

DC/DC ステップダウン／ステップアップ（降圧／昇圧）コンバータの

“使いどころ”を知る

著者: Ken Marasco

はじめに

スイッチング方式の DC/DC コンバータ (DC/DC レギュレータ) は、入力された DC 電圧を基に、値の異なる DC 電圧を効率的に生成したい場合に使用するものです。その基本的なトポロジ (形態) には、降圧型、昇圧型、降圧／昇圧型 (以下、昇降圧型) の 3 つがあります。

降圧型レギュレータは、入力電圧よりも低い出力電圧を生成したい場合に使用します。逆に、昇圧型レギュレータは入力電圧よりも高い出力電圧を生成したい場合に使用します。3 つ目の昇降圧型レギュレータは、降圧型と昇圧型の両方の動作が可能です。入力電圧よりも高い出力電圧、入力電圧よりも低い出力電圧、あるいは入力電圧に等しい出力電圧を生成することができます。

本稿では、昇降圧型レギュレータをぜひ使うべきケースと、それによって得られるメリットについて説明します。降圧型レギュレータと昇圧型レギュレータについては、それぞれアプリケーション・ノート AN-1125「[How to Apply DC-to-DC Step-Down \(Buck\) Regulator](#)」とアプリケーション・ノート AN-1132「[DC/DC ステップアップ \(昇圧\) レギュレータの適用方法](#)」をご参照ください。

電池で駆動する機器では、低消費電力化が必須の要件となります。図 1 に示したのは、単セルのリチウム・イオン電池で動作する携帯型機器の典型的なシステム構成です。このシステムでは、電源電圧が 1.8V、3.3V、3.6V の IC を使用しています。それに対し、リチウム・イオン電池の出力電圧は、フル充電時の約 4.2V から放電時の約 3.0V までの範囲で変化します。このように電池の出力電圧が変化するのにもかかわらず、放電時も含めて、昇降圧型レギュレータは常に 3.3V/3.6V を IC に供給し、降圧型レギュレータ (LDO レギュレータを使う場合もあります) は 1.8V を IC に供給します。ここでポイントとなるのは、3.3V/3.6V の生成に降圧型レギュレータではなく、昇降圧型レギュレータを使っている点です。3.3V の生成を例にとると、降圧型レギュレータ (LDO も含む) を使用した場合、電池の電圧が 3.5V より高い間は問題ありませんが、3.5V を下回ると 3.3V を供給できなくなります。それにより、システムの動作が停止する可能性があります。つまり、電池の充電が必要になる前の段階でシステムがオフになり、稼働可能な時間が短くなってしまいうことです。

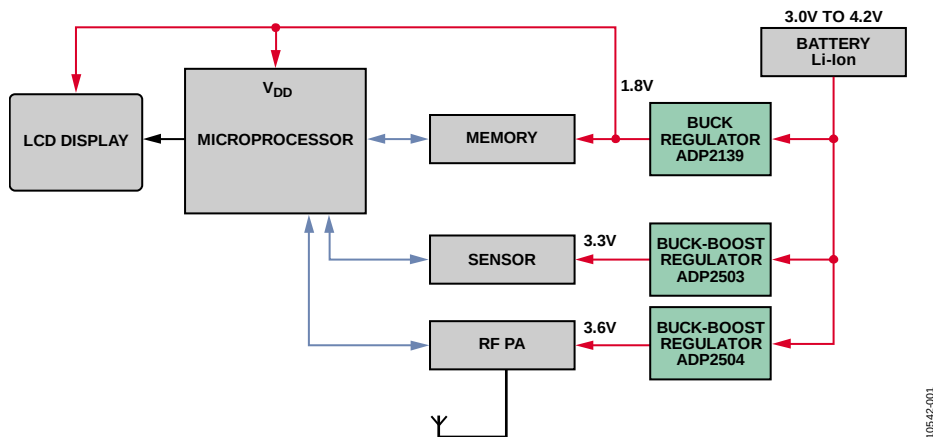


図 1. 携帯型機器の典型的なシステム構成

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本紙記載の商標および登録商標は、それぞれの所有者の財産です。
※日本語版資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。
©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

