



普通高等教育实验实训规划教材

电力技术类

电子技术实验

羿宗琪 主 编
秦和平 焦学辉 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



普通高等教育实验实训规划教材

电力技术类

电子技术实验

主 编 羿宗琪
副主编 秦和平
编 写 李保平
主 审 周乐挺

焦学辉



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育实验实训规划教材（电力技术类）。

全书分为4篇共8章，主要内容包括电子技术实验基础理论、电子电路元器件的识别与主要性能参数、常用电子仪器及使用，模拟电子技术实验、数字电子技术实验，MAX+plusⅡ软件的使用、数字EDA实验和电子技术课程设计。本书在内容编排上，将验证、设计、综合性实验有机结合，以培养学生的综合实验能力；同时，将传统的原理性、验证性实验与以MAX+plusⅡ为代表的EDA设计性实验紧密结合，将实物实验与虚拟仿真实验有机地结合，充分利用了计算机的辅助设计能力，并顺应现代电子技术发展的潮流。

本书可作为高职高专院校电力技术类专业的实验教学用书，也可作为自学者和电子技术人员的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

电子技术实验/羿宗琪主编. —北京：中国电力出版社，
2009

普通高等教育实验实训规划教材. 电力技术类

ISBN 978 - 7 - 5083 - 8105 - 3

I. 电… II. 羿… III. 电子技术—实验—高等学校—
教材 IV. TN - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 175546 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>）

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009年1月第一版 2009年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 9印张 215千字

定价 15.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

为适应 21 世纪科学技术、高等职业教育的发展及当前教学改革的需要,编者在总结多年电子技术实验教学经验的基础上,编写了这本《电子技术实验》教材。通过这门课程的学习,学生可将电子技术基础理论与实际操作有机地联系起来,加深对所学理论知识的理解,逐步培养和提高自身的实验能力、实际操作能力、独立分析问题和解决问题的能力,以及创新思维能力和理论联系实际的能力。

本教材实验内容丰富,且遵从循序渐进的原则。书的内容编排上,将验证、设计、综合性实验有机结合,以培养学生的综合实验能力;同时,将传统的原理性、验证性实验与以 MAX+plus II 为代表的 EDA 设计性实验紧密结合,将实物实验与虚拟仿真实验有机地结合,充分利用了计算机的辅助设计能力,并顺应现代电子技术发展的潮流。编写过程中,注重突出教材的实用性、前瞻性和系统性。

(1) 实用性。本教材中所介绍的几种常用电子仪器在实际生产中使用比较广泛,设计的实验项目都紧密结合教材,实验电路板选择浙江天煌教仪的产品,该产品市场占有率较高。所以,本教材可以作为相关兄弟院校的电子技术实验教材,同时,也可以作为电子技术爱好者进行电子技术实践活动的参考资料和指导教材。

(2) 前瞻性。本教材中,不仅编写了常规的 9 个模拟电子实验和 7 个数字电子实验,还编写了 7 个 EDA 数字电子实验。在学时充足时,对于同一内容可通过硬件实验与 EDA 实验相互对比,使学生掌握先进的实验手段与方法,并加深对实验原理的理解、提高实验技能;在学时较少时,则应有选择地安排硬件实验和 EDA 实验内容,使两者能相互配合、相互补充。另外,通过虚拟仿真实验,可将许多实验室中无法进行的实验操作或实际操作难度大的实验内容通过计算机进行仿真实验完成,极大地丰富了电子技术的实验内容。

(3) 系统性。本教材包含实验基础知识与实验技能两大部分。这些实验基础知识,如实验误差与数据处理、常用电子仪器和常用电子元器件的使用等,都是电子技术实验的基本要求,是学生必须要掌握的知识。而这些知识都是常识性的知识,不需要花费时间去讲授,为方便学生自主学习,教材中用一定的篇幅来讲述,以确保学生能掌握这些知识,并在每个实验中正确应用。

本书由羿宗琪主编,秦和平、焦学辉担任副主编,李保平参加编写,由周乐挺主审。

在此向本教材编写中参考有关书籍的作者表示诚挚的谢意。但由于我们水平有限,书中疏漏或不妥之处在所难免,恳请使用本书的师生及读者批评指正。

编 者

2008 年 9 月



目 录

前言

第 1 篇 电子技术实验基础知识

第 1 章 电子技术实验基本理论	1
1.1 电子技术实验的目的与要求	1
1.2 测量误差基本知识	2
1.3 测量数据的处理	4
第 2 章 电子电路元器件的识别与主要性能参数	6
2.1 电阻器	6
2.2 电容器	9
2.3 电感器	12
2.4 半导体器件	14
2.5 常用的集成电路	22
第 3 章 常用电子仪器及使用	28
3.1 示波器	28
3.2 信号发生器	36
3.3 交流毫伏表	39
3.4 直流稳压电源	41
3.5 万用表	43

