

PLECS DEMO MODEL

Half-Bridge LLC Converter with Analysis Tools

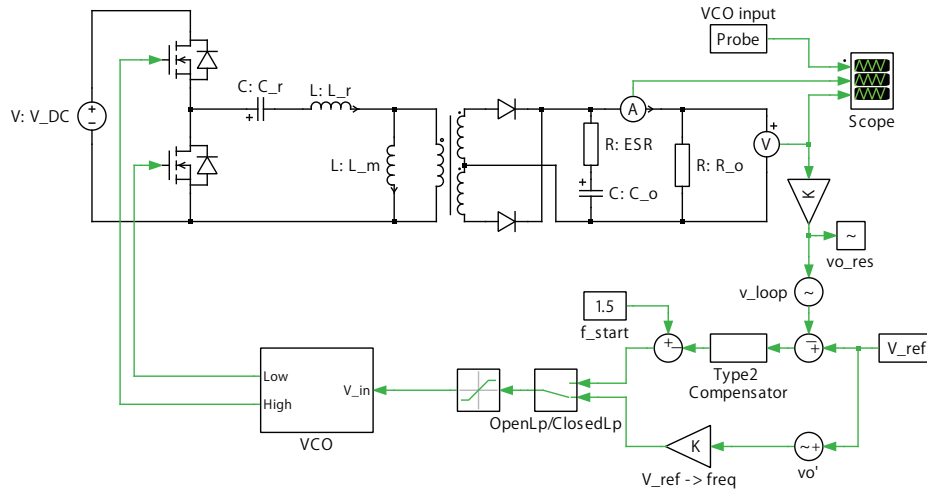
解析ツールを備えたハーフブリッジLLCコンバータ

Last updated in PLECS 5.0.2

1 概要

このデモでは、電圧制御発振器(Voltage-Controlled Oscillator: VCO)を使用した開ループおよび閉ループ周波数制御で動作するハーフブリッジLLC共振コンバータを紹介します。さらに補償器を設計し、閉ループシステムの安定性を確認するために、開ループシステムではマルチトーン解析を使用します。

図1: 開ループおよび閉ループ周波数制御で動作するハーフブリッジLLC共振コンバータ



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

2.1 電源回路

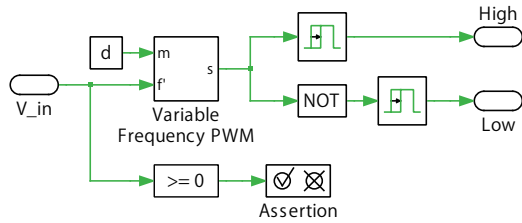
LLCコンバータはDC/DCコンバータであり、この場合はフロントエンドのハーフブリッジを使用します。ハーフブリッジのAC側は、直列接続された共振インダクタとキャパシタを介して高周波変圧器の一次側に接続しています。変圧器の磁化インダクタンスは、インダクタとキャパシタとともに、LLC共振タンクを形成します。変圧器の2次側は全波整流ダイオードに接続され、AC変圧器出力を高リップルDC電圧に変換し、フィルタリングして低リップルDC電圧出力が得られます。

2.2 電圧制御発振器

VCOモデルは、電圧信号をPWM信号に変換します。これを図2に示します。PWM信号の周波数は入力電圧に比例します。この電圧は可変周波数PWMブロックに渡されて、ゲート信号が生成されます。ターンオン遅延信号ブロックは、ハイサイドスイッチとローサイドスイッチ間にデッドタイムを挿入します。

VCOにより、ハーフブリッジLLC共振コンバータの可変周波数制御が可能になります。

図2: ハーフブリッジLLC共振コンバータの電圧制御発振器



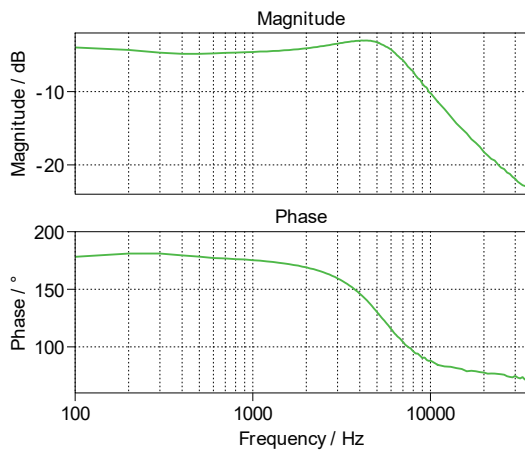
2.3 解析

モデルは、開ループまたは閉ループ制御システムとして実行できます。手動切替スイッチの"OpenLp/ClosedLp"をダブルクリックすると、モデル構成が切り替わります。

