

高等教育“十三五”规划教材



电工电子技术

主 编 穆丽娟 任晓霞
副主编 程 晟 姚志广 王颜辉

Diangong Dianzi Jishu

Diangong Dianzi Jishu

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

“十二五”规划教材

电工电子技术

主 编 穆丽娟 任晓霞
副主编 程 晟 姚志广 王颜辉



中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书共包括4个模块,第1模块为电路基础理论,第2模块为电机与控制系统,第3模块为模拟电子技术,第4模块为数字电子技术。

本书以应用型本科的人才培养方案为定位,以培养工程技术应用型人才为目标,以知识、能力、素质全面协调发展的教育理念和以能力培养为核心的教学观念为先导,理论与实践互通并重,致力培养学生实践能力和创新精神,特别适用于应用型本科院校非电类专业的学生学习。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术 / 穆丽娟,任晓霞主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2017.8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3550 - 3

I. ①电… II. ①穆… ②任… III. ①电工技术②电子技术 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 128586 号

书 名 电工电子技术

主 编 穆丽娟 任晓霞

责任编辑 仓小金

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 23 字数 574 千字

版次印次 2018年8月第1版 2018年8月第1次印刷

定 价 39.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

“电工电子技术”是高等院校非电类专业本科学生的一门重要的专业基础课程,其目的是培养学生掌握和运用电工技术、电子技术的基本理论、基本知识和基本技能。要求学生在完成本课程后,具备一定的分析和处理电工、电子和控制等相关技术的能力并了解这些技术的最新发展和应用。

本书是“高等教育‘十三五’规划教材”,是依据教育部颁布的高等工科院校“电工电子技术”基本要求,根据近年来应用型本科的教学实际情况和教学实践经验编写而成的。本书以应用型本科的人才培养方案为定位,以培养工程技术应用型人才为目标,以知识、能力、素质全面协调发展的教育理念和以能力培养为核心的教学观念为先导,理论与实践互通并重,致力培养学生实践能力和创新精神,特别适用于应用型本科院校非电类专业的学生学习。

在内容的编写上,本书的编写特点是:第一,教材结构采用多层次、模块化体系,各模块间既相互独立、又相互联系。内容环环相扣,层层深入,可以根据专业层次和课程学时的不同选择不同的模块。每个模块的内容又分为基本内容和加深内容,适用于不同的课程层次。第二,突出基础性,突出基本概念、基本理论、基本原理和基本分析方法,着重定性分析,简化复杂的定量分析。第三,体现先进性,将成熟的新技术纳入教材,侧重工程技术专业应用性知识,在内容选择上体现经典与现代的完美结合。第四,强调应用性,每章例题习题都尽量贴近实际应用,并注意各部分知识的综合应用。

本书共包括4个模块,第1模块为电路基础理论,由穆丽娟与程晟编写;第2模块为电机与控制系统,由程晟编写;第3模块为模拟电子技术,由王颜辉与姚志广编写;第4模块为数字电子技术,由任晓霞编写。全书由穆丽娟教授统稿。教师可以根据不同的专业和学时,选择不同的模块进行教授。

在本书的编写过程中,作者参考了大量的优秀教材,收益匪浅,同时中国矿业大学出版社的有关编辑及工作人员为此书出版也付出了积极的努力,在此一并致以诚挚的谢意。

由于编者能力有限,本书有些内容的处理难免不够妥善。希望读者,特别是使用本书的教师和同学们积极提出批评和改进意见,以便今后修订提高。

编者

2018年4月

目 录

第一模块 电路分析基础

第 1 章 电路的基本定律与分析方法	3
1.1 电路的基本概念	3
1.2 电路的基本定律	11
1.3 电路的分析方法	14
1.4 应用实例——欧姆定律和基尔霍夫定律在电工测量中的应用	21
习题	22
第 2 章 正弦交流电路	30
2.1 正弦交流电的基本概念	30
2.2 单一参数的正弦交流电路	35
2.3 简单正弦交流电路的分析	41
2.4 电路的谐振	50
2.5 应用实例——频率对电阻影响的分析	54
习题	55
第 3 章 三相交流电路	61
3.1 三相电源	61
3.2 三相电路中负载的连接	63
3.3 三相电路的功率	67
3.4 安全用电技术	70
3.5 应用实例——三相四线制应用电路	72
习题	73
第 4 章 电路的暂态分析	77
4.1 暂态过程及换路定则	77
4.2 RC 电路的暂态过程	79
4.3 RL 电路的暂态过程	83
4.4 一阶线性电路暂态分析的三要素法	86
习题	87

