AN75999

CY8CMBR2010 CapSense®设计指南

文档编号：001-89148 修订版*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，2012-2017 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 6
1.3 CY8CMBR2010 CapSense® Express 器件的特性 7
1.4 文档规范 8

2. CapSense 技术 9

2.1 CapSense 基本原理 9
2.2 电容式感应方法 11
2.2.1 CapSense Sigma-Delta （CSD） 11
2.3 SmartSense 自动调试 12
2.3.1 过程差异 12
2.3.2 缩短了设计周期时间 13

3. CapSense 原理图设计 14

3.1 CY8CMBR2010 CapSense 控制器引脚 14
3.1.1 CapSense 按键（CSx 引脚） 14
3.1.2 通用输出（GPOx 引脚） 14
3.1.3 调制器电容（CMOD 引脚） 14
3.1.4 按键自动复位（ARST/EMC 引脚） 15
3.1.5 抗噪能力（ARST/EMC 引脚） 15
3.1.6 切换 ON/OFF（Toggle/FSS 引脚） 16
3.1.7 侧翼传感器抑制（Toggle/FSS 引脚） 16
3.1.8 LED 点亮时间（Delay 引脚） 17
3.1.9 上电 LED 效果（LEDFading 引脚） 18
3.1.10 模拟电压支持（LEDFading 引脚） 20
3.1.11 背光（Backlighting 引脚） 21
3.1.12 CS0 灵敏度（CS0Sensitivity 引脚） 21
3.1.13 CS0 去抖动（CS0Sensitivity 引脚） 21
3.1.14 系统诊断 21
3.1.15 按键扫描速率（ScanRate/Sleep 引脚） 23
3.1.16 睡眠模式（ScanRate/Sleep 引脚） 25
3.1.17 串行调试数据输出 （Delay 引脚） 25
3.2 设计工具箱 29

3.2.1 一般布局指南 29
3.2.2 布局估计 30
3.2.3 C_P、功耗以及响应时间计算 31
3.2.4 设计验证 32

4. 电气和机械设计的注意事项 34

4.1 外覆层选择 34
4.1.1 将外覆层粘接至 PCB 35
4.2 ESD 保护 35
4.2.1 预防 35
4.2.2 重新定向 35
4.2.3 钳制 35
4.3 电磁兼容性（EMC）注意事项 36
4.3.1 辐射干扰 36
4.3.2 抗传导和辐射干扰 36
4.4 PCB 布局指导方针 36

5. 低功耗设计中的注意事项 37

5.1 系统设计建议 37
5.2 计算平均功耗 37
5.2.1 按键扫描速率 （T_R） 37
5.2.2 扫描时间（T_S） 38
5.2.3 “NO TOUCH”（无触摸）状态下的平均电流（I_{AVE_NT}） 39
5.2.4 “TOUCH”（触摸）状态下的平均电流（I_{AVE_T}） 39
5.2.5 平均使用电流（I_{AVE_U}） 39
5.2.6 平均电流（I_{AVE}） 40
5.2.7 平均功耗（P_{AVE}） 40
5.2.8 示例计算 40
5.3 睡眠模式 41
5.3.1 低功耗睡眠模式 41
5.3.2 深度睡眠模式 41

6. 资源 42

6.1 网站 42
6.2 数据手册 42
6.3 设计工具箱 42
6.4 设计支持 42

7. 附录 43

7.1 原理图示例 43
7.1.1 原理图 1：10 个按键，10 个 GPO 43
7.1.2 原理图 2：8 个按键和 8 个 GPO 45
7.2 缩略语 47

术语表 48

修订记录 53

1. 简介

1.1 摘要

本文档介绍了如何使用赛普拉斯的 CapSense® Express™ CY8CMBR2010 器件实现电容感应功能。本指南包括以下主题：

- CY8CMBR2010 的特性
- CapSense 的操作原理
- CY8CMBR2010 器件的配置选项
- 使用 CY8CMBR2010 的设计工具箱
- CY8CMBR2010 的系统电气和机械设计的注意事项
- CY8CMBR2010 的低功耗设计注意事项
- 附加资源和支持予系统中设计 CapSense

1.2 赛普拉斯的 CapSense 文档系统

图 1-1 和表 1-1 汇总了 CapSense 文档系统。这些资源允许用户快速访问所需的信息以便能够完成 CapSense 产品的设计。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

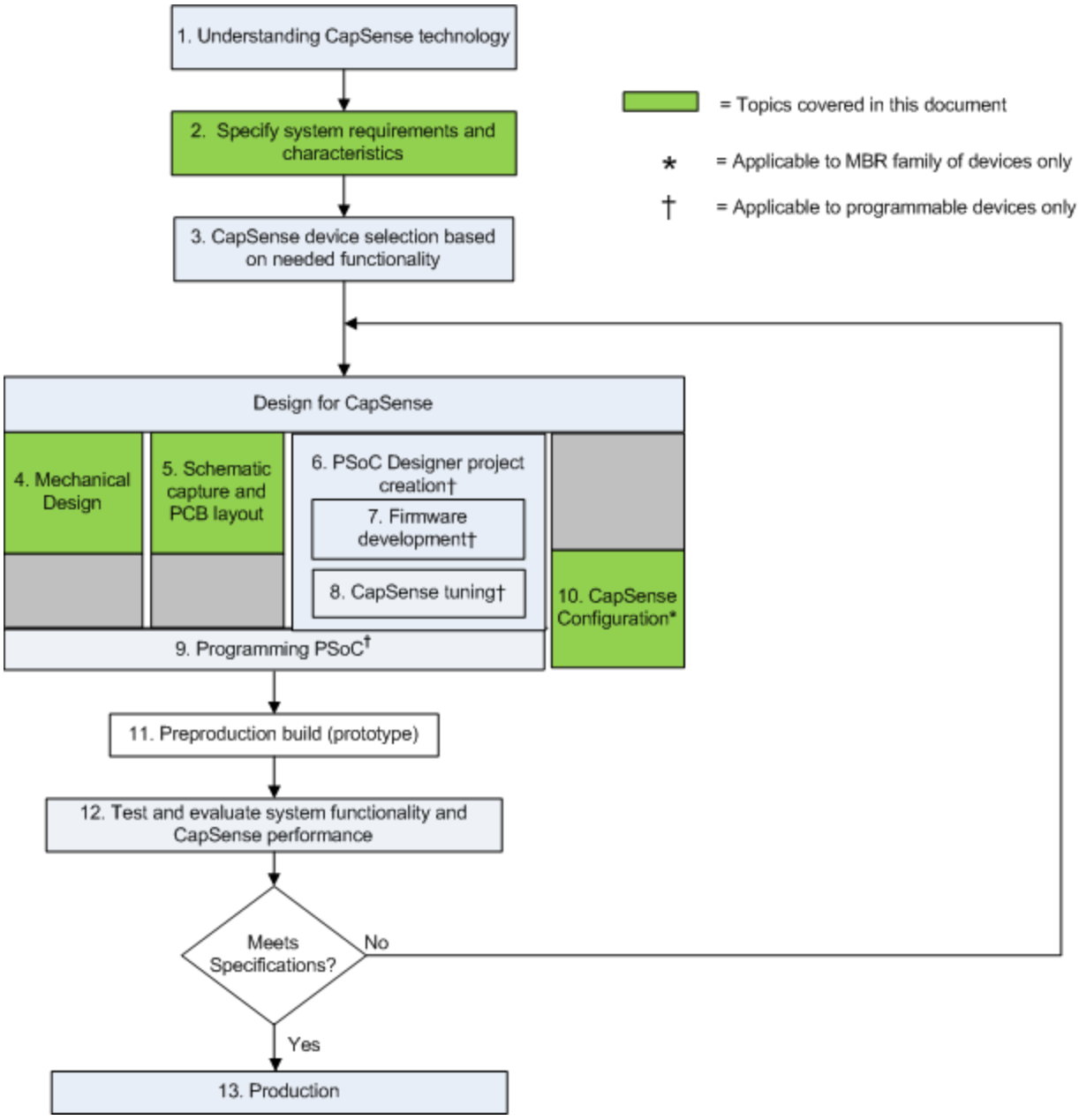


表 1-1.图 1-1 中编号设计任务的相关赛普拉斯支持文件

图 1-1 中设计任务编号	赛普拉斯 CapSense 支持文档
1	Capsense 入门手册
2	CY8CMBR2010 器件数据手册
3	Capsense 入门手册
4	本文档
5	本文档
6	不适用于 CY8CMBR2010
7	不适用于 CY8CMBR2010
8	不适用于 CY8CMBR2010
9	不适用于 CY8CMBR2010
10	本文档
11	本文档

1.3 CY8CMBR2010 CapSense® Express 器件的特性

通过赛普拉斯的低功耗 CapSense 控制器可以很轻松地将电容式感应技术应用到您的用户界面中。该器件的特性如下：

- 硬件可配置的 CapSense 控制器
  - 无需软件工具或编程
  - 通过硬件短接可以配置十个按键的解决方案
  - 10 个通用输出（GPO）
  - GPO 被链接到 CapSense 按键
  - GPO 支持直接驱动 LED
- SmartSense™自动调试
  - 即使在高噪声环境中，仍然保持最佳的按键性能
  - CapSense 参数在运行时动态设置
  - 节省调试器件的时间和精力
  - 寄生电容（C_P）的工作范围广（5 至 40 pF）
- 高级功能
  - 侧翼传感器抑制（FSS）功能，在按键很靠近时依然实现稳定的感应
  - 用户可配置的 LED 效果
    - 系统上电
    - 释放按键后 LED 处于 ON 状态的时长
  - 模拟电压输出
    - 使用外部电阻桥接器
  - 串行调试数据输出
    - 简化生产线测试和系统调试的流程

- 抗噪能力
  - 消除外部辐射和传导噪声的能力更加优越
  - 低噪声辐射
- 系统诊断
  - 按键短路
  - 调制电容值（C_{MOD}）不正确
  - 寄生电容值（C_P）超出范围
- 宽广的工作电压范围
  - 1.71 - 5.5 V
  - 适用于稳压和非稳压的电池应用
- 低功耗
  - 每个按键平均消耗的电流为 21 µA[1]
  - 深度睡眠电流：100 µA
- 工业级温度范围：–40 °C 至+85 °C。
- 32 引脚 QFN 封装（5 mm x 5 mm x 0.6 mm）

1.4 文档规范

规范	用途
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	显示文件名称和参考文档： 阅读 PSoC Designer 的用户指南文档中的 sourcefile.hex 文件。
[方括号、粗体]	显示程序中的键盘指令： [Enter]或[Ctrl] [C]
File > Open	表示菜单路径： File（文件） > Open（打开） > New Project（新建项目）
粗体字	显示程序中的各条指令、菜单路径和图标名称： 请点击 **File** 图标，然后点击 **Open** 按键。
Times New Roman 字体	用于显示公式：2 + 2 = 4
灰色框中的文本	说明产品的注意事项或独特功能。

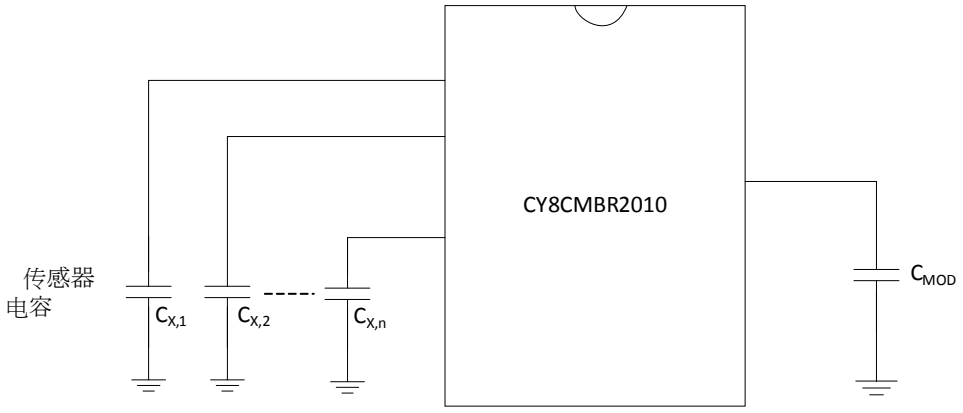
[1] 使用四个按键，触摸时间的 3%，10 pF < （所有按键的 Cp）< 20 pF，按键扫描速率 = 556 ms，功耗得到优化，抗噪级别为“正常”，CS0 灵敏度为“高”

2. CapSense 技术

2.1 CapSense 基本原理

CapSense 是一种触摸式感应技术，它的工作方式是在 CapSense 控制器上测量每个传感器输入引脚的电容值。每个传感器引脚上的总电容值可以使用 图 2-1 中的从 $C_{X,1}$ 到 $C_{X,n}$ 的电容总量作为模拟量。CY8CMBR2110 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器（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. CY8CMBR2010 器件中的 CapSense 实施



