

# 应用工程师问答—35

## 适用于人与电子设备接口的电容传感器

作者: Susan Pratt

问: 什么是电容传感器?

答: 当物体或人接近或接触电容传感器时, 它会检测出电容值的变化。该技术已经在工业领域运用了很多年, 主要用于测量液位、湿度和材料组成。未来将广泛使用的一个新型应用是人机界面。长久以来, 人机之间一直以机械式按钮、开关和滚轮为界面。然而, 由于存在诸多不足, 界面设计师一直在不断寻找更可靠的解决方案。电容传感器可以像按钮一样使用, 但它还具有更强的功能, 例如实现 128 位滚动条。

ADI 现在提供专门在人机界面应用中实现电容检测的集成电路。例如 AD7142<sup>1</sup> 和 AD7143 可以分别激励或响应最多 14 和 8 个电容传感器。二者可激发电容传感器, 检测用户接近引起的电容变化, 并提供数字输出。

问: 电容检测的工作原理是什么?

答: 一般传感器包括一个接收器和一个发射器, 每个都是由印刷电路板 (PCB) 层上的金属走线组成。如图 1 所示, AD714x 具有一个片内激励源, 它与传感器的发射器走线相连。在接收器和发射器走线之间形成了一个电场。这个电场大部分集中在传感器 PCB 的两层之间。不过, 边缘电场从发射器扩展到 PCB 之外, 并终止回到接收器。通过片内  $\Sigma$ - $\Delta$  电容数字转换器在接收器处测量电场强度。当人手进入边缘电场时, 电场环境会发生变化, 一部分电场被分流到地而不是终止于接收器。电容值因而减小, 并由转换器检测到, 与皮法量级的电场相比其变化量为飞法量级。

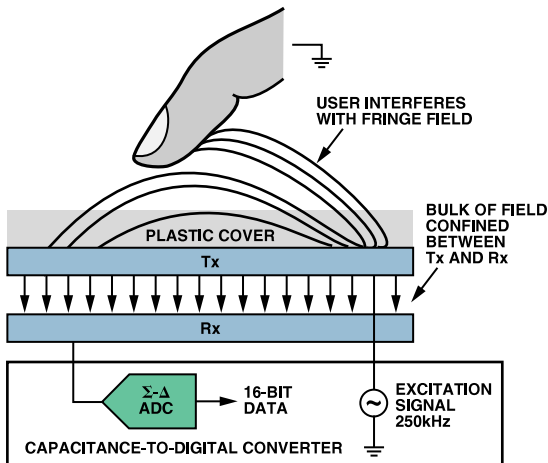


图 1. 检测电容

电容检测解决方案一般由三个部分组成, ADI 公司均可提供相应产品。

- 驱动器 IC 提供激励、电容数字转换器以及补偿电路, 确保在所有环境下都获得准确的结果。
- 传感器就是具有某种形式走线的 PCB, 例如按钮、滚动条、滚轮或一些组合形式。走线材料可以是铜、碳或银, PCB 材料可以是 FR4、flex、PET 或 ITO。
- 主微控制器上的软件, 用于实现串行接口和器件设置以及中断服务程序。对于高分辨率传感器 (例如滚动条和滚轮), 主机通过运行软件算法来实现高分辨率输出。按钮不需要软件。

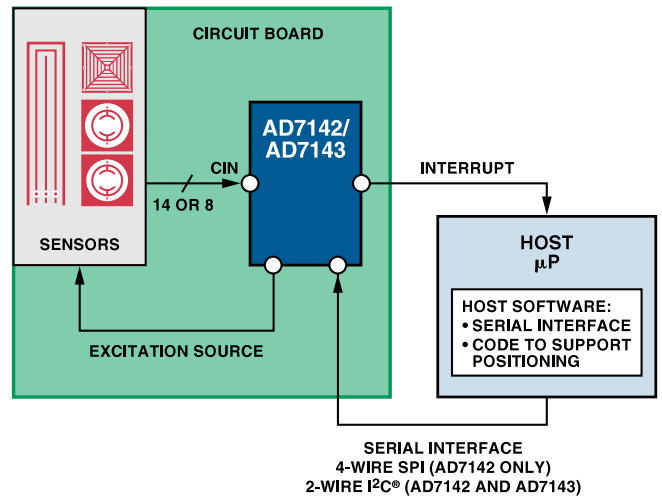


图 2. 三部分组成的电容检测解决方案

问: 电容检测的优点是什么?

