

设计要点

面向精准放大器应用的匹配电阻器网络

设计要点 502

Tyler Hutchison

引言

某些理想的运算放大器配置假定反馈电阻器呈现完美的匹配。而实际上，电阻器的非理想性会对各种电路参数产生影响，例如：共模抑制比(CMRR)、谐波失真和稳定性。如图 1 例子所示，配置一个单端放大器以将接地参考信号电平移位至 2.5V 共模电压就需要一个上佳的 CMRR。假设 CMRR 为 34dB 且没有输入信号，则该 2.5V 电平移位器将产生一个 50mV 的输出偏移，其甚至有可能压倒 12 位 ADC 和驱动器的 LSB 和偏移误差。

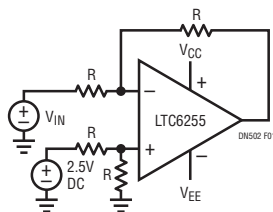


图 1：用作电平移位器的单端运放

对于运放而言，34dB 是一个不太理想的 CMRR。然而，不管该运放的性能如何，一个由 1% 容差电阻器构成的反馈网络会将 CMRR 限制在 34dB。高度匹配的电阻器 (比如 LT[®]5400 提供的匹配准确度达 0.01%、0.025% 和 0.05% 的电阻器) 确保设计人员能够接近或达到放大器产品手册所宣称的性能指标。本设计要点将 LT5400 与厚膜、0402、1% 容差表面贴装型电阻器进行了对比。研究了采用这些电阻器在一个 LTC6362 运放周围提供反馈 (如图 2 所示) 时的 CMRR、谐波失真和稳定性。

共模抑制比

为了在存在共模噪声的情况下获得精准的测量结果，拥有高 CMRR 是很重要的。输入 CMRR 定义为差分增益 ($V_{OUT(DIFF)}/V_{IN(DIFF)}$) 与输入共模至差分转换增益 ($V_{OUT(DIFF)}/V_{IN(CM)}$) 之比。

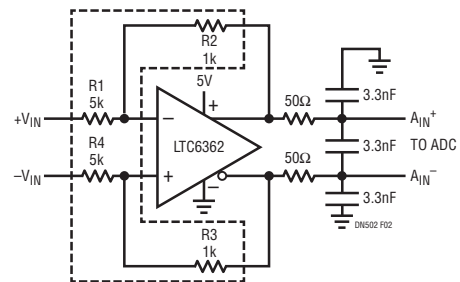


图 2：针对 $V_{OUT}/V_{IN} = 0.2$ 配置的全差分运算放大器

在理想的单端和全差分放大器中，只有输入差分电平会影响输出电压。然而，在实际电路中，电阻器失配对可用 CMRR 造成了限制。我们研究一下这款用于将一个 $\pm 10V$ 信号衰减至一个 $\pm 2V$ 信号而配置的电路。当采用匹配准确度为 2% (1% 容差) 的典型表面贴装电阻器时，产生自电阻器的最坏情况 CMRR 为 30dB。而当采用 0.01% 容差 (0.02% 匹配准确度) 的电阻器时，由电阻器产生的最坏情况 CMRR 为 70dB。CMRR 公式中的一个限制因素为：

$$\frac{1}{2} \left| \left(\frac{R1}{R2} - \frac{R3}{R4} \right) \frac{R2}{R1} \right|$$

该表达式简化为典型电阻器的电阻匹配比，但 LT5400 则更进了一步，其通过限定电阻器对 R1/R2 与 R4/R3 之间的匹配来改善 CMRR。通过将该式定义为 CMRR 匹配公式，LT5400 所提供的准确度比只采用电阻器匹配时更好。例如：LT5400A 可保证：

$$\left(\frac{\Delta R}{R} \right)_{CMRR} \leq 0.005\%$$

从而将最坏情况 CMRR 提升至 82dB。

LT、LT、LTC、LTM、Linear Technology 和 Linear 标识是凌力尔特公司的注册商标。所有其他商标均为其各自拥有者的产权。

该电路在实验室测试中所产生的 CMRR 为 50.7dB (在很大程度上受到电阻器匹配准确度的限制, 采用的是 1% 容差电阻器) 和 86.6dB (采用 LT5400)。在该场合中, 一个 2.5V 共模输入将产生 1.5mV (使用 1% 厚膜电阻器) 和 23 μ V (采用 LT5400) 偏移, 从而使其适合于非常重视 DC 准确度的 18 位 ADC 应用。

谐波失真

当针对精准型应用选择电阻器时, 谐波失真也是很重要的。视尺寸和材料的不同, 电阻器两端的一个大信号电压或许会使电阻发生显着的变化。在不少片式电阻器中都出现这一问题, 而且随着电阻器上功率级的增加, 这种情况自然变得愈发严重。表 1 以高功率驱动和相似功率驱动为基础比较了厚膜、通孔和 LT5400 电阻器的失真性能指标。结果显示: 对于给定的信号, 与其他电阻器类型相比, LT5400 所引起的信号失真要小得多。

