

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANGONG YU DIANZI
JISHU JICHU

电工与电子 技术基础

彭曙蓉 郭湘德 夏向阳 主 编
欧阳明 肖岸文 副主编
汤放奇 李 承 主 审



中国电力出版社

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

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANGONG YU DIANZI
JISHU JICHU

电工与电子 技术基础

主 编	彭曙蓉	郭湘德	夏向阳
副主编	欧阳明	肖岸文	
编 写	肖金华	吴素平	谭志杨
主 审	汤放奇	李 承	



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“十一五”规划教材。

本书是为配合高等院校质量工程项目中的精品课程建设而编写的,符合教育部高等院校电工学课程组制定的非电类“电工学”课程的教学要求。

本书介绍了电工技术和电子技术的基础知识,共15章,主要内容包括:电路基本概念与分析方法,正弦交流电路,变压器与交流电动机,电动机的控制,半导体器件,基本放大电路,集成运算放大器,直流稳压电源,门电路和组合逻辑电路,触发器和时序逻辑电路等。各章均配有习题,并附有部分习题参考答案。本书概念阐述清楚、重点和难点突出,注重理论联系实际且通俗易懂。

本书可作为高等院校本科非电类专业电工与电子技术基础课程教材,也可作为成人教育、职业培训教材,还可作为相关技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术基础/彭曙蓉,郭湘德,夏向阳主编. —北京:中国电力出版社,2010.8

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5123-0698-1

I. ①电… II. ①彭…②郭…③夏… 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(2010)第142574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)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010年8月第一版 2010年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 20.5印张 497千字

定价 32.80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

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

副主任委员 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
孟 桥 东南大学

秘书长 李兆春 中国电力出版社

委 员 (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
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	北京石油化工学院
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		



进入 21 世纪,“985 工程”和“211 工程”的实施,推动了我国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增大,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,教学质量问题日益凸显。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 and 知识经验。

2009 年 10 月于东南大学



前 言

“电工与电子技术基础”是高等院校非电类专业的一门技术基础课程。长沙理工大学电工与电子技术课程组针对大学生创新型人才的培养要求及该课程教学时数少的现状,近几年一直致力于该课程的教学改革实践及精品课程建设,并根据长期的教学经验编写了《电工与电子技术基础》。在编写中力求基本概念和基本方法阐述清楚、通俗易懂,重点、难点突出,并注重理论联系实际以达到培养学生综合素质的目的。

本书共分 15 章,包括电工基础、模拟电子技术基础和数字电子技术基础 3 部分。电工基础部分包括电路的基本概念与基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、三相交流电路、供电和用电安全、变压器、交流电动机、电动机的控制。模拟电子技术基础部分包括半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源。数字电子技术基础部分包括逻辑代数、逻辑门电路、组合逻辑电路的分析与设计、常用组合逻辑电路的分析、触发器和时序逻辑电路、A/D 和 D/A 转换等内容。

本书对电工电子技术基本内容和结构进行了优化,突出实用性,以利于学生掌握本课程的基本理论知识和相关基础技能,如各种分析方法的介绍以解决问题为目的,不将方法的细节标准化以免束缚学生的思维。内容的安排上,考虑知识连贯性的同时,兼顾各专业的特点,以满足不同专业的需要,如第 4 章中加入防雷和建筑照明等适用于非电类专业的内容。内容的叙述力求语言准确、精炼、通俗易懂而不失严谨,以适应少学时和便于学生自学的要求(书中讲授时间约为 80 学时)。

书中标有“*”的内容,教师在讲授时可灵活掌握,视专业的需要、学时的多少和学生的实际水平而决定取舍。

本书第 1、2 章由肖金华、彭曙蓉编写,第 3、10 章由彭曙蓉编写,第 4 章由彭曙蓉、欧阳明编写,第 5 章由欧阳明编写,第 6 章由夏向阳编写,第 7、8 章由肖岸文编写,第 9 章由吴素平编写,第 11、12、13、15 章由郭湘德编写,第 14 章由谭志杨编写。本书由长沙理工大学汤放奇教授、华中科技大学李承教授主审。特别感谢汤放奇老师为本书的编写提供的支持及郭湘德老师为本书的修改统稿所做的大量工作。本书配有多媒体课件供读者选用。

