

嵌入式系统中使用单电源运算放大器

作者: Bonnie Baker
Microchip Technology Inc.

简介

除了晶体管外，运算放大器可以算是模拟应用中最基本的功能单元。一些基本的功能，例如增益放大、负载隔离、信号反相、电平位移和信号的加/减均可以很容易地利用这种功能单元来实现。也可以实现更为复杂的电路，如仪表放大器、电流到电压转换器和滤波器，甚至更多。不管运放电路的复杂程度如何，理解这些基本功能单元的工作原理和特性可以省掉相当多的前期设计时间。

关于这方面内容的正式课程能够加深理解，同时也是很有裨益。然而很多时候，这些课程往往缺少经验和常识的介绍。例如，使用运放进行设计的常见错误是忘记在电路中使用旁路电容。运放理论通常会忽视这个实践方面的细节。但如果缺失旁路电容，运放电路会以一个频率振荡，然而理论却不关心这一点。如果采用课本上的方案，这个问题就很难解决了。

本应用笔记分成三部分。第一部分列出基本的运放应用和设计公式。在选择时要考虑这些运放电路是否可以集成到嵌入式系统中。

第二部分使用这些基本电路来设计可完成嵌入式控制应用中的放大功能的电路。

第三部分指出单电源运放电路设计中最常犯的错误。列在这里的一些错误，是行业中很多设计者多年电路调试经验的总结。如果采用本应用笔记中列出的清单，则可方便地避免这些最常犯的错误。

基本运放电路

运算放大器是基本的模拟单元，类似数字电路中的门电路。在设计中使用运算放大器，电路可以像数字电路中的“反相器”、“与门”和“或门”这类基本功能一样改变输入信号。在这部分中，将讨论一些基本的功能单元，如电压跟随器、同相放大器和反相放大器电路。接下来会介绍电源分路器、差分放大器、加法器和电流/电压转换器。

电压跟随放大器

以最基本的运放电路开始介绍吧。缓冲放大器（图1所示）用于驱动重的负载、解决阻抗匹配问题或将大功率电路与灵敏度高的精密电路隔离。

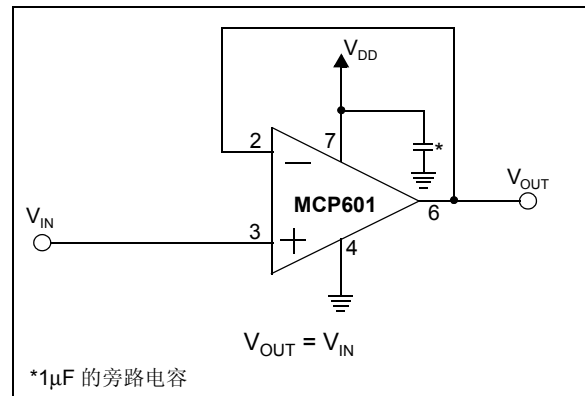


图1：缓冲放大器，也称为电压跟随器。

图1所示的缓冲放大器可以用任意单电源，单位增益稳态放大器实现。在这个电路以及其他所有的运放电路中，必须采用一个旁路电容来旁路运放。对于工作带宽从直流到兆赫兹的单电源运放，1µF的电容通常比较合适。有时若运放的带宽达到几十兆赫兹，则需要采用更小的电容，此时0.1µF的电容通常比较合适。如果运放未采用旁路电路，或选择了错误的电容值，则可能产生振荡。

图 1 所示电路的模拟增益为 +1 V/V。需要留意此电路具有正的增益，但是反馈回路从运放的输出连接到反相输入端。通常易犯的错误是认为具有正增益的运放电路需采用正反馈。如果采用正反馈，通常运放的输出很可能会被驱动到两个电源轨。

此放大器电路在放大器的整个带宽内提供很好的线性特性。对于信号的限制仅表现为输入共模电压的影响和输出摆幅限制。这些限制将在本应用笔记的第三部分（“放大器的设计技巧”）中进行讨论。

如果这个电路用来驱动重的负载，则实际选择的运放必须能够提供所需的输出电流。这个电路的另外一个应用是驱动容性负载。并不是每一个放大器都可用于驱动容性负载而不影响稳定性。如果放大器可以驱动容性负载，产品数据手册中将强调此功能。然而，如果一个放大器不能驱动容性负载，其产品数据手册中也不会明确说明。

缓冲放大器的另外一个用途是解决阻抗匹配问题。这特别适用于那些电路中的模拟信号源比后续电路具有更高的阻抗的场合。如果存在这种情况，则由于源阻抗和后续电路的阻抗直接形成电压分压器而产生电压损耗。缓冲放大器是这类问题的最佳解决方案。对于 CMOS 放大器，其同相输入端的输入阻抗高达 $10^{13} \Omega$ 。另外，采用这种放大器配置的输出阻抗通常低于 10Ω 。

