



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电 工 学

土建类 第2版

颜伟中 主 编



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电 工 学

土建类 第2版

DiangongXue Tujianlei Di 2 Ban

颜伟中 主 编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内 容 提 要

本书在高等教育出版社 2002 年出版的《电工学(土建类)》的基础上进行修订。

全书分 4 篇,共 13 章。第 1 篇电工技术基础(直流电路、正弦交流稳态电路、三相电路、电路的暂态分析);第 2 篇电子技术基础(模拟电路、数字电路);第 3 篇电气设备与控制(变压器、异步电动机、异步电动机的控制系统);第 4 篇建筑电气(建筑供配电系统、建筑电气照明系统、智能建筑信息系统、安全用电与建筑防雷)。为方便学生自学,每章后有小结和习题。

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。可作为各高等院校理工科专业“电工学”课程的教材,也可作为高等职业技术类相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工学:土建类/颜伟中主编. —2 版. —北京:
高等教育出版社,2010.12

ISBN 978 - 7 - 04 - 030812 - 9

I. ①电… II. ①颜… III. ①电工学 - 高等学校 -
教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 190070 号

策划编辑	金春英	责任编辑	王丹丹	封面设计	于文燕	责任绘图	尹 莉
版式设计	张 岚	责任校对	杨雪莲	责任印制	毛斯璐		

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 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 国防工业出版社印刷厂

购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 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 27
字 数 660 000

版 次 2002 年 12 月第 1 版
2010 年 12 月第 2 版
印 次 2010 年 12 月第 1 次印刷
定 价 39.10 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 30812 - 00

前 言

本教材自 2002 年出版以来,经各高等院校使用,得到了广大教师和学生们的的好评,同时他们也给我们提出了许多宝贵的建设性意见。本教材被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

随着科技的进步、新技术的涌现和电子技术的飞跃发展,为了满足新时代的要求,有必要对本教材进行修订。

本教材在内容上进行了改写、调整和补充,更适用于非电类专业的教学需求。如增加了“三相异步电动机的选择”及“建筑物的等电位联结”等。特别是第 4 篇建筑电气部分的改动较大,随着建筑电气设备的更新,本教材全面改写了“电缆电视系统”和“建筑扩声音响系统”的内容。本教材还删除了不常用的内容,如“建筑工地的供配电”等节。本教材理论联系实际,将使土建类专业的学生不仅具有电工技术和电子技术的基础知识,而且能了解建筑电气的设计、识图及施工管理等方面的知识,以便为今后工作打下基础。

本教材的特点是在体系上有所创新,为板块式结构,教师可根据各专业的需求,进行取舍。全书共分 4 篇:第 1 篇电工技术基础;第 2 篇电子技术基础;第 3 篇电气设备与控制;第 4 篇建筑电气。对建筑学、城市规划和土木工程等专业可选择第 1 篇和第 4 篇的内容。对给水排水、供热通风和建筑材料等专业可选择第 1 篇、第 2 篇和第 3 篇的内容。对建筑管理、房地产和营销等专业可选择第 1 篇、第 3 篇和第 4 篇的内容。建议全日制教学时数为(55~70 学时),实验时数为(16~30 学时)。

全书由哈尔滨工业大学颜伟中教授主编并负责全书的统稿。参加本教材修订的有哈尔滨学院余跃海(第 1、2、3、4、5 章)、黑龙江大学钱妍(第 6、7、8 章)、哈尔滨理工大学翟洪涛(第 9、10、11 章)、哈尔滨工业大学沈大威(第 12、13 章),哈尔滨轻工业学校颜聪与哈尔滨制药总厂新药特药公司吕威修订和绘制了书中的插图。

哈尔滨工业大学吴建强教授对全书进行了认真细致地审查,并提出了很多宝贵的意见。本教材也得到了高等教育出版社和哈尔滨工业大学电工学教研室的大力支持与帮助。在此表示衷心地感谢!

