

MCP9700 模拟输出温度传感器与 PICmicro[®] 单片机的接口

作者: Ezana Haile 和 Jim Lepkowski
Microchip Technology Inc.

简介

模拟输出温度传感器芯片相对于传统温度感应器（如热敏电阻）更易于使用。MCP9700 提供了许多系统级的优点，包括将温度传感器和信号调理电路集成在一个芯片上。由于模拟输出传感器的输出呈线性，因此它非常适用于嵌入式系统。本应用笔记将讨论在嵌入式系统中使用 MCP9700 时的系统集成、固件实现和 PCB 布局等技术。

我们使用 PICKit™ 1 闪存入门工具包演示 MCP9700 与单片机接口所需要的固件。PICKit™ 1 闪存入门工具包是一款低成本的开发工具包，可通过其易于使用的界面对 Microchip 的 8 引脚和 14 引脚闪存系列单片机进行编程。

演示 MCP9700 设计用于测量温度并通过 PICKit™ 1 闪存入门工具包中的 LED 显示二 - 十进制码（Binary-Coded Decimal, BCD）温度。由器件内部的热传感元件检测温度并将其转换为模拟输出电压。随工具包还提供了 00059R1.zip 压缩文件，其中含有 PCB 的 Gerber 文件、源代码和 hex 文件（用于对 PIC16F676 编程）。

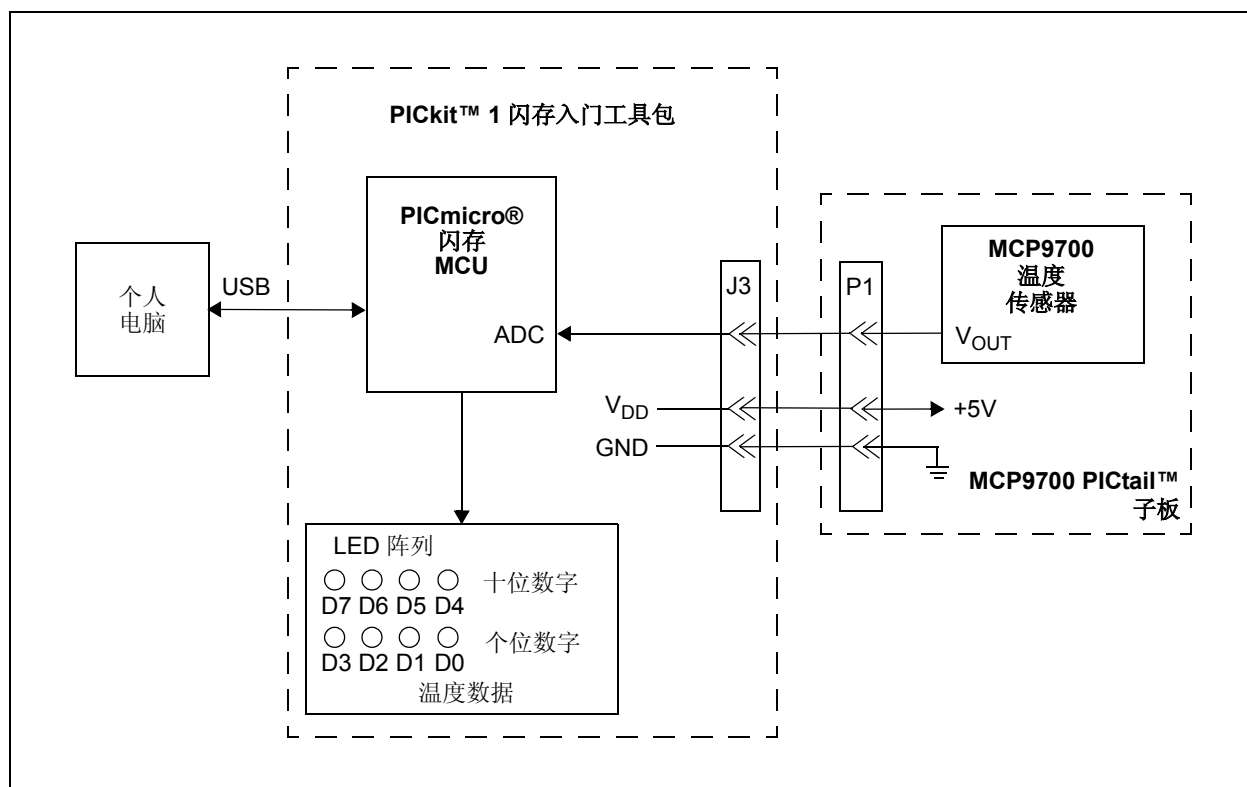


图 1: MCP9700 热传感器演示框图

MCP9700 应用指南

MCP9700 与数模转换器（ADC）的接口

图 2 所示为典型 ADC 系统的简单示意图。温度传感器的输出引脚是由运算放大器来驱动的，运放的输出阻抗为 R_{OUT} 。ADC 的输入由一个简单的采样保持电路组成。使用一个开关将信号源与采样电容相连，同时 ADC 测量 C_{SAMPLE} 电容两端的电压以决定温度。 R_{OUT} 和 R_{SWITCH} 电阻以及 C_{SAMPLE} 电容一起构成一个时间常数，该常数必须小于 ADC 的采样速率（ T_{SAMPLE} ）。

可在输出引脚上连接一个大小介于 1 nF 和 100 nF 的外部电容，以提供额外的滤波功能，并形成 ADC 的抗混叠的滤波器。电容会影响传感器的时间响应，因此设计人员必须使电容在每次 ADC 转换之间充分充电。同样，如果滤波器的电容值太大，传感器放大器可能会

振荡。在传感器的输出引脚和 C_{FILTER} 之间添加一个阻值约为 10 到 100 Ω 的小电阻，可将传感器的放大器与容性负载隔离。传感器的输出阻抗（ R_{OUT} ）会随频率变化而变化。因此，如果要将 C_{FILTER} 作为 ADC 的抗混叠滤波器，就应为有效 R_{OUT} 电阻串联一个电阻。

由于传感器的增益运算放大器（运放）被用作电压缓冲器，从而使 MCP9700 的输出阻抗小于 1 Ω 。负反馈产生的输出阻抗等于运算放大器的阻抗除以放大器的开环增益。运算放大器的开环增益相对较大，它反过来强制使输出阻抗减小。

