



21世纪全国本科院校电气信息类**创新型**应用人才培养规划教材

电工技术

张 莉 张绪光 主 编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材

电 工 技 术

主 编 张 莉 张绪光
副主编 孙明灿 臧家义
张 玥 张 玮



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书为 21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材, 主要包括: 直流电路的基本概念、基本定律、基本分析方法, 一阶线性电路的暂态分析, 正弦交流电路, 三相交流电路及安全用电, 磁路与变压器, 电动机, 常用低压电器及继电器接触器控制系统, 常用电工仪表及测量。

本书编写风格新颖, 引例恰当, 内容翔实, 易于学习和掌握。

本书适合作为本科院校工科专业电工技术或电工学相关课程教材, 也可用作高职高专相关专业教材, 还可作为相应职业技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/张莉, 张绪光主编. —北京: 北京大学出版社, 2011. 2

(21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-18493-6

I. ①电… II. ①张… ②张… III. ①电工技术—高等学校—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 011797 号

书 名: 电工技术

著作责任者: 张 莉 张绪光 主编

策 划 编 辑: 李 虎

责 任 编 辑: 姜晓楠

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-18493-6/TM·0036

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 三河市富华印装厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 326 千字

2011 年 2 月第 1 版 2011 年 2 月第 1 次印刷

定 价: 26.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

电工技术课程是高等院校工科非电类专业的一门重要的基础课程。目前,电工技术应用领域十分广泛,学科发展非常迅速,并且逐渐渗透到其他相关的学科领域,在我国当前经济建设中占有重要地位。

电工技术知识覆盖面广,理论深厚,逻辑严密,有广阔的工程背景,实用性强。它的主要任务是为读者学习专业知识和从事工程技术工作打好理论及实践的基础,并使读者受到相关基本技能训练,为学习后续课程和将来从事相关工作奠定基础。然而,传统的电工技术教材所涉及的数学知识和物理理论过多,教材内容追求多而全,专业性差,部分理论知识抽象、难度大,不好掌握,对读者学习本门课程的积极性、综合应用能力和创新意识的培养造成了一定消极的影响。考虑到高等教育从精英教育快速向大众化教育转变,以及培养创新型、应用型人才的需要,高等院校电工技术课程改革已成为必然趋势。因此,我们结合多年的教学实践,在总结和借鉴同类教材优点的基础上编写了本书。

本书在每章中设置了“教学目标与要求”、“引例”、“特别提示”、“知识链接”、“小结”、“习题”等结构,力求集“知识性、先进性、实用性和趣味性”于一体,尽可能地减少繁琐而枯燥的公式推导,注重引导和启发读者理解和掌握电工技术的基本概念、基本理论和基本分析方法,注重培养读者的工程实践应用能力,尽可能地作到好懂易学。

本书具有如下特点。

(1) 好懂易学,读者易于理解和掌握。

(2) 引例具有趣味性和针对性,能够激发读者的阅读兴趣。

(3) 明确教学目标,易于教师引导和教学。

(4) 配套具有实用性和趣味性的习题,易于培养读者的工程实践能力和创新能力。

(5) 为便于教师使用,本书配有完整的、系统的教学大纲及课件等教辅材料(读者如果需要相关参考资料,请登录 <http://www.pup6.com> 下载)。

本书由张莉、张绪光任主编,由孙明灿,臧家义,张玥,张玮任副主编。具体编写人员及章节分工如下:张莉编写了第5章,张绪光编写了第9章,张玥编写了第1、2章,张玮编写了第3章,孙明灿编写了第4、8章,臧家义编写了第6、7章。全书由张莉、张绪光审核定稿。

在本书的编写过程中,编者得到了北京大学出版社的专家和老师们的大力支持和帮助,我们在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2010年10月

