

高等院校应用型专业电工电子推荐教材

DIANGONG DIANZI JISHU

电工电子技术

张树江 主编

荆珂 主审



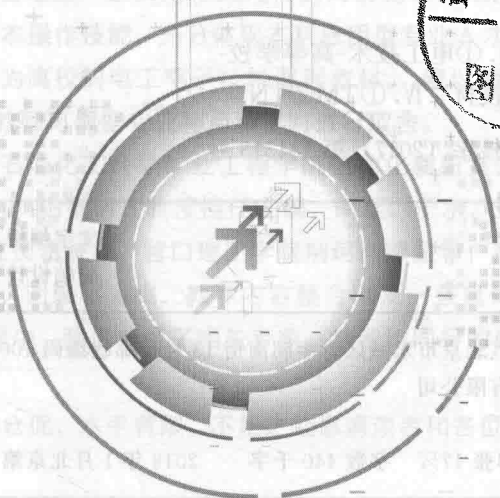
化学工业出版社

高等院校应用型专业电工电子推荐教材

DIANGONG DIANZI JISHU

电工电子技术

张树江 主编 荆珂 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

发行所 青洲路

元 00.00 (份) 家

本书系统介绍了电工电子技术的基本理论及应用,全书共分为8章,内容包括:直流电路、交流电路、半导体二极管及直流稳压电源、半导体三极管及基本交流放大电路、集成运算放大器及其应用、门电路及组合逻辑电路、触发器及时序逻辑电路、电机及控制电路。

本书基本概念讲述清楚,分析方法讲解透彻,练习题配置齐全,内容由浅入深,语言通俗易懂,适于教学。

本书可作为高等院校的电工电子技术课程教材,也可供有关科技人员参考。

电工电子技术

主编 张树江 副主编 王树刚

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/张树江主编. —北京:化学工业出版社, 2017.9

ISBN 978-7-122-30319-6

I. ①电… II. ①张… III. ①电工技术-高等学校-教材②电子技术-高等学校-教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第181313号

责任编辑:李军亮 万忻欣

责任校对:王素芹

文字编辑:陈 喆

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:三河市延风印装有限公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张17¼ 字数440千字 2018年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:49.00元

版权所有 违者必究



电工电子技术是高等学校工科非电类专业的一门技术基础课程,它集理论性、专业性、应用性于一身,涉及电的知识内容广,内容本身也较难掌握。本书深入贯彻落实《教育部、国家发展改革委、财政部关于引导部分地方普通本科高校向应用型转变的指导意见》(教发[2015]7号)文件精神,打破传统的学术型人才培养的教材编写模式,适当地淡化了深奥的电磁理论分析,略去了电路的暂态分析,整合了电工、电子技术章节编排体系,具体内容包括:直流电路、交流电路、半导体二极管及直流稳压电源、半导体三极管及基本交流放大电路、集成运算放大器及其应用、门电路及组合逻辑电路、触发器及时序逻辑电路、电机及控制电路。

本书作为普通高等学校本科应用型专业的电工电子技术课程教材,在内容叙述上尽量符合本科应用型人才的目标要求和学生的学习特点,做到主线清晰、“管”“路”结合、由浅入深、循序渐进。内容涵盖了工科非电专业应知应会的电的基本知识,并尽量增加一些实用电路元件的简易测试方法,力图使学生更多地熟悉和掌握电的基本操作技能,充分体现本科应用型专业人才培养特点。

本书也适合作为高校的电工电子技术课程教材。建议授课64~80学时,书中带“*”内容,教师可根据专业特点和学时进行取舍。

本书是在辽宁石油化工大学矿业工程学院自动化教研室的《电工电子技术》讲义基础上编写的。由张树江教授担任主编,闫兵、于水、王宏宇、李芳参与编写。全书由张树江负责统稿,营口理工学院荆珂教授主审,荆珂教授对全书进行了认真细致的审阅,对编写思路、教学内容整合以及一些具体问题提出了建设性意见。在编写过程中,我们参考了相关专家、学者和同行的研究成果,在此表示诚挚的谢意。

