

广西大学电气工程学院  
雷电冲击灭弧虚拟仿真实验报告

任课老师: 张懿议

指导老师: 王友华 陈新苗 兰飞

专业班级: 工程科学创培 201 班

姓 名: 于若清

学 号: 2001190137

实验时间:

实验地点: 广西大学综合实验楼 806 室

# 实验名称：雷电冲击放电灭弧虚拟仿真实验

## 一、实验目的

1. 通过伏秒特性实验、工频续流遮断实验、雷电冲击50%放电电压实验和冲击大电流熄弧实验，利用冲击电压发生器获得不同雷电冲击电压波的波形，示波器能记录下绝缘子串上冲击灭弧装置的动作时间，深入认识冲击气流灭弧装置的天弧特性，了解冲击解发天弧装置的动作原理、天弧过程，掌握冲击气流灭弧的关键技术。

2. 熟悉多级雷电冲击电压发生器的整体结构、接线和基本原理，掌握冲击电压测量系统的匹配方式和用冲击电压分压器测量冲击电压的方法，掌握多级雷电冲击电压发生器的电压波形调节和同步调节的方法、操作方法。

3. 学习掌握线路绝缘子的50%放电电压、闪络和沿面放电、电弧、伏秒特性曲线、耐电压水平、雷击跳闸率等概念，提高我们对高压技术高危实验的操作能力、综合分析能力、初步具备开展有关实验任务的能力，掌握完整的操作技能和流程，切身体会安全和操作规范的重要性，激发我们探索预防雷电的新方法。

## 二、实验原理

本实验项目的核心要素是保护和测量系统，高压试验大厅、冲击电压发生器，所有虚拟设备与真实设备一致且有相同参数，利用冲击电压发生器放电回路近似计算的实验算法，通过三维技术模拟保护和测量系统的所有设备和接线、冲击电压发生器、高压试验大厅进行虚拟仿真，参照雷电天弧实体实验流程，将整个实验各个环节的知识都逐一拆解了，并通过交互式操作和知识点解释来教学，部分知识点解释如下：

伏秒特性曲线：表征放电时间与放电间隙及电压值关系的曲线；耐电压水平：雷击线路绝缘不发生闪络的最大雷电流幅值；电弧是当线路绝缘子表面空气被击穿时产生的一种气体放电现象；电弧产生的原因：强电场、高电压作用下，碰撞电离产生电子崩，当电极两端形成正负带电粒子通道时，间隙中间介质被击穿而形成；多级冲击电压发生器原理：串联电容放电，并联电容充电，其幅值通过调整充电电压实现；波形通过调整 $R_f$ 与 $R_c$ 的阻值实现；线路绝缘子的50%放电电压：在250/2500μs操作电压波或1.2/50μs标准雷电冲击电压波作用下，表面清洁的绝缘子放电概率等于50%时的放电电压。

## 三、实验步骤

1. 公共接线和实验前设置部分：(1) 点击地线连接处和变压器底端接头进行变压器接地。(2) 连接调压器顶端与变压器顶端接头。(3) 连接硅堆屏柜的外部接头和变压器底端接头。(4) 三次点击电容分压器高压臂接头分别与冲击电压发生器顶端接头、绝缘子侧的保护电阻接头和球隙侧保护电阻接头连接。(5) 点击地线连接处和电容分压器底端低压臂接头进行接地。(6) 连接绝缘子接头与绝缘子侧保护电阻的接头。(7) 两次点击保护球隙接头分别与球隙侧保护电阻、电阻接头、地线连接处连线。(8) 点击绝缘子的接头和地线连接处进行接地。(9) 两次点击衰减器接头分别和保护电阻接头、测量系统接头连线。(10) 点击地线连接处和示波器系统接地接头进行测量系统接地。(11) 点击冲击电压发生器上的接地棒将其取下。(12) 进入控制室内，打开总电源开关。(13) 点击测量系统控制台，打开电脑。(14) 点击右侧的电脑打开控制系统，右连接地。(15) 点击左侧的电脑打开示波器系统设置测量系统的参数。

