

# 利用适用于 10GbE 和其他 10Gbps 至 12.5Gbps 应用的以太网转接驱动器和重定时器来扩大覆盖范围



## 摘要

自 2002 年发布的 IEEE 802.3 标准和 2007 年发布的 IEEE802.3ap 以太网背板标准中引入 10GbE ( 10 千兆位以太网 ) 以来, 10GbE 已经发展成为各种工业应用中广泛采用的通用接口。随着数据速率的提高, 以太网转接驱动器和重定时器也变得越来越流行, 可提高高速信号完整性裕量并提升各种高速应用中的系统互操作性。TI 广泛的 10GbE 转接驱动器和重定时器产品系列跨越多通道配置, 适用于各种以太网应用的用例和要求。此外, 可以考虑将这些转接驱动器和重定时器用于其他常用的 10Gbps 至 12.5Gbps 协议。合理选择和利用简单易用且具有成本效益的转接驱动器和重定时器, 从而确保始终实现出色的高速连接。

## 内容

1 引言	3
2 利用信号调节实现高速完整性的优势	3
2.1 数据速率较高时的覆盖范围问题	3
2.2 信号调节作为经济实用的高速解决方案	4
3 转接驱动器和重定时器的功能和利弊权衡	5
3.1 转接驱动器和重定时器的主要优缺点	5
3.2 使用链路预算来确定选择转接驱动器还是重定时器	7
4 主要的 10GbE 及 40GbE 应用和标准	8
4.1 应用用例	8
4.2 IEEE802.3、OIF-CEI 和模块接口 10GbE 和 40GbE 标准	9
5 选择合适的以太网转接驱动器或以太网重定时器	10
5.1 双通道信号调节器件	11
5.2 四通道信号调节器件	11
5.3 8 通道和 16 通道信号调节器件	12
6 适用于信号调节器的相邻 10Gbps 至 12.5Gbps 接口	12
6.1 需要链路训练或突发数据支持的相邻协议	13
6.2 无需链路训练或突发数据支持的相邻协议	14
7 总结	14
8 修订历史记录	14

## 插图清单

图 2-1. 提高数据速率的主要信号完整性挑战	3
图 2-2. IL 随频率升高而增加, 而 PCB 距离保持不变	4
图 3-1. TI 10Gbps 至 12.5Gbps 转接驱动器和重定时器功能	5
图 3-2. 10GBASE-KR 和 40GBASE-KR4 的插入损耗限制 ( IEEE802.3 附件 69, 图 69B-5 )	7
图 3-3. 用于确定为 10GbE 背板应用选择转接驱动器还是重定时器的链路预算示例	7
图 4-1. 10GbE 或 40GbE 系统中信号调节的典型应用用例	8

## 表格清单

表 2-1. PCB 电介质材料在 5GHz 时的近似 IL 和近似成本因数 <sup>(1)</sup>	4
表 3-1. 转接驱动器和重定时器的系统优缺点	5
表 4-1. 10GbE 和 40GbE 应用的环境特性	8
表 4-2. 10GbE 和 40GbE 应用的主要注意事项	9
表 4-3. 适用于信号调节器的 10GbE 和 40GbE 标准	9
表 5-1. 确定合适信号调节器件的常见问题	10

表 5-2. 双通道以太网转接驱动器和以太网重定时器选型指南.....	11
表 5-3. 四通道以太网转接驱动器和以太网重定时器选型指南.....	11
表 5-4. 8 通道和 16 通道以太网转接驱动器和以太网重定时选型指南.....	12
表 6-1. 10GbE 与相邻数据速率标准.....	13
表 6-2. 支持需要链路训练的相邻协议的转接驱动器*.....	13
表 6-3. 支持无需链路训练的相邻协议的重定时器.....	14

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

自 2002 年发布的 IEEE 802.3 标准和 2007 年发布的 IEEE802.3ap 以太网背板标准中引入 10GbE (10 千兆位以太网) 以来, 10GbE 已经发展成为各种工业应用中广泛采用的通用接口。如今, 尽管支持 25GbE 和 50GbE 接口的需求不断增加, 但 10GbE (10.3125Gbps) 接口作为传输大带宽网络信息的默认接口仍然存在于电信、数据中心交换机、无线基站、服务器和存储网络中。10GbE 及类似数据速率接口也广泛应用于 IP 视频基础设施、医疗成像 (例如, CT 扫描、超声波扫描仪、医用内窥镜和摄像头), 以及工业通信交换机。

随着数据速率的提高, 以太网转接驱动器和重定时器也变得越来越流行。这些信号调节器件可提高信号完整性并实现可靠、无差错的高速链路连接。在当今高度集成的系统中, 很容易想象那些长而有损耗的 PCB 布线或无源电缆会导致链路问题的应用。此外, 有噪声的非理想 ASIC Tx 信号可能会导致前端口的眼罩合规性较差, 而高密度 PCB 区域中的干扰源串扰会降低远端 Rx 上无差错运行所需的 SNR (信噪比)。

本应用手册说明了信号调节的优势, 介绍了主要适用的 10GbE 和 40GbE 标准以及信号调节应用, 并提供了有关如何选择最合适转接驱动器或重定时器的指导。最后, 本文档概述了如何利用 10GbE 转接驱动器和重定时器来支持相邻的 10Gbps 至 12.5Gbps 协议。

