

电气工程安装调试运行维护实用技术技能丛书

电气设备、 元件、材料的 测试及试验

DIANQI SHEBEI
YUANJIAN CAILIAODE
CESHI JI SHIYAN

白玉岷 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



电气工程 安装调试 运行维护 实用技术技能丛书

电气设备、元件、材料 的测试及试验

白玉岷 等编著



机械工业出版社

本书以工程实践经验为主,并从理论基础出发,详细讲述各类电气工程、电气设备及弱电工程的安装、检修、维护中的调整试验方法及技巧,以及各项规程和注意事项,是从事电气工程工作的必读之物。

本书主要内容有常用电工调整试验仪器及使用,电工设备测试和试验总体要求,电力变压器、高压电器、绝缘油、电动机、低压电器、电缆、导线、自备电源、火灾自动报警设备、有线电视设备、网络及监控设备、电工仪表、自动化仪表、空调系统电气装置、一般电器、特殊电器及新型电气控制设备等电气设备的测试和试验的方法、技巧、标准、规程及注意事项等。

本书可供从事电气工程安装、调试、检修、维护的技术人员和电气技师工作时使用,也可作为青年电工培训教材,以及工科院校和职业技术学院电气专业师生的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电气设备、元件、材料的测试及试验/白玉岷等编著. —北京:机械工业出版社,2010.1

(电气工程安装调试运行维护实用技术技能丛书)

ISBN 978-7-111-29472-6

I. 电… II. 白… III. ①房屋建筑设备:电气设备—测试②房屋建筑设备:电气设备—试验 IV. TU85

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第002044号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:牛新国 责任编辑:王欢 责任校对:李秋荣

封面设计:马精明 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2010年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·17印张·418千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-29472-6

定价:40.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

电气工程安装调试运行维护实用技术技能丛书

电气设备、元件、材料的测试及试验

主 编	白玉岷				
编 委	刘 洋	宋宏江	陈 斌	高 英	
	张艳梅	田 明	桂 垣	董蓓蓓	
	武占斌	王振山	赵洪山	张 璐	
	莫 杰	田 朋	谷文旗	李云鹏	
	刘晋虹	白永军	赵颖捷		
主 审	悦 英	赵颖捷	桂 垣		
土建工程	李志强				
顾 问					
编写人员	刘志林	张海亮	李红军	任秉富	
	张连兵	张文武	耿 华	赵 有	

前 言

当前，我们的国家正处于改革开放、经济腾飞的伟大转折时代。在这样的大好形势下，我们可以看到电工技术突飞猛进的发展，新技术、新材料、新设备、新工艺层出不穷、日新月异。电子技术、计算机技术以及通信、信息、自动化、控制工程、电力电子、传感器、机器人、机电一体化、遥测遥控等技术及装置已与电力、机械、化工、冶金、交通、航天、建筑、医疗、农业、金融、教育、科研、国防等行业技术及管理融为一体，并成为推动工业发展的核心动力。特别是电气系统，一旦出现故障将会造成不可估量的损失。2003年8月美国、加拿大大面积停电，几乎使整个北美瘫痪。我国2008年南方雪灾，引起大面积停电，造成1110亿人民币的经济损失，这些都是非常惨痛的教训。

电气系统的先进性、稳定性、可靠性、灵敏性、安全性是缺一不可的，因此电气工作人员必须稳步提高，具有精湛高超的技术技能，崇高的职业道德以及对专业工作认真负责、兢兢业业、精益求精的执业作风。

随着技术的进步、经济体制的改革、用人机制的变革及市场需求的不断变化，对电气工作人员的要求越来越高，技术全面、强（电）弱（电）精通、精通技术的管理型电气工作人员成为用人单位的第一需求，为此，我们组织编写了《电气工程安装调试运行维护实用技术技能丛书》。

编写本丛书的目的，首先是帮助读者在较短的时间里掌握电气工程的各项实际工作技术技能，使院校毕业的学生尽快地在工程中能够解决工程实际设计、安装、调试、运行、维护、检修以及工程质量管理、监督、安全生产、成本核算、施工组织等技术问题；其次是为工科院校电气工程及自动化专业提供一套实践读物，亦可供学生自学及今后就业参考；第三是技术公开，做好电气工程技术技能的传、帮、带的交接工作，每个作者都是将个人几十年从事电气技术工作的经验、技术、技能毫无保留，公之于众，造福社会；第四是为刚刚走上工作岗位的电气工程及自动化专业的大学生尽快适应岗位要求提供一个自学教程，以便尽快完成从大学生到工程师的过渡。

本丛书汇集了众多实践经验极为丰富、理论知识精通扎实、能够将科研成果转化为实践、能够解决工程实践难题的资深高工、教授、技师承担编写工作，他们分别来自设计单位、安装单位、工矿企业、高等院校、通信单位、供电公司、生产现场、监理单位、技术监督部门等。他们将电气工程及自动化工程中设计、安装、调试、运行、维护、检修、保养以及安全技术、读图技能、施工组织、预算编制、质量管理监督、计算机应用等实践技术技能由浅入深、由易至难、由简单到复杂、由强电到弱电以及实践经验、绝活窍门进行了详细的论述，供广大读者，特别是青年工人和电气工程及自动化专业的学生们学习、模仿、参考，以期在技术技能上取得更大的成绩和进步。

本丛书的特点是实用性强，可操作性强，通用性强。但需要说明，本丛书讲述的技术技能及方法不是唯一的，也可能不是最先进、最科学的，然而按照本丛书讲述的方法，一定能将各种工程，包括复杂且难度大的工程顺利圆满地完成。读者及青年朋友们在遇到技术难题

