

双运放仪表放大器基本配置

仪表放大器是基于运算放大器的，有两种基本配置极为常见。第一种基于双运算放大器，第二种则基于三运算放大器。图1所示电路称为双运放仪表放大器。双通道精密IC运算放大器在大多数情况下拥有良好匹配，例如OP297或OP284。电阻通常是同一芯片上的薄膜激光调整阵列。仪表放大器增益可利用外部电阻 R_G 轻松设置。无 R_G 时，增益是 $1 + R_2/R_1$ 。实际应用中， R_2/R_1 比值依据所需的最小仪表放大器增益来选择。

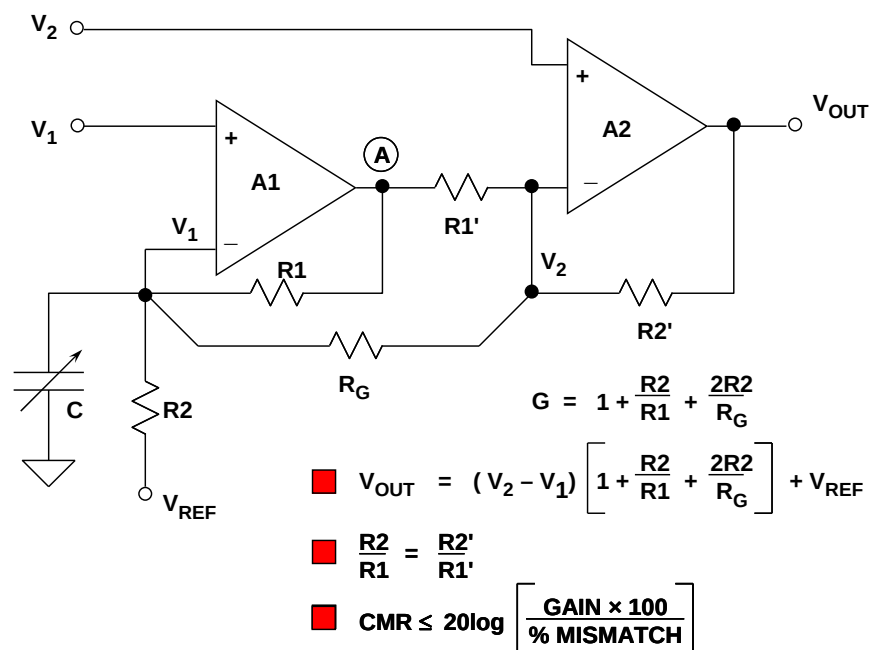


图1：双运放仪表放大器

双运放仪表放大器的输入阻抗本身较高，使得信号源阻抗可能较高且失衡。直流共模抑制性能受 R_1/R_2 与 R_1'/R_2' 的匹配限制。如果四个电阻中有任何一个存在不匹配，直流共模抑制比限于下值：

$$CMR \leq 20 \log \left[\frac{GAIN \times 100}{\% \text{ MISMATCH}} \right]. \quad \text{公式1}$$

请注意，电路净CMR随着仪表放大器工作增益增大而成比例提高，从而有效提升较高增益下的性能。

IC仪表放大器特别适合同时满足增益设置电阻的比率匹配和温度跟踪需求。虽然在硅片上制造的薄膜电阻最高具有 $\pm 20\%$ 的初始容差，生产过程中的激光调整可将电阻间比率误差减小至 0.01% (100 ppm)。另外，薄膜电阻温度系数之间的跟踪本身较低，通常小于 $3 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ ($0.0003\%/^\circ\text{C}$)。

使用双电源时， V_{REF} 一般直接接地。在单电源应用中， V_{REF} 通常连接至等于电源电压一半的低阻抗电压源。从 V_{REF} 到节点“A”的增益为 $R1/R2$ ，从节点“A”到输出的增益为 $R2'/R1'$ 。假定比率匹配是理想的，则从 V_{REF} 到输出的增益等于单位增益。请注意， V_{REF} 的源阻抗必须较低，否则CMR会降低。