## 2 利用信号调节实现高速完整性的优势

为满足日益互联的社会对带宽的需求, 数据速率不断提高, 信号完整性也不断面临挑战, 如图 2-1 中突出显示。

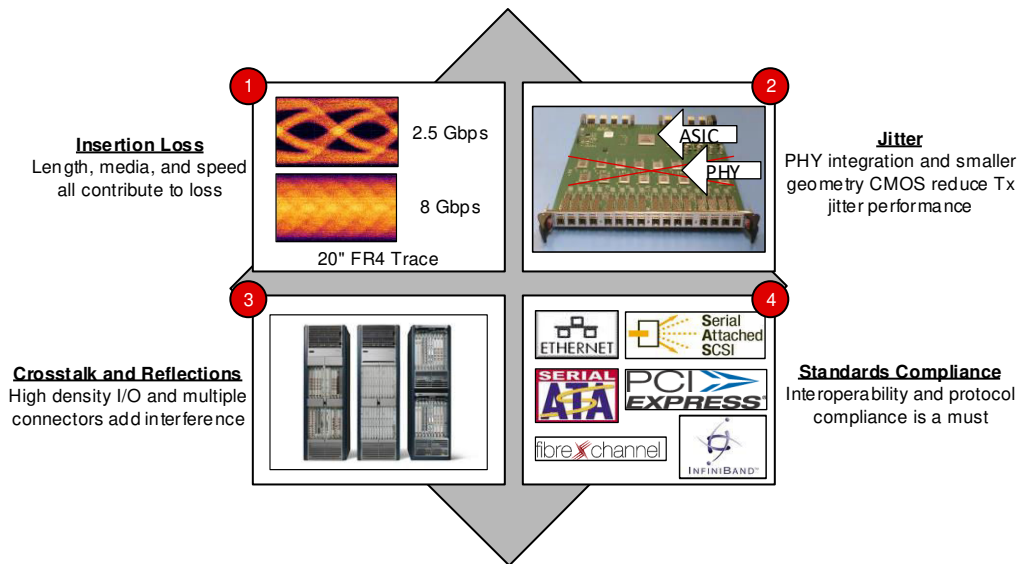


图 2-1. 提高数据速率的主要信号完整性挑战

这些挑战汇总如下：

1. **IL (插入损耗) 增加**：SNR 会随着数据速率的增加而降低。通常, 对于给定长度的 PCB 布线或电缆, IL 会随频率以对数方式增加。
2. **ASIC/FPGA 集成度更高**：更高的集成度和更小的工艺节点可提高给定 FPGA 或 ASIC 的功能和吞吐量, 同时减少外部 PHY 的数量。但是, 模拟性能通常进行折衷, 导致 FPGA 或 ASIC Tx 的高速抖动性能欠佳。
3. **电路板复杂性和信号密度增加**：在高密度 I/O 应用中, 始终存在一个挑战, 即抵消串扰和反射并同时避免密集分布的组件出现过热。
4. **标准互操作性的多样性**：需要具备设计专业知识, 才能在有限的时间内打造成功的产品。系统必须能够满足不断变化的行业标准和修订要求。

### 2.1 数据速率较高时的覆盖范围问题

在前面提到的带宽需求增加挑战中, 信号完整性的最常见问题可能是 IL 随着频率的升高而急剧增加。例如, 以位于服务器刀片上且必须连接到磁盘簇 (JBOD) 的 ASIC 典型用例来说, 如图 2-2 所示。

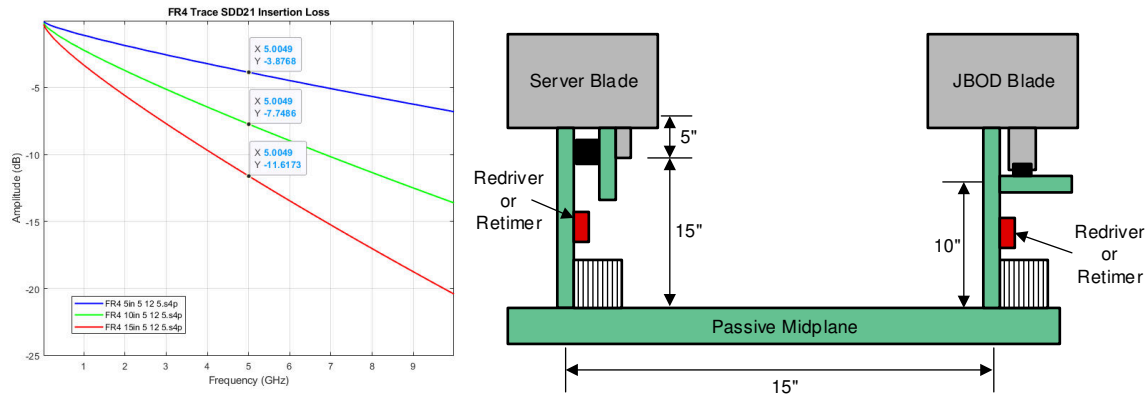


图 2-2. IL 随频率升高而增加，而 PCB 距离保持不变

将服务器刀片 ASIC 的用例转换为 JBOD ASIC 时，总距离约为  $5 + 15 + 15 + 10 = 45$  英寸。请注意，额外的连接器和电缆会进一步导致 IL、反射（回波损耗）和其他通道损失。在 625MHz（1GbE 奈奎斯特）条件下，45 英寸 FR4 的插入损耗总计小于 10dB。但是，在 5GHz（10GbE 奈奎斯特）条件下，相同 PCB 布线长度  $[(2 \times 11.62) + 7.75 + 3.88]$  的总损耗接近 35dB！

很明显，IL 给 ASIC 维持高速链路完整性要求带来了挑战。此外，随机抖动、串扰和反射等寄生效应在高速下对降低总体 SNR（信噪比）起着更大的作用。结合起来，这些信号损失会使系统不堪重负，从而导致系统不合规或系统性能不佳。

## 2.2 信号调节作为经济实用的高速解决方案

有多种方法可以解决高速扩展覆盖范围问题并减少 IL。

1. 缩短 ASIC 到 ASIC 的距离，从而减少总 IL。
2. 使用更高等级的低损耗 PCB 电介质来减小 dB/in，同时保持相同的 ASIC 到 ASIC 距离。
3. 在中间通道使用转接驱动器和重定时器信号调节器件，同时保持相同的 ASIC 到 ASIC 距离。

缩短 ASIC 到 ASIC 的距离（方案 1）通常是不可行的。各种架构因素决定了给定系统的最短高速布线长度或电缆距离。因此，硬件设计人员只能选择低损耗 PCB 材料（方案 2）或信号调节器件（方案 3）。

在使用低损耗 PCB 材料而不进行信号调节与使用标准 PCB 材料并进行信号调节之间存在一个基本的权衡。低损耗 PCB 材料可显著减小 dB/in，即减小一个通道的 IL，但它带来了显著的成本增加。表 2-1 举例说明了在 5GHz 奈奎斯特频率条件下对 10GbE 应用进行此权衡。

表 2-1. PCB 电介质材料在 5GHz 时的近似 IL 和近似成本因数<sup>(1)</sup>

材质	电路板损耗	Tan ( $\delta$ )	介电常数 ( $\epsilon_R$ )	IL (dB/in)	近似成本因数
标准典型 FR4	高损耗	0.02	4	0.91	1.0x
Isola 370HR		0.016	4.17	0.82	1.1x
Isola FR406		0.014	4.29	0.78	1.1x
Nelco 4000-6		0.012	4.12	0.73	1.2x
Isola FR408		0.011	3.7	0.69	1.2x
Getek	中等损耗	0.01	3.9	0.67	1.3x
Nelco 4000-13 EP		0.009	3.7	0.65	1.3x
Nelco 4000-13 EP SI		0.008	3.2	0.61	1.3x
Rogers 4350B	低损耗	0.0037	3.48	0.53	1.7x
Megtron 6		0.002	3.4	0.49	1.7x

