

Application Note

IVI FPD-Link IV 器件中的 I²C 机制



Shelly Xie, Violet Lei, Esther Chang

摘要

本应用手册介绍了 I²C 通信基础知识，并针对 FPD-Link 串行器-解串器系统中的总线锁死问题提供了解决方案。

内容

1 I ² C 简介.....	2
2 控制器与目标器件之间的 I ² C 通信.....	3
3 FPD-IV 器件中的 I ² C 机制.....	6
4 FPD-Link IV 器件中的时钟延展示例.....	7
5 总结.....	7
6 参考资料.....	8

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 I²C 简介

I²C 通信采用控制器-目标架构，在该架构中，无论何时都只有一个控制器器件对总线进行控制。控制器器件可生成时钟信号，发起通信并调节数据传输速率。目标设备被分配有唯一的地址，并在被调用时与控制器进行数据交换。在多个控制器同时请求总线控制的情况下，仲裁机制可确保通信有序进行。图 1-1 给出了通过 FPD-Link 器件进行 I²C 通信的经典示例。

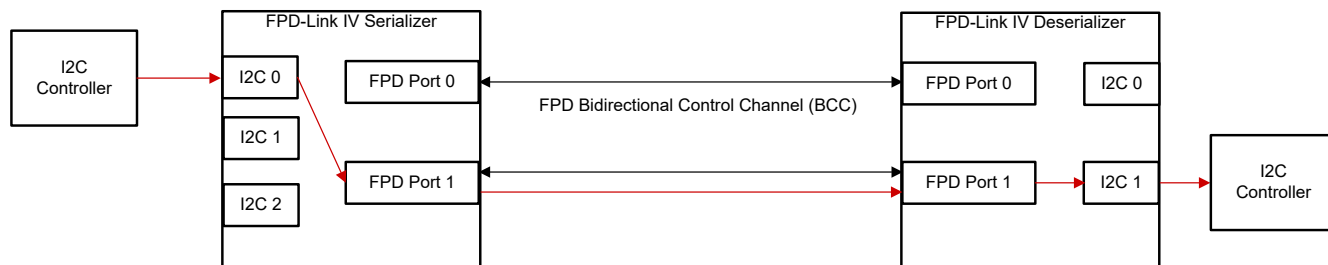


图 1-1. 通过 FPD-Link 器件进行 I²C 通信的示例

2 控制器与目标器件之间的 I²C 通信

I²C 串行控制总线由 SCL 和 SDA 两条线路组成，其中 SCL 用作时钟线路，SDA 用作数据线路。串行总线协议通过 START (启动)、Repeated START (重复启动) 和 STOP (停止) 条件来运行。如 图 2-1 所示，在 SCL 保持高电平期间，当 SDA 从高电平跳变到低电平时，START 条件便会发生。相反，在 SCL 保持高电平期间，当 SDA 从低电平跳变到高电平时，STOP 条件便会产生。当控制器需要在未将总线释放至空闲状态的情况下发起一次新的通信时，可采用 Repeated START 条件。Repeated START 条件与标准 START 条件类似，而不同之处则在于它出现在 STOP 条件之前。在多控制器系统中，Repeated START 常用于支持多次读取/写入事务，而不会被其他控制器中断这些事务。

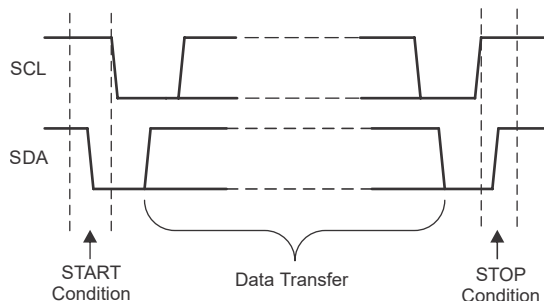


图 2-1. 启动条件和停止条件示例

在初始的 START 条件之后，每传输一个字节 (8 位)，发送器都会在第 9 个时钟周期将 SDA 线路拉至低电平，此时接收器可以通过将 SDA 线路拉至低电平来回应 ACK，或通过保持 SDA 线路为高电平来回应 NACK。

