

电工电子实验技术

Diangong Dianzi
Shiyan Jishu

李雪瑶 主 编

电工电子实验技术

李雪瑶 主编
张立群 侯世英 编著
熊 兰 李 利

重庆大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工电子实验技术/李雪瑶主编. —重庆:重庆大学出版社,2003.2

ISBN 7-5624-2826-3

I. 电... II. 李... III. ①电工技术—实验②电子技术—实验 IV. TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 107646 号

电工电子实验技术

李雪瑶 主编

责任编辑:曾令维 版式设计:曾令维

责任校对:任卓惠 责任印制:张永洋

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编:400044

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆铜梁正兴印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:9.5 字数:237 千

2003年2月第1版 2003年2月第1次印刷

印数:1—5 000

ISBN 7-5624-2826-3/TM·86 定价:15.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

前 言

本书是按照《电工电子技术基础课程教学大纲》的要求,为高等院校工科非电专业编写的实验教材,是在“国家工科电工电子基础课程教学基地”建设的推动之下,完成本书的编写工作的。

本书体现了实验课程独立的教学体系,又尽量避免繁冗。在教学内容的安排上,不仅重视巩固理论知识,更着重实验技能的培养。书中编写了电工、电子测量仪器的基本原理,测量的基本概念及简单的误差分析等理论内容。为了突出对学生测试技术与实验能力的培养,本书编写了电工电子仪器、仪表的使用方法,各种电量及某些非电量的测试方法,实验数据的处理及实验故障的检查与排除等内容。为便于教学,有关仪器、仪表的使用,各种电量的测试方法以及各种电工电子元件的使用等方法,都安排在相应的实验之中。通过对实验课程的学习,可以使学生较熟练地掌握常用电工电子仪器、仪表的使用方法,掌握正确应用电工电子元件、查阅手册以及实验数据的分析处理等进行科学实验所必备的基本知识和技能,逐步熟悉开展科学实验的程序和方法,为日后的科研和工程实践打下基础。

实验内容主要分基础实验,综合应用及设计性实验两部分。基础实验部分主要是单元电路实验,起到学习基本实验技能的作用。综合应用及设计性实验较接近于科研和生产实际,使学生对电工电子技术的应用有一个比较清晰、完整的概念。与基础实验相比,综合应用及设计性实验更能培养学生的创新意识和实际动手能力。本书设计性实验的内容选择比较简单,给出了设计指导,使学生通过实际的电路设计,初步具备综合应用理论知识和实验技术解决实际问题的能力。

在使用本书时,可根据不同专业的要求,选择合适的实验项目,每个实验项目中加“*”者为选做内容。

本书由李雪瑶主编,曹汝康主审。李雪瑶编写第1章、第2章实验一~实验十一、实验十五、实验十六、第3章实验四、实验六及附录二、附录三;张立群编写第2章实验十二、实验十四、第3章实验二;熊兰编写第2章实验十三及第3章实验一;侯世英编写第3章实验五及附录一;李利编写第3章实验三。曹汝康仔细审阅了全稿,指出了书中诸多错误和不妥之处,并提出了宝贵的修改意见,在此深表谢意。同时对所有参考书目的作者也表示诚挚的感谢。

由于作者学识水平有限,实验改革的经验不足,书中难免会有一些错误和不足之处,恳请读者提出批评和改进意见。我们的 E-mail: xueyaoli@163.com。

作 者

2002 年 8 月

目 录

第1章 实验基础	1
1.1 电工电子技术实验须知	1
1.2 电工电子测量的基本概念	4
1.3 常用电气测量仪器仪表简介	9
1.4 实验中的接地问题	13
第2章 基础实验	17
实验一 直流电路	17
实验二 荧光灯电路及功率因数的提高	21
实验三 电子仪器使用	25
实验四 RC 电路研究	33
实验五 交流串联电路	38
实验六 三相负载电路研究	41
实验七 单相整流、滤波、稳压电路	45
实验八 单管电压放大电路	49
实验九 负反馈放大电路	53
实验十 集成运算放大器的线性应用	57
实验十一 集成运算放大器的非线性应用	63
实验十二 集成与非门及其应用	67
实验十三 集成触发器	71
实验十四 555 时基电路及其应用	76
实验十五 单相半控桥式整流电路	79
实验十六 异步电动机能耗制动	83
第3章 综合应用及设计性实验	87
实验一 计数、译码、显示电路	87
实验二 四人抢答器电路	92
实验三 往返运动控制	95
实验四 数字电压表	98
实验五 F1—20P PLC 简易编程器的使用	104

