CY8CMBR2016

CapSense® 设计指南

Doc. No. 001-78723 Rev. **

赛普拉斯半导体

198 Champion Court

San Jose，CA 95134-1709

电话（美国）： 800.858.1810

电话（国际）： 408.943.2600

http://www.cypress.com

版权所有

© 赛普拉斯半导体公司，2012。此处所包含的信息可能会随时更改，恕不另行通知。除赛普拉斯产品的内嵌电路之外，赛普拉斯半导体公司不对任何其他电路的使用承担任何责任。也不根据专利或其他权利以明示或暗示的方式授予任何许可。除非与赛普拉斯签订明确的书面协议，否则赛普拉斯产品不保证能够用于或适用于医疗、生命支持、救生、关键控制或安全应用领域。此外，对于可能发生运转异常和故障并对用户造成严重伤害的生命支持系统，赛普拉斯不授权将其产品用作此类系统的关键组件。若将赛普拉斯产品用于生命支持系统中，则表示制造商将承担因此类使用而招致的所有风险，并确保赛普拉斯免于因此而受到任何指控。

商标

PSoC Designer™、Programmable System-on-Chip™、和 SmartSense™ 是赛普拉斯半导体公司的商标，CapSense® 是赛普拉斯半导体公司的注册商标。此处引用的所有其他商标或注册商标归其各自所有者所有。

源代码

所有源代码（软件和/或固件）均归赛普拉斯半导体公司（赛普拉斯）所有，并受全球专利法规（美国和美国以外的专利法规）、美国版权法以及国际条约规定的保护和约束。赛普拉斯据此向获许可者授予适用于个人的、非独占性、不可转让的许可，用以复制、使用、修改、创建赛普拉斯源代码的派生作品、编译赛普拉斯源代码和派生作品，并且其目的只能是创建自定义软件和/或固件，以支持获许可者仅将其获得的产品依照适用协议规定的方式与赛普拉斯集成电路配合使用。除上述指定的用途之外，未经赛普拉斯的明确书面许可，不得对此类源代码进行任何复制、修改、转换、编译或演示。

免责声明

赛普拉斯不针对此材料提供任何类型的明示或暗示保证，包括（但不仅限于）针对特定用途的适销性和适用性的暗示保证。赛普拉斯保留在不做出通知的情况下对此处所述材料进行更改的权利。赛普拉斯不对此处所述之任何产品或电路的应用或使用承担任何责任。对于可能发生运转异常和故障并对用户造成严重伤害的生命支持系统，赛普拉斯不授权将其产品用作此类系统的关键组件。若将赛普拉斯产品用于生命支持系统中，则表示制造商将承担因此类使用而招致的所有风险，并确保赛普拉斯免于因此而受到任何指控。

产品使用可能受适用的赛普拉斯软件许可协议限制。

目录

CY8CMBR2016 ..... **1**

CapSense® 设计指南 **1**

目录 3

1. 简介 **6**

1.1 摘要 6

1.2 赛普拉斯的 CapSense® 文档体系 6

1.3 CY8CMBR2016 CapSense Express 器件特性 8

1.4 文档规范 9

2. CapSense 技术 **11**

2.1 CapSense 基本原理 11

2.2 CY8CMBR2016 中的电容式感应方法 12

2.2.1 CapSense Sigma-Delta (CSD) 12

2.3 SmartSense 自动调校 14

2.3.1 流程变化 14

2.3.2 缩短设计周期时间 16

3. CapSense 原理图设计 **17**

3.1 CY8CMBR2016 配置选项 17

3.1.1 器件特性 17

3.1.2 CapSense 按钮 18

3.1.3 SmartSense 自动调校 18

3.1.4 多触摸感应 19

3.1.5 按键扫描接口 20

3.1.6 真值表输出 21

3.1.7 4 位编码输出： 22

3.1.8 蜂鸣器输出 22

3.1.9 中断线 22
3.1.10 硬件可配置性 22
3.1.11 噪声过滤 24
3.1.12 故障模式分析 24
3.1.13 调试数据输出 26
3.1.14 器件工作模式 26
3.2 设计工具箱 28
3.2.1 总体布局指引表 28
3.2.2 布局估算表 29
3.2.3 C_P 值和功率估算表 30
3.2.4 使用实际值表验证设计 31
3.3 原理图示例 1 32
3.4 原理图示例 2 34
4. 设计注意事项 36
4.1 外覆层选择 36
4.1.1 将外覆层粘合至 PCB 37
4.2 ESD 保护 37
4.2.1 预防 37
4.2.2 重定向 37
4.2.3 钳制 37
4.3 电磁兼容性 (EMC) 注意事项 38
4.3.1 辐射干扰 38
4.3.2 传导抗干扰和辐射 38
4.4 功耗 38
4.4.1 系统设计建议 38
4.5 扫描线路波形要求 – 按键扫描接口 39
4.6 睡眠模式 40
4.6.1 低功耗睡眠模式 40
4.6.2 深度睡眠模式 40
4.7 PCB 布局指南 40
5. 资源 41
5.1 网站 41
5.2 数据手册 41
5.3 工具包 41

5.4 电路板样本文件 41
5.5 CapSense 数据查看工具 44
5.6 设计支持 44
5.7 文档修订记录 44

1. 简介

1.1 摘要

本文档为在 CY8CMBR2016 CapSense Express 控制器中实施电容式感应 (CapSense®) 功能提供设计指导。本指南包含以下主题：

- CY8CMBR2016 CapSense Express 控制器的特性
- CapSense 的操作原理
- CY8CMBR2016 器件的配置选项。
- 使用带有 CY8CMBR2016 的设计工具箱。
- CapSense 系统的电气和机械设计注意事项
- 将 CapSense 设计在系统中所需的其他资源和支持

1.2 赛普拉斯的 CapSense® 文档体系

图 1-1 和表 1-1 汇总了赛普拉斯 CapSense 的文档系统。这些资源有助于用户快速访问用于成功完成 CapSense 产品设计所需的信息。图 1-1 显示典型的电容式感应产品设计周期流程；本指南中的信息与突出显示为绿色的主题关联性最大。表 1-1 提供图 1-1 中每个编号任务的支持文档链接。

图 1-1. 典型的 CapSense 产品设计流程

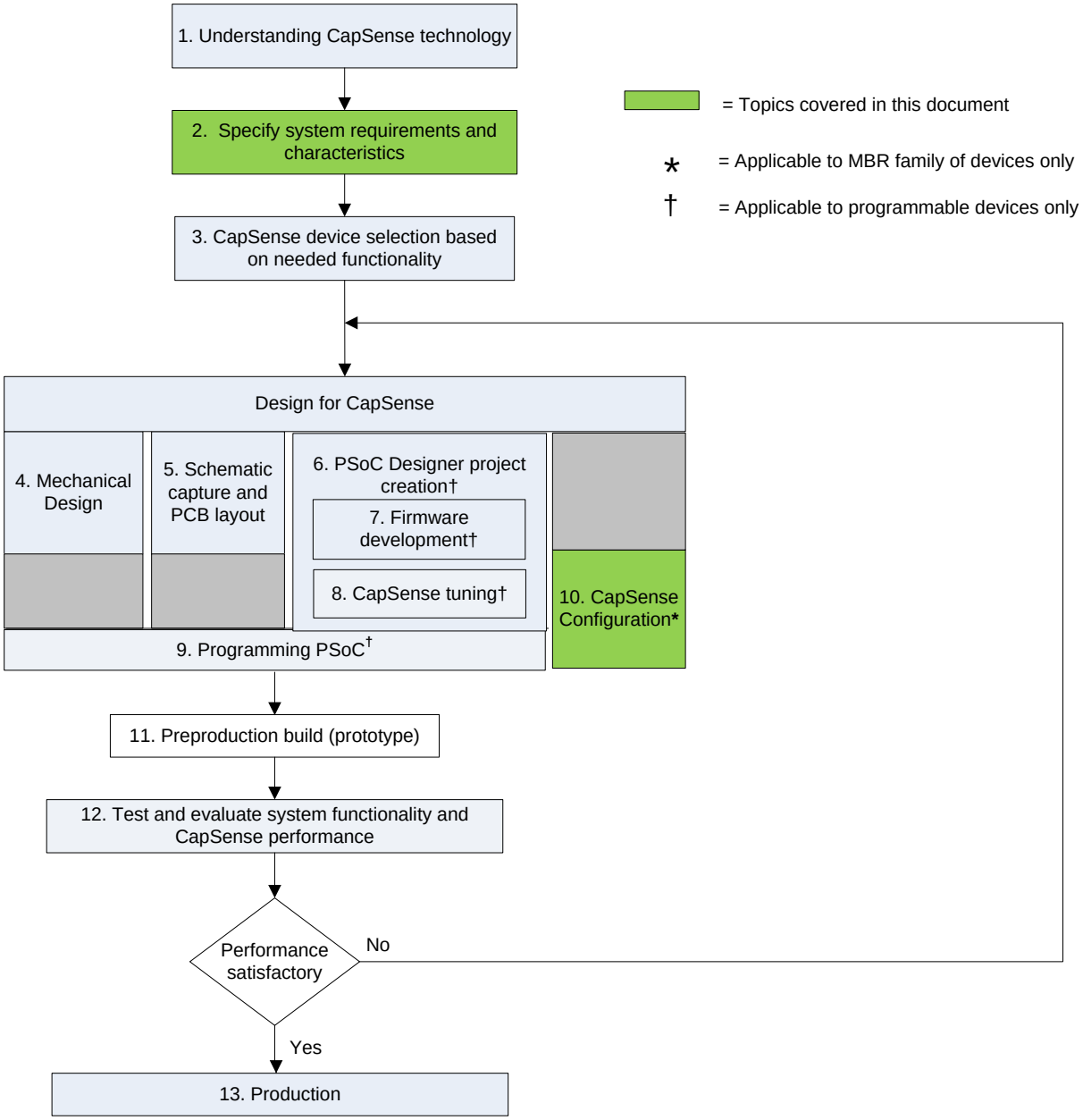


表 1-1. 支持图 1-1 中所示编号设计任务的赛普拉斯文档

图 1-1 中设计任务的编号	**赛普拉斯 CapSense® 支持文档**
1	●CapSense 入门
2	●CapSense 入门 ●CY8CMBR2016 CapSense 器件数据手册
3	●CapSense 入门 ● PSoC 系列产品的 CapSense□设计指南（即本文档）
4	●CapSense 入门
5	●CapSense 入门 ●PSoC Designer 用户指南
6	●PSoC Designer 用户指南
7	●汇编语言用户指南 ●C 语言编译器用户指南 ●CapSense 代码示例 ● PSoC 系列产品的技术参考手册
8	● PSoC 系列产品的 CapSense 设计指南（即本文档） ● PSoC 系列产品的 CapSense 用户模块数据手册（CSD 和 SmartSense） ● PSoC 系列产品的技术参考手册 ● AN2397 -CapSense 数据查看工具
9	□ ● 编程器用户指南 ● MiniProg3 用户指南 ● AN2026c - 适用于 CY8C20xx6、CY8C20xx6A、CY8CTMG2xx 和 CY8CTST2xx 以及 CY7C643xx 和 CY7C604xx 的系统内串行编程 (ISSP) 协议 ● AN44168 - 使用外部微控制器 (HSSP) 的 PSoC 1 器件编程 ● AN59389 - 适用于 CY8C20xx6、CY8CTMG2xx 和 CY8CTST2xx 的主机源串行编程
10	□ ● CapSense Express 系列设计指南（即本文档）
11	● PSoC 系列产品的 CapSense 设计指南（即本文档） ● CapSense Express 原理图/布局示例

