

模拟传感器的调理电路概述

作者: *Kumen Blake*
Microchip Technology Inc.

简介

面向对象

本应用笔记主要针对需要对常用模拟传感器输出进行调理的硬件设计工程师。

目标

- 回顾传感器应用（如温度传感器）
- 回顾传感器类型（如电压输出型传感器）
- 展示了各种调理电路
- 提供技术参考资料

介绍

模拟传感器的电气性能发生变化表明周围环境发生了变化。这一变化需要在转换为数字信号之前由模拟电路来调理。在数字域中还需对其进行进一步处理，但该应用笔记对此不作说明。

该笔记涉及到的应用有：

- 电气
- 磁
- 温度
- 湿度
- 力、重量、转矩和压力
- 运动和振动
- 流量
- 液位和液量
- 光和红外线（IR）
- 化学

对于每一种电气性能，本笔记都给出了相应的常用调理电路，且每一个电路都配有一份说明其优缺点的清单，及一系列适合该电路的传感器类型。这些电气性能包括：

- 电压
- 电流
- 电阻
- 电容
- 电荷

此外，许多嵌入式设计中都用到的电路和固件简要说明如下：

- 输入端保护
- 传感器故障检测
- 滤波器
- 模数转换
- 结果校正

对上述问题进行深入探讨的参考文档包含在“参考文献”部分。

传感器应用

本节将对一些模拟传感器应用进行回顾。为方便起见，每一种应用都列出了一系列常见的传感器类型。有关这些应用的一份很有价值的参考资料是 OMEGA® 工程手册 [1, 2]。

除该应用笔记中讨论的那些模拟传感器之外，还有许多其他类型，例如：

- 时间 / 频率计数器 [14]
- 远距离测距传感器 [25]
- 电流感应变压器 [6]

重点应放在各种传感器的电气性能上。当选择一种合适的传感器调理电路时，很有必要了解这方面的信息。

电气

这些应用测量电气线路中某一点上的状态，包括监视主电气线路或电源的状况。

表 1: 电气应用

传感器	电气参数
电压	电压
电流	电流
电荷	电荷

磁

这些传感器用于探测磁场强度或磁场方向。它们通常用在指南针和电机控制方面 [6]。

表 2：磁应用

传感器	电气参数
霍尔效应 [6]	电压
磁阻	电阻

温度

最常见的传感器应用是温度测量。表 3 中列出了一些常见的温度传感器。有关温度传感器的概述，请参见参考文献 [14, 15]。

表 3：温度应用

传感器	电气参数
热电偶型 [19, 20]	电压
RTD 热电阻型 [18]	电阻
热敏电阻型 [16, 17]	电阻
IC 集成电路型	电压
IR 热传感器	电流
热电堆型	电压

湿度

表 4 列出了测量湿度的两种常用方法。在这些应用中，通常需要对温度进行补偿。

表 4：湿度应用

传感器	电气参数
电容型	电容
红外线型 (IR)	电流

力、重量、转矩和压力

这一部分中的传感器用于测量机械力或压力，常见的类型见表 5。

表 5：力、重量、转矩和压力应用

传感器	电气参数
应变仪 [8 - 10]	电阻
负荷传感器	电阻
压电传感器	电压或电荷
机械传感器	电阻、电压 ...

运动和振动

表 6 中列出了一些常见的模拟运动和振动传感器。在很多情况下，还可得到更加综合的解决方案。

表 6：运动和振动应用

传感器	电气参数
LVDI 线性可变差动变压器 [10]	交流电压
压电传感器	电压或电荷
扩音器	电压
电机传感器 [6]	电压、电阻、电流 ...
超声波测距仪 [25]	时间
集成加速器	电压

流量

测量液体和气体的流量有很多不同的方法。表 7 给出了一个简单的例子。

表 7：流量应用

传感器	电气参数
电磁流量计	交流电压
质量流量计 (温度)	电阻
超声 / 多普勒传感器	频率
热线风速仪 [24]	电阻
机械传感器 (如涡轮)	电压 ...

液位和液量

表 8 给出了几个液位传感器的例子。可以根据液位计算出刚性容器中的液量。

表 8：液位和液量应用

传感器	电气参数
超声波型	时间
机械传感器	电阻、电压 ...
电容型	电容
开关型 (如振动)	开 / 关
热传感器	—

光和红外线（IR）

光和红外线传感器用来探测物体是否存在（如防盗报警器旁是否有人）以及能见度的减少量（烟雾和混浊探测器）。

表 9：光和红外线应用

传感器	电气参数
光电二极管 [22,23]	电流

化学

表 10 给出了一系列探测化学条件的传感器。

表 10：化学应用

传感器	电气参数
pH 电极型	电压（具有高输出阻抗）
溶液电导率型	电阻
一氧化碳传感器	电压或电荷
混浊传感器（光电二极管）	电流
色度计（光电二极管）	电流

