

LM25576



Literature Number: JAJA410

POWER | designer

Expert tips, tricks, and techniques for powerful designs

No. 117

特集記事.....1-7

エミュレーテッド電流
モードSIMPLE SWITCHER®
レギュレータ.....2

SIMPLE SWITCHER 設計の
ためのWEBENCH® ツール....4

PWM 降圧型レギュレータ.....6

電源回路設計ツール.....8

入力電圧40V以上の降圧型レギュレータ・アプリケーションの設計課題とその解決法

— Robert Bell, Applications Engineer

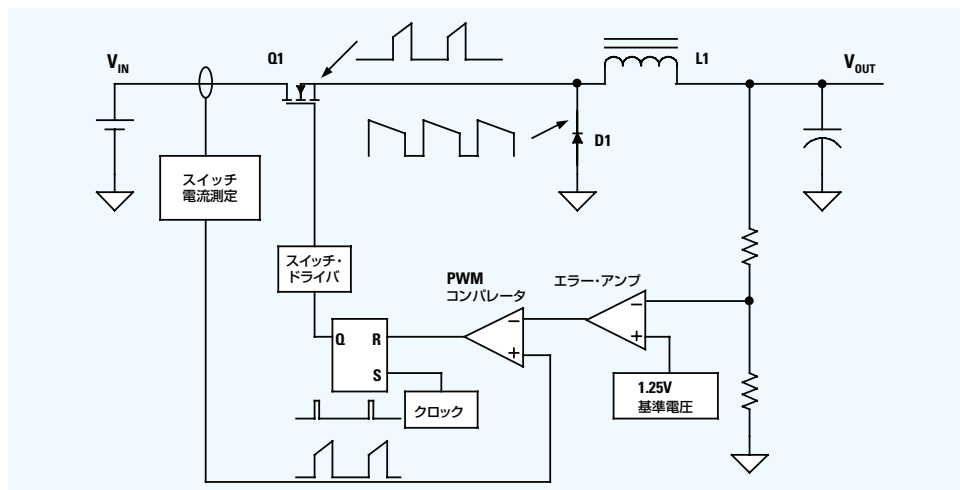


Figure 1. 電流モード制御を採用した降圧型レギュレータ

スイッチング・レギュレータは、レギュレートされていない入力電圧をレギュレートされた出力電圧へ降圧する用途に広く用いられています。降圧型DC/DC変換を必要とするアプリケーションでは、スイッチング・レギュレータの変換効率はリニア・レギュレータを大幅に上回ります。一般的にトランスを用いたDC/DCコンバータ・トポロジーには、フライバック型とフォワード型の2種類があります。これらのトポロジーは、大半の降圧変換を行えるようトランスの巻き線比を設定できるので、非常に効率よく降圧比を調整できます。例えばフォワード型コンバータについて変換式を近似的に表すと、 $V_{OUT} = V_{IN} \times D \times N_s/N_p$ です。

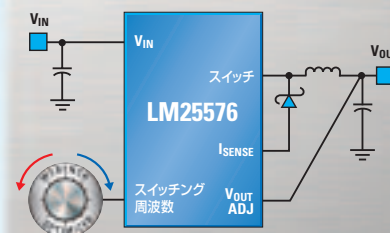
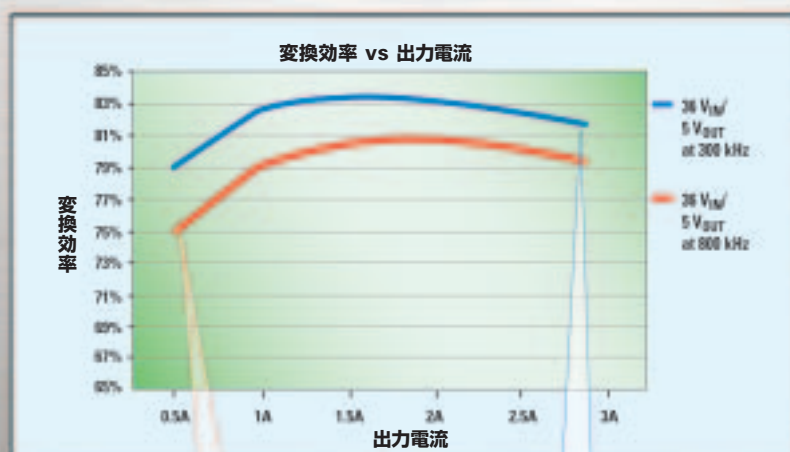
Dは変調スイッチのデューティ・サイクル、 N_s と N_p はそれぞれトランスの二次巻き線数と一次巻き線数です。 $V_{IN} = 66V$ および $V_{OUT} = 3.3$ （降圧比は20:1）としてトランスの巻き線比（ N_s/N_p ）を1:10に設定した場合、変調スイッチのデューティ・サイクルは50%にする必要があります。500kHzのスイッチング動作では、50%のデューティ・サイクルはスイッチのオンタイム1 μs に相当します。グラウンド絶縁が不要なアプリケーションでは、降圧型レギュレータ・トポロジーの方が適しています。降圧型トポロジーではトランスが不要なため、ソリューション・コストは低く抑えられます。降圧型レギュレータの変換式は簡単で、 $V_{OUT} = V_{IN} \times D$ です。