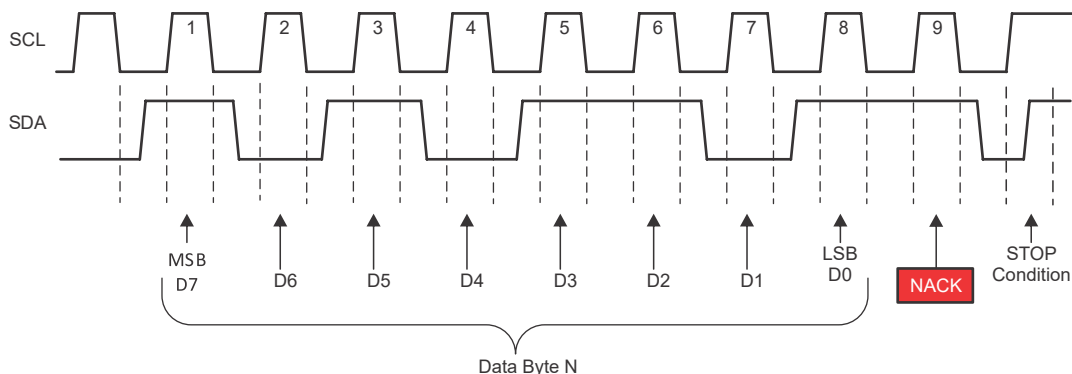


图 2-2. 数据字节 NACK 波形示例

I²C 写入

图 2-3 显示了 I²C 写入事务。控制器设备首先发出一个 START 条件，随后发送一个 7 位的目标地址，该地址的最后一位 (R/) 设置为 0 以指示写入操作。在收到来自目标的 ACK 应答后，控制器发送 8 位的寄存器地址。在收到该数据后，目标以 ACK 应答，表示已准备好接收命令。随后，控制器向目标发送具体的寄存器数据，直至发送完毕，最后通过发出 STOP 条件来结束传输，表示操作完成。图 2-3 展示了写入事务的流程。