实验六 直流稳压电源设计.....	107
附录.....	115
附录一 CF—1 型 PLC 教学实验装置使用说明书	115
附录二 常用电子元器件资料.....	121
附录三 部分电机、电器资料	135
参考文献.....	143

第1章 实验基础

1.1 电工电子技术实验须知

1.1.1 本实验课的目的与意义

电工、电子技术实验是一门重要的实践性技术基础课程。开设本课程的目的在于使学生理论联系实际,在老师指导下完成教学大纲规定的实验任务。通过实验熟悉电工、电子技术应用中常用的设备和电子元器件,熟悉常用仪器、仪表的使用方法,掌握电工、电子技术实验的基本操作技能,掌握正确记录、处理实验数据、绘制曲线、分析实验结果的方法,从而开发学生分析问题与解决问题的能力,培养学生具有严谨的工作作风,实事求是的科学态度,刻苦钻研、勇于探索和创新的开拓精神以及遵守纪律、团结协作和爱护公物的优良品质,为今后从事专业科研工作和工程技术工作打下良好的基础。

1.1.2 电工、电子技术实验的一般要求

(1) 实验前的准备

实验能否顺利进行并收到预期的效果,预习准备是非常重要的。因此,要求学生在每次实验课前认真阅读实验教材及理论课教材中的相关内容,弄清实验电路的基本原理,明确实验目的、实验内容及实验方法、步骤和该实验的注意事项。对某些实验还应按要求进行必要的计算,回答预习思考题,设计好数据记录表格,准备好坐标纸。对设计性实验应按要求做好实验电路的设计。在完成上述工作的基础上,最后做出预习报告,做好实验前的准备。

(2) 实验课的进行

1) 学生进入实验室后,应举止文明,不准抽烟、喧哗、乱抛杂物和随地吐痰。

2) 注意安全用电,正确选用本次实验所需的电源(是交流还是直流?电压是多少伏?),在接线和拆线时必须断开电源,切忌带电操作,以确保安全。

3) 实验桌上不应放置多余的导线和金属笔杆之类的东西,以免引起电路短路,对必需的实验器材也应合理放置,以便接线、查线、操作和读数。接线必须正确、牢固,线与线之间不要绞结,接线后每人均应检查电路,以熟悉电路,培养检查电路故障的能力,经指导老师检查无误后方可接通电源进行实验。

4) 通电后首先应观察电路工作是否正常,如有发热、冒烟、异味、火花和声响等异常现象,应立即断开电源,维持现状并报告老师,与老师一起查找原因,排除故障后才能继续进行实验。

5) 在两人为一个实验组做实验时,小组成员应有分工,一人操作,一人记录。在做完一部分内容后,记录者与操作者应调换分工,使每个同学都受到实验技能的训练。

6)一般仪表读取三位有效数字。为了减少测量误差,一般应使被测量值在仪表量程的 $1/2$ 以上。对记入表格内的数据应按公式估算一下,如果显著不合理,要重测数据。对要求描绘的曲线先粗略描出,以判断实验数据的正确性。记录数据应经指导老师审阅,若有误应立即重做,无误方可拆线。

7)实验完毕应整理好所用的元件、导线和仪器、设备等,有损坏的元件、设备等应立即向指导老师说明情况,养成严肃认真、有始有终的良好作风。

(3) 实验报告

实验报告是实验工作的全面总结。要用简明的形式将实验结果完整、真实地表达出来。报告要求文理通顺,字迹端正、清楚,图表清晰,结论正确,分析合理,讨论中肯。

实验报告应包括以下内容:

- 1)实验名称,系别、专业、年级班次,实验者及同组人姓名,实验日期。
- 2)实验目的。
- 3)实验电路图。
- 4)实验仪器及型号。

不同型号的仪器有不同的技术参数,所以每次实验报告中都要求列出所使用的实验仪器及型号。其目的在于培养学生逐渐学会选用合适参数的实验仪器的能力,以避免超出仪器技术参数范围的无意义测量。

5)主要实验内容及结果。包括各实验项目名称及根据实验记录整理成的数据表格或绘制的曲线或观察到的各种波形等。

绘制曲线要求用方格坐标纸。曲线的坐标要标明所用的单位,纵坐标、横坐标均应标值。实验数据所对应的坐标点要用“×”、“○”或“△”等符号标出,然后根据坐标点变化趋势画出一条光滑的曲线,不要连成折线。

6)对实验结果进行分析、讨论,说明是否符合相关理论。如不符或有误差,应分析其原因,分析时要实事求是,切忌泛泛而谈。

此外,实验报告中还应包括每个实验具体要求的内容。

1.1.3 实验故障分析与处理

在实验中出现一些故障是可能的,关键是学生在出现故障时能够通过自己的分析、检查找出故障原因,使实验顺利进行下去,从而培养独立分析问题、解决问题的能力。

(1) 故障原因

一般来说,实验中的故障原因有如下几种:

- 1)学生对实验系统或对实验原理不熟悉而造成线路连接错误。
- 2)电解电容的正、负极,二极管的阳极、阴极,三极管的e、b、c极判别有错;集成电路块脚号引线接错。
- 3)开关工作位置不正确。
- 4)电位器没有调在合适的位置。
- 5)电源、实验电路、测试仪器、仪表之间的公共参考点连接错误或开路。
- 6)接触不良或导线损坏造成的断路。
- 7)布局不合理、电路内部产生自激振荡。

8)在数字电路实验中,未注意集成元件的使用条件和它的逻辑功能,例如对电源的要求和对多余输入端的处理等。

9)误操作。

(2)故障的检测

为了避免故障的出现,实验前一定要充分预习。实验过程中应按电路图顺序接线,尽量避免一个接线端子接三根以上的导线。接线完毕后,不要急于通电,应仔细检查,确保无误后才可通电实验。

实验中出现故障时,可先根据电路原理分析故障可能产生的位置,然后采用通电检测或断电检测的方法检查。一般当电路电压较高(220V 以上)或发生短路故障时,应采取断电检测法,即切断电源,用万用表欧姆挡检测电路中某两点间的电阻值,分析其阻值是否符合电路要求;而当电路电压较低时,可采用通电检测法,即在通电情况下用万用表电压挡测电路中某两点间的电压,分析其电压值是否与理论值相近或相等。这是电路故障中常用的两种检测方法。

对于数字电路实验,则应根据逻辑关系,对故障现象进行分析和推理。例如,不管对实验电路输入高、低电平信号,输出端始终处于高电平,则可能是由于集成元件未接地,或者接地线接触不良。又如,在无输入信号时,所有输出端都处于低电平,而一旦有输入信号时,所有输出端信号无规律变化,则大多是电路未接电源的结果。再如,对触发器或 CMOS 电路与非门,如果在加上输入信号后,其输出不按逻辑规律变化,则有可能是多余输入端未按逻辑要求接高电平或接低电平。

总之,在实验过程中遇到故障时,要耐心细致地去分析查找故障点和故障原因,必要时可以请老师帮助指导检查。

1.2 电工电子测量的基本概念

1.2.1 电工电子测量的范围

测量是通过物理方法对客观事物定量表征的过程,也就是用实验方法把被测量与它的标准量进行比较的过程。

电工电子测量的范围包括电流、电压、功率、频率、相位等电量和电阻、电容、电感等电参数的测量,以及经相应变换器把某些非电量如温度、压力、水位、速度等转换为电量后的测量,称非电量电测法。

1.2.2 测量方法分类

为了实现测量目的,正确选择测量方法是很重要的,它直接关系到测量工作能否正常进行和测量结果的有效性。测量的分类方法有很多种,本书只介绍最常见的两种方法。

(1) 按测量方法分类

1) 直接测量

直接测量就是通过测量直接获取被测量大小的测量方法。例如,用电压表直接测量出某一支路电压的大小或用电流表直接测量出某一支路电流的大小等。

2) 间接测量

间接测量是指欲测未知量必须通过几个被测量之间的函数关系而求出。如测出无源二端电阻网络的电压和电流,就可以利用欧姆定律求出其等效内阻 $R = \frac{U}{I}$ 。常在直接测量不方便

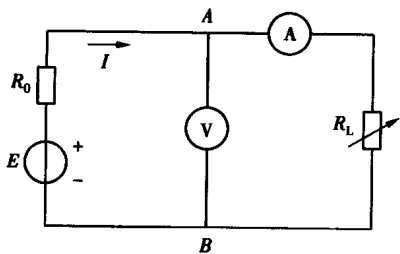


图 1.2.1 伏安法测有源二端网络内阻

或间接测量结果较直接测量结果更为准确等情况下使用此方法。

3) 组合测量

组合测量是兼用直接测量与间接测量的测量方法。在某些测量中,被测量与几个未知量有关,需要通过改变测量条件进行多次测量,然后按照被测量与未知量之间的函数关系,组成联立方程,求出各未知量。例如测量如图 1.2.1 所示的有源二端网络的内阻 R_0 。

