

# 高精度で整合した抵抗ネットワークにより、差動アンプ回路のCMRRを高める

著者: Thomas Brand  
Analog Devices, Inc.

多くのアプリケーションでは、図1に示すような差動アンプ回路が必須のアナログ技術として使用されています。その一例としては、計測アプリケーションが挙げられます。この種のアプリケーションでは、極めて高いレベルの測定精度が求められることが少なくありません。求められる精度を達成するには、オフセット誤差やゲイン誤差のほか、ノイズ、許容誤差、ドリフトといった代表的な誤差要因を最小化する必要があります。そのため、多くの計測アプリケーションでは、高精度のオペアンプが使用されます。また、オペアンプ回路に外付けする部品も、非常に重要な要素です。特に、抵抗には十分に注意を払う必要があります。無作為に選んだものではなく、高い精度で値が整合したものを選択して使用すべきです。

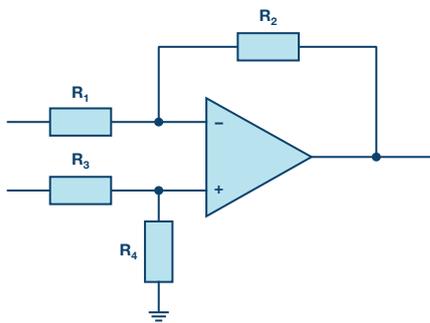


図1. 標準的な差動アンプ回路

理想的には、差動アンプ回路の抵抗は、値の比率が同じ ( $R2/R1 = R4/R3$ ) になるように選択したいところです。しかし、現実にはその比率にはズレがあり、コモンモード誤差が発生することになります。差動アンプのコモンモード誤差を除去する能力は、同相ノイズ除去比 (CMRR) と呼ばれています。CMRRは、入力電圧 (コモンモード電圧) が同じである場合の出力電圧の変化を表します。理想的な状態が実現されていれば、出力電圧に変化は現れません。出力電圧は2つの入力電圧の差によって生じるものだからです。しかし、現実には理想どおりにはなりません。CMRRは差動アンプ回路の重要な特性であり、通常はdB単位の数値で表されます。

図1に示した差動アンプ回路全体のCMRRは、アンプの性能と外付け抵抗の誤差によって決まります。外付けの抵抗に依存する  $CMRR_R$  は、以下の式で求められます。

$$CMRR_R \approx \frac{\frac{1}{2}(G+1)}{\frac{\Delta R}{R}} \quad (1)$$

例えば、差動アンプ回路のゲインGが1で、単体での許容誤差が1%で整合誤差が2%となる抵抗を使用した場合、 $CMRR_R$  は以下ようになります。

$$CMRR_R \approx \frac{\frac{1}{2}(1+1)}{0.02} = 50$$

これをdB単位で表すと次式のようにになります。 (2)

$$CMRR_R \approx 20 \log \left( \frac{\frac{1}{2}(1+1)}{0.02} \right) = 34 \text{ dB}$$

$CMRR_R$  が34dBというのは、望ましいことではありません。この場合、オペアンプ単体のCMRRがどれだけ優れていたとしても、差動アンプ回路として高い精度を得ることはできません。鎖の強度が、最も弱い部分の強度に支配されるのと同じことです。つまり、高い精度が求められる計測回路では、抵抗についてもかなり高精度なものを選択しなければならないということです。

現実の抵抗の値は、不変だというわけではありません。機械的な負荷や温度の影響による変動は避けられないからです。要件によっては、許容誤差の異なる抵抗や、値の整合がとれた抵抗のペア/ネットワーク製品が使われることがあります。そうした抵抗のほとんどは、薄膜技術を使って製造され、レシオメトリックかつ優れた安定性を提供します。抵抗ネットワーク製品の例としては、アナログ・デバイゼスの「LT5400」が挙げられます。これは、整合のとれた4本の抵抗を備える製品です。このような製品を使用することにより、差動アンプ回路全体のCMRRを飛躍的に改善することができます。LT5400は、特に差動アンプ回路と組み合わせて使用した場合に、全温度範囲にわたって非常に優れた整合性を発揮します (図2)。ディスクリートの抵抗を使用する場合と比べて、最大2倍のCMRR性能を達成することが可能です。

