

Application Brief

I3C 电压转换器和多路复用器快速参考



Adam Arnold, Yuan Rao

引言

I2C (内部集成电路) 协议在简化企业、个人电子产品和工业市场的 PCB 通信方面发挥了重要作用。然而，随着技术的进步，需求也逐渐转向更高效、更高性能的接口。I3C (改进型内部集成电路) 已成为一种重要趋势，因为 I3C 支持更快的数据速率，功耗大幅降低，而且具有新的功能，可实现简单灵活的设计。德州仪器 (TI) 提供完整的 I3C 兼容型电压电平转换器和多路复用器产品系列。本应用简报总结了接口产品类别中的最新 I3C 器件，并重点介绍了使用 TI I3C 产品的主要系统优势。

I3C 兼容型电压转换器

电压转换器或电平转换器用于解决两个电压域之间的逻辑阈值不兼容问题。为了支持 I3C 标准，需要使用电平转换器来满足 12.5MHz 时钟频率以及开漏和推挽接口类型。

宽电压 I3C 无源电平转换器 - TCA39306

TCA39306 是一款双向电压转换器，用于在控制器和目标器件之间自动转换逻辑电平。V_{REF1} 接受 0.9V 至 3.3V 的电源电压，而 V_{REF2} 接受 1.8V 至 5.5V 的电压。宽电源电压范围让 TCA39306 可以对 0.85V 至 5V 之间的电压进行电平转换。根据负载条件，TCA39306 可以实现超过 100MHz 的带宽。该器件是基于无源 FET 的转换器，不提供额外的驱动能力。虽然支持 I3C 带宽，但无源 FET 架构在某些 I3C 用例中可能会有限制。有关更多信息，请参阅器件数据表的第 9.3 节 (TCA39306 双路双向 I2C 总线和 SMBus 电压电平转换器)。

TCA39306 使用外部上拉电阻器，使设计人员可以根据系统权衡因素灵活地调整电阻器的大小。强上拉可通过更最大限度地减小 RC 延迟来提高 I3C 速度，而弱上拉的功耗更低。当 V_{REF1} 和 V_{REF2} 连接至 GND 时，TCA39306 也可以作为 I3C 开关运行。器件功能模式由使能 (EN) 引脚上的电压控制。然后可以使用施加到 EN 的外部控制信号来启用和禁用总线路径。

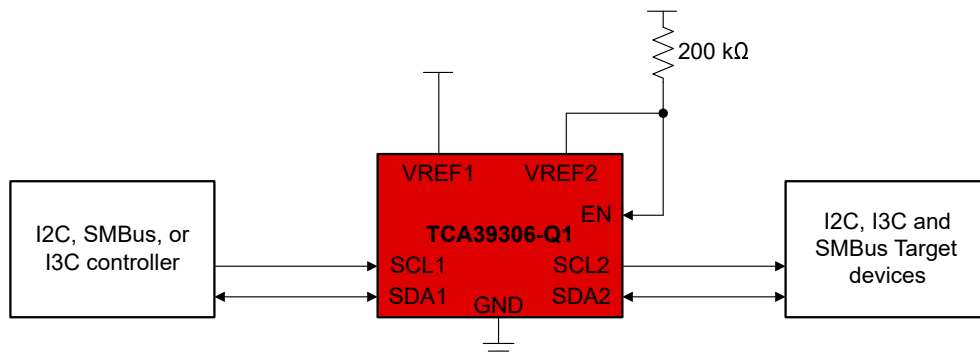


图 1-1. TCA93036 典型 I3C 应用

具有上升时间加速器的超低电压 MIPI I3C v1.1.1 兼容电平转换器 - TCA39416

TCA39416 是一款 2 位 MIPI I3C v1.1.1 转换器，能够满足单数据速率 (SDR) 模式下高达 12.5Mbps 的信号传输速率，以及高数据速率 (HDR-DDR) 模式下高达 25Mbps 的信号传输速率。通过在 SCL 的上升沿和下降沿对数据进行采样，在 HDR-DDR 模式下实现双倍数据速率。

