



Shreyas Rao, Austin Fuller

摘要

随着人们对降低功耗需求的不断增加，现如今许多系统级设计朝着电源电压不断降低的趋势发展。随着处理器电压电平的降低，外设仍然保持较高的电压电平，因此会在系统中产生不连续的电压电平。一种解决该问题的方案是使用电压转换器，将信号电压电平升压或降压至另一个电平。它们非常适合用于简单的 GPIO 应用以及常见的推挽接口，如 SPI、UART、JTAG 和 RGMII。本应用报告中的内容将讨论业界通用接口以及常见的终端设备应用，重点介绍具有业内超低工作电压 (0.65V 至 3.6V) 的 AXC 系列方向控制型电平转换器。

内容

1 引言.....	2
2 常见接口和 AXC 实现.....	2
3 总结.....	13
4 相关文档.....	13
5 修订历史记录.....	14

插图清单

图 2-1. 使用 SN74AXC1T45 进行 GPIO 转换来实现 LED 驱动.....	3
图 2-2. 使用 SN74AXC4T774 器件的 SPI 接口.....	4
图 2-3. 汽车音响主机.....	5
图 2-4. 智能扬声器和智能显示器.....	5
图 2-5. 使用 SN74AXC1T45 进行两线制 UART 电压转换.....	6
图 2-6. 使用 SN74AXC4T245 进行四线制 UART 电压转换.....	6
图 2-7. 使用 SN74AXC4T245 进行两个两线制 UART 接口的电压转换.....	7
图 2-8. ADAS 环视系统 ECU 中的 UART.....	7
图 2-9. 远程无线电单元中的 UART.....	8
图 2-10. 使用 SN74AXC4T774 进行 JTAG 电压转换.....	9
图 2-11. 机架服务器中的 JTAG.....	10
图 2-12. 使用 SN74AXC8T245 进行 RGMII 电压转换.....	11
图 2-13. 在 IP 网络摄像机中使用 RGMII 通过以太网传输数据.....	12
图 2-14. SN74AXC8T245 的 104ps 通道间偏斜.....	13

表格清单

表 1-1. AXC 系列特性.....	2
表 2-1. SPI 接口.....	3
表 2-2. JTAG 接口.....	9
表 2-3. RGMII 信号.....	10
表 3-1. 建议的接口和电平转换器器件汇总.....	13

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

AXC 系列器件属于 TI 的方向控制型电平转换器系列。这些电压转换器使用两个独立的可配置电源轨，对输入信号进行升压或降压转换。根据设计，AXC 转换器适用于 0.65V 至 3.6V 的超低 V_{CC} 范围，因此是业内电压电平超低的电平转换器。得益于此，该器件能够与在 0.7V、0.8V 或 0.9V 低电压节点上运行的高级处理器进行通信。宽 V_{CC} 范围还支持处理器和外设中常见的业界通用电压节点（1.2V、1.8V、2.5V 和 3.3V）。这些器件支持高达 380Mbps 的数据速率，同时提供 12mA 的驱动强度。 V_{CC} 隔离、 I_{OFF} 功能以及具有 8kV HBM（人体放电模型）和 1kV CDM（充电器件模型）的内置 ESD（静电放电）保护功能都是该系列器件的标配特性。请参阅表 1-1，了解 AXC 系列的信息。

表 1-1. AXC 系列特性

参数	AXC 系列
电压支持	0.65V 至 3.6V
数据速率	380Mbps
驱动强度	12mA
I_{CC} (AXC1T, 在 125°C 时)	14 μ A
ESD 等级	8kV HBM、1kV CDM
工作温度	-40°C 至 125°C
电源时序	无需
I_{OFF} 部分断电	支持

该系列的大多数器件都有一个具有总线保持功能的版本，以 AXCH 中的“H”表示*。通过总线保持电路，电压转换器可在输入变为高阻抗或悬空的情况下，保持最后已知的输出状态。请参阅《[利用总线保持电路避免输入悬空的系统注意事项](#)》应用报告，了解更多信息。4 位和 8 位器件具有两个方向控制引脚，允许在单个器件上使用两个独立的总线组。因此可在更大程度上控制如何配置器件以同时进行升压和降压转换；并且，在理想情况下可减少 BOM 数量。此外，这些器件包括一个输出使能引脚，可将所有输出置于高阻抗状态，因此还可降低功耗。根据设计，该系列的所有器件均可确保在数百种可能的启动或关断条件下实现无干扰的电源时序控制。这样，电源轨能以任何顺序打开或关断，而不会对输出产生干扰。请参阅《[使用 AXC 电平转换器进行无干扰的电源时序控制](#)》应用报告

2 常见接口和 AXC 实现

2.1 通用输入输出 (GPIO)

所有微处理器都具有用于与外设进行通信的通用输入输出 (GPIO) 端口。然而，内核和外设芯片可能在不同的电压电平下工作，这就是系统需要电平转换器的原因。如果所需的信号没有转入微处理器的工作电压，就会影响通信的可靠性。SN74AXC1T45 可作为 I/O 电路的一部分来实现，尤其是在单通道信号（例如控制输入）中。SN74AXC1T45 为电压转换 I/O 引脚提供了解决方案，例如以下引脚：

