

21 世纪高等院校电子信息类规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Electronic Information

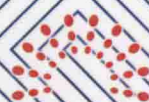
电工电子技术 实验指导 (第2版)

郑明辉 胡莹 主编

The Experiment of Electrical
and Electronic Technology (2nd Edition)

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS


高校系列

21 世纪高等院校电子信息类规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Electronic Information

电工电子技术 实验指导 (第2版)

郑明辉 胡莹 主编

The Experiment of Electrical
and Electronic Technology (2nd Edition)

人民邮电出版社

北京



高校系列

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术实验指导 / 郑明辉, 胡莹主编. — 2
版. — 北京: 人民邮电出版社, 2015.7
21世纪高等院校电子信息类规划教材
ISBN 978-7-115-38739-4

I. ①电… II. ①郑… ②胡… III. ①电工技术—实
验—高等学校—教学参考资料②电子技术—实验—高等学
校—教学参考资料 IV. ①TM-33②TN-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第066916号

内 容 提 要

本书首先介绍了电工电子实验要求和电工电子测量技术的基本知识, 再将电工电路实验、电子技术实验、EDA实验分为3章, 共32个实验。每部分实验中, 又分为基本型实验、设计型实验和综合型实验, 并对实验进行了计算机仿真。

本书可用于本专科院校非电专业多学时电工电子技术实验课程的实验教学用书, 以及电专业的电路实验教学用书。

-
- ◆ 主 编 郑明辉 胡 莹
 - 责任编辑 邹文波
 - 执行编辑 税梦玲
 - 责任印制 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
 - 邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
 - 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
 - 大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
 - 印张: 10 2015年7月第2版
 - 字数: 237千字 2015年7月河北第1次印刷
-

定价: 24.00元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

第2版前言

上一版从2008年出版以来,深受学生欢迎。在此期间,电工电子技术发生了巨大的变化,新技术层出不穷,教学内容和教学大纲也发生了变化。这就要求本书不断修订提高,日臻完善,以便更好地服务于学生。

本版在第一版基础上做了以下改进。

(1) 对原版的部分内容进行了修订和改写。如“常用电子仪器的使用练习”“电路元件的伏安特性测试”“积分电路和微分电路的设计”“集成运放的基本应用(一)——信号运算电路”等。

(2) 把电工技术实验改为电工电路实验,使之与电子技术实验相区分;将“无源滤波器 and 有源滤波器的设计”改为“无源滤波器的设计”;增加了“运算放大器和受控源”“二阶电路的响应”“移相器的设计及测试”“负阻抗变换器及应用”等内容。

(3) 增加了一章 EDA 实验。该章包含用 Multisim 仿真的“微分与积分电路的设计”“RC 选频电路的设计”“波形产生电路”3 个实验。

本书是江苏科技大学省级电工电子实验中心的教师在总结多年实验课教学经验的基础上编写而成的,由郑明辉、胡莹任主编。郑明辉编写了第1、2、4章及附录,胡莹、邢晓浚等编写了第3章。本书由江苏科技大学电子信息学院张尤赛教授审阅。在编写过程中,电工电子实验中心的其他教师也提出了宝贵意见和修改建议。在此深表谢意。

本次修订吸取了一部分老师和同学的意见,得到了江苏科技大学电子信息学院领导的热情帮助和支持,再此谨表谢意。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,希望读者,特别是使用本书的老师 and 同学提出批评和改进意见,以便今后修订提高。

编 者

2014 年 7 月

目 录

第 1 版前言

绪论 电工电子实验要求

0.1 安全用电须知

0.2 电工电子技术实验须知

本书是根据教育部颁发的“电工学”教学基本要求,结合当前一些新技术及实验设备编写的。内容既有基本型实验内容,又有提高设计型实验;既可以用计算机仿真虚拟实验,又有实验室实际操作实验。目的在于帮助学生验证所学的理论知识,训练学生的实验技能,提高学生分析问题和解决问题的能力,使学生养成严谨的科学作风。

