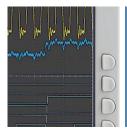
Tektronix高速信号互连测试和验证解决方案







泰克科技(中国)有限公司 2011年3月

Tektronix^o Innovation Forum

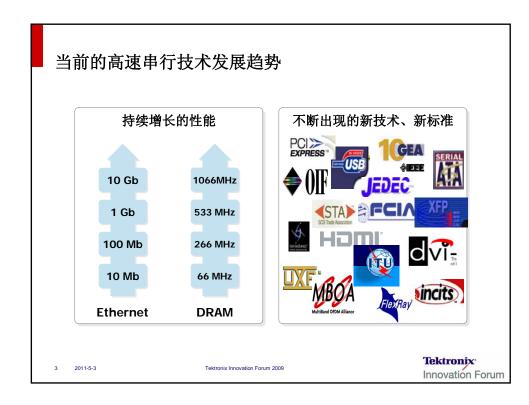
日程安排

- 在高速串行数据技术的推动下,性能指标日新月异
- TDR高速串行互连测试和验证
 - TDR的原理和应用
 - TDR在信号完整性SI(Signal Integrity)中的应用
- 泰克公司TDR测试解决方案
- 泰克串行数据链路测试解决方案

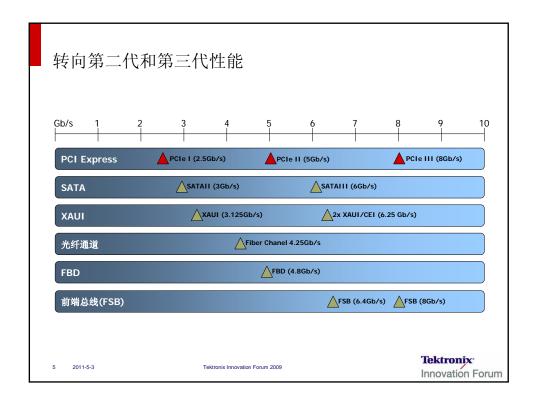
2 2011-5-3

Tektronix Innovation Forum 2009

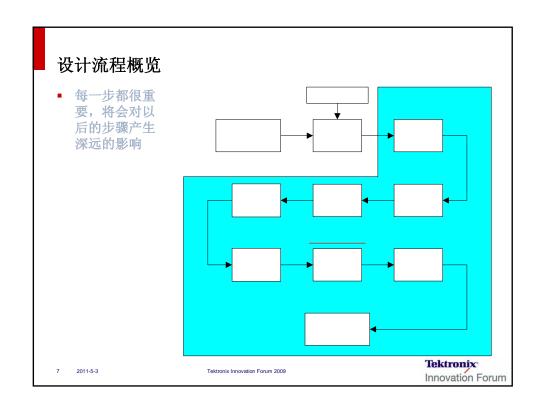
Tektronix⁵ Innovation Forum











设计功能及实 现原理

日程安排

- 在高速串行数据技术的推动下,性能指标日新月异
- TDR高速串行互连测试和验证
 - TDR的原理和应用
 - TDR在信号完整性SI(Signal Integrity)中的应用
- 泰克公司TDR测试方案
- 泰克串行数据链路测试解决方案

2011-5-3 Tektronix Innovation Forum 2009

Tektronix Innovation Forum

内部总线 互连能力

设计功能 实现

4

阻抗和信号完整性问题

计算机、通信系统、视频系统和网络系统等领域的数字系统开发人员正面临着越来越快的时钟频率和数据速率,随之,信号完整性变得越来越重要。在当前的高工作速率下,影响信号上升时间、脉宽、时序、抖动或噪声内容的任何事物都会影响整个系统的性能和可靠性。为保证信号完整性,必须了解和控制信号经过的传输环境的阻抗。阻抗不匹配和不连续会导致反射,增加系统噪声和抖动,在整体上降低信号的质量。

■ 阻抗控制是当前许多数字系统、元器件规范的一部分,如USB2.0, Firewire(IEEE 1394),PCI Express,Infiniband,Serial ATA, XAUI等规范。业内已经普遍使用仿真工具设计高速电路,仿真加快了 设计周期,最大限度地减少了错误数量。但是仿真之后,必须进行工程 验证来检验仿真设计,这其中就包括阻抗测量。

