



AN66308 - CY8CMBR2044

CapSense®设计指南

文档编号: 001-78613 版本*B

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

© 赛普拉斯半导体公司，2010-2019 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由赛普拉斯所有。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。如果软件并不附随有一份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属人性质的、非独家且不可转让的如下许可（无再许可权）（1）在赛普拉斯特软件著作权项下的下列许可权（一）对以源代码形式提供的软件，仅出于在赛普拉斯硬件产品上使用之目的且仅在贵方集团内部修改和复制软件，和（二）仅限于在有关赛普拉斯硬件产品上使用之目的将软件以二进制代码形式的向外部最终用户提供（无论直接提供或通过经销商和分销商间接提供），和（2）在被软件（由赛普拉斯公司提供，且未经修改）侵犯的赛普拉斯专利的权利主张项下，仅出于在赛普拉斯硬件产品上使用之目的制造、使用、提供和进口软件的许可。禁止对软件的任何其他使用、复制、修改、翻译或汇编。

在适用法律允许的限度内，赛普拉斯未对本文件或任何软件作出任何明示或暗示的担保，包括但不限于关于适销性和特定用途的默示保证。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。在适用法律允许的限度内，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。贵方应赔偿赛普拉斯因赛普拉斯产品任何非预期用途产生或相关的所有索赔、费用、损失和其他责任，包括因人身伤害或死亡引起的主张，并使之免受损失。

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 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



1. 简介	5
1.1 摘要	5
1.2 赛普拉斯的 CapSense 文档系统	5
1.3 CY8CMBR2044 CapSense Express™ 器件的功能	7
1.4 文档规范	9
2. CapSense 技术	10
2.1 CapSense 基本原理	10
2.2 电容式感应方法	11
2.3 SmartSense 自动调试	13
3. CapSense 原理图设计	15
3.1 CY8CMBR2044 配置选项	15
3.2 设计工具箱	24
4. 电气和机械设计注意事项	29
4.1 覆盖层选择	29
4.2 ESD 保护	30
4.3 电磁兼容性 (EMC) 的注意事项	30
4.4 PCB 布局指南	31
5. 低功耗设计的注意事项	32
5.1 系统设计建议	32
5.2 计算平均功耗	32
5.3 睡眠模式	35
6. 使用资源	36
6.1 网站	36
6.2 数据手册	36
6.3 设计工具箱	36
6.4 Multi-Chart (多图工具)	36
6.5 设计支持	36
7. 附录	37
7.1 原理图示例	37
缩略语	40
术语表	41

修订记录.....	46
文档修订记录	46

1. 简介



1.1 摘要

本文档介绍了如何执行采用赛普拉斯的 CapSense® Express CY8CMBR2044 器件的电容感应功能。本指南包含以下主题：

- CY8CMBR2044 的功能包括：
- CapSense 的操作原理
- CY8CMBR2044 器件的配置选项
- 使用 CY8CMBR2044 设计工具箱
- CY8CMBR2044 的系统电气和机械设计注意事项
- CY8CMBR2044 的低功耗设计注意事项
- 在系统中设计 CapSense 所使用的附加资源和支持

1.2 赛普拉斯的 CapSense 文档系统

图 1-1 和表 1-1 汇总了 CapSense®文档体系。这些资源有助于用户快速访问需要成功完成 CapSense 产品设计所需的信息。图 1-1 显示了典型的电容式感应产品设计的周期流程；本指南所提供的内容在下表中用绿色标出。表 1-1 中提供的链接用于支持图 1-1 中每个编号任务。

图 1-1. 典型的 CapSense 产品设计流程

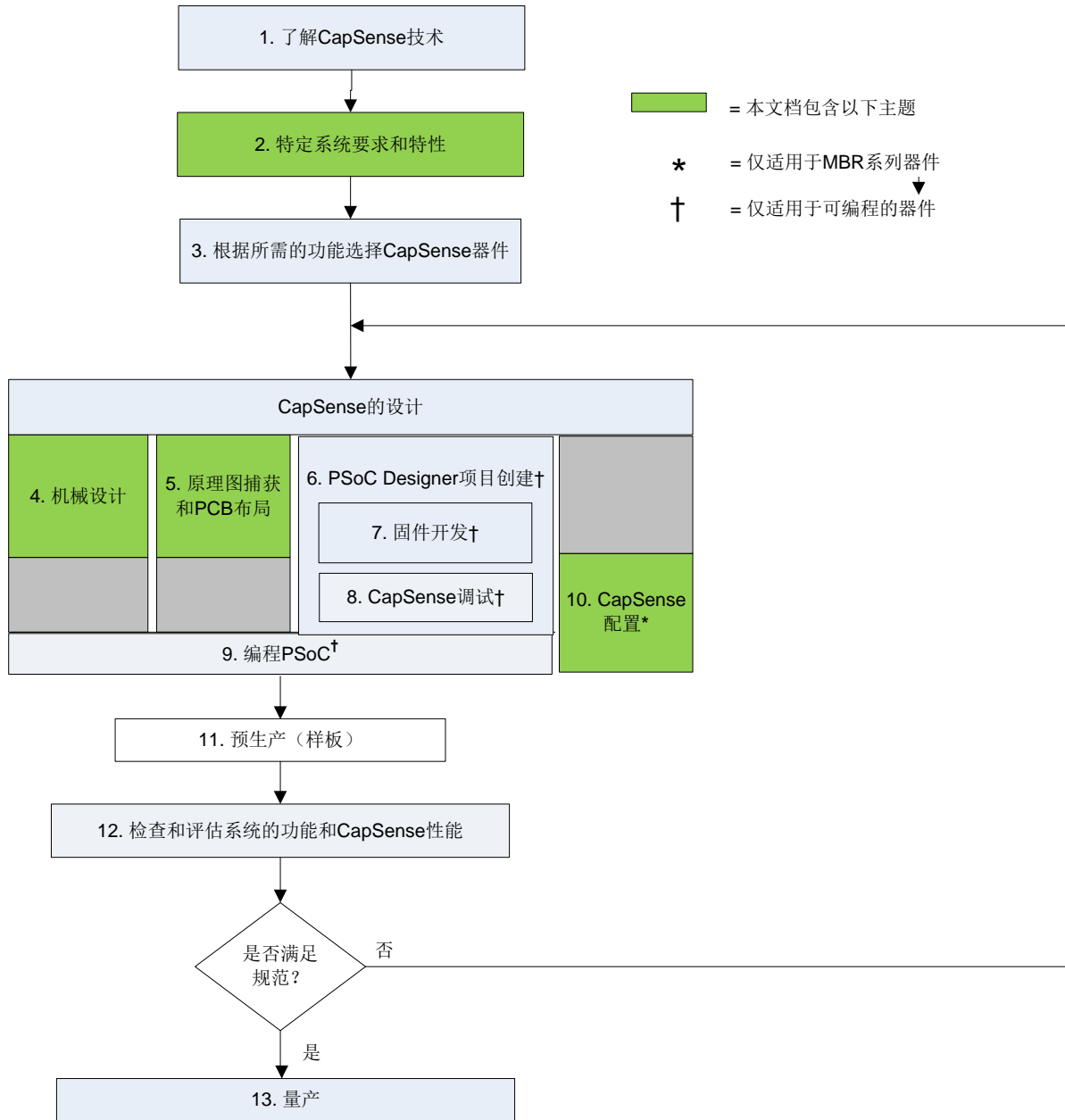


表 1-1.图 1-1 中标注编号的设计任务以及对应的赛普拉斯支持文档

图 1-1 中设计任务编号	赛普拉斯 CapSense®的支持文档
1	Capsense 入门
2	CY8CMBR2044 器件数据手册
3	Capsense 入门
4	本文档
5	本文档
6	不应用于 CY8CMBR2044
7	不应用于 CY8CMBR2044
8	不应用于 CY8CMBR2044
9	不应用于 CY8CMBR2044
10	本文档
11	本文档

1.3 CY8CMBR2044 CapSense Express™ 器件的功能

赛普拉斯的 CY8CMBR2044 是一种超低功耗的器件，可以快速且方便地将 CapSense 电容式触摸感应添加到您的用户界面。该器件使用硬件直接进行系统配置，从而无需软件工具、固件开发和器件编程。该器件的功能如下。更多有关信息，请参考 [CY8CMBR2044 配置选项部分的内容](#)。

- 电容式按键控制器简单易用
 - ☐ 通过硬件短接可以配置四个按键解决方案
 - ☐ 无需软件工具或编程
 - ☐ 四个通用输出（GPO）
 - ☐ GPO 链接到 CapSense 按键
 - ☐ GPO 支持直接 LED 驱动功能
- 强大的降噪性能
 - ☐ 降低外部辐射和噪声的能力得到加强
 - ☐ 低噪声辐射
- SmartSense™ 自动调试
 - ☐ 节省调试器件的时间和精力
 - ☐ CapSense 参数在运行时动态设置
 - ☐ 即使在某个噪声环境中，仍然保持最佳的按键性能
 - ☐ 广泛的寄生电容 C_P 范围（5 pF-40 pF）

- 对 CapSense 按键进行的系统诊断 — 在器件上电时报告错误
 - ☐ 按键短路接地
 - ☐ 按键短路连接 V_{DD}
 - ☐ 按键与按键短接
 - ☐ 调制器电容的错误值 (C_{MOD})
 - ☐ 超出范围的寄生电容 (C_P)
- 高级功能
 - ☐ GPO 的 ON/OFF 切换性能
 - ☐ 侧翼传感器抑制 (FSS) 功能, 能够在间距紧密按键上实现稳定的采样
 - ☐ 按键释放后可配置 LED 处于状态 ON 的时间
 - ☐ 如果触摸时间过长, 则按键会输出复位
 - ☐ 用户控制的按键扫描速率
 - ☐ 串行调试数据输出
 - ☐ 简化生产线测试和系统调试的流程
- 工作电压范围更广
 - ☐ 1.71 V 到 5.5 V — 适用于稳压和非稳压的电池应用
- 低功耗
 - ☐ 运行模式下的供电电流仅为每个按键 15 μA^a
 - ☐ 深度睡眠电流: 100 nA
- 工业级的温度范围: $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - ☐ 16 焊盘四侧无引脚扁平 (QFN) 封装 ($3\text{ mm} \times 3\text{ mm} \times 0.6\text{ mm}$)

^a 在下面条件下计算功耗: 触摸时间为 1.7%, 按键扫描速率为 500 ms 以及每个传感器的 C_P 值小于 19 pF。

1.4 文档规范

规范	使用说明
Courier New 字体	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 PSoC Designer 的用户指南文档中的 sourcefile.hex 文件。
[方括号、粗体]	用于显示程序中的键盘指令： [Enter]或[Ctrl] [C]
File（文件）> Open（打开）	表示菜单路径： File > Open > New Project
粗体字	显示操作过程中的各条指令、菜单路径和图标名称： 请点击 File 图标，然后点击 Open 。
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。

