

## 运算放大器的单电源供电

单电源电压供电是运算放大器最常见的应用问题之一。当问及“型号为OPAxyz，能否采用单电源供电？”，答案通常是肯定的。在不启用负相电源电压时，采用单电源电压驱动运算放大器是可行的。并且，对使用高电压及大电流运算放大器的特定应用而言，采用单电源供电将使其切实的获益。

考虑如图 1a 所示的基本运算放大器连线图。运算放大器采用了双电源供电（也称平衡[balanced]电源或分离[split]电源）。注意到此处运算放大器无接地。而事实上，可以说运算并不会确认地电位的存在。地电位介于正相电压及负相电压之间，但运算放大器并不具有电气接线端以确定其确切的位置。

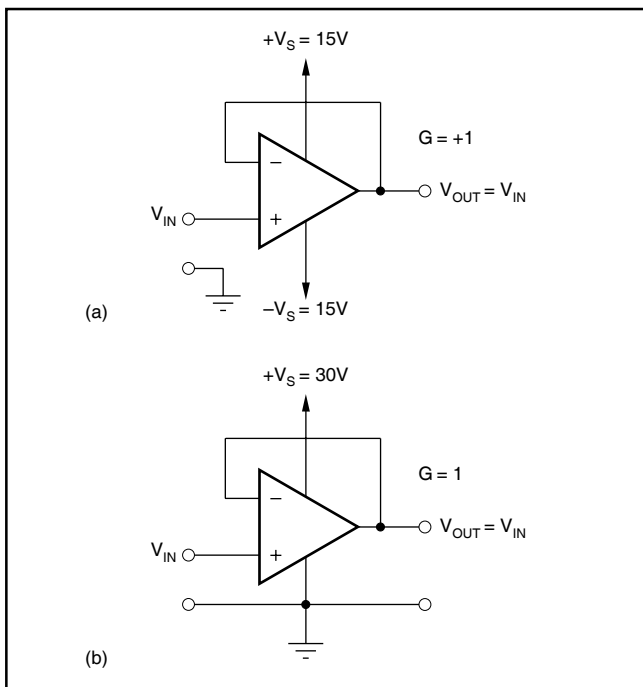


图 1. 简易单位增益缓冲器的运算放大器连线示意图，举例说明了分离电源供电(a)与单电源供电(b)的相似性。

图 1 所示电路连接为电压跟随器，因此输出电压与输入电压相等。当然，输出跟随输入的能力是有限的。随着输入电压正相摆幅的增大，在某些接近正相电源的电位点上，输出将无法跟随输入。类似的，负相输出摆幅也限制在靠近  $-V_s$  的某电位点上。典型的运算放大器允许输出摆幅在电源轨的 2 V 以内，使得  $\pm 15V$  的电源可支持  $-13V$  至  $+13V$  的输出。

图 1b 展示了同样的单位增益跟随器，采用 30 V 单电源支持供电。运算放大器的两个电源接线端之间的总电压仍为 30 V，但此时采用了单正相电源。从另一角度考虑，其运行状态是不变的。只要输入介于运算放大器电源接线端电压 2 V 以内，输入就能跟随输入。电路可支持的输出范围从 +2V 至 +28V。

既然任意的运算放大器均能支持此类单电源供电（仅是摆幅限制稍有不同），为何某些运算放大器特别注明用于单电源应用呢？

某些时候，输出摆幅在地电平（运算放大器的“负相”电源轨）附近受到了极大的限制。如图 1b 所示，应用的输入信号参考地电平，此时，运算放大器将无法准确的处理小于 2 V 的输入信号。而“单电源运算放大器”则能很好的应对此类特殊的应用。尽管如此，仍可采用许多不同的方式将标准的运算放大器用于单电源应用中，并实现较好的总体性能。应对此类应用的关键即在于对运算放大器的局限性（对其电源轨附近的电压信号进行处理之时）的理解。

如图 1b 所示，导致标准运算放大器无法处理地电平附近信号的原因有两个：(1)共模范围限制；(2)输出电压摆幅能力。

此类性能特点通过图 2 的图形描述得到了很直观的展示。电压范围与电源电压相关，指示了给定运算放大器的正常功能。以共模范围为例，通常采用图示说明其与诸如温度等参数的关系。图 2 假定的电源为  $\pm 15V$ ，但还是很容易将负相电源轨设想为地。在图 2a 中，注意到运算放大器的共模范围为  $-13V$  至  $+13.5V$ 。对于运算放大器输入端低于  $-13V$  或高于  $+13.5V$  的电压信号而言，差分输入级将无法正常工作。