2011-5-3

Tektronix Innovation Forum 2009

Tektronix Innovation Forum

IPC规范了阻抗、差分阻抗的测试方法

 测试PCB、Cable、Connector等互连环境的特性阻抗的最常用的方法 是使用时域反射计TDR。TDR规范由IPC.org制订,可以在网站上免费 下载: www.ipc.org/4.0 Knowledge/4.1 Standards/test/2.5.5.7.pdf,下面 就基于TDR规范介绍阻抗、差分阻抗测试方法,精确测量的校准方 法,TDR的应用等内容。

10 2011-5-3

Tektronix Innovation Forum 2009

Tektronix^{*}

Innovation Forum

PCB验证

- 仿真布线是关键
- 实测也必不可少
 - 简单的短路测试
 - 阻抗验证
 - 接插件选择
 - 串扰情况
 -
- 测试PCB、Cable、Connector等传输线特性阻抗的最常用方法是 TDR方法。

11 2011-5-3

Tektronix Innovation Forum 2009

Tektronix^o Innovation Forum

典型的TDR应用

- ▶ 典型应用:
 - 印刷电路板的特性阻抗测量
 - ▶ 高速互连:背板,转接头,插座等特性分析
 - 线缆,尤其是高速差分接口线的特性测量
- ▶ 典型测试:
 - ▶ 单端与差分阻抗,齐模与偶模阻抗
 - 电感与电容测量
 - ▶ 串扰,传输延迟,衰减,眼图,回波损耗等测量
 - ▶ 频域S-参数测量

12 2011-5-3

Tektronix Innovation Forum 2009

Tektronix^o

Innovation Forum

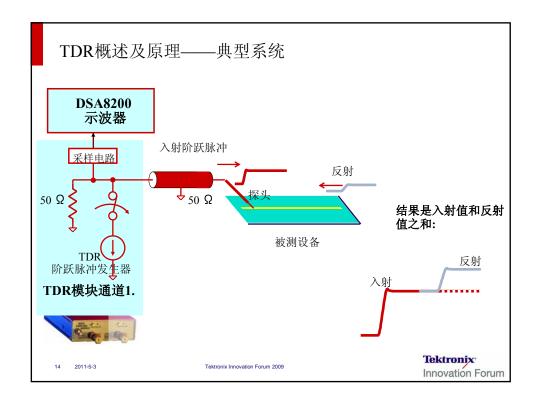
TDR概述及原理

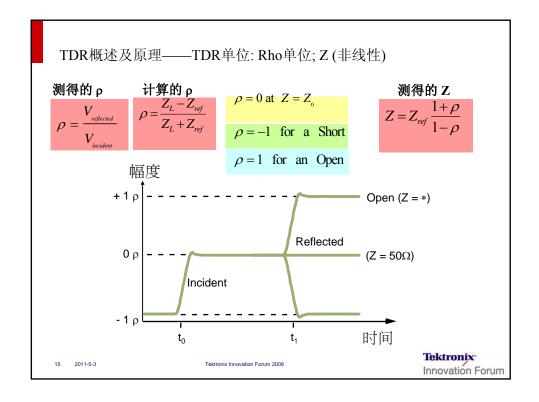
什么是TDR?

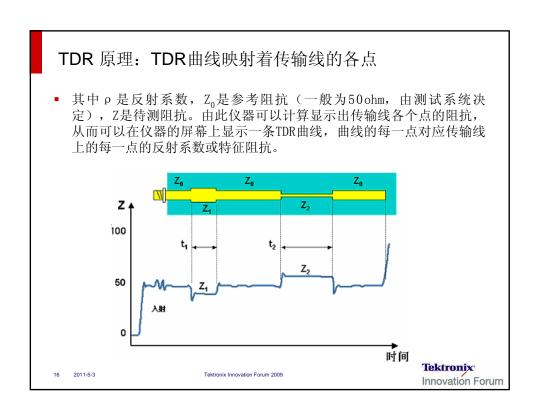
- <u>TDR</u>是时域反射计英文(<u>Time Domain Reflectometry</u>)的第一字母缩写 可以直观显示和测量电路反射的电能 (PCB, 电缆, IC封装, ...).
- 原理: 当传输路径中发生阻抗变化,部分能量会被反射,剩余的能量会继续传输。只要知道发射波的幅度及测量反射波的幅度,就可以计算阻抗的变化。同时只要测量由发射到反射波再到达发射点的时间差就可以计算阻抗变化的位置。
- 与雷达类似(是固定的,而不是旋转的),但它探测的是电路,而不是空中;观察到的阻抗不匹配不是飞机,而是坏连接器、分层PCB等等
- 今天,基本TDR的多项扩展非常重要:
 - <u>差分TDR</u>
 - TDT-发送测量,而不是反射测量