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。覆盖该传感器板的非导电性外覆层构成了该产品的触摸界面。当手指与外覆层接触时，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。此操作构成一个平行板电容器，其容值可通过公式 1 计算得到：

$$C_F = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{D}$$ 公式 1

其中：

C_F = 手指与传感器外覆层接触时所产生的电容值

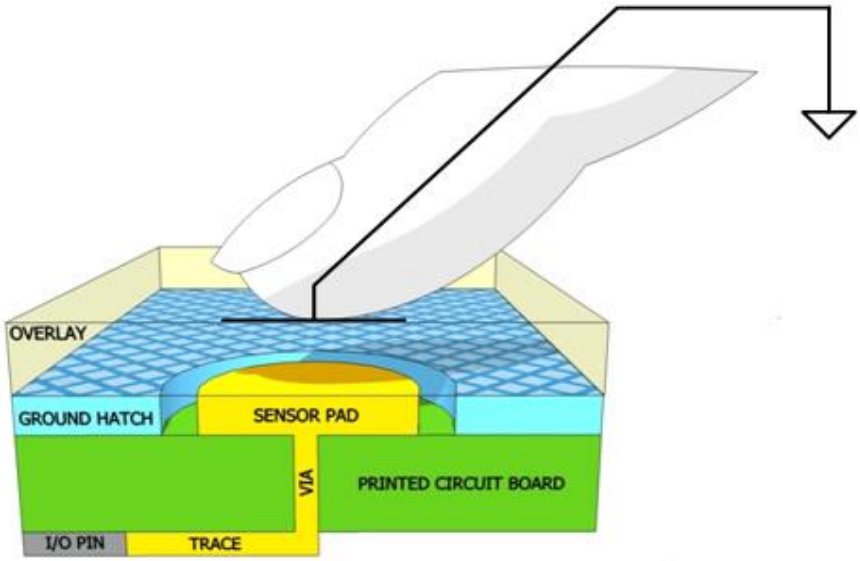
ε_0 = 空气介电常数

ε_r = 外覆层的绝缘常数（相对介电常数）

A = 手指与传感器板外覆层的接触面积

D = 外覆层的厚度

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



除了平行板电容值，手指与外覆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。

即使手指未触摸外覆层，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：

$$C_X = C_P$$ 公式 2

当手指在传感器板上时，C_X 等于 C_P 和 C_F 之和：

$$C_X = C_P + C_F$$ 公式 3

通常，C_P 比 C_F 大一个数量级以上。C_P 的取值范围通常为 10 至 20 pF，但在极端情况下它的值会高达 40 pF。C_F 的取值范围通常为 0.1 至 0.4 pF。

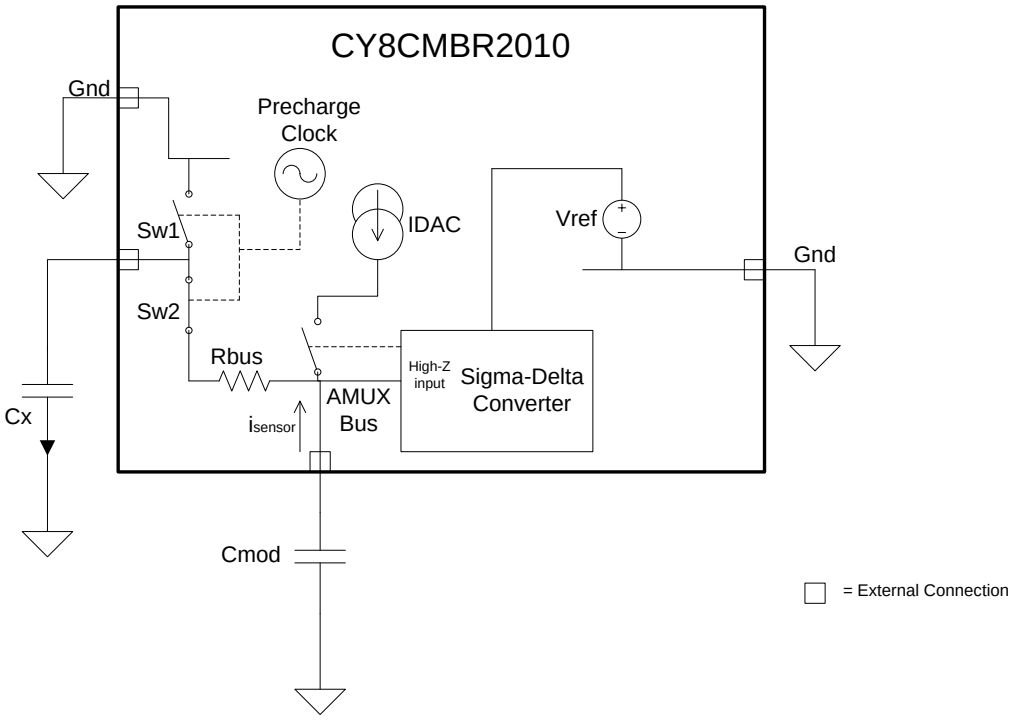
2.2 电容式感应方法

CY8CMBR2010 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。CSD 方法将在下列部分中讨论。

2.2.1 CapSense Sigma-Delta （CSD）

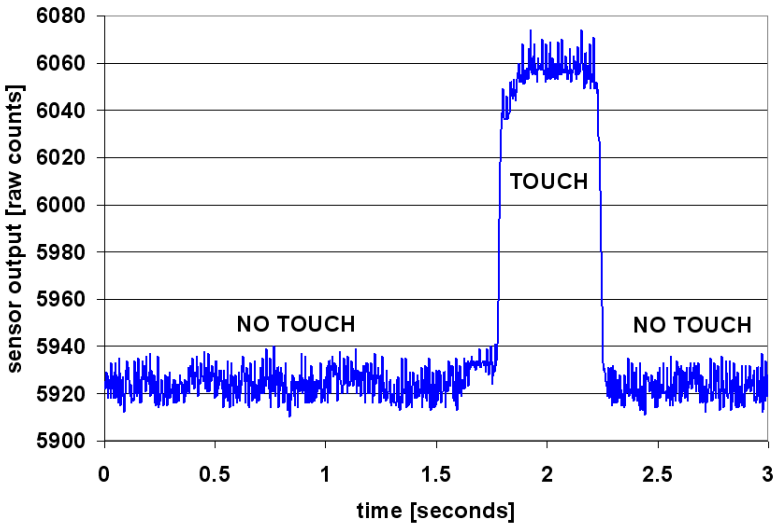
CY8CMBR2010 器件中的 CSD 方法将 C_X 整合至开关电容电路中，如图 2-3 所示。通过非重叠开关 Sw1 和 Sw2，选择性的将 C_X 连接到 GND 和 AMUX 总线。Sw1 和 Sw2 由预充电时钟驱动，通过模拟复用器总线泄放电流（i_{sensor}）。i_{sensor} 的大小与 C_X 的大小成正比。Sigma-Delta 转换器对 AMUX 总线电压进行采样，并产生一个调制的比特流控制的恒流源，IDAC。IDAC 对 AMUX 充电，这样，AMUX 总线的平均电压便保持为 Vref。传感器释放 CMOD 中的电荷 i_{sensor}。CMOD 与 Rbus 共同构成一个低通滤波器，该滤波器将消减 Sigma-Delta 转换器输入的预充电开关跃变电压。

图 2-3. CSD 框图



为了维持 AMUX 总线的电压为 Vref，Sigma-Delta 转换器通过控制位流占空比将 IDAC 与 i_{sensor} 电荷进行比较。Sigma-Delta 转换器存储在传感器扫描期间内的位流，其累积结果为数字输出（称为原始计数），该值与 C_X 成正比。此原始计数由高阶算法进行转换，以便求解传感器的状态。图 2-4 显示的是从手指触摸传感器到释放这段时间内多次连续扫描得出的 CSD 原始计数。正如 CapSense 基本原理中的说明，手指触摸使 C_X 增加了 C_F，并且原始计数也会成比例增长。通过将稳态下移入的原始计数与预定阈值作比较，高阶算法能够确定传感器是在 ON（触摸）还是 OFF（未触摸）状态。欲了解更多有关原始计数、手指阀值以及信噪比（SNR）的信息，请参考《CapSense 入门手册》。

图 2-4. 手指触摸期间的 CSD 原始计数



2.3 SmartSense 自动调试

调试触摸感应用户界面对于确保系统正常运行和用户的良好体验非常重要。但不幸的是，调试非常费时，因为它是一个重复的过程。在典型的开发周期中，会在初始设计阶段时调试界面（即在系统集成过程中和在产品量产前）。SmartSense 自动调试用于简化用户界面开发周期。它易于使用，因为在原型和制造阶段通过消除手动调试缩短了设计周期。SmartSense 自动调试在加电时对每个 CapSense 按键进行自动调试，并维护运行时的最佳按键性能。SmartSense 自动调试适用解决 PCB、外覆层的制造误差，并且自动消除噪声源（如 LCD 反相器、交流电路和开关模式电源）噪声。

2.3.1 过程差异

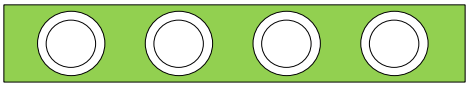
设计 CY8CMBR2010 器件的 SmartSense Auto-Tuning 是用于控制 C_P 的，使其取值范围为 5-40 pF。各个按键的灵敏度参数会根据它的特性自动设置。该参数可以在大批量生产中提高优良率。,虽然各按键的 C_P 不同，但它们均保持了一致的响应。C_P 可能由于 PCB 布局和走线长度、不同的 PCB 制造流程或多源供应链中不同的 PCB 供应商，而有所差异。按键的灵敏度取决于 C_P 的大小；C_P 的值越高，灵敏度就越低，进而导致手指触摸信号振幅降低。改变 C_P 的值，会使某个按键过于灵敏、灵敏度不够或者不能正常工作。当发生这种情况时，您必须重新调整系统，有时候需要重新认证用户界面子系统。SmartSense 自动调试可以解决这些问题。

通过 SmartSense 自动调试使平台化设计成为可能。例如，研究一下在笔记本电脑上的电容式接触感应多媒体按键。由于笔记本电脑大小和键盘布局的不同，因此在相同设计但不同机型的平台上，CapSense 按键的寄生电容值也会不一样。在本例中，按键间隔在宽屏笔记本电脑要比在标屏笔记本电脑的大。因此，一个宽屏类型电脑上每个按键和 CapSense 控制器间可能会有更长的走线，这样会导致 C_P 的值更高。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，但是，必须针对每种机型进行调试按键。使用所建议的实践（参见《CapSense 入门手册》中的 PCB 布局），SmartSense Auto-Tuning 可以帮助您实现平台设计。

图 2-5. 21 英寸笔记本机型的多媒体按键设计



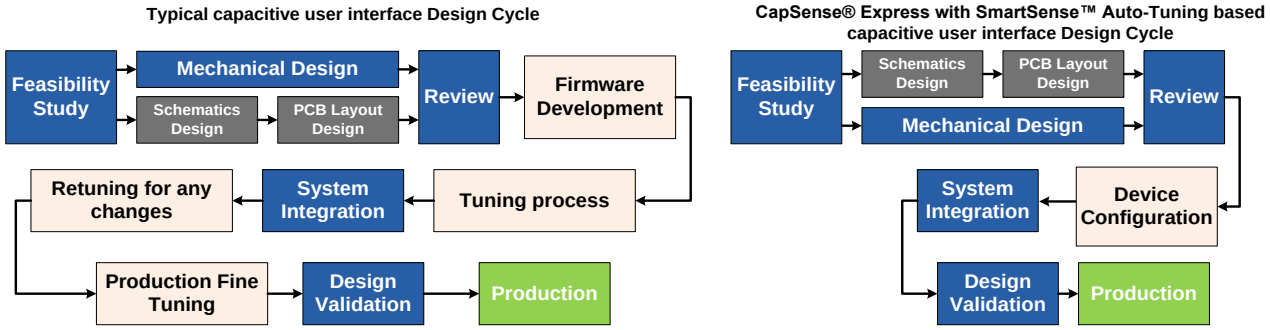
图 2-6. 15 英寸模型笔记本电脑多媒体按键的设计（该模型与 21 英寸模型有相同的功能和按键大小）



2.3.2 缩短了设计周期时间

当您设计电容按键界面时，最耗时的任务是固件开发、布局和按键调整。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。使用 SmartSense 自动调试进行设计可以解决这些难题，因为它不需要固件开发、手动调试或重新调试。另外，SmartSense 自动调试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