目 录

第 1 章 电路的基本概念与基本定律	1	2.4 等效电源定理	33
1.1 电路的组成和作用	2	2.4.1 戴维宁定理	33
1.2 电路中的基本物理量及 电流、电压的参考方向	3	2.4.2 诺顿定理	35
1.2.1 电流	3	小结	38
1.2.2 电压	4	习题	39
1.2.3 关联参考方向	4	第 3 章 一阶线性电路的暂态分析	42
1.2.4 电功率和电能	5	3.1 储能元件	42
1.3 理想电路元件	5	3.1.1 电容元件	43
1.3.1 理想无源元件	6	3.1.2 电感元件	45
1.3.2 理想有源元件	7	3.2 换路与换路定律	46
1.4 电路的状态及电气设备的额定值	9	3.3 RC 电路的响应	47
1.5 基尔霍夫定律	10	3.3.1 RC 电路的零输入响应	47
1.5.1 基尔霍夫电流定律	11	3.3.2 RC 电路的零状态响应	49
1.5.2 基尔霍夫电压定律	12	3.3.3 RC 电路的全响应	50
1.6 电位的概念及其计算	15	3.4 RL 电路的响应	51
* 1.7 受控源	16	3.4.1 RL 电路的零输入响应	51
小结	17	3.4.2 RL 电路的零状态响应	53
习题	18	3.4.3 RL 电路的全响应	53
第 2 章 直流电路的基本分析方法	21	3.5 一阶线性电路暂态分析的 三要素法	54
2.1 支路电流法	22	* 3.6 微分电路与积分电路	56
2.2 叠加定理	24	3.6.1 矩形脉冲激励	56
2.3 电压源、电流源的等效变换	28	3.6.2 微分电路	56
2.3.1 理想电压源串联的 等效变换	28	3.6.3 积分电路	57
2.3.2 理想电流源并联的 等效变换	29	3.7 应用实例	58
2.3.3 理想电压源与理想电流源 串联的等效变换	29	3.7.1 照相闪光灯装置	58
2.3.4 理想电压源与理想电流源 并联的等效变换	30	3.7.2 汽车点火电路	59
2.3.5 实际电压源与实际电流源的 等效变换	30	小结	59
		习题	60
		第 4 章 正弦交流电路	64
		4.1 正弦交流电路的基本概念	65
		4.1.1 交流电的周期、频率和 角频率	65

4.1.2 交流电的瞬时值、最大值和有效值	65
4.1.3 交流电的相位、初相位和相位差	66
4.2 正弦量的相量表示法	66
4.2.1 相量的由来	67
4.2.2 复数	67
4.2.3 正弦量的相量表示法	69
4.3 单一参数的交流电路	70
4.3.1 纯电阻电路	70
4.3.2 纯电感电路	72
4.3.3 纯电容电路	73
4.4 电阻、电感和电容串联的交流电路	75
4.5 阻抗的串联与并联	79
4.5.1 阻抗的串联	79
4.5.2 阻抗的并联	79
4.6 交流电路的功率及功率因数	81
4.7 交流电路的频率特性	85
4.7.1 RC 电路的选频特性	85
4.7.2 谐振电路	89
4.8 交流电路应用实例	92
4.8.1 荧光灯电路	92
4.8.2 收音机的调谐电路	92
小结	93
习题	95

第 5 章 三相交流电路及安全用电 ... 101

5.1 三相对称电源	101
5.1.1 三相对称电源的产生 ...	102
5.1.2 电源的星形连接	103
5.1.3 电源的三角形连接	104
5.2 三相负载	105
5.2.1 负载的星形连接	105
5.2.2 负载的三角形连接	110
5.3 三相电路的功率	111
5.3.1 三相有功功率	111
5.3.2 三相无功功率和视在功率	112
5.4 电力系统	115

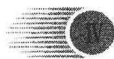
5.4.1 电力系统的组成	115
5.4.2 高压配电系统	117
5.4.3 低压配电系统	120
5.5 安全用电	127
5.5.1 电流对人体的危害及有关概念	127
5.5.2 安全防护措施	131
5.6 三相电路应用实例	136
小结	137
习题	139

第 6 章 磁路与变压器 ... 143

6.1 磁场与磁路	143
6.1.1 磁场的基本物理量	143
6.1.2 磁性物质的磁性能	145
6.1.3 磁路欧姆定律	146
6.2 变压器	147
6.2.1 变压器的构造	147
6.2.2 变压器的工作原理	148
6.2.3 变压器的功率损耗及效率	150
6.3 变压器绕组的同名端	151
6.3.1 变压器绕组的极性	151
6.3.2 多绕组变压器	152
6.4 特殊变压器	153
6.4.1 自耦变压器	153
6.4.2 仪用互感器	153
6.5 变压器应用实例	154
6.5.1 变压器在电力系统中的应用	155
6.5.2 变压器在电子电路中的应用	155
小结	155
习题	157