第 2 篇 电子技术基础实验

第 4 章 模拟电子技术实验	50
4.1 常用电子仪器的使用	50
4.2 单管低频放大器	54
4.3 负反馈放大器	58
4.4 集成运算放大器的基本应用	61
4.5 集成功率放大器	63
4.6 集成运放组成的 RC 桥式振荡器	66
4.7 石英晶体振荡器	67
4.8 单相桥式整流滤波电路	70
4.9 集成稳压电源的测试与调整	72

第 5 章 数字电子技术实验	75
5.1 基本门电路的逻辑功能	75
5.2 组合逻辑电路	77
5.3 编码器和译码器的应用	79
5.4 触发器	82
5.5 计数器	85
5.6 移位寄存器	89
5.7 D/A 和 A/D 转换器	92

第 3 篇 数字电子技术 EDA 实验

第 6 章 MAX+plus II 软件使用	97
6.1 启动 MAX+plus II	97
6.2 建立设计项目与图形输入	97
6.3 项目编译	101
6.4 仿真	103
6.5 引脚分配	106
6.6 下载	107
6.7 硬件连线	107
6.8 文本设计输入	107
6.9 可调参数元件 lpm 的使用	109
第 7 章 MAX+plus II 实验	112
7.1 译码器	112
7.2 组合电路	113
7.3 触发器	116
7.4 扫描显示电路	118
7.5 计数器及时序电路	121
7.6 二位十进制数字频率计	124
7.7 数字钟 (综合实验)	127

第 4 篇 电子技术综合实验

第 8 章 电子技术课程设计	130
8.1 数字电子钟设计	130
8.2 直流稳压电源的设计	134
8.3 设计题目选编	136
参考文献	137

第1篇 电子技术实验基础知识

第1章 电子技术实验基本理论

本章重点介绍电子技术实验的性质、目的和一般要求,测量误差的基本知识及测量数据的一般处理方法等知识,为学生顺利完成电子技术实验项目奠定基础。

1.1 电子技术实验的目的与要求

1.1.1 电子技术实验的性质、任务与目的

电子技术实验是电子技术课程的一项重要实践环节,对于培养学生理论联系实际的学风,增强其实验能力、综合应用能力和创新意识起着十分重要的作用。

通过实验可以使學生巩固和加深理解所学的理论知识,训练实验操作技能,熟悉和掌握常用电子仪器的使用方法,学会正确使用常用电子元器件,提高实验接线、查线、分析故障解决问题以及编写实验报告的能力;初步具备一定的科学实验能力和基本技能,培养一定的工程设计能力和创新能力,树立工程实践的观点和严谨的科学作风。

电子技术实验按性质可分为演示性实验、验证性实验、综合性实验、设计性实验、仿真实验和 CPLD 实验。演示性和验证性实验主要针对电子技术学科范围内理论论证和实际动手能力的培养,帮助学生认识现象,掌握基本实验知识、方法和实验技能。综合性实验侧重于某些理论知识的综合应用,其目的是培养学生综合运用所学基本理论知识分析和解决实际问题的能力。设计性实验是由学生自行设计实验方案并加以实现的实验,使学生接受科学研究的基本训练,是教学、科研相结合的一种重要形式。仿真实验和 CPLD 实验利用计算机软件(如 EWB、Protel、MAX+plus II 等)及硬件描述语言等对电子电路进行仿真、分析和设计,能够克服电路连接复杂、故障难以查找,以及实验箱长期使用导致接触不良等缺点,使学生掌握新技术、新的实验手段,从而激发学生的学习兴趣。

1.1.2 电子技术实验要求

1. 实验准备要求

- (1) 实验前应认真阅读实验指导书,明确实验目的、要求,了解实验内容。
- (2) 掌握有关电路的基本原理,拟出实验方法和步骤,掌握实验仪器的使用方法。
- (3) 设计出记录实验数据的表格。
- (4) 初步估算或分析实验结果(包括参数和波形),写出预习报告。

