

21世纪普通高校本专科教材

# 电工电子技术基础实验

DIAN GONG DIAN ZI JI SHU  
JI CHU SHI YAN

李正发 主编



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

21 世纪普通高校本专科教材

# 电工电子技术基础实验

李正发 主编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是为高等学校电子信息类、电气类、计算机类和其他相近专业编写的电工基础、模拟电子电路、数字电路综合性实验教材。本书共分为五篇,第一篇为实验基础知识,主要介绍误差分析与测量结果的处理,常用元件的识别和正确使用;第二篇为常用实验测量仪器,主要介绍常用仪器仪表原理和方法;第三篇为电工基础实验;第四篇为模拟电子电路实验;第五篇为数字电路实验。后三篇将传统的实验内容整合成基础性实验和设计性实验。

本书可作为相关专业专科生及本科生的实验教材和课程设计、毕业设计参考书,也可作为电工、电子技术专业人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术基础实验/李正发主编. - 北京: 科学出版社, 2004. 8  
(21世纪普通高校本科教材)  
ISBN 7-03-014179-2

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第083299号

责任编辑: 杨瑰玉

责任印制: 高 嵘/封面设计: 深白广告

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

武汉大学出版社印刷总厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2004年8月第一版 开本: 787×1092 1/16

2004年8月第一次印刷 印张: 12 1/4

印数: 1-5 000 字数: 302 000

定价: 19.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 前 言

为满足现代社会对人才培养的需要,培养学生掌握电工、电子技术的基本理论和基本技能,在满足教学基本要求的前提下,考虑教学改革、实验设备的更新、开放实验室等情况,特编写电工电子技术实验教材。本书将电工技术、模拟电子技术、数字电子技术等课程的实验融为一体,在保留基本的技能实验的前提下,增加了设计性实验。

电工与电子技术实验是电工技术和电子技术基础课程中重要的实践环节,对培养学生理论联系实际的能力起很重要的作用。通过基本仪器的正确使用,对元、器件参数和电路性能的测试,电路的安装调整及故障排除,对电路的设计与估算,实验数据的记录、处理、分析、综合和实验报告撰写等环节,可培养学生进行科学实验的动手能力及严谨求实的科学研究作风,提高学生的整体综合素质。

全书共分为五篇。第一篇为电工与电子学实验基础知识,主要介绍了实验目的、要求和安全操作规程,常用电子电路元件、器件的性能参数,实验误差的分析和处理技术;第二篇为常用实验测量仪器简介,主要包括电子示波器、信号发生器、电压表、电学实验台和电子技术实验箱等工作原理和使用方法;第三篇电工基础实验,共安排了8个弱电实验和3个强电实验;第四篇模拟电子电路实验,共安排了10个基础验证性实验和2个设计性实验;第五篇数字电路实验共安排了10个基础验证性实验和3个设计性实验。基础实验性内容和设计性实验可根据教学需要和不同层次的需求,自行选择。

本书由李正发担任主编,徐辉、漆华担任副主编。第一篇有关半导体集成电路的内容和第五篇数字电路实验由李正发同志编写;第一篇1.1和1.2节及1.3节中半导体器件,第二篇常用实验测量仪器,第四篇模拟电子电路实验及附录部分由徐辉同志编写;第一篇1.3节中电阻器、电感器和电容器有关内容,第三篇电工基础实验部分由漆华同志编写。方宁和肖明同志参加了本书的审阅工作。本书在编写过程中始终得到多位同仁的大力支持。在此,对上述所有帮助过我们的同志表示深切的谢意!

由于编者水平所限,书中难免有不妥和错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2004年8月

# 目 录

第一篇 实验基础知识.....	1
1.1 电学实验课的目的、意义及要求.....	1
1.2 误差分析与测量结果的处理.....	3
1.3 常用电子电路元件识别与主要性能参数.....	7
1.3.1 电阻器.....	7
1.3.2 电容器.....	9
1.3.3 电感器.....	12
1.3.4 半导体器件.....	12
1.3.5 半导体集成电路.....	17
第二篇 常用实验测量仪器.....	20
2.1 示波器原理及应用.....	20
2.2 信号发生器.....	32
2.3 电子电压表.....	35
2.3.1 GB-9B 型电子管毫伏表.....	35
2.3.2 DA-16 型晶体管毫伏表.....	38
2.4 万用表.....	41
2.4.1 DT92 系列数字万用表.....	41
2.4.2 MF500 型万用电表.....	44
2.5 电子技术实验仪.....	47
2.5.1 XST-2 电学实验台.....	47
2.5.2 HK-LF-III 型低频实验箱.....	52
2.5.3 XSX-2B 数字电路实验箱.....	53
第三篇 电工基础实验.....	57
3.1 弱电部分.....	57
3.1.1 元件伏安特性的测试.....	57
3.1.2 基尔霍夫定律.....	60
3.1.3 叠加定理.....	61
3.1.4 戴维南定理.....	63
3.1.5 一阶、二阶动态电路.....	65
3.1.6 R、L、C 元件性能的研究.....	66
3.1.7 RLC 串联及谐振电路.....	69
3.1.8 RC 电路频率特性.....	72
3.2 强电部分.....	74
3.2.1 单相交流电路参数及功率的测量.....	74
3.2.2 单相铁芯变压器的特性测试.....	76

