



AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

優れた効率、 高いEMI性能をもたらす Silent Switcher レギュレータ



VISIT ANALOG.COM/JP/POWER

目次

- 4 電源を体系的に理解する -- 優れた技術者はどのように設計を行っているのか
- 13 4スイッチ昇降圧コントローラの基板レイアウト、シングル・ホット・ループでEMIを抑える
- 19 小さなフォーム・ファクタで高い電力密度を
- 28 静止電流2.5 μ A、超低EMI放射、42V、2A/3Aピークの同期整流式降圧レギュレータ

- 11 要注目の記事
 - ▶ 電源設計用の半自動化ツール群、5つの作業ステップの効率を大きく高める
 - ▶ 信号およびデータ処理回路用の超低ノイズ大電流小型DC/DCコンバータ・ソリューション
 - ▶ シグナル・チェーン用の電源システムを最適化する
【Part 1】電源ノイズの許容レベルを把握する
- 26 要注目の製品
 - ▶ LTC3310S: 5V/10Aの同期整流式降圧Silent Switcher 2レギュレータ、パッケージは 3mm $\times$ 3mmのLQFN
 - ▶ LT8652S: 静止電流が16 μ A、デュアルチャンネル、18V/8.5Aの同期整流式降圧Silent Switcherレギュレータ
 - ▶ LTM8060: 40V入力でクワッドチャンネルのSilent Switcher μ Module[®]レギュレータ、構成が可能な3Aの出力アレイを搭載
 - ▶ LT8645S: 静止電流が2.5 μ A、65V/8Aの同期整流式降圧Silent Switcher 2レギュレータ
 - ▶ LT8609: 静止電流が2.5 μ A、42V/3Aの同期整流式降圧レギュレータ
- 32 設計ツールとビデオ
 - ▶ デザイン・ノート: 65V入力/8A出力のモノリシック型降圧レギュレータ、高速な過渡応答と極めて高いEMI性能を実現
 - ▶ ビデオ: モノリシック型のSilent Switcher 2降圧レギュレータ
 - ▶ LTM8060のビデオ: 40V入力、クワッド3A出力のSilent Switcher μ Moduleレギュレータ
 - ▶ LT8336のビデオ: 40V/2.5A、低静止電流の同期整流式昇圧Silent Switcherレギュレータ
 - ▶ LTM8051のビデオ: Silent Switcher μ Moduleレギュレータ

Silent Switcher[®] 2 どのような基板レイアウトでも 放射EMIを低減できる 降圧レギュレータ

LT8652S、LT8653S

- ▶ 基板レイアウトに依存する影響を排除
- ▶ 静止電流が極めて少ないBurst Mode[®]動作により、出力リップル電圧を最小化
- ▶ 各チャンネルから同時に最大8.5Aを出力可能



電源を体系的に理解する—— 優れた技術者はどのように 設計を行っているのか？

著者: Frederik Dostal

概要

本稿では、電源の設計に関する基本的な事柄についてまとめます。その目的は、電源の設計技術の概要を理解し、再認識できるようにすることです。まずは、一般的に使用されている絶縁型／非絶縁型の電源トポロジを取り上げ、それぞれの長所と短所を明らかにします。その上で、フィルタ処理など、EMI(電磁干渉)を抑制するための技術について解説を加えます。

はじめに

一般に、電子システムでは、エネルギー源から供給される電圧と回路の動作に必要な電圧は異なる値になります。そのため、何らかの変換手段によって、回路の動作に必要な電圧を生成しなければなりません。また、電子システムの中には、バッテリーを主電源として使用するものが数多く存在します。その場合、バッテリーを使用し続けていると、その出力電圧が低下していきます。しかし、電圧の変換手段として適切なDC/DCコンバータを適用していれば、バッテリーに蓄積されたエネルギーを使って、より長い時間にわたり多くの回路に電力を供給することができます。

例えば、110VのAC電源から、マイクロコントローラなどのICに直接電力を供給することはできません。そのような場合に使用される電圧コンバータも電源と呼ばれています。あるいは、電源回路と呼ばれることもあるでしょう。ほぼすべての電子システムは、そうした電圧コンバータを必要とします。そのため、電圧コンバータは、長年にわたり各種の用途に適合するように最適化されてきました。最適化にあたっては、ソリューションのサイズ、変換効率、EMIの発生量、コストなどが指標として使われます。

最もシンプルな電源回路はLDOレギュレータ

最もシンプルな電圧コンバータ(電源回路)としては、LDO(低ドロップアウト)レギュレータが挙げられます。LDOレギュレータは、リニア・レギュレータの一種であり、スイッチング・レギュレータとは対照的なものとして扱われています。リニア・レギュレータは、入力電圧と出力電圧の間に、値を調整が可能な抵抗を挿入したものだとして表現することができます(図1)。それにより、入力電圧の変化や、機器に流れる負荷電流の値にかかわらず、一定の電圧を出力します。

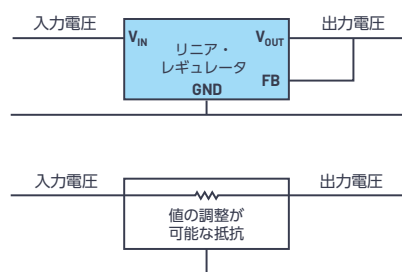


図1. リニア・レギュレータの基本原理。
入力電圧を基に、値の異なる出力電圧を生成します。

リニア・レギュレータは、AC電源に直接接続されることはありません。リニア・レギュレータとAC電源の間には、別の電圧コンバータが配置されます。その電圧コンバータとしては、50Hz/60Hzの送電網に接続されたトランスを使って構成されたものが長年にわたり使用されていました(図2)。この電圧コンバータは、トランスの巻数比に応じ、システムに必要な電圧よりも数V高く、レギュレートされていない出力電圧を生成します。その出力電圧をリニア・レギュレータに入力することにより、電子システムに必要なレギュレートされた電圧が生成されます。

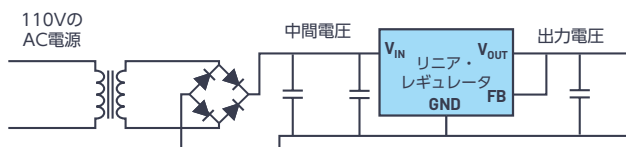


図2. 電源回路の構成。
トランスの後段にリニア・レギュレータを配置します。

図2の構成が抱える問題点は、50Hz/60Hzに対応するトランスの大きさと価格です。また、リニア・レギュレータは非常に多くの熱を生成するので、システム全体の効率が低下することも問題になります。実際、システムの電力が大きい場合には、リニア・レギュレータで発生する熱を排除するのは困難です。

スイッチング・レギュレータによる問題の解決

上述した問題を解決するために考案されたのがスイッチング・レギュレータ（スイッチング電源）です。同レギュレータは、50Hz/60HzのAC電圧には依存しません。AC電圧を整流し、はるかに周波数の高いAC電圧を生成することによって、はるかに小型のトランスを使用できるようにします（DC電圧を直接受け取ることもあります）。非絶縁型のシステムでは、入力電圧をLCフィルタで整流し、DC出力電圧を生成します。この方法の長所は、ソリューションを小型化できることと、コストを比較的安く抑えられることです。出力するAC電圧の波形は、正弦波である必要はありません。シンプルなPWM信号波形でも問題なく機能します。そのような信号は、PWM信号の発生器とスイッチによって容易に生成することができます。

2000年ごろまで、上記のスイッチとしては、バイポーラ・トランジスタが最も一般的に使用されていました。実用に耐えるものではありませんでしたが、スイッチング時の遷移速度が遅いという欠点を抱えていました。そのため、あまり高い電力効率は得られず、スイッチング周波数は50kHz、100kHzといった値に制限されていました。現在では、バイポーラ・トランジスタの代わりに、スイッチング時の遷移がはるかに高速なMOSFETが使われています。それによりスイッチング損失が少なくなり、スイッチング周波数としても最高で5MHzといった値を実現できるようになりました。スイッチング周波数がそのような値であれば、電力段では非常に小さなインダクタとコンデンサを使用することができます。

スイッチング・レギュレータには多くの長所があります。まず、電圧の変換において高い効率が得られます。また、昇圧と降圧のどちらにも対応できます。更に、比較的小型で低コストの設計を実現することが可能です。もちろん、短所も存在します。1つは、設計と最適化がそれほど簡単ではないということです。また、スイッチング時の遷移とスイッチング周波数に依存してEMIが発生することも欠点の1つです。アナログ・デバイセズの場合、レギュレータICだけでなく、LTpowerCAD®やLTspice®といった設計ツールも提供しています。それらを利用すれば、複雑な設計プロセスを大幅に簡素化することが可能です。また、それらのツールをうまく活用すれば、スイッチング電源の設計プロセスを半自動化することもできます。

電源の絶縁

電源を設計する際、最初に考えるべきことは、ガルバニック絶縁が必要なのか否かということです。ガルバニック絶縁を使用する理由はいくつか考えられます。例えば、回路の安全性を高めるため、システムのフローティング動作を実現するため、ノイズの多いグラウンド電流が回路内の様々な電子デバイスに流れることを防ぐため、といった具合です。一般的な絶縁型のトポロジとしては、フライバック・コンバータとフォワード・コンバータの2つが挙げられます。また、より大きな電力を得たい場合には、プッシュプル、ハーフ・ブリッジ、フル・ブリッジといったトポロジも使用されます。絶縁型のトポロジには必ずトランスが必要になります。そのため、電源のサイズが大きくなり、コストが上昇します。要件を厳密に満たす市販品を入手するのが難しく、カスタムの電源を設計しなければならないケースが少なくありません。

非絶縁型のトポロジ

ガルバニック絶縁が不要な場合には、非絶縁型のトポロジを選択することになります。非絶縁型のスイッチング電源で最も一般的に使われるトポロジは、降圧コンバータ（ステップダウン・コンバータ）です。降圧コンバータでは、正の入力電圧を基にそれよりも低い出力電圧を生成します。これは、スイッチング電源の最も基本的な3つのトポロジのうちの1つです。その回路では、主要なコンポーネントとして、2つのスイッチ、1つのインダクタ、2つのコンデンサを使用します（動作の制御を担うコントローラにも使用します）。図3は、このトポロジの基本構造を表したものです。ハイサイドのスイッチは、入力からの電流をパルス化すると共に、入力電圧とグラウンド電圧に交互に切り替わるスイッチング・ノードの電圧を生成します。インダクタとコンデンサで構成されるLCフィルタは、スイッチング・ノードに生じるパルス電圧を受け取り、DC電圧を出力します。ハイサイドのスイッチを制御するPWM信号のデューティ・サイクルに応じ、様々なレベルのDC電圧を出力できます。この種の降圧コンバータでは、非常に高い変換効率が得られます。また、わずかなコンポーネントしか使用しないので、比較的構築しやすいものだと言えます。



図3. 降圧コンバータの基本構造

降圧コンバータでは、入力側の電流をパルス化します。しかし、出力側でインダクタから流れる電流は連続的です。つまり、入力側は非常にノイズが多く、出力側はそれほどノイズがない状態になります。低ノイズのシステムを設計したい場合には、このことを把握しておかなければなりません。

もう1つの基本的なトポロジは、昇圧コンバータ(ステップアップ・コンバータ)です。昇圧コンバータでは、降圧コンバータと同じ5つの基本的なコンポーネントを使用しつつ、異なる配置で回路を構成します。具体的には、図4に示すようにインダクタを入力側に配置し、ハイサイドのスイッチを出力側に配置します。昇圧コンバータは、入力電圧を基にそれより高い出力電圧を得たい場合に使用します。



図4. 昇圧コンバータの基本構造

昇圧コンバータ用のコントローラICを選択する際には、1つ注意すべきことがあります。それは、その種のICのデータシートでは、最大出力電流ではなく、スイッチの最大定格電流が規定されているということです。降圧コンバータの場合、最大スイッチ電流は、入力電圧と出力電圧の比とは関係なく、最大出力電流によって決まります。一方、昇圧コンバータでは、入出力電圧の比が、取りうる最大出力電流に直接影響を及ぼします。その値が、スイッチの最大電流(固定値)を超えないように注意しなければなりません。このような観点からも、昇圧コンバータ用のICを適切に選択するには、所望の出力電流だけでなく、設計で使われる入力電圧と出力電圧を正しく把握しておかなければなりません。

昇圧コンバータでは、入力側のノイズが非常に小さくなります。なぜなら、入力側のインダクタが電流の急激な変化を抑えるからです。但し、出力側ではノイズが多くなります。出力側のスイッチにはパルス電流が流れるので、降圧コンバータと比べてより大きな出力リップルが生じる可能性があります。

3つ目のトポロジは反転昇降圧コンバータです。これも、5つの基本的なコンポーネントによって構成できます(図5)。反転昇降圧コンバータという名称は、正の入力電圧を基に負の出力電圧を生成することに由来しています。入力電圧は、反転出力電圧の絶対値より高くても低くても構いません。特に回路構成を変更することなく、5Vの入力電圧からでも24Vの入力電圧からでも、-12Vの出力電圧を生成するといったことが行えます。



図5. 反転昇降圧コンバータの基本構造

反転昇降圧コンバータでは、スイッチング・ノードとグラウンドの間にインダクタを配置します。入力側にも出力側にも、パルス化された電流が流れます。そのため、入力側、出力側共にノイズが比較的多くなります。低ノイズであることが求められるアプリケーションでは、両側にフィルタを付加します。それにより、この問題を解消します。

反転昇降圧コンバータの長所の1つは、どのような降圧コンバータICでも使用できることです。降圧レギュレータ回路の出力を、単にシステムのグラウンドに接続するだけでよいからです。同回路のグラウンドは、調整された負電圧になります。市販の降圧コンバータICを使用できるので、数多くの選択肢の中から最適なものを選べばよいということになります。

特殊なトポロジ

上述した3つの非絶縁型トポロジの他にも、少し特殊なトポロジがいくつか存在します。但し、それらを使用する場合には、いくつかのコンポーネントを追加しなければなりません。そのため、コストが上昇します。また、高い変換効率も得られません。一部の例外はあるものの、電力パスにコンポーネントを追加すると損失が増加するからです。そうしたトポロジとしては、SEPIC、Zeta、Ćuk、4スイッチ昇降圧などが挙げられます。これらは、3つの基本的なトポロジでは実現できない機能を備えています。以下、各トポロジの最も重要な機能を紹介します。

