

利用 PIC[®] MCU 中的 CTMU 测量温度

作者: Padmaraja Yedamale
Microchip Technology Inc.

最新一代 PIC24F 和 PIC18F 器件包含的充电时间测量单元 (Charge Time Measurement Unit, CTMU) 使用恒流源来计算电容值的变化以及事件的间隔时间。运用半导体物理学的基本原理, 同样的电流源也可用来测量温度。这允许使用普通而廉价的二极管来取代相对昂贵的热敏电阻和温度传感器。本技术简介描述了使用 CTMU 来测量温度的基本概念。

基本原理

二极管等的 P-N 结正向电压 (V_F) 的计算可由计算结点热电压的公式延伸而来, 如下所示:

$$V_F = \frac{kT}{q} \ln\left(1 + \frac{I_F}{I_S}\right)$$

其中 k 为 Boltzmann 常数 ($1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$), T 是以开尔文 (kelvin) 为单位表示的绝对结温, q 是电子电荷 ($1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$), I_F 是二极管的正向电流, I_S 是二极管的饱和特征电流。

k 和 q 是物理常数, I_S 是器件常数, 因此只有 T 和 I_F 是独立变量。若 I_F 保持不变, 那么由公式可见 V_F 将随 T 变化。由于公式中自然对数项始终为负, 因而温度与 V_F 成反比。换言之, 温度升高则 V_F 下降。

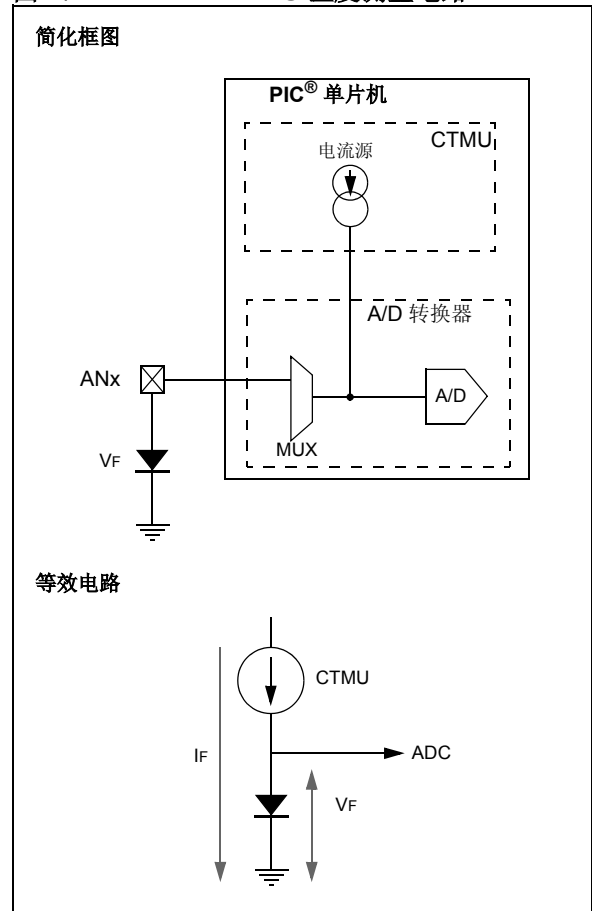
使用 CTMU 的电流源来提供恒定的 I_F , 就有可能通过测量二极管两端的 V_F 来计算温度。

实现方案

要将理论付诸于实践, 只需将一个常规 P-N 结二极管连接到单片机的一个 A/D 引脚 (图 1)。A/D 通道多路开关由 CTMU 和 ADC 共用。

要执行测量, 应配置多路开关选择连有二极管的引脚。然后开启 CTMU 电流源, 对选定的通道执行 A/D 转换。如等效电路图所示, CTMU 以电流 I_F 驱动二极管。二极管两端的电压 V_F 由 ADC 测量。

图 1: CTMU 温度测量电路



实验验证

为了检验理论的正确性，在受控温度环境内对几个具有简单 P-N 结的器件进行测试，按上述方式测量 V_F 。测试中使用了三个常见的硅二极管，两个常见的双极晶体管和两个 LED。还将两个二极管（1N914）并联在一起作为一个单元进行了额外的试验。使用 3.3V 的 ADC 参考电压（VREF）对每个器件进行了评估。

