

PLECS *DEMO MODEL*

PLECS Spice - Buck Converter with Controller

PLECS Spice - コントローラを備えた降圧コンバータ

This model demonstrates the simulation of parasitic effects in power electronics using PLECS Spice. A buck converter is implemented using both standard PLECS components and PLECS Spice netlists, with seamless switching between modeling approaches through subsystem configuration.

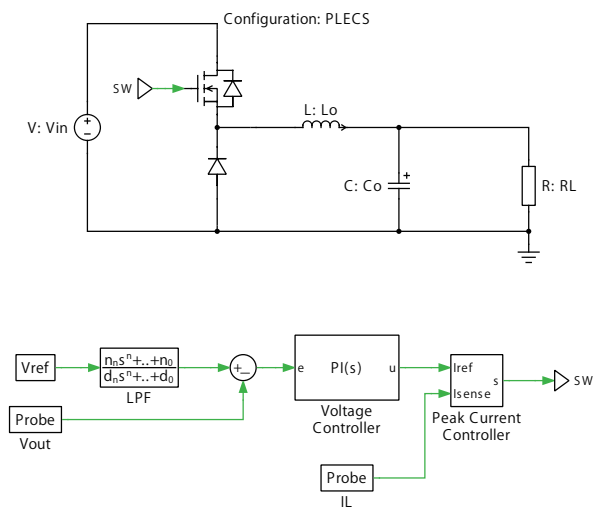
このモデルは、PLECS Spiceを使用してパワーエレクトロニクスにおける寄生効果をシミュレーションする方法を示しています。降圧コンバータは、標準のPLECSコンポーネントとPLECS Spiceネットリストの両方を使用して実装されており、サブシステム構成を通じてモデリング手法をシームレスに切り替えることができます。

Last updated in PLECS 5.0.1

1 概要

このデモでは、PLECS Spiceが降圧コンバータアプリケーションにおいて、理想スイッチモデルから詳細なSPICEベースの半導体モデルへのシームレスな移行をどのように実現するかを紹介합니다。このモデルの目的は、PLECSの理想スイッチモデルで電力変換器の制御ループを調整し、その後スイッチング動作をより正確にシミュレーションするために、より詳細なSPICEベースの半導体モデルに簡単に切り替えることができることを示すことです。全体の回路図を [図1](#) に示します。

図1: モデルの回路図



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

1.1 コントローラ

このコンバータに選択されたコントローラは、[図1](#)の下部に示すように、外側の電圧コントローラと内側の電流制御ループから構成されるカスケード型の閉ループコントローラです。電圧コントローラは、PLECSコンポーネントライブラリの連続系PID制御器¹で構築されたPIレギュレータを使用して実装されています。さらに、伝達関数²ブロックを使用して、電圧リファレンスにフィルタを追加しています。内側の電流制御は、PLECSコンポーネントライブラリのピーク電流制御器³ブロックを使用して実装されています。全体的な制御構造は、"Buck Converter with Peak Current Control"で紹介しているものと同様です。

¹ <https://docs.plexim.com/plecs/latest/components-by-category/continuouspidcontroller/#component-continuouspidcontroller>

² <https://docs.plexim.com/plecs/latest/components-by-category/transferfcn/#component-transferfcn>

³ <https://docs.plexim.com/plecs/latest/components-by-category/peakcurrentcontroller/#component-peakcurrentcontroller>

1.2 パワーステージ

降圧コンバータのパワーステージは、パワー半導体を含む構成可能なサブシステムを備えています。これにより、PLECSの理想スイッチモデリングから、より詳細なSPICEベースの半導体モデルへと容易に切り替えることが可能になります。