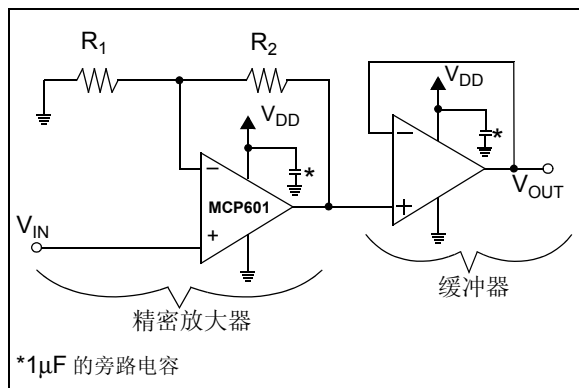


图 2：使用缓冲放大器实现了负载隔离

这种配置的另外一个用途是将灵敏度高的精密电路与热源隔离开，如图 2 所示。设想缓冲放大器前的输入电路是用来放大 $100\mu\text{V}$ 的信号。这类放大器在最好的条件下也很难达到一定的精度。这种精密的测量很容易被放大电路输出驱动电流的变化干扰。输出驱动电流的增加导致芯片自身发热，从而导致失调电压发生变化。模拟缓冲器可用来驱动重的负载，而前端的电路用来完成精密的测量。

放大模拟信号

缓冲器可以解决很多模拟信号问题，但是，有时电路中的信号需要进行放大。可采用两类基本的放大电路。对于第一种类型，信号未被反相，如图 3 所示。这类电路在单电源¹放大器应用中很有用，因为通常在这些应用中无法提供负电压。

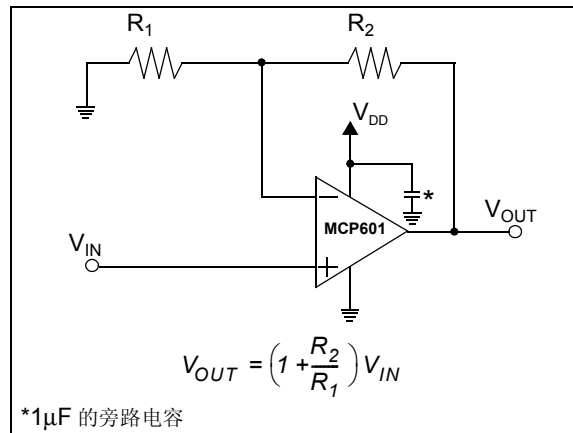


图 3：配置成同相放大电路的运算放大器

此电路的输入信号施加到运放的高阻抗、同相输入端。运放电路对于信号的放大增益等于：

$$V_{OUT} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{IN}$$

在单电源电路中，电阻 R_2 的典型值应高于 $2\text{k}\Omega$ 。电阻 R_1 的阻值限制取决于所需的增益，以及运放数据手册中标示的运放的噪声、输入失调电压的数值大小。

需要再次强调的是，这个电路对输入和输出范围有一定的限制。同相输入受放大器的共模电压范围限制。放大器的输出摆幅也有限制，在各个放大器的产品数据手册中列出了相关的限制参数值。典型情况下，运放输出端的较大信号比输入端的较小信号产生的限幅误差更大。如果运放的输出信号发生限幅，则可以减小电路增益。

1. 对于这些讨论，单电源意味着运放的负电源引脚连接到地，正电源引脚连接到 +5V。本应用笔记中的所有讨论均可扩展到其他电源电压，例如使用超过 5V 的单电源或双电源情况。

反相放大器配置如图 4 所示。连接到输入电阻 R_1 端的信号被放大，并在运放的输出端反相。电路的增益公式为：

$$V_{OUT} = -\left(\frac{R_2}{R_1}\right) V_{IN} + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{BIAS}$$

R_1 和 R_2 的范围和图 3 所示同相电路相同。

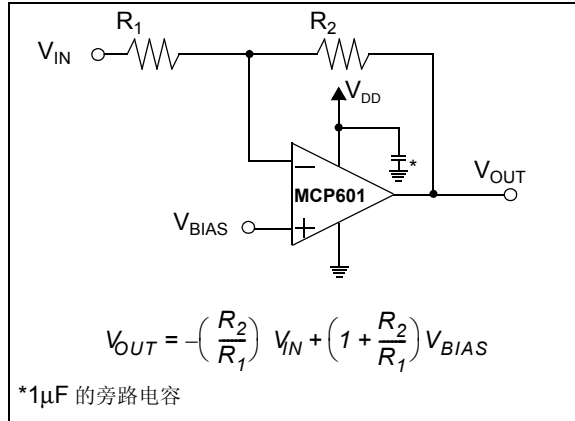


图 4：配置成反相放大电路的运算放大器。在单电源环境下，需要 V_{BIAS} 来保证输出处于地电位之上。

在单电源应用中，这个电路很容易被误用。例如，假设 R_2 等于 $10k\Omega$ ， R_1 等于 $1k\Omega$ ， V_{BIAS} 等于 $0V$ ，输入电阻 R_1 端的电压等于 $100mV$ 。在这种配置下，输出电压等于 $-1V$ 。这将超出运放的输出摆幅范围。在实际情况，运放的输出会尽可能地接近地电位。

电路中 V_{BIAS} 端施加的直流电压可以解决这个问题。在前面的例子中，施加到 V_{BIAS} 的 $225mV$ 电压可以将输出摆幅位移到 $2.475V$ 。这将使放大器的输出信号等于 $(2.475V - 1V)$ 或 $1.475V$ 。典型情况下，输出平均电压应设计成等于 $V_{DD}/2$ 。