第 7 章 电动机 ... 159

7.1 概述	159
7.2 三相异步电动机的结构	160
7.2.1 定子	160
7.2.2 转子	161



7.3	三相异步电动机的转动原理	162
7.3.1	旋转磁场	162
7.3.2	电动机的工作原理	164
7.3.3	转差率	165
7.4	三相异步电动机的机械特性	165
7.4.1	电磁转矩	165
7.4.2	机械特性曲线	166
7.5	三相异步电动机的起动	168
7.5.1	直接起动	168
7.5.2	降压起动	169
7.5.3	转子串接电阻起动	170
7.6	三相异步电动机的调速	171
7.6.1	变频调速	171
7.6.2	变极调速	171
7.6.3	变转差调速	172
7.7	三相异步电动机的反转与 制动	172
7.7.1	三相异步电动机的 反转	172
7.7.2	三相异步电动机的 制动	173
7.8	三相异步电动机的铭牌数据	174
7.9	单相异步电动机	176
7.9.1	电容分相式异步 电动机	176
7.9.2	罩极式单相异步 电动机	177
7.10	异步电动机应用实例	177
7.10.1	摇臂钻床的结构	177
7.10.2	电动机在摇臂钻床的 应用	178
小结		178
习题		179

第 8 章 常用低压电器及继电器接触器控制系统

8.1	常用低压电器	182
8.1.1	手动开关	183
8.1.2	按钮	184
8.1.3	交流接触器	185

8.1.4	继电器	186
8.1.5	熔断器	189
8.1.6	自动开关	190
8.2	鼠笼式异步电动机的直接 起动控制	190
8.3	鼠笼式异步电动机的正反 转控制	192
8.4	鼠笼式异步电动机的联锁 控制	193
8.5	行程(限位)控制	194
8.6	时间控制	195
8.7	控制电路应用实例	196
小结		197
习题		199

第 9 章 常用电工仪表及测量

9.1	测量误差的表示方法	201
9.1.1	绝对误差	202
9.1.2	相对误差	202
9.2	万用表	203
9.2.1	常用万用表的种类	204
9.2.2	万用表的工作原理	204
9.2.3	万用表的使用方法	206
9.3	功率的测量	207
9.3.1	功率表的基本构成	207
9.3.2	单相功率的测量	207
9.3.3	三相功率的测量	208
9.4	兆欧表	209
9.4.1	常用兆欧表的种类	209
9.4.2	兆欧表的工作原理	210
9.4.3	兆欧表的使用方法	211
9.5	钳形电流表	212
9.5.1	钳形电流表的工作 原理	212
9.5.2	钳形电流表的使用 方法	213
小结		213
习题		214

参考文献



第1章

电路的基本概念与基本定律

本章是电工学课程的重要理论基础,不仅介绍的基本概念和基本定律适用于直流电路,而且也适用于或稍加扩展后适用于交流电路。本章着重讨论电流和电压的参考方向、理想电路元件的特点和基尔霍夫定律等内容。



教学目标与要求

- 了解电路的作用及其主要组成部分的功能。
- 熟练掌握电流和电压参考方向的概念,了解电路的三种状态,理解额定值的意义。
- 掌握理想电压源和理想电流源的特点。
- 熟练掌握欧姆定律和基尔霍夫定律,能将基尔霍夫定律和各元件自身的电压电流约束关系结合起来,求解简单电路。



引例

随着社会经济的发展,工农业生产中用电设备的数量不断增加,用电过程中经常会出现各种故障或不正常运行状态,例如电源开关的莫名跳闸、电源接通后某些用电设备不能正常工作或出现漏电的情况。故障究竟出现在哪儿?如何查找呢?最有效的办法是画出实际电路(图 1.0 为一个简单的实用电路)的模型(电路图),然后根据电路模型进行排查。通过本章的学习,读者可以掌握如何绘出电路模型以及简单电路的分析方法。

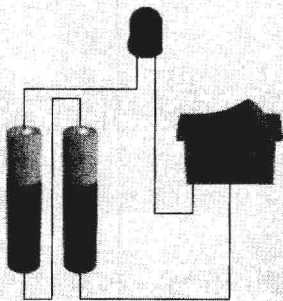


图 1.0 一个简单的实用电路

1.1 电路的组成和作用

电流的通路称为电路。它由电源、电阻器、电容器、电感器、变压器、电子管、半导体管等元器件按照一定的方式组成。电路可以分为供给电能的电源、取用电能的负载和中间环节三个部分。

电路的结构形式各种各样，归纳起来，电路主要有两方面的作用：①实现电能的传输和转换；②将非电量转化为电信号，对电信号进行传递和处理。

图 1.1 是一个手电筒电路，干电池将化学能转化为电能，通过导线传输到灯，电热效应使灯丝加热，然后发光，电能转化为热能和光能。干电池为电源，灯为负载，导线和开关为中间环节。此电路实现了电能的传输与转换。电能转换的例子还有很多，在发电厂内可以把热能、水能或核能转换为电能，再通过输电线输送给用户。

