

mTouch® 触摸传感技术抗水性

作者: *Burke Davison*
Microchip Technology Inc.

简介

电容式传感器可测量传感器和系统参考地之间的耦合的变化情况。人体由水构成，而水具有极高的介电性；所以，传感器和系统参考地之间的耦合会随着用户接近而增大。但是，将水滴或其他某种高介电性材料放置在系统上时，耦合也会增大。传感器如何能够区分由用户接近和由某种其他事件引起的耦合变化？

本应用笔记说明了能够解决这一问题的电路模型和技术，它们的主要优点极具吸引力，成本也极低。该解决方案可以：

- 消除由于水、清洁剂、番茄酱、泥、血以及任何其他高介电性污染物而使电容式传感器发生的信号变化。
- 完全基于物理学，不需要在 RAM、程序存储器或执行时间方面花费固件成本。
- 只需正确设计的布局，以及一个用于任意数量传感器的额外引脚。

关于 Microchip 的电容传感技术和产品线（包括一维、二维和三维手势感应）的更多信息，请访问我们的网站 <http://www.microchip.com/mTouch>。

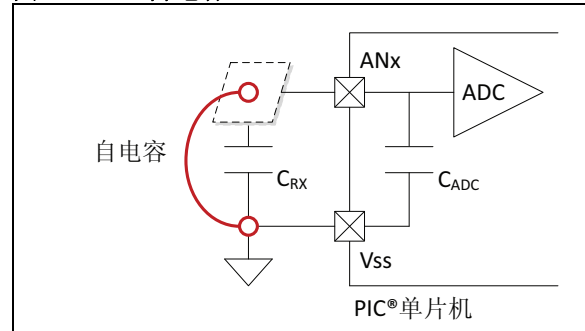
电容类型

该技术将利用两种类型的电容耦合：自电容和互电容。两者的行为差异是该技术的基本工作原理。

自电容

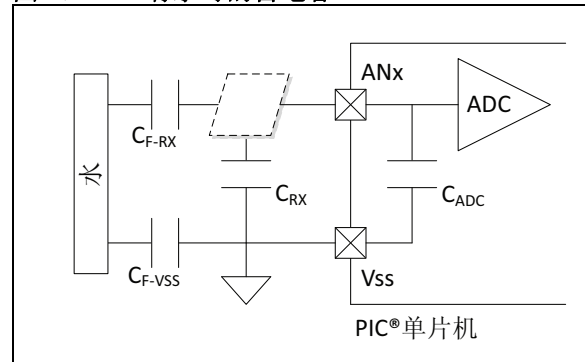
“自电容”一词用于表示电容式传感器和电路板的参考地之间的耦合，如图 1 所示。基本电容 C_{RX} 表示在没有任何外部影响的情况下，传感器与电路板参考地之间的耦合量。

图 1: 自电容



当水与电容式传感器发生容性耦合时，它会同时与传感器和电路板参考地发生耦合。这两个串联电容 C_{F-RX} 和 C_{F-VSS} 会构成一个相对于基本电容 C_{RX} 的并联电容，如图 2 所示。其结果是水导致传感器的自电容增大。

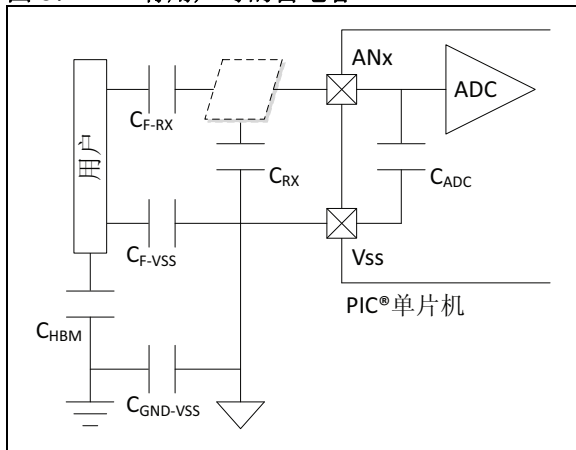
图 2: 有水时的自电容



注: 本应用笔记讨论抗水性，并将与传感器发生耦合的液体称为“水”，但请注意该电路模型适用于与传感器的耦合强于与电路板参考地的耦合的任何容性物体。因此，该技术的专利实际涉及的是区分接地与不接地电容效应。

