

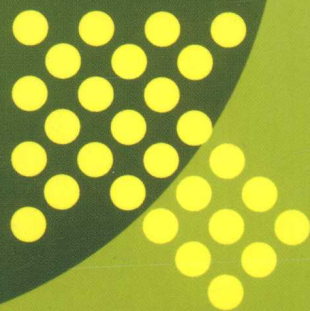
21世纪高等学校规划教材



DIANGONG DIANZI JISHU

电工电子技术

瞿晓 主编
刘西琳 郑玉珍 蔡伟建 副主编

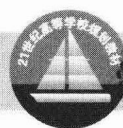


中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

TM/212

2009

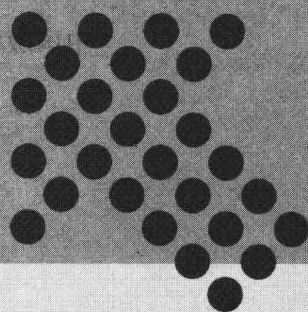
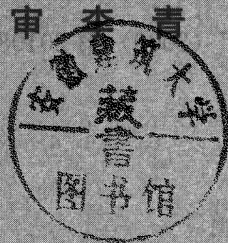
21世纪高等学校规划教材



DIANGONG DIANZI JISHU

电工电子技术

主 编 瞿 晓
副主编 刘西琳 郑玉珍 蔡伟建
编 写 孙月兰 孙丽慧
主 审 李 青



中国电力出版社

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

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。全书共分为十二章，主要包括：电路的基本概念与基本定律，电路定理及分析方法，单相及三相交流电路，电路的暂态过程分析，变压器和电动机，继电接触控制系统，半导体二极管、半导体三极管，基本放大电路，集成运算放大器，数字电子电路，工业企业供电与安全用电，电气测量技术。

本书可作为高等院校的机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程、工业工程、车辆工程、给水排水工程等非电类专业电工电子技术课程的本科教材，也可作为高职高专院校教材和函授教材，同时可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术/瞿晓主编. —北京：中国电力出版社，2009

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 9688 - 0

I. 电… II. 瞿… III. ①电工技术-高等学校-教材②电子技术-高等学校-教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 201089 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](http://jc.cepp.com.cn))

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 12 月第一版 2009 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.5 印张 474 千字

定价 31.20 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

序

进入 21 世纪,“985 工程”和“211 工程”的实施,推动了高水平大学和重点学科的建设,在高校中汇聚了一大批高层次人才,产生了一批具有国际先进水平的学术和科学技术研究成果。然而高校规模的超高速扩大,导致不少学校的专业设置、师资队伍、教材资源和教学实验条件不能迅速适应发展需要,教学质量问题日益突现。高校教材,作为教学改革成果和教学经验的结晶,其质量问题自然备受关注。

需要指出的是,很多高等学校教材经过多年的教学实践检验,已经成为广泛使用的精品教材。同时,我们也应该看到,现用的教材中有不少内容陈旧、未能反映当前科技发展的最新成果,不能满足按新的专业目录修订的教学计划和课程设置的需要。这就要求我们的高等教育教材建设必须与时俱进、开拓创新,在内容质量和出版质量上均有新的突破。

根据教育部教高司 2003 年 8 月 28 日发出的 [2003] 141 号文件,在教育部组织下,历经数年,2006~2010 年教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会按照教育部的要求,致力于制定专业规范或教学质量标准,组织师资培训、教学研讨和信息交流等工作,并且重视与出版社合作,编著、审核和推荐高水平电子电气基础课程教材。

“电工学”、“电路”、“信号系统”、“电子线路”、“电磁场”、“自动控制原理”、“电机学”等电子电气基础课程是许多理工院校的先修课程,也是电子科学与技术、电气工程及其自动化等专业学科的基石,在科学研究领域和产业应用中发挥着极其重要的作用。此类教材的编写,应提倡新颖的立意,“适用、先进”的编写原则和“通俗、精炼”的编写风格,以百花齐放的形式和较高的编写质量来满足不同学科、不同层次的师生的教学要求。

