

如何实现隔离式 USB 2.0 高速 Type-C® DRP

Anant Kamath
Systems Engineer

Manasa Gadiyar
Validation Engineer

引言

USB 在工业应用中的使用越来越广泛：用于软件上传和配置、诊断、维护和连接 Wi-Fi® 路由器、显示屏和人机接口模块等外围模块。不过，USB 主要被定义为消费类电子产品接口，因此它本身无法处理工业应用中常见的大噪声干扰、接地反弹和接地电位差。另外，在不间断电源等应用中，带有 USB 接口的控制器位于高压或“热”端，需要对 USB 连接器进行保护隔离。由于这些原因，在工厂自动化、电机驱动器、医疗设备、电表和数据集中器、机载娱乐系统和游戏机等各类应用中，对 USB 接口进行电隔离是必要的。

上述应用通常都需要灵活地作为外设（设备）连接到 PC，或作为主机连接到 Wi-Fi 模块或 USB 存储器驱动器等外设。过去，系统设计人员提供了两个不同的端口来支持此功能：一个用于主机，一个用于外设 - 使用两个不同的 USB 隔离器（也称隔离式 USB 中继器）。此解决方案成本高昂并会占用宝贵的电路板空间。相反，USB Type-C®

连接器可以实现双角色端口 (DRP)，即一个端口可以同时支持主机和外设功能。本文讨论了如何实现隔离式 USB 2.0 USB Type-C[®] DRP。

主机和外设接口的传统实现

图 1 展示了工业设备中隔离式主机和外设端口的传统实现。此实现采用具有固定上行和下行定义的 USB 隔离器。下行（主机）端口为 VBUS 提供 5V 电源并包含 15 kΩ 下拉电阻器，如 USB 标准所规定。上行（外设）端口不为 USB VBUS 供电。在连接到主机后，此端口会检测是否存在 VBUS 并通过 1.5 kΩ 电阻器上拉 DP（用于全速和高速运行）或 DM（用于低速运行）。这里，DP 是指 DPLUS/D+ 或 USB 数据差分对的正端子，DM 是指 DMINUS/D-。DRP 在外设模式（上行）下必须上拉 DP 和 DM，或者在主机模式（下行）下提供 15 kΩ 接地下拉电阻器并需要在 DP 和 DM 上外接 1.5 kΩ 上拉电阻器，因此具有固定上行和下行侧的传统隔离式 USB 中继器无法支持 DRP。

