

LM5025,LM5026,LM5034



Literature Number: JAJA401

POWER | *designer*

Expert tips, tricks, and techniques for powerful designs

No.108

特集記事 1-7

デュアル・インタリーブド・
アクティブ・クランプ
電流モード・コントローラ 2

アクティブ・クランプ電流モード
PWM コントローラ 4

100 V ハーフブリッジ・
パワー MOSFET ドライバ 6

電源設計ツール 8

アクティブ・クランプ・フォワード 電源コンバータの動作と特長

— Bob Bell, Power Applications Engineer

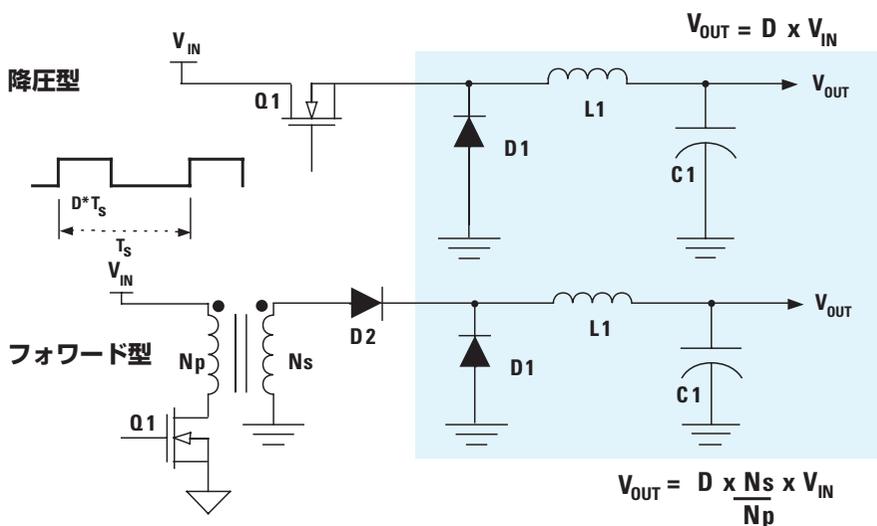


Figure 1. 降圧型とフォワード型のトポロジー

アクティブ・クランプ・リセット付きフォワード・コンバータはさまざまな利点を設計者にもたらすと同時に、幅広い用途に適用が広がっています。フォワード・トポロジーを採用した電源コンバータは、50W ~ 500W の範囲で、高効率と良好な電力供給性能が求められるアプリケーションに最適です。フォワード・トポロジーの人気は多くの要因を背景としていますが、設計者は主に、その単純さ、性能、効率を魅力と感じています。

フォワード・コンバータは降圧 (バック) トポロジーを起源としています。両者の大きな相違点は、フォワード・トポロジーの場合、回路内のトランスが入力グラウンドと出力グラウンドを絶縁するとともに降圧または昇圧機能を担っていることです。フォワード・トポロジーのトランスは、対称型トポロジー (プッシュプル、ハーフブリッジ、フルブリッジ) とは異なり、回路の性質上、各スイッチング・サイクルではリセットされません。フォワード電源コンバータではさまざまなリセット方式が採用されてきましたが、それぞれ利点と課題があります。その中でも、アクティブ・クランプ・リセット付きフォワード・コンバータは、さまざまな利点を設計者にもたらすと同時に、幅広い用途に適用が広がっています。