第二模块 电机与控制系统

第5章 铁芯线圈与变压器	97
5.1 磁路的基本知识	97
5.2 磁性材料	100
5.3 交流铁芯线圈	102
5.4 电磁铁与变压器	105
5.5 实例分析——交流电焊机	115
习题	116
第6章 异步电动机	120
6.1 三相异步电动机的基本结构和工作原理	120
6.2 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	125
6.3 三相异步电动机的额定值	128
6.4 三相异步电动机的使用	130
6.5 单相异步电动机	133
6.6 应用实例——并励电动机的启动电路分析	135
习题	135
第7章 继电接触器控制系统	139
7.1 常用低压控制电器	139
7.2 三相异步鼠笼式电动机的基本控制	146
7.3 行程控制	151
7.4 时间控制	152
7.5 实例分析——工作台自动往返控制线路分析	153
习题	155

第三模块 模拟电子技术

第8章 常用半导体器件	161
8.1 半导体基础知识	161
8.2 PN结及其单向导电性	162
8.3 半导体二极管	163
8.4 稳压二极管	167
8.5 半导体三极管	169
8.6 绝缘栅场效应管	173
8.7 光电器件	177
8.8 集成电路	178
习题	179

第 9 章 基本放大电路	182
9.1 基本放大电路概述	182
9.2 共发射极放大电路	187
9.3 多级放大电路	197
9.4 其他类型的放大电路	201
习题	203
第 10 章 集成运算放大器及其应用	207
10.1 集成运算放大器概述	207
10.2 集成运放的输入输出电路	212
10.3 放大电路中的负反馈	214
10.4 基本运算电路	220
10.5 运算放大器在信号处理方面的应用	226
10.6 运算放大器在 RC 正弦波振荡电路的应用	229
10.7 集成运算放大器在其他方面的应用	231
10.8 集成运算放大器使用时的注意事项	236
10.9 集成运算放大器的应用举例	237
习题	239
第 11 章 电力电子技术	242
11.1 半导体直流稳压电源	242
11.2 晶闸管	251
11.3 变流电路	254
习题	259
第四模块 数字电子技术	
第 12 章 门电路与组合逻辑电路	263
12.1 数字电路概述	263
12.2 逻辑代数与逻辑函数	267
12.3 分立元件逻辑门电路	271
12.4 集成逻辑门电路	273
12.5 逻辑门电路的分析与设计	277
12.6 常用的组合逻辑模块	281
习题	287
第 13 章 触发器与时序逻辑电路	291
13.1 双稳态触发器	291
13.2 时序逻辑电路	297
13.3 寄存器	297

13.4	计数器.....	300
13.5	中规模集成计数器组件及其应用.....	306
13.6	脉冲波形的产生和整形.....	310
13.7	555 集成定时器及其应用	316
	习题.....	320
第 14 章	半导体存储器和可编程逻辑器件	325
14.1	只读存储器(ROM)	325
14.2	随机存取存储器(RAM)	330
14.3	可编程逻辑器件(PLD)	334
14.4	数字电路应用举例.....	337
	习题.....	341
	部分习题答案.....	342
	参考文献.....	358

