

# 用虚拟仪器测量冲击电压的实验研究

杨劲京, 赵刚

(上海交通大学, 上海 200030)

## Experimental Study of Measurement of Impulse Voltage Using Visual Instrument

YANG Jin-jing, ZHAO Gang

(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

**摘要:** 用试验初步研究了确定虚拟仪器冲击刻度因数的方法和虚拟仪器测量时间参数的效果。介绍了使用冲击校准仪来标定虚拟仪器测量雷电冲击波形和操作冲击波形的试验过程和结果。

**关键词:** 冲击校准; 虚拟仪器; 数字存储示波器

中图分类号: TM935.2

文献标识码: A

**Abstract:** In the experiment, the method of determination of impulse scale factor of visual instrument and the effect of measuring the time parameters with visual instrument are studied. The experimental process and results of measuring impulse voltage and impulse current are introduced for using impulse calibration system to calibrate visual instrument.

**Key words:** impulse calibration; visual instrument; digital storage oscilloscope

## 1 引言

GB/T16896.1-1997 规定了对冲击高电压和冲击大电流试验时测量用的数字记录仪(包括数字示波器、模拟示波器和峰值电压表)的要求<sup>[1]</sup>。其中把确定标定刻度因数的过程称为校准、把确定标定刻度因数和动态特性以及干扰水平的试验称为性能试验。如何进行性能试验?标准推荐的标准方法是和标准测量系统进行比对,即用两个测量系统同时测量同一电压,同时读取两个系统的读数。由标准测量系统的读数乘以标准测量系统的刻度因数即可得到输入量,再除以被试测量系统的读数即可得到被试测量系统的刻度因数  $F$  值。试验要重复多次 ( $n \geq 10$ ), 这样可得到  $n$  个独立的刻度因数  $F_i$ , 取其平均值  $F_a$  作为系统的标定刻度因数,其标准偏差  $\sigma$  应小于  $F_a$  的 1%。

在冲击电压和冲击电流测量系统中引入虚拟仪器技术是当代高电压测量技术发展的趋势。按照上面所述,虚拟仪器也需要通过周期性的性能试验,方

能够进行日后的冲击电压和冲击电流测量。

## 2 试验设备

### 2.1 冲击校准仪

用 KAL-1000 型冲击校准仪的雷电波冲击发生器 KAL-LI 0.84/60  $\mu$ s 和 1.56/60  $\mu$ s, 按 IEC1083-1 项 2.2.6.2 对数字冲击电压测量系统进行冲击校准。用操作波发生器 KAL-SI250/2500 按照 IEC1083-1 项 2.2.6.1 对虚拟仪器进行冲击校准。表 1 列出了 KAL-1000 型冲击校准仪雷电波冲击发生器和操作波发生器的技术参数。

表 1 KAL-1000 型冲击校准仪的技术参数

		KAL-LI		KAL-SI
		0.84/60 $\mu$ s	1.56/60 $\mu$ s	250/2500 $\mu$ s
充电电压	基本配置	0~1 000 V	0~1 000 V	0~1 000 V
	操作装置	电子式	电子式	电子式
	截断装置	电子式	电子式	电子式
	充电电容/ $\mu$ F	0.6	0.6	0.6
冲击输出	BNC	0~ $\pm$ 1 000 V	0~ $\pm$ 1 000 V	0~ $\pm$ 1 000 V
	输出阻抗/ $\Omega$	20	20	20
	电缆长度/m	$\leq 1$	$\leq 1$	$\leq 1$
准确度	峰值电压	$\pm 1\%/\pm 0.2\%$	$\pm 1\%/\pm 0.2\%$	$\pm 1\%/\pm 0.2\%$
	波前时间	$\pm 2\%/\pm 0.5\%$	$\pm 2\%/\pm 0.5\%$	$\pm 2\%/\pm 0.2\%$
	半峰时间	$\pm 2\%/\pm 0.2\%$	$\pm 2\%/\pm 0.2\%$	$\pm 2\%/\pm 0.2\%$
	截断时间	$\pm 2\%/\pm 1\%$	$\pm 2\%/\pm 1\%$	$\pm 2\%/\pm 1\%$
依据		GB/T16896.1-1997 的表 3		

