

超精密電流センス・アンプによる効率とダイナミックレンジの劇的な改善

- デザインノート423

Jon Munson

はじめに

正確な電流測定は多くの電子システムに不可欠です。電流は通常小さな値の抵抗の両端に生じる電圧を増幅して測定します。大きなダイナミックレンジを必要とするシステムでは、センス抵抗を大きくするか、アンプの精度を改善する必要があります。センス抵抗の値を大きくすると電力消費が増大するという有害な影響があります。もっと良いオプションはセンス・アンプの精度の改善です。

アンプの精度はアンプの入力オフセット電圧に大きく依存します。歴史的に、市販されている電流センス・アンプの入力オフセット電圧性能は数百 μV 、それぞれが数千 μV のオーダーでした。このようなデバイスを使うと、実用的な8~10ビットのダイナミックレンジを実現するには最大動作電流での電力消費が1ワットを超えることがあります。LTC®6102超精密電流センス・アンプは入力誤差をわずか10 μV に減らします。この劇的な性能強化は測定のダイナミックレンジの増加に直接反映されます。センス抵抗内の電力消費を減らしながら16ビットが可能で、こうして、電流検出の設計オプションの範囲が大幅に広がります。

精度は効率をもたらす

LTC6102は図1に示されているように簡単に接続できます。

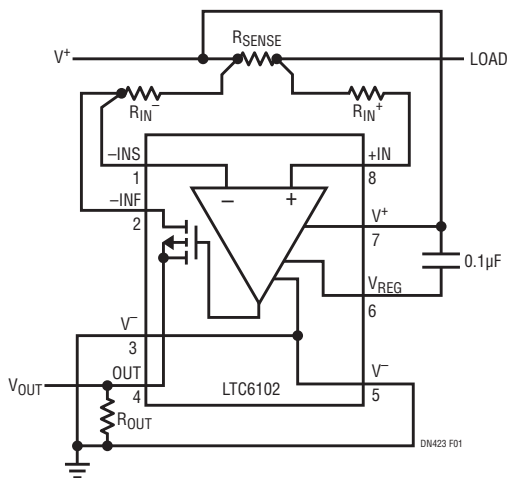


図1. LTC6102による超精密電流検出

入力電圧はセンス抵抗によって生じ、アンプの電圧利得は入力抵抗と出力抵抗によって設定されます。全体のスケールは簡単に次のようになります。

$$V_{\text{OUT}} = I_{\text{LOAD}} \left(R_{\text{SENSE}} \cdot \frac{R_{\text{OUT}}}{R_{\text{IN-}}} \right)$$

小さな負荷電流の精度は主に入力オフセット電圧 V_{OS} によって設定されます。 V_{OS} に起因する電流測定誤差 I_{OFFSET} は次式で与えられます。

$$I_{\text{OFFSET}} = \frac{V_{\text{OS}}}{R_{\text{SENSE}}}$$

ある電流オフセット精度の要件に対し、 V_{OS} が低いと、それに従って R_{SENSE} を、多くのアプリケーションではミリオーム以下に小さくすることができるのが分ります。

ほとんどのアプリケーションでは、 V_{OS} がADC収集システムのほぼ1LSB(最下位ビット)に相当するように回路の利得を選択します。ダイナミックレンジは、ADCが扱える最大信号振幅と R_{SENSE} 抵抗が消費することが許される電力量によって支配されます。

8ビット・センス・アンプの2つのソリューションを比較して検討します。1つは $V_{\text{OS}} = 500\mu\text{V}$ の標準的アンプを使い、もう1つは $V_{\text{OS}} = 10\mu\text{V}$ のLTC6102を使います。それぞれの分解能は20mAです。オフセットの高いデバイスは少なくとも25m Ω のセンス抵抗を必要としますが、LTC6102はわずか500 $\mu\Omega$ しか必要としません。この例のフルスケール電流に近い5Aでは、オフセットが高いデバイスの場合 R_{SENSE} の電力損失は625mWですが、LTC6102の場合わずか13mWであり、浪費される電力が98%減少します。

独自のセンス抵抗をプリントする

LTC6102では超低センス抵抗を使えるので、プリント回路の銅箔自体を実用的センス素子として使うことができます。1オンス銅を使った回路基板の公称シート抵抗は500 $\mu\Omega$ /平方です。この値は銅箔が厚くなると比例して低下し、銅箔が薄

LT, LTCおよびLTMはリニアテック/ロソー社の登録商標です。他の全ての商標はそれぞれの所有者に所有権があります。

くなると上昇します。同じ単位で表した幅がWで長さがLのトレースの抵抗は次のとおりです。

$$R_{SENSE} \approx 500\mu\Omega \cdot \frac{L}{W}$$

抵抗の長さは単純にトレースに沿ったケルビン・タップ間の開きです。1オンス銅は一般に1ミルのトレース幅当り最大約100mA(つまり4A/mm)を流すことができ、抵抗構造の最小サイズが制約されます。別の制約は、再現性であり、したがって大きいほど良いことになります。最終的には、銅の厚みの許容誤差と温度係数によってプリント抵抗の精度が制限されます。

前で説明した5A回路例のプリント構造を図2に示します。このレイアウトでは、L/W比は1に設定されており($R_{SENSE} = 500\mu\Omega$)、寸法は主にプリント回路のエッチング精度に支配されます。