本电子电气基础课程教材编审委员会即是基于此目的而设立的,希望能够鼓励更多的优秀教师参与其中,为高质量教材的编写和出版贡献出聪明才智和知识经验。



2009 年 10 月于东南大学

电子电气基础课程教材编审委员会

主任委员	王志功	东南大学		
	张晓林	北京航空航天大学	胡敏强	东南大学
	王泽忠	华北电力大学	戈宝军	哈尔滨理工大学
	马西奎	西安交通大学	刘新元	北京大学
副主任委员	孟 桥	东南大学		
	李兆春	中国电力出版社		
秘书长	(按姓氏笔画排列)			
	于守谦	北京航空航天大学	公茂法	山东科技大学
秘 书 委 员	王 殊	华中科技大学	王万良	浙江工业大学
	王小海	浙江大学	王建华	西安交通大学
	王松林	西安电子科技大学	邓建国	西安交通大学
	付家才	黑龙江科技学院	刘润华	中国石油大学 (华东)
	刘耀年	东北电力大学	朱承高	上海交通大学
	宋建成	太原理工大学	张正平	贵州大学
	张彦斌	西安交通大学	李 承	华中科技大学
	李 青	中国计量学院	李 琳	华北电力大学
	李守成	北京交通大学	李国丽	合肥工业大学
	李哲英	北京联合大学	李晓明	太原理工大学
	李晶皎	东北大学	杨 平	上海电力学院
	陈后金	北京交通大学	陈庆伟	南京理工大学
	陈意军	湖南工程学院	陈新华	山东科技大学
	宗 伟	华北电力大学	范蟠果	西北工业大学
	段哲民	西北工业大学	段渝龙	贵州大学
	胡虔生	东南大学	赵旦峰	哈尔滨工程大学
	赵荣祥	浙江大学	唐庆玉	清华大学
	徐淑华	青岛大学	袁建生	清华大学
	郭陈江	西北工业大学	高会生	华北电力大学
	崔 翔	华北电力大学	梁贵书	华北电力大学
	曾孝平	重庆大学	曾建唐	北京石油化学学院
	韩 璞	华北电力大学	韩学军	东北电力大学
	雷银照	北京航空航天大学		

前言

随着科学技术的发展,人们在生活、学习和生产实践中,对电工电子技术知识的需求日益增强。近年来,电子信息技术的迅速发展,使电工电子技术各个领域也得到越来越广泛的应用。为了适应社会需求和教学改革的需要,许多高校,特别是应用型本科院校的各类非电类专业,如机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程、工业工程、车辆工程、给排水工程、化学工程与工艺、食品科学与工程、制药工程、包装工程、轻化工程、印刷工程等都将电工电子技术作为一门重要的专业基础课程安排在课程教学体系中。其主要任务是为学生学习专业知识和从事工程技术工作打好电工电子技术的初步理论基础,并使他们受到必要的相关基本技能的训练。

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,以教育部颁布的高等学校工科本科基础课程“电工学”教学基本要求作为依据,结合应用型本科院校的特色和适应高校扩招后教学改革实践的需要,将电工和电子技术进一步融会贯通,以适应学生将来进入社会后适应性强的需要,编写了本书。本书适用于应用型本科院校的非电类不同专业的“电工及电子技术”、“电工学”、“电路及电子技术”、“电工电子学”和“应用电子学”等课程的教学需要。

本书中对电工电子学的基本理论、基本定律、基本概念及基本分析方法进行了比较全面的阐述,并通过实例来说明理论在工程实践方面的应用,以加深学生对基础知识的掌握和理解。本书还介绍了电工电子技术的现状及发展,反映了现代科学技术发展的新成就。

在本书编写过程中,我们紧密关注当前学科发展的现状、市场需求导向及应用型本科院校非电类专业学生的特点,以“强调基础,侧重应用”为编写原则,编写出适合应用型本科院校非电类专业学生使用的“电工电子技术”教材。通过本课程的学习,使学生了解和掌握直流电路、交流电路及各种电气工作的基本原理,以及模拟电路和数字电路的基础理论,并在此基础上了解和掌握各种常见电路和常用电气在各种工业机械和装置中的应用,初步掌握电工电子技术的基础理论,并通过相应的实验培养学生的实验技能和动手能力,培养学生独立思考、分析解决实际问题的能力,为后续相关专业课和专业选修课打下一个良好的基础。因此在本书编写过程中着重强调了以下两点:

(1) 强调基础性。本书编写的出发点是面向应用型本科院校的非电类专业的学生,所以强调基本电工电子方面知识的覆盖面,并适当降低知识点的深度和难度。

(2) 强调应用性。非电类专业的学生重点要掌握的是各种电气设备的使用特性,而对其涉及的理论原理有一定程度的了解即可,所以本书在介绍原理的基础上对当前应用较为广泛的电工电子技术在工程实践方面的应用进行了重点介绍。

