

PAM-4 测量和仿真相关

预计在未来五年内，全球网络流量每年都会迅猛增长*（思科可视网络指数）。这源于联网的设备数量不断提高、内容消费量不断上升。

为了支持预计的这一增长，无疑必需加强网络设施传送数据的速度。业内正努力使吞吐量翻一番或翻两番，每路提供 56Gbps 或 122Gbps I/O。

非归零 (NRZ) 信令方式不再能够在带宽较低的通道上支持可靠的 56Gbps 吞吐量，因为 NRZ 信号的频率成分会随着位速率线性提高。人们正考虑其他调制方式来提供要求的性能，如 PAM-4，其对相同数据速率所需的带宽只是 NRZ 的一半。

PAM-4 与 NRZ 对比

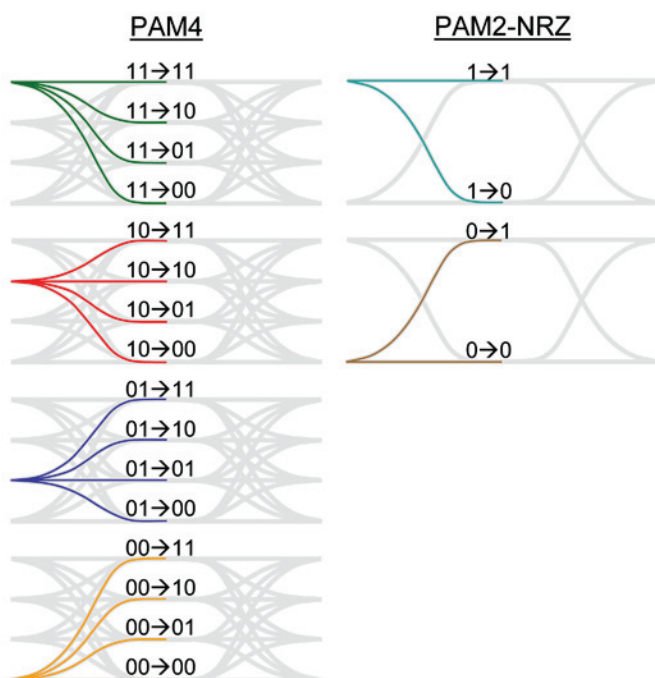


图 1. PAM-4 不同于 NRZ，它采用不同的信号电平和跳变码型。

快速浏览一下图 1，可以看出 PAM-4 支持 4 种电平，分别是电平 0、电平 1、电平 2 和电平 3，每个单位间隔可以传送两个数据位，而 NRZ 每个单位间隔只能传送一个数据位。

PAM-4 测量和仿真相关

PAM-4 信令的 4 个电平得到三个眼图，这些眼图相互关联，因为从一个电平跳到另一个电平会影响一个以上的眼图。可以在 PAM-4 信号三个眼图中的每个眼图上执行与 NRZ 眼图类似的眼图测量，另外还可以在整个包络上执行整体外部眼图测量。

表 1. PAM-4 与 NRZ 信令比较

	PAM-4	NRZ
每 UI 位数	2	1
电平	4	2
上升 / 下降沿	6	2
跳变	12	2
每个 UI 眼图	3	1

实例： PAM-4 与 NRZ 眼图比较：

- 垂直眼图张开 (眼高) @ BER
 - 在相同的供电电压下，PAM-4 的单独眼高是 NRZ 的 33%
 - 由于波特率下降一半，所以 PAM-4 成本较低
- 水平眼图张开 (眼宽) @ BER
 - 由于波特率下降一半，PAM-4 的单独眼宽是 NRZ 的 200%
 - 非相邻电平之间的跳变降低了 PAM-4 眼宽

成功的 PAM-4 设计

NRZ 设计在过去几年积累了大量的知识，设计团队和验证团队可以逐步推进现有设计，实现更高的性能。与 NRZ 不同，PAM-4 中需要处理多电平信令，给发射机和接收机带来了复杂性，改变了在器件级和系统级执行设计、仿真、特性分析和验证活动的方式。

传统上，仿真 (设计) 和测量 (验证) 发生在不同的开发阶段，出现在不同的职能团队，依赖不同的方法和工具实现目标，即使是处理相同的产品。

由于通过信道传输时发生的信号失真，PAM-4 信号的眼图几乎一直是闭合的。均衡器用来颠倒失真，恢复信号，在仿真环境和测量环境中使眼图睁开。传统上，设计环境使用兼容各种 EDA 工具的 IBIS AMI 模型，相比之下，基准均衡器用来在测量系统中执行测量。

