

Application Note

使用德州仪器 (TI) 产品系列实现 USB Type-C®



Vishesh Pithadiya

摘要

本应用手册深入介绍了德州仪器 (TI) 在 USB Type-C 领域中必须提供的转接驱动器设计。针对每个器件均提供了典型用例的方框图和说明。

内容

1 简介.....2

1.1 什么是 USB ?2

1.2 什么是 USB Type-C ? 它与之前的 USB 规格有何不同 ?3

1.3 什么是 DisplayPort ?3

1.4 什么是 DisplayPort 交替模式 ?4

2 USB Type-C 器件选择指南.....4

2.1 标准 USB Type-C 应用.....4

2.2 DisplayPort 交替模式源端应用 :6

2.3 仅 DisplayPort 应用.....9

3 总结.....10

4 参考资料.....10

商标

USB Type-C® is a registered trademark of USB Implementers Forum.

所有商标均为其各自所有者的财产。


1 简介

本应用手册包括 USB Type-C® 与 DisplayPort 交替模式的基础知识。

1.1 什么是 USB？

通用串行总线 (USB) 是一种串行协议，允许在 USB 主机与 USB 器件之间进行通信。该协议最初于 1996 年推出，如今是世界上广受欢迎的通信协议之一。USB 可用于从手机到电动汽车的各种应用。自 1996 年以来，对该协议规格进行过多次更新与改进，因而广受欢迎。如表 1-1 所示，目前使用的 USB 的主要版本是 USB 2.0、USB 3.2 和 USB 4。

表 1-1. 主要 USB 版本及相关数据通信速度

USB 版本	符号	数据速率		
USB 2.0	LS	低速		1.5Mbps
	FS	全速		12Mbps
	HS	高速		480Mbps
USB 3.2	第 1 代	SuperSpeed		5Gbps
	第 2 代	SuperSpeed 10Gbps		10Gbps
	Gen 2x2	SuperSpeed 20Gbps		20Gbps
USB 4				40Gbps

USB 的最新版本始终向后兼容上一个迭代。这意味着支持最新版本（通信速度为 40Gbps 的 USB 4）的 USB 端口，也需要支持最早版本（低速通信速度为 1.5Mbps 的 USB 2.0）。

当 USB 从 USB2 转换为 USB3.x 时，USB 端口的物理特性发生了重大变化。

- 在 USB2.0 速度下，所有通信都发生在利用半双工通信的单个直流耦合差分对之间。（在单个通道上进行双向通信）
- 在 USB3.2 及后续版本中，通信发生在两个支持全双工通信的交流耦合差分对之间。（在两个通道上进行单向通信）

USB 规格还定义了与 USB 协议相关的标准连接器。下图重点介绍了不同的 USB 连接器和封装：

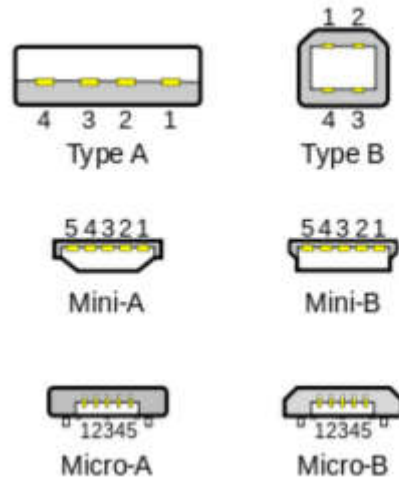


图 1-1. 典型 USB 2.0 连接器类型

有关更多详细信息，请访问此处的 USB 网站链接：[USB 文档库](#)

1.2 什么是 USB Type-C？它与之前的 USB 规格有何不同？

USB Type-C 是一种跨 x 轴和 y 轴对称的物理连接器类型，这意味着可插入插座的电缆有两个方向。无论电缆方向如何，USB 器件均需要正常工作；因此，Type-C 引脚排列包括每个引脚的重复引脚。USB-C 插座中的重复引脚如图 1-2 所示。