稳定性

图 3 示出了 LT5400 中电阻器之间的分布式电容模型。为了在 LT5400 中实现高精度的匹配和跟踪, 以串联和并联的形式配置了许多小的硅铬 (SiCr) 电阻器。由于复杂交错结合的原因, 故可以将 LT5400 电阻器模拟为在相邻区段之间及各区段与裸露衬垫之间具有寄生电容之一连串无穷小电阻器。与此相反, 未采用这种严紧布局的标准表面贴装型电阻器则呈现出小得多的寄生电容。

当裸露衬垫接地时, 可以减轻电阻器间电容的影响。不过, 即使在裸露衬垫接地之后, 此电容仍然会通过

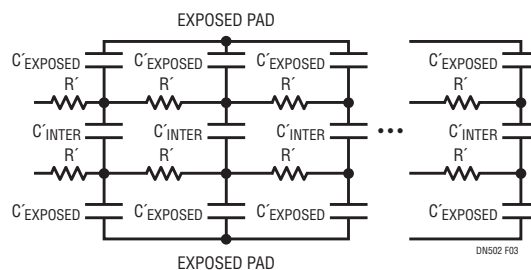


图 3: 匹配电阻器 IC 中分布式电容的简单模型。 R' 分量之和产生一个等效的单电阻器。 C'_{INTER} 的净效应为 1.4pF, 而 $C'_{EXPOSED}$ 的净效应为 5.5pF

形成一个寄生极点 (大约为总电阻与总电容的乘积) 而对电路的稳定性产生影响。

由于过冲与相位裕量成反比, 因此尽量减小阶跃响应过冲是确保电路稳定性的一个好方法。未经补偿的 LT5400 配置产生的过冲为 27%, 而 0402 配置的过冲为 17%。然而, 实现 8% 过冲所需的补偿电容器在这两种配置中则大致相同: LT5400 为 18pF; 0402 电阻器为 15pF。在采用的补偿电容差不多相同的情况下, 两种电路所表现出的稳定性特征颇为相似。

结论

由于产品手册规格假定的是理想组件, 因此高精度放大器和 ADC 的实际性能通常难以实现。精细匹配的电阻器网络 (例如: 由 LT5400 提供的电阻器网络) 可实现比分立式组件高几个数量级的精准匹配, 从而确保达到高精度 IC 产品手册中宣称的性能指标。

表 1: 对于给定的功率级, LT5400 工作的线性度要好于其他的电阻器类型

信号源	HD3	-120.00	在最大功率 (12V _{RMS} = 向 1k Ω 负载输送 56mW)	
电阻器类型	额定功率	HD3 (56mW 功率)		HD3 (1/14 额定功率)
LT5400	0.8W	-117dBc		-117dBc
5% 通孔	0.25W	-100dBc		-114dBc
1% 通孔	0.25W	-115dBc		-119dBc
1206 厚膜	0.25W	-104dBc		-115dBc
0805 厚膜	0.125W	-93dBc		-117dBc
0603 厚膜	0.1W	-89dBc		-117dBc
0402 厚膜	0.068W	-72dBc		-104dBc

产品手册下载

www.linear.com.cn

如要获得更多资料或技术支持, 请与我们的销售部或当地分销商联系, 也可浏览我们的网址: www.linear.com.cn 或电邮到 info@linear.com.cn

凌力特有限公司
Linear Technology Corp. Ltd.
www.linear.com.cn
香港电话: (852) 2428-0303
深圳电话: (86) 755-2360-4866
上海电话: (86) 21-6375-9478
北京电话: (86) 10-6801-1080

艾睿电子亚太有限公司
Arrow Asia Pac Ltd.
www.arrowasia.com
香港电话: (852) 2484-2484
深圳电话: (86) 755-8836-7918
上海电话: (86) 21-2215-2000
北京电话: (86) 10-8528-2030

科通集团
Comtech Group
www.comtech.com.cn
香港电话: (852) 2730-1054
深圳电话: (86) 755-2698-8221
上海电话: (86) 21-5169-6680
北京电话: (86) 10-5172-6678

骏龙科技有限公司
Cytech Technology Ltd.
www.cytech.com
香港电话: (852) 2375-8866
深圳电话: (86) 755-2693-5811
上海电话: (86) 21-6440-1373
北京电话: (86) 10-8260-7990

好利顺电子香港有限公司
Nu Horizons Electronics Asia Pte Ltd.
www.nuhorizons.com
香港电话: (852) 3511-9911
深圳电话: (86) 755-3398-2850
上海电话: (86) 21-6441-1811
北京电话: (86) 10-8225-0019

dn502f 0712 137.8K • PRINTED IN CHINA



© LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION 2012