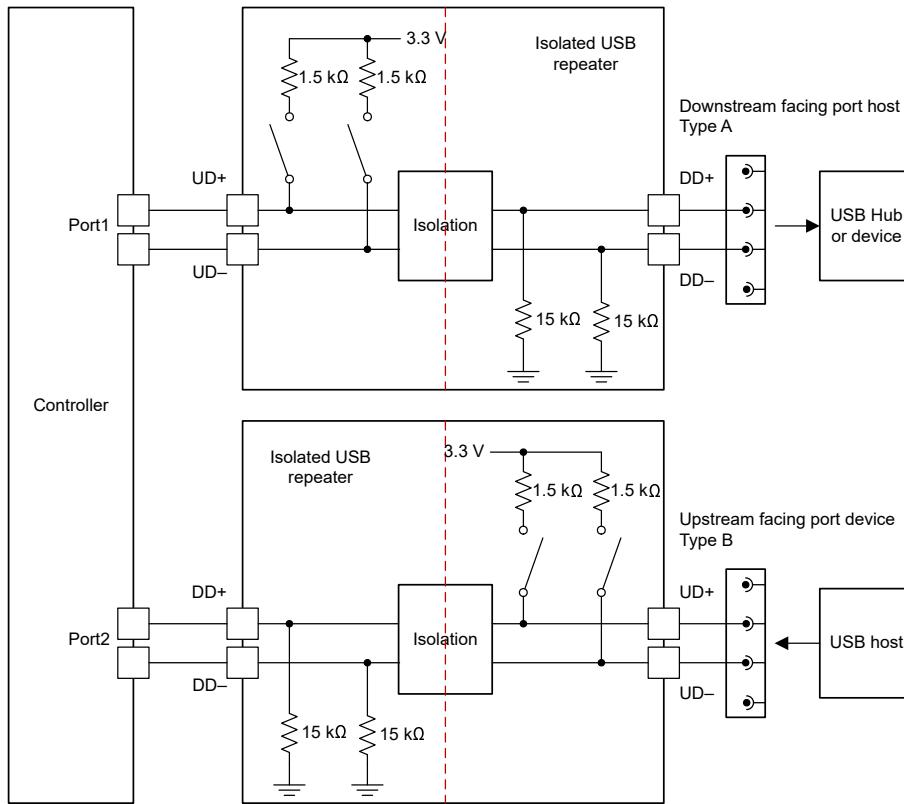


图1. 传统实现通过两个隔离式 USB 中继器提供专用的主机和外设端口

USB Type-C DRP

在 USB Type-C 中，端口充当的角色由 CC1 和 CC2 引脚的状态决定。外设端口在 CC1 和 CC2 到地之间具有下拉电阻器 R_d ，主机端口具有连接到 VCC 的上拉电阻器 R_p ，如图 2 所示。 R_d 和 R_p 的值取决于 USB Type-C 标准。主机可以利用 R_p 的值来广播 VBUS 引脚上可用的电流：0.5A、1.5A 或 3A。

根据 USB Type-C 标准，DRP 定期通过 R_p （上拉至 VCC）与 R_d （下拉至地）切换 CC1 和 CC2 状态，周期为 50 ms 至 100 ms。当外部主机连接到 DRP 时，则会在 R_d 下拉间隔期间检测到该连接，并且 DRP 会充当外设（上行端口）。当外部外设连接到 DRP 时，则会在 R_p 上拉间隔期间检测到该连接，并且 DRP 会充当主机（下行端口）。

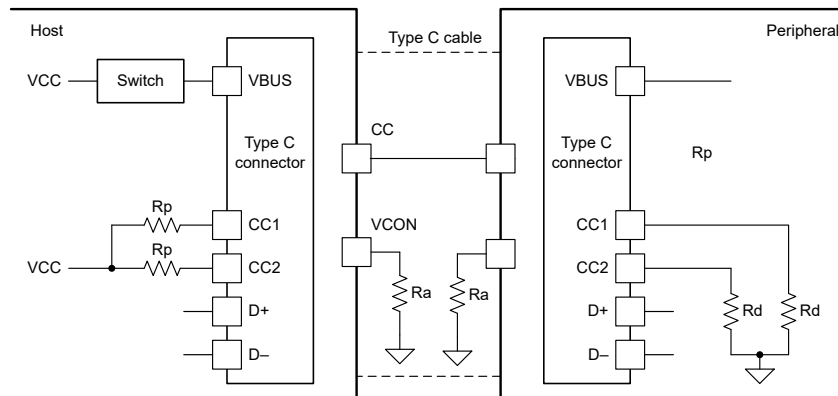


图2. CC1 和 CC2 引脚的状态决定了主机和外设在 USB Type-C 中充当的角色

实现隔离式 USB Type-C DRP

图 3 展示了自供电隔离式 USB Type-C DRP 的方框图。

第一项主要要求是具有隔离式 USB 中继器，该中继器没有固定的上行和下行侧，但允许动态变更这些角色。此类中继器在 1 侧和 2 侧都包含 15 kΩ 下拉电阻器，并且这些电阻器会在上电时启用。在此之后，无论哪一侧在 DP 或 DM 上检测到 1.5 kΩ 上拉电阻，该侧便会充当上行端口角色并禁用其 15 kΩ 下拉电阻。另一个端口会充当下行端口并将其 15 kΩ 下拉电阻器保持启用。

