

简化热电偶模拟解决方案

作者: Joseph Julicher
Microchip Technology Inc.

简介

热电偶是最简单的温度传感器。热电偶通常:

- 非常便宜
- 容易制造
- 有效温度范围宽广

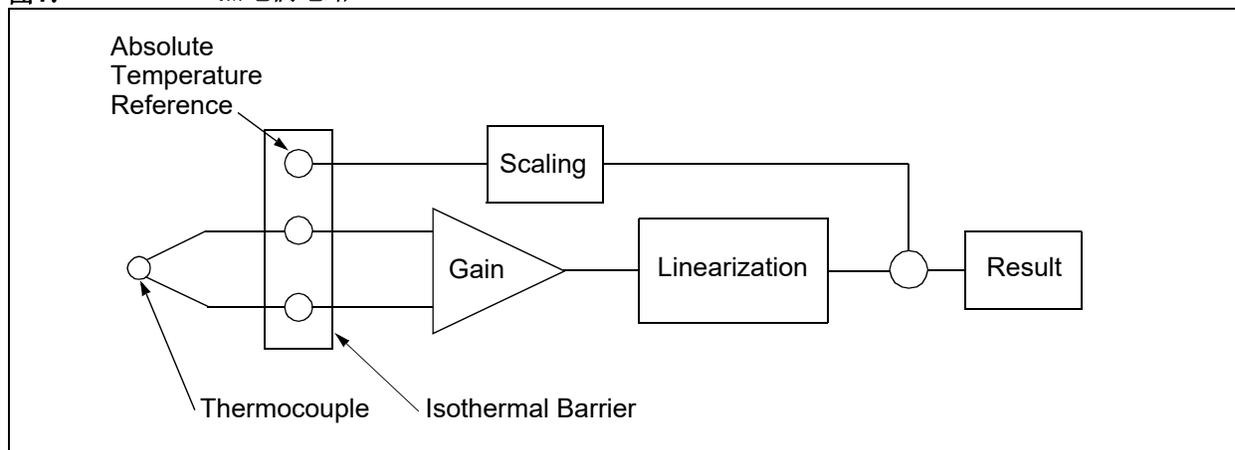
热电偶很多不同的类型, 涵盖几乎所有可能的温度应用。

应用笔记AN684介绍了热电偶基础知识以及一些测量电路。这篇应用笔记是AN684的补充, 介绍了如何利用最少的模拟电路实现良好的精度。涵盖以下内容:

- 不同的线性化技术
- 冷结点补偿
- 诊断

注: MCP9600 和 MCP9601 系列热电偶 IC, 它们为各种热电偶提供工厂调整的即插即用解决方案。

图1: 热电偶电路



全部热电偶系统共用相同的基本特征组件, 如图1所示。热电偶必须穿过等温屏障, 才能确定冷端的绝对温度。理想情况下, 放大器应尽可能靠近该屏障, 以确保连接热电偶和放大器的走线温度不会下降。放大器应具有足够的增益, 以覆盖热电偶所需的温度范围。当热电偶测量的温度低于环境温度时, 有三种选择:

1. 使用工作电压低于负电源的运算放大器。
2. 偏置热电偶, 使其工作电压不高于运算放大器的电源电压。
3. 提供负电源。

某些热电偶与被测器件电连接。在这种情况下, 请确保器件电压在运算放大器的共模范围内。最常见的情况是接地的热电偶。在这种情况下, 选项2不适用, 因为它会导致热电偶与地之间发生短路。

线性化

线性化是一种转换任务, 它产生与输入的线性变化相对应的线性输出或结果。热电偶本质上并非线性器件, 但有两种情况可以假设其为线性:

1. 当有效范围非常小时。
2. 当所需的精度较低时。

例如，热水器的指示灯通常由热电偶监控。这种应用不需要特殊的电子设备，因为唯一需要的精度是能够检测到点火时温度上升600华氏度。而体温计的有效测量范围非常小（90华氏度 - 105华氏度）。如果温度超过有效测量范围，则说明体温计使用不当，或者患者需要住院治疗。

有很多方法可以线性化热电偶结果。图1显示了增益级之后的线性化。有时，线性化是在添加绝对温度基准后进行的。无论线性化发生在何处，也无论其程度如何，线性化对应用都至关重要。

绝对温标

热电偶是一种相对测量装置。换句话说，它们测量两个温度区域之间的温差。有些应用仅对这种温度差感兴趣，但大多数应用需要被测器件的绝对温度。

有些应用仅对这种热差感兴趣，但大多数应用需要被测设备的绝对温度。通过将热电偶温度与热电偶一端的绝对温度相加，可以轻松找到绝对温度。这可以在热电偶电路的任何一点完成。图1显示了线性化后的缩放比例。

