中天传播

中华英才

模块式技能实训
高职电工电子系列教材

通用电工电子仪表使用实训

杨承毅 刘 军 主编
李忠国 江华圣 刘起义 编著

桂林狮达电子卖
QQ
188111102
藏书专用章

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

世纪英才模块式技能实训
高职电工电子系列教材

通用电工电子仪表使用实训

杨承毅　刘　军　主编
李忠国　江华圣　刘起义　编著

桂林斯达电子类
QQ
1881111102
赠书专用章

人民邮电出版社
北　京

图书在版编目（CIP）数据

通用电工电子仪表使用实训 / 杨承毅，刘军主编；李忠国，江华圣，刘起义编著.
—北京：人民邮电出版社，2007.8
（世纪英才模块式技能实训高职电工电子系列教材）
ISBN 978-7-115-16053-9

Ⅰ. 通… Ⅱ. ①杨…②刘…③李…④江…⑤刘… Ⅲ. ①电工仪表—高等学校：技术学校—教材②电子仪器—高等学校：技术学校—教材 Ⅳ. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 045515 号

内 容 提 要

本书对电工电子产品制造和维修业中常用的各种仪表的使用方法进行了系统的介绍，重点介绍了万用表（指针式万用表、数字万用表）、示波器、信号发生器（低频、高频和函数信号发生器）、电子计数器等仪表，介绍时结合测量实例进行了详细的说明。本书突出了职业技术的特点，实用性强，内容深入浅出、通俗易懂、图文并茂。

本书可作为非电测专业的电子信息类、机电类各专业的通用教材，也可供职业培训班选用，对家用电器维修人员也有很大的参考价值。

桂林狮达电子来
QQ
188111102
藏书专用章

世纪英才模块式技能实训
高职电工电子系列教材

通用电工电子仪表使用实训

◆ 主　　编　杨承毅　刘　军
编　　著　李忠国　江华圣　刘起义
责任编辑　申　苹
执行编辑　穆丽丽

◆ 人民邮电出版社出版发行　　北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编　100061　　电子函件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
北京精彩雅恒印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本：787×1092　1/16
印张：9.5
字数：227 千字　　2007 年 8 月第 1 版
印数：1 - 5 000 册　　2007 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-16053-9/TN

定价：28.00 元

读者服务热线：(010) 67129264　印装质量热线：(010) 67129223

编 委 会

主　　任：杨承毅

编　　委：李忠国　梅开乡　江华圣　王　彦
姚建永　熊新国　刘慎熊　余　华
徐滤非　余宏生

策　　划：丁金炎

丛书前言

对职业院校而言，技能培训才是职业教育真正的主题，理论教学应该围绕着专业技能的需要而展开，这不仅是就业市场的需求，也是高职办学理念上的回归。因此，国家要求高等职业院校构建理论教学体系和实践教学体系的办学格局，指明了高等职业教育改革前进的方向。

职业院校“以就业为导向”的办学方针，意味着职业办学者必须树立向市场靠拢的职教理念，探索全新的职教模式，在其体教学科目、教学内容的选择上必须以市场需求为己任，要“有所为，有所不为”，而不是采取砍课程、减内容或等比例削减课时等简单化行为。

本系列教材是我们学习教育部“教高［2004］1号”文件，借鉴加拿大CBE（Competency-Based Education）教学思想的一次实践，也是借DACUM方法来开发教学计划的具体探索。新编教材忠实贯彻了“以就业为目标”的指导思想，扭转了“过多强调学科性”及“盲目攀高升格”的倾向，重视知识、技能传授的宏观设计及整体效果，改变了过去高职教材在学科体系基础上加加减减的编写方法。

本系列教材的主要特点如下。

（1）教材结构“模块化”。一个模块一个知识点，重点突出，主题鲜明。模块化课程结构以其良好的弹性和便于综合的特点适应了职业教育市场化的多种需求。

（2）注重“方法论”的教学思想。“授之以鱼，不如授之以渔”。教材是教学之本，故而方法也应是实践教材的主题，决不能简单地、狭义地认为技能实训就是学生的实际操作。技能实训教材以传授经过提炼、加工、升华的专家经验（方法论）为主，这也是与传统实验报告相比的区别所在。

（3）教学内容“本体化”。一套教材由多本内涵不同的单科教材构成，就是教育“本体化”的体现，故而单个科目不向其他学科扩展渗透，追求单科教学内容单纯化，追求系列教材的组合效应是本系列教材的一个基本思想。

（4）中、高职教材的梯度衔接。《世界21世纪高等教育宣言》指出：“教育内部层次的衔接是社会各种工作规范层次的要求，教育与就业的衔接，就是教育本身体现其价值的必然性要求。”编写中、高职教材涉及的问题很多，但中、高职教材有梯度的合理衔接应为首要问题，因为它对学校是一个教学的定位问题，对技术是一个标准问题，对企业是一个用人的问题，对社会则是一个公平问题。本系列教材为中职同类教材的生存留下了足够的空间。

（5）合理控制教学成本。若实践教学以教授做事方法为主导，则教学成本不会很高，但若以学生实践为主题，则教学成本会增加许多。如今，不计教学成本的时代即将离去，故而，本系列教材要求作者对每一个技能实训的成本作出估算，以免“曲高和寡”，最终难以得到教学双方的认可。

（6）教材内容更加直观。本系列教材广泛使用图表归纳法，用简洁的图表归纳整理，以解决日益庞大的知识内容与学时偏少之间的矛盾。同时，本系列教材图文并茂、直观清晰、便于自学、文字表达简洁明了、明快易懂。

（7）练习题体现了理论对实践技能的指导。每一个“技能模块”的练习题都需要学生开

习服务“零距离”上岗。

为实现以上目标，本系列实训教材在编写过程中，力求体现以下特色：

1. 以“实用”为原则，以“够用”为尺度，以“会用”为目的，以“实训”为手段，以“技能”为核心，以“就业”为导向，以“学生”为主体，以“教师”为主导，以“实训室”为主阵地，以“实训基地”为主战场，以“双证书”为主评价，以“校企合作”为主模式，以“工学结合”为主方法，以“顶岗实习”为主途径，以“产学研”为主内容，以“教学做”为主形式，以“理实一体”为主课堂，以“职业岗位”为主线索，以“职业能力”为主目标，以“职业素养”为主内涵，以“职业生涯”为主发展，以“职业教育”为主特色，以“职业院校”为主阵营，以“职业学生”为主对象，以“职业教师”为主力军，以“职业教育”为主旋律，以“职业教育”为主题词，以“职业教育”为主基调，以“职业教育”为主色调，以“职业教育”为主风格，以“职业教育”为主流派，以“职业教育”为主潮流，以“职业教育”为主方向，以“职业教育”为主道路，以“职业教育”为主目标，以“职业教育”为主任务，以“职业教育”为主使命，以“职业教育”为主责任，以“职业教育”为主义务，以“职业教育”为主权利，以“职业教育”为主关系，以“职业教育”为主矛盾，以“职业教育”为主问题，以“职业教育”为主对策，以“职业教育”为主措施，以“职业教育”为主办法，以“职业教育”为主经验，以“职业教育”为主教训，以“职业教育”为主规律，以“职业教育”为主原则，以“职业教育”为主精神，以“职业教育”为主理念，以“职业教育”为主思想，以“职业教育”为主理论，以“职业教育”为主实践，以“职业教育”为主创新，以“职业教育”为主发展，以“职业教育”为主未来，以“职业教育”为主梦想，以“职业教育”为主中国梦，以“职业教育”为主强国梦，以“职业教育”为主复兴梦，以“职业教育”为主实现梦，以“职业教育”为主圆梦，以“职业教育”为主追梦，以“职业教育”为主筑梦，以“职业教育”为主逐梦，以“职业教育”为主放飞梦想，以“职业教育”为主青春梦，以“职业教育”为主人生梦，以“职业教育”为主幸福梦，以“职业教育”为主美好梦，以“职业教育”为主理想梦，以“职业教育”为主信念梦，以“职业教育”为主坚持梦，以“职业教育”为主奋斗梦，以“职业教育”为主拼搏梦，以“职业教育”为主努力梦，以“职业教育”为主实干梦，以“职业教育”为主创业梦，以“职业教育”为主就业梦，以“职业教育”为主成才梦，以“职业教育”为主成功梦，以“职业教育”为主成长梦，以“职业教育”为主发展梦，以“职业教育”为主未来梦，以“职业教育”为主梦想梦

前　言

测量是一种了解的方式，对电类专业而言，人们就是通过仪表测量的方法，来了解电路元器件的优劣及电路所处的状态的。毋庸质疑，科学地利用各种仪表能为我们从事专业工作提供有力的手段，熟练地使用各种仪表可以大大提高工作效率。如今，能否熟练地使用各种仪表已成为反映电类从业人员技术水平高低的重要标志。因此，“仪表使用”是电类各专业学生“不可或缺”的基本技能。

本课程是为其他电类专业课服务的课程，涉及的教学内容跨越时间较长，因此一般不专门设课，而将各种仪表的教学工作分散由电工、电子及其他专业老师共同承担。传统的仪表教材体现了全面和系统，但如今，教学对象、教学目标都发生了很大的变化，根据因材施教的教学原则，我们认为传统教材已显得臃肿、繁冗和拖沓。故而重新构思、编写新教材势在必行。本教材力图跟随时代的步伐，适应新的形势。本书适用于非电测专业的电子信息类、机电类专业，遵循的是“千什么？怎么干？为什么？”的技术教育模式，学习目的十分明确，强调的是仪表的具体操作。本书中所有技能训练例题都是在真实条件下完成的。读者可通过按图接线、按图索骥的方式去学习各类仪表的操作技能，因此本教材非常适合学生自学。

本书中技能训练一由武汉铁路职业技术学院杨承毅老师编写；技能训练二、技能训练四、技能训练五、技能训练六、技能训练七由武汉科技大学中南分校江华圣老师编写；技能训练三、技能训练九中的“函数信号发生器的使用”、技能训练十中的“数显直流稳压稳流电源的使用”、技能训练十三、技能训练十四、技能训练十五由武汉轨道交通学校李忠国老师编写；技能训练九中的“彩色电视信号发生器的使用”、技能训练十二由武汉市第二职业教育中心刘起义老师编写；技能训练八、技能训练九中的“低频信号发生器的使用”和“高频信号发生器的使用”、技能训练十中的“传统实验室稳压电源的使用”、技能训练十一由武汉铁路职业技术学院刘军老师与杨承毅老师共同编写。全书由杨承毅老师统稿。本书的彩图制作和修正由熊雨和刘玲莉负责。

编写技能实训教材是高等职业教育面临的一个崭新的课题，需要不断地探索和研究。由于编者水平有限，书中难免有不当之处，恳请读者和同仁批评指正。

编　者

目　录

技能训练一　指针式万用表的使用…… 1
阅读材料一　电表灵敏度…… 9
阅读材料二　电工仪表精度等级……10
技能训练二　数字万用表的使用……11
技能训练三　逻辑笔的使用……18
技能训练四　电流互感器、电压互感器的使用……21
技能训练五　钳形电流表的使用……26
技能训练六　交流电桥的使用……29
技能训练七　兆欧表的使用……34
技能训练八　晶体管毫伏表的使用……38
技能训练九　信号发生器的使用……44
技能训练十　实验室用直流稳压电源的使用……74
技能训练十一　示波器的使用……83
技能训练十二　频率特性测试仪的使用…… 104
技能训练十三　电子计数器的使用…… 119
技能训练十四　场强仪的使用…… 126
技能训练十五　虚拟仪器的使用…… 132

桂林狮达电子考
QQ
1881111102
藏书专用章

技能训练一　指针式万用表的使用

万用表是集电压表、电流表和欧姆表于一体的便携式仪表，种类繁多，可分为指针式万用表和数字万用表两大类。万用表的功能也很多，主要用来测量电压、电流、电阻三种基本电参数，所以也称为三用表。使用者根据测量对象的不同，通过拨动万用表的挡位 / 量程选择开关来进行不同电参数的测量。

指针式万用表是电子测量中应用最广泛的一种电子测量仪表，下面以 MF-47 型万用表为例来介绍其工作原理和使用方法。

MF-47 型万用表的基本功能如下：

① 电压、电流测量；

② 电阻测量，电容、电感象征性测量；

③ 红外线测量；

④ 导通器；

⑤ 晶体管放大能力测量；

⑥ 放大器放大能力估测。

桂林狮达电子来
QQ
188111102
藏书专用章

一、认识 MF-47 型万用表

1．MF-47 型万用表面板图及其说明

MF-47 型万用表的面板如图 1-1 所示，面板结构介绍如表 1-1 所示。

(a) 前面板　　(b) 后面板

图 1-1　MF-47 型万用表面板图

表 1-1　　MF-47 型万用表面板结构

图中标号	名　称	图中标号	名　称
①	表盘	⑥	表笔插孔
②	机械调零旋钮	⑦	高压测试插孔
③	欧姆调零旋钮	⑧	大电流测试插孔
④	挡位 / 量程选择开关	⑨	1.5V 电池
⑤	晶体管测试孔	⑩	9V 电池

2. 表盘标度尺简介

表盘如图 1-2 所示，表盘上共有 7 条标度尺，从上到下各条标度尺的说明如表 1-2 所示。

表 1-2　　表盘标度尺说明

对应标度尺（从上至下）	名　称	说　明
1	电阻标度尺	用“Ω”表示
2	直流电压、交流电压及直流电流共用标度尺	分别在标尺左右两侧用“$\frac{V}{\cdots}$”和“$\frac{mA}{\cdots}$”表示
3	10V 交流电压标度尺	用“AC10V”表示
4	晶体管共发射极直流电流放大系数标度尺	用“h_{FE}”表示
5	电容容量标度尺	用“C（μF）50Hz”表示
6	电感量标度尺	用“L（H）50Hz”表示
7	音频电平标度尺	用“dB”表示

图 1-2　表盘

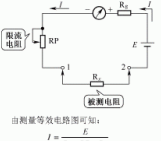
二、使用 MF-47 型万用表

MF-47 型万用表可以通过拨动表盘下方的挡位 / 量程选择开关，选择不同的挡位进行不同电参数的测量，下面具体介绍各挡位的使用方法。

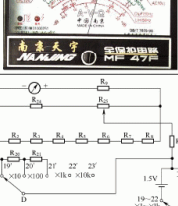
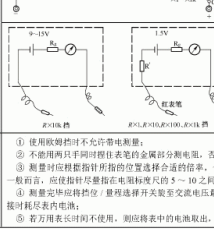
1. 欧姆挡的使用

欧姆挡的使用如表 1-3 所示。

表 1-3　　欧姆挡的使用

名称	图　示	说　明
测量示范		测量等效电路  由测量等效电路图可知： $I=\frac{E}{R_g+RP+R_x}$ 在 E、RP、R_g 为常量时，回路电流随 R_x 的大小而发生改变，即指针偏转的角度随 R_x 大小而改变，万用表即利用这一原理来测量电阻阻值
机械调零		万用表在使用前应检查指针是否指在机械零位上，即指针在静止时是否指在电阻标度尺的“∞”刻度处。若不在，应用小改锥左右调节机械调零旋钮，使指针的位置准确指在“∞”刻度处。具体操作如左图所示。 注意，在测量其他电参数时也需先进行机械调零操作
欧姆调零		当测量等效电路图中的 1、2 端被表笔短路时，$R_x=0$，此时表头电流 I 达到最大，指针应达到满刻度偏转；若指针不能偏转到满刻度位置，则可通过调节欧姆调零旋钮来改变流入表头的电流，以达到当 $R_x=0$ 时，指针指示零点的目的。具体操作如左图所示。 注意，每换一次挡位都需要重新进行欧姆调零，以减小测量误差；若调不到零点，多数原因是电池使用过久，此时应更换电池

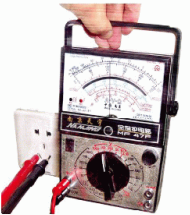
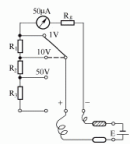
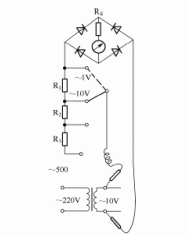
续表