▶ SEPIC

SEPICコンバータでは、正の入力電圧を基に、それよりも高い出力電圧またはそれよりも低い正の出力電圧を生成することができます。この構成は、昇圧レギュレータICを使用することによって実現できます。SEPICコンバータの欠点は、2つ目のインダクタ(あるいは1つの結合インダクタ)、コンデンサが追加で必要になることです。

▶ Zeta

ZetaコンバータはSEPICに似ていますが、正の出力電圧だけでなく負の出力電圧も生成できます。また、右半面ゼロ(RHPZ: Right Half Plane Zero)がないため、レギュレーション用のループを簡素化することが可能です。このトポロジには、降圧コンバータICを使用することができます。

▶ Ćuk

Ćukコンバータは、正の入力電圧を基に負の出力電圧を生成します。入力側に1つ、出力側にも1つのインダクタを使用するので、入力側と出力側のノイズが非常に小さくなります。欠点は、このトポロジに対応しているスイッチング・レギュレータIC製品があまり多くないことです。その理由は、レギュレーション用のループに負電圧に対応するフィードバック・ピンが必要になるからです。

▶ 4スイッチ昇降圧

4スイッチ昇降圧コンバータは、急速に普及しつつあります。正の入力電圧を基に正の出力電圧を生成するものですが、入力電圧は出力電圧より高くても低くても構いません。しかも、SEPICと比べて変換効率が高く、使用するインダクタも1個です。そのため、SEPICからの移行が進んでいます。

最も一般的な絶縁型トポロジ

アプリケーションによっては、ガバナニク絶縁が適用された電力コンバータが必要になることがあります。その理由については、上でも触れました。すなわち、安全上の懸念がある、様々な回路が相互接続される大規模なシステムにおいてフローティング・グラウンドを設ける必要がある、ノイズの影響を受けやすいアプリケーションでグラウンド電流のループを回避する必要があるといったことです。最も一般的な絶縁型のトポロジとしては、フライバック・コンバータとフォワード・コンバータが挙げられます。図6(上)がフライバック・コンバータ、同(下)がフォワード・コンバータです。

フライバック・コンバータは、通常は電力レベルが60Wまでの用途で使用します。この回路では、スイッチがオンのとき、トランスにエネルギーが蓄積されます。スイッチがオフになると、そのエネルギーが2次側へ放出され、電力が出力されます。このコンバータでは、適切な動作に必要なすべてのエネルギーがトランスに蓄積されます。そのため、容易に構成できるものの、比較的大型のトランスが必要になるという欠点があります。このことが、電力レベルが低いアプリケーションで使われる理由です。

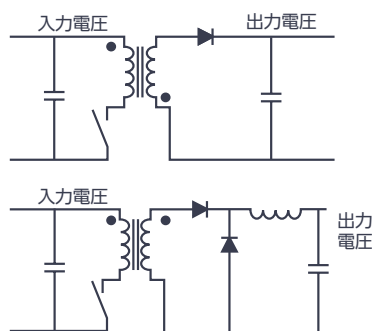


図6. フライバック・コンバータ(上)と
フォワード・コンバータ(下)

フォワード・コンバータもよく使われている絶縁型トポロジです。フォワード・コンバータは、フライバック・コンバータとは異なる方法でトランスを使用します。スイッチがオンになっている際には、1次側の巻線にも2次側の巻線にも電流が流れます。トランスのコアにはエネルギーは蓄積されません。スイッチング・サイクルが終わるたびに、コアの磁気エネルギーを確実に放出してゼロに戻します。そうすることで、スイッチング・サイクルを何回も経てもトランスが飽和しないようにします。コアからのエネルギーの放出は、様々な方法で実現できます。1つは、小さなスイッチとコンデンサを追加したアクティブ・クランプ回路を使用することです。

図7は、LTspice上でシミュレーション用に作成したフォワード・コンバータの回路図です。コントローラICとして「ADP1074」を使用し、アクティブ・クランプ機能を実現しています。図6に示したフライバック・コンバータと比較すると、出力パスにインダクタが追加されていることがわかります。この追加のコンポーネントにより、実装スペースとコストに影響が及びます。しかし、フライバック・コンバータと比べてノイズの少ない出力電圧を生成することができます。また、フライバック・コンバータと同じレベルの電力を供給する場合、フォワード・コンバータに必要なトランスのサイズは、はるかに小さく抑えられる可能性があります。

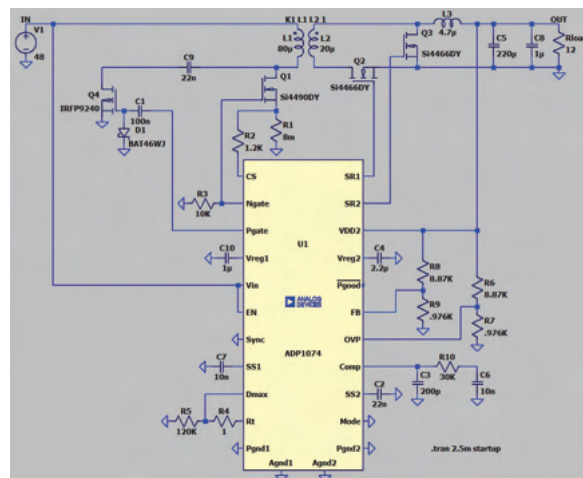


図7. LTspice上で作成したフォワード・コンバータの回路図。
ADP1074を使用して、アクティブ・クランプ機能に対応する
絶縁型の回路を構成しています。

高度な絶縁型トポロジ

フライバック、フォワードの他にも、トランスを使用するガバナニク絶縁型コンバータには、非常に多くのトポロジが存在します。以下、いくつかのトポロジについてごく簡単に説明しておきます。

▶ プッシュプル

プッシュプル・コンバータは、フォワード・コンバータに似ています。但し、1個のローサイドのスイッチではなく、2つのアクティブなローサイドのスイッチを使用します。また、トランスとしてはセンター・タップ付きの1次巻線を備えるものが必要です。プッシュプル・コンバータの長所は、フォワード・コンバータと比べて低ノイズの動作が可能なことと、小型のトランスを使用することも長所の1つです。トランスのBH曲線において、ヒステリシスは第1象限だけでなく第2象限にもまたがります。

▶ ハーフ・ブリッジ／フル・ブリッジ

ハーフ・ブリッジ、フル・ブリッジの2つのトポロジは、通常、数百Wから数kWのレベルの大電力を必要とする場合に使用されます。ローサイドのスイッチに加えてハイサイドのスイッチも必要ですが、比較的小型のトランスを使って非常に多くの電力を伝送することが可能です。

▶ ZVS

ZVS(Zero Voltage Switching)という用語は、大電力の絶縁型コンバータについて説明する文脈でよく使用されます。この種の回路は、LLC(インダクタ-インダクタ-コンデンサ)コンバータとも呼ばれます。そのアーキテクチャは、非常に高い効率を得ることを目的としたものになっています。共振回路を形成し、スイッチに印加される電圧／電流がゼロに近くなったところで、スイッチの切り替えを実施します。それにより、スイッチング損失を最小限に抑えます。ただ、設計の難易度が高いというのが短所の1つです。また、スイッチング周波数が固定値ではないので、EMIの問題が顕在化する可能性があります。

スイッチド・キャパシタ・コンバータ

電力コンバータには、リニア・レギュレータとスイッチング・レギュレータの他にもう1つのカテゴリがあります。それは、スイッチド・キャパシタ・コンバータです。同コンバータはチャージ・ポンプとも呼ばれます。スイッチとコンデンサを組み合わせ、電圧を増幅したり反転したりする機能を実現します。その最大の長所は、インダクタが不要であることです。スイッチド・キャパシタ・コンバータは、供給が必要な電力が5W未満といった条件に合致する用途で使用されてきました。ただ、技術が大きく進化したことによって、最近ではそれよりもはるかに多くの電力を供給可能な製品が提供されています。図8は、コントローラICである「LTC7820」を使用して構成したスイッチド・キャパシタ・コンバータの回路図です。この回路では、48Vの入力電圧を基に24Vの出力電圧を生成します。120Wの電力を供給可能であり、変換効率は98.5%に達します。

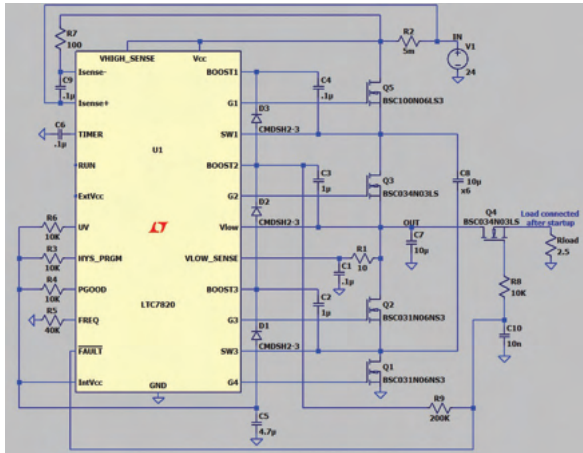


図8. LTC7820を使用して構成したスイッチド・キャパシタ・コンバータ。LTC7820は、固定比率の変換に対応するコントローラICです。これを使えば、大電力を供給可能な回路を実現できます。

デジタル電源

本稿で紹介したトポロジは、すべてアナログ電源としても、デジタル電源としても実装できます。ところで、デジタル電源とは実際にはどのようなものなのでしょうか。デジタル電源も、スイッチ、インダクタ、トランス、コンデンサなどから成るアナログ電力段を必ず備えています。デジタルの要素は、2つのビルディング・ブロックに集約されます。1つは、デジタル・インターフェースです。そのインターフェースは、電子システムと電源の間で会話を実現できるようにする役割を果たします。それにより、様々なパラメータをオンザフライで設定し、様々な動作条件に応じて電源全体を最適化します。また、メインのプロセッサとの通信が行えることから、電源から警告フラグや故障フラグの情報を提供することが可能です。例えば、負荷電流がプリセットされた閾値を超えたり、電源の温度が対応可能な範囲から逸脱したりしないかどうかをシステムで簡単に監視できます。

もう1つのビルディング・ブロックは、レギュレーション用のアナログ・ループを置き換えるデジタル・ループです。この考え方自体には合理性があり、実際、うまく機能します。ただ、その実装としては、ほとんどのアプリケーションにおいて、一部のパラメータに対して何らかのデジタル的な変更を加えられる標準的なアナログ帰還ループが使われます。例えば、エラー・アンプのゲインをオンザフライで調整したり、ループ補償用のパラメータを動的に設定し、安定かつ高速なループを実現したりするといった具合です。純粋なデジタル制御ループを備えた製品の例としては、アナログ・デバイゼズの「ADP1046A」が挙げられます。デジタル機能によって最適化できるアナログ制御ループを備えると共に、デジタル・インターフェースによる制御が可能な降圧レギュレータとしては「LTC3883」があります。

EMIに関する考察

スイッチング電源を設計する際には、常にEMIに注意を払わなければなりません。スイッチング電源では、非常に短い時間でスイッチをオン/オフし、大きな電流の流れを切り替えることになるからです。スイッチング速度を高めれば、システム全体の効率が向上します。また、スイッチング時の遷移が高速になれば、スイッチがオンになりかけている時間が短くなります。ほとんどのスイッチング損失は、その期間中に発生します。図9は、スイッチング・ノードにおける電圧波形を表しています。降圧コンバータの場合、ハイサイドのスイッチに電流が流れることによって高い電圧に達し、ハイサイドのスイッチに電流が流れなくなることによって低い電圧に達します。

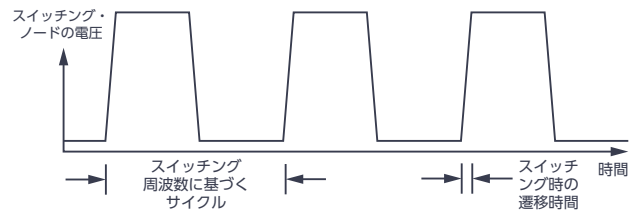


図9. スwitchingのサイクルと遷移時間

図9を見ると、スイッチング電源において、ノイズは、制御されたスイッチング周波数によって発生するだけでなく、周波数ははるかに高いスイッチング時の遷移によっても発生することがわかります。通常、スイッチング動作は500kHz～3MHzの周波数で行われます。

しかし、遷移時間はわずか数ナノ秒しかない可能性があります。仮に遷移時間が1ナノ秒であるとしましょう。その場合、周波数軸で見ると、1GHzの位置に大きなスペクトルが現れることになります。この1GHzの周波数とスイッチング周波数は、放射性エミッションと伝導性エミッションの形でシステムの内外に影響を及ぼします。なお、レギュレーション用のループの発振や電源とフィルタの相互作用によって、その他の周波数成分が生じることもあります。

EMIを低減しなければならない理由は2つあります。1つは、電源から電力の供給を受ける電子システムの機能を保護する必要があるということです。例えば、システムの信号パスに分解能が16ビットのA/Dコンバータ(ADC)が使用されているとしましょう。そのADCが、電源からのスイッチング・ノイズの影響を受けるのは避けなければなりません。もう1つの理由は、周囲に存在する様々な電子システムの機能も保護する必要があるということです。そのような保護を実現するために、世界中の国／地域では、様々なEMI規格が定められています。それらの国／地域でシステムを運用するためには、それぞれのEMI規格を満たさなければなりません。

EMIには、放射性のEMIと伝導性のEMIがあります。放射性的のEMIを低減する最も効果的な方法は、プリント基板のレイアウトを最適化することです。あるいは、アナログ・デバイセズのSilent Switcher[®]のような技術を活用してもよいでしょう。例えば、シールドを施した金属の箱の中に回路を入れれば、EMIは抑制できます。しかし、この方法はおそらく現実的／実用的ではないでしょう。しかも、ほとんどの場合、非常に大きなコストがかかることになります。

一方、伝導性のEMIは、通常はフィルタを追加することによって減衰させます。そこで、次節ではフィルタについて説明することにしましょう。

フィルタの適用

RCフィルタは、最も基本的なローパス・フィルタだと言えます。しかし、スイッチング電源の場合、基本設計のレベルでは必ずLCフィルタが使用されます。多くの場合、入力部、出力部に何らかのインダクタンスを直列に追加するだけで十分です。そうすれば、入力コンデンサ／出力コンデンサとの組み合わせによって、LCフィルタ(あるいはCLCフィルタ)が形成されるからです。フィルタとしてコンデンサだけを使用するケースもありますが、電源のケーブルやプリント基板のパターンに存在する寄生インダクタンスを考慮すると、実際にはLCフィルタが形成されていることになります。インダクタとしては、コアを備えるインダクタを使用しても構いませんし、フェライト・ビーズを使用しても構いません。