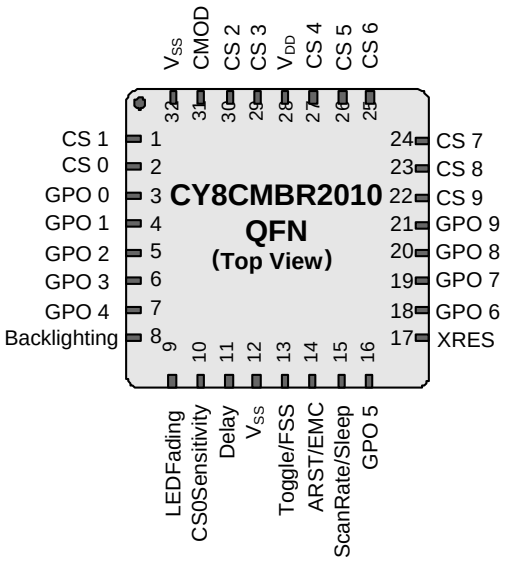


3. CapSense 原理图设计

赛普拉斯的 CY8CMBR2010 是硬件可配置的。此节概述了 CapSense 控制器引脚以及如何配置它们。

3.1 CY8CMBR2010 CapSense 控制器引脚

图 3-1. CY8CMBR2010 引脚图



3.1.1 CapSense 按键（CSx 引脚）

CY8CMBR2010 控制器具有十个电容式感应输入，即 CS0 至 CS9。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 引脚）

CY8CMBR2010 控制器上共有十个低电平有效输出，即 GPO0 至 GPO9。每个输出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[2]模式。所有未使用的 GPO 引脚都要悬空。

3.1.3 调制器电容（CMOD 引脚）

将一个大小为 2.2 nF（±10%）的电容器连接到 CMOD 引脚。

[2] 引脚在强驱动模式时，如果输出为 HIGH 时，该引脚被上拉为 V_{DD}；如果输出为 LOW 时，该引脚被下拉为 Ground。

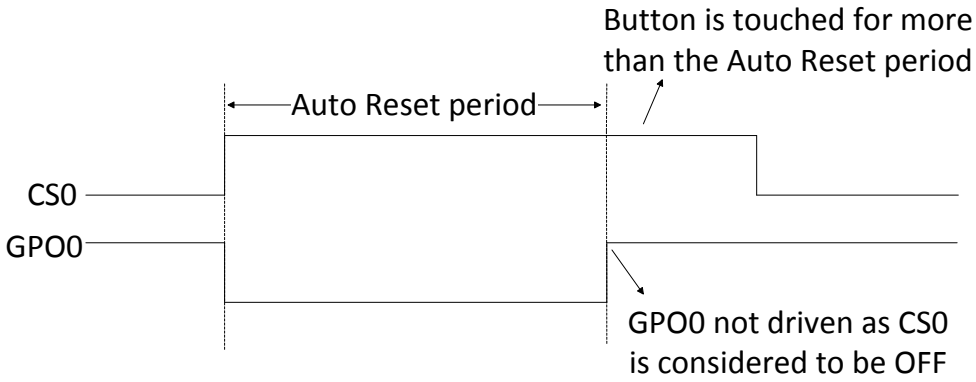
3.1.4 按键自动复位（ARST/EMC 引脚）

当不断触摸CSx时，按键自动复位决定按键被确认为ON状态的最长时间。ARST时间过后，按键转为OFF状态。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。按键自动复位时间在表3-1中进行了定义，并显示在图3-2中。

表 3-1. ARST/EMC 引脚配置

ARST/EMC 引脚连接	按键自动复位周期（秒）	抗噪能力级别
接地/悬空[3]	无限制	正常
1.5 kΩ（±5%）电阻接地	20	正常
5.1 kΩ（±5%）电阻接地	无限制	高
V_{DD}	20	高

图 3-2. 按键自动复位



在按键自动复位后，CSx 将被关闭并释放，这时在一段时间内请勿触摸 CSx，其中：

- 如果按键自动复位过后在 15 秒内释放 CSx，则 T = 550 ms
- 如果按键自动复位过后 15 秒释放 CSx，则 T = 550 ms + (扫描速率)

3.1.5 抗噪能力（ARST/EMC 引脚）

该设置决定了器件对外部辐射和传导噪声的抵抗能力，如功率放大器的音频频率噪声、无线发射器的射频噪声、ESD 以及电力线浪涌。

在一个没有大噪声的系统中，选择“正常”抗噪能力。而在一个有大噪声的环境里，选择“高”抗噪能力。当选择抗噪能力为“高”时，功耗和响应时间会增加。抗噪能力配置情况定义在表 3-1 中。

[3] 不建议在高噪声环境下设置为悬空模式，除非是 LEDFading 引脚。

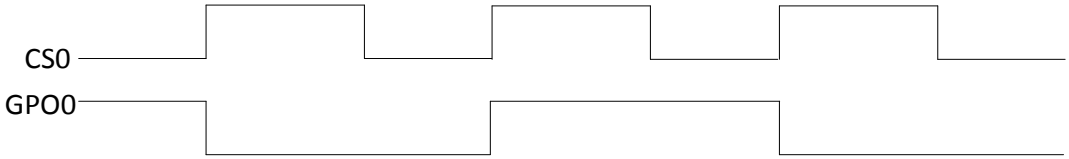
3.1.6 切换 ON/OFF（Toggle/FSS 引脚）

当启用了切换 ON/OFF 时，GPOx 的状态会在 CSx 的每个上升沿上更改。切换 ON/OFF 配置在表 3-2 中定义，并在图 3-3 中显示。

表 3-2. 切换/FSS 引脚配置

切换/FSS 引脚连接	ON/OFF 切换	FSS
接地/悬空[3]	禁用	禁用
1.5 kΩ（±5%）电阻接地	启用	禁用
5.1 kΩ（±5%）电阻接地	禁用	启用
V_{DD}	启用	启用

图 3-3. 切换 ON/OFF 功能



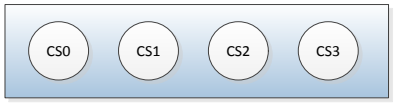
3.1.7 侧翼传感器抑制（Toggle/FSS 引脚）

在同一段时间内，FSS 仅允许有一个 CSx 的状态为 TOUCH。这样，您可以区分紧密排列按键的 TOUCH 状态。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。

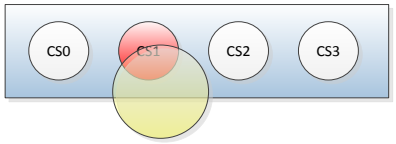
FSS 也适用于产生相反效果的相邻按键，如界面上具有两个亮度控制反向（UP 或 DOWN）的按键。

FSS 配置在表 3-2 中进行了定义，并且显示在图 3-4 和图 3-5 中。

图 3-4. 只有一个按键被按下时的 FSS

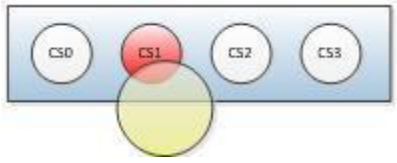


按下前无按键为 ON

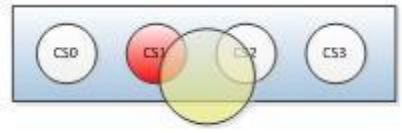


按下时，CS1 被报告为 ON。

图 3-5. 有多个按键被按下时的 FSS（其中，只有第一个按键的状态为 ON）



CS1 被按下，并被报告为 ON

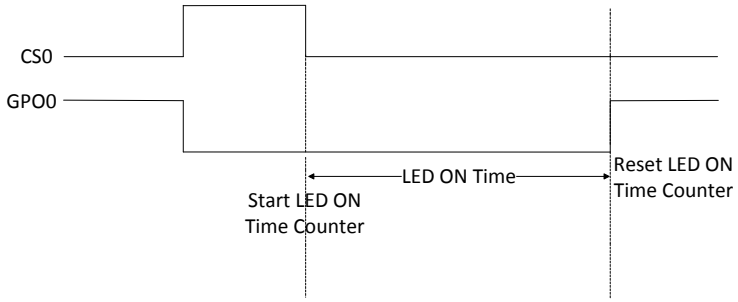


CS2 在 CS1 被按下后也被按下，只有 CS1 被报告为 ON

3.1.8 LED 点亮时间（Delay 引脚）

LED 点亮时间指定在释放 CSx 之后 GPOx 被驱动为低电平的时间，如图 3-6 所示。LED 点亮时间的取值范围为 0-2000 ms，分辨率为 20 ms。

图 3-6. LED 点亮时间



在 Delay 引脚和地之间连接一个电阻 R_{DELAY} 后可以配置 LED 点亮时间（即 D）。

公式 4

$$R_{DELAY} = \left(\frac{D}{20} \times 30\right) + 300\,\Omega$$ 如果串行调试数据输出被禁用

$$R_{DELAY} = \left(\frac{D}{20} \times 30\right) + 7000\,\Omega$$ 如果串行调试数据输出 被使能

D 是 20 ms 的整数倍

表 3-3 提供的是一些 R_{DELAY} 示例值。电阻容差 R_{DELAY} 应小于 1%。

表 3-3. 延迟引脚配置

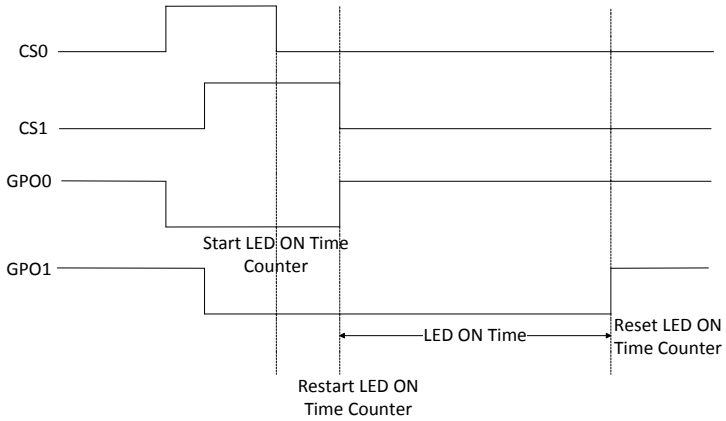
延迟引脚配置	近似 LED 点亮时间（ms）	串行调试数据
接地/300 Ω（±1%）电阻接地	0	禁用
330 Ω（±1%）电阻接地	20	
360 Ω（±1%）电阻接地	40	
390 Ω（±1%）电阻接地	60	
…	…	
3300 Ω（±1%）电阻接地	2000	
7000 Ω（±1%）电阻接地	0	启用
7030 Ω（±1%）电阻接地	20	
7060 Ω（±1%）电阻接地	40	
7090 Ω（±1%）电阻接地	60	
…	…	
10000 Ω (±1%)电阻接地	2000	

LED 点亮时间因器件而异。在温度为-40 °C 到+85 °C 范围内，精度为±25%（不包括电阻容差）。

如果一个按键自动复位（ARST/EMC 引脚）被触发用于 CSx，则 LED 点亮时间不能应用于 GPOx。如果 Toggle ON/OFF 被启用，那么 LED 点亮时间被禁止。

LED 点亮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 点亮时间的计数器都被复位。图 3-7 说明当多个按键被按下时，LED 点亮时间是如何操作的。CS1 复位 LED 点亮时间计数器，从而导致 GPO0 提前关闭。

图 3-7. 多个按键的 LED 点亮时序



3.1.9 上电 LED 效果（LEDFading 引脚）

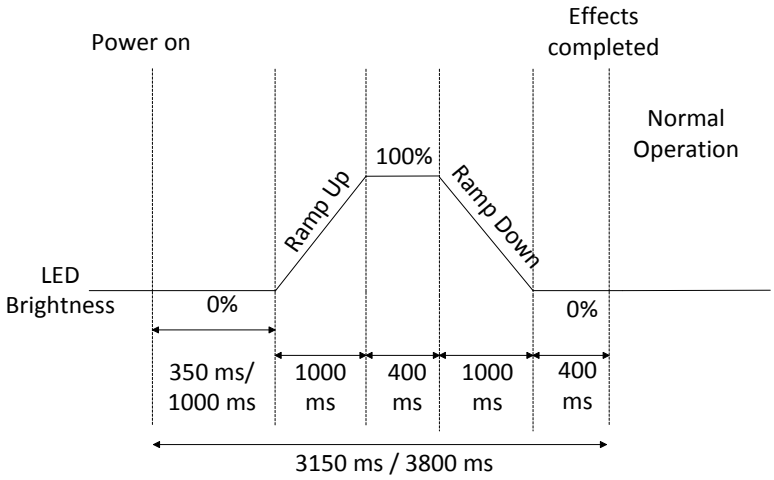
在系统上电时，如果该功能有效，所有连接到 GPO 的 LED 将显示三个可选闪烁中的一个，然后逐渐褪色。这时，所有 CapSense 按键均被禁用。只在效果完成后，器件才响应按键触摸。