Rev. 0

目次

はじめに	1	シャットダウン電流	6
改訂履歴	2	ソフト・スタート	6
昇降圧型レギュレータの基本.....	3	スイッチング周波数	6
昇降圧型レギュレータでシステム効率を改善.....	5	サーマル・シャットダウン.....	6
昇降圧型レギュレータの主な仕様項目	6	2.5MHZ で動作する昇降圧型レギュレータ	7
出力電圧	6	まとめ.....	8
静止電流	6	参考資料.....	8

改訂履歴

4/12—Revision 0: Initial Version

昇降圧型レギュレータの基本

昇降圧型レギュレータは、図 2 に示すように 4 個のスイッチ、2 個のコンデンサ、1 個のインダクタで構成されたと考えることができます。実際の回路はもっと複雑ですが、概念的にはこの図のようにとらえることが可能です。最新式の昇降圧型レギュレータでは、降圧モードまたは昇圧モードで動作する際に、4 個のスイッチのうち 2 個だけを動作させます。それによって、レギュレータとしての機能を実現するとともに、損失の低減、つまりは効率の向上を図っています。

入力電圧 (V_{IN}) が出力電圧 (V_{OUT}) より高い場合には、図 3 に示すように、スイッチ C はオープンの状態、スイッチ D はクローズの状態になります。そのうえで、一般的な降圧型レギュレータと同様に、スイッチ A とスイッチ B を制御して降圧型レギュレータとして動作します。

入力電圧が出力電圧より低い場合には、図 4 に示すように、スイッチ B はオープンの状態、スイッチ A はクローズの状態になります。そのうえで、一般的な昇圧型レギュレータと同様に、スイッチ C とスイッチ D を制御して昇圧型レギュレータとしての機能を実現します。

最も複雑な動作モードは、入力電圧が出力電圧の $\pm 10\%$ の範囲にあり、レギュレータが昇降圧モードに移行したときです。昇降圧モードでは、1 サイクルの内に昇圧と降圧の 2 つの動作を行います。昇降圧型レギュレータ製品では、損失の低減、効率の最大化、そしてモードが切り替わることによる不安定性の排除を実現するための工夫が施されています。優れた過渡特性を実現することを目的とし

て、インダクタの電流リップルを最小にし、電圧の変動率をなるべく小さく保つようになっています。

多くの負荷電流が必要になるときには、優れた安定性と過渡応答を得るために、昇降圧型レギュレータは電圧モード制御/電流モード制御や、固定周波数の PWM (パルス幅変調) 制御を利用して動作します。また、モバイル・アプリケーションにおいて最大限の電池寿命を確保するために、軽負荷時には省電力モードに移行してスイッチング周波数を下げます。その一方で、無線通信などのノイズに弱いアプリケーションでは、可変周波数の省電力モードによる干渉が問題になる可能性があります。そのため、ロジック入力信号によって、すべての負荷条件の下で強制的に固定周波数の PWM 動作が行われるように設定できるものもあります。