名称	图　示	说　明
量程选择开关		欧姆挡共分 5 挡，如左图所示，分别是 ×1 挡、×10 挡、×100 挡、×1k 挡、×10k 挡（其中 "×" 是乘法符号）
不同量程范围的读数方法		选择不同的量程范围，其读数的方法也不同，下面以左图中的指示 "10.8" 数值为例进行说明： 挡位　对应电阻值 ×1 挡　10.8Ω ×10 挡　10.8×10Ω ×100 挡　10.8×100Ω ×1k 挡　10.8×1kΩ ×10k 挡　10.8×10kΩ
多挡欧姆表电路及等效电路		在工作实践中常利用万用表的欧姆挡去测量一些电子元器件，为避免损坏电子元器件，操作者应了解万用表欧姆挡的等效电路。 当左图开关电路可知，R×1、R×10、R×100、R×1k 挡内部电池为 1.5V，且 R×1 挡对 "D" 为最小；R×10k 挡内部电池为 15V（MF-47F 型万用表为 9V）。 实际测量时，对一般小功率半导体管使用 R×100、R×1k 挡测量，而不宜使用 R×1 和 R×10k 挡测量，因为选择 R×1 挡时万用表内阻最小，例如通过二极管的正向电流较大，可能会烧毁管子；而选择 R×10k 挡时由于万用表电池的电压较高，加在二极管两端的反向电压也较高，易击穿管子。反之对大功率管，可选 R×1 挡测量。 由上可知，了解万用表欧姆挡的等效电路有利于读者正确地使用万用表
测量须知	① 使用欧姆挡时不允许带电测量； ② 不能用两只手同时捏住表笔的金属部分测电阻，否则会因将人体电阻并接于被测电阻而引起测量误差； ③ 测量时应根据指针所指的位置选择合适的倍率，合适倍率的选择标准是使指针指示在表盘中值附近，一般前后，应使指针尽量指在电阻标度尺的 5 ～ 10 之间； ④ 测量完毕应将挡位 / 量程选择开关旋至交流电压最高挡，而不可将开关置于电阻挡，以防止两表笔短接时耗尽表内电池； ⑤ 若万用表长时间不使用，则应将表中的电池取出，以防止电池漏液	

2. 电压挡的使用

电压挡的使用如表 1-4 所示。

表 1-4　　电压挡的使用

项目	图示及说明	
	直流电压挡	交流电压挡
测量示范		
多挡电压表模型	 从图中可以看出：1V 挡电压表的内阻为 R_g，10V 挡的内阻为 $R_1=R_g$，50V 挡的内阻为 $R_1+R_2=R_g$，依此类推。由此可知，随着电压挡位的提高，电压表的内阻逐渐增大	
测量原理	一只量程为 1V 的表头，被测电压值不能超过 1V，否则指针偏转幅度会超出指示范围；而上图所示的多挡电压表实质上就是在表头上串联一系列适当的电阻（倍增电阻）进行降压，从而达到扩展电压量程的目的，改变倍增电阻的阻值，就能改变电压的测量范围	交流电压表与直流电压表的测量原理基本相同，只是交流电压表增加了整流电路

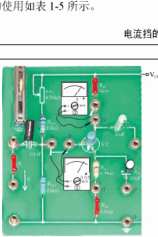
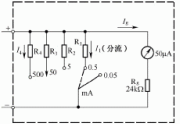
续表

项目	图示及说明	
	直流电压档	交流电压档
测量须知	① 测量直流电压时，红表笔应接至高电位，黑表笔接低电位。 ② 测量交流电压时，表笔无所谓正负。 ③ 当选择交流 10V 档测量时，读数查看第 3 条标度尺。 ④ 在测量高压（1000 ～ 2500V）时： a、测交流高压时，量程选择开关置于交流 1000V 档；测直流高压时，量程选择开关置于直流 1000V 档。 b、读数时查看表盘第 2 条标度尺，满偏刻度为 2500V。 c、将红、黑表笔插在正确的插孔内，如右图所示	
养成好习惯	① 若无法估计被测电压的大小，则应选择最高档进行测量，再根据指针偏转情况，选择合适的档位进行测量； ② 在测量 100V 以上的高压时，要养成单手操作的习惯，即先将黑表笔置电路零电位处，再单手持红表笔去碰触被测端，以保护人身安全	

3. 电流档的使用

电流档的使用如表 1-5 所示。

表 1-5　　电流档的使用

项目	图示及说明
测量示范	 左图中①为万用表串联在放大器基极回路中测 I_b，②为万用表串联在集电极回路中测 I_c
多档电流表模型	

续表

项目	图示及说明
测量原理	如上图所示，多挡电流表利用在表头上并联一系列适当的电阻（分流电阻）来达到扩展电流量程的目的，选择不同分流电阻的量值，就能改变电流的测量范围，其中 0.05 挡是空格，此时万用表就是一只满偏刻度为 0.05mA（50μA）的电流表
测量须知	① 因为表头满偏刻度的电压值仅为 1V，若测量电压值超过 1V 则必然会造成万用表的损坏，所以禁止用电流挡测量负载电压或电源电压。 ② 由于指针进行针方向偏转会损坏表头，所以测量直流电流时，不可将表笔的正负极性接错。 ③ 测量大电流（500mA～5A）时： a. 红表笔应插入 5A 专用插孔，黑表笔插入“—”位置； b. 应将量程选择开关置于 500mA 档； c. 读数时查看表盘第 2 条标度尺，满偏刻度为 5A
养成好习惯	在测量前若不能估计被测电流的大小，则应先用最高电流档进行测量，然后根据指针指示情况选择合适的档位来测试，以免指针偏转过度而损坏表头。注意，变换档位操作应断电进行，不得带电操作

4. MF-47 型万用表的其他功能

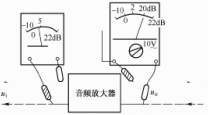
MF-47 型万用表的其他功能如表 1-6 所示。

表 1-6　　MF-47 型万用表的其他功能

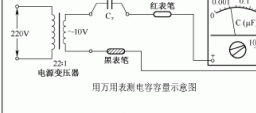
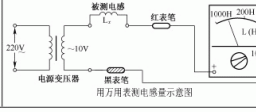
项目	图　　示	说　　明
红外线测量		万用表内设红外线接收电路，当接收到遥控器发射的脉冲信号后，表盘中发光管将红灯闪烁，这种功能称为红外线数据测量，一般用来判断遥控器（空调遥控器、彩色电视机遥控器等）工作是否正常
通路蜂鸣器提示测量		两表笔相碰，当电路处于通路状态时表中附带的蜂鸣器发出蜂鸣声，维修者常利用此功能来快速检查导线的通断

续表

<table>
<tr><th>项目</th><th>图　　示</th><th>说　　明</th></tr>
<tr><td>晶体管放大参数（β）测量</td><td>
</td><td>按插孔提示的要求插入晶体管，可从表盘第4条标度尺直接读数</td></tr>
<tr><td>音频电平（dB）测量</td><td>



用万用表测音频电平示意图</td><td>设立此挡的目的是为了方便无线电维修者，对放大器的增益有一基本的估算，虽然不准确，但也方便，测量连线如左图所示。
音频电平的测量步骤如下：
（1）将万用表量程选择开关旋至交流电压10V挡。
（2）按上图的连线测量放大器输出幅度，从表盘第7条标度尺直接读数。
① 若放大器的输入幅度为5dB，测得输出幅度为20dB，则可直接计算出放大器的增益为20－5＝15dB；
② 若指针超过满偏刻度+22dB，说明测量值超过标度尺范围。此时与测量交流电压的操作一样，应调大量程测量范围，再根据修正值表求出实际值。测音频电平时的各挡位修正值如下表所示：
<table>
<tr><th>量程挡位</th><th>修正值</th></tr>
<tr><td>10 V</td><td>0</td></tr>
<tr><td>50 V</td><td>+14dB</td></tr>
<tr><td>250 V</td><td>+28dB</td></tr>
<tr><td>500 V（很少用）</td><td>+34dB</td></tr>
<tr><td>1000 V（很少用）</td><td>+40dB</td></tr>
</table>
例如，当挡位选择开关置于交流50V挡时，指针指在第7标度线的+10dB位置上，则实际音频电平值应该为+10dB（读数值）加上+14dB（修正值），即+24dB</td></tr>
</table>

项目	图　示	说　明
电容器电容量、电感器电感量测量	 用万用表测电容容量示意图  用万用表测电感量示意图	利用万用表交流电压10V挡可以估测小容量电容器的容量。如左上图所示的连线可以测量电容的电容容量，但这要另外增加一个电源变压器，实用性不强。 用万用表测电感量的示意图如左下图所示，与测电容量的原理和方法类似

阅读材料一　电表灵敏度

电表灵敏度是表示仪表对微弱电信号作出反应程度的技术指标。驱动万用表测量机构偏转的能量取自被测电路，若某仪表指针较大幅度地偏转而仅用了较小的信号能量，则说明该仪表的灵敏度相对较高。

万用表的灵敏度有直流电压灵敏度、交流电压灵敏度和表头灵敏度3个指标，其中直流电压灵敏度是主要指标，并以“Ω/V”标印在表盘上。

例如MF-47型万用表盘面左下方有标印：

① DC20kΩ/V：表示该表的直流电压灵敏度，意指仪表的满偏电流为1V/20kΩ=50μA；

② DC250VUP9kΩ/V：表示该表的直流电压250V以上挡的灵敏度，满偏电流为1V/9kΩ≈111μA；

③ AC9kΩ/V：表示该表的交流电压灵敏度，满偏电流也为111μA。由以上计算可知，该表直流电压挡灵敏度最高。

了解以上参数对万用表使用者具有什么实际意义呢？下面以直流电压灵敏度为例作一简单的说明。

我们知道，电压表作测量时，是与被测对象并联的，由于电压表内阻的存在，就相当于在被测元件两端间并联了一只电阻，使被测两端间的总阻抗降低。由于仪表内阻对电路的分流作用，从而使测得的电压值偏离了实际值。为了尽量减小测量的误差，通常要求万用表电压挡级的内阻越高越好，即电表灵敏度Ω/V越高越好。

例如MF-47型万用表直流电压挡的量程为1—10—50—250V，根据表盘DC20kΩ/V和DC250VUP9kΩ/V的标示，则可说明：1V量程时，仪表内阻为20kΩ/V×1V=20kΩ；10V量程时，仪表内阻为20kΩ/V×10V=200kΩ；50V量程时，仪表内阻为20kΩ/V×50V=1000kΩ；

250V 量程时，仪表内阻为 20kΩ/V×250V=5000kΩ。

由以上计算可知，不同的电压挡位仪表有不同的内阻，电压表挡位越高，其内阻则越大，测量的精确度就越高，因此了解电表灵敏度这一参数，有助于正确使用万用表。

阅读材料二　电工仪表精度等级

根据国家标准 GB776—76 的规定，电工仪表的精度等级分为 7 级，它们与引用误差的关系列于表 1-7 中。

表 1-7　　精度等级与引用误差的关系

精度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
引用误差（%）	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0	±1.5	±2.5	±5.0

通常精度为 0.1、0.2 级的仪表作为标准仪表或用于精密测量；精度为 0.3 ～ 1.0 级的仪表为电气工作实验用仪表。精度等级为 1.0 ～ 1.5 级的万用表为高精度万用表，以上几种价格相对较高；一般万用表的精度等级多为 2.5 级，学校实验课一般使用 5.0 级万用表。

桂林狮达电子表
QQ
188111102
藏书专用章

技能训练二　数字万用表的使用

数字万用表是一种将测量的电压、电流、电阻等电参数的数值直接用数字显示出来的测试仪表，具有显示清晰直观、读数准确、分辨率高等特点。另外它还有测量电容、电感、晶体管放大倍数等功能，也是一种多功能测试工具。

一、认识数字万用表

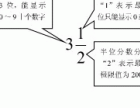
数字万用表英文缩写为 DMM（Digital Multi-meter），图 2-1 所示是一种便携型数字万用表。数字万用表一般由单片 A/D 转换器和外围电路（主要包括功能转换器，挡位 / 量程选择开关、LCE 或 LED 显示器和蜂鸣器振荡电路、驱动电路、检测线路通断电路、低压指示电路、小数点及标志符驱动电路）组成。

图 2-1　DT9205 $3\frac{1}{2}$位数字万用表面板结构图

数字万用表的显示位数有 $3\frac{1}{2}$、$3\frac{2}{3}$和 $4\frac{1}{2}$等几种，它表示了数字万用表的最大显示量程和精度，示例说明如下。

桂林狮达电子考
QQ
18811111102
藏书专用章

1. $3\frac{1}{2}$



2. $3\frac{2}{3}$

半位分数分子为"2"，表示最高位只能显示数字0、1、2。

半位分数分母为"3"，表示量大极值为3000。

数字万用表的分辨率是表示数字万用表灵敏度大小的重要参数，它与显示位数密切相关。对电压表而言，分辨率是指数字电压表能够显示的被测电压的最小变化值，即显示器的末位跳变一个数字所需要的最小输入电压值。显然，在最小量程上数字电压表的分辨率最高。所以分辨率是指数字电压表最小量程上的分辨率。例如最小量程为200mV的$3\frac{1}{2}$位数字电压表显示为199.9mV时，则末位变一个字所需要的最小输入电压是0.1mV，即这台数字电压表的分辨率为0.1mV。

二、数字万用表面板结构及基本构成

数字万用表面板结构如图2-1所示，面板结构说明如表2-1所示。

表2-1　　数字万用表面板结构说明

图中标号	名　称
①	LCD显示器（液晶显示器）
②	电源开关
③	被测晶体管插孔
④	输入插孔
⑤	挡位/量程选择开关

三、数字万用表的工作原理

如图2-2所示，被测信号经输入保护电路（防止误操作引起过大的电压输入而损坏内部电路），经单片的A/D转换器（将被测量的模拟量转换成相应的数字量），配合相应的功能转换器和挡位/量程选择开关，将被测量由译码电路和LCD显示器显示出来。

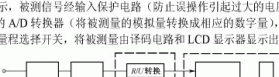


图2-2　数字万用表工作原理示意图

常用的 DT92 系列数字万用表 DT9205 是一种结构坚固、由电池驱动的 $3\frac{1}{2}$ 位数字万用表，可以进行直流和交流电压(流)、电阻的测量，二极管、带声响的通断测试及晶体管 h_{FE} 的测试，并具有极性选择、过量程显示及全量程过载保护特点（使用时只要不超过规定的极限指标，一般不会损坏万用表内部的大规模集成电路）。

1．工作条件

数字万用表的工作温度为 0～40℃，保证精度的测试温度为 23±5℃；其工作频率为 40～400Hz。数字万用表有以下显示特性：

① 显示方式：LCD 显示；

② 最大显示：1999（$3\frac{1}{2}$位）自动极性显示（其最大显示值为 ±1999）；

③ 过量程显示："1"（若仅最高位显示数字"1"，其他位均消隐，证明万用表已发生过载，应选择更高的量程）；

④ 读数速度：每秒钟 2～3 次；

⑤ 全量程过载保护。

2．基本性能

数字万用表有以下基本性能：

① 直流基本精度为 ±0.5%；

② 电容测量数值范围为 1pF～200μF；

③ 频率测量数值范围为 10Hz～20kHz；

④ 具备全量程保持功能；

⑤ 最大显示值为 1999（$3\frac{1}{2}$位）；

⑥ 电源采用 9V 积层电池；

⑦ 电压不足指示"LOBAT"。

钰祥精选电子书
QQ
18811110
购书专用章

四、数字万用表的使用方法

1．数字万用表的操作步骤（见表 2-2）

表 2-2　　数字万用表的操作步骤

序号	测 量 对 象	操 作 步 骤
1	直流电压、交流电压的测量 直流电压：200mV～1000V 交流电压：200mV～700V	首先将黑表笔插入 COM 插孔、红表笔插入 VΩ 插孔，然后将挡位 / 量程选择开关置于 DCV（直流）或 ACV（交流）挡位，并将测试表笔连接到被测源两端，显示器将显示被测电压值。在显示直流电压值的同时，将显示红表笔所的极性。如果显示器只显示"1"，表示过量程，挡位 / 量程选择开关应置于更高的量程（下同）
2	直流（DC）电流、交流（AC）电流的测量 直流电流：20μA～20A 交流电流：20μA～20A	首先将黑表笔插入 COM 插孔，测量最大值为 2A 的电流时，将红表笔插入 A 孔，测量最大值为 20A 的电流时，将红表笔插入 20A 插孔，将挡位 / 量程选择开关置于 DCA 或 ACA 量程，测试表笔串联接入被测负载电路，显示器即显示被测电流值，在显示直流电流的同时，将显示红表笔所的极性
3	电阻的测量 电阻值：0～20MΩ	首先将黑表笔插入 COM 插孔、红表笔插入 VΩ 插孔（注意：红表笔极性为"+"，与指针式万用表相反），然后将挡位 / 量程选择开关置于 OHM 挡位，再表笔连接到被测电阻上。显示器将显示被测电阻值。如果被测电阻值超过了所选择量程的最大值，显示器将显示"1"，此时应选择更高的量程；电阻开路或无输入时，显示器也显示为"1"，应注意区别