- 使能
- 重启
- 时钟缓冲
- 电源正常状态
- 错误标志
- 复位
- 存储器错误
- 处理器过热
- 如图 2-1 所示的 LED 驱动

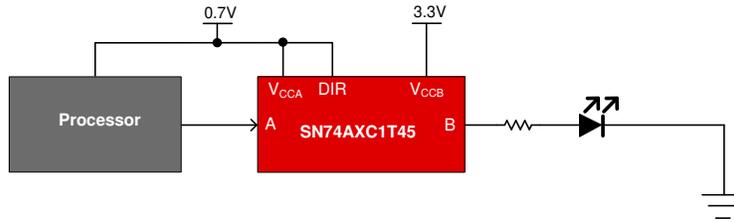


图 2-1. 使用 SN74AXC1T45 进行 GPIO 转换来实现 LED 驱动

2.2 串行外设接口 (SPI)

串行外设接口 (SPI) 可提供处理器与外设之间的同步通信。SPI 是一种“控制器-外设”架构的四线制通信接口，其中三条线路由控制器（通常是处理器）驱动，一条线路由外设（通常是外设）驱动。表 2-1 介绍了 SPI 信号接口。

表 2-1. SPI 接口

信号	说明	方向
CLK	时钟信号	控制器到外设
CIPO	控制器输入/外设输出	外设到控制器
COPI	控制器输出/外设输入	控制器到外设
CS	外设选择	控制器到外设

控制器驱动的第一条信号线路是 CLK，这是时钟信号。对于每个时钟脉冲，控制器可向外设发送或从外设接收一个位。数据速率通常为 10Mbps，但可根据需要在系统中进行扩展。SPI 是全双工协议，因此需要两条数据线路：COPI 和 CIPO。COPI 代表控制器输出外设输入，由控制器驱动向外设发送数据。CIPO 代表控制器输入外设输出，由外设驱动向控制器发送数据。最后一条线路是 CS，这是外设选择信号。CS 线路由控制器驱动为低电平以选择外设进行通信。一个系统中可能存在多个外设，这可确保与所需的外设进行通信，防止可能出现的系统级总线争用。SPI 常用于：

- 控制信号
- 传感器
- 存储器
- LCD 显示屏
- SD 卡

2.2.1 SPI 接口的电压转换

当信号电平相同时，可使用 SPI 协议进行器件之间的连接。在电压不匹配的情况下，建议使用电平转换器。SN74AXC4T774 或 SN74AVC4T774 是转换 SPI 中使用的所有四条线路的理想解决方案。SN74AXC4T774 的优点是可独立控制通道的每个方向。因此该器件在 SPI 中非常有用，因为 SPI 中的一条线路与其他三条线路以相反的方向运行。此外，AXC 系列最高可支持 380Mbps，远高于通常的 SPI 数据速率。SPI 接口可容纳在同一控制器下运行的多个独立外设，因此电压转换器的位置是一项重要的设计考量因素。如果总线在另一个不同的电压节点上有多个外设，建议在每个外设之前放置一个信号电平转换器，而不是仅在控制器之后使用一个电平转换器，如图 2-2 所示

