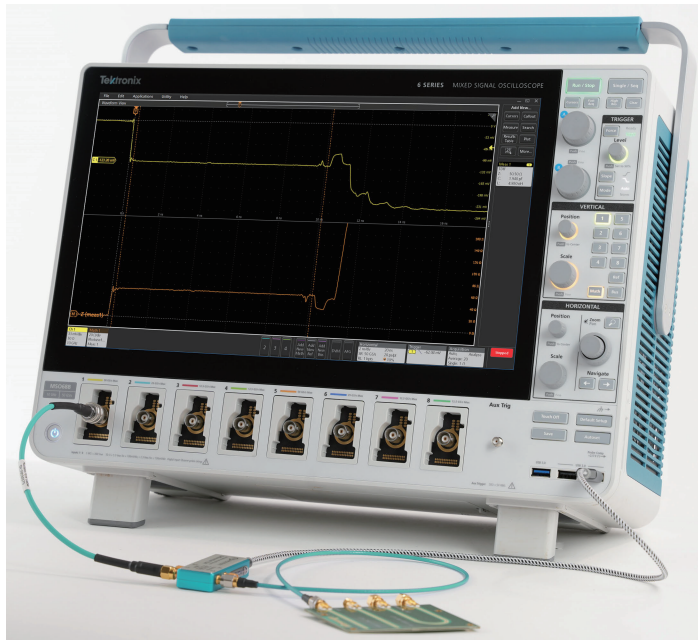


## 时域反射法 (TDR) 分析

4/5/6 Series B MSO 与 7 Series DPO 选件 4-TDR、5-TDR、6-TDR 和 7-TDR 数据手册



- 验证线缆和 PCB 走线等传输线的特征阻抗
- 测量走线长度、线缆长度和信号延迟
- 测量信号路径的上升/下降时间以及过冲/下冲
- 支持线缆和走线损耗建模
- 验证线缆压接和连接器引出结构的完整性
- 确定线缆/PCB 的介电常数
- 测量实验室仪器和探头的频率带宽、上升/下降时间和平坦度

### TDR 设置

TDR 设置需要一台 4/5/6 Series B MSO 或 7 Series DPO 示波器, 以及 Picotest 的 J2154A PerfectPulse® 差分 TDR。J2154A 是一款差分脉冲发生器, 支持单端或差分 TDR 测量。若要在印刷电路板上执行 TDR 测量, 需要使用探头将脉冲发生器连接到被测器件 (DUT)。

Picotest 探头 (如 P2105A 浏览器探头和 P2103A 差分 TDR 探头) 可用于单端和差分 TDR 测量。

反射法 (Opt.TDR) 测量解决方案提供丰富功能, 可用于调试和表征电源完整性电路、PCB、高速应用、线缆以及互连结构的阻抗。TDR 通常通过专用采样设备在时域中应用, 或使用 VNA 查看频域数据。采样示波器仍是一种具有成本效益的解决方案, 但其普及度不如实时示波器。泰克在通用型 4/5/6 Series B MSO 和 7 Series DPO 实时示波器上提供新的 TDR 测量能力, 采集带宽最高可达 25 GHz, TDR 带宽能力最高可达 10.8 GHz。工程师可通过简单配置执行 TDR 测量, 配置包括泰克混合信号示波器、TDR 模块, 以及 SMA 线缆或 TDR 探头。

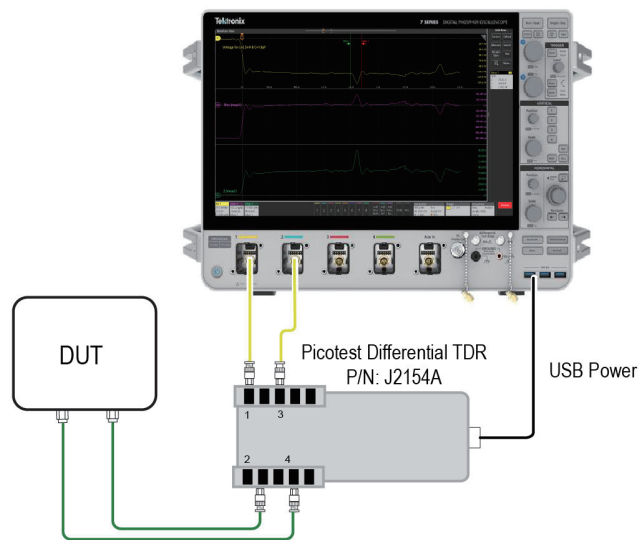
### 主要特性

- 在实时 4/5/6 Series B MSO、7 Series DPO 和 Picotest J2154A 上进行时域反射法 (Opt. TDR) 测量, 采集带宽能力最高 25 GHz, TDR 带宽能力最高 10.8 GHz
- 使用 TDR 信号实时自动完成阻抗曲线分析
- 在感兴趣区域测量单端或差分 Z、L、C
- 保存结果、数据和报告以及阻抗轨迹; 后续可调用进行离线分析
- 自动一键 Preset 功能可为 TDR 测量做好准备, 并同时为开路、短路和负载阻抗执行校准
- 自动设置数学通道以显示阻抗轨迹

