

John Miller

### 使用电感式传感器取代机械开关

长期以来，键盘和按钮应用一直采用机械开关来实现；机械开关通过使电触头碰到一起，（有望）建立低阻抗连接。

在脏乱的环境（例如沙砾、油或水）下，可能需要使用特殊的外壳、垫圈或其他接头，以避免过早失效，进而出现故障，导致过早出现开关故障。虽然可以实现抗污染且稳健的密封型机械开关，但是成本会更高，有时还需要采用特殊的材料，而这会进一步增加成本。

各种开关参数会因为开关的使用和各种环境因素而发生变化，这些变化会导致系统发生故障，或者至少会给系统设计人员带来额外的负担，即需要进行监控，并在参数超出可接受范围时更换开关。

基于触摸屏的键盘还容易因为污垢、油污及其他污物等环境因素、手指脏污或用户佩戴手套而发生故障。

### 电感式感应开关 - 概述

基于电感式感应 (LDC) 的按钮开关基本没有这些缺点。这类开关稳定可靠，不会因为重复性运动磨损而不可避免地出现与活动零件及触点磨损相关的故障。它们可以在无开孔的密封键盘中轻松实施，不受污染干扰，甚至能够在水下保持稳定。它们可以采用宽大的外形尺寸（以支持用户佩戴手套操作）或[适合空间受限应用的较小外形尺寸](#)。

一些设备和设计还能支持多级按钮，另一些拥有内部算法，可管理多种按钮按压操作以及外壳和/或键盘导致的机械失真，从而无需微控制器即可实现这些功能。

电感式触摸按钮可以采用以下三个主要组件来轻松实施：电感式传感器、目标表面以及电感数字转换器 (LDC)。传感器通常可以采用基于 PCB 或柔性电路的线圈来实现。目标表面应该是柔性导电材料，例如厚度足以支持趋肤效应涡流的薄金属。

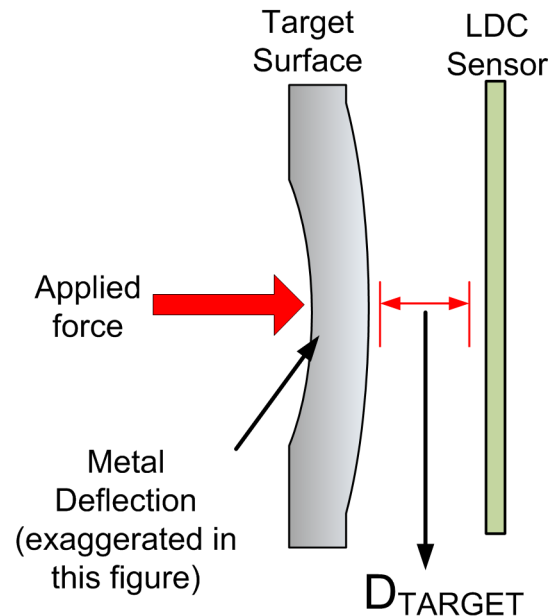


图 1. 电感式触控组件

当目标表面受力时，材料会稍稍偏转，导致电感式传感器和目标表面之间的距离 ( $D_{TARGET}$ ) 缩短。导体发生偏转会导致传感器电感值  $L(d)$  减小，进而导致传感器谐振频率增加，而这由 LDC 进行检测。在目标偏转示例中，如果目标材料为厚度为 1mm 的 430 不锈钢，直径为 20mm 的按钮将会发生约  $0.1 \mu m$  的偏转。当力撤除后，该按钮表面会恢复其原始形状。

### 电感式感应开关 - 灵敏度

影响电感式触摸按钮灵敏度的主要因素包括[目标材料与厚度](#)、[目标距离](#)以及[传感器尺寸](#)。按钮灵敏度由需施加到目标导电表面，以触发所需 LDC 响应的力来定义。

### 目标材料

电导率 ( $\sigma$ ) 越高的材料越适合应用电感式感应技术。在目标表面上产生的涡流大小与目标材料的电导率 ( $\sigma$ ) 直接相关。电导率较高的材料（例如铜、铝或银）是电感式触摸按钮的优选目标。可以在塑料等非导电材料上增加薄薄一层导电材料，来为按钮应用制作有效的目标表面。图 2 通过传感器移频（由 LDC 检测）对目标材料和传感器频率（影响趋肤效应）的依赖关系，展示了 LDC 对材料导电性的灵敏度。[LDC 目标设计](#)应用手册

