

电流电压探头延时参数测试仪

TF2000



深圳市知用电子有限公司

前言

**警告**

为安全使用本机器

TF2000 探头延时测试仪内含一个 1000V 的高压电源，在本装置工作时，内部电路和输出端口可能存在 1000V 的直流高压。为了保证用户的人身安全，必须严格遵守以下安全注意事项，并按如下说明进行使用。此外，因违反注意事项进行操作所产生的问题，本公司概不负责。

- ◆ 当内部电路和输出端口存在直流高压时，本装置的液晶显示屏会显示电源电压的大小，高于 36V 是不安全的，禁止一切接线操作。
- ◆ 必须先触摸屏上进行关闭高压电源的操作，等到高压电源电压放电低于 36V，才可以接入或移除电流电压探头。
- ◆ 本装置属高压设备，用户不可自行拆卸或维修本装置。否则会引起严重的安全问题
- ◆ 本装置属高压设备，用户必须是有一定的电学基础同时要严格按照本说明书的要求进行使用。

一、概述

在电力电子技术领域，为了准确测试功率器件的开通损耗 E_{ON} 和关断损耗 E_{OFF} ，必须获得非常准确的电流电压探头之间的相对延时参数（skew），然后输入到示波器的对应通道进行延时补偿。否则会导致示波器计算 E_{ON} 、 E_{OFF} 时产生很大的误差。

TF2000 是一款集成了数控高压电源、MOSFET、无感电阻、同轴分流器、控制模块、触摸屏等完整核心组件的**便携式电流电压探头延时测试仪**。

业界首创的可以精确测量单个电流电压探头绝对延时参数的仪器

- 业界首创的以宽带同轴分流器作为精确延时参考基准的方法
- 最高脉冲电压 700V 最大脉冲电流 30A，可以测量高电压大电流的探头的延时参数
- 脉冲上升时间高达 15ns，延时测量的精度高
- 可以测量两个电流电压探头之间的的相对延时

本仪器的创新之处是在电路里增加了一个延时参数可以在物理上计算不需要测量的的宽带同轴分流器作为精确的延时参考通道。在这之前，业界没有找到一个延时参数不需要测量的电流或电压传感器作为延时参考传感器。

TF2000 在业界首次实现在高压(700V)大电流（30A）的状态下测量单个电流电压探头的绝对延时参数，也可以测量两个电流电压探头之间的的相对延时。

电流电压探头的绝对延时参数是指某一个电流或电压探头从输入到输出的延时参数。该延时参数由电流电压探头的电路结构和信号电缆长度产生。生产探头的厂家会给出每一个型号标准的绝对延时参数。但

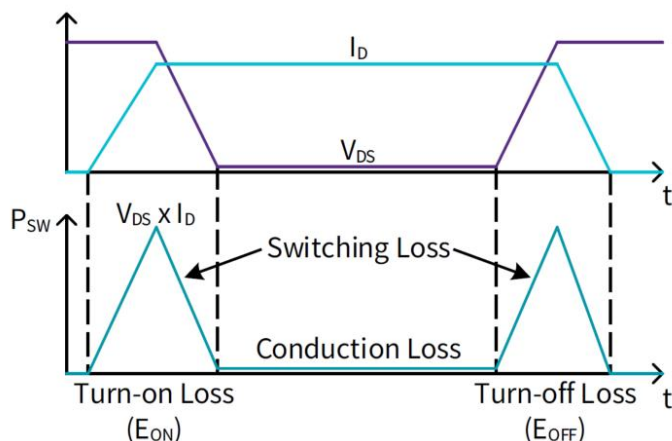
是如果用户对输入线信号线或输出同轴电缆进行了改变，那么就需要重新测量绝对延时参数。

TF2000 通过可视化 UI 软件控制界面，可以设定无感电阻的阻值和调节输出脉冲电压的大小（最大 700V）。可以很方便地一键触发输出一个电流电压脉冲，实现电流电压探头的延时测量。