答: 由于多种原因, 电容传感器比机械式传感器更可靠。它没有活动部件, 所以受覆盖材料 (例如 MP3 播放器的塑料外壳) 保护的传感器不会磨损。人体绝不会直接接触传感器, 因此也可以隔绝灰尘或液体。因此, 传感器不会被强效清洁剂损坏, 电容传感器特别适合那些需要定期清洁的设备; 考虑到使用中可能遇到意外洒出液体 (例如咖啡) 的情况, 它也适合手持设备。

问: 请更详细地说明 AD714x IC 的工作原理。

答: 这些电容数字转换器专门针对人机界面应用中的电容检测而设计。这些器件的核心是 16 位  $\Sigma$ - $\Delta$  电容数字转换器 (CDC), 它将 (通过开关矩阵发送的) 容性输入信号转换为数字值。转换结果存储在片内寄存器中。片内激励源是一个 250kHz 的方波。

主机通过串行接口读取该结果。AD7142 提供 SPI<sup>®</sup> 或 I<sup>2</sup>C 兼容接口, 有 14 个电容输入引脚。AD7143 提供 I<sup>2</sup>C 接口, 有 8 个电容输入引脚。通过串行接口和一个中断输出, 可以很方便地与任何系统中的主微控制器连接。

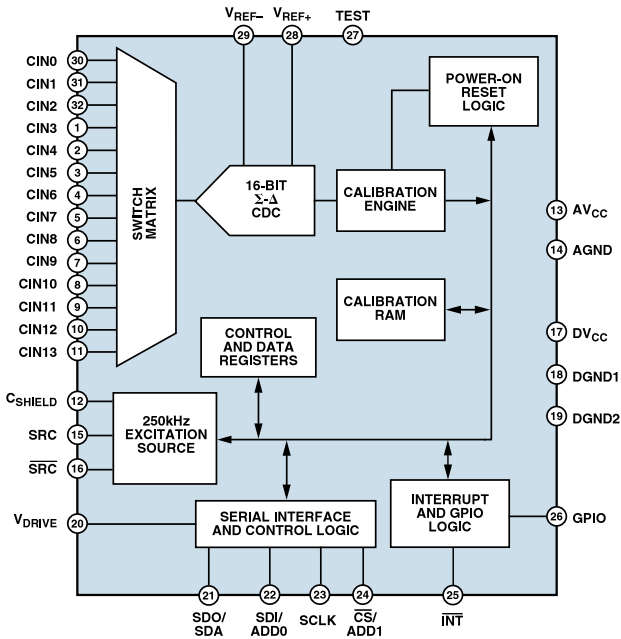


图 3. AD7142 框图

这些器件可以与最多 14 个外部电容传感器接口,用作按钮、滚动条、滚轮或多种传感器组合。外部传感器由一个与 IC 直接接口的 2 层或 4 层 PCB 上的电极组成。

通过内部寄存器编程设置,该器件可与任何输入传感器接口。通过编程设置寄存器也可以控制多种特性,例如求平均及对每个外部传感器进行失调整。片内时序控制器控制如何对每个电容输入进行轮询。

AD714x 还包含用于环境补偿的片内数字逻辑和 528 字的 RAM。湿度、温度和其它环境因素会影响电容传感器的工作;用户对此一目了然,器件通过持续校准予以补偿,以便始终获得无误差的结果。

AD714x 的一个重要功能是控制灵敏度,它能对每个传感器设置不同的灵敏度,控制用户不同的触摸力度来激活传感器。各激活阈值分别独立设置,由此决定何时激活传感器,这在考虑不同大小传感器的工作时至关重要。以包含一个直径 10mm 的大按钮和直径 5mm 的小按钮的应用为例。用户希望用同样的触摸压力来激活这两个按钮,但是电容大小与传感器的面积相关,因此较小的传感器需要更大的触力来激活。为了让最终用户以相同的力激活两个按钮,可以对每个传感器独立设置灵敏度来解决这个问题。

问: 如何考虑环境因素?

答: AD714x 持续测量传感器的电容值。当传感器没有激活时,测得的电容值作为环境值存储起来。当用户接近或触碰电容传感器时,测得的电容值减小或增大。电容阈值存储在片内寄存器中。当测得的电容值超过上限或下限,传感器被激活,如图 4 所示,终端输出被置位。