本书是《电工学》(秦曾煌主编)的配套教材。全书共分 3 章,第 1 章介绍电工电子测量技术的基本知识;第 2 章为电工技术实验部分,介绍常用电子仪器的使用、直流电路、交流电路、系统时域分析、异步电动机控制等。其中加大了综合设计性实验的内容,如电压电流表的设计、异步电动机的继电器—接触器控制、无源和有源滤波器的设计,这部分内容的综合性很强,既可以安排在学完《电工学》上册后,也可以安排在全部学完《电工学》后。第 3 章为电子技术实验部分,介绍单管电压放大电路、模拟集成电路和数字集成电路的基本应用,注意将模拟与数字集成电路相结合,如 555 定时电路及其应用设计、温度检测与报警电路的设计、数字频率计的设计等实验。书后附有附录,附录 A 为电子仿真软件 Multisim 7 的基本应用,附录 B 为 DG-3 现代电工电子综合实验系统使用,附录 C 为常用仪器仪表的使用,附录 D 为部分集成电路引脚排列。

本书是由江苏科技大学电工电子实验中心的教师在总结多年实验课教学经验的基础上编写的。本书由郑明辉、胡莹主编,郑明辉编写了第 1、2 章及附录部分,胡莹、邢晓浚等编写了第 3 章。在编写本书的过程中,作者参阅了电工电子实验中心的其他实验指导书,同时还得到江苏科技大学电子信息学院领导的大力支持,电子信息学院书记张宪生教授在百忙之中审阅了本书的样稿,副院长张尤赛教授对初稿作了指导,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请使用本书的老师和同学批评指正。

编 者

2008 年 6 月

实验 1 常用电子仪器的使用练习

实验 2 电路元件伏安特性测试

实验 3 叠加原理和戴维南定理的验证

实验 4 交流阻抗参数的测量和功率因数的改善

实验 5 RLC 串联谐振电路的研究

实验 6 RC 选频电路的设计

实验 7 单相变压器特性测试

实验 8 三相交流电路

实验 9 积分电路与微分电路的设计

实验 10 异步电动机的直接启动与正反转控制

实验 11 异步电动机的继电器—接触器控制电路设计

目 录

绪论 电工电子实验要求	1
0.1 安全用电须知	1
0.2 电工电子技术实验须知	2
第1章 电工电子测量技术的基本知识	4
1.1 常用电工仪表的性能与特点	4
1.2 常用电子元件的性能与特点	6
1.2.1 电阻器	6
1.2.2 电容器	9
1.2.3 电感器	10
1.2.4 导线	11
1.2.5 晶体二极管	11
1.2.6 晶体三极管	13
1.2.7 运算放大器	14
1.3 电气测量的基本方法	15
1.3.1 电阻的测量	15
1.3.2 电流的测量	17
1.3.3 电压的测量	18
1.3.4 功率的测量	19
1.4 实验误差及数据处理	21
1.4.1 误差分类及其相应数据处理方法	21
1.4.2 实验数据处理	22
第2章 电工电路实验	23
实验1 常用电子仪器的使用练习	23
实验2 电路元件伏安特性测试	26
实验3 叠加原理和戴维南定理的验证	29
实验4 交流阻抗参数的测量和功率因数的改善	33
实验5 RLC 串联谐振电路的研究	37
实验6 RC 选频电路的设计	39
实验7 单相变压器特性测试	41
实验8 三相交流电路	44
实验9 积分电路与微分电路的设计	48
实验10 异步电动机的直接启动与正反转控制	52
实验11 异步电动机的继电器-接触器控制线路设计	56

实验 12	电压/电流表的设计	58
实验 13	运算放大器和受控源	62
实验 14	二阶电路的响应	67
实验 15	负阻抗变换器及其应用	71
实验 16	无源滤波器的设计	74
实验 17	移相器的设计与测试	77
第 3 章	电子技术实验	79
实验 1	单管低频小信号电压放大器	79
实验 2	负反馈放大器研究	84
实验 3	差动放大器	88
实验 4	集成运放的基本应用 (一)——信号运算电路	90
实验 5	集成稳压电源	94
实验 6	组合逻辑电路的分析与设计	97
实验 7	集成触发器及其应用	99
实验 8	计数、译码显示电路的应用	103
实验 9	555 时基电路及其应用电路设计	106
实验 10	温度检测与报警电路的设计	108
实验 11	集成运放的基本应用 (二)——波形产生电路	110
实验 12	数显式频率计的设计	111
第 4 章	EDA 仿真实验	113
实验 1	积分电路和微分电路的设计	113
实验 2	RC 选频电路的设计	116
实验 3	波形产生电路	119
附录 A	电子仿真软件 Multisim 7 简介	121
附录 B	DG-3 现代电工电子综合实验系统的使用	129
附录 C	常用仪器仪表的使用	135
附录 D	部分集成电路引脚排列	147
参考文献		151

