

鼎阳科技高速信号测试解决方案



PSO2407-0007CN01

版权和声明

版权

深圳市鼎阳科技股份有限公司版权所有

商标信息

SIGLENT 是深圳市鼎阳科技股份有限公司的注册商标

声明

- 本公司产品受已获准及尚在审批的中华人民共和国专利的保护
- 本公司保留改变规格及价格的权利
- 本手册提供的信息取代以往出版的所有资料
- 未经本公司同意，不得以任何形式或手段复制、摘抄、翻译本手册的内容

产品认证

SIGLENT 认证本产品符合中国国家产品标准和行业产品标准，并进一步认证本产品符合其他国际标准组织成员的相关标准。

联系我们

深圳市鼎阳科技股份有限公司

地址：广东省深圳市宝安区 68 区安通达工业园一栋&四栋&五栋

服务热线：400-878-0807

E-mail: support@siglent.com

网址: <https://www.siglent.com>

1 概述

随着电子技术的飞速发展，信息交换的速度不断提高，高速信号的频率和复杂度也不断增加，如何准确测试和测量高速信号是确保各类系统正常运行的关键。

什么样的信号可以被称作是高速信号呢？我们通常把具备以下特征的信号视为高速信号：

- 频率大于 **50MHz** 的信号，特别是时钟信号频率达到 **50MHz** 以上的信号
- 上升沿时间短的快沿信号，当上升沿时间小于 **50ps** 时，信号变化速度极快，也可以被认定为高速信号
- 从走线长度角度，如果走线的长度小于有效波长的 **20%**，且信号的上升沿时间较短，也符合高速信号的范畴。

2 挑战

高速信号具有一些显著的特点。其在传输过程中容易遭受各种干扰，如电磁干扰、串扰等，这可能导致信号的畸变和失真。此外，高速信号的频率较高，往往要求电路中的元件能够快速响应，以保证信号的准确传输。

3 解决方案

信号完整性，是指信号在传输过程中保真度的问题，主要研究高速信号在传输过程中由于阻抗匹配、串扰等因素导致的信号质量变差的情况。它可以表征高速信号通过链路之后，受到链路中的干扰，阻抗等因素导致质量的质量问题，从而确保发射机和接收机之间能够正常传输。

信号完整性测试包含的内容十分广泛，使用到的测试仪器也多种多样，接下来我们将介绍几种常见的测试方法来帮助工程师快速定位和解决问题。

3.1 波形测试

波形测试是信号完整性测试中最简单也是最常用的手段，通过观察示波器测试的波形的幅度、边沿、过冲、衰落等，来判断信号经过发送链路后，是否满足接收机的电平要求。



Figure 2 1 使用 SDS7000A 测试以太网信号

示波器捕获到波形之后，可以对波形进行 ZOOM 放大，这样我们不仅可以通过示波器下方的统计栏观察波形的整体情况，还可以观察局部细节中波形的过冲、衰落的幅度。

在观察某些数字信号的时候，我们会很关注信号的时序，我们可以使用八通道示波器来帮助我们观察单个信号的建立时间和保持时间，或者测试不同信号在经过电路网络之后出现的偏移和时延。又或者是观察在嵌入式电路中的电源轨，通过特定的触发来分析不同节点的上电、掉电时序要求。