次号予告
デジタルIC向け電源

 National
Semiconductor
The Sight & Sound of Information

ダイヤルひとつで、シンプルに電源回路設計

新しいSIMPLE SWITCHER®ファミリは、電源回路設計の多様なニーズに応える性能とフレキシビリティを提供します。



製品名	評価ボード	入力電圧 (V)	出力電圧 (Min)(V)	出力電流 (A)	スイッチング周波数	パッケージ
LM5576	LM5576EVAL	6 ~ 75	1.225	3	50 kHz ~ 500 kHz	TSSOP20-EP
LM25576	LM25576EVAL	6 ~ 42	1.225	3	50 kHz ~ 1 MHz	TSSOP20-EP
LM5575	LM5575EVAL	6 ~ 75	1.225	1.5	50 kHz ~ 500 kHz	TSSOP16-EP
LM25575	LM25575EVAL	6 ~ 42	1.225	1.5	50 kHz ~ 1 MHz	TSSOP16-EP
LM5574	LM5574EVAL	6 ~ 75	1.225	0.5	50 kHz ~ 500 kHz	TSSOP-16
LM25574	LM25574EVAL	6 ~ 42	1.225	0.5	50 kHz ~ 1 MHz	TSSOP-16

WEBENCH®オンライン・シミュレータで回路設計から性能評価までフルサポートしたSIMPLE SWITCHERファミリにエミュレーテッド電流モード(ECM)採用の新製品が登場!

- 高い入力電圧から低電圧へ高効率で変換
- 優れた過渡応答
- 進化したWEBENCHが設計時間の短縮と製品設計の最適化を実現

SIMPLE SWITCHERファミリ新製品のサンプル、データシートはホームページから入手できます。

switcher.national.com/jpn

入力電圧40V以上の降圧型レギュレータ・アプリケーションの設計課題とその解決法

降圧比の高い降圧型レギュレータ・アプリケーションでは、デューティ・サイクルを小さくする必要があります。高い降圧比と高いスイッチング周波数を組み合わせると、変調スイッチのオンタイムが非常に短くなります。スイッチング周波数と降圧比をともに高くすると、PWM（パルス幅変調）コントローラにはかなりの負担になります。スイッチング周波数500kHz、 $V_{IN} = 66V$ 、 $V_{OUT} = 3.3V$ の降圧型レギュレータの場合、100 nsのオンタイムが必要です。

降圧型レギュレータによく用いられている変調制御方式には、電圧モード（VM）、電流モード（CM）、コンスタント・オンタイム（COT）などがあります。電流モード制御は、ループ補償が容易で、ライン・フィードフォワード補償が本来備わっているため、電源設計に好んで使用されます。電圧モード制御は、一般に高いノイズ耐性を持ちますが、過渡応答や安定しやすさの点では電流モードより劣ります。COTは、安定性に関係した問題の大半を解消し、ライン/負荷過渡応答も優れています。ただしCOT方式のレギュレータは一定のスイッチング周波数で動作せず、外付けクロックには同期できません。