绪论 电工电子实验要求

0.1 安全用电须知

为了防止触电事故,要熟悉安全用电常识,在实验过程中,必须严格遵守实验规程。

当人们不慎触及电源或带电导体时,电流流过人体,使人的机体受到伤害,称为触电。其伤害程度与流过人体电流的大小、通电时间的长短、电流的频率及触电者的健康状态有关。

触电方式一般有以下 3 种。

- (1) 单手触电: 电流经人体通过腿至大地。
- (2) 双手触电: 电流由一手经人体至另一手。
- (3) 一手的两只手指触电: 电流在触电的局部形成回路。

在以上 3 种触电方式中,以双手触电最为危险,因为此时电流经过心脏,而第 3 种方式危险最小,主要是局部的灼伤。

人体的电阻很小,主要在表皮部分。皮肤干燥时,人体电阻为 $10 \sim 100 \text{ k}\Omega$; 当皮肤混浊潮湿时(如出汗),人体电阻将大大降低,约为 800Ω 。工频交流电是比较危险的,当人体经 1 mA 工频电流流过时,就有不舒服的感觉;经 50 mA 电流流过时,心脏麻痹,如果时间过长就会有生命危险。一般称 36 V 以下电压为安全电压。

实验中,如果实验者粗心大意,未将电源闸刀开关断开就接线或拆线,往往容易触电;如果是三相电源,就容易造成双向触电,实验者将承受线电压,危险更大。

测试电压时,测试笔接在电压表的接线柱上,不得接在电源板的接线柱上,否则,如果两支带电的测试笔相碰,会造成短路事故;如果使用带电的测试笔测电压,容易造成触电。

实验时,同组的人必须配合默契,否则也容易造成触电事故。例如,一位同学手持导线待接,而另一位同学去接通电源,这样很容易造成单相触电。

电气设备(如电机或电子仪器等)在正常的情况下外壳不带电,一旦这些设备的绝缘性能下降,有漏电现象时,外壳就会带电,这时人体接触外壳会发生触电事故。

各种形式的短路都会产生很大的电弧,电弧灼伤人体,这也是触电的一种。

一旦发生触电事故,首先应迅速切断电源,或用绝缘的器具迅速将电源断开,使触电者脱离电源。

在电源中点接地的低压系统中,把电气设备的金属外壳部分与中线相连,称为保护接零。

如果电气设备的绝缘性能下降或发生漏电现象,由于中线电阻很小,短路电流很大,短路电流将使电路中的保护装置(如电流继电器、保险丝等)动作,切断电源,起到防止触电的作用。

实验开始接线时,先把实验设备和仪器之间的线路接好,然后再接通电源。实验完毕拆线时,首先断开电源开关,然后拆开电源线,最后再拆实验设备和仪器之间的连线。这是拆线的基本步骤,要养成习惯。

0.2 电工电子技术实验须知

为了保证实验达到预期的目的,学生应遵循下列规定。

1. 选课

在校园网上通过实验选课系统选择实验项目和实验时间。

2. 实验预习

每次实验前,应详细阅读实验教材,掌握必要的实验理论和方法,明确本次实验的目的和任务,了解本次实验需要用到的仪器设备、物品资料及简要的实验步骤,形成一个操作提纲。在此基础上简要地写一份预习报告,预习报告一般应包括:

- (1) 实验名称;
- (2) 实验目的;
- (3) 实验电路分析;
- (4) 简易实验步骤。

实验教材中要求选择的仪器、仪表参看附录预习,需要预先计算的内容须提前做好,设计性实验要求进入实验室前写出实验方案。没有预习或预习报告者不准参加本次实验。

3. 实验操作

(1) 学生应按规定时间到实验室参加实验,认真听取指导教师讲解;迟到超过 10min 不得参加实验。

(2) 实验前应仔细查对电源及实验仪器设备是否与实验要求相符合,是否完好。实验中因事故损坏仪器设备,应写出事故报告,交指导教师审阅并酌情赔偿经济损失。

(3) 实验时应以科学、文明的态度进行操作。首先自己要认真检查实验线路,然后请同组同学复检,最后经过指导教师允许后方可接通电源进行实验。发生事故应立即断开电源,并保持现场请教师查找原因。