对着话筒说话或唱歌时，连接在金属膜片上的线圈随着声波一起振动，如图 1.2 所示，线圈在永久磁铁的磁场里振动，线圈中产生感应电流，完成了从声音信号到电信号的转化。线圈振动时感应电流的大小和方向都改变，变化的振幅和频率由声波决定。话筒将声音信号转换为相应的电压或电流，然后通过放大电路将电信号放大，再传递给扬声器，将电压、电流信号转换为声音。此电路的作用是对信号进行了传递和处理。

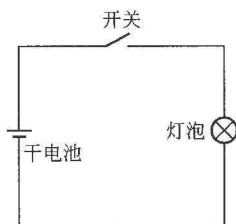


图 1.1 手电筒电路

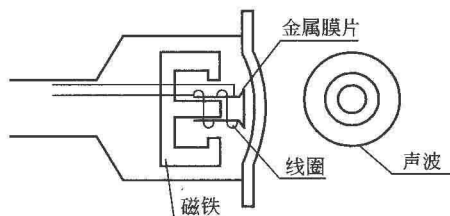


图 1.2 话筒示意图

热电偶测温电路的作用也是信号传递和处理。热电偶在工业测温中应用非常广泛，可以直接测量各种生产过程中 $-40\sim+1\,800^{\circ}\text{C}$ 的液体、蒸汽和气体介质以及固体的表面温度。

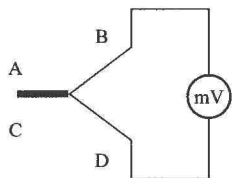


图 1.3 热电偶测温电路

如图 1.3 所示，AB 与 CD 是两种不同的金属导体，A 端与 C 端焊接在一起，作为测温端。不同金属内含有自由电子密度不同。当 A 端与 C 端温度同时升高，电子就从密度大的金属导体迁移至密度小的金属导体中，B、D 两端就产生了电位差，通过导线传递到标尺刻有温度的毫伏表，指示出被测物体的温度值。电压大小只与热电偶导体材质及测温端温度有关，且电压随着测量温度的升高而增加。

这类电路也有传输和转换电能的作用，如热电偶将热能转换为电能，但数值很小，主要作用是传递和处理信息。





1.2 电路中的基本物理量及电流、电压的参考方向

电路中的基本物理量有电流、电压、电功率和电能。其中，电流和电压既有大小又有方向。并且电流和电压的方向具有实际方向和参考方向之分。

1.2.1 电流

电荷做有规则的定向运动形成了电流。为了衡量电流的大小，把单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流，用符号 i 表示。电流也就是电荷对时间的变化率，即

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

在国际单位制中，电流的单位是安培用 A 表示。1A 的电流表示在 1s 的时间内，通过导体某一横截面的电荷量是 1C。

大小和方向都不随时间变化的电流称为直流电流，直流电流用大写字母 I 表示；随时间变化的电流用小写字母 i 表示。

习惯上规定正电荷定向移动的方向为电流的实际方向。电流的方向通常用一箭头表示。在一个复杂的直流电路中，常常难以判定电流的实际方向，在交流电路中，电流的方向随时间而改变，不能用一个固定的箭头来表示它的方向。因此，需引入参考方向的概念。

在计算和分析电路时，常任意选定一个方向作为电流的参考方向。如图 1.4 所示，图中长方块表示电路元件，如果电流的参考方向与实际方向相同，电流为正值；反之，当电流的参考方向与实际方向相反时，电流为负值。

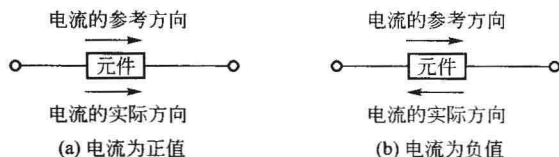


图 1.4 电流的参考方向

在求解电路电流时，首先任意假定一个参考方向，在图上用箭头表示出来，根据假定的参考方向进行计算。计算结果如果为正值，则表明假定的参考方向与实际电流方向一致；反之，如果计算结果为负值，则表明假定的电流参考方向与实际电流方向相反。

电路图上所标的电流方向，如果没有特别说明，则一般指的是参考方向。



特别提示

在没有规定参考方向的情况下，电流的正负没有意义。

【例 1-1】 在如图 1.5 所示的电阻 R_1 、 R_2 和 R_3 中，其电流 I_1 、 I_2 、 I_3 的参考方向如图中箭头所示。如果 $I_1=4\text{A}$ ， $I_2=-3\text{A}$ ， $I_3=1\text{A}$ ，试判断三个电流的大小和实际方向。



