

TDR 测试原理及测试方法

--BJLK

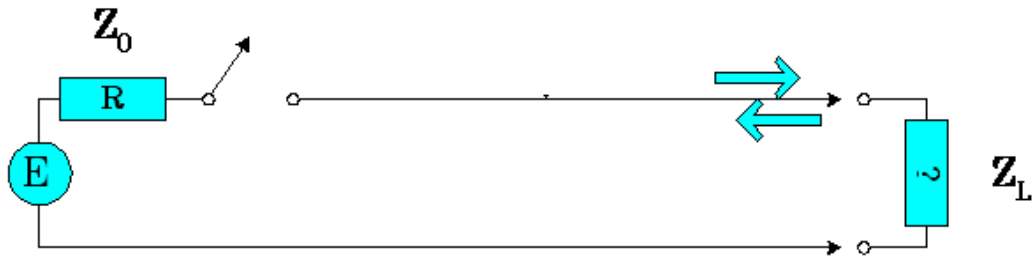
1、TDR 的作用和工作原理

随着数字电路工作速度得提高，PCB 板上信号的传输速率也越来越高，如 PCI-Express 的信号速率已经达到 2.5Gb/s，SATA 的信号速率已经达到 3Gb/s，新的标准如 PCI-Express II、XAUI、10G 以太网的工作速率更高。随着数据速率的提高，信号的上升时间会更快。当快上升沿的信号在电路板上遇到一个阻抗不连续点时就会产生更大的反射，这些信号的反射会改变信号的形状，因此线路阻抗是影响信号完整性的一个关键因素。对于高速电路板来说，很重要的一点就是要保证在信号传输路径上阻抗的连续性，从而避免信号产生大的反射。相应的，对于测试来说也需要测试高速电路板的信号传输路径上阻抗的变化情况并分析问题原因，从而更好地定位问题，例如 PCI-Express 和 SATA 等标准都需要精确测量传输线路的阻抗。下表是 SATA 对于系统内连接的电缆和连接器的阻抗和衰减的要求：

Parameter	Requirement
Mated Connector Differential Impedance	100 Ohms \pm 15%
Cable Absolute Differential Impedance	100 Ohms \pm 10%
Cable Pair Matching Impedance	\pm 5 Ohms
Common Mode Impedance	25 - 40 Ohms
Maximum Insertion Loss of Cable (10-4500 MHz)	6 dB
Maximum Crosstalk, single lane: NEXT (10-4500 MHz)	26 dB loss
Maximum Crosstalk, Multilane: CXT (10 - 4500 MHz)	30 dB loss
Maximum Rise Time	85 ps (20-80%)
Maximum Inter-Symbol Interference	50 ps
Maximum Intra-Pair Skew	10 ps