基本的信号调理电路

这一部分介绍传感器的电气性能。对应于每一项电气性能，都会给出一种或多种调理电路及其优缺点和相关示例。

电压传感器

这一部分电路用来调理传感器输出的电压。

同相增益放大器

图 1 显示了一个采用运放来实现的同相增益放大器。它使传感器呈现高阻抗（在 V_{SEN} 上），实现了从 V_{SEN} 到 V_{OUT} 的正增益。

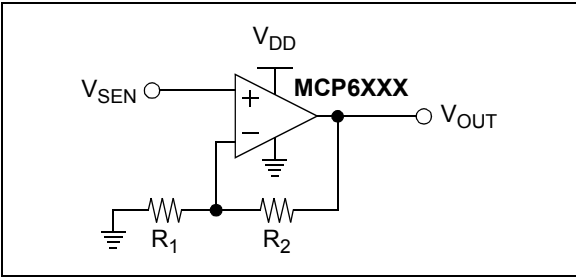


图 1：同相增益放大器

优点

- 高输入阻抗
- 低偏置电流（CMOS 运放）
- 正增益
- 简单易行

缺点

- 有限的输入电压范围
- 输入级失真
- 放大共模噪声

传感器示例

- 热电偶传感器
- 热电堆传感器
- 压电薄膜传感器

高阻抗电压源缓冲器

这一电路需要使用 FET 输入运放（如 CMOS 输入），见图 2。FET 输入提供了高输入阻抗和低输入偏置电流，特别是在室温条件下（ESD 二极管在温度较高时流过的电流越大）。该运放用作同相放大器。

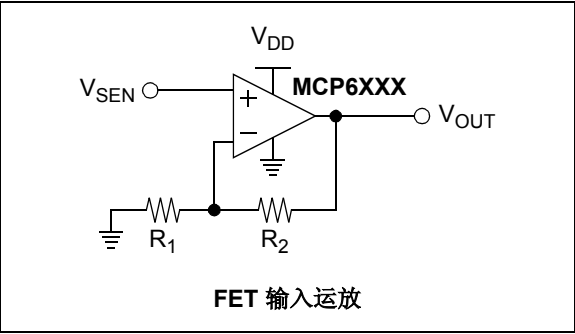


图 2：针对输出电压的高阻抗传感器采用的同相增益放大器

优点

- 很高的输入阻抗
- 很低的偏置电流（CMOS 运放）
- 正增益
- 简单易行

缺点

- 有限的输入电压范围
- 输入级失真
- 放大共模噪声

传感器示例

- pH 电极传感器

pH 电极传感器的阻抗是温度的函数且可能较大。它的输出电压正比于绝对温度。

反相增益放大器

图 3 显示了一个采用运放来实现的反相增益放大器。它在传感器的 V_{SEN} 端加入了阻抗 R_1 ，实现了从 V_{SEN} 到 V_{OUT} 的负增益。

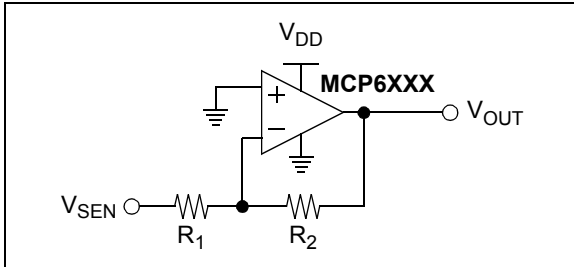


图 3: 反相增益放大器

优点

- 对信号源进行阻抗隔离
- 可实现较大的输入电压范围
- 几乎无输入级失真
- 简单易行

缺点

- 信号源的阻性负荷加重
- 负增益
- 放大共模噪声

传感器示例

- 热电堆传感器
- 高电压侧 (V_{DD}) 电压传感器

差分放大器

图 4 给出了一个采用运放来实现的差分放大器。它在传感器的两端 (V_{SEN+} 和 V_{SEN-}) 都加了一个阻抗 R_1 ，从而放大了输入差分电压 ($V_{SEN+} - V_{SEN-}$)。

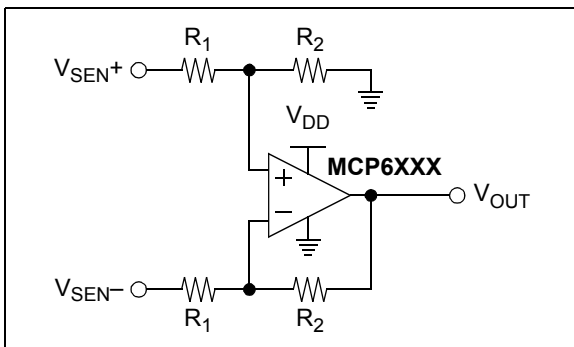


图 4: 差分放大器

优点

- 对信号源进行阻抗隔离
- 可实现较大的输入电压范围
- 抑制共模噪声；适用于遥感器
- 简单易行

缺点

- 信号源的阻性负荷加重
- 输入级失真

传感器示例

- 热电偶遥感器
- 惠斯登电桥

仪表放大器

图 5 显示了一个用来调理电压遥感器的仪表放大器电路。它的输入电阻起到隔离信号源的作用，且能够探测传感器的开路故障。放大了输入差分电压 ($V_{SEN+} - V_{SEN-}$)，并能够抑制共模噪声。

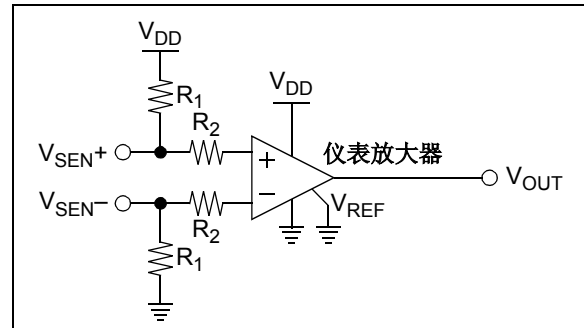


图 5: 仪表放大器

优点

- 极佳的共模噪声抑制性能；非常适用于遥感器
- 对信号源进行阻抗隔离
- 探测传感器故障

缺点

- 信号源的阻性负荷加重
- 成本高

传感器示例

- 热电偶遥感器
- 热电阻遥感器（使用电流源或分压器从热电阻处分得电压）
- 惠斯登电桥
 - 应变仪
 - 压力传感器

具有可变增益的宽动态范围和非线性传感器

图 6 显示了一个用来对多路传感器进行调理的可编程增益放大器（Programmable Gain Amplifier, PGA）。这些 PGA（如 MCP6S22）允许用户通过使用 SPI™ 总线选择增益及选择其中一个传感器作为输入端。它还有助于非线性传感器的线性化（如热敏电阻，见 [16]）。

