

# 整合抵抗によるアンプ性能の最大化

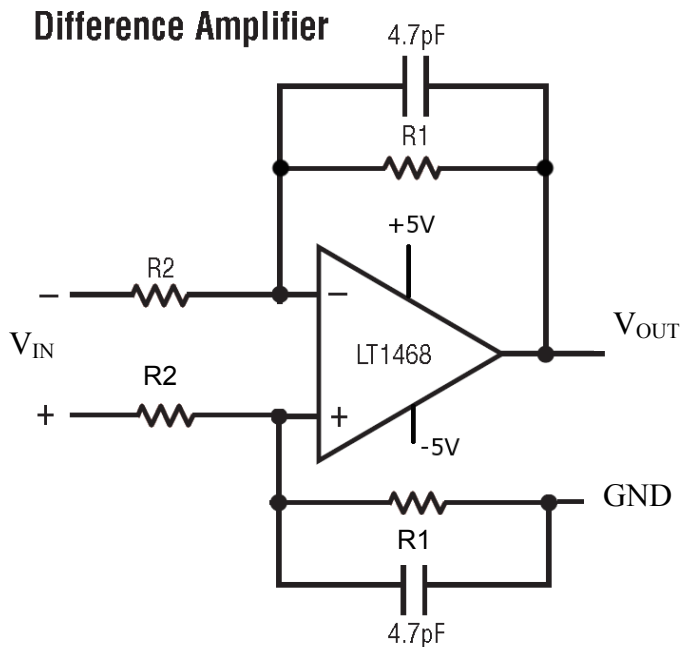
Brian Black

Product Marketing Manager, Signal Conditioning Products  
Linear Technology Corporation

オペアンプは、アナログ設計者にとって多くの役目を果たす主要デバイスであり、実際の信号の抽出、スケーリング、シフト、バッファ、結合、フィルタおよび調整に使用されます。高い精度と安定性を必要とするアプリケーションの場合、設計者は、入力オフセット電圧、ノイズ、帯域幅などの仕様を慎重に検討し、必要な性能を実現するオペアンプを選択します。誤差が累積しやすいので、データ・コンバータや電圧リファレンスなど、アンプの後に配置される他の部品の選択にも細心の注意を払います。また、重要なこととして、アンプの前や周囲に配置される部品（特に抵抗）の精度の影響を見逃さないように注意する必要があります。

## システム精度に対する抵抗整合の効果

以下に示す回路例では、4本の抵抗とオペアンプを使って通常の差電圧アンプを構成しています。



出力電圧は次式のように抵抗の比によって決まります。

$$V_{out} = \frac{R1}{R2} V_{in}$$

上式から、この回路例の場合、アンプ回路の性能を決める際に抵抗の絶対精度よりも整合の方が重要であることが分かります。R1 と R2 が均等に変化すると、利得は変化しません。一方の抵抗が他方の抵抗に対して変化すると、R1 と R2 の比が変化するので、利得が変化します。これは、高精度分割器、高精度利得段、ブリッジ回路などの一般的に使用されるその他の比例回路でも同様です。以下の説明では、高精度ディスクリット抵抗、従来の整合した抵抗アレイ、高精度に整合した薄膜抵抗の新しい LT5400 ファミリの 3 つのタイプの抵抗に対して、抵抗の不整合の性能に対する影響を検証しています。

上に示した差電圧アンプのような高精度のアプリケーションでは、標準的な 1% 抵抗より高精度のものが必要になります。最初に、精度が 10 倍高い 0.1% 抵抗を検討してみます。各抵抗は公称値から -0.1% ~ +0.1% の範囲で変化する可能性があるため、室温での 2 本の抵抗のワーストケースの整合は  $\pm 0.2\%$  ( $(1+0.001)/(1-0.001) = 1.002$ ) つまり 2000ppm (9 ビットの精度) になります。整合は温度変化に対してより重要となります。ほとんどの抵抗メーカは、許容誤差とは別に温度係数を規定しています。この例で使用している 0.1% 抵抗には 25ppm/°C の温度係数があるかもしれません。0°C ~ 70°C の温度範囲では、結果として誤差が 3000ppm より大きくなります。この誤差は、アンプ回路の利得誤差に変換されるので、オペアンプ自体の非理想特性やシグナルチェーンのその他の誤差源を含みません。

精度を上げるため、より高精度の許容誤差 0.01% の抵抗を選択することが可能ですが、最高の性能を引き出すには、高精度に整合した抵抗アレイを使用する必要があります。複数の抵抗が 1 つのパッケージに内蔵された抵抗アレイは、温度変化に対して互いにトラッキングする傾向がある抵抗を備えています。たとえば、許容誤差 0.01% の抵抗アレイでは  $\pm 2\text{ppm}/^\circ\text{C}$  の抵抗比温度係数が可能であり、結果として、0°C ~ 70°C の温度範囲で 190ppm の誤差になります。これにより、ディスクリットの 0.1% 抵抗の場合より大幅に改善されます。