要进行阻抗测试，一个快捷有效地方法就是 TDR(时域反射计)方法。TDR 的工作原理是基于传输线理论，工作方式有点象雷达。如下

图所示，当有一个阶跃脉冲加到被测线路上，在阻抗不连续点就会产生反射，已知源阻抗 Z_0 ，则根据反射系数 ρ 就可以计算出被测点阻抗 Z_L 的大小。

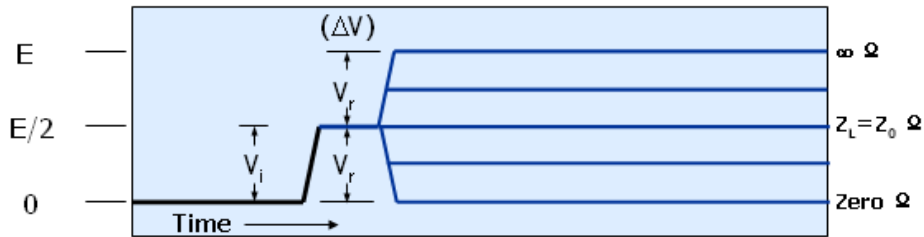


$$Z_L = Z_0 \frac{1 + \rho}{1 - \rho}$$

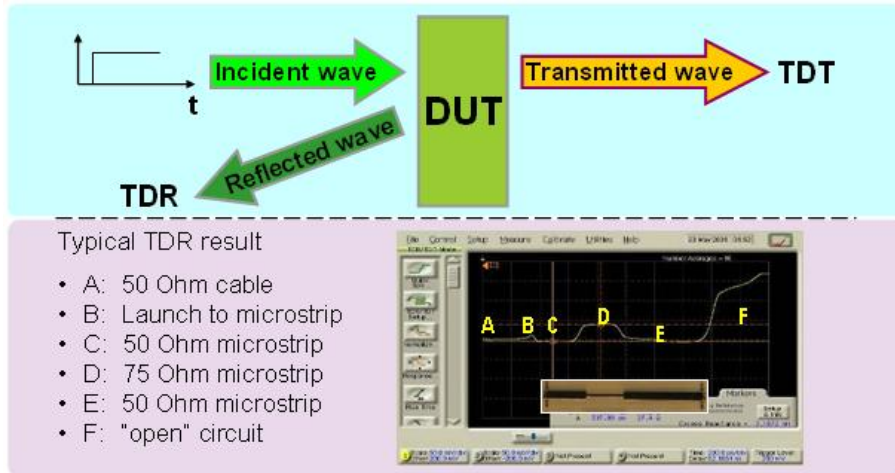
Impedance Calculated from Source Impedance and Reflection Coefficient.

$$\rho = \frac{V_r}{V_i}$$

Reflection Coefficient

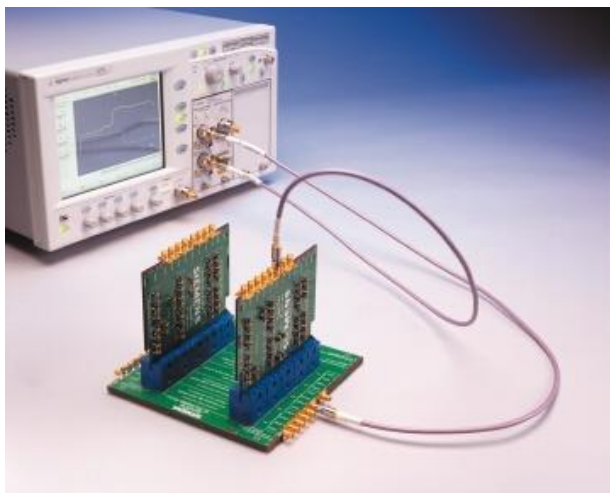


最简单的 TDR 测量配置是在宽带示波器的模块中增加一个阶跃脉冲发生器。阶跃脉冲发生器发出一个快上升沿的阶跃脉冲，同时接收模块采集反射信号的时域波形。如果被测件的阻抗是连续的，则信号没有反射，如果有阻抗的变化，就会有信号反射回来。根据反射回波的时间可以判断阻抗不连续点距接收端的距离，根据反射回来的幅度可以判断相应点的阻抗变化。下图是 TDR 的工作方式和对一个被测件的 TDR 波形。



TDR 通常显示反射和阻抗变化情况，TDT(时域传输)通常显示传输延迟。器件或者通道的阻抗不连续会导致传输信号失真，因此 TDR/TDT 是增强信号完整性的重要工具。