PLECSの構成

図2: PLECSの回路

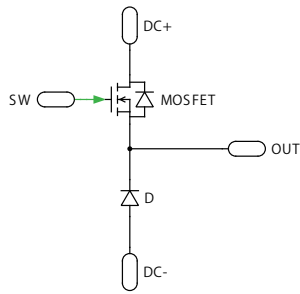
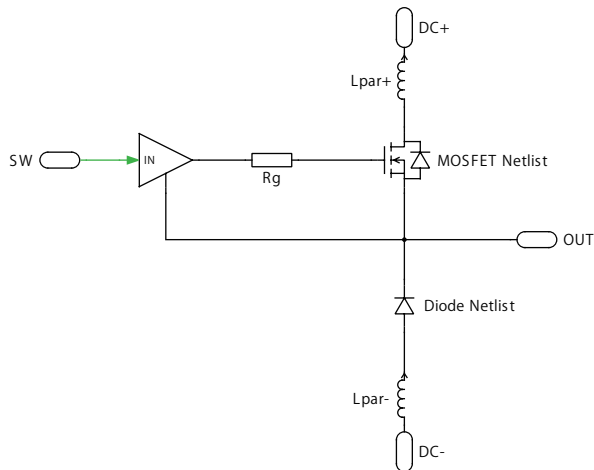


図2に、パワーステージのPLECSの構成を示します。ここでは、ダイオード(理想モデル)⁴とダイオード内蔵MOSFET⁵は、PLECSライブラリで利用可能な理想スイッチを使用してモデル化されています。緑色で示しているスイッチング信号がMOSFETのゲートを直接駆動するという点を強調しています。MOSFETは、ゲートにゼロ以外の信号が印加されると瞬時にオンになります。逆に、ゲート信号がなくなると瞬時にオフになります。ダイオードは、端子間の電圧に基づいて瞬時にオン/オフを切り替える理想スイッチとしてもモデル化しています。これはシミュレーション時間を短縮できるため、制御設計やシステムレベルの研究に適しています。

SPICEの構成

図3: SPICEの回路



パワーステージのSPICEの構成を図3に示します。ここでは、MOSFETとダイオードの理想的なスイッチモデルは、PLECSコンポーネントライブラリが提供するNetlist⁶ブロックを使用して、詳細なSPICEネットリストに置き換えられます。これらのネットリストは、半導体の技術依存的な非理想スイッチング動作、すなわちオン/オフ時の過渡現象や寄生容量および寄生インダクタンスの影響を捉えています。さらに、プリント基板の物理的なレイアウトの影響をモデル化するために、寄生インダクタンスも考慮されています。これは、標準的なPLECSシミュレーションでは実現不可能です。

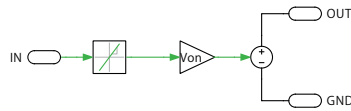
⁴ <https://docs.plexim.com/plecs/latest/components-by-category/mosfetwithdiode/#component-mosfetwithdiode>

⁵ <https://docs.plexim.com/plecs/latest/components-by-category/diode/#component-diode>

⁶ <https://docs.plexim.com/plecs/latest/components-by-category/netlist/#component-netlist>

ネットリストは電気ドメインのみに存在するため、制御信号(緑色で示されている)をMOSFETゲートを駆動する電圧信号に変換する必要があります。このデモモデルでは、[図4](#)に示すゲートドライバ回路は最小限の構成となっています。これは、制御ゲート電圧の最大微分を制限する入力制限⁷ブロック、目的の電圧レベルに適合させるゲイン(利得)⁸ブロック、および制御信号を最終的に電圧に変換する電圧源(可変)⁹で構成されています。

図4: ゲートドライバ回路



SPICEの構成では、パワー半導体とゲートドライバをモデル化することで、コンバータの回路レベルの動作をより正確に表現できるため、パワーステージの詳細な設計と解析に役立ちます。これは、PLECSの構成と比較してシミュレーション時間が長くなります。この例では、Microchip社が提供するSPICEモデルを使用します([\[1\]](#)を参照)。

⁷ <https://docs.plexim.com/plecs/latest/components-by-category/ratelimiter/#component-ratelimiter>
⁸ <https://docs.plexim.com/plecs/latest/components-by-category/gain/#component-gain>
⁹ [https://docs.plexim.com/plecs/latest/components-by-category/controlledvoltage/controlledvoltage/#component-controlledvoltage](https://docs.plexim.com/plecs/latest/components-by-category/controlledvoltage/controlledvoltage/controlledvoltage/#component-controlledvoltage)

