

测量PCB，电缆和互连阻抗，介电常数，速度因子和长度

受控阻抗印刷电路板（PCB）通常包含一个测量“验证条”，通常包括6英寸长的样品走线，并构成印刷电路板面板的一部分。对它们进行测量以确保PCB堆叠和PCB传输线的准确性。通常使用时域反射仪（TDR）测量这些试样以及实际的PCB信号走线，互连和电缆。TDR通常是一种大型，昂贵的仪器，包括高速边沿脉冲和采样示波器。

大多数现代电路设计都依赖于逻辑接收器上的准确逻辑信号。此保证基于对印刷电路板（PCB）传输线，互连和电缆的精心设计。为此，建议定期检查仪表电缆和互连。电缆的压情况经常不稳定，尤其是在低成本电缆中，并且会严重影响测量质量。

来自Picotest的PerfectPulse®是一种低成本的袖珍型脉冲发生器（J2151A/J 2154A）。对于J2151A，信号发生器，是由电阻式端口分路器和实时示波器组合，可用作精确的TDR/TDT测量系统。它可以测量PCB测试试样的阻抗，电缆和不良压接，走线长度，介电常数（Dk）和速度因子（Vf）。本应用笔记介绍了如何使用J2151A或者J2154A测量PCB，电缆以及互连阻抗，介电常数，速度因数和电缆长度。J2154A是单端或差分TDR，包括了一个整合了信号发生器和功分器的整体。

TDR测量原理

信号在空气中以光速传播，约为 $3 \times 10^8 \text{m/s}^1$ 。当通过介质材料时，信号速度减慢。它被减速的量是信号传输的速度因子（Vf），有时也被称为传播速度。

同轴电缆的规格通常包括速度系数，通常在60%到90%之间(1)。速度系数为70%的电缆意味着信号以光速的0.7倍或 $2.1 \cdot 10^8 \text{m/s}$ 传播。

¹ 光的实际速度是 $2.99792458 \times 10^8 \text{m/s}$ ，所以 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ 是一个合理的近似值

速度因子与输电线的介电常数直接相关。电缆或印刷电路板的介电常数与自由空间的介电常数的比值是传输线或PCB的介电常数。介电常数有时表示为 ϵ_r ，有时表示为 D_k 。典型的介电常数值范围为低至约2至高达约24。

速度因子与介电常数之间的关系为:

$$V_f(\text{百分比}) = \frac{1}{\sqrt{D_k}} \times 100 \quad (1)$$

由于我们知道信号以速度系数降低的光速通过电缆或PCB传播，因此有可能将时间和距离联系起来。

$$\text{时间} = \frac{\text{距离}}{V_f \times 3 \times 10^8 \text{ m/s}} \quad (2)$$

以英寸和皮秒为单位求解信号传播

$$\text{信号速度} = 84.75 \times \sqrt{D_k} \frac{\text{ps}}{\text{inch}} \text{ 或者 } \frac{11.81}{\sqrt{D_k}} \frac{\text{inch}}{\text{ns}} \quad (3)$$

因此，信号通过线路或电缆的时间长度是

$$\text{长度} = \frac{11.81 \times t_{\text{ns}}}{2 \times \sqrt{D_k}} \text{ inches} \quad (4)$$

并从一个已知的长度来求解 D_k

$$D_k = \frac{34.875 \times (t_{\text{ns}})^2}{(\text{长度}_{\text{英寸}})^2} \quad (5)$$

在单端TDR测量中，快沿信号从传输线的开始移动到传输线的结束，然后反射到被测量的仪器上。信号通过传输线进行往返行程，仪器使用入射信号和返回信号来测量传播时间和反射系数 Γ ，用于计算传输线阻抗。

$$\Gamma = \frac{Z_{\text{TL}} - Z_0}{Z_{\text{TL}} + Z_0} \quad (6)$$

其中， Z_{TL} 为传输线阻抗， Z_0 为参考阻抗50Ω.

$$\text{计算阻抗, } Z_{TL} = Z_0 \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \quad (7)$$

