

电容触摸传感简介

作者: Tom Perme
Microchip Technology Inc.

介绍

电容触摸传感应用越来越流行，并在消费应用中也深受欢迎。本应用笔记将介绍一种使用若干 Microchip 器件的电容触摸传感解决方案。应用笔记针对 PIC16F616 系列、PIC16F690 系列以及 PIC16F887 系列器件，它们代表了引脚数从低至高的 8 位单片机。

目前业内已有好几种电容触摸传感技术存在。多数技术是基于测量由于人手指触摸产生额外电容而改变的频率或占空比。有些其他的方法则使用电荷平衡或是充电上升及下降时间的测量。本解决方案使用自激 RC 振荡器来测量频率。

历史简介

电容触摸传感大约在 50 多年前就已经出现，现在已经变得越来越易于实现且应用更为广泛。触摸灯是电容触摸开关的一个经典示例。触摸灯的出现已有很长一段时间，它由一个简单的电容式开关来开启、关闭灯泡及调节灯的亮度。

新技术使得可以对触摸按钮实现更为复杂的控制。其关键是要有具有混合信号外设的单片机。单片机提供了完成电容触摸传感、决策、响应以及其他系统相关任务的能力。

构建良好的传感器

现在简要地介绍一下背景知识，包括 PCB 焊盘的自然电容和当手指触压焊盘时将发生的情况，这将有助于阐明如何构建良好传感器。

图 1: 电容图解

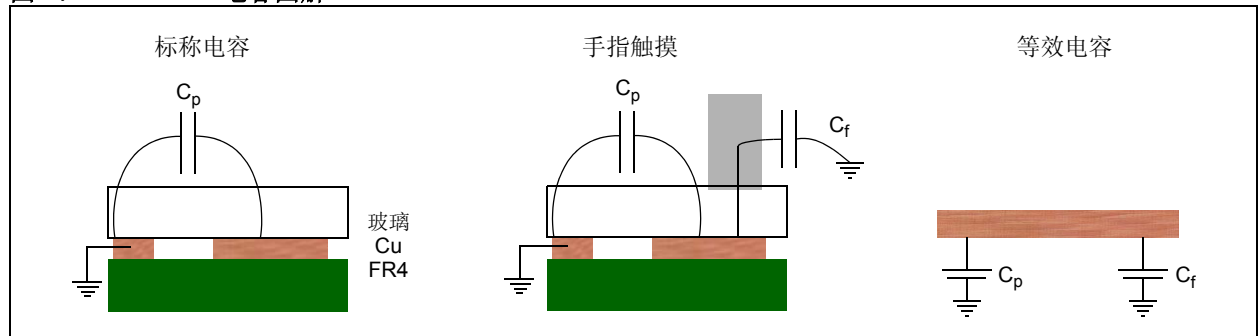


图 2: 简单的 RC 电路

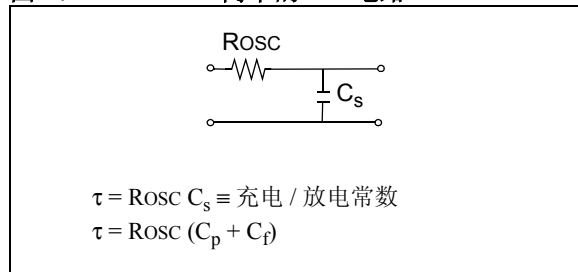


表 1: 术语表

缩写	说明
ϵ_0	真空的介电常数
ϵ_r	相对介电常数
d	电容极板之间的距离
A	极板面积
C	电容

公式 1: 电容公式

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

由于玻璃—手指—地之间产生电容，我们才能够检测到触压，该电容与电路对地的自然寄生电容并联。并联电容相加，所以当手指接近焊盘时总电容将变大。电容增量的百分比是：

$$\Delta C\% = (C_p + C_f) - C_p / C_p = C_f / C_p。$$

电容增量就是我们检测的依据，手指将引入额外的电容，导致振荡器的 RC 时间常数改变。稍后将看到，RC 时间常数增加，振荡器频率将减小，在单片机中将检测这一频率变化。