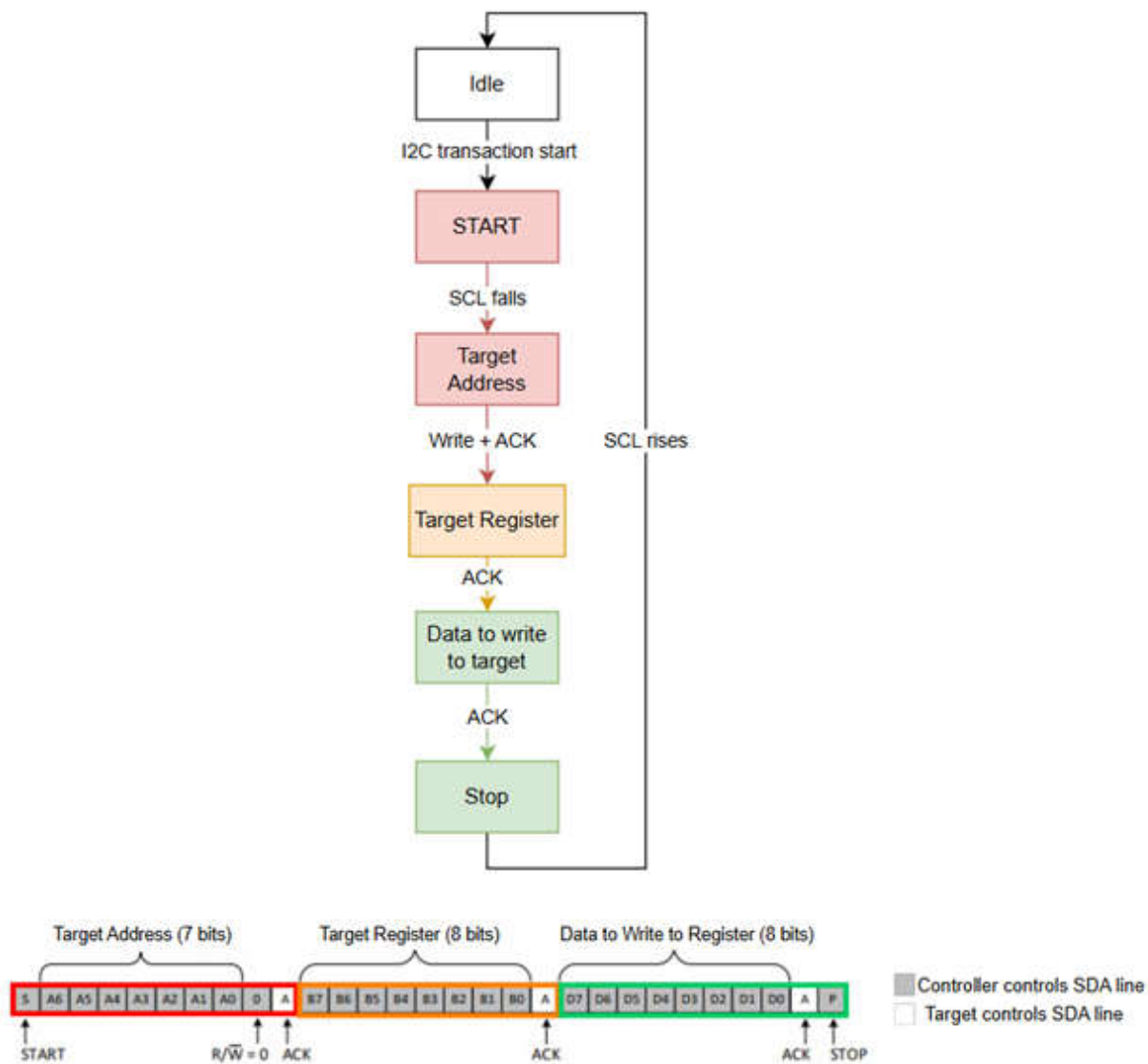


图 2-3. I2C 写入事务

I2C 读取

与写入事务类似，当读取事务开始时，控制器器件首先发出一个 **START** 条件，随后发送一个 7 位的目标地址，该地址的最后一位 (R/)[EC1] 设置为 0 以指示写入操作。目标发出 **ACK** 应答，随后控制器发送要读取数据的寄存器地址。

在目标对寄存器地址作出 **ACK** 应答后，控制器发出一个 **Repeated START** 条件，并再次发送器件地址（此时将 **R/** 位设置为 1），使控制器进入读取模式。目标对此读取请求回应 **ACK**，随后控制器释放 **SDA** 总线，同时继续为目标提供时钟信号，并等待响应。

此时控制器变为接收器，目标变为发送器。对于目标发回的每一个数据字节，控制器都会发送 **ACK**，表示已准备好接收更多数据。目标持续发送数据，直到控制器接收到预期数量的字节为止，此时控制器发送一个 **NACK**，指示目标停止通信并释放总线。随后，控制器发出 **STOP** 条件，以完成对目标的读取操作。图 2-4 展示了读取事务的流程。