次号予告
低消費 FPGA の設計

 **National
Semiconductor**
The Sight & Sound of Information

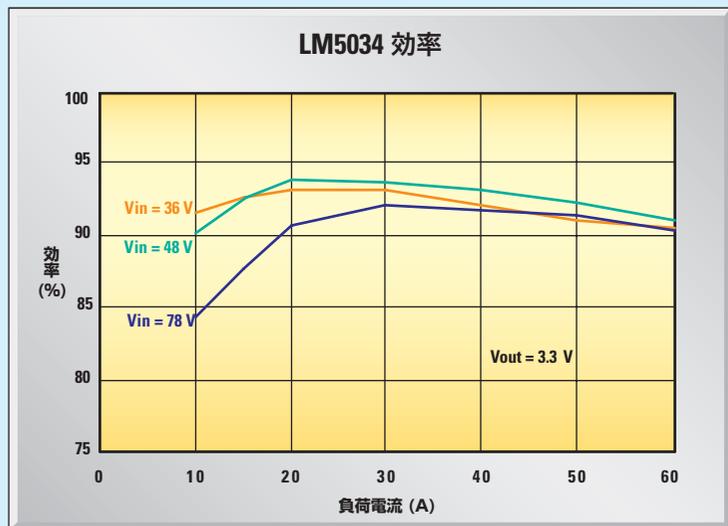
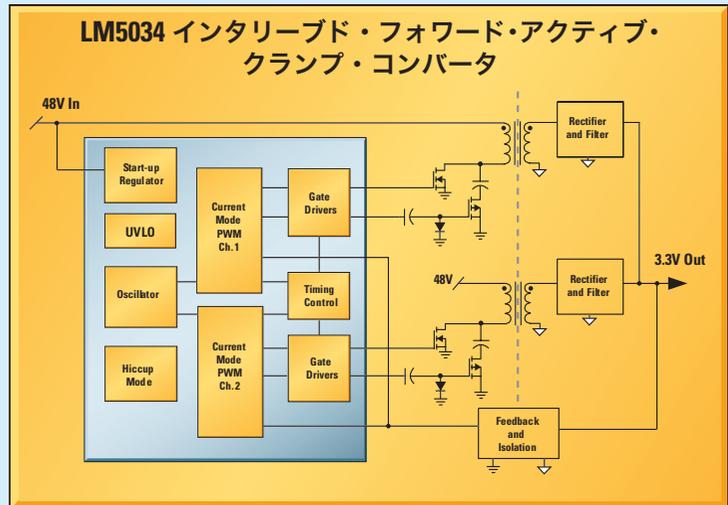
100V デュアル・インタリーブド・アクティブ・クランプ電流モード・コントローラ

高集積、高耐圧 LM5034 コントローラ

特長

LM5034 は、独立した 2 系統のフォワード型アクティブ・クランプ DC/DC コンバータ、または 2 つのインタリーブ・パワー段で構成される単一の大電流コンバータのいずれかの制御に必要なすべての機能を搭載した、デュアル回路の電流モード PWM コントローラです。2 つのコントローラ・チャンネルの位相を 180° ずらすことによって入力リップル電流を抑えています。LM5034 は、最高 100V までの広い電圧範囲で動作するスタートアップ・レギュレータと、ピーク 2.5A の強力なシンク電流を供給する複合型ゲート・ドライバ (バイポーラ + CMOS) を内蔵しています。アクティブ・クランプ・ゲート・ドライバのデッド・タイムの調整と、最大 PWM デューティ・サイクルの調整によって、一次側 MOSFET スイッチのストレスを軽減しています。このほか、外部抵抗でスレッシュホールド電圧を設定できる入力アンダーボルテージ・ロックアウト、サイクルごとの電流制限、リスタート遅延時間を設定できる Hiccup モード障害動作、PWM スロープ補償、ソフトスタート、外部同期可能な 2MHz 対応発振回路などを備えています。

200W ~ 500W の DC/DC コンバータにおいて高い効率と電力密度を実現できます。



アクティブ・クランプ・フォワード電源コンバータの動作と特長

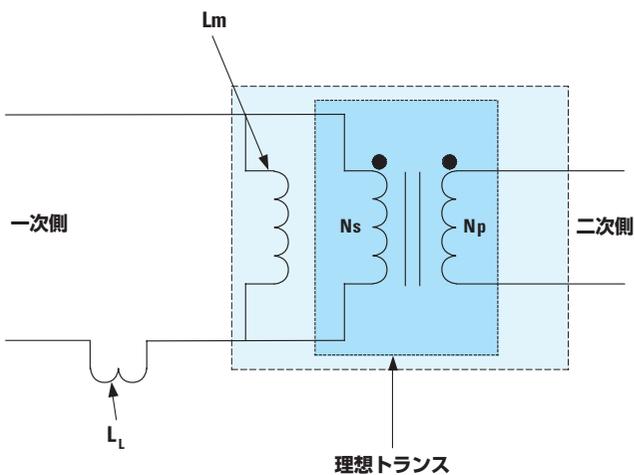


Figure 2: トランスのモデル

Figure 1 に降圧コンバータとフォワード・コンバータの回路の類似性を示します。伝達関数の唯一の相違点は、フォワード型の伝達関数には巻き線数の比 (N_s/N_p) が含まれていることです。 N_s と N_p は二次側と一次側のトランス・コアの巻き線数です。トランスのモデルを、一次巻き線に並列に表記される「磁化インダクタンス」 (L_m) と合わせて Figure 2 に示します。磁化インダクタンスは二次巻き線を開放とした状態で一次端子側で測定します。磁化インダクタンス内の電流はコア内の磁束密度に比例します。ある大きさのコアは、コアでの飽和が起こる前に、ある大きさの磁束密度しか扱えません。コアが飽和するとインダクタンスは急激に低下します。トランスのモデルに描かれているもう 1 つの要素は、一次巻き線に直列に存在する「漏れインダクタンス (L_L)」です。漏れイ

