

DC/DC ステップアップ（昇圧）レギュレータの適用方法

著者：Ken Marasco

昇圧レギュレータ

スマートフォン、GPS ナビゲーション・システム、タブレットなどの携帯電子機器の電源には低電圧ソーラー・パネル、バッテリーまたは AC アダプタが使用されます。バッテリー駆動のシステムでは、しばしば高電圧を実現するために電池を直列に積み重ねますが、スペース不足によりこれがつねに可能とは限りません。スイッチング・コンバータは、インダクタを利用して誘導起電力により負荷に合わせた電源電圧を供給します。スイッチング・コンバータは損失が少ないので、高効率が要求されるアプリケーションに適しています。コンバータの出力に接続されたコンデンサは、出力電圧リップルを低減します。昇圧（ステップアップ）コンバータは、高い電圧に変換して出力します；AN-1125 アプリケーション・ノート「How to Apply DC-to-DC Step-Down (Buck) Regulators」に述べられている降圧（ステップダウン）コンバータは、低い電圧に変換して出力します。スイッチとして内部 FET を搭載したスイッチング・コンバータは **スイッチング・レギュレータ** と呼ばれ、外付け FET を必要とするデバイスは **スイッチング・レギュレータ・コントローラ** と呼ばれています。

図 1 は、2 個の直列接続した単 3 電池で動作する代表的な低消費電力システムです。バッテリーの出力可能な電圧範囲は約 1.8V ~ 3.4V ですが、IC が動作するには 1.8V と 5.0V が必要です。

電池の数を増やすことなく電圧をステップアップできる昇圧コンバータは、WLED バックライト、マイクロ・ハードディスク・ドライブ、オーディオ、USB ペリフェラルを駆動します。一方、降圧コンバータは、マイクロプロセッサ、メモリ、ディスプレイを駆動します。

インダクタの電流の変化を妨げようとする傾向が、昇圧機能を可能にします。インダクタは、充電時には負荷となってエネルギーを蓄積し、放電時にはエネルギー源として働きます。放電段階で生成される電圧は、元の充電電圧ではなく、電流の変化率に関係するので、さまざまな入出力電圧レベルが可能です。

図 2 に示すように、昇圧スイッチング・レギュレータは、2 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ます。入力とグラウンドの貫通電流、いわゆる「シュートスルー」を避けるため、非重複スイッチ・ドライブを使用して、一度にオンするスイッチを 1 つだけにします。フェーズ 1 (ton) では、スイッチ B が開き、スイッチ A が閉じます。インダクタはグラウンドに接続するため、電流は VIN からグラウンドに流れます。インダクタに加わる正電圧によって電流が増大し、エネルギーがインダクタに蓄積します。フェーズ 2 (toff) では、スイッチ A が開き、スイッチ B が閉じます。インダクタは負荷に接続するため、電流は VIN から負荷に流れます。インダクタに加わる負電圧（出力に対して入力側）によって電流が減少し、インダクタに蓄積されたエネルギーが放電して負荷に流れます。

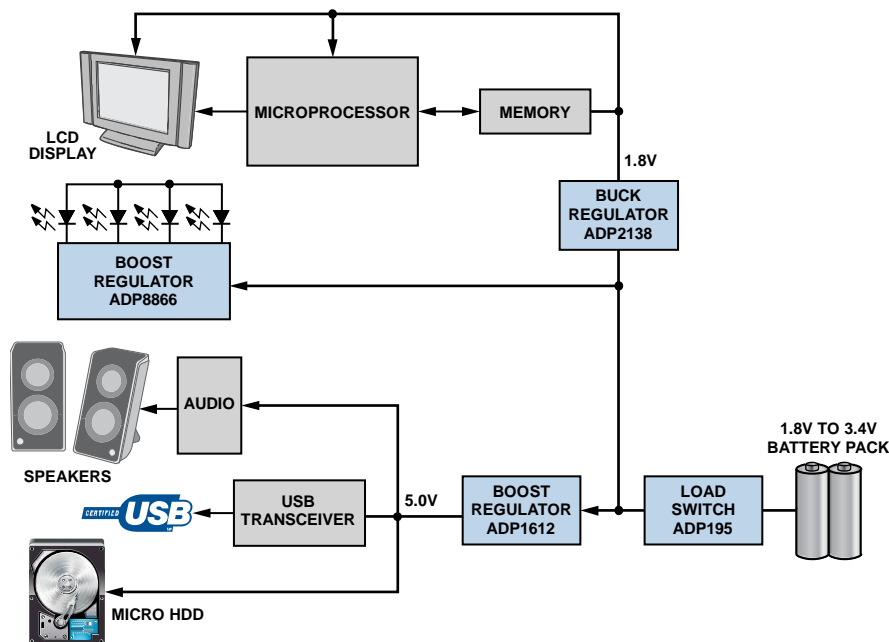


図 1. 代表的な低消費携帯機器

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、各社の所有に属します。
※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。
©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