全书共分为十二章,第一、三章由蔡伟建编写,第二、四章由孙月兰编写,第五、十二章由瞿晓编写,第六、七、十一章由刘西琳编写,第八、九章由郑玉珍编写,第十章由孙丽慧编写,由瞿晓负责主编。

本书由中国计量学院的李青教授审阅大纲和全稿，并提出了宝贵的意见和修改建议。在本书编写过程中，还得到浙江科技学院电气学院老师的关心和大力支持。在此，对主审及关心、帮助本书出版的同志和单位表示真挚的谢意。在本书的编写过程中参考和引用了许多业内同仁的优秀成果，在此对参考文献的作者表示衷心的感谢！

由于编者学识水平有限，书中一定存在疏漏和不足之处，欢迎读者批评指正。意见请寄浙江省杭州市留和路 318 号浙江科技学院电气学院（邮编：310043），瞿晓（收），也可发送电子邮件至 quxiao@zust.edu.cn。

编 者
于浙江科技学院

目 录

序

前言

第一章 电路的基本概念与基本定律	1
第一节 电路模型及组成	1
第二节 电路物理量及电流和电压的参考方向	2
第三节 电路元件及其伏安特性关系	4
第四节 电路的基本定律	8
第五节 电压和电位的区别	10
习题	11
第二章 电路定理及分析方法	14
第一节 电阻、电感、电容元件的串联与并联	14
第二节 实际电源的模型及其等效变换	18
第三节 支路电流法与节点电压法	20
第四节 叠加定理	24
第五节 戴维宁定理和诺顿定理	25
第六节 受控电源与非线性电阻	29
习题	31
第三章 单相及三相交流电路	34
第一节 单相正弦交流电路	34
第二节 正弦量的相量表示法	36
第三节 电路元件伏安特性和电路定律的相量表示	38
第四节 RLC 串联交流电路	42
第五节 复阻抗的串联和并联	45
第六节 交流电路的频率特性	47
第七节 电路功率因数的提高	53
第八节 三相交流电路的基本概念	55
第九节 负载星形连接、三角形连接的三相电路	57
第十节 三相交流电路的功率计算	61
习题	62
第四章 电路的暂态过程分析	71
第一节 储能元件和换路定则	71
第二节 RC 电路的响应	73
第三节 一阶线性电路暂态分析的三要素法	78
第四节 RL 电路的响应	80

习题	84
第五章 变压器和电动机	87
第一节 磁路及交流铁心线圈	87
第二节 变压器	93
第三节 电磁铁	99
第四节 三相异步交流电动机.....	100
第五节 三相异步电动机的工作特性.....	106
第六节 三相异步电动机的起动、反转、调速与制动.....	109
第七节 三相异步电动机的参数及选择.....	112
习题.....	118
第六章 继电接触控制系统.....	120
第一节 常用控制电器.....	120
第二节 鼠笼式电动机直接起动和正反转的控制线路.....	123
第三节 行程和时间控制.....	126
习题.....	128
第七章 半导体二极管、半导体三极管.....	130
第一节 半导体的导电特性.....	130
第二节 半导体二极管.....	132
第三节 半导体三极管.....	135
习题.....	143
第八章 基本放大电路.....	146
第一节 基本放大电路的技术参数.....	146
第二节 共发射极放大电路.....	147
第三节 小信号模型分析法.....	151
第四节 静态工作点的稳定.....	155
第五节 射极输出器.....	157
第六节 多级放大电路.....	160
习题.....	170
第九章 集成运算放大器.....	173
第一节 概述.....	173
第二节 放大电路中的负反馈.....	175
第三节 基本运算电路.....	177
第四节 集成运算放大器用于信号处理.....	182
第五节 直流稳压电源.....	185
习题.....	191
第十章 数字电子电路.....	193
第一节 数字电路基础.....	193
第二节 逻辑代数基础	198
第三节 集成逻辑门电路	210