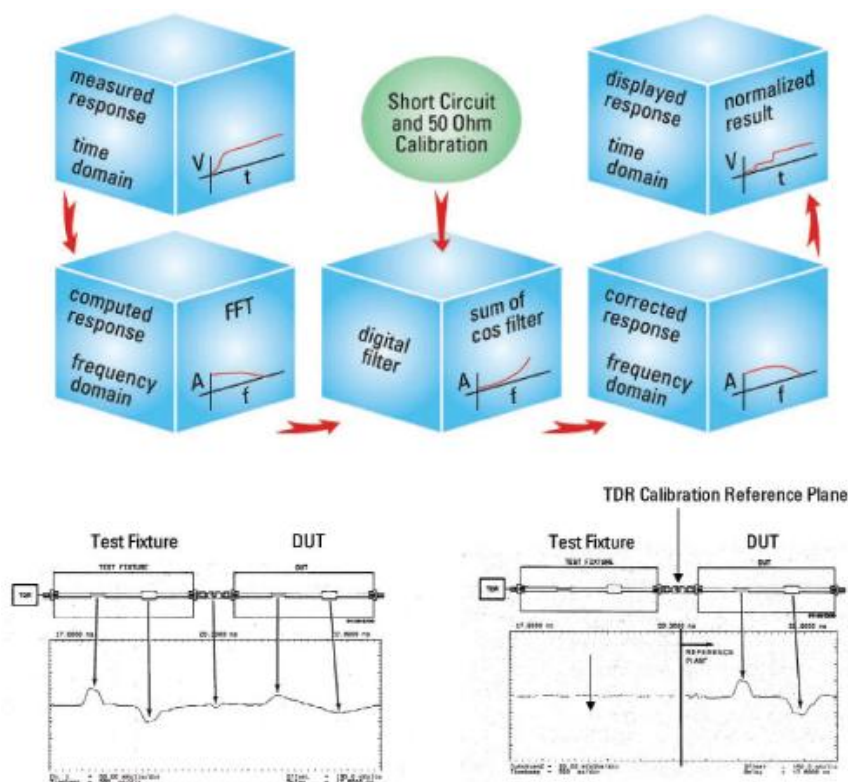
多年以来，Agilent86100 系列 Infinium DCA 主机和 54754A 差分 TDR 模块的强大组合为 TDR/TDT 测量提供了卓越的解决方案。为了满足当前高速数字串行接口方面的严格要求，TDR/TDT 测量功能也进行了重大改进，从而能够轻松获得精确得结果。下图是用 Agilent86100 和 54754A 模块进行 TDR 测试的一个实例。



2、影响 TDR 测试精度的因素

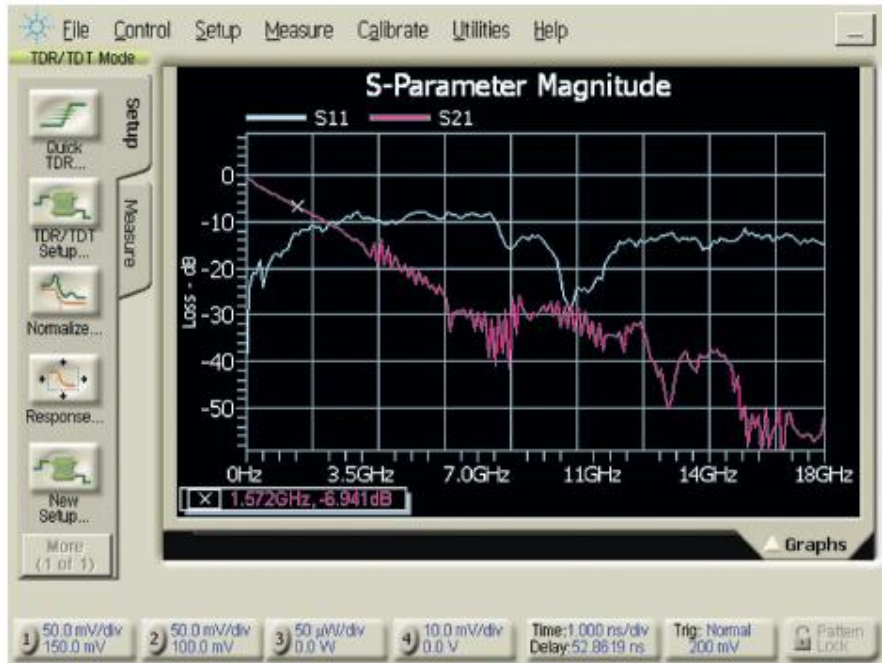
A) TDR 校准是获得正确结果的最快方式

要获得正确的测试结果，必须正确消除因测试夹具或线缆导致的系统误差。Agilent TDR 校准采用数字滤波器技术，使用短路和负载参考设备建立了一个校准平面，从而消除系统误差以提供精确的结果。下图是 TDR 校准的工作原理和进行 TDR 校准前后测试结果的比较，可以看到校准后的反射波形更加清晰地反映出了阻抗的变化情况。