由于编者水平有限,本书中可能存在不完善、不正确之处,恳请广大读者及时指出并提出宝贵意见,在此作者致以衷心感谢。

编 者

2010 年 8 月



目 录

序

前言

第1章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 实际电路和电路模型	1
1.2 电路中的基本物理量	2
1.3 理想电路元件	4
1.4 实际电源的有载工作、开路和短路.....	10
1.5 基尔霍夫定律.....	12
习题	14
第2章 电路的分析方法	16
2.1 电路的等效变换法.....	16
2.2 网络方程法.....	26
2.3 叠加定理.....	31
2.4 一阶电路的暂态分析.....	31
习题	41
第3章 正弦交流电路	46
3.1 正弦量及其相量的表示法.....	46
3.2 电路定律的相量形式.....	50
3.3 电阻、电感与电容元件串联的正弦交流电路.....	54
3.4 正弦交流电路的计算.....	58
3.5 正弦交流电路的功率.....	63
3.6 功率因数的提高.....	68
3.7 电路的谐振.....	70
习题	75
第4章 三相交流电路及供电用电	78
4.1 三相交流电路.....	78
4.2 负载星形连接的三相电路计算.....	81
4.3 负载三角形连接的三相电路计算.....	84
4.4 三相功率.....	87
4.5 工业企业供配电.....	88
4.6 安全用电.....	91
4.7 防雷.....	96
4.8 建筑照明.....	99

习题.....	101
第 5 章 变压器与交流电动机	105
5.1 变压器	105
5.2 三相异步电动机	109
5.3 三相异步电动机的转矩与机械特性	115
5.4 三相异步电动机的使用	118
5.5 其他交流电动机	124
5.6 电动机选择	128
习题.....	128
第 6 章 电动机的控制	130
6.1 继电接触器控制系统	130
6.2 可编程控制器 PLC 及其应用	140
习题.....	148
第 7 章 半导体器件	150
7.1 半导体的基本知识	150
7.2 PN 结及其单向导电特性	152
7.3 半导体二极管	154
7.4 几种特殊的二极管	156
7.5 晶体管	158
7.6 场效应晶体管	163
习题.....	167
第 8 章 基本放大电路	169
8.1 基本共射极放大电路	169
8.2 基本共集电极放大电路	181
8.3 场效应管放大电路	183
8.4 多级放大电路	185
8.5 功率放大电路	187
8.6 差分放大电路	189
习题.....	191
第 9 章 集成运算放大器	194
9.1 集成运算放大器简介	194
9.2 理想运算放大器	196
9.3 放大电路中的负反馈	197
9.4 集成运放在信号运算方面的应用	203
* 9.5 集成运放在信号处理和产生方面的应用	208
习题.....	214
第 10 章 直流稳压电源	216
10.1 整流电路.....	216

10.2	滤波电路	219
10.3	稳压电路	221
	习题	227
第 11 章	逻辑代数基础	230
11.1	逻辑代数的运算法则	230
11.2	逻辑函数的表示方法及相互转换	234
11.3	逻辑函数的最小项之和的标准形式	236
11.4	逻辑函数的化简	237
	习题	241
第 12 章	逻辑门电路	243
12.1	分立元件门电路	243
12.2	TTL 集成门电路	245
12.3	CMOS 门电路	249
	习题	251
第 13 章	组合逻辑电路	253
13.1	组合逻辑电路的分析与设计	253
13.2	常用的组合逻辑电路	256
	习题	265
第 14 章	触发器和时序逻辑电路	268
14.1	触发器	268
14.2	寄存器	278
14.3	计数器	280
14.4	555 定时器及其应用	288
	习题	294
第 15 章	数/模和模/数转换	297
15.1	D/A 转换器	297
15.2	A/D 转换器	298
	习题	299
附录		300
附录 A	国际单位制 (SI) 词头	300
附录 B	电阻器和电容器标称值的识别	300
附录 C	常用电机、电器图形符号	302
附录 D	常用电工测量仪表图形符号	302
附录 E	半导体分立器件型号命名方法 (GB 249—1989)	303
附录 F	半导体集成器件型号命名方法 (GB 3430—1989)	304
附录 G	数字集成电路各系列型号分类表	304
附录 H	部分习题答案	305
参考文献		316

