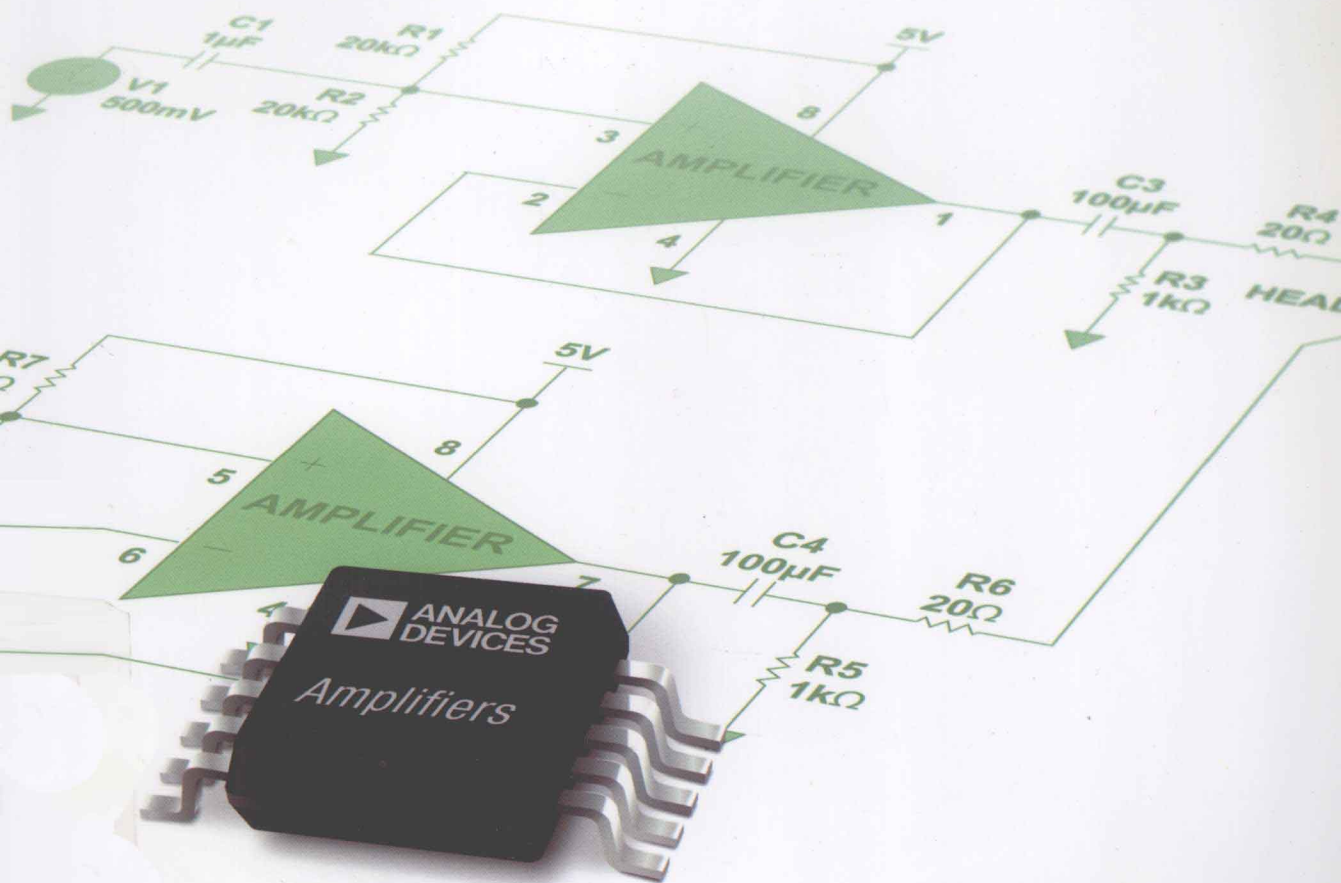


ADI

放大器应用笔记(第1册)



ADI 器件应用丛书

ADI 放大器应用笔记 (第 1 册)