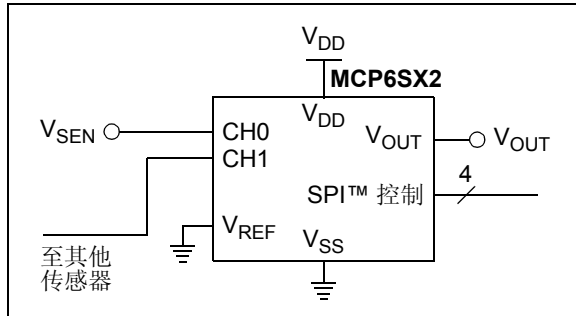


图 6: 可编程增益放大器

优点

- 适用于多路传感器（输入多路）
- CMOS 输入（具有高阻抗和低偏置电流）
- 输入和增益的数字式控制（SPI）
- 对非线性信号源进行线性化

缺点

- 输入级失真
- 放大共模噪声
- 需要微控制器单元（MCU）和固件

传感器示例

- 热敏电阻传感器（使用分压器将电阻量转化为电压量）
- 热电堆传感器
- 压电薄膜传感器

电流传感器

这一部分电路用来调理传感器产生的电流。

电阻探测器

图 7 显示的电阻（ R_1 ）用来将传感器电流（ I_{SEN} ）转化为电压（见 [6]），差分放大器用来放大加在该电阻上的电压以抑制共模噪声。

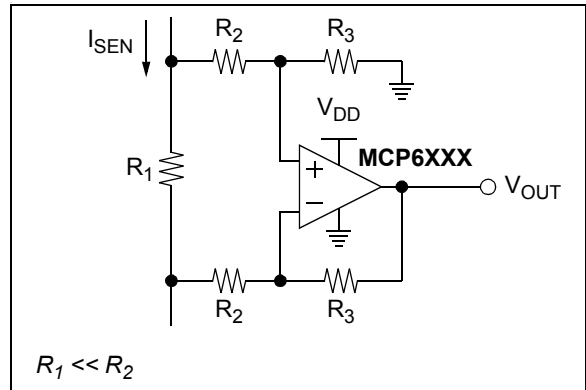


图 7: 电流传感器

优点

- 极佳的共模噪声抑制性能
- 对信号源进行阻抗隔离
- 宽输入电压范围

缺点

- 信号源的阻性负荷加重
- 输入级失真

传感器示例

- 高电压侧（ V_{DD} ）电流传感器
- 交流线电流传感器

跨导放大器

图 8 显示的跨导放大器 (R_1 和运放) 将传感器电流 (I_{SEN}) 转化为电压。当信号源的容性较大时, 电容 C_1 用来稳定放大器电压 (见 [5])。

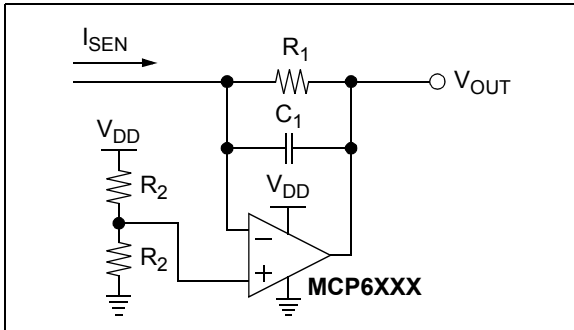


图 8: 跨导放大器

优点

- 极佳的信号源阻抗缓冲作用
- 简单易行

缺点

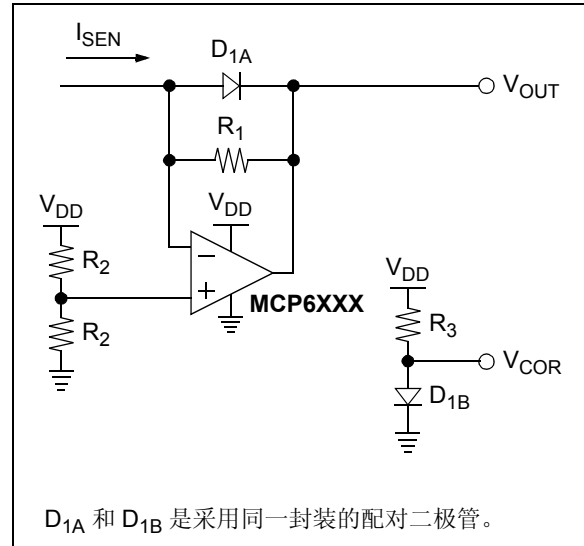
- 需要稳压设计

传感器示例

- IR 烟雾探测器
- 光电二极管
- 光电探测器

对数放大器 (LOG AMP)

图 9 显示的对数放大器 (D_{1A} 和运放) 将传感器电流 (I_{SEN}) 转化为与该电流的对数成正比的电压。当 I_{SEN} 很小或为负时, R_1 构成负反馈环节。当温度变化时, D_{1B} 用来校正 D_{1A} 。



D_{1A} 和 D_{1B} 是采用同一封装的配对二极管。

图 9: 对数放大器

当电流 (I_{SEN}) 具有双极性时, 可在 R_1 和 D_{1A} 上并联一个极性与 D_{1A} 相反的二极管。

优点

- 很宽的电流动态范围
- 较佳的信号源阻抗缓冲作用
- 简单易行

缺点

- 需要温度校正

传感器示例

- 光电二极管 (如 PWM 数字编码信号)