2011-5-3 Tektronix Innovation Forum 2009

Tektronix^o Innovation Forum

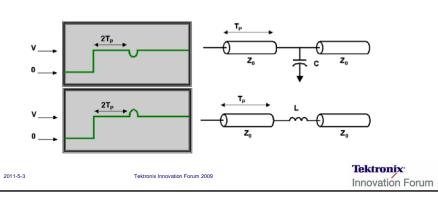






TDR 原理: TDR波形变化处反映寄生参数

■ 当传输线上存在寄生电容、电感(如过孔)时,在TDR曲线上可以反映出寄生参数引起的阻抗不连续,而且这些阻抗不连续曲线可以等效为电容、电感或其组合的模型,因而TDR也可以用来进行互连建模。TDA公司的IConnect软件就是一个典型的基于TDR的建模软件,可以直接装在DSA8200中调用TDR/TDT参数进行互连的建模仿真。



TDR 原理: TDR分辨率

- 多种因素影响着TDR系统分辨间隔紧密的不连续点的能力。如果TDR系统的分辨率不足,间隔小或间隔紧密的不连续点可以平滑成波形中的一个畸变。这种效应不仅会隐藏某些不连续性,还可能会导致阻抗读数不准确。
- TDR测量时发出的阶跃脉冲的上升时间是影响TDR分辨率的最关键因素:

$$T_{(resolution)} = \frac{1}{2} T_{R(system)}$$

3 2011-5-3 Tektronix Innovation Forum 2009

Tektronix[•] Innovation Forum

分辨率要求

■ 基本分辨率, 采用t_{rise} / 2规则:

Rise time,	Resolution in	Resolution in FR4, buried	
ps	air, mm	run (v=0.446*C _{light}), mm	Tektronix products
10	1.50	0.67	
15	2.25	1.00	80E10
20	3.00	1.34	80E08
28	4.20	1.87	80E04
40	6.00	2.68	80E04
150	22.50	10.04	80E04

• 让我们看一下实际分辨率

19 2011-5-3

Tektronix Innovation Forum 2009

Tektronix[•] Innovation Forum

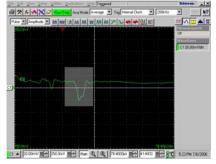
实际分辨率(演示电路板, 微带)

• 15 ps反射上升时间, 2.5mm间隔

Topond

Acquired Topond

• 15ps反射上升时间, 1.25mm间隔



- 在1.25mm以下时会发生什么情况?
- 不连续点*没有消失*,而是变成一个不连续点
- 可以明显看出,能够使用15ps和80E10实现**单个不连续点的亚毫米分辨率**

20 2011-5-3

Tektronix Innovation Forum 2009

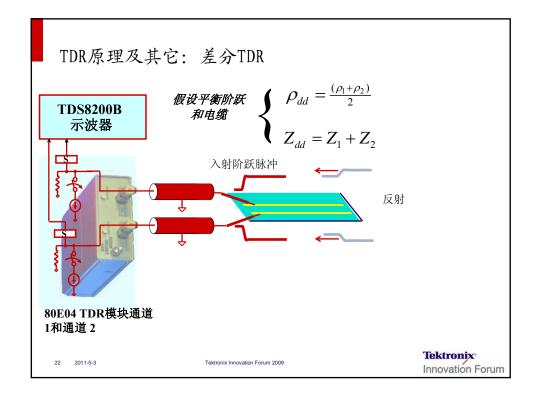
Tektronix^o Innovation Forum

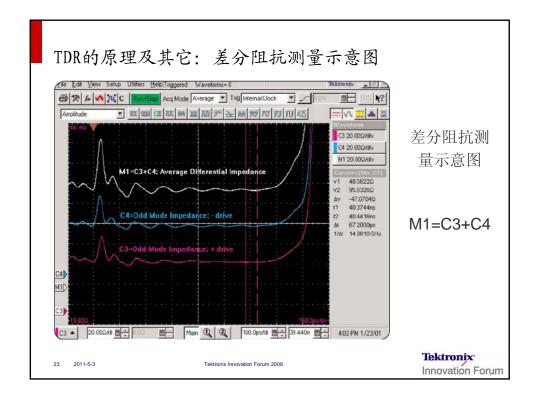
差分TDR测量: 越来越多的设计采用串行总线来传输高速信号

由于信号完整性问题,越来越多的采用差分线来传输信号:

- 差分结构:由于共模抑制,能够更好地抗干扰
- 差分结构:由于抵消场,降低辐射噪声(EMI)
- 差分结构:实现了更加精确的时序控制
- 差分结构: 由于抗干扰能力及降低辐射能量,减少了串扰
- 差分结构:减少了由于电流瞬变导致的电源噪声

21 2011-5-3 Tektronix Innovation Forum 2009 Innovation Forum





TDR在信号完整性SI(Signal Integrity)中的应用——信号完整性的定义 信号完整性SI(Signal Integrity):信号在信号传输线上的质量,在要求的时间 内,信号能不失真地从源端传送到接收端,我们就称该信号是完整的 SI解决的是信号传输过程中的质量问题,尤其是在高速领域,数字信号的传输 不能只考虑逻辑上的实现, 物理实现中数字器件开关行为的模拟效果往往成为 设计成败的关键 **Text-Book View of Digital Signals** Real View of Digital Signals (analog) Logic Logic Signal Signal +5 Volt +5 Volt Supply Supply Ground Ground -Tektronix^e 2011-5-3 Tektronix Innovation Forum 2009 Innovation Forum

TDR在信号完整性SI(Signal Integrity)中的应用——Reflection and Crosstalk(反射与串扰)

反射(Reflection):指由于阻抗不匹配而造成的信号能量的不完全吸收,反射的程度可以由反射系数ρ表示.

利用TDR技术可以准确的测量受控线的阻抗变化,从而可以预测可能出现的信号完整性问题,将问题消灭在萌芽状态.

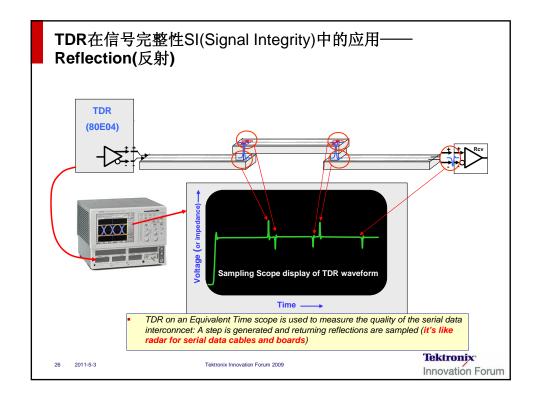
■ 串扰(Cross Talk): 串扰是指当信号在传输线上传播时,因电磁耦合对相邻的传输线产生的不期望的电压噪声干扰,这种干扰是由于传输线之间的互感和互容引起的.

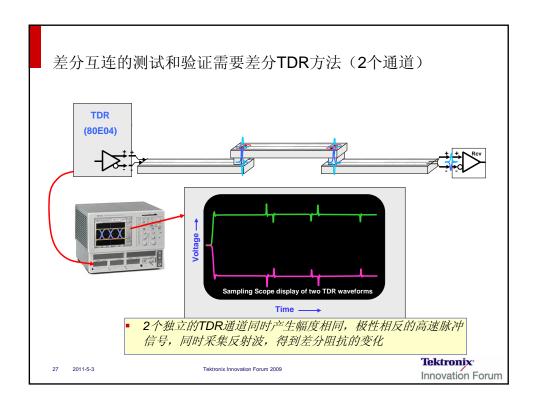
过大的串扰可能引起电路的误触发,导致系统无法正常工作.

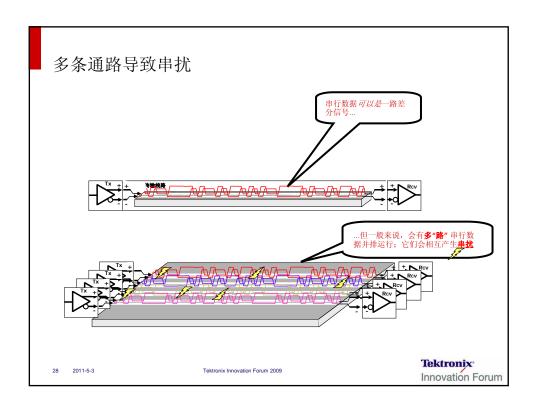
25 2011-5-3

Tektronix Innovation Forum 2009

Tektronix^o Innovation Forum







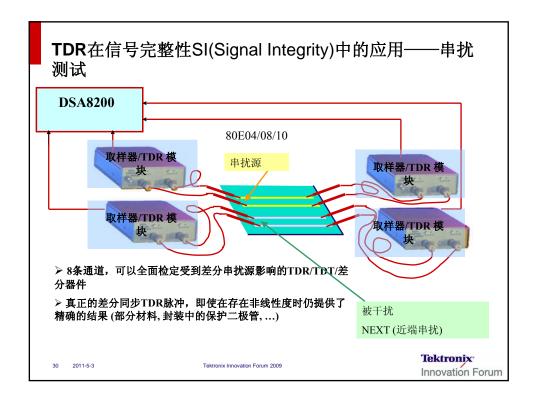
TDR在信号完整性SI(Signal Integrity)中的应用——远端串扰和近端串扰