1.3 CY8CMBR2016 CapSense Express 器件特性

赛普拉斯的 CY8CMBR2016 是一款可以轻松快速地将 CapSense 电容式感应技术应用到您的用户界面的低功耗器件。此器件使用硬件执行系统配置，从而免除了对软件工具、固件开发和器件编程的需求。CY8CMBR2016 具有以下特性：

- 电容式按钮控制器简单易用
  - 硬件采用可配置的 16 按钮解决方案
  - 轻松实现基于真值表的解码输出模式
  - 机械按键扫描接口能够满足向后兼容
- 强大的降噪性能
  - 高灵敏度、低噪声电容式感应算法
  - 强大的抗射频 (RF) 和交流 (AC) 噪声能力
  - 低噪声辐射
- SmartSense™ 自动调校
  - 无需任何手动调校（加快了上市进程）
  - 在运行时自动设置所有 CapSense® 参数
  - 确保信噪比 (SNR) 达到 5:1 或者更大
  - 支持宽输入电容范围（5 pF 至 40 pF）
- 高级功能
  - 多个灵敏度选项
  - 多触摸感应 (MTS) 技术可实现按键同步检测
  - 支持三种不同的输出模式
  - 可变扫描速率，能够优化功耗
  - 运行时停滞时传感器配置自动复位
  - 简化的生产线测试

    CapSense 按钮的故障模式影响分析 (FMEA)
- 宽工作范围
  - 1.71 V 至 5.5 V（是非稳压电池应用的理想选择）
- 低功耗
  - 运行模式下的供电电流仅为每个按钮 20 µA
  - 深度睡眠电流： 100 nA
- 工业级温度范围： –40 °C 至 +85 °C
- 48 引脚四方扁平无引脚器件 (QFN) 封装 (6 × 6 × 0.6 mm)

1.4 文档规范

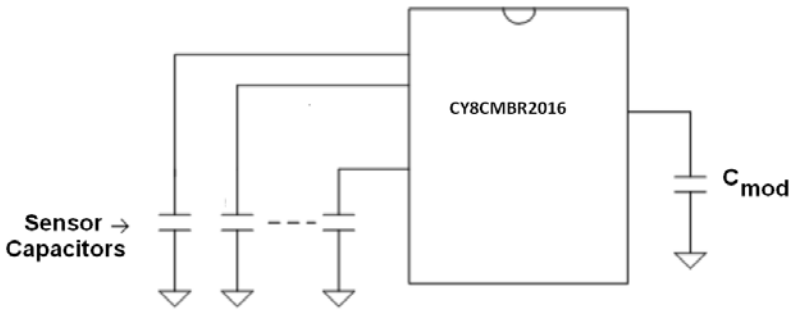
格式	用途
Courier New	显示文件位置、用户输入的文本和源代码： C:\ ...cd\icc\
斜体	显示文件名和参考文档： 阅读 *PSoC Designer 用户指南*中的 *sourcefile.hex* 文件
[方括号、粗体]	显示程序中的键盘命令： [Enter] 或 [Ctrl] [C]
File（文件）> Open（打开）	表示菜单路径： File（文件）> Open（打开）> New Project（新建项目）
粗体	显示程序中的命令、菜单路径和图标名称： 单击 **File（文件）**图标，然后再单击 **Open（打开）**。
Times New Roman	显示等式： 2 + 2 = 4
文本显示在灰色框中	描述警告和产品的独特功能。

2. CapSense 技术

2.1 CapSense 基本原理

CapSense 是一种触摸感应技术，用于测量将其作为传感器设计的 CapSense 控制器上各个 I/O 引脚的电容。如图 21 所示，各个传感器引脚的总电容可以建模为在同一设计中包含 $C_{X[}1]$ 至 $C_{X[}n]$ 等 n 个传感器的电容值的等效集总电容器。CY8CMBR2016 器件的内部电路将各个 C_X 的大小转换为数字代码进行保存，以供后期处理。CapSense 控制器内部电路使用的另一组件 C_{MOD} 将在 CY8C 中详细讨论。

图 21. CY8CMBR2016 PSoC 器件中的 CapSense 实施



如图 21 所示，每个传感器 I/O 引脚均通过走线、过孔或在必要时同时使用二者连接至传感器板。外覆层是置于传感器板上的绝缘盖，也是该产品触摸界面的组成部分。当手指接触外覆层时，人体的导电性和质量将有效地引入与传感器板平行的接地传导层， 如图 2-2 所示。这种排列组成了一种平行板电容器，该电容器的容量可通过如下方式加以确定：

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

其中：

C_F = 手指与传感器外覆层接触时发生作用的电容

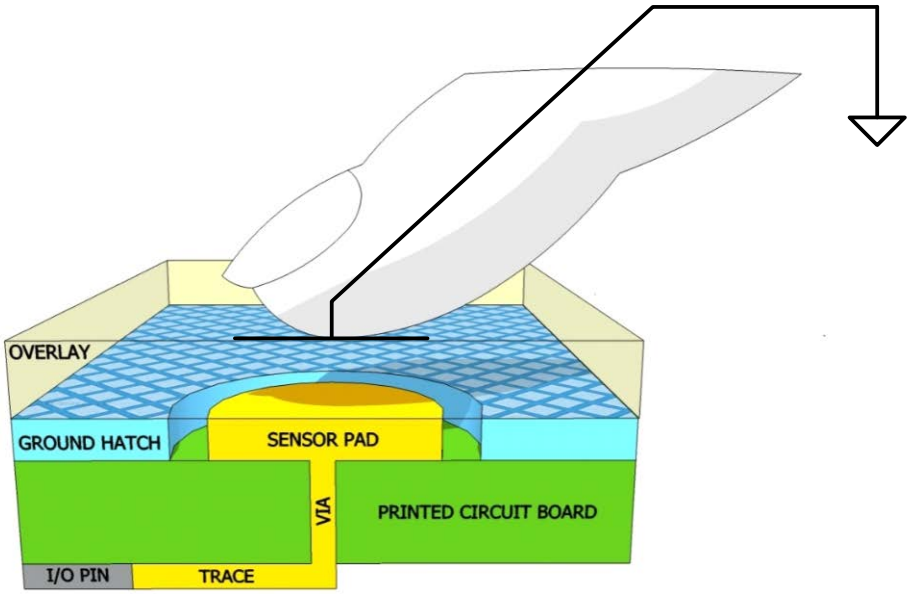
ε_0 = 空余空间电容率

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接触的范围

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，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。与平行板电容器的电场相比，这类边缘电场的作用通常极为微弱，因此一般情况下可忽略不计。

即使手指未与外覆层接触，传感器 I/O 引脚本身也有一些寄生电容 (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，其中后者是在传感器板、走线和过孔、以及接地层等系统中的其他导体、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

手指与传感器板接触时，C_X 等于 C_P 和 C_F 的和：

$$C_X = C_P + C_F$$ 公式 3

通常，C_P 大于 C_F 一个数量级。C_P 的范围通常为 10 pF 至 20 pF，但在极端情况下可以高达 50 pF。C_F 范围通常为 0.1 pF 至 0.4 pF。

2.2 CY8CMBR2016 中的电容式感应方法

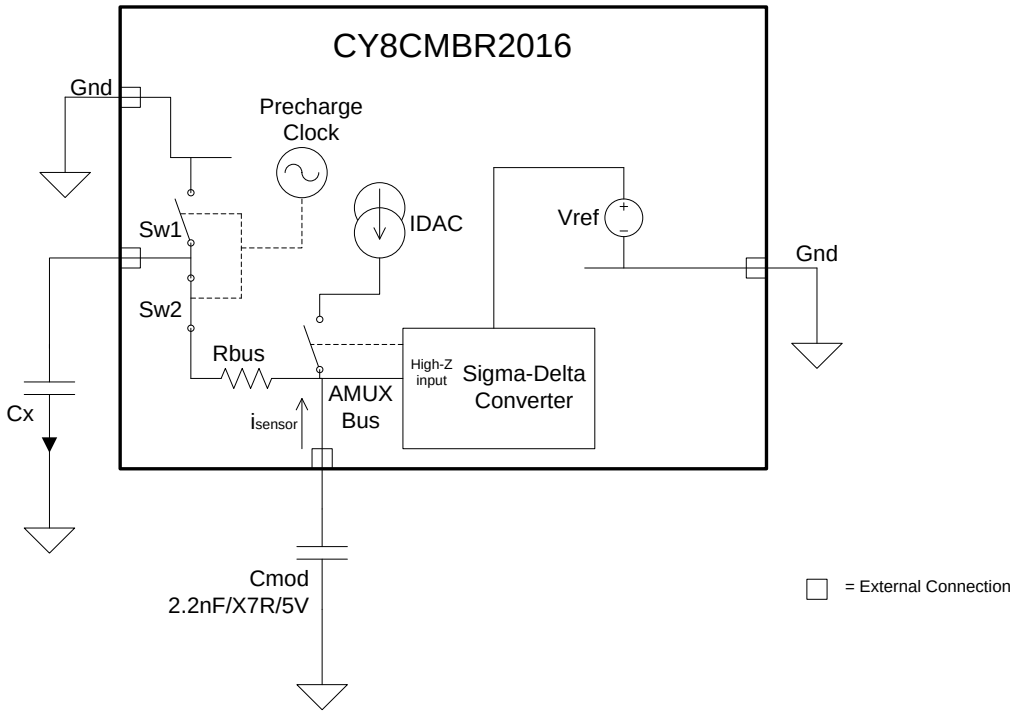
CY8CMBR2016 器件支持使用配有 SmartSense 的 CapSense Sigma Delta (CSD) 将传感器电容 (C_X) 转换为数字计数。此方法将在下列部分中讨论。

2.2.1 CapSense Sigma-Delta (CSD)

CY8CMBR2016 器件中的 CSD 方法将 C_X 整合至开关式电容电路中，如图 2-3 所示。该传感器 (C_X) 还可以通过切换开关 Sw1 和 Sw2 分别连接至 GND 和模拟复用器 (AMUX) 总线。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

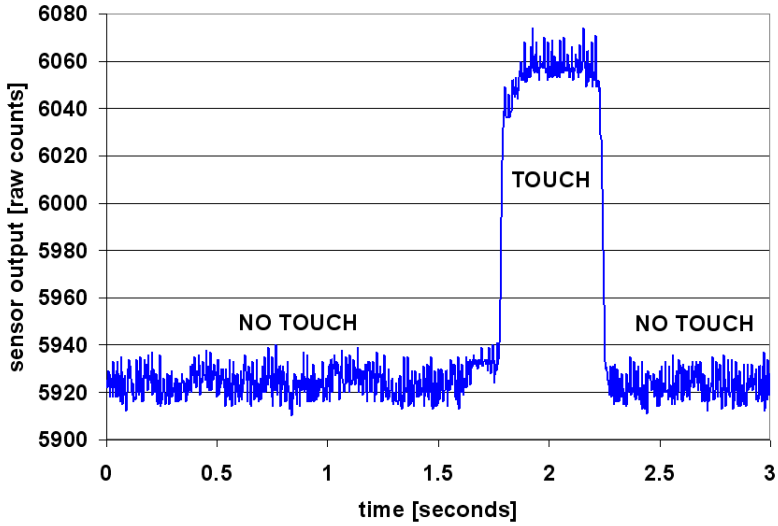
成一个用来控制恒流源 (I_{DAC}) 的调制位流，该恒流源对 AMUX 充电使 AMUX 总线的平均电压便保持在 V_{REF}。传感器释放调制电容器 (C_{MOD}) 中的电荷 I_{SENSOR}。C_{MOD} 与 Rbus 共同构成一个低通滤波器，该滤波器消弱了 Sigma-Delta 转换器输入的预流电开关跃变电压。

