

Application Note

根据带宽选择无源多路复用器



摘要

如今，模拟多路复用器广泛用于各种应用。从音频到高速接口和视频系统，所有这些不同的应用对多路复用器的性能参数都有不同的要求。本应用手册介绍了哪些参数最为重要以及原因。介绍的应用特定多路复用器包括：

- 视频
- 高速 USB 接口
- HDMI
- PCIe
- DisplayPort™

内容

1 引言.....2

2 关键性能参数.....2

 2.1 导通电阻 (RON) 和 RON 平坦度.....2

 2.2 带宽 (BW).....2

 2.3 信号谐波与失真.....3

3 在高速接口和视频系统中，什么因素更为关键？.....5

 3.1 用于 USB 系统的多路复用器.....5

 3.2 用于高速视频系统 (HDMI、DisplayPort) 的多路复用器.....6

 3.3 用于 PCIe 系统的多路复用器.....6

4 总结.....6

5 参考资料.....7

6 修订历史记录.....8

插图清单

图 2-1. 低通滤波器的带宽.....3

图 2-2. 由不同谐波构成的方波.....4

表格清单

表 3-1. TI 用于 USB 系统的多路复用器.....5

表 3-2. TI 用于视频系统的多路复用器.....6

表 3-3. TI 用于 PCIe 系统的多路复用器.....6

商标

DisplayPort™ is a trademark of VESA.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

模拟多路复用器在电子系统中用于控制模拟信号的特定传输路径。这些器件广泛用于各种应用，包括音频和高速接口以及视频系统。但是，每种特定应用都需要对多路复用器的不同参数进行优化。本应用手册介绍了一些重要的模拟多路复用器参数，例如导通电阻 (RON)、RON 平坦度和带宽。另外还介绍了适用于以下应用的应用特定多路复用器：

- 视频
- 高速 USB 接口
- HDMI
- DisplayPort

2 关键性能参数

不同的应用对模拟多路复用器有不同的性能参数要求。以下是一些重要的模拟多路复用器参数。

2.1 导通电阻 (RON) 和 RON 平坦度

导通电阻 (RON) 是多路复用器在漏极和源极端子之间的路径电阻，即多路复用器在闭合状态时引入电路的电阻。影响 RON 的因素有很多，例如：

- 温度
- 输入电压
- 电源电压
- 栅极长度 “W”

与 RON 相关的另一个重要规格是 RON 平坦度。RON 平坦度衡量的是 RON 在多路复用器工作电压范围内的变化情况。RON 平坦度会因多路复用器的类型和设计特性而有显著差异。特别是音频应用需要低平坦度值，因为平坦度导致的谐波失真应尽可能低。

理想情况下，RON 应尽可能低，以保持较小的信号损失和传播延迟。为了让模拟多路复用器实现非常低的电阻和平坦度，有两个参数至关重要。对于 PMOS 和 NMOS 来说，尺寸必须尽可能大，而电压阈值必须尽可能低。增加 MOSFET 器件的宽长比 (W/L) 不仅会提高多路复用器的成本，还会导致更高的寄生电容和更大的器件面积。这种更大的寄生电容会降低模拟多路复用器能够无失真传输信号的带宽。

2.2 带宽 (BW)

带宽是表征许多电气系统性能的重要参数。多路复用器的带宽表示可通过多路复用器以极其小衰减传输的信号频率上限。该推导基于低通滤波器电路，该电路用作展示低通滤波器行为的通用系统模型。

滤波器不会导致显著衰减的频率范围称为通带，而滤波器会导致显著衰减的频率范围称为阻带。RC 低通滤波器始终从通带逐渐过渡到阻带。这意味着无法识别滤波器停止传递信号并开始阻断信号的具体频率。工程师需要一种简便的方法来总结滤波器的频率响应，而这就是截止频率概念的用途所在。