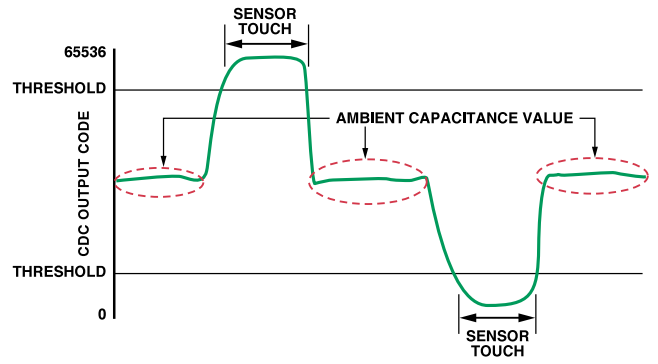


图 4. 传感器激活

图 4 所示为一个理想的解决方案,其中环境电容值不会改变。在现实中,环境电容值不可预测地持续变化,这是温度和湿度的变化造成的。如果环境电容值的变化足够大,它会影响到传感器的激活。在图 5 中,环境电容值增加;传感器 1 正确激活,但用户试图激活传感器 2 时,发生了错误。由于环境值已经增加,因而从传感器 2 测得的电容值变化不足以使其低于下限。无论怎么做,现在都不能激活传感器 2,这种情况下其电容无法降至下限阈值以下。可能最糟的情况是环境电容持续增加,直到超过上限阈值。这种情况下,即使用户没有激活传感器 1,它也会被激活,并保持激活状态,传感器会被“粘着”,直到环境电容下降。

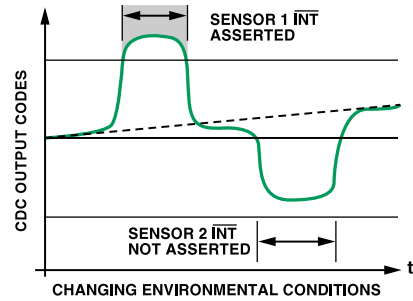


图 5. 通过环境电容变化激活传感器

片内的逻辑电路会处理环境电容值变化产生的影响。如图 6 所示,阈值不是恒定的,它会跟踪环境电容值的任何变化,与环境电容值保持固定的差距,确保由用户激活产生的电容变化始终超过阈值水平。阈值通过片内逻辑保持自适应并存储在片内 RAM 中,无需用户或主处理器介入。

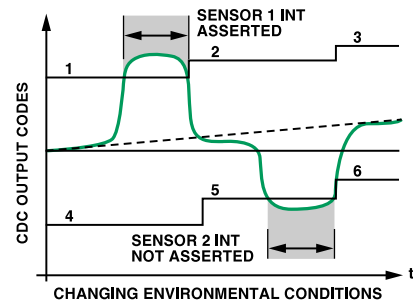


图 6. 通过自适应阈值激活传感器

问：如何使用电容检测？

答：如前所述，传感器走线可以是不同形状、大小，任意数量。按钮、滚轮、滚动条、手柄和触摸板等各种形式可以作为走线布设在传感器 PCB 上。图 7 显示电容传感器布线形式选择。

