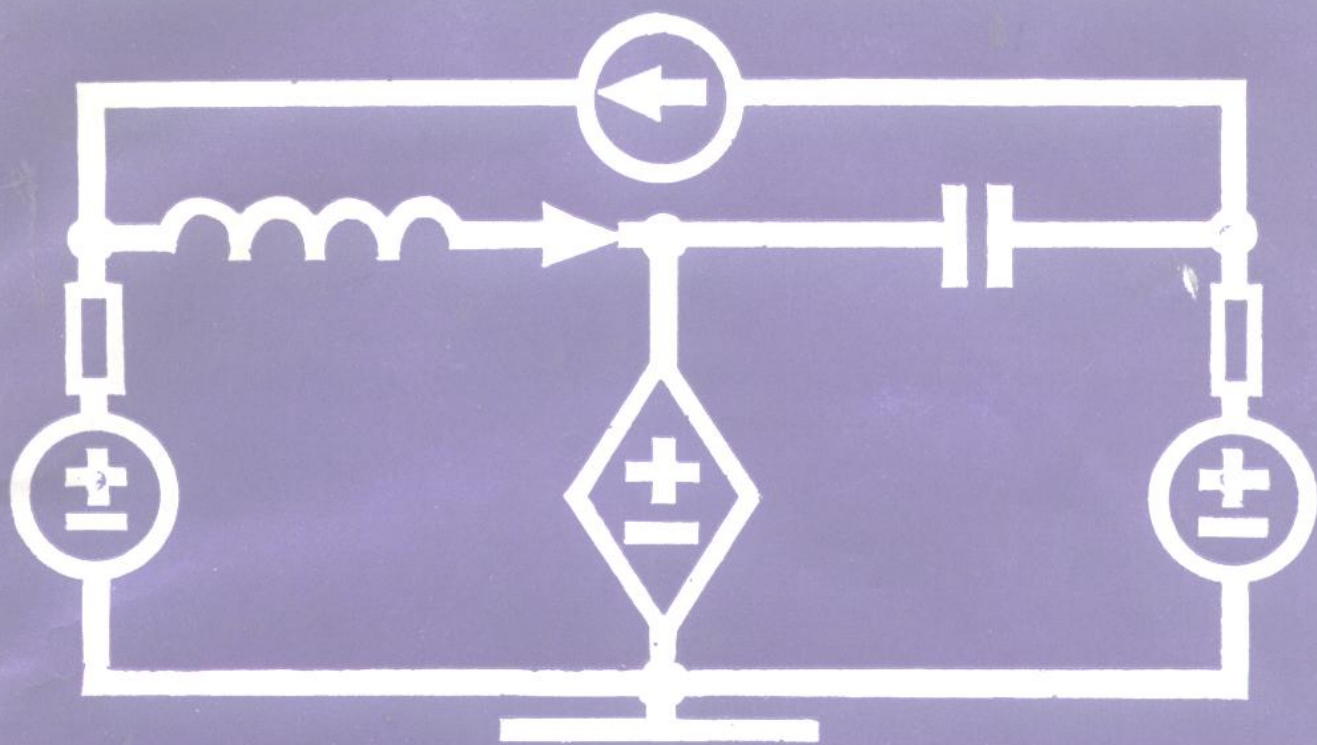




电路、信号与系统实验及应用

王继森 全寿春 饶舜卿 罗天龄 编著

112057

25

科学技术文献出版社

73-42057
125

电路、信号与系统 实验及应用

王继森 全寿春 编著
饶舜卿 罗天龄

科学技术文献出版社

(京)新登字130号

电路、信号与系统实验及应用

王继森 全寿春 饶舜卿 罗天龄 编著

科学技术文献出版社出版

(北京复兴路15号 邮政编码100038)

中国科学技术情报研究所重庆分所印刷厂印刷

新华书店重庆发行所发行 各地新华书店经售

*

787×1092毫米 16开本 9.875印张 242千字

1993年10月第2版 1993年10月第2次印刷

印数: 7501—15500册

科技新书目: 293—106

ISBN 7-5023-0458-4/TN·12

定 价: 6.90元

DVU20/3010

内 容 提 要

本书系根据国家教委工科电工课程教学指导委员会1986年5月在厦门审定的高等工业学校四年制电类专业《电路分析基础》和《信号与系统》两门课程的教学基本要求中对实验技能的要求编写的，并有一定的拓宽。全书分为两大部分，第一部分为基本实验，共18个，与理论联系紧密；第二部分为设计安装调试实验，共10个，侧重应用。

本书可供全日制电子类各专业本科和专科学生使用，也可供其它全日制电类和非电类专业以及职大、函大的《电工基础》、《电工学》的实验课选作教材，还可供有关技术人员参考。

学生实验守则

1. 实验前应认真阅读教材，做好必要的准备工作（如必要的理论数据计算、拟好测试数据记录表格、测试方法和注意事项等）。
2. 实验线路接完后应仔细检查，经教师复查后方可接通电源。改接线路须先切断电源。
3. 仔细观察实验现象，记录数据要真实。实验完毕须经教师审核测试数据后方可拆线，并整理好器材、工具和连接线，报告老师后才能离开实验室。
4. 爱护实验器材和设备，使用谨慎，对不听从教师指导和违反操作规程而损坏者要追究原因，并按规定赔偿。
5. 注意安全用电，遇到异常现象或事故应立即切断电源，保持现场，并报告老师处理。
6. 保持实验室内安静和整洁。

