

高等学校教材

高电压实验

重 庆 大 学 张金玉

合编

武汉水利电力大学 关根志



高等学校教材

高电压实验

重庆大学 张金玉 合编
武汉水利电力大学 关根志

中国电力出版社

内 容 简 介

本书是高等学校高电压技术与绝缘技术专业的必修课教材,是学习高电压技术理论的重要实践指导用书。全书共七章,第一章为高电压实验的基本要求,强调了“基本”及操作安全;第二章介绍了高电压实验用的各种示波器;第三~六章为25个教学实验,其中有相当数量的实验是结合现场实践选编的,总体包括绝缘特性研究及电气设备预防性试验;高电压试验技术实验;电力系统过电压实验及高压电器实验。第七章为两个大型综合性试验:内部过电压模拟实验和变压器的电气特性及耐压试验。

由于该书结合现场实践,故也可供从事高电压技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高电压实验/张金玉,关根志编. -北京:中国电力出版社, 1996

高等学校教材

ISBN 7-80125-121-0

I. 高……张… ②关… II. 高压试验(电)-高等学校-教材 *IV. TM8-33

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第02390号

中国电力出版社出版

(北京三里河路6号 邮政编码100044)

北京市社科印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

1996年10月第一版 1996年10月北京第一次印刷

787×1092毫米 16开本 9.375印张 210千字

印数0001—1700册 定价7.40元

版权专有 翻印必究

前 言

本书是根据1991年10月在重庆召开的全国高等学校电力工程类“过电压、绝缘及测试”教学组教材编审讨论会上制订的《高电压实验》编写大纲进行编写的。

高电压实验课是高电压与绝缘技术专业课程的重要组成部分，属必修课程。本教材是配合《高电压绝缘》、《高电压试验技术》、《电力系统过电压》、《高压电器》及《高电压技术》等教材编写的。高电压实验是学习高电压技术理论的重要实践环节，其目的在于通过实验验证和研究高电压理论，使学生掌握高电压实验的基本方法和基本技能，培养学生严肃认真和实事求是的科学作风，并在高电压技术领域具备分析问题和解决问题的初步能力。

全书共七章。第一章强调高电压实验的基本要求和操作安全；第二章介绍高电压实验用的各种示波器；第三章至第六章共编写了25个教学实验，其中一部分实验是根据上述各门课程的教学计划编写的，每个教学实验大体按2学时安排，还有相当数量的实验是结合生产实践开设的，大多数属于必做的，但各校可根据自身的设备条件选做。缺乏大型试验设备的学校，建议开出一些模拟实验，这样既节省了投资，又能达到教学效果。第七章安排了两个大型试验，时间约一周，可作为开放性实验，安排在毕业设计开始之前，给学生一个系统的练兵机会。

本书适用于高电压与绝缘技术专业、电力系统及其自动化专业，对电机制造专业、电气技术专业也有参考价值。此外，本书虽然是从教学上的要求和需要编写的，但书中所论述的高电压试验方法与工厂、运行部门和科研单位所采用的方法基本上是一致的。因此，它还可供从事高电压技术的工程技术人员参考。

全书由重庆大学张金玉副教授和武汉水利电力大学关根志副教授合编。第一章至第三章由张金玉编写；第四章至第六章由武汉水利电力大学关根志副教授编写，张金玉作了一定的修改和补充；第七章由两人合编。

本书承蒙上海交通大学李福寿教授悉心审稿。在编写过程中，西安交通大学、武汉水利电力大学、上海交通大学、清华大学、华中理工科技大学和重庆大学的有关老师都给予了大力支持和帮助，编者谨此深表感谢。

由于编者学识有限，时间仓促，书中缺点错误在所难免，恳切希望读者批评指正。

编者

1995年12月

目 录

前言

第一章 高电压实验的基本要求	1
第一节 高电压实验的基本要求	1
第二节 高电压实验安全操作注意事项	3
第三节 高电压试验装置的基本控制回路	3
第二章 高电压实验中使用的示波器	7
第一节 普通示波器	7
第二节 光线示波器	8
第三节 高压示波器	10
第四节 记忆示波器	12
第五节 数字存贮(记忆)示波器	13
第六节 局部放电测试仪	17
第三章 绝缘特性研究及电气设备的预防性试验	21
第一节 交、直流电压下空气间隙的击穿	21
第二节 绝缘子串电压分布测量	24
第三节 沿固体介质表面的放电	26
第四节 电气设备的介质损失角正切($\text{tg}\delta$)测量	28
第五节 电力电缆的绝缘预防性试验	33
第六节 阀型避雷器的预防性试验	37
第七节 电气设备绝缘的局部放电测量	43
第八节 绝缘子的工频污闪、雾闪实验研究	48
第四章 高电压试验技术实验	51
第一节 工频高电压的产生及测量	51
第二节 串级直流高压发生器的实验研究	54
第三节 多级雷电冲击电压发生器的实验研究	59
第四节 变压器的雷电冲击试验	63
第五节 分压器测量系统方波响应特性的测定	67
第六节 冲击电流发生器的实验研究	72
第七节 冲击电流(电压)的数字化测量	75
第五章 电力系统过电压实验	78
第一节 输电线路中的波过程	78
第二节 变压器绕组中的波过程	83
第三节 雷电流的测量	86
第四节 接地电阻和土壤电阻率的测量	89