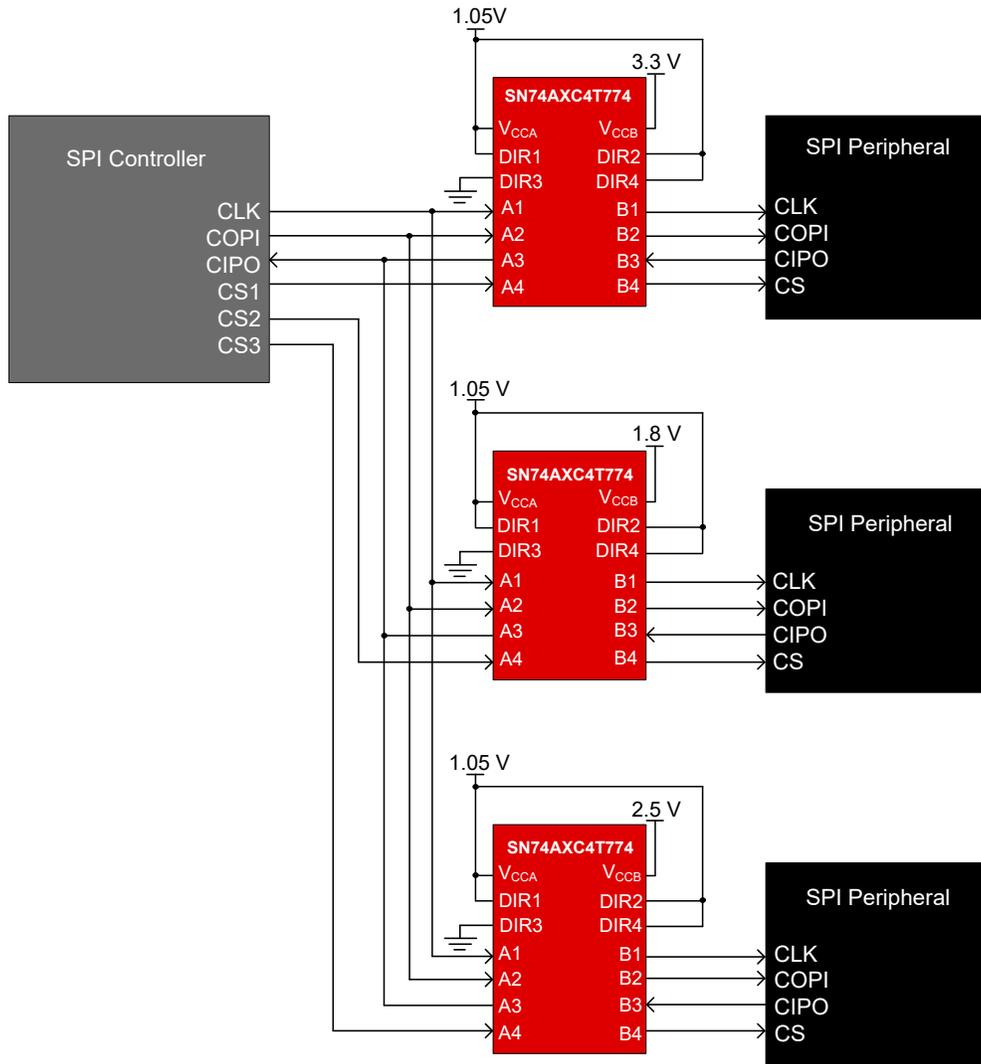


图 2-2. 使用 SN74AXC4T774 器件的 SPI 接口

2.2.2 SPI 应用

SPI 具有简单的协议、相对较高的速度和全双工通信功能，因此是一种比较常见的接口。汽车音响主机是 SPI 在汽车行业的一种常见应用。它支持应用处理器与外部媒体之间的通信，还允许应用处理器与其他外设（例如汽车内的大气传感器）进行通信。

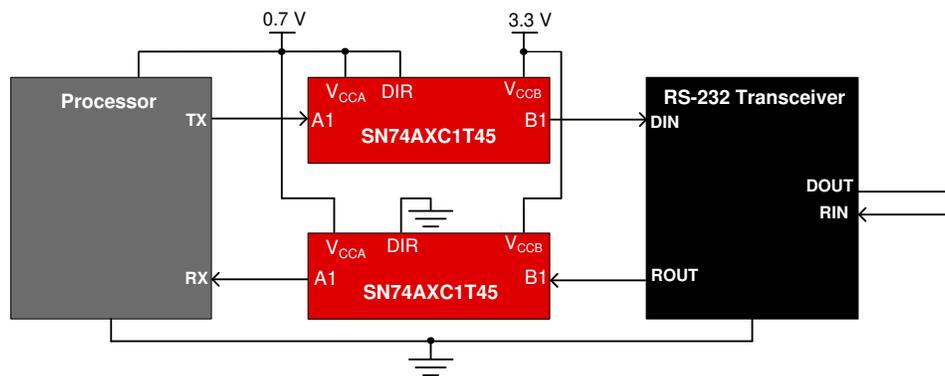
2.3 UART

通用异步接收器/发送器 (UART) 作为一种硬件器件，可支持双信号或四信号异步全双工通信接口。UART 负责将并行数据转换为串行数据来进行发送，或反向转换来进行接收。在双信号 UART 接口中，两个信号是主机发送 (TX) 信号和主机接收 (RX) 信号。四信号接口包括 RX 信号和 TX 信号，还有用于握手的请求发送 (RTS) 和允许发送 (CTS) 信号。数据帧包含低电平起始位、数据位、可选奇偶校验位和停止位。虽然 UART 会处理数据成帧、生成和接收数据，但不会定义器件之间的通用信令方法。UART 输出是器件工作电压下的信号，例如 1.2V 或 2.5V。这些信号可在工作电压电平相同的两个 UART 之间的短距离内使用。常规情况并非如此，因此通常会来自 UART 的信号发送到线路驱动器，将信号转换为 RS-232 或 RS-485 等标准。这些标准允许通过定义的信号特性进行更远距离的通信。RS-232 使用 -12V 至 12V 的电压范围来改善线路上的噪声容限。RS-485 使用差分对来发送信号。RS-485 和 RS-232 标准都使用 UART 数据成帧，但需要一个收发器来反转和转换 UART 信号。UART 是异步的，因此没有时钟信号。相反，在 UART 中，两个通信器件都必须配置为使用波特率，相当于每秒位数 (bps)。UART 通常被认为是速度在 300bps 到 115kbps 之间的低速接口。

2.3.1 使用 UART 进行电压转换

若要在不同电压电平下运行的两个器件之间使用 UART，需要一个电压转换器。根据系统配置，可使用 SN74AXC1T45 或 SN74AXC4T245 电压转换器。