由于编者水平有限和经验的不足,书中难免有不少缺点和错误,敬请广大读者批评指正,以便今后修订提高。

编 者
2010 年 5 月

第一版前言

2002年5月,在重庆召开了由高等教育出版社组织的“《电工学(土建类)》教材编写会”。会上确定了《电工学(土建类)》教材的编写计划。由八所院校的专家共同起草了《电工学(土建类)》教材的编写大纲。本书是为高等院校的土建类工程(建筑学、城市规划、土木工程、桥梁工程、交通工程、给水排水、建筑环境设备工程、供热通风、建筑材料、房地产和营销等)专业学生编写的教材,可兼作高等教育工科院校的土建类工程专业专科学生的自学参考用书。

《电工学(土建类)》教材是属于技术基础课与专业课之间的交叉课程。将使土建类专业的学生不仅具有电工技术和电子技术的基础知识,而且能了解建筑电气的设计、识图、施工管理等方面的知识,以便为今后工作打下基础。

为了适应新世纪信息化时代的需求,本书力争做到精简繁杂的传统内容,突出应用,并增加新技术和新内容,使该书做到体系创新和内容更新。书中介绍了电工技术和电子技术的基本理论,增加了PLC可编程控制器,还根据土建类工程等专业的需求,结合工程实例,介绍了建筑电气方面的知识,如:建筑电气设备、建筑低压配电系统、变电所的布置、导线的选择与敷设、低压保护装置的选择、建筑工地的配电系统、建筑电气照明系统、建筑信息系统、安全用电和建筑防雷等。

本书在体系上有所创新,为板块式结构,教师可根据各专业的需求,进行取舍。全书共分四篇:第1篇电工技术基础、第2篇电子技术基础、第3篇电气设备与控制、第4篇建筑电气,全书共分13章。为方便学生自学,每章后有小结和习题(答案附后)。建议土木工程、桥梁工程、建筑学、城市规划等专业可选择第一、三、四篇,给水排水、环境工程、供热通风、燃气、交通工程、建筑材料等专业可选择第一、二、三篇内容。根据不同专业的需求,适用的学时范围为48、56、72、84学时等。

本教材由颜伟中主编,负责全书的组织、统稿和定稿工作。参加编写工作的有上海东华大学方玲丽(第1、2、3章)、重庆大学侯世英(第4章)、山西大学赵巧娥(第5章)、西南交通大学李春茂(第6章)、湖南大学谢胜曙(第7、8章)、山东科技大学李恒文(第9章)、哈尔滨工业大学颜伟中(第10、11章、部分章节及附录等)、哈尔滨市职工大学李景斌(第12、13章)。

全书经大连理工大学唐介教授认真细致地审查,提出了很多宝贵的意见。

本书在编写过程中,得到高等教育出版社和哈尔滨工业大学电工学教研室的大力支持和帮助。我们在此对以上为本书的编写付出了辛勤劳动的同志们,表示衷心感谢!

由于我们水平有限,经验不足、时间短促,对书中体系的安排、内容的取舍等方面难免会有缺点和错误,恳请读者和朋友们批评指正,以便今后修改提高。

编者

2002.9

目 录

第 1 篇 电工技术基础

第 1 章 直流电路	3	关系	44
1.1 电路的作用及组成	3	2.4.2 功率	46
1.2 电路元件与电路模型	3	2.5 并联交流电路和功率因数的 提高	50
1.3 电路中的基本物理量及其参考 方向	5	2.5.1 并联交流电路	50
1.3.1 电流	5	2.5.2 功率因数的提高	53
1.3.2 电压	5	2.6 RLC 电路中的谐振	56
1.3.3 电位	6	2.6.1 串联谐振	56
1.3.4 电功率	7	2.6.2 并联谐振	59
1.4 电气设备的额定值和电路的工作 状态	9	本章小结	61
1.4.1 电气设备的额定值	9	习题	63
1.4.2 电路的工作状态	10	第 3 章 三相电路	65
1.5 基尔霍夫定律	12	3.1 三相电源	65
1.5.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	12	3.2 负载星形联结的三相电路	68
1.5.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	14	3.3 负载三角形联结的三相电路	72
1.6 支路电流法	16	3.4 三相功率的计算	74
1.7 叠加定理	18	本章小结	76
1.8 戴维宁定理	20	习题	77
1.8.1 二端网络	20	第 4 章 电路的暂态分析	80
1.8.2 戴维宁定理	21	4.1 暂态电路的基本概念和换路 定则	80
本章小结	23	4.1.1 基本概念	80
习题	24	4.1.2 换路定则	81
第 2 章 正弦交流稳态电路	28	4.2 RC 电路的暂态响应	84
2.1 正弦交流电的基本概念	28	4.2.1 RC 电路的零输入响应	84
2.2 正弦量的相量表示法	31	4.2.2 RC 电路的零状态响应	87
2.3 单一参数的正弦交流电路	35	4.2.3 RC 电路的全响应	90
2.3.1 电阻电路	35	4.3 一阶电路暂态分析的三要素法	91
2.3.2 电感电路	37	4.3.1 三要素的定义与公式的意义	91
2.3.3 电容电路	40	4.3.2 RL 电路的暂态分析	94
2.4 RLC 串联的正弦交流电路	44	本章小结	98
2.4.1 RLC 串联电路中电压和电流的		习题	98

