

电容触摸传感器布板和物理设计指南

作者: Tom Perme
Microchip Technology Inc.

介绍

本应用笔记用于说明 AN1101 《电容触摸传感简介》中介绍的电容触摸解决方案的布板和物理设计。电容触摸系统的布板和物理设计是设计过程中尤为重要的部分。良好的布板可以使软件实现更为简单。取决于实际应用，布板可能非常简单，也可能很复杂，但相同而简单的设计指南将适用于所有的布板。

焊盘外形和尺寸

一般规则

当设计电容触摸按键时，焊盘的形状并不很重要。焊盘的大小是要考虑的设计参数。焊盘大，则便于检测，且灵敏度更高；而焊盘小，则不易检测。另外，如公式 1 所示，电容焊盘间的距离越大，将减小电容值。基本的规则是，焊盘的大小应和手指的平均尺寸差不多，以适合手指按压按键；例如 0.5" x 0.5" (12.7 mm x 12.7 mm) 的正方形就是一个很好的传感器。这种简单的形状对于按键阵列来说既容易设计也容易实现。

公式 1: 电容公式

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

另外一个需要考虑的是一个按键与相邻按键间的接近度。当一个人触摸传感器，或它的覆盖层（塑料或玻璃等），人的手指不仅对当前的传感器，也对其相邻的传感器产生额外的电容，只是对相邻的传感器影响稍小。在相邻焊盘间保持一定的空隙将为手指的电容提供绝缘。通常 3/16" (4.7 mm) 的空隙就足够了。图 1 显示了推荐的布板，黑色的正方形为覆铜焊盘，相当于按键。

图 1: 焊盘尺寸和形状示例



另外，外形并不是一个关键参数。具有相似大小的圆形与推荐的正方形外形具有相同的功能。

有时按键的外形主要出于美观的目的，用一种简单的方式使得用户觉得其界面更好看。通过在焊盘与清洁的触摸界面间增加一个具有图形设计的印刷纸，则用户只看到图形，而实际的焊盘隐藏于其下。纸可以有不同的形状，而纸下面的焊盘，则只需简单，不需要太美观的简单形状的铜焊盘，如图 5 的例子所示。

覆盖层效应

窗户玻璃和 Plexiglas® 通常用作用户触摸的表面。这些常用的材料具有不同的厚度，其厚度和焊盘与接触表面间的材料成分影响到灵敏度。玻璃与 Plexiglas 或其他品牌的亚克力，在给定的相同测试条件下，玻璃能够检测到更厚的材料距离。这是因为玻璃的介电常数高于亚克力的介电常数。对于特定的亚克力或玻璃类型，其具有很多参数，但对于亚克力，其介电常数在 2-3 量级，而玻璃，其介电常数在约为 7 量级。其他需要留意物质是：空气的介电常数为 1；水的介电常数为 80。

从电容触摸传感器的角度来看，非常薄的覆盖层是最理想的，因为它提高了灵敏度，同时具有更高的精度。覆盖层越薄，系统将具有更高的灵敏度。对于前面提到的两种材料，选用最普遍使用的 2 mm 厚度类型，亚克力 Plexiglas 和玻璃在各种条件下都能够正常工作。同时，也发现厚度为 5 mm 的 Plexiglas 在可接受条件下也能够正常工作。

电感性材料（如金属）则不能用作覆盖层。金属层吸收掉焊盘振荡产生的电力线。人的手指按压有可能太微弱而不能影响到振荡器，或者即使它发生了足够的改变，但其按压触发了处于覆盖层下的所有按键，这等同于失效。由于金属是导体，电荷可以自由通过它，所以覆盖的所有按键可能会起火而烧掉。

地

由于触摸检测取决于传感器与地之间的寄生电容，将地靠近传感器，则因为增加了寄生电容 C_p 而减小了灵敏度。通常，需要使地远离传感器，通过走线连接到传感器。这样做就减小了 C_p ，因此可以使振荡器更快振荡，产生相对于手指的按压更大的变化而易于检测，同时允许更快的扫描速率。

有时地的摆放有助于减小相邻按键或屏蔽走线间的灵敏度。尽管通常并不需要，但可以通过在手指和走线或焊盘间增加地走线而实现保护手指按压时的走线或相邻的按键。在有保护走线的情况下，覆盖层下的铺地铜焊盘将吸收手指的电力线，那么将会有很少甚至没有电力线传输到走线上。为减小相邻按键的干扰，考虑到有效的间隔，按键间的一层地将减小在按键 1 按压时按键 2 的灵敏度（参见图 2）。推荐按键焊盘与地之间的最小距离为 $1/16''$ （1.59 mm），以保证寄生电容足够小。