时，只需翻阅相关分册的内容便可找到解决难题的办法。

从事电气工作是个特殊的职业，从前述分析可以得知电气工程及自动化工程的特点，主要是：安全性强，这是万万不容忽视的；专业理论性强，涉及自动控制、通信网络、自动检测及复杂的控制系统；从业人员文化层次较高；技术技能难度较大，理论与实践联系紧密；工程现场条件局限性大，环境特殊，如易燃、易爆等；涉及相关专业广，如机、钳、焊、铆、吊装、运输等；节能指标要求严格；系统性、严密性、可靠性、稳定性要求严密，从始至终不得放松；最后一条是法令性强，规程、规范、标准多，有 150 多种。电气工作人员除了技术技能的要求外，最重要的一条则是职业道德和敬业精神。只有高超的技术技能与高尚的职业道德、崇高的敬业精神结合起来，才能保证电力系统及自动化系统的安全运行及其先进性、稳定性、可靠性、灵敏性和安全性。

因此，作为电气工程工作人员，特别是刚刚进入这个行业的年轻人，应该加强电工技术技能的学习和锻炼，深入实践，不怕吃苦、不怕受累；同时应加强电工理论知识的学习，并与实践紧密结合，提高技术水平。在工程实践中加强职业道德的修养，加强和规范作业执业行为，才能成为电气行业的技术高手。

在国家经济高速发展的过程中，作为一名电气工作者肩负着非常重要的责任。国家宏观调控的重要目标就是要全面贯彻落实科学发展观，加快建设资源节约型、环境友好型社会，把节能减排作为调整经济结构、转变增长方式的突破口。在电气工程、自动化工程及其系统的每个环节和细节里，每个电气工作者只要能够尽心尽责，兢兢业业，确保安装调试的质量，做好运行维护工作，就能够减少工程费用，减小事故频率，降低运行成本，削减维护开支；就能确保电气系统的安全、稳定、可靠运行。电气工作人员便为节能减排、促进低碳经济发展，保增长、保民生、促稳定做出巨大的贡献。

在这中华民族腾飞的时代里，每个人都有发展和取得成功的机遇，倘若这套《电气工程安装调试运行维护实用技术技能丛书》能为您提供有益的帮助和支持，我们全体作者将会感到万分欣慰和满足。祝本丛书的所有读者，在通往电工技术技能职业高峰的道路上，乘风破浪、一帆风顺、马到成功。

白玉岷

2010 年元月

目 录

前言

第一章 常用电工调整试验仪器及使用

一、示波器及使用	2
二、晶体管特性图示仪	8
三、万用电桥	20
四、双臂电桥的使用方法	21
五、示波器、图示仪、电桥的保管	22
六、吸收比和极化指数的测量	22
七、新型电测仪器及使用	25
八、场强仪的使用	50
九、单臂电桥的使用	50
十、电压升压器的使用及耐压试验	51
十一、电流升流器的使用及电流试验	60
十二、试验仪器的保管及检定周期	61

第二章 电气设备测试和试验总体要求

一、基本要求	62
二、测试试验的程序步骤	63
三、测试试验注意事项	64

第三章 电力变压器的测试试验

一、电力变压器的标准规范要求	65
二、具体测试试验方法	69
三、电抗器及消弧线圈	80
四、互感器	82

第四章 高压电器的测试和试验

一、标准规范要求	87
二、测量和试验方法	98
三、避雷器的试验	111
四、绝缘油的试验	116

第五章 常用电气设备的测试与试验

一、交流异步电动机的测试和试验	118
二、低压电器的测试和试验	130
三、自备电源发电机的测试和试验	137

第六章 电缆和绝缘导线的测试

一、电缆	138
二、绝缘导线	143

第七章 弱电装置的测试和试验

一、火灾自动报警设备的测试	144
二、电缆电视设备的测试	146
三、网络及监控设备的检测试验	148
四、空气调节自动控制系统电气元件的测试和试验	151

第八章 自动化仪表的测试和试验

一、标准规范要求	152
二、测试试验总体要求	154
三、测试试验方法	154

第九章 其他电器装置的测试和试验

一、一般电器的测试和试验	226
二、特殊电器的测试和试验	226
三、常用电工仪表的校验和检定	226

第十章 新型电气控制设备的调整

试验要点

一、电气控制设备调整试验准备工作及要求	231
二、自动化设备调整试验	232
三、直流调速装置调整试验	238
四、交流调速装置的调试	248
五、电源设备的调试	258
六、整理试验报告	262

参考文献

第一章 常用电工调整试验仪器及使用

示波器、图示仪、电桥是电工常用的测试仪器，对于测试元件、检测电气参数有很大的用途。相比常用电工仪表，这些仪器的操作方法较为复杂，但是对一名电气工作人员来说应该是应该掌握的。

近几年来一些新型电测仪器的出现，简化了操作方法，测量参数更加精确，更加多样化，给电气系统的测试、调整、试验带来了很大的方便。如 TSB 试验变压器、Q-50-250 放电球隙测压器、ZBC-1 电压比自动测试仪、YM-942 继电保护校验仪、KJTC 开关机械性能测试仪、JF 局部放电测试仪、HYBL 氧化锌避雷器测试仪、DWR 大接地网接地电阻测试仪、ZGF/ZGC 直流高压发生器、SB2204 智能介质损耗测试仪、GZ 智能高压绝缘电阻表、SB2230 直流数字电阻测试仪、MD911 电缆故障测试仪、双钳相位伏安表、UT 数字钳形表、LCR 测量仪等，也是电气工作人员应该掌握的。

本章详细讲述示波器、图示仪、电桥及新型电测仪器等的使用方法，测试各种电气参数、电子器件的具体操作程序，仪器一般故障的检查，操作保管的注意事项，故障排除的方法，以及仪器的校验方法等内容。

