



Literature Number: JAJA405

POWER | *designer*

Expert tips, tricks, and techniques for powerful designs

No.112

特集記事 1-7

降圧型 同期整流レギュレータ 2

高性能、ハーフブリッジ・
コントローラ・ドライバ 4

同期整流 降圧型スイッチング・
コントローラ 6

電源設計ツール 8

同期整流を用いた 高性能パワー・コンバータの設計

— By Robert Selders, Jr., Applications Engineer

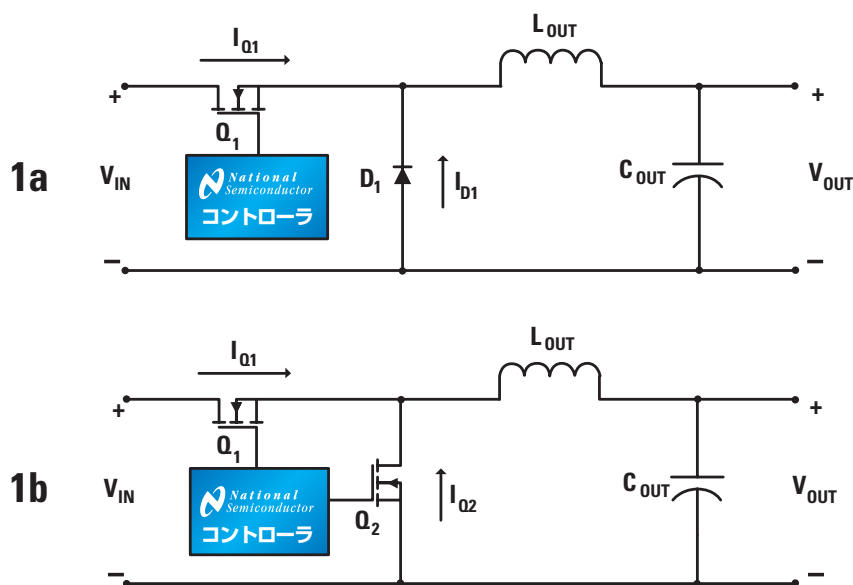


Figure 1. (a) 非同期整流型降圧コンバータと (b) 同期整流型降圧コンバータ

電気製品の内部にパワー・コンバータが当たり前のように組み込まれるようになってきました。電気製品のメーカーやOEMサプライヤは、電源システムに、低入力電圧、低出力電圧、大電流、高速過渡応答など、今まで以上の機能や性能を要求するようになっていきます。

このような要求に応えるため、通常はダイオードによる整流機能をMOSFETで代替する同期整流方式が、1990年代後半から採用され始めています。同期整流方式は、効率、熱特性、電力密度、生産性、信頼性を高めるとともに、電源システム全体のコストを抑えます。本稿では同期整流方式の利点を検証するとともに、同期整流方式の実装で直面する課題について論じます。

