



21世纪高职高专系列规划教材

电工基础



DIANGONGJICHU

主编 腾颖辉 徐晓莹



西南师范大学出版社

21 世纪高职高专系列规划教材

电工基础

主 编 滕颖辉 徐晓莹

副 主 编 张兴福 王桂英 欧阳蓓

参编人员 王 维 王 娜

西南师范大学出版社

内容提要

本书是高职高专机电类规划教材。它是根据高职高专培养目标的要求和目前高职学生的特点而编写的,本书行文流畅简洁,概念清楚,内容阐述精练,注重实际,充分体现了必需、够用的高职教育理念。本书共9章。主要包括电路的基本概念和基本定律、分析方法、正弦交流电路、三相电路、磁路与变压器、交流电动机、低压电器与电动机继电器控制、周期性非正弦交流电路、线性电路过渡过程等内容。每章后面都有本章小结和习题,书中还编入了较多电工实用知识和应用实例。本书适合高职高专工科机电类和非电类各专业的学生使用,也可供职大、夜大、电大等各类学校使用,还可以作为有关工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/滕颖辉,徐晓莹主编. —重庆:西南师范大学出版社,2008.10(2009.3重印)

(21世纪高职高专系列规划教材)

ISBN 978-7-5621-4316-1

I. 电… II. ①滕…②徐… III. 电工学—高等学校:技术学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第160880号

21世纪高职高专系列规划教材

电工基础

主 编:滕颖辉 徐晓莹

副 主 编:张兴福 王桂英 欧阳蓓

策 划:周安平 卢旭

责任编辑:杜珍辉

特约编辑:刘俊杰

封面设计:辉煌时代

出版发行:西南师范大学出版社

地址:重庆市北碚区天生路1号

邮编:400715 市场营销部电话:023-68868624

网址:<http://www.xscbs.com>

经 销:全国新华书店

印 刷:重庆大学建大印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:12

字 数:236千

版 次:2009年3月 第2版

印 次:2009年3月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5621-4316-1

定 价:19.00元

编写说明

作为高等教育的重要组成部分,高等职业教育是以培养具有一定理论知识和较强实践能力,面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目的的职业技术教育,是职业技术教育的高等阶段。目前,高等职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据国家教育部关于要求发展高等职业技术教育,培养职业技术人才的大纲要求,我们组织编写了这套《21世纪高职高专系列规划教材》。本系列教材坚持以就业为导向,以能力为本位,以服务学生职业生涯发展为指导思想,以与专业建设、课程建设、人才培养模式同步配套作为编写原则。

从专业建设角度,相对于普通高等教育的“学科性专业”,高等职业教育属于“技术性专业”。技术性专业的知识往往由与高新技术工作相关联的那些学科中的有关知识所构成,这种知识必须具有职业技术岗位的有效性、综合性和发展性。本套教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性,而且突出知识的实用性、综合性,把职业岗位所需要的知识和实践能力的培养融会于教材之中。

从课程建设角度,现有的高等职业教育教材从教育内容上需要改变“重理论轻实践”、“重原理轻案例”,教学方法上则需要改变“重传授轻参与”、“重课堂轻现场”,考核评价上则需改变“重知识的记忆轻能力的掌握”、“重终结性的考试轻形成性考核”的倾向。针对这些情况,本套教材力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容,加强实践性教学环节,注重案例教学,注重能力的培养,使职业能力的培养贯穿于教学的全过程。同时,使公共基础类教材突出职业化,强调通用能力、关键能力的培养,以推动学生综合素质的提高。

从人才培养模式角度,高等职业教育人才的培养模式的主要形式是产学结合、工学交替。因此,本教材为了满足有学就有练、学完就能练、边学边练的实际要求,纳入新技术引用、生产案例介绍等来满足师生教学需要。同时,为了适应学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习的情况,教材的编写注重采用新知识、新工艺、新方法、新标准,同时注重对学生创造能力和自我学习能力的培养,力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了更好地落实指导思想和编写原则,本套教材的编写者既有一定的教学经验、懂得教学规律,又有较强的实践技能。同时,我们还聘请生产一线的技术专家来审稿,保证教材的实用性、先进性、技术性。总之,该套教材是所有参与编写者辛勤劳动和不懈努力的成果,希望本套教材能为职业教育的提高和发展做出贡献。

