

电子技术

与应用

DIANZI JISHU YU YINGYONG

李仲秋 黄荻 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



电子技术与应用

主 编	李仲秋	黄 荻
副主编	王承文	罗德凌
参 编	贺 瑛	李 波



机械工业出版社

本教材以完成任务、解决问题为导向,将理论知识点与实践技能训练整合为一体。本教材共分为八个单元,其中与模拟电子技术知识相关的单元有五个,包括电子元器件的识别与测试,直流电源电路的分析与制作,音频放大电路的分析与仿真,功率放大电路的分析与制作,集成运算放大器电路的分析与应用;与数字电子技术知识相关的项目有三个,包括组合逻辑电路的分析与设计,555 定时器电路的分析与应用,时序逻辑电路的分析与应用。每个项目均以典型的、实际应用的小型简单电子产品为载体,将知识点融合到任务的完成过程中。

本教材可作为高等职业技术学院或技师学院应用电子技术、飞机电子设备维修、电气自动化、民航通信技术等专业的“电子技术”“模拟电子技术”“数字电子技术”等理实一体化课程的教学用书,也可作为电子设计制作爱好者的自学指导用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术与应用/李仲秋,黄荻主编. —北京:机械工业出版社,2018.6
ISBN 978-7-111-58980-8

I. ①电… II. ①李… ②黄… III. ①电子技术—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 027232 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王 博 责任编辑:王 博

责任校对:刘志文 封面设计:路恩中

深圳市鹰达印刷包装有限公司印刷

2018 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 16.25 印张 · 432 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-58980-8

定价: 45.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前 言

“电子技术与应用”课程（以下简称本课程）被确定为航空电子设备维修专业群（以下简称本专业群，包括应用电子技术、飞机电子设备维修、导弹维修、电气自动化和民航通信技术）专业基础能力平台课程。为了使本课程能够充分满足本专业群内相关专业对模拟电子技术和数字电子技术基础理论教学与电子技术基本技能训练的培养需要，本专业群的相关老师与企业专家在协同创新中心的合作框架下，广泛调研、深入研究，制定了本课程的培养标准和内容，为本教材的编写确定了基本框架。

本教材内容的选取紧紧围绕课程目标和职业院校学生专业技能抽查标准，并融合相关职业资格标准对知识、技能和态度的要求，将理论知识点与实践技能训练整合为一体，力求体现“实用、适用、先进”的编写原则和“通俗、精练、可操作”的编写风格，力图用一本教材对“教、学、做”三个环节实现一体化指导。本教材理论知识以够用为度，强化了实际操作训练，做到理论知识学习与实践操作技能完全融合，以做助学，边做边学，理实一体。

本教材遵循从简单到复杂的技能积累形成规律，以典型的、实际应用的小型简单电子产品为项目载体，以完成任务并解决问题为导向，重点关注如何综合运用理论知识来完成工作任务。这样，不仅可以使学习内容的呈现更加直观，而且有利于增强学习者的成就感。

本教材由长沙航空职业技术学院李仲秋、黄荻主编。李仲秋编写了单元五~单元八，并负责统编全稿；黄荻编写了单元一~单元四；王承文、罗德凌和中飞长沙飞机工业有限责任公司的高级工程师李波承担了项目载体电路的开发工作并提供了宝贵的现场资料和建议；贺瑛为本教材的中英文对比及英文缩写进行了审定与校对。本教材在编写和载体的开发与选取过程中，得到了长沙航空职业技术学院航空电子设备维修专业群有关领导和老师的大力协助及指导，宋烨教授对本教材进行了仔细审阅并提出了宝贵的修改意见，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，加之电子技术的发展日新月异，书中难免有不足和疏漏之处，敬请广大读者批评与指正。