单电源电路和电源分路器

如反相增益电路（图 4）所示，单电源电路通常需要采用电平位移电路来保持输出信号处于负电源（通常为地）和正电源之间。这种电平位移电路可采用一个放大器以及电阻和电容组合电路来进行设计，如图 5 所示。很多时候，没有补偿电容的简单缓冲放大器就可以完成这项任务。在其他情况下，电平位移电路将导致动态或瞬态负载变化，比如当其用作模数（Analog-to-Digital, A/D）转换器的参考电压源时。在这些应用中，电平位移电路的位移量必须保持恒定。如存在变化，则会观察到转换误差。

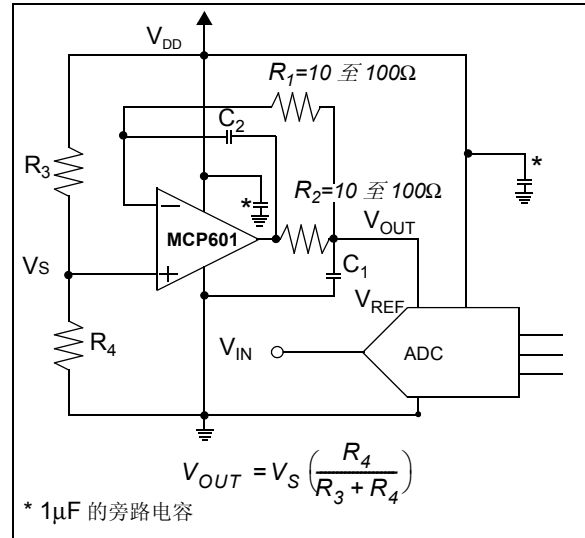


图 5：通过一个运放来构成电源分路器。在单电源电路中这种功能特别有用。

采用电阻分压器（ R_3 和 R_4 ）或经过运放缓冲的参考电压源可以很容易地提供电平位移电压。此电路的传递函数为：

$$V_{OUT} = V_{DD} \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)$$

图 5 的电路具有精心设计的补偿机制从而允许驱动大的容性负载 C_1 。这个大电容的好处是它对 A/D 转换器的参考电压输入引脚具有很低的交流阻抗。在交流域中，这个电容作为一个电荷库，从而吸收那些会影响 A/D 转换器参考电压引脚特性的电流浪涌。

差分放大器

差分放大器结合了图 3 和图 4 分别给出的同相放大器和反相放大器构成了一个信号减法电路。实现的电路如图 6 所示。

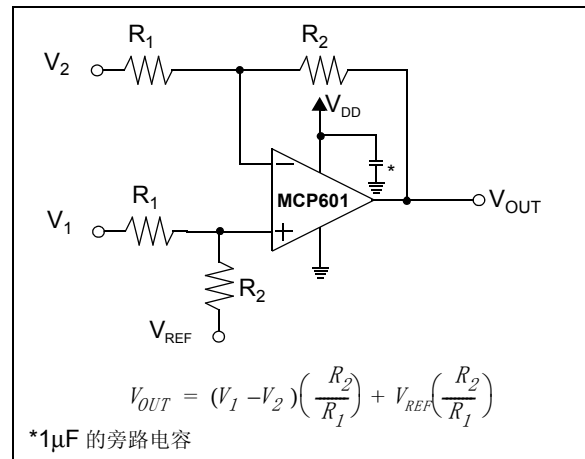


图 6：配置成差分放大器电路的运算放大器

此放大器电路的传递函数为：

$$V_{OUT} = (V_1 - V_2) \left(\frac{R_2}{R_1} \right) + V_{REF} \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

只要信号源阻抗比较低，这种电路配置就能可靠地将两个信号相减。如果信号源阻抗与 R_1 相比要高，则在信号源与差分放大器的输入电阻之间由于电阻分压而产生信号损耗。另外，如果两个信号的源阻抗不匹配也会产生误差。这个电路的增益可以大于或等于 1。

加法器

加法器用于需要对多个信号进行加减的场合。由于差分放大器只处理两个信号，因此也算作加法器中的一种。

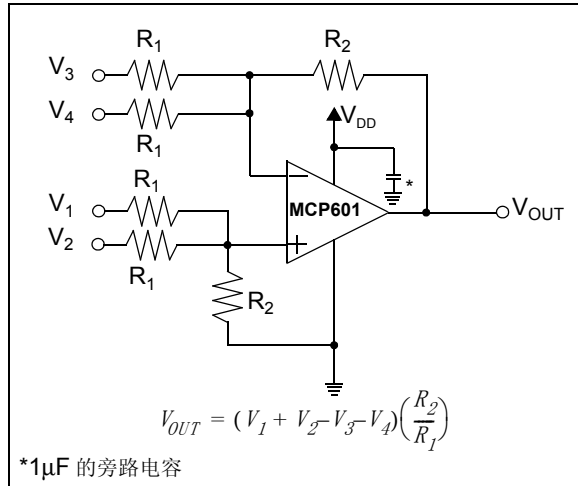


图7：配置成加法器电路的运算放大器

此电路的传递函数为：

$$V_{OUT} = (V_1 + V_2 - V_3 - V_4) \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

