



Literature Number: JAJA406

POWER | designer

Expert tips, tricks, and techniques for powerful designs

No. 113

特集記事1-7

I²C対応輝度制御機能付
白色LED ドライバ2

スイッチト・キャパシタ型
白色LED 電流ドライバ4

デュアル・ディスプレイ
白色LED ドライバ6

電源設計ツール8

白色LEDバックライト・アプリケーションにおける 効率の最適化

— By Dario Nurzad, Applications Engineer

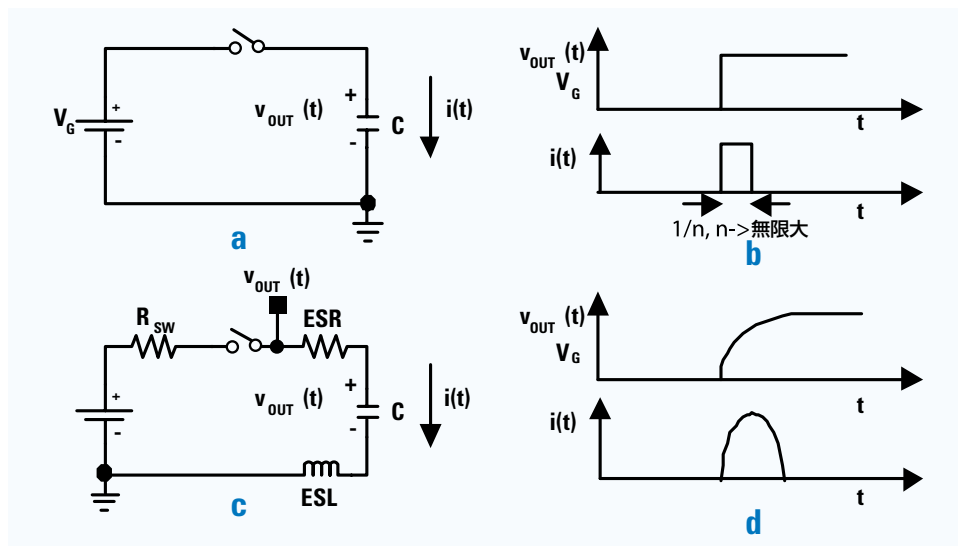


Figure 1. 電圧源からコンデンサへのチャージ
(理想的なケース [a, b] と実際のケース [c, d] の両方を示す)

白色LEDは、輝度を一定に保つために通常DC定電流源で駆動します。1セル型リチウムイオン・バッテリーで駆動する携帯型アプリケーションでは、白色LEDと電流源での電圧降下の合計値がバッテリー電圧を下回ったり、上回ったりすることがあります。このため、白色LEDでは、状況次第でバッテリー電圧を昇圧する必要があります。昇圧するための最良の方法は、昇圧型DC/DCコンバータを用いることです。この方法は、効率の最適化という点では非常に優れていますが、反面、コストやPCB面積の面で犠牲を伴います。それに代わるバッテリー電圧昇圧方法が、チャージポンプ、いわゆるスイッチト・キャパシタ型電圧コンバータの利用です。本稿ではこのデバイスの動作原理の詳しい解析を行います。