编 者

目 录

前 言

单元一 电子元器件的识别与测试 1

项目一 阻容元件的认知与测试 1

任务一 熟悉电阻器的类型与特性 1

任务二 熟悉电容器的类型与特性 4

任务三 熟悉电感器的类型与特性 5

任务四 万用表的使用与阻容元件
参数的测量 6

项目二 半导体器件的认知与测试 8

任务一 了解半导体基础知识 8

任务二 掌握二极管的特性与测试 12

任务三 掌握晶体管的特性与测试 15

项目三 元器件参数与手册查阅 19

任务一 查找元器件资料的一般方法 19

任务二 二极管参数的查阅与理解 20

任务三 晶体管参数的查阅与理解 21

习题 23

单元二 直流电源电路的分析与制作 25

项目一 直流稳压电源的分析与仿真 ... 25

任务一 掌握直流稳压电源
电路的组成 25

任务二 整流电路的分析与仿真 26

任务三 滤波电路的分析与仿真 34

任务四 串联型稳压电路的
分析与仿真 37

项目二 集成稳压器稳压电源的 设计与制作 40

任务一 集成稳压器的类型与应用 40

任务二 集成稳压器稳压电源的
设计实例 43

任务三 集成稳压器稳压电源的
安装与调试 48

项目三 开关稳压电源的制作与测试 ... 48

任务一 开关稳压电路的分析 48

任务二 开关稳压电源电路的
制作与测试 50

习题 52

单元三 音频放大电路的分析与仿真 55

项目一 晶体管基本放大电路的研究 ... 55

任务一 掌握放大电路的组成 55

任务二 晶体管共发射极放大电路的分析 ... 58

任务三 晶体管共集电极放大电路的分析 ... 64

任务四 放大电路的调试与参数测试 67

项目二 助听器电路的分析与仿真 71

任务一 了解多级放大电路与级间
耦合方式 71

任务二 掌握放大电路的反馈 73

任务三 助听器电路的分析 78

习题 86

单元四 功率放大电路的分析与制作 88

项目一 功率放大电路的原理分析 88

任务一 了解功率放大电路的特点和分类 ... 88

任务二 互补对称功率放大电路的结构
原理分析 89

任务三 功率放大电路的性能指标分析 94

项目二 OTL 功放电路的测试 95

项目三 集成功率放大电路的制作 96

任务一 熟悉常见集成功率放大器 96

任务二 集成功率放大电路的制作 99

习题 101

单元五 集成运算放大器电路的 分析与应用 104

项目一 基本运算电路的分析与测试 ... 104

任务一 掌握集成运算放大器的
组成及特性 104

任务二 集成运算放大器线性应用电路
分析与仿真 113

项目二 方波-三角波发生器的 分析与测试 120

任务一 集成运放的非线性应用 120

任务二 方波-三角波发生器的
分析与测试 122

项目三 正弦波振荡器的分析与测试 ... 124

任务一 掌握振荡电路的组成及产生
振荡的条件 124

任务二 常用正弦波振荡电路的分析 125

任务三 RC 正弦波振荡器的测试	131	任务三 多谐振荡器的应用与测试	192
习题	132	项目四 用 555 定时器构成施密特 触发器	194
单元六 组合逻辑电路的分析与设计	135	任务一 施密特触发器工作原理的分析 ...	194
项目一 基本逻辑门的功能分析与 测试	135	任务二 掌握集成施密特触发器的功能 ...	195
任务一 掌握逻辑代数基础知识	135	任务三 施密特触发器的应用与测试	195
任务二 掌握集成逻辑门电路的 组成与特性	150	项目五 简易三角波发生器的 组装与调试	196
任务三 逻辑门的功能测试	163	任务一 掌握简易三角波发生器的 组成与原理	196
项目二 数显逻辑笔电路的分析与 制作	165	任务二 简易三角波发生器的组装与调试 ...	197
任务一 了解编码器和译码器	165	习题	198
任务二 数显逻辑笔的制作	172	单元八 时序逻辑电路的分析与应用	201
项目三 简易抢答器电路的分析与 设计	175	项目一 触发器的功能分析与测试	201
任务一 组合逻辑电路的分析与设计	175	任务一 掌握基本 RS 触发器	201
任务二 简易抢答器电路的设计与测试 ...	180	任务二 掌握时钟触发器	204
习题	182	任务三 掌握维持阻塞 D 触发器 (74LS74) ...	206
单元七 555 定时器电路的分析与应用 ...	185	任务四 掌握负边沿 JK 触发器 (74LS76) ...	208
项目一 555 集成定时器的组成与 功能分析	185	任务五 掌握 T 触发器和 T' 触发器	210
任务一 了解 555 集成定时器的基本结构 ...	185	任务六 掌握触发器的逻辑功能分类及 相互转换	211
任务二 掌握 555 集成定时器的引脚功能 ...	185	项目二 简易定时器的设计与制作	212
项目二 用 555 定时器构成单稳态 触发器	186	任务一 时序逻辑电路的分析与设计	212
任务一 单稳态触发器工作原理的分析 ...	186	任务二 计数器的功能及测试	218
任务二 掌握集成单稳态触发器的功能 ...	187	任务三 简易定时器电路的制作	232
任务三 单稳态触发器的应用与测试	188	项目三 测频仪的设计与制作	234
项目三 用 555 定时器构成多谐振荡器 ...	189	任务一 掌握寄存器	234
任务一 多谐振荡器工作原理的分析	189	任务二 掌握顺序脉冲发生器	237
任务二 熟悉其他多谐振荡器	190	任务三 熟悉数字电路系统设计基本技术 ...	238
		任务四 测频仪设计与制作的步骤	246
		习题	249

单元一 电子元器件的识别与测试

电子元器件是构成电子电路的基本单位，识别常见的电子元器件，熟悉它们的性能和参数，并能对它们的性能参数进行测试，是分析和设计电路的基础。

项目一 阻容元件的认知与测试

任务一 熟悉电阻器的类型与特性

一、电阻器的外形与符号

电阻器是电子电路中应用最广泛，型号规格最多的一种元器件。按照其功能可以分为调节电路参数的电阻器、用作电路负载的电阻器、实现信号变换的电阻器等；按照其制造方式，则可以分为线绕电阻器、带绕电阻器、铸制电阻器和冲制电阻器等。图 1-1 所示为常见电阻器的外形。

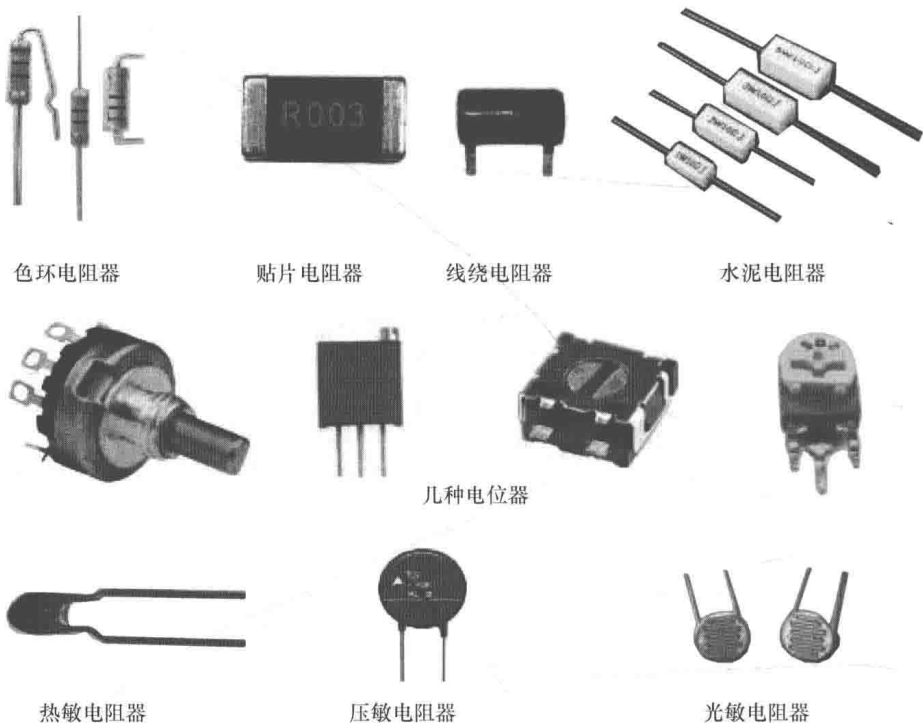


图 1-1 常见电阻器的外形

其中电位器是一种可调电阻器，常用于电路参数的调节。热敏电阻器、压敏电阻器、光敏电阻器分别对温度、电压和光强敏感，常用作传感器，是构成一些检测电路的基础。

在电路图中，各种元器件使用不同的图形符号和文字符号来表示，为了使其具有规范性和可读性，这些图形和文字符号应当按照相关的国家标准或行业标准来绘制。熟悉元器件的电路符号是读懂电路图的基础。

