

职业教育“十二五”规划教材



焊接电工基础

张毅 主编

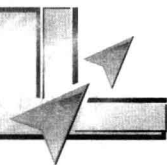
郜建中 主审

HANJIE
DIANGONG
JICHU



化学工业出版社

职业教育“十二五”规划教材



焊接电工基础

张毅 主编

杨文中 副主编

郜建中 主审

HANJIE
DIANGONG
JICHU



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是根据目前职业教育教学改革需要,使技术基础课程与专业课程更好有效衔接而编写的,内容包括直流电路、交流电路、磁路与变压器、半导体元件及应用、低压控制电器与电路的基础知识、焊接电弧的电特性及对弧焊电源的要求等。书中内容通俗易懂,图文并茂,突出实用性。每章后面附有习题。

本书可作为高职高专院校、中等职业学校、成人高校焊接专业教材使用,也可作为相关行业岗位培训教材或自学用书,对焊接工程技术人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

焊接电工基础/张毅主编. —北京:化学工业出版社,
2010.12

职业教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-09679-1

I. 焊… II. 张… III. 焊接-电工学-职业教育-教材
IV. TG43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 201080 号

责任编辑:韩庆利

文字编辑:徐卿华

责任校对:周梦华

装帧设计:史利平

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 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 7 $\frac{1}{2}$ 字数 181 千字 2011 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:16.00 元

版权所有 违者必究

前言

近年来,职业教育在国家大力推进职业技术教育改革和加强教育结构调整基础上得到较快发展。本书是在贯彻落实教育部《全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》的文件精神,加强职业教育教材建设,满足职业院校深化教学改革对教材建设要求的新形势下编写而成的。

本着“基础知识够用,兼顾后继发展”的原则,我们将原有技术基础课“电工学”、“工业电子学”的内容进行了针对性选择,并将焊接专业与其相关联的内容“焊接电弧的电特性”、“对弧焊电源的要求”加入到原有课程体系之中,使技术基础课程与专业课程有效衔接,同时可以更好地为专业课程的学习打下基础。

本书讲述了直流电路、交流电路、磁路与变压器、半导体元件及应用、低压控制电器与电路的基础知识、焊接电弧的电特性及对弧焊电源的要求。本书可供高职高专院校、中等职业学校、成人高校、培训机构焊接专业师生作为教材使用,对焊接工程技术人员也有一定的参考价值。

本书第一章、第二章由生利英编写,第三章、第四章由杨文中编写,第五章、第六章、第七章由张毅编写。本书由张毅担任主编并统稿,杨文中担任副主编,郜建中担任主审。

由于编者水平所限,加之时间紧迫,书中难免存在不足之处,恳请读者不吝赐教。

编 者
2010 年 10 月

目录

● 第一章 直流电路	1
□ 第一节 电路和电路模型	1
一、电路的组成和作用	1
二、电路模型	2
□ 第二节 电路的基本物理量	2
一、电流	2
二、电压、电位和电动势	3
三、电功率和电能	4
□ 第三节 电路的元件	5
一、电阻元件	5
二、电感元件	6
三、电容元件	7
□ 第四节 电路的工作状态	8
一、负载状态	8
二、开路状态	9
三、短路状态	9
□ 第五节 基尔霍夫定律	9
一、基尔霍夫电流定律 (KCL)	10
二、基尔霍夫电压定律 (KVL)	10
□ 第六节 电阻的连接	11
一、电阻的串联	11
二、电阻的并联	12
三、电阻的混联	12
□ 第七节 支路电流法	13
□ 习题	14
● 第二章 正弦交流电路	17
□ 第一节 正弦交流电的三要素	17
一、周期与频率	17
二、幅值与有效值	18
三、初相位	18

□ 第二节	单一参数正弦交流电路	19
	一、纯电阻元件交流电路	19
	二、纯电感元件交流电路	20
	三、纯电容元件交流电路	22
□ 第三节	电阻、电感、电容元件串联的交流电路	23
□ 第四节	三相交流电路	25
	一、三相电动势	25
	二、三相电源绕组的连接	26
	三、三相负载的连接	27
□ 习题		31

