



AN64846

## CapSense®入门

文档编号: 001-91943 版本\*E

赛普拉斯半导体公司  
198 Champion Court  
San Jose, CA 95134-1709  
<http://www.cypress.com>

**版权所有**

© 赛普拉斯半导体公司，2010-2020 年。本文件是赛普拉斯半导体公司及其子公司，包括 Spansion LLC（“赛普拉斯”）的财产。本文件，包括其包含或引用的任何软件或固件（“软件”），根据全球范围内的知识产权法律以及美国与其他国家签署条约归赛普拉斯所有。除非在本款中另有明确规定，赛普拉斯保留在该等法律和条约下的所有权利，且未就其专利、版权、商标或其他知识产权授予任何许可。如果软件没有附带许可协议且贵方未以其他方式与赛普拉斯签署关于使用软件的书面协议，赛普拉斯特此授予贵方适用于个人的、非独占性、不可转让的许可（无转授许可权）（1）在版权保护下的软件（a）以源代码形式提供的软件，只能是在组织内部为了使用赛普拉斯的硬件去修改和复制。（b）以二进制代码形式从外部发到终端用户（直接或间接通过经销商和分销商），仅用于赛普拉斯硬件产品单元。（2）在软件（由赛普拉斯公司提供，且未经修改）侵犯赛普拉斯专利的权利主张下，仅许可在赛普拉斯硬件产品上制造、使用、提供和导入软件。禁止对软件的任何其他使用、复制、修改、翻译或编译。

赛普拉斯不对此材料提供任何类型的明示或暗示保证，包括但不限于针对特定用途的适销性和适用性的暗示保证。没有任何电子设备是绝对安全的。因此，尽管赛普拉斯在其硬件和软件产品中采取了必要的安全措施，但是赛普拉斯并不承担任何由于使用赛普拉斯产品而引起的安全问题及安全漏洞的责任，例如未经授权的访问或使用赛普拉斯产品。此外，本材料中所介绍的赛普拉斯产品有可能存在设计缺陷或设计错误，从而导致产品的性能与公布的规格不一致。（如果发现此类问题，赛普拉斯会提供勘误表）赛普拉斯保留更改本文件的权利，届时将不另行通知。在适用法律允许的范围内，赛普拉斯不对因应用或使用本文件所述任何产品或电路引起的任何后果负责。本文件，包括任何样本设计信息或程序代码信息，仅为供参考之目的提供。文件使用人应负责正确设计、计划和测试信息应用和由此生产的任何产品的功能和安全性。赛普拉斯产品不应被设计为、设定为或授权用作武器操作、武器系统、核设施、生命支持设备或系统、其他医疗设备或系统（包括急救设备和手术植入物）、污染控制或有害物质管理系统中的关键部件，或产品植入之设备或系统故障可能导致人身伤害、死亡或财产损失其他用途（“非预期用途”）。关键部件指，若该部件发生故障，经合理预期会导致设备或系统故障或会影响设备或系统安全性和有效性的部件。针对由赛普拉斯产品非预期用途产生或相关的任何主张、费用、损失和其他责任，赛普拉斯不承担全部或部分责任且贵方不应追究赛普拉斯之责任。贵方应赔偿并保护赛普拉斯免受所有索赔的损害，包括因人身伤害或死亡引起的索赔、费用、损失和其它责任。

赛普拉斯、赛普拉斯徽标、Spansion、Spansion 徽标，及上述项目的组合，WICED，及 PSoC、CapSense、EZ-USB、F-RAM 和 Traveo 应视为赛普拉斯在美国和其他国家的商标或注册商标。请访问 [cypress.com](http://cypress.com) 获取赛普拉斯商标的完整列表。其他名称和品牌可能由其各自所有者主张为该方财产。

# 目录



<b>1. 简介</b>	<b>7</b>
1.1 如何使用本指南	7
1.2 代码示例	7
1.3 赛普拉斯 CapSense 的优点	7
1.4 CapSense 设计流程	8
1.5 文档规范	9
<b>2. CapSense 技术</b>	<b>10</b>
2.1 CapSense 系统概述	10
2.1.1 硬件组件	10
2.1.2 固件组件	12
2.2 电容式感应方法	12
2.2.1 自电容	12
2.2.2 互电容	14
2.3 CapSense 感应技术	15
2.3.1 电容转换	15
2.3.2 含 Sigma Delta 调制器的 CapSense (CSD)	15
2.4 CapSense 调校	17
2.4.1 定义	18
2.4.2 SmartSense 自动调校	19
2.5 信噪比 (SNR)	21
2.5.1 SNR 的测量	22
2.6 CapSense Widget	22
2.6.1 按键 (零维传感器)	23
2.6.2 滑条传感器 (一维传感器)	24
2.6.3 触摸屏和触控板 (二维传感器)	26
2.6.4 接近感应传感器 (三维传感器)	26
2.7 传感器结构	26
2.7.1 铜线耦合电场 (PCB)	27
2.7.2 通过弹簧/垫圈/泡沫耦合电场	27
2.7.3 通过电子油墨耦合电场	28
2.7.4 通过玻璃上的 ITO 薄膜耦合电场	28
2.8 防水功能	28
2.8.1 水滴和水流对 CapSense 产生的影响	29
2.8.2 驱动屏蔽信号和屏蔽电极	31

2.8.3	保护传感器.....	31
2.8.4	水属性对防水功能的影响 .....	31
2.9	接近感应 .....	32
2.9.1	基于 CapSense 的接近感应应用 .....	32
2.9.2	基于 CapSense 的接近感应 .....	34
2.10	用户界面反馈 .....	35
2.10.1	视觉反馈 .....	35
2.10.2	触觉反馈 .....	36
2.10.3	听觉反馈 .....	37
3.	设计的注意事项 .....	38
3.1	覆盖层选择.....	38
3.1.1	覆盖层材料.....	38
3.1.2	覆盖层厚度.....	39
3.1.3	覆盖层粘合剂 .....	39
3.2	ESD 保护 .....	39
3.2.1	防止 ESD 放电 .....	40
3.2.2	重定向 .....	40
3.2.3	钳制 .....	41
3.3	电磁兼容性（EMC）注意事项 .....	41
3.3.1	辐射干扰及辐射.....	41
3.3.2	抗传导干扰和辐射 .....	52
3.4	软件滤波 .....	53
3.4.1	均值滤波器.....	53
3.4.2	IIR 滤波器 .....	55
3.4.3	中值滤波器.....	56
3.4.4	抖动滤波器.....	57
3.4.5	基于事件的滤波器 .....	59
3.4.6	基于规则的滤波器 .....	59
3.5	功耗 .....	59
3.5.1	工作电流和睡眠电流 .....	59
3.5.2	平均电流 .....	59
3.5.3	响应时间与功耗.....	60
3.6	接近感应设计 .....	61
3.6.1	实现基于 CapSense 的接近感应 .....	61
3.6.2	接近感应传感器设计 .....	63
3.6.3	影响接近感应距离的因素 .....	64
3.7	引脚分配 .....	68
3.8	PCB 布局指南 .....	70
3.8.1	寄生电容 $C_P$ .....	70
3.8.2	电路板的各个层.....	70
3.8.3	电路板厚度.....	71
3.8.4	按键设计 .....	71
3.8.5	滑条设计 .....	72

3.8.6	传感器和器件放置 .....	78
3.8.7	走线长度和宽度 .....	79
3.8.8	走线路由 .....	79
3.8.9	串扰解决方案 .....	80
3.8.10	LED 与 CapSense 传感器接近 .....	81
3.8.11	过孔 .....	81
3.8.12	接地层 .....	82
3.8.13	电源的布局建议 .....	82
3.8.14	屏蔽电极和保护传感器 .....	84
3.8.15	单层 PCB 的 CapSense 系统设计 PCB .....	87
3.8.16	使用 ITO 进行 CapSense System 设计 .....	87
3.9	PCB 安装及焊接 .....	87
<b>4.</b>	<b>CapSense 选择器指南 .....</b>	<b>88</b>
4.1	定义 CapSense 要求 .....	88
4.2	CapSense 产品系列 .....	90
4.2.1	可配置 CapSense 控制器 (CapSense Express 系列) .....	90
4.2.2	可编程 CapSense 控制器 .....	92
<b>5.</b>	<b>CapSense 资源 .....</b>	<b>99</b>
5.1	CapSense 设计指南与应用笔记 .....	102
5.2	其他 CapSense 资源 .....	102
5.2.1	赛普拉斯文档管理器 .....	102
5.2.2	网站 .....	103
5.3	软件工具 .....	104
5.3.1	集成开发环境 .....	104
5.3.2	数据监控工具 .....	105
5.3.3	CapSense 调谐器 .....	105
5.3.4	EZ-Click™ .....	106
5.3.5	桥接控制面板 .....	106
5.4	开发套件 .....	106
5.4.1	PSoC 4 开发套件 .....	106
5.4.2	PSoC 3 和 PSoC 5LP 开发套件 .....	106
5.4.3	CapSense Express 开发套件 .....	107
5.4.4	PSoC 1 开发套件 .....	107
5.4.5	针对编程和调试的套件 .....	107
5.5	设计支持 .....	107
<b>A.</b>	<b>弹簧按键 .....</b>	<b>108</b>
A.1	手指引起的电容 .....	108
A.1.1	将弹簧安装到 PCB 上 .....	110
A.2	CapSense 和机械按键结合 .....	111
A.3	设计示例 .....	111

<b>B. 原理图和布局表 .....</b>	<b>113</b>
B.1 原理图检查表 .....	113
B.1.1 去耦电容 .....	113
B.1.2 批量电容 .....	113
B.1.3 引脚分配 .....	113
B.1.4 C <sub>MOD</sub> .....	113
B.1.5 R <sub>B</sub> .....	114
B.1.6 CapSense 线路上的串联电阻 .....	114
B.1.7 通信线路上的串联电阻 .....	114
B.2 布局检查表 .....	115
B.2.1 按键 .....	116
B.2.2 滑条 .....	116
B.2.3 覆盖层 .....	117
B.2.4 传感器走线 .....	117
B.2.5 传感器上的过孔 .....	117
B.2.6 接地层/网 .....	117
B.2.7 串联电阻 .....	118
B.2.8 屏蔽电极 .....	118
B.2.9 保护传感器 .....	118
<b>C. 传感器离地间隔 .....</b>	<b>119</b>
<b>D. PSoC 1 在线仿真 (ICE) 转接板 .....</b>	<b>122</b>
D.1 评估转接板 .....	122
D.2 在线仿真 (ICE) 转接板套件 .....	122
<b>术语表 .....</b>	<b>123</b>
<b>修订记录 .....</b>	<b>128</b>

# 1. 简介



## 1.1 如何使用本指南

对于不熟悉电容式触摸感应（CapSense®）的用户，本指南是一个理想的起点。通过本指南，您可以：

- 熟悉 **CapSense** 解决方案的基础技术
- 了解重要的设计注意事项，例如，原理图设计、PCB 布局和 EMI（电磁干扰）
- 为您的应用选择合适的器件
- 查找对您设计有用的 **CapSense** 资源

当开始着手您的应用设计时，请查阅所选 **CapSense** 器件系列的专用 [设计指南](#)。请参阅 [术语表](#) 部分，了解各个 **CapSense** 术语的定义。

## 1.2 代码示例

如需寻找包含上百 PSoC 代码示例并有不断更新的®网上资源，请浏览我们的 [代码示例网页](#)。您还可以在 [此处](#) 观看 PSoC 4 视频库。

## 1.3 赛普拉斯 CapSense 的优点

电容式触摸感应技术使移动电话、个人电脑、消费类电子产品、汽车和白色家电等产品的工业设计有了新的面貌。赛普拉斯 **CapSense** 解决方案为您的设计提供精致、可靠和易用的电容式触摸感应功能。我们的电容式触摸感应解决方案已代替了四十亿个机械按键。与基于机械按键的设计相比，基于 **CapSense** 的用户界面设计具有以下优点：

- 由于物理位置的移动，机械按键的可靠性较低，并且随着时间推移，会产生磨损。**CapSense** 设计不采用活动件。
- 当水分通过包装的缝隙渗透时，机械按键会引起不良问题。覆盖层能够完全密封基于 **CapSense** 的前面板。
- 同触摸按键相比，机械按键需要稍微用力按下才能工作；由于各个缝隙内的污垢随着时间的积累，也要不断加大按压力度。
- 机械按键使用多个部件，会加大 BOM 成本，但多个 **CapSense** 设计只包含一个 PCB 板和一个带有粘合剂的覆盖层。
- 机械按键会增加创建前面板中开孔的加工成本。**CapSense** 设计则不需要这样的开孔。
- 和机械按键相比，触摸按键的外观更时尚精美。通过使用按键形状和图形代表，**CapSense** 设计还允许更灵活地设计用户界面。

赛普拉斯强大的 **CapSense** 解决方案利用了可编程片上系统（PSoC）架构，从而可缩短产品的上市时间、集成关键系统功能并降低材料表（BOM）成本。赛普拉斯提供多种可配置和可编程的 **CapSense** 控制器。可以通过硬件或 I<sup>2</sup>C 配置 **CapSense** 控制器。可编程器件非常灵活，可以满足您确切的设计要求，包括进一步集成系统功能以降低 BOM 成本。**CapSense** 产品提供了以下各项独有的特性：

- 感应技术强大稳定
- 抗噪能力强

- 在覆盖材料和厚度不同的条件下仍能提供高性能感应
- SmartSense™ 自动调校技术
- 接近感应
- 防水功能
- 包含听觉、视觉和触觉反馈的完整用户界面解决方案
- 低功耗
- 宽工作电压范围（1.71 V– 5.5 V）
- 封装尺寸小
- 通过集成功能（ADC、DAC、定时器、计数器和 PWM）降低 BOM 成本

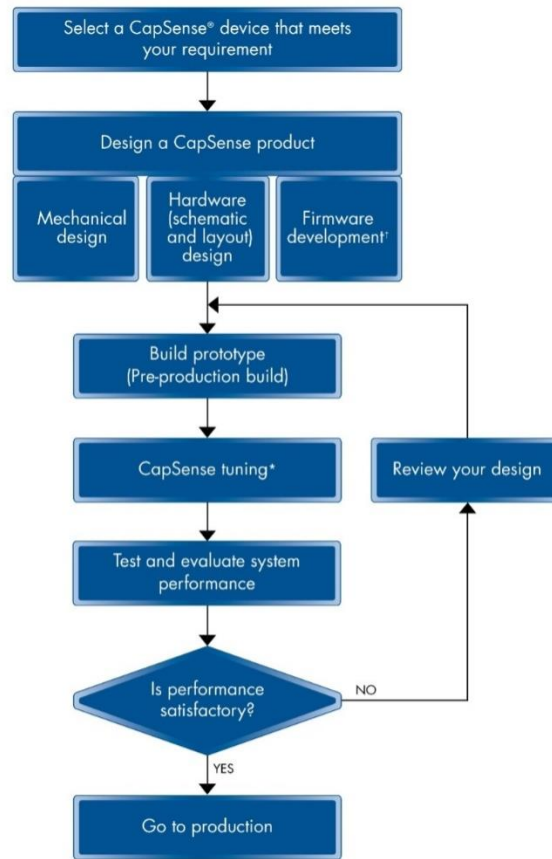
## 1.4 CapSense 设计流程

图 1-1 显示的是 CapSense 产品设计中的典型流程。除了 CapSense 设计包含了一个被称为“调校”的额外步骤以外，该流程与所有其他电子系统的设计流程相似。“调校”是使 CapSense 操作中所需的各种硬件和软件参数达到最优值的过程。这些参数的设置取决于电路板布局、传感器尺寸、覆盖层属性以及应用的要求（如功耗和响应时间）。因此，通常在预生产的编译版本就绪时已经实现了该步骤。多种 CapSense 器件支持被称为 SmartSense 的赛普拉斯自动调校算法。设计阶段结束后，该算法将自动配置各个参数以得到最佳性能，然后连续补偿由于系统、生产过程和环境不同引起的变化。

外壳设计是 CapSense 产品设计的一个重要部分，因为终端产品的外观和性能取决于外壳材料及其设计。由于外壳作为传感器的覆盖层，触摸感应性能依赖于覆盖层属性（如厚度和材料）。因此，必须测试并评估该性能和覆盖层材料，该操作类似于终端产品的原型制作阶段所进行的操作。



图 1-1. 典型的 CapSense 产品设计流程



¹ = Applicable for programmable devices

\* = CapSense devices support SmartSense™ Auto-Tuning algorithm

## 1.5 文档规范

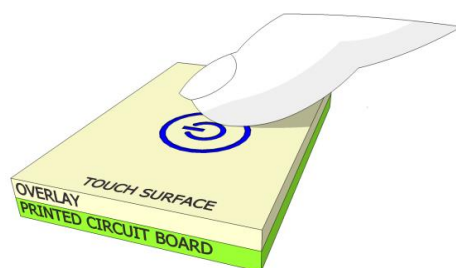
规范	使用说明
Courier New 字体	用于显示文件位置、用户输入的文本和源代码： C:\ ...cd\icc\
斜体字	用于显示文件名称和参考文档： 请阅读 <i>PSoC Designer 的用户指南</i> 文档中的 <i>sourcefile.hex</i> 文件。
File > Open	表示菜单路径： File > Open > New Project
粗体字	用于显示操作过程中的各条命令、菜单路径和图标名称： 请点击 <b>File</b> 图标，然后点击 <b>Open</b> 。
Times New Roman 字体	用于显示公式： $2 + 2 = 4$
灰色框中的文本	用于说明警告或产品的独特功能。

## 2. CapSense 技术



赛普拉斯 CapSense 控制器通过电容的变化来检测手指接近或触及触摸表面，如图 2-1 所示。下图的触摸按键示例解释了电容式传感器如何代替机械按键。感应功能是利用硬件和固件组合来实现的。请参阅术语表部分，了解各个 CapSense 术语的定义。

图 2-1. 电容式传感器应用说明



### 2.1 CapSense 系统概述

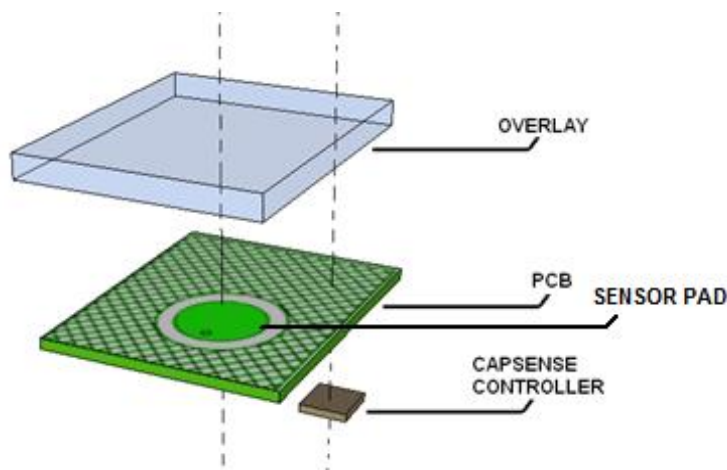
CapSense 触摸感应解决方案包括其运行的整体系统环境。其中包括：

- 硬件组件，例如 PCB 和保护传感器
- 处理传感器数据的固件

#### 2.1.1 硬件组件

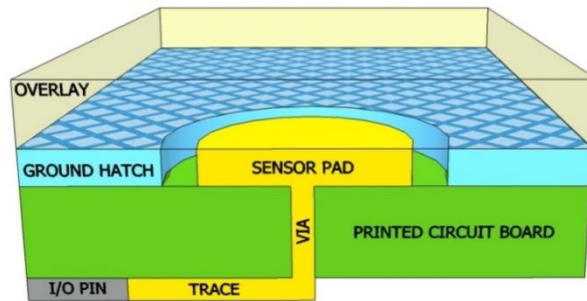
CapSense 控制器存在于一个比印制电路板（PCB）更大的系统中，一个被称作防护层的触摸界面用来保护 PCB 也是这个系统的一部分。

图 2-2. CapSense 硬件分解图



传感器板的电容传感器垫块由 PCB 上的各条走线构成。最常见的 PCB 样式是一种顶端含传感器导电片和网格接地（请参见[接地层](#)一节），底端含电子组件的两层板。在底层的电子组件周围也使用接地层。电子组件包括 CapSense 控制器以及将传感器电容转换为原始数字信号的相关零件。图 2-3 展示了两层板的横断面图。如果必须最小化电路板的面积，则可以选择四层设计。PCB 布局对 CapSense 系统性能发挥着非常重要的作用。欲了解最佳的操作，请参阅特定器件的[设计指南](#)。

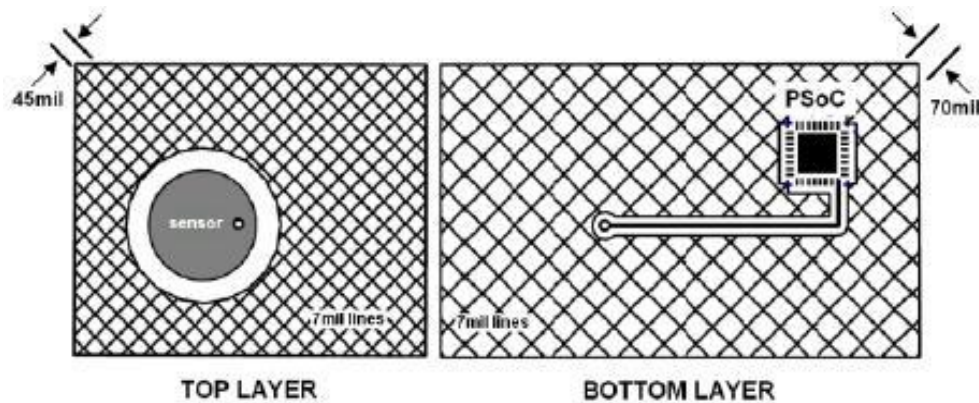
图 2-3. CapSense 板的两层层叠结构



### 2.1.1.1 接地层

通常情况下，在 PCB 板上正确放置接地层会降低 RF 辐射和干扰。但是，接近 CapSense 传感器或用于将这些传感器连接至 PSoC 引脚的走线的实心接地层会增大传感器的寄生电容。寄生电容越高，电容传感器的灵敏度越低，所以不希望发生这种情况。因此，推荐在传感器周围以及传感器下方的 PCB 板底层上使用网格接地层，如图 2-4 所示。网格接地规格：在顶层上信号线宽度为 7 mil，它们的间距为 45 mil；在底层上该间距为 70 mil。如果需要具有防水功能，顶层上同样的接地网格需要与屏蔽信号相连接。请参见[防水功能](#)一节，了解更多信息。

图 2-4. PCB 板上的接地层填充

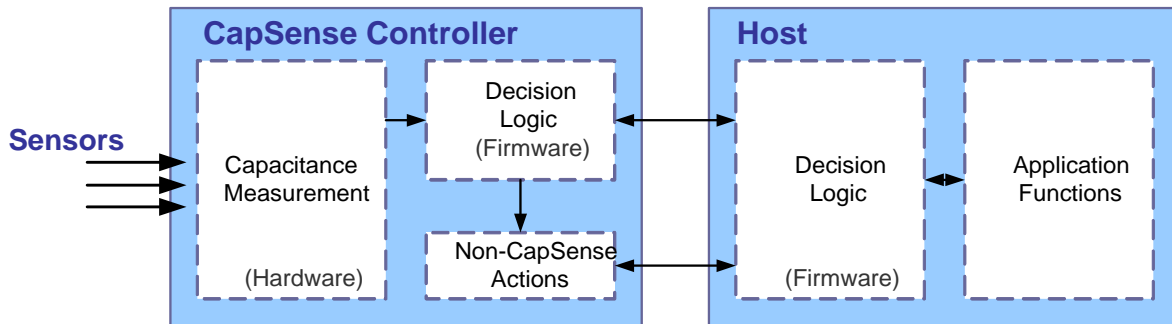


## 2.1.2 固件组件

固件是 CapSense 系统的重要组成部分，用于处理原始信号数据并作出逻辑判断。应用中所需要的固件开发数量取决于所选的 CapSense 控制器系列类型。

CapSense Express 系列器件可通过硬件或 I<sup>2</sup>C 进行完整配置，无需在 CapSense 控制器本身上进行任何固件开发。可将手指触摸数据发送给主机，以进行更高层次的处理；请参见图 2-5。这些器件适用于要求设计简单且快速上市的系统。

图 2-5. CapSense Express 系统实施示例



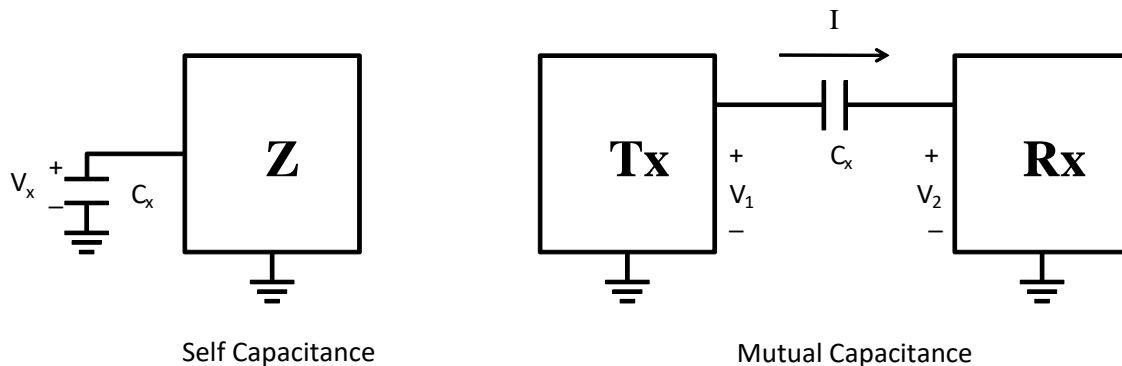
可编程器件支持复杂的系统级集成。这些控制器可处理原始数据并执行其他的系统功能。

请参阅 CapSense 选择器指南，以了解详情。赛普拉斯的 PSoC Creator™ 和 PSoC Designer 采用 C 语言和汇编语言进行固件开发。欲了解有关它们和其他工具的信息，请参考软件工具一节中介绍的内容。

## 2.2 电容式感应方法

使用自电容或互电容可以测量两点之间的电容。图 2-6 左侧显示的是自电容感应技术，右侧显示的是互电容感应技术。

图 2-6. 自电容和互电容感应技术

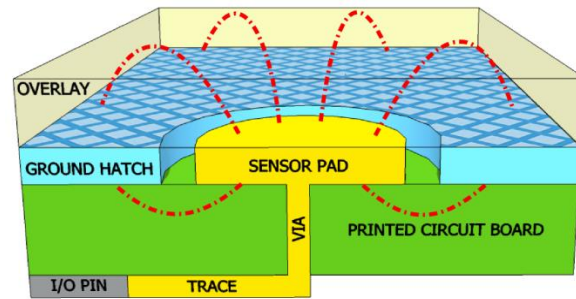


### 2.2.1 自电容

自电容使用一个引脚，并测量该引脚和电源地之间的电容。自电容感应系统的工作原理是，驱动与传感器相连的引脚上的电流并测量电压。若将手指放在传感器上，则测得的电容会增加。自电容感应最适合用于单点触摸传感器，如按键和滑条。

对于单点触摸传感器和滑条，赛普拉斯的 CapSense 解决方案使用自电容感应，因为该技术能有效地使用引脚。

在 CapSense 自电容系统中，由控制器测量的传感器电容被称为  $C_s$ 。当手指不在传感器上时， $C_s$  等于系统的寄生电容（ $C_P$ ）。寄生电容是分布电容的简化形式，其中包括传感器垫块效应、覆盖层效应、CapSense 控制器引脚和传感器垫块之间走线的效应、穿过电路板的过孔的效应以及 CapSense 控制器引脚电容的效应。 $C_P$  与传感器垫块周围的电场有关。尽管下面框图仅显示了传感器垫片周围的电场线，但实际电场比这复杂得多。

图 2-7.  $C_P$  和电场


当手指触碰传感器表面时，手指和传感器垫片会通过覆盖层形成一个简单的平行板电容。该电容被称为手指电容，即  $C_F$ ，并在公式 1 得到定义。 $C_F$  是分布电容的简化形式，其中包括人体和返回路径对电路板接地层的效应。

$$C_F = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{D}$$

公式 1

其中：

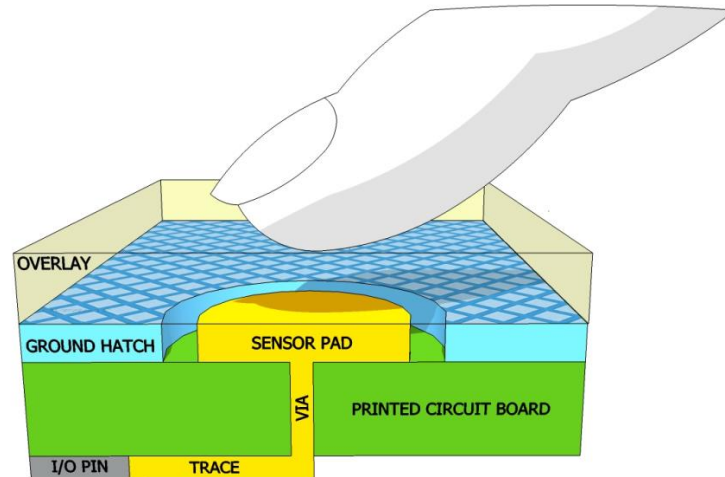
$\epsilon_0$  = 空气介电常数

$\epsilon_r$  = 覆盖层的介电常数

A = 手指与传感器垫片覆盖层的接触面积

D = 覆盖层的厚度

图 2-8. CapSense 系统等效模型



当手指位于传感器表面时， $C_S$  等于  $C_P$  和  $C_F$  的总和。

$$C_S = C_P + C_F$$

公式 2

## 2.2.2 互电容

图 2-9 显示了互电容感应技术的按键传感器布局。互电容感应将测量两个电极间的电容。其中一个电极被称为发送电极 (TX)，另一个被称为接收电极 (RX)。

在互电容测量系统中，为 TX 引脚提供数字电压 ( $V_{DD}$  和 GND 间的信号切换)，并测量 RX 引脚上所接收到的电荷。在 RX 电极上接收到的电荷与两个电极间的互电容 ( $C_M$ ) 成正比。

在 TX 和 RX 电极间放置手指时，互电容会降低到  $C_M^1$ ，如图 2-10 所示。由于互电容降低，RX 电极上接收到的电荷也会降低。CapSense 系统通过测量 RX 电极上接收到的电荷来检测触摸/无触摸状态。

图 2-9. 互电容感应操作

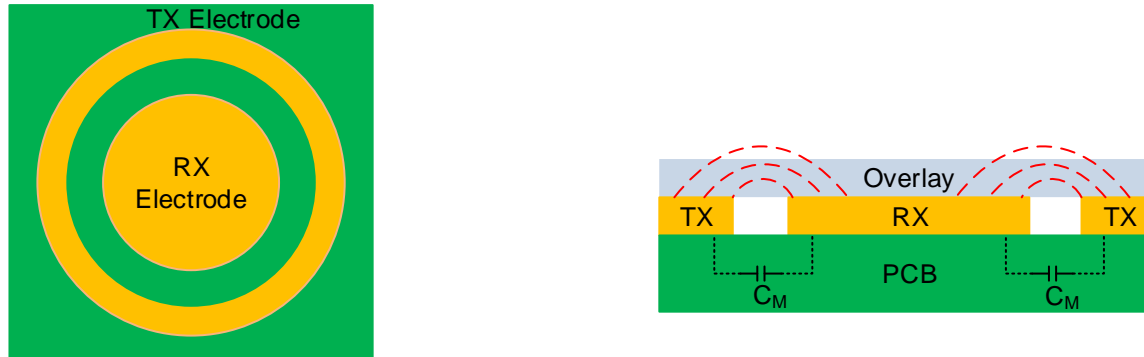
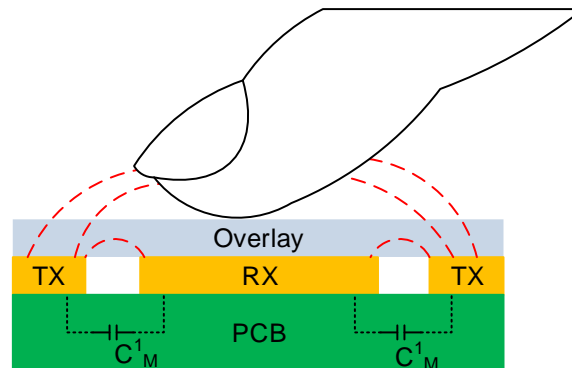


图 2-10. 使用手指触摸的互电容



互电容效应最适合用于多点触摸系统，如触摸屏和触控板。赛普拉斯为各种消费类应用提供了基于互电容的触控板解决方案，同时也为各种汽车级产品和家用应用提供了 **TrueTouch®** 触摸屏解决方案。有关详细信息，请直接联系您所在地的赛普拉斯销售办事处。要获取您所在地销售办事处的地址，请单击[此处](#)。

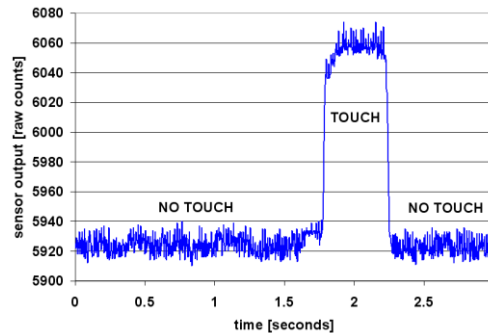
## 2.3 CapSense 感应技术

本节介绍了在 CapSense 器件中实现的自电容测量方法。

### 2.3.1 电容转换

CapSense 硬件将传感器电容转换为数字数据，称作原始数据。原始数据被解析为传感器的“触摸”和“无触摸”两种状态，如图 2-11 所示。原始数据的数值是传感器电容的数字值，它随着电容的增加而增加，如第 2.3.2 章节中所述。原始数据与传感器电容使用的平均电流成正比，它随着电容的增大而增加。灵敏度用来衡量在给定输入变化量下输出变化量的多少。CapSense 传感器的灵敏度单位为每 pF 的计数量。

图 2-11. 感应算法输出



### 2.3.2 含 Sigma Delta 调制器的 CapSense (CSD)

图 2-12 中所示的赛普拉斯 CSD 方法使用了系统前端上的开关电容电路将传感器电容 ( $C_P$ ) 转换为一个等效电阻 (请参考图 2-13)。Sigma-Delta 调制器将通过等效电阻的电流转换成数字数据。当手指 ( $C_F$ ) 位于传感器上时，电容会增加，等效电阻会下降。这样会增大通过电阻的电流 (Sigma-Delta 调制器通过控制调制 IDAC 使该电流保持平衡)，从而会加大数字数据。Sigma Delta 转换器通过 CMOD 电容将模拟复用器总线 (AMUXBUS) 的电压保持为一个恒定的  $V_{REF}$  值 (典型值为 1.2 V)。将外部电阻 ( $R_S$ )、传感器和 AMUXBUS 电阻 ( $R_{bus}$ ) 串联在一起，这样可提高抗噪能力。推荐使用大小为 560  $\Omega$  的电阻  $R_S$ 。

图 2-12. CSD 框图

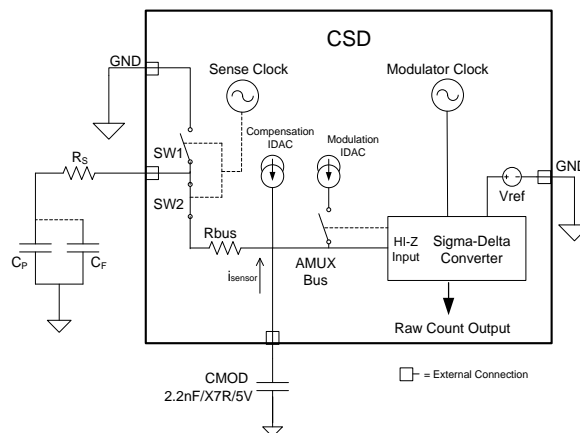
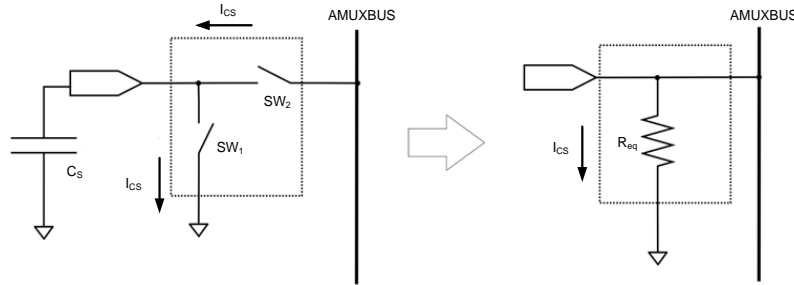


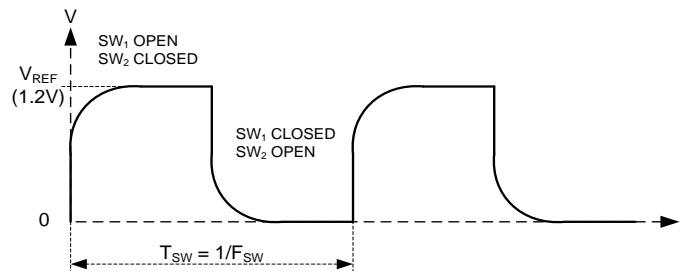


图 2-13. 等效电阻模型



两个非重叠、非重相位时钟的频率  $F_{SW}$ （参考图 2-14）分别控制着开关  $SW_1$  和  $SW_2$ 。需要选择  $F_{SW}$  值，使传感器可进行满充满放。

图 2-14. 传感器电容的电压



$SW_1$  和  $SW_2$  的连续切换形成了一个等效电阻  $R_{eq}$ ，如图 2-13 所示。相应的  $R_S$  电阻值如下计算：

$$R_{eq} = \frac{1}{C_S F_{SW}} \quad \text{公式 3}$$

其中：

$C_S$  = 传感器的总电容 = 寄生电容 ( $C_P$ ) + 手指电容 ( $C_F$ )

$F_{SW}$  = 开关时钟或感应时钟的频率

通过公式 4，可以计算得出 AMUXBUS 提供给传感器电容使用的平均电流。

$$I_{CS} = C_S F_{SW} V_{REF} \quad \text{公式 4}$$

公式 5 显示的是只使用调制 IDAC（单 IDAC 模式）时的原始数据计算方法；公式 6 则显示了使用调制 IDAC 和补偿 IDAC（双 IDAC 模式）时计算原始数据的方法。与单 IDAC 模式相比，双 IDAC 模式下的灵敏度更高，并且手指触碰传感器表面时所产生的信号更大。

$$\text{原始计数} = (2^N - 1) \frac{V_{REF} F_{SW}}{I_{MOD}} C_S \quad \text{公式 5}$$

$$\text{原始计数} = (2^N - 1) \frac{V_{REF} F_{SW}}{I_{MOD}} C_S - (2^N - 1) \frac{I_{COMP}}{I_{MOD}} \quad \text{公式 6}$$

其中：

$N$  = Sigma-Delta 调制器的扫描分辨率，其单位为“位” CSD 的分辨率高达 16 位。

根据具体的器件，CapSense 架构及其特性略有不同。例如，某些器件不支持双 IDAC 模式。多种 CapSense 控制器支持这里所述的架构。请参阅设计指南一节中的内容，了解如何在特定的器件上实现感应技术。



PSoC 4 S 系列、PSoC 4100S Plus 和 PSoC 4100PS 器件中的第四代 CapSense 功能是上一代的改进版本。表 2-1 列出了两代 CapSense 架构间的主要区别。

表 2-1. CapSense 架构比较

特性	第三代 CapSense	第四代 CapSense	与第三代 CapSense 相比，第四代具有的优点
感应模式	支持自电容和互电容模式	支持自电容、互电容和 ADC 模式	支持多项功能
IDAC 模式	支持源电流和灌电流模式	支持源电流模式	—
自电容范围	5 pF ~ 60 pF	5 pF ~ 200 pF	支持高电容 CP 的设计应用
VREF	1.2 V	0.6 V ~ VDDA-0.6 V	提高信噪比
IDAC LSB 大小	1.2 $\mu$ A、2.4 $\mu$ A	37.5 nA、300 nA、2.4 $\mu$ A	提高灵敏度
基准线 IDAC 功能	需要两个 IDAC	需要一个 IDAC <sup>1</sup>	提高灵敏度
减少电磁干扰 (EMI) — 数字	—	扩频 — 由 CSD 控制	扩频时钟可通过硬件生成，CPU 处于完全空闲的状态，即不必生成扩频时钟。
10 位 ADC	不支持	支持	ADC 使用 CSD 硬件
硬件状态机	不支持	支持	CPU 不再需要进行初始化或生成扩频感应时钟。

PSoC 4-S 系列、PSoC4100S Plus 和 PSoC 4100PS 器件中的 CapSense 硬件支持基于自电容和互电容的电容式感应。另外，不进行 CapSense 扫描操作时，它仍能测量输入电压。请参阅相应器件数据手册中的 **CapSense** 章节，了解有关 PSoC 4-S 系列、PSoC 4100S Plus 和 PSoC 4100PS 器件中的 CapSense 硬件的详细信息。欲了解第四代 CapSense 架构的基本知识，请参考 [PSoC 4100S 和 PSoC 4100S Plus: PSoC 4 架构技术参考手册 \(TRM\)](#)、[PSoC 4000S 系列: PSoC® 4 寄存器技术参考手册 \(TRM\)](#) 和 [PSoC 4100S Plus 寄存器技术参考手册 \(TRM\)](#) 中的内容。

## 2.4 CapSense 调校

CapSense 系统的最佳性能取决于电路板布局、按键尺寸、覆盖层材料和应用要求。除了这些因素，还必须谨慎选择开关频率和阈值，以实现稳定可靠的性能。调校是一个使参数达到最优值的过程。调试用于维持较高的触摸敏感度，以及弥补这个过程中传感器板、覆盖层材料和环境条件的不确定性。

多种 CapSense 器件支持赛普拉斯的 SmartSense 自动调校算法。该算法将自动配置各个参数以得到最佳性能，然后连续补偿由于系统、生产过程和环境不同引起的变化。请参见 [SmartSense 自动调校](#) 一节中的内容，了解更加详细的信息。

本节对调校过程进行了介绍。有关 CapSense 操作所使用的所有参数，以及调试流程的详情，请参考具体器件的 [设计指南](#)。赛普拉斯提供了多种工具，使调校和数据监控变得更加简单。请参考 [数据监控工具](#) 一节，了解更多有关这些工具的信息。

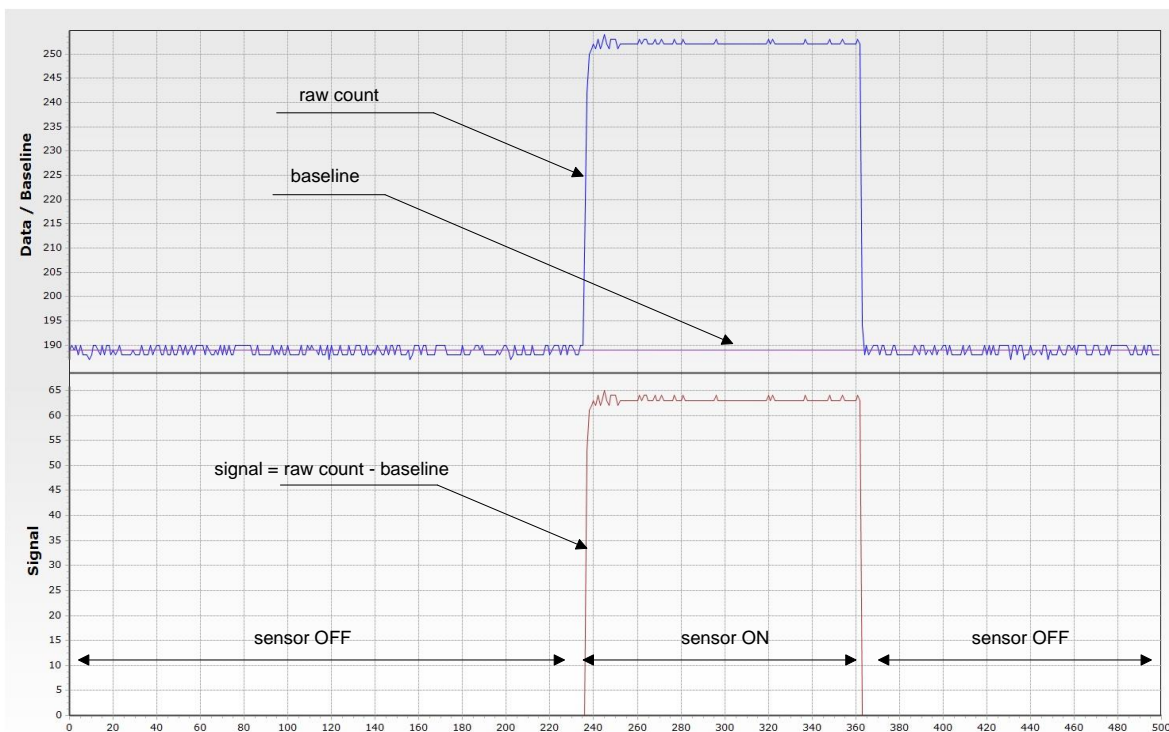
下一节定义了调校过程中所使用的一些术语。

<sup>1</sup> 如果补偿和调制 IDAC 被分为 50-50，则需要使用一个 IDAC，否则需要两个 IDAC。

## 2.4.1 定义

- **原始数据**：CapSense 算法将传感器电容转换成数值，如图 2-19 所示。未处理的数值被视为原始数据。对原始数据进行处理会生成传感器的 ON/OFF 状态。
- **基准线**：传感器的原始数据随着温度和湿度等环境因素的变化而变化。因此，原始数据被低通滤波，以生成一个新的计数值作为基准线，它持续跟踪并补偿原始数据发生的渐变。基准线可降低由于触摸引起原始数据的突变。因此，基准线值为计算信号提供了参考值（以下部分进行了说明）。图 2-15 显示的是原始数据、基准线以及信号的概念。

图 2-15. 原始数据和基准线

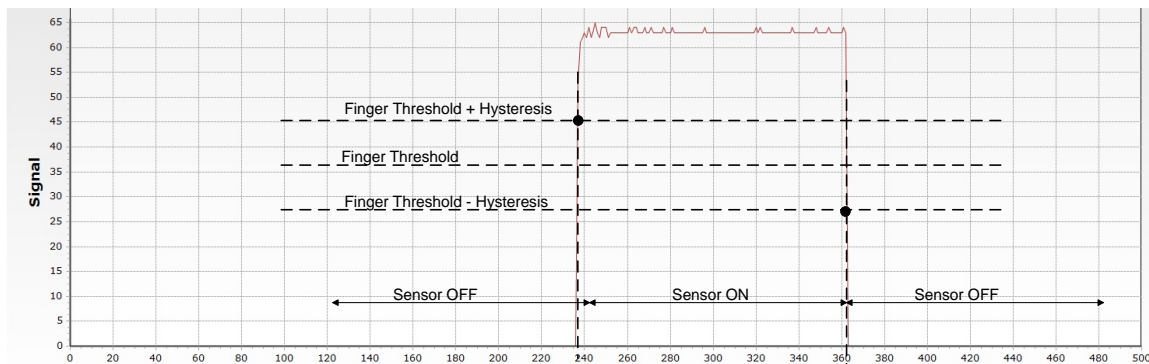


- **差值数据（差值信号）**：差值数据等于原始数据减去基准线的数值，用于决定 ON/OFF 状态。阈值是相对应基准线值偏移的一个常量。阈值包括下面功能：
- **噪声阈值**：用于区分信号和噪声的阈值。如果原始数据大于噪声阈值，则基准线不被更新，差值数据表示原始数据和基准线间的差别。如果原始数据小于噪声阈值，则更新基准线，差值数据为 0。更多信息，请查看图 2-16。
- **手指阈值**：指的是同迟滞一起使用来确定传感器状态的参数，如公式 6 和图 2-16 所示。

$$\text{传感器状态} = \begin{cases} \text{开} & \text{如果 (信号} \geq (\text{手指阈值} + \text{迟滞})) \\ \text{闭} & \text{如果 (信号} \leq (\text{手指阈值} - \text{迟滞})) \end{cases} \quad \text{公式 6}$$

- **迟滞**：指的是与手指阈值一起使用，以确定传感器状态的参数，如公式 6 和图 2-16 所示。迟滞提供对传感器状态嘈杂切换的抗干扰能力。

图 2-16. 迟滞



## 2.4.2 SmartSense 自动调校

### 2.4.2.1 什么是 SmartSense?

触摸感应用户界面的调校是确保系统正常运行和保持良好用户体验的重要步骤。典型设计流程包括，在初始设计阶段和系统整合过程中调校传感器，并在投入量产前进行最后的生产微调。由于调校是一个重复过程，所以它可能非常耗时。SmartSense 自动调校有助于简化用户界面开发周期。SmartSense 易于使用，通过去除从原型到批量生产的整个产品开发周期中的调校过程，来大幅缩短设计周期时间。

### 2.4.2.2 SmartSense 有哪些用途?

SmartSense 在上电时自动调校每个 CapSense 传感器，然后在运行期间负责监测和维持传感器的最佳性能。要调校的参数个数已从 CSD 的 17 个降至 SmartSense 的 4 个。