2. 实验操作规程

(1) 实验仪器位置的合理摆放。实验时,所使用的仪器、仪表和实验电路板之间应按照信号的流向,及连线简洁、调节顺手、观察与读数方便的原则进行合理布局。一般来说,信号源位于电路板的左侧,测试用的仪表置于电路板的右侧,直流稳压电源放在中间位置。

(2) 电路板的连线与元器件的接插方法。连线要做到正确和整齐,不仅是为了检查、测量方便,更重要的是可以确保电路的稳定、可靠工作。布线的一般顺序是先布电源与地线,然后再从输入到输出依次连接各元器件,尽量做到接线短、接点少。特别要注意的是,在接通电源之前,要仔细检查所有的连线,确认准确无误后才可通电。

接插元器件和导线时要非常细心。接插前,应用镊子将元器件和导线的插脚拉平直;接插时,应小心地用力插入,确保插脚与插座间的良好接触;实验结束后,应轻轻拔下元器件和导线。

(3) 接线规则。仪器和实验电路板之间的接线要用颜色线加以区别,以便于检查。如电源线的正极常用红色导线,负极常用黑色导线。另外,信号的传输线应用具有金属外套的屏蔽线,不能用普通导线,而且屏蔽线的外壳要接地,否则可能引进干扰而造成测量结果的异常。

(4) 仪器设备的安全使用。实验中,要爱护仪器设备,确保安全使用,不要频繁开关仪器电源,随意旋转仪器面板上的开关。使用测量仪表时,还要特别注意量程,被测信号的大小不能超过仪表量程。

3. 撰写实验报告的要求

实验报告是实验工作的总结,是一种重要的基本技能素质训练。实验报告要简明扼要、字迹工整、图表清晰、数据准确,并采用统一的报告用纸。实验报告的内容应包括以下几方面:

- (1) 实验项目名称。
- (2) 实验目的。
- (3) 主要仪器设备及元器件。
- (4) 实验内容及步骤。
- (5) 认真整理和处理测试的数据和波形。
- (6) 对测试结果进行理论分析,并做出简明扼要的总结。
- (7) 思考题、讨论题的回答及对实验的改进建议。

1.2 测量误差基本知识

在测量过程中,由于各种原因,测量值与其客观真值之间不可避免地存在差异,即测量误差。

1.2.1 误差的来源

测量误差的来源主要有仪器误差、使用误差、人身误差、影响误差和方法误差五方面。

1. 仪器误差

仪器仪表本身引入的误差为仪器误差,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,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. 影响误差

影响误差又称环境误差,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,是由于测量方法不完善、理论依据不严密而造成的误差。

1.2.2 误差的分类

测量误差按其性质可以分为系统误差、随机误差和粗大误差。

1. 系统误差

在多次等精度测量同一量时,误差的数值保持恒定或按某种确定规律变化,这种误差为系统误差。引起系统误差的原因多为测量仪器不准确、测量方法不完善、测量条件变化及操作不正确等,应根据系统误差的性质和变化规律,通过实验或分析找出产生的原因,设法削弱或消除。

2. 随机误差

随机误差又称偶然误差。在多次等精度测量同一量时,误差的数值发生不规则变化,这种误差为随机误差。产生随机误差的主要原因是那些对测量值影响较小又互补相关的诸多因素,如各种无规律的干扰、热骚动、电磁场变化等。尽管随机误差是不规则的,但实践证明,如果测量次数足够多,随机误差平均值的极限就会趋于零。所以,减小随机误差的最直接办法就是进行多次测量,并将测量结果取算术平均值,从而使其接近于真值。

3. 粗大误差

粗大误差是指因测量人员不正确操作或疏忽大意而造成的明显超出预计的测量误差。这种测量数据应当剔除而不应作为测量依据。但是,如果是由于被测电路工作不正常造成的粗大误差,则应做进一步的测量分析。

1.2.3 测量误差的表示方法

误差常用绝对误差、相对误差和容许误差来表示。

1. 绝对误差

如果用 X_0 表示被测量的真值, X 表示测量仪器的示值(即标称值),绝对误差 ΔX 为

$$\Delta X = X - X_0 \quad (1-1)$$

2. 相对误差

在测量不同大小的被测量值时,不能简单地用绝对误差来判断准确程度。例如,在测 100V 电压时, $\Delta X_1 = 5V$; 在测 10V 电压时, $\Delta X_2 = 1V$ 。虽然 $\Delta X_1 > \Delta X_2$, 可实际上 $\Delta X_1 = 5V$, 只占被测量的 5%, 而 $\Delta X_2 = 1V$, 却占被测量的 10%, 显然在测 10V 时, 其误差对测量结果的相对影响更大。为此, 在工程上通常采用相对误差来比较测量结果的准确程度。