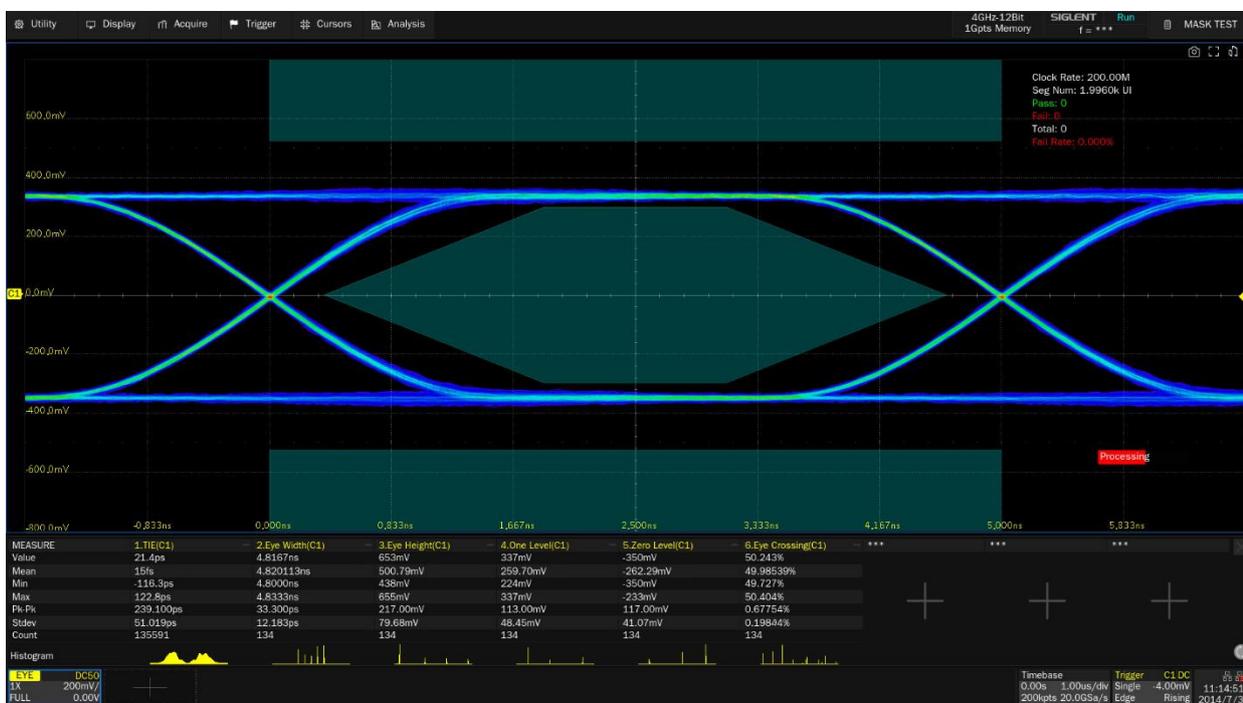
Figure 2 2 使用八通道进行上电时序分析

3.2 眼图测试

数字信号的眼图中包含了丰富的信息，可以体现数字信号的整体特征，能够很好地评估数字信号的质量，因而眼图的分析是数字系统信号完整性分析的关键之一。特别是对于有着某种规范要求的接口，如 USB、Ethernet、PCIe、HDMI 等，可以通过眼图测试配合模板来测试接口是否符合一致性规范。

眼图（Eye Diagram）是用余辉方式累积叠加显示采集到的串行信号的比特位的结果，叠加后的图形形状看起来和眼睛很像，故名眼图。眼图是一系列数字信号在示波器上累积而显示的图形，它包含了丰富的信息，从眼图上可以观察到码间串扰和噪声的影响，体现了数字信号整体的特征，从而估计系统优劣程度。

鼎阳科技的 SDS7000A 的实时眼图功能可以自动生成信号的眼图，在指定好信源后，点击 UI 中的快速设置可以自动设置水平/垂直挡位和电平，并调出常用的测量项，比如眼高，眼宽，时间间隔误差 TIE 等。



3.3 抖动分析

随着数据速率的不断提高，高速数字电路设计的时序冗余度越来越小。要确保接收端采集到的串行数据信号有效和稳定，工程师要熟知各种抖动分量，尤其是他们对数据有效时间窗口的影响。目前主要使用示波器捕获和查看波形的抖动。SDS7000A 提供抖动分析测量选项，以各种方式显示抖动，还可以将各种抖动分量分离出来。

抖动是指随时间变化的信号对其当时理想位置的偏离，往往又被称作时间间隔误差（TIE），以每个周期点的累计时间值相对当前时间点的理想值偏差为样本进行统计分析，这个时间偏差算法呈现累积效应，是一个积分运算，可以反映出信号的长期抖动。目前大部分高速串行总线都采用嵌入式时钟，嵌入式时钟必须由接收

端进行时钟恢复之后才能查看。对含有嵌入式时钟的串行总线数据信号执行抖动分析，要求示波器必须能够从数据信号中恢复时钟。抖动分析选件中的软件算法可以完成这一任务。其方法是创建一个虚拟时钟，以仿真串行数据总线接收端的时钟恢复。示波器以此恢复时钟为参考，对采集到示波器存储器中的串行数据进行逐个边沿对齐，完成 TIE 测量。

实际上，我们常常将眼图和抖动分析放在一起说，这是因为他们的分析方式是类似的，都是先进行时钟恢复，然后再以此恢复时钟作为参考来对波形进行分析。他们的不同之处在于，示波器的眼图中只能分析总的抖动，也就是 TIE，但是在抖动分析的功能中，我们可以把不同的抖动分量分解出来，从而得到 RJ、DCD、PJ 等分量，更好的对信号进行分析。