3.2.3 日光灯功率因数的提高	78
<b>第四篇 模拟电子电路实验</b>	<b>81</b>
<b>4.1 基础验证性实验</b>	<b>81</b>
4.1.1 常用电子仪器的使用	81
4.1.2 用逐点法测试二极管和三极管的特性曲线	84
4.1.3 单管放大电路	87
4.1.4 射极跟随器	91
4.1.5 负反馈放大器	95
4.1.6 集成运算计算器参数测试	99
4.1.7 集成运算放大器的运用	104
4.1.8 波形发生电路	110
4.1.9 有源滤波器	115
4.1.10 集成功率放大器	119
<b>4.2 设计性实验</b>	<b>121</b>
4.2.1 模拟电子电路的一般设计过程	122
4.2.2 具有恒流源偏置的差分放大器设计	129
4.2.2 集成直流稳压电源的设计	137
<b>第五篇 数字电路实验</b>	<b>144</b>
<b>5.1 基础验证性实验</b>	<b>144</b>
5.1.1 TTL 集成逻辑门的功能及测试	144
5.1.2 组合逻辑电路	148
5.1.3 加法器	150
5.1.4 译码器及数据选择器的应用	153
5.1.5 触发器逻辑功能测试	158
5.1.6 集成单元异步计数器	160
5.1.7 同步计数器	164
5.1.8 移位寄存器的功能测试及应用	167
5.1.9 555 集成定时器的应用	169
5.1.10 数-模转换器 (D/A) 和模-数转换器 (A/D)	172
<b>5.2 设计性实验</b>	<b>176</b>
5.2.1 数字电子钟设计	176
5.2.2 数字压力秤设计	179
5.2.3 多组竞赛抢答器设计	183
<b>附录</b>	<b>186</b>
<b>参考文献</b>	<b>189</b>

# 第一篇 实验基础知识

## 1.1 电学实验课的目的、意义及要求

### 一、电学实验课的目的

电学实验课的目的是为了加强学生对电工基础、模拟电子技术、数字电子技术等知识的掌握,使学生通过实验过程掌握电路的基本实验技能。要求学生达到的目标可概括为以下几个方面。

1. 使学生学习一定的元器件使用技术。学会识别元器件的类型、型号、规格,并能根据设计的具体要求选择元器件。电学实验中的一个核心问题就是元器件的正确使用。元器件的正确使用包括器件电气特性的了解和正确使用,器件机械特性的了解和正确操作,器件管脚的正确识别与使用等。电学实验中的许多故障,往往都是因为不能正确使用元器件所造成的。因此,正确使用电子元器件是电学实验的基本教学内容。

2. 使学生得到一定的基本技能训练,如焊接、组装等基本技能。要实现一个电子电路,必须对电路中各种不同的元器件实现正确的电路连接。电路连接技术虽然不像元器件的使用技术那样复杂,但对于不同的电子元器件应当采用什么样的连接方法、什么样的连接是正确的、判断连接正确与否也不是一件容易的事,需要在有关电学实验课程中不断地认识、实践,只有经过反复地操作练习才能掌握正确的电路连接技术。此外,电路连接技术还将直接影响电路的基本特性和安全性,需要在实验中不断地学习总结。电路连接技术是电学实验的基本教学内容之一,也是必须掌握的一项基本技术。

3. 使学生们学到一般仪器的使用技术。电学实验的一个重要内容就是各种类型电子仪器的使用和操作技术。电子仪器的使用包括两个方面的含义,一个是仪器本身技术特性的应用,另一个方面是被测电路的基本技术特性。只有使仪器本身技术特性与被测电路的技术特性相对应,才能取得良好的测量结果。对于电工电子类学科的学生来说,正确操作电子仪器是基本学科技术素质和工程素质之一。在电学实验课程中,必须十分注意学习并掌握各种仪器设备的正确使用和操作方法。

4. 使学生们学到一定的测量系统设计技术。在进行电子电路设计和调试时,需要使用各种不同的仪器设备对电路进行测量,以便确定电路的状态,判断电路是否按设计要求工作并达到了设计指标。为了保证测量对电路没有影响,在电子电路设计和实验中还必须对测量系统进行设计,以决定采用什么样的测量系统和如何进行测量。测量系统设计的基本依据是电子电路的电路参数特性,例如电路的最高电压、最高频率、输入和输出电阻、电路的频率特性等。测量系统设计技术不仅涉及测量仪器的一些知识,还直接与电子电路系统结构有关,因此说,测量系统设计技术是一个综合技术。测量系统设计技术是电子电路实验的基本学习内容之一,只有合理的测量系统设计,才能保证测量结果的正确。

5. 使学生们学到基本的测量结果分析技术。电子电路的一个特点是,电路的功能可以直接从调试过程中得到证实,而有关的技术指标和一些技术特性,则需要通过对测量结果数据进行