- **加电时调校：**SmartSense 根据每个传感器的寄生电容来调校传感器的参数，从而使传感器达到所需的灵敏度。
- **运行时调校：**动态测量系统内的噪声。对各传感器的阈值进行相应调节，以解决因 CapSense 系统内的噪声动态变化而导致的误触发问题。

### 2.4.2.3 如何以及在什么情况下使用 SmartSense?

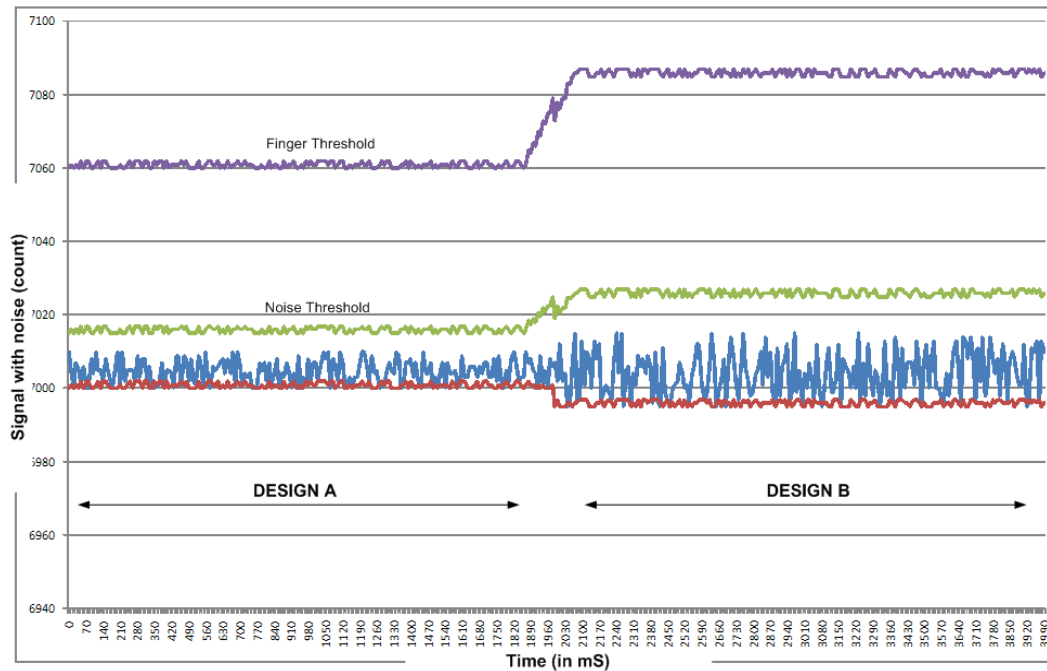
SmartSense 技术适用解决 PCB、覆盖层和噪声生成器（如 LCD 反相器、交流电路噪声和开关模式电源）的制造性误差，并自动将其修正。SmartSense 处理系统环境中的各种变化（例如，温度和湿度）以及噪声源，例如，射频、SMPS、LCD 反相器和交流线路噪声。

以下几节描述了 SmartSense 能处理外部噪声的几个情况。通过维持稳定的信噪比，可以防止按键的误触发。

#### 2.4.2.3.1 不同设计中的不同噪声级别

SmartSense 技术通过自我动态调校（调节噪声和手指阈值）来适应不同的噪声环境。在图 2-17 中，设计 A 和设计 B 拥有不同的噪声级别。为了能使 SNR 维持在最小值 5:1，需要进行动态阈值调节。SmartSense 自动完成动态阈值调节，实现从一个模型到另一个模型的无缝过渡，且在该过程中，只需微量调校或无需调校。

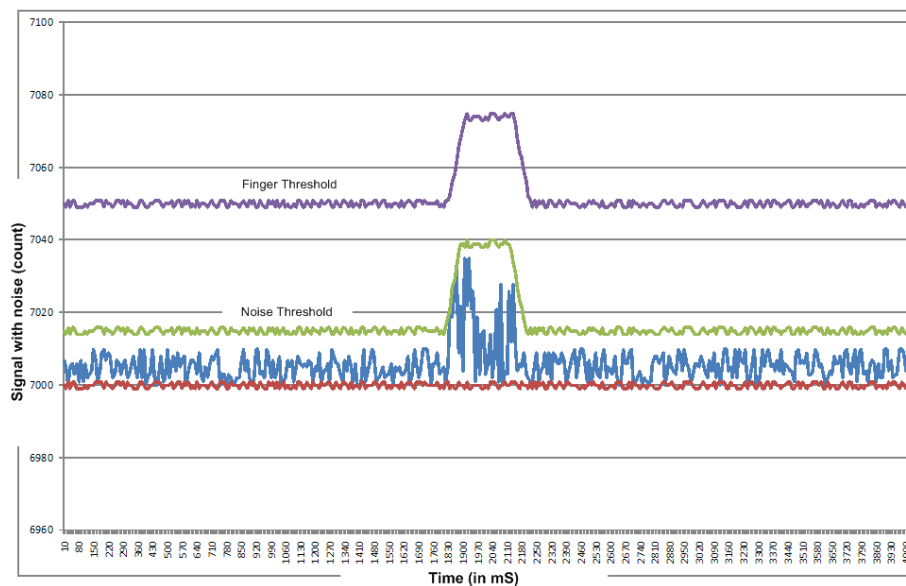
图 2-17. 设计 A 和 B 中不同噪声级别的自动补偿



#### 2.4.2.3.2 生产过程中的噪声毛刺

SmartSense 技术还可以自动调校生产过程中的噪声毛刺，但这个噪声在设计阶段可能并未出现，如图 2-18 所示。这个强大的 SmartSense 功能可以防止终端系统中的按键误触现象，从而避免批量生产设计的失效分析。

图 2-18. 动态调节手指阈值以防止按键误触



#### 2.4.2.4 何时进行手动调校？

SmartSense 允许器件自我校准以获得最佳性能，并自动完成整个调校过程。这种技术会满足大多数设计的要求，但在 SmartSense 不能自动调校或拥有特定的 SNR 或电源要求的情况下，可以手动调节 CapSense CSD 参数以满足系统要求。这种操作被称为手动调校。SmartSense 的一些优点（并非指自动调校）包括：

- 严格控制参数设置：SmartSense 会自动设置所有参数。但是在您需要严格控制各参数中，也有意外情况发生。例如，如果您要严格控制 CSD 扫描一组传感器的时间，需要进行手动调校。这样能够降低系统中的电磁干扰。
- 支持更高的寄生电容：对于 0.2 pF 的手指电容，SmartSense 支持最大 45 pF 的寄生电容；对于 0.1 pF 的手指电容，则支持最大 35 pF 的寄生电容。如果寄生电容量大于 SmartSense 支持的最大值，需要进行手动调校。

欲了解手动调校的各过程，请参考特定器件的[设计指南](#)。

## 2.5 信噪比（SNR）

信号是一个通用的工程术语，可以有很多含义。对于 CapSense 应用，信号被定义为 OFF 和 ON 状态间原始信号的变化。信号还被称为计数差值。

噪声也是有很多含义的另一个术语。下面内容介绍了使用一种简单数学模型传感器的 CapSense 噪声的定义。

当传感器处于 OFF 状态时，通过平均计数和噪声组件可以计算出  $X(t)$ 。

$$X(t) = X0 + N0(t) \quad \text{公式 7}$$

- $X0$  是  $X(t)$  的平均值
- $N0(t)$  是在 OFF 状态的  $t$  时长的噪声组件值

传感器处于 ON 状态时， $X(t)$  的计算方法也一样。

$$X(t) = X1 + N1(t) \quad \text{公式 8}$$

- $X1$  是  $X(t)$  的平均值
- $N1(t)$  是在 ON 状态的  $t$  时长的噪声组件值

$X0$  是原始信号的基准线级别。 $X1$  和  $X0$  的差值被称为  $S$  信号。

$$S = X1 - X0 \quad \text{公式 9}$$

噪声组件  $N0(t)$  和  $N1(t)$  是类似的，但不相同。例如，在手指感测应用中与  $N0(t)$  相比， $N1(t)$  通常包含更高的交流线噪声。这是因为人体就像天线一样拾取 50 Hz 至 60 Hz 的线路噪声。手指与传感器覆盖层的触摸将带该噪声进入 CapSense 系统。

我们将噪声级  $N$  定义为 OFF 状态的最差峰值噪声。

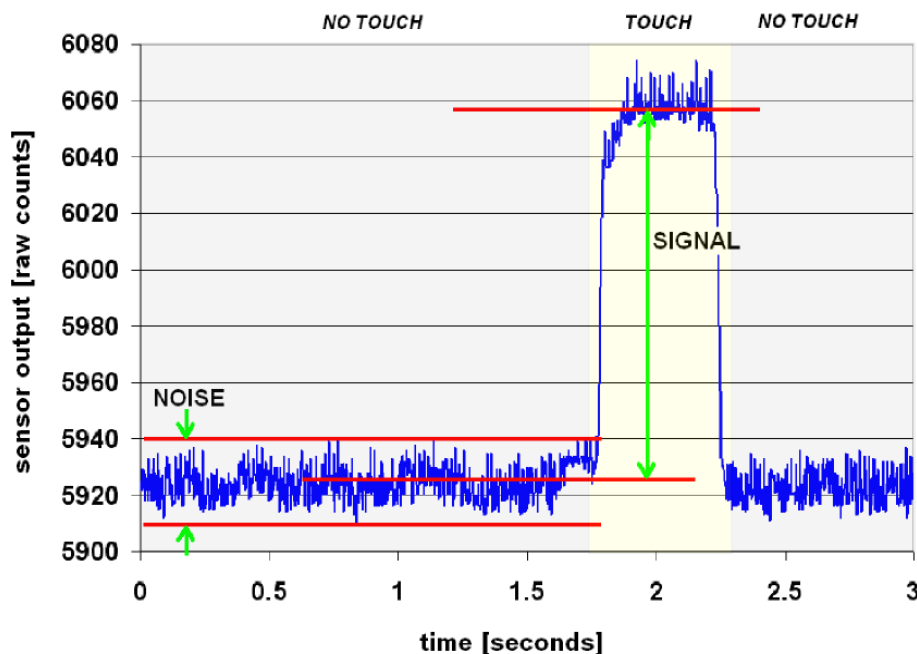
$$N = \max(N0(t)) = \max(X(t)) - \min(X(t)) \quad \text{公式 10}$$

因此，CapSense SNR 就是信号( $S$ )与噪声( $N$ )的比例。

$$SNR = S:N \quad \text{公式 11}$$

结合大量 CapSense 应用实验和知识，赛普拉斯建议 SNR 最小值为 5:1，以确保噪声和信号的足够容限，从而获得稳定的 ON/OFF 操作。

图 2-19. 信号和噪声



### 2.5.1 SNR 的测量

SNR 应该在使用 CapSense 的噪声环境下测量。换句话说，应该在最差噪声的条件下测量系统 SNR。

测量 SNR 的第一步是监控每个传感器的原始信号。通过使用文本文件记录数据并将其绘制在电子表格中，或者使用赛普拉斯桥接控制面板以及 Minipro3，或者通过使用直接显示 SNR 的调谐器工具（PSoC Creator 中提供该工具和 CapSense 组件）可以监控原始信号（有关更多的信息，请参考[数据监控工具](#)的内容）。请参考 [AN2397 – CapSense 数据查看工具](#)，以了解如何使用这些工具监控原始信号。不管使用哪个方法，所观察的原始信号应用于测量 SNR。不使用计数差值测量 SNR，因为它是基准线更新过程的函数，该过程包含滤波（填充“水桶”）以及非线性阈值等事件。

另一个要考虑的因素是信号是如何产生的。当测量 SNR 时，应该使用最差的 ON 和 OFF 状态。如果系统被设计为可以检测手指触摸，先对传感器的轻触测量 SNR，然后定位与中心点距离略微的接触点。对于自动检测，通常使用相当于小硬币大小和形状的金属圆盘来模仿最差手指触摸（0.1 pF）。

有关测量 SNR 的原始信号波形，请参见[图 2-19](#)。

$X0 = 5925$  个计数

$X1 = 6055$  个计数

$S = 130$  个计数

$N = 5940 - 5910 = 30$  个计数

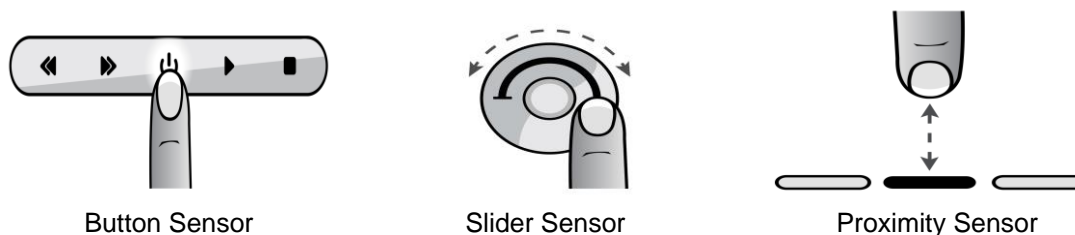
$SNR = 130:30 = 4.3:1$

## 2.6 CapSense Widget

CapSense widget 包含一个或多个 CapSense 传感器，它作为特定用户界面类型的单位。CapSense widget 大致分为以下四类：按键传感器（零维）、滑条传感器（一维）、触摸板/触控板传感器（二维）和接近感应传感器（三维）。图 2-20 显示的是按键传感器、滑条传感器和接近感应传感器 widget。本节介绍的是各种 CapSense widget 的基本概念。更多有关传感器结构的详细信息，请参考[传感器结构](#)。



图 2-20. 几个 Widget 类型



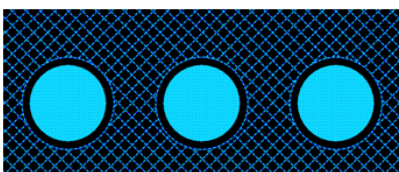
## 2.6.1 按键（零维传感器）

在众多应用如家用电器、医疗器件、白色家电、照明控制和许多其他产品中，CapSense 按键可替代机械按键。它是一种最简单的 CapSense Widget，包括一个简单传感器。CapSense 按键提供两种输出状态：活动（有手指触摸）或非活动（无手指触摸）。另外，这两种状态还分别称为 ON 和 OFF 状态。用 CapSense 按键代替机械按键可以增强可靠性，降低成本以及实现吸引眼球的工业设计。

### 2.6.1.1 简单按键

最简单的电容传感器由一个通过一根走线连接到 CapSense 控制器引脚的覆铜构成。一个按键就是这个覆铜传感器和绝缘覆盖材料组成的整体。按键周围是用环形间隙隔开的接地覆铜。每个按键需要一个 CapSense 控制器的 I/O 引脚。

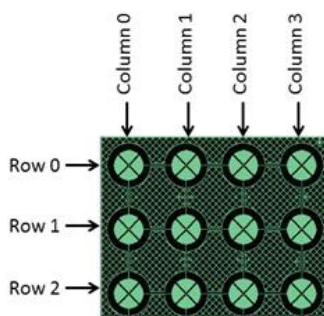
图 2-21. 典型简单按键



### 2.6.1.2 矩阵按键

在需要大量按键的应用中，例如计算器键盘或 QWERTY 全键盘区，可以将电容传感器排列成一个矩阵，如图 2-22 所示。这样在使用自电容方法时，允许设计的按键数量大于 CapSense 控制器上 I/O 引脚的数量。

图 2-22. 典型矩阵按键



矩阵按键设计由两组电容传感器构成：行传感器和列传感器。若触摸某个按键，则会通过识别“触摸”状态的行传感器和列传感器来解析该按键。矩阵支持的按键数量等于行数和列数的乘积。

矩阵按键数量 = 行传感器数量 × 列传感器数量

公式 12

使用矩阵按键设计可以大幅减少所需 I/O 引脚的数量。例如，图 2-22 中的矩阵采用 12 个按键，但只需要七个用于传感器的 I/O 引脚。根据选择的感应方法，还需要向外部组件分配专用引脚。

一次只能检测一个矩阵按键。如果有多个行或列传感器处于“触摸”状态，则无法解析手指位置，且这种情况被视为无效状态。某些应用需要同时检测多个按键，例如包含 Shift、Ctrl 和 Alt 键的键盘。在这种情况下，应将 Shift、Ctrl 和 Alt 键设计为独立按键，或改为互电容传感器设计。要了解支持互电容技术的赛普拉斯各产品，请参考[互电容](#)。

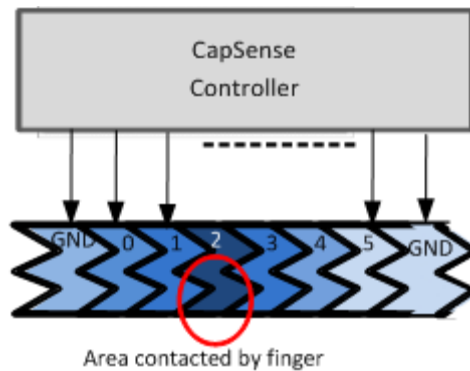
## 2.6.2 滑条传感器（一维传感器）

滑条传感器适用于需要渐进式调节的控制应用。示例包括照明控制（调光器）、音量控制件、图示均衡器和速度控制。一个滑条传感器由一系列称为段（相邻放置）的电容传感器构成。某一个段的动作会导致邻近其他传感器的部分动作。通过使用插值算法的中心位置计算方式，可以使触摸位置分辨率大于滑条段数量。第 2.6.2.1 节介绍了中心位置计算的示例。在典型应用中，包含五段的滑条传感器可以至少解析滑条上的 100 个手指物理位置。高分辨率可以使手指划过滑条时的亮度或音量过渡比较平缓。

### 2.6.2.1 线性滑条

在线性滑条上，每个 CapSense 控制器 I/O 引脚都连接一个滑条段。滑条段建议采用图 2-23 所示的 Z 字形图案（双 V 形图案）。这种布局可以确保在触摸某段时，还可以部分触摸邻近的段。采用多个传感器中的数据进行位置计算，可以改善手指位置的精度。滑条中段的的最大数量是由 CapSense 控制器引脚和所需响应时间决定的。

图 2-23. 线性滑条



线性滑条的中心位置公式如下所示。进行计算中心位置时，CapSense 算法只使用三个滑条段，分别为：一个具有最大信号的段，与其相邻的两个段。

$$\text{中心位置} = \left( \frac{S_{X+1} - S_{X-1}}{S_{X-1} + S_X + S_{X+1}} + X \right) \times \frac{\text{分辨率}}{n-1} \quad \text{公式 13}$$

其中：

X — 具有最大信号的段的索引值

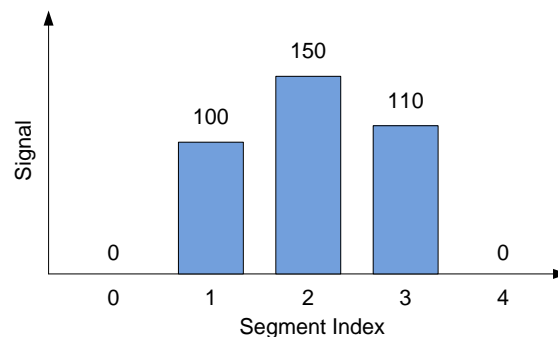
S<sub>i</sub> — 索引值为 i 的段信号

分辨率 — 滑条上被处理的手指位置的总数

n — 滑条段数

假设一个有五个段和分辨率为 100 的线性滑条，那么我们将看见对图 2-24 所示的信号图案进行中心位置计算的示例。这种信号图案表示手指正在触摸段 2。

图 2-24. 线性滑条上的示例信号格式





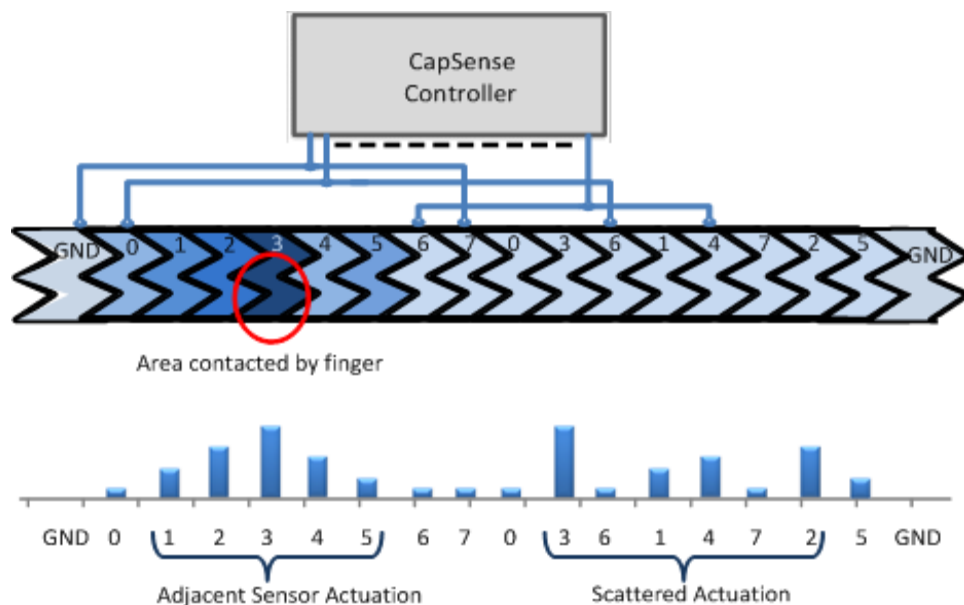
段 2 具有最大的信号（即 150），其相邻的段 1 和段 3 的信号分别为 100 和 110。段 0 和 4 没有信号，因为手指已经离开。现在，要计算的中心位置为 51（整数），如下面公式所示。请注意，计算中心位置前，CapSense 算法不会将噪声阈值计算到信号内（请参考定义，了解有关噪声阈值的详细信息），为使内容简便，没有显示该操作。欲了解更多信息，请参考 CapSense 组件数据手册。

$$\text{中心位置} = \left( \frac{110-100}{100+150+110} + 2 \right) \times \frac{100}{5-1} = 51 \quad \text{公式 14}$$

### 2.6.2.2 双工滑条

在双工滑条上，每个 CapSense 控制器 I/O 引脚都连接两个不同的滑条段。这使得设计中的滑条段数量是 I/O 引脚数量的两倍。例如，16 段双工滑条只需要八个 CapSense 控制器 I/O 引脚。

图 2-25. 16 段双工滑条

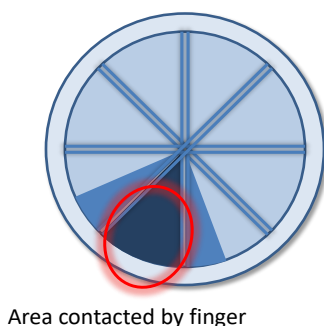


要使双工滑条正常工作，滑条段必须按预定顺序连接 CapSense 控制器 I/O 引脚。前半部分滑条段按 0、1、2 ... 7 的顺序连接到 CapSense 控制器 I/O 引脚，其操作类似于线性滑条。后半部分滑条段按非连续性顺序连接到 CapSense 控制器 I/O 引脚。这个顺序揭示了一个事实，激活某一个滑条段会导致邻近几个滑条段的活动。当滑条其中一半的活动导致另一半的畸变时，未触摸那一半的采样计数会处于分散状态。感应算法会搜索计数变化强烈的邻近滑条段并忽略计数分散的变化，以精确地确定滑条上的手指位置。

### 2.6.2.3 辐射滑条

辐射滑条类似于已使用邻近传感器数据估测手指位置的线性滑条；然而，辐射滑条是连续性的（没有起点或终点），如图 2-26 所示。请参考 CapSense 组件数据手册的内容，以了解辐射滑条的质心公式。

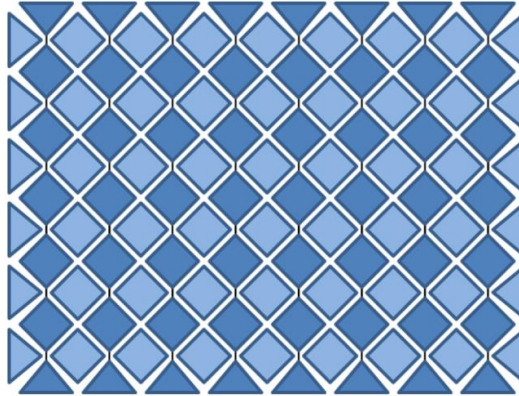
图 2-26. 辐射滑条



### 2.6.3 触摸屏和触控板（两维传感器）

触控板（也称为触摸板）有两个按 X 和 Y 模式设置的线性滑条，从而，触控板可按照 X 和 Y 方向确定某个手指的位置。[图 2-27](#) 显示的是典型的触控板传感器安排。

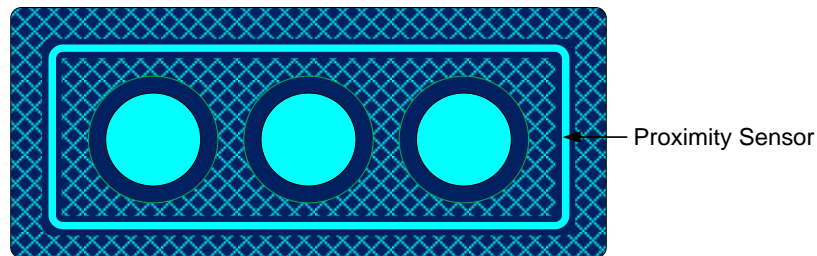
图 2-27. 触控板传感器安排



### 2.6.4 接近感应传感器（三维传感器）

接近感应传感器在手或其他导体触摸触摸面之前就能检测到它们的存在。假设有一只手要在黑暗中操控汽车音频系统。当使用者的手靠近时，接近感应传感器会使音频系统按键通过背光 LED 发光。实现接近感应传感器的一种方法是，围拢用户界面铺上一条长走线，如[图 2-28](#) 所示。实现接近感应传感器的另一种方法是将多个传感器放在一起。更多信息，请参考[接近感应](#)。

图 2-28. 接近感应传感器

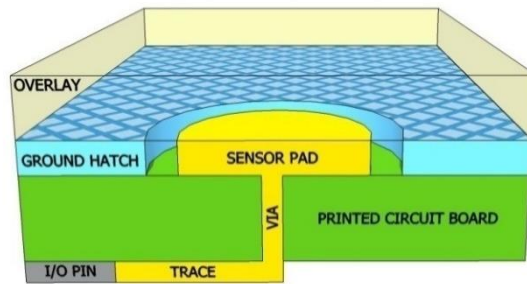


## 2.7 传感器结构

根据应用的要求，可以使用各种材料来构建电容式传感器。在典型的传感器结构中，用于检测用户触摸的导电焊盘或表面会通过一条导电走线或连线与电容式控制器的引脚相连。这个整个布置在一个绝缘的覆盖层下面进行的，用户则在覆盖层的顶层上进行交互操作。传感器构建的一种常用方法是将铜焊盘和走线蚀刻在一个 **FR4 PCB** 板上。但是，在触摸屏应用中，使用铟锡氧化物（**ITO**）来构建透明的传感器。为了方便您选择符合要求的传感器，本节会介绍各种传感器构建方法以及每种的相关特性。

## 2.7.1 铜线耦合电场（PCB）

图 2-29. 使用 PCB 的耦合电场

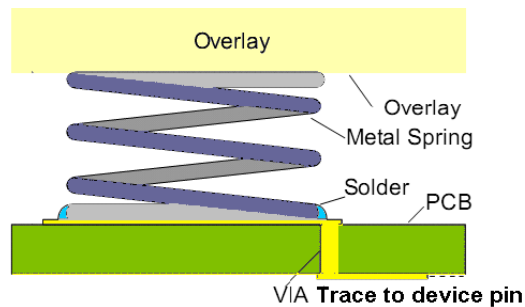


基于 PCB 的设计的特点：

- 最常见的实现方法
- 将蚀刻在 PCB 表面上的铜焊盘作为传感器垫块
- 电场从铜传感器垫块发出，指向地平面
- 不采用机械活动件
- 使用绝缘覆盖层作为按键的触摸表面
- 是简单纯平板设计的理想结构
- 低 BOM 成本

## 2.7.2 通过弹簧/垫圈/泡沫耦合电场

图 2-30. 通过弹簧耦合电场



基于弹簧/垫圈/泡沫的设计的特点：

- 电场通过压缩弹簧、导电垫圈或泡沫从 PCB 耦合到覆盖层（应该使用闭孔导电泡沫。避免使用吸潮的材料。）
- 导电材料本身作为电容式传感器垫块
- 不采用机械活动件。弹簧和泡沫不移动
- 使用任何绝缘覆盖层作为按键触摸表面
- 是曲面、斜面或不规则前面板的理想结构
- 是触摸传感器与芯片或母板物理性分隔的设计的理想结构
- 是需要结合 CapSense 和机械按键的设计的理想结构

### 2.7.3 通过电子油墨耦合电场

基于电子油墨的设计的特点：

- 电场通过导电墨水与柔性基板上的印刷图案耦合
- 由于电子油墨的薄膜电阻比铜大，所以串联电阻值较高。但是，由于银墨、ITO 和 PEDOT 等材料具有较低的薄膜电阻，它们的串联电阻会因厚度不同而异。
- 由于 PCB 基板较薄，所以寄生电容较高
- 不采用机械活动件，但基板仍较灵活
- 通过绝缘覆盖层耦合到触摸传感器表面
- 是柔性前面板的理想结构
- 柔性 PCB 可以是一层或两层薄膜

### 2.7.4 通过玻璃上的 ITO 薄膜耦合电场

基于 ITO 薄膜的设计的特点：

- 电场与玻璃上的印刷图案或沉积图案耦合
- 与铜相比，ITO 薄膜的串联电阻值较高
- 不采用机械活动件
- 是绘图前面板的理想结构

## 2.8 防水功能

CapSense 可用于各种应用中，如：家用电器、汽车级和工业级应用。这些应用要求在有薄雾、湿气、水、冰和湿度变化等环境条件下仍能进行 CapSense 操作。在 CapSense 设计中，如果触摸表面上存在水膜或水滴，可能会发生误触摸感应。赛普拉斯的 CapSense 感应方法可以补偿上述原因导致原始计数的变化，并能够提供强大可靠的 CapSense 操作。

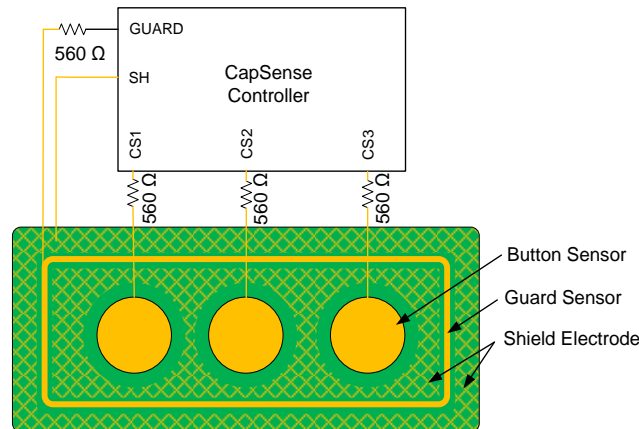
图 2-31. 洗衣机中基于 CapSense 的防水触摸用户界面



为了补偿薄雾、湿气和湿度变化所导致的原始计数变化，CapSense 感应方法连续调整传感器的基准线，以防止传感器误触发。要想补偿原始计数因水滴或水流导致的变化，用户应该安装一个屏蔽电极和保护传感器，以实现强大的触摸感应功能，如图 2-32 所示。为了提高抗噪能力，所有传感器引脚上可以使用一个 560  $\Omega$  的串联电阻。

当使用屏蔽电极时，即使触摸表面上存在水滴，CapSense 系统仍能正常工作并报告传感器的 ON/OFF 状态。当触摸表面上存在水流或水滩时，CapSense 系统将通过保护传感器检测水分，并且禁用对所有其它传感器的扫描，以避免误触发。因此，在这种情况下，CapSense 系统将不会检测到手指触摸，直到去除触摸表面上的液体为止。

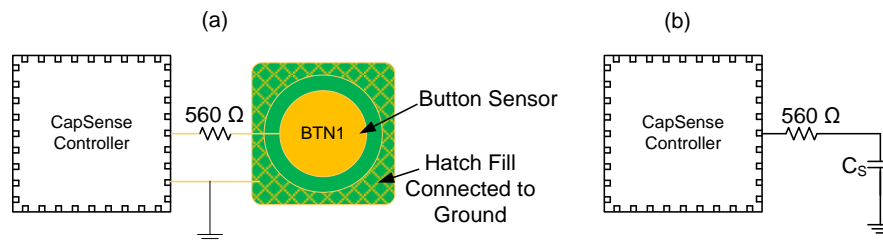
图 2-32. 将屏蔽电极（SH）和保护传感器（GUARD）连接至 CapSense 控制器



### 2.8.1 水滴和水流对 CapSense 产生的影响

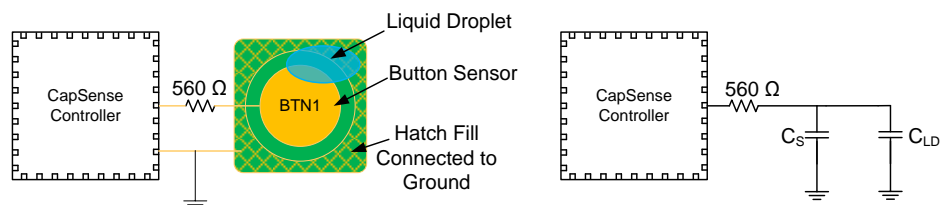
为了解水滴或水流对 CapSense 传感器的影响，应该考虑到围绕传感器的填充网格被接地的 CapSense 系统，如图 2-33(a)所示。使用接地的填充网格围绕传感器时，会提高传感器的抗噪能力。传感器的寄生电容在图 2-33(b)中被标记为  $C_s$ 。

图 2-33. 典型的 CapSense 系统布局



如图 2-34 中所示，当水滴滴下触摸表面上时，由于其导电性质，它会为电场线提供强烈的耦合路径以使它返回接地；这样引进了一个与  $C_P$  并联的  $C_{LD}$  电容。对传感器进行充电和放电时，由于  $C_{LD}$  的非零电压差， $C_{LD}$  电容将从 AMUX 总线吸收一定的充电电流。这样会使 CapSense 电路的总体电容增加，同时传感器的原始数据也会增加。在液体具有高导电性（咸水或有高矿物质含量的水）的情况下，原始计数因水滴滴在传感器表面上导致的增量可能等于手指触摸导致的增量，因而发生误触发，如图 2-35 所示。

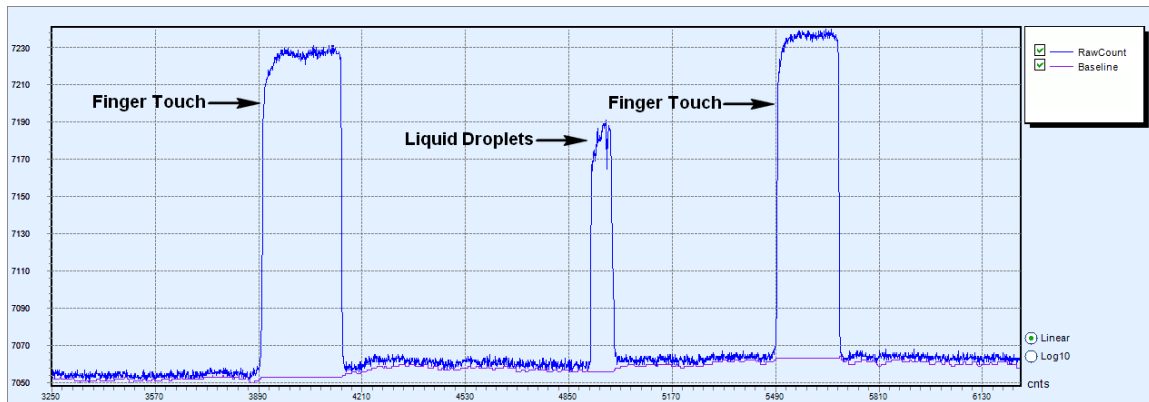
图 2-34. 填充网格接地时因水滴而增加的电容



$C_s$  — 传感器的寄生电容

$C_{LD}$  — 因水滴而增加的电容

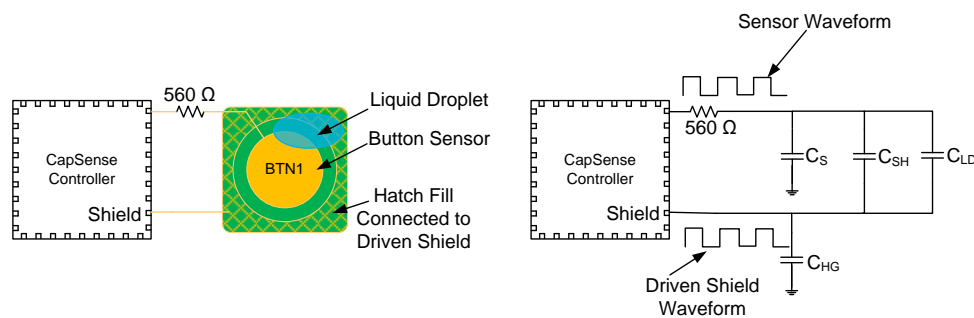
图 2-35. 水滴在围绕传感器的填充网格接地时产生的影响



为了补偿 CapSense 电路中由水滴造成的电容，您需要将围绕传感器的填充网格连接到驱动屏蔽信号。

如图 2-36 所示，当围绕传感器的填充网格连接到驱动屏蔽信号，并且水滴滴下触摸表面时，由于在水滴两侧上的电压保持相同电位，所以消除了水滴所引起的  $C_{LD}$  电容。由于  $C_{LD}$  电容的电压差等于零，它不会消耗从 AMUX 总线的电荷，因此原始计数因水滴滴下传感器引起的增量很小，如图 2-37 所示。

图 2-36. 围绕传感器的填充网格连接到驱动屏蔽信号时水滴所引起的电容



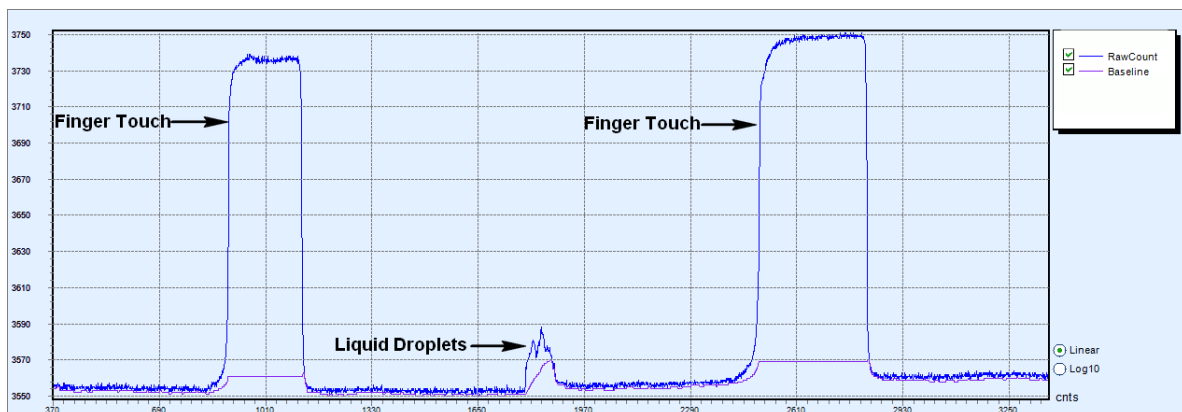
$C_S$  — 传感器的寄生电容

$C_{SH}$  — 传感器和填充网格之间的电容

$C_{HG}$  — 填充网格和地层之间的电容

$C_{LD}$  — 因水滴造成的电容

图 2-37. 水滴在围绕传感器的填充网格连接到驱动屏蔽信号时产生的影响

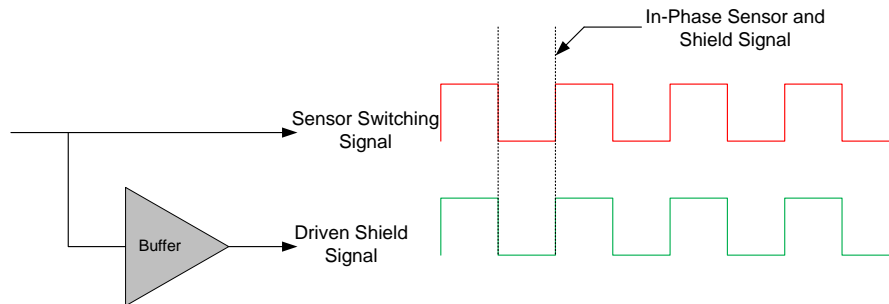




## 2.8.2 驱动屏蔽信号和屏蔽电极

驱动屏蔽信号是传感器输出被缓冲后的信号，如图 2-38 所示。驱动屏蔽信号和传感器开关信号的振幅、频率和相位相同。缓冲器为驱动屏蔽信号提供了足够的电流，以便在 PCB 的填充网格上驱动高寄生电容。当围绕传感器的填充网格连接到驱动屏蔽信号时，它被称为屏蔽电极。如水滴和水流对 CapSense 产生的影响一节中所述，由于使用与传感器开关信号相同的电压驱动屏蔽电极，触摸表面上存在的水滴所引起的电容将被去除。为了得到最佳的防水性能，驱动屏蔽信号的电压和相位必须与传感器开关信号的相同。

图 2-38. 驱动屏蔽信号

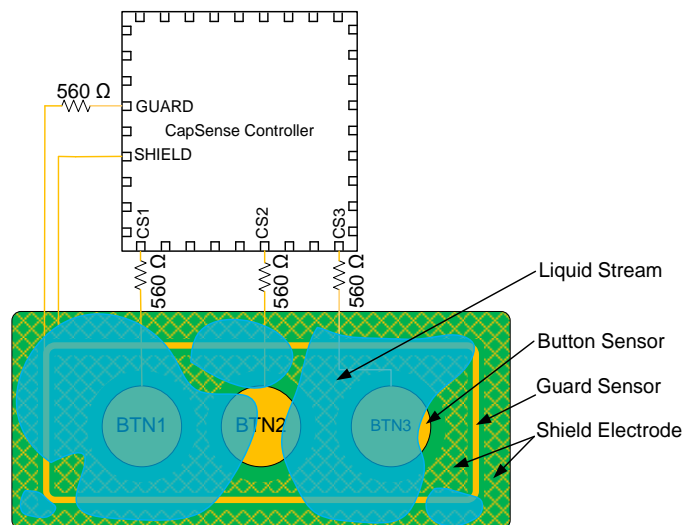


## 2.8.3 保护传感器

当触摸界面上出现水流时，水流会对 CapSense 电路添加一个较大的容值 ( $C_{ST}$ )。该电容可能比  $C_{LD}$  大数倍。正因为如此，屏蔽电极的影响完全被掩模，可能使原始计数的增加高于手指触摸导致的增加。在这些情况下，通过一个保护传感器，可以防止误触摸感应。

保护传感器是围绕 PCB 上所有传感器的铜走线，如图 2-39 所示。保护传感器类似于按键传感器，用于检测水流的存在。触发保护传感器时，固件会禁用对系统中所有其他传感器进行的扫描，以防止产生误触摸感应。由于触发保护传感器时不会扫描其他传感器，因此在触摸屏上存在水流时，将不能检测到触摸。

图 2-39. 存在水流时的电容测量

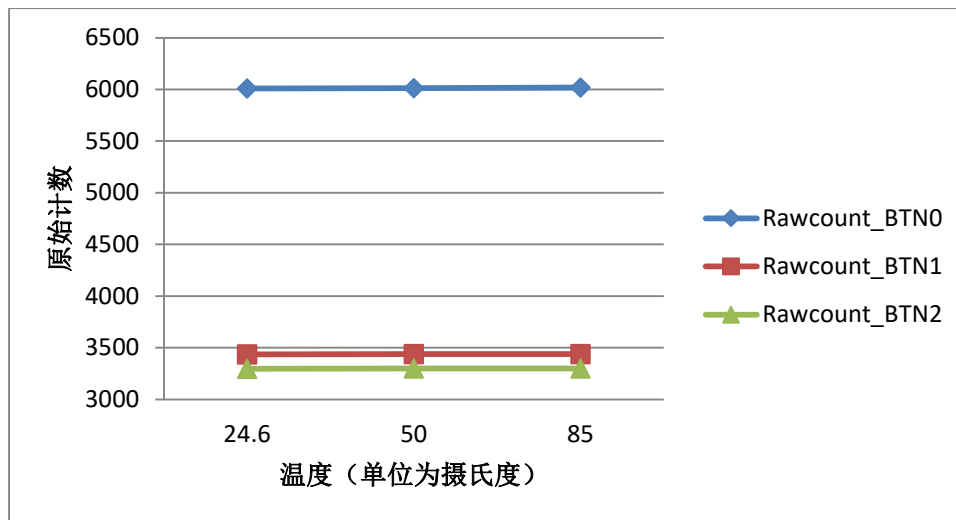


## 2.8.4 水属性对防水功能的影响

在某些应用中，CapSense 系统要求在不同液体（如肥皂水、海水和高浓度矿物质溶液）环境下可靠工作。此时，建议根据水滴在触摸屏上导致的原始计数偏差最大的情况来调整传感器的 CapSense 参数。要想模拟最差条件，可以在 1 升水中溶解 40 克食盐 ( $\text{NaCl}$ )，并测量水滴到传感器上时原始计数的偏差。

在某些应用中（如电磁炉），在 CapSense 触摸屏上可能会附着热水。为了确定水滴温度对防水性能的影响，我们已经使用不同温度的水滴进行测试。实验结果表明，热水滴和室温下的水滴产生的影响是相同的。这是因为热水滴的温度在落到触摸屏时会立即下降到室温。

图 2-40. 原始计数的变化与水温



要实现防水性设计，请按照以下步骤进行操作：

1. 选择一个具有防水性能的 CapSense 控制器。要想了解支持防水功能的 CapSense 控制器，请参阅 [CapSense 选择器指南](#)。
2. 按照 [设计指南](#) 中介绍的原理图和布局指南设置屏蔽电极和保护传感器。
3. 调整保护传感器（若采用），使之在出现水流时才被触发。在固件中，请确保保护传感器被触发时不会扫描其它传感器。

有关如何调校 CapSense 参数以实现防水性能の詳細流程，请查看 [CapSense 设计专项指南](#)。应用笔记 [AN92239 — 通过 CapSense 实现接近感应](#) 中介绍了如何在 PSoC 4 器件中实现带有防水功能的接近感应系统。

## 2.9 接近感应

接近感应是一种检测相邻物体而没有任何物理接触的过程。接近传感器通过使用电磁场、电磁辐射射束或环境条件的变化来检测附近物体的接近状态。现在的接近传感器有多种类型，如电容、电感、电磁、Hall 效应、光学和超声波传感器；每种传感器都有其自身优点和缺点。由于电容式传感器成本低、可靠性高、功耗低、时尚美观，并且能够无缝与现有的用户界面结合，因此受到广泛的欢迎。本节对基于 CapSense 的接近感应技术进行了介绍。欲了解接近设计的详细指南，请参考 [AN92239 — 基于 CapSense 的接近感应](#)。

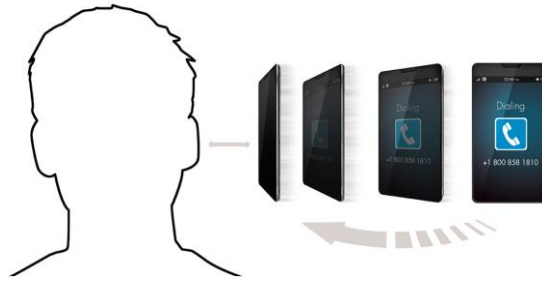
### 2.9.1 基于 CapSense 的接近感应应用

基于 CapSense 的接近感应被应用到诸多应用上，如：

**移动电话和平板电脑中的人脸检测：**人脸检测是移动手机和平板电脑具备的一个功能。当用户接听电话时，该功能将禁用手机的触摸屏并调低显示屏的亮度，如 [图 2-41](#) 所示。当手机靠近耳朵时，人脸检测会防止发生误触摸并优化设备的功耗。在该应用中，基于 CapSense 的接近感应比 IR 接近感应更有优势，这是因为它不要求在覆层材料上使用开孔，从而可以降低加工成本并提高终端产品的美观。



图 2-41. 手机中的人脸检测



**平板电脑和手机的吸收率 (SAR) 控制：**SAR 指的是人体与射频电磁场接触时辐射被人体吸收的比率。监管机构（如联邦通信委员会 (FCC)）要求设备在接近人体时必须通过降低其射频发射功率来限制对射频能量的吸收，如图 2-42 所示。基于 CapSense 的接近感应传感器可用于检测人体接近并降低射频功率。

图 2-42. 平板电脑中的 SAR 控制



**接近唤醒：**当一个物体接近系统时，该功能会将系统从睡眠或待机模式唤醒，如图 2-43 所示。另外，当用户接近系统时，接近唤醒还能控制背光 LED。该功能缩短了唤醒时间、提高反应速度、降低设备的功耗以及提高美观。这种功能在电池供电的应用中（如鼠标和键盘）非常有用。