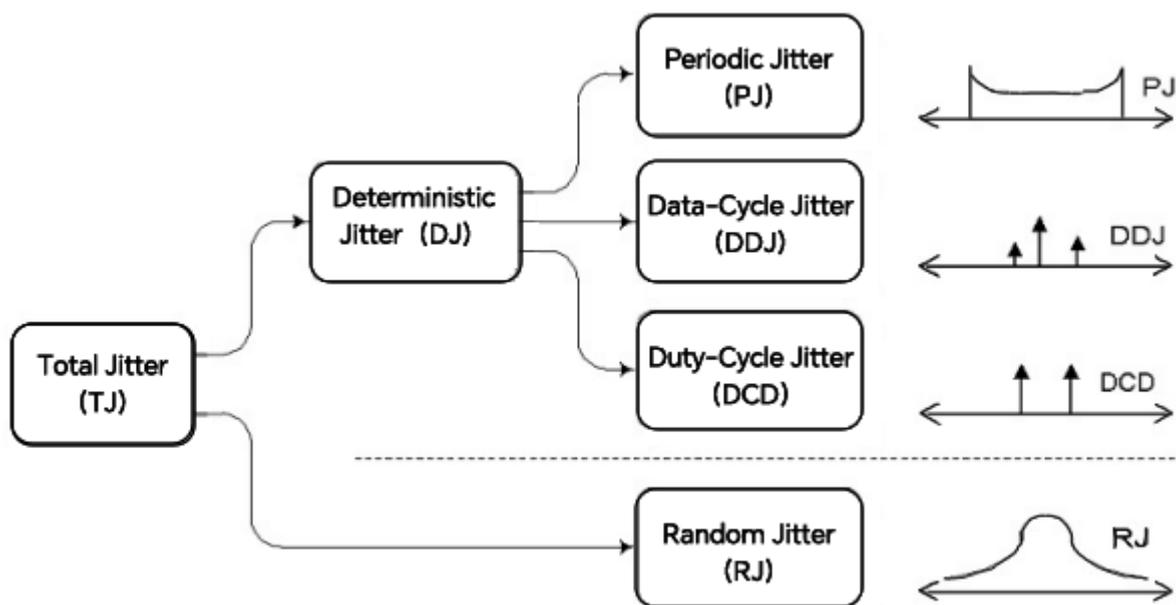


Figure 2 3 抖动的分解



Figure 2 4 使用 SDS7000A 进行抖动分析

在抖动分解中 SDS7000A 支持绘制浴盆曲线。浴盆曲线的横坐标是时间，范围是一个周期；纵坐标是误码率。浴盆曲线表征的是眼睛在水平方向上的开合程度与误码率的关系，浴盆的“盆底”即对应的误码率下眼睛的张开程度。

3.4 阻抗测试

对于高速信号而言，阻抗匹配是一个非常值得关注的点，阻抗不匹配带来的反射会在接收机处产生噪声。因此，我们常使用矢量网络分析仪来进行阻抗分析，从而反应多重反射引起的噪声。

对于 PCB 板上的走线，我们同样可以使用矢量网络分析仪搭配 TDR 探头进行测试。相较于示波器+信号发生器的 TDR 方案，使用矢量网络分析仪能够在较高的频率下进行测试，并且信号注入可以选择探头的方式，测试场景更加灵活。

阻抗不匹配，特别是差分电路中，对于信号质量的影响很大。如图为相同的 DUT 发送 PAM3 差分信号，粉色迹线为两根差分线良好匹配时接收到的信号，黄色为不完全匹配，可以明显看出，黄色迹线的过冲和欠幅非常明显。