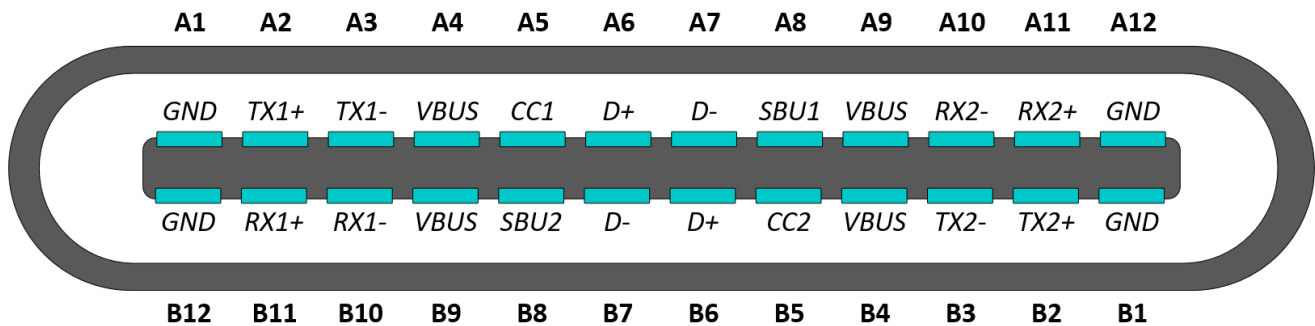


图 1-2. USB Type-C 引脚排列

Type-C 插座的引脚 A5 和 B5 为配置通道 (CC) 引脚。USB Type-C 规格在连接器上实现了 CC 通道，以检测电缆的方向。检测到电缆方向后，将使用多路复用器将数据信号路由到相应的引脚。

1.3 什么是 DisplayPort？

DisplayPort (DP) 是一种单向视频和音频传输协议。DisplayPort 采用先进的数字协议，并提供可扩展的基础，以实现令人惊叹的数字显示体验。DisplayPort 专为实现低功耗和高性能而设计，支持下一代显示技术，同时与现有设备兼容。DisplayPort 还专为空间受限的应用而设计，例如超薄笔记本电脑、上网本和图形卡，在这些应用中，连接器空间非常宝贵，显示性能非常重要。

DisplayPort 是一种交流耦合接口。最新修订版本的 DisplayPort (DP 2.1) 能够以每通道传输高达 20Gbps 的数据速率允许使用 80Gbps 的带宽。此外，与 USB 非常相似，DisplayPort 设计为向后兼容 DP 1.2 (每通道 5.4Gbps)。

1.4 什么是 DisplayPort 交替模式？

DisplayPort 交替模式是指 USB Type-C 支持的交替模式之一。DisplayPort 交替模式允许使用 USB Type-C 连接器发送 DisplayPort 视频和音频数据。有两种常用的 DisplayPort 交替模式

1. 全 DP 模式：在该模式下，USB Type-C 连接器 TX1、RX1、TX2 和 RX2 的所有高速差分对均会输出 DisplayPort 数据。由于所有交流耦合差分对均用于 DisplayPort 传输，因此不具有 USB3.x 功能。然而，USB2.0 路径是不间断的，因此 USB2.0 功能保持在该模式下。
2. DP x USB 模式：在该模式下，USB3.x 和 DisplayPort 均正常工作。该模式使用一个 TX 和 RX 对进行全双工 USB3.x 通信，使用另一个 TX 和 RX 对传输 DisplayPort 视频和音频数据。

2 USB Type-C 器件选择指南

德州仪器 (TI) 提供多种支持 USB Type-C 和 DisplayPort 交替模式的设计。然而，难以为正确的应用选择合适的芯片。以下图表有助于简化为 USB Type-C 应用选择信号调节芯片的流程。

备注

以下所有图表中，**红色**信号路径为传出路径，**蓝色**信号路径为传入路径

2.1 标准 USB Type-C 应用

该应用中包含的器件无法支持 DisplayPort 交替模式，通常用于将单个 USB 3.2 TX/RX 对连接到 USB Type-C 连接器。本部分中的所有器件都具有信号调节元件。

