

Application Brief 低ノイズツェナー



Sebastian Muriel

はじめに

ツェナーはダイオードファミリの中でも、最も汎用性の高い製品のひとつであり、低コストの電圧レギュレータとして使用でき、さらに、過電圧イベントからのクランプ保護機能も備えています。電圧レギュレータや過電圧クランプとして使用されるツェナーの具体的な用途は、電動工具や車両のバッテリー管理回路など、さまざまなアプリケーションにおよんでいます。また、ツェナーは、ウェアラブルや充電器などのアプリケーション用途向けの電源設計にも広く使用されています。バッテリー駆動アプリケーションには、 μA 範囲の非常に小さい電流動作を必要な場合がありますが、ほとんどのツェナーダイオードは mA 範囲のテスト電流でその特性が定められています。50 ~ 500 μA の範囲のテスト電流では V_z が大きくドリフトする可能性があり、厳しい電圧レギュレーションが必要とされるアプリケーションでは受け入れられないおそれがあります。低いテスト電流でのこの V_z の動作を、ツェナーノイズ現象と呼びます。 V_z が 8.2V 以下の TI のツェナーダイオードは、このような低いテスト電流時には V_z ドリフトが小さいため、低電流で動作するアプリケーションには最適な設計になります。これらのダイオードは超小型マルチソースパッケージで供給されているため、レギュレータの IC に比べて基板面積だけでなく、BOM(部品表)コストを節減できます。

ツェナーノイズ現象

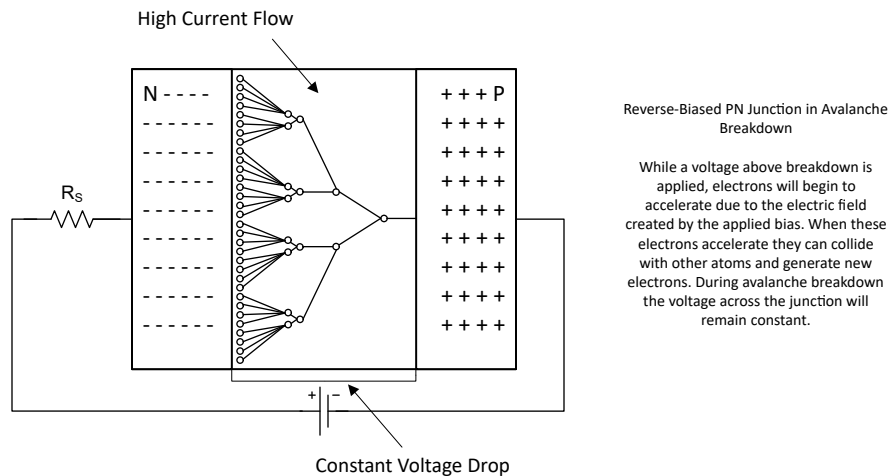


図 1. アバランシェブレイクダウン時の逆バイアス PN 接合

ツェナーダイオードが安定した V_z を供給するには、アバランシェモードに移行する必要があります。そのためには、次の 2 つの条件を満たす必要があります。

- 印加された電界強度(または逆電圧)が、ダイオードがブレイクダウン(絶縁破壊)に入るのに十分な大きさであること。
- ある程度の最小リーク電流が流れる必要があります。

1mA を下回る電流では、ダイオードのアバランシェブレイクダウンは瞬時に終了します。この条件では、ダイオードはがコンデンサのように動作する場合があります。立ち上がり電圧信号の時定数は、電流駆動の抵抗とダイオード容量(CD)によって決まります。

ダイオードを高電圧まで充電すると、別のアバランシェブレイクダウンが発生するおそれがあります。これらの条件下では、アバランシェブレイクダウンの開始または終了により、ツェナー全体の電圧が上昇する可能性があります。この現象をツェナーノイズと呼びます。

図 2 に、逆電流 50uA 時での 39V ツェナーダイオードのノイズ現象を示します。各立ち上がり勾配の間に、ダイオードは短時間アバランシェモードを終了し、p-n 接合を通る電子の流れを阻止します。束縛電子を押し戻すのに十分な電荷が蓄積されると、他の電子との衝突が発生し、別のアバランシェ破壊のトリガーがかかるまでより多くの電子がイオン化される場合があります。50uA の範囲の小さい逆電流では、ブレイクダウン電圧を下回るまで電圧が低下し、ダイオードはアバランシェモードが再び終了します。アバランシェブレイクダウンによるスイッチングは、ツェナーノイズが発生します。約 1mA またはそれ以上の大きな逆電流の場合、十分な逆電圧が印加されていれば、ダイオードはアバランシェブレイクダウンを維持できます。このため、ほとんどのツェナーダイオードは安定した V_z が観測される mA 範囲の逆電流で特性付けされています。