ADI 公司 编译

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

由 ADI 工程师亲自参与设计、调试并验证的放大器应用笔记。通过这些应用笔记,为许多通用应用提供解决方案。每款放大器电路包含详细的设计文档。电路功能和性能已经过硬件验证。

本书将是广大工程技术人员、高等学校师生进行电路设计的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

ADI 放大器应用笔记. 第 1 册/ADI 公司编译. —北京: 北京航空航天大学出版社, 2011. 7
ISBN 978 - 7 - 5124 - 0404 - 5

I. ①A… II. ①A… III. ①仪表—放大器 IV.
①TN722.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 060298 号

版权所有,侵权必究。

ADI 放大器应用笔记(第 1 册)

ADI 公司 编译

责任编辑 张楠 王松

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: emsbook@gmail.com 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:18.5 字数:414 千字

2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978 - 7 - 5124 - 0404 - 5 定价:39.00 元

序 言

这些年,在与电子技术领域的工程师、学者以及大学师生交流的时候,他们的聪明才智和创新能力给我留下了深刻的印象。而他们所做的设计和项目,无一不让我感觉到中国工程师队伍成长之快,和中国电子行业巨大的发展潜力。但另一方面,他们的经历和成功,也带给了我很多思考。

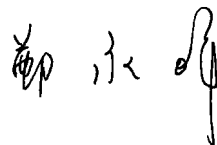
ADI 在模拟和数字信号领域中已经发展了 40 多年。在这几十年间,我们不断推动技术的创新和进步,不断提高相关领域的各类产品性能以满足客户的广泛需求,包括消费类、通信、医疗、运输和工业等方面。令人欣慰的是,至 2009 年,ADI 已经拥有遍布世界各地的 60 000 余家客户。而通过大学计划、培训、研讨会等活动所积累起来的资源更是不计其数。如何让我们的客户,让 ADI 技术产品的使用者和爱好者,真正准确、有效、快捷地掌握相关知识与设计技巧,是我们需要考虑的,也是我们为所有用户提供的非常重要的服务之一。

经过多年的运行和完善,ADI 已经拥有了一整套对中国工程师以及在校工科类学生的培养计划,如每年一届的中国大学创新设计竞赛,在高校建立的联合实验室,各类线上线下研讨会,还有在多个城市开展的高水平培训课程等等。这些计划架起了 ADI 与用户之间最直接、最有效的沟通桥梁。同时,为了使更多的电子技术领域从业者和爱好者了解数字信号处理和电子产品设计理念,我们还邀请了业内具有较深影响力的专家、学者、教授共同编写并出版一套基于 ADI 模拟和数字产品的应用技术丛书。

该丛书详细介绍了 ADI 产品在医疗电子、通信、工业仪器仪表、汽车电子等行业的应用,以理论与实际案例相结合的方式为读者们讲解了世界先进处理器的设计与使用。

丛书的出版凝聚了来自众多院校老师、专家丰富的经验和智慧。在此,感谢他们对 ADI 出版计划的大力支持。同时,也感谢北京航空航天大学出版社对本丛书的出版所做出的贡献!