第2篇 电子技术基础

第5章 模拟电路	103	本章小结	143
5.1 半导体二极管及其应用	103	习题	146
5.1.1 半导体二极管	103	第6章 数字电路	152
5.1.2 特殊二极管	105	6.1 数字电路的基本知识	152
5.1.3 二极管的应用	107	6.1.1 逻辑代数基础	152
5.2 双极型晶体管(BJT)及其放大 电路	110	6.1.2 逻辑函数及其化简	153
5.2.1 双极型晶体管(BJT)	110	6.1.3 集成逻辑门电路	155
5.2.2 BJT放大电路	115	6.1.4 集成TTL逻辑门电路	156
5.2.3 功率放大电路	120	6.2 组合逻辑电路的分析与 设计	160
5.3 模拟集成电路及其应用	122	6.2.1 组合逻辑电路的特点	160
5.3.1 集成运算放大器	122	6.2.2 组合逻辑电路的分析与设计	160
5.3.2 理想的集成运算放大器及其分析 依据	124	6.2.3 常用组合逻辑电路	163
5.3.3 放大器中的负反馈	126	6.3 时序逻辑电路的分析	176
5.3.4 运算放大器在信号运算方面的 应用	130	6.3.1 触发器	176
5.3.5 集成运放的使用	133	6.3.2 时序逻辑电路	183
5.3.6 集成稳压电源	134	6.4 数/模与模/数转换器	195
5.4 电力电子技术的应用	138	6.4.1 数/模(D/A)转换器	195
5.4.1 晶闸管的基本特性	138	6.4.2 模/数(A/D)转换器	200
5.4.2 可控整流电路	140	本章小结	205
		习题	207

第3篇 电气设备与控制

第7章 变压器	217	第8章 异步电动机	230
7.1 变压器的结构和工作原理	217	8.1 异步电动机的结构和工作 原理	230
7.1.1 变压器的结构	217	8.1.1 异步电动机的结构	230
7.1.2 变压器的工作原理	218	8.1.2 异步电动机的工作原理	232
7.1.3 变压器的特性	221	8.2 机械特性和铭牌数据	234
7.1.4 变压器的极性	223	8.2.1 机械特性	234
7.2 变压器的应用	223	8.2.2 铭牌数据	237
7.2.1 互感器	223	8.3 异步电动机的起动和调速	239
7.2.2 自耦变压器	225	8.3.1 异步电动机的起动	239
7.2.3 电焊变压器	226	8.3.2 异步电动机的调速	242
7.2.4 三相电力变压器	226	8.4 单相异步电动机	243
本章小结	228	8.4.1 结构	243
习题	228	8.4.2 工作原理	244