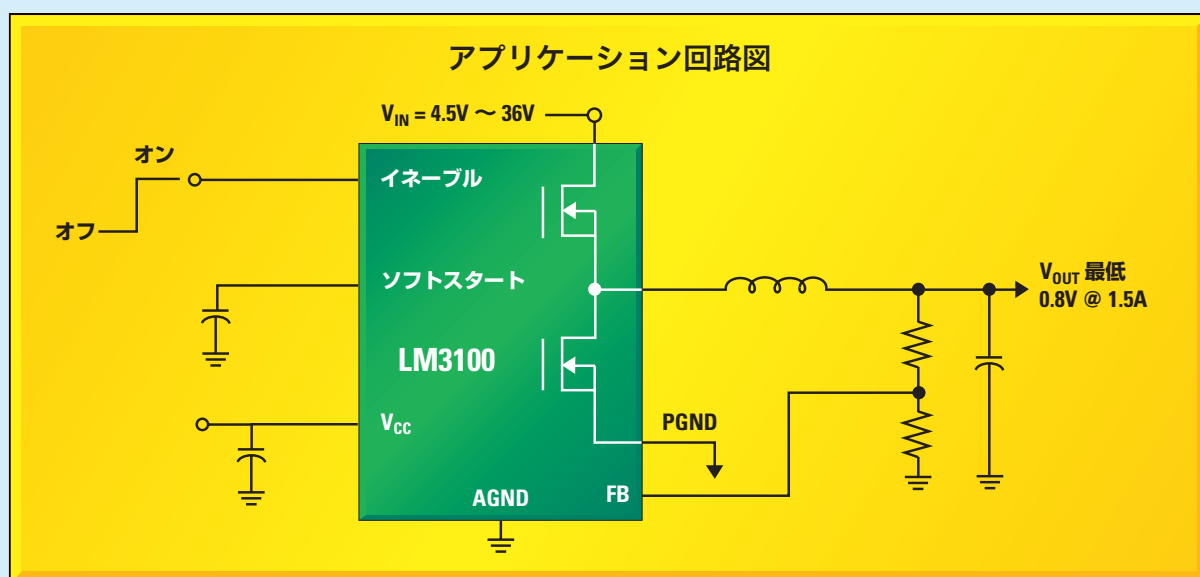
次号予告

LEDを用いたバックライト・アプリケーション

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

1.5A、36V コンスタント・オンタイム制御 降圧型 同期整流レギュレータ

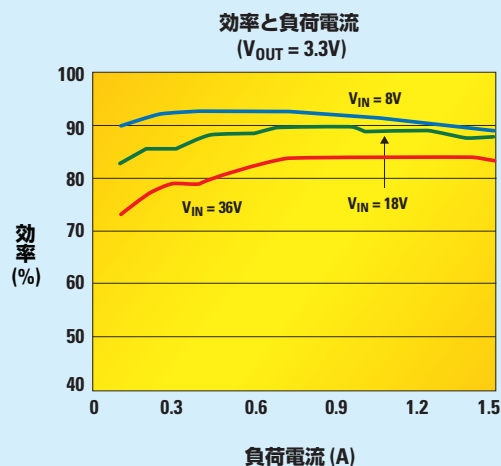
コンスタント・オンタイム(COT) LM3100 レギュレータは外部補償を必要とせず、セラミック出力コンデンサ使用時も安定動作



LM3100の特長

- 同期整流変換により $3.3V_{OUT}$ 以下の動作が高効率に
- COTアーキテクチャにより高速負荷応答可能
- セラミック・コンデンサ使用時も安定動作
- レギュレートされていない電源使用時も、ほぼ一定のスイッチング周波数を維持
- 外部補償が不要なため外付け部品点数を削減
- 最大スイッチング周波数：～1MHz
- TSSOP-20EPパッケージ

エンベデッド・システム、産業用制御機器、医療用機器、ポイント・オブ・ロード・レギュレータ、ストレージ・システム、およびブロードバンド・インフラなどのアプリケーションに最適です。



サンプルやデータシートの情報は、ナショナルのサイトをご覧ください。

www.national.com/pf/LM/LM3100.html

同期整流を用いた高性能パワー・コンバータの設計

ダイオード整流の問題点

非同期整流型（ノンシンクロナス）と同期整流型（シンクロナス）の降圧コンバータをFigure 1に示します。非同期整流型降圧コンバータはFETとショットキ・ダイオードをスイッチとして使用します（Figure 1a）。FETがオンのときエネルギーは出力インダクタと負荷に供給されます。FETがオフになるとインダクタ電流はショットキ・ダイオードを還流します。負荷電流が出力インダクタのリップル電流の半分よりも大きければ、コンバータは連続モードで動作します。

ショットキ・ダイオードは順方向電圧降下と逆方向漏れ電流特性から選択します。ただし出力電圧が低い場合は、ダイオードの順方向電圧がコンバータの効率を大きく下げます。ダイオードの順方向電圧降下は物理的な制約によって約0.3V以下にはできません。