第1章 电路的基本概念和基本定律

电路广泛应用于人们的生产和生活当中,如电力系统、通信系统、计算机系统、控制系统和信号处理系统等领域,它是电工和电子技术的基础。

本章介绍电路的组成与作用,电路模型,电源、电阻、电感、电容等主要电路元件;讨论如何分析计算电路中电压、电流、电功率等物理量;重点介绍电路中最基本的定律——基尔霍夫定律。

1.1 实际电路和电路模型

实际电路是为了实现某种功能,由实际电路器件和部件连接而成的电流通路装置。电路器、部件包括发电机、电池、麦克风、变压器、电动机、电灯、电容器、电感器、晶体管和集成电路等。实际电路的形式是多种多样的,但可概括为电源(信号源)、中间环节和负载三个组成部分。提供电能量或电信号的设备称为电源;将电能转换为非电能的设备称为负载;处于电源和负载之间传输电能或处理电信号的部分为中间环节。

一般来说,实际电路完成两个方面的功能:一是实现电能的产生、传输、分配和使用,如电力系统,其作用是将发电机所产生的电能传输到用电设备,再转换为人们所需要的机械能、光能或热能;二是实现信号的传递和处理,如音频放大电路,其作用是把话筒输出的微弱电信号进行放大处理,以推动扬声器发声。

在电路理论中,电源或信号源称为激励,由激励在电路中各部分产生的电压和电流称为响应。电路分析就是在已知电路的结构和元件参数的条件下,分析电路的激励与响应之间的关系。

电路理论的研究对象不是实际电路,而是由实际电路抽象的电路模型。电路模型是由各种理想电路元件连接而成,每种理想电路元件是实际电路器、部件中的某一主要电磁现象的抽象,是构成电路模型的最小单元。理想电路元件有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等。任何一个实际电路,都可以根据实际条件由理想电路元件及其组合来得到相对应的电路模型。

图1.1(a)所示为由电池、电珠和导线构成的实际手电筒电路。如果用电源 U_s 和内阻 R_s 的串联作为电池的模型,反映电池提供电能和电池内部产生的物理现象,用电阻 R 作为电珠的模型,反映电珠发光这一现象,实

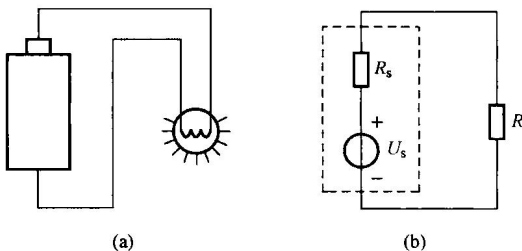


图1.1 手电筒电路及其电路模型

(a) 实际电路; (b) 电路模型

际导线用电阻为零的理想导线模拟,即可以构成图 1.1 (b) 所示的电路模型。

1.2 电路中的基本物理量

1.2.1 电流

电荷在电场力的作用下所做的定向规则运动形成电流,如图 1.2 所示。单位时间内通过导体或电路元件横截面的电荷量称为电流强度,简称电流,用字母 i 表示,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

式中: dq 为在 dt 时间间隔内通过截面 S 的电荷量。

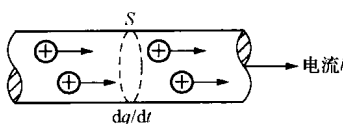


图 1.2 电流示意图

电流的单位为 A (安培, 简称安), $1\text{A} = 1\text{C/s}$ (库仑/秒)。常用电流单位还有 mA (毫安)、 μA (微安) 等, $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$, $1\mu\text{A} = 10^{-3}\text{mA} = 10^{-6}\text{A}$ 。

大小或方向随时间变化的电流,称为交流电流 (Alternative Current, AC); 大小和方向不随时间变化的电流,称为直流电流 (Directly Current, DC)。在电路分析中直流量常用大写字母表示。