B) S 参数测量

86100C 选件 202 只需一键轻触，即可从时域 TDR/TDT 的结果快速获得频域的 S 参数（S11 回波损耗或 S21 插入损耗）结果。



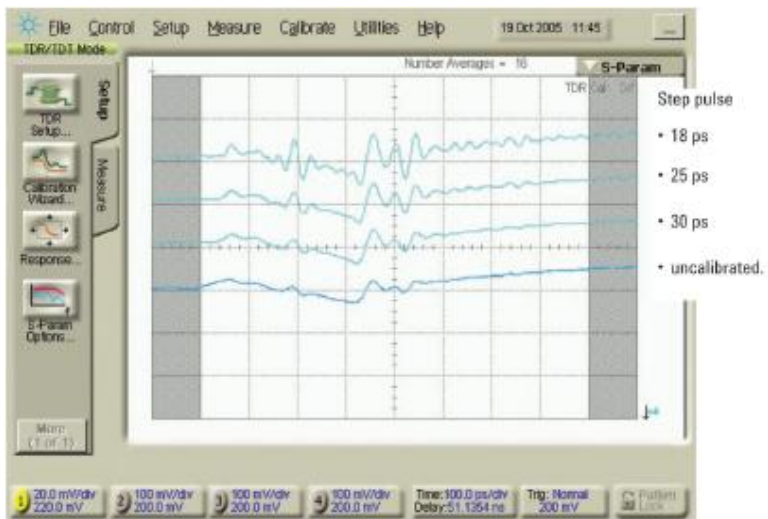
C) 多重反射的校正:

当被测系统中有多个阻抗不连续点时,由于每个点都会产生反射,而且反射回来的波形再碰到阻抗不连续点时还有可能再反射回去,因此会造成 TDR 的波形变形,不利于进行精确测量。86100C 选件 202 增加了多重反射校正功能,可以补偿多次反射对 TDR 波形的影响。下图是多重反射校正前后 TDR 波形的比较,可以看到校正后的波形去掉了多重反射的影响。



D) TDR 阶跃脉冲的质量

发送到被测设备的 TDR 阶跃脉冲的质量会影响 TDR 测量的结果。精心设计的 54754A 模块可以最大限度减小偏差，以获得具有小过冲和振荡的清晰脉冲，从而减少测量误差。从 TDR 校准获得的数字滤波可以模拟不同上升时间的阶跃脉冲，以验证实际信号脉冲的反射情况。使用 TDR 校准还可以模拟更快阶跃脉冲的反射情况。下图显示的是不同上升时间的阶跃脉冲的反射结果。