处理器的趋势是向低电压节点发展，从而更大幅度地提高处理器的运行性能。TCA39416 具有适应未来需求的超低电压范围，使得 TCA39416 可以适应 1.8V、1.2V 甚至是 0.8V 的 I/O 电压，变化幅度高达 10%。通过这一改进，就不再需要使用高精度电源转换器和 LDO，从而显著降低了系统功耗和成本。V_{CCA} 和 V_{CCB} 完全可在 0.72V 至 1.98V 范围内进行配置，从而实现灵活的 V_{CC} 电源轨设计。由于具有对称电源功能，因此 V_{CCA} 和 V_{CCB} 可以设置为相同的电压。这使得 TCA39416 可以在相同电压下为 I3C 总线提供额外的驱动强度或信号增强。

内部架构包括一个具有集成上升时间加速器 (RTA) 和下降时间加速器 (FTA) 的无源 FET。RTA 可实现 I3C 协议中所需的推挽信号传输、更高的数据速率和额外的驱动强度。通过在检测到输入的上升沿时提高输出电压摆率来实现。在低电平到高电平转换期间，绕过内部上拉电阻器，从而暂时降低输出电阻。RTA 和 FTA 都具有逐渐关闭 (GTO) 电路，可以尽可能减少在边沿速率加速期间出现的过冲和下冲。该特性可提高 I3C 通信的信号完整性，尤其是在高传输速率下。TCA39416 还在 A 端口和 B 端口上集成了 10kΩ 上拉电阻器，从而有助于 I3C 系统设计人员节省成本和布板空间。

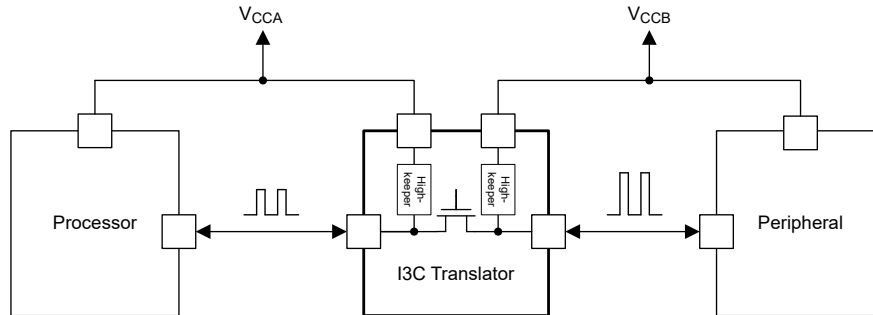


图 1-2. TCA39416 应用示意图

表 1. I3C 电压转换器摘要

	TCA39306	TCA39416
支持的协议	I3C、I2C、SMBus	I3C、I2C、SMBus
SCL 频率 (MHz)	12.5MHz	12.5MHz
V _{CCA} (V)	0.9 - 5.5	0.72 - 1.98
V _{CCB} (V)	1.8 - 5.5	0.72 - 1.98
电源依赖性	$V_{CCA} + 0.6V \leq V_{CCB}$	$V_{CCA} \leq V_{CCB}$
SDR 模式	✓	✓
HDR-DDR	✓	✓
集成上拉电阻器	X	✓
V _{CC} = 0V 时的高阻态 SDA 和 SCL 引脚	✓	✓
上升时间加速器	X	✓
可用封装 (mm ²)	SOT-23 (8.12mm ²) VSSOP (6.2mm ²) X2SON (1.08mm ²)	SOT-23 (8.12mm ²) X2SON (1.35mm ²)

I3C 兼容型多路复用器

多路复用器和开关用于从多个输入和输出进行切换。多路复用器必须支持低导通电阻 (R_{ON})、低导通电容 (C_{ON})、高带宽以及推挽和开漏接口，才能实现 I3C 兼容性。