图 3 的另一个器件是 USB Type-C 控制器，该器件控制 CC 线路上的 Rp 和 Rd 电阻器，解读 CC 线路的状态，并

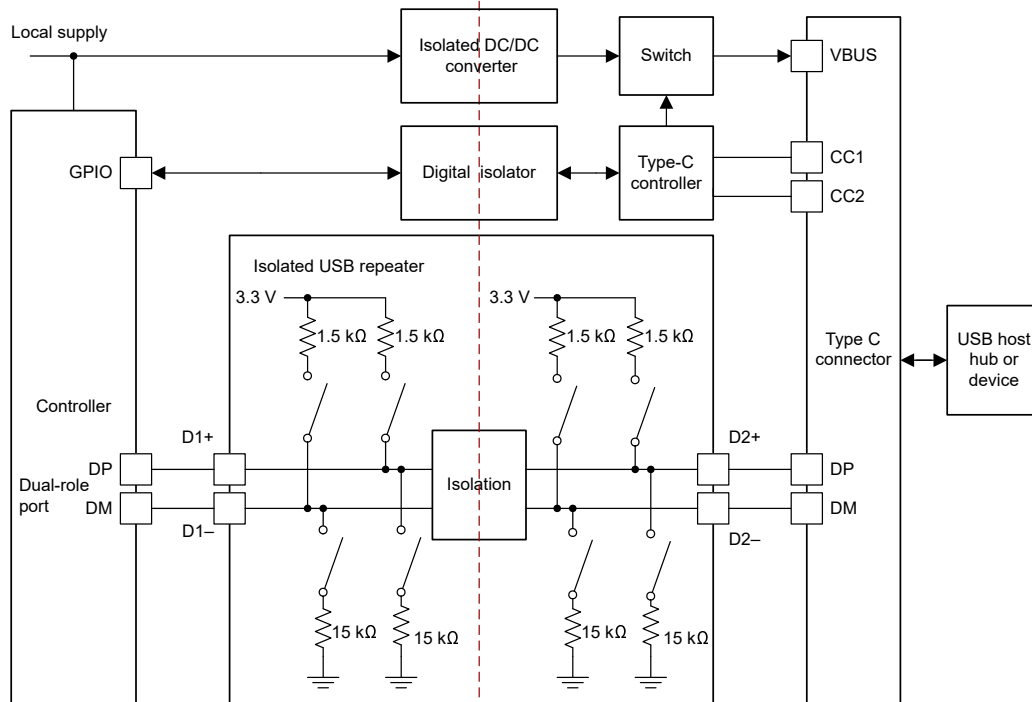


图 3. 自供电隔离式 USB Type-C DRP 的方框图

具体实现（具有实际器件）

图 4 展示了具有实际器件的自供电隔离式 USB Type-C 端口的实现情况。这些器件包括德州仪器 (TI) 的 **ISOUSB211** 隔离式 USB 中继器、**SN6505** 5W 推挽式变压器驱动器、**TUSB320LAI** USB Type-C 控制器、**ISO7710** 数字隔离器、**TPS25910** VBUS 开关和 **ISO1640** 隔离式 I2C 隔离器。**ISOUSB211** 支持自动角色检测，其中侧 1 和侧 2 都能够根据哪一侧先检测到 1.5 kΩ 上拉电

输出关于主机或外设角色、主机所广播的电流等的信息。接下来，隔离式直流/直流转换器会向 USB Type-C 控制器和 USB 隔离器次级侧供电。最后，VBUS 上的电源开关会在 USB Type-C 控制器检测到外设连接时导通；这时，DRP 不得不充当主机或下行端口。

大多数工业应用都是自供电的；换言之，在外设模式下，它们无需从 VBUS 取电。因此，图 3 和图 4 仅展示了从控制器侧到连接器侧的单向隔离式电源。需要从 VBUS 取电的双角色应用（例如电池供电型应用）可能需要双向隔离式直流/直流电源、电池充电电路和其他控制装置。