序号	测量对象	操作步骤
4	二极管测试	首先将黑表笔插入 COM 插孔、红表笔插入 VΩ 插孔（红表笔极性为“+”），然后将挡位/量程选择开关置于二极管挡，将表笔连接到被测二极管，显示器将显示正向压降值，当二极管反向时显示过载小
5	带声响的通断测试	首先将黑表笔插入 COM 插孔、红表笔插入 VΩ 插孔，然后将挡位/量程选择开关置于通断测试挡（与二极管测试挡位相同），将测试表笔接到被测电阻，如表笔之间的阻值低于 30Ω，蜂鸣器发声
6	晶体管放大系数 h_{FE} 测试 h_{FE}：0 ～ 1000	首先将挡位/量程选择开关置于 h_{FE} 挡，然后确定晶体管为 NPN 型或 PNP 型，并将发射极、基极、集电极分别插入相应的插孔。此时显示器将显示出晶体管放大系数 h_{FE} 值（此时测试条件是基极电流为 10μA，集电极与发射极之间电压为 2.8V）

2．数字万用表的使用及注意事项

① 数字万用表的电源。数字万用表是一种便携式仪表，通常使用 9V 叠层电池，也可以使用外接电源（由交流适配器提供 9V 电源）。

数字万用表底盖内有电池仓，使用前需要装入电池，电池耗尽后应及时更换新电池。如使用交流适配器供电，可将电池取出以免耗电。使用前应将 ON— OFF 开关置 ON 位置，检查 9V 电池电压值。如果电池电压不足，显示器左边将显示“LOBAT”或“BAT”字符，此时应打开后盖，更换 F22 9V 叠层电池。如果没有上述字符显示，则可继续操作。

② 测量电流时应将表笔串接在被测电路中，测量电压时应将表笔并接在被测电路中。

③ 数字万用表的交流电压挡只能直接测量低频正弦波信号电压。

④ 每次测量时，应确认量程是否正确。

⑤ 更换电池或熔丝时，应切断电源，且注意熔丝应与原机熔丝相同。

⑥ 测量高压时要注意避免触电。

⑦ 测试笔插孔旁边的正三角中有符号“！”的，表示输入电压或电流不应超过指示值。

⑧ 测试前，功能开关应置于需要的量程。

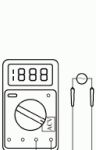
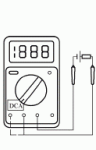
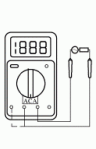
3．操作示例

下面以 DT9205 $3\frac{1}{2}$ 位数字万用表为例来介绍其操作，如表 2-3 所示。

表 2-3　　DT9205 $3\frac{1}{2}$ 位数字万用表操作说明

示　例	实物图片	测量对象	操作方法
		直流电压测量	① 将黑表笔插入 COM 插孔，红表笔插入 VΩ 插孔； ② 将挡位/量程选择开关置于 DCV 挡位，并将测试表笔连接到待测电源或负载上，红表笔所接端的极性将同时显示在显示器上

续表

示　例	实物图片	测量对象	操作方法
		交流电压测量	① 将黑表笔插入COM插孔，红表笔插入 V Ω 插孔； ② 将挡位 / 量程选择开关置于 ACV 挡位，并将测试表笔连接到测试电源或负载上
		直流电流测量	① 将黑表笔插入COM插孔，当测量最大值为 200mA 的电流时，红表笔插入 mA 插孔；当测量最大值为 20A 的电流时，红表笔插入 A 插孔； ② 将挡位 / 量程选择开关置于 DCA 挡位，并将测试表笔串联接入到待测负载，电流值显示的同时，将显示红表笔的极性
		交流电流测量	① 将黑表笔插入COM插孔，当测量最大值为 200mA 的电流时，红表笔插入 mA 插孔；当测量最大值为 20A 的电流时，红表笔插入 A 插孔； ② 将挡位 / 量程选择开关置于 ACA 挡位，并将测试表笔串联接入到待测负载上

续表

示　例	实物图片	测量对象	操作方法
		电阻测量	① 将黑表笔插入COM插孔，红表笔插入VΩ插孔（注意：红表笔极性为“+”）； ② 将挡位/量程选择开关置于Ω挡位，并参照左图，将测试表笔连接到待测电阻上
		电容测量	连接待测电容之前，注意每次转换量程时就零需要时间，有读数存在不会影响测试精度
		二极管测试及带蜂鸣器的连续性测试	① 将黑表笔插入COM插孔，红表笔插入VΩ插孔（注意：红表笔极性为“+”）； ② 将挡位/量程选择开关置于⊲挡，并将表笔连接到待测二极管，读数即为二极管正向压降的近似值； ③ 将表笔连接到待测线路的两点，如果两点之间电阻低于70Ω，内置蜂鸣器发声

续表

示　例	实物图片	测量对象	操作方法
		晶体管 h_{FE} 测试	① 将挡位 / 量程选择开关置于 h_{FE} 挡位； ② 确定晶体管为 NPN 或 PNP 型，将基极、发射极和集电极分别插入前面板上相应的插孔； ③ 显示器上将读出 h_{FE} 的近似值

桂林狮达电子类
QQ
188111102
藏书专用章

技能训练三　逻辑笔的使用

为了方便地检测数字电路的工作状态，人们设计了一种简单仪表——“逻辑笔”。它使用发光二极管来显示检测点的“高电平”、“低电平”、“脉冲”和“高阻态”4 种状态。在一般数字电路中，使用逻辑笔就能完成电路状态的检测工作。下面介绍逻辑笔的使用方法。

一、逻辑笔的外形

图 3-1 所示为一种常见的逻辑笔外形，图中各标号说明如表 3-1 所示。

图 3-1　逻辑笔

表 3-1　　逻辑笔结构说明

图中标号	名　称	说　明
①	电源连接端	大多数逻辑笔都不带电源，使用前必须连接工作电源。红色鳄鱼夹接电源正端，黑色鳄鱼夹接地。注意，逻辑笔使用的电源地端必须与待测电路地端连通
②	探针	此端连接待测点
③	CMOS/TTL 转换开关	待测点为 CMOS 逻辑电平时开关置 CMOS 位，待测点为 TTL 逻辑电平时开关置 TTL 位
④	PULSE/MEM 开关	脉冲 / 记忆开关。当此开关位于 PULSE 位置时，测试端出现脉冲时黄色指示灯亮，测试端保持“0”或“1”状态时黄色指示灯灭。当此开关位于 MEM 位置时，测试端只要出现脉冲沿黄色指示灯就会亮，并且保持长亮
⑤	红色指示灯	测试端为高电平时红色指示灯亮
⑥	绿色指示灯	测试端为低电平时绿色指示灯亮
⑦	黄色指示灯	测试端电平变化时（脉冲沿）黄色指示灯亮

二、逻辑笔的功能与使用方法

逻辑笔的原理框图如图 3-2 所示。当电平检测电路检测到输入为高电平时驱动红色发光二极管亮，检测到输入为低电平时驱动绿色发光二极管亮，当输入为开路状态时红、绿色发光二极管均不亮。脉冲检测电路检测到输入信号出现脉冲时（无论负脉冲还是正脉冲）驱动黄色发光二极管亮，当 PULSE/MEM 开关接通时检测到输入信号出现脉冲后会一直驱动黄色指示灯亮。

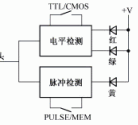


图 3-2　逻辑笔原理框图

使用逻辑笔可以直接检测数字电路的 4 种工作状态：高电平、低电平、脉冲以及高阻态。具体使用方法如下：

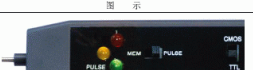
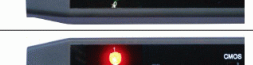
① 将红色鳄鱼夹夹在电源正极，黑色鳄鱼夹夹在电源负极；

② 根据测试电路选择 CMOS/TTL 转换开关的位置；

③ 将 PULSE/MEM 开关置 PULSE 位；

④ 将逻辑笔的探针接触被测电路上的一点，逻辑笔上的发光二极管会显示该点的状态，如表 3-2 所示。

表 3-2　　逻辑笔的使用

序号	逻辑笔的显示	图　　示	待测点状态
1	三只指示灯均灭		高阻态
2	红色指示灯亮		高电平
3	绿色指示灯亮		低电平
4	黄色指示灯亮（红、绿色指示灯也亮）		脉冲

当 PULSE/MEM 开关设置在 PULSE 位置时，每个脉冲会使黄色指示灯点亮一次，当脉冲消失后黄色指示灯灭，脉冲频率较高时（一般高于 25Hz）人眼已经分辨不出闪光而感觉为常亮。但是当 PULSE/MEM 设置在 MEM 位置时，一旦检测电路出现一个脉冲，黄色指示灯亮后就会记忆住此状态，无论脉冲是否消失黄色指示灯始终保持常亮，参见图 3-3。使用这种方法可以观察到电路中出现的瞬时脉冲。

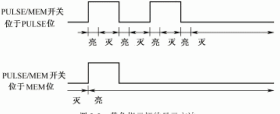


图 3-3　黄色指示灯的显示方法

三、逻辑笔使用举例

检测数字电路时一般只需要检测逻辑状态，这时使用逻辑笔比使用其他检测仪器更方便。使用时只需要将逻辑笔电源接到被检测电路的电源上，使用逻辑笔探针直接检测电路中的元器件引脚或电路接点，从逻辑笔的指示直接判断该点的逻辑状态。图 3-4 所示为在实验板上检测 74LS10 引脚的逻辑状态。

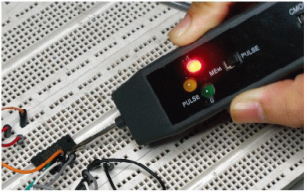


图 3-4　逻辑笔使用举例

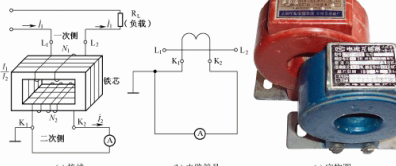
技能训练四　电流互感器、电压互感器的使用

在大功率场合，为测量电路的电压、电流参数，普遍使用互感器（电流互感器、电压互感器）。测量用互感器主要用于扩大测量仪表量程，能够将测量仪表和测量人员与高电压、大电流相隔离，以保证人身安全。下面分别介绍电流互感器和电压互感器。

一、电流互感器

1．电流互感器的概念

电流互感器是根据变压器原理制成的，主要用来将大电流转换为一定数值的小电流，一般为 5A 或 1A，以供测量和保护之用。电流互感器的接线、电路符号和实物图分别如图 4-1(a)、(b) 和 (c) 所示。一次侧的匝数很少（只有一匝或几匝），串联在被测电路中；二次侧的匝数较多，与安培计、其他仪表或继电器线圈相连接。



(a) 接线　　(b) 电路符号　　(c) 实物图

图 4-1　电流互感器的接线、电路符号和实物图

2．电流互感器的外形结构及参数

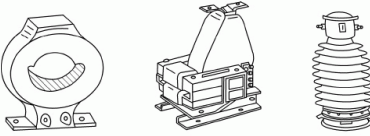
利用电流互感器可将大电流变换成小电流，安培计的读数乘上电流比 K_i 即为被测的大电流 I_1。常用的电流比 K_i 有 10/5、20/5、30/5 等，一次侧电流范围为 10 ～ 2500A。图 4-2 所示为几种电流互感器的外形结构，型号意义见表 4-1，主要参数见表 4-2。

3．电流互感器的工作原理

根据变压器原理可认为

$$I_1 / I_2 = N_2 / N_1 = K_i \qquad I_1 = (N_2 / N_1) I_2 = K_i I_2$$

式中，K_i 是电流互感器的电流比。



(a) 干式　(b) 浇注绝缘式　(c) 油浸式

图 4-2　几种电流互感器的外形结构

表 4-1　电流互感器的型号意义

第一个字母		第二个字母		第三个字母		第四个字母		第五个字母	
字母	意义	字母	意义	字母	意义	字母	意义	字母	意义
L	电流互感器	A	穿墙式	C	瓷绝缘	B	保护级	D	差动保护
		B	支持式	G	改进近	D	差动保护		
		C	瓷箱式	K	塑料外壳式	J	加大容量		
		D	单匝式	J	树脂浇注	Q	加强式		
		F	多匝式	M	母线式				
		J	接地保护	Z	浇注绝缘式				
		M	母线式	W	户外式				
		N	支柱式						
		Q	线圈式						
		R	装入式						
		Y	低压式						

表 4-2　电流互感器的主要参数

型　号	额定电流比	级次组合	二次额定负荷（$\cos\varphi=0.8$）Ω				1s 热稳定倍数	动稳定倍数	10% 倍数
			0.5 级	1 级	3 级	D 级			
LDZ1—10	600 800 1000/5	0.5/3	0.4		0.6		50	90	15 （3 级）
	600 800 1000 1500/5	0.5/3 1/3	0.4	0.4	0.6		65（600、800A） 55（1000A） 36（1500A）	120（600、800A） 100（1000A） 65（1500A）	15 （3 级）
LDZJ1—10	300 400 500	0.5/3 1/3	0.8	1.2	1	1.6	80（300A） 75（400A）	140（300A） 130（400A）	15 （3 级） 15 （D 级）
	600 800 1000 1200 1500/5	0.5/D D/D	1.2	1.6	1.2	1.6	60（500A） 50	110（500A） 90（600 ～ 1500）	15 （3 级） 15 （D 级）

4. 电流互感器的使用和注意事项

（1）电流互感器的接线

电流互感器的接线如图 4-1(a) 所示。三相交流电流互感器的接线及测量如图 4-3 所示。

① 因为电流互感器通常是在短路状态下运行的，其二次回路在任何时候都不得开路。其二次回路一旦开路，一次电流就会全部用于励磁，电流互感器的二次侧将产生峰值相当高的电压，对人身和仪器设备的安全都会造成威胁。因此，如果需要在运行中的电流互感器二次回路上工作，则必须按照有关安全工作规程的规定，将工作部分的电源侧妥善短路后再进行。

② 连接时要注意一、二次线圈接线端子的极性。一般用 L_1 和 L_2 标明一次线圈端子，用 K_1 和 K_2 标明二次线圈端子，L_1 和 K_1 属同一个极性（同名端），L_2 和 K_2 属同一个极性。