### TDR 的关键应用领域

- 用于 PCB coupon 测试的低成本解决方案

4/5/6 Series B MSO and 7 Series DPO



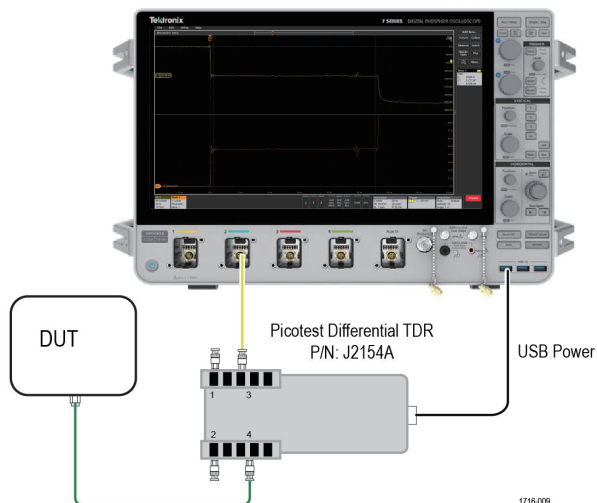
Note:

- SMA cables connects oscilloscope and J2154A
- SMA cables connects DUT and J2154A

单端 TDR 设置。

该连接图显示用于执行单端 TDR 测量的单端 TDR 设置。端口 3 和 4 用于示波器和 DUT 连接。

4/5/6 Series B MSO and 7 Series DPO



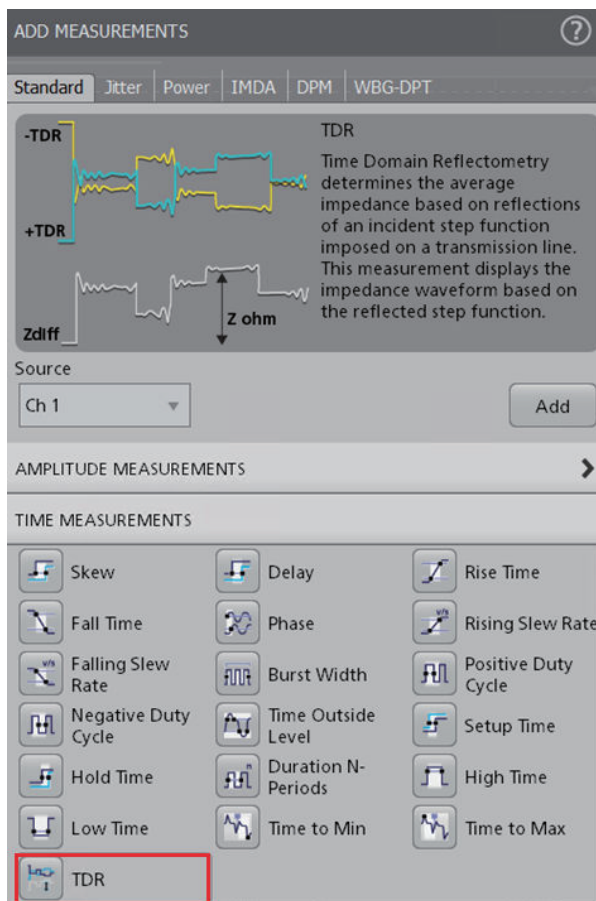
Note:  
 — SMA cables connects oscilloscope and J2154A  
 — SMA cables connects DUT and J2154A

差分 TDR 设置。

如“差分 TDR 设置”所示，差分 TDR 需要连接脉冲发生器的两个端口以发送差分信号，并分析从 DUT 反射回来的差分信号，其中差分信号为正信号与负信号之差。端口 1 和 3 将 TDR 信号连接到示波器，端口 2 和 4 将差分 TDR 信号连接到 DUT。差分 TDR 连接使用匹配线缆，以最大限度降低偏斜。