图 1-2 所示是常见电阻器的图形符号，符合我国现行国家标准。

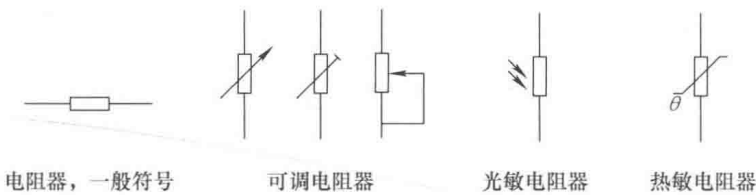


图 1-2 电阻器的图形符号

表 1-1 列出了常见电阻器的文字符号。

表 1-1 常见电阻器的文字符号

序号	元件类型	基本文字符号	
		单字母	双字母
1	一般电阻器	R	
2	电位器	R	RP
3	热敏电阻器	R	RT
4	压敏电阻器	R	RV
5	光敏电阻器	R	RL

二、电阻器的参数与标注

电阻器是一种耗能元件。对于线性电阻器而言，其电压电流关系满足欧姆定律，即

$$u = Ri \tag{1-1}$$

式中 R ——线性电阻值，不随 u 、 i 的变化而变化。

电阻器的主要参数有标称阻值（简称阻值）、额定功率和允许偏差。对固定电阻器而言，这些参数通常都可以通过观察其外部标识获得。

电阻器的参数标注方法有直标法、数标法和色标法。

1. 直标法

直标法用阿拉伯数字和文字符号两者有规律的组合来表示标称阻值、额定功率、允许误差等级等。符号前面的数字表示整数阻值，后面的数字依次表示第一位小数阻值和第二位小数阻值，其文字符号所表示的单位见表 1-2。如 1R5 表示 1.5W，2K7 表示 2.7kΩ。

表 1-2 表示电阻器单位的文字符号

文字符号	R	K	M	G	T
表示单位	欧姆（Ω）	千欧姆（kΩ）	兆欧姆（MΩ）	吉欧姆（GΩ）	太欧姆（TΩ）

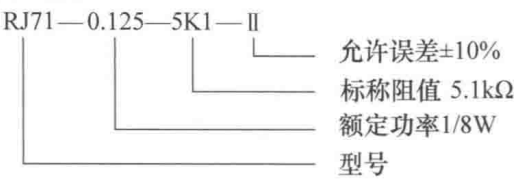
另外，通过电阻器上所标的字母还可以判断其制成材料或工艺，字母的意义见表 1-3。

表 1-3 表示电阻器材料的字母

字母	T	J	X	H	Y	C	S	I	N
材料/工艺	碳膜	金属膜	线绕	合成膜	氧化膜	沉积膜	有机实心	玻璃釉膜	无机实心

采用直标法的电阻器误差通常分为 3 个等级：阻值误差 $\leq \pm 5\%$ 称为 I 级；阻值误差 $\leq \pm 10\%$ 称为 II 级；阻值误差 $\leq \pm 20\%$ 称为 III 级。有些电阻器的误差等级用百分数的形式直接标注在电阻器上。

以下是一个直标电阻器的实例：



此标号是金属膜电阻器，额定功率为 1/8W，标称阻值为 5.1kΩ，允许误差为 ±10%。

2. 数标法

数标法常见于贴片电阻器上，一般用 3~4 位数字表示阻值大小。三位数标的前两位表示有效数字，第三位数字是 10 的多少次方；四位数标的前三位表示有效数字，第四位数字是 10 的多少次方；单位都是欧姆（Ω）。

例如，图 1-3 所示两个贴片电阻器的阻值分别为： $10 \times 10^3 \Omega = 10\text{k}\Omega$ 和 $150 \times 10^2 \Omega = 15\text{k}\Omega$ 。



图 1-3 电阻器的数标法

3. 色标法

色标法通过在电阻器表面印上多条色环来表示标称阻值，多用在小功率的碳膜和金属膜电阻器上，如图 1-4 所示。

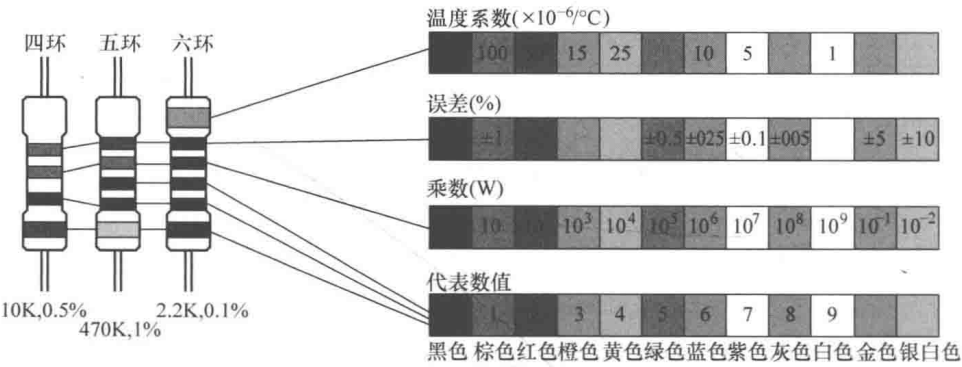


图 1-4 电阻器的色标法

电阻器按图中方式放置后，按照从下至上的顺序，前两至三环表示电阻值的有效数字，接下来的一环表示乘以 10 的多少次方，再接下来的一环，也就是四环或五环电阻器的最后一环，表示精度，即误差范围，六环电阻器还有一环用来表示温度系数（注意：通常末两环间的间距比其他相邻环之间的间距要大，可以据此判断读环的顺序）。