图 2-3. CSD 框图



保持 AMUX 平均电压为稳态值 (V_{REF}) 时，Sigma-Delta 转换器通过控制位流占空比的方式保持平均的充电电流 (I_{BLEED}) 与 I_{SENSOR} 相互匹配。Sigma-Delta 转换器存储在传感器扫描期间内位流，其累积结果为数字输出值，称为原始计数，该值与 C_X 成正比。此原始计数由高级算法进行处理，以便得到传感器的状态。图 2-4 表示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。根据 CapSense 基本原理中的解释，手指触摸传感器导致 C_X 增加 C_F，进而导致原始计数按比例增加。通过比较稳定状态下原始计数的偏移量与预定阈值，高级算法可以确定传感器是处于 On（触摸）状态还是 Off（释放）状态。

图 2-4. 手指触摸期间的 CSD 原始计数



2.3 SmartSense 自动调校

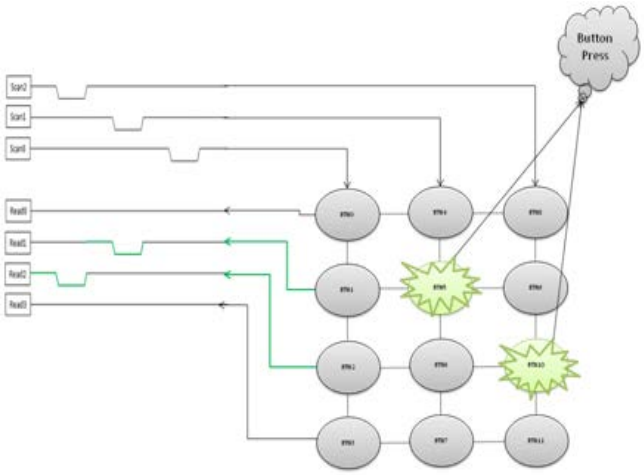
调校触摸感应用户接口是确保系统正常运行和保持良好用户体验的重要步骤。典型的设计流程包括在初期设计阶段（系统集成期间）调校传感器接口，并在最终生产时精调，而后方能大量生产。调校是一个重复过程，可能非常耗时。带有 SmartSense 自动调校的 CY8CMBR2016 缩短了用户界面的整个开发周期。由于省去了调校流程，设计周期大幅缩短。SmartSense 在上电时自动调校每个传感器，然后在后续运行时监控并维持最佳的传感器性能。这种技术适用于在 PCB 制造误差、多种环境条件以及噪音源（如 LCD 反相器、交流线路噪声、开关模式的电源），并自动修正这些误差。

2.3.1 流程变化

启用 SmartSense 的 CY8CMBR2016 器件专门适用于寄生电容范围为 5 pF 至 40 pF 的传感器（典型传感器 C_P 值的范围为 10 pF 至 20 pF）。各个传感器的灵敏度参数可按要求进行配置。不同传感器的寄生电容可能会因 PCB 布局、PCB 制造流程误差或多源供应链中不同供应商的 PCB 误差而有所差别。传感器的灵敏度取决于其自身的寄生电容；较高 C_P 值会削减传感器的灵敏度，并导致手指触摸信号幅度下降。在某些情况下，C_P 值的变化会使系统失调，致使传感器无法达到其最佳性能（太敏感或不够敏感），最糟情况时，传感器将无法工作。在上述任一情形下，您都必须重新调校系统；在某些情况下，还需要重新验证 UI 子系统。CY8CMBR2016 通过将 SmartSense 和基于传感器大小及 C_p 的可配置灵敏度相集成的方式解决了这些问题。

CY8CMBR2016 是一种 16 按钮的固定功能硅片，带有可根据用户要求进行配置的多种硬件选项。其中一种选项为旧式机械键盘接口选项。有关引脚的确切信息，请参考第 12 页上的图 3-1。选定此选项后，该器件将八 (8) 个输出线路配置为键盘扫描模式，其中四 (4) 个为“扫描”线路，四 (4) 个为“读取”线路。“扫描”线路用作键盘的轮询线路，而“读取”线路用作键盘的返回线路。这些线路如图 2-5 所示。有关如何在您现有的键盘系统中设计此器件的详细内容，将在第 4.5 。带有 SmartSense 的 CY8CMBR2016 能够支持系统设计者使用应用笔记“39 页上的第 CapSense 入门”中推荐的最佳实践创建平台设计。

图 2-5. 机械键盘替换

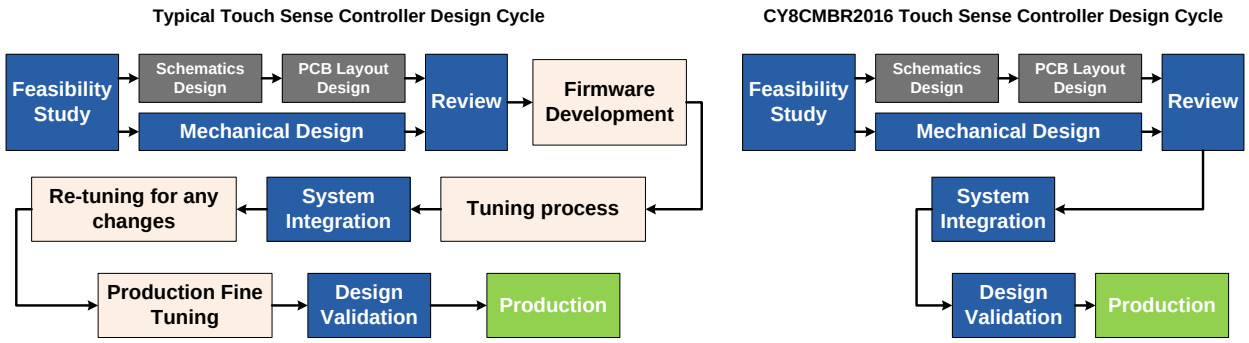


2.3.2 缩短设计周期时间

通常而言，设计电容式传感器 UI 的过程中最耗时的工作是固件开发和传感器调校。使用常规触摸感应控制器时，如果将同一设计移植到了不同的模型或者 PCB 或传感器布局的机械尺寸发生了变化，便需要重新调校传感器。

而 CY8CMBR2016 则无需进行固件开发、器件编程，也无需在发生变化进行调校或重新调校，因为 SmartSense 会自动调校传感器。这大大加快了常规设计周期的进程。图 2-6 中比较了常规电容式触摸感应控制器与基于 CY8CMBR2016 的设计的设计周期。

图 2-6. 常规电容式接口设计周期对比

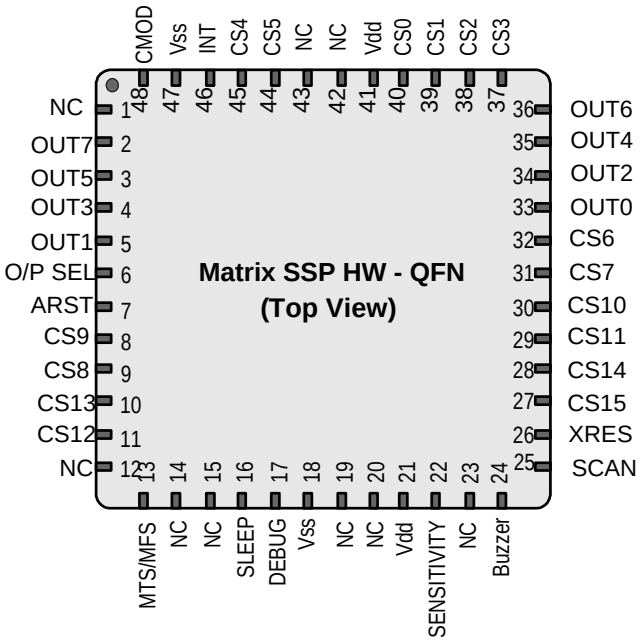


3. CapSense 原理图设计

3.1 CY8CMBR2016 配置选项

赛普拉斯的 CY8CMBR2016 允许您仅使用硬件便可实施电容式触摸感应功能。本节提供有关 CapSense 控制器引脚及其配置方式的概述。

图 3-1. CY8CMBR2016 引脚图



3.1.1 器件特性

表 3-1. 器件的特性列表

特性	描述/用途
16 个 CapSense 按钮	机械按钮/键盘替换
多触摸感应	报告按钮同时触摸
按键扫描接口	机械矩阵按键替换

特性	描述/用途
真值表输出	矩阵式编码输出，可轻松集成系统
4 位编码输出	较少的按钮状态输出引脚个数
传感器自动复位	防止传感器在运行时停滞
扫描/睡眠速率	基于功率需求配置器件
可配置灵敏度	为系统选择灵敏度 – 以最大程度地检测系统中出现的微小变化
深度睡眠	通过使器件休眠来减少功率消耗
故障模式分析	支持生产测试和调试

3.1.2 CapSense 按钮

- 该器件可支持最多 16 个 CapSense 按钮。
- 将 CSx 引脚接地，可禁用 CapSense 输出。
- 2.2 nF 电容器应连接至 C_{MOD} 引脚，才可实现正常的 CapSense 操作。

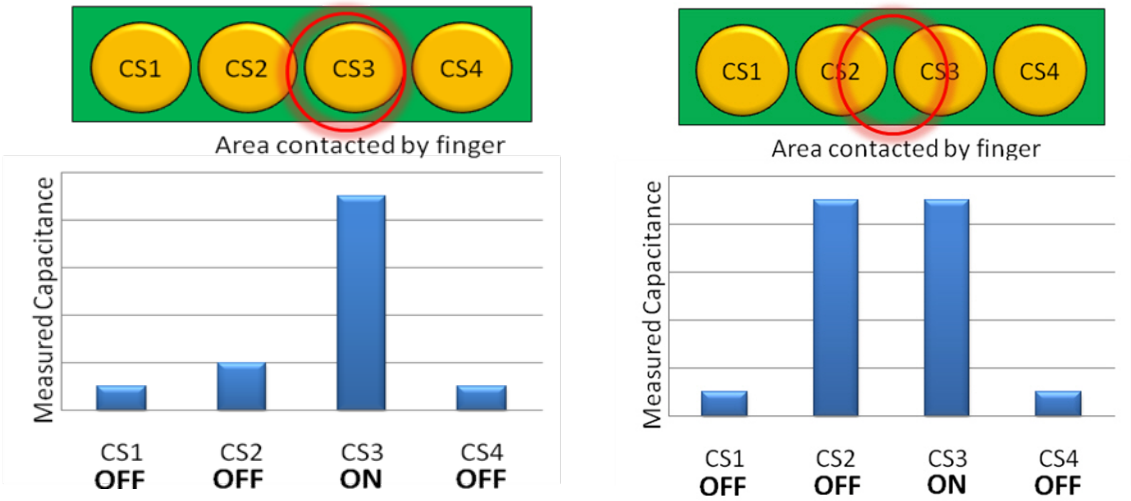
3.1.3 SmartSense 自动调校

- 该器件可自动调校 CapSense 传感器参数。
- 无需任何手动调校；所有参数均由器件自动设置。
- 各个按钮的寄生电容 (Cp) 均应小于 40 pF 方可实现正常的 CapSense 操作。