这就是我们编写这套教材的初衷。

前 言

《电工基础》一书是高职高专机电类规划教材。是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》精神，以教育部制定的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》为依据，由从事高职电工技术理论和实践教学的一线教师，结合多年的教学实践和教学改革经验，在认真吸收大量优秀同类教材的基础上，针对现在高职学生的特点编写的。在编写过程中，坚持理论知识够用、基础知识管用、专业知识适用的编写原则。本教材共9章。主要包括电路的基本概念和基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、三相电路、磁路与变压器、交流电动机、低压电器与电动机继电器控制、周期性非正弦交流电路、线性电路过渡过程等内容。每章后面都有本章小结和习题，书中还编入了较多电工实用知识和应用实例（如常用电工工具、常用电工仪表的使用等）。着重阐述直流电路、交流电路的基本原理和分析计算方法，变压器、电动机的基本组成结构和正确使用，电动机的基本控制、周期性非正弦交流电路分析方法、线性电路过渡过程中电压电流的变化规律等。

本书适合高职高专工科机电类和非电类各专业的学生使用，也可供职大、夜大、电大等各类学校使用，还可以作为有关工程技术人员的参考资料。

本教材的主要特点是：

1. 以必需、够用的原则安排编写教学内容。

高职教学的培养目标是培养实用性人才，侧重于人才实际能力的培养。因此在教材内容的安排上，针对所需，以够用为度，不求知识的系统与理论的缜密。

2. 去繁就简，注重实效。

在教材中注重讲清基本概念，注重基本定律定理、基本分析方法及电路理论的实际应用，而不强调繁冗的定理、公式的推导和证明，内容结构合理。

3. 教材结构严谨，层次分明。

从实际需要出发，按先基本、后分析、再应用的次序安排各部分内容。如从教材整体结构上看，先讲述电路的基本概念、基本定律和电路的基本分析方法，然后分析各种应用电路（直流应用电路、交流应用电路、电器电路），最后应用这些理论和方法解实际问题。

4. 语言精练准确。

全书行文流畅简洁，概念清楚，内容阐述精练，且又详略得当。将学生实际应用中最基本的知识都交待的很清楚，书中与专业相适应的知识，学生甚至可以通过自学，掌握其主要内容。全书处处体现了这一特点。

5. 注重实用知识。

教材中结合教学内容,编写了大量的实用知识和实用电路,体现了高职教学的培养目标。

6. 注重讲练结合。

教材中编写了大量的例题、习题和思考题,引导学生进行自学和复习,加深对概念的理解。章末均有总结,便于学生对知识的掌握。

本书由滕颖辉和徐晓莹任主编,由滕颖辉负责全书内容的统编和定稿,张兴福、王桂英、欧阳蓓任副主编。具体内容分工如下:滕颖辉编写了前言、磁路和变压器、异步电动机的继电接触控制、线性电路过渡过程等部分;徐晓莹编写了电路的基本概念和基本定律部分、电路的分析方法、正弦交流电路、三相交流电路部分;张兴福编写了交流异步电动机部分,王维编写了常用电工工具与常用电工仪表部分,王娜编写了周期性非正弦交流电路;王桂英、欧阳蓓老师参加了各部分的编写,提出了大量的宝贵意见。