Figure 1は、電流モード制御方式を用いた降圧型レギュレータのブロック図です。出力電圧をモニタして、これを基準電圧と比較し、その誤差信号をPWMに送ります。電圧モード制御と電流モード制御では変調ランプ信号の由来が異なります。電流モード制御に用いられる変調ランプは、降圧スイッチ電流に比例した信号です。スイッチのオンタイム時にインダクタ電流が降圧スイッチを流れます。その時のインダクタ電流の波形は正の傾き $(V_{IN} - V_{OUT}) / L$ になります。変調ランプ信号を作るには、降圧スイッチ電流を正確に素早く測定する必要があります。電流モード制御の主な弱点は、降圧スイッチ電流信号の生成に困難が伴うことです。

従来型の電流モード制御は伝搬遅延とノイズ感度の点で問題があるため、非常に小さいオンタイムを必要とする、入力電圧が高く、負荷電流の大きな降圧型レギュレータ・アプリケーションにはほとんど使用できません。降圧スイッチ電流を測定するのは容易ではありません。一般に広く用いられている測定技術は、シャント抵抗または降圧FETスイッチの「オン」抵抗の電圧を測定する方法か、あるいは降圧スイッチにカップリングした電流ミラー回路を使う方法です。いずれの場合も、測定された信号をPWMコンパレータへ送る際にはグラウンド基準に置き換えるレベル・シフトが必要です。うまく設計したとしても、電流センス回路とレベル・シフト回路にかなりの伝搬遅延が加わってしまいます。また、降圧スイッチのターンオン時にフリーホイール・ダイオード（D1）がターンオフする時も厄介です。逆回復電流がダイオードと降圧スイッチを流れて、前縁電流スパイクが発生し、リングング周期が長くなります。このスパイクによってPWMコンパレータが早まってトリップし、誤作動を起こす恐れがあります。最も一般的な解決策は、電流センス信号にフィルタ処理または前縁ブランキング処理を施すことですが、この前縁スパイクをフィルタ処理またはブランキング処理しようとする、降圧スイッチの制御可能な最小オンタイムが増えることになります。

WEBENCH®オンライン設計支援ツールを使って、 SIMPLE SWITCHER®の設計をさらにフレキシブルに

SIMPLE SWITCHER®レギュレータの新製品LM2557x/LM557xは、
おなじみの使いやすさに加えて、新次元の性能とフレキシビリティを提供します。

1. 部品を選択

- 必要な設計条件を入力
- 自動生成されるリストから、最適な部品を選択

2. 設計を最適化する

- 異なる部品を選び、性能、サイズ、コストなどを比較
- 推奨部品を採用するか、またはカスタムBOM
(部品・材料リスト)を作成
- 部品を調整して、動作特性値を検討