支持断电隔离功能的双路 2:1 开关 - TMUX136

TMUX136 是一款双路 2:1 开关，工作电压为 2.3V 至 4.8V。部分引脚与 1.8V 控制兼容，便于与低电压微控制器和处理器集成。TMUX136 的开关架构包括一个带电荷泵的 NFET，从而可实现超低的 5.7Ω R_{ON} (典型值) 和 1.6pF C_{ON} (典型值)。这样可在 I3C 多路复用期间以超小的信号衰减提供快速响应时间。

TMUX136 评定为具有 5kV 人体放电模型 (HBM) 和 1kV 充电器件模型 (CDM) ESD 性能。当 TMUX136 断电时，隔离信号路径。这样就可以保护下游元件并消除对电源时序控制的需求。

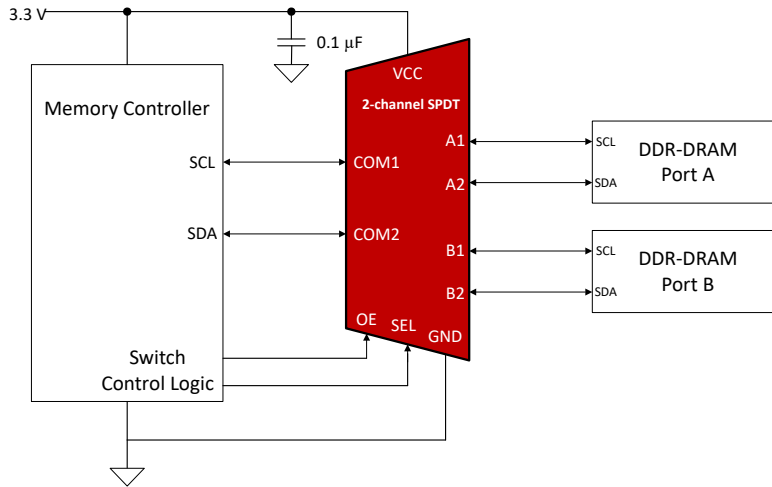


图 1-3. I3C DDR-DRAM 开关示例

具有断电隔离的高精度双路 2:1 开关 - TMUX121

TMUX121 是一款可实现双向通信的低电容单极双投 (SPDT) 开关。此器件由单个 3.3V 电源供电，允许对 SEL 和 EN 进行 1.8V 和 3.3V 控制。TMUX121 由于具有超低的 R_{ON} ($3\ \Omega$)、 C_{ON} (2pF) 和 T_{PD} (60ns) 典型值，因此非常适合 I3C 应用。

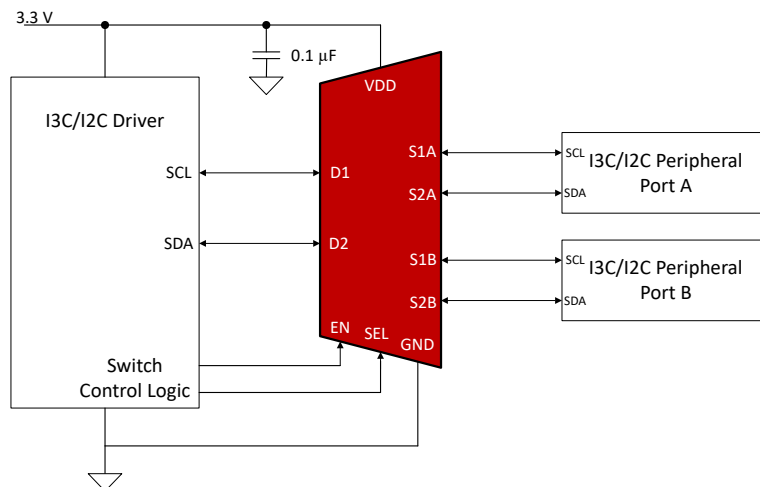


图 1-4. TMUX121 典型 I3C 应用

具有断电隔离功能的高 ESD 保护双路 2:1 开关 - TMUX154E

TMUX154E 是一款双通道 2:1 开关，在所有 I/O 端口上都有 ESD 保护单元。V_{CC} 电源的供电范围是从 3V 至 4.3V，并且使用了与 1.8V 兼容的控制逻辑。I/O 端口允许输入电压高于 V_{CC}。由于具有 900MHz 带宽、R_{ON} (6Ω) 和 C_{ON} (7.5pF)，传输 I3C 信号时的相位失真和边沿失真非常小。