注:准确度一栏中,斜杠前面的数字表示长期稳定性,斜杠后面的数字表示短期稳定性。

### 2.2 虚拟仪器

虚拟仪器(VI)是信号检测分析和测量控制领域的新技术,在冲击电压和冲击电流测量中引入虚拟仪器技术是当代高电压测量技术发展的趋势。从表 2 的技术参数可以发现,该虚拟仪器可用来测量冲击电压。如根据国家标准,对雷电冲击波和操作冲击波的采样率要大于 60 MS/s,而 VI 的实时采样率可以达到 100 MHz。

表2 虚拟仪器技术参数

带宽	40 MHz
实时采样率	100 MS/s
通道	A, B, EXT, TRIG
通道存储深度	64 kB(可扩充)
最高输入电压	400 V(DC+AC 峰值)
输入耦合方式	DC, AC, GND
垂直分辨率	8 bit
水平分辨率	10 ns
时基范围	50 ms/div~500 ns/div
触发方式	自动、正常、单独
触发源	A, B, EXT, TRIG

### 2.3 数字存储示波器

试验中用来和虚拟仪器对比的示波器是数字存储示波器 TDS3012, 表3列出了数字存储示波器 TDS3012 的主要技术参数。

表3 数字存储示波器 TDS3012 的一些主要技术参数

带宽	100 MHz
通道数	2
每个通道的最高采样率	1.25 GS/s
通道深度	10 kB
垂直分辨率	9 bit
最大输入电压(1 M $\Omega$ )	150 V
输入耦合	AC, DC, GND
时基范围	4 ns/div~10 s/div

通过比较数字存储示波器和 VI 的技术参数可以看出, 数字存储示波器的实时采样性能比 VI 要强。但 VI 的技术参数已经满足了高电压冲击电压测量的基本要求, 可以尝试在高电压测量中运用 VI。

## 3 试验方法

### 3.1 冲击校准法

该试验主要研究确定虚拟仪器的冲击刻度因数的方法和虚拟仪器测量时间参数的效果, 所以采取了冲击校准法<sup>[1]</sup>。

校准冲击的极性应与被测冲击一致。相应于校准冲击的评估应不少于 10 次冲击, 其输出峰值与其平均值的最大偏差应在其平均值的  $\pm 1\%$  以内。时间参数至少应用 10 次冲击来校准。

### 3.2 冲击波形参数的测定

冲击试验电压的测量包括两个时间参数和一个幅值参数<sup>[2]</sup>。这里主要介绍雷电冲击电压波形参数的确定。

在离散的情况下(即用虚拟仪器标尺时), 雷电冲击电压波形参数的确定过程是: ①在波形图上找到峰值, 过峰值做时间轴( $x$ 轴)的平行线。②在正冲击电压波形上升沿(负冲击电压波形下降沿, 下同)找到 30%和 90%峰值点, 在下降沿(负冲击电压波形上升沿, 下同)找到 50%峰值点; 得到 90%和 30%两点的时差, 乘以 1.67 便得到波前时间。③正冲击电压波形下降沿(负冲击电压波形上升沿)50%峰值点在  $x$  轴的投影点到零点的时间段即为波尾时间。

## 4 试验方法及结果

该试验并没有使用求取波形参数的软件来求取波形参数, 而是从虚拟仪器的标尺上读取相关参数, 然后通过计算得到波形参数。其中, 由于在采样率为 100 MS/s 的情况下记录的数据长度很长, 无法同时在一个显示界面内全部显示出来, 而且该虚拟仪器的标尺无法读取不同时在一个显示界面内显示的两个点之间的距离, 所以就采用了降低采样率(采用 5 MS/s), 提高时基(10  $\mu$ s/div)的方法。如果采用波前时间的采样率(100 MS/s), 则无法准确读取波尾时间。试验分为两部分。

