

实现隔离式 USB 2.0 On-The-Go 端口

Manasa Gadiyar
Systems engineer

Anant Kamath
Systems engineer

引言

USB 作为工业系统中用于人机交互、诊断、固件下载、外设连接和数据记录的接口正变得越来越流行。鉴于工业领域存在噪声和恶劣瞬变，以及为了确保电气安全，系统设计人员更喜欢对 USB 端口进行隔离。拥有一个可以连接到主机（例如笔记本电脑）或外设（例如 USB 驱动器）的 USB 端口，而不是拥有分别用于主机连接和外设连接的端口增加了灵活性并降低了成本。

USB On-The-Go (OTG) 提供了这种灵活性，同时还允许通过主机协商协议 (HNP) 交换主机和外设角色。不过，目前没有用于隔离 USB OTG 端口的解决方案。本文介绍了使用 HNP 实现隔离式 USB OTG 端口的主要注意事项和隔离式 USB 中继器的相应要求，以及使用 TI 的 **ISOUSB211** 隔离式 USB 中继器实现隔离式 USB OTG 端口的应用图和测试结果。

OTG USB 应用的现有实现

提供了实现隔离式 USB 平台的现有方法，以及有关为建立数据链路提供专用主机和外设端口的建议，如图 1 所示。

上行（外设）端口通过一个 1.5kΩ 电阻器对 D+ 进行上拉（表示全速或高速外设）或对 D- 进行上拉（表示低速外设）。下行（主机）器件具有 15kΩ 下拉电阻器，以符合 USB 2.0 标准。下行端口为 5V VBUS 电源轨供电，不会从上行端口取电。建立连接后，会检测到 VBUS 的存在，之后会进行上拉识别和数据包传输。因此，对于端口必须承担主机或外设角色的隔离式 OTG 实现，隔离器必须对连接透明。

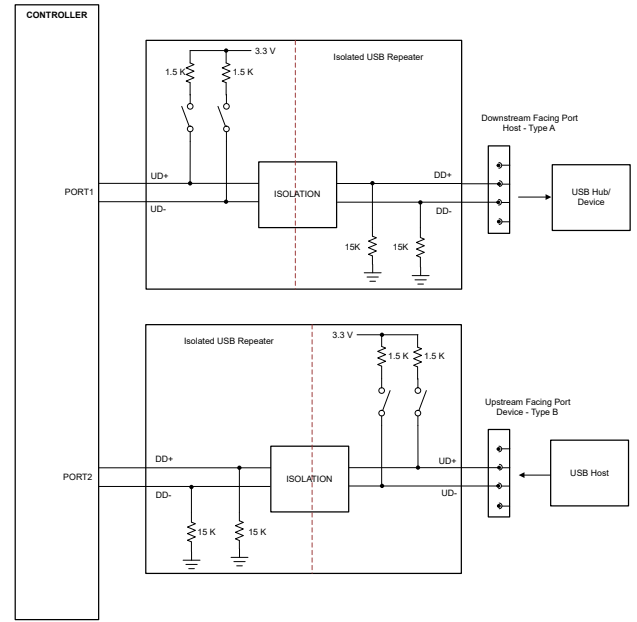


图 1. 独立的主机和外设实现。

On-The-Go 工作原理

OTG 端口有一个额外的第五个引脚，标记为 ID 引脚。当连接发生时，该 ID 引脚上的状态控制初始主机和外设角色，如图 2 所示。连接到电缆 ID 接地短路的一端的端口承担初始主机（A 器件）角色，连接到电缆 ID 悬空的另一端的器件承担初始外设角色（B 器件）。OTG 模块上的 ID 上拉有助于确定连接时 ID 引脚的状态。当 B 器件希望接管主机角色时，OTG 定义了一个 HNP，使器件能够无缝地交换角色，而无需拔出和交换电缆连接。为了使 HNP 无缝工作，隔离式 USB 中继器应该能够动态地将任何一侧切换为上行侧或下行侧。本文不讨论通过产生脉冲 VBUS 来启动 A 器件上的会话的会话请求协议。

