

Application Note

電圧リファレンスを使用した高精度電流ソースおよびシンク



Marcoo Zamora

概要

電流ソースと電流シンクは、LED ドライバやセンサへのバイアス供給など、多くのアプリケーションで一般的に使われる回路です。LM134 や REF200 などの一般的な電流リファレンスは、幅広いアプリケーションに対応するために必要な外付け部品を最小限に抑えて、この選択を容易にするように設計されています。ただし、プロジェクトの要件によっては、これらのデバイスで提供できる以上の性能が求められたり、実装しにくくなる制約が生じたりすることがあります。このような場合は、TL431 などの電圧リファレンスと少数の外付け部品を使用することで、柔軟にアプリケーション要件を満たす、高性能のシンプルな電流バイアスを作り出すことができます。電流ソースおよびシンクについては、SBOA046 や SLYC147 など、テキサス インストルメントの他のアプリケーション ノートで詳細に説明されていますが、このアプリケーション ノートではこれまで説明していなかった他の一般的な電流ソースについても解説しています。

目次

1 高精度電圧リファレンス.....	2
2 電圧リファレンス付きの電流シンク.....	2
2.1 シャント電圧リファレンス ATL431LI 付きの電流シンク (TL431 と等価).....	2
2.2 シリーズリファレンス付きの電流シンク.....	4
2.3 REF3425 付きの電流シンク.....	4
3 電圧リファレンス付きの電流ソース.....	5
3.1 ATL431LI 付きの電流ソース (TL431 と等価).....	5
3.2 LM4041-N による電流ソース.....	6
3.3 シリーズ電圧リファレンス付き電流ソース.....	6
4 まとめ.....	7
5 参考資料.....	7
6 改訂履歴.....	8

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 高精度電圧リファレンス

ディスクリート高精度電流リファレンスを作成する際に重要な部品は、高精度の電圧リファレンスです。電圧リファレンスのアーキテクチャには、シャント型とシリーズ型の 2 種類があります。シャントリファレンスはツェナー ダイオードと機能が類似しており、シリーズリファレンスはリニア レギュレータに似ています。シリーズリファレンスは高精度の電圧レギュレータで、一般にシャントリファレンスよりも高い精度の電圧を供給できます。シャントリファレンスとシリーズリファレンスは、温度補償機能を搭載した内部バンドギャップにより、さまざまなレベルの精度とアーキテクチャを実現できます。理想的な電流ソースは負荷への電流をシンクおよびソースできますが、一般にディスクリート電流ソースはシンクまたはソースのいずれかに設定されます。以下のアプリケーション ノートでは、シャントリファレンスとシリーズリファレンスの両方を使用して電流ソースおよびシンクを作成する方法について説明します。

2 電圧リファレンス付きの電流シンク

高精度の電流シンクは、トランジスタ、アンプ、電圧リファレンスを組み合わせることで作成できます。図 2-1 に、電流シンクの基本的な概念を示します。このシンクは、レギュレートされた電流シンクを作成するために抵抗の両端の電圧をレギュレートするオペアンプで構成されています。この構成における V_X はシャントまたはシリーズ電圧リファレンスを表します。 V_X の電圧が低いほど、この構成が必要とされるヘッドルームが縮小し下がります。この構成は『電圧リファレンスを使用した設計のヒントとコツ』でより詳しく解説されています。電流シンクは多くの場合、LED 駆動、バッテリー放電、熱電対、センサバイアスなどのアプリケーションに使われます。

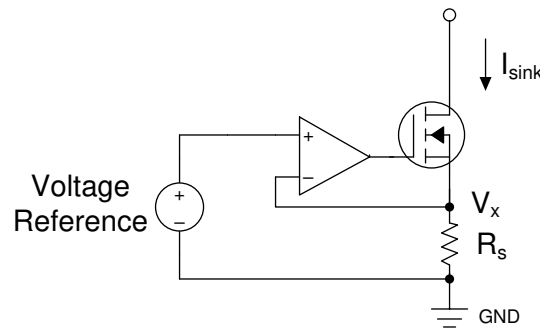


図 2-1. 電流シンクのブロック図

2.1 シャント電圧リファレンス ATL431LI 付きの電流シンク (TL431 と等価)

シャントリファレンスには、固定電圧と調整可能な電圧のバリエーションがあります。最も一般的な可変シャントリファレンスは TL431 と LM4041-N で、両者は機能が似ているものの特性や動作が異なるため、用途に応じて電流ソース/シンク回路で使い分けられます。TL431 は、カソードと REF から帰還ループを使用して出力電圧をレギュレートします。LM4041-N の帰還ループが FB とアノードの間にあるため、LM4041-N は TL431 と異なる動作をします。