图 2-43. 鼠标的接近唤醒功能



**手势检测：**手势检测是解析人体运动姿态并为设备提供有关手势信息的技术。基于手势的用户界面能够提高用户的体验，为用户提供了与系统交互的直观方式。手势检测使用在多种应用中（如手提电脑、平板电脑和手机），用于控制用户界面。

在这些应用中，基于 CapSense 的接近感应传感器可以检测手势而不需要用户和设备间的物理接触。图 2-44 显示了手提电脑上的手势检测实现实例，其中靠近触控板的接近感应传感器用于检测屏幕上地图的平移。

图 2-44. 手提电脑上的手势检测实现



**IR 替换方案：**在一些应用中（如水龙头和皂液器），基于 CapSense 的接近感应传感器可以取代 IR 接近感应传感器，如图 2-45 所示。与 IR 接近感应相比，基于 CapSense 的接近感应具有以下优势：

- 该解决方案的成本比 IR 接近感应的低。基于 CapSense 的接近感应传感器可由 PCB 上的铜走线构建，而构建 IR 接近感应要求使用额外的 IR 传感器。
- 另外，与 IR 接近感应传感器不同，基于 CapSense 的接近感应传感器不要求在覆盖层材料上使用开孔来检测接近感应。因此，使用基于 CapSense 的接近感应可以降低加工成本并提高终端产品的美观。
- 与 IR 接近感应传感器相比，它们的功耗更低。
- 它们不受环境光线的影响，相反，基于 IR 的接近感应传感器的性能可能会因环境光线的变化而发生故障。

图 2-45. 皂液器中基于 CapSense 的接近感应



## 2.9.2 基于 CapSense 的接近感应

基于 CapSense 的接近感应技术需要在某个目标物体接近传感器时测量接近感应传感器中所发生的电容变化。目标物体包括人的手指、人手或导电物体。可以通过将导电（普遍的材料为铜或铜锡氧化物）焊盘或走线放置在绝缘的材料面板（如 PCB 或玻璃）上来构建一个基于 CapSense 的接近感应传感器。实际上，接近传感器与所有其他传感器相同，但其附近有极小的接地面积，并且为获得最大灵敏度而经过了调校。

为了检测到目标物体，**信噪比（SNR）**应大于或最少等于 5:1。您可以在限定的距离内准确地检测到目标物体。此距离被称为接近感应距离。请参考[接近感应设计](#)，了解传感器的各种构建方法以及影响接近感应距离的各种参数。

## 2.10 用户界面反馈

有效的用户界面设计包括使用电容式触摸感应按键对用户操作的反馈。反馈形式各种各样，其中包括视觉反馈、听觉反馈和触觉反馈（触知）。根据用户界面设计，可结合使用多种类型的反馈。

### 2.10.1 视觉反馈

LED 和 LCD 提供视觉反馈。

#### 2.10.1.1 基于 LED 的视觉反馈

视觉反馈广泛应用于用户界面。LED 用于指示按键、滑条和接近感应传感器的状态。当传感器状态发生变化时，LED 可以做出不同的响应：

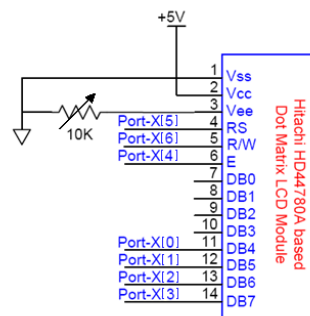
- **LED 打开/关闭** — 根据配置，GPO 可为 LED 提供电流，或从 LED 接收电流。
- **LED 亮度控制** — 对于需要高端视觉效果的用户界面，可使用一个硬件 PWM 或定时器来驱动 LED。通过改变 PWM 输出的占空比，可调节 LED 的亮度。这样即能够响应环境照明情况而调节用户界面亮度。
- **LED 渐褪** — 通过逐步改变两个 LED 状态之间的占空比，可以实现渐褪效果。例如，当占空比连续逐步增加时，LED 呈现“渐显”（从关闭到打开）效果。
- **LED 呼吸** — 连续逐步增加和减少两个电平之间的占空比可以使 LED 呈现“呼吸”效果。系统处于闲置或待机模式时，LED 呼吸功能非常有用。例如，电源按键可呈现呼吸效果，以警告用户该按键处于激活状态，可操作该按键。

#### 2.10.1.2 基于 LCD 的视觉反馈

LCD 提供 CapSense 按键和滑条的视觉反馈。使用 LCD 的主要优势是，每次按下按键都能反馈详细的信息。可编程器件所具有的预建组件和用户模块提供了支持快速显示数据的 API；不同的器件系列支持不同类型的 LCD 技术。

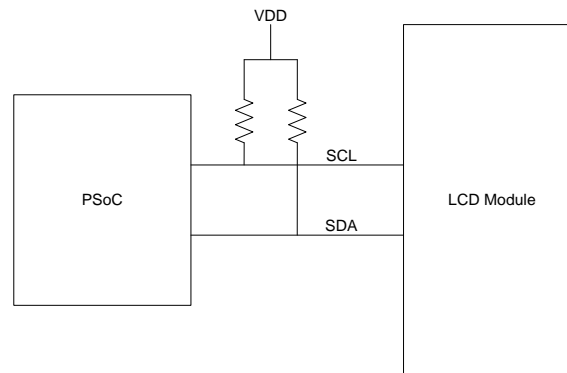
- **字符 LCD（并行接口）** — PSoC 器件支持与 Hitachi HD44780A LCD 模块的接口。图 2-46 显示了使用 Hitachi HD44780A LCD 模块所需的典型连接。欲了解更多信息，请参考字符 LCD 组件数据手册。

图 2-46. Hitachi 点阵 LCD 引脚连接



- **使用 I<sup>2</sup>C 接口的字符 LCD** — PSoC 还可以通过 I<sup>2</sup>C 控制 LCD，该 I<sup>2</sup>C 接口支持发送 NXP PCF2119x 命令格式。图 2-47 显示了通过 I<sup>2</sup>C 接口驱动 LCD 的典型电路框图。欲了解更多信息，请参考组件数据手册。

图 2-47. 使用 I2C 接口与 LCD 连接

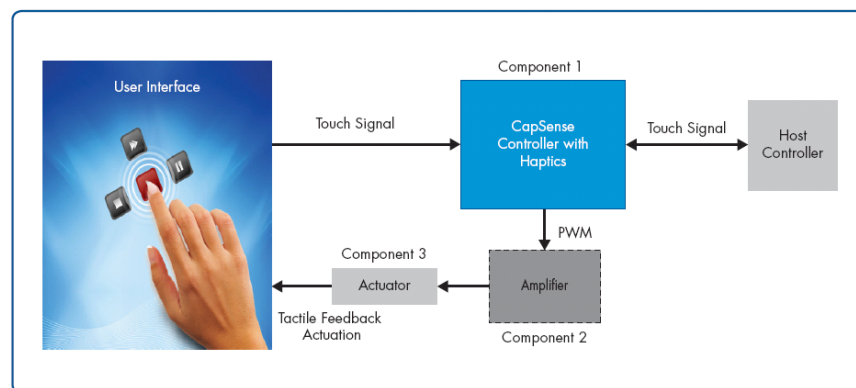


- **Segment LCD 显示屏** — PSoC 器件集成了 LCD 控制器，用于直接驱动 Segment LCD 显示屏。有关不同 PSoC 器件的 LCD 驱动功能，请参考 [CapSense 选择器指南](#)。

## 2.10.2 触觉反馈

触觉或触知反馈通过振动通知用户系统已检测到手指触摸。

图 2-48. 赛普拉斯的触觉生态系统



通过改变振动配置文件中的时长、频率和类型，可以创建不同的触觉效果。振动是由一个制动器做出的。制动器的主要参数包括响应时间、功耗、大小、形状、耐用性和振动强度。现有各种制动器可供选择，它们均有各自的驱动要求。四种制动器包括：

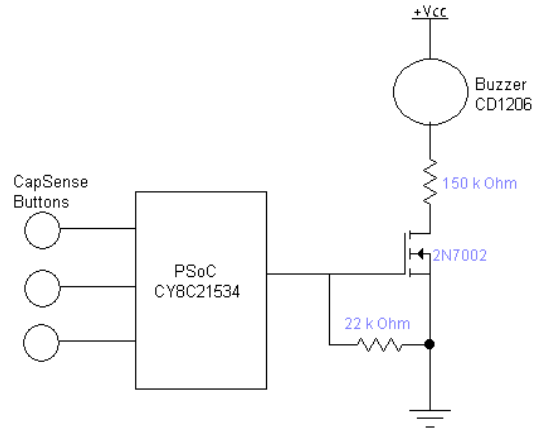
- **偏轴转动惯量（ERM）制动器** — 最经济有效的制动器，要求使用 130 到 160 mA 的电流和一个外部电源放大器来驱动。这种制动器不适用于如文体输入等对响应要求高的应用。
- **线性谐振制动器（LRA）** — LRA 通常用于智能手机，要求使用 AC 输入且大概为 65 ~ 70 mA 的电流，与 ERM 制动器相比，它们的速度较快，但成本也较高。需要使用一个外部电源放大器来驱动 LRA。
- **压电型模块** — 压电型模块的响应较快，因此适用于需要文字输入的应用，但它们的成本比 ERM 和 LRA 制动器的高。虽然在使用 3 V 电源时，Piezo 模块消耗的瞬时电流大概为 300 mA，但它们的平均消耗电流并不超过 ERM 和 LRA 制动器。
- **电活性聚合物制动器（EAP）** — EAP 所提供的性能与压电型模块的相似，但难以集成到狭小的空间中。EAP 要求使用 800 V 的驱动电平。

CY8C20XX6H CapSense 控制器为偏心转子马达（ERM）驱动控制集成了 Immersion TS2000 触觉效果库，并能够生成 14 个预定义触觉效果。触觉用户模块 [数据手册](#) 具有更多有关 14 个预定义触觉效果的信息，同时也提供了代码示例。欲想了解 CY8C20XX6H 的详细信息，请参考器件 [数据手册](#)。

### 2.10.3 听觉反馈

CapSense 按键的听觉反馈采用蜂鸣器实施。脉冲宽度调制器（PWM）用于输出驱动蜂鸣器数据手册中指定蜂鸣器所需的 PWM 信号。当按下按键时，通过对蜂鸣器驱动特定声强水平来提供反馈。实现蜂鸣器反馈的电路图如下所示。

图 2-49. CapSense 按键的听觉反馈实现



## 3. 设计的注意事项



在为您的应用程序设计电容式触摸感应技术时，一定要记住 CapSense 器件是更大设计框架里的一部分。请认真注意从 PCB 布局到用户界面到最终操作环境的每一个细节，这有助于实现强大且可靠的系统性能。

### 3.1 覆盖层选择

在 CapSense 设计中，传感器垫块被放置在覆盖层材料下，以保护传感器免受环境影响并防止手指直接接触。

#### 3.1.1 覆盖层材料

在自电容一节中，公式 1 表示了手指电容。

$$C_F = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{D}$$

其中：

$\epsilon_0$  = 空气介电常数

$\epsilon_r$  = 覆盖层的介电常数

A = 手指与传感器垫片覆盖层的接触面积

D = 覆盖层的厚度

CapSense 系统的形状与平行板电容器更为复杂。传感器中的导体包括手指和 PCB 铜。但是，与平行板电容器相同， $C_F$  与  $\epsilon_r$  成正比。高介电常数将导致高灵敏度。由于空气的介电常数是最低的，所以需要消除传感器垫块和覆盖层间的任何间隔。

一些普通覆盖层材料的介电常数如表 3-1 列出。介电值在 2.0 和 8.0 间的材料适合于电容感应应用。

表 3-1. 通用材料的介电常数

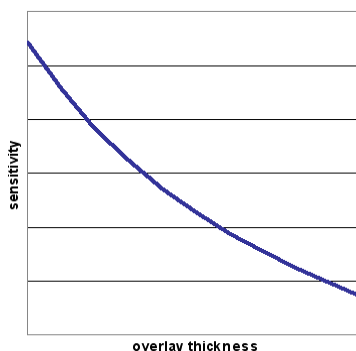
材料	$\epsilon_r$
空气	1.0
福米卡®	4.6 – 4.9
玻璃（标准）	7.6 – 8.0
玻璃（陶瓷）	6.0
PET 薄膜（Mylar®）	3.2
聚碳酸酯（Lexan®）	2.9 – 3.0
丙烯酸（Plexiglass®）	2.8
ABS	2.4 – 4.1
木表和桌面	1.2 – 2.5
石膏（石膏板）	2.5 – 6.0

传导材料不能用做覆盖层，因为它会与电场模式相干扰。因此，不要对覆盖层使用含有金属微粒的油漆。

### 3.1.2 覆盖层厚度

灵敏度与覆盖层厚度成反比，如图 3-1 中所示。

图 3-1. 灵敏度与覆盖层厚度



信号和噪声都受外盖层属性影响。表 3-2 列出了 PSoC CapSense 应用应该使用的丙烯酸材料的最大覆盖层厚度。

表 3-2. 丙烯酸覆盖层的最大厚度

设计元素	最大值覆盖层厚度 (mm)
按键	5
滑条	5
触控板	0.5

### 3.1.3 覆盖层粘合剂

覆盖层材料要与感应 PCB 具有良好的机械接触。通过使用绝缘性粘合薄膜可以达到此目标。该薄膜由于可以消除覆盖层和传感器垫块间的所有空气间隔，所以它将增加系统的灵敏度。3M™ 创造了一种所称 200MP 的高性能丙烯酸粘合膜，在 CapSense 应用中以粘性转移胶膜形式得到了广泛的使用（产品型号为 467MP 和 468MP）。

## 3.2 ESD 保护

考虑周全的系统设计自然会具有强大的抗 ESD 能力。经过考虑在最终产品（尤其是用户界面）中可能发生的接触放电，我们的设计可以保证能够禁受 18 kV 放电事件，并且 CapSense 控制器不会受到任何损害。

表 3-3. 覆盖层材料绝缘强度

材料	击穿电压 (V/mm)	12 kV 时的覆盖层最小厚度 (mm)
空气	1200 – 2800	10
干木材	3900	3
普通玻璃	7900	1.5
玻璃 — 硼硅酸盐 (Pyrex®)	13,000	0.9
PMMA 塑料 (Plexiglas)	13,000	0.9
ABS	16,000	0.8
聚碳酸酯 (Lexan)	16,000	0.8
福米卡	18,000	0.7
FR-4	28,000	0.4
PET 薄膜 (Mylar)	280,000	0.04
聚酰亚胺薄膜 (Kapton®)	290,000	0.04

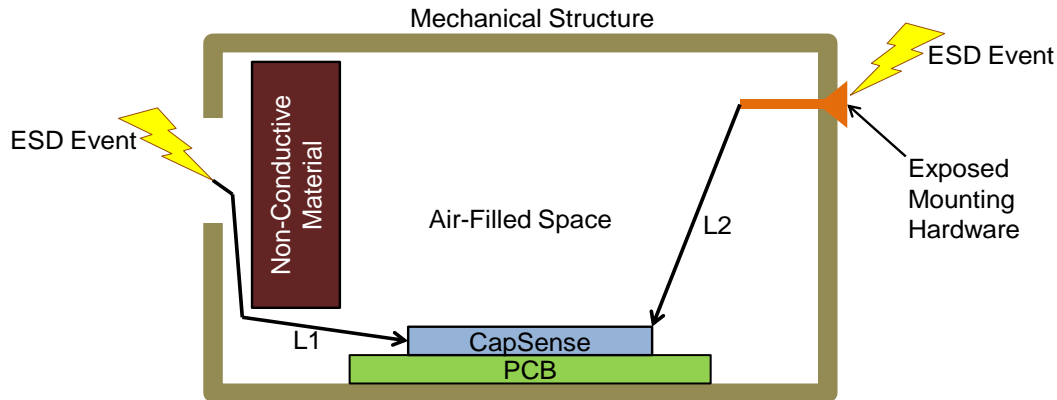


CapSense 控制器引脚可承受 2 kV 的直接电流。在大多数情况下，覆盖层材料能为控制器引脚提供充分的 ESD 保护。[表 3-3](#) 列出了保证 CapSense 传感器能够经受 12 kV 放电（按照 IEC 61000-4-2 的规定）所需的各种覆盖层材料厚度。如果覆盖层材料无法提供足够的保护，将按以下顺序应用 ESD 对策：防止、重定向、钳制。

### 3.2.1 防止 ESD 放电

最好的对策是避免在 CapSense 控制器处放电。要确保触摸表面上所有路径的击穿电压大于表面可能接触到的所有电压。此外，设计您的系统以确保 CapSense 控制器和 ESD 源之间保持适当的距离。在[图 3-2](#)所示的示例中，如果 L1 和 L2 大于 10 mm，那么系统将能承受 12 kV。

图 3-2. ESD 路径

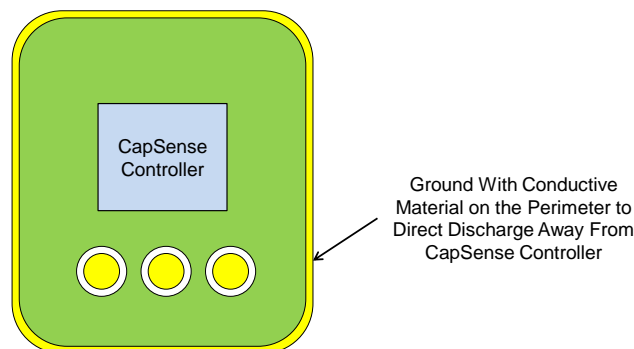


如果无法保持合适的距离，请在 ESD 源与 CapSense 控制器之间放置一个耐高击穿电压的材料作为保护层。厚度为 5 密耳的一层 Kapton 胶带将承受 18 kV 电压。有关其他材料的绝缘强度，请参见[表 3-3](#)。

### 3.2.2 重定向

如果您的产品空间密集，则可能无法防止放电事件。在这种情况下，您可以通过控制放电发生的位置来保护 CapSense 控制器。通过结合系统的 PCB 布局、机械布局和传导胶带或其他屏蔽材料，就能实现保护操作。标准的做法是在电路板的外围使用保护环。保护环应连接至机盘地线。

图 3-3. 保护环



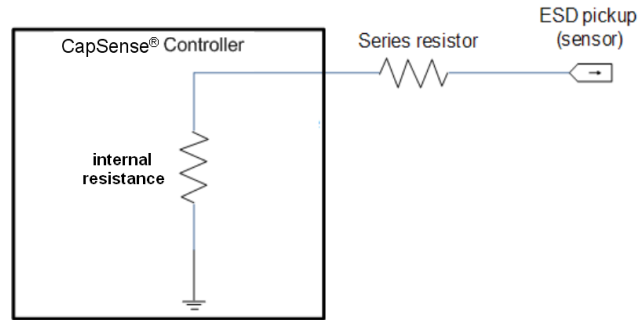
如 [PCB 布局指南](#) 中所建议的，在按键或滑条传感器周围提供一个网格接地层也能进行重定向，使 ESD 事件远离传感器和 CapSense 控制器。



### 3.2.3 钳制

因为 CapSense 传感器比较接近触摸表面，要重定向放电路径可能不太现实。在这种情况下，添加串联电阻或特殊用途的 ESD 保护器件可能会有用的。在易受干扰的走线上添加一个串联电阻是一种经济实用的保护方法。这种技术的工作原理是通过电阻和控制器把消耗分散。推荐添加到 CapSense 输入的串联电阻值为 560 欧姆。更多详细信息可参见[串联电阻](#)一节。

图 3-4. 用串联电阻进行 ESD 保护



更有效的方法是在易受影响的走线上提供特殊用途 ESD 保护器件。用于 CapSense 的 ESD 保护器件必须是低电容的。[表 3-4](#) 列出了建议搭配 CapSense 控制器使用的器件。

表 3-4. ESD 保护器件

ESD 保护器件		输入电容	漏电流	接触放电的最大限制	空气放电的最大限制
制造商	器件型号				
Littelfuse (力特)	SP723	5 pF	2 nA	8 kV	15 kV
Vishay	VBUS05L1-DD1	0.3 pF	0.1 $\mu$ A <	+/-15 kV	+/-16 kV
NXP	NUP1301	0.75 pF	30 nA	8 kV	15 kV

## 3.3 电磁兼容性 (EMC) 注意事项

EMC 与电磁能量的生成、传输和接收有关，此电磁能量可能会扰乱电子系统的工作。来源（发射方）产生辐射，然后一个传输或耦合路径会将辐射能量传输至接收方，即对辐射能量进行处理的地方，在此可引发良好或不良的行为。电子设备需要符合特定的限制，以满足发出能源和易受外部事件的要求。世界各地的多个监管机构设定了地区性规格，以确保电子设备互不干扰。

CMOS 模拟和数字电路具有很高的输入阻抗。这导致它们对外部电场非常敏感。因此，您需要特别注意，以确保在辐射和导电噪声存在的情况下，这些电路仍可以正常工作。

### 3.3.1 辐射干扰及辐射

辐射电会影响系统的测量，并可能影响 CapSense 处理器内核的运作。在 PCB 板上，干扰会通过传感器走线和其他数字和模拟输入进入 CapSense 芯片。虽然 CapSense 提供了一个直观和强大的接口，能够通过消除机械部件提高产品的可靠性，它所产生的辐射发射（RE）又能加重电磁兼容性（EMC）问题。

请使用下面的技术来降低辐射干扰和发射。

### 3.3.1.1 通用 EMI/EMC 指南

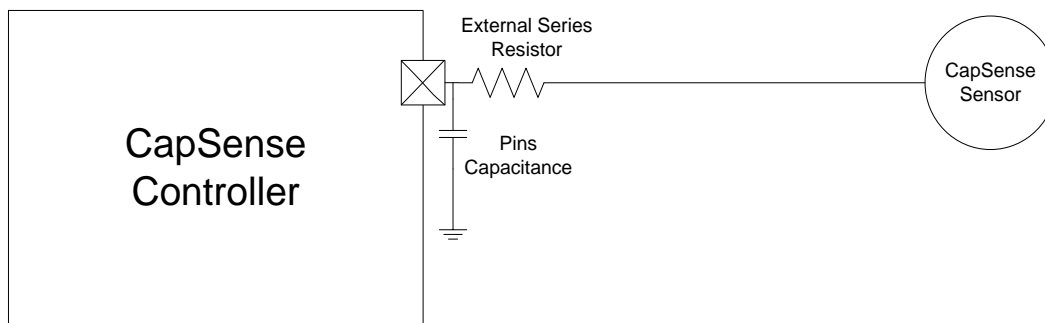
#### 3.3.1.1.1 接地层

一般的情况下，在 PCB 板上正确放置接地层会降低 RF 辐射和干扰。但是，接近 CapSense 传感器或用于将这些传感器连接至 PSoC 引脚的走线的实心接地层会增大传感器的寄生电容。因此，推荐在传感器周围以及传感器下方的 PCB 板底层上使用网格接地层，如[接地层](#)部分所介绍的内容。在 PBC 板上的器件和其他电路部分下面的实心接地要远离 CapSense 传感器和走线。不建议在 CapSense 传感器或走线 10 mm 的范围内使用实心接地层。多层电路板是首选。如果您使用四层或更多层的电路板，建议您将一层用作接地层，这对降低辐射很有帮助，因为它能大大减少接地层的抖动。

#### 3.3.1.1.2 串联电阻

各个 CapSense 控制器引脚均有各自的寄生电容 ( $C_P$ )。添加一个外部电阻可构成低通 RC 滤波器，从而减少耦合到引脚的 RF 噪声振幅。该电阻和连接到引脚的走线的寄生电容（如[图 3-5](#)中所示的传感器走线和传感器垫块）组合时，可构成能够明显降低 RF 辐射的低通滤波器。因此，串联电阻对于消除高次谐波和降低 RF 干扰和辐射十分有用。

图 3-5. RC 滤波器



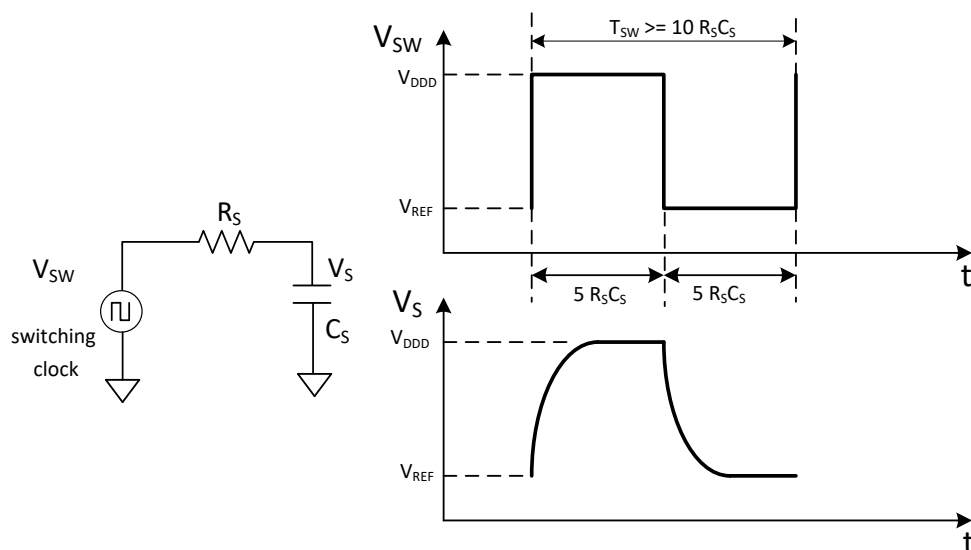
应将串联电阻置于靠近 PSoC 引脚的地方，以便能够在 PSoC 器件的输入端过滤掉走线所引起的辐射噪声。因此，推荐在 PSoC 引脚的 10 mm 内放置串联电阻。

##### 3.3.1.1.2.1 CapSense 输入线路

为了保证 CapSense 正常工作，传感器在每个开关周期中必须要充满放电。传感器电容的充电和放电路径本身具有的串联电阻会减缓充电/放电过程。[图 3-6](#) 显示了它的等效电路和产生的波形。增加电阻会改变将  $C_P$  转化为等效电阻的开关电容电路的时间常数。如果串联电阻值较高，开关电路的较低时间常数可抑制辐射和其干扰，但会限制可传输的电荷量。这样不能实现对传感器进行完全地充电和放电操作。这会降低信号等级，进而降低信噪比。电阻值越小越好，但在阻止射频辐射和干扰方面却不太有效。

通用覆铜 PCB 上 CapSense 输入线路的串联电阻推荐值为 560  $\Omega$ 。ITO 面板的电阻较大。电阻值选择范围仅为 100  $\Omega$  至 1 k $\Omega$ 。串联电阻通常使用的范围为 560  $\Omega$  至 4.7 k $\Omega$ ，以实现 EMC 目的。串联电阻实际的最大值会因器件而异。其大小取决于多个因素，如：用作传感器的 GPIO 的电阻、用于扫描传感器的开关频率以及所需的信噪比。

图 3-6. 等效电路和波形



$R_S$  是 GPIO 电阻和外部串联电阻的总和。 $C_S$  是传感器的最大电容值。对于给定的开关频率，必须选择能够对传感器电容进行完全充电和放电的串联电阻值。换句话说，对于给定的串联电阻，必须选择能够对传感器电容进行完全充电和放电的开关频率值。如果不能修改其他 CapSense 参数，那么降低开关频率会降低信噪比。因此，在串联电阻值和开关频率之间进行权衡，以实现所需性能。

根据经验，可选择  $5R_S C_S$  的周期用于充电和放电循环。用于计算最小值周期和最大频率的公式分别为：

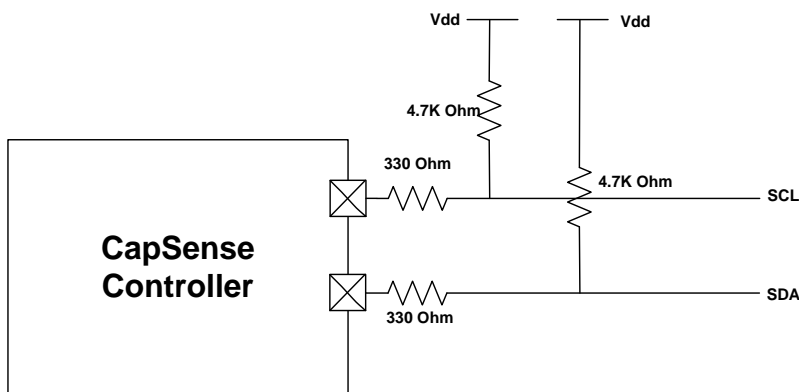
$$T_{SW}(\text{minimum}) = 10R_S C_S$$

$$F_{SW}(\text{maximum}) = \frac{1}{10R_S C_S}$$

### 3.3.1.1.2.2 数字通信线路

通信线路，如 I<sup>2</sup>C 和 SPI，同样能受益于串联电阻，并且推荐采用 330  $\Omega$ 。通信线路的走线一般较长，它们同 CapSense 走线一样以天线的形式发射干扰。推荐在通信线路上采用一个大小为 4.7 k $\Omega$  的上拉电阻。因此，如果在这些线路上串联超过 330  $\Omega$  的电阻，则电压电平 ( $V_{IL}$  和  $V_{IH}$ ) 会超出规范范围，在最坏的情况下还会使系统和接收器输入阻抗间的供应电压跌出规范范围。由于当 PSoC 输出为低电平时， $V_{IL}$  电平仍会保持为 I<sup>2</sup>C 规范所要求的 0.3  $V_{DD}$ ，因此 330  $\Omega$  的电阻不会影响 I<sup>2</sup>C 的操作。

图 3-7. 通信线路上的串联电阻



### 3.3.1.1.3 走线长度

长走线比短走线引起的噪声更多。长走线同样会增加  $C_P$  值。所以要尽可能地缩短走线长度。

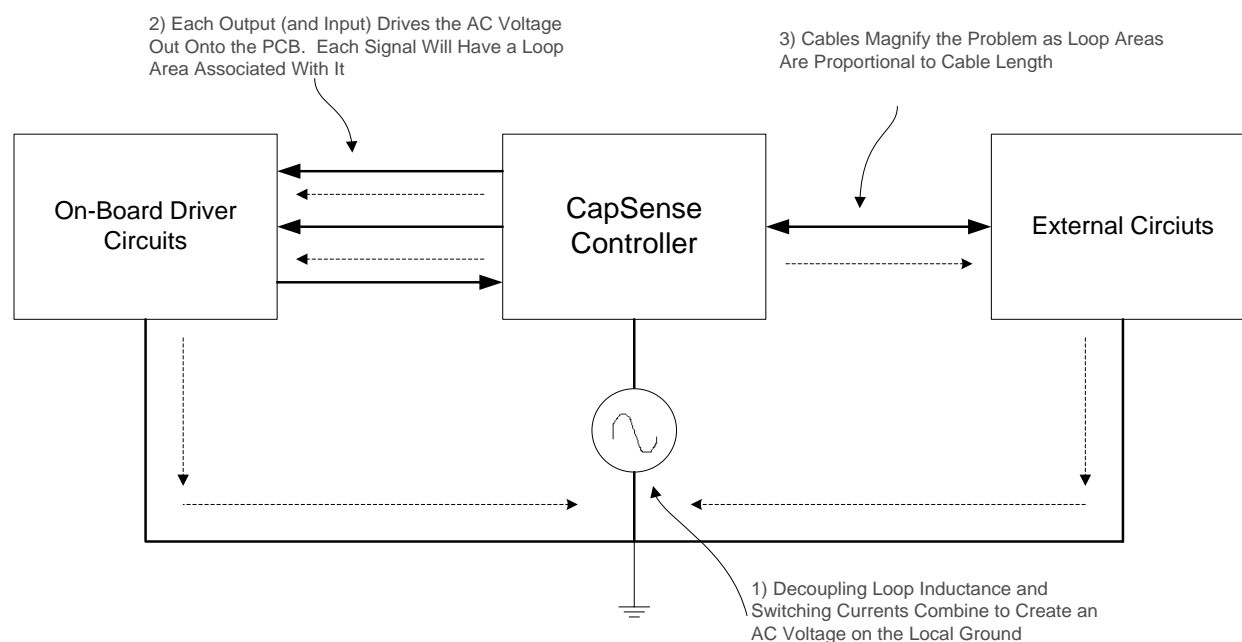
### 3.3.1.1.4 电流环路面积

另一个重要的布局注意事项是尽量缩短电流返回路径。接地层可降低全部接地阻抗，从而减少高频率接地反弹。需要确保每个传感器线路都具有良好的 **GND** 返回路径。因为电流是在环路中流通的。除非高频信号具有正确的返回路径，否则返回电流会通过较长的回路路径，从而形成较宽的环路；这样会发生由互电感导致的信号问题。因此，会增大辐射和干扰。

如果器件封装中包含了高频电流环路，那么能量也可以通过磁场耦合到器件外。通过磁通量可以使器件形成一个电流环路，以便链接到器件外面的电路环路。该互电感会在外部环路中产生一个意外电压。同样，外部的磁通量也会在内部电路环路中产生一个意外的电压。通过使用尽可能小的电源和信号环路区域，可以最小化磁场耦合。在地面上拼接过孔（越多越好）。这样会降低接地总阻抗。用于时钟和振荡器电路等高频率走线应同时连接到两个接地线路。这样可确保不会发生耦合情况（该情况会导致串扰）。如果可能，请使用独立的接地层和电源层。

图 3-8 显示了一个不合理的接地方案示例。通过减少环路面积大大改善了布局。

图 3-8. 不合理的接地方案和接地环路



在图 3-9 中，一个接地层围绕着两个传感器，此接地层与 CapSense 控制器接地连接，而接地层围绕着第三个传感器。第三个传感器通过其他电路的长线被连接到其他接地层，从而造成电流环路。在这种布局下，第三个传感器会更容易受辐射噪声影响，且会增加辐射。在原理图上这两个接地部分位置相同，所以更好地布局的话它们可能是一个连接的区域。

图 3-9. 不合理的电流环路布局

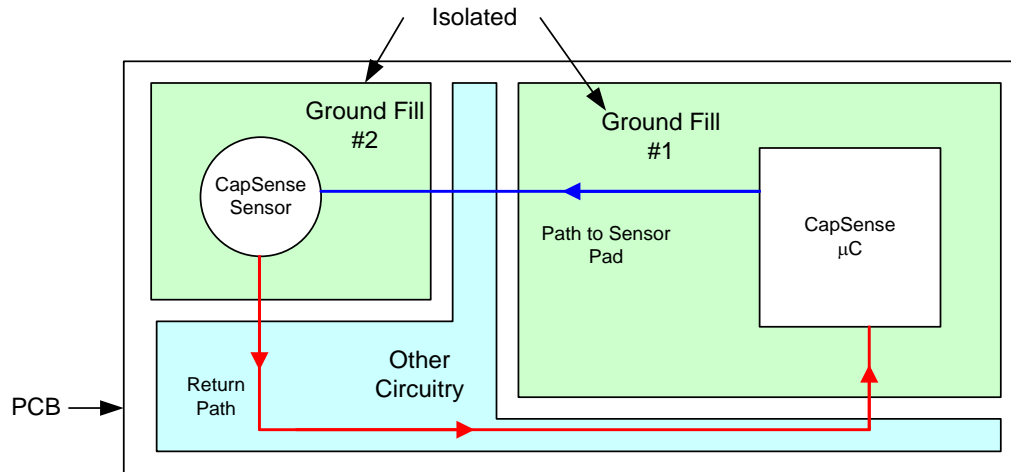
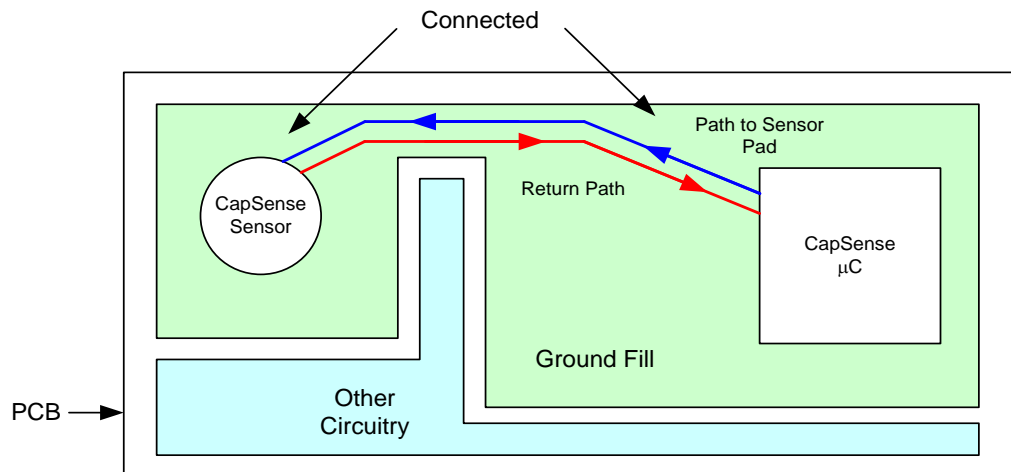


图 3-10 说明了前面示例中的合理布局。通过连接两个接地区域，减少了环路面积。

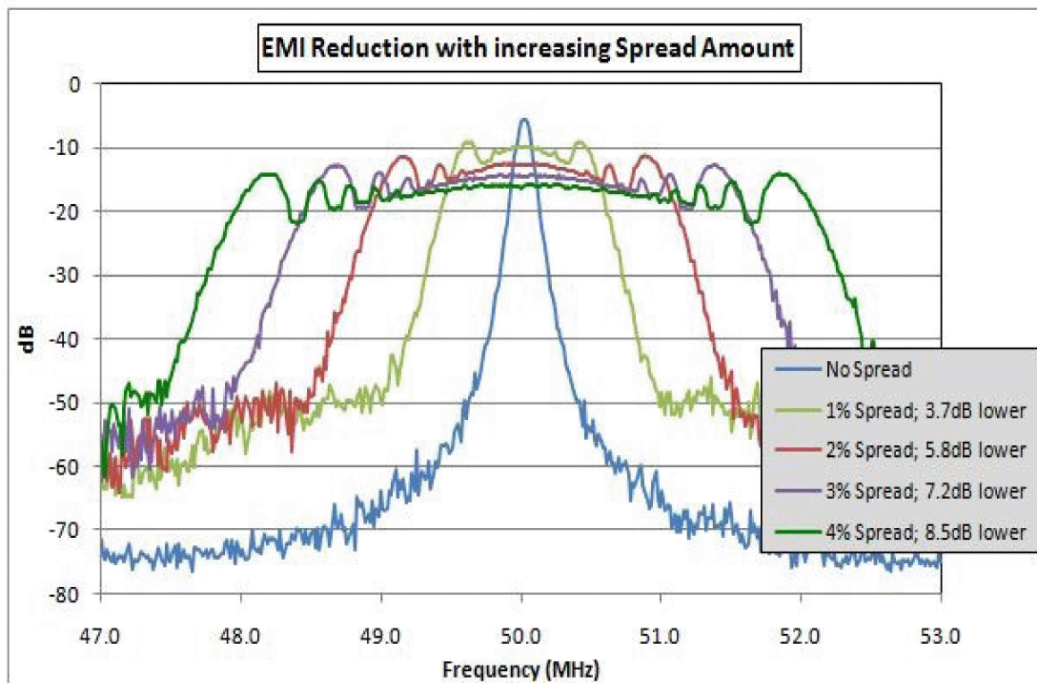
图 3-10. 合理的电流环路布局



### 3.3.1.1.5 跳频

跳频是一种通过较窄的频带扩展输入信号或工作频率的方法。该方法有助于降低峰值，并实现在频率范围内（如图 3-11 所示）扩展辐射和干扰。下面介绍了 PSoC 的各种跳频方法：

图 3-11. 跳频



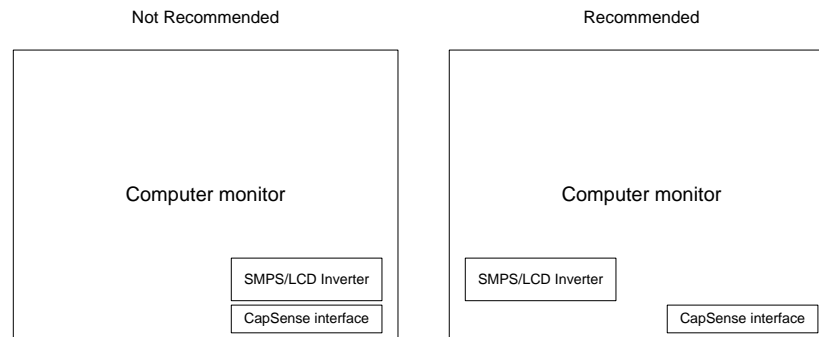
- **扫描传感器时实现 IMO 抖动：**可以对不同的传感器进行 IMO 抖动或调整操作。例如，当基本 IMO 频率为 24 MHz 时，那么使用 24 MHz 到 22 MHz 的频率范围对 IMO 频率进行扫描。只能使用一个频率对传感器进行扫描。使用不同的频率对不同的传感器进行扫描。这样，通过扩展辐射可降低峰值。
- **进行扫描时可实现 IMO 抖动：**还可以在每次进行扫描实现 IMO 抖动。当一个传感器被扫描时，那么使用 24 MHz 到 22 MHz 的频率范围对 IMO 频率进行扫描。因此，该方法可防止使用一个频率对传感器进行扫描。这样，通过扩展辐射可降低峰值。该方法还可以提高抗 RF 干扰的能力。
- **扩频时钟（SSC）：**通过使用外部时钟也能够使 PSoC 工作。与实现 IMO 抖动方法相同，使用扩频时钟也有助于在较宽的频率范围内扩展辐射。在 PSoC1 内，只能使用端口 P1[4]提供外部时钟。在这种情况下，必须将引脚 P1[4]驱动模式设置为数字高阻态。这有助于提高抗 RF 干扰的能力和扩展辐射。
- **伪随机序列（PRS）：**使用 PRS（并不是固定的时钟源）可以降低 CapSense 引脚上的噪声（通过减少由固定频率源引起的 EMI），并提高对其他频率源和它们谐波的抗 EMI 能力。这有助于提高抗 RF 干扰的能力和扩展辐射。

### 3.3.1.2 抗辐射能力

#### 3.3.1.2.1 射频源位置

当计算机显示器或数码相框等系统设计有 CapSense 器件时，要注意防止 LCD 反相器的噪声，并防止开关模式电源（SMPS）扰乱 CapSense 系统。一种尽量降低这种相互作用的技巧是将有噪声源的系统和 CapSense 输入分开，如图 3-12 中所推荐的。由于产品大小的实用性限制，噪声源和 CapSense 电路可能只能分开几英寸。对于噪声源与 CapSense 几乎接近的情况，这个小间距能提供额外的余量，而这正是传感器良好性能所需要的。

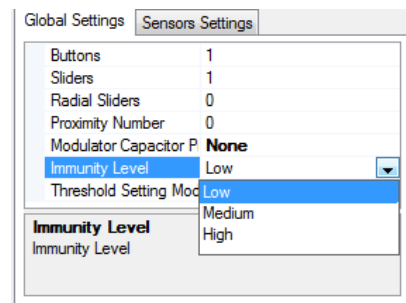
图 3-12. 分离噪声源



### 3.3.1.2.2 EMC 性能

带有 EMC 性能的 CapSense 用户模块/组件通过实现 IMO 抖动来扫描每个传感器。根据每次采样（具有相应的原始计数）选择的抗干扰等级，可在两个或三个不同的频率下对每个传感器进行扫描。使用选项提高抗 RF 干扰的能力。

图 3-13. 抗干扰等级选择

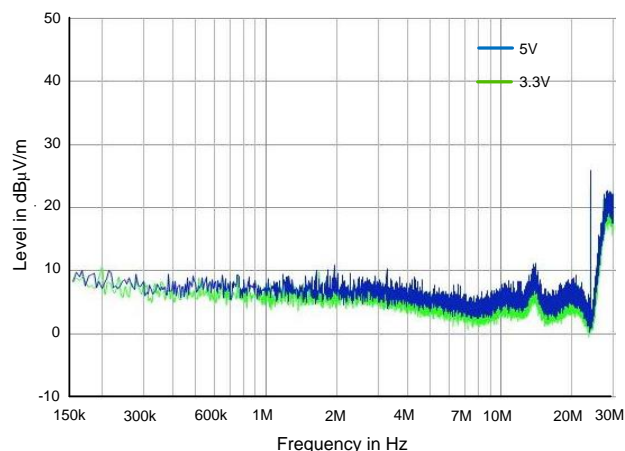


### 3.3.1.3 辐射

#### 3.3.1.3.1 工作电压

对于具有在运行电压和参考电压间转换的传感器的器件（如 CY8C21x34），降低电压有助于大幅度降低辐射。这是因为任何引脚上的转换信号的振幅取决于器件的工作电压，并且辐射与引起转换的电压电平成正比。图 3-14 显示了工作电压对辐射的影响。

图 3-14. 工作电压对辐射的影响





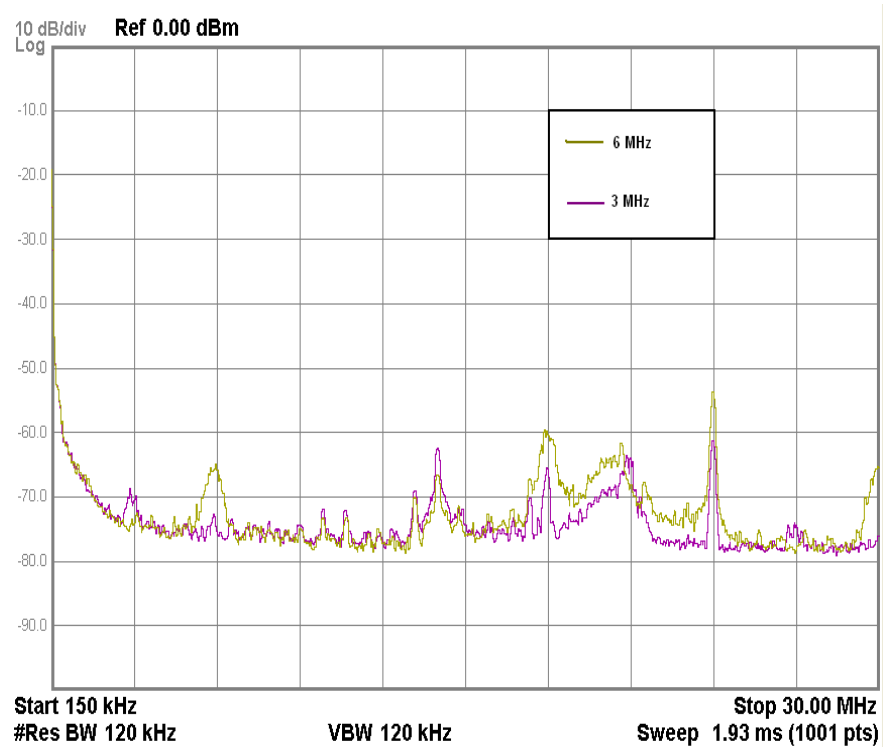
### 3.3.1.3.2 系统振荡器频率 (IMO)

降低系统时钟频率可以大大降低辐射。但是，降低系统时钟频率会影响系统的性能，因为当 IMO 较慢时，将需要更多的时间去扫描传感器和进行处理。因此，请根据您的具体应用来降低系统频率。

### 3.3.1.3.3 传感器开关频率

CapSense 的感应方法采用开关电容前端与传感器进行交互。选择低频开关电容时钟有助于降低 CapSense 传感器的辐射。图 3-15 显示了传感器开关频率产生的影响。

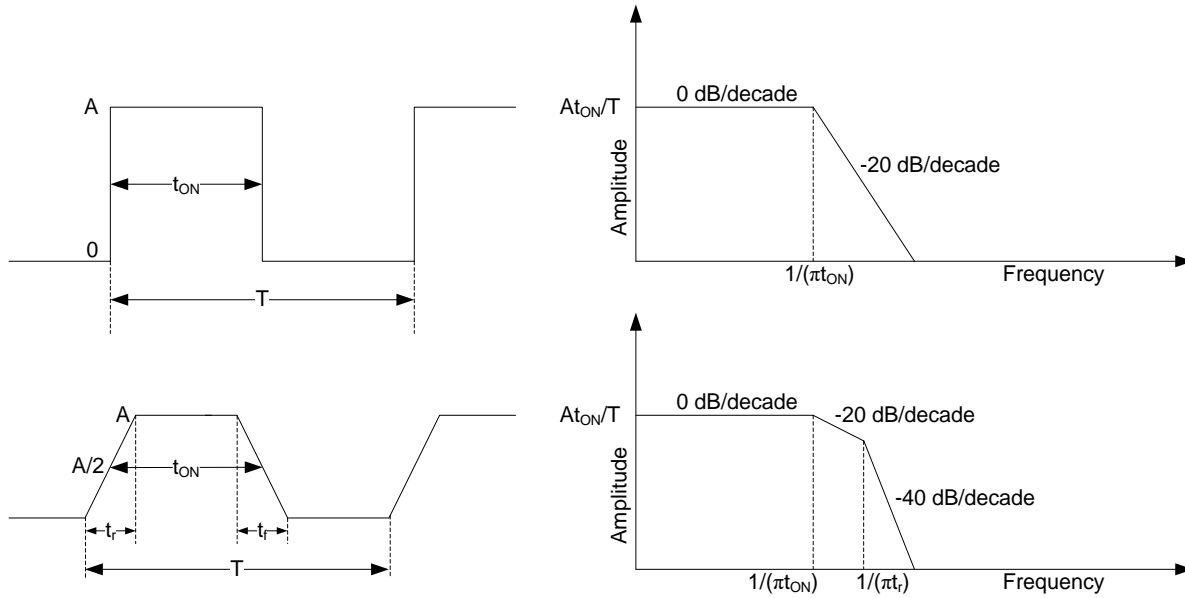
图 3-15. 开关频率的影响



### 3.3.1.3.4 摆率控制

图 3-16 显示了方波上升/下降时间对辐射的影响。请注意，缓慢过渡会引起切断点并会削减辐射能级。通过控制 CapSense 控制器的内部时钟信号的转换速率，可以降低辐射。