ダイオードとは異なりMOSFETは、ダイサイズを大きくするか複数のディスクリート素子を並列に接続することで、オン抵抗 $R_{DS(on)}$ を低く抑えることが可能です。したがってダイオードの代わりにMOSFETを使用すれば、同じ電流での電圧降下はダイオードよりも大幅に小さくなります。

このような特性は、電源効率、コンバータのサイズ、さらには熱特性が重視される小型デバイスや携帯型デバイスなどのアプリケーションに適しています。MOSFETベンダーが $R_{DS(on)}$ と総ゲート容量（ Q_G ）を抑えた新しいMOSFET技術を継続的に投入してくれているおかげで、同期整流方式を採用したパワー・コンバータ回路の実装は簡単です。

同期整流の概要

同期整流型降圧コンバータの場合、たとえば変換効率は、ショットキ・ダイオードをローサイドMOSFETに置き換えたことで向上します（Figure 1b）。2個のMOSFETの貫通電流を防ぐためにそれぞれの導通の間に短いデッドタイムを設けて補完的に駆動しなければなりません。同期整流FETは電

流がソースからドレインへと流れるため第三象限で動作します。同期整流型降圧コンバータは、非同期整流型のコンバータとは異なり、負荷がない場合でも常に連続モードで動作します。

デッドタイム期間中にインダクタ電流はローサイドFETのボディ・ダイオードを流れます。このボディ・ダイオードの逆方向回復特性は一般に遅いため、コンバータの効率に悪影響を与えることがあります。外付けショットキ・ダイオードをローサイドFETに並列に接続すればボディ・ダイオード電流が分岐されコンバータの効率低下を防止することができます。このショットキは両方のFETがオフになった短時間のデッドタイム期間中（一般にスイッチング・サイクルの数パーセント未満）しか導通しないため、非同期整流型降圧コンバータで使用するショットキよりもはるかに低い電流定格の品種で問題ありません。