（2）电流互感器的测量注意事项

① 电流互感器的二次绕组和铁芯都要可靠接地。

② 二次回路绝对不允许开路和安装熔断器，以防止高压危及人身安全。因此，如在带负载情况下拆装电流互感器，必须先将二次绕组短路。

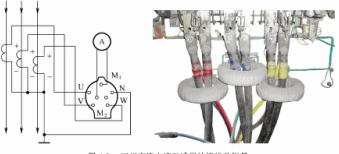


图 4-3　三相交流电流互感器的接线及测量

二、电压互感器

1. 电压互感器的外形结构及参数

图 4-4 所示为几种电压互感器的外形结构，型号意义见表 4-3，主要参数见表 4-4。

(a) 干式　(b) 浇注绝缘式　(c) 油浸式

图 4-4　几种电压互感器的外形结构

第一个字母		第二个字母		第三个字母		第四个字母	
字母	意义	字母	意义	字母	意义	字母	意义
J	电压互感器	D	单相	J	浇注式	Z	有形接线补偿绕
		S	三相	C	瓷箱式	J	接地保护
		C	串级式	Z	浇注式	W	三线圈三相三柱剪贴式铁芯结构
				G	干式		
				R	电容分压式		

表 4-4　　电压互感器的主要参数

型号	额定电压 /V			额定容量 /VA（$\cos\varphi=0.8$）			最大容量 /VA	接线方式	外形尺寸 /mm 宽 × 高 × 深
	一次绕组	二次绕组	辅助绕组	0.5	1	3			
JDZ-6	6000	100		50	80	200	300		188×196×274
JDZ1-6	6000	100							206×192×264
JDZ2-6	6000	100		50	80	200	400	1/1-12	208×234×318
JDZ1-10	$10000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$							214×294×314

2．电压互感器的工作原理

电压互感器主要用来扩大交流电压表的量程，其工作原理与普通变压器空载情况相似，如图 4-5 所示，根据变压器工作原理可知

$$U_1/U_2=N_1/N_2=K_u$$

式中，K_u 为电压互感器的电压比。由此可知，高压线路的电压 U_1 等于二次侧所测量的电压 U_2 与 K_u 的乘积。电压表的刻度可以按电压互感器高压侧的电压标出，以便可以直接读出高压侧 U_1 的电压值。

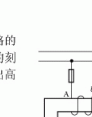


图 4-5　电压互感器的工作原理

3．交流电压互感器的使用及接线

（1）单相交流电压的测量及接线

在低压线路中，电压表可以直接并联在被测电压的电路上。在高压线路中测量电压，由于电压高，不能用普通电压表直接测量，而应通过电压互感器将表接入电路，如图 4-6 所示。电压互感器的一次绕组接到被测高压线路上，二次绕组接在电压表的两个接线柱上。当电压互感器的一次绕组接入电源时，二次绕组产生感应电压，生成低压电流通过电压表，使指针偏转。

为了测量方便，电压互感器一般都采用标准的电压比值，例如 3000/100V、6000/100V、10000/100V 等，其二次绕组的标准电压总是 100V。因此，可用 0 ～ 100V 的电压表来测量线路电压。通过电压互感器来测量时，一般都将电压表装在配电盘上，表盘上标出折算好了的刻度值，从表盘上可以直接读取所测量的电压值。

（2）三相交流电压的测量及接线

三相交流电压的测量接线如图 4-7 所示。

4．电压互感器的使用注意事项

① 工作时二次侧不得短路。

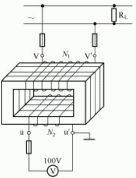


图 4-6　交流电压互感器接线

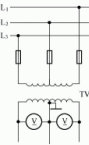


图 4-7　三相交流电压的测量接线

② 电压互感器铁壳及二次侧的一端都必须接地。如不接地，若高低压绕组间的绝缘损坏，则低压绕组和测量仪表对地将出现一个高电压，这对值班人员来说是非常危险的。

③ 电压互感器一、二次侧应装设熔断器作为短路保护，同时在一次侧应装设隔离开关作为安全检修用。

④ 连接时要注意一、二次线圈端子的极性。一般用 V、V′ 标明一次线圈端子，用 u、u′ 标明二次线圈端子，V 和 u 属同一个极性（同名端），V′ 和 u′ 属同一个极性。

⑤ 三相交流电压的测量注意事项如下：

a．电压互感器的二次侧在运行中不允许短路，一、二次侧都必须装设熔断器保护，以防发生短路，烧毁互感器。

b．互感器二次绕组的一端和铁芯必须可靠接地。

c．所有并入电路的电压线圈，其额定电流不能超过电压互感器的负载电流。

桂林瑞达电子术
QQ
1881111102
赛书专用章

技能训练五　钳形电流表的使用

用普通电流表测量电路中的电流需要将被测电路断开后，串联接入电流表才能完成电流的测量工作，这在大电流场合非常不便。钳形电流表可以直接用钳口夹住被测导线进行测量，使电工测量过程变得简便、快捷，从而得到广泛应用。

一、认识钳形电流表

钳形电流表又称测流钳，它是电流互感器的一种变形，如图 5-1 所示。它的铁芯如同钳形，用弹簧压着，测量时将钳口压开而引入被测导线。这时该导线就是一次侧，二次侧绕在铁芯上并与安培计接通，这样就可以在不断开被测电路的情况下进行测量。

图 5-1　交直钳形电流表的结构和外形

二、钳形电流表的工作原理

互感式数字钳形电流表的内部接线如图 5-2(a) 所示，工作原理示意如图 5-2(b) 所示。电流互感器的铁芯呈钳口形，被测导线为电流互感器的一次绕组（线圈），被测电流在铁芯中产生工作磁通，使绕在铁芯上的二次绕组（线圈）产生感应电动势，感应电流经桥式整流后流入磁电系表头，驱动指针偏转显示被测电流强度。

另外，还有一种数字钳形电流表，其外形如图 5-3 所示，它具有读数直观、准确度高、使用方便的优点，不同型号的仪表其功能也存在较大的差别。数字钳形电流表的组成框图如图 5-4 所示。

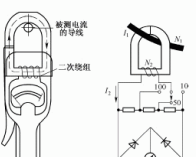


图 5-2　钳形电流表的工作原理示意图

图 5-3　数字钳形电流表

图 5-4　数字钳形电流表组成框图

三、常用钳形电流表的技术数据

常用钳形电流表的技术数据如表 5-1 所示。

表 5-1　　钳形电流表技术数据

名　称	型号	原理结构	准确度等级	量　程
交直流两用钳形电流表	MG20	电磁式	5.0	100A、200A、300A、400A、500A、600A
钳形电流表	MG21	电磁式	5.0	75A、1000A、1500A
交流钳形电流表	MG24	整流式	2.5	5A、25A、50A 5A、50A、280A
袖珍钳形电流表	MG27	整流式	2.5、5.0	10A、50A、250A

四、钳形电流表的使用方法和注意事项

① 根据待测量对象的不同选用不同型号的钳形表。

② 测量时应先估计被测电流的大小，选择合适的量程进行测量；若无法估计被测电流的大小，则应先选用较大的量程测量，然后再视被测电流的大小减小量程，使读数超过刻度的 1/2，以获得较准的读数。转换量程时，应在不带电的情况下进行。

③ 在进行测量时，为减小误差，用手捏紧扳手使钳口张开，被测载流导线的位置应放在钳形口中央，然后松开扳手，使钳口（铁芯）闭合，表头上即有指示。

④ 为使读数准确，钳口两个面应保证很好的接合，如有噪声，可将钳口重新开合一次，若声音依然存在，则应检查在钳口接合面上是否有杂物或污垢，如有污垢，可用汽油擦干净。

⑤ 为消除铁芯中剩磁的影响，应将钳口开合数次。

⑥ 测量较小的电流（小于 5A）时，为了计数准确，在条件允许的情况下，可将被测导线在钳口多绕几圈再进行测量，最后将读数值除以钳口导线的圈数即为被测电流的实际值。

⑦ 钳形表应存放在干燥的室内，钳口铁芯相接处应保持清洁和接触紧密，在携带和使用时，应避免使其受到震动。

⑧ 不能用于高压带电测量，不得测量无绝缘的带电线路，要尽量远离强磁场，以减小磁场对电流表的影响。

⑨ 测量完毕后一定要把量程开关放在最大电流量程位置，以免下次使用时由于未经选择量程而造成仪表损坏。

钳形电流表的种类繁多，在选用时应考虑被测导线的形状、粗细，测量的功能，被测量的量程范围等因素。

技能训练六　交流电桥的使用

交流电桥是一种精确测量电容、电感和电阻元件参数的仪器，其特点是灵敏度高、测量结果准确。下面以 QS18A 型万能电桥为例来介绍交流电桥的使用方法。

一、QS18A 型万能电桥

QS18A 型万能电桥的控制面板如图 6-1 所示，面板功能简介如表 6-1 所示。

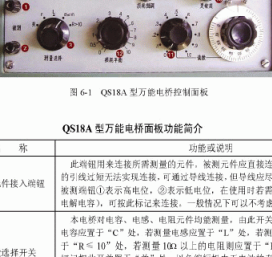


图 6-1　QS18A 型万能电桥控制面板

表 6-1　　QS18A 型万能电桥面板功能简介

图中标号	名　称	功能或说明
①、②	被测元件接入端钮	此两组用来连接所需测量的元件。被测元件应直接连接在此两端上，如元件的引线过短无法实现连接，可通过导线连接，但导线应尽量短一些，以减小误差。被测两组①表示高电位，②表示低电位，在使用时若需要考虑高低电位时（如电解电容），可按此标记来连接。一般情况下可以不考虑高低电位问题
③	测量选择开关	本电桥对电容、电感、电阻元件均能测量，由此开关转换电桥线路。若测量电容应置于“C”处，若测量电感应置于“L”处，若测量 10Ω 以内的电阻应置于“R≤10”处，若测量 10Ω 以上的电阻则应置于“R>10”处。测试完毕应切记把此开关置于“关”处，以免缩短机内干电池的寿命（内部振荡器由 6 节 2 号电池串联后的 9V 电源供电，放大器由专用标准型叠层电池供电），避免电池带有腐蚀性的液体泄露而腐蚀机体
④	量程开关	电容量程 100pF ～ 1000μF 共八挡 电感量程 10μH ～ 100H 共八挡 电阻量程 1Ω ～ 10MΩ
⑤	外接插孔	当使用外部的音频振荡器信号时，可用外接导线连到此插孔，施加到桥体，此时应将“外 / 内 1kHz”开关拨向“外”的位置

续表

图中标号	名　　称	功能或说明
⑥	“外 / 内 1kHz ” 开关	此开关置于“内 1kHz”时，电桥使用机内的 1kHz 的正弦信号；置于“外”时，电桥内部 1kHz 振荡器就停止工作
⑦	损耗倍率开关	此开关用来扩展损耗平衡的读数范围（分 Q×1，D×0.01，D×1 三挡）。在一般情况下测量空心电感线圈时，此开关放在“Q×1”位置；测量一般电容（小损耗）时，放在“D×.01”位置；测量损耗值较大的电容器时，放在“D×1”位置（测量电阻时，此开关不起任何作用，可放在任何位置）
⑧	指示电表	用来作为平衡指示用。当电桥在平衡过程中，操作有关的旋钮，并观察此指示电表指针的动向，应使指示电表指针向“0”的方向偏转，当指针最接近于零点时，即达到电桥平衡位置
⑨	接壳端钮	此端钮与电桥的外壳相连
⑩	灵敏度调节旋钮	用来控制电桥放大器的放大倍数。在初始调节电桥平衡时，要降低灵敏度，使电表指示小于满刻度，在使用时应逐步增大灵敏度，反复进行电桥平衡调节。当电桥接近平衡时，再逐渐增大灵敏度
⑪	读数旋钮	电桥在平衡时，应调节此两只读数盘，第一位是步进式的测量盘，读数的步级是 0.1，也就是量程旋钮指示值的 1/10；第二位是连续可调的测量盘，第二读数由连续可变电位器指示
⑫	损耗平衡旋钮	被测元件（电容、电感）的损耗读数由此旋钮指示，此读数盘上的指示值再乘以损耗倍率开关的指示值，即为正确的损耗指示值 D_x（损耗平衡盘示值 × 损耗倍率开关示值 = 被测元件的品质因数）

二、交流电桥的组成和工作原理

1．电桥的组成

图 6-2 所示为电桥的整体框图，它由桥体、信号源（1000Hz 振荡器）和晶体管指零仪三部分组成。桥体是电桥的核心部分，由标准电阻、标准电容及转换开关组成，通过转换开关切换，可以构成不同的电桥电路，对电阻、电容、电感进行测量。

电桥法又称为零示法，它利用指零电路作为测量的指示器，工作频率很宽，能在很大程度上消除或削弱系统误差的影响，精度很高，可达到 10^{-4}。

2．交流电桥的工作原理

图 6-3 所示为一个交流电桥，由 Z_x、Z_2、Z_3、Z_4 4 个桥臂组成，$\dot{U}$ 为信号源，G 为检流计。桥臂接入被测电阻（或电感、电容），调节桥臂中的可调元件使检流计的指示为零，电桥处于平衡状态。由此可得电桥平衡条件为

$$Z_xZ_4 = Z_2Z_3 \tag{6-1}$$

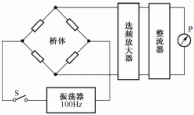


图 6-2　电桥框图

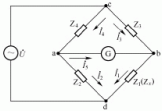


图 6-3　交流桥原理电路

根据式（6-1），可以计算出被测元件的量值。电桥平衡时有

$$|Z_x||Z_4| = |Z_2||Z_4| \tag{6-2}$$

和

$$\varphi_x + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3 \tag{6-3}$$

式中，$|Z_x| \sim |Z_4|$ 为复数阻抗 Z_x、Z_2、Z_3、Z_4 的模，$\varphi_x \sim \varphi_4$ 为复数阻抗 Z_x、Z_2、Z_3、Z_4 的阻抗角（辐角）。

式（6-2）和式（6-3）表明，交流电桥平衡必须同时满足：电桥的 4 个臂中相对臂阻抗的模的乘积相等（模平衡条件），相对臂阻抗相角之和相等（相位平衡条件）。

当被测元件为电阻元件时，取 $Z_x = R_x$，$Z_2 = R_2$，$Z_3 = R_3$，$Z_4 = R_4$。则为直流电桥，且有

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_4} \tag{6-4}$$

电桥法的测量误差，主要取决于各桥臂阻抗的误差以及各部分之间的屏蔽效果。另外，为保证电桥的平衡，要求信号源的电压和频率必须稳定，特别是波形失真要小。

在实际应用中，测量电阻一般采用直流双臂电桥（也称凯尔文电桥）。

三、QS18A 型万能电桥的测量步骤和操作示范

1．测量步骤

QS18A 型万能电桥的测量步骤如表 6-2 所示。

表 6-2　　R、L、C 元件测量步骤

测量步骤	元件参数的测量
1	把被测元件接在被测元件接入端钮上，根据被测元件的性质，将测量选择开关转至相应的位置
2	估计被测元件的大小，将量程开关置于合适的档位
3	根据被测元件的档位，合理选择损耗倍率开关的档位
4	调节灵敏度调节旋钮，使平衡指示电表指针略小于满度
5	测量电感和电容时，应反复调节读数旋钮和损耗平衡旋钮使平衡指示电表指针最接近于零点；测量电阻时，只调节读数旋钮即可
6	读取测量值

L_x，C_x，R_x 的值等于量程开关示值乘以两个读数旋钮示值之和。

D_x，Q_x 的值等于损耗倍率示值乘以损耗平衡示值。

2．操作示范

（1）电容的测量

电容的实际测量步骤如表 6-3 所示。

表 6-3　　电容的测量步骤

测量步骤	测 量 示 范
1	接上被测电容（约为 500pF），如图 6-4 所示
2	量程开关置于 1000pF 位置上
3	测量选择开关放在“C”的位置，损耗倍率开关放在“D×.01”（一般电容器）或“D×1”（较大的电解电容器）位置，损耗平衡旋钮放在 1 左右的位置，损耗微调按逆时针方向旋到底
4	将灵敏度调节逐步增大，使指示电表指针偏转略小于满刻度