相对误差是绝对误差与真值之比值, 用百分数来表示, 即

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

3. 容许误差

容许误差(又称满度相对误差、引用误差、最大误差)是用绝对误差与仪器某量程的上限(即满度值) X_m 之比来表示的, 记为

$$\gamma_m = \frac{\Delta X}{X_m} \times 100\% \quad (1-3)$$

我国的电工仪表按容许误差值分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5 共七个等级。由容许误差定义可知,若用一只满刻度为 150V 的 1.5 等级的电压表测电压,其最大绝对误差为 $150 \times (\pm 1.5\%) = \pm 2.25 \text{ (V)}$ 。

例如,用 1.5 级电压表测量一个 12V、50Hz 的交流电压,现分别选用 15V 和 150V 两个量程进行测量,结果如下:

用 150V 量程时,测量产生的最大绝对误差为

$$150 \times (\pm 1.5\%) = \pm 2.25 \text{ (V)}$$

用 15V 量程时,测量产生的最大绝对误差为

$$15 \times (\pm 1.5\%) = \pm 0.225 \text{ (V)}$$

显然,用 15V 量程测量 12V 电压,绝对误差小很多。因此,为减小测量误差,提高测量准确度,应使被测量示值出现在接近满刻度区域,至少应在满刻度值的 2/3 以上。

1.3 测量数据的处理

1.3.1 有效数字的处理

在记录和计算测量数据时,要掌握有效数字的正确取舍。不能认为一个数据中小数点后位数越多这个数据越准确,也不能认为计算测量结果时保留的位数越多准确度就越高。

1. 有效数字的概念

一个数据从左边第一个非零数字起至右边欠准确数字的一位为止,其间的所有数码均为有效数字。例如,测得的频率为 0.0538MHz,它是由 5、3、8 三个有效数字表示的,其左边的两个零不是有效数字,但可通过单位变换,将这个数写成 53.8kHz;其末位数字“8”,通常是在测量中估计出来的,因此称为欠准确数字,其左边的有效数字为准确数字。

2. 有效数字的正确表示

(1) 有效数字中,只应保留一位欠准确数字。因此在记录测量数据中,只有最后一位有效数字是欠准确数字。

(2) 欠准确数字中,要特别注意“0”的情况。例如,测量某电阻的数值为 136.0k Ω ,这表明前面三位数 1、3、6 是准确数字,最后一位数 0 是欠准确数字;如果改写成 136k Ω ,则表明前面两位数 1、3 是准确数字,最后一位数 6 是欠准确数字。这两种写法尽管表示同一个数值,但实际上却反映了不同的测量准确度。

(3) 如果用 10 的幂来表示一个数据,10 的幂前面的数字都是有效数字。例如, $13.60 \times 10^3 \text{ k}\Omega$,表明该电阻的有效数字为 4 位。

(4) π 、 $\sqrt{2}$ 等常数具有无限位数的有效数字,在运算时可根据需要取适当的位数。

(5) 对于计量测定或通过计算所得数据,在所规定的精度范围以外的那些数字,一般都应按“四舍五入”的规则处理。对于“5”的处理是:当被舍的数字等于 5,若 5 后还有数字,则可舍 5 进 1;若 5 之后为 0,只有在 5 之前数字为奇数时,才能舍 5 进 1;若 5 之前为偶数(含零),则舍 5 不进位。

3. 有效数字的运算规则

在进行计算时,有效数字保留过多无意义,运算复杂容易出错,影响实验的测量精度,所以有效数字的运算必须符合一定的规则。

(1) 有效数字的加减运算。对于整数进行加减运算时和普通加法一样；对于小数运算，应以小数点后位数最少的数作为标准，将其他数据进行处理，然后再进行运算。例如，求 0.43V 与 0.3565V 之和， 0.43 作为标准数，则按上述规则 $0.3565 \rightarrow 0.36$ ， $0.43 + 0.36 = 0.79 (\text{V})$ 。