此外，实验室测量通常会遇到电脑仿真中一般没有的失真，包括测试夹具、电缆、连接器、RF 交换机、测试设备等导致的失真。

因此，如果没有考虑两种方法之间的差异及现实世界限制，仿真结果可能与测得结果不一致。如果设计阶段和验证阶段的数据互不相符，那么仅根据仿真结果或仅根据测量结果做出的结果可能没有任何意义。

为了引导和实现产品设计，满足现实要求和裕量，至关重要的一点是包括这些现实世界失真，在高效、准确的仿真和测量工作流程中采用相同的分析方法。消除设计阶段和验证阶段之间的空白，使各团队使用相同的参考数据和分析方法，讲相同的语言，可以加快市场上的产品部署速度。

PAM-4 测量和仿真相关

泰克怎样弥补空白

挑战：

在验证过程中，最新的 PAM-4 发射机 (Tx) 通不过芯片后测试，满足不了产品规范。设计是根据芯片前仿真结果签字的，仿真结果则显示满足了产品规范。进一步分析可以看出：

- 1) 在仿真过程中，计算了发射机的输出，但忽略了实验室验证测试期间的实际测试条件，其中包括测试夹具、连接器和电缆，直接结果是仿真结果过分乐观；
- 2) 在进行测量前使用基准接收机 (Rx) 均衡器均衡信号 (常见于大多数测试要求)。相比之下，设计团队是使用 IBIS AMI Rx 均衡器模型 (常见于 EDA 用户) 仿真和评估信号的。

实验室设备包括一个测试夹具，接续器件下面的信号，把信号传送到连接器。然后使用电缆把测试夹具连接到示波器进行测量。把被测器件 (DUT) 连接到示波器的半米长 SMA 电缆在一阶谐波中额外引入 ~5dB 的插入损耗，另外如果需要分析更多的信号特性，可能要使用测试夹具和 RF 交换机，所以会出现进一步损耗，导致裕量下降。