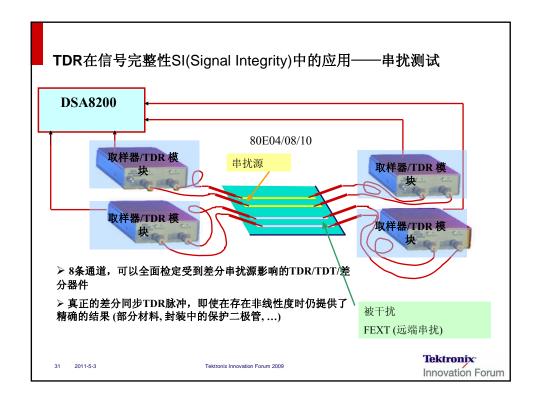
电感耦合串扰跟电容耦合串扰的情况类似,近端串扰信号具有低电平、宽脉冲特点;远断串扰信号是一个脉冲宽度为tr的脉冲尖峰,不过其极性与电容耦合的远端串扰信号的极性相反.

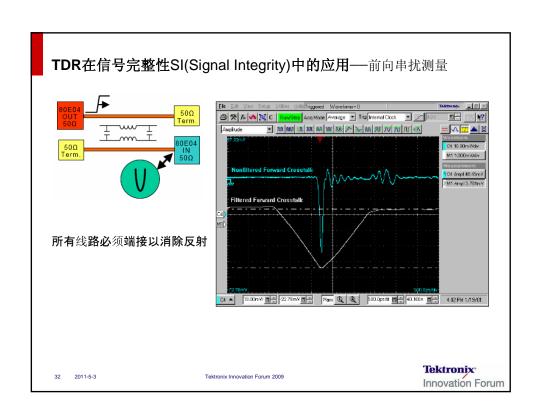
实际上电感耦合串扰和电容耦合串扰是同时存在的,两种串扰的叠加在近端仍然是一个宽脉冲信号;在远端,由于两种串扰电压的极性相反,最终的串扰的极性要由它们的相对大小来决定.因此在被干扰线的远端,串扰表现为一个窄脉冲,脉冲宽度为tr.也有可能出现另外一种情况,那就是两种串扰的大小相等,于是串扰被完全抵消,就是说远端串扰为0.

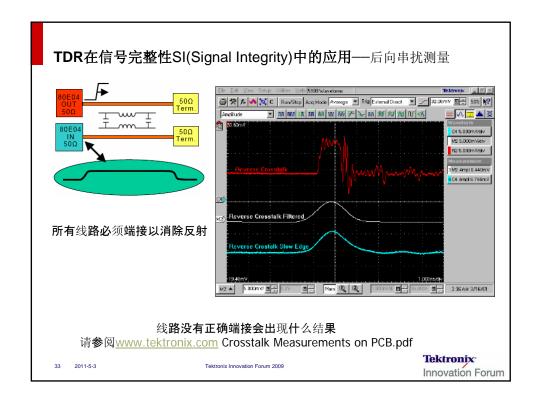
考虑干扰源信号到达负载端之后的情况.如果负载端的阻抗与传输线阻抗相匹配,当信号传输到负载端时,信号被完全吸收而没有反射,之后干扰源信号很快就会达到一个稳定的状态,直到信号第二次发生变化.如果负载端的阻抗与传输线阻抗不匹配,负载端会把到来的脉冲按一定的比例(与反射系数有关)反射回去,这时如果源端(Source Load)是阻抗匹配的,反射信号到达源端时就不会再发生反射了.如果源端阻抗也不匹配,将出现多重发射,其引起的串扰也比较复杂.