还值得注意的是，希望 C_p 比较小，因为我们知道 C_f 非常小。如果 C_p 较小，则电容和频率的增量百分比将比较大。已知手指触压产生的电容范围在 5-15 pF 之间。不应把手指电容视作常数，也不要认为它与环境无关。关于如何使 C_p 较小以及其他相关因素的详细信息，请见应用笔记 AN1102 《电容触摸传感器布板和物理设计指南》。

既然已经知道了要检测什么，现在我们还需要一个振荡器，其频率取决于电容器的感应极板 C_s 。图 3 的电路能够实现这一目标。该设计使用了一个松弛振荡器来产生频率，频率取决于电容器的值。RC 振荡器的电阻值是设计参数，用来确保振荡频率在 100-400 kHz 范围内。频率的精确值并不重要，但是在测量过程中，较高的频率将产生更多的计数，因而精度要比较低频率的精度高。

为了检测按钮是否按下，首先必须恰当地配置系统。然后有下列几个关键步骤：

1. 通过传感器电容发出振荡信号。
2. 使用 T1CKI 对正边沿进行计数。
3. 在固定的测量周期结束时，获取读数（频率的计数值）
4. 判断当前频率是否低于正常的未触压的平均值。

振荡器工作原理

松弛振荡器是一个自激 RC 振荡器，它使用 2 个带 SR 锁存的比较器来改变感应电容器电压的充电方向，进行充电或者放电。电容器充放电的速率由 RC 时间常数来确定，通过比较器的正输入端来设置充电的上下限。从下限充电到上限，然后放电重新回到下限的时间，就是振荡器的周期。

振荡器电路如图 3 所示。比较器的正输入端决定充电的上下限。 $C1+$ 是内部信号，但 $C2+$ 必须接外部信号以便设置充电下限。1000 pF 的电容用来滤除来自电源的高频噪声并确保有一个稳定的下限。电压 V_L 将在上下限之间充电放电，它由 $C2OUT$ 的逻辑电平信号驱动。比较器 2 的输出 $C2OUT$ 配置为 $\bar{Q}$ ，以便获得相应的充放电行为。反馈电阻 R 与传感器极板（用 C_s 表示）一起形成了 RC 回路。

当电容器 C_s 上电压 V_L 低于下限时， $C2OUT$ 就将变高电平，系统将开始充电。如果 V_L 在上下限之间，则系统将保持前一个状态（充电或放电）。当 V_L 超过上限，则 $C2OUT$ 将变低，系统将开始放电，然后在中间区域持续放电。