さらに高い精度が必要な場合、リニアテクノロジーの高精度整合抵抗の新ファミリーである LT5400 を使用することができます。このデバイスは、4 本の薄膜抵抗それぞれが均衡に配置され、同じ中心点を共有するように入念なレイアウト手法を採用しています。LT5400 は小型表面実装パッケージで供給され、動作電圧は  $\pm 75\text{V}$  です。各パッケージには 4 本の抵抗が内蔵され、様々な公称抵抗値が利用可能であり、1、5 および 10 の R1/R2 比やその他の選択肢があります (表 1 参照)。パッケージ底面の大きな露出パッドは 4 本の抵抗のそれぞれに均一な熱的条件を与えます。また、パッドは消費電力が大きい場合に内部温度上昇を最小限に抑えます。この設計により、4 本の抵抗すべてが同じ動作環境下に置かれることとなります。LT5400 は、全温度範囲の抵抗間整合が 0.01% 以下、整合温度ドリフトが 1ppm/°C、2000 時間経過後の長期安定性誤差が 2ppm 以下です。その結果、0°C ~ 70°C の温度範囲で 100ppm の整合誤差を達成します (表 2)。

50°C～150°C のより広い温度範囲でも優れた性能を維持します。また、LT5400 は経時的に非常に安定しており、2000 時間での変動は 2ppm 以下です。

### 同相電圧の影響

多くのアプリケーションにおいてアンプによって調整されている信号はより大きい（時として変化する）同相信号に重畳されます。アンプは理想的には、同相信号を無視し、差動信号を増幅、バッファまたは調整します。同相信号がアンプによって効率的にキャンセルされないと、出力にオフセット電圧と歪みが生じる可能性があります。アンプの同相除去比（CMRR）は、オペアンプが入力信号の同相成分をブロックする能力の指標になります。ここでも、これらのアプリケーションに抵抗の不整合があると、容易に同相誤差の大きな要因になり得ます。抵抗の不整合による CMRR は、一般に dB の単位で表され、次式を使って計算することができます。

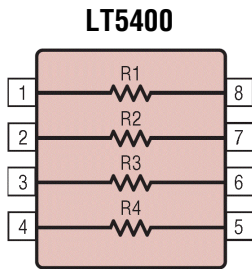
$$\text{CMRR}_{\text{RESISTORS}} = 20 \log \left[ \frac{\frac{1}{2} \cdot (1+G)}{(\Delta R/R)} \right]$$

ここで、G は R1/R2 の公称値、 $\Delta R/R$  は抵抗比の整合誤差です。

上の例から、システム全体の性能を設定するのに抵抗があらためて主要な役割を果たせることが分かります。上式を使用することにより、前に例として説明した抵抗の同相除去能力を計算することができます。1 対の許容誤差 0.1% の抵抗の CMRR は 54dB になり、許容誤差 0.01% の抵抗アレイの CMRR は 74dB になります。LT5400 抵抗アレイは他の抵抗とは異なり、CMRR 性能に関して考慮されています。これは、特に CMRR の許容誤差が厳しくなるように設計され、テストされ、仕様が保証されているためです。これにより、0.005% の CMRR に対する整合の仕様が保証され、最高グレードのバージョンでは全温度範囲で 86dB が達成されます。これは数式だけを使って達成可能な性能の 2 倍の性能です。

### まとめ

オペアンプをディスクリート部品と組み合わせることにより、多くの有用な回路が構成されます。これらの外付け部品の選択時には、アンプ自体を選択するときと同様に注意が必要です。抵抗整合、とりわけ温度および同相電圧の範囲での整合は重要な仕様です。この仕様によりシステムの精度が決まり、必要なシステム精度を達成するために製造時やフィールドにおいて、どの程度の較正が必要かが決まります。抵抗アレイはこれらのアプリケーションに最適であり、LT5400 クワッド抵抗アレイなどの新製品は優れた精度を達成します。



6 デバイス  
のファミリ

製品番号	R2 = R3 (Ω)	R1 = R4 (Ω)	抵抗比
LT5400-1	10k	10k	1:1
LT5400-2	100k	100k	1:1
LT5400-3	10k	100k	1:10
LT5400-4	1k	1k	1:1
LT5400-5	1M	1M	1:1
LT5400-6	1k	5k	1:5

表 2

抵抗のタイプ	整合誤差 (0°C ~ 70°C)
許容誤差 0.1% の ディスクリート	3800ppm
許容誤差 0.01% の アレイ	190ppm
LT5400 アレイ	100ppm