(1) 用于估算 IL 的假设：

- 导体 = 铜微带
- 铜厚度 = 1.4mil (1oz)
- 电介质高度 = 5mil
- 布线宽度 = 5mil

对于小型原型和短期降低复杂性，使用低损耗材料可能是有利的。然而，使用低损耗材料增加的成本因数使得批量生产成为问题。PCB 制造成本过高会降低利润率，尤其是当这些材料仅用于处理总 PCB 面积的一个子部分时。最后，设计人员必须记住，使用高级 PCB 电介质只能解决 IL 问题。这些优质材料无法解决过多的随机抖动、串扰或反射。

与方案 1 (不可行) 和方案 2 (不具成本效益) 的缺点不同，信号调节器件 (方案 3) 为应对覆盖范围扩展挑战提供了经济高效的解决方案。转接驱动器和重定时器提供 CTLE (连续时间线性均衡器) 来解决 IL 过大问题。应用时，CTLE 提供反相 EQ 频率响应，用于消除通道的 IL 效应。转接驱动器可以与标准 PCB 材料一起应用于超出远端 Rx 均衡能力的布线子集。它们还可用于需要额外信号完整性裕量以确保合规性或无错误运行的系统。在通道损失更严重的情况下，可以使用具有 CDR (时钟和数据恢复) 的重定时器来重置抖动预算，同时 DFE (决策反馈均衡器) 等高级信号调节方案会消除串扰和反射的影响。重定时器还具有支持实时物理层诊断的优势，这在开发期间和现场安装后都很有用。

总而言之，转接驱动器和重定时器等信号调节器件是经济实惠且几乎多样化的解决方案，可同时实现链路扩展和强大产品性能这两个目标。

### 3 转接驱动器和重定时器的功能和利弊权衡

转接驱动器和重定时器旨在解决高速信号完整性问题。这些器件放置在源 Tx 和远端 Rx 之间的中间通道。优化后，这些器件通过均衡并输出经改进的再生信号来消除 PCB 布线或电缆上的损耗，从而确保充分地扩展覆盖范围和提高链路裕度。这些器件还支持灵活的通道设计，其中长度可能超过给定规格通常允许的最大 IL。

图 3-1 展示了 TI 10Gbps 至 12.5Gbps 信号调节产品系列中各种转接驱动器和重定时器选项的主要功能。

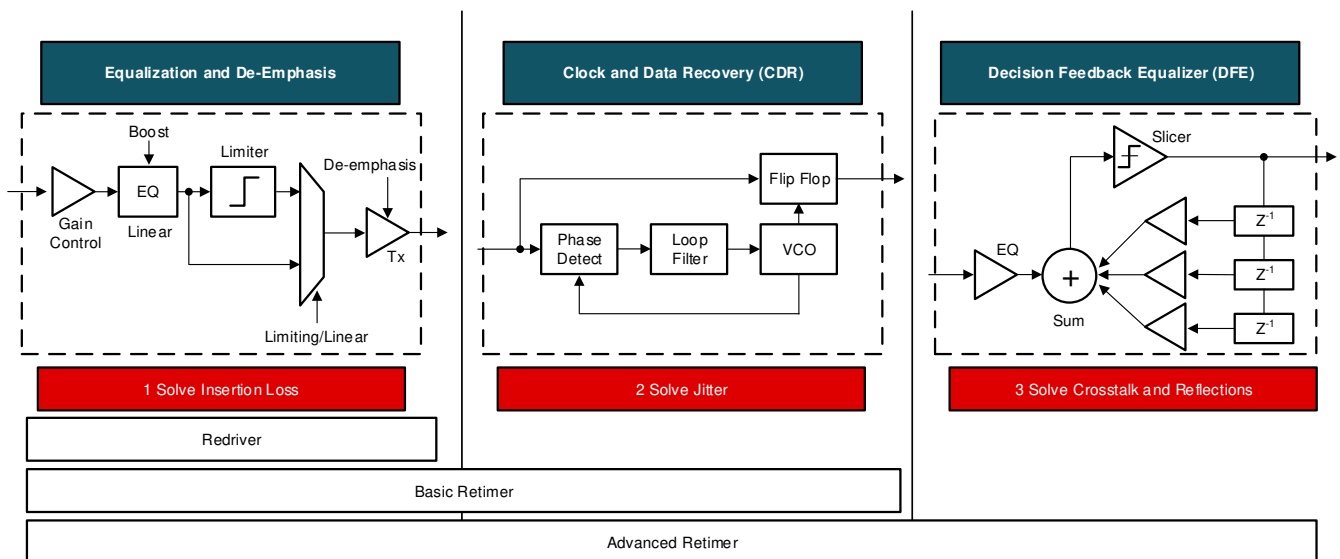


图 3-1. TI 10Gbps 至 12.5Gbps 转接驱动器和重定时器功能

#### 3.1 转接驱动器和重定时器的主要优缺点

表 3-1 重点介绍了决定在系统应用中使用转接驱动器还是重定时器时需要考虑的主要优缺点。这些陈述都基于 TI 的信号调节产品系列，但它们在很大程度上也适用于业界的转接驱动器和重定时器。

表 3-1. 转接驱动器和重定时器的系统优缺点

	优势	劣势
转接驱动器 (仅 CTLE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>极少或无需编程</li> <li>无最低运行数据速率</li> <li>超低延迟</li> <li>线性通道支持 LT (链路训练)</li> <li>与协议无关</li> <li>最便宜的方案</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>通常需要手动 CTLE 调优</li> <li>CTLE 仅补偿与通道 IL 相关的抖动</li> <li>无法补偿反射或串扰</li> </ul>

**表 3-1. 转接驱动器和重定时器的系统优缺点 (continued)**

	优势	劣势
基本重定时器 (CTLE + CDR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 自适应 CTLE</li> <li>• CDR 会重置抖动预算并消除过多的随机抖动</li> <li>• 由于在干净的内部时钟上重新生成信号，因此可实现比转接驱动器更长的总系统覆盖范围</li> <li>• 用于诊断目的的片上眼图张开度监视器 (EOM)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 可能需要进行一些编程</li> <li>• 运行数据速率取决于 VCO 锁定范围</li> <li>• CDR 和限幅驱动器无法用于 LT 支持</li> </ul>
高级重定时器 (CTLE + DFE + CDR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 与上面列出的基本重定时器优势相同</li> <li>• 用于补偿串扰和反射的自适应 DFE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 可能需要进行一些编程。运行数据速率取决于 VCO 锁定范围</li> <li>• CDR 和限幅驱动器无法用于 LT 支持</li> <li>• 最昂贵的方案</li> </ul>