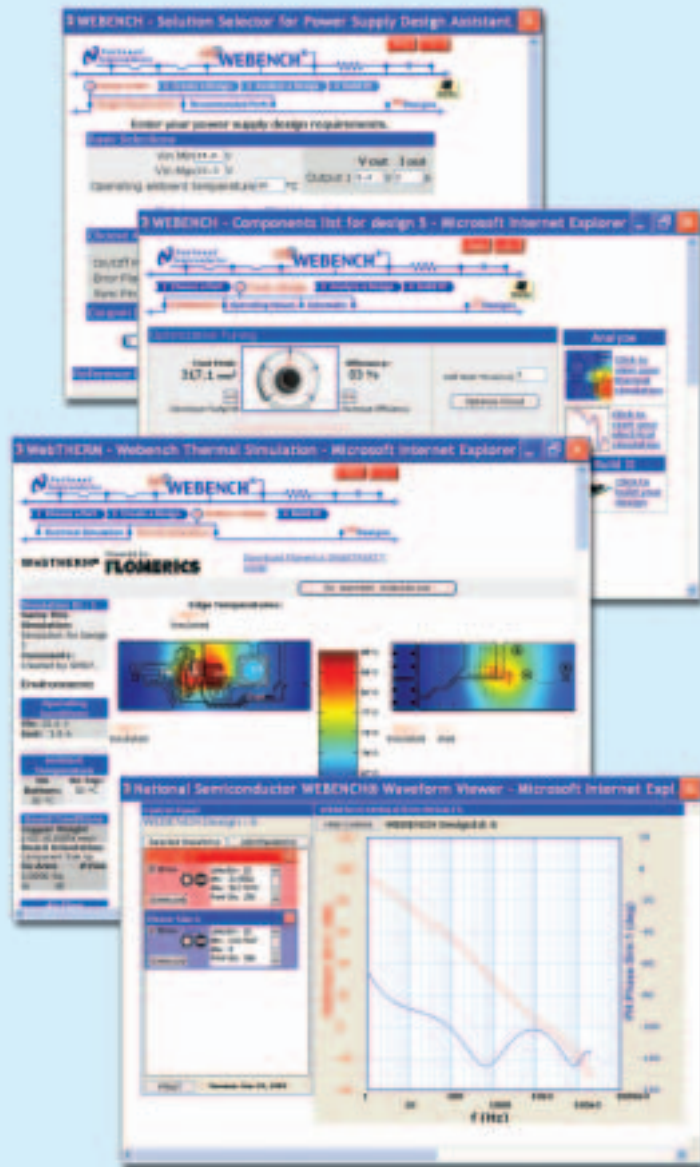
3. 分析する

- 回路のシミュレーションを行い、放熱/電気的特性を評価
- さらに、代案となる回路のシミュレーションを行い、
結果を比較して回路を最適化

4. 製作する

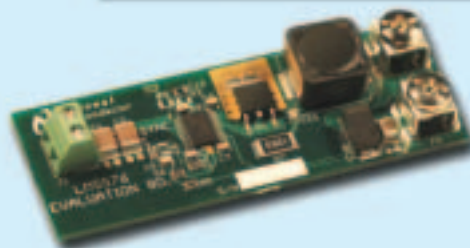
- サンプルを発注し、部品やデモ用ボードを購入
- カスタム・プロトタイプ製作用キットを、短期間で入手
- 自動生成されるCADファイル、組み立てに関する文書、
テスト・インストラクションと、すべての必要な性能特性を
瞬時にダウンロード

回路設計からカスタム・プロトタイプ設計用キット入手までが
わずか数日で完了！



SIMPLE SWITCHERファミリ新製品のサンプル、データシートは
ホームページから入手できます。

switcher.national.com/jpn



入力電圧40V以上の降圧型レギュレータ・アプリケーションの設計課題とその解決法

エミュレートされた電流センス信号の生成

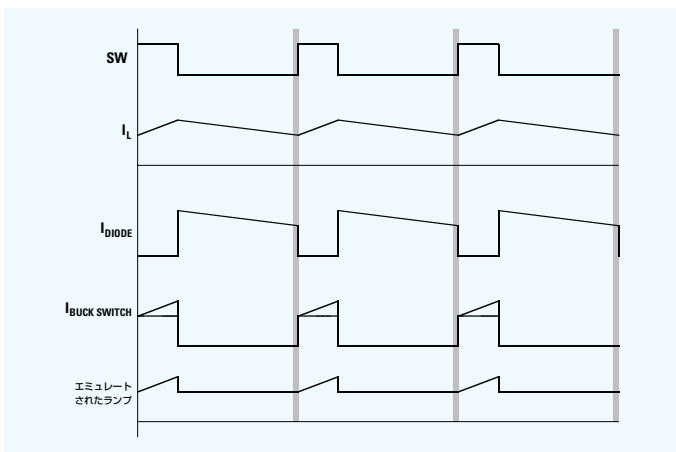


Figure 2. 降圧型レギュレータの波形

降圧スイッチ電流の測定を正確に素早く行わなければならないという問題は、電流測定を行わずに降圧スイッチ電流をエミュレートする新しい方式を用いれば回避できます。Figure 2に示すように、降圧型レギュレータの場合、インダクタ電流は降圧スイッチ電流とフリーホイール・ダイオード電流の和です。降圧スイッチ電流の波形は、ベース部とランプ部の2つの部分に分けられます。ベース部は、スイッチング・サイクルでの最小のインダクタ電流値（すなわち谷）のことです。インダクタ電流は、降圧スイッチのターンオン時にフリーホイール・ダイオードがターンオフする瞬間に最小になります。降圧スイッチとフリーホイール・ダイオードは最小電流値が同じで、これはインダクタ電流が谷の時に発生します。フリーホイール・ダイオード電流のサンプル/ホールド測定（降圧スイッチのターンオン直前でサンプリングする）を行うと、ベース部のレベル情報を取得できます。