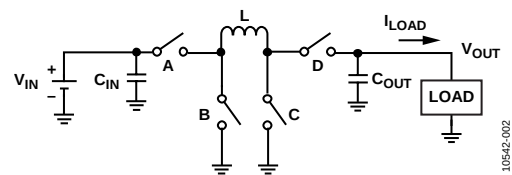


図 2. 昇降圧型レギュレータの概念図

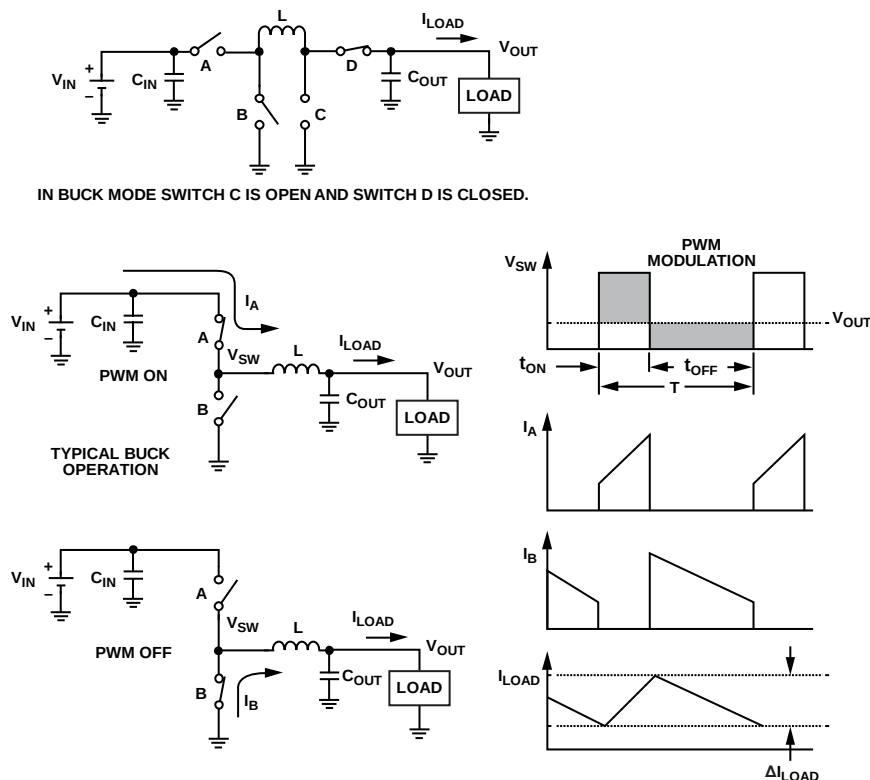


図 3. 降圧モードでの動作（入力電圧が出力電圧よりも高い場合）

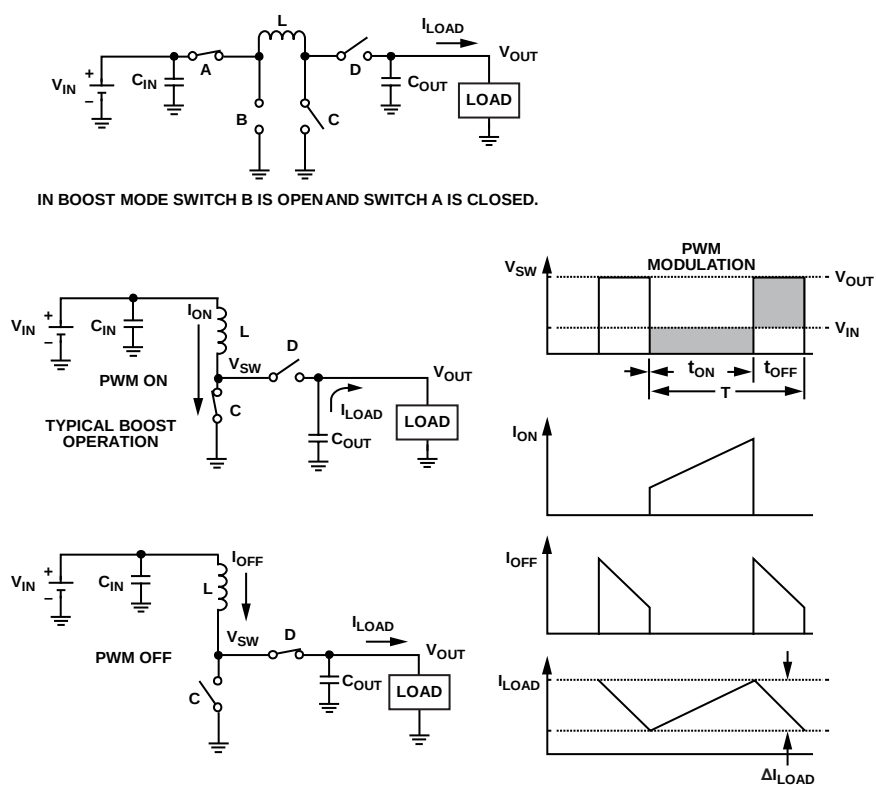


図 4. 昇圧モードでの動作（入力電圧が出力電圧よりも低い場合）

10542-004

昇降圧型レギュレータでシステム効率を改善

現在使用されている多くの携帯型システムは、単セルのリチウム・イオン 2 次電池によって電力を得ています。この電池の出力電圧は、フル充電時には 4.2V ですが、少しずつ放電して 3.0V まで低下します。出力電圧が 3.0V を下回ると、過放電による損傷から電池を保護するために、システム自体がシャットダウンします。仮に、LDO レギュレータを使用して 3.3V の電源レールを構成したとしましょう。その場合、以下の式で示す関係から、システムは電池の電圧が 3.5V の段階でシャットダウンします。

$$V_{\text{IN MIN}} = V_{\text{OUT}} + V_{\text{DROPOUT}} = 3.3\text{V} + 0.2\text{V} = 3.5\text{V}$$