一、示波器及使用

1. 通用示波器面板上的旋钮

示波器的型号很多，但均大同小异，这里仅以 SBT-5 型示波器为例，说明示波器面板上各旋钮的作用。

“电源开”：电源开关向上扳，接通电源。接通额定电源后，指示灯发出柔和的红光。

“辉度”：控制示波管荧光屏上迹点的亮度，顺时针旋转时增加亮度，反之，则减弱亮度。

“聚焦”：聚集光点为一小圆点。在每次改变辉度后，一般需要重新调整聚焦状态。

“辅助聚焦”：使光点成为一个清晰的小圆点或迹线。

“标尺亮度”：示波管荧光屏前坐标刻度片的照明亮度和不同色别的旋钮。转动旋钮可以从白光变换为红光、黄光或关掉坐标刻度的照明。拍摄照片时宜采用白光照明。

“Y 轴选择”：选择输入端阻容（输入阻抗）的旋钮。有 $1\text{M}\Omega$ 和 75Ω 两种匹配状态，在“比较信号”时，送入机内的比较信号，作校准衰减器用。

“Y 轴输入”：Y 轴偏转系统的被测信号输入插座。常用的输入端。

“Y 轴衰减”：分 1、3、10、30、100、300 和 1000 七档，供选择适当的测量电压，使有适当的观察信号幅度。

“Y 轴增幅”：控制 Y 轴方向迹线的幅度，顺时针旋转时增长迹线，反之，则减短迹线。显示迹线长度控制在 6mm 范围内为宜。

“Y 轴移位”：移动迹线在荧光屏 Y 轴方向的上下位置。顺时针旋转时向上移动，反之，则向下移动。

“触发输入”：外界触发信号输入端。触发信号应不小于 0.5V （峰峰值）。

电气工程、自动化工程、弱电工程及其他与电器相关的工程项目，在国民经济、人民生活、国防军事等各个领域起到举足轻重的作用。因此，保证电气工程、自动化工程、弱电工程及其与电器相关工程拥有很好的安全性、稳定性、灵敏性、准确性、可靠性、系统性尤为重要，这是每个电气工作者应该做到的，也是必须要做到的。为了实现上述要求，最主要的工作是在工程安装调试的过程中，对设计进行审核，对设备、元件、材料进行测试、试验以及工程调整试验。可以说设备、元件、材料的测试、试验及工程的调整试验是保证工程安全性、稳定性、灵敏性、准确性、可靠性、系统性的最后一道关口，把住了这道关口就保证了工程的安全运行，否则工程将会藏有隐患，这是不能容忍的，也是不允许的。

为了保证这些条件，电气人员除了要必须具备良好的职业道德和高度的责任感外，最主要是要熟练掌握设备、元件、材料的测试、试验及工程调整试验的技术技能，正确使用相关的仪器仪表及设备，准确掌握标准规范要求。无论是从事电气工程的安装、检修、维护等哪一种作业，都必须在设备、元件、材料的安装、使用、接线前进行测试和试验，必须在系统通电使用及运行前进行调整试验，这两点做到了就保证了上述的几项条件，就能使系统安全运行。

通过对设备、元件、材料的电气参数、机械参数的测试及试验可以发现它们在制造、安装和工程设计上存在的不足和缺陷，当然有些微小问题可以通过修理或调整消除；而那些影响使用和运行或者对上述条件有不良影响的缺陷必须要对其进行修改设计、调整选择方案；当存在质量隐患或实际参数严重不符、功能作用实测不达标的情况下必须与厂商交涉，必要时可采取法律手段，这是每个电气工作人员的责任。

与此同时，通过对设备、元件、材料的测试、试验及对系统的调整试验，可提供现场可靠的参数并以此为依据改进产品性能和质量，提高工程设计和安装的质量和可靠性。准确地讲，测试、试验及调试是联系产品制造、工程设计及安装调试技术的桥梁和纽带，是共同提高、相互改进的必由之路。任何情况下都要放于首要地位，由于测试、试验及调试的失误或缺失而引发的重大损失是要追究责任的。

作为一名电气工作人员，无论职务高低、工龄长短都应该时时刻刻把测试、试验及调试放在最重要的位置，把它当做一个必要工序。只有这样才能从基础上把好电气工程的质量关口，也只有这样才能确保电气工程的安全性、稳定性、灵敏性、精确性、可靠性、系统性。同时，也应该不断地学习新技术、新工艺、新材料、新设备知识，掌握先进的技术技能及科学方法，以确保电气工程安全运行。

“触发选择”：触发工作方式和极性的变换开关。一般观察放在“内+”或“内-”位置，均可显示。当观察正脉冲波形的上升时间时，需放在“内+”位置。用外界信号触发扫描时，应放在“外+”或“外-”位置。如果观察与电源频率有时间关系的信号波形时，用电源信号进行触发。

“稳定调节”：触发稳定调节旋钮。先将“触发增幅”旋钮逆时针方向旋转到底，然后将旋钮逆时针方向缓慢旋转到使示波管荧光屏上刚出现扫描基线，再顺时针向后旋转，使扫描基线刚刚消失，这时的位置表示扫描发生器的工作点已调节在临界状态，最后顺时针方向旋转“触发增幅”旋钮，即能得到稳定的触发状态。