类似的，运算放大器的输出级也会将输出摆幅限制在电源电压附近。此项特性取决于负载，并同时取决于外设的温度。图 2b 展示了运算放大器的输出摆幅性能与负载电流的关系曲线。在  $25^\circ C$  时，对于  $10k\Omega$  的负载（电流约为  $\pm 1mA$ ）而言，输出摆幅为  $-13.8V$  至  $+12.8V$ 。

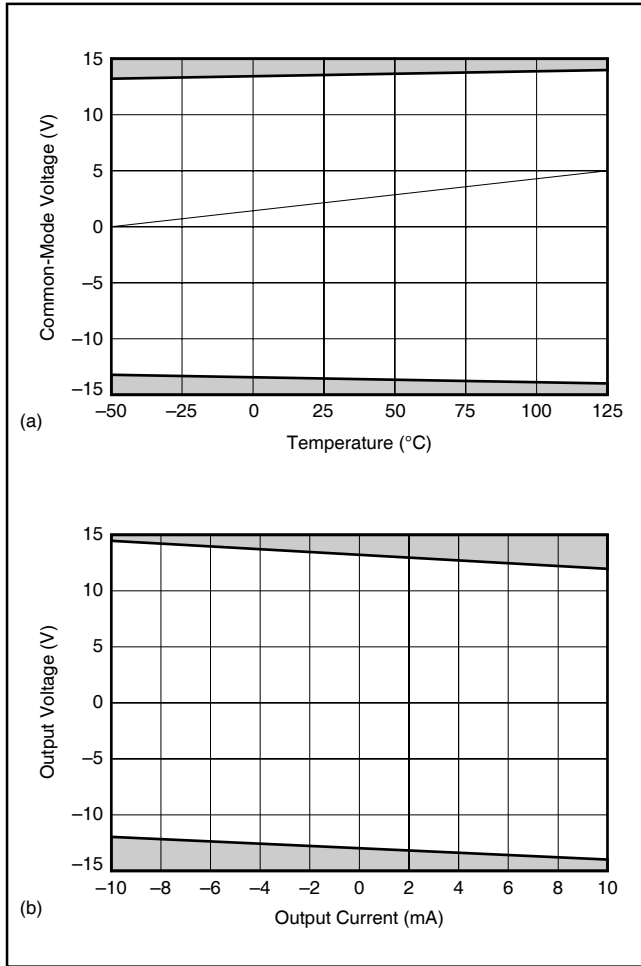


图 2. 运算放大器的共模范围通常取决于温度，其特性如图 (a) 所示；输出电压则受输出电流的影响，如图 (b) 所示。通常情况下，运算放大器的负载接地，其负载电流始终为正。随着输出电压逼近零电位，负载电流也逐渐归零，从而增大了有效输出摆幅。此处的图示假定为分离电源电压（正常值为  $\pm 15\text{V}$ ）。

由上文可知，如图 1b 所示电路的上下限分别为  $+13\text{V}$ （受限于输出摆幅性能）及  $-13\text{V}$ （受限于负相共模范围）。单电源运算放大器针对扩展的共模范围进行了特别的设计，可始终包含负相电源轨（地）。同时，其输出级也大多是针对接近地电平的摆幅而设计的。

倘若所有的运算放大器都设计为具有上述的扩展性能，则将提供很大的便利，但须考虑的该目标需要做极大的折衷。例如，增大共模范围通常需要牺牲诸如偏置点电压、偏置点漂移及噪声等特性。一般的应用或许能容忍此类运算放大器的性能折衷，但对于高精度或其他特定用途的应用而言，则需要采用不同的处理方法。

值得庆幸的是仍有多种方式可支持在单电源应用中使用高性能及特定用途运算放大器。如图 1b 所示，运算

放大器具有典型的共模范围及输出特性，只要将输入及输出电压约束在必要的限度以内，即可实现良好的单电源运作。简言之，电路配置必须在适当的使用范围内运作。

以图 3 所示的电路为例，输入及输出均以齐纳二极管所形成的“浮动地(floating ground)”为参考。齐纳二极管通过  $R_z$  偏置并设定偏置电流。由于  $V_{IN}$  及  $V_{OUT}$  都参考同一浮动地，齐纳电压的精度或稳定性已不是最重要的。 $V_{IN}$  及  $V_{OUT}$  均可采用双极型信号（以浮动地为参考）。当  $+V = 30\text{V}$  且  $V_Z = 15\text{V}$  之时，其运行与采用标准分离电源的状况类似。在该电路中，负载电流流入浮动地，与齐纳二极管的电流（等于齐纳电流减去负相负载电流）相叠加。所选取的齐纳二极管必须能应对该附加的电流。若齐纳电流允许接近零，浮动地的电压将由于齐纳二极管的截止而快速降低。因此， $R_1$  值必须小心选取以确保齐纳二极管电流在任意运算放大器负载状况下都保持正向。