可以在反相输入端或同相输入端连接任意数目的输入信号，只要两个输入端的阻抗匹配且信号数相同。

电流 / 电压转换

运算放大器也可用来很容易地将传感器（如光检测器）输出的电流信号转换成电压。这可通过使用一个电阻和一个电容（可选）来构成放大器反馈回路来实现，如图 8 所示。

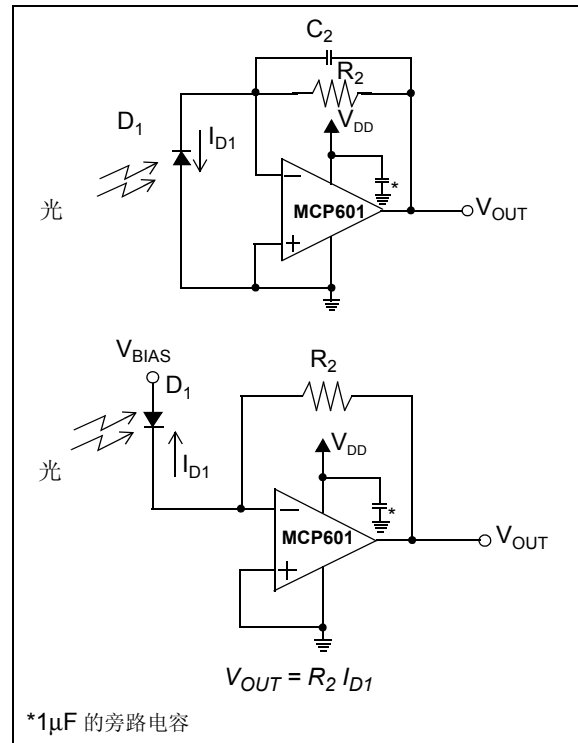


图8：使用一个放大器和一个电阻构成的电流到电压转换器。上图的光线检测电路适用于精密应用；下图的电路适用于高速应用。

当光线照射到光二极管时会产生电荷，从而导致光检测器产生反向偏置电流。若使用的是 CMOS 运算放大器，运放的高输入阻抗导致检测器的电流 (I_{D1}) 流经低阻抗路径 R_2 。另外，由于运放使用的是 CMOS 工艺，运放输入偏置电流产生的误差很小（典型值 <200 pA）。运放的同相输入端以地为基准，从而使整个电路偏置到地。这两个电路仅工作在运放的共模电压范围包含零值的情况下。

图 8 显示了两个电路。上方的电路用于精确检测光检测器的输出。在这个电路中，检测器两端的电压接近于零，且等于放大器的失调电压。采用这种配置，流经电阻 R_2 的电流主要是光激励光检测器而产生的电流。

图 8 底部的光检测电路适用于高速检测应用。这是通过将光检测器反向偏置的结果，此反向偏置减小了二极管的寄生电容。由于有更多的泄漏电流流过二极管，从而会产生更高的直流误差。

使用基本放大器电路

仪表放大器

仪表放大器广泛使用在从医疗仪器到过程控制的许多不同种类的应用中。仪表放大器与差分放大器类似，也是将两个模拟信号相减，其区别主要是输入级的性能不同。经典的三运放仪表放大器如图 9 所示。

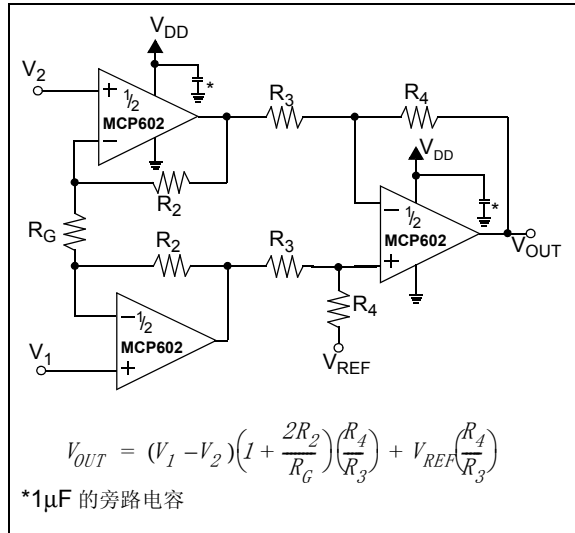


图 9: 使用三个运放设计的仪表放大器。输入级运放提供信号增益。输出级运放采用差分放大器将两个输入信号转换成单端输出。

在这个电路中，两个输入信号出现在放大器的高阻抗同相输入端。当源阻抗很高或不匹配时，这种配置比差分放大器配置具有显著的优点。第一级也对两个输入信号进行放大。其增益通过一个电阻 R_G 来简单调节。

紧跟这个电路输入级的是一个差分放大器。这部分电路的功能是抑制两个输入信号的共模电压，同时求这两个信号的差。连接到差分放大器两输入端的信号源的阻抗低，两者相等且可控性好。

此仪表放大器差分输出级的参考电压用来提供宽的电压范围。在绝大多数的单电源应用中，此节点的典型电压为电源电压的一半。图 5 电路中的电源电压分路器可用于这个目的。此电路的传递函数为：

$$V_{OUT} = (V_1 - V_2) \left(1 + \frac{2R_2}{R_G} \right) \left(\frac{R_4}{R_3} \right) + V_{REF} \left(\frac{R_4}{R_3} \right)$$