(2) 有效数字的乘、除运算。运算前，对各数据的处理应以有效数字位数最少的为标准，所得积或商的有效数字的位数应与此相同。

(3) 有效数字的乘方、开方运算。运算结果的有效数字位数应比原数据多保留一位。

1.3.2 测量数据的曲线处理

在电子测量中，有时测量的目的并不只是单纯地要求获得某个或某几个量的值，而是在于求出某几个量间的函数关系或变化规律。此时，用曲线比用数字、公式表示常常更形象、更直观。

1. 画曲线注意事项

(1) 为了避免出差错，首先应将实验数据列表备查。

(2) 选择合适的坐标系。常用的坐标系有直角坐标、极坐标等。

(3) 横、纵坐标的比例不一定一致，也不一定从坐标原点（零值点）开始。坐标比例尺的选择，应以便于读数、分析和使用为原则。

(4) 当自变量变化范围很宽时，一般可以采用对数坐标以压缩图幅。

(5) 注意测量点（实验数据）多少的选择。为了便于画曲线，应使各数据点大体沿所作曲线两侧均匀分布；而沿横坐标轴或沿纵坐标轴的分布则不一定是均匀的；另外，在曲线急剧变化的地方，测量点应适当选得密一些，以便能更好地显示出曲线的细节。

2. 曲线的处理

如果直接把所有的数据点连接起来，一般得不到一条光滑的曲线，而是一条随机跳动的曲线。利用误差理论，可以使其成为一条光滑、均匀的曲线，这个过程称为曲线的修正。常采用一种简便、可行的工程方法——分组平均法。

分组平均法是将测量数据点按横坐标分成若干组，每组包含 $2 \sim 4$ 个数据点（点数可以相等，也可以不相等），求出每组的几何重心的坐标值，再将这些坐标点连起来即做出曲线。这条曲线由于进行了数据平均，在一定程度上减少了测量误差的影响，使作图更方便和准确。

第2章 电子电路元器件的识别与主要性能参数

2.1 电 阻 器

2.1.1 电阻器的分类

从结构上可将电阻器分为固定电阻器、可变电阻器（电位器）和敏感电阻器三大类。其电气符号如图 2-1 所示。

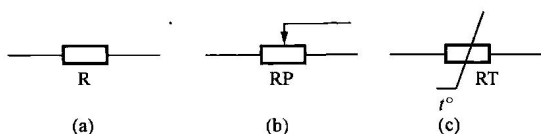


图 2-1 电阻器的电气符号

(a) 固定电阻；(b) 电位器；(c) 热敏电阻

1. 固定电阻器

(1) 碳膜电阻。它的稳定性好，阻值范围宽（几十欧至几十兆欧），负温度系数，高频特性好，受电压和频率影响小，噪声小，制作成本低，价格便宜，在精度要求不高的电路中得到广泛的使用。

(2) 金属膜电阻器。它的外表涂成红色或棕色。金属膜电阻器比碳膜电阻器的精度更高，稳定性更好，阻值范围更大；最明显的是，耐热性超过碳膜电阻器，且体积更小。它的工作频率范围大，噪声小，但制造成本高，价格较贵，主要应用于高档的家用电器中。

(3) 金属氧化膜电阻器。它与金属膜电阻器相比，具有阻燃，导电膜层均匀，膜与骨架基体结合牢固，抗氧化能力强，抗酸、抗盐能力强，耐热性好等优点；缺点是阻值范围小（通常在 $200\text{M}\Omega$ 以下），主要用来补缺低阻值电阻。

(4) 线绕电阻器。它是用金属电阻丝烧制在陶瓷或其他绝缘材料的骨架上，表面涂以保护漆或玻璃釉膜制作而成。其优点是阻值精确、功率范围大、稳定性高、噪声小、耐热性能好，主要用于精密和大功率场合。其缺点是体积大、高频性能差。

2. 可变电阻器（电位器）

可变电阻器也称电位器，是在一定范围内阻值连续可变的一种电阻器。下面介绍几种常用的电位器。

(1) 线绕电位器。它是利用电阻合金丝在绝缘骨架上绕制而成的，可做成单圈、多圈、多连等结构。线绕电位器的精度易于控制，温度系数小，噪声低，但由于有线圈结构，电感大，高频特性不好。