上电 LED 效果使用了下面各参数：

- 低亮度：最小的 LED 亮度
- 低亮度时间：LED 处于低亮度状态的时长
- 上升时间：LED 从低亮度状态转换到高亮度状态的时长。
- 高亮度：最大的 LED 亮度
- 高亮度时间：LED 处于高亮度状态的时长
- 下降时间：LED 从高亮度状态转换到低亮度状态的时长。
- 重复频率：效果重复的次数

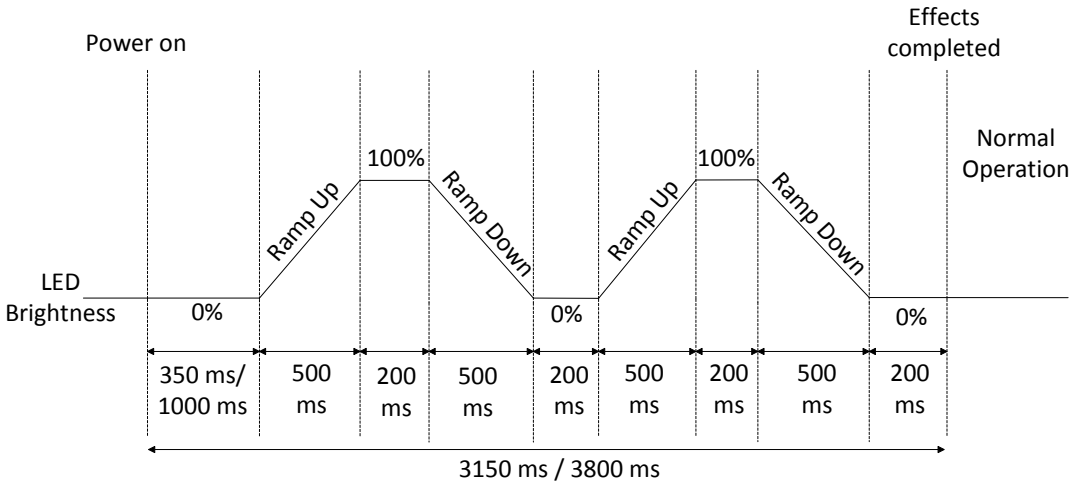
上电 LED 效果 1：所有 LED 同时进入高亮度状态然后再返回到低亮度状态一次，如图 3-8 所示。

图 3-8. 上电 LED 效果 1



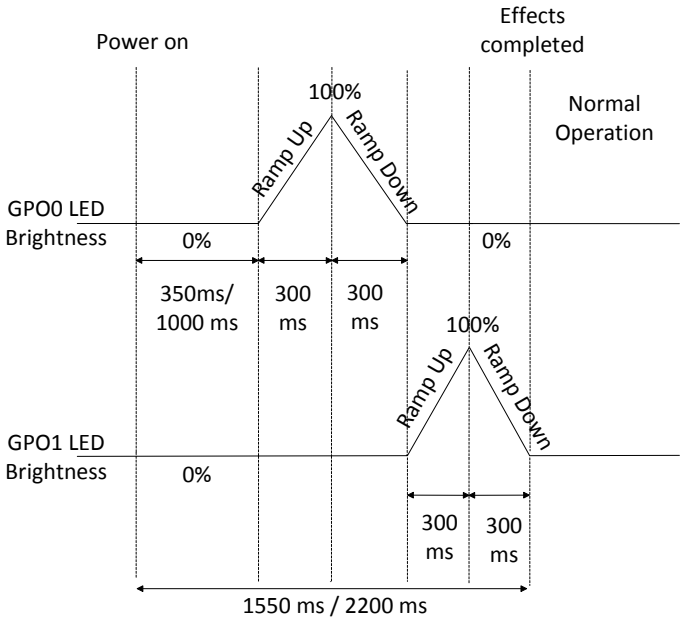
上电 LED 效果 2：所有 LED 同时进入高亮度状态然后再返回到低亮度状态两次，如图 3-9 所示。

图 3-9. 上电 LED 效果 2



上电 LED 效果 3：所有 LED 连续进入高亮度状态然后再返回到低亮度状态一次，如图 3-10 所示。

图 3-10. 双按键设计的上电 LED 效果 3



通过表 3-4 中介绍的 LEDFading 引脚连接进行配置上电 LED 效果。

表 3-4. LEDFading 引脚配置

LEDFading 引脚连接	上电 LED 效果	模拟电压支持 LED 背光
接地	禁用	启用
1.5 kΩ（±5%）电阻接地	效果 1	禁用
5.1 kΩ（±5%）电阻接地	效果 2	禁用
V_{DD}	效果 3	禁用
悬空	禁用	禁用

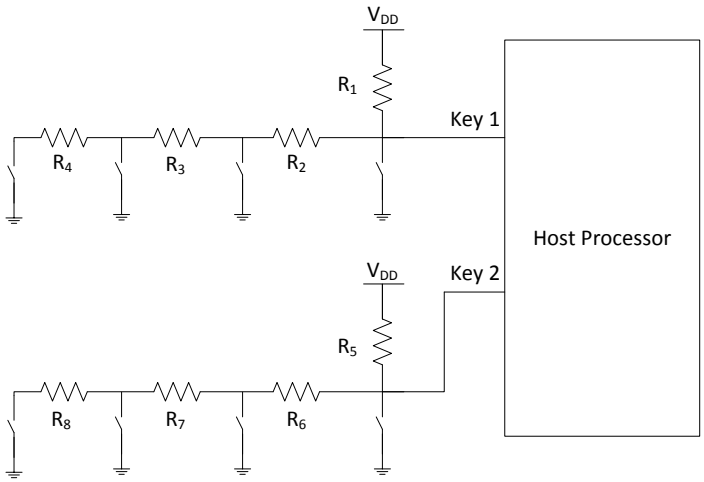
为器件上电的时间过后，便可以观察效果。如果抗噪能力为“正常”，则这个时间小于 350 ms；如果抗噪能力为“高”，则该时间小于 1000 ms。

上电后，将执行系统诊断，包括一个上电自测试。如果有任何 CapSense 按键测试失败，那么在相应的 GPO 上降看不到效果。了解更多关于该测试的信息，请参考系统诊断中的内容。

3.1.10 模拟电压支持（LEDFading 引脚）

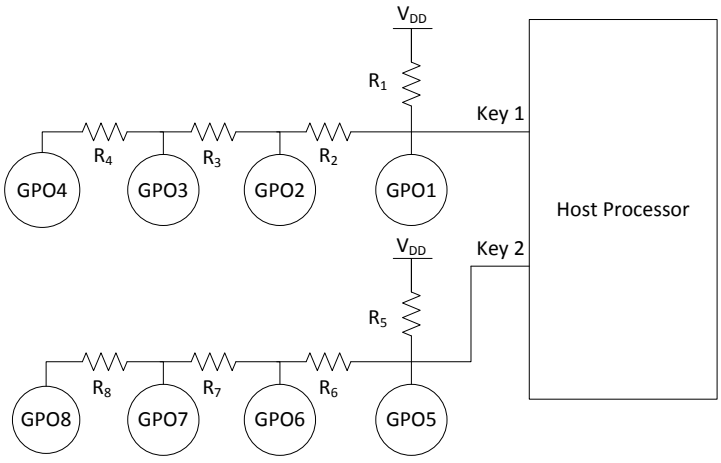
一个带有主机处理器的通用外部电阻网络，如图 3-11 所示，可以根据输入引脚上的电压的不同，配置主机使其具有不同的特性。通过电阻与 V_{DD} 和地端间的开关的组合，可以确定这个电压。

图 3-11. 通用的外部电阻网络



通过 CY8CMBR2010 所支持的模拟电压功能，您可以使用 CapSense 按键控制这些开关。每一个开关都可以被替换为一个 GPOx。当一个 CSx 按键被触摸时，相应的 GPOx 变低，因此开关被关闭（短路接地）。当该按键被释放时，相应的开关便为打开状态。如图 3-12 所示。

图 3-12. CY8CMBR2010 的模拟电压支持



如果启用了该功能，便不能将 GPO 同时用于外部电阻网络和驱动 LED。相反，Backlighting 引脚作为一个用于驱动 LED 的通用 GPO，它由 CSx 按键控制。如果只要有一个按键的状态为 ON 提供模拟电压支持，该特性同时使能 FSS。

通常，GPO 为强驱动模式。但是当该性能有效时，GPO 为“Open Drain Low”（开漏低）驱动模式。使用表 3-4 中显示的 LEDFading 引脚配置模拟电压支持

3.1.11 背光（Backlighting 引脚）

当模拟电压支持被启用时，Backlighting 引脚作为一个普通的 GPO 来驱动 LED，因为 GPOx 不能直接驱动 LED。该引脚可以被所有 CSx 输入控制。

Backlighting 是一个强驱动，低电平活动的输出。如果有任何按键被按下，将变低。如果模拟电压供应无效，该引脚被禁用。

3.1.12 CS0 灵敏度（CS0Sensitivity 引脚）

电容感应输入 CS0 可用于设计中的特殊功能。与其他输入不同，CS0 的灵敏度和去抖动设置是可配置的。例如，如果 CS0 作为系统电源按键使用，它不需要太高的灵敏度，这样可以避免错误将电源状态切换为 ON 和 OFF。

CS0 灵敏度的配置情况显示在表 3-5 中。

表 3-5. CS0Sensitivity 引脚配置

CS0Sensitivity 引脚连接	CS0Sensitivity	CS0 去抖动时间参数
接地/悬空[4]	高	3
1.5 kΩ (±5%)电阻接地	高	24
5.1 kΩ (±5%)电阻接地	高	48
V_{DD}	低	99

3.1.13 CS0 去抖动（CS0Sensitivity 引脚）

通过指定最短时间，使 CS0 因发生有效触摸输入而被接触，因此通过去抖动功能可避免由于噪声毛刺或系统故障而造成的错误按键触发。CS0 的去抖动时间会根据按键的功能不同而有所改变。例如，可以使电源按键有一个较长的去抖动时间，以避免意外切换的 ON/OFF 状态。较短的去抖动时间可以加快器件对按键接触的响应。

可配置的去抖动功能，可为设计提供附加功能。比如，当一个特定的按键在某段时间内被按下时，可以复位系统。在这种情况下，CS0 可以使用最高的去抖动值，以提供该功能。在用户终端应用中，可以实现该功能。

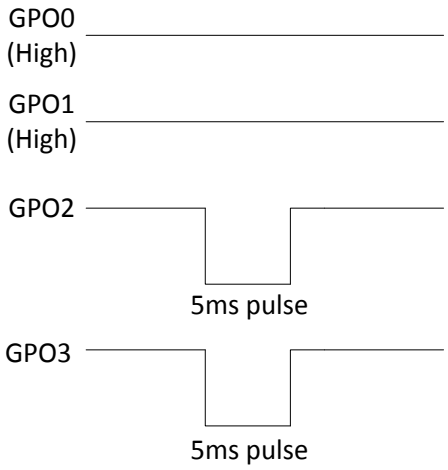
CS0 去抖动的配置情况显示在表 3-5 中。

3.1.14 系统诊断

内置的“加电自检”（POST）机制在加电复位（POR）时执行五种测试。该机制在生产测试中十分有用。如果在任何按键上的诊断失败，并且抗噪能力为“正常”时，相应的 GPO 会在 350 ms 内发出 5 ms 的脉冲；抗噪能力为“高” 时，则在 1000 ms 内发出 5 ms 的脉冲，如图 3-13 所示。

[4] 不建议在高噪声的环境下设置为悬空模式，除非是 LEDFading 引脚。

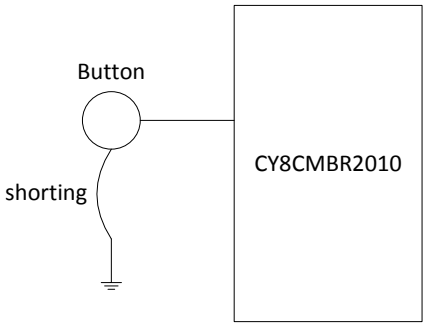
图 3-13. 示例：CS0、CS1 通过 POST，CS2、CS3 上的诊断失败