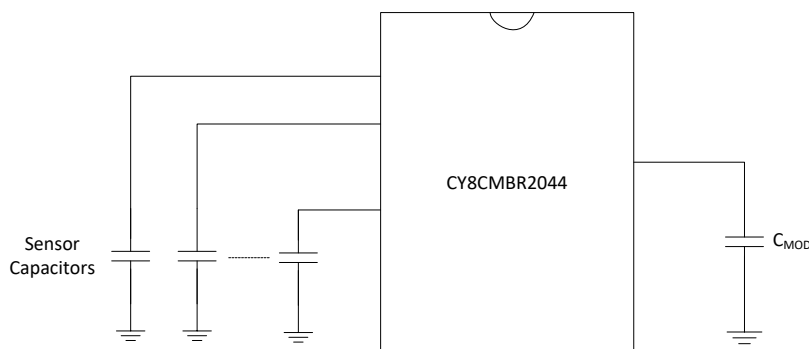
2. CapSense 技术



2.1 CapSense 基本原理

CapSense 是一种触摸式感应技术，其工作方式是在预先指定为传感器的 CapSense 控制器上测量每个输入引脚的电容。如图 2-1 所示，每个传感器引脚的总电容可以模拟为值为 $C_{x,1}$ 到 $C_{x,n}$ 的等效集总电容，这些值是针对 n 个传感器所设计。CY8CMBR2044 器件的内部电路将各个 C_x 值转换为数字代码，然后保存以供后期处理。CapSense 控制器的内部电路中使用了调制电容 (C_{MOD})。电容式感应方式一节中将会更加详细的论述 C_{MOD} 。

图 2-1. CapSense 在 CY8CMBR2010 器件中的实现



根据要求使用走线、过孔或同时使用二者将每个传感器输入引脚连接至传感器板。该传感器板的非导电性覆盖层构成了产品的触摸界面。当手指与覆盖层接触时，人体组织的导电性会产生一个与传感器板并行的接地导电层。如图 2-2 所示。该操作构成一个平行板电容，其容值可通过下面公式计算得到：

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

公式 1

其中：

C_F = 手指与传感器覆盖层接触时所产生的电容值

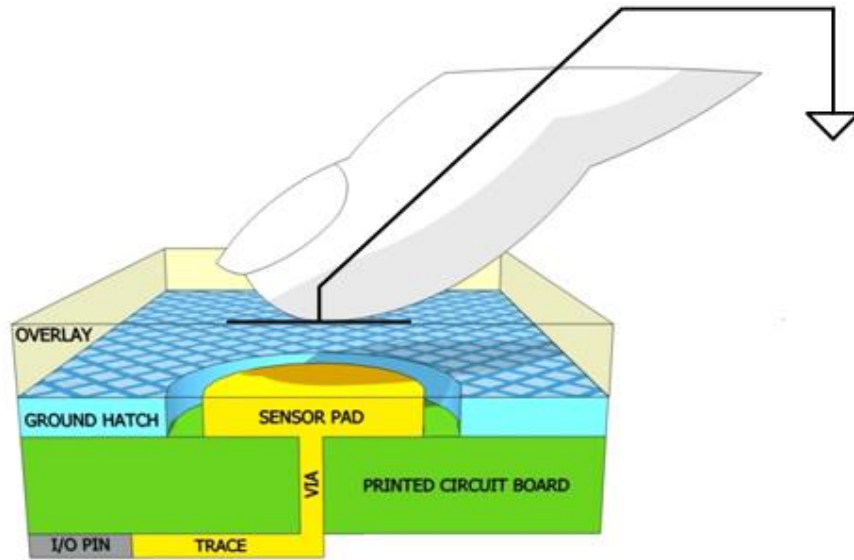
ϵ_0 = 空气介电常数

ϵ_r = 覆盖层的绝缘常数（相对介电常数）

A = 手指与传感器板覆盖层的接触面积

D = 覆盖层的厚度

图 2-2. 典型的 CapSense PCB 与通过手指激活的传感器之间的横截面图



除了平行板电容值，手指与覆盖层的接触也会在其自身与附近其他导体之间产生边缘电场。通常情况下，这些边缘电场很微弱，可以忽略不计。

即使手指未触摸覆盖层，传感器输入引脚也会有一些寄生电容（ C_P ）。 C_P 是由 CapSense 控制器内部寄生电容与耦合电场共同产生的，其中后者是在传感器板、走线和过孔以及系统中的其他导体（如接地层、其他走线、产品机壳或外壳中的任何金属）之间耦合产生的。CapSense 控制器可测量连接至传感器引脚的总电容（ C_X ）。

当手指未接触传感器时，请使用下面公式：

$$C_X = C_P \quad \text{公式 2}$$

当手指在传感器板上时， C_X 等于 C_P 和 C_F 之和：

$$C_X = C_P + C_F \quad \text{公式 3}$$

通常， C_P 比 C_F 大一个数量级。 C_P 的范围通常为 10 pF 到 25 pF，但在极端情况下可达 40 pF。 C_F 的范围通常为 0.1 pF 到 0.4 pF。

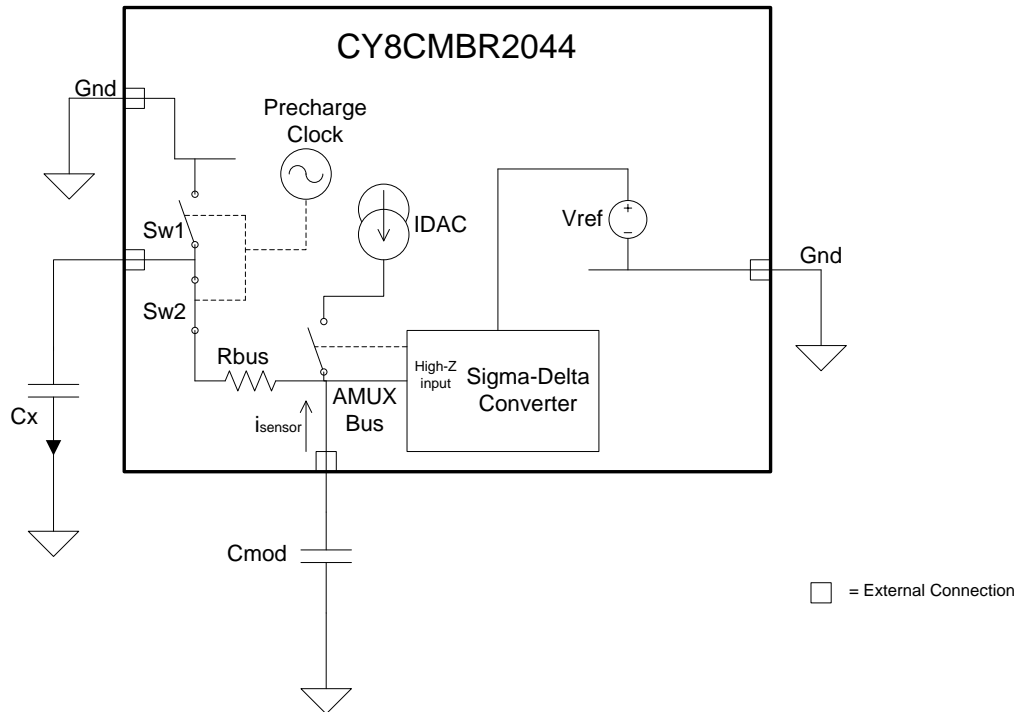
2.2 电容式感应方法

CY8CMBR2044 器件支持使用配有 SmartSense™ Auto-Tuning 的 CapSense Sigma Delta（CSD）将传感器电容（ C_X ）转换为数字值。下面各部分将介绍 CSD 方法。

2.2.1 CapSense Sigma-Delta（CSD）

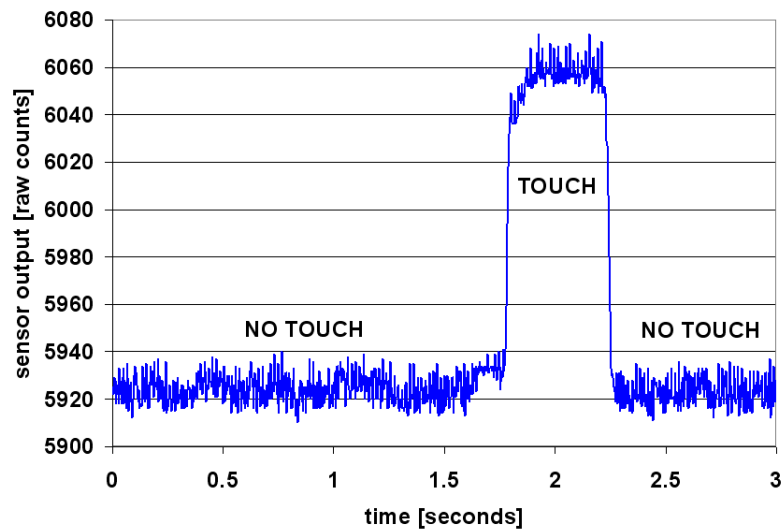
CY8CMBR2044 器件中的 CSD 方法将 C_X 整合至开关电容电路中，如图 2-3 所示。分别通过非重叠开关 Sw1 和 Sw2，选择性地传感器（ C_X ）连接到 GND 和模拟复用器（AMUX）总线上。Sw1 和 Sw2 由预充电时钟驱动，以通过模拟复用器总线泄放电流（ I_{SENSOR} ）。 I_{SENSOR} 的数量级与 C_X 的数量级成正比。Sigma-Delta 转换器采集 AMUX 总线电压样本并生成一个用来控制恒流源（ I_{DAC} ）的调制位流，该恒流源对 AMUX 充电使 AMUX 总线的平均电压便保持为 V_{REF} 。传感器释放调制电容（ C_{MOD} ）中的电荷 I_{SENSOR} 。 C_{MOD} 与 R_{bus} 共同构成一个低通滤波器，该滤波器会减弱 Sigma-Delta 转换器输入端的预充电开关跃变电压。

图 2-3. CSD 框图



为了保持 AMUX 平均电压是一个稳态值 (V_{REF})，Sigma-Delta 转换器通过控制位流占空比的方式保持平均泄漏电流 (I_{DAC}) 与 I_{SENSOR} 相互匹配。Sigma-Delta 转换器在传感器扫描期间存储位流，累积结果为数字输出值（称为原始计数），该值与 C_x 成正比。该原始计数由高级算法进行计算，以便求得传感器的状态。手指触摸然后释放传感器的过程中，得到若干连续扫描结果，由此绘制出 CSD 原始计数，如图 2-4。正如 CapSense 基本原理中的说明，手指触摸使 C_x 增大到 C_F ，反过来原始计数也会成比例增长。通过比较基于稳定状态下原始计数的变化量和预定阈值，高级算法能够确定传感器是在 ON（触摸）还是 OFF（未触摸）状态。