チャージポンプの基本原則

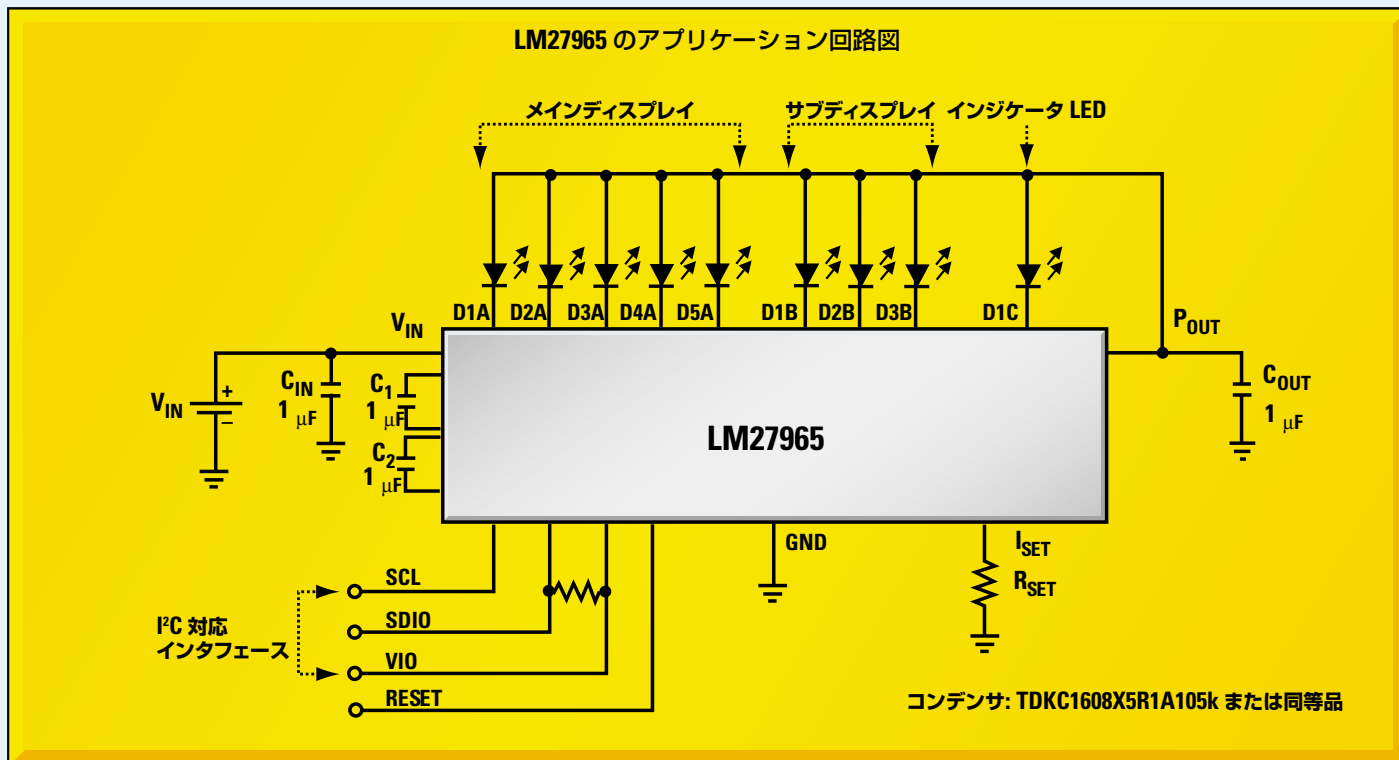
コンデンサは、電荷ないし電気エネルギーを蓄え、それを所定のレートと時間で放出する働きをする部品です。仮に理想的なコンデンサを理想的な電圧源 V_G (Figure 1のaを参照)でチャージ(充電)したとすると、電流のディラックのデルタ関数 (=インパルス関数) (Figure 1のbを参照)に従って、電荷の蓄積が瞬時に行われます。蓄積される総電荷量は、 $Q = CV_G$ で表されます。

次号予告

スイッチング・コントローラのレイアウト

I²C対応 輝度制御機能付 白色LEDドライバ・システム

インダクタ不要なLM27965は91%の効率でLED最大9灯を駆動



LM27965の特長

- 最大91%のLED駆動効率
- インダクタ不要: 総ソリューションサイズは25mm²
- 0.3% (typ) の電流マッチング
- LEDを1灯あたり最大30mAで駆動
- ゲインが1倍から1.5倍のアダプティブなチャージポンプ
- I²C対応輝度制御インタフェース
- 広いリチウムイオン・バッテリー入力電圧範囲: 2.7V~5.5V
- LLP-24パッケージで供給

携帯電話の表示部やキーボード部の照明、PDAバックライトおよび一般的なLED照明に最適

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/LM27965.html

白色LEDバックライト・アプリケーションにおける効率の最適化

実際のコンデンサは、等価直列抵抗 (ESR) や等価直列インダクタンス (ESL) を持っています。そのどちらも電荷を蓄えるコンデンサの機能には影響しませんが、スイッチト・キャパシタ型電圧コンバータの効率全体には大きく影響します。Figure 1のcに示したのが、実際のコンデンサにチャージするための等価回路で、 R_{SW} はスイッチの抵抗です。チャージング電流パスには直列インダクタンスが生じますが、これは部品レイアウトを適切に行うことで低減可能です。