分析处理才能得到。所以,如何处理实验中的测量结果,是电子电路实验的一项基本技术。

6. 使学生能够利用实验的方法完成具体任务。如根据具体的实验任务拟定实验方案(测试电路、仪器、测试方法等),独立地完成实验,对实验现象进行理论分析,并通过实验数据的分析得到相应的实验结果,撰写规范的实验报告等。

7. 培养学生独立解决问题的能力。如独立地完成某一设计任务(查阅资料、方案确定、器件选择、安装调试),从而使学生具备一定的科学研究能力。

8. 培养学生实事求是的科学态度和踏实细致的工作作风。

## 二、电学实验课的意义

电工基础、模拟电子技术和数字电子技术是电类专业的三门重要的专业基础课,课程的显著特征之一就是它的实践性。要想较好地掌握电子技术,除了掌握基本器件的原理、电子电路的基本组成及分析方法外,还要掌握电子器件及基本电路的应用技术,因而实验课已成为电类教学中的重要环节。实验可使学生掌握器件的性能、参数及电子电路的内在规律、各功能电路间的相互影响,从而验证理论并把理论与实践结合起来。通过实践教学,可使学生进一步掌握基础知识、基本实验方法及基本实验技能。

由于科学技术的飞速发展,社会对人才的要求越来越高,不仅要求具有丰富的知识,还要具有更强的对知识的运用能力及创新能力,以适应新形势的要求。以往的实验教学中,主要偏重验证性的内容,这种教学模式很难满足现代社会的要求。为适应面向 21 世纪教育的基本要求,为提高学生对知识的综合运用能力及创新能力,实验课内容有了相应的改变。在本课程体系,将传统的实验教学内容划分为基础验证性实验和设计性实验两个层次。

## 三、电学实验课的一般要求

为了使实验能够达到预期效果,确保实验的顺利完成,为了培养学生良好的工作作风,充分发挥学生的主观能动作用,对学生提出如下基本要求。

### 1. 实验前的要求

(1) 实验前要充分预习,包括认真阅读理论教材及实验教材,深入了解本次实验的目的,弄清实验电路的基本原理,掌握主要参数的测试方法。

(2) 阅读实验教材中关于仪器使用的章节,熟悉所用仪器的主要性能和使用方法。

(3) 估算测试数据、实验结果,并写出预习报告。

### 2. 实验中的要求

(1) 按时进入实验室并在规定时间内完成实验任务。遵守实验室的规章制度,实验后整理好实验台。

(2) 严格按照科学的操作方法进行实验,要求接线正确,布线整齐、合理。

(3) 按照仪器的操作规程正确使用仪器,不得野蛮操作。

(4) 实验中出现故障时,应利用所学知识冷静分析原因,并能在教师的指导下解决。对实验中的现象和实验结果要能进行正确的解释。

(5) 测试参数时要做到心中有数,细心观测,做到原始记录完整、清楚,实验结果正确。

3. 实验后的要求 撰写实验报告是整个实验教学中的重要环节,是对工程技术人员的一项基本训练,一份合格的实验报告是一个成功实验的最好答卷,因此实验报告的撰写要按照以下要求进行。

(1) 对于普通的验证性实验报告的要求:

1) 实验报告用规定的实验报告纸书写,上交时应装订整齐。



2) 实验报告中所有的图都用同一颜色的笔书写,画在坐标纸上。

3) 实验报告要书写工整,布局合理、美观,不应有涂改。

4) 实验报告内容要齐全,应包括实验任务、实验原理、实验电路、元器件型号规格、测试条件、测试数据、实验结果、结论分析及教师签字的原始记录等。

(2) 对于设计性实验报告的要求:设计性实验是实验内容中比验证性实验高一层次的实验,因此对实验报告的撰写也要有特殊的要求和步骤。

1) 标题:包括实验名称,试验者的班级、姓名,实验日期等。

2) 已知条件:包括主要技术指标、实验用仪器(名称、型号、数量)。

3) 电路原理:如果所设计的电路由几个单元电路组成,则阐述电路原理时,最好先用总体框图说明,然后结合框图逐一介绍各单元电路的工作原理。

4) 单元电路的设计与调试步骤:① 选择电路形式;② 电路设计(对所选电路中的各元件值进行定量计算或工程估算);③ 电路的装调。

5) 整机联合调试与测试:当各单元电路调试正确后,按以下步骤进行整机联调。

① 测量主要技术指标。报告中要说明各项技术指标的测量方法,画出测试原理图,记录并整理实验数据,正确选取有效数字的位数。根据实验数据,进行必要的计算,列出表格,在方格纸上绘制出光滑的波形或曲线。② 故障分析及说明。说明在单元电路和整机调试中出现的主要故障及解决办法,若有波形失真,要分析波形失真的原因。③ 绘制出完整的电路原理图,并标明调试后的各元件参数。

6) 测量结果的误差分析:用理论计算值代替真值,求得测量结果的相对误差,并分析误差产生的原因。

7) 思考题解答与其他实验研究。

8) 电路改进意见及本次实验中的收获体会。

实验电路的设计方案、元器件参数及测试方法等都不可能尽善尽美,实验结束后,感到某些方面如果作适当修改,可进一步改善电路性能或降低成本,或对于实验方案的修正、内容的增删、步骤的改进等,都可写出改进建议。