图 2-4. 手指触摸期间的 CSD 原始计数



2.3 SmartSense 自动调试

调试触摸感应用户接口是确保系统正常运行和保持良好用户体验的重要步骤。在典型的设计流程中，会在初始设计阶段时调试按键界面（即在系统集成过程中和在产品量产前）。由于调试是一个重复过程，所以它可能非常耗时。**SmartSense** 自动调试性能用于简化用户界面开发周期。它易于使用，并且在原型和制造阶段通过消除手动调试缩短了设计周期。**SmartSense** 自动调试会在加电时对每个 **CapSense** 按键进行自动调试，然后进行监控和维护运行时最佳按键的性能。该技术适合解决 PCB、覆盖层的制造误差，并且能够自动消除噪声源（如 LCD 反相器、交流电路和切换模式电源）噪声。

2.3.1 过程差异

CY8CMBR2044 器件的 **SmartSense** 自动调试性能适用于 5 pF 至 40 pF 范围内的按键寄生电容（典型按键 C_P 值的范围为 10 pF 至 20 pF）。各个按键的灵敏度参数会根据特定按键的特性自动设置。该参数可以在大批量生产中提高良率，虽然各按键的 C_P 不同（从 5 pF 至 40 pF），但它们均保持了一致的响应。个别按键的寄生电容可能由于 PCB 布局和走线长度、PCB 制造流程各不相同或多源供应链中的不同 PCB 供应商，有所差异。按键的灵敏度取决于其寄生电容； C_P 的值越高，灵敏度就越低，进而导致手指触摸信号振幅降低。在某些情况中， C_P 值的更改会引起误调系统，从而导致不利的按键性能（过敏或不敏）或甚至无效的按键。在上述任一情况下，您都必须重新调试系统；在某些情况下，还需要重新验证用户界面（UI）子系统。**SmartSense** 自动调试可以解决这些问题。

通过 **SmartSense** 自动调试，可以实现平台设计。例如，假设在一个笔记本电脑上设置电容式多媒体触摸感应键，那么两个按键的间距取决于笔记本的尺寸和键盘布局。在该示例中，宽屏机型要比标屏机型的按键间距大许多。两个按键的间距越大，按键与 **CapSense** 控制器间的走线长度也越长。走线越长，反而会使按键的寄生电容越大。因此，在相同平台上设计的不同机型，**CapSense** 按键的寄生电容可能不同。对于所有笔记本机型而言，虽然这些按键的功能都是相同的，但必须针对每种机型进行调试按键。使用所推荐的最佳实践（参见 [CapSense 入门中的 PCB 布局](#)），[SmartSense Auto-Tuning](#) 可以帮助您实现平台化设计。

图 2-5. 21 英寸型号的笔记本多媒体键的设计



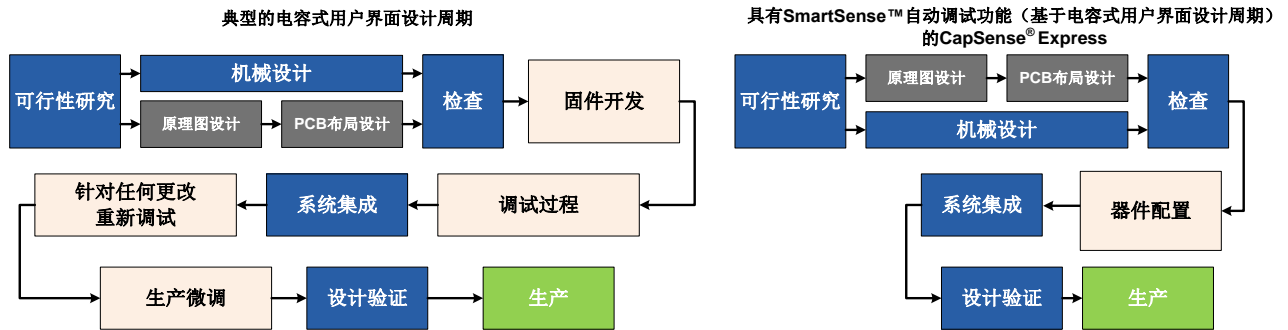
图 2-6. 15 英寸型号的笔记本多媒体键的设计（具有相同功能和按键大小）



2.3.2 缩短了设计周期时间

设计电容式按键界面时，固件开发、布局和按键调整最耗时。一般典型的触摸感应式控制器，当相同的设计界面存在于不同机型时，或者机器的 PCB 尺寸或按键 PCB 布局发生变化时，均须重新调试按键。带有 **SmartSense** 自动调试功能的设计可以解决这些难题，因为它不需要进行固件开发、手动调试或重新调试。另外，**SmartSense™** 自动调试功能还可以缩短典型的设计周期。图 2-7 比较了典型的触摸感应式控制器和基于 **SmartSense™** 自动调试的设计的周期。

图 2-7. 典型电容式界面设计周期的比较



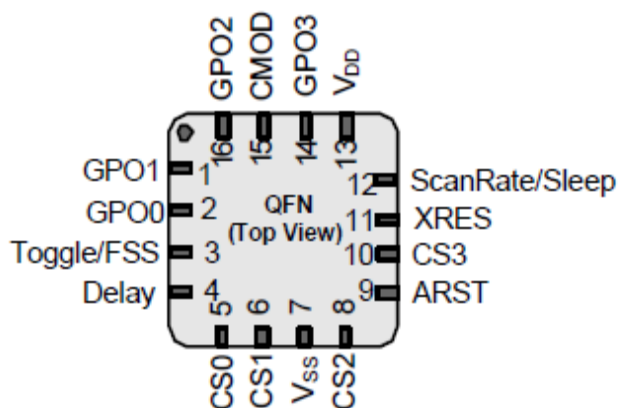
3. CapSense 原理图设计



3.1 CY8CMBR2044 配置选项

通过赛普拉斯的 CY8CMBR2044，可以仅使用硬件来实现电容式触摸感应。该节介绍了 CapSense 控制器引脚的概述以及其配置方式。

图 3-1. CY8CMBR2044 引脚框图



3.1.1 CapSense 按键 (CSx)

CY8CMBR2044 控制器具有四个电容式感应输入 CS0–CS3。每个电容式按键都需要连接到一个电容式感应输入。您必须将所有未使用的 CapSense (CSx) 输入引脚接地。

3.1.2 通用输出 (GPOx)

CY8CMBR2044 控制器具有四个低电平有效输出 GPO0–GPO3。每个输出 GPOx 都由其对应的电容式感应输入 CSx 驱动。您可以使用 GPO 直接驱动 LED 或替换机械开关。GPO 为强驱动^a模式。需要保持所有未使用的 GPO 引脚为悬空状态。

3.1.3 调制器电容 (CMOD)

将一个大小为 2.2 nF ($\pm 10\%$) 的电容连接到该 C_{MOD} 引脚。

^a引脚在强驱动模式时，如果输出为高电平有效时，该引脚会被上拉到 V_{DD} 电压；如果输出为低电平有效时，该引脚被下拉到接地层电压。不能将该输出置于悬空状态。

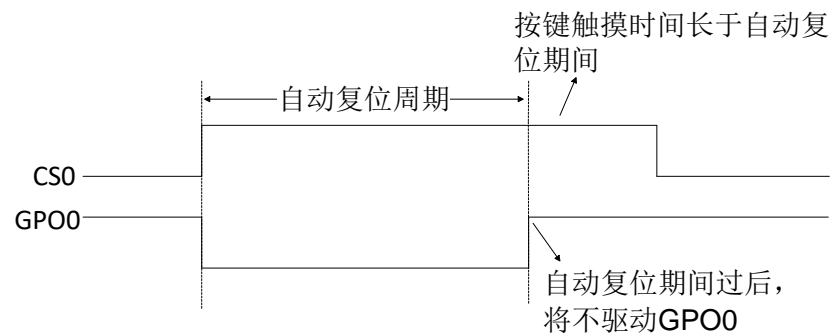
3.1.4 按键自动复位 (ARST)

按键自动复位决定了持续触摸 CSx 时驱动 GPOx 的最大时间。如果有一个金属物体靠近某个按键，该功能可阻止该按键被卡住。可以配置 ARST 时间为 5 秒或 20 秒。表 3-1 中提供了对按键自动复位的定义，并如图 3-2 中所示。

表 3-1. ARST 引脚配置

ARST 引脚连接	按键自动复位周期 (秒)
接地	5
5 k Ω (10%) 电阻接地	20
VDD 或悬空	无限制

图 3-2. 按键自动复位



在 GPOx 由于按键自动复位功能而关闭后以及释放按键后，在下面提供的给定时间 (T) 内，请勿触摸该按键：

- 如果 CSx 输入在经过按键自动复位后 2 秒内被释放，那么 T 等于 220 ms。
- T 等于 220 ms 加上按键扫描速率，如果 CSx 输入在经过按键自动复位时间后的 2 秒之后释放。

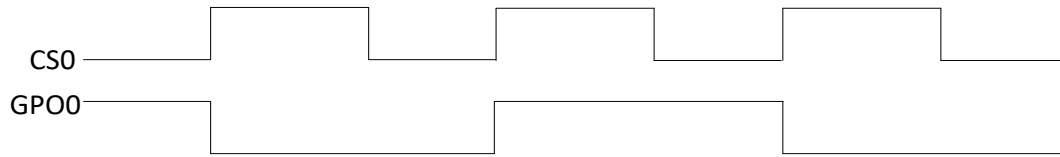
3.1.5 切换 ON/OFF

当启用了切换 ON/OFF 时，GPOx 的状态会在 CSx 的每个上升沿上发生变化。切换 ON/OFF 配置在表 3-2 中定义，并如图 3-3 中所示。

表 3-2. 切换/FSS 引脚配置

切换/FSS 引脚连接	ON/OFF 切换	FSS
接地	禁用	禁用
1.5 k Ω (5%) 电阻接地	使能字段	禁用
5.1 k Ω (5%) 电阻接地	禁用	使能字段
V _{DD}	使能字段	使能字段

图 3-3. 切换 ON/OFF 功能



3.1.6 侧翼传感器抑制 (FSS)