阻来充当上行和下行角色。此功能是双重角色实现所必需的。

TUSB320LAI 的 ID 输出指示该端口承担协商角色。此 ID 信息可以控制电源开关，也可使用 **ISO7710** 数字隔离器跨越隔离层传输到控制器。

可以将 **ISOUSB211** 的 VBUSOK1 输出作为输入提供给控制器的 VBUS 检测引脚。用作外设或上行端口时，此引脚让控制器知道 VBUS 何时在连接器上变为可用，之后控制器可以继续启用 1.5 kΩ 上拉电阻器。

ISO1640 隔离式 I2C 隔离器是可选的，并支持访问 **TUSB320LAI** 中的其他配置选项，例如在主机模式下广播高达 3A 的 VBUS 电流并将 DRP 配置为 try.SRC（这时 DRP 会在连接到其他 DRP 时优先尝试自行作为下行端口

口）或 try.SNK（这时 DRP 会在连接到其他 DRP 时优先尝试自行作为上行端口）。在 DRP 只需广播 0.5A 输出电流且没有 try.SRC 或 try.SNK 功能的最简单实现方案中，并不需要 **ISO1640** 器件。

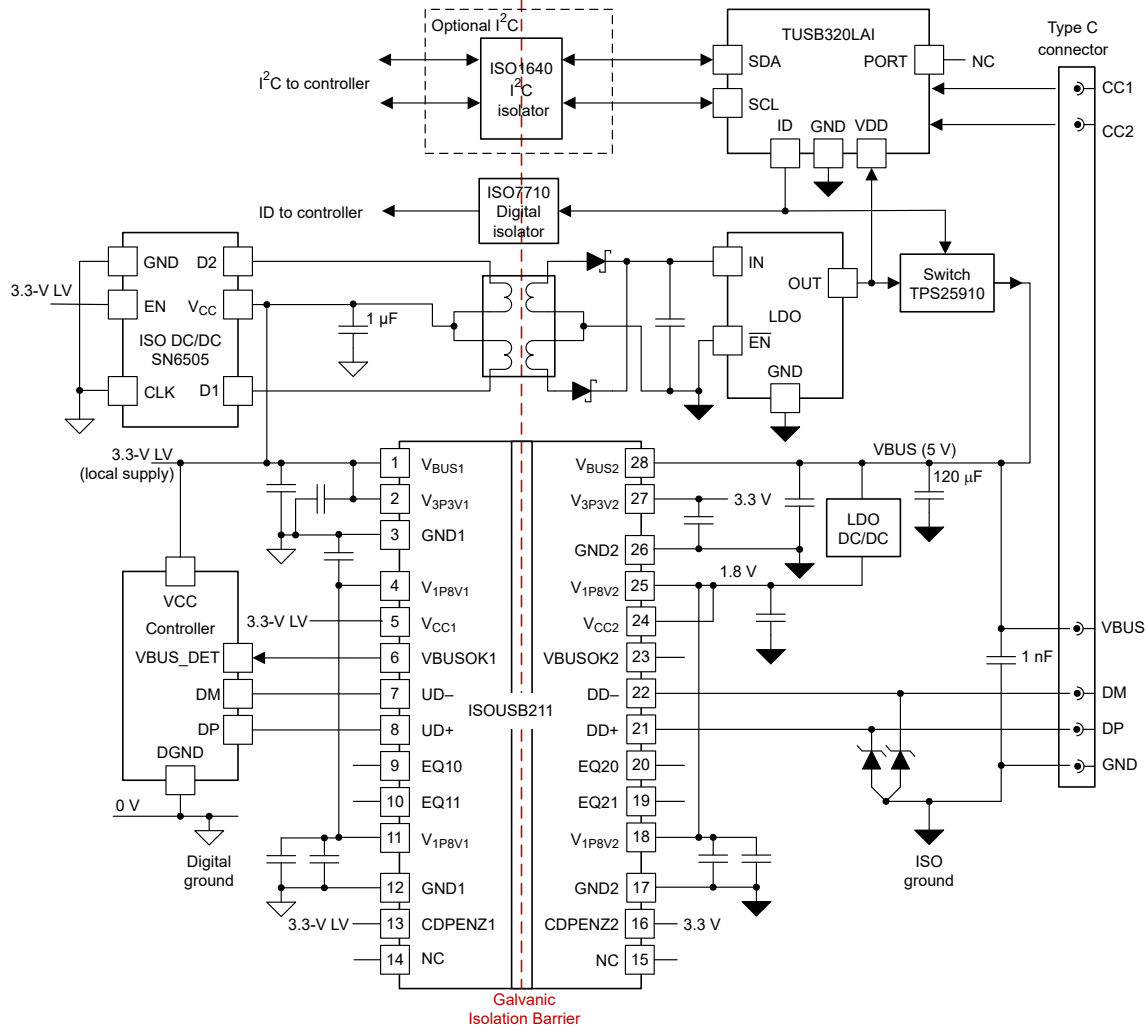


图 4. 利用 ISOUSB211 和 TUSB320 实现隔离式 USB DRP

利用 ISOUSB211 EVM 演示 DRP 运行

本节讨论了如何结合使用 **ISOUSB211** 评估模块 (EVM) 和 **TUSB320-LA-EVM** 来实现隔离式 USB Type-C DRP。

在图 5 中，**ISOUSB211** 和 **TUSB320LAI** 共同构成了一个 DRP。鼠标或 USB 闪存驱动器等标准外设与配置为上行端口的 **TUSB320-LA-EVM** 连接，用于模拟 USB Type-C 外设。