

Nguyen, Duy (Bobby)

### 摘要

本文档讨论了可插入带电背板的 I<sup>2</sup>C 热插入/热插拔，用户可能遇到的潜在问题，以及某些器件如何为热插入应用提供更高的安全性。

### 内容

1 什么是 I <sup>2</sup> C 热插拔器件？	2
2 热插入问题	2
3 背板上的分立式热插入实现	3
4 设计用于热插入的外部卡	4
5 上升时间加速器	6
6 结论	7
7 修订历史记录	8

### 插图清单

图 3-1. 背板上的分立式热插入支持	3
图 4-1. TCA9511A IN 侧无上拉电阻器的外部卡设计示例	4
图 4-2. 错开公连接器以支持外部卡上的热插入的示例	5
图 5-1. 360pF 负载，带外部 10k $\Omega$ 上拉电阻，上升时间加速器被禁用	6
图 5-2. 360pF 负载，带外部 10k $\Omega$ 上拉电阻，上升时间加速器被启用	7

### 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 什么是 I<sup>2</sup>C 热插拔器件？

支持热插入/热插拔的器件意味着它可以从外部 PCB 插入带电背板，而无需关闭背板电源。这种功能在可能不希望或不可能关闭系统电源的应用中非常有用，例如在服务器或无线基站中。热插入器件有助于防止下游器件出现毛刺干扰，同时尽量减小将寄生电容添加到带电总线的影响。

## 2 热插入问题

在带电总线上发生热插入事件时，两个潜在问题是生成错误的时钟边沿以及下游 I<sup>2</sup>C 从器件的不良上电复位。由于来自带电背板的初始浪涌电流将填充外部卡的寄生电容，因此当 SCL 为逻辑高电平时，插入过程中可能会产生错误的时钟边沿。这会带来问题，因为总线上的 I<sup>2</sup>C 从器件可能会看到额外的时钟边沿，并且它与主机的实际时钟脉冲不同步。在最坏的情况下，在 SDA 线卡住的情况下，会发生 I<sup>2</sup>C 总线阻塞情况，因为从器件正在等待最后一个时钟脉冲释放 SDA 线。这可能会导致系统中出现主要问题，在执行操作/诊断之前，系统依靠 I<sup>2</sup>C 传递信息。

如果背板上的 SCL 信号处于逻辑低电平，则浪涌电流不会成为问题，并且不会生成错误的时钟边沿。每次发生热插入事件时，都不大可能出现这种情况，最终可能发生阻塞总线事件。

不良上电复位的第二个问题源自下游 I<sup>2</sup>C 器件的电源斜升要求以及背板和外部卡上 I<sup>2</sup>C 器件之间电源布线上的任何寄生电容或电感。I<sup>2</sup>C 器件通常要求 V<sub>CC</sub> 斜升速率处于特定的最小或最大值范围内才能正确加电。由于热插入事件（寄生电感导致 V<sub>CC</sub> 斜坡上出现振铃）而超出该范围可能导致下游 I<sup>2</sup>C 器件状态机在未知状态下加电。如果发生这种情况，下游 I<sup>2</sup>C 器件可能会上电，认为它处于读取事务状态并最终将 SDA 线路保持在低电平，甚至在时钟拉伸事件中锁定 SCL 线路。

### 3 背板上的分立式热插入实现

可以使用 I<sup>2</sup>C 开关或具有使能引脚的 I<sup>2</sup>C 缓冲器来实现一种防止热插入事件期间发生毛刺干扰的分立式方法。这可以通过将 I<sup>2</sup>C 开关或缓冲器设计为位于背板边缘来实现。对于 I<sup>2</sup>C 开关，应将存在检测信号置于外部卡上并馈入背板中断检测系统。这会告知处理器何时将外部卡连接到背板，并可从下游 I<sup>2</sup>C 从器件中提取数据。图 3-1 展示了一个通过将存在检测信号馈送到 TCA9555 输入来实现此目的的示例。通过使用 TCA954x ( I<sup>2</sup>C 开关 ) 和 TCA9555 ( I<sup>2</sup>C I/O 扩展器 ) 上的备用通道进行中断检测，该设置允许插入多个卡。但是，如果处理器有未使用的 GPIO，则不需要 TCA9555。

在此系统中，插入外部卡后，背板将为 I<sup>2</sup>C 从器件提供电源和公共接地连接。I<sup>2</sup>C 开关辅助通道上的背板 I<sup>2</sup>C 上拉电阻器将从器件 SDA/SCL 引脚拉至高电平。当外部卡被连接时，TCA9555 的 GPI 逻辑从数字高电平 ( 内部 100k 上拉电阻 ) 变为数字低电平。这会生成中断并向处理器发出信号，来检查产生中断的输入，然后启用与其连接的外部卡的 I<sup>2</sup>C 开关通道。

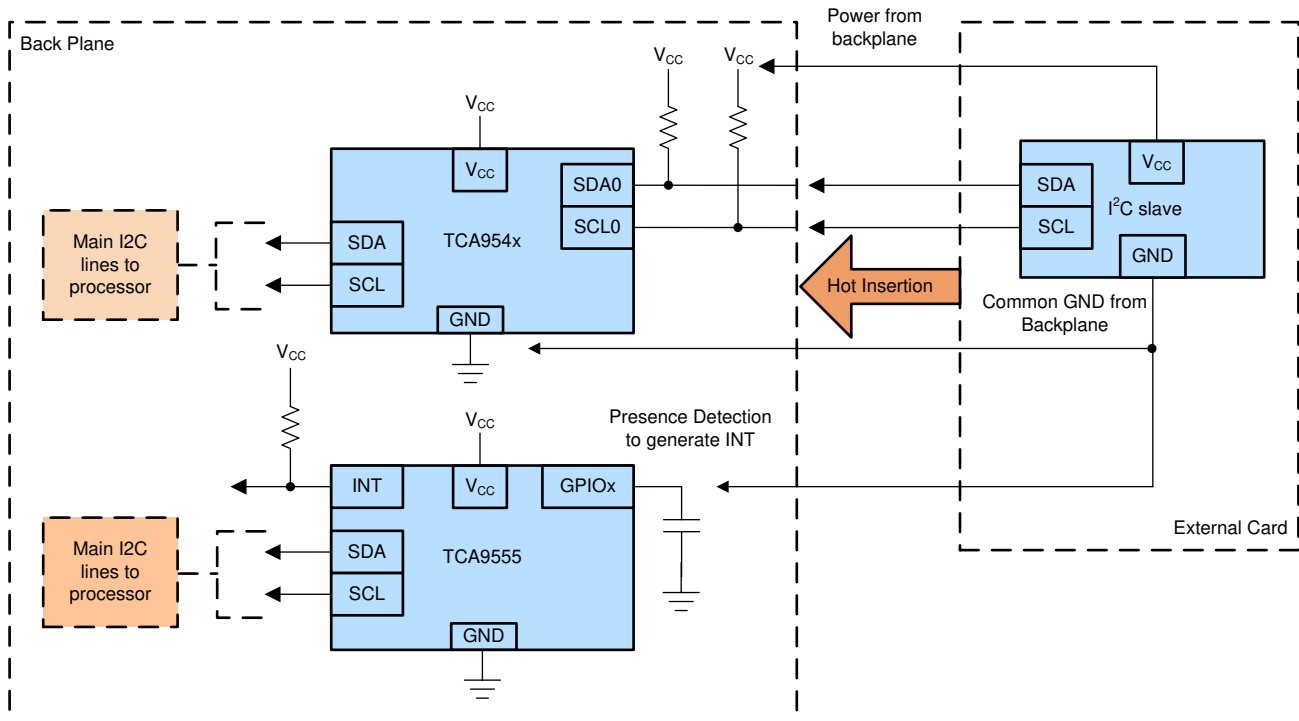


图 3-1. 背板上的分立式热插入支持

其他说明：

- 外部卡应连接 GND，然后在 SDA/SCL 之前通电：
  - 如果 SDA/SCL 线先连接，这有助于防止它们出现任何潜在的偏置。
  - 需要一个母对公连接器，该连接器会错开信号以在不同时间进行连接。
- 这种方法有助于防止主要总线上的毛刺干扰，但不会保护 I<sup>2</sup>C 从器件免受不良 POR 的影响。
  - 在最坏的情况下，处理器将 I<sup>2</sup>C 从器件连接到主要总线，同时将 SCL/SDA 线保持在低电平。
  - 具有复位功能的 I<sup>2</sup>C 开关可用于禁用所有 I<sup>2</sup>C 通道，以便重新获得 I<sup>2</sup>C 控制。这确实需要对处理器进行编程，以便检测阻塞的总线并在发生这种情况时切换复位。
- 图 3-1 中的开关可替换为 I<sup>2</sup>C 电平转换器或具有使能引脚的 I<sup>2</sup>C 缓冲器。
- TCA9555 可替换为具有中断功能的任何 I<sup>2</sup>C GPIO 扩展器。

## 4 设计用于热插入的外部卡

如果系统设计人员无法控制背板的设计，而是控制外部卡，则上述方法可能无法实现。在这种情况下，在外部卡上使用热插入缓冲器是一种理想的方法。TCA9511A 是适合此应用的潜在器件。该器件具有 1V 预充电电路、转换率触发的上升时间加速器和用于“智能”连接的停止/空闲状态检测。

当与背板进行外部卡 SDA/SCL 连接时，1V 预充电特性有助于限制浪涌电流。1V 预充电虽然并非万无一失，但有助于在热插入事件进入带电总线期间减少毛刺脉冲。为了在热插入事件期间使用 1V 预充电特性，必须确保两个设计注意事项。

需要完成的第一个设计设置是 TCA9511A 的“IN 侧”需要设计为与外部卡的背板连接。这是因为器件的“IN 侧”仅在器件的“IN 侧”进行总线空闲/停止条件检测，而“OUT 侧”仅查看电压是否高于  $V_{IH}$ （电压输入高）。出于这个原因，不应在外部卡的 I<sup>2</sup>C 总线的“IN 侧”填充开路电阻，因为它会对 TCA9511A 产生错误的空闲状态并关闭 1V 预充电电路。图 4-1 指明了哪一侧是 TCA9511A 的“IN 侧”和“IN 侧”上未组装的上拉电阻器。

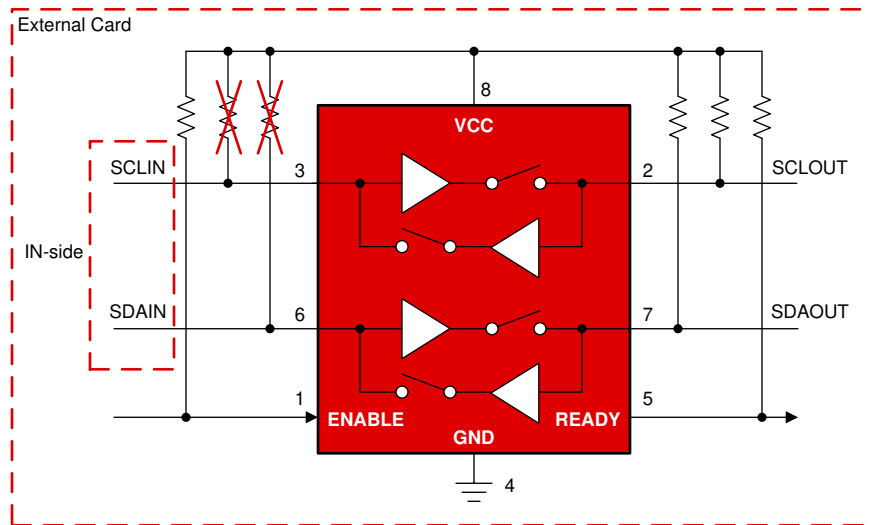


图 4-1. TCA9511A IN 侧无上拉电阻器的外部卡设计示例

所需的第二个设计设置是从外部卡到背板的连接必须首先将接地端和电源连接到外部卡，然后 SDAIN/SCLIN 连接到背板 I<sup>2</sup>C 总线。其原因是，在 SCLIN/SDAIN 连接至背板之前，TCA9511A 需要上电并打开其 1V 预充电电路。如果 SDAIN 或 SCLIN 线路与电源和接地同时连接至背板，那么，1V 预充电电路不会及时加电，如果背板上的 SDA/SCL 线路为高电平或转换为高电平，背板 I<sup>2</sup>C 总线可能会瞬间下降到接地。这意味着外部卡需要在其公连接器上具有交错连接点。交错公连接器的示例如图 4-2 所示。在此示例中，GND 首先连接。接下来，V<sub>CC</sub> 通过使 V<sub>CC</sub> 的裸露铜布线比 GND 短约 25mil 来完成。之后，SDAIN 或 SCLIN 连接到背板，因为它们的裸露布线比 GND 短 50mil，比 V<sub>CC</sub> 短 25mil。

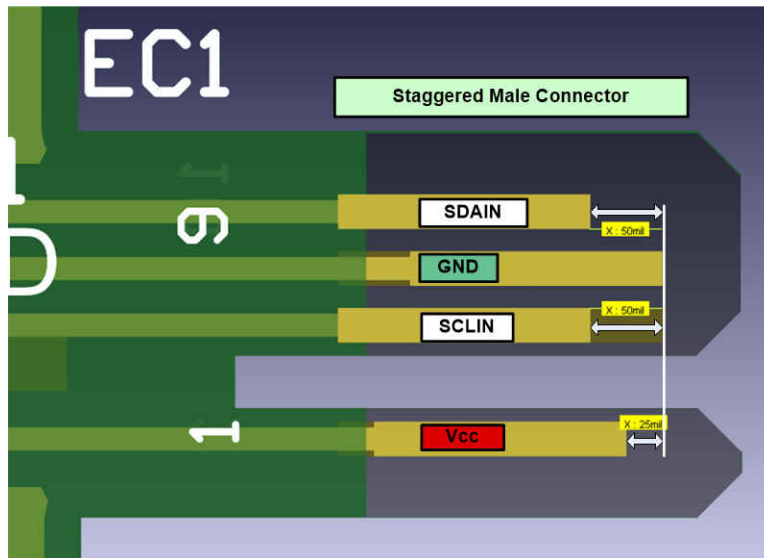


图 4-2. 错开公连接器以支持外部卡上的热插入的示例

一旦外部卡和背板之间建立连接，TCA9511A 将检查三个条件：

1. 使能引脚是否为高电平？
2. SCLOUT 或 SDAOUT 引脚是否为高电平？
3. 是否在 SCLIN 或 SDAIN 上检测到停止条件或总线空闲？

如果满足所有三个条件，则 TCA9511A 将“IN 侧”和“OUT 侧”连接在一起，并且器件的 READY 引脚变为高电平以发出信号。

Condition：

1. 允许处理器控制是否要连接外部卡上的下游从器件。
2. 检查以确保外部卡上的下游从器件已正确通电，并且不会导致总线卡滞。在某些情况下，当热插入发生时，外部卡上的 V<sub>CC</sub> 斜升可能不在从器件的数据表上电规格范围内。在此类情况下，如果从器件上电并使 I<sup>2</sup>C 总线卡在“OUT 侧”，则背板上的主要 I<sup>2</sup>C 总线并不会也被卡住。
3. 确保在背板上的通信停止之前，不在“IN 侧”和“OUT 侧”之间建立连接。如果两侧在通信期间建立连接，则外部卡“OUT 侧”的从器件可能会看到错误的 I<sup>2</sup>C 启动条件并干扰 I<sup>2</sup>C 从器件的状态机。

这三个条件使 TCA9511A 成为适合热插入应用的器件。

## 5 上升时间加速器

TCA9511A 提供的另一个优势是器件两侧的上升时间加速器 (RTA) 电路。这是一种优势，因为在系统从外部卡上游的容性负载未知的应用中，当插入到重负载系统时，上升时间加速器有助于将总线的上升时间保持在 I<sup>2</sup>C 规格范围内。作为参考，I<sup>2</sup>C 规范的 2.6 版要求标准模式 (100kHz) 的上升时间小于 1000ns，快速模式 (400kHz) 的上升时间小于 300ns。上升时间定义为信号从 V<sub>CC</sub> 的 30% 变为 V<sub>CC</sub> 的 70% 的时间。

图 5-1 展示了 V<sub>CC</sub> 为 5V 时，一个带有 10k $\Omega$  外部上拉电阻器的 360pF 负载的上升时间。在这个没有 TCA9511A 上升时间加速器的系统中，上升时间为 3307ns，高于标准模式和快速模式下所需的 1000ns 和 300ns。请注意，图 5-1 中的时间刻度为每分段 800ns。

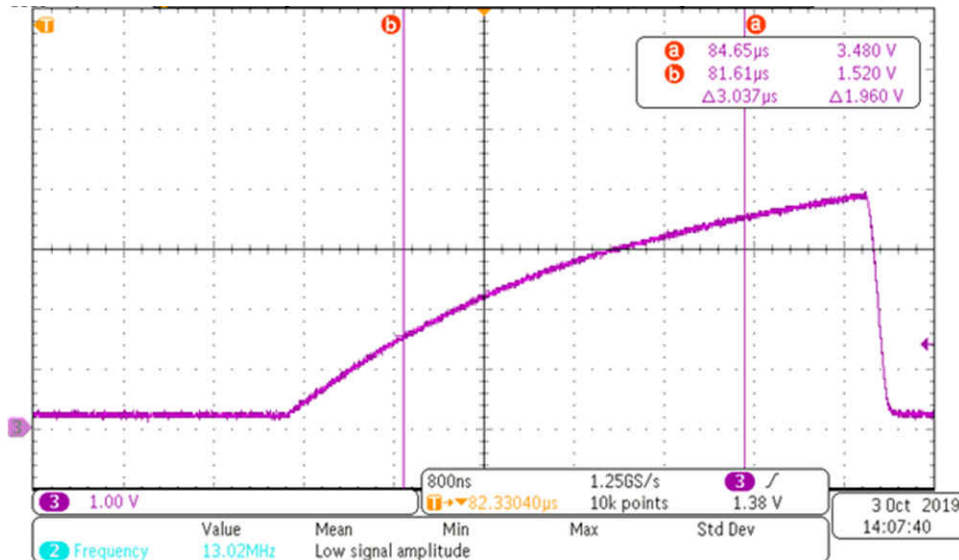


图 5-1. 360pF 负载，带外部 10k $\Omega$  上拉电阻，上升时间加速器被禁用

图 5-2 展示了相同的 360pF 总线负载条件和 5V V<sub>CC</sub> 时的 10k $\Omega$  上拉电阻，但这次启用了 TCA9511A 并启用了其上升时间加速器。在这种情况下，上升时间为 214.7ns，现在满足标准模式和快速模式的规范。图中的两个压摆率是由原始 RC 常数导致的，然后是上升时间加速器上拉。当器件两侧都满足两个条件时，TCA9511A 触发的上升时间加速器会触发：

1. 上升信号高于 0.6V。
2. 上升信号的压摆率快于 1.25V/ $\mu$ s。

请注意，图 5-2 中的时间刻度为每分段 200ns，而图 5-1 中的时间刻度为每分段 800ns。

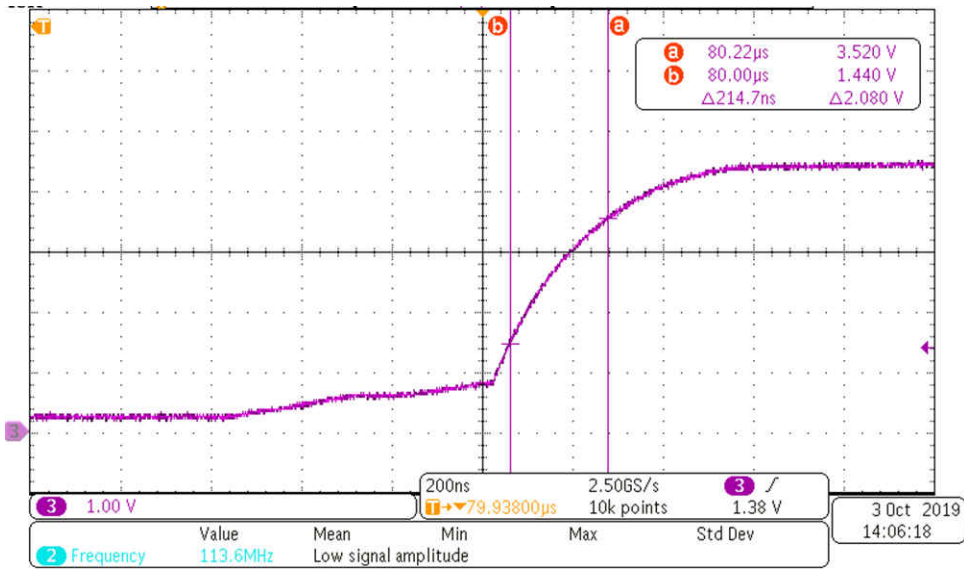


图 5-2. 360pF 负载，带外部 10kΩ 上拉电阻，上升时间加速器被启用

## 6 结论

在需要热插入的系统中，必须正确设计背板或外部卡，才能更大幅度地降低热插入的影响。背板上的 I<sup>2</sup>C 开关或外部卡上的 I<sup>2</sup>C 热插入缓冲器等器件是适合此类应用的器件。不良的热插入设计可能会导致总线卡滞，并阻止关键诊断信息通过 I<sup>2</sup>C 总线被提取到处理器中。

## 7 修订历史记录

### Changes from Revision \* (February 2020) to Revision A (January 2023)

Page

- 
- 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式..... 1
-



## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司