

数字隔离器提供易于使用的隔离式USB选项

作者: Eric Gaalaas, ADI公司

简介

通用串行总线(USB)是个人计算机(PC)通过电缆与外设实现通信的常用方法。某些应用中,需要隔离USB通信以满足安全要求,或中断接地环路。遗憾的是,隔离任务不易完成,因为USB电缆上有双向数据流。本文将讨论这个问题,并探讨实现易于使用的隔离式USB方案面临的其他挑战,最后对解决方案进行比较。一个理想的“透明”解决方案能将隔离对系统的影响降至最低,目前我们就可以提供这种解决方案。本文讨论的内容针对USB 2.0,支持三种数据速率:1.5 Mbps(低速)、12 Mbps(全速)和480 Mbps(高速)。为简便起见,将详细探讨12 Mbps的情况,但示例中的很多原理同样适用于其他速度。

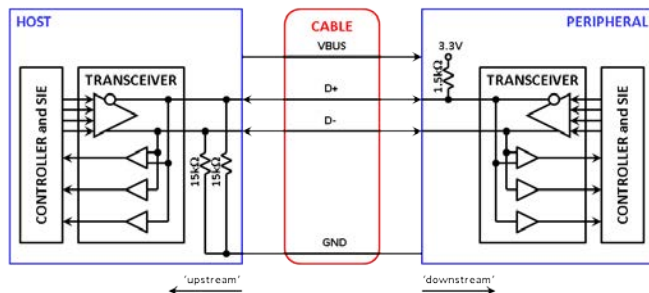


图1. 全速(12 Mbps) USB连接(非隔离式)

USB基础知识

USB广受欢迎的一个原因是它具有简单的4线式接口,能够为外设供电,并在外设与PC之间提供串行数据链路。图1显示标准的USB连接。VBUS和GND线提供5 V电源和接地,而D+和D-则承载数据。信号发送方式为双向半双工,表示数据可在任一方向沿电缆传输,但任意特定时刻最多只有一个发送器主动驱动电缆。通信期间,USB发送器驱动差分或单端状态至D+和D-。数据以分组的形式进行组织,并采用特殊信号序列表示分组开始和分组结束。有时总线处于空闲状态,也就是说没有激活任何发送器,此时连接电缆D+和D-端点的电阻将建立“空闲”总线状态。空闲状态协助对分组之间的总线进行初始化。它们还用来向

主机指示外设的连接与断开状态,以及外设所需要的通信速度(1.5 Mbps、12 Mbps或480 Mbps)。

隔离总线主机和外设的方法

现在,请想象一下主机和外设的电气隔离。如[1]所述,隔离栅的位置可以有数个选项。无论哪种情况,都应隔离多个信号,并且信号的运行速度可能较快,或者信号可能是双向的。这取决于在何处进行隔离。这使得基于分立器件构建的解决方案变得更为复杂。完整的物料清单可能更长,并且有可能很难找到完全满足信号传送要求的分立器件。

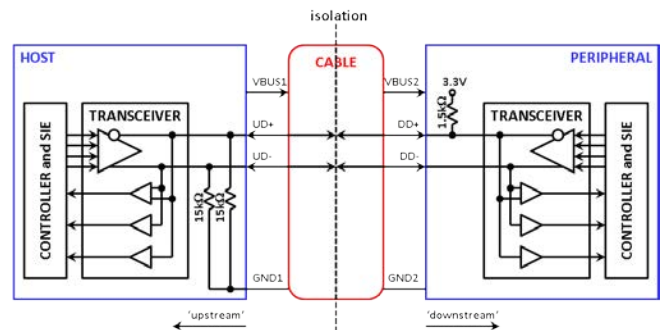


图2a. 隔离分割了电缆(概念)

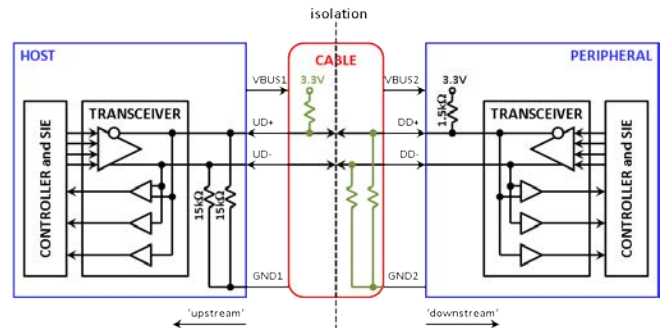


图2b. 隔离分割了电缆(显示额外电阻)

