

LM25005,LM25010



Literature Number: JAJA404

POWER | *designer*

Expert tips, tricks, and techniques for powerful designs

No.111

特集記事 1-7

42V、2.5A 降圧型スイッチング・レギュレータ 2

高集積 42V、0.5A 降圧型スイッチング・レギュレータ 4

高集積 42V、1.0A 降圧型スイッチング・レギュレータ 6

電源設計ツール 8

大きな入力/出力電圧差に適した降圧レギュレータ・トポロジー

— By Bob Bell, Applications Engineer and David Pace, Design Manager

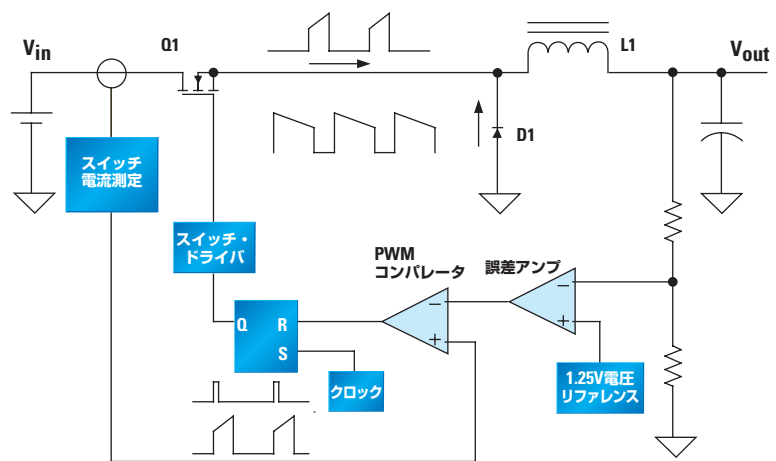


Figure 1. 電流モード制御を使用した降圧レギュレータ

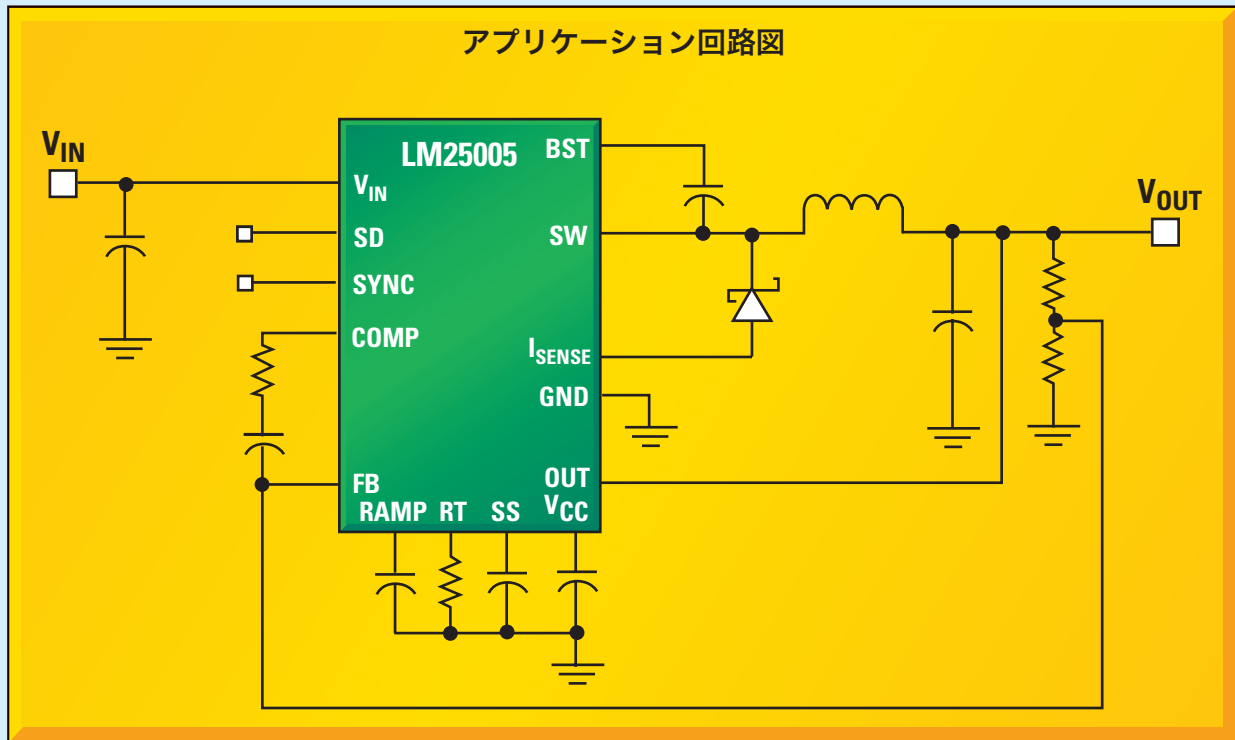
降圧レギュレータは、平滑されていない高入力電圧を効率的に降圧して、平滑された出力電圧を得る目的で用いられます。高入力電圧から DC-DC 変換を必要とするアプリケーションに降圧レギュレータを使用すると、リニア・レギュレータに比べてはるかに高い変換効率が得られます。しかし、降圧レギュレータを入力電圧と出力電圧の電圧差が大きいアプリケーションに適用すると、パルス幅変調(PWM)の観点から大きな課題が生じます。その理由は、降圧レギュレータ・スイッチのデューティ・サイクルは V_{OUT}/V_{IN} にほぼ等しいことから、入力と出力の電圧差が大きくなるほど降圧 DC/DC コンバータが制御すべき PWM パルスのデューティ・サイクルが狭くなるためです。降圧レギュレータのスイッチング周波数は、インダクタとコンデンサを小型化するために、高い周波数に設定されることが一般的です。高いスイッチング周波数と小さなデューティ・サイクルは、コントローラから見れば、きわめて幅の狭いパルスを意味します。たとえば、66V の入力電圧から 3.3V の出力電圧を得る降圧レギュレータの場合、降圧スイッチが必要とするデューティ・サイクルはおおよそ 5% です。スイッチング周波数を一般的な 300kHz とすれば、降圧スイッチの PWM オン時間はわずか 166ns にしかありません。