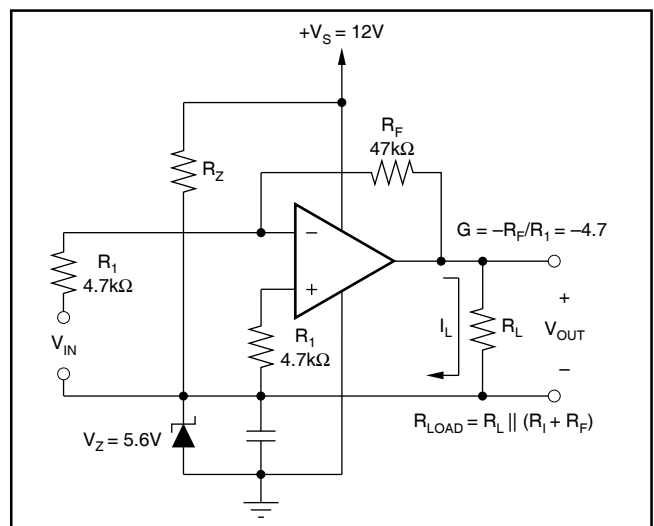


图 3. 当输入及输出均参考浮动地时，可对双极型信号进行处理。改变负载电流将导致齐纳电流的变化，这是必须进行估算的。

图 4 所示电路以放大器增益配置运作。在该电路中，反馈元件施加于运算放大器的附加负载等于两电阻 ( $R_1 + R_f$ ) 之和。当设计流经齐纳二极管的电流变化量时，此反馈电流也必须纳入考虑。此时，齐纳电流不能为零，也不能超过安全值。

注意到该示例所采用的单电源为  $+12\text{V}$ ，通常情况下，单电源应用所采用的电源电压要大大低于绝大多数运算放大器所规定的  $30\text{V} (\pm 15\text{V})$  的总体性能值。而现代的运算放大器也通常是在小于其特征电压的范围内才表现良好，这是需要验证的。某些运算放大器，尽管

标明可采用更低的电压供电，但也因为达到了最低工作电压而导致电源质量及共模抑制能力降低。

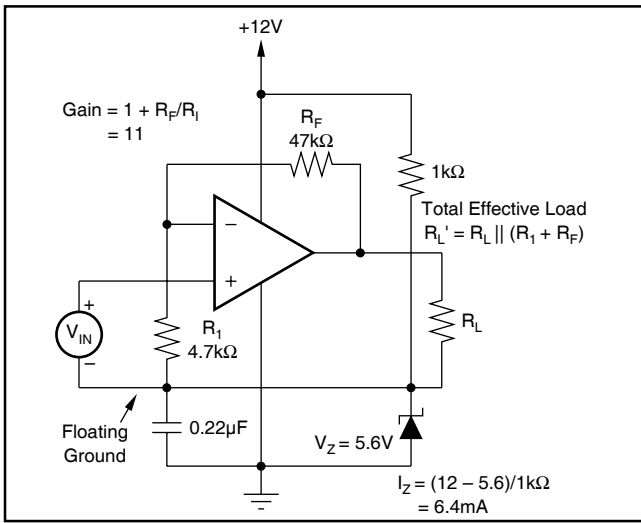


图 4. 与常规的分立电源供电状况一致，实现了放大器增益配置。反馈元件对运算放大器施加了一个附加负载，其电流流经齐纳二极管。电路的基本性能特征与分立电源供电时一致。

共模电压的极限值可能导致某些放大器产生意想不到的情况。以确定类型的 FET 输入运算放大器为例，其共模电压与电源相关，当电源超过 15V 至 20V 时，将产生过大的输入偏置电流。采用 30V 单电源供电即会出现此类情况，且共模电压将在任一电源轨附近将出现不平衡。放大器的实际性能也因共模电压如预期一样达到最坏的状况而得到验证。

电阻电压分配器也时常用于建立浮动地（图5）。接地阻抗由分配电阻并联确定。由于电阻值不可能非常的低（将消耗极大的电源电流），此时接地阻抗将有所提高。但只要小心的处理参考点上负载电流变化的效应，电阻分配的方式仍证明是可行的。实际上，由于输入及输出参考同一节点，在某些应用中建立真正“固化”的地也是无关紧要的。然而良好的旁通(bypassing)设计确实能提供更低的高频阻抗，从而无需低阻值的分配器电阻，有助于避免 VG 的瞬变失真或振荡问题