通过一次只允许一个 CSx 处于“触摸”状态，FSS 可帮助您区分各个密集按键。如果手指触摸多个 CSx 按键，则只有第一个感应到“触摸”操作的按键被打开。

FSS 也适用于产生相反效果的按键 — 例如：界面上具有两个亮度控制反向 (UP 或 DOWN) 的按键。

FSS 配置在表 3-2 中定义，并在图 3-4 和图 3-5 中显示。

图 3-4. FSS 实现，单按键触摸

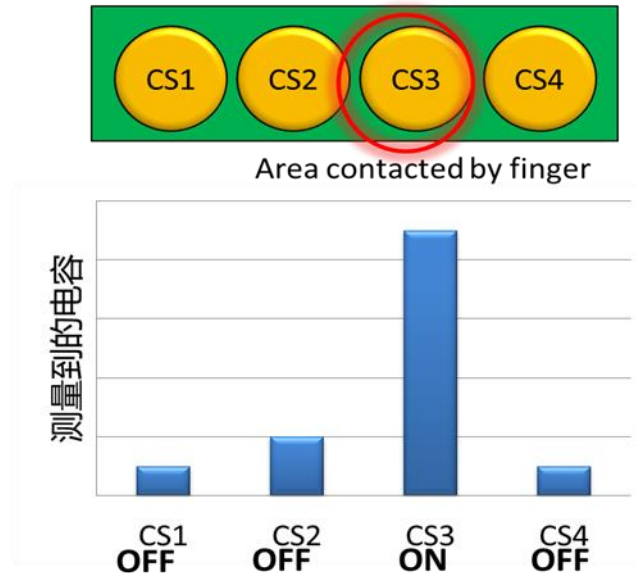
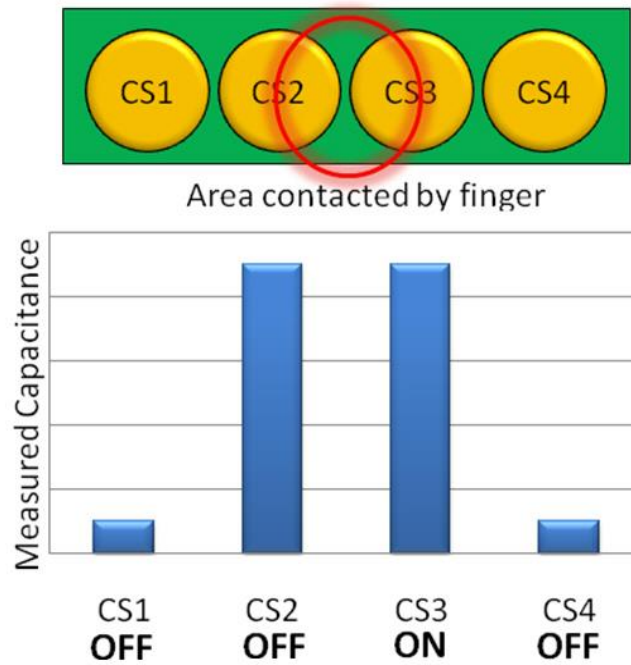


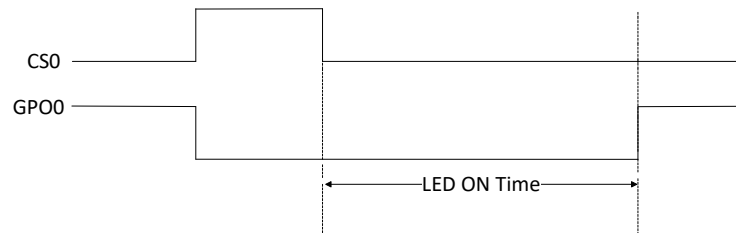
图 3-5. FSS 实现，多个按键触摸



3.1.7 LED 点亮保持时间

LED 点亮保持时间指的是释放 CSx 后 GPOx 被拉低的一段时间。LED 点亮保持时间的范围为 0 ms 至 2000 ms。

图 3-6. LED 点亮的时序



通过延迟引脚，可以配置 LED 点亮保持时间（D）。连接到该延迟引脚的电阻值不同时，LED 点亮保持时间会不一样。该电阻（R_{DELAY}）值可通过公式 4 计算得到。

$$R_{DELAY} = (D \times 4) + 40 \Omega$$

公式 4

其中：

D 为 20 ms 的倍数

表 3-3 提供了延迟引脚配置的某些示例值以及相应的 LED 点亮保持时间。R_{DELAY} 电阻容差应小于 1%。

表 3-3. LED 点亮保持时间的 R_{DELAY} 值

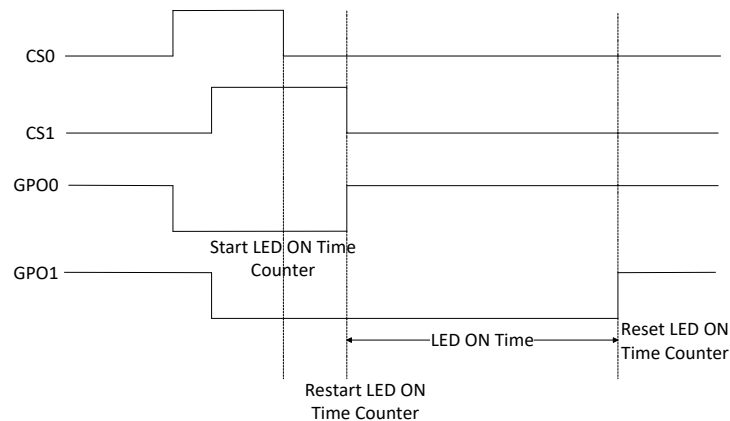
R_{DELAY} (Ω)	近似 LED 点亮保持时间 (ms)
接地	0
120	20
200	40
280	60
...	...
7960	1980
8040	2000
> 8040	2000
拉到 V_{DD}	2000
悬空	2000

将 R_{DELAY} 置于延迟引脚与接地层之间。LED 点亮保持时间因器件而异。室温条件下，精度为 $\pm 12\%$ ， $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度范围下，精度为 $\pm 18\%$ 。

如果为 CSx 触发了一个**按键自动复位**，则 LED 点亮保持时间不能应用于 $GPOx$ 。如果**切换 ON/OFF** 被启用，那么 LED 点亮保持时间功能被禁止。

LED 点亮保持时间在一定时期内仅用于一个 $GPOx$ ，意思是说每次有 CSx 处于“无触摸”（NO TOUCH）状态时，LED 点亮保持时间的计数器都被复位。图 3-7 显示的是 LED 保持点亮时间的功能是如何实现的：CS1 复位 LED 点亮保持时间计数器，从而使 $GPO0$ 提前关闭。

图 3-7. 多个按键的 LED 点亮保持的时序图



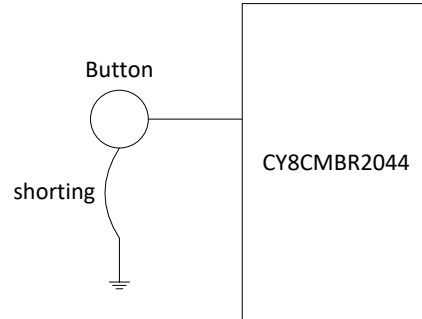
3.1.8 系统诊断

内置的“加电自检”（POST）机制在加电复位（POR）时执行几个测试。该机制在生产测试中十分有用。如果有任何按键测试失败，则上电复位后在 175 ms 的时间内将在相应的 GPO 上发送 5 ms 的脉冲。需要对所有按键执行下列测试：

3.1.8.1 按键短路接地

所有短路接地的按键都会被禁用。

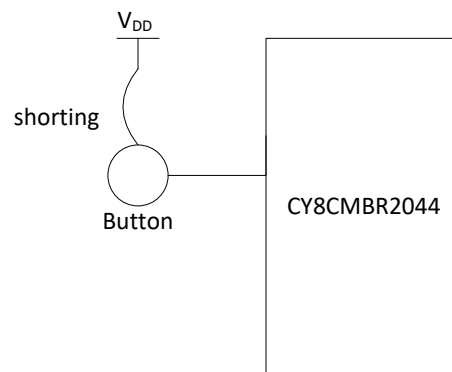
图 3-8. 按键短路接地



3.1.8.2 按键短路连接 V_{DD}

所有短路连接 V_{DD} 的按键都会被禁用。

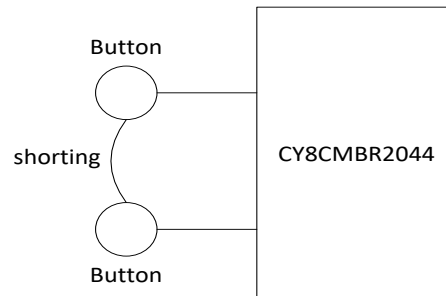
图 3-9. 按键短路连接 V_{DD}



3.1.8.3 按键与按键短接

如果有两个或更多的按键被相互短路连接，则这些按键都被禁用。

图 3-10. 按键与按键短路



3.1.8.4 C_{MOD} 的错误值

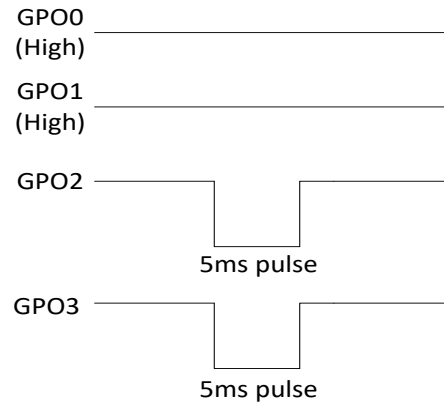
建议 C_{MOD} 的值为 $2.2 \text{ nF} \pm 10\%$ 。

如果发现 C_{MOD} 的值小于 1 nF 或大于 4 nF ，那么所有按键都被禁用。

3.1.8.5 按键 $C_P > 40 \text{ pF}$

如果发现任何按键的寄生电容 (C_P) 大于 40 pF ，则禁用该按键。

图 3-11. 示例显示 CS，CS1 通过 POST；CS2，CS3 失败



3.1.9 扫描速率/睡眠

使用该引脚可设置 CY8CMBR2044 的按键扫描速率和睡眠模式操作。该引脚不能处于悬空状态。

3.1.9.1 按键扫描速率

按键扫描速率指定了器件进行连续按键扫描的时间间隔。CY8CMBR2044 的按键扫描速率是由一个外部电阻确定。您可以使用 [Cp（功耗和响应时间计算器）](#) 或表 3-4 来确定扫描速率电阻值。该按键扫描速率可配置为 20 ms 至 531 ms 。

表 3-4. 按键扫描速率的电阻值选择

Resistor R (1%) in ohms	Approximate ScanRate (in ms)	Resistor R (1%) in ohms	Approximate ScanRate (in ms)
60	20	4060	209
185	22	4185	217
310	24	4310	226
435	27	4435	235
560	30	4560	244
685	34	4685	253
810	38	4810	263
935	42	4935	272
1060	46	5060	282
1185	51	5185	291
1310	55	5310	301
1435	61	5435	311
1560	66	5560	321
1685	71	5685	331
1810	77	5810	341
1935	83	5935	352
2060	89	6060	362
2185	96	6185	373
2310	102	6310	383
2435	107	6435	394
2560	115	6560	405
2685	122	6685	416
2810	129	6810	427
2935	137	6935	438
3060	144	7060	449
3185	152	7185	461
3310	159	7310	472
3435	167	7435	484
3560	175	7560	495
3685	183	7685	507
3810	192	7810	519
3935	200	7935	531

按键扫描速率因器件而异。室温条件下，精度为 $\pm 12\%$ ， -40°C 至 $+85^\circ\text{C}$ 的温度范围下，精度为 $\pm 18\%$ 。