### 3.2 使用链路预算来确定选择转接驱动器还是重定时器

除了表 3-1 中所述的转接驱动器和重定时器的固有系统优势外，还可以通过评估所连 ASIC 之间的端到端链路预算来确定选择转接驱动器还是重定时器。在高速系统中，ASIC Rx 通常具有给定规格所需的均衡功能。当 ASIC 之间的 PCB 或电缆长度接近并开始超过 ASIC Rx EQ 的限制时，转接驱动器是理想的选择。当 ASIC 之间的插入损耗大大超过了 ASIC 的 Rx EQ 功能，因此以重定时器作为中间通道器件是必不可少的选择，这样可使整个通道覆盖范围扩大一倍。

以下示例说明了一种根据典型 10GbE 或 40GbE 背板应用的预期 ASIC 到 ASIC 链路预算来判断选择转接驱动器还是重定时器的实用方法。根据 IEEE802.3 附件 69 中的安装衰减限值和 IL 公式，这里生成了图 3-2 中所示的 IL 曲线。

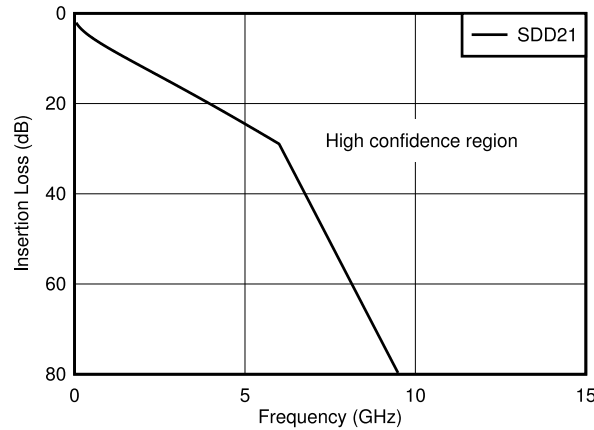


图 3-2. 10GBASE-KR 和 40GBASE-KR4 的插入损耗限制 ( IEEE802.3 附件 69 , 图 69B-5 )

5GHz 时的最大 IL 为 25.19dB。考虑到这一点，当总链路接近并超过最大 IL 限制 (25.19dB) 时，可以考虑进行信号调节，如图 3-3 所示。

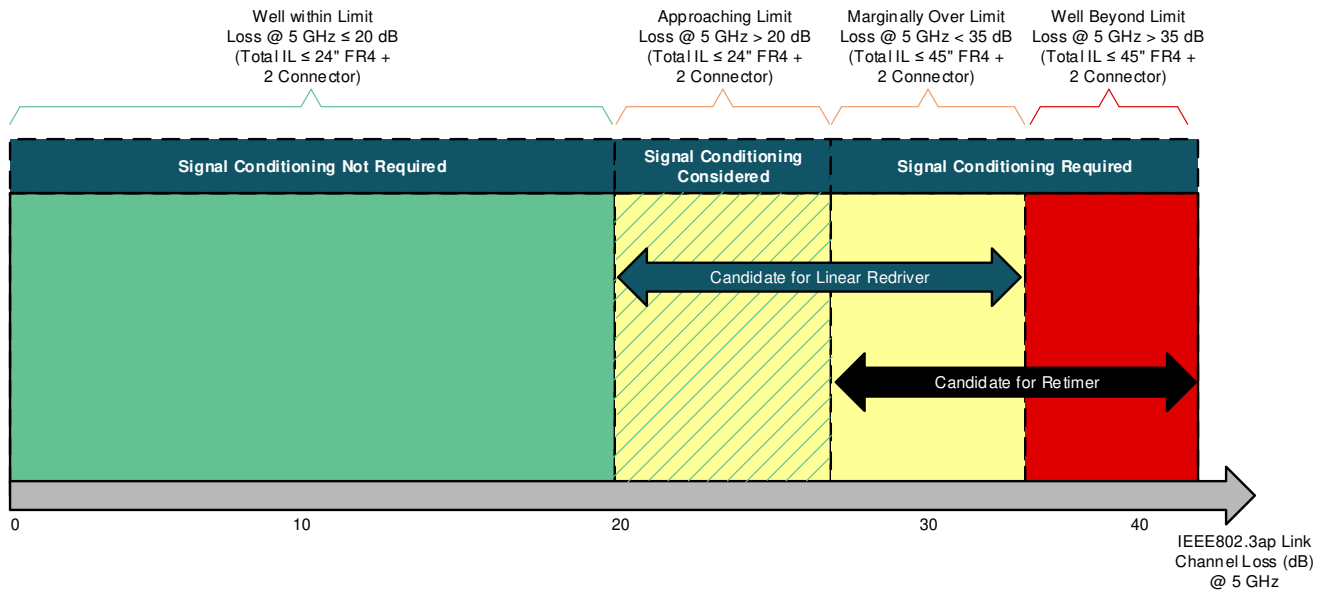


图 3-3. 用于确定为 10GbE 背板应用选择转接驱动器还是重定时器的链路预算示例

## 4 主要的 10GbE 及 40GbE 应用和标准

IEEE802.3 标准包含许多子部分，用于介绍每通道使用 10.3125Gbps NRZ 信号的应用。要确定相应的子部分，请务必注意应用用例（背板 PCB、光学或铜缆接口）、使用的通道数和聚合链路数据速率。最流行的 10GbE 聚合是 40GbE，它是通过组合 4 个 10GbE 通道构建而成的。40GbE 应用中适用相同的每通道 10GbE 电气接口要求。

### 备注

IEEE802.3 标准通过聚合 10 个 10GbE 通道来提供 100GbE 接口。不过，由于行业广泛采用 4 x 25GbE 通道，此接口尚未得到广泛使用。

### 4.1 应用用例

无论终端设备如何，大多数 10GbE 和 40GbE 应用用例都可以归类为背板或前端口应用。图 4-1 展示了为提高总体链路裕量和稳健性而在以太网背板或前端口应用中放置转接驱动器和重定时器的典型位置。