由于编写时间仓促,水平有限,不足之处恳请读者和各位同行批评指正。

编者

第 1 章 直流电路	1
1.1 电路变量	1
1.1.1 电流及其参考方向	2
1.1.2 电压、电压的参考方向和电位	2
1.1.3 电功率和电能	4
1.2 电路元件	5
1.2.1 电阻、电感和电容	5
1.2.2 电源	10
1.2.3 电气设备的额定值	11
1.3 电路的工作状态	11
1.3.1 有载状态	11
1.3.2 空载状态	12
1.3.3 短路状态	12
1.4 基尔霍夫定律	13
1.4.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)	13
1.4.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)	14
1.5 支路电流法	15
1.6 叠加定理	16
1.7 等效电源定理	18
1.7.1 戴维南定理	18
*1.7.2 诺顿定理	20
1.8 电压源与电流源的等效变换	21
1.8.1 理想电压源的等效变换	21
1.8.2 理想电流源的等效变换	21
1.8.3 两种电源模型的等效变换	22
本章小结	24
习题 1	25
第 2 章 交流电路	32

2.1 正弦交流电的基本概念	32
----------------	----

2.1.1	正弦量的三要素	32
2.1.2	正弦量的相量表示法	36
2.2	单一参数的正弦交流电路	38
2.2.1	电阻元件的正弦交流电路	39
2.2.2	电感元件的正弦交流电路	40
2.2.3	电容元件的正弦交流电路	43
2.3	串联、并联交流电路	45
2.3.1	RLC 串联交流电路	45
2.3.2	RLC 并联交流电路	48
2.3.3	阻抗及其串、并联	50
2.4	交流电路的功率	53
2.4.1	瞬时功率	53
2.4.2	有功功率与功率因数	53
2.4.3	无功功率	54
2.4.4	视在功率	54
2.4.5	功率因数的提高	56
2.5	电路中的谐振	59
2.5.1	串联谐振	59
2.5.2	并联谐振	61
2.6	三相不对称负载电路	63
2.6.1	三相电源	63
2.6.2	三相不对称负载作星形连接的三相四线制电路	65
2.6.3	三相不对称负载作三角形连接的三相三线制电路	67
2.7	三相对称负载电路	68
2.7.1	三相对称负载作星形连接	68
2.7.2	三相对称负载作三角形连接	70
2.8	安全用电	71
2.8.1	触电方式	72
2.8.2	触电防护	72
2.8.3	静电防护和电气防火防爆	73
2.8.4	触电急救	73
	本章小结	75
	习题 2	76

第 3 章 半导体二极管及直流稳压电源 79

3.1	PN 结及其单向导电性	79
3.1.1	半导体基础知识	79
3.1.2	PN 结	81
3.2	半导体二极管	82
3.2.1	基本结构	82

3.2.2	伏安特性	83
3.2.3	主要参数	84
3.2.4	几种常用的特殊二极管	85
3.3	直流稳压电源	86
3.3.1	整流电路	87
3.3.2	滤波电路	89
3.3.3	稳压电路	92
	本章小结	93
	习题 3	94

第 4 章 半导体三极管及基本交流放大电路 96

4.1	半导体三极管	96
4.1.1	基本结构	96
4.1.2	电流放大作用及原理	97
4.1.3	伏安特性曲线	99
4.1.4	三极管主要参数及测试	101
4.2	基本交流放大电路	103
4.2.1	基本交流放大电路的组成	103
4.2.2	放大电路的静态分析	104
4.2.3	放大电路的动态分析	105
4.2.4	放大器的偏置电路	111
4.3	常用的基本放大电路	114
4.3.1	射极输出器	114
4.3.2	差分放大电路	116
4.3.3	互补对称功率放大电路	119
	本章小结	120
	习题 4	121

第 5 章 集成运算放大器及其应用 124

5.1	集成运算放大器概述	124
5.1.1	集成运算放大器的基本构成	125
5.1.2	集成运算放大器的主要参数	126
5.1.3	集成运算放大器电压传输特性	127
5.1.4	集成运算放大器的理想特性	128
5.2	集成运算放大器中的负反馈	128
5.2.1	反馈的基本概念	129
5.2.2	反馈的分类及判别	129
5.2.3	反馈类型的判别	130
5.2.4	负反馈对放大电路性能的影响	132