第五节	变电站接地装置模拟实验	92
第六节	阀型避雷器保护范围的实验研究	95
第七节	断线引起的铁磁谐振过电压	98
第八节	电磁式电压互感器铁芯饱和引起的过电压	100
第六章	高压电器实验	104
第一节	直流电弧伏-安特性研究	104
第二节	高压断路器的机械特性试验	106
第七章	综合性实验	112
第一节	内部过电压模拟实验	112
第二节	变压器的电气特性及耐压试验	121
附录 A	球隙放电标准表	136
附录 B	变压器绕组直流电阻的换算	141
附录 C	缩短变压器直流电阻测量时间的电压降法	142
主要参考书目	144

第一章 高电压实验的基本要求

本章主要介绍高电压实验的基本要求、实验过程中必须遵守的安全操作规程以及高压试验装置的基本控制回路。

简单说来，高电压实验的基本要求包括：①根据实验目的拟定实验接线图；②选择所需设备、装置、仪器、仪表；③合理布置试验场地；④确定实验步骤；⑤正确使用有关试验装置及仪器、仪表；⑥分析处理实验数据；⑦得出结论；⑧提出实验报告。

遵守高电压实验安全操作规程是每个做高电压实验的人的职责，它是高电压实验工作参加者的生命保障。通过各种高电压实验的训练，养成良好的习惯，对人对己都是有益无害的。

高电压试验装置的控制回路是多种多样的，它根据试验要求（或试验性质）的不同而不同。交流试验装置的操作较为简便、使用也极为广泛。因此，把交流试验装置的控制回路作为基本控制回路，介绍给大家，希望达到举一反三的目的。

第一节 高电压实验的基本要求

按照实验过程，高电压实验的基本要求如下。

一、实验前的准备

(1) 实验前必须复习相关专业课的章节，了解各个实验的目的、内容、方法和步骤，明确各个实验的注意事项，有些实验可到实验室对照实物预习，按实验项目准备好记录表格等；

(2) 每次实验分小组进行，每组3~4人，推选组长一人（可轮流担任）负责全组实验分工，并担任安全监护；

(3) 实验前，必须牢记高电压实验的安全操作规程，坚决杜绝人身事故。

二、进行实验

1. 实验前的检查

(1) 检查实验接线是否正确，高压电路是否自成回路，带电部分与周围物体的距离是否大于表1-1的规定值。

(2) 高电压实验的接地必须牢固、可靠，每个实验地点的接地线应与实验室的接地母线相连，与接地母线相连的接地线须用多股裸导线。凡不参与实验的设备，除保证(1)条所述的安全距离外，其外壳均须接地，尤其是电容器，还应短路后接外壳再接地。实验开始之前，应将接地棒从试验设备的高压端取下。

(3) 每个实验室应有必要的联锁装置，如门联锁、调压器零位联锁等。做高压实验应有必要的遮栏，实验人员必须站在遮栏外，不得向试区探头、伸手。

表 1-1

各种试验电压下安全距离的规定值

电压值 (kV)	交、直流时 (cm)	冲击时 (cm)	电压值 (kV)	交、直流时 (cm)	冲击时 (cm)
<100	30	30	500~600	180	180
100~200	60	60	600~700	210	210
200~300	90	90	700~800	240	240
300~400	120	120	800~900	300	290
400~500	150	150	900~1000	350	300

2. 实验

(1) 根据实验线路图及所选设备, 按图接线, 力求线路简单明了。

(2) 所有接线经两人检查确实无误后, 再请指导教师复查, 未经指导教师允许, 学生不得擅自合闸。

(3) 实验时, 不准谈笑打闹或做与实验无关的事情。

(4) 实验操作者一只手升压, 另一只手放在跳闸按钮的位置上, 并注意电压表(或电流表), 一旦发生意外, 立即跳闸。

(5) 实验电压必须从零开始均匀缓缓升高, 在实验过程中如出现异常现象, 应立即跳闸, 并将调压器退回零位。

(6) 实验必须有一人记录, 要求记录数据清楚整齐。实验数据不符合要求时应重做。

(7) 实验完毕或更换试品时, 应将调压器退回零位, 再用接地棒对高压部分放电(对电容器或长电缆放电时, 为保护试品和人身安全, 应先经一电阻——如水阻, 放电后, 再行对试品直接放电, 且时间不得少于 2min), 并将接地棒挂在试验设备的高压端, 否则不得触及。