第四节	组合逻辑电路的分析和设计	213
第五节	组合逻辑器件	215
第六节	触发器	221
第七节	常用逻辑功能器件	225
第八节	数字电路应用设计举例	232
习题		238
第十一章	工业企业供电与安全用电	246
第一节	发电、输电和配电	246
第二节	安全用电	247
第三节	节约用电	251
习题		251
第十二章	电气测量技术	252
第一节	测量基础知识	253
第二节	测量误差的估计及数据处理	257
第三节	模拟指示仪表	260
第四节	数字式仪表	266
第五节	比较式仪表	271
第六节	电压和电流的测量	274
第七节	功率和电能的测量	276
第八节	电阻、电容与电感的测量	279
第九节	频率和周期的测量	281
第十节	智能仪器和虚拟仪器	282
习题		287
附录 I	部分习题参考答案	289
附录 II	常用电器分类及图形符号、文字符号举例	296
参考文献		300

第一章 电路的基本概念与基本定律

本章主要介绍有关电路的基本概念与基本定律,这些基本概念和基本定律对直流电路和正弦交流电路的分析和理解起着重要的作用。

第一节 电路模型及组成

在现代工业、农业、国防建设、科学研究及日常生活中,广泛而又大量地使用着各种各样的电气设备或电气装置,这些设备或装置实际上是由各种各样的电器元件或部件组成,并按一定的方式连接起来,按照某种要求和规定进行工作。各种电器元件及其连接方式就构成了实际电路。

从理论分析的角度看,电路就是将各种电器元件或装置按一定的方式组合起来能够提供电流的通路。

实际电路种类繁多,但不管简单还是复杂,总可以将其从组成、功能等方面进行归类。从组成上讲,任何实际电路都由三部分组成:

(1) 电源部分。它是提供电能或电信号的电器装置,作用是向电路中其他电器元件提供工作时所必需的电压、电流或功率。

(2) 负载部分。它是消耗电能的电器装置,作用是将电源提供的电能转换成其他形式的能量。

(3) 连接部分。它通常由金属导线组成,作用是将电源和负载连接起来使电路能正常工作。

从功能上讲,实际电路主要体现在以下两个方面:

(1) 能量的产生、传输与转换。以电力的产生、传输和分配为例,发电厂(水电、火电、核电厂等)首先利用各种电气装置将不同形式的能量转换成电能,然后利用输电线路将发电厂发出的电能传输到城市、乡村及所有需要用到电能的地方,在那里再将电能分配到各个厂矿企业和千家万户,最终各个用户根据自己的需要将电能转换成机械能、光能、热能等其他形式的能量。

(2) 信号的传递、变换与处理。以无线电通信为例,人们利用各种电子装置将声音、图像等转换成无线电信号,这个信号从能量上讲,远比电力系统小得多,无线电信号在大气层中传播,用户利用电子装置将接收到的无线电信号重新将声音、图像等还原出来,在这个过程中还可以对还原的信号进行适当的处理。

实际电气电子装置、设备和元件种类繁多,数量巨大,其工作时的物理过程也很复杂,不便于一一进行分析,但它们在电磁现象方面却又有着许多相同的地方。为了便于分析实际电路的主要特性和功能,必须对实际电气电子装置或元件进行科学抽象,找出其主要的电磁特性,忽略其次要的电磁特性,经过这种抽象后的电气元件称为理想元件,如同化学理论中的理想气体、力学理论中的理想刚体,都具有精确的数学定义。在一定的条件下,对由这些

理想元件组成的理想电路进行分析计算得到的结果与实际电路工作时的状况相同或非常接近,可以对实际电路的工作状态进行理论上的预测。在电路理论中对实际电器装置或电路元件进行理论抽象后常用的理想元件主要有以下几种:

(1) 电阻元件。凡是在实际电路中消耗电能的电器装置或元件都可抽象为电阻元件,用 R 表示。

(2) 电容元件。凡是在实际电路中能储存电场能量的电器装置或元件都可抽象为电容元件,用 C 表示。

(3) 电感元件。凡是在实际电路中能储存磁场能量的电器装置或元件都可抽象为电感元件,用 L 表示。

(4) 电源元件。凡是在实际电路中能够提供电能的电器装置或元件都可抽象为电源元件,电源元件分为电压源和电流源,其参数分别用 u_s 和 i_s 表示。

上述四种元件的电气符号如图 1-1 所示。

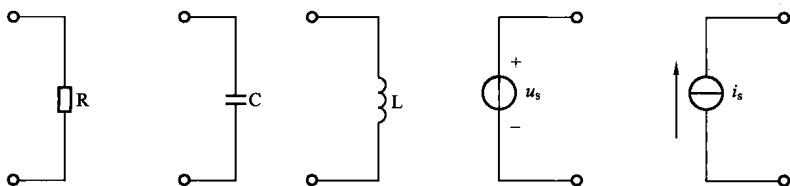


图 1-1 各种理想元件的电气符号

第二节 电路物理量及电流和电压的参考方向

一、电路物理量

在电路理论中涉及的物理量主要有电流、电压、电荷、磁通、磁通链、功率和能量,其中,电流、电压、功率和能量最为常用。

1. 电流

电流是电荷有规则的定向运动所形成的。规定正电荷流动的方向为电流的方向。电流的大小可用电流强度表示。定义: 电流强度为单位时间内通过导体横截面的电荷量, 即

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \quad (1-1)$$

当电流强度与时间无关时, 即为直流电流, 用 I 表示。电流强度通常简称为电流, 单位为 A (安培)。

2. 电压

电压定义为将单位正电荷从电路中一点移动到另一点时电场力所做的功, 或表示为电路中任意两点之间的电位之差, 即

$$u(t) = \frac{dw(t)}{dq(t)} \quad (1-2)$$

当电压与时间无关时, 即为直流电压, 用 U 表示。电压的单位是 V (伏特)。电压的极性规定为从高电位指向低电位。

3. 能量和功率

能量定义为在 t_0 到 t 的时间内, 电场力将单位正电荷由 A 点移动到 B 点时所做的功, 用 W 表示。根据电压的定义有

$$W = \int_{t_0}^t w(t) dt = \int_{q(t_0)}^{q(t)} u(t) dq(t) \quad (1-3)$$

将 $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$ 代入式 (1-3) 得

$$W = \int_{t_0}^t u(t) i(t) dt \quad (1-4)$$

能量的单位为 J (焦耳)。

功率定义为单位时间内能量的变化率, 即

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} = u(t) i(t) \quad (1-5)$$

功率的单位为 W (瓦特)。

二、电压和电流的参考方向

在实际电路和理论分析中, 电压和电流的方向有实际方向和参考方向。

1. 电流的参考方向 (参考流向)

在电路分析计算中, 对于简单电路, 很容易判定电流的实际流动方向, 但对复杂电路, 很难直接判断电流的实际流向。因此, 为列电路方程而必须事先人为地假定电流的流向, 这称之为电流的参考方向。当通过对电路分析计算后得到的电流值为正值时, 电流的参考方向就是电流的实际流向; 当得到的电流值为负值时, 表明电流的实际流向与参考方向相反。这样, 在假定的电流参考方向下, 计算得到的电流值的正或负就可以表明电流的实际流向。图 1-2 (a) 表示电流的实际流向与参考方向相同; 图 1-2 (b) 表示电流的实际流向与参考方向相反, 其中实线表示电流的参考方向, 而虚线表示电流的实际流向。电流的参考方向也可用 i_{ab} 表示, 表示电流从 a 流向 b 。

2. 电压的参考方向 (参考极性)

同样, 也可以对电路中任意两点之间的电压事先假定一个参考极性, 当计算得到的电压值为正值时, 电压的参考极性就是电压的实际极性; 当计算得到的电压值为负值时, 电压的实际极性与参考极性相反。这样, 在假定的电压参考极性下, 计算得到的电压值的正或负就可以表明电压的实际极性。图 1-3 (a) 表示电压的实际极性与参考极性相同; 图 1-3 (b) 表示电压的实际极性与参考极性相反, 其中虚线表示电压的参考极性。当然电压的参考极性也可用 u_{ab} 表示, 表示电压的极性从 a 指向 b 。

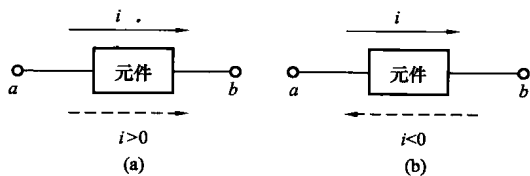


图 1-2 电流的参考方向

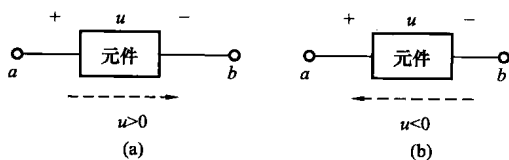


图 1-3 电压的参考方向

3. 关联参考方向

电路中每个元件的电流或电压的参考方向或参考极性是相互独立的,在对电路分析计算前可以任意假定。但为了便于分析电路的其他变量或性质,一般将电流的参考方向和电压的参考极性设为一致,将其称为关联参考方向。在后面电路分析计算中的公式都是在关联参考方向的前提下给出的。