5.3 集成运算放大电路的应用	133
5.3.1 集成运放线性应用	133
5.3.2 集成运放非线性应用	138
本章小结	142
习题 5	142

第 6 章 门电路及组合逻辑电路 145

6.1 数字电路概述	145
6.1.1 数字电路的特点	145
6.1.2 数字电路的发展和分类	145
6.1.3 数字电路的研究内容和方法	146
6.2 基本逻辑运算及门电路	146
6.2.1 基本逻辑表示法	146
6.2.2 基本逻辑运算	149
6.2.3 门电路	155
6.3 复合逻辑门电路	156
6.3.1 与非门	157
6.3.2 或非门	157
6.3.3 与或非门	158
6.4 TTL 集成与非门	158
6.4.1 TTL 门电路系列简介	158
6.4.2 TTL 与非门	159
*6.5 其他形式的 TTL 电路	160
6.5.1 集电极开路门	160
6.5.2 三态门	160
6.6 组合逻辑电路的分析和设计	162
6.6.1 组合逻辑电路的分析	162
6.6.2 组合逻辑电路的设计	164
6.7 常用组合逻辑功能器件	166
6.7.1 加法器	166
6.7.2 编码器	167
6.7.3 译码器和数字显示电路	170
本章小结	177
习题 6	177

第 7 章 触发器及时序逻辑电路 181

7.1 双稳态触发器	181
7.1.1 RS 触发器	182
7.1.2 JK 触发器	189
7.1.3 D 触发器	191

7.1.4	T 触发器	192
7.1.5	触发器逻辑功能转换	194
7.2	寄存器	196
7.2.1	数码寄存器	197
7.2.2	移位寄存器	198
7.3	计数器	203
7.3.1	二进制计数器	203
7.3.2	十进制计数	209
7.3.3	任意进制计数器	213
7.4	555 定时器及其应用	217
7.4.1	555 定时器	217
7.4.2	555 定时器的应用	220
	本章小结	223
	习题 7	223

第 8 章 电机及控制电路 227

8.1	变压器	227
8.1.1	变压器的基本结构	227
8.1.2	变压器工作原理	228
8.1.3	变压器的基本应用	230
8.2	交流电动机	232
8.2.1	三相异步电动机基本结构	232
8.2.2	三相异步电动机工作原理和基本特性	235
8.2.3	三相异步电动机启动、调速、制动	237
8.2.4	单相异步电动机	244
8.3	常用控制电器	249
8.3.1	接触器	249
8.3.2	继电器	251
8.3.3	主令电器	258
8.3.4	熔断器	260
8.3.5	低压开关和低压断路器	260
8.4	三相异步电动机启动控制	262
8.4.1	直接启动控制电路	262
8.4.2	Y/ Δ 降压启动控制	263
8.5	三相异步电动机正反转控制	264
8.5.1	简单的正反转控制	264
8.5.2	带电气互锁的正反转控制电路	264
8.5.3	同时具有电气互锁和机械互锁的正反转控制电路	265
	本章小结	265
	习题 8	266

参考文献 268

第1章

直流电路

内容提要

本章首先介绍电路的基本概念、主要物理量和电路的基本元件以及电气设备的工作状态；然后学习基尔霍夫的两个定律；最后学习支路电流法、叠加定理、等效电源定理以及电源变换等常用的电路分析方法。

1.1 电路变量

电在日常生活、生产和科学实验中得到了广泛的应用。要用电，就离不开电路。电路是为实现和完成人们的某种需求，由若干电气设备或元器件按一定方式用导线连接而成的电流通路。简单地说，电路就是电流流通的路径。其主要作用是实现能量的传输和转换，或实现信号的传递和处理。