当用户与电容式传感器发生容性耦合时，其效果与水基本相同，只是现在电路中又多了另外的电容。现在，还会存在人体模型对大地地电位的电容 C_{HBM} ，以及大地地电位和电路板参考地之间的容性耦合 $C_{GND-VSS}$ 。因而，这3个串联电容（ C_{F-RX} 、 C_{HBM} 、 $C_{GND-VSS}$ ）会构成相对于基本电容 C_{RX} 的第二个并联电容，如图3所示。其结果是与水一样，用户导致传感器的自电容增大，但由于存在第二条耦合路径，可能发生更多的耦合。

图 3: 有用户时的自电容



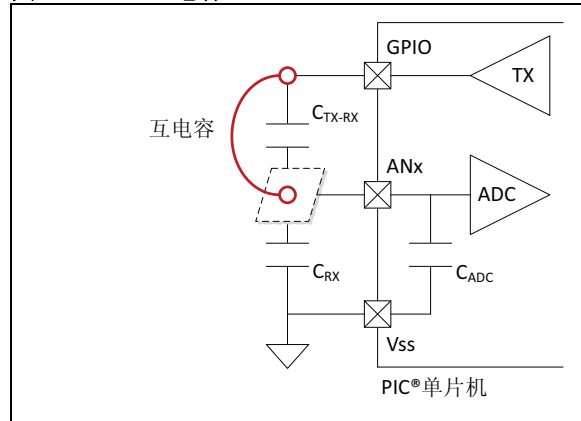
考虑 $C_{GND-VSS}$ 电容的影响是非常重要的。如果用户与电路板参考地使用相同的地（或与电路板参考地之间发生非常强烈的耦合），则 $C_{GND-VSS}$ 电容可建模为短路。这使人体模型耦合路径极强。但是，如果用户和电路板参考地相互之间完全隔离，则 $C_{GND-VSS}$ 电容可建模为开路。此时可以从电路中排除人体模型耦合路径的影响。

注: 本文档稍后会说明，只有在用户和电路板使用相同的地或两者的地之间强烈耦合时，该抗水技术才适用。

互电容

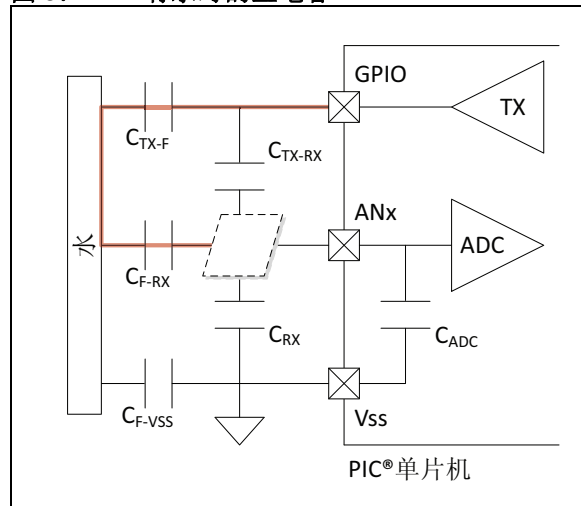
“互电容”一词用于表示传感器和低阻抗 TX 信号之间的交流耦合，如图 4 所示。该 TX 信号可以由所有传感器共用，因为每次只对一个传感器进行采样。 C_{TX-RX} 是在没有任何外部影响情况下，TX 走线和传感器之间的耦合量。

图 4: 互电容



与上面的自电容说明中一样，水通过 C_{F-RX} 和 C_{F-VSS} 与传感器和电路板参考地发生耦合。这也会继续构造一个相对于 C_{RX} 的并联电容。但是，此外，水也会与 TX 走线发生耦合。该电容建模为 C_{TX-F} ，如图 5 所示。