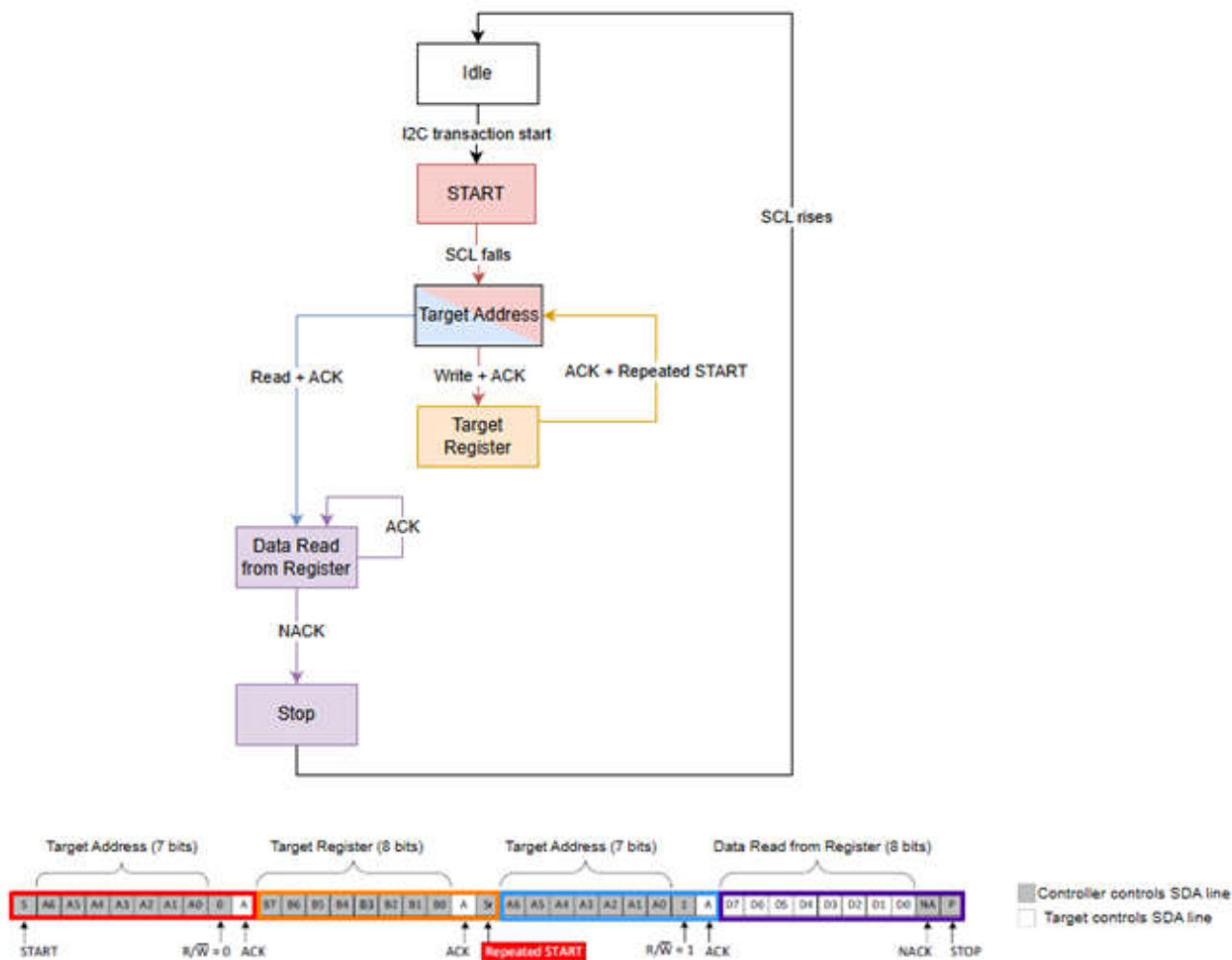


图 2-4. I²C 读取事务

时钟延展

在系统级 I2C 实现中，目标器件会在尚未准备好响应控制器时利用时钟延展。在所有 I2C 事务期间，控制器会控制 SCL 速度；如果某个目标器件需要更长的时间来响应，该器件会通过将 SCL 线路拉低并保持住来延展时钟，直到其准备好响应为止。

3 FPD-IV 器件中的 I2C 机制

FPD-Link IV 器件包含了三种机制来监控 I²C 总线。以下描述基于该系统实现：



图 3-1. 时钟延展中的 I2C 卡滞问题示例

在该系统中，FPD-Link IV 串行器被指定为本地目标器件，解串器被指定为本地控制器。I²C 控制器在本地向串行器发送命令，并远程（通过 FPD-Link BCC）向解串器和 I²C 目标器件发送命令。

I²C 仲裁器

I²C 总线仲裁器功能用于防止某个 I²C 目标器件阻挡其他 I²C 目标器件访问 FPD-Link 双向控制通道 (BCC) 系统。计时器会在 I²C 目标器件接收到 START 命令后启动；如果 I²C 目标器件在 ARB_TIMEOUT 寄存器中设置的超时时间过去之后仍未收到 STOP 命令，则计时器将到期。当 ARB_TIMEOUT 发生时，FPD-Link 器件会在内部产生一个 STOP 信号，并通过 BCC 将该信号传输至远端器件，从而释放仲裁器，以供本地器件上的其他 I²C 目标器件使用。

I2C 总线超时

I²C 总线定时器专用于控制器与本地目标器件之间或本地控制器与目标器件之间的本地总线。计时器在相应的控制器发出 START 条件时启动，如果 SDA 线路在 SCL 为高电平期间没有发生翻转（即目标器件无响应），则计时器将根据 I2C_BUS_TIMER_SPEEDUP 寄存器的设置值超时。当超时发生时，控制器会在内部产生一个 NACK 信号，并通过本地总线发送该信号，以释放该总线。

BCC 看门狗计时器

如果远程目标在远程事务期间需要过长时间才能产生响应，BCC 看门狗计时器会保持 BCC 的释放。计时器在串行器 (SER) 从控制器接收到 START 命令后启动，如果串行器未通过 BCC 收到来自远程解串器的响应，则计时器将在 BCC_WATCHDOG 所设定的超时时间结束后到期。当超时发生时，一个 NACK 将发送至与串行器 (SER) 相连的本地 I²C 控制器，以取消事务并释放 BCC。