图 3-16. 转换速率对辐射的影响



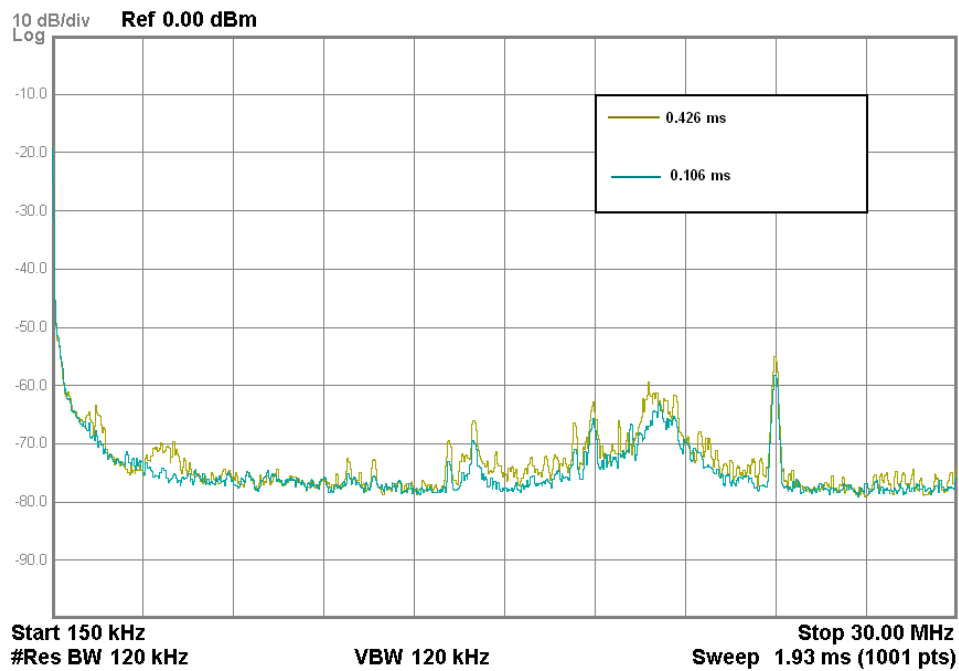
### 3.3.1.3.5 传感器扫描时间

传感器的扫描时间对辐射产生影响。图 3-17 显示了传感器扫描时间对辐射的影响。延长传感器扫描时间会增大辐射。表 3-5 显示了参数设置及相关的传感器扫描时间。

表 3-5. 传感器扫描时间

参数	数值	
扫描分辨率	8 位	10 位
单个传感器的扫描时间	0.021 ms	0.085 ms
5 个按键的总扫描时间	0.105 ms	0.425 ms

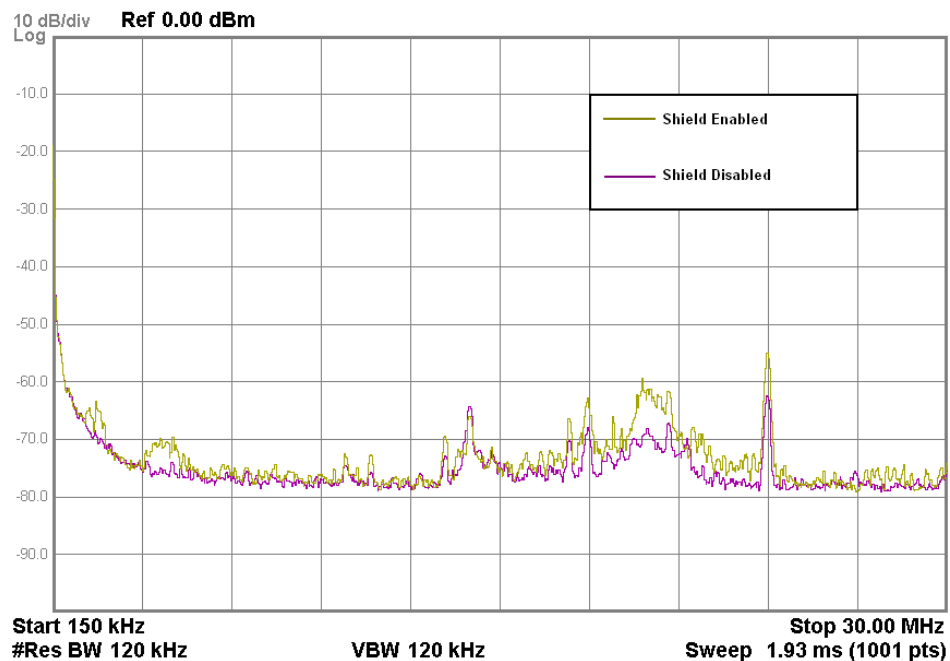
图 3-17. 扫描时间的影响



### 3.3.1.3.6 屏蔽信号

在网格填充上驱动屏蔽信号可以降低传感器的寄生电容，以便实现防水和接近感应等性能。更多信息，请参阅[屏蔽电极和保护传感器](#)一节。屏蔽信号是传感器信号的一个副本。屏蔽信号增大了辐射，因为它是一个高频切换信号，并在宽广的网格填充上被驱动。图 3-18 显示了存在/不存在驱动屏蔽信号的辐射：

图 3-18. 屏蔽对辐射的影响



通过下面方法，可降低辐射：

1. 缩小屏蔽网格填充的大小，以使离传感器的距离小于 10 mm。更多信息，请参阅[屏蔽电极和保护传感器](#)一节。
2. 只有需要时才会驱动屏蔽信号。仅在扫描传感器，并且这些传感器需要屏蔽保护时，才会驱动屏蔽信号。
3. 仅对选定的传感器使用该屏蔽。请勿在无需屏蔽保护的传感器周围展开屏蔽。
4. 通过下面任意一种方法都可以降低屏蔽波形的边沿：
  - a. 在屏蔽电极端口引脚和接地层间放置一个电容滤波器
  - b. 在大多数 PSoC 1 CapSense 器件中，通过将屏蔽引脚的驱动模式从 **Strong**（强驱动）改为 **Strong Slow**（强驱动低电平），可以控制屏蔽信号的转换率。具体如[图 3-19](#)所示：

图 3-19. 屏蔽的驱动模式选择

P2[0]	Port_2_0, StdCPU, Strong Slow,
Name	Port_2_0
Port	P2[0]
Select	StdCPU
Drive	Strong Slow
Interrupt	DisableInt
AnalogMUXBus	Normal
InitialValue	0

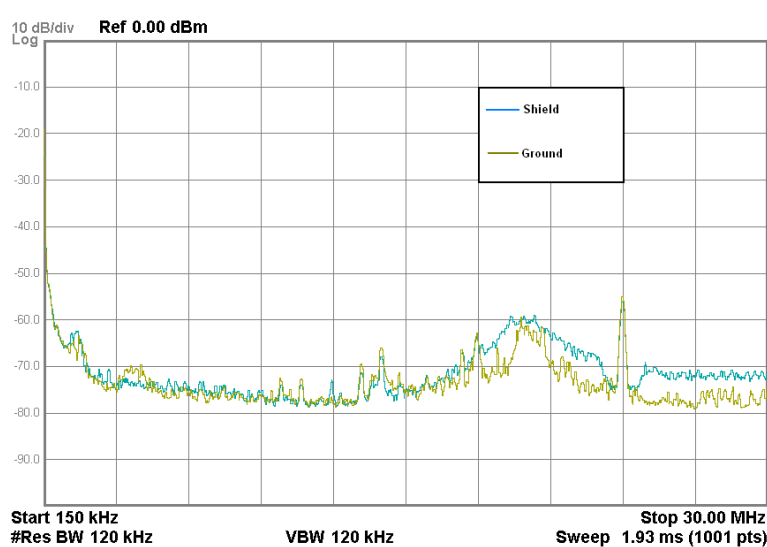
通过在屏蔽引脚上连接一个串联电阻，可以为屏蔽信号添加一个无源低通滤波器（LPF）。固有的 LPF 是由电极材料的电阻和电极的寄生电容构成的。因此，添加串联电阻会提高滤波器的 RC，并且大幅度提高辐射，因为所构成的 RC 滤波器会消除这些频率的高次谐波。

**注意：** 过度滤波屏蔽会导致驱动屏蔽信号和传感器切换信号间产生差异。添加滤波器时，您必须确保已经对屏蔽电极进行了完全充电和放电。有关充电和放电波形以及如何正确选择串联电阻值的信息，请参阅[CapSense 输入线路](#)。

### 3.3.1.3.7 未激活的传感器终端

除非严格要求将未激活的传感器连接到屏蔽，否则将它们接地，这样可以降低辐射。[图 3-20](#) 显示了不同的未激活传感器终端对辐射的影响。

图 3-20. 未激活的传感器终端的影响



对于 CapSense 应用，有一个清洁的电源供应非常重要，这样可以减少有关辐射干扰和发射的问题。下节将介绍滤波 CapSense 器件供电噪声的指南。推荐参考这些指南解决有关 EMC/EMI 的所有问题。

### 3.3.2 抗传导干扰和辐射

由高频开关电路产生且通过电源线和通信线路进入系统的电流噪声被称为传导噪声。

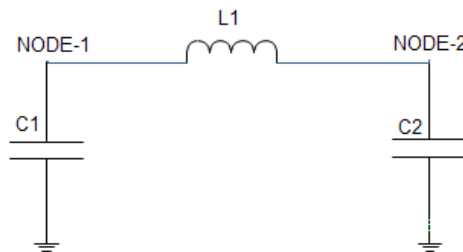
#### 3.3.2.1 电路板等级方案

正确使用数据手册中建议的去耦电容可限制传导辐射问题。有关通用去耦电容的详细信息，请参阅 [3.8.13](#) 一节。对于未调节的电源供应，使用一个大型电解电容（通常是  $10\ \mu\text{F}$  –  $100\ \mu\text{F}$ ），并且该电容离芯片的距离不应超过 1 英寸。将该电容作为电荷库，可以在电路内局部进行瞬时充电，这样，电荷不必通过电源走线的电感。

可以使用无源滤波器进一步进行保护。无源滤波器不仅可以有效限制传导噪声，还能限制进入系统的噪声。因此，它能提高系统的抗传导噪声能力。

Pi 滤波器是一种简单的双向低通滤波器。Pi 滤波器的两种主要类型是串联电感和串联电阻。串联电感 pi 滤波器包含两个并联电容和一个串联电感，它们的连接方式类似于希腊字母  $\pi$ ，如图 3-21 所示。噪声由三个元件（L1、C1 和 C2）同时在两个方向进行滤波。滤波器的双向性质很重要。它不仅阻止电源噪声对敏感部件的影响，而且还能防止部件的开关噪声耦合到电源层。

图 3-21. 串联电感 Pi 滤波器



这些部件的值是基于需要衰减的频率进行选择的。

#### 3.3.2.2 电源解决方案

通过以下指导，可以阻止传导噪声进入您的 CapSense 设计：

- 提供可降低电流环路的 GND 和 V<sub>DD</sub> 层
- 如果 CapSense 控制器 PCB 通过线缆连接到电源，请尽量减小线缆的长度并考虑使用屏蔽线缆。
- 为降低高频噪声，请在电源或通信线路周围放置一个铁氧体磁珠。
  - 本地化系统噪声。
  - 要保持外部高频噪声远离 IC。
  - 要防止内部生成的噪声影响系统中其他部分

有关 EMC 设计注意事项的更多信息，请参考下面各文档：

- [十大 EMC 设计注意事项](#)
- [AN2155 — PSoC EMI 设计注意事项](#)
- [AN80994 — 电快速瞬变脉冲群（EFT）抗扰度设计注意事项](#)

## 3.4 软件滤波

软件滤波器是一种解决高等级系统噪声的技术之一。表 3-6 列出了对 CapSense 有用的滤波器类型。

表 3-6. CapSense 滤波器类型

类型	描述	应用
均值	具有同样的加权系数的有限脉冲响应滤波器（无反馈路径）	来自电源的周期性噪声
IIR	具有与 RC 滤波器类似的阶跃响应的无限脉冲响应滤波器（有反馈路径）	高频白噪声（1/f 噪声）
中值滤波器	从大小为 N 的缓冲区计算中值输入值的非线性滤波器	来自电机和开关式电源的噪声毛刺
抖动	根据之前输入来限制当前输入的非线性滤波器	来自厚覆盖层的噪声（SNR < 5:1），对滑条中心数据非常有用。
基于事件的滤波器	对传感器数据中观察到的模式发出预定义响应的非线性滤波器	常用于阻止不良事件
基于规则的滤波器	对传感器数据中观察到的模式发出预定义响应的非线性滤波器	通常在触摸表面正常操作过程中使用，以响应诸如意外选择多个按键等特殊情况

### 3.4.1 均值滤波器

均值滤波器是一种具有同样加权系数的有限脉冲响应滤波器（FIR）。均值滤波器非常适合处理周期性噪声。在一个噪声周期内延长各采样的间距，可以使周期性噪声衰减。采样间距是非关键因素。例如，电源线路噪声可能在 50 Hz 到 60 Hz 之间。均值滤波器同样能处理对 50 Hz 和 60 Hz 的噪声而不需调整采样速率。图 3-22 展示了与采样周期波形同步的采样率。此滤波器中没有反馈路径。

图 3-22. 同步采样率



均值滤波器的通用公式如下所示：

$$y[i] = \frac{1}{N} (x[i] + x[i - 1] + \dots + x[i - N + 1]) \quad \text{公式 15}$$

图 3-23 和图 3-24 演示了使用真实 CapSense 数据的均值滤波器结果。此滤波器使用了 16 个采样滤波器公式：

$$y[i] = \frac{1}{16} (x[i] + x[i - 1] + \dots + x[i - 15]) \quad \text{公式 16}$$

图 3-23. 均值滤波器噪声（16 个采样）

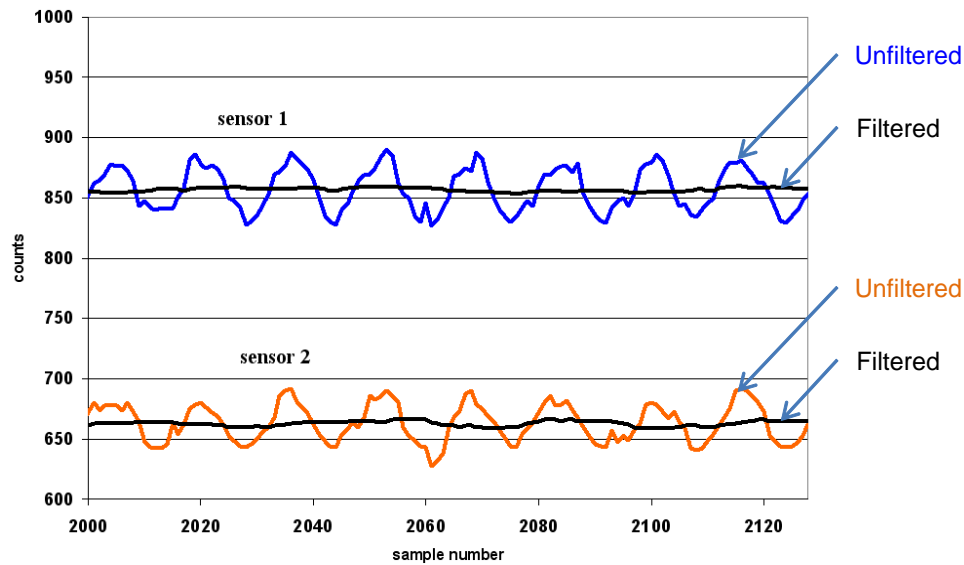
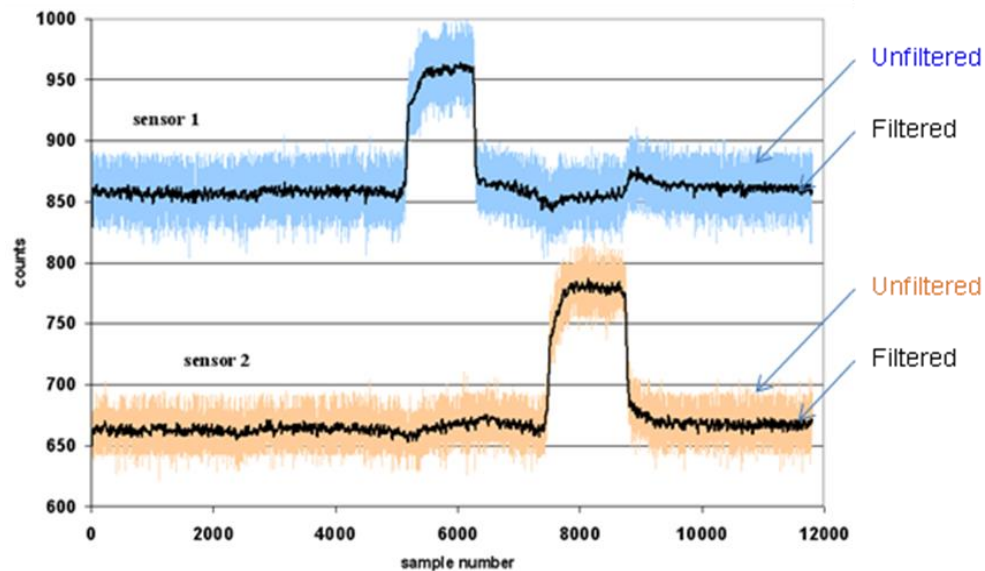


图 3-24. 均值滤波器手指触摸（16 个采样）



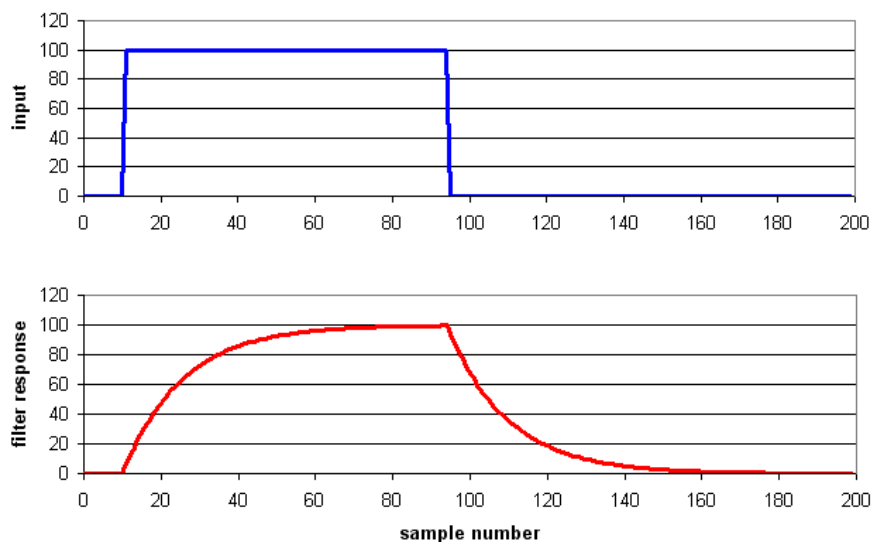
上面介绍了电源供应噪声的代表性示例。该示例中的滤波器正常工作，因为噪声的周期接近于滤波器的长度（ $N = 16$ ）。更多有关如何执行均值滤波器的信息，请参见代码示例 [CSA 软件滤波器使用 CY8C20XX6 上的 EzI2C 从设备](#)。



### 3.4.2 IIR 滤波器

无限脉冲响应滤波器（IIR）产生与 RC 滤波器相类似的阶跃响应。IIR 滤波器能够衰减高频噪声成分，并忽略低频信号，如手指触摸响应的波形。

图 3-25. IIR 滤波器阶跃响应



一阶 IIR 滤波器的通用公式如下所示：

$$y[i] = \frac{1}{k} (x[i] + ((k - 1) \times y[i - 1])) \quad \text{公式 17}$$

图 3-26 和图 3-27 演示了使用滤波器公式（ $k = 16$ ）计算得出的一阶 IIR 滤波器应用于真实 CapSense 数据的结果：

$$y[i] = \frac{1}{16} (x[i] + (15 \times y[i - 1])) \quad \text{公式 18}$$

图 3-26. IIR 滤波器噪声

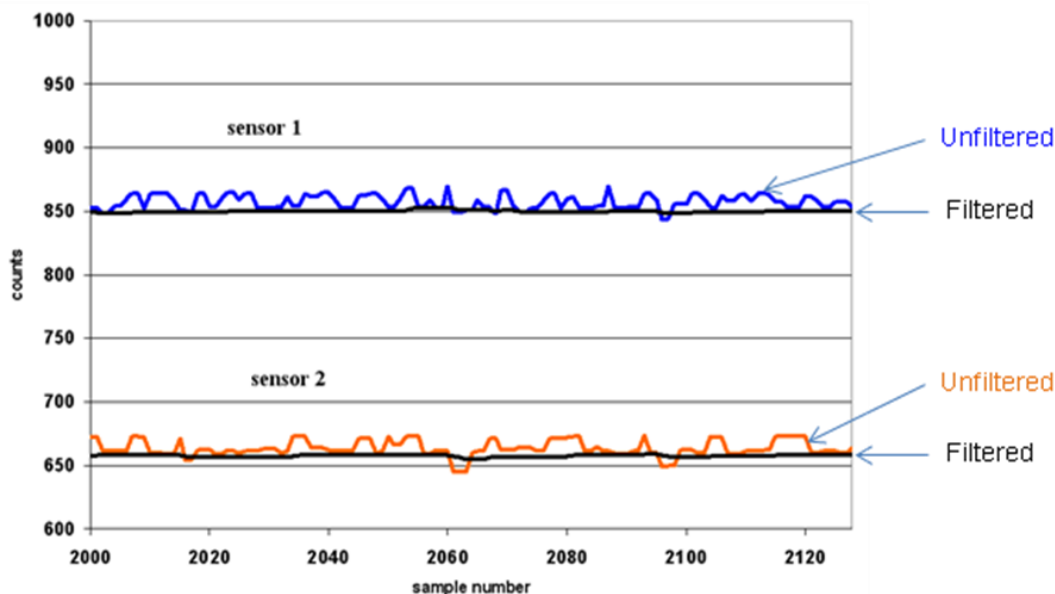
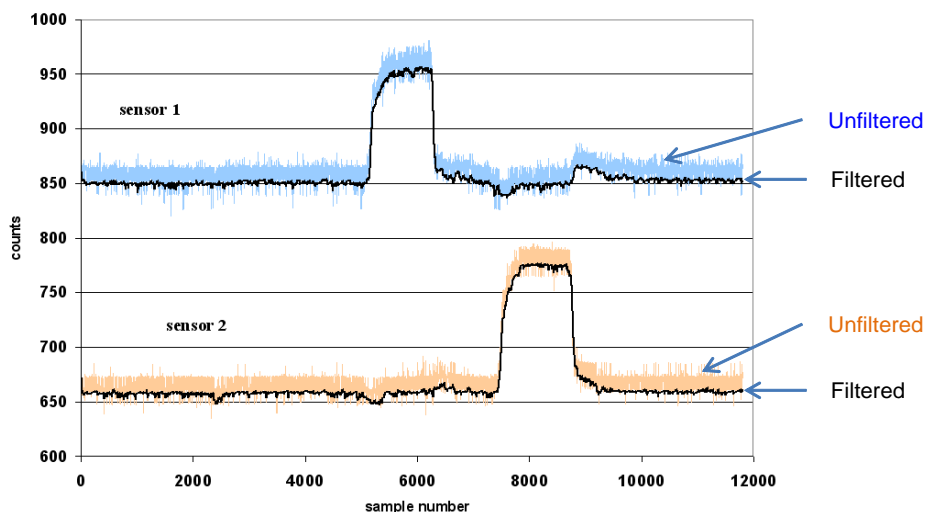


图 3-27. IIR 滤波器手指触摸



欲了解更多有关使用 IIR 滤波器的信息，请参见代码示例 [CSA 软件滤波器使用 CY8C20XX6 上的 EzI2C 从设备](#)。

### 3.4.3 中值滤波器

中值滤波器可消除噪声毛刺，这绝大部分是由电机和开关电源发出的。在中值滤波器中，大小为  $N$  的缓冲区存储着最近输入的  $N$  个采样。然后通过两个步骤计算出中值。首先，按从最小到最大的顺序排列缓冲值；然后从顺序列表中选择中间值。每次更新缓冲区时都会进行中值扫描。这是一种非线性滤波器。中值滤波器的通用公式如下所示：

$$y[i] = \text{median}(x[i], x[i-1], \dots, x[i-N+1]) \quad \text{公式 19}$$

图 3-28 和图 3-29 演示了使用通用滤波器公式 ( $N = 16$ ) 计算出的中值滤波器应用于真实 CapSense 数据的结果。

$$y[i] = \text{median}(x[i], x[i-1], \dots, x[i-15]) \quad \text{公式 20}$$

图 3-28. 中值滤波器噪声毛刺

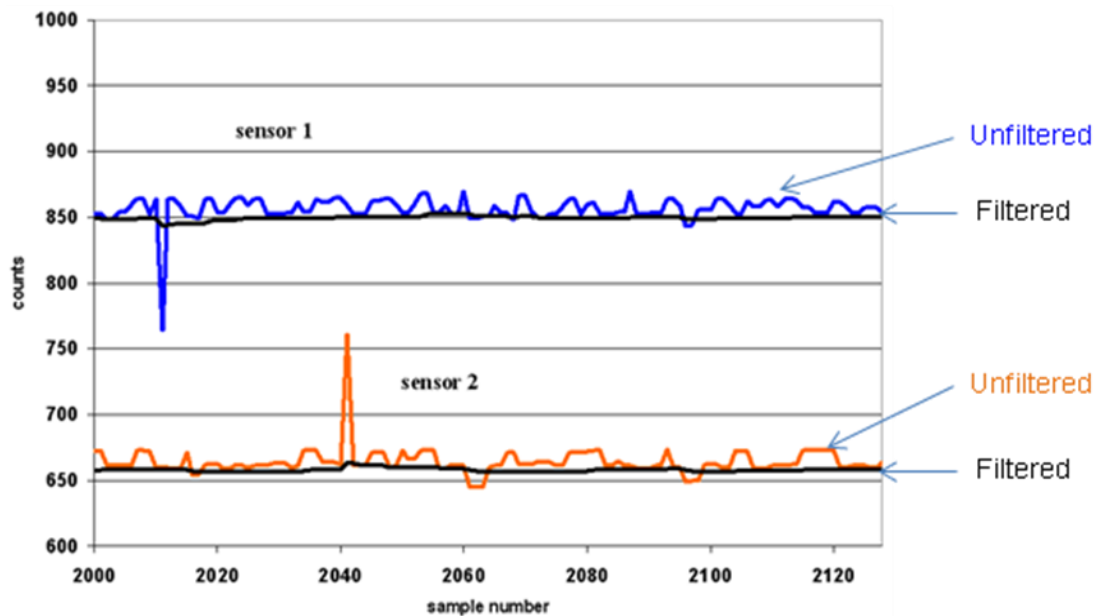
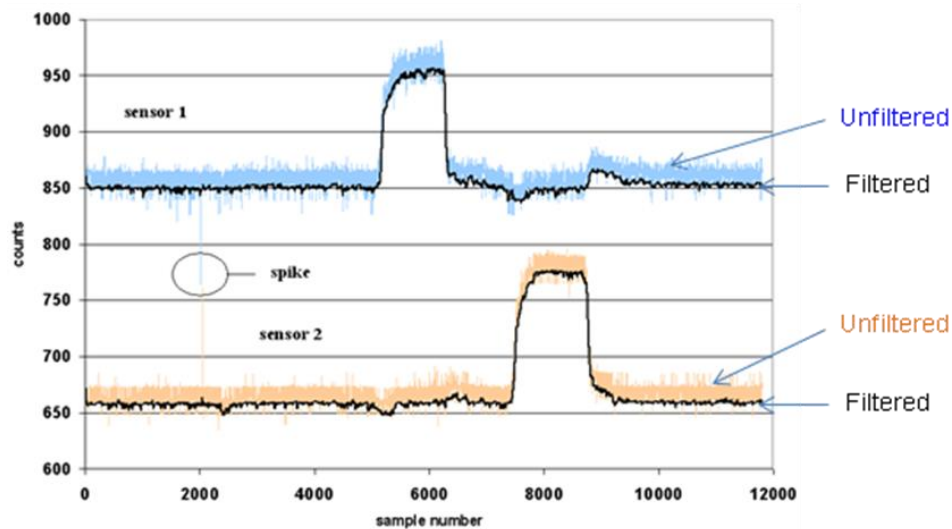


图 3-29. 中值滤波器（16 采样）手指触摸



欲了解更多有关使用中值滤波器的信息，请参见代码示例 [CSA 软件滤波器使用 CY8C20XX6 上的 EzI2C 从设备](#)。

### 3.4.4 抖动滤波器

#### 3.4.4.1 用于噪声滑条数据抖动滤波器

通过使用中心位置函数可以估计滑条上的手指位置。由于滑条上的厚覆盖层使信号处于低电平时，即使手指固定在某个位置，其位置计算也会出现蛇形曲线或抖动。使用时序抖动滤波器可消除这种时序抖动噪声。要想实现该操作，需要将之前输入存储在缓冲区内。对比当前的输入与之前的输出。如果差值大于 $\pm 1$ ，输出会改变 $\pm 1$ （匹配符号），如公式 21 所示。这是一种非线性滤波器。

$$y[i] = x[i] - 1, \text{ if } x[i] > y[i - 1] + 1$$

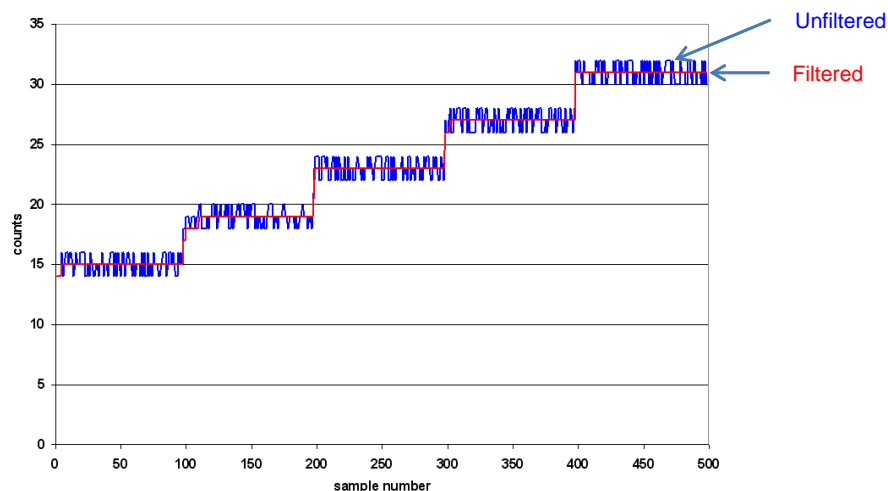
公式 21

$$y[i] = x[i] + 1, \text{ if } x[i] < y[i - 1] - 1$$

$$y[i] = y[i - 1], \text{ otherwise}$$

图 3-30 展示了将抖动滤波器应用于噪声中心数据的结果。

图 3-30. 应用于噪声中心数据的抖动滤波器



### 3.4.4.2 用于原始计数的时序抖动滤波器

虽然抖动滤波器是面向噪声滑条数据的，但它同样适用于有噪声的按键处理。如果当前输入的改变量超出了所设定的阈值，输出将恢复为之前的输入加上或减去阈值。如果当前输入改变量小于阈值，则输出不改变。时序抖动滤波器适用于按键的一般公式是：

$$y[i] = x[i] - \text{阈值} \quad (\text{如果 } x[i] > y[i-1] + \text{阈值}) \quad \text{公式 22}$$

$$y[i] = x[i] + \text{阈值} \quad (\text{如果 } x[i] < y[i-1] - \text{阈值})$$

$$y[i] = y[i-1] \quad (\text{其他场合})$$

图 3-31 和图 3-32 展示了抖动滤波器应用于具有大量周期性噪声成分的真实按键数据的结果。

图 3-31. 用于按键噪声的抖动滤波器

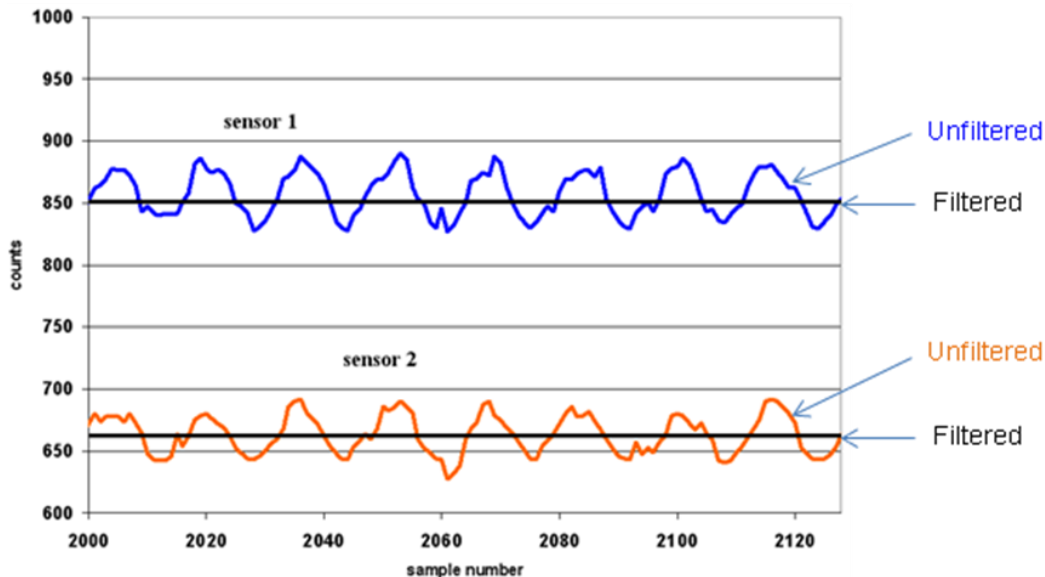
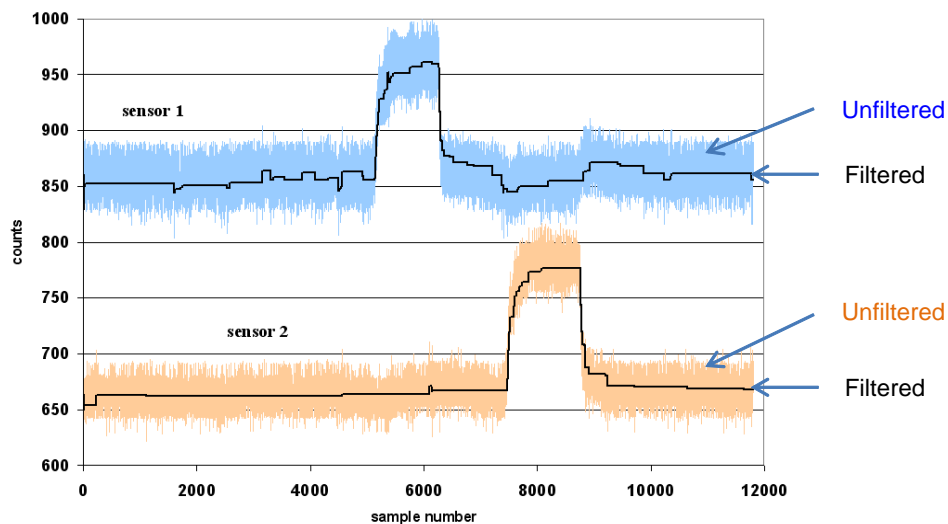


图 3-32. 用于按键手指触摸的抖动滤波器



欲了解更多有关使用抖动滤波器的信息，请参见代码示例 [CSA 软件滤波器使用 CY8C20XX6 上的 EzI2C 从设备](#)。

### 3.4.5 基于事件的滤波器

基于事件的滤波器有一个特殊的滤波方法，其中，传感器数据中观察到的模式会引起 CapSense 系统中的预定义响应。数据中的模式由某个事件触发，如将手持产品放入口袋，或当相机闪光灯电路充电时相机手机中的电源电压（V<sub>DD</sub>）突然变低。基于事件的滤波器常用的响应如下：

- 阻止 CapSense 数据传输，直至模式返回到正常的状态为止
- 重置在测量 SNR 时所定义的基准线参考值。
- 在事件发生时丢失或忽略采样数据

基于事件的滤波器的示例：当发生中断事件时，会丢失采样或重新采样的数据。I<sup>2</sup>C 是用于 CapSense 应用中的一个通用通信协议。由于 I<sup>2</sup>C 中断实际上是异步中断，因此扫描传感器时可能会发生这些中断。扫描过程中发生的中断会加大噪声，从而降低信噪比。在这种情况下，您可以实现一个基于事件的滤波器，例如中断发生时忽略与传感器扫描相应的原始数据采样，然后重新进行扫描。

### 3.4.6 基于规则的滤波器

基于规则的滤波器则使用了另一种特殊的滤波方法，其中，传感器数据中观察到的模式会引起 CapSense 系统中基于规则的响应。与基于事件的滤波器不同，基于规则的滤波器负责处理传感器数据中的模型（在触摸表面正常操作期间会遇到这些模型）。基于规则的滤波器还考虑了传感器使用方式的特殊情况。

例如，在一组无线电频段选择按键中，可能会意外按下两个按键，但只有一个会被选中。基于规则的滤波器以预定义的方式来解决这种情况。另一个实例是在 CapSense 应用中安装一个虚拟传感器。在传感器正常操作过程中，不希望触发虚拟传感器；但在某些意外情况下（例如，存在水滴（如保护传感器）或系统受到 RF 噪声的影响），则需要触发它。因此，当触发虚拟传感器时，将关闭所有实际传感器以避免意外触发实际传感器。

## 3.5 功耗

尽量减少功耗是重要的设计目标。对于许多 CapSense 系统，延长电池寿命对产品的成功至关重要。在不使用电池的系统中，在优化电源以降低成本和 PCB 面积方面，功耗也起着重要作用。

### 3.5.1 工作电流和睡眠电流

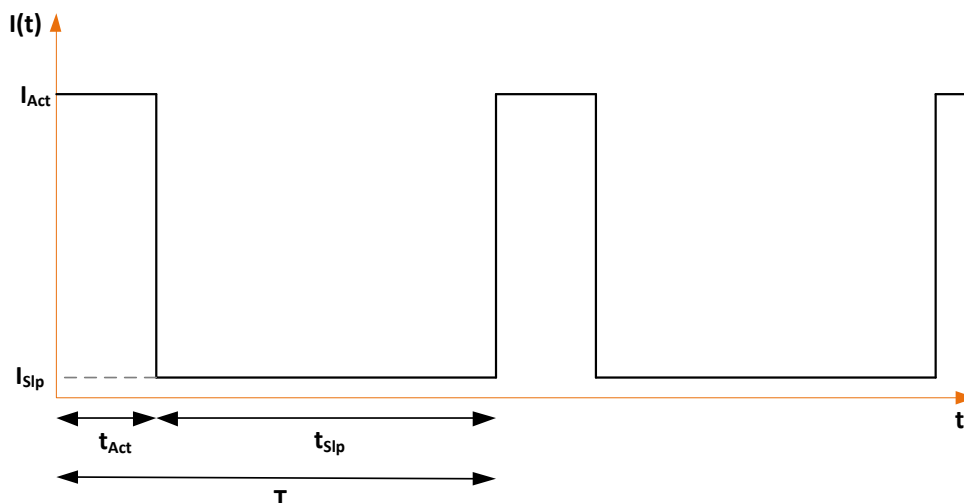
工作电流是指当所有选中的模拟和数字模块都被使能且 CPU 正在运行时器件所消耗的电流。在典型的应用中，CapSense 控制器不需要一直处于活动状态。

可以将器件置于睡眠状态，从而使 CPU 和器件的主要模块停止运行。器件在睡眠状态中消耗的电流被称为睡眠电流。睡眠电流要远远低于工作电流。

### 3.5.2 平均电流

在典型的应用中，可定期调用睡眠状态以减少功耗。也就是说，在预先设置的时间周期内，CapSense 控制器从睡眠状态唤醒，然后以活动状态执行所有必需的操作（扫描所有传感器、更新基准线、检查是否有传感器处于触摸状态），然后再返回到睡眠状态。所生成的瞬间电流图如图 3-33 所示。

图 3-33. 瞬间电流



其中：

$I(t)$  = 瞬间电流

$I_{Act}$  = 工作电流

$I_{Slp}$  = 睡眠电流

$t_{Act}$  = 工作时间

$t_{Slp}$  = 睡眠时间

$T$  = 一个周期的时间

使用以下公式可计算器件在较长周期中所消耗的平均电流。

$$I_{AVE} = \frac{(I_{Act} \times t_{Act}) + (I_{Slp} \times t_{Slp})}{T} \quad \text{公式 23}$$

器件的平均功耗可按以下公式计算：

$$P_{AVE} = V_{DD} \times I_{AVE} \quad \text{公式 24}$$

### 3.5.3 响应时间与功耗

如公式 24 所示，减少  $I_{AVE}$  或  $V_{DD}$  可降低平均功耗。增加睡眠时间可减少  $I_{AVE}$ 。将睡眠时间延长到较高值将导致 CapSense 按键响应时间不足。由于响应时间和功耗之间的这种权衡，应用开发人员必须在系统要求的基础上仔细选择睡眠时间。

在任何应用中，如果功耗和响应时间都是需要考虑的重要参数，则可使用下述的优化方法，即同时采用连续扫描和睡眠扫描模式。使用该方法时，器件在大部分时间将处于睡眠扫描模式。如之前章节所述，器件会周期性地扫描传感器并进入睡眠状态，因此功耗较少。用户通过触摸传感器运行系统时，器件将切换到连续扫描模式。在该模式下，传感器连续扫描而不进入睡眠模式，从而大量缩短响应时间。器件在指定的超时期限内保持连续扫描模式。如果在超时周期内用户未对任何传感器进行操作，则器件会返回睡眠扫描模式。

## 3.6 接近感应设计

本节介绍的是实现接近感应传感器的各个步骤以及影响接近距离的各种因素。欲了解详细的设计指南，请参考 [AN92239 — 基于 CapSense 的接近感应](#)。

### 3.6.1 实现基于 CapSense 的接近感应

图 3-34 显示了设计基于 CapSense 的接近感应系统的各个步骤。

1. **了解接近感应：**本设计指南中的[接近感应](#)部分介绍了基于 CapSense 的接近感应是如何工作的，并描述了会影响接近感应距离的各个参数。
2. **评估接近感应如何工作：**请使用赛普拉斯的 [CY8CKIT-024 — CapSense 接近屏蔽](#)。
3. **指定接近感应要求：**评估接近传感器的性能后，请指定接近感应要求，如所需的接近感应距离、PCB 上用于构建传感器的可用面积、系统功耗要求以及 EMI/ESD 性能。这些要求有助于选择正确的 CapSense 器件和设计传感器布局。
4. **选择正确的 CapSense 器件：**完成指定要求后，请参见 [CapSense 选择器指南](#) 章节，根据所需的接近感应距离来选择正确的 CapSense 器件。
5. **设计原理图和布局：**选择 CapSense 器件后，进行设计原理图和布局。请遵循[引脚分配](#)部分所提及的指南来设计原理图。您也可以参考器件数据手册和器件特定的 [CapSense 设计指南](#)，详细了解如何设计原理图。要想获取接近感应传感器布局的指南（如接近感应传感器类型和尺寸），请参考[接近感应传感器设计](#)和[影响接近感应距离的因素](#)部分。
6. **构建原型：**完成设计原理图和布局后，请构建设计原型以检查该设计是否满足性能要求。
7. **调校：**调校原型板以获取所需性能。请参见 [AN92239 — 基于 CapSense 的接近感应](#)和器件特定的 [CapSense 设计指南](#)。

调校好传感器后，请检查接近感应传感器性能是否满足要求。如果满足了这些要求，请执行步骤 11，否则请继续执行步骤 8。

8. **如果需要，请重新设计：**如果设置好最佳参数但接近感应传感器仍未提供所需性能，请增大传感器的大小或通过屏蔽传感器来降低系统中噪声源的噪声，并继续执行步骤 9。
9. **重新调校：**重新设计接近感应传感器后，请重新调校传感器并检查该传感器的性能是否满足要求。如果满足了这些要求，请执行步骤 11，否则请继续执行步骤 10。
10. **重新检查设计或要求：**如果您已经尽力使传感器的大小接近最大值，并通过最佳参数调试该传感器后，接近感应传感器的性能仍未满足要求，那么需要重新检查各项要求。

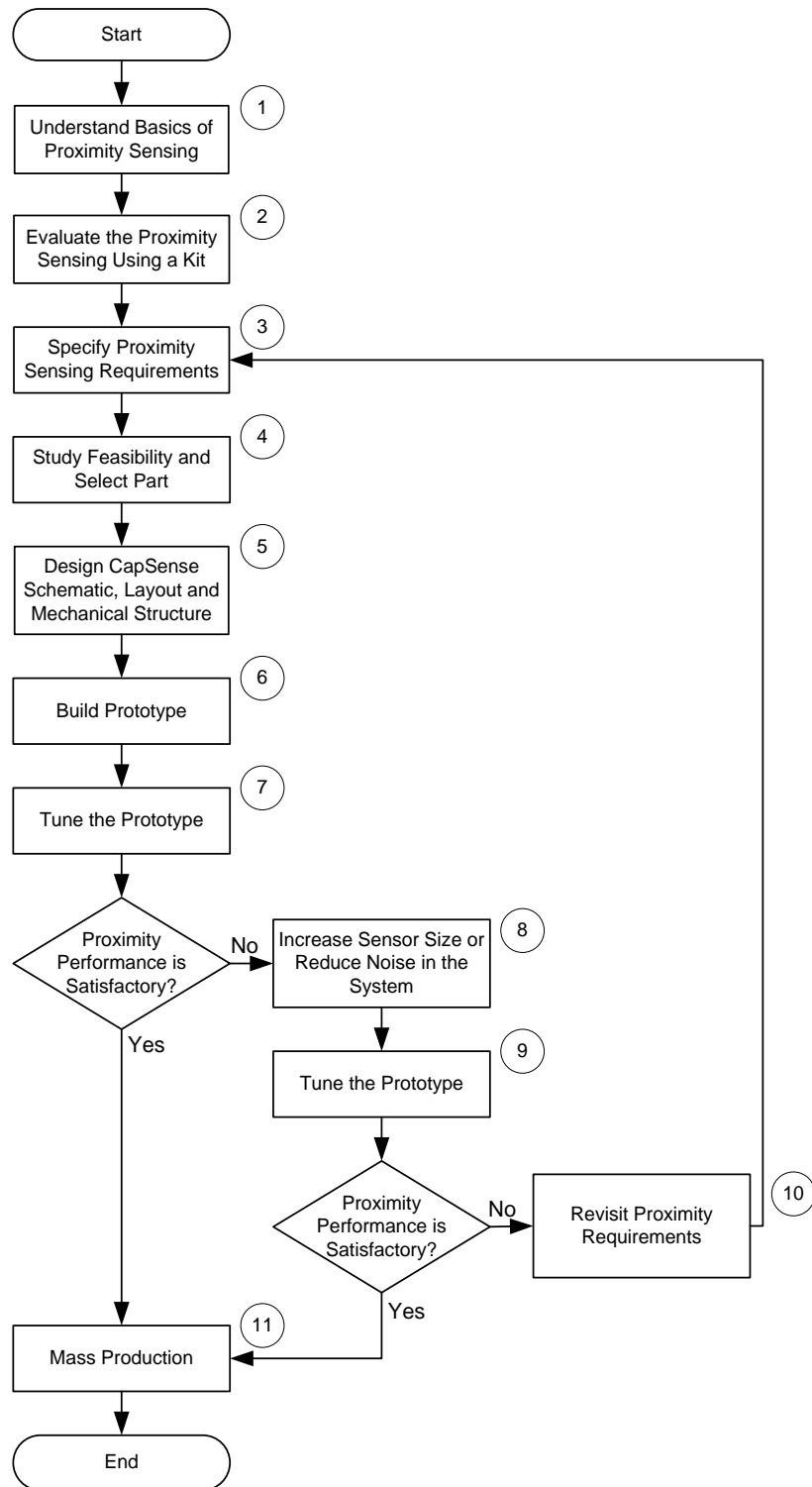
如果仍未达到所需要的接近感应距离，请选择接近感应性能比当前器件更好的器件。

如果选择了最佳器件后仍不能获得所需的接近感应距离，那么需要更改接近感应传感器的要求，如该传感器可用的面积或所需的接近感应距离，并重新从步骤 1 进行操作。

11. **进行批量生产：**如果接近感应传感器满足所需性能，这时您可以进行批量生产。



图 3-34. 基于 CapSense 的接近感应设计

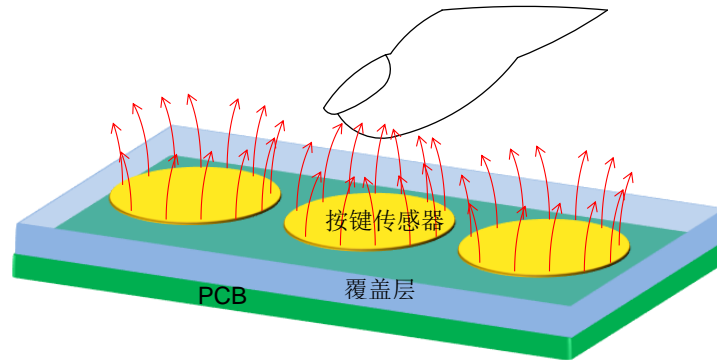


### 3.6.2 接近感应传感器设计

可以使用下面某种方法构造电容式接近感应传感器：

**按键：**可以将具有较高灵敏度的按键传感器作为接近感应传感器使用，如图 3-35 所示。接近感应距离与传感器面积成正比。由于按键传感器的直径范围通常为 5 ~ 15 mm，因此同使用其他传感器相比，使用按键传感器所获得的接近感应距离会小很多。

图 3-35. 基于 CapSense 的接近感应（带有按键传感器）

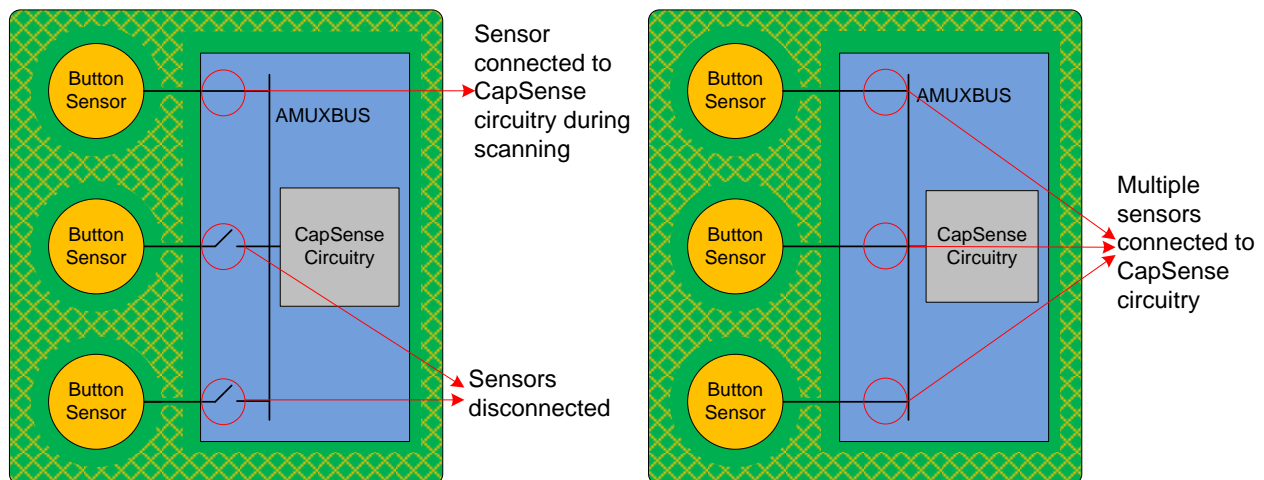


**传感器机械性连接：**传感器机械性连接是指将多个传感器（如：按键、接近感应走线、接近感应回路）连接到 CapSense 电路，并将它们作为单个传感器进行扫描，如图 3-36 (b) 所示。通过机械性连接多个传感器，可以增加传感器的有效面积，从而增大接近感应距离，但要保证被连接传感器的  $C_P$  值不能超过最大为 45 pF 的  $C_P$  值。欲了解如何使用传感器机械性连接方法来实现接近感应功能的详细信息，请参考 AN92239。

图 3-36. 基于 CapSense 的接近感应（带有传感器机械连接）

(a) Only one sensor is connected to AMUXBUS during scanning

(b) Multiple sensors connected to AMUXBUS at the same time for scanning

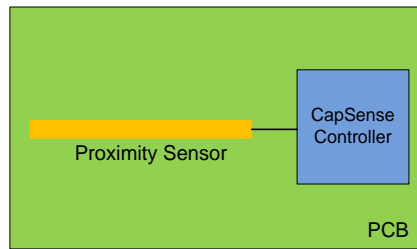


**PCB 走线：**可以使用 FR4 PCB 或灵活印刷电路板（FPC）上的较长走线来构成接近感应传感器。走线可能是直线型（图 3-37 (a)），也可以环绕着系统用户接口的周边（如图 3-37 (b) 所示）。同使用其他传感器实现的方法相比，使用 PCB 走线实现接近感应传感器具有下述各项优点：

- 接近感应传感器的  $C_P$  值较小
- 由于更多的电场线路被耦合到人手，因此接近感应距离也较大
- 更适合批量生产

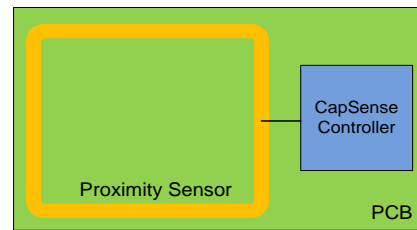
图 3-37. 基于 CapSense 的接近感应（使用 PCB 走线）

(a) 直形接近感应传感器



1.