同学们每完成一项实验都会有不少收获体会,既有成功的经验,也有失败的教训,应及时总结,不断提高。

## 1.2 误差分析与测量结果的处理

众所周知,在测量过程中,由于各种原因,测量值与待测量的客观真值之间总存在一定差别,即测量误差。因此,分析误差产生的原因,如何采取措施减少误差,使测量结果更加准确,对实验人员及科技工作者来说是应该了解和掌握的。

### 一、误差的来源

1. 仪器误差 此误差是由于仪器的电气或机械不完善所产生的误差,如校准误差、刻度误差等。

2. 使用误差 使用误差又称操作误差。它是指在使用仪器过程中,因安装、调节、布置、使用不当引起的误差。

3. 人身误差 人身误差是由于人的感觉器官和运动器官的限制所造成的误差。

4. 环境误差 它是指由于受到温度、湿度、大气压、电磁场、机械振动、声音、光照、放射

性等影响所造成的附加误差。

5. 方法误差 方法误差又称理论误差。它是指由于使用的测量方法不完善,理论依据不严密或对某些测量方法作了不适当的修改简化所产生的,通常是在测量结果的表达式中没有得到反映、而实际上又起作用的因素所引起的误差。例如,测量并联谐振回路的谐振频率时,常用近似方式为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

若考虑 L 的串联损耗电阻  $R_L$  时,实际的谐振频率为

$$f'_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \cdot \sqrt{1 - \frac{R_L^2 C}{L}}$$

则有

$$\Delta f = f'_0 - f_0$$

上述用近似公式带来的误差称为方法误差。

## 二、测量误差的分类

按误差的性质和特点可分为系统误差、随机误差和疏失误差。

1. 系统误差 该误差是指在相同条件下重复测量同一个量时,其大小和符号保持不变,或按照一定规律变化的误差。系统误差一般可以通过实验及分析方法查明其变化规律及产生原因,因此,这种误差是可以预测的,也可以减少或消除。

2. 随机误差(偶然误差) 该误差是指在相同条件下多次重复测量同一个量时,其大小和符号无规律变化的误差。随机误差不能用实验方法消除,但可通过多次测量,采用统计的方法进行估算。最简单的方法就是取算术平均值。

3. 疏失误差(粗差) 这是一种过失误差。这种误差通常是由于测量者对仪器不了解、粗心,导致读数不正确而引起的,有时测量条件的突然变化也会引起粗差。对于这种异常值(或坏值)必须根据统计检验方法和某些准则去判断哪个测量值属坏值,然后去除。

## 三、误差表示法

按误差表示方法可分为绝对误差和相对误差。

1. 绝对误差 设被测量值的真值为  $A_0$ , 测量仪器的示值为  $X$ , 则绝对误差为

$$\Delta X = X - A_0$$

在某一个时间或空间条件下,被测量的真值虽然客观存在,但一般无法得到,只能尽量逼近它。故常用高一标准仪器测量的示值  $A$  代替  $A_0$ , 则

$$\Delta X = X - A$$

测量前,测量仪器应由高一标准仪器进行校正,校正量常用修正值  $C$  表示。利用修正值便可得该仪器所测得的实际值:

$$A = X + C$$

2. 相对误差 绝对误差值的大小往往不能确切地反映被测量的准确程度。因此,工程上常采用相对误差来比较测量结果的准确程度。

相对误差又分为实际相对误差、示值相对误差和引用(或满度)相对误差。

实际相对误差是用绝对误差  $\Delta X$  与被测量的实际值  $A$  的比值的百分数来表示的相对误差,记为

$$\gamma_A = \frac{\Delta X}{A} \times 100\%$$

示值相对误差是用绝对误差与仪器给出值  $X$  的百分数来表示的相对误差,即

$$\gamma_x = \frac{\Delta X}{X} \times 100\%$$

引用(或满度)相对误差简称满度误差。它是用绝对误差  $\Delta X$  与仪器的满刻度值  $X_m$  之比的百分数来表示的相对误差,即

$$\gamma_m = \frac{\Delta X}{X_m} \times 100\%$$

电工仪表的准确度等级就是由  $\gamma_m$  决定的,如 1.5 级的电表,表明  $\gamma_m \leq \pm 1.5\%$ 。我国电工仪表  $\gamma_m$  值共分七级:0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。

若某仪表的等级是  $S$  级,它的满刻度值为  $X_m$ ,则测量的绝对误差为

$$\Delta X \leq X_m S\%$$

其示值相对误差为

$$\gamma_x \leq \frac{X_m S\%}{X}$$

在上式中,总是满足  $X \leq X_m$  的,可见当仪表等级  $S$  选定后, $X$  越接近  $X_m$  时,  $\gamma_x$  的上限值越小,测量越准确。因此,当我们使用这类仪表进行测量时,一般总使被测量值尽可能在仪表满刻度值的 1/2 以上。

#### 四、测量结果的处理

##### 1. 测量结果的数字处理

(1) 有效数字:由于存在误差,所以测量的数据总是近似值,它通常由可靠数字和欠准数字两部分组成。例如,由电压表测得电压 24.8V,这是个近似数,24 是可靠数字,而末尾 8 为欠准数字。即 24.8 为三位有效数字。