不管电路的具体形式如何变化，电路通常由电源、负载及中间环节三部分组成。

(1) 电源

电源是提供电能的设备，它将其他形式的能转换为电能。如发电机、干电池、蓄电池等都是电源，它们将各种非电能如热能、化学能、光能和原子能等转换为电能。

(2) 负载

负载是取用电能的装置，即用电设备，如电灯、电动机、空调、冰箱、电视机等。它们将电能转换为其他形式的能。

(3) 中间环节

中间环节是传输、控制电能的装置，用来连接电源与负载，通常是一些连接导线、开关、接触器等辅助设备。它也可以是一个具有极其复杂的控制功能的传输网。

为了便于对电路进行分析和计算，将实际元器件理想化，使每一种元器件只集中表现一种主要的电或磁的性能，这种理想化元器件就是实际元器件的模型。理想化元器件简称电路元件。实际元器件可用一种或几种电路元件的组合来近似地表示。由电路元件构成的电路，称为电路模型，如图 1-1 所示的手电筒电路模型。

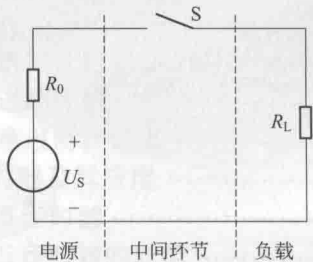


图 1-1 手电筒电路模型

1.1.1 电流及其参考方向

电荷有规则的定向运动形成了电流。规定以正电荷运动的方向作为电流的实际方向。单位时间内通过导体截面积的电量定义为电流强度，用它来衡量电流的大小。电流强度简称为电流，用符号 i 表示。则

$$i = \frac{dq}{dt}$$

要引内容 (1-1)

式中， dq 为在时间 dt 内通过导体某一截面的电荷量。
在国际单位制中，电流的单位是安培，简称安，用符号 A 表示。常用的单位还有千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 (μA)。

在求解复杂电路时，往往难以事先判断电流的真实方向。为了解决这样的问题，引入了电流的参考方向。在电路分析中，任意假定的电流方向，称为电流的参考方向。当电流的参考方向与实际方向相同时，电流为正值；反之，则电流为负值。这样，电流的值就有正有负，是一个代数量，其正负可以反映电流的实际方向与参考方向的关系。

电流的参考方向一般用实线箭头表示，如图 1-2(a) 所示；也可以用双下标表示，如图 1-2(b) 所示，其中 I_{ab} 表示电流的参考方向是由 a 点指向 b 点。

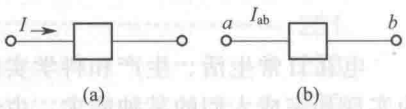


图 1-2 电流的参考方向

1.1.2 电压、电压的参考方向和电位

(1) 电压、电压的参考方向

电路中 a 、 b 两点间的电压，在数值上等于电场力将单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功，用 u_{ab} 表示，则

$$u_{ab} = \frac{dw_{ab}}{dq}$$

(1-2)

式中， dw_{ab} 表示电场力将电量为 dq 的电荷从 a 移动到 b 所做的功。在国际单位制中，电压的单位为伏特，用符号 V 表示，常用的单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV)。

电压和电流一样，有实际方向和参考方向（正方向）之分，要加以区别。电工学中规

定,一段电路上,电压的实际方向是由高电位点指向低电位点。即,电位沿着电压的实际方向逐点降低。

在分析、计算复杂电路时,要预先设定电压的参考方向。当电压的参考方向与实际方向相同时,电压为正值;反之,则电压为负值。

电压的参考方向既可以用正(+)、负(-)极性表示,如图1-3(a)所示,正极性指向负极性的方向就是电压的参考方向;也可以用双下标表示,如图1-3(b)所示,其中 U_{ab} 表示 a 、 b 两点间的电压参考方向由 a 指向 b 。

电压、电流的参考方向可以自由选取,二者并无必然联系。在同一段电路中,如果电流的参考方向与电压的参考方向一致,即电流的参考方向是从电压参考方向表示的高电位点流向低电位点,则称二者的参考方向为关联参考方向,如图1-4所示;如果电流的参考方向与电压的参考方向不一致,即电流的参考方向是从电压参考方向表示的低电位点流向高电位点,则称二者的参考方向为非关联参考方向,如图1-5所示。