电阻式传感器

本节中的传感器产生变化的物理量是电阻。这里将介绍四种将电阻量转化为可测量电量的方法：

- 电阻 - 电压转换
- 电阻 - 电流转换
- RC 衰减
- 振荡器频率

电阻 - 电压转换

进行电阻式传感器调理的第一种方法是使产生的电压为电阻变化量的函数。

分压器

图 10 显示了一个将传感器电阻转化为电压的分压器 (R_{SEN} 和 R_1)。运放用来缓冲分压器以作进一步的信号处理。这种方法已在 AN867 和 AN897[21, 16] 中得到使用。

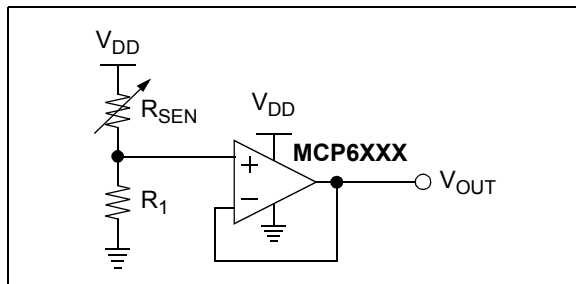


图 10: 使用运放的分压器

优点

- 简单易行
- 成比例输出（使用 V_{DD} 作为参考电压的模数转换器（Analog-to-Digital Converter, ADC））
- 检测传感器开路（故障）

缺点

- 较差的共模噪声抑制能力
- 电压是电阻的非线性函数

传感器示例

- 热敏电阻
- RTD 热电阻传感器
- 磁阻式指南针

分压器和可变增益

图 11 显示了一个将传感器电阻转化为电压的分压器 (R_{SEN} 和 R_1)。PGA 对分压器进行缓冲以作进一步的信号处理，且当传感器为非线性时，可设置多种增益。

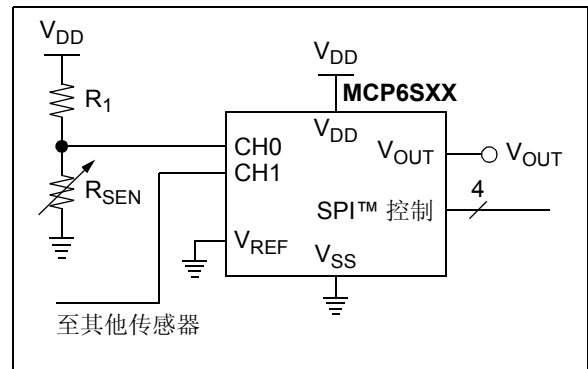


图 11: 使用 PGA 的分压器

优点

- 能对非线性传感器进行线性化
- 成比例输出（使用 V_{DD} 作为参考电压的模数转换器）
- 多路传感器复用
- 检测传感器开路（故障）

缺点

- 较差的共模噪声抑制能力
- 需要控制器和固件
- 电压是电阻的非线性函数

传感器示例

- 热敏电阻传感器

惠斯登电桥传感器

图 12 显示了一个将电阻的变化量转化为差分电压变化量的惠斯登电桥。其中，运放用来放大差分电压。

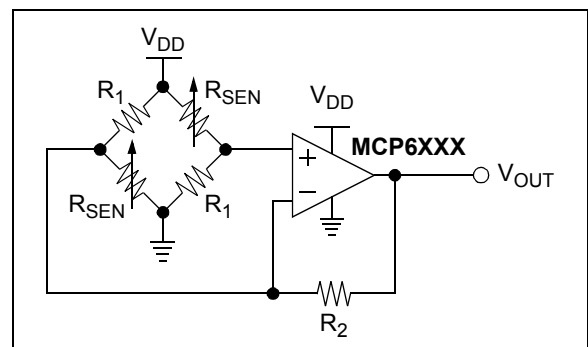


图 12: 惠斯登电桥—单运放电路

优点

- 较佳的共模噪声抑制能力
- 成比例输出（使用 V_{DD} 作为参考电压的模数转换器）
- 简单易行
- 检测传感器开路（故障）

缺点

- 增益是 R_{SEN} 的函数
- 需要控制器和固件来校正
- 电压是电阻的非线性函数

传感器示例

- 应变仪
- 压力传感器
- 磁阻式指南针

图 13 显示了另一个惠斯登电桥电路。仪表放大器用来放大电桥的差分电压，并能很好地抑制共模噪声。

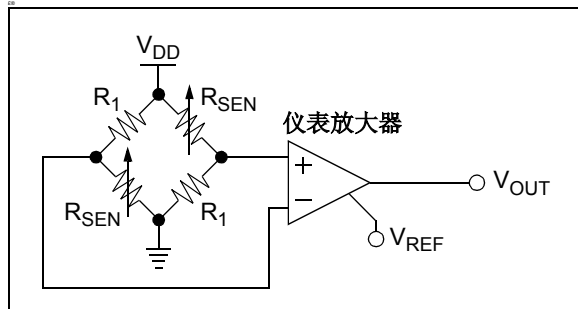


图 13: 惠斯登电桥—仪表放大器电路

优点

- 较佳的共模噪声抑制能力
- 成比例输出（使用 V_{DD} 作为参考电压的模数转换器）
- 能够检测传感器开路（故障）

缺点

- 成本高
- 电压是电阻的非线性函数

传感器示例

- 应变仪
- 压力传感器
- 磁阻式指南针

其他实现电路可参见应用笔记 AN251、AN717 和 AN695 [8, 9, 10]。

浮动电流源

图 14 中电路所提供的电流源 (I_{SEN}) 能够将电阻精确地转化为电压。该电流源 (Howland 电流泵) 由 R_{1A} 、 R_{1B} 、 R_1 、 R_2 、 R_3 和运放构成。 C_1 用来稳定电流源以及减少噪声。对于遥感器， R_4 则用来进行对地隔离。差分放大器 (图 4) 对 R_{SEN} 上的电压进行放大，还能抑制共模噪声。通过 R_4 上端电压可检测传感器是否开路 (故障)。其他电流源如 [3, 18] 所示。