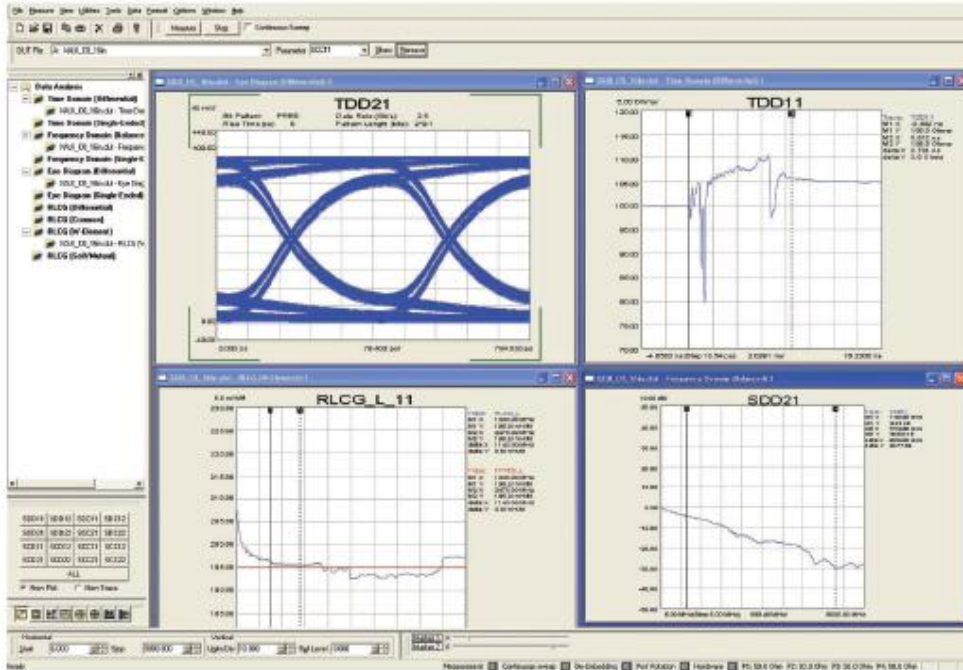
E)通过加快实际阶跃脉冲来改善分辨率

Pi cosecond Pul se Lab(皮秒脉冲实验室)的信号源增强模块通过应用 9pS 上升时间的阶跃脉冲可以提供更精细的距离分辨率。使用信号源增强模块时需要于更高带宽的接收模块配合使用, Agilent 的 86118A 是最优秀的接收机模块, 具有 70G 带宽和远端探头, 可消除因为连接电缆导致的性能降级。下图是使用脉冲增强模块和宽带接收机进行 TDR 测试的实例。



F)通过 PLTS 进行全面的差分测试

基于 TDR 的 N1930A 物理层测试解决方案, 为详细的差分线路测试提供了完整的解决方案。该系统具有 16 相 S 参数和广泛的校准测试功能。Agilent 的 PLTS 系统同时还具有眼图模拟功能, 可以模拟真实信号经过线路传输以后的眼图形状, 并可以提取线路的 RLCG 模型用于仿真建模分析。下图是 PLTS 的分析结果实例:



G) TDR 附件:

为了方便地进行 TDR 测试, 同时有尽可能减小测试误差, Agilent 还提供很多 TDR 的测试附件。

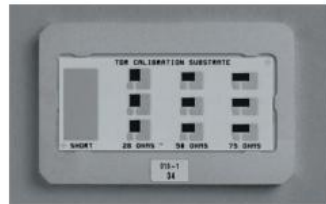
N 1020A TDR 探头套件



N 1020A TDR探头套件是一款通用单端 TDR 探头, 带有测试衔铁, 用于按 X-Y-Z 方向定位探头。包括 N1020A-K05 校准基片。

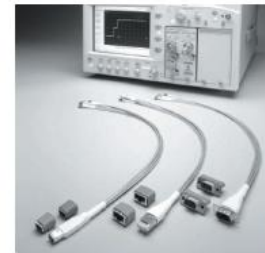
带宽: > 6 GHz
探头斜度: 1.5mm - 5.0 mm

N1020-K05 校准基片



使用激光调整的精密薄膜, 该基片能够提供无与伦比的精度, 使 TDR 校准能够在探头尖端完成。

N1020A-K09,10,11 TDR 电缆



SMA 连接器直接连接到三种类型的高速数字接口连接器上。包括用于 TDR 校准的短路和负载连接器。

- 火线 FireWire(IEEE 1394)
- 千兆以太网(IEEE 802.3Standard) 高速串行数据连接器(HSSDC)
- Fiber Channel(ANSI x3.297-1997) DB-9

差分 TDR 探头套件



通用单端和差分探头套件。虚拟接地旨在使用户能够使用用于 TDR 校准的校准基片

带宽： > 15 GHz 典型值

探头斜度：0.5 mm - 3.0 mm