3.1.14.1 按键短路接地

所有短路接地的按键都被禁用。

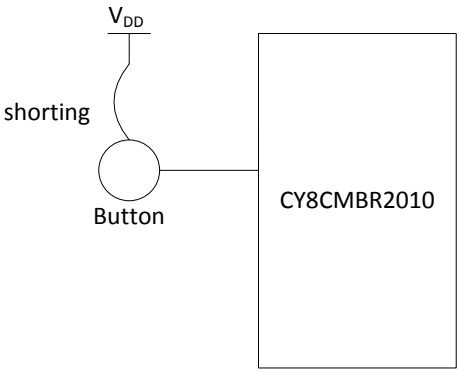
图 3-14. 按键短路接地



3.1.14.2 按键短路连接 V_{DD}

任何短路连接 V_{DD} 的按键都被禁用。

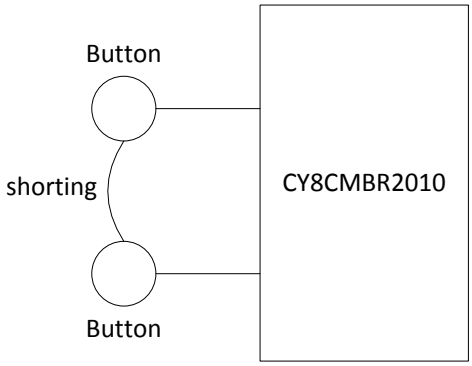
图 3-15. 按键短路连接 V_{DD}



3.1.14.3 按键与按键短接

如果两个或更多的按键被相互短接，则这些按键都被禁用。

图 3-16. 按键与按键短路



3.1.14.4 C_{MOD} 的错误值

建议 C_{MOD} 的值为 2.2 nF ±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。

3.1.14.5 按键 C_P > 40 pF

如果发现有任何按键的 C_P 值大于 40 pF，则该按键被禁用。

3.1.15 按键扫描速率（ScanRate/Sleep 引脚）

按键扫描速率指定了器件进行连续按键扫描的时间间隔。

按键扫描速率 = 按键扫描速率常量 + 按键扫描速率偏移量　　公式 5

“ScanRate/Sleep”（扫描速率/睡眠）引脚上的外部电阻决定了器件的按键扫描速率偏移量。您可以参考表 3-6 确定电阻值。在表 3-7 内给出了按键扫描速率常量。可将按键扫描速率配置为 25 至 556 ms。

按键扫描速率常量取决于您如何优化设计：

响应时间优化：连续按键扫描之间的时间被缩短。在固定的时间内发生的扫描更多时，器件会更快地响应按键触摸。然而，功耗也会相应增加。

功耗优化：连续按键扫描之间的时间更长。随着在一个固定的时间内进行的扫描次数变少，器件将需要更长的时间来响应按键触摸。这样功耗会降低。

例如，假设一个设计中包括四个按键，其参数如下：

- 所有按键的 C_P 值为 10 到 20 pF
- 所有按键的灵敏度均为高
- 抗噪能力为“正常”
- 按键触摸时间为 3%
- 按键扫描速率偏移量 = 0。

每个按键的电流消耗是：

响应时间优化 = 0.3603 mA

功耗优化 = 0.1803 mA

第一个按键触摸以及连续按键触摸的响应时间为：

响应时间优化 = 50 ms

功耗优化 = 100 ms

注意，与功耗优化相比，响应时间优化设计会消耗更多的功耗，但回应按键触摸的速度更快。要想查找您的设计的响应时间，请参见设计工具箱。

表 3-6. “ScanRate/Sleep”引脚配置与按键扫描速率偏移量

“ScanRate/Sleep”引脚连接		按键扫描速率偏移量（ms）
响应时间优化	功耗优化	
接地	6800 Ω (±1%) 电阻接地	0
100 Ω (±1%)电阻接地	6900 Ω (±1%)电阻接地	0
200 Ω (±1%)电阻接地	7000 Ω (±1%)电阻接地	6
300 Ω (±1%)电阻接地	7100 Ω (±1%)电阻接地	12
400 Ω (±1%)电阻接地	7200 Ω (±1%)电阻接地	20
500 Ω (±1%)电阻接地	7300 Ω (±1%)电阻接地	29
600 Ω (±1%)电阻接地	7400 Ω (±1%)电阻接地	39
700 Ω (±1%)电阻接地	7500 Ω (±1%)电阻接地	49
800 Ω (±1%)电阻接地	7600 Ω (±1%)电阻接地	61
900 Ω (±1%)电阻接地	7700 Ω (±1%)电阻接地	73
1000 Ω (±1%)电阻接地	7800 Ω (±1%)电阻接地	86
1100 Ω (±1%)电阻接地	7900 Ω (±1%)电阻接地	99
1200 Ω (±1%)电阻接地	8000 Ω (±1%)电阻接地	114
1300 Ω (±1%)电阻接地	8100 Ω (±1%)电阻接地	128
1400 Ω (±1%)电阻接地	8200 Ω (±1%)电阻接地	144
1500 Ω (±1%)电阻接地	8300 Ω (±1%)电阻接地	160
1600 Ω (±1%)电阻接地	8400 Ω (±1%)电阻接地	176
1700 Ω (±1%)电阻接地	通过 8500 Ω（±1%）电阻连接至地	194
通过 1800 Ω（±1%）电阻连接至地	通过 8600 Ω（±1%）电阻连接至地	211
通过 1900 Ω（±1%）电阻连接至地	通过 8700 Ω（±1%）电阻连接至地	229
通过 2000 Ω（±1%）电阻连接至地	通过 8800 Ω（±1%）电阻连接至地	248
通过 2100 Ω（±1%）电阻连接至地	通过 8900 Ω（±1%）电阻连接至地	267
通过 2200 Ω（±1%）电阻连接至地	通过 9000 Ω（±1%）电阻连接至地	287
通过 2300 Ω（±1%）电阻连接至地	通过 9100 Ω（±1%）电阻连接至地	307
通过 2400 Ω（±1%）电阻连接至地	通过 9200 Ω（±1%）电阻连接至地	327
通过 2500 Ω（±1%）电阻连接至地	通过 9300 Ω（±1%）电阻连接至地	348
通过 2600 Ω（±1%）电阻连接至地	通过 9400 Ω（±1%）电阻连接至地	369
通过 2700 Ω（±1%）电阻连接至地	通过 9500 Ω（±1%）电阻连接至地	391
通过 2800 Ω（±1%）电阻连接至地	通过 9600 Ω（±1%）电阻连接至地	413
通过 2900 Ω（±1%）电阻连接至地	通过 9700 Ω（±1%）电阻连接至地	436
通过 3000 Ω（±1%）电阻连接至地	通过 9800 Ω（±1%）电阻连接至地	459

“ScanRate/Sleep”引脚连接		按键扫描速率偏移量（ms）
响应时间优化	功耗优化	
通过 3100 Ω（±1%）电阻连接至地	通过 9900 Ω（±1%）电阻连接至地	482
通过 3200 Ω（±1%）电阻连接至地	通过 10000 Ω（±1%）电阻连接至地	506

表 3-7. 按键扫描速率常量

按键数量	按键扫描速率常量（单位为 ms）	
	响应时间优化	功耗优化
≤5	25	50
>5	50	50

按键扫描速率根据器件的不同而有差异，在温度为-40 °C 到+85 °C 时，它的精度为±25%（不包括电阻容差）。

3.1.16 睡眠模式（ScanRate/Sleep 引脚）

有两种可能配置：

1. 将 ScanRate/Sleep 引脚接地。这样可启用低功耗睡眠模式
2. 将 ScanRate/Sleep 引脚连接到 V_{DD}。这样可启用深度睡眠模式。

$P_{AVE} = =1171\times1311464\mu A = 2244808\mu W$

睡眠模式一节中介绍了详细信息。

3.1.17 串行调试数据输出 （Delay 引脚）

串行调试数据可报告所有按键的固件版本、CapSense 状态、GPO 状态、系统诊断数据、补偿 IDAC、原始计数、基准线、差值计数、寄生电容值和 SNR 等信息。当启用了串行调试数据时，会在 Delay 引脚上输出此信息。当没有足够的主机引脚可用于连接所有的 GPO 时，主机控制器可以通过该功能读取 CapSense 的状态。通过使用一个电阻将 Delay 引脚连接至地（如公式 4 和表 3-3 中所表述），可以启用该功能。

赛普拉斯 MultiChart 工具可以用于查看数据。器件发送的串行调试数据按照表 3-8 所描述的顺序。MultiChart 工具按照表 3-9 所示的格式排列数据。

串行数据使用~115,200 波特率进行发送。

表 3-8. 串行调试数据输出由 CY8CMBR2010 发送

字节	数据	注释
0	0x0D	多图工具的虚拟数据
1	0x0A	
2	0x80	–
3	固件版本	固件版本
4	CS0_Cp	十六进制格式的 CS0 寄生电容值（pF）
5	CS1_Cp	十六进制格式的 CS1 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	

字节	数据	注释
24	CS9_RawCount_MSB	16 位无符号整数
25	CS9_RawCount_LSB	
26	CS2_Cp	十六进制格式的 CS2 寄生电容值（pF）
27	CS3_Cp	十六进制格式的 CS3 寄生电容值（pF）
28	0x00	–
29	CS0_CS1_SNR	CS0 和 CS1 的 SNR
30	0x00	–
31	CS2_CS3_SNR	CS2 和 CS3 的信噪比
32	VDD_Short_Mask_MSB	CS 引脚短接 V_{DD} 的系统诊断数据
33	VDD_Short_Mask_LSB	
34	0x00	–
35	0x01	
36	0x00	
37	CS_Status_MSB	提供 CS8—CS9 的状态
38	0x00	–
39	CS_Status_LSB	提供 CS0—CS7 的状态
40	CS0_Baseline_MSB	16 位无符号整数
41	CS0_Baseline_LSB	
42	CS1_Baseline_MSB	16 位无符号整数
43	CS1_Baseline_LSB	
58	CS9_Baseline_MSB	16 位无符号整数
59	CS9_Baseline_LSB	
60	CS4_Cp	十六进制格式的 CS4 寄生电容值（pF）
61	CS5_Cp	十六进制格式的的 CS5 寄生电容值（pF）
62	CS6_Cp	十六进制格式的的 CS6 寄生电容值（pF）
63	CS4_CS5_SNR	CS4 和 CS5 的信噪比
64	0x00	–
65	CS6_CS7_SNR	CS6 和 CS7 的信噪比
66	GND_Short_Mask_MSB	CS 引脚接地短路的系统诊断数据
67	GND_Short_Mask_LSB	
68	0x00	–
69	0x02	
70	IDAC_Comp	补偿 IDAC
71	GPO_Status_Mask_MSB	提供 GPO8—GPO9 的状态
72	0x00	–
73	GPO_Status_Mask_LSB	提供 GPO0—GPO7 的状态
74	CS0_DiffCount_MSB	16 位无符号整数
75	CS0_DiffCount_LSB	
76	CS1_DiffCount_MSB	16 位无符号整数
77	CS1_DiffCount_LSB	

字节	数据	注释
92	CS9_DiffCount_MSB	16 位无符号整数
93	CS9_DiffCount_LSB	
94	CS7_Cp	十六进制格式的 CS7 寄生电容值（pF)
95	CS8_Cp	十六进制格式的 CS8 寄生电容值（pF）
96	CS9_Cp	十六进制格式的 CS9 寄生电容值（pF）
97	CS8_CS9_SNR	CS8 和 CS9 的信噪比
98	0x00	–
99	CMOD_Mask	C_{MOD} 是否超出范围的系统诊断数据
100	Pin_to_Pin_shorted_Mask_MSB	CS 引脚互相短路时的系统诊断数据
101	Pin_to_Pin_shorted_Mask_LSB	
102	Cp_High_Mask_MSB	CS 按键的 Cp 大于 40 pF 的系统诊断数据
103	Cp_High_Mask_LSB	
104	0x00	多图工具的虚拟数据
105	0xFF	
106	0xFF	

表 3-9. 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	0x80	固件版本	0x00	CS_status_MSB	IDAC_Comp	GPO_Status_MSB
1	CS0_Cp	CS1_Cp	0x00	CS_status_LSB	0x00	GPO_Status_LSB
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	
6	CS4_RawCount		CS4_Baseline		CS4_DiffCount	
7	CS5_RawCount		CS5_Baseline		CS5_DiffCount	
8	CS6_RawCount		CS6_Baseline		CS6_DiffCount	
9	CS7_RawCount		CS7_Baseline		CS7_DiffCount	
10	CS8_RawCount		CS8_Baseline		CS8_DiffCount	
11	CS9_RawCount		CS9_Baseline		CS9_DiffCount	
12	CS2_Cp	CS3_Cp	CS4_Cp	CS5_Cp	CS7_Cp	CS8_Cp
13	0x00	CS0_CS1_SNR	CS6_Cp	CS4_CS5_SNR	CS9_Cp	CS8_CS9_SNR
14	0x00	CS2_CS3_SNR	0x00	CS6_CS7_SNR	0x00	CMOD_Mask
15	VDD_Short_Mask		GND_Short_Mask		Pin_to_Pin_Short_Mask	
16	0x00	0x01	0x00	0x02	Cp_High_Mask	

系统诊断数据包括 POST 结果。如下所示：

- VDD_Short_Mask：包含了所有短接到 V_{DD} 的按键的信息。

名称	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
VDD_Short_Mask_LSB	CS7	CS6	CS5	CS4	CS3	CS2	CS1	CS0
VDD_Short_Mask_MSB							CS9	CS8

