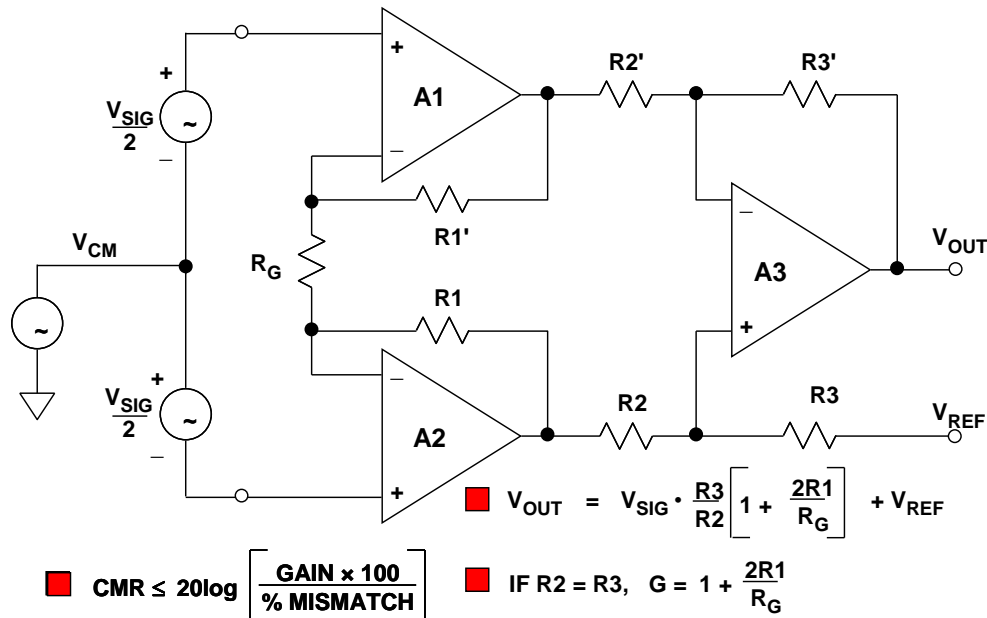


### 三运算放大器仪表放大器基本结构

第二种常见的仪表放大器架构基于三运算放大器，显示于以下图1中。此电路通常称为三运算放大器仪表放大器。



**图1：三运算放大器仪表放大器**

电阻 $R_G$ 设置此放大器的总增益。该电阻可以是内部、外部或(软件或引脚绑定)可编程电阻，视仪表放大器而定。在此配置下，CMR取决于 $R3/R2$ 与 $R3'/R2'$ 的比率匹配。另外，共模信号的放大因子为1，不受增益影响，( $R_G$ 中不会出现共模电压，即是说其中不会流过共模电流，因为运行正常的运算放大器的输入引脚之间不存在显著的电位差)。

由于A1-A2中的差分对CM增益比率较高，该仪表放大器的CMR理论上与增益呈比例变化。大共模信号(A1-A2运算放大器余量限制以内)可在所有增益下处理。最后，鉴于这种配置的对称性，输入放大器中的共模误差(若采样)常常被减法器输出级消除。这些特性使得该三运算放大器仪表放大器配置能够提供最高性能，也是其大受欢迎的原因所在。

经典三运算放大器结构已经用于多种单芯片IC仪表放大器，包括业界标准AD620。除了三个内部运算放大器之间的出色匹配，薄膜激光调整电阻还具有极佳的比率匹配和增益精度，而且成本远远低于使用分立式精密运算放大器和电阻网络。AD620是单芯片IC仪表放大器技术的很好范例。以下图2给出了简化器件原理图。