双运放仪表放大器的一个主要缺点是共模电压输入范围必须相对于增益进行取舍。放大器A1必须将 V_1 下的信号放大 $1 + R1/R2$ 倍。如果 $R1 \gg R2$ (图1中的低增益示例)，一旦 V_1 共模信号过高A1将发生饱和，结果消耗掉用于放大目标差分信号的A1“余量”。对于高增益($R1 \ll R2$)，节点“A”则有更多的余量，可提供更大的共模输入电压。

此配置的交流共模抑制性能一般较差，因为从 V_1 到 V_{OUT} 的信号路径具有额外的A1相移。此外，两个放大器在不同闭环增益下(对应于不同带宽)工作。图1所示的小调整电容“C”可稍微改善交流CMR。

不使用 R_G 时，低增益($G = 2$)单电源双运放仪表放大器配置结果如以上图2所示。

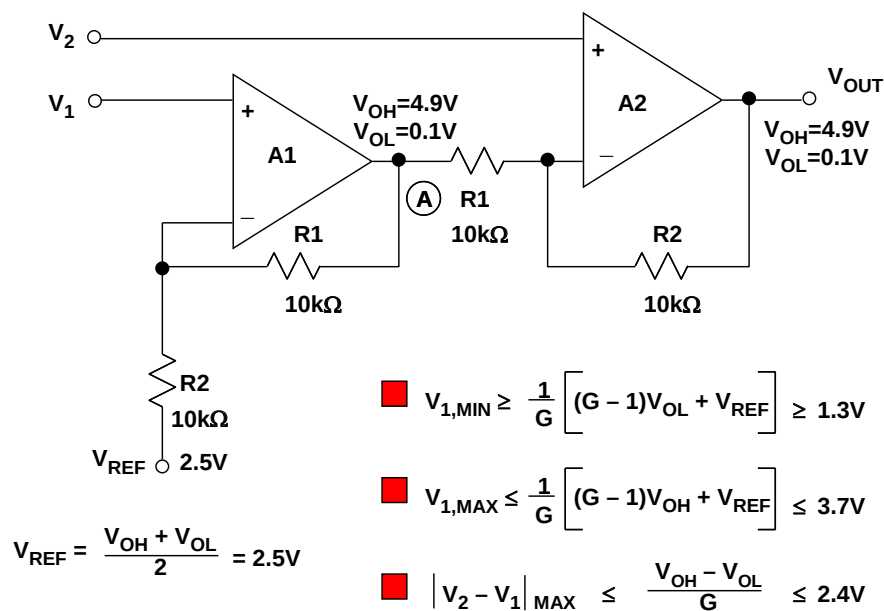


图2: $V_s = +5\text{V}$ 、 $G = 2$ 时的双运放仪表放大器单电源限制

输入共模和差分信号值必须限制，以防止A1或A2发生饱和。本例中，运算放大器在供电轨的0.1 V内保持线性，输出上限和下限分别指定为 V_{OH} 和 V_{OL} 。这些饱和电压限值是单电源、轨到轨输出运算放大器(例如AD822)的典型值。

使用图2的公式， V_1 的电压必须介于1.3 V至2.4 V之间，以防止A1发生饱和。请注意， V_{REF} 连接到 V_{OH} 和 V_{OL} 的平均值(2.5 V)。这是为了提供双极性差分输入信号和以+2.5 V为参考的 V_{OUT} 。

以下图3显示高增益($G = 100$)单电源双运放仪表放大器配置。请注意，使用相同公式， V_1 的电压现在可在0.124 V至4.876 V间摆动。 V_{REF} 仍为2.5 V，以提供双极性输入和输出信号。