LCフィルタの目的は、DC電力を通過させ、高周波の外乱を大幅に減衰させることです。つまり、ローパス・フィルタとして機能させます。LCフィルタには極が2つあるので、高い周波数領域において40dB/decの減衰が得られます。フィルタのドロップオフは比較的急峻ですが、その設計は特に難しくはありません。但し、プリント基板のパターンのインダクタンスなど、回路の寄生要素から影響を受けることには注意が必要です。例えば、フィルタのモデリングを行う場合にも、主な寄生要素を盛り込んでおく必要があります。その結果、フィルタのシミュレーションに非常に長い時間がかかることがあります。フィルタの設計経験を持つ設計者の多くは、どのフィルタがどのように役立ったのか把握しています。そのため、新たなシステムの設計に向けて、特定のフィルタを繰り返し最適化して使用することも行われます。

フィルタを設計する際には、ボーデ線図によって伝達関数を確認する場合のように、小信号に対する挙動について考慮する必要があります。ただ、それだけでなく、大信号の影響にも注意を払わなければなりません。どのようなLCフィルタを使用する場合でも、電力はインダクタを通過します。急激な負荷トランジェントが発生し、その電力を出力する必要がなくなった場合にはどうなるでしょうか。インダクタに蓄積されたエネルギーは、どこかに放出しなければならないはずで、そこで、まずはそのエネルギーによってフィルタのコンデンサが充電されることになります。フィルタが最も厳しい条件に対応できるように設計されていない場合には、蓄積された電力によって電圧のオーバーシュートが発生する可能性があります。その結果、回路が損傷してしまうかもしれません。

フィルタには、特定のインピーダンスが存在します。そのインピーダンスは、フィルタの接続先となる電力コンバータのインピーダンスと相互に作用します。それによって、動作が不安定になったり発振が生じたりする可能性があります。こうした問題に対処するためには、アナログ・デバイセズのLTspiceやLTpowerCADといったシミュレーション・ツールを利用するとよいでしょう。これらのツールは、問題が生じないようにフィルタを設計する上で大いに役に立ちます。

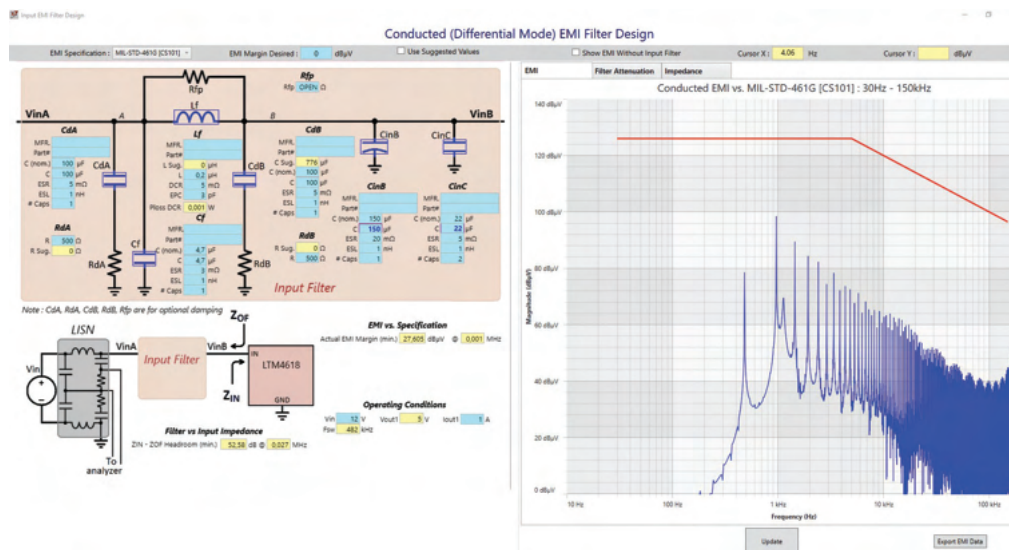


図10. LTpowerCADのフィルタ設計ツール。
降圧レギュレータ用の入力フィルタを設計している様子を示しました。

図10に、LTpowerCADが備えるフィルタ設計ツールの操作画面を示しました。このツールを使えば、フィルタの設計が非常に容易になります。

Silent Switcher

放射性エミッションを低減するのは容易ではありません。多くの場合、何らかの金属材料を使用した特別なシールドが必要になるでしょう。そうすると、大きなコストが発生してしまうかもしれません。スイッチング電源から発生する放射性エミッションを低減する方法は、長い間模索されてきました。アナログ・デバイセズがこの問題の解決に向けて開発したのがSilent Switcher技術です。同技術は、電源の設計に大きなブレイクスルーをもたらしました。Silent Switcherでは、スイッチング電源のホット・ループにおける寄生インダクタンスを低減しつつ、ホット・ループを2つに分割して対称に配置することで、放射性エミッションを相殺します。現在では、同技術を採用した数多くの製品が提供されています。それらの製品では、従来の製品と比べて放射性エミッションがはるかに小さく抑えられています。放射性エミッションを低減すれば、EMIをそれほど増加させることなく、スイッチング時の遷移速度を高めることが可能です。そうすればスイッチング損失が減少するので、スイッチング周波数をはるかに高く設定することができます。このようなイノベーションを果たした製品の一例としては、[LTC3310S]が挙げられます。この製品は、5MHzのスイッチング周波数で動作します。そのため、非常に低コストの外付け部品を使って、極めてコンパクトな設計を実現することができます(図11)。

パワー・マネージメントは必要不可欠

本稿では、電源回路に適用される様々なトポロジを紹介し、それぞれの長所と短所を明らかにしました。併せて、様々な側面から電源の設計について解説を加えました。電源の設計経験を持つ技術者にとって、本稿で示した事柄は非常に基本的な情報であったかもしれませんが、そうした方にとっても、LTpowerCADやLTspiceといったツールは非常に役に立

つはずです。もちろん、経験の浅い方にとっても、両ツールは非常に心強い存在になります。実際、両ツールを活用すれば、非常に短い時間で電力コンバータを設計し、最適化を図ることができます。本稿が、電源の設計を楽しむためのきっかけになれば幸いです。

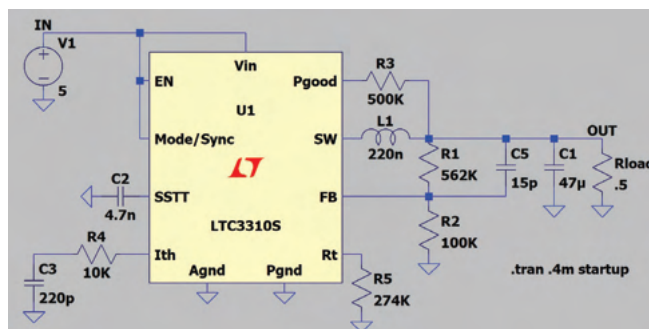


図11. LTC3310Sを使用して構成したスイッチング・レギュレータ。
同ICはSilent Switcherを採用しているので、
放射性エミッションを最小限に抑えることができます。

著者について

Frederik Dostalは、アナログ・デバイセズのパワー・マネージメント・グループ (ミュンヘン) に所属するフィールド・アプリケーション・エンジニアです。2009年に入社しました。ドイツのエアランゲン・ニュルンベルク大学でマイクロエレクトロニクスについて学び、2001年からパワー・マネージメント分野の業務に携わっています。アリゾナ州フェニックスで4年間にわたってスイッチング電源を担当。それ以外にも、多様なアプリケーション分野の業務に従事してきました。

電源設計用の半自動化ツール群、5つの作業ステップの効率を大きく高める

「標準的なアプリケーション」というものは存在しません。どのようなアプリケーションでも電源の設計は必須であり、その作業は常に複雑なものになります。そのため、電源の設計の全自動化はいまだ実現されていません。しかし、包括的な半自動設計ツールであれば既に利用できます。本稿では、電源の設計プロセスを5つのステップとして示します。その上で、各ステップではどのような半自動設計ツールを利用できるのか詳しく説明します。そうしたツールは、電源設計の初心者にも熟練者にも大きな価値をもたらします。

[今すぐダウンロード](#)



信号およびデータ処理回路用の超低ノイズ大電流 小型DC/DCコンバータ・ソリューション

フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ (FPGA)、システム・オン・チップ (SoC)、マイクロプロセッサといったデータ処理ICは、電気通信、ネットワーク、工業、オートモーティブ、アビオニクス、防衛などのシステム分野において、絶え間なくその適用範囲を広げています。これらのシステムに共通する側面の1つが、増大し続ける処理電力で、それに応じて電源の条件も厳しくなっていきます。設計者は、高出力プロセッサに関わる熱管理の問題には十分な注意を払いますが、電源の熱管理に関する問題の考慮が不十分になりがちです。トランジスタが詰め込まれたプロセッサ自体とは異なり、低コア電圧で大電流が必要とされる場合は、最も厳しい条件における熱の問題を避けることはできません。これは、すべてのデータ処理システム向け電源に共通する傾向です。

[今すぐダウンロード](#)



シグナル・チェーン用の電源システムを最適化する 【Part 1】電源ノイズの許容レベルを把握する

通信分野から産業分野まで、あらゆるアプリケーションでは、収集、伝送、保存されるデータの量が激増しています。第5世代の移動通信システム (5G) は、その最たる例だと言えるでしょう。このような背景から、アナログ信号の処理を担うデバイスにも、より高い性能が求められるようになっていきます。なかには、データ・レートに換算してGPSのレベルの速度が要求されるケースもあります。実際、イノベーションは決して減速することはありません。次世代のエレクトロニクス・ソリューションには、更なる小型化と電力効率の向上が求められるはずで、加えて、ノイズについても、より高い性能が要求されることになるでしょう。

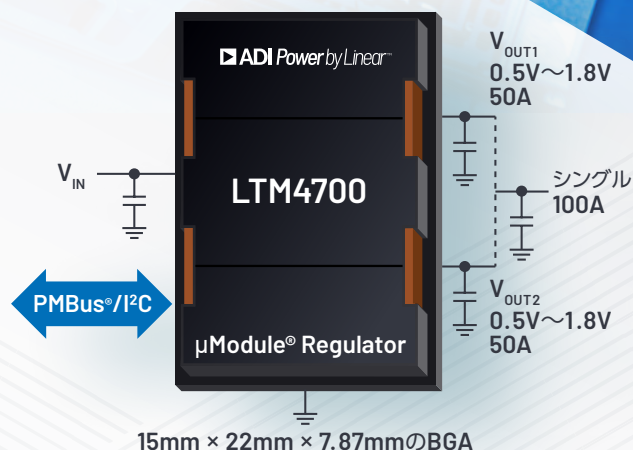
[今すぐダウンロード](#)



効率が90%、
出力が100A~400Aの
 μ Moduleレギュレータ
上面、4側面、底面から冷却

LTM4700

- ▶ 100Aのシングル出力/50Aのデュアル出力に対応する μ Module[®]レギュレータ
- ▶ 出力は最大400Aまで拡張可能
(評価用ボードは「DC2784A-C」)
- ▶ $12V_{IN}$ を $1V_{OUT}$ に変換
 - 出力が100Aの場合の効率は90%
 - 温度上昇は47℃
(200LFMのエアフロー、25℃の周囲温度)



ご購入はこちら analog.com/jp/LTM4700

4スイッチ昇降圧コントローラの 基板レイアウト、シングル・ホット・ ループでEMIを抑える

著者: Yonghwan Cho,
Keith Szolusha

車載向けシステムで使用される電源回路は、厳しいEMI(電磁干渉)規格を満たす必要があります。放送用の周波数帯やモバイル・サービス用の周波数帯との干渉を避けなければならないからです。Silent Switcher®/Silent Switcher 2を適用したDC/DCコンバータICを採用すれば、そうした規格を満たすのが容易になります。但し、どのような製品を選択した場合でも、プリント基板のレイアウトは慎重に行わなければなりません。本稿では、4つのスイッチを使用する昇降圧コントローラ(以下、4スイッチのコントローラ)のレイアウト手法を紹介します。2つの具体的な実装例を示し、EMIチャンバを使ってそれらを評価した結果を示します。

4スイッチのコントローラは、昇圧機能と降圧機能を1つのICに統合したものです。入力電圧が出力電圧よりも高い場合には、降圧コンバータとして機能します。入力電圧が出力電圧よりも低ければ、昇圧コンバータとして動作します。入力電圧と出力電圧が同等である場合には、4つのスイッチが同時にスイッチングする可能性があります。

アナログ・デバイセズは、カリフォルニア州サンタクララにEMIチャンバを保有しています。パワー製品を担当する筆者らのチームは、レイアウトの異なるプリント基板を2つ用意し、そのEMIチャンバを使って評価を実施しました。2つのレイアウトのうち1つは、当社独自のデュアル・ホット・ループ(以下、DHL)のレイアウトです。その有効性を確認することが本稿の目的の1つです。もう一方は、新たに考案したシングル・ホット・ループ(以下、SHL)のレイアウトです。この手法を適用すれば、更にEMIを低減することができるはずです。これについて確認することも、目的の1つです。

DHLのレイアウトでは、EMIを抑制するために、ホット・ループのセラミック・コンデンサをパワーMOSFETの周囲に対称的に配置します。当社が考案した位置(インダクタの横とホット・ループの外側)に検出抵抗を配置すれば、ホット・ループの面積を非常に小さく抑えられます。そうすれば、ホット・ループがアンテナとして機能してノイズが放散されるのを防ぐことができます。このような対称性を実現しつつ、スイッチング・ノードを近くのインダクタに接続するにはビアが必要です。しかし、それによってホット・ループの面積が大きくなってしまう可能性があります。筆者らのチームは、CISPR 25に準拠するEMIチャンバを使用し、スイッチング・ノードの露出と面積の大きいホット・ループが、望ましくない伝導性エミッション(CE: Conducted Emissions)の発生につながることを確認しました。この傾向は、エミッションを減衰させるのが最も難しい30MHzよりも上の帯域(FMの周波数帯)で特に顕著でした。