当电路中任何一个元件指定其电压和电流的参考方向为关联参考方向后,根据计算得到的电压和电流的实际结果很容易判定该元件是消耗还是提供功率。

当 $P=UI>0$, 消耗功率;

当 $P=UI<0$, 提供功率。

例如, 当一个元件的电压和电流的参考方向指定为关联参考方向, 经过计算后得到该元件的电压和电流分别为 $U=2\text{V}$, $I=5\text{A}$, 则 $P=UI=10\text{W}$, 该元件消耗功率 10W ; 当经过计算得到 $U=-2\text{V}$, $I=5\text{A}$, 则 $P=UI=-10\text{W}$, 该元件提供功率 10W 。

第三节 电路元件及其伏安特性关系

电路元件是对实际电器装置或元件进行抽象后得到的电路中最基本的理想元件, 元件的电磁特性可以用精确的数学表达式描述。下面将介绍电路理论中常用的几种二端元件的电磁性质。

一、电阻元件

凡是以消耗电能为主要电磁特性的实际电气装置或元件, 从理论上都可以抽象成理想电阻元件, 简称电阻。电阻有线性与非线性、时变和非时变之分。下面只讨论线性电阻。电路中讨论元件的电磁性质主要是研究元件的外特性, 即元件二端的电压与元件中流过的电流之间的关系等。对线性电阻, 当其电压和电流采用关联参考方向时, 线性电阻二端的电压和电流之间的关系服从欧姆定律, 即

$$u = Ri \quad (1-6)$$

式中: R 称为电阻元件的电阻 Ω (欧姆)。

电阻元件的外特性称为伏安特性关系。当电压和电流没有采用关联参考方向时, 欧姆定律公式中需加一负号, 即

$$u = -Ri$$

由于欧姆定律是线性方程, 故在电阻元件的伏安特性图中是一条过原点的直线, 直线的斜率与电阻 R 成正比, 如图 1-4 所示。

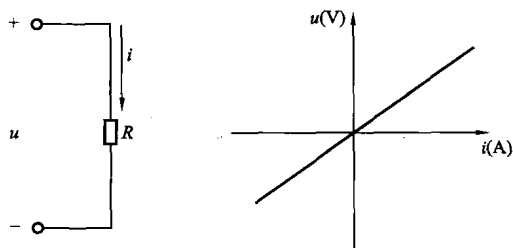


图 1-4 电阻元件及伏安特性关系

当电阻元件的电压和电流采用关联参考方向时, 电阻元件消耗的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1-7)$$

其中, R 是正实常数, 功率 $p \geq 0$, 所以线性电阻始终消耗功率, 是一种无源元件。

从上面的分析可知, 电阻 R 既表示线性电阻元件电压与电流的比例关系, 同时表明电阻

元件也是一个实际中存在的元件。

电阻元件在实际使用中,按制作材料分为碳膜电阻、金属膜电阻、线绕电阻,按用途分为通用电阻、精密电阻、高压电阻、高阻电阻,按形状分圆柱形电阻、片状电阻、排状电阻等等。

电阻元件的主要技术参数如下:

(1) 标称电阻值。为了便于工业化大量生产和使用者在一定范围内选用,国家规定了一系列的按一定规律分布的各种标称电阻值,使用者可根据需要进行选择和搭配,以得到自己所需的电阻值。标称电阻值的单位为 Ω (欧)、 $k\Omega$ (千欧)、 $M\Omega$ (兆欧)。

(2) 阻值误差。电阻允许误差: $\pm 10\%$, $\pm 5\%$ 等。

(3) 额定功率。标准有 $1/8W$ 、 $1/4W$ 、 $1/2W$ 、 $1W$ 、 $2W$ 、 $5W$ 、 $10W$ 等。

目前电阻元件的标称电阻值的标注方法有在电阻元件上采用圆环形彩色的标注方法,颜色与数值的对应见表1-1。标注方法有4环标注法和5环标注法,如图1-5所示。例如4环标注的电阻色环标志为“棕黑橙金”,则该电阻的阻值为 $10k\Omega$,误差为 $\pm 5\%$;5环标注的电阻色环标志为“红黄白橙银”,则该电阻的阻值为 $249k\Omega$,误差为 $\pm 10\%$ 。