(4) 一项实验任务完成后,应断开电源请教师检查实验数据并签字,然后才能改接线路。实验完毕应整理好仪器设备,请教师验收后才可离开实验室。

实验时应保持室内安静、清洁,注意人身设备安全。

4. 实验记录

学生开始实验时,应将实验中所做的每一步操作、观察到的现象和所测的数据如实地记录

下来。

实验记录中应有指导教师的签名。

5. 实验报告

实验报告是实验工作的全面总结，是一份学术性文件，也是考核实验者实验成绩的主要依据。

实验报告要求简明扼要，文理通顺，书写工整、清楚，图表清晰，结论正确，分析合理，讨论深入。

实验报告簿应事先准备好，用来做预习报告、实验记录和实验报告，要求这3个过程在一个实验报告中完成。实验报告内容包括以下4部分。

- (1) 实验名称，实验目的，实验电路图，简易实验步骤；实验仪器和设备。
- (2) 实验数据的记录和图形。
- (3) 实验结果的分析处理及结论。
- (4) 回答实验教材中的思考题，提出实验结论或提出自己的看法。

6. 安全操作须知

为了保证实验时人身及设备安全，实验操作时，应注意以下几点。

- (1) 实验前应了解实验室及实验桌上的电源，掌握直流电源的极性及电压大小，掌握交流电源的火线、零线及相、线电压值。
- (2) 接线、拆线或改接电路时，应首先断开电源开关，不得带电作业。不能用手接触电路上有明线的部位。
- (3) 兆欧表可产生500V或1000V以上的直流高压，切不可用来测量人身的电阻。
- (4) 在做电机实验时，注意勿将导线、发辫、衣服、围巾等接触到转轴，以免造成事故。
- (5) 电压表应通过测试棒并联接入电路，电流表应通过电流插销串联接入电路，接入前均应选好量程。使用万用表要特别注意换挡，切忌用电流挡或电阻挡测量电压。
- (6) 在做电子实验时，要注意调好电源，电源电压应符合电路要求。
- (7) 电烙铁、电灯泡等要妥善放置，以防烧坏其他设备或造成烫伤，甚至引起火灾。
- (8) 出现事故应立即断开电源，请教师共同检查原因。

This diagram illustrates the internal components of a permanent magnet type current meter. The central part is a cylindrical '可动线圈' (movable coil) mounted on a '转轴' (shaft). The coil is positioned between the '磁极' (magnetic poles) of a '马蹄形磁钢' (horseshoe magnet). A '游丝' (spiral spring) is attached to the coil to provide a restoring torque. A '圆柱铁芯' (cylindrical iron core) is located inside the coil. A '指针' (pointer) is attached to the shaft, and a '校正器' (adjuster) is used to calibrate the meter. The entire assembly is housed within a rectangular frame.

磁电式仪表的主要特性是：刻度均匀，准确度高，可以制成 0.1 级的标准表。由于永久磁铁有较强的磁场，所以测量机构的灵敏度高，受外磁场的影响小。仪表本身消耗的功率小，对外电路的影响也小。它的缺点是只适于测直流，且由于电流要经过游丝所以过载能力低，当电流超过仪表的额定值时游丝会过热而失去弹性以致毁坏仪表。

2. 电磁式仪表 每相号数加九后方可接通电源进行实验。发生事故应立即断开电源。并保

— 4 —

的磁场强度是与线圈的电流成正比的,即瞬时力矩由电流 i 的平方决定。活动部分有一定惯性所以其偏转角与一周期内的平均力矩一一对应。活动部分在被测电流变化一个周期内的平均力矩则决定于电流 i 的平方在一个周期内的平均值(也即被测电流有效值的平方),所以电磁式仪表可用来测量交流电路的电流或电压的有效值。

电磁式仪表由于线圈内部有铁芯所以有磁滞和涡流现象,这就造成直流读数和交流读数不一样,且读数受频率和波形的影响,即测定不同频率或波形的同一有效值时,其偏转会有些不同。用于测量直流时,要注意由于磁滞的关系,当被测量缓慢增加时电磁式仪表给出较低的读数,而当被测量减小时它又给出较高的指示值,并且每次测量值都和该次测量前仪表铁芯的磁场状态有关。

电磁仪表的优点是构造简单,价格低廉,可用于交直流,能测量较大电流和允许较大的过载。由于电磁式测量机构中线圈的阻抗随被测电流的频率而变,所以不能用分流电阻来扩大量程,为改变量程是将线圈绕组分段,利用串联和交联改接来达到。用这种仪表测量电压或电流具有非线性(平方)的标尺特性。电磁式仪表的准确度也较低,最高仅 0.2 级。