图 5: 有水时的互电容



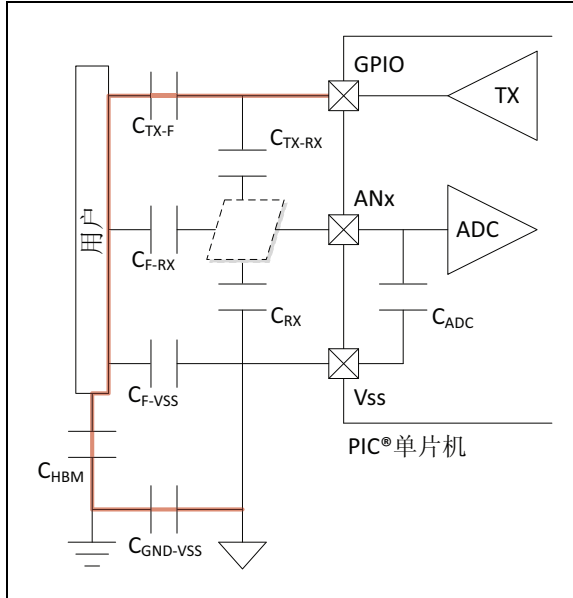
TX 信号会通过 C_{TX-F} 与水发生交流耦合，但水的存在也会从 C_{TX-RX} 拉走一些电荷。实际效果就是 C_{TX-RX} 会由于 C_{TX-F} 拉走电荷而略微减小。

此时，水中的电荷有两条可能的路径 C_{F-RX} 或 C_{F-VSS} 。为使该技术正确工作， C_{F-RX} 必须为较强（或“阻抗较低”）的耦合路径。该条件为真时，电荷会被导回到传感器中。虽然通过 C_{TX-F} 拉走一些电荷会使 C_{TX-RX} 减小，但将水放置在系统上的实际效果是 TX 和传感器之间的互电容增大。

要求 1

接近传感器的水与传感器发生的耦合必须强于与电路板参考地发生的耦合。更多信息，请参见“要求”部分。

图 6： 有用户时的互电容



当用户与系统发生容性耦合时，图 6 显示了与水的唯一区别来自于人体模型耦合路径。现在，当引入手指并从 C_{TX-RX} 拉走电荷时，电荷会有 3 个可能的流动方向。

幸运的是， C_{HBM} 比电路模型中的其他电容大很多。因此，如果用户和电路板使用相同的地或两者的地强烈耦合，所拉走的 TX 电荷会通过人体模型耦合路径消散到电路板的参考地中。这种电荷消散的实际效果是 TX 和传感器之间的互电容减小。

要求 2

用户必须与电路板使用相同的地，或两者的地强烈耦合。更多信息，请参见“要求”部分。

表 1： 电容效应汇总

	自电容	互电容
水	增大	增大
用户	增大	减小

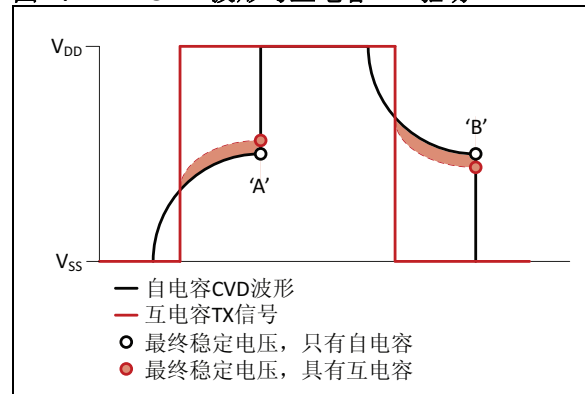
测量

Microchip 的电容分压器（Capacitive Voltage Divider, CVD）电容传感技术使用两次极性相反的测量来实现差分自电容读取。要了解关于 CVD 技术的更多信息，请参见 AN1478。当传感器自电容增大时，CVD 波形的第一次测量（A）会减小，CVD 波形的第二次测量（B）会增大。