ンダクタンスは二次巻き線を短絡させた状態で一次側で測定します。漏れインダクタンス項は二次側とは結合しない一次側の寄生インダクタンスを表します。

アクティブ・クランプ回路の動作

Figure 3a から 3c に、アクティブ・クランプ付きフォワード電源コンバータの主な動作ステップを示します。時刻 t_0 でメイン・パワー・スイッチ (Q1) はオンになり、トランスの一次側に V_{IN} が印加されます。トランスの二次巻き線電圧は $V_{IN} \times N_s/N_p$ になります。この時点で一次側電流は、出力インダクタからの反射電流 ($I_L \times N_s/N_p$) と、磁化インダクタンス (L_m) 内を上昇する電流の、2 つの要素で構成されます。リセット・スイッチ Q2 はオープンです。クランプ・コンデンサ (C_c) は前のサイクルで $V_{IN}/(1-D)$ まで充電されています。この電圧はあとで説明します。以上の期間をパワー・フェーズと呼び、この間にエネルギーが一次側から二次側に伝達されます。パワー・フェーズのおよその長さは $T_s \times V_{OUT}/V_{IN}$ で求められ、 T_s はスイッチング周期です。

時刻 t_1 で、メイン・スイッチ (Q1) はオフになり、リセット・スイッチ (Q2) がオンになります。磁化電流は Q1 の代わりにクランプ・コンデンサと Q2 を流れます。クランプ・コンデンサ電圧は V_{IN} よりも高いため、トランス一次側の電圧は電力フェーズ t_0 での電圧極性に対して逆極性になります。磁化インダクタンス両端の電位が反転するため、磁化インダクタンスに蓄えられたエネルギーがクランプ・コンデンサに伝達されるにつれて、磁化電流の大きさは減少します。