综合这些信息，TDR信号源产生一个快速边缘信号，它被分成两个等幅度的信号。一个信号被示波器用来监视反射信号，另一个信号被传送到传输线。反射电压用于计算阻抗，而往返信号时间用于计算传输线的介电常数或传输线的长度，这取决于哪个值是未知的。介电常数可以由信号传播时间确定，长度可以由信号传播时间和速度因子 Vf 确定。

测量设置

图1显示了TDR测量设置的图片。一个TDR分配器端口已连接到示波器。由于许多较低带宽的范围使用BNC连接器，因此可能需要射频适配器。推荐使用高质量的适配器，最好是校准级别的适配器。第二个TDR端口使用高质量的电缆、高带宽的1端口探头或可靠的连接器。图2显示了按本说明文档对Picotest演示板进行测量。

进行TDR测量连接的一般过程如下：

1. 将J2151A/J2154A连接到端口分配器，并将端口分配器连接到示波器，如图1所示。将同轴电缆或探头连接到分配器的TDR端口。
2. 将示波器触发器斜率设置为下降沿，并将触发起始设置在屏幕左侧。
3. 使用测量功能或放置光标来测量负脉冲的宽度。以下章节将讨论每种测量所使用的功能或方法。

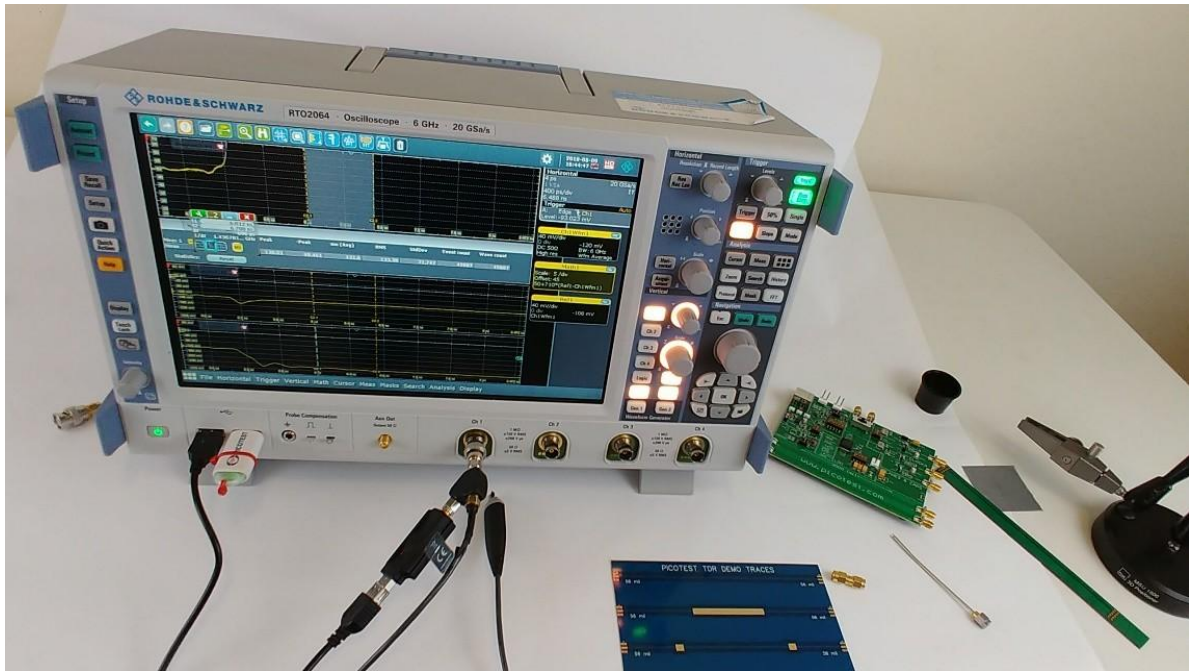


Figure 1: 在本应用指南中，TDR测试的测试配置. 该配置使用 PerfectPulse® USB 连接 TDR 分配器 (已包含) 其中一个输出连接到DUT，另一个输出连接到示波器。



Figure 2: Picotest TDR 演示板.