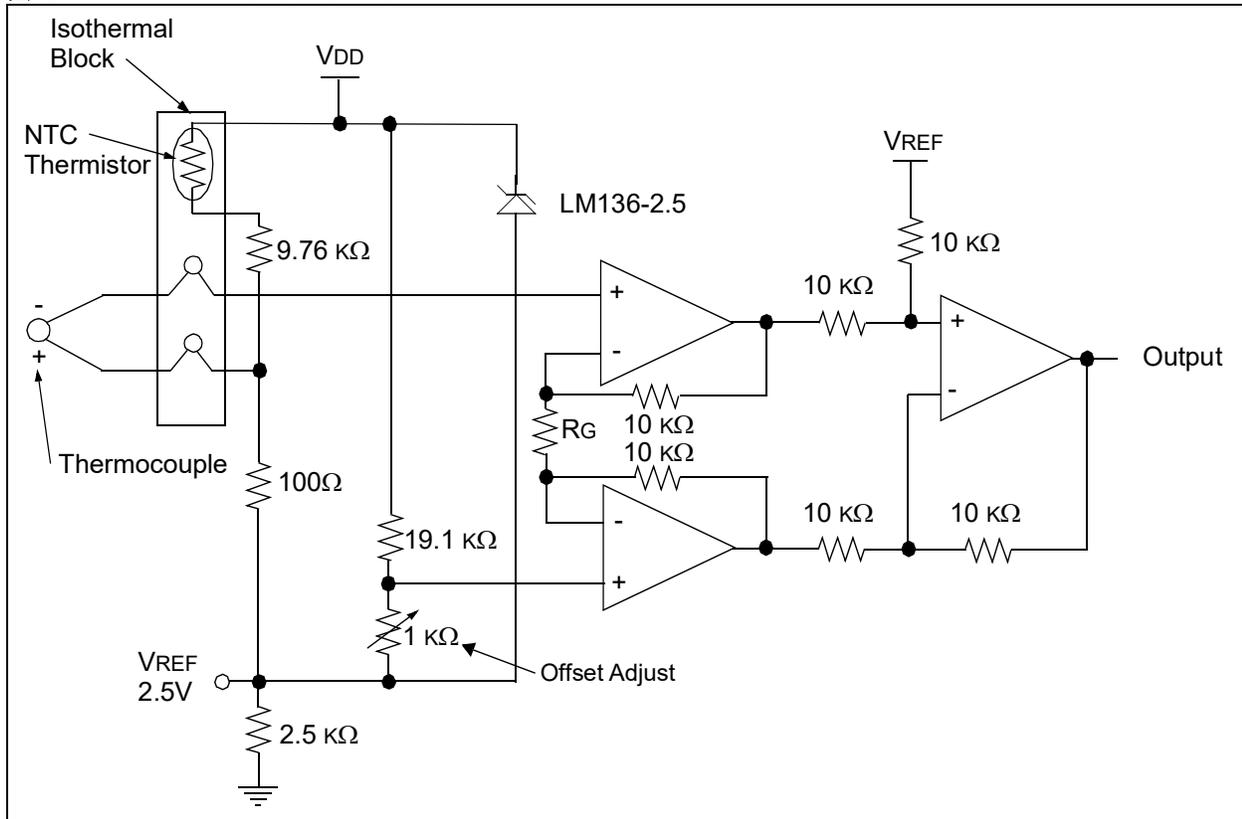
结果

热电偶电路的测量结果是可用的温度指示。有些应用只是在仪表上显示温度。其他应用则执行一些控制或报警功能。当测量结果确定后，热电偶电路的工作就完成了。

纯模拟电路

图2显示了使用热电偶测量温度的纯模拟解决方案。

图2: 纯模拟解决方案



在模拟方案中，热电偶被偏置到2.5V。这使得热电偶能够测量比等温块更高或更低的温度。该实现方式不能用于接地热电偶。为热电偶提供2.5V偏置的偏置网络中包含一个热敏电阻。热敏电阻会调节偏置电压，使热电偶的电压能够跟踪绝对电压。由于热敏电阻和热电偶都是非线性器件，因此需要建立一个线性化系统，同时考虑两者的特性曲线。