温度的变化范围为 0°C 至 105°C（包括两个边界点在内），共执行了 256 次转换，每次转换的温度间隔大约为 5°C。记录下每个温度点的 ADC 读数（与电压成正比），这些读数被用来直接计算分辨率并转换为电压值来计算温度 - 电压曲线的斜率。

分辨率（表示为温度 / ADC 单位计数值）计算如下：

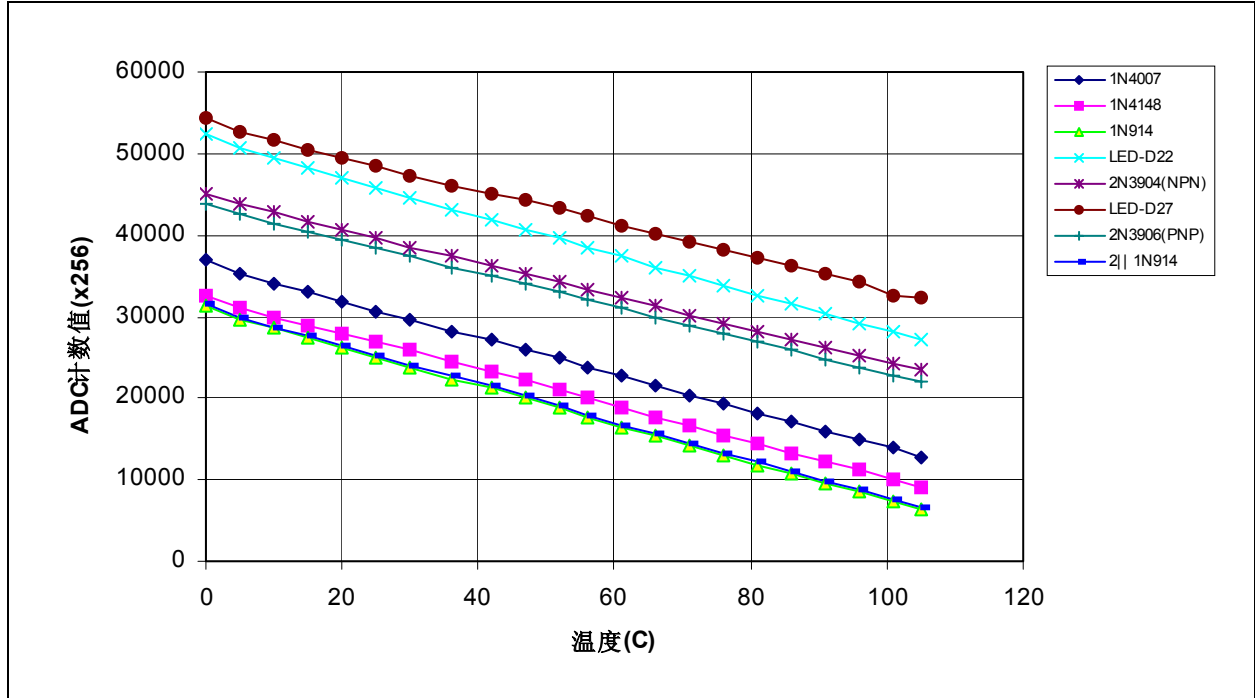
$$\frac{\text{采样次数} \times \text{温度范围}}{\text{最低温度计数值} - \text{最高温度计数值}}$$

表 1 汇总了试验的结果，图 2 则给出了结果的图形表示。不难看出，温度与 V_F 成反比。和预期的一样，结点温度和正向电压基本上呈线性关系。这样就可以将随处都买得到的二极管或廉价的半导体元器件配合 MCU 形成低分辨率的温度传感器。