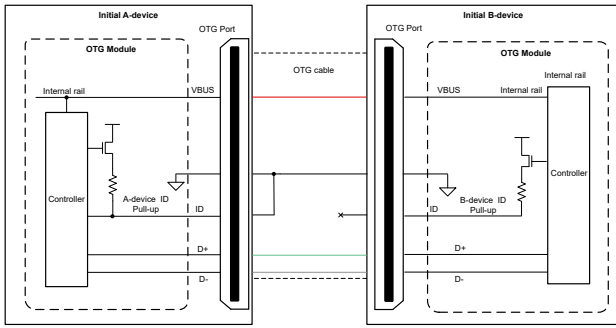


图 2. 由 ID 引脚确定的初始主机或外设角色。

隔离式 OTG 的实现

图 3 显示隔离式中继电器需要具有灵活性，以便任意一侧都能作为主机或外设运行。在运行期间，隔离式中继电器在上电时引入了一个 15kΩ 下拉电阻器。提供外部 1.5kΩ 上拉电阻器的一侧将建立连接。另一侧承担主机角色，在中继电器中引入内部 1.5kΩ 上拉电阻器以镜像下行连接。使用 Micro-A 插头插入的一端承担初始 A 器件角色，使用 Micro-B 插头插入的一端承担初始 B 器件角色。在进行初始角色分配之后，HNP 在器件希望交换角色的场景中有一组定义的转换：初始 A 器件挂起总线，初始 B 器件通过断开 1.5kΩ 上拉电阻器并启用 15kΩ 下拉电阻器来转换至等待连接状态。由于线路现在处于 SE0 状态，因此 A 器件承担外设角色并通过启用其内部 1.5kΩ 上拉电阻器来建立连接。总线现在反映了 J 状态，初始 B 器件（现在处于主机状态）将其检测为外设连接。无论 HNP 确定的角色如何，5V VBUS 都由 A 器件提供。

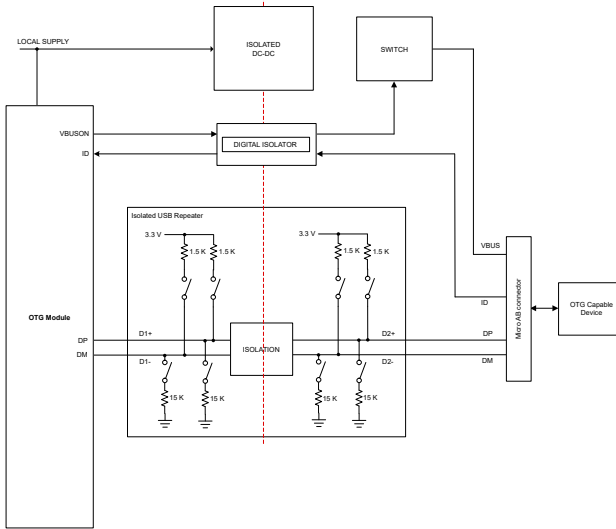


图 3. 自供电隔离式 On-The-Go 模块的方框图。

采用 ISOUSB211 EVM 的 OTG 演示

图 4 演示了使用板载元件的隔离式 USB-OTG 实现。该电路包含 ISOUSB211 隔离式高速 USB 中继器、SN6505 5W 推挽变压器驱动器和 ISO6721 双通道数字隔离器，用于实现隔离式 USB-OTG 操作。正如上一节中强调的那样，对于 USB-OTG 应用，隔离式 USB 解决方案必须允许任一侧作为上行侧或下行侧。这种灵活性由 ISOUSB211 来实现，该器件具有自动角色检测功能，使任何一侧都可以轻松地根据哪一侧首先检测到 1.5kΩ 上拉电阻器来承担上行或下行角色。ISO6721 通过隔离栅将 ID 信息从连接器传输到 OTG 模块。来自 ISOUSB211 的 V2OK 信号（指示 VBUS2 是否可用）被馈送到 OTG 模块的 USB_DET 引脚。USB 2.0 标准规定，除非存在 VBUS，否则器件不应在 DP/DM 线路上引入上拉电阻器。OTG 模块根据 USB_DET 状态控制内部上拉电阻器。次级侧低压降稳压器 (LDO) 输出与连接器的 VBUS 之间的电源路径中用于控制电力输送的开关取决于连接到模块的器件类型。OTG 模块驱动 VBUSON 信号，以防片外电源需要为连接的器件供电。这将控制次级侧 LDO 输出与连接器的 VBUS 之间的开关。

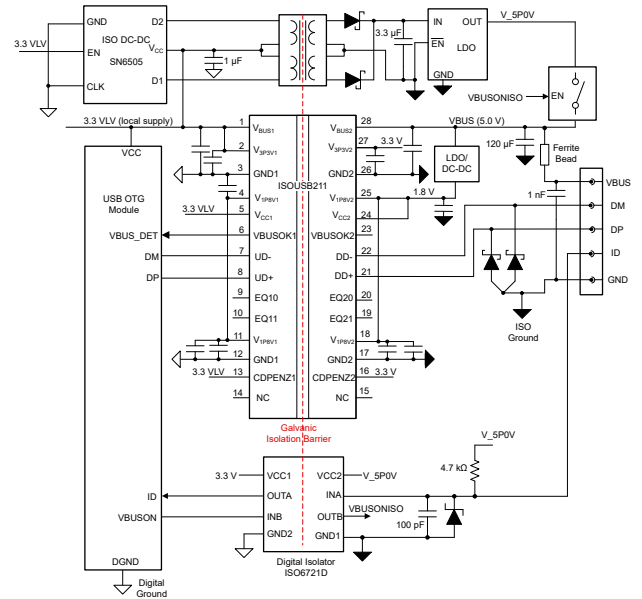


图 4. 使用 ISOUSB211 和 ISO6721D 的隔离式 USB OTG 端口实现。

场景 A: 隔离式 OTG 模块连接到 USB 驱动器 (总线供电)