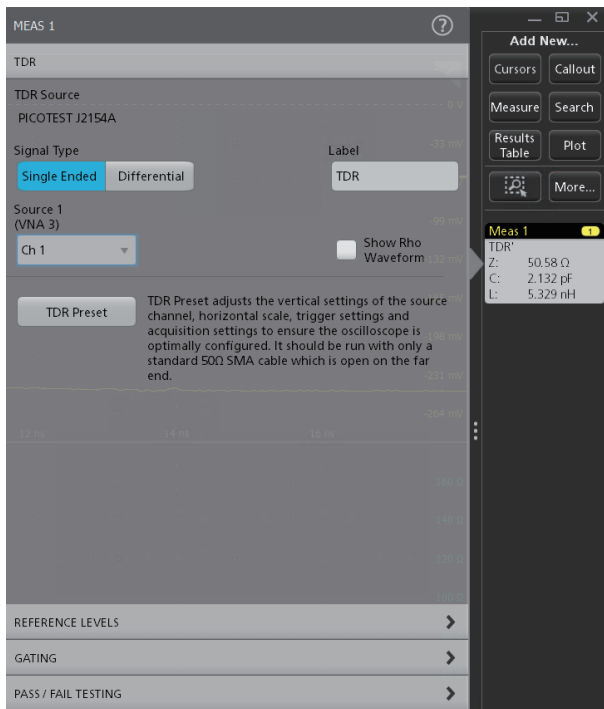
## 测量和配置

安装 Option TDR 后即可使用 TDR 测量，并会显示在 Standard > Time Measurements 选项卡中，如下图所示。



TDR 测量通过 Time Measurements 部分添加。

添加测量后，可使用相关设置来配置并运行测量，如下图所示。您可以将信号类型指定为单端或差分，以进行 TDR 测量。TDR Preset 会自动优化示波器设置，以正确采集信号；随后使用平均采集模式对每条 TDR 线路进行校准，以降低信号噪声。它还会设置最佳采样率和水平刻度，以容纳电压的入射信号和第一次反射。



TDR 测量设置。

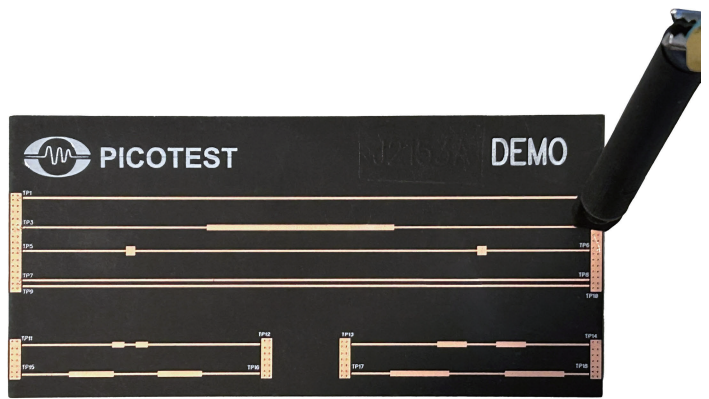
## TDR 校准 (TDR Preset)

与 VNA 仪器不同, TDR Preset 无需针对开路、短路和负载阻抗进行单独的三步校准。相反, 它使用由脉冲发生器生成的 TDR 脉冲波形, 并结合远端任意标准 50 Ω 线缆来寻找校准常数。单击 TDR Preset 后, 示波器会自动调整水平、垂直和触发设置, 以实现最佳校准。随后算法使用 TDR 脉冲寻找校准常数, 并直接补偿反射系数和阻抗轨迹。无需执行多步手动校准和示波器设置。

## 阻抗、电感和电容

TDR分析会自动根据反射信号计算反射系数 (rho) 随时间变化的波形, 并绘制阻抗 (Z) 随时间变化的轨迹。测量徽章会自动识别阻抗发生变化的感兴趣区域, 并显示阻抗 (Z)、电容 (C) 和电感 (L)。在存在多个阻抗变化的情况下, 您可以将光标定位在目标区域周围, 并使用光标门控将测量限制在特定区域, 从而识别感兴趣区域。

例如, 如“PCB 走线”图所示, TDR信号在测试点TP4处通过一条 Picotest PCB演示走线。请注意整个信号路径上的阻抗变化, 并观察到由于PCB路径更宽, 中间区域的阻抗较低。此外, 还可以观察到曲线开始处的凸起, 这表明探头尖端具有电感和电容特性。TDR测量会自动识别第一个电容和电感区域, 并给出相应的 C 和 L 数值。此外, 您还可以使用光标门控在波形的任意区域轻松测量电容和电感。