(b) 环形接近传感器



**连线：**一根连线可以作为接近感应传感器使用。使用连线环传感器实现的接近感应距离比使用 **PCB** 走线实现的距离大得多。但由于制造成本和复杂性较高，所以使用连线传感器对批量生产而言并不是理想的解决方案。

### 3.6.3 影响接近感应距离的因素

接近感应距离取决于以下各项硬件参数、软件参数和系统参数：

- 硬件参数
  - ☐ 传感器类型
  - ☐ 传感器大小
  - ☐ 传感器的寄生电容（ $C_P$ ）。
  - ☐ 覆盖层材料和厚度
  - ☐ 接近悬浮或接地导电物体
- 软件参数
  - ☐ 传感器的分辨率
  - ☐ 固件滤波器
- 系统参数
  - ☐ 功耗
  - ☐ 响应时间
  - ☐ EMI/EMC/ESD 性能

#### 3.6.3.1 硬件参数

- **传感器类型** — 接近感应距离与传感器的面积成正比。与使用 **PCB** 走线或 1-30 cm 长的导线来实现的接近感应传感器相比，使用按键传感器实现的接近感应传感器（典型直径为 5 - 15 mm）的接近感应距离更小。因此，所需的接近感应距离决定了接近感应传感器的类型。[表 3-7](#) 显示的是使用某种特定接近感应传感器实现方法的条件。

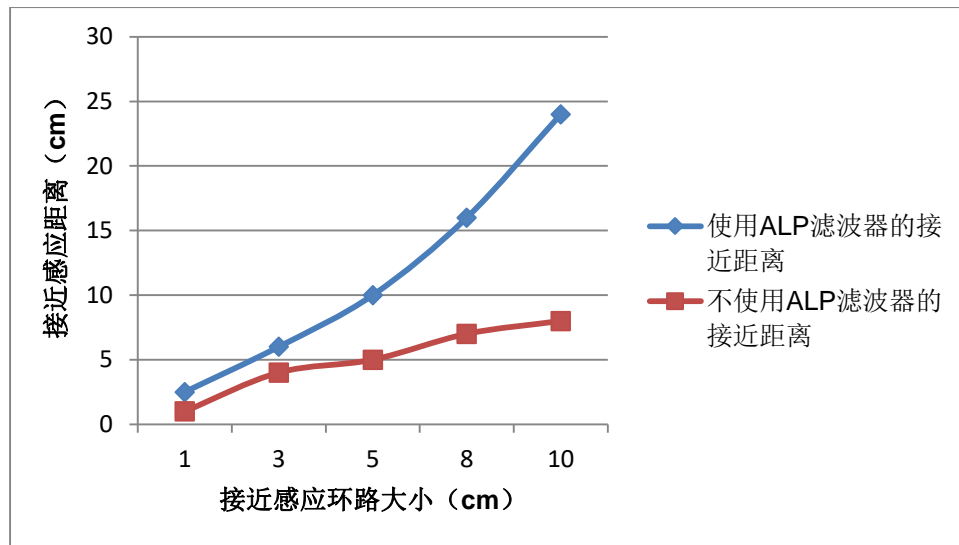
表 3-7. 选择接近感应传感器实现方法

接近感应传感器类型	使用场合
按键传感器	所需接近感应距离或传感器的有效面积较小时，应该使用这种方法。
组合传感器	当没有传感器引脚或 <b>PCB</b> 上没有可用面积来实现接近感应传感器时，应使用这种方法。与使用按键传感器相比，组合传感器可以获得更大的接近感应距离。
PCB 走线	所需接近感应距离较大时，建议使用该方法。在大多数情况下，这是首选方法。
导线环	所需接近感应距离较大时，建议使用该方法。但是与使用 <b>PCB</b> 走线的方法相比，该方法的制造成本更高。

- **传感器大小：**接近感应传感器大小取决于各种因素，比如：所需接近感应距离、噪声源的存在以及悬浮或接地的导电物体。噪声源和悬浮或接地的导电物体可降低信噪比（SNR）和接近感应距离。因此，要想获取设计的所需接近感应距离，接近感应传感器要足够大。

图 3-38 显示的是系统的接近感应传感器回路大小和接近感应距离之间的关系。更大的传感器面积会引起更多的电场线与目标对象耦合，从而会增大传感器信号。然而，传感器面积越大，传感器寄生电容  $C_P$  和噪声也会越大，从而会降低接近感应距离。不使用实心填充传感器，而使用环传感器（图 3-37（b）），这样可以降低传感器寄生电容  $C_P$  和噪声，同时增加接近感应距离。另外，回路传感器需要更小的传感器面积，这样可以在 PCB 上留出用于安装组件的更多空间。

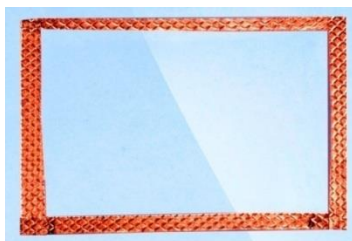
图 3-38. 接近感应回路大小与接近感应距离



**注意：**在上图中，会在实验室条件下测量不同回路大小的接近感应距离。实际的接近感应距离会因终端系统环境的不同而发生变化。

很难获得传感器大小和接近感应距离间的关系。根据终端系统环境，同样的传感器大小会获得不同的接近感应距离。您通过创建传感器原型可以查找获得特定接近感应距离所需的传感器大小。您可以使用一片铜箔（如图 3-39 所示）来快速创建一个传感器原型，以便确定获得特定接近感应距离所需的传感器大小。

图 3-39. 使用了铜箔胶带的接近感应传感器原型



根据基本原则，建议您使用与所需接近感应距离相接近的最小回路直径（在圆形回路的情况下）或对角（在方形回路的情况下）开始进行。如果未能达到需要的接近感应距离（回路直径或对角等于所需接近感应距离），那么可以逐渐加大传感器回路直径或对角，直到获得所需的接近感应距离为止。

表 3-8 汇总了接近感应传感器布局的指南。如果接近感应传感器的有效面积小于获得接近感应距离所需的面积，那么您可以执行固件滤波器，如高级低通（ALP）滤波器。ALP 滤波器会衰减传感器原始计数中的噪声，并增大信噪比。增大信噪比会使接近感应距离更大。更多有关 ALP 滤波器的信息，请参见 AN92239 — 基于 CapSense 的接近感应。

表 3-8. 接近感应传感器布局的建议

详细信息	最小值	建议
接近感应传感器回路直径或对角	如果禁用了 ALP 滤波器，那么传感器回路直径或对角应等于或大于所需接近感应距离。 如果使能了 ALP 滤波器，那么传感器回路直径或对角应不小于所要接近感应距离的一半。	以等于所需接近感应距离的传感器回路直径或对角开始进行，并逐渐增大直径或对角，直到获得所需接近感应距离为止。
接近感应传感器走线宽度	1.5 mm	1.5 mm

- **传感器的寄生电容：**接近感应距离取决于  $C_F$  与  $C_P$  的比率。 $C_F/C_P$  的比例值越大，则接近感应距离越大。对于给定的传感器大小， $C_F$  值取决于传感器和目标对象间的距离。为了使该比率最大，您需要增加  $C_F$  值，并降低  $C_P$  值。通过选择一个最佳的传感器面积、缩小传感器走线的长度，以及最小化传感器电场线的到地耦合，可以使传感器的  $C_P$  值最小。

为了降低传感器电场线的接地耦合，请将驱动屏蔽信号输送到 PCB（若有）的顶层和底层上的驱动网格上。与驱动屏蔽信号相连接的网格填充被称为“屏蔽电极”。驱动屏蔽信号是传感器信号的一个副本。

有关屏蔽电极布局指南的信息，请参见[屏蔽电极和保护传感器](#)。

为了使传感器走线长度最小，从而降低传感器  $C_P$  值，请尽可能将 CapSense 器件放在接近感应传感器的位置。

- **接近悬浮或接地的导电物体：**如果存在任意一个接近悬浮或接地的导电物体，则接近感应距离会明显缩小。将导电物体放置在接近感应传感器的附近位置时，由于下面因素而明显缩小了接近感应距离：
  - 传感器的  $C_P$  值会增加。更大的传感器  $C_P$  通常要求降低传感器切换频率，因而缩小了接近感应距离。
  - 接地的导电物体将捕捉一部分传感器电场，并降低目标所产生的电容，如图 3-41 所示。

您应该删除接近导电物体或使用屏蔽电极，以便将接近感应传感器与导电物体隔离开。在接近感应传感器和金属物体之间放置一个屏蔽电极（如图 3-42 所示），这样可以减少金属表面对接近感应传感器的影响。欲了解更多有关屏蔽电极布局建议的信息，请参见[屏蔽电极和保护传感器](#)章节。

图 3-40. 单个传感器配置的电场传播（无金属物体）

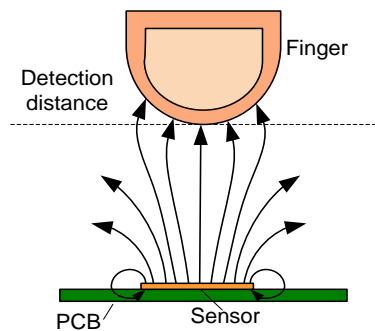


图 3-41. 单个传感器配置的电场传播（有固态金属物体）

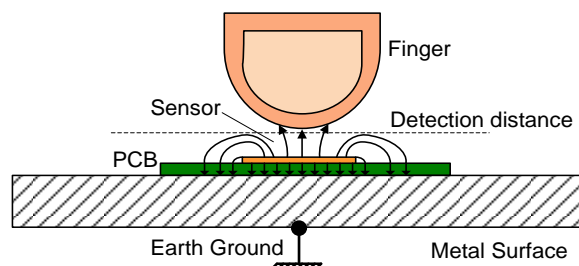
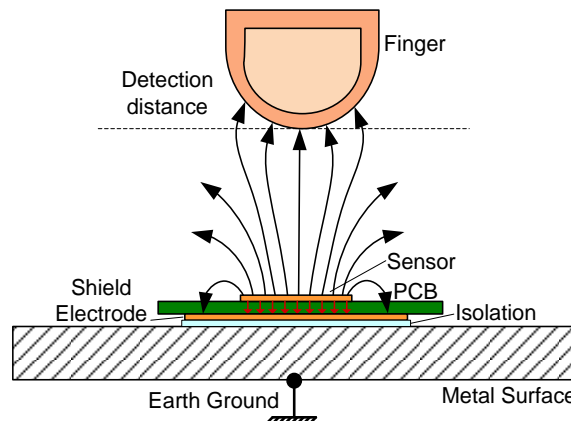


图 3-42. 使用屏蔽电极减少金属物体的影响



### 3.6.3.2 软件参数

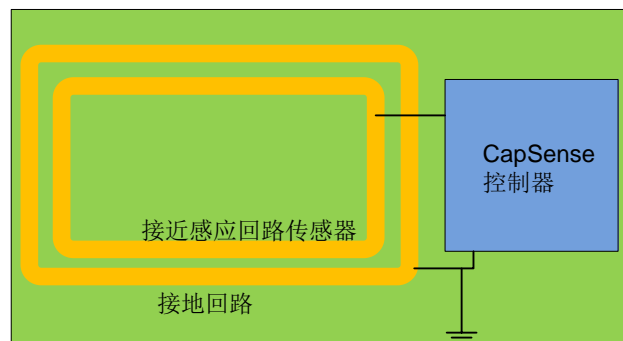
- **CSD 的分辨率：**接近感应距离与 CapSense 感应方法的分辨率参数成正比。分辨率值较高时，可以检测到  $C_F$  值的较小变化，但错误率为  $SNR > 5:1$ 。检测到  $C_F$  发生微小变化则表示接近距离变大了。
- **固件滤波器：**由于接近感应传感器的大面积和高灵敏度设置，它们比较容易受噪声的影响。高噪声可降低信噪比，因此会缩小接近感应距离。通过固件滤波器可以降低噪声，从而增加信噪比和接近感应距离。通过使用 IIR、中值滤波器、平均滤波器或 ALP 滤波器您可以降低噪声。有关 IIR、中值滤波器和平均滤波器的信息，请参见 [软件滤波](#) 章节。有关 ALP 滤波器的详细信息，请参考应用笔记 [AN92239](#)。

### 3.6.3.3 系统参数

- **功耗：**接近感应传感器要求扫描传感器具有高分辨率（15 或 16 位），这样可以获得较大的接近感应距离。分辨率越高，扫描时间也越长，并会增加器件的活动时间，从而消耗更多的能量。因此，较大的接近感应距离需要的功耗也越大。
- **EMI/EMC/ESD 性能：**必须调校接近感应传感器，以得到高灵敏度，从而能够获得较大的接近感应距离。高灵敏度设置会降低 EMI/EMC 性能。因此，需要在接近感应距离和 EMI/EMC 性能间进行权衡。

为了提高接近感应传感器的 ESD 性能，您可以使用接地回路围绕着传感器，如 [图 3-43](#) 所示。

图 3-43. 围绕传感器的接地回路（用于提高 ESD 性能）



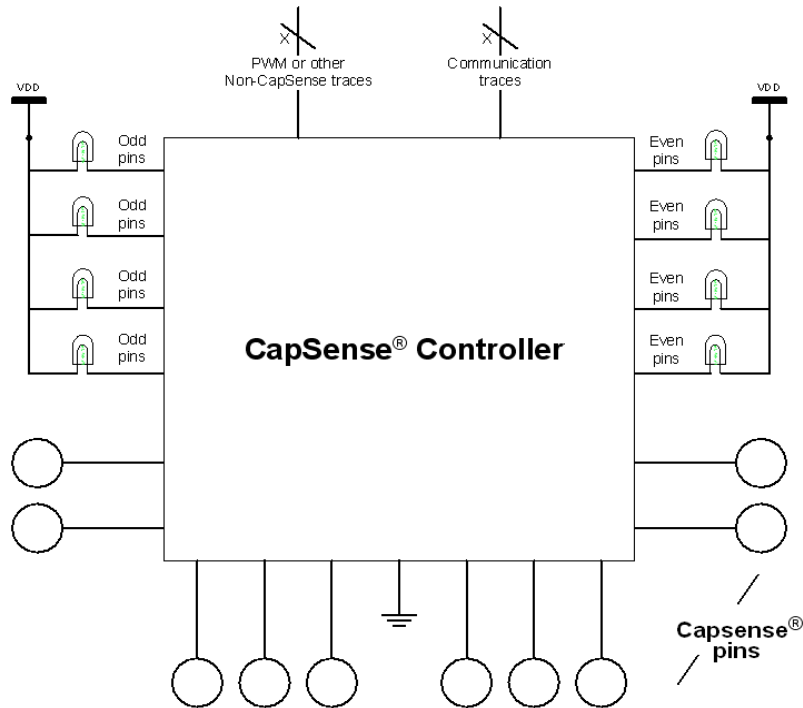
在传感器周边具有一个接地回路会降低接近传感器中的噪声，并在发生 ESD 事件时提供一个接地放电通路，但这样会缩小接近感应距离。因此，需要在接近感应距离和噪声抗扰度之间进行权衡。建议接地回路的最小宽度为 1.5 mm，以及接近感应回路和接地回路间的最小气隙为 1 mm。

**注意：**与接地/悬浮导电物体不同，在传感器周边放置小的走线宽度（1.5 mm）的接地回路不明显降低接近距离。

### 3.7 引脚分配

减少 CapSense 传感器走线和通信线以及非 CapSense 走线之间相互作用的一种有效方法是通过端口分配将它们隔离。图 3-44 显示了采用这种隔离方法的 32-QFN 封装的基础版本。由于各个功能已被隔离，因此 CapSense 控制器得到定向，为了确保通信、LED 和感应走线之间不存在交叉。

图 3-44. 推荐的：通信、CapSense 和 LED 的端口隔离



CapSense 控制器架构对偶数和奇数端口引脚编号的电流预算要求严格。对于 CapSense 控制器，如果一个奇数端口引脚上的电流预算是 100 mA，则所有奇数端口引脚消耗的总电流不能超过 100 mA。除了总电流预算限制外，每一个端口引脚也有最大电流限制。关于特定 CapSense 控制器的规范，请参见应用中使用的 CapSense 控制器的数据手册。

所有 CapSense 控制器都提供高灌电流和源电流的端口引脚。在使用这些引脚时，选择最接近器件接地引脚的端口，以减少噪声。

以下三个示例演示了常见的引脚分配错误。在图 3-45 中，CapSense 和非 CapSense 走线没有隔离，而且 CapSense 引脚远离地面。这是一个引脚分配不合理的实例。



图 3-45. 不建议：CapSense 与非 CapSense 引脚接近

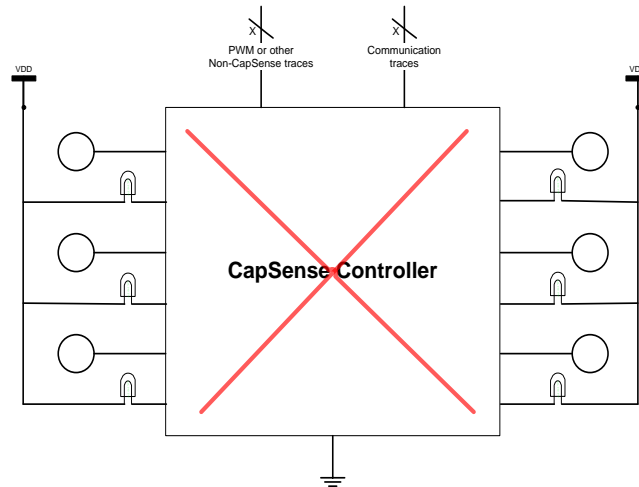
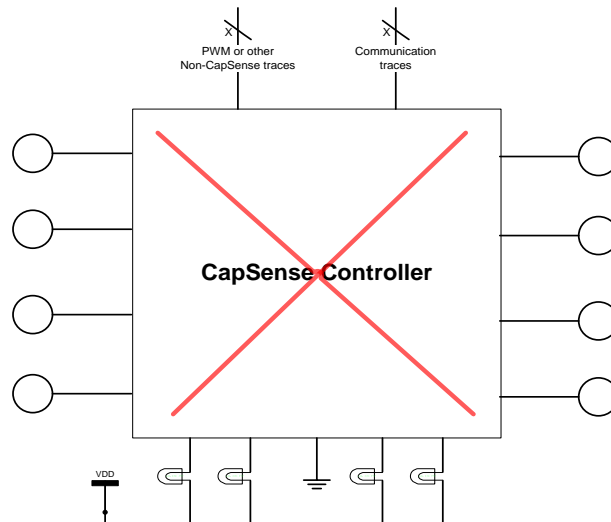
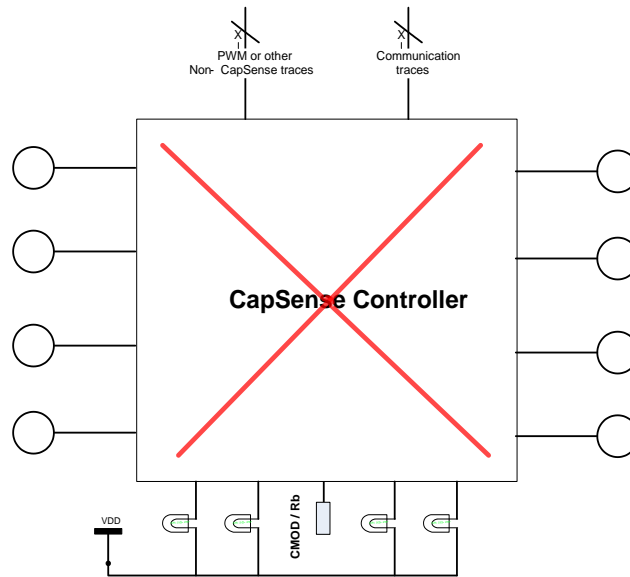


图 3-46 中的实例实现了良好的隔离，但是引脚分配不合理，因为 LED 位于接地引脚旁边。CapSense 传感器分配在不包括接地的芯片一侧。如果 CapSense 引脚远离接地引脚，接地路径的阻抗增加，从而引起驱动电路的参考电压改变。此变化可能导致传感器的错误触发。因此，建议将 CapSense 引脚安装在接地引脚附近。

图 3-46. 不推荐：LED 与接地引脚接近



此外，LED 不应该接近 C<sub>MOD</sub>/R<sub>B</sub> 引脚，以避免图 3-47 所述的串扰。

图 3-47. 不推荐：C<sub>MOD</sub>/R<sub>B</sub> 与 LED 引脚接近


请注意，在 PSoC1 中，不推荐将 P1.0 和 P1.1 引脚用于 LED 或通信目的。这是因为 P1.0 和 P1.1 引脚都是编程线路，并且一旦加电后，P1.0 和 P1.1 引脚的脉冲将会比较低。欲了解更多信息，请参考描述所有 CapSense 器件示例原理图的器件设计指南网页：

- [CY8C21X34 设计指南](#)
- [CY8C20X34 设计指南](#)
- [CY8C20XX6A 设计指南](#)
- [CY8C20XX7/S 设计指南](#)

有关 PSoC3、PSoC4 和 PSoC5LP 指南的信息，请参考它们相应的[数据手册](#)和[设计指南](#)。

## 3.8 PCB 布局指南

在典型的 CapSense 应用中，电容性传感器是由印刷电路板（PCB）或柔性电路的走线构成。按照 CapSense 布局的最佳实践，您可以提高设计的抗噪能力，降低 C<sub>P</sub> 以及提高信噪比（SNR）。由于作为 CapSense 电路一部分的内部电流源的驱动限制，C<sub>P</sub> 水平高时 CapSense 信号会降低。与高 C<sub>P</sub> 相关联的长时间常数是要避免高 C<sub>P</sub> 的另一个原因。

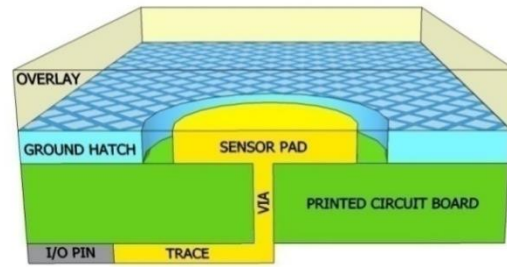
### 3.8.1 寄生电容 C<sub>P</sub>

C<sub>P</sub> 的主要组成部分是走线电容和传感器电容。C<sub>P</sub> 是传感器直径、走线长度、走线宽度和环形间隙的一种非线性函数。C<sub>P</sub> 和 PCB 布局功能之间没有简单的关系，但总体上，后者可影响到前者。递增传感器大小、延长走线长度和宽度以及缩短环形间隙，都会使 C<sub>P</sub> 变大。扩大传感器和接地之间的气隙是降低 C<sub>P</sub> 的一种方法。不过，扩大传感器和接地之间的间距会降低抗噪能力。

### 3.8.2 电路板的各个层

大多数的应用都采用双层电路板，传感器导电片和网格接地位于顶层，其他所有组件都在底层。图 3-48 显示了双层堆叠电路板。在电路板空间受限制或 CapSense 电路属于包含复杂电路的 PCB 设计的应用中，将使用四层 PCB。

图 3-48. 用于 CapSense 电路板的双层堆叠



### 3.8.3 电路板厚度

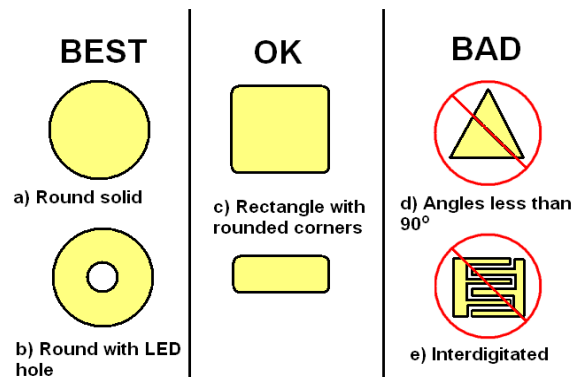
基于 FR4 的 PCB 设计在板厚范围为 0.020 英寸（0.5 mm）到 0.063 英寸（1.6 mm）内正常工作。

柔性电路能与 CapSense 一起工作，运行良好。建议将该电路使用于弧形表面。PCB 的所有指南都能适用于柔性电路。理想的柔性电路厚度不应小于 0.01 英寸（0.25 mm）。柔性电路使用的 Kapton®材料的高击穿电压（290 kV/mm）为 CapSense 传感器提供了内置 ESD 保护。

### 3.8.4 按键设计

按键的最佳形状是圆形。此外，也可以使用圆角的矩形焊盘。因为尖点会集中磁场，所以在设计传感器垫块时应避免尖角（小于 90°）。

图 3-49. 建议的按键形状



按键直径范围应介于 5 mm 到 15 mm 之间，其中，10 mm 适用于大多数应用。大的直径适用于较厚的覆盖层。

环形间隙大小应等于覆盖层厚度，但不能小于 0.5 mm 且不大于 2 mm。例如，覆盖层为 1 mm 厚的系统 PCB 布局应该有 1 mm 的环形间隙，覆盖层为 3 mm 厚的设计应该有 2 mm 的环形间隙。两个相邻按键之间的间距应足够大，以确保按下其中一个按键时，手指不会触及到其他按键。

### 3.8.5 滑条设计

图 3-50 显示了线性滑条的建议滑条图案，表 3-9 显示了每个线性滑条的建议尺寸。下面各节中介绍了建议布局指南的详细信息。

图 3-50. 典型的线性滑条图案

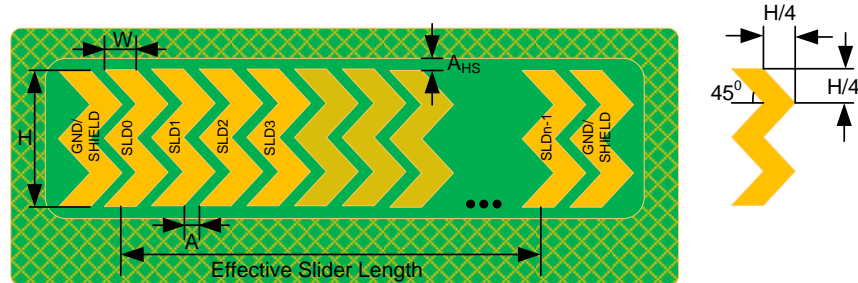


表 3-9. 线性滑条尺寸

参数	丙烯酸覆盖层的厚度	最小值	最大值	建议
段的宽度 (W)	1 mm	2 mm	-	8 mm <sup>2</sup>
	3 mm	4 mm	-	
	4 mm	6 mm	-	
段的高度 (H)	-	7 mm <sup>b</sup>	15 mm	12 mm
各段间的气隙 (A)	-	0.5 mm	2 mm	0.5 mm
网格和滑条间的气隙 (A <sub>HS</sub> )	-	0.5 mm	2 mm	等于覆盖层的厚度

#### 3.8.5.1 滑条段的形状、宽度和气隙

所报告的手指位置（中心位置）与滑条上实际的手指位置的线性响应对滑条设计要求：当手指触摸 SLD0 段中点和 SLDn-1 段中点之间的任意位置（而不是滑条段的中点位置）时，需要两个传感器报告有效信号<sup>3</sup>。如果将手指触摸在任何滑条段的中间位置，则相邻传感器会报告差值计数等于手指阈值。因此，建议使用双 V 字形，如图 3-50 所示。通过

<sup>2</sup> 建议的滑条段宽度是根据 9 mm 的人手指平均直径设定的。更多信息，请参阅 3.8.5.1 “滑条段的形状、宽度和气隙”一节。

<sup>b</sup> 建议的 7 mm 最小滑条段高度是根据 7 mm 的最小人手指直径设定的。当手指触摸任何段的中点时，如果对覆盖层厚度和 CapSense 进行调校以使信噪比 SNR ≥ 5:1，则可将滑条高度设置为小于 7 mm。

<sup>3</sup> 在这里，有效信号指的是已给滑条段的差值计数大于或等于噪声阈值。

这种形状，可以使中心响应接近理想响应，如图 3-51 和图 3-52 所示。出于同样的原因，滑条段的宽度和气隙（分别为图 3-50 中所标记的“W”和“A”尺寸）应该遵循公式 3-25 所涉及的关系。

图 3-51. 理想滑条段信号和中心位置的响应

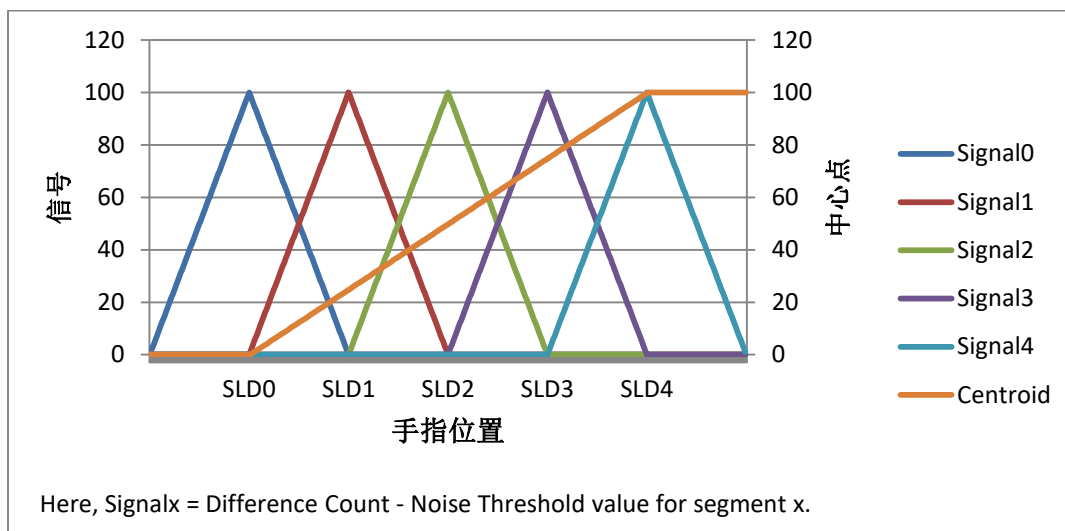
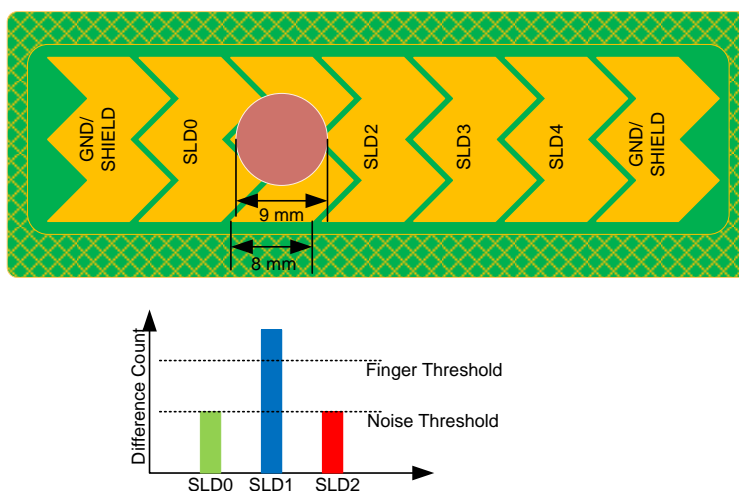


图 3-52. 理想滑条信号



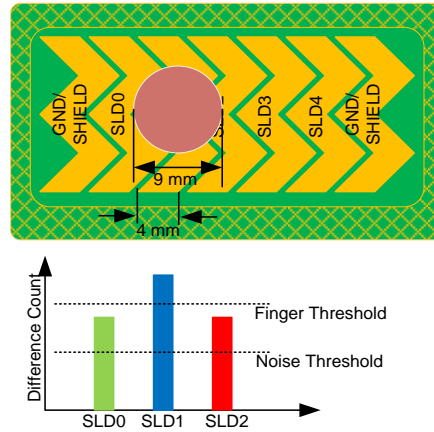
公式 3-25. 滑条段宽度、气隙和手指直径的关系

$$W + 2A = \text{手指直径}$$

通常情况下，人手指的平均直径大约为 9 mm。根据这个手指平均直径和公式 3-25，建议的滑条段宽度和气隙分别为 8 mm 和 0.5 mm。

如果滑条段宽度 + 2 \* 气隙小于手指直径（如公式 3-25 的要求），则中心响应是非线性的。这是因为滑条上放置的手指会引进电容，从而在特定位置上向两个以上的滑条段提供有效信号，如图 3-53 所示。因此，通过公式 3-25 计算得出的中心位置是非线性的，如图 3-53 所示。

图 3-53. 手指触摸的滑条段宽度小于建议值时会导致两个以上的有效滑条段信号



公式 3-26. CapSense 使用的中心算法

$$\text{中心位置} = \left( \frac{S_{x+1} - S_{x-1}}{S_{x+1} + S_{x0} + S_{x-1}} + \text{maximum} \right) * \frac{\text{分辨率}}{(n-1)}$$

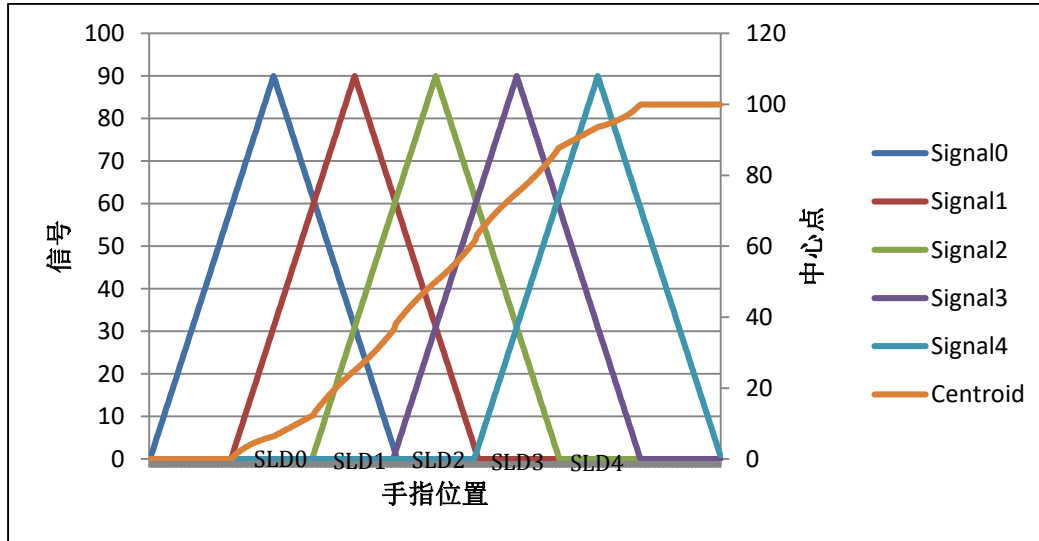
分辨率 — 在自定义程序中设置的 API 分辨率，

n — 在自定义程序中设置的传感器元素数量。

最大值 — 提供了最大信号的元素指数

Si — 靠近最大位置的差值计数（已经消减手指阈值）

图 3-54. 滑条段宽度小于推荐值时的非线性中心响应



请注意，虽然滑条段宽度值小于手指直径 - 2 \* 间隙时中心响应是非线性的（如图 3-53 所示），但它仍可用于终端应用，其中所报告的中心位置与实际的手指位置的线性关系并不重要。但是，必须要根据覆盖层的厚度来保持滑条段的最小宽度，以便在有效滑条长度的位置上至少有一个滑条段能提供  $\geq 5:1$  的信噪比（即信号值  $\geq$  手指阈值参数）。如果

滑条段宽度过小，那么手指不能耦合足够的容值，因此所有滑条段的信噪比不能达到 5:1，从而会将中心位置值报告为 0xFF<sup>4</sup>，如图 3-55 所示。

图 3-55. 滑条段宽度过低时报告的中心位置值不准确

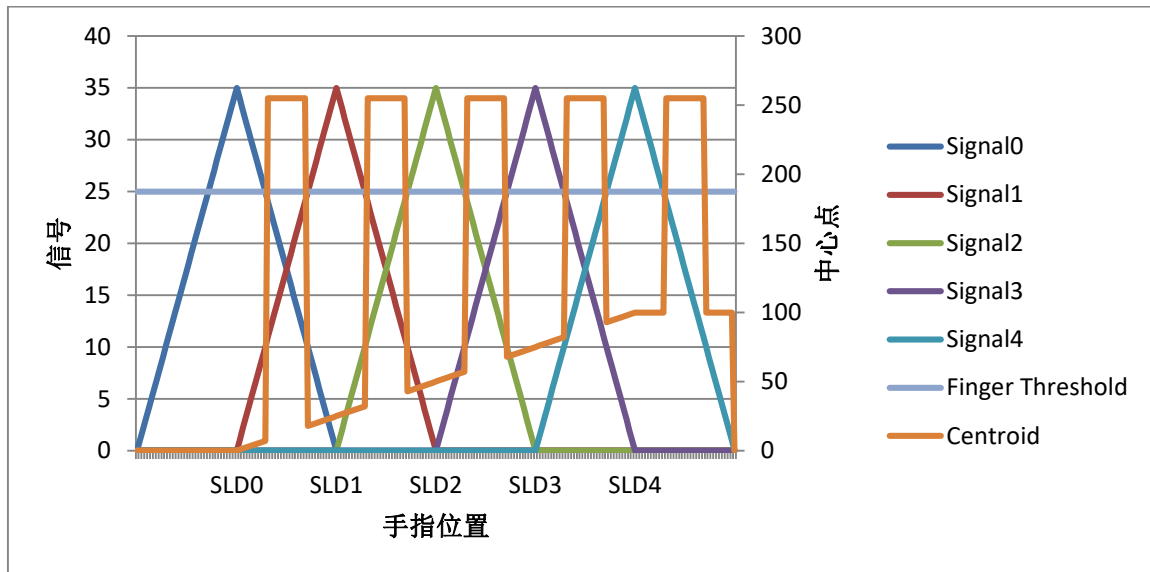
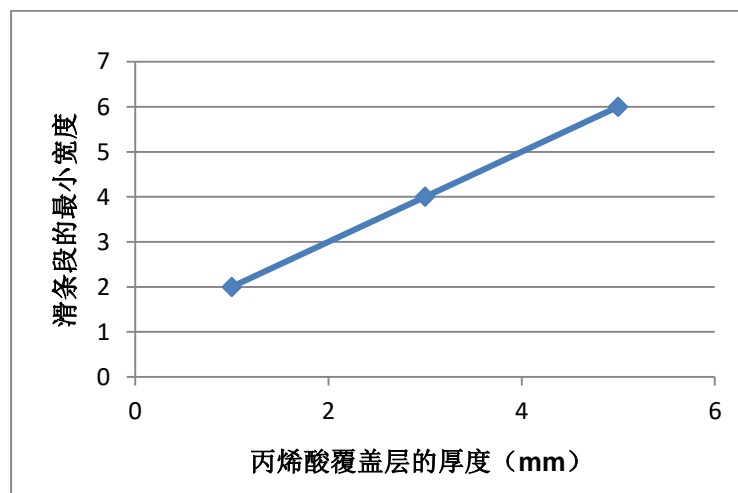


表 3-9 针对丙烯酸覆盖层的具体厚度提供了滑条段宽度的最小值。对于表 3-9 和图 3-56 中未指定的丙烯酸覆盖层厚度，可以使用图 6-12 来评估滑条段的最小宽度。

图 3-56. 滑条段的最小宽度与丙烯酸覆盖层厚度间的关系



如果  $\text{滑条段宽度} + 2 \times \text{气隙}$  大于  $\text{手指直径}$ （如公式 3-25 的要求），则中心响应中会有扁平点；换句话说，如果手指移动靠近任何滑条段的中点，则所报告的中心位置会保持不变，如图 3-57 所示。这是因为手指放置在滑条段的中间位置时，即使手指向相邻滑条段移动了非常小的距离，它仍会向该滑条段创建有效信号，如图 3-58 所示。

<sup>4</sup> 没有在滑条上检测到任何手指触摸时，或所有滑条段的差值计数都未超过手指阈值时，PSoC Creator 中的 CapSense 组件会将中心位置值报告为 0xFF。



图 3-57. 滑条段宽度大于建议值时的扁平点（无响应的中心位置）

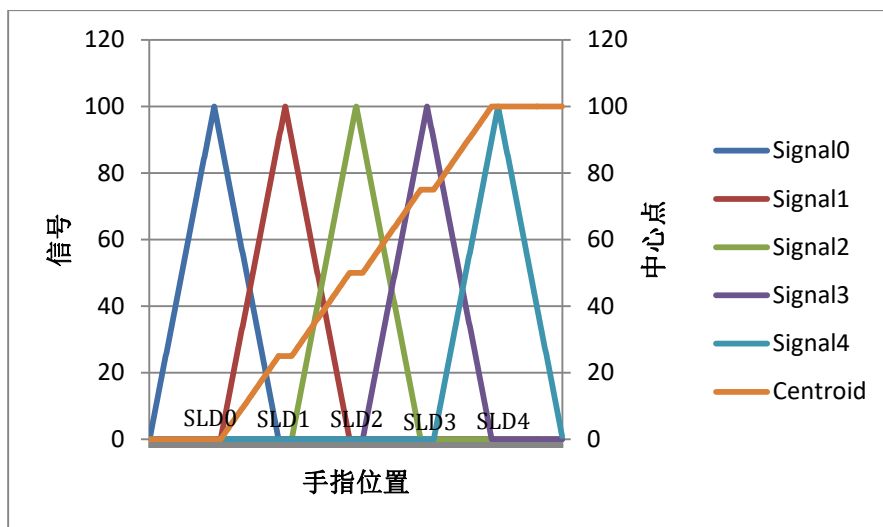
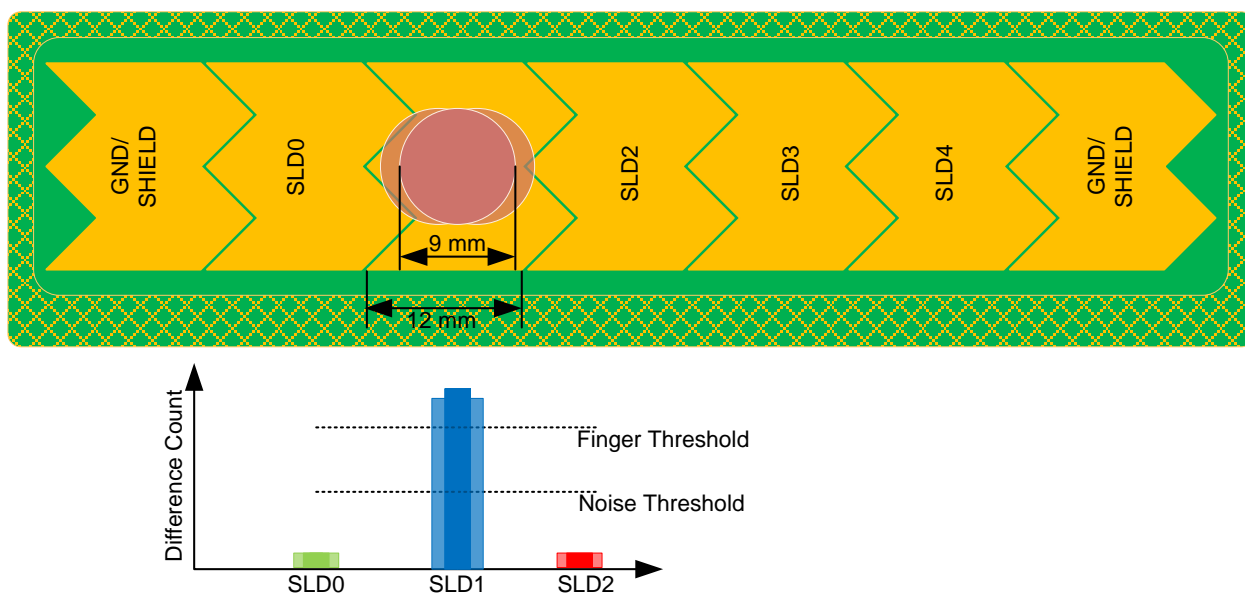


图 3-58. 滑条段宽度大于建议值时滑条段上的信号



请注意，如果  $\text{滑条段宽度} + 2 \times \text{气隙值}$  大于  $\text{手指直径}$ ，则可能会增大并调整所有滑条段的灵敏度，以便在手指触摸滑条段的中间位置时，相邻传感器报告的差值计数仍能等于噪声阈值（如图 3-51 的要求）；但是这样会引起悬浮效果，即虽然手指悬浮在滑条上并未触摸到滑条，但滑条仍会报告中心位置。