图 1-1-2 电磁式仪表结构

3. 电动式仪表

电动式仪表结构如图 1-1-3 所示。固定线圈能在线圈内产生较为均匀的磁场,可动线圈和转轴相连,可以在固定线圈内转动。当固定线圈和可动线圈都通电流时,可动线圈受到固定线圈的磁场对它的作用力而产生偏转。

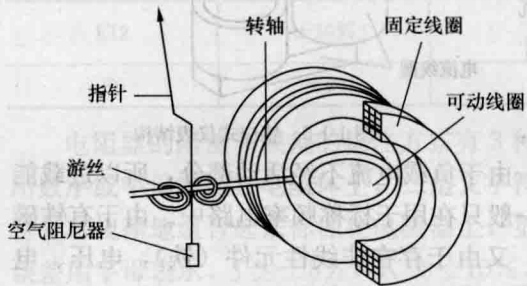


图 1-1-3 电动式仪表结构

电动式仪表用作电压表和电流表时,转矩与电流或电压的平方成正比,为使刻度均匀些要适当设计 $K(\gamma)$ 。而用作瓦特计时则要求 $K(\gamma)$ 基本上为常数,以具有近似线性的刻度。因此,电动式仪表不论是电压表、电流表或功率表,其刻度都是不均匀的,尤其在小刻度指示值时,仪表的灵敏度是较低的。由于仪表内部没有铁磁物质,所以精度较高且交直流读数一样,可用直流分度和校准,所以可用作交流的标准表。它能测量交流量的有效值,与电磁式仪表相比较波形和频率的影响较小。通常使用的频率范围在 2.5kHz 以下。这种仪表功率损耗较大,直接用来测量电路的电压、电流常会改变电路的状态,一般作标准表用,其过载能力也低,而且转矩较小读数易受外磁场影响,所以通常都加有磁屏蔽防护。有时为了增加转动力矩而在可动线圈和固定线圈之间加上铁芯,这就是铁磁电动式仪表,但引进铁芯,也就引起了磁滞和涡流问题,使仪表的准确度降低。

电动式仪表的优点是适用于交直流,同时由于没有铁芯,所以准确度较高。其缺点是受外界磁场的影响大(本身的磁场很弱),不能承受较大过载。

作为瓦特计来测量电路的功率是电动式仪表的一个主要用途,在使用瓦特计时要注意以下几个问题。

(1) 接线时要注意端钮的极性。

(2) 瓦特计的量程是电流线圈的电流量和电压线圈支路的电压量限的乘积。

(3) 仪表损耗。瓦特计在使用时有两种接法,在图 1-1-4 (a) 所示的接法中,电压支路两端的电压等于负载的电压加上电流线圈的压降,所以,适用于高阻抗负载。在图 1-1-4 (b) 中,瓦特计电流线圈的电流等于负载电流再上电压线圈支路电流,适用于低阻抗负载。

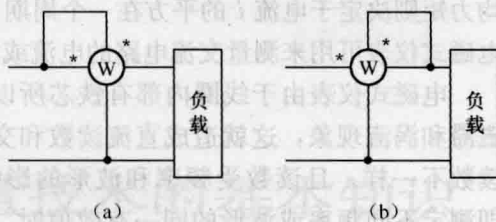


图 1-1-4 用瓦特计测量电路功率的接线图

4. 感应式仪表

感应式仪表结构如图 1-1-5 所示。其测量机构的活动部分是一个导电圆盘(或环或其他类似的结构),转轴通过盘的中心并与其垂直,固定部分是两个(或两个以上)用以产生磁通的磁路 2、3,导电圆盘可在磁路的气隙中转动。当穿过圆盘的磁通 φ_1' 、 φ_U 、 φ_1'' 随时间变化时,在圆盘中就会产生感应电流(涡流),磁通与圆盘中涡流间的电磁场力作用于盘上就形成仪表的转动矩。

若在测量机构中去掉反作用弹簧,则当作用力矩与阻尼力矩相等时导电盘将作匀速转动。若阻尼力矩是由通过导电盘的恒定磁通产生,则阻尼力矩将与转速成正比,也即转速与作用力矩(即功率)成正比。这样在一定时间内转盘的转速就反映电负载在这段时间内消耗的电能量,这就是电度表的原理。电度表的转数一般是用一个计数器记录的。