表 1-1 通用电阻色环颜色与所对应的数字列表

色环颜色	棕	红	橙	黄	绿	兰	紫	灰	白	黑	金	银
代表数值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$

二、电容元件

凡是能够以储存电场能量为主要电磁特性的实际电器装置或元件从理论上都可抽象成理想电容元件。而实际电容元件从构成上来说,都是在两块平行金属板中间放入不同绝缘介质(云母、瓷介、聚苯乙烯、涤纶、钽、铌、钛等材料),如图1-6(a)

所示。当两块金属板上加上电压时,就会在金属板上分别聚集起等量的正、负电荷,从而在绝缘介质中建立电场并具有电场能量,当把电压移去,电荷仍然保留在极板上,电场和电场能量继续存在。

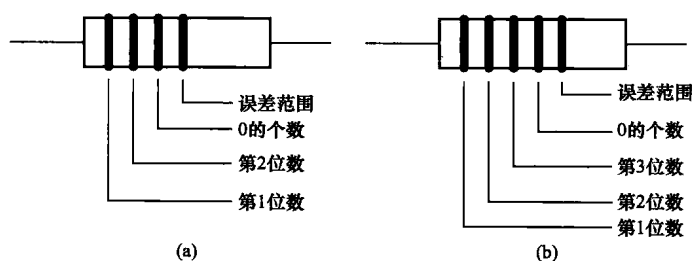


图 1-5 通用电阻色环颜色标注法及示例

(a) 4 环标注法; (b) 5 环标注法

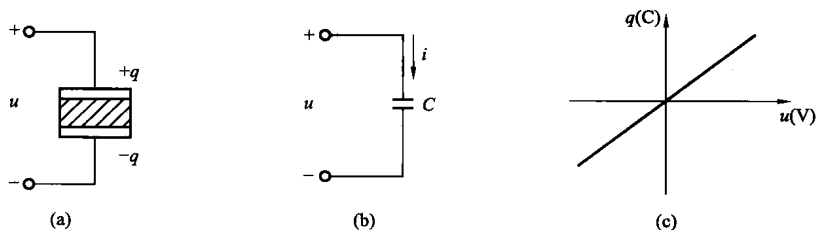


图 1-6 电容元件及库伏特性关系曲线

(a) 电容元件; (b) 电容元件图形符号; (c) 库伏特性曲线

线性电容的电路图形符号如图 1-6 (b) 所示, 与电压正极相连的极板聚集的是正电荷, 与电压负极相连的极板聚集的是负电荷, 通过研究发现, 极板上的电荷量 q 与所加的电压 u 成正比, 于是有

$$q(t) = Cu(t) \quad (1-8)$$

其中, C 表示电容元件的参数, 称为电容, 电容的单位为 F (法拉)。如图 1-6 (c) 所示, 线性电容的库伏特性是一条过原点的直线。

当电容元件上的电荷或电压随时间发生变化时, 则会在电容电路中引起电流

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-9)$$

电容极板上的电荷量和电容两端的电压可用下式求得

$$q = \int i dt, u = \frac{1}{C} \int i dt \quad (1-10)$$

电容元件能够储存电荷及电场能量, 因而是一种储能元件, 并且电容元件通过电路释放能量时也不会释放出多于它储存的能量, 因此, 它又是一种无源元件。

电容元件在实际使用中按制作材料分为瓷片电容、云母电容、纸介电容、聚酯电容、钽电容、电解电容等数十种, 除电解电容有极性外, 其余电容都是无极性的。

电容元件的主要技术参数如下:

(1) 标称电容值。为了便于工业化大量生产和使用者在一定范围内选用, 国家规定了一系列的按一定规律分布的各种标称电容值, 使用者可根据需要进行选择和搭配, 以得到自己所需的电容值。标称电容值的单位为 F (法)、 μF (微法)、pF (皮法), 其中, $1\text{F} = 10^6 \mu\text{F}$, $1\mu\text{F} = 10^6 \text{pF}$ 。

(2) 电容值误差。标称电容值允许误差为 $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 1\%$ 等。

(3) 额定电压。电容在正常工作时所能承受的最大电压, 一般规格有 6.3、10、16、25、36、50、100、160、250、400V 等。使用中不要超过额定值, 否则电容会被击穿。

电容元件标称值的识别方法有数值标注法和色环标注法。数值标注法通常用在标注 $1\mu\text{F}$ 以下的电容, 如某一瓷片电容上标有 104, 表示有效数值为 10, 后面再加 4 个 0, 即电容标称值为 $10 \times 10^4 \text{pF}$, 为 $0.1\mu\text{F}$ 。而色环标注法的规则与色环电阻的标注规则相同。