MCP9700 是采用 CMOS 工艺制造的。由于晶体管的体积和电流消耗相对较小，所以允许在设计中集成一个缓冲的输出。与之相反，双极型模拟输出传感器通常不集成运放缓冲器。这些器件的输出阻抗范围介于 200 到 2000 Ω 。

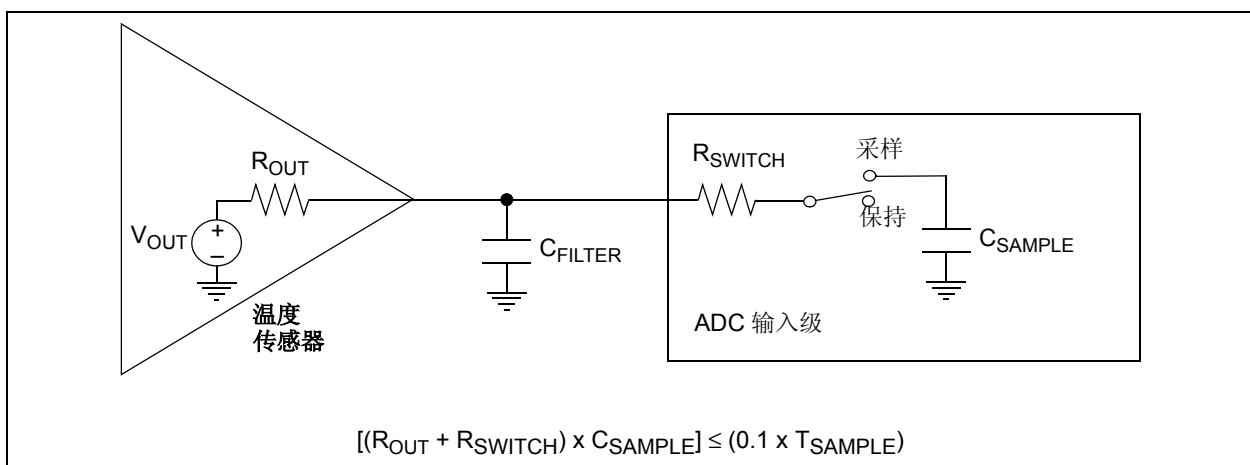


图 2：模拟输出温度传感器与 ADC 的接口

PCB 布局建议

MCP9700 通过监视位于 IC 芯片上的二极管的电压准确地测量稳态温度。由于硅传感器提供的是一种“非接触式”的温度测量，所以传感器的位置十分重要。芯片的底层接地，并通过焊接线和封装引脚连接到 PCB 的地平面。

硅传感器测量 PCB 地平面的温度。IC 的接地引脚在芯片和 PCB 之间提供了一条低阻抗的导热通道，使传感器能有效地监视 PCB 的温度。从封装顶部到周围空气的导热通道和从封装底部到 PCB 的热导通道的传热效

率不高，这是因为塑封 IC 起到了绝热的作用。因此，周围空气的温度对测量影响很小。

建议在电源和接地引脚之间连接一个大小介于 0.1 μF 到 1 μF 之间的去耦电容，目的是为传感器提供有效的抗噪声保护。在噪声很大的应用中，通过使用一个带 1 μF 去耦电容的 200 Ω 电阻将供电电压施加给 V_{DD} 引脚。建议采用陶瓷电容，让电容尽量靠近 MCP9700 的 V_{DD} 和接地引脚。

MCP9700 PICtail™ 子板

通过扩展插头 J3 可将 MCP9700 PICtail™ 子板插入 PICKit 1 闪存入门工具包。图 3 显示了将 MCP9700 PICtail 子板插入 PICKit 1 闪存入门工具包的过程。欲了解有关 PICKit 1 闪存入门工具包的更多信息，请参见“PICKit™ 1 Flash Starter Kit User's Guide” (DS40051)。

MCP9700 PICtail 子板由 MCP9700 温度传感器和旁路电容组成。旁路电容器 C_1 用于抑制影响 +5 V 直流电源的噪声，图 4 给出了该子板的示意图，而图 5 给出了 PCB 的布局图。