2. 实验一、多级雷电冲击电压发生器测试实验部分：(1) 点击右侧的电脑打开控制系统，按本体设置，设置放电电压为300kV，按下警铃按钮，并点击高压启动按钮进行充电升压，充电完成后，点击触发点火按钮进行放电，观察实验现象和声音，并记录实验波形数据。(2) 点击“继续实验”按钮重复步骤(1)，分别将放电电压峰值设置为500kV、1000kV，进行多级雷电冲击电压发生器放电测试。



3. 实验二、雷电冲击50%放电电压实验部分：(1) 设置放电电压峰值为500kV，放电操作同上，放电同上，放电后观察是否发生击穿，并观察实验现象和声音。(2) 放电结束后，系统会自动显示放电波形，查看后记录实验数据和表格：记录本次实验电压500kV是否击穿，后点确定按钮保存数据，返回操作界面进行高压分断。(3) 重复步骤(1)、(2)，若本次实验电压下发生了击穿，则下一次实验的放电电压峰值设置比上一次加5kV，反之未击穿，则减5kV。(4) 测量30次后，保存数据，分析记录于试品的50%放电电压值。

4. 实验三、雷电冲击伏秒特性实验部分：(1) 点击左侧的电脑打开示波器系统，波前时间/μs条件下，选择 $R_f$ 与 $R_b$ 的值，进行下一步操作。(2) 设置放电电压峰值为上步实验测得的50%放电电压505kV，操作同上，观察记录数据。(3) 重复(1)、(2)在波前时间2~10μs条件下，选择 $R_f$ 、 $R_b$ ，进行伏秒特性击穿测试，得到10组数据并记录。

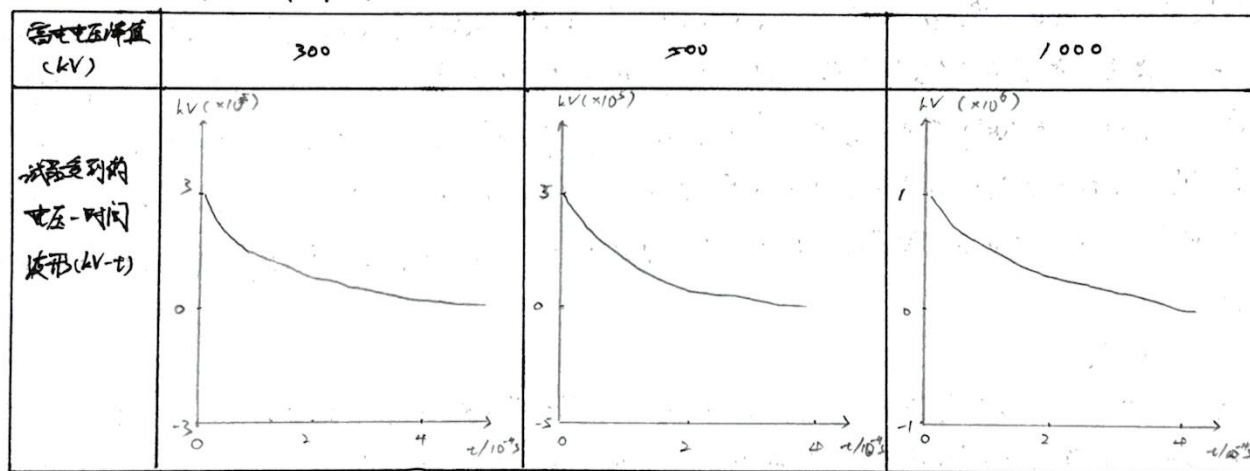
5. 实验四、冲击大电流大电弧实验部分：(1) 点击本样设置，设充电电流5kA，按下警铃，点击冲击电流启动进行充电升流。(2) 等待充电电流到达设定值，观察实验现象及灭弧装置的动作方式。观察实验的波形并记录，保存。(3) 点击“继续实验”，重复(1)、(2)，分别将冲击电流峰值设为10kA、20kA，进行冲击大电流大电弧实验，得到3组波形结果。