この回路に通電すると、直ちに指数関数的な特性を示す過渡状態になりますが、それはやがて安定状態に達します。コンデンサの寄生成分によってピーク・チャージ電流が制限され、電荷移動時間が増します (Figure 1のdを参照)。このため、コンデンサのチャージアップは即座には起こりません。つまり、コンデンサでの初期電圧変動値はゼロ同然です。チャージポンプは、コンデンサのこの性質を使用します (Figure 2の (a) を参照)。

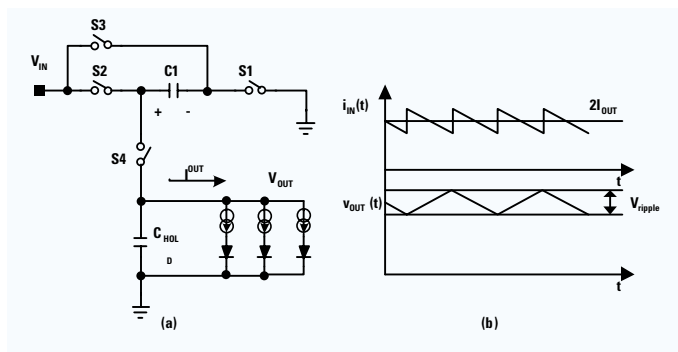


Figure 2.チャージポンプ回路 (a) とそれに関連した波形 (b)

電圧変換は、2段階で達成されます。第1段階では、スイッチ S_1 と S_2 を閉じた状態、スイッチ S_3 と S_4 を開いた状態にします。

$$V_{C1+} - V_{C1-} = V_{C1+} = V_{IN}$$

第2段階では、スイッチ S_3 と S_4 を閉じた状態、スイッチ S_1 と S_2 を開いた状態にします。コンデンサでの電圧降下の変化は即座には起きないので、出力電圧は入力電圧の2倍へ上昇します。それを表す式は次のとおりです：

$$V_{C1+} - V_{C1-} = V_{OUT} - V_{IN} = V_{IN} \rightarrow V_{OUT} = 2V_{IN}$$

この方法を用いて、電圧の2倍化を実現できます。通常、スイッチング信号のデューティ・サイクルは50%で、一般的には、それが50%の時に最適な電荷移動効率が得られます。電荷移動の手順と、スイッチト・キャパシタ型電圧コンバータの寄生成分がコンバータ本体の動作にどのように影響するかを詳しく調べてみましょう。

スイッチト・キャパシタ型電圧ダブラーについて、安定状態の電流と電圧の波形をFigure 2の (b) に示します。エネルギー保存のため、平均入力電流は出力電流の2倍となっています。第1段階では、チャージング電流が C_1 に流入します。このチャージング電流の初期値は、 C_1 での初期電圧値、 C_1 のESR値およびスイッチの抵抗値に左右されます。 C_1 がチャージされると、チャージング電流は指数関数的に減衰します。このチャージング時定数はスイッチング周期の数倍です。時定数が減少すると、ピーク電流が増加します。その時、出力コンデンサ C_{HOLD} がリニア (線形的) に放電して負荷電流を供給しますが、その放電量は次の式で求められます：