3.1.9.2 睡眠模式

可以通过两种方式进行配置：

1. 将按键扫描速率电阻接地。这样会启用低功耗睡眠模式
2. 将该按键扫描速率电阻连接到一个外部主设备（主机处理器），并将主机引脚配置为高电平有效（V_{DD}）。这样会启用睡眠模式。

更多详细信息，请参考[睡眠模式](#)部分的内容。

3.1.10 串行调试数据输出

串行调试数据可报告固件版本、CapSense 状态、GPO 状态、原始计数、基准线、差值计数和所有按键的寄生电容。当启用了串行调试数据时，会在单个 CSx 引脚上输出该信息。若要启用串行数据输出，请使用容差为 5% 的 5.6 kΩ 电阻下拉要用于提供串行数据的 CSx 引脚。如果下拉多个 CSx 引脚，则只会在一个 CSx 引脚上发送出调试数据。优先顺序为：

CS0 > CS1 > CS2 > CS3

赛普拉斯 [Multi-Chart 工具](#) 可以用于查看数据。器件按照表 3-5 所描述的顺序发送串行调试数据。MultiChart 工具按照表 3-6 中所示的格式排列数据。

串行数据使用 ~115,200 波特率进行发送。

对于使用四个以下的 CapSense 按键的设计，应为串行调试数据选择未使用的 CS 引脚。

对于使用所有四个 CapSense 按键的设计，将两个 CSx 引脚用于串行调试数据。例如，使用 5.6 kΩ 电阻下拉 CS0，并读取 CS1、CS2 和 CS3 的数据。接下来，使用 5.6 kΩ 电阻下拉 CS1，并读取 CS0、CS2 和 CS3 的数据。

表 3-5. 由 CY8CMBR2044 发送的串行数据输出

字节	数据	注释
0	0x0D	Multi-Chart（多图）工具的虚拟数据
1	0x0A	
2	0x00	—
3	FW_Revision	固件版本
4	0x00	—
5	CS0_Cp	十六进制格式的 CS0 寄生电容值（pF）
6	CS0_RawCount_MSB	16 位无符号整数
7	CS0_RawCount_LSB	
8	CS1_RawCount_MSB	16 位无符号整数
9	CS1_RawCount_LSB	
10	CS2_RawCount_MSB	16 位无符号整数
11	CS2_RawCount_LSB	
12	CS3_RawCount_MSB	16 位无符号整数
13	CS3_RawCount_LSB	
14	CS_Status	提供 CapSense 按键的状态，最低有效位（LSB）包含了 CS0 状态
15	GPO_Status	提供 GPO 的状态，LSB 包含了 GPO0 状态
16	0x00	—
17	CS1_Cp	十六进制格式的 CS1 寄生电容值（pF）
18	CS0_Baseline_MSB	16 位无符号整数

字节	数据	注释
19	CS0_Baseline_LSB	16 位无符号整数
20	CS1_Baseline_MSB	
21	CS1_Baseline_LSB	16 位无符号整数
22	CS2_Baseline_MSB	
23	CS2_Baseline_LSB	16 位无符号整数
24	CS3_Baseline_MSB	
25	CS3_Baseline_LSB	16 位无符号整数
26	0x00	
27	CS2_Cp	十六进制格式的 CS2 寄生电容值 (pF)
28	0x00	–
29	CS3_cp	十六进制格式的 CS3 寄生电容值 (pF)
30	CS0_DiffCount_MSB	16 位无符号整数
31	CS0_DiffCount_LSB	
32	CS1_DiffCount_MSB	16 位无符号整数
33	CS1_DiffCount_LSB	
34	CS2_DiffCount_MSB	16 位无符号整数
35	CS2_DiffCount_LSB	
36	CS3_DiffCount_MSB	16 位无符号整数
37	CS3_DiffCount_LSB	
38	0x00	MultiChart (多图工具) 的虚拟数据
39	0xFF	
40	0xFF	

表 3-6. MultiChart (多图工具) 中的串行调试数据

#	原始计数数组		基准线数组		信号数组	
	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB
0	0x00	FW_Revision	CS_Status	GPO_Status	0x00	CS2_Cp
1	0x00	CS0_Cp	0x00	CS1_Cp	0x00	CS3_Cp
2	CS0_RawCount		CS0_Baseline		CS0_DiffCount	
3	CS1_RawCount		CS1_Baseline		CS1_DiffCount	
4	CS2_RawCount		CS2_Baseline		CS2_DiffCount	
5	CS3_RawCount		CS3_Baseline		CS3_DiffCount	

3.2 设计工具箱

通过该设计工具箱，可以设计一个 CY8CMBR2044 CapSense 解决方案。它提供了有关电路板布局和功能设置的基本信息，并对设计是否适合批量生产提出了建议。

3.2.1 通用布局指南

下表总结了 CY8CMBR2044 的布局指南。这些指南在电气和机械设计注意事项一节中进行了说明。有关该材料的详情，请参考 CapSense 入门手册中第 3.7 节的内容。

图 3-12. 设计布局建议

Sl. No.	Category	Min	Max	Recommendations/Remarks
1.	Button Shape			Solid round pattern, Round with LED hole, rectangle with round corners
2.	Button Size	5mm	15mm	Given in Layout Estimator sheet
3.	Button-Button spacing	equal to button ground clearance		8 mm
4.	Button Ground Clearance	0.5mm	2mm	Given in Layout Estimator sheet
5.	Ground Flood - Top layer			Hatched ground 7 mil trace and 45 mil grid (15% filling)
6.	Ground Flood - Bottom layer			Hatched ground 7 mil trace and 70 mil grid (10% filling)
7.	Trace Length from Sensor pad to device pin		450	Given in Layout Estimator sheet
8.	Trace Width	0.17 mm	0.20 mm	0.17 mm (7 mil)
9.	Trace Routing			Traces should be routed on the non sensor side. If any non CapSense trace crosses CapSense trace, ensure that intersection is orthogonal.
10.	Via Position for the sensors			Via should be placed near the edge of the button to reduce trace length thereby increasing sensitivity.
11.	Via Hole Size for sensor traces			10 mil
12.	No. of via on sensor trace	1	2	1
13.	CapSense series resistor placement		10mm	Place CapSense series resistors close to the device for noise suppression .CapSense resistors have highest priority compared to LED resisors place them first.
14.	Distance between any CapSense trace to Ground Flood	10 mil	20 mil	20 mil
15.	Device placement			Mount the Device on the layer opposite to sensor. The CapSense trace length between the Device and sensors should be minimum (see trace length above)
16.	Placement of Components in two layer PCB			Top layer-Sensors and bottom layer-device, other components and traces.
17.	Placement of Components in four layer PCB			Top layer-Sensors, 2 nd Layer – CapSense traces & Vdd and avoid the Vdd traces below the sensors, 3 rd Layer-hatched ground, Bottom layer- device other components and non CapSense traces
18.	Overlay Thickness	0 mm	5mm	Use layout Estimator sheet to decide on overlay, given maximum limit is for plastic overlay.
19.	Overlay material			Should be non-conductive material. Glass, ABS Plastic, Formica, wood etc. No air gap should be there between PCB and overlay. Use adhesive to stick the PCB and overlay.
20.	Overlay Adhesives			Adhesive should be non conductive and dielectrically homogenous. 467MP and 468MP adhesives made by 3M are recommended.
21.	LED Back Lighting			Cut a hole in the sensor pad and use rear mountable LEDs.
22.	Board Thickness			Standard board thickness for CapSense FR4 based designs is 1.6 mm.

布局估计表根据预期终端系统的要求和工业设计提供了最小的按键尺寸和最大的走线长度。输入包括了覆盖层材料、覆盖层厚度以及电路板材料的走线电容。请参考图 3-13 中的表 B，了解不同覆盖层材料的介电常数以及不同 PCB 上每单位长度走线的电容。表 A 根据系统噪声的三个相关范围来计算设计的最小按键直径和最大走线长度。“低噪声”、“中噪声”和“高噪声”条件是有助于进行按键开发的相对质量指标。根据终端系统的环境，噪声条件会因按键而异。如果噪声条件未知，请使用中等噪声条件作为起点。每个按键上观察到的实际噪声会在设计验证一节介绍的设计验证步骤中确定。

图 3-13. 布局估计

输入:

- 覆盖层厚度
- 覆盖层介电常数
- 电路板每英寸走线的电容

输出:

- 不同噪声条件下所建议的最小按键直径和最大走线长度
- 按键离地间隙

注意：根据不同的按键噪声，每个按键的设计直径也不一样。

3.2.3 C_P、功耗以及响应时间计算表

设计完电路板布局后，在构建该按键板协议前，需要使用该计算表来检查设计。要验证每个按键的 C_P 值，请在表 A 中输入按键的直径以及走线长度。然后，工具箱会确认各个按键的 C_P 值是否都在指定的范围内（5 pF 至 40 pF）。表 B 中的功耗计算用于优化功耗。功耗是该按键扫描速率的函数，它是通过扫描速率/睡眠引脚上的电阻值确定。请参考第 3.4 节《扫描速率》和表 3-4 的内容。表 C 基于表 A 和表 B 中的输入来输出按键响应时间。

图 3-14. C_P、功耗以及响应时间计算表

Table A: Cp Calculator

Sensor	Button diameter	Trace length	Parasitic capacitance (Cp) of sensors (Approx)	Comments
CS0	mm	mm	0 pF	
CS1	mm	mm	0 pF	
CS2	mm	mm	0 pF	
CS3	mm	mm	0 pF	
Total No of buttons	0 Nos			

Table B: Power calculator

Select Button Scan Rate resistor value	60 ohms
Approximate Button Scan Rate value	20 ms
% of time finger is on the sensors	3 %
Max Sleep Current	0.0015 mA
Max Active Current	4 mA
Average Current without Finger	0 mA
Average Current with Finger	0 mA
Actual average current consumption	0 mA
Actual average current consumption per button	0 mA

Table C: Response time calculator

First button press	40 ms
consecutive button press	80 ms

	input cells, edit with actuals
	output cells, based on inputs

Note: The power values given here are worse case, the actual power values will be lower.