提供了额外的详细信息，而通过基于电子表格的 [LDC 检测设计计算器工具](#)，您可以计算目标电导率和厚度的影响并进行建模。

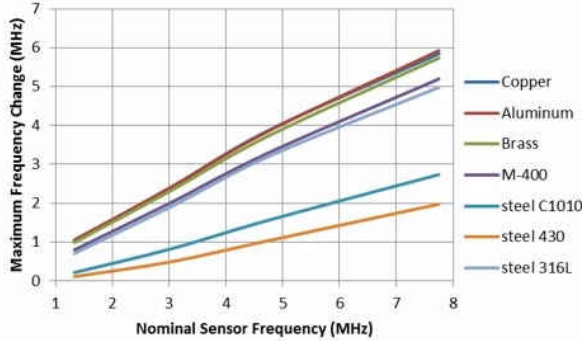


图 2. 目标感应移频与标称传感器频率之间的关系

对目标表面施加一定的力所产生的偏转与材料的抗拉强度和厚度成反比。与较厚或刚性较高的材料相比，较薄或刚性较低的材料所需的力较小。借助前文提到的[电子表格工具](#)，可以对此进行建模。

### 目标距离 ( $D_{TARGET}$ ) 和传感器尺寸

如前所述，电感式感应开关依靠的是与电感式传感器产生的电磁场的相互作用。电磁场线与传感器直径成正比，而它们在目标表面上产生的涡流会随着  $D_{TARGET}$  增加而减小。

图 3 展示了开关灵敏度对目标距离的依赖关系，因为它与传感器直径有关。如图所示，当  $D_{TARGET}$  位于传感器线圈直径的 20% 范围内时，开关灵敏度最出色。

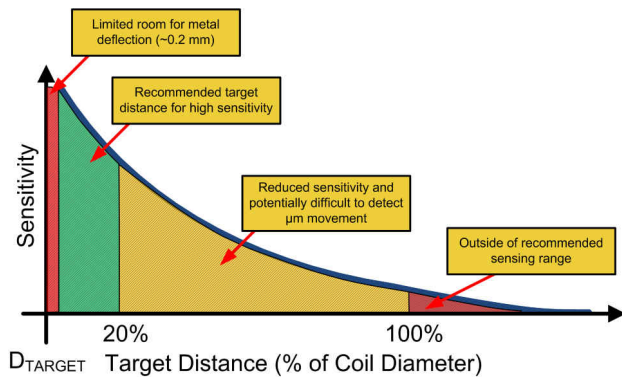


图 3. 显示了按钮灵敏度与  $D_{TARGET}$  之间的关系。

### 高分辨率 LDC 中面向按钮的特性

由于 LDC 具有高分辨率，因此即便是在目标的偏转或移动很小时，也能够实现可靠的电感式开关设计。例如，在采用 0.2mm 铝材料的 3mm x 10mm 小按钮中，当施加大小 1.5N 的力时，产生的偏转为  $1.9 \mu\text{m}$ 。这个相对较小的位移会导致下方 LC 电路的谐振频率发生 1000ppm 的变化（或者传感器的电感发

生 2000ppm 的变化），而这个变化可由 LDC3114 等器件轻松检测到。

如前所述，基于 LDC 的开关的主要优势之一是能够轻松地密封开关组件，因此它们不受温度、潮湿、脏污及其他污物的影响。它们还能够承受掉落或开关外壳凹陷而导致的机械应力。

电感开关随温度而发生的变化可以通过 LDC 的基线跟踪算法来适应，如图 4 所示。总而言之，基线跟踪可以提供按钮输入信号的高通滤波版本。LDC3114 或 LDC2114 通过从用户交互驱动的输出代码（通过 50ms 典型时间跨度）减去输出代码的缓慢变化版本（几秒内的变化）来实现这一点。有关更多信息，请参阅相应的器件数据表或 [LDC211x 和 LDC3114 内部算法功能](#) 应用手册。