8.5 三相异步电动机的选择	245	9.4 三相异步电动机的限位与行程 控制电路	260
8.5.1 类型的选择	245	9.4.1 行程开关	260
8.5.2 参数的选择	245	9.4.2 行程控制电路	261
本章小结	246	9.5 三相异步电动机的顺序与时间 控制电路	262
习题	247	9.5.1 时间继电器	262
第9章 异步电动机的控制系统	248	9.5.2 顺序控制	263
9.1 常用低压控制电器	248	9.6 变频调速控制的应用	266
9.1.1 刀开关	248	9.6.1 变频调速控制的工作原理	266
9.1.2 按钮	248	9.6.2 给水泵变频调速控制电路图	267
9.1.3 热继电器	250	9.7 可编程控制器控制电路	269
9.1.4 低压断路器	251	9.7.1 可编程控制器概述	269
9.1.5 交流接触器与中间继电器	253	9.7.2 可编程控制器的基本组成	270
9.2 三相异步电动机的直接起动 控制电路	255	9.7.3 可编程控制器的工作原理	273
9.2.1 单向控制及点动控制	255	9.7.4 可编程控制器的梯形图语言	274
9.2.2 异地控制电路	257	9.7.5 PLC 的指令系统	276
9.3 三相异步电动机的正反转起动 控制电路	258	9.7.6 P 型机编程举例	282
9.3.1 带联锁的正反转控制电路	258	本章小结	285
9.3.2 混凝土搅拌机的控制电路	259	习题	286

第4篇 建筑电气

第10章 建筑供电系统	293	习题	319
10.1 电力系统	293	第11章 建筑电气照明系统	321
10.1.1 电力系统概述	293	11.1 照明技术的基本概念、照明方 式和种类	321
10.1.2 电力负荷的分级与计算	294	11.1.1 照明技术的基本概念	321
10.1.3 6~10 kV 变电所	300	11.1.2 照明方式和种类	323
10.2 建筑低压配电系统	304	11.2 电光源和灯具	324
10.2.1 低压配电方式	304	11.2.1 电光源	324
10.2.2 动力配电系统	305	11.2.2 灯具	326
10.2.3 低压配电线路的敷设方式	307	11.2.3 灯具的布置	328
10.2.4 电线与电缆的选择	309	11.2.4 室外照明	333
10.2.5 低压配电系统的短路保护	313	11.3 照明工程识图	334
10.3 建筑电气与其他相关专业的 配合	317	11.3.1 照明线路的配置	334
10.3.1 电气与建筑专业的配合	317	11.3.2 识读照明电气施工图	338
10.3.2 电气与土建结构专业的配合	317	本章小结	347
10.3.3 电气与给排水、采暖通风专业的 配合	317	习题	347
本章小结	318	第12章 智能建筑信息系统	350
		12.1 建筑的信息通信系统	350

12.1.1 程控数字用户交换机系统	350	12.5.2 闭路电视监视设备	377
12.1.2 图文信息通信系统	356	12.5.3 防盗报警设备	378
12.2 电缆电视系统	359	12.5.4 民用住宅的保安管理系统	381
12.2.1 电缆电视系统的主要设备	359	12.6 建筑设备管理自动化系统	382
12.2.2 干线传输系统	360	本章小结	385
12.2.3 用户分配系统	361	习题	386
12.3 建筑的扩声音响系统	364	第13章 安全用电与建筑防雷	387
12.3.1 扩声音响系统的组成	364	13.1 安全用电	387
12.3.2 高层建筑的扩声音响系统	366	13.1.1 触电对人体的伤害	387
12.4 火灾报警与消防联动控制		13.1.2 触电的形式	387
系统	367	13.1.3 低压配电系统的接地	389
12.4.1 火灾报警控制系统	367	13.2 建筑防雷	390
12.4.2 消防联动控制系统	371	13.2.1 雷电的危害性	390
12.4.3 消防系统设备的安装与系统的		13.2.2 建筑防雷的分类与装置	391
布线	374	13.2.3 建筑物的等电位联结	396
12.5 建筑的保安管理系统	376	本章小结	398
12.5.1 建筑的保安管理系统的组成与		习题	399
分类	376		
附录 A 电气工程图形符号	400		
附录 B 电气工程文字标注符号	404		
附录 C S ₇ 系列电力变压器的技术数据	407		
附录 D 铜芯绝缘导线长期连续负荷允许载流量表	408		
附录 E 铝芯绝缘导线长期连续负荷允许载流量表	409		
附录 F 裸导线及电力电缆长期连续负荷允许载流量表	410		
附录 G 树脂浇注干式电力变压器的技术数据	411		
部分习题答案	412		
参考文献	421		