在具有阻抗变化的 PCB 走线上进行 TDR 测量。注意中间位置的走线变宽。



TDR 分析为上图中的走线提供阻抗波形。测量徽章中显示标记区域内波形的阻抗、电容和电感。屏幕中央较低的阻抗对应 PCB 走线中较宽的部分。

## TDR 带宽

TDR系统带宽是利用TDR阶跃发生器 (trTDR)、示波器 (trscope) 和 TDR 探头 (trprobe) 的上升时间计算得到的有效带宽。

$$tr_{sys} = \sqrt{tr_{TDR}^2 + tr_{scope}^2 + tr_{probe}^2}$$

其中,

trTDR = TDR 从 10% 到 90% 的上升时间或下降时间

trscope = 示波器从 10% 到 90% 的上升时间或下降时间

trprobe = 探头从 10% 到 90% 的上升时间或下降时间

例如, 带宽为 10 GHz (40 ps 上升时间) 的 6 Series B MSO, 与带宽为 13 GHz (34 ps 上升时间) 的 J2154A Picotest 脉冲发生器, 以及 P2105A TDR 探头 (16 GHz 带宽, 21.88 ps 上升时间) 组合使用时, 由于上升时间按平方和的平方根方式合成, 因此得到的有效带宽为 6.15 GHz (56.9 ps 上升时间)。类似地, 原生上升时间为 12 ps 的 25 GHz 型号在与 J2154A Picotest 脉冲发生器配合使用时, 系统上升时间约为 36 ps。这对应约 10.8 GHz 的有效 TDR 带宽。

## 报告生成和保存波形

执行测量后, 可以保存波形数据或会话文件, 以记录结果或用于进一步分析。测量结果可以导出为 .mht 或 .pdf 格式的报告文件。

下面显示的是针对印刷电路板单端 TDR 分析生成的报告。

### Measurement Report Tektronix 2024-05-29T14:28:02+05:30

#### Setup Configuration

Scope Model Number	Scope Serial Number	TekScope Version	Scope Calibration Status
MSO68	Q100066	2.10.2	Pass

#### Waveform Histogram Results

No Waveform Histogram Results Available

#### Measurement Results

Name	Measurement	Src(s)	Mean'	Min'	Max'	Pk-Pk'	Std Dev'	Populatio n'	Accum Mean	Accum Min	Accum Max	Accum Pk-Pk	Accum Std Dev	Accum Pop
Meas 1	TDR: Z	Ref 1	70.653 Ohms	70.653 Ohms	70.653 Ohms	0.0000 Ohms	0.0000 Ohms	1	70.653 Ohms	70.653 Ohms	70.653 Ohms	0.0000 Ohms	0.0000 Ohms	2
	TDR: C	Ref 1	996.81 F	996.81 F	996.81 F	0.0000 F	0.0000 F	1	996.81 F	996.81 F	996.81 F	0.0000 F	0.0000 F	2
	TDR: L	Ref 1	2.4920 nH	2.4920 nH	2.4920 nH	0.0000 H	0.0000 H	1	2.4920 nH	2.4920 nH	2.4920 nH	0.0000 H	0.0000 H	2



## 订购信息

### 型号和软件许可证

产品	选件	支持的仪器	可用带宽
新仪器购买选件	DPO714AX 7-TDR	7 Series DPO (DPO714AX)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 8 GHz</li> <li>• 10 GHz</li> <li>• 13 GHz</li> <li>• 16 GHz</li> <li>• 20 GHz</li> <li>• 25 GHz</li> </ul>
产品升级选件	7-TDR		
浮动许可证	7-TDR-FL		
新仪器购买选件	6-TDR	6 Series B MSO (MS064B, MS066B, and MS068B)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 GHz</li> <li>• 2.5 GHz</li> <li>• 4 GHz</li> <li>• 6 GHz</li> <li>• 8 GHz</li> <li>• 10 GHz</li> </ul>
产品升级选件	SUP6-TDR		
浮动许可证	SUP6-TDR-FL		
新仪器购买选件	5-TDR	5 Series B MSO (MS054B, MS056B, and MS058B), MS058LP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 350 MHz</li> <li>• 500 MHz</li> <li>• 1 GHz</li> <li>• 2 GHz</li> </ul>
产品升级选件	SUP5-TDR		
浮动许可证	SUP5-TDR-FL		
新仪器购买选件	4-TDR	4 Series B MSO (MS044B and MS046B)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 200 MHz</li> <li>• 350 MHz</li> <li>• 500 MHz</li> <li>• 1 GHz</li> <li>• 1.5 GHz</li> </ul>
产品升级选件	SUP4-TDR		
浮动许可证	SUP4-TDR-FL		