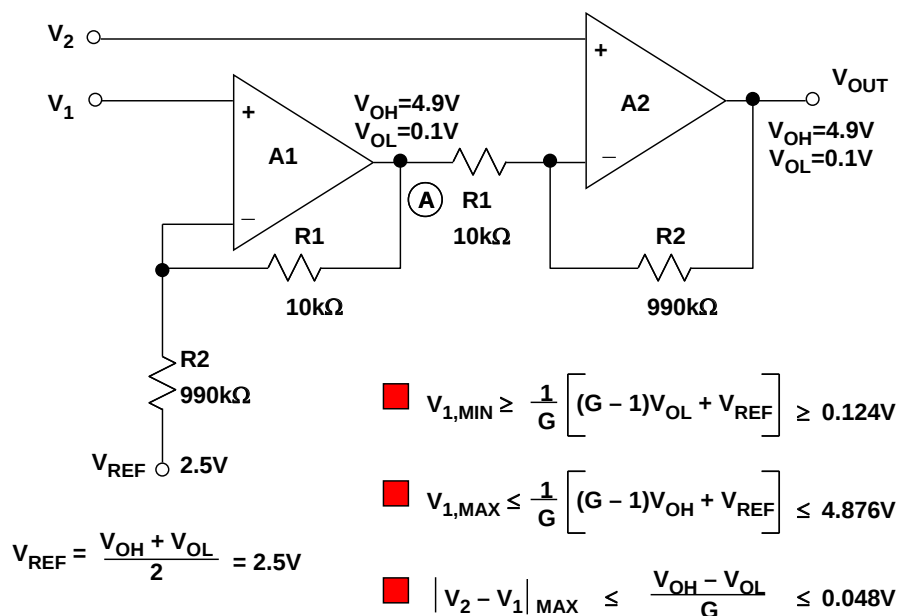


图3: $V_S = +5V$ 、 $G = 100$ 时的双运放仪表放大器单电源限制

所有这些分析都显示，采用单电源供电时，传统的双运放仪表放大器架构存在较大限制。一方面，该架构对给定增益下的容许输入CM范围造成限制。另一方面，它对给定CM输入电压下的容许增益范围造成限制。