电流不但有大小,还有方向。习惯上规定正电荷的定向运动方向为电流的实际方向。在简单电路中,电流的实际方向易于判断,但对于复杂电路,难以确定电流的实际方向,尤其对于交流电流,电流方向是不断变化的。因此,在电路分析中需要引入参考方向的概念。

电流的参考方向可以任意指定,在电路中常用箭头表示,如图 1.3 (a) 所示;也可以用双下标表示,如图 1.3 (b) 中 i_{ab} 表示电流的参考方向是由 a 点经元件指向 b 点。参考方向指定后,若电流 $i > 0$,表明电流的实际方向与参考方向相同;反之,电流 $i < 0$,则表明电流的实际方向与参考方向相反。

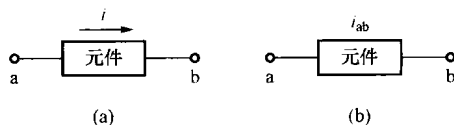


图 1.3 电流的参考方向

(a) 用箭头表示; (b) 用双下标表示

1.2.2 电压

在电场力作用下,单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功定义为 a、b 两点间的电压,用字母 u 表示,即

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1.2)$$

式中: dW 为电场力将正电荷 dq 从 a 点移到 b 点所做的功。电压的实际方向是从高电位指向低电位。电压的单位为 V (伏特, 简称伏), $1\text{V} = 1\text{J/C}$ (焦耳/库仑)。常用电压单位还有 kV (千伏) 等。

在电路分析中,同样需要指定电压的参考方向,其参考方向有三种表示方法,如图 1.4 (a) ~ (c) 所示: ①用“+”和“-”极性表示,其中正极“+”表示高电位,负极“-”表示低电位,由正极指向负极的方向即为电压的参考方向; ②用双下标表示,如用 u_{ab} 表示电压,其参考方向由 a 点到 b 点; ③用箭头表示,箭头的指向表示电压的参考方向。

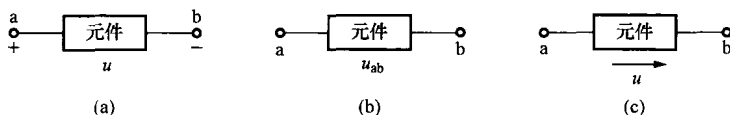


图 1.4 电压的参考方向

(a) 用正负极性表示；(b) 用双下标表示；(c) 用箭头表示

本书中电路图上所标明的电流和电压方向都为参考方向。当元件上的电流参考方向与其电压参考方向一致时，称元件上的电压和电流取关联参考方向，如图 1.5 (a) 所示；两者参考方向不一致时，称元件上的电压和电流取非关联参考方向，如图 1.5 (b) 所示。

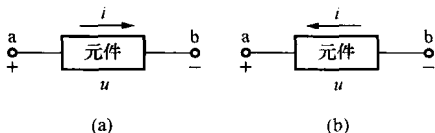


图 1.5 电压、电流的参考方向的关系示意图

(a) 电压、电流取关联参考方向；

(b) 电压、电流取非关联参考方向

1.2.3 电能和功率

电路元件有电流通过时，由于电场力对电荷做功，会产生能量的转换。设元件的端电压和电流分别为 u 和 i ，并为关联参考方向，根据式 (1.1) 和式 (1.2)，可求得 $t_0 \sim t_1$ 时间内电场力所做的功，亦即元件所吸收的电能为

$$W = \int_{q_0}^{q_1} u dq = \int_{t_0}^{t_1} ui dt \quad (1.3)$$

电能量随时间转换的速率称电功率，简称功率，用 p 表示，即

$$p = \frac{dW}{dt} = ui \quad (1.4)$$

电功率的单位是 W (瓦特，简称瓦)， $1\text{W} = 1\text{J/s}$ (焦耳/秒)。

如果 u 和 i 为非关联参考方向，式 (1.4) 应改写为

$$p = -ui \quad (1.5)$$

用式 (1.4) 或式 (1.5) 计算元件上的功率时，如果 $p > 0$ ，表示元件实际上是吸收功率，元件为负载；如果 $p < 0$ ，表示元件实际上是向外提供功率，元件为电源。