第一模块

电路分析基础

第1章 电路的基本定律与分析方法

学习目标

- (1) 了解电路的作用与组成部分;理解电路元件、电路模型的意义;理解电压、电流参考方向的概念;掌握电路中电位的计算;会判断电源和负载,并理解电阻、电感、电容三种元件的伏安关系。
- (2) 掌握基尔霍夫定律,会用支路电流法求解简单的电路。
- (3) 理解电压源、电流源概念,了解电压源、电流源的连接方法,并掌握其等效变换法。
- (4) 掌握电阻串联、并联电路的特点及分压分流公式,会计算串、并联电路中的电压、电流和等效电阻;能求解一些简单的混联电路。
- (5) 会用叠加定理、戴维南定理求解复杂电路中的电压、电流、功率等电量。

电路是电工技术的主要研究对象,电路理论是学习电工技术和电子技术的基础。本章主要讨论电路的基本知识、基本定理、基本定律以及应用这些定理、定律分析计算直流电路的方法。这些方法不仅适用于直流电路的分析计算,原则上也适用于其他电路。所以,本章是学习电工电子技术的重要基础。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成及作用

电路是电流通过的路径,是各种电气设备或元件按一定方式连接起来组成的总体,电路可以分为三大部分:① 提供电能(或信号)的部分,称为电源,例如蓄电池、发电机和信号源等;② 吸收或转换电能的部分,称为负载,例如电动机、照明灯和电炉等;③ 连接和控制这两部分的称为中间环节,最简单的中间环节可以仅由两根导线组成,而复杂的中间环节可以是一个庞大的控制系统。

从电源看,电源本身的电流通路称为内电路,电源以外的电流通路称为外电路。当电路中的电流是不随时间变化的直流电流时,称该电路为直流电路;当电路中的电流是随时间变化的交流电流时,称该电路为交流电路。依照国家标准,直流电路的物理量用大写的字母表示,电压、电流、电动势分别表示为: U 、 I 、 E ;交流电路的物理量用小写的字母表示,电压、电流、电动势分别表示为: u 、 i 、 e 。

电路的作用可分为两类:一是传输和转换电能。典型的例子是电力系统,发电厂的发电

机将热能或原子能等转换成电能,通过变压器、输电线等输送给各用电单位,各用电单位又把电能转换成光能、机械能、热能等。显然,该种电路的作用是实现能量的传输和转换,如图 1-1 所示。电路的另一作用是进行信号的传递和处理。如扩音机电路,话筒将声音信号转化为相应的电信号,然后通过放大器电路对信号进行传递和处理并送到扬声器,还原为放大的原始信号,如图 1-2 所示。



图 1-1 电力系统



图 1-2 扩音机

1.1.2 电流和电压的参考方向

电流、电压和电动势是电路中的基本物理量,它们的实际方向在物理学中已做过明确的规定,即电路中电流的实际方向是指正电荷运动的方向;电路中两点间电压的实际方向,是从高电位指向低电位,即为电位降低的方向;电动势的实际方向,是从低电位指向高电位即为电位升高的方向。

但在复杂电路的分析中,某一段电路的电压、电流、电动势的实际方向往往很难事先判断出来,有时它们的方向还在不断地改变。为了分析电路的方便,需要引入一个参考方向(假定正方向)。参考方向是任意假定的。电压、电流、电动势的参考方向可用箭头、“+”、“-”号来表示,如图 1-3 所示。

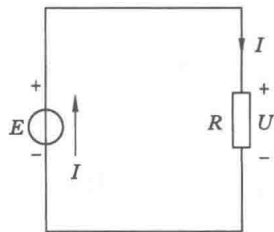


图 1-3 电路中电流、电压和电动势的参考方向的表示

当参考方向选定以后,根据参考方向分析计算电流、电压和电动势时,若所得结果为正,则说明该物理量的实际方向与参考方向相同;若所得结果为负,则说明该物理量的实际方向与参考方向相反。若事先没有标出参考方向,则所得结果的正、负没有任何意义,即只有在选定了参考方向之后,电压、电流、电动势的正、负才有意义。所以,在分析电路之前,一定要先确定物理量的参考方向。

若一个元件或一段电路上的电压和电流的参考方向选得一致,则称为关联参考方向,如图 1-4(a)中的 U 和 I 。反之,若一个元件或一段电路上的电压和电流的参考方向选得不一致,则称为非关联参考方向,如图 1-4(b)中的 U 和 I 。