电阻器的额定功率通常可以从其尺寸看出来。图 1-5 所示是色环电阻器的几个关键尺寸， L 是电阻的本体长度， D 是最大直径， H 是引脚长， d 是引线直径。

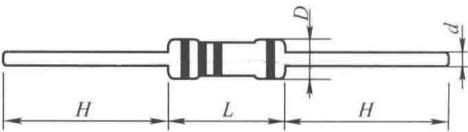


图 1-5 色环电阻器的尺寸

常见碳膜色环电阻器功率与尺寸对比见表 1-4。

表 1-4 碳膜色环电阻器功率与尺寸对比

型号	额定功率/W	尺寸参数/mm			
		L	D	H	d
RT12	1/8	3.2 ± 0.2	1.5 ± 0.2	26 ± 2	0.48 ± 0.02
RT25	1/4	6.0 ± 0.5	2.3 ± 0.3	26 ± 2	0.60 ± 0.02
RT50	1/2	9.0 ± 0.5	3.2 ± 0.2	26 ± 2	0.60 ± 0.02
RT100	1	11 ± 1.0	4.0 ± 0.5	35 ± 3	0.80 ± 0.02
RT200	2	15 ± 1.0	5.0 ± 0.5	35 ± 3	0.80 ± 0.02

厚膜贴片电阻器尺寸与额定功率等参数的对比见表 1-5。其中尺寸 0402 是指长为 0.04in，宽为 0.02in，根据单位换算 1in = 25.4mm，这种电阻器的大小约1mm × 0.5mm。

表 1-5 厚膜贴片电阻器尺寸与额定功率等参数的对比

尺寸	额定功率/W	最高工作电压/V	最高过载电压/V
0402	1/32	25	50
0603	1/16	50	100
0805	1/10	150	300
1206	1/8	200	400
1210	1/4	200	400
2010	1/2	200	400
2512	1	200	400

由此可以看出，对于同类电阻器而言，尺寸越大，其额定功率越大。

任务二 熟悉电容器的类型与特性

一、电容器的外形与符号

电容器在电子电路中应用也十分广泛。其种类和功能很多，按照结构分三大类，固定电容器、可变电容器和微调电容器；按用途分为旁路、滤波、去耦、振荡、调谐、耦合、中和和自举电容器等。图 1-6 展示了一些常见电容器的外形。

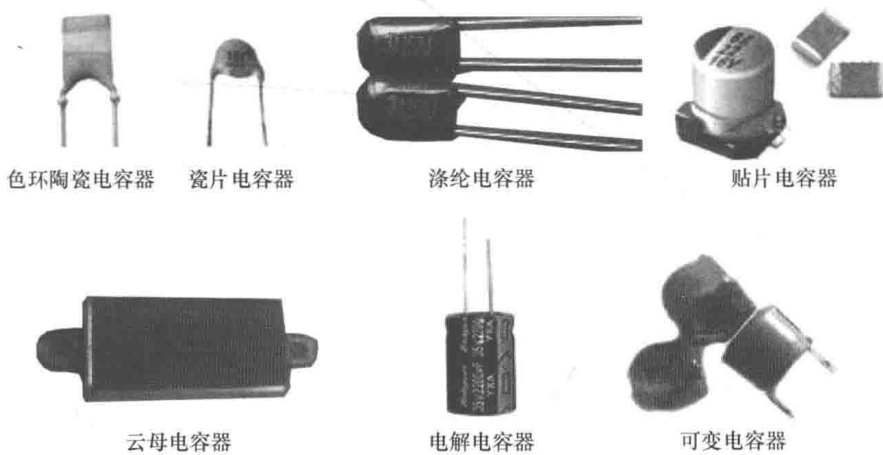


图 1-6 常见电容器的外形

图 1-7 所示是国家标准中电容器的电路符号，字母符号用 C 表示。

二、电容器的参数与标注

电容器是一种储能元器件。由于具备储存电荷的功能，它的电压不能发生跃变。在关联的参考方向下，其电压电流关系满足式 (1-2)，即

$$i = C \frac{du}{dt}$$

(1-2)

电容器的主要参数有标称容量、允许偏差、额定电压（又称为耐压值）、绝缘电阻和损耗等。这些参数通常也可以通过观察其外部标识获得。

电容器的参数标注方法可分为直标法、色标法和数标法。

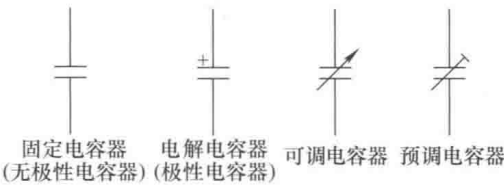


图 1-7 电容器的图形符号

1. 直标法

体积比较大的电容器多采用直标法。标注的内容有标称容量、额定电压和允许偏差。如某电解电容器上可以看到如下标注： $10\mu\text{F}/16\text{V}$ 。应当指出的是，电容器的额定电压是指在规定温度下，能保持其连续工作而不被击穿的电压。电解电容器的额定电压比较小，通常会在元器件上标出，随着额定电压的增加，其价格也会升高。非电解电容器的额定电压一般为几百伏，比实际电子电路的电源电压高很多，很多情况下都不标注。

此外，电解电容器是有极性的，为避免在连接电路时将其正负极性接错，厂家通常在外壳上靠近负极引脚一侧，标出了“-”号。此外，新型电解电容器正极引脚长于负极，这也是一种极性标注方式。