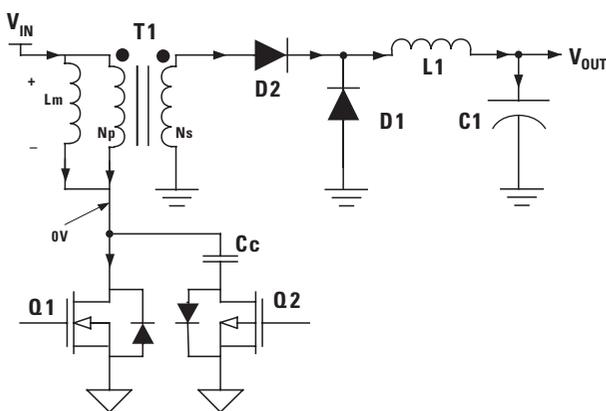


Figure 3a. 時刻 t_0 における動作

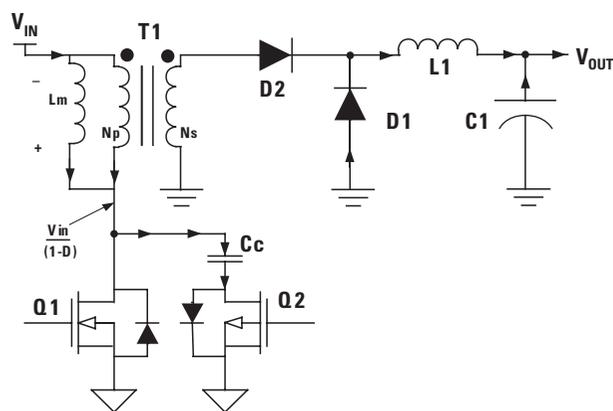


Figure 3b. 時刻 t_1 における動作

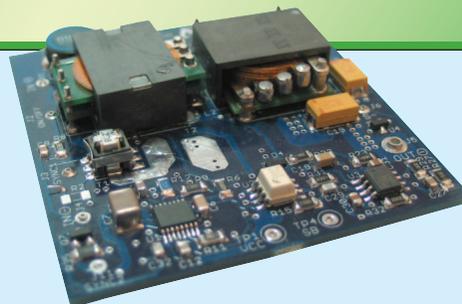
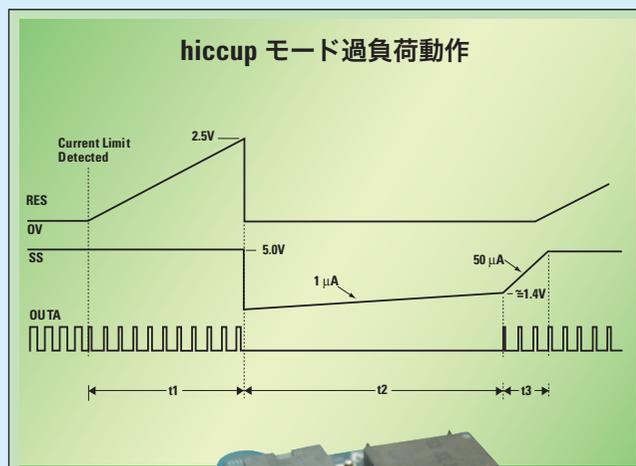
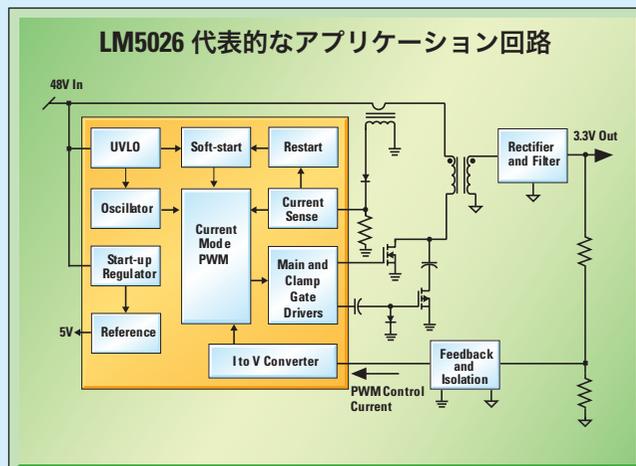
アクティブ・クランプ電流モード PWM コントローラ

概要

LM5026 PWM コントローラは、アクティブ・クランプ/リセット方式を使った電流モード制御の電源コンバータの実装に必要なすべての機能を搭載しています。アクティブ・クランプ方式の採用により、従来のキャッチ巻線または RDC (抵抗/ダイオード/コンデンサ) を用いたクランプ/リセット方式に比べ、高い効率と優れた電力密度を実現しています。制御出力はメイン・パワー・スイッチ制御 (OUT_A) とアクティブ・クランプ・スイッチ制御 (OUT_B) の 2 本です。このデバイスは P チャンネルまたは N チャンネルのいずれのクランプ・スイッチにも対応しています。メイン・ゲート・ドライバは、MOS 素子とバイポーラ素子の複合構成を特長とし、卓越した駆動特性を実現しています。LM5026 は 8V ~ 100V の広い入力範囲にわたるバイアス電圧で動作するように構成可能です。そのほか、プログラム可能な最大デューティ・サイクル、ライン・アンダーボルテージ・ロックアウト、サイクルごとの電流制限、切り換え可能タイムアウト遅延付き hiccup モード過負荷動作、PWM 傾き補償、ソフトスタート、同期入出力を備えた 1MHz 対応発振回路、高制度リファレンス、サーマル・シャットダウンを備えています。

特長

- 電流モード制御
- 100 V スタートアップ・バイアス・レギュレータ内蔵
- 3 A 複合メイン・ゲート・ドライバ
- 広帯域オプトカプラ・インタフェース
- ヒステリシスを調整できるプログラマブルな入力アンダーボルテージ・ロックアウト (UVLO)
- hiccup 遅延タイム付き多用途デュアル・モード電流保護
- メイン・スイッチ出力とアクティブ・クランプ出力間のオーバーラップ時間またはデッド時間をプログラム可能
- 最大デューティ・サイクル・クランプをプログラム可能
- プログラマブル・ソフトスタート
- 前縁ブランキング
- 単一抵抗によってプログラム可能な 1 MHz 発振器
- 発振周波数の同期 I/O ピン
- 高精度リファレンス電圧 (5 V)
- TSSOP-16 および LLP-16 (5 × 5mm)