续表

测量步骤	测 量 示 范
5	先调节电桥的第一位读数盘，后调节第二位读数盘，再调损耗平衡旋钮，使指示电表指针指零，然后再将灵敏度增大到使指针小于满刻度，再反复调节读数盘和损耗平衡旋钮，直到灵敏度满足测量精度要求，当指示电表指针接近于零时，电桥达到平衡
6	读数，如图6-4所示电桥的第一位读数盘示值为0.5，第二位读数盘示值为0.034，则被测电容为1000pF×0.534=534pF。即：被测量 C_x= 量程开关示值 × 读数盘示值（两个读数盘示值之和） 若损耗平衡旋钮指在 1.2，而损耗倍率开关放在"D×.01 位置"，则损耗值为 D_x=tanδ =0.01×1.2=0.012。即：D_x= 损耗倍率开关示值 × 损耗平衡盘示值；如果损耗倍率开关放在 "Q×1" 位置，电桥平衡时则按 D=1/Q 计算。注：D_x 越大说明电容漏电现象越严重

图 6-4　电容的测量

（2）电感的测量

电感的实际测量步骤如表 6-4 所示。

首先估计一下被测电感的大小，然后旋动量程开关置于合适的位置上。例如被测电感为100mH 左右，则量程开关应放在 100mH 位置上。

表 6-4　　电感的测量步骤

测量步骤	测 量 示 范
1	接上被测电感（约 100mH），如图 6-5 所示
2	量程开关置于 100mH 位置上
3	测量选择开关置于"L"位置。在测量空心线圈时，损耗倍率开关放在"Q×1"处，在测量高 Q 值线圈时，损耗倍率开关放在 "D×.01" 处，在测量叠片铁芯电感线圈时，损耗倍率开关放在 "D×1" 处
4	将损耗平衡旋钮放在 1 左右的位置，然后把灵敏度调节增大，使指示电表的偏转略小于满刻度
5	首先调节电桥的读数盘，使其在 0.9 或 1.0 位置，再调节滑线盘，然后调节损耗平衡旋钮使指示电表偏转最小，再将灵敏度增大些，反复调节电桥读数盘、滑线盘、损耗平衡旋钮，直到灵敏度接近足够满足测量精度的分辨率（一般使用不必把灵敏度开足），当指示电表指针的偏转指零或接近于零的位置时，电桥达到最后平衡
6	读数，如图 6-5 所示，电桥读数盘第一位指示为 0.9，第二位指示为 0.034，则被测电感为 100mH×(0.9+0.034)=93.4mH。即：被测量 L_x= 量程开关示值 × 电桥的读数（两个读数盘示值之和） 注：如果损耗倍率开关放在 "Q×1" 位置，损耗平衡旋钮指示为 2.5，则电感的 Q 值为 1×2.5=2.50，即：被测量 L_x= 损耗倍率开关示值 × 损耗平衡旋钮示值。如果损耗倍率开关指示在 "D×1" 位置时，电桥平衡后则按 Q=1/D 计算。

图 6-5　电感的测量

（3）电阻的测量

电阻的实际测量步骤如表 6-5 所示。

估计一下被测电阻的大小，然后依照以下两种情况旋动量程开关置于合适的位置上：当测量选择开关放在“R ≤ 10”位置时，量程开关应该相应放在“1Ω”或“10Ω”位置；同理，当测量选择开关放在“R>10”位置时，量程开关应该相应放在“100Ω ～ 10MΩ”位置。

表 6-5　　电阻的测量步骤

测量步骤	测 量 示 意
1	接上被测电阻（约 100Ω），如图 6-6 所示
2	量程开关置于 100Ω 位置上
3	因为被测电阻大于 10Ω，所以测量选择开关置于“R ≥ 10”挡
4	如图 6-6 所示，调节电桥读数旋钮的第一位步进开关和第二位滑线盘，使指示电表指针往“0”方向偏转，将灵敏度开到足够大再调节滑线盘，使指示电表指针往“0”方向偏转（即电表的读数最小），此时电桥达到最后平衡，电桥的读数盘所指示的读数即为被测电阻值
5	量程开关放在 100Ω 位置，电桥的读数盘第一位指示为 0.90，第二位指示为 0.092，则 $R_x=100\times(0.9+0.092)=99.2\Omega$。即：被测量 R_x= 量程开关示值 × 电桥的读数（两个读数盘示值之和）

图 6-6　电阻的测量

技能训练七　兆欧表的使用

兆欧表是一种高电阻值测量仪表，因为表盘上的刻度读数的单位为兆欧，故称作兆欧表。此外，根据该表操作的动作来命名，兆欧表也称摇表。根据被测对象的不同，所选用的兆欧表的额定电压和量程也不同。兆欧表的额定电压和量程选择如表 7-1 所示。

表 7-1　　兆欧表的额定电压和量程选择

被 测 对 象	设备的额定电压（V）	兆欧表的额定电压（V）	兆欧表的量程（MΩ）
普通线圈的绝缘电阻	≥ 500	500	0 ～ 200
变压器和电动机线圈的绝缘电阻	≥ 500	1000 ～ 2500	0 ～ 200
发动机线圈的绝缘电阻	≥ 500	1000	0 ～ 200
低压电气设备的绝缘电阻	≥ 500	500 ～ 1000	0 ～ 200
高压电气设备的绝缘电阻	≥ 500	2500	0 ～ 2000
瓷瓶、高压电缆、刀闸	—	2500 ～ 5000	0 ～ 2000

兆欧表的用途广泛，一般常用于如下场合：

① 测量各种电线（电缆或明线）的绝缘电阻；

② 测量电动机线圈间、变压器线圈间的绝缘电阻；

③ 测量各种高压设备的绝缘电阻。

一、认识兆欧表

1. 兆欧表的功能

兆欧表的主要功能是测量绝缘电阻，例如测量电冰箱电源线与外壳（地线）之间的绝缘电阻。正常绝缘电阻具有很高的电阻值，使用普通的万用表不容易测出来。如图 7-1 所示，如果电源线与地线之间的绝缘电阻较小，就容易发生漏电的情况，对机器和人身都可能造成危害，因此通过用兆欧表测量绝缘电阻可以检查设备的安全性能。

图 7-1　电源线与机壳（地）之间的绝缘电阻

由于一般的绝缘材料几乎都是不导电的，加上电压以后只有微小的电流，所以这个微小的电流被称为漏电流（I）。绝缘电阻 R 可以由外加电压 U 除以漏电流 I 求得，这个电阻值一般以 MΩ 为单位。

2. 兆欧表的外形与结构

兆欧表的种类较多，但其结构大致相同，从电源的角度来看有以下两种形式。

（1）发电机式

发电机式兆欧表的主要组成部分是一个磁电式流比计和一只手摇发电机。发电机是兆欧表的电源，可以采用直流发电机，也可以采用交流发电机与整流装置配用。直流发电机的容量很小，但电压很高（100 ～ 5000V）。磁电式流比计是兆欧表的测量机构，由固定的永久磁铁和可在磁场中转动的两个线圈组成。发电机式兆欧表的外形和结构原理如图 7-2(a) 和 (b) 所示。

(a) 外形　　(b) 结构原理图

图 7-2　发电机式兆欧表的外形及结构原理图

（2）电池式

电池式（晶体管式）兆欧表是将电池的直流电压通过直流电源变换器（晶体管直流变换器）变为交流电压，经脉冲变压器升压后，通过整流电路产生足够的直流高压，以便形成漏电流，用以测出绝缘电阻。其外形同一般指针式万用表，如图 7-3 所示。

图 7-3　电池式兆欧表

用电池式兆欧表测量时，先将被测端的三个端子E、L、G与被测设备相连（插座E的接线为接地线，插座L的接线为线路线，插座G的接线为屏蔽线），选择相应的量程（500V/1000M、1000V/2000M），然后按下表上的“TEST ON-OFF”开关，表针摆动即指示出绝缘电阻的电阻值。

二、兆欧表的测量原理

发电机式兆欧表线路如图7-4所示。

图7-4　发电机式兆欧表线路图

从图7-4中可看出：发电机和C_1、C_2、VD_1、VD_2组成倍压整流电路，当未接R_x（被测电阻）而摇动手摇发电机时，仅R_0支路有电流，$I_2=\dfrac{E}{R_0}$。

此时线圈2产生转矩M_2，线圈2停在中性面，使表针指示在“∞”位置。当接上R_x时，R_x支路也有了电流$I_1=\dfrac{E}{R_1+R_x}$。

当用手摇动发电机时，两个线圈中同时有电流通过，在两个线圈上产生方向相反的转矩，表针就随着两个转矩的合成转矩的大小向右偏转某一角度，这个偏转角度取决于上述两个线圈中电流的比值。由于附加电阻的阻值是不变的，所以电流值仅取决于待测电阻阻值的大小。

三、兆欧表的使用方法

兆欧表使用前应注意以下几个问题。

① 测量前须先校表，将兆欧表平稳放置，先使L、E两端开路，摇动手柄使发电机达到额定转速，这时表头指针指在“∞”刻度处；然后将L、E两端短路，缓慢摇动手柄，指针应指在“0”刻度上。若指示不对，说明该兆欧表有故障，应进行检修。

② 在进行测量前应先切断被测线路或设备的电源，并进行充分放电（需2～3min），以保证设备及人身安全。

③ 在进行测量前应将与被测线路或设备相连的所有仪表及其他设备（如电压表、功率表、电能表及电压互感器等）退出，以免这些仪表及其他设备的电阻影响测量结果。

④ 兆欧表接线柱与被测设备间的连接导线不能用双股绝缘线或绞线，应用单股线分开单独连接，以避免因绞线的绝缘不良而引起测量误差。

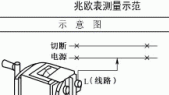
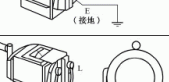
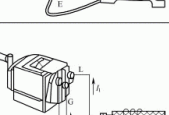
⑤ 测量电容器及较长电缆等设备的绝缘电阻时，一旦测量完毕，应立即将L端的连接

断开，以免兆欧表向被测设备放电而损坏兆欧表。

⑥ 测量完毕后，在手柄未完全停止转动及被测对象没有放电之前，切不可用手触及被测对象的测量部分及拆线，以免触电。

兆欧表测量示范如表 7-2 所示。

表 7-2　　兆欧表测量示范

序号	测量对象	示 意 图	说　明
1	测量电力线路对地绝缘电阻		测量电力线路的绝缘电阻时，将 E 接线柱可靠接地，L 接线柱接被测量线路
2	测量设备（例如电动机）内电路对外壳绝缘电阻		测量电动机、电气设备的绝缘电阻时，将 E 接线柱接设备外壳，L 接线柱接电动机绕组或设备内部电路
3	测量电缆芯线绝缘电阻		a、测量电缆芯线与外壳间的绝缘电阻时，将 E 接线柱接电缆外壳，L 接线柱接被测芯线，G 接电缆壳与芯之间的绝缘层； b、保护环 G 接线的原因：电缆线一般被埋在地下，因此其表面易潮湿及锈蚀，从而造成测量电缆绝缘时不准确。提供 G 接线后，表面漏电流不经过线圈流过发电电源负载极。这样，测量结果只反映芯线与绝缘层之间的电阻大小，而不受表面漏电流大小的影响（在电缆表皮比较清洁时可以不接 G 测点）

技能训练八　晶体管毫伏表的使用

毫伏表是用来检测交流信号电压幅度的仪表，由于它灵敏度高、输入阻抗大、测量频率范围相对宽广，故而在模拟电子实验室里是必备的测试仪表。

本技能训练介绍的 DA-16D 型晶体管毫伏表是一种常用的低频电子电压表，它测量交流电压的原理与 MF-47 型万用表有所不同，其差别如表 8-1 所述。

表 8-1　　**毫伏表与万用表测交流电压的比较**

种类 / 参数	DA-16D 型毫伏表	MF-47 型万用表
测试范围	100mV ～ 300V	10 ～ 2500V
输入阻抗	$R_i > 2M\Omega$	10V 档：$R_i = 200k\Omega$
工作频率范围	20Hz ～ 1MHz	45 ～ 1500Hz

由表 8-1 可见，一般万用表虽有测交流电压的功能，但当被测电压数量级较小时(mV 级)，由于万用表灵敏度太低，不能使指针偏转或因偏转角度太小而无法读数。另外，若当被测电路阻抗较大时（几百千欧以上），由于普通万用表内阻相对较低，在一定程度上将被测电路分路，从而影响了仪表的测量精度。

需要指出的是，在利用电压表测量放大电路的参数时，如果放大器工作频率大大高于普通电压表的工作频率范围，那么仪表的读数将小于真实值，也会产生较大测量误差；而晶体管毫伏表工作频率较宽，基本可以满足模拟电子实验室的需要。

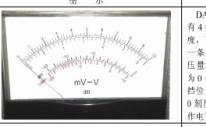
一、认识 DA-16D 型晶体管毫伏表

DA-16D 型晶体管毫伏表外形如图 8-1 所示，它与普通万用表相似，主要由表头、刻度面板和量程开关等组成。不同的是它的输入连接线不用表笔而用同轴电缆。电缆的外层是地线，通常接黑色鳄鱼夹，其目的是为了减小外来感应电压的影响；电缆的芯线通常接红色鳄鱼夹。毫伏表的背面连接着 220V 的工作电源线。DA-16D 型晶体管毫伏表的面板结构说明如表 8-2 所示。

(a) 正面　　(b) 反面

图 8-1　DA-16D 型晶体管毫伏表外形图

表 8-2　　DA-16D 型晶体管毫伏表面板结构说明

图中标号	名　称	图　示	说　明
①	指针刻度盘		DA-16D 型晶体管毫伏表指针刻度盘有 4 条刻度线，上面两条为电压指示刻度，下面两条为信号电平指示刻度。第一条为 0 ～ 10 刻度线，其是对应于电压量程档位 10 的倍乘读数线；第二条为 0 ～ 3 刻度线，其是对应于电压量程档位 3 的倍乘读数线；第三条为 -20 ～ 0 刻度线，第四条为 -20 ～ 2 刻度线，作电平测量时的分贝（dB）读数刻度
②	电压量程开关		电压量程开关将 1mV ～ 300V 的电压分为 12 档，分别为：1mV、3mV、10mV、30mV、100mV、300mV、1V、3V、10V、30V、100V、300V。在这 12 个档位中有 6 个档位是 10 的倍乘档位，有 6 个档位是 3 的倍乘档位，在每一个档位上都注明了信号电平的值，在实际测量时，一定要和表头刻度相对应连行数值读取
③	被测信号输入插座		被测信号输入插座通常提供号输入电缆线，其红色鳄鱼夹为电缆芯线，黑色鳄鱼夹为电缆地线
④	电源开关		控制毫伏表工作电源的通断
⑤	电源指示灯		当毫伏表工作电源接通时该指示灯亮

二、DA-16D 型晶体管毫伏表的工作原理

1．DA-16D 型晶体管毫伏表的电路方框图（见图 8-2）

图 8-2　DA-16D 型晶体管毫伏表的电路方框图

2．电路方框图简介

DA-16D 型晶体管毫伏表输入回路示意图如图 8-3 所示。

图 8-3　DA-16D 型晶体管毫伏表输入回路示意图

（1）输入分压器

输入分压器对输入信号的处理：

① 当输入电压小于 0.3V 时，输入信号电压直接耦合到射极输出器；

② 当输入电压在 1～30V 之间时，输入信号电压经高压分压器衰减为原来的 1/100 后，再耦合到射极输出器；

③ 当输入电压在 0～300V 之间时，输入信号电压经高压分压器衰减为原来的 1/1000 后，再耦合到射极输出器，以避免输入电压过高而损坏仪表。

（2）射极输出器

毫伏表是交流电压表，为避免电压表对被测电路的分流作用，需要极高的内阻，射极输出器可满足高输入阻抗的需求。

（3）输出分压器

用来将由射极输出器耦合进来的信号电压进行分压，各量程的被测电压分别经低阻分压器来实现 1、$\frac{1}{3}$、$\frac{1}{10}$、$\frac{1}{30}$、$\frac{1}{100}$和$\frac{1}{300}$的分压后，变为 1mV 以下的电压再送到放大器中去，以保证放大器处于线性放大状态。