充放电周期的图示请参见图 4。输出 $\bar{Q}$ 以及它表示的充电或放电状态，要根据每个比较器的负输入端对正输入端的相对值以及 SR 锁存的值来确定。

图 3： 振荡器电路

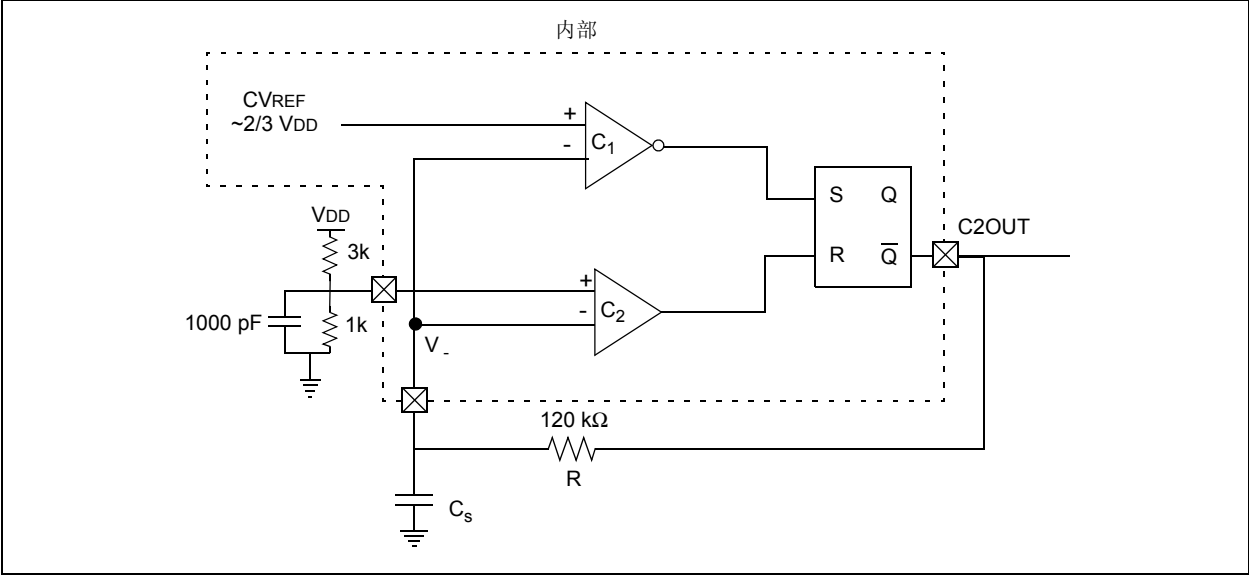


图 4： 充放电周期

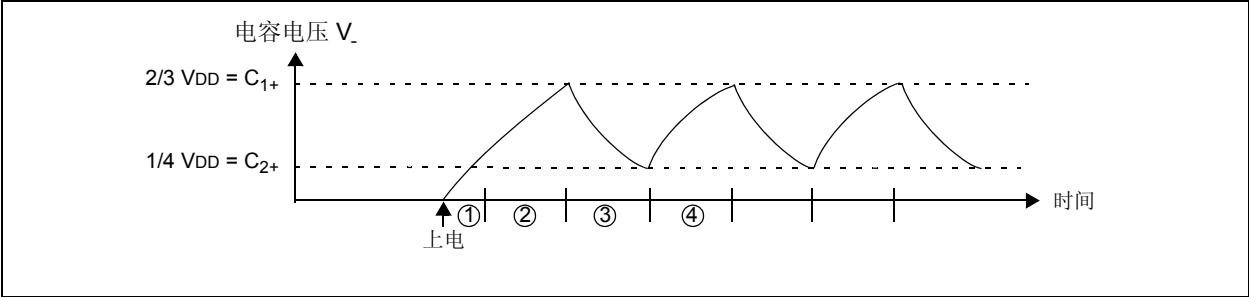


表 2： 工作时间段

时间段	置位	复位	C2OUT 结果	动作
1	$C1+ > V_-$ $S = 0$	$C2+ > V_-$ $R = 1$	$\Rightarrow \overline{Q} = 1$	开始充电
2	$C1+ > V_-$ $S = 0$	$C2+ < V_-$ $R = 0$	$\Rightarrow \overline{Q} = \overline{Q}_{n-1}$	持续状态（充电）
2 $\Rightarrow$ 3	$C1+ < V_-$ $S = 1$	$C2+ < V_-$ $R = 0$	$\Rightarrow \overline{Q} = 0$	开始放电
3	$C1+ > V_-$ $S = 0$	$C2+ < V_-$ $R = 0$	$\Rightarrow \overline{Q} = \overline{Q}_{n-1}$	持续状态（放电）
3 $\Rightarrow$ 4	$C1+ > V_-$ $S = 0$	$C2+ < V_-$ $R = 1$	$\Rightarrow \overline{Q} = 1$	开始充电
4 = 2	如时间段 2，开始重复充电周期。			

测量频率

一旦振荡器构建好了，就必须监控它的频率，检测是否有手指触压导致的频率下降。图 5 是更完整的原理图，其中 C2OUT 不仅驱动振荡器，而且还连接到 Timer1 的时钟输入 T1CKI。每次当 C2OUT 从 0 变到 1 时，Timer1 都将增加一。如果不受干扰的话，Timer1 将一直不停地增加，最后翻转归零。不过，这对于电容触摸传感而言，没有什么用处。