2 シミュレーション

以下の手順に従ってモデルを検討してください。

まず、パワーステージの"PLECS"構成を行います("Configurable Power Stage"ブロックをダブルクリックしてドロップダウンリストからPLECSを選択します)。次に、モデルをシミュレートし、波形を観察します(後で比較しやすくするために、波形をオシロスコープに保持しておきます)。次に、パワーステージを"SPICE"構成に切り替え、モデルを再度シミュレーションし、得られた波形をPLECSの構成で得られた波形と比較します。以下では、PLECSで得られた結果を緑色の点線で、SPICEで得られた結果を緑色の実線で示します。

[図5](#)に示すように、PLECSとSPICEの両方の構成で降圧コンバータをシミュレーションすると、出力電圧の変動にわずかな違いしか見られません。これは、SPICEの構成で導入された追加の定常状態の直列抵抗とインダクタンスに起因します。

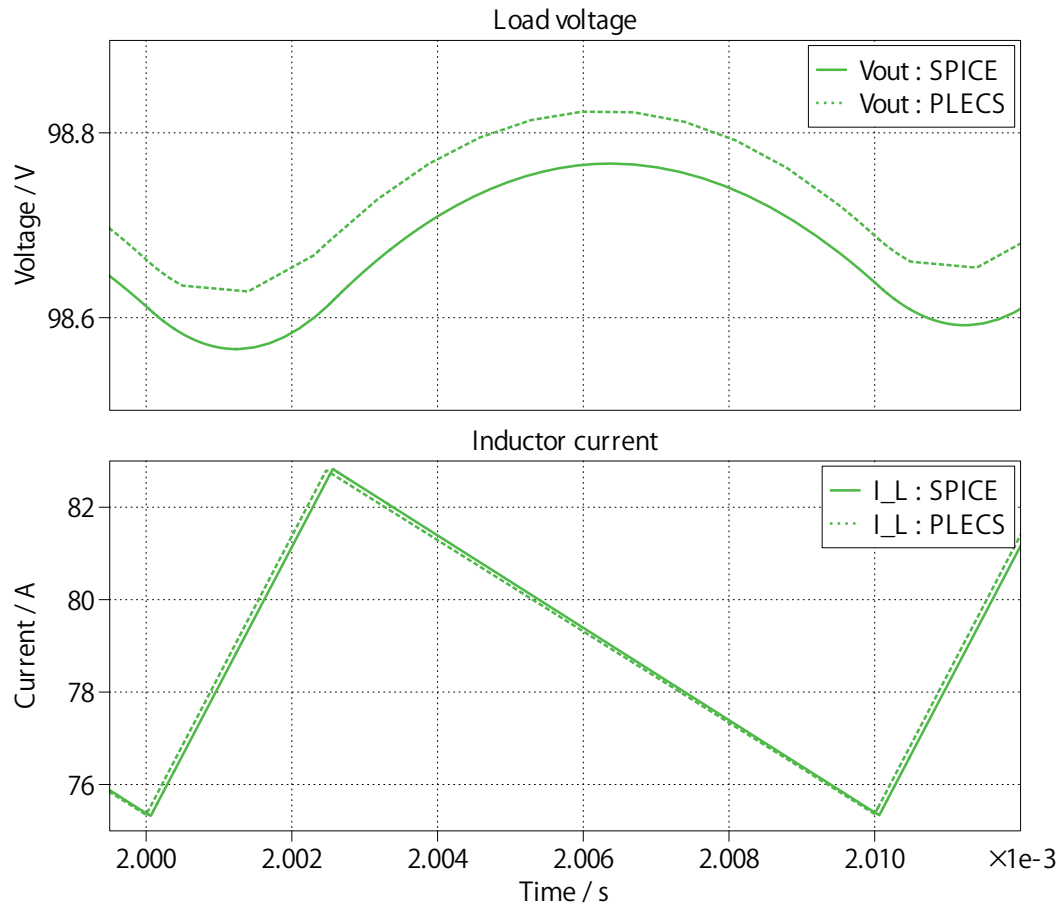
しかし、MOSFETの波形を見ると、2つの構成の間にはより顕著な違いがあることがわかります。MOSFETのオン状態におけるドレイン-ソース間電圧、ドレイン-ソース間電流、およびゲート-ソース間電圧は、[図6](#)に示しています。ゲート電圧の立ち上がり時間が有限であること、および誘導性負荷による電流の蓄積により、MOSFETの導通に遅延が生じることはすぐに確認できます。さらに、ゲートドライバ回路の動作を解析することも可能であり、例えば、ミラー効果によるゲート-ソース間電圧降下なども解析対象となります。