（4）放大器和检波器

对从输出分压器耦合来的被测信号电压进行放大，放大后的信号电压经检波后驱动直流表头进行电压指示。

三、DA-16D 型晶体管毫伏表的使用方法

1. 测量准备工作

① 机械调零。仪表未使用时表头指针应静止在左端零点位置，否则应调节表头上的机械调零点进行机械调零，如图 8-4 所示。

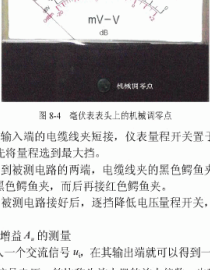


图 8-4　毫伏表表头上的机械调零点

② 接通电源，再将输入端的电缆线夹短接，仪表量程开关置于所需的测量范围。若不知被测电压值大小，应先将量程选到最大挡。

③ 将电缆线夹并接到被测电路的两端，电缆线夹的黑色鳄鱼夹为地，它应与被测电路的地相接，而且应先接黑色鳄鱼夹，再后再接红色鳄鱼夹。

④ 测量输入线夹与被测电路接好后，逐挡降低电压量程开关，直到指针尽可能达到满刻度以减小指示值误差。

2. 低频放大器电压增益 A_v 的测量

在放大器输入端加入一个交流信号 u_s，在其输出端就可以得到一个放大后的信号电压 u_o，输出信号电压 u_o 与输入信号电压 u_i 的比称为放大器的放大倍数，也称为电压增益：$A_v = \frac{U_o}{U_i}$。

测量放大器电压增益的接线示意图如图 8-5 所示，图中各种仪表的作用如表 8-3 所示。

图 8-5　放大器增益测量原理接线示意图

表 8-3　　仪表作用

仪表名称	作　用
直流稳压电源	给放大器提供直流工作电压，以保证放大器工作
低频信号发生器	给放大器提供一个交流信号电压 u_i
示波器	用来观察测量输出信号电压的波形和电压数值
晶体管毫伏表	用来测量输入信号电压 u_i 与输出信号电压 u_o 的数值

注意：测量放大器增益时，所有仪表连接线（黑线夹）应接到同一电位点，并与放大器的地线接通

用毫伏表测输入信号电压 u_i 与输出信号电压 u_o 实测图如图 8-6 所示，测量结果如表 8-4 所示。

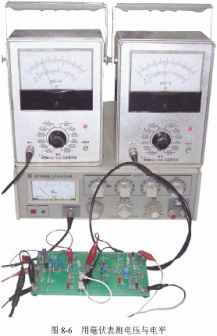


图 8-6　用毫伏表测电压与电平

表 8-4　　测量结果

电压测量	输入电压（mV）	输出电压（V）	放大倍数：$A_v=\frac{u_o}{u_i}$
	1	1	$A_v=1/0.001=1000$
电平测量	-60dB	0dB	$A_v(\text{dB})=0-(-60)=60\text{dB}$

因为 $20\lg\frac{u_o}{u_i}=60\text{dB}$，所以 $\frac{u_o}{u_i}=10^3=1000$，故电压测量与电平测量结果是一致的。

3．直流稳压电源纹波系数的测量

在电子电路中大多使用直流稳压电源进行供电，故对稳压电源输出的直流电压中的交流

成为“纹波电压”要求您了解的，但实际情况是相当正常的。对纹波电压的测量方法，通常是将毫伏表并接在电源的输出端，此时测出的是纹波电压的有效值；也可用示波器并接到电源的输出端，此时看到的是叠加在直流电压上的波纹电压，此时测出的电压值是纹波电压的峰－峰值。

4．毫伏表的使用注意事项

① 被测电压应为正弦交流信号电压，若电压波形有严重失真，会引起测量结果不准确。

② 被测交流电压的直流量不得大于300V。

③ 切勿用低电压挡测高电压，否则会损坏仪表。

④ 用仪表毫伏（mV）挡测电压时，应先接入地线，而后接测试线，测试完毕后以相反顺序取下测试线，以免引入干扰，造成仪表损坏。

桂林狮达电子类
QQ
188111102
藏书专用章

技能训练九　信号发生器的使用

信号发生器，顾名思义，就是能够产生各种电信号的仪器，它作为激励信号或仿真信号，广泛应用在电子技术的各个领域。随着电子技术的进步，信号发生器的品种也逐渐繁多，常用信号发生器的分类及说明如表 9-1 所示。

表 9-1　　常用信号发生器的分类及说明

说　明 分类角度	名　　称		功能或频率范围	应 用 范 围
从通用性角度来分	通用型	正弦波信号发生器	输出波形为正弦波	应用于各种放大器的检测和调试等
		函数信号发生器	输出波形幅度与时间成一定函数关系的信号，如方波、锯齿波、三角波脉冲等	主要应用于脉冲电路等
	专用型	电视信号发生器	能产生电视和多种测试信号	应用于电视机测试和调试
从输出频率的角度来分	低频信号发生器		1Hz ～ 1MHz	常应用于测试音频放大器的电路增益，也适用于收音机、扩音机和录音机、电视机等设备的检修
	高频信号发生器		100kHz ～ 150MHz	常应用于中、高频选频放大器的测试

一、低频信号发生器的使用

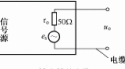
在如今的技术和市场环境下，每一种仪器都有很多的厂家和型号，但从使用角度来看，方法都大同小异，低频信号发生器也不例外，下面首先以 DF1028B 型低频信号发生器为例，来介绍一般低频信号发生器的使用方法。

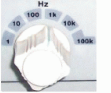
1. 认识 DF1028B 型低频信号发生器

DF1028B 型低频信号发生器的面板结构如图 9-1 所示，图中标号部件的名称和功能介绍如表 9-2 所示。

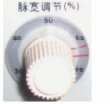
图 9-1　DF1028B 型低频信号发生器的面板结构

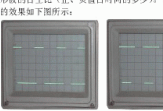
表 9-2　　DF1028B 型低频信号发生器面板功能介绍



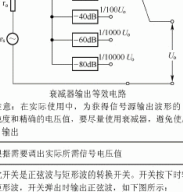
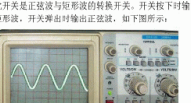


图中标号	名称及图示	功　能
①	电源开关	控制仪器工作电源通断
②	电源指示灯	仪器接通工作电源后，灯亮。预热 5min 后使用
③	信号电压输出插座及测试电缆 测试电缆	仪器产生的信号电压由此插座输出，输出阻抗 r_o 为 50Ω，等效电路如下图所示： 信号源　r_o　50Ω　e_s　u_o　电缆线 输出等效电路 测试电缆如左图所示，仪器产生的信号电压由电缆输出至被测电路
④	频率倍乘开关 Hz　1　10　100　1k　10k　100k	频率倍乘开关如左图所示，此开关把仪器产生的 1Hz ～ 1MHz 的信号频率分为 1、10、100、1kHz、10kHz、100kHz 六个挡级，配合频率选择开关使用
⑤ ⑥ ⑦	频率选择开关 X1　X0.1　X0.01	利用此组开关旋钮可设置仪器所产生的所有频率以供输出使用。⑤为×1 挡，⑥为×0.1 挡，⑦为×0.01 挡（电位器为无极可调），三个挡级即可设置 1.00 ～ 10.99 的数值，配合频率倍乘开关完成输出选择。但需注意：信号发生器电压输出最高频率为 1MHz，所以在频率倍乘开关置于 100kHz 时，有效数位设置不应超过 10.00。 例如：某放大电路需用 10kHz 的正弦交流信号，其调节步骤为： 频率开关　×1　×0.1　×0.01　倍乘 设置值　10　0　0　1k 合理选择频率选择开关和频率倍乘开关，尽可能多地设置有效值位数。即选择 1kHz×10 倍乘挡，以获得最佳频率精度，避免选择 1.00×10kHz 的方式
⑧	脉宽调节旋钮 脉宽调节(%)　30　40　50　60　70	脉宽调节也叫矩形波占空比调节，主要是用来调节矩形波的占空比（正、负值占时间的多少）。调节此旋钮的效果如下图所示： 逆时针调节后波形　顺时针调节后波形





续表

图中标号	名称及图示	功　能
⑨	输出衰减器 	它是一个输出阻抗为 50Ω、总衰减量为 80dB（相当于电压幅小为原来的万分之一）的衰减器，主要用来调节输出信号电压的有效值，以满足放大电路对信号的不同需求，其等效电路如下图所示：  衰减器输出等效电路 注意：在实际使用中，为获得信号源输出波形的良好纯度和精确的电压值，要尽量使用衰减器，避免使用 0dB 输出
⑩	输出幅度调节旋钮	根据需要调出实际所需信号电压值
⑪	波形选择开关	此开关是正弦波与矩形波的转换开关。开关按下时输出矩形波，开关弹出时输出正弦波，如下图所示：  正弦波 矩形波
⑫	功率输出端	信号发生器产生的 0 ～ 20W 的功率信号由此输出，输出阻抗为零，因仪器有保护电路，输出端偶尔瞬间短路，不会损坏功放，但要防止长时间短路或接入过重负载（4Ω 以上），以免末级功放管升温过高导致损坏
⑬	表头	用来指示信号发生器产生的信号电压，表头并接在电压放大器的输出端，不受输出衰减器的控制

2．DF1028B 型低频信号发生器的工作原理

DF1028B 型低频信号发生器原理方框图如图 9-2 所示，信号源各级工作原理介绍如表 9-3 所示。

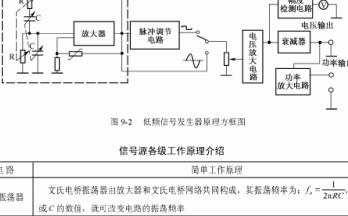


图 9-2　低频信号发生器原理方框图

表 9-3　　信号源各级工作原理介绍

方 框 电 路	简单工作原理
文氏电桥振荡器	文氏电桥振荡器由放大器和文氏电桥网络共同构成，其振荡频率为：$f_o=\frac{1}{2\pi RC}$，因此改变 R 或 C 的数值，就可改变电路的振荡频率
脉冲调节电路	方波脉冲形成电路由比较器来构成，通过调节比较端电位，使输出脉冲宽度能在 30% ～ 70% 的范围内变化
电压放大电路	用来放大振荡器产生的振荡信号电压
幅度检测电路	输出的信号电压经检波后驱动电压表头指示
衰减器	调节输出的信号电压值，详见表 9-2 中有关衰减器的介绍
功率放大电路	功率放大电路采用 OCL 电路，带有限流保护，输出阻抗为零，最大输出电流为 2A

3．DF1028B 型低频信号发生器使用方法举例

在模拟电路的测试过程中，大多使用低频信号发生器来提供正弦交流信号电压。下面通过给放大器输入一个频率为 10kHz、电压为 10mV 的正弦交流信号的例子来介绍低频信号发生器的使用方法。低频信号发生器的调整方法及步骤如表 9-4 所示。

表 9-4　　低频信号发生器的调整方法及步骤

调 节 步 骤	调 节 器 件	调整方法及目的
1	电源开关	给信号源接通工作电源
2	波形开关	使信号源输出正弦波信号
3	频率调节旋钮	将频率倍乘开关置于 1kHz 挡位，如下图所示： 频率倍乘开关

调节步骤	调节器件	调整方法及目的
		频率粗调旋钮分别置于下图所示位置： 频率粗调旋钮 对于 10kHz，×1 挡应置于“10”的位置，×0.1 挡应置于“0”的位置，×0.01 挡应置于“0”的位置， f ~ 1kHz × 10 + 1kHz × 0 + 1kHz × 0 = 10kHz + 0 + 0 = 10kHz
4	幅度旋钮	调节幅度控制输出旋钮，使电压表头指在约 10V 位置，如下图所示： 电压表头指示
5	衰减开关	调节输出衰减器选择器，将其置于 60dB 挡位，如下图所示： 衰减开关 根据表 9-2 中有关衰减器功能的介绍可知，此时输出电压被衰减 1000 倍，故输出的电压值为： $U = 10\text{V} \times \frac{1}{1000} = 10\text{mV}$
6	输出线	将输出线插入仪器信号输出插座，线夹一端与实验电路的输入端相接（黑线夹接地），实验电路即可获得一个 10kHz、10mV 的正弦交流信号电压

二、高频信号发生器的使用

高频信号发生器能产生频率较高的正弦波信号（包括调幅波），其频率范围因机型而异，但一般都在 100kHz ～ 300MHz 之间，常作为各种高频电路的信号源。有的高频信号发生器

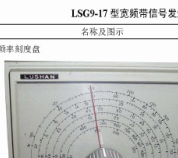
为方便使用者，往往也附加低频信号的输出功能。下面我们以 LSG9-17 型宽频带信号发生器为例，来介绍高频信号发生器的一般使用方法。

1．认识 LSG9-17 型宽频带信号发生器

LSG9-17 型宽频带信号发生器的面板结构如图 9-3 所示，其面板功能简介如表 9-5 所示。

图 9-3　LSG9-17 型宽频带信号发生器面板结构

表 9-5　　LSG9-17 型宽频带信号发生器面板功能简介

图中标号	名称及图示	说　明
①	频率刻度盘 	刻度盘将信号源产生的 100kHz ～ 450MHz 的信号分成 A、B、C、D、E、F 六个频段标示在刻度盘上，以方便读取频率： A 波段：100kHz ～ 300kHz B 波段：300kHz ～ 1000kHz（1.00MHz） C 波段：1.00MHz ～ 3.50MHz D 波段：3.00MHz ～ 11MHz E 波段：10MHz ～ 35MHz F 波段：32MHz ～ 450MHz 为了便于收音机调幅和调频电路的中频电路调整，特在刻度盘上标示了 455kHz 和 10.7MHz 的调谐刻度
②	刻度盘指针调节旋钮	用来调节输出信号的频率
③	波段开关 	使用者根据需要来改变频段，例如左图波段开关选择在 B 位置，说明本机器输出信号频率在 300kHz ～ 1000kHz 之间

续表

图中标号	名称及图示	说　明
④	晶体插座 晶体 	FT9-243 型插座，可以插入 19Hz ～ 15MHz 的石英晶体； 当信号源未插入晶体时，信号源产生 100kHz ～ 150MHz 的正弦波信号； 当插入 19Hz ～ 15MHz 的任一频率晶体时，信号源产生的信号频率受插入晶体的频率的控制
⑤	电源开关	控制仪器工作电源的通断
⑥	指示灯	指示仪器工作电源是否接通
⑦	功能选择开关 	它有左、中、右 3 个挡位，用来选择调制信号和晶体振荡信号的输出。 左位：（晶体振荡器）信号源输出受外接晶体频率调制的信号； 中位：（内调制）信号源输出的载波信号受仪器内部 1kHz 音频信号的调制； 右位：（外调制）信号源输出的载波信号受外来信号的调制，其调制电压小于 0.15V（有效值），调幅度为 30%
⑧	输出幅度粗调按钮	输出电压幅度的连续调节
⑨	输出电平控制开关	信号源产生的信号电平分高、低两种状态输出，低电平为高电平的 1/10 再经输出幅度粗调控制，以获得所需信号电压
⑩	输入 - 输出插孔	外调制信号的输入或内部 1kHz 音频振荡信号的输出，它受控于功能选择开关
⑪	输出电缆线（有屏蔽功能） 	高频信号由此输出，并通过屏蔽电缆传输至需用设备及电路
⑫	信号输出座	信号通过电缆线输出

简单的调幅电路原理示意图如图 9-4 所示。

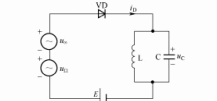


图 9-4　简单的调幅电路

调制信号是单一频率的低频正弦波 $u_\Omega(t)=U_{\Omega m}\cos\omega t$，如图 9-5(a) 所示。

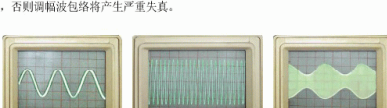
假设载波是频率为 ω_0 的高频正弦波 $u_c(t)=U_{cm}\cos(\omega_0 t+\varphi_0)$。如图 9-5(b) 所示。载波信号振幅受调制信号控制，其大小随调制信号变化，而频率不变，其调幅波形如图 9-5(c) 所示。调幅波载波振幅表达式为：

$$u_{om}(t)=U_{om}+m_a U_{\Omega m}\cos\omega t$$

式中：

$$m_a=\frac{KU_{\Omega m}}{U_{om}}=\frac{\Delta U}{U_{om}}$$

ΔU 是载波振幅受调制信号控制后产生的变化量；K 是比例常数；m_a 称为调幅度或调幅系数，常用百分数表示，它是调幅波主要参数之一，表示载波振幅受调制后所改变的程度。m_a 越大，调幅波携带的信息功率越大，接收机解调后得到的低频信号越强。但 m_a 必须小于 100%，否则调幅波包络将产生严重失真。