“触发增幅”：触发信号幅度的旋钮。控制触发器正常工作状态，以使“稳定调节”旋钮选择到一个灵敏的待触发点。顺时针缓慢旋转即可得到稳定工作的触发状态。

“X轴输入”：X轴偏转系统的被测信号输入插座。

“X轴选择”：X轴输入衰减器，分1、10、100三档，供选择适当的输入电压。在“扫描”档时，则由机内的扫描信号电压作时间基准。

“X轴增幅”：控制X轴方向迹线的长度。顺时针旋转时增长迹线，反之，则减短迹线。显示迹线长度控制在10cm范围内为宜。

“X轴移位”：移动迹线在荧光屏X轴方向的左右位置。顺时针旋转时向右移动，反之，向左移动。

“扫描时间”：扫描时间速度档级开关，在 $0.1\mu\text{s}/\text{cm} \sim 10\text{ms}/\text{cm}$ 范围内从0.1~10，共分五档。

“扫描微调”：扫描时间速度微调旋钮，配合“扫描时间”，可使扫描时间速度从 $0.02\mu\text{s}/\text{cm} \sim 10\text{ms}/\text{cm}$ 连续可调。

“扫描扩展”：扫描时间速度扩展旋钮开关。置于“校准”位置时，扫描速度不扩展，顺时针旋转到开关“开”，扫描速度扩展约5倍，使最高扫描时间速度达到 $0.02\mu\text{s}/\text{cm}$ 。

“扫描输出”：正向扫描锯齿电压输出接线柱。

“比较信号V（峰峰值）”：约1kHz的方波校准信号电压，从50mV~50V，共分8档，“0”为关掉比较信号。用于校准阻容补偿衰减器、探极的补偿电容器或Y轴放大器的偏转幅度校准和对比。

“比较信号”：校准信号电压输出接线柱，供机外使用。

“时标”：用已知频率的正弦波送到示波管的阴极用作确定被测信号，波形从一点到另一点间隔之间的时间。当阴极电位升高时，电子束密度减弱，光点变暗，反之则变亮，使显示波形分割成明暗相间的光点，叫作时标。如时标档级在 $1\mu\text{s}$ 时，时标脉冲振荡器的输出频率为1MHz。

“Y₁、Y₂、X₁、X₂”：被测量信号可不经仪器放大系统而直接送至示波管的Y偏转板或X偏转板。

“Z”：在需要使用调辉法直接测定被测信号波形各部分的时间时，可将时标信号从本插座接入。

2. 使用示波器前的注意事项

1) 接通示波器电源之前，为了保证仪器的安全使用，应检查仪器进线电源变换插头是否置于所供应的电源标称值上。仪器出厂标称适应电源为220V，如供应电压为110V时，应

将仪器后部电源变换插头铁罩取下, 变成 110V, 同时变换插头附近的熔丝必须换成 5A 才可。

进线电压误差超过额定值的 $\pm 5\%$ 时, 应采取措施使之符合使用条件。

2) 开启电源, 指示灯亮, 表示电源接通, 预热 5min, 即可使用。

3) 仪器内部装有风冷装置 (微型风扇), 每使用 500h 后, 须在风扇轴承内添注机油 (如缝纫机油) 数滴, 使其润滑。

4) 仪器后盖板装有滤尘网, 仪器使用一定时期后, 应卸下该滤尘网, 清除积尘, 以免积尘堵塞网眼, 影响风量。

5) 若使用其他导线或电缆来引入观察信号, 且 Y 轴选择置于 75Ω 时, 应在引入线或电缆上串接隔直流电容, 防止外界信号源的高压直接加于输入端电阻上, 而导致其损毁。

6) 由于仪器所用示波管的偏转灵敏度有一定的限制, 故在使用中, 荧光屏上波形的幅度不应大于 8cm, 更不宜长时间超过规定值, 以免过载。同时, 在使用前宜将 Y 轴衰减置于最大, 然后视所显示波形的大小和观察需要再适当调节衰减。

7) 使用时应注意辉度适中, 不宜过亮, 光点不可长时间停留在一点上, 以免损坏荧光屏。

8) 因故暂停使用而将电源切断后, 若需再行立即使用, 则应稍待 2~3min 后才开启电源, 以免熔丝烧毁。

9) 当用探极来引入观察信号时, 应将 Y 轴选择置于 $1M\Omega$ 档, 用探极引入能增大输入阻抗, 以减少对被测信号源的影响和避免外界杂散信号的干扰, 但它也能把干扰衰减到 1/10。除探极外, 也可用导线或其他同轴电缆引入信号, 但当信号源输出端带有高压时, 应注意串接隔直流电容。

10) 光点聚焦可调节聚焦旋钮, 使其成为一个小圆点, 直径一般不大于 1mm, 如光点不圆, 可调节辅助聚焦, 务使趋近于小圆点时为止。辅助聚焦一次调整后可不经常调节, 辉度与聚焦应同时调节。

11) 通常在观察被测信号时, X 轴选择应置于扫描档, 并视被测信号为正、负极性分别将触发选择于“内+”或“内-”档。若采用外界触发信号时, 外触发信号应于触发输入端输入, 再视该信号的正、负极性将触发选择置于“外+”或“外-”档。

12) Y 轴信号输入时, 应根据输入信号的强度, 选择适当的衰减。当信号峰值电压超过 0.2V 时, 宜衰减到 1/3; 超过 0.6V 时, 则宜衰减到 1/10, 其他以此类推。

如信号不需增幅而直接加到示波管之偏转板时, 则可由仪器后面板的插孔直接输入, 但应注意插孔与输入信号源之间须串隔直流电容, 以免影响偏转板的正常工作。

13) 扫描时间的选择与扫描微调的调节, 由被观察脉冲持续时间与重复频率以及观察需要而决定。例如, 宽度为 $50\mu s$, 重复频率为 5kHz 的矩形脉冲, 当扫描时间置于 $10\mu s$ 档时, 荧光屏上呈现约为 5cm 宽度的单个脉冲; 若将扫描时间置于 $100\mu s$ 档级时, 荧光屏上就呈现 5~6 个约 0.5cm 宽度的脉冲, 两相邻脉冲的距离约为 2cm。因此, 由波形宽度与扫描时间, 可获得脉冲宽度与重复频率的近似值。当扫描微调自“标准”位置逆时针旋至最小, 则扫描时间增大约 10 倍。