前 言

本书第一版于1989年由重庆邮电学院、重庆大学、重庆通信学院，在各自的《电路、信号与系统实验》教材的基础上，参照国家教委电工课程教学指导委员会制定的《电路分析基础》和《信号与系统》课程的教学基本要求中对实验技能的要求编写的。该书出版后，承蒙广大读者青睐，所印书籍已经售完。在读者和主要用书部门的要求下，由重庆邮电学院与重庆大学编者对第一版作了较大的改进，将作为第二版与读者见面。

本书第一版是作为电子类专业基础课实验系列教材出版的，使用中发现与第一分册不配套。第二版是自身独立编写，加强了仪表的工作原理和使用方法以及一些基本的测试方法等内容，以够用为度。删去了第一版的第三部分，主要原因是考虑到高校计算机电路辅助分析已单独设课，原有内容不够应用，而且BASIC语言使用较少。本书共分两大部分。第一部分为基本实验，共18个，既包含验证理论方面的实验，也包含学习测量方法方面的实验，与理论课联系甚密，旨在培养学生的基本实验技能。通过这一部分内容的训练，可基本达到大纲对实验技能的要求。第二部分为设计安装调测实验，共10个。选取满足一定功能的电路，并进行计算、安装、调测，旨在培养学生的设计能力和操作能力。其中有些实验还具有趣味性，可以促进学生对实验的兴趣。这部分内容拓宽了大纲的要求。

本书在编写中，参考了国内一些高校的有关实验内容，对第一版书中保留的实验作了审查和增删；对部分实验作了改编，增加了一、二部分实验个数，并亲自作了实验。本书的特色是：取材广泛，内容丰富、新颖，更具有由浅入深、循序渐进、连续性好、实用价值高。

目前，不少高校对电路、信号与系统实验单独设课，占有一定学时的讲课，其讲课内容可由本书的实验原理及说明以及实验内容及步骤中选取，也可以自编讲课教材。鉴于电路、信号与系统实验是在物理实验之后电子电路实验之前开设的，编写中注意了实验技能的要求上避免与物理实验重复，同时考虑到本实验课起承上启下的作用，部分实验已用到晶体管、运算放大器以及用它们装成的实验板，除对其外特性作介绍外，还把它作为一个理想化模型或一个有源网络处理，不影响对实验电路工作原理的理解。

本书编写过程中，既考虑了高校电子类各专业的使用，也考虑了非电类相关专业的需要，同时还考虑了照顾职大、函大相关专业选用。各用书部门，可根据自己的实验条件和学时安排，既可选取本书的部分实验，也可选取各个实验中的部分内容。

本书经过集体讨论，分工执笔。重庆邮电学院王继森副教授任主编，并编写实验 I-14、16，实验 II-4；饶舜卿副教授编写实验 I-4、5、10、17、18，实验 II-1；罗天龄副教授编写实验 I-1、6、9、11、12，实验 II-2、5、10；重庆大学全寿春副教授编写实验 I-2、3、7、8、13、15，实验 II-3、6、7、8、9。各编者在编写本书前，广泛地收集了各院校实验课教师对本书第一版的使用意见和对编写第二版的建议，这些意见和建议，无疑对编写好第二版书稿极为有益，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中定有错误和不妥之处，敬请读者赐教。

编 者

1993年3月于重庆邮电学院

目 录

第一部分 基本实验	(1)
概述.....	(1)
实验 I-1 认识实验.....	(2)
实验 I-2 万用表的使用.....	(12)
实验 I-3 伏安特性的测量.....	(22)
实验 I-4 运算放大器外特性.....	(26)
实验 I-5 受控源特性研究.....	(30)
实验 I-6 线性网络几个定理的验证.....	(32)
实验 I-7 常用电子仪器的使用.....	(86)
实验 I-8 动态网络过渡过程的研究.....	(48)
实验 I-9 元件参数的测量.....	(55)
实验 I-10 LC元件基本特性的研究.....	(66)
实验 I-11 电源变压器的研究.....	(70)
实验 I-12 RC网络频率特性的测量.....	(75)
实验 I-13 谐振电路的研究.....	(80)
实验 I-14 信号频谱的测量.....	(90)
实验 I-15 信号通过线性系统.....	(94)
实验 I-16 离散信号频谱的测量和抽样定理的验证.....	(98)
实验 I-17 连续时间系统的模拟.....	(102)
实验 I-18 RC数字模拟系统的研究.....	(105)
第二部分 设计安装调测实验	(109)
概述.....	(109)
实验 II-1 特勒根 (Tellegen) 定理及其应用.....	(110)
实验 II-2 波形变换器的设计与测试.....	(114)
实验 II-3 移相器的设计与测试.....	(116)
实验 II-4 阻抗变换器的应用与测试.....	(122)
实验 II-5 日光灯电路的安装、测试及功率因数的提高.....	(127)
实验 II-6 补偿分压器的设计与测试.....	(131)
实验 II-7 直流稳压电源的安装与测试.....	(132)
实验 II-8 数模转换解码网络的研究.....	(135)
实验 II-9 双T型选频网络的研究.....	(139)
实验 II-10 万用表的设计、组装和校准.....	(142)