由电压定律得 $E = IR_0 + U_{AB}$ 。但其中 E 与 R_0 均为未知量。在此可采用组合测量法,改变二端网络的负载 R_L ,得到不同的电压读数 U_{AB1} 、 U_{AB2} 和电流表读数 I_1 、 I_2 ,代入上式得方程组

$$E = I_1 R_0 + U_{AB1}$$

$$E = I_2 R_0 + U_{AB2}$$

求解得:

$$R_0 = (U_{AB2} - U_{AB1}) / (I_1 - I_2)$$

(2) 按被测量性质分类

1) 时域测量

时域测量主要是测量被测量随时间变化的规律,被测量是时间的函数。如交流电压、电流

等。它们的稳态值和有效值多用仪表直接测量,而它们的瞬时值可以用示波器测量并同时观察其波形,从而获得其随时间变化的规律。

2) 频域测量

频域测量主要是测量被测量的频率特性和相位特性,被测量是频率的函数。如测电路的幅频特性、相频特性等。

3) 数字域测量

主要是对数字逻辑量进行测量。如用逻辑分析仪对数字量或电路的逻辑状态进行测量,它可以同时观察多条数据通道上的逻辑状态,或者显示某条数据线上的时序波形。

4) 随机测量

主要是指对各种噪声、干扰信号等随机量的测量。

5) 测量方法和测量仪器的正确选择

对于同一事物可能有多种不同的测量方法。测量方法与测量设备选择的正确与否,直接关系到测量结果的可信赖程度,也关系到测量工作的经济性和可行性。不当和错误的测量方法,除了得不到正确的测量结果外,甚至会损坏测量仪器和被测设备。有了先进、精密的测量仪器设备,并不一定就能获得准确的测量结果。必须根据不同的测量对象、测量要求和测量条件,选择正确的测量方法、合适的测量仪器,构成合理的测量系统,进行细心的操作,才能得到正确的测量结果。比如,用直流电压灵敏度为 $10\text{k}\Omega/\text{V}$ 的万用表 2.5V 挡去测量如图 1.2.2 所示放大电路中晶体管的发射结电压 U_{BE} ,若采用分别测得 $U_{\text{B}} = -0.88\text{V}$, $U_{\text{E}} = -0.92\text{V}$,然后计算得出 $U_{\text{BE}} = U_{\text{B}} - U_{\text{E}} = 0.04\text{V}$,由此得出放大器处于截止状态,而实际上放大器却工作在放大状态且 $U_{\text{BE}} = -0.32\text{V}$ 。造成这个错误结论的原因是万用表 2.5V 挡的内阻为 $25\text{k}\Omega$,这个电阻并联在基极与地之间,减小了下偏置电阻,因而测出的 U_{B} 值比实际值小得多,而测得的 U_{E} 值由于发射极输出阻抗低,仪器内阻的影响小而接近其实际值。可见,上述误差是由于测试方法不当引起的,应直接测量基极与发射极之间的电压 U_{BE} ,或改用高内阻的电子电压表测量。

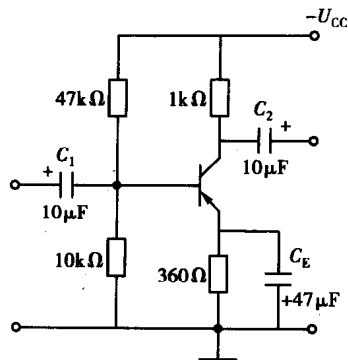


图 1.2.2 单管放大器电路

1.2.3 测量误差

测量结果与被测量真值的差别叫做测量误差。测量误差是实验中重要的问题之一,忽视误差,有时会影响实验的科学性。

(1) 测量误差的表示法

测量误差可用绝对误差和相对误差来表示。

1) 绝对误差 ΔA

测量结果 A_x 与被测量的真值 A_0 之差称为绝对误差。

$$\Delta A = A_x - A_0 \quad (1.1.1)$$

式中 A_x 为测量值, A_0 为被测量真值。真值一般用高一级标准仪表测得的值代替。

在测量不同大小的被测量时,不能简单地用绝对误差来判断其测量的准确度。例如甲表测 100V 电压时,绝对误差 $\Delta A_{\text{甲}} = +1\text{V}$;乙表测 10V 电压时,绝对误差 $\Delta A_{\text{乙}} = +0.5\text{V}$, $\Delta A_{\text{甲}} >$

ΔA_z 。但从仪表误差对测量结果的相对影响来看,甲表就小得多了。甲表误差占被测量的1%,而乙表误差却占被测量的5%。工程上常采用相对误差来衡量结果的准确度。

2) 相对误差 γ

绝对误差与被测量的真值之比的百分数称为相对误差。即

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\% \quad (1.1.2)$$

(2) 测量误差的分类

根据测量误差的性质和特征,可将其分为三类,即系统误差、偶然误差和疏忽误差。

1) 系统误差

这类误差有一定规律或在整个测量过程中保持不变,它主要包括以下几方面的误差:

①基本误差 由于仪表结构和制造中的缺陷而产生的误差,这种误差为仪表所固有。

②附加误差 由于外界因素(如温度、磁场等)的变化以及未按技术要求使用仪表等所造成的误差。

③方法误差 由于测量方法不完善,使用者读数习惯不同或测量方法的理论根据不充分,使用了近似公式等所产生的误差。

2) 偶然误差

偶然误差也称随机误差。这种误差是由于某些偶然因素产生的,其特点是:即使在相同的条件下,同样仔细地测量同一个量,所得结果仍有时大、有时小。但多次测量的结果综合起来看,它是服从统计规律的。因此,可以通过取各次测定值的算术平均值来削弱偶然误差对测量结果的影响。

3) 疏忽误差

疏忽误差是由于测量者的疏忽所产生的。例如:读数错误和记录错误、操作方法错误等。所得数据严重歪曲测量结果,应该剔除重测。

1.2.4 测量数据的处理

测量结果常用数字和图形来表示,若用数字来表示测量结果,在进行数据处理时,除了应注意有效数字的正确取舍外,还应符合数据处理方法,以减小测量中随机误差的影响。要从凌乱的实验数据中得出可靠的实验结果,找出各物理量之间的变化关系及其变化规律,就需要对实验数据进行分析整理、归纳计算等处理,最后可用数据表格清晰地表示出来。若以图形表示测量结果,则应考虑坐标的选择和正确的作图方法,以及对所作图形的评定等。

(1) 近似数和有效数字

仪表测量所得数据往往都是近似数,这些近似数通常都用有效数字的形式来表示。有效数字是指一个数据从左边第一个非零数字开始,直到右边最后一个数字为止的所有数字。例如0.345k Ω ,这个数据是由3、4、5三个有效数字表示的电阻值。左边的一个“0”不是有效数字,因为可以通过单位变换,把上述数据写成345 Ω 。而其中末位数5,通常是在测量该数据时估计出来的,将其称为欠准确数字或可疑数字。其他各位有效数字称为准确数字。准确数字和欠准确数字是测量结果中不可少的有效数字。在记录测量数据时,只允许保留一位欠准确数字。

(2) 有效数字的正确表示法

1) 记录有效数字时,只允许保留一位欠准确数字。即被测量可能在最后一位数字上变化

± 1 个单位。

2) “0”在数字中可能是有效数字,也可能不是有效数字。

例如 0.150kV 这个数据,它前面的“0”不是有效数字,它的有效数字是三位。它可以写成 150V,有效数字仍是三位。可见前面的“0”仅与所用单位有关。末位的“0”不能随意增减,它是由测量设备的准确度来确定的。例如上面这个数据,末位的“0”就是有效数字,它是一位欠准确数,而前面的“1”、“5”是两位准确数。如写成 0.15kV,则表明最后一位“5”为欠准确数,只有“1”这一位是准确数了。

3) 大数值与小数值要用幂的乘积形式来表示,如测得 15 000V 这个数据,有效数字为三位,则应记为 $1.50 \times 10^4 \text{V}$ 或 $150 \times 10^2 \text{V}$ 。

4) 计算中,常数(如 $\pi, e, \sqrt{2}, \frac{1}{3}$ 等)的有效数字的位数未加限制,可随计数时所取测量数据的有效数字的位数而定。

(3) 有效数字的修约规则

有效数字的位数确定后,多余的位数一律舍去,其修约规则为:

1) 被舍去的数大于 5,则舍 5 进 1,即末位数加 1。例如 0.146 修约到两位有效数字时,其结果为 0.15。

2) 被舍去的数小于 5,则只舍不进,末位数不变。例如 0.144 修约到两位有效数字时,其结果为 0.14。

3) 被舍去的数等于 5,若前位为奇数时,舍去多余位数,末位进 1;若前位为偶数,则只舍不进。例如 0.145 和 0.235 两个数,修约到两位有效数字时,应为 0.14 和 0.24。

(4) 有效数字的运算法则

1) 加、减运算

首先对参与运算的各项数据进行处理,将各数舍入到比小数点后位数最少的那个数多保留一位小数,然后进行运算。最后对结果进行舍入,使其与原来各项数据中小数点后位数最少的那个数的位数相同。

2) 乘、除法运算

同样先对各项数据进行舍入,使它们的有效位数均比有效位数最少的因子多一位数,然后进行运算,最后对结果进行舍入,使其有效位数与有效位数最少的那个因子相同。若有效数字最少的那个因子的第一位数为“8”或“9”,则计算结果的有效位数应多取一位。