14) 一般情况下, 扫描扩展应置于“校准”位置, 只有要从一系列复杂脉冲波形中选取其中某一个脉冲作仔细观察时, 才可将扫描扩展打开, 于是荧光屏上的波形在水平方向

被扩展约 5 倍。将扫描扩展顺时针逐渐旋至最大, 则荧光屏上被扩展的波形将顺序地自右而左移动, 直到所需观察的脉冲移至荧光屏的正中时为止。

15) 仪器内部的比较信号发生器与触发扫描发生器可作为信号源, 分别由比较信号端接线柱与扫描输出端接线柱对外输出方波与锯齿波。

16) 当需要由输入信号对示波管的辉度进行调制时, 该信号可由仪器后面板的调辉插孔 Z 直接输入。

17) 当需要由 X 轴输入信号时, 信号由 X 轴输入端输入, 并将 X 轴选择置于合适的 X 轴衰减档 (1、10 或 100)。

3. 使用示波器前应做的检查和试验

在进行各种测量之前应对示波器做一次简要的检查或试验。检查时示波器面板上各控制旋钮见表 1-1。

表 1-1 示波器面板旋钮名称及其作用

控制旋钮名称	作用位置	控制旋钮名称	作用位置
Y 轴选择	比较信号	扫描时间	100
Y 轴衰减	1	扫描微调	校准
Y 轴增幅	逆时针旋足	触发选择	内 +
时 标	关	扫描扩展	校准
比较信号	0.15	触发增幅	逆时针旋足
X 轴选择	扫描	稳定调节	顺时针旋足

通电后, 示波器工作在触发扫描状态, 数分钟后, 将“稳定调节”自最右位置渐渐向左旋转, 到开始出现扫描则再向右旋至刚刚停扫的一点 (此点称为待触发点)。此时将“触发增幅”渐渐向右旋转即可获得稳定的扫描, 荧光屏上即出现稳定的方波波形, 见图 1-1。

由图 1-1 所示可以确定仪器单元电路的工作是否处于正常状态。

1) “Y 轴增幅”在最左位置, 荧光屏上的幅度小于 2cm; 而置于最右位置时, 幅度大于 7cm, 这说明 Y 轴输入灵敏度符合下列关系式:

$$S_Y = \frac{\text{输入电压}}{\text{显示幅度}} \quad (1-1)$$

如输入电压为 150mV, 显示幅度大于 6cm, 即

$$S_Y = \frac{150\text{mV}}{6\text{cm}} = 25\text{mV/cm}$$

S_Y 的数值按技术指标应不大于 25mV/cm, 因此上式结果是符合要求的。

此外, “Y 轴增幅”的覆盖系数应符合下列关系式:

$$A_{\text{覆盖}} = \frac{\text{最大幅度}}{\text{最小幅度}} \quad (1-2)$$

如最大幅度应大于 6cm, 最小幅度应小于 1.8cm, 即

$$A_{\text{覆盖}} = \frac{(\text{大于})6\text{cm}}{(\text{小于})1.8\text{cm}} > 3.3$$

$A_{\text{覆盖}}$ 的数值按技术指标应大于 3.3, 因此, “Y 轴衰减”就保证了 Y 轴幅度在各种测量时

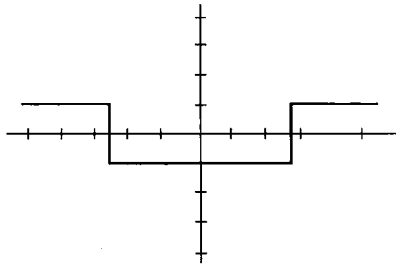


图 1-1 仪器典型使用状态时的波形

能连续地调节。

2) 荧光屏上出现稳定的波形, 说明仪器触发放大器工作是正常的。同时从方波的宽度为 5cm 左右, 可知此档级的扫描速度亦是正确的。从 Y 轴输入的比较信号的频率是 1kHz, 又是较对称的方波, 所以脉冲宽度应为 500 μ s。

3) 将“时标”置于“100”位置时, 荧光屏上方波立即改变为图 1-2 所示的波形, 这时可进一步证实方波宽度为 500 μ s。

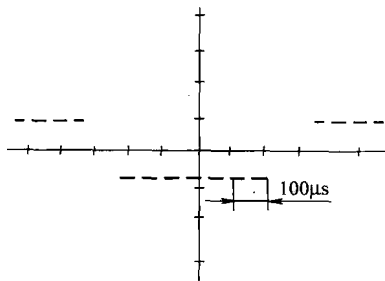


图 1-2 100 μ s 时标所显示的方波

4. 用示波器测量波形幅度

先将“Y 轴选择”置于 1M Ω 档, 被测信号由 Y 轴输入, 调节“Y 轴衰减”, 使波形幅度控制在荧光屏刻度以内, 调节触发和扫描时间, 荧光屏上出现稳定波形, 见图 1-3, 其操作方法如下:

1) “Y 轴选择”置于“比较信号”, 调节比较信号和 Y 轴增幅, 使幅度为 5cm。算出此时每厘米的灵敏度。

2) 示波器各旋钮保持不变, 将“Y 轴选择”置于 1M Ω 档, 读出被测波形的幅度, 乘以每厘米灵敏度即可。若每厘米灵敏度为 0.1V/cm, 则图 1-3 中被测波形的幅度为

$$A = 3.2\text{cm} \times 0.1\text{V/cm} = 0.32\text{V}$$

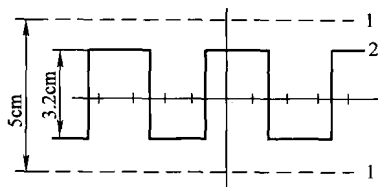


图 1-3 测量波形幅度示意图

1—比较信号 2—被测信号

3) 若被测信号很大, 可用本机所备的 10:1 探头来测量, 但计算时应注意每厘米灵敏度值 (0.1V/cm) 乘以 10。

5. 用示波器测量频率和相位

1) 100kHz 以下的频率测量, 可采用李沙育图形法。这个方法通过一已知频率的信号与未知频率的信号分别输入仪器的 X 轴和 Y 轴, 荧光屏上可出现各种图形, 根据这些图形和已知频率的数值, 就能算出被测信号频率的数值。图 1-4 所示各图就是以 X 轴和 Y 轴均输入正弦波信号时, 常用的一些频率比图形。

2) 利用李沙育图形来比较测量两个信号的频率, 虽然十分方便, 但当测量两个频率比相当大的信号时, 若再用李沙育图形比较法, 则所得的图形将很复杂而难以估计, 因此, 可采用分相比较法, 见图 1-5。

已知低频的信号, 通过 C 与 R 的移相网络, 送入 Y 轴与 X 轴偏转系统, 旋动移相调节器 R_s , 可使荧光屏上显示的圆环形图形变为正圆或椭圆。被测的高频信号通过 R_b 幅度的控制送入 X 轴偏转系统。

3) 除测量频率之外, 还可以进行相位比较, 图 1-6 所示的各图是在下列条件下得出的: 示波器 Y 轴与 X 轴的灵敏度调节一致, 此外, 相比较的频率亦是相同的。

6. 用示波器测量波形时间

用示波器测量各种信号的时间参数, 可以取得简便和较精确的效果。当“扫描微调”置于“校准”位置时, “扫描时间”所指的读数即为荧光屏上 X 轴向每厘米的扫描速度。测量时的操作方法与波形幅度测量相同。以图 1-3 为例, 图中方波是对称的, 方波的宽度为 2cm, 周期为 4cm, 若设此时的扫描速度为 100 μ s/cm, 则宽度为

$$t = 100 \mu\text{s}/\text{cm} \times 2 \text{cm} = 200 \mu\text{s}$$

周期为两倍宽度，即

$$T = 2t = 400 \mu\text{s}$$

有些场合，需要对一脉冲信号的上升时间进行定量的分析，由于该示波器本身的上升时间为40ns，因此被测信号的前沿不能超过此数量级。如果被测信号的前沿大于100ns，则测量结果就不需修正，荧光屏上读出的数值即为实际被测数值。如果被测信号的前沿为同数量级时，则应将荧光屏上读出的前沿数值按下式修正：

$$t = \sqrt{t_1^2 - t_2^2} \quad (1-3)$$

式中 t_1 ——荧光屏上读出的前沿数值；

t_2 ——示波器本身的上升时间，即40ns；

t ——被测信号的上升时间。

图1-7为一快速脉冲前沿的测量方法。

若此时扫描速度为0.1μs/cm，则上升时间为

$$t_1 = 0.5 \text{cm} \times 0.1 \mu\text{s}/\text{cm} = 0.05 \mu\text{s} = 50 \text{ns}$$

$$t_2 = 40 \text{ns}$$

$$t = \sqrt{50^2 - 40^2} = 30 \text{ns}$$

但是，示波器本身的上升时间不一定很准，因此，所得的结果尚有一定的误差。

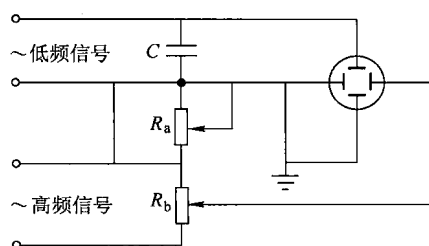


图 1-5 分相比较法

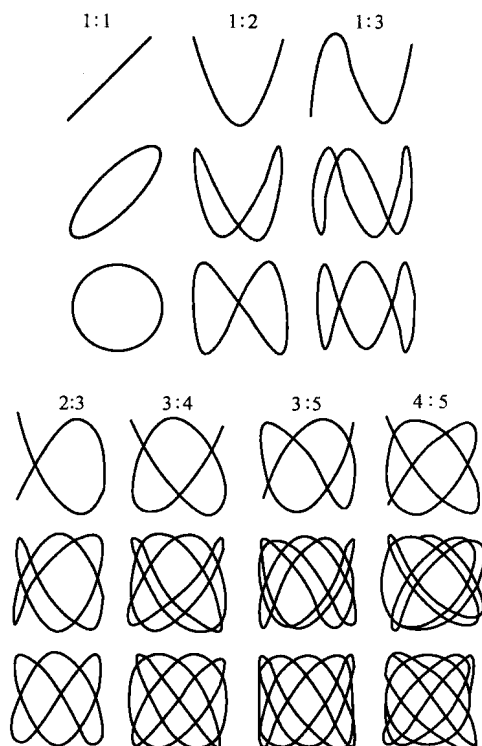


图 1-4 常用的频率比图形（李沙育图形）

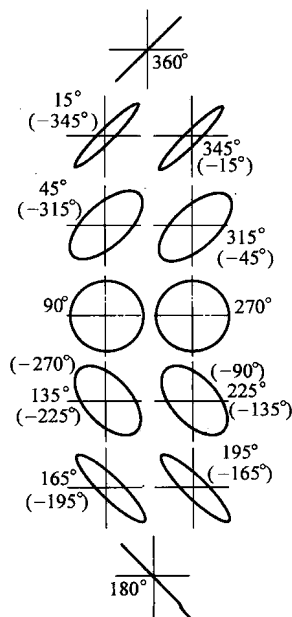


图 1-6 波形的相位比较图

7. 用示波器测量延迟时间

测量延迟网络、延迟电缆、同轴电缆等延迟装置的延迟时间，见图 1-8，A 端是信号的输入端，B 端是信号的输出端。两信号的时间对应关系见图 1-9， τ 就是被测延迟装置的延迟时间。