TL431 の内部エラー アンプを利用して TL431 デバイスを使用することで、追加のオペアンプが不要になるため、図 2-1 の回路図をさらに簡素化できます。TL431 のカソードと REF 間の帰還ループにより、トランジスタを挿入して、 R_S の両端で V_X のレギュレーションを V_{REF} にすることができます。図 2-2 に示すように同じアーキテクチャを共有しているため、この TL431 との統合方式はすべての 431 系製品に対応します。

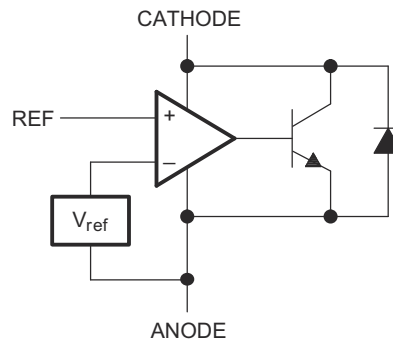


図 2-2. TL431 の機能ブロック図

図 2-3 に、ATL431LI を示します。TL431 同等品は、電流シンクモードでは低 $I_{KA(min)}$ を使用しています。この回路図は LED ドライバで広く用いられており、精度と帯域幅が高いため、少ない外付け部品で高い精度を実現できます。

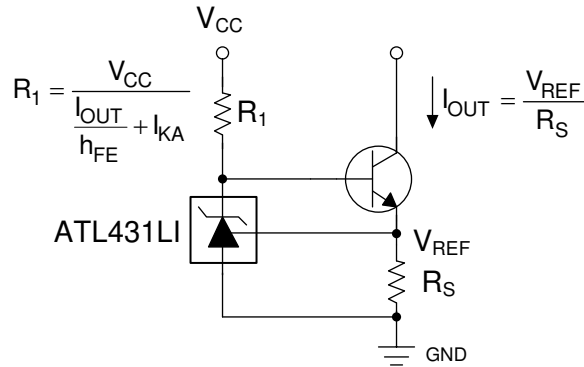


図 2-3. ATL431LI 付きの電流シンク

- R_1 = 入力バイアス抵抗 (Ω)
- R_S = 電流センス抵抗 (Ω)
- I_{OUT} = 出力電流ソース (A)
- I_{KA} = カソード電流 (A)
- V_{REF} = 内部フィードバックリファレンス (約 2.5V)
- V_{CC} = 入力電源電圧 (V)
- h_{FE} = トランジスタの DC 電流ゲイン

ATL431LI は、トランジスタの基部を制御し、内部オペアンプからの帰還を使って、 R_S 両端の電圧変化に応じてベース電流を変化させます。負荷電流が流れる経路は R_S のみであるため、 R_S 両端の電圧を制御すると負荷を流れる電流が制御されます。カソードとリファレンスの間にバイアスコンデンサを接続するとシステムの安定性が向上しますが、これによって回路の応答時間が短くなります。このアプリケーションにおける主な誤差の原因は、ATL431LI、 R_S の精度、温度ドリフトです。ATL431LI 精度グレードのバリエーションに応じて、温度範囲全体にわたる総合誤差はだいたい 1% ~ 2% になります。

ATL431LI を使用する主な利点は、 $I_{KA(min)}$ が小さく、 R_1 の値を大きくできることです。これにより、システムの I_Q を低減できます。この電流シンクアプリケーションでは、 I_{KA} は I_{OUT} とは分離されているため、 I_{OUT} の精度が I_{KA} と V_{CC} の変動の影響を大きく受けることはありません。ATL431LI は X2SON パッケージに封止されているため、TL431 SOT23-3 に比べて占有面積をはるかに小さくできます。電流シンクの代表的なアプリケーションは LED 駆動であり、ATL431LI のサイズが小さいため、より多くの LED を PCB に収容できます。また、システムがより大きなヘッドルームを必要とする場合、TLV431 の 1.24V バンドギャップを活かして ATL431LI の代わりに TLV431 を使用できます。

図 2-3 などの電流シンクアプリケーションでは、制約事項さえ把握していれば、NPN と NMOS の間でトランジスタを交換できます。NPN は NMOS に比べてオーバーヘッド電圧が小さい必要がありますが、ベース電流のために電流シンク要件が高くなります。NPN を使用して 1A 以上の大電流をシンクする場合は、高いベース電流要件があるため、ダーリントンペアを使用します。