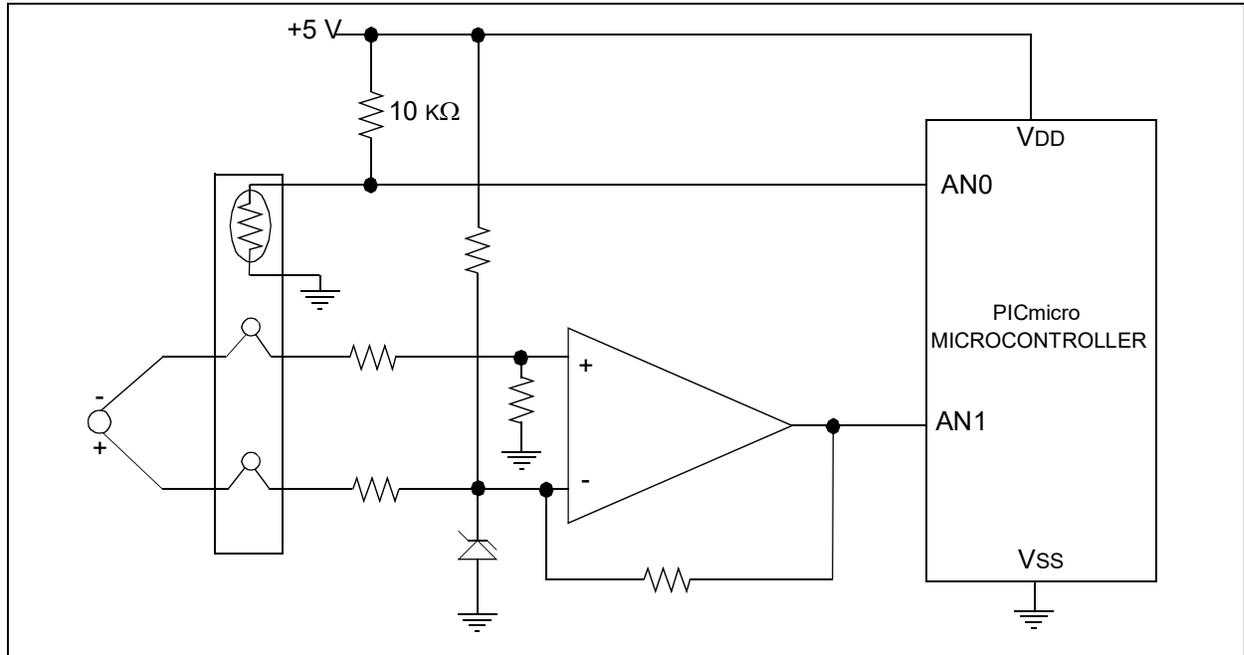
于接地热电偶。为热电偶提供2.5V偏置的偏置网络中包含一个热敏电阻。热敏电阻会调节偏置电压，使热电偶的电压能够跟踪绝对电压。由于热敏电阻和热电偶都是非线性器件，因此需要建立一个线性化系统，同时考虑两者的特性曲线。

简化的数字电路

大多数模拟问题都可以转化为数字问题，热电偶也不例外。如果在图2所示的模拟方案末端加入一个模数转换器（ADC），就可以得到一个简单的数字温度计（至少软件部分会很简单）。然而，通过加入单片机，可以使模拟/线性电路的构建和校准变得更加经济实惠。