もう1つのレイアウトでは、パワーMOSFETとホット・ループのコンデンサを再配置します。それにより、ホット・ループの面積を更に小さく抑えます。DHLとの対比で、このレイアウトをSHLと呼んでいます。SHLでは、スイッチング損失を低減できます。また、ホット・ループの面積とスイッチング・ノードの露出の最小化によって、30MHzよりも上の帯域のCEを減衰させることが可能です。筆者らは、同じコントローラICとパワー部品を使用し、DHL、SHLの各レイアウト手法を適用したボードのエミッションを比較しました。このような手法により、それぞれのレイアウトの有効性を検証するということです。4スイッチのコントローラとしては[LT8392]を採用しました。同ICの評価用ボード[DC2626A]には、複数のバージョンがあります。ここでは2つのバージョン(rev.2とrev.3)を使用して、EMIチャンバ内で評価を実施しました。

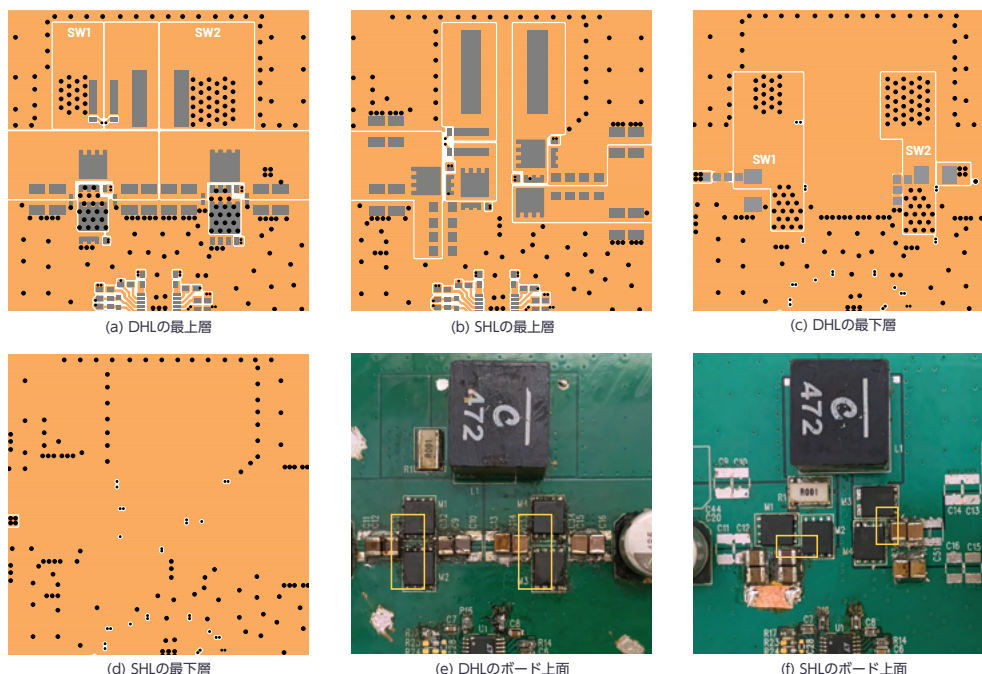


図1. DHL、SHLのレイアウトとボード

レイアウトの比較

図1に、DHLとSHLの基板レイアウトと組み立て後のボードを示しました。各基板は、最上層(レイヤ1)、レイヤ2、レイヤ3、最下層(レイヤ4)の4層で構成されています。図1には、最上層と最下層のみを示しました。図1(a)に示すように、DHLのレイアウトでは、ホット・ループのコンデンサを中央のMOSFETの左右に配置しています。つまり、左右に全く同じホット・ループが形成されます。スイッチング・ノードSW1、SW2のビアは、最下層(図1(c))とレイヤ3を介して、各ノードをメインのパワー・インダクタに接続するために使用されます。SW1、SW2の銅のノード(最上層)は、インダクタとMOSFETの熱を放散するために面積の大きい領域としてレイアウトされています。但し、広い範囲に露出したSW1、SW2の銅のノードは、エミッションの放射源にもなります。このボードをシャーシ・グラウンドの近くに取り付けると、シャーシとスイッチング・ノードの銅の間に寄生容量が形成されます。それにより、周波数の高いノイズがスイッチング・ノードからシャーシ・グラウンドに伝わり、システム内の他の回路に影響を及ぼします。CISPR 25に準拠するEMIチャンパで言えば、高周波のノイズがEMIの測定装置とLISN(Line Impedance Stabilization Network)のグラウンド・テーブルに伝わることになります。露出したスイッチング・ノードは、アンテナとして機能するので、放射性エミッション(RE: Radiated Emission)も生じます。

一方、SHLの最下層には(図1(d))、スイッチング・ノードの銅の露出はありません。図1(b)に示すように、最上層ではホット・ループのコンデンサがMOSFETの片側だけに配置されます。また、ビアを使用することなく、スイッチング・ノードをインダクタに接続することができます。

SHLのレイアウトでは、上下のMOSFETが整列していません。ホット・ループの面積を最小限に抑えるために、一方を90°回転させて配置しています。図1(e)、同(f)の黄色の枠で囲まれた部分が、それぞれDHLとSHLのレイアウトにおけるホット・ループです。SHLのホット・ループのサイズは、DHLのホット・ループの半分程度になっていることがわかります。

図1(a)を見ると、DHLでは0402サイズのコンデンサがホット・ループで2個使われています。それに対し、SHLではホット・ループのコンデンサとして1210サイズのものをMOSFETのすぐ

近くに配置しています。それにより、ホット・ループの面積が最小化されていることに注目してください。

DHLのボードでは、0402サイズのコンデンサのパッドの近くにハンダ・マスクが設けられています。一方、SHLのボードでは、1210サイズのコンデンサの接続性を高めるためにハンダ・マスクが剥がされています。インダクタのパッドの近くに設けられたハンダ・マスクも、同じインダクタをSHLのボードで使用するために除去されています。ホット・ループが小さいほど、ループのトータルのインダクタンスは小さくなります。そのため、LCによるスイッチング・ノードのリンギングとスイッチング電流が抑えられ、スイッチング損失も減少します。また、ループを小さく抑えれば、CEに影響を及ぼすREが低減し、30MHzより上の帯域におけるCEも低下します。

アナログ・デバイスが提供する4スイッチのコントローラは、制御機構としてピーク降圧／ピーク昇圧の電流モードを備えています。この独自技術により、ホット・ループの最小化が可能になっています。電流検出抵抗は、メインのインダクタに直列に接続します。一方、競合他社のコントローラ製品は、制御機構としてバレー降圧／ピーク昇圧の電流モードを採用しています。その場合、電流検出抵抗は下側のMOSFETのソースとグラウンドの間に配置する必要があります。図2に示したのは、競合他社品で推奨されているレイアウトです。

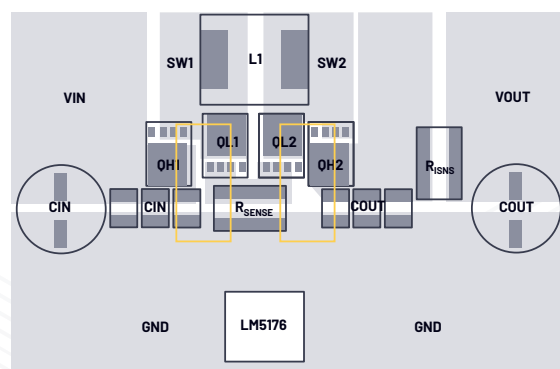


図2. 競合他社品([LM5176])で推奨されているレイアウト

黄色の枠で示したホット・ループの面積は、DHLやSHLのホット・ループよりも大きくなっています。また、電流検出抵抗の寄生インダクタンスにより、ホット・ループのトータルのインダクタンスが増加することになります。

EMI性能の比較

図3に、DHLとSHLのEMI性能を評価した結果を示しました。この評価は、CISPR 25に準拠するEMIチャンバを使用して実施しました。

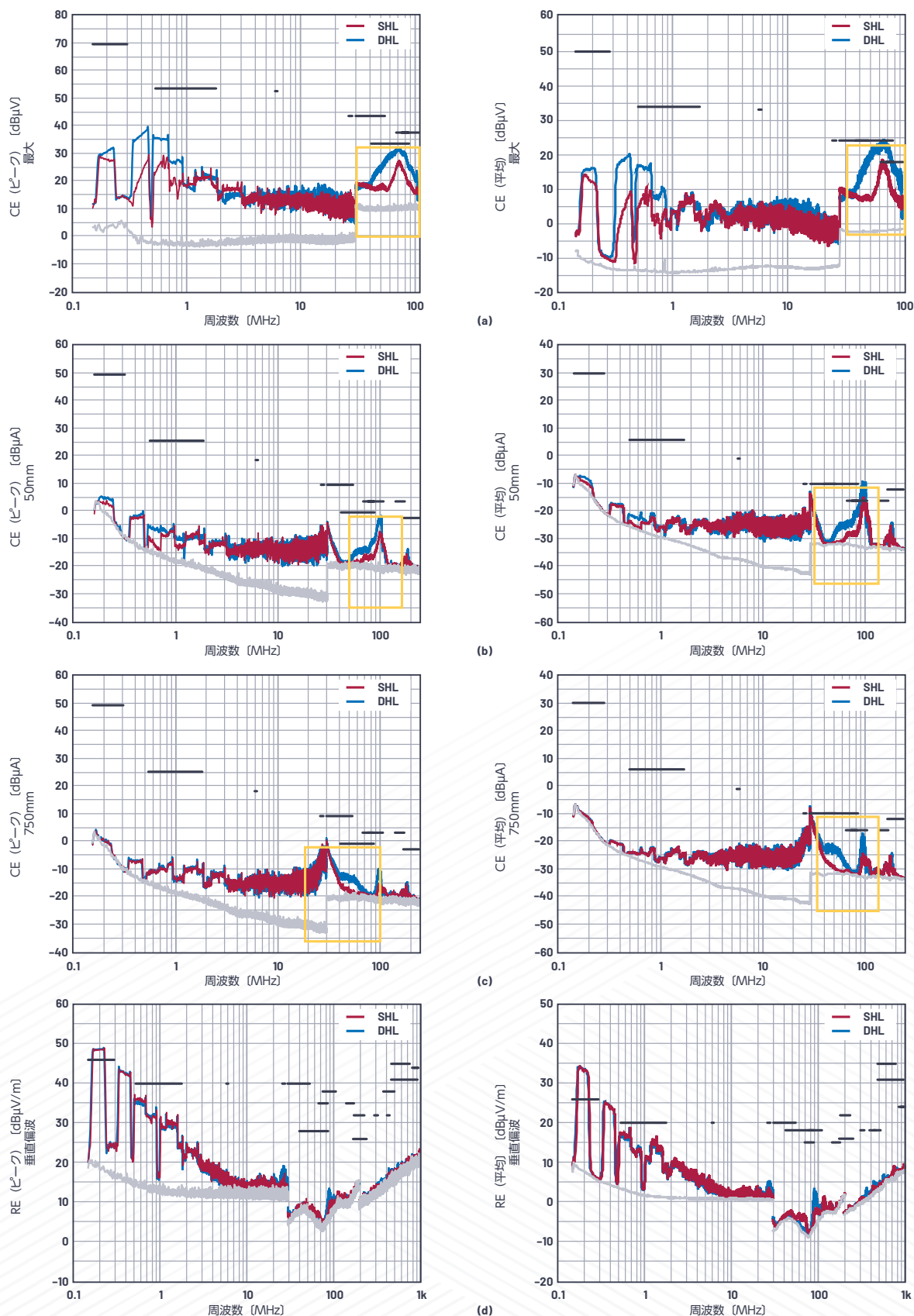


図3. DHLとSHLにおけるEMIの評価結果(エミッションのピーク値と平均値)。
(a)は電圧法によるCEの測定結果、(b)は電流プローブ法によるCEの測定結果(距離は50mm)、
(c)も電流プローブ法によるCEの測定結果(距離は750mm)、(d)は垂直偏波のREの測定結果です。

図3には、CISPR 25のクラス5で定められた上限値も示してあります。容易に比較できるように、DHLの結果は青色、SHLの結果は赤色でプロットしています。灰色のプロットは、評価環境のノイズ・フロアを測定した結果です。

ここでは、小さなホット・ループの有効性を示すために、DHLの最下層に露出したスイッチング・ノードを銅テープによってシールドしました(図4)。このシールドを施さなければ、DHLのエミッションは図3に示した結果よりもはるかに大きくなります。なお、評価の対象となる電源回路は、入力を13V、出力を12V/8Aに設定し、4スイッチのスイッチング・モードで動作させました。

図3(a)は、電圧法によってCEのピーク値と平均値を測定した結果です。DHLと比較すると、SHLでは30MHz以上の帯域でCEが5dBμVほど低く抑えられています。また、ピーク値と平均値のいずれも、CISPR 25のクラス5で定められた規格を満たしています。一方、DHLの平均値については、黄色の枠で示したように、FM帯とVHF帯(68MHz~約108MHz)において規格値を上回っています。

こうした周波数範囲でエミッションを5dBμV低減するというのは、非常に難しいことです。SHLは、30MHzという減衰が最も困難な周波数領域で有効に機能します。それだけでなく、AM周波数帯(0.53MHz~約1.8MHz)を含む低い周波数帯(2MHz未満)でもエミッションを低く抑えられます。エミッションは小さいに越したことはありません。特にCEは、電気的に接続されたシステム全体に影響を及ぼします。したがって、CEは小さければ小さいほどよいと言えます。

CISPR 25のクラス5では、もう1つの測定方法として電流プローブ法を定めています。電圧法では、コモンモードと差動モードの両方が混合したCEを測定します。それに対し、電流プローブ法では、被測定デバイスから50mmまたは750mm離れた位置でコモンモードのCEを測定します。図3(b)、同(c)は、電流プローブ法によってDHLとSHLのCEを測定した結果です。黄色い枠で示したように、30MHzよりも高い帯域、特にFM周波数帯において、SHLの方がCEを抑えられることがわかります。電圧法でCEを測定した場合とは異なり、AM周波数帯付近の低周波領域では、DHLに対するSHLの優位性はほとんどありません。

図3(d)は、REの評価結果です。ご覧のように、DHLでもSHLでもほぼ同じような結果になります。ただ、DHLでは90MHzの辺りにスパイクが生じています。その部分だけ、SHLと比べてREが5dBμV/mlほど大きくなっています。