3.1.4 多触摸感应

- 运行同时按钮触摸。
- 要启用该功能，可将 MTS 引脚连接至 GND。将其悬空或连接至 V_{DD} 可禁用该功能。
- 禁用该功能有助于区分间隔紧密的传感器。
- 禁用该功能之后，按下的第一个传感器在释放之前将始终报告为“开启”状态，在此期间，即使按下其他传感器，也是如此（如图 3-2 所示）。

图 3-2. 间隔紧密的传感器的多触摸感应禁用操作



3.1.5 按键扫描接口

- 模仿旧式机械键盘 - 四个“扫描”线路 (I/P) 和四个“读取”线路 (O/P)
- 读取“扫描”线路并基于按钮状态更新“读取”线路
- 为机械键盘提供即插即用式替换
- 当传感器禁用或发现无效时，表 3-2 可帮助识别“扫描”和“读取”线路。
  - 当不使用“扫描”线路时，应将其连接至 V_{DD}
- 引脚输出中的 SCAN_0 至 SCAN_3 组成“扫描”线路，而 READ_0 至 READ_3 组成“读取”线路
- 有关“扫描线路波形”的详细信息，请参考图 3-4。

表 3-2. 基于传感器数量的按键扫描接口选择

传感器数量	“扫描”线路 x “读取”线路	“扫描”线路
(>12 个)	4x4	SCAN 0 至 SCAN 3
(<=12 个 并且 >8 个)	3x4	SCAN 0 至 SCAN 2
(<=8 个并且 >4 个)	2x4	SCAN 0 至 SCAN 1
(<=4 个)	1x4	SCAN 0

图 3-3. 键盘扫描接口

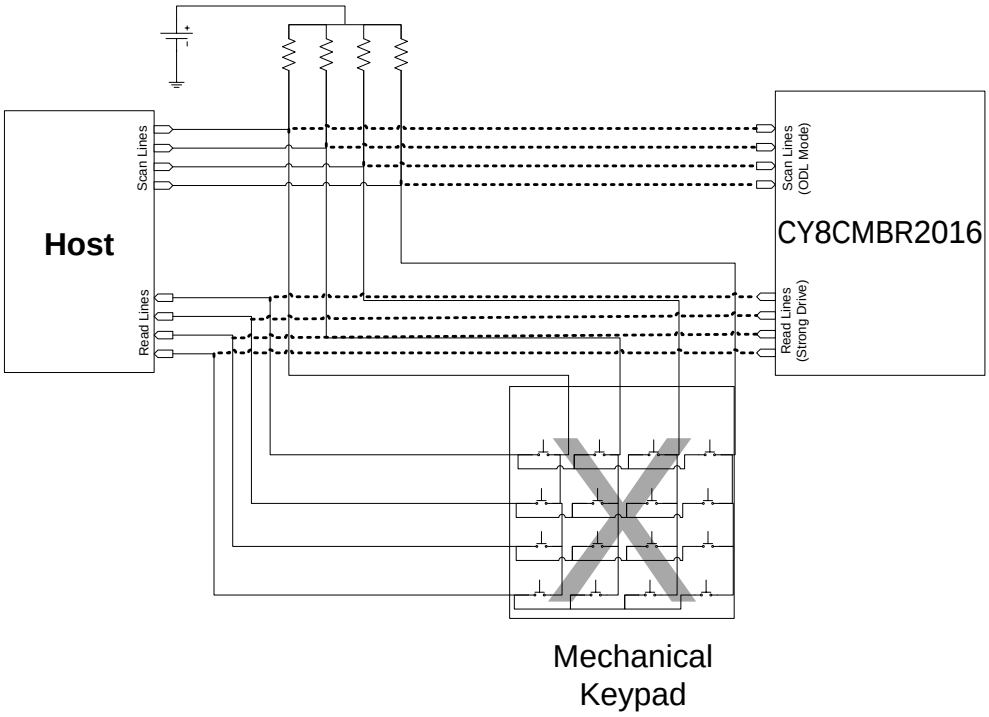
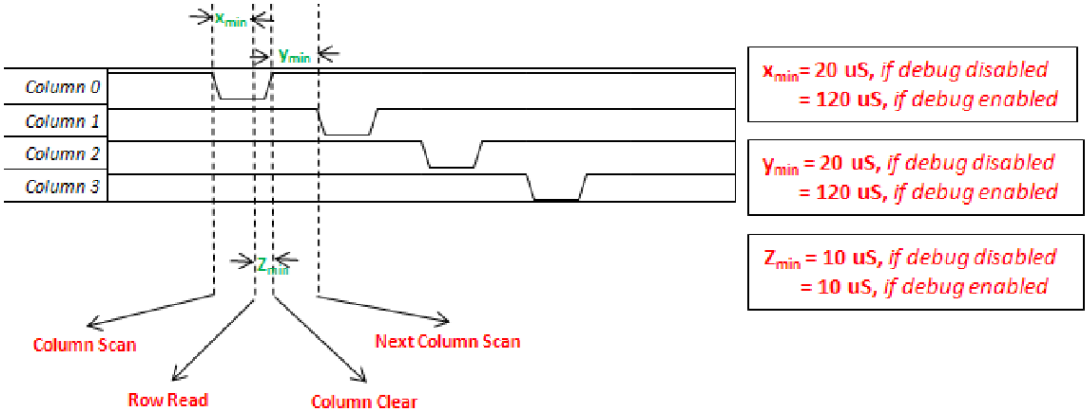


图 3-4. 扫描线路波形： 时序



3.1.6 真值表输出

- 另一个输出接口可提供矩阵式输出
- 所有引脚均为输出引脚 – 分为“行”或“列”。
- 每次仅可报告一个按钮 – 在启用 MTS 时，该功能不可用
- 以“行/列”编码方式（如图 3-5 所示）报告按钮状态。各个按钮均有其各自的“行 - 列”代码
- 轻松集成到系统中要求具备含单个按键要求的简单接口。
- 引脚输出中的 TT_ROW_0 至 TT_ROW_3 组成“行”线路；TT_COL_0 至 TT_COL_3 则组成“列”线路

图 3-5. 真值表输出

4x4		Matrix Code							
Buttons	1				●				●
	2				●			●	
	3				●		●		
	4				●	●			
	5			●					●
	6			●				●	
	7			●			●		
	8			●		●			
	9		●						●
	10		●					●	
	11		●				●		
	12		●			●			
	13	●							●
	14	●						●	
	15	●					●		
	16	●				●			
		3	2	1	0	3	2	1	0
		Rows				Columns			

3.1.7 4 位编码输出：

- 四个引脚仅可报告 16 个按钮中的一个按钮
- 各个按钮都有其各自的代码
- 使用此接口每次仅可报告一个按钮
- 表 3-3 定义了解码表

表 3-3. 编码输出

CapSense 检测到的按键	EO[3:0]	中断时间
按键 #1	0000	1
按键 #2	0001	1
按键 #3	0010	1
按键 #4	0011	1
…	…	1
按键 #16	1111	1
未按任何按键	XXXX	0

3.1.8 蜂鸣器输出

- 该器件提供用于蜂鸣器输出的专用引脚。
- 蜂鸣器输出可用于驱动 P 型晶体管驱动蜂鸣器或直接驱动直流蜂鸣器达到 10 mA 的灌电流。

3.1.9 中断线

- 连接主机控制器的中断线。
- 当一个或多个传感器为活动状态时引脚将变为高电平，并在释放这些传感器之前一直保持高电平
- 可以用作主机侧的锁存输入，以读取“输出”线路。
- 也可以用作主机控制器的中断线，以读取“输出”线路。

3.1.10 硬件可配置性

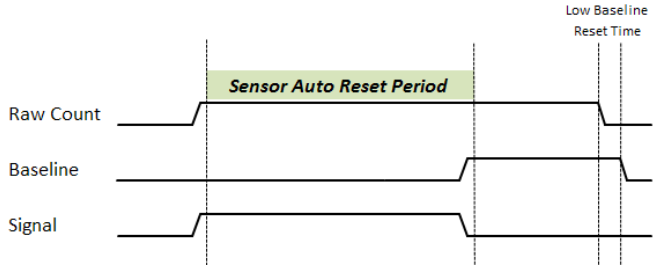
- 如自动复位、扫描速率和输出选择等高级功能可使用预定义引脚上的外部电阻进行配置（请参见图 3-1 和 CY8CMBR2016 数据手册）。
- 这些功能将通过读取/测量引脚上连接的电阻在复位时进行配置。

3.1.10.1 自动复位

- 传感器的自动复位时间由 ARST 引脚上的硬件配置进行控制。有关详细信息，请参阅图 3-6

- 此时间规定了传感器从开始触摸以及处于活动状态这一期间的最长时间。
- 在释放传感器之后，CSx 将保持 440 ms

图 3-6.传感器自动复位



■

表 3-4. ARST 引脚配置

ARST 引脚	自动复位延迟
接地引脚	5 秒
1.5 KΩ (5%) 接地电阻	20 秒
5 KΩ (5%) 接地电阻	40 秒
连接至 V_{DD} 或悬空的引脚	无自动复位

3.1.10.2 输出选择

- 在对 OUT_SEL 引脚进行硬件配置时，仅可从本节前文所定义的三个输出接口选择一个。有关详细信息，请参考表 3-5。
- 在指定时间内仅在上述输出中的一个可使用定义的电阻

表 3-5. 输出选择

输出选择	所选接口
接地引脚	真值表 I/F
1.5 KΩ (5%) 接地电阻	4 位编码输出
连接至 V_{DD} 或悬空	键盘扫描接口输出

3.1.10.3 扫描/睡眠速率

- 器件扫描/睡眠速率通过对 SCAN 引脚进行硬件配置来定义。有关详细信息，请参考表 3-6。
- 扫描速率或睡眠速率用于规定该器件的睡眠、唤醒，然后在空闲两秒之后对传感器执行特殊扫描的速率。
- 器件消耗的功率与其睡眠的时间成反比例（请参考设计指南工具了解与功率有关的信息）

表 3-6. 扫描速率配置

扫描速率引脚	扫描速率

接地引脚	低，250 ms
1.5 KΩ (5%) resistor to ground	中，150 ms
5 KΩ (5%) 接地电阻	高，40 ms
连接至 V_{DD} 或悬空的引脚	连续

3.1.10.4 灵敏度

- CapSense 系统的灵敏度由“灵敏度”引脚的硬件配置予以控制。有关详细信息，请参考表 3-7
- CapSense 系统的灵敏度用于规定由 CapSense 明确检测为信号的最小电容增量
- 在选择此参数时，请务必谨慎并认真研究噪声，因为极端的灵敏度系统可以拾取噪音，从而给出误触发信号。

表 3-7. 灵敏度配置

灵敏度引脚	灵敏度
接地引脚	低 (0.4 pF)
1.5 KΩ (5%) 接地电阻	中 (0.3 pF)
连接至 V_{DD} 或悬空	高 (0.2 pF)

3.1.11 噪声过滤

- 该器件支持内置的噪声过滤技术。
- 二阶 IIR 滤波器可以在原始计数处理之前应用
- 此功能为系统内置，因此，用户无法配置过滤器的系数

3.1.12 故障模式分析

内置的“加电自检” (POST) 机制在生产测试中十分有用，在加电复位 (POR) 时检测下列事项：

3.1.12.1 传感器对地短路

如果传感器失效或发现对地短路，则应在传感器掩码中设置相应的位字段，然后通过 OUT_6 引脚与 OUT_7 上的同步时钟串行发送该位字段。时钟选用 2 KHz 的时钟。如果在加电之后 300 ms 内未感应到任何时钟，则说明所有传感器均属正常。如果感应到了时钟，则代表从该时钟的第一个下降沿开始，每个传感器占据着一个时钟间隙。如果数据线读数在下降沿期间为高电平，则表示该时钟间隙中的传感器出现故障。时钟将在输出第 n 个传感器出现故障后停止，其中“n”为失效传感器中的最大序号。例如，如果传感器 1、3、5 处于失效状态，则系统将传输 FMEA 数据（如图 3-7 所示）。与传感器 1 对应的第一个故障标记为 0.5 ms - 1 ms 间隙中的 OUT_6 上的高电平。传感器 3 的故障标记为 1.5 ms - 2 ms 间隙中的 OUT_6 上的高电平。传感器 5 则在 2.5 ms - 3 ms 间隙中进行标记。在指出传感器 5 的故障后，由于不再出现传感器故障的情况，因此时钟信号将在后续周期中终止。图 3-8 显示了传感器 1、3、15 发生故障的情况。