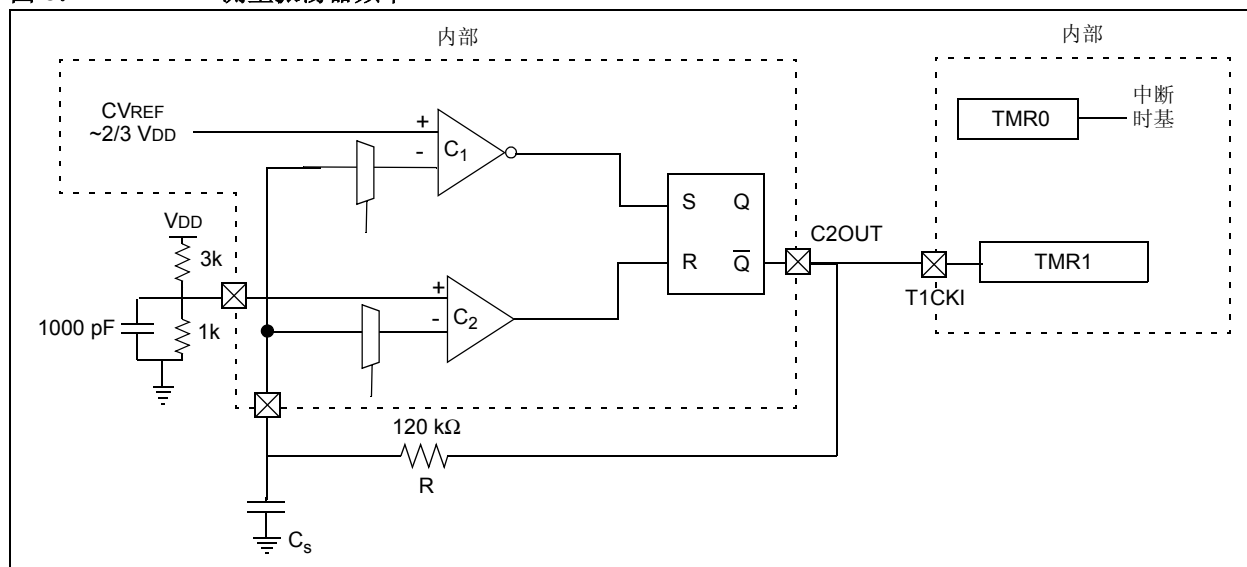
为了使 Timer1 变得有用，就要用固定的时基在一段确定的时间内测量频率。Timer0 提供了这样的周期固定的时基。在开始测量时，Timer0 清零，然后计数至 255，而后将溢出。溢出时，Timer0 的中断 T0IF 将使程序通

过中断向量跳转到中断服务程序。然后读取 TMR1 的值，与前一个读数进行比较。这样，就完成了对按钮的一次扫描。如果 TMR1 的当前值明显变低，那么电容增加，频率下降，于是就检测到有按钮按下。

考虑到周围电路的影响，可以把新值进行平均，得到一个滑动平均值，这将成为比较的基准值。在中断服务程序最后，一旦确定按钮按下且设置了对应标志位后，Timer1 和 Timer0 都将被清零，重新开始准备读取下一个读数。

注： 必须设置 Timer0 的预分频器，使得 Timer0 在 Timer1 之前溢出。

图 5: 测量振荡器频率



检测按钮是否按下

到了这个阶段，系统剩下的工作是检测并报告是否有按钮按下。每次扫描完成后由 T0IF 发出常规中断来调用中断服务程序是完成剩下部分工作的最佳选择。

一种观测频率是否下降的简单方法是使用三个无符号整型变量，它们是：

```
unsigned int average;
unsigned int raw;
unsigned int trip;
```

变量 **average** 存放前面 16 个采样值的滑动平均值；**raw** 是从 Timer1 读取的当前传感器数据；而 **trip** 则是按钮按下时频率与平均值的差。最简单的检测按钮是否按下的算法就是测试 **raw** 是否比平均值还要小某个固定值，其代码示例如下。

例 1：简单按钮检测

```
ISR {
    ...

    if (raw < (average - trip))
        // 按钮按下

    else
        // 按钮没有按下

    // 对当前读数进行平均
    average = average*15/16 + raw/16;

    ...
}
```