对于有效值的正确表示,应注意如下几点:

1) 有效数字是指从左边第一个非零的数字开始,直到右边最后一个数字为止的所有数字。例如,测得的频率为 0.0157MHz,它是由 1、5、7 三个有效数字组成的频率值,而左边的两个零不是有效数字,它可以写成  $1.57 \times 10^{-2}$  MHz,也可写成 15.7kHz,而不能写成 15 700Hz。

2) 如已知误差,则有效值的位数应与误差相一致。例如,设仪表误差为  $\pm 0.01$  V,测得电压为 12.352V,其结果应写做 12.35V。

3) 当给出误差有单位时,测量数据的写法应与其一致。

(2) 数据舍入规则:为使正、负舍入误差的机会大致相等,传统的方法是采用四舍五入的办法,现已广泛采用“小于 5 舍,大于 5 入,等于 5 时取偶数”的办法。

(3) 有效数字的运算规则:当测量结果需要进行中间运算时,有效数字的取舍,原则上取决于参与运算的各数中精度最差的那一项。一般应遵循以下规则:

1) 当几个近似值进行加、减运算时,在各数中(采用同一个计量单位),以小数点后的位数最小的那一个数(如无小数点,则以有效值最小者)为准,其余各数均舍入至比该数多一位,而计算的结果所保留的小数点后的位数,应与各数中小数点后位数最少者的位数相同。

2) 进行乘法运算时,以有效数值位数最小的那一个数为准,其余各数及乘(或商)均舍入至比该因子多一位,而与小数点位置无关。

3) 将数平方或开方后,结果可比原数多保留一位。

4) 用和进行运算时, $n$ 位有效数字的数应该用 $n$ 位对数表。

5) 若计算式中出现如 $e$ 、 $\pi$ 、 $\sqrt{3}$ 等常数,可根据具体情况来决定它们应取的位数。

2. 曲线的处理 在分析两个或多个物理量之间的关系时,用曲线比用数字、公式表示常常更形象和直观。因此,测量结果常要用曲线来表示。

在实际测量过程中,由于各种误差的影响,测量数据将出现离散现象,如将测量点直接连接起来,将不是一条光滑的曲线,而是呈波动的折线状,如图 1-1 所示。但我们利用有关的误差理论,可以把各种随机因素引起的曲线波动抹平,使其成为一条光滑的均匀的曲线,这个过程称为曲线的修正。

在要求不太高的测量中,常采用一种简便、可行的工程方法即分组平均法来修匀曲线。这种方法是各数据点分成若干组,每组含 2~4 个数据点,然后分别取各组的几何重心,再将这些重心连接起来。图 1-2 就是每组取 2~4 个数据点进行平均后的修匀曲线。这条曲线由于进行了数据平均,在一定程度上减少了偶然误差的影响,使之较为符合实际情况。

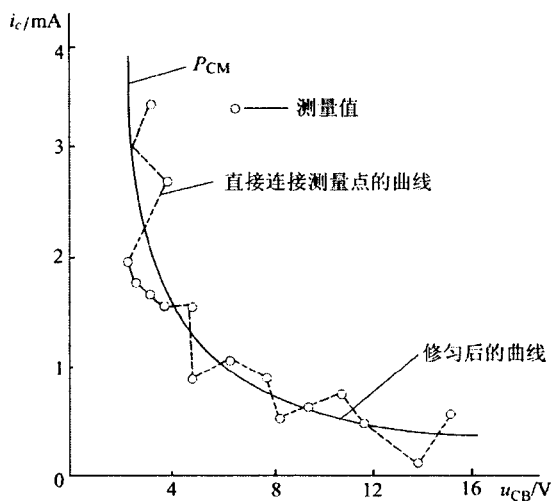


图 1-1 直接连接测量点时曲线的波动情况

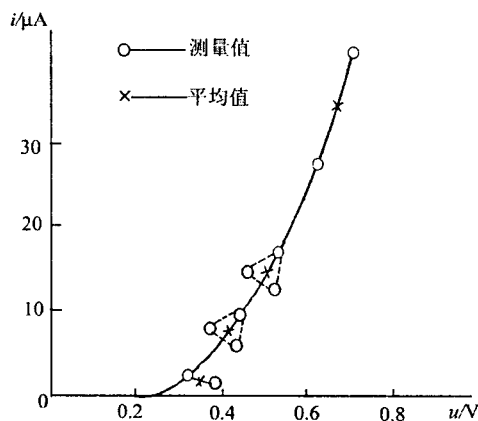


图 1-2 分组平均法修匀的曲线

对电子电路实验误差分析与数据处理应注意几点:

(1) 实验前应尽量做到心中有数,以便及时分析测量结果的可行性。

(2) 在时间允许时,每个参数应多测几次,以便搞清实验过程中引入系统误差的因素,尽可能提高测量的准确度。

(3) 应注意测量仪器、元器件的误差范围对测量的影响,通常所读得的示值与测量值之间应该有

$$\text{测量值} = \text{示值} + \text{误差}$$

的关系,因此测量前对测量仪器的误差及检定、校准和维护情况应有所了解,在记录测量值时要注明有关误差,或决定测量的有效位数。

(4) 正确估计方法误差的影响。电子电路中采用的理论公式常常是近似公式,这将带来方法误差,其次计算公式中元件的参数一般都用标称值(而不是真值),这将带来随机性的系