图 3-7. CS1、CS3 和 CS5 的 FMEA 输出

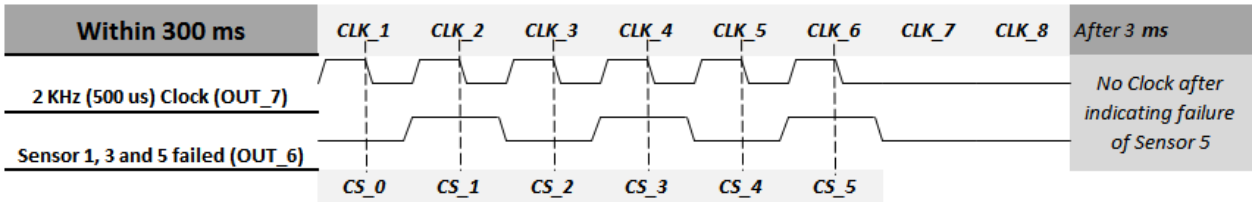


图 3-8. CS1、CS3 和 CS15 的 FMEA 输出

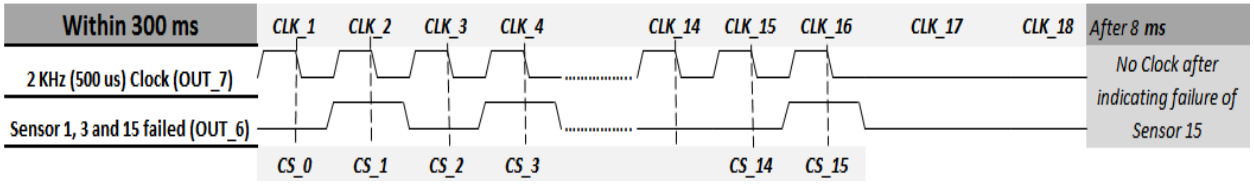
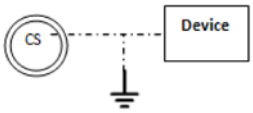


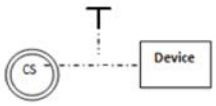
图 3-9. 传感器对地短路



3.1.12.2 传感器对 VDD 短路

当任何传感器对 V_{DD} 短路时，系统将禁用该传感器并设置相应的位字段，同时按照“传感器对地短路”一节中定义的方式发送 FMEA 信号。

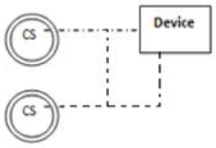
图 3-10. 传感器对 VDD 短路



3.1.12.3 传感器对传感器短路

系统将禁用同时短路的任意数量的传感器并设置相应的位字段，同时按照传感器对地短路一节中定义的方式发送 FMEA 信号。

图 3-11. 传感器对传感器短路



*3.1.12.4 正确的 C_{MOD}*值

C_{MOD} 推荐值的范围为 2 nF 至 2.4 nF。

如果连接的 C_{MOD} 小于 1 nF 或者大于 4 nF，则所有的传感器均将禁用并且所有间隙上的状态输出都为逻辑高。

3.1.12.5 传感器 CP > 40 pF

如果任何传感器的寄生电容 (C_P) 超过 40 pF，则该传感器将被禁用并设置相应的位字段，同时按照传感器对地短路一节中定义的方式发送 FMEA 信号。

3.1.13 调试数据输出

- 要启用此功能，“调试”引脚应附加 5.6 KΩ 的下拉电阻。
- 赛普拉斯的多图工具（AN2397- CapSense® 数据查看工具）可用于查看各个按钮的调试数据
- 系统以 115,200 左右的波特率发送串行数据
- 系统发送固件修订版本以及所有传感器的 CapSense 状态、基准线、原始计数、差值计数和寄生电容
- 有关调试数据发送的定义，可参见数据手册中的“调试数据输出”一节。

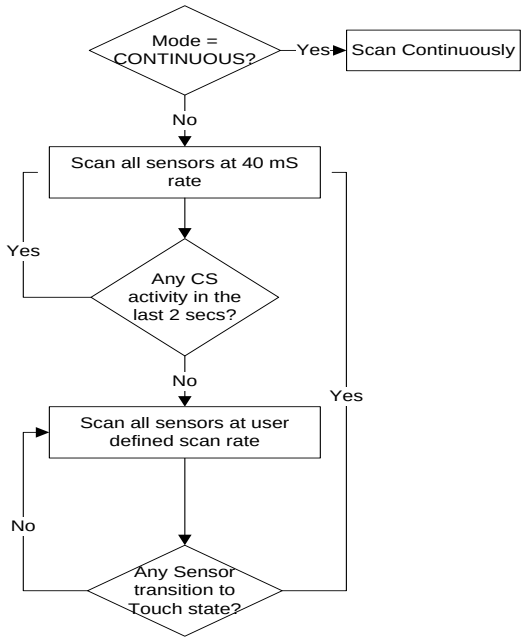
3.1.14 器件工作模式

- 存在两种器件工作模式：
- 低功耗睡眠模式
- 深度睡眠模式

3.1.14.1 低功耗睡眠模式

- 以下流程图描述了低功耗睡眠模式的运行。

图 3-12. 低功耗睡眠



- 有关低功耗睡眠的详细信息，请参考第 23 页的扫描/睡眠速率一节。

3.1.14.2 深度睡眠模式

- 要启用深度睡眠模式，则应将硬件配置引脚“睡眠”连接至主控器件。
- 为使该器件进入深度睡眠，应将睡眠引脚连接至 VDD。
- 在深度睡眠模式下，所有模块均将关闭并且该器件功耗仅为 0.1 uA。
- 在深度睡眠模式下，停止进行任何 CapSense 扫描。
- 为使器件从深度睡眠进入唤醒模式，应下拉睡眠引脚。
- 当器件退出深度睡眠模式时，CapSense 系统将重新初始化。重新初始化的时间一般为 8 ms。在此时间内按任何按钮均不会进行报告。
- 在退出深度睡眠后，该器件将以低功耗睡眠模式运行。

3.2 设计工具箱

赛普拉斯通过创建交互式电子表格、设计工具箱（与本文件随附）帮助用户设计强劲可靠的 CY8CMBR2016 CapSense 解决方案。

3.2.1 总体布局指引表

本表单提供了有关 CY8CMBR2016 的布局指南摘要。上述指南将在设计注意事项中详细讨论。有关此材料的详尽信息，可在 CapSense 入门中查找。

图 3-13. 设计布局建议表

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 to device pin		450mm	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/slider 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 ressitors place them first.
14.	Distance between any CapSense trace to Ground	0.243mm	0.486mm	0.486mm
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, 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	5mm	Use layout Estimator sheet to decide on overlay, given maximum limit is for plastic overlay.
19.	Overlay material			Should to 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.

3.2.2 布局估算表

本表单基于终端系统的预期要求和行业设计提供最小的按钮空间和最大的走线长度建议。输入外覆层材料、外覆层厚度以及电路板材料的走线电容。请参考 图 3-14 和表 B 获取合适的数值。表 A 基于三个系统噪声相对范围计算设计时所需的最小按钮直径和最大走线长度。“低”、“中”、“高”是噪声的相对指标特性，有助于指导传感器开发。基于不同的终端环境，不同传感器的噪声条件可能会有所差别。如果不清楚噪声条件，则可使用“中”级噪声条件为切入点。各个传感器的实际噪声情况将在设计验证步骤（如第 3.2.4 使用实际值表验证设计所述）中加以确定。

使用此表单的输出来指导传感器电路板的布局流程，然后在进行原型制作之前通过 Cp 值和功率估算表（在第 3.2.3 CP 值和功率估算表中详细介绍）检查该设计。

图 3-14. 布局估算表

Button Diameter and Trace Length Estimates

TableA- Estimator

Input Parameters	Value	Units	Comments
Overlay Thickness	1	mm	
Overlay - Dielectric constant	2.8	farad/m	
Capacitance of trace per inch	2	pF	
Minimum Recommended Button Diameter (based on minimum 0.25pF Finger response)			
Noise Conditions - Low (0.05 pF Noise)	5	mm	
Noise Conditions - Medium (0.075 pF Noise)	6	mm	
Noise Conditions - High (0.1 pF Noise)	7	mm	
Maximum Trace length			
Noise Conditions - Low (0.05 pF Noise)	438	mm	
Noise Conditions - Medium (0.075 pF Noise)	431	mm	
Noise Conditions - High (0.1 pF Noise)	425	mm	
Button to Ground clearance	1	mm	

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

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
- 电路板每英寸走线的电容

输出：

- 为不同的噪声条件，推荐最小按钮直径和最大走线长度
- 按钮离地间隙

基于不同传感器可能会产生不同的噪音，在设计过程中各个传感器的按钮直径也会有所差别。

3.2.3 C_P 值和功率估算表

在完成电路板布局之后，请在构建传感器电路板原型之前使用以下表单检查设计。要验证各个按钮的 C_P 值，请在表 A 中输入按钮直径和走线长度。此操作用于确认各个按钮的 C_P 是否都在指定的范围（5 pF 至 40 pF）内。表 B 中的功率估算用于优化功耗。功耗是一个由按钮扫描速率、输出模式和手指触摸传感器的时间量组成的函数。通过下拉菜单了解详细信息。表 C 用于基于表 A 和 表 B 中的输入输出按钮响应时间。

图 3-15. C_P 值和功率估算表

Cp, Power Values and Response Time Estimates

Table A: Cp Calculator

Sensor	Button diameter		Trace length		Parasitic capacitance (Cp) of sensors (Approx)	
CS0	8	mm	56	mm	11	pF
CS1	8	mm	72	mm	12	pF
CS2	8	mm	73	mm	12	pF
CS3	8	mm	80	mm	13	pF
CS4	8	mm	112	mm	15	pF
CS5	8	mm	130	mm	17	pF
CS6	8	mm	160	mm	19	pF
CS7	8	mm	190	mm	21	pF
CS8	8	mm	103	mm	15	pF
CS9	8	mm	135	mm	17	pF
CS10	8	mm	143	mm	18	pF
CS11	8	mm	93	mm	14	pF
CS12	8	mm	112	mm	15	pF
CS13	8	mm	156	mm	19	pF
CS14	8	mm	46	mm	10	pF
CS15	12	mm	78	mm	15	pF
Total No of buttons	16	Buttons				

Table B: Power calculator

Select Output Interface	Key Scan		Note: Choose the desired interface from the drop down menu
Select Scan Rate	Medium		
Approximate Scan Rate value	150	ms	
% of time finger is on the sensors	20	%	
Max Sleep Current	0.0015	mA	
Max Active Current	4	mA	
Average Current without Finger	0.4033	mA	
Average Current with Finger	4	mA	
Actual average current consumption	1.1226	mA	
Actual average current consumption per button	0.0702	mA	Note: The power values given here are for the worst case, the actual power values will be lesser than the displayed values