Measuring PCB, 电缆, 互联阻抗

测量到的示波器电压可以通过如下公式转换为阻抗,

$$R_{DUT} = \frac{2 \cdot R_{GEN} \cdot V_{SCOPE}}{V_{GEN} - 2 \cdot V_{SCOPE}} \quad (8)$$

其中 R_{DUT} 是被测产品阻抗 (DUT), R_{GEN} 是信号源输出阻抗 (50 Ω), V_{SCOPE} 示波器接收到的电压 (-500 mV). 他们可以简化成如下公式

$$R_{DUT} (\text{in } \Omega) = \frac{12.5}{V_{SCOPE} + 0.25} - 50 \quad (9)$$

该公式通常可以应用于示波器内, 使用一个数学函数, 来获得阻抗。示波器的值也可以通过软件如 Mathcad, Matlab或 Octave使用这个公式来得出DUT的阻抗。



图3: 从图3中所示的Picotest TDR演示板测量导线Trace4, 显示了阻抗从47欧姆到52欧姆的阶梯变化。使用公式(9)绘制阻抗图。

测量介电常数和速度因子

测量介电常数不需要进行校准。这是一个时间测量，基于一个已知的长度值，介电常数， D_k ，可以从公式(5)确定。速度因子 (V_f) 可以从(1)中确定。如图1中的测量设置所示。

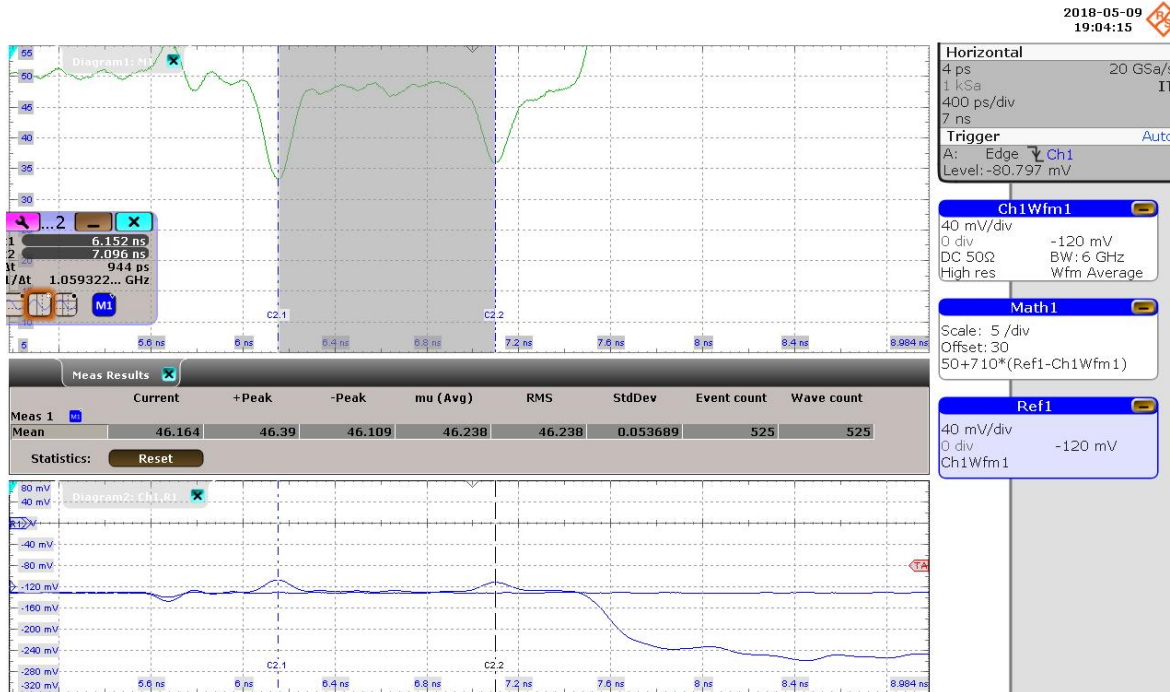


图4：从图3所示的Picotest TDR演示板的第3条轨迹。信号在944 ps中正向传输了3英寸，反向传输了3英寸。因此，基于(5)， D_k =为3.45，基于(1)， V_f =为53.84 %。