图 1-1-5 感应式仪表结构

感应式电表的转动力矩较大,结构也较牢固,由于采用了铁芯,本身磁场较强对外磁场不敏感,由于负载电流不经活动部分,所以过载能力较强。但它的力矩与频率有很大的关系,所以一般只在用于标称频率电路中。由于有铁磁物质及导电盘,其磁性及电阻率随温度变化较大,又由于存在非线性元件(铁),电压、电流的大小,负载的功率因数角均会影响准确度,所以其准确度不高。

1.2 常用电子元件的性能与特点

1.2.1 电阻器

电阻器是实验电路中常用的元件,在实验装置中利用其消耗电功率的特征来实现电路的电阻参数。电阻器的种类繁多,分类的方法也很多,可按材料、结构、用途、阻值大小、屏

蔽保护等来分类。根据其阻值在电路中的特性来分,可分为固定电阻器、可变电阻器(电位器)和敏感电阻器。常用的电阻器有线绕电阻、碳膜电阻、金属膜电阻等,线绕电阻多用锰铜丝和康铜丝绕制。

1. 电阻器的类型与图形符号

国家标准规定电阻器图形符号如图 1-2-1 所示。固定电阻器用 R (Resistor) 表示,电位器用 R_P 或 R_w 表示,敏感电阻器则根据敏感性能在 R 下方加英文字母来表示,如热敏电阻器用 R_T 来表示。

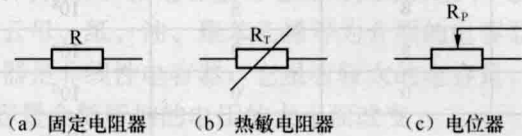


图 1-2-1 电阻器的图形符号

2. 电阻器的主要技术条件

(1) 标称值。标志在电阻器和电位器上的阻值称为标称值,它是以 20℃ 为工作温度来标定的。各电阻器产品的标称值的间隔有一定的规定,在选用电阻器时应根据各系列标称值选取。标称阻值系列表如表 1-2-1 所示。

表 1-2-1 标称阻值系列表

标称阻值系列	允许误差	精度等级	电阻器标称值
E24	±5%	I	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
E12	±10%	II	1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 6.4 8.2
E6	±20	III	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8

电阻器的阻值和误差的标注方式有 3 种:一是直标法,将电阻器的主要参数和性能指标用数字或字母标注在电阻体上;二是文字符号法,将电阻器的主要参数和性能用文字和数字符号有规律地组合起来标注在电阻器上,如 3.6Ω 标志为 3Ω6, 3.6kΩ 标志为 3k6,其允许误差用字母表示, J 为 ±5%, K 为 ±10%, M 为 ±20%;三是色标法,用不同颜色的色环表示电阻器的阻值及误差等级。目前市面上大部分电阻器采用色标法标注,普通电阻器采用四色环表示法,精密电阻采用五色环表示法。各色环颜色代表的含义如表 1-2-2 所示。色环法表示的电阻器阻值一律是欧姆。

表 1-2-2 色环的基本色码及含义

色 别	左第一环	左第二环	左第三环	右第二环	右第一环
	第一位数	第二位数	第三位数	倍乘率	精度
棕	1	1	1	10 ¹	F+1%
红	2	2	2	10 ²	G+2%

续表

色 别	左第一环	左第二环	左第三环	右第二环	右第一环
	第一位数	第二位数	第三位数	倍乘率	精度
橙	3	3	3	10^3	
黄	4	4	4	10^4	
绿	5	5	5	10^5	D+0.5%
蓝	6	6	6	10^6	C+0.2%
紫	7	7	7	10^7	B+0.1%
灰	8	8	8	10^8	
白	9	9	9	10^9	
黑	0	0	0	10^0	
金				10^{-1}	J+5%
银				10^{-2}	K+10%

(2) 准确度。以其允许的相对误差表示。

(3) 允许功率。当电流通过电阻器时会消耗功率引起温升。实际使用功率超过规定值时，会使电阻器因过热改变阻值甚至烧毁。对一些准确度高的电阻器，为保证其准确度，往往还要降低功率使用。

电阻器的允许功率与其使用时的周围温度有关，通常电阻器标明的允许功率（或允许电流）是指其周围温度在 20℃ 附近时的值。随着温度升高其允许功率将下降，当温度上升到某一数值时，电阻器允许的功率将降为零，即这个温度是该电阻器的最高允许温度。因此，在选用电阻器时要注意选用合适允许功率（或电流）的电阻器，而并不是仅仅考虑其阻值。