当选取关联参考方向时,只需标出一种参考方向即可。在分析计算电路时,一般都采用关联参考方向。除特别说明外,本书中电路图上所标的电流、电压和电动势的方向都是关联参考方向。

1.1.3 电路的功率

在物理学中,一个元件上的电功率等于该元件两端的电压和通过其电流的乘积,即

$$P = UI \quad (1-1)$$

若电压、电流都是瞬时变量(随时间变化),则瞬时功率为

$$p = ui$$

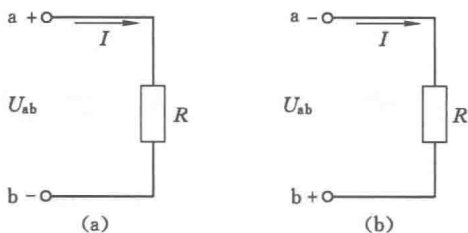


图 1-4 参考方向的表示方法

(a) U, I 关联; (b) U, I 不关联

若元件上的电压与电流实际方向一致,则该元件吸收功率,是负载;若元件上的电压与电流实际方向相反,则该元件发出功率,是电源。取 U, I 为关联参考方向时,若 $P=UI>0$,则该元件吸收功率;若 $P=UI<0$,则该元件发出功率。

【例 1-1】 在图 1-5 中,五个元件代表电源或负载。电流和电压的参考方向,如图中所示,通过实验测量得知 $I_1=-4\text{ A}$ 、 $I_2=6\text{ A}$ 、 $I_3=10\text{ A}$ 、 $U_1=140\text{ V}$ 、 $U_2=-90\text{ V}$ 、 $U_3=60\text{ V}$ 、 $U_4=-80\text{ V}$ 、 $U_5=30\text{ V}$ 。

(1) 试标出各电流的实际方向和各电压的实际极性;

(2) 判断哪些元件是电源,哪些是负载。

解: (1) 各电流的实际方向和各电压的实际极性见图 1-6。

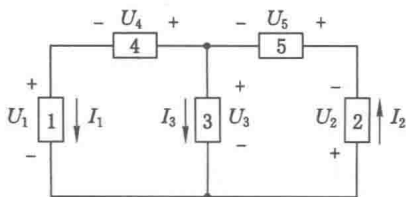


图 1-5 例 1-1

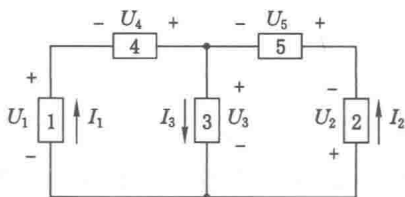


图 1-6 各电流的实际方向和各电压的实际极性图

(2) 根据电压与电流的实际方向可判断元件是电源还是负载。

电源:电压与电流的实际方向相反,电流从“+”端流出,发出功率;

负载:电压与电流的实际方向相同,电流从“+”端流入,取用功率。

根据以上原则和图 1-6 中电压与电流的实际方向,可判断出图中:元件 1、2 是电源,元件 3、4、5 是负载。

1.1.4 电源的工作状态

电源在不同的工作条件下,会处于不同的状态,具有不同的特点。现在以直流电路为例,分别讨论电源的三种工作状态。

1. 有载工作状态

当电源与负载接通时,电路中有电流流动,此时电源发出功率,负载消耗功率。电路的此种状态称为通路,电源的此种状态称为有载状态,如图 1-7 所示, E 为电源电动势, R_0 为电源内阻, R_L 为负载电阻。开关 S 闭合,接通电源和负载,负载两端的电压即电源端电压为 U ,电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L} \quad (1-2)$$