输入:

- CS0 到 CS3 输入的按键直径和走线长度，如布局中的设计情况
- 按键扫描速率电阻器的值
- 指的是手指接触按键的时间百分比。

输出:

- 每个传感器的寄生电容（C_P）。确认 C_P 值是否处于 5 pF 至 40 pF 的指定范围内
- 每个按键的功耗
- 按键的响应时间

在构建和测试了原型电路板之后，可以按照第 3.1.10 节串行调试数据输出中的详细介绍来确定每个按键的实际寄生电容（C_P）和噪声条件（噪声计数）。您可以使用该信息和设计验证表来验证设计，如 3.2.4 设计验证 部分中的介绍。

3.2.4 设计验证

在对按键板进行了原型设计和测试之后，使用串行调试数据输出测试模式（第 3.1.10 节《串行调试数据输出》）可捕获所有按键的原始计数、基准线、差值计数和寄生电容。要想将该信息键入到设计验证表中的表 C 内，请按照下面步骤进行操作：

1. 通过将任意 CSx 引脚上的 5.6 kΩ 电阻接地，可以使能串行调试数据输出功能。
2. 给器件上电并通过一个 COM/RS232 端口将 CSx 引脚连至电脑。
3. 按照下面步骤打开多图工具并进行配置：
 - a. 选择端口 — <指定端口编号>
 - b. 端口速度 — 115200
 - c. 可见点 — 1000
 - d. 日志文件名称 — “C:\MultiChart log\CY8CMBR2044.csv”

更多有关多图工具的信息，请参考 [AN2397 — CapSense 数据查看工具](#)

4. 点击 “Enable/disable log-file”。它会自动将数据存储到日志文件内。最少要记录 300 个采样数据。
5. 再次点击 “Enable/disable log-file”，将会停止记录数据。
6. 只需打开日志文件一次，以后该工具箱会自动更新相应的数据。

表 A 显示的是从上表中提取的不同设计参数值，因此您不需要向该表中输入任何数据。该表显示了原型电路板的通过/失败评级。如果您的设计失败，您可以通过向表 A 输入新的数值来修改系统，并且将提供建议/结果。如果您的设计得到通过，使表 A 中的 “New value”（新值）列为空。

图 3-15 设计验证

Table A: Actual Design Values

Input Parameters	Initial value	New value	Units
Overlay Thickness (in mm)	5		mm
Dielectric constant, overlay	8		farad/m
Capacitance of trace per inch in pF	2		pF
Button Scan Rate Resistor	60		ohms
Button Scan Rate Value	20		ms
No of buttons	0	0	Nos
% of time finger is on the sensors	3		%
CS0 Button diameter actual			mm
CS1 Button diameter actual			mm
CS2 Button diameter actual			mm
CS3 Button diameter actual			mm

Table B: Reference values

Overlay Material	Dielectric constant
Plastic	2.8
Plexi glass	8
Formica	4.6-4.9
Glass (Standard)	7.6-8.0
Glass (Ceramic)	6
Mylar	3.2
ABS Plastic	3.8-4.5
Wood	1.2-2.5
Trace and board type	Capacitance per inch in pF
copper trace , PCB, 2 layer, 64mil,FR4	2
copper trace , flex, 2 layer	8

TableC: Power, Button diameter actuals

Sensor	Values taken from Debug Data out			Average Current	Improvement Recommendations	
	Noise	Cp	Raw Count		Minimum Button diameter	Maximum Trace Length
CS0	0 counts	0 pF	0 counts	0 mA	0 mm	0 mm
CS1	0 counts	0 pF	0 counts	0 mA	0 mm	0 mm
CS2	0 counts	0 pF	0 counts	0 mA	0 mm	0 mm
CS2	0 counts	0 pF	0 counts	0 mA	0 mm	0 mm

Actual average current consumption

input cells, edit with actuals
output cells, based on inputs

For Table A: The Initial values of "Input Parameters" are the ones you have entered in the previous sheets. If your design passes, leave the "New value" column blank. If your design fails, enter the New values for the corresponding parameter to re-configure your design.

Note

While logging debug data for this sheet, make sure there is no finger present on the sensors for the log duration

输入：

- 如果设计通过 — 无
- 如果设计失败 —
 - ☐ 每个按键新的覆盖层厚度、覆盖层材料介电常数和按键直径，以及走线电容
 - ☐ 设计中使用的按键扫描速率电阻值。

- ☐ 手指接触按键的时间百分比

输出:

- 每个按键的功耗
- 设计更改建议。如果按键大小或走线长度超出最佳设计的范围，则设计工具箱基于设计的实际值提供建议。

如果按键板未通过，则[设计工具箱](#)会提供建议。可以更改四个方面以更正失败的设计：按键大小、走线长度、覆盖层材料和覆盖层厚度。更改按键大小或走线长度需要 **c** 重做电路板，而更改覆盖层材料或厚度（或两者）可能会更快地实现可通过的设计。最佳解决方案取决于项目在开发过程中所处的阶段和终端系统要求。设计工具箱会指导您实现可通过的结果。

4. 电气和机械设计注意事项



当设计电容式触摸感应技术的应用时，很重要的一点就是须将 **CapSense** 元件置入较大的框架之中。要认真考虑到所有的细节，包括 **PCB** 布局、用户界面以及最终用户的工作环境，以实现强劲可靠的系统性能。更多详细信息，请参见 [CapSense 入门手册](#) 中的内容。

4.1 覆盖层选择

在 **CapSense** 部分的内容中，公式 1 被用于计算手指电容

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

其中：

ϵ_0 = 空气介电常数

ϵ_r = 覆盖层的介电常数

A = 手指与传感器板覆盖层的接触面积

D = 覆盖层的厚度

想提高 **CapSense** 的信号强度，请选择介电常数较高的覆盖层材料，降低覆盖层的厚度，并增加按键的直径。设计工具箱有助于设计一个稳定可靠的 **CY8CMBR2044** 解决方案，如 [CapSense 原理图设计](#) 章节中所介绍的情况。

表 4-1. 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
硼硅酸盐玻璃 (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

由于导电材料会干扰电场图形，因此不能将它用作覆盖层。因此，请勿使用含有金属颗粒的油漆。

4.1.1 将覆盖层粘接至 PCB

因为空气的介电常数很低，覆盖层和按键之间的间隙会降低按键的性能。为了消除间隙，请使用不导电的粘合剂将覆盖层粘贴到 **CapSense** PCB 上。**3M™** 有一种产品号为 200 MP 的透明丙烯酸粘合膜，可用于 **CapSense** 应用。这种特殊的粘合膜是从纸背的胶带卷上抽取 (**3M™** 产品号为 467 MP 和 468 MP) 的。

4.2 ESD 保护

考虑周到的系统设计会天然具有强大的抗 ESD 能力。考虑到终端产品的接触放电情况，特别是用户界面上的接触放电，18 kV 的放电事件不会对 CapSense 控制器造成任何损坏。

CapSense 控制器引脚 ESD 承受电压能力是 12 kV。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 4-1 列出了保护 CapSense 传感器避免 12 kV 放电所需的不同覆盖层材料的厚度，符合 IEC 61000-4-2 标准。如果覆盖层材料未提供充分的 ESD 保护，则按照以下的顺序采取防静电措施：预防、重定向和钳制。

4.2.1 预防

确保触摸表面上的所有路径的击穿电压都大于潜在的高电压触点。此外，设计系统时，使 CapSense 控制器和可能的 ESD 源之间保持合适的距离。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电压击穿的材料作为保护层。厚度为 5 mil 的一层 Kapton® 胶带可承受 18 kV 电压。

4.2.2 重定向

如果您的产品空间密集，则可能无法防止放电事件。这时，您可以通过控制放电发生的位置来保护 CapSense 控制器。在连接到底盘接地的电路板周界上放置一个保护环。按照 PCB 布局指南中的建议，在按键周围提供网格接地层可重新定向 ESD 事件，使其远离按键和 CapSense 控制器。

4.2.3 钳制

由于故意将 CapSense 传感器放置在靠近触摸表面的位置，所以重定向放电路径的可行性比较小。在这种情况下，要考虑添加串联电阻或专用的 ESD 保护器件。

建议系列电容值为 560 Ω。

更有效的方法是在易受影响的走线上提供专用的 ESD 保护器件。请注意：用于 CapSense 的 ESD 保护器件必须是低电容的。表 4-2 列出了可用于 CapSense 控制器的推荐组件。

表 4-2. 建议用于 CapSense 的低电容 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				
Littlefuse	SP723	5 pF	2 nA	8 kV	15 kV
Vishay	VBUS05L1-DD1	0.3 pF	0.1 μA <	±15 kV	±16 kV
NXP	NUP1301	0.75 pF	30 nA	8 kV	15 kV

4.3 电磁兼容性（EMC）的注意事项

4.3.1 辐射干扰

辐射电能可以影响系统测量并可能会影响处理器内核的运行。这种干预可能会通过 CapSense 按键的走线和任何其他数字或模拟输入进入 CY8CMBR2044 芯片的 PCB 层。最大限度减小射频干扰作用的布局指南如下：

- **接地层：**在 PCB 上提供一个接地层。
- **串联电阻：**在 CapSense 控制器引脚的 10 mm 的空间内安装一个串联电阻
 - 建议 CapSense 输入线的串联电阻值为 560 Ω。
- **走线长度：**需要尽量缩短走线长度。
- **电流环路区域：**尽量减少电流的返回路径。为减小寄生电容的影响，要在按键和走线的 1 cm 空间内提供网格接地，而不是用实体填充。

- 射频源位置：隔离带有噪声源（如 LCD 反相器和开关电源（SMPS））的系统，以使干扰与 CapSense 输入分隔。屏蔽电源是另一种防止干扰的常见方法。

4.3.2 抗传导干扰和辐射

通过与其他系统的互连而进入系统的噪声被称为传导噪声。这些互连包括电源和通信线。由于 CapSense 控制器是低功耗器件，因此您必须避免传导辐射。下列各项指南有助于降低传导辐射和干扰：

- 使用耦合电容。
- 在系统电源上的输入上添加双向滤波器。这样对于传导辐射和干扰都很有效。通过使用“Pi”滤波器，可以防止电源噪声影响敏感器件，同时可以防止器件的开关噪声被反耦合到电源层内。
- 如果 CapSense 控制器 PCB 通过线缆被连接到电源，请尽量减小线缆的长度并考虑使用屏蔽线缆。
- 要想过滤掉高频噪声，请在电源或通信线周围放置一个铁氧体磁珠。

4.4 PCB 布局指南

设计工具箱将帮助您设计出一个强大可靠的 CY8CMBR2044 CapSense PCB 布局，如第 3.2 节所讨论。

如果您的设计使用 GPO 将电流输入到 CapSense 控制器，并且在 CapSense 系统中存在大量噪声，那么在所有 GPO 上使用的串联电阻用于限制灌电流。在您的设计中，工作电压为 5 V 时，灌电流限制取决于最大的按键 C_P ，如表 4-3 所示。

表 4-3. GPO 低输出电压灌电流限制

按键 C_P 的有效取值范围	每个 GPO 的灌电流限制	每个器件的灌电流限制
$5 \text{ pF} \leq C_P \leq 12 \text{ pF}$	25 mA	120 mA
$12 \text{ pF} \leq C_P \leq 21 \text{ pF}$	20 mA	20 mA
$21 \text{ pF} \leq C_P \leq 40 \text{ pF}$	6 mA	6 mA