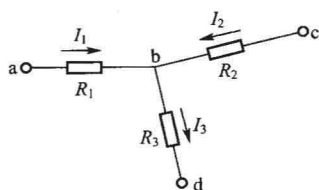


图 1.5 例 1-1 的图

【解】 $I_1=4\text{A}$ 表示电阻 R_1 中有 4A 的电流通过，电流的实际方向由 a 端流向 b 端，即电流的实际方向与参考方向相同。

$I_2=-3\text{A}$ 表示电阻 R_2 中有 3A 的电流通过，电流数值为负，表明该段电路中电流的实际方向与箭头所标示的参考方向相反，即电流的实际方向由 b 端流向 c 端。

$I_3=1\text{A}$ 表示电阻 R_3 中有 1A 的电流通过，电流的实际方向由 b 端流向 d 端。

1.2.2 电压

电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功在数值上就是 a 点到 b 点的电压。它的定义为

$$u_{ab} = \frac{w_{ab}}{q} \quad (1-2)$$

在国际单位制中，电压的单位为伏 [特]，用 V 表示。若两点间的电压为 1V，表示电场力将 1C 的正电荷从一点移动到另一点做了 1J 的功。

电压实际方向的规定：在电场力的作用下，正电荷移动的方向是电压的实际方向，或者说电压的实际方向是从高电位(正极)指向低电位(负极)。与电流一样，有时电压的实际方向不易判断或随时改变。可以任选一点的极性为正，另一点的极性为负，作为电压的参考极性，从正极指向负极的方向为电压的参考方向，如图 1.6 所示。也可用双下标表示电压参考方向，如 u_{ab} 表示参考方向为 a 点指向 b 点。如果电压的参考方向与电压的实际方向相同，则电压为正值；如果电压的参考方向与电压的实际方向相反，则电压为负值。

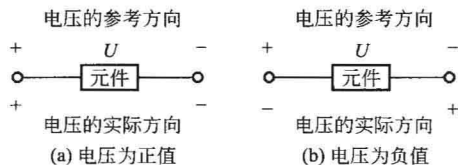


图 1.6 电压的参考方向

1.2.3 关联参考方向

原则上电压和电流的参考方向可以任意假定，如果指定流过元件的电流的参考方向

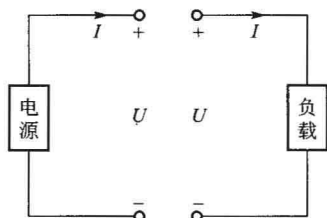


图 1.7 关联参考方向

是从标以电压正极性的一端指向负极性的一端，即两者的参考方向一致，则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向；反之则为非关联参考方向。如图 1.7 所示，电源电流的参考方向是从电压参考方向的低电位端流入，高电位端流出，为非关联参考方向；负载电流的参考方向是由电压参考方向所规定的高电位端流入，低电位端流出，为关联参考方向。



特别提示

在计算和分析电路时，一般将电源的电流和电压的参考方向取为非关联参考方向，负载的电流和电压的参考方向取为关联参考方向。



1.2.4 电功率和电能

电功率定义为单位时间内所完成的功。当电压与电流取关联参考方向时,电路元件所吸收的电功率与电压、电流的关系为

$$p=ui \quad (1-3)$$

电功率的单位为瓦特,用W表示。在时间间隔 t_0 到 t 内,传递到某元件的电能可用在 t_0 到 t 时间内对该元件所吸收的功率进行积分求得

$$w(t)-w(t_0)=\int_{t_0}^t p d\tau \quad (1-4)$$

在图1.7所示的关联参考方向下,如果电功率 $P>0$,则元件为吸收功率;如果电功率 $P<0$,则元件产生功率。在非关联参考方向下,如果电功率 $P>0$,则输出电功率,反之,吸收电功率。

电路元件输出功率时,它起电源的作用;电路元件吸收功率时,它起负载的作用。给手持式移动电话机(以下简称手机)电池充电就是吸收电功率的常见例子,这时的手机电池不是输出电功率,而是吸收电功率。



特别提示

● 在计算和分析电路时,第一步就是给定各变量的参考方向,因为任何电路方程只有在各变量具有完全确切参考方向的条件下,才能正确列出。如果要知道实际方向,则可将计算结果对照参考方向,了解变量的实际方向和极性。

● 判断电路元件在电路中起电源作用还是起负载作用时,可根据电压和电流的实际方向判断,如果实际电压和电流的方向符合非关联参考方向,则起电源作用;如果实际电压和电流的方向符合关联参考方向,则起负载作用。

1.3 理想电路元件

实际电路是由一些实际电路元件或器件组成。他们在电路中具有不同的作用。实际电路元件或器件往往具有两种或两种以上的电磁性质。理想电路元件是实际电路元件的理想化模型,具有唯一的电磁性质。