- **USB 3.2 Gen 1 (5Gbps)**
 - TUSB542/TUSB521-Q1

TUSB542 和符合汽车级标准的版本 TUSB521-Q1 均为为 USB 信号而设计的有源 2:1 多路复用器。有源多路复用器是一种能够在单个芯片中提供多路复用器和转接驱动器功能的 IC。这些器件可在标准 USB3.2 Gen 1 系统中用作损耗降低元件。此外，这两个器件均能采用标准 USB TX 和 RX 对，并将这些信号路由至 USB Type-C 连接器。

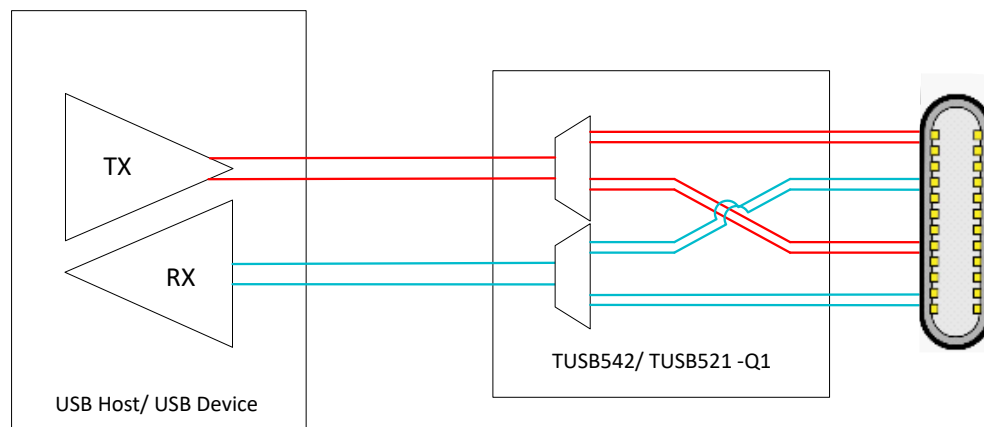


图 2-1. 适用于 TUSB542 或 TUSB521-Q1 的典型 USB Type-C 应用

- TUSB544

TUSB544 是一款能够提供均衡的 4 通道转接驱动器。该转接驱动器经过设计，因此器件也可用于 DisplayPort 交替模式系统以及标准 USB Type-C 系统。该器件具有用于均衡的方向控制功能，因此可针对各种应用进行定制。为获得出色结果，请将 TUSB544 放置在 USB Type-C 多路复用器之后，且这个位置通常靠近 USB Type-C 连接器。

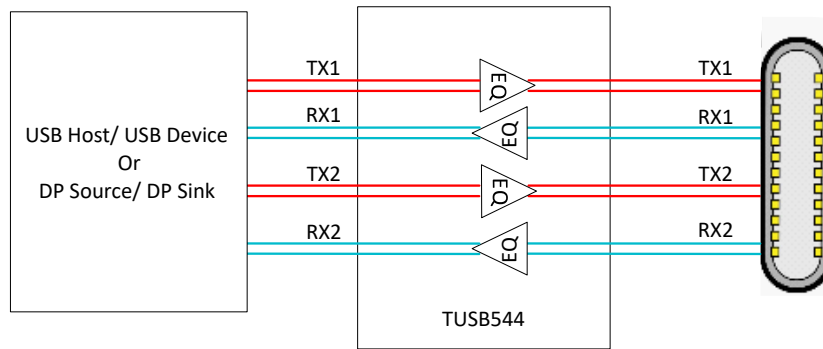


图 2-2. 适用于 TUSB544 的典型 USB Type-C 应用

- **USB 3.2 Gen 2 (10Gbps)**
 - TUSB1042/ TUSB1142/ TUSB1021-Q1

TUSB1042 和符合汽车标准的版本 TUSB1021-Q1 均为为 USB 信号而设计的有源 2:1 多路复用器。有源多路复用器是一种能够在单个芯片中提供多路复用器和转接驱动器功能的 IC。这些器件可在标准 USB3.2 Gen 1 系统中用作损耗降低元件。TUSB1142 具有与 TUSB1042 和 TUSB1021-Q1 相同的功能，但增加了 USB Type-C 信号上自适应 EQ 的便捷性。该自适应 EQ 可自动补偿信号，从而无需 EQ 调优。此外，这三者均能采用标准 USB TX 和 RX 对，并将这些信号路由到 USB Type-C 连接器。