(8) 实验完毕, 应将实验场所打扫干净, 恢复整齐, 并将拆除的仪器、仪表及连接导线整齐地放回原处。切除电源、关灯后才能离开实验室。

3. 实验报告

实验报告应根据实验目的、实测数据及在实验中观察和发现的问题, 经过分析研究, 得出结论或通过分析讨论写出心得体会。

实验报告力求简明扼要, 字迹清楚、图表整洁、结论明确, 并用 16 开纸统一书写, 内容包括:

(1) 实验名称、专业班级、组别、姓名、同组学生姓名、实验日期、室温、气压、相对湿度。

(2) 实验目的。

(3) 实验线路图, 并注明试验设备、仪器等的型号、规格、量程、编号等。

(4) 实验主要内容及主要步骤。

(5) 实验数据的整理和计算。

(6) 绘制曲线应用坐标纸, 其尺寸应不小于 80×80 (mm \times mm), 曲线应用曲线尺或曲

线板连接，不在曲线上的点仍然按实际数据标出。

(7) 实验结论：实验结论是根据实验结果进行计算分析最后得出的。它是由实践再上升到理论的提高过程，是实验报告中很重要的一部分。结论部分可讨论所用的实验方法或接线的优缺点，说明实验结果与理论是否符合，可结合思考题进行探讨。

每次实验每个学生独立做一份报告，按时送交指导教师批阅。

第二节 高电压实验安全操作注意事项

为了按时完成高电压实验，确保实验时的人身安全与设备安全，任何人进入高电压实验室工作，必须严格遵守安全操作规程。一般高电压实验的安全操作注意事项如下：

- (1) 做高电压实验时必须严肃认真，精力集中，精神不振或精神失常者不得进行实验。
- (2) 每组实验由组长分工，并指定操作、记录和监护人。
- (3) 实验操作者，手不要离开跳闸按钮处，注意电压表（或电流表），不得擅离职守。实验时若要讨论问题，应先切断电源，暂停实验后进行。
- (4) 进行实验时，操作者应分别高呼“高压合闸”（或按“警铃”）、“放电”和“去掉接地棒”等口令，在监护人同意并重复上述操作口令后才能进行具体操作。
- (5) 任何时候接触高压设备的高电压部分，都必须首先检查电源是否已切断，任何可能带电的设备（如电容器等）是否已可靠接地，经检查无误后，方可进行接线或更换试品等工作。
- (6) 实验过程中如发生故障或事故，应立即跳闸，将调压器退至零位，切断电源，并报告指导教师进行检查处理，如遇人身事故应立即组织进行抢救。
- (7) 每次实验完毕后，应将接地棒挂在高压设备上，以防紧接下一组学生因残余电荷触电。
- (8) 进行冲击电流试验时，应准备好灭火器，如遇电容器发生意外，要及时灭火。

第三节 高电压试验装置的基本控制回路

进行高电压试验时，一方面要求获得试验所需的高电压，另一方面还要求在试验过程中遇到异常情况（如试品击穿或闪络），能迅速切断电源，确保人身和设备的安全。为此，每套高电压试验装置都具有为完成正常试验和事故时能及时切断试验电源的控制回路及其相应的信号、音响显示。它们通常由电源开关（大容量试验变压器，如250kVA、500kVA的，分别采用自动空气开关、高压断路器；小容量试验变压器，如5kVA、10kVA的，则可采用刀开关）、熔断器、合闸按钮、分闸按钮、交流接触器（或磁力启动器）、电流互感器、过流速断继电器、电流表、电压表、信号指示灯、警铃、“零位”闭锁开关、限位开关及事故音响——蜂鸣器等组成，并按一定的顺序组装在操作台（或控制屏）上。

高电压试验装置的基本控制回路如图1-1和图1-2所示。前者通常用于试验变压器容量为5~10kVA的情况，用手动实现升压和降压，在高电压教学实验中用得较多；后者主

要用于试验变压器容量较大 ($\geq 100\text{kVA}$) 的情况, 用电动实现升压和降压。在这两个图中, 都以工频高电压试验为例, 给出了试验的一次接线和二次控制部分展开图。