ここで、 $V_{\text{IN MIN}}$ はシステムがシャットダウンする際の電池の電圧、 V_{OUT} はシステムが必要とする電源電圧、 V_{DROPOUT} は LDO レギュレータにおける降下電圧です。電池の電圧が 3.5V になるとシャットダウンしてしまうということは、電池に蓄積された総エネルギーのうち 70% しか使用していない段階でシステムが利用できなくなるということを意味します。

この問題は、「ADP2503」や「ADP2504」などの製品を使用することで回避できます。ADP2503、ADP2504 は、出力電流がそれぞれ 600mA、1000mA の昇降圧型レギュレータです。入力電圧が出力電圧より高い場合、低い場合、等しい場合のいずれの条件でもレギュレータとして機能します。ADP2503/ADP2504 は効率が高く、静止

電流が少ないことを特徴とします。また、パワー・スイッチを内蔵しており、外付け部品の点数を最小限に抑えられるので、プリント基板上の実装面積を削減できるというメリットも得られます。

ADP2503/ADP2504 を使用することにより、入力電圧（電池の出力電圧）が 3.0V まで低下しても、システムを動作させ続けることが可能になります。言い換えれば、電池の出力が放電時の最低電圧になった状態でもシステムを利用できるということです。この場合、システムは、電池に蓄積されたエネルギーをほぼ 100% 使い切ることになるので、電池の充電が本当に必要になるまでの長い時間を、システムの稼働可能時間として確保することができます。

携帯型システムでは、消費電力を削減するために、マイクロプロセッサや、ディスプレイのバックライト、パワーアンプなどのサブシステムを、未使用時にはスリープ・モードへと移行させます。結果として、フルに電力を消費している状態とほぼ電力を消費していない状態の切り替わりが頻繁に発生することになります。このことから、電源ライン上に過渡電圧が引き起されることがあります。このような過渡電圧が生じることにより、電池の出力電圧が一時的に 3.0V 未満に降下したと見なされ、「電池の電圧が低下した」という警告が発せられる可能性があります。そうすると、電池が完全に放電する前にシステムがシャットダウンしてしまいます。本稿で紹介している昇降圧型レギュレータのソリューションを利用すれば、電池の電圧が 2.3V まで落ち込んだ場合にも対応でき、システムの稼働可能時間を維持することが可能になります。

昇降圧型レギュレータの主な仕様項目

ここでは、データシートなどに記載される昇降圧型レギュレータの主な仕様項目について説明します。

出力電圧

昇降圧型レギュレータ製品には、出力電圧の値が固定されているものと、必要な出力電圧値を設定できるオプションを備えているものがあります。後者の場合、外付けの抵抗分圧回路を使用して出力電圧の値を設定することが可能です。

静止電流

静止電流（グラウンド電流）とは、DC バイアス電流（ I_Q ）のことです。これは、負荷に供給される電流ではありません。そのため、 I_Q が少ないほど効率は高くなります。ただし、 I_Q は、スイッチのオフ時、無負荷時、PFM（パルス周波数変調）動作時、PWM 動作時など、多くの条件の下で規定されることに注意が必要です。アプリケーションにとって最適なレギュレータを選択するためには、特定の動作電圧と負荷電流の条件における効率を調べるのが最も重要です。

シャットダウン電流

シャットダウン電流は、イネーブル・ピンをオフに設定したときに消費される入力電流です。このようなロジック制御によってシャットダウンを行った場合には、入力と出力は遮断され、入力源からの消費電流（シャットダウン電流）は 1 μ A 未満に抑えられます。電池で駆動する機器において、スリープ・モードのときにスタンバイの状態を長く維持できるようにするには、静止電流 I_Q を少なく抑えることが重要です。