一种可能的隔离方法如图2a所示。图中,虚线表示隔离在理论上将USB电缆分割。D+和D-的状态信息可以跨越隔离栅,但电流不能。GND1节点(上游的接地基准)现在与GND2节点(下游的接地基准)相互分离。不幸的是,隔离使主机无法“看到”下游的上拉电阻,而外设无法“看到”上游的下拉电阻。因此,需要使用一些额外的电阻,如图2b所示,以便跨越隔离模仿相应连接。在这个“透明”概念中,主机与外设之间的通信方式和图1中的非隔离式连接

十分类似。透明的USB隔离器元件可方便地插入收发器和USB电缆之间，并使用隔离电源。原本设计用于非隔离式应用的主机和外设可方便地连接USB隔离器并交换标准USB信号，无需大幅改动设计。

这种方法非常有吸引力，只要此概念可以真正实现，但需克服一些挑战。例如，独立的光电耦合器或数字隔离器通常不提供兼容USB的驱动特性，也不支持双向半双工通信方式。很多光电耦合器无法在12 Mbps或更高速率工作，并且具有较高的传播延迟和时序误差，不符合USB 2.0时序要求。后面还将提到其他问题。

目前，我们先讨论不透明的替代方案，如[1]中所述的方案。这些解决方案将隔离放在主机或外设的硬件内部，而不是通过隔离平分USB电缆。这样可以放在USB收发器和串行接口引擎(SIE)之间，或者SIE和USB控制器之间。如此，便可以采用独立的通用隔离器来隔离单向数字逻辑信号。然而，这样做有几个缺点。首先，必须定制USB收发器或控制器硬件，才能插入隔离元件。可能还需要额外的微控制器代码或修改USB驱动器软件。这将会为系统设计人员带来额外的工作量，并显著增加所需的电路板空间，因为这些解决方案非常复杂，要用到多个器件。另一个不足之处是，这样可能会导致总数据吞吐速率的下降，因为数据现在通过USB收发器和单独隔离的串联组合方案发送。隔离方案可能增加与编码和解码为另一种串行格式(如SPI)有关的延迟，或者增加与低速或隔离元件的非精确时序有关的延迟。

虽然存在这些缺点，但这类解决方案是在无法解决透明USB隔离器部署难题时的唯一可行方案。现在可以采用透明解决方案了。本文的余下篇幅将描述一个完全符合要求的示例。

透明USB隔离器要求

一个USB隔离器系统必须满足一些要求，以实现完全的“透明”工作：

1. 它必须驱动UD+、UD-、DD+和DD-，驱动方式与标准USB收发器相同，并实际包含两个USB兼容收发器，分布在隔离栅两侧(图3)。

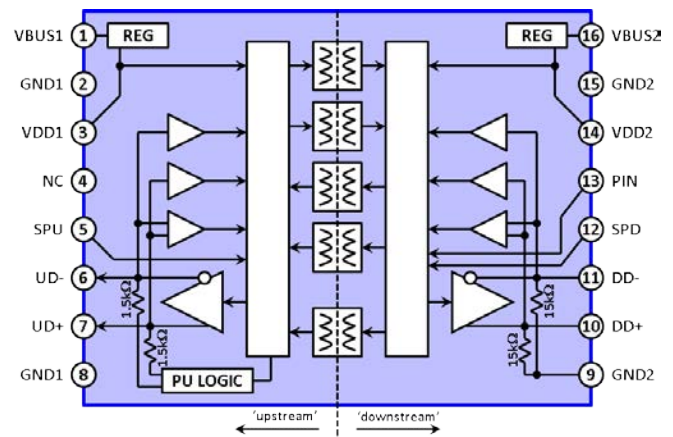


图3. ADuM4160功能框图

2. 它必须管理USB电缆上的双向通信，确保其收发器在适当的时候进行发送和接收，并精确重现所有驱动和空闲状态。若要精确重现空闲状态，它必须在其上游侧配置上拉电阻，以模拟连接下游外设的上拉电阻状态。它在下游侧也需配置下拉电阻。必须监控总线上表示总线空闲、分组开始和分组结束的信号，以便正确响应这些状况。
3. USB隔离器内部的信号隔离器元件必须跨越隔离栅正向和反向传输D+和D-数据。如果信号隔离器是单向的(通常如此)，则USB隔离器系统需要多个隔离通道，其中某些通道沿下游方向传输，另一些通道则相反，沿上游方向传输。
4. 信号隔离器必须以精确时序快速运行，以便支持所需的USB信号速度，并满足USB传播延迟和时序误差要求。
5. USB隔离器的每一侧都应支持5 V或3.3 V电源提供的功率。如果提供5 V电源，那么隔离器应当获得适合为该侧USB收发器供电的3.3 V调节电源。如果电源为3.3 V，那么隔离器可利用它来直接为USB收发器供电，并旁路其调节器。