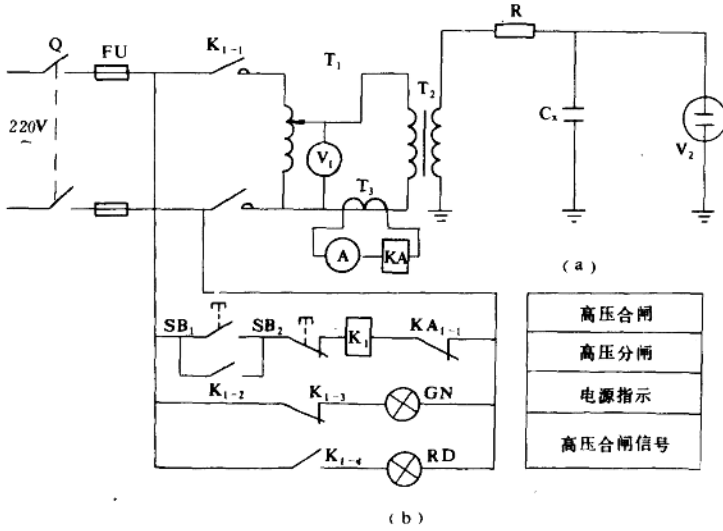


图 1-1 YDJ5/50 试验变压器的试验接线图

(a) 一次接线; (b) 二次接线展开图

Q—电源开关; FU—熔断器; T_1 —自耦调压器; T_2 —试验变压器; T_3 —电流互感器; A—电流表; V_1 —低压电压表; V_2 —高压静电电压表; R—保护用水电阻; C_x —试品; KA—过流速断继电器; SB_1 —合闸按钮; SB_2 —分闸按钮; K_1 —交流接触器; K_{1-1} 、 K_{1-2} 、 K_{1-3} —“ K_1 ”的动合触点; K_{1-4} —“ K_1 ”的动断触点; KA_{1-1} —“KA”的动断触点; GN—电源信号灯 (绿); RD—高压合闸灯 (红)

图 1-1 的试验操作程序如下:

(1) 按图示 (a) 要求接好一次试验线路。

(2) 合电源开关 Q, 电源信号灯 GN 亮。

(3) 按合闸按钮 SB_1 , 交流接触器 K_1 的线圈带电, 吸合磁铁使 K_{1-1} 闭合, 主电路接通。同时 K_{1-2} 闭合, 使 SB_1 — SB_2 — K_1 — KA_{1-1} 电路自保持, K_{1-3} 断开 GN 灯熄灭, K_{1-4} 闭合, RD 灯亮, 表示可以升压。

(4) 顺时针转动调压器“ T_1 ”的手柄, 监视电压表 V_1 和 V_2 , 当电压升到所需试验电压时, 在规定的时间内 (1min) 内, 试品无异常, 则降压 (反时针转动“ T_1 ”的手柄), 至零位。

(5) 按分闸按钮 SB_2 , 使 K_1 断电, 则 K_{1-1} 断开, RD 灯熄灭。

(6) 拉开电源开关 Q, 完成了一次正常试验的操作。

如果在试验过程中发生试品击穿或闪络, 在试验电路中会出现很大的电流 (用电流表 A 监视), 使 KA 动作, KA_{1-1} 断开, K_1 断电, K_{1-1} 断开, 使主电路断电, 从而保证了试验设备的安全。需要指出的是, 在上述情况下跳闸后, 应立即把调压器降至零位, 避免下一次试验时, 出现调压器非零位合闸的现象, 造成试验设备的严重损伤。

按图 1-2 进行高电压试验时, 在合 QK 之前, 应检查 T_1 是否处在零位 (即 SE 是否闭

合), 在确认 SE 已闭合后, 依次合上 QK 和 QC, 其操作程序的第 (1) ~ (3) 项与 YDJ5/50 试验变压器的试验操作程序相同, 此处从略。