图 2: 保护地



对于具有很强电磁干扰的应用，屏蔽连接到焊盘的走线可提高抗干扰能力。显然，按键界面不可能完全被地环绕包围，但如果屏内部可以屏蔽起来，则可保护而不受 EMI 干扰而产生相关的问题。

走线和元器件摆放

在可能的情况下，连接到触摸屏的走线应尽可能窄，同时远离地和其他走线，以减小寄生电容和传感器相互之间的耦合。另外，如果可能，也最好不要在焊盘下面的区域走线。相反，在焊盘外部走线，在焊盘之间留出空隙。当使用两层 PCB 板时，最后使所有器件的走线布在 PCB 底层，而仅将焊盘布在 PCB 的顶层。

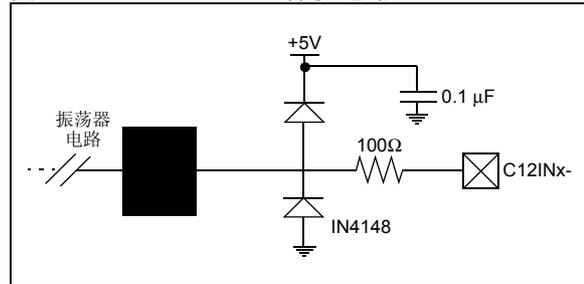
最好将 PIC[®] 单片机和其他敏感器件放置在 PCB 板没有按键焊盘的区域 / 位置。将元件靠中心摆放，能够使连接到 PIC MCU 的所有连线易于走线。同时，也留出了焊盘下面的区域。允许一定的例外，但应尽量减少这样的例外情况。

低频走线对触摸处理影响很小。例如，连接到 LED 的走线就是不重要的低频走线。它只要布的简单或合理就行。I²C[™] 通信线为高频走线，需要使这些高频走线远离触摸检测线。若这些走线必须交叉时，最好使高噪声的高频走线与触摸检测线垂直，以减小 RF 干扰。

静电放电

Microchip PIC 单片机本身包含一些 ESD 保护单元。Microchip PIC MCU 通过了机器模型和人体模型的 ESD 测试。这已经足够满足其铜焊盘直接连接到单片机输入的触摸检测系统。若需要额外可靠的 ESD 保护，可采用外部电路来实现（参见图 3）。靠近单片机的电源到地之间采用标准 $0.1 \mu\text{F}$ 电容来滤波。

图 3: ESD 保护电路



若电压超过 $V_{DD} + 0.7 \text{ V}$ ，上面的二极管导通，电流流入电容。如果电压低于 $GND - 0.7 \text{ V}$ ，下面的二极管导通，电流从电容流入电路。在单片机 I/O 引脚内部也有同样的保护系统。100 欧姆的电阻用来确保外部的二极管首先触发。这个电路已经过测试，对电容触摸操作干扰很小。

装配

这部分内容并不是针对如何来制造系统。已经有很多现成的方法来制造电容触摸传感器系统。本部分的目的是介绍一个简单、容易且美观的方法来使接口界面更好看。

假设本设计所需的界面为一个平坦的屏，所有的硬件在单块 PCB 上，接口采用图形化，并通过小螺丝来装配连接。PCB 和电路都根据应用需求来实现，并放置在 PCB 的背面；PCB 的前面完全空出。最终结果就变成了层状结构：PCB 位于底部，一张图形化的纸位于中间，一块 Plexiglas 位于顶部，它们通过螺丝连接在一起，如图 4 所示。Plexiglas 为 2 mm Plexiglas，可在本地硬件商品商店购买到，螺丝可采用小型的 4-40 或更小的螺丝。

图 4: 层状结构

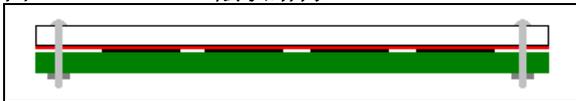


图 4 中铺铜焊盘的厚度，即黑色层的厚度主要用于夸张和形象的目的。当从顶部看上去，观察者透过玻璃看到纸上的一幅很酷的图形，纸张可以是所需的任意形状或图形。纸张也可以为彩色，透过 Plexiglas 就可看到更好的图形效果。这种方法可以在焊盘和覆盖层之间提供很好的连接而无需任何粘结剂。