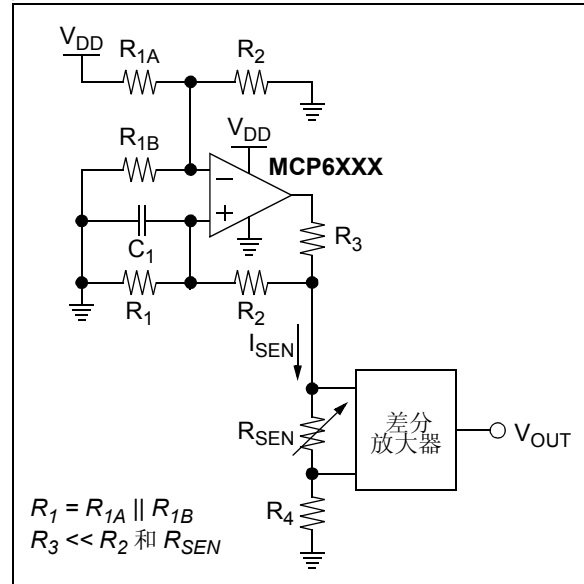


图 14: Howland 电流泵和使用差分放大器的电阻式传感器

优点

- 电阻到电压的线性转换
- 成比例输出（使用 V_{DD} 作为参考电压的模数转换器）

缺点

- 成本高
- 需要精确的电阻

传感器示例

- 热敏电阻
- RTD 热电阻传感器
- 热线风速仪

电阻 - 电流转换

对电阻式传感器进行调理的第二种方法是使产生的电流为电阻的函数。图 15 显示采用该方法的基本电路，其中“电流 - 电压放大器”可以采用跨导放大器（图 8）或对数放大器（图 9）。

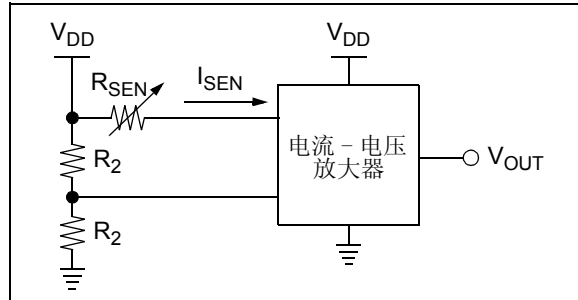


图 15: 电阻 - 电流转换电路

优点

- 成比例输出（使用 V_{DD} 作为参考电压的模数转换器）
- 简单易行

缺点

- 负增益

传感器示例

- 热敏电阻

RC 衰减

对电阻式传感器进行调理的第三种方法是通过 RC 衰减产生电压（对阶跃函数的单极响应）。该电压衰减到阈值所花费时间由电阻来衡量。

图 16 显示的电路中使用了一个能够设置比例阈值（与 V_{DD} 成正比）的 MCU 电路。通过分别测量 R_1 和 R_{SEN} 情况下电容电压衰减到阈值所需的时间，对 V_{DD} 、 C_1 和温度误差进行校正。PIC® MCU 能够提供所需切换和控制功能。类似电路详见应用笔记 AN863、AN512 和 AN929[7, 11, 14]。

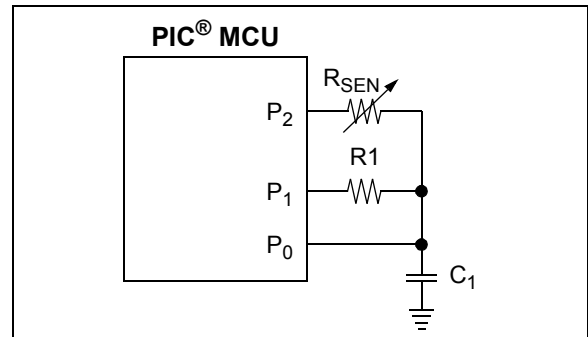


图 16: RC 衰减电路

优点

- 能对 V_{DD} 、 C_1 和温度误差进行比例校正
- 精度高
- 时序测量简便易行

缺点

- 受 PIC MCU 时序分辨率的影响
- 产生数字噪声
- 阈值必须呈现比例关系

传感器示例

- 热敏电阻传感器

振荡器频率

对电阻式传感器进行调理的第四种方法是测量振荡器频率的变化量，图 17 显示了基于该方法的一种实现电路。它是一个使用了电阻、电容、运放和比较器的状态变量振荡器。应用笔记 AN866 和 AN895[4, 12] 对它的运行和设计情况进行了详细论述。