由于编者能力有限,编审时间仓促,本书中难免有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

滕颖辉

2008年7月

目 录

第 1 章 电路的基本概念与基本定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.2 电流、电压及电动势	2
1.3 电功率和电能	4
1.4 欧姆定律	5
1.5 电气设备的额定值及电源的工作状态	7
1.6 基尔霍夫定律	8
1.7 常用电工工具及其使用	11
1.8 常用的电工仪器仪表	14
[本章小结]	19
[思考与练习]	20
第 2 章 电路的分析方法	23
2.1 电阻电路的等效变换	23
2.2 电压源与电流源及其等效变换	30
2.3 支路电流法	35
2.4 结点电压法	36
2.5 叠加定理	39
2.6 戴维宁定理与诺顿定理	42
[本章小结]	45
[思考与练习]	46
第 3 章 正弦交流电路	51
3.1 正弦交流电的概念	51
3.2 正弦量的相量表示法	54
3.3 单一参数的正弦交流电路	59
3.4 RLC 串联的交流电路	62
3.5 阻抗的串联与并联	64
3.6 功率及功率因数的提高	67
[本章小结]	69
[思考与练习]	70
第 4 章 三相交流电	74
4.1 三相交流电概述	74
4.2 三相电源	75
4.3 三相负载	79
4.4 三相电路的计算	80
4.5 三相负载的功率	83
[本章小结]	85
[思考与练习]	86

第 5 章 磁路与变压器	88
5.1 磁场的基本知识	88
5.2 变压器的基本结构和工作原理	92
5.3 变压器的运行特性与额定值	95
5.4 三相电力变压器	98
5.5 特殊变压器	100
[本章小结]	102
[思考与练习]	103
第 6 章 交流异步电动机	104
6.1 三相异步电动机的结构	104
6.2 异步电动机的旋转原理	106
6.3 异步电动机的电磁转矩与机械特性	109
6.4 异步电动机的启动	110
6.5 异步电动机的调速	115
6.6 异步电动机的制动	118
6.7 异步电动机的铭牌数据	120
6.8 异步电动机的选择	123
6.9 交流单相异步电动机	125
6.10 同步电动机	127
[本章小结]	127
[思考与练习]	129
第 7 章 异步电动机的继电接触控制	130
7.1 常用低压控制电器	130
7.2 继电—接触控制电路	138
[本章小结]	147
[思考与练习]	147
第 8 章 周期性非正弦交流电路	149
8.1 非正弦周期信号及分解	149
8.2 有效值、平均值和平均功率	154
8.3 非正弦周期电流电路的计算	157
[本章小结]	160
[思考与练习]	163
第 9 章 线性电路过渡过程	164
9.1 动态电路及其方程	164
9.2 换路定律及初始值的计算	166
9.3 一阶电路的零输入响应	168
9.4 一阶电路的零状态响应	172
9.5 一阶电路的全响应及三要素法	175
9.6 一阶电路的阶跃响应和冲激响应	178
[本章小结]	180
[思考与练习]	182
参考文献	184

第1章 电路的基本概念与基本定律

电工与电子技术的应用离不开电路,电路由电路元件构成。本章介绍电路的基本概念、基本定律、分析电路的基本方法以及电工常用工具与仪表的使用知识。这些内容是电工技术的基础知识,因此学好本章内容是学好本课程的第一步。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

电路是由一些电器设备或元件,为实现能量的传输、分配和转换或实现信息的变换、传输和处理而构成的组合的总称。一般而言,是指电流通过的闭合路径。

实际应用的电路种类很多,形式和结构各不相同,但其主要组成可分为三部分,即电源、负载、中间环节。电源向电路提供电能,它将非电能转换成电能,如发电机、蓄电池、干电池等;负载是各种用电设备的总称,它将电能转换成非电能,以达到用电的目的,如电灯将电能转换成光能,电动机将电能转换成机械能;中间环节是将电源与负载连接起来的部分,它起到电能的传输、分配、控制、保护等作用,包括导线、开关、控制电器、保护电器等。

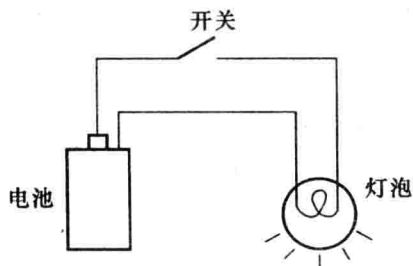
1.1.2 电路模型

用于构成电路的电工、电子元器件或设备统称为实际电路元件。实际电路元件的电磁性能非常复杂,为了掌握元器件最本质的物理特性,研究电路的基本规律,通常把实际的电路元件抽象成理想的电路元件。