第二种仪表放大器如图 10 所示。在这个电路中，两个运放实现负载隔离和信号放大的功能。第二个运放还将两个信号相减。

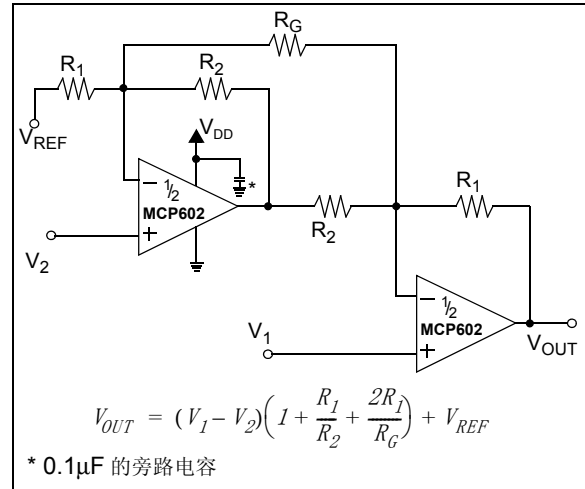


图 10: 使用两个运放设计的仪表放大器。这种配置最适合于高增益应用（增益 > 3 V/V）。

电路的参考电压施加到信号链中第一个运放。通常在单电源环境下，该电压等于电源电压的一半。

该电路的传递函数为：

$$V_{OUT} = (V_1 - V_2) \left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{2R_1}{R_G} \right) + V_{REF}$$

浮空电流源

当驱动阻抗可变器件，例如电阻温度检测器（Resistive Temperature Device, RTD）时就需要采用浮空电流源。这种特殊的电路配置为 RTD 类型的传感器提供约 1mA 的电流。当然，这个电路也可调整为其他电流值。

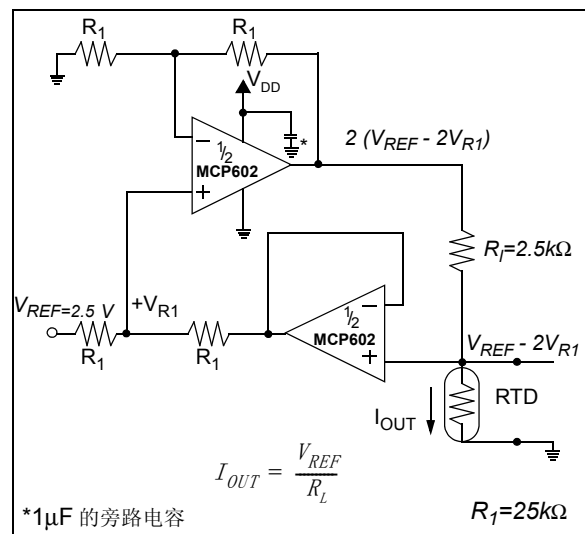


图 11: 使用两个运放和一个精密参考电压源构成的浮空电流源。

在这个配置中，电压 V_{REF} 因被第一电阻 R_1 分压而减小 V_{R1} 。施加到上方运放同相输入端的电压为 $V_{REF} - V_{R1}$ 。这个电压放大2倍后在输出端输出，即等于 $2(V_{REF} - V_{R1})$ 。同时，下放运放的输出等于电压 $V_{REF} - 2V_{R1}$ 。从下放运放的同相输入端电压中减去上方运放的输出电压从而得到 $2(V_{REF} - V_{R1}) - (V_{REF} - 2V_{R1})$ ，即等于 V_{REF} 。

此电路的传递函数为：

$$I_{OUT} = \frac{V_{REF}}{R_L}$$

滤波器

带通和低通滤波器可用于在 A/D 转换器输入端之前将不需要的信号滤除掉。图 12 所示的低通滤波器具有两个极点，且被配置成 Butterworth 滤波器响应。Butterworth 滤波器在通带内具有平坦的幅度响应，同时也具有平滑的性能。

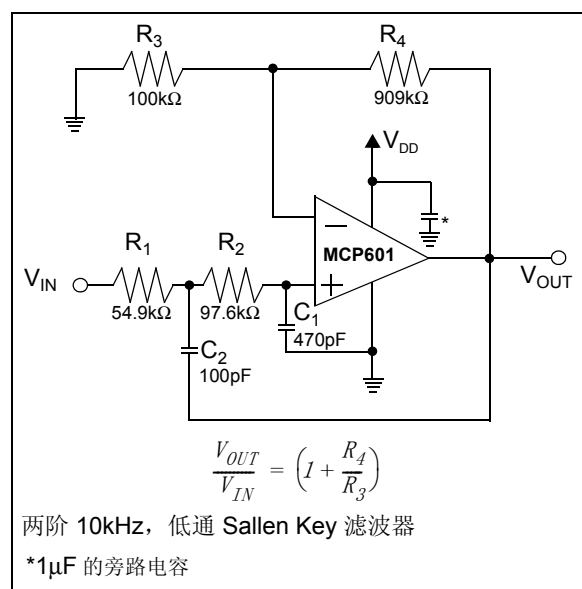


图12 很容易地利用一个运放来设计2极点有源低通滤波器。通过调整电阻和电容值可实现其他滤波器类型，例如 Bessel 和 Chebyshev。

这种滤波器的缺点是其阶跃响应会产生一些振铃和过冲。对于应用电路的需求，这可能会，也可能不会产生问题。此滤波器的增益通过电阻 R_3 和 R_4 来调节。

需要留意的是，这个电路的增益公式同图 3 所示的同相放大器类似。

这类滤波器也被称为抗混叠滤波器，因为在采样系统中它们被用来滤除高于一半奈奎斯特频率的频率带宽中的电路噪声。采用这种方法，那些通常会折返到信号路径中的高频噪声会被滤除掉。