Rev. 0

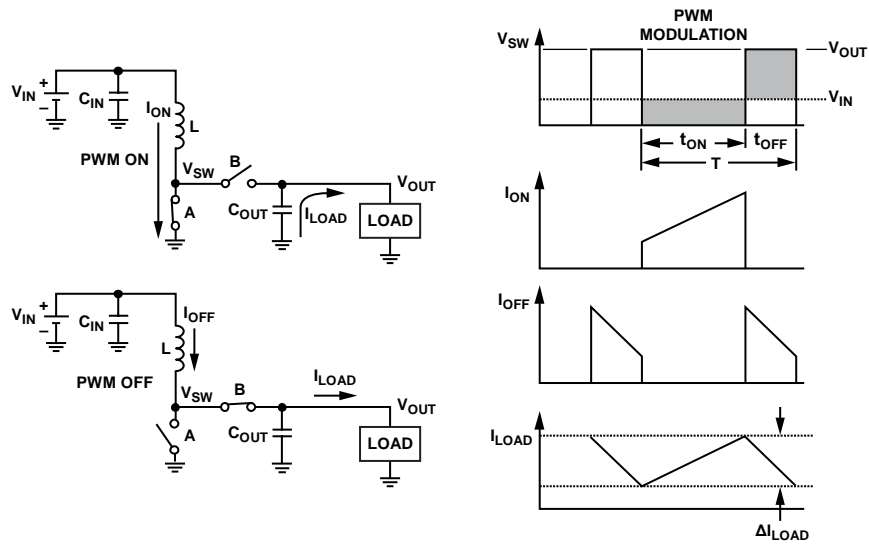


図 2.昇圧コンバータのトポロジと動作波形

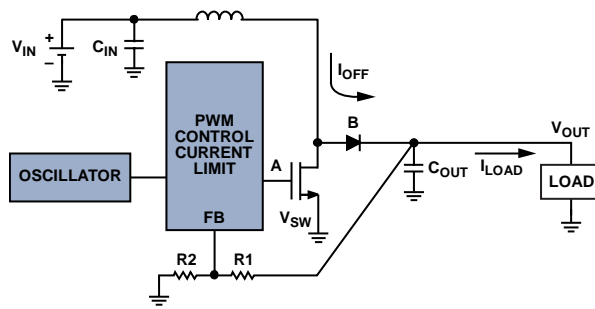


図 3.PWM 制御ループ、スイッチング FET を集積した昇圧レギュレータ

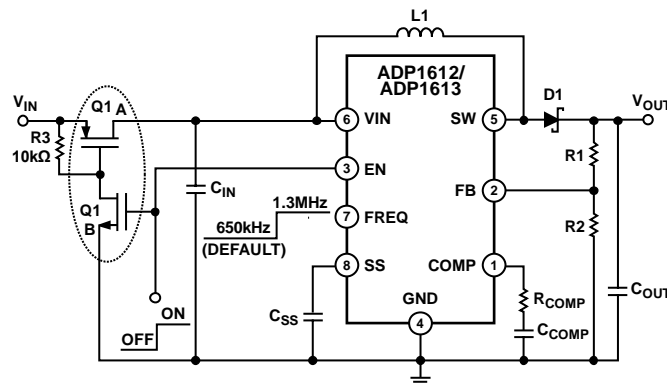


図 4.ADP1612/ADP1613 の標準アプリケーション回路

なお、スイッチング・レギュレータの動作は、連続または不連続とすることができます。電流連続モード (CCM) ではインダクタ電流はゼロに降下することはありませんが、電流不連続モード (DCM) ではゼロになることがあります。電流リップル (図 2 の中で ΔI_{LOAD} として示されている) は、次の式を用いて計算します。

$$\Delta I_{LOAD} = (V_{IN} \times t_{ON}) / L$$

平均インダクタ電流は負荷に流れますが、リップル電流は出力コンデンサに流れます。

スイッチ B の代わりにショットキー・ダイオードを使用するレギュレータは非同同期式と定義され、スイッチ B に FET を使用するレギュレータは同期式と定義されています。図 3 では、非同同期式昇圧レギュレータを形成するためにスイッチ A とスイッチ B にそれぞれ内部 NFET と外付けショットキー・ダイオードを使用しています。負荷絶縁と低シャットダウン電流が要求される低消費電力アプリケーションには、図 4 に示すように、外付け FET を追加することができます。デバイスの EN ピンを 0.3V 以下すると、レギュレータがシャットダウンされ、入力と出力が完全に切断されます。