(a) 调制信号波形图　　(b) 载波信号波形图　　(c) 调幅波

图 9-5　调幅波波形图

2．LSG9-17 型宽频带信号发生器的工作原理

（1）LSG9-17 型宽频带信号发生器原理方框图（见图 9-6）

（2）IC101

① 集成放大电路 IC101 接成相移振荡电路，产生 1kHz 的正弦波信号；

② 晶体振荡器：当 1Hz ～ 15MHz 晶体插入 XTAL 插座时，集成放大电路 IC101 起振荡器作用，其振荡频率受插入的晶体频率调制，输出信号被连接到高－低输出控制开关。

（3）IC102

集成电路 IC102 设计为射频自激振荡电路，用来产生 100kHz ～ 150MHz 的载波信号。其信号频率的范围利用开关分成 A、B、C、D、E、F 六个频段。

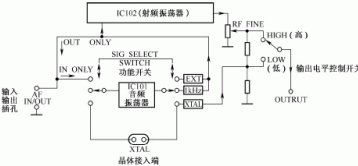


图 9-6　信号发生器原理方框图

射频振荡器产生载波信号的输出是通过高－低开关以及输出细调旋钮加以控制的。低档输出是高挡输出的 1/10。

（4）电源

该仪器放大电路所使用的直流电源由整流滤波系统供给。如图 9-7 所示，未经稳压的 +20V 电源经 IC101 内的直流稳压电路稳压后，给 IC101 与 IC102 供电。

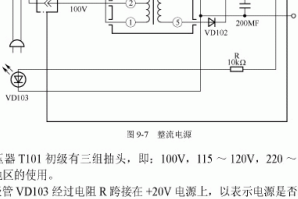


图 9-7　整流电源

电源变压器 T101 初级有三组抽头，即：100V，115 ～ 120V，220 ～ 240V，以适应不同供电电压地区的使用。

发光二极管 VD103 经过电阻 R 跨接在 +20V 电源上，以表示电源是否获得供电。

3．LSG9-17 型宽频带信号发生器使用说明

（1）准备工作

① 电源开关置于“关”的位置；

② 连接 AC 插头到交流电源；

③ 置输出幅度细调旋钮于中间位置，并置射频开关到“低”，在测试具体电路时，再根据需要置于“低”或“高”；

④ 置频率范围于工作频段。

（2）输出 1kHz 低频信号的操作方法

输出 1kHz 低频信号的操作方法如表 9-6 所示。把仪器输出信号直接送到示波器观察波形，如图 9-8 所示。

表 9-6　　输出 1kHz 低频信号的操作方法

操作步骤	操作对象	操作说明
1	接通电源	按下电源开关
2	功能选择开关置于中位	IC101 输出 1kHz 正弦波信号
3	输入－输出插孔连线	有 1kHz 正弦波信号输出，U_o＝1V

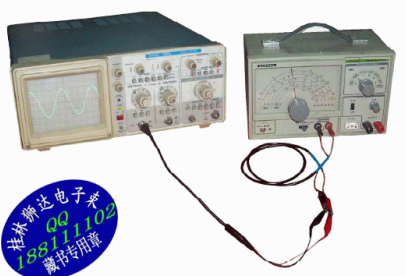

桂林狮达电子来
QQ
188111102
藏书专用章

图 9-8　输出 1kHz 低频信号

（3）输出 10.7MHz 高频信号的操作方法

输出 10.7MHz 高频信号的操作方法如表 9-7 所示，实物图如图 9-9 所示。

表 9-7　　输出 10.7MHz 高频信号的操作方法

操作步骤	操作对象	操作说明
1	接通电源	按下电源开关
2	功能选择开关置于中位	IC102 输出受 1kHz 调制的调幅波信号
3	信号从输出插孔输出	输出电缆线插入输出插孔
4	波段开关置于“E”	调整度盘指针为：10.7MHz

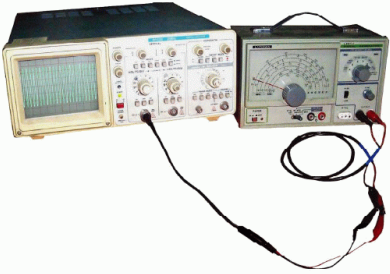


图 9-9　输出 10.7MHz 高频信号

（4）输出 465kHz 调幅波信号的操作方法

输出 465kHz 调幅波信号的操作方法如表 9-8 所示，实物图如图 9-10 所示。

表 9-8　　输出 465kHz 调幅波信号的操作方法

操作步骤	操作对象	操作说明
1	接通电源	按下电源开关
2	功能选择开关置于中位	IC102 输出受 1kHz 调制的调幅波信号
3	信号从输出插孔输出	输出电缆线插入输出插孔
4	波段开关置于“B”	调整度盘指针为：465MHz

（5）外接晶体输出信号的操作方法

外接晶体输出信号的操作方法如表 9-9 所示。

表 9-9　　外接晶体输出信号的操作方法

操作步骤	操作对象	操作说明
1	接通电源	按下电源开关
2	功能选择开关置于左位	IC101 输出由晶体振荡调制的调幅波信号
3	插入所需晶体	将晶体插入晶体接入端
4	信号从输出插孔输出	输出电缆线插入插孔

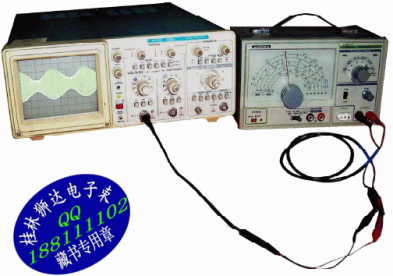


图 9-10　输出 465kHz 调幅波信号

三、函数信号发生器的使用

函数信号发生器是产生正弦波、方波、三角波等多种函数波形的仪器，作为一种通用信号源，广泛地应用在电子电路的研发、实验、测试和维修中。和其他电子仪器类似，现在的函数信号发生器也朝着多用途的方向发展，例如有些函数信号发生器具有调制、扫频的功能，有些还具有频率计数器功能等。下面以 LM1602 型函数信号发生器为例，来介绍函数信号发生器的使用方法。

1．认识 LM1602 型函数信号发生器

LM1602 型函数信号发生器外形如图 9-11 所示。

图 9-11　LM1602 型函数信号发生器

（1）函数信号发生器输出波形的设置

使用波形选择开关和占空比开关可以设定函数信号发生器的输出波形，具体设置方法如

表 9-10 所示。

表 9-10　　函数信号发生器输出波形的设置

占空比选择 / 波形 / 波形选择	占空比开关关闭（50%）	占空比调节到 20%	占空比调节到 80%
短形波			
三角波			
正弦波			

注：占空比是指脉冲持续时间与脉冲周期的比值，例如占空比为 50% 的方波如图 9-12 所示。

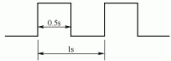


图 9-12　占空比为 50% 的方波

LM1602 型函数信号发生器的占空比开关按下后可以使用调整旋钮在 20% ～ 80% 范围内连续调整占空比，表 9-10 中仅表示了占空比为 50%、20% 和 80% 时的情况。

（2）信号频率设置

①信号频率设置开关与旋钮如图 9-13 所示。

图 9-13　信号频率设置开关与旋钮

② 信号频率的设置步骤。

a．根据需要按下频率分挡按钮。频率调整范围为该挡位值的 0.1 ～ 1 倍，例如按下 20k 挡位开关后输出频率的调整范围为 2 ～ 20kHz。

b．调整频率粗调旋钮（频率调节旋钮）使信号频率接近需要的频率。

c．调整频率微调旋钮使信号频率等于需要的频率，如果调节不出需要的频率，则需重新调整频率粗调旋钮。

（3）输出信号幅度设置

输出信号的幅度由幅度调整旋钮和衰减开关设置，设置方法如表 9-11 所示。

表 9-11　　输出信号幅度的设置

序号	衰减开关状态	图　　示	幅度调整旋钮调节范围（峰－峰值）	幅度调整旋钮
1	两个开关均弹起	衰减 20dB 40dB	0 ～ 20V	输出 幅度 MIN MAX 50Ω
2	20dB 开关按下	衰减 20dB 40dB	0 ～ 2V	
3	40dB 开关按下	衰减 20dB 40dB	0 ～ 200mV	
4	两个开关均按下	衰减 20dB 40dB	0 ～ 20mV	

注意：由于信号输出端具有 50Ω 的内部阻抗，当负载阻抗较低时，输出端的实际信号幅度就会较低。

（4）输出信号偏移设置

当电平开关关闭时（按钮弹起）输出信号为 +/- 对称幅度，当波形幅度为 4V（峰－峰值）时瞬时值为 -2 ～ +2V，见图 9-14 中波形。如果需要改变波形为 0 ～ 4V，则需要按下电平开关，进行偏移调整。例如，需要一个 0 ～ 4V 的三角波时，首先调整输出幅度为 4V，然后按下电平开关，调整电平旋钮。由于信号发生器本身不能直接观察到实际的偏移量，此时需要借助示波器观察实际信号波形进行调整，如图 9-14 所示。

（5）TTL 信号的输出

如果函数信号发生器只用于为 TTL 电路产生时钟脉冲，可以直接使用 TTL OUT 输出端输出，此时只需调整信号频率，如图 9-15 所示为使用示波器观察到的 TTL 输出信号波形。

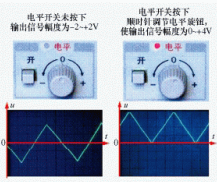


图 9-14　偏移电平的作用

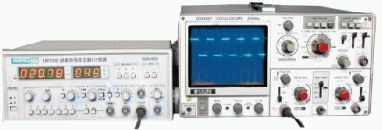


图 9-15　TTL 信号的输出

（6）50Hz 信号的输出

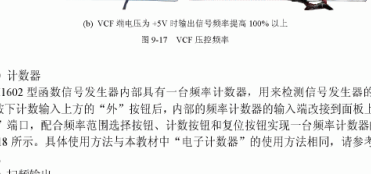
50Hz 输出端可输出固定频率为 50Hz 的信号，如图 9-16 所示为使用频率计测量 50Hz 输出信号的输出频率。

图 9-16　50Hz 信号的输出

（7）压控频率

压控频率即使用外加电压控制信号发生器而输出的频率。将输入电压接入 VCF 端，输入电压可以在 0 ～ 5V 间调节。由于本信号发生器的压控比比值≥ 100，即 VCF 端输入电压等于 0V 时输出为使用信号频率设置开关与旋钮设置的频率，当 VCF 端输入电压为 +5V 时输出信号频率提高 100% 以上，如图 9-17 所示。

(a) VCF 端电压为 0V 时输出信号频率为频率设置开关与旋钮设置的频率



(b) VCF 端电压为 +5V 时输出信号频率提高 100% 以上

图 9-17　VCF 压控频率

（8）计数器

LM1602 型函数信号发生器内部具有一台频率计数器，用来检测信号发生器的输出频率，当按下计数输入上方的“外”按钮后，内部的频率计数器的输入端改接到面板上的“计数输入”端口，配合频率范围选择按钮、计数按钮和复位按钮实现一台频率计数器的功能，如图 9-18 所示。具体使用方法与本教材中“电子计数器”的使用方法相同，请参考相关章节内容。

（9）扫频输出

按下扫频按钮后函数信号发生器的输出频率自动在 20Hz ～ 20MHz 范围内扫频输出，扫频调节旋钮可以调整扫频速度。对数 / 线性按钮控制扫频输出时输出频率是按对数规律变化还是按线性规律变化。

扫频信号输出配合示波器可用来检测电子线路的频率特性，如图 9-19 所示。具体功能和使用方法见本教材中“频率特性测试仪”的相关内容。

图 9-18　频率测量

图 9-19　使用示波器观察扫频输出信号

函数信号发生器的技术参数如表 9-12 所示。

表 9-12　　函数信号发生器的技术参数

名　　称	指　　标	说　　明
频率范围	0.2Hz ～ 2MHz	输出信号的频率范围
频率分档	7 挡	
频率调节率	0.1 ～ 1	输出频率调节范围：挡位频率×0.1 ～挡位频率×1
输出阻抗	50Ω	信号源内阻
输出信号类型	单频、扫频、调频	
扫频类型	线性、对数	
扫频速率	10Hz ～ 20kHz	扫频输出时的扫频速度
VCF 电压范围	0 ～ 5V，压控比比值≥ 100	使用外加电压控制频率时的控制电压
输出电压幅度	20V（峰－峰值）	
输出保护	具有输出短路保护功能，输出端具有抗输入电压±35V（1min）的保护功能	当输出端短路时，可保护仪器，当输出端外加电压时，电压不超过±35V，在 1min 内不至于损坏仪器（从输出端加入电压是一种特殊的需要，例如需要在输出信号上叠加某一信号）
正弦波失真度	≤ 100kHz　2%	频率≤ 100kHz 时失真度小于 2%
	＞ 100kHz　–30dB	频率＞ 100kHz 时失真度小于 –30dB（3.17%）
频率响应	±0.5dB	在频率范围内幅度变化小于±0.5dB
三角波线形	≤ 100kHz　98%　＞ 100kHz　95%	三角波上升沿和下降沿的线性程度
占空比调节	20% ～ 80%	

续表

名　称	指　标	说　明
直流偏置	±10V (1MΩ)　±5V(50Ω)	输出信号叠加的直流电位
方波上升时间	100ns（5V（峰－峰值）1MHz）	方波上升沿时间
衰减精度	≤ 3%	20dB、40dB 衰减开关的准确度
占空比对频率的影响	±10%	调节占空比时对频率的影响

2．函数信号发生器的工作原理

目前市面上普及型的函数信号发生器多数由专用的单片函数信号发生器产生矩形波、三角波和正弦波，而对波形频率、幅度的控制以及输出信号频率检测、幅度检测等则由单片机控制，其原理框图如图 9-20 所示。

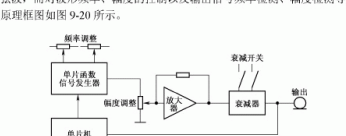


图 9-20　函数信号发生器原理框图

单片函数信号发生器为一种专用的信号发生器集成电路，只需使用一片这种芯片，配合少量外部器件就可构成一台能产生正弦波、方波和三角波的信号发生器。常用的函数信号发生器集成电路芯片有 MAX038、ICL8038、5G8038 等，其外部电路主要为频率调节元件、波形选择开关和信号输出端。

幅度调整、放大器、衰减器和衰减量控制开关构成输出信号幅度驱动电路，由衰减开关和幅度调整电位器控制输出信号的幅度。

单片机控制单片函数信号发生器的波形选择，同时检测输出信号的频率和幅度，采用数码管显示检测结果。

3．函数信号发生器使用方法举例

【例 9-1】使用三角波测试施密特触发器的回差特性。

图 9-21 所示为 555 时基电路组成的施密特触发器，根据理论分析可知当输入电压上升到 $2/3V_{CC}$（$=V_+$）后输出跳变为“0”，当输入电压降低至 $1/3V_{CC}$（$=V_-$）时输出电压跳变为“1”，这一特性称为“回差”（V_+-V_-）。使用函数信号发生器给输入端加上一个三角波，使用双踪示波器同时观察 u_i 和 u_o，对比两波形就可清楚地观察到这种回差特性。