图 12 所示电路的直流增益为：

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)$$

图 13 所示的带通滤波器配置成一个零点和两个极点，从而可用于语音应用。这个电路的单零点高通滤波器部分由 C_1 和 R_1 并联 R_2 构成。需要留意的是， R_1 和 R_2 也在两个运放的同相端产生一个电源分路电压，从而保证两个运放都工作在各自的线性区。第二个放大器 U_2 与元件 R_3 、 R_4 、 C_3 和 C_4 结合使用设置两个极点间的转折频率。这个滤波器滤除掉可能折返到信号路径中的高频噪声。

此电路的信号增益为：

$$V_{OUT} = V_{IN} \left(\frac{R_3}{R_4}\right) \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)$$

有关低通滤波器的更多信息，请参见应用笔记 AN699 “Anti-aliasing Analog Filters for Data Acquisitions Systems”。

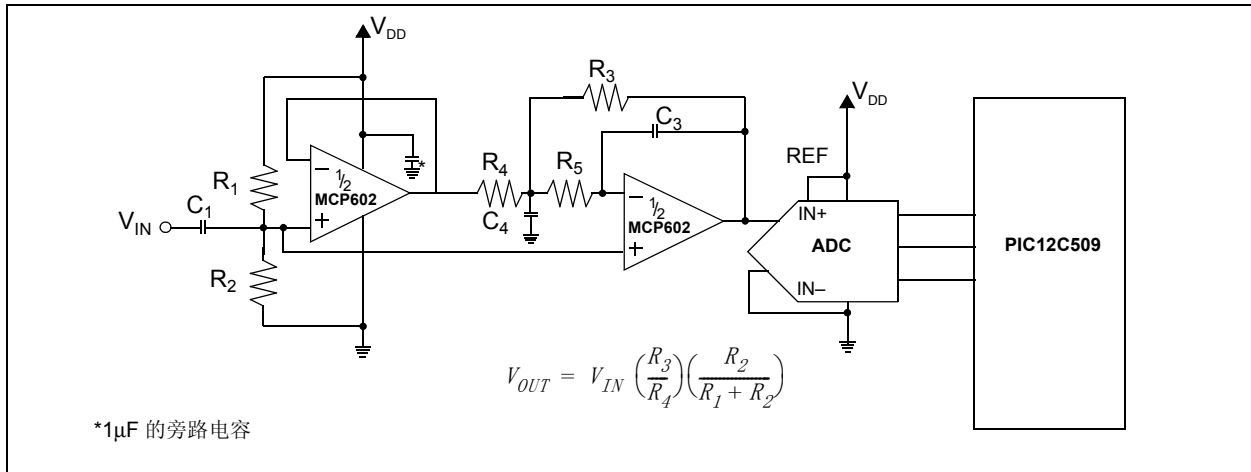


图 13: 将第一个运放设计成高通滤波器, 第二运放设计成低通滤波器, 从而实现带通滤波器。

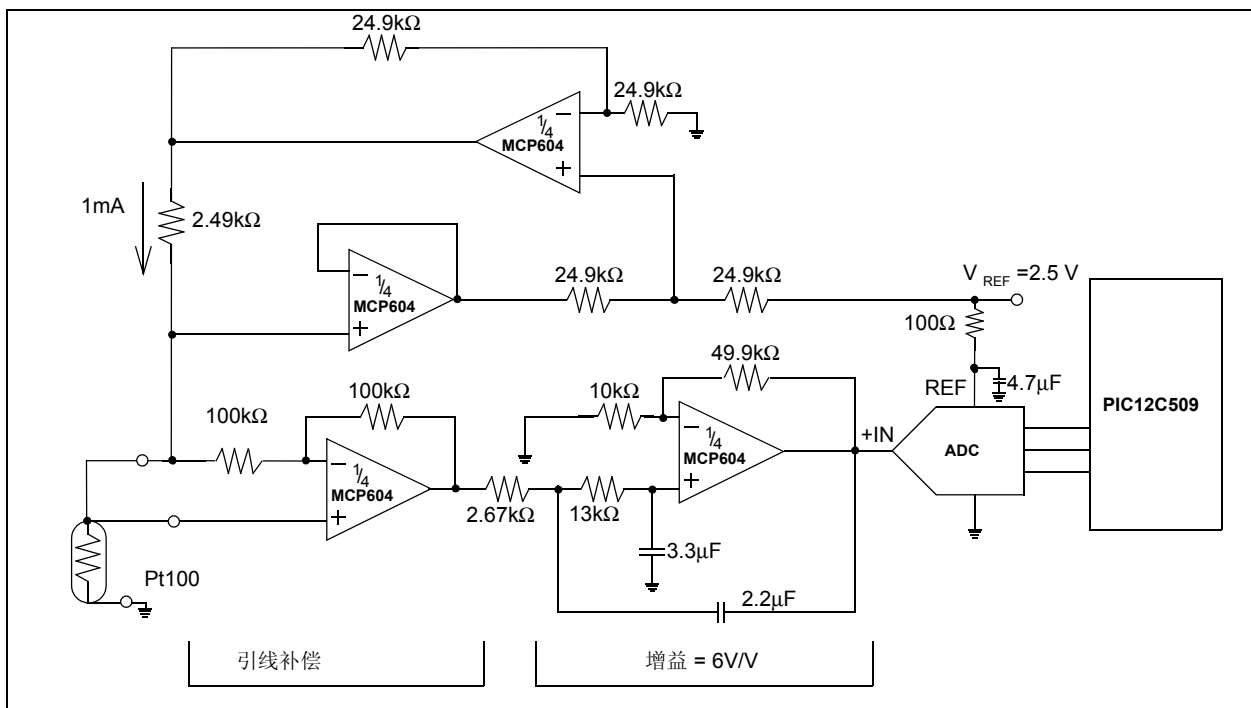


图 14: 单电源温度测量的完整电路

综合应用

图 14 所示的电路采用了四个运算放大器和一个 12 位 A/D 转换器来构成一个完整的单电源温度测量电路。温度传感器为 RTD, 因此需要电流激励。图 11 所示的电路用来提供电流激励。增益和抗混叠滤波由图 13 所示的电路来实现。

RTD 产生的电压信号由组合同相配置和反相配置的运放来检测。

此运放的输出然后输入到配置为两个极点、增益为 +6V/V 的低通滤波器运放电路。选择增益为 +6V/V 是为了满足 A/D 转换器的输入范围。假设 A/D 转换器的采样频率为 75kHz, 这也被称为奈奎斯特频率。抗混叠滤波器 (U4) 的截止频率设置为 10kHz。这允许滤波器具有足够的带宽来衰减低于 1/2 奈奎斯特频率的信号。A/D 转换器为 12 位逐次逼近寄存器型 (Successive Approximation Register, SAR) 转换器并与 PIC12C509 单片机接口。

放大器设计技巧

理论上来说，本应用笔记中提到的电路都可以正常工作。然而除了理论，还是存在一些技巧可以帮助使电路在第一次就可以正常工作。本节——放大器的设计技巧，列出了与使用电源和输入信号由 PCB 板上电路提供的运放相关的常见问题。这些问题可分成四类：一般建议、输入级问题、带宽问题和单电源设计注意事项。希望已在本应用笔记中提到了所有与运放设计有关的常见问题。然而，如果您在遇到过其他问题或有好的解决方案，请发送您的建议到 bonnie.baker@microchip.com。

一般建议

1. 仔细设计电源引脚。不要使电源电压高于运放数据手册中规定的电压值，但也不能太低。过高的电压将损坏器件。相反，过低的电压无法偏置内部的晶体管，从而使运放无法工作，或者工作不正常。