降圧スイッチ電流の波形のもう1つの部分が信号のランプ部分です。インダクタ電流は、降圧スイッチがオンの時の入力電圧 (V_{IN}) と出力電圧 (V_{OUT}) の差です。この電圧によって正のランプ電流がインダクタと降圧スイッチを流れます。ランプ電流の傾き

は $di/dt = (V_{IN} - V_{OUT}) / L$ です。これに相当する信号を電圧制御型電流源とコンデンサを使って作れます。電流源 (I_{RAMP}) によって駆動されるコンデンサ (C_{RAMP}) の電圧の上昇する傾きは $dv/dt = I_{RAMP} / C_{RAMP}$ です。電流源を入力電圧と出力電圧の差に比例するよう設定した場合、コンデンサのランプ傾きは $dv/dt = K \times (V_{IN} - V_{OUT}) / C_{RAMP}$ になります。Kは電流源のスケール・ファクタ、 C_{RAMP} はランプ・コンデンサです。 C_{RAMP} の容量を選択して、コンデンサ電圧の傾きをインダクタ電流の傾きに比例させることができます。

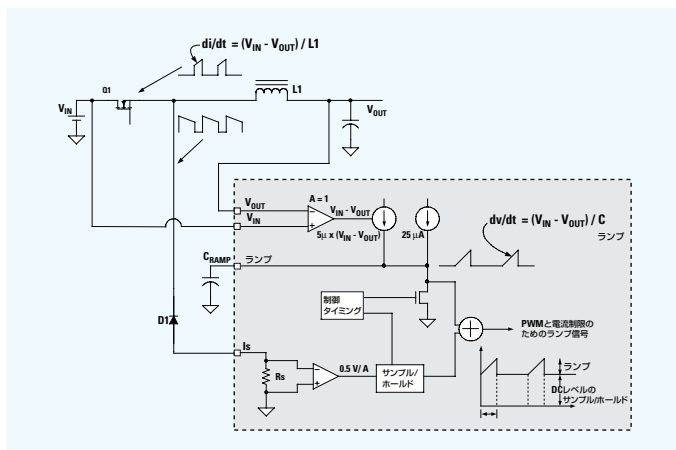


Figure 3. エミュレート電流モード (ECM) 制御方式のランプ・ジェネレータ

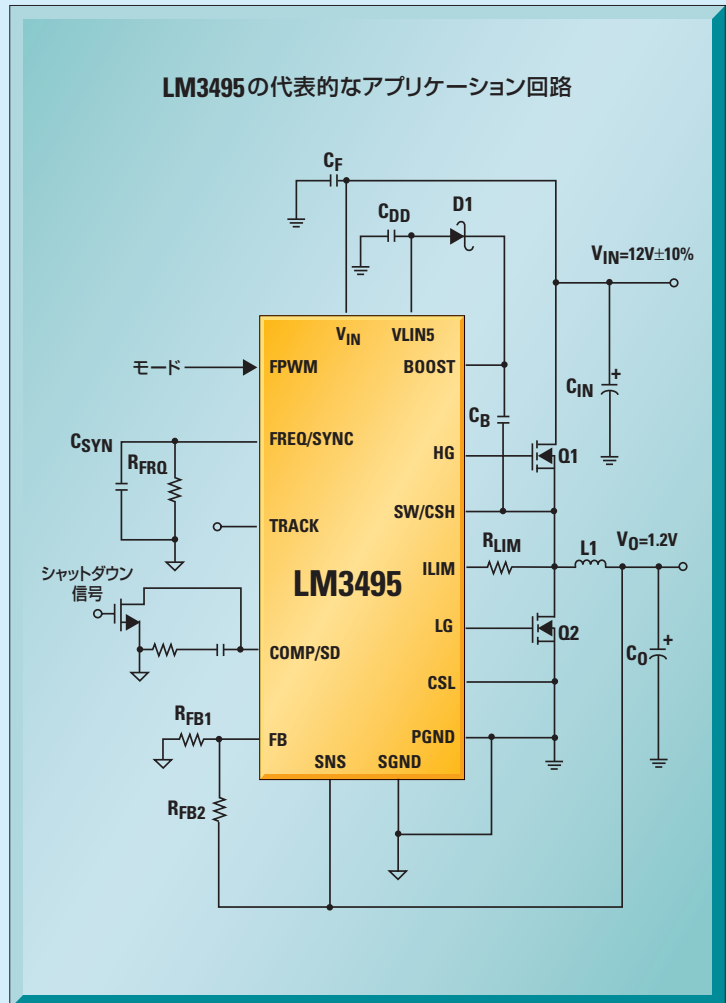
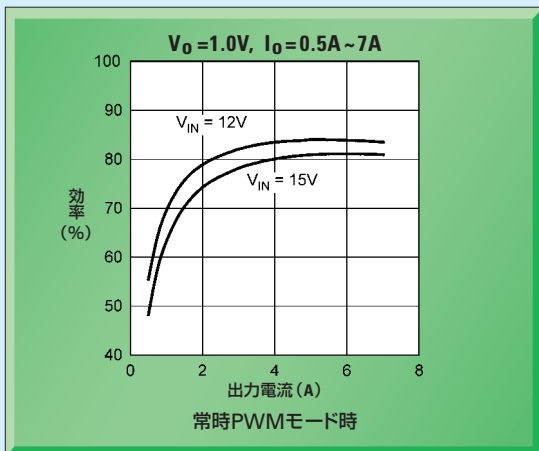
Figure 3は、エミュレート電流モード (ECM) 方式を採用した6つの集積型降圧型レギュレータ新製品の1つであるLM25576のブロック図です。図の上の部分の部分が通常の降圧型レギュレータのパワー・スイッチング回路です。フリーホイール・ダイオードのアノードがコントローラを経てグラウンドに接続されています。ダイオード電流の測定には抵抗値が小さい電流センス抵抗とアンプを用います。降圧スイッチがターンオンする直前にサンプル/ホールド回路が各サイクルを始動させ、エミュレートされた電流センス信号のベース部分が作られます。