アクティブ・クランプ・フォワード電源コンバータの動作と特長

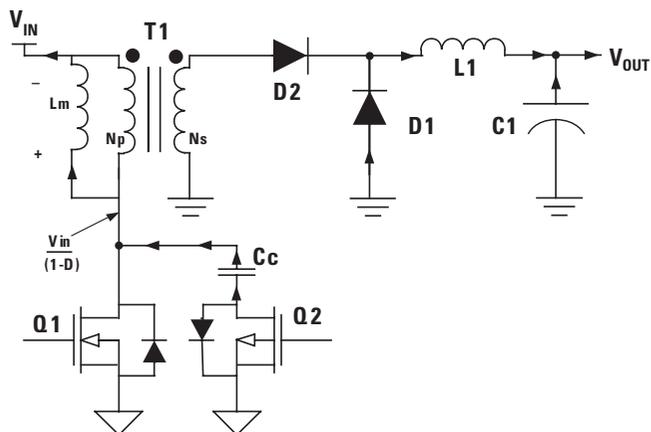


Figure 3c. 時刻 t_2 における動作

この期間内にクランプ・コンデンサ両端の電圧はわずかに上昇し、磁化電流がゼロに達したときにピークになります。時刻 t_2 で磁化インダクタンスを流れる電流はゼロに達し、続いて、クランプ・コンデンサを電流源とし、リセット・スイッチ (Q2) と磁化インダクタンス (Lm) を介して最後にはソース

(V_{IN}) に戻る電流によって、反対方向の電流が構築されます。クランプ・コンデンサが磁化インダクタンスから以前に獲得したエネルギーを戻すにつれて、電流は反対方向に構築を続けます。定常状態では、クランプ・コンデンサ電圧は最初の電位に戻っていて、かつ、リセット期間の終了時点での磁化電流はリセット時間の最初の時点での電流と同じ大きさ(逆極性)に到達している必要があります。 t_2 の完了時点では、コントローラの発振周期で定義されるとおり、スイッチング期間は終了します。リセット・スイッチはオフになり、クランプ・コンデンサからの電流フローは止まります。

Figure 4 に主な回路波形を示します。上の波形はメイン・パワー・スイッチのオン時間を決める変調コントローラのランプ電圧と誤差信号です。中央の波形はメイン・パワー・スイッチのドレイン電圧です。この電圧はスイッチがオンになると Low になり、スイッチがオフになるとクランプ・コンデンサ電位まで上昇します。下側の赤い波形はリセット期間中にクランプ・コンデンサ(青い波形)を流れる磁化インダクタンス電流を表します。見込みどおり両者の電流はゼロを中心に平衡しています。