如图3所示，电路变得更加简单。该系统仍然使用热敏电阻作为绝对温度参考，但热敏电阻不会影响热电偶电路。这使得热电偶电路大大简化。

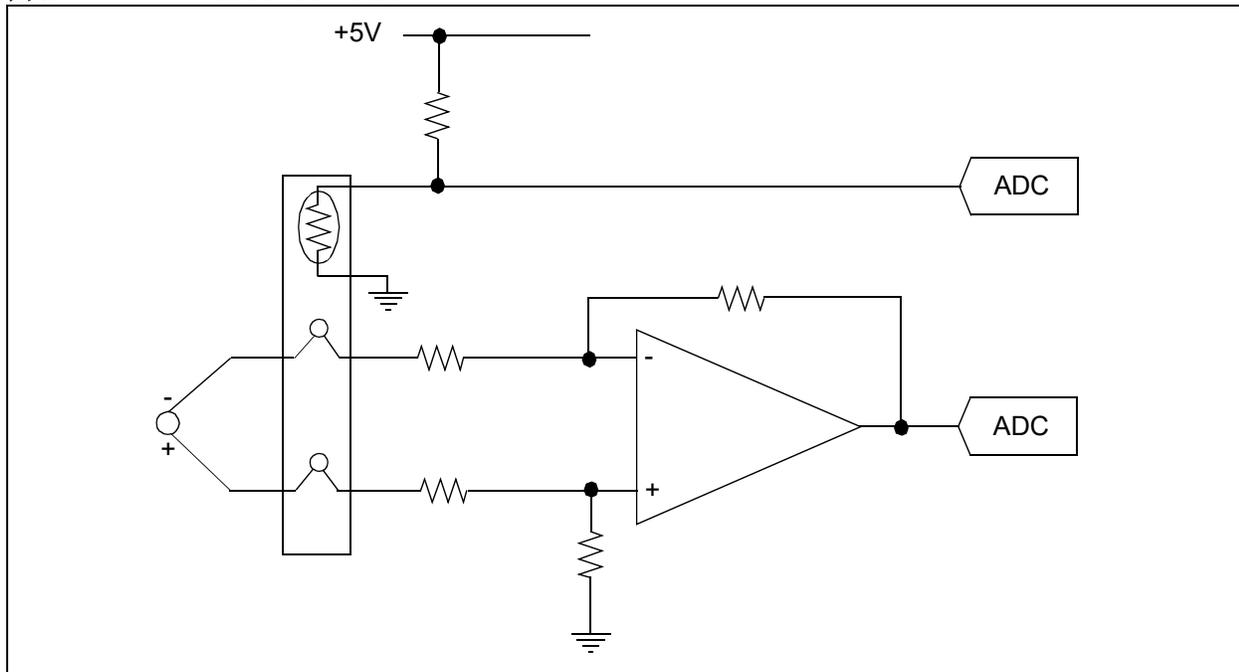
图3: 简化的数字电路



仅测高温或仅测低温

如果应用中只需要测量高温或低温，电路会变得更加简单（见图4）。如果在应用中只需要测量一个方向，可以使用一个简单的差分放大器。所能测量的最低温度取决于运算放大器的品质。如果使用高品质的单电源、轨到轨运算放大器，输入电压可以接近0V，几乎可以测量0度的温差。要在高温测量和低温测量之间切换，只需切换热电偶导线的极性即可。

图4: 仅测量高温或低温



故障检测

当热电偶用于汽车或航空航天等应用时，必须具备某种故障检测功能，因为热电偶的正确运行可能关系到生命安全。在设计过程中，必须考虑热电偶可能出现的几种故障模式：

1. 热电偶导线较脆，在高振动环境下容易断裂。
2. 热电偶导线中的短路会表现得像一个新的热电偶，并且会报告短路点的温度。
3. 导线短接到电源或地线会使高增益放大器进入饱和状态，从而导致错误的高温或低温读数。

这些问题的解决方案取决于具体的应用场景。

测量热电偶的电阻

最全面的热电偶诊断方法是测量其电阻。热电偶每单位长度的电阻值是公开可查的。如果电路能够注入一定电流并测量热电偶两端的电压，就可以确定热电偶的长度。如果没有电流流过，说明电路开路。如果长度发生变化，则说明热电偶发生了短路。这种诊断方法最好由单片机来执行。

数字冷端补偿

数字冷端补偿需要一个绝对温度基准。这个绝对温度基准可以来自任何来源，但必须准确反映热电偶测量端的温度。前面的例子中，使用了等温块中的热敏电阻来测量温度。模拟方案中，热敏电阻直接影响了热电偶的偏置电压。数字方案则使用第二个ADC通道单独测量热电偶的电压。