TF2000 整体尺寸仅有 170*145*100mm，非常便于携带及演示。

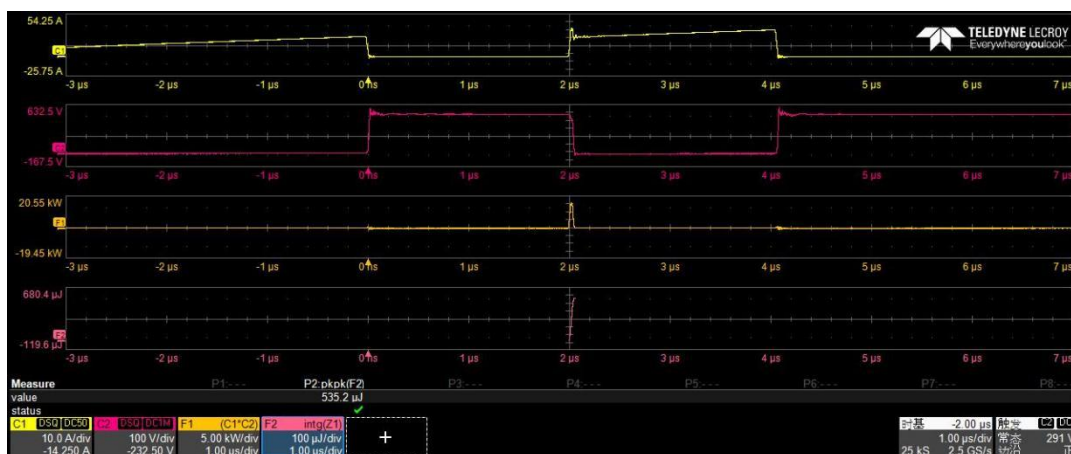
二、开通损耗 E_{ON} 和关断损耗 E_{OFF} 的测量

测试功率器件的开通损耗 E_{ON} 和关断损耗 E_{OFF} 计算方法是：先把电压和电流的波形相乘得到一条损耗功率曲线，然后对开通或关断期间的功率进行积分就得到 E_{ON}/E_{OFF} 。如果对 MOSFET 的导通期间的功率进行积分就得到导通损耗。



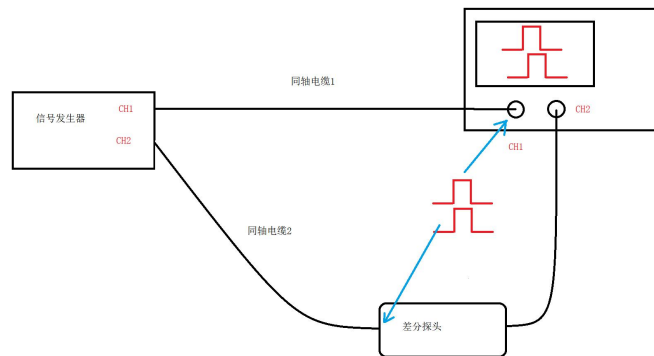
下面是一个测试案例中，我们把电压探头和电流探头准确的相对延时 7ns 输入到示波器的对应通道进行延时补偿。此时示波器计算出准确的开通损耗 $E_{ON}=535\mu J$ 。

示波器通道	CH1	CH2
测试项目	I_D	V_{DS2}
探头类型	同轴分流器	高压差分探头
探头型号	CSD01M20	DP6150
1 米同轴电缆延时	5.2ns	5.2ns
同轴分流器本体的延时（长度为 30mm）	0.1ns	
高压差分的探头本体延时		7.1ns
电压电流探头的相对延时	0	+7ns



三、现有的测量电流电压探头绝对延时参数的方法

测量绝对延时参数的基本原理是必须找到一个延时可以测量或抵消的参考通道



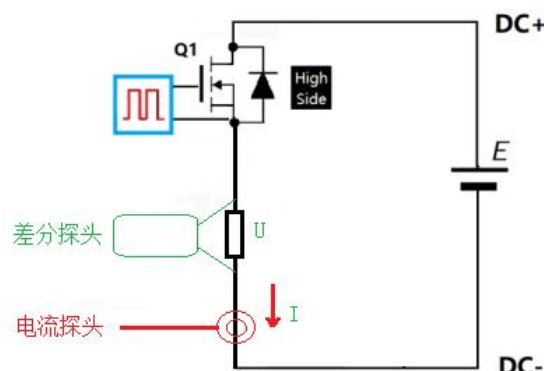
现有的绝对延时参数的测量方法如上图。用一个函数信号发生器的两个通道 CH1、CH2 产生两个同相位的方波信号，一路通过一个同轴电缆 1 连接到示波器的第 1 通道。另外一路通过一个同轴电缆 2 连接到连接到电压探头或电流探头的测试工装（测试工装是把电压信号转换为电流信号的装置）。由于同轴电缆 1 和同轴电缆 2 的长度一样所以延时也是相同的，那么输入到示波器 CH1 输入端的方波信号和输入到差分探头输入端的方波信号是同相位的，或者说两者之间是没有延时的。