则

$$U = E - IR_0 \quad (1-3)$$

上式说明了电源端电压 U 和输出电流 I 的关系,称为电源的外特性,如图 1-8 所示。

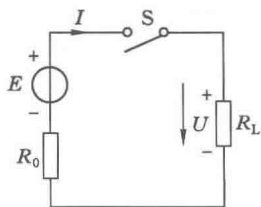


图 1-7 通路图

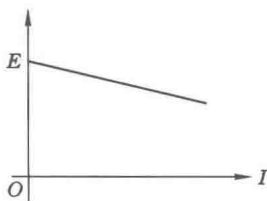


图 1-8 电源的外特性

由此可看出,由于电源内阻的存在,当负载电流增大时,电源端电压下降,因为此时内阻上的压降增加。这就是为什么在用电高峰期,会出现电压不足的原因。但通常电源内阻很小,所以当正常工作时,电流变动引起的电压降很小。

电源产生的功率为电动势与电流的乘积,电路中消耗功率为电源内阻和负载消耗功率之和(忽略连接导线产生的功率损耗),其两者应平衡,即电路产生的总功率等于电路消耗的总功率。

$$EI = I^2 R_0 + UI \quad (1-4)$$

即

$$\left. \begin{aligned} UI &= EI - I^2 R_0 \\ P &= P_E - \Delta P \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

该公式称为功率平衡式。

【例 1-2】 验证例 1-1 中图 1-5 电源发出的功率和负载取用的功率是否平衡。

解： 图 1-5 中,各元件的参考方向选择一致,可计算出各元件的功率为:

$$P_1 = U_1 I_1 = 140 \times (-4) = -560 \text{ (W)} \quad \text{负值,电源,发出功率;}$$

$$P_2 = U_2 I_2 = -90 \times 6 = -540 \text{ (W)} \quad \text{负值,电源,发出功率;}$$

$$P_3 = U_3 I_3 = 60 \times 10 = 600 \text{ (W)} \quad \text{正值,负载,吸收功率;}$$

$$P_4 = U_4 I_1 = -80 \times (-4) = 320 \text{ (W)} \quad \text{正值,负载,吸收功率;}$$

$$P_5 = U_5 I_2 = 30 \times 6 = 180 \text{ (W)} \quad \text{正值,负载,吸收功率。}$$

电路中的总功率:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = -560 - 540 + 600 + 320 + 180 = 0 \text{ (W)}$$

由上例可见,电路中电源发出的功率等于负载消耗的功率,功率是平衡的。

不管是电源还是负载,各种电气设备在工作时,其电压、电流和功率都有一定的限制和规定值。这些限制和规定值是用来表示它们的正常工作条件和工作能力的,称为电气设备的额定值。生产厂家为了使产品能在给定的工作条件下正常工作,需要给出额定值。额定值一般在电气设备的铭牌上标出,或写在其他说明中,使用时必须考虑这些额定数据。若负载的实际电压、电流值高于额定值,则可造成负载的损坏或降低其使用寿命;若负载的实际电压、电流值低于额定值,则不能发挥其正常的效能,有的也会造成损坏或降低其使用寿命。由于外界因素的影响,允许负载的实际电压、电流值与额定值有一定的误差,如由于电源电压的波动,允许负载电压在其 $\pm 5\%$ 的范围内变化。对于负载来说,正常工作时实际值与额

定值非常接近,而对于电源来说,其额定电压是一定的,额定功率只代表它的容量。实际工作时,其输出功率的大小取决于负载的大小,即负载需要多少功率和电流,电源就提供多少。当电路中负载吸收功率小于电源额定功率时,称电源为轻载工作;当负载吸收功率等于电源额定功率时,称电源为满载工作;当负载吸收功率大于电源额定功率时,称电源为超载工作,超载工作是不允许的。

【例 1-3】一只 110 V 8 W 的指示灯,现在要接在 380 V 的电源上,问要串联多大阻值的电阻?该电阻应选用多大瓦数的?