最終的に、[図7](#)では、ダイオードがオフになったときのダイオード電圧と電流が示されています。これは、MOSFETがオンになった瞬間と同じです。SPICEの構成を用いることで、ダイオードの逆回復挙動を解析することが可能となり、これはMOSFETのオン時の電流オーバーシュートと密接に関係します。PLECSの構成でダイオード(理想モデル)を使用した場合、この現象は捉えられません。

3 まとめ

パワーステージの構成を適切に選択することで、PLECSとSPICEシミュレーションを簡単かつシームレスに切り替えることが可能です。これにより、制御設計やシステムレベルの研究にはPLECS理想スイッチモデルの高速

図5: 負荷時の動作



シミュレーション時間を活用し、その後、スイッチング動作や回路レベルの影響を正確に解析するために、詳細なSPICEベースの半導体モデルに切り替えることが可能になります。

4 参考文献

[1] Microchip Silicon Carbide Products SPICE and PLECS Files. Click to access online: [Microchip SiC SPICE models](https://www.microchip.com/en-us/software-library/sic-products-spice-files)¹⁰.

¹⁰

<https://www.microchip.com/en-us/software-library/sic-products-spice-files>

図6: MOSFETのオン動作

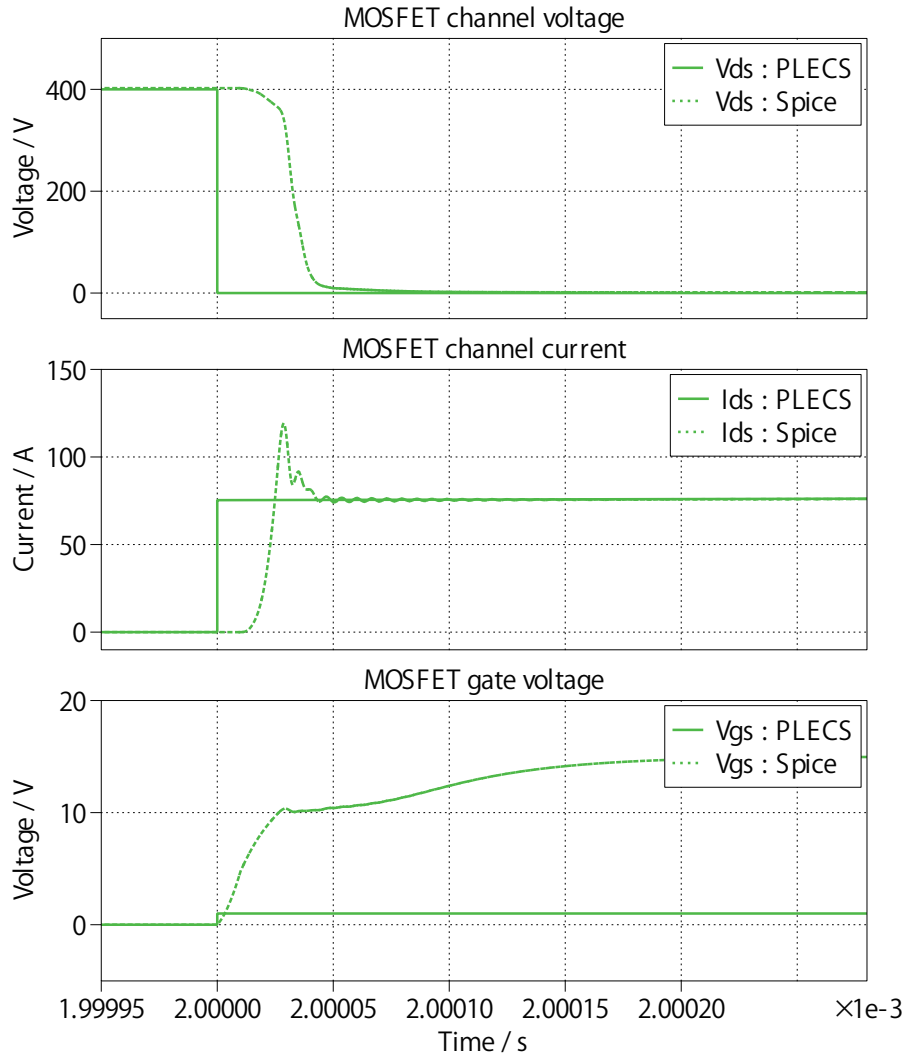
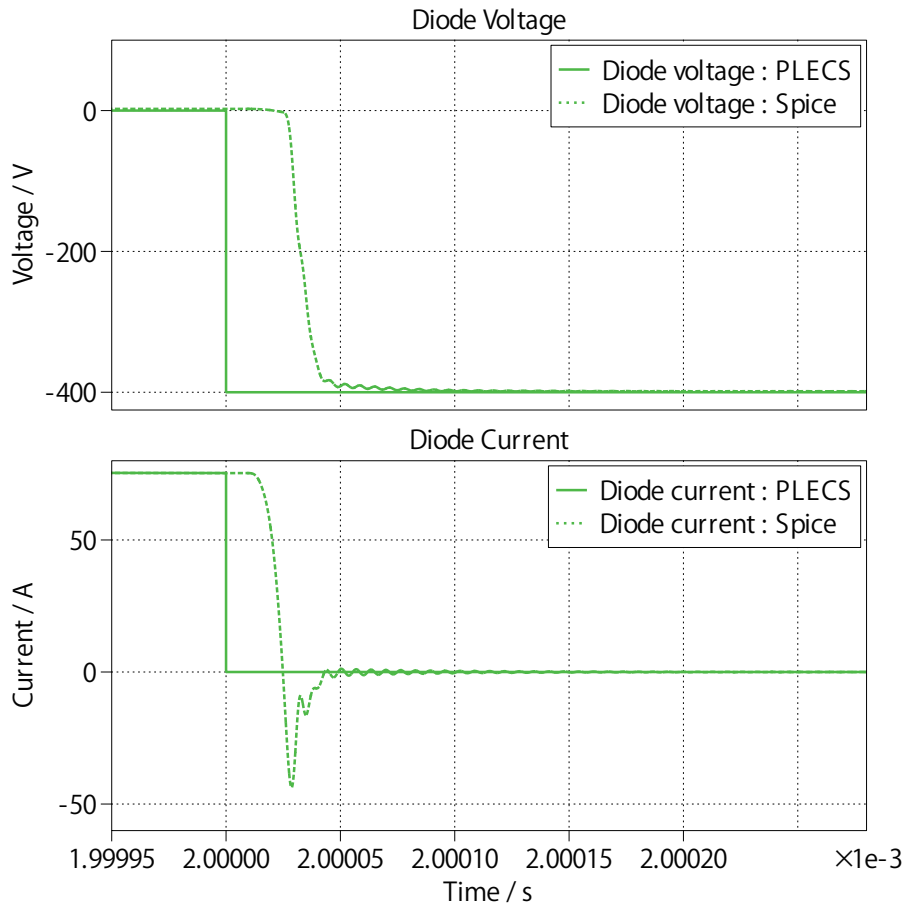


図7: ダイオードのオフ動作



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。