待测的电压探头或电流探头的输出连接到示波器的第 2 通道。那么示波器第 1 通道和第 2 通道方波波形的时间差就是待测的电压探头或电流探头自身的绝对延时。

这个方法的最大缺点是函数信号发生器产生的方波信号的信号幅度一般只有 $\pm 10\text{V}$ ，在电流探头测试工装上产生的电流也只有 $\pm 0.2\text{A}$ 。这么小的电流电压信号在测量高压差分探头（700V 到 7000V）和电流探头（30A-10000A）的时，会因为在示波器上的信号幅度太小导致测量精度大大下降，甚至无法测量。

四、现有的测量电流电压探头相对延时参数的方法：

测量电压电流探头相对延时参数的关键是产生两个完全同步的电压和电流的脉冲信号。这个可以在一个无感的大功率电阻上施加一个高压（可以高达几百伏）的脉冲电压实现。如下图，当 Q1 导通时，无感的功率电阻 R 两端的电压和电流脉冲是完全同步的。那么示波器上电压电流探头两个波形的延时差就是两个电压电流探头之间的相对延时参数 skew

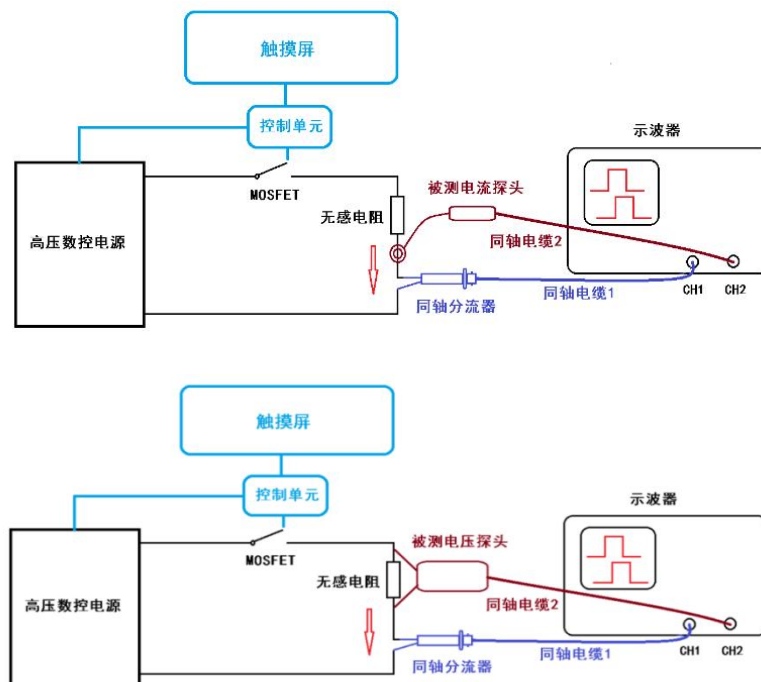


本公司的 **DF6800 偏移校准夹具**就是这样实现测量两个电压电流探头之间的相对延时参数 skew。

这个方法的缺点是不能提供某一个探头的绝对延时参数。因为如果我们知道每一个电流或电压探头的绝对延时参数，那么就可以直接计算两个探头的相对延时参数 skew。无需很费事地两个两个地去测量探头的相对延时参数 skew。

六、TF2000 探头延时参数测试仪的基本原理

TF2000 是一款集成了数控高压电源、MOSFET、无感电阻、同轴分流器、控制模块、触摸屏等完整核心组件的便携式电流电压探头延时测试仪。



用户可以在触摸屏上设定高压脉冲的电压幅度。当用户按动触发按钮，MOSFET 导通，无感电阻上产生一个高压脉冲（可以高达几百伏），同时在回落中也产生一个完全同步的电流脉冲信号。因为是无感电阻，所以该电阻上的脉冲电压 U 和脉冲电流 I 是同相位的，或者说脉冲电压波形和脉冲电流波形是没有延时的。