最大18Vから1V ±1%の超高精度出力が可能 エミュレーテッド電流モード 降圧型 同期整流コントローラ

LM3495はエミュレーテッド電流モード（ECM）制御の採用により、高い入力電圧範囲から低電圧・大電流が必要なFPGA、ASIC用高効率ポイント・オブ・ロード電源を構成します。

LM3495の特長

- 広い入力電圧範囲：2.9V～18V
- ECMにより高い入力電圧から最低0.6Vの超低電圧を高効率で出力
- ±1%の高精度出力 (@ -20℃～85℃)
- スイッチング周波数：200kHz～1.5MHz（外部抵抗により設定可能）
- 外部クロックによる同期動作も可能
- 低負荷時はPWMモードから間欠発振モードへの移行により高効率を維持（ピン選択により常時PWMモード設定も可能）



低電圧・大電流が必要なFPGA、ASIC用のポイント・オブ・ロード用電源などに最適です。

LM3495の製品サンプル、データシートはホームページから入手できます。

power.national.com/jpn

入力電圧40V以上の降圧型レギュレータ・アプリケーションの設計課題とその解決法

LM25576では、外付けのランプ・コンデンサ (C_{RAMP}) にチャージされる電流を作るため、入力電圧と出力電圧をセンスします。コンデンサ電圧は、降圧スイッチのターンオン時の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時にランプ・コンデンサは放電します。ランプ・コンデンサを正しく動作させるには、出力インダクタの値に比例するよう設定する必要があります。まずは $C_{RAMP} = L \times 10^{-5}$ を選ぶのがよいやり方です。Lの単位はヘンリー (H)、 C_{RAMP} の単位はファラッド (F) です。エミュレートされた降圧スイッチ電流信号を作る作業では、最後のステップとして、ベース部の情報 (これはサンプル/ホールドから取得) をランプ・コンデンサの電圧信号に加算します。こうして、ピーク電流モード制御のような挙動をし、しかも電流センス信号に遅延や過渡効果を生じないコントローラが出来上がります。