### 4.1 雷电冲击波形的测量

用虚拟仪器和数字存储示波器 TDS3012 分别测量 KAL-1000 型冲击校准仪上的 0.84/60  $\mu$ s 和 1.56/60  $\mu$ s 的两种雷电冲击波形。测量这两种波形的峰值、30%峰值点、90%峰值点和 50%峰值点。然后计算两种波的波前时间和波尾时间, 还要计算各种参数的平均值、相对标准偏差、与标准值的偏差。这里的标准值是按照德国 PTB(联邦物理技术研究院)提供的校准值。

由于虚拟仪器自带的探头是 RP3164, 而数字存储示波器所带的探头是 P3100, 所以试验按照示波器加探头的不同, 可以分为 3 组: ①虚拟仪器和自带探头 RP3164。雷电冲击波形为 0.84/60  $\mu$ s 时的试验结果见图 1~5; 波形为 1.56/60  $\mu$ s 时的试验结果见图 6~9。②虚拟仪器和标准探头 P3100。波形为 0.84/60  $\mu$ s, 1.56/60  $\mu$ s 时的试验结果分别见图 10~11, 图 12~13。③TDS3102 数字存储示波器和标准探头 P3100。波形为 0.84/60  $\mu$ s, 1.56/60  $\mu$ s 时的试验结果分别见图 14~18, 图 19~20。每组都要测量  $\pm 50$  V,  $\pm 100$  V,  $\pm 150$  V 这 6 挡。

从测量雷电冲击电压试验中可以看到一些有趣的现象。

(1)用①组测量雷电冲击波形的峰值略小于或等于②组测量雷电冲击波形的峰值, 明显小于③组的结果。如在测量 0.84/60  $\mu$ s 负雷电冲击波中, 当输入是 -52 V 时, 3 个组得到数据分别是 -46, -46, -51 V。所以在折线图中也可以看出, 当充电电压相同, ①, ②组电压峰值的相对标准偏差和与标准值的偏差, 相对③组来说一般要大。

(2)用①组测量雷电冲击波形的波前时间  $T_1$ , 与②组的测量结果没有明显的规律性差别, 与③组测量的雷电冲击波的波前时间有明显差别。例如, 当电压挡位是 50 V 时, 3 个组测量 0.84/60  $\mu$ s 雷电冲击波形  $T_1$  的平均值分别是 0.81, 0.81, 0.831  $\mu$ s。所以在折线图中同样可以看出, 当充电电压相同, ①, ②组的波前时间和波尾时间的相对标准偏差和与标

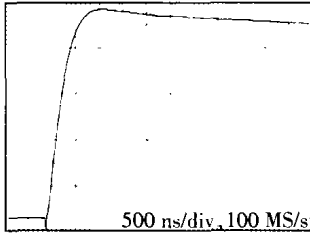


图1 充电至103.7 V时的雷电冲击波(0.84/60 μs)

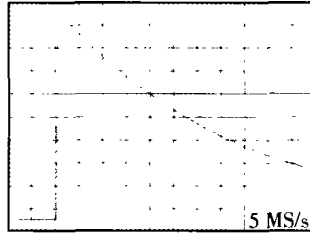


图2 充电至103.7 V时的雷电冲击波(0.84/60 μs)

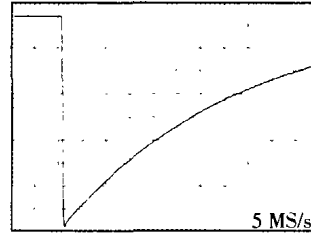


图3 充电至-103.7 V时的雷电冲击波(0.84/60 μs)

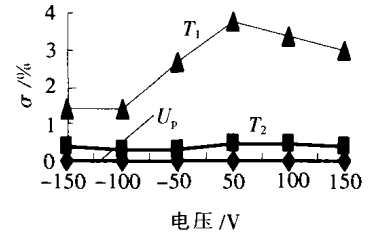


图4 各测量参数的相对标准偏差(0.84/60 μs)