第 1 篇 电工技术基础

第1章 直流电路

本章在介绍电路的基本知识基础上,主要讨论电路的基本定律、定理和基本分析方法,并应用它们对直流稳态电路进行分析和计算。掌握这些知识也是为后面章节的学习打基础。

1.1 电路的作用及组成

电路,简言之就是电流所经之路。电路是由若干电气设备和元件以一定方式构成的通路。有时将复杂的电路称为网络。

在电气系统电路中,用于实现电能的传输和转换,是电路的一个作用,如由发电机、变压器、控制设备及输电线等组成了电力系统电路中产生电能、输送电能的复杂电路;在信号系统电路中,用于信号传递、存储、运算和处理是电路的另一个作用,如半导体收音机中的接收电路、调谐电路、放大电路、振荡电路和检波电路等组成的复杂电路对信号进行传递和处理。

这些实际电路的形式繁多,作用也各不相同,但它们都由三个主要部分组成,即电源、负载和中间环节。

电源是提供电能的装置。它是将非电能转换为电能或者把电能转换为另一种形式的电能或信号的装置。常见的如干电池、发电机、信号源、整流电源、变频电源及 UPS 不间断电源等。

负载是取用电能的设备和器件。它将电能转换成其他形式的能量。如电灯、电炉、电动机、水泵及扬声器等设备和器件。

中间环节是连接电源和负载的部分。它起传送、分配和控制电能的作用。如连接电源与负载的传输线、开关、熔断器或断路器等。

电源、负载和中间环节是构成一个完整电路的三个最基本部分。对电路而言,把电源内部的电流通路称为内电路,而把负载和中间环节构成的电流通路称为外电路。

1.2 电路元件与电路模型

实际电路都是由一些具体的电气元件和电气设备组成,把这些具体的电气元件和电气设备统称为实际的电路元件。由于实际电路元件的种类繁多,而且它们的电磁性质也比较复杂,为了简化问题的分析,把实际电路元件分为无源元件和有源元件,并把它们的电磁性质进行科学的抽象和概括。

当电路在工作中,电磁波的波长远大于实际电路尺寸的情况下,我们用表征主要物理性质而忽略其次要性质的理想电路元件来代替。例如,只具有消耗电能的性能,集中在理想电阻元件中进行;只具有储存电场能量的性能,集中在理想电容元件中进行;只具有储存磁场能量的性能,集中在理想电感元件中进行。这些理想电路元件只集中体现一种物理性能。

理想电阻元件表征实际电路元件消耗电能,其图形符号如图 1.2.1(a)所示。

理想电容元件表征实际电路元件以电场形式储存能量,其图形符号如图 1.2.1(b)所示。

理想电感元件表征实际电路元件以磁场形式储存能量,其图形符号如图 1.2.1(c)所示。

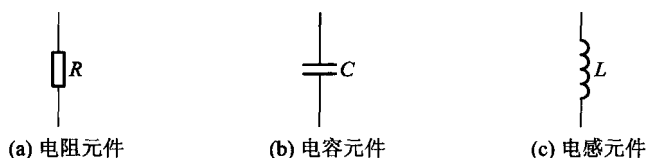


图 1.2.1 无源元件

为简便起见,常把理想电阻元件简称为电阻;理想电容元件简称为电容;理想电感元件简称为电感。电阻又称耗能元件,电容和电感又称储能元件。

实际电源的理想化模型有理想电压源元件和理想电流源元件,其图形符号如图 1.2.2 所示。在实际电路中,理想电压源元件有时也用电动势 E (直流) 和 e (交流) 表示。

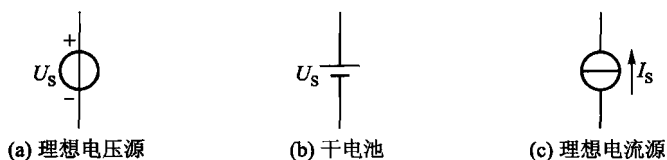


图 1.2.2 有源元件

由理想电路元件组成的电路称为实际电路的电路模型。今后我们所讨论的电路都是指电路模型,一个手电筒的照明电路,如图 1.2.3(a) 所示。灯泡的模型可以用电阻 R 表示,电池的模型可以用一个端电压为 U_s 的理想电压源和一个电阻元件 R_0 相串联来表示。一个实际照明电路的电路模型,如图 1.2.3(b) 所示。一台电机的控制电路,如图 1.2.3(c) 所示。