第一部分 基本实验

概 述

这一部分总称为基本实验，因为它所包含的内容与理论联系密切。通过这一部分的实验，应使学生在实验技能上达到如下要求：

1. 掌握直流稳压电源、万用表、(高、低频)正弦信号发生器、脉冲信号发生器、(单、双踪)普通示波器、毫伏表、阻抗电桥、Q表等仪表的使用方法，了解其基本工作原理；熟悉函数发生器(多波形信号发生器)、选频表的使用方法；了解扫频仪、频谱仪的使用方法。

2. 能识别并能正确使用各种电阻器、电位器、电容器、电感器，掌握测试这些元件的参数值、损耗因数、品质因数的方法。

3. 掌握测试电信号的波形(时域特性)和频谱(频域特性)、元件的伏安特性、网络的频率特性的方法。

4. 掌握测定两正弦信号的相位差、等效电源、变压器的同名端和互感、分布电容的方法。

5. 掌握仪表在测试电路中的正确连接及对被测电路的影响，并能考虑测试方法对测试结果的影响。

6. 了解系统模拟的方法。

7. 能找出测量数据产生误差的原因，熟悉减小测量误差的一般方法。

8. 掌握绘制实验曲线的技能。

9. 能用实验结果说明实验要解决的问题。

这一部分共有实验18个，大致可分为四种类型：

1. 认识实验，如实验 I-1。通过参观和操作，了解实验室供电系统，认识电路元件。

2. 学习测量方法的实验，如实验 I-2~16。其中专门安排了仪表的使用实验，如实验 I-2、3、7、9、14，以掌握万用表、各种信号发生器、示波器、毫伏表、万能电桥、Q表、选频表的使用方法。

对电阻或等效电阻的测量方法就介绍了五种：(1)万用表直接测量法；(2)伏安法；(3)电桥法；(4)开路电压短路电流法；(5)开路电压有载电压法，后两种适用有源网络。对电感器、互感器和电容器参数的测量介绍了两种方法：(1)电桥法，适用低频；(2)Q表法，适用高频。

对电信号(电流或电压)的测量，既可用示波器观察，也可用万用表、毫伏表测量。其中示波器测量最为全面，不仅能测直流信号的幅值和波形，还能测量周期信号的幅值、周期

(或频率)、脉宽、瞬时值和脉冲升、降时间。万用表常用以测量直流值和正弦信号(一般2000Hz以下)的有效值。毫伏表一般用以测量正弦信号的有效值。对两信号相位差的测量介绍了两种方法:(1)双迹法,在双踪示波器上观察;(2)李沙育图形法,单、双踪示波器皆可观察。

对网络频率特性的测量主要介绍了逐点法,对实际工作中常用扫频仪直接观察法也作了介绍。

信号频谱的测量中,主要介绍了振幅频谱的测量方法,它既可利用选频表逐一频率进行测试,也可用频谱仪直接观察信号的振幅频谱。至于相位频谱的测量,需要利用选频网络将各次谐波选出,测量各谐波相位而得,留待后续课中去学习。

在诸测量方法中,应十分注意测量仪表对被测电路的影响,它是造成测量值与理论计算值不一致的主要原因之一。实验中,正确选用仪表可以把误差降低到需要的范围内。为了使测量结果比较精确,应当了解所用仪表的技术指标,例如仪表的精度等级、内阻等。一般毫伏表、示波器具有较高的输入阻抗,并联使用对被测电路影响较小,万用表中的电流表内阻较小,串联使用对被测电路影响小。若用示波器观测电路电流,常在电路中串联一只小电阻,观测其电压即为该电路电流。电子仪表的机壳常与地相连,使用时应注意公共接地问题,否则会因干扰而引起较大测量误差。

3. 验证实验,如实验 I-4、5、6、8、10、13、15、16。通过实验,不仅加深了对课堂所学理论的理解,而且使学生明白理论是前人实践的结晶、理论必须经得起实践检验这一辩证唯物主义真理,还可以培养学生的求实作风。

4. 模拟实验,如实验 I-17、18。模拟是一种非常有用的实验手段,因为一种实际系统的制作和调试往往是十分费时的,有时甚至难于实现,而采用模拟手段既省时又方便。

模拟就是数学上的等效,即用一些基本运算单元经过适当连接,以模拟实际系统的方程和传输函数。模拟系统便于实现和调整,它可直接在模拟计算机上进行。通过计算机对系统的模拟、调试,可获得系统的最佳设计方案。

用加法器、标量乘法器、积分器等基本运算单元,可实现对连续系统的模拟;用加法器、标量乘法器、延时器等基本运算单元,可对离散系统进行模拟。通过实验,可了解连续系统的模拟方法;了解系统数字模拟的基本方法,建立数字滤波器的基本概念,并能了解离散系统的模拟方法;对连续系统和离散系统的比较,了解其根本区别。