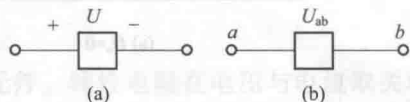


图1-3 电压的参考方向



图1-4 关联参考方向

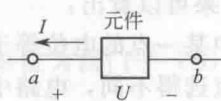


图1-5 非关联参考方向

对负载,通常选取电压、电流的参考方向为关联参考方向;对电源,选取电压、电流的参考方向为非关联参考方向。

(2) 电位

前面已给出电压概念,两点间的电压就是两点的电位差,它只能说明一点的电位高、另一点的电位低以及两点的电位相差多少的问题,至于电路中某一点的电位究竟是多少,将在此讨论。

以图1-6所示的电路为例,来讨论该电路中各点的电位。

根据电路可得

$$U_{ab} = 10 \times 6 = 60\text{V}$$

$$U_{ca} = 4 \times 20 = 80\text{V}$$

$$U_{da} = 6 \times 5 = 30\text{V}$$

$$U_{cb} = 140\text{V}$$

$$U_{db} = 90\text{V}$$

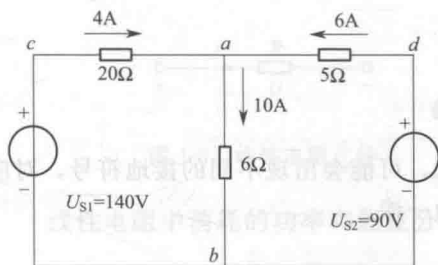


图1-6 电路

可见,在图1-6中,只能计算出两点间的电压值,而不能计算出某一点的电位值。因此,计算电位时,必须选定电路中某一点作为参考点(通常假设参考点的电位为零),其他各点的电位与参考点进行比较,比它高的为正,比它低的为负。正的数值越大则电位越高,负数的绝对值越大则电位越低。

参考点在电路图中标上接地符号,常用“ $\perp$ ”标注。所谓“接地”,并非真正与大地相接。在图1-6中,如果设 a 点为参考点,即 $U_a = 0$ 。如图1-7(a)所示,可得出

$$U_b - U_a = U_{ba}, U_b = U_{ba} = -U_{ab} = -60\text{V}$$

$$U_c - U_a = U_{ca}, U_c = U_{ca} = +80\text{V}$$

$$U_d - U_a = U_{da}, U_d = U_{da} = +30\text{V}$$

由此可见, b 点的电位比 a 点低60V,而 c 点和 d 点的电位比 a 点分别高80V和30V。如果设 b 点为参考点,即 $U_b = 0$ 。如图1-7(b)所示,可得出

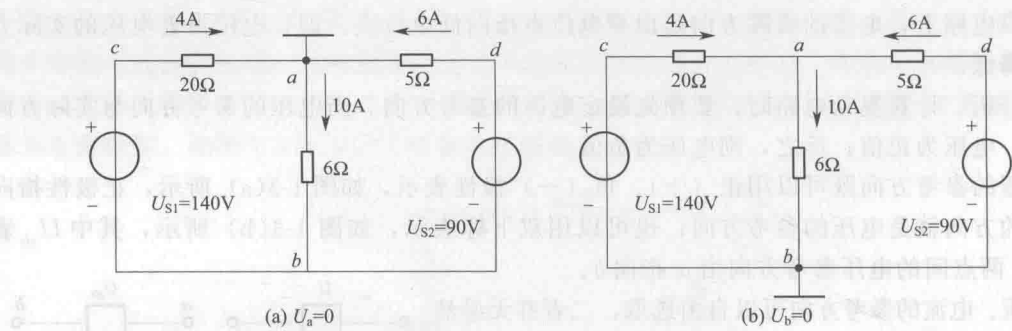


图 1-7 电路电位

$$\begin{aligned} U_a - U_b &= U_{ab}, U_a = U_{ab} = +60\text{V} \\ U_c - U_b &= U_{cb}, U_c = U_{cb} = +140\text{V} \\ U_d - U_b &= U_{db}, U_d = U_{db} = +90\text{V} \end{aligned}$$