2. 色标法

色标法是从顶端向引线方向，用不同的颜色表示不同的数字。一般采用三环标注，第一、二环表示电容量，第三环表示有效数字后零的个数，单位为 pF 。颜色代表的数值与色环电阻器相同。

3. 数标法

数标法一般用三位数字表示容量大小，前两位表示有效数字，第三位数字是 10 的多少次方，单位为 pF 。如： 102 表示 $10 \times 10^2 \text{pF} = 1000 \text{pF}$ ， 203 表示 $20 \times 10^3 \text{pF} = 0.02 \mu\text{F}$ 。数标法中还有一种字母表示法，电容器的单位除基本单位法拉 (F) 外，还有毫法 (mF)、微法 (μF)、纳法 (nF) 和皮法 (pF)。其中 $1\text{F} = 10^3 \text{mF} = 10^6 \mu\text{F} = 10^9 \text{nF} = 10^{12} \text{pF}$ 。借用数量级的字母，可将电容标志如下： $1\text{mF} = 1000 \mu\text{F}$ ， $1\text{p2} = 1.2 \text{pF}$ 。

有些用数标法标注的电容在三位数字后还用一位字母表示其误差，字母意义为： $\text{F} (\pm 1\%)$ 、 $\text{G} (\pm 2\%)$ 、 $\text{J} (\pm 5\%)$ 、 $\text{K} (\pm 10\%)$ 、 $\text{L} (\pm 15\%)$ 和 $\text{M} (\pm 20\%)$ 。

任务三 熟悉电感器的类型与特性

一、电感器的外形与符号

电感器是用导线绕制而成，具有一定匝数，能产生一定自感量或互感量的电子元件。由于其基本结构是由导线绕制的线圈，所以又称为电感线圈，是第三类常用的电子元件。其在电路中主要起到滤波、振荡、延迟和陷波等作用，还可以用于筛选信号、过滤噪声、稳定电流及抑制电磁波干扰等。根据功能的不同，电感器也有不同的材料、结构和外形。常见电感器的外形如图 1-8 所示。



图 1-8 常见电感器的外形

图 1-9 所示是国家标准中电感器的电路符号, 字母符号用 L 表示。

二、电感器的参数与标注

电感器是一种能够把电能转化为磁能而存储起来的元件, 能够阻碍电流的变化。在关联的参考方向下, 其电压电流关系满足式 (1-3), 即

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1-3)$$

电感器的主要参数有电感量、允许偏差、品质因数、分布电容及额定电流等。电感量等参数也可以通过观察电感器外部的标识获得。

电感器的常见标注方法也分为直标法, 色标法和数标法。

1. 直标法

采用直标法的电感器上的数字即是标称电感量, 单位有微亨 (μH) 或者毫亨 (mH), $1\mu\text{H} = 10^{-6}\text{H}$, $1\text{mH} = 10^{-3}\text{H}$ 。

2. 色标法

电感器的色标法有色环标称和色点标称两种。色环电感器的外观类似一个小功率电阻器, 不同的是它一般用三条色环来表示, 其中前两环表示有效数字, 第三环表示乘以 10 的多少次方, 颜色代表的数值与色环电阻相同, 单位是 μH 。色环电感器的电感量一般不大, 通常在几微亨到几百微亨之间。

色点电感器计值方法和色环电感器相同, 通常有四个色点, 按照从小到大的顺序, 第一、二个色点表示有效数字, 第三个色点代表乘以 10 的多少次方, 颜色代表的数值与色环电阻器相同, 单位也是 μH 。第四个色点最大, 涂在电感器的侧面, 表示误差, 有金、银两种颜色, 误差分别为 $\pm 5\%$ 和 $\pm 10\%$ 。有些电感器只有三个色点, 即没有误差色点, 其误差范围为 $\pm 20\%$ 。

3. 数标法

电感器的数标法由三位数字和一位英文字母组成, 三位数表示电感量, 前两位表示有效数字, 第三位数字是 10 的多少次方, 单位为 μH 。不足 $10\mu\text{H}$ 的电感, 小数点用 R 表示, 比如 $5.6\mu\text{H}$ 标为 5R6。最后一位英文字母表示误差, 字母意义同电容器的数标法。例如: 标称为 220K 的电感器, 其电感量为 $22\mu\text{H}$, 误差为 $\pm 10\%$ 。

任务四 万用表的使用与阻容元件参数的测量

万用表又称为多用表、三用表等, 是电子测量中不可缺少的仪表, 一般以测量电压、电流和电阻为主。万用表按显示方式分为指针式万用表和数字式万用表, 是一种多功能、多量程的测量仪表。一般万用表可测量直流电流、直流电压、交流电流、交流电压、电阻和音频电平, 有的还可以测电容量、电感量及半导体的某些参数 (如 β)。

一、指针式万用表的使用

以 MF47 型万用表为例, 其外形如图 1-10 所示。

使用指针式万用表, 应当遵循以下注意事项。

1) 在使用之前, 应先进行“机械调零”, 即在没有测量时, 使万用表指针指在零电压或零电流的位置上。

2) 在使用过程中, 不能用手去接触表笔的金属部分, 这样一方面可以保证测量结果准确, 另一方面也可以保证人身安全。



图 1-9 电感器的图形符号

3) 在测量某一电量时,不能在测量的同时换档,尤其是在测量高电压或大电流时更应注意。否则,会使万用表毁坏。如需换档,应先断开表笔,完成换档后再去测量。

4) 使用时,必须水平放置,以免造成误差。同时,还要注意避免外界磁场对万用表的影响。

5) 使用完毕后,应将转换开关置于交流电压的最大档。如果长期不使用,还应将万用表内部电池取出,以免电池腐蚀表内其他元器件。

使用指针式万用表测量电压和电流时,应当注意以下几点。

- 1) 一般情况下,红表笔接“+”,黑表笔接“COM”,选择合适的量程档位。
- 2) 注意被测量极性。
- 3) 正确使用刻度和读数。
- 4) 测量电流时,应将万用表串联在被测电路中,使流过电流表的电流与被测支路电流相同。具体方法是:断开被测支路,将万用表红、黑表笔串接在被断开的两点之间。应特别注意,电流表不能并联接在被测电路中,这样做是很危险的,极易使万用表烧毁。
- 5) 当选取交流电压的 2500V 档时,红表笔应插在高压插孔内,量程开关可以置于电压档的任意量程上;同理当选取直流电流的 10A 档时,红表笔应插在 10A 测量插孔内,量程开关可以置于直流电流档的任意量程上。