对于 CSx，相应位的写入值为：

0 如果 CSx 没有短接 VDD

1 如果 CSx 短接 V_{DD}

- GND_Short_Mask：包含了所有对地短路的按键的信息。

名称	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
GND_Short_Mask_LSB	CS7	CS6	CS5	CS4	CS3	CS2	CS1	CS0
GND_Short_Mask_MSB							CS9	CS8

对于 CSx，相应位的写入值为：

0 如果 CSx 没有对地短路

1 如果 CSx 对地短路

- CMOD_Mask：它包含了 C_{MOD} 取值范围的信息。该字节的写入值为：

0 如果 C_{MOD} 的值的范围是（1 nF 到 4 nF）

1 如果 C_{MOD} 的值大于 4 nF

2 如果 C_{MOD} 的值小于 1 nF

- Pin_to_Pin_Short_Mask：包含了所有按键短接的信息。

名称	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
Pin_to_Pin_Short_Mask_LSB	CS7	CS6	CS5	CS4	CS3	CS2	CS1	CS0
Pin_to_Pin_Short_Mask_MSB							CS9	CS8

对于 CSx，相应位的写入值为：

0 如果 CSx 引脚没有短接到其它任何 CSy 引脚

1 如果 CSx 引脚短接到其它 CSy 引脚

- Cp_High_Mask：它包含了 CS 按键的 C_{MOD} 取值范围的信息。

名称	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
Cp_High_Mask_LSB	CS7	CS6	CS5	CS4	CS3	CS2	CS1	CS0
Cp_High_Mask_MSB							CS9	CS8

对于 CSx，相应位的写入值为：

0 如果 CSx C_P 的值小于 40 pF

1 如果 CSx C_P 的值大于 40 pF

3.2 设计工具箱

设计工具箱有助于设计一个 CY8CMBR2010 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，并对设计是否适合大规模生产提出了建议。

3.2.1 一般布局指南

表 3-10 总结了 CY8CMBR2010 的布局指南。这些指南在电气和机械设计的注意事项中进行了说明。有关该材料的详细内容，请参考《CapSense 入门手册》。

表 3-10. 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	5 mm	15 mm	Given in Layout Estimator sheet
3.	Button-button spacing	equal to button ground clearance		8 mm
4.	Button-ground clearance	0.5 mm	2 mm	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 mm	450 mm is for FR4 PCB, with a button diameter of 5 mm and a pin capacitance of 7 pF. For a different design, refer to 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 the 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.	Number of via on sensor trace	1	2	1
13.	CapSense series resistor placement		10 mm	Place CapSense series resistors close to the device for noise suppression. CapSense resistors have highest priority compared to LED resistors. 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 the sensor. The CapSense trace length between the device and the 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, 2nd Layer – CapSense traces & Vdd and avoid the Vdd traces below the sensors, 3rd Layer-hatched ground, Bottom layer- device other components and non CapSense traces
18.	Overlay thickness	0 mm	5 mm	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 backlighting			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.

3.2.2 布局估计

布局估计是针对预期终端系统的要求和工业设计而建议了最小的按键尺寸和最长的走线长度。它的输入内容包括覆层材料、覆层厚度、电路板材料的走线电容，另外它还确定设计中是否使用了 CS0，如果使用了，其灵敏度怎么样。图 3-17 中的列表 B 列出了不同覆层材料的绝缘常数，以及不同 PCB 上每单位长度的走线电容。表 A 根据三个系统噪声条件计算设计的最小按键直径和最大走线长度。“低”、“中”和“高”噪声条件是相对质量指标，它有助于按键开发。根据终端系统环境，噪声条件可能因按键而异。如果噪声条件未知，请使用“中”作为起点。每个按键的实际噪声在设计验证 阶段决定。

使用此表的输出可以知道按键板布局过程，然后在进行原型设计之前使用 CP、功耗以及响应时间计算检查设计。

图 3-17. 布局估计

TableA- Estimator

Input Parameters	Value	Units	Comments
Overlay Thickness	1.5	mm	
Overlay - Dielectric constant	8	farad/m	
Capacitance of trace per inch	2	pF	
Is CS0 used in design	No		The CapSense button, CS0, can be used for special purpose functions in a design. Unlike other buttons, CS0 sensitivity and debounce values are configurable. As an example usage, the power button needs to be less sensitive and have higher debounce value than the other buttons, to avoid false switch ON/OFF of the device. Use CS0 here.
CS0 Sensitivity (if CS0 used)	Low		If the power consumption is critical, select "Low" sensitivity. If the board form factor is critical, select "High" sensitivity.
Minimum Recommended Button Diameter (based on minimum 0.25pF Finger response)			
CS1 - CS9			
Noise Conditions - Low (0.05 pF Noise)	5	mm	
Noise Conditions - Medium (0.075 pF Noise)	5	mm	
Noise Conditions - High (0.1 pF Noise)	5	mm	
CS0			
Noise Conditions - Low (0.05 pF Noise)	5	mm	
Noise Conditions - Medium (0.075 pF Noise)	5	mm	
Noise Conditions - High (0.1 pF Noise)	6	mm	
Maximum Trace length			
CS1 - CS9			
Noise Conditions - Low (0.05 pF Noise)	412	mm	
Noise Conditions - Medium (0.075 pF Noise)	412	mm	
Noise Conditions - High (0.1 pF Noise)	412	mm	
CS0			
Noise Conditions - Low (0.05 pF Noise)	412	mm	
Noise Conditions - Medium (0.075 pF Noise)	412	mm	
Noise Conditions - High (0.1 pF Noise)	406	mm	
Button to Ground clearance	1.5	mm	

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

Note: Button diameter of all the buttons CS1 to CS9 will be same with respect to overlay thickness, but can differ with respect to noise conditions

TableB - 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 PCB, 2 layer	8

输入

- 外覆层厚度
- 外覆层绝缘常数
- 板上每英寸走线的电容
- 设计中是否使用 CS0
- CS0 的灵敏度（若使用）

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

根据按键噪声的不同，每个按键的直径也不一样。

3.2.3 CP、功耗以及响应时间计算

在完成电路板布局后，请在构建原型前使用功耗和响应时间计算器检查您的设计，如图 3-18 所示。要验证各个按键的 CP 值，请在表 A 中输入按键的直径及走线长度。当您输入这些信息后，工具箱会确认各个按键的 CP 是否都在指定的范围（5 pF 至 40 pF）内。

表 B 中的功耗计算用于优化功耗。功耗是一个由按键扫描速率、抗噪能力级别以及手指触摸按键的时间百分比组成的函数。请参考按键扫描速率、表 3-6 以及表 3-7 中介绍的内容。

表 C 基于表 A 和 B 中的输入来输出按键响应时间。CS0 的去抖动值对它的响应时间产生影响。

图 3-18. CP、功耗以及响应时间计算

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	
CS4		mm		mm	0	pF	
CS5		mm		mm	0	pF	
CS6		mm		mm	0	pF	
CS7		mm		mm	0	pF	
CS8		mm		mm	0	pF	
CS9		mm		mm	0	pF	
Total No of buttons	0	Nos					

Table B: Power calculator

Select Scan Rate resistor value	0	ohms
Approximate Button Scan Rate value	25	ms
% of time finger is on the sensors	5	%
Select Noise Immunity level	High	
Select CS0 Debounce value, if CS0 used	99	
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

CS0 First button press	850	ms
CS0 Consecutive button press	850	ms
CS1-CS9 First button press	50	ms
CS1-CS9 Consecutive button press	50	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–CS9 的按键直径和走线长度，如布局中的设计
- 扫描速率电阻器值
- 手指接触按键的时间百分比
- 抗噪能力级别
- CS0 去抖动值（如果在设计中使用了 CS0）

输出

- 每个按键的寄生电容值（CP）。确认 CP 值是否处于 5 pF 到 40 pF 的指定范围内
- 每个按键的功耗
- 按键响应时间

3.2.4 设计验证

构建并测试完原型电路板后，您可以使用串行调试数据输出 测试模式捕捉每一个按键上的原始信号、噪声信号和 C_P。这时您可以将该信息输入到图 3-19 所显示的设计验证表 C 中，以验证您的设计。

图 3-19. 设计验证

Table A: Actual Design values

Input Parameters	Initial value	New value	Units
Overlay Thickness (in mm)	1.5		mm
Dielectric constant, overlay	8		farad/m
Capacitance of trace per inch in pF	2		pF
Is CS0 used in design	No	No	
CS0 sensitivity (if CS0 used)	Low		
Scan Rate Resistor	0		ohms
Button Scan Rate Value	25		ms
No of buttons	0	0	Nos
% of time finger is on the sensors	5		%
Noise Immunity Level	High		
CS0 Button diameter actual			mm
CS1 Button diameter actual			mm
CS2 Button diameter actual			mm
CS3 Button diameter actual			mm
CS4 Button diameter actual			mm
CS5 Button diameter actual			mm
CS6 Button diameter actual			mm
CS7 Button diameter actual			mm
CS8 Button diameter actual			mm
CS9 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

	input cells, edit with actuals
	output cells, based on inputs
	constant cells, same as previous 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.

Table C: 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
CS3	0	counts	0	pF	0	counts	0	mA	0	mm		0	mm
CS4	0	counts	0	pF	0	counts	0	mA	0	mm		0	mm
CS5	0	counts	0	pF	0	counts	0	mA	0	mm		0	mm
CS6	0	counts	0	pF	0	counts	0	mA	0	mm		0	mm
CS7	0	counts	0	pF	0	counts	0	mA	0	mm		0	mm
CS8	0	counts	0	pF	0	counts	0	mA	0	mm		0	mm
CS9	0	counts	0	pF	0	counts	0	mA	0	mm		0	mm
			Actual average current consumption				0	mA					

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

根据下面各步骤捕获并输入数据：

1. 通过将 Delay 引脚上的电阻（大小为 7-10 kΩ）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 Delay 引脚连至电脑。
3. 打开 MultiChart（参见 AN2397，《CapSense 数据查看工具》）并配置下面各项：
   a. 选择 PORT = <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:\Program Files\Cypress\CY8CMBR2010.csv”
4. 点击 **Enable/disable log-file**。它会自动将数据存储到日志文件内。最少记录 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，以后将使用相应数据自动更新工具箱。

表 A 显示的是上表的不同设计参数值，因此您不需要向该表输入任何数据。此表为原型电路板提供通过/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（新值）计得到通过，使表 A 中的 New value 列为空。

输入

- 原始信号
- 噪声信号
- 按键 C_P
- 如果设计失败，注意下面的内容：
  - 每个按键的新的外覆层厚度、外覆层材料介电常数和按键直径，以及走线电容
  - 设计中使用的扫描速率电阻值。
  - 手指接触按键的时间百分比
  - 如果设计中使用了 CS0，则输入灵敏度
  - 抗噪能力级别

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。

如果按键电路板未被通过，则设计工具箱将提供建议以指导您实现可通过的结果。您可以通过更改四个因素来纠正失败设计：按键大小、走线长度、外覆层材料和外覆层厚度。更改按键大小或走线长度需要重做电路板，而更改外覆层材料或厚度（或两者）则可能通过设计完成。最好的解决方案取决于您当前处于设计周期的什么阶段，以及您的终端系统要求。

4. 电气和机械设计的注意事项

在您的应用中设计电容式触摸感应技术时，一定要将 CapSense 器件配置在较大规模的框架中，这一点至关重要。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 外覆层选择

在 CapSense 基本原理中，等式 1 介绍的是手指容值：

$$C_F = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{D}$$

其中：

ε_0 = 空气介电常数

ε_r = 外覆层的绝缘常数

A = 手指与按键板外覆层的接触面积

D = 外覆层的厚度

想提高 CapSense 的信号强度，请选择介电常数较高的外覆层材料，降低外覆层的厚度，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 CY8CMBR2010 解决方案，如《CapSense 原理图设计》一章中所介绍的情况。

表 4-1. 外覆层材料绝缘强度

材料	击穿电压（V/mm）	电压为 12 kV 条件下的最小外覆层厚度（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，因此不能将它用作外覆层。因此，请勿使用含有金属颗粒的油漆。

4.1.1 将外覆层粘接至 PCB

因为空气的介电常数很低，覆盖层和按键之间的空间间隙会降低按键的性能。可用绝缘粘合剂将覆盖层粘接至 CapSense PCB，以消除空气间隙。3M™ 有一种产品号为 200MP 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 467MP 和 468MP）的。

4.2 ESD 保护

考虑周全的系统设计自然会具有强大的抗 ESD 能力。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足够的 ESD 保护。表 4-1 列出了使 CapSense 按键避免 12 kV 放电（按照 IEC 61000-4-2 的规定）时所需的各种外覆层材料厚度。如果外覆层材料未提供充分保护，则在以下情况中应用防静电措施：预防、重新定向并钳制。