图 5: 演示板图片

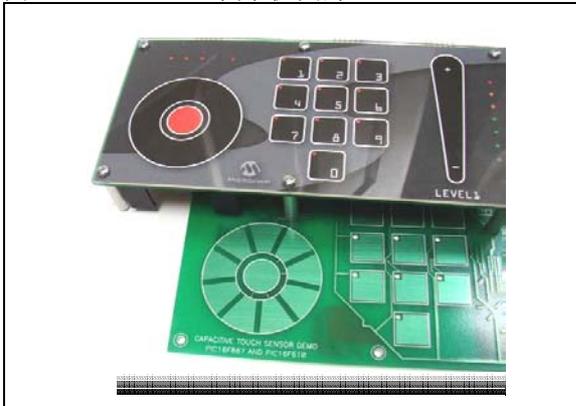


图 5 所示的演示板，与通过粘结剂将覆盖层粘接到 PCB 的方式相比，结构更简单、方便，特别适合将纸张放置在结构中间。该演示板还使用了一些有趣的器件，如在 PCB 后面安装了表面贴装的 LED，通过 PCB 上的孔来进行闪烁。其元器件清单列在附录 A：“多按键电容触摸演示板”以供参考。

也可以用粘结剂来将覆盖层连接到 PCB 和显示层，但是操作起来比较困难。粘结方式也具有更美观的优点，因为它无需在正面用到螺丝，从而形成一个很平整的面板。很多时候粘结剂会有一些残留，当使用一个透明的覆盖层如亚克力时会有粘结剂的痕迹。如果覆盖层不透明，则粘结方式带来的残留就没什么要紧了。PCB 可以很简单地粘合在覆盖层的后面，任何不美观并不会显示在按键接口面。

另外，传感器也可以与 PCB 分隔开。通过板间的连线使传感器连接到其固定和粘贴的地。这可以使设计更灵活，并适用于非平板的形状。

总结

电容触摸传感器系统的布板和设计必须对各种冲突条件进行权衡。本应用笔记中的内容可以作为基本的指南，在权衡过程中也需要进行很好的判别。

重述一下基本准则，电容触摸系统的布板应尽可能减小地，走线尽可能短、干净，并远离其他可能的干扰源。与此相关的应用笔记包括 AN1101《电容触摸传感简介》，AN1103《电容触摸传感的软件处理》和 AN1104《配置多个电容触摸传感按钮》。

表 1: 术语

缩略语	说明
ϵ_0	真空的介电常数
ϵ_r	相对介电常数
d	电容极板间的距离
A	极板面积
C	电容

AN1102

附录 A: 多按键演示板元器件清单

多按键电容触摸演示板的元器件清单如表 A-1所示。需要特别提及的器件为表面贴装的LED，它们安装在 PCB 的孔中，并透过孔发光。

另外，在本演示板设计时选择了 74HCT4351 MUX。也可选择更便宜的类似器件 74HCT4051，其功能相同。74HCT4051 无需栓锁，而 74HCT4351 需要，但是用于模拟信号复用时栓锁并不需要。

表 A-1: 元器件清单

数量	元件名称	数值	供应商	供应商 P/N:
1	BTH-9V-1294-SMT	9 Volt	Digi-Key	1294K-ND
7	CAP-CRCW0603	100 nF	Digi-Key	PCC1762CT-ND
2	CAP-CRCW0603	1000 pF	Digi-Key	PCC2151CT-ND
2	CAP-CRCW0805	10 μ F	Digi-Key	587-1295-1-ND
1	DIO-1N4148WS-SOD-323	1N4148	Digi-Key	1N4148WXTMMSCT-ND
3	HDR-PICKIT2-SERIAL-1X6	PICKIT™ SERIAL	Digi-Key	929835-01-36-ND
2	IC7-74HC4351-MUX-20P-SOICL-300	74HCT4351	Digi-Key	568-2873-5-ND
1	ICP-PIC16F630/SN-SOIC-14PIN-150"	PIC16F610/SN	MCHP	Microchip
1	ICP-PIC16F887/PT-TQFP44	PIC16F887/PT	MCHP	Microchip
11	LED-1105W-1206-BOT-MNT-NO-HOLE	RED	Digi-Key	404-1033-1-ND
7	LED-1105W-1206-BOT-MOUNT-HOLE	GRN	Digi-Key	404-1037-1-ND
3	LED-1105W-1206-BOT-MOUNT-HOLE	YEL	Digi-Key	404-1031-1-ND
2	RES-CRCW0603	1.00K	Digi-Key	311-1.00KHRCT-ND
2	RES-CRCW0603	3.01K	Digi-Key	311-3.01KHRCT-ND
6	RES-CRCW0603	10K	Digi-Key	311-10.0KHRCT-ND
2	RES-CRCW0603	68.1K	Digi-Key	311-121KHRCT-ND
21	RES-CRCW0603	475	Digi-Key	311-475HRCT-ND
4	RES-CRCW0805	121K	Digi-Key	311-121KCRCT-ND
1	SWT-MOM-KSR-SERIES-SMT	MOM-NC	Digi-Key	401-1705-1-ND
1	VRG-LK112S-SOT23-5LEAD	LK112S	Digi-Key	497-4259-1-ND