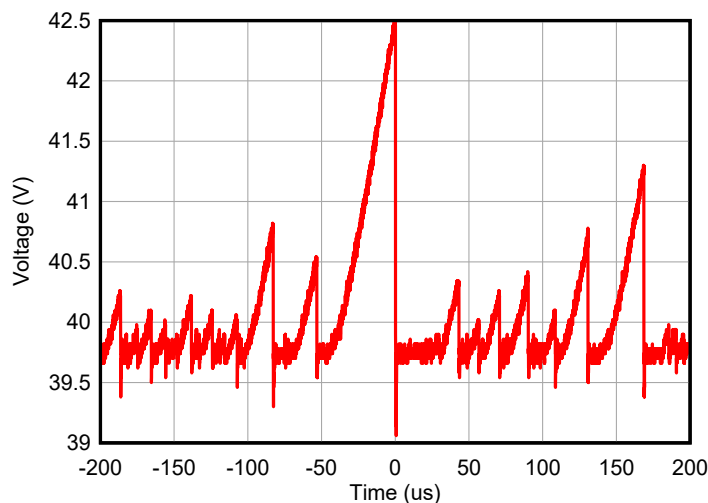


図 2. 50uA で 39V V_z

図 3 は、50uA のテスト電におけるテキサス インスツルメンツの BZX84C8V2 と、競合製品の 8.2V ツェナーダイオードの V_z ドリフトを示しています。TI のダイオードのピークツーピーク電圧ははるかに低く、最小限のリングングで V_z に向けて迅速に安定します。ダイオードグループの低ピークツーピークノイズをテストした TI の設計では、この低テスト電流ではノイズ現象がより優勢になります。

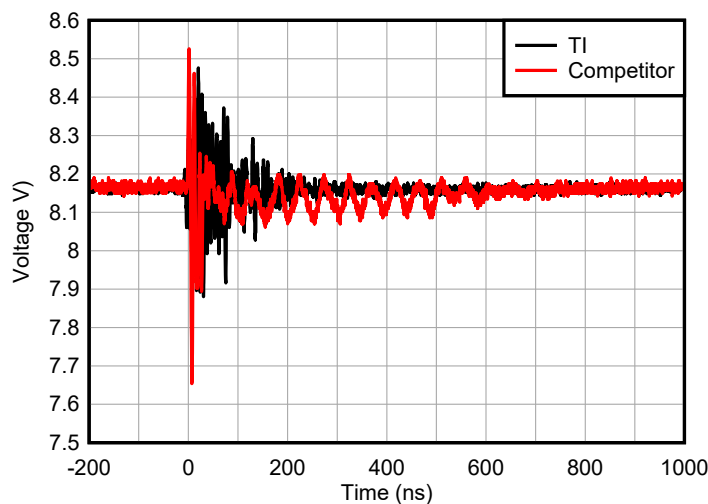


図 3. 50uA で 8.2V V_z

理論的には、テスト電流が増加するにつれて、ピークツーピークノイズがより低くなります。これは、 V_z 以上の電圧が供給されるとアバランシェブレイクダウンを維持できるためです。アバランシェブレイクダウンを維持するために必要な電流は、プロセステクノロジーの違いにより、サプライヤごとに異なる場合があります。テキサス インスツルメンツのツェナーダイオードは、テスト電流が増加するにつれてノイズが着実に低減しますが、競合他社のツェナーダイオードは、500uA においてより高いノイズを示しました。