使用指针式万用表测量电阻时,则应当注意以下几点。

- 1) 选择合适的倍率,使指针指示在中值附近。最好不使用刻度左边 $1/3$ 的部分,这部分刻度密集,精度很差。
- 2) 使用前要调零。应当指出,一块好的指针式万用表,机械调零旋钮一般不需要经常调节。而电阻档调零,则在每次切换档位后都需要进行。
- 3) 电阻档不能带电测量。
- 4) 被测电阻器不能有并联支路。

使用指针式万用表可以测量 $0.01\mu\text{F}$ 以上的电容器的好坏。把万用表打到“1k”或者“100”电阻档,两只表笔分别接被测电容器的两个电极。观察表针的反应,如果表针很快接近零位,然后慢慢往回走(向无穷大方向走),走到某处停下来,说明电容器基本正常。返回停留位越接近无穷大,说明质量越好,反之说明漏电较多。如果万用表表针很快摆到零位或者接近零位并保持不动,说明电容器两极已经发生了短路故障,不可再使用。如果表笔和电容器两个极连接时表针纹丝不动,说明电容器内部连接已经断开,也不能再使用。

二、数字式万用表的使用

以 DT9205 型万用表为例,DT9205 型万用表的外形如图 1-11 所示。

使用数字式万用表测量电压应当注意以下事项。

- 1) 红表笔插入 $V\Omega$ 孔,黑表笔插入 COM 孔,量程旋钮打到 $V-$ (直流) 或 $V\sim$ (交流) 适当位置,读出显示屏上的数据。
- 2) 若显示为“1”,则表明量程太小,应当加大量程后再测量。
- 3) 若在测量直流电压时数值左边出现“-”,则表明表笔极性与实际电源极性相反,此时红表笔接的是低电位。

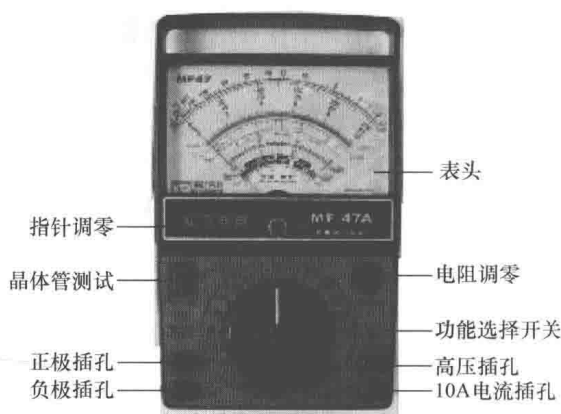


图 1-10 MF47 型万用表的外形

4) 无论测量交流还是直流电压, 都要注意人身安全, 不要随便用手触摸表笔的金属部分。

使用数字式万用表测量电流应当注意以下事项。

1) 黑表笔插入 COM 端口, 红表笔根据被测电流的大小选择插入 mA 或者 20A 端口, 量程旋钮置于 A - (直流) 或 A ~ (交流) 适当位置, 读出显示屏上的数据。

2) 若显示为“1”, 则表明量程太小, 应当加大量程后再测量。

3) 如果使用前不知道被测电流的范围, 则将量程旋钮置于最大量程并逐渐下降。

4) 电流测量完毕后应将红笔插回 V Ω 孔, 否则可能因为下一次进行电压测量而损坏万用表或被测电子产品。

5) mA 插孔表示最大输入电流为 200mA, 过大的电流将烧坏熔丝, 20A 量程无熔丝保护, 测量时不能超过 15s。

使用数字式万用表测量电阻应当注意以下事项。

1) 红表笔插入 V Ω 孔, 黑表笔插入 COM 孔, 量程旋钮打到“ Ω ”量程档适当位置, 分别用红黑表笔接到电阻器两端金属部分, 读出显示屏上的数据。

2) 若显示为“1”, 则表明量程太小, 此时应换用较之更大的量程; 反之, 量程选大了时, 会显示一个接近于 0 的数, 此时应换用较之更小的量程。

3) 电阻档的读数是显示屏上的数字再加上档位选择的单位。在“200”档时单位是“ Ω ”, 在“2k ~ 200k”档时单位是“k Ω ”, 在“2M ~ 200M”档时单位是“M Ω ”。

4) 对于大于 1M Ω 或更大的电阻, 要几秒钟后读数才能稳定, 这是正常的。

5) 检查被测电路的阻抗时, 要保证移开被测电路中的所有电源, 所有电容放电。否则, 电路中的电源和储能元件, 会影响电路阻抗测试正确性。

使用数字式万用表测量电容应当注意以下事项。

1) 测量前后应将电容器两端短接进行放电, 确保数字式万用表和后续操作的安全。

2) 将功能旋转开关置于电容“F”测量档, 并选择合适的量程。

3) 将电容器插入万用表 CX 插孔, 读出显示屏上数字。

4) 测量大电容时稳定读数需要一定的时间。



图 1-11 DT9205 型万用表的外形

项目二 半导体器件的认知与测试

任务一 了解半导体基础知识

一、半导体的概念

按照导电能力的强弱, 物质可分为导体、绝缘体和半导体三类。具有良好导电性能的物质称为导体, 如铜、铁、铝等金属; 导电能力很差或不导电的物质称为绝缘体, 如橡胶、塑料、陶瓷等; 导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体, 如锗、硅、砷化镓、氮化镓等。