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。同样，要将您的系统设计成在 CapSense 控制器和 ESD 源之间保持适当的距离。如果无法保持足够的距离，请在 ESD 源与 CapSense 控制器之间放置一层防高击穿电压材料保护层。厚度为 5 密耳的一层 Kapton®胶带可以承受 18 kV 的电压。

4.2.2 重新定向

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 布局指导方针中的建议，在按键或滑块周围提供规划接地层可重定向 ESD 事件，使其远离按键和 CapSense 控制器。

4.2.3 钳制

因为是有意使 CapSense 按键的放置位置接近于触摸表面的，所以重定向放电路径可能不太切合实际。在这种情况下，考虑添加串联电阻或者专用 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特殊用途 ESD 保护器件。用于 CapSense 的 ESD 静电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 保护器件表 4-1

ESD 保护器件		输入电容	漏电流	接触放电最大限制	空气放电最大限制
制造商	器件型号				
Littelfuse	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）注意事项

4.3.1 辐射干扰

辐射电能可能会影响系统测量以及处理器内核的运行。这种影响可能会通过 CapSense 按键的走线和任何其他数字或模拟输入进入 CY8CMBR2010 芯片的 PCB 层。最大限度减小射频干扰作用的布局指南：

- **接地层**：在 PCB 上提供接地层。
- **串联电阻**：应在 CapSense 控制器引脚的 10 mm 内放置串联电阻
  - 建议 CapSense 输入线路串联电阻值为 560 Ω。
- **走线长度**：所以要尽可能地缩短走线长度。
- **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 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 抗传导和辐射干扰

通过与其他系统的互连而进入系统的噪声称为传导噪声。这些互连包括电源和通信线。因为 CapSense 控制器是低功耗器件，所以您必须避免传导辐射。以下指南可帮助减少传导辐射和干扰：

- 使用耦合电容。
- 在系统电源上连接的输入上添加双向滤波器。滤波器对于传导辐射和干扰都有效。双向滤波器可防止电源噪声影响敏感部件，同时它们还可以防止部件本身的开关噪声耦合回到电源层。
- 如果 CapSense 控制器 PCB 通过电缆连接到电源，请尽量减小电缆长度并考虑使用屏蔽电缆。
- 要想过滤出高频噪声，请在电源或通信线的周围放置一个铁氧体磁珠。

4.4 PCB 布局指导方针

设计工具箱有助于您设计一个强大的 CY8CMBR2010 CapSense PCB 布局，如通用布局指南中讨论的内容。

如果您设计使用 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 的取值范围	每个 GPO 的灌电流限制	每个器件的灌电流限制
5 pF ≤ C_P ≤ 12 pF	25 mA	120 mA
12 pF ≤ C_P ≤ 21 pF	20 mA	20 mA
21 pF ≤ C_P ≤ 40 pF	6 mA	6 mA

《CapSense 入门手册》中提供了详细的 PCB 布局指南。

5. 低功耗设计中的注意事项

5.1 系统设计建议

赛普拉斯 CY8CMBR2010 的设计可满足电池供电应用的低功耗要求。

尽量减小功耗：

- 将所有未使用的 CapSense 输入接地
- 按照 CapSense 入门指南中的设计指示最小化 C_P。
- 降低电源电压
- 要降低 CS0 按键的灵敏度，参考 CS0 灵敏度部分的内容。
- 配置设计进行功耗优化，请参见按键扫描速率。
- 只在需要时才使用“高”抗噪级别，请参考抗噪能力节中的内容。
- 使用较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

设计工具箱使本节描述的电源优化计算自动化。CY8CMBR2010 的平均功耗通过计算下面各参数来确定：

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. 平均使用电流，I_{AVE_U}
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）

按键扫描速率 T_R 可通过以下等式计算得出：

$$T_R = Button\ Scan\ Rate\ Constant + Button\ Scan\ Rate\ Offset$$ 公式 6

其中：

按键扫描速率常量：该常量取决于设计优化，并显示在表 3-7 内。 对于已优化响应时间的设计，按键扫描发生很快，不像功耗优化设计那样。

按键扫描速率偏移量：该偏移量取决于连接在 CY8MBR2010 的 ScanRate/Sleep 引脚和地端之间的外部电阻的大小。在表 3-6 中给出了不同电阻值的偏移量。偏移量的范围为 0—506 ms。

5.2.1.1 响应时间

响应时间是按下按键 CSx 所需的最短时间。在该时间内，器件能检测到有效的按键触摸并在 GPOx 上产生一个信号。

响应时间按照下面的公式计算：

公式 7

$$RT_{CBT} = Button\ Scan\ Rate\ constant + \left[Button\ Scan\ Rate\ constant \times \left\{Round_{down}\left((Debounce - 1)/3\right) + 1\right\}\right]$$

$$RT_{FBT} = Button\ Scan\ Rate + \left[Button\ Scan\ Rate\ constant \times \left\{Round_{down}\left((Debounce - 1)/3\right) + 1\right\}\right]$$

其中：

RT_{CBT} 是在第一次按键接触后连续的按键接触的响应时间

RT_{FBT} 是第一个按键接触的响应时间

在 CS1 到 CS9 中：Debounce（去抖动） = 3

CS0 的 Debounce（去抖动）值可以是 3 / 24 / 48 / 99 中的一个

$Round_{down}$ 为最大整数，其值小于或等于 $\left(\frac{Debounce-1}{3}\right)$

5.2.2 扫描时间（TS）

要计算近似的扫描时间，请使用下面的公式：

当抗噪能力为“正常”时：

$$T_S = [0.375\ ms \times (K_{CS0} + K_{CS1} + K_{CS2} + \cdots + K_{CS9})] + T_{FW}$$ 公式 8

当抗噪能力为“高”时：

$$T_S = [0.375\ ms \times (K_{CS0} + K_{CS1} + K_{CS2} + \cdots + K_{CS9}) \times 3] + T_{FW}$$ 公式 9

其中：

K_{CSX} = CSx 的按键灵敏度常量，来自表 5-1

T_{FW} = 固件执行时间，来自表 5-2

表 5-1. 按键灵敏度常量

CSx 灵敏度	CP (pF)	按键灵敏度常量（K）
高	按键接触 GND	0
	5 pF ≤ CP ≤ 9 pF	1
	9 pF < CP ≤ 20 pF	2
	20 pF < CP ≤ 40 pF	4
低	按键接触 GND	0
	5 pF ≤ CP ≤ 9 pF	0.5
	9 pF < CP ≤ 20 pF	1
	20 pF < CP ≤ 40 pF	2

表 5-2. 平均电流参数

参数	典型值	最大值
T_{FW}	6.00 ms	6.50 ms
T_S	来自公式 7	TYP 值的+5%
T_R	来自公式 5	值的±10
I_{SLEEP}	1.07 µA	1.50 µA
I_{ACTIVE}	3.4 mA	4.00 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 10

其中：

T_R = 按键扫描速率

T_S = 扫描时间

I_{SLEEP} = CY8CMBR2010 在低功耗睡眠模式期间消耗的电流，来自表 5-2

I_{ACTIVE} = CY8CMBR2010 在有效工作期间消耗的电流，来自表 5-2

5.2.4 “TOUCH”（触摸）状态下的平均电流（I_{AVE_T}）

$$I_{AVE_T} = \left(\frac{C_{BS} - T_S}{C_{BS}} \times I_{SLEEP}\right) + \left(\frac{T_S}{C_{BS}} \times I_{ACTIVE}\right)$$ 公式 11

其中：

T_S = 扫描时间

C_{BS} = 按键扫描速率常量，来自表 3-7

I_{SLEEP} = CY8CMBR2010 在低功耗睡眠模式期间消耗的电流，来自表 5-2

I_{ACTIVE} = CY8CMBR2010 在有效工作期间消耗的电流，来自表 5-2

5.2.5 平均使用电流（I_{AVE_U}）

$$I_{AVE_U} = \left(\frac{100\text{-}P}{100} \times I_{AVE_NT}\right) + \left(\frac{P}{100} \times I_{AVE_T}\right)$$ 公式 12

其中：

P = CapSense 按键 CSx 处于“触摸”状态的时间与 CY8CMBR2010 处于“ON”状态所占总时间的百分比相比较

I_{AVG_NT} = 处于“NO TOUCH”（无触摸）状态时的平均电流

I_{AVG_T} = 处于“TOUCH”（触摸）状态时的平均电流

5.2.6 平均电流（IAVE）

$$I_{AVE} = \left[I_{AVE_U} \times \left(\frac{T_{SA}}{T_{DS}+T_{SA}}\right)\right] + 0.1\ \mu A$$ 公式 13

其中：

T_{SA} = 器件并非处于深度睡眠模式下的时间

T_{DS} = 器件处于深度睡眠模式的时间

5.2.7 平均功耗（PAVE）

$$P_{AVE} = V_{DD} \times I_{AVE}$$ 公式 14

其中：

I_{AVE} = 平均电流

V_{DD} = 电源电压

5.2.8 示例计算

在如何计算平均功耗的示例中，考虑带有八个设计良好的按键的 CapSense 用户界面以及下述各参数：

- 所有 8 个按键的 C_P 值为 10 到 20 pF
- 每个按键的灵敏度都很高
- 设计为响应时间优化
- 抗噪能力为“正常”
- 通过使用一个 3.2 kΩ 的电阻，把 ScanRate/Sleep 引脚接地，可将按键扫描速率的偏移量设置为 506 ms。

按键扫描速率常量可从表 3-7 获得：

$C_{BS} = 50\ ms$

按键扫描速率可通过等式 7 得到：

$T_R = 50 + 506 = 556\ ms$

扫描时间可通过公式 9 计数得到，按键灵敏度常量可从表 5-1 获得，另外固件执行时间的典型值可从表 5-2 获得：

$T_S = [0.375 \times (8 \times 2)] + 6.00 = 12.0\ ms$

使用公式 11 以及表 5-2 中最大 I_{SLEEP} 值和最大 I_{ACTIVE} 值，可以计算 NO TOUCH（无触摸）状态下的平均电流：

$$I_{AVE_NT} = \left(\frac{556-12}{556} \times 1.50\ \mu A\right) + \left(\frac{12}{556} \times 4.0\ mA\right) = 87.79\ \mu A$$

使用公式 12 计算 TOUCH（触摸）状态下的平均电流：

$$I_{AVE_T} = \left(\frac{50-12}{50} \times 1.50\ \mu A\right) + \left(\frac{12}{50} \times 4.0\ mA\right) = 961.14\ \mu A$$

使用公式 13 计算平均电流。对于这个计算，假设用户每分钟触摸某个 CapSense 按键三秒钟。这表示设计在“触摸”状态下工作的时间占每天时长（器件处于打开状态的时间）的 5%。

$$I_{AVE_U} = \left(\frac{100-5}{100} \times 87.79\ \mu A\right) + \left(\frac{5}{100} \times 961.14\ \mu A\right) = 131.46\ \mu A$$

使用公式 15 计算平均功耗。对于这个计算，假设该设计不使用深度睡眠模式，并且它在电压为 1.71 V 下工作。

$P_{AVE} = 1.71 \times 131.46\ \mu A = 224.80\ \mu W$

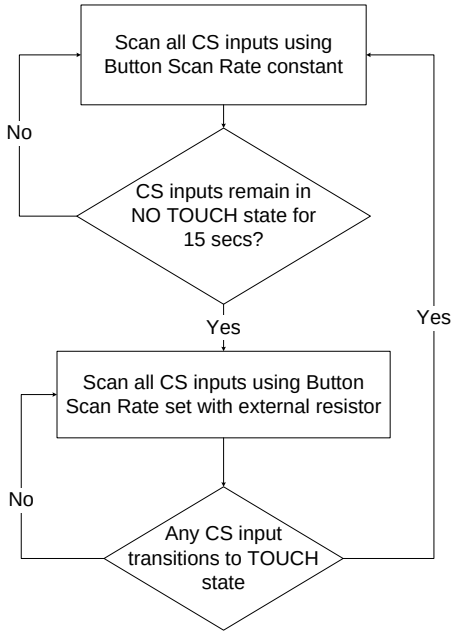
5.3 睡眠模式

赛普拉斯的 CY8CMBR2010 既可配置为在低功率或深度睡眠模式下工作。这些模式可以降低器件的功耗。

5.3.1 低功耗睡眠模式

图 5-1 中介绍了 CY8CMBR2010 控制器在低功耗睡眠模式下的行为。

图 5-1. 低功耗睡眠模式



5.3.2 深度睡眠模式

如果 CY8CMBR2010 在具有主机处理器的系统中使用，则使用 ScanRate/Sleep 引脚可以使器件在深度睡眠模式下工作。

当主机处理器为 ScanRate/Sleep 引脚提供逻辑高电平时，CY8CMBR2010 将进入深度睡眠模式。在该模式下，所有正在进行的通信被暂停，并且器件消耗~0.1 µA 的电流。

