



银领工程系列

电工技术

赵会军 主 编

高 嵩 副主编



高等教育出版社
Higher Education Press

银领工程系列

电 工 技 术

赵会军 主 编
高 嵩 副主编

高等教育出版社

内容提要

本书从高等职业院校培养应用型人才的目标出发,结合编者多年来在教学改革、课程建设等方面的经验编写而成。本书从电工技术的基本应用出发,主要内容包括:直流电路、正弦交流电路、电路的瞬态过程、磁路和变压器、电动机、继电-接触器控制系统与 PLC、供电与安全用电、电工测量基础。每章后附有小结、习题,书末附习题参考答案,便于自学。

本书结构合理、重点突出,内容深入浅出,通俗易懂。突出职业技术教育特色,注重了工程技术应用能力的培养。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高等学校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校非电专业的教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术 / 赵会军主编. —北京:高等教育出版社,
2006.11

ISBN 7-04-020184-4

I. 电... II. 赵... III. 电工技术-高等学校:技
术学校-教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 120810 号

策划编辑	孙 杰	责任编辑	王莉莉	封面设计	王凌波	责任绘图	尹 莉
版式设计	王艳红	责任校对	俞声佳	责任印制	韩 刚		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000
经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京中科印刷有限公司

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16
印 张 14.75
字 数 350 000

版 次 2006 年 11 月第 1 版
印 次 2006 年 11 月第 1 次印刷
定 价 17.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 20184-00

出版说明

为了认真贯彻《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》，落实《2003—2007 年教育振兴行动计划》，缓解国内劳动力市场技能型人才紧缺现状，为我国走新型工业化道路服务，自 2001 年 10 月以来，教育部在永州、武汉和无锡连续三次召开全国高等职业教育产学研经验交流会，明确了高等职业教育要“以服务为宗旨，以就业为导向，走产学研结合的发展道路”，同时明确了高等职业教育的主要任务是培养高技能人才。这类人才，既要能动脑，更要能动手，他们既不是白领，也不是蓝领，而是应用型白领，是“银领”。从而为我国高等职业教育的进一步发展指明了方向。

培养目标的变化直接带来了高等职业教育办学宗旨、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面的改变。与之相应，也产生了若干值得关注与研究的新课题。对此，我们组织有关高等职业院校进行了多次探讨，并从中遴选出一些较为成熟的成果，组织编写了“银领工程”丛书。本丛书围绕培养符合社会主义市场经济和全面建设小康社会发展要求的“银领”人才的这一宗旨，结合最新的教改成果，反映了最新的职业教育工作思路和发展方向，有益于固化并更好地推广这些经验和成果，很值得广大高等职业院校借鉴。我们的这一想法和做法也得到了教育部领导的肯定，教育部副部长吴启迪专门为首批“银领工程”丛书提笔作序。

我社出版的高等职业教育各专业领域技能型人才培养培训工程系列教材也将陆续纳入“银领工程”丛书系列。

“银领工程”丛书适合于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2006 年 3 月

前 言

本书从高等职业技术学院培养应用型技术人才的目标出发,结合了编者多年来在教学改革、课程建设等方面的经验,在书的结构、内容选取等方面力求体现高等职业教育的特点,满足当前高职高专教学的需要。

本书主要有以下几方面的特点:

一、转变教育观念,树立大众化教育的人才观、质量观和教育观,针对目前高职高专人才培养目标和生源情况,适当降低理论深度,减少定量分析和推导计算;在讲解上,力求做到通俗易懂,内容精炼,注重对概念的理解与应用;尽量通过定性解释与分析得出相应的结论。

二、在内容的选取上,以应用为目的,以“必需、够用”为度,重点放在“掌握概念,强化应用,培养能力”上,尽量与生产、生活实践相结合,注重应用能力和工程意识的培养。

电路基础理论部分精选了教学内容,降低了理论、例题、习题的难度。直流电路突出了电路基本定律、定理和分析方法的运用;交流电路注重了基本概念的讲述和工程意识的培养,结合工程实际,主要对电路的有效值、功率进行分析计算,把相量分析列为选学内容。

电动机、变压器、继电-接触器控制与 PLC、电工测量等教学内容,简化了内部工作原理的分析,突出了特性分析和使用问题,注重了工程技术应用能力的培养。

三、精选了每章的习题,并附有参考答案,便于自学。

四、本书参考学时数为 50~70 学时,其中实验为 10~16 学时。各章节内容安排相对独立,便于不同专业、不同学时的课程根据需要选择教学内容。其中打“*”号的为拓宽或选学内容。

本书由承德石油高等专科学校赵会军任主编,高嵩任副主编,其中第 2 章、第 6 章第 6 节、附录由赵会军编写;第 1 章由高嵩编写;第 7 章、第 8 章由王和平编写;第 5 章、第 6 章的第 1~5 节由刘科编写;第 3 章、第 4 章由曹登场编写。全书由赵会军负责统稿。

本书由北京理工大学刘蕴陶教授主审,他认真地审阅了全部书稿,提出了许多宝贵的建议和修改意见,在编写过程中还得到了高等教育出版社及许多老师的大力支持和帮助,在此表示诚挚的谢意。

限于编者的水平,书中难免有错误和不妥之处,恳切希望使用本书的师生和广大读者提出批评和改进意见。

编 者

2006 年 7 月

目 录

第 1 章 直流电路	1	2.1.2 瞬时值、最大值和有效值	34
1.1 电路模型	1	2.1.3 相位、初相位、相位差	35
1.1.1 电路的作用与组成部分	1	2.2 正弦量的相量表示法	36
1.1.2 实际电路的电路模型	2	2.2.1 复数	37
1.2 电路的基本物理量	3	2.2.2 正弦量的相量表示	37
1.2.1 电流	3	2.2.3 相量图	37
1.2.2 电压	4	2.3 单一参数的交流电路	38
1.2.3 电位	5	2.3.1 电阻元件的交流电路	38
1.2.4 电动势	6	2.3.2 电感元件的交流电路	39
1.2.5 功率	6	2.3.3 电容元件的交流电路	42
1.3 电气设备的额定值和电路状态	8	2.4 R 、 L 、 C 组合的交流电路	44
1.3.1 电气设备的额定值	8	2.4.1 RLC 串联的交流电路	44
1.3.2 电路状态	8	2.4.2 RLC 并联的交流电路	46
1.4 电路基本定律	10	2.5 交流电路的功率	48
1.4.1 欧姆定律	10	2.5.1 瞬时功率	48
1.4.2 基尔霍夫定律	10	2.5.2 有功功率	49
1.5 电压源、电流源及其等效变换	13	2.5.3 无功功率	50
1.5.1 电压源	13	2.5.4 视在功率	50
1.5.2 电流源	14	2.5.5 功率因数的提高	52
1.5.3 实际电源两种模型的等效变换	15	2.6 交流电路中的谐振	53
1.5.4 有源支路的简化	15	2.6.1 串联谐振	54
1.6 电阻的串联与并联	17	2.6.2 并联谐振	55
1.6.1 电阻的串联	17	* 2.7 正弦交流电路的相量法求解	56
1.6.2 电阻的并联	19	2.7.1 复数的四则运算	56
1.7 支路电流法	20	2.7.2 RLC 单一参数电路的相量法分析	57
1.8 叠加定理	21	2.7.3 一般交流电路的相量法分析	58
1.9 戴维宁定理	23	2.8 三相交流电源	61
本章小结	26	2.8.1 三相对称电压	61
习题	27	2.8.2 三相电源的连接	62
第 2 章 正弦交流电路	33	2.9 三相负载	63
2.1 正弦量	33	2.9.1 三相负载的星形联结	64
2.1.1 周期、频率和角频率	34	2.9.2 三相负载的三角形联结	66

* 2.9.3 三相电路的相量法分析	68	第5章 电动机	108
2.10 三相电路的功率	69	5.1 电机的种类和主要用途	108
2.10.1 三相总功率与各相功率的关系	69	5.2 三相异步电动机的结构和工作原理	109
2.10.2 三相对称负载的功率	70	5.2.1 三相异步电动机的结构	109
本章小结	71	5.2.2 三相异步电动机的工作原理	110
习题	73	* 5.3 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	113
第3章 电路的瞬态过程	78	5.3.1 三相异步电动机的电磁转矩	113
3.1 瞬态过程的产生和换路定律	78	5.3.2 三相异步电动机的机械特性	113
3.1.1 瞬态过程产生的原因	78	5.4 三相异步电动机的使用	116
3.1.2 换路定律	79	5.4.1 三相异步电动机的铭牌和技术数据	116
3.2 分析一阶电路瞬态过程的三要素法	80	5.4.2 三相异步电动机的起动	118
3.3 RC 电路的充、放电过程	83	5.4.3 三相异步电动机的调速	122
3.3.1 RC 电路的充电过程	83	5.4.4 三相异步电动机的制动	123
3.3.2 RC 电路的放电过程	84	5.5 单相异步电动机	125
3.4 RL 电路的瞬态过程	86	5.5.1 单相异步电动机的结构和工作原理	125
3.4.1 RL 电路与直流电压接通	86	5.5.2 起动方法	126
3.4.2 RL 电路的短接	87	5.5.3 单相异步电动机应用实例	127
3.4.3 RL 电路的断开	88	* 5.6 直流电动机的结构和工作原理	127
本章小结	89	5.6.1 直流电动机的基本结构	127
习题	89	5.6.2 直流电动机的工作原理	129
第4章 磁路和变压器	92	5.6.3 直流电动机的铭牌和分类	130
4.1 磁路的基本概念和物理量	92	* 5.7 直流电动机的使用	132
4.1.1 磁路的基本物理量	93	5.7.1 直流电动机的起动	132
4.1.2 磁路的欧姆定律	94	5.7.2 直流电动机的反转	133
4.2 变压器	96	5.7.3 直流电动机的调速	133
4.2.1 变压器的用途	96	5.7.4 直流电动机的制动	134
4.2.2 变压器的基本结构	96	本章小结	135
4.2.3 变压器基本工作原理	97	习题	136
4.2.4 变压器的使用	101	第6章 继电-接触器控制系统与 PLC	138
4.2.5 变压器的分类	102	6.1 常用低压电器	138
4.3 特种变压器	103	6.1.1 刀开关	138
4.3.1 自耦变压器	103	6.1.2 组合开关	139
4.3.2 互感器	104		
4.3.3 整流变压器	105		
本章小结	106		
习题	107		

6.1.3 按钮	139	第7章 供电与安全用电	177
6.1.4 空气断路器	140	7.1 发电、输电、配电概述	177
6.1.5 熔断器	140	7.1.1 电能的生产	177
6.1.6 交流接触器	141	7.1.2 电力系统的组成	177
6.1.7 热继电器	142	7.1.3 工厂供电	179
6.1.8 中间继电器	143	7.2 安全用电	180
6.2 电气原理图的绘制规则	143	7.2.1 电流对人体的伤害	180
6.2.1 电气元件的图形和文字符号	143	7.2.2 防止触电的保护措施	183
6.2.2 电气原理图的绘制规则	146	7.2.3 触电急救	184
6.3 三相异步电动机的基本控制		7.2.4 安全用电实用知识	187
电路	147	本章小结	189
6.3.1 点动控制	147	习题	190
6.3.2 起停控制	148	第8章 电工测量基础	191
6.3.3 多地控制电路	148	8.1 常用电工仪表	191
6.3.4 正反转控制	149	8.1.1 常用电工仪表的分类及表面标记	191
6.4 行程控制	151	8.1.2 电工仪表的组成及工作原理	193
6.4.1 行程开关	151	8.2 电工测量技术	196
6.4.2 限位控制	151	8.2.1 电工仪表的误差和量程选择	196
6.4.3 自动往复行程控制	152	8.2.2 电流的测量	198
6.5 时间控制	153	8.2.3 电压的测量	199
6.5.1 时间继电器	153	8.2.4 功率的测量	199
6.5.2 电动机的星-三角起动	154	8.2.5 电度表及电能的测量	202
6.6 可编程控制器(PLC)的结构和		8.3 万用表	204
工作原理	155	8.3.1 模拟万用表	204
6.6.1 PLC的基本结构	156	8.3.2 数字万用表	205
6.6.2 PLC的基本工作原理	157	8.4 兆欧表及绝缘电阻测量	212
6.7 PLC的指令系统	161	8.4.1 兆欧表的工作原理	212
6.7.1 基本指令	162	8.4.2 绝缘电阻的测量	212
6.7.2 专用指令	165	本章小结	213
6.8 PLC程序设计基础及应用	167	习题	214
6.8.1 PLC编程原则	167	附录 常用电路元件——电阻、	
6.8.2 应用举例	169	电容简介	215
本章小结	172	部分习题参考答案	222
习题	173	参考文献	225

第 1 章

直 流 电 路

内 容 提 要

本章主要讨论电路的组成及电路模型,电路的基本物理量,电流、电压的参考方向和电路的基本定律,应用电路的基本定律对直流电路进行分析计算,重点介绍电源等效变换、支路电流法、叠加定理、戴维宁定理。有关电路的基本概念、基本定律和分析方法,不仅适用于直流电路,而且具有普遍的适用意义,故本章的内容非常重要,是学习“电工技术”课程的重要理论基础。

1.1 电 路 模 型

1.1.1 电路的作用与组成部分

电路是电流的流电路径,是为了实现某种功能,由一些电气设备和元器件按一定方式连接而成的。

实际电路主要由电源、负载和中间环节三部分组成:电源是提供电能或电信号的设备,如发电机、电池、话筒等;负载是用电或输出信号的设备,如电动机、电炉、扬声器等;中间环节是对电能或信号起到传输、控制作用的设备,如导线、开关电器、保护电器等。

在电气化、信息化的社会里,电气设备和电子产品的应用非常广泛,实际电路种类繁多,但从其作用来看,可以分为以下两大类:

一类用于电能的传送、分配与转换。例如电厂的发电机产生电能,通过变压器、输电线等送到用户,并通过负载把电能转换成其他形式的能量,如灯光照明、电动机动力用电等,这就组成了一个十分复杂的供电系统。对这类电路的主要要求是传送的电功率要足够大、效率要高。通常称这类电路为电力电路(或称强电电路)。图 1.1.1 所示的手电筒电路就是一个简单的电力电路。

另一类电路则用于信息的传递和处理。例如计算机、自动控制设备以及日常生活中的收音机、电视机等电子电路。通常这类电路中的电压较低、电流较小,称为信号电路(或称弱电电路)。图 1.1.2 所示的扩音机示意图就是一种信号电路,它由话筒、放大器和扬声器三部分组成。话筒是信号源,它将声音转换成电信号;放大器是中间环节,用来放大电信号;扬声器是负载,它将放大后的电信号还原成声音。

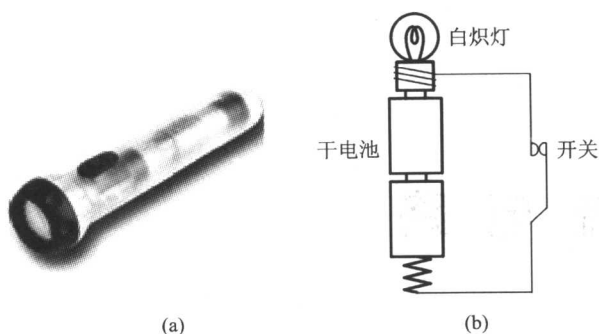


图 1.1.1 手电筒及其电路

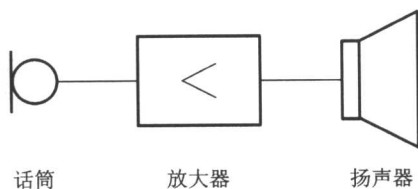


图 1.1.2 扩音机示意图

1.1.2 实际电路的电路模型

1. 理想电路元件

实际的电路千差万别,是由一些起不同作用的元器件所组成,如发电机、变压器、电动机、电阻器等,它们的电磁性质是很复杂的。为了便于分析与计算实际电路,在一定条件下常忽略元器件的次要电磁性质而突出其主要电磁性质,使之理想化,把它看成理想电路元件。例如电阻炉,它在通电工作时能把电能转变成热能,消耗电能,具有电阻的性质(主要电磁性质),但其电压和电流还会产生电场和磁场,也具有电容和电感的性质(次要电磁性质)。故可用只具有消耗电能性质的电阻元件来表示。

理想电路元件是一种理想化的模型,简称为电路元件。常用的电路元件有电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源、理想电流源,据国家标准规定,其图形符号和文字符号如图 1.1.3 所示。

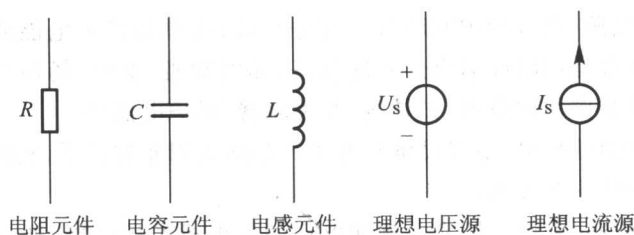


图 1.1.3 常用电路元件的图形符号和文字符号

2. 电路模型

由理想电路元件组成的电路称为理想电路模型,简称电路模型,如图 1.1.1 所示的手电筒实际电路,若把白炽灯看成是电阻元件,用 R 表示,考虑到干电池内部自身消耗的电能,把干电池看成是电阻元件 R_0 和理想电压源 U_s 串联,连接导线看成为理想导线(其电阻为零)。这样,手电筒的实际电路就可以用图 1.1.4 所示的电路模型来表示。

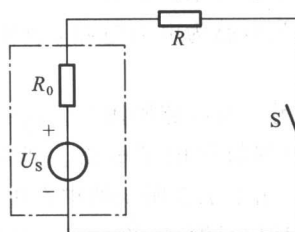


图 1.1.4 手电筒电路模型

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

带电粒子(电子、离子等)有规则的定向移动形成电流。

1. 电流的大小

电流的大小指单位时间内通过导体横截面的电荷量。设在 dt 时间内通过导体截面的电荷为 dq , 则电流表示为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.1)$$

小写字母 i 表示随时间变化的电流, 如果电流的大小和方向都不随时间变化, 称为恒定电流, 简称直流, 常用大写字母 I 表示, 即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.2.2)$$

2. 电流的单位

国际单位制(SI)中, 电荷的单位是 C(库[仑]), 时间的单位是 s(秒), 电流的单位是 A(安[培]), 工程中还经常用 mA(毫安)和 μA (微安)等。

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

3. 电流的实际方向及参考方向

习惯上规定正电荷的运动方向为电流的实际方向, 电流的实际方向是客观存在的。在比较简单的电路中, 很容易判断出电流的实际方向。对复杂电路中某一段电路里电流的实际方向很难立即判断出来, 在交流电路中电流的实际方向还会不断改变, 因此在电路中很难标明电流的实际方向。在复杂电路分析中, 必须通过列写电路方程来求解电流, 如果不知道电流的方向, 就写不出电路方程。

为了解决以上问题, 引入电流的“参考方向”这一概念, 即在分析电路之前, 首先假设一个电流方向, 称其为电流的参考方向(或正方向)。

电流的参考方向可以任意选定。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($I < 0$)。因此, 在参考方向选定之后, 电流之值才有正、负之分。电流的参考方向如图 1.2.1 所示。

电流的参考方向可用箭头表示, 也可用电流符号加字母双下标表示, 如图 1.2.2 所示。 I_{ab} 表示电流从 a 流到 b。

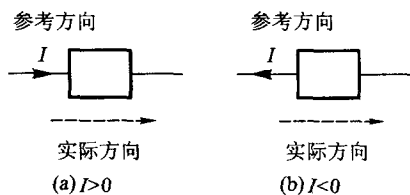


图 1.2.1 电流的参考方向与实际方向



图 1.2.2 电流参考方向的表示

1.2.2 电压

电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点(如图 1.2.3 所示)所做的功称为 a、b 间的电压,用 U_{ab} 表示。

1. 电压的单位

国际单位制(SI)中,电压的单位是 V(伏[特])。当电场力把 1 C(库[仑])的电荷从一点移到另一点所做的功为 1 J(焦[耳])时,该两点间的电压为 1 V。工程中还经常用 kV(千伏)、mV(毫伏)和 μV (微伏)等。

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

2. 电压的实际方向及参考方向

习惯上把电位降低的方向作为电压的实际方向,即正电荷在电场中受电场力作用移动的方向。电压的实际方向是客观存在的。

电压的参考方向和电流参考方向一样,可以任意选定。当电压的参考方向与实际方向一致时,电压为正值($U > 0$);当电压的参考方向与实际方向相反时,电压为负值($U < 0$)。因此,在参考方向选定之后,电压之值才有正、负之分。电压的参考方向如图 1.2.4 所示。

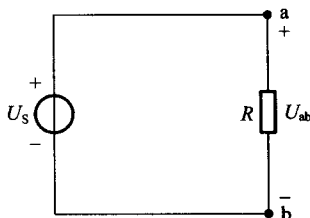


图 1.2.3 电压

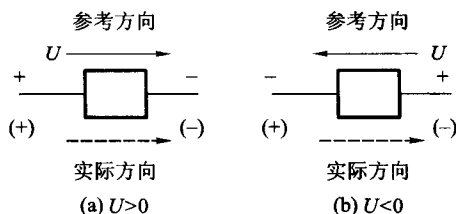


图 1.2.4 电压的参考方向与实际方向

3. 电压方向的表示

电压的参考方向可用 +、- 号表示,或用电压符号加字母双下标表示,也可用箭头表示,如图 1.2.5 所示。

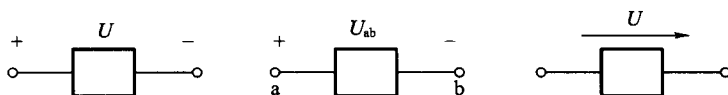


图 1.2.5 电压参考方向的表示

例 1.2.1 电压、电流的参考方向如图 1.2.6 所示。已知: $I_1 = 2 \text{ A}$, $I_2 = -3 \text{ A}$, $U_1 = 8 \text{ V}$, $U_2 = -10 \text{ V}$, 试判断电压、电流的实际方向。

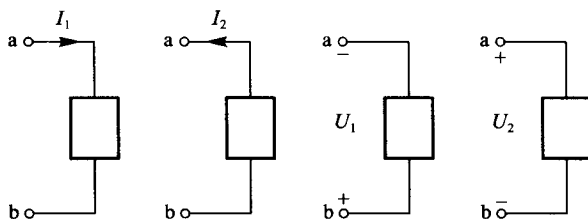


图 1.2.6 例 1.2.1 图

解:因为 $I_1 > 0$, 所以 I_1 的实际方向与参考方向相同, 由 a 流向 b, 大小为 2 A。

因为 $I_2 < 0$, 所以 I_2 的实际方向与参考方向相反, 由 a 流向 b, 大小为 3 A。

因为 $U_1 > 0$, 所以 U_1 的实际方向与参考方向相同, 由 b 指向 a, 大小为 8 V。

因为 $U_2 < 0$, 所以 U_2 的实际方向与参考方向相反, 由 b 指向 a, 大小为 10 V。

在电路分析中, 参考方向是一个基本的概念, 应用时需要注意以下几点:

(1) 电压、电流的参考方向可任意选定。但一经选定, 电路分析过程中不应改变。

(2) 电路中标出的电压、电流方向均指参考方向。

(3) 分析计算电压、电流时, 要先标定参考方向, 否则计算得出的电压、电流正、负值是没有意义的。

(4) 电路中某一支路(元件)的电压、电流参考方向选择一致, 称为关联参考方向, 否则称为非关联参考方向, 如图 1.2.7 所示。

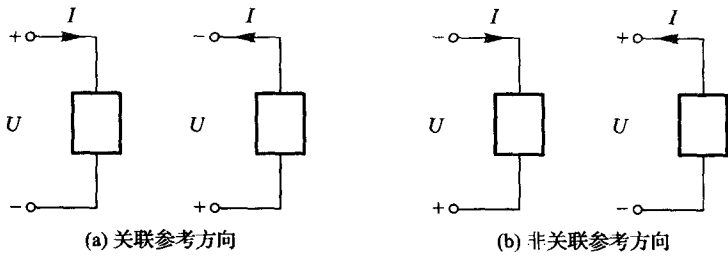


图 1.2.7 参考方向的选定

1.2.3 电位

在电路分析和实际工程测量中, 经常用到电位的概念。所谓电位是指在电路中任选一点作为参考点, 则任意一点 a 到参考点的电压就称为 a 点的电位。用符号 V_a 表示, 电位的单位和电压的单位一样, 用 V (伏[特]) 表示。

电位是一个相对的物理量, 它的大小和极性与所选取的参考点(零电位点)有关。参考点的选取是任意的, 习惯上取接地点(或机壳)为参考点, 用符号“ $\perp$ ”表示。

使用电位的优点之一是能够使表示电路状态的电量大为减少, 在调试、检修电器设备时非常方便。例如图 1.2.8 所示电路, 测量出 a、b、c 三点的电位 (V_a 、 V_b 、 V_c), 电路中各段的电压也就随之确定了。在进行电位测量时, 将数字万用表的黑表笔与电位参考点接触, 红表笔依次与 a、b、c

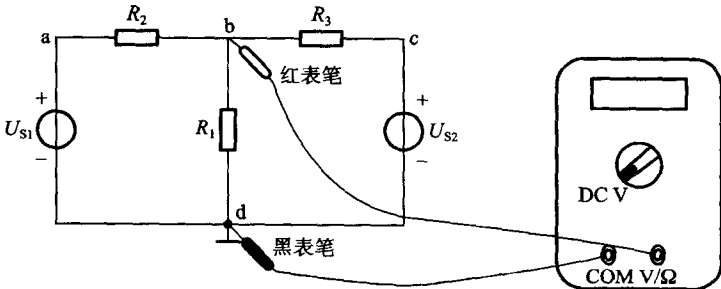


图 1.2.8 电位的测量

各点接触,就可非常方便地测量出各点的电位。电路中 a 点到 b 点的电压就等于 a 点的电位与 b 点的电位之差,即

$$U_{ab} = V_a - V_b$$

在电子电路中,为了简化电路的绘制,常采用电位标注法,如图 1.2.9 所示。

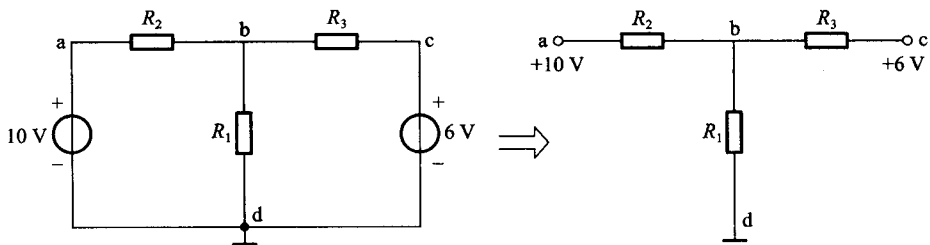


图 1.2.9 电路的简化表示

例 1.2.2 如图 1.2.10 所示。已知: $U_{ab} = 2\text{ V}$, $U_{bc} = 6\text{ V}$, 试求 a、b 点的电位及 a、c 两点间的电压。

解: 选 b 点为参考点, 则 $V_b = 0\text{ V}$ $V_a = U_{ab} = 2\text{ V}$

$$V_c = U_{cb} = -U_{bc} = -6\text{ V}$$

$$U_{ac} = V_a - V_c = [2 - (-6)]\text{ V} = 8\text{ V}$$

当电路中选择不同参考点时, 各点的电位随之改变, 但任意两点之间的电压是不变的。

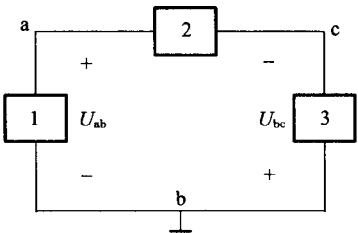


图 1.2.10 例 1.2.2 图

1.2.4 电动势

电动势是度量电源内非静电力(电源力)做功能力的物理量,在数值上等于电源力把单位正电荷从“-”极板经电源内部移到“+”极板所做的功。其实际方向为使电位能升高的方向,即由低电位指向高电位(由“-”极指向“+”极)。电动势的符号用 E 表示,单位和电位、电压一样,都为 V(伏[特])。

电压源对外电路的作用效果,可以用电动势表示,也可以用电压表示。如图 1.2.11 所示,电源的正、负极性已知,电压 U 的实际方向是“+”极指向“-”极,表示从 A 点到 B 点电位降低了 U ; 电动势 E 的实际方向是“-”极指向“+”极,表示从 B 点到 A 点电位升高了 E , 所以在大小上有 $U = E$ 。因此,在很多情况下,常常不是用电动势 E , 而是用其正、负极性间的电压 U 来表示电压源的作用效果。

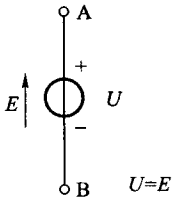


图 1.2.11 电源电动势与电压的关系

1.2.5 功率

功率是电场力在单位时间内所做的功。功率的符号用 P 来表示,在国际单位制中,功率的单位是 W(瓦[特]),实际工程中还经常用 kW(千瓦)。

在图 1.2.12 中,电阻两端的电压是 U ,流过的电流是 I ,电压与电流是关联参考方向,则电阻吸收的功率为

$$P = UI$$

电阻在时间 t 内所消耗的电能为

$$W = Pt$$

电能的单位是 J(焦[耳])。在电工技术中,往往直接用 $W \cdot s$ (瓦秒)作单位。功率为 1 kW 的用电设备在 1 h 内消耗的电即 $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ (千瓦时),俗称 1 度电。

元件吸收或供出功率的判断:元件两端电压和流过的电流在关联参考方向下时,如图 1.2.13 所示:

$P = UI > 0$, 元件吸收功率;

$P = UI < 0$, 元件供出功率。

如果元件两端的电压和流过的电流在非关联参考方向下时,如图 1.2.14 所示:

$P = UI > 0$, 元件供出功率;

$P = UI < 0$, 元件吸收功率。

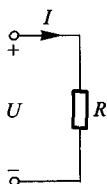


图 1.2.12 功率

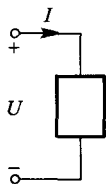


图 1.2.13 关联参考方向

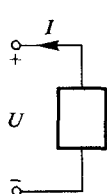


图 1.2.14 非关联参考方向

对任一个电路元件,当流经元件的电流实际方向与元件两端电压的实际方向一致时,元件吸收功率;电流与电压实际方向相反时,元件供出功率。

例 1.2.3 如图 1.2.15 所示电路,各元件的电压、电流参考方向均已设定。已知 $I_1 = 2 \text{ A}$, $I_2 = 1 \text{ A}$, $I_3 = -1 \text{ A}$, $U_1 = 7 \text{ V}$, $U_2 = 3 \text{ V}$, $U_3 = -4 \text{ V}$, $U_4 = 8 \text{ V}$, $U_5 = 4 \text{ V}$ 。求各元件的功率,并说明是吸收还是供出。

解: 元件 1、3、4 的电压、电流为关联参考方向,则

$$P_1 = U_1 I_1 = 7 \times 2 \text{ W} = 14 \text{ W} \text{ (吸收)}$$

$$P_3 = U_3 I_2 = -4 \times 1 \text{ W} = -4 \text{ W} \text{ (供出)}$$

$$P_4 = U_4 I_3 = 8 \times (-1) \text{ W} = -8 \text{ W} \text{ (供出)}$$

元件 2、5 的电压、电流为非关联参考方向,则

$$P_2 = U_2 I_1 = 3 \times 2 \text{ W} = 6 \text{ W} \text{ (供出)}$$

$$P_5 = U_5 I_3 = 4 \times (-1) \text{ W} = -4 \text{ W} \text{ (吸收)}$$

电路向外供出的总功率为

$$4 \text{ W} + 8 \text{ W} + 6 \text{ W} = 18 \text{ W}$$

电路吸收的总功率为

$$14 \text{ W} + 4 \text{ W} = 18 \text{ W}$$

计算结果说明,在一个电路中,供出的总功率等于吸收的总功率。

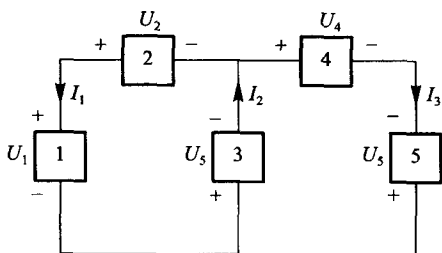


图 1.2.15 例 1.2.3 图

1.3 电气设备的额定值和电路状态

1.3.1 电气设备的额定值

额定值是电气设备制造厂家为了保证设备能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常容许值。电气设备的额定值一般标在铭牌上或写在说明书中,主要有额定电流(I_N)、额定电压(U_N)和额定功率(P_N)。

额定值是使用者使用电气设备的依据,使用时必须遵守。例如,一只白炽灯上标明“220 V、40 W”,表示其额定电压为 220 V,额定功率为 40 W。即说明这只白炽灯接 220 V 电压,消耗功率为 40 W,属于正常使用。若接到了 380 V 电压上,则会因电流过大将灯丝烧毁,属于不安全使用;若接到 110 V 电压上,白炽灯的消耗功率小于 40 W(较暗),属于不正常使用。

1.3.2 电路状态

以最简单的直流电路为例,分别讨论电路的有载工作状态、开路及短路状态。

1. 有载工作状态

如图 1.3.1 所示,电源与负载接成闭合回路,电路中的电流为 I ,负载两端的电压为 U ,电路处于有载工作状态。在实际电路中,负载为各种各样的用电设备, R_L 代表等效负载电阻。

负载两端的电压与电动势 E 、电源内阻 R_0 、负载电流 I 之间的关系如下

$$U = E - R_0 I \quad (1.3.1)$$

电源的电动势 E 、内阻 R_0 是一定的,电路中的用电器由用户控制,而且是经常变动的。当并联的用电器增多时,等效电阻 R_L 就会减小,则电源输出的电流和功率将随之增大,这时称为电路的负载增大。可见,所谓负载增大或负载减小,是指增大或减小负载电流。

当电路中的负载变动时,电源端电压的大小也随之改变。电源端电压 U 随电源负载电流 I 的变化关系,即 $U=f(I)$,称为电源的外特性,外特性曲线如图 1.3.2 所示。其斜率与电源内阻的大小有关。

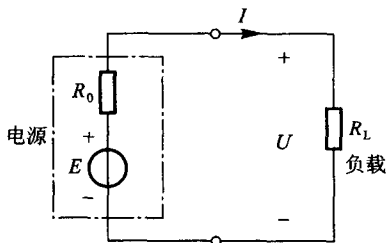


图 1.3.1 电路的有载工作状态

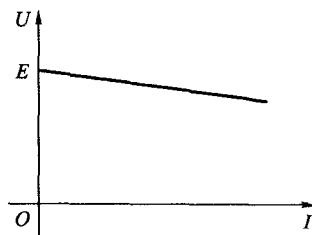


图 1.3.2 电源的外特性

根据负载大小,电路在有载工作状态时又分为三种工作状态:当电气设备的电流等于额定电流时,称为满载工作状态;当电气设备的电流小于额定电流时,称为轻载工作状态;当电气设备的电流大于额定电流时,称为过载工作状态。

式(1.3.1)中各项乘以电流 I ,则得电路的功率平衡式

$$IU = IE - R_0 I^2 \quad P = P_E - \Delta P \quad (1.3.2)$$

式中, $P_E = IE$ 是电源产生的功率; $\Delta P = R_0 I^2$ 是电源内阻上损耗的功率; $P = UI$ 是电源供出的功率。

2. 开路状态

所谓开路,就是电源与负载没有构成闭合回路。在图 1.3.3 所示的电路中,当 S 断开时,电路即处于开路状态。

开路状态的特征是:电路中的电流为零,电源的端电压等于电源电动势,电源不输出功率,可用下式表示

$$\left. \begin{aligned} I &= 0 \\ U &= E \\ P &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.3.3)$$

此种情况,也称为电源的空载。

3. 短路状态

所谓短路,就是电源未经负载而直接由导线接通成闭合回路,如图 1.3.4 所示。图中折线是指示短路点的符号。短路的特征可用下式表示

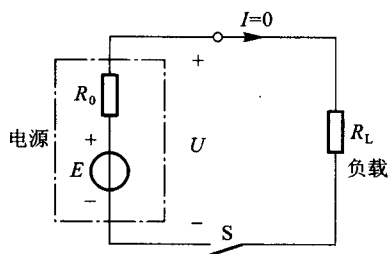


图 1.3.3 电路的开路状态

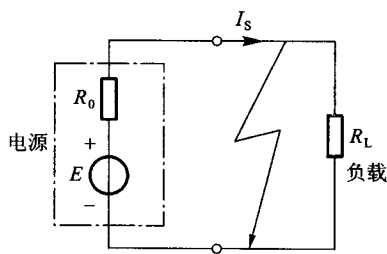


图 1.3.4 电路的短路状态

$$\left. \begin{aligned} I &= I_s = \frac{E}{R_0} \\ P &= 0 \\ P_E &= \Delta P = R_0 I_s^2 \end{aligned} \right\} \quad (1.3.4)$$

因为电源内阻 R_0 一般都很小,所以短路电流 I_s 总是很大。如果电源短路事故未迅速排除,很大的短路电流将会烧毁电源、导线及电气设备,所以,电源短路是一种严重事故,应尽力预防。

为了防止短路事故损坏电气设备,常在电路中串接熔断器。熔断器中装有熔断丝。熔断丝是由低熔点的铅锡合金丝或铅锡合金片做成的。一旦短路,串联在电路中的熔断丝将因发热而熔断,从而保护电气设备免于烧坏,如图 1.3.5 所示。

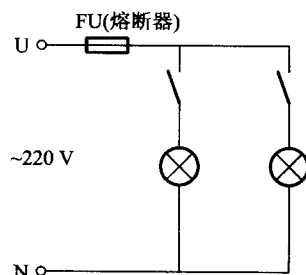


图 1.3.5 熔断器在电路中的安装