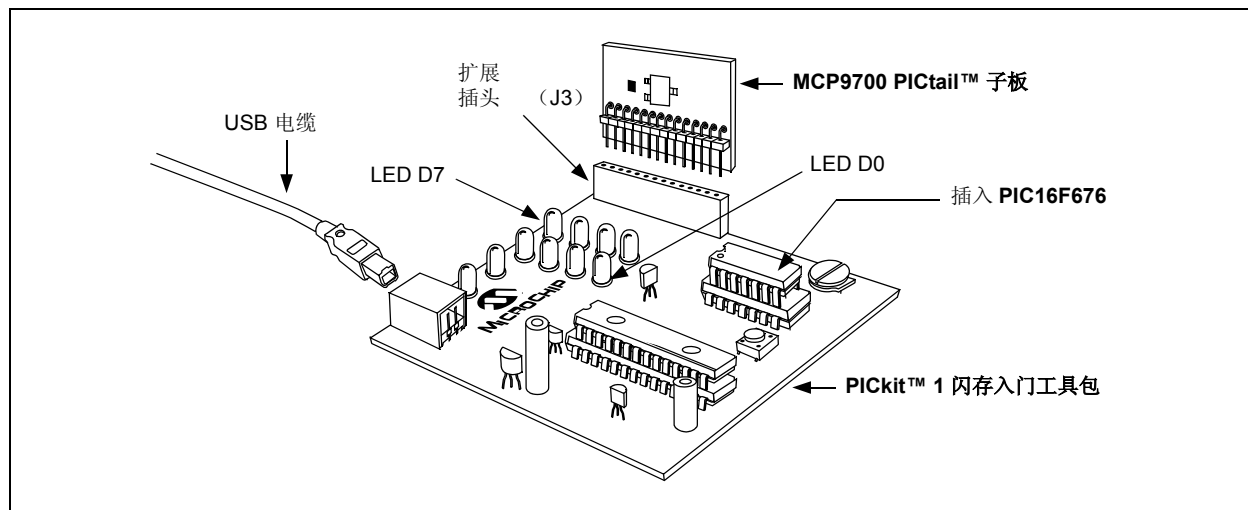


图 3: MCP9700 PICtail™ 子板和 PICKit™ 1 闪存入门工具包

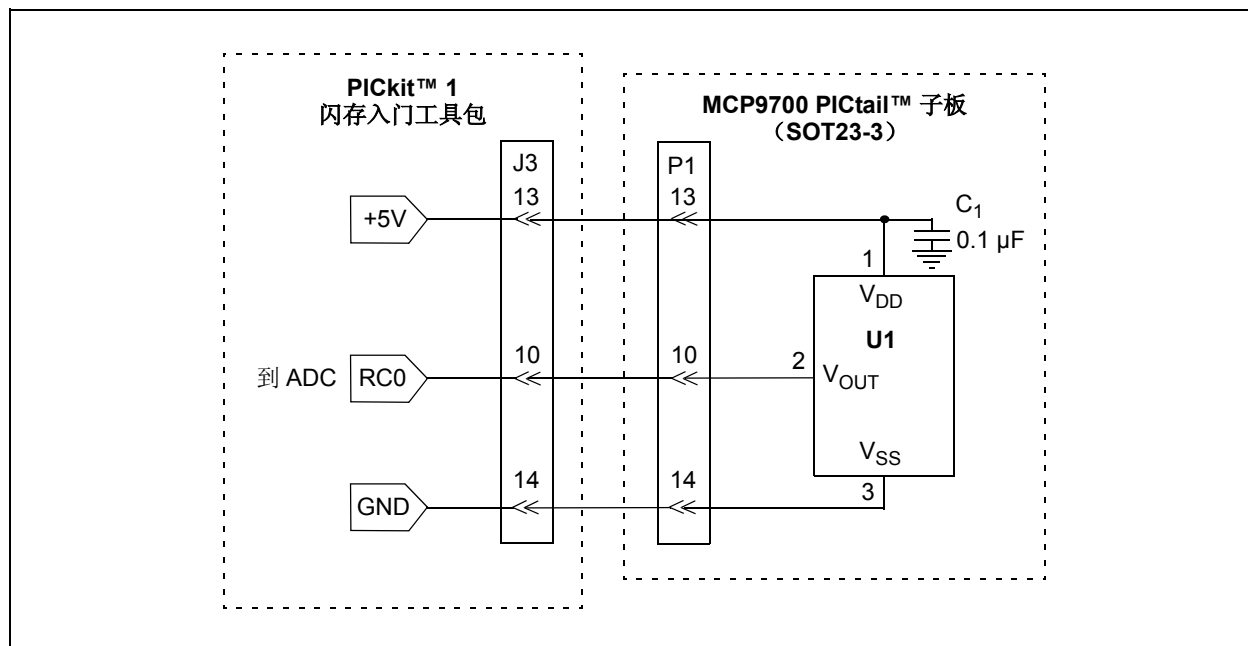


图 4: MCP9700 PICtail™ 子板示意图

AN981

独立工作

MCP9700 PICtail 子板也可单独用作评估板。可以对 V_{DD} 和接地测试点加电。通过将示波器或电压表连接到 V_{OUT} 测试点可监视传感器的模拟输出电压。MCP9700 要求工作电压介于 2.5V 和 5.5V 之间。

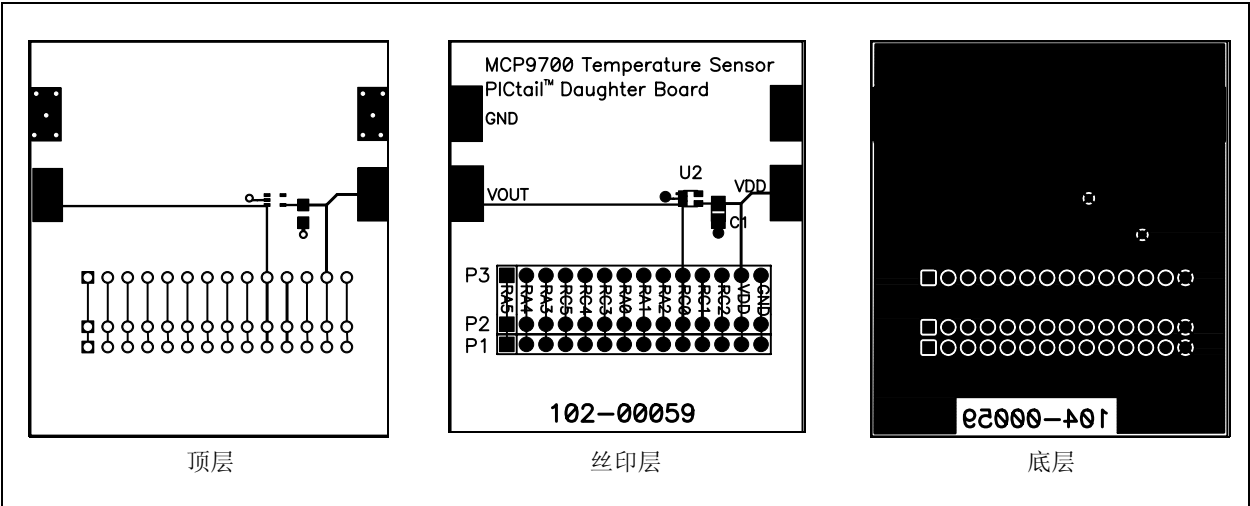


图 5: MCP9700 PICtail™ 子板的 PCB 布局

MCP9700 接口软件

图 6A 给出了 PICtail 固件的流程图。MCP9700 传感器的模拟输出电压由 PICmicro[®] MCU 的 ADC 读取。通过使用电压 - 温度转换程序可将 ADC 值转换为摄氏度。

MCP9700 提供了一种以摄氏度表示温度的测量方法。可用软件测试 PICkit 1 SW1 按钮开关的状态以将温度值显示为华氏度或摄氏度。如果没按 SW1 按钮，温度值被转换为摄氏度。否则，如果按下 SW1 按钮，温度值显示为华氏度。最后，通过子程序 DISPLAY 将温度值装入 LEDREG 变量，并显示在 LED 上。