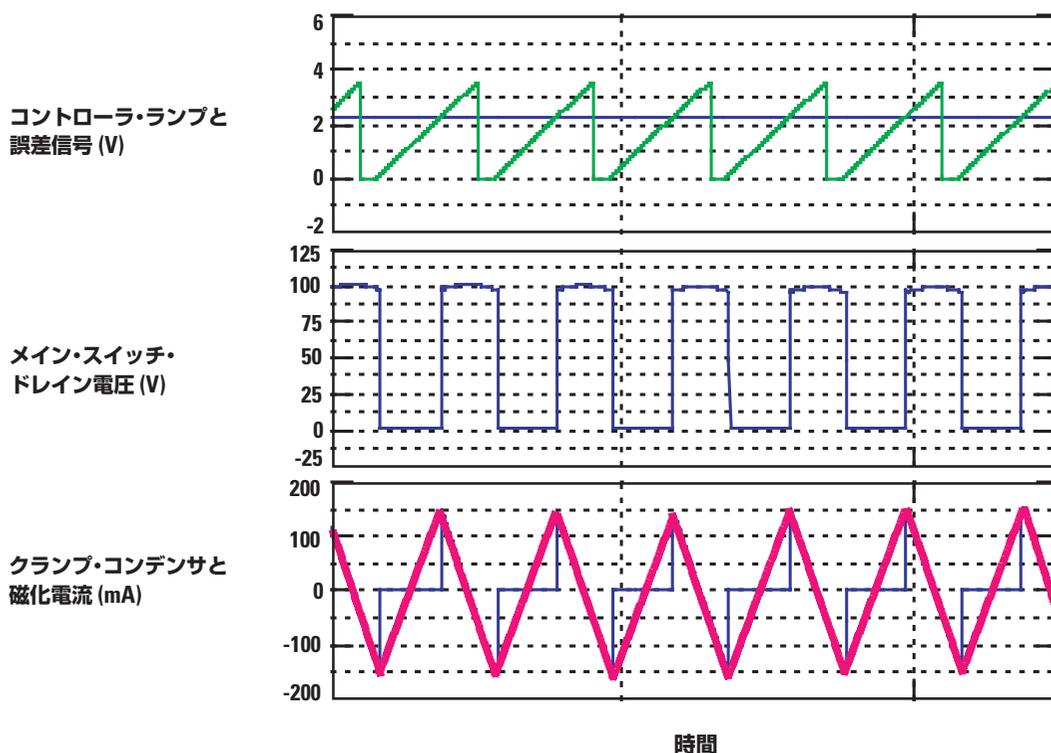
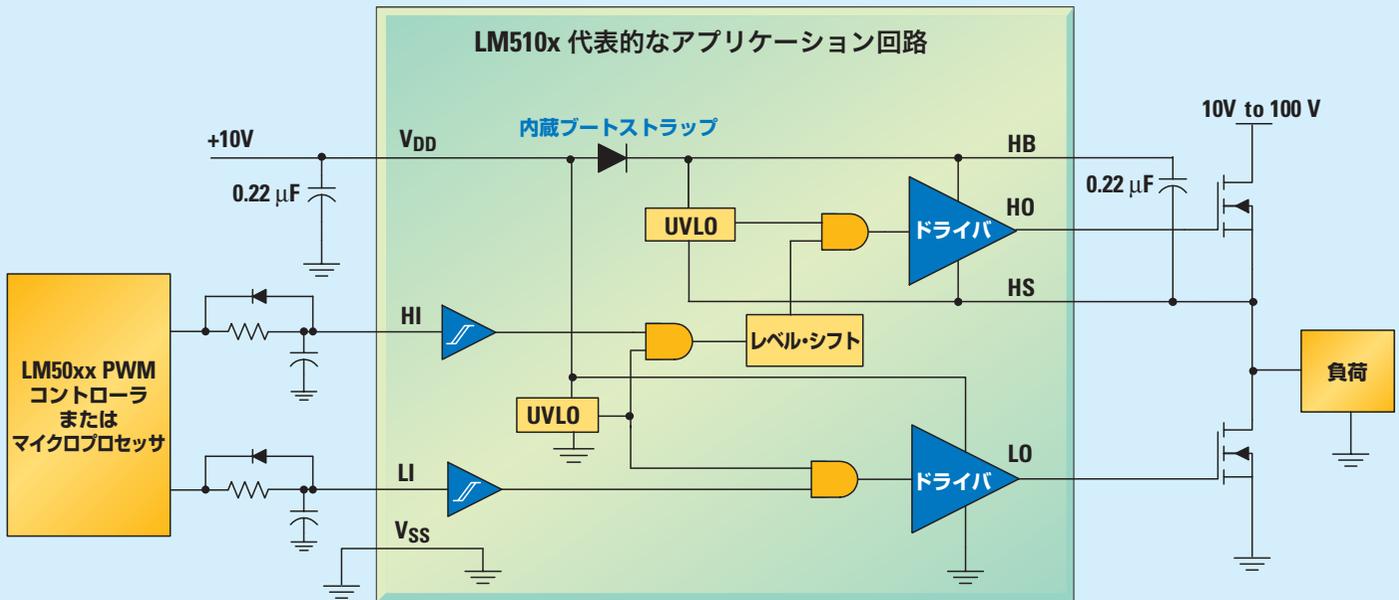


Figure 4. アクティブ・クランプ回路の主な波形

100 V ハーフブリッジ・パワー MOSFET ドライバ

業界最高のピーク・ドライブ電流を提供する LM510x ファミリ



ファミリの特長

- フレキシブルな構造：インタリーブ・フォワード、カスケード・プッシュプル、ハーフブリッジ、フルブリッジ
- 立ち上がりエッジのディレイ時間をプログラム可能
- 高耐圧ブートストラップ・ダイオード内蔵
- 高周波数スイッチング・レギュレータ・アプリケーションにおけるクラス最高の速度と効率
- SOP および熱効率の高い LLP パッケージにて供給

ハーフブリッジ方式スイッチング電源、フルブリッジ方式スイッチング電源、高耐圧同期整流スイッチング電源などに最適です。

ピーク時のゲート電流	製品名	入力スレッシュホールド	パッケージ	特長
NEW! 3.0 A	LM5100A/01A	CMOS/TTL	LLP-10, SOIC-8	HIP2100/01 のアップグレード品
NEW! 1.8A	LM5105	TTL	LLP-10	デッド・タイムをプログラム可能、ネガティブ V_{LOAD}
NEW! 1.4A	LM5107	TTL	LLP-8, SOIC-8	ISL6700 のアップグレード品、ネガティブ V_{LOAD}

アクティブ・クランプ・フォワード電源コンバータの動作と特長

アクティブ・クランプ・リセットの長所

アクティブ・クランプ・リセットを使った場合、損失に関していくつかの利点を得られます。十分に高速なゲート・ドライブを使うことで、Q1のターンオフは実質的に無損失になります。この条件を成立させるには、ドレイン電圧が立ち上がる前にQ1のゲートをターンオフ（および電流フローの停止）させなければなりません。ドレイン電圧はドレイン＝ソース間に存在する容量によって上昇が遅れます。ドレイン電圧が大幅に上昇する前に、強めのゲート・ドライブを使ってQ1をターンオフします。MOSとバイポーラで構成される複合ゲート・ドライブは、高速なターンオフとスイッチング損失の低減を確保するために、ピークの大きなゲート放電電流を与えてくれます。スイッチ遅延を適切に選択することでターンオン損失を低減可能であり、メイン・スイッチの始動前にドレイン電圧低減の時間が与えられます。