(4) 时间常数。为了表征电阻器杂散电感和电容的大小，定义电阻器的时间常数为 τ 。注意这时的时间常数和电路原理分析过渡过程时所定义的时间常数略有不同。当 τ 为正时电阻器表现为感性，为负时表现为容性。理想的电阻器其时间常数应为零。在直流电路中一般并不关心电阻器的值，但在交流电路中，电阻器的 τ 值也是一个重要的指标。一般来讲准确度越高，其所允许时间常数的绝对值也越小。交流电路中用的电阻器的 τ ，一般要求比直流电路的小。一般线绕电阻有较大的电感和电容（匝间、层间电容），因而有较大的 τ 。

(5) 温度系数。电阻器的阻值和温度有关。通常希望电阻器的温度系数尽可能小，准确度高的电阻器其电阻温度系数小。只有那些为特殊目地而使用的热敏电阻等，则要求有较大的电阻温度系数，以便起某种自动控制和温度传感器的作用。

(6) 接触电阻。对于电阻值较小或准确度要求很高的电阻器，在使用时其连接导线以及连接点的接触电阻是不可忽略的。一般良好的活动接触的接触电阻在 0.1~0.01Ω 数量级，接线电阻可能达 0.1Ω 数量级。为消除连接导线和接触电阻的影响，可将电阻器制成 4 个端钮的结构，如图 1-2-2 所示。外侧的一对端钮 c、c 称电流端钮，供电阻接入电路通过一定的工作电流，内侧的一对端钮 p、p 称电压端钮，该端钮仅用来取电阻的电压用。电阻器的标称值指 p、p 端钮间的电阻值，即 $U=I \cdot R$ 。

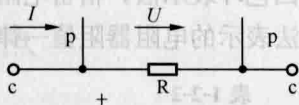


图 1-2-2 电阻器端钮结构

1.2.2 电容器

电容器是由极间放有绝缘电介质的两金属电极构成。电容器所用的电介质有真空的、气体的、云母的、纸质的、高分子合成薄膜的、陶瓷的、金属氧化物的等。电容器的分类方法很多,按有无极性可分为无极性电容器和有极性电容器(电解电容器),按电容器容量是否可变分为固定电容器和可变电容器、半可变电容器。

电容器按其工作电压可分高压电容器和低压电容器。高压电容器两极板间的距离相对较大。低压电容器常见的有平板式电容器,它是由两组金属平板互相交错叠成,板间填充有电容器所用的电介质(气体介质)。按电容量与电压的关系来分,电容器分为线性电容器和非线性电容器,以空气、云母、纸、油、聚苯乙烯等为介质的电容器是线性电容器;以铁电体陶瓷为介质的陶瓷电容器是非线性电容器,它虽有较大的电容量,但由于铁电体的介电系数 ϵ 不是常数,所以其电容量会随所加的电压的大小而改变。

1. 常用电容器的图形符号

图 1-2-3 所示为常用电容器的图形符号。

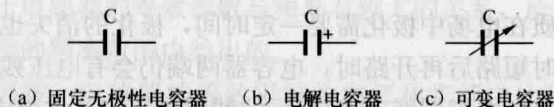


图 1-2-3 常用电容器的图形符号

2. 电容器的主要技术条件

(1) 标称值。电容器的标称值,是指该电容器在正常工作条件下的电容量,一般在电容器上都有标明。通常电容器的电容量是在 pF (微微法) 级至 $10^4 \mu\text{F}$ 级的范围内。

小于 100pF 的电容器一般采用直标法,只标注数值而省去单位,如 220 表示 220pF; $10\,000 \sim 1\,000\,000\text{pF}$ 的电容器,以微法 (μF) 为单位,以小数点为标志,也只标注数值而省去单位,如 0.1 表示 $0.1 \mu\text{F}$; 电解电容器以微法 (μF) 为单位直接标印在电容器上,如 $10 \mu\text{F}/16\text{V}$,表示标称值为 $10 \mu\text{F}$,耐压为 16V。

数码表示法用 3 位数码表示容量大小,前 2 位表示电容量的有效数字,第 3 位表示零的个数,单位为 pF。如 103 表示 $10 \times 10^3 = 10\,000\text{pF}$, 224 表示 $22 \times 10^4 = 220\,000\text{pF}$, 如果第 3 位是 9,则乘 10^{-1} ,如 339 表示 $33 \times 10^{-1} = 3.3 \text{ pF}$ 。