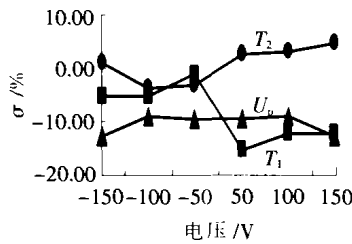


图5 各测量参数与标准值的偏差(0.84/60 μs)

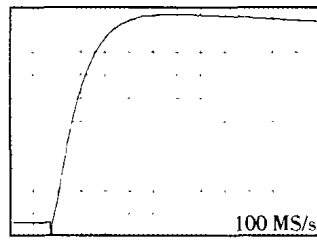


图6 充电至52 V时的雷电冲击波(1.56/60 μs)

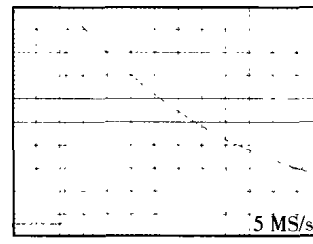


图7 充电至52 V时的雷电冲击波(1.56/60 μs)

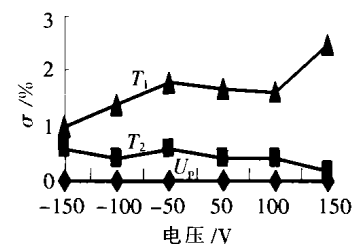


图8 各测量参数的相对标准偏差(1.56/60 μs)

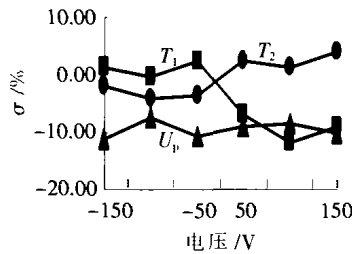


图9 各测量参数与标准值的偏差(1.56/60 μs)

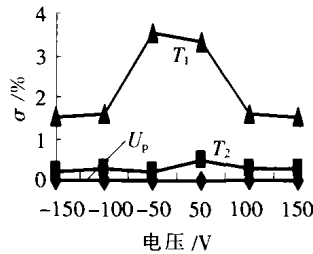


图10 各测量参数的相对标准偏差(0.84/60 μs)

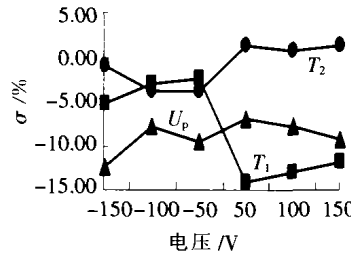


图11 各测量参数与标准值的偏差(0.84/60 μs)

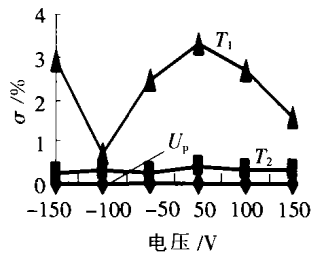


图12 各测量参数的相对标准偏差(1.56/60 μs)

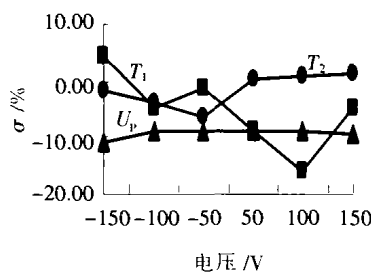


图13 各测量参数与标准值的偏差(1.56/60 μs)

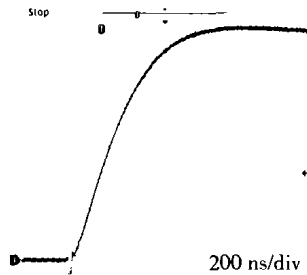


图14 充电至52 V时的雷电冲击波(0.84/60 μs)

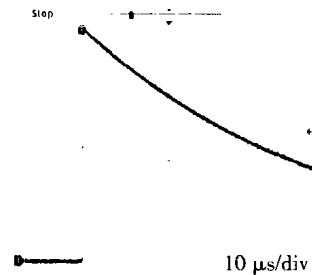


图15 充电至52 V时的雷电冲击波(0.84/60 μs)