任何电路都遵守能量守恒定律，因此任意电路中，任意时刻所有元件的功率代数和为零，或电路中所产生的功率等于所吸收的功率，即

$$\sum p = 0 \quad \text{或} \quad \sum p_{\text{吸收}} = \sum p_{\text{产生}}$$

【例 1.1】 计算图 1.6 所示电路元件的功率，并判断元件的性质。如果在图 1.6 (a) 中将电压的参考方向反向，结果又怎样？

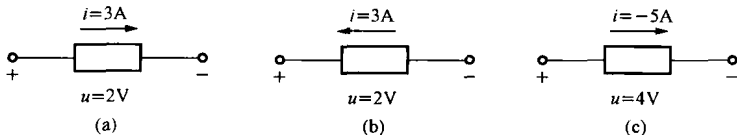


图 1.6 [例 1.1] 图

解 对于图 1.6 (a)， u 和 i 为关联参考方向，由式 (1.4) 得

$$p = ui = 2 \times 3 = 6(\text{W}) \quad (p > 0)$$

所以该元件为负载。

对于图 1.6 (b), u 和 i 为非关联参考方向, 由式 (1.5) 得

$$p = -ui = -2 \times 3 = -6(\text{W}) \quad (p < 0)$$

所以该元件为电源。

对于图 1.6 (c), u 和 i 为关联参考方向, 故有

$$p = ui = 4 \times (-5) = -20(\text{W}) \quad (p < 0)$$

所以该元件为电源。图中电流 $i = -5\text{A}$, 表明电流的实际方向与参考方向相反。

如果在图 1.6 (a) 中, 将电压的参考方向反向, u 和 i 将为非关联参考方向, 但电压的取值应为 $u = -2\text{V}$, 故

$$p = -ui = -(-2) \times 3 = 6(\text{W}) \quad (p > 0)$$

与上面的结果一致。

通常电业部门用“ $\text{kW} \cdot \text{h}$ ”为单位测量用户消耗的电能。 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ (或 1 度电) 是功率为 1kW 的元件在 1h 内消耗的电能, 即 $1\text{度电} = 1\text{kW} \cdot \text{h} = 3\,600\,000\text{J}$ 。

1.2.4 电位

电压是电路中两点间的电位差, 它只能比较两点之间电位的高低。为了确定电路中各点的电位, 必须选定电路中某一点作为参考点, 而其他任一点 a 与参考点间的电压即为该点的电位, 用 V_a 表示。

从理论上来说, 参考点的选取是任意的, 通常设参考点的电位为零, 所以参考点又称为零电位点。电路中各点电位的大小因参考点的不同而异, 但任意两点间的电位差是绝对的。

在同一个电路中, 只能选择一个电位参考点。在电工技术中, 通常取大地为零电位点。在电子线路中, 一般信号的输入端、输出端和电源共零电位点。零电位点在电路图中常用接地符号“ $\perp$ ”表示, 所谓“接地”并非真与大地相接。

如果 u_{ab} 为 a 、 b 两点之间的电压, 则有

$$u_{ab} = V_a - V_b = -(V_b - V_a) = -u_{ba}$$

【例 1.2】 在图 1.7 中, 已知 $u_{ac} = 8\text{V}$, $u_{cb} = 5\text{V}$ 。(1) 选取 b 点为零电位点, 求 a 点电位 V_a ; (2) 选取 c 点为零电位点, 再求 a 点电位 V_a 。

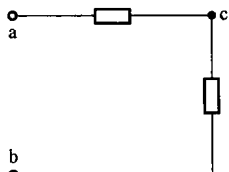


图 1.7 [例 1.2] 图

解 (1) 选取 b 点为零电位点, 即 $V_b = 0$, 则

$$V_a = u_{ac} + u_{cb} = 8 + 5 = 13(\text{V})$$

(2) 选取 c 点为零电位点, 即 $V_c = 0$, 则

$$V_a = u_{ac} + V_c = 8 + 0 = 8(\text{V})$$

1.3 理想电路元件

理想电路元件简称电路元件, 它通过端子与外部连接。每种理想电路元件所反映的电磁性质可用与端子有关的物理量 (如电压 u 、电流 i 、电荷 q 或磁通 Φ 等) 所表达的代数关系