根据 JESD 22，TMUX154E 的额定防护能力可达 8kV 人体放电模型 (HBM) 和 1kV 充电器件模型 (CDM)。该器件还具有高电压 ESD 性能，从 I/O 到 GND 的防护能力高达 15kV HBM。利用内部 ESD 保护，无需外部保护器件，可更大幅度地降低成本和减小设计尺寸。

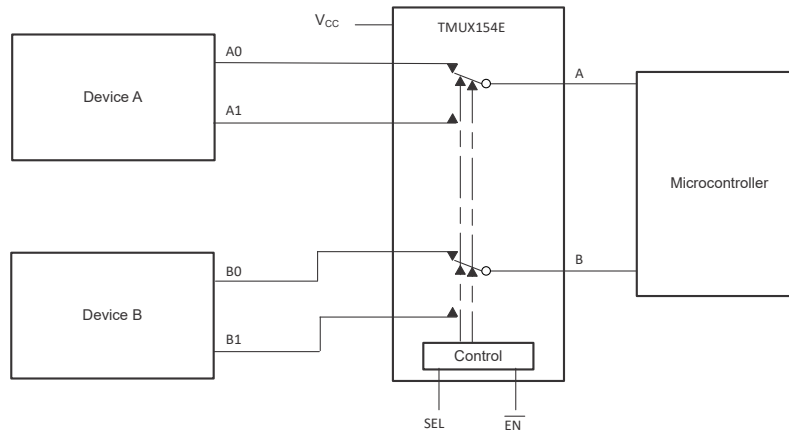


图 1-5. TMUX154E 应用示意图

具有失效防护逻辑的四路 2:1 开关 - TMUX1574

TMUX1574 支持 2Ω R_{ON}、7.5pF C_{ON} 和 2GHz 带宽，可以确保在传输 I3C 信号时具有高信号完整性。该器件包括四个 2:1 SPDT 开关，使该器件可以支持两个独立的 I3C 通道 (SDA 和 SCL)。通过集成额外通道，可减少 BOM 数量并简化 PCB 布局。TMUX1574 可在 1.5V 至 5.5V 的宽电源电压范围内运行，具有符合要求的 1.8V 控制输入。TMUX1574 还具有失效防护逻辑，让控制输入可以支持高达 5.5V 的电压，而不用考虑 V_{DD}。此功能可提供灵活的电源时序控制、减少 BOM 和简化设计。