这第二个 **TUSB320-LA-EVM** 仅用于将 USB Type-A 转换为 USB Type-C。以这种方式连接时，**ISOUSB211** EVM 的侧 1 由 PC USB 端口的 VBUS 输出供电。侧 2 由 **ISOUSB211** EVM 上的隔离式直流/直流转换器供电。配置

为 DRP 的 **TUSB320LAI** 检测到外设连接并在 USB Type-C 电缆上提供 VBUS 电源。外设（标准闪存驱动器与 **TUSB320-LA-EVM**）检测到 USB Type-C 电缆上的 VBUS 并继续进行连接。

外设能够进行枚举，并且数据通信和传输成功完成。

TUSB320-LA-EVM 在电源路径中采用肖特基二极管，其压降约为 0.7V。为确保在高速模式（使用闪存驱动器时）下正常运行，我们在 **TUSB320-LA-EVM** 的 DC_IN 端子上连接了外部电源 (5.5V)，以便将 VBUS 路径上两个肖特

基二极管的 1.4V 压降考虑在内。使用鼠标（低速运行）时，无需该 5.5V 电源。

在图 6 中，ISOUSB211 和 TUSB320LAI 共同构成一个 DRP。标准主机（任何笔记本电脑或 PC）与配置下行端口的 TUSB320-LA-EVM 连接，用于模拟 USB Type-C 主机。这第二个 TUSB320-LA-EVM 仅用于将 USB Type-A 转换为 USB Type-C。ISOUSB211 EVM 的侧 1 由外部 5V 电源供电，而 ISOUSB211 上的隔离式直流/直流转换器会被禁用。配置为 DRP 的 TUSB320LAI 检测到主机连接，

并且不会驱动 USB Type-C VBUS。外部主机（标准笔记本电脑与 TUSB320 EVM）检测到 CC 引脚上的 Rd 下拉电阻并驱动 VBUS 电源。USB Type-C 连接器上存在 VBUS 后，外设会建立连接。