4 FPD-Link IV 器件中的时钟延展示例

通常，当 MCU（在本地连接至解串器的 I2C 目标器件）正在处理多个进程时，它可能会在本地 I2C 总线上进行时钟延展，以向 SOC 请求等待状态。

图 4-1 展示了该时钟延展的示例。D0 和 D1 分别代表解串器与 MCU 之间的 SDA 总线和 SCL 总线，而 D2 和 D3 则分别代表 SOC 与串行器之间的 SCL 总线和 SDA 总线。如果 MCU 的时钟延展持续时间超过串行器中配置的 ARB_TIMEOUT 阈值，则会触发仲裁器超时。此时，串行器将在内部生成一个 NACK，并将其发送给解串器，以释放解串器与 MCU 之间的总线。

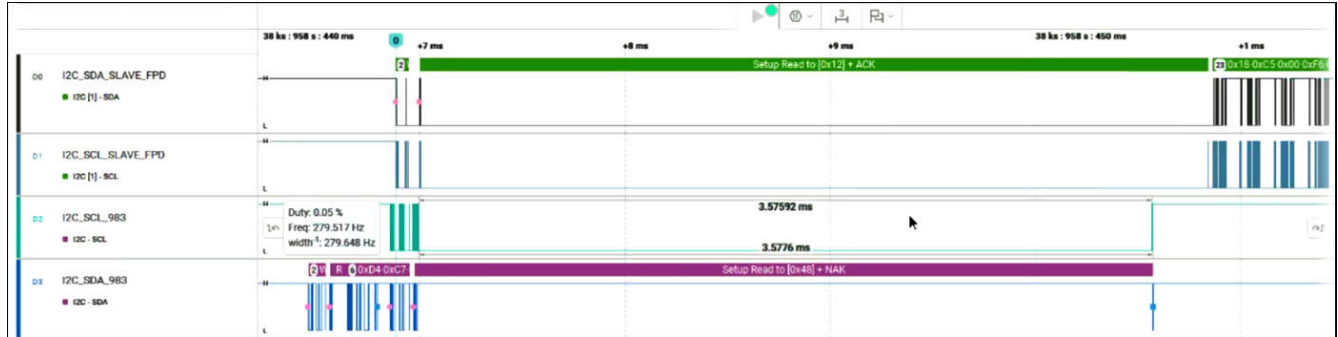


图 4-1. 时钟延展会导致 ARB_TIMEOUT 条件

该时钟延展发生在通过 FPD-Link 远程对目标器件执行读取事务的过程中。SCL 在读取命令的目标地址阶段保持低电平，事务在收到 ACK 之前无法继续执行。然而，当串行器侧的 ARB_TIMEOUT 被触发并发送 NACK 时，这并不足以让解串器进入读取事务的下一状态，导致解串器在 ARB_TIMEOUT 触发后无法退出该读取状态。

如果时钟延展持续时间小于串行器和解串器双方的仲裁器超时时间，则可以防止该问题发生。但是，如果时钟延展持续时间大于串行器 ARB_TIMEOUT 寄存器中所编程的值，则必须禁用串行器侧的 I2C 仲裁器，以防止过早释放总线。在这跨越 FPD-Link 的事务的情况下，解串器侧也有一个会触发的仲裁器；如果 MCU 的时钟延展时间预计会超过 ARB_TIMEOUT 寄存器中设定的时间，则必须禁用该仲裁器。因此，在目标器件的时钟延展时间预计会超过串行器和解串器 ARB_TIMEOUT 功能所分配时间的情况下，禁用串行器和解串器双方的 I2C 总线仲裁器是合适的做法。这种方法不会引入额外风险，因为 BCC 看门狗计时器和 I2C 总线超时功能仍然能够处理超时条件，并在必要时释放 I2C 总线。

5 总结

本应用手册介绍了基本的 I2C 机制、FPD-Link IV IVI 器件中引入的特定 I2C 机制，以及禁用仲裁器计时器情况下的系统级时钟延展实现示例。

6 参考资料

- 德州仪器 (TI) , [DS90HB983W-Q1 8K DP/eDP 转 FPD-Link IV 串行器 \(带 DSC \)](#) 数据表
- 德州仪器 (TI) , [了解 I²C 总线](#) 应用报告

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