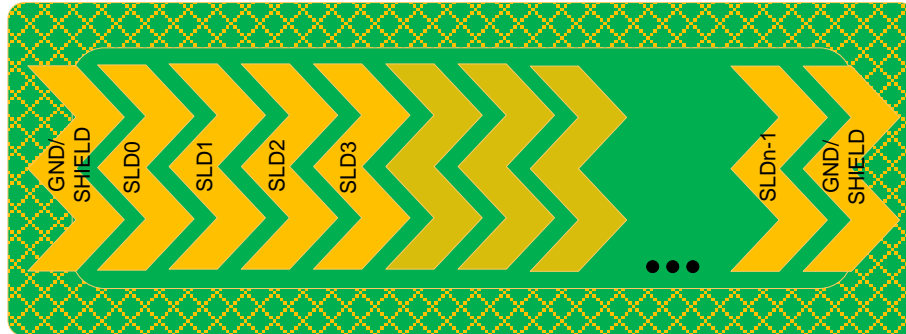
### 3.8.5.2 滑条两端的虚拟段

在 CapSense 设计中，当扫描某一段时，根据 CapSense CSD 组件中“Inactive sensor connection”参数所指定的选项，将相邻的段接地或连接至驱动屏蔽信号。对于线性中心响应，滑条要求所有段的灵敏度都相同，即要求手指放置在滑条段上时，所有段的原始计数（信号）的增量都相同。为确保所有滑条段信号具有统一的电平，建议将滑条两端的两个段物理接地，或连接至驱动屏蔽信号。选择接地还是连接至驱动屏蔽信号取决于“Inactive sensor connection”参数所指定的值。因此，如果您的应用需要 ‘n’ 个段滑条，则应该创建  $n + 2$  个物理段，如图 3-50 中所示。

如果因空间限制而无法在滑条两端上创建 2 个段，您可以利用顶层的填充网格创建这些段，如图 3-59 所示。此外，如果可用的总空间受到限制，则可将这些段的宽度设为小于段 SLD0 到 SLDn-1 间的宽度，甚至可以移除这些虚拟段。

如果滑条两端上的 2 个段连接到顶层的填充网格，那么应该将顶层填充网格连接至 “Inactive sensor connection” 参数指定的信号。如果滑条需要具有防水功能，那么应该分别将围绕滑条的填充网格、最后两端以及未激活的滑条段连接到驱动屏蔽信号。

图 3-59. 第一个和最后一个滑条段连接至顶层填充网格时线性滑条图案



### 3.8.5.3 决定滑条尺寸

根据以下注意事项选择滑条的尺寸：

- 根据应用要求决定所需滑条长度（L）。该长度和图 3-50 所示的“有效滑条长度”相同。
- 根据电路板上可用空间大小决定段高度。请使用所允许的最大段高度（15 mm）（若可）；否则使用较小的高度，但要确保该高度大于表 3-9 中所指定的最小值。
- 应该将滑条段宽度和各个滑条段之间的气隙设置为表 3-9 中所建议的值。  
对于 9 mm 长的手指平均直径，滑条段宽度和气隙的建议值分别为 8 mm 和 0.5 mm。
- 对于特定的滑条长度 L，通过下面公式可计算得出所需段数：

$$\text{滑条段数量} = \frac{\text{滑条长度}}{\text{滑条段宽度} + \text{气隙}} + 1$$

请注意，一个滑条最少需要使用两个滑条段实现。

如果 CapSense 引脚的可用数量略小于特定应用所计算的段数，那么您应该增大滑条段的宽度，这样可以利用给定的引脚数量得到所需要的滑条长度。例如，10.2 cm 的滑条需要 13 个段。但是，如果只有 10 个引脚，那么可能要将滑条段宽度增大为 10.6 cm。这样会引起非线性响应（如图 3-57 显示）或悬浮效果；如果终端应用对线性要求不高，可以使用这种布局。

请注意，PCB 长度大于所需要的滑条长度，如图 3-50 所示。PCB 长度可与滑条长度相关联，具体如下：

公式 3-27. PCB 的最小长度和滑条长度间的关系

$$\text{PCB 长度} = \text{滑条长度} + 3 * \text{滑条段宽度} + 2 * \text{气隙}$$

如果 PCB 的可用空间小于上面公式要求的值，则可以移除虚拟段。

这时，PCB 所需的最小长度将为：

$$\text{PCB 长度} = \text{滑条长度} + \text{滑条段宽度}$$

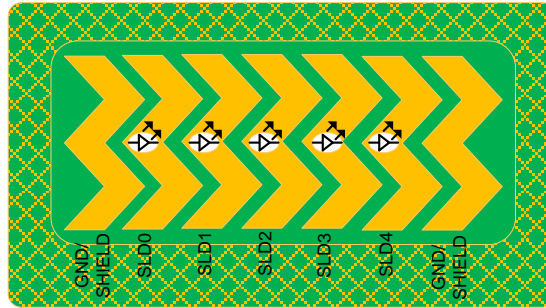
设计滑条时需要考虑下述布局指南：

- 尽量为所有滑条段使用相同的形状。
- 对于所有滑条段，用于将各段连接至 PSoC 器件的各走线的长度和宽度要求相同。
- 保持传感器/走线和接地层/填充网格间的气隙宽度相同。

### 3.8.5.4 带有 LED 的滑条设计

在某些应用中，可能需要通过驱动 LED 来显示手指所在的位置。您可以将 LED 安装在滑条段上，也可以在某个滑条段的中间钻一个孔用于背光显示 LED，如图 3-60 所示。钻好用于放置 LED 的孔时，会减少滑条段的有效面积。为实现  $SNR > 5:1$ ，需要使用一个宽度大于 LED 孔大小的滑条段。请参考表 3-9，了解针对特定覆盖层厚度的最小滑条宽度，以实现  $SNR > 5:1$ 。请按照[串扰解决方案](#)所提供的指南进行布置 LED 走线。

图 3-60. 带 LED 背光的滑条设计



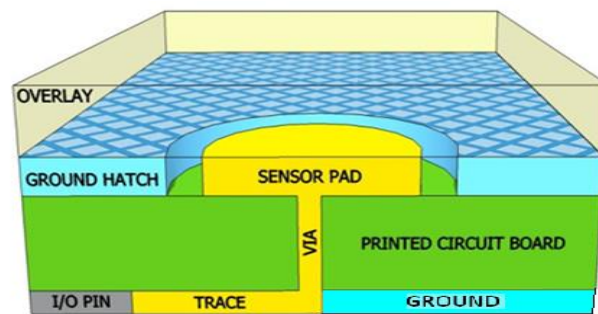
## 3.8.6 传感器和器件放置

要想在双层和四层 PCB 上设计 CapSense，请按照下面指南放置传感器和组件。如果您的设计要求具有防水功能，请按照[硬件组件](#)一节中所介绍的指南进行设计。

### 3.8.6.1 对于双层 PCB:

- 将传感器放置在 PCB 的顶层上，如图 3-61 所示。
- 将组件和传感器走线布置在 PCB 的底层上。

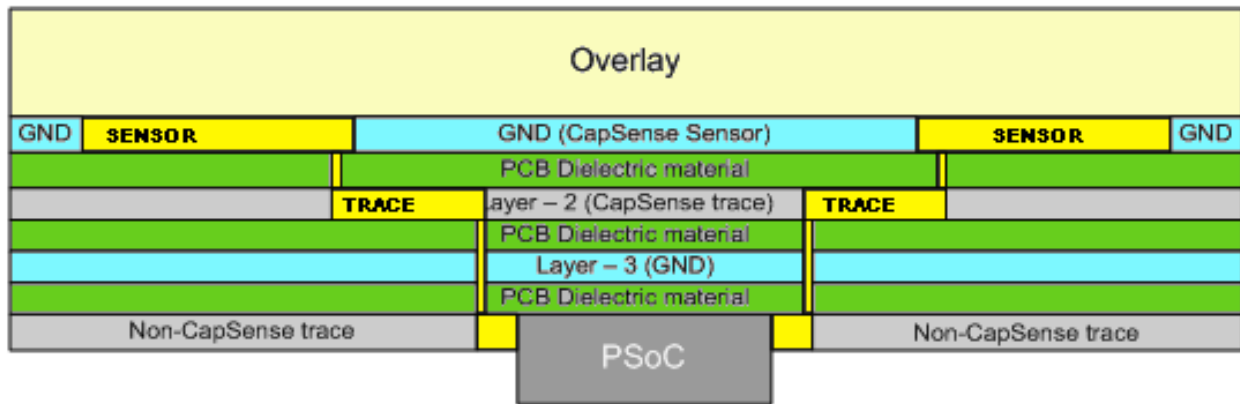
图 3-61. 双层 PCB 上的 CapSense 设计



### 3.8.6.2 对于四层 PCB:

- 将传感器放置在 PCB 的顶层上。
- 在第二层上路由传感器走线
- 放置一个填充网格（走线宽度为 7 mil，网格宽度为 70 mil），并使其连接到第三层上的地面
- 在底层上放置组件，如图 3-62 所示。未使用的区域可以使用铜网格填充（走线宽度为 7 mil，网格宽度为 70 mil），并使其接地。

图 3-62. 四层 PCB 上的 CapSense 设计



除了这些指南外，还要遵循最佳实践，以确保实现一个强大可靠的 CapSense 设计。

- 尽量缩短从 CapSense 控制器引脚到传感器导电片之间走线的长度，以优化信号强度。
- 在离控制器引脚 10 mm 的范围内安装串联电阻，以降低射频干扰并提供 ESD 保护。
- 将控制器及其他组件安装在 PCB 的底层上。
- 将传感器的开关信号（如 PWM、I<sup>2</sup>C 通信线路和 LED）与传感器 PCB 走线隔离开。它们的最小间距必须为 4 mm。此外，应在 CapSense 走线和非 CapSense 走线填充网格接地以避免串扰。
- 避免在传感器和控制器引脚之间使用连接器，因为连接器会增加 C<sub>P</sub> 并降低抗噪能力。

### 3.8.7 走线长度和宽度

尽量减少走线和传感器导电片的寄生电容。当走线缩短变窄时走线电容会变小。

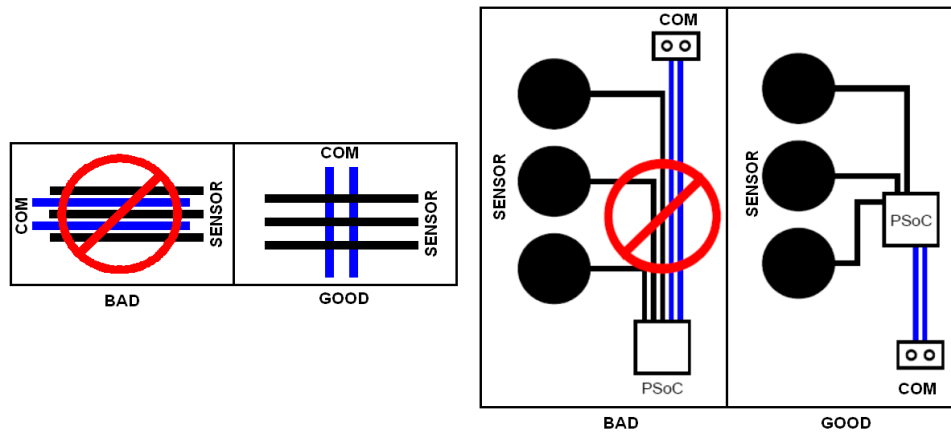
- 标准 PCB 的最大**走线长度**应该为 12 英寸（即 300 mm），柔性电路的长度应该为 2 英寸。
- **走线宽度**不能大于 7 mil（0.18 mm）。CapSense 走线必须围绕着网格接地，且走线与接地间的间隙介于 10 mil 到 20 mil（0.25 mm 到 0.51 mm）之间。

### 3.8.8 走线路由

路由 PCB 底层上的传感器走线，以便用户只能与 CapSense 传感器的有效感应区域交互。不要将走线直接路由在任意传感器导电片下面，除非走线与该传感器相连。

不要在与通信线路（如 I<sup>2</sup>C 或 SPI 主设备）接近的地方运行电容式传感走线。如果传感器引脚必须与通信线路交叉，则需要确保交叉点呈直角，如图 3-63 所示。

图 3-63. 传感和通信线路路由



### 3.8.9 串扰解决方案

经常用于面板的背光技术是在传感器导电片下面安装 LED，这样它的光才能通过传感器中的小孔。当 LED 打开或关闭时，走线上驱动 LED 的电压转变会耦合到电容式传感器输入，从而创建噪声传感器数据。这种耦合称为串扰。为了防止串扰，应将 CapSense 和非 CapSense 走线分开。在 CY8C21X34/B 的情况下，由于 LED 电压转换与  $R_B$  电阻耦合，因此也会发生串扰。要防止这种情况，需要将  $R_B$  走线和非 CapSense 走线相隔离开。建议采用 4 mm 的最小间距。也可在这些走线间放置网格接地以将它们分开。LED 驱动走线和 CapSense 走线（包括  $R_B$  走线）不能路由在一起。

图 3-64. 不建议 — LED 与 CapSense 接近

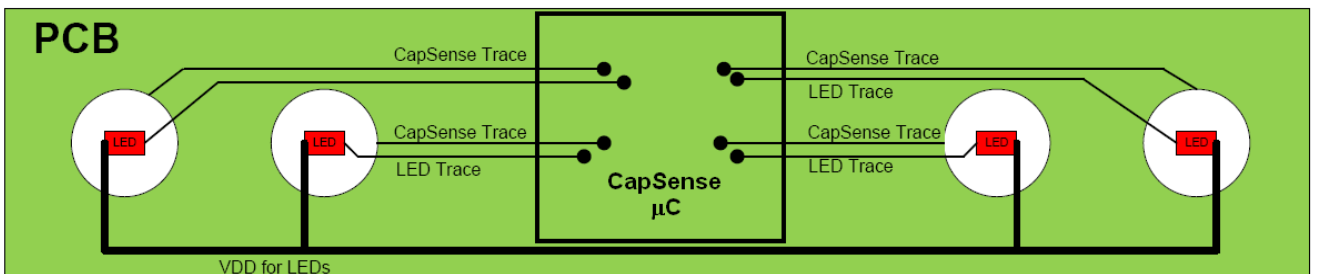
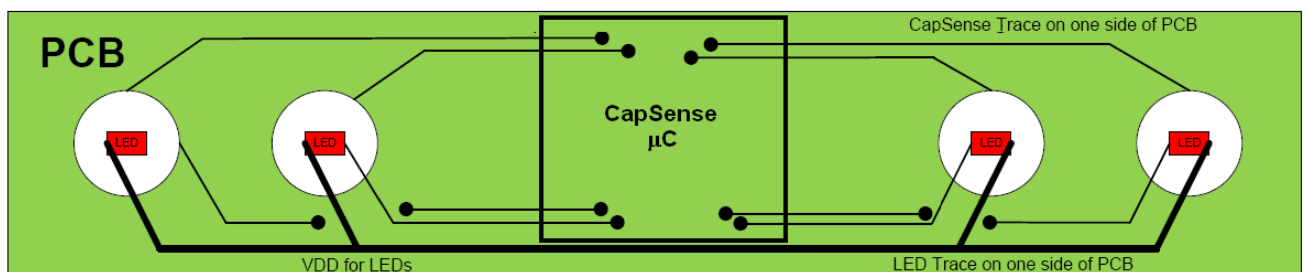
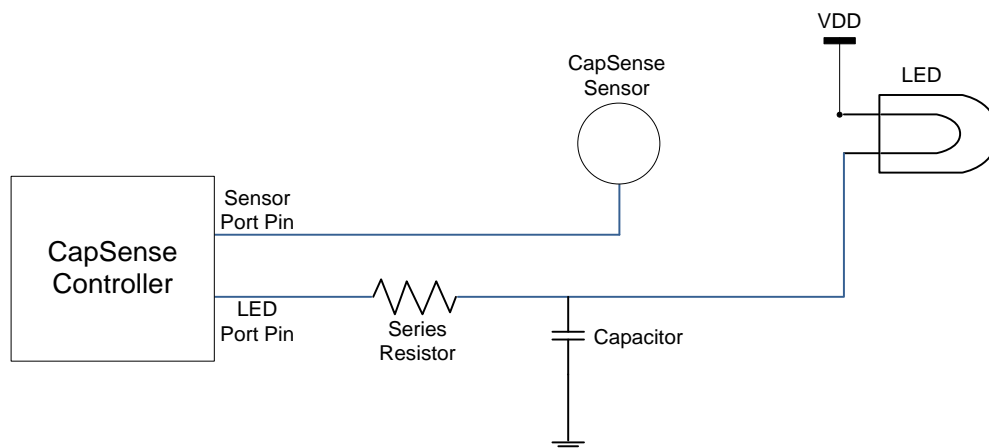


图 3-65. 建议 — LED 和 CapSense 之间有较宽间距



另外一种降低串扰的方法是使用滤波器电容将 LED 驱动电压的上升和下降沿放缓。图 3-66 展示了这种解决方案的示例电路。所添加的电容值取决于 LED 的驱动电流要求，然而典型应用中使用 0.1  $\mu\text{F}$ 。

图 3-66. 用于串扰的滤波器电容解决方案



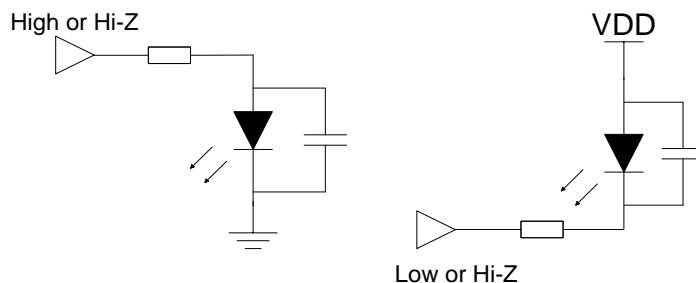
### 3.8.10 LED 与 CapSense 传感器接近

如果将 LED 放置在 CapSense 传感器附近（在 4 mm 范围内），而且 LED 的某一端随时变为非低阻抗状态，那么传感器的电容将在 LED 打开和关闭两种状态间变化。LED 驱动器电路的输出阻抗变化会引起传感器误触发或者传感器在 LED 改变状态时意外被关闭。

为了避免与传感器接近的 LED 的影响，必须使用典型的 1 nF 电容来旁路这些 LED。在通过下拉或上拉来打开 LED 或通过悬空来关闭 LED 的情况下，该操作非常重要。

必须对旁路电容值进行设置，以便当传感器在 LED 的两端上观察时，频率为 100 KHz 且低阻抗路径稳定为 1 kΩ。

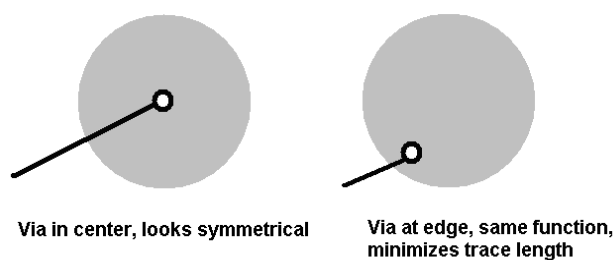
图 3-67. LED 电路



### 3.8.11 过孔

为了尽量减少寄生电容，请在路由 CapSense 输入时使用最小的过孔数量。为了简短走线长度，请将过孔放置在传感器导电片的边缘上，如图 3-68 所示。

图 3-68. 过孔布置在传感器导电片上





### 3.8.12 接地层

在感应板的顶层和底层都应该进行接地层填充。铺地在 CapSense 传感器导电片附近时，在维持高水平的 CapSense 信号和增加系统抗噪能力之间需要进行权衡。网格接地规格是：25%在顶层（7 mil 线路，45 mil 间距）和 17%在底层（7 mil 线路，70 mil 间距）。

图 3-69. 建议的顶层按键和滑条布局

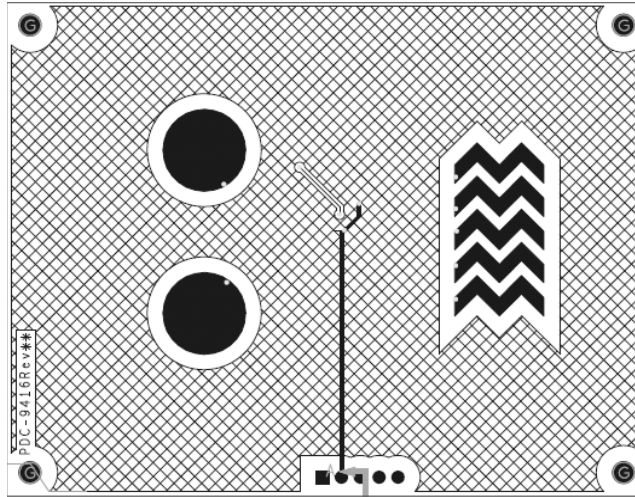
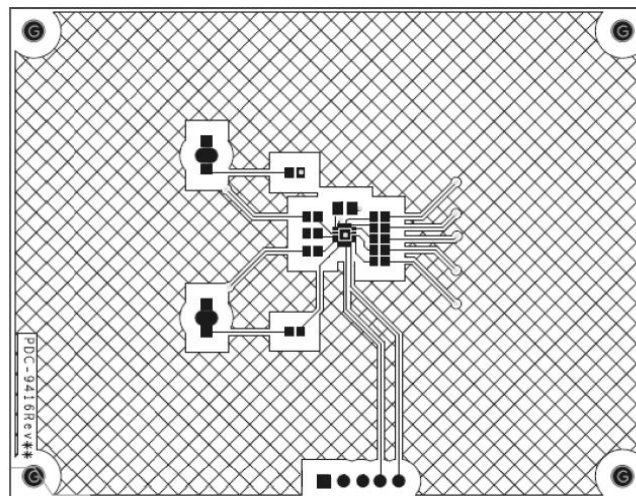


图 3-70. 建议的底层按键和滑条布局



### 3.8.13 电源的布局建议

不良的 PCB 布局会在高灵敏度的传感器中（如采用外盖厚度大于 1 mm 的接近传感器和按键传感器）产生噪声。要想在高灵敏度的 CapSense 传感器设计中降低噪声，PCB 布局必须遵循电源走线和放置的最佳实践。

1. 必须在 VDD 和 VSS 引脚间安装两个去耦电容。（电容规范：0.1  $\mu$ F 和 1  $\mu$ F、16 V、陶瓷、X7R）。
2. 对于 CY8CMBR3XXX 器件，必须在 VCC 和 VSS 引脚间安装一个去耦电容。（电容规范：0.1  $\mu$ F、16 V、陶瓷、X7R）。
3. 当使用封装 E-pad（焊盘）时，此电容必须连接到 GND 板。
4. 去耦电容和 CMOD 电容必须尽可能接近芯片，以尽量降低接地阻抗和缩短电源走线长度。

图 3-71 显示了上面所建议的原理图。C1、C2 和 C4 是去耦电容；C3 是 CMOD 电容。



图 3-71. 改善 SNR（信噪比）的示例原理图

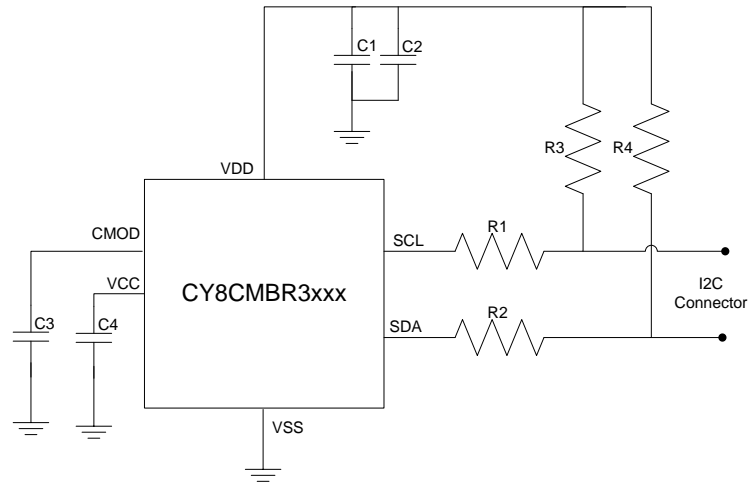
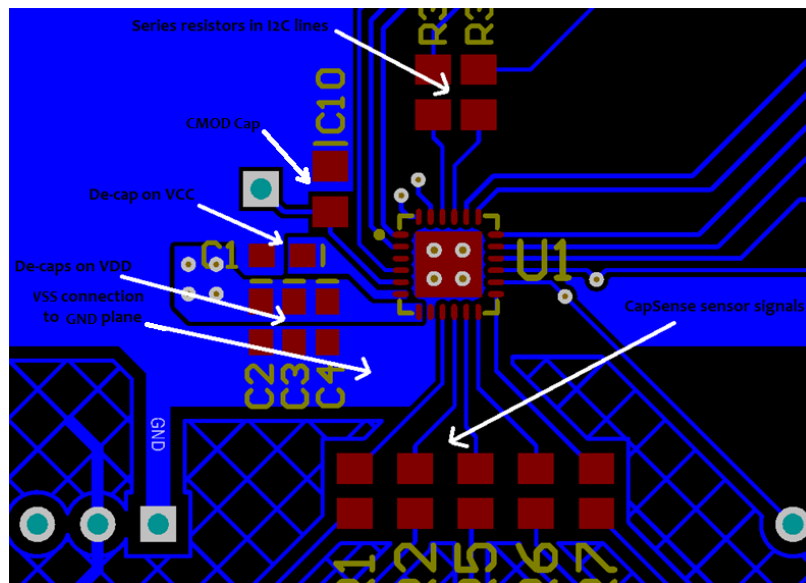


图 3-72 显示了一个示例板布局。此布局描述了去耦和 CMOD 电容以及接地与电源连接的布局。（请注意，图 3-71 中所显示的 I<sup>2</sup>C 上拉电阻没有出现在该图的布局中）。

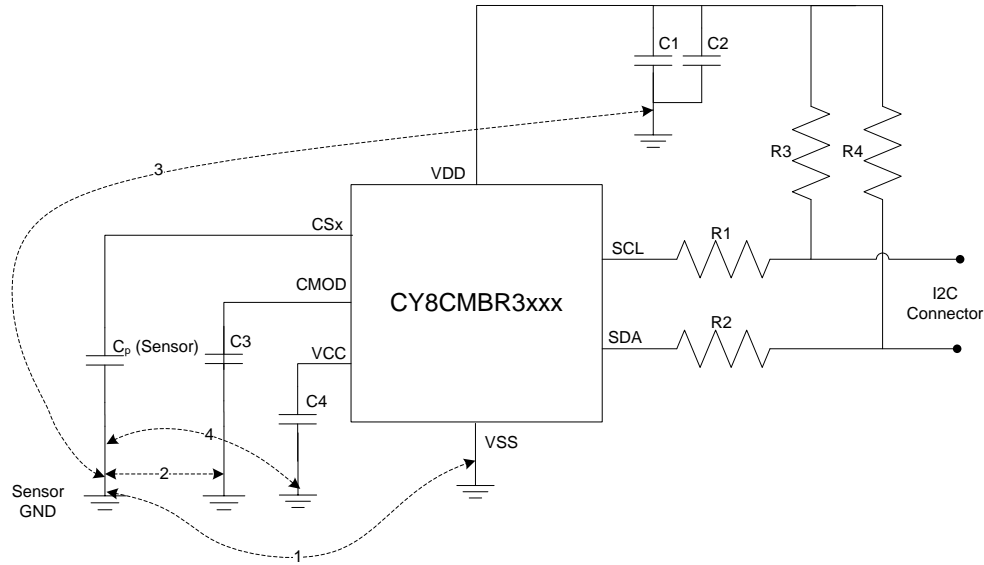
图 3-72. 改善 SNR 的示例板布局



良好的 CapSense 原理图需要包括此原理图所示的所有固定组件。

上述的 PCB 布局仅供指南使用。为了实现一个良好的布局，多个接地节点间的电感必须小于 0.2 nH。接地节点显示在图 3-73 中的原理图。

图 3-73. CapSense 设计中的重要 GND 节点



### 3.8.14 屏蔽电极和保护传感器

屏蔽电极是一种网格填充，它由被定义为传感器信号的副本的信号驱动。屏蔽电极用于下面各项目的：

- **降低传感器寄生电容 ( $C_P$ )**：在几乎所有 CapSense 应用中，都建议在围绕传感器和其走线的 PCB 的顶层和底层内填充网格。并且该填充网格被接地，以提高传感器的抗噪能力。当某个传感器的走线长度较长，它会引起较大的传感器  $C_P$ 。传感器  $C_P$  较大降低传感器的灵敏度，并增大功耗。为了降低该传感器  $C_P$ ，推荐为顶层和底层上的填充网格发送一个驱动屏蔽信号。
- **降低接近悬空/接地导电物体的影响**：如[影响接近感应距离的因素](#)一节所述，通过使用屏蔽电极可以降低悬空/接地导电物体对接近感应距离产生的影响。在这种情况下，应该将屏蔽电极放置在导电物体和接近感应传感器的中间，如[图 3-42](#)所示。
- **为接近感应提供方向**：接近感应传感器的电场是全向的，因此可以在任何方向检测到接近感应。但在几乎所有应用中，需要在唯一的一个方向上检测接近感应。这时，您可以使用一个屏蔽电极来支持该接近感应传感器来实现在单个方向上检测目标物体。
- **提供防水性能**：如[防水功能](#)一节所述，屏蔽电极可防止由 CapSense 传感器上的水滴引起的误触发。

#### 3.8.14.1 接近感应的屏蔽电极

如果您想使用屏蔽电极来降低传感器  $C_P$ ，那么降低接近悬空/接地导电物体的影响或者为接近感应提供方向，请按照以下指南进行操作：

- 要想降低传感器的  $C_P$ ，请在顶层上填充一个走线宽度为 0.17 mm（7 密耳），方格宽度为 1.143 mm（45 密耳）的网格，并在底层上填充一个走线宽度为 0.17 mm（7 密耳），方格宽度为 1.778 mm（70 密耳）的网格，然后使用驱动屏蔽信号驱动该网格。
- 要想降低悬空/接地导电物体对接近感应距离产生的影响，请在该传感器和导电物体间填充一个走线宽度为 0.17 mm（7 密耳），方格宽度为 1.143 mm（45 密耳）的网格，然后使用驱动屏蔽信号驱动填充网格。
- 要想使接近感应变成单向，请在传感器和一个特定方向间填充一个走线宽度为 0.17 mm（7 密耳），方格宽度为 1.143 mm（45 密耳）的网格（避免在该方向上进行感应检测），然后使用驱动屏蔽信号来驱动该填充网格。

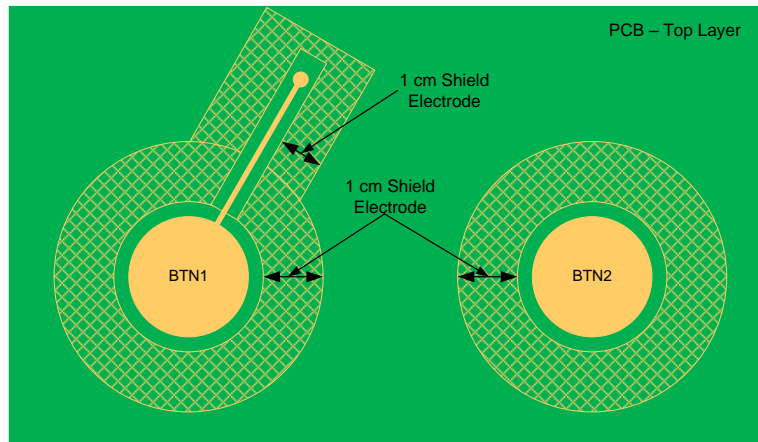
### 3.8.14.2 实现防水性能的屏蔽电极结构

正如防水性一节所述，通过使用一个屏蔽电极和保护传感器，可以实现 CapSense 系统的防水功能。本节介绍了如何使用屏蔽电极和保护传感器。

屏蔽电极的面积取决于水滴大小以及电路板上使用于屏蔽电极的有效面积大小。屏蔽电极就在传感器垫和走线周围，并与它们的距离不超过 1 cm。如果该宽度超过 1 cm，将对系统性能产生微弱影响。此外，使用更大的屏蔽电极会增大辐射。如果电路板尺寸较宽，则屏蔽电极范围 1 cm 外的区域应保留空白，如图 3-74 所示。为提高防水性能，在 PCB 的顶层和底层内不能有任何填充网格或走线接地。如果存在接地网格填充或走线，那么当有水滴落在触摸界面时，会引起传感器的错误触发。即使传感器和地面之间存在屏蔽电极，那么屏蔽电极的效果将被完全屏蔽，而且传感器被错误触发。

在某些应用中，PCB 上没有足够的区域用于实现屏蔽电极。这时屏蔽电极可以小于 1 cm，并且屏蔽电极的最小面积可以等于实现传感器后电路板上剩下的区域。

图 3-74. 传感器走线被布线在顶层和底层时的屏蔽电极



要想在双层和四层 PCB 上实现屏蔽电极，请按照下面的指南进行操作：

对于双层 PCB：

- 顶层：填充走线宽度为 7 密耳，方格宽度为 45 密耳的网格（填充比例为 25%）。填充网格应该与驱动屏蔽信号相连。
- 底层：填充走线宽度为 7 密耳，方格宽度为 70 密耳的网格（填充比例为 17%）。填充网格应该与驱动屏蔽信号相连。

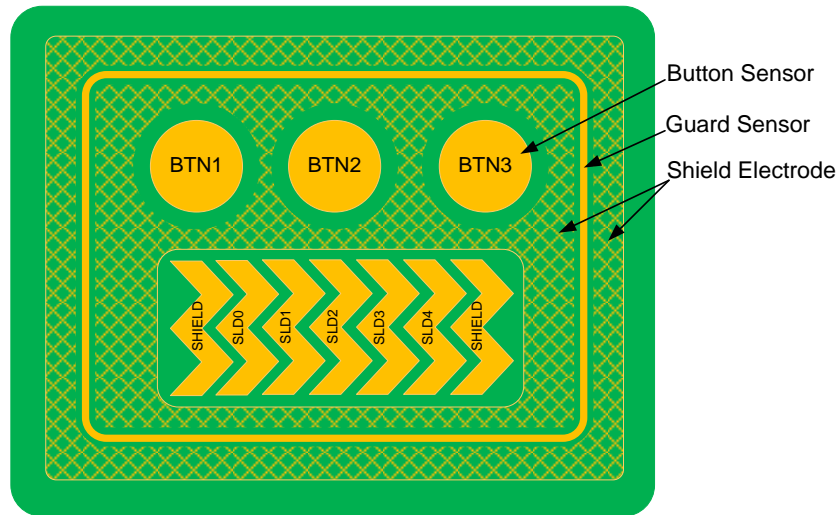
对于四层 PCB：

- 顶层：填充走线宽度为 7 密耳，方格宽度为 45 密耳的网格（填充比例为 25%）。填充网格应该与驱动屏蔽信号相连。
- 第二层：填充走线宽度为 7 密耳和方格宽度为 70 密耳的网格（填充比例为 17%）。填充网格应该与驱动屏蔽信号相连。
- 第三层：V<sub>DD</sub> 层
- 底层：网格填充，走线宽度为 7 mil，网格宽度为 70 mil（17%填充）。填充的网格接地。
- 传感器和屏蔽电极间的建议间隙为 1 mm。

### 3.8.14.3 保护传感器

如在[防水功能](#)一节中所述，保护传感器是围绕所有传感器的铜走线，如图 3-75 所示。

图 3-75. 具有屏蔽电极和保护传感器的 PCB 布局



请按照以下指南进行布局保护传感器：

- 当触摸屏上有水流时，它是打开的第一传感器。为达到该目的，保护传感器需要缠绕 **CapSense** 系统中的所有传感器，如图 3-75 所示。
- 当按下某个按键或滑条传感器时，不应该触发该传感器。否则，按键传感器和滑条传感器的扫描会被禁用，而且在保护传感器关闭前，**CapSense** 系统无法工作。为了确保不会意外触摸保护传感器，请将它放置在离其他传感器 1 cm 以上的位置内。

请按照以下的指南实现保护传感器：

- 保护传感器的形状应为弯曲边缘的矩形，另外保护传感器将围绕所有其他传感器。
- 保护传感器的建议厚度为 2 mm。
- 保护传感器和屏蔽电极间的建议间隙为 1 mm。

如果 PCB 上没有空间用于实现保护传感，那么可以在固件中实现保护传感器的功能。例如，可以使用不同传感器的 ON/OFF 状态检测水流。

通过使用以下各条件可检测触摸表面上的水流：

- 存在水流时，同时可激活多个按键传感器。如果您的设计不需要多点触摸感应性能，您可以检测它并抑制所有按键传感器的传感器状态，以防止发生错误触发。
- 在一个滑条中，如果被打开的不是相邻滑条段，您可以复位滑条段状态或抑制被计算的滑条中心值。

您可以参考下面描述所有 **CapSense** 器件示例原理图的器件设计指南：

- [CY8C21X34 设计指南](#)
- [CY8C20X34 设计指南](#)
- [CY8C20XX6A 设计指南](#)
- [CY8C20XX7/S 设计指南](#)
- [CY8CMBR3XXX CapSense 设计指南](#)

### 3.8.15 单层 PCB 的 CapSense 系统设计 PCB

很多电子产品制造商正在面临着如何降低系统成本的压力。一些市场中，包括消费类和家用电器，正在转到生产包含单层 PCB 的产品，以满足其产品利润的要求。赛普拉斯的 CapSense 控制器提供了稳定触摸感应的单层 PCB，其驱动屏蔽允许更长的走线，接近感应和防水功能。CapSense 驱动器 IEC（IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2）噪声标准性能提供准确的触摸相应。即使在噪声的环境下，通过使用精密的固件算法仍可以达到准确触摸相应。有关如何在单层板实现 CapSense 触摸感应的信息，请与 [capsense@cypress.com](mailto:capsense@cypress.com) 邮件联系。

开始设计前，请参考[原理图](#)和[布局表](#)，以保证您遵循了 CapSense 设计的最佳实践。

### 3.8.16 使用 ITO 进行 CapSense System 设计

在要求 CapSense 传感器为透明（传感器位于显示屏上）的应用中，可以使用 ITO 来实现 CapSense 传感器。但是，如果不要求透明传感器，建议使用铜导线，因为同 ITO 传感器相比，铜导线的产量大、成本小，并且性能更优。

ITO 传感器可在玻璃基板或者塑料薄膜（聚对苯二甲酸乙二醇酯）基材上实现。对于按键传感器，所推荐的传感器形状在[按键设计](#)中进行了介绍；对于滑调传感器，所推荐的形状在[滑条设计](#)中进行了介绍。这些传感器形状适用于在 ITO 上进行的传感器设计。确保传感器的长度或宽度（长度通常为最大尺寸）的比例不超过 5/3。

应使传感器的走线长度最短，以降低总电阻大小。下面显示的是计算走线电阻的公式。

$$\text{电阻} = \text{走线薄膜电阻} \times \text{走线长度} \div \text{走线宽度}$$

计算走线电阻的方法与计算传感器电阻的方法相似。与传感器电阻相比高的走线电阻会降低触摸性能。因此，建议使传感器导线尽可能短。ITO 传感器的布局指南，总结在[表 3-10](#)中。

表 3-10. ITO 传感器的布局指南

类别	参数	最小值	典型值	最大值	单位	备注
ITO	方阻（玻璃基板）	—	—	120	Ω/sq	—
	方阻（薄膜基板）	—	—	270	Ω/sq	—
	传感器的最大阻抗	—	1	30	kΩ	终端-终端
	走线间距	30	50	100	μm	—
	布线通道线宽	10	30	50	μm	—

## 3.9 PCB 安装及焊接

对于任何 CapSense 设计，都要遵守下面显示的 PCB 安装及焊接标准和指南。虽然对于 CapSense PCB 的安装和焊接没有任何具体的指导内容，但是下面各规格和应用笔记分别为它提供了标准和指南。

- [IPC-A-610](#): 电子器件可接受性
- [AN72845](#) — 赛普拉斯四方扁平无扩展引线（QFN）封装器件的设计指南
- [AN69061](#) — 用于赛普拉斯晶圆级芯片级封装的设计、制造和处理指南

## 4. CapSense 选择器指南



赛普拉斯在电容式感应技术领域是世界领导者。我们广泛的解决方案具有强大的抗噪能力，可帮助您将产品快速上市并提供了系统可扩展性，在过去几年中已经成为超过 50 亿个机械按键的替代选择。CapSense 产品系列既包括简单的按键和滑条，也有更加复杂的解决方案，可集成其他系统组件来降低总体物料清单成本并缩小尺寸。赛普拉斯的 CapSense 控制器具有一流的防水功能和电容式接近感应性能，这样很容易通过 SmartSense Auto-Tuning 实现，它是一种具有可连续监控并补偿环境条件的算法。

主要特性包括：

- 先进的传感技术，通过 15 mm 的玻璃和 5 mm 的塑料可轻松检测到手指
- 突破性的、业界唯一的 SmartSense™ 自动调校算法。
- 业界最佳的高级功能（如接近感应和防水性）解决方案
- 超低功耗，并拥有业界范围最大的工作电压
- 业界领先的小尺寸封装，如 WLCSP（2mm x 2mm）

### 4.1 定义 CapSense 要求

在为您的应用选择最佳 CapSense 器件时必须考虑多个关键的系统要求。

#### ■ 可配置/可编程

如果您需要一种不用固件开发的简单快捷的解决方案，请选择可配置控制器。这些器件有无主机控制器都可工作。如果您要将更多的内容集成到一个芯片上，并使您的应用设计更加灵活，请选择可编程控制器。赛普拉斯提供了两种控制器：硬件可配置控制器和寄存器可配置控制器。

#### ■ 配置接口

可配置控制器有两个配置接口 — 基于硬件的和基于寄存器的。硬件可配置控制器要求通过外部电阻来配置不同性能，并减少生产过程或系统运行期间所要求的从主机控制器上进行的配置步骤。但是，寄存器可配置器件支持基于寄存器的配置，并报告通过 I<sup>2</sup>C 的总体状态。相同的 I<sup>2</sup>C 接口可作为配置或主机通信接口使用。这些控制器支持 EEPROM 所保留的配置，不用主机芯片也能独立操作。

#### ■ 编程接口

PSoC 灵活的设计可使编程引脚重新作为 GPIO 使用，这样可以减少 I/O 的数量。但是您要保证设计中的外部组件或走线长度、要求的 GPIO 功能不能干扰编程，反之亦然。

通过一个主机控制器更新系统中的设备固件很重要，特别是对于移动应用。PSoC 控制器提供了两种解决方案。

#### ■ 主机源串口编程（HSSP）

这种方法使用专用的 PSoC 编程接口，不需要对 PSoC 固件进行任何修改。但是这种方案要求主机控制 PSoC 的复位引脚。在这种方案中，主机要求一个特殊的固件，该固件逐位编程 PSoC，另外可能还要求主机端的 I/O（用于进行编程）。

#### ■ 通过 Bootloader 进行编程

这种方案使用标准的通信接口（如 I<sup>2</sup>C、UART 和 USB）进行编程，并要求 Bootloader 作为 PSoC 固件的一部分。

赛普拉斯提供了多个 HSSP 和 Bootloader 应用笔记。请查看表 5-1 并了解更多内容。



## ■ 电容式传感器数量和类型

PSoC 独特的设计可使任意一个 I/O 引脚<sup>5</sup>作为任何类型的 CapSense 传感器，包括按键、滑块或接近传感器。这样便提供了足够大的灵活性来实现各种类型的电容式触摸感应应用。除了用于传感器的 I/O 要求外，大多数最新的 CapSense 器件只要求一个外部电容（CMOD）。下表给出了一个典型的 CapSense 应用，并计算出了所需要的 IO 数量。

表 4-1. I/O 要求计算示例

要求	I/O 计数
10 个按键传感器	10
1 个五段滑块	5（每个传感器 1 个引脚）
1 个接近传感器	1
10 个 LED	10
防水功能	1 个引脚作为屏蔽电极 <sup>6</sup>
通过 Bootloader 进行 I2C/编程	2
CMOD <sup>7</sup> 电容	1
I/O 总数	30

## ■ CapSense 模块的数量

一些 CapSense 控制器提供了两个 CapSense 模块，可同时扫描两个传感器。如果您的应用包含多个传感器并且对响应时间的要求非常严格，那么您应该选择这些控制器。

## ■ 通信接口

如果您的 CapSense 设计中包含一个主机控制器，那么对通信接口的要求便非常重要。主机控制器通过该接口配置器件并获得系统中的用户接口数据。在电容式触摸感应应用中，I<sup>2</sup>C 是常用的接口。根据不同的器件，赛普拉斯控制器支持 I<sup>2</sup>C、SPI 和 UART。

## ■ CPU、闪存和 RAM 要求

ARM 是嵌入式应用常用的 CPU，它能够满足在不同的供应商间进行移植以及对复杂的应用的可扩展性要求。赛普拉斯提供的基于 PSoC 4 系列的 ARM Cortex-M0 以及基于 PSoC 5LP 系列的 ARM Cortex-M3 具有不同的 Flash 和 RAM 组合，以满足您的需要。

## ■ 防水功能

对于家电和其他可靠性高的应用，由于存在液体，因此为防止发生误触摸，防水功能非常重要。CapSense 通过驱动屏蔽<sup>6</sup>技术来支持防水功能。

## ■ 工作电压范围 — CapSense 控制器支持较宽的工作电压范围：1.71 V ~ 5.5 V

## ■ 反馈 — CapSense 解决方案支持标准的 I/O，以及 PWM（输出作为蜂鸣器、LED 和触觉）

## ■ 封装尺寸及引脚数量 — CapSense 控制器支持多种封装形式，以应用于移动设备、家电和工业市场。封装形式应根据设备选择，包括 QFN、SSOP、SOIC、TQFP 和 LQFP。CapSense 控制器还包括芯片级封装（CSP），尺寸能达到 2 mm x 2 mm。选择器件后，请参考数据手册，了解更多有关封装方面的信息。

## ■ 附加功能，如 ADC、PWM、定时器、LCD 驱动，以及模拟外设，如运算放大器和比较器。

<sup>5</sup> 有些设备不支持对所有 I/O 引脚的检测。请参考相应的器件数据手册中引脚分布章节，以了解 I/O 引脚的功能。

<sup>6</sup> 请参考防水功能章节，了解 CapSense 控制器如何使用屏蔽电极使能防水功能。

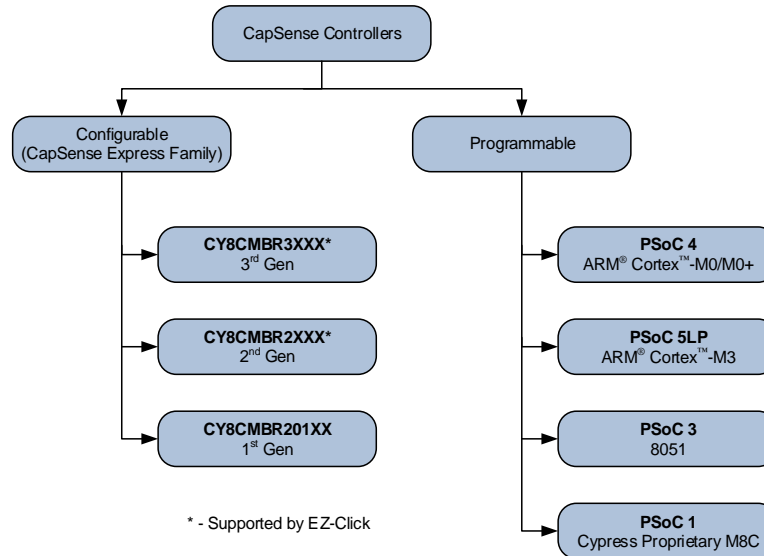
<sup>7</sup> CSD 要求一个名称为 CMOD 的外部电容用于操作。请参考含 Sigma Delta 调制器的 CapSense（CSD），了解详细信息。



## 4.2 CapSense 产品系列

赛普拉斯提供多种可配置和可编程的 CapSense 控制器。图 4-1 给出了 CapSense 产品系列的概述。以下小节介绍了不同的 CapSense 器件系列。

图 4-1. CapSense 产品系列概述



### 4.2.1 可配置 CapSense 控制器（CapSense Express 系列）

可配置 CapSense 控制器（又称为 **CapSense Express** 控制器）避免了对固件开发的要求，并使电容式触摸设计变得更加容易和快捷。这些控制器既可以通过 I<sup>2</sup>C 配置，也可以通过硬件短路（电阻）配置，并配有 **SmartSense Auto-Tuning**（除 CY8C201xx 系列外），这样可省去调整过程并补偿运行中环境发生的变化。这些器件支持的寄生电容（C<sub>P</sub>）被限制为 45 pF。