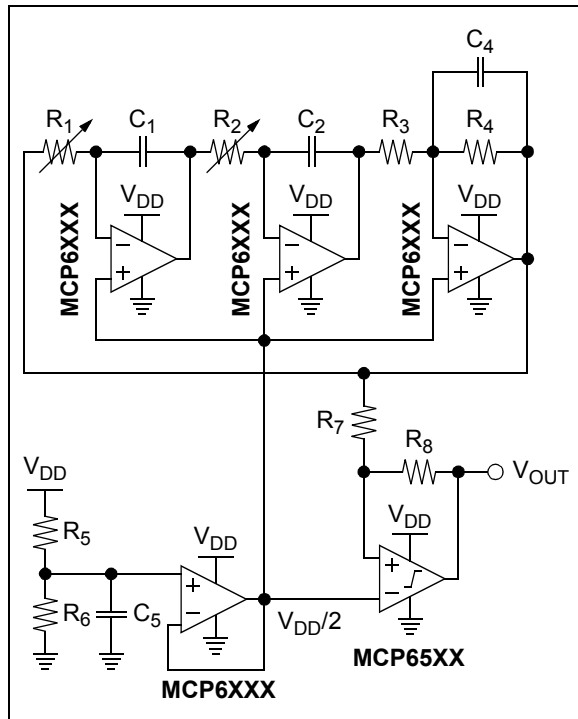


图 17: 状态变量振荡器

优点

- 精度高（具有校准功能）
- 良好的启动性能
- 使用 PIC® MCU 处理简便

缺点

- 成本高
- 设计复杂

传感器示例

- RTD 热电阻传感器
- 热线风速仪

电容式传感器

本节中的传感器产生的是电容量的变化。下面列出了四种将电容量转化为可测量电量的方法：

- RC 衰减
- 振荡器频率
- 电流积分
- 惠斯登电桥

RC 衰减

对电容式传感器进行调理的第一种方法是产生一个具有 RC 衰减的电压（单极阶跃响应）。电压衰减到阈值所花费时间由电容来衡量。图 18 中所示电路用来测量该时间，其中阈值与 V_{DD} 成正比。 R_1 温度系数低，以尽量降低温度误差。PIC® MCU 能够提供所需的切换和控制功能。类似电路详见 AN863、AN512 和 AN929 [7, 11, 14]。

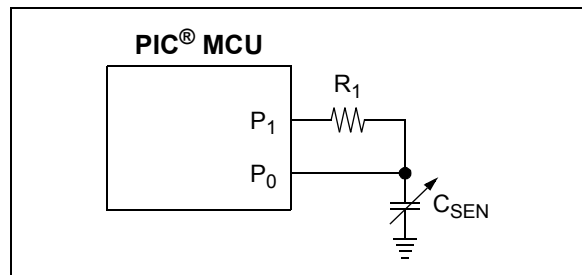


图 18: RC 衰减电路

优点

- 能对 V_{DD} 和温度误差进行比例校正
- 精度高
- 时序测量简便易行

缺点

- 受 PIC MCU 时序分辨率的影响
- 产生数字噪声
- 阈值必须呈现比例关系

传感器示例

- 电容型湿度传感器
- 电容型触摸传感器
- 电容式储罐液位传感器

振荡器频率

对电容式传感器进行调理的第二种方法是测量振荡器频率的变化量。图 19 中的多谐振荡器产生的振荡器频率变化量是电容的函数。AN866 和 AN895[4, 12] 对它的运行和设计情况进行了详细论述。

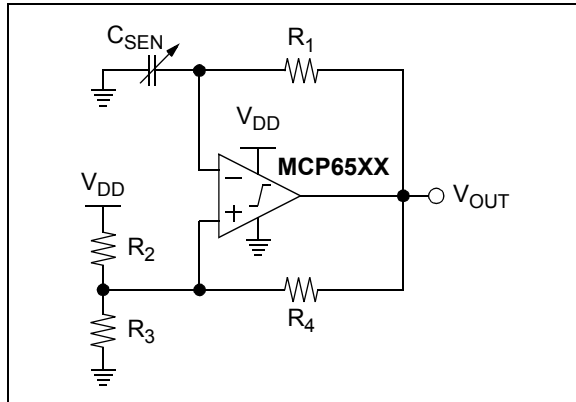


图 19: 多谐振荡器

优点

- 成本低
- 比例运算
- 使用 PIC® MCU 处理简便

缺点

- 精度低

传感器示例

- 电容型湿度传感器
- 电容型触摸传感器
- 电容式储罐液位传感器

单斜坡积分探测器

对电容式传感器进行调理的第三种方法是对电流进行积分，然后测量达到电压阈值所用的时间。图 20 显示了一个单斜坡积分探测器。在积分过程的开始时刻，由 PIC® MCU 控制的开关 SW₁ 用来将 C_{SEN} 两端的电压清零。运放的输出电压随时间线性增加；增加的速率由 V_{REF} 和 R₁ 决定。输出端的比较器可位于 PIC MCU 中，其翻转时间与 C_{SEN} 成正比。AN611[13] 中讨论了一种类似电路。

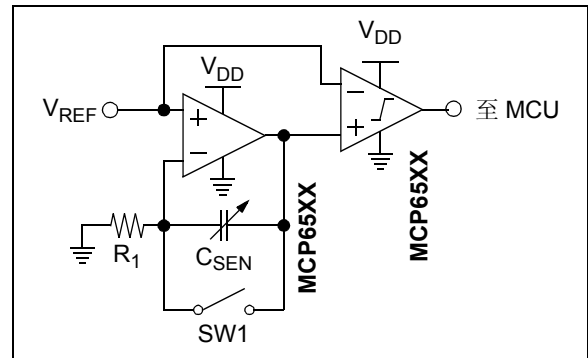


图 20: 单斜坡积分探测器

优点

- 使用 PIC® MCU 处理简便
- 精度取决于 V_{REF} 和 R₁

缺点

- 成本高

传感器示例

- 电容型湿度传感器
- 电容型触摸传感器
- 电容式储罐液位传感器

电容式惠斯登电桥

对电容式传感器进行调理的第四种方法是使用惠斯登电桥将特定频率下的阻抗转化为电压。图 21 所示电路中，差分电压的变化量是电容变化量的函数。电桥须用交流电压源来驱动；它的频率必须稳定且精确。 R_1 可以是一个使差分电压输出为零的数字电位计，或是一个常规电阻。 R_3 提供了一种使仪表放大器正确偏置以及阻止电容之间的节点随时间发生漂移的方法。其值应比 C_2 的阻抗值 ($1/j\omega C_2$) 大得多；如果需要的话，可以对分压器方程进行校正以达到该阻抗值。