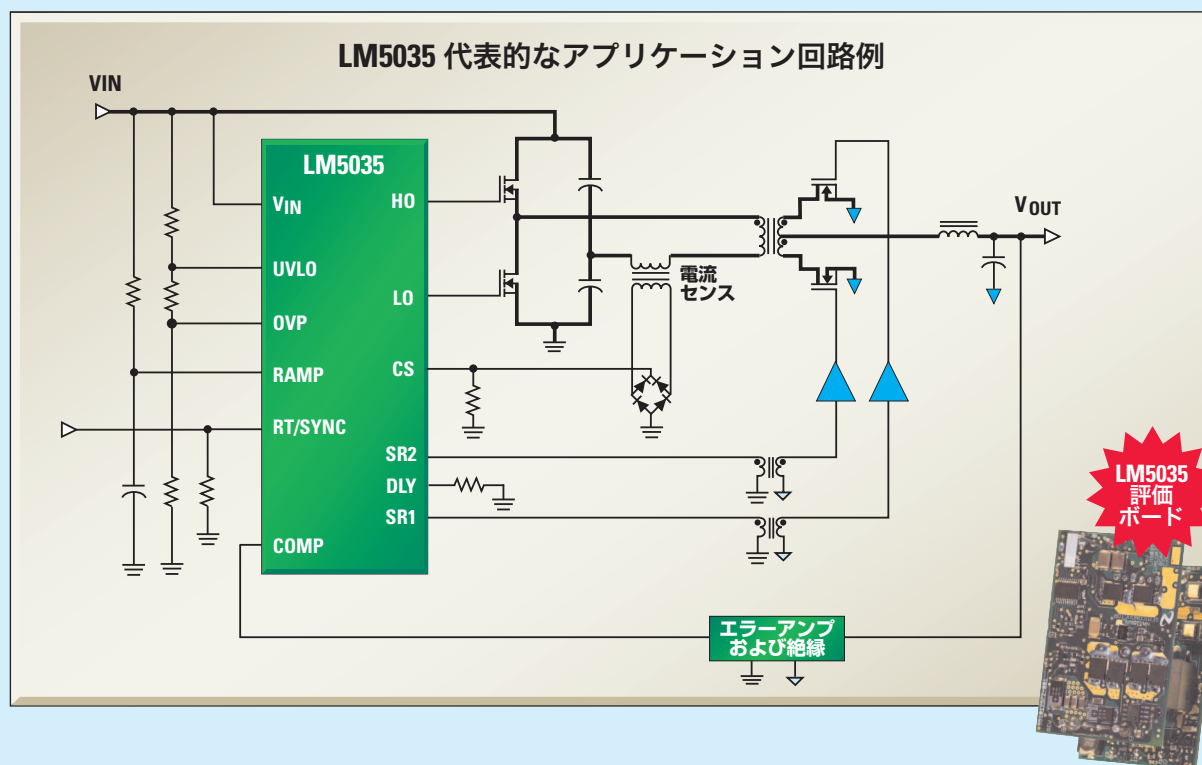
同期整流の利点

同期整流方式を高性能かつ高電力のコンバータに採用した場合の利点として、効率の高さ、消費電力の小ささ、優れた熱特性、部品高の低さ、品質の向上、自動組み立て行程による高い生産歩留まり（高信頼性）などが挙げられます。また、同期FETを並列に接続した場合に、回路が備える性質から、最適な電流シェアが自動的に得られます。

上述のように複数のMOSFETを並列に接続すれば大出力電流が取り扱えます。この場合、並列にしたデバイス数に比例して実効的な $R_{DS(on)}$ が下がるため、導通損失が減少します。また $R_{DS(on)}$ は正の温度係数を持つため、それぞれのFETは自動的に電流を等しくシェアし、同期整流のデバイス間で均一な熱分布が得られます。このような性質によって部品やPCBの放熱が改善され、回路の熱特性向上に直接的な効果が得られます。このほか、実装の小型化、オープンフレーム構成、部品高の低さ、周囲動作温度範囲の緩和、高い電力密度などの利点が同期整流方式から得られます。

コンパクトで高効率な変換のための 高性能、ハーフブリッジ・コントローラ・ドライバ

高集積LM5035 ハーフブリッジ・コントローラ・ドライバは
変換効率と電力密度を最大化



LM5035の特長

- 105V/2A ハーフブリッジ・ゲート・ドライバ
- プログラマブル遅延付きの同期整流コントロール
- 外部発振周波数にスイッチング周波数を合わせる同期機能
- プログラマブル・ライン・アンダーボルテージ・ロックアウト機能
- ライン・オーバーボルテージ保護
- ヒカップ・モード遅延タイムを用いた汎用デュアル・モード過電流保護
- 電流モード方式フォトカプラ・インタフェース

電力密度や電力効率が重視されるテレコム、データコムや産業用制御システム、さらにコンシューマ・エレクトロニクスにも最適です。

サンプルやデータシート情報は、ナショナルのサイトをご覧ください。

www.national.com/pf/LM/LM5035.html

同期整流を用いた高性能パワー・コンバータの設計

同期整流コンバータの設計トレードオフ

低電圧アプリケーションに求められるコンバータ・サイズの小形化と出力リップル電流の抑制を図るために、スイッチング周波数を高く設定して出力インダクタと出力コンデンサを小型化する設計手法がしばしば採用されます。しかし複数のFETを並列に使用する場合、周波数を高くすると、ゲート・ドライブ損失とスイッチング損失が増大します。

設計のトレードオフはアプリケーションごとに考慮する必要があります。たとえば入力電圧が高く出力電圧が低い同期整流降圧コンバータの場合、ハイサイドFETのRMS電流がローサイドFETのRMS電流よりも大幅に小さくなる動作条件のため、小 Q_G かつ高 $R_{DS(on)}$ のMOSFETをハイサイドFETとして選択しなければなりません。ハイサイドFETは導通損失よりもスイッチング損失を下げるほうを優先しなければならないのです。一方のローサイドFETには大きなRMS電流が流れるため、できるだけ小さな $R_{DS(on)}$ のMOSFETを選択しなければなりません。