次号予告
同期設計のトレードオフ

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

42V、2.5A 降圧型スイッチング・レギュレータ

LM25005 はエミュレーテッド電流モード制御により
入力電圧が高くデューティ・サイクルが小さい場合にも
ノイズ感度の抑制と信頼度の高い制御性を実現



LM25005 の特長

- 7V から 42V の広い入力範囲、最大負荷電流 2.5A
- 出力電圧は 1.225V 以上で設定可能
- 帰還抵抗精度 1.5%
- インダクタ電流ランプをエミュレートした電流モード制御
- スwitchング周波数を設定可能、また、システム設計を簡略にする双方向同期機能
- シミュレーションに必要な情報を提供
- TSSOP-20EP (露出パッド)パッケージで供給

家庭電化製品、通信機器、データ・コミュニケーション・システム、分散電源アプリケーションに最適です。

ポイント：

複数デバイス間の自己同期か外部クロックへの同期が可能



無償サンプルやデータシートなどの情報は、ナショナルのサイトをご覧ください。www.national.com/pf/LM/LM25005.html

大きな入力/出力電圧差に適した降圧レギュレータ・トポロジー

降圧レギュレータの制御には、電圧モード (VM)、電流モード (CM)、ヒステリシス、コンスタント・オンタイム (COT) などの回路トポロジーが用いられます。このうち電流モード制御には、ループ補償が容易、FET スイッチの保護機能、ライン・フィードフォワード補償を原理的に備える、といった特長があります。そのため電流モード制御は電源設計者に好まれています。

ヒステリシス・コントローラとコンスタント・オンタイム・コントローラは負荷変動に対する応答が高速ですが、動作中のスイッチング周波数が一定になりません。ただし、ヒステリシス制御の派生型である弊社のコンスタント・オンタイム制御は、安定性が高くスイッチング周波数の変化が少ないという特徴があります。

電流モード制御

高い入力/出力降圧比を前提とする降圧レギュレータ IC は、きわめて小さいデューティ・サイクルで動作しているときにも高いノイズ耐性が必要です。電流モード・トポロジーの課題はインダクタ電流の検出とスケールリングです。Figure 1 に電流モード降圧レギュレータのブロック図を示します。出力電圧はリファレンス電圧と比較され、その誤差信号は PWM コンパレータに与えられます。変調ランプ信号は降圧スイッチ電流に比例します。降圧スイッチがオンになるとインダクタ電流は、 $(V_{IN} - V_{OUT})/L$ を傾きとして、降圧スイッチを流れます。PWM ランプ信号を生成するためには、降圧スイッチ電流を正確かつ高速に測定しなければなりません。