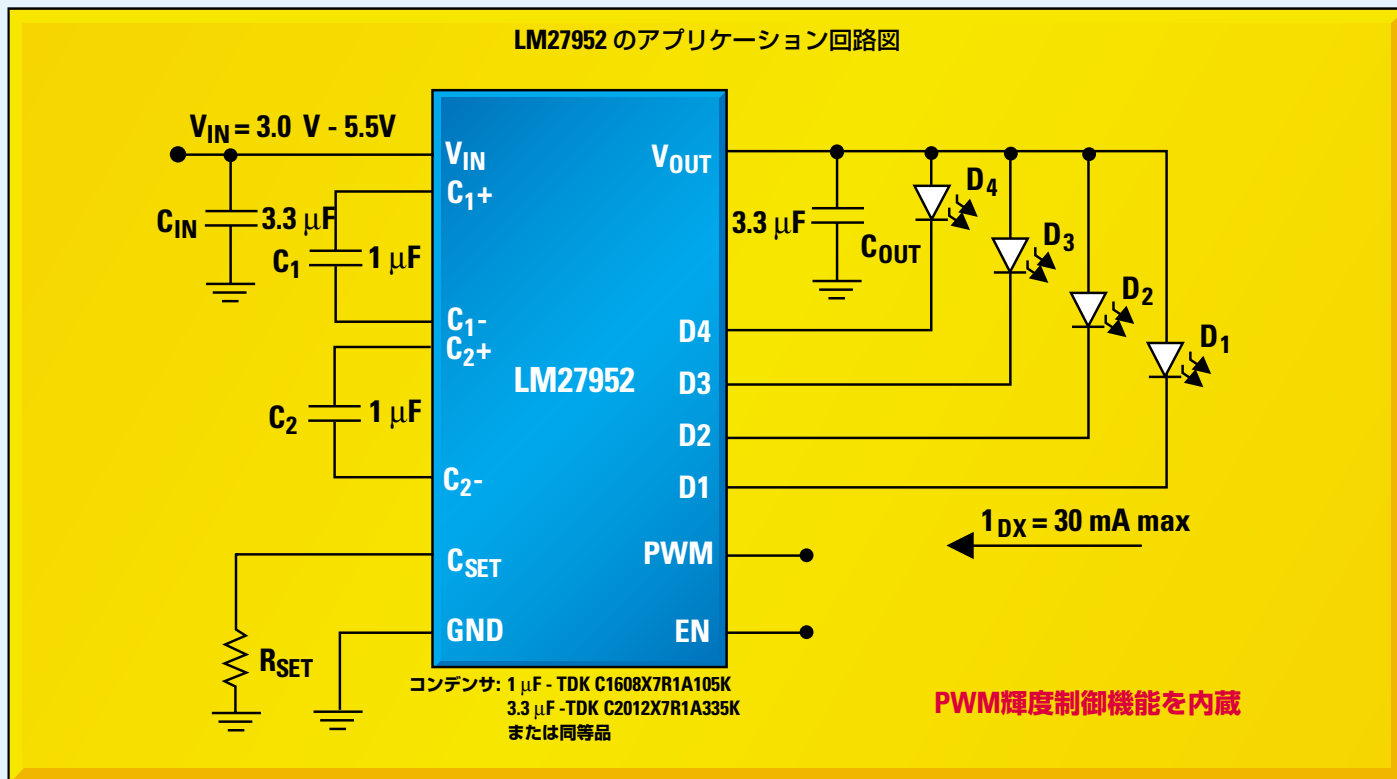
$$\Delta V_{OUT} = \frac{I_{OUT}}{2fC_{HOLD}}$$

第2段階では、 C_{1+} が出力と接続され、放電電流 (放電量は前のチャージング電流と同じ量です) が C_1 を通って負荷に流入します。この段階では、出力コンデンサ電流のステップ変化は約 $2I_{OUT}$ になります。この電流ステップによって $2I_{OUT}ESR_{C_{HOLD}}$ に等しい出力電圧ステップを生じるはずですが、低ESRのセラミック・コンデンサを使用することで、そのステップ変化はわずかに抑えられます。この時、 C_{HOLD} のリニアなチャージが行われますが、そのチャージ量は次の式で求められます：

$$\Delta V_{OUT} = \frac{I_{OUT}}{2fC_{HOLD}}$$

アダプティブ1.5倍 / 1倍 スイッチト・キャパシタ型 白色LED電流ドライバ

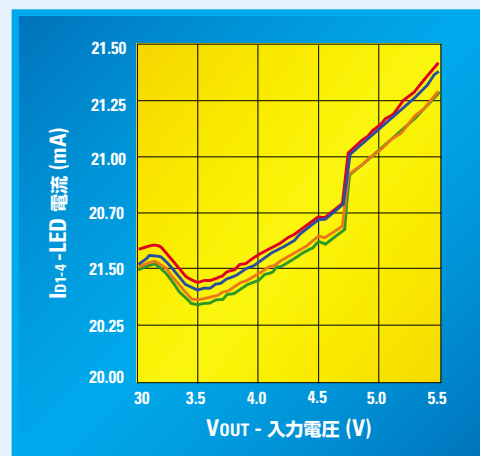
LM27952はLED最大4灯を1灯あたり30mAで駆動



LM27952の特長

- 0.2% (typ) の電流マッチング機能を備えた安定化電流源
- LED V_F に基づく1.5倍 / 1倍のゲイン切り替え機能
- 85% 以上のピーク効率
- 入力電圧範囲: 3.0 V ~ 5.5V
- 750kHzの固定スイッチング周波数
- <1 μ Aのシャットダウン電流
- LLP-14パッケージで供給