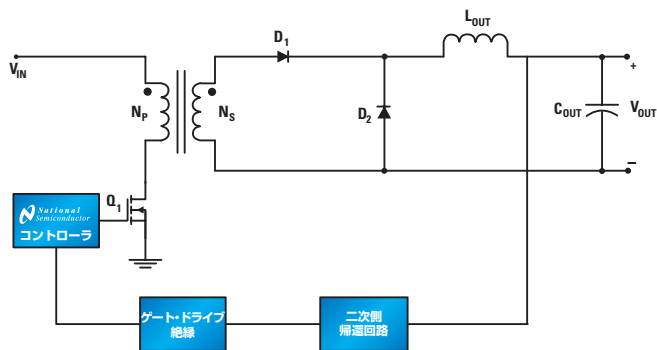


Figure 2. 出力同期整流を用いた絶縁パワー・コンバータ

同期整流コンバータの制御に、強力なゲート・ドライバのコントローラを使用すると、FETのスイッチング時間が短く

なるためスイッチング損失は下がります。ただし立ち上がり/立ち下がりが高速になれば、システム・ノイズやEMI問題を招く恐れのある高周波ノイズを発生させます。

絶縁トポロジでの同期整流回路の駆動

分散型バス・アーキテクチャ、Power-over-Ethernetシステム、ワイヤレス基地局など、システム・グラウンドに対してガルバニック（galvanic）絶縁を必要とするシステムには、絶縁型トポロジを採用したパワー・コンバータが用いられます（Figure 2）。

絶縁コンバータの性能は同期整流方式の採用で大幅に向上します。同期整流は、フォワード、フライバック、ブッシュブル、ハーフブリッジとフルブリッジ（カレント・フェドとボルテージ・フェド）のすべての絶縁型トポロジに適用可能です。ただし、どのトポロジであっても、駆動能力やタイミングが適切なゲート・ドライブ信号を同期整流回路に与えるには、それぞれの課題を解決しなければなりません。

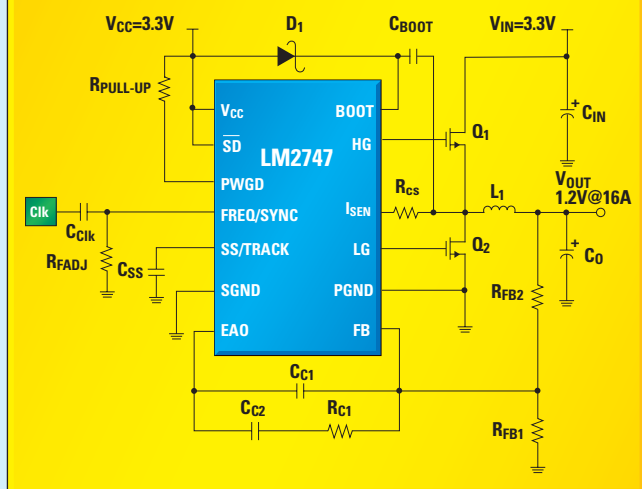
絶縁型トポロジの二次側FETに対する制御方法は、二次トランス巻き線から直接取得した自己駆動ゲート信号を用いる方法と、PWMコントローラあるいは何らかの一次側の信号から出力される制御ゲート信号を用いる方法の2種類が基本です。それぞれの制御方式ごとにアプリケーションに応じて複数の実装方法が存在します。性能要件を満たすできるだけ簡単な実装方式を選択すべきです。