29 2011-5-3 Tektronix Innovation Forum 2009 Innovation Forum









日程安排

- 在高速串行数据技术的推动下,性能指标日新月异
- TDR高速串行互连测试和验证
 - TDR的原理和应用
 - TDR在信号完整性SI(Signal Integrity)中的应用
- 泰克公司TDR测试方案
- 泰克串行数据链路测试解决方案

Tektronix*

Tektronix Innovation Forum 2009

Innovation Forum





泰克公司TDR测试方案—TDR Modules

	Typical TDR Rise Tir Incident* ³	ne at Full Bandwidth Reflected*3	Bandwidth Performance*4
80E10	12 ps	15 ps	50 GHz, 40 GHz and 30 GHz (user-selectable)
80E08	18 ps	20 ps	30 GHz, 20 GHz (user-selectable)
80E04	23 ps	28 ps	20 GHz

TDR模块主要参数表

37 2011-5-3

Tektronix Innovation Forum 2009

Tektronix[•] Innovation Forum

泰克公司TDR测试方案-P8018/P6150



20 GHz Probe Tip Bandwidth 50 Ω Impedance TDR Passive Probe

2011-5-3



>9GHz带宽 1X, 10X 衰减探针 可调距离宽度的接地线 <38.8ps上升时间 <0.15pF 输入电容

Tektronix Innovation Forum 2009

Tektronix[•] Innovation Forum

泰克公司TDR测试方案-P80318-业界独一无二的18GHz 差分TDR探头

- P80318 18GHz 100 Ω 手持式TDR阻抗测量探头
 - 0.5mm to 4.2mm可调间距探头尖
 - FR4材质PCB最小2.5 mm (0.1 in.) 间距分辨
 - 与80A02模块一起使用时提供EOS/ESD 保护功能
- 专门优化用于差分TDR/TDT测量(不支持共模和单端 测量)
 - 单端测量请使用P8018!
- P80318X 18GHz 100 Ω 手持式TDR差分阻抗测量附加探头
 - 用于主要探头需要维护时的替代品,确保生产时间









Tektronix*
Innovation Forum

39 2011-5-3

Tektronix Innovation Forum 2009

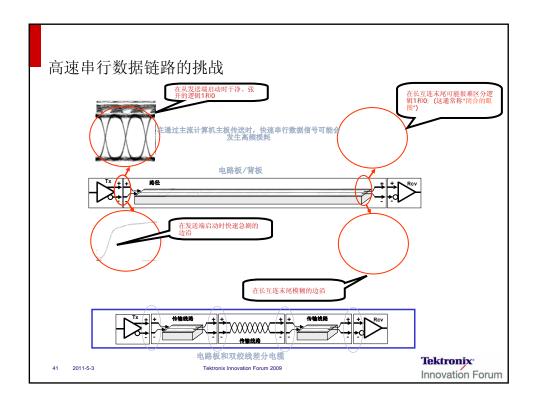
日程安排

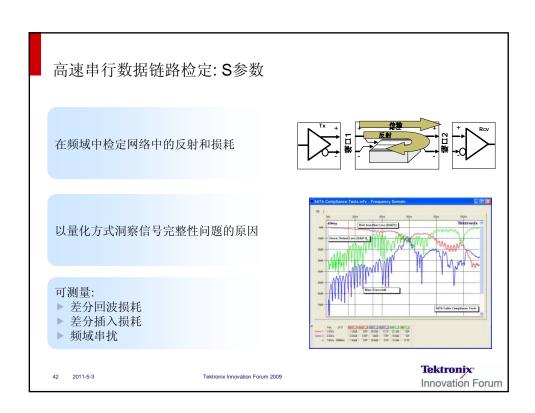
- 在高速串行数据技术的推动下,性能指标日新月异
- TDR高速串行互连测试和验证
 - TDR的原理和应用
 - TDR在信号完整性SI(Signal Integrity)中的应用
- 泰克公司TDR测试方案
- 泰克串行数据链路测试解决方案

40 2011-5-3

Tektronix Innovation Forum 2009

Tektronix Innovation Forum





标准

PCI Express 1.0

PCI Express II

FC 1, 2, 4 Gb/s

FB-DIMM II

Infiniband

XUAI

HDMI 1.3

SATA II

数据读率

3 Gb/s

2.5 Gb/s

5 Gb/s

.75 Gb/s 2.25 Gb/s

4.25 Gb/s

2.5 Gb/s

TDR

差分回波损耗

各种标准规定了要求

不管是在设计中还是在制造中,互连 测试要求都是由标准推动的

许多标准要求在一致性测试中进行S 参数测量

测试的设备类型:

- ► PCBs
- ▶ 电缆组件
- ▶ 连接器
- ▶ 插座和其它小型设备

▶ Tx/Rx输入

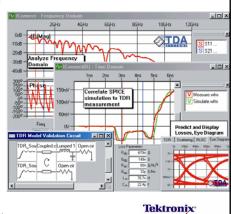
2011-5-3

Tektronix Innovation Forum 2009

Tektronix Innovation Forum

TDR与高级分析软件的结合: IConnect软件

- 直接装在DSA8200中;
- Z-Line 真实阻抗测试; S参数测试; 眼图测试; 电路模型提取
- 基于TDR/TDT测试S参数,回波损耗等互连的频域参数和模型;
- 建立带损耗的线路模型,预测眼图变化;
- 建立差分线中的串扰和抖动模型;
- 建立PCB轨迹上的反射和振铃模型, 包括连接器、插座和封装等;
- 使用与SPICE模拟器的Iconnect 内置接口,检验模型的正确性;
- 能够获得封装或连接器寄生参数。



44 2011-5-3

Tektronix Innovation Forum 2009

Innovation Forum

阻抗准确性 TDR 多重反射效应 问题: 在DUT内部由于信号再反射阻抗测量准确性受到极大困扰 Z_2 Z_0 Z_1 \mathbb{Z}_3 $V_{reflected1}$ Vreflected2 t_0 Direction of propagation Time Tektronix^e Tektronix Innovation Forum 2009 2011-5-3 Innovation Forum

阻抗准确度

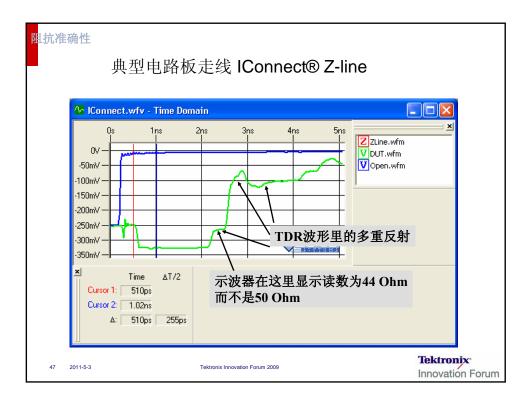
IConnect® 软件 Z-line

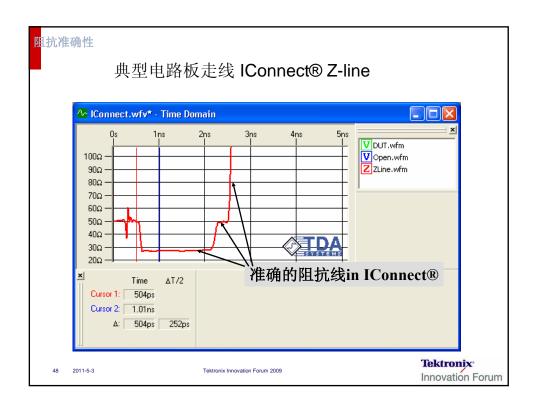
- Z-line可以做什么?
 - 修正在DUT中的由于多重反射造成的阻抗测量错误
- IConnect 可以消除多重反射
 - 确保在多阻抗值DUT中阻抗测量的准确性
 - 直接准确的读出阻抗(Z),延时(t_d), L, C
 - 相对直接从示波器读取阻抗值有所不同也更加准确
- 应用:
 - 提高PCB阻抗测量准确度
 - 包括PCB生产制造和研发
 - 提高故障隔离和失效分析的分辨率
 - 封装,电路板,连接器
 - 直接从修正阻抗线读出阻抗(Z),延时(td), 电感和电容

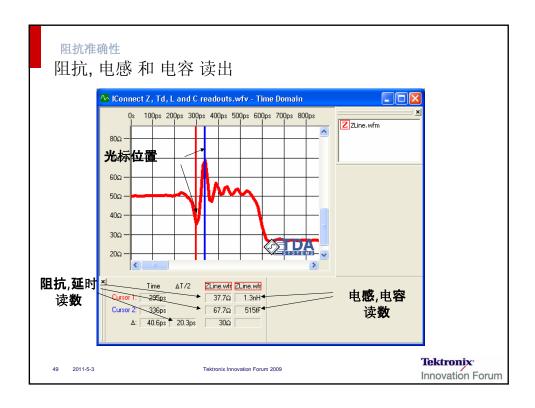
Tektronix*

1 Tektronix Innovation Forum 2009

Innovation Forum 2009







频率相关 S-parameters

IConnect S-parameter 计算

- IConnect S-parameters 可以做什么?
 - 针对数字互连的最容易的S-parameter测量
 - 差分,混合模式和单端测量
 - 简便的反嵌(de-embed)夹具效应
 - 基本的校准能力
- 应用:
 - 测量插入损耗,回波损耗,花最小的努力进行频域串扰测量
 - 包括有源器件输入回波损耗 常见指标!
 - 进行线缆装配和PCB电气一致性测试(SATA, PCI Xpress, Infiniband, Gigabit Ethernet) 极小的成本,高效,快速!
 - 提供2和4端口S-parameter Touchstone文件可用于通道仿真