从以上结果可以看出：

- ① 电路中某一点的电位等于该点与参考点（电位为零）之间的电压。
 - ② 参考点选得不同，电路中各点的电位值随着改变，但是任意两点间的电压是不变的。
- 所以各点电位的高低是相对的，而两点间的电压值是绝对的。

图 1-7(b) 也可简化为图 1-8 所示电位形式电路。

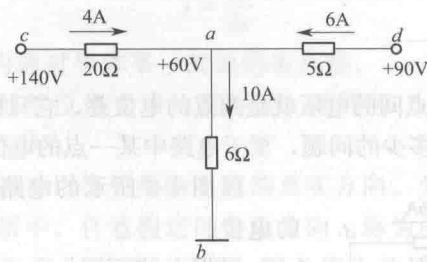


图 1-8 电位形式电路

值得注意的是，在有的电路中采用了电气隔离技术，可能会出现不同的接地符号，对应的电位标注应分别与相应的“地”为基准，不可以混为一谈。

1.1.3 电功率和电能

单位时间内电场力所做的功称为电功率，简称为功率，用字母 p 表示，即

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \times \frac{dq}{dt} = ui \tag{1-3}$$

式中， dw 表示在 dt 时间内电路转换的电能。在国际单位制中，功率的单位为瓦特 (W)。常用的单位还有千瓦 (kW)、毫瓦 (mW) 等。从式(1-3)中可看出，电路的功率也等于该段电路的电压与电流的乘积。

当电路为直流时，有

$$P = UI \tag{1-4}$$

电能是电场力所做的功，用大写字母 W 表示。 $W = Pt$ ，单位是焦耳 (J)。电工技术中，往往直接用瓦特·秒 (W·s) 作单位，有时用千瓦·时 (kW·h)。1 千瓦的用电设备在 1

小时内消耗的电能,即1千瓦·时,俗称1度电。

$$1\text{kW}\cdot\text{h}=1000\times3600=3.6\times10^6\text{W}\cdot\text{s}$$

1.2 电路元件

1.2.1 电阻、电感和电容

(1) 电阻元件

电阻元件简称电阻,是对电流呈现阻碍作用的耗能元件。线性电阻在电压与电流取关联参考方向下,流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比,这是欧姆定律的基本内容。即

$$U=IR \quad (1-5)$$

式中, R 为电路中的电阻。

电阻的国际单位是欧姆(Ω)。当电路两端的电压为1V时,流过的电流是1A,则该段电路的电阻阻值为1 Ω 。

电阻的倒数($1/R$),称为电导,用 G 表示,它的国际单位为西门子(S)。在电流、电压参考方向一致时,欧姆定律也可表示为

$$I=GU \quad (1-6)$$

线性电阻元件的图形符号如图1-9所示,其伏安特性可采用实验的方法测得,它表示电阻两端的电压与流过电流的关系,以电压为横坐标,电流为纵坐标,线性电阻的特性是一条经过原点的直线,如图1-10所示。

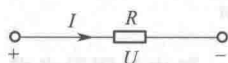


图 1-9 线性电阻元件

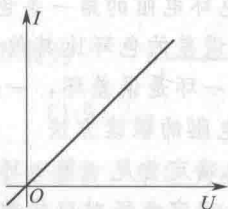


图 1-10 线性电阻伏安特性

线性电阻中消耗的功率和能量分别为

$$P=IU=I^2R \quad (1-7)$$

$$W=Pt=I^2Rt \quad (1-8)$$

可见,电能全部消耗在电阻上,并转化为热能。

知识拓展:电阻器的识别及简单测试

(1) 电阻器的识别

当元件体积较小时,一般采用色标法。色标法是识别电阻器的普遍方法,是将电阻器的类别及主要技术参数用颜色(色环或色点)标注在它的外表面上。优点是:可以从任意角度一次性地读取代表电阻值的颜色信息;在元件弯制和安装时不必考虑阻值所标的位置。

色标法可以分为:色环法和色点法。其中,最常用的是色环法。色环电阻器可分为三

环、四环、五环三种标法。电阻器色标意义见表 1-1。

表 1-1 电阻器色标意义对照

颜色	第一位有效值	第二位有效值	倍率	误差
棕	1	1	10^1	$\pm 1\%$
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	
黑	0	0	10^0	
金			10^{-1}	$\pm 5\%$
银			10^{-2}	$\pm 10\%$
无色				$\pm 20\%$