作为演示示例，假设在手指没有按下按钮时，振荡器读数是 10,000。则 **average** 和 **raw** 都将是 10,000。而设计人员假定 **trip** 取值 1000 是个很好的选择。一旦某人按下按钮，**raw** 值马上下降至 8500，而 **average** 仍然是 10,000。例 1 中“if 语句”将为真，因为 8500 小于 9000。按钮按下。而后，由于按钮按下，可以设置标志位或者进行响应。

注： 检测按钮是否按下的更好的软件算法，在 AN1103《电容触摸传感的软件处理》中进行了讨论。上面的例子非常简化地说明了频率下降是检测按钮是否按下的常用基本的方法。

配置 PIC® MCU

目前有三个系列的 PIC 单片机能实现前面介绍的方法，它们是 Microchip PIC16F616 系列、PIC16F690 系列以及 PIC16F887 系列。用于电容触摸传感的基本寄存器设定是一样的，尽管系列之间的差异可能导致寄存器设定值上有小小的不同。**附录 A：“PIC16F887 系列的寄存器设置”** 详细说明了如何正确设置 PIC16F887 系列。对于其他系列的器件，也可把 **附录 A：“PIC16F887 系列的寄存器设置”** 用作设置寄存器位的指导。

用于电容触摸传感时需要设置的寄存器如下：

- CM1CON0
- CM2CON0
- CM2CON1
- SRCON （或等同的 SRCON0）
- VRCON
- ANSEL （有时则是 ANSELH）
- TRISx （对于所有的输入和输出）

这些寄存器的设置可以在**附录 A：“PIC16F887 系列的寄存器设置”** 中找到。

总结

电容触摸传感并不是魔术，只不过需要一点时间来理解基本的电路原理。在别的应用笔记中，描述了设计成功产品的其他方法。尤其重要的应用笔记是 AN1103《电容触摸传感的软件处理》、AN1104《配置多个电容触摸传感按钮》以及 AN1102《电容触摸传感器布板和物理设计指南》。

附录 A: PIC16F887 系列的寄存器设置

下列寄存器可以在《PIC16F882/883/884/886/887 数据手册》(DS41291D_CN) 中找到。每一位的详细解释可以在器件的数据手册中找到。这些寄存器设置也可作为其他系列寄存器设置的指导。必须正确设置 TRIS 寄存器的输入和输出。

寄存器 8-1: CM1CON0: 比较器 C1 控制寄存器 0

R/W-0	R-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
C1ON	C1OUT	C1OE	C1POL	—	C1R	C1CH1	C1CH0
bit 7							bit 0
1	0	0	1	—	1	0	0

寄存器 8-2: CM2CON0: 比较器 C2 控制寄存器 0

R/W-0	R-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
C2ON	C2OUT	C2OE	C2POL	—	C2R	C2CH1	C2CH0
bit 7							bit 0
1	0	1	0	—	0	0	0

寄存器 8-3: CM2CON1: 比较器 C2 控制寄存器 1

R-0	R-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-1	R/W-0
MC1OUT	MC2OUT	C1RSEL	C2RSEL	—	—	T1GSS	C2SYNC
bit 7							bit 0
0	0	1	1	—	—	1	0

寄存器 8-4: SRCON: SR 锁存器控制寄存器

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/S-0	R/S-0	U-0	R/W-0
SR1 ⁽¹⁾	SR0 ⁽¹⁾	C1SEN	C2REN	PULSS	PULSR	—	FVREN
bit 7							bit 0
1	1	1	1	0	0	—	0

注 1: 要使 SR 锁存器输出到引脚, 必须正确配置 CxOE 和 TRIS 位。

寄存器 8-5: VRCON: 参考电压控制寄存器

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
VREN	VROE	VRR	VRSS	VR3	VR2	VR1	VR0
bit 7							bit 0
1	0	0	0	0	1	1	1

寄存器 3-3: ANSEL: 模拟选择寄存器

R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
ANS7 ⁽¹⁾	ANS6 ⁽¹⁾	ANS5 ⁽¹⁾	ANS4	ANS3	ANS2	ANS1	ANS0
bit 7							bit 0
0	0	0	0	0	1	1	1