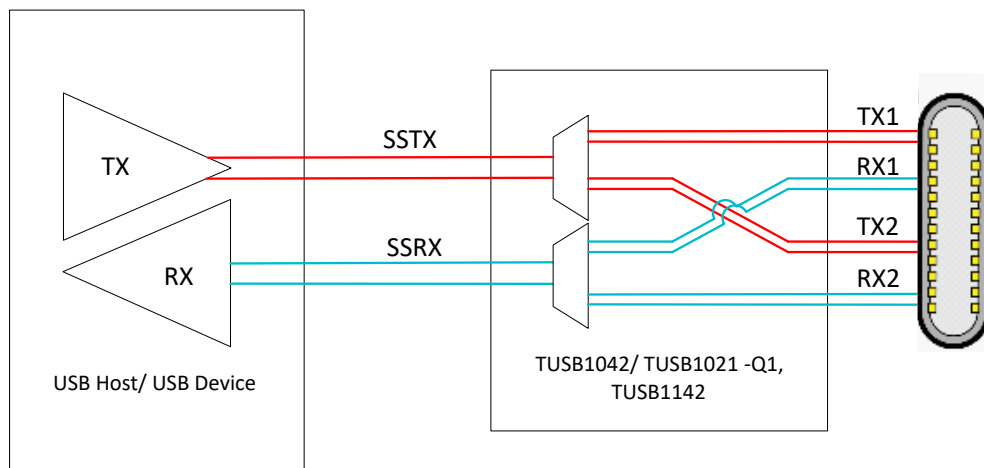


图 2-3. 适用于 TUSB1042、TUSB1021-Q1 或 TUSB1142 的典型 USB Type-C 应用

- TUSB1044/TUSB1044A

TUSB1044 和 TUSB1044A 是能够提供均衡功能的 4 通道转接驱动器。这些转接驱动器均设计为用于 DisplayPort 交替模式系统以及标准 USB Type-C 系统。这些器件具有用于部件均衡的方向控制功能，因此可针对各种应用进行定制。为获得出色结果，请将 TUSB1044 和 TUSB1044A 放置在 USB Type-C 多路复用器之后，且这个位置通常靠近 USB Type-C 连接器。