例如电感线圈肯定有一点电阻,因而它既有储存和释放磁场能量的性质,又兼有电阻耗能的性质。若将电感线圈的电阻忽略不计,则可将电感线圈理想化为电感元件。

同理,电阻器的主要特性是把电能转换为热能,由于导体通过电流时必定产生磁场,电阻器除了发热以外不可避免地要把少量能量储存在磁场中,通常情况下,这种储能作用很弱,若忽略不计,则可认为电阻器是一单纯的电阻元件。

由于理想元件性质单纯,用数学公式可精确描述它的性质,可用数学方法来分析计算电路。实际中有时难以用单一的理想元件来代替,可以由几种理想元件串、并联后的电路模型来模拟,电路模型的构成和复杂程度取决于对分析精度的要求。

理想电路元件分为理想无源元件与理想有源元件。



1.3.1 理想无源元件

理想无源元件包括电阻元件、电容元件和电感元件三种。其中,电阻元件是耗能元件,电感元件和电容元件是储能元件。即电阻元件表示电路中消耗电能的元件,电灯、电炉、电阻器等实际器件,可用电阻元件作模型;电感元件具有储存和释放磁场能量的性质,各种电感线圈可用电感元件作模型;电容元件具有储存和释放电场能量的性质,各种电容器可用电容元件作模型。本节只讨论电阻元件,电感元件和电容元件将在第3章中介绍。

导体中存在一定方向上运动的载流子,由于与导体材料的原子(原子离子)不断碰撞而受到阻碍,导体对电流通过的这种“阻碍”称为电阻。

欧姆定律是分析和计算电路的基本定律之一。欧姆定律指出,流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比。当电压、电流取关联参考方向时,如图1.8(a)所示,欧姆定律可以表示为

$$i = \frac{u}{R} \quad (1-5)$$

R 即为该段电路的电阻,由上式可见,当所加电压一定时,电阻越大,则电流越小,体现了电阻对电流起阻碍作用的物理性质。

在直流电路中,欧姆定律写成如下的形式

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = RI \quad (1-6)$$

必须指出,若电阻两端电压和所通过的电流取非关联参考方向,如图1.8(b)所示,则应在式(1-5)和式(1-6)中应加一负号,即

$$i = -\frac{u}{R}, \quad I = -\frac{U}{R}$$



图 1.8 欧姆定律

电阻单位是欧姆,简称欧,以 Ω 表示。如果电阻的阻值是一个正的实常数,与通过它的电流无关,就称为线性电阻。欧姆定律是描述线性电阻上的电压电流关系的。碳膜电阻、绕线电阻等许多实际元件,在电压或电流的一定范围之内,它们的电阻基本不变,可以作为线性电阻来处理。在本书中,只研究线性电阻。

如果电阻的阻值不是常数,就为非线性电阻。热敏电阻是一种非线性电阻。有的热敏电阻的阻值会随着热敏电阻本体温度的变化呈现出阶跃性的变化。PTC 热敏电阻温度升高时,电阻增大,利用这个特性可以实现控温的功能。电流通过热敏电阻元件后引起温度升高,当超过一定温度时,电阻陡增几个数量级,从而限制电流的增加,电流的下





降导致热敏电阻的温度降低,电阻值的减小又使电路电流增加,热敏电阻元件温度升高,周而复始,从而使温度保持在特定范围。PTC 热敏电阻的这种特性,使得它应用于暖风器、电烙铁、烘衣柜、空调等设备中。

电阻吸收的功率为

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

在直流电路中,电阻吸收的功率为

$$P=UI=I^2R=\frac{U^2}{R} \quad (1-8)$$

由上两式可见,电阻吸收的功率总是正值,即电阻总是消耗电功率。电阻是将电能转换为热能(或光能)的电路元件。

理想电阻元件的功率不受限制,但实际电路中的电阻,其功率数值总有限制,超过这个限制,可能会烧毁电阻。所以实际电阻器,都规定了额定功率、额定电压、额定电流,使用时不得超过额定值,以保证安全工作。

【例 1-2】 一个额定电压为 220V 的电炉,通过电流为 5.5A,问其电阻为多少?

【解】
$$R=\frac{U}{I}=\frac{220}{5.5}\Omega=40\Omega$$

【例 1-3】 一个 80V, 64W 电阻器,正常工作通过的电流是多少? 分别接到 220V 和 40V 的直流电压源上,结果如何?