### 软件套件

套件	选件	说明
6 Series B MSO	6-PRO-POWER-1Y	1 Year License Pro Power Bundle
	6-PRO-POWER-PER	Perpetual License Pro Power Bundle
	6-ULTIMATE-1Y	1 Year License Ultimate Bundle
	6-ULTIMATE-PER	Perpetual License Ultimate Bundle
	6-ULTIMATE-3Y	3 Year License Ultimate Bundle
	6-ULTIMATE-FT	Floating License Ultimate Bundle
5 Series B MSO	5-PRO-POWER-1Y	1 Year License Pro Power Bundle
	5-PRO-POWER-PER	Perpetual License Pro Power Bundle
	5-ULTIMATE-1Y	1 Year License Ultimate Bundle
	5-ULTIMATE-PER	Perpetual License Ultimate Bundle
	5-ULTIMATE-3Y	3 Year License Ultimate Bundle
	5-ULTIMATE-FT	Floating License Ultimate Bundle

表格续...

套件	选件	说明
4 Series B MSO	4-PRO-POWER-1Y	1 年期许可证 Pro Power Bundle
	4-PRO-POWER-PER	永久许可证 Pro Power Bundle
	4-ULTIMATE-1Y	1 年期许可证 Ultimate Bundle
	4-ULTIMATE-PER	永久许可证 Ultimate Bundle
	4-ULTIMATE-3Y	3 年期许可证 Ultimate Bundle
	4-ULTIMATE-FT	浮动许可证 Ultimate Bundle

## 推荐附件

型号	说明	数量
J2154A PerfectPulse® 差分 TDR (J2154A)	<ul style="list-style-type: none"> <li>PerfectPulse® 差分 TDR</li> <li>Picotest TDR Demo Trace Board</li> <li>两根 (2) 12" BNC-SMA PDN Cables®</li> <li>USB-C 线缆</li> </ul>	1
P2103A 差分 TDR 探头 (P2103A)	<ul style="list-style-type: none"> <li>带 50 和 100 mil 间距探针尖端的差分 TDR 探头</li> <li>两根 (2) 0.5 m SMA-Mini SMP PDN Cables®</li> <li>TDR DiffPair Demo Board</li> </ul>	1
P2105A 1 端口 TDR 探头 (P2105A-1X)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 端口探头头部</li> <li>一根 (1) 1 m SMA-Mini SMP PDN Cable®</li> </ul>	1

泰克已通过 ISO 9001:2015 和 ISO 14001:2015 认证。

ASEAN / Australasia (65) 6356 3900  
 Belgium 00800 2255 4835\*  
 Central East Europe and the Baltics +41 52 675 3777  
 Finland +41 52 675 3777  
 Hong Kong 400 820 5835  
 Japan 81 (120) 441 046  
 Middle East, Asia, and North Africa +41 52 675 3777  
 People's Republic of China 400 820 5835  
 Republic of Korea +82 2 565 1455  
 Spain 00800 2255 4835\*  
 Taiwan 886 (2) 2656 6688

Austria 00800 2255 4835\*  
 Brazil +55 (11) 3759 7627  
 Central Europe & Greece +41 52 675 3777  
 France 00800 2255 4835\*  
 India 000 800 650 1835  
 Luxembourg +41 52 675 3777  
 The Netherlands 00800 2255 4835\*  
 Poland +41 52 675 3777  
 Russia & CIS +7 (495) 6647564  
 Sweden 00800 2255 4835\*  
 United Kingdom & Ireland 00800 2255 4835\*

Balkans, Israel, South Africa and other ISE Countries +41 52 675 3777  
 Canada 1 800 833 9200  
 Denmark +45 80 88 1401  
 Germany 00800 2255 4835\*  
 Italy 00800 2255 4835\*  
 Mexico, Central/South America & Caribbean 52 (55) 56 04 50 90  
 Norway 800 16098  
 Portugal 80 08 12370  
 South Africa +41 52 675 3777  
 Switzerland 00800 2255 4835\*  
 USA 1 800 833 9200

\* 欧洲免费电话。如无法接通，请拨打：+41 52 675 3777

更多信息：Tektronix 维护着一套全面且不断扩展的应用笔记、技术简报和其他资源集合，旨在帮助工作在前沿技术领域的工程师。请访问 [www.tek.com](http://www.tek.com)。

Copyright © Tektronix, Inc. 保留所有权利。Tektronix 产品受已授权和申请中的美国及外国专利保护。本出版物中的信息取代此前发布资料中的所有信息。规格和价格如有变更，恕不另行通知。TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc. 的注册商标。文中提及的所有其他商号均为其各自公司的服务标志、商标或注册商标。