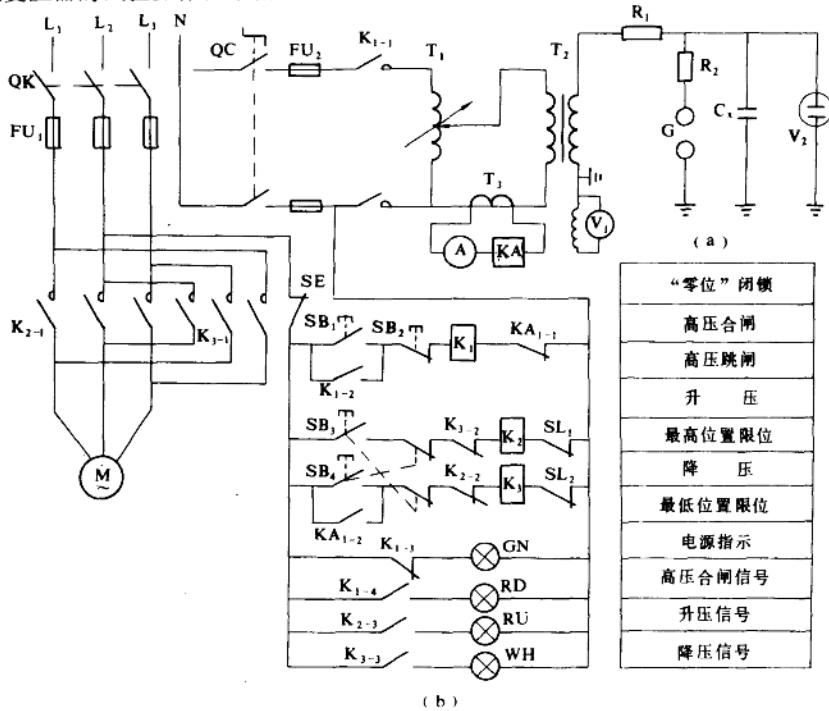


图 1-2 YDJ100/100 试验变压器的试验接线图

(a) 一次接线; (b) 二次接线展开图

T₁—动圈式调压器; QK—三相电源开关; QC—转换开关; FU₁、FU₂—熔断器; R₁—保护水阻; R₂—球隙保护水电阻; G—保护球隙; KA—过流速继电器; KA₁₋₂—KA 的动合触点; K₂—升压用交流接触器; K₂₋₁、K₂₋₂—K₂ 的动合触点; K₂₋₃—K₂ 的动断触点; K₃—降压用交流接触器; K₃₋₁、K₃₋₂—K₃ 的动合触点; K₃₋₃—K₃ 的动断触点; SE—调压器“零位”闭锁开关; SB₃—升压按钮; SB₄—降压按钮; SL₁—T₁ 的最高位置限位开关; SL₂—最低位置限位开关; M—交流电动机; BU—升压信号灯 (蓝色); WH—降压信号灯 (白色); 图中其余符号与图 1-1 中的相同。

在完成前述第 (1) ~ (3) 项操作之后, 按下 SB₃, K₂ 带电, K₂₋₁ 闭合, M 正转, K₂₋₂ 闭合, 升压指示灯 BU 亮; 同时, K₂₋₃ 断开, 使降压回路闭锁 (防止误操作)。调压器 T₁ 使试验变压器 T₂ 升压至所需试验电压 (由电压表 V₁、V₂ 监视) 时, 放开 SB₃, 开始计时, 在规定的时间内 (如 1min) 内, 试品无异常, 则按下 SB₄, K₃ 带电, K₃₋₁ 闭合, M 反转, K₃₋₂ 闭合, 降压指示灯 WH 亮; 同时, K₃₋₃ 断开使升压回路闭锁 (也是防止误操作)。T₁ 使 T₂ 降压至零位后, 依次断开 QC 和 QK, 完成了一次正常试验操作。

如果在试验过程中, 发生了试品击穿或闪络等异常情况, 在试验回路中会出现很大的电流 (由电流表 A 监视), 使 KA 动作, KA₁₋₁ 断开, K₁ 断电; K₁₋₁ 断开, 主回路断电。同时, KA₁₋₂ 闭合, 使 K₃ 带电, K₃₋₁ 闭合, M 反转, T₁ 使 T₂ 自动降压至零位。图 1-2 中的

限位开关 SL_1 和 SL_2 是为了防止在升压或降压过程中，操作过头，使调压器出现卡滞现象而设置的机械触头。如果在升压时，电压升得过高， SL_1 会断开，使 K_2 断电，从而停止继续升压；同理，如果在降压时，电压降得过低， SL_2 会断开，使 K_3 断电，从而停止继续降压，确保调压器的正常工作。

需要强调的是，无论是按图 1-1 或是按图 1-2 进行操作完成试验后，应先断开电源，再用接地棒对试品放电，然后把接地棒挂在试验变压器的高压端，清理好试验现场之后，才能离开。

第二章 高电压实验中使用的示波器

在高电压和大电流的测量中，广泛使用示波器。但使用的示波器类型与被测信号的频率有关。如测量工频电压和直流电压的交流分量时，可使用普通示波器；观察测量周期性脉冲波形时，应选用适合的通用示波器；观察测量单次脉冲波形时，一般使用高速脉冲示波器（也称为高压示波器）；观察测量工频闪络电压和电流（如绝缘子的污闪和湿闪）及断路器的机械特性时，应使用光线示波器，等等。为了帮助大家了解各种示波器在高电压技术领域中的应用情况，并正确使用示波器，本章对有关示波器的原理、特点和使用方法，作了较为详细地介绍。随着科学技术的进步和发展，记忆示波器、尤其是数字存贮（记忆）示波器已被广泛用于工频、冲击电压（电流）测量，以及绝缘示伤和局部放电的定位分析等，本章也用了较多的篇幅介绍它们。由于用于局部放电量、放电脉冲重复率、放电平均电流等参数测量的局部放电测试仪是应用李沙育图形——椭圆扫描，来观察局放量的脉冲信号的，因此也把局部放电测试仪放在本章一起叙述。

第一节 普通示波器

高电压实验广泛使用 SR-15、SR-071、BS4321 等双踪示波器研究各种高压装置（如工频试验变压器、直流高压串级发生器）的输出电压（电流）波形，研究输电线路、变压器和电缆中的波过程，观察三相系统的铁磁谐振现象等。

普通示波器主要由垂直（Y-y 轴）偏转系统、水平（X-x 轴）偏转系统、衰减器、放大器、扫描发生器、高压和低压电源、示波管等几部分组成。其典型结构方框图如图 2-1 所示。