统误差,因此应考虑理论计算值的误差范围。

(5) 应注意剔除粗差。

## 1.3 常用电子电路元件识别与主要性能参数

元器件是组成电路的基本要素,正确地选择和使用元器件是保证电路良好运行的重要条件。本章主要介绍电阻器、电容器、电感器、二极管、三极管及集成电路等常用电子元器件,以便读者掌握常用元器件的结构特点、性能参数及基本检测方法,并能借助元器件手册正确识别和科学选用实验中所需的电子元器件。

### 1.3.1 电 阻 器

电阻器的主要作用是限流、分流、降压、分压、负载、阻抗匹配、阻容滤波等。电阻器是电路元件中应用最广泛的一种元器件。

#### 一、电阻器的分类

电阻器有多种分类方式,按结构可分为固定电阻器、可变电阻器(电位器)和敏感电阻器。按其材料和工艺可分为膜式电阻、实芯式电阻、金属线绕电阻等。

#### 二、电阻器的主要参数

电阻器的参数很多,通常考虑标称阻值、允许偏差和额定功率三项。对有特殊要求的电阻器,还要考虑它的温度系数、稳定性、最大电压、噪声和高频特性。

1. 标称阻值 电阻器上标出的名义阻值。
2. 允许误差 实际阻值与标称阻值之间允许的最大偏差范围。一般用

$$\frac{\text{标称阻值} - \text{实际阻值}}{\text{标称阻值}} \times 100\%$$

来表示,又称为阻值误差。早期普通电阻器误差分为三个等级:允许误差 $\leq \pm 5\%$ 称为I级;允许误差 $\leq \pm 10\%$ 称为II级;允许误差 $\leq \pm 20\%$ 称为III级。由于制造技术的发展,电阻器的精密程度也越来越高,一般情况允许误差最大也在 $\pm 5\%$ 以内。标志电阻器的阻值和误差的方法有两种:一是直标法,二是色标法(固定电阻器用)。直标法是用数字直接标注在电阻上,色标法是用不同颜色的色环来表示电阻的阻值和误差,各色环颜色所代表的含义如表1-1所示,色标法表示的单位为欧姆。

例如,图1-3中第一色环为红色,第二色环为黄色,第三色环为橙色,第四色环为银色,则电阻阻值为 $24 \times 10^3 = 24\text{k}\Omega$ ,允许误差为10%。

3. 额定功率 在规定的环境温度和湿度下长期连续工作,电阻器所允许消耗的最大功率。为保证安全工作,一般选额定功率大于其在电路中消耗功率的2~3倍。电阻器的额定功率有两种标示方法:一是2W以上的电阻,直接用阿拉伯数字印在电阻上;二是2W以下的电阻,由尺寸表示,可查表得知。

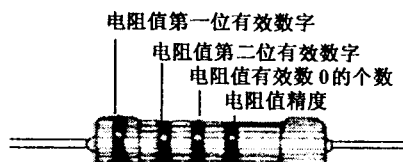


图1-3 电阻器色环的含义

表1-1 电阻器的色环颜色含义

颜色	第一色环 第一位数	第二色环 第二位数	第三色环 倍数	第四色环 误差
黑	0	0	$10^0$	
棕	1	1	$10^1$	
红	2	2	$10^2$	
橙	3	3	$10^3$	
黄	4	4	$10^4$	
绿	5	5	$10^5$	
蓝	6	6	$10^6$	
紫	7	7	$10^7$	
灰	8	8	$10^8$	
白	9	9	$10^9$	
金			$10^{-1}$	±5%
银			$10^{-2}$	±10%
无色				±20%

### 三、电阻器的选择

电阻器是电子电路中最常用的元件,其种类很多,性能各异。根据电阻器的结构形式分类,有固定电阻器、可调电阻器和电位器。在选用时首先应根据其在电路中的用途确定选用哪一种结构形式的电阻器。

电阻器的主要性能参数有标称阻值及容许误差、额定功率(共分为19个等级,常用的有 $\frac{1}{8}W$ 、 $\frac{1}{4}W$ 、 $\frac{1}{2}W$ 、 $1W$ 、 $2W$ 等)和温度系数等。表1-2列出了电阻器的标称值系列和容许误差。表中所列数值再乘以 $10^n$ ,构成实际电阻的标称阻值(其中 $n$ 为正数或负数,单位为 $\Omega$ )。

表1-2 电阻器标称值系列和容许误差

系列代号	E24	E12	E6	系列代号	E24	E12	E6
容许误差	±5%	±10%	±20%	容许误差	±5%	±10%	±20%
系列标称 阻 值	1.0	1.0	1.0	系列标称 阻 值	3.3	3.3	3.3
	1.1				3.6		
	1.2	1.2			3.9	3.9	
	1.3				4.3		
	1.5	1.5	1.5		4.7	4.7	4.7
	1.6				5.1		
	1.8	1.8			5.6	5.6	
	2.0				6.2		
	2.2	2.2	2.2		6.8	6.8	6.8
	2.4				7.5		
	2.7	2.7			8.2	8.2	
	3.0				9.1		