2.2 シリーズ リファレンス付きの電流シンク

図 2-1 では、高精度電流シンクを生成するために電圧リファレンスが必要であることを示していますが、電流シンクでシャントリファレンスを使用できる一方、直列電圧が供給できるほど高精度ではありません。REF3425 は、図 2-4 に示すように、総合誤差 0.1% の電圧リファレンスを生成するために使用できる高精度電圧リファレンスです。この種のトポロジには、負荷の電圧ヘッドルームに関しても追加の利点があります。式 1 および 式 2 に示すように、ヘッドルームの大きさは使用するトランジスタのタイプによります。このヘッドルームは、負荷が規定電流を維持できる最大電圧を指します。たとえば、LED ドライバのような特定のアプリケーションでは、電圧ヘッドルームによって直列 LED の数が決まります。5V レールでは、電圧リファレンスが 2.5V の場合、2 個の赤い LED または 1 個の青色 LED をスタックするのが困難なことがあります。図 2-4 では、分圧器を使用して REF3425 電圧を 0.5V まで分周することで、ヘッドルームが拡大します。

$$V_{\text{headroom}} = V_{\text{DD}} - V_{\text{RS}} - V_{\text{CE}} \quad (1)$$

$$V_{\text{headroom}} = V_{\text{DD}} - V_{\text{RS}} - V_{\text{DS}} \quad (2)$$

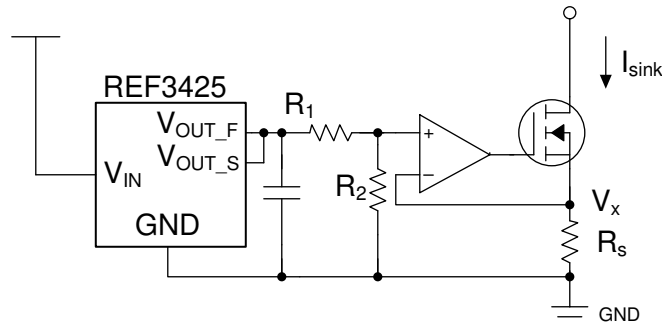


図 2-4. シリーズ リファレンスと分圧器を使用した電流シンク

2.3 REF3425 付きの電流シンク

REF3425 などの電圧リファレンスは、シングル アクティブ デバイスの設計として、電流シンク アプリケーションに使用できます。REF34 ファミリのフォース / センス出力により、図 2-5 に示すように REF3425 によって NPN を制御および安定化できます。このアプリケーションでは適切なレギュレーションのために、REF3425 を $V_{\text{OUT}} (2.5\text{V}) + V_{\text{BE}} (0.7\text{V})$ より高い電圧でソースする必要があります。

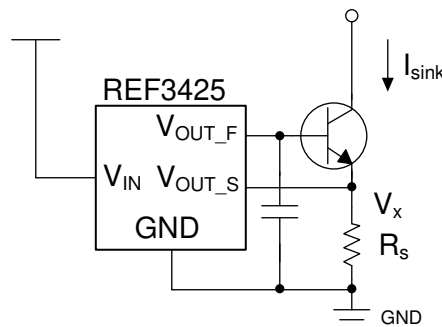


図 2-5. REF3425 を使用した電流シンク

3 電圧リファレンス付きの電流ソース

電流シンクと同様の構造を持つ高精度の電流ソースを作成できます。主な違いは、電流ソースからグランドへの負荷電流を流すことです。これにより、各種のアプリケーションに対応できます。電流ソースを使用して、バッテリー、LED 駆動、温度センサのバイアス印加、マルチメータを充電できます。電流ソースには、基準負荷を独立したグランドに直接接続するという利点があります。負荷のグランドへの直接接続を行うことで、負荷電圧をグランドと直接比較して、センサの電圧および電流を測定することができます。

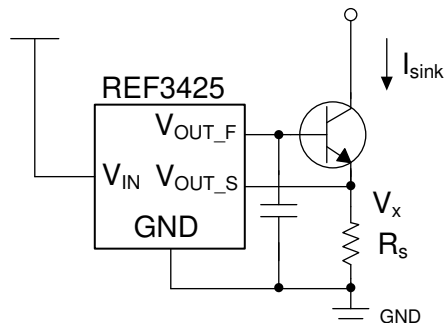


図 3-1. 電流ソース付きの温度センサ

3.1 ATL431LI 付きの電流ソース (TL431 と等価)

ATL431LI は、GND 側の負荷を接続することで電流ソースとしても動作できます。ATL431LI を電流ソースとして使用する際の主な欠点は、電流の精度が ATL431LI のバイアス電流とトランジスタを流れる電流の合成となる点です。より高精度な電流シンクを実現するためには、 I_{R_s} を I_{KA} バイアス電流よりも十分に大きくする必要があります。