普通示波器的 y 轴、x 轴通路一般都装有放大器。放大器的作用是在输入信号和示波管之间提供增益，以便对弱信号进行观察和解释。在该类示波器中广泛使用差分放大器，因为它具有抑制寄生信号（即干扰信号）的能力，还能改善在宽广工作环境条件下的漂移特性和稳定性。为了能够控制输入信号的大小，在示波器的输入端要接入衰减器。在图 2-1 中，利用 K_1 、 K_2 的转换作用，可将被研究的幅值较大的信号直接加到偏转板（即 Y-y 板和 X-x 板）上；利用 K_3 的转换作用，扫描电压可由扫描发生器获得，也可由 x 轴输入端钮获得。前者使示波管输入周期性的锯齿波扫描信号，以便观察周期性过程的曲线；后者可使示波管观察李沙育图形或决定任意两个量的函数曲线。在图 2-1 中，利用锯齿波发生器（称为回程熄灭装置或抹迹单元）还能控制电子束在扫描电压回程时间中的熄灭。图 2-1 中的电源 I 为高频高压电源，用以向示波管各极（如阴极、栅极、第一阳极、第二阳极、乃至后加速极）供电；电源 II 为低压电源，用以向除示波管之外的其余装置供电。

随着现代科学技术的发展及应用示波器研究短暂的周期性或非周期性过程范围的扩大，要求在示波器中接入一些新的辅助装置，如触发扫描装置、延时线路、同步输入装置、

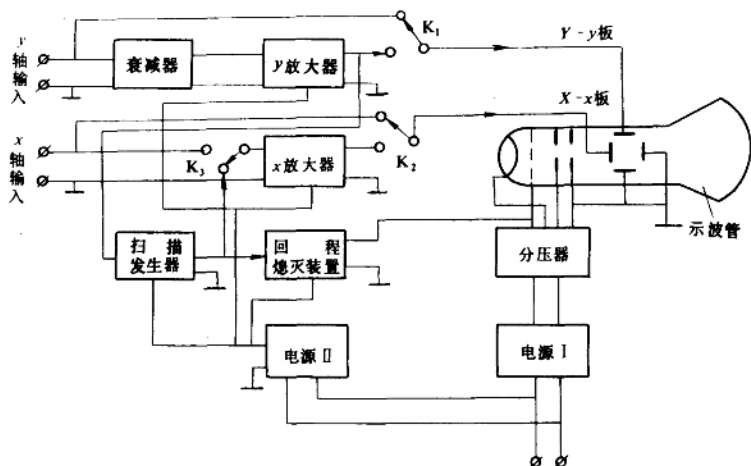


图 2-1 普通示波器的典型结构方框图

时标发生器、电压校准器、电子开关等。

通常把具有触发扫描和延迟线路两种功能的示波器称为通用示波器（即同步示波器）。这类示波器的扫描与被测信号严格保持同步关系，只有在被测信号到来之时，示波管才开始进行扫描，利用延迟线路可以清晰地显示被测信号的前沿。这类示波器既可以观察周期性信号又可以观察脉冲信号，观察前者采用周期扫描，观察后者采用触发扫描，用一个转换开关进行转换。为了在荧光屏上显示被测信号的一个或几个周期的稳定波形，必须使扫描频率与被测信号的频率相等或为其若干整数倍，这个任务由同步输入装置完成。在通用示波器中还接入了时标发生器，它可使荧光屏上出现时间标志，以便精确测定非周期性脉冲信号的时间参数。电压校准器产生比较信号，用以确定被测信号的幅值大小。

在电子测量技术中，通常用电子示波器同时观测两个（或两个以上）的信号，以便研究它们之间的相位、非线性畸变、波形形状、频率及幅值等相互关系。除可用双线（或多线）示波器外，常借助于电子开关与单线示波管配合形成所谓双踪乃至多踪示波器，达到上述目的。电子开关被装在示波器的垂直偏转系统中，利用它的快速转换作用，可以在示波管上交替显示两个或两个以上的信号波形。由于电子开关的转换速度快，加上荧光屏的余辉和人的视觉暂留现象，使人们在荧光屏上能同时观察和比较两个及以下的信号。如SR-15型双踪示波器，它可同时观测两个不同瞬变过程的信号，它属于宽频带（0~30Hz）脉冲示波器。它采用了高灵敏度的阴极射线示波管，简称CRT，型号为13SJ50J，使示波器电路实现了晶体管化、小型化。该示波器可用于幅值为20mV~数百伏、时间宽度为10ns~数秒的脉冲信号及其它周期性信号的幅值和时间的测量研究。