- **CY8CMBR3XXX** 控制器是第三代也是最新一代可配置控制器，可通过 I<sup>2</sup>C 进行配置，并且支持基于 GUI 的配置工具 **EZ-Click**。这些器件支持多达 16 个按键、八个 LED、两个接近传感器、两个 5 段滑条，另外工作电压范围为 1.71 V 到 5.5 V。参考 [产品概述](#)，以了解该系列不同可用产品间的差异。同上一代产品相比，这些控制器提供了加强的抗噪能力，赛普拉斯建议将这些器件用于新设计中。
- **CY8CMBR2XXX** 控制器是第二代可配置产品，其中包含硬件可配置（CY8CMBR20XX）和 I<sup>2</sup>C 可配置（CY8CMBR21XX）两类器件，另外 I<sup>2</sup>C 可配置器件得到 **EZ-Click** 工具的支持。如果您需要一个基于硬件的配置或高级 LED 效果（如调光和淡入您的应用），那么请选择这些器件。这些器件支持多达 16 个按键，另外工作电压范围为 1.71 V 到 5.5 V。参考 [产品概述](#)，以了解该系列不同可用部分间的差异。
- **CY8C201XX** 控制器是第一代可配置器件，支持通过 I<sup>2</sup>C 接口进行配置。这些器件支持高达 10 个 I/O，用于连接按键、LED、滑块，另外工作电压范围为 2.4 V 到 5.5 V。赛普拉斯不建议在新的设计中使用这些控制器。

表 4-2 显示了可配置类别中各部分的对比。

表 4-2. CapSense Express 系列功能比较

功能/ 器件系列	CY8CMBR3XXX						CY8CMBR2XXX				CY8C201XX
	CY8CMBR3116	CY8CMBR3106S	CY8CMBR3110	CY8CMBR3108	CY8CMBR3102	CY8CMBR3002	CY8CMBR2016	CY8CMBR2110	CY8CMBR2010	CY8CMBR2044	
数据手册	CY8CMBR3XXX						CY8CMBR2016	CY8CMBR2110	CY8CMBR2010	CY8CMBR2044	CY8C201XX
传感器最大数量	16	11	10	8	2	2	16	10	10	4	10
按键	多达 16 个	多达 11 个	多达 10 个	多达 8 个	多达 2 个	2	多达 16 个	多达 10 个	多达 10 个	多达 4 个	多达 10 个
滑条	不支持	多达 2 个	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	1
接近感应	多达 2 个	多达 2 个	多达 2 个	多达 2 个	多达 2 个	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持
防水功能	支持						不支持				
LED/GPO	多达 8 个	0	多达 5 个	多达 4 个	最多 1 个	2	多达 8 个	多达 10 个	多达 10 个	多达 4 个	多达 10 个
蜂鸣器	支持	支持	支持	支持	不支持	不支持	支持	支持	不支持	不支持	不支持
配置接口	I2C	I2C	I2C	I2C	I2C	不支持（固定功能）	硬件	I2C	硬件	硬件	I2C
通信接口	I2C/GPO	I2C	I2C/GPO	I2C/GPO	I2C/GPO	GPO	GPO	I2C/GPO	GPO	GPO	I2C/GPO
上电自测	支持										不支持
工作电压	1.71 ~ 5.5 V										2.4 V – 5.25 V
符合汽车产品规范（AEC-Q100） <sup>8</sup>	不支持										
封装	24-QFN	24-QFN	16-SOIC	16-QFN	8-SOIC	8-SOIC	48-QFN	32-QFN	32-QFN	16-QFN	8/16-SOIC、16-QFN

<sup>8</sup> 联系赛普拉斯，以了解产品最新状况。

### 4.2.2 可编程 CapSense 控制器

可编程 CapSense 控制器是以 PSoC 平台为基础的，同 CapSense 一起提供了一套丰富的模拟和数字外设。赛普拉斯提供了大量预验证且可用于生产并且是 GUI 可配置的固件组件，从而可以加快您的 PSoC 系统设计。

- **PSoC 4** 系列采用了 32 位的 ARM® Cortex™-M0 CPU，主频高达 48 MHz，并且集成了多种先进的外围设备，包括：12 位 SAR ADC、运算放大器、比较器、PWM、低功耗蓝牙（BLE）、CAN 以及一个段式 LCD 驱动器。PSoC 4 支持多达 54 个传感器。PSoC 4 是最好的低功耗混合信号架构，并且是最经济高效的器件系列。表 4-3 对比了 PSoC 4 各子系列的不同。
- **PSoC 5LP** 系列采用了 32 位 ARM Cortex-M3 CPU，主频高达 80 MHz，集成了多种先进的外围设备，例如：两个 CapSense 模块、20 位的 Delta-Sigma ADC、12 位的 SAR ADC、8 位的 DAC、运算放大器、比较器、PWM、USB 2.0 全速外设、CAN 和一个段式 LCD 驱动器。PSoC 5LP 支持多达 62 个传感器，并且适用于大而复杂的系统，这类系统要求在一个单芯片中集成度高。表 4-4 对比了 PSoC 5LP 子系列的不同。
- **PSoC 3** 系列采用了一个 8 位的单周期 8051 CPU，主频高达 67 MHz，集成了多种先进的外围设备，如：一个 20 位的 Delta-Sigma ADC、8 位 DAC、运算放大器、比较器、PWM、USB 2.0 全速外设、CAN 和一个段式 LCD 驱动器。PSoC 3 支持多达 62 个传感器。如果您要求 PSoC 5LP 所提供的大范围集成度，但不要求使用高性能的 CM3，那么请选择 PSoC 3。表 4-5 对比了 PSoC 3 子系列的不同。
- **PSoC 1** 系列是赛普拉斯的第一款可编程片上系统解决方案，具有专用的 8 位 M8C CPU，主频高达 24 MHz。虽然该系列价格不高，但支持多种 CapSense 功能，如按键、滑条、接近感应和防水功能。同其他器件系列相比，PSoC 1 支持高达 44 个传感器，其中包括多个获得汽车认证（AEC-Q100<sup>9</sup>）的部分。表 4-6 对比了 PSoC 1 子系列的不同。

---

<sup>9</sup> 汽车电子协会（AEC）定义的质量标准，用于验证 IC 的可靠性并判定它们是否适用于汽车应用。

表 4-3. PSoC 4 系列特性比较

功能/器件系列	PSoC 4000 系列	PSoC 4100 系列	PSoC 4200 系列	PSoC 4100 M 系列	PSoC 4200 M 系列	PSoC 4100 BLE 系列	PSoC 4200 BLE 系列	PSoC 4200 L 系列	PSoC 4000 S 系列	PSoC 4100 S 系列/PSoC 4100PS	PSoC 4100S Plus
数据手册	CY8C401X	CY8C412X	CY8C424X	CY8C412X-M	CY8C424X-M	PSoC 4xx7_BLE — 128 KB 闪存, BLE 4.1 PSoC 4xx8_BLE — 256 KB 闪存, BLE 4.1 PSoC 4xx8_BLE 4.2 — 256 KB 闪存, BLE 4.2		CY8C424X-L	CY8C40XX-S	CY8C41XX-S CY8C41XX-PS	CY8C41XX-S
CPU	16 MHz ARM Cortex-M0	24 MHz ARM Cortex-M0	48 MHz ARM Cortex-M0	24 MHz ARM Cortex-M0	48 MHz ARM Cortex-M0	24 MHz ARM Cortex-M0	48 MHz ARM Cortex-M0	48 MHz ARM Cortex-M0	48 MHz ARM Cortex-M0+	48 MHz ARM Cortex-M0+	48 MHz ARM Cortex-M0+
闪存/SRAM	多达 16 KB/多达 2 KB	多达 32 KB/多达 4 KB	多达 32 KB/多达 4 KB	多达 128 KB/多达 16 KB	多达 128 KB/多达 16 KB	多达 256 KB/多达 32 KB		多达 256 KB/多达 32 KB	多达 32 KB/多达 4 KB	多达 64 KB/ 多达 8 KB (适用于 PSoC 4100PS) 多达 32 KB/多达 4 KB	多达 128 KB/ 多达 16 KB
I/O 总数	多高达 20	多达 36 个	多达 36 个	多达 55 个	多达 55 个	多达 36 个	多达 36 个	多达 98 个	多达 36 个	多达 36 个 多达 38 个 (适用于 PSoC 4100PS)	多达 54 个
CapSense I/O (支持按键、滑条、接近感应、防水特性)	多达 16 个	多达 35 个	多达 35 个	多达 54 个	多达 54 个	多达 35 个	多达 35 个	多达 97 个	多达 35 个	多达 35 个 多达 33 个 (适用于 PSoC 4100PS)	多达 53 个
CapSense 架构	第三代	第三代	第三代	第三代	第三代	第三代	第三代	第三代	第四代	第四代	第四代
传感器寄生电容 (CP) 范围	5pF – 60pF	5pF – 60pF	5pF – 60pF	5pF – 60pF	5pF – 60pF	5pF – 60pF	5pF – 60pF	5pF – 60pF	5pF – 200pF	5pF – 200pF	5pF – 200pF
CapSense 模块数量	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1
自电容和互电容感应支持	两者	自	两者	两者	两者	两者	两者	两者	两者	两者	两者
每个传感器的 CapSense 平均电流消耗	6 $\mu$ A	6 $\mu$ A	6 $\mu$ A	6 $\mu$ A	6 $\mu$ A	6 $\mu$ A	6 $\mu$ A	6 $\mu$ A	3 $\mu$ A	3 $\mu$ A	3 $\mu$ A
SSC/PRS 性能	PRS	PRS	PRS	PRS	PRS	PRS	PRS	PRS	SSC 和 PRS	SSC 和 PRS	SSC 和 PRS
防水功能		支持									

功能/器件系列	PSoC 4000 系列	PSoC 4100 系列	PSoC 4200 系列	PSoC 4100 M 系列	PSoC 4200 M 系列	PSoC 4100 BLE 系列	PSoC 4200 BLE 系列	PSoC 4200 L 系列	PSoC 4000 S 系列	PSoC 4100 S 系列/PSoC 4100PS	PSoC 4100S Plus
SmartSense 自动调试	支持								不支持		
ADC	CSD ADC <sup>10</sup>	12 位 SAR (806 ksp/s)	12 位 SAR (1 Msps)	12 位 SAR (806 ksp/s)	12 位 SAR (1 Msps)	12 位 SAR (806 ksp/s)	12 位 SAR (1 Msps)	12 位 SAR (1 Msps)	10 位斜率 ADC (46 Ksp/s)	10 位斜率 ADC (46 Ksp/s) 12 位 SAR (1 Msps)	10 位斜率 ADC (46 Ksp/s) 12 位 SAR (1 Msps)
DAC <sup>11</sup>	1 x 8 位 1 x 7 位	1 x 8 位 1 x 7 位	1 x 8 位 1 x 7 位	2 x 8 位 2 x 7 位	2 x 8 位 2 x 7 位	1 x 8 位 1 x 7 位	1 x 8 位 1 x 7 位	2 x 8 位 2 x 7 位	2 x 7 位	2 x 7 位	2 x 7 位
比较器	1 个, 固定阈值为 1.2 V	多达 4 个	多达 4 个	多达 6 个	多达 6 个	多达 2 个	多达 4 个	多达 6 个	3	多达 5 个 多达 7 个 (适用于 PSoC 4100PS)	2
运算放大器	0	多达 2 个	多达 2 个	多达 4 个	多达 4 个	2	4	多达 4 个	0	多达 2 个 多达 4 个运算放大器/PGA (适用于 PSoC 4100PS)	多达 2 个
可编程参考电压 (PVref)	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持 多达 4 个通道 (仅适用于 PSoC 4100PS)	不支持
电压 DAC (VDAC)	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持 13 位 VDAC (仅适用于 PSoC 4100PS)	不支持
串行通信模块 (SCB <sup>12</sup> )	1 个 (仅使用 I2C <sup>13</sup> )	2 个	2 个	4 个	4 个	2 个	2 个	4 个	2 个	3 个	5 个

<sup>10</sup> CapSense 模块被改作 ADC 使用, 用于测量 0-5 V 的输入电压, 结果为 mV 级别。使用该 ADC 时, CapSense 不能用于电容式感应。

<sup>11</sup> 除了 PSoC 4000S、PSoC 4100S 和 PSoC 4100PS 外, DAC 提供输出电流。每个 CSD 模块使用的 1 x 8 位 DAC 处于单 IDAC 模式, 以及 1 x 8 位和 1 x 7 位 IDAC 处于双 IDAC 模式。请参考 [PSoC 4 CapSense 设计指南](#), 详细了解这些模式。在 PSoC 4000S、PSoC 4100S 和 PSoC 4100PS 中, CSD 块使用的 1 x 7 位 DAC 处于单 IDAC 模式, 以及两个 1 x 7 位 IDAC 处于双 IDAC 模式。

<sup>12</sup> 每一个串行通信模块 (SCB) 都能作为 I<sup>2</sup>C、SPI 或 UART 通信模块使用。另外, PSoC Creator 为所有器件提供了一个软件传送 UARTUART (TX8) 组件。

<sup>13</sup> 该系列中的 16 引脚 QFN 器件支持 I<sup>2</sup>C 总线电压, 和器件的工作电压不一样。

功能/器件系列	PSoC 4000 系列	PSoC 4100 系列	PSoC 4200 系列	PSoC 4100 M 系列	PSoC 4200 M 系列	PSoC 4100 BLE 系列	PSoC 4200 BLE 系列	PSoC 4200 L 系列	PSoC 4000 S 系列	PSoC 4100 S 系列/PSoC 4100PS	PSoC 4100S Plus
通用数字模块 (UDB <sup>14</sup> )	0	0	多达 4 个	0	4	0	4	8	0	0	0
TCPWM <sup>15</sup>	1 个	4 个	4 个	8 个	8 个	4 个	4 个	8 个	5 个	5 个 8 个 (适用于 PSoC 4100PS)	8 个
段式 LCD 驱动	不支持	多达 4 个 common, 32 个 segment		多达 4 个 common, 51 个 segment		多达 4 个 common, 32 个 segment		多达 8 个 common, 64 个 segment	多达 4 个 common, 36 个 segment		多达 4 个 common, 49 个 segment
低功耗蓝牙 (BLE)	不支持					支持		不支持	不支持	不支持	不支持
CAN 2.0 <sup>16</sup>	不支持	不支持	不支持	不支持	支持	不支持	不支持	支持	不支持	不支持	支持
USB	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	支持	不支持	不支持	不支持
工作电压	1.71 - 5.5 V										
符合汽车产品规范 (AEC-Q100) <sup>17</sup>	支持			不支持							
封装	8/16-SOIC 16/24-QFN 28-SSOP 16-WLCSP <sup>18</sup>	28 pin SSOP 40-QFN 44 pin TQFP 48-LQFP 35-WLCSP <sup>18</sup>		48-TQFP 64-TQFP 68-QFN		56-QFN 68-WLCSP <sup>18</sup> 76-WLCSP <sup>18</sup>		124-BGA 68-QFN 64 pin TQFP 48-TQFP 48 pin TQFP-USB	48-TQFP 24-QFN 32-QFN 25 pin WLCSP	对于 PSoC 4100S 器件, 48-TQFP 40-QFN 32-QFN 35 pin WLCSP 对于 PSoC 4100S 器件, 28 pin SSOP 45 pin WLCSP 48-TQFP 48-QFN	44 pin TQFP 64 pin TQFP

<sup>14</sup> 通用数字模块 (UDB) 可实现自定义的数字逻辑。PSoC Creator 提供了大量基于组件的 UDB, 如 I<sup>2</sup>C、I<sup>2</sup>S、UART、SPI、PWM 和计数器/定时器。

<sup>15</sup> 定时器、计数器、PWM 模块

<sup>16</sup> 控制器区域网络

<sup>17</sup> 联系赛普拉斯, 以了解这些产品的最新状况。

<sup>18</sup> 晶圆级芯片级封装

表 4-4. PSoC 5LP 系列特性比较

功能/器件系列	PSoC 5200	PSoC 5400	PSoC 5600	PSoC 5800
数据手册	CY8C52XX	CY8C54XX	CY8C56XX	CY8C58XX
CPU 及速度	ARM Cortex-M3 主频高达 80 MHz			
闪存, SRAM, EEPROM	多达 256 KB, 多达 64 KB, 2 KB			
I/O 总数	多达 72 个			
CapSense I/O (支持按键、滑条、接近感应、防水特性)	多达 62 个			
CapSense 模块数量	2 个			
防水功能	支持			
SmartSense 自动调试	支持			
ADC	1 x 12 位 SAR	1 x 12 位 SAR 或 1 x 12 位 Del-Sig	2 x 12 位 SAR 或 1 x 12 位 Del-Sig 和 1 x 12 位 SAR	2 x 12 位 SAR 和 1 x 20 位 Del-Sig
DAC	1 x 8 位	2 x 8 位	4 x 8 位	4 x 8 位
比较器	2 个	4 个	4 个	4 个
运算放大器	0	2 个	4 个	4 个
SC/ST 模拟模块 <sup>19</sup>	0	2 个	4 个	4 个
通用数字模块 (UDB <sup>20</sup> )	多达 24 个			
16 位定时器/PWM	4 个			
数字滤波器模块 (DFB <sup>21</sup> )	不支持	不支持	支持	支持
段式 LCD 驱动	多达 46x16 个 segment			
USB 2.0 全速外设	支持			
CAN 2.0 <sup>22</sup>	不支持	不支持	支持	支持
封装	68-QFN 100-TQFP 99-WLCSP <sup>23</sup>			
符合汽车产品规范 (AEC-Q100)	不支持			
工作电压	1.71 – 5.5 V			

<sup>19</sup> 可将开关电容/连续时间模块配置为运算放大器、单位增益缓冲区、可编程增益放大器/互阻放大器 (TIA) 等工作。

<sup>20</sup> 通用数字模块 (UDB) 可实现自定义的数字逻辑。PSoC Creator 提供了大量基于组件的 UDB, 如 I2C、I2S、UART、SPI、LIN 从设备、PWM、计数器/定时器等。

<sup>21</sup> 可将数字滤波器模块 (DFB) 编程为执行 IIR 和 FIR 数字滤波器, 以及几种定制函数。可通过 64 抽头和 48 位单周期乘累加 (MAC) 操作实现滤波器。

<sup>22</sup> 控制器区域网络

<sup>23</sup> 晶圆级芯片级封装



表 4-5. PSoC 3 系列特性比较

功能/器件系列	PSoC 3200		PSoC 3400	PSoC 3600	PSoC 3800
数据手册	CY8C324X		CY8C346X	CY8C366X	CY8C386X
CPU 及速度	时钟频率高达 50 MHz 的单周期 8051			时钟频率高达 67 MHz 的单周期 8051	
闪存, SRAM, EEPROM	多达 64 KB, 多达 8 KB, 多达 2 KB				
I/O 总数	多达 72 个				
CapSense I/O (支持按键、滑条、接近感应、防水特性)	多达 62 个				
CapSense 模块数量	2 个				
防水功能	支持				
SmartSense 自动调试	支持				
ADC	1 x 12 位 Del-Sig	1 x 12 位 Del-Sig	1 x 12 位 Del-Sig	1 x 20 位 Del-Sig	
DAC	1 x 8 位	2 x 8 位	多大 4 x 8 位	多大 4 x 8 位	
比较器	2 个	4 个	多达 4 个	多达 4 个	
运算放大器	0	2 个	多达 4 个	多达 4 个	
SC/ST 模拟模块 <sup>24</sup>	0	2 个	多达 4 个	多达 4 个	
通用数字模块 (UDB <sup>25</sup> )	最多达 24 个				
16 位定时器/PWM	4 个	4 个	多达 4 个	4 个	
数字滤波器模块 (DFB <sup>26</sup> )	不支持	不支持	支持	支持	
段式 LCD 驱动	多达 46x16 个 segment				
USB 2.0 全速外设	支持				
CAN 2.0 <sup>27</sup>	不支持	支持	支持	支持	
工作电压	1.71 – 5.5 V				
符合汽车产品规范 (AEC-Q100)	不支持				
封装	48-SSOP 48-QFN 68-QFN 100-TQFP 72-WLCSP <sup>28</sup>	48-SSOP 48-QFN 68-QFN 100-TQFP	48-SSOP 48-QFN 68-QFN 100-TQFP 72-WLCSP <sup>28</sup>	48-SSOP 48-QFN 68-QFN 100-TQFP 72-WLCSP <sup>28</sup>	

<sup>24</sup> 可将开关电容/连续时间模块配置为运算放大器、单位增益缓冲区、可编程增益放大器和互阻放大器 (TIA) 等工作。

<sup>25</sup> 通用数字模块 (UDB) 可实现自定义的数字逻辑。PSoC Creator 提供了大量基于组件的 UDB, 如 I2C、I2S、UART、SPI、LIN 从设备、PWM、计数器/定时器等。

<sup>26</sup> 可将数字滤波器模块 (DFB) 编程为执行 IIR 和 FIR 数字滤波器, 以及几种定制函数。可通过 64 抽头和 48 位单周期乘累加 (MAC) 操作实现滤波器。

<sup>27</sup> 控制器区域网络

<sup>28</sup> 晶圆级芯片级封装

表 4-6. PSoC 1 系列特性比较

功能/器件系列	CY8C20XX7/S	CY8C21X34/B	CY8C20XX6A/S	CY8C20XX6H	CY8C24X94	CY8C22X45	CY8C28XXX	CY8C20X34 <sup>29</sup>
数据手册	CY8C20XX7/S	CY8C21X34/B	CY8C20XX6A/S	CY8C20XX6H	CY8C24X94	CY8C22X45	CY8C28XXX	CY8C20X34
CPU 及速度	24 MHz M8C							12 MHz M8C
闪存/SRAM	多达 32 KB/ 多达 2 KB	8 KB/512B	多达 32 KB/ 多达 2 KB	多达 16 KB/ 多达 2 KB	16 KB	16 KB	16 KB	8 KB/ 512 B
CapSense I/O (支持按键、 滑条、接近感应、 防水特性)	31 个	24 个	33 个	33 个	44 个	37 个	41 个	25 个
CapSense 模块 数量	1 个	1 个	1 个	1 个	1 个	2 个	多达 2 个	1 个
防水功能	支持	支持	不支持	不支持	支持	支持	支持	不支持
SmartSense 自动调试	支持 (仅-S 部分)	支持 (仅-B 部分)	支持	支持	不支持	支持	支持	不支持
比较器	支持	支持	支持	支持	—	支持	支持	支持
ADC	—	8 位和 10 位	8 位和 10 位	8 位和 10 位	7 位至 13 位	10 位 SAR	多达 14 位	—
DAC	—	-	-	—	6 位, 8 位和 9 位	8 位	多达 9 位	—
放大器	—	-	-	—	支持	—	支持	—
I2C	主从设备接口							
SPI								
UART	发送器 — 软件	UART	发送器 — 软件	发送器 — 软件	UART	UART	UART	发送器 — 软件
USB	—	—	-	全速 USB	全速 USB	-	-	—
定时器	16 位定时器	8 至 32 位 定时器/计数器	16 位定时器	16 位定时器	8 至 32 位 定时器/计数器	8 至 32 位定 时器/计数器	8 至 32 位定 时器/计数器	13 位定时器
PWM	—	8 至 32 位 PWM 死区选项	—	—	8 至 32 位	8 至 32 位	8 位和 16 位	—
LCD	16x2 个字符 LCD 接口以及多达 4 个公模段式 LCD 驱动 drive							
EEPROM	仿真							
触觉反馈	—	-	—	支持	—	-	-	—
工作电压	1.71 V – 5.5 V	2.4 V – 5.25 V	1.71 V – 5.5 V	1.71 V – 5.5 V	3.0 V – 5.25 V	3.0 V – 5.25 V	3.0 V – 5.25 V	2.4 V – 5.25 V
符合汽车产品 规范 (AEC-Q100)	不支持	支持	支持	不支持	支持	支持	不支持	支持
封装	16/24/32/ 48-QFN 16-SOIC 30-WLCSP <sup>30</sup>	16-SOIC 20/28/ 56-SSOP 32-QFN	16/24/32/ 48-QFN 48-SSOP 30-WLCSP <sup>30</sup>	24-QFN 32-QFN	56-QFN 68-QFN	28-SOIC 44-TQFP	20/28-SSOP 44 pin TQFP 48-QFN	8/16-SOIC 28-SSOP 16/24/32-QFN 30-WLCSP <sup>30</sup>

<sup>29</sup> 不建议用于新设计

<sup>30</sup> 晶圆级芯片级封装

## 5. CapSense 资源



赛普拉斯提供了多种资源，从而可简化 CapSense 的设计过程。在本章节中，我们将会根据 CapSense 设计的典型工作流程提供可用文档，帮助您能够从多种选择中容易找到所需的资源。表 5-1 是一个快速参考资料，用于查找正确的文档。

表 5-1. CapSense 资源导航表

设计操作	参考文档
评估 CapSense	<ol style="list-style-type: none"><li>通过本文档，您可以了解以下内容：<ul style="list-style-type: none"><li>CapSense 感应技术</li><li>CapSense 调校</li><li>CapSense Widget</li><li>防水功能</li><li>接近感应</li></ul></li><li>购买开发套件。如果您要快速开发一个 CapSense 解决方案而无需固件开发，那么可以使用 CY3280-MBR3 套件。使用 CY8CKIT-040 套件评估 CapSense 器件系列完整的可编程性。</li><li>执行我们的所有开发套件所提供的代码示例。用户指南提供了执行代码示例的具体程序。</li></ol>
选择一个 CapSense 器件	<ol style="list-style-type: none"><li>请参考本指南中的 CapSense 选择器指南章节。</li><li>如果您已经选定了某个器件，请参考器件特定的设计指南，以便进行您的设计。</li></ol>
设计 CapSense 硬件	<ol style="list-style-type: none"><li>观看 CapSense 布局的最佳实践视频 — 第一部分和第二部分。</li><li>要想深入了解原理图、布局和覆盖层设计指南、样本原理图和布局以及其他设计注意事项，请参考设计指南。</li><li>您可以在本页中找到赛普拉斯控制器的所有原理图符号和封装。</li><li>您可以使用 Altium Designer 传感器模型（如按键或滑条），从而使您的布局设计更加容易。更多信息，请访问该网页。</li><li>通过赛普拉斯技术支持提交您的设计以供审查。您需要在赛普拉斯网站上进行注册才能联系技术支持。赛普拉斯建议您向技术支持发送原理图时使用其 PDF 打印版，并发送布局时使用带有层信息的 Gerber 文件。</li></ol>
配置 CapSense MBR <sup>1</sup> 器件	<ol style="list-style-type: none"><li>下载 EZ-Click 软件工具。</li><li>请参考器件特定的设计指南以了解各配置指令。设计指南还提供了其他配置方法。</li></ol>

设计操作	参考文档
开发固件	<p>该步骤仅适用于可编程的<sup>2</sup> CapSense 器件。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>下载一个开发环境。 为 PSoC 3、PSoC 4 和 PSoC 5LP 系统使用 <a href="#">PSoC Creator</a>。 为 PSoC 1 系统使用 <a href="#">PSoC Designer</a>。 更多信息，请参考软件工具章节。</li> <li>研究示例代码。 使用与 IDE 一并提供代码示例。 请参考 <a href="#">CapSense 控制器代码示例文档</a>。 根据 CapSense 器件使用 PSoC 1 实现动态重配置，<a href="#">AN49079 — CapSense Plus: 动态配置 CapSense</a></li> <li>请参考 <a href="#">CapSense 组件数据手册 API 指南</a>。</li> <li>优化代码。请参考这些应用笔记以便了解： <a href="#">AN89610 — PSoC 4 和 PSoC 5LP ARM Cortex 代码优化</a> <a href="#">AN60630 — PSoC 3 8051 代码和存储器优化</a> <a href="#">AN60486 — PSoC 1 M8C ImageCraft C 代码优化</a></li> </ol>
调校一个 CapSense 设计	<ol style="list-style-type: none"> <li>使能 <a href="#">SmartSense</a><sup>3</sup>，从而减少或省略手动调校。</li> <li>请参考器件特定的设计指南中的“<a href="#">CapSense 手动调校</a>”章节。</li> <li>请参考 <a href="#">AN2397 — CapSense 数据查看工具</a>以了解如何通过 I2C 或 UART 监控和记录实时传感器数据。</li> </ol>
设计 CapSense 接近感应	<ol style="list-style-type: none"> <li>在本文档中，您可以了解有关接近感应的知识。</li> <li>使用 <a href="#">CY8CKIT-024 CapSense 接近感应屏蔽套件</a>以及 <a href="#">PSoC 4 Pioneer 套件</a>评估接近感应性能。</li> <li>请参考该表上面的设计 CapSense 硬件章节，以便进行您的原理图和布局的设计。</li> <li>有关其他信息，请参考接近感应设计指南，<a href="#">AN92239 — 基于 CapSense 的接近感应</a>。本应用笔记还提供了代码示例。</li> </ol>
设计 CapSense 液体水平感应	<ol style="list-style-type: none"> <li>使用 <a href="#">CY8CKIT-022 CapSense 液体水平屏蔽套件</a>以及 <a href="#">PSoC 4 Pioneer 套件</a>评估液体水平感应。</li> <li>研究 <a href="#">AN202478 — PSoC 4 — 电容液体水平感应</a>中提供的有关工作原理、传感器布局和其他系统设计指南的信息。</li> <li>执行代码示例 <a href="#">CE202479</a>。</li> </ol>
使用 <a href="#">PRoC-CapSense</a> 器件设计无线触摸解决方案	<a href="#">AN88890 — 使用 PRoC-CS 将触摸感应用户界面添加到无线 HID 产品内</a> <a href="#">AN86272 — PRoC-CS 硬件设计指南</a>
低功耗的设计	<a href="#">AN210998 — PSoC 4 低功耗 CapSense 设计</a> <a href="#">CE95288 — 使用 PSoC 4 实现低功耗 CapSense</a> <a href="#">AN90114 — PSoC 4000 系列低功耗系统设计技术</a> <a href="#">AN86233 — PSoC 4 低功耗模式和降低功耗技术</a> <a href="#">AN77900 — PSoC 3 和 PSoC 5LP 的低功耗模式和降低功耗技术</a> <a href="#">AN47310 — 使用睡眠模式节省 PSoC 1 的功耗</a> <a href="#">针对 PSoC 1 的 CapSense 控制器代码示例</a> 更多有关低功耗技术的信息，请参考器件特定的设计指南部分的内容。

设计操作	参考文档
解决 ESD、EMC 和 EFT 等问题	<a href="#">AN96475 — CapSense 系统中的电快速瞬变脉冲群抗扰度设计注意事项</a> <a href="#">AN80994 — 电快速瞬变脉冲群（EFT）抗扰度设计注意事项</a> <a href="#">AN72362 — 降低 CapSense 汽车级应用的辐射干扰</a> 请参考器件特定的 <a href="#">设计指南</a> 以了解 ESD 和 EMC 设计注意事项。
实现 B 类安全功能	<a href="#">AN89056 — PSoC 4 – IEC 60730 B 类和 IEC 61508 SIL 安全软件库</a> <a href="#">AN78175 — PSoC 3 和 PSoC 5LP — IEC 60730 B 类安全软件库</a> <a href="#">AN79973 — PSoC 3 和 PSoC 5LP CapSense CSD — IEC 60730 B 类安全软件库</a> <a href="#">AN81828 — PSoC 1 — IEC 60730 B 类安全软件库</a>
通过外部主机系统内编程 CapSense 控制器	有关通过 Bootloader 进行编程的应用笔记： <a href="#">AN73854 — 在 PSoC 3、PSoC 4 和 PSoC 5LP 中实现 Bootloader 的简介</a> <a href="#">AN97060 — PSoC 4 BLE 和 PSoC 4 BLE — 空中传送（OTA）进行器件固件更新（DFU）指南</a> <a href="#">AN2100 — Bootloader: PSoC 1</a> 有关通过专用编程接口进行编程的应用笔记： <a href="#">AN84858 — 使用外部微控制器对 PSoC 4 进行编程</a> <a href="#">AN73054 — 使用外部微控制器对 PSoC 3 和 PSoC 5LP 进行编程</a> <a href="#">AN44168 — 使用外部微控制器对 PSoC 1 器件进行编程</a> <a href="#">AN59389 - 适用于 CY8C20xx6A、CY8C20xx6AS、CY8C20xx6L 和 CY8C20xx7/S 的主机源串行编程</a>
了解 CapSense 设计提示和技巧	请参考赛普拉斯网站上丰富的 <a href="#">知识库文章</a> 。使用 <a href="#">产品类别筛选器</a> 来筛选结果。

<sup>1</sup> MBR 是机械按键替代的缩写。CapSense MBR 器件是可配置的，不需要固件开发。更多有关信息，请参考 [CapSense 选择器指南](#)。

<sup>2</sup> 可编程器件支持各种可编程数字和模拟外设（CapSense 除外），但需要固件开发。更多有关信息，请参考 [CapSense 选择器指南](#)。

<sup>3</sup> 赛普拉斯的 SmartSense 自动调校算法会自动设置感应参数，以获得最佳性能，并连续补偿由系统、生产过程和环境不同引起的变化。

## 5.1 CapSense 设计指南与应用笔记

我们的技术文档包括特殊的 CapSense 设计指南。设计指南包含使用指定器件系列完成 CapSense 设计所需的所有信息（如原理图和布局指南、调校步骤、ESD 和 EMC 设计注意事项以及其他信息）。下面列出的是多种器件系列的入门应用笔记。

### PSoC 3、PSoC 4 和 PSoC 5LP 器件的设计指南

- [PSoC® 4 CapSense®设计指南](#)
- [PSoC® 3 和 PSoC® 5LP CapSense®的设计指南](#)

### CapSense Express 系列的设计指南

- [CY8CMBR3XXX CapSense®设计指南](#)
- [CY8CMBR2110 CapSense®设计指南](#)
- [CY8CMBR2016 CapSense®设计指南](#)
- [CY8CMBR2010 CapSense®设计指南](#)
- [CY8CMBR2044 CapSense®设计指南](#)
- [CapSense® Express™: CY8C201XX 应用笔记](#)

### PSoC 1 器件的设计指南

- [CY8C20XX7/S 设计指南](#)
- [CY8C20XX6A/H CapSense®设计指南](#)
- [CY8C21X34/B CapSense®设计指南](#)
- [CY8C20X34 CapSense®设计指南](#)

### PSoC 1、PSoC 3、PSoC 4 和 PSoC 5LP 的入门应用笔记

- [AN75320 — PSoC® 1 入门](#)
- [AN54181 — PSoC® 3 入门](#)
- [AN79953 — PSoC® 4 入门](#)
- [AN77759 — PSoC® 5LP 入门](#)

## 5.2 其他 CapSense 资源

### 5.2.1 赛普拉斯文档管理器


[赛普拉斯文档管理器](#)（CDM）是一个基于 Windows 的直观工具，使用户能够导航、过滤、搜索、查看和管理赛普拉斯文档。通过 CDM，可以直接打开 PDF 文件和 html 网页。该工具允许您选择本地下载的文档，并轻松检查这些文档的更新情况。

## 5.2.2 网站

在赛普拉斯 CapSense 控制器网站上，您可以访问所有参考资料，如数据手册、技术参考手册（TRM）、应用笔记和代码示例。点击 **Design Support**（设计支持）下面网页右侧所列出的资源类别，如图 5-1 所需。使用赛普拉斯网站右上方的搜索框搜索一个资源。选择您所需的资料类别，然后输入关键词，如图 5-2 所示。

图 5-1. 赛普拉斯网站上的设计支持

### CapSense® Controllers



**INTRODUCING THE CAPSENSE® MBR3 SOLUTION**  
The world's best capacitive sensing solution with industry-leading water tolerance and proximity sensing

Cypress is the world leader in Capacitive Sensing technologies. Our broad range of solutions provide robust noise immunity, enable quick time to market and system scalability, and have replaced more than 5 Billion mechanical buttons over the past several years. The CapSense® portfolio ranges from simple buttons and sliders to more sophisticated solutions integrating other system components to reduce total BOM cost and form factor. Cypress CapSense controllers feature best-in-class liquid tolerance and capacitive proximity sensing, made easy to implement with SmartSense™ Auto-Tuning, an algorithm that constantly monitors and compensates for environmental conditions.

**Salient features include:**

- Ultra low power with industry's widest voltage range.
- Industry's leading Small form factor packaging such as WLCSP (2mm x 2mm).
- Revolutionary, one of its kind SmartSense Auto-Tuning algorithm.
- Industry's best solutions for advanced features such proximity and water tolerance.

CapSense® Express is easy to use and supports simple button or button / slider designs with up to 16 capacitive buttons or up to 5 capacitive buttons and 1 slider.

CY8CMBR2044, CY8CMBR2016, CY8C201xx, CY8CMBR2010, CY8CMBR2110, CapSense MBR3


CapSense® - supports up to 33 capacitive buttons and 6 sliders and features such as LED effects.

CY8C20x34, CY8C20xx6A, CY8C20xx7

CapSense®Plus our full featured offering handles up to 44 capacitive buttons and 8 sliders. Supporting LED effects, proximity detection, water rejection as well as further system level integration of various analog and digital blocks to reduce total BOM cost

CY8C21x34/B, CY8C21x45, CY8C22x45, CY8C24x94, CY8C20xx6A, CY8C20xx6H, CY8C20xx7, CY8C20XX6A/S

Download Wearables Catalog



CapSense 1 Billion and Beyond: A Decade of Innovation

#### DESIGN SUPPORT

RELATED DOCUMENTATION

- Product Roadmaps (2)
- Application Notes (29)
- Code Examples (12)
- Datasheets (29)
- Development Kits/Boards (19)
- [+ Show More](#)


RELATED RESOURCES

- Blogs (2)
- CAD Resources (1)
- Design Partner Solutions (3)
- How Do I Find (1)
- Images/Photos (3)
- [+ Show More](#)

SUPPORT

- Developer Community (CDC)

图 5-2. 赛普拉斯网络搜索


**CYPRESS**  
 EMBEDDED IN TOMORROW™

capsense  
 capsense design guide  
 capsense water  
 capsense wheel  
 capsense linear slider led 42 ble

Community | English |

DESIGN SUPPORT BUY & SAMPLE ABOUT



## 5.3 软件工具

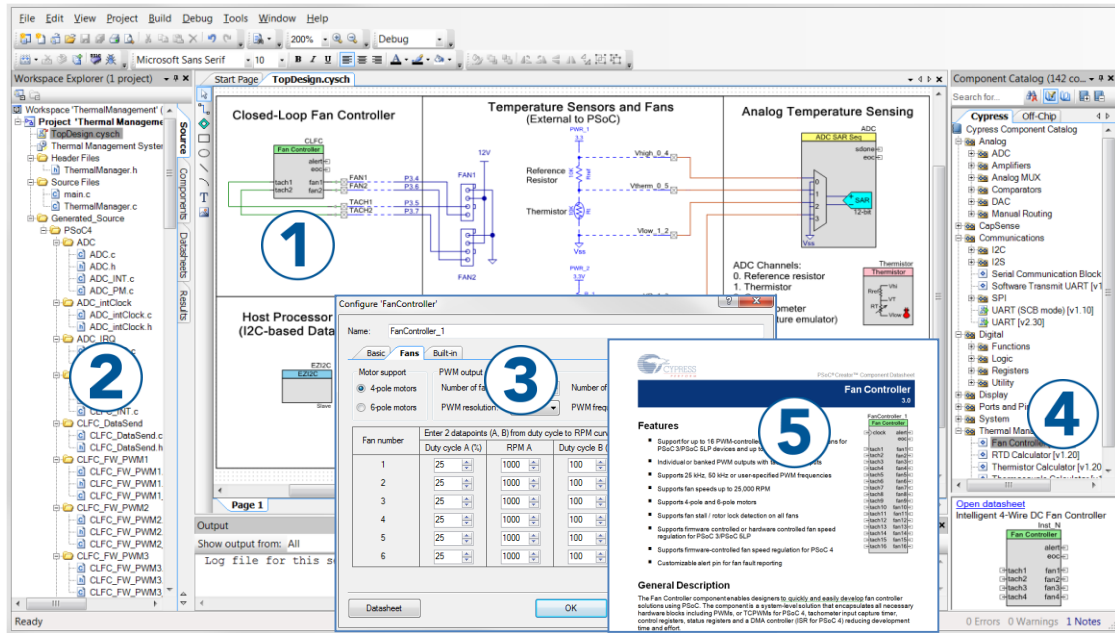
### 5.3.1 集成开发环境

#### 5.3.1.1 PSoC Creator

**PSoC Creator** 是一个基于 Windows 的免费集成开发环境（IDE）。通过它可以同时在 PSoC 3、PSoC 4 和 PSoC 5LP 的系统设计硬件和固件。请参考图 5-3。通过使用 PSoC Creator，可以执行以下操作：

1. 将组件图标拖放到主要设计工作区中，以进行硬件系统设计
2. 协作设计您的应用固件和 PSoC 硬件
3. 使用配置工具配置各组件
4. 研究包含 100 多个组件的库
5. 查看组件数据手册

图 5-3. PSoC Creator 特性



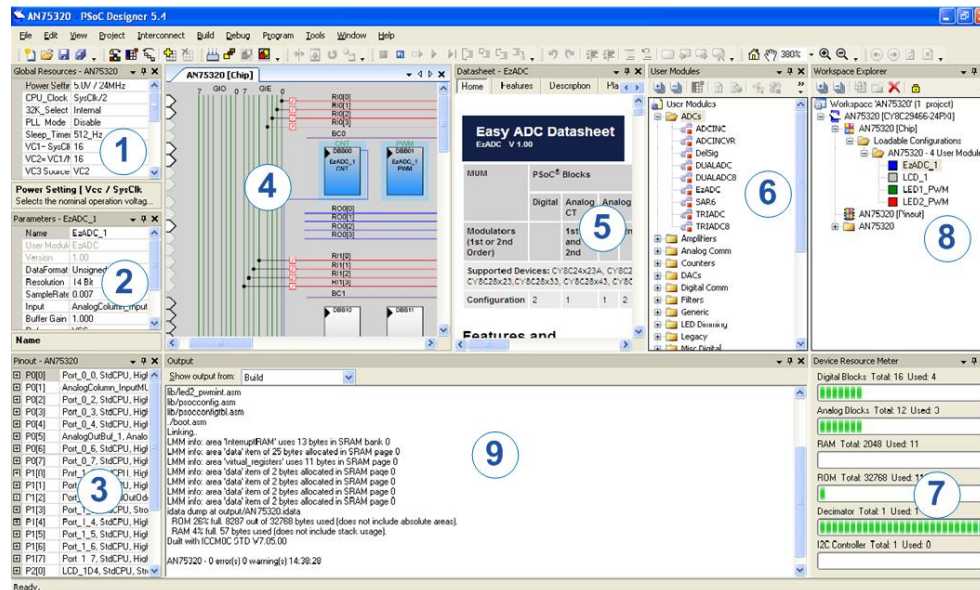
#### 5.3.1.2 PSoC Designer

**PSoC Designer** 是基于 Windows 的免费集成设计环境（IDE），赛普拉斯提供了该 IDE 用于开发 PSoC 1 系统。在拖放式设计环境中使用预先设定的模拟和数字外设库来开发您的应用。然后，利用动态生成的 API 代码库来自定义您的设计。图 5-4 显示的是 PSoC Designer 窗口。**注意：**这并不是默认窗口。

1. **Global Resources**（全局资源）— 所有的器件硬件设置。
2. **Parameters**（参数）— 当前选中的用户模块的参数
3. **Pinout**（引脚分布）— 器件引脚的相关信息
4. **Chip-Level Editor** — 选中芯片上可用资源的框图
5. **Datasheet**（数据手册）— 当前选中的用户模块的数据手册
6. **User Modules** — 选中器件的所有可用用户模块
7. **Device Resource Meter** — 当前项目配置中器件的资源使用率
8. **Workspace**（工作区）— 与项目有关的文件树级图
9. **Output**（输出）— 从项目编译和调试操作的输出

**注意：**欲了解有关 PSoC Designer 的详细信息，请依次选择 **PSoC® Designer > Help > Documentation > Designer Specific Documents > IDE User Guide**。

图 5-4. PSoC Designer 布局



### 5.3.1.3 编程器

PSoc 编程器是一个基于 Windows 的独立应用，通过使用硬件工具 **Minipro3** 或 **KitProg**（集成在开发套件中的板上编程器），可以使用该应用编程 PSoc 器件。PSoc 编程器还提供采用了 C、C#、Per 和 Python 语言的 API，这些 API 用于开发使用赛普拉斯编程器和桥接器的用户定义应用。更多信息，请参考 *Program Files (x86)\Cypress\Programmer\Documents* 文件夹中的 PSoc 编程器组件对象模型（COM）接口指南。PSoc Creator 和 PSoc Designer 提供了窗口内编程接口，该接口会依次调用各 PSoc 编程器 API。

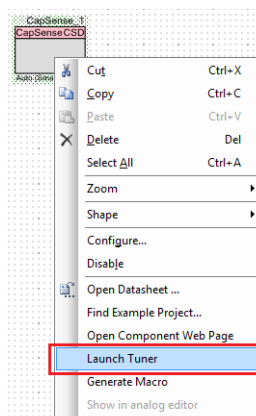
## 5.3.2 数据监控工具

使用这些工具，您可以调试、监控和调校 CapSense 设计。有关工具的详细信息，请参见应用笔记 **AN2397 — CapSense 数据查看工具**。

### 5.3.3 CapSense 调谐器

CapSense 调谐器是 PSoc Creator 中可用的图形用户界面（GUI）工具，用于通过 I2C 调试和调校 CapSense 应用。要想启动调谐器 GUI，右击原理图编辑器中所放置的 CapSense 符号并选择 **Launch Tuner**，如图 5-5 所示。

图 5-5. 启动调谐器



### 5.3.4 EZ-Click™

**EZ-Click** 是一个即简单又强大的软件工具，通过它可以开发 **CapSense MBR<sup>a</sup>** 解决方案。使用该工具，您可以配置、调试、监控实时传感器输出，并运行所有寄存器可编程的 **CapSense MBR** 系列的生产线系统诊断。

### 5.3.5 桥接控制面板

桥接控制面板是基于 Windows 的软件工具，该工具与 PSoC 编程器一同安装的。该工具与 **MiniProg3** 结合使用，以便监控和记录来自 I<sup>2</sup>C 从设备的串行通信数据。该工具还可以接收来自 UART 器件的数据。

## 5.4 开发套件

### 5.4.1 PSoC 4 开发套件

#### 5.4.1.1 Pioneer 套件

Pioneer 套件是一个简单易用且经济的开发平台，支持 Arduino™ 兼容屏蔽。

- PSoC 4000 器件的 **CY8CKIT-040 Pioneer 套件**
- PSoC 4100/4200 器件的 **CY8CKIT-042 Pioneer 套件**
- PSoC 4 M 系列器件的 **CY8CKIT-044 Pioneer 套件**
- PSoC 4 L 系列器件的 **CY8CKIT-046 Pioneer 套件**
- PSoC 4 S 系列器件的 **CY8CKIT-041 Pioneer 套件**

#### 5.4.1.2 屏蔽套件

屏蔽套件的设计目的是为了与 Arduino 相兼容，并能够与 PSoC Pioneer 套件结合使用。

- **CY8CKIT-022 CapSense 液体水平感应屏蔽**
- **CY8CKIT-024 CapSense 接近屏蔽**

#### 5.4.1.3 原型开发套件

原型开发套件是低成本的平台，适用于使用 PSoC4 器件的原型产品。

- **PSoC® 4 CY8CKIT-049 4xxx 原型开发套件**
- **CY8CKIT-043 PSoC® 4 M 系列原型开发套件**
- **CY8CKIT-145-40XX PSoC® 4000S CapSense 原型开发套件**
- **CY8CKIT-147 PSoC 4100PS 原型开发套件**
- **CY8CKIT-149 PSoC 4100S Plus 原型开发套件**

### 5.4.2 PSoC 3 和 PSoC 5LP 开发套件

- **CY8CKIT-030 PSoC® 3 开发套件**
- **CY8CKIT-050B PSoC® 5LP 开发套件**
- **CY8CKIT-059 PSoC® 5LP 原型套件**
- **CY8CKIT-001 PSoC® 开发套件**

**CY8CKIT-031 PSoC CapSense 扩展板套件** 能够将所有 PSoC 3 和 PSoC 5LP 开发套件连接到任意一个通用 CapSense 模块板上（如 **PSoC 1 开发套件** 章节中所列出的内容）。

---

<sup>a</sup> MBR 是机械按键替代的缩写。CapSense MBR 器件包含了 CY8CMBR3xxx 和 CY8CMBR2xxx 系列。更多有关信息，请参考 **CapSense 选择器指南**。

### 5.4.3 CapSense Express 开发套件

- CY8CMBR3xxx 系列的 [CY3280-MBR3 评估套件](#)
- CY8CMBR2044 器件的 [CY3280-MBR](#)
- CY8C20110 器件的 [CY3218-CAPEXP1](#) CapSense Express 套件<sup>a</sup>
- CY8C201A0a 器件的 [CY3218-CAPEXP2](#) CapSense Express 套件

### 5.4.4 PSoC 1 开发套件

#### 5.4.4.1 通用 CapSense 控制器套件

- CY8C20x34、CY8C21x34 器件的 [CY3280-BK1](#) 通用 CapSense 控制器 — 基本套件 1
- CY8C20xx6A 器件的 [CY3280-20x66](#) 通用 CapSense 控制器套件

#### 5.4.4.2 通用 CapSense 模块

这些模块实现了多种类型的 CapSense 传感器，专门设计这些模块，以能够适用于所有通用 CapSense 控制器套件和 PSoC 3/5LP 套件（通过 [CY8CKIT-031](#) 的协助）。