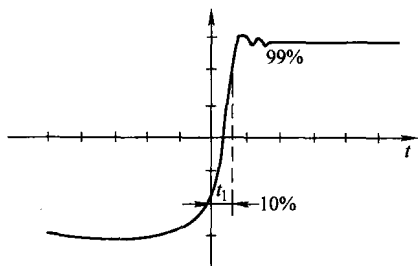


图 1-7 快速脉冲前沿测量

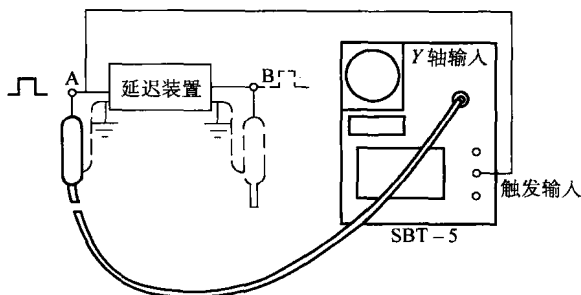


图 1-8 延迟时间测量方框图

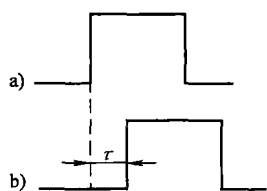


图 1-9 两信号的对应关系

a) 延迟前 b) 延迟后

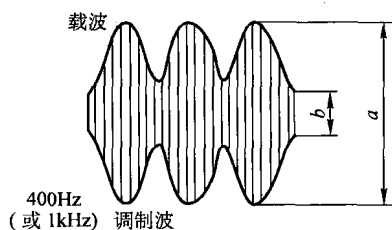


图 1-10 已调制信号波形

测量时，示波器置于外触发状态。延迟前与延迟后的两次测量之间，仪器的控制旋钮不能任意变动，尤其不能调节“触发增幅”与“稳定调节”等旋钮，以避免测量发生误差。

8. 用示波器测量调制系数

在发送和接收技术中经常要测量调幅信号的调制系数，图 1-10 所示为一已调制的信号，其调制系数为

$$m = \frac{a - b}{a + b} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 a ——最大幅度；