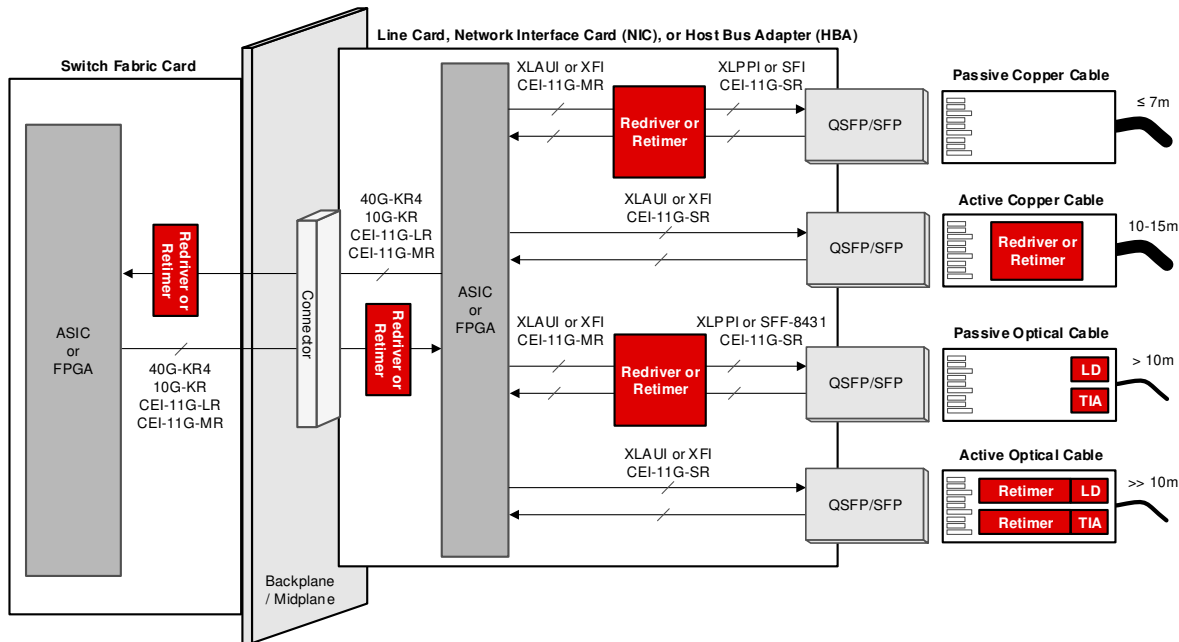


图 4-1. 10GbE 或 40GbE 系统中信号调节的典型应用用例

表 4-1 可用作简要指南来了解各种以太网应用用例的典型环境特性，如图 4-1 所示。

表 4-1. 10GbE 和 40GbE 应用的环境特性

用例	信号调节器的位置	说明
背板/ 中板	ASIC 之间的 PCB 背板	<ul style="list-style-type: none"> <li>刚性 PCB 通过 2 个以上的连接器将多个卡连接在一起</li> <li>机箱中交换机刀片和服务器刀片之间的互连</li> <li>路由器/聚合交换机中线路卡和交换机结构之间的互连</li> <li>长 PCB 布线 (1m) 和密集布线导致的多个串扰源</li> </ul>
前端口无源铜缆	主机侧 PCB	<ul style="list-style-type: none"> <li>承载 2 个以上差分对的无源铜质双轴电缆，最长 7m</li> <li>机架式服务器与柜顶式交换机之间的互连</li> <li>机架内的布线</li> <li>损耗曲线与 PCB 不同的高损耗电缆</li> </ul>



表 4-1. 10GbE 和 40GbE 应用的环境特性 (continued)

用例	信号调节器的位置	说明
前端口有源铜缆	主机侧 PCB 或 连接模块内部	<ul style="list-style-type: none"> <li>由主机 PCB 供电的有源铜质双轴电缆，使用电缆内部的信号调节来延长距离 ( 10m 至 15m )</li> <li>ToR 和聚合交换机/路由器之间的互连</li> <li>多个机架之间的布线</li> <li>由于是有源电缆，可以像光缆那样处理</li> </ul>
前端口光学模块	主机侧 PCB 或 连接模块内部	<ul style="list-style-type: none"> <li>从 10m 至数千米的重定时/非重定时光纤电缆</li> <li>数据中心内不同行和房间之间以及建筑物之间的互连</li> <li>明确规定的电光接口和光电接口</li> </ul>

在每个应用用例中，关键性能指标和 IC 外形要求各不相同。表 4-2 汇总了这些应用场景中以以太网转接驱动器和重定时器的一般注意事项。

表 4-2. 10GbE 和 40GbE 应用的主要注意事项

应用用例	信号调节的优势	关键性能指标	IC 外形要求
背板/中板	<ul style="list-style-type: none"> <li>范围扩展</li> <li>信号分配</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>范围</li> <li>串扰</li> <li>反射</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高通道密度</li> <li>功能集成</li> </ul>
前端口主机侧 PCB ( 铜缆或光纤 )	<ul style="list-style-type: none"> <li>范围扩展</li> <li>增加了眼罩裕度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>范围</li> <li>电源</li> <li>抖动</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>安装在端口后面的 PCB 上</li> <li>功能集成</li> </ul>
前端口模块 PCB ( 铜缆或光纤 )	<ul style="list-style-type: none"> <li>范围扩展</li> <li>增加了眼罩裕度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>范围</li> <li>电源</li> <li>抖动</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>超小型封装</li> <li>无散热器</li> <li>功能集成</li> </ul>

## 4.2 IEEE802.3、OIF-CEI 和模块接口 10GbE 和 40GbE 标准

IEEE802.3、OIF-CEI ( 光互连论坛 - 通用电气 I/O ) 和各种模块接口电气规范都在以太网生态系统内相互关联。表 4-3 为与 10GbE 和 40GbE 数据传输相关的适用电气规格提供了简化参考。此外，建议根据给定的应用进行相关的信号调节。