第二节 光线示波器

光线示波器（又称为电磁示波器）是综合应用光学、机械传动学、电学、振动学的原

理制成的。其内部结构及工作原理较为复杂，本书不作叙述。在此，仅对该示波器的特点和使用情况做一个简单介绍。

在高电压实验中，常使用光线示波器观察和记录绝缘污闪试验的临闪前电压和电流波形，记录和测量 FZ 型、FCZ 型等阀型避雷器的工频放电电压波形，研究断路器的电弧特性等。在电力系统的现场试验中，它常用于记录交、直流电压和电流的暂态过程，使波形分析直观、简单。除此之外，光线示波器还广泛用于非电量测试，配合各种变换器，测量应力、应变、位移、振动、转速、力矩、加速度、流量、心电图等。一般适用频率为数千赫。

光线示波器由光学系统、传动系统、振动物子、时标发生器、检测阻抗和电源供电系统等部件组成。它的主要特点是记录线数多，为 10 线、16 线或 20 线，即能同时记录 10 个、16 个或 20 个被测信号。它可采用 120mm 紫外线感光纸直接记录，亦可用 35mm 电影胶卷缩小 5 倍后拍摄记录。它备有大、小型电流（电压）振动物子和功率振动物子，以便有针对性的选用。示波器内装有格线、闪光时标、光点开关等，使用方便。光线示波器的型号有 SC-10、SC-16、SC-20 型等。

在高电压实验室和现场，需使用光线示波器记录被测信号波形时，在做好使用前的全部准备工作后，使用时还必须严格遵守下列操作程序（以 SC-20 型为例）：

(1) 接好示波器各部件的连接线，检查电源电压及水银灯是否安装正确。然后，分别合上 FY66 电源开关、SC20 主机的电源开关，此时电源指示灯亮，电动机开始运转。

(2) 接通 FY66 的电源开关，水银灯一般会自行点燃，有时不能自行点燃，但能听见 FY66 中真空开关的跳动声，此时，只须按一下 FY66 灯源开关上的启辉按钮，即可触发水银灯起辉、点燃，如果按下启辉按钮，水银灯仍不点燃，表明该水银灯已坏，应予以更换。

(3) 重新启动水银灯时，应严格遵守下列条款：

1) 在未装水银灯时，不能接通 FY66 的灯源开关，否则高频起辉电压会引起绝缘击穿。

2) 装好水银灯后，应先开启 SC-20 主机电源开关，让风扇先工作，以达到散热的目的。水银灯工作过程中，不能停止风扇工作。

3) 水银灯点燃后需等待 5min 左右，待其亮度达到正常后，才能进行其它项目的操作。

4) 水银灯正常工作后，如果中途突然熄灭，应立即断开 FY66 的灯源开关，且不能马上再点燃，必须让水银灯充分冷却后，才能再次点燃。

(4) 安装振动物子。

(5) 调整光源位置。

(6) 调整振动物子光点位置。

(7) 为观察被测信号的大小及位置，必要时调节扫描速度。

(8) 排列被测信号的位置，并编号。

(9) 调节被测信号的振幅。

(10) 调节亮度。

(11) 根据被测信号的频率变化情况选择记录速度（即纸速），其值一般以记录曲线能分辨为宜。记录速度可按下式进行计算

$$v = S \cdot f$$

(2-1)

式中 v ——记录速度, mm/s;

S ——被测信号在一周期内的距离, mm;

f ——被测信号的频率, Hz。

如果有几个不同频率的信号需要记录, 应按最高频率信号选择记录速度。如果计算出的记录速度处于示波器规定的两档记录速度之间, 则宜选其值较高档。

光线示波器面板上设置有六只变速按钮, 左边三个是其基数, 右边三个是记录速度的倍率, 左右两组按钮读数的乘积, 组成了九档不同的记录速度。运转或拍摄过程中都可进行变速。

使用光线示波器时, 须接入分流电阻或分压电阻, 它们置于一可变电阻箱中, 电阻箱的阻值变换共分 20 档, 其中电压部分为 11 档, 电流部分为 9 档。通过一个小型双刀双掷开关, 实现电压部分与电流部分之间的线路切换。可变电阻箱的接入, 对电流和电压起微调作用。

值得指出的是, 由于光线示波器的机械振子存在惯性, 因此它不能用来测量频率较高的信号, 如操作过电压等。

第三节 高压示波器

高压示波器是用来观察和记录冲击放电时出现的快速、单次过程的一种高速脉冲示波器。国产的主要有 SBGM-1、SBGM-2、SSBG-1302、SSBG-8601 型等。除此之外, 凡可用来观察单次过程的宽频带通用示波器, 也可用于高压冲击测量。高压示波器的主要结构方框图如图 2-2 所示。