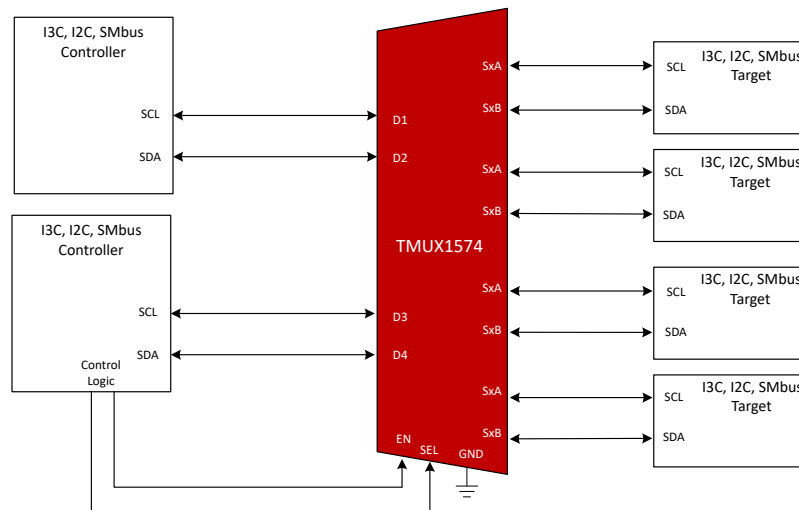


图 1-6. 使用 TMUX1574 对两个 I3C 通道进行多路复用

表 2. I3C 多路复用器摘要

	TMUX136	TMUX121	TMUX154E	TMUX1574
支持的协议	I3C、I2C、UART、LVDS、模拟	I3C、I2C、UART、LVDS、模拟	I3C、I2C、UART、LVDS、模拟	模拟、I2C、I2S、I3C、JTAG、MIPI、RGMII、SPI、TDM、UART
配置	2:1 SPDT, 2 通道	2:1 SPDT, 2 通道	2:1 SPDT, 2 通道	2:1 SPDT, 4 通道
I/O 电压 (V)	高达 3.6	高达 3.6	高达 5.25	高达 5.5
带宽 (MHz)	6000	3000	900	2000
典型导通电阻 (Ω)	5.7	3	6	2
典型电容 (pF)	1.5	2	7.5	7.5
I/O 断电保护	✓	✓	✓	✓
接口	推挽 漏极开路			
可用封装 (mm ²)	UQFN (3mm ²)	UQFN (2.52mm ²)	UQFN (2.52mm ²) VSSOP (14.7mm ²)	SOT-23 (8.4mm ²) TSSOP (32mm ²) UQFN (4.68mm ²)

启用高驱动 I3C 路由

I3C 的其中一个重要限制是 50pF 的最大总线电容限制。相比之下，I2C 指定了 8 倍高的限制，即 400pF。降低最大负载条件会严重限制布线长度和 I3C 总线可以管理的目标器件数量。多个控制器和目标之间的多点通信在信号路由、I2C/I3C 寻址和 I/O 电压不匹配等方面增加了额外的挑战。I3C 电平转换器和多路复用器可以克服这些障碍。

TCA39416 提供低电压电平转换和信号增强。在 0.8V 或 1.2V 的 I/O 电压下运行的主机处理器或微控制器可以有效地进行电平转换，以便可以连接 1.8V I3C 元件。RTA 电路使 I3C 主机能够向 I3C 总线提供信号增强功能。此功能使主机器件能够驱动更高的容性负载。

一个控制器可以利用 I3C 多路复用器与多个 I3C 外设通信。多路复用器具有三个主要优势。首先，多路复用器允许一个控制器与多个下游器件连接，从而简化 I3C 信号路由。其次，通过开关 I3C 器件，可以隔离总线上非活动目标增加的寄生电容。这使得控制器能够在符合 I3C 负载规范的情况下与目标进行通信。第三个优势是，多路复用可以在两个目标共享同一地址时消除冲突。I3C 与 I2C 向后兼容，且一个通信节点可以有許多 I2C 和 I3C 器件。

图 7 显示了具有单个 I3C 控制器和两个可选目标器件的示例应用。TCA39416 和 TMUX136 (双路 2:1 多路复用器) 结合在一起，解决了 I3C 面临的挑战，所以可为主机和目标通信提供完整的系统设计。通过将冗余外设多路复用到 I3C 传输线路，可以向系统添加冗余。也可以实施多路复用，从而提供对总线的调试端口访问。利用 TCA39416 和 TMUX136 的超小型封装选项，可以更大限度地缩小 PCB 面积。该设计提供了与外设数量和所需功能相适应的可扩展性。例如，交换 TMUX1574 (四路 2:1 多路复用器) 可使 I3C 通道数翻倍。