3) 乘方及开方运算

运算结果比原数多保留一位有效数字,例如 $\sqrt{4.8} = 2.19$ 。

4) 对数运算

应使取对数前后的有效数字位数相等。例如:

$$\ln 207 = 5.33, \lg 7.654 = 0.8839$$

(5) 数据的列表表示法

将所得数据列成表格,简单明了地表示出相关物理量之间的关系。这种方式便于实验者随时检查结果是否合理,以便及时发现问题,减少和避免错误。在分析表中数据时,还可以发现相关物理量的变化规律,进而得出实验结论。列表的要求是:

1) 简单明了,便于分析相关物理量之间的关系。

2) 在标题栏中,要标明各物理量的单位。在记录各个数值时,不再重复写上单位。

3) 合理选择测量点。在使用图示法时要注意自变量取值的两个端点,因变量变化的最大值和最小值点都必须测出,在曲线变化剧烈的部分要多取几个测试点,在曲线变化较平坦部分可少取几个测试点。

4) 表中所列数据要正确反映测量结果的有效数字。

5) 除原始测量数据外,计算过程中的一些中间结果和最后结果也可以列入表中。

(6) 数据的图解表示

将实验数据按其对应关系用“○”、“×”或“△”等符号记录在坐标纸(应使坐标纸的最小格,对应于有效数字最后一位可靠数位)上,并绘出一条光滑的曲线(或直线),使其尽可能真实地反映实验结果。图示法能直观地表现出一系列实验数据的关系或变化情况,跟列表法一样,使用非常广泛。

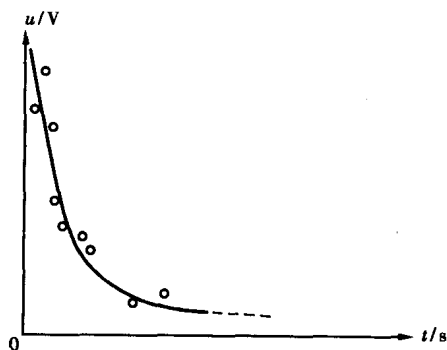


图 1.2.3 曲线画法

应按其趋势用虚线表示,如图 1.2.3 所示。

曲线应画在坐标纸上。比例要适当,坐标轴上应注明物理量的符号和单位、起始值,并标明比例和曲线的名称。

在实际测量过程中,由于存在各种误差,测量数据将出现离散现象,若将各测量值直接依次连接起来,得到的是一条波动的折线。要想得到一条光滑的、最接近实际情况的曲线,必须运用误差理论把各种随机因素引起的曲线波动抹平。在要求不高的场合,可以用直尺或曲线板,根据不同情况,把“点”连成直线或光滑的曲线。曲线(或直线)并不一定通过所有的点,而是使曲线两侧的数据点较均匀地分布,个别偏离过大的点应当舍去或重新测量。如曲线需延伸到测量范围之外,则

1.3 常用电气测量仪器仪表简介

电气测量仪表按测量方法可分为直读式仪表和比较式仪表。直读式仪表能直接指示被测量的大小,又可分为模拟式仪表和数字式仪表。模拟式仪表用指针在刻度盘上指示出被测量的数值,该数值可随被测量的变化而连续变化。数字式仪表是将被测模拟量转换为数字量后,用离散的数字来显示被测量的大小,这样可以消除人为的读数误差。比较式仪表(例如直流电桥、交流电桥、直流电位差计)是将被测量和已知的标准量进行比较,从而确定被测量的大小。如今在实验室测量中,模拟式仪表已逐渐少用,而越来越多地采用数字式仪表和电子测量仪器,故此处只介绍数字万用表和常用电子测量仪器。

1.3.1 数字万用表的组成及原理

特点:采用数字化测量技术,把被测量转换成电压信号,并以数字形式(不连续、离散的形式)加以显示。它以断续方式进行测量,通常显示结果只反映出本次采样周期内被测量的大小,在数值上是一系列离散值。

优点:有很高的灵敏度和准确度(与模拟式指针表相比),显示清晰、直观(直接读数、不再因量程不同而对测量值进行折算)、性能稳定、过载能力强、便携,测小电阻值时尤可见其优点。