● 第三章 磁路及变压器 34

□ 第一节	磁场的基本物理量	34
	一、磁感应强度 B	34
	二、磁通 Φ	34
	三、磁导率 μ	35
	四、磁场强度 H	35
□ 第二节	铁磁材料的磁性能及能量损耗	35
	一、铁磁材料的磁性能	35
	二、铁磁材料中的能量损耗	37
□ 第三节	磁路与磁路定律	38
	一、磁路的组成	38
	二、全电流定律	39
	三、磁路的欧姆定律	39
	四、简单磁路计算	40
□ 第四节	交流铁芯线圈电路	41
	一、电压与磁通的关系	41
	二、交流铁芯线圈的电路模型	42
□ 第五节	变压器	42
	一、变压器的结构	43
	二、变压器的工作原理	43
	三、变压器的功率和效率	47
	四、变压器绕组的同极性端和连接	48
□ 习题		49

● 第四章 半导体元件及其应用 50

□ 第一节	半导体元件	50
	一、半导体基础知识	50
	二、半导体二极管	52
	三、稳压管	53

四、半导体三极管	53
五、晶闸管	57
六、MOS 场效应晶体管	58
□ 第二节 半导体三极管交流放大电路	59
一、共发射极交流放大电路	59
二、共集电极放大电路（射极输出器）	63
□ 第三节 整流及稳压电路	64
一、单相整流电路	65
二、滤波电路	67
三、稳压电路	68
□ 习题	69

● 第五章 常用低压电器与电路 72

□ 第一节 常用开关及按钮	72
一、刀开关	72
二、转换开关	73
三、按钮	74
□ 第二节 交流接触器	75
一、交流接触器的结构及工作原理	75
二、交流接触器的选用	76
□ 第三节 继电器	77
一、电磁式（电流、电压和中间）继电器	77
二、时间继电器	78
三、热继电器	80
□ 第四节 行程开关	81
一、行程开关的分类及特点	81
二、行程开关的选择	82
□ 第五节 电磁气阀及压力开关	82
一、电磁气阀	82
二、压力开关	83
□ 习题	83

● 第六章 焊接电弧及其电特性 85

□ 第一节 焊接电弧的物理本质和引燃	85
一、气体原子的激发、电离和电子发射	85
二、焊接电弧的引燃	87
三、焊接电弧的种类	88
□ 第二节 焊接电弧的结构和伏安特性	88
一、焊接电弧的结构及压降分布	88
二、焊接电弧的电特性	89

□ 第三节	交流电弧	91
一、	交流电弧的特点	91
二、	交流电弧连续燃烧的条件	92
三、	提高交流电弧稳定性的措施	93
□ 习题		93

● 第七章 对弧焊电源的基本要求 96

□ 第一节	对弧焊电源外特性的要求	96
一、	电源的外特性	96
二、“	电源-电弧”系统的稳定性	97
三、	对弧焊电源外特性曲线的要求	99
四、	弧焊电源外特性形状的种类	103
□ 第二节	对弧焊电源调节性能的要求	104
一、	电源的调节性能	104
二、	弧焊电源的可调参数	106
三、	弧焊电源的负载持续率与额定值	106
□ 第三节	对弧焊电源动特性的要求	107
一、	动特性问题的提出	107
二、	各种弧焊方法的负载特点与弧焊电源的动特性	107
三、	弧焊电源动特性对焊接过程的影响及对它的要求	109
□ 习题		110

● 参考文献 112

第一章 直流电路

本章首先介绍了电路的基本概念，分别对电路的物理量、电路的元件作了介绍；重点讨论了基尔霍夫定律，并对电路的工作状态和电阻串并联电路进行了分析；讨论了用支路电流法求解复杂电路电流的方法，最后阐述了电阻电容器电路的充放电过程。

本章虽然是以直流电路为研究对象，但从中引出的概念、定律和分析方法也适用正弦交流电路及其他各种线性电路。

第一节 电路和电路模型

一、电路的组成和作用

电路是电流的流通过径，是为了实现某种需要由各种电气设备和元件按一定方式连接而成的。电路由电源、负载和中间环节三个部分组成。

电源是产生或提供电能的装置，其作用是将其其他形式的能量转换为电能，如发电机、信号源、干电池等。

负载即用电设备，是电能的主要消耗者，是用电设备的统称。其作用是将电能转换成其他形式的能量，如电动机、电炉、电焊机、电灯等。

电源与负载之间的部分是中间环节，它包括连接导线、控制电器和测量装置等，在电路中它起着传递、控制和分配电能的作用。

实际电路种类很多，但按其功能不同，常见电路可分为两大类，即电力电路（或称强电路）和信号电路（或称弱电电路）。电力电路主要用来实现电能的传输和转换，如供电系统、电力拖动、照明电路等。其用途是完成能量之间的相互转换，图 1-1（a）所示的手电筒电路就是一个最简单的电力电路。