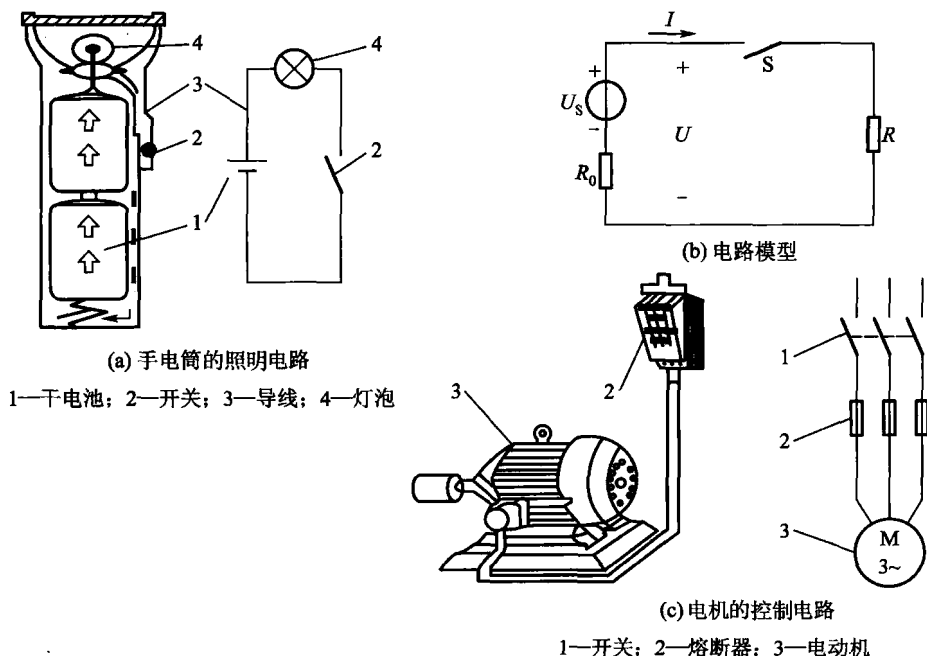


图 1.2.3 实际的电路与电路模型

1.3 电路中的基本物理量及其参考方向

1.3.1 电流

电路中的电流是电荷作定向运动形成的。在单位时间内通过某一导体截面的电荷量定义为电流。当电流的大小和方向随时间变化时,电流为时间的函数,称为交流电流,用小写字母 i 或符号 $i(t)$ 表示

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.3.1)$$

式中, q : 电荷,单位为库[仑](C); t : 时间,单位为秒(s); i : 电流,单位为安[培](A)。在计量微小电流时,常用毫安(mA)或微安(μA)为单位,在计量大电流时,常用千安(kA)为单位。其换算关系为 $1\text{ A} = 10^3\text{ mA} = 10^6\text{ }\mu\text{A} = 10^{-3}\text{ kA}$ 。

若电流的大小和方向不随时间变化,则称为恒定电流或直流电流,用大写字母 I 表示。习惯上,我们定义电流的实际方向为正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向。

在分析和计算电路中各部分电路的电流时,不仅需要知道电流的大小,还要知道电流的实际方向。除了一些简单的直流电路外,电流的实际方向不是明显可以看出来的,因此,在研究电路时,引进参考方向的概念,参考方向是任意假定的,用带箭头的有向线段表示。根据参考方向来列写方程,当电流的实际方向与参考方向一致时,电流的计算结果为正值;当电流的实际方向与参考方向相反时,电流的计算结果为负值。这样根据电流的正、负值及参考方向,可以确定电流的实际方向。

电流源(能输出电流的电源)的电流 I_s 是电流源输出的电流,在电路图中标出 I_s 的参考方向,如图 1.2.2(c) 所示。当 I_s 为正值时,表示电流源的实际方向与参考方向一致;当 I_s 为负值时,表示电流源的实际方向与参考方向相反。