解: 电路中电流

$$I = \frac{P}{U} = \frac{8}{110} = 0.073 \text{ (A)}$$

需串联电阻

$$R_0 = \frac{U_0}{I} = \frac{380 - 110}{0.073} = 3\,698.6 \text{ (}\Omega\text{)}$$

需要的瓦数

$$P_0 = I^2 R_0 = 0.073^2 \times 3\,698.6 = 19.7 \text{ (W)}$$

所以电阻应选用 3.7 k Ω 、20 W 的。

2. 开路

若开关断开,则电源处于开路状态,如图 1-9 所示。开路的特点,如图 1-10 所示,开路时的电流为零,电阻为无穷大,开路电压为电源的空载电压 U_0 ,等于电源电动势,即

$$\left. \begin{aligned} I &= 0 \\ U &= U_0 = E \\ P &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

3. 短路

某一部分的电路两端用电阻可以忽略不计的导线或开关连接起来,使得该部分电路中的电流不经过电阻,全部通过导线或开关,则这部分电路所处的状态称为短路,如图 1-11 所示。因为电路中只有很小的电源内阻,所以,短路电流 I_s 很大。短路时,电源所产生的能量全部被内阻消耗,超过额定电流若干倍的短路电流可以使供电系统中的设备烧毁或引起火灾。电源短路通常是一种严重的事故,应尽量预防。通常在电路中接入熔断器等短路保护装置,以便在发生短路故障时,能迅速将电源与短路部分断开。

短路的特点,如图 1-12 所示,短路线上的电压为零,电动势全部加在电源内阻上。

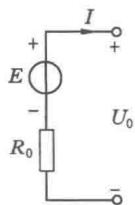


图 1-9 开路

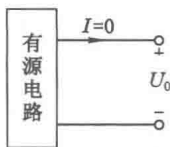


图 1-10 开路的特点

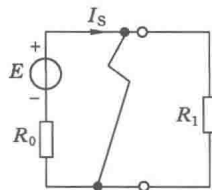


图 1-11 短路

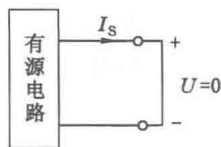


图 1-12 短路的特点

1.1.5 电路模型及理想电路元件

实际电路都是由许多实际电路元件或器件构成的复杂电路,为了便于对实际电路进行

分析研究,在一定条件下突出实际元件的主要电磁性质,忽略其次要因素,这样就建立了实际元件的理想电路元件模型。由理想电路元件构成的电路就是实际电路的电路模型。理想电路元件主要有:理想电压源元件、理想电流源元件、电阻元件、电感元件和电容元件等,如图 1-13 所示。

下面分别讨论各理想电路元件的电压、电流关系(简称伏安特性)及它们的能量消耗及储放。

1. 理想电压源

理想电压源是两端电压与通过它的电流大小无关的理想元件。也可以说,凡是两端电压可以按照某种规律变化而与其电流无关的电源,就称为理想电压源。通过理想电压源的电流的大小取决于外接电路。若理想电压源的电压大小恒等于常数,则可称为恒压源,直流理想电压源属于这种情况。伏安特性,如图 1-14 所示,即

$$\left. \begin{aligned} U &= E \\ I &= \frac{E}{R_L} \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

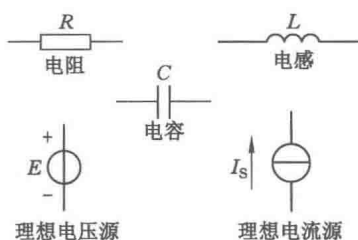


图 1-13 各理想电路元件的电路模型

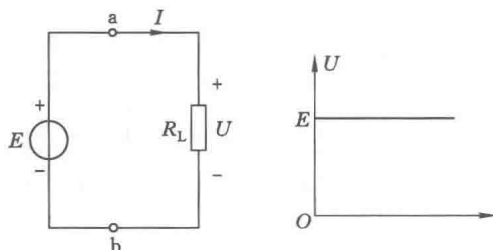


图 1-14 理想电压源的伏安特性

因为理想电压源的电压与外电路无关,所以与理想电压源并联的电路(器件),其两端电压等于理想电压源的电压。

2. 理想电流源

若通过元件的电流与其两端电压的大小无关,这样的理想元件称为理想电流源。也可以说,凡是通过电流可以按照某种规律变化而与其两端电压无关的电源,就称为理想电流源。理想电流源两端电压的大小取决于外接电路。若理想电流源的电流大小恒等于常数,则可称为恒流源,直流理想电流源属于这种情况。伏安特性,如图 1-15 所示,即

$$\left. \begin{aligned} I &= I_s \\ U &= I_s R_L \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