随包提供的 00059R1.zip 压缩文件中包含全部源代码文档以及立即可编程到 PIC16F676 中的 hex 文件。

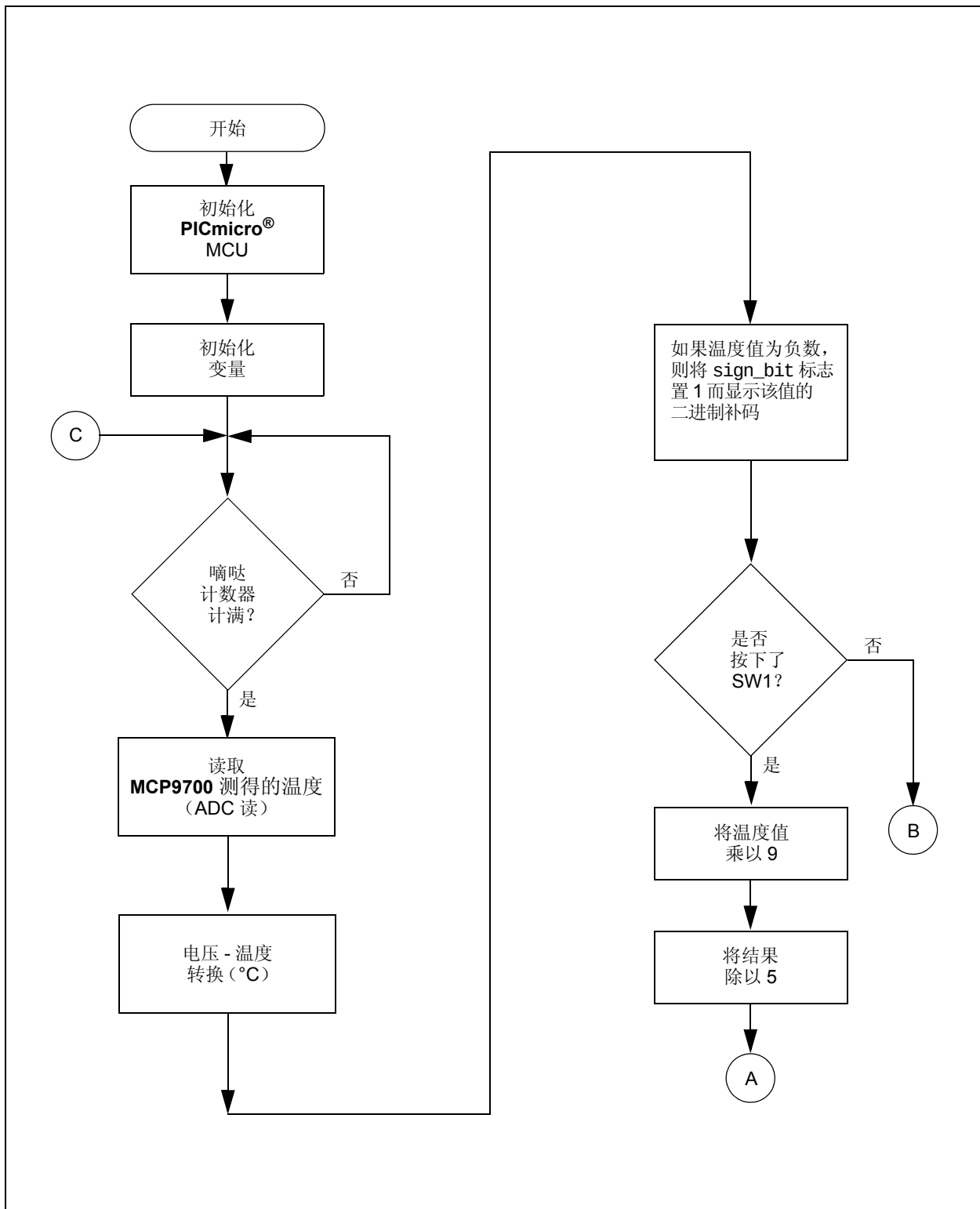


图 6A: MCP9700 PICtail™ 子板的程序流程图

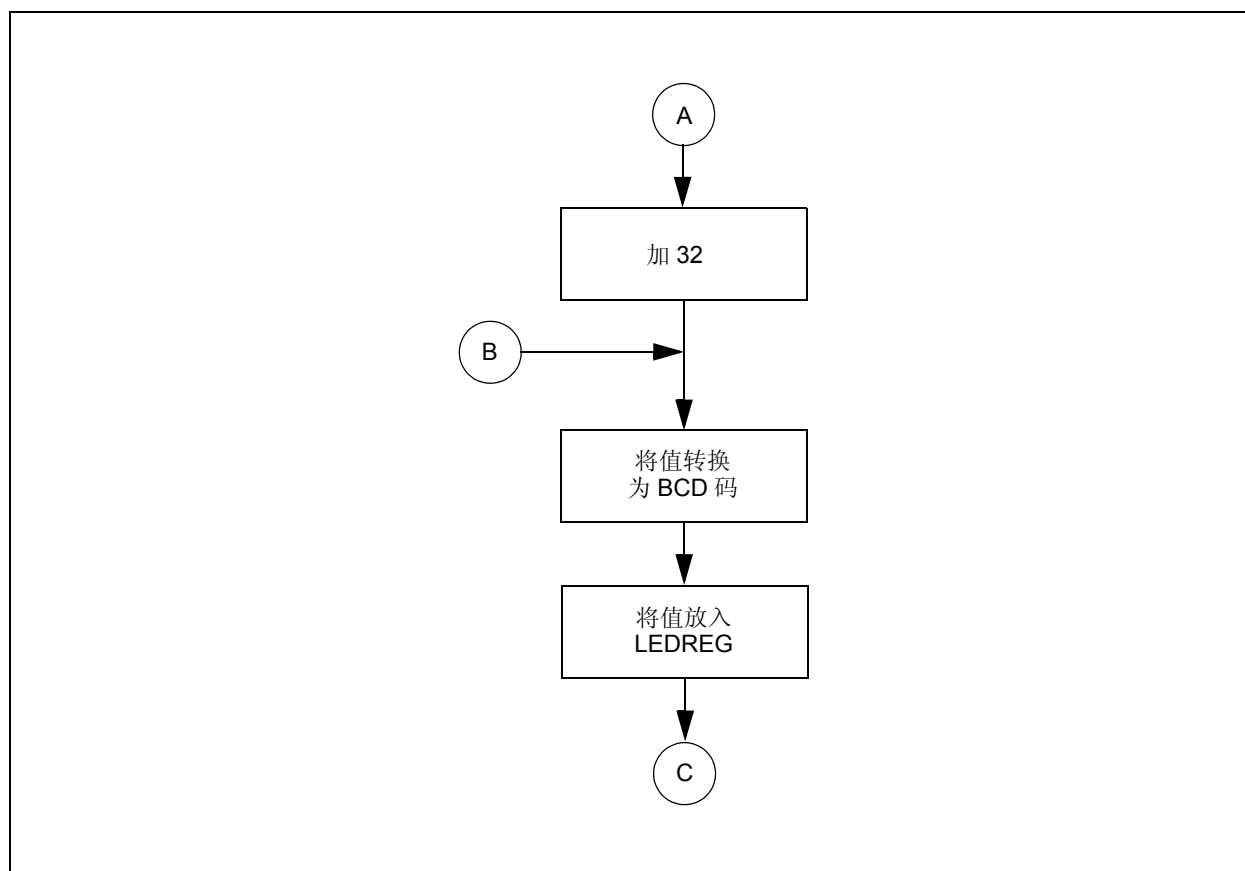


图 6B: MCP9700 PICtail™ 子板的程序流程图 (续)

附录 A：功能说明

构建一个温度传感二极管

IC 传感器是通过监测二极管两端的压降来测量温度的。MCP9700 使用一个以 CMOS IC 工艺的底层制造的双极型温度传感二极管。双极型二极管是在 PNP 晶体管的基础上构建的，通过将相应的 P 结和 N 结组合在一起形

成，如图 A-1 所示。由于双极型的电气特性优于 MOSFET 二极管，因此用于温度测量。MOSFET 二极管的电流电压关系由门限电压决定，门限电压与制造工艺有关。