最新の低消費電力同期降圧レギュレータは、主な動作モードとしてパルス幅変調方式 (PWM) を使用します。PWM は、周波数を一定に保持し、パルス幅 (t_{ON}) を変動させて出力電圧を調整します。供給される平均電力はデューティ・サイクル (D) に比例するため、効率的に負荷に電力を供給できます。

$$F = \frac{V_{QP}}{V_{QP} + V_{QFH}} = \frac{X_{QW} - X_{KP}}{X_{OW}}$$

たとえば、希望の出力電圧が 15V、使用可能な入力電圧が 5V の場合、次のようになります。

$$D = (15 - 5)/15 = 0.67 \text{ または } 67\%$$

エネルギー保存の法則により「負荷に供給される電力」は「入力電力」 - 「損失」になります。変換効率が非常に良ければ、少量の電力損失は基本的な消費電力の計算から省くことができます。したがって、おおよその入力電流を次の式で表すことができます。

$$I_{IN} = (V_{OUT}/V_{IN}) \times I_{OUT}$$

たとえば、負荷電流が 15V で 300mA の場合、5V で $I_{IN} = 900\text{mA}$ となり、入力電流は出力電流の 3 倍になります。したがって、昇圧電圧が大きくなるにつれて、使用可能な負荷電流が減少します。

昇圧コンバータは、希望の出力電圧にレギュレーションするために、電圧または電流帰還を使用します；、負荷変動に対する出力のレギュレーションは制御ループによって維持されています。低消費電力昇圧レギュレータは、一般的に 600kHz ~ 2MHz で動作します。スイッチング周波数をより高くするとより小さなインダクタを使用できますが、スイッチング周波数を倍増する毎にスイッチング・ロスの影響などにより効率がおおよそ 2% 低下します。昇圧コンバータ ADP1612 又は ADP1613 (ADP1612 と ADP1613 セクションを参照) は、スイッチング周波数をピンで選択でき、最高の効率を得る場合は 650kHz で動作させ、外付け部品を小型化にする場合は 1.3MHz で動作させます。650kHz 動作の場合は FREQ を GND に接続し、1.3MHz 動作の場合は FREQ を V_{IN} に接続します。

昇圧レギュレータの重要な部品であるインダクタは、パワー・スイッチのオン時にエネルギーを蓄積し、オフ時に出力整流器を介してエネルギーを出力に送ります。インダクタの低電流リップルと高効率のトレードオフとをバランスさせるため、ADP1612/ADP1613 のデータシートでは 4.7MH ~ 22MH のインダクタンス値を推奨しています。一般的に、インダクタ値が低くなると、与えられた物理的大きさに対して飽和電流がより高くなり、直列抵抗がより低くなります。しかし、インダクタンスを低くするとピーク電流が高くなり、効率の低下、リップルの増大、ノイズの増加を招くことがあります。多くの場合、昇圧レギュレータを電流不連続モードで動作させれば、インダクタのサイズを小さくし、安定性を向上させることができます。ピーク・インダクタ電流 (「最大入力電流」 + 「インダクタのリップル電流の半分」) はインダクタの定格飽和電流を下回る必要があります。レギュレータへの最大 DC 入力電流はインダクタの RMS 電流定格値を下回る必要があります。

昇圧レギュレータの主な仕様と定義

入力電圧範囲

昇圧コンバータの入力電圧範囲は、使用可能な最低入力電源電圧を決定します。仕様に記載されている入力電圧範囲の幅が広くても、安定的な動作にするには入力電圧は V_{OUT} よりも低くなければなりません。

グラウンド電流または静止電源

グラウンド電流 (又は静止電流) は負荷に供給されない DC バイアス電流 (I_Q) です。 I_Q が低いほど効率は高くなります。しかし I_Q の仕様はスイッチ・オフ、ゼロ負荷、PFM 動作、PWM 動作などいろいろの条件下で規定されています；従って、アプリケーションに最適な昇圧レギュレータを決定するには、特定の動作電圧と負荷電流における動作効率を調査するのが最善です。

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 (EN) が "ロー" に設定されデバイスが OFF になった時に消費される入力電流です。バッテリー駆動のデバイスがスリープ・モードの時、長いスタンバイ時間を実現するには低 I_Q が重要です。