Table C: Response time calculator

First button press	190	ms
consecutive button press	230	ms

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

输入：

- 按照布局中的设计，输入 CS0 – CS15 的按钮直径和走线长度。
- 选择在设计中使用的输出接口和扫描速率，然后输入手指触摸传感器的时间百分比。

输出：

- 各个传感器的寄生电容 (C_P)。确认 C_P 值是否都在指定的范围（5 pF 至 40 pF）内
- 每个按钮的功耗
- 按钮响应时间

在完成原型电路板的构建和测试之后，各个按钮的实际寄生电容 (C_P) 和噪声条件（噪声计数）可按调试数据输出一节所述方式加以确定。使用此信息和“设计验证表”（第 3.2.4 使用实际值表验证设计）来验证该设计。

3.2.4 使用实际值表验证设计

在完成传感器的原型制作和测试之后，可使用“串行调试数据输出”测试模式（第 3.1.13 节）获得所有传感器的原始计数、基准线、差值计数和寄生电容。

图 3-16. 使用实际值表验证设计

Button Diameter, Trace length and Power value

Table A: Actual Design values

Input Parameters	Value	Unit
Overlay Thickness (in mm)	3	mm
Dielectric constant, overlay	7.6	farad/m
Capacitance of trace per inch in pF	2	pF
Scan Rate Resistor	Medium	ohms
Scan Rate Value	150	ms
No of buttons	16	Nos
% of time finger is on the sensors	20	%
CS0 Button diameter actual	8	mm
CS1 Button diameter actual	8	mm
CS2 Button diameter actual	8	mm
CS3 Button diameter actual	8	mm
CS4 Button diameter actual	8	mm
CS5 Button diameter actual	8	mm
CS6 Button diameter actual	8	mm
CS7 Button diameter actual	8	mm
CS8 Button diameter actual	8	mm
CS9 Button diameter actual	8	mm
CS10 Button diameter actual	8	mm
CS11 Button diameter actual	8	mm
CS12 Button diameter actual	8	mm
CS13 Button diameter actual	8	mm
CS14 Button diameter actual	8	mm
CS15 Button diameter actual	12	mm

Design pass go to Mass Production

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 actual

Sensor	Values from Debug Data out						Average Current		Recommendation			
	Noise		Cp		Raw Count				Minimum Button diameter		Maximum Trace Length	
CS0	5	counts	10	pF	3495	counts	0.0671	mA	5	mm	438	mm
CS1	7	counts	11	pF	3589	counts	0.0671	mA	5	mm	438	mm
CS2	7	counts	11	pF	3589	counts	0.0671	mA	5	mm	438	mm
CS3	3	counts	10	pF	3529	counts	0.0671	mA	5	mm	438	mm
CS4	5	counts	11	pF	3538	counts	0.0671	mA	5	mm	438	mm
CS5	7	counts	11	pF	3589	counts	0.0671	mA	5	mm	438	mm
CS6	5	counts	11	pF	3528	counts	0.0671	mA	5	mm	438	mm
CS7	4	counts	10	pF	3485	counts	0.0671	mA	5	mm	438	mm
CS8	4	counts	10	pF	3500	counts	0.0671	mA	5	mm	438	mm
CS9	5	counts	10	pF	3544	counts	0.0671	mA	5	mm	438	mm
CS10	5	counts	11	pF	3583	counts	0.0671	mA	5	mm	438	mm
CS11	4	counts	11	pF	3509	counts	0.0671	mA	5	mm	438	mm
CS12	5	counts	10	pF	3551	counts	0.0671	mA	5	mm	438	mm
CS13	7	counts	11	pF	3589	counts	0.0671	mA	5	mm	438	mm
CS14	6	counts	10	pF	3535	counts	0.0671	mA	5	mm	438	mm
CS15	5	counts	10	pF	3492	counts	0.0671	mA	5	mm	438	mm
			Actual average current consumption				1.0736	mA				

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

来自多图工具的数据日志

- 通过在“调试”引脚上使用 5.2 kΩ 接地电阻在器件中启用调试。
- 在多图工具（请参考 AN2397- CapSense® 数据查看工具）中记录（2 分钟时长）数据，位于多图工具与“设计工具箱”同一文件夹，其名称为“1.csv”。
- 打开“1.csv”文件，设计工具箱的“设计验证表”中的数据将自动更新。

输出

- 每个按钮的功耗
- 每个按钮的响应时间

- 设计变更建议。如果按钮大小或走线长度超出最佳设计实践，则“设计工具箱”将基于设计过程中的实际数值提供相应的建议。

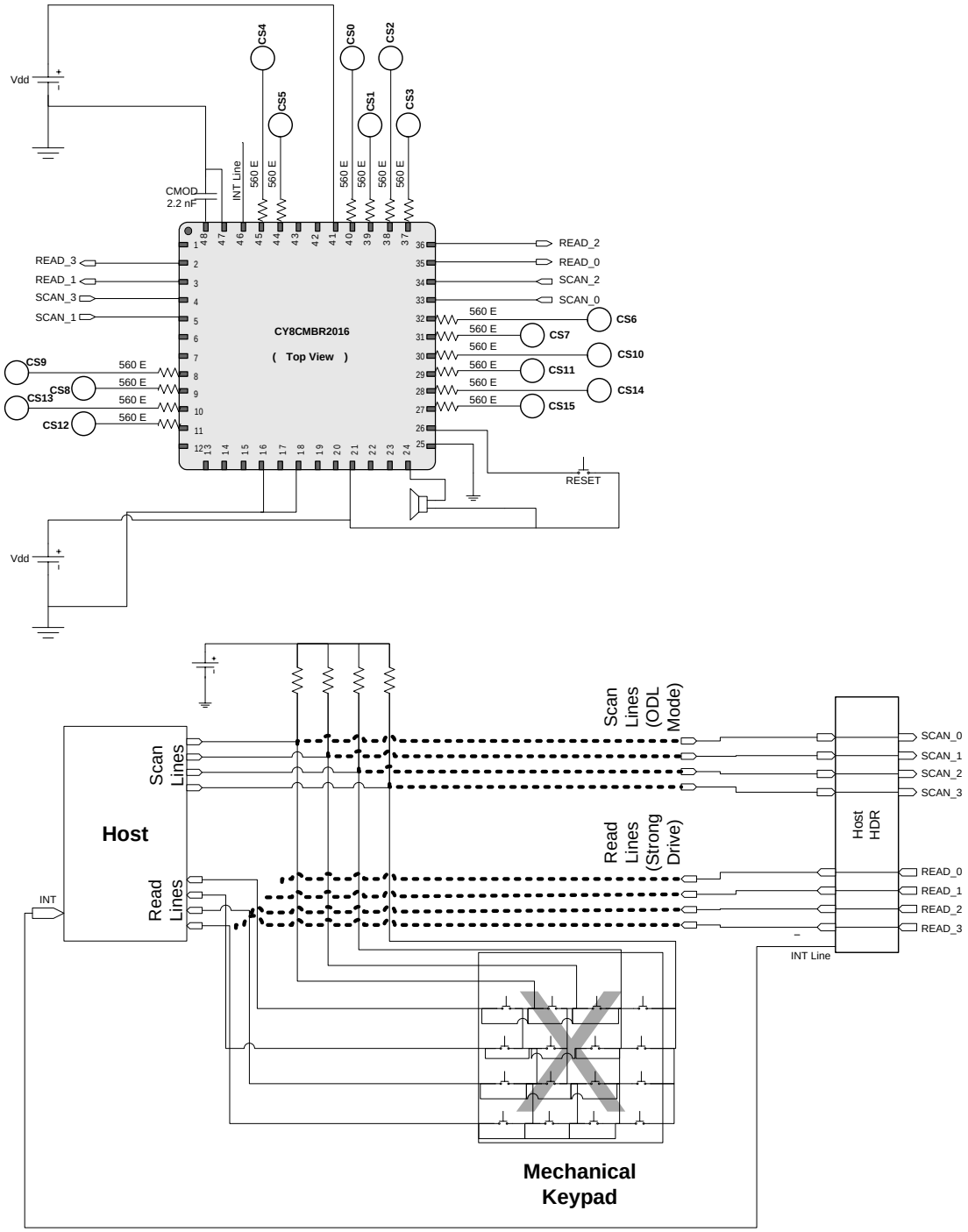
此表单为原型电路板提供了通过/失败等级。如果传感器电路板未通过，则“设计工具箱”将提供相应的建议。要修补失败的设计，可以更改以下四个部分：按钮大小、走线长度、外覆层材料和外覆层厚度。为使设计通过，更改按钮大小或走线长度时需要更改电路板，而更改外覆层材料或厚度（或者两者均更改）时可能会相对简单。最佳解决方案取决于该项目在开发流程的阶段和终端系统要求。“设计工具箱”将引导您实现“通过”的结果。

3.3 原理图示例 1

图 3-17 中的原理图显示了 CY8CMBR2016 配置方式：

- 通过将其他所有配置跳线悬空（其默认值）以启用 16 个 CapSense 按钮和 MTS

图 3-17. 原理图示例 #1

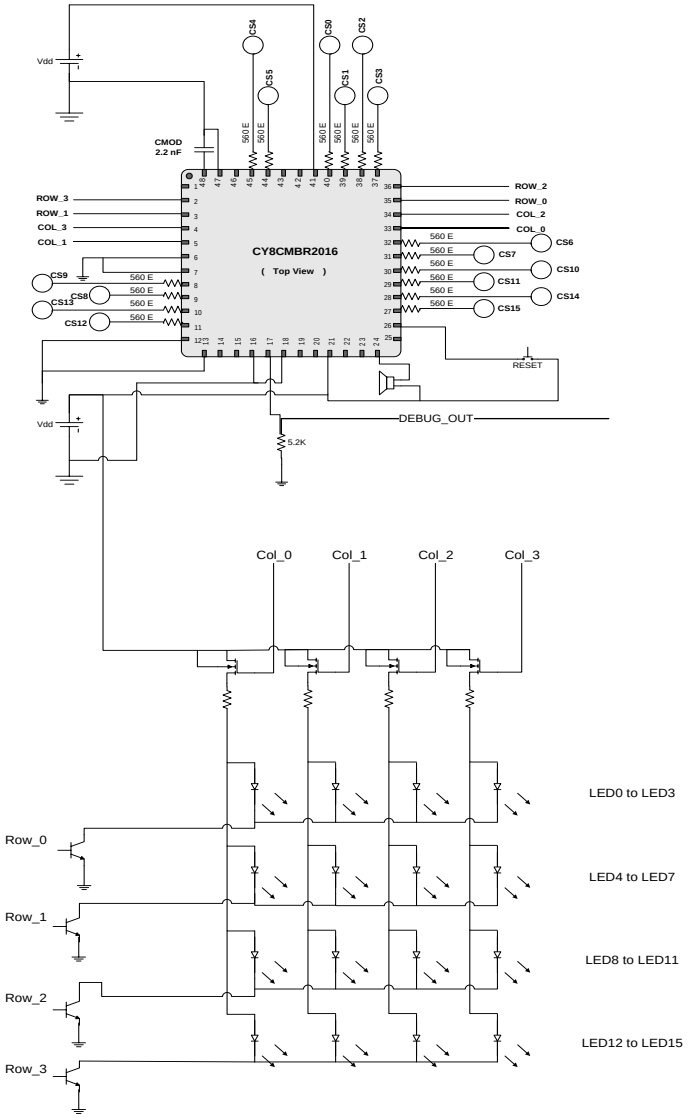

Vdd
CS4
CS5
CS0
CS1
CS2
CS3
CMOD
2.2 nF
INT Line
560 E
READ_3
READ_1
SCAN_3
SCAN_1
READ_2
READ_0
SCAN_2
SCAN_0
CY8CMBR2016
(Top View)
CS6
CS7
CS10
CS11
CS14
CS15
CS9
CS8
CS13
CS12
RESET
Host
Scan Lines
Read Lines
INT
Scan Lines (ODL Mode)
Read Lines (Strong Drive)
Host HDR
SCAN_0
SCAN_1
SCAN_2
SCAN_3
READ_0
READ_1
READ_2
READ_3
INT Line
Mechanical Keypad