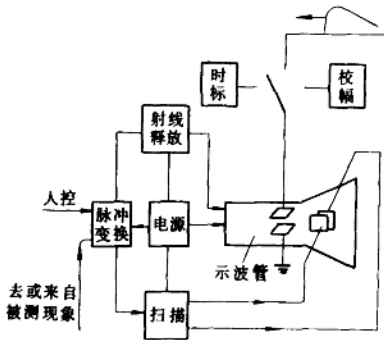


图 2-2 高压示波器的结构方框图

高压示波器由脉冲极性变换单元、射线释放单元、线性扫描单元、高压示波管系统、时标、校幅、高压和低压电源系统等部件组成。当要记录、观测冲击放电波形时, 需要一个触发信号(它往往用“天线”取自冲击电压发生器的点火球隙附近)去启动脉冲极性变换单元, 再由它取出脉冲信号, 同时去触发射线释放单元和线性扫描单元, 并与被测冲击波形同步, 才能在 CRT 的屏幕上观察到完整的冲击波形。

与普通示波器相比, 高压示波器有如下特点:

(1) 结构简单。不存在衰减器、放大器之类的装置。

(2) 加速电压高。由于高压示波器记录的是单次、瞬变过程, 要想在荧光屏上获得清晰明亮的冲击波形, 则要求由 CRT 的阴极发射的电子具有足够的能量去撞击荧光屏, 从而

需要较高的加速电压和后加速电压。高压示波器的加速电压高达 10~20kV，而普通示波器的为 2~3kV。

(3) 采用一次触发扫描。高压示波器采用他激式扫描方式，每次扫描都受被测信号控制，其触发脉冲由图 2-2 中的脉冲极性变换单元提供。在普通示波器中通常采用自激式扫描方式，由锯齿波发生器进行重复扫描，以观察周期性波形。

(4) 同步。高压示波器同步的含义与普通示波器的不一样。高压示波器的同步是指为了描绘一个完整的波形，首先应有电子射线束到达荧光屏，其次被启动的触发扫描单元使射线作水平偏转，然后被测信号作用到示波管的垂直偏转板上，这三个动作必须在极短的时间内依次完成，它们受脉冲极性变换单元和延时线的控制。而普通示波器的同步则是为了在荧光屏上获得稳定的波形，必须使锯齿波扫描频率与被测信号频率相等或为其整数倍。

(5) 具有一个射线释放单元。高压示波器的电子射线是处于闭锁状态的，只有在被测冲击波到达瞬间才释放，因此，具有一个射线释放单元，见图 2-2。

SBGM-2、SSBG-1302 和 SSBG-8601 型高压示波器为双线示波器，它们可以同时观察和记录两个被测信号，可用于测试避雷器的残压或伏-安特性。由于被测冲击波形均为单次且持续时间为 μs 级，因此，无论是单线还是双线高压示波器，均要采用摄影的方法记录和研究被测信号。下面仅以 SBGM-1 型为例，介绍高压示波器的使用情况。

该示波器的各部件分装在两个箱子内，除高频高压电源外的各种低压电源、变压器、磁饱和稳压器、隔离变压器等布置在下部的电源箱中。隔离变压器的绝缘水平为 30kV。图 2-3 中所示的除低压电源外的所有部件均布置在上部主体箱内，主体箱的面板布置如图 2-3 所示。与普通示波器相比，它也有调节光点的“亮度”、“聚焦”、“水平”、“垂直”旋钮，把被测信号清晰地显示在荧光屏的适当位置。面板上的“时标/扫描”中的“扫描”表示射线释放时方波的宽度（即扫线的长度或频宽，单位为 μs ）。由于该示波器屏面的有效直径为 10cm，当旋钮置于“0.5/5”档时，分母的“5”表示光点的扫描速度为 $5/10=0.5$ ($\mu\text{s}/\text{cm}$)，全屏的扫线长度为 $5\mu\text{s}$ ；当置于“5/50”档时，表示扫描速度为 5 ($\mu\text{s}/\text{cm}$)，全屏的扫描长度为 $50\mu\text{s}$ 。选择不同的扫描速度，可以记录和观察不同性质的冲击波形。高压示波器的时标信号由石英晶体振荡电路产生，把面板上的“选择”开关置于“时标”档时，扫描线上会出现一些间隔距离相等的小三角形。则“0.5/5”的分子表示每两个三尖角的时间间隔（即时标）为 $0.5\mu\text{s}$ ；“5/50”的分子表示时标为 $5\mu\text{s}$ 。依此类推，可以根据相应的时标计算出被测信号的波前时间和半峰值时间等。

面板上的“手动”、“自动”触发按键，可以用来检查示波管的零线、时标、校幅的工

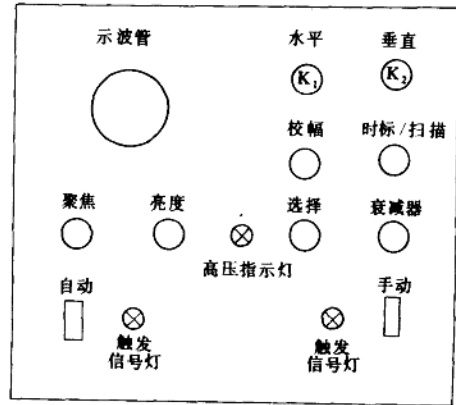


图 2-3 SBGM-1 高压示波器面板布置图