图 2-5. 使用 SN74AXC1T45 进行两线制 UART 电压转换



对于简单的两线制接口，可在每条数据线路上实施两个 SN74AXC1T45 来实现电压转换。这种配置需要将一个器件上的方向引脚拉至 V_{CCA} 高电平以实现 A 到 B 的转换，而将另一个器件的 DIR 引脚拉至接地端以实现 B 到 A 的转换，如图 2-5 所示。

对于四线制接口，可在使用 SN74AXC4T245 时将 DIR1 引脚拉至 V_{CCA} ，而将另一个 DIR2 引脚拉至接地端。这样可确保两个通道从 A 转换为 B，两个通道将 B 转换为 A。如图 2-6 所示，TX 和 CTS 线路应该在一个方向上通信，而 RX 和 RTS 应该在相反的方向上通信。

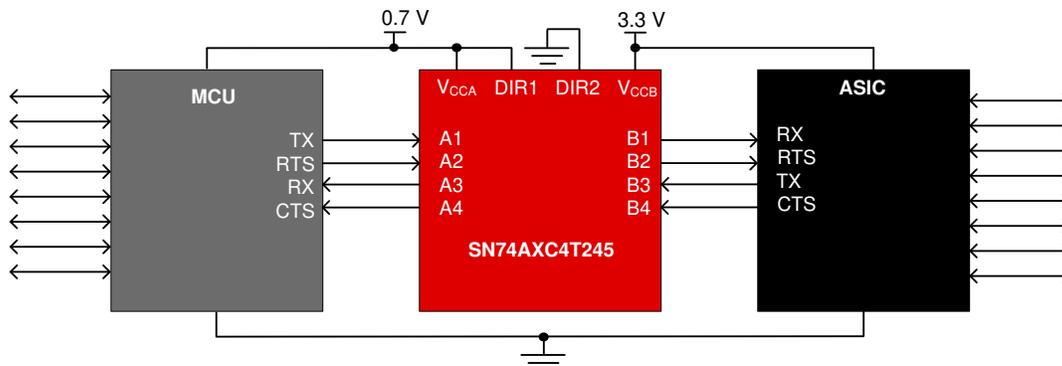


图 2-6. 使用 SN74AXC4T245 进行四线制 UART 电压转换

另一种常见的 UART 配置是运行两个独立的 UART。若要在此配置中实现转换，可使用 SN74AXC4T245。相关设置与四线制 UART 相同，两个方向引脚都被拉到 V_{CCA} 。在此配置中，两条 TX 线路将在同一方向上运行，与两条 RX 线路的方向相反，如图 2-7 所示。

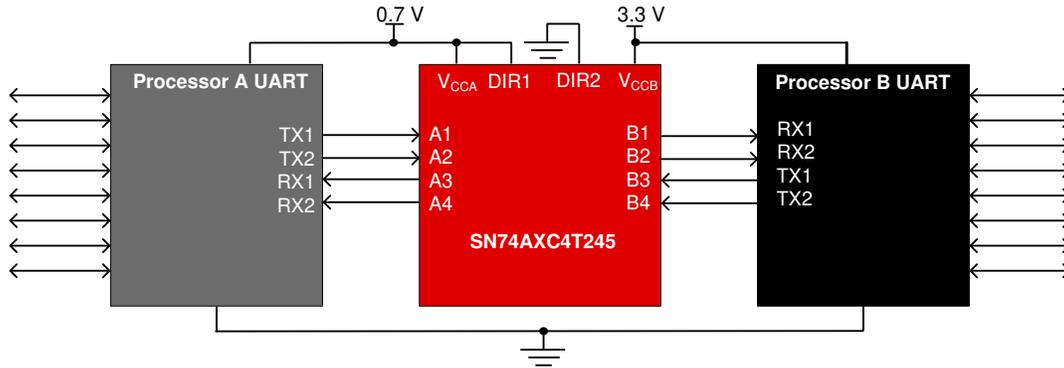


图 2-7. 使用 SN74AXC4T245 进行两个两线制 UART 接口的电压转换

2.3.2 UART 应用

几乎每个处理器上都有 UART 硬件。由于用途广泛且实施简单，UART 在每个市场部门采用的系统中都能找到。它是处理器到处理器通信以及微控制器和外设之间通信的常用技术。在汽车高级驾驶辅助系统 (ADAS) 应用中，如环视系统电子控制单元 (ECU) 或 ADAS 域控制器，数字处理块内使用 UART 来支持应用处理器与汽车微控制器 (MCU) 之间的通信，如图 2-8 所示。