衷心希望能得到读者朋友的意见反馈,在你们提出的问题和建议下,我们将不断完善 ADI 器件应用丛书,不断完善 ADI 的产品和技术,与客户们一起共同开拓中国市场。



ADI 公司亚太区总裁

目 录

第一部分 放大器产品的应用

AN-0990 应用笔记：在单端输入应用中连接差分放大器	3
AN-1026 应用笔记：高速差分 ADC 驱动器设计考虑	7
AN-106 应用笔记：放大器应用漫谈	28
AN-211 应用笔记：Alexander 电流反馈型音频功率放大器	49
AN-244 应用笔记：IC 仪表放大器用户指南	70
AN-245 应用笔记：利用仪表放大器解决非常规设计问题	85
AN-539 应用笔记：仪表放大器应用中的误差与误差预算分析	97
AN-581 应用笔记：单电源应用中的偏置和去耦运算放大器	106
AN-584 应用笔记：AD813x 的运用	117
AN-589 应用笔记：差动放大器性能优化方法	130
AN-649 应用笔记：ADI 有源滤波器设计工具的使用	136
AN-669 应用笔记：有效地使用 AD628 精密增益模块	176
AN-671 应用笔记：降低仪表放大器电路中的射频干扰整流误差	184
AN-692 应用笔记：通用精密运算放大器评估板	191
AN-827 应用笔记：放大器与开关电容 ADC 接口的匹配方法	199
AN-849 应用笔记：将运算放大器用作比较器	207
AN-937 应用笔记：放大器电路设计：如何避免常见问题	215
AN-938 应用笔记：数字 CMOS 麦克风前置放大器 ASIC 的数字和模拟测量单位	223
AN-940 应用笔记：最佳噪声性能：低噪声放大器选择指南	226
AN-968 应用笔记：电流源：方案与电路	237

第二部分 放大器基本概念指标和测试评估

AN-356 应用笔记: 用户指南: 运算放大器规格参数的应用和测量	245
AN-358 应用笔记: 噪声与运算放大器电路	257
AN-359 应用笔记: 运算放大器的建立时间	273

第一部分 放大器产品的应用

AN-0990 应用笔记

在单端输入应用中连接差分放大器

作者: John Ardizzone Jonathan Pearson

在单端输入应用中正确连接差分放大器具有一定的挑战性。本应用笔记从头至尾介绍了整个计算过程,从而使端接变得简单明了。第一步是确定放大器的输入阻抗。

计算输入阻抗

电路的有效输入阻抗取决于放大器是由单端信号源驱动,还是由差分信号源驱动。对于平衡差分输入信号(见图1),两个输入端(+IN和-IN)之间的输入阻抗($R_{IN, dm}$)可简单计算为

$$R_{IN, dm} = 2 \times R_G$$

对于非平衡单端输入信号(见图2),通过公式(1)来计算输入阻抗。

$$R_{IN, cm} = \frac{R_G}{1 - \frac{R_F}{2 \times (R_G + R_F)}} \quad (1)$$

该电路的有效输入阻抗高于作为反向器连接的常规运算放大器,这是因为一部分差分输出电压在输入端表现为共模信号,部分地增高了通过输入电阻 R_G 两端的电压。

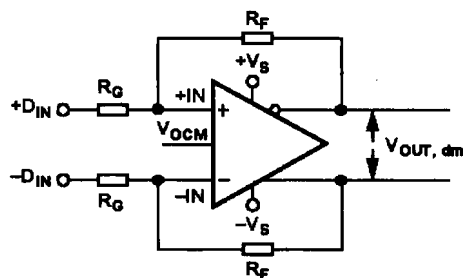


图1 针对平衡(差分)输入的差分放大器配置

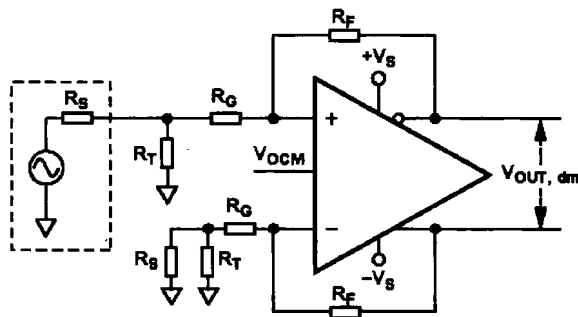


图2 针对非平衡(单端)输入的差分放大器配置

单端输入的连接

本例电路所用 ADA4937-1, 配置为单位增益。注意, 这种模式可用于任何差分放大器。该放大器的增益可通过以下增益公式来计算:

$$G = \frac{R_F}{R_G}$$

ADI 公司的 ADA4937-1 数据手册建议采用 $200\ \Omega$ 的电阻。加在该电路的信号源电压为 2 V , 源电阻为 $50\ \Omega$ 。现在可以通过以下 4 个简单步骤来计算输入端接电阻。