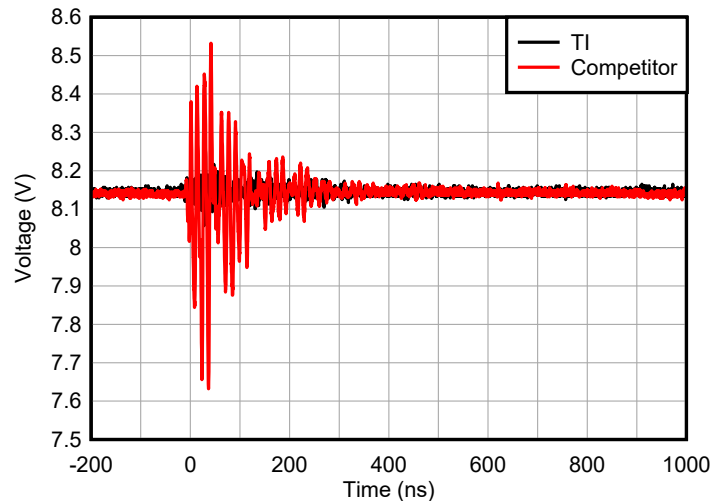


図 4. 500uA で 8.2V Vz

サンプル アプリケーション

ツェナーは多くの場合、バッテリーパックの設計に実装され、セルの過電圧と低電圧、過熱、充電と放電の過電流モードなど、状況を監視する機能を搭載しています。ツェナーの低電流特性は、バッテリー管理ユニットがわずか数 μA の低消費電力モードで動作するアプリケーションに適しています。バッテリーパックの設計でツェナーを幅広く使用するのには、電圧レギュレーションだけが目的ではなく、多くの場合数ボルトしか耐えることができない MCU の GPIO やバッテリーモニタ IC 温度センサピンなどの高感度回路のクランプ保護も目的としています。ツェナーに過渡パルスが検出され、流すことのできるバイアス電流がわずか、または皆無の場合、オーバーシュートが悪化する可能性があります。低電流時により安定した Vz を示すことができるツェナーは、このようなシナリオではより安定したクランプ電圧になる可能性があります。

バッテリーパックリファレンスデザインの下に示す簡略回路では、スイッチ (SW) のトリガがかかった瞬間にセル 1 の電圧が変動する可能性があります。この電圧が絶対最大電圧定格を下回るレベルにクランプされない場合、バッテリーモニタ IC の温度センシングピンが損傷するおそれがあります。ウェークアップ後、電圧監視は通常に戻りますが、DC 電圧やクランプ過渡をレギュレートするためには D1 ツェナーが必要です。

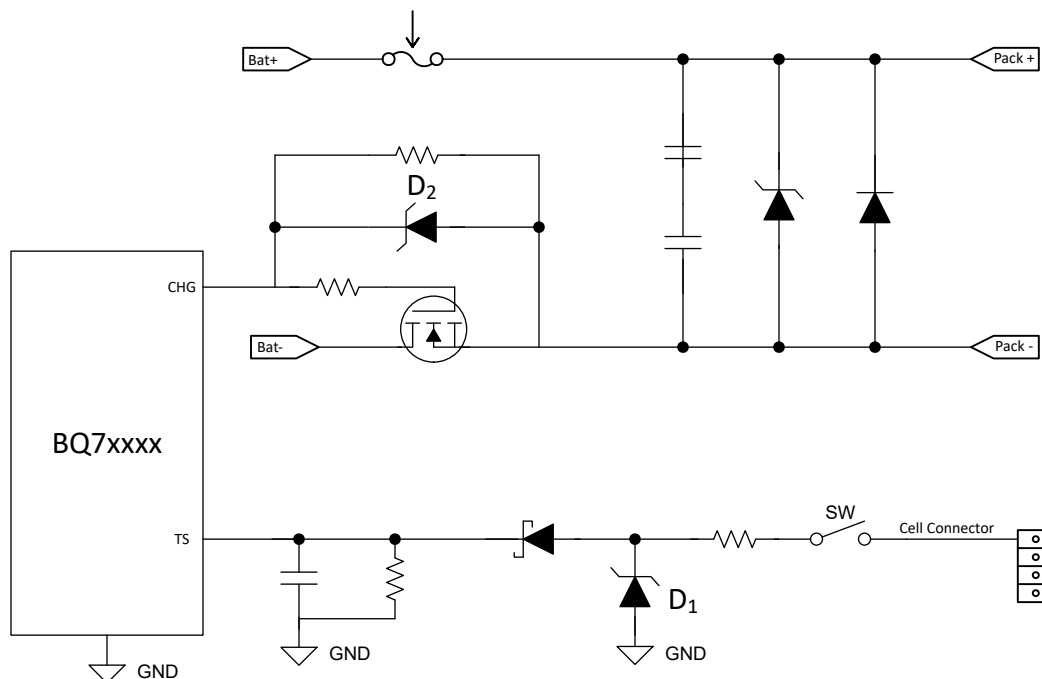


図 5. バッテリー監視保護回路の概略図

D2 ツェナーダイオードは、パックの+/-接続に配線されている外部の充電/放電制御 FET の V_{GS} に損傷を与えるおそれのある過渡電圧をクランプするためにも必要です。バッテリー側では、セルバランシング FET の場合も過渡クランプ保護が必要になります。