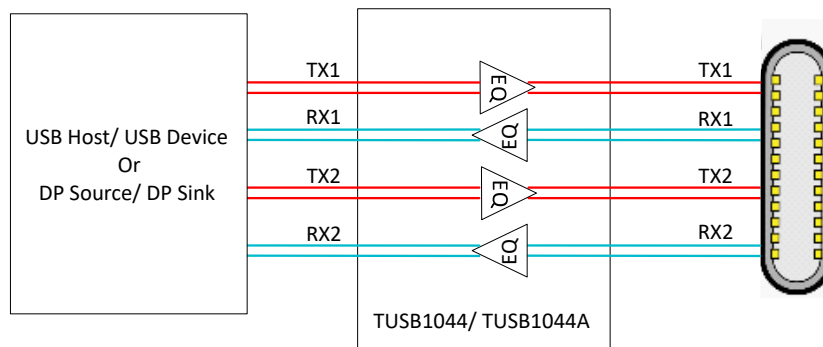


图 2-4. 适用于 TUSB1044 与 TUSB1044A 的典型 USB Type-C 应用

2.2 DisplayPort 交替模式源端应用：

- **USB 3.2 Gen 1 (5Gbps)/ DisplayPort 1.4 (8.1Gbps)**
 - TUSB544

请参阅“标准 USB Type-C 应用”部分中的说明。

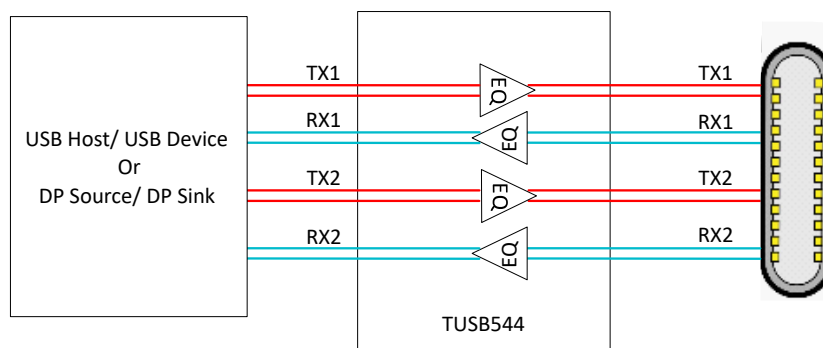


图 2-5. 适用于 TUSB544 的典型 DisplayPort 交替 模式应用

- - TUSB546/TUSB5461-Q1

TUSB546 和与之相对应的汽车级 TUSB5461-Q1 均设计为交叉开关多路复用器，允许使用标准 USB Type-C 通信和 DisplayPort 交替模式。这些器件是为 DisplayPort 源端运行而设计。这些器件的输入为 DisplayPort 的 4 通道，以及适用于 USB 通信的 SSTX 和 SSRX 对。这 6 个信号路由到 USB Type-C 连接器的 4 个高速通道。