此外，基准均衡器处理信号的方式与设计的 IBIS AMI 模型不同。鉴于 (1) 和 (2)，DUT 在测试过程中不能满足眼高和眼宽指标。

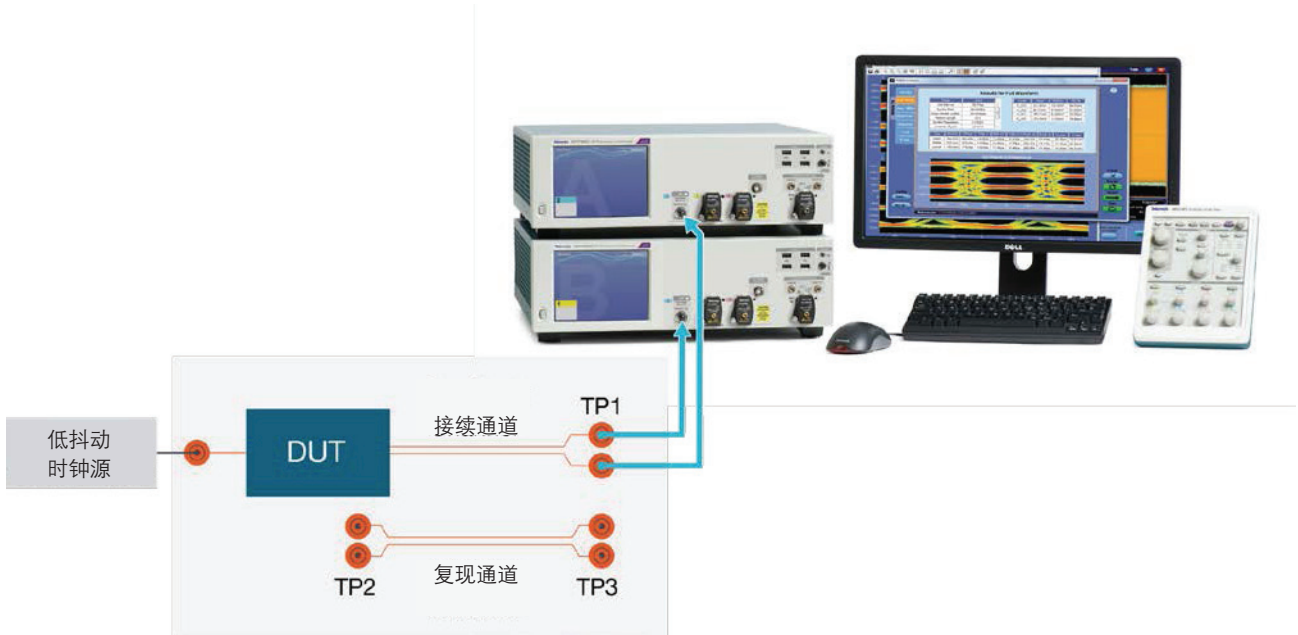


图 2. 设计人员在 DUT 测试点仿真信号完整性 (蓝色)，设计人员使用额外的夹具和设备测量信号 (红色)。

PAM-4 测量和仿真相关



图 3. 由于存在测试夹具、设备及使用不同的 Rx 方法，测量结果与设计仿真不一致。

解决方案：

在芯片设计前和分析阶段，泰克一流的分析和测量解决方案使得客户可以执行测试，以后在实验室中复现这些测试。

- 串行数据链路分析 (SDLA) Visualizer 是实时示波器上为高速通信协议提供一种链路分析解决方案。它在测得数据和仿真数据上运行，拥有：
 - 探测可以在哪里查看想要的数​​据，使用虚拟探头和 DSP 反嵌 / 嵌入技术
 - 去掉 / 包括测试设置 (电缆、探头、夹具等) 的影响，获得准确的结果。此外，SDLA 标配并自动识别许多 P76xx、P75xx 和 P73xx 系列探头的探头型号及 DPO/DSA/MSO70K 系列示波器的输入阻抗型号。
 - 模型基准 Rx 特点，及 ISIS-AMI 支持，兼容 EDA 设计输出。
- DPOJET / PAM4 分析执行自动信号测量和特性分析。它们为 NRZ (DPOJET) 和 PAM-4 (PAM4 分析) 信令提供了准确全面的抖动和眼图分析功能，简化了信号完整性调查及优化高速串行、数字和通信系统设计。预置配置支持大量的现有标准和新兴标准 (电接口和光接口)，并为高级用户提供了多种全面可定制的选项。

PAM-4 测量和仿真相关

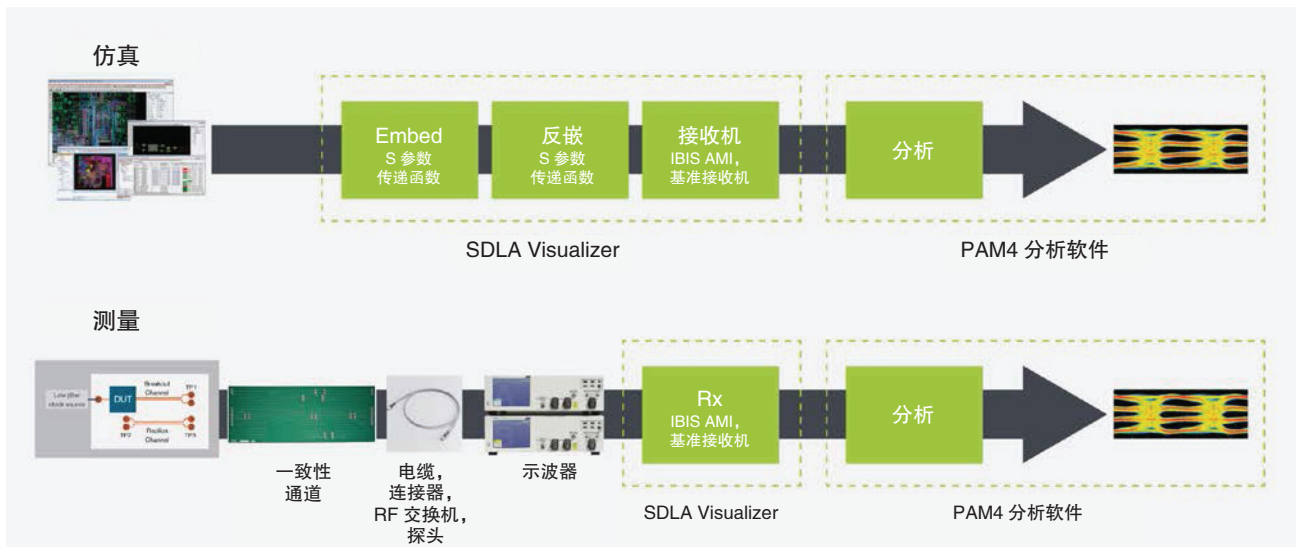


图 4. 泰克测量相关解决方案，设计人员执行的测试可以在实验室中重现。

仿真 / 测量相关：

为了演示我们的解决方案的仿真 / 测量相关，我们与 Cadence 协作，并使用其 Sigrity™ SI/PI 分析工具。如图 5 所示，Sigrity 中包括 S 参数嵌入和反嵌功能，因此 SDLA Visualizer 使用 IBIS-AMI 模型执行 Rx 均衡，这个模型通过 Sigrity 移植，同时适用于仿真路径和测量路径。