以下に述べる伝搬遅延とスイッチング遷移の問題が、入力/出力降圧比が高くオン時間がきわめて短いアプリケーションに電流モードを適用することを難しくしています。最善と考えられる回路技法を用いたとしても、電流センス回路とレベルシフト回路で大きな伝搬遅延が生じます。また降圧スイッチがオンになったとき、フリーホイール・ダイオード (D1) に流入する逆方向回復電流によって、長いリングング時間を伴った前縁電流スパイクが発生します (Figure 2 を参照)。このスパイクを受けた PWM コンパレータは本来のタイミングよりも早くトリップしてしまいます。一方で、前縁スパイクに対してフィルタやブランク処理を行うと、制御可能な降圧スイッチの最小オン時間が短くなってしまいます。

エミュレーテッド電流モード制御

降圧スイッチ電流を実際に測定することなくエミュレートするという新たな発想を導入すれば、電流測定を正確かつ高速に行わなければならないという課題を解決することができます。降圧スイッチ電流波形は基礎部分とランプ部分の2つの成分に分けられます。基礎部分は最小インダクタ電流 (または谷電流) レベルを表します。インダクタ電流は降圧スイッチがターンオンする直前に最小値に下がります。降圧スイッチのターンオン直前にフリーホイール・ダイオード電流をサンプル・アンド・ホールドで測定することで基礎電流部分の大きさが分かります。

降圧スイッチ電流波形を構成するもうひとつの部分はピーク・レベルに向かって上昇する正のランプ波形です。ランプ電流の傾きは $di/dt = (V_{IN} - V_{OUT})/L$ によって記述されます。電流ランプに等価な信号は $V_{IN} - V_{OUT}$ とコンデンサ (C_{RAMP}) に比例した電流源によって生成可能です。電流源 (I_{RAMP}) を入力電圧と出力電圧の差で制御すれば、コンデンサの充電傾きは $dv/dt = K * (V_{IN} - V_{OUT})/C_{RAMP}$ となり、ここで K は電流源の一定倍率係数です。コンデンサ電圧傾きがインダクタ電流傾きに比例するように C_{RAMP} の容量を選択します。

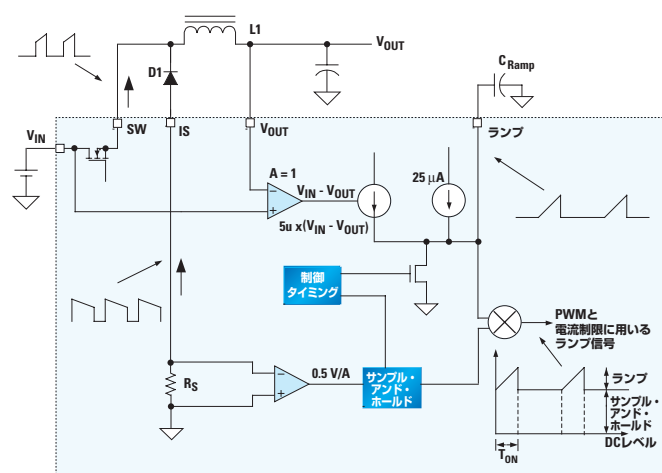
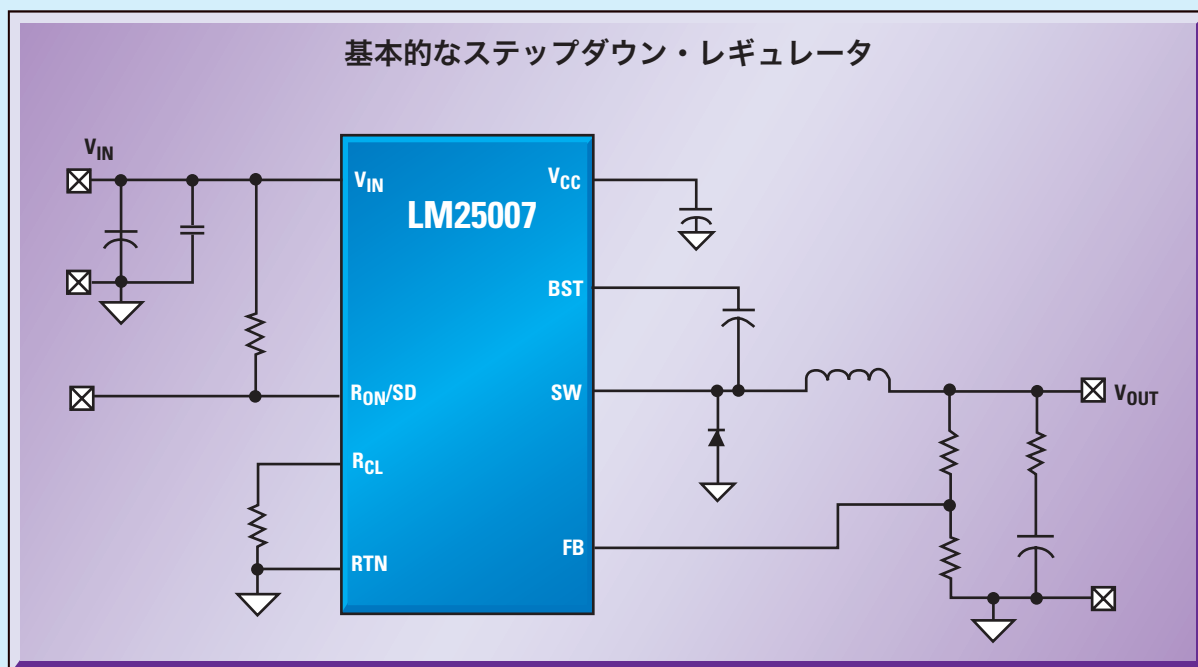