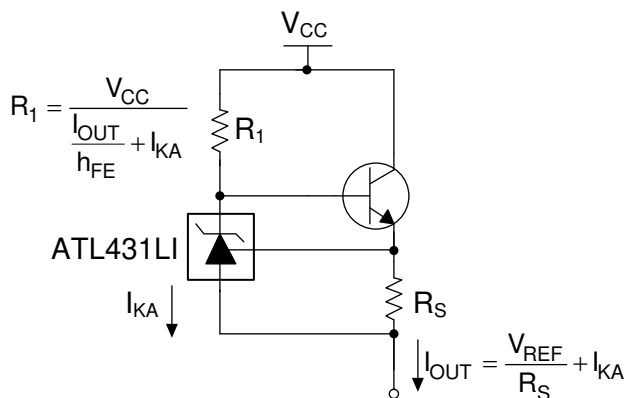


図 3-2. ATL431LI 付きの電流ソース

このアプリケーション回路は、主に TLVH431 を中心に [SLYT768](#) で詳細に説明していますが、アプリケーションの概念は ATL431LI と TL431 にも適用できます。

3.2 LM4041-N による電流ソース

TI の LM4041-N ADJ は電流ソース回路で好まれる設計であり、ATL431LI と異なり FB の電圧がカソード基準である点
が特徴です。そのため、LM4041-N ADJ を電流ソース構成で使用し、 I_{OUT} を I_{KA} から独立させるにすることができます。
ATL431LI と比較した場合の LM4041-N ADJ の利点は、高い精度とシンプルな回路構成にあります。

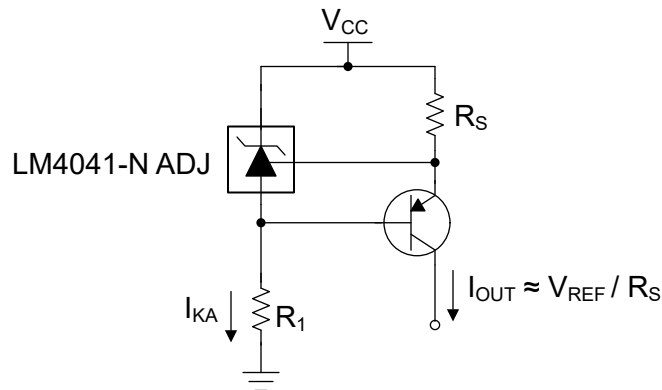


図 3-3. LM4041-N ADJ による電流ソース

- R_1 = 入力バイアス抵抗 (Ω)
- R_S = 電流センス抵抗 (Ω)
- I_{OUT} = 出力電流ソース (A)
- I_{KA} = カソード電流 (A)
- V_{REF} = 内部フィードバックリファレンス (約 1.2V)
- h_{FE} = トランジスタの DC 電流ゲイン

負荷に供給される電流は R_S 抵抗と LM4041-N により制御され、その両端に 1.2V の電圧降下が強制されます。PNP トランジスタは、LM4041-N からのフィードバックに基づいて、負荷を流れる電流をレギュレートします。負荷に供給される電流が減少すると、LM4041 の内部オペアンプが、トランジスタのベースからより多くの電流を引き出すことで、 R_S 両端で正しい電圧を再調整します。 I_{OUT} は、 h_{FE} を用いて算出されるベース電流分だけ減少します。高精度のアプリケーションでは、PNP ダーリントン ペアを使用してベース電流の消費を低減できます。

3.3 シリーズ電圧リファレンス付き電流ソース

シリーズ電圧リファレンスを使用すると、電流ソースの精度を高めることができます。SBVA001 および SBOA046 に、REF102 を電流のソースおよびシンクとして使用する方法を示します。REF102 電流ソース アプリケーションは、他のシリーズ電圧リファレンスを拡張できます。

4 まとめ

5 参考資料

- テキサス インストルメンツ、『[電流ソースおよび電流レシーバの実装とアプリケーション](#)』、アプリケーション ノート
- テキサス インストルメンツ、『[電圧リファレンスを使用した設計のヒントとコツ](#)』、[e-Book](#)
- テキサス インストルメンツ、『[産業用アプリケーション向けのハイサイド電流ソース](#)』、アナログ設計ジャーナル

6 改訂履歴

Changes from Revision * (June 2020) to Revision A (April 2026)	Page
• ドキュメント全体にわたって表、図、相互参照の採番方法を更新。.....	2
• LM4041-N ADJ による電流ソースの図を更新し、冗長な行項目を削除。.....	6
• 概要セクションを追加しました。.....	7

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](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。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。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

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

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日 : 2025 年 10 月