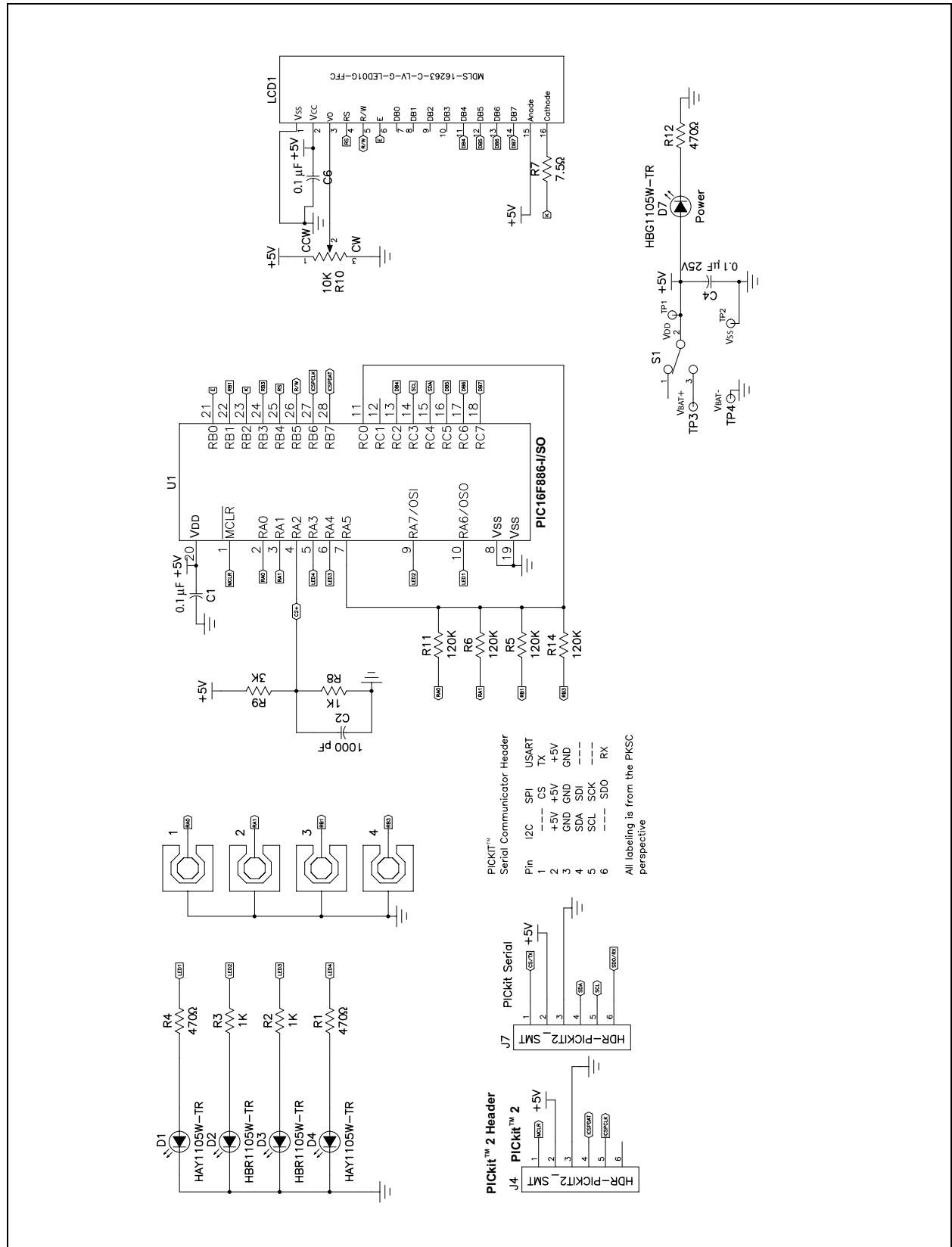
注 1: 在 PIC16F883/886 上不可用。

寄存器 3-4: ANSELH: 模拟选择高位寄存器

U-0	U-0	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
—	—	ANS13	ANS12	ANS11	ANS10	ANS9	ANS8
bit 7							bit 0
—	—	0	0	0	1	1	0

附录 B: 原理图

图 B-1: 触摸传感演示板原理图



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、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、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、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。



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

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

01/02/08