Figure 2. エミュレーテッド電流モード・レギュレータ

Figure 2 は、上述のエミュレーテッド電流モード制御方式を実装した降圧レギュレータ・コントローラ LM25005 のブロック図です。フリーホイール・ダイオードのアノードはコントローラを介してグラウンドに接続されています。電流センス

高集積 42V、0.5A 降圧型スイッチング・レギュレータ

LM25007 はコンスタント・オンタイム・アーキテクチャと V_{IN} フィードフォワードの採用により
超高速の過渡応答を実現し外付け部品も不要



LM25007 の特長

- 9V から 42V の広い入力範囲、最大負荷電流 0.5A
- 超高速過渡応答、フィルタ容量を削減
- 最高 800kHz のスイッチング周波数
- 高精度 DC 電流制限
- -40°C ~ $+125^{\circ}\text{C}$ 、精度 $\pm 2\%$ 、2.5V フィードバック電圧
- 高電圧バイアス・レギュレータを内蔵
- 熱性能を高めた MSOP-8 および LLP-8 パッケージで供給

テレマティックス、産業用システム、家庭電化製品、分散電源、高電圧ポスト・レギュレータ、産業用電源、高効率ポイント・オブ・ロード(POL)レギュレータに最適です。

ポイント：

V_{IN} フィードフォワードにより動作周波数はほぼ一定



大きな入力/出力電圧差に適した降圧レギュレータ・トポロジー

用の低抵抗とアンプを使用してダイオード電流を測定します。サンプル・アンド・ホールド回路は降圧スイッチがターンオンする直前のダイオード電流の最小値をキャプチャします。各サイクルの谷電流を測定することで、エミュレートド電流センス信号の基礎部分が分かります。

LM25005 は、入力電圧と出力電圧をセンスして、外付けランプ・コンデンサ(C_{RAMP})を充電する電流源を制御します。降圧スイッチがターンオンするとコンデンサの電圧は各サイクルでリニアに上昇します。降圧スイッチがターンオフするとコンデンサは放電します。適切な動作を得るために降圧インダクタの値に比例するランプ・コンデンサ容量を選択します。LM25005 は、サンプリングした電流基礎部分と外付けランプ・コンデンサ電圧とを合算し、この信号を PWM コンパレータに与えます。結果的に、振る舞いはピーク電流モード・コントローラのものでありながら、電流センスの伝搬遅延とスイッチング遷移の影響がないコントローラが得られます。

50%を超えるデューティ・サイクルでピーク電流モード・コントローラを動作させた場合、サブ・ハーモニクス発振が発生する可能性があります。一般にこのような発振は、一定傾きを持つ別のランプ信号を電流センス信号に加えれば回避可能です(スロープ補償)。LM25005 では別系統の一定オフセット電流を使用してランプ・コンデンサ信号に一定の傾きを追加しています。デューティ・サイクルがきわめて大きなアプリケーションの場合は、ランプ・コンデンサ容量を小さくしてランプ傾きをさらに大きくすれば、サブ・ハーモニクス発振を防止することができます。