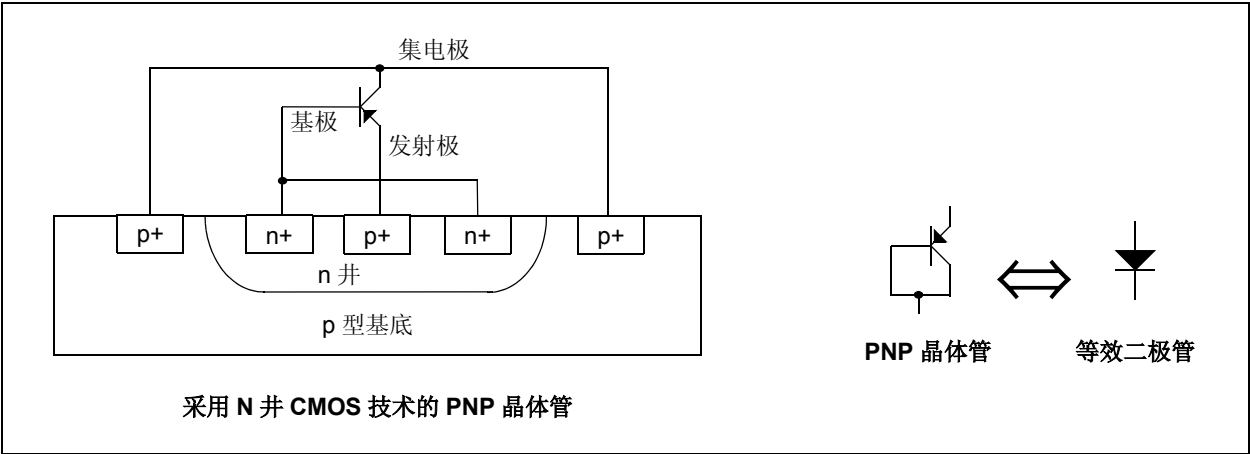


图 A-1：温度传感基底二极管

基本二极管公式

图 A-2 列出了二极管的电压和电流公式。这些公式显示二极管的电压与温度、常量 k 和 q 成正比。但是，公式中还出现了与制造工艺有关的常量 η 和 I_S 。IC 温度传感器使用一个与带隙参考源类似的电压发生器电路（产生的电压 V_{PTAT} 与温度成正比）解决了这一与工艺有关的问题。

硅二极管中的非理想常量 (η) 在 0.95 到 1.05 之间变化。但是，将假定 η 等于 1。 η 不为 1 的假设会产生温度增益和失调误差。传感器的校准过程可以使这一误差降至最低。

必须将 I_S 变量消除，因为 I_S 会随温度变化而变化，且在各个晶圆间也不相同。二极管电压公式中的 I_S 变量可用两种方法消除。第一种方法是使用两个不同的电流源和一个二极管，而第二种方法是使用一个电流源和两个不同的二极管。