表 4-3. 适用于信号调节器的 10GbE 和 40GbE 标准

接口类型		主机/端口侧			背板/中板
		C2C ( 芯片间 ) PCB 布线 ( 到信号调节器 )	C2M ( 芯片到模块 ) 光学	C2C ( 芯片间 ) 铜	C2C ( 芯片间 ) PCB 布线
电气标准	10GbE	XFI	SFI ( 限幅和线性 ) SFF-8431	SFI 线性	10GBASE-KR
	40GbE	XLAUI	XLPPPI ( 线性 )	XLPPPI	40GBASE-KR4
模块外形类型	10GbE	XFP	SFP+	SFP+ (DAC)	不可用
	40GbE	CFP	QSFP	QSFP (DAC)	不可用
OIF-CEI 标准		CEI-11G-SR	CEI-11G-SR	CEI-11G-SR	CEI-11G-LR CEI-11G-MR
推荐的信号调节器件		重定时器	转接驱动器 ( 线性 ) 重定时器 ( 限幅 )	转接驱动器	转接驱动器 ( 如果需要 LT ) <sup>(1)</sup> 重定时器 ( 如果不需要 LT )

(1) LT : 链路训练

### 备注

XFI (10GbE) 和 XLAUI (40GbE) C2C 接口用于主机 ASIC 和信号调节器 (例如重定时器) 之间的端口侧交互, 而信号调节器分别位于 XFP (10GbE) 或 CFP (40GbE) 光学模块内部。SFI 和 XLPPi 假设模块内没有信号调节。

## 5 选择合适的以太网转接驱动器或以太网重定时器

TI 提供广泛的高性能以太网转接驱动器和重定时器, 来支持各种 10GbE 和 40GbE 应用用例。一些转接驱动器和重定时器提供集成的多路复用器/多路信号分离器功能或交叉点, 有助于轻松分配信号并同时补偿信号完整性损失。

在选择可实现最佳性能和成本效益的器件时, 需要考虑信号调节器的几个方面。有关选择正确信号调节器件的常见问题解答, 请参阅[表 5-1](#)。

**表 5-1. 确定合适信号调节器件的常见问题**

问题	答案
需要多少个转接驱动器或重定时器通道?	<ul style="list-style-type: none"> <li>根据需要进行信号调节的数据通道数量, 选择合适的 2、4、8 或 16 通道器件。</li> <li>信号调节独立应用于通道, 因此在路由到信号调节器时无需关联通道 (例如, 可将两个 40GbE 出口信号发送到一个八通道器件)。</li> </ul>
ASIC 发送和接收方向是否都需要进行信号调节?	<ul style="list-style-type: none"> <li>对于在 ASIC 发送和接收方向上都需要信号调节的应用, 请选择双向器件。</li> <li>对于只需在一个方向 (例如仅接收侧) 上进行信号调节的应用, 请选择单向器件。</li> </ul>
必须支持哪些数据速率和子数据速率?	<ul style="list-style-type: none"> <li>转接驱动器可以使用任何数据速率运行, 最高可达所支持的最大数据速率。</li> <li>重定时器只能使用 VCO 锁定范围内的数据速率和指定分频子速率运行。</li> </ul>
在奈奎斯特条件下必须支持多大的总通道损耗 (IL) (以 dB 为单位)?	<ul style="list-style-type: none"> <li>对于很大的 IL (5GHz 时大于 30dB), 可考虑使用 10GbE 重定时器。</li> <li>对于中等程度的 IL (5GHz 时小于 30dB), 可考虑使用 10GbE 转接驱动器。</li> <li>要评估给定转接驱动器或重定时器对信号完整性的影响, 建议设计人员使用 IBIS-AMI 模型仿真来在预期的系统用例中验证器件选择和 IC 放置位置。</li> </ul>
串扰和反射是否显著?	<ul style="list-style-type: none"> <li>如果显著, 则首选带有 DFE 的重定时器。</li> <li>如果不显著, 则建议使用转接驱动器或基本重定时器。</li> </ul>
系统中是否需要 LT (链路训练)?	<ul style="list-style-type: none"> <li>如果需要, 则必须使用转接驱动器。用于实现 LT 的 KR 和 CR 等背板和铜缆接口需要使用线性转接驱动器来以透明方式传递源 Tx EQ 系数。</li> <li>如果不需要, 则可以使用重定时器或转接驱动器。TI 的 10GbE 重定时器仅支持限制接口。或者, 它们可用于可选择不使用 LT 的背板/铜缆接口。</li> </ul>

## 5.1 双通道信号调节器件

对于需要信号调节的单通道或双通道应用，例如 XFI、SFP 或 SFP + 光纤和铜缆模块，可以使用双通道以太网转接驱动器和重定时器。双向双通道器件可用于寻址单个差分 Tx 和 Rx 端口，而单向双通道器件可用于仅在 Tx 或 Rx 方向上寻址两个单独的差分通道。

**表 5-2. 双通道以太网转接驱动器和以太网重定时器选型指南**

器件型号	DS110DF111	DS125DF111	DS100BR111	DS125BR111	DS100BR210	DS100MB203	DS125MB203
器件类型	重定时器	重定时器	转接驱动器	转接驱动器	转接驱动器	转接驱动器多路复用器	转接驱动器多路复用器
通道	2	2	2	2	2	双路 1:2 和 2:1	双路 1:2 和 2:1
方向	双向	双向	双向	双向	单向	双向	双向
数据速率	8.5G 至 11.3G 4.25G 至 5.65G 2.125G 至 2.825G 1.06G 至 1.41G	9.8G 至 12.5G 4.9G 至 6.25G 2.45G 至 3.125G 1.225G 至 1.56G	高达 10.3G	高达 12.5G	高达 10.3G	高达 10.3G	高达 12.5G
CTLE	34dB, 自适应	34dB, 自适应	36dB	10dB	36dB	36dB	30dB
DFE	5 抽头	5 抽头	不适用	不适用	不适用	不适用	不适用
TX 去加重功能	高达 -12dB	高达 -12dB	高达 -12dB	仅线性	高达 -12dB	高达 -12dB	高达 -12dB
功率 (典型值)	200mW/ch	200mW/ch	65mW/ch	65mW/ch	65mW/ch	65mW/ch	65mW/ch
CDR	是	是	不适用	不适用	不适用	不适用	不适用
眼图监视器	是	是	不适用	不适用	不适用	不适用	不适用
电源	2.5V	2.5V	2.5V 或 3.3V	2.5V 或 3.3V	2.5V 或 3.3V	2.5V 或 3.3V	2.5V 或 3.3V
封装	4mm x 4mm WQFN	4mm x 4mm WQFN	4mm x 4mm WQFN	4mm x 4mm WQFN	4mm x 4mm WQFN	10mm x 5.5mm WQFN	10mm x 5.5mm WQFN