定常状態での動作では、1サイクル全体にわたって磁化インダクタンスに印加される正味の電圧×時間積がゼロに等しくなければなりません。メイン・スイッチがオンのとき、電圧×時間積は $V_{IN} \times D \times T_s$ になります。ここで、Dはオン時間のデューティ・サイクルで、 T_s はスイッチング周期です。一方のオフ期間は $(1 - D) \times T_s$ として定義されます。また、メイン・スイッチがオフのときの一次側両端の電圧は $V_C - V_{IN}$ となり、ここで V_C はクランプ・コンデンサ電圧です。定常状態にあるときは、以上の電圧×時間積同士は等しくなければなりません。

$$V_{IN} \times D \times T_s = (V_C - V_{IN}) \times (1 - D) \times T_s$$

クランプ・コンデンサ電圧について解くと、

$$V_C = V_{IN} / (1 - D)$$

V_{IN} が高いほどデューティ・サイクル(D)は小さくなることを思い出してください。クランプ・コンデンサ電圧は、電圧変動(V_{IN})に追従して、上記の等しい関係を維持します。この重要な特長は、すべての動作条件でメイン・スイッチ両端の電圧ストレスを抑え、結果として $V_{(BR)DSS}$ が低定格のデバイスが使用できます。 $V_{(BR)DSS}$ が低定格のMOSFETはオン抵抗が小さくゲート電荷が少ないことにつながり、すなわち変換効率の高さを意味します。

漏れインダクタンスに蓄えられるエネルギーは消費されるのではなく再循環し、また、50%を超えるデューティ・サイクルが見込めれば、整流器の電圧ストレスの軽減と、さらには損失の抑制が得られます。

評価ボード

ナショナル セミコンダクターはアクティブ・クランプ・リセットを採用し、電圧モード制御か電流モード制御のいずれかで実装したDC/DCコンバータの評価ボードを複数提供しています。入力電圧範囲は36V～75Vで、最大出力定格は3.3Vで100Wです。負荷15Aでピーク効率93%を測定しています。電源トランスの巻き線数比は6:1です。一次側巻き線数は12で、二次側巻き線数は2です。回路はボード上に平面的に構成され、主に多層PCボードで製造されています。大電流が流れる二次側には絶縁したプレス銅を採用しています。

評価ボードに搭載されたLM5025、LM5026、LM5034のいずれかのコントローラが、Nチャンネル・パワー・スイッチとPチャンネル・リセット・スイッチを駆動します。それぞれのスイッチに合わせた大きさの内部ゲート・ドライブを使用しています。リセット・スイッチは磁化電流のみを運ぶため、サイズの小さなゲート・ドライブが使えます。メイン・スイッチはスイッチング損失を抑制するために、強いゲート・ドライブを必要とします。両方のゲート・ドライブ出力間に求められる遅延はコントローラ内部でプログラム可能です。出力整流器は同期MOSFETで実装されています。アクティブ・リセット方式を採用することで、自己駆動である同期整流回路の実装が簡単になります。

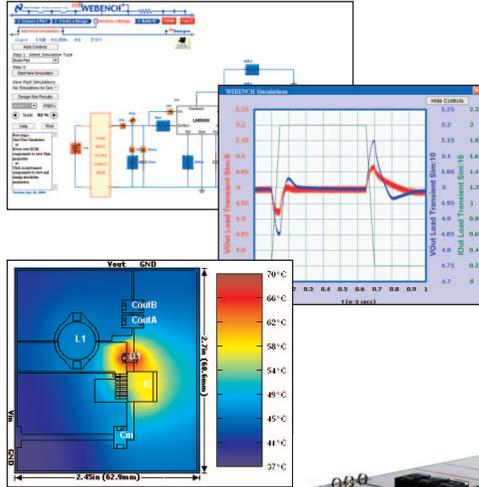
まとめ

以上をまとめると、アクティブ・クランプ方式によって低電圧定格MOSFETの使用が可能になるとともに、自己駆動である同期整流器の使用が簡単になります。磁化エネルギーと漏れエネルギーは再循環されてソースに戻されます。このような利点によって電源変換効率の向上が図れます。■