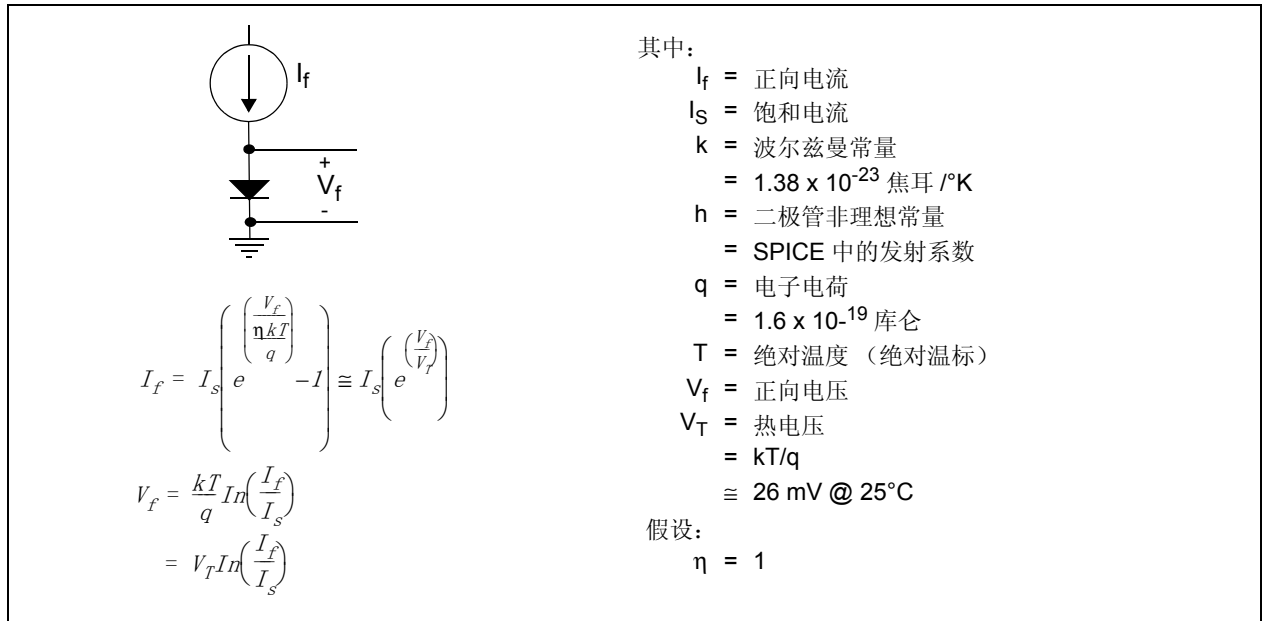


图 A-2: 基本二极管公式

产生一个与温度成正比的电压

一种方法是使用两个电流源和一个二极管来消除 I_S 。图 A-3 给出了其电路的简单示意图，该电路可分别测量在一个二极管上复用两个电流源时二极管两端的电压。这些公式显示可通过将两次测得的电压相减来消除 I_S 变量，这相当于在对数公式中计算比值。

采用两个电流源和一个二极管的方法来消除 I_S 是由于构建两个输出成正比的电流源要相对容易一些。事实上，选择所产生电流的比值为 10:1 的两个电流源，从而产生一个温度系数约为 $200 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 的电压。 ΔV_{EB} 公式很重要，因为它包含了 3 个常量（ k 、 q 和 N ）和一个温度变量 T 。该公式导出了电压等于一个与常量和温度的乘积，而消除了与工艺相关的变量 I_S 。

电压 ΔV_{EB} 也称为 V_{PTAT} 或与绝对温度成正比的电压。图 A-4 给出了 V_{PTAT} 电压的图示（呈线性）。电流源的绝对值并未出现在温度公式中，重要的仅是在温度变化过程中两个电流源输出的比值。注意：我们假设 ΔV_{EB} 只随电流和热电压 V_T （ $V_T = kT/q$ ）的变化而变化。 ΔV_{EB} 的完整公式将更为复杂；但是，复杂的部分由于对结果只产生次要影响而被忽略了。

消除二极管电压公式中的 I_S 项的另一种方法是通过测量同一电流源产生的两个二极管上的电压而实现的，如图 A-5 所示。使用这种消除工艺变量 I_S 的方法是因为可通过晶体管的数量来控制电流的大小。如图 A-5 所示，通过使 N 个相同的晶体管并联可构建电流比率电路。总电流被各个晶体管平分，并产生电压 $V_{EB(N)}$ 。