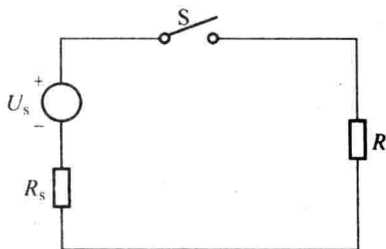
所谓理想电路元件,是指其电磁特性是单一的,可以用来表征实际元件主要电磁性质的理想化的模型元件。如一个最简单的线绕式电阻器,从能量转换的角度看,其主要作用是将电能转换成热能,因此,电阻器是一个耗能元件。如果从电磁感应的角度看,当电流流过电阻器时,一部分电能将转化为电磁能储存起来。但是二者比较,电能转变成热能是主要的,因此电阻的主要电磁性能是消耗电能。所有的电阻器以及白炽灯、电炉、电烘箱等都是借助电阻发热而达到其应用目的的实际设备,均可抽象为理想电阻元件。电感是表征储存磁场能量的理想电路元件;电容是表征储存电场能量的理想电路元件。

一个实际电路元件,有时可以用一个理想元件来表示,或用几个理想元件的组合来表示。由理想电路元件代替实际电路元件组成的电路,称为电路模型。

理想电路元件的图形符号是由国家标准统一规定的。将实际电路元件抽象为理想电路元件,用国家统一规定的图形、文字、符号来表示的电路,称为电路图。如图 1-1(a)所示的手电筒实际电路可用图 1-1(b)电路模型来表示。



(a) 手电筒实际电路图



(b) 手电筒电路模型

图 1-1 实际电路与电路模型

本书中,如无特殊说明,电路元件均指理想电路元件,电路均指电路模型。

1.2 电流、电压及电动势

1.2.1 电流

电荷的定向移动形成电流。电流是一种客观的物理现象,人们通过它的各种效应(如热效应、磁效应、机械效应和化学效应等)觉察它的存在。

大小和方向随时间变化的电流称为交流电流,用符号 i 表示。在许多电器装置上,用符号“AC”或“~”表示交流。

大小和方向不随时间变化的电流称为直流电流,用符号 I 表示。在许多电器装置上,用符号“DC”或“—”表示直流。

电流的大小用电流强度来衡量。单位时间内通过导体横截面的电荷量称为电流强度,简称电流,可表示为:

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

在直流电路中,式(1-1)写为:

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

在国际单位制(简称 SI 制)中,电流的单位是安培(A),以及千安(kA)、毫安(mA)、微安(μA)等。其换算关系为:

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

习惯上将正电荷移动的方向规定为电流的方向。但在较复杂的电路中,往往难以判断某支路电流的实际方向,而且在交流电路中电流的方向随时间交变,就更难以判断其实际方向了。为了分析和计算电路,常假设一个电流的方向,这个假设的方向称为参考方向(正方向),在电路用箭头表示,如图 1-2 所示。



图 1-2 电流的参考方向

若电流的参考方向与实际方向一致,则电流为正;相反则为负。应该注意,在未规定参考方向时,电流的正负是没有意义的。

如图 1-2(a)中,电流的大小为 5 A,电流的实际方向与参考方向一致;图 1-2(b)中,电流的大小为 5 A,电流的实际方向与参考方向相反。

1.2.2 电压与电位

1. 电压

带电体的周围存在电场,电场对处在电场中的电荷有力的作用,称之为电场力。电压是衡量电场力做功能力的物理量。电压的定义为:电路中 a, b 两点间的电压 U_{ab} 在大小上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功,即:

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

在国际单位制(简称 SI 制)中,电压的单位是伏特(V),以及千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV)等,其换算关系为:

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

2. 电位

电路中任意选取某一点为参考点,电路中某点到参考点之间的电压,称为该点的电位。电位的高低与参考点的选择有关,参考点可以任意选择,但在同一电路中只能选择一个参考点,在电力工程中常选大地为参考点;在电子电路中,常选电路的公共点或机壳为参考点。如电路中 a 点电位即:

$$V_a = U_{a0} = V_a - V_0$$

V_0 ——人为选定的参考点的电位,如大地、机壳等。

电路中两点之间的电压就是这两点之间的电位差,即:

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

参考点不同,电路中各点电位亦随之不同,但任意两点间的电位差不会改变。

3. 电压的方向

电压的方向规定为由高电位端指向低电位端,即电位降低的方向。表示方法有三种,如图 1-3 所示:

(1)用“+”、“-”符号分别表示高电位端和低电位端。

(2)用箭头的指向来表示,箭头由高电位端指向低电位端。

(3)用双下标字母表示,如 U_{ab} 表示 ab 段电路电压的方向是从 a 指向 b。

对于复杂电路,电压的实际方向有时很难确定,因此也需要假设一个参考方向。若电压为正,说明电压的参考方向与实际方向一致;若为负,则相反。在未规定参考方向时,电压的正负是没有意义的。

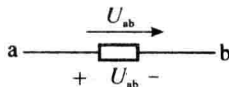


图 1-3 电压的参考方向

1.2.3 电动势

在电场力的作用下,正电荷从电源的正极移向负极,为了保证电流的持续不断,就需要非电场力将正电荷从电源的负极移到正极,电源就是提供这种非电场力的设备。电动势是衡量电源内部非电场力做功能力的物理量。

电动势为电源力(非电场力)将单位正电荷从电源负极经电源内部移到电源正极所做的功。电动势用符号“ E ”表示;电动势的方向规定为由电源的负极指向正极,即电位升高的方向;电动势的单位也是伏特(V)。

在不接外电路时,电源两极间电压的大小等于电动势。

在近代电路理论中,逐步淡化了电动势这个物理量,而用电压标注电源的电动势。

1.3 电功率和电能

接通电路,电源和负载之间就有了能量的交换,这表明电流做了功。电功率和电能就是用来衡量电流做功本领的物理量。

1.3.1 电能

电能是指电流在一段时间内所做的功,用 W 表示。电能的大小与电路中的电压 U 、电流 I 及通电的时间 t 有关,即:

$$W = UI t \quad (1-4)$$

在 SI 制中,当 U , I , t 的单位分别为伏特(V)、安培(A)、秒(s)时, W 的单位为焦耳(J)。

1.3.2 电功率

电功率简称功率,它是用来衡量电流做功快慢的物理量,用 P 表示。其大小等于电流在单位时间内所做的功,即:

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-5)$$

在 SI 制中,当 W 和 t 的单位分别为焦耳(J)、秒(s)时, P 的单位为瓦特(W)。常用的单位还有千瓦(kW)、毫瓦(mW)等。其换算关系为:

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

实际中电能的单位还常采用千瓦·时(kW·h),即“度”。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

由能量守恒原理可知,一个电路中,所有电源发出的功率必然等于所有负载吸收的功率,即所谓的功率平衡。

如果一段电路两端的电压与流过的电流实际方向相同,该电路吸收功率;若电压与电流的实际方向相反,该电路发出功率。但在电路中,若事先不知道电压和电流的实际

方向,应根据参考方向来计算该电路的功率,并由计算结果的正、负来判断电路是发出功率还是吸收功率。具体方法如下:

(1)当电路电压和电流的参考方向相同时(称之为关联参考方向),功率按下式计算:

$$P=UI$$

当电路电压和电流的参考方向相反时(称之为非关联参考方向),功率按下式计算:

$$P=-UI$$

(2)按上述公式计算,若计算结果 $P>0$,则表示电路元件吸收功率;若 $P<0$,则表示电路元件发出功率。

【例 1-1】计算图 1-4 所示各元件吸收或产生的功率。

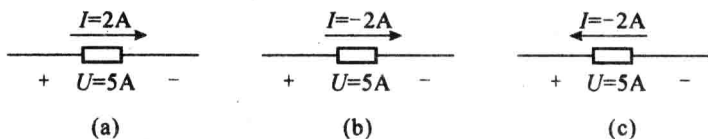


图 1-4 例 1-1 图

解:图 1-4(a)中电流 I 与电压 U 是关联参考方向, $P=UI=5\times 2=10\text{ W}>0$, 所以元件吸收功率。

图 1-4(b)中电流 I 与电压 U 是关联参考方向, $P=UI=5\times (-2)=-10\text{ W}<0$, 所以元件发出功率。

图 1-4(c)中电流 I 与电压 U 是非关联参考方向, $P=-UI=-5\times (-2)=10\text{ W}>0$, 所以元件吸收功率。

【例 1-2】某教室将 9 盏 220V, 40W 的白炽灯, 接在 220V 的供电线上, 求取用电流为多少? 若每天使用 4 h, 一个月(按 30 天计)共用多少度电?

解:总功率 $P=40\times 9=360\text{ W}=0.36\text{ kW}$

取用电流 $I=\frac{P}{U}=\frac{360\text{ W}}{220\text{ V}}=1.636\text{ A}$

总用电时间 $t=4\text{ h}\times 30=120\text{ h}$

取用电能 $W=Pt=0.36\text{ kW}\times 120\text{ h}=43.2\text{ kW}\cdot\text{h}$

1.4 欧姆定律

欧姆定律是电路的基本定律之一。其内容为:流过线性电阻的电流 I 与电路两端的电压 U 成正比,与电阻阻值 R 成反比。

当电压和电流为关联参考方向时,如图 1-5(a)所示,欧姆定律的数学表达式为:

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

当电压和电流为非关联参考方向时,如图 1-5(b)所示,欧姆定律的数学表达式为:

$$I = -\frac{U}{R} \text{ 或 } U = -RI \quad (1-7)$$

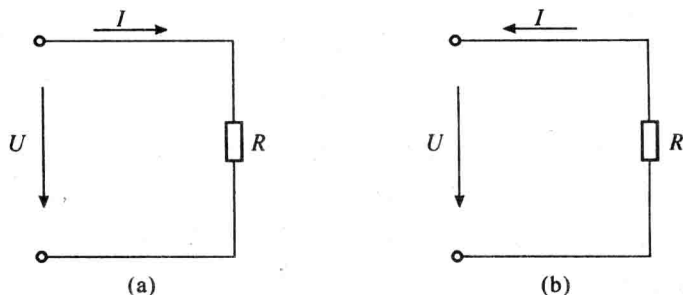


图 1-5 欧姆定律

在 SI 制中,电阻的单位为欧姆(Ω),常用的还有千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)等。换算关系为:

$$1 \Omega = 10^{-3} k\Omega = 10^{-6} M\Omega$$

有时为了研究电路的方便,引进表征电阻导电能力的另一个参数,即电阻的倒数,称为电导,用 G 表示,即:

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-8)$$

电导的单位是西门子(S)。

则欧姆定律可表示为:

$$I = GU \text{ 或 } I = -GU \quad (1-9)$$

应该注意的是,欧姆定律仅适用于线性电阻电路。

【例 1-3】如图 1-6 所示电路,分别求出各电路的未知量。

解:根据欧姆定律,列出表达式如下:

对图(a)有: $U = RI = 10 \Omega \times 2 \text{ A} = 20 \text{ V}$

对图(b)有: $U = -RI$ 则 $R = -\frac{U}{I} = -\frac{(-20) \text{ V}}{2 \text{ A}} = 10 \Omega$

对图(c)有: $I = -\frac{U}{R} = -\frac{20 \text{ V}}{10 \Omega} = -2 \text{ A}$

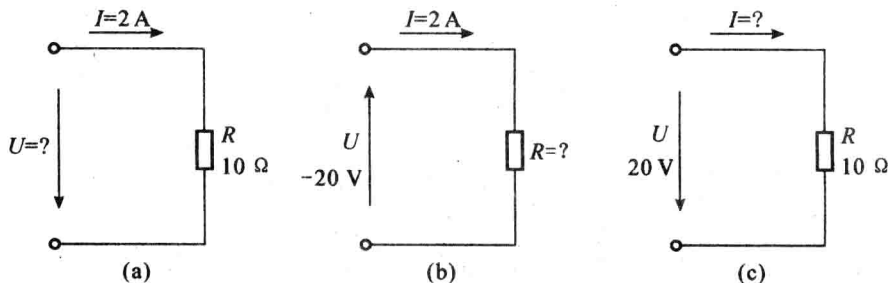


图 1-6 例 1-3 图

1.5 电气设备的额定值及电源的工作状态

根据以上所学的知识,我们已经能够计算简单电路各部分的电压、电流和功率。但在实际应用时还是不够的,更重要的是应当知道在这样的电压、电流、功率状况下,电路能否正常工作。下面就电源、负载、线路在实际应用时应考虑的一些问题进行讨论。

1.5.1 电气设备的额定值

电气设备的额定值是由电气制造厂商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进行全面综合考虑,通过设计计算而得出的。常用的有以下三种:

(1)额定电压 U_N ,即电气设备规定正常使用的电压。若工作电压高于或低于额定电压,设备则不能正常工作,甚至可能损坏。

(2)额定电流 I_N ,即设备在规定的时间内安全可靠运行时允许通过的最大电流。当电流超过额定值时,称为过载,将可能引起设备过热、寿命降低。过载严重时,设备将会被烧毁。电流小于额定值时称为轻载或欠载,这时设备的利用率降低,某些设备不能正常工作。

(3)额定功率 P_N ,即电气设备在额定电压时允许的最大输出或输入功率。

电气设备工作在额定值时的状态,称为额定工作状态,也称为满载运行。综上所述,电气设备工作在额定状态时最安全可靠、经济合理,能够保证达到规定的使用寿命。在实际应用中,负载与电源连接时,应满足负载正常工作所需额定电压的要求,同时电源的容量必须大于或等于负载所需的功率。

1.5.2 电源的工作状态

电源的工作状态有三种:开路、有载和短路状态(如图1-7所示)。

(1)开路状态

如图1-7(a),外电路断开,电源不输出能量,称为开路或空载。此时电路中的电流 $I=0$;电源端电压等于电源电动势,称为开路电压,即 $U=E$ 。

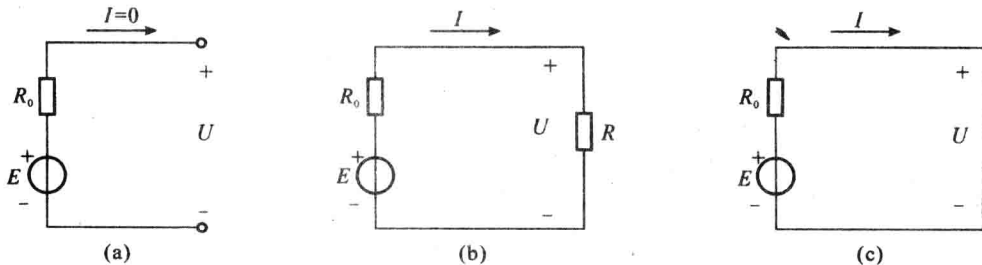


图1-7 电源的工作状态

(2)有载状态

如图1-7(b),电源与负载接通形成闭合通路,电源向负载提供能量,称为有载状态。

电路中的电流

$$I = \frac{E}{R_0 + R}$$

电源的端电压 $U = E - IR_0$

电源输出功率 $P = IE - I^2 R_0$

当电源向负载输出电流增大时,电源内部电压降 $U_0 = IR_0$ 也随之增大,电源输出端电压将降低,电源输出端电压 U 随负载电流 I 变化的关系称为电源的外特性(如图 1-8 所示)。

为了保证负载正常工作,电源应有稳定的输出电压,因此应当尽量减小电源内阻以获得尽量平直的外特性,同时电源内部的损耗降低,也提高了电源的效率。

在一定电压下,电源输出的功率和电流取决于负载的大小。当负载较小时,电源处于轻载运行状态,虽然电源能正常工作,但效率低,所谓“大马拉小车”;而电源过载运行是不允许的,因此电源只有满载运行才是最佳工作状态。

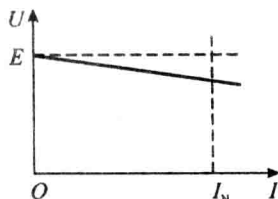


图 1-8 电源的外特性

(3) 短路状态

如图 1-7(c),电源两端被电阻为零的导体连通,称为短路。此时,有:

电源的端电压 $U = 0$

短路电流 $I = \frac{E}{R_0}$

因为电源内阻很小,所以短路电流很大,它将导致电源过热烧毁。因此,要严禁电路发生短路。为了避免短路给电气设备造成的危害,在实际电路中都装有短路保护装置,最简单的短路保护装置就是熔断器,一旦发生短路,熔断器中的熔体就会迅速熔断,切断电路。

【例 1-4】如图 1-7(b)所示电路, $E = 220 \text{ V}$, $R_0 = 1 \Omega$, $R = 10 \Omega$ 。

求:①电源输出电流 I 、电压 U 及功率 P 。②负载连续工作一昼夜消耗的电能 W 。

解:

$$I = \frac{E}{R_0 + R} = \frac{220 \text{ V}}{(1 + 10) \Omega} = 20 \text{ A}$$

$$U = RI = 10 \Omega \times 20 \text{ A} = 200 \text{ V}$$

$$P = UI = 200 \text{ V} \times 20 \text{ A} = 4000 \text{ W} = 4 \text{ kW}$$

$$W = Pt = 4 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 96 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

1.6 基尔霍夫定律

任何电路的电压和电流,在任何瞬间都满足基尔霍夫定律,所以基尔霍夫定律也是分析电路中电压或电流关系的基本定律之一。基尔霍夫定律包括电流定律和电压定律,这两个定律仅与电路元件的相互连接有关,而与元件的性质无关。

1.6.1 几个名词术语

(1) 支路:电路中流过同一电流的每个分支,称为支路。如图 1-9 中的支路数 $b = 3$ 条,即 abc , adc , ac 三条支路。其中 ac 称为无源支路, abc 和 adc 称为有源支路。

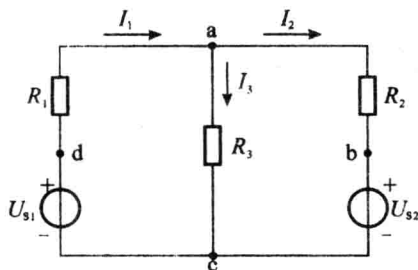


图 1-9 复杂电路

(2) 结点: 电路中三条或三条以上支路的连接点, 称为结点。如图 1-9 中的结点数 $n=2$, 即 a 点和 c 点。

(3) 回路: 电路中任意一个闭合路径, 称为回路。如图 1-9 中的回路数 $l=3$, 即 abca, acda, abcda 回路。

(4) 网孔: 平面电路中, 内部不含其他支路的独立回路, 称为网孔。如图 1-9 中的网孔数 $l=2$, 即 abca 和 acda。

1.6.2 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律, 是确定电路中连接在同一结点上各支路电流关系的定律, 所以又称结点电流定律。根据电荷守恒定律及电流的连续性原理, KCL 定律可以表述为: 在任一瞬间, 对于电路中的任意结点, 流入结点的电流之和等于流出该结点的电流之和。数学表达式为:

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-10)$$

$$\text{或} \quad \sum I = 0 \quad (1-11)$$

应用 KCL 定律时, 必须在电路图中标明电流的参考方向后, 才能列出相应的电流方程。

由图 1-9 中电流的参考方向, 列出结点电流方程, 有:

$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$\text{或} \quad I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

一般地, 具有 n 个结点的电路, 按 KCL 只能写出 $(n-1)$ 个独立的方程, 对应的 $(n-1)$ 个结点称为独立结点, 剩余的结点称为参考结点。

【例 1-5】如图 1-10 所示电路, 列出各结点的电流方程。

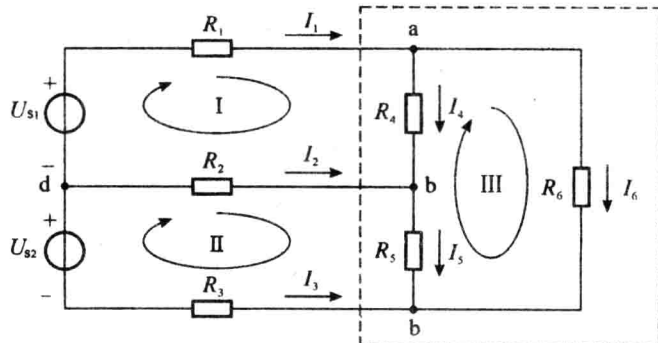


图 1-10 例 1-5 图