センス抵抗に銅を利用することは、回路のスケーリングが絶対温度にほぼ比例する(室温で約+0.4%/°C)ことを意味します。過負荷保護のために電流をモニタするアプリケーションでは、固定された保護スレッシュホールドは高い温度で低い電流に自動的に対応するという意味でこの温度係数は便利です。安定した測定のために、ソフトウェアによる較正と温度補正の手法を使うことができ、または、既知の抵抗特性をもった小型表面実装インダクタ(>10Ωのものが簡単に入手できます。たとえば、Vishay IMCシリーズ)のような銅ベースの抵抗を R_{IN-} に使うことにより温度係数を補償することができます。

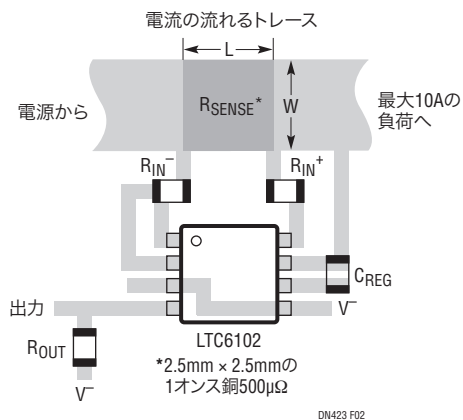


図2. プリントされたセンス抵抗を使ったLTC6102のレイアウト

設計のヒントと詳細

独自のセンス抵抗をプリントしないのであれば、また、標準部品の精度が必要であれば、最良の結果を得るため、必ず4線(ケルビン)センス抵抗を指定してください。このような抵抗は検出タップ間で抵抗が十分較正されるように設計されていますので、負荷経路の半田抵抗による誤差を除去します。

マイクロボルトのレベルの信号の正確な測定では、異なったメタル間接続による浮遊熱電対効果の現実的可能性が生じます。一般に R_{IN-} と同一の R_{IN+} の使い方を図1に示します。この追加抵抗の目的は、アンプの両方の入力冶金学的な条件を同一にして、DCバイアス電流の不均衡を最小に抑えるとともに熱電対効果を最小に抑えることです。

R_{IN-} の値はピーク測定電流IPEAKのとき約500μAを流すように選択します。 R_{IN-} の電圧降下は R_{SENSE} の電圧降下に等しいので、次のようになります。

$$R_{IN-} \geq \frac{I_{PEAK} \cdot R_{SENSE}}{0.0005}$$

回路全体の利得精度は主に使われる抵抗の品質によって決まります。このため、設計者はそれぞれ特定のアプリケーションでコスト対性能のトレードオフを最適化することができます。

LTC6102の帰還ループの銅損失誤差を最小に抑えるため、 R_{IN-} へケルビン接続ができるように、反転センス入力(-INS)と反転帰還接続(-INF)は離してあります。この接続は図2の推奨レイアウトでも見ることができます。

図2は R_{SENSE} の負荷側に接続された V^+ 接続を示していますが、図1は電源側への接続を示しています。LTC6102はどちらの構成方法でも動作します。違いは、図2の接続ではLTC6102の消費電流(標準300μA)が測定される負荷電流に含まれることです。4V~100Vの電源電圧がサポートされています。

まとめ

LTC6102は業界最高精度の電流センス・アンプです。並外れた精度により、 R_{SENSE} の抵抗値を劇的に下げることができるので、効率、ダイナミックレンジおよび電流処理能力が改善されます。

データシートのダウンロード : <http://www.linear-tech.co.jp>

お問い合わせは当社または下記代理店まで(順不同)

<p>オンラインストア リニアエクスプレス</p> <p>LINEAR EXPRESS</p> <p>0120-7291-22</p>	<p>株式会社 トーメン エレクトロニクス</p> <p>本社 TEL 03-5462-9615</p> <p>大 阪 06-6447-9644 名古屋 052-582-1591 福岡 092-713-7779 宇都宮 028-625-8331 松 本 0263-34-8131 北関東 048-521-9011 仙 台 022-221-8061 浜 松 053-452-8147 立 川 042-548-9871</p>	<p>東京エレクトロデバイス株式会社</p> <p>本社 TEL 045-474-5114</p> <p>大 阪 06-6399-1511 名古屋 052-562-0825 東 京 03-3251-0083 北関東 048-000-3980 水 戸 029-227-6552 立 川 042-548-0255 横 浜 045-474-7023 松 本 0263-36-8112 福 岡 092-474-4121 仙 台 022-212-2746</p>	<p>株式会社 立花エレクトック</p> <p>東京 TEL 03-5400-2529</p> <p>大 阪 06-6539-2513 名古屋 052-935-1618 津 北 022-224-3379 北 陸 076-233-3505 神 戸 076-332-7812 九 州 092-476-3315</p>	<p>株式会社 三共社</p> <p>本社 TEL 03-5298-6201</p> <p>東京電子販売株式会社</p> <p>本社 TEL 03-6350-6711</p>	<p>株式会社 信和電業社</p> <p>本社 TEL 06-6943-5131</p> <p>伊藤電機株式会社</p> <p>本社 TEL 052-935-1746</p>
--	---	--	--	---	---

リニアテクノロジー株式会社

102-0094 東京都千代田区紀尾井町 3-6 秀和紀尾井町パークビル 8F
 TEL(03)5226-7291 FAX(03)5226-0268
<http://www.linear-tech.co.jp>

dn423f 0907 • PRINTED IN JAPAN

LINEAR
 TECHNOLOGY
 © LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION 2007