电解电容的容量一般大于 $0.1\mu\text{F}$, 并在其上标有电容值和耐压值, 在管脚的一端 (短脚) 标有极性 “-” 极, 另一端是正极, 在直流电路中不能接错。

三、电感元件

凡是能够以储存磁场能量为主要电磁特性的实际电器装置或元件从理论上都可抽象成理想电感元件。而实际电感元件从构成上来说, 都是金属导线绕制的线圈。图 1-7 (a) 所示为一个绕制在非铁心材料上的线圈, 工程上一般各圈的直径基本相同。当线圈通过电流时就会产生磁通 Φ_L , 定义一个参数磁链 Ψ_L 为

$$\Psi_L = N\Phi_L \quad (1-11)$$

式中: N 为线圈的匝数。

Φ_L 和 Ψ_L 的方向与电流 i 的参考方向成右手螺旋关系, 线性电感元件的电路图形符号如图 1-7 (b) 所示。研究发现, 线性电感元件的自感磁链与线圈中通过的电流成正比

$$\Psi_L = Li(t) \quad (1-12)$$

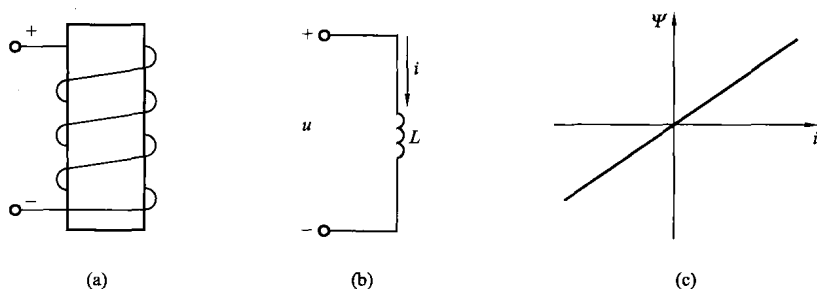


图 1-7 电感元件及韦安特性曲线

(a) 电感元件；(b) 电感元件图形符号；(c) 韦安特性曲线

式中： L 为线圈的自感系数或简称为电感，H（亨利）。

线性电感元件的韦安特性曲线是一条过原点的直线，如图 1-7（c）所示。

根据电磁感应定律，当电感元件中的磁链或电流随时间发生变化时，会在电感元件二端产生感应电压

$$u = \frac{d\Psi_L}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (1-13)$$

电感的磁链和电感中的电流可用下式求得

$$\Psi_L = \int u dt, \quad i = \frac{1}{L} \int u dt \quad (1-14)$$

电感可以储存磁场能量，所以电感元件是一种储能元件，并且电感元件通过电路释放能量时也不会释放出多于它储存的能量，因此，它也是一种无源元件。

电感在实际使用中通常是用漆包线绕制在某种形状的物体上，如圆柱体、矩形体等，也可以绕好后将物体抽走形成空心电感。电感按绕制电感线圈的物体性质可分为线性电感和非线性电感。如果物体是非铁磁性物质，如硬纸版、胶木、木头、塑料等，则为线性电感， L 为一确定的常量；如果物体是铁磁物质，如铁、镍、钴的合金等，则为非线性电感， L 不是常数，而是变量。

电感元件的主要技术参数如下：

(1) 标称电感值。为了便于工业化大量生产和使用者在一定范围内选用，国家规定了一系列的按一定规律分布的各种标称电感值，使用者可根据需要进行选择和搭配，以得到自己所需的电值。标称电感值的单位为 H（亨）、mH（毫亨）、 μ H（微亨）。

(2) 电感值误差。标称电感值允许误差为 $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 1\%$ 等。

(3) 额定电流。电感在正常工作时所能承受的最大电流，一般规格有 0.5、1、2、5、10A 等，使用中流过电感的电流不能超过额定值，否则会烧毁电感。

电感标称值的识别方法有数值标注法和色环标注法。其标注规则如同电容。微亨数量级电感的封装形式如同电阻或电容，在使用中应加以注意，避免与电阻或电容元件搞混淆。

四、电压源和电流源

实际电源有各种形式，如电池、发电机、信号发生器等，根据使用中呈现的主要电磁特性可抽象成电压源和电流源两种。