## 5.2 四通道信号调节器件

对于 QSFP 模块、CFP 模块或 40GbE 背板等更高密度的端口应用，可以使用四通道以太网转接驱动器和重定时器来减少系统中的信号调节元件数量并提高效率。如果需要双向信号调节，则可以考虑使用四通道 (总共八通道) 双向器件 (请参阅节 5.3)。

**表 5-3. 四通道以太网转接驱动器和以太网重定时器选型指南**

器件型号	DS100DF410	DS110DF410	DS125DF410	DS100BR410	DS100KR401	SN65LVCP114
器件类型	重定时器	重定时器	重定时器	转接驱动器	转接驱动器	转接驱动器多路复用器
通道	4	4	4	4	8	四路 1:2 和 2:1
方向	单向	单向	单向	单向	双向	双向
数据速率	10.3G	8.5G 至 11.3G 4.25G 至 5.65G 2.125G 至 2.825G 1.06G 至 1.41G	9.8G 至 12.5G 4.9G 至 6.25G 2.45G 至 3.125G 1.225G 至 1.56G	高达 10.3G	高达 10.3G	高达 14.2G
CTLE	34dB, 自适应	34dB, 自适应	34dB, 自适应	28dB	36dB	15dB
DFE	5 抽头	5 抽头	5 抽头	不适用	不适用	是
TX 去加重功能	高达 -12dB	高达 -12dB	高达 -12dB	高达 -9dB	高达 -12dB	仅线性
功率 (典型值)	180mW/ch	180mW/ch	180mW/ch	55mW/ch	65mW/ch	150mW/ch
CDR	是	是	是	不适用	不适用	不适用
眼图监视器	是	是	是	不适用	不适用	不适用
电源	2.5V	2.5V	2.5V	2.5V	2.5V 或 3.3V	2.5V 或 3.3V
封装	7mm x 7mm WQFN	7mm x 7mm WQFN	7mm x 7mm WQFN	7mm x 7mm WQFN	10mm x 5.5mm WQFN	12mm x 12mm NFBGA

### 5.3.8 通道和 16 通道信号调节器件

对于可能还需要信号分配的超高密度端口或背板应用，TI 提供了 8 通道和 16 通道器件。DS110DF1610 和 DS125DF1610 以太网重定时器是 TI 集成度最高的 10Gbps 至 12.5Gbps 器件，具有高级信号调节功能和用于信号路由的集成 4x4 交叉点。

**表 5-4. 8 通道和 16 通道以太网转接驱动器和以太网重定时选型指南**

器件型号	DS110DF1610	DS125DF1610	DS100KR800	DS125BR820	DS125BR800A
器件类型	重定时器交叉点 (4x4)	重定时器交叉点 (4x4)	转接驱动器	转接驱动器	转接驱动器
通道	16	16	8	8	8
方向	单向	单向	单向	单向	单向
数据速率	8.5G 至 11.3G 4.25G 至 5.65G 2.125G 至 2.825G 1.06G 至 1.41G	9.8G 至 12.5G 4.9G 至 6.25G 2.45G 至 3.125G 1.225G 至 1.56G	高达 10.3G	高达 12.5G	高达 12.5G
CTLE	38dB	38dB	36dB	10dB	36dB
DFE	5 抽头	5 抽头	不适用	不适用	不适用
TX 去加重功能	3 抽头 FIR	3 抽头 FIR	高达 -12dB	仅线性	高达 -12dB
电源	235mW/ch	235mW/ch	65mW/ch	65mW/ch	65mW/ch
CDR	是	是	不适用	不适用	不适用
眼图监视器	是	是	不适用	不适用	不适用
电源	2.5V	2.5V	2.5 V 或 3.3V	2.5 V 或 3.3V	2.5 V 或 3.3V
封装	15mm × 15mm FCBGA	15mm × 15mm FCBGA	10mm × 5.5mm WQFN	10mm × 5.5mm WQFN	10mm × 5.5mm WQFN

## 6 适用于信号调节器的相邻 10Gbps 至 12.5Gbps 接口

本应用手册中提到的以太网转接驱动器和重定时器主要用于 10GbE (10.3125Gbps) 接口应用。然而，由于电气接口要求的相似性，这些转接驱动器和重定时器许多都可以用于速率高达 12.5Gbps 的其他接口。本小节介绍了可考虑使用转接驱动器和重定时器的常用相邻 10Gbps 至 12.5Gbps 协议。

### 备注

为相邻标准或专有接口选择转接驱动器或重定时器时，务必要验证系统中的高速电气输入和输出规格是否适用于相应信号调节器件，反之亦然。

表 6-1 中概述了常用的相邻 10Gbps 至 12.5Gbps 协议，其中明确提到了需要 LT (链路训练) 或 OOB (带外) 突发数据支持的标准。

**表 6-1. 10GbE 与相邻数据速率标准**

	是否需要数据速率支持	是否需要链路训练或突发数据支持？	是否建议使用转接驱动器或重定时器？
10GbE	10.3125Gbps	LT 仅适用于 KR 或 CR	转接驱动器/ 重定时器 ( 不支持 LT )
PCIe	2.5Gbps、5Gbps、8Gbps	LT 仅适用于 Gen-3 (8Gbps)	仅转接驱动器
SAS	3Gbps、6Gbps、12Gbps	LT 仅适用于 SAS-3 (12Gbps) OOB 突发适用于 SAS 1-3	仅转接驱动器
SATA	1.5Gbps、3Gbps、6Gbps	OOB 突发适用于 SATA 1-3	仅转接驱动器
OIF - CEI	9.95Gbps 至 11.2Gbps (CEI - 11G - SR/MR/LR)	否	转接驱动器/重定时器
JESD204B	3.2Gbps 至 12.5Gbps	否	转接驱动器/重定时器
CPRI	0.6144Gbps、1.2288Gbps、 2.4576Gbps、3.0720Gbps、 4.9152Gbps、6.144Gbps、 8.1100Gbps、9.8304Gbps、 10.1376Gbps、12.1651Gbps	否	转接驱动器/重定时器
光纤通道 (GFC)	1.0625Gbps、2.125Gbps、 4.25Gbps、8.5Gbps	否	转接驱动器/重定时器
Infiniband	10Gbps (SDR)	否	转接驱动器/重定时器

### 6.1 需要链路训练或突发数据支持的相邻协议

几个相邻的 10Gbps 至 12.5Gbps 协议需要 LT 支持或 OOB 突发数据支持，来优化 Tx 驱动器侧的信号完整性。需要 LT 或 OOB 突发数据支持的最常用相邻接口是 PCIe ( 外围组件快速互连 )、SAS ( 串行连接存储 ) 和 SATA ( 串行 ATA )。