LM25005 は、サイクルごとにエミュレートド・ピーク電流を制限する専用の電流制限コンパレータによって出力過負荷保護を実現しています。エミュレートド電流モード方式は、降圧スイッチのターンオン直前のインダクタ電流が把握できるという利点があります。多大な過負荷状態が原因で電流の基礎部分が電流制限コンパレータのスレッシュホールドを超えた場合、降圧スイッチのサイクルをスキップして電流暴走を防止します。

Figure 3 に、LM25005 をコントローラに用いた、入力電圧範囲 7V ~ 42V、出力電圧 5V、最大負荷電流 2.5A の降圧レギュレータ回路を示します。

コンスタント・オンタイム制御

入力/出力降圧比が高いレギュレータを実現する別のソリューションのひとつがコンスタント・オンタイム制御(COT)方式です。この方法は、出力電圧がスレッシュホールドを下回ったときに帰還コンパレータが次の降圧スイッチオン時間をトリガするゲート付きワンショットとして考えることができます。COT 制御はワンショットをきわめて短いオン時間に設定することが可能な点で入力/出力降圧比の高いアプリケーションに適しており、帰還コンパレータがオフ時間を調整して低デューティ・サイクルを実現します。低レベル動作時の PWM ランプのノイズ感度が問題になることはありません。COT 方式は誤差アンプやループ補償部品を必要としないため、単純でコスト効率の良い DC/DC コンバータとして長年にわたり使用されてきました。この方法の代表的な問題は、入力電圧変動に伴って周波数が変化する点と、サブ・ハーモニクス発振の恐れがある点です。

このような問題を解決した新世代の COT 降圧レギュレータの仲間である LM25010 のブロック図を Figure 4 に示します。オンタイム時間を制御するワンショットは、平滑されていない入力電圧とコントローラ間に接続した抵抗 R_{ON} で設定します。そのため、ワンショット期間の長さ(T_{ON})は入力電圧とは反比例します。スイッチング周波数を F_s として、降圧レギュレータのデューティ・サイクル(D)に関する単純化した式を用いると、

$$D = V_{OUT}/V_{IN}$$

ただし定義から、 $D = T_{ON}/(T_{ON} + T_{OFF}) = T_{ON} \cdot F_s$

ここで、 $T_{ON} = K/V_{IN}$ とすると

式から、 $F_s = V_{OUT}/K$

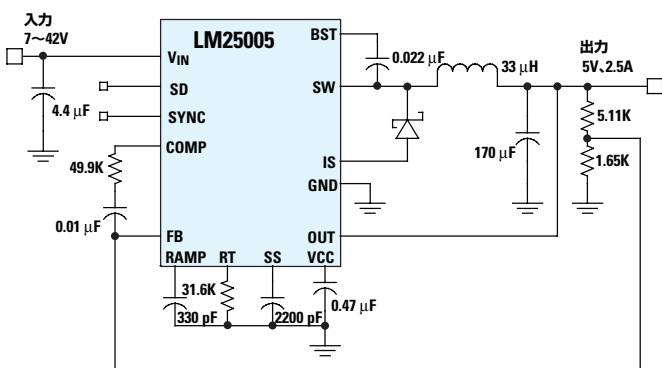
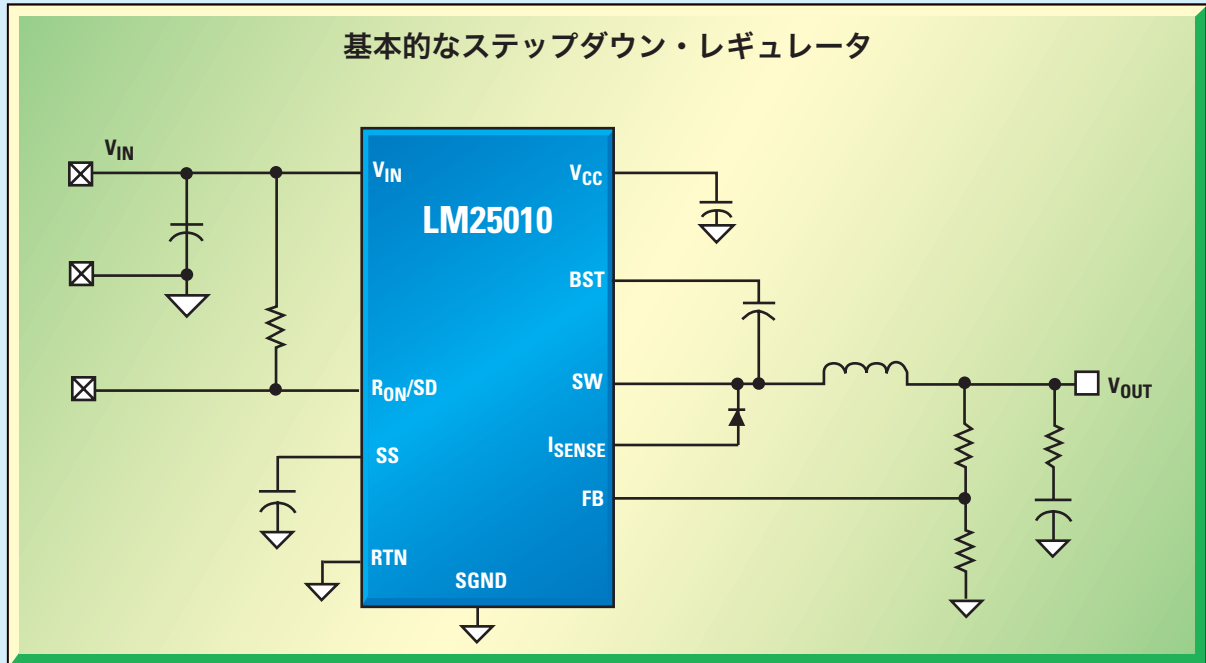