为从深度睡眠模式唤醒，主机会将 ScanRate/Sleep 线置于低电平状态。CY8CMBR2010 从深度睡眠模式唤醒后，它在低功耗睡眠模式下工作。唤醒后到按键恢复扫描前，器件将占用一段时间，这段时间被称为重新初始化。在这段时间内，不会报告任何按键。如果抗噪能力为“正常”，则重新初始化时间为 20 ms；如果抗噪能力为“高”，则高时间为 50 ms。

6. 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 CY8CMBR2010 网页上找到各种技术资源。

6.2 数据手册

www.cypress.com 上提供了 CapSense CY8CMBR2010 器件的数据手册。

- CY8CMBR2010

6.3 设计工具箱

赛普拉斯创建了一个互动电子表格设计工具箱来帮助设计强大且可靠的 CY8CMBR2010 CapSense 解决方案。

6.4 设计支持

赛普拉斯具有各种设计支持渠道，以确保 CapSense 解决方案成功。

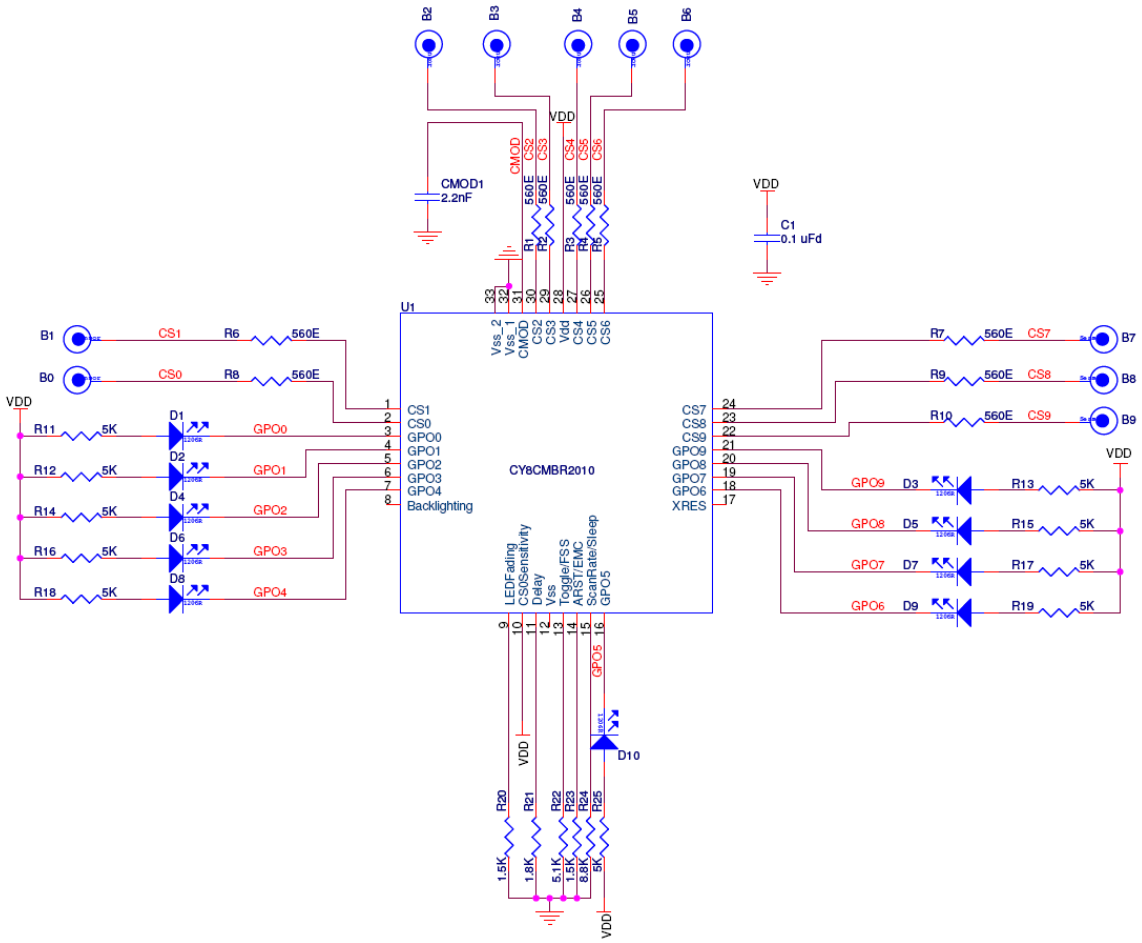
- 知识库文章 — 按产品系列浏览技术文章或对各种 CapSense 主题执行搜索。
- CapSense 应用笔记 — 以本文档提供的信息为基础的各种应用笔记。
- 白皮书 — 了解高级电容式触摸界面主题。
- 赛普拉斯开发社区 — 与赛普拉斯技术社区联系并交换信息。
- CapSense 产品选择指南 — 请参见赛普拉斯 CapSense 产品线的完整产品。
- 视频资料库 — 通过教程视频快速掌握相关知识
- 质量及可靠性 — 赛普拉斯承诺达到客户满意。在我们的“质量”网站，您可以找到可靠性和产品资质报告。
- 技术支持 — 世界级在线技术支持。

7. 附录

7.1 原理图示例

7.1.1 原理图 1：10 个按键，10 个 GPO

图 7-1. 原理图：10 个按键，10 个 GPOs



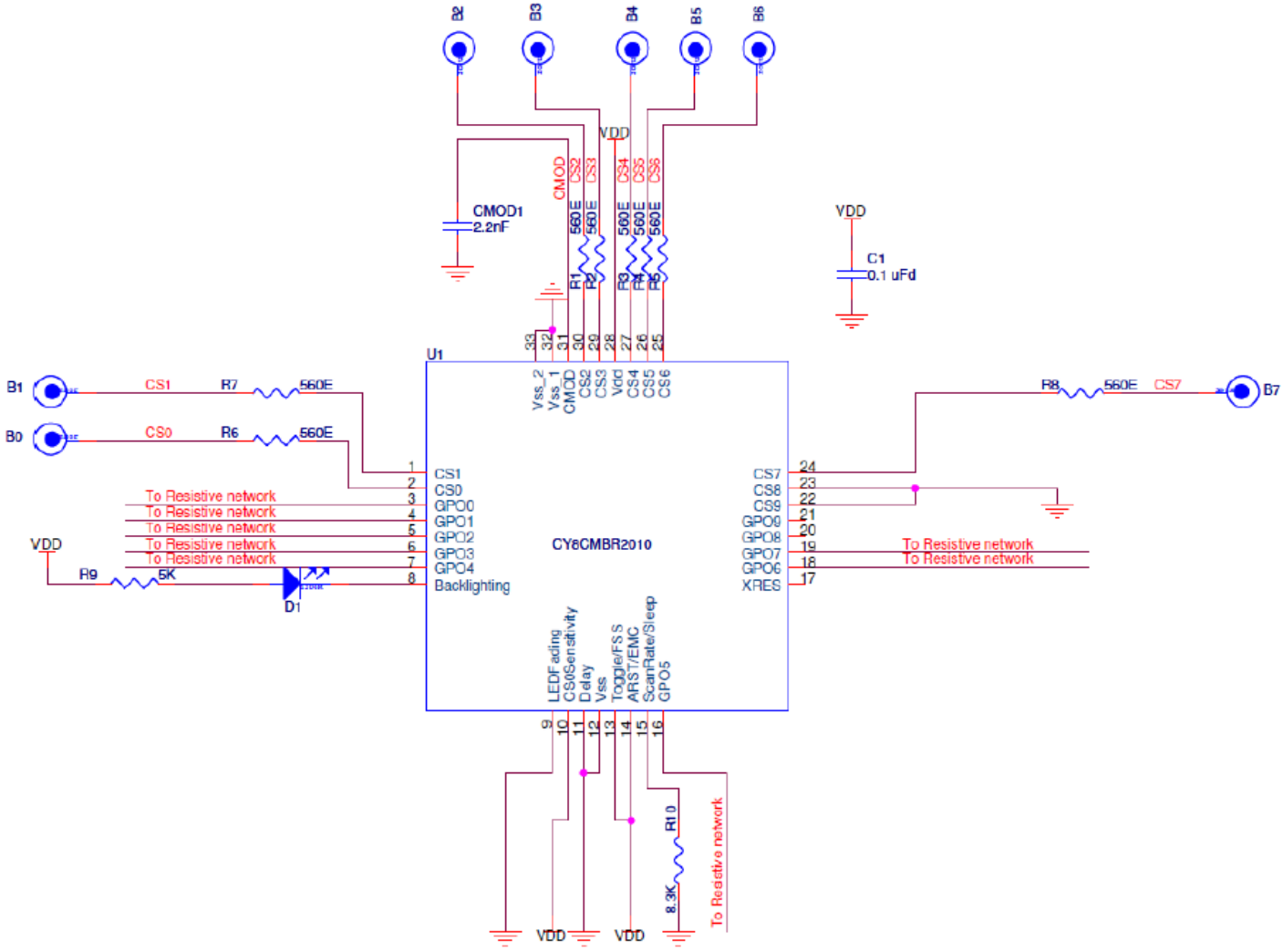
在原理图 1 中，CY8CMBR2010 的配置情况如下：

- CS0—CS9 引脚：通过 560 Ω 的电阻连接 CapSense 按键
  - 10 个 CapSense 按键（CS0 - CS9）

- GPO0—GPO9 引脚：LED 和 5 kΩ 的电阻连接到 V_{DD}
  - CapSense 按键驱动十个 LED（GPO0 - GPO9）
- C_{MOD} 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
- Toggle/FSS 引脚：通过一个 5.1 kΩ 的电阻接地
  - Toggle ON/OFF 禁用
  - FSS 启用
- ARST/EMC 引脚：通过一个 1.5 kΩ 的电阻接地
  - 使能按键自动复位
  - 抗噪能力级别为“正常”
- LEDFading 引脚：通过一个 1.5 kΩ 的电阻接地
  - 禁用模拟电压供应
  - 上电 LED 效果 1
- Backlighting 引脚：悬空
  - 无 LED Backlighting 输出，因为模拟电压供应被禁用
- Delay 引脚：通过 1.8 kΩ 电阻接地
  - LED 保持“ON”状态的时间 = 1000 ms
  - Serial Debug Data（串行调试数据）输出无效
- CS0Sensitivity 引脚：直接连接 V_{DD}
  - CS0 灵敏度为“低”
  - CS0 去抖动时间参数 = 99
- ScanRate/Sleep 引脚：通过 8.8 kΩ 的电容接地
  - 功耗优化
  - 按键扫描速率 = 298 ms

7.1.2 原理图 2：8 个按键和 8 个 GPO

图 7-2. 原理图：8 个按键，8 个 GPO



在原理图 2 中，CY8CMBR2010 的配置情况如下：

- CS0—CS7 引脚：通过 560 Ω 的电阻连接 CapSense 按键；CS8、CS9 引脚接地
  - 8 个 CapSense 按键（CS0—CS7）
  - 在设计中没有使用 CS8 和 CS9 按键
- GPO0—GPO9 引脚：连接到外部电阻网络
  - 8 个 GPO（GPO0—GPO7）用于模拟电压输出
  - 在设计中没有使用 GPO8、GPO9
- C_{MOD} 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

- Toggle/FSS 引脚：连接 V_{DD}
  - Toggle ON/OFF 被使能
  - FSS 被使能
- ARST/EMC 引脚：连接 V_{DD}
  - 使能了按键自动复位
  - 抗噪能力级别为“高”
- LEDFading 引脚：接地
  - 使能了模拟电压供应
  - 禁用了上电 LED 效果
- Backlighting 引脚：LED 和 5 kΩ 的电阻连接 V_{DD}
  - 存在 LED Backlighting 输出，因为模拟电压供应被使能
- Delay 引脚：接地
  - 禁用了 LED 点亮保持时间
  - 串行调试数据输出无效
- CS0Sensitivity 引脚：直接连接 V_{DD}
  - CS0 灵敏度为“Low”（低）
  - CS0 去抖动时间参数 = 99
- ScanRate/Sleep 引脚：通过 8.3 kΩ 的电容接地
  - 功耗优化
  - 按键扫描速率 = 210 ms

7.2 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	加电自检
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$(2^N – 1)$/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。

刷新间隔

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

文档标题：AN75999 - CY8CMBR2010 CapSense®设计指南

文档编号：001-89148

修订版	发布日期	变更人	更改说明
**	09/12/2013	GKL	本文档版本号为 Rev**，译自英文版本 001-75999 Rev*B。
*A	11/18/2014	GKL	本文档版本号为 Rev*A，译自英文版本 001-75999 Rev*C。
*B	12/22/2015	XITO	本文档版本号为 Rev. *B，译自英文版本 001-75999 Rev. *E。