尽管 TI 转接驱动器通常针对特定接口进行了优化，但转接驱动器的线性通道设计本身就与协议无关，因此可广泛支持其他常用或专有接口。线性转接驱动器非常适合用于在 LT 调优阶段保留源 Tx EQ 使用的各种前标和后标 FIR 抽头设置。此外，转接驱动器的快速信号检测响应支持 SAS 和 SATA 所需的 OOB 突发数据。

表 6-2 概述了建议使用 10GbE 线性转接驱动器的相邻标准。

**表 6-2. 支持需要链路训练的相邻协议的转接驱动器\***

器件型号	DS100BR111	DS125BR111	DS100KR401	DS125BR820	DS125BR800A
器件类型	转接驱动器	转接驱动器	转接驱动器	转接驱动器	转接驱动器
通道数量	2	2	8	8	8
方向	双向	双向	双向	单向	单向
数据速率	高达 10.3G	高达 12.5G	高达 10.3G	高达 12.5G	高达 12.5G
PCIe 支持	高达 Gen-3	高达 Gen-3	高达 Gen-3	高达 Gen-3	高达 Gen-3
SAS 支持	高达 SAS-2	高达 SAS-3	高达 SAS-2	高达 SAS-3	高达 SAS-3
SATA 支持	高达 SATA-3	高达 SATA-3	高达 SATA-3	高达 SATA-3	高达 SATA-3

#### 备注

\*由于通道设计的限制特性，TI 的 10Gbps 至 12.5Gbps 重定时器不适用于需要 LT 支持的设计。

## 6.2 无需链路训练或突发数据支持的相邻协议

对于无需 LT 或 OOB 突发数据支持的相邻协议，可以使用转接驱动器和重定时器。转接驱动器可用于支持高达其受所支持最大数据速率的接口。重定时器可用于支持工作数据速率位于 VCO 锁定范围（或分频子速率）内的接口。

在这些相邻标准中，务必要注意重定时器的 VCO 锁定范围，从而确定支持 CDR 锁定的特定数据速率。例如，JESD204B 标准涵盖了广泛的数据速率（3.2Gbps 至 12.5Gbps）。但是，根据特定的应用用例，例如 AFE58JD48 八通道 JESD 输出，其中每个通道只需 5Gbps 即可支持 125MSPS 的运行，因此 TI 的任何 10Gbps 至 12.5Gbps 器件都可用于锁定 5Gbps 的传入数据。

表 6-3 概述了可考虑使用 TI 10Gbps 至 12.5Gbps 重定时器的相邻标准和特定工作数据速率。

**表 6-3. 支持无需链路训练的相邻协议的重定时器**

器件型号	DS110DF111	DS125DF111	DS110DF410	DS125DF410	DS110DF1610	DS125DF1610
器件类型	重定时器	重定时器	重定时器	重定时器	重定时器交叉点 (4x4)	重定时器交叉点 (4x4)
通道	2	2	4	4	16	16
方向	双向	双向	单向	单向	单向	单向
CDR 锁定数据速率	8.5G 至 11.3G 4.25G 至 5.65G 2.125G 至 2.825G 1.06G 至 1.41G	9.8G 至 12.5G 4.9G 至 6.25G 2.45G 至 3.125G 1.225G 至 1.56G	8.5G 至 11.3G 4.25G 至 5.65G 2.125G 至 2.825G 1.06G 至 1.41G	9.8G 至 12.5G 4.9G 至 6.25G 2.45G 至 3.125G 1.225G 至 1.56G	8.5G 至 11.3G 4.25G 至 5.65G 2.125G 至 2.825G 1.06G 至 1.41G	9.8G 至 12.5G 4.9G 至 6.25G 2.45G 至 3.125G 1.225G 至 1.56G
OIF-CEI (CEI-11G) CDR 锁定支持	完整范围 9.95Gbps 至 11.2Gbps	完整范围 9.95Gbps 至 11.2Gbps	完整范围 9.95Gbps 至 11.2Gbps	完整范围 9.95Gbps 至 11.2Gbps	完整范围 9.95Gbps 至 11.2Gbps	完整范围 9.95Gbps 至 11.2Gbps
JESD204B CDR 锁定支持	有限范围 8.5G 至 11.3G 4.25G 至 5.65G	有限范围 9.8G 至 2.5G 4.9G 至 6.25G	有限范围 8.5G 至 11.3G 4.25G 至 5.65G	有限范围 9.8G 至 2.5G 4.9G 至 6.25G	有限范围 8.5G 至 11.3G 4.25G 至 5.65G	有限范围 9.8G 至 2.5G 4.9G 至 6.25G
CPRI* CDR 锁定支持	某些速率 10.1376G 9.8304G 4.9152G 2.4576G 1.2288G	大多数速率 12.1651G 10.1376G 9.8304G 6.144G 4.9152G 3.0720G 2.4576G 1.2288G	某些速率 10.1376G 9.8304G 4.9152G 2.4576G 1.2288G	大多数速率 12.1651G 10.1376G 9.8304G 6.144G 4.9152G 3.0720G 2.4576G 1.2288G	某些速率 10.1376G 9.8304G 4.9152G 2.4576G 1.2288G	大多数速率 12.1651G 10.1376G 9.8304G 6.144G 4.9152G 3.0720G 2.4576G 1.2288G
光纤通道 (GFC) CDR 锁定支持	完整范围 8.5G 4.25G 2.125G 1.0625G	不支持	完整范围 8.5G 4.25G 2.125G 1.0625G	不支持	完整范围 8.5G 4.25G 2.125G 1.0625G	不支持

### 备注

\*对于完整的 CPRI 数据速率支持，可考虑使用 TI 的 25G 产品系列（请参阅 DS250DF230）。

## 7 总结

转接驱动器和重定时器等信号调节器件可提高高速信号完整性裕量，并提升各种高速应用的系统互操作性。TI 广泛的 10GbE 转接驱动器和重定时器产品系列跨越多通道配置，适用于各种以太网应用的用例和要求。此外，可以考虑将这些以太网转接驱动器和重定时器用于其他常用的 10Gbps 至 12.5Gbps 协议。合理选择和利用简单易用且具有成本效益的转接驱动器和重定时器，从而确保始终实现出色的高速连接。

## 8 修订历史记录

<b>Changes from Revision * (May 2020) to Revision A (January 2023)</b>	<b>Page</b>
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1

## 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