50 2011-5-3 Tektronix Innovation Forum 2009 Innovation Forum

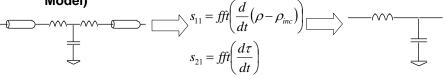
时域 vs 频域; TDR vs VNA

TDR

- 测量被测物的电压随时间的 瞬态响应
- 》能够找出那点出现阻抗不连 续性,将被测物当成多个个 体的组合(Distributed Model),找出个体在时域的 响应。
- 对于"长"的互连, TDR提供" 每段个体"的R, L, G, C的 SPICE模型(Distributed Model)

VNA

- 测量被测物的稳定时的相位与幅度状态
- 外被测物当成一黑盒,找出 "整体"(Lump Model)在频 域的S-参数响应。
- ▶ 对于"长"的互连, VNA只 能提供"整体"的R, L, G, C 的SPICE模型(Lump Model)



51 2011-5-3

Tektronix Innovation Forum 2009

Tektronix* Innovation Forum

S参数: VNA和TDR的比较

VNA:
TDR:

基于VNA测量 基于TDR/T测试

 稳定状态测量
 瞬时

 窄带
 宽带

校准繁琐且时间长校准简单

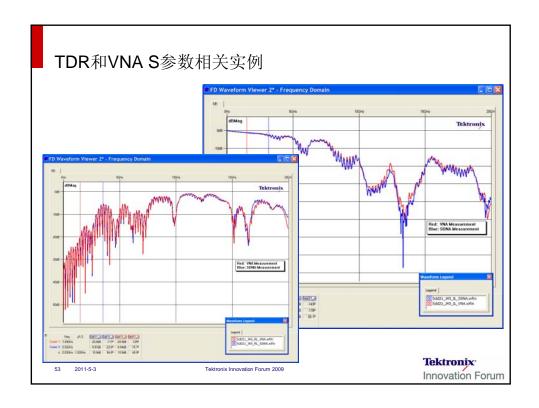
动态范围高(110db) 动态范围小(60db左右)

52 2011-5-3

Tektronix Innovation Forum 2009

Tektronix^e

Innovation Forum



TDT and IConnect 眼图

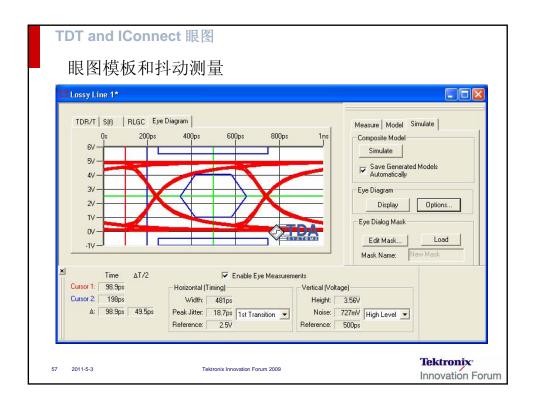
IConnect 眼图

- IConnect 眼图可以做什么?
 - 针对无源互连链路产生眼图 包括串扰效应!
 - 不需要码型发生器,只需要含TDT功能的TDR
 - 只对确定性抖动进行分析 no active component jitter
 - 可加载标准模板,可进行peak-to-peak抖动分析和眼睛张开宽度测量
- 应用:
 - 线缆装配和PCB电气标准一致性测试(SATA, PCI Xpress, Infiniband, Gigabit Ethernet) 超值,高效,快速!
 - 判定系统性能恶化是否由于发送机或者互连链路 在几秒内!
 - 评估前期背板最大性能 在几秒内!

Tektronix Innovation Forum 2009 Innovation Forum 2009







TDR小结

- TDR可以进行印刷电路板的特性阻抗测量
- 高速互连:背板,转接头,插座等的特性分析系统的信号完整性分析
- 线缆,尤其是高速差分接口线的特性测量
- TDR串扰,传输延迟,衰减,眼图,回波损耗等频域S-参数测量

58 2011-5-3 Tektronix Innovation Forum 2009

Tektronix Innovation Forum 2009

Innovation Forum