连接到隔离式 OTG 模块 (A 器件) 的 ID 引脚接地短路。该信息通过 ISO6721 的反向通道发送, 穿过隔离栅。然后 OTG 模块向 VBUSON 发出信号, 使其变为高电平, 进而使开关闭合, 从而为闪存驱动器 (B 器件) 供电。直到该阶段, V2OK 保持低电平, OTG 模块不启动 D+/D- 上拉控制。器件侧上电后, V2OK 变为高电平, 从而使 OTG 模块能够按照 USB 2.0 标准控制上拉电阻器。

场景 B: 隔离式 OTG 模块连接到笔记本电脑 (主机)

连接到隔离式 OTG 模块 (B 器件) 的 ID 引脚悬空, 通过 ISO6721 的反向通道以高电平进行传输。OTG 模块使 VBUSON 的状态保持为低电平, 这会在连接的主机自供电时使开关保持断开状态。假设主机是自供电的, 并且根据 USB 2.0 标准启动了上拉, V2OK 会在连接建立后立即变为高电平。

演示

以下部分演示了使用 ISOUSB211EVM 评估模块的 OTG 实现。

为了演示从 A 型器件到 B 型器件在任一方向的电力输送, 引入了一个额外的 SN6505EVM。

将手机连接到笔记本电脑

在图 5 中, 支持 OTG 功能的手机 (带有母头 Micro-B 连接器, 双角色端口) 借助 Type-A 公头转 Micro-B 公头连接器通过 ISOUSB211EVM 连接到笔记本电脑 (带有 Type-A 母头端口)。该实验的目标是将文件从手机复制到笔记本电脑中。

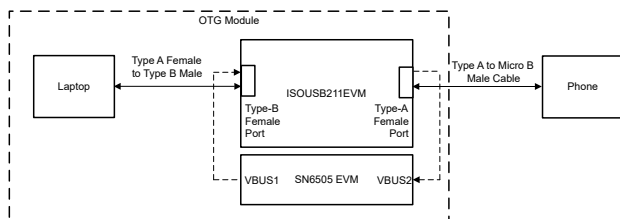


图 5. 连接到主机的 ISOUSB211 + U 盘 (OTG 模块)。

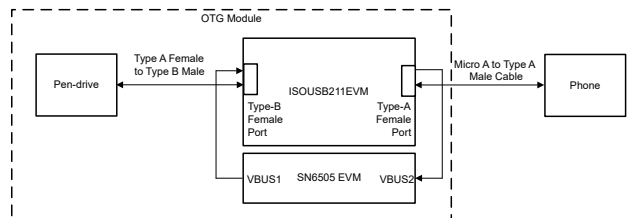
在首次连接期间, 连接到手机的电缆端将连接的 ID 设置为高阻态 (B 型器件)。一旦手机识别到 ID 引脚被设置为高阻态, 它就会承担 B 型角色。电力通过 ISOUSB211EVM 上的 SN6505 路径从笔记本电脑传输到手机。手机使 DP 线路上的上拉电阻器生效 (指示 B 型角色), ISOUSB211 在 1 侧引入其内部 1.5kΩ 上拉电阻器。此后, 会按照 USB 2.0 标准在 A 型器件和 B 型器件之间进行通信。

外设能够进行通信, 数据传输成功完成。

将手机连接到 USB 驱动器

在图 6 中, 支持 OTG 功能的手机 (带有母头 Micro-B 连接器, 双角色端口) 通过 Type-A 母头转 Micro-A 公头连接器连接至闪存驱动器 (使用 Type-A 端口) (使用 Type-A 母头转 Micro-A 公头连接器连接至 EVM)。该实验的目标是将文件从闪存驱动器复制到手机中。

图 6. 连接到主机的 ISOUSB211 + U 盘 (OTG 模块)。



在连接过程中, 连接到手机的电缆端的 ID 引脚接地短路 (A 型器件)。手机识别 ID 引脚设置为低电平, 从而承担 A 型角色。通过 SN6505 建立的反向电源路径处于工作状态, 为闪存驱动器上电。闪存驱动器使 DP 线路上的上拉电阻器生效 (指示 B 型角色), ISOUSB211 在 2 侧引入其内部 1.5kΩ 上拉电阻器。此后, 会按照 USB 2.0 标准在 A 型器件和 B 型器件之间进行通信。

外设能够进行通信, 数据传输成功完成。

总结

使用具有灵活的主机侧和外设侧的隔离器可以轻松建立隔离式 USB OTG 应用，其中在运行期间根据首先在 DP/DM 线路上从外部在哪一侧观察到 1.5k Ω 上拉电阻器来配置主机侧和外设侧。此类配置可确保实现更小的尺寸、更少的连接器以及完全可切换的角色，而无需更改硬件。

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。

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司