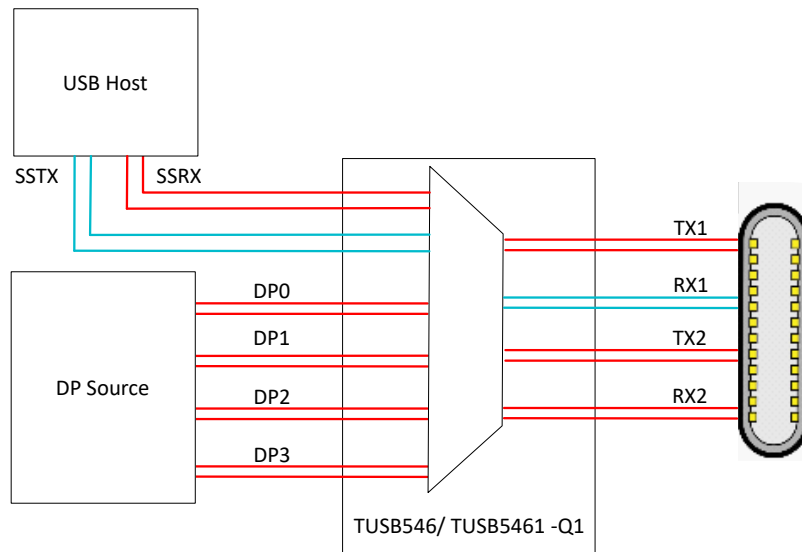


图 2-6. 适用于 TUSB546 与 TUSB5461-Q1 的典型 DisplayPort 交替模式应用

- **USB3.2 Gen2 (10Gbps)/ DisplayPort 2.1 (10Gbps)**
 - TUSB1044/TUSB1044A

请参阅“标准 USB Type-C 应用”部分中的说明。

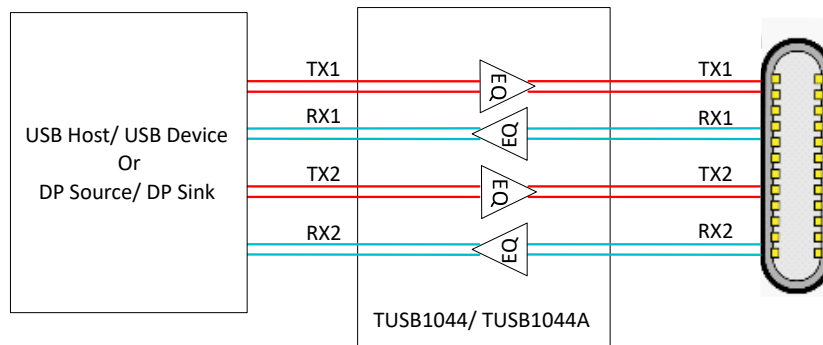


图 2-7. 适用于 TUSB1044 与 TUSB1044A 的典型 DisplayPort 交替模式应用

- - TUSB1046/TUSB1046A

TUSB1046 和 TUSB1046A 均设计为交叉开关多路复用器，允许使用标准 USB Type-C 通信和 DisplayPort 交替模式。这些器件是为 DisplayPort 源端运行而设计。这些器件的输入为 DisplayPort 的 4 通道，以及适用于 USB 通信的 SSTX 和 SSRX 对。这 6 个信号路由到 USB Type-C 连接器的 4 个高速通道。

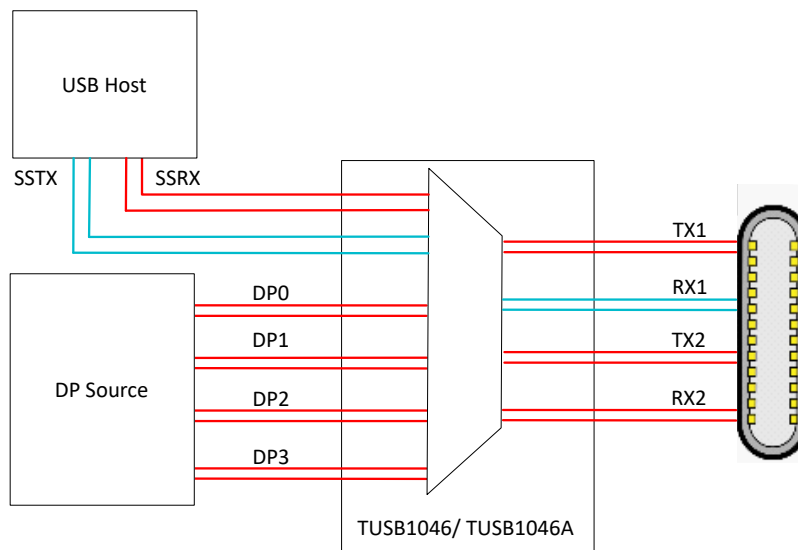


图 2-8. 适用于 TUSB1046 与 TUSB1046A 的典型 DisplayPort 交替模式应用

- TUSB1146/TUSB1146-Q1

TUSB1146 和与之相对应的汽车级 TUSB1146-Q1 均设计为交叉开关多路复用器，允许使用标准 USB Type-C 通信和 DisplayPort 交替模式。这些器件是为 DisplayPort 源端运行而设计。这些器件的输入为 DisplayPort 的 4 通道，以及适用于 USB 通信的 SSTX 和 SSRX 对。这 6 个信号路由到 USB Type-C 连接器的 4 个高速通道。这些器件还具有附加的自适应均衡功能，允许在 USB Type-C 连接器侧进行自动均衡调优，从而更容易通过合规性测试。