自己駆動方式は最も単純で素直な同期整流駆動方式です（Figure 3）。トランス電圧が長い時間にわたってゼロにならないトポロジであれば正しく動作します。出力整流ダイオードの代わりに2個の同期整流FETを使用し、二次巻き線両端に発生した電圧で同期整流のゲートを駆動します。異なる巻き線比（ $N_p:N_{S1}:N_{S2}$ ）と適切な同期整流FETの組み合わせにより、同じトポロジのままで、ほとんどの場合に高出力電圧から低出力電圧まで対応可能です。

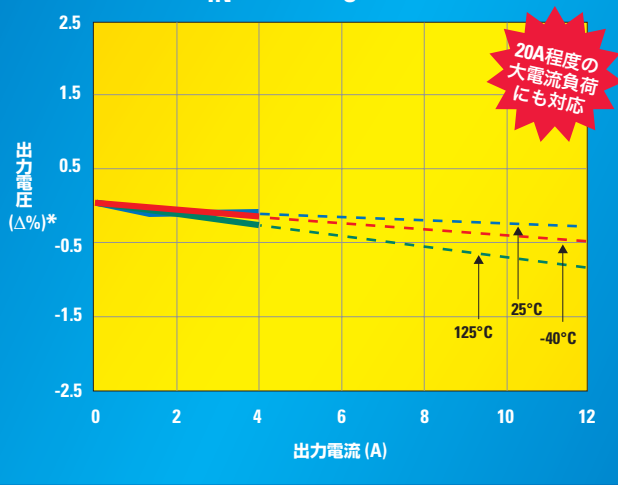
-40°Cから+125°Cにわたって 1%のリファレンス電圧精度を提供する 同期整流 降圧型スイッチング・コントローラ

ナショナルのLM2747コントローラは0.6Vの超低電圧出力が可能

LM2747 代表的なアプリケーション



LM2747 出力電圧精度 $V_{IN}=12V$ 、 $V_O=1.2V$



* 外付け部品の温度の影響を含む

LM2747の特長

- スwitchング周波数：50MHz～1MHz
- 外部同期信号：250kHz～1MHz
- プリバイアス負荷スタートアップ機能
- 入力電圧：1V～14V
- 出力電圧：3V～6V
- パワーグッド・フラグおよびシャットダウン機能
- 出力オーバーボルテージおよびアンダーボルテージ保護
- TSSOP-14パッケージ

ケーブル・モデム、DSL、ADSL、レーザーおよびインクジェット・プリンタ、電源モジュール、DSPおよびASICのコア電源、またポータブル・コンピュータなどに最適です。

サンプルやデータシートの情報は、ナショナルのサイトをご覧ください。

www.national.com/pf/LM/LM2747.html

同期整流を用いた高性能パワー・コンバータの設計

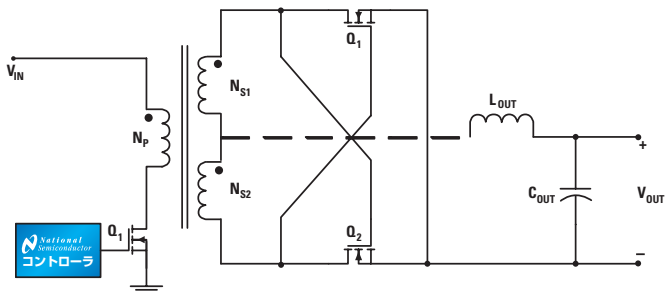


Figure 3. 自己駆動同期整流の出力段

トランス電圧が周期的にゼロに到達しある時間にわたってゼロを維持するトポロジーに自己駆動同期整流を適用した場合のもっとも大きな問題は、このゼロ期間中に同期整流FETのゲート信号が消失し、さらに同期整流FETのボディ・ダイオードが負荷電流を導通するため電力損失が大きくなることです。また、低出力電圧アプリケーションでは、同期整流FETゲートに印加される電圧を適切なレベルにまで高めるために、追加巻き線が必要になる場合があります。