如果随 CVD 波形同步驱动 TX 方波，会在最终的信号电平中引入互电容成分。当 TX 信号驱动为高电平时，TX 与传感器之间的交流耦合会导致最终稳定电压增大；当 TX 信号驱动为低电平时，交流耦合会导致最终稳定电压减小。直观地说，它会朝自己的方向“拉动”信号。当 TX 和传感器之间的互电容变强或变弱时，对信号的拉动强度也随之变强或变弱。

图 7 说明了如何根据 CVD 波形驱动 TX 信号。当互电容效应增强时，A 侧的最终稳定电压会增大，B 侧的会减小。

图 7： CVD 波形与互电容 TX 驱动



全部汇合

用户与传感器发生耦合

驱动附近具有 TX 电极的电容式传感器，如图 7 所示。具有强 $C_{GND-VSS}$ 耦合的用户接近传感器。

- 自电容会增大。这会将 A 侧下推，将 B 侧上推。
- 互电容会减小。这会将 A 侧下推，将 B 侧上推。

这两种效应在相同方向推动，所以实际效果是在 A 侧出现很大的负电压偏移，B 侧出现很大的正电压偏移。

水与传感器发生耦合

从系统中去除用户，并将一滴水落在同一传感器上。

- 自电容会增大。这会将 A 侧下推，将 B 侧上推。
- 互电容会增大。这会将 A 侧上推，将 B 侧下推。

两种效应在相反方向推动。如果自电容和互电容的影响相互平衡，则实际效果是稳定电压不发生偏移。水对传感器的影响实际上已在模拟级别抵消。

用户接触与传感器发生耦合的水

最后，假定水与传感器发生耦合，测量的自电容和互电容效应相互平衡，不产生净电压偏移。如果用户接触到水，现在会在系统中引入人体模型耦合路径，水滴会成为用户的延伸部分。

与只有水时的情况比较：

- 由于增加了人体模型耦合路径的并联电容，自电容增大得更多。
- 互电容会翻转极性。人体模型电容会立即为 TX 信号提供一条放电路径。

这会导致自电容和互电容效应在相同方向推动——与用户干手条件下相同，但由于增加了水的表面积，总偏移可能会稍微增大。

当用户的手指从系统中移除时，人体模型耦合路径消失，自电容和互电容效应将恢复为相互平衡。

多个传感器

如果有一池的水覆盖多个传感器，会发生什么情况？每次只会扫描一个传感器，所以这取决于控制器如何驱动当前处于非活动状态的传感器。

- 如果当前处于非活动状态的传感器使用 TX 信号进行驱动，则在用户触摸小水池时，水会导致两个传感器之间发生串扰，但在系统中仅存在水时，波形不会发生任何电压偏移。
- 如果对地驱动当前处于非活动状态的传感器，则要求 1 会被破坏，将无法使用该技术来区分用户与水。

要求

要求 1:

路径“ C_{TX-F} 到 C_{F-RX} ”的阻抗必须小于路径“ C_{TX-F} 到 C_{F-VSS} ”的阻抗。不存在人体模型耦合路径时，TX 信号必须主要传导到传感器中。

由此得到 3 个设计准则：

- 不要将 VSS 放置在传感器附近。建议放置一个围绕传感器的 TX 平面，以屏蔽附近的地或其他层的地影响。
- 如果多个传感器相互邻近，则当控制器没有扫描它们时，应使用 TX 信号驱动它们。这可以用软件进行管理，也是 Microchip 一些更新的单片机（如 PIC16LF1566/7）中提供的硬件功能（见 ADTX 寄存器）。
- 传感器上方的覆盖材料不能是可导电的。以往的设计经验表明，导电材料与电路板参考地发生的耦合往往太强，会破坏第一项要求。

要求 2:

路径“ C_{TX-F} 到 C_{HBM} 到 $C_{GND-VSS}$ ”的阻抗必须小于路径“ C_{TX-F} 到 C_{F-RX} ”的阻抗。用户必须能够从传感器拉走 TX 信号，并将其消散到电路板参考地中。

有几个方面需要考虑：

- 电池电源系统是满足这项要求的最大挑战。必须存在一种可以让用户与电路板参考地发生强烈耦合的机制。这可能意味着，类似于使用手机，用户需要抓住设备，使用户的参考地通过用户抓住设备的手与电路板的参考地耦合。
- 要使用户和电路板使用相同的参考地，非隔离式电源是首选。
- 用户身体与电路板参考地的耦合可以通过各种方式实现。对汽车门把手的测试表明，当用户接近汽车时，虽然用户与汽车不使用相同的参考地，但通过车身与汽车参考地发生的耦合足够强，可以满足该要求。
- 需要注意薄覆盖材料的厚度。如果材料太薄，与用户参考地发生的耦合太弱， C_{TX-F} 到 C_{F-RX} 的路径可能会较强，从而破坏第二项要求。

鉴于以上几点，必须在完整系统上执行测试，而不是在只有电容传感 PCB 的试验台上。在最终解决方案中，邻近的地产生的影响可能会显著改变该解决方案的行为。

结论

本应用笔记介绍了一种能够实现抗容性污染物（如水、清洁剂和泥）能力的技术。它仅使用硬件来平衡和抵消两种电容的影响：自电容和互电容。因此，该解决方案不需要在固件上消耗任何额外的RAM、程序存储器或执行时间。它仅依赖于正确的波形和物理传感器设计。

3 个重要的布局要求包括：

1. 使 TX 平面靠近传感器而不是 Vss。
2. 不扫描邻近的传感器时，应使用 TX 信号驱动它们。
3. 用户必须与电路板使用相同的地，或两者的地强烈耦合。

关于 Microchip 的电容传感技术和产品线（包括一维、二维和三维感应）的更多信息，请访问我们的网站 <http://www.microchip.com/mTouch>。

AN2098

附录 A: 布局示例

以下布局示例说明了一种设计电容式传感器来满足所讨论要求的方法。它是 PIC16LF1559 mTouch[®] 低成本评估板，可从 Microchip 网站上购买。