Figure 3. 降圧レギュレータ LM25005 の回路図

高集積 42V、1.0A 降圧型スイッチング・レギュレータ

LM25010 はコンスタント・オンタイム・アーキテクチャと V_{IN} フィードフォワードの採用により
超高速の過渡応答とほぼ一定の動作周波数を実現



LM25010 の特長

- 6V から 42V の広い入力範囲、最大負荷電流 1.0A
- 超高速応答、変調フィルタ容量
- 最高 1MHz のスイッチング周波数
- 1.25A の谷電流制限
- -40°C ~ $+125^{\circ}\text{C}$ 、精度 $\pm 2\%$ 、2.5V フィードバック電圧
- 高電圧バイアス・レギュレータを内蔵
- 露出パッド LLP-10 および TSSOP-14 パッケージで供給

非絶縁型通信機器、二次側ポスト・レギュレータに最適です。

ポイント：

制御ループ補償部品が不要



大きな入力/出力電圧差に適した降圧レギュレータ・トポロジー

したがって、ある一定の V_{OUT} を必要とするアプリケーションの場合、オン時間を設定すればスイッチング周波数が決まり、また、周波数は入力電圧の変化に対してそれほど大きくは変化しません。

COT レギュレータの課題のひとつは電流制限です。降圧スイッチの電流をセンスする電流制限回路によってオン時間が終了した場合、出力電圧が低下するため電圧レギュレーションを維持しようとオフ時間はその最小値にまで短くなります。レギュレータの周波数は伝搬遅延のみが制限するきわめて高い値にまで上昇し、IC 内部の電力損失はきわめて大きくなります。降圧レギュレータの中には、電流制限の超過を検出した場合に、過負荷状態で周波数が過度に高くないように、最小オフ時間を制限する製品もあります。この方法は、電流制限が起こったときに電流・電圧特性に折り返しを生じさせるため、レギュレータの負荷範囲を狭めてしまう可能性があります。

Figure 4 に示した LM25010 は、単純ながらも効率的な方法によって電流制限の問題を解決しています。フリーホイール・ダイオード電流は IC 内のセンス抵抗に導かれます。ダイオード電流は抵抗によってセンスされコンパレータでモニタされます。フリーホイール・ダイオードを流れる電流が電流制限スレッシュホールドを超えると、ダイオード電流が許容可能なレベルに下がるまで、電流制限コンパレータは降圧スイッチをディスエーブルします。オフ時間は、降圧インダクタ電流が必要な谷電流に下がるまで、自動的に長くなります。このため、過負荷のときでも出力電流とスイッチング周波数は暴走状態になることはありません。