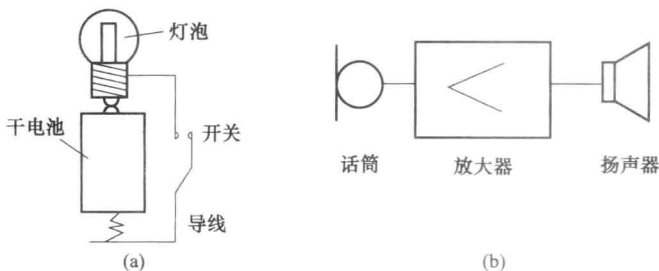


图 1-1 电路示例

信号电路通过电路实现信号的传递和处理，例如收音机、电视机、扩音机电路等，是通过接收天线，接收载有音乐、图像、文字的电磁波信号后，转换成相应的电信号，通过电路把这些信号送到扬声器、显像管，还原为原始信息。图 1-1（b）所示的扩音机电路，通过

话筒把声音信号转换为相应电信号，经放大器放大，扬声器将放大的信号还原成声音。

根据电路中供电电源种类的不同，电路又可分为直流电路和交流电路。直流电路由直流电源供电。理想直流电源的特点是输出电压的大小和方向不随时间变化。交流电路由交流电源供电，其电源输出电压的大小和方向随时间而变。本章讨论直流电路的基本理论和计算，在第二章中讨论单相和三相正弦交流电路。

二、电路模型

实际电路是由多种电器元件组成的，每一种器件在工作中表现出较为复杂的电磁性质，往往兼具两种以上的电磁特性。例如一个白炽灯，它除具有消耗电能的电阻特性外，还具有一定的电感性，在电路的分析和计算时，如果对电器元件考虑其全部的电磁特性，电路的

分析将变得复杂。为了便于对实际电路进行分析和数学描述，突出元件的主要电磁特性，忽略次要因素，可把实际元件理想化（或称为模型化）。例如，白炽灯便可以用只具有消耗电能性质而没有电感性的理想电阻元件近似地表征。

这样用一个或几个具有单一电磁特性的理想电路元件组成的电路，构成实际电路的电路模型。图 1-2 是手电筒照明电路的电路模型。其中，灯泡是电路的负载，理想化为电阻元件，其参数为 R ；干电池是电源元件，理想化为电压源 U_S 和内阻 R_S 串联的组合模型；筒体和开关是连接电池和灯泡的中间环节，其电阻可以忽略不计，认为是一无电阻的理想导体。

为了叙述简便，在以后的章节中理想电路元件简称为电路元件，分析的直接对象都是指电路模型。

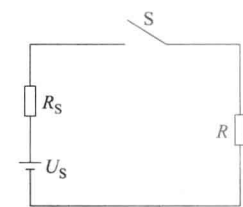


图 1-2 手电筒照明电路的电路模型

第二节 电路的基本物理量

一、电流

带电粒子在外力的作用下作有规则的定向移动，便形成电流。金属导体中的电流是导体中的自由电子在电场力的作用下定向移动而形成的。习惯上规定正电荷的运动方向为电流的方向。电流的大小是以单位时间内通过导体横截面的电荷量来衡量的，即

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

式中， i 表示随时间变化的电流在某一时刻的瞬时值； dq 是在时间 dt 内通过导体横截面的电荷量。当 dq/dt 为一常数时，表示电流不随时间的变化而变化，称为恒定电流，简称为直流，用字母 I 表示。即

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

电流的国际计量单位（SI）为安培，简称安（A），还可以用千安（kA）、毫安（mA）、微安（ μA ）作单位，它们之间的换算关系为

$$1\text{kA} = 10^3\text{A} = 10^6\text{mA} = 10^9\mu\text{A}$$

电流的方向是客观存在的。但是在分析和计算较为复杂的电路时，往往事先不能确定电路中电流的实际方向。对于交流电路中的交流电流，其方向是随时间变化的，也无法用一个

固定的箭标来表示它们的实际方向。为此，在分析电路时，总是任意选定某一方向为电流参考方向，如图 1-3 所示。而选择的电流参考方向并不一定与电流的实际方向相同。

定义：如果电流的实际方向与电流参考方向相同，则此电流为正值；如与所选电流参考方向相反，则电流为负值，见图 1-3 (a)、(b)。

电流参考方向除用箭标表示外，还可用双下标表示。图 1-3 (a) 中电流参考方向为 a 指向 b，可用 I_{ab} 表示，当参考方向选择 b 指向 a 时，电流可表示为 I_{ba} ，两者之间关系为

$$I_{ab} = -I_{ba} \quad (1-3)$$

当电流参考方向选定后，其电流值有正负之分，可以在选定的电流参考方向下，根据电流的正负来确定某一时刻电流的实际方向。

二、电压、电位和电动势

电路分析中用到的另一个电量是电压。电压是衡量电场力做功能力的物理量，导体中要形成电流，必须要有电场的作用。图 1-4 中电源的两个极板 a 和 b 分别带有正、负电荷，在两个极板间存在着电场，其方向 a 指向 b。当用导线把负载与电源的正负极连接成一个闭合回路时，电源正、负极板上的正、负电荷在电场力的作用下，从正极 a 经导线和负载流向 b（实际是自由电子由负极移向正极），形成电流。

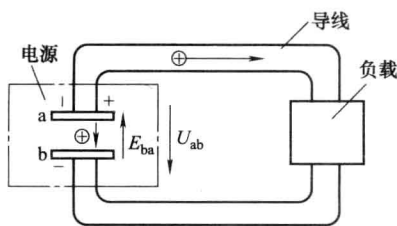


图 1-4 电压与电动势

定义：电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功，称为 a、b 两点间的电压，用符号 U_{ab} 表示。

在国际单位制中，电压的单位为伏特，简称伏 (V)。除伏特外，常用的电压单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV) 和微伏 (μV)，它们之间的换算关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} = 10^6\text{mV} = 10^9\mu\text{V}$$

为了分析电路方便，常指定电路中的任意点为参考点。

定义：电场力把单位正电荷由 a 点移到参考点所做的功，称为 a 点的电位，用符号 V_a 表示。通常把参考点的电位规定为零电位，电位的单位也是 V。

可以证明：电路中任意两点间的电压等于两点电位差，即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

上式同时表明，电压的实际方向是从高电位点指向低电位点。电路中某点的电位，即是该点与参考点之间的电压。

当电路中任意两点间的电压实际方向不能判断或电压方向随时间变化时，可以选取任意点的极性为正，另一点为负，称为电压的参考极性。也可用箭标来表示电压的参考方向，如图 1-5 所示。分析电路时，可根据计算所得结果的正、负来确定电压的实际方向，判别方法与电流相同。

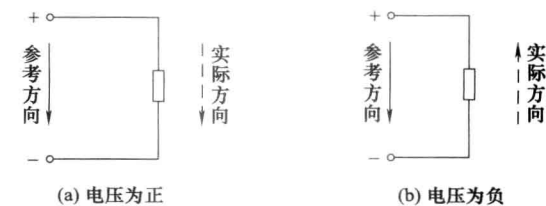


图 1-5 电压的参考方向

为了维持电流连续在电路中通过,在电源内部应存在着外力(在电池中外力由化学作用产生,在发电机中由电磁感应产生),把流到低电位 b 极的正电荷,移到高电位 a 极,外力做了功,把非电能转换成电能。外力把单位正电荷由 b 极移到 a 极所做的功,定义为电源的电动势,用符号 E 表示。

电动势是描述电源的物理量,其方向在电源内部由负极指向正极,也可用箭标在电路图中标明,如图 1-4 所示。在国际单位制中,电动势单位为 V。

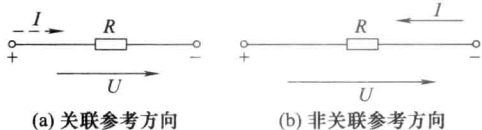


图 1-6 电压和电流的参考方向

电压参考方向的选定与电流参考方向的选定是独立无关的,但为了分析电路的方便,常把电路元件上的电压的参考方向和电流的参考方向选择一致,称为关联参考方向,如图 1-6 (a) 所示。

当电压和电流的参考方向选择相反时,则称为非关联参考方向,如图 1-6 (b) 所示。

三、电功率和电能

电功率定义为单位时间内能量的变化,也就是能量对时间的导数,即

$$P = \frac{dW}{dt}$$

在直流电路中,若已知电路中某元件两端电压和电流,并且电压与电流为关联参考方向时,功率用符号 P 表示,则

$$P = UI \quad (1-5)$$

当计算所得功率值为正,即 $P > 0$ 时,表示元件实际吸收或消耗功率,属于负载性质;当计算出功率为负,即 $P < 0$ 时,表示元件实际产生或输出功率,属于电源性质。

如果电压和电流为非关联参考方向,功率表达式为

$$P = -UI \quad (1-6)$$

这样规定后,得到结果 $P > 0$ 仍表示实际吸收或消耗功率; $P < 0$ 表示元件产生的功率。

在国际单位制中,功率的单位是瓦特,简称瓦 (W)。功率还可用千瓦 (kW),毫瓦 (mW) 作单位,它们之间的换算关系为

$$1\text{kW} = 10^3\text{W} = 10^6\text{mW}$$

当已知设备的功率为 P ,则 t 秒钟内消耗的电能

$$W = Pt \quad (1-7)$$

若功率的单位取 W,时间的单位取 s,则电能的单位为焦耳,简称焦 (J)。

实际应用中,电能的单位用千瓦时 (kW·h) 作单位,俗称 1 度电。

$$1\text{度} = 1\text{kW} \cdot \text{h} = 1000\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6\text{J}$$

例 1-1 如图 1-7 所示,电路中电流的参考方向已选定。已知 $I_a = 10\text{A}$, $I_b = -10\text{A}$, $I_c = 5\text{A}$, $I_d = -5\text{A}$,试指出电流的实际方向。

解 $I_a > 0$, I_a 的实际方向与参考方向相同,电流由 a 流向 b,大小为 10A。 $I_b < 0$, I_b 的实际方向与参考方向相反,电流由 b 流向 a,大小为 10A。 $I_c > 0$, I_c 的实际方向与参考方向相同,电流由 b 流向 a,大小为 5A。 $I_d < 0$, I_d 的实际方向与参考方向相反,电流由 a 流向 b,大小为 5A。

例 1-2 在图 1-8 中,五个元件代表电源或负载,电压和电流的参考方向如图所示。已知: $I_1 = -2\text{A}$, $I_2 = 3\text{A}$, $U_1 = 70\text{V}$, $U_2 = -45\text{V}$, $U_3 = 30\text{V}$, $U_4 = 40\text{V}$, $U_5 = -15\text{V}$ 。

试判断哪些元件是电源?哪些元件是负载?试计算各元件的功率,并检验功率的平衡。

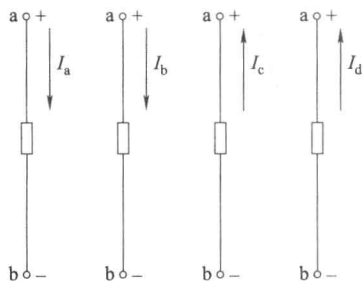


图 1-7 例 1-1 图

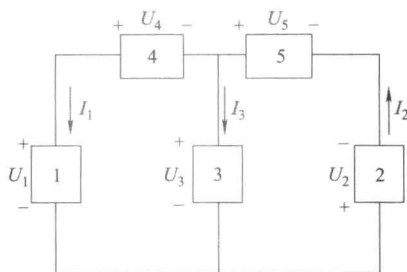


图 1-8 例 1-2 图

解 对于元件 1、2、3，电压和电流为关联参考方向，则它们的功率：

$$P_1 = U_1 I_1 = 70 \times (-2) = -140 \text{ W}$$

$$P_2 = U_2 I_2 = (-45) \times 3 = -135 \text{ W}$$

$$P_3 = U_3 I_3 = 30 \times 5 = 150 \text{ W}$$

对于元件 4、5 电压和电流为非关联参考方向，则有

$$P_4 = -U_4 I_1 = -40 \times (-2) = 80 \text{ W}$$

$$P_5 = -U_5 I_2 = -(-15) \times 3 = 45 \text{ W}$$

由计算结果可知：元件 1、2 功率为负，表示这两个元件产生功率，为电源；元件 3、4、5 功率为正，表示这三个元件消耗功率，为负载。

电源产生功率为 $(140 + 135) \text{ W} = 275 \text{ W}$ ，负载消耗功率为 $(150 + 80 + 45) \text{ W} = 275 \text{ W}$ 。可见在一个电路中，电源产生的功率和负载消耗的功率总是平衡的。

第三节 电路的元件

一、电阻元件

电阻元件是实际电阻器的理想化模型，常见的实际电阻器有金属膜电阻器、绕线电阻器及电阻炉和白炽灯等。虽然它们的外形及用途不同，但它们在电路中表现出来的主要性质是相同的，即在电路中有对电流的阻碍作用，并消耗电能。电阻元件有时简称电阻，用 R 表示。电路图中电阻元件符号如图 1-9 所示。

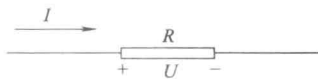


图 1-9 电阻元件的符号

由实验可知，电阻元件中通过电流与其两端电压成正比，即满足欧姆定律。如果电阻元件两端电压 U 和电流 I 为关联参考方向，如图 1-10 (a) 所示，则欧姆定律为

$$U = RI \quad (1-8)$$

若电压 U 和电流 I 为非关联参考方向，如图 1-10 (b) 所示，则欧姆定律为

$$U = -RI \quad (1-9)$$

在国际单位中，电阻的单位为欧姆 (Ω)。除欧姆外，常用的电阻单位还有千欧 ($\text{k}\Omega$)、兆欧 ($\text{M}\Omega$) 等。

把电阻元件两端电压值取为横坐标，流过电流值取为纵坐标，画出 U 与 I 的关系曲线，称为电阻元件的伏安特性曲线。如果伏安特性曲线是一条通过原点的直线，如图 1-11 所示，称此电阻元件为线性电阻元件。

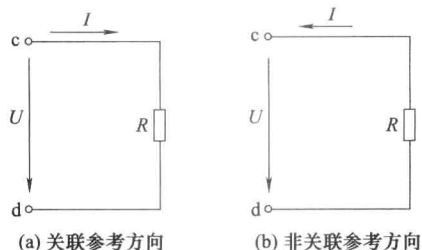


图 1-10 欧姆定律

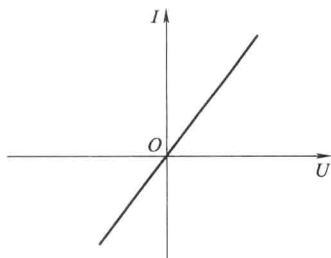


图 1-11 线性电阻元件伏安特性曲线

为叙述方便,在以后章节中,如无特殊说明,电阻元件均指线性电阻元件,简称电阻。这样“电阻”这一名词有时指电阻元件,有时指元件的参数。

当电压和电流为关联参考方向时,电阻元件消耗的功率为电阻两端电压与电流的乘积,即

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

由上式可知,电阻 R 为正实常数,功率 P 与电压 U^2 或 I^2 成正比,故功率 P 总是大于零的,所以任何时刻电阻元件均消耗电功率。它是一种耗能元件。

例 1-3 已知某白炽灯的额定电压是 220V,正常发光时的电流为 0.18A。试求白炽灯电阻。

解 根据欧姆定律

白炽灯电阻

$$R=\frac{U}{I}=\frac{220}{0.18}=1222\Omega$$

二、电感元件

由物理学可知,当把导线绕制成线圈且通过电流时,在线圈中会产生磁场,该磁场具有一定的能量。在电工技术中,把这样的线圈称为电感线圈,电感元件就是从实际电感线圈中抽象出来的理想化元件。

当电感线圈通过电流 i 时,在线圈中产生磁通 Φ ,如图 1-12 (a) 所示。若磁通 Φ 与线圈的 N 匝都交链,则

$$\Psi=N\Phi \quad (1-11)$$

Ψ 称为线圈的磁链,由于 Φ 与 Ψ 是由线圈本身通过电流 i 产生的,故称为自感磁通和自感磁链。磁链的大小和方向与线圈电流大小和方向有关,当 Φ 的方向与 i 的正方向符合右手螺旋定则,且线圈周围的介质为非铁磁物质时,电感元件的自感磁链 Ψ 与电流 i 的比值为

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

式中, L 称为电感元件的自感或电感。当 L 为一常数时,元件称为线性电感元件。其电路图形符号如图 1-12 (b) 所示。

在国际单位制中, L 单位为亨利 (H)。有时用毫亨 (mH) 和微亨 (μH) 作为电感的单位,它们之间的换算关系为

$$1\text{H}=10^3\text{mH}=10^6\mu\text{H}$$

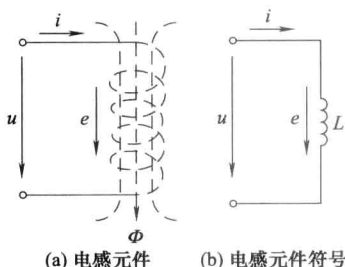


图 1-12 电感元件及其符号

电感元件内通过电流变化时,线圈中产生的磁通相应发生变化,根据电磁感应定律,线圈中会产生感应电动势。当感应电动势方向选取与电流方向一致,即与磁通符合右手螺旋定则时,电感元件两端产生的感应电动势为

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (1-13)$$

式(1-13)反映了感应电动势的大小与该时刻通过线圈电流变化率成正比,而与该时刻电流的大小无关。负号表示感应电动势的方向和电流的变化趋势相反,即感应电动势形成电流阻碍线圈中电流的变化。在图1-12(b)中,由于 u 、 e 参考方向一致, $u = -e$,则

$$u = L \frac{di}{dt}$$

电感元件工作在直流稳态电路时,由于通过元件电流恒定,电感元件两端感应电动势为零,因此在直流电路中,电感元件相当于短路。电感元件是可以储存磁场能量的元件,其储存的磁场能量为

$$W_L = \frac{1}{2} Li^2 \quad (1-14)$$

上式说明,电感元件在某时刻储存的磁场能量,与元件在该时刻流过电流的平方成正比。 W_L 单位为J。对于一个实际的线圈,因其绕制线圈导线具有一定电阻,当其电阻不能忽略时,可以把电感线圈用一个电感元件与电阻元件的串联来表示。

三、电容元件

电容元件是实际电容器的理想化模型,常用电容器有纸介电容器、瓷介电容器、电解电容器等。

电容器通常由两个极板中间隔以绝缘介质组成,图1-13(a)是平板电容器的结构原理示意图。电容器两端加上电源后,两个极板上会分别聚集等量异号电荷。当电源断开后,电荷仍能聚集在电容器的两个极板上,保持内部电场继续存在。所以电容器是一种能够储存电场能量的元件,图1-13(b)是电容器在电路中的一般表示符号。电容元件的电容量简称电容,其定义为:当电容元件极板上充有电荷 q ,端电压为 u ,且参考方向规定由正极板指向负极板时(图1-14),则极板上所带电量 q 与两极板间电压 u 的比值,称为电容元件的电容,用字母 C 表示,即

$$C = \frac{q}{u} \quad (1-15)$$

当 C 为一常量时,电容元件为线性电容,否则为非线性电容。本书只限讨论线性电容。

在国际单位制中,电容 C 的单位是法拉,简称法(F)。实用上法拉单位太大,故常用微法(μF)和皮法(pF)作单位,它们之间的换算关系为

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF}$$

当电容元件两端电压发生变化时,极板上聚集的电荷

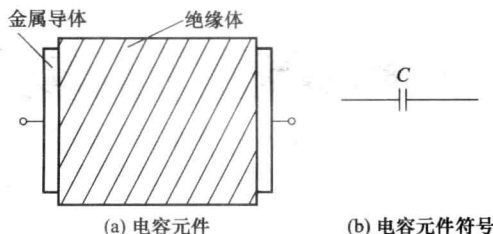


图 1-13 电容元件及其符号

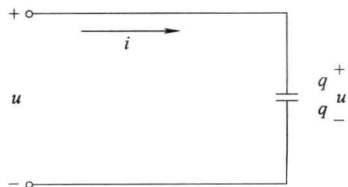


图 1-14 电容电路

也发生相应的变化,这时与电容元件相连的电路中就有电荷的定向移动,形成电流。当选定电容元件两端电压与电流为关联参考方向时,如图 1-14 所示,电流为

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

因为

$$q = Cu$$

所以

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1-16)$$

上式反映了电容元件中电流与其两端电压之间的关系,表明电容元件中电流与其两端电压变化率成正比。只有当电容元件两端电压发生变化时,才会有电流通过。如果电压不变,那么 $\frac{du}{dt} = 0$, 即虽有电压,电流也为零。因此电容元件对于直流稳态电路,相当于断路,即电容元件有隔断直流的作用。

若电容元件极板上电荷增加,即 $\frac{dq}{dt} > 0$, 则 $i > 0$, 电流实际方向与参考方向相同,与此同时,电容两端电压增加,电容器充电。

当电容元件极板上电荷减少,即 $\frac{dq}{dt} < 0$, 则 $i < 0$, 电流的实际方向与参考方向相反,同时电容两端电压减少,电容器放电。

当电容器两个极板上存储一定量电荷时,电容器两极板间就建立起一个电场,则电容器储存的电场能量为

$$W_C = \frac{1}{2} Cu^2 \quad (1-17)$$

上式说明,电容元件在某时刻储存的电场能量,与元件在该时刻两端电压的平方成正比。 W_C 的单位为 J。

第四节 电路的工作状态

电路在实际工作中,根据不同的需要和负载情况,通常具有三种工作状态,即负载状态、空载状态和短路状态。下面分别讨论电路工作在每一种状态的特点。

一、负载状态

图 1-15 所示为一简单直流电路。图中, U_S 与 R_S 串联表示一个实际电源的电路模型, R_L 表示负载。当开关 S 闭合时,电源向负载提供电流,并输出电功率,这时电路处于负载状态,电路中电流为

$$I = \frac{U_S}{R_S + R_L} \quad (1-18)$$

上式说明,当电源 U_S 和 R_S 为定值时,电路中电流由负载 R_L 决定, R_L 增大,电流减小;反之电流增大。负载两端电压

$$U = R_L I = U_S - R_S I$$

如果忽略连接导线电阻,电源两端电压 $U_1 = U$ 。这表明当电路处于负载状态时,由于电源存在内阻 R_S ,负载两端的电压总是小于电源电压 U_S 。

负载状态下的功率关系为

$$P = UI = U_S I - I^2 R_S = P_S - \Delta P$$

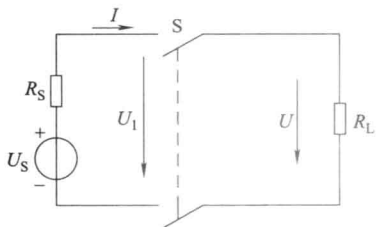


图 1-15 简单直流电路

式中, $P_S = U_S I$ 为电源产生的功率; $\Delta P = I^2 R_S$ 为电源内阻上消耗的功率; $P = UI = I^2 R_L$ 为负载消耗 (或电源输出) 的功率。

负载中有电流通过时, 由于电阻消耗电能产生热量, 会引起电气设备及导线温度升高。当温度过高时, 会破坏绝缘材料的绝缘性能。另外, 当电气设备所加电压过高时, 也可能使设备的绝缘被击穿损坏; 反之, 如果电气设备外加电压过低, 则使电气设备不能正常工作。

为了保证电气设备能安全、可靠和经济地工作, 设计制造单位对生产产品规定了电压、电流及功率的使用数据, 这些数据称为电气设备的额定值。额定值通常加下标 N 表示, 如额定电压 U_N 、额定电流 I_N 、额定功率 P_N 等。电气设备处于额定工作状态时, 能保证安全可靠、经济、合理地工作, 并能确保电气设备的使用寿命。

电气设备或元器件的额定值, 常标于铭牌上或写在说明书中。使用时应满足电气设备和元器件的各外部参数的额定要求, 并正确理解其意义, 以保证它们的正常工作。

必须指出: 对于电阻性负载, 如白炽灯、电阻炉等电气设备, 只要工作在额定电压下, 其电流及功率都将达到额定值。但对另一类设备, 如电动机、变压器、焊接设备等, 虽然在额定电压下工作, 但其电流和功率可能达不到额定值, 也可能超过额定值, 其工作状态取决于所接负载, 这在实际工作中是应该注意的。

二、开路状态

在图 1-15 中, 开关 S 断开, 电路中电流为零, 电路处于开路状态, 又称空载状态。电路开路时, 电源的端电压称为开路电压, 用 U_0 表示, 其数值为电源电压 U_S , 开路时, 电源不输出电功率, 内阻及负载上也没有功率的消耗。

综上所述, 电路开路状态的特征可归纳为

$$I=0; U_1=U_0=U_S; P=P_S=\Delta P=0$$

三、短路状态

电路中不同电位的两点被导线连接, 使两点间的电压为零, 这种现象称为短路。图 1-16 所示为电源被短路的情况。

由于连接导体的电阻接近为零, 电源内阻 R_S 值又很小, 所以电路中会产生很大的短路电流 $I_S = \frac{U_S}{R_S}$ 。此时的电源电压 U_S 全部降在内阻 R_S 上, 电源产生的电功率全部被电源内阻吸收, 并转换成热能而消耗, 使电源温度迅速上升以致损坏。

电路在短路状态时的特征可归纳为

$$U=0; I_S=\frac{U_S}{R_S}; P_S=\Delta P=R_S I_S^2; P=0$$

电路发生短路, 会造成电气设备的损坏, 甚至造成火灾事故, 危害很大, 应尽量加以避免。因此, 常使用熔断器或自动开关等对电路进行短路保护, 以便在发生短路事故时, 迅速切除故障电路, 确保电源和其他电气设备的安全运行。

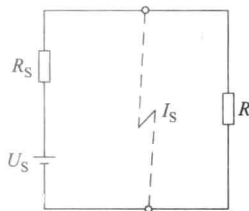


图 1-16 电源被短路

第五节 基尔霍夫定律

欧姆定律确定了电阻元件两端电压与电流之间的约束关系, 而在实际电路中还存在另外