测量轨迹或电缆长度

假设电缆速度因子在测量之前就已知，大多数电缆制造商公布该参数。如果没有，则可以切割一小块已知的电缆来测量速度系数，如上一节所示。在使用tdr-示波器组合测量往返时间后，我们可以使用已知 V_f 值的公式(4)来测量长度。图5显示了一个示例。

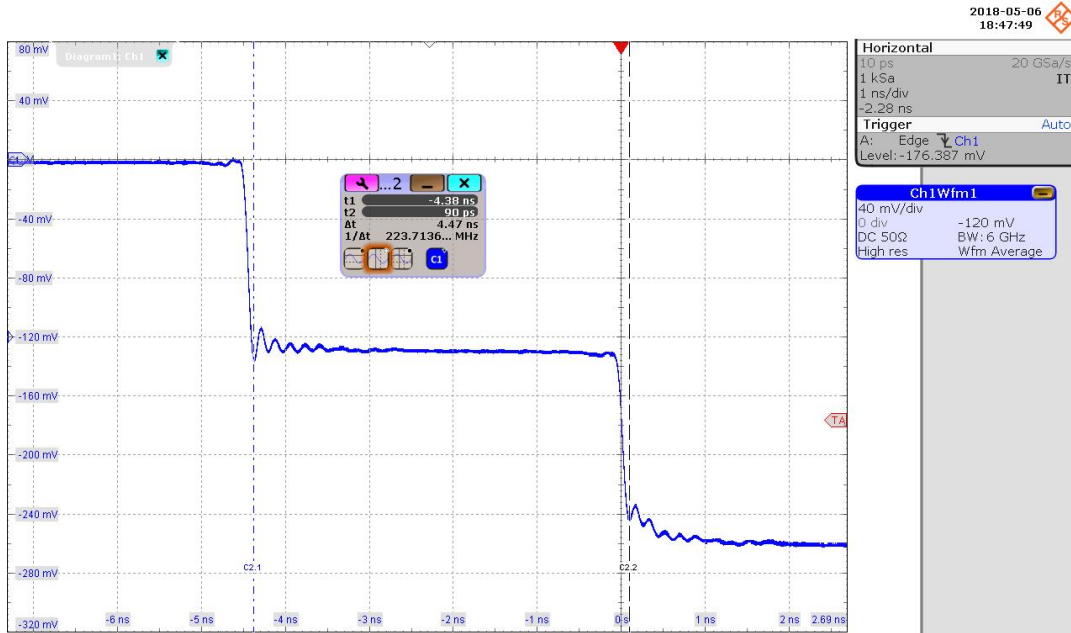


图5：速度系数为70 %的RTK028电缆的测量值。往返行程为4.47 ns，因此长度根据(4)计算为0.47m（电缆的实际长度为0.5 m）。

测量提示

- 使用高质量的电缆和探头。如果需要射频适配器，请使用校准级别的适配器。
- 测量阻抗信号的最平坦部分。这通常是在导线/电缆长度的50%到75%之间。
- 使用门控游标来获得此范围内的平均值。
- 降低带宽会降低分辨率，但会提供较低的噪声结果。标准IPC要求通常可以使用1 GHz-2GHz示波器进行测量。

总结

Picotest J2151A或J2154A是使用现有示波器的低成本TDR/TDT的高性价比选择。它们可用于测量PCB测试试板的阻抗，测试电缆和不良弯曲、轨迹长度、Dk和速度系数。本应用说明展示了如何使用J2151A/J2154A来测量PCB、电缆和互连阻抗、介电常数

（Dk）、速度因子（Vf）和长度。有关更多信息和产品，请访问

<https://www.picotest.com/measurements/MeasuringPCB.html>.