

Technical Article

ダイオードの電圧降下変動の補正



John Betten

ダイオードの整流特性は有用ですが、順方向電圧降下は温度によって大きく変化する可能性があります。これにより損失が増加し、電源に許容誤差をもたらす可能性があります。

ダイオードの損失をなくすことはできないかもしれませんが、特定のアプリケーションで許容誤差を低減できるような方法でダイオードを使用することは可能です。この記事では、これを実現する方法を示す 3 つの例を説明します。

抵抗とツェナー ダイオードでシンプルな低電流電圧レギュレータを構築できます。このタイプのレギュレータは、内部バイアス電圧のようなそれほど重要でないアプリケーションに適しています。この回路は通常、出力電圧を $\pm 10\%$ 程度の許容誤差でレギュレートします。ただし、ダイオードを直列に追加することで、レギュレーションを改善できる場合があります。

図 1 は、ツェナー ダイオードに直列にダイオードを追加した例です。図 1 の曲線は、さまざまなツェナー電圧に対する温度係数をプロットしたものです。4.7V を超えると、温度係数は正になり、動作温度が上昇するにつれてツェナー ダイオードにかかる電圧は上昇します。ダイオードの負の温度係数と組み合わせると、ツェナー電圧の上昇はダイオードの順方向電圧の減少によって一部相殺され、結果的に温度誤差が解消されます。