1.3.2 电压

电压是衡量电场力对正电荷做功能力的物理量。电荷中两点之间的电压表征单位正电荷从起始点移到终止点时电场力所做的功。可见,电场力对正电荷做功的方向就是电位降落的方向,因此,规定电压的方向(极性)由高电位端指向低电位端,即电位降低的方向。

当电压随时间变化时,电压是时间的函数,用小写字母 u 或符号 $u(t)$ 表示,若电压的大小和方向与时间无关,则称为直流电压,用大写字母 U 表示。

同样,在分析和计算电路时,也要引进电压参考方向。当电压的实际方向与参考方向一致时,电压的计算结果为正值;当电压的实际方向与参考方向相反时,电压的计算结果为负值。电压的参考方向除了用“+”表示高电压端,“-”表示低电压端外,还可以用双下标表示,如图 1.3.1 所示。a、b 两点的电压 U_{ab} 表示 a 点为高电位端, b 点为低电位端。



图 1.3.1 电压参考方向的表示

电压源(能输出电压的电源)的电压 U_s 是电压源的端电压,在电路中标出的是端电压 U_s 的参考方向,如图 1.2.2(a) 所示。当 U_s 为正值时,表示电压源端电压的实际方向与参考方向一致;当 U_s 为负值时,表示电压源端电压的实际方向与参考方向相反。干电池两端电压用 U_s (或 E) 来表示,其电源的符号,如图 1.2.2(b) 所示。

电压的单位为伏[特],简称伏,用符号 V 表示。 $1\text{ V} = 10^{-3}\text{ kV} = 10^3\text{ mV} = 10^6\text{ }\mu\text{V}$ 。

为了分析电路方便,常把同一元件电流和电压的参考方向选得一致,称关联参考方向,如图 1.3.2(a) 所示。若电流和电压的参考方向相反,称为非关联参考方向,如图 1.3.2(b) 所示。



图 1.3.2 关联参考方向与非关联参考方向

当采用关联参考方向时,可以简化参考方向的标注,电路中只要标出电流或电压的一个参考方向即可,另一个电量的参考方向由关联一致来确定。本书在分析或计算电路时,如未作特殊说明均采用关联参考方向。

1.3.3 电位

电位差等于电压。在电路中任选一点为参考点,且设参考点的电位为零,则电路中任一点的电位就等于该点到参考点的电压。电位用符号 V 加下标表示,如 a 点的电位表示为 V_a ,而任意两点间的电压可以用电位差来表示,如 a、b 两点间的电压可表示为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.3.2)$$

电位的单位与电压单位相同,也用伏[特](V)表示。

在分析计算电路时,特别是电子线路中常用到电位的概念。当电路不接地而又要分析一些结点的电位时,可以在电路中任选一点作为参考点,即零电位点,电子线路一般常用符号“ $\perp$ ”或“ $\perp$ ”表示公共端,接机壳或接底板,如接电源的“+”或“-”极。用“ $\perp$ ”表示接大地,如变压器的中性点接地及防雷接地等。要计算电路中某一点的电位,就是计算该点与参考点之间的电位差。

电路中参考点的选择是任意的,一旦参考点选择后不可随意更改。

【例 1.3.1】 如图 1.3.3 所示,已知 $I = -1\text{ A}$, $R_1 = 4\text{ }\Omega$, $R_2 = 8\text{ }\Omega$, $U_s = 20\text{ V}$, 分别设 b、c、d 为参考点,求其他几点的电位及 U_{ad} 。

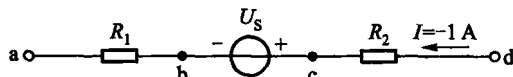


图 1.3.3 例 1.3.1 的电路图

【解】 已知电流 I 为负值,说明该段电路中电流的实际方向与箭头所示的参考方向相反。

(1) 设 $V_b = 0$

$$V_a = U_{ab} = -IR_1 = -(-1) \times 4\text{ V} = 4\text{ V}$$

$$V_c = U_{cb} = U_s = 20\text{ V}$$

$$V_d = IR_2 + V_c = [(-1) \times 8 + 20]\text{ V} = 12\text{ V}$$

$$U_{ad} = U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} = [4 + (-20) - (-1) \times 8]\text{ V} = -8\text{ V}$$