電源設計ツール

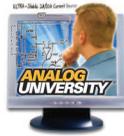
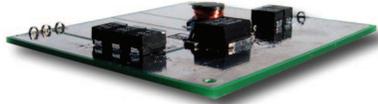
WEBENCH® オンライン設計支援ツール

回路設計からプロトタイプ入手までがオンラインで完了。
設計時間を大幅に短縮できます。



1. 選ぶ
2. 設計する
3. 電源回路を分析する
 - 電気特性シミュレーション
 - 熱特性シミュレーション
4. 製作する
 - カスタム・プロトタイプを注文

webench.national.com/jpn



Analog University

オンラインで提供している無料のトレーニング・ツールを使用して、アナログの知識と理解を深めてください。

analogU.national.com

どの号もお見逃しなく！

ナショナルの
パワー製品サイト：
power.national.com/jpn

お問い合わせ：
JPN.feedback@nsc.com
0120-666-116

Power Designer のバックナンバーは
ナショナルのサイトでご覧いただけます。

power.national.com/jpndesigner

新しい Signal Path Designer もぜひお読み
ください。オンラインで提供しています。

signalpath.national.com/jpndesigner



ナショナル セミコンダクター ジャパン株式会社
〒135-0042 東京都江東区木場 2-17-16
TEL 03-5639-7300 (大代表) www.national.com/jpn/

ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社（以下TIJといいます）及びTexas Instruments Incorporated（TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといいます）は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従いまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかをご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間取引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIJの標準販売契約約款に従って販売されます。

TIは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従い販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIJとの間で合意された保証条件に従い合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定される危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしておりません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証もしくは是認するということを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、かつその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIにより示された数値、特性、条件その他のパラメーターと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、かつ不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

TIは、TIの製品が、安全でないことが致命的となる用途ないしアプリケーション（例えば、生命維持装置のように、TI製品に不良があった場合に、その不良により相当な確率で死傷等の重篤な事故が発生するようなもの）に使用されることを認めておりません。但し、お客様とTIの双方の権限有る役員が書面でそのような使用について明確に合意した場合は除きます。たとえTIがアプリケーションに関連した情報やサポートを提供したとしても、お客様は、そのようなアプリケーションの安全面及び規制面から見た諸問題を解決するために必要とされる専門的知識及び技術を持ち、かつ、お客様の製品について、またTI製品をそのような安全でないことが致命的となる用途に使用することについて、お客様が全ての法的責任、規制を遵守する責任、及び安全に関する要求事項を満足させる責任を負っていることを認め、かつそのことに同意します。さらに、もし万一、TIの製品がそのような安全でないことが致命的となる用途に使用されたことによって損害が発生し、TIないしその代表者がその損害を賠償した場合は、お客様がTIないしその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI製品は、軍事的用途もしくは宇宙航空アプリケーションないし軍事的環境、航空宇宙環境にて使用されるようには設計もされていませんし、使用されることを意図されてもありません。但し、当該TI製品が、軍需対応グレード品、若しくは「強化プラスチック」製品としてTIが特別に指定した製品である場合は除きます。TIが軍需対応グレード品として指定した製品のみが軍需品の仕様書に合致いたします。お客様は、TIが軍需対応グレード品として指定していない製品を、軍事的用途もしくは軍事的環境下で使用することは、もっぱらお客様の危険負担においてなされるということ、及び、お客様がもっぱら責任をもって、そのような使用に関して必要とされる全ての法的要求事項及び規制上の要求事項を満足させなければならないことを認め、かつ同意します。

TI製品は、自動車用アプリケーションないし自動車の環境において使用されるようには設計されていませんし、また使用されることを意図されてもありません。但し、TIがISO/TS 16949の要求事項を満たしていると特別に指定したTI製品は除きます。お客様は、お客様が当該TI指定品以外のTI製品を自動車用アプリケーションに使用しても、TIは当該要求事項を満たしていなかったことについて、いかなる責任も負わないことを認め、かつ同意します。

Copyright © 2011, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位（外装から取り出された内装及び個装）又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で（導電性マットにアースをとったもの等）、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。（但し、結露しないこと。）

- 直射日光が当たる状態で保管・輸送しないこと。
3. 防湿梱包
 - 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。
 4. 機械的衝撃
 - 梱包品（外装、内装、個装）及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。
 5. 熱衝撃
 - はんだ付け時は、最低限260℃以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。（個別推奨条件がある時はそれに従うこと。）
 6. 汚染
 - はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質（硫黄、塩素等ハロゲン）のある環境で保管・輸送しないこと。
 - はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。（不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。）

以上