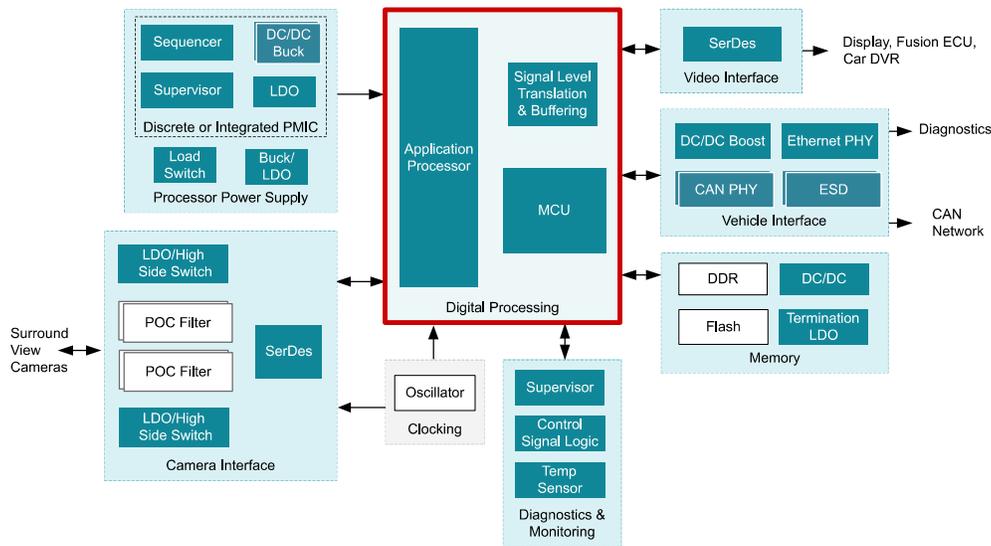


图 2-8. ADAS 环视系统 ECU 中的 UART

远程无线电单元 (RRU) 中的 RS-232 通信端口用于控制系统中的风扇和空调，同时还提供一个调试控制台接口。如图 2-9 所示，为确保 RS-232 收发器接收到正确的逻辑电平，可在处理器和收发器之间使用电压转换器，例如 AXC 系列器件。

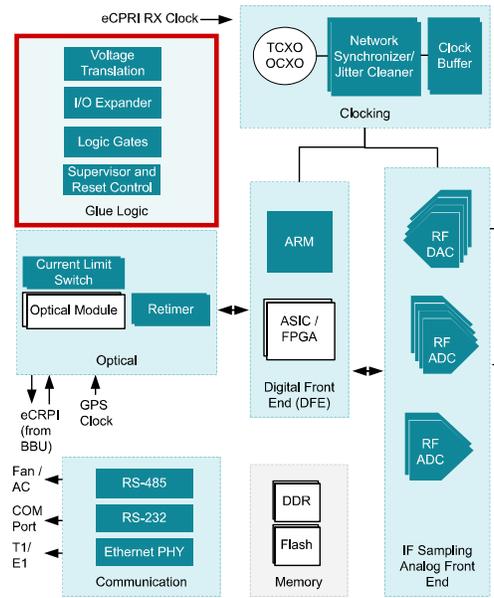


图 2-9. 远程无线电单元中的 UART

2.4 联合测试行动组 (JTAG)

联合测试行动组 (JTAG) 开发了同名的硬件接口 (JTAG)，用于对嵌入式设计进行调试、测试、验证和编程。JTAG 在运行过程中通常使用五个线路：TCK、TMS、TDI、TDO 和 TRST，如表 2-2 所示。测试时钟 (TCK) 提供数据输入和输出的时序。测试模式选择 (TMS) 允许用户选择将要测试的内容。测试数据输入 (TDI) 将要测试的数据输入到被测器件，产生的结果在测试数据输出 (TDO) 上输出。最后一个信号是测试复位 (TEST)，作为一个可选信号，它能够将 JTAG 复位到最后一次已知的良好状态。

表 2-2. JTAG 接口

信号	说明	方向
TCK	测试时钟信号	控制器到调试器
TDI	测试数据输入	控制器到调试器
TDO	测试数据输出	调试器到控制器
TMS	测试模式选择	控制器到调试器
TRST	测试复位	控制器到调试器

JTAG 与 SPI 类似，因此电压转换器的配置也类似。主要区别在于 JTAG 有四条线路在一个方向上运行，而另一条线路在相反方向上运行。要在低电压 FPGA 或处理器与 JTAG 探头之间启用 JTAG 接口，建议使用 SN74AXC4T774 或 SN74AVC4T774 器件，并采用如图 2-10 所示的配置。或者，对于五线制 JTAG 接口，可使用一个用于 TCK、TMS、TDI 和 TRST 信号线路的 SN74AXC4T245 和一个用于在另一个方向上运行的 TDO 线路的 SN74AXC1T45。

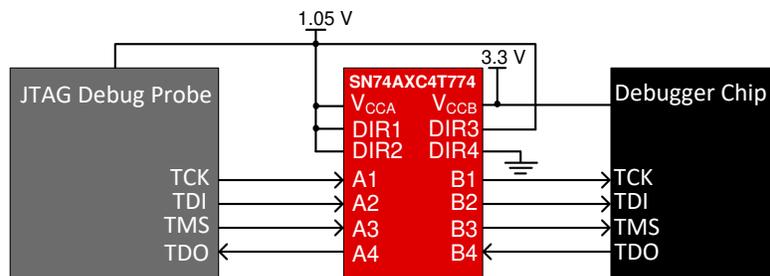


图 2-10. 使用 SN74AXC4T774 进行 JTAG 电压转换

2.4.1 JTAG 应用

JTAG 是用于测试 PCB 和集成电路以及对许多 FPGA 进行编程的行业标准。由于具有运行边界扫描测试、编程和调试等功能，JTAG 在开发、生产和部署中必不可少。因此，在微处理器上可找到 JTAG 端口，并且在每个市场的许多 PCB 上都可找到 JTAG 接头。