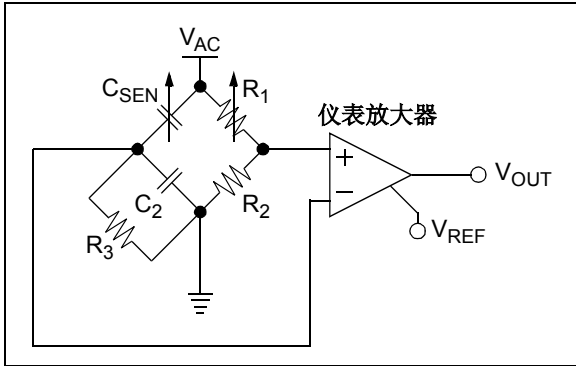


图 21: 电容式惠斯登电桥

优点

- 极佳的共模噪声抑制性能
- 成比例输出（使用 V_{DD} 作为参考电压的模数转换器）
- 能够检测传感器的开路或短路（故障）

缺点

- 需要交流激励
- 功耗大

传感器示例

- 电容式遥感器
 - 湿度传感器
 - 触摸传感器
 - 储罐液位传感器

电荷传感器

图 22 显示了一个电荷传感器的简化模型。它是一个电容式电源，产生的交流能量是周围环境参数变化量的函数。

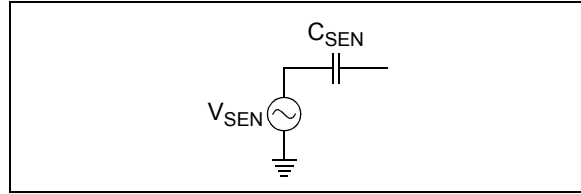


图 22: 电荷传感器的简化模型

图 23 显示了一个将传感器能量（电荷）转化为输出电压的电荷放大器（ C_1 和运放）。其中， R_1 为运放的反相输入端提供了一条偏置通道，并形成高通滤波器极点（阻止运放的反相输入端随时间发生漂移）。由于 P_{SEN} 上的电荷变化几乎全部从 C_1 通过，从而能精确地测量传感器产生的电荷。

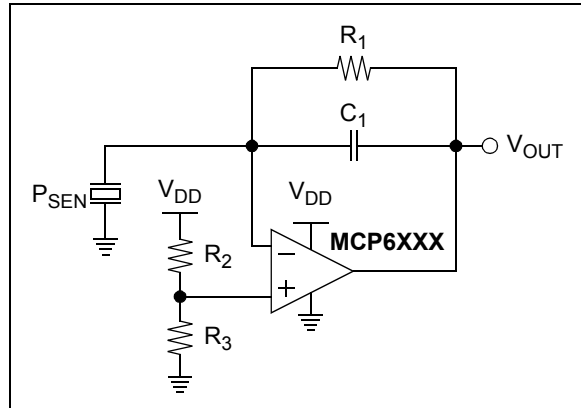


图 23: 电荷放大器

优点

- 极佳的共模噪声抑制性能
- 成比例输出（使用 V_{DD} 作为参考电压的模数转换器）
- 能够检测传感器的开路或短路（故障）

缺点

- 需要交流激励
- 功耗大

传感器示例

- 压电薄膜传感器

其他的信号调理电路

这里提到了许多嵌入式设计都涉及到的电路和固件问题。

输入端保护

需对传感器的输入端进行保护以防止发生静电放电（Electrostatic Discharge, ESD）、过电压和过电流事件，特别是当它们远离调理电路时。AN929[14] 中详细讨论了这个问题。

传感器故障检测

该应用笔记中的一些电路提供了一些检测传感器故障的方法。其他的示例在 AN929 [14] 中给出。

滤波

该应用笔记中的所有电路也都要用到输出滤波器[3]。模拟滤波器可用来改善 ADC 的性能。当设计合理时，它们能够阻止干扰混淆（甚至是直流），并能降低采样频率的要求（节省功耗和 MCU 开销）。对许多应用来说，一个简单的 RC 滤波器已能满足要求。比较难实现的模拟滤波器需用到有源 RC 滤波器。

Microchip Technology Inc. 的 FilterLab® 软件[26] 在简化模拟有源滤波器（使用运放）的设计方面是一个创新型工具。用户可从我们的网站（www.microchip.com）免费下载。FilterLab 有源滤波器软件设计工具能够提供完整的标有元件值的滤波器电路原理图。它也能以 SPICE 格式输出滤波器电路。

如果需要的话，还可以进行数字滤波。只需对结果取平均值就足够了。

模数转换

很多情况下，经调理后的传感器输出可由 ADC 转换为数字格式。该应用笔记中的许多电路都是比例型的，因此电源波动可在 ADC 上得到校正（如惠斯登电桥）。其他电路对 ADC 采用绝对参考电压。

结果校正

可通过校准每一个系统来校正传感器误差。这可在硬件（如数字电位计）或固件（如在非易失性存储器中进行常数校准）上完成。

其他的环境参数也可能需要校正。例如，电容式湿度传感器可能需要进行温度校正。这通常在固件中最易实现，但也可以用硬件来实现。

非线性传感器需要额外的校正。可以使用多项式或其他数学函数的 MCU 固件，来对有关参数进行最佳估算。也可使用线性内插表的固件；AN942 [27] 中给出了一种实现方法。