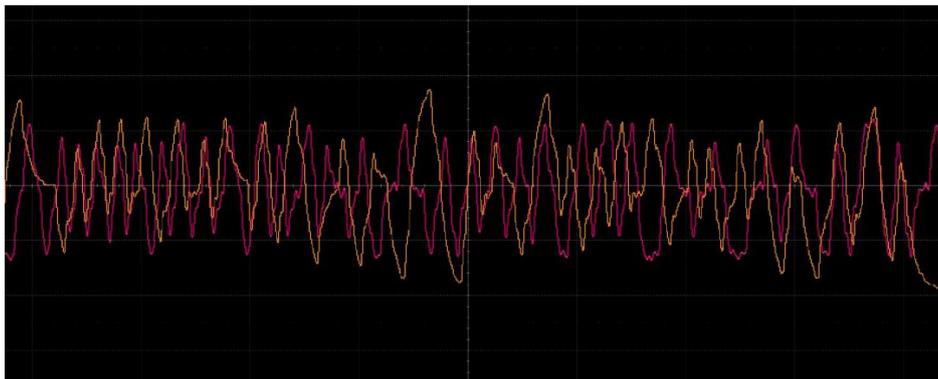


Figure 2 5 不同的匹配情况下差分线的信号质量

我们在测试差分阻抗时，可以使用网络分析仪的 TDR 功能来测试单端走线阻抗，也可以直接测试差分阻抗。

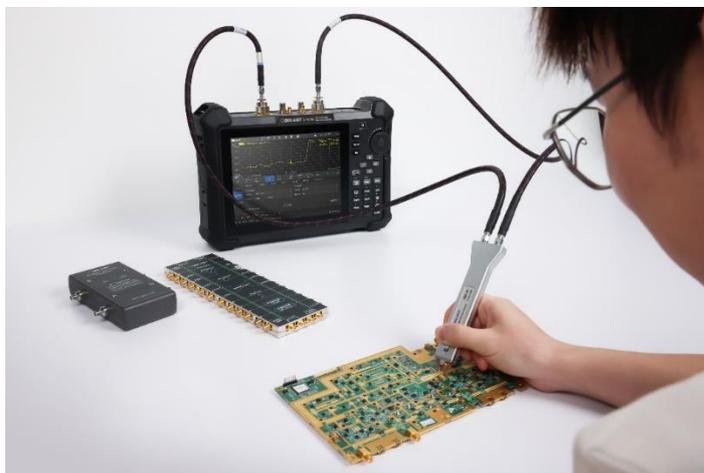


Figure 2 6 使用 TDR 探头进行测试

3.5 频域测试

高速信号沿着 PCB 上的导线进行传输时，实质上是按照电磁波的方式在传播，在整个传输路径上能量存在于随时间交替变化的电场和磁场中。在实际的应用中，电磁场能量并不限制在传播导线内，有相当一部分的磁场能量存在于导线之外，当高速信号沿着某一根导线传播时，其电场和磁场将通过某种方式耦合到其他线路内，当这种耦合的电磁场强度达到一定量时会产生无法预期的信号，这样就导致了串扰和电磁辐射，严重时还会对原信号的传输质量产生影响。

我们可以使用矢量网络分析仪进行信号链路的串扰测试，并且在测试开始之前设置极限值，从而完成自动化测试。当 PCB 走线过长，或者速率很高时，近端串扰是需要考虑的点。在测试差分信号时，可以使用四端口矢量网络分析仪进行测试，也可以使用巴伦转化成单端信号再进行测试。

后期的系统测试（如 EMC 测试）中，很多产品都需要进行辐射测试。通过频谱测试可以发现某些频点的功率是否超标，可以使用近场探头，如 SRF5030 等，来分析板卡上具体哪一部分的频谱较高，进而找出超标的根源。



Figure 27 使用频谱仪进行 EMI 测试

频域测试的优点包括：能够直观地展示信号在不同频率上的分布情况；可以方便地测量和分析系统的频率响应特性，如带宽、增益平坦度等；对于一些复杂的信号或系统，频域分析可能比时域分析更容易发现问题。在高速信号的测试中，往往会将时域测试和频域测试相结合，从而更完整的了解和评估整个系统的性能。

4 本文提到的产品

名称	型号	描述
示波器	SDS6000 pro SDS7000A	配备有抖动和眼图分析功能的示波器
差分探头	SAP2500D SAP5000D	2.5GHz 和 5GHz 有源差分探头
矢量网络分析仪	SNA5000X SNA6000A	配备有 TDR 功能的矢量网络分析仪
TDR 探头	ASP-26 ADP-26	搭配矢量网络分析仪使用, 扩展应用场景
频谱分析仪	SSA3000X plus SVA1000X	作为 EMC 测试的接收机
近场探头	SRF5030 SRF5030T	进行辐射测试

关于鼎阳

鼎阳科技 (SIGLENT) 是通用电子测试测量仪器领域的行业领军企业，A股上市公司。

2002年，鼎阳科技创始人开始专注于示波器研发，2005年成功研制出鼎阳第一款数字示波器。历经多年发展，鼎阳产品已扩展到数字示波器、手持示波表、函数/任意波形发生器、频谱分析仪、矢量网络分析仪、射频/微波信号源、台式万用表、直流电源、电子负载等基础测试测量仪器产品，是全球极少数能够同时研发、生产、销售数字示波器、信号发生器、频谱分析仪和矢量网络分析仪四大通用电子测试测量仪器主力产品的厂家之一，国家重点“小巨人”企业。同时也是国内主要竞争对手中极少数同时拥有这四大主力产品并且四大主力产品全线进入高端领域的厂家。公司总部位于深圳，在美国克利夫兰、德国奥格斯堡、日本东京成立了子公司，在成都成立了分公司，产品远销全球80多个国家和地区，SIGLENT已经成为全球知名的测试测量仪器品牌。

联系我们

深圳市鼎阳科技股份有限公司
全国免费服务热线：400-878-0807
网址：www.siglent.com

声明

 SIGLENT 鼎阳 是深圳市鼎阳科技股份有限公司的注册商标，事先未经允许，不得以任何形式或通过任何方式复制本手册中的任何内容。
本资料中的信息代替原先的此前所有版本。技术数据如有变更，恕不另行通告。

技术许可

对于本文档中描述的硬件和软件，仅在得到许可的情况下才会提供，并且只能根据许可进行使用或复制。