50%を越すデューティ・サイクルで動作するアプリケーションでは、ピーク電流モード制御レギュレータの場合、サブハーモニクス発振が起きやすいという問題があります。固定の傾きを持つ電圧ランプ信号 (傾き補償) を電流センス信号に追加すると、このような発振を防げます。ランプ・ジェネレータ回路に関しては、 $25\mu A$ の固定オフセット電流を加えるとコンデンサ電圧ランプ信号に固定傾きが追加されます。デューティ・サイクルが非常に大きいアプリケーションでは、プルアップ抵抗を使って $25\mu A$ 電流源を補完するか、またはランプ・コンデンサ容量を小さくしてランプ傾きを増やすと、サブハーモニクス発振を防げます。

過負荷保護

LM25576は、エミュレートされたピーク電流をサイクルごとに制限する専用の電流制限コンパレータを用いて出力過負荷保護を行います。ECM方式は、降圧スイッチをターンオンする前にインダクタ電流の情報を取得できるのも長所です。電流のベース部が電流制限コンパレータ・スレシールドを超えると、降圧スイッチはサイクルをスキップし、インダクタ電流を下げ、電流暴走状態を防ぎます。

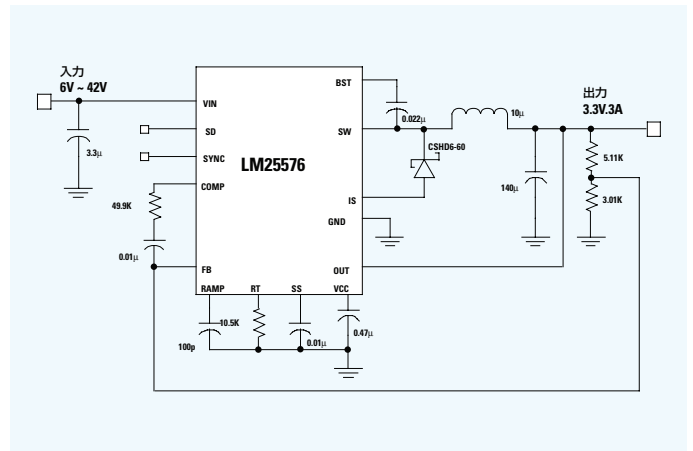


Figure 4. LM25576降圧型レギュレータの回路

電流モード制御には多くの利点があります。ただ、非常に短いオンタイムが必要な降圧型レギュレータ・アプリケーションでは、変調ランプの生成は非常に難しいのが問題です。しかしエミュレートされたランプ信号を使えばこの問題を解決できます。ナショナルが新しく開発したECM方式の新しい集積型レギュレータ・ファミリーをご利用ください。

詳細については、ナショナルのウェブサイト switcher.national.com/jpn をご覧ください。■

電源回路設計ツール

オンライン・セミナー

オンライン・セミナー「エミュレーテッド電流モード (ECM) と新しいSimple Switcherファミリ」をご覧ください。

www.national.com/JPN/onlineseminar



Analog Edge/ アプリケーション・ノート

月刊のAnalog Edgeに掲載されるアプリケーション・ノートをご覧ください。

edge.national.com/jpn



リファレンス・デザイン

ナショナルの電源設計専用のリファレンス・デザイン・ライブラリは、システム設計を迅速化し、製品の市場投入までの期間を短縮する実用的なリファレンス・デザインの総合的なライブラリを提供します。

www.national.com/JPN/Reference_Designs



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

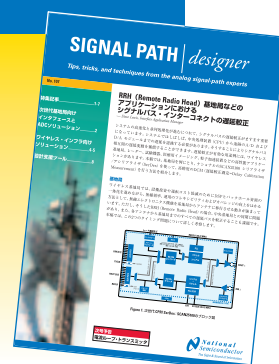
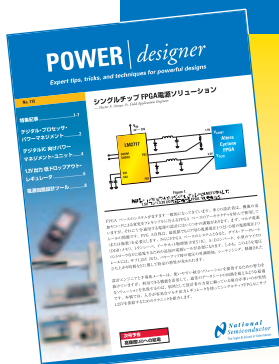
どの号もお見逃しなく！

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



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

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/

©2007, National Semiconductor Corporation. National Semiconductor, , SIMPLE SWITCHER, WEBENCH, and Signal Path Designer are registered trademarks and Analog Edge is a service mark of National Semiconductor. All other brand or product names are trademarks or registered trademarks of their respective holders. All rights reserved.

550263-017-JP

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いません。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