6. 实验五、工频续流灭弧实验部分：(1) 设置放电电压1000kV，按下警铃，点击高压启动进行充电升压。(2) 等待电压到达设定值后自动触发，在90°时施加雷电冲击波，观察实验现象并记录波形。(3) 点击“实验数据”，记录电弧是否重燃并保存数据。(4) 进行实验，重复(1)~(3)，在90°、270°时分别施加5次雷电冲击波，观察现象，并记录电弧是否重燃。

7. 实验结束公共操作：(1) 测量结束后，点“高压分断”或“冲击电流分断”进行分断。(2) 关闭电源，前往冲击电压发生器处，点击接地棒，重新接至冲击电压发生器上。

## 四. 实验结果

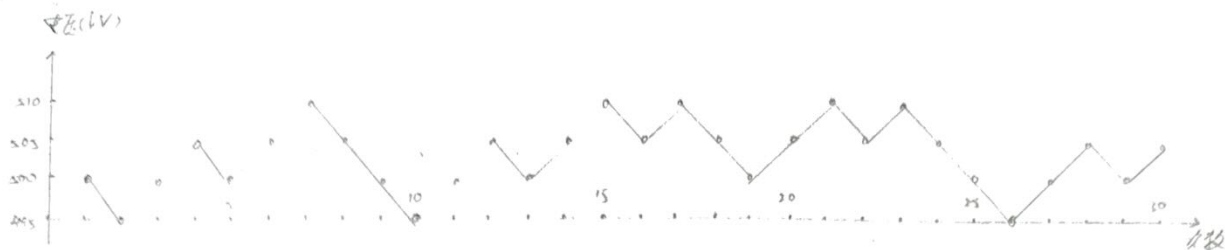
### 1. 多级雷电冲击电压发生器测试实验



### 2. 雷电冲击50%放电电压冲击实验

试验次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电压值(kV)	500	495	500	505	500	505	510	505	500	495
击穿与否	是	否	否	是	否	否	是	是	是	否
试验次数	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
电压值(kV)	500	505	500	505	510	505	510	505	500	505
击穿与否	否	是	否	否	是	否	是	是	否	否
试验次数	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
电压值(kV)	510	505	510	505	500	495	500	505	500	505
击穿与否	是	否	是	是	是	否	否	是	否	是