图 A-1: 布局示例——PIC16LF1559 低成本 mTouch[®] 评估板

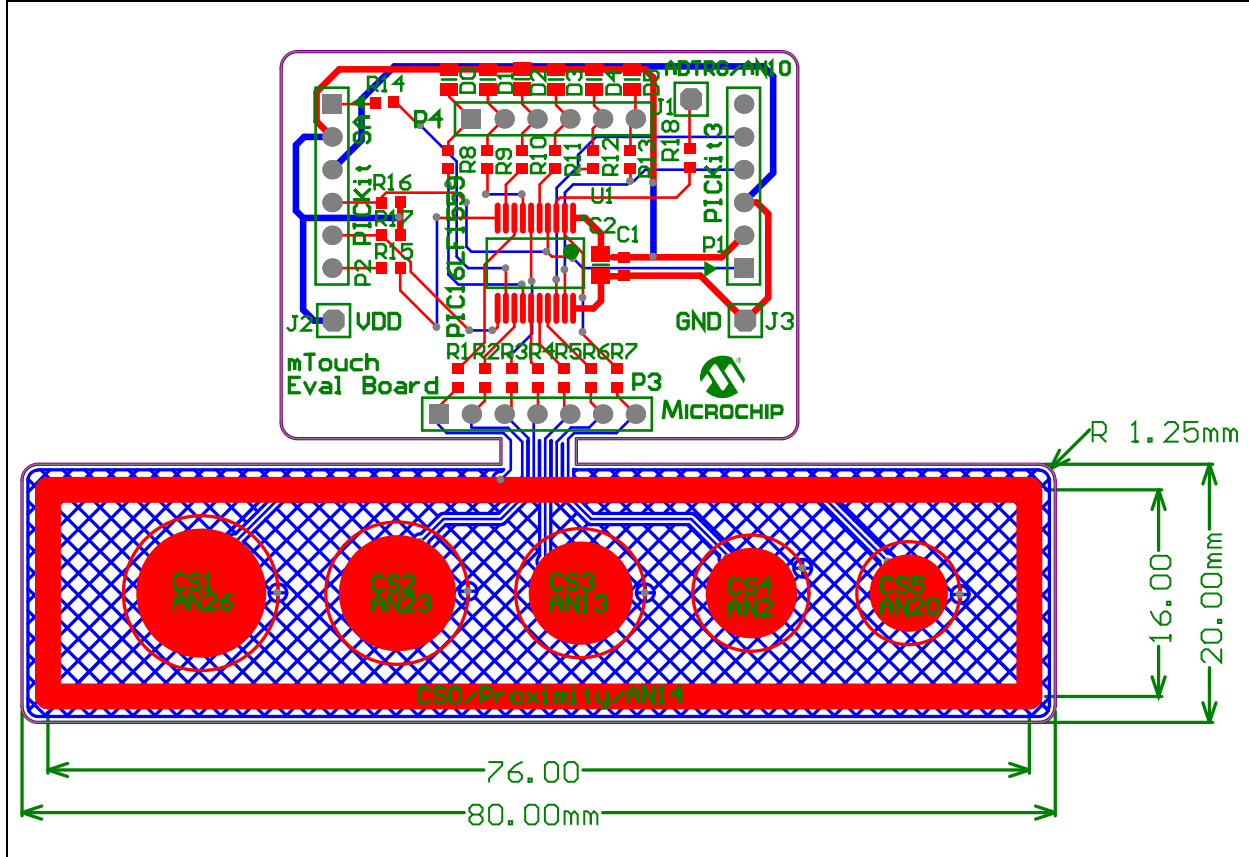
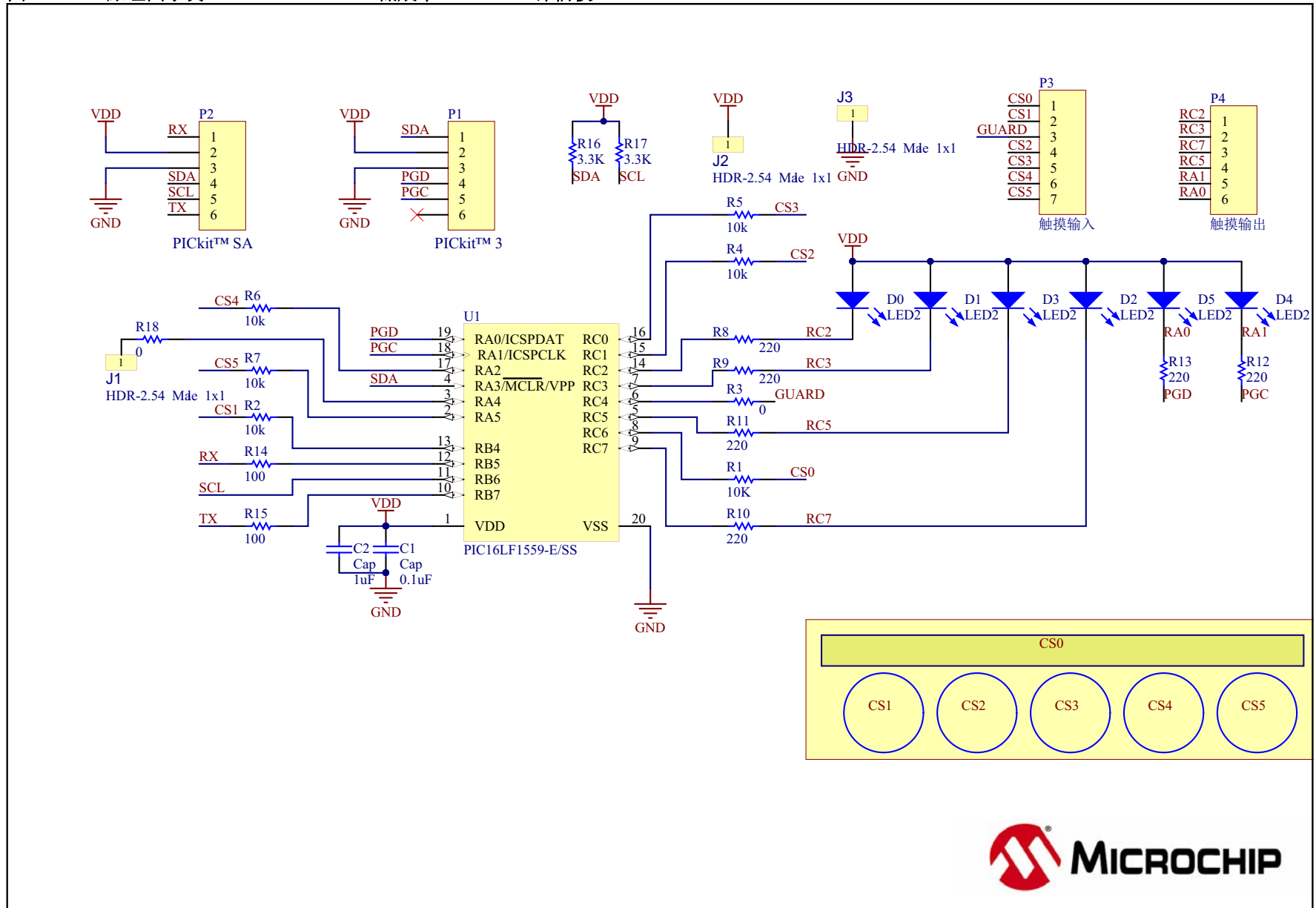