附录 B: 原理图

图 B-1: 电容触模式传感器演示板原理图 (第 1 页 / 共 3 页)

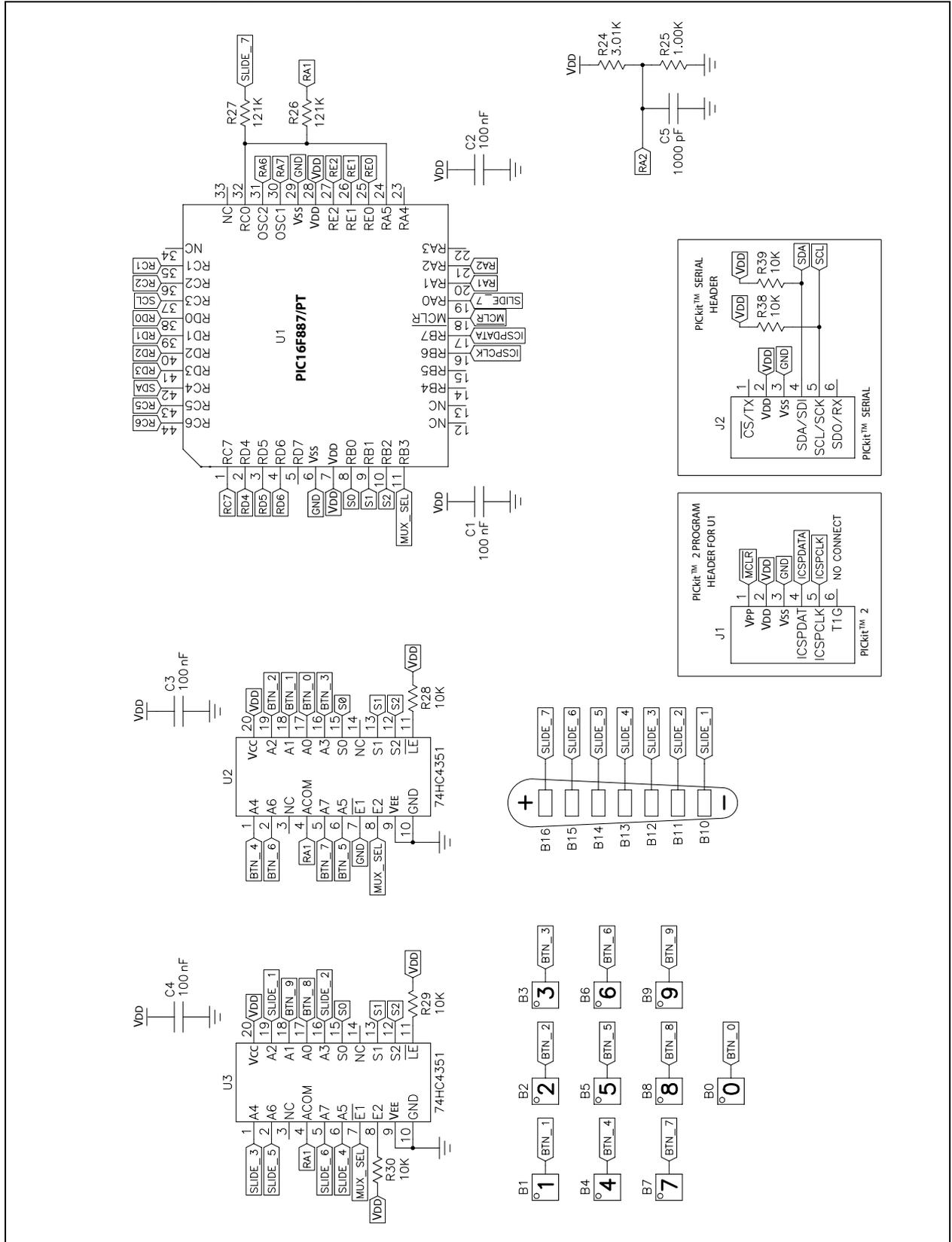


图 B-2: 电容触摸式传感器演示板原理图 (第 2 页 / 共 3 页)