传感器

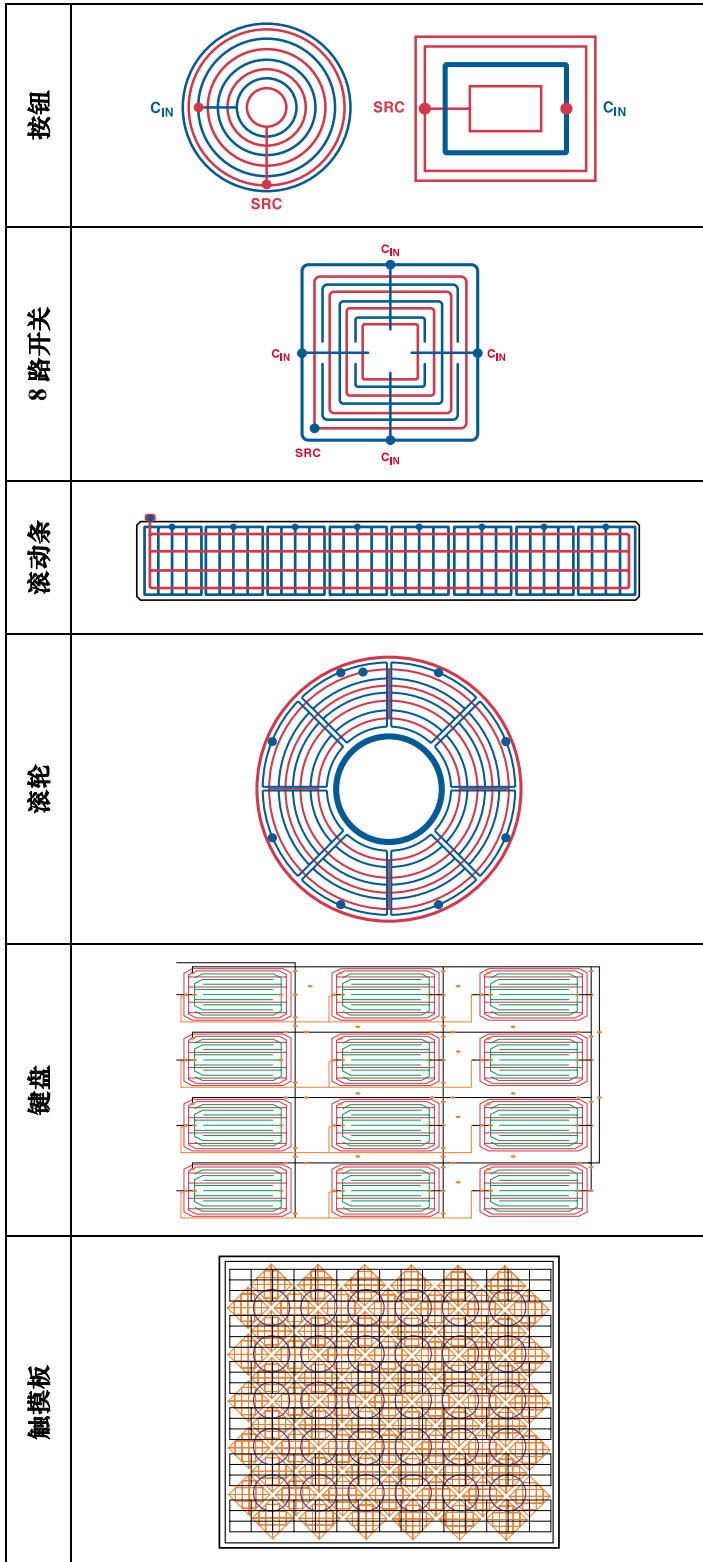


图 7. 电容传感器的选择

有很多实现用户界面的方式可供设计者选择，可以简单地用电容按钮传感器替换机械式按钮，用 8 输出位的手柄省去按钮，或采用滚轮提供 128 个输出位。

多个传感器可以用一个器件实现，这取决于所需传感器的类型。AD7142 有 14 个电容输入引脚和 12 个转换通道。AD7143 有 8 个电容输入和 8 个转换通道。下表显示每种传感器所需输入引脚数和转换级数。任意数量的传感器可以组合使用，数量的上限取决于可提供的输入和通道数量。

传感器类型	所需 C <sub>IN</sub> 输入引脚数	所需转换通道数
按钮	1	1(差分操作为 0.5)
8 路开关	4-上、下、左和右	3
滚动条	8—每段 1 个	8—每段 1 个
滚轮	8—每段 1 个	8—每段 1 个
键盘触摸板	每行 1 个，每列 1 个	每行 1 个，每列 1 个

以轮询方式，对所有连接的传感器依序测量。所有传感器可以在 36ms 内测量，基本上同时检测每个传感器的状态，用户可以非常快地在 40ms 内激活或停用传感器。

问：对于第一次使用的新用户，你们能提供什么设计帮助？

答：ADI 公司为电容传感器的设计人员提供很多资源。设计过程的第一步是确定需要哪种类型的传感器。用户是否需要快速浏览一个很长的列表，例如手机上的联系人或 MP3 播放器上的歌曲？如果是，那么请考虑采用滚动条或者滚轮，让用户能够快速高效地浏览那些列表。用户需要控制光标在屏幕上的移动吗？X-Y 型手柄很适合这种应用。一旦所需传感器的类型、数量和尺寸确定了，传感器 PCB 的设计就可以开始了。

Mentor Graphics PAD 布局库是电容检测设计资源的一部分，可在线下载。该库中提供很多不同类型和大小的传感器，可以直接拖放到 PCB 布局中。可从“[触摸控制器系统框图](#)”<sup>2</sup>中获得这个库。AN-854<sup>3</sup>中也有，这篇应用笔记详细介绍了如何使用传感器库，快速完成所需传感器的布局，以及相关技巧和诀窍。

在设计 PCB 时，将 AD7142 或 AD7143 与传感器放在同一个电路板上，尽可能减少由于移动连接器和电容变化造成的系统误差。LED、连接器、其它集成电路等器件可以与电容传感器放在同一个 PCB 上，但是传感器 PCB 上必须粘贴或压贴覆盖材料，防止传感器上出现空气间隙，在 PCB 上放置任何其它器件时必须考虑到这一点。

在考虑 RF 噪声的应用中，可以使用 RC 滤波器尽可能减少任何对传感器的干扰。在传感器周围使用接地层也能减少干扰。

可以使用双层或四层 PCB。如果没有足够空间，必须在传感器活动区之外使用 4 层设计，在 IC 和传感器之间布线，但如果有足够的布线空间，可以采用 2 层 PCB 设计。