通过这一部分实验之后,可以基本达到教学大纲对实验技能的要求。

实验 I-1 认识实验

一、实验目的

1. 了解实验室供电系统及供电设备;
2. 学会识别各种电路元件;
3. 掌握连接电路的基本方法;
4. 掌握实验数据的处理方法。

二、原理及说明

1. 实验室供电系统

(1) 三相四线制供电系统

实验室通常采用50Hz、220V的正弦交流电，是由电力网提供的，称之为市电。电力网的低压输电线通常采用三相四线制，图 I-1-1 为三相发电机提供的三相四线制供电系统示意图，图中A、B、C 为火线，O 为零线或称中线，三相发电机中点是接地的，各用户的中央变电所自己接地获得中线。

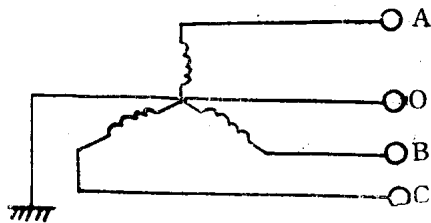


图 I-1-1 三相四线制供电系统

三相电源的线电压（即任何两根火线之间的电压）是380V，相电压（即任一火线与中线之间的电压）是220V。许多用电设备的额定电压是220V，因此只需三相电路中的一相就可。

特别要注意的是，若用电设备的额定电压是110V，不小心接在220V的市电上，则设备立即烧毁。很多设备是110V和220V两用的，在使用时应注意设备的使用条件。

(2) 实验室供电系统图

由学校的中心变电所将三相电源送至实验室的配电盘，然后经过保险丝、交流稳压器到每个实验桌的配电板上，最后引入电源盒，如图 I-1-2 所示。电源盒一般固定在实验桌的侧面(或后面)，也有的放在桌子上，各实验室根据自己具体情况有所不同。

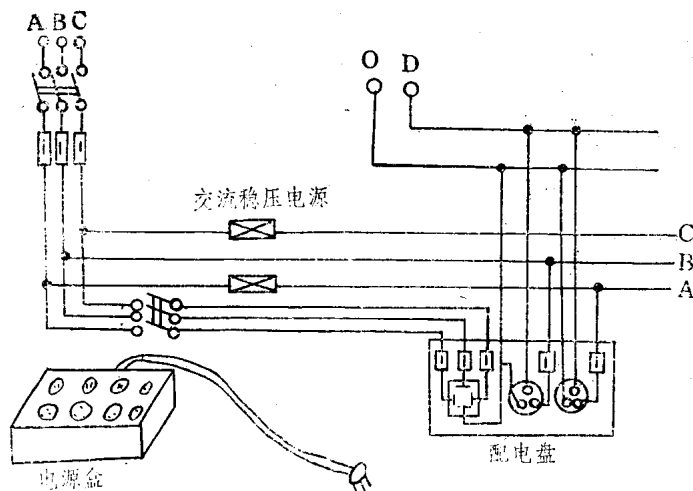


图 I-1-2 实验室供电系统图

在实验室中为了保证安全，防止因仪表外壳带电造成人身事故，还另加一条地线，即图 I-1-2 中的D线，称为安全地线(或保护地线)。因此，通常接到室内的电源线共有五根：三根火线、一根零线、一根地线。

通常电源插座均用三孔的，其中大孔总是接地线，二个孔中一个接火线，一个接地线，一般右孔接火线。

(3) 实验室供电设备

交流稳压器：

由于市电电压经常会有波动，低时180V，高时可达240V。为了保证各种用电设备能在额定电压(220V)条件下工作，实验室的市电接入端常需安装交流稳压器，使电压稳定在220V左右。

调压器:

当实验需要高于或低于220V交流电源时,可接入一个输出电压可调的电源变压器,也叫电源调压器,如图 I-1-3所示。调压器输入是220V市电,输出0~250V可调。

直流稳压电源:

实验室需要的直流电源,除干电池、蓄电池外,主要是直流稳压电源,如图 I-1-4所示。稳压电源所用的电源是220V市电,输出是0~30V可调直流电压。有的稳压电源,还可同时输出两路可调直流电压,图 I-1-4所示的JW-2型直流稳压电源就是有两路输出。

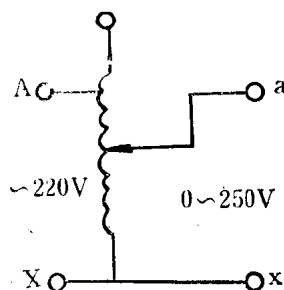


图 I-1-3 原理图

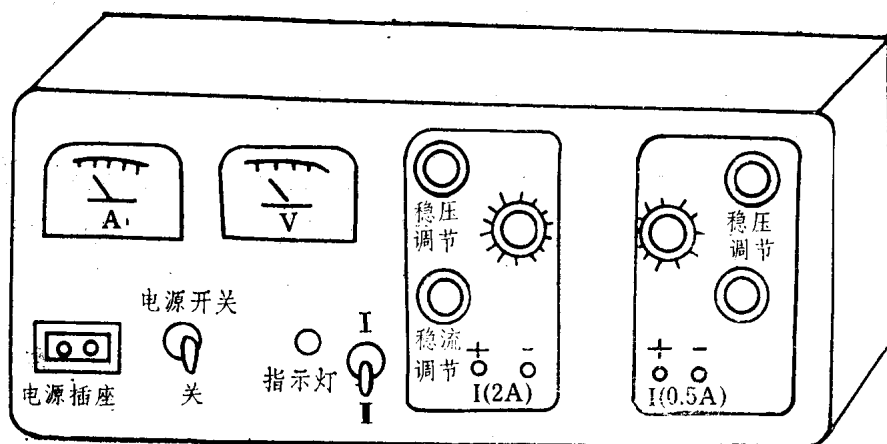


图 I-1-4 JW-2型晶体管直流稳压电源

(4) 保险丝和验电笔

保险丝:

在供电系统中,为了保证安全供电,必须在引入开关板上安装保险丝。保险丝是一种易熔断的合金丝(铅锡合金),当电气设备过载或发生短路时,电流剧增,超过保险丝额定电流值而使其熔断,从而切断电源。一般电子仪表内也都装有保险丝,以保护仪表的安全。

验电笔:

判断火线或地线的方法一般用验电笔(又叫试电笔)。验电笔的内部结构及原理、使用方法见附录 I-1-1。

(5) 人身安全、设备安全和接地保护

当人体接触100V以上的直流或交流电时,都有触电的危险,因此在实验室要时刻注意自身和他人安全,不要带电连线和改接电路,不要让手触及任何带电部分,并注意人体和地绝缘良好。当发现仪器外壳麻手时,应立即报告教师,排除故障后方可使用。实验完毕应先断电源再拆线,严禁将导线的一端接在电源上,而另一端随便放在桌子上。如发现有人触电,切勿立即去接触触电者,应迅速切断电源进行急救。

对任何仪器、设备,在不了解其性能及使用方法前,不要随便扳动面板上的旋钮,接通电源时应注意观看面板上各仪表的指示,当发现不正常现象或嗅到异常气味时,应立即断电检查,待找出故障、恢复正常后再继续使用;各种元、器件,仪器设备等,在使用时注意不要超过其额定电压或额定电流值,以免损坏;搬动仪器设备要轻拿轻放。

接地的概念有两种情况，一种是电路图中经常看到的接地符号“⊥”，标这个符号处是表示各点电位的公共参考点(零电位点)，并非真正与地相连接，具体接线时，这些接地符号“⊥”的点应接在一起，电路才能正常工作，否则将出现异常现象，不是测试值误差很大，就是不能测试或不能观察正常波形。

另一种接地的含意是真正与大地相连(通过地线实现)，一般用符号“≡”表示。通常仪器、设备的金属外壳都应接地，这样做既可以起到电磁屏蔽作用，又可起到安全保护作用。

2. 电路元件

任何一个电路都是由电路元件组成的，要作好电路实验，必须对电路中的实际元件(电阻器、电容器、电感器)的分类、标称值、准确度及额定值等有一较全面的认识。有关内容请看附录 I-1-2。

3. 实验基本技能简介

(1) 操作基本技能

仪器、设备、元件应布置适当，安排合理，做到调节、读数便利，改接线路方便，操作安全。应合理选择电表量程，一般指针偏转到2/3满量程左右时较为合适。

(2) 接线基本功

接线时应养成头脑清醒、仔细认真、按步接线的好习惯。先联电路的主回路，后接并联支路；由欲接电源一端开始，参照线路图顺序接线，最后回到欲接电源的另一端。只有确认电路联接正确后，才能考虑接电源。

(3) 实验数据的选取和测试点的决定

实验的原始数据是第一手材料，是实验报告的依据，因此记录的数据要清晰，物理量的单位要标在表格中，读数时一般统一读取三位有效数字位数，例如某一电压读数为1.42V，其中最后一位为估计数字。

绘一条测试曲线，一般应取足够个数据测试点，测试点的间隔应恰当，在曲率较大部分，取读数点间隔应密一些。绘图时对实验数据还应做一些处理，处理方法请看附录 I-1-3。

(4) 实验故障及其一般排除方法

在实验过程中，由于种种原因，可能出现各种各样的故障。要做到较快的排除故障，既需要有较好的理论基础和较熟练的实验技能，又需要有较多的实际经验。排除故障的能力必须通过大量的实践逐渐培养，附录 I-1-4仅就电路实验中可能遇到的一些故障现象、产生原因及排除方法作一简要介绍，作为排除故障的入门。

4. 测量误差

测量中误差的产生是绝对的，不可避免的，但是，在可能的条件下，应根据误差的性质和原因采取措施使误差降低到最小。通常将误差分成系统误差、随机误差和过失误差(也称粗大误差)三大类进行研究。

(1) 系统误差

在相同条件下多次测量同一物理量时，误差的绝对值和符号保持恒定，或在条件改变时按某种确定规律而变化的误差，称为系统误差。这种误差主要是仪器设备结构的缺点、使用不当及测量方法不严密等引起的。对这种误差如果不能用简单的方法加以消除时，则可用特殊方法来加以抵消。

(2) 随机误差

在相同条件下多次测量同一物理量时，误差的绝对值和符号均发生变化，既没有确定的变化规律，也不可预定的误差称为随机误差。这种误差主要是由那些对测量值影响微小，又互不相关的多种因素造成的。例如，热骚动、噪声干扰、电磁场的微变、空气扰动、大地微振、测量人员感觉器官的各种无规律的微小变化等。由于这些影响，尽管从宏观上看测量条件没有变，比如仪器准确度相同，周围环境相同，测量人员同样的细心工作等等，但只要测量仪表灵敏度足够高，就会发现测量结果有上下起伏的变化，这种变化就是随机误差造成的。随机误差一般服从正态分布的统计规律，因此可采用重复多次测量取平均值的办法来减小它对测量值的影响。