式来描述,以表征理想电路元件的特性。如果表征理想电路元件特性的代数关系是一个线性关系,称该元件为线性元件;如果所表征的代数关系是一个非线性关系,则称该元件为非线性元件。本节介绍的是线性电路元件。

1.3.1 电阻元件

线性电阻元件的电路符号如图 1.8 (a) 所示,其特征是:当电压和电流取关联参考方向时,任何时刻其端电压与电流服从欧姆定律

$$u = Ri \quad (1.6)$$

式中: R 为电阻元件的参数,是一个正实常数,单位为 Ω (欧姆,简称欧)。

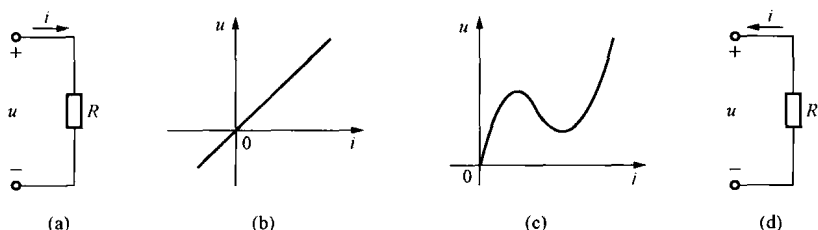


图 1.8 电阻元件

(a) 线性电阻的电路符号; (b) 线性电阻的伏安特性曲线; (c) 非线性电阻的伏安特性曲线; (d) u 、 i 非关联

线性电阻元件的伏安特性曲线为一条过原点的直线,如图 1.8 (b) 所示。若电阻的伏安特性如图 1.8 (c) 所示,则该电阻为非线性电阻元件。

如果电阻元件上的电压和电流取非关联参考方向时,如图 1.8 (d) 所示,则式 (1.6) 应改写为

$$u = -Ri \quad (1.7)$$

电阻的倒数称为电导,用 G 表示,单位为 S (西门子)。电阻与电导的关系为

$$G = \frac{1}{R} \quad (1.8)$$

电压和电流取关联参考方向时,电阻元件吸收的功率为

$$p = ui = i^2 R = \frac{u^2}{R} \quad (p \geq 0) \quad (1.9)$$

从 t_0 到 t_1 时间内,元件吸收的能量为

$$W_R = \int_{t_1}^{t_2} p dt = \int_{t_1}^{t_2} ui dt = \int_{t_1}^{t_2} Ri^2 dt \quad (W_R \geq 0) \quad (1.10)$$

式 (1.10) 表明,电阻元件实际总是吸收电能,并将吸收的电能转换成热能、光能等非电能。可见,线性电阻元件是一种无源元件,反映了实际电路器、部件将电能转换成非电能这一电磁现象。

实际电气设备的电流、电压或功率都有一个额定值。额定值是制造厂为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常容许值。电流超过额定值时,由于温度升高会使元件的绝缘材料损坏,甚至使导体熔化;如果电压过大,会使绝缘层击穿。反之,如果电压和电流远低于其额定值,既得不到正常合理的工作情况,也不能充分利用设备的能力。电气设备

或元件的额定值通常标在铭牌上或规定在说明书中, 在使用时应充分考虑额定数据。额定电流、额定电压和额定功率分别用 U_N 、 I_N 和 P_N 表示。如一只白炽灯标有 220V/40W, 表示它的额定电压为 220V, 额定功率为 40W。直流电路中, 电阻负载 R 的额定电流、额定电压和额定功率之间的关系为 $U_N = RI_N$, $P_N = U_N I_N$ 。

【例 1.3】 一个额定值为 220V/60W 的白炽灯, 其灯丝电阻为多少? 接在 220V 的电源上, 通过电灯的电流为多少? 如果每晚用 3h (小时), 问一个月 (以 30 天计) 消耗电能多少?