适当的电位点通常存在于相关的电路中，有助于建立浮动地。图 6 中 +5V 电源用于为逻辑电路供电，同时也作为浮动地。需要注意的是，绝大多数用于提供相应电压的稳压器仅设计用于为单个负载馈送电流。如果足够大的运算放大器负载电流流入 5V 线路，其电压将上升。因此，负载电流应谨慎估算以确保浮动地的电位保持在适当的范围。一般来说，其他的系统元件

都会为稳压器提供足够的负载，以允许足量的运算放大器负载电流。

特定需求的应用可能需要将缓冲运算放大器用于建立超低阻抗的浮动地。缓冲器（图 7）的输入可采用先前所讨论的任意技术。缓冲器可馈送(source)或吸收(sink)负载电流，其最大值为用作缓冲器的运算放大器的输出电流限。运算放大器的闭环输出阻抗提供了非常坚实的参考地。缓冲运算放大器的频率响应及开环输出阻抗特性将取决于高频浮动地阻抗。缓冲放大器的旁通输出将有助于降低高频阻抗，但不能超过缓冲放大器的安全容性负载，否则将导致振荡。

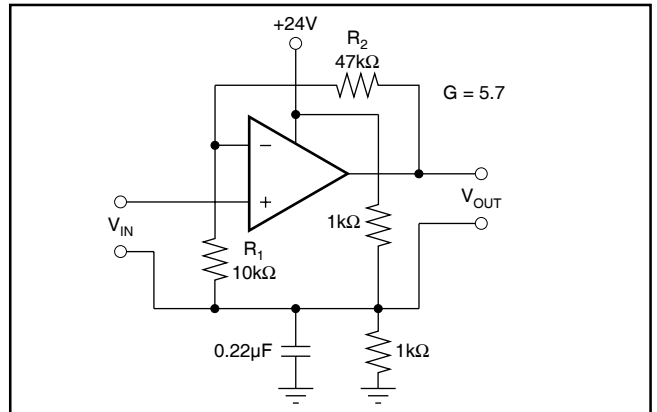


图 5. 尽管电压分配器的阻抗串联 R1 至地，但该放大器电路的增益仅取决于 R1 及 R2。而由于输入及输出参考同一浮动地，其阻抗也将不影响电路的电压增益。

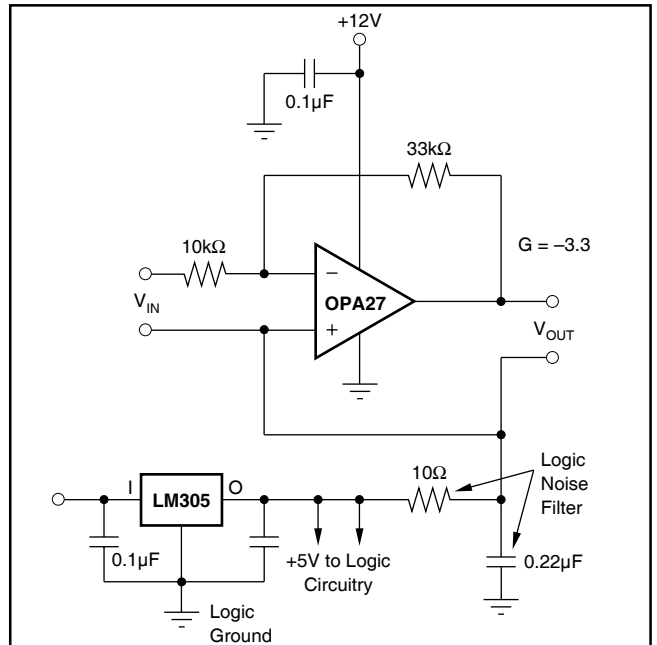


图 6. 许多系统具有 +5V 的逻辑电源或其他适当的电压源，可用作模拟电路的浮动参考电位，但需要提供足够的去耦网络或附加旁通，以确保逻辑噪声不混入模拟系统。

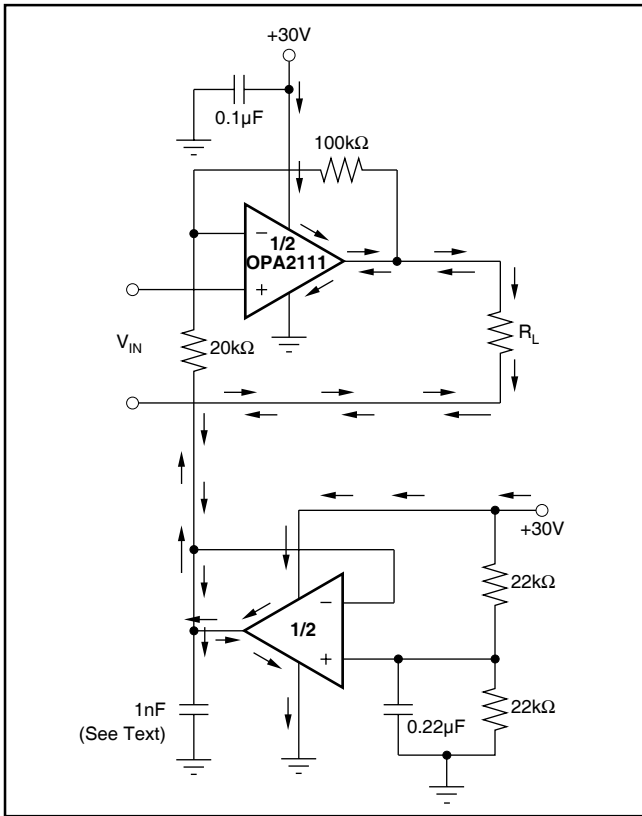


图 7 通过采用单片 OPA2111 运算放大器组成单位增益缓冲器，实现了超低的浮动地阻抗。缓冲器的输入是一个电压分配器，可添加很大的旁通。箭头指明了正向及负向负载电流的流动方向。

图 8 所示的方法通常用于高电压及大电流运算放大器。在此采用了非平衡的电源以获取期望的输出电压摆幅。在诸如可编程电源等应用中，输出电压必须相对地作全量程变化。小的负相电源轨用于提供必需的共模电压，输出级则必需支持全量程的输出摆幅（相对地）。较大的正相电源轨可用于使有效输出电压最大化。