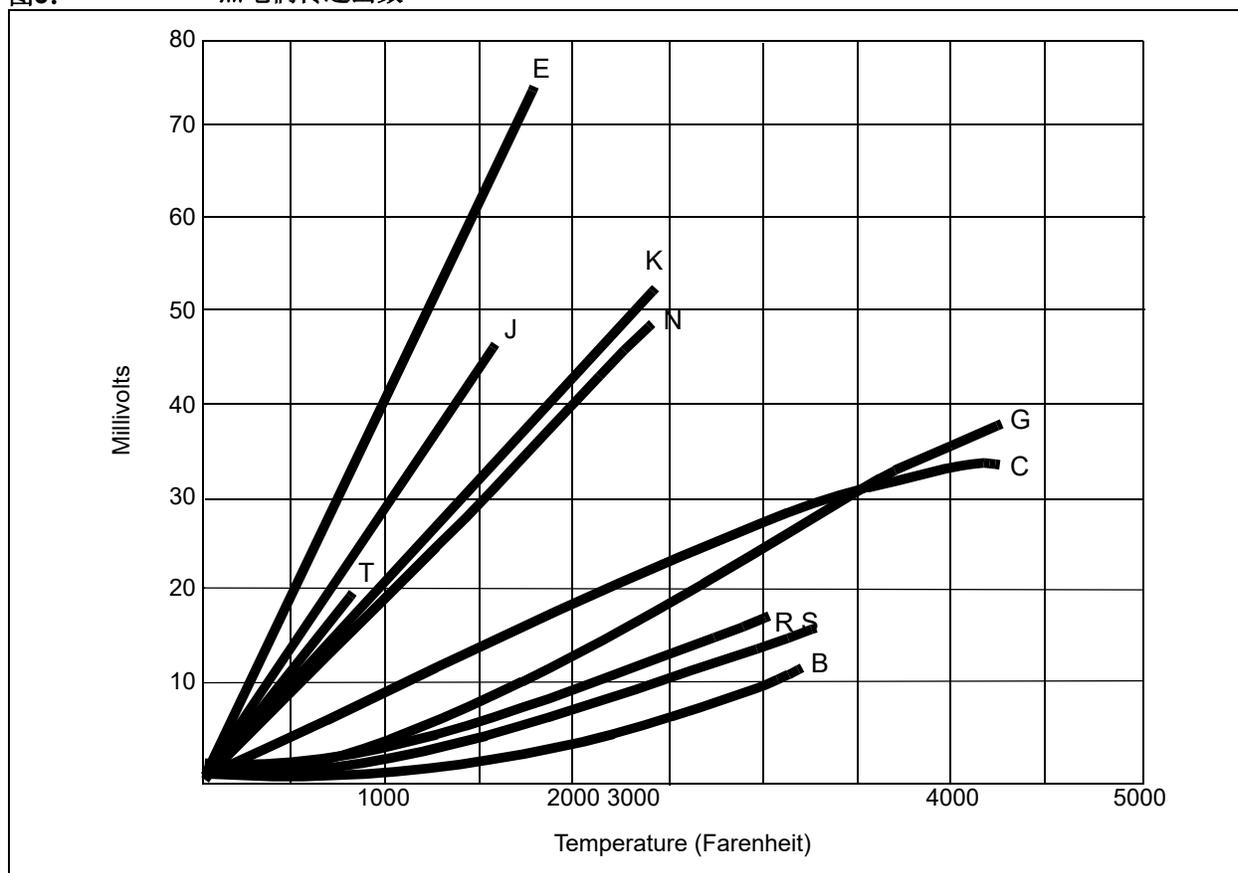
当已知参考温度和热电偶温度时，计算实际温度的公式为：

$$\text{实际温度} = \text{参考温度} + \text{热电偶温度}$$

线性化技术

热电偶的应用必须将热电偶的电压输出转换为热电偶两端的温度。该电压响应不是线性的，并且对于每种类型的热电偶来说也不相同。图5展示了各种热电偶传递函数的大致近似情况。

图5: 热电偶传递函数



线性近似

将热电偶电压转换为温度的最简单方法是线性近似。具体做法是选择一条直线，在适当的温度范围内尽可能贴合电压-温度曲线。对于某些热电偶，这个线性近似的温度范围相当大；而对于其他类型，这个范围则很小。如果对精度要求不高，可以适当扩大线性近似的范围。J型和K型热电偶在其正温度范围内可以用线性近似，最大误差为30度。对于许多应用来说，这样的误差是可以接受的，但如果需要更高的精度，则需要采用其他技术。

多项式

已经发布了用于生成高阶多项式的系数，这些多项式可以描述每种类型热电偶的温度-电压曲线。由于涉及许多有效数字，这些计算最好使用浮点运算来完成。如果PIC®单片机有足够的程序空间来存放这些库，那么这就是最通用的解决方案。

表1: J型热电偶数据表 – 温度与电压关系

系数	温度-210 °C至760 °C	温度760 °C至1200 °C
C0	0.0000000000E+00	2.9645625681E+05
C1	5.0381187815E+01	-1.4976127786E+03
C2	3.0475836930E-02	3.1787103924E+00
C3	-8.5681065720E-05	-3.1847686701E-03
C4	1.3228195295E-07	1.5720819004E-06
C5	-1.7052958337E-10	-3.0691369056E-10
C6	2.0948090697E-13	0.0000000000E+00
C7	-1.2538395336E-16	0.0000000000E+00
C8	1.5631725697E-20	0.0000000000E+00