2. 确保负电源（通常为地）事实上是连接到低阻抗的地电位。另外，确保正电源相对于运放负电源引脚的电压是所期望的数值。通过在负电源引脚和正电源引脚之间连接电压表以验证这些引脚间存在正确的电压关系。
3. 不要相信地，特别是在数字电路中。仔细规划布地策略。如果电路中有太多的数字电路，则需考虑将接地层和电源层分开。如果太困难，或不可能分开，则需要将数字开关噪声从模拟信号上滤除。
4. 在近可能靠近放大器的地方放置一个旁路电容对放大器电源去耦。对于 CMOS 放大器，通常建议采用 $0.1\mu\text{F}$ 的电容，也可采用 $10\mu\text{F}$ 的电容对电源去耦。
5. 运放输入引脚的长度应尽可能短。如果采用面包板来做试验，很容易就能发现输入引脚可能引入噪声和引起振荡。如果采用 PCB 来设计电路，则很有可能，这些情况不会导致问题存在。
6. 运放对静电很敏感。如果它们损坏了，就会立即失效，也可能随着时间推移而使误差不断累积（类似于失调电压或输入偏置电流的变化）。

输入级问题

1. 了解放大器所需的输入范围。如果放大器的任一输入超过规定的输入范围，则在典型情况下，其输出会被驱动到其中一个电源轨。

2. 如果使用高增益电路，需留意放大器的失调电压。失调电压和其他信号一起被放大，因此它可能会主导放大器的输出。
3. 除非必需，则不要在输入级使用轨至轨的放大器。它们仅在使用缓冲放大电路或采用仪表放大器配置时才使用。任何放大电路在输入出现问题之前，其输出都已经被驱动到电源轨了。

带宽考虑

1. 当给电路输入信号时，要考虑放大器的带宽。如果将运放的增益设计为 10，但发现交流输出信号比预期值低很多。此时，您可能需要考虑具有更高带宽的放大器。
2. 在运放的反馈电阻旁并联一个电容，通常可以解决稳定性问题。通常情况下这种方法会有效，但不是总是有效。如果放大器电路不稳定，快速稳定性分析将找出问题所在并提供可能的解决方法。

单电源轨至轨

1. 运放的输出驱动器只能向负载提供有限的驱动电流。
2. 用运放驱动容性负载会存在风险。确保放大器的规格能够驱动所需的负载。
3. 很少有单电源运放能够完全实现轨至轨摆幅。在实际应用中，这些放大器的输出只能接近到电源轨的 50 至 200mV 范围。相关数据请查看放大器的产品数据手册。

参考资料

Sergio Franco, “Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits”, McGraw Hill

Frederiksen Thomas, “Intuitive Operational Amplifiers”, McGraw Hill

Williams Jim, “Analog Circuit Design”, Butterworth-Heinemann

Baker Bonnie, “Anti-aliasing Analog Filters for Data Acquisition Systems”, AN699, Microchip Technology Inc.