数字万用表的原理框图如图 1.3.1 所示。

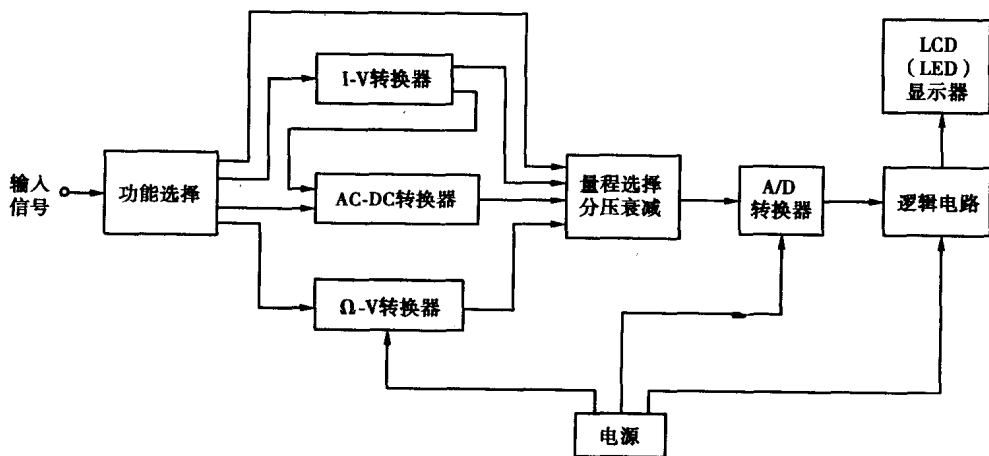


图 1.3.1 数字万用表原理方框图

数字万用表是在直流数字电压表的基础上扩展而成的。在直流电压表的基础上,测电流时,先经过 I-V 转换器(分流电阻)将电流转换为电压(交流电流还要经 AC-DC 转换成直流电压)。测电阻时,经串联 Ω -V 转换器(基准电阻 R_0 和被测电阻 R_x)后,由内部电池提供的电流通过其中产生电压 U_{R0} 和 U_{Rx} 。

通过以上几种电路得到的直流电压,还要经过量程选择环节(即电阻分压器),将其转变为 0~200mV 的直流电压,再送入 A/D 转换器,将模拟量变为数字量,再经过逻辑电路的处理,经译码后,在屏上显示出十进制表示的被测量数值。

常见数字万用表多为3位半或4位半,所谓3位半,即后3位可显示0~9,第1位只能显示0或1,故满码为1999,4位半与此类似,只是满码为19999。显示器均为七段LCD或LED显示器。

1.3.2 双踪示波器的组成及原理

双踪示波器的原理框图如图1.3.2所示。

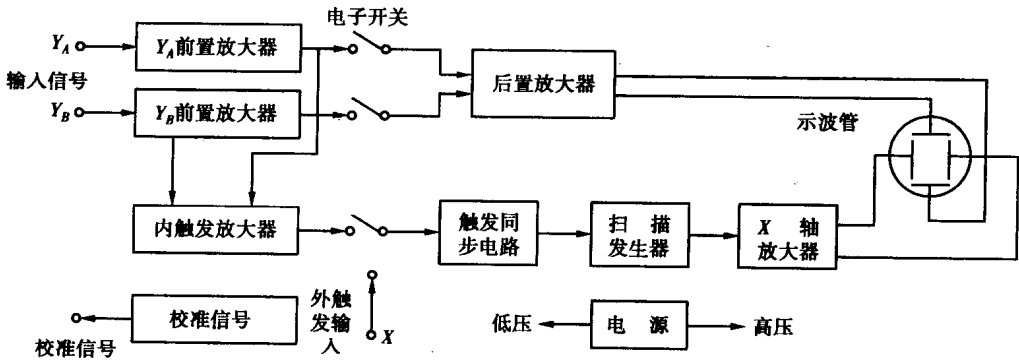


图 1.3.2 双踪示波器原理框图

(1) Y轴系统和X轴系统

Y轴系统有两个独立的前置放大器,其工作状态由电子开关控制。输入信号经衰减器(未画出)输入前置放大器,其输出端与示波管Y(垂直)偏转板连接。 Y_A 、 Y_B 前置放大器将被测信号的一部分送至内触发放大器,经放大后,作为“ Y_A ”或“ Y_B ”触发形式的触发信号源。外触发信号由外触发插座送入。触发信号送至触发同步电路,经整形、微分后,取其负向脉冲信号触发起扫描发生器,以产生锯齿波。锯齿波信号经X轴放大器放大后,送至示波器X(水平)偏转板。

(2) 示波管

示波管是示波器的核心部件,由电子枪、偏转系统和荧光屏三部分组成,其结构如图1.3.3所示。电子枪包括:灯丝、阴极、栅极、聚焦、阳极和加速阳极等。当接通电源后,灯丝加热阴极,使阴极发射出一束电子束,电子束通过第一阳极与第二阳极时,受到静电场的聚焦作用,就会在荧光屏上显示出可见光点。改变栅极电压,可调节光点亮度。加速阳极是为避免调聚焦(改变 A_1 电位)时,改变电子束密度从而影响亮度变化。