白色LEDの表示部やキーパッド部の照明および一般的なLED照明に最適



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/LM27952.html

白色LEDバックライト・アプリケーションにおける効率の最適化

C_1 が入力とグラウンド間に再び接続されると、 C_{HOLD} がリニアに放電しますが、その放電量は次の式で求められます：

$$\Delta V_{OUT} = \frac{I_{OUT}}{2fC_{HOLD}}$$

ピーク・ツー・ピーク全出力リップル電圧は次の式で求められます：

$$V_{RIPPLE} \cong \frac{I_{OUT}}{2fC_{HOLD}}$$

同じリップル量に対しては、スイッチング周波数を高くするほど、出力コンデンサを小さくすることができます。

負荷電流が増えると、チャージポンプの寄生成分によって出力電圧が低下します。実際には、常にRMS電流 $2I_{OUT}$ が C_1 と2個のスイッチ($2R_{SW}$)を通る状態になります。その結果、次の式で求められる電力損失が生じます。

$$P_{SW} = (2I_{OUT})^2 (2R_{SW} + ESR_{C1}) = I_{OUT}^2 (8R_{SW} + 4ESR_{C1})$$

これらの純抵抗損失に加えて、RMS電流 I_{OUT} がスイッチング・キャパシタ C_1 の等価抵抗を通り、その結果、次の式で求められる電力損失が生じます：

$$P_{C1} = I_{OUT}^2 R_{C1} = I_{OUT}^2 \frac{1}{fC_1}$$

C_{HOLD} を通るRMS電流は I_{OUT} と等しく、その結果、次の式で求められる電力損失が生じます：

$$P_{ESR_HOLD} = I_{OUT}^2 ESR_{C_HOLD}$$

以上の損失をすべて合計した等価出力抵抗は、次の式で求められます：

$$R_{OUT} = 8R_{SW} + 4ESR_{C1} + \frac{1}{fC_1} + ESR_{C_HOLD}$$

従って、チャージポンプの出力電圧は、次のように定式化することができます：

$$V_{OUT} = 2V_{IN} - I_{OUT}R_{OUT}$$

通常、セラミック・コンデンサは低ESRで、スイッチング周波数が高いため、出力リップルと出力電圧降下はスイッチ抵抗に

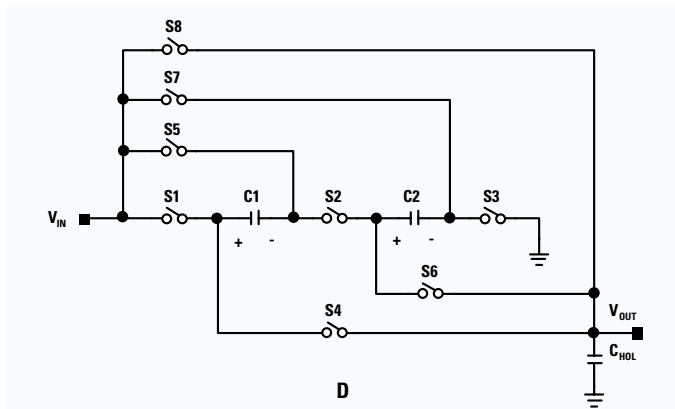


Figure 3. ゲインが1倍、1.5倍のスイッチト・キャパシタ型回路

左右されます。使用するスイッチとコンデンサの数を増やせば、他の電圧を作ることができます。

Figure 3 にコンデンサを使ったこの方式の図を示します。

繰り返しになりますが、電圧変換は2段階で達成されます。第1段階は、スイッチS1～S3が閉じた状態、スイッチS4～S8が開いた状態です。従って、 C_1 と C_2 はスタック（積み重ね）接続となり、(C_1 と C_2 が等しい場合) C_1 と C_2 は入力電圧の半分の値までチャージされます。