3.4 原理图示例 2

图 3-18 中的原理图显示了 CY8CMBR2016 的配置方式：

- 16 个 CapSense 按钮
- 配置为在 5 秒时自动复位
- 连续扫描速率
- 0.2 pF 灵敏度
- 禁用多触摸感应
- 禁用调试数据输出
- 输出线路连接并直接驱动各个传感器的 LED

图 3-18. 原理图示例 #2


Vdd
CMOD
2.2 nF
CS4
CS5
CS0
CS2
CS1
CS3
560 E
ROW_3
ROW_1
COL_3
COL_1
CY8CMBR2016
(Top View)
ROW_2
ROW_0
COL_2
COL_0
CS6
CS7
CS10
CS11
CS14
CS15
CS9
CS8
CS13
CS12
RESET
DEBUG_OUT
5.2K
Col_0
Col_1
Col_2
Col_3
LED0 to LED3
LED4 to LED7
LED8 to LED11
LED12 to LED15
Row_0
Row_1
Row_2
Row_3

4. 设计注意事项

在您的应用中设计电容式触摸感应技术时，请确保 CapSense 器件处于一个较大的框架之中。密切注意从 PCB 布局到用户界面再到终端使用操作环境中不同程度的所有细节，以实现强劲可靠的系统性能。有关详细信息，请参考 CapSense 入门。

4.1 外覆层选择

在 CapSense 基本原理中，等式 1 表示手指电容

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

其中：

ε_0 = 空余空间电容率

ε_r = 外覆层的绝缘常数

A = 手指与传感器板外覆层接触的范围

D = 外覆层的厚度

要提高 CapSense 的信号强度，可选择绝缘常数较高的外覆层材料、降低外覆层厚度以及增加按钮直径。赛普拉斯的交互式电子表格、设计工具箱（与本文件随附）可帮助用户设计强劲可靠的 CY8CMBR2016 CapSense 解决方案（参见第 3.2 节）。

表 4-1. 外覆层材料绝缘强度

材料	击穿电压 (V/mm)	最小值 12 kV 时的外覆层厚度 (mm)
空气	1200 – 2800	10
木材 – 干	3900	3
玻璃 – 普通	7900	1.5
玻璃 – 硼硅 (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

聚酯膜 – (Mylar®)	280,000	0.04
聚酰亚胺膜 – (Kapton®)	290,000	0.04

由于导电材料会干扰电场图形，因此不能将其用作外覆层。为此，在外覆层中不得使用含有金属颗粒的涂料。

4.1.1 将外覆层粘合至 PCB

由于空气的绝缘常数非常低，因此外覆层和传感器之间的空隙会降低传感器的性能。要消除空隙，通常使用粘合剂将外覆层粘合至 PCB 上。粘合剂必须不导电。声称 200MP 的 3M™ 透明压克力胶膜适合在 CapSense 应用中使用。这种特殊的粘合剂避免使用纸面胶带卷（3M™ 产品编号 467MP 和 468MP）。

4.2 ESD 保护

强大的 ESD 容差是在周到的系统设计中自然而然产生的“副产品”。如果您考虑到了接触放电在您的终端产品，特别是您的用户界面中发生的方式，则在不对 CapSense 控制器任何损害的情况下，它可以承受 18-kV 的放电事件。

CapSense 控制器引脚可以承受 2-kV 直接放电。在多数情况下，外覆层材料为控制器引脚提供充分的 ESD 保护。表 4-1 列出了保护 CapSense 传感器免受 IEC 61000-4-2 中指定的 12-kV 放电影响所需的各种外覆层材料的厚度。如果外覆层材料无法提供充分保护，则应按照下列顺序应用 ESD 对策： 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高电压接触。设计系统时，在 CapSense 控制器和可能的 ESD 源之间保持一个合适的距离。如果无法保持适当的距离，则可在 ESD 源和 CapSense 控制器之间放置一个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。

4.2.2 重定向

如果您的产品属于高密集封装产品，则其可能无法预防放电事件。在此情况下，您可以通过控制放电发生位置的方式保护 CapSense 控制器。标准做法是在与机壳地线连接的电路板的外围放置一个保护环。按照 PCB 布局指南中的建议，在按钮或滑条传感器周围提供一个交叉接地层可以将 ESD 事件重新定向，使之远离传感器和 CapSense 控制器。

4.2.3 钳制

因为 CapSense 传感器需要特别靠近触摸表面，因此，重定向放电路径是不可取的方法。在此情况下，包含串联电阻或特殊用途的 ESD 静电保护器件可能适用。推荐使用阻值为 560 ohm 的串联电阻。

更有效的方法是，在脆弱的走线上提供特殊用途的 ESD 保护器件。适用于 CapSense 的 ESD 静电保护器件必须是低电容。表 4-2 列出了可用于 CapSense 控制器的推荐组件。

表 4-2. 为 CapSense 推荐的低电容 ESD 保护器件。

ESD 保护器件		输入电容	漏电流	接触放电最大限值	空气放电最大限值
制造商	部件编号				
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 V

4.3 电磁兼容性 (EMC) 注意事项

4.3.1 辐射干扰

辐射电能会影响系统测量值，同时还可能会影响处理器内核的运行。这种影响可能会通过 CapSense 传感器的走线和任何其他数字或模拟输入进入 CY8CMBR2016 CapSense Express 芯片的 PCB 层。有关最大限度减小 RF 干扰影响的布局指南包括：

- **接地层**： 在 PCB 上提供一个接地层。
- **串联电阻**： 将串联电阻放置在距离 CapSense 控制器引脚 10 mm 范围内
  - 适用于 CapSense 输入线路的推荐串联电阻为 560 ohm。
- **走线长度**： 尽可能最大限度地缩短走线长度。
- **电流环路区域**： 最大限度地缩短电流的返回路径。为降低寄生电容的影响，应在传感器和走线 1 cm 的范围内提供交叉接地，而不是实体填充。
- **RF 源的位置**： 分隔带有 LCD 反相器和开关模式电源 (SMPS) 等噪声源的系统，以使其与 CapSense 输入隔开。屏蔽电源是预防干扰的另一个常用技巧。

4.3.2 抗传导干扰和辐射

通过与其他系统的互连进入系统的噪声称为传导噪声。此类互连包括电力线路和通信线路。由于 CapSense 控制器是低功率器件，因此必须避免传导辐射。下列指南将有助于降低传导辐射和抗干扰；

- 使用数据手册中建议的耦合电容器。
- 在系统电源输入端添加双向滤波器。这对传导辐射和抗干扰都极为有效。PI 滤波器可以防止电源噪声影响敏感部件，同时防止部件的开关噪声反耦合到电源层。
- 如果 CapSense 控制器的 PCB 通过一条线缆连接至电源，则应最大限度地减小线缆长度并考虑使用屏蔽线缆。
- 可在电源或通信线路周围放置一个铁氧体磁珠，以过滤掉高频噪声。

4.4 功耗

4.4.1 系统设计建议

要最大限度地降低 CY8CMBR2016 的功耗：

- 将所有的未使用的 CapSense 输入接地
- 使用 CapSense 入门指南中的设计指南将 C_P 最小化
- 降低供电电压
- 使用“低功率睡眠”和/或“深度睡眠”工作模式
- 将未使用的扫描线路连接至 V_{DD}。

4.5 扫描线路波形要求 – 按键扫描接口

在开始设计阶段之前，应执行一项可行性研究以确保该器件符合机械键盘系统，或者需要进行某些修改以符合现有的系统设计。图 4-1 描述了典型键盘扫描系统中的基本“扫描”线路输出。

图 4-1. 扫描输出

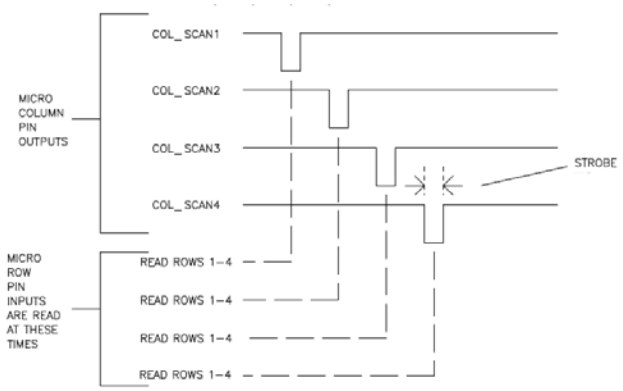
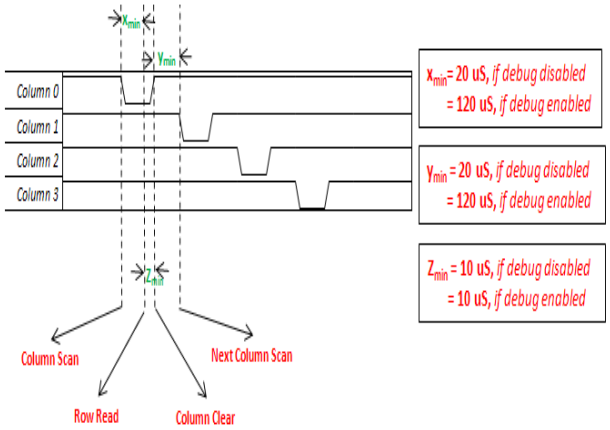


图 4-1 中显示的波形应为在按键轮询过程中通过“扫描”线路发送的波形。另外，图 4-2 中的波形显示了 CY8CMBR2016 的特定时序详细信息。

图 4-2. 扫描/列波形详细信息



设计可行性研究的第一个阶段是检查轮询波形是否满足图 4-1 和图 4-2 ，以及是否满足图 4-2 中提及的时序详细信息（要了解有关调试启用/禁用的更多内容，请参考 CY8CMBR2016 数据手册）。如果系统中的波形未满足图 4-2 中指定的详细信息，则需更改系统以适应图 4-2 中指定的变更。

在研究的下一阶段中，检查扫描方法。如果扫描方法为基于轮询的方法，那么，设计将直接进行，即您可以向前推进至从第 1 步开始的 CapSense 系统设计。如果是基于中断的方法，则系统需要使用 CY8CMBR2016 中的中断线触发“扫描”线路中的轮询。中断线为高电平有效。因此，当存在任何有效按钮时，该线路将变为高电平，并在释放所有按钮之前一直保持为高电平。在主机中，该线应配置为高电平有效中断，并且无论何时触发中断，主机均应轮询扫描线路并读取按钮状态。