RC 低通滤波器的截止频率是输入信号振幅减小 3dB (振幅减小 3dB 相当于信号幅度降低 50%) 时的频率。因此，截止频率也称为 -3dB 频率。“带宽”一词是指滤波器的通带宽度，对于低通滤波器，带宽等于 -3dB 频率 (如图 2-1 所示)。

了解信号多路复用器的带宽能力有助于确定多路复用器是否满足目标应用的性能要求。

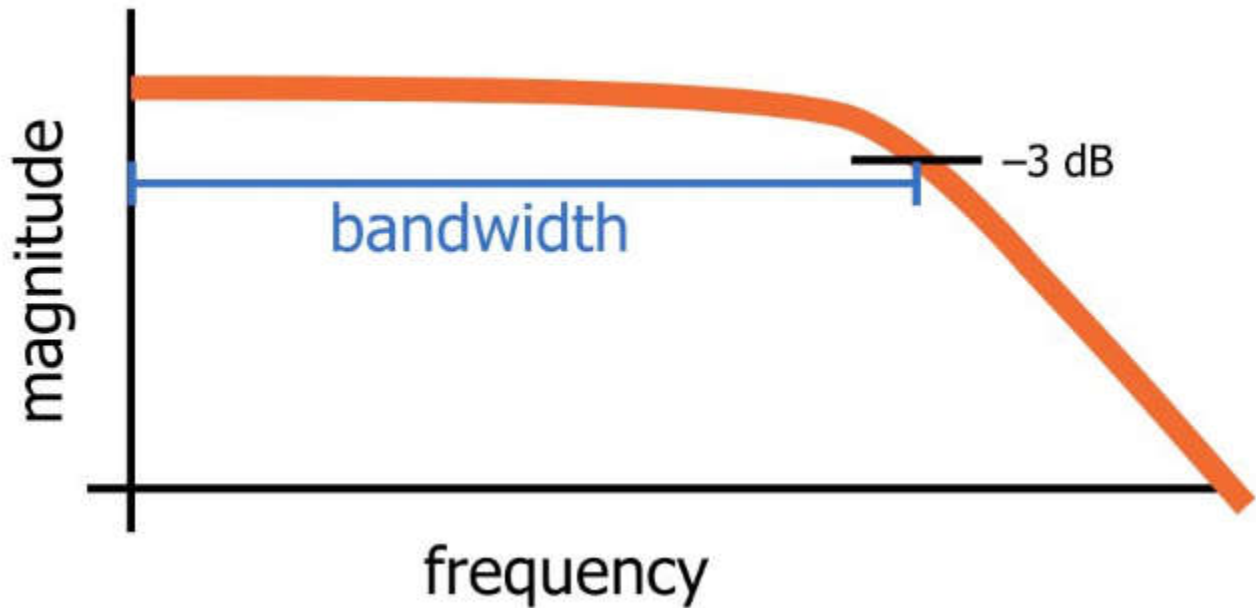


图 2-1. 低通滤波器的带宽

2.3 信号谐波与失真

系统设计人员希望使用多路复用器来实现简单的信号路由，并且希望物理多路复用器对信号本身的影响尽可能小。输入信号与输出信号形状之间与时间相关的差异通常称为失真。如果输入信号的部分频率分量超过系统带宽，系统对这部分信号的响应会滞后。因此，输出信号无法准确再现输入信号中最快的变化。这导致输出信号的幅度可能降低，边沿比输入信号中的相应特征更宽、更圆。

本节将研究方波，以了解方形波的形成原因。复杂的波形可以由不同振幅和相位关系的正弦波（以及余弦波）组合而成。这就是傅里叶分析的基础。

例如，方波可以由多个不同频率的正弦波组合而成。除了基频外，这些添加的正弦波称为谐波；方波的谐波是基频的奇数倍。随着更多高次谐波的加入，波形会越来越接近理想的方波。