(2) 合成碳膜电位器。它的阻值分辨率高，阻值变化连续，阻值范围宽，但精度较差，耐温、耐潮性能差，使用寿命短。

(3) 有机实芯电位器。它的结构简单，体积小，寿命长，可靠性高；缺点是噪声大。

(4) 多圈电位器。它的阻值调整精度高，最大可达 40 圈。

3. 敏感电阻

(1) 热敏电阻器。它是用对温度极为敏感的半导体材料制成的，它的阻值随温度的变化有比较明显的改变。它因具有灵敏度高，精度高，制造工艺简单，成本低，体积小等特点，而得以广泛地被应用。热敏电阻器按温度特性分类，有随温度升高电阻值增大（即正温度系数 PTC）和随温度升高电阻值减小（即负温度系数 NTC）两种。

(2) 压敏电阻器（简称 VSR）。它是一种对电压敏感的非线性过电压保护半导体元件。当压敏电阻器承受的电压在其标称额定电压值以内时，它的电阻值几乎是无穷大；当它所受电压超过额定电压时，其电阻值急剧变小，并立即处于导通状态。

(3) 光敏电阻器。它的电阻值能随着外界光照的强弱变化而变化，广泛应用于各种自动控制电路、家用电器及各种测量仪器中。

2.1.2 电阻器的主要特性参数

1. 电阻器额定功率

额定功率指在标准大气压和规定的环境温度下，电阻长期连续负荷而不改变其性能的允许功率。对于同一类电阻器，额定功率的大小取决于它的几何尺寸和表面面积，额定功率越大，电阻器的体积越大。选用时应留有余地，一般选择电阻器时，其额定功率应比实际功率大 1~2 倍。

额定功率分 19 个等级，一般电子电路中多采用 1/8、1/4、1/2W 的电阻器，少数大电流场合采用 1、2、5W，甚至更大功率的电阻器。

2. 电阻器的标称值和允许误差

标志在电阻器上的电阻值称为标称值。电阻的实际值与标称值之间存在一定的差别，这个差别称为电阻的允许误差。其标称值系列如表 2-1 所示。

表 2-1 电阻器标称值系列

系 列	允许偏差 (%)	电阻标称值系列
E24	±5	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, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1
E12	±10	1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2
E6	±20	1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8

任何固定电阻器的标称阻值都应该符合表 2-1 中的标称值系列或标称值系列乘以 10^n ，其中 n 为正整数或负整数。例如，表中 1.8 包括 0.18Ω 、 1.8Ω 、 18Ω 、 180Ω 、 $1.8k\Omega$ 、 $18k\Omega$ 、 $180k\Omega$ 、 $1.8M\Omega$ 等阻值。

3. 极限工作电压

极限工作电压指电阻器的最大安全工作电压，当电压达到一定数值后，电阻器将会因过热而损坏或失效。

2.1.3 电阻器型号的命名方法

电阻器的命名包括四个部分，如表 2-2 所示。

表 2-2 电阻器型号的命名法

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		用字母或数字表示分类		用数字表示
符号	意义	符号	意义	符号	意义	
R	电阻器	T	碳膜	1	普通	包括： 序号 额定功率
W	电位器	P	硼碳膜	2	普通	
		U	硅碳膜	3	超高频	

续表

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		用字母或数字表示分类		用数字表示
符号	意义	符号	意义	符号	意义	
		H	合成膜	4	高阻	阻值
		I	玻璃釉膜	5	高温	允许误差
		J	金属膜	7	精密	精度等级
		Y	氧化膜	8	高压	
		S	有机实芯	9	特殊	
		N	无机实芯	G	高功率	
		X	绕线	T	可调	
		R	热敏	X	小型	
		G	光敏	L	测量用	
		M	压敏	W	微调	
				D	多圈	

2.1.4 电阻器的参数标注方法

1. 直标法

直标法是指将电阻器主要参数直接印注在电阻器表面。采用直标法的电阻器，其电阻值用阿拉伯数字、允许误差用百分数直接标注在电阻器的表面。若电阻上未标注偏差，则均为 $\pm 20\%$ 。额定功率较大的电阻器也将额定功率直接标注在电阻器上。

2. 文字符号法

文字符号法是用数字和符号有规律组合在一起直接印注在电阻器表面。通常，阻值的整数部分写在阻值单位标志符号的前面，阻值的小数部分写在阻值单位标志符号的后面。阻值单位标志符号 R、K、M、G 分别表示 1 、 10^3 、 10^6 、 $10^9 \Omega$ 。