在企业计算中，JTAG 接头常见于机架服务器中。JTAG 之所以在此应用中很重要，是因为许多服务器需要定期接受诊断维护。在服务器上提供 JTAG 端口使技术人员和工程师能够在维护期间快速调试问题。

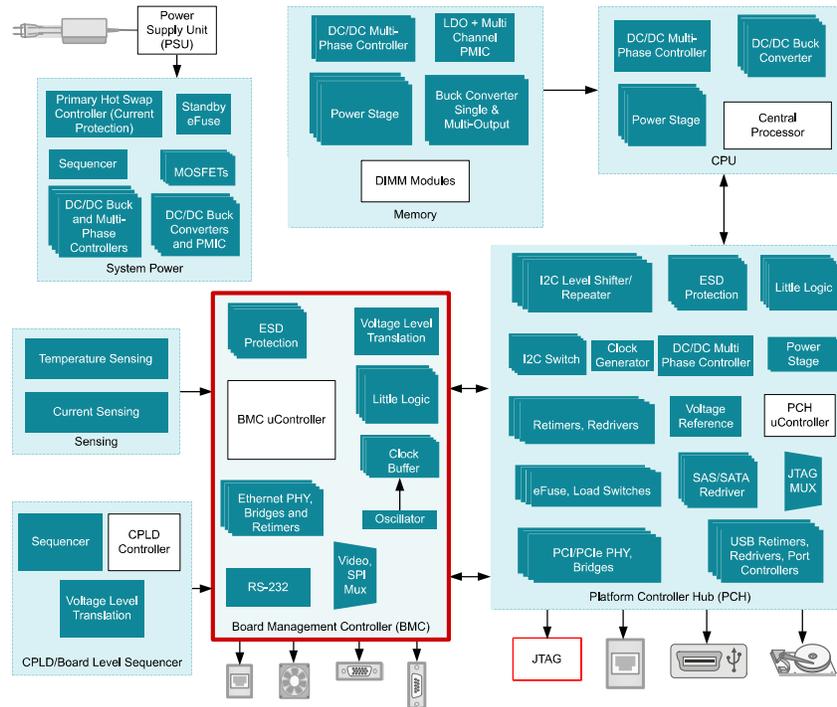


图 2-11. 机架服务器中的 JTAG

2.5 简化千兆位媒体独立接口 (RGMII)

简化千兆位媒体独立接口 (RGMII) 是一种高速接口，用于将媒体访问控制器件 (MAC) 连接到以太网物理层芯片 (PHY)。这种接口是媒体独立接口 (MII) 的改版，改进之处是支持千兆字节数据速率，而不再是 100Mbps，并减少了接口引脚数。

表 2-3. RGMII 信号

信号	说明	方向
TXC	时钟信号	MAC 至 PHY
TXD[0...3]	传输的数据	MAC 至 PHY
TX_CTL	发送器使能/错误	MAC 至 PHY
RXC	恢复的时钟信号 (从接收到的数据恢复)	PHY 至 MAC
RXD[0...3]	接收的数据	PHY 至 MAC
RX_CTL	接收的数据有效/接收器错误	PHY 至 MAC

如表 2-3 所示，RGMII 使用 12 条线路。时钟分别设置为 125MHz 以实现千兆位速度，设置为 25/2.5MHz 以实现 100/10Mbps 速度。在千兆位工作模式下，数据在该信号的上升沿和下降沿同时计时，而在 100/10Mbps 工作模式下，数据仅在上升沿计时。由于 RGMII 的高速要求，必须以有限的偏斜实现严格的时序预算。最后两个信号是 RX_CTL 和 TX_CTL，这是时钟信号进行多路复用的两个控制信号。RX_CTL 传送“接收的数据有效”信号和“接收器错误”信号。TX_CTL 包含发送器使能和发送器错误信号。

2.5.1 RGMII 接口的电压转换

为了实现在低电压 MAC 与不同电压电平下的 PHY 之间的通信，建议使用具有严格输出通道间偏斜的高速电压转换器。为了满足这些系统要求，可考虑使用 [SN74AXC8T245](#)。在此应用中使用 [SN74AXC8T245](#) 时，六个发送信号 TXC、TXD [0…3] 和 TX_CTL 应共用同一个器件。六个接收信号 RXC、RXD [0…3] 和 RX_CTL 使用另一个 [SN74AXC8T245](#)。建议发送器时钟和数据信号以及接收器时钟和数据信号位于同一个器件上。即使是器件输出通道之间传播延迟的微小差异（偏斜），也可能会对 RGMII 接口的严格时序预算产生负面影响。