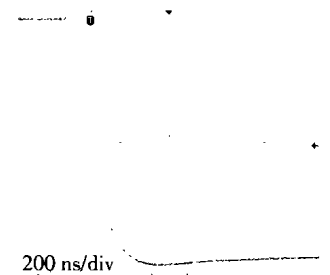


图16 充电至-52 V时的雷电冲击波(0.84/60 μs)

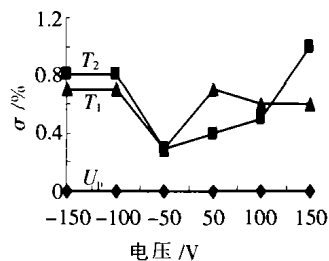


图17 各测量参数的相对标准偏差(0.84/60 μs)

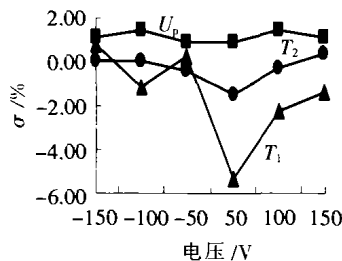


图18 各测量参数与标准值的偏差(0.84/60 μs)

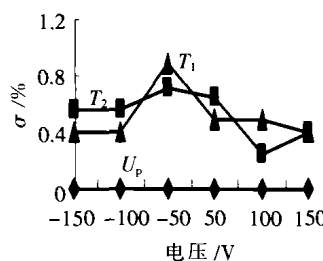


图19 各测量参数的相对标准偏差(1.56/60 μs)

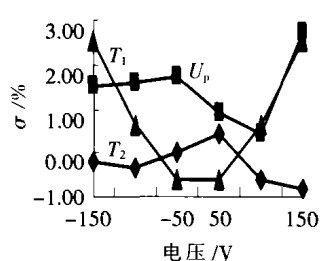


图20 各测量参数与标准值的偏差(1.56/60 μs)

准值的偏差,相对③组来说一般要大。

(3)①组和②组试验存在极性效应。如①组试验在测量0.84/60 μs雷电冲击波时,当输入为52 V时,计算得到的波前时间是0.71 μs,而当输入为-52 V时,得到的波前时间是0.83 μs。这些同样可以在折线图中看出。

(4)①组和②组试验中出现了触发不稳定现象,

冲击波的图像在横坐标轴上移动。

#### 4.2 操作冲击波形的测量

用虚拟仪器和TDS3012分别测量KAL-1000型冲击校准仪上的250/2 500 μs的操作冲击波形。测量操作冲击波的峰值,波前时间 $T_r$ ,50%峰值点。分成两组:

(1)虚拟仪器和自带探头P3164,试验结果见

图 21, 图 22。

(2) TDS3102 数字存储示波器和标准探头 P3100, 试验结果见图 23, 图 24。

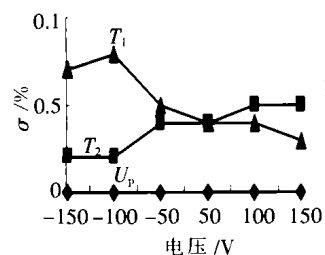


图 21 各参数的相对标准偏差 (250/2 500  $\mu$ s)

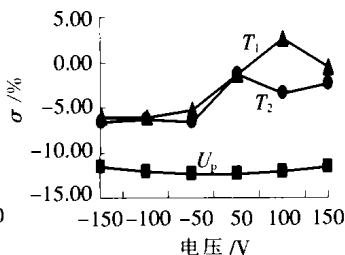


图 22 各参数的与标准值的偏差 (250/2 500  $\mu$ s)

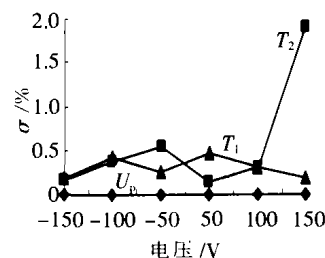


图 23 各参数的相对标准偏差 (250/2 500  $\mu$ s)