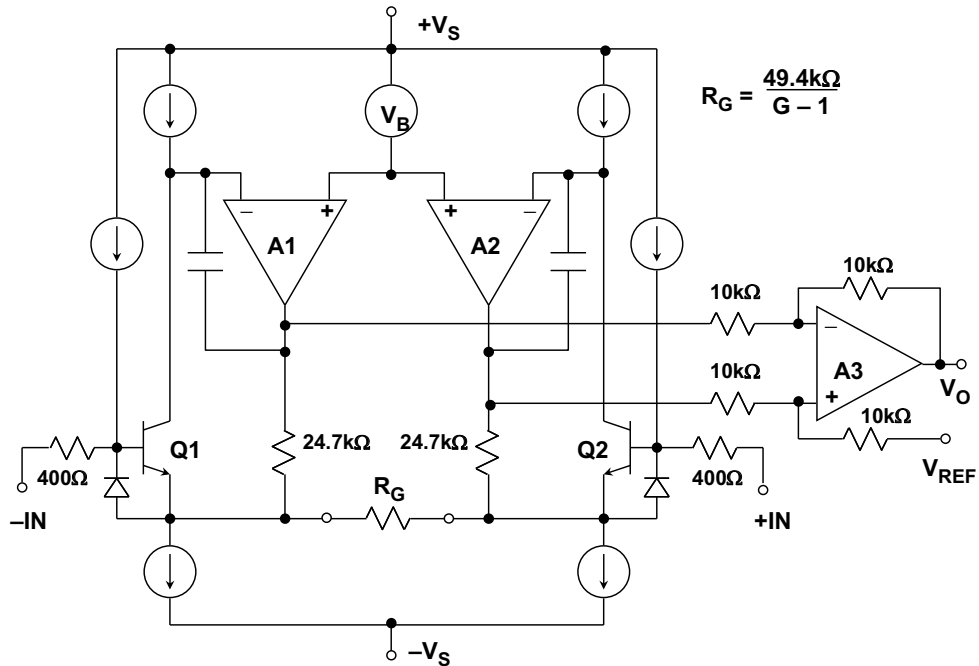


图2: AD620仪表放大器简化原理图

AD620是一款颇受欢迎的仪表放大器，额定电源电压范围为 $\pm 2.3\text{ V}$ 至 $\pm 18\text{ V}$ 。输入电压噪声在 $1\text{ kHz}$ 下仅为 $9\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。由于Q1-Q2使用了Superbeta晶体管，最大输入偏置电流仅为 $1\text{ nA}$ 。

内部 $400\ \Omega$ 薄膜限流电阻与二极管(从Q1和Q2的发射极连接至基极)配合使用，从而提供过压保护功能。增益G由单一外部 $R_G$ 电阻设置，如以下公式1所示。

$$G = (49.4\text{k}\Omega/R_G) + 1 \quad \text{公式1}$$

结合该公式和图2可以看出，AD620内部电阻经过调整，使得标准1%或0.1%电阻可用于将增益设置为常用值。

与双运算放大器仪表放大器配置一样，三运算放大器仪表放大器的单电源供电需要清楚内部节点电压。下图3显示了采用 $+5\text{ V}$ 单电源供电的仪表放大器的一般框图。各运算放大器的最大和最小容许输出电压分别指定为 $V_{OH}$ (最高输出)和 $V_{OL}$ (最低输出)。

请注意，从共模电压到A1和A2输出端的增益为单位增益。可以说，这些输出上的共模电压和信号电压之和必须在放大器输出电压范围内。

显然该配置无法处理0 V或+5 V的输入共模电压，因为A1和A2已经饱和。与双运算放大器仪表放大器一样，输出基准位于 $V_{OH}$ 和 $V_{OL}$ 中间，以提供双极性差分输入信号。

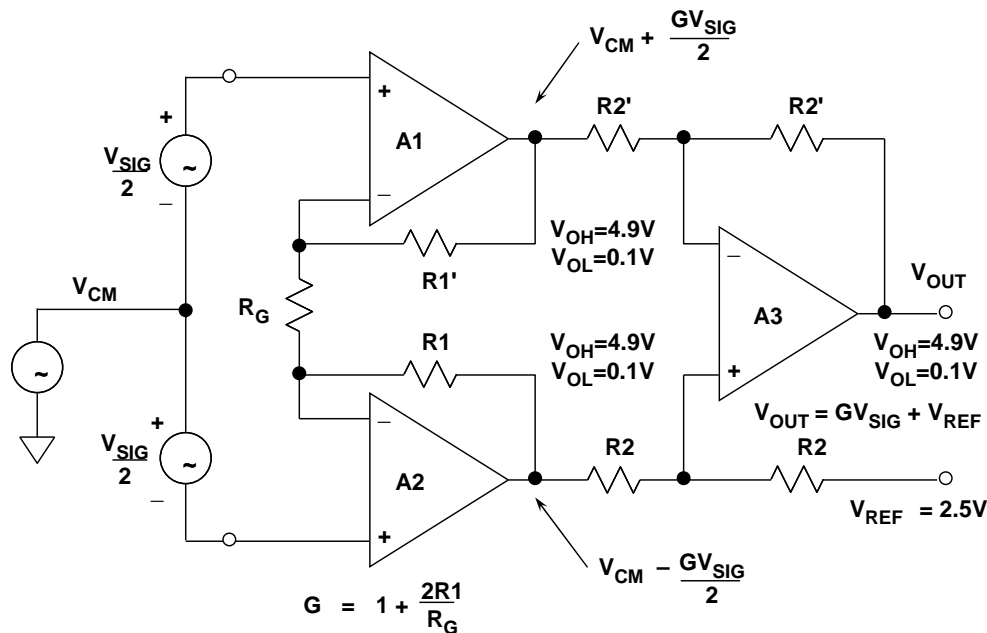


图3：三运算放大器仪表放大器+5 V单电源限制

虽然有许多优秀的单电源仪表放大器，最高性能的器件仍然是那些采用传统双电源供电的器件，例如上述[AD620](#)，还有最近推出的[AD8221](#)和[AD8222](#)。在特定应用中，即使像AD620这样专为双电源供电而设计的器件，也可在单电源系统上发挥完整精度。