色标识别小口诀：棕红橙黄绿蓝紫灰白黑，一二三四五六七八九零。

① 三环电阻 三环电阻的色环表示标称电阻值，允许误差均为 $\pm 20\%$ 。例如，色环为棕黑红，表示 $10 \times 10^2 (1 \pm 20\%) \Omega$ 的电阻器。

② 四环电阻 四环电阻一般是碳膜电阻，用 3 个色环来表示阻值（前 2 个色环表示有效值，第 3 个色环表示倍率），第 4 个色环表示误差。

a. 判断色环电阻的第一条色环的方法

I. 表示误差的色环比其他色环稍宽，并且离其他色环稍远。

II. 最后一环是误差环，一般是金色或银色。

b. 色环电阻的识读方法

第一步：确定首尾（第一环）。

第二步：确定色环对应的数字，如图 1-11 所示。

第三步：参照公式计算阻值 $R = \text{①②} \times 10^{\text{③}} (1 \pm 5\%)$ 。

第四步：读数，标称阻值 $\pm$ 允许偏差。

第五步：用万用表测量实际值，若与标称阻值接近，说明识读正确。



(①、②为有效数字，③为倍率，④为误差)

图 1-11 四环电阻器示意图

例如：四环电阻器的颜色排列为棕黑黄金，则标称阻值、允许误差为 $100\text{k}\Omega \pm 5\%$ ，万用表电阻挡选择 $\times 10\text{k}$ ；颜色排列为绿棕黑金，则标称阻值、允许误差为 $51\Omega \pm 5\%$ ，万用表电阻挡选择 $\times 10$ 。

③ 五环电阻 五环电阻一般是金属膜电阻，为了更好地表示精度，用 4 个色环表示阻值（前 3 个色环表示有效值，第 4 个色环表示倍率），第 5 个色环表示误差。因此五环电阻

的识别方法与四环电阻相同,只是比四环电阻多一位有效数字。

例如:五环电阻器的颜色排列为橙白黑橙棕,则标称阻值、允许误差为 $390\text{k}\Omega \pm 1\%$;颜色排列为紫绿黑黑棕,则标称阻值、允许误差为 $750\Omega \pm 1\%$ 。

(2) 电阻器的简单测试

步骤如下:

① 用指针式万用表检测时,为提高测量精度,应根据被测电阻标称值的大小来选择挡位。由于欧姆挡刻度的非线性关系,它的中间一段分度较为精细,因此应使指针指示值尽可能落到刻度的中段位置,即全刻度起始的 $20\% \sim 80\%$ 弧度范围内,以使测量更准确。一般 100Ω 以下电阻器可选 $\times 1$ 挡, $100 \sim 1000\Omega$ 的电阻器可选 $\times 10$ 挡, $1 \sim 10\text{k}\Omega$ 的电阻器可选 $\times 100$ 挡, $10 \sim 100\text{k}\Omega$ 的电阻器可选 $\times 1\text{k}$ 挡, $100\text{k}\Omega$ 以上的电阻器可选 $\times 10\text{k}$ 挡。

② 测量挡位选择后,对万用表电阻挡位进行校零,校零的方法是:将万用表两表笔金属棒短接,如果指针不在“0”位置,则调整调零旋钮,使表针指向电阻刻度的“0”位置。

③ 将两表笔分别与电阻的两端引脚相接即可测出实际电阻值,电阻值=刻度值 $\times$ 倍率。如果表针不动、指示不稳定或指示值与电阻器上的标示值相差很大,则说明该电阻器已损坏。

注意:测试时,人手不要触及表笔和电阻的导电部分;被检测的电阻若在电路中,至少要焊开一端,以免电路中的其他元件对测试产生影响;色环电阻的阻值虽然能以色环标志来确定,但在使用时最好还是用万用表测试一下其实际阻值。

