通过精确匹配的电阻网络提高差分放大器的共模抑制比

Thomas Brand
Analog Devices 公司

在各种应用领域，采用模拟技术时都需要使用差分放大器电路，如图 1 所示。例如测量技术，根据其应用的不同，可能需要极高的测量精度。为了达到这一精度，尽可能减少典型误差源（例如失调和增益误差，以及噪声、容差和漂移）至关重要。为此，需要使用高精度运算放大器。放大器电路的外部元件选择也同等重要，尤其是电阻，它们应该具有匹配的比值，而不能任意选择。

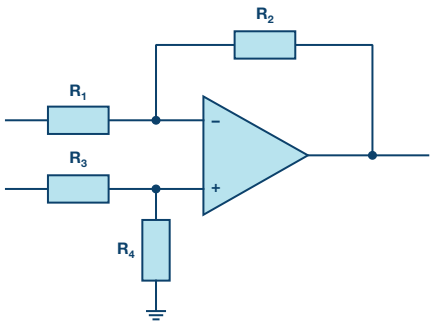

图 1. 传统的差分放大器电路。

理想情况下，差分放大器电路中的电阻应仔细选择，其比值应相同 (R2/R1 = R4/R3)。这些比值有任何偏差都将导致不良的共模误差。差分放大器抑制这种共模误差的能力以共模抑制比 (CMRR) 来表示。它表示输出电压如何随相同的输入电压（共模电压）而变化。在最佳情况下，输出电压不应该改变，因为它只取决于两个输入电压之间的差值（最大 CMRR）；但是，实际使用中情况会有所不同。CMRR 是差分放大器电路的重要特性，通常以 dB 来表示。

对于图 1 所示的差分放大器电路，CMRR 取决于放大器本身以及外部连接的电阻。对于后者，取决于电阻的 CMRR 在本文下述部分以下标“R”表示，并利用下式计算：

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

例如，在放大器电路中，所需增益 G = 1 且使用容差为 1%、匹配精度为 2% 的电阻产生的共模抑制比为

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

或以 dB 来表示 (2)

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

在 34 dB时，$CMRR_R$ 相对较低。在这种情况下，即使放大器具有非常好的 CMRR，也无法实现高精度，因为链路的精度总是取决于其精度最差的环节。因此，对于精密的测量电路而言，必须非常精确地选择电阻。

实际使用中传统电阻的阻值并不恒定。它们会受机械负载和温度的影响。根据需求的不同，可以使用具有不同容差的电阻或匹配电阻对（或网络），其大部分使用薄膜技术制造并具有精确的比值稳定性。利用这些匹配的电阻网络（如 LT5400 四通道匹配电阻网络），可以大幅提高放大器电路的整体 CMRR。LT5400 电阻网络在整个温度范围内具有出色的匹配性，结合差分放大器电路使用则匹配性更佳，因而可确保 CMRR 比分立电阻提高两倍。

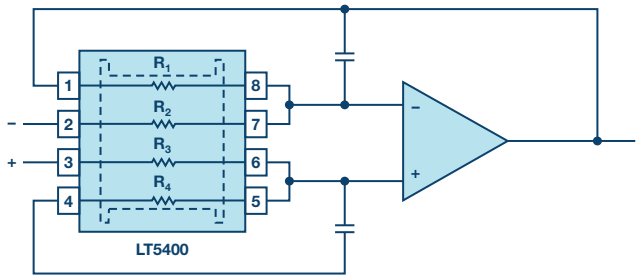

图 2. 带有 LT5400 的差分放大器电路。

LT5400 提供 0.005% 的匹配精度，从而使 $CMRR_R$ 达到 86 dB。

然而，放大器电路的总共模抑制比 ($CMRR_{Total}$) 由电阻 CMR_R 和运算放大器共模抑制比 $CMRR_{OP}$ 的组合构成。对于差分放大器，可利用公式 3 计算：

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

例如，LT1468 提供的 $CMRR_{OP}$ 典型值为 112 dB，采用 LT5400 的增益为 G = 1，其 $CMRR_{Total}$ 的值为 85.6 dB。

或者，可以使用集成式差分放大器，如 LTC6363。这种放大器在单芯片中内置放大器和最佳匹配电阻。它几乎消除了上述所有问题，同样也可提供最大精度，其 CMRR 值达 90 dB 以上。

结论

必须根据差分放大器电路的精度要求仔细选择外部电阻电路，以便实现系统的高性能。

或者，可以使用集成式差分放大器，如在单芯片中集成了匹配电阻的 LTC6363。

作者简介

Thomas Brand 于 2015 年 10 月在 ADI 慕尼黑公司开始了自己的职业生涯（作为其硕士毕业论文的一部分）。2016 年 5 月至 2017 年 1 月，他加入了 ADI 公司现场应用工程师培训生项目，并在此项目结束后于 2017 年 2 月正式成为现场应用工程师。在此职位上，他主要负责大型工业客户。此外，他还专注于工业以太网领域，并支持欧洲中部地区的相关业务。

他毕业于莫斯巴赫的合作教育大学电气工程专业，之后在康斯坦茨应用科学大学获得国际销售硕士学位。联系方式：*thomas.brand@analog.com*。

在线支持社区

访问ADI在线支持社区，与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

请访问*ezchina.analog.com*

EngineerZone™ ANALOG DEVICES 中文技术论坛

全球总部
One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部
上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路 2290 号展想广场 5 楼
邮编 : 201203
电话 : (86 21) 2320 8000
传真 : (86 21) 2320 8222

深圳分公司
深圳市福田中心区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210 室
邮编 : 518048
电话 : (86 755) 8202 3200
传真 : (86 755) 8202 3222

北京分公司
北京市海淀区西小口路 66 号
中关村东升科技园
B-6 号楼 A 座一层
邮编 : 100191
电话 : (86 10) 5987 1000
传真 : (86 10) 6298 3574

武汉分公司
湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路 889 号光谷国际广场
写字楼 B 座 2403-2405 室
邮编 : 430073
电话 : (86 27) 8715 9968
传真 : (86 27) 8715 9931

©2018 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices.
TA20903sc-0-10/18

analog.com/cn

ANALOG DEVICES
超越一切可能™