解 由 $P_N = U_N I_N = \frac{U_N^2}{R}$ 可得

$$R = \frac{U_N^2}{P_N} = \frac{220^2}{60} \approx 807(\Omega)$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{806} = 0.273(\text{A})$$

一个月用电量

$$W = P_N t = 60 \times (3 \times 30) = 5.4(\text{kW} \cdot \text{h}) = 5.4(\text{度})$$

【例 1.4】 有一额定值为 15W/1500 Ω 的线绕电阻, 其额定电流为多少? 在使用时电压不得超过多大的数值?

解 由 $P_N = U_N I_N = I_N^2 R$ 可得

$$I_N = \sqrt{\frac{P_N}{R}} = \sqrt{\frac{15}{1500}} = 0.1(\text{A})$$

在使用时电压不得超过

$$U_N = I_N R = 0.1 \times 1500 = 150(\text{V})$$

因此, 在选用时不能只提出电阻值, 还要考虑电流有多大, 而后提出功率。

1.3.2 电感元件

如图 1.9 (a) 所示的实际线圈, 通有电流 i 时在周围空间产生磁通 Φ , 与 N 匝线圈交链的磁通链 $\Psi = N\Phi$, Φ 和 Ψ 的方向与 i 的参考方向服从右手螺旋关系。由于磁通 Φ 和磁通链 Ψ 都是线圈自身的电流产生, 故称为自感磁通和自感磁通链。当电流 i 发生变化时 Ψ 也跟随变化, 将在线圈中产生感应电动势 e_L , 并发生电能与磁场能量的交换。 e_L 的参考方向与 Ψ 的方向服从右手螺旋关系, 则根据楞次定律, 有

$$e_L = -\frac{d\Psi}{dt} \quad (1.11)$$

电感元件反映了实际线圈通有电流后产生磁通和储存磁场能量这一电磁现象。线性电感元件的电路符号如图 1.9 (b) 所示。对于线性电感元件

$$\Psi = Li \quad (1.12)$$

式中: L 为电感元件的参数, 是一个正实常数, 称为自感系数或电感, 单位为 H (亨利, 简称亨)。

由于磁通链 Ψ 的单位为 Wb (韦伯), 故式 (1.12) 所对应的曲线称为韦安特性曲线,

见图 1.9 (c)。它是一条过原点的直线，表征了线性电感元件的特性。

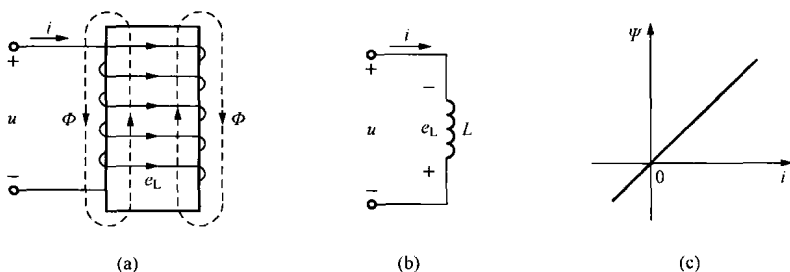


图 1.9 线性电感元件

(a) 电感线圈；(b) 电路符号；(c) 韦安特性曲线

当 u 、 e_L 、 i 三者参考方向一致时，由式 (1.11) 和式 (1.12) 得电感元件的电压与电流关系为

$$u = -e_L = L \frac{di}{dt} \quad (1.13)$$

式 (1.13) 表明，任意时刻电感元件上的端电压与该时刻电流的变化率成正比，这表明电感元件是一种动态元件。电感电流的变化越快，其端电压越高。在直流电路中， $u = L \frac{di}{dt} = 0$ ，所以电感元件在直流电路中相当于短路。

设电感元件在 t_1 和 t_2 时刻的电流分别为 i_1 和 i_2 ，由式 (1.13) 可得，从 t_1 到 t_2 时间内元件吸收的电能为

$$W_L = \int_{t_1}^{t_2} u i dt = \int_{i_1}^{i_2} L i di = \frac{1}{2} L i_2^2 - \frac{1}{2} L i_1^2 \quad (1.14)$$