在电子电路中,对电阻器阻值的要求,一般允许有一定的误差。因此,除精密电阻器或特殊需要的自制电阻外,通常都选用标称值的通用电阻器。容许误差分别为±5%、±10%、±20%。

为了使电阻器在电路中安全运行,其额定功率应大于电阻器在电路中实际消耗功率的一

倍以上。此外,电阻器的使用电压不应超过其容许的最高工作电压。

用不同材料制成的电阻器具有不同的性能和特点,在一般电子电路中,对电阻器的要求并不很高,可选用价格便宜、体积小的碳膜电阻器。在低噪声和耐热性、稳定性要求较高的电路中,可选用金属膜电阻器或线绕电阻器。在高频电路中,可选用自身电感量很小的合金箔电阻器。要求在高温下工作时,可选用金属氧化膜电阻器。

在选用电位器时,除了要考虑其性能和特点外,还应根据安装和机械结构的需要,考虑电位器的尺寸大小、旋转轴柄的长短、轴端的式样及轴上是否需要紧锁装置等。

### 1.3.2 电 容 器

#### 一、电容器的分类

电容器是一种储能元件,在电路中用于调谐、滤波、耦合、隔直、旁路、能量转换和延时等。电容器按其容量是否可调,分为固定电容器、半可变电容器和可变电容器三种。其外形和符号如图1-4。按其所用介质,分为金属化纸介电容、钽电解电容、云母电容、薄膜介质电容、瓷片电容等。

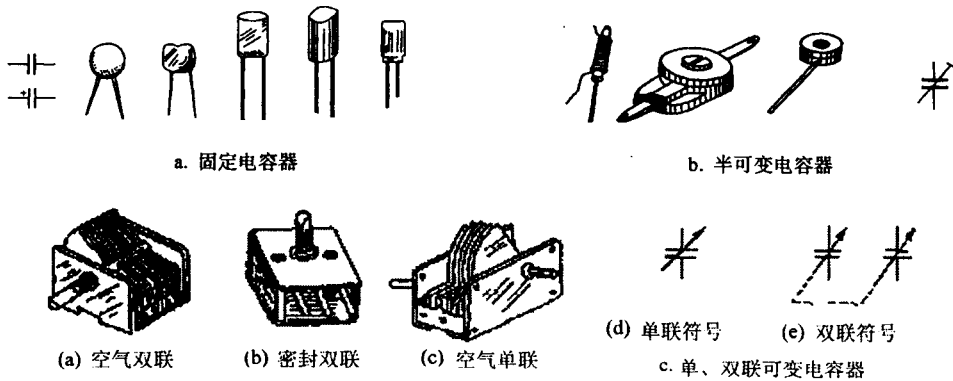


图1-4 电容器的外形及符号

#### 二、电容器的主要参数

(1) 标称容量: 电容器的容量是指其加上电压后储存电荷的能力。标称容量是指电容器上标出的名义电容量值,如表1-3所示。

表 1-3 固定电容器标称容量系列和容许误差

系列代号	E24	E12	F6
容许误差	±5% (I级)	±10% (II级)	±20% (III级)
标称容量	10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 75, 82, 91	10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82	10, 15, 22, 33, 47, 68

(2) 容许误差: 见表1-3,实际容量与标称容量之间允许的容量最大偏差范围。一般用

$$\frac{\text{标称容量} - \text{实际容量}}{\text{标称容量}} \times 100\%$$

表示。

(3) 绝缘电阻: 表示了电容器的漏电性能, 其值是加在其上的直流电压与通过它的漏电流的比值。绝缘电阻一般应在  $5000\text{M}\Omega$  以上, 优质电容器可达  $\text{T}\Omega$  ( $10^{12}\Omega$  称为太欧) 级。电解电容器的绝缘电阻较低, 漏电流大, 其绝缘电阻一般用漏电流表示, 单位为  $\mu\text{A}$  或  $\text{mA}$ 。

(4) 额定工作电压: 电容器在规定的工作温度范围内, 长期、可靠地工作所能承受的最高电压。常用固定电容器的直流工作电压系列为  $6.3\text{V}$ 、 $10\text{V}$ 、 $16\text{V}$ 、 $25\text{V}$ 、 $40\text{V}$ 、 $63\text{V}$ 、 $100\text{V}$ 、 $250\text{V}$  和  $400\text{V}$ 。