(3) 过失误差

在一定测量条件下测量值显著偏离其真值（实际值）所对应的误差，称过失误差。这种误差主要是由于测量者的粗枝大叶、读数错误、记录错误及仪器故障、测量方法不合理、操作方法不正确、计算错误等原因造成的。就数值大小而言，过失误差明显超过正常条件下的系统误差和随机误差。只要测量人员认真仔细，思想高度集中，严格要求，就可以避免这种误差。对于显然包括有过失误差的测量值称为坏值，测量数据中的坏值应剔除不用。

(4) 误差的表示方法

用仪表进行测量时，指示的数值 A_x 与被测量的实际值 A_0 不可避免地存在一定差异，这种差异用以下方法表示。

$$\text{①绝对误差} \quad \Delta = A_x - A_0 \quad (\text{I-1-1})$$

$$\text{②相对误差} \quad \gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (\text{I-1-2})$$

γ ——又叫真值相对误差。

③引用误差（满度相对误差）

仪表准确度等级是用仪表整个量程内产生的最大绝对误差 Δ_{max} 与仪表量程 A_m 之比的百分数表示，即

$$\gamma_n = \frac{\Delta_{max}}{A_m} \times 100\% \quad (\text{I-1-3})$$

(I-1-3) 式中 γ_n 称引用误差，又叫满度相对误差。我国的仪表按计量标准分为0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0共七个等级。若引用误差 $\gamma_n \leq \pm 0.5\%$ ，即此仪表等级为0.5级。

测量时，仪表任一量程可能产生的最大绝对误差由仪表的准确度估算。例如使用量程为100mA、精度0.5级的电流表去测量电流时，在测量中可能产生的最大绝对误差为：

$$\Delta_{max} = \pm 0.5\% \times 100\text{mA} = \pm 0.5\text{mA}$$

即在测量中可能出现的最坏情况是电表的读数偏离实际值 $\pm 0.5\text{mA}$ 。

由上面各式可以得出最大相对误差 γ_{max} 为：

$$\gamma_{max} = \frac{\Delta_{max}}{A_0} \times 100\% = \frac{\gamma_n \cdot A_m}{A_0} \times 100\% \quad (\text{I-1-4})$$

上式可见，若使用两个等级(γ_n)相同而量程(A_m)不同的电表去测量同一量时，量程大的表相对误差大。所以，选用电表时，除考虑准确度外，还应注意合适的量程，一般选择电表应满足测量时指针偏转到三分之二以上的满度值。

三、内容及步骤

1. 观察本实验室实验桌上交流电源是怎样获得的?
2. 用交流电压表测量交流调压器几个输出不同大小的电压值, 将测量结果与调压器输出电压刻度指示值比较(交流电压表测量值作为真值)。

用直流电压表测量直流稳压器的几种不同输出电压值大小, 与稳压器上的电压表指示值比较。

3. 用验电笔判别实验桌上电源盒插座中的火线、零线、地线。
4. 识别电路元件
 - (1) 识别给定的电阻元件的种类、阻值大小、准确度、额定功率。
 - (2) 识别给定的电容器的种类、容量、准确度及耐压大小。
 - (3) 观察认识几种给定的电感元件。

5. 接线练习。将图 I-1-5 的电路接通。

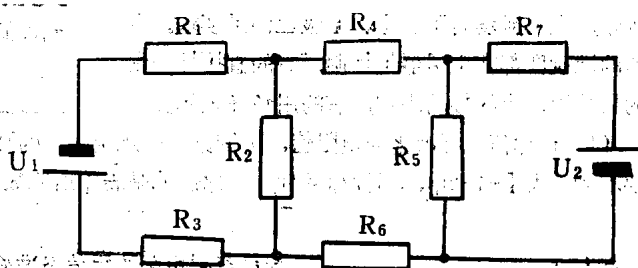


图 I-1-5

四、报告要求

1. 绘制本实验室的交流供电系统图。
2. 计算调压器上电压指示刻度的误差大小。
3. 根据测量数据计算并判别直流稳压电源上指示电压表的精度是多少? 用来测量的直流电压表作为标准表。
4. 标出实验桌上电源插座的火线、零线、地线, 说明与一般规定是否符合。
5. 总结图 I-1-5 电路的连接顺序。

五、附录

附录 I-1-1 验电笔的结构、原理和使用方法

验电笔内部结构如图 I-1-6 所示, 它是由一只阻值较大(约 $1\text{M}\Omega$) 的电阻 R 与一只氖管组成。当一端与火线接触时, 另一端通过人体接地, 氖管两端有高压使气体放电而发出红光; 反之, 若一端与零线接触, 氖管两端就无高压, 氖管不会发光。所以, 根据氖管是否发光就可判断是火线还是零线。在氖管一端接触火线而发光时, 由于试电笔中的电阻 R 阻值很大, 通过人体的电流极小, 不会使人触电。但绝不能用验电笔去接触高压火线, 否则是很危险的; 也不能检查太低电压的火线, 因低电压不能使氖管发光。一般验电笔用于检查市电电压(220~380V)的火线。