总线保持电路可避免由输入悬空引起的电压电平未知问题。通过总线保持电路，电压转换器可在输入变为高阻抗或悬空的情况下保持最后已知的输出状态。在外设可能间歇性关断的系统中或在外设通过插件卡插入背板（如以太网 PHY）的情况下，这一功能非常有用。请参阅《[利用总线保持电路避免输入悬空的系统注意事项](#)》应用报告。在输入和输出端口上具有集成总线保持电路的器件（如 [SN74AXCH8T245](#)），通常用于许多企业应用和通信应用。

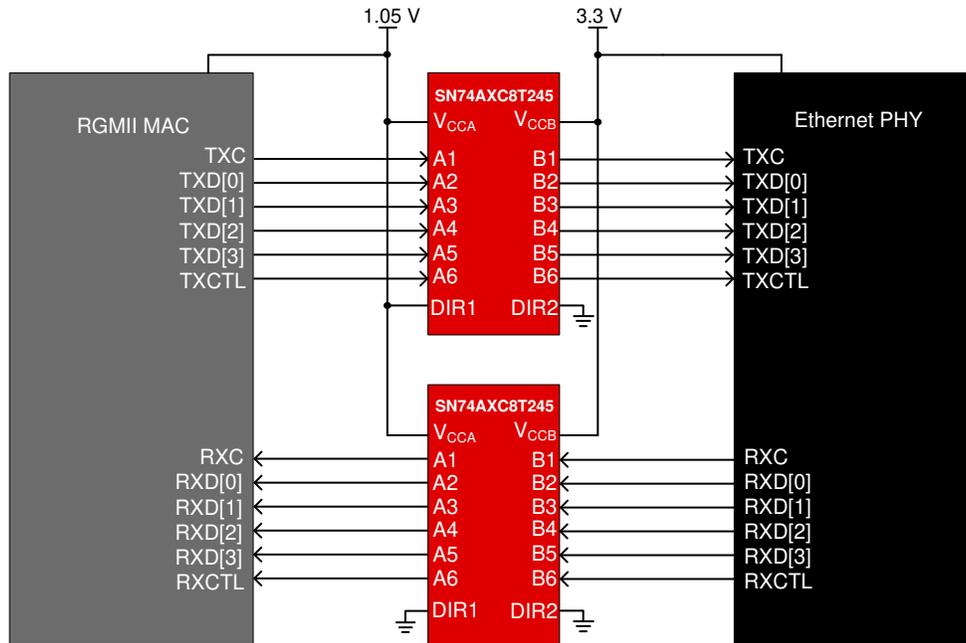


图 2-12. 使用 SN74AXC8T245 进行 RGMII 电压转换

2.5.2 RGMII 应用

RGMII 的速度非常高，因此可用于许多需要大量带宽的应用。所以，在许多通过以太网发送数据的应用中都能够发现 RGMII，使 RGMII 成为了工业和电信部门中广泛使用的通信协议。

RGMII 广泛用于工业部门的 IP 网络摄像机。图 2-13 所示为一个 IP 网络摄像机使用 RGMII 通过以太网传输数据的示例。一旦处理完所有视频和音频数据，这些数据将从 MAC 发送到 PHY，在此处它们将经过序列化并通过以太网发送。如果 MAC 和 PHY 在不同的电压电平下运行，请使用电平转换器（例如 [SN74AXC8T245](#) 或 [SN74AXCH8T245](#)）来桥接电压不匹配情况，从而实现通信。图像传感器（或其他外设）和 MPU 之间也可能需要电压转换。