(2) 电感元件

电感元件简称电感,简易的电感由导线绕制的线圈构成。在电路图中用字母“L”表示,其图形符号如图 1-12 所示。

当电压、电流为关联参考方向时,线性电感元件的特性方程为

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1-9)$$

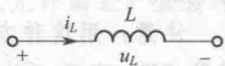


图 1-12 线性电感元件

式中, L 称为线圈的电感,也称自感,它是电感元件的主要参数,单位为亨利(H)。

任意时刻,线性电感元件的电压与该时刻电流的变化率成正比。显然,对于直流电路,电流不随时间变化而变化,即 $\frac{di}{dt} = 0$,所以, $u = 0$,相当于电感对直流短路;而对于交流电路,电压随时间变化而变化,因而 $\frac{di}{dt}$ 具有一定的数值,产生了电压降。所以电感元件有通直流阻交流的作用。

在 u 、 i 关联参考方向下,线性电感元件吸收的功率为

$$p = ui = iL \frac{di}{dt} \quad (1-10)$$

在 $0 \sim t$ 时间内,电感元件储存的磁场能量为

$$W_L(t) = \int_0^t p dt = \frac{1}{2} Li^2(t) \quad (1-11)$$

式(1-11)表明,当电感元件中的电流增大时,磁场能量增大,此过程为电感元件从电源取用电能,并转化为磁能形式储存;当电感元件中的电流减小时,磁场能量减小,此过程

为电感元件释放其磁能，存储和释放的磁能为 $\frac{1}{2}Li^2$ 。

可见，电感元件是一个储能元件，本身不损耗能量，只对电流的变化起阻碍作用。

知识拓展：电感线圈识别及简单测试

(1) 电感线圈的识别

① 直标法 直标法是将电感的标称电感量用数字和文字符号直接标在电感体上，电感量单位后面的字母表示偏差。

② 文字符号法 文字符号法是将电感的标称值和偏差值用数字和字母按一定的规律组合标示在电感体上。采用文字符号法表示的电感通常是一些小功率电感，单位为 μH （微亨）或 nH （纳亨）。

用 μH 作单位时，“R”表示小数点；用 nH 作单位时，“N”表示小数点。

③ 色标法 电感器的色标法多采用色环表示法。色环表示法与电阻器类似，是在电感器表面涂上不同颜色的色环来代表电感量，通常用三个或四个色环表示。识别色环时，紧靠电感体一端的色环为第一环，露出电感体本色较多的另一端为末环。色环电感识别方法与电阻相同。

注意：用这种方法读出的色环电感量，默认单位为微亨（ μH ）。

④ 数码表示法 数码表示法是用三位数字来表示电感量的方法，常用于贴片电感上。三位数字中，从左至右的第一、第二位为有效数字，第三位数字表示有效数字后面所加“0”的个数。

注意：用这种方法读出的电感量，默认单位也是微亨（ μH ）。如果电感量中有小数点，则用“R”表示，并占一位有效数字。

(2) 电感线圈的简单测试

电感线圈的精确测量要借助专用电子仪表。在不具备专用仪表时，可以用万用表测量电感线圈的电阻来大致判断其好坏。

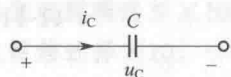
① 外观检查 检测电感时先进行外观检查、看线圈有无松散、引脚有无折断、线圈是否烧毁或万用表是否有烧焦痕迹等。若无上述现象，则可以用万用表电阻法进一步检测电感线圈的好坏。

② 万用表电阻法检测 万用表电阻法检测就是用万用表的欧姆挡测线圈的直流电阻。电感的直流电阻值一般很小，匝数多、线径细的线圈能达几十欧；对于有抽头的线圈，各引脚之间的阻值均很小，仅有几欧姆。若用万用表 $\times 1$ 挡测线圈的直流电阻，阻值无穷大，说明线圈已经开路损坏；阻值为零，说明线圈完全短路。

(3) 电容元件

电容元件简称电容，在电路图中用字母“C”表示，其图形符号如图 1-13 所示。

当电压、电流为关联参考方向时，线性电容元件的特性方程为



$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1-12)$$

图 1-13 线性电容元件

式中，C 称为电容，单位为法拉（F）。