4.7V 未満のツェナー値は負の温度係数を持つため、ダイオードを直列に追加すると、実際には安定化誤差が大きくなります。

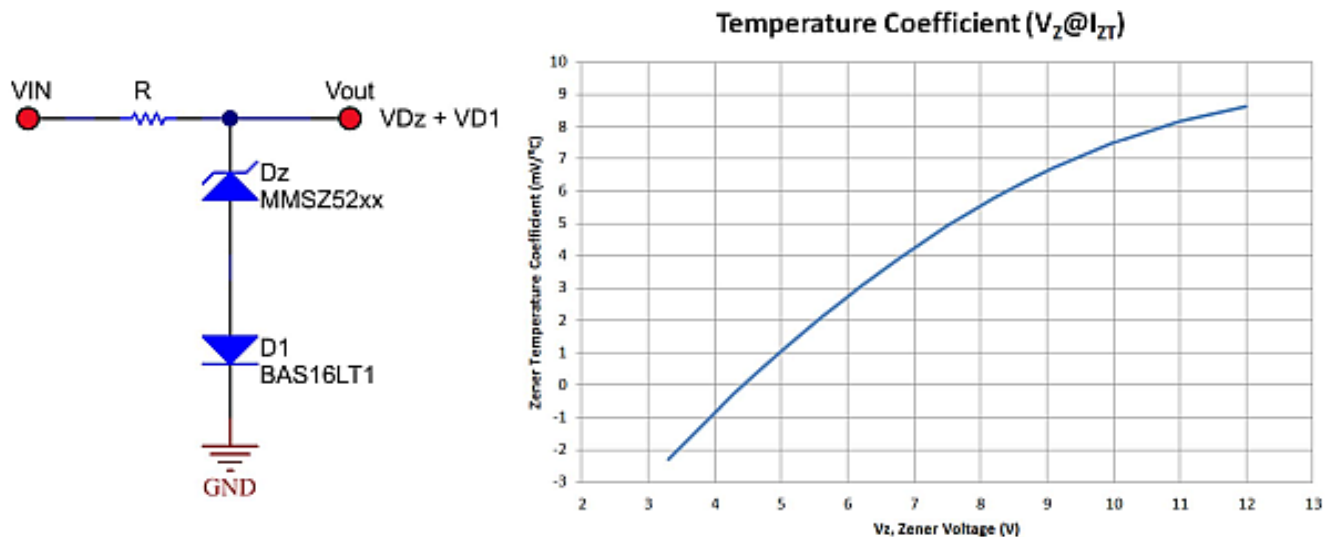


図 1. 正の温度係数のツェナー ダイオードと負の温度係数のダイオードを直列接続すると、温度誤差を低減できます。

たとえば、7.5V のツェナー ダイオードは $+5\text{mV}/^\circ\text{C}$ の温度係数を示しますが、従来のダイオード (BAT16) は 10mA で約 $-1.6\text{mV}/^\circ\text{C}$ です。この値は、ダイオード電流が非常に小さくなると、次第に負の値 ($-3\text{mV}/^\circ\text{C}$) になるため、ツェナー ダイオードの電流レベルで必ず確認してください。理想的には 2 つの温度係数が完全に相殺されることが望ましいのですが、それが現実的ではない場合や常に必要ではない場合もあります。完全な相殺が必要でなくても、単純な改善で十分である場合があります。正温度係数がさらに高い高電圧のツェナー ダイオードの場合、2 個 (またはそれ以上) のダイオードを使用することで相殺効果を向上させる可能性があります。

図 2 は、直列ダイオードなし、直列ダイオード 1 個使用時、直列ダイオード 2 個使用時など、 $25^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ で動作させた場合のさまざまなツェナー値に対する図 1 の電圧安定化誤差の計算値を出力電圧に対して示したものです。図 2 の縦線は、直列ダイオードを追加することで、7.5V 出力での温度依存誤差を 3~5% 低減できることを示しています。



図 2. 4.7V を超えるツェナー値で直列に 1 個以上のダイオードを追加すると、電圧安定化誤差を低減できます。

2 番目の例は、出力電圧情報を制御回路に送信するためにレベル シフタを必要とするコンバータについてです。

図 3 は、負入力から正出力への反転昇降圧回路です。制御回路は $-VIN$ レールを基準としていますが、出力電圧は GND を基準としています。制御回路が出力電圧を正確にレギュレートするため、レベル シフタは FB と $-VIN$ 間の V_{out} から GND への差動電圧を再現します。この実装では、 $(V_{out} - V_{be Q1})/R$ にほぼ等しい電流源が V_{out} から $-Vin$ に流れます。この電流はより低い抵抗に流れ、 $-Vin$ を基準として出力電圧を再構築します。ダイオードとして構成された $Q2$ を追加すると、 $Q1$ で失われた V_{be} 降下が回復します。 FB ピンでレベルシフトされた電圧は、ベータに関連するわずかな誤差を除いて、 V_{out} と GND 間の電圧を厳密に再現するようになりました。

ダイオード $Q2$ を追加する利点の 1 つは、両方にほぼ同じ電流が流れるため、その順方向電圧が $Q1$ の順方向電圧と非常に近くなることです。 $Q2$ で最適な電圧マッチングを実現するには、 $Q1$ と同じトランジスタを使用する必要があります。もう 1 つの利点は、両方のトランジスタの温度係数が同じであるため、順方向電圧をより正確に追従させることができることです。 V_{be} の変動に伴う温度誤差は、互いに相殺されるため大幅に低減されます ($V_{FB} \sim V_{out} - V_{be Q1} + V_{be Q2}$)。 $Q1$ と $Q2$ が同じ温度にさらされるように近くに配置するか、可能であればデュアルトランジスタ パッケージを使用することが重要です。

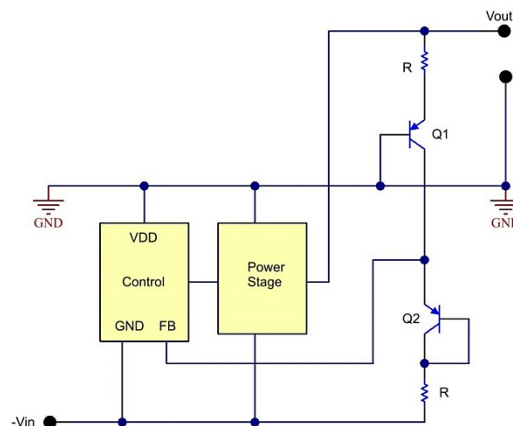


図 3. レベル シフタは $Q1$ に関連する変動を相殺するために $Q2$ を実装しています。

図 4 に示す 3 番目の例は、一連のチャージ ポンプ段を持つ昇圧コンバータを示しています。ここでは、各段 n は $V_n + 1$ の合計出力に約 V_1 を追加します。電圧マルチプライヤの動作の詳細については、『Power Tips: 出力電圧の乗算』を参照してください。