例如，4R8 表示电阻器的电阻值为 4.8Ω ，3K3 表示电阻器的电阻值为 $3.3 \text{k}\Omega$ 。

3. 色标法

小功率电阻器使用最广泛的是色标法。色标法是用色环、色点、色带在电阻器表面标出标称阻值和允许误差。色标法有 4 环和 5 环两种。普通电阻器大多用四个色环表示其阻值和允许误差，第一、二环表示有效数字，第三环表示倍率，第四环表示精度。精密电阻器采用五个色环表示其阻值和允许误差，第一、二、三环表示有效数字，第四环表示倍率，第五环表示精度。电阻器色标标注的基本颜色的定义如表 2-3 所示。

表 2-3 电阻器色标标注的基本颜色的定义

	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑	金	银
有效数字	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	—	—
倍数	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^0	10^{-1}	10^{-2}
允许误差	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$			$\pm 0.5\%$	$\pm 0.25\%$	$\pm 0.1\%$				$\pm 5\%$	$\pm 10\%$

例如，棕灰棕金四环标注的电阻器，其阻值大小为 180Ω ；黄橙黑红棕金五环标注的电阻器，其阻值大小为 $43 \text{k}\Omega$ 。

2.1.5 电阻器的简单检测

测量电阻的方法很多,可用欧姆表、电阻电桥和万用表的欧姆档来直接测量;也可以通过测量流过电阻的电流 I 及电阻上的压降 U ,然后根据欧姆定律 $R = \frac{U}{I}$,来间接测量电阻值。下面介绍用万用表测量电阻的步骤:

(1) 首先将万用表的功能选择开关置 Ω 档,量程波段开关置于适当的档位。

(2) 将两表笔短接,表头指针应在刻度线的零点位置;若不在零点,则要用万用表的调零旋钮调到零点位置。

(3) 两表笔分别接被测电阻器的两端,表头指针即指示出电阻值。测量时注意不要用双手触及电阻器的引线两端,以免将人体电阻并联至被测电阻器,影响测量的准确性。

2.1.6 电阻器的选用常识

(1) 应根据电子设备的技术指标对电阻的要求选用电阻器。对性能要求不高的电子线路(如收音机、普通电视机等),可选用碳膜电阻器;对整机质量和工作稳定性、可靠性要求较高的电路,可选用金属膜电阻器;对仪器、仪表电路,应选用精密电阻器或线绕电阻器,但在高频电路中不能选用线绕电阻器。

(2) 为提高设备可靠性,延长使用寿命,应选用额定功率大于实际消耗功率 1.5~2 倍的电阻器。另外,根据电路需要,可以采用串联和并联的方法获得所需要的电阻。阻值相同的电阻器串联和并联时,额定功率等于各个电阻器额定功率之和;阻值不同的电阻器串联时,额定功率主要取决于高阻值的电阻器;阻值不同的电阻器并联时,额定功率主要取决于低阻值的电阻器。实际应用前必须要经过计算。

(3) 电阻器的代用原则。大功率电阻器可代换小功率电阻器(用于保险的电阻器除外),金属膜电阻器可代换碳膜电阻器。

2.2 电 容 器

2.2.1 电容器的分类

电容器具有通交流和隔直流的能力,是电子电路中的重要元件。电容器按其极性可分为有极性电容器和无极性电容器,按结构可分为固定电容、可变电容和微调电容器,按材料介质可分为气体介质电容、电解电容器、液体介质电容、有机介质电容器、无机介质电容器等。其主要电气图形符号如图 2-2 所示。

电容器的种类繁多,下面介绍几种常用的电容器。

1. 电解电容器

(1) 铝电解电容器。它是由铝圆筒作负极,里面装有液体电解质,插入一片弯曲的铝带作正极制成的。它还需要经过直流电压处理,使正极片上形成一层氧化膜作介质。它的特点是容量大,但是漏电大、误差大、稳定性差,常用作交流旁路和滤波,在要求不高时也用于信号耦合。电解电容有正、负极之分,使用时不能接反。