图 8 所示电路旨在为连接至地的负载馈送电流，因此设定了较高的电流限（降低限流电阻值），使电路获得了较大的正相输出电流。但在使用此类运行模式时，必须仔细斟酌以确定安全运行的限制区域。非平衡的电源意味着输出晶体管两端将呈现更高的电压，因而需要更大的安全运行区域。敬请参见 *Understanding Power Amplifier Specifications*（应用公告编号为 AB-123），以获取评价安全运行区域的相关信息。

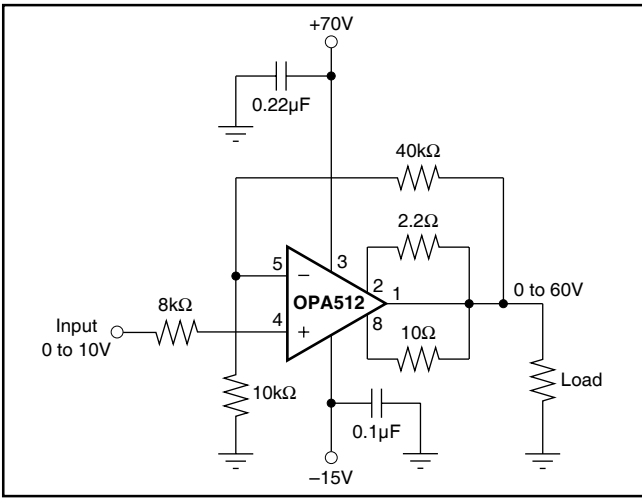


图 8. 非平衡的电源常用于为运算放大器供电以实现较高的单极型输出电压，并同时提供低至 0V 的输出摆幅。该 OPA512 电路的负相电源轨的幅度足以满足应用对共模电压及输出摆幅的需求。

其他信号处理电路通常采用分离式的电源供电，但采用单电源也可实现良好的运作。在此所述的电路设备包括了仪表放大器、电流发射器、模拟乘法器、对数放大器等，确保其正常运作的法则与运算放大器一致。

INA105 差分放大器就是很好的示例。该器件的内部组成（图 9）包括了一个精密运算放大器及四个精密匹配的电阻。在大多数的应用中，引脚 1 作为输出电压参考引脚，连接至地。若采用前面所述的方法之一将引脚 1 连接至浮动地，其供电则与分离电源供电类似。然而与上文所述的运算放大器应用不同，差分输入端（引脚 2 及引脚 3）可支持的共模电压范围等于（甚至大于）电源电压。施加于输入电阻上的电压因分配而降低，使共模电压保持在运算放大器正常工作的范围内。此时，引脚 1 的电压以及对输出摆幅的需求决定了单电源供电需采用的方法。

真正的仪表放大器（图 10）通常在其输入端配置运算放大器。因此，输入运算放大器的共模范围再度成为关注的焦点。输入电压必须限制在设备所标示的共模范围内。仪表放大器的输出部分与差分放大器相同，对输出电压摆幅的需求决定了须采用的方法。

