

人体接触应用中的电容检测

作者：Wayne Palmer

电容检测不仅用在您的智能手机中；在必须与人体皮肤接触的医疗设备等产品中，它也有用武之地。本文介绍如何使用电容检测来确定设备表面与用户皮肤的接触质量。

容性检测技术在传统的人机界面应用中继续受到青睐，例如笔记本电脑触控板、MP3 播放器、触摸屏显示器和近程检测器等。除了利用容性传感器取代机械按钮外，用一点点想象力，再加上人机界面设计的基本原理，将会使很多其它应用也能利用这一技术。图 1 所示为一些应用概念示例，这些概念可以通过采用人体接触检测得到完善。

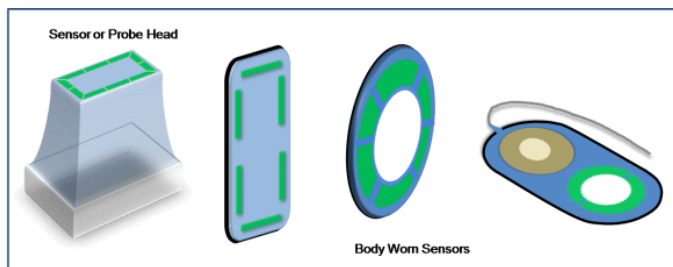


图 1. 使用容性传感器电极的器件

对于图 1 中所示的器件，若能在启动器件或进行测量之前先了解器件与皮肤之间的接触质量等相关信息，往往较为有利。这些器件包括需要紧靠皮肤的医用探针、生物电位电极传感器或者用于固定导管用管的外壳。为确定接触条件，可以在注塑生产过程中将图中绿色的几个容性传感器电极直接嵌入器件的塑料外壳。主机微控制器读取容性传感器控制器 IC 上的一些状态寄存器，这些寄存器表示容性传感器离皮肤有多近。随后，主机微控制器上运行的基本检测算法处理状态寄存器信息，以确定各传感器电极与皮肤的接触是否适当。

在传统的容性检测人机界面应用中，人们一般通过手指触碰开始接触传感器电极。图 1 中的示例则以非传统方式使用容性传感器，用户在人体上放置了一个含有容性检测电极的器件。开发这类应用很简单，但为了构建一个稳定可靠的系统，还是应当遵守一些关键准则

电容数字控制器。开发高性能接触检测应用，首先要选择一个合适的电容数字控制器(CDC)。对于图 1 所示的应用，器件表面与皮肤的接触是直接通过能量的细微变化测量的，这种能量变化分布在容性传感器电极阵列中，当器件与皮肤发生接触时就会产生。这种测量的精度取决于 CDC 模拟前端的灵敏度和传感器电极的数量。采用传统 PCB 工艺制造的容性传感器精度通常在 50 fF 至 20 pF 范围内，因此使用 16 位 CDC 的高精

度测量技术是比较理想的。

在选择 CDC 时，首先要明确一些关键特性，例如带 16 位 ADC 的高分辨率模拟前端、可编程传感器灵敏度设置、可编程传感器失调控制、片内环境校准、支持理想数量传感器电极的充足容性输入通道，以及无需使用外部 RC 器件进行传感器校准的集成设计。这些特性均支持可靠而灵活的应用，带来最佳用户体验。例如，可编程灵敏度可使界面设计人员针对具体应用预设最佳的传感器灵敏度，而非采用可能导致较差灵敏度的固定解决方案。可编程失调控制对界面设计人员是另一个重要特性，因为每一个生产批次的传感器板的失调值可能都会略有不同。快速预表征允许在将新传感器板投入量产之前更改主机固件设置。对于环境温度或湿度预计会发生变化的应用，片内环境校准可实现更可靠的解决方案。请注意，电极传感器是使用标准 PCB 铜迹线构建的；基板的属性会随温度和湿度的变化而改变，因此将会改变传感器输出的基线电平。如果 CDC 支持片内校准，这种基线漂移就可以在产品使用中得到动态补偿。

小电极需要高灵敏度。测量的目标是确定设备与皮肤的紧靠程度；皮肤与设备的接触质量越好，设备的读取就越准确。测量的准确度取决于分布在器件接触面区域的电极传感器的数量（电极越多，分辨率越高）和大小。对于图 1 所示的应用，器件的表面区域一般很小，需要设计人员在开发应用时采用小型传感器电极。

为了可靠测量与小传感器电极相关的小电容变化（一般小于 50 pF），需要使用高灵敏度模拟前端控制器。请记住，塑料覆盖材料的类型和厚度会进一步影响传感器透过塑料发射的小信号。控制器的模拟前端测量必须具有足够的灵敏度来测量这种小信号，同时在工作条件下（例如不同的电源电压、温度和湿度以及覆盖面材料的厚度和种类），在测得信号和阈值电平检测设置之间保持较好的信号余量。较低的信号余量会增加误检和传感器不稳定的风险。为了最大程度降低风险，当使用带 16 位 ADC 的 CDC 时，在传感器基线电平（传感器没有与皮肤接触）与接触阈值电平之间应保持至少 1000 LSB 的余量。

