

高精度のローサイド電流測定

Dennis Hudgins、電流センシング製品担当者



ほとんどのアプリケーションでは、電流の測定は抵抗の両端における電圧ドロップの検知により行われます。電流測定の抵抗は、回路の中で一般に2つの場所に配置されます。最初の場所は、電源と負荷との間です。この測定方法は、ハイサイド・センシングと呼ばれます。センシング抵抗が一般に配置される2番目の場所は、負荷とグラウンドとの間です。電流を感知する方法は、ローサイド電流センシングと呼ばれます。負荷の電流を感知するこれらの方法の両方を、[図 1](#)に示します。

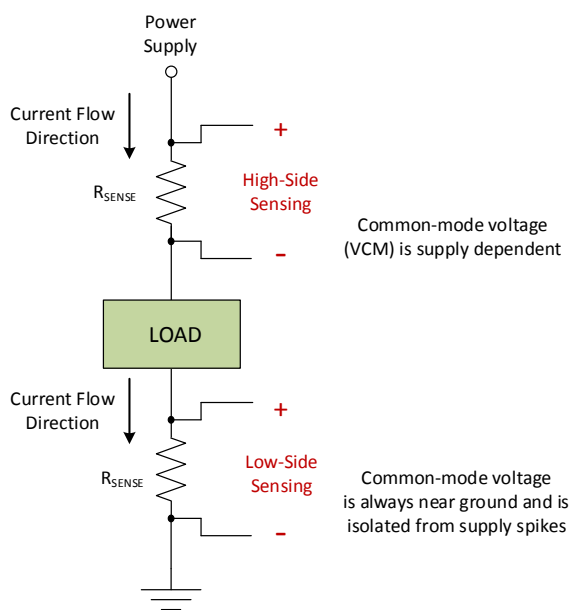


図 1. 電流センシングの方法

どちらの測定方法にも、利点と欠点とが存在します。ローサイド電流測定の利点の1つは、コモンモード電圧、つまり測定入力における平均電圧がゼロに近いことです。これによって、アプリケーションの回路の設計や、この測定用のデバイス選択が簡単になります。電流センシング回路から見える電圧がグラウンドに近い場合、非常に高い電圧を取り扱うとき、または電源電圧にスパイクやサージが発生しやすいアプリケーションでは、この電流測定方法が好まれます。高電圧スパイクへの耐性と、高電圧システムの電流を監視できることから、ローサイド電流センシングは多くの車載用、産業用、テレコムアプリケーションで広く使用されています。

ローサイド電流センシングの主な欠点は、センシング抵抗の両端での電圧ドロップが、電源グラウンドと負荷/システム・グラウンドとで差分として見えることです。他の回路が電源グラウンドを参照している場合、これが問題となる可能性があります。この問題を最小化するため、連係動作を行う回路はすべて、同じグラウンドを参照する必要があります。電流センシング抵抗の値を減らすと、グラウンドのシフトを最小にできます。

ローサイド電流センシングは、電流測定の回路の設計、またはデバイスの選択を行うとき、最も使いやすい方法です。入力におけるコモンモード電圧が低い場合、差動アンプを使用できます。オペアンプ(op-amp)を使用する従来型の差動アンプの典型的な例を、[図 2](#)に示します。

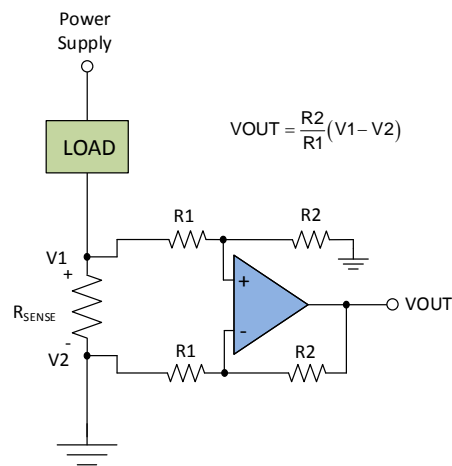


図 2. ローサイド・センシング用のオペアンプ構成

電流センシング測定用にオペアンプを使用する場合、正しい動作を保証するため、いくつかの条件を満たす必要があります。最初に、オペアンプは信号電源から動作するとき、グラウンドまでの同相入力電圧をサポートする必要があります。差動アンプは通常、差動入力信号に対してゲインアップを行うため、信号が正しく出力へ渡されることを保証するため、オペアンプのレールへのスイング仕様が重要です。これらの理由から、電流センシング測定には一般に、フルスイング入力および出力のオペアンプが好まれます。オペアンプは差動アンプ構成での仕様が規定されていないため、実際のアプリケーションでの性能を予測するのは困難で

す。電流センシング回路を作成するため、オペアンプの周囲に抵抗を追加すると、スルー・レート、帯域幅、入力電流、同相除去、ドリフト係数などのパラメータがすべて劣化します。これらのパラメータの劣化は、アンプのクロズド・ループ・ゲインと、ゲイン設定抵抗の値によって異なります。ディスクリートで実装するとき、**図 2**のR1およびR2の一致および許容誤差を考慮する必要があります。これらの部品の差異は回路のゲイン誤差に直接影響を及ぼすためです。