式 (1.14) 表明，当电感元件中的电流 $|i|$ 增大时，元件实际吸收电能，并以磁场能量的形式储存在磁场中；电流 $|i|$ 减小时，元件实际释放电能，将磁场能量转换为电能。电感元件可以储存和释放磁场能量，它是一种储能元件。电感元件中电流为 i 时，所储存的磁场能量为

$$W_L = \frac{1}{2} L i^2 \quad (1.15)$$

1.3.3 电容元件

工程上广泛应用的电容器，都是由两块金属极板间隔以不同的介质（如云母、绝缘纸、电解质等）所组成。加上电源后，两极板上分别聚集起等量异号的电荷，在介质中建立起电场，储存电场能量。电源移去后，电荷可以继续聚集在极板上，电场继续存在，所以电容器是一种能够储存电场能量的实际器件。电容元件是反映实际电容器能储存电场能量或电荷这一电磁现象（性质）的理想电路元件。线性电容元件的电路符号如图 1.10 (a) 所示。

在图 1.10 (a) 所示的参考方向下，线性电容元件的特性为

$$q = C u \quad (1.16)$$

式中： C 为电容元件的参数，是一个正实常数，单位为 F（法拉，简称法）。

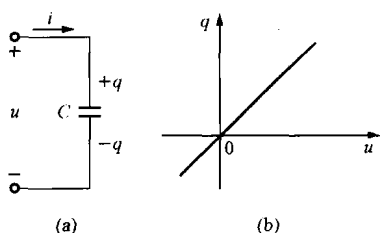


图 1.10 线性电容元件

(a) 电路符号; (b) 库伏特性曲线

工程上常采用 μF (微法) 或 pF (皮法) 为单位, $1\mu\text{F}=10^{-6}\text{F}$, $1\text{pF}=10^{-12}\text{F}$ 。线性电容元件的库伏特性曲线是一条过原点的直线 [见图 1.10 (b)]。

当电容元件储存的电荷发生变化时, 电路中将出现电荷的移动而形成电流。设电容两端的电流、电压取关联参考方向, 如图 1.10 (a) 所示, 则电容元件的电压与电流的关系为

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1.17)$$

式 (1.17) 表明, 任意时刻电容元件上的电流与该时刻电压的变化率成正比, 这表明电容元件也是一种动态元件。电容两端的电压变化越快, 其电流越大。在直流电路中, $i = C \frac{du}{dt} = 0$, 所以电容元件在直流电路中相当于开路。

设电容元件在 t_1 和 t_2 时刻的电压分别为 u_1 和 u_2 , 由式 (1.17) 可得, 从 t_1 到 t_2 时间内元件吸收的电能为

$$W_C = \int_{t_1}^{t_2} ui dt = \int_{u_1}^{u_2} Cu du = \frac{1}{2}Cu_2^2 - \frac{1}{2}Cu_1^2 \quad (1.18)$$

式 (1.18) 表明, 当电容元件的电压 $|u|$ 增大时, 元件实际吸收电能, 并以电场能量的形式储存在电场中, 这一过程称为电容元件的充电; 电压 $|u|$ 减小时, 元件实际释放电能, 将电场能量转换为电能, 这一过程称为电容元件的放电。可见电容元件本身不消耗能量, 是一种储能元件。电容元件的端电压为 u 时, 所储存的电场能量为

$$W_C = \frac{1}{2}Cu^2 \quad (1.19)$$

1.3.4 理想电源元件

1. 理想电压源

理想电压源是实际电源的内电阻趋于零的理想化模型, 它是一个二端有源元件, 其端电压 u 等于电压源的电压, 即

$$u = u_s(t) \quad (1.20)$$

电压源的电路符号如图 1.11 (a) 所示。当 $u_s(t)$ 为恒定值时, 这种电压源称为恒压源或直流电压源, 记为 U_s 。恒压源还可图 1.11 (b) 所示的电路符号表示, 其伏安特性曲线如图 1.11 (c) 所示。

理想电压源有如下性质:

- (1) 电压源的端电压与外电路无关;
- (2) 流过电压源的电流是任意的, 由其端电压和外接电路决定。

在电路分析中, 电压源的电压为零时, 相当于短路, 其伏安特性曲线是一条与电流轴重合的直线。实际电源的内阻越小, 越接近于理想电压源。由电子电路构成的稳压电源可认为是一个理想电压源。电磁感应产生的电动势实质上就是一个时间函数的 u_s 。