(2) 准确度。通常实验中使用的电容器和电容箱的准确度均低于 0.1 级,电解电容器的准确度是极低的,其误差可在 $-50\% \sim 100\%$,与使用及贮存的时间有关,一般只作旁路电容器用。

(3) 损耗。电容器的损耗主要是电容器极板间的介质损耗,包括泄漏电阻损耗和介质极化损耗。电容器的泄漏电阻也就是电容器在恒定直流电压作用下的电阻,电路的频率越低,该电阻的影响越大。在直流电路中,电容器两端的稳态电压就是由泄漏电阻决定的,而不是由电容决定的。在积分电路中电容器的泄漏电阻会影响积分的正确性。随着电路频率的增大,电容器介质中的极化损耗也相应增大,逐渐成为电容器损耗的主要成分。

(4) 电容器的额定电压。电容器的额定电压通常在电容器上都有标出,低的只有几伏,

高的可达数万伏。使用时要注意选择合适额定电压的电容器,避免因工作电压过高而使电容器击穿造成短路。一些容易被瞬时电压击穿的瓷介电容器应尽量避免接于低阻电源的两端。有些电容器经不太严重的击穿后,虽仍可恢复其绝缘,但容量的准确度将降低。

电解电容器的耐压和贮存时间有很大关系,长期未加电压的电解电容器耐压水平会下降,重新使用时应先加半额定电压,一段时间后才能恢复原有的耐压水平。

(5) 电容器的使用频率范围。电容器的等效电容量和损耗角都与频率有关。通常电容器的等效电容量 C_e 在低频段随 f 增加略有降低,中频后则随 f 增加而增加。损耗角在低频随 f 增大下降较为明显,但并不与 f 成反比,在某一频率时将出现一最小值。

由于电容器所用介质不同,各种电容器有一定的使用频率范围。

电解电容器由于损耗大、杂散电感大,使用的频率上限很低,所以在用电解电容器旁路时,还需并联小容量的其他电容器以降低高频时的总阻抗。

(6) 使用温度和电容温度系数。标准电容器必须在规定的温度下使用,才能保证其标称值和准确度。温度改变时电容量也要随时改变。

(7) 电容器的稳定性。电容器经长期使用后会有一定的变化。电解电容器的稳定性很差,钽电解电容器比铝电解电容器好些。

(8) 吸附效应。介质在电场中极化需要一定时间,极化的消失也要一定的时间,所以当充电过的电容器两极瞬时短路后再开路时,电容器两端仍会有电压残留,这种现象称为吸附效应。吸附效应的强弱是以电容器经 1s 短路后的残留电压与放电前电压比的百分数表示。

(9) 寄生电容和三端电容器。电容器的极板和端钮与周围物体之间均会形成电容,这些寄生电容的大小是随周围物体的放置而变的。寄生电容会影响电容器的电容量,外界干扰信号也会通过这些寄生电容进入电路形成。为了避免外界的干扰并固定电容器的电容量,可将电容器用金属外罩加以屏蔽,屏蔽罩也有一个接线端钮,因此就成为一个具有 3 个端钮的电容器。三端电容器的示意图如图 1-2-4 所示。

1.2.3 电感器

在实验中常需用到电感元件(电感器)。实验所需的电感元件大多是用绕在空心圆筒或带肋骨的架子上的线圈来实现,圆筒或架子的材料可能是纸质,也可能是胶木、陶瓷、塑料或大理石。

电感器就其值而言,可分为可变电感器与定值电感器。可变电感器可利用改变线圈的匝数,以达到有级调节电感,如常用的十进电感箱;可利用改变各段线圈间的相对位置以改变互感,达到无级调节电感,也可用改变线圈的磁路,以改变磁场,达到改变电感。

1. 常用电感器的图形符号

图 1-2-5 所示为常用电感器的图形符号。



图 1-2-5 常用电感器的图形符号

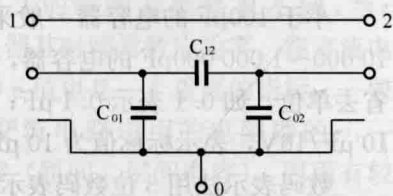


图 1-2-4 寄生电容和三端电容器