(5) 介质损耗: 理想的电容器应没有能量损耗。但实际上, 电容器在电场的作用下, 总有一部分电能转换成为热能, 所损耗的能量称为电容器损耗。它包括金属极板损耗和介质损耗两部分。通常用损耗功率和电容器的无功功率之比, 即损耗角的正切值来表示:

$$\tan\delta = \frac{\text{损耗功率}}{\text{无功功率}}$$

小功率电容器主要是介质损耗。在同容量、同工作条件下, 损耗角越大, 电容器的损耗也越大。损耗角大的电容不适于高频情况下工作。

### 三、电容器的标识方法

电容器的标识方法有三种: 一是直标法; 二是数码法; 三是色标法。

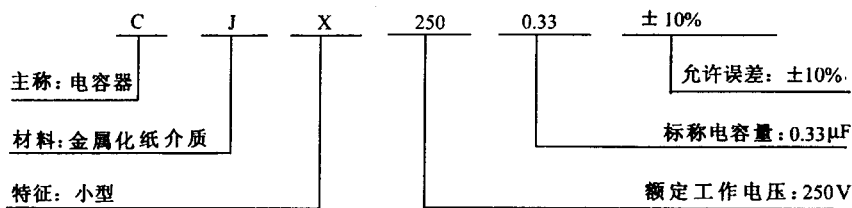
1. 直标法 将电容器的容量、耐压及误差直接标注在电容上, 如表 1-4 所示。

表1-4 电容器型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分
用字母表示主称		用字母表示材料		用字母表示特征		用字母或数字表示序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	
C	电容器	C	瓷介	T	铁电	包括品种、尺寸代号、温度特性、直流工作电压、标称值、允许误差、标准代号
		I	玻璃釉	W	微调	
		O	玻璃膜	J	金属化	
		Y	云母	X	小型	
		V	云母纸	S	独石	
		Z	纸介	D	低压	
		J	金属化纸	M	密封	
		B	聚苯乙烯	Y	高压	
		F	聚四氟乙烯	C	穿心式	
		L	涤纶(聚酯)			
		S	聚碳酸酯			
		Q	漆膜			
		H	纸膜复合			
		D	铝电解			
		A	钽电解			
		G	金属电解			
		N	铌电解			
		T	钛电解			
M	压敏					
E	其他材料电解					

示例: CJX-250-0.33- $\pm 10\%$ 电容器的命名含义如下。





2. 数码法 用三位数字来表示容量的大小,单位为 pF。前两位为有效数字,第三位表示倍率,即乘以  $10^i$ ,  $i$  的取值范围是 1~9,但 9 表示  $10^{-1}$ 。

例如: 333 表示 33 000pF 或 0.033μF; 229 表示 2.2pF。

3. 色标法 与电阻器的色环表示法类似,其各色环颜色所代表的含义与电阻色环完全一样,单位为 pF。

#### 四、电容器的性能测试

电容器装接前应进行测量,看其是否短路、断路或漏电严重。利用万用表的欧姆挡就可以简单地测量。具体方法是:容量大于 100μF 的电容器用 R×100 挡测量;容量在 1~100μF 以内的电容器用 R×1k 挡测量;容量更小的电容器用 R×10k 挡测量。对有极性电容,将黑表笔接电容器的正极,红表笔接电容器的负极,若表针摆动大,且返回慢,返回位置接近  $\infty$ ,说明该电容器正常,且电容容量大;若表针摆动大,但返回时,表针显示的  $\Omega$  值较小,说明该电容漏电流较大;若表针摆动很大,接近于 0Ω,且不返回,说明该电容器已被击穿;若表针不摆动,则说明该电容器已经开路失效。对非极性电容,两表笔接法随意。另外,如果需要对电容器再一次测量时,必须将其放电后才能进行。

#### 五、电容器的选择

在选用电容器时,首先要根据在电路中的作用及工作环境来确定其类型。例如,在耦合、旁路、电源滤波及去耦电路中,由于对电容的精度要求不高,可选择价格低、误差大、稳定性较差的铝电解电容器。对于高频电路中的滤波、旁路电容器,可选用无电感的铁电陶瓷电容器或独石电容器。应用于高压环境下的电容器,可选用耐压较高、稳定性好、温度系数小的云母电容器、高压瓷介质电容器或高压穿心式电容器。

在需要同时兼顾高频和低频时,可以用一只容量大的铝电解电容器与另一只容量小的无感电容器并联使用。

在电源滤波电路中,用一只容量较大的铝电解电容器就可以起到滤波作用,但这种电容器的电感效应大,对高次谐波的滤波效果较差,为此通常再并联一只 0.01~0.1μF 的高频滤波电容器(如高频瓷介电容器),其滤波效果就更佳。

电容器的容量应根据电路的要求选用标称值。但要注意的是,不同类型的电容器其标称系列的分布规律是不同的,选用时可以查阅有关资料。

电容器的容许误差等级一般分为三级,如表 1-3 所示。大多数情况下,对电容器的精度要求不高,除振荡、定时、选频等电路外,一般对容许误差并无严格要求。

为了使电容器能在电路中长期可靠地工作,其实际工作电压不仅不能超过它的耐压值(或称电容器的直流工作电压),而且还要留有足够的富裕量,一般选用耐压值为其实际工作电压的两倍以上。在交流电路中,电容器所加交流电压的最大值,同样不可超过它的耐压值。

由于电容器两极板间的介质并非绝对的绝缘体,它们之间的电阻称为绝缘电阻,其值一般在 1000MΩ 以上。绝缘电阻小,不仅会引起能量的损耗,影响电路的正常工作,而且还会影响