不过，还有许多情况下，增益和CM电压的组合无法用图1至3的基本双运算放大器结构来支持，即使放大器是理想的(即两个供电轨均有零输出饱和电压)。

总而言之，无论增益如何，常见的双运放仪表放大器基本结构在采用单电源供电时无法提供0V的CM输入电压。消除这些单电源供电限制的唯一途径是修改仪表放大器架构。

AD627单电源双运放仪表放大器

通过对基本双运放仪表放大器架构做一些关键修改，可以克服上述CM限制。以下图4为AD627仪表放大器架构，其中显示了这些在电路中实施的修改。

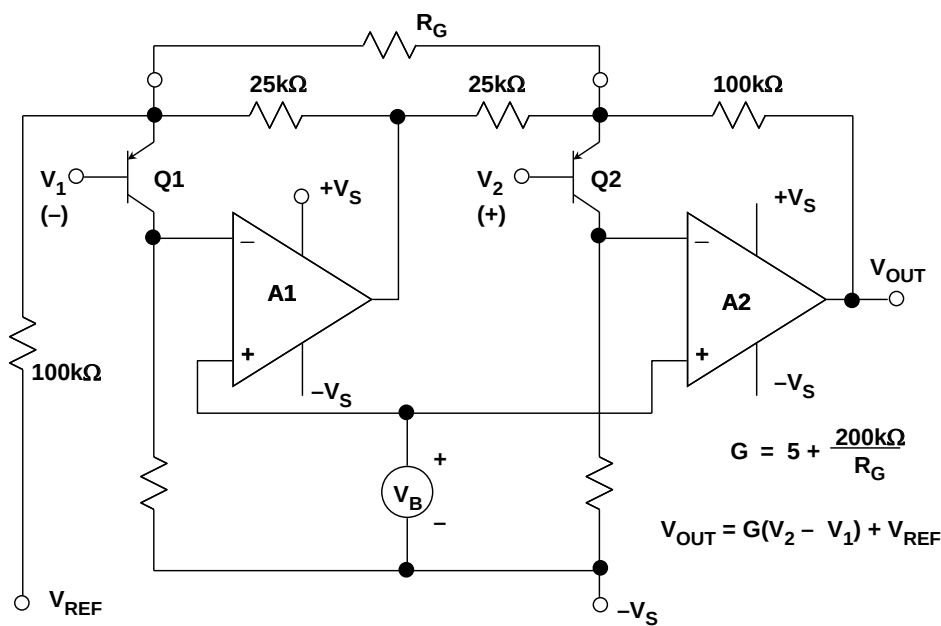


图4: AD627仪表放大器架构

在此电路中，两个运算放大器均由一个PNP共发射极输入级和一个增益级构成，分别指定为Q1/A1和Q2/A2。PNP晶体管不仅提供增益，还可对输入信号进行电平转换，将其提高约0.5 V，因此共模输入电压可到达负供电轨以下0.1 V。容许的最大正输入电压比正供电轨低1 V。

AD627仪表放大器提供轨到轨输出摆幅，且具有宽电源电压范围(+2.7 V至±18 V)。无外部增益设置电阻 R_G 时，仪表放大器增益最小值为5。通过添加外部电阻，增益最高可达1000。使用1 kΩ非均衡信号源、+3 V单电源且 $G = 5$ 时，AD627B在60 Hz下的共模抑制比为85 dB。

虽然AD627是双运放仪表放大器，仍需注意，它没有图1所示基本电路的CM频率响应限制。由于使用专利电路，AD627 CMR的平坦频率远远高于传统分立式双运放仪表放大器可实现的水平。

AD627数据手册详细说明了容许输入/输出电压范围，其与增益和电源电压成函数关系。交互式[仪表放大器共模范围/增益计算器设计工具](#)可以帮助用户计算仪表放大器的基本共模范围和增益。

AD627的主要规格特性如以下图5所示。尽管是低功耗、单电源器件，AD627却能够采用传统的较高电压电源，例如 $\pm 15\text{ V}$ ，而且性能出色。

- ◆ **Wide Supply Range : $+2.7\text{V}$ to $\pm 18\text{V}$**
- ◆ **Input Voltage Range: $-V_S - 0.1\text{V}$ to $+V_S - 1\text{V}$**
- ◆ **$85\mu\text{A}$ Supply Current**
- ◆ **Gain Range: 5 to 1000**
- ◆ **$75\mu\text{V}$ Maximum Input Offset Volage (AD627B)**
- ◆ **$10\text{ppm}/^\circ\text{C}$ Maximum Offset Voltage TC (AD627B)**
- ◆ **10ppm Gain Nonlinearity**
- ◆ **85dB CMR @ 60Hz , $1\text{k}\Omega$ Source Imbalance ($G = 5$)**
- ◆ **$3\mu\text{V}$ p-p 0.1Hz to 10Hz Input Voltage Noise ($G = 5$)**

图5：AD627仪表放大器主要规格特性

参考文献

1. Hank Zumbahlen, *Basic Linear Design*, Analog Devices, 2006, ISBN: 0-915550-28-1. Also available as [Linear Circuit Design Handbook](#), Elsevier-Newnes, 2008, ISBN-10: 0750687037, ISBN-13: 978-0750687034. Chapter 2.
2. Walter G. Jung, [Op Amp Applications](#), Analog Devices, 2002, ISBN 0-916550-26-5, Also available as [Op Amp Applications Handbook](#), Elsevier/Newnes, 2005, ISBN 0-7506-7844-5. Chapter 2.
3. Charles Kitchin and Lew Counts, [A Designer's Guide to Instrumentation Amplifiers, 3rd Edition](#), Analog Devices, 2006.

Copyright 2009, Analog Devices, Inc. All rights reserved. Analog Devices assumes no responsibility for customer product design or the use or application of customers' products or for any infringements of patents or rights of others which may result from Analog Devices assistance. All trademarks and logos are property of their respective holders. Information furnished by Analog Devices applications and development tools engineers is believed to be accurate and reliable, however no responsibility is assumed by Analog Devices regarding technical accuracy and topicality of the content provided in Analog Devices Tutorials.