注: $v = c_0 * t + c_1 * t^1 + c_2 * t^2 + c_3 * t^3 + c_4 * t^4 + c_5 * t^5 + c_6 * t^6 + c_7 * t^7 + c_8 * t^8$
 v = 电压
 t = 如果使用上表, 则温度以摄氏度 (°C) 表示。

查找表 (LUT)

线性化数据最简单的方法是构建查找表 (LUT)。LUT 的大小应根据可用空间和所需精度进行调整。可以使用电子表格将系数转换为正确的数据表。每种类型的热电偶都需要一个查找表。如果使用高精度 (大型查找表), 最好尽量减少热电偶类型的数量。

为了最小化查找表的大小, 可以结合使用多种技术。查找表和线性近似法的组合可以将 J 或 K 误差降低到几度。

构建发动机温度监测器

背景

热电偶的一个应用是测量发动机参数。风冷发动机 (如用于飞机的发动机) 需要对缸盖温度 (CHT) 和排气温度 (EGT) 进行良好的控制。通常, 这种控制由飞行通过调节以下项目来实现:

- 燃油混合比
- 功率设置
- 爬升/下降速率

由于混合比用于控制温度, 因此准确测量排气温度 (EGT) 的能力会直接影响燃油经济性。对于风冷发动机来说, 缸盖温度 (CHT) 至关重要, 因为气缸材料存在机械极限。如果气缸冷却过快 (即 冲击冷却), 气缸或活塞环可能会开裂, 气门也可能变形。通常, 冲击冷却发生在低油门设置下快速下降时。

器件

用于测量这些发动机参数的理想器件, 排气温度 (EGT) 的测量范围应为 300°F 至 900°F, 缸盖温度 (CHT) 的测量范围应为 300°F 至 600°F。此外, 器件还需要具备短路/开路诊断功能, 以便在需要维护时提醒飞行员。电子元件应安装在适宜的位置, 该位置的总温度范围应为 -40°F 至 +185°F, 这样可以简化热电偶电路。测得的数据将通过 RS-232 接口, 在 PC 端的终端程序上显示。

放大器

放大电路分为两个级。第一级是差分放大器, 对热电偶提供 10 倍增益和高输入阻抗。第二级是单端输出级, 对于 K 型热电偶提供 25 倍增益, 对于 J 型热电偶提供 17 倍增益。所选用的放大器是 MCP619, 这款器件因其轨到轨输出和极低的输入失调电压 (VOS) 而被选中。热电偶位于高频/射频环境中, 因此在输入端和各级之间使用了小电容来滤除噪声。与大多数射频源一样, 这些环境通常都有很好的屏蔽。由于温度变化较慢, 对信号进行强力滤波以消除噪声不会影响温度测量的准确性。

数字转换与冷端补偿

信号通过MCP3004模数转换芯片（A/D转换器）转换为数字信号。绝对温度通过MCP3004的第三通道上的TC1046进行测量。数据由PIC16F628接收，并通过RS-232接口转换为常规的温度报告。为了将电压转换为温度，转换结果的最高有效8位用于在一个256项的查找表（LUT）中进行索引。剩下的2位用于对查找表中相邻两点之间的数据进行线性插值。PIC16F628的存储器中存储了三张表。这些表分别用于：

- J型热电偶
- K型热电
- TC1046A

TC1046A具有线性输出，但我们也可以很容易地用非线性的热敏电阻来完成同样的任务。

查找表（LUT）生成

使用电子表格生成了8位查找表。电压到温度曲线的多项式值被用于生成电压到温度的转换表。电压值是来自模数转换器（ADC）的预测值。构建了一个包含256项的表格，用于将ADC计数值转换为温度。温度范围从0°C到535°C。由于该表只能存储8位的温度值，因此选择了两个点作为基准点。在第一个点，温度值减去255°C；在第二个点，温度值减去510°C。最终的温度可以通过适当加回这两个常数来轻松还原。通过利用10位转换结果中的额外2位，在8位表中相邻两点之间进行插值，可以获得更高的分辨率。这样，通过假设查找表中各点之间为线性响应，数据点数量将增加到原来的四倍。