表 1: 不同器件不同温度下的 V_F 实验值（以 ADC 计数值表示）

元件	ADC 读数（256 次采样）		分辨率 (°C/ 单位计数值)	斜率
	最低温度	最高温度		
1N4007	36,890	12,815	1.12	-2.88 mV/°C
1N4148	32,500	8,980	1.15	-2.8 mV/°C
1N914	31,500	6,417	1.08	-2.98 mV/°C
2N3904 (NPN)	45,100	23,560	1.26	-2.56 mV/°C
2N3906 (PNP)	43,860	22,020	1.24	-2.60 mV/°C
SML-LXT0805GW-TR (绿色 LED)	52,500	27,150	1.07	-3.01 mV/°C
CML 5311F (红色 LED)	54,280	32,265	1.23	-2.62 mV/°C
两个 1N914 (并联)	31,500	6,660	1.09	-2.95 mV/°C

图 2: 测试器件 ADC 值与温度的变化关系



提高温度测量的分辨率

这里给出的方法对于分辨率约为 1°C 的情况已经足够了。在大多数情况下，这意味着 A/D 通道电压的变化约为 3 mV。从这样的比例看来，要获取更高的分辨率，就需要破除 A/D 转换器的局限性。要实现更高的温度分辨率，需要对转换的方法稍作改变，包括：

- 降低 ADC 的参考电压。对温度分辨率起决定性作用的因素之一就是 VREF 的选取。VREF 的值越小，能转换的电压差就越大，那么每度之间 ADC 读数的递增量也就越大，从而提高分辨率。表 2 给出了 ADC 采用 2.0V VREF 时，预期同样的实验会得到的温度分辨率。
- 将两个二极管串联。虽然这本身不会提高分辨率，但是温度每变化一个单位值所对应的电压变化量却翻倍了，因而提高了精度。
- 利用一个运放增加一级电压放大电路。通过增大 ADC 的输入电压并将其与 ADC 参考电压作比较，从而提高分辨率。虽然这增加了几个外部元件，需要花费一定的成本，但对于需要更精确地确定温度的应用是非常理想的。

表 2: VREF 为 2.0V 时的预期温度分辨率

元件	分辨率 (°C/单位计数值)	
	VREF = 3.3V (观察值)	VREF = 2.0V (预估值)
1N4007	1.12	0.68
1N4148	1.15	0.69
1N914	1.08	0.66
2N3904	1.26	0.76
2N3906	1.24	0.75
SML-LXT0805GW-TR	1.07	0.64
CML 5311F	1.23	0.74
两个 1N914 (并联)	1.09	0.66

结论

对于使用带有 CTMU 的 PIC18F 或 PIC24F 器件的应用，添加温度测量功能不必依赖于使用特殊的温度传感器。仅需使用常见的二极管并在应用固件中添加少量代码即可实现这样的功能。因此增加这一额外功能所造成的成本增加的确非常小。

参考资料

《PIC24F 系列参考手册》第 11 章 “充电时间测量单元 (CTMU)” (DS39724A_CN), Microchip Technology Inc., 2008。

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、适用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、MPLAB、PIC、PICmicro、PICSTART、rfPIC、SmartShun 和 UNI/O 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

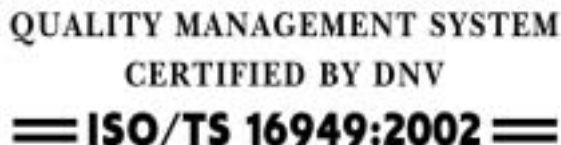
FilterLab、Hampshire、Linear Active Thermistor、MXDEV、MXLAB、SEEVAL、SmartSensor 和 The Embedded Control Solutions Company 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Analog-for-the-Digital Age、Application Maestro、CodeGuard、dsPICDEM、dsPICDEM.net、dsPICworks、dsSPEAK、ECAN、ECONOMONITOR、FanSense、In-Circuit Serial Programming、ICSP、ICEPIC、Mindi、MiWi、MPASM、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、mTouch、nanoWatt XLP、PICkit、PICDEM、PICDEM.net、PICtail、PIC³² 徽标、PowerCal、PowerInfo、PowerMate、PowerTool、REAL ICE、rfLAB、Select Mode、Total Endurance、TSHARC、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。

© 2009, Microchip Technology Inc. 版权所有。



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。



MICROCHIP

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

克里夫兰 Cleveland
Independence, OH
Tel: 216-447-0464

Fax: 216-447-0643

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: 886-3-6578-300
Fax: 886-3-6578-370

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: 91-80-3090-4444
Fax: 91-80-3090-4080

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

03/26/09