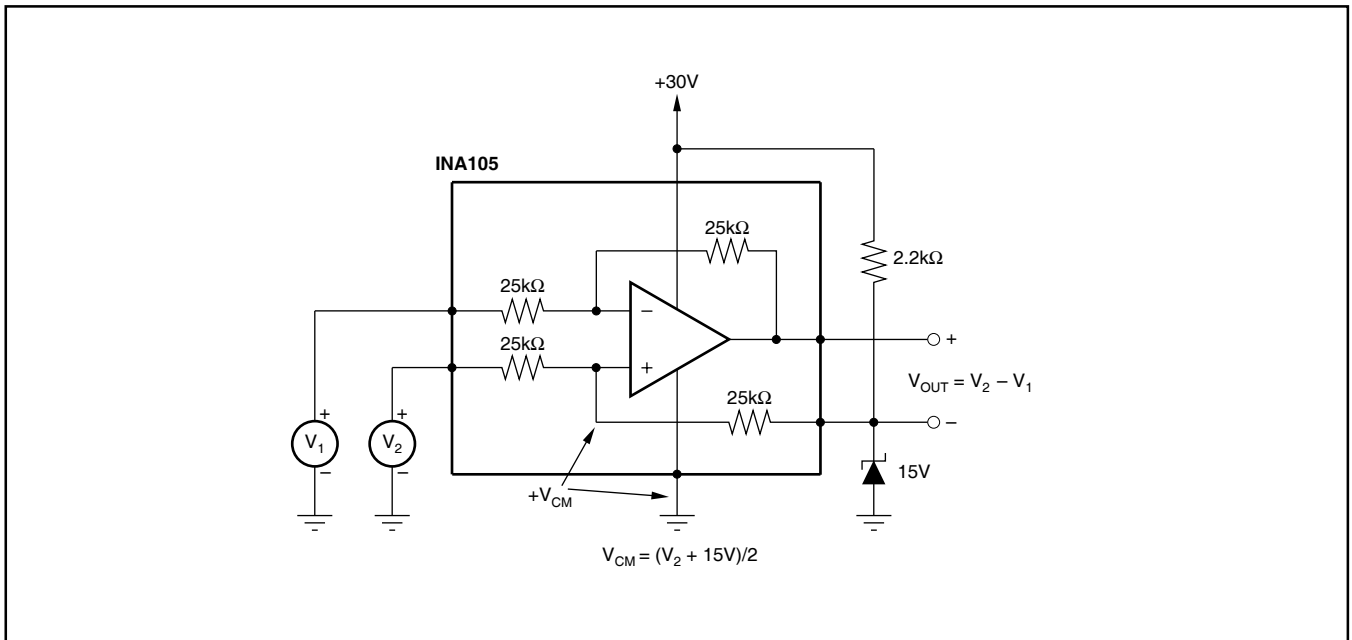


图 9. 此简单差分放大器的输入电压在施加于运算放大器之前即因输入电阻的划分而降低，从而使得差分放大器可处理等于或高于电源的电压。

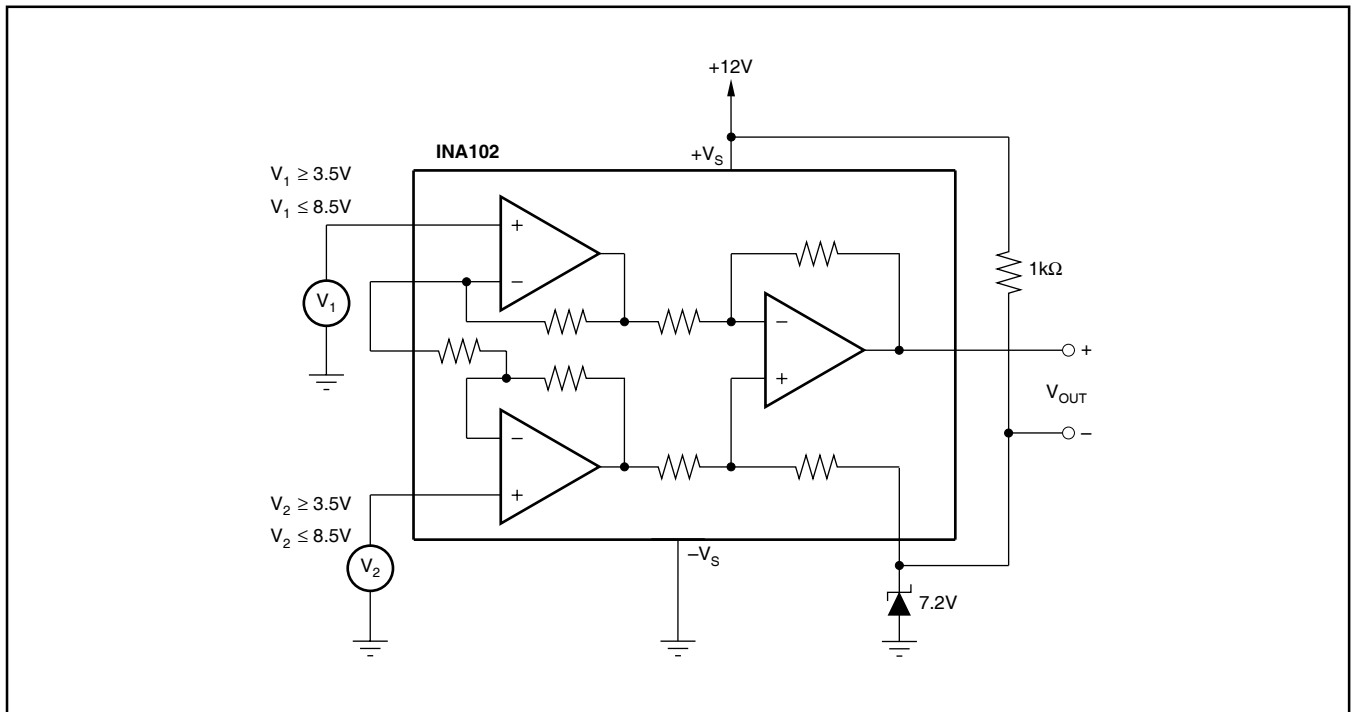


图 10. 仪表放大器的输入直接施加于输入运算放大器所组成的有源电路，并因此受限于这些运算放大器的共模范围。

在此所提供的信息被认为是可靠的；但 BURR-BROWN 并不承诺对错误及遗漏负责。BURR-BROWN 也不承诺对本报告的使用负任何责任，所有使用本报告的风险将由使用者自身承担。价格及规范均可能在未通告的情况下变更。在此所描述的电路并不包含任何专利或许可证，亦不属于任何第三方。BURR-BROWN 不授权或担保任意 BURR-BROWN 产品用于生命维持设备及/或系统。

想缩短研发时间、降低产品成本、并让产品快速投放市场？  
TI产品信息中心训练有素的技术支持团队能在线提供您全方位的产品信息  
无论是...

- 为您选择最佳的芯片和系统方案
- 为您找到获得样片的最快速途
- 为您分析并解决在开发调试中遇到的问题
- 为您提供产品设计开发的经验和技巧
- 为您推荐最佳授权代理商
- 为您递送免费的产品书籍/CD
- 为您所想，不遗余力.....

立刻拨免费热线：**800-820-8682** 获取免费的技术支持。  
服务时间：星期一至五·上午 9:00 ~ 下午 6:00

欢迎您注册成为 **my.TI** 会员，以获得更快捷的服务和更全面的资料。  
网站：<http://www.ti.com.cn/contactus>

## my. TI

TI 创建了全新版本的 my.TI，提供全新的外观和新型的用户友好特性并为中国客户提供本地语言功能。

帐户设置优势：

- my.ti 主页上提供每周新闻稿摘要
- 订购免费样片
- 管理新闻简报和电子邮件警报
- 登记参加活动
- 注册电子邮件警报
- 更方便的电子邮件管理与订阅

网站：[http://www.ti.com.cn/hdr\\_my\\_ti](http://www.ti.com.cn/hdr_my_ti)  
新用户请现在就登录，享受多重服务，旧用户请登录更新信息！

## SQS 小批量销售

TI于2007年与半导体代理商世平集团合作推出全新TI小批量器件销售服务，专门针对产品开发及研制初期对小批量IC产品需求而设，为顾客提供更全面的服务。

- 超过6000种器件，任君选购
- 网络订单，快捷方便
- 小批量销售，没有最低订购金额 (MOV) 的要求
- 没有原厂标准包装数(SPQ)和最小订购数(MOQ)要求

- 订购热线：**+86-755-83580555**
- 电子信箱：[spp@wpgchina.com](mailto:spp@wpgchina.com)
- 网站：<http://spp.wpgchina.com/sqs>

### Safe Harbor Statement:

This publication may contain forward-looking statements that involve a number of risks and uncertainties. These "forward-looking statements" are intended to qualify for the safe harbor from liability established by the Private Securities Litigation Reform Act of 1995. These forward-looking statements generally can be identified by phrases such as TI or its management "believes," "expects," "anticipates," "foresees," "forecasts," "estimates" or other words or phrases of similar import. Similarly, such statements herein that describe the company's products, business strategy, outlook, objectives, plans, intentions or goals also are forward-looking statements. All such forward-looking statements are subject to certain risks and uncertainties that could cause actual results to differ materially from those in forward-looking statements. Please refer to TI's most recent Form 10-K for more information on the risks and uncertainties that could materially affect future results of operations. We disclaim any intention or obligation to update any forward-looking statements as a result of developments occurring after the date of this publication.