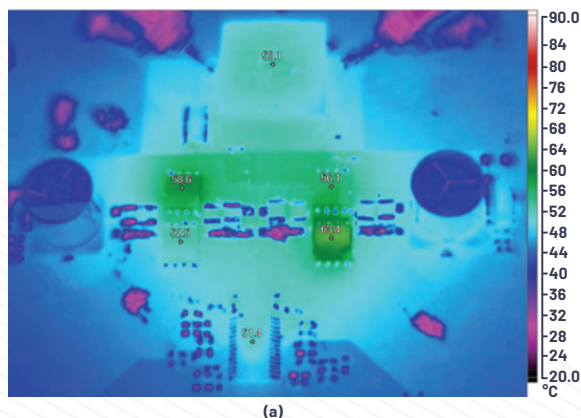


図4. DHLの最下層のスイッチング・ノード。SW1とSW2にシールドを施しています。

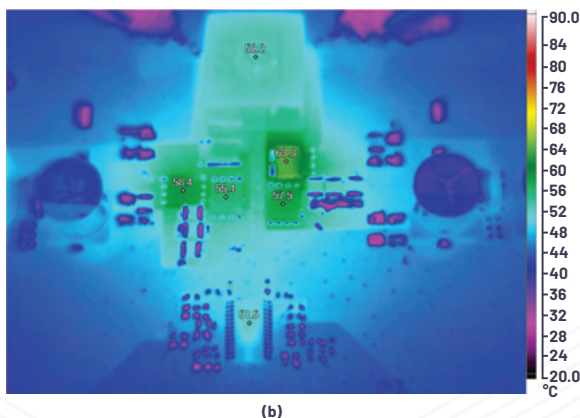
熱の比較

図5に示したのは、DHLとSHLの熱画像です。入力電圧は9.4V、SSFM(Spread Spectrum Frequency Modulation)機能はオンという条件で取得しました。9.4Vというのは、4スイッチで動作する最小電圧です。2スイッチの純粋な昇圧モードに切り替わり、出力電圧が12Vになる直前の電圧に相当します。これは、最も厳しい評価条件であると言えます。

DHLで最も高温になるコンポーネントは、昇圧側の下側のMOSFETです。SHLでも温度はほぼ同等でした。SHLの場合、最下層に、熱を放散できるスイッチング・ノードのビアや銅は存在しません。しかし、ホット・ループが小さいので、スイッチング損失はDHLよりも少なく抑えられます。また、スイッチング・ノードでビアを使用しないことから、MOSFETのドレインのパッドとスイッチング・ノードの銅の接触領域がDHLよりも大きくなります。そのため、最上層における熱の放散性能は高くなります。



(a)



(b)

図5. 各ボードの熱画像。
(a)がDHLのボード、(b)がSHLのボードです。

まとめ

本稿で示した評価結果から、4スイッチのコントローラにはSHLのレイアウト手法が最適であることがわかりました。このレイアウト手法は、大出力に対応する新たな昇降圧コントローラ向けのものとして推奨されます。スイッチング・ノードの露出とホット・ループの面積が最小化されているので、熱の問題を引き起こすことなく、CEとREの両方を大幅に低減することができます。特に、減衰させるのが最も困難な30MHzより上の帯域でもCEを抑制することが可能です。アナログ・デバイセズは、4スイッチのコントローラとして、「LT8390/LT8390A」、「LT8391/LT8391A」、「LT8392」、「LT8393」、「LT8253」などの製品を提供しています。これらの製品は、制御機能としてピーク降圧／ピーク昇圧の電流モードという独自技術を採用しています。この機能により、競合他社の製品と比べてホット・ループの面積をはるかに小さく抑えられます。すなわち、この制御機能は効率の向上とEMIの低減に貢献します。そのため、アナログ・デバイセズの4スイッチの昇降圧コントローラは、車載アプリケーションをはじめとするEMIに敏感なアプリケーションに最適です。

著者について

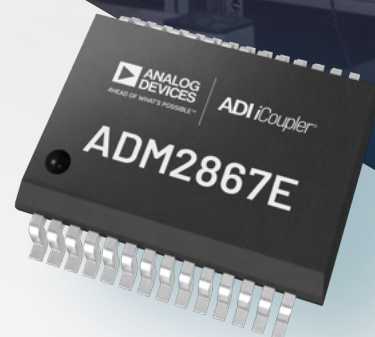
Yonghwan Chohは、アナログ・デバイセズ(米カリフォルニア州サンタクララ)のシニア・アプリケーション・エンジニアです。車載用途に適した4スイッチの昇降圧レギュレータやLEDドライバなど、DC/DCスイッチング・レギュレータ製品を担当しています。2017年にノースカロライナ州立大学で電気工学の博士号を取得しています。

Keith Szolushaは、アナログ・デバイセズ(米カリフォルニア州サンタクララ)のアプリケーション・ディレクターです。2000年からBBIパワー製品グループに所属し、主に昇圧型、昇降圧型のDC/DCコンバータ製品やLEDドライバ製品を担当。また、電源製品向けEMIチャンバの管理も担っています。マサチューセッツ工科大学で1997年に電気工学の学士号、1998年に同修士号を取得。テクニカル・ライティングの集中コースも修了しています。

電源絶縁型の RS-485トランシーバー 設計時間の短縮

ADM2867E

- ▶ EMCの要件に適合可能な放射エミッション
- ▶ 簡素な基板レイアウト、フォーム・ファクタが小さいSOIC
- ▶ 内蔵スマート機能により、最終システムの導入とデバッグにかかる時間を短縮



小さなフォーム・ファクタで 高い電力密度を

著者: Steve Knoth

背景

GPU(グラフィックス・プロセッシング・ユニット)やFPGA(フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ)など、電力密度が高く先進的なICがより広く使われるようになってきました。より低い電源電圧で動作するものの、高速かつ高度な処理を行うため、大量の電流を消費するデジタルICに対する需要が高まっているのです。具体的には、多くの機能が求められる以下のような分野で使用されるケースが増えています。

- ▶ 自動車
- ▶ 医療
- ▶ テレコム
- ▶ データコム
- ▶ 産業
- ▶ 通信
- ▶ ゲーム
- ▶ 民生用オーディオ/ビデオ

これだけ多様な市場に普及しているわけですから、低電圧/大電流のデジタルICに対する需要が世界中で爆発的に増加していることも意外ではないでしょう。実際、この種のICの市場規模は、現時点で18億米ドル(約1960億円)以上と見込まれています。また、2018年から2025年の間には、年間10.87%のペースで成長を遂げ、37億米ドル(約4035億円)の規模に達すると予想されています。この市場で大きなシェアを占める製品の1つがFPGAです。その市場規模は、2025年末までに15億3000万米ドル(約1670億円)に達すると見込まれています。FPGA以外に、デジタルIC市場の製品としては、GPU、マイクロコントローラ、マイクロプロセッサ、PLD(プログラマブル・ロジック・デバイス)、DSP(デジタル・シグナル・プロセッサ)、ASIC(特定用途向けIC)が挙げられます。

電力密度の高いデジタルICは、ほぼすべての組み込みシステ

ムに浸透しています。特にFPGAは、上に挙げた分野における最先端のアプリケーションに使用される傾向があります。例えば、自動車の分野では、人的ミスによる大惨事を防止するためのADAS(先進運転支援システム)や衝突回避システムで使われています。同様に、ABS(アンチロック・ブレーキ・システム)、横滑り防止システム、電子制御型のインディペンデント・サスペンション・システムなど、行政機関が搭載を義務付ける安全機能もFPGAを使って実現されています。

民生用エレクトロニクスの分野では、IoT(Internet of Things)、洗練されたグラフィックス・エンジン、M2M(Machine-to-Machine)などに対応する機能の必要性が高まっています。それらを実現するためにも高度なデジタルICが使用されます。また、大規模なデータ・ストレージ、クラウド・コンピューティング・センター、光ネットワーク・モジュールから成る広大なネットワークなども、FPGAなどに対するニーズを喚起しています。

上述したようなデジタルICは、システムを構築する上で強力な武器になります。その一方で、ある意味、予測が不可能な側面を持つので注意が必要です。その代表的な例が電力に関する要件です。従来、FPGAやASICの給電には、大電力に対応するMOSFETを駆動できる高効率のスイッチング・コントローラIC(スイッチング・レギュレータを構成するDC/DCコントローラ)が使われていました。しかし、そうしたコントローラをベースとする電源には、ノイズの問題が潜んでいます。また、過渡応答が比較的遅く、プリント回路基板のレイアウトに制約があるといった問題もあります。そこで、デジタルICの給電には、小型かつ低ノイズで、発熱を最小限に抑えられるLDO(低ドロップアウト)レギュレータが使用されるようになりました。ただ、LDOレギュレータにも固有の制約があります。このような背景から、電力変換のイノベーションとして新たなソリューションが採用されるようになりました。それが大電力に対応可能なモノリシック型のスイッチング・レギュレータICです。そうした製品であれば、低ノイズ、高効率であることに加え、最小限の実装面積でデジタルICに対して効率的に給電を実施することができます。

スイッチング・レギュレータ vs. チャージ・ポンプ vs. LDOレギュレータ

低電圧／高電流の降圧レギュレーションは、様々な方法で実現できます。ただ、それぞれに性能と設計の面でトレードオフが存在します。スイッチング・レギュレータ用のコントローラICを使えば、広い電圧範囲にわたり多くの負荷電流に対して高い効率を得ることができます。但し、インダクタ、コンデンサ、FETといった複数の外付け部品が必要になります。また、高い周波数のノイズ源、あるいは低い周波数のノイズ源になる可能性もあります。インダクタを必要としないチャージ・ポンプ(スイッチド・キャパシタ方式の電圧コンバータ)も、低電圧の生成に使用できます。但し、出力電流の面で制約があることに加え、過渡応答性能が低く、複数の外付け部品が必要になります。そのため、チャージ・ポンプはデジタルICの給電にはあまり使用されません。リニア・レギュレータ(特にLDOレギュレータ)は、2個の外付けコンデンサを付加するだけで動作するという点でシンプルです。しかし、入出力間の電位差、負荷に流すべき電流量、パッケージの熱抵抗によって電力が制限されることがあります。その結果、デジタルICへの給電能力にも制約が生じることになります。

モノリシック型降圧コンバータが抱えていた課題

ムーアの法則の先見性と正当性は、1965年に提唱されて以来、実証され続けています。ICの製造プロセスは、より微細なゲート長や配線幅を実現する方向で進化を続けており、デジタルICの動作電圧も継続的に低下しています。プロセスの微細化が進むと、ICにはより多くの機能をより高い密度で集積できるようになります。その一方で、電力は大量に消費されるようになります。例えば、最新のコンピュータ・サーバや光通信ルーティング・システムでは、より多くのデータとトラフィックを処理するために、より広い帯域幅が必要になります。そうしたシステムは大量の熱を発生するので、非常に効率の良いレギュレータが必要になります。また、自動車には、エンターテインメント、ナビゲーション、自動運転、エンジンの制御などを目的として、より多くのエレクトロニクスが搭載されるようになりました。その結果、システムに必要な総電力とそれに伴う消費電流が増加します。したがって、レギュレータには、かつてないほどの電力を供給しつつ熱を効率良く発散するために、最先端のパッケージと内部回路の革新的な設計が求められます。

レギュレータに求められる重要な要素としては、電源電圧変動除去比(PSRR)と出力電圧ノイズが挙げられます。PSRRが高いレギュレータであれば、入力部でノイズを除去し、クリーンで安定した出力を生成することができます。また、広い帯域幅にわたり、出力電圧ノイズ(または出力リップル)が小さく抑えられていることも重要です。一般的なデジタル・システムでは、複数種の電源電圧が使用され、ノイズに対する感度が設計時の主要な検討項目になります。例えば、ハイエンドのFPGAに対する速度の要求が高まるなか、ビット・エラーを最小限に抑えるためには、電源ノイズをより小さく抑えなければなりません。高速なPLDにおいてノイズに起因する障害が発生すると、データの実質的なスループットが著しく低下します。多くの電流を流している際の入力電源ノイズは、電源に課せられる非常に厳しい仕様の1つです。

FPGAなどでは、トランシーバーの速度が高いほど、回路のスイッチングに伴う消費電力(電流)が多くなります。その種の高速ICの場合、数十ナノ秒から数百ナノ秒の間に負荷電流がほぼゼロから数Aまで増加することがあります。したがって、過渡応答が非常に高速なレギュレータが必要になります。

加えて、レギュレータに許される実装面積は、絶えず縮小しています。多くのシステム設計者は、電源に使用する部品のサイズとソリューション全体のサイズを縮小するために、高いスイッチング周波数で動作するモノリシック型のスイッチング・レギュレータを採用するようになりました。但し、その種のレギュレータは、周波数が高くなるとスイッチング損失によって効率が低下するという問題を抱えています。新世代のモノリシック型スイッチング・レギュレータでは、この問題が解消されています。そうした製品では、ハイサイドとローサイドの内蔵スイッチが同期動作を行うので、スイッチのゲート電圧を厳密に制御することが可能です。それにより、デッドタイムを大きく削減し、高いスイッチング周波数でも高い効率を得られるようになっています。

大電流に対応するモノリシック型のスイッチング・レギュレータは、いくつかの課題を抱えています。その1つは、ICの電力損失に伴う熱をどうやって発散するかということです。この課題は、次のような方法で解決できます。すなわち、複数の電源ピンとグラウンド・ピンに加えて、ICから基板に熱を容易に伝導できる銅ピラーを備え、熱特性が強化されたラミネート・パッケージを採用することです。それらの電源ピンに基板上の大きな銅プレーンを接続することにより、更に均等に熱を拡散することができます。

Silent Switcherを適用した 新たな降圧コンバータ・ファミリ

高性能のデジタルICへの給電に使用する降圧コンバータは、以下のような特徴を備えている必要があります。

- ▶ 外付け部品のサイズを最小限に抑えるための高いスイッチング周波数
- ▶ 高い周波数における効率を最大化するためのゼロ・デッドタイム設計
- ▶ ソリューションのサイズを縮小するためのモノリシック型パワー・デバイス(COB[Chip on Board]デバイス)
- ▶ 多くの出力電流を供給しつつ、リップルを低減するための並列動作を可能にするマルチフェーズ機能
- ▶ システムにおけるノイズの要件を満たすための高いEMI(電磁干渉)性能
- ▶ 効率を高め、電力損失を最小限に抑えるための同期動作
- ▶ 設計、品質評価、テストを容易化するための簡素な設計
- ▶ 出力リップルが非常に小さい
- ▶ 高速な過渡応答
- ▶ 広い入出力電圧範囲
- ▶ 大電流を供給できる
- ▶ 優れた熱性能
- ▶ 実装面積が小さい