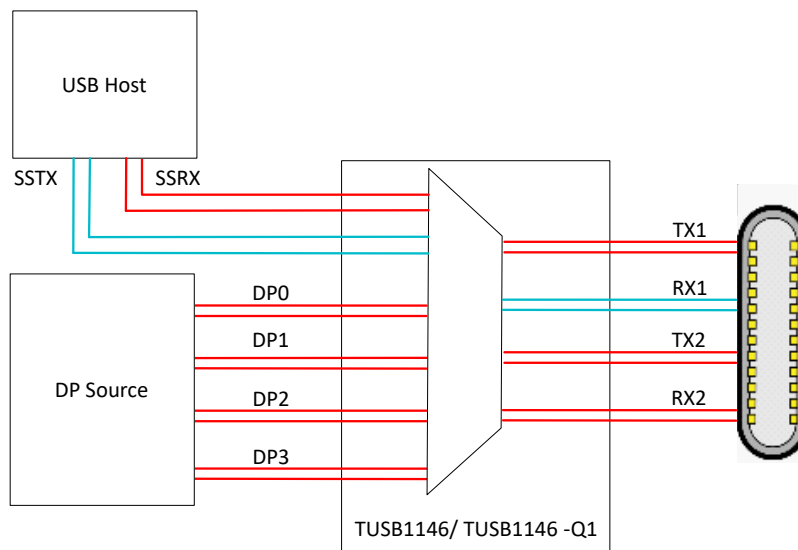


图 2-9. 适用于 TUSB1146 与 TUSB1146A 的典型 DisplayPort 交替模式应用

DisplayPort 交替模式接收端应用：

- **USB 3.2 Gen 1 (5Gbps)/ DisplayPort 1.4 (8.1Gbps)**
 - TUSB564/TUSB564-Q1

TUSB564 和与之相对应的汽车级 TUSB564-Q1 均设计为交叉开关多路复用器，允许使用标准 USB Type-C 通信和 DisplayPort 交替模式。这些器件专为 DisplayPort 接收端运行而设计。这些器件的输入为 USB Type-C 连接器的 4 个高速通道，输出为 DisplayPort 的 4 通道，以及适用于 USB 通信的 SSTX 和 SSRX 对。

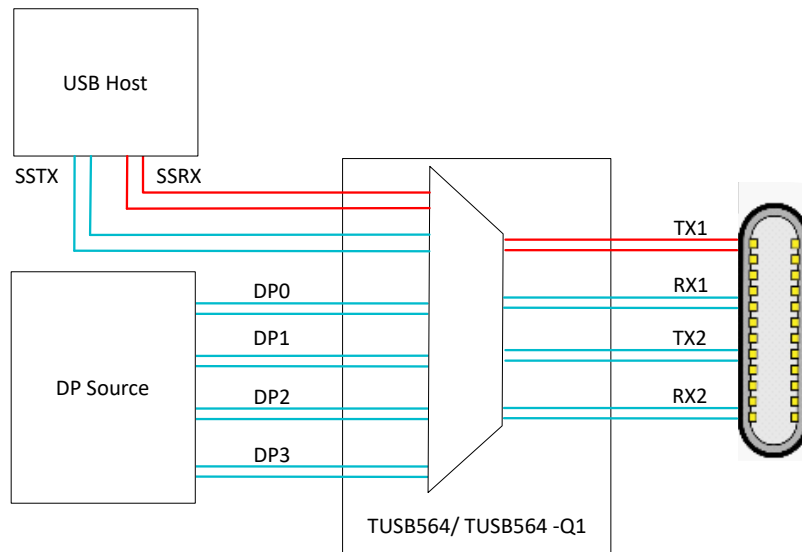


图 2-10. 适用于 TUSB564 与 TUSB564-Q1 的典型 DisplayPort 交替模式应用

- **USB3.2 Gen2 (10Gbps)/ DisplayPort 2.1 (10Gbps)**
 - TUSB1064 和 TUSB1064-Q1

TUSB1064 和与之相对应的汽车级 TUSB1064-Q1 均设计为交叉开关多路复用器，允许使用标准 USB Type-C 通信和 DisplayPort 交替模式。这些器件专为 DisplayPort 接收端运行而设计。这些器件的输入为 USB Type-C 连接器的 4 个高速通道，输出为 DisplayPort 的 4 通道，以及适用于 USB 通信的 SSTX 和 SSRX 对。