ディスクリートで電流センシング・アンプを実装するとき考慮すべきもう1つの点は、PCBレイアウトです。R1およびR2は、オペアンプおよび電流センシング抵抗と出来るだけ近く配置する必要があります。これらの部品をオペアンプの近くに配置することで、オペアンプの正入力にノイズを拾う可能性が減少します。多くの電流センシング・アンプはDC/DCコンバータとともに使用されるため、DC/DC電源により放射されるノイズを避けるよう、電流センシング回路全体の配置を注意深く検討する必要があります。差動アンプのゲインは、**図 2**に示す式で計算できます。ただし、ゲインの増大または減少は、安定性および帯域幅に影響します。容量性負荷が存在するアプリケーションでは、発振や過剰なリングングを回避するため、オペアンプの安定性について特別な考慮が必要です。

ディスクリートの弱点に対処する効果的な方法は、**図 3**に示す電流センシング・アンプを使用することです。

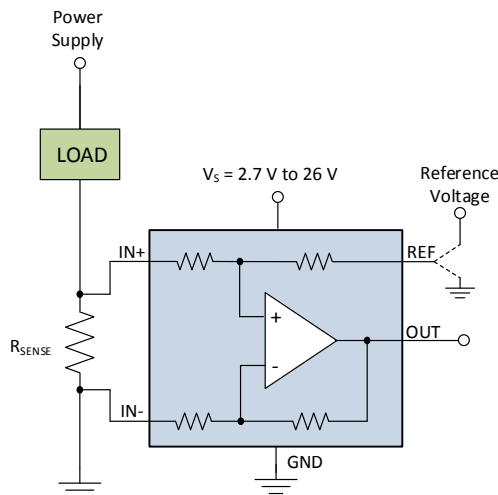


図 3. INA199電流センシング・アンプを使用するローサイド電流センシング

電流センシング・アンプとゲイン設定抵抗が内蔵されているため、ディスクリートでの問題点のレイアウトの懸念の多くが解消されます。内部抵抗はミスマッチを減らすよう設計されており、これによってゲイン誤差が最小になります。電流センシング・アンプは、多くの異なるゲインの要求に対応できる

ようになっています。たとえば、**INA199**は50、100、200V/Vのゲインで利用可能です。帯域幅およびコンデンサの負荷安定性は、各ゲイン設定について、データシートに記載されている最大容量性負荷で最適化されています。ゲイン設定抵抗の内蔵により、ノイズ感受性やPCB面積が減少し、レイアウトが簡素化されます。これらの抵抗の内蔵によって、パッケージ・サイズが増大するとは限りません。**INA199**は、2mm×1.25mmのSC70-6リード付きパッケージと、1.8mm×1.4mmのUQFNパッケージがあります。

INA199の電流測定精度は、コストが低いディスクリートでのオペアンプ設計より優れています。このデバイスは、-40°C~105°Cの温度範囲にわたって、最大ゲイン誤差が1.5%です。**INA199**のオフセットは150μV未満で、ドリフト係数は0.5μV/°C未満です。

また、**INA199**にはREFピンが搭載されています。REFピンに印加される電圧は、出力の電圧に加算されます。この機能は、レベル・シフトされた電流信号を必要とする場合に便利です。

その他の推奨デバイス

より高い性能を必要とするアプリケーション向けに、低いオフセット(最大35μV)とゲイン誤差(最大1%)の**INA210-215**シリーズのデバイスがあります。デジタル・インターフェイスを持つ高精度の電流モニタが必要な場合、**INA226**が最適で、最大オフセットが10μV、ゲイン誤差が0.1%です。デジタル・ベースの小型の電流モニタが必要な場合、**INA231**は小型の1.68mm×1.43mmのパッケージで、携帯機器や、サイズが制限されるアプリケーションに最適です。ピンストラップでゲインを設定可能な電圧出力電流モニタが必要な場合、**INA225**が最適なデバイスです。

表 1. その他の推奨デバイス

デバイス	最適化されるパラメータ	性能のトレードオフ
INA210 - INA215	精度	コスト
INA225	ゲインをプログラム可能	パッケージ・サイズ
INA231	デジタル・インターフェイス、小さなサイズ	コスト
INA226	デジタル・インターフェイス、高精度	パッケージ・サイズ、コスト

表 2. 関連するTech Note

SBOA161	三相システムでの低ドリフト・ローサイド電流測定
SBOA167	電流センシング信号パスのインテグレーション
SBOA165	高電圧の電源レールにおける高精度の電流測定

TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供するものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的のみに使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的での、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他のような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、あるいはTIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示の保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。

TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供するものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関係する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的にのみ使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的での、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他どのような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、あるいはTIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示の保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。