总结

该应用笔记的目的是帮助电路设计人员为常见传感器类型选择电路拓扑。该应用笔记列出了常见传感器应用并对其进行详细的介绍。文中还展示了许多基本信号调理电路，并简略地提到一些许多嵌入式设计中常用到的传感器调理电路和固件。最后，“参考文献”部分给出了详细介绍某一主题的其他资料。

参考文献

通用参考文献

- [1] “The OMEGA[®] Made in the USA Handbook™,” Vol. 1, OMEGA Engineering, Inc., 2002.
- [2] “The OMEGA[®] Made in the USA Handbook™,” Vol. 2, OMEGA Engineering, Inc., 2002.
- [3] AN682, “Using Single Supply Operational Amplifiers in Embedded Systems,” Bonnie Baker; Microchip Technology Inc., DS00682, 2000.
- [4] AN866, “Designing Operational Amplifier Oscillator Circuits For Sensor Applications,” Jim Lepkowski; Microchip Technology Inc., DS00866, 2003.

电流传感器

- [5] AN951, “Amplifying High-Impedance Sensors – Photodiode Example,” Kumen Blake and Steven Bible; Microchip Technology Inc., DS00951, 2004.
- [6] AN894, “Motor Control Sensor Feedback Circuits,” Jim Lepkowski; Microchip Technology Inc., DS00894, 2003.

电阻式传感器

- [7] AN863, “A Comparator Based Slope ADC,” Joseph Julicher; Microchip Technology Inc., DS00863, 2003.
- [8] AN251, “Bridge Sensing with the MCP6S2X PGAs,” Bonnie C. Baker; Microchip Technology Inc., DS00251, 2003.
- [9] AN717, “Building a 10-bit Bridge Sensing Circuit using the PIC16C6XX and MCP601 Operational Amplifier,” Bonnie C. Baker; Microchip Technology Inc., DS00717, 1999.
- [10] AN695, “Interfacing Pressure Sensors to Microchip’s Analog Peripherals,” Bonnie Baker; Microchip Technology Inc., DS00695, 2000.
- [11] AN512, “Implementing Ohmmeter/Temperature Sensor,” Doug Cox; Microchip Technology Inc., DS00512, 1997.
- [12] AN895 “Oscillator Circuits For RTD Temperature Sensors,” Ezana Haile and Jim Lepkowski; Microchip Technology Inc., DS00895, 2004.

电容式传感器

- [13] AN611, “Resistance and Capacitance Meter Using a PIC16C622,” Rodger Richie; Microchip Technology Inc., DS00611, 1997.

温度传感器

- [14] AN929, “Temperature Measurement Circuits for Embedded Applications,” Jim Lepkowski; Microchip Technology Inc., DS00929, 2004.

- [15] AN679, “Temperature Sensing Technologies,” Bonnie C. Baker; Microchip Technology Inc., DS00679, 1998.

- [16] AN897; “Thermistor Temperature Sensing with MCP6SX2 PGAs,” Kumen Blake and Steven Bible; Microchip Technology Inc., DS00897, 2004.

- [17] AN685, “Thermistors in Single Supply Temperature Sensing Circuits,” Bonnie C. Baker; Microchip Technology Inc., DS00685, 1999.

- [18] AN687, “Precision Temperature-Sensing With RTD Circuits,” Bonnie C. Baker; Microchip Technology Inc., DS00687, 2003.

- [19] AN684, “Single Supply Temperature Sensing with Thermocouples,” Bonnie C. Baker; Microchip Technology Inc., DS00684, 1998.

- [20] AN844, “Simplified Thermocouple Interfaces and PICmicro[®] MCUs,” Joseph Julicher; Microchip Technology Inc., DS00844, 2002.

- [21] AN867, “Temperature Sensing With A Programmable Gain Amplifier,” Bonnie C. Baker; Microchip Technology Inc., DS00867, 2003.

其他类型的传感器

- [22] AN865, “Sensing Light with a Programmable Gain Amplifier,” Bonnie C. Baker; Microchip Technology Inc., DS00865, 2003.

- [23] AN692, “Using a Digital Potentiometer to Optimize a Precision Single-Supply Photo Detection Circuit,” Bonnie C. Baker; Microchip Technology Inc., DS00692, 2004.

- [24] TB044, “Sensing Air Flow with the PIC16C781,” Ward Brown; Microchip Technology Inc., DS91044, 2002.

- [25] AN597, “Implementing Ultrasonic Ranging,” Robert Schreiber; Microchip Technology Inc., DS00597, 1997.

信号调理电路

- [26] FilterLab[®] 2.0 User’s Guide; Microchip Technology Inc., DS51419, 2003.

- [27] AN942, “Piecewise Linear Interpolation on PIC12/14/16 Series Microcontrollers,” John Day and Steven Bible; Microchip Technology Inc., 2004.

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、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。

FilterLab、Linear Active Thermistor、MXDEV、MXLAB、SEEEVAL、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、In-Circuit Serial Programming、ICSP、ICEPIC、Mindi、MiWi、MPASM、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、mTouch、PICkit、PICDEM、PICDEM.net、PICtail、PIC³² 徽标、PowerCal、PowerInfo、PowerMate、PowerTool、REAL ICE、rLAB、Select Mode、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。

© 2008, 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、非易失性存储器和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 - 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 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300
Fax: 86-27-5980-5118

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138
Fax: 86-592-238-8130

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

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040
Fax: 86-756-321-0049

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 - Drunen
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