CapSense 入门手册中的 3.7 节提供了详细的 PCB 布局指南。

5. 低功耗设计的注意事项



5.1 系统设计建议

赛普拉斯 CY8CMBR2044 的设计可以满足电池供电应用的低功耗要求。

为了最大限度减少功耗，请按照下面步骤操作：

- 将所有未使用的 CapSense 输入接地
- 按照 [CapSense 入门手册](#) 中 3.7.1 节的设计指南最小化 C_P。
- 降低供电电压
- 使用更高的按键扫描速率或深度睡眠操作模式，请参考按键扫描速率一节中的内容。

5.2 计算平均功耗

[设计工具箱](#)（包含各种选项的工具）自动计算本节中所描述的功耗。通过计算下面各参数可以确定 CY8CBMR2044 的平均功耗：

1. 按键扫描速率，T_R
2. 扫描时间，T_S
3. “NO TOUCH”（无触摸）状态下的平均电流，I_{AVE_NT}
4. “TOUCH”（接触）状态下的平均电流，I_{AVE_T}
5. 平均独立电流，I_{AVE_SA}
6. 平均电流，I_{AVE}
7. 平均功耗，P_{AVE}

5.2.1 按键扫描速率（T_R）

通过连接到 CY8CMBR2044 扫描速率/睡眠引脚的外部电阻，可以控制该按键扫描速率。可通过以下公式计算出接近扫描速率：

$$T_R = 20 \text{ ms} + \sqrt{\frac{R+60}{125}} \quad \text{公式 5}$$

其中：

R = 外部电阻的值（以欧姆为单位）。

请参考[表 3-4](#)，查找合适的电阻值。

5.2.1.1 响应时间（T_{RES}）

选择扫描速率意味着平衡应用的响应时间和功耗要求。

响应时间（T_{RES}）是在 CSx 感应“触摸”状态之后，CY8CMBR2044 在 GPOx 上生成有效信号所花的时间量。CY8CMBR2044 器件具有两个不同的响应时间。第一个是在器件从低功耗模式唤醒时进行响应所花的时间。

$$T_{RES} = T_R + 20 \text{ ms}$$

公式 6

其中：

T_R = 扫描速率

第二个是在唤醒之后 80 ms 内响应任意后续“触摸”所花的时间。

5.2.2 扫描时间 (T_S)

可以使用以下方法计算接近扫描时间：

$$T_S = [0.375 \text{ ms} \times (K_{CS0} + K_{CS1} + K_{CS2} + K_{CS3})] + T_{FW}$$

公式 7

其中：

K_{CSx} = CSx 的按键灵敏常数，如表 5-1 所示。

T_{FW} = 固件执行时间，如表 5-2 所示。

表 5-1. 按键灵敏度常量

C_P (pF)	按键灵敏度常量 (K)
按键接地	0
$5 \text{ pF} \leq C_P \leq 10 \text{ pF}$	1
$10 \text{ pF} < C_P \leq 22 \text{ pF}$	2
$23 \text{ pF} < C_P \leq 40 \text{ pF}$	4

表 5-2. 平均电流参数

参数	典型值	最大值
T_{FW}	1.50 ms	1.57 ms
I_{SLEEP}	1.07 μA	1.5 μA
T_S	如公式 7 所示	典型值加上 5%
T_R	表 3-4	值的 ± 10
I_{ACTIVE}	2.67 mA	3.8 mA

5.2.3 “NO TOUCH”（无触摸）状态下的平均电流 (I_{AVE_NT})

$$I_{AVE_NT} = \left(\frac{T_R - T_S}{T_R} \times I_{SLEEP} \right) + \left(\frac{T_S}{T_R} \times I_{ACTIVE} \right)$$

公式 8

其中：

T_R = 按键扫描速率

T_S = 扫描时间

I_{SLEEP} = CY8CMBR2044 在低功耗睡眠模式期间消耗的电流，如表 5-2 所示

I_{ACTIVE} = CY8CMBR2044 在有效工作期间所消耗的电流，如表 5-2 所示

5.2.4 “TOUCH”（触摸）状态下的平均电流 (I_{AVE_T})

$$I_{AVE_T} = \left(\frac{20 \text{ mS} - T_S}{20 \text{ mS}} \times I_{SLEEP} \right) + \left(\frac{T_S}{20 \text{ mS}} \times I_{ACTIVE} \right)$$

公式 9

其中：

T_S = 扫描时间

I_{SLEEP} = CY8CMBR2044 在低功耗睡眠模式期间消耗的电流，如表 5-2 所示

I_{ACTIVE} = CY8CMBR2044 在有效工作期间所消耗的电流，如表 5-2 所示

5.2.5 平均独立电流 (I_{AVE_SA})

$$I_{AVE_SA} = \left(\frac{100-P}{100} \times I_{AVE_NT} \right) + \left(\frac{P}{100} \times I_{AVE_T} \right) \quad \text{公式 10}$$

其中：

P = CS 处于“触摸”状态的时间相比于 CY8CMBR2044 处于打开状态的总时间的百分比

I_{AVG_NT} = “无触摸”状态下的平均电流

I_{AVG_T} = “触摸”状态下的平均电流

5.2.6 平均电流 (I_{AVE})

$$I_{AVE} = \left[I_{AVE_SA} \times \left(\frac{T_{SA}}{T_{DS} + T_{SA}} \right) \right] + 0.1 \mu A \quad \text{公式 11}$$

其中：

T_{SA} = 器件处于独立模式下的时间

T_{DS} = 器件处于深度睡眠模式的时间

5.2.7 平均功耗 (P_{AVE})

$$P_{AVE} = V_{DD} \times I_{AVE} \quad \text{公式 12}$$

其中：

I_{AVE} = 平均电流

5.2.8 示例计算

作为如何计算平均功耗的示例，请考虑一个带有三个设计良好的按键的蓝牙耳机上的 CapSense 用户界面。所有三个按键的 C_P 值的取值范围都在 10 pF 至 22 pF 间。以 507 ms 的速率扫描这些按键。

通过将传感器常量 2 用于所有三个按键并使用公式 13，可以计算该扫描时间：

$$T_S = [0.375 \times (2 + 2 + 2)] + 1.57 = 3.82 \text{ ms} \quad \text{公式 13}$$

通过使用公式 14 以及 I_{SLEEP} 和 I_{ACTIVE} 的最大值，可以计算“无触摸”状态下的平均电流，如表 5-2 所示：

$$I_{AVE_NT} = \left(\frac{507-3.82}{507} \times 1.57 \mu A \right) + \left(\frac{3.82}{507} \times 3.8 \text{ mA} \right) = 30.19 \mu A \quad \text{公式 14}$$

可以使用公式 15 来计算“触摸”状态下的平均电流，如下面所示：

$$I_{AVE_T} = \left(\frac{20-3.82}{20} \times 1.57 \mu A \right) + \left(\frac{3.82}{20} \times 3.8 \text{ mA} \right) = 727 \mu A \quad \text{公式 15}$$

为了计算平均电流，假设耳机在 8 小时工作日中接收 50 次呼叫，并且用户每次呼叫时每 20 秒触摸一个 CapSense 按键。这表示设计在“触摸”状态下工作的时间占 8 个小时（耳机处于打开状态的时间）的 1.8%。设计的平均电流消耗使用公式 16 计算，如下面所示：

$$I_{AVE SA} = (0.982 \times 30.19 \mu A) + (0.018 \times 727 \mu A) = 42.73 \mu A$$

公式 12

假设该设计不使用深度睡眠模式并且它工作于 1.71 V 的电压，那么可以使用公式 17 来计算平均功耗，如下面所示：

$$P_{AVE} = 1.71 \times 42.73 \mu A = 73.07 \mu W$$

公式 17

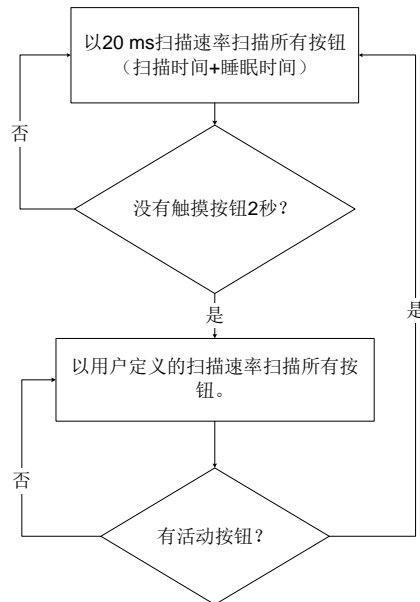
5.3 睡眠模式

赛普拉斯的 CY8CMBR2044 可以配置为在低功耗睡眠模式或深度睡眠模式下工作。

5.3.1 低功耗睡眠模式

如果 CY8CMBR2044 器件在低功耗睡眠模式下工作时，那么器件在不扫描 CS 输入时会需要 1μA 的电流。该扫描速率确定了时间量。CY8CMBR2044 控制器在低功耗睡眠模式下的行为如图 5-1 所示。

图 5-1. 低功耗睡眠模式



因为低功耗睡眠模式无需主机处理器工作，则也称为独立模式。

5.3.2 深度睡眠模式

如果将 CY8CMBR2044 用于具有主机处理器的系统中，那么扫描速率/睡眠控制引脚可以在深度睡眠模式下操作。主机处理器向该输入引脚提供逻辑高电压时，CY8CMBR2044 会置于深度睡眠模式。该模式消耗 0.1 μA（典型值）的电流。当主机将低电平驱动到相同输入引脚时，CY8CMBR2044 会从睡眠中唤醒并在低功耗睡眠模式下工作。

6. 使用资源



6.1 网站

访问赛普拉斯的 [CapSense 控制器网站](#) 可获取本节中讨论的所有参考材料。

在 CY8CMBR2044 网页上可以找到各种技术资源。

6.2 数据手册

www.cypress.com 网站上提供了 CapSense CY8CMBR2044 器件的数据手册。

- [CY8CMBR2044](#)

6.3 设计工具箱

该交互式 [设计工具箱](#) 允许您设计一个稳定可靠的 CY8CMBR2044 CapSense 解决方案。在网上查看设计工具箱示例视频。

6.4 Multi-Chart（多图工具）

[Multi-Chart](#) 是一个简单的 PC 工具，用于实时 CapSense 数据查看和记录。借助该应用，您可以查看来自多达 48 个传感器的数据、保存和打印图表、保存数据以便日后在电子表格中进行分析。