Baker Bonnie, “Operational Amplifier Topologies and DC Specifications” AN722, Microchip Technology Inc.

Baker Bonnie, “Operational Amplifier AC Specifications and Applications”, AN723, Microchip Technology Inc.

注:

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点:

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信: 在正常使用的情况下, Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前, 仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知, 所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案 (Digital Millennium Copyright Act)》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下, 能访问您的软件或其他受版权保护的成果, 您有权依据该法案提起诉讼, 从而制止这种行为。

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分, 因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利, 它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范, 是您自身应负的责任。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保, 包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用, 一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时, 会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任, 并加以赔偿。在 Microchip 知识产权保护下, 不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Accuron、dsPIC、KEELOQ、KEELOQ 徽标、microID、MPLAB、PIC、PICmicro、PICSTART、PRO MATE、rPIC 和 SmartShunt 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AmpLab、FilterLab、Linear Active Thermistor、Migratable Memory、MXDEV、MXLAB、SEEVAL、SmartSensor 和 The Embedded Control Solutions Company 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Analog-for-the-Digital Age、Application Maestro、CodeGuard、dsPICDEM、dsPICDEM.net、dsPICworks、dsSPEAK、ECAN、ECONOMONITOR、FanSense、FlexROM、fuzzyLAB、In-Circuit Serial Programming、ICSP、ICEPIC、Mindi、MiWi、MPASM、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、PICkit、PICDEM、PICDEM.net、PICLAB、PICKtail、PowerCal、PowerInfo、PowerMate、PowerTool、REAL ICE、rLAB、Select Mode、Smart Serial、SmartTel、Total Endurance、UNI/O、WiperLock 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 是 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2007, Microchip Technology Inc. 版权所有。

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949:2002 ==

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2002 认证。公司在 PIC[®] MCU 与 dsPIC[®] DSC、KEELOQ[®] 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器 and 模拟产品方面的质量体系流程均符合 ISO/TS-16949:2002。此外, Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

全球销售及服务中心

美洲

公司总部 **Corporate Office**
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:
<http://support.microchip.com>
网址: www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA

Tel: 678-957-9614
Fax: 678-957-1455

波士顿 Boston
Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago
Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

达拉斯 Dallas
Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit
Farmington Hills, MI
Tel: 1-248-538-2250
Fax: 1-248-538-2260

科科莫 Kokomo
Kokomo, IN
Tel: 1-765-864-8360
Fax: 1-765-864-8387

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608

圣克拉拉 Santa Clara
Santa Clara, CA
Tel: 408-961-6444
Fax: 408-961-6445

加拿大多伦多 Toronto
Mississauga, Ontario,
Canada
Tel: 1-905-673-0699
Fax: 1-905-673-6509

亚太地区

亚太总部 **Asia Pacific Office**
Suites 3707-14, 37th Floor
Tower 6, The Gateway
Harbour City, Kowloon
Hong Kong
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

中国 - 北京
Tel: 86-10-8528-2100
Fax: 86-10-8528-2104

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511
Fax: 86-28-8665-7889

中国 - 福州
Tel: 86-591-8750-3506
Fax: 86-591-8750-3521

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460
Fax: 86-25-8473-2470

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355
Fax: 86-532-8502-7205

中国 - 上海
Tel: 86-21-5407-5533
Fax: 86-21-5407-5066

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829
Fax: 86-24-2334-2393

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8203-2660
Fax: 86-755-8203-1760

中国 - 顺德
Tel: 86-757-2839-5507
Fax: 86-757-2839-5571

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300
Fax: 86-27-5980-5118

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252
Fax: 86-29-8833-7256

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-536-4818
Fax: 886-7-536-4803

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2500-6610
Fax: 886-2-2508-0102

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-572-9526
Fax: 886-3-572-6459

亚太地区

澳大利亚 Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733
Fax: 61-2-9868-6755

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-4182-8400
Fax: 91-80-4182-8422

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631
Fax: 91-11-4160-8632

印度 India - Pune
Tel: 91-20-2566-1512
Fax: 91-20-2566-1513

日本 Japan - Yokohama
Tel: 81-45-471-6166
Fax: 81-45-471-6122

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301
Fax: 82-53-744-4302

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200
Fax: 82-2-558-5932 或
82-2-558-5934

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-6201-9857
Fax: 60-3-6201-9859

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870
Fax: 60-4-227-4068

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065
Fax: 63-2-634-9069

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870
Fax: 65-6334-8850

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351
Fax: 66-2-694-1350

欧洲

奥地利 Austria - Wels
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦 Denmark-Copenhagen
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

法国 France - Paris
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 Germany - Munich
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

意大利 Italy - Milan
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

荷兰 Netherlands - Druenen
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

西班牙 Spain - Madrid
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5869
Fax: 44-118-921-5820