1. 用公式(1)计算输入阻抗 R_{IN} (见图 3)。

$$R_{IN} = \frac{R_G}{1 - \frac{R_F}{2 \times (R_G + R_F)}} = \frac{200}{1 - \frac{200}{2 \times (200 + 200)}} = 267\ \Omega$$

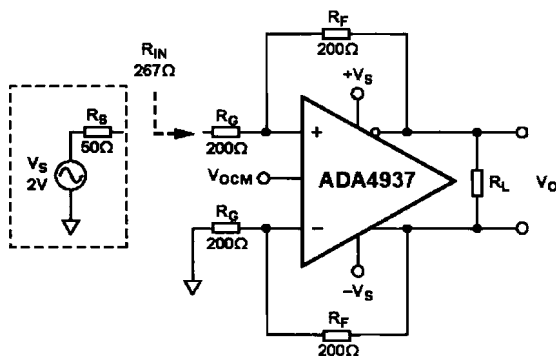


图 3 单端输入阻抗 R_{IN}

2. 对于源端接电阻为 $50\ \Omega$, 则用公式 $R_T \parallel R_{IN} = 50\ \Omega$ 计算端接电阻 R_T (见图 4), 可使得 R_T 等于 $61.9\ \Omega$ 。

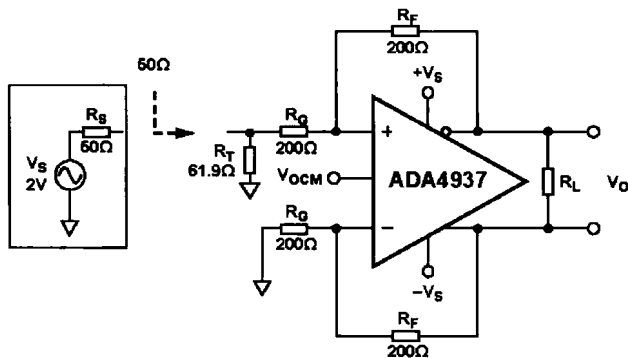


图 4 添加端接电阻 R_T

3. 为了补偿增益电阻的不平衡性,需要添加一个校正电阻 R_{TS} ,并使其与反相输入增益电阻 R_G (见图 6)相串联。 R_{TS} 等于源电阻 $R_S \parallel R_T$ 的戴维宁等效值(见图 5)。

$$R_{TS} = R_{TH} = R_S \parallel R_T = 27.4 \Omega$$

注意, V_{TH} 不等于 $V_S/2$;但是,如果该端接电阻不受放大器电路输入阻抗 R_{IN} 的影响,则 V_{TH} 等于 $V_S/2$ 。

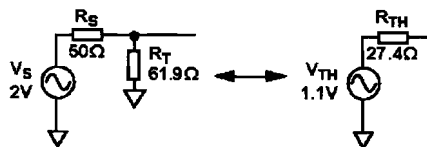
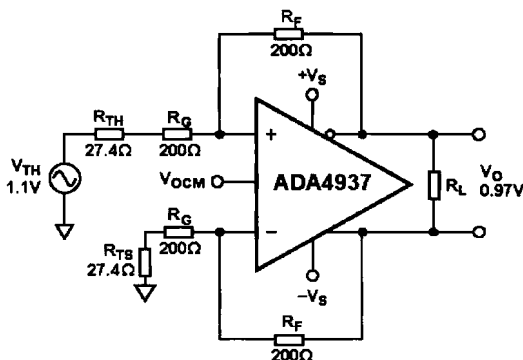


图 5 计算戴维宁等效值

图 6 平衡增益电阻 R_G

4. 必须重新计算反馈电阻以调整输出电压,如下所示。

若要使输出电压 $V_{OUT} = 1 \text{ V}$,请用以下公式重新计算 R_F :

$$R_F = \frac{V_{OUT} \times (R_G + R_{TS})}{V_{TH}} = \frac{1 \times (200 + 27.4)}{1.1} = 207 \Omega$$

若要使 $V_O = V_S = 2 \text{ V}$ 以弥补输入端接电阻导致的损失, R_F 应为

$$R_F = \left(\frac{V_{OUT} \times (R_G + R_{TS})}{V_{TH}} \right) = \left(\frac{2 \times (200 + 27.4)}{1.1} \right) = 414 \Omega$$