二次巻き線電圧は入力ライン電圧に追従して変化するため、同期整流FETのゲートに印加される電圧も変化します。 $R_{DS(on)}$ はゲートソース電圧 (V_{GS}) によって変動するため効率にも影響が及びます。コンバータの入力電圧範囲を広く設定した場合、 $R_{DS(on)}$ 変化は2倍にも達します。

トランスを用いたトポロジーに適用可能な別のゲート・ドライブ方法がコントローラ駆動方式です。低電圧かつ大電流のアプリケーションにこのドライブ手法を用いた場合、デッドタイム時間に起因する損失を低減するとともに、ほぼ一定振幅のゲート・ドライブ・パルスを生成するため、ライン電圧変動に対して効率低下が生じません。

コントローラ駆動方式は自己駆動方式の問題を解決します。ただし、回路は複雑になりコストは上昇します (Figure 4)。自己駆動方式の部品依存度がアプリケーションで問題となる場合、コントローラ駆動方式は適切な代替案になるでしょう。同期整流FETを駆動する制御信号は、一次側または二次側を基準とするコントローラが出力します。

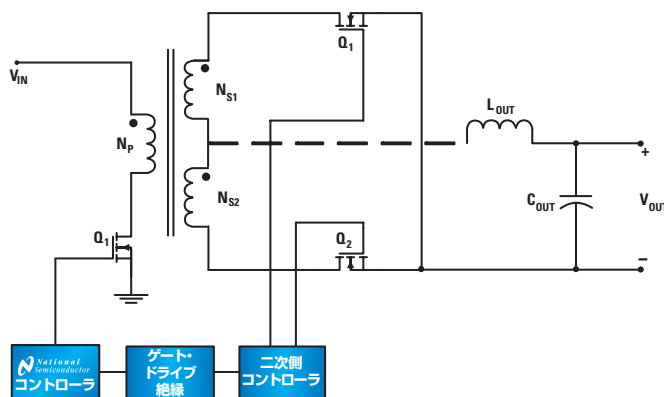


Figure 4. コントローラ駆動方式の同期整流出力段

まとめ

出力電圧が低く出力電流が大きなアプリケーションに同期整流型スイッチング・パワーコンバータを適用すると、非同期整流型コンバータに比べて優れた性能が得られます。コンバータ性能を最大限に発揮させるには、同期整流FETのゲート・ドライブ信号のタイミングを適切に保つことが重要であり、設計者が取り組まなければならない課題のひとつです。■

電源設計ツール

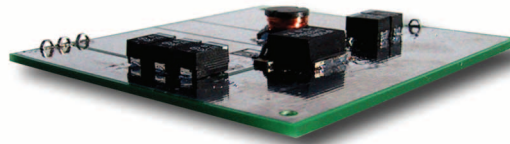
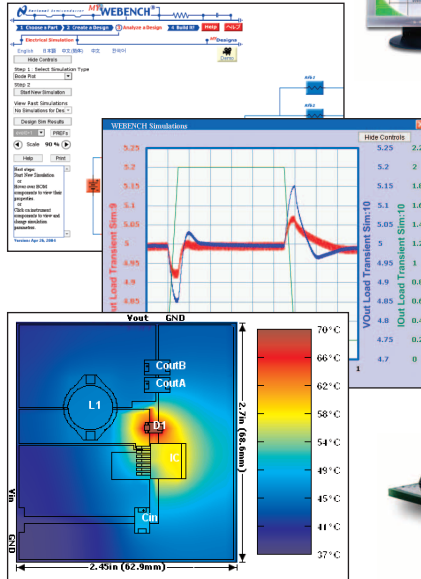


WEBENCH® オンライン設計支援ツール

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



News@National

新製品、設計ツール、プレスリリース、新着資料など
回路設計に役立つ最新情報を満載して日本語でお届けする
月刊Eメール・ニュースレターです。

www.national.com/JPN/newsletter

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

どの号もお見逃しなく！



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

Signal Path Designerもオンラインで
提供しています。ぜひお読みください。

signalpath.national.com/jpndesigner



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ご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間に取り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う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いません。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いません。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