透明USB隔离器的实现

ADI的ADuM4160 USB数字隔离器²满足全部要求，采用16引脚SOIC封装。原理框图如图3所示。它包含一对USB收发器、5个基于iCoupler®的数字隔离通道、控制逻辑以及2个“智能调节器”。它还集成1.5 kΩ上游上拉电阻，以及15 kΩ下游下拉电阻。

其USB收发器由简化控制器控制，后者无需完全解码并分析数据分组即可支持隔离功能。它能监控UD+、UD-、DD+和DD-，使信号指示总线空闲、分组启动和分组结束，并利用它们正确使能或禁用USB发送器，并忽略分组数据内容。若将下游分组数据从主机传输至外设，则会激活图3中的两个高位隔离通道，这与上游USB接收器和下游USB发送器相同。数据从UD+/UD-复制到DD+/DD-。分组结束时，检测分组结束序列，禁用所有USB发送器，允许总线进入空闲状态。如果外设随后开始传输上游分组数据，则USB隔离器检测分组启动序列，使能第三和第四条隔离通道以及上游USB发送器，并将数据从DD+/DD-复制到UD+/UD-，直到分组结束。然后，总线再次返回空闲状态，所有发送器关断，等待新数据到达。

ADuM4160使用第五条隔离通道交流下游侧控制线路的状态3，该控制线路激活一个集成在上游侧的上拉电阻，使得下游端口能够控制上游端口何时连接USB总线。该引脚可以连接到外设上拉电阻、一条控制线路或VDD2引脚，具体取决于何时执行初始总线连接。将引脚与外设的上拉电阻相连可让上游上拉电阻模拟其状态，同时让ADuM4160的下拉电阻模拟所连接主机的状态。所有活动与空闲状态均从隔离的一侧复制到另一侧。

隔离通道是采用芯片级变压器的数字隔离器，可实现隔离通信。所有通道均可在100 Mbps以上工作，轻松支持12 Mbps USB“全速”数据。单芯片内集成所有通道可使能针对时序的严格控制，实现满足USB时序要求的低时序误差。ADuM4160产生的总传播延迟等于标准USB集线器产生的延迟。空闲总线的静态功耗低于USB限值。

智能调节器支持上文第5条要求中的电源选项，无需用户特别控制⁴。若要采用5 V为USB隔离器的一侧上电(如上游侧)，则应将5 V电源连接适当的VBUS引脚(如VBUS1)，而VDD1不连接。当传感器检测到电压施加于VBUS1而非VDD1时，将激活3.3 V调节器，为VDD1上电。

若要转而采用3.3 V上电USB隔离器的一侧(如下游侧)，则3.3 V电源应同时连接VBUS2和VDD2。当传感器检测到电压同时施加在两个引脚上时，将禁用片内调节器，以便直接使用外部3.3 V电源。

结论

“透明”USB隔离器理论上可隔离平分USB电缆，现可轻松用于原本针对非隔离式应用设计的USB硬件。与此相反，在主机或外设硬件内实现隔离则要求对硬件进行较大的更改，有时甚至可能降低USB性能。使用分立器件(比如现成的通用隔离器)完成透明方案难度很大。然而，最新的集成式解决方案(如ADuM4160)通过便利的单一封装解决了这些难题，极大地简化了USB应用中实现隔离的过程。

参考文献

- [1] Hauck, Lane. “Isolating USB.” *EDN Magazine*, July 2006.
- [2] Information on ADuM4160, iCoupler digital isolators, and other Analog Devices products can be found at www.analog.com/iCoupler.
- [3] U.S. Patent #8432182.
- [4] U.S. Patent #8564327.

作者简介

Eric Gaalaas [eric.gaalaas@analog.com]是一位混合信号集成电路设计工程师，任职于ADI公司的iCoupler数字隔离器部门。他拥有美国康奈尔大学电气工程学士学位和工程硕士学位。Eric发表了很多相关文章，并拥有九项专利。

参考文献

分享本文

[facebook](#)
[twitter](#)

注释