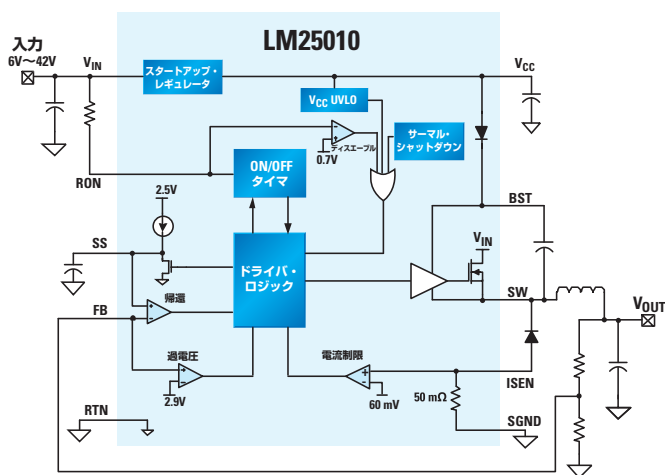


Figure 4. LM25010 COT 降圧レギュレータ

COT 制御を使用したレギュレータは、帰還(FB)ピンの電圧リップルが不足すると、不適切なスイッチング挙動を起こします。出力コンデンサが十分に大きな等価直列抵抗(ESR)を持っていればこの問題は発生しません。比較的大きなリップルを許容できないアプリケーションでは、リップルを抑えるいくつかの手法を用います。

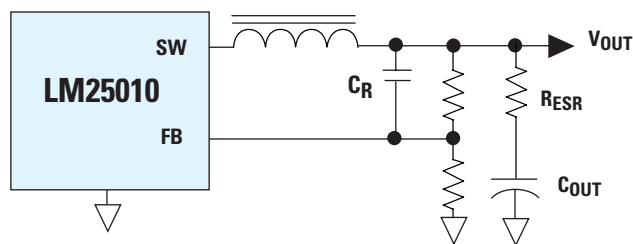


Figure 5a. C_R を用いた COT のリップル低減方式

Figure 5a で V_{OUT} のリップルは C_R を介して FB に与えられます。帰還抵抗によって大幅に減衰されることがないため、 V_{OUT} のリップルは標準回路よりも小さくなります。

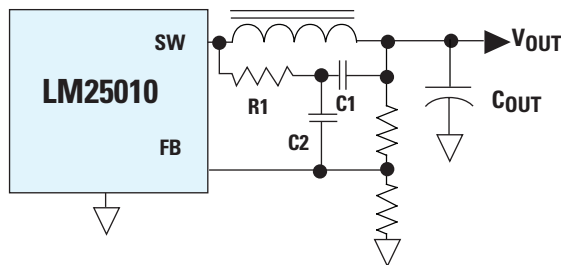


Figure 5b. R_1 、 C_1 、 C_2 を用いた COT のリップル低減方式

Figure 5b では R_{ESR} を取り除き V_{OUT} のリップルを抑えています。FB が必要とするリップルは、 R_1 、 C_1 、 C_2 が生成します。 V_{OUT} はグラウンドに AC 結合して、SW ピンは V_{IN} とグラウンド間でスイッチングするため、 R_1 と C_1 の接続点にノコギリ波が発生します。そのリップルを C_2 を介して FB に与えています。

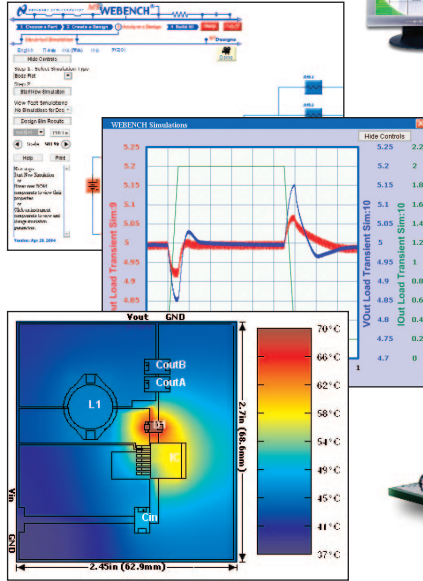
以上、電源設計者に支持されている制御方法とトポロジーをいくつか紹介しました。■

電源設計ツール



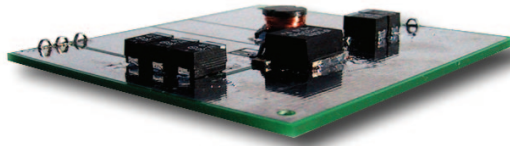
WEBENCH® オンライン設計支援ツール

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

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



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



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との間に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たり、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もいません。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