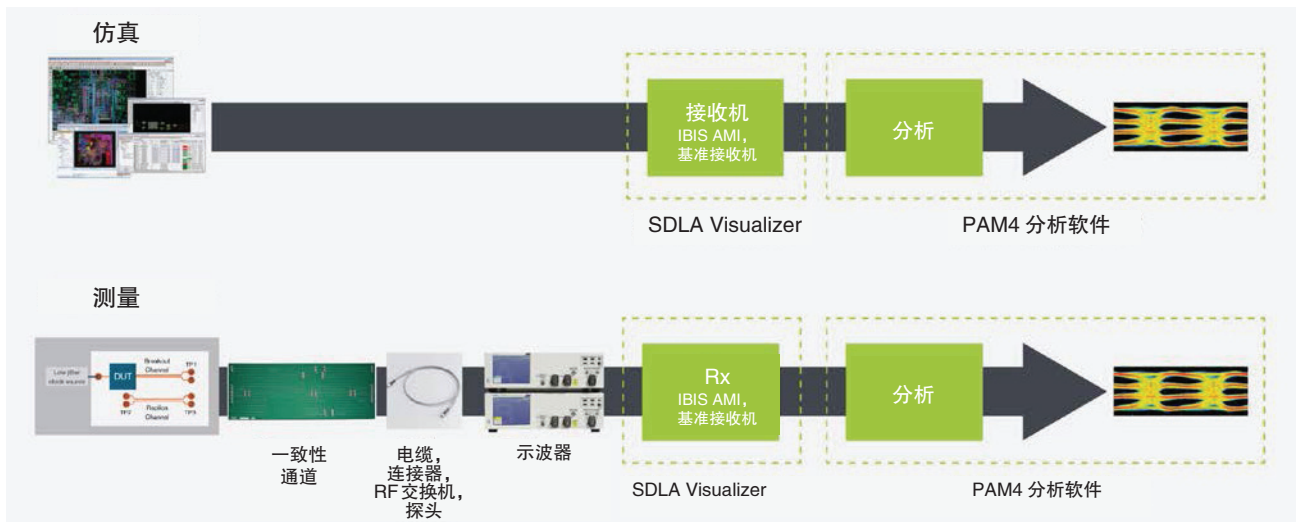


图 5.

发射机属性：

- 数据速率：25.78125 GbD
- 信令：PAM-4
- Tx 均衡：5 阶 FIR (1 个预置光标, 3 个后置光标)
- 数据码型：PRBS7

通道属性：

- IEEE 802.3bs 400 Gb 任务小组数据库，中等距离 / 芯片到芯片通道，使用一个连接器
- 插入损耗：18.2 dB @ 基础频率

接收机属性：

- 自动增益控制 (AGC)
- 自适应 2 杆连续时间线性均衡器 (CTLE)
- 15 阶判定反馈均衡器 (DFE)