结论

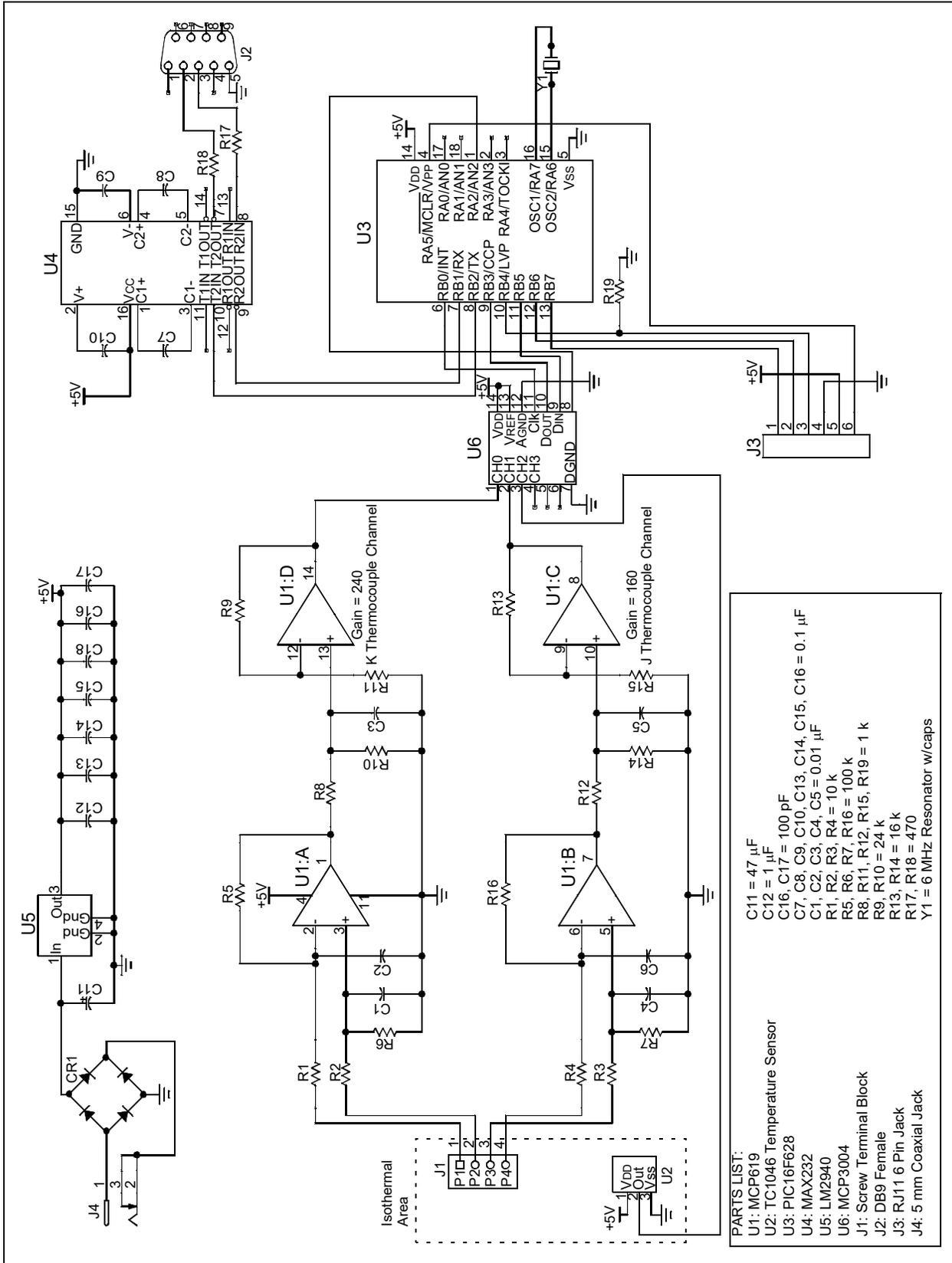
热电偶可能是比较棘手的器件，但当将问题从硬件模拟元件转移到软件处理时，它们就变得更容易管理了。使用热电偶时，唯一真正的要求是提供一个高质量的放大器，在将信号转换为数字形式之前对信号进行检测和放大。

存储器使用

表2: 软件的存储器使用

程序存储器	文件寄存器	数据EEPROM
1399字	28字节	0字节

附录A： 排气气体和缸盖温度监测装置原理图



- PARTS LIST:**
- U1: MCP619
 - U2: TC1046 Temperature Sensor
 - U3: PIC16F628
 - U4: MAX232
 - U5: LM2940
 - U6: MCP3004
 - J1: Screw Terminal Block
 - J2: DB9 Female
 - J3: RJ11 6 Pin Jack
 - J4: 5 mm Coaxial Jack
 - C11 = 47 μ F
 - C12 = 1 μ F
 - C16, C17 = 100 pF
 - C7, C8, C9, C10, C13, C14, C15, C16 = 0.1 μ F
 - C1, C2, C3, C4, C5 = 0.01 μ F
 - R1, R2, R3, R4 = 10 k
 - R5, R6, R7, R16 = 100 k
 - R8, R11, R12, R15, R19 = 1 k
 - R9, R10 = 24 k
 - R13, R14 = 16 k
 - R17, R18 = 470
 - Y1 = 6 MHz Resonator w/caps