谐波的振幅等于 $1/N$ ，其中 N 为谐波的级数（1、3、5、7...）。每个谐波与基波具有相同的相位关系。如果只使用前两个谐波来构造方波，则可以初步看到方波的形成过程（图 2-2 中的波形 B）。在图 2-2 中，红色轨迹表示理想的方波波形，绿色轨迹表示包含正确振幅的 N 次谐波的波形。干扰频率必须远高于基频。如果系统需要通过第三、第五甚至更高次的谐波，3dB 截止频率必须高于这些谐波，即基频的三倍、五倍或七倍以上。如果使用第五次谐波（零、三和五）来构造方波，方波开始逐渐成型（图 2-2 中的波形 C）。如果使用超过第十次谐波来构造方波，波形将非常接近理想的方波（图 2-2 中的波形 D）。

从这些图中可以很容易看出，方波的形状是由高频谐波成分而不是直流分量决定的。

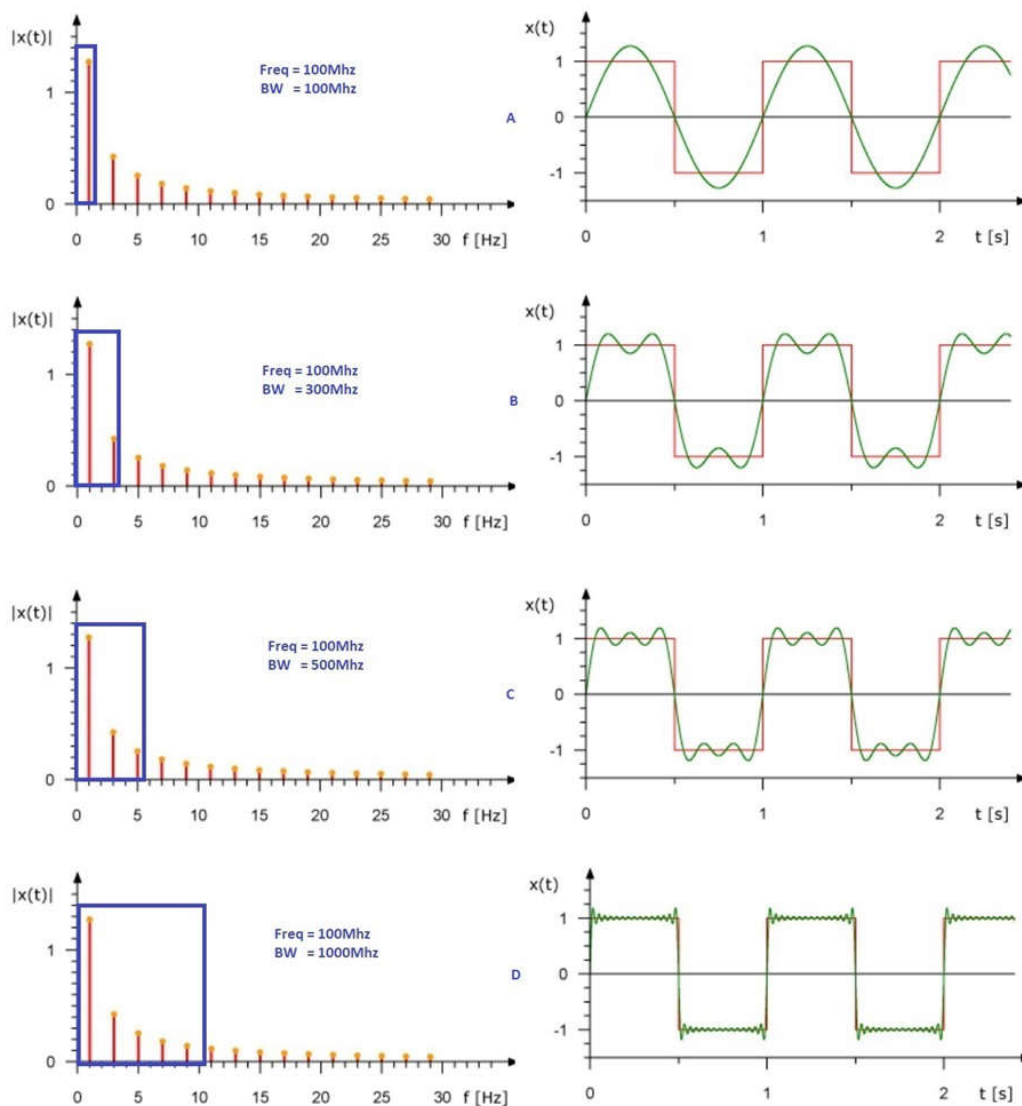


图 2-2. 由不同谐波构成的方波

3 在高速接口和视频系统中，什么因素更为关键？

系统设计人员通常需要在不同规格之间进行权衡，以实现目标应用的最佳性能。在高速接口和视频信号中，RON 和 BW 之间的权衡非常重要。无论在芯片制造过程中可以保持多低的 RON，都会形成一个不需要的低通滤波器，导致多路复用器输出信号衰减。同时，低 RON 多路复用器具有更大的寄生电容，这会降低带宽并导致信号失真。此外，低 RON 多路复用器需要较大的芯片尺寸，这会增加多路复用器成本。

在为特定应用选择多路复用器时，需要考虑几个关键特性。高速应用有其独特的要求，特别是 3dB 的最低可接受带宽。了解信号多路复用器的带宽能力对于高速接口和视频系统至关重要。

那么，对于给定的数据速率，最小 BW 应该是多少？理想情况下，BW 应大于或等于奈奎斯特频率的 1.5 或 2 倍。例如，对于 USB2 (240MHz)，乘以 1.5 即表示带宽应在 360MHz 至 480MHz 之间。显然，高带宽可以提供更清晰的信号边缘，但带宽也不宜过高。过高的带宽可能会传输不必要的信号（噪声）而产生不良影响。

3.1 用于 USB 系统的多路复用器