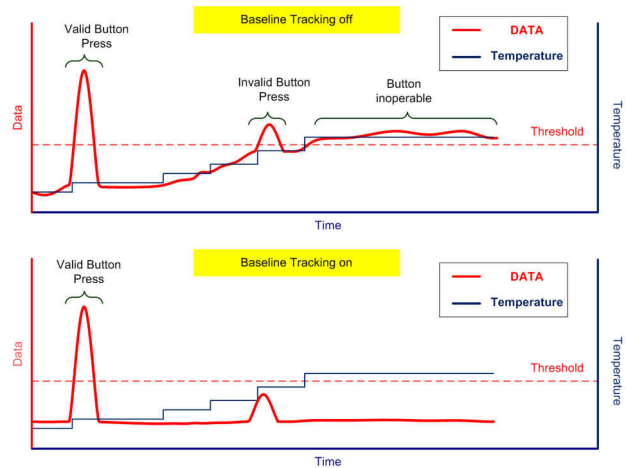


图 4. 基线跟踪功能关闭和打开情况下的按钮按压响应

通过比较图 4 的曲线图展示了基线跟踪功能的影响。顶部曲线图显示了因按钮误按而导致的数据输出变化情况（可能是温度变化导致的）。底部曲线图（基线跟踪启用时）显示了如何从瞬时输出数据中减去缓慢变化的输出代码跟踪数据，来防止出现错误的按钮按下操作。

LDC3114 或 LDC2114 基线跟踪功能可以通过内部寄存器设置来针对正常功耗模式或低功耗模式进行优化。

### 按钮灵敏度

LDC 按钮灵敏度可以通过器件 GAINn 寄存器中的 64 级增益系数进行优化。通过它，可以对各个按钮进行灵敏度增强，从而确保不同的机械结构之间具有一致的行为。应用所需的增益主要由各个按钮的机械刚度决定。

### 按钮触发阈值

在变形后恢复到原始状态时，每种目标材料都会表现出一定的迟滞。迟滞大小取决于材料属性以及尺寸和厚度等物理参数。此功能会根据不同材料和各种按钮形状与尺寸来优化按钮信号阈值的迟滞。

## 减少按钮操作误检

**LDC3114** 具有数字 **OUTx** 引脚，用于独立于 **I<sup>2</sup>C** 接口来指示按钮活动，因此在初始设置后，**LDC3114** 可以独立于微控制器工作。**LDC3114** 或 **LDC2114** 电感式开关无需外部微控制器干预，即可支持减少按钮操作误检和多次按钮按压的功能。这些功能的详细介绍可在 **LDC211x** 和 **LDC3114** [内部算法功能](#) 应用手册中找到，下文提供了功能描述总结：

可以在各个按钮上实现 **Anti-Common** 功能来消除误检情况，即用户按下两个或更多按钮的中间，进而导致多个按钮出现共模响应的情况。

**Max-Win** 功能则让系统能够在多个按钮被同时按下时选择按下力度最大的按钮。当两个按钮靠得很近时，便可能会发生类似这样的情形，按下其中一个按钮会导致另一个按钮出现残留反应。可以为各个按钮分别启用 **Max-Win** 功能。

**Anti-Twist** 算法可减少外壳扭曲时出现误检的可能性。外壳扭矩可能导致按钮出现意外机械激活，或者两个相邻按钮出现相反反应。启用此算法时，如果根据可配置的阈值得出任何按钮上的输出数据为负值，则会抑制对按钮按压的检测。

**Anti-Deform** 功能会滤除一个或多个按钮附近金属变形导致的变化。此类金属变形可能由按下没有充分机械隔离的相邻按钮而意外导致。

## 总结和器件建议

通过采用基于电感式传感器的开关，可以轻松克服环境污染和磨损导致的机械开关故障。如果您的系统会因采用低功耗、低电压、高分辨率电感式开关而受益，那么 **LDC3114** 或 **LDC2114** 会是不错的选择。如果您的系统要求使用电压较高、分辨率较低的开关，那么也可以将 **LDC161X** 系列器件用作电感式开关。有关更多信息，请参阅 [电感式感应触控金属按钮设计指南](#)。

## 参考文献

- 德州仪器 (TI), [用于 HMI 的电感式触摸按钮](#) 应用简报
- 德州仪器 (TI), [LDC 目标设计](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [适用于 HMI 按钮应用的电感触控系统设计指南](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [采用 LDC、用于电感式感应应用的传感器设计](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [电感式感应触控金属按钮设计指南](#) 应用手册

## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司