图 7 为完整的单端转差分系统。

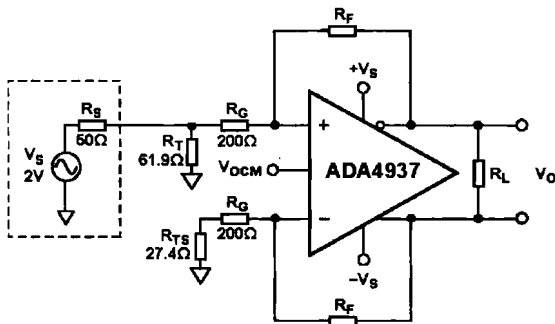


图 7 完整的单端转差分系统

结 论

单端输入差分放大器的输入端接电阻可通过 4 个步骤计算得出。首先,计算放大器的输入阻抗 R_{IN} ,然后计算端接电阻 R_T 。添加 R_{TS} ,使其与反相输入增益电阻相串联,以重新平衡放大器增益路径。最后,计算并调整反馈电阻,以获得正确的增益。

参考资料

- [1] ADA4927 - 1 Data Sheet. Analog Devices, Inc. , 2008.
- [2] AN - 584 Application Note. Analog Devices, Inc. , 2002.

AN-1026 应用笔记

高速差分 ADC 驱动器设计考虑

作者: John Ardizzoni Jonathan Pearson

简介

多数现代高性能 ADC 都利用差分输入来抑制共模噪声及干扰,将动态范围提高 2 倍,并通过平衡信号提高总体性能。尽管带差分输入的 ADC 可以接受单端输入信号,但在输入差分信号时,ADC 的性能才能达到最佳状态。ADC 驱动器(通常设计用于提供此类信号的电路)执行多种重要功能,包括幅度缩放、单端-差分转换、缓冲、共模失调整、滤波等。自 AD8138 推出以来,差分 ADC 驱动器已成为数据采集系统中必不可少的信号调理元件。

图 1 所示为一种基本的全差分电压反馈 ADC 驱动器。可见,其与传统的运算放大器反馈电路存在两点差异。差分 ADC 驱动器多一个输出引脚(V_{ON})和输入引脚(V_{OCM})。将信号接入带差分输入端的 ADC 时,这些引脚可带来极大的灵活性。

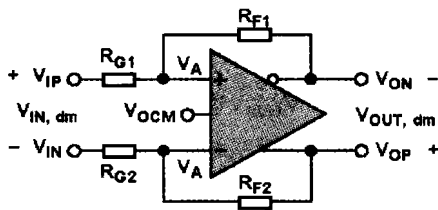


图 1 差分放大器

差分 ADC 驱动器产生的不是单端输出信号,而是在 V_{OP} 和 V_{ON} 之间以 V_{OCM} 为参考产生平衡差分输出信号。(P 表示正极, N 表示负极。)输入端 V_{OCM} 用于控制输出共模电压。只要输入与输出处于各自限度之内,输出共模电压一定等于应用于 V_{OCM} 输入端的电压。负反馈和高开环增益会使 V_{A+} 和 V_{A-} 两个放大器输入引脚处的电压实际上相等。

出于下文讨论需要,在此先明确一些定义。如果输入平衡信号, V_{IP} 和 V_{IN} 以共同基准电压为参照,其名义幅度相等、相位相反。当输入单端信号时,一个输入端电压固定,另一输入端则因其而变化。两种情况下,输入信号均定义为 $V_{IP} - V_{IN}$ 。