スイッチのデューティ・サイクル

動作時のデューティ・サイクルは、最大デューティ・サイクル以下である必要があります。さもなければ、出力電圧が安定化しません。たとえば、

$$D = (V_{OUT} - V_{IN})/V_{OUT}$$

$V_{IN} = 5\text{V}$ で $V_{OUT} = 15\text{V}$ の時 $D = 67\%$ です。ADP1612 と ADP1613 の最大デューティ・サイクルは 90% です。

出力電圧範囲

出力電圧範囲はデバイスが対応する出力電圧の範囲です。昇圧コンバータの出力電圧は固定または調整可能にする事ができます。希望の出力電圧に設定するには抵抗を使用します。

電流制限

昇圧コンバータでは、一般的に負荷電流の制限ではなくピーク電流の制限を規定します。なお、 V_{IN} と V_{OUT} の差が大きいほど、使用可能な負荷電流は小さくなります。使用可能な最大出力電流は、ピーク電流制限、入力電圧、出力電圧、スイッチング周波数、インダクタ値のすべてによって決まります。

ライン・レギュレーション

ライン・レギュレーションは入力電圧の変化によって生じる出力電圧の変化です。

ロード・レギュレーション

ロード・レギュレーションは出力電流の変化に対する出力電圧の変化です。

ソフト・スタート

昇圧レギュレータでは、ソフト・スタート機能を備えて、スタートアップ時の出力電圧を管理された方法で変化させ、過剰な出力電圧オーバーシュートを防ぐことが重要です。昇圧コンバータによっては、外付けコンデンサでソフト・スタート機能を調整できます。ソフト・スタート用コンデンサが充電することにより、デバイスの許容ピーク電流が制限されます。

調整可能なソフト・スタート機能を使用すれば、システム条件に合わせてスタートアップ時間を変更できます。

サーマル・シャットダウン (TSD)

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、サーマル・シャットダウン回路がレギュレータをターン・オフします。大電流動作、回路基板の冷却不足、または高い周囲温度により常にジャンクション温度が高くなる場合があります。保護回路にはヒステリシスが組み込まれているため、サーマル・シャットダウンが発生した後、オンチップ温度がプリセットされたスレッシュホールドを下回るまでデバイスは通常の動作に戻りません。

低電圧ロックアウト (UVLO)

入力電圧が UVLO のスレッシュホールドを下回ると、IC がパワー・スイッチを自動的にオフにして低消費電力モードに入ります。この動作は、低入力電圧で生じる不安定な動作を防止し、回路が制御できない状態でパワー・デバイスがオンにならないようにします。

ADP1612 と ADP1613

ステップアップ DC/DC スイッチング・コンバータは 650 kHz 又は 1300 kHz で動作します。

ステップアップ・コンバータの ADP1612 と ADP1613 は、それぞれ 1.8V ~ 5.5V および 2.5V ~ 5.5V の単電源で動作し、20V という高電圧で 150mA 以上の電流を供給します。1.4A/2.0A、0.13Ω のパワー・スイッチと電流モードのパルス幅変調レギュレータを統合し、入力電圧、負荷電流、温度の変化に対して出力変動が 1% 以下です。動作周波数はピンで選択でき、高効率もしくは最小の外付け部品サイズのいずれかに最適化できます。これらのステップアップ・コンバータは 650kHz で 90% の効率があります；1.3MHz ではそれらの回路実装スペースが最小になり、携帯機器や液晶ディスプレイのスペースに制約のある環境に最適になります。

調整可能なソフト・スタート回路は突入電流を防止し、安全で予測可能なスタートアップ条件を確実にします。ADP1612 と ADP1613 の消費電流は、スイッチング状態で 2.2mA、非スイッチング状態で 700μA、シャットダウン・モードで 10nA です。ADP1612 と ADP1613 は 8 ピン MSOP パッケージを採用しており、-40°C ~ +85°C で仕様が規定されております。

結論

低消費電力昇圧レギュレータの実証済みの設計を利用する事により、スイッチング DC/DC コンバータの設計にまつわるご心配を解消できます。設計上の計算については、ADP1612/ADP1613 データシートに記述されています、そして ADIsimPower™ 設計ツールをご利用になればお客様の作業が簡単になります。詳細については、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。アナログ・デバイセズの昇圧レギュレータのセレクション・ガイド、データシート、アプリケーション・ノートは、ウェブサイトの [パワー・マネージメント](#) にあります。

参考文献

Lenk, John D. 1996. *Simplified Design of Switching Power Supplies*. Elsevier.

AN-1125 アプリケーション・ノート:

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

Analog Dialogue Vol.43 No.8:

[低ドロップアウト・レギュレータを活用する方法](#)

[パワー・マネージメント](#)

[スイッチング・レギュレータ](#)

[スイッチング・レギュレータ・コントローラ](#)

[ADIsimPower™ 設計ツール](#)