AD7147 和 AD7148 CapTouch 可编程控制器用于单电极电容传感器，具有 16 位分辨率，可进行毫微微法拉级测量，并可在满量程范围内设置 16 个可编程阈值检测电平值。这两款控制器支持 1 mm 塑料覆盖材料（介电常数为 3.0）下的 3 mm × 3 mm 的小型传感器电极，同时仍保持 1000 ADC LSB 的满量程信号余量。满量程信号余量是指在没有皮肤接触和有皮肤接触的情况下传感器输出之间的差。

保持可靠性能。容性传感器电极是采用 PCB 上的标准铜材料或柔性材料制成的。这种材料的特性会随温度和湿度的变化而发生改变。这种变化会使基线电平发生偏移（所有传感器阈值电平都是以基线电平为参考的）。较大的基线偏移增加了接触阈值电平过低或过高的风险（过低还是过高取决于基线偏移的方向）这会引起虚假的接触误差，或使阈值电平不是太灵敏就是不够灵敏，导致接触状态的不稳定。为保持传感器原始的信

号接触阈值检测电平余量（灵敏度），CDC 需要自动跟踪基线偏移误差的幅度，并对阈值设置进行相应的重新调整。图 2 中的示例介绍了 AD7147 和 AD7148 的阈值电平如何针对因环境条件变化引起的基线失调变化进行自动跟踪和调整。

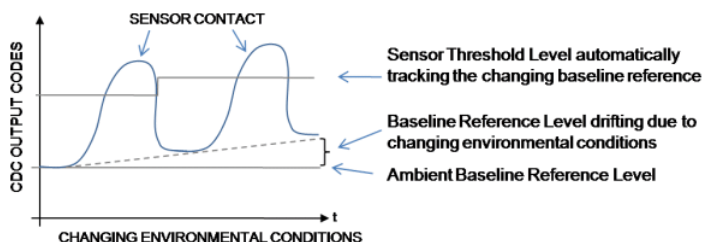


图 2. AD7147/AD7148 片内环境校准

消除测量误差。在器件内加入容性传感器电极阵列的改装行为可能造成空间限制，迫使设计人员将 CDC 放置在远离容性传感器的位置。这会增加并行传感器走线的长度并使布线密集，不利于容性检测应用，因为处于不同直流电位的走线会形成图 3A 所示的杂散耦合路径。PCB 的接地层无法预防这种情况，因为走线和接地层处于不同的直流电位，仍会形成杂散电容（图 3B）。

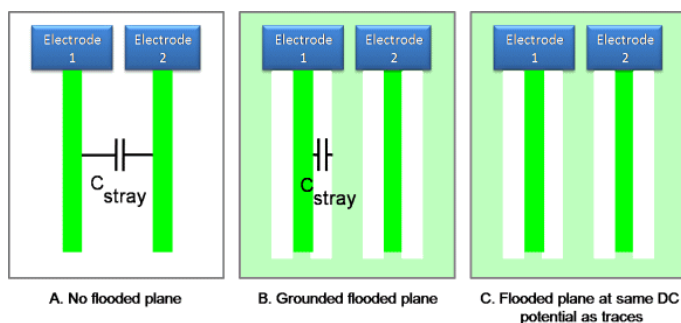


图 3. 杂散电容的路径，显示了下列并行走线的结果：无灌铜层的并行走线(A)、接地灌铜层上的并行走线(B)，以及与走线具有相同直流电位的灌铜层上的并行走线(C)

若要消除杂散电容误差，一种方法是将相邻的走线用由直流电平驱动的面包围起来（该直流电平与容性传感器电极和走线的直流电平相同）。AD7147 和 AD7148 器件通过提供具有此功能的专用 ACSHIELD 输出来消除杂散电容，如图 3C 所示。

水疗护肤产品等消费类保健设备正从专业机构走入普通家庭，用户不再是经过专门培训、熟悉产品及其应用的技师。因此，很多这类产品需要更智能的用户界面，才能使未经培训的用户也能掌握正确的产品使用方法。容性检测为用户界面设计人员提供了新的选择，使他们能够探索各种创新方法以满足新的用户界面需求。容性数字技术提供容性传感器电极与皮肤的接触信息，可用来保持最佳的产品性能和安全性。

作者简介

Wayne Palmer，电子工程学士(BSEE)，ADI公司医疗保健部门的应用工程师，美国马萨诸塞州诺伍德市。联系方式：wayne.palmer@analog.com