【解】
$$I=\frac{P}{U}=\frac{64}{80}\text{A}=0.8\text{A}$$

如果接到 220V 的电源上, $220\text{V}>80\text{V}$, 则电阻器不能长期工作,会烧坏。

如果接到 40V 的电源上,因为电阻消耗的功率与电阻电压的平方成正比,则电阻消耗的功率为

$$P=\frac{U^2}{U_N^2}P_N=\frac{40^2}{80^2}\times 64=16\text{W}$$

【例 1-4】 求例 1-1 中的电压 U_{bd} 和 U_{cb} , 其中 $R_2=2\Omega$, $R_3=3\Omega$ 。

【解】 根据欧姆定律得

$$U_{bd}=R_3I_3=(3\times 1)\text{V}=3\text{V}$$

电压的数值为正,表明电压的实际方向与假定的参考方向一致,即 b 点电位高于 d 点电位。

同理求出 U_{cb}

$$U_{cb}=R_2I_2=[2\times (-3)]\text{V}=-6\text{V}$$

电压的数值为负,表明电压的实际方向与假定的参考方向相反,即 b 点电位高于 c 点电位,或者说电压的实际方向由 b 点指向 c 点。

1.3.2 理想有源元件

1. 理想电压源

理想电压源的定义: 如果一个二端元件接到任一电路后,其两端的电压总能保持规



定的值 u_s ，而与通过它的电流大小无关，称此二端元件为理想电压源。不随时间变化的直流电压源称为恒压源，用 U_s 表示。

理想电压源的主要特性是它对外电路提供的电压与流经电源的电流无关。恒压源的外特性是一条与电流轴平行的直线，如图 1.9 所示。

实际的电压源本身有内电阻，要消耗功率，其两端的电压不能保持规定的值。实际的电压源可以看成是理想电压源与一个电阻的串联。现以最简单的直流电路为例，讨论内电阻对电压源输出电压的影响。

如图 1.10 所示，电阻 R 两端的电压就是电压源的输出电压 U （即电源端电压），电阻 R 与电源内电阻 R_0 串联。

$$U = \frac{R}{R + R_0} U_s \quad (1-9)$$

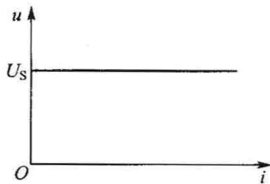


图 1.9 恒压源的伏安特性曲线

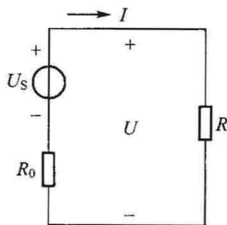


图 1.10 实际电源电路

当 $R \gg R_0$ 时， $U \approx U_s$ ，否则电压源内电阻的影响不能忽略。

电压源的输出电压 U 还可表示为

$$U = U_s - IR_0 \quad (1-10)$$

式(1-10)两边同乘以电流 I ，得

$$UI = U_s I - I^2 R_0 \quad (1-11)$$

其中， $U_s I$ 为电源产生的功率； UI 为电源输出或电阻 R 消耗的功率； $I^2 R_0$ 为电源内电阻 R_0 所消耗的功率。

上式表明，在实际电路中，负载取用的功率等于电源产生的功率与电源内电阻消耗的功率之差，符合能量守恒定律。

2. 理想电流源

理想电流源的定义：如果一个二端元件接到任一电路后，该元件能够对外电路提供规定的电流 i_s ，而与其两端的电压无关，则该二端元件称为理想电流源。不随时间变化的直流电流源称为恒流源，用 I_s 表示。

理想电流源的主要特性是它对外电路提供的电流与其两端的电压无关。恒流源的外特性为一条与电压轴平行的直线，如图 1.11 所示。

实际的电流源可以看成是理想电流源与一个电阻的并联，因此其对外电路提供的电流跟外电路有关系。如图 1.12 所示，电流源 I_s 给电阻 R 提供电流，电流 I 为电流源给外电路提供的电流，即流经电阻 R 的电流。



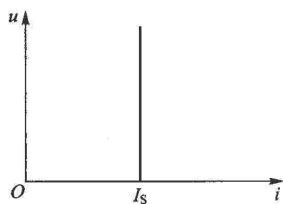


图 1.11 恒流源的伏安特性曲线

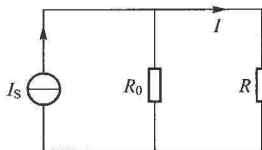


图 1.12 实际电流源

因此,有

$$I = \frac{R_0}{R_0 + R} I_s \quad (1-12)$$

当 $R \ll R_0$ 时, $I \approx I_s$ 。否则电流源内电阻的影响不能忽略。

1.4 电路的状态及电气设备的额定值

根据电源与负载之间连接方式及工作要求的不同,电路可能处于通路状态、断路状态和短路状态。下面介绍这3种状态及其特点。

1. 通路状态

如图 1.13 所示, R_0 为电源内阻, R 为负载, 当开关 S 闭合时, 电源与负载接通, 电路中有电流流过, 这种状态称为通路状态。通路时, 电源向负载提供电能, 电源处于有载状态。

