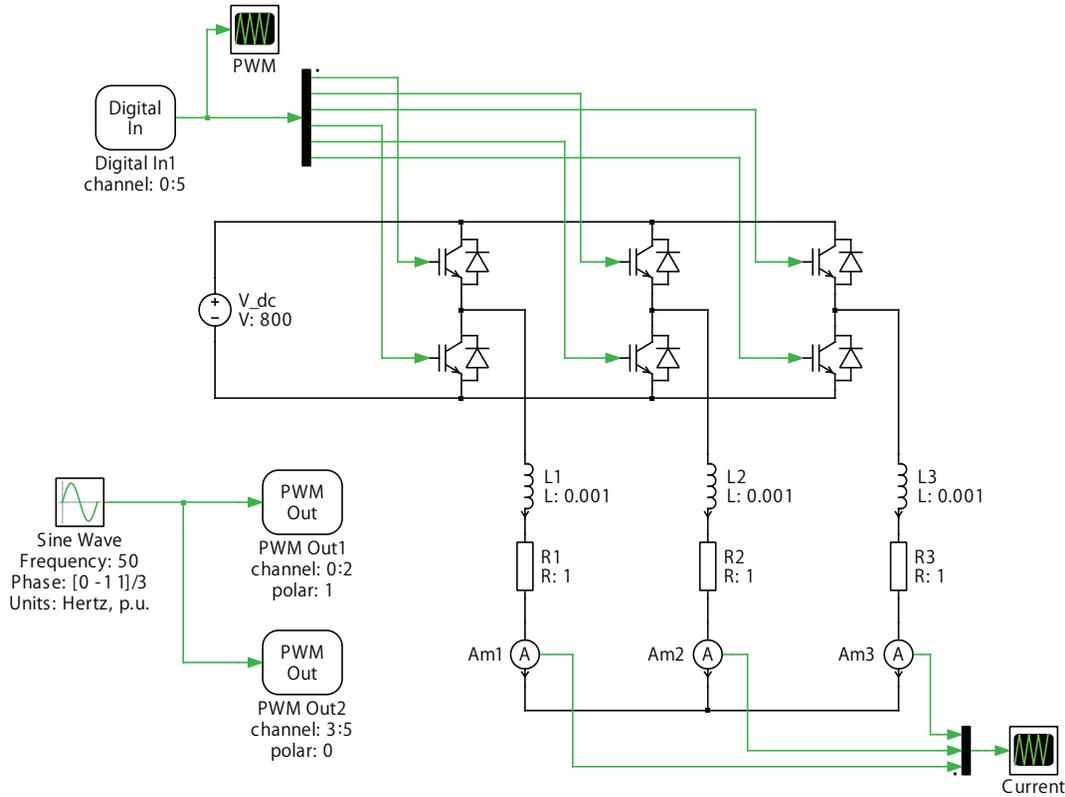
モデルのデプロイ後、外部モード経由で接続した後、正弦波信号の振幅を1.0から0.2に変更します。

リアルタイムシミュレーションの結果は妥当でしょうか? シミュレーションがこれらの条件に敏感なのはなぜでしょうか? $2e-6$ 秒の離散化ステップサイズと10kHzのPWM信号の場合、従来のスイッチモデルで実現可能なスイッチデューティ比の総数に制限はありますか?

A 離散IGBTコンポーネントで構成されたモデルでは、低いデューティ比において電流波形に大きな非理想的な高調波が現れます。10kHz PWM信号の周期は $100\mu\text{s}$ であるため、離散化ステップサイズが $2.0\mu\text{s}$ の場合、検出できるデューティ比は50に限られます。PWM Captureコンポーネントを使用すると、FPGAの7.5nsのサンプリング分解能により、同じ10kHz PWM波形に対して13,333の異なるデューティ比を検出できます。

 この段階では、コードはvsi_loopback_optional.plecsと同じになっているはずです。

図2: 従来のスイッチを備えたシンプルなVSIモデル



4 まとめ

従来のスイッチモデルは、リアルタイムアプリケーションにおいて限界があります。スイッチの状態はシミュレーションの時間ステップごとに1回しか更新できないため、PWM周期に比べて比較的小さな離散化ステップサイズが必要となります。このため、比較的単純なモデルであってもプロセッサ使用率が高くなり、デューティ比が低い場合のパフォーマンスが低下します。

改訂履歴:

Tutorial Version 1.0 初版

plexim

☎ +41 44 533 51 00

+41 44 533 51 01

✉ Plexim GmbH

Technoparkstrasse 1

8005 Zurich

Switzerland

@ info@plexim.com

<http://www.plexim.com>

Pleximへの連絡方法:

Phone

Fax

Mail

Email

Web

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>

RT Box Tutorial

© 2002–2021 by Plexim GmbH

このマニュアルで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。