補償器の設計プロセスでは、開ループプラントの伝達関数を使用して、プラントの解析モデルを検証します。PLECS StandaloneまたはPLECS Blocksetのいずれかでモデルをそのまま使用し、次の手順を実行します:

- **Standalone: Simulation**メニューから**解析ツール...**を選択します。OpenLoopAnalysis解析のマルチトーン解析または周波数応答解析を実行します。これにより、開ループシステムの伝達関数が得られます。結果を図3に示します。
- **Blockset: Multitone Analysis**ブロックをダブルクリックしてダイアログを開き、**Start analysis**ボタンをクリックしてMultitone Analysisを実行します。解析の進行状況は、MATLABコマンドウィンドウに表示するように構成できます。解析が終了すると、対応する伝達関数を示す新しいボード線図が表示されます。

図3: ハーフブリッジLLC共振コンバータの開ループ伝達関数



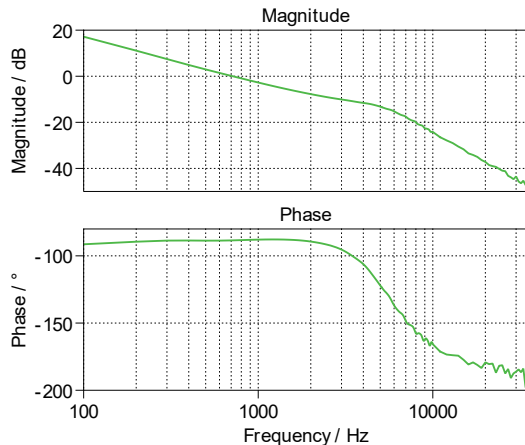
解析によって生成されたボード線図を観察します。インダクタと出力キャパシタによる二重極は約4kHzにあります。さらに、出力ESRによるゼロ点は約8kHzにあります。DCでのゲインの勾配は約0dB/decadeであり、閉ループシステムに定常状態のトラッキング誤差が発生する可能性があります。

Type 2 Compensatorは、出力電圧の調整に使用します。補償器によってシステムに導入された積分器は、定常状態のトラッキング誤差がないことを保証します。Type 2 Compensatorのゼロ点は、インダクタと出力キャパシタ

による二重極の1つをキャンセルするために使用します。Type 2 Compensatorの極は、出力キャパシタのESRによるゼロ点をキャンセルするために使用します。DCゲインは、システム帯域幅を拡大します。

手動切替スイッチの"OpenLp/ClosedLp"をダブルクリックして、モデルを閉ループ制御操作用に構成します。PLECS Standaloneで"ClosedLoopAnalysis"(または PLECS BlocksetのSimulinkレベルで"Loop Gain"解析)を実行して、閉ループシステムの開ループ伝達関数を取得します。結果を図4に示します。ClosedLoopAnalysisによって生成されたボード線図を解析します。クロスオーバー周波数は約700 Hz、ゲインの勾配は-19dB/decadeに近く、ゲインと位相のマージンはそれぞれ約34dBと91°です。したがって、このシステムは安定しています。

図4: ハーフブリッジLLC共振コンバータの閉ループ伝達関数



3. シミュレーション

このデモでは、380VDC入力を降圧して出力電圧を12VDCに維持します。変圧器の出力電圧は、スイッチング周波数を制御することで調整します。12VDCの出力電圧を得るために、変圧器は約130kHzでスイッチングします。閉ループシステムの場合、周波数変調は150kHzで開始し、出力電圧が電圧設定値に達すると、変調周波数は130kHzに調整されます。

注意

可変周波数制御を備えたコンバータの場合、周波数応答またはマルチトーン解析を使用して周波数応答を生成する必要があります。AC周波数解析ツールは、システム周期の情報を必要とする定常解析を採用していますが、可変周波数制御コンバータの場合、この情報はシミュレーション前には不明です。

参考文献

- [1] Huang, H. "Designing an LLC Resonant Half-Bridge Power Converter", TI Power Supply Design Seminar, SEM1900, Topic 3, 2010.

改訂履歴:

PLECS 4.3.1 初版

PLECS 4.7.1 新しい可変周波数PWMライブラリブロックを使用

PLECS 5.0.2 小信号解析に周波数応答解析をオプションとして追加



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

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。