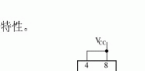


图 9-21　施密特触发器

测试设备的连接如图 9-22 所示。

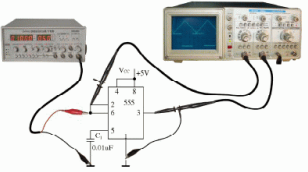


图 9-22　回差特性的测量方法

函数信号发生器的调节方法如下。

（1）设置输出波形

按下“三角波”波形选择按钮，使函数信号发生器输出三角波，见图 9-23 中标号①。

图 9-23　函数信号发生器的调节方法

（2）设置信号频率

本次测试对信号频率无特殊要求，设置在 1 ～ 10kHz 均可，见图 9-23 中标号②。

（3）调节输出信号幅度

旋转输出幅度旋钮，使输出幅度等于 5V，见图 9-23 中标号③。

（4）调节输出信号偏移

使用示波器观察输出波形，按下电平按钮，使输出波形为 0 ～ 5V，见图 9-23 中标号④。

（5）调节接线

双踪示波器 Y1 接 V_i，Y2 接 V_o，调节 Y1 与 Y2 的位置可以得到如图 9-22 所示的波形，从波形图中可以看到 V_i 与 V_o 的数值。

为了更清楚地看到回差特性（如图 9-24 所示），可以将双踪示波器设置为 X-Y 显示器（如图 9-25 所示），输入电压 u_i 驱动 X 轴，输出电压 u_o 驱动 Y 轴，此时示波器显示的回差特性如图 9-26 所示。从图 9-26 中可以清楚地看到当输入电压上升到 $2/3V_{CC}$ 时输出电压跳变为 0，而当输入电压下降到 $1/3V_{CC}$ 时输出电压跳变为 1。

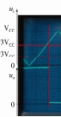


图 9-24　回差特性

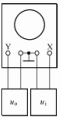


图 9-25　X-Y 显示器

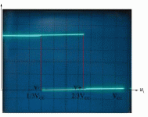


图 9-26　X-Y 显示方式显示的回差特性

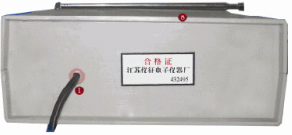
四、彩色电视信号发生器的使用

彩色电视信号发生器是无线电维修人员的必备工具，熟练地使用该仪器，会使检测工作快速而准确。电视信号发生器的种类很多，但其工作原理及功能基本相同，下面以 868-2 型电脑彩色电视信号发生器为例进行介绍。

1. 认识 868-2 型电脑彩色电视信号发生器

868-2 型电脑彩色电视信号发生器的外形如图 9-27 所示。该机输出的电视信号为 PAL 制式，可以输出棋盘、点、方格、竖条、横王、横灰度、灰度、圆、红色场、蓝色场、白色场等标准信号。868-2 型电脑彩色电视信号发生器面板结构介绍如表 9-13 所示。

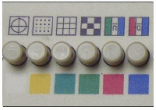
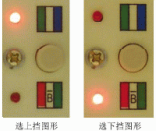
(a) 正面



(b) 反面

图 9-27　868-2 型电脑彩色电视信号发生器的外形

表 9-13　　868-2 型电脑彩色电视信号发生器面板结构介绍

图中标号	名称及图示	说　明
①	供电电源线	电源线位于机箱后部，接交流电 220V 电源
②	电源开关 	电源开关在正面板的右下角，向上扳动为接通电源，向下扳动为关闭电源
③	电视测试图形选择按键 	如左图所示，彩色电视信号发生器的图形按键是向电视机输出选择不同的测试图形控制开关，868-2 型电脑彩色电视信号发生器的图形控制设置 6 个按键，每个按键根据图形“上 / 下挡键”的不同而又有两种选择，即线条栏与色板栏所对应的图形： 1 键：大圆（上挡图）/ 白色场（下挡图） 2 键：点（上挡图）/ 黄色场（下挡图） 3 键：线方格（上挡图）/（下挡图） 4 键：棋盘图（上挡图）/ 绿色场（下挡图） 5 键：彩条（上挡图）/ 红色场（下挡图） 6 键：彩条（上挡图）/ 蓝色场（下挡图）
④	上挡图 / 下挡图转换按键 	此键为带自锁按键，即按一下，上面的 LED 亮，表示按通上挡图形；再按一下，下面的 LED 亮，表示按通下挡图形
⑤	甚高频（V）/ 超高频（U）波段转换开关 	使用者根据需要来选择电视信号发生器输出的射频范围，将开关向上推至 V 处，表示信号发生器的工作频段为甚高频（VHF），向下为超高频（UHF）段

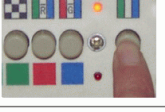
图中标号	名称及图示	说　明
⑥	频道选择旋钮 	本机为全频道电视信号发生器，UHF 和 VHF 的频道调整分设两个独立机构，右边为 UHF 段频道选择旋钮，该旋钮由两部分组成，即中间的调整旋钮和外圈的指示轮，两部分通过行星减速机构构成，快速调整中间的旋钮时，外圈指示轮将随之平滑的缓慢地旋转，通过外轮上的标识就可以知道大致的频道；左边的旋钮为 VHF 频道选择旋钮，其结构为 13 刻旋形开关，根据需要，有 12 频道和一个 38MHz 中频可以选择
⑦	专用信号端口 	本电视信号发生器还设有 3 个电视机电路测试专用信号输出端口： 视频出：AM 调制，幅度为 1V（峰－峰值）视频 6.5MHz：伴音中频信号，FM 调制、电子音乐伴音 射频出：射频阻抗为 75Ω
⑧	本机天线 	本机天线位于机箱上部，是射频电视信号的开放式输出形式，一般是在综合测试电视机时使用，若电视机工作正常，通过本随机天线向空中辐射无线电视信号，电视机与电视信号发生器之间无需任何连线，在 1m 左右的范围内，可以接收到标准电视测试信号。 射频输出电平：不大于 94μV/75Ω

2. 868-2 型电脑彩色电视信号发生器使用方法举例

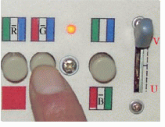
（1）输出开放式信号调试电视机

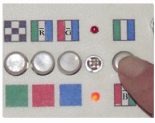
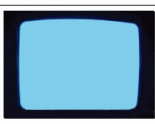
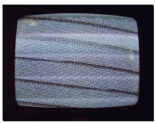
开放式信号是使用信号发生器本机自带的天线向空中辐射已调制的全电视信号，或者将声音信号或图像信号在 3m 左右的范围内通过电视本机天线来接收的方式进行电视信号的传递的，由于是通过电磁波作为传播媒介，因而可以不用导线连接即可实现信号接收。电视信号发生器的具体使用示范如表 9-14 所示。

表 9-14　　电视信号发生器使用示范

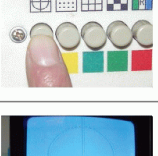
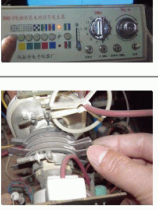
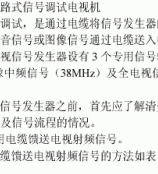
操作顺序	图　　示	操 作 说 明
1		电视信号发生器接通电源后，若看到上挡或下挡指示灯亮，测试项电源已接通。按下上挡图 / 下挡图转换按键，可见左侧相应的 LED 会因切换而上下转换点亮

续表

操作顺序	图　示	操作说明
2		如果要要电视信号发生器在 VHF 段输出，可将面板中部的 V / U 波段转换开关向上置 V，表示该信号发生器将输出 VHF 段的信号
3		调整彩色电视信号发生器的频道选择旋钮至电视机相应频道处，这里将电视信号发生器选用为 8 频道射频信号输出，所以也需要将待测电视机调整为 8 频道，此时应能在电视机屏幕上看到有图像显示。如图像不稳定或模糊，应慢慢调整电视频率微调使接收的图像信号和声音清晰为止。 要要说明的是：在接收到电视图像的同时，电视信号发生器内部电子电路会成的伴音也会在电视机扬声器里发出悦耳的音乐声
4	电视天线插座 	找一根 1m 长左右的电线插入电视机的天线输入口，提示：电视天线插座中心芯为电视天线的输入端，外部的大圆环是电视信号公共端，不能接错地方，否则会出现电视无法接收到信号或信号极弱的现象。 如电视机正常，就能在电视机屏幕上见到有图像信号反应，仔细调整电视机微调，可得到满意的效果
5		根据需要可以自选图像信号的图形，如左图所示为按下竖条图像旋钮

操作顺序	图　示	操作说明
6		通过电视机即可接收到由电视信号发生器输出的图像信号，左图所示为与彩色电视信号发生器所对应的彩色竖条图像。正常的电视机所显示的图像，彩色条边缘清晰、稳定，图像若有轻微左右波浪移动，通过此图也较容易发现
7		再按一次上档图 / 下档图转换按键，上面的 LED 熄灭，同时下面的 LED 灯点亮，此时输出的图像为下档图像
8		与之对应的图像变化也就在电视机屏幕显现出来。此图像为蓝色场图像，通过颜色可以校准图像三种颜色驱动电路及相关电路的调整。 在单色场的情况下，很容易发现显像管是否有被磁化的现象
9		若感觉图像颜色有偏差，例如按照电视信号发生器输出信号应是纯蓝色场，而显示的图像色场存在不同，如左图所示，说明视放电路存在问题，可以依据电视机相关技术资料排查故障
10		左图为典型的行不同步造成的结果，需检查电视机同步电路，也有可能是接收频率不准所致，然后出现此类问题应首先细心调整电视机的频率微调，调整行同步电位器，如仍无改善，再拆机检测

续表

操作顺序	图　示	操作说明
11		在选中上档图形的情况下，按下左图所示开关，即可选中大圆图形
12		左图为大圆图形在彩色电视机屏幕上的实际显示情况。根据所显示图像大致的中心坐标，可以判断偏转线圈及相关电路是否正常
13		通过调整显像管上的偏转磁环，可以校正大圆图像的中心位置

（2）输出闭路式信号调试电视机

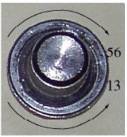
闭路式信号调试，是通过电缆将信号发生器的已调制全电视信号传送给电视机的射频输入端，或者将声音信号或图像信号通过电缆送入电视机的相应电路中，以此来检查该电路的工作情况。本电视信号发生器设有 3 个专用信号输出端口，即电视射频信号、伴音中频信号（6.5MHz）、图像中频信号（38MHz）及全电视信号，其中，射频信号和图像中频信号共用一个输出插座。

在使用电视信号发生器之前，首先应了解清楚待查电视电路的结构，各种集成电路的引脚、电位、波形及信号流程的情况。

① 使用专用电缆馈送电视射频信号。

使用专用电缆馈送电视射频信号的方法如表 9-15 所示。

表 9-15　　使用专用电缆频道电视射频信号

操作顺序	图　　示	操作说明
1		准备两条专用信号电缆线，一根电缆的一端为红色莲花插头，一端为两个鳄鱼夹头分别连接电缆芯线（红色鳄鱼夹）和电缆屏蔽网（黑色鳄鱼夹）；另一根电缆的两头均为莲花插头。根据使用者的需要，可以插接在电视信号发生器的任何一个专用信号输出插座上
2	电缆引出射频信号 	将电缆莲花插头插入电视信号发生器射频输出端口，引出射频信号。此种方法与开路式相比较可以完全隔离外来信号对调试信号的干扰
3		红色鳄鱼夹直接接在电视机天线插座上，黑色鳄鱼夹空置。其他操作同开放式调试一样，根据需要查看电视测试图像
	 选择 UHF 段  调整 UHF 段频率旋钮	将 V/U 波段转换开关向下扳动，即选择了 UHF 波段，此时也应将电视机频道置为与其相同的位置，用以检查电视机超高频段的工作情况。具体操作为：先将待查电视机的频道调置 UHF 段，然后再旋转电视信号发生器的 UHF 段频率旋钮，顺时针为增加频率，逆时针为减小频率，边调边观察电视机屏幕，直到有图像信号为止；其他操作同前

② 使用专用电缆将电视中频（38MHz）信号接入电视机。

典型电视机中放电路如图 9-28 所示。

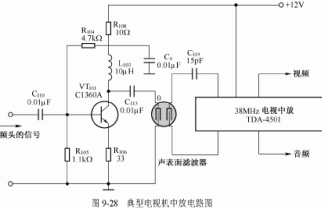


图 9-28　典型电视机中放电路图

将 38MHz 的中频信号送入中放电路的具体操作如表 9-16 所示。

表 9-16　　使用专用电缆将电视中频（38MHz）信号接入电视机

操作顺序	图　　示	操作说明
1		将专用信号电缆的莲花插头插在电视信号发生器的“射频出-38MHz”插座上
	夹住高频头信号输出端耦合电容器的外壳 	用专用电缆鳄鱼夹（红色）一端靠近或夹住连接高频头信号输出端与中放电路的耦合电容（图 9-28 所示电路中的 C_{108} 瓷片电容器），黑色鳄鱼夹搁置一旁不用即可。 提示：有些电视机主板对地呈现热带状态，所以在操作时要注意安全

续表

操作顺序	图　示	操作说明
2		在保证 V/U 波段转换开关板至“V”的位置的前提下，VHF 频道旋钮旋至“38MHz”处。 用此方法可以判断电视机高频头后续电路的工作情况是否正常
	连按电视信号发生器模盘信号按键 	如左图所示，图形上挡灯被点亮，表示已经选中了上面的图形。再按下所对应的开关，筛选中了模盘图形
	电视机正常显示情况 	通过此图像，可以观察图像的行幅和场幅，垂直中心处的水平方格应为 17 格左右，水平中心处垂直方格应为 13 格左右，若相差太远，可根据电视机原理分别调整场幅和行幅。通过该图还可以观察方格的边长是否一致，方格条是否水平、垂直等情况

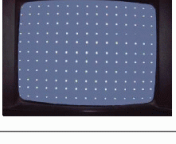
③ 使用专用电缆将视频信号接入电视机。

使用专用电缆将视频信号接入电视机的具体方法如表 9-17 所示。

表 9-17　　使用专用电缆将视频信号接入电视机

操作顺序	图　示	操作说明
1		将黄色的莲花插头的一端插入电视信号发生器的“视频出”端

续表

操作顺序	图　示	操作说明
2		将另一端插入电视机的输入“视频”端。调整电视机的工作模式为相应的视频输入接口，此时，电视机只接收来自该端口的视频信号
3		如左图所示，图像上档灯亮了，并选按星点图形开关
4		左图所示为在电视机上所反映出来的正常星点图像情况，要求星点间距尽量相等，横竖呈直线较好

④ 使用专用电缆将伴音中频信号接入电视机。

由图 9-28 可知，电视 38MHz 中频的选择性主要靠声表面滤波器来保证，而此后便进入集成电路内部的宽带放大及信号的分离等，所以，只要将 6.5MHz 的伴音信号在声表面滤波器之后找到合适的点，依靠高频信号的空间感应，就可以完成伴音信号的输送，进而可以完成对中频电路的调试工作。实践证明，此方法更为简单实用，具体方法如表 9-18 所示。

表 9-18　　使用专用电缆将伴音中频信号接入电视机

操作顺序	图　　示	操作说明
1		若图像正常，而没有声音或声音出现失真，并能确认低放部分没有问题，此时可以从彩色电视信号发生器的 6.5MHz 的伴音输出端口取出中频信号，并送至电视伴音中频电路的输入端
2	伴音中频信号馈入电视机电路实物图 	用红色鳄鱼夹夹住左图中的 C119 电容器的外壳即可，如果伴音电路正常，此时可以听到来自电视信号发生器中逼真的电子合成音乐声。 由于只输入了 6.5MHz 的伴音信号，此时的屏幕因没有视频信号而出现雪花点（结合图 9-28 进行分析）

由于彩色电视信号发生器具有常用的视频测试图像和音频测试信号，所以它可对电视进行一般性的检查、调试。可以说，彩色电视信号发生器是广大家电维修人员和无线电爱好者的必备工具，它为待测电视机提供了一个标准的电视信号，供使用者进行观察、校准电视机，可以使调整工作进行得更为快速而准确。

桂林狮达电子夹
QQ
188111102
藏书专用章