- [CY3280-BSM](#) 简单按键模块套件，支持 10 个按键和 10 个 LED
- [CY3280-BMM](#) 矩阵按键模块套件，支持 8 个 LED 和 16 个按键（采用 4x4 矩阵的组织方式，并且仅使用 8 个 IO）。
- [CY3280-SLM](#) 线性滑条模块套件，支持 5 按键、一个包含 10 个传感器的线性滑条和 5 个 LED。
- [CY3280-SRM](#) 辐射滑条模块套件，支持 4 个按键、一个包含 10 个传感器的辐射滑条和 4 个 LED。
- [CY3280-BBM](#) 通用 CapSense 原型模块套件，支持通过电路实验板对路由到 44 引脚连接器的所有信号进行访问，该连接器可以插入所有通用 CapSense 控制器套件内。

### 5.4.5 针对编程和调试的套件

#### 5.4.5.1 Minipro3

[CY8CKIT-002 PSoC MiniProg3](#) 编程和调试套件是用于 PSoC 1、PSoC 3、PSoC 4 和 PSoC 5LP 架构的一体化编程器，也是用于 PSoC 3、PSoC 4 和 PSoC 5LP 架构的调试工具，同时也是用于与 PSoC 器件进行通信的 USB-I2C 桥接器。除了编程功能外，该器件主要作为 USB 至 I2C 的桥接器使用，专门用于监控数据和调校 CapSense 解决方案。

#### 5.4.5.2 CY3215-DK 套件

[CY3215-DK](#) 套件是 PSoC 1 器件的调试工具，它包含一个在线仿真器（ICE），该仿真器可以管理调试器软件（在 PSoC Designer 中运行）并使能芯片的 PSoC 1 片上调试器（OCD）间所有仿真通信。该套件与包含 PSoC 1 OCD 芯片的转接板套件一起使用。在附录 D 中列出了可用的转接板套件。更多有关详细，请参考应用笔记 [AN73212 — 使用 PSoC 1 进行调试](#)。

## 5.5 设计支持

赛普拉斯具有数个支持通道，以确保 CapSense 设计成功：

- [赛普拉斯开发社区](#) — 与赛普拉斯技术社区联系并交换信息。
- [视频库](#) — 跟上教程视频的速度。
- [赛普拉斯设计合作伙伴计划](#) — 我们工程能力的扩展，通过受信任和有能力的合作伙伴，向客户提供对设计服务和解决方案的访问。
- [技术支持](#) — 可在线提供出色的技术支持。
- [质量和可靠性](#) — 赛普拉斯致力于满足客户的所有要求。在我们的“质量”网站上，您可以查找可靠性和产品资质报告。

<sup>a</sup> 不建议用于新设计。可配置 CapSense 控制器（CapSense Express 系列）。

# A. 弹簧按键

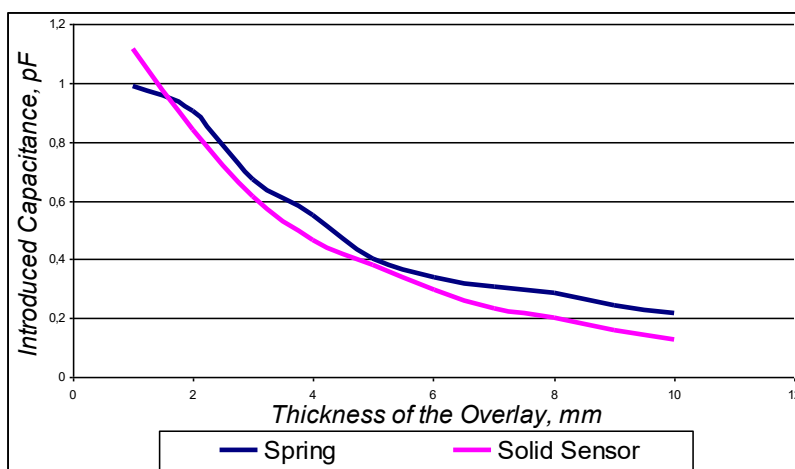


## A.1 手指引起的电容

本节介绍的是在使用弹簧设计 CapSense 过程中各种物理参数对手指引起的电容的影响。

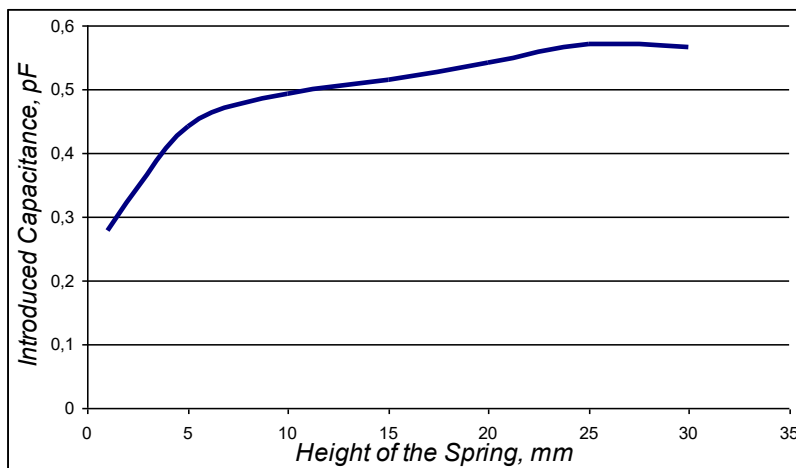
- 对于使用弹簧和固定传感器，外覆层厚度对手指触摸添加电容（FTC）产生的影响类似

图 5-6. FTC 与外覆层厚度



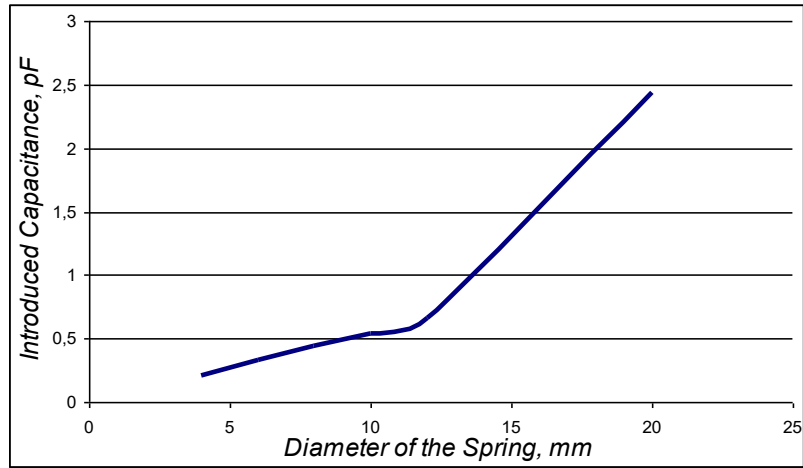
- 高度对 FTC 产生的影响

图 5-7. FTC 与弹簧高度



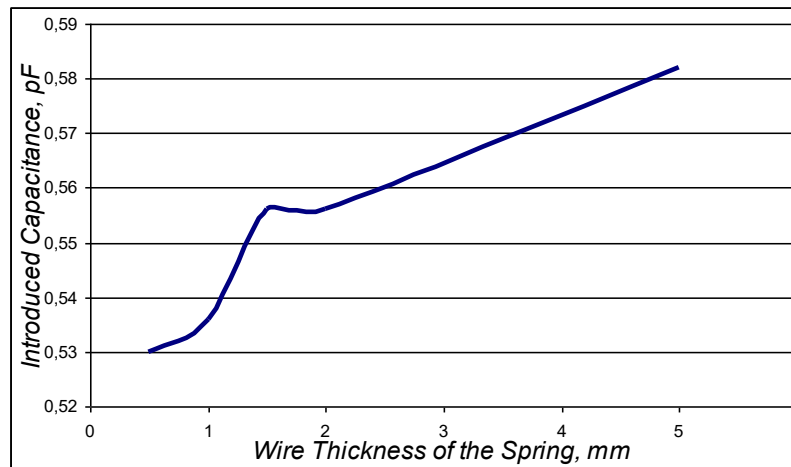
■ 直径对 FTC 产生的影响

图 5-8. FTC 与弹簧直径



■ 弹簧的金属丝厚度对 FTC 产生的影响

图 5-9. FTC 与弹簧的金属丝厚度



### A.1.1 将弹簧安装到 PCB 上

图 5-10 显示了弹簧安装示例。本节介绍了如何设计弹簧传感器。因为弹簧具有较高的侧面灵敏度，因此要尽可能地使相邻的弹簧传感器彼此远离，以防止检测错误。如果传感器间距较小，可添加对比级别。

对弹簧按键的敏感区的要求与对固定按键的要求相同。当使用较厚的外覆层时，弹簧直径必须至少比外覆层厚度大 2 或 3 倍。PCB 与外覆层之间的距离不能小于 5 mm。

图 5-10. 弹簧按键安装示例

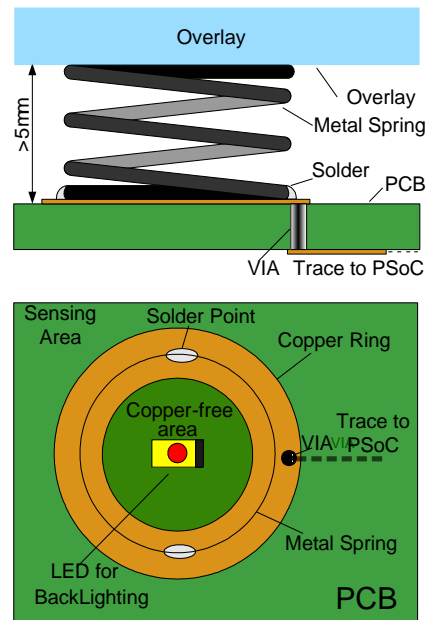
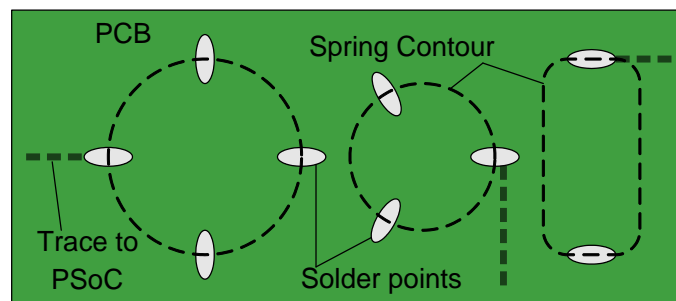


图 5-11 显示的是弹簧按键封装示例。按键传感器是 PCB 上围绕接地网格的铜垫块。与按键传感器不同，由于弹簧的表面在 PCB 上，所以接地网格不能围绕弹簧。然而，同各个按键相似，您还可以在弹簧按键的封装附近提供接地网格，但要保持传感器环和接地层间具有 1 mm 的气隙。有关填充接地网格的详细信息，请参考[接地层](#)部分的内容。

图 5-11. 推荐的弹簧按键封装

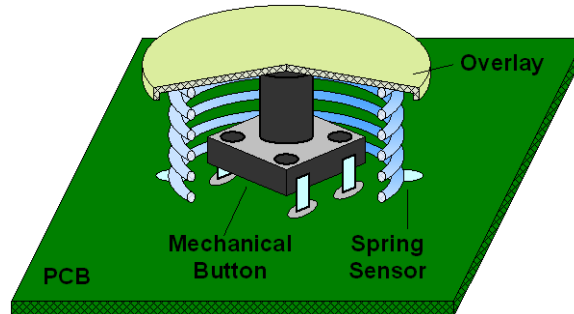




## A.2 CapSense 和机械按键结合

弹簧内部的空洞还可以用作为机械按键，如图 5-12 所示。

图 5-12. CapSense 和机械按键结合



触摸此类按键仅触发传感器，而按下按键将同时激活传感器和机械按键。在这种情况下，只在传感器工作时才可能进行背光、提示符显示和其他准备操作。当两个按键都工作时，执行最终操作。例如，在 GPS 导航系统中，触摸按键只显示提示，而按下按键将采取行动。

## A.3 设计示例

图 5-13 和图 5-14 显示了白色家电应用的项目演示程序示例。

图 5-13. 炉面板控制演示

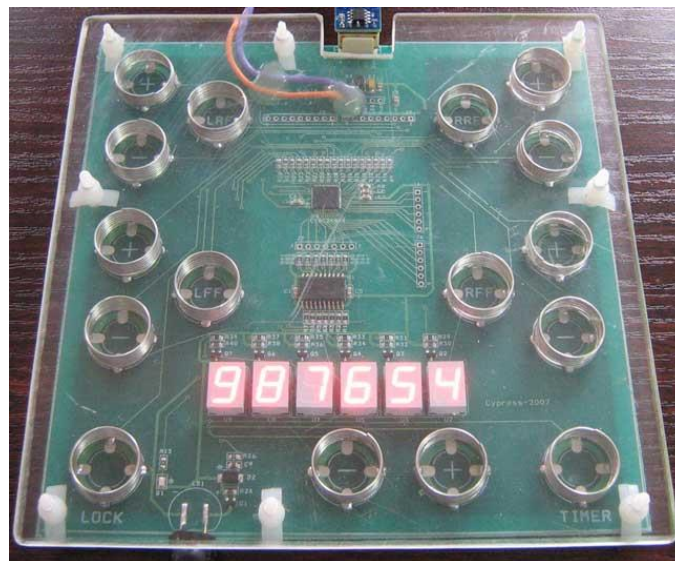


图 5-14. 炉控制面板的前面板



## B. 原理图和布局表



### B.1 原理图检查表

对于 PSoC 3、PSoC 4 和 PSoC 5LP 等器件，请分别参考 [PSoC 3 数据手册](#)、[PSoC 4 数据手册](#) 和 [PSoC 5LP 数据手册](#)。

序号	类别	推荐值/备注
1	去耦电容	0.1 $\mu\text{F}$
2	批量电容	1 $\mu\text{F}$
3	引脚分配	应将传感器放置在接地层附近。请勿使开关信号靠近传感器
4	C <sub>MOD</sub>	请确保 C <sub>MOD</sub> 不靠近任何开关引脚或通信引脚
5	R <sub>B</sub>	请确保 R <sub>B</sub> 不靠近任何开关引脚或通信引脚
6	CapSense 线路上的串联电阻	560 $\Omega$
7	通信线路上的串联电阻	330 $\Omega$
8	通信线路上的上拉电阻	4.7 k $\Omega$
9	如果可能，请避免将编程引脚作为 I2C 引脚使用	

#### B.1.1 去耦电容

请参考[电源布局建议](#)，了解完整的详细信息。

#### B.1.2 批量电容

请参考[电源布局建议](#)，了解完整的详细信息。

#### B.1.3 引脚分配

- 在奇数引脚和偶数引脚（如 P2[0]、P2[2]和 P2[1]、P2[3]）集合中，请均匀分布 LED
- 尽量不要使 LED 的位置靠近 CapSense 引脚。
- 保留引脚以供 R<sub>B</sub>、C<sub>MOD</sub> 和屏蔽槽电容使用（如果需要）。
- 建议将 CapSense 引脚放置在靠近接地引脚的位置。否则，接地路径的阻抗增加会使驱动电路的参考电压发生变化。
- 为了避免串扰，不应使 LED 或任何开关信号引脚靠近 C<sub>MOD</sub>/R<sub>B</sub> 引脚。

更多信息，请参考[引脚分配](#)部分。

#### B.1.4 C<sub>MOD</sub>

请确保 C<sub>MOD</sub> 不靠近任何开关/通信引脚。由于 C<sub>MOD</sub> 上存在模拟信号，因此它的周围应该分布 CapSense（模拟）信号，而不是开关/通信（数字）信号。C<sub>MOD</sub> 的接地层连接到器件接地层的路径应尽可能短。

系列	C <sub>MOD</sub> 的推荐值
CY8C20xx6/A/AS	2.2 nF (对于 CSD) 1.2 nF 至 5.6 nF (对于 CSA)
CY8C21x34	5.6 nF~10 nF (对于 PRS8 和 PRS16 配置) 22 nF 至 47 nF (对于预分频器配置)
CY8C21x34 SmartSense,	10 nF
CY8C24x94、CY8C22x45	5.6 nF-10 nF
CY8C20x34	1.2 nF 至 5.6 nF
CY8CMBR3xxx、CY8CMBR2xxx、CY8C20xx7A/S、 PSoC3/4/5LP	2.2 nF

更多有关信息，请参考用户模块和组件数据手册。当您分别安装PSoC Designer和PSoC Creator时，会自动下载用户模块和组件数据手册。

### B.1.5 R<sub>B</sub>

请确保 R<sub>B</sub> 不与任何开关/通信引脚相邻。

系列	推荐的 R <sub>B</sub> 值
CY8C21x34	最小值为 2 kΩ
CY8C21x34 SmartSense-+	15 kΩ

### B.1.6 CapSense 线路上的串联电阻

CapSense 信号线路上的 560 欧姆电阻。如果将串联电阻值设置为大于 560 欧姆，那么开关电路的低时间常数会限制可传输的电荷量。这会降低信号等级，进而降低信噪比。电阻值越小越好，但在阻止射频方面却不太有效。欲了解完整的详细信息，请参考[串联电阻](#)部分。

### B.1.7 通信线路上的串联电阻

建议通信线路采用大小为 330 Ω 的电阻。如果在这些线路上串联了一个大于 330 Ω 的电阻，那么在系统电压和接收器输入阻抗的最差组合情况下，电压电平会超出规范范围。当 PSoC 输出为低电平时，V<sub>IL</sub> 电平仍会满足 I<sup>2</sup>C 规范所要求的 0.3 VDD，因此 330 Ω 的电阻不会影响 I<sup>2</sup>C 的操作。欲了解完整的详细信息，请参考[串联电阻](#)部分。

## B.2 布局检查表

序号	类别		最小值	最大值	建议
1	按键	形状	NA	NA	弯曲边缘的实心圆形或方形
		直径/对角线	5 mm	15 mm	10 mm
		按键和网格之间的气隙	0.5 mm	2 mm	应等于覆盖层的厚度。可以将网格连接到接地层或屏蔽层。
		靠近 所有开关元素	NA	NA	将开关信号与传感器和传感器 PCB 走线隔离。
2	滑条	大小为 1 mm 的丙烯酸覆盖层的段宽度	2 mm		8 mm
		大小为 3 mm 的丙烯酸覆盖层的段宽度	4 mm		
		大小为 4 mm 的丙烯酸覆盖层的段宽度	6 mm		
		各段间的气隙	0.5 mm	2 mm	0.5 mm
		网格和滑条间的气隙	0.5 mm	2 mm	等于覆盖层的厚度。可以将网格连接到接地层或屏蔽层。
		滑条段的高度	7 mm	15 mm	12 mm
3	覆盖层	类型			使用介电常数较高（导电材料除外）的材料。 装箱内传感器板和覆盖层/前面板间应不存在气隙。
		丙烯酸覆盖层的厚度		5 mm	
		玻璃覆盖层的厚度		15 mm	按键和滑条传感器都应采用较小的覆盖层厚度值。对于接近传感器，覆盖层的厚度越厚，人手/手指和传感器间的耦合的电容也越大，从而会导致信号增高。然而，寄生电容会稍微增大。
4	传感器走线	宽度		7 mil	
		长度		300 mm （对于标准 （FR4）PCB） 对于柔性 PCB 板，长度为 50 mm	
		接地层和传感器走线之间的 气隙	10 mil	20 mil	
		转向角			无锐角
		布线			应将走线路由到无传感器侧面上。 如将非 CapSense 走线穿过 CapSense 走线， 则应确保其垂直相交。
5 个	传感器上的 过孔	过孔数	1	2 个	1 个（包括传感器走线和传感器垫块）
		过孔的直径			10 mil

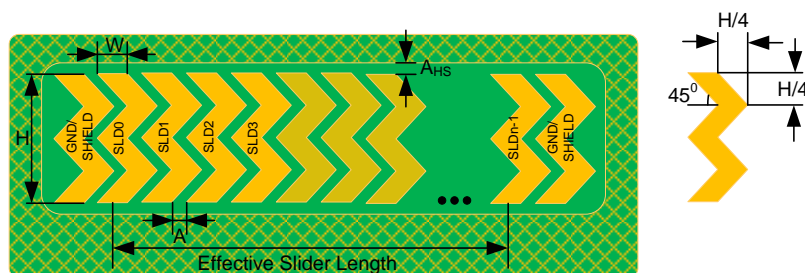
序号	类别	最小值	最大值	建议
6 个	接地			铺设网格状的地覆铜，以降低寄生电容。 通用网格： 顶层上铺设 25% 网格（走线宽度为 7 mil，方格宽度为 45 mil），底层上铺设 17% 网格（走线宽度为 7 mil，方格宽度为 70 mil）
7 个	串联电阻			将电阻置于最远隔离 CapSense 控制器引脚 10 mm 的位置
8 个	屏蔽电极	屏蔽填充区的大小	在传感器周边传感器	请参考图 3-74。必要时才应驱动屏蔽信号，例如，在要求防水功能和接近感应的应用中。
		屏蔽图案		建议使用网格填充，不建议使用实心，以降低屏蔽电极的寄生电容和减少辐射。网格填充的规范同接地网格的规范相似。欲了解减少辐射的详细指南，请参考屏蔽电极。
9	保护传感器	形状		弯曲边缘的矩形走线
		厚度		铜走线的推荐厚度为 2 mm，铜走线和网格（接地/屏蔽）之间的距离为 1 mm。

### B.2.1 按键

- 按键的最佳形状是圆形。此外，也可以使用圆角的矩形焊盘。因为尖点会集中磁场，所以在设计传感器垫块时应避免尖角（小于 90°）。更多详细信息，请参考图 3-49。
- 按键的尺寸介于 5 mm 到 15 mm 之间。对于较厚的覆盖层，则要使用直径较大的按键。
- 接地层和其他传感器间的气息应等于覆盖层的厚度，但不能小于 0.5 mm 且不能大于 2 mm。两个相邻按键之间的间距应足够大，以确保触摸到其中一个按键时，手指不会触及到其他按键。
- 放置在靠近开关引脚的位置。
  - ☐ 减少它和控制器引脚之间的走线长度。
  - ☐ 串联电阻与控制器引脚间的距离不超过 10 mm。
  - ☐ 避免将传感器连接到控制器引脚。

### B.2.2 滑条

图 B1.典型的线性滑条图案



- 对于宽度平均为 9 mm 的手指，滑条段的宽度（W）应为 8 mm。
- 各段之间的间隙厚度（A）应为 0.5 mm。
- 段的高度（H）应为 12 mm。
- 网格和滑条间的间隙（A<sub>HS</sub>）应等于覆盖层的厚度。
- 具有 ‘n’ 个段的滑条，实际上必须具备 ‘n+2’ 个段。根据不同的应用，应将滑条的第一段和最后一段接地或被屏蔽。

有关更多信息，请参考滑条设计部分。

### B.2.3 覆盖层

- 品种（材料）：请勿将导电材料用作覆盖层使用，因为它会干扰电场图形。请使用具有较高介电常数的材料。
- 覆盖层的厚度要尽可能小，以便获得更高的信号强度。传感器信号与手指电容成正比。手指电容与覆盖层的厚度成反比。此厚度是共同构成平行板电容器的两个电极（传感器垫块和手指）之间的距离。因此，降低覆盖层厚度会增强信号。
- 对于 SmartSense 滑条，丙烯酸覆盖层的最大厚度应为 4 mm，玻璃覆盖层的最大厚度应为 12 mm。

### B.2.4 传感器走线

- 宽度应小于或等于 7 mil（0.18 mm）
- 保持标准 PCB 的最大走线长度为 12 英寸（300 mm），柔性电路的最大走线长度为 2 英寸（50 mm）。
- 保持 CapSense 走线和接地层之间的间隙介于 10 mil 至 20 mil 之间（0.25 mm 至 0.51 mm）。
- 由于锐角会引起噪声并集中电荷，因此应避免锐角（90 度）。
- 走线布局（请参考[走线布局](#)部分了解详细信息）
  - 在 PCB 的底层上布置传感器走线。
  - 不要将走线直接布局在任何传感器的下方，除非走线与该传感器相连接。
  - 不要将传感器走线与噪声时钟和 LED 线路并行排列。在传感器走线周边使用接地层或屏蔽层，以实现屏蔽目的。
  - 不要将传感器走线放置接近通信线，如 I2C 或 SPI 主设备。如果传感器走线需要与通信线路交叉，应确保它们呈直角交叉。

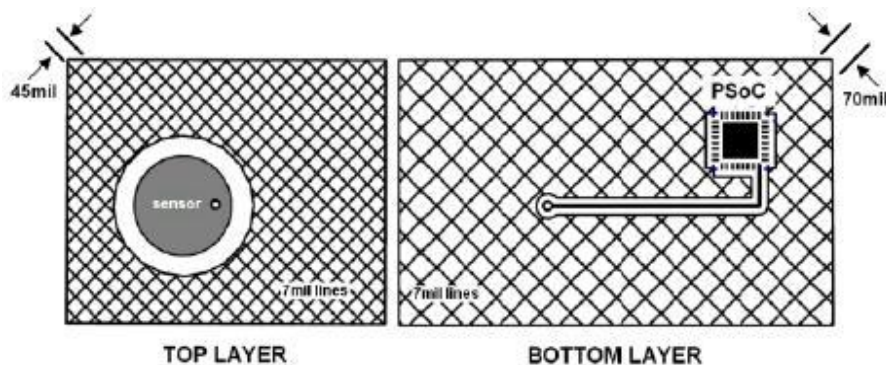
### B.2.5 传感器上的过孔

- 应布置在 CapSense 按键的边缘，以最小化过孔引起的  $C_p$  增量。
- 使用尽可能少的过孔（对于一个包括走线和垫块的传感器，最多为 2 个）以降低寄生电容。
- 传感器走线的过孔直径应为 10 mil（请参考[图 3-68](#)了解详细信息）。

### B.2.6 接地层/网

将实心接地层放置在传感器周边，并且减少传感器和周边的接地层之间的间隙以降低噪声，但是这样会增加寄生电容。因此，需要权衡 CapSense 信号和抗噪性。使用网格状的接地层可以减少接地面积，从而降低寄生电容。

图 B-2. 典型的接地层填充

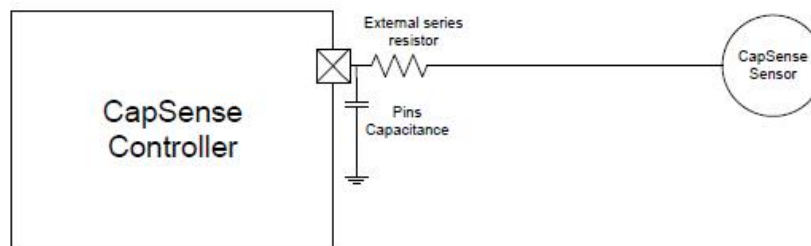




### B.2.7 串联电阻

将串联电阻放在距 CapSense 控制器引脚 10 mm 的范围内。添加外部电阻形成低通 RC 滤波器，可削减射频噪声的振幅。

图 B-3. 串联电阻的放置



### B.2.8 屏蔽电极

- 减少屏蔽填充大小（从传感器的宽度最大为1 cm）。
- 只在选定传感器的范围内放置屏蔽。
- 放慢屏蔽波形边沿以减少辐射：
  - 在屏蔽电极端口引脚和接地之间添加电容滤波器可降低屏蔽电极的斜率。
  - 选择一个数值较小的串联电阻

有关更多旨在降低辐射的屏蔽设计注意事项，请参考屏蔽部分。

### B.2.9 保护传感器

- 屏蔽电极应位于保护传感器垫和暴露走线周围，保证距这些功能展开不超过10 mm。
- 建议保护传感器形状应是矩形的。
- 建议的铜线厚度为2 mm，铜线到屏蔽网格的距离为1 mm。

## C. 传感器离地间隔



接地层与按键被放置在同一层电路板上，如图 C-1 所示。传感器离地间隔对按键的性能起着重要的作用。按键与接地层间的电场线路边缘如图 C-2 所示。传感器的寄生电容  $C_P$  与该电场相关联。

图 C-1. CapSense 电路板的顶层与底层

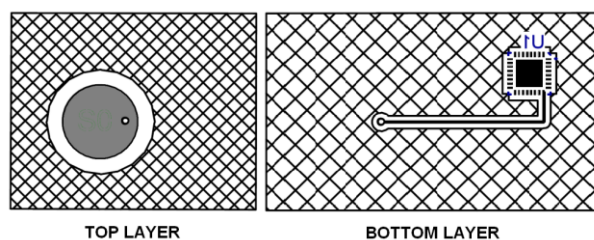
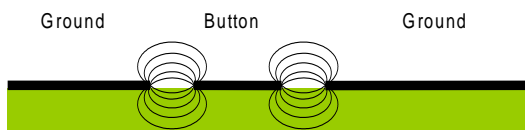


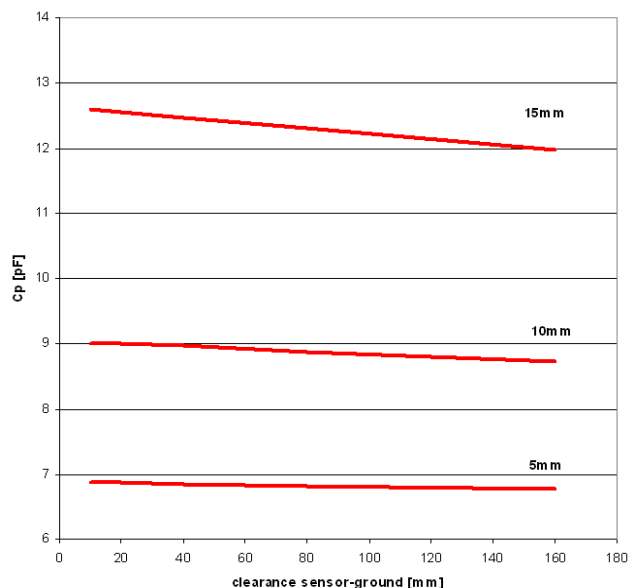
图 C-2: 按键-接地层的电场线路边缘



增大按键周边的间隙时，电容  $C_P$  会降低。 $C_P$  对间隙的依赖性如图 C-3 到图 C-6 所示。在这些图中，电路板的材料是 FR4，它的厚度为 62 mil (1.57 mm)，并且丙烯酸覆盖层的厚度为 2 mm。每个图包括三种不同大小按键（直径为 5 mm、10 mm 和 15 mm）的数据。

图 C-3 中所示的  $C_P$  不包含走线或过孔的影响。它只是传感器垫片的寄生电容。

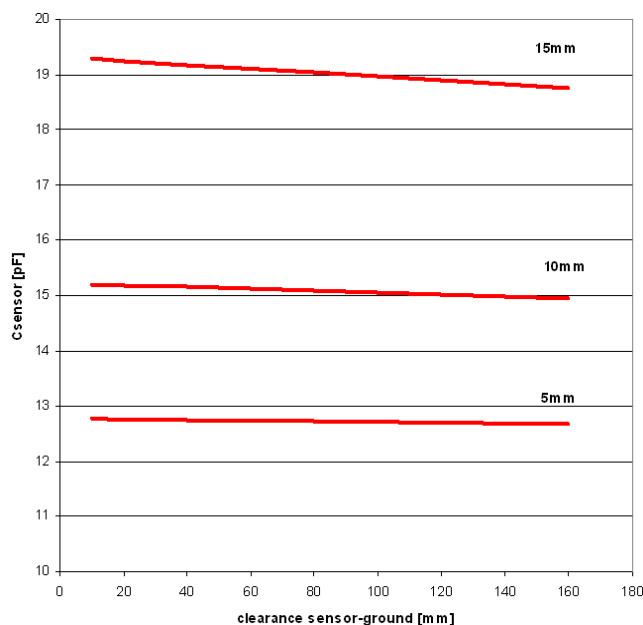
图 C-3. 寄生电容  $C_P$  是按键离地间隔和按键直径的函数。



**注意：**传感器上没有手指触摸。传感器大小增加时，电容会增加，而间隙大小增加时，电容会变小。

当传感器上没有手指触摸时，电容  $C_{\text{sensor}}$  是传感器总电容。它包括传感器垫片、走线以及过孔的影响。图 C-4 显示了电路板的传感器电容，该电路板的走线长度为 50 mm、走线宽度为 8 mil (0.3 mm)，并且从走线到共面接地层的距离为 20 mil (0.8 mm)。

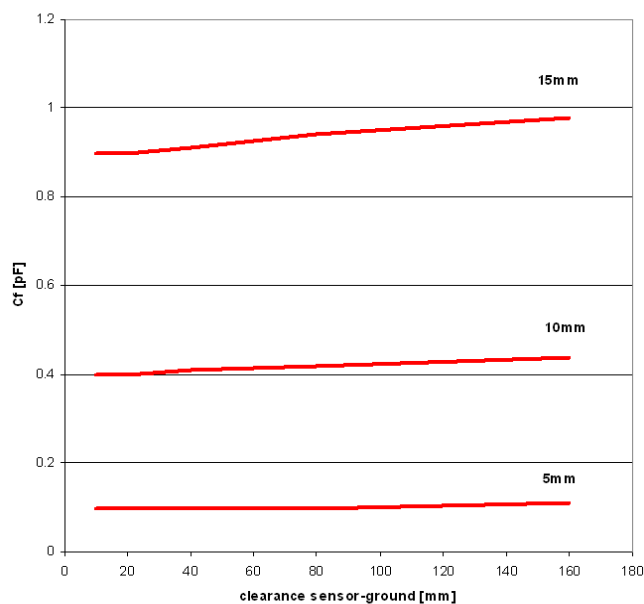
图 C-4. 传感器电容  $C_{\text{sensor}}$  是按键离地间隙和按键直径的函数。



**注意：**传感器上没有手指触摸。增大间隙时，传感器电容会变小。

图 C-5 显示的电容  $C_F$  是由手指触摸添加的电容。传感器垫片和手指的总电容为  $C_p + C_f$ 。

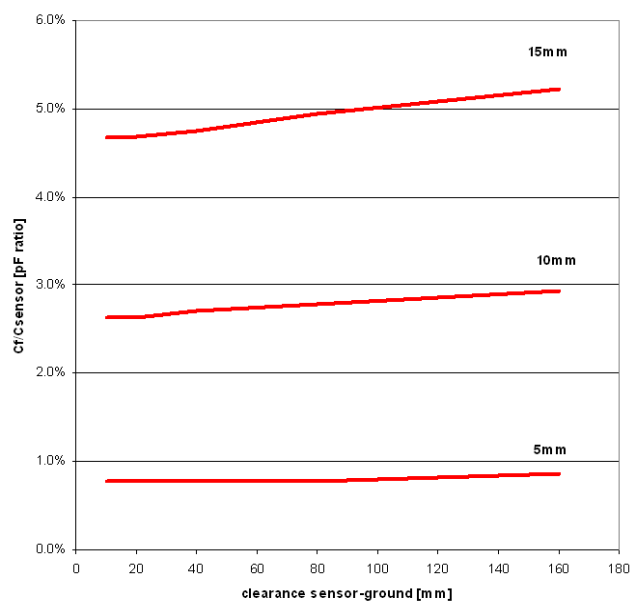
图 C-5. 手指电容  $C_f$  是按键离地间隙和按键直径的函数。



**注意：**传感器上有手指触摸。传感器大小和间隙大小增加时，电容会增加。

图 C-6 显示的是手指电容作为传感器电容的一部分。这是传感器的灵敏度。系统的灵敏度会随着 CapSense 走线的路由而发生变化。例如，增大 PSoC 和传感器垫片间的走线长度会降低按键的灵敏度。

图 C-6. 灵敏度  $C_f/C_{\text{sensor}}$  是按键离地间隙和按键直径的函数。



**注意：**按键尺寸和间隙得到增大，会使灵敏度变大。

## D. PSoC 1 在线仿真（ICE）转接板



### D.1 评估转接板

PSoCEvalPod 是连接至 [CY3215-DK](#) 在线仿真器（ICE）的转接板，以实现调试功能。另外，还可以将其作为无调试功能的独立器件使用。EvalPod 底部具有 28 引脚的 DIP 封装，易于连接至开发套件或其他硬件。EvalPod 顶部具有原型插座，以便于连接至器件引脚。以下是可用的评估转接板。

- [CY3210-CY8C20X34](#) PSoC 评估转接板（EvalPod）
- [CY3210-CY8C21X34](#) PSoC 评估转接板（EvalPod）
- [CY3210-CY8C20X36/46/66](#) PSoC 评估转接板（EvalPod）
- [CY3210-CY8C24X94](#) PSoC 评估转接板（EvalPod）

### D.2 在线仿真（ICE）转接板套件

ICE 转接板可通过一条柔性线缆提供 [CY3215-DK](#) ICE 套件与原型系统中目标 PSoC 器件的互联，或通过特定封装的转接板支脚提供与 PCB 的互联。要想获取 ICE 套件的用户指南和快速入门指南，请点击[此处](#)。以下是可用的转接板。请注意，下面的部分转接板套件已经没有库存，但还是保持网站，以用于访问文件。要想获取特殊套件的帮助，请联系赛普拉斯技术支持。

- [CY3250-21X34QFN](#) ICE 转接板套件，用于调试 QFN CY8C21X34 PSoC 器件
- [CY3250-24X94QFN](#) ICE 转接板套件，用于调试 QFN CY8C24X94 PSoC 器件
- [CY3250-20246QFN](#) ICE 转接板套件，用于调试 CY8C20236/46A/46AS PSoC 器件
- [CY3250-20346QFN](#) ICE 转接板套件，用于调试 CY8C20336/346A/346AS CapSense PSoC 器件
- [CY3250-20666QFN](#) ICE 转接板套件，用于调试 CY8C20636/646/666A/646AS/666AS CapSense PSoC 器件
- [CY3250-20566](#) ICE 转接板套件，用于调试 CY8C20536/546/566A CapSense PSoC 器件
- [CY3250-20466QFN](#) ICE 转接板套件，用于调试 CY8C20436/46/66/46AS/66AS CapSense PSoC 器件
- [CY3250-20334QFN](#) ICE 转接板（2），用于调试 QFN CY8C20334 PSoC 器件

更多有关可用的替换 ICE 转接板的信息，请点击[此处](#)。

# 术语表



## AMUXBUS

指的是 PSoC 中的模拟复用器总线，通过它可将 I/O 引脚连接至多个内部模拟信号。

## SmartSense™ 自动调校

设计阶段结束后，CapSense 算法自动设置各个感应参数以得到最佳性能，然后连续补偿由于系统、生产过程和环境不同引起的变化。

## 基准线

指的是从固件算法得到的数值。当传感器上没有手指触摸时，该算法将估计原始计数的值。基准线对原始计数突变的灵敏度较低，另外它还为计数差值提供了参考点。

## 按键或按键 widget

指的是带有相关传感器的 widget，它会报告传感器的活动或非活动状态（即仅两种状态）。例如，它可以检测到传感器上是否有手指触摸。

## 计数差值

指的是原始计数与基准线间的差值。如果该差值为负，或如果它低于噪声阈值，则计数差值总是被设置为‘0’。

## 电容式传感器

导体和基板（如印刷电路板（PCB）上的铜质按键）会对触摸事件或接近电容变化物体作出反应。

## CapSense®

这里指的是赛普拉斯触摸感应用户界面解决方案，它是行业中销量领先的解决方案。

## CapSense 机械按键替换（MBR）

指的是赛普拉斯的可配置解决方案，用于将机械按键升级为电容式按键。配置传感器参数仅需要很少的工程功耗，并且不需要固件开发。这些器件包括 CY8CMBR3XXX 和 CY8CMBR2XXX 系列。

## 中心或中心位置

是指在滑条分辨率所给定的范围内，表示滑条上的手指位置的数字。该数字由 CapSense 中心计算算法计算得出。

## 补偿 IDAC

指的是可编程的恒流源，CSD 通过使用该恒流源补偿多余的传感器  $C_P$ 。与调制 IDAC 不同，该 IDAC 没有受 CSD 模块中 Sigma-delta 调制器的控制。

## CSD

CapSense Sigma Delta（CSD）是赛普拉斯专利方法，用于测量电容式感应应用的自电容。在 CSD 模式下，感应系统测量电极的自电容，且检测自电容的变化，从而确定是否有手指触摸。

## 去抖动

用于定义连续扫描样本数量的参数，只有存在手指触摸时，该参数才有效。该参数有助于抑制假的触摸信号。对于连续扫描样本的去抖动数量，仅在计数差值大于手指阈值+迟滞时，手指触摸才被报告。

### 驱动屏蔽 (Driven-Shield)

指的是 CSD 所使用的一种技术，用于使能防水功能，其中屏蔽电极由一个信号驱动，该信号的相位和幅度与传感器开关信号的相等。

### 电极

指的是导电材料，如 PCB 板、ITO 或 FPCB 板上的垫片或物理层。电极连接到 CapSense 器件的端口引脚，并作为 CapSense 传感器使用或用于驱动与 CapSense 功能相关的特定信号。

### 手指阈值

与 Hysteresis（迟滞）一起使用的参数，旨在确定传感器的状态。如果计数差值高于手指阈值+迟滞，传感器状态将显示‘ON’；如果计数差值低于手指阈值-迟滞，则传感器状态将显示‘OFF’。

### 组合传感器

这是将多个传感器连接在一起，并将它们作为单个传感器进行扫描的方法。该方法用于扩大接近感应的传感器面积，并降低功耗。

当系统处于低功耗模式时，为了降低功耗，需要将所有传感器连接在一起并将其作为单个传感器进行扫描（而不是单独扫描所有传感器），这样可以缩短扫描时间。当用户触摸任何传感器时，系统会进入活动模式，在该模式中，它会单独扫描所有传感器，以检测哪个传感器被激活。

PSoC 通过固件支持传感器组合，这意味着，可以将多个传感器同时连接到 AMUXBUS，以进行扫描。

### 手势

手势是一个由用户执行的动作，如滑动和线捏/缩放等等。CapSense 具有手势检测功能，即根据预定义的触摸格式来识别不同的手势。在 CapSense 组件中，只有触摸板 widget 支持手势功能。

### 保护传感器

指的是 PCB 板上围绕所有传感器的铜线，它类似于按键传感器并用于检测水流。触发保护传感器时，固件会禁用对所有其它传感器进行的扫描，以防止误触摸。

### 网格填充、网格地填充或网格铺地

当设计一个拥有电容式感应功能的 PCB 板时，应将铜制接地层放置在传感器周边，以获取良好的抗噪能力。但是实心接地层会使传感器的寄生电容增加（这种电容是不需要的）。因此，应以特殊网格方式填充接地层。紧密地放置网格地，十字交叉线像丝网一样，线宽度和两条线间的距离确定填充百分比。具有防水功能时，将通过屏蔽信号（而不是接地层）驱动该网格填充（被称为屏蔽电极）。

### 迟滞

用于防止由系统噪声产生随机切换造成传感器状态的参数，它与手指阈值一起使用，以确定传感器状态。请查看[手指阈值](#)。

### IDAC（电流输出的数模转换器）

PSoC 中的可编程恒流源，用于 CapSense 和 ADC 操作。

### 防水功能

存在水滴、水流或薄雾时，电容感应系统仍能够正常工作的能力。

### 线性滑条

指的是至少包含一个传感器的 Widget。这些传感器以特殊的线性方式安排以检测手指的物理位置（在单轴上）。

### 低基准线复位

表示扫描样本最大数量的参数，其中原始计数异常低于负噪声阈值。如果超过了低基准线复位值，基准线将被复位到当前的原始计数。



**手动调校**

指的是手动设置（或调校）CapSense 参数的过程。

**矩阵按键**

指的是至少包含两个传感器（这些传感器以矩阵方式安排）的 widget。通过使用它可以在各个传感器（这些传感器以垂直方向和横向安排）的交点上检测是否有手指（触摸）。

如果 M 是横轴上的传感器数量，且 N 是纵轴上的传感器数量，那么矩阵按键 Widget 只需要使用 M + N 端口引脚就可以监控 M x N 总交叉点。

使用 CSD 感应方法（自电容）时，该 widget 一次只能检测一个交叉点位置上的有效触摸。

**调制电容（CMOD）**

在自电容感应模式下 CSD 模块操作所需要的外部电容。

**调制器时钟**

指的是一个时钟源，在传感器扫描过程中用于采样从 CSD 模块输出的调制器。该时钟也是原始计数计数器的源。扫描时间（不包括前处理和后处理时间）的计算公式为： $(2^N - 1) / \text{调制器的时钟频率}$ ，其中 N 是扫描分辨率。

**调制 IDAC**

调制 IDAC 是可编程的恒流源，它的输出由 CSD 模块中的 Sigma-delta 控制器输出控制（ON/OFF），以保持 AMUXBUS 电压始终为  $V_{REF}$ 。该 IDAC 提供的平均电流等于传感器电容引出的平均电流。

**互电容**

一个电极（假设为 TX）与另一个电极（假设为 RX）间的相对电容被称为互电容。

**负噪声阈值**

用于区分通常噪声与不想要的杂散信号的阈值。该参数与低基准线复位参数结合使用。

通过更新基准线，可以跟踪原始计数和负噪声阈值范围内的原始计数的变化，也就是基准线与原始计数之差（基准线 - 原始计数）小于负噪声阈值。

负方向的杂散信号可被触发的场合包括：上电时传感器上有手指触摸，除去传感器附近的金属物体，移除带有防水功能的 CapSense 产品上的水滴，以及突然发生其它的环境变化。

**噪声（CapSense 噪声）**

传感器处于‘OFF’状态（无触摸）时原始计数的变量，使用峰至峰计数来测量。

**噪声阈值**

用于区分传感器的信号和噪声的参数。如果原始计数 - 基准线的值大于噪声阈值，该参数将表示信号可能有效。如果差值小于噪声阈值，则该原始计数仅包括噪声。

**覆盖层**

指的是覆盖电容式传感器，并用作触摸表面的非导电材料（如塑胶和玻璃）。将带有多个传感器的 PCB 直接放置在覆盖层下面，或通过弹簧连接。产品的外壳常作为覆盖层使用。

**寄生电容（C<sub>P</sub>）**

寄生电容是由 PCB 走线、传感器焊盘、过孔以及气隙组成的传感器电极的内部电容。这是不想要的情况，因为它会使 CSD 的灵敏度降低。

**接近感应传感器**

指的是不需要物理接触却能够检测到附近的物体的传感器。

**辐射滑条**

指的是包含多于一个传感器的 Widget。这些传感器以特殊的圆形方式设置，以检测手指的物理位置。

**原始计数**

代表传感器物理电容的 CapSense 硬件模块的未处理数值输出。

**刷新闻隔**

传感器两次连续扫描间的时间。

**扫描分辨率**

由 CSD 模块生产的原始计数分辨率（单位为位）。

**扫描时间**

完成传感器的扫描过程所需要的时间。

**自电容**

与电路接地和电极相关的电容。

**灵敏度**

指的是原始计数随传感器电容的变化，用计数/pF 来表示。传感器灵敏度取决于电路板布局、覆盖层属性、感应方法以及调校参数。

**感应时钟**

用来实现 CSD 感应方法的开关电容前端的时钟源。

**传感器**

请参见[电容式传感器](#)。

**传感器自动复位**

指的是一种设置，用于防止传感器无限期地报告由系统故障或金属物体连续出现在传感器附近时造成的误触摸状态。

使能传感器自动复位时，即使计数差值大于噪声阈值，也更新基准线。这样将防止传感器无限期地报告‘ON’状态。禁用传感器自动复位时，只有计数差值小于噪声阈值时才能更新基准线。

**传感器组合**

请参见[组合传感器](#)。

**屏蔽电极**

传感器周围填充铜，以便防止水滴或其它液体引起的误触摸。屏蔽电极由 CSD 模块输出的屏蔽信号驱动。请参见[驱动屏蔽（Driven-Shield）](#)。

**屏蔽槽电容（C<sub>SH</sub>）**

指的是（当有一个带有高的寄生电容的大屏蔽层时，）用于增强 CSD 屏蔽的驱动能力的可选外部电容（C<sub>SH</sub> 槽电容）。

**信号（CapSense 信号）**

计数差值还被称为信号。请参见计数差值。

**信噪比（SNR）**

有手指触摸时的传感器信号与无手指触摸时的传感器信号间的比例。

**滑条分辨率**

表示滑条上需要处理的手指位置总数的参数。

**触摸板**

指的是包含多个传感器的 Widget（这些传感器以特殊的横向和纵向安排），用于检测一个触摸的 X 和 Y 位置。

**触摸板**

请参见[触摸板](#)。

**调校**

“调校”是使 CapSense 操作中所需的各种硬件和软件或阈值参数达到最佳值的过程。

**V<sub>REF</sub>**

PSoC 中的可编程参考电压模块，用于 CapSense 和 ADC 操作。

**Widget**

指的是 CapSense 组件中包括一个传感器或一组类似传感器的用户界面元素。受支持的 **widget** 包括按键、接近感应传感器、线性滑条、辐射滑条，矩阵按键和触摸板。

# 修订记录



## 文档修订记录

文档标题: AN64846 — CapSense®入门

文档编号: 001-91943

修订版	提交日期	变更者	变更说明
**	04/07/2014	QDGU	本文档版本号为 Rev**, 译自英文版 001-64846 Rev*M。
*A	01/23/2014	DYUE	本文档版本号为 Rev*A, 译自英文版 001-64846 Rev*O。
*B	07/03/2015	DYUE	本文档版本号为 Rev*B, 译自英文版 001-64846 Rev*P。
*C	02/25/2016	JCUI	本文档版本号为 Rev*C, 译自英文版 001-64846 Rev*S。
*D	04/19/2017	AESATMP8	更新徽标和版权。
*E	03/31/2020	JCUI	本文档版本号为 Rev*E, 译自英文版 001-64846 Rev*X。