半导体之所以作为制造电子器件的主要材料, 在于它的三个主要特性:

1) 杂敏性。在纯净的半导体 (即本征半导体) 中掺入极其微量的杂质元素可使它的导电性

能大大提高。如在纯净的硅单晶中只要掺入百万分之一的杂质硼，则它的电阻率就会从 $214\,000\Omega\cdot\text{cm}$ 下降到 $0.4\Omega\cdot\text{cm}$ （变化约 50 万倍），这也是提高半导体导电性能最有效的方法。

2) 热敏性。温度升高会使半导体的导电能力大大增强，如：温度每升高 8°C ，纯净硅的电阻率就会降低 $1/2$ 左右（而金属每升高 10°C ，电阻率只改变 4% 左右），利用这种特性，可制造用于自动控制的热敏电阻器及其他热敏元器件。

3) 光敏性。当半导体材料受到光照时，其导电能力会随光照强度变化。利用半导体这种对光敏感的特性可制造成光敏元器件，如光敏电阻器、光敏二极管、光敏晶体管等。

半导体的这些特性是由其结构决定的。

二、本征半导体的共价键结构和导电特性

本征半导体是一种完全纯净、结构完整的半导体晶体。

纯净的硅和锗都是四价元素，在最外层轨道上具有四个电子，称为价电子，硅和锗的原子结构用图 1-12 所示的简化模型表示。

半导体具有晶体结构，每一个硅或锗原子与相邻的四个原子各共用一对电子，形成较稳定的共价键结构，如图 1-13 所示。

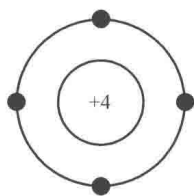


图 1-12 硅和锗原子结构简化模型

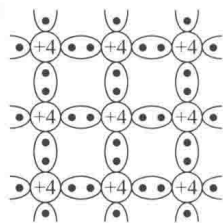


图 1-13 本征半导体的共价键结构

多数价电子不易挣脱原子核束缚而成为自由电子，因此本征半导体的导电能力较差。但也有一些价电子在随机热运动中获得足够的能量或从外界获得一定的能量而挣脱共价键的束缚，成为自由电子，这时在共价键中就会留下一个带正电的空位，称为“空穴”，如图 1-14 所示。如果在本征半导体两端外加电场，这时自由电子和空穴将定向移动从而形成电流，因此将它们统称为载流子。在本征半导体中，自由电子和空穴总是成对出现，半导体在热激发下产生电子和空穴对的这种现象称为本征激发。而当自由电子损失能量后又可能被共价键俘获，使得自由电子与空穴成对消失，这一过程称为自由电子与空穴对的复合。

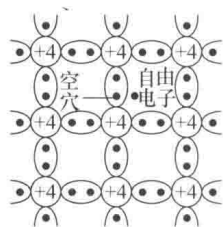


图 1-14 自由电子和空穴

当温度升高或光照增强，半导体内更多的价电子能获得能量挣脱共价键的束缚而成为自由电子并产生相同数目的空穴，从而使半导体的导电性能增强，这就是半导体具有光敏性和热敏性的原因。

三、杂质半导体

向本征半导体中有控制地掺入特定的杂质可以改变它的导电性，这种半导体被称为杂质半导体。根据掺入杂质的性质不同，杂质半导体可分为空穴型（或 P 型）和电子型（或 N 型）半导体。

N 型半导体是在本征半导体硅（或锗）中掺入微量的五价元素（如磷、砷、锑）形成的。由于杂质原子的最外层有五个价电子，除与周围硅原子形成共价键外，还多出了一个电子，如图 1-15 所示。这个多余的电子易受热激发而成为自由电子，而杂质原子则变为不能移动的正离子，

使得整个半导体中自由电子的数量远远多于空穴的数量，故称自由电子为多数载流子（简称多子），空穴为少数载流子（简称少子）。

P 型半导体是在本征半导体硅（或锗）中掺入微量的三价元素（如硼、镓等）形成的。这些杂质原子的最外层中有三个价电子，当它们与周围的硅原子形成共价键时，势必多出一个空位，如图 1-16 所示。当某个硅原子的电子挣脱共价键的束缚后移入这个空位时，三价原子在晶格上又接受了一个电子，变为不能动的负离子。原来硅原子的共价键中因缺少一个电子形成了空穴，使得半导体中空穴的数量远多于自由电子的数量，故称空穴为多子，自由电子为少子。

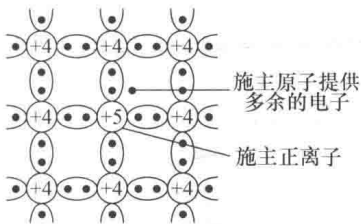


图 1-15 N 型半导体的共价键结构

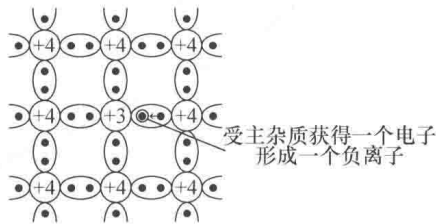


图 1-16 P 型半导体的共价键结构

从以上分析可知，导体掺杂是提高其导电性能最有效的方法，这就是半导体具有杂敏性的原因。

四、PN 结的形成及单向导电性

在同一块本征半导体中采用不同的掺杂工艺，同时形成 P 型和 N 型半导体，在它们的界面会形成空间电荷区，称为 PN 结。其具有单向导电性，是构成半导体器件的基础。