第一部分 放大器产品的应用

差模输入电压 $V_{IN, dm}$ 以及共模输入电压 $V_{IN, cm}$ 分别由公式(1)和公式(2)定义。

$$V_{IN, dm} = V_{IP} - V_{IN} \quad (1)$$

$$V_{IN, cm} = \frac{V_{IP} + V_{IN}}{2} \quad (2)$$

对于平衡输入信号,该共模定义一目了然,但对单端输入信号同样有效。

输出电压同样有差模和共模两种,分别由公式(3)和公式(4)定义。

$$V_{OUT, dm} = V_{OP} - V_{ON} \quad (3)$$

$$V_{OUT, cm} = \frac{V_{OP} + V_{ON}}{2} \quad (4)$$

请注意实际输出共模电压 $V_{OUT, cm}$ 与 V_{OCM} 输入引脚之差,后者用于确定输出共模电平。

分析差分 ADC 驱动器比分析传统运算放大器要复杂得多。为了简化代数式,不妨定义两个反馈因子 β_1 和 β_2 ,如公式(5)和公式(6)所示。

$$\beta_1 = \frac{R_{G1}}{R_{F1} + R_{G1}} \quad (5)$$

$$\beta_2 = \frac{R_{G2}}{R_{F2} + R_{G2}} \quad (6)$$

在多数 ADC 驱动应用中, $\beta_1 = \beta_2$,但以 V_{IP} 、 V_{IN} 、 V_{OCM} 、 β_1 和 β_2 为因子, $V_{OUT, dm}$ 的一般闭环等式可用于了解 β 失配是如何影响性能的。公式(7)所示 $V_{OUT, dm}$ 等式包括放大器有限频率依赖性,开环电压增益 $A(s)$ 。

$$V_{OUT, dm} = \frac{2}{\beta_1 + \beta_2} \frac{V_{OCM}(\beta_1 - \beta_2) + V_{IP}(1 - \beta_1) - V_{IN}(1 - \beta_2)}{1 + \frac{2}{A(s)(\beta_1 + \beta_2)}} \quad (7)$$

当 $\beta_1 \neq \beta_2$ 时,差分输出电压取决于 V_{OCM} ,这种结果并不理想,因为它会在差分输出中产生失调和过量噪声。电压反馈结构的增益带宽积为常数。有趣的是,增益带宽积中的增益为两个反馈因子平均值的倒数。

当 $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ 时,公式(7)可简化为公式(8)。

$$\frac{V_{OUT, dm}}{V_{IN, dm}} = \frac{R_F}{R_G} \frac{1}{1 + \frac{1}{A(s)(\beta)}} \quad (8)$$

这个等式更为眼熟;当 $A(s) \rightarrow \infty$ 时,理想闭环增益简化为 R_F/R_G 。增益带宽积同样眼熟,噪声增益等于 $1/\beta$,与传统运算放大器一样。

匹配反馈因子差分 ADC 驱动器的理想闭环增益如公式(9)所示。

$$A_v = \frac{V_{OUT, dm}}{V_{IN, dm}} = \frac{R_F}{R_G} \quad (9)$$

作为差分 ADC 驱动器的重要性能指标之一的输出平衡包括两个部分:幅度平衡和相位

平衡。幅度平衡是衡量两个输出在幅度上的匹配程度的一项指标;在理想放大器中,二者精确匹配。输出相位平衡这项指标旨在衡量两个输出的相位偏离 180° 的距离。输出幅度或输出相位若存在失衡,结果会在输出中产生不良共模成分。输出平衡误差(公式(10))为差分输入信号产生的输出共模电压与同一输入信号产生的输出差模电压之对数比,单位为分贝。

$$\text{输出平衡误差} = 20 \log_{10} \frac{\Delta V_{\text{OUT,cm}}}{\Delta V_{\text{out,dm}}} \quad (10)$$

内部共模反馈环路迫使 $V_{\text{OUT,cm}}$ 等于应用于 V_{OCM} 输入的电压,结果产生良好的输出平衡。

将输入引脚端接至 ADC 驱动器

ADC 驱动器通常用在处理高速信号的系统中。距离超过信号波长一小部分的器件必须通过阻抗受控的电气传输线相连,以防止损失信号完整性。当传输线两端均以其特性阻抗端接时,可获得最佳性能。驱动器一般置于 ADC 附近,因此两者中间不需要受控阻抗连接;然而,鉴于至 ADC 驱动器输入端的输入信号连接较长,必须使用一个受控阻抗连接,并按适当电阻进行端接。