b ——最小幅度。

例如：图 1-10 中 b 为 10mm， a 为 37mm，则调制系数为

$$m = \frac{37 - 10}{37 + 10} \times 100\% = \frac{27}{47} \times 100\% = 58\%$$

二、晶体管特性图示仪

1. 晶体管特性图示仪的检查和校正

晶体管特性图示仪面板示意图见图 1-11。晶体管特性图示仪是一种用途很广的电子仪器，下面先介绍一下部分旋钮的用处。

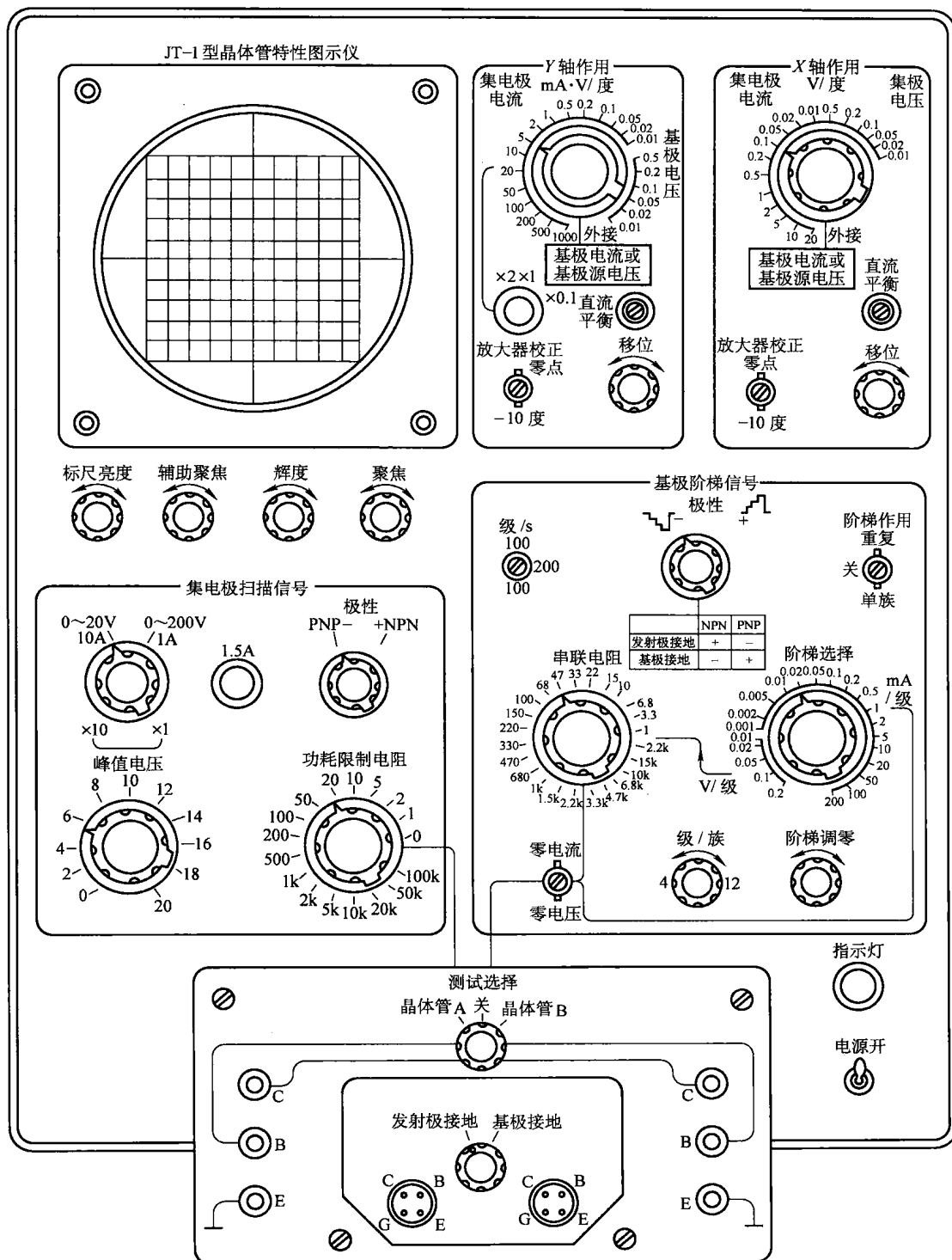


图 1-11 JT-1 型晶体管特性图示仪面板

(1) X 轴或 Y 轴作用单元的“外接”档 当要显示外接信号时,将开关拨至“外接”档,外接信号从后箱板上 $X(+)$ 或 $X(-)$ 、 $Y(+)$ 或 $Y(-)$ 处接入,此时 X 轴和 Y 轴放大器的灵敏度为 0.1V/度 。

(2) X 轴或 Y 轴作用单元的“放大器校正”开关 在进行定量测量时,为了保证屏幕标尺刻度能够准确读数,应先对放大器进行零位和放大倍数的校正。

(3) 为了扩大 Y 轴作用单元的量程,在该单元设有“ mA/度倍率 ”开关,共有 $\times 2$ 、 $\times 1$ 、 $\times 0.1$ 三档,如置于 $\times 2$ 档,表示将“ mA/度 ”开关的集电极电流的读数加倍。

(4) 在测量晶体管时,应根据所测特性曲线的坐标来选择 X 轴作用“ V/度 ”开关和 Y 轴作用“ $\text{mA} \cdot \text{V/度}$ ”开关的档位。例如,在测共发射极电流放大特性曲线时, X 轴作用“ V/度 ”开关置于“基极电流”档(最下方框中的基极电流或基极源电压), Y 轴作用“ $\text{mA} \cdot \text{V/度}$ ”开关置于“集电极电流档”。

(5) “级/族”旋钮 调节阶梯信号的级数,从 $4 \sim 12$ 级连续可调。例如,测量共发射极输出特性曲线时,阶梯信号每跳变一级,示波管屏幕上就显示出一条曲线。如阶梯信号变化 10 级(包括 $i=0$),则荧光屏上显示出一族 11 条输出特性曲线。

(6) 阶梯作用开关分三档,其中“重复”为阶梯信号重复地加在被测管的基极上(指共发射极接法)。在需要观察被测管的特性曲线族时,开关应置于“重复”位置。“关”为阶梯信号停止输出。“单族”为阶梯作用开关向下按一次,只输出一级阶梯信号,相应显示一条曲线。这样便于瞬时测量被测管各项极限参数,避免损坏被测管。使用“单族”时,应预先调好其他各旋钮位置。

(7) “级/s”开关,用来改变阶梯信号的频率相位。其中 100 即为阶梯信号 1s 变化 100 级, 200 即变化 200 级。用 200 级/s时,图像闪烁现象减少,比较稳定。

(8) “零电流、零电压”按键有三档,中间位置时阶梯信号直接加到被测管的基极。当置于“零电流”时,被测管基极开路,可测 I_{CEO} 、 BV_{CEO} ;置于“零电压”时,基极与发射极短接,可测 I_{CES} 、 BV_{CES} 。

(9) “阶梯调零”,用来将阶梯信号起始电位调到零电位。

(10) “接地选择开关”,分为“发射极接地”和“基极接地”两档,用来选择小圆插座的接地方式。

晶体管特性图示仪检查和校正的步骤为:

(1) 检查放大器的对称性 如果示波器的 X 轴和 Y 轴的放大器有相同的增益,则当加相同的阶梯电压时,屏幕上应显示出一列沿对角线排列的亮点。其检查方法是:先开启电源,预热 15min ,将 X 轴作用开关和 Y 轴作用开关均置于“基极电压” 0.01V/度 ,并将基极阶梯信号“阶梯选择”开关也相应地置于 0.01mA/级 ,”极性”为“-”,阶梯作用置于“重复”档,“级/族” >0 ,”级/s”任意。这时若 X 轴和 Y 轴放大器的增益相同,则屏幕上显示的图形应如图1-12a所示。

(2) 放大器调零 Y 轴放大器调零,应在检查对称性的基础上,将 Y 轴“放大器校正”开关扳向“零点”位置(即把 Y 轴放大器输入端短路)。这时屏幕上的亮点应沿水平方向排成一行亮点,见图1-12b。同时要求 Y 轴作用开关置于不同的“基极电压”档时,都应满足上述要求。否则,应调节“直流平衡”电位器,直到“基极电压”在 $0.1 \sim 0.5\text{V/级}$ 各档亮点都不产生上下移动为止。