图 A-2: 原理图示例 ——PIC16LF1559 低成本 mTouch® 评估板



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。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。

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-16949:2009 认证。Microchip 的 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 模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。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。

**QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
= ISO/TS 16949 =**

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BeaconThings、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KEELOQ、KEELOQ 徽标、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、Prochip Designer、QTouch、RightTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge 和 Quiet-Wire 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、chipKIT、chipKIT 徽标、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PureSilicon、QMatrix、RightTouch 徽标、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

Silicon Storage Technology 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。

© 2016, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-1221-2



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

亚太总部 **Asia Pacific Office**
Suites 3707-14, 37th Floor
Tower 6, The Gateway
Harbour City, Kowloon
Hong Kong
Tel: 852-2943-5100

Fax: 852-2401-3431

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000
Fax: 86-10-8528-2104

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511
Fax: 86-28-8665-7889

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588
Fax: 86-23-8980-9500

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
Fax: 86-571-8792-8116

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: 86-21-3326-8000
Fax: 86-21-3326-8021

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829
Fax: 86-24-2334-2393

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200
Fax: 86-755-8203-1760

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300
Fax: 86-27-5980-5118

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252
Fax: 86-29-8833-7256

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138
Fax: 86-592-238-8130

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100
Fax: 852-2401-3431

亚太地区

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040
Fax: 86-756-321-0049

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600
Fax: 886-2-2508-0102

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-5778-366
Fax: 886-3-5770-955

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: 91-80-3090-4123

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631
Fax: 91-11-4160-8632

印度 India - Pune
Tel: 91-20-3019-1500

日本 Japan - Osaka
Tel: 81-6-6152-7160
Fax: 81-6-6152-9310

日本 Japan - Tokyo
Tel: 81-3-6880-3770
Fax: 81-3-6880-3771

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

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

法国 France - Saint Cloud
Tel: 33-1-30-60-70-00

德国 Germany - Garching
Tel: 49-8931-9700

德国 Germany - Haan
Tel: 49-2129-3766400

德国 Germany - Heilbronn
Tel: 49-7131-67-3636

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 - Ra'anana
Tel: 972-9-744-7705

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: 47-7289-7561

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