1. PN 结的形成

P 型半导体中具有多子空穴、少子自由电子和带负电的离子，N 型半导体中具有多子自由电子、少子空穴和带正电的离子。这两种掺杂半导体如图 1-17 所示。

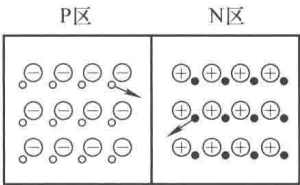


图 1-17 载流子的扩散

当 P 型半导体和 N 型半导体结合在一起时，在其交界处就存在浓度差，即 P 型区的空穴远多于 N 型区的空穴，而 N 型区的自由电子远多于 P 型区的自由电子。这将引起物质的扩散运动，即从浓度高的地方向浓度低的地方运动。P 型区的空穴向 N 型区扩散，N 型区的自由电子向 P 型区扩散，扩散过程中很多自由电子—空穴对被复合掉，使交界面附近多子浓度下降。这时 P 区边界出现负离子区，N 区边界出现正离子区，这些离子不能移动，不参与导电，称为空间电荷，在 P 区和 N 区的边界形成一层空间电荷区，如图 1-18 所示。

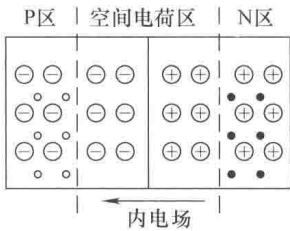


图 1-18 PN 结的形成

从图 1-18 可看出，在空间电荷区内离子间相互作用形成的内电场，方向从 N 区指向 P 区。这个内电场一方面由于方向与载流子扩散运动的方向相反，阻碍扩散运动的进行；另一方面，它又促使 N 区的少子空穴进入 P 区，P 区的少子自由电子进入 N 区，这种在内电场力的作用下少子的运动漂移为漂移运动。扩散运动使空间电荷区增厚，内电场增强，而漂移运动与扩散运动的作用正好相反。当这两种运动达到动态平衡时，空间电荷区也基本稳定，即为 PN 结。

2. PN 结的单向导电性

(1) PN 结加正向电压时处于导通状态 图 1-19 所示为当 PN 结加上外加电源 V_{CC} ，电源的正极接 P 区，负极接 N 区，则称 PN 结加正向电压或正向偏置。这时外加电压的方向与内电场方

向相反,削弱了内电场,使PN结即空间电荷区厚度变窄,从而打破了PN结原来的平衡状态,多子的扩散运动加剧,而少子的漂移运动减弱。由于电源 V_{CC} 的作用,使得P区空穴不断扩散到N区,N区的自由电子不断扩散到P区,从而形成了从P区流入N区的电流,称为正向电流。由于参与形成正向电流的是浓度较高的多子,因此电流较大,PN结呈现的正向电阻很小,这时称PN结处于正向导通状态。对于硅材料半导体而言,PN结导通时的结电压只有0.7V左右,锗材料半导体的PN结导通时的结电压只有0.3V左右。因此在回路上加一个限流电阻以防止PN结因正向电流过大而遭损坏。

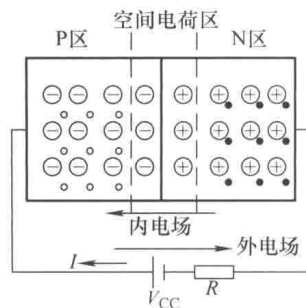


图 1-19 外加正向电压时的 PN 结

(2) PN结外加反向电压时处于截止状态 图 1-20 所示为当外加电源的正极接在PN结的N区,负极接在PN结的P区时,称PN结加反向电压或反向偏置。这时外加电压的方向与内电场方向相同,使空间电荷区厚度变宽,阻止扩散运动的进行,同时更容易产生少子的漂移运动,这也打破了PN结原来的平衡状态,从而形成反向电流 I_R 。由于少子的浓度很小, I_R 值很小,一般为微安级。此时PN结由于呈现出很大的电阻,可认为它基本不导电,称为反向截止。反向电流还具有一个特点:在一定温度下,由于少子的数量基本恒定,当电压在一定范围内变化时,电流值趋于恒定,这时称反向电流为反向饱和电流,用 I_S 表示。但当电压过大时,外电场将从共价键中拉出大量的电子,使载流子的数目激增,电流增加到很大,这就是PN结的反向击穿。

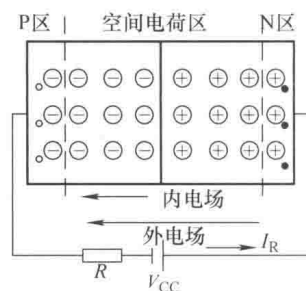


图 1-20 外加反向电压时的 PN 结

此外,由于半导体的热敏性, I_S 受温度影响较大,例如:当环境温度升高时,少子的浓度增加, I_S 随之增加,这将造成半导体器件工作不稳定。在实际应用中要注意这个问题。

综上所述,PN结的单向导电性表现在:PN结正向偏置时处于导电状态,正向电阻很小;反向偏置时处于截止状态,反向电阻很大。

五、PN结的电容效应

PN结在一定条件下具有电容效应,这种电容效应可分为势垒电容和扩散电容。

1. 势垒电容 C_B

当PN结外加电压变化时,空间电荷区的宽度也跟着变化,相当于电子和空穴分别流入或流出PN结,即PN结的电荷量随外加电压而发生变化,这种现象与电容器的充放电过程相似,即形成电容效应,我们就用势垒电容 C_B 来描述。这种电容效应一般在反向偏置时起主要作用,尤其在高频时影响更大,可以利用这一特性制成变容二极管。

2. 扩散电容 C_D

当PN结正向偏置时,多子在扩散过程中会引起电荷积累,且这种积累会随外加电压变化而变化,也与电容器的充放电过程相似,故将这种电容效应等效为扩散电容 C_D ,用来反映在外加电压作用下载流子在扩散过程中的积累情况,一般在PN结正向偏置时起作用。

由此可见,PN结的结电容 C_J 是势垒电容和扩散电容之和,即 $C_J = C_B + C_D$ 。由于 C_B 和 C_D 都很小,对于低频信号呈现为很大的容抗,可不考虑这种电容效应,当信号频率较高时才考虑这种电容作用。当PN结处于正向偏置时, C_D 起主要作用, $C_J \approx C_D$,当PN结处于反向偏置时, C_B 起主要作用, $C_J \approx C_B$ 。