

グランド接地型 (グランドソース) 電流源の誤差を最小限に抑える抵抗の選択

David Guo 著

オペアンプは、産業用プロセス制御、科学計測器、医療用機器など各種アプリケーション向けの高品質電流源を作成するために広く使用されています。Analog Dialogue (Volume 1, Number 1, 1967) にはフローティング負荷や接地負荷に定電流を供給する、シングル・アンプ電流源がいくつか紹介されています。圧力トランスミッタやガス検出器などの産業用アプリケーションでは、これらの回路が4 ~ 20 mA または 0 ~ 20 mA の電流供給用として広く使用されています。

改良型Howland電流源回路(図1)は、グランドに接地した負荷を駆動できるため、かなり普及しています。トランジスタは比較的高い電流を実現できますが、MOSFETに置き換えればさらに高い電流を達成することができます。低価格の低電流アプリケーションの場合は、トランジスタを省略することも可能です(「Difference Amplifier Forms Heart of Precision Current Source」Analog Dialogue, Volume 43, Number 3, 2009)。

この電流源の精度は、アンプと抵抗によって決まります。本稿では、誤差を最小限に抑えるための外部抵抗の選択方法を紹介します。

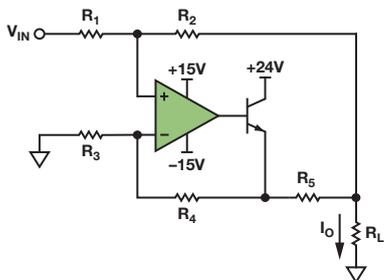


図1. グランドに接地した負荷を駆動する改良型ハウランド電流源

改良型Howland電流源の分析により伝達関数が得られます。

$$I_o = V_{IN} \times \frac{R_2 R_3 + R_2 R_4 + R_5 R_3}{R_3 (R_2 + R_5) R_L - R_1 R_4 R_L + R_1 R_3 R_5 + R_2 R_3 R_5} \quad (1)$$

ヒントその1: $R_2 + R_5 = R_4$ と設定する

式1では負荷抵抗が出力電流に影響しますが、 $R_1 = R_3$ 、 $R_2 + R_5 = R_4$ と設定すれば、式は次のように単純化できます。

$$I_o = V_{IN} \times \frac{R_4}{R_3 R_5} \quad (2)$$

ここで、出力電流は R_3 、 R_4 、 R_5 のみで表される関数です。アンプが理想的なものであれば、出力電流の精度は抵抗の許容誤差によって決まります。

ヒントその2: $R_L = n \times R_5$ と設定する

コンポーネント・ライブラリ内の抵抗の総数を減らすために、 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ と設定します。式1は次のように簡単になります。

$$I_o = V_{IN} \times \frac{R_5 + 2R_2}{R_5 (R_L + 2R_2)} \quad (3)$$

$R_5 = R_L$ であれば、式はさらに簡単になります。

$$I_o = V_{IN} \times \frac{1}{R_5} \quad (4)$$

ここで、出力電流は R_5 の抵抗のみに左右されます。

入力信号は場合によって減衰する必要があります。たとえば、入力信号が10Vで R_5 が100Ωの場合、出力電流は100mAとなります。20mAの出力電流を得るには、 $R_1 = R_3 = 5R_2 = 5R_4$ と設定する必要があります。ここで、式1は次のように単純化されます。

$$I_o = V_{IN} \times \frac{5R_5 + 6R_2}{5R_5 (R_L + 6R_2)}$$

$R_L = 5R_5 = 500\Omega$ であれば、

$$I_o = V_{IN} \times \frac{1}{5R_5} \quad (5)$$

ヒントその3: $R_1/R_2/R_3/R_4$ の値が大きくなると、電流精度が向上する

ほとんどの場合、 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ 、 $R_L \neq R_5$ なので、出力電流は式3のように表されます。たとえば $R_5 = 100\Omega$ 、 $R_L = 500\Omega$ とした場合、 R_1 の抵抗と電流精度との関係は図2のようになります。0.5%の電流精度を達成するには、 R_1 を40kΩ以上にする必要があります。