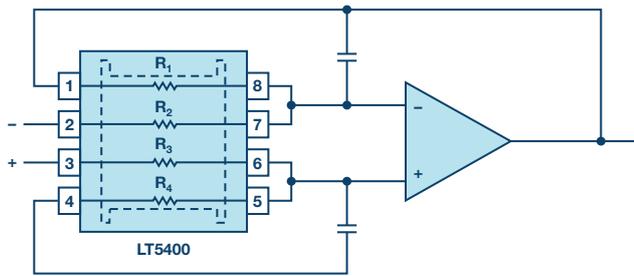


図2. LT5400を使って構成した差動アンプ回路

LT5400は0.005%の整合性を提供するので、 $CMRR_R$ は86dBになります。

アンプ回路全体の性能である $CMRR_{Total}$ は、抵抗の $CMRR_R$ と、オペアンプの $CMRR_{Op}$ の組み合わせによって決まります。差動アンプ回路の $CMRR_{Total}$ は、以下の式で表されます。

$$CMRR_{Total} \approx \frac{\frac{1}{2} (G + 1)}{\frac{1}{2 \times CMRR_{Op}} (G + 1) + \frac{\Delta R}{R}} \quad (3)$$

例えば、オペアンプIC「LT1468」の場合、標準的には単体で112dBの $CMRR_{Op}$ が得られます。これとLT5400を組み合わせ、ゲインGが1の差動アンプ回路を構成した場合、 $CMRR_{Total}$ の値は85.6dBになります。

他の方法として、「LTC6363」のような差動アンプICを使用することもできます。この種の製品は、オペアンプに加え、最適な整合性を実現した抵抗を集積しています。そのため、上述したほぼすべての問題が解消されています。 $CMRR$ は90dB以上にも達し、最高の精度が得ることができます。

## まとめ

差動アンプ回路を構成するための外付け抵抗は、高いシステム性能を実現できるように選択する必要があります。差動アンプ回路全体に求められる精度の要件に基づいて、慎重に選ばなければなりません。

外付け抵抗を使う以外にも、有効な手段があります。それは、整合性のとれた抵抗もチップ状に集積するLTC6363のような差動アンプICを使用する方法です。

## 著者について

Thomas Brand ([thomas.brand@analog.com](mailto:thomas.brand@analog.com)) は、2015年10月に修士課程の一環としてアナログ・デバイセズのミュンヘン支社でキャリアをスタートさせました。2016年5月から2017年1月まで、アナログ・デバイセズで、フィールド・アプリケーション・エンジニアを目指す人のための研修プログラムに参加しました。2017年2月にフィールド・アプリケーション・エンジニアとなり、主に産業分野の大口顧客を担当してきました。また、産業用イーサネットを専門としており、中欧における関連事業のサポートにも携わっています。ドイツのモースバッハにあるUniversity of Cooperative Education (UCE) で電気工学を専攻した後、ドイツのコンスタンツ応用科学大学 大学院で国際営業を学び、修士号を取得しました。

## オンライン・サポート・コミュニティ



アナログ・デバイセズのオンライン・サポート・コミュニティに参加すれば、各種の分野を専門とする技術者との連携を図ることができます。難易度の高い設計上の問題について問い合わせを行ったり、FAQを参照したり、ディスカッションに参加したりすることが可能です。

[ez.analog.com](http://ez.analog.com) にアクセス

\* 英語版技術記事は [こちら](#) よりご覧いただけます。

## アナログ・デバイセズ株式会社

本社 〒105-6891 東京都港区海岸1-16-1 ニューピア竹芝サウスタワービル10F  
 大阪営業所 〒532-0003 大阪府大阪市淀川区宮原3-5-36 新大阪トラストタワー10F  
 名古屋営業所 〒451-6040 愛知県名古屋市中区牛島町6-1 名古屋ルーセントタワー38F

©2018 Analog Devices, Inc. All rights reserved.  
 本紙記載の商標および登録商標は、各社の所有に属します。  
 Ahead of What's Possible はアナログ・デバイセズの商標です。

[www.analog.com/jp](http://www.analog.com/jp)

TA20903-0-10/18



想像を超える可能性を  
 AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™