$$V_{C1+} - V_{C1-} = V_{C2+} - V_{C2-} = \frac{V_{IN}}{2}$$

出力負荷電流は出力コンデンサ C_{HOLD} から供給されます。このコンデンサが放電して、出力電圧が所望の出力電圧値を下回った時に、第2段階が起動し、所望の電圧値を超えるよう昇圧します。第2段階では、 C_1 と C_2 を V_{IN} と V_{OUT} 間で並列に接続します。スイッチS4～S7を閉じた状態、スイッチS1～S3とS8を開いた状態にします。コンデンサ内の電圧降下の変化は即座には起きないため、出力電圧は入力電圧値の1.5倍へ上昇します。これを表す式は次のとおりです：

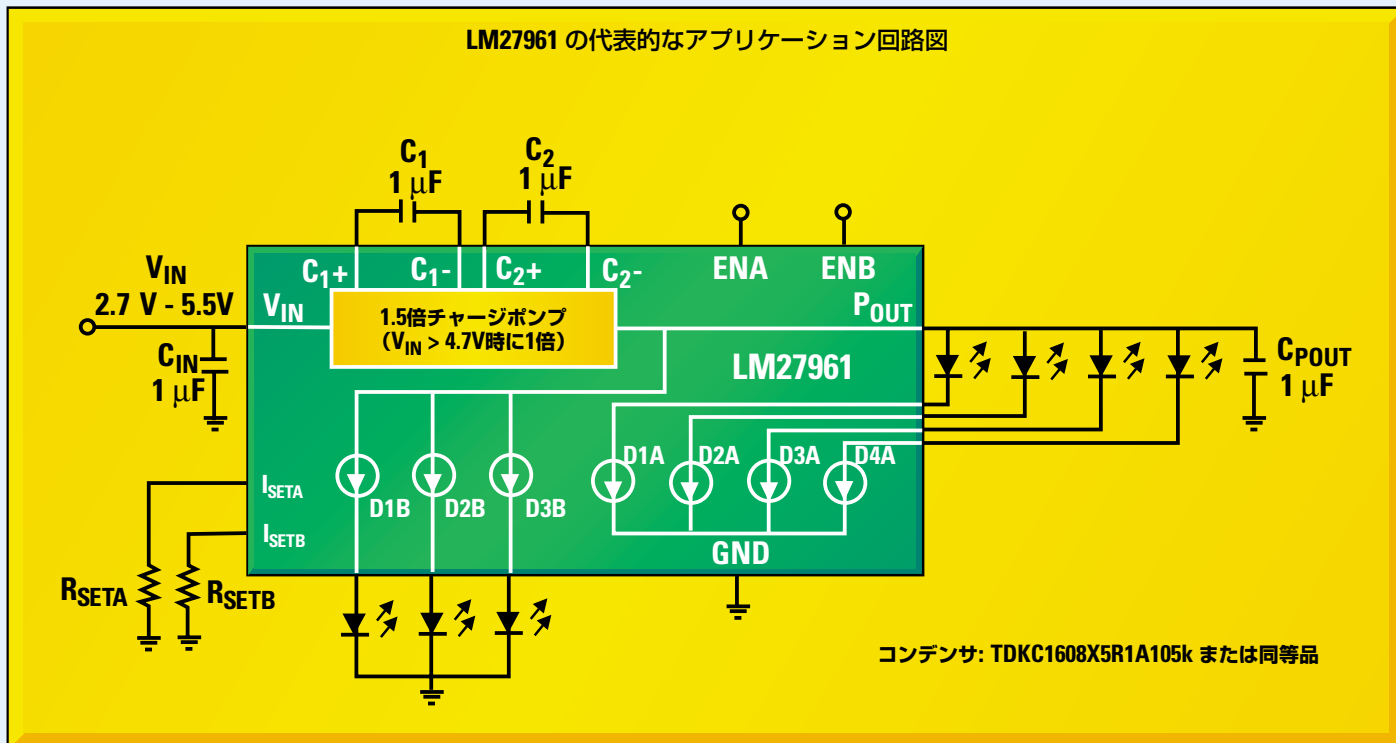
$$V_{C1+} - V_{C1-} = V_{C2+} - V_{C2-} = V_{OUT} - V_{IN} = \frac{V_{IN}}{2} \Rightarrow V_{OUT} = \frac{3}{2}V_{IN}$$