外设能够进行枚举，并且数据传输成功完成。

考虑到 TUSB320-LA-EVM 上肖特基二极管的压降，为确保在高速模式下正常运行，需要一个额外的 5.5V 电源，如上文所述。

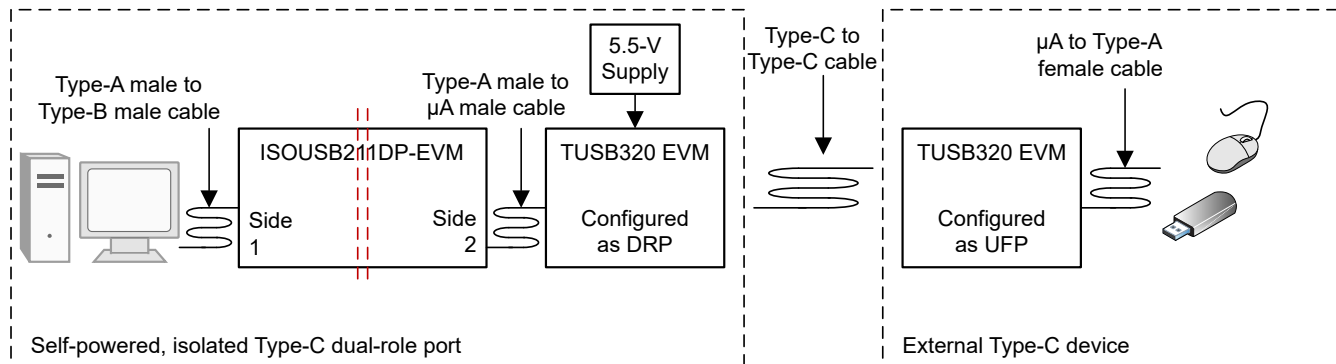


图5. ISOUSB211 和 TUSB320 作为 DRP 连接到 USB Type-C 设备或外设

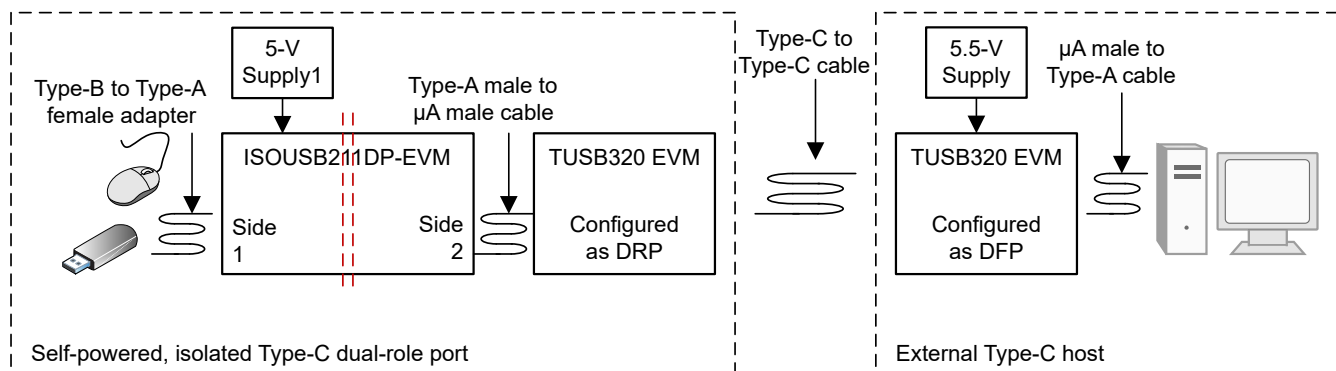


图6. ISOUSB211 和 TUSB320 作为 DRP 连接到 USB Type-C 主机

结论

USB Type-C DRP 支持通过同一个连接器连接到主机或外设。隔离式 USB 中继器可以根据是否检测到外部 1.5 kΩ 上拉电阻器来自动分配上行方向和下行方向，从而实现隔离式 USB Type-C DRP。此类解决方案可以减少连接器数

量，只需一个隔离式 USB 中继器，可节省布板空间，并为各种工业应用提供灵活性。

重要声明: 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户的应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不负任何责任。有关任何其它公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的认可、保证或授权。

Wi-Fi® is a registered trademark of Wi-Fi Alliance.
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。

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