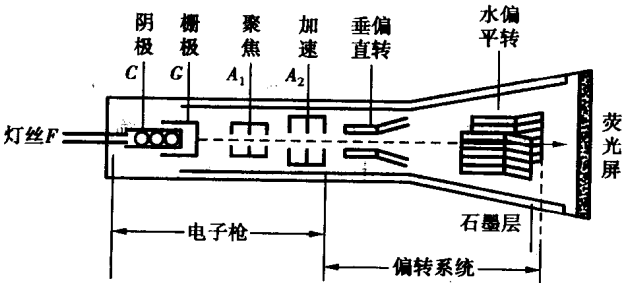


图 1.3.3 示波管结构图

(3) 偏转系统

由一对水平(X)偏转板和一对垂直(Y)偏转板组成。当电子束穿过偏转系统时,将同时受到 X 、 Y 偏转板电场的作用,按照加于偏转板上的电压信号做出相应的偏转,就能在荧光屏上绘出被测信号的波形。

在正常情况下,荧光屏上光点的相对移位是和输入到示波器 X 偏转板或 Y 偏转板上的电压成正比的。例如,若单独将一正弦信号电压 $u_y = U_m \sin \omega t$ 送至 Y 偏转板,则在荧光屏上出现一根垂直线,若单独在 X 偏转板上加锯齿波电压 u_x ,则屏上出现一条水平线。若同时将 u_y 加在 Y 轴偏转板上,锯齿波 u_x 加在水平偏转板上,并使 u_x 与 u_y 频率相等,那么在荧光屏上就出现一个展开的正弦波,如图1.3.4所示。

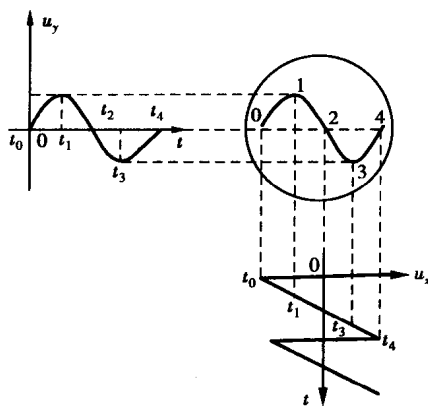


图 1.3.4 波形形成原理

1.3.3 双路晶体管毫伏表组成及原理

晶体管毫伏表的原理框图如图1.3.5所示。

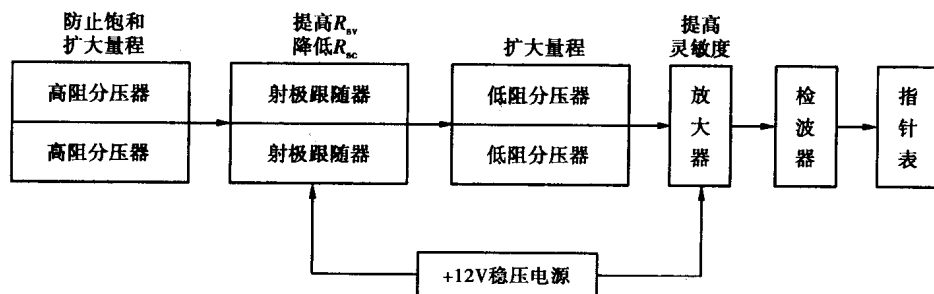


图 1.3.5 晶体管毫伏表框图

1) 晶体管毫伏表内部有三级放大器,故具有较高的灵敏度,可以测量毫伏级的电压。因为它采用射极跟随器作输入级,故输入阻抗很大,对被测电路影响很小。另外它的频率范围宽(从几十赫兹到几十兆赫兹),所以它的性能大大优于万用表,在电压测量中获得了广泛应用。

2) 输入信号采用二级分压(高阻分压、低阻分压),将0.3V以下信号采用低阻分压器衰减,对于大于0.3V的信号,先经高阻分压器进行衰减后,进入射极跟随器,再经低阻分压器分压。

3) 所用指示电表是磁电式电流表,不能测交流,故加检波器,使交流变成直流。电表指示值为正弦波电压有效值。当波形失真或为非正弦波时,测量值无意义。

测量各种典型波形时,指针读数与其峰值的关系见表1.3.1。

表 1.3.1

波形	峰-峰值	整流平均值	指针读数
正弦波	$2\sqrt{2}$	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi}$	1
三角波	$2\sqrt{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\pi}{4}$
方波	$2\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	$\frac{\pi}{2}$