### AD623单电源仪表放大器

与前述对应的双运算放大器仪表放大器一样，三运算放大器仪表放大器需要仔细设计，以实现单电源上的宽共模范围输入。以下图4所示的[AD623](#)单电源仪表放大器配置提供了很有吸引力的解决方案。该器件中，PNP发射极跟随器电平转换器Q1和Q2使输入信号可低于负电源150 mV，同时保持在正电源的1.5 V范围内。AD623的额定电源电压为+3 V至+12 V (单电源)或±2.5 V至±6 V(双电源)。

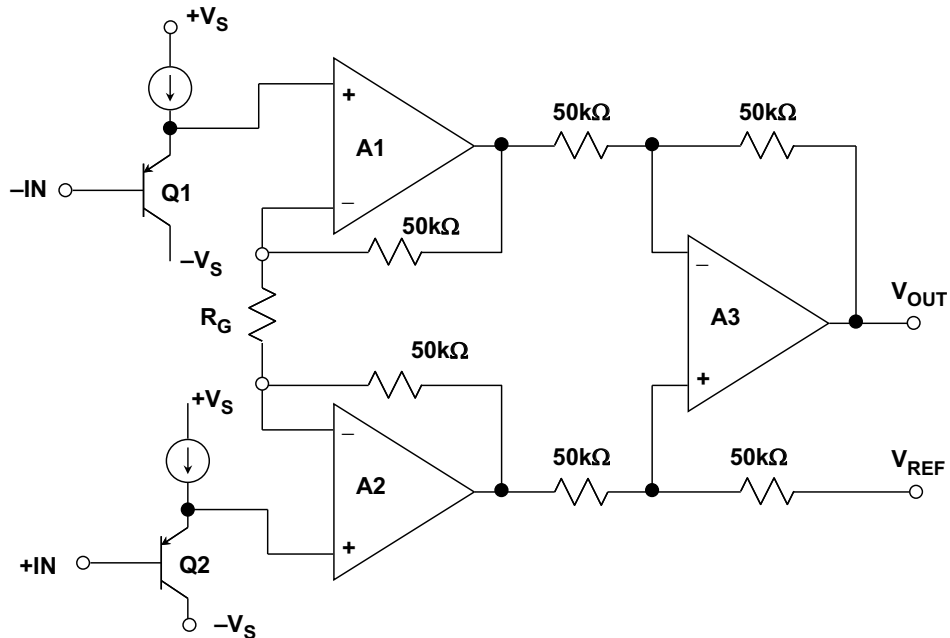


图4: [AD623](#)单电源仪表放大器架构

AD623数据手册包含容许输入/输出电压范围的详细说明及数据，此范围与增益和电源电压成函数关系。此外，ADI网站提供[交互式设计工具](#)，可为许多仪表放大器执行关于这些参数的增益和范围计算，包括AD623。图5总结了AD623的主要规格特性。

- ◆ Wide Supply Range: +3V to  $\pm 6V$
- ◆ Input Voltage Range:  $-V_S - 0.15V$  to  $+V_S - 1.5V$
- ◆ 575 $\mu A$  Maximum Supply Current
- ◆ Gain Range: 1 to 1000
- ◆ 100 $\mu V$  Maximum Input Offset Voltage (AD623B)
- ◆ 1 $\mu V/^\circ C$  Maximum Offset Voltage TC (AD623B)
- ◆ 50ppm Gain Nonlinearity
- ◆ 105dB CMR @ 60Hz, 1k $\Omega$  Source Imbalance,  $G \geq 100$
- ◆ 3 $\mu V$  p-p 0.1Hz to 10Hz Input Voltage Noise ( $G = 1$ )

图5: [AD623](#)仪表放大器主要规格特性

[AD8223](#)是一款集成式单电源仪表放大器，采用单电源(+3.0 V至+25 V)供电时提供轨到轨输出摆幅。输入共模电压包括负供电轨。AD8223可以通过单一增益设置电阻进行编程，并遵照8引脚工业标准引脚排列配置，赋予用户出众的灵活性。不接外部电阻时，AD8223配置为 $G = 5$ ；连接外部电阻时，AD8223可通过编程实现最高增益1000。AD8223利用了本教程介绍的三运算放大器架构。

## 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, 3<sup>rd</sup> 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.