验电笔的使用方法是: 手握验电笔笔帽的挂钩处, 笔尖接触火线(或地线)端子, 观察笔杆上氖管是否发亮, 若氖管亮, 说明接触端是火线, 否则是地线。

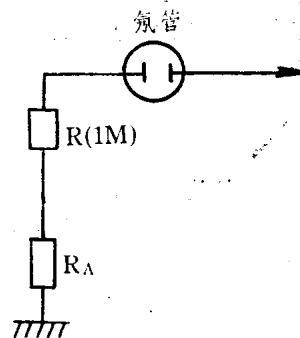


图 I-1-6 验电笔结构示意图

附录 I-1-2 电路元件的分类、标称值、准确度……等

(一) 电阻器

1. 分类

电阻器可分为薄膜电阻器和绕线电阻器两种。薄膜电阻器主要有金属膜和碳膜电阻器, 它们的优点是精

度高,稳定性好,噪声小,价格低,其中金属膜电阻更为突出。色环电阻也逐步被广泛使用。

电位器是一种带触头的可变电阻器,电位器按阻值与转角的关系分为:直线式、指数式和对数式。

线绕电阻一般是大功率低阻值的,有较高的精度。

电阻器的技术指标主要有标称值、额定功率、准确度、温度系数和噪声,在要求不太高的使用场合下,一般只考虑前两个指标。

2. 电阻器的准确度及标称值

(1) 准确度 电阻器的实际阻值和规定阻值之间的偏差范围称为电阻器的准确度,用允许偏差的百分数表示,即

$$\text{准确度} = \frac{\text{实际阻值} - \text{规定阻值}}{\text{规定阻值}} \times 100\%$$

常用电阻器的准确度分为五个等级,如表 I-1-1 所示,在一般场合下,Ⅰ、Ⅱ级已满足要求。电阻器的准确度都在电阻器上标明,有的直接标明偏差的百分数,有的标明级别,有的用色环表示。

表 I-1-1 常用电阻器的准确度

允许偏差	±0.5%	±1%	±5%	±10%	±20%
级 别	0.05	0.1	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ

(2) 标称值 标准化的电阻值,即国家统一规定生产的那些电阻值。将这些规定生产的电阻值及准确度要求列于表 I-1-2 中,叫标称系列,标称值就是表中所列数字和此数字乘以 10^n (n 为正整数)。

表 I-1-2 标称系列电阻的阻值及准确度

允许偏差	系列代号	系 列 值 ($\times 10^n$)							
±5%	E ₂₄	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0
		2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3
		4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1
±10%	E ₁₂	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7		
		3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2		
±20%	E ₆	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8		

从表 I-1-2 中看出,标称系列大部分不是整数。所以这样规定,是为了保证在同一系列中相邻两个数中较小数的正偏差与较大数的负偏差彼此有衔接或稍有重叠,从而使得生产的全部电阻器都包括在规定的标称系列中,不致因无法靠拢系列而成为废品。例如在 E₂₄ 系列中,较小数 6.2 的正偏差和较大数 6.8 的负偏差各为:

$$6.2 \times (1 + 5\%) = 6.51$$

$$6.8 \times (1 - 5\%) = 6.46$$

这两偏差数在 6.46~6.51 之间有一段重叠。

(3) 准确度及标称值的表示方法 准确度和标称值有两种表示方法,一种是色环表示法,简称色标法,一般用于金属膜电阻;另一种叫直标法,多用于绕线电阻和碳膜电阻。

① 色标法如图 I-1-7 所示,是现在国际通用的色环表示法。第一道色环表示电阻值的第一位数字,第二道色环表示第二位数字,第三道色环表示第三位数字,第四道色环表示倍率,即前三位乘以 10 的几次方,第五道色环表示准确度。色环颜色所代表的数字及准确度如表 I-1-3。例如一个电阻器的五道色环颜色顺序为:绿、棕、黄、红、银,那么它的电阻值应是 $514 \times 10^2 \Omega$,准确度是 ±10%。

第五环一般表示在电阻器的突出部分且比较宽,如图 I-1-7 所示。只标有四环的电阻器是旧的表示方法,只读前两位数字,第三环为倍率,第四环为准确度。

表 I-1-3

色环颜色所代表的数字及准确度

色环	颜色	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑	金	银
一	第1位数字	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0		
二	第2位数字	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0		
三	第3位数字	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0		
四	第4位数字	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^0	10^{-1}	10^{-2}
五	第5位数字	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$			$\pm 0.5\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.1\%$				$\pm 5\%$	$\pm 10\%$
		F	G			D	C	B				J	K

②直标法。直接将电阻值、准确度标在元件上，表示如下：

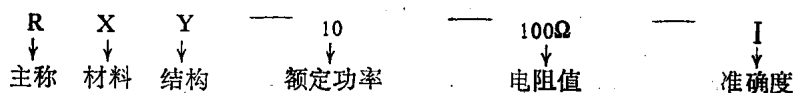


表 I-1-4 电阻器型号的符号

	名 称	代表符号	名 称	代表符号
主 称 材 料	电 阻	R	密 封	M
	电 位 器	W	结 线 绕	X
	线 绕	X	被 釉	Y
	无机合成实芯	H	大 小 型	X
	碳 膜	T	小 超小型	C
	有机合成实芯	S	微 型	W
	金 属 膜	J		
	金属氧化膜	Y		
	硼 碳 膜	TP		