2. 断路状态

如图 1.13 所示, 当开关 S 打开时, 电路中电流为零, 称电路处于断路(或开路)状态。电路断路可能是电源开关未闭合(未合闸), 这是正常断路, 或者是线路上某个地方接触不良、导线已断或者熔断器熔断所造成, 这是事故断路。

断路时, 电路电流为零, 因此电源输出功率为零, 称电源处于空载状态。

电路断路时的特征为

$$\left. \begin{aligned} I &= 0 \\ U &= U_s \\ P &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-13)$$

3. 短路状态

当某一部分电路的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全部被导线或开关所旁路, 这一部分电路所处的状态称为短路或短接。

如图 1.14 所示, 当开关 S 闭合的时候, 电阻 R_2 被短路, 电阻 R_2 两端电压为零。当

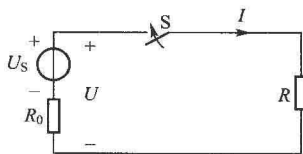


图 1.13 通路

电源两端的导线由于某种事故而直接相连时,如图 1.14 中, a 点和 b 点直接相连,这称为电源短路。由于短路处电阻为零,而电源内电阻 R_0 很小,这时短路电流很大。电源短路是一种严重的短路事故,应事先预防。

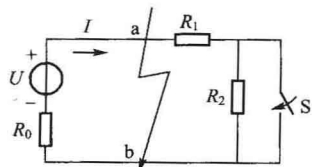


图 1.14 短路

短路的特点为被短路的元件两端电压为零。

产生短路的原因往往是由于绝缘损坏或接线不慎,因此经常检查电气设备和线路的绝缘情况是一项很重要的安全措施。此外,还可在电路中接入熔断器或自动断路器。

4. 电气设备的额定值

任何一个电气元件或设备,为了达到最好的技术经济效能,制造厂对它的工作能力、运用性能和使用条件都要用一组技术数据来加以限制和规定,这些技术数据就称为额定值。对于电气元件或设备额定电压、额定电流、额定功率分别用 U_N 、 I_N 和 P_N 表示。通常最主要的几项数据都刻在产品的铭牌上,因此又称铭牌值。

额定值是由制造厂根据产品使用时的经济合理、安全可靠和一定的使用寿命等因素全面综合考虑,通过设计计算得出的。当电气设备或元件工作时的实际电流、电压和功率等于它的额定值时,电气设备或元件处于最佳的工作状态。但是一般很难达到,其中一个原因就是电源电压经常波动。因此实际使用时电流、电压和功率与额定值有偏差,但是只要偏差在允许范围之内,设备仍然可以正常运行。某些电气设备(例如电动机)在特定的条件下可以短时超过额定值的允许偏差工作。但是如果超过设备额定值的允许偏差较大,又长期运行,电气元件或设备的绝缘材料易老化。例如电流超过额定值太多,由于发热过甚,会影响电气元件或设备绝缘材料的使用寿命,甚至会使绝缘材料失去绝缘性能;当所加电压超过额定值过多时,绝缘材料也可能被击穿。反之,如果电压或电流远低于额定值,会使电气元件或设备不能正常工作。如灯两端的电压太低,灯的灯光就会变得很暗,影响照明功能。

1.5 基尔霍夫定律

分析与计算电路的基本定律除欧姆定律外,还有基尔霍夫定律。基尔霍夫定律又分为基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。为更好地理解 and 掌握基尔霍夫定律,需明确几个基本概念。

(1) 支路: 流过同一电流的分支称为一条支路。图 1.15 所示中共有三条支路。

(2) 节点: 三条或三条以上支路的连接点称为节点。如图 1.15 所示,共有两个节点: a, b。

(3) 回路: 电路中由若干条支路组成的闭合路径称为回路。图 1.15 所示中有三个回路: abca, adba 和 cadbc。

(4) 网孔: 未被其他支路分割的单孔回路称为网孔。图 1.15 所示中有两个网孔: cabca, adba。

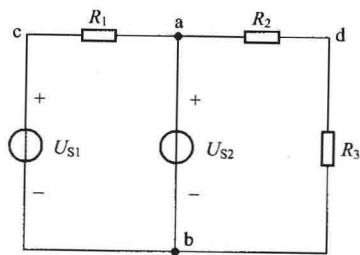


图 1.15 支路、节点、回路