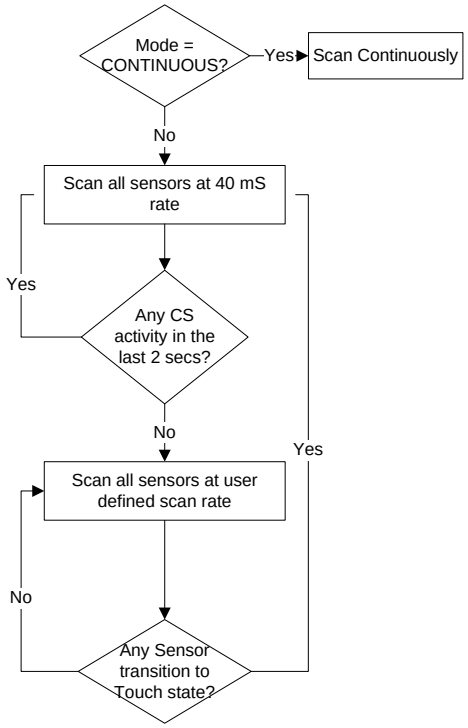
4.6 睡眠模式

赛普拉斯的 CY8CMBR2016 既可配置为在低功率睡眠模式下工作，也可配置为在深度睡眠模式下工作。

4.6.1 低功耗睡眠模式

在低功耗睡眠模式下工作时，CY8CMBR2016 器件在不扫描 CS 输入的情况下电流为 1 µA。扫描速率决定时间量。CY8CMBR2016 控制器在低功耗睡眠模式下的行为如图 4-3 所示。

图 4-3. 低功耗睡眠模式



由于低功耗睡眠模式不需要主处理器参与工作，因此，这种模式也被称为独立模式。

4.6.2 深度睡眠模式

当在配有主处理器的系统中使用 CY8CMBR2016 时，睡眠引脚可用于深度睡眠模式。当主处理器为此输入引脚提供逻辑高电平时，CY8CMBR2016 将进入深度睡眠模式。此模式将耗费 0.1 µA（典型值）的电流。当主处理器为同一输入引脚输入 GND 信号时，CY8CMBR2016 将从睡眠中唤醒并在低功耗睡眠模式下运行。

4.7 PCB 布局指南

赛普拉斯通过创建交互式电子表格、设计工具箱（与本文件随附）帮助用户设计强劲可靠的 CY8CMBR2016 CapSense 布局（如第 3.2 节中所述）。

CapSense 入门中提供了详细的 PCB 布局指南。

5. 资源

5.1 网站

访问 赛普拉斯的 CapSense Express 控制器网站可获取本节所述的全部参考资料。

访问 CY8CMBR2016 的网页可查找有关 CapSense CY8CMBR2016 CapSense Express 器件的各种技术资源。

5.2 数据手册

此处提供有关 CapSense CY8CMBR2016 器件的数据手册。

5.3 工具包

访问我们的合作伙伴网站可获取 CY8CMBR2016 的支持评估工具包。

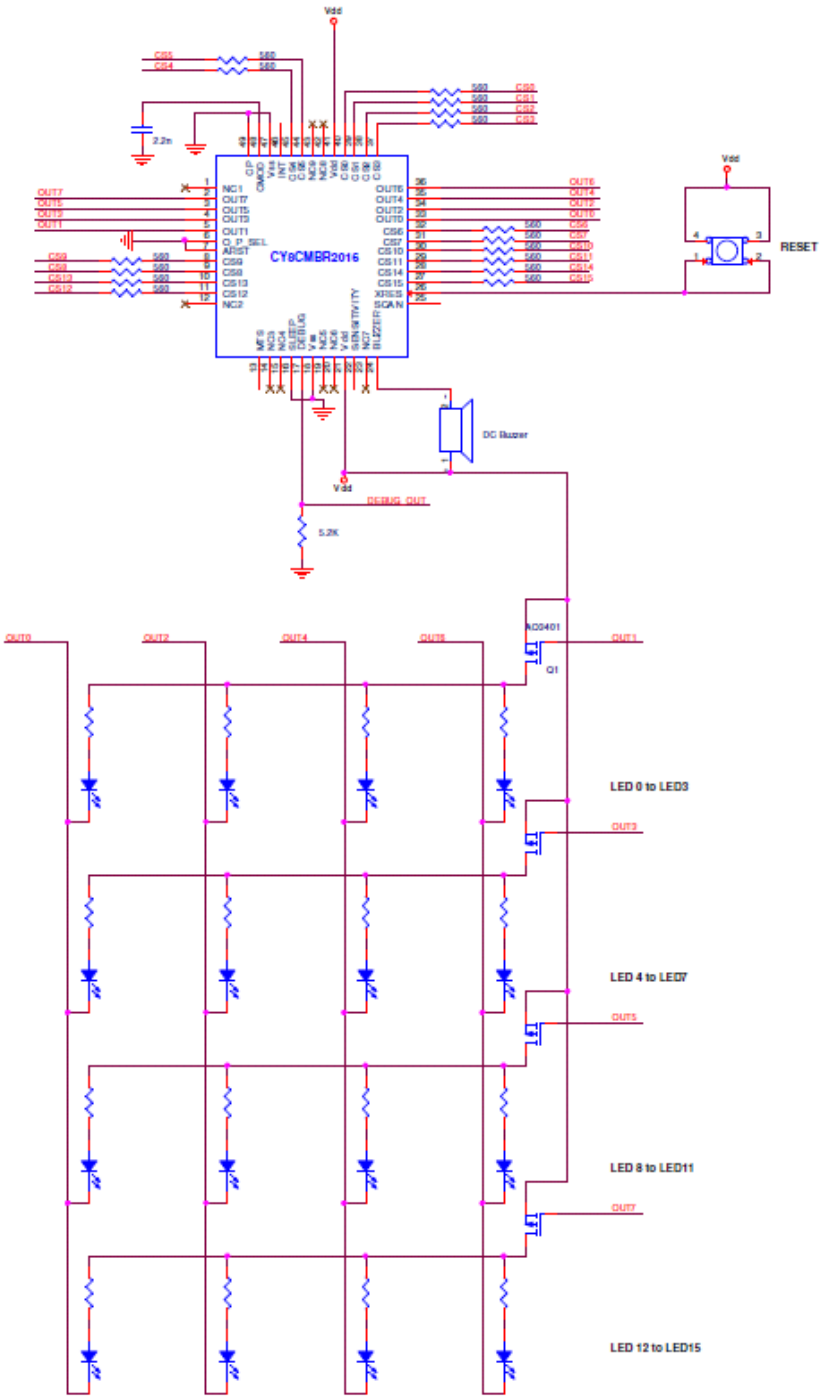
5.4 电路板样本文件

赛普拉斯提供原理图和电路板样本文件，您可将其用作参考以快速完成您的 PCB 设计流程。

以下原理图仅支持下列条件：

- 16 个 CapSense 传感器。
- 可驱动 LED 的真值表输出配置
- 5 秒内自动复位
- 连续扫描模式
- 所有按钮的灵敏度均为 0.2 pF
- 无多触摸感应
- 直流蜂鸣器输出、复位按钮和中断线输出

图 5-1. 在真值表输出模式下使用 CY8CMBR2016 设计按钮 - 电路板原理图

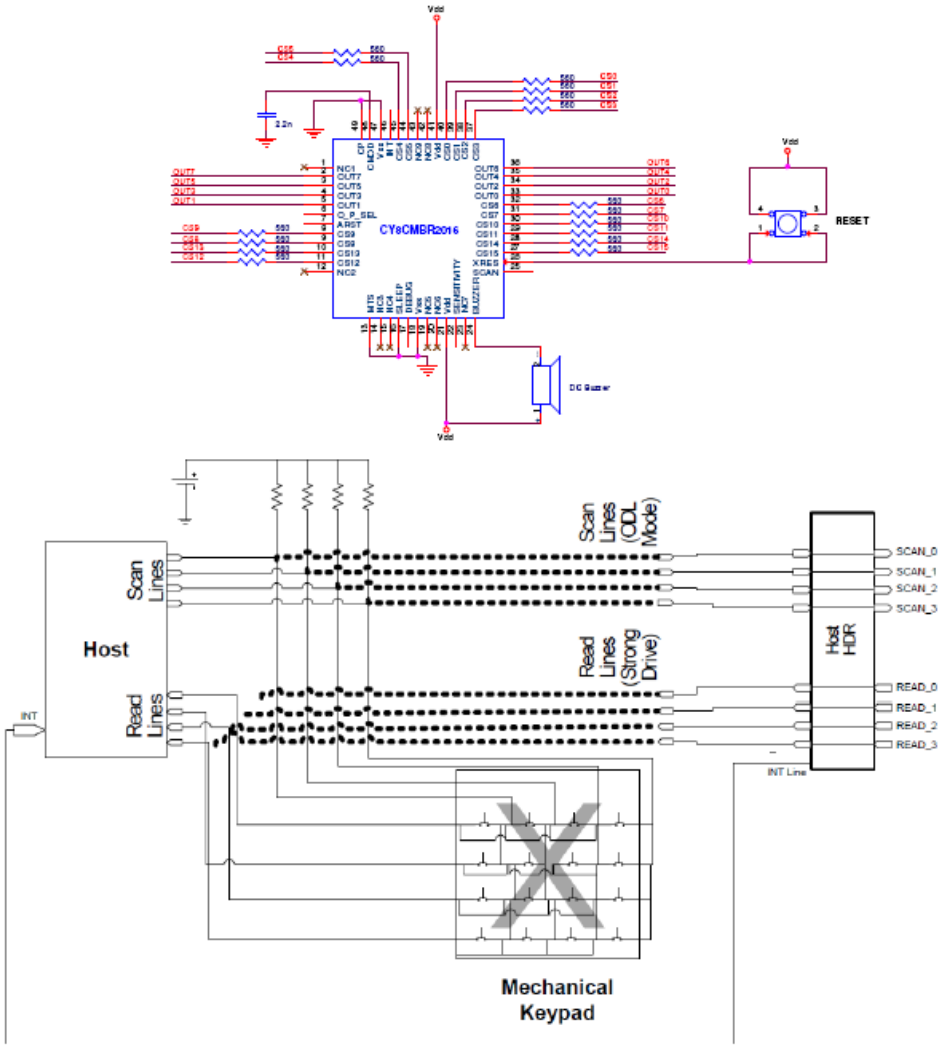


■

以下原理图仅支持下列条件：

- 16 个 CapSense 传感器。
- 键盘扫描接口 – 模仿机械矩阵键盘接口
- 连续扫描模式
- 所有按钮的灵敏度均为 0.2 pF
- 多触摸感应
- 自动复位禁用
- 直流蜂鸣器输出、复位按钮和中断线输出

图 5-2. 在键盘扫描模式下使用 CY8CMBR2016 设计按钮 - 器件原理图。



■

5.5 CapSense 数据查看工具

在 CapSense 设计过程中，您可能要多次监控 CapSense 相关数据（原始计数、基准线、差值计数），以实现调校和调试目的。

应用笔记 AN2397 – CapSense 数据查看工具为您提供了有助于识别和使用正确的 CapSense 数据查看和记录工具的信息。

5.6 设计支持

赛普拉斯为确保您的 CapSense 解决方案成功提供了各种设计支持渠道。

- 知识库文章 – 按产品系列参考技术文章或就各种 CapSense 主题执行搜索。
- CapSense 应用笔记 – 参考基于本文信息编制的大量应用笔记。
- 白皮书 – 了解电容式触摸接口的高级主题。
- 赛普拉斯开发者社区 – 与赛普拉斯技术社区沟通和交流信息。
- CapSense 产品选择器指南 – 参阅赛普拉斯 CapSense 产品系列的完整产品供应。
- 视频资料库 – 通过教程视频快速掌握相关知识
- 质量和可靠性 – 赛普拉斯承诺力求让客户满意。您可以在赛普拉斯的质量网站上找到可靠性和产品合格报告。
- 技术支持 – 在线提供一流的技术支持。

5.7 文档修订记录

修订版	发行日期
**	26/04/2012