本仪器的创新之处是在电路里增加了一个延时参数可以在物理上计算不需要测量的宽带同轴分流器作为精确的延时参考通道。在这之前，业界没有找到一个延时参数不需要测量的电流或电压传感器作为延时参考传感器。

同轴分流器是有筒状电阻体构成的，结构非常简单，而且总的长度很短一般是 30mm 左右。按真空中电磁波的传输速度，30mm 的延时时间是 $t_1=0.1ns$ 。这个相对于一般的电流电压探头 10ns 的延时参数，几乎可以忽略不计。同时同轴分流器的带宽高达 2GHz，可以无失真地把高速脉冲电流信号转换为输出电压信号。脉冲的上升沿和下降沿非常精准，有利延时测量。

具体测量方法：

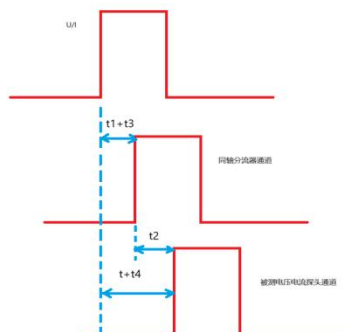
把同轴分流器的脉冲信号输入到示波器第 1 通道，被测的电流或电压探头的脉冲信号输入到示波器的第 2 通道。由于 TF2000 的无感电阻上的脉冲电压 U 和脉冲电流 I 是同相位的，那么示波器显示的延时差就是这两路探头的延时差。而同轴分流器通道的延时参数是可以在物理上计算不需要测量的，这样就可以测量出另外一路被测的电流或电压探头的延时参数。

七、电压或电流探头绝对延时测量计算方法

CSD 同轴分流器采集的脉冲电流信号，通过同轴电缆 1 输入到示波器的第 1 通道。同轴分流器的延时 $t_1=0.1ns$ 。同轴电缆 1 的延时为 t_3 。所以脉冲电流信号到达示波器第 1 通道的总的延时为 $t_1 + t_3$ ，被测的电

压探头或电流探头的输出信号通过同轴电缆 2 输入到示波器的第 2 通道。被测电压或电流探头的绝对延时为 t ，同轴电缆 2 的延时为 t_4 ，所以被测的脉冲电压或电流信号到达示波器第 2 通道的总的延时为 $t + t_4$

假设示波器上测到的第 1 通道脉冲信号超前第 2 通道脉冲信号的时差为 t_2



$$t_2 = t + t_4 - (t_1 + t_3) = t + t_4 - t_1 - t_3$$

那么被测电压或电流探头的绝对延时为 $t = t_2 + t_1 + (t_3 - t_4)$

有下面两种情况：

1. 同轴电缆 1 和 2 采用本仪器附带的两条延时完全相等的同轴电缆： $t_3 = t_4$
那么被测电压电流探头的绝对延时： $t = t_2 + 0.1\text{ns}$
2. 同轴电缆 1 采用本仪器附带的已知延时参数为 $t_3 = 5.2\text{ns}$ 的同轴电缆，同轴电缆 2 是一条未知延时参数 t_4 的同轴电缆：

那么被测电压或电流探头+同轴电缆 2 的总绝对延时为 $t + t_4 = t_2 + t_1 + t_3 = t_2 + 5.3\text{ns}$

八、测量两个电流电压探头的相对延时参数

测量两个电流电压探头的相对延时参数比较简单，把被测的两个探头连接到本装置即可。示波器上测到的第 1 通道脉冲信号和第 2 通道脉冲信号的延时差就是两个探头的相对延时参数。