PAM-4 测量和仿真相关

下面各图显示了设计 / 仿真阶段与验证 / 特性分析之间的结果相关性。

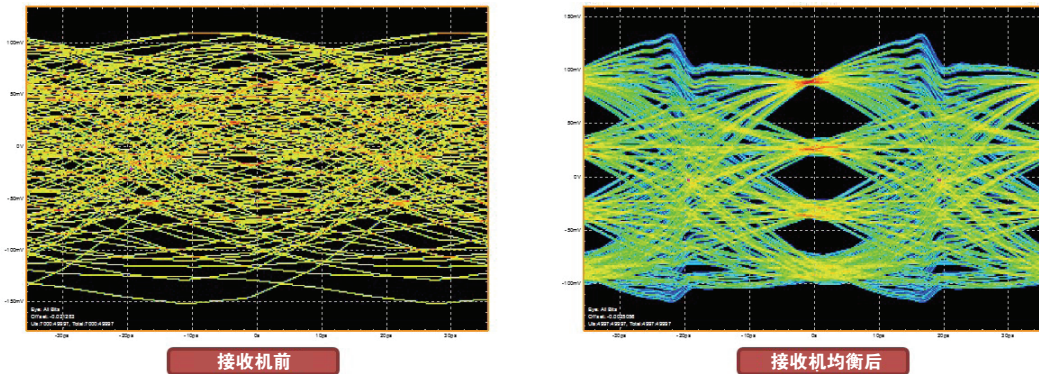


图 6-a. 接收机前和接收机后仿真的眼图。

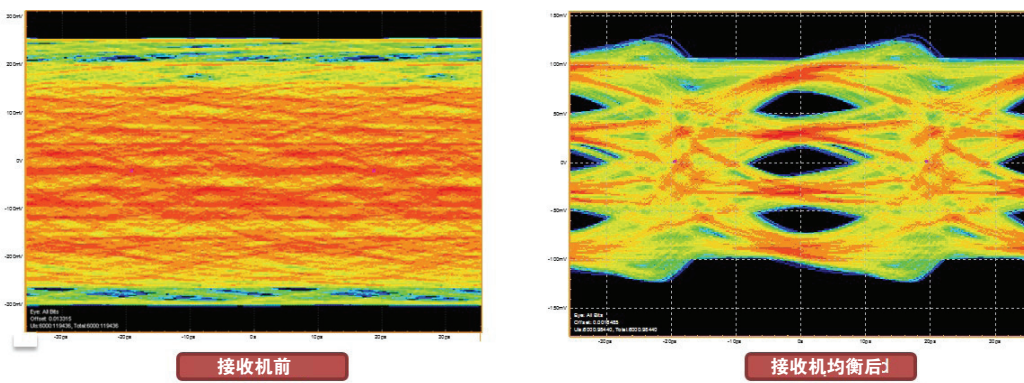


图 6-b. 接收机前和接收机后测量的眼图。

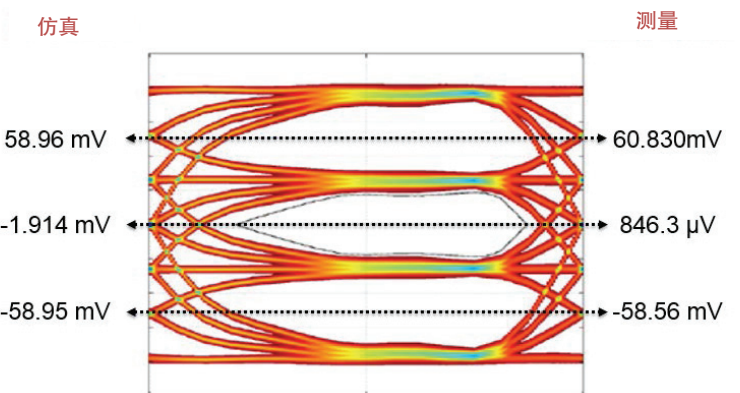
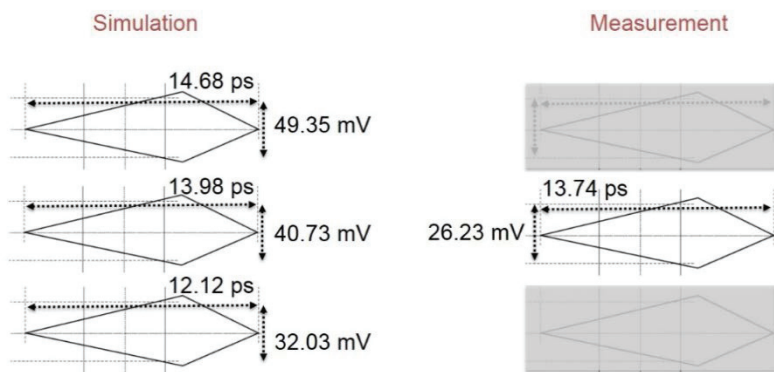


图 6-c. 仿真和测量相关研究得到的眼高和眼宽。

PAM-4 测量和仿真相关

小结

仿真/测量相关要求准确建立发射机(Tx)、接收机(Rx)和通道模型,并考虑实验室中的现实世界场景,如参考通道、电缆、夹具、RF 交换机,这些都会对信号产生影响。

量化链路中每个单元的影响,并在仿真和测量工作流程中同时使用这些数据,可以缩小设计阶段与验证阶段的空白,提前发现和解决缺陷。

© 2016 年泰克公司版权所有,侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国专利和外国专利保护。本文中的信息代替所有以前出版的材料中的信息。本文中的技术数据和价格如有变更,恕不另行通告。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克公司的注册商标。本文中提到的所有其它商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

4/2016- 55C-60574-0