上記の特徴を兼ね備えるモノリシック型降圧レギュレータとしては、アナログ・デバイス社のPower by LinearTM製品[LTC33xxファミリ]が挙げられます。同ファミリには、出力電流の異なる多くの製品が用意されています。最も多くの出力電流に対応できるのは[LTC3310S]です。5Vの入力、10Aの出力に対応する同期整流方式の製品であり、高い電力密度と優れたEMI性能を特徴とします。Silent Switcher[®](サイレント・スイッチャ) 2 技術が適用されており、9mm²のパッケージを採用しています(電力密度は1.11A/mm²)。

固定周波数／ピーク電流モードのアーキテクチャを採用しており、高速過渡応答を必要とするアプリケーションに最適です。LTC3310Sには、ホット・ループ用のバイパス・コンデンサを内蔵するSilent Switcher 2技術が適用されているので、5MHzの最高スイッチング周波数でも優れたEMI性能を発揮することができます。この製品を使用すれば、効率がよく実装面積の小さいソリューションを実現可能です。また、同製品を最大4個並列に接続してマルチフェーズ動作させれば、最大40Aという大電流を供給できます。

LTC3310Sの入力電圧範囲は2.25V～5.5Vなので、ほとんどの中間バス電圧を含む広範なアプリケーションに対応できます。オン抵抗の小さい内蔵MOSFETは、最小限の熱ディレーティングで最大10Aの連続負荷電流に対応可能です。出力電圧範囲も0.5V～ V_{IN} （入力電圧）と広いため、低電圧で動作し、大電流を必要とするDSP/FPGA/GPU/ASIC向けのPOL (Point of Load) コンバータとして最適です。主なアプリケーションとし

ては、光ネットワーク、テレコム／データコム、車載システム、分散電源アーキテクチャのほか、電力密度が中～高程度の任意のシステムが挙げられます。図1に示したのは、同ICを使用した簡素かつ標準的な設計の例です。図2は、40A出力の4相回路を簡単に構成できることを示すものです。

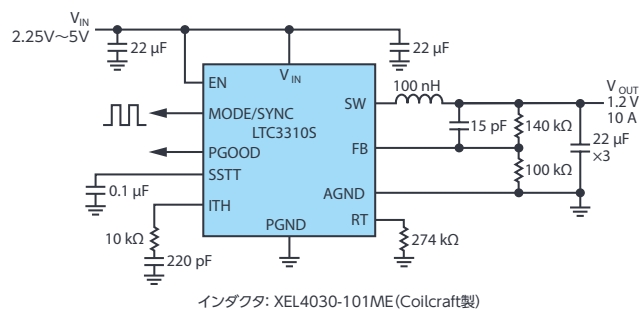


図1. LTC3310Sの標準的なアプリケーション回路

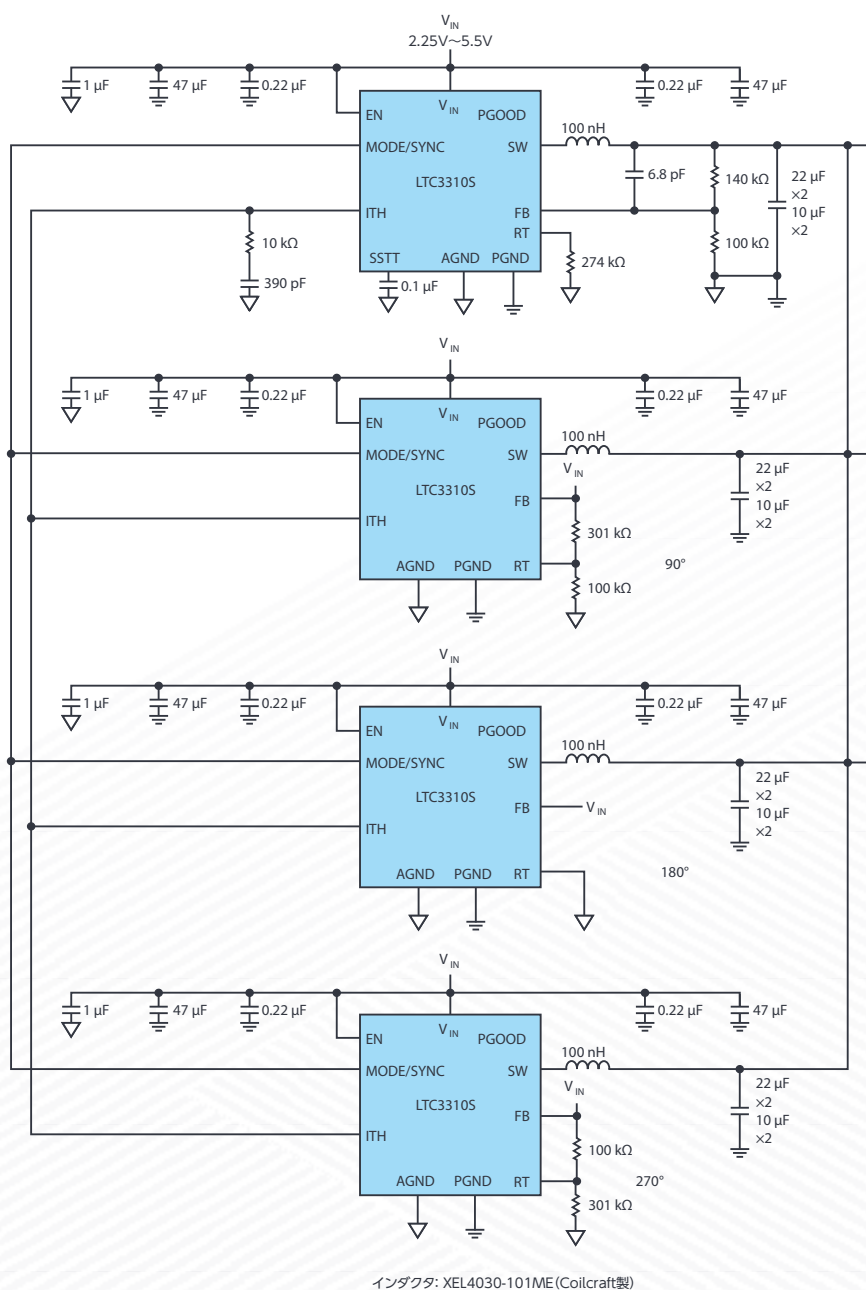


図2. 40A出力の降圧レギュレータ。
LTC3310Sを4個並列に接続して4相回路を構成しています。

LTC3310Sの最小オン時間はわずか35ナノ秒なので、高いスイッチング周波数、高い降圧比を実現できます。100%のデューティ・サイクルでも動作可能であり、入力電圧と出力電圧の値が近い低ドロップアウトの構成にも対応できます。また、動作クロックは外部クロックと同期をとることが可能です。リファレンス電圧のトータルの精度は、-40℃～125℃の動作ジャンクション温度範囲で±1%未満です。その他の特徴としては、以下のようなものがあります。

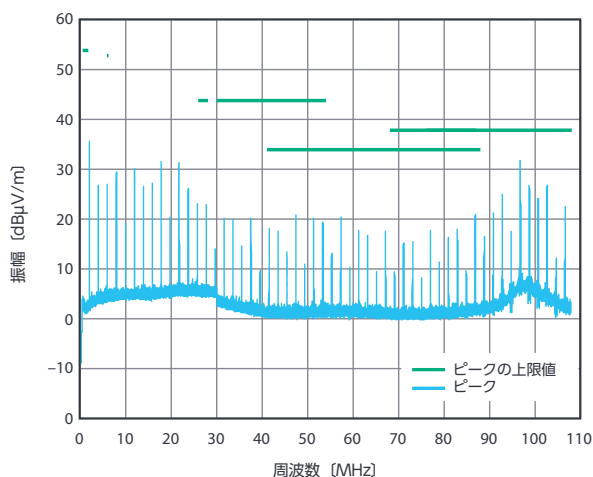
- ▶ 出力がレギュレートされていることを表すパワーグッド信号を出力
- ▶ イネーブル用の閾値の精度が高い
- ▶ 出力過電圧保護
- ▶ サーマル・シャットダウン
- ▶ ダイの温度監視
- ▶ プログラマブルなソフトスタート機能
- ▶ トラッキング機能
- ▶ クロックの同期が可能
- ▶ モードの選択が可能
- ▶ 出力短絡保護

LTC3310Sは、熱特性が強化された3mm×3mm×0.94mmの18ピンLQFNパッケージで供給されています。Eグレード品とIグレード品は、-40℃～125℃の動作ジャンクション温度範囲で仕様が規定されています。Jグレード品とHグレード品は、-40℃～150℃の動作ジャンクション温度範囲で仕様が規定されています。

高い効率、優れたEMI性能、高速な過渡応答

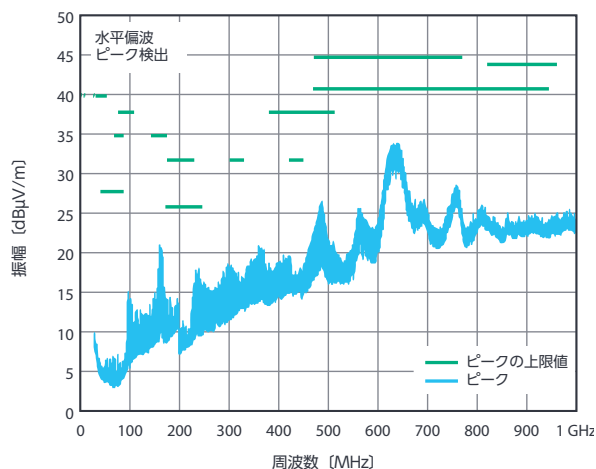
Silent Switcherを採用した降圧レギュレータは、高いスイッチング周波数(2MHz以上)における良好な効率と、非常に優れたEMI性能を実現します。そのため、コンパクトで低ノイズの降圧ソリューションとして活用できます。Silent Switcherファミリの製品には、特別な設計技術とパッケージング技術が適用されています。その結果、2MHzのスイッチング周波数で92%を超える効率を得ることができます。しかも、EMI性能としては、CISPR 25のクラス5で定められたピークの上限値を軽々とクリアします。第2世代の技術であるSilent Switcher 2では、パッケージ内部においてボンディング・ワイヤの代わりに銅ピラーを使用します。また、バイパス・コンデンサとグラウンド・プレーンも製品内部に追加されます。そのため、EMI性能がさらに改善されます。EMI性能がプリント基板のレイアウトに左右されないの、性能低下のリスクを抑えつつ、設計を簡素化することが可能です。

LTC3310Sの品番末尾の「S」は、Silent Switcher 2を採用していることを表しています。同製品は V_{IN} ピン用のセラミック・コンデンサを内蔵しています。これには、すべての高速AC電流ループを小さく抑えて、EMI性能を高める効果があります。また、この技術は、高いスイッチング周波数で高い効率を実現するためのスイッチング・エッジの高速化を実現します。その結果として、図3、4、5に示すような高いEMI性能が得られます。加えて、高速かつクリーンでオーバーシュートの小さいスイッチング・エッジが得られるので、高いスイッチング周波数における効率が大幅に向上します(図6)。



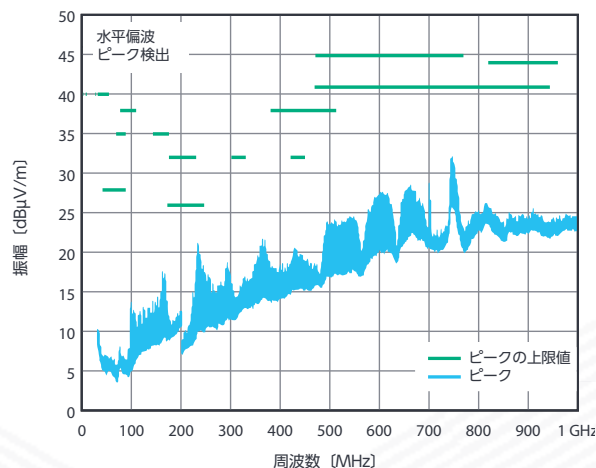
デモ用ボード「DC2629A」を使用
(EMIフィルタを搭載)
3.3Vの入力、1.2V/7.5Aの出力、2MHzのスイッチング周波数

図3. LTC3310SのEMI性能。CISPR 25のクラス5で定められた伝導性EMIの上限値(電圧方式)と試験結果を示しました。



デモ用ボード「DC2629A」を使用
(EMIフィルタを搭載)
3.3Vの入力、1.2V/7.5Aの出力、2MHzのスイッチング周波数

図4. LTC3310Sの放射性EMI性能(水平偏波)



デモ用ボード「DC2629A」を使用
(EMIフィルタを搭載)
3.3Vの入力、1.2V/7.5Aの出力、2MHzのスイッチング周波数

図5. LTC3310Sの放射性EMI性能(垂直偏波)

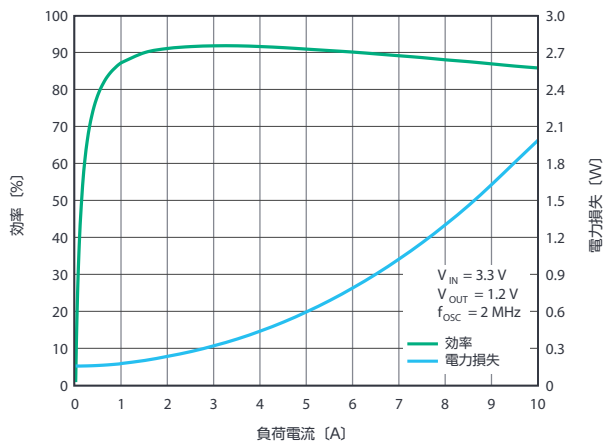


図6. LTC3310Sの効率

LTC3310Sは、固定周波数／ピーク電流モードのアーキテクチャを採用しています。そのため、同ICの補償は容易で、過渡的なステップに素早く応答できます。補償用の外付け部品により、最大の帯域幅と最速の過渡応答が得られるよう制御ループを最適化することが可能です。