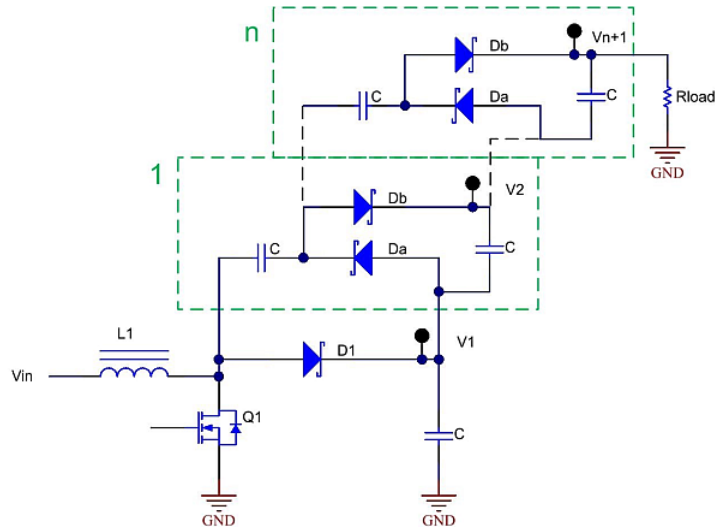


図 4. チャージポンプのダイオード電圧降下は、互いに相殺されることがあります。

式 1 は、合計出力電圧を次のように概算します。

$$V_{n+1} \sim (n+1) \times V1 + n \left(V_{D1} - V_{Da} - V_{Db} - \frac{I_{load}}{f_{sw} \times C} \right), n = \text{charge pump stages} \quad (1)$$

式 1 から、 V_{n+1} は n の倍数によってほぼ決定されますが、ダイオードの順方向電圧降下とチャージポンプ転送コンデンサのリプル電圧に関連する誤差項によって低減されることがわかります。すべてのダイオードが同じタイプで、順方向電圧が等しいと仮定すると、次のようになります。

$V_{D1} = V_{Da} = V_{Db}$ とすると、式 2 は次のようになります。

$$V_{n+1} \sim (n+1) \times V1 - n \left(V_{D1} + \frac{I_{load}}{f_{sw} \times C} \right) \quad (2)$$

式 2 では、右側の誤差項によって、出力が理想的な $n+1$ の倍数よりも低くなります。これを改善するには、 V_{Da} と V_{Db} にショットキーダイオードを使用し、 V_{D1} には順方向電圧降下が等しい従来のダイオードを使用します。

$V_{Da} = V_{Db} = V_{D1} / 2$ とすると、式 3 は次のようになります。

$$V_{n+1} \sim (n+1) \times V1 - n \left(\frac{I_{load}}{f_{sw} \times C} \right) \quad (3)$$

式 3 から、ダイオード電圧降下に関連する誤差項を低減することで、出力電圧をさらに上昇させることが可能であるのがわかります。式 3 はあくまでも近似式ですが、出力電圧が上昇するという点でこの考え方は成り立ちます。

ダイオードの順方向電圧と温度変化は、多くの場合で回路の性能を低下させますが、必ずしもそうとは限りません。ここに示す設計例は、ダイオードの温度依存特性を相殺または最小化できる方法を示しています。

Power House でテキサス・インスツルメンツの [Power Tips ブログ シリーズ](#) をご覧ください。

関連項目:

- 『[ダイオードの容量および逆回復の簡易測定](#)』
- 『[Power Tips #79: 高スルーレートでの負荷過渡テスト](#)』

過去に [EDN.com](#) で公開された記事です。

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ（データシートを含みます）、設計リソース（リファレンス デザインを含みます）、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、または [ti.com](#) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated