

新世纪高等职业教育规划教材

Diangong Jishu

电工技术

主 编 程宏琦 舒为清

Diangong Jishu

China University of Mining and Technology Press

中国矿业大学出版社

TM-43

42

新世纪高等职业教育规划教材

电工技术

主 编 程宏琦 舒为清

副主编 田树钰 王邦林

中国矿业大学出版社

内容简介

本书是根据教育部制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》，并结合长期教学实践经验编写而成。全书共分12章，内容包括：电路的基本概念与基本定律、直流电路的分析方法、正弦交流电路、三相交流电路、电路的过渡过程、磁路与变压器、异步电动机、直流电动机、同步电动机、继电器—接触器控制、电工测量、安全用电。每章后有本章小结和习题，供读者练习与复习，部分章节还附有实验。

本书内容和实例丰富，例题分析透彻，习题安排合理，叙述简明扼要，分析深入浅出，有利于教师组织教学和学生自学。

本书课程体系结构先进，基础理论知识讲授以应用为目的，以“必需、够用”为度，可作为高职高专院校、成人高校、民办高校及本科院校所属的二级学院的机电、数控、模具、电气、自动化、机电一体化、计算机应用、计算机网络、光电技术、建筑装饰等专业电工技术课程的教材，同时可供相关专业的电大、自考学生使用，也可作为相关工程技术人员和本院校师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/程宏琦、舒为清主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2005. 8

ISBN 7 - 81107 - 127 - 4

I. 电… II. ①程…②舒 III. 电工技术
IV. TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第083412号

书 名 电工技术

主 编 程宏琦 舒为清

责任编辑 何 戈

责任校对 杜锦芝

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

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

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 19.75 字数 490 千字

版次印次 2005年8月第1版 2005年8月第1次印刷

定 价 25.00

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

本书依据教育部制定的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》、《中共中央关于加强素质教育的决定》和职业教育的特点,组织多所高职院校示范专业有丰富实践经验的教师编写而成。

高等职业教育是现代高等教育体系中的一个重要组成部分,它的任务是培养具有高尚职业道德,主动适应社会需求,既有专业理论知识、又有高级工技能的高等技术应用型专门人才。本书力求反映近年来电工技术的发展趋势,符合高等职业技术教育的教学规律和学生认知规律。本书编写的原则是:保证基础,精选内容,加强概念,面向更新,应用实际,利于自学。

本书的特点有:

(1) 基础理论知识讲授以应用为目的,以“必需、够用”为度。讲清原理,突出基本概念,重在电路的认知以及对电工技术的应用的介绍,理论证明和公式推导从简。

(2) 理论知识深入浅出,内容丰富实用,课程体系结构先进。在内容编排上做到相互衔接、配合、和谐、统一,以有利于教师组织教学和学生自学,从而体现适用性。

(3) 紧密结合教学需要,精选了部分经典实验,以供教师教学时选用。

(4) 例题、习题选择尽量结合工程实际,突出应用性,强调启发性。

本书由太原理工大学长治学院程宏琦老师经过多方调查,联系教学实际提出框架设想、撰写编写提纲、把握基本要求,并负责全书的组织、定稿和审阅工作。编写分工为:第一章、第二章、第五章、第六章由甘肃煤炭工业学校田树钰编写,第三章、第四章、第十章由江西工业工程职业技术学院舒为清编写,第七章、第八章、第九章由云南能源职业技术学院王邦林编写,第十一章、第十二章由江西工业工程职业技术学院张雯晖编写。对广大老师的辛勤劳动,在此一并感谢。

本书可作为高职高专机电、数控、模具、电气、自动化、机电一体化、计算机应用、计算机网络、光电技术、建筑装饰等专业电工技术课程的教材,同时可供相关专业的电大、自考学生使用,也可作为相关工程技术人员者和本科院校师生的参考用书。

电工技术发展迅速,内容广泛,由于时间紧迫和编者水平有限,书中的错误和缺点在所难免,敬请广大读者批评指正。

作者

2005. 6

目 录

第一章 电路的基本概念与基本定律	1
第一节 电路与电路模型	1
第二节 电路的基本物理量	2
第三节 电能和电功率	6
第四节 电路的三种状态	7
第五节 电阻	11
第六节 电源	14
第七节 基尔霍夫定律	17
第八节 电路中电位的概念及计算	20
实验一 基尔霍夫定律验证及电位测量实验	22
本章小结	23
思考题与习题	24
第二章 直流电路的分析方法	28
第一节 电阻的串联与并联	28
第二节 支路电流法	33
第三节 回路电流法	34
第四节 弥尔曼定理	36
第五节 叠加原理	37
第六节 星形—角形变换	39
第七节 等效电源	41
第八节 戴维南定理	43
第九节 诺顿定理	46
实验一 叠加原理的验证实验	47
实验二 戴维南定理的验证实验	48
本章小结	49
思考题与习题	50
第三章 正弦交流电路	55
第一节 正弦电压与电流	55
第二节 正弦量的相量表示法	59

第三节 单一参数的交流电路	63
第四节 RLC 串联电路	71
第五节 RLC 并联电路	75
第六节 谐振电路	79
第七节 功率及功率因数的提高	83
第八节 正弦交流电路的一般分析方法	87
第九节 非正弦周期性交流电路简介	90
实验一 日光灯电路的接线和功率因数的提高	93
本章小结	96
思考题与习题	98
第四章 三相交流电路	102
第一节 三相交流源	102
第二节 三相负载的星形连接	105
第三节 三相负载的三角形连接	108
第四节 三相电路的功率	110
第五节 三相不对称电路分析	111
实验一 三相电路中负载的连接	115
本章小结	117
思考题与习题	118
第五章 电路的过渡过程	122
第一节 过渡过程的产生与换路定律	122
第二节 RC 电路的过渡过程及三要素法	126
第三节 RL 电路的过渡过程	132
本章小结	133
思考题与习题	134
第六章 磁路与变压器	137
第一节 磁路的基本知识	137
第二节 交流铁心线圈电路	140
第三节 变压器的基本构造和作用	142
第四节 单相变压器	145
第五节 三相变压器	153
第六节 自耦变压器	160
第七节 仪用互感器	161
第八节 电焊变压器	163
第九节 电磁铁	164
实验一 单相变压器实验	166

本章小结·····	172
思考题与习题·····	173
第七章 异步电动机·····	175
第一节 三相异步电动机的分类和结构·····	175
第二节 三相异步电动机的工作原理·····	176
第三节 三相异步电动机的机械特性·····	180
第四节 三相异步电动机的铭牌数据·····	183
第五节 三相异步电动机的起动·····	187
第六节 三相异步电动机的调速·····	191
第七节 三相异步电动机的制动·····	193
第八节 三相异步电动机的选择·····	194
第九节 单相异步电动机·····	197
第十节 特种异步电动机·····	199
实验一 三相异步电动机的简单测试·····	203
实验二 测量电动机的绝缘电阻、空载电流及转速·····	206
本章小结·····	208
思考题与习题·····	209
第八章 直流电动机·····	212
第一节 直流电动机的构造·····	212
第二节 直流电动机的工作原理·····	213
第三节 直流电动机的机械特性·····	215
第四节 直流电动机的起动、反转与调速·····	217
本章小结·····	220
思考题与习题·····	220
第九章 同步电动机·····	222
第一节 同步电动机的基本结构和工作原理·····	222
第二节 同步电动机的电路分析·····	224
第三节 同步电动机的功角特性·····	225
第四节 同步电动机的功率因数调节和 U 形曲线·····	229
第五节 同步电动机的起动·····	230
本章小结·····	231
思考题与习题·····	231
第十章 继电—接触器控制·····	233
第一节 几种常用的低压电器·····	233
第二节 电气控制线路原理图·····	241

第三节 点动、长动及保护控制	246
第四节 联锁控制	249
第五节 自动控制	252
第六节 电气控制原理图的阅读	256
本章小结	259
思考题与习题	260
第十一章 电工测量	268
第一节 基础知识	268
第二节 磁电式仪表和电磁式仪表	270
第三节 电流与电压的测量	272
第四节 万用表的使用及测量	275
第五节 功率表的结构、使用及功率的测量	277
本章小结	286
思考题与习题	286
第十二章 安全用电	287
第一节 电工安全工具	287
第二节 保证安全的措施	290
第三节 接地和接零	292
第四节 漏电保护器	296
第五节 触电急救	301
本章小结	305
思考题与习题	306

第一章 电路的基本概念与基本定律

本章首先讨论电路的基本概念,其中包括电路模型、电路的基本物理量、电路的状态、电压源与电流源及其等效变换,并介绍电流和电压的参考方向。然后讨论基尔霍夫定律以及电位的概念和计算。这些内容是学习电工技术的基础,其中有些内容虽已在物理课中学过,但本课程在处理这些内容上与物理课不同,这里不是简单的重复,在学习时应该达到温故知新的目的。

第一节 电路与电路模型

电路就是电流所通过的路径。它是由电路元件按一定方式组合而成的。图 1-1 所示的电路是一个最简单的电路,它由电源、负载和中间环节(包括连接导线和开关)三部分组成。在电路中,随着电流的流动,进行着不同形式能量之间的转换。

电源是将非电能转换成电能的装置。例如干电池和蓄电池是将化学能转换成电能,而发电机是将机械能转换成电能。电源是电路中的能量来源,是推动电流流动的源泉,在它的内部进行着由非电能到电能的转换。随着科学技术的日益发展和各种能源的充分开发,目前水力资源、风力资源、原子能、太阳能、地热、潮汐等都已成为电能的来源。

负载是将电能转换成非电能的装置。例如电灯是将电能转换成光能,电炉是将电能转换成热能,电动机是将电能转换成机械能等。负载是电路中的受电器,是取用电能的装置,在它的内部进行着由电能到非电能的转换。

中间环节是把电源与负载连接起来的部分,起传输、控制和分配电能的作用。

上述电路常用于电力及一般用电系统中,称为电力电路,它主要起着实现电能的传输和转换的作用。对于这一类电路,一般要求在传输和转换过程中,尽可能地减少能量损耗以提高效率。

另外还有一类在电子技术、电子计算机和非电量电测中广泛应用的信号电路,其主要目的是传递和处理信号(例如语言、音乐、文字、图像、温度、压力等)。例如,图 1-2 所示是用热电偶测量温度的简单电路,热电偶将热信号(温差)转换成电信号(温差电动势),通过导线传递给毫伏表,然后由毫伏表指针偏转角度的大小,测出温度的高低。这里热电偶将温度的高低转换成电动势的大小,称为信号源;毫伏表将电信号转换成指针偏转角,起着负载的作用。在这种电路中,虽然也有能量的传输和转换问

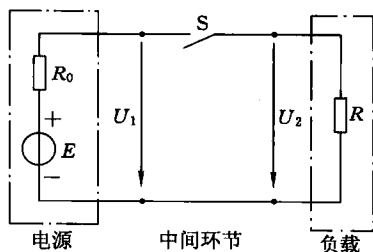


图 1-1 最简单的电路

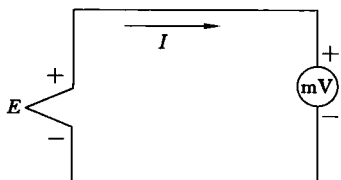


图 1-2 用热电偶测量温度的电路

题,但其数量很小,一般所关心的是信号传递的质量,如要求不失真、准确、灵敏、快速等。

由此可见,电路按其功能可以分为两类:一类是为了实现能量的传输和转换,这类电路称为电力电路;另一类是为了实现信号的传递和处理,这类电路称为信号电路。对于一个完整的电路来说,电源(或信号源)、负载和中间环节是三个基本组成部分,它们是缺一不可的。

由于电路元件的品种繁多,在电路分析中不可能因物而异,通常是将实际的电路元件理想化(或称模型化)。即在一定的条件下,突出其主要的电磁性质,忽略其次要因素,把它近似地看作理想电路元件,用一个理想电路元件或几个理想元件的组合来代替实际的电路元件。如用“电阻”这个理想的电路元件来代替电阻器、电阻炉、灯泡等消耗电能的实际元件,用内电阻 R_0 和电动势 E 相串联的理想元件的组合来代替实际的直流电源(参见图 1-1),等等。

用理想电路元件及其组合来代替实际的电路元件,就构成了与实际电路相对应的电路模型。我们在进行理论分析时所指的电路,就是这种电路模型。根据对电路模型的分析所得出的结论,有着广泛的实际指导意义。

第二节 电路的基本物理量

一、电流

(一) 电流的概念

电能的传递与转换,是通过电荷这一载体的定向移动来实现的。我们把电荷有规则的定向运动现象,称为电流。例如,处于电场中的金属导体,其中自由电子受电场力作用的定向移动,就形成了电流。

(二) 电流的大小和种类

电流的大小用电流强度来衡量,它在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流分为直流电流和交流电流两种。

1. 直流电流

方向不随时间变化而变化的电流,称为直流电流,简称直流,简称为“DC”。直流电流常用大写字母 I 表示。

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

2. 交流电流

大小和方向随时间变化而变化的电流,称为交流电流,简称交流,简称为“AC”。交流电流常用小写字母 i 表示。

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

电流强度在工程上常简称为电流。这样,“电流”一词便具有双重含义,它既表示电荷定向运动的物理现象,同时又表示了电流强度这样一个物理量。

(三) 电流的单位

我国计量单位采用国际单位制(SI),在国际单位制中,电流(I)的单位是安培,简称安(A);电量(Q)的单位是库仑(C);时间(t)的单位是秒(s)。

当每秒内通过导体横截面的电量为 1 C(库仑)时,则电流强度是 1 A(安)。计量小电流时,还可以用毫安(mA)或微安(μA)为单位;计量大电流时,以千安(kA)为单位。它们之间的关系如下:

$$\begin{aligned} 1 \text{ kA} &= 10^3 \text{ A} \\ 1 \text{ A} &= 10^3 \text{ mA} \\ 1 \text{ mA} &= 10^3 \mu\text{A} \end{aligned}$$

(四) 电流的方向

习惯上,我们规定正电荷移动的方向(或负电荷移动的反方向)为电流的方向(实际方向),如图 1-3 所示。

电流的方向是客观存在的,但在电路分析中,有时某段电流的实际方向难以判断,有时电流的实际方向还在不断改变。为了解决这一问题,需引入电流的参考方向这一概念。

电流的参考方向可以任意选定,在电路图中用箭头表示。当然,所选的电流参考方向不一定是电流的实际方向。当电流的参考方向与实际方向一致时,电流为正值($I > 0$);当电流的参考方向与实际方向相反时,电流为负值($I < 0$)。这样,在选定的电流参考方向下,根据电流的正负,就可以确定电流的实际方向,如图 1-4 所示。

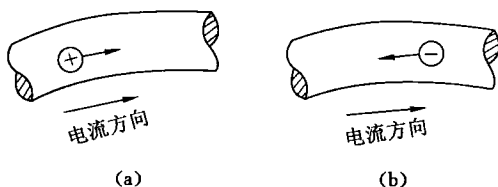


图 1-3 电流的方向

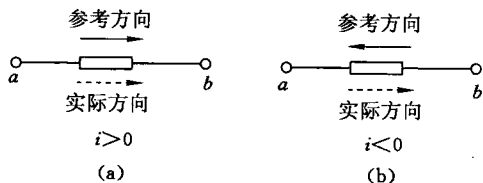


图 1-4 电流参考方向与实际方向的关系

在分析电路时,首先要假定电流的参考方向,并以此为准去分析计算,最后根据答案的正负来确定电流的实际方向。今后,本书电路图上所标出的电流方向都是指参考方向。

二、电压

(一) 电压的概念与大小

带电粒子在电场中运动必然要做功。如图 1-5 所示的 a 、 b 两极板, a 极板带正电, b 极板带负电,因而 a 、 b 两极板间形成电场,其方向由 a 指向 b ,如用导线将 a 、 b 两极板连接起来,则在电场力的作用下,正电荷由 a 经导线运动到 b (其实是自由电子由 b 运动到 a ,两者等效),这时电场力对电荷做功,这种电场力做功的能力用电压来度量。

a 、 b 两点之间的电压 U_{ab} 在数值上等于单位正电荷在电场力作用下,由 a 点运动到 b 点电场力所做的功,即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-3)$$

电路中两点之间的电压也称为两点之间的电位差,即

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-4)$$

式中: U_a 为 a 点的电位; U_b 为 b 点的电位。

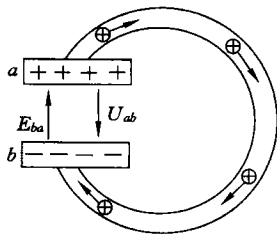


图 1-5 电压与电动势

(二) 电压的单位

在国际单位制中,电压的单位是伏特,简称伏(V)。当计量较大的电压时,用千伏(kV)来表示;当计量小电压时,用毫伏(mV)、微伏(μV)来表示。它们之间的关系如下:

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$$

$$1 \text{ V} = 10^3 \text{ mV}$$

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

(三) 电压的方向

与电流一样,电压也具有方向性。电压的实际方向规定为由高电位点指向低电位点。但在电路分析时,也需选取电压的参考方向,当电压的参考方向与实际方向一致时,电压为正($U>0$);相反时,电压为负($U<0$)。电压的参考方向可用箭头表示,也可用正(+)、负(-)极性表示,如图 1-6 所示。

在图 1-7(a)中,电压的参考方向选作由 a 指向 b ,则 $U=U_{ab}=2 \text{ V}$;而在图(b)中,电压的参考方向选作由 b 指向 a ,则 $U'=U_{ba}=-U_{ab}=-2 \text{ V}$ 。由此可见,不管参考方向如何选取,同样都说明了 a 点的电位高于 b 点的电位。

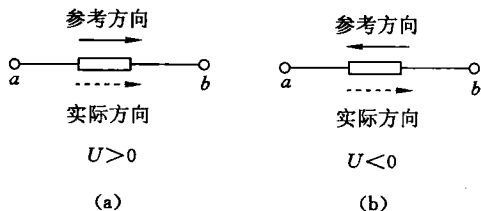


图 1-6 电压参考方向与实际方向的关系

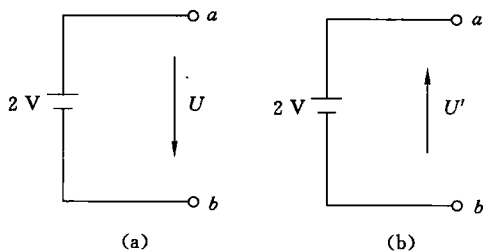


图 1-7 不同的电压参考方向

三、电动势

在图 1-5 所示的电路中,正电荷在电场力作用下不断从 a 极板流向 b 极板,如果没有一种外力作用,运动到 b 极板的正电荷将逐渐增多使电位逐渐升高,电极 a 因正电荷的减少而使电位逐渐降低,则 a 、 b 两点之间的电位差就会减小,最后为零;连接导线中的电流也将减小,最后为零。由于电场力的作用,电极 b 上的正电荷不能逆电场而上,为了维持导线中的电流,就必须使 a 、 b 两极板间保持一定的电压,这必然要借助于外力使运动到 b 极板的正电荷经过另一路径(如内电路)再流向 a 极板,在这种过程中外力要克服电场力做功。这种外力是非电场力,我们称它为电源力。为了衡量电源力对电荷做功的能力引出了电动势这个物理量。电动势在数值上等于电源力将单位正电荷由低电位(b 点)推到高电位(a 点)所做的功,用 E_{ba} 表示,即

$$E_{ba} = \frac{W_{ba}}{Q} \quad (1-5)$$

式中: W_{ba} 表示电源力克服电场力把 Q 电量的正电荷从负极移到正极所做的功。

在电源内部,正是由于电源力克服电场力做功,才使得正电荷的电位能升高,把非电能转化为电能,实现了能量的转化过程。电动势的单位与电压的单位相同。

电动势的实际方向规定为从低电位点指向高电位点,即由负极指向正极。因此,在电动势的方向上,电位是逐步升高的。

在直流电路中,电动势的实际方向很容易通过直观来确定。而在交流电路中,由于电动势的实际方向是随时间而改变的,所以在电路图上标出的仍为正方向,至于它的实际方向可由交流电动势的时间函数的正负值表明。

顺便指出,一个元件或者一段电路中电流和电压的参考方向是可以任意设定的,两者可以一致,也可以不一致。当电流和电压的参考方向一致时,称为关联参考方向,如图 1-8 中(a)、(b)所示;当电流和电压的参考方向相反时,称为非关联参考方向,如图 1-8 中(c)、(d)所示。

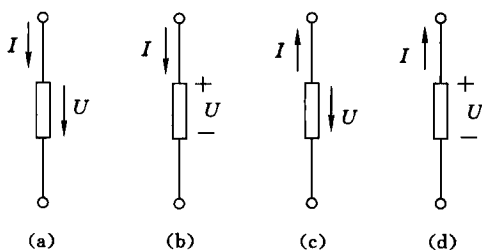


图 1-8 关联参考方向与非关联参考方向

当 U 与 I 参考方向一致,采用关联参考方向时,则其电压与电流的关系是 $U=RI$;当 U 与 I 参考方向不一致,采用非关联参考方向时,则电压与电流的关系是 $U=R(-I)=-RI$ 。可见,在列写电压与电流的关系式时,式中的正负号由它们的参考方向是否一致来决定。

在电路中,负载上一般设定为关联参考方向,电源上一般设定为非关联参考方向。

例 1-1 在图 1-9(a)中,五个元件代表了电源或负载电阻,图中标出了电流和电压的参考方向。

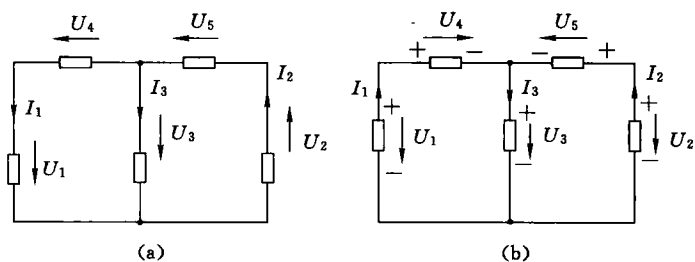


图 1-9

已知: $U_1=100\text{ V}$, $U_2=-70\text{ V}$, $U_3=60\text{ V}$, $U_4=-40\text{ V}$, $U_5=10\text{ V}$, $I_1=-4\text{ A}$, $I_2=2\text{ A}$, $I_3=6\text{ A}$ 。试标出各电流的实际方向和电压的实际极性。

解 在图 1-9(a)中,各元件都标出了电流、电压的参考方向,已知 U_1 、 U_3 、 U_5 、 I_2 和 I_3 的值为正,这表示实际方向与设定的参考方向一致。 U_2 、 U_4 、 I_1 为负值,表示实际方向与参考方向相反。因而得出如图 1-9(b)所示各元件的电压、电流的实际方向。

第三节 电能和电功率

一、电能

在电流流过电路的同时,电路内发生了能量的转换。在电源内,电源力不断地克服电场力对电荷做功,正电荷在电源内获得了能量,把非电能转换成电能。在外电路中,正电荷在电场力的作用下不断地通过负载而放出能量,把电能转换成其他形式的能。由此可见,在电路中,电荷只是一种转换和传输能量的媒介物,电荷本身并不产生或消耗任何能量。通常所说的用电,就是指取用电荷所携带的能量。

从非电能转换来的电能 W_E 等于电源力做的功,也就等于电源的电动势(E)与被移动电量(Q)的乘积,即

$$W_E = EQ = EI t$$

此电能可分为两部分:一是外电路取用的电能(即电源输出的电能) W ;二是内电路消耗掉的电能 W_0 。根据能量守恒定律得

$$W_E = W + W_0 \quad (1-6)$$

外电路取用的电能等于电场力做的功,也等于电路两端的电压 U (即电源的端电压)与受电场力作用而移动的电量 Q 的乘积,即

$$W = UQ = UI t$$

由以上公式得

$$W_0 = W_E - W = (E - U)It$$

式中: $(E-U)$ 为电源内部电压降,用 U_0 表示。则

$$W_0 = U_0 It$$

由此可得电路的能量平衡方程式为

$$EI t = UI t + U_0 It \quad (1-7)$$

式(1-7)表明:外电路取用的电能 $UI t$ 与内电路消耗的电能 $U_0 It$ 之和等于电源转化来的电能 EIt ,这就是电路的能量守恒定律。

二、电功率

单位时间内消耗的电能称为电功率,简称功率,用 P 表示。

根据电压的定义,电场力所做的功为 $W=QU$ 。单位时间内电场力所做的功,即负载取用的电功率为

$$P = \frac{W}{t} = \frac{QU}{t} = IU \quad (1-8)$$

或

$$P = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1-9)$$

可见,当电流一定时,电阻所吸收的功率与电阻成正比;当电压一定时,电阻吸收的功率与电阻成反比。

根据电动势的定义,电源所做的功为 $W_E=QE$,单位时间内电源所做的功,即电源产生

的电功率为

$$P_E = \frac{W_E}{t} = \frac{QE}{t} = IE \quad (1-10)$$

电源内阻消耗的电功率为

$$P_0 = U_0 I = R_0 I^2 \quad (1-11)$$

式中: R_0 为电源的内阻。

将式 $E = U_0 + U$ 两边各乘以 I , 可得

$$EI = U_0 I + UI = R_0 I^2 + UI \quad (1-12)$$

或

$$P_E = P_0 + P$$

即电源产生的电功率等于负载吸收的电功率和内阻消耗的电功率之和。式(1-12)称为电路的功率平衡方程。

在国际单位制中,能量的单位是焦耳,简称焦(J);功率的单位是瓦特,简称瓦(W)。有时电能的单位可用千瓦时(kWh)表示,1千瓦时就是指1千瓦功率的设备,使用1小时所消耗的电能。如100W的灯泡,工作10h,其消耗的电能就是1kWh,1千瓦时俗称1度电。1 kWh = 1 000 W × 3 600 s = 3.6 × 10⁶ J。

例 1-2 有一只60W、220V的白炽灯,接在220V的电源上,求通过白炽灯的电流是多少?若耗电为1kWh要用多少小时?

解 由于 $P = UI$

所以

$$I = \frac{P}{U} = \frac{60}{220} \approx 0.27 \text{ (A)}$$

由于

$$P = 60 \text{ W} = 0.06 \text{ (kW)}$$

则使用小时数为

$$t = \frac{1}{0.06} \approx 16.7 \text{ (h)}$$

第四节 电路的三种状态

现就图1-1所示的最简单的电路来讨论电路的状态。图中以 U_1 表示电源的端电压, U_2 表示负载的端电压。

一、空载状态

空载状态又称断路或开路状态,如图1-10所示,它是电路的一个极端运行状态,当开关断开或连接导线折断时,就会出现这种状态。电路空载时,外电路所呈现的电阻可视为无穷大,故电路具有下列特征:

- (1) 电路中的电流为零,即 $I = 0$ 。
- (2) 电源的端电压等于电源的电动势。即

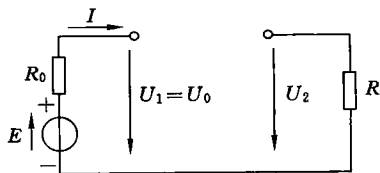


图 1-10 电路的空载状态

$$U_1 = E - R_0 I = E$$

此电压称为空载电压或开路电压,用 U_0 表示。由此可以得出测量电源电动势的方法。

(3) 电源的输出功率 P_1 和负载所吸收的功率 P_2 均为零。这是因为,电源对外不输出电流,故 $P_1 = U_1 I = 0, P_2 = U_2 I = 0$ 。

二、短路状态

当电源的两输出端钮由于某种原因(如电源线绝缘损坏、操作不慎等)相接触时,会造成电源被直接短路的情况,如图 1-11 所示,它是电路的另一个极端运行状态。当电源直接短路时,外电路所呈电阻可视为零,故电路具有下列特征:

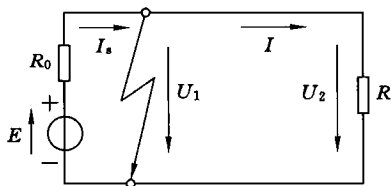


图 1-11 电路的短路状态

(1) 电源中的电流最大,输出电流为零。

此时电源中电流为

$$I_s = \frac{E}{R_0} \quad (1-13)$$

此电流称为短路电流。在一般供电系统中,电源的内电阻 R_0 很小,故短路电流 I_s 很大。但对外电路无电流输出,即 $I=0$ 。

(2) 电源和负载的端电压均为零,即

$$U_1 = E - R_0 I_s = 0$$

$$U_2 = 0$$

而

$$E = R_0 I_s$$

上式表明电源的电动势全部降落在电源的内阻上,因而无输出电压。

(3) 电源的输出功率 P_1 和负载所吸收的功率 P_2 均为零,这时电源电动势所发出的功率全部消耗在内阻上。这是因为,电源对外电路既不输出电压,也不输出电流,故 $P_1 = U_1 I = 0, P_2 = U_2 I = 0$ 。

而这时电动势所发出的功率为

$$P_E = E I_s = \frac{E^2}{R_0} = I_s^2 R_0 \quad (1-14)$$

这些功率全部消耗在内阻上。这就使电源的温度迅速上升,有可能导致烧毁电源及其他电气设备,甚至引起火灾,或由于短路电流产生强大的电磁力而造成机械上的损坏。电源的短路,通常是一种严重事故,应力求防止,为此在实用电路中必须有短路保护装置,熔断器就是最常用的短路保护装置。但是,有时为了满足电路工作的某种需要,可以将局部电路(如某一电路元件或某一仪表等)短路(称为短接)或按技术要求对电源设备进行短路试验,这些是属于正常现象。

三、负载状态

电路的以上两种状态都是极端状态,而负载状态则是一般的有载工作状态,如图 1-12 所示。此时电路有下列特征:

(1) 电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-15)$$

当 E 、 R_0 一定时,电流由负载电阻 R 的大小决定。

(2) 电源的端电压为

$$U_1 = E - R_0 I \quad (1-16)$$

电源的端电压总是小于电源的电动势。这是因为电源的电动势 E 减去内阻压降 $R_0 I$ 后,才是电源的输出电压 U_1 。

若忽略线路上的压降,则负载的端电压 U_2 等于电源的端电压 U_1 。

(3) 电源的输出功率为

$$P_1 = U_1 I = (E - R_0 I) I = EI - R_0 I^2 \quad (1-17)$$

式(1-17)表明,电源电动势发出的功率 EI 减去内阻上消耗的功率 $R_0 I^2$,才是供给外电路的功率。

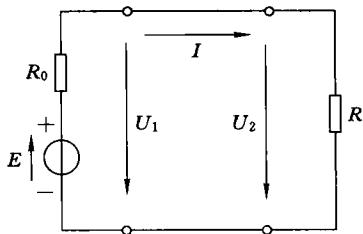


图 1-12 电路的负载状态

四、电气设备的额定值

电阻上通过电流时要消耗电能,将其转变为热能并使导体发热,这种现象称为电流的热效应。

在时间 t 内电阻产生的热量为

$$Q = I^2 R t \quad (1-18)$$

利用电流的热效应可以制成电炉、电烙铁等电热装置。但它也有不利的一面,因为任何电气设备,其导电部分都有电阻,故通电后都要发热。例如电机和变压器的绕组以及电阻元件,由于发热就会产生温升。如果在使用时温升过高,就会导致绝缘的损坏,甚至烧坏设备或元器件。为了保证正常工作,制造厂在电器的铭牌上都要标出它的电压、电流或功率的限额,称为额定值,以此作为使用的根据。

电气设备长期通过的最大电流称为该电气设备的额定电流,用 I_N 表示。

如果作用在绝缘材料上的电压过高,绝缘材料就会因承受过大的电场强度而造成击穿,丧失绝缘作用。为了限制电气设备的电流及限制绝缘材料承受的电压,把允许加在电气设备上的电压定为该设备的额定电压,用 U_N 表示。

对于电阻性负载,电气设备的额定电压和额定电流的乘积就等于它的额定功率,即 $P_N = U_N I_N$ 。

电气设备在额定电压和额定电流,即额定功率条件下工作称为额定工作状态。这种工作状态又称为达到了满载。电气设备工作在额定状态是最经济合理和安全可靠的,并且能够保证电气设备的使用寿命达到设计值。

当负载增加超过额定值时,称为过载。由于温度升高需要一定时间,因此电气设备过载