ソフト・スタート

ソフト・スタートとは、スタートアップ時に出力電圧に過度なオーバーシュートが生じるのを防ぐために、出力電圧を引き下げるように行われる制御のことです。レギュレータでは、このソフト・スタートの機能を備えていることが重要な意味を持ちます。

スイッチング周波数

通常、低消費電力の昇降圧型レギュレータは、500kHz～3MHz のスイッチング周波数で動作します。スイッチング周波数を高くすると、より小型のインダクタを使うことができ、プリント基板の面積を抑えることが可能になります。ただし、スイッチング周波数が 2 倍になるごとに効率は約 2% ずつ低下します。

サーマル・シャットダウン

サーマル・シャットダウン（TSD : Thermal Shutdown）は、ジャンクション温度が規定の範囲を超えて上昇した場合にレギュレータをオフにする機能です。大電流を供給しているとき、回路基板の冷却が不足しているとき、あるいは周囲温度が上昇したときには、ジャンクション温度が上昇します。サーマル・シャットダウンが行われた後、チップの温度があらかじめ設定した値以下になるまでは通常動作に戻らないように、サーマル・シャットダウン用の保護回路にはヒステリシスが設けられています。

2.5MHZ で動作する昇降圧型レギュレータ

ここでは、[ADP2503/ADP2504](#) の特徴についてまとめておきます。先述したとおり、[ADP2503/ADP2504](#) は、高効率で静止電流の少ない昇降圧型レギュレータです。入力電圧が出力電圧より高い場合、低い場合、等しい場合のいずれの条件でもレギュレータとして機能します。また、パワー・スイッチと同期整流回路を内蔵しており、外付け部品の点数を最小限に抑えることが可能です。多くの負荷電流が必要なときには、優れた安定性と過渡応答を得るために、電流モード制御と固定周波数の PWM 制御方式を利用します。モバイル・アプリケーションにおいて最大限の電池寿命を確保するために、軽負荷時にはスイッチング周波数を低下させる省電力モードをオプションで備えています。無線通信など、ノイズに弱いアプリケーションでは、可変周波数の省電力モードによる干渉が起きないよう

に、ロジック入力信号によって、すべての負荷条件の下で強制的に固定周波数の PWM 動作が行われるように設定することができます。

[ADP2503/ADP2504](#) は、2.3V~5.5V の入力電圧で動作が可能です。そのため、1 個のリチウム電池またはリチウム・イオン・ポリマー電池、複数個のアルカリ電池またはニッケル水素 (NiMH) 電池、あるいは PCMCIA/USB 電源などを入力として使用することができます。固定の出力電圧値については、複数のオプションが用意されています。また、外付けの抵抗分圧回路によって出力電圧を設定できるモデルも用意されています。加えて、補償回路も内蔵しているので、外付け部品の点数を最小限に抑えることが可能です。

まとめ

本稿で紹介した [ADP2503/ADP2504](#) は、すでに性能が実証されている低消費電力の昇降圧型レギュレータです。充実したサポートを受けられるので、スイッチング方式の DC/DC レギュレータを利用した設計を行うにあたって、不安を抱く必要はありません。また、実際の設計に適用可能な計算数値などが記載されたデータシートも入手できます。さらに、設計ツールの「[ADIsimPower™](#)」を利用すれば、設計者の負担を軽減することが可能です。レギュレータのセクション・ガイド、データシート、アプリケーション・ノートについては、ウェブサイトの[パワーマネージメント](#)をご覧ください。

質問事項などがある場合は、アナログ電子回路に興味のある技術者同士のコミュニティ・サイト「[アナログ電子回路コミュニティ](#)」をご覧ください。また、最寄りの[アナログ・デバイセズ販売代理店](#)へご連絡ください。

参考資料

AN-1125 アプリケーション・ノート：

[How to Apply DC-to-DC Step-Down \(Buck\) Regulators](#)

AN-1132 アプリケーション・ノート：

[DC/DC ステップアップ（昇圧）レギュレータの適用方法](#)

AN-1072 アプリケーション・ノート：

[低ドロップアウト・レギュレータの活用方法](#)

[ADIsimPower™設計ツール](#)

[パワーマネージメント](#)

[スイッチング・レギュレータ・コントローラ](#)

[スイッチング・レギュレータ](#)