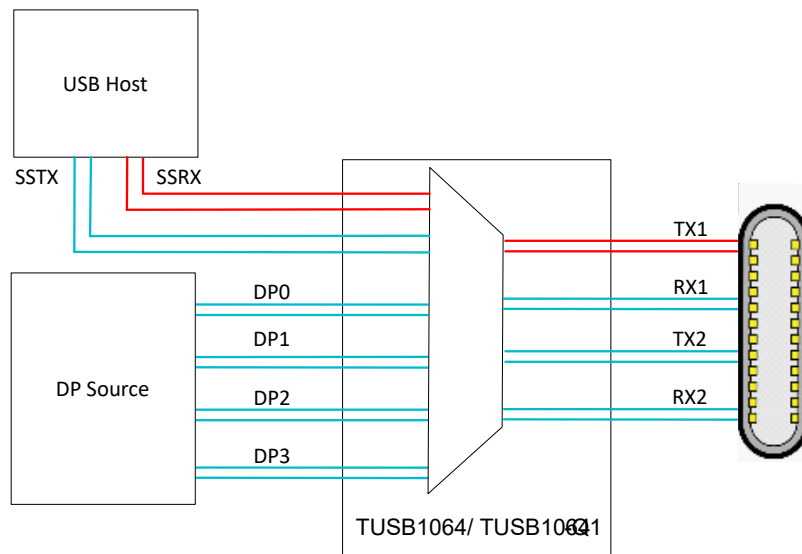


图 2-11. 适用于 TUSB1064 与 TUSB1064-Q1 的典型 DisplayPort 交替模式应用

2.3 仅 DisplayPort 应用

本部分中介绍的器件无法支持任何 USB 通信，仅能在 USB Type-C DisplayPort 交替模式的全 DP 模式下使用。

- **DisplayPort 1.4 (8.1Gbps)**
 - TDP142/TDP142-Q1

TDP142 和与之相应的汽车级 TDP142-Q1 均为线性 DisplayPort 转接驱动器。我们可以使用该转接驱动器连接到 USB Type-C 连接器的所有 4 个高速数据通道。该配置允许在全 DP 模式下的 DisplayPort 交替模式使用。

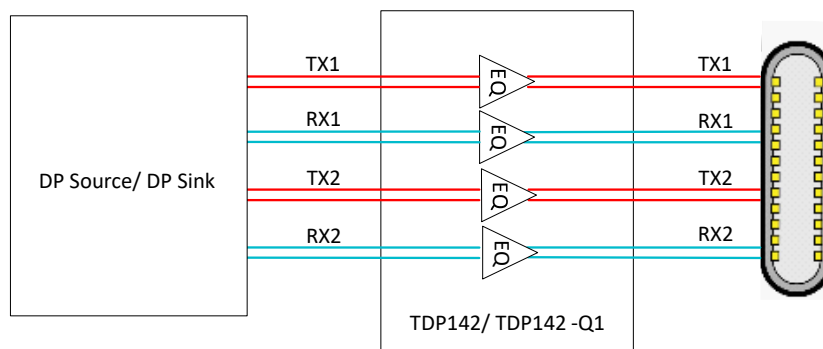


图 2-12. 适用于 TDP142 与 TDP142-Q1 的典型 USB Type-C 应用

- **DisplayPort 2.1 (20Gbps)**

- TDP2044

TDP2044 是一款线性 DisplayPort 转接驱动器。我们可以使用该转接驱动器连接到 USB Type-C 连接器的所有 4 个高速数据通道。该配置允许在全 DP 模式下的 DisplayPort 交替模式使用。

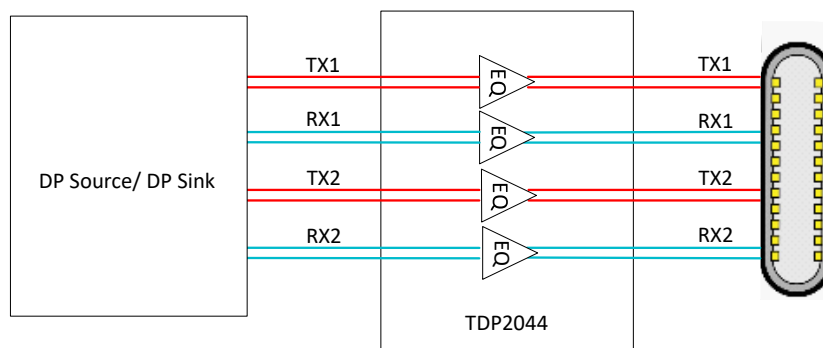


图 2-13. 适用于 TDP2044 的典型 USB Type-C 应用

3 总结

德州仪器 (TI) 提供集成在 USB Type-C 领域的各种设计。请使用本应用手册以指导您根据终端应用选择器件。

4 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [USB Type-C® 工程师指南](#)
2. Vesa, [为何选择 DisplayPort : 获取 DisplayPort 概述演示文稿](#)

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 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月