### Trademarks:

The platform bar is a trademark of Texas Instruments. All other trademarks are the property of their respective owners.

Real World Signal Processing, the balck/red banner, C2000, C24x, C28x, Code Composer Studio, Excalibur, Just Plug It In graphic, MicroStar BGA, MicroStar Junior, OHCI-Lynx, Power+ Logic, PowerPAD, SWIFT, TMS320, TMS320C2000, TMS320C24x, TMS320C28x, TMS320C6000, TPS40K, XDS510 and XDS560 are trademarks of Texas Instruments. All other trademarks are the property of their respective owners.

### Important Notice:

The products and services of Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries described herein are sold subject to TI's standard terms and conditions of sale. Customers are advised to obtain the most current and complete information about TI products and services before placing orders. TI assumes no liability for applications assistance, customer's applications or product designs, software performance, or infringement of patents. The publication of information regarding any other company's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

### 相关产品链接:

- DSP - 数字信号处理器 <http://www.ti.com.cn/dsp>
- 电源管理 <http://www.ti.com.cn/power>
- 放大器和线性器件 <http://www.ti.com.cn/amplifiers>
- 接口 <http://www.ti.com.cn/interface>
- 模拟开关和多路复用器 <http://www.ti.com.cn/analogswitches>
- 逻辑 <http://www.ti.com.cn/logic>
- RF/IF 和 ZigBee<sup>®</sup> 解决方案 [www.ti.com.cn/radiofre](http://www.ti.com.cn/radiofre)
- RFID 系统 <http://www.ti.com.cn/rfidsys>
- 数据转换器 <http://www.ti.com.cn/dataconverters>
- 时钟和计时器 <http://www.ti.com.cn/clockandtimers>
- 标准线性器件 <http://www.ti.com.cn/standardlinearde>
- 温度传感器和监控器 <http://www.ti.com.cn/temperaturesensors>
- 微控制器 (MCU) <http://www.ti.com.cn/microcontrollers>

### 相关应用链接:

- 安防应用 <http://www.ti.com.cn/security>
- 工业应用 <http://www.ti.com.cn/industrial>
- 计算机及周边 <http://www.ti.com.cn/computer>
- 宽带网络 <http://www.ti.com.cn/broadband>
- 汽车电子 <http://www.ti.com.cn/automotive>
- 视频和影像 <http://www.ti.com.cn/video>
- 数字音频 <http://www.ti.com.cn/audio>
- 通信与电信 <http://www.ti.com.cn/telecom>
- 无线通信 <http://www.ti.com.cn/wireless>
- 消费电子 <http://www.ti.com.cn/consumer>
- 医疗电子 <http://www.ti.com.cn/medical>

## 重要声明

德州仪器 (TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的 TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合 TI 标准保修的适用规范。仅在 TI 保修的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的数据手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售 TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关 TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

可访问以下 URL 地址以获取有关其它 TI 产品和应用解决方案的信息:

### 产品

放大器	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">http://www.ti.com.cn/amplifiers</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">http://www.ti.com.cn/dataconverters</a>
DSP	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">http://www.ti.com.cn/dsp</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">http://www.ti.com.cn/interface</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">http://www.ti.com.cn/logic</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">http://www.ti.com.cn/power</a>
微控制器	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">http://www.ti.com.cn/microcontrollers</a>

### 应用

音频	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">http://www.ti.com.cn/audio</a>
汽车	<a href="http://www.ti.com.cn/automotive">http://www.ti.com.cn/automotive</a>
宽带	<a href="http://www.ti.com.cn/broadband">http://www.ti.com.cn/broadband</a>
数字控制	<a href="http://www.ti.com.cn/control">http://www.ti.com.cn/control</a>
光纤网络	<a href="http://www.ti.com.cn/opticalnetwork">http://www.ti.com.cn/opticalnetwork</a>
安全	<a href="http://www.ti.com.cn/security">http://www.ti.com.cn/security</a>
电话	<a href="http://www.ti.com.cn/telecom">http://www.ti.com.cn/telecom</a>
视频与成像	<a href="http://www.ti.com.cn/video">http://www.ti.com.cn/video</a>
无线	<a href="http://www.ti.com.cn/wireless">http://www.ti.com.cn/wireless</a>

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated