

## Application Note

## 防止 TCA9617 I/O 端口上的 ICT 感应电气过载



Mark Chen, Tyler Townsend

## 摘要

本应用手册介绍了在线测试 (ICT) 环境中于 TCA9617 上观察到的故障机制。此问题表现为 I/O 端口由于器件的永久损坏而一直处于低电平 (尤其在 SDAB 和/或 SCLB 上)。

调查显示,根本原因不是正常的系统操作,而是 ICT 设置引起的信号完整性问题。ICT 主机和器件之间的较长布线长度会在信号转换期间产生过多的过冲及下冲。在某些情况下,瞬态电压超过器件引脚的绝对最大额定电压,从而导致电过应力 (EOS) 损坏。

确定了两种有效的缓解方法:

1. 在 ICT 信号路径中添加大约 200  $\Omega$  的串联电阻以抑制振铃并且减少过冲/下冲。
2. 修改 ICT 测试模式,以使用开漏驱动器而不是推挽。

本文档说明了观察到的行为、根本原因分析及推荐的缓解技术。

## 内容

1 简介.....	2
2 失效分析.....	2
2.1 原始 ICT 设置.....	4
2.2 纠正措施.....	4
2.3 验证结果.....	5
2.4 推荐.....	5
3 总结.....	6
4 参考资料.....	6

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 简介

TCA9617 是一款双向 I<sup>2</sup>C/SMBus 电压电平转换器，通常用于需要在不同电压域之间进行通信的系统。在 ICT（电路间测试）期间，几个单元出现 SDAB/SCLB 卡在低电平的行为，导致永久损坏，从而导致功能性通信故障。示波器调查稍后证实，ICT 设置在 I/O 引脚上产生了过多的过冲和下冲事件。

## 2 失效分析

示波器测量捕获了 ICT 运行期间的显著过冲及下冲事件。最坏情况下的过冲测得值为 8.62V，而最坏情况下的下冲测得值为 -4.28V。对于 V<sub>IO</sub> - I<sup>2</sup>C 总线电压范围，这些值分别超出了数据表中的 6.5V 和 -0.5V 绝对最大额定值。因此，瞬态尖峰将器件引脚置于电气过载条件下。有关过冲行为，请参阅本文档的图 2-2 注释 (1)。有关下冲行为，请参阅本文档的图 2-3。

除了超过绝对最大 V<sub>IO</sub> 规格外，在 B 侧的低电平到高电平边沿转换期间，ICT 驱动器和 TCA9617 B 侧基座之间还存在信号争用。可以在 TCA9617 数据表图 6-4、图 7-1 或图 8-2 点 2 中看到基座行为，并在应用程序信息中进行了说明。

On the B-side bus of the TCA9617B, the clock and data lines have a positive offset from ground equal to the V<sub>OLB</sub> of the TCA9617B. After the eighth clock pulse, the data line is pulled to the V<sub>OL</sub> of the target device, which is close to ground in this example. At the end of the acknowledge, the voltage level rises only to the low level (V<sub>OLB</sub>) set by the driver of the TCA9617B for a short delay, while waiting for the A side bus to rise above 30% of V<sub>CCA</sub>. Once the A-side reaches 30% of V<sub>CCA</sub>, the B side is released and the pullup resistors on the bus pull the bus high.

图 2-1. TCA9617B 数据表第 8.1 节应用信息 - 基座行为说明

TCA9617 从 B 侧驱动到 A 侧时，该器件需要开漏驱动器配置。当 B 侧的开漏驱动器释放总线时，B 侧的上拉电阻器会上拉至 V<sub>CCB</sub>。在此期间，缓冲器将达到电压电平（典型值约为 V<sub>OLB</sub> = 0.53V）。B 侧将保持在该 V<sub>OLB</sub> 直至 A 侧超过 V<sub>CCA</sub> 的 30%。一旦发生这种情况，B 侧不再保持在 V<sub>OLB</sub>，并允许通过上拉电阻器完全上升到 V<sub>CCB</sub>。如果在 B 侧从低电平到高电平的这个边沿转换期间使用推挽驱动器，则基座电压 (V<sub>OLB</sub>) 和推挽驱动器之间会存在争用，从而导致缓冲器中灌入大量电流 — 请参阅本文档的图 2-2。

表 2-1. 最坏情况测量

参数	测量值	数据表限制
过冲	8.62V	6.5V
下冲	-4.28V	-0.5V



图 2-2. ICT 的过冲尖峰测试



图 2-3. ICT 的下冲尖峰测试

## 2.1 原始 ICT 设置

最初的 MAIN ICT 计划执行以下工作：

1. A 侧至 B 侧测试
  - a. 驱动模式开启 ( SDAA 和 SCLA , 测量 SDAB 和 SCLB 上的输出 )
  - b. 00 / 01 / 10 / 11 , SDAA = 0 , SCLA = 0 , 下一个 SDAA = 0 , SCLA = 1 ...
2. B 侧至 A 侧测试
  - a. 驱动模式开启 ( SDAB 和 SCLB , 测量 SDAA 和 SCLA 上的输出 )
  - b. 00 / 01 / 10 / 11 , SDAB = 0 , SCLA = 0 , 下一个 SDAB = 0 , SCLB = 1 ...
3. 在这两个测试中 , 测量正确的输出模式 (00 / 01 / 10 / 11)

然后 , 测试仪通过读回器件另一侧的相应图案来验证功能。在测试期间 , ICT 系统主动驱动逻辑高电平和逻辑低电平状态 , 具有强大的边沿速率转换。

在硬件设置中 , 通道 SDAA、SCLA、SDAB 和 SCLB 上未连接串联电阻器。

## 2.2 纠正措施

为了降低 ICT 运行期间的电应力 , 采取了两项主要的纠正措施。第一次修改更改了驱动器模式

原始模式：

00 / 01 / 10 / 11

替换为：

00 / 0X / X0 / XX ,

其中“X”表示“无关”状态。在这种更新的方法中 , 测试仪 ( 开漏驱动器 ) 不再主动驱动逻辑高电平条件。相反 , 允许输出通过现有的上拉电阻器上升至高电平。这显著降低了边沿速率主动性 , 从而在低电平到高电平转换期间更大限度地减少了过冲生成。使用开漏还可以解决与 B 侧 TCA9617 基座电压的任何争用。

除了软件更改外 , 还通过在 ICT 测试平台上向 SCLA、SDAA、SCLB 和 SDAB 添加 200  $\Omega$  串联电阻器来进行硬件更改。这些电阻器降低了边沿速率、反射阻尼并且抑制了由长 ICT 互连结构产生的 LC 谐振。电阻器还可限制进出缓冲器的电流。



图 2-4. 软件和硬件更改的新 ICT 设置可减少过冲/下冲行为，并解决 B 侧基座争用问题

### 2.3 验证结果

实施更新的 ICT 设置后，波形完整性显著提高。最坏情况下的过冲从 8.62V 减少到 3.54V，而最坏情况下的下冲从 -4.28V 改善到 -0.35V。所有测量电压现均处于器件的数据表绝对最大规格范围内。不再存在基座争用。

示波器测量还证实，振铃幅度和瞬态尖峰能量大幅降低。在实施新的 ICT 方法并增加串联电阻后，生产测试期间未观察到额外的 I/O 损坏或卡在低电平状态。

表 2-2. 测量之前和之后

参数	测量值 ( ICT 更改之前 )	测量值 ( ICT 变化后 )	数据表限制
过冲	8.62V	3.54V	6.5V
下冲	-4.28V	-0.35V	-0.5V

### 2.4 推荐

为了对 TCA9617B 或 TCA9617A 及类似 I<sup>2</sup>C 器件进行 ICT 验证，德州仪器 (TI) 建议尽可能缩短固定装置电缆长度。长电缆和/或布线互连会产生电感和电容寄生效应，为 ICT 测试仪强大驱动器引起的过度振铃提供环境。为了避免在 ICT 期间通过实现开漏驱动器来使用推挽驱动器，必须避免出现基座争用以及高于器件绝对最大电压的可能过冲。建议添加串联阻尼电阻以减少振铃、瞬态应力及限制电流。此外，TCA9617B 或 TCA9617A 的系统级实现应设计为始终在数据表中所有电压和电流规格的建议运行条件下运行。

### 3 总结

通常使用 ICT ( 电路间测试 ) 或者类似的功能测试来评估系统级设计中 TCA9617 缓冲器的使用。TCA9617A、TCA9617B 和仿真器件应当始终在数据表的建议运行条件内运行。在开发此类测试平台的硬件和软件时，应进行大量审查，以确保施加到缓冲器的信号不会干扰 B 侧缓冲器基座偏移，或引起电过应力事件 (EOS)，例如超过数据表中绝对最大条件的过冲、下冲和/或过流事件。遵循这些参数可确保缓冲区的寿命。

### 4 参考资料

1. 德州仪器 (TI)，[TCA9617B 电平转换 FM+ I2 C 总线中继器](#)，数据表。

## 重要通知和免责声明

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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月