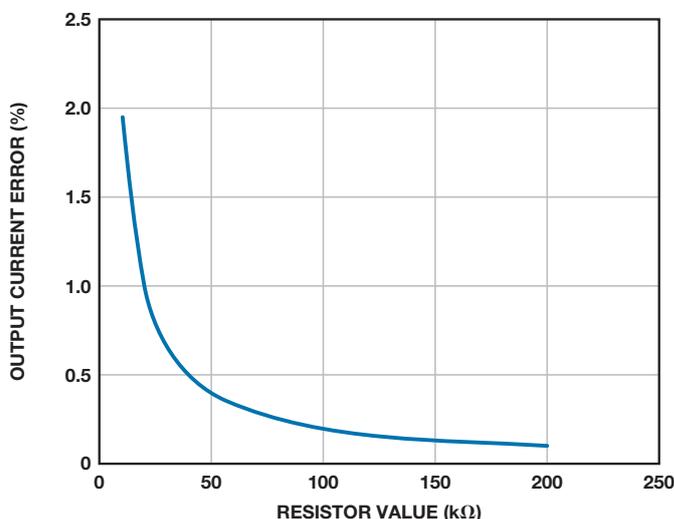


図2. R_1 と出力電流精度の関係

ヒントその4: 抵抗許容誤差は電流精度に影響する

実際の抵抗は理想的なものではなく、抵抗ごとに許容誤差が規定されています。図3の回路例は、 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 100\text{k}\Omega$ 、 $R_5 = 100\Omega$ 、 $R_L = 500\Omega$ です。入力電圧を0.1Vに設定した場合、出力電流は1mAとなります。表1に、個々の抵抗許容誤差に起因する出力電流誤差を示しています。0.5%の電流精度を得るには、 $R_1/R_2/R_3/R_4$ に対して許容誤差0.01%、 R_5 に対して0.1%、 R_L に対して5%を選択する必要があります。許容誤差0.01%の抵抗は高価なため、AD8276などの集積差動アンプを使用するのが理にかなっています。このデバイスは優れた抵抗マッチングとコスト効率を実現しています。

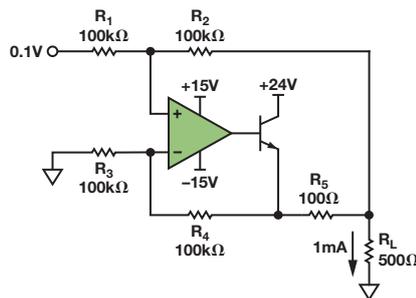


図3. $I_{OUT} = 1\text{mA}$ の場合の回路例

表 1. 抵抗許容誤差 (%) に対するワーストケースの出力電流誤差 (%)

抵抗許容誤差/ 諸抵抗	5	1	0.5	0.1	0.05	0.01	0
$R_1/R_2/R_3/R_4$	110.11	10.98	5.07	1.18	0.69	0.30	0.20
R_5	5.05	1.19	0.70	0.30	0.25	0.21	0.20
R_L	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

結論

改良型Howland電流源を設計するときは、出力電流が負荷抵抗に左右されないような外部抵抗を選択してください。抵抗許容誤差は精度に影響を及ぼすため、精度とコストのトレードオフが必要となります。アンプのオフセット電圧とオフセット電流も精度に影響します。アンプが回路条件を満たすかどうかはデータシートで確認してください。これらの仕様が精度にどのように影響するかは、**Multisim**を使ってシミュレートできます。集積差動アンプはオフセット電圧、オフセット電圧ドリフト、ゲイン誤差、およびゲイン・ドリフトが小さいため、**高精度の安定した電流源**を費用効果的に実現することができます。

参考文献

- Guo, David 「低消費電力、ユニティ・ゲインのディファレンス・アンプ（差電圧アンプ）で低価格の電流源を実現」 *Analog Dialogue*, Volume 45, Number 2, 2011
- Loe, James M. **Grounded-load current source uses one operational amplifier**, *Analog Dialogue*, Volume 1, Number 3, 1967.
- Miller, Bill. **Single Amplifier Current Sources**, *Analog Dialogue*, Volume 1, Number 1, 1967.
- Moghimi, Reza 「ディファレンス・アンプの性能最適化法」 AN-589
- Zhao, Neil, Reem Malik, and Wenshuai Liao. **Difference Amplifier Forms Heart of Precision Current Source**, *Analog Dialogue*, Volume 43, Number 3, 2009.

著者

David Guo [david.guo@analog.com] は、北京にあるアナログ・デバイセズの中国アプリケーション・サポート・チームのフィールド・アプリケーション・エンジニアです。北京理工大学で電子工学と機械工学の修士号を取得した後、**Changfeng Group**（長豊集団）でナビゲーション・ターミナルのハードウェア技術者として2年間を過ごしました。アナログ・デバイセズには2007年に入社しました。