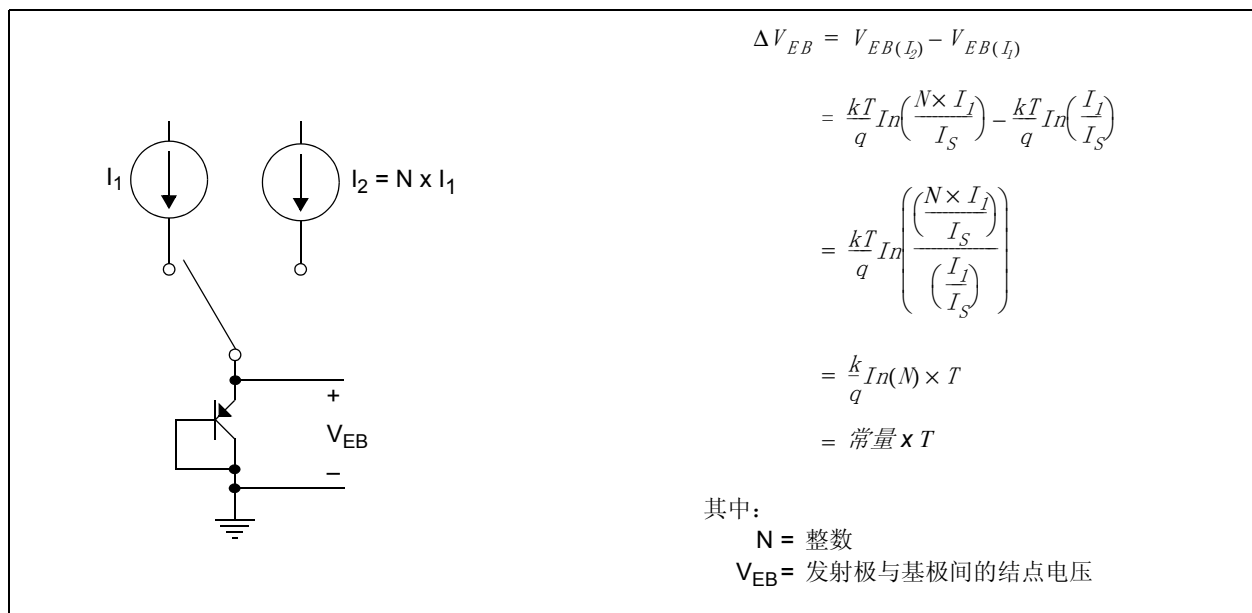


图 A-3: 产生一个与温度成正比的电压

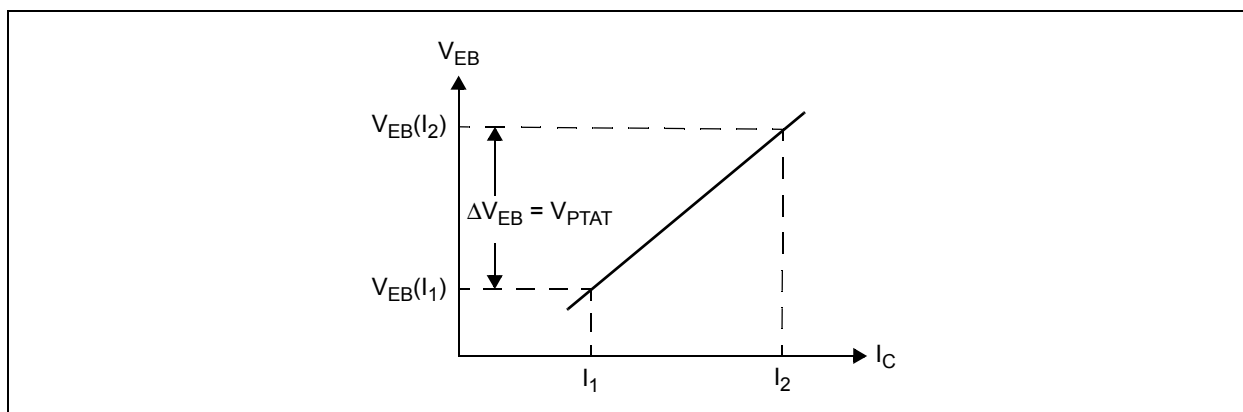


图 A-4: 由两个电流源和一个二极管产生的 V_{PTAT} 电压的图示

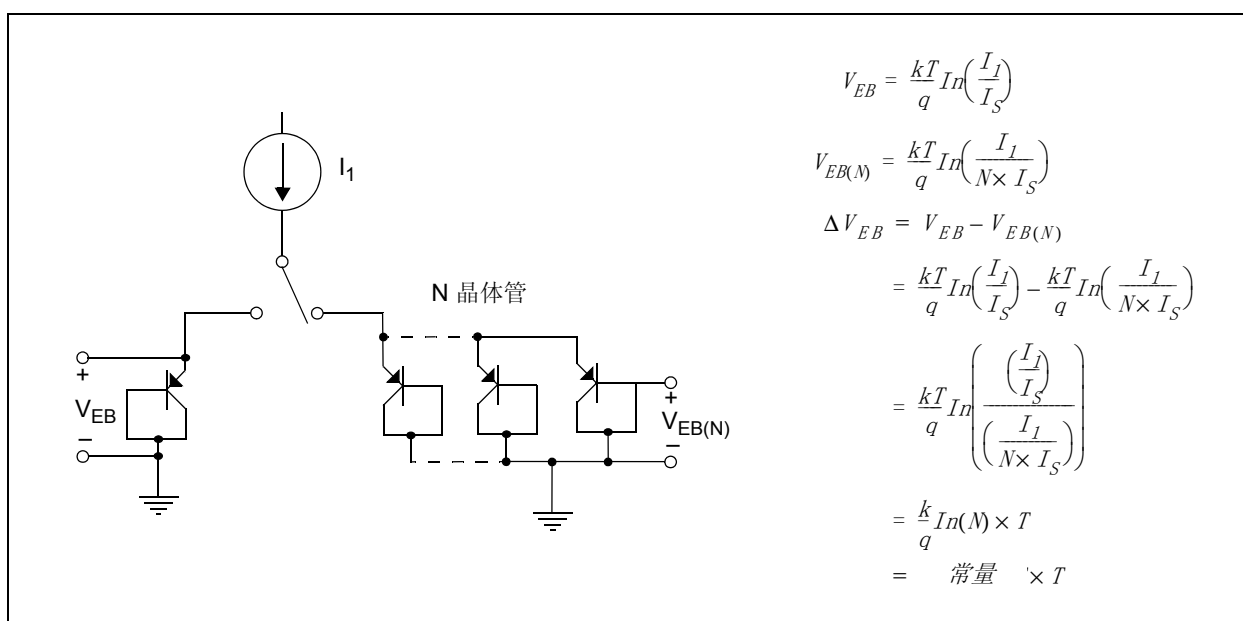


图 A-5: 通过一个电流源和两个二极管来产生一个与温度成正比的电压

MCP9700 内部二极管温度传感器

带隙参考电压

带隙参考电压电路可用来产生在温度变化时仍保持稳定的参考电压。术语带隙是指 0°K 时硅结点处的理论电压。如图 A-6 所示，带隙电路通过将 PNP 晶体管的发射极与基极间的二极管电压 (V_{EB}) 的负温度系数与由

V_{PTAT} 电路产生的电压的正温度系数相抵消来实现输出与温度无关。 V_{EB} 电压的温度系数为 $-2.2\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ ，而 V_{PTAT} 电压的温度系数为 $+0.085\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ 。将 V_{PTAT} 扩大 K 倍时，其温度系数会按比例调整为 $+2.2\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ 。当 V_{EB} 与调整过的 V_{PTAT} 信号叠加时，其对应的温度系数会相互抵消，从而使输出电压与温度无关。