USB 是一种高速接口，使设备能够通过标准接口进行通信。多个 USB 设备可以连接到一台计算机，而模拟多路复用器则用于将 USB 信号路由到不同的设备或端口。最新的 USB 应用大多数还需要通过 USB 接口为便携式设备充电。USB 2.0 和 USB3.1 规范适用于需要高带宽和低电容模拟多路复用器的高速信号。

USB2 HS 的奈奎斯特频率为 240MHz，USB3 SS Gen1 为 2.5GHz，USB3 Gen2 则为 5GHz。选择合适的多路复用器对通过 USB 合规性测试非常重要。有关 TI 为 USB 应用提供的一些模拟多路复用器，请参阅表 3-1。

表 3-1. TI 用于 USB 系统的多路复用器

器件	功能	Ron (Ω)	BW (Mhz)	(V)	OVP (V)	ESD	系统
TS3USB31E	SPST	6.5	1100	2.25-4.3	x	HBM 8kV	USB2 HS
TS3USB30E	SPDT	6	900	3-4.3	x	HBM 8kV	USB2 HS
TS3USB221	SPDT	3	1100	2.6-3.6	x	HBM 2kV	USB2 HS
TS3USB221A	SPDT	3	900	2.6-3.6	x	HBM 7kV	USB2 HS
TMUXHS221	SPDT	3	3300	3-3.6	x	HBM 5 kv	USB2 HS
TMUXHS221F	SPDT	5.6	1500	1.62-5.5	30	HBM 2kV	USB2 HS
TS5USBC41	SPDT	5.6	1200	2.3-5.5	20/24	HBM 2kV	USB2 HS
TS3USB3000	SPDT	5.7	6100	2.3-4.8	9	HBM 3.5kV	USB2 HS
TS3USB3031	SP3T	4.5	6500	2.5-4.3	x	HBM 2kV	USB2 HS
HD3SS3212	SPDT	5	8000	3-3.6	x	HBM 2kV	USB3.1 SS Gen1/2
TMUXHS4212	SPDT	5	13000	3-3.6	x	HBM 2kV	USB3.1 SS Gen2/3
HD3SS3411	SPDT	5	7500	3-3.6	x	HBM 2kV	USB3.1 SS Gen1/2
TMUXHS4446	SPDT/交叉点	5	9500	3-3.6	x	HBM 2kv	USB3.1 SS Gen1/2, USBC DP 交替模式