2mm×2mmで6A/4A/3A出力の降圧レギュレータ

電力密度の向上に対応するためには、第1世代のSilent Switcher製品も適切なソリューションとなります。Silent Switcherのトポロジは、Silent Switcher 2と似ています。ただ、Silent Switcher 2では、 V_{IN} ピン用のバイパス・コンデンサがカプセル化されたプラスチック製のフリップチップ型ラミネート・パッケージの中に収容されます。それに対し、Silent Switcher製品では、 V_{IN} ピン用のバイパス・コンデンサは外付けします。具体的には、EMIを低減するために外付けのバイパス・コンデンサを分割してパッケージ外部に対称的に配置します。それにより、実質的なホット・ループの面積が最小限に抑えられ、EMIの低減とパッケージ・サイズの縮小が同時に実現されます。

「LTC3309A」、「LTC3308A」、「LTC3307A」は、高い電力密度に対応でき、優れたEMI性能が得られる5V入力モノリシック型降圧レギュレータです。同期整流式を採用しており、それぞれ6A、4A、3Aの電流を出力できます。いずれも、スイッチング周波数は最高3MHzで、実装面積が4mm²のパッケージで提供されます。LTC3309Aの電力密度は1.5A/mm²です。

図7に示したのは、LTC3309Aの標準的なアプリケーション回路です。同製品は、高速過渡応答の実現に最適な固定周波数／ピーク電流モードのアーキテクチャを採用しています。図8に、Burst Mode[®]で動作している場合の過渡応答を示しました。Silent Switcherのアーキテクチャでは、ホット・ループを構成するバイパス・コンデンサを外付けします。この構成により、高いスイッチング周波数で優れたEMI性能を発揮する、高効率でコンパクトなソリューションを実現できます。

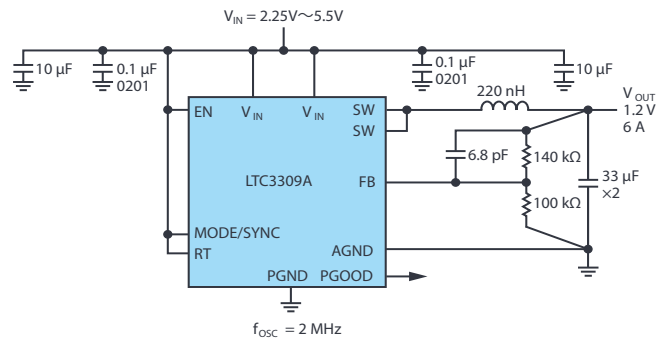
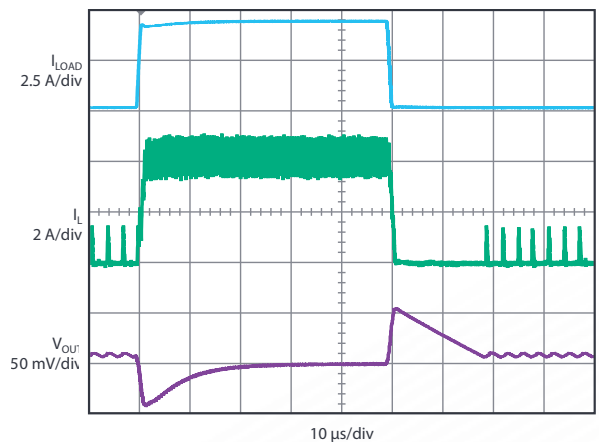


図7. LTC3309Aの標準的なアプリケーション回路



3.3Vの入力、1.2Vの出力、2MHzのスイッチング周波数で動作する標準的なアプリケーション
C_{OUT}: 66µF、L: 220nH
ステップ状の負荷: 1マイクロ秒で0.1A~4.5A

図8. LTC3309Aの過渡応答。
Burst Modeで動作させた場合の例です。

この製品ファミリの入力電圧範囲は2.25V~5.5Vです。そのため、ほとんどの中間バス電圧を含む広範なアプリケーションに対応できます。加えて、リチウムやニッケルをベースとするバッテリーにも対応することが可能です。オン抵抗の小さい内蔵MOSFETは、最大6Aの連続負荷電流を供給することができます。出力電圧範囲が0.5V~ V_{IN} と広いため、低電圧／大電流のDSP/FPGA/GPU/ASICを使用する場合のPOLレギュレータに最適です。主なアプリケーションとしては、テレコム／データコム、車載システム、分散電源アーキテクチャ、汎用パワー・システムなどが挙げられます。

表 1. LTC33xx 製品の主な仕様

メーカー	アナログ・デバイセズ	アナログ・デバイセズ	アナログ・デバイセズ	アナログ・デバイセズ
品番	LTC3307A	LTC3308A	LTC3309A	LTC3310S
トポロジ	シングル、同期整流、 モノリシック、 Silent Switcher	シングル、同期整流、 モノリシック、 Silent Switcher	シングル、同期整流、 モノリシック、 Silent Switcher	シングル、同期整流、 モノリシック、 Silent Switcher 2
V_{IN} の範囲	2.25V~5.5V	2.25V~5.5V	2.25V~5.5V	2.25V~5.5V
V_{OUT} の範囲	0.5V~ V_{IN}	0.5V~ V_{IN}	0.5V~ V_{IN}	0.5V~ V_{IN}
出力電流	3A	4A	6A	10A
効率	92% (3.3V _{IN} /1.2V _{OUT} /2A)	92% (3.3V _{IN} /1.2V _{OUT} /2A)	92% (3.3V _{IN} /1.2V _{OUT} /2A)	92% (3.3V _{IN} /1.2V _{OUT} /3A)
スイッチング周波数	1MHz~3MHz	1MHz~3MHz	1MHz~3MHz	500kHz~5MHz
制御モード	固定周波数、 ピーク電流モード	固定周波数、 ピーク電流モード	固定周波数、 ピーク電流モード	固定周波数、 ピーク電流モード
V_{REF} の精度、室温/全温度範囲	±0.2%/±1%	±0.2%/±1%	±0.2%/±1%	±1%
電流制限の精度	±15%	±15%	±15%	±9%
最小オン時間	22ナノ秒	22ナノ秒	22ナノ秒	35ナノ秒
並列接続の可否と相数	不可	不可	不可	可能、4相
自己消費電流 (Burst Mode/それ以外)	40μA/1.3mA	40μA/1.3mA	40μA/1.3mA	1.3mA
パッケージの熱抵抗 θ_{JA}	51°C/W	51°C/W	51°C/W	40°C/W
ソリューションのサイズ	~20 mm ²	~20 mm ²	~20 mm ²	47 mm ²
パッケージ	2mm×2mm×0.74mm の12ピンLQFN	2mm×2mm×0.74mm の12ピンLQFN	2mm×2mm×0.74mm の12ピンLQFN	3mm×3mm×0.94mmの 18ピンLQFN

LTC3309A/LTC3308A/LTC3307Aを強制連続モードまたはパルス・スキップ・モードで動作させると、ノイズを低減することができます。また、リップルが小さく自己消費電流 I_Q が少ないBurst Modeで動作させれば、軽負荷時にも高い効率を達成できます。そのため、バッテリー駆動のシステムに最適です。最小オン時間はわずか22ナノ秒なので、高いスイッチング周波数、高い降圧比を実現することが可能です。加えて、100%のデューティ・サイクルにも対応するので、入力電圧と出力電圧が等しい低ドロップアウト動作も実現できます。動作クロックと外部クロックの同期をとることも可能です。リファレンス電圧のトータルの精度は、-55°C~150°Cの動作ジャンクション温度範囲で±1%未満です。更に、過負荷時にインダクタが飽和した場合でも、それを安全に許容することができます。その他にも以下のような特徴があります。

- ▶ 出力がレギュレートされていることを表す
パワーグッド信号を出力
- ▶ 内部ソフトスタート
- ▶ イネーブル用の閾値の精度が高い
- ▶ 出力過電圧保護
- ▶ 出力短絡保護
- ▶ サーマル・シャットダウン
- ▶ クロックの同期が可能

LTC3309A/LTC3308A/LTC3307Aには、ピン互換性があります。熱特性が強化された2mm×2mm×0.74mmの12ピンLQFNパッケージで供給されています。Eグレード品とIグレード品は-40°C~125°Cの動作ジャンクション温度範囲、Jグレード品とHグレード品は-40°C~150°Cの動作ジャンクション温度範囲、MPグレード品は-55°C~150°Cの動作ジャンクション温度範囲で仕様が規定されています。

表1に、Silent Switcher/Silent Switcher 2を採用したLTC33xx製品の主な仕様をまとめました。

まとめ

GPUやFPGA、マイクロプロセッサなど高性能のデジタルICでは、プロセス技術の微細化に伴い、より低い電圧で動作しつつ、より多くの電流が消費されるようになっていきます。ただ、そうした電流と電圧に関する傾向は、それらのICに電力を供給する電源に求められる要素の一面にすぎません。デジタルICが進化するにつれ、電源には、高速な過渡応答、高いEMI性能、小さなノイズ／リップル、熱を抑えるための効率的な動作といった多くの要件が課せられていきます。

従来、デジタルICの給電には、LDOレギュレータや、インダクタを使用するスイッチング・レギュレータが使用されてきました。後者の場合、DC/DCコントローラICと外付けのパワー・デバイスを組み合わせてレギュレータを構成します。しかし、電源の性能と実装面積に対する要求が厳しくなるにつれ、そうした従来型のアプローチでは対応できないケースが増えています。アナログ・デバイスが提供する新世代のモノリシック型レギュレータは、そうした問題を解決するものです。LTC3310S、LTC3309A、LTC3308A、LTC3307Aはそれぞれ10A、6A、4A、3Aの出力電流に対応します。これらの製品の特徴は、Silent Switcher/Silent Switcher 2のアーキテクチャを採用していることです。熱効率が高く小型のフリップチップ型ラミネート・パッケージに、デジタルICの多様な要件を満たす数多くの機能セットを内蔵しています。

著者について

Steve Knuthは、アナログ・デバイスズの電源グループに所属するシニア・プロダクト・マーケティング・マネージャです。すべての電源管理IC (PMIC)、LDOレギュレータ、バッテリー・チャージャ、チャージ・ポンプ、チャージ・ポンプを用いたLEDドライバ、スーパーキャパシタ用のチャージャ、低電圧対応のモノリシック型スイッチング・レギュレータを担当しています。2004年に入社しました。1990年から、Micro Power Systems、アナログ・デバイスズ、Micrel Semiconductorにおいて、マーケティングや製品エンジニアリング関連の様々な職務を担当しました。サンノゼ州立大学において、1988年に電気工学の学士号、1995年に物理学の修士号を取得しています。2000年にはフェニックス大学で技術管理分野の経営学修士号も取得しました。プライベートでは熱心な音楽愛好家であるほか、子供たちとの時間を楽しむと共に、ピンボールやアーケード・ゲーム、マッスルカーなどにも興じています。もう1つの趣味は、ビンテージ・トイや映画／スポーツ／自動車に関する記念グッズを売買／収集することです。

アナログ・デバイセズは、検出、計測、接続、変換、給電、セキュリティなどの機能を備える非常に革新的な製品を提供することに注力しています。それらの製品は、お客様が抱える最も難易度の高い設計上の課題を解決することを可能にします。それにより、「想像を超える可能性 (Ahead of What's Possible™)」を具現化するソリューションを開発できます。以下、世界トップクラスの技術者が開発した Silent Switcher 製品やパワー・マネジメント製品を紹介します。

LTC3310S

5V/10Aの同期整流式降圧Silent Switcher 2レギュレータ、
パッケージは3mm×3mmのLQFN

LTC3310Sは、非常に小型で低ノイズのモノリシック型降圧DC/DCコンバータです。2.25V～5.5Vの入力を基に最大10Aの出力電流を供給することができます。Silent Switcher 2のアーキテクチャを採用しており、ホット・ループ用のバイパス・コンデンサを内蔵しています。それにより、最高5MHzのスイッチング周波数で動作する場合でも、優れたEMI性能と高い効率の両方を実現することが可能です。システムがより多くの電力を必要とする場合には、LTC3310Sを複数個使用することにより、マルチフェーズ動作の並列コンバータを容易に実装することができます。



 [製品ページはこちら](#)

 [評価用ボードのご購入はこちら](#)

 [データシートのダウンロードはこちら](#)

 [サンプルとご購入はこちら](#)

LT8652S

静止電流が16μA、デュアルチャンネル、18V/8.5Aの同期整流式
降圧Silent Switcherレギュレータ

LT8652Sは、デュアルチャンネルの降圧レギュレータです。各チャンネルは、最大12Aの負荷に対応することができます。また、両チャンネルから最大8.5Aの連続電流を供給することが可能です。LT8652Sは第2世代のSilent Switcher技術を採用した製品であり、バイパス・コンデンサなども内蔵しています。小型のフォーム・ファクタにより、高いスイッチング周波数に対応しつつ、優れた効率、高いEMI性能を実現します。



 [製品ページはこちら](#)

 [評価用ボードのご購入はこちら](#)

 [データシートのダウンロードはこちら](#)

 [サンプルとご購入はこちら](#)

LTM8060

40V入力でクワッドチャンネルのSilent Switcher μ Module[®]レギュレータ、構成が可能な3Aの出力アレイを搭載

LTM8060は、40V入力、3A出力に対応する降圧Silent Switcher μ Moduleレギュレータです。Silent Switcherのアーキテクチャを採用していることから、最高3MHzのスイッチング周波数でも高い効率を実現しながら、EMIを最小限に抑えることができます。1つのパッケージ内に、コントローラ、パワー・スイッチ、インダクタ、サポート部品を収容しています。入力電圧範囲が広いだけでなく、出力電圧とスイッチング周波数に対して各1個の抵抗を使用することで、それぞれ0.8V~8V、200kHz~3MHzの範囲内で値を設定することができます。



 [製品ページはこちら](#)

 [評価用ボードのご購入はこちら](#)

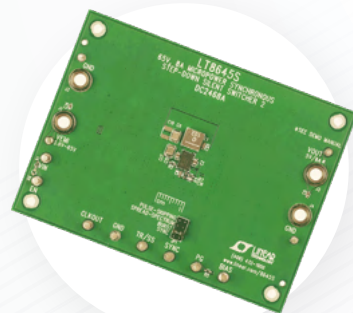
 [データシートのダウンロードはこちら](#)

 [サンプルとご購入はこちら](#)

LT8645S

静止電流が2.5 μ A、65V/8Aの同期整流式降圧Silent Switcher 2レギュレータ

LT8645S/LT8646Sは、第2世代のSilent Switcherのアーキテクチャを採用した同期整流式降圧レギュレータです。放射EMIを最小限に抑えつつ、高いスイッチング周波数で高い効率を実現できるように設計されています。具体的には、内蔵バイパス・コンデンサにより、内部のすべての高速電流ループを最適化しています。そのため、基板レイアウトに依存する影響を排除し、EMI規格で定められた性能を容易に達成することができます。