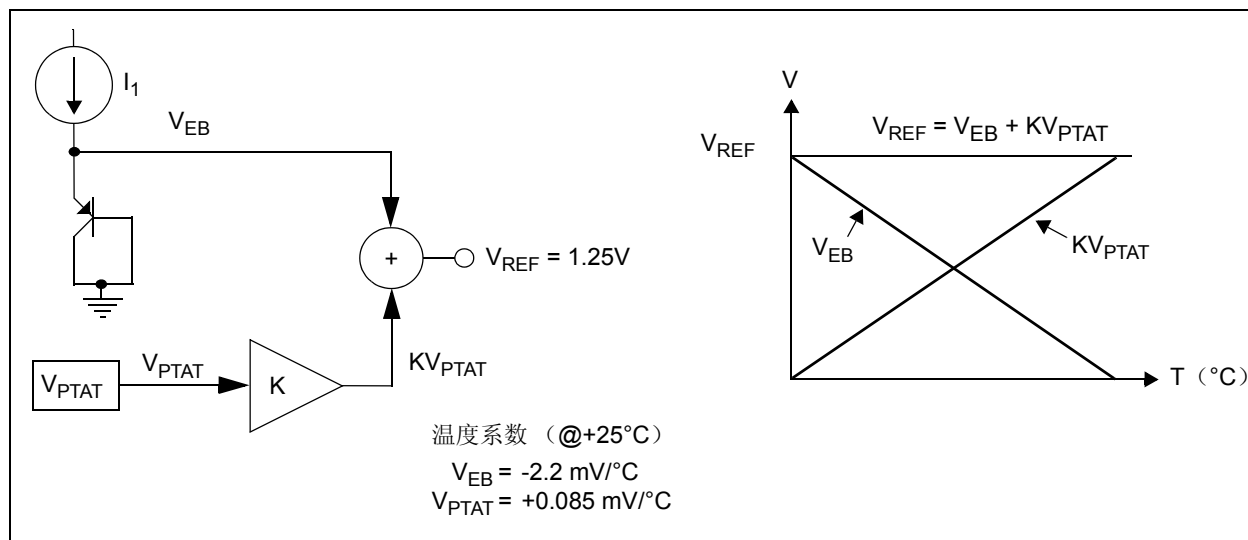


图 A-6: 带隙参考电压的概念

图 A-7 给出了带隙电路的简单示意图。这个电路以电流 I_1 和 I_2 的大小与晶体管的发射区的大小成正比的原理为

基础。如果发射区的比率等于 8 ($n = 8$) 且电阻率设为 10 ($p = 10$)，则将会产生一个大小为 1.250V 的参考电压 (V_{REF})。

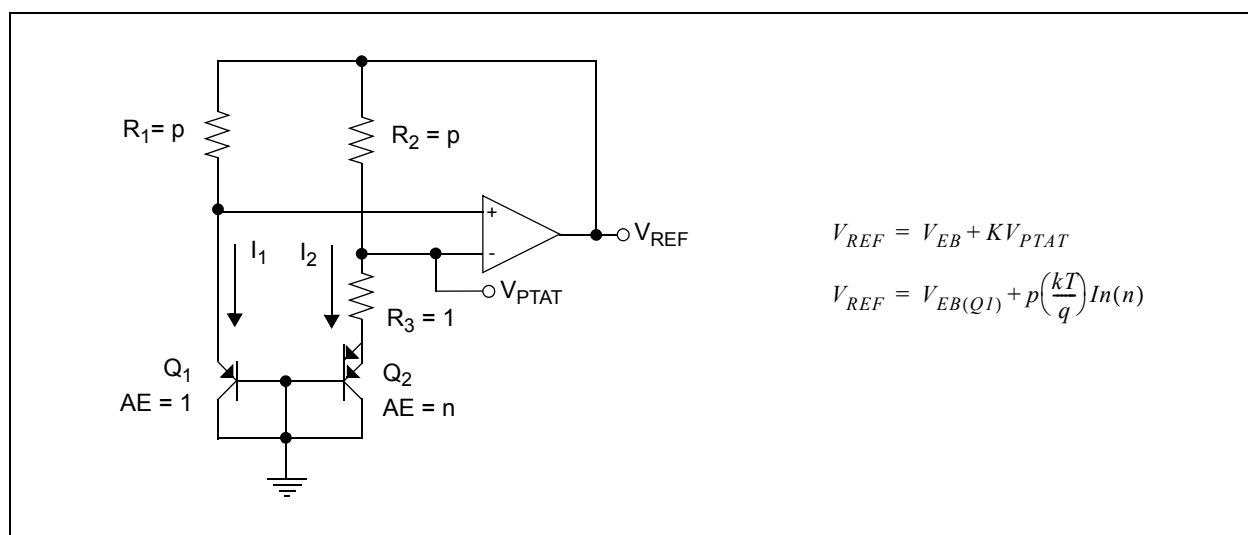


图 A-7: 带隙参考电压构建电路

结论

MCP9700 温度传感器 PICtail 子板演示了将一个模拟输出 IC 温度传感器集成到 PICmicro 单片机器件 (MCU) 的简易性。MCP9700 是一枚 CMOS 数字温度传感器芯片, 它提供了一种测量线性输出电压的方法以解决某些温度管理问题。MCP9700 传感器具备许多系统级优点, 包括将传感器和信号调理电路集成到一个小型 IC 封装中。这样可让系统集成更容易、占用 PCB 板的空间最小、元件数最少以及设计时间最短。

参考书目

1. *"High-Accuracy CMOS Smart Temperature Sensors"*, Bakker, A. and Huijsing, J., Kluwer Academic Publishers, Boston, 2000.
2. AN871, *"Solving Thermal Measurement Problems Using the TC72 and TC77 Digital Silicon Temperature Sensors"*, DS00871, Lepkowski, J., Microchip Technology Inc., 2003.
3. PICkit™ 1 Flash Starter Kit User's Guide, DS40051, Microchip Technology Inc.
4. MCP9700/01 Data Sheet, *"Low-Power Voltage Output Temperature Sensor"*, DS21942, Microchip Technology Inc., 2005.
5. AN571, *"Using Analog Temperature Sensors with ADCs"*, Maxim Semiconductor, 2001.

AN981

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更安全的产品之一。
- 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、microID、MPLAB、PIC、PICmicro、PICSTART、PRO MATE、PowerSmart、rfPIC 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、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、ECAN、ECONOMONITOR、FanSense、FlexROM、fuzzylAB、In-Circuit Serial Programming、ICSP、ICEPIC、Linear Active Thermistor、Mindi、MiWi、MPASM、MPLIB、MPLINK、PICkit、PICDEM、PICDEM.net、PICLAB、PICtail、PowerCal、PowerInfo、PowerMate、PowerTool、REAL ICE、rfLAB、rfPICDEM、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。

© 2006, 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、位于俄勒冈州 Gresham 及位于加利福尼亚州 Mountain View 的全球总部、设计中心和晶圆生产厂均于通过了 ISO/TS-16949:2002 认证。公司在 PICmicro® 8 位单片机、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
Alpharetta, GA
Tel: 1-770-640-0034
Fax: 1-770-640-0307

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 - 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: 86-29-8833-7250
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 - Gumi
Tel: 82-54-473-4301
Fax: 82-54-473-4302

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

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-646-8870
Fax: 60-4-646-5086

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: 43-7242-2244-3910
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