# 放电电压曲线图:

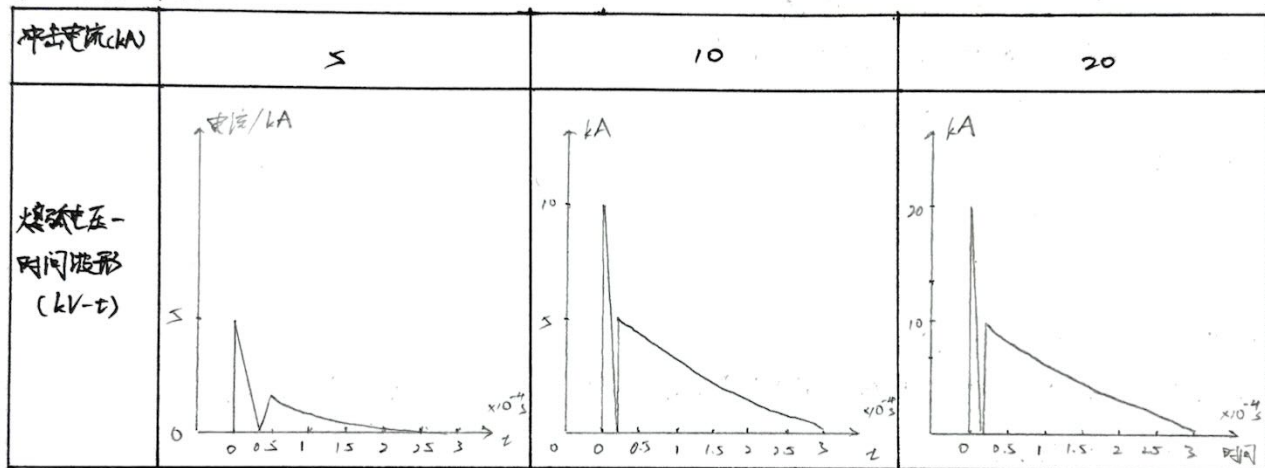


## 3. 雷电冲击伏秒特性实验

试验电压次数	1	2	3	4	5
击穿电压	是	是	是	是	是
试验电压次数	6	7	8	9	10
击穿电压	是	是	是	是	是

(50.5kV)

## 4. 冲击大电流电弧实验



## 5. 工频交流电弧熄灭实验

工频电压波 90°	1	2	3	4	5
电弧是否重燃	否	否	否	否	否
工频电压波 270°	1	2	3	4	5
电弧是否重燃	否	否	否	否	否



## 五. 简答题

1. 产生雷电冲击高压和操作冲击电压, 应当调节哪些参数, 如何调节?

由于二者波形的时间常数不同, 故对操作冲击电压, 需增大电容( $C_0, C_2$ )与电阻( $R_1, R_2$ )的值。反之, 则需将电容、电阻的值减小。

2. 为什么不能用高压静电电压表来测量冲击电压?

高压静电电压表只能反映电压的有效值或平均值, 故无法用于测量时间较短的冲击电压;

3. 如何提高多级冲击电压发生器的效率?

① 试品并联电容, 进行能量补偿, 延缓能量释放时间

② 确保试品安全的情况下, 采取一定的支撑, 增大接地回路电感以减少能量损失;

4. 50% 保护率和被保护物的伏秒特性曲线如何配合?

保护设备的伏秒特性应始终低于被保护设备的伏秒特性, 在过电压作用时, 保护物先被击穿, 限制了过电压幅值, 起到保护作用;

5. 为什么阀式避雷器等保护装置中, 保护间隙采用均匀电场?

这样可使其伏秒特性曲线较平, 放电分散性小, 能与变压器绝缘的冲击放电特性更好地配合;

6. 现代输电线路主要采取哪些防雷措施?

① 减小外边相避雷线的保护角或采用角保护;

② 加强绝缘, 采用不平衡绝缘方式;

③ 安装避雷器;

④ 装设自动重合闸装置;

## 六. 讨论与分析

1. 多级雷电冲击电压发生器测试实验

不同峰值下, 试品的电压-时间波形相似, 均呈先急剧上升峰值, 而后逐渐减弱为零的趋势。

2. 雷电冲击 50% 放电电压冲击实验

击穿放电时, 有耀眼的电弧产生, 同时有剧烈的响声。由于冲击电压作用时间短, 结果存在分散性。随着实验次数的增加, 结果趋向稳定。

3. 雷电冲击伏秒特性实验

在实验 2 中得到的 50% 击穿电压下, 随波前时间由 1  $\mu$ s 至 10  $\mu$ s 递增, 间隙均击穿, 但得到的伏秒特性不同。

4. 冲击大电流熄弧实验

3 种冲击电流下, 熄弧电压-时间波形相似, 最初为峰值, 较短时间内还原为 0; 反向增加至幅值约一半, 再逐渐还原为 0。

5. I 频交流逐渐实验

在工频电压 90° 与 270° 情况下, 均未发生电弧重燃。验证了继电保护动作前电弧的暂稳性。

## 七. 总结

在高压实验中, 我对多级雷电冲击电压发生器测试、雷电冲击 50% 放电电压冲击、雷电冲击伏秒特性、冲击大电流熄弧、I 频交流逐渐几个实验的过程, 加深了较为清楚的认识; 依托广西大学线上试验平台, 我对实验室的装备、配置有了更好的了解。对于各种高压技术的知识, 如 50% 放电电压、伏秒特性等, 更是烂熟于心。