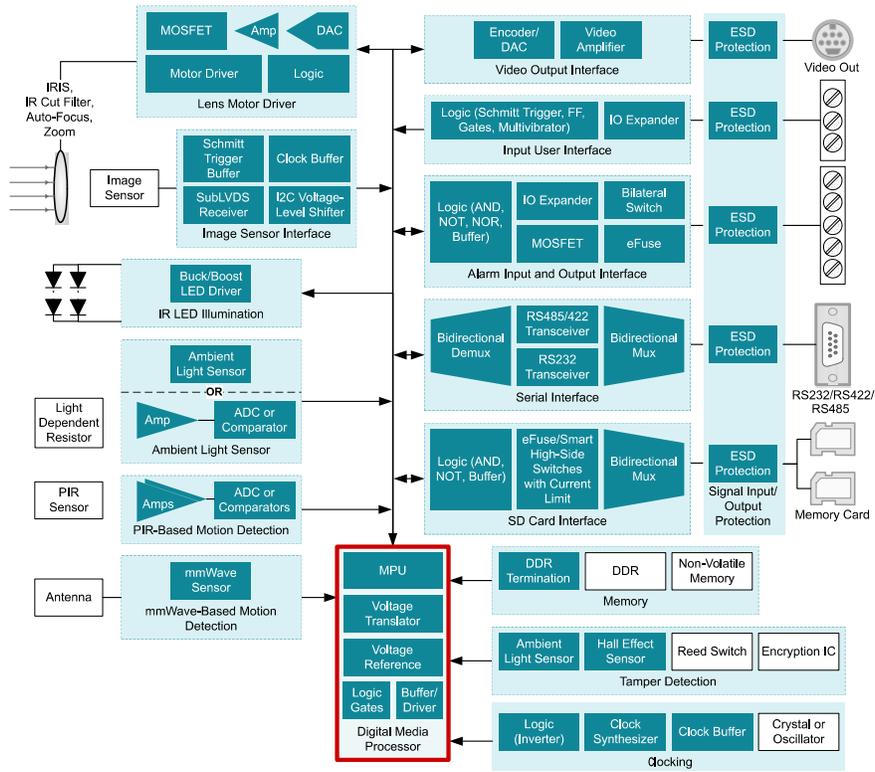


图 2-13. 在 IP 网络摄像机中使用 RGMII 通过以太网传输数据

2.5.3 偏斜性能

输出偏斜的定义是在驱动相等负载的输出通道上所有输入同时到达的情况下出现的传播延迟差异。这一指标在 RGMII 接口中尤为重要，因为在这种情况下，高速时钟需要以 500ps 的最大允许偏斜值同步 RX 和 TX 线路上的数据。请参阅《RGMII 接口时序预算》应用报告。如图 2-14 所示，标准负载条件下 A 到 B 方向上升沿输入的输入通道间偏斜为 104ps。测量值是在 25°C 下使用 1.65V V_{cca} 、3.3V V_{ccb} 获得的。同样，在相同条件下，下降沿偏斜测量值为 127ps。

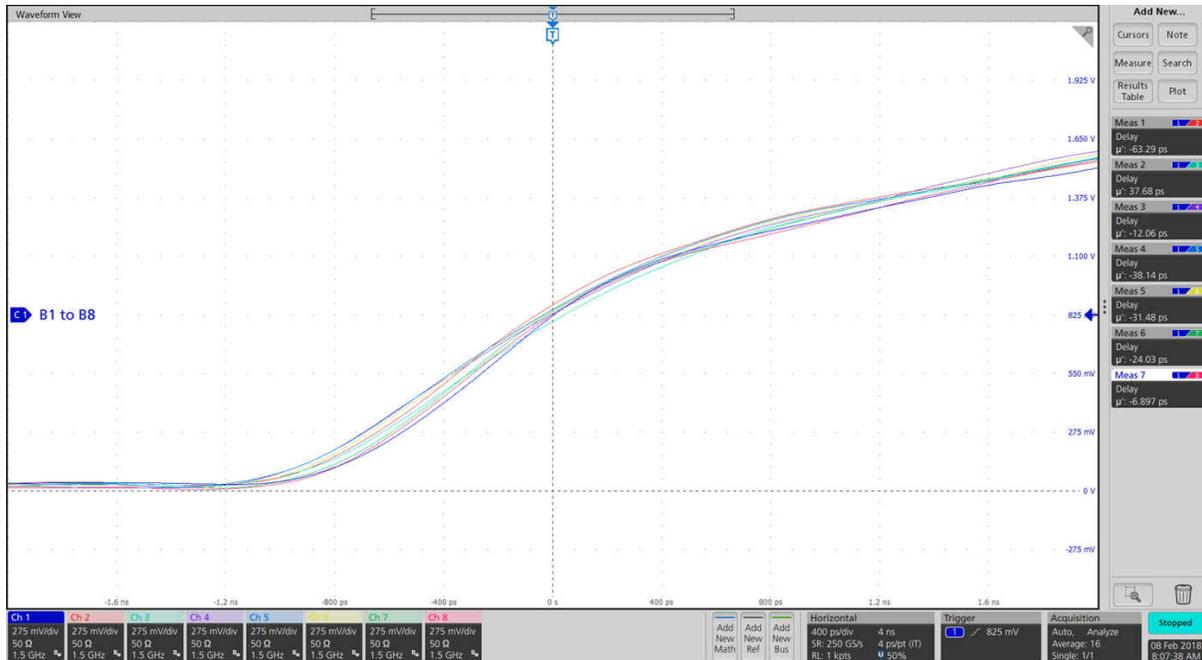


图 2-14. SN74AXC8T245 的 104ps 通道间偏斜

3 总结

表 3-1 总结了 TI 建议的业界通用的不同接口和电平转换器。

表 3-1. 建议的接口和电平转换器器件汇总

接口	建议的转换器件
SPI	SN74AXC4T774
UART	SN74AXC1T45、SN74AXC4T245
JTAG	SN74AXC4T774
RGMII	SN74AXC8T245、SN74AXCH8T245
GPIO	SN74AXC1T45

4 相关文档

- 德州仪器 (TI), 《使用 AXC 电平转换器进行无干扰的电源时序控制》应用报告
- 德州仪器 (TI), 《RGMII 接口时序预算》应用报告
- 德州仪器 (TI), 《利用总线保持电路避免输入悬空的系统注意事项》应用报告

5 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision A (May 2019) to Revision B (May 2019)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	2
• 更新了应用报告使之包含丰富的术语.....	2

Changes from Revision * (November 2018) to Revision A (May 2019)	Page
• 编辑了应用报告，使之更清晰.....	2
• 添加了 SN74AXC4T774 器件.....	3
• 添加了 SN74AXC4T774 器件.....	9

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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司