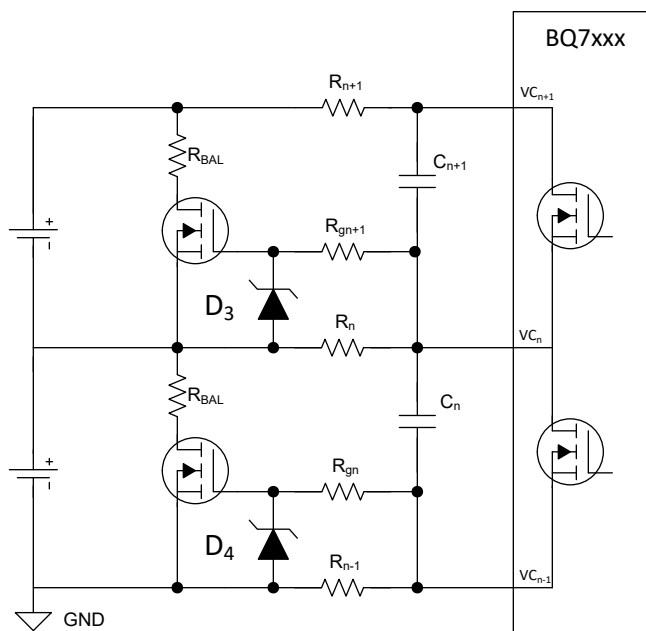


図 6. バッテリセル保護回路の概略図

このバッテリーパックのリファレンスデザインには CAN トランシーバもあり、5V 電源の電圧スパイクを 5.6V ツェナーでクランプします。

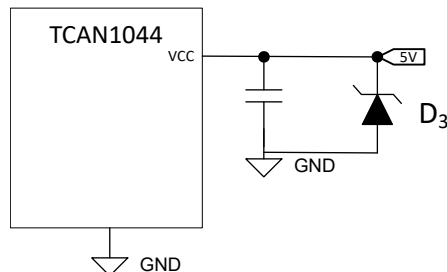


図 7. 電源ピンの保護またはレギュレーション回路

バックアップバッテリーユニットなどのバッテリー駆動アプリケーションの電源は、多くの場合、バッテリー寿命を最大化するために、小電流動作が必要です。以下の図にあるように、D1 と D2 のツェナーダイオードを使用して、昇降圧コントローラの BOOT - SW ノード電圧を絶対最大定格未満に維持しています。これらのスイッチノードではリングにより、BOOT から SW への電圧にスパイクが発生するおそれがあります。また、テキサス・インスツルメンツのツェナーダイオードは、業界標準のツェナーダイオードと比較して静電容量が小さいという特長があります。これは、追加の寄生容量によって引き起こされる過剰なスイッチング損失を回避するうえで、スイッチノード電源において重要です。

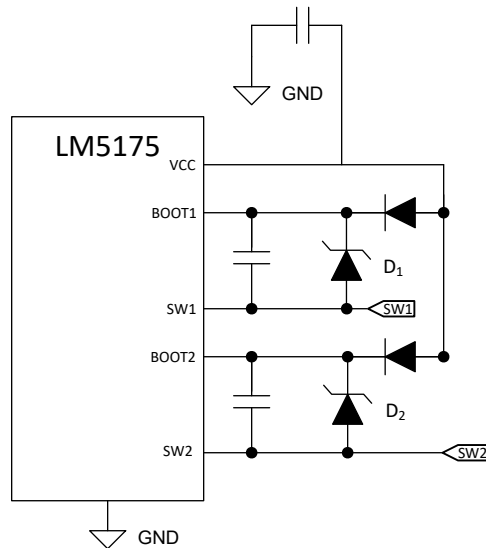


図 8. 昇降圧コントローラの SW ノード保護

まとめ

ツェナーダイオードはパワーエレクトロニクスでは重要な部品であり、さまざまな市場で安価で信頼性の高い電圧安定化とクランプ保護機能を提供しています。ただし、低電流時のツェナー性能は、ツェナーノイズ現象によって安定した電圧レギュレーションを行うために特性評価する必要があります。TI の低ノイズツェナーダイオードは、わずか数 μA の電流で安定したブレークダウン電圧を実現して、この制限に対処します。TI のツェナーダイオードの詳細と選択肢についてはこちらを参照してください。[ツェナーダイオード](#)。

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

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 © 2025, Texas Instruments Incorporated