この方法で、昇圧を行うことができます。ゲインが1倍の電圧変換は、スイッチS8を閉じ、スイッチS1～S7を開くことによって達成されます。

1.5倍スイッチト・キャパシタ型昇圧コンバータ内蔵のデュアル・ディスプレイ白色LEDドライバ

インダクタ不要のLM27961は超小型セラミック・コンデンサのみを使用し、優れた性能を発揮

LM27961の代表的なアプリケーション回路図



LM27961の特長

- メインディスプレイのバックライト用として、1灯あたり最大20mAでアノード・コモン型LED4灯を駆動
- サブディスプレイのバックライト用として、1灯あたり最大20mAでカソード・コモン型LED3灯を駆動
- 抵抗による独立プログラムが可能な電流設定
- 電流と輝度の優れたマッチング特性
- 広いリチウムイオン・バッテリー入力電圧範囲: 2.7V~5.5V
- PWM輝度制御: 100Hz~1 kHz
- micro SMDパッケージで供給

携帯電話の表示部やキーボード部の照明、PDAおよび一般的なLED照明に最適

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/LM27961.html

白色LEDバックライト・アプリケーションにおける効率の最適化

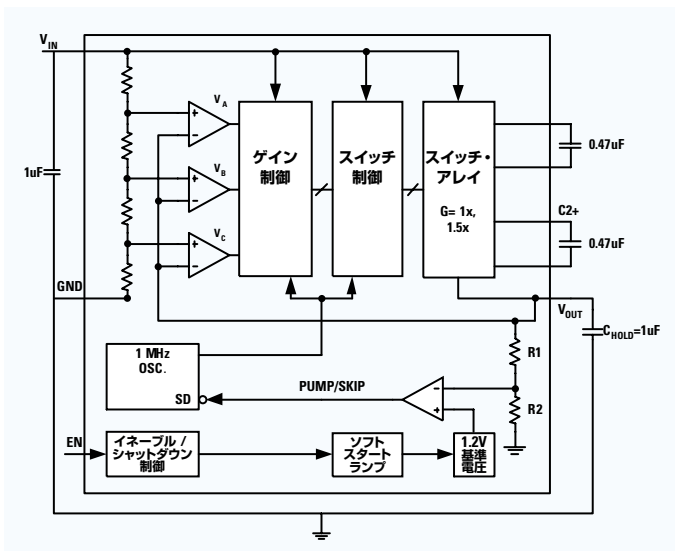


Figure 4. スイッチト・キャパシタ型レギュレータのブロック図

パルス周波数変調 (PFM) 方式

Figure 4は、マルチ・ゲインを使用する、単純化したパルス周波数変調 (PFM) レギュレーション方式を示したものです。スケールダウンした出力電圧を、PUMP/SKIPコンパレータで1.2V基準電圧と比較します。PUMP/SKIPコンパレータは、スタートアップ時にリニアにランプアップし、ソフトスタート機能を提供します。出力電圧が所望の限界値を超えると、デバイスはスイッチを止め、供給電流の消費を最小に抑えます。このアイドル状態の間は、出力負荷電流は出力コンデンサから供給されます。出力コンデンサが放電し、出力電圧が所望の出力電圧を下回ると、チャージポンプが起動し、出力電圧が再び所望の電圧値を上回るよう昇圧します。

PFMアーキテクチャの最大の利点は、明らかに軽負荷時です。通常、負荷への電流は出力コンデンサから供給されます。出力コンデンサの再チャージは、チャージポンプをイネーブルにすることによって行われますが、再チャージは時々必要になるだけなので、供給電流は非常に低く抑えられます。

一般的に、レギュレートされたチャージポンプは、広い入力範囲にわたって高効率を維持するわけではありません。入出力電流比は基本的な電圧変換に従って決められるため、出力電圧が入力電圧×チャージポンプ・ゲインより低くなると、コンバータ内で新たな電力損失が生じ、それに比例して効率が低下します。

$$\eta_{IDEAL} = \frac{V_{OUT} I_{OUT}}{V_{IN} I_{IN}} = \frac{V_{OUT} I_{OUT}}{V_{IN} G I_{OUT}} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN} G}$$

$$\eta_{IDEAL} \rightarrow 1 \Leftrightarrow V_{OUT} = G V_{IN}$$

入出力比に応じてゲインを変えられるコンバータの可変機能は、入力電圧範囲全体にわたって最適な効率達成を可能にします。理想的には、ゲインはリニアに変化するようにすべきですが、実際には、コンデンサとスイッチの数はある数に限定され、可能なゲイン構成は限定的にならざるをえません。