3.2 用于高速视频系统 (HDMI、DisplayPort) 的多路复用器

HDMI 和 DisplayPort 是高速视频接口，用于将未压缩的视频数据从 HDMI 或 DisplayPort 源设备传输到兼容的计算机显示器、视频游戏机或 HDTV。HDMI 和 DisplayPort 信号由四个低压差分信号 (LVDS) 对组成，用于传输红色、绿色、蓝色 (RGB) 视频。理想的 HDMI 和 DisplayPort 多路复用器包含四个具有高带宽的 1:2 或 2:1 多路复用器差分对，以避免视频质量降低。

HDMI 2.0 的奈奎斯特频率为 3GHz，而对于 DP1.4 则为 4GHz。有关 TI 为 HDMI 和 DisplayPort 视频应用提供的一些模拟多路复用器，请参阅表 3-2。

表 3-2. TI 用于视频系统的多路复用器

器件	功能	Ron (Ω)	BW (Mhz)	(V)	OVP (V)	ESD	系统
HD3SS215	SPDT	8	7000	3-3.6	x	HBM 1.5kV	HDMI2.0/DP1.2
HD3SS214	SPDT	8	8000	3-3.6	x	HBM 2kV	DP1.4
TS3DV642	SPDT	8.2	6900	2.6-4.5	x	HBM 2kV	HDMI2.0/DVI
TMUXHS4512	SPDT	8.8	13000	1.62-1.98	x	HBM 1.5kV	HDMI2.1/DP2.1
TMUXHS4612	SPDT	8	10000	3 - 3.6	x	HBM 2kV	HDMI2.1/DP2.1

3.3 用于 PCIe 系统的多路复用器

PCIe (外围组件快速互连) 是一种高速通信协议，用于连接系统处理器与其他元件 (例如 GPU、SSD 和 SmartNIC)。PCIe 协议将其信号通道划分为差分对，用于发送和接收数据。单个 PCIe 通道由四根导线组成，分为两对：±TX (发送对) 和 ±RX (接收对)。对于 PCIe 信令，理想的多路复用器采用 1:2 或 2:1 配置，具有高额定带宽以获得更好的信号性能。

该多路复用器产品系列包含最高支持 PCIe 第 5 代的器件，最新开发的是 TMUXHS5212。

表 3-3. TI 用于 PCIe 系统的多路复用器

器件	功能	Ron (Ω)	BW (Mhz)	(V)	OVP (V)	ESD	系统
HD3SS3212	SPDT	5	8000	2.7-3.6	x	HBM 2kV	PCIe Gen 2/3
HD3SS3412	SPDT	5	8000	3-3.6	x	HBM 4 kv	PCIe Gen 2/3
TMUXHS4212	SPDT	5	13000	1.71-3.6	x	HBM 2kV	PCIe Gen 4
TMUXHS4412	SPDT	5	13000	1.71-3.6	x	HBM 2kV	PCIe Gen 4
TMUXHS5212	SPDT	5	18000	1.65-1.95	x	HBM 1 kv	PCIe Gen 5

4 总结

模拟多路复用器通常会标明带宽规格。这意味着多路复用器不会通过时变信号中的所有频率。通过该系统的模拟信号会有所衰减。系统设计人员需要在不同规格之间进行权衡，以实现目标应用的最佳性能。本应用手册就 RON 和带宽在高速接口和视频系统中的重要性提供了相关指南。

5 参考资料

6 修订历史记录

Changes from Revision A (July 2024) to Revision B (August 2026)	Page
• 新增了 参考资料 部分	7

Changes from Revision * (September 2019) to Revision A (July 2024)	Page
• 更新了 节 3.1 。	5
• 更新了 节 3.2 。	6

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 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月