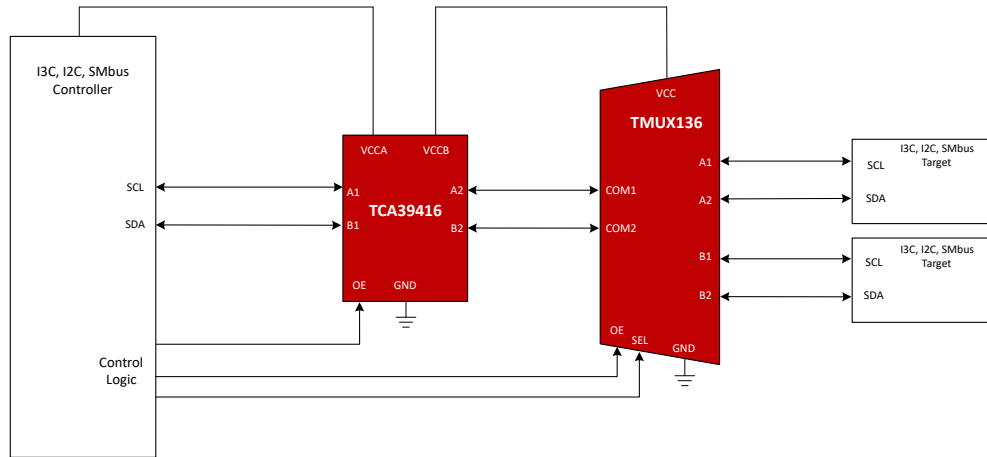


图 1-7. 具有信号增强功能的灵活 2:1 I3C 总线 - TMUX136 + TCA39416

一些设计需要两个 I3C 控制器来与同一组外设连接。交叉点将多个输入信号定向到输出。HDS3SS460 是 4 x 6 无源交叉点器件，支持超过 5Gbps 的信号速率。该器件可用作双通道 2x3 I3C 交叉点。两个通道的功能模式均根据 POL、AMSEL 和 EN 引脚上的状态进行选择。无法对每个通道进行单独控制。HD3SS460 的低 1pF C_{ON} 和 12 Ω R_{ON} 可提供出色的 I3C 动态性能。如图 8 所示，一个通道包含两个控制器和 3 个目标。HD3SS460 的输入通过 TCA39416 来提升。

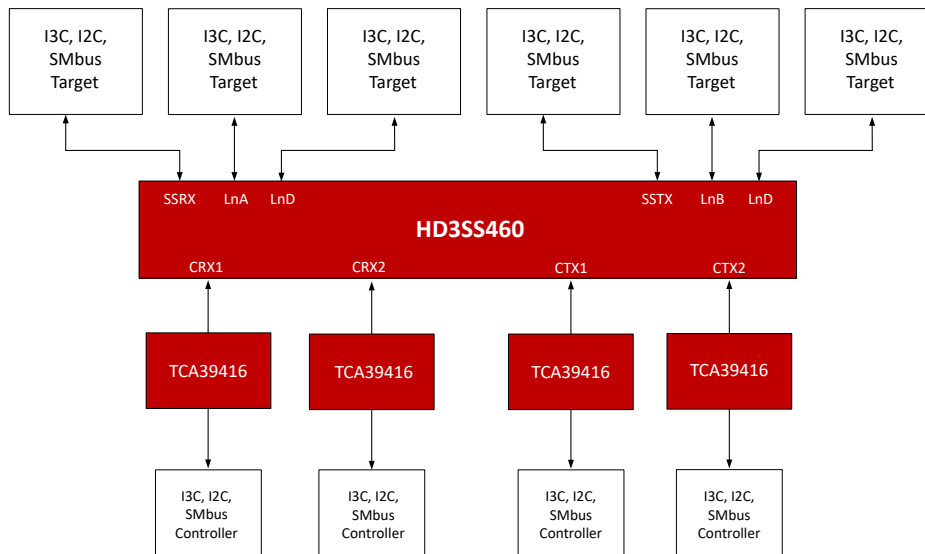


图 1-8. 高驱动 I3C 双路 2x3 交叉点 - HD3SS460 + TCA39416

结论

TI 全面的 I3C 电平转换和多路复用产品系列有助于克服与设计可靠的 I3C 接口相关的挑战。电平转换器是一种高效且具有成本效益的方法，可解决 I3C 链路上的 I/O 不匹配问题。此外，TCA39416 的边沿速率加速器提供额外的信号增强。具有高动态开关性能的多路复用器通过隔离总线电容、更大限度地增加处理器 I/O 引脚并提高整体系统可靠性来简化 I3C 通信。

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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司