Figure 4では、入力電圧はスケールアップされて、3個のコンパレータの非反転ノードに印加されます。コンパレータのすべての反転ノードは出力電圧に接続されます。入出力電圧比に基づいて、コンパレータの出力がゲイン制御回路に3ビットのワードを供給します。この3ビットのワードは、最小ゲインGの選択に用いられ、所望の電圧変換を可能にします。ただし、白色LEDアプリケーションにおいては、適切なゲインGの選択は入出力電圧だけを基にするわけではありません。

結論

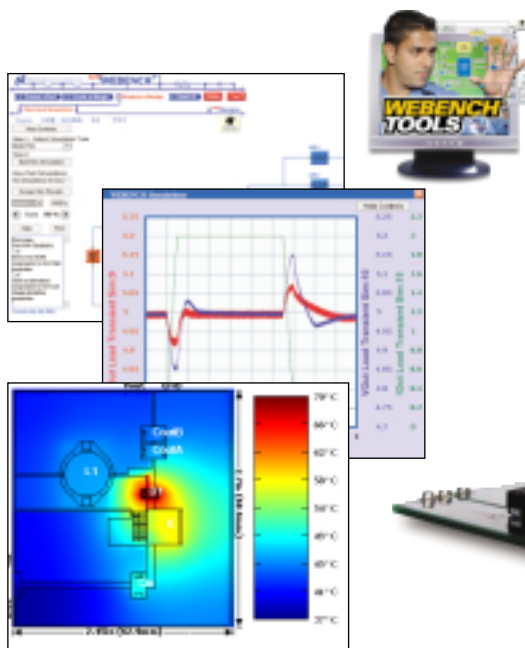
コイル・ベースのスイッチング型ではなく、スイッチト・キャパシタ型を用いる方法にはいくつかの利点があります。スイッチト・キャパシタ型電圧コンバータの明白な長所は、コイルを使わず、それに関連した磁気設計問題と無縁なことです。スイッチト・キャパシタ型コンバータはノイズが比較的低く、放射EMIも最小に抑えます。しかもアプリケーション回路は単純で、数個の小型コンデンサしか必要としません。

コイルを使わないので、最終的なPCBコンポーネントの高さは一般的に同様なスイッチングコンバータより低くなります。■

電源設計ツール

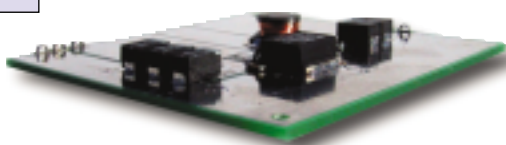
WEBENCH®オンライン設計支援ツール

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

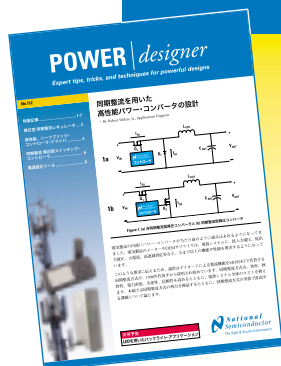
新製品、設計ツール、プレスリリース、新着資料など回路設計に役立つ最新情報を満載して日本語でお届けする月間Eメール・ニュースレターです。ユーザー登録の際に「お好みの言語」で Japaneseを選択してください。

www.national.com/JPN/newsletter

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！

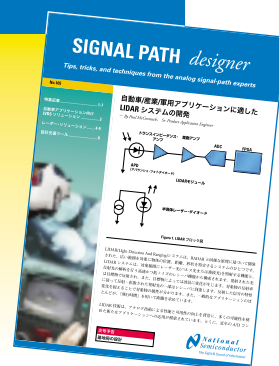


Power Designerのバックナンバーは
ナショナルのサイトでご覧いただけます。

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



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るとか、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