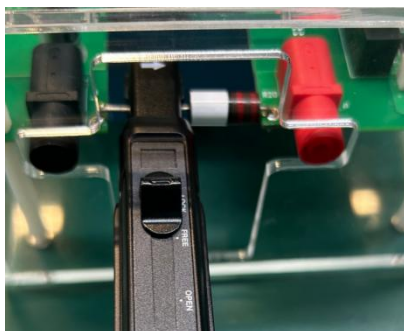
九、TF2000 的使用方法

➤ 接入被测的电流或电压探头并用同轴电缆连接到示波器的两个通道。

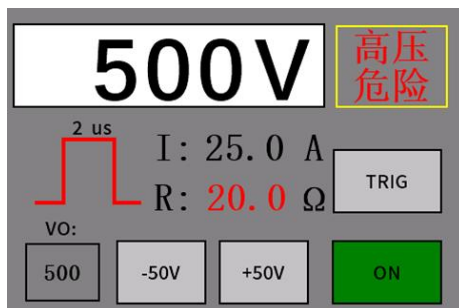
差分探头可以直接插入本机的 4mm 红黑香蕉插座。



电流探头可以直接夹在无感电阻上



- TF2000 接入 24V 电源适配器，本装置的触摸显示屏启动并进入工作状态。



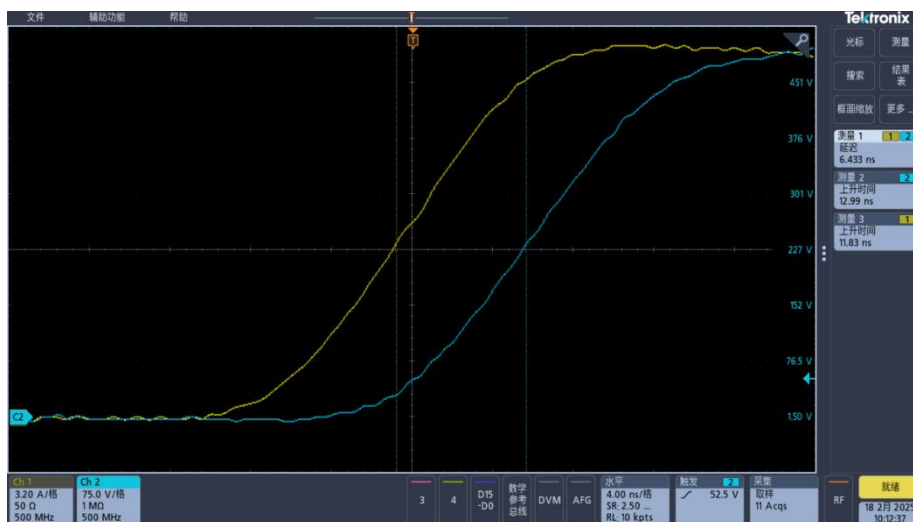
- 设定所用的无感电阻的阻值。
- 设定所需的脉冲电压，本装置会根据所用的无感电阻的阻值自动显示输出的脉冲电流峰值
- 按 ON 键，高压电源输出电压
- 按 TRIG 键，本装置输出一个脉冲宽度为 2us 的同步的脉冲电压和脉冲电流
- 在示波器上测量两个通道的延时，计算被测探头的延时参数

下图是实际测试案例

示波器显示的同轴分流器通道的脉冲电流波形超前高压差分探头的脉冲电压波形 $t_2=6.4\text{ns}$ 。同轴电缆 1 和 2 采用本仪器附带的两条延时完全相等的同轴电缆。那么被测高压差分探头本体的绝对延时：

$$t=t_2+0.1\text{ns}=6.5\text{ns}$$

那么被测高压差分探头本体加上延时参数为 5.2ns 的同轴电缆后的总的延时为 11.7ns



附录：本装置可以测试的本公司的电流电压探头

电压探头	光隔离电压探头	OPL6000/OPB6000 系列	
	无源电压探头	P6251/P6501	

	高压差分探头	DP6000 (A/B/D)系列 DPX6000 (A/B/D)系列 P1300	
电流探头	高频交直流电流探头	HCP8000(HCPX8000/HCP8000C)系列	
	罗氏线圈电流探头	CP9000 系列 CPX9000 系列	
	同轴分流器	CSD*M 系列	

十、装箱单

装 箱 单	
TF2000 本体	1 个
CSD01M20 分流器	1 个
BNC 线 (CK-310) 延时参数为 5.2ns	2 根
24V 电源适配器	1 个
说明书	1 册
保修卡	1 页

CYBERTEK

深圳市知用电子有限公司

SHENZHEN ZHIYONG ELECTRONICS CO.,LTD.

深圳市龙岗区黄阁北路天安数码城4号大厦A1702

Tel: 400 852 0005 / 0755-8662 8000

Q Q: 400 852 0005

Email: cybertek@cybertek.cn

Url: <http://www.cybertek.cn>

© Zhiyong Electronics, 2025

Published in China, Mar. 1, 2025