# CY8CMBR2044

# CapSense® 设计指南

Document number: 001-78613 Rev **

赛普拉斯半导体

198 Champion Court

San Jose, CA 95134-1709

电话（美国）：880.858.1810

电话（国际）：408.943.2600

http://www.cypress.com

**版权所有**

© 赛普拉斯半导体公司，2010-2012。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，PSoC® 和 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


**1. 简介 ..... 5**

1.1 如何使用本文档 ..... 5

1.2 CY8CMBR2044 CapSense Express 器件功能 ..... 5

1.3 文档修订历史记录 ..... 6

1.4 文档规范 ..... 6

**2. CapSense 技术 ..... 7**

2.1 CapSense 等效模型 ..... 7

2.2 CapSense 电容式感应方法 ..... 8

2.2.1 电容转换 ..... 8

2.2.2 带有 Sigma Delta 调制器的 CapSense (CSD) ..... 8

2.2.3 SmartSense™ 自动调校 ..... 9

**3. CapSense 原理图设计 ..... 12**

3.1 CY8CMBR2044 配置选项 ..... 12

3.1.1 CapSense 电容式感应按钮 (CSx) ..... 12

3.1.2 通用输出 (GPOx) ..... 12

3.1.3 $C_{MOD}$ ..... 12

3.1.4 传感器自动复位 (ARST) ..... 13

3.1.5 切换 ..... 14

3.1.6 侧翼传感器抑制 (FSS) ..... 15

3.1.7 延迟关闭 ..... 16

3.1.8 扫描速率/睡眠 ..... 19

3.1.9 故障模式分析 ..... 19

3.1.10 串行调试数据输出 ..... 20

3.2 设计工具箱 ..... 21

3.2.1 一般布局指南表 ..... 21
3.2.2 布局估计表 ..... 22
3.2.3 $C_P$ 值和功耗估计量表 ..... 23
3.2.4 具有实际值的设计验证表 ..... 24
3.3 原理图示例 #1 ..... 25
3.4 原理图示例 #2 ..... 26

**4. 设计考虑事项 ..... 27**

4.1 外覆层选择 ..... 27
4.1.1 将外覆层粘结到 PCB ..... 28
4.2 ESD 保护 ..... 28
4.2.1 预防 ..... 28
4.2.2 重定向 ..... 28
4.2.3 钳制 ..... 28
4.3 电磁兼容性 (EMC) 考虑事项 ..... 29
4.3.1 辐射干扰 ..... 29
4.3.2 抗传导干扰和辐射 ..... 29
4.4 功耗 ..... 29
4.4.1 系统设计建议 ..... 29
4.5 睡眠模式 ..... 30
4.5.1 低功耗睡眠模式 ..... 30
4.5.2 深度睡眠模式 ..... 30
4.5.3 平均功耗 ..... 31
4.6 PCB 布局指南 ..... 34

**5. 资源 ..... 35**

5.1 网站 ..... 35
5.2 数据手册 ..... 35
5.3 设计工具箱 ..... 35
5.4 Multi-Chart ..... 35
5.5 设计支持 ..... 35

# 1. 简介

## 1.1 如何使用本文档

本文档提供针对 CapSense® Express CY8CMBR2044 器件的设计指导。它面向熟悉电容式感应技术并且为其应用选择了此器件的设计工程师。有关 CapSense 技术的详尽内容（包括工作原理的深入讨论和完整产品支持详细信息），请参考 CapSense 入门指南。

## 1.2 CY8CMBR2044 CapSense Express 器件功能

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。此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。CY8CMBR2044 的功能包括：

- CSD 感应技术
- SmartSense™ 自动调校
- 四个硬件可配置电容式感应按键
- 1.71 到 5.5 V 工作电压
- 超低功耗
  - 运行模式下每个电容式触摸感应按键只需要 15 µA
  - 深度睡眠模式下只有 100 nA
- 小尺寸封装：16 键 QFN (3 mm x 3 mm x 0.6 mm)
- 侧翼传感器抑制 (FSS)，用于在传感器很靠近时依然实现稳定的采样
- 四个通用输出 (GPO)
  - 切换模式 – 方便地替换机械式按下打开/按下关闭按钮
  - 直接 LED 驱动能力
- 使用延迟关闭可配置 LED 的运行
- 传感器自动复位可防止卡住传感器

- 串行调试数据支持设计验证和生产测试
- 故障模式分析简化了生产测试

## 1.3 文档修订历史记录

| 修订版 | 发布日期 | 变更人 | 变更说明 |
|---|---|---|---|
| ** | 12/10/2010 | ANBA | 新设计指南 |
| *A | 04/05/2011 | ANBA | 增强了多个章节的内容和清晰度 |

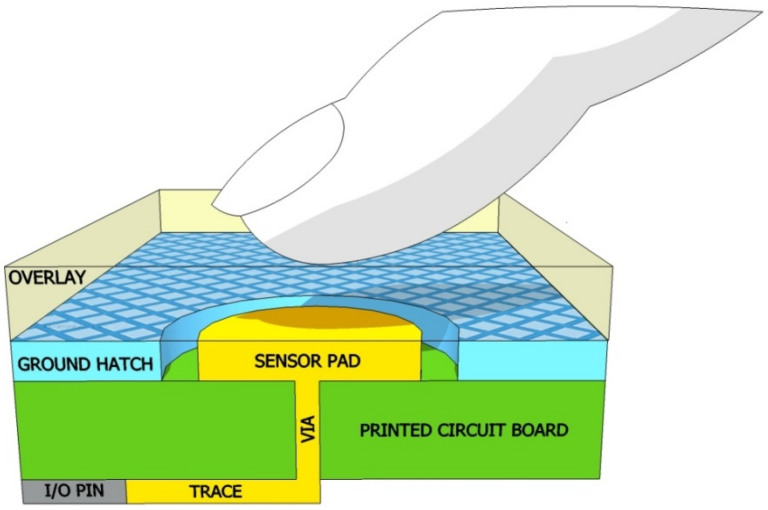
## 1.4 文档规范

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

# 2. CapSense 技术

## 2.1 CapSense 等效模型

图 2-1. CapSense 系统等效模型




CapSense 控制器测量的电容名为 $C_X$。当手指未处于传感器上时，$C_X$ 等于系统的寄生电容 $C_P$。当手指触摸传感器表面时，会通过外覆层与传感器板形成一个简单的平行板电容器。其结果被称为手指电容 $C_F$，可通过下面的公式进行定义。

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

其中：

$\varepsilon_0$ = 自由空间介电常数

$\varepsilon_r$ = 外覆层的绝缘常数

A = 手指和传感器板外覆层的面积

D = 外覆层厚度

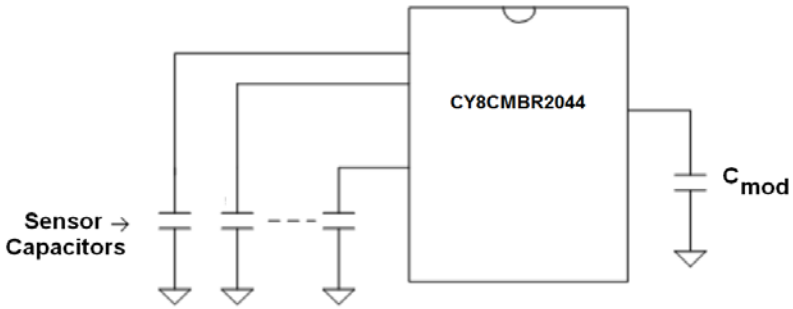
当手指处于传感器板上时，$C_X$ 等于 $C_P$ 与 $C_F$ 之和：

$$C_X = C_P + C_F$$ **公式 2**

## 2.2 CapSense 电容式感应方法

CY8CMBR2044 器件会使用 CapSense Sigma Delta (CSD) 测量传感器电容。此方法需要一个额外电容器 $C_{mod}$。$C_{mod}$ 的建议值为 2.2 nF。

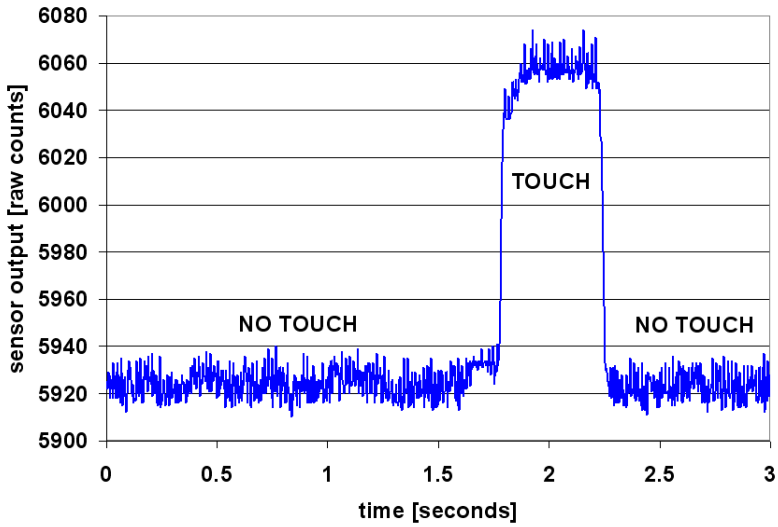
图 2-2. $C_{mod}$ 配置




### 2.2.1 电容转换

CapSense 算法将传感器电容转换为数字计数，称为原始计数。原始计数将传感器的状态分为“触摸”和“无触摸”两种状态。原始计数的数值是传感器电容的数字表示形式。CapSense 传感器的灵敏度通常以“计数/pF”为单位。

图 2-3. 感应算法的输出




### 2.2.2 带有 Sigma Delta 调制器的 CapSense (CSD)

CSD 方法在系统前端使用开关式电容器电路来将传感器电容转换为等效电阻，如公式 3 所示。Sigma-Delta 调制器将通过电阻测量的电流转换为数字计数。当手指处于传感器上时，电容会增大，而等效电阻会减小。这会导致通过电阻的电流增大，从而导致数字计数增大。

CSD 方法需要一个外部组件 $C_{mod}$。这是一个积分电容器，可保持通过等效电阻传输的电荷。

图 2-4. CSD 框图

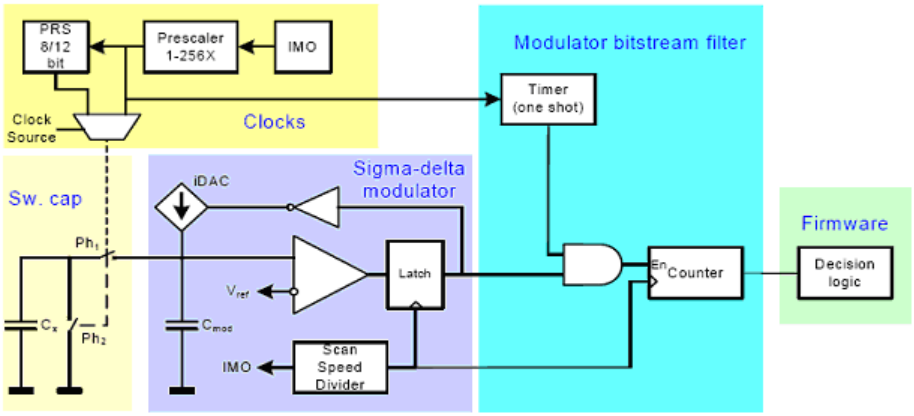
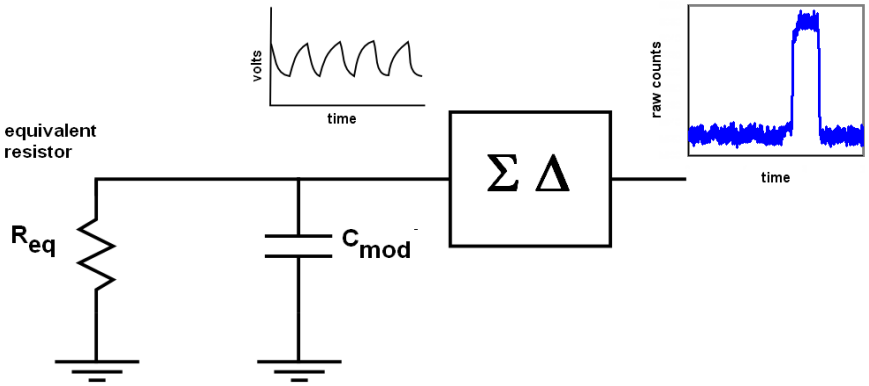



图 2-5. CSD 等效电路




$$R_{eq} = \frac{1}{f_{SW} \times C_P}$$ 公式 3

其中：

$f_{SW}$ = 开关频率

$C_P$ = 传感器电容

## 2.2.3 SmartSense™ 自动调校

调校触摸感应用户界面是确保系统正常运行和保持良好用户体验的重要步骤。典型的设计流程需要在初期设计阶段、系统集成期间调校传感器接口，并在投入量产前进行最后的生产微调。调校是一个重复过程，可能非常耗时。具有 SmartSense 自动调校的 CY8CMBR2044 旨在简化整个用户界面开发周期。由于完全省去了调校过程，设计周期时间

大幅缩短。SmartSense 可在加电时自动调校每个传感器，然后在运行时监控和维持最佳传感器性能。这种技术适用于调整 PCB、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）中存在的制造误差，并自动修正这些误差。

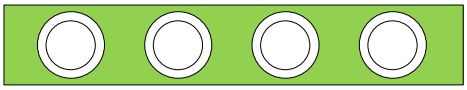
### *2.2.3.1 过程差异*

带有 SmartSense 的 CY8CMBR2044 器件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）。每个传感器的灵敏度参数会基于该传感器的特性自动进行设置。这样可提高批量生产的产量，因为可在每个传感器间维持一致的性能，而不考虑在 5 到 40 pF 指定范围中各传感器之间的 $C_P$ 差异。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，$C_P$ 值的变化会解调系统，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。CY8CMBR2044 解决了这些问题。

通过带 SmartSense 自动调校的 CY8CMBR2044 使平台设计成为可能。设想在笔记本电脑上设置电容式多媒体触摸感应键；在两个按键之间的间距大小均取决于笔记本尺寸和键盘布局。在本例中，宽屏机型要比标屏机型的按键间距大许多。两个按键之间的间距越大，传感器与 CapSense 控制器之间的走线就越长，进而导致传感器寄生电容越高。这意味着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。虽然这些按键的功能对于所有笔记本机型而言均是相同的，但是，传感器必须针对每种机型进行调校。带 SmartSense 的 CY8CMBR2044 使系统设计人员可以使用 CapSense 入门的“第 3.7 节 PCB 布局指南”中所述的建议最佳做法来进行平台设计，从而可以自动高效地进行调校。

图 2-6. 21 英寸型号的笔记本多媒体键的设计

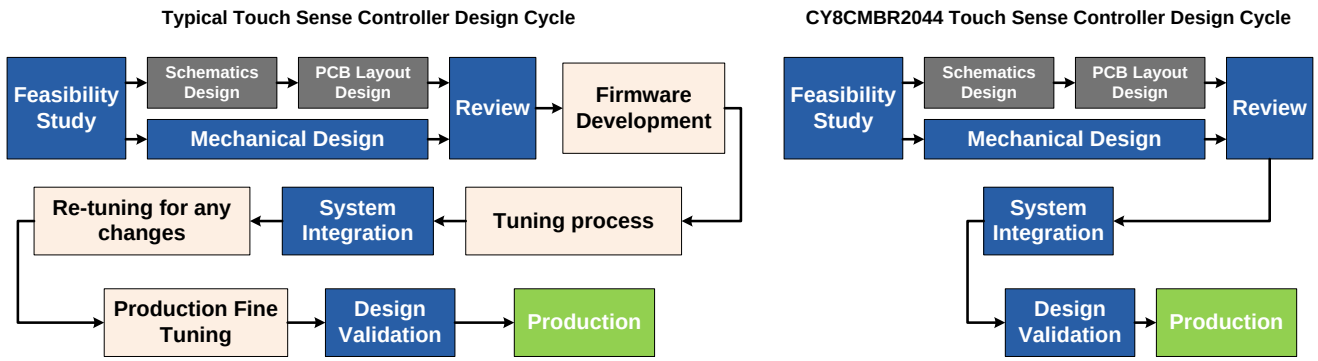
图 2-7. 15 英寸型号的笔记本多媒体键的设计（具有相同功能和按钮大小）



### *2.2.3.2 缩短了设计周期时间*

通常，电容式传感器 UI 设计的最耗时任务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。在发生更改时，CY8CMBR2044 不需要进行固件开发、器件编程或是调校和重新调校，因为 SmartSense 本身会调校传感器。这大大加快了常规设计周期的进程。图 2-8 将常规电容式触摸感应控制器的设计周期与基于 CY8CMBR2044 的进行比较。

图 2-8. 常规电容式界面设计周期比较

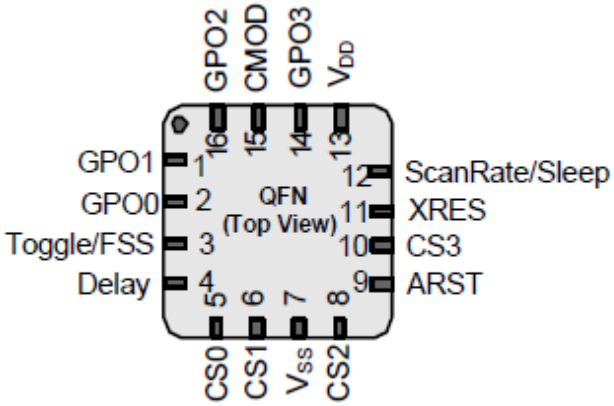


# 3. CapSense 原理图设计

## 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。此节概述 CapSense 控制器引脚以及如何配置它们。

图 3-1. CY8CMBR2044 引脚图




### 3.1.1 CapSense 电容式感应按钮 (CSx)

CY8CMBR2044 控制器具有四个电容式感应输入 CS0–CS3。每个电容式按钮都需要连接到这些感应输入之一。将所有未使用的电容式感应输入引脚接地。

### 3.1.2 通用输出 (GPOx)

CY8CMBR2044 控制器上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。GPO 可以用于直接驱动 LED 或替换机械按钮。使所有未使用的 GPO 引脚悬空。

### 3.1.3 $C_{MOD}$

连接一个 2.2-nF (±5%) 电容器连接到 $C_{MOD}$ 引脚。

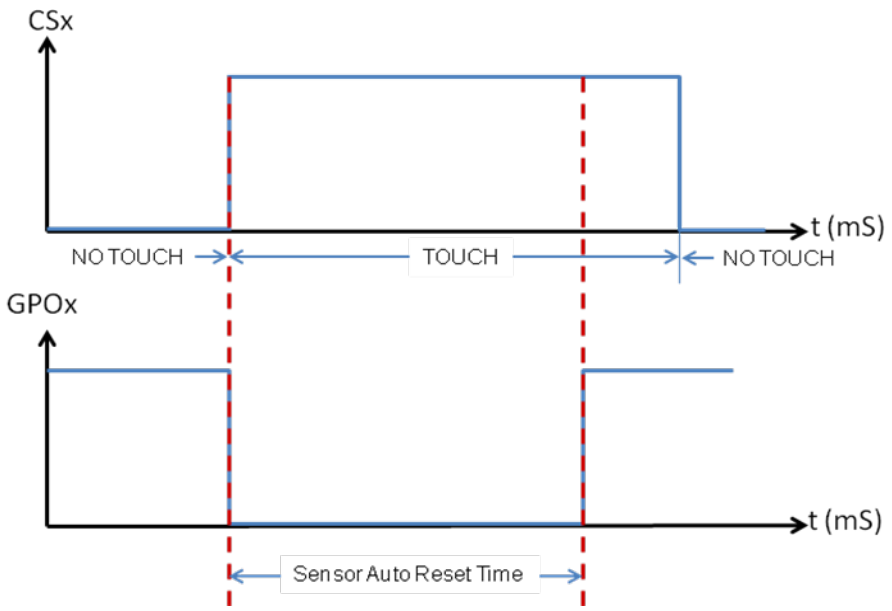
### 3.1.4 传感器自动复位 (ARST)

传感器自动复位决定了持续按下 CSx 时驱动 GPOx 的最大时间。这有助于在某个金属物体太靠近传感器时防止传感器卡住。传感器自动复位时间在表 3-1 中定义，并在图 3-2 中显示。

表 3-1. ARST 引脚配置

| ARST 引脚连接 | 传感器自动复位时间 (秒) |
|---|---|
| 接地 | 5 |
| 5 kΩ (10%) 电阻接地 | 20 |
| $V_{DD}$ 或悬空 | 无限制 |

图 3-2. 传感器自动复位




在 GPOx 由于 ARST 功能而关闭之后以及按钮释放之后，用户在下面提供的给定时间量 (T) 内不应触摸按钮

- T 等于 220 ms，如果 CSx 输入在经过传感器自动复位时间之后的 2 秒之后释放。
- T 等于 220 ms 加上扫描速率，如果 CSx 输入在经过传感器自动复位时间之后的 2 秒之后释放。

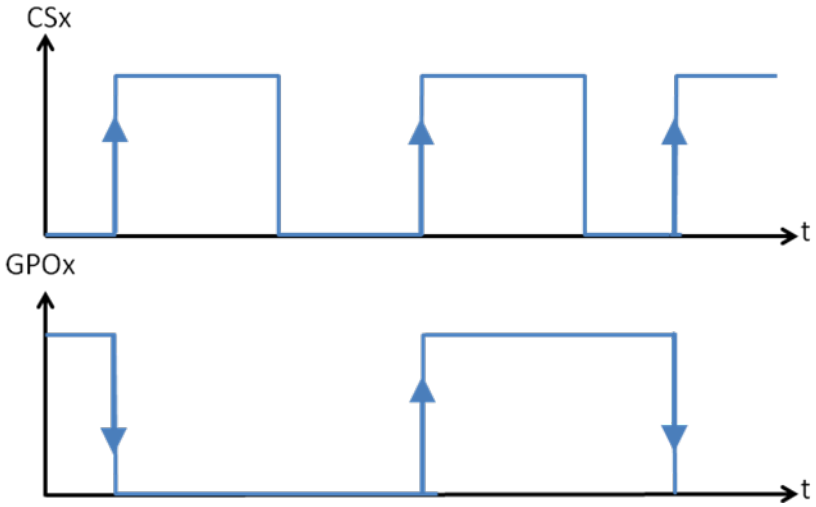
### 3.1.5 切换

当启用了切换时，GPOx 的状态会在 CSx 的每个上升沿上更改。此外，还会自动禁用延迟关闭。切换配置在表 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 | 切换 | FSS |
|---|---|---|
| 接地 | 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. 切换功能示例图



### 3.1.6 侧翼传感器抑制 (FSS)

FSS 通过一次只允许一个 CSx 处于“触摸”状态，来区分密集传感器。这表示如果手指触摸多个 CSx 传感器，则只有第一个感应“触摸”状态的传感器会打开。FSS 配置在第 14 页上的表 3-2 中定义，并在图 3-4 和图 3-5 中显示。

图 3-4. FSS 实现（连接单个传感器）

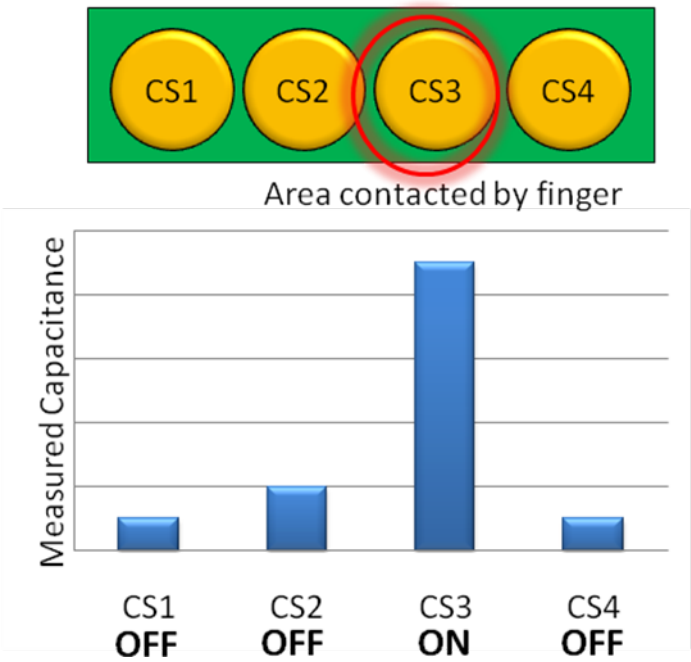
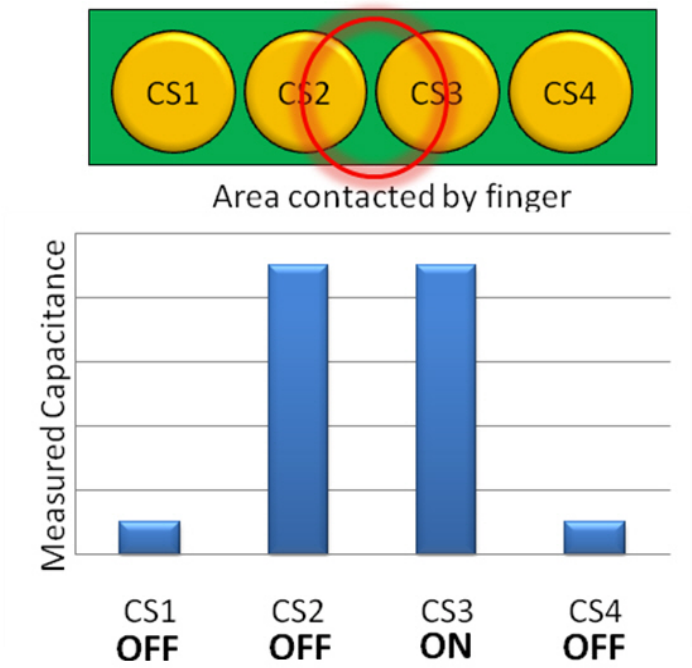


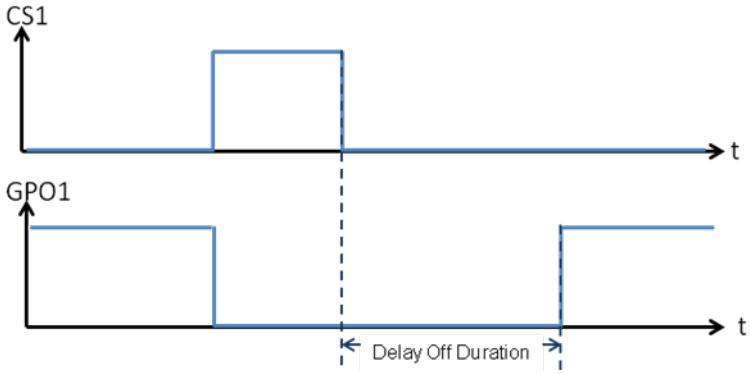
图 3-5. FSS 实现（连接多个传感器）




### 3.1.7 延迟关闭

延迟关闭指定在释放 CSx 之后驱动 GPOx 的持续时间。延迟关闭的范围为 0 ms 到 2000 ms。

图 3-6. 延迟关闭持续时间




如公式 4 延迟关闭公式所定义，延迟持续时间 D 使用电阻 $R_{DELAY}$ 进行设置。

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

其中：

D 为 20 ms 的倍数

表 3-3 提供了一些 $R_{DELAY}$ 示例值。$R_{DELAY}$ 电阻容差应小于 1%。

表 3-3. 延迟关闭时间的 $R_{DELAY}$ 值

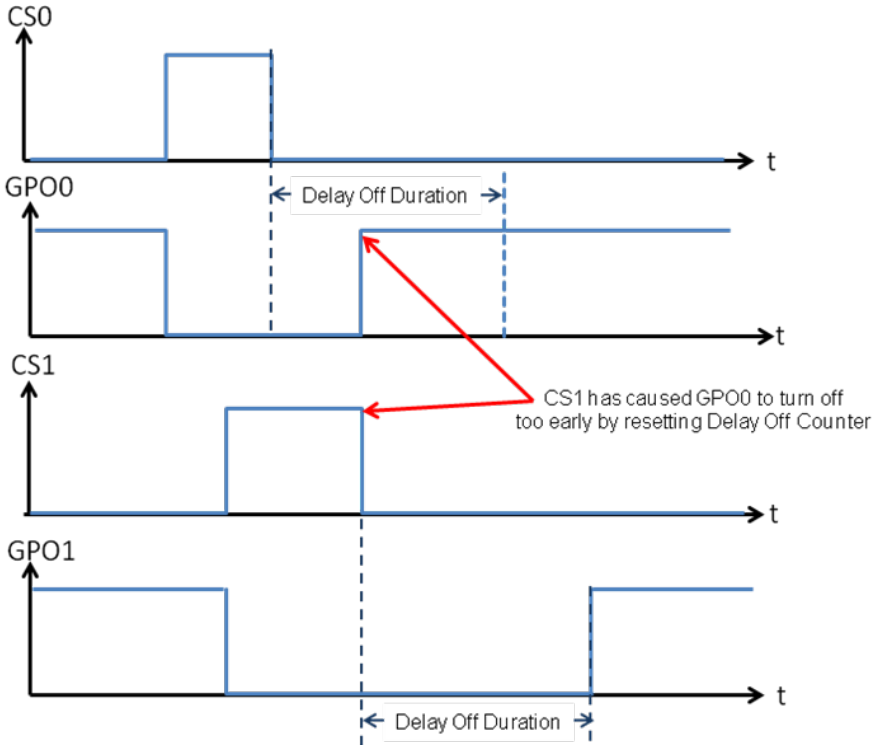
| $R_{DELAY}$ (Ω) | 近似 延迟关闭时间 (ms) |
|---|---|
| 接地 | 0 |
| 120 | 20 |
| 200 | 40 |
| 280 | 60 |
| … | … |
| 7960 | 1980 |
| 8040 | 2000 |
| > 8040 | 2000 |
| 拉到 VDD | 2000 |
| 悬空 | 2000 |

将 $R_{DELAY}$ 置于延迟关闭引脚与接地之间。延迟关闭因器件而异。室温时精度为 +/-12%，处于 -40 °C 到 +85 °C 的温度范围时精度为 ±18%。

如果对 CSx 触发了传感器自动复位，则不会对 GPOx 应用延迟关闭这个功能。

延迟关闭一次仅应用于一个 GPOx。意思是延迟关闭计数器会在 CSx 每次跃变为“无触摸”状态时复位。图 3-7 显示延迟关闭的工作原理。在该图中，CS1 复位延迟关闭计数器，从而导致 GPO0 过早关闭。

图 3-7. 多个传感器的延迟关闭时序图



## 3.1.8 扫描速率/睡眠

使用此引脚可设置 CY8CMBR2044 的扫描速率和睡眠模式操作。不应将此引脚保持为悬空。

### *3.1.8.1 扫描速率*

由一个外部电阻确定 CY8CMBR2044 的扫描速率。可以使用 Cp 和功耗值估计量表确定扫描速率电阻值或表 3-4。扫描速率可配置为 20 ms 到 530 ms。

表 3-4. 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 |

扫描速率因器件而异。室温时精度为 ±12，处于 -40 °C 到 +85 °C 的温度范围时精度为 ±18%。

### *3.1.8.2 睡眠模式*

有两种可能配置：

1. 将扫描速率电阻接地。这样可启用低功耗睡眠模式。
2. 将扫描速率电阻连接到外部主控（主机处理器）。这样可启用睡眠模式。

睡眠模式一节中介绍了详细信息。

## 3.1.9 故障模式分析

故障模式分析是一种内置加电自检 (POST)，可以在复位加电 (POR) 时检测到以下情况：

#### *3.1.9.1 短接到地的传感器*

如果某个传感器短接到地，则会在对应 GPO 上发送出一个 5-ms 脉冲。此脉冲会在加电的 175 ms 内发生。

#### *3.1.9.2 短接到 VDD 的传感器*

如果有任何传感器短接到 VDD，则会禁用该传感器。会在加电的 175 ms 内在对应 GPO 上发送出一个 5-ms 脉冲。

#### *3.1.9.3 传感器到传感器短接*

会禁用短接在一起的传感器。会在加电的 175 ms 内在对应 GPO 上发送出一个 5-ms 脉冲。

#### *3.1.9.4 $C_{MOD}$ 的合适值*

$C_{MOD}$ 的建议值为 2.2 nF。

1 nF < $C_{MOD}$ > 4 nF 会导致禁用所有传感器，并在加电的 175 ms 内在所有 GPO 上发送出一个 5 ms 脉冲。

#### *3.1.9.5 传感器 $C_P$ > 40 pF*

如果有任何传感器的寄生电容超过 40 pF，则会禁用该传感器。会在加电的 175 ms 内在对应 GPO 上发送出一个 5-ms 脉冲。

### 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、差值计数和所有传感器的寄生电容。当启用了串行调试数据时，会在单个 CSx 引脚上输出此信息。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。优先级为：

CS0 > CS1 > CS2 > CS3

赛普拉斯 Multi-Chart 工具可以用于查看数据。

串行数据使用 ~115,200 波特率进行发送。

对于使用四个以下 CapSense 按钮的设计，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 按钮的设计，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。

## 3.2 设计工具箱

赛普拉斯创建了一个交互电子表格设计工具箱来帮助设计强大且可靠的 CY8CMBR2044 CapSense 解决方案。

### 3.2.1 一般布局指南表

此表提供 CY8CMBR2044 布局指南的简要摘要。这些指南在设计考虑事项中进行讨论。可以在 CapSense 入门中找到此材料的彻底讨论。

图 3-8. 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 布局估计表

此表基于预期终端系统的要求和工业设计而提供最小的按键尺寸和最长的走线长度。输入电路板材料的外覆层材料、外覆层厚度和走线电容。有关合适值，请参阅图 3-9 中的表 B。表 A 基于系统噪声的三个相关范围，计算设计的最小按钮直径和最大走线长度。低噪声、中等噪声和高噪声是可帮助指导传感器开发的相关质量指标。根据终端系统环境，噪声条件可能因传感器而异。如果噪声条件未知，请使用中等噪声条件作为起点。每个传感器上看到的实际噪声会在第 3.2.4 具有实际值的设计验证表中介绍的设计验证步骤中确定。

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 CP 值和功耗估计量表

图 3-9. 布局估计表

| TableA- Estimator | | | |
|---|---|---|---|
| **Input Parameters** | **Value** | **Units** | **Comments** |
| Overlay Thickness | 5 | mm | |
| Overlay - Dielectric constant | 8 | farad/m | |
| Capacitance of trace per inch | 2 | pF | |
| | | | |
| **Minimum Recommended Button Diameter** | | | |
| Low noise conditions | 7 | mm | |
| Medium noise conditions | 8 | mm | |
| High noise conditions | 10 | mm | |
| | | | |
| **Maximum Trace length** | | | |
| Low noise conditions | 425 | mm | |
| Medium noise conditions | 419 | mm | |
| High noise conditions | 406 | mm | |
| | | | |
| Button to Ground clearance | 2 | mm | |
| | | | |
| | | cells are editable ,these are the input cells | |
| | | cells are not editable, these are the output cells | |

| 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
- 板的每英寸走线电容

***输出：***

- 不同噪声条件的建议最小按钮直径和最大走线长度
- 按钮离地间隙

根据传感器噪声的差异，每个传感器的按钮直径在设计中可能有所不同。

### 3.2.3 $C_P$ 值和功耗估计量表

在计算了板布局之后，使用此表在构建传感器板原型之前检查设计。若要验证每个按钮的 $C_P$ 值，请在表 A 中输入按钮直径和走线长度。这会确认每个按钮是否处于 5 pF 到 40 pF 的指定 $C_P$ 范围内。表 B 中的功耗估计量用于优化功耗。功耗与按钮扫描速率（通过扫描速率/睡眠引脚上的电阻值确定）相关。请参阅第 3.1.8.1 节扫描速率和表 3-4. 扫描速率的电阻值选择。表 C 基于表 A 和 B 中的输入来输出按钮响应时间。

图 3-9. $C_P$ 值和功耗估计量表

**Table A: Cp Calculator**

| Sensor | Button diameter | | Trace length | | Parasitic capacitance (Cp) of sensors (Approx) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CS0 | 0 | mm | 1 | mm | 0 | pF |
| CS1 | 0 | mm | 1 | mm | 0 | pF |
| CS2 | 0 | mm | 1 | mm | 0 | pF |
| CS3 | 0 | mm | 1 | mm | 0 | pF |
| Total No of buttons | 0 | Nos | | | | |

**Table B: Power calculator**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Scan Rate resitor value | 0 | ohms | **Note: Choose any value between 0-8000 ohms, after seclecting the required value make sure the value matches to values given in Table9 of CY8CMBR2044 datasheet** |
| Approximate Scan Rate value | 20 | ms | |
| % of time finger is on the sensors | 1 | % | |
| 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 | **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 | 40 | ms |
| consecutive button press | 80 | ms |

| | |
|---|---|
| | cells are editable ,these are the input cells |
| | cells are not editable, these are the output cells |

***输入：***

- 按布局中的设计输入 CS0–CS3 的按钮直径和走线长度。
- 输入扫描速率电阻值以及手指位于传感器上的时间百分比。

***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 到 40 pF 的指定范围内
- 每个按钮的功耗
- 按钮响应时间

在构建和测试了原型电路板之后，可以按照第 3.1.10 串行调试数据输出中的详细介绍来确定每个按钮的实际寄生电容 ($C_P$) 和噪声情况（噪声计数）。使用此信息和具有实际值的设计验证表可验证设计（按照第 3.2.4 具有实际值的设计验证表中的详细介绍）。

## 3.2.4 具有实际值的设计验证表

在对传感器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 串行调试数据输出）可捕获所有传感器的原始计数、基准线、差值计数和寄生电容。

图 3-10 具有实际值的设计验证表

**Table A: Actual inputs**

| Input Parameters | Value | Unit |
|---|---|---|
| Overlay Thickness (in mm) | 4.8 | mm |
| Dielectric constant, overlay | 8 | farad/m |
| Capacitance of trace per inch in pF | 2 | pF |
| Scan Rate Resistor | 0 | ohms |
| Scan Rate Value | 20 | ms |
| No of buttons | 0 | Nos |
| % of time finger is on the sensors | 0 | % |
| CS0 Button diameter actual | 0 | mm |
| CS1 Button diameter actual | 0 | mm |
| CS2 Button diameter actual | 0 | mm |
| CS3 Button diameter actual | 0 | 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 | Enter values from Debug Data out | | | | | | Average Current | | Recommendation | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Noise | | Cp | | Raw Count | | | | Minimum Button diameter | | Maximum Trace Length | |
| CS0 | 0 | counts | 5 | pF | 2000 | counts | 0 | mA | 0 | mm | 0 | mm |
| CS1 | 0 | counts | 5 | pF | 2000 | counts | 0 | mA | 0 | mm | 0 | mm |
| CS2 | 0 | counts | 5 | pF | 2000 | counts | 0 | mA | 0 | mm | 0 | mm |
| CS2 | 0 | counts | 5 | pF | 2000 | counts | 0 | mA | 0 | mm | 0 | mm |
| | | | Actual average current consumption | | | | 0 | mA | | | | |

| | |
|---|---|
| | cells are editable ,these are the input cells |
| | cells are not editable, these are the output cells |

***输入：***

- 输入每个传感器的实际外覆层厚度、外覆层材料介电常数、按钮直径和走线长度。
- 输入设计中使用的扫描速率电阻值。
- 输入手指位于传感器上的时间百分比。
- 输入每个传感器的实际噪声。噪声 = 最大原始计数 – 传感器的最小原始计数（没有手指）。使用串行调试数据输出测试模式（第 3.1.10 串行调试数据输出）输出原始计数信息。

***输出：***

- 每个按钮的功耗
- 每个按钮的响应时间
- 设计更改建议。如果按钮大小或走线长度不属于最佳设计做法，则设计工具箱基于设计的实际值提供建议。

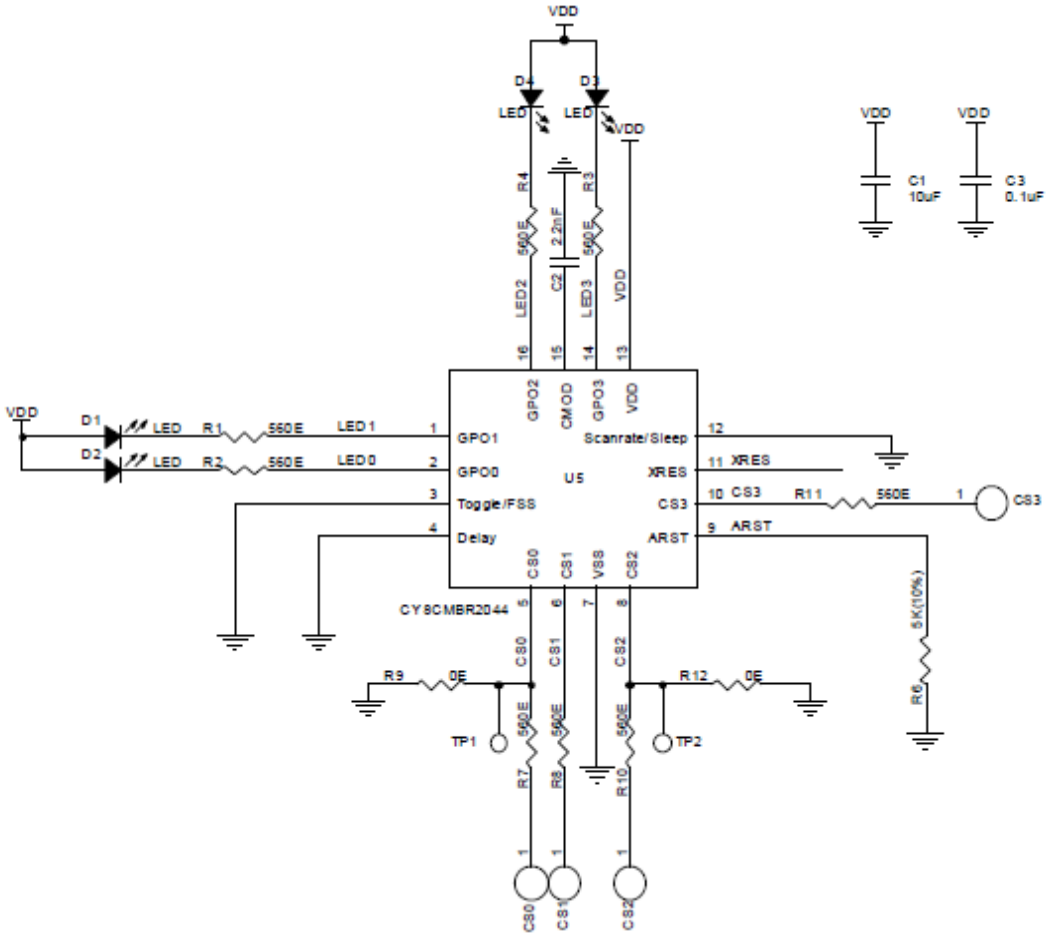
此表为原型电路板提供通过/失败等级。如果传感器板未通过，则设计工具箱会提供建议。可以更改四个方面以更正失败的设计：按钮大小、走线长度、外覆层材料和外覆层厚度。更改按钮大小或走线长度需要重做电路板，而更改外覆层材料或厚度（或两者）可能会更快地实现可通过的设计。最佳解决方案取决于项目在开发过程中所处的阶段和终端系统要求。设计工具箱会指导您实现可通过的结果。

## 3.3 原理图示例 #1

图 3-11 中的原理图显示具有以下配置的 CY8CMBR2044：

- 带有 560-Ω 串联电阻的四个 CapSense 按钮（请参见电磁兼容性 (EMC) 考虑事项）
- 四个 GPO 驱动 LED
- 传感器自动复位 = 20 秒（5-kΩ 电阻）
- 在 CS0 和 CS2 上启用串行调试数据（使用 5.6-kΩ 电阻）

图 3-11. 原理图示例 #1

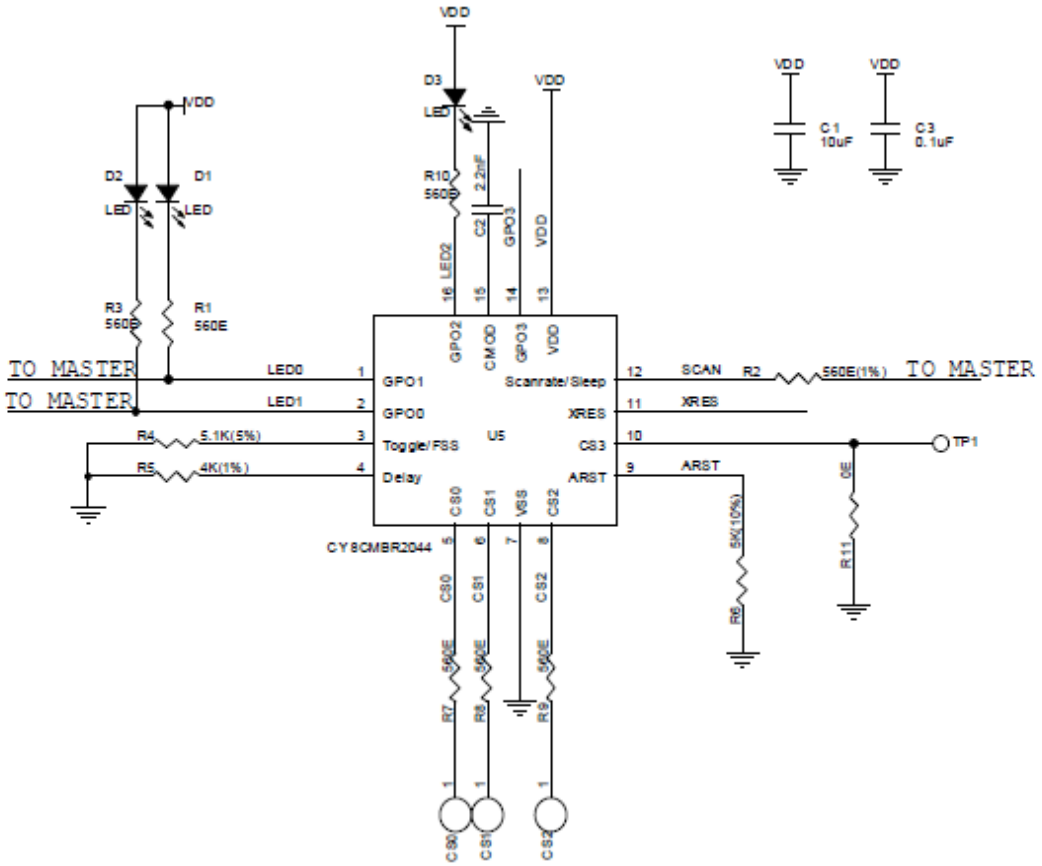


## 3.4 原理图示例 #2

图 3-12 中的原理图显示具有以下配置的 CY8CMBR2044：

- 三个 CapSense 按钮（CS0、CS1、CS2）驱动带有 560-Ω 串联电阻的三个输出（请参见电磁兼容性 (EMC) 考虑事项）
- GPO0、GPO1 和 GPO2 驱动三个 LED
- CS3 禁用（接地）；因此，GPO3 保持为悬空
- FSS 启用，切换禁用
- 延迟关闭 = 1 秒
- 扫描速率 = 30 ms
- 传感器自动复位 = 20 秒（5-kΩ 电阻）
- 通过使用 5.6-kΩ 电阻下拉 CS3 启用串行调试数据

图 3-12. 原理图示例 #2



# 4. 设计考虑事项

在将电容式触摸感应技术设计到应用中时，必须记住较大框架中存在 CapSense 器件。认真考虑从 PCB 布局到用户界面到最终使用操作环境的各个细节层次，可形成强大且可靠的系统性能。有关更多深入信息，请参阅《CapSense 入门》。

## 4.1 外覆层选择

在 CapSense 等效模型中，针对手指电容提供了公式 1

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

其中：

$\varepsilon_0$ = 自由空间介电常数

$\varepsilon_r$ = 外覆层的绝缘常数

A = 手指和传感器板外覆层的面积

D = 外覆层厚度

若要增大 CapSense 信号强度请选择具有较高绝缘常数的外覆层材料，减小外覆层厚度，并增大按钮直径。赛普拉斯创建了一个交互电子表格设计工具箱来帮助设计强大且可靠的 CY8CMBR2044 CapSense 解决方案（如第 3.2 所讨论）。

表 4-1. 外覆层材料绝缘强度

| 材料 | 击穿电压 (V/mm) | 12 kV 时的最小外覆层厚度 (mm) |
|---|---|---|
| 空气 | 1200–2800 | 10 |
| 木头 – 干燥 | 3900 | 3 |
| 玻璃 – 普通 | 7900 | 1.5 |
| 玻璃 – 硼硅酸盐 (Pyrex®) | 13,000 | 0.9 |
| PMMA 塑料 (Plexiglas®) | 13,000 | 0.9 |
| ABS | 16,000 | 0.8 |
| 聚碳酸酯 (Lexan®) | 16,000 | 0.8 |
| 胶木 | 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 |

不能将导电材料用作外覆层，因为它会干扰电场。因此，不应在外覆层中使用包含金属微粒的颜料。

### 4.1.1 将外覆层粘结到 PCB

因为空气的绝缘常数非常低，所以外覆层与传感器之间的气隙会降低传感器性能。为了消除气隙，通常使用粘合剂将外覆层粘结到 CapSense PCB。粘合剂必须不导电。3M™ 提供的名为 200MP 的透明丙烯酸粘膜适合于用于 CapSense 应用。此特殊粘合剂免去了纸面装订胶带卷（3M™ 产品号 467MP 和 468MP）。

## 4.2 ESD 保护

经过深思熟虑的系统设计自然而然会形成强大的抗 ESD 性。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 的放电事件可能不会对 CapSense 控制器造成任何损坏。

CapSense 控制器引脚可以禁受直接 2-kV 事件。在大多数情况下，外覆层材料可为控制器引脚提供足够的 ESD 保护。表 4-1 列出了使 CapSense 传感器禁受 12-kV 放电（按照 IEC 61000-4-2 的规定）所需的各种外覆层材料厚度。如果外覆层材料未提供足够保护，则应按以下顺序应用抗 ESD 措施：预防，重新定向，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触点。此外，将系统设计为可在 CapSense 控制器与可能 ESD 源之间保持合适距离。如果无法保持足够距离，请在 ESD 源与 CapSense 控制器之间放置一个高击穿电压材料保护层。一层 5 mil 厚的 Kapton®胶带可以经受住 18 kV。

### 4.2.2 重定向

如果产品密集封装，则可能无法预防放电事件。在这种情况下，可以通过控制发生放电的位置来保护 CapSense 控制器。标准做法是在连接到底盘接地的电路板周界上放置一个保护环。如在 PCB 布局指南中所示，在按钮或者滑条传感器周围提供一个规划接地层，该举能够重新定向 ESD 放电事件，使其离开传感器和 CapSense 控制器。

### 4.2.3 钳制

因为是有意使 CapSense 传感器的放置位置接近于触摸表面，所以重定向放电路径可能不太切合实际。在这种情况下，合理的做法是添加串联电阻或者专用 ESD 保护器件。

建议串联电阻值为 560 欧姆。

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。CapSense 的 ESD 保护器件需要是低电容。表 列出了建议用于 CapSense 控制器的器件。

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 | 接触放电最大限制 | 空气放电最大限制 |
|---|---|---|---|---|---|
| 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 kV |

## 4.3 电磁兼容性 (EMC) 考虑事项

### 4.3.1 辐射干扰

辐射电能可能会影响系统测量并可能会影响处理器内核的运行。干扰会通过 CapSense 传感器走线和任何其他数字或模拟输入，进入 PCB 层的 CY8CMBR2044 CapSense Express 芯片。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
  - CapSense 输入线的建议串联电阻为 560 欧姆。
- **走线长度**：如有可能，请最大限度减少走线长度。
- **电流环路区域**：尽量减少电流的返回路径。应提供规划接地而非实体填充，其与传感器和走线的距离须在 1cm 以内，以减少寄生电容的影响。
- **RF 源位置**：隔离带有噪声源（如 LCD 反相器和开关电源 (SMPS)）的系统以使其与 CapSense 输入分隔。屏蔽电源是另一种常见的防干扰技术。

### 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，所以必须避免传导辐射。以下指南将有助于减少传导辐射和抗扰性：

- 按照数据手册的建议使用解耦电容器。
- 在系统电源上的输入上添加双向滤波器。这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，同时还可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。
- 可以在电源或通信线周围放置铁氧体磁珠来过滤掉高频噪声。

## 4.4 功耗

### 4.4.1 系统设计建议

赛普拉斯 CY8CMBR2044 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
- 使用入门指南中的设计指南尽量减小 $C_P$
- 降低电源电压
- 使用低功耗睡眠和/或深度睡眠工作模式

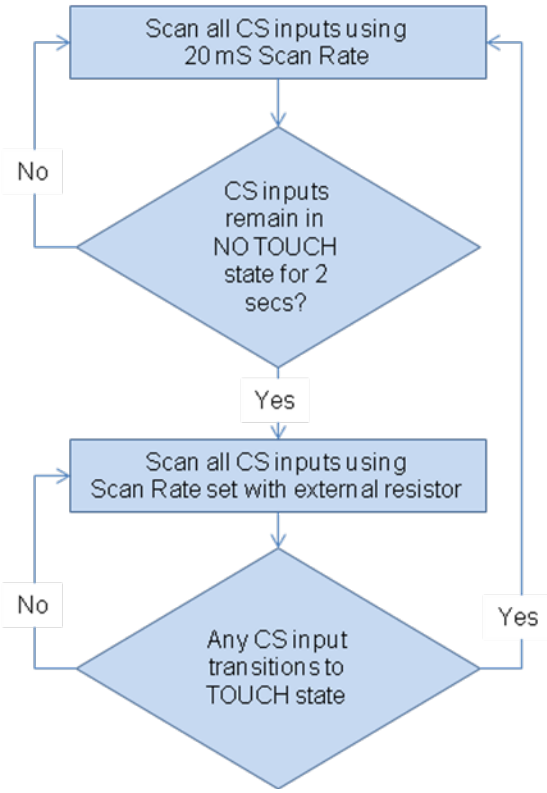
## 4.5 睡眠模式

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。

### 4.5.1 低功耗睡眠模式

如果 CY8CMBR2044 器件在低功耗睡眠模式下工作，则器件在不扫描 CS 输入时会需要 1 µA 的电流。扫描速率确定时间量。图 4-1 中介绍了 CY8CMBR2044 控制器在低功耗睡眠模式下的行为。

图 4-1. 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。

### 4.5.2 深度睡眠模式

如果 CY8CMBR2044 在具有主机处理器的系统中使用，则扫描速率/睡眠控制引脚可以用于在深度睡眠模式下工作。当主机处理器向此输入引脚提供逻辑高电压时，CY8CMBR2044 会置于深度睡眠模式。此模式消耗 0.1 µA（典型）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。

### 4.5.3 平均功耗

建议使用设计工具箱估计和优化功耗。设计工具箱可自动执行在以下各节中概括的计算。

确定 CY8CMBR2044 消耗的平均功耗：

1. 计算扫描速率 $T_R$
2. 计算扫描时间 $T_S$
3. 计算“无触摸”状态下的平均电流 $I_{AVE_NT}$
4. 计算“触摸”状态下的平均电流 $I_{AVE_T}$
5. 计算平均独立电流 $I_{AVE_SA}$
6. 计算平均电流 $I_{AVE}$
7. 计算平均功耗 $P_{AVE}$

#### *4.5.3.1 扫描速率 ($T_R$)*

扫描速率通过连接到 CY8CMBR2044 扫描速率/睡眠引脚的外部电阻进行控制。以下公式提供了近似扫描速率：

$$T_R = 20\ ms + \sqrt[3]{\frac{R+60}{125}}$$ **公式 5**

其中：

R = 外部电阻的值（以欧姆为单位）。

请参阅第 19 页上的表 3-4 来查找合适电阻值。

##### *4.5.3.1.1 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。

$$T_{RES} = T_R + 20\ ms$$ **公式 6**

其中：

$T_R$ = 扫描速率

第二个是在唤醒之后 80 ms 内响应任何后续“触摸”所花的时间。

#### *4.5.3.2 扫描时间 ($T_S$)*

可以使用以下方法计算近似扫描时间：

$$T_S = [0.375\ ms \times (K_{CS0} + K_{CS1} + K_{CS2} + K_{CS3})] + T_{FW}$$ **公式 7**

其中：

$K_{CSX}$ = CSx 的传感器常量（来自表 4-3）。

$T_{FW}$ = 固件执行时间

表 4-3. 传感器常量

| $C_P$ (pF) | 传感器常量 (K) |
|---|---|
| 接地的 CS 输入 | 0 |
| 5 pF ≤ $C_P$ ≤ 10 pF | 1 |
| 10 pF < $C_P$ ≤ 22 pF | 2 |
| 23 pF < $C_P$ ≤ 40 pF | 3 |

表 4-4. 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 |
| $T_S$ | 来自公式 7 | TYP 值的 +5% |
| $T_R$ | CY8CMBR2044 数据手册中的表 9 | 值的 ±10 |
| $I_{ACTIVE}$ | 2.67 mA | 3.8 mA |

### *4.5.3.3 "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：

$T_R$ = 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（来自表 4-4 ）

$I_{ACTIVE}$ = CY8CMBR2044 在有效工作期间消耗的电流（来自表 4-4 ）

### *4.5.3.4 "触摸"状态下的平均电流 ($I_{AVE_T}$)*

$$I_{AVE_T} = \left(\frac{20\,mS - T_S}{20\,mS} \times I_{SLEEP}\right) + \left(\frac{T_S}{20\,mS} \times I_{ACTIVE}\right)$$ **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（来自表 4-4 ）

$I_{ACTIVE}$ = CY8CMBR2044 在有效工作期间消耗的电流（来自表 4-4 ）

#### 4.5.3.5 平均独立电流 ($I_{AVE_SA}$)

$$I_{AVE_{SA}} = \left(\frac{100-P}{100} \times I_{AVE_{NT}}\right) + \left(\frac{P}{100} \times I_{AVE_T}\right)$$ **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

$I_{AVG_NT}$ = 处于“无触摸”状态时的平均电流

$I_{AVG_T}$ = 处于“触摸”状态时的平均电流

#### 4.5.3.6 平均电流 ($I_{AVE}$)

$$I_{AVE} = \left[I_{AVE_{SA}} \times \left(\frac{T_{SA}}{T_{DS}+T_{SA}}\right)\right] + 0.1\ \mu A$$ **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下的时间

#### 4.5.3.7 平均功耗 ($P_{AVE}$)

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

其中：

$I_{AVE}$ = 平均电流

#### 4.5.3.8 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钮的蓝牙耳机上的 CapSense 用户界面。所有三个按钮的 $C_P$ 都介于 10 pF 到 22 pF 之间。以 507 ms 的速率扫描这些按钮。

可以通过将传感器常量 2 用于所有三个按钮并使用公式 13 来计算扫描时间：

$$T_S = [0.375 \times (2+2+2)] + 1.57 = 3.82\ ms$$ **公式 13**

按照如下所示，使用公式 14 以及 $I_{SLEEP}$ 和 $I_{ACTIVE}$ 的最大值（来自表 4-4）计算“无触摸”状态下的平均电流：

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

按照如下所示，使用公式 15 计算“触摸”状态下的平均电流：

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

为了计算平均电流，假设耳机在 8 小时营业日中接收 50 个呼叫，并且用户在每个呼叫过程中每 20 秒触摸一个 CapSense 按钮。这表示设计在“触摸”状态下工作的时间占 8 小时（耳机处于打开状态的时间）的 1.8%。按照以下所示，使用公式 16 计算设计的平均电流消耗：

$$I_{AVE_{SA}} = (0.982 \times 30.19\,\mu A) + (0.018 \times 727\,\mu A) = 42.73\,\mu A$$ **公式 16**

假设此设计不使用深度睡眠模式并且它在 1.71 V 下工作，则按照如下所示，使用公式 17 计算平均功耗：

$$P_{AVE} = 1.71 \times 42.73\,\mu A = 73.07\,\mu W$$ **公式 17**

## 4.6 PCB 布局指南

赛普拉斯创建了一个交互电子表格设计工具箱来帮助设计强大且可靠的 CY8CMBR2044 CapSense PCB 布局（如第 3.2 所讨论）。

关于 PCB 布局指南的详细内容，请参见《CapSense 入门》。

# 5. 资源

## 5.1 网站

如需获取本章讨论的所有参考资料，请访问赛普拉斯 CapSense 控制器网站。

在 CY8CMBR2044 网页上找到各种技术资源。

## 5.2 数据手册

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

- CY8CMBR2044

## 5.3 设计工具箱

赛普拉斯创建了一个交互电子表格设计工具箱来帮助设计强大且可靠的 CY8CMBR2044 CapSense 解决方案。在 Web 上观看设计工具箱示例视频。

## 5.4 Multi-Chart

Multi-Chart 是一个简单的 PC 工具，用于实时 CapSense 数据查看和记录。使用该应用程序可以查看最多 48 个传感器的数据、保存和打印图表以及在电子表格中保存数据供将来进行分析。

## 5.5 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 产品选择指南 – 请参见赛普拉斯产品线的完整产品。
- 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 – 通过教程视频快速熟悉

- 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 – 赛普拉斯致力于实现客户满意度。
- 技术支持 – 在线获得第一流技术支持。