因为理想电流源的电流与外电路无关,所以与理想电流源串联的电路(器件),其电流等于理想电流源的电流。

3. 电阻元件

电阻是由消耗电能的物理过程抽象出来的理想电路元件。凡是电能不可逆转地转换成其他形式能量的物理过程都可用电阻元件来表示。电阻用符号 R 表示。

电阻元件有线性电阻和非线性电阻之分,这里只讨论线性电阻。线性电阻的阻值 R 是一个常数。在线性电阻中,不管通过它的电流是按何种规律变化,在任一瞬间其两端的电压与通过它的电流的关系总是满足欧姆定律,即

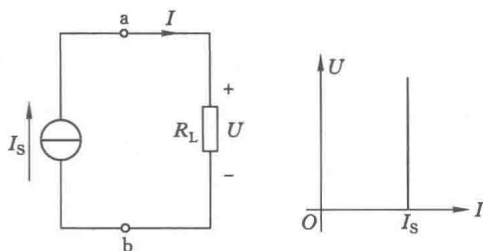


图 1-15 理想电流源的伏安特性

$$u = iR \quad (1-9)$$

根据欧姆定律,可以得出线性电阻元件的伏安特性是一条直线,如图 1-16 所示。

电流通过电阻元件时要产生热效应,即在电阻元件里会发生电能转换为热能的过程。而热能向周围扩散后,不可能再直接回到电源重新转换为电能。可见,电阻元件中的能量转换过程是不可逆的。因而电阻元件是一种耗能元件,电阻吸收的功率为

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-10)$$

其耗能可用下式计算

$$W = \int_0^t ui \, dt \quad (1-11)$$

电阻的单位是欧姆(Ω),对于大电阻则常用千欧($k\Omega$)或兆欧($M\Omega$)做单位。

4. 电感元件

电感是由磁能储存的物理过程抽象出来的理想电路元件,即凡是磁场储能的物理过程都可以用电感元件来表示。线圈是典型的电感元件。当忽略线圈的电阻时,可以认为它是一个理想的电感元件。电感用符号 L 表示,如图 1-17 所示。

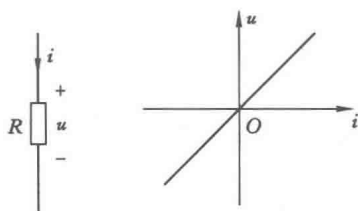


图 1-16 电阻元件的伏安特性

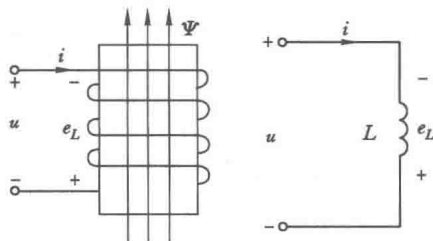


图 1-17 电感线圈

当电流 i 通过线圈时,线圈中就会有磁通 ϕ ,若线圈匝数为 N ,则磁链为 $\Psi = N\phi$ 。磁链 Ψ 与电流 i 的比值称为线圈的电感。

$$L = \frac{\Psi}{i} = \frac{N\phi}{i} \quad (1-12)$$

电感是表征线圈产生磁通能力的物理量。

若为空心线圈,空气的磁导率是常数,则当线圈做好后,其电感量也就确定了,即 i 与 ϕ 的关系为线性, L 称为线性电感。本书中除特别指明之外,讨论的均是线性电感。电感的单位是亨利(H)。

电感反映了电能转换为磁能,即电流建立磁场的物理本质。磁通 ϕ 与电流 i 之间的方