 [製品ページはこちら](#)

 [評価用ボードのご購入はこちら](#)

 [データシートのダウンロードはこちら](#)

 [サンプルとご購入はこちら](#)

LT8609

静止電流が2.5 μ A、42V/3Aの同期整流式降圧レギュレータ

LT8609/LT8609A/LT8609Bは、小型、高効率、高速の同期整流式モノリシック型降圧スイッチング・レギュレータです。スイッチング動作を行っていないときの静止電流はわずか1.7 μ Aに抑えられています。いずれの製品も3Aの連続電流を供給することが可能です。Burst Mode[®]動作により、出力リップルを10mVp-p未満に抑えつつ、出力電流が非常に少ない場合でも高い効率を得ることができます。



 [製品ページはこちら](#)

 [評価用ボードのご購入はこちら](#)

 [データシートのダウンロードはこちら](#)

 [サンプルとご購入はこちら](#)

静止電流 $2.5\mu\text{A}$ 、超低EMI放射、 42V 、 $2\text{A}/3\text{A}$ ピークの同期整流式降圧レギュレータ

著者: Dong Wang

はじめに

LT8609、LT8609A、LT8609B、およびLT8609Sは同期整流式モノリシック降圧レギュレータで、 $3\text{V}\sim 42\text{V}$ という広い入力範囲を特長とします。このデバイス・ファミリーは、低EMI、高効率、小型のソリューションが必要とされるアプリケーション用に最適化されており、要求の厳しい自動車用、工業用、計算用、通信用などのソリューションに適しています。このシリーズのレギュレータはすべて同じ負荷電流容量を備えており、その値は連続 2A 、過渡 3A （1秒未満）です。これらの製品の特長を表1に示します。

LT8609、LT8609A、LT8609Sには静止電流が $2.5\mu\text{A}$ と極めて小さいという特長があり、これはバッテリー駆動システムでは重要な要素です。これらのレギュレータは、内蔵のトップおよびボトムNチャンネルMOSFETによって、軽負荷時に非常に優れた効率を発揮します。LT8609Bはパルス・スキッピング・モードのみで動作し、他のデバイスより静止電流は大きくなりますが、軽負荷動作時のリップルが小さくなっています。

これらのデバイスはすべて、自動車機器用の最も厳しいEMI標準であるCISPR 25クラス5の放射EMI規則を満たしています。更に、EMIピークを減らすための拡散スペクトラム周波数動作を特長とします。LT8609Sは、Silent Switcher® 2という独自技術に基づき、このファミリー中最も優れたEMI性能を発揮します。

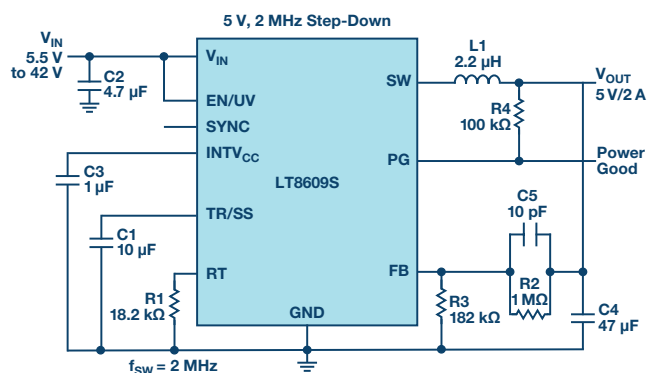


図1. 超低EMI放出、 12V 入力、 5V 出力の同期整流式降圧コンバータLT8609S

5.5V~42V入力、低EMI、高効率の5V/2A電源

$5.5\text{V}\sim 42\text{V}$ 入力で $5\text{V}/2\text{A}$ の出力を発生する電源を図1に示します。このソリューションには、スイッチング周波数 2MHz 、16ピンのLT8609Sレギュレータが使われています。ソリューションを完成させるのに必要な部品は、インダクタL1やいくつかの受動部品など、ほんのわずかです。図2は、このソリューションが92.9%のピーク効率を実現できることを示しています。

軽負荷状態での効率を改善する バースト・モード動作

バッテリー駆動のアプリケーションでは、軽負荷動作時および無負荷スタンバイ・モード時の効率が高く、アイドル電流が小さいことが重要です。LT8609、LT8609A、LT8609Sは、バースト・モード (Burst Mode[®]) 動作時の静止電流が2.5μAと低いのが特長です。軽負荷状態時と無負荷状態時は、スイッチング周波数が徐々に低下して、出力電圧リップルを比較的低い値に保ったまま、電力損失を大幅に減少させます。図2は、軽負荷時効率が85%以上に保たれている一方で、最小負荷時には電力損失がゼロに近いことを示しています。

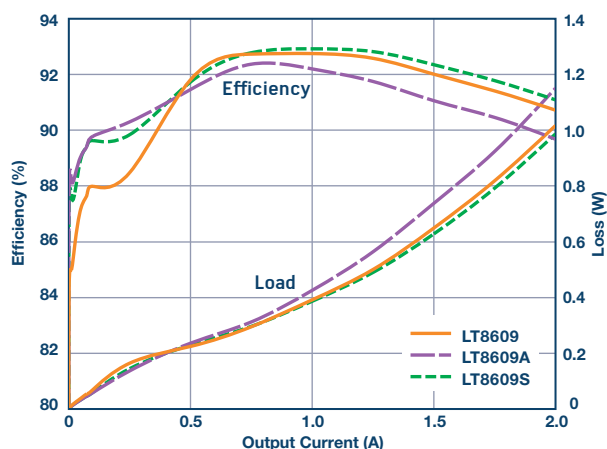


図2. LT8609/LT8609A/LT8609Sをベースとする
12V_{IN} 5V_{OUT} 降圧コンバータの効率と負荷電流の関係

高いスイッチング周波数、超低EMI放射、 改善された熱性能

電磁両立性は、自動車システムを含む多くの環境における課題の1つです。このファミリのすべてのデバイスは、内蔵MOSFET、先進的なプロセス技術、そして最大2.2MHzの動作によって、最も厳格なEMI基準を満たしながら、小型のソリューション・サイズを実現しています。EMIピークを減少させる拡散スペクトラム周波数動作は、LT8609Bを除くすべてのデバイスで可能です。更に、LT8609SはSilent Switcher 2技術を採用しています。Silent Switcher 2デバイスは、EMI性能が基板

のレイアウトや層数に影響されないようにするために、ホット・ループとウォーム・ループにコンデンサが組み込まれていることを特長とします。層数の少ない基板を使用すれば、EMI性能や熱性能を損なうことなく、製造コストを下げることができません。

図2は、LT8609Sがこのデバイス・ファミリで最も良好なピーク特性と全負荷時効率を備えていることを示しています。図3と図4は、図1のソリューションを2層基板と4層基板で実装した場合のCISPR 25 EMI性能と熱性能を比較したものです。

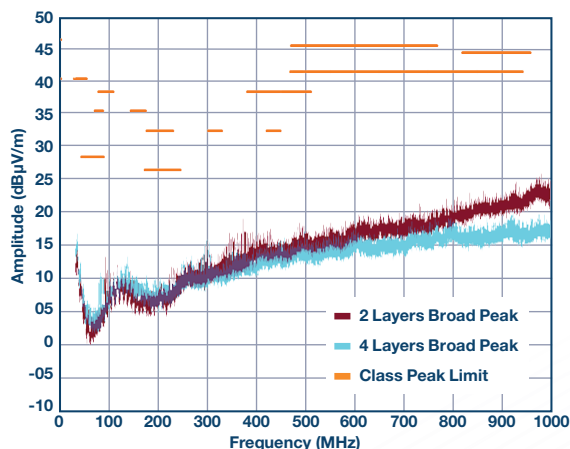


図3. 図1に示す回路の2層基板実装と
4層基板実装におけるCISPR 25放射EMI性能の比較

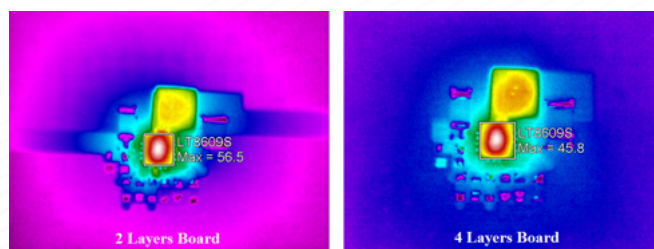


図4. 図1に示す回路の2層基板実装と
4層基板実装の熱性能比較

表1.

部品	パッケージ	性能	動作モード
LT8609	10ピンMSE	高効率	バースト・モード動作、 パルス・スキッピング・モード、 拡散スペクトラム・モード、同期モード
LT8609A	10ピンMSE	効率およびEMI性能の 両方に合わせて最適化	バースト・モード動作、 パルス・スキッピング・モード、 拡散スペクトラム・モード、同期モード
LT8609B	10ピンMSE	高効率	パルス・スキッピング・モード
LT8609S	16ピンLQFN	最良の効率とEMI性能を Silent Switcher 2技術と統合	バースト・モード動作、 パルス・スキッピング・モード、 拡散スペクトラム・モード、同期モード

まとめ

LT8609ファミリのデバイスは、パワーMOSFETと補償回路を内蔵した容易に導入可能なモノリシック降圧レギュレータで、広い入力電圧範囲と低EMIノイズが求められるアプリケーション用に最適化されています。わずか2.5μAという小さい静止電流とバースト・モード動作によって、これらの製品はバッテリー駆動の降圧コンバータ・ソリューションに最適なデバイスとなっています。200kHz～2.2MHzのスイッチング周波数範囲は、ほとんどのロー・パワー・アプリケーションやマイクロパワー・アプリケーションに適しています。また、内蔵MOSFETと最大2.2MHzのスイッチング周波数によって、ソリューションのサイズが最小限に抑えられます。CISPR 25のスクリーン結果は、最も厳しいEMI規格の要求に適合する優れた放射EMI性能であることを示しています。また、LT8609Siに使われているSilent Switcher 2技術は、レイアウトや基板層数の違いによる影響を著しく緩和するので、開発や製造に要するコストを大幅に削減します。

著者について

Dong Wang

アナログ・デバイセズのパワー製品のシニア・アプリケーション・エンジニア。2013年リニアテクノロジー（現アナログ・デバイセズ）入社。現在は非絶縁モノリシック降圧コンバータのアプリケーション・サポートを担当。高周波数電力変換、分散型電源システム、力率補正手法、低電圧、大電流変換技術、高周波磁気統合、コンバータのモデリングと制御などを含め、パワー・マネージメント・ソリューションとアナログ回路に幅広い関心を持つ。中国杭州市の浙江大学を卒業し、同大で電気工学の博士号を取得。

放射EMI性能が
極めて高い
5V/10Aの同期整流式降圧
Silent Switcher[®] 2レギュレータ。

LTC3310S

- ▶ 高効率(4.5mΩのNMOS、16mΩのPMOS)
- ▶ 広帯域幅、高速過渡応答
- ▶ 3mm×3mmの熱強化型LQFNパッケージ



デザイン・ノート: 65V入力/8A出力のモノリシック型降圧レギュレータ、高速な過渡応答と極めて高いEMI性能を実現

LT8645S/LT8646Sは、同期整流方式の降圧レギュレータです。モノリシック型の製品であり、65Vの入力、8Aの出力に対応します。また、Silent Switcherのアーキテクチャを採用しているため、基板レイアウトに依存する影響を排除し、卓越したEMI性能を達成することができます。LT8646Sについては、過渡応答を最適化するために、RCを使った外部補償を適用することも可能です。



[詳細はこちら](#)

ビデオ: モノリシック型のSilent Switcher 2 降圧レギュレータ

このビデオでは、Silent Switcher 2に対応するモノリシック型降圧レギュレータのEMC性能について説明します。このタイプの製品を採用すれば、電源に起因するEMCの問題を解消するための再設計のリスクを軽減することができます。また、EMI用のシールドを追加する必要がないので、基板レイアウトを簡素化することが可能になります。



LT8336のビデオ: 40V/2.5A、低静止電流の同期整流式昇圧Silent Switcherレギュレータ

LT8336は、静止電流の少ない同期整流式昇圧DC/DCコンバータです。Silent Switcherのアーキテクチャを採用しているため、放射EMIを最小化しつつ、高いスイッチング周波数で優れた効率を得ることができます。また、オプションでスペクトラム拡散周波数変調機能を利用することも可能です。



[今すぐ視聴する](#)

[今すぐ視聴する](#)

LTM8060のビデオ: 40V入力、クワッド3A出力のSilent Switcher μ Moduleレギュレータ

LTM8060は、Silent Switcherのアーキテクチャを採用した製品です。放射EMIが最小限に抑えられ、入力フィルタを付加することなく、CISPR 22規格のクラスB、CISPR 25規格のクラス5の要件を満たすことができます。そのため、医療用のイメージング処理やRFシステムの信号処理といったノイズに敏感なアプリケーションに最適です。また、LTM8060はマルチ出力機能を備えおり、3Aのクワッド出力、6Aのデュアル出力、12Aのシングル出力の各構成で使用することができます。様々な電圧、様々な負荷電流の要件に対応することが可能です。



LTM8051のビデオ: Silent Switcher μ Moduleレギュレータ

LTM8051は、40V入力、1.2A出力のクワッド降圧Silent Switcher μ Moduleレギュレータです。Silent Switcher技術を採用しているため、最高3MHzのスイッチング周波数を使用する場合でも、高い効率を実現しつつ、EMIを最小限に抑えることができます。コントローラ、パワー・スイッチ、インダクタ、サポート部品を内蔵しています。



[今すぐ視聴する](#)

[今すぐ視聴する](#)

アナログ・デバイセズ株式会社

VISIT ANALOG.COM/JP



お住いの地域の本社、販売代理店などの情報は、analog.com/jp/contact をご覧ください。

オンラインサポートコミュニティEngineerZoneでは、アナログ・デバイセズのエキスパートへの質問、FAQの閲覧ができます。

©2023 Analog Devices, Inc. All rights reserved.
本紙記載の商標および登録商標は、各社の所有に属します。
Ahead of What's Possibleはアナログ・デバイセズの商標です。

BR23545-11/23(A)