6.5 设计支持

为了确保 CapSense 解决方案成功，赛普拉斯提供了各种设计支持渠道。

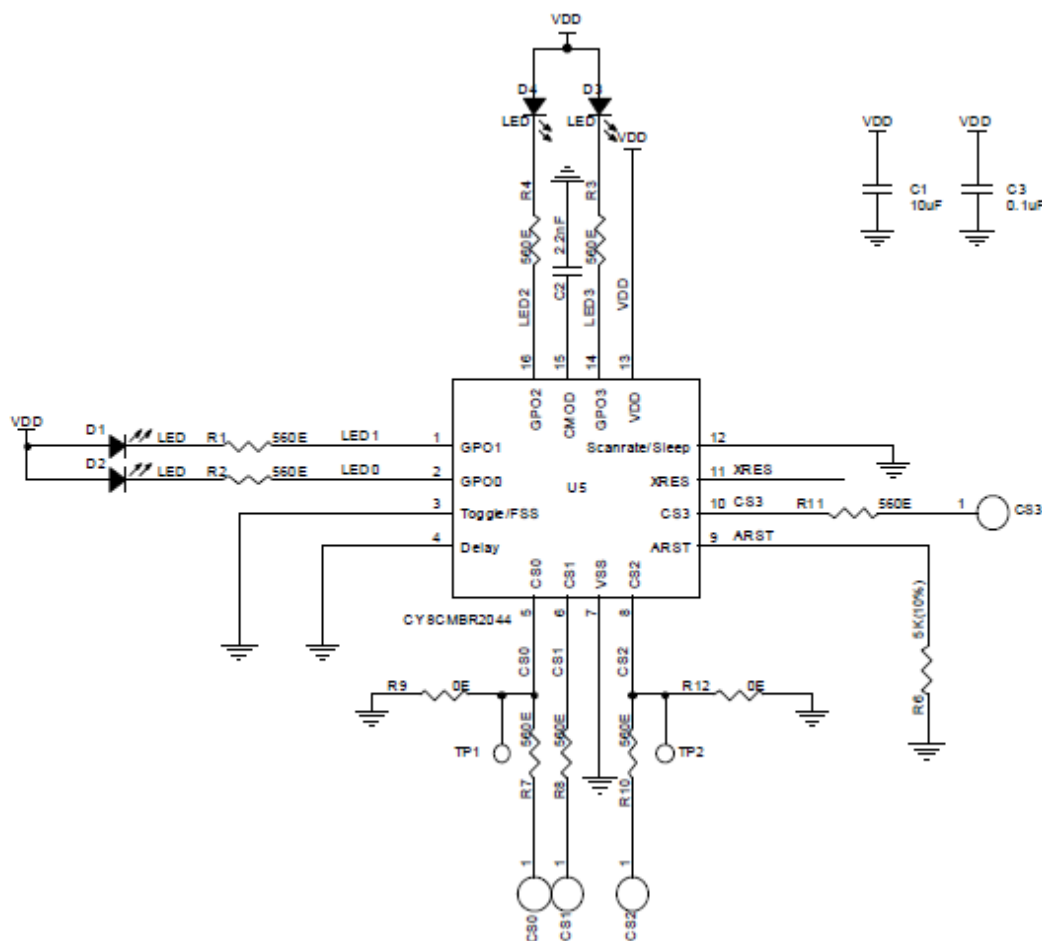
- [知识库文章](#) — 按产品系列浏览技术文章或对各种 CapSense 主题执行搜索。
- [CapSense 应用笔记](#) — 基于本文档提供的信息提供各种应用笔记。
- [白皮书](#) — 了解高级电容式触摸界面主题。
- [赛普拉斯开发社区](#) — 与赛普拉斯技术社区联系并交换信息。
- [CapSense 产品选择指南](#) — 请参见赛普拉斯 CapSense 产品线的完整产品。
- [视频资料库](#) — 通过教程视频快速掌握相关知识
- [CY8CMBR2044 视频](#) — 通过 [产品功能](#) 和 [设计工具箱](#) 的概述快速熟悉。
- [质量和可靠性](#) — 赛普拉斯承诺满足客户的要求。在我们的质量网站上，可以找到可靠性和产品资质报告。
- [技术支持](#) — 可在线获得第一流技术支持。

7. 附录



7.1 原理图示例

7.1.1 原理图 1：4 个按键和 4 个 GPO



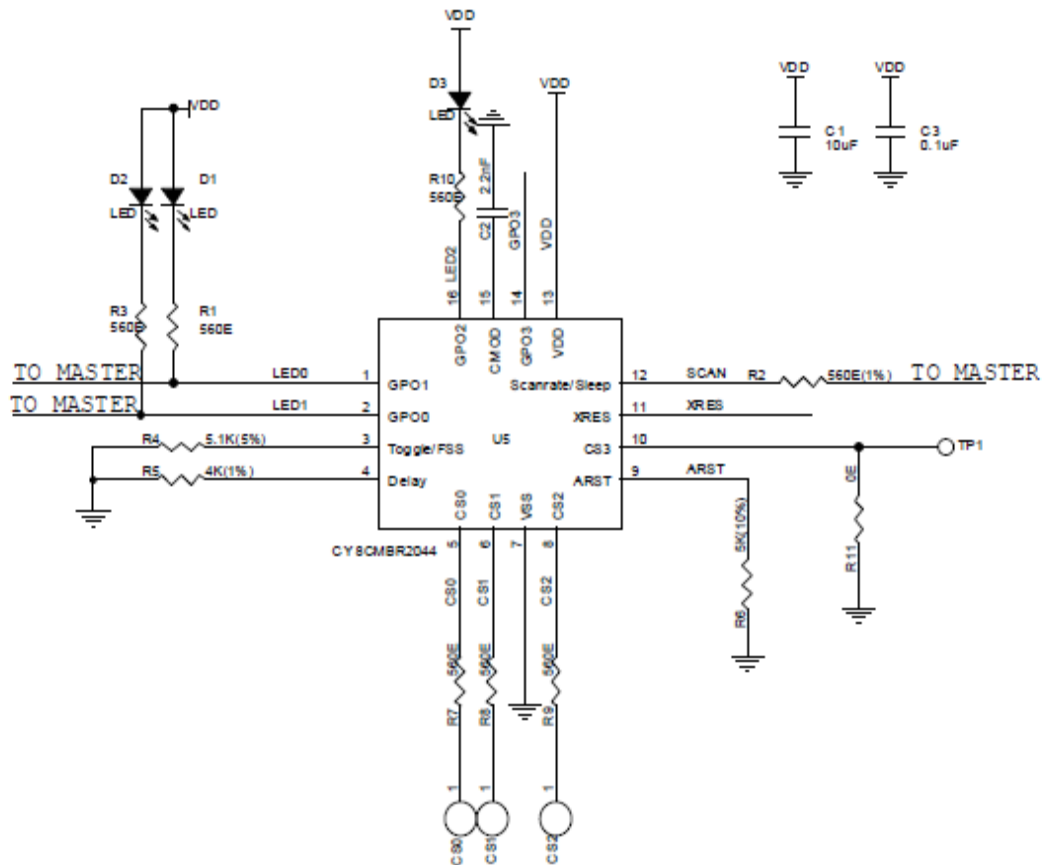
在上述原理图中，将该器件配置为：

- **CS0-CS9 引脚：**通过 560 Ω 的电阻连接 CapSense 按键
 - ☐ 四个 CapSense 按键（CS0-CS3）
- **GPO0-GPO3 引脚：**通过 LED 和 560 Ω 的电阻连接到 VDD
 - ☐ CapSense 按键驱动四个 LED（GPO0-GPO3）

- **CMOD 引脚：**通过 2.2 nF 的电容接地
 - ☐ 调制电容
- **XRES 引脚：**悬空
 - ☐ 用于外部复位
- **切换/FSS 引脚：**接地
 - ☐ 禁用切换 ON/OFF
 - ☐ FSS 被禁用
- **ARST 引脚：**通过 5 k Ω 的电阻接地
 - ☐ 使能按键自动复位，自动复位周期 = 20 秒
- **延迟引脚：**接地
 - ☐ LED 点亮保持时间被禁用
- **扫描速率/睡眠引脚：**接地
 - ☐ 用户配置扫描周期为 20 ms

在 R9 或 R12 的位置连接一个 5.6 k Ω 的电阻，从而能够使能串行调试数据输出。

7.1.2 原理图 2：带有高级功能已使能的三个按键



在上述原理图中，将该器件配置为：

- **CS0-CS2 引脚：**通过 560 Ω 的电阻连接到 CapSense 按键；CS3 引脚：接地
 - ☐ 三个 CapSense 按键（CS0-CS2）
 - ☐ 在设计中没有使用 CS3
- **GPO0-GPO2 引脚：**通过 LED 和 560 Ω 的电阻连接至 VDD；GPO3 悬空；GPO0-GPO1 引脚连接至主设备
 - ☐ CapSense 按键驱动 3 个 LED（GPO0-GPO2）
 - ☐ GPO0、GPO1 引脚被连接到主设备，使主设备能够直接读取状态
- **CMOD 引脚：**通过 2.2 nF 的电容接地
 - ☐ 调制电容
- **XRES 引脚：**悬空
 - ☐ 用于外部复位
- **切换/FSS 引脚：**通过一个 5.1 k Ω 的电阻接地
 - ☐ 切换 ON/OFF 禁用
 - ☐ FSS 被使能
- **ARST 引脚：**通过 5 k Ω 的电阻接地
 - ☐ 使能按键自动复位，自动复位周期 = 20 秒
- **延迟引脚：**通过 4 k Ω 的电阻接地
 - ☐ LED 点亮保持时间为 1000 ms
- **扫描速率/睡眠引脚：**通过 560 Ω 的电阻连接至主设备
 - ☐ 用户配置扫描速率 = 30 ms
 - ☐ 主设备用于控制器件的工作模式

在 R11 的位置连接一个 5.6 k Ω 的电阻，从而能够使能串行调试数据输出。

缩略语

缩略语	说明
AC	交流电
ARST	自动复位
C_F	手指电容
C_P	寄生电容
CS	CapSense
CSD	CapSense Sigma Delta
EMC	电磁兼容性
ESD	静电释放
FSS	侧翼传感器抑制
GPO	通用输出
MSB	最高有效位
LCD	液晶显示器
LED	发光二极管
LSB	最低有效位
PCB	印刷电路板
POR	加电复位
POST	上电自测试
RF	射频
SMPS	切换模式电源供应

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®

赛普拉斯的触摸感应用户界面的解决方案这是行业排名第一的解决方案，销量是排名第二的方案的四倍。

CapSense 机械按键替换（MBR）

将机械按键升级到电容式按键的赛普拉斯可配置解决方案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他传感器进行的扫描，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，应该以特殊网格方式填充接地层。网格图案被紧密放置、纵横交错，同丝网一样，线宽度和两条线间的距离决定了填充百分比。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（作为屏蔽电极使用）。

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。

Modulation IDAC（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，以及突然发生其他的环境变化。

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_P)

寄生电容是由 PCB 走线、传感器垫片、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

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显示在传感器附近时造成的误触摸状态的设置。

使能传感器自动复位时，即使计数差值大于噪声阈值，也可以更新基准线。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，以便防止水滴或其他液体引起的误触摸。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_{SH} ）

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_{SH} 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_{REF}

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

版本	提交日期	变更人	变更说明
**	12/10/2010	ANBA	新设计指南。
*A	06/08/2015	HERY	本文档版本号为 Rev *A, 译自英文版 001-66308 Rev *C。
*B	01/10/2019	XITO	本文档版本号为 Rev *B, 译自英文版 001-66308 Rev *F。