图 I-1-7 色环电阻

各字母代表的意义见表 I-1-4。上例10瓦、100欧姆的被釉线绕电阻，误差是 $\pm 5\%$ 。

3. 电阻器的额定功率

在标准大气压和一定的环境温度下，电阻器能长期连续负荷而不改变其性能的允许功率，称为额定功率。额定功率分为 $\frac{1}{20}$ 、

$\frac{1}{8}$ 、 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、1、2、3、4、5……500等

19个等级（单位为瓦），其数值直接标印在电阻器上。碳膜电阻器的额定功率一般在2瓦以下，2瓦以上多为线绕电阻器。最常用碳膜电阻为

$\frac{1}{8} \sim 2$ 瓦，在电路图中常用图 I-1-8 的符号表示。

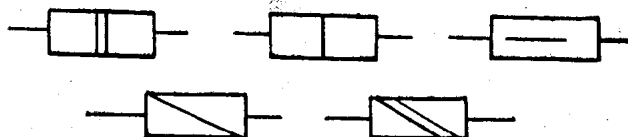


图 I-1-8

(二) 电容器

电容器的种类很多,按其电容量能否调节可分为:固定电容器、半可变电容与可变电容器;按其结构可分为:纸介电容器、薄膜电容器、云母电容器、瓷介电容器、电解电容器等。一般地说,电解电容器容量较大,纸介电容器次之,其它型式的电容量较小。

1. 准确度与标称值

固定电容器的准确度直接以允许偏差的百分数表示,通常分四个等级,如表 I-1-5 所示。

固定电容的标称值一般也用 E_{24} 、 E_{12} 、或 E_6 系列。

2. 耐压

电容器的耐压是指在规定温度下长期工作时所能承受的最大电压。在选择电容器时,电容器的耐压应该大于(或等于)实际工作承受电压。

表 I-1-6 指出了常用固定电容器的直流工作电压系列。

3. 标称值、准确度及耐压的表示方法

电容器的标称值、准确度及耐压一般都直接标印在电容器上。表示方法如下,

C Z J X — 400 — 0.047 — I
↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
主称 材料 结构 大小 耐压 容量 准确度

电容器型号中符号的意义见表 I-1-7。例如,上述为小型纸介金属化电容器,耐压为 400 伏,容量为 $0.07\mu\text{F}$ (微法),误差 $\pm 10\%$ 。电容器的电容量通常以 pF 或 μF 为单位,在 100 pF 与 $1\mu\text{F}$ 之间的电容器常不标注单位,有小数点者单位为 μF ,无小数点者单位为 pF。例如,3300 是指 3300 pF,0.1 是指 $0.1\mu\text{F}$ 。

(三) 电感元件

电感元件是电感器、互感器及变压器的总称。电感器通常由空芯线圈、磁芯线圈构成,它的主要技术指标有电感 L ,品质因数 Q 及工作频率 f 等。电感也有固定和可变之分。由于互感器两线圈串接的等效总电感与互感 M 有关,所以,可变电感器通常外部为固定的线圈,而内部为可动的线圈,旋转可动线圈改变 M 使总的电感改变。

附录 I-1-3 实验数据的图解处理以及电路实验中常见故障和排除方法

(一) 实验数据的图解处理

1. 绘制关系为 $Y=f(X)$ 的曲线时,通常把一个量 X 作为自变量,并以横坐标表示,另一个因变量 Y 以纵坐标表示。当在坐标纸上只描绘一种数据时,其测试点可以用“.”或“O”表示。若在同一坐标纸上描绘几种数据以便进行分析比较时,则应以不同的标记来表示,如图 I-1-9 所示,其符号中心与测量数字相重合。

2. 坐标分度应与测量误差相吻合。例如误差为 $\pm 0.2W$,坐标的最小分度值应取 $0.1W$ 或 $0.2W$,最大不要超过 $0.5W$,如图 I-1-10 所示。若过细,会夸大测量精度,反之又会牺牲原有的精度,且作图困难。

3. 当自变量取值范围很宽,例如变化几个数量级时,可用对数坐标。我们常见的频率特性曲线,其代表频率变化的横坐标就可以取对数坐标。如果在自变量变化的某一范围内,因变量(函数 Y) 的变化非常

表 I-1-5 固定电容器的允许偏差及等级

允许偏差	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$
级 别	0.2	I	I	II

表 I-1-6 常用固定电容器的直流工作电压系列

1.6	4	6.3	10	15	25	32	40	50	60
100*	125	160	250	300	400	450	500	600	1000

注。以上各数的单位为“伏”,有“*”者只限电解电容器专用。

表 I-1-7 电容器型号的符号

	名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
主 称 介 质 材 料	电 容 器	C	混 合 介 质	H	结 构	塑料壳 S
	纸 介	Z	钽	A	圆 片	Y
	电 解	D	铌	N	管 形	G
	云 母	Y	铁电瓷介	CT	立 式 矩 形	L
	瓷 介	C	独 石	DS	卧 式 矩 形	W
	聚 苯 乙 烯	B	金 属 化	J	小 型	X
	玻 璃 釉	I	微 调	W	超 小 型	C
	涂 纶	L	组 合	Z	微 型	W
	漆 膜	Q	密 封	M		