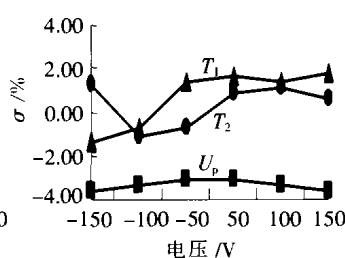


图 24 各参数的与标准值的偏差 (250/2 500  $\mu$ s)

试验中发生了和①组相同的 3 个现象。这里就不一一举例了。

综合图表数据和试验操作过程中的一些实际现象, 可以看出虚拟仪器的一些优缺点。

优点是带宽、实时采样率满足高电压测量要求,

体积小、价格便宜、整个界面环境好, 虚拟仪器提供了动态链接模块虚拟仪器 BUI.bas, 便于进行二次开发。缺点还是很明显的: ①极性效应。输入正极性冲击波测得的值, 如峰值电压、波前时间、波尾时间的相对标准偏差和与标准值的偏差, 比输入负极性时测得的值小。②测量触发的不稳定。特别在测量 0.84/60  $\mu$ s 时, 由于波头比较陡, 出现了图像在横坐标轴上位置改变的现象。③量程不能微调, 很多时候达不到满屏显示。

## 5 结语

该试验主要进行确定被校虚拟仪器的冲击刻度因数的研究, 所以只采用了冲击校准法。通过冲击校准试验发现了虚拟仪器的一些缺点。建议在高电压测量系统中用到虚拟仪器前, 要对虚拟仪器进行冲击校准试验。

## 参考文献:

- [1] GB/T16896.1-1997. 高电压冲击试验用数字记录仪 第一部分: 数字记录仪[S].
- [2] 张仁豫, 陈昌渔, 王昌长. 高电压试验技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

作者简介: 杨劲京 (1979-), 男, 在读硕士, 从事虚拟仪器的冲击电流 (方波和指数波) 波形纪录分析系统的研究。

## 简讯

### 第 14 届高电压国际会议 (ISH 2005) 征文 (Call for Papers)

第 14 届高电压国际会议 (the 14th international symposium on high voltage engineering) 将于 2005 年 8 月 25~29 日在中国北京召开, 会议由清华大学主办, 并得到了国际大电网会议、中国国家自然科学基金委员会、中国电工技术学会和中国电机工程学会的支持。

ISH 是世界高电压技术领域最大的国际会议之一, 是世界电力电工领域的科学家和工程师交流和学习高电压技术的平台。ISH2005 会议的工作语言为英语。征文范围如下:

(1) 电磁场的计算、测量及对环境的影响; (2) 电磁暂态和电磁兼容; (3) 高电压新技术、新材料和界面现象; (4) 输配电线路外绝缘和合成绝缘子技术; (5) 智能系统在高电压工程中的应用; (6) 高电压设备管理; (7) 故障诊断和在线检测技术; (8) 老化、空间电荷、介质测量及其在工业上的应用; (9) 交直流高电压绝缘系统; (10) 高电压测试技术和质量控制; (11) 其它相关问题。

论文作者请于 2004 年 12 月 31 日前向 ISH 2005 秘书处提交一份 200 字左右的详细英文论文摘要, 也可以通过 ISH 2005 的网站: <http://ISH2005.tsinghua.edu.cn> 提交电子版摘要。经专家审查后, 通知作者递交不超过 4 页的论文全文。递交全文的截止日期是 2005 年 3 月 31 日, 2005 年 5 月初通知作者最终的论文录用结果。

有关 ISH 2005 会议的详细信息可登录会议网站 (<http://ISH2005.tsinghua.edu.cn>) 查询, 也可与会议秘书处联系。

地址: 中国北京清华大学电机系 ISH2005 秘书处 邮编: 100084

联系人: 刘瑛岩 电话: 010-62772122-1 E-mail: ISH2005@tsinghua.edu.cn