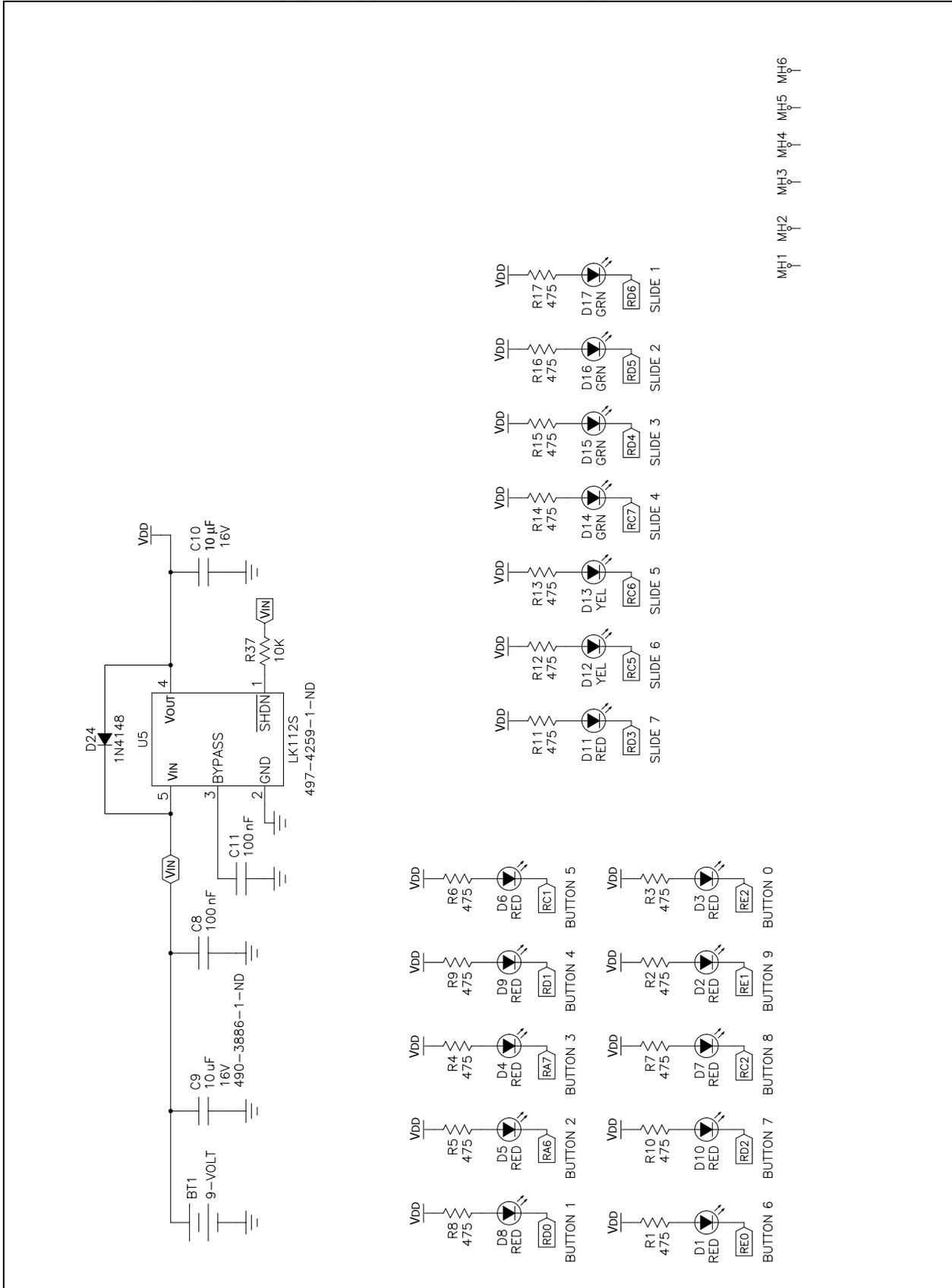
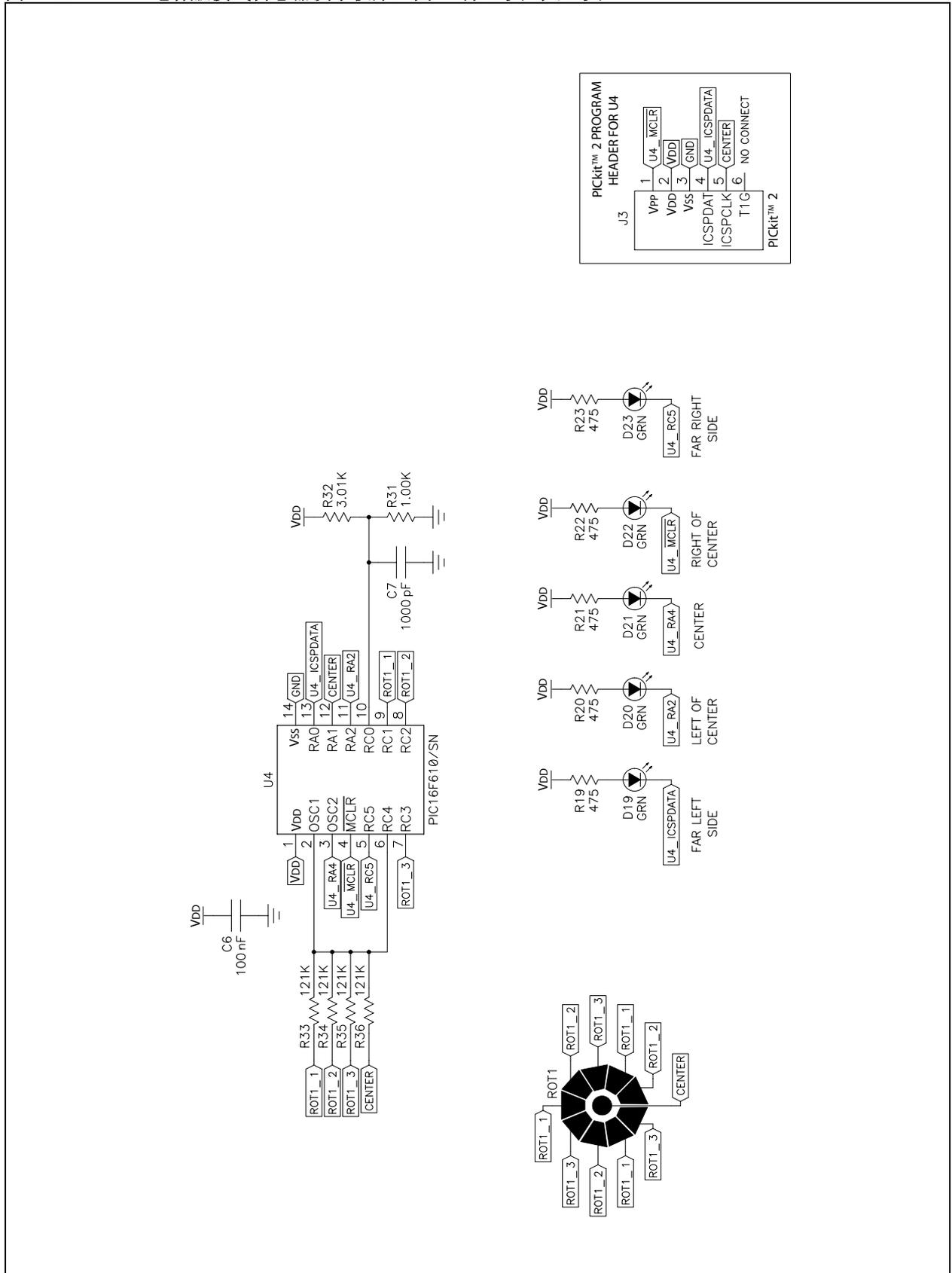


图 B-3: 电容触摸式传感器演示板原理图 (第 3 页 / 共 3 页)



AN1102

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、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 and 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