ADC 驱动器的输入电阻,无论属于差分还是单端性质,都必须大于或等于目标端电阻,以便添加一个端电阻 R_T 与放大器输入端并联,以获得所需电阻。在此处考虑的各示例中,所有 ADC 驱动器均采用平衡反馈比设计,如图 2 所示。

由于负反馈使放大器两个输入端之间的电压变成零,因此,两个输入端为虚联接,差分输入电阻 $R_{\text{IN,dm}}$ 仅为 $2 \times R_G$ 。为了匹配传输线电阻 R_L ,将电阻 R_T (通过公式(11)计算得出)置于差分输入上。图 3 所示为典型电阻 $R_F = R_G = 200 \Omega$,目标 $R_{L,dm} = 100 \Omega$ 且 $R_T = 133 \Omega$ 。

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_L} - \frac{1}{R_{\text{IN,dm}}}} \quad (11)$$

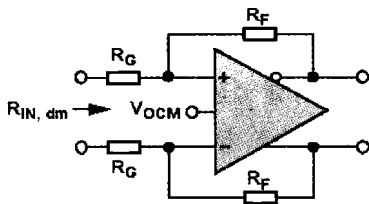


图 2 差分放大器输入阻抗

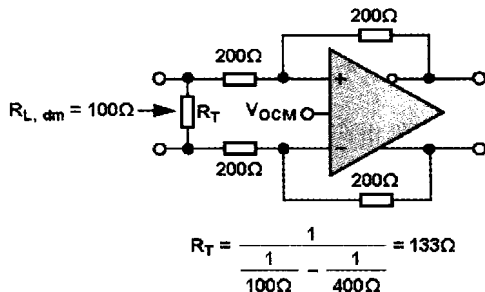


图 3 匹配 100Ω 线路

第一部分 放大器产品的应用

端接单端输入要麻烦许多。图 4 展示了 ADC 驱动器在单端输入及差分输出下的工作方式。

虽然输入为单端性质,但 $V_{IN, dm}$ 仍等于 V_{IN} 。由于电阻 R_F 和 R_G 相等且平衡,故为单位增益,且差分输出 $V_{OP} - V_{ON}$ 等于输入,即 $4 V_{p-p}$ 。 $V_{OUT, cm}$ 等于 $V_{OCM} = 2.5 V$;来自低反馈电路的两个输入电压 V_{A+} 和 V_{A-} 等于 $V_{OP}/2$ 。

利用公式(3)和公式(4),可得 $V_{OP} = V_{OCM} + V_{IN}/2$, $\pm 1 V$ 同相摆动约 $2.5 V$ 。 $V_{ON} = V_{OCM} - V_{IN}/2$, $\pm 1 V$ 反相摆动约 $2.5 V$ 。因此, V_{A+} 和 V_{A-} 在 $\pm 0.5 V$ 下约摆动 $1.25 V$ 。必须由 V_{IN} 提供的电流的交流成分为 $(2 V - 0.5 V)/500 \Omega = 3 mA$,因此,必须匹配的接地电阻(从 V_{IN} 看过去)为 667Ω 。