参考资料

应用笔记AN684

Omega 温度传感手册

附录B：版本历史

版本B（2020年12月）

在第1页新增了MCP9600和MCP9601系列；
对整个文档做了一些文字上的修改和调整。

版本A（2002年）

本文档的初始版本。

请注意以下有关 Microchip 产品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规范。
- Microchip 确信：在正常使用且符合工作规范的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- Microchip 注重并积极保护其知识产权。严禁任何试图破坏 Microchip 产品代码保护功能的行为，这种行为可能会违反《数字千年版权法案》(Digital Millennium Copyright Act)。
- 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之中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。

提供本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。

本出版物及其提供的信息仅适用于 Microchip 产品，包括设计、测试以及将 Microchip 产品集成到您的应用中。以其他任何方式使用这些信息都将被视为违反条款。本出版物中的器件应用信息仅为您提供便利，将来可能会发生更新。如需额外的支持，请联系当地的 Microchip 销售办事处，或访问 <https://www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-supportservices>。

Microchip “按原样”提供这些信息。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，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。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损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

有关 Microchip 质量管理体系的更多信息，请访问 www.microchip.com/quality。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maxStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Flashtec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、Liberio、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、Clockstudio、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、EyeOpen、GridTime、IdealBridge、IGaT、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、IntelliMOS、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、MarginLink、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、mSiC、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、Power MOS IV、Power MOS 7、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SmartHLS、SMART-I.S、storClad、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、Trusted Time、TSHARC、Turing、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Incorporated 在美国的服务标记。Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 均为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2025, Microchip Technology Incorporated 及其子公司版权所有。

ISBN:

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://www.microchip.com/support>

网址: www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA
Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

奥斯汀 Austin, TX
Tel: 1-512-257-3370

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
Novi, MI
Tel: 1-248-848-4000

休斯敦 Houston, TX
Tel: 1-281-894-5983

印第安纳波利斯 Indianapolis
Noblesville, IN
Tel: 1-317-773-8323
Fax: 1-317-773-5453
Tel: 1-317-536-2380

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608
Tel: 1-951-273-7800

罗利 Raleigh, NC
Tel: 1-919-844-7510

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110
Tel: 1-408-436-4270

加拿大多伦多 Toronto
Tel: 1-905-695-1980
Fax: 1-905-695-2078

亚太地区

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-577-8366

亚太地区

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

印度 **India - Bangalore**
Tel: 91-80-3090-4444

印度 **India - New Delhi**
Tel: 91-11-4160-8631

印度 **India - Pune**
Tel: 91-20-4121-0141

日本 **Japan - Osaka**
Tel: 81-6-6152-7160

日本 **Japan - Tokyo**
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 **Korea - Daegu**
Tel: 82-53-744-4301

韩国 **Korea - Seoul**
Tel: 82-2-554-7200

马来西亚
Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-7651-7906

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

菲律宾 **Philippines - Manila**
Tel: 63-2-634-9065

新加坡 **Singapore**
Tel: 65-6334-8870

泰国 **Thailand - Bangkok**
Tel: 66-2-694-1351

越南 **Vietnam - Ho Chi Minh**
Tel: 84-28-5448-2100

欧洲

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

丹麦 **Denmark - Copenhagen**
Tel: 45-4485-5910
Fax: 45-4485-2829

芬兰 **Finland - Espoo**
Tel: 358-9-4520-820

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

德国 **Germany - Garching**
Tel: 49-8931-9700

德国 **Germany - Haan**
Tel: 49-2129-3766400

德国 **Germany - Heilbronn**
Tel: 49-7131-72400

德国 **Germany - Karlsruhe**
Tel: 49-721-625370

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

德国 **Germany - Rosenheim**
Tel: 49-8031-354-560

以色列
Israel - Hod Hasharon
Tel: 972-9-775-5100

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

意大利 **Italy - Padova**
Tel: 39-049-7625286

荷兰 **Netherlands - Drunen**
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

挪威 **Norway - Trondheim**
Tel: 47-7288-4388

波兰 **Poland - Warsaw**
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚
Romania - Bucharest
Tel: 40-21-407-87-50

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

瑞典 **Sweden - Gothenberg**
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 **Sweden - Stockholm**
Tel: 46-8-5090-4654

英国 **UK - Wokingham**
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820