(2) 钽、铌电解电容器。它用金属钽或铌作正极,用稀硫酸等配液作负极,用钽或铌表面生成的氧化膜作介质制成。

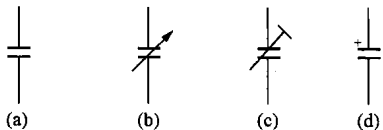


图 2-2 电容器的主要电气图形符号

(a) 一般固定电容器; (b) 可变电容器;
(c) 微调电容器; (d) 极性电容器

它的温度特性、频率特性、介质损耗特性都优于普通铝电解电容器。它的特点是体积小、容量大、性能稳定、寿命长、绝缘电阻大、温度特性好，但成本高，用在要求较高的设备中。

2. 有机介质电容器

(1) 纸介电容器。它用两片金属箔作电极，夹在极薄的电容纸中卷成圆柱形，或者屑壳或者绝缘材料（如火漆、陶瓷、玻璃釉等）壳中制成。它的特点是电容量和工作电压范围很宽、工艺简单、成本低，但电容量精度不易控制、体积大、介质损耗大、稳定性不高，适用于低频电路中。

(2) 有机薄膜电容器。有机薄膜只是一个统称，包括涤纶、聚丙烯、聚四氟乙烯、聚碳酸酯薄膜等多种类型。有机薄膜电容器一般不耐高温，具有体积小、自愈性好的特点。所谓自愈性，指的是由于某种原因介质被电压放电击穿，电容器短路会使薄膜重新融化，自动修复损伤。

3. 无机介质电容器

(1) 瓷介电容器。它以陶瓷为介质，结构简单，价格低廉，体积小，容量范围大，广泛用于各种电子设备中。

(2) 玻璃膜电容器。它以玻璃作为介质，成本低，具有良好的防潮性和抗震性，能在200°C高温下长期稳定工作。

2.2.2 电容器的主要性能指标

1. 标称容量及允许误差

电容器的标称容量及允许误差的基本含义与电阻器一样，电容器的标称系列同电阻器标称系列。固定式电容器标称电容量系列为E24、E12；电解电容器标称电容量系列为E6（单位为pF）。固定电容器的允许误差分为8级。

2. 额定电压

额定电压也称电容器的耐压值，是指电容器在规定的温度范围内，能够连续正常工作时所承受的最高电压。该额定电压通常标注在电容器上。常用固定电容器的直流工作电压系列为6.3、10、16、25、40、63、100、250V和400V。

3. 漏电流

电容器的介质材料不是绝对绝缘体，它在一定的工作温度及电压条件下，也会有电流通过，此电流称为漏电流。一般电解电容器的漏电流略大一些。

4. 绝缘电阻

电容器两极之间的电阻叫做绝缘电阻，或者叫做漏电阻。一般电容器的绝缘电阻在 $10^8 \sim 10^{10} \Omega$ 之间，电容量越大，绝缘电阻越小。

2.2.3 电容器型号的命名方法

国产电容器型号的命名法由四部分组成，如表2-4所示。

表2-4 国产电容器型号的命名法

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
		I	玻璃釉	W	微调	
		O	玻璃膜	J	金属化	

续表

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	
		Y	云母	X	小型	温度特性
		V	云母纸	S	独石	直流工作电压
		Z	纸介	D	低压	标称值
		J	金属化纸	M	密封	允许误差
		B	聚苯乙烯	Y	高压	标准代号
		F	聚四氟乙烯	C	穿心式	
		L	涤纶			
		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	亚敏			
		G	其他材料电解			

2.2.4 电容器的参数标注方法

1. 直标法

直标法是把电容器的型号、规格等用阿拉伯数字和单位符号直接标注。

2. 数码法

数码法用数值与倍率的乘积表示电容量。一般是用3位数字表示电容器的容量，其中前两位数字为有效值数字，第三位数字为乘数（即前面两位数字再乘以10的*n*次幂），默认单位为pF。例如：103表示 $10 \times 10^3 = 10000$ （pF）。第三位数字为9时是特例，有效数字应乘以 10^{-1} 来表示电容器的标称容量，如229表示 $22 \times 10^{-1} \text{pF}$ 。

3. 文字符号法

文字符号法是将容量整数部分标注在容量单位的前面，容量小数部分标注在容量单位的后面，容量单位符号所占位置就是小数点的位置。如4p7表示容量为4.7pF。若在数字前标注有R字样，则容量为零点几微法，如R47表示容量为0.47μF。

4. 色标法

电容器的色标法原则上与电阻器类似，其单位为pF。

2.2.5 电解电容器的检测

1. 判断电解电容器的正、负极

可根据电解电容器引线的长短来判定其极性，长引线为正极，短引线为负极，且有“—”的标识。也可用万用表检测判断：将万用表欧姆档置于 $R \times 1\text{k}\Omega$ ，用红、黑表笔接触电容器的两引线，记住漏电阻的大小（指针回摆并停下时所示的阻值），然后把该电容器的