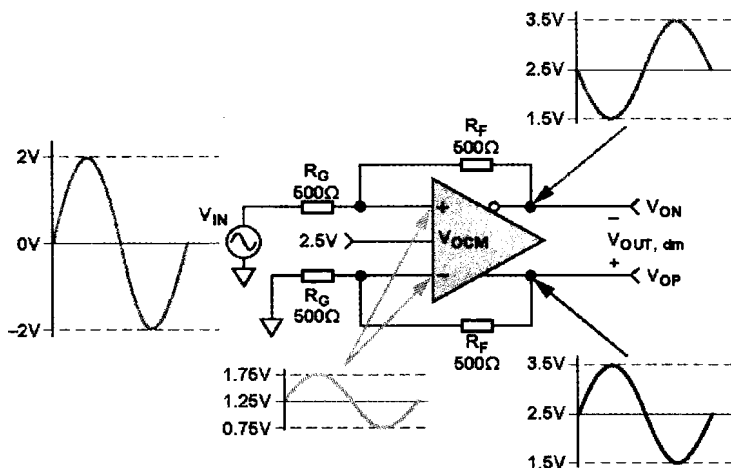


图 4 至 ADC 驱动器的单端输入示例

在各环路反馈因子相匹配时,确定单端输入电阻的通用公式为公式(12),其中, $R_{IN, se}$ 为单端输入电阻。

$$R_{IN, se} = \frac{R_G}{1 - \frac{R_F}{2 \times (R_G + R_F)}} \quad (12)$$

这是计算端电阻的第一步。然而,需要注意的是,各放大器增益等式均基于阻抗输入源为零的假设。当存在由单端输入导致的失衡时,必须相匹配的有效源阻抗只会给上位电阻 R_G 增加电阻。为保持平衡,必须给低位电阻 R_G 增加电阻,但这又会影响增益。

虽然在端接单端信号时可采用闭式解,但迭代法更为常用。在以下示例中,迭代法的作用更加明显。

在图 5 中,为保持低噪声,需要一个值为 1 的单端转差分增益,一个 50Ω 的输入引脚以及

值接近 $200\ \Omega$ 的若干反馈电阻和增益电阻。

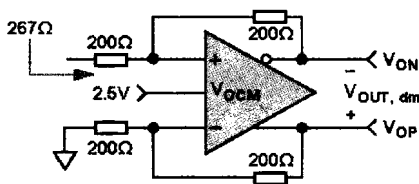


图 5 单端输入阻抗

利用公式(12)可算出单端输入电阻 $267\ \Omega$ 。根据公式(13)可知,要使 $267\ \Omega$ 的输入电阻降至 $50\ \Omega$, 并联电阻 R_T 应为 $61.5\ \Omega$ 。

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{50\ \Omega} - \frac{1}{267\ \Omega}} = 61.5 \quad (13)$$

图 6 所示电路给出了源电阻和端电阻。当源电阻值为 $50\ \Omega$ 时,源电阻的开路电压为 $2\text{ V}_{\text{p-p}}$ 。当源电阻端接于 $50\ \Omega$ 时,输入电压降为 $1\text{ V}_{\text{p-p}}$,该值同时为单位增益驱动器的差分输出电压。

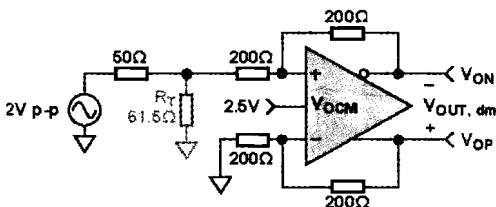


图 6 带源电阻和端电阻的单端电路

该电路给人的第一印象是完整,但仅上位电阻 R_G 就添加了一个 $61.5\ \Omega$ 的未匹配电阻,与 $50\ \Omega$ 电阻并联。这会改变增益及单端输入电阻,并使反馈因子失去匹配。对于小增益,输入电阻的变化较小,可暂时忽略不计,但反馈因子仍然必须得到匹配。最简单的方法是给低位电阻 R_G 增加电阻。图 7 所示为一种戴维宁等效电路,其中,前述并联组合充当源电阻。

在该替代电路中,向低位环路增加了一个 $27.6\ \Omega$ 电阻 R_{TS} ,以便匹配环路反馈因子,如图 8 所示。

注意, $1.1\text{ V}_{\text{p-p}}$ 的戴维宁电压大于 $1\text{ V}_{\text{p-p}}$ 的正确端接电压,各个增益电阻的值均增加 $27.6\ \Omega$,结果降低了闭环增益。在大电阻 ($>1\text{ k}\Omega$) 和小增益(1 或 2)的情况下,这种反向作用可相互抵消,但在小电阻或高增益情况下,并不能完全抵消。

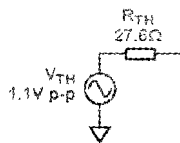


图 7 戴维宁等效输入源