或 $U_{ad} = V_a - V_b = (4 - 12) \text{ V} = -8 \text{ V}$

(2) 设 $V_c = 0$

$$V_a = -IR_1 - U_s = [-(-1) \times 4 - 20] \text{ V} = -16 \text{ V}$$

$$V_b = U_{bc} = -U_s = -20 \text{ V}$$

$$V_d = IR_2 = (-1) \times 8 \text{ V} = -8 \text{ V}$$

$$U_{ad} = U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} = -IR_1 - 20 - IR_2 = [-(-1) \times 4 - 20 - (-1) \times 8] \text{ V} = -8 \text{ V}$$

或 $U_{ad} = V_a - V_d = [-16 - (-8)] \text{ V} = -8 \text{ V}$

(3) 设 $V_d = 0$

$$V_a = -IR_1 - U_s - IR_2 = [-(-1) \times 4 - 20 - (-1) \times 8] \text{ V} = -8 \text{ V}$$

$$V_b = -U_s - IR_2 = [-20 - (-1) \times 8] \text{ V} = -12 \text{ V}$$

$$V_c = -IR_2 = [-(-1) \times 8] \text{ V} = 8 \text{ V}$$

$$U_{ad} = V_a = -8 \text{ V}$$

或 $U_{ad} = V_a - V_d = (-8 - 0) \text{ V} = -8 \text{ V}$

由上例计算可知:

电路中各点电位值随参考点的不同而不同;电路中任意两点间电压的大小与参考点的选择无关。电路中电位具有相对性而电压具有绝对性。

【例 1.3.2】 电路如图 1.3.4 所示,试求 B 点电位。

【解】 图 1.3.4(a) 与 (b) 是一个电路的两种不同画法,根据图 1.3.4(a) 所示电流参考方向可知

$$I = \frac{V_A - V_C}{R_1 + R_2} = \frac{8 + 6}{20 + 5} \text{ A} = \frac{14}{25} \text{ A} = 0.56 \text{ A}$$

$$V_B = IR_2 + V_C = [0.56 \times 5 + (-6)] \text{ V} = -3.2 \text{ V}$$

或 $V_B = V_A - IR_1 = (8 - 0.56 \times 20) \text{ V} = -3.2 \text{ V}$

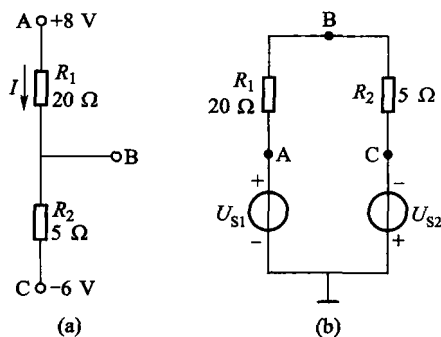


图 1.3.4 例 1.3.2 的电路图

1.3.4 电功率

电功率表征电路元件中能量变换的速度。其值等于单位时间内电路元件吸收或发出的电能。即

$$P = \frac{W}{t} \quad (1.3.3)$$

由于电压是电场力把单位正电荷从起始点移到终止点所做的功,电流是在电场力作用下,单位时间内通过导体截面的电荷量,故电功率也是电压与电流的乘积。即

$$P = UI \quad (1.3.4)$$

当电压与电流是时间函数时,则

$$p = ui \quad (1.3.5)$$

电功率的单位为瓦[特],简称瓦,用符号 W 表示,在计量大功率时,常用千瓦(kW)为单位。

在分析计算电路时,根据选定的参考方向和计算结果所得的电压、电流的正、负值来确定电压、电流的实际方向。若电路元件电流的实际方向是从该元件电压的实际正端流出(U 、 I 的方向

相反,即为非关联参考方向),则该电路元件为电源,发出功率;若电路元件电流的实际方向是从该元件电压的实际正端流入(U 、 I 的方向相同,即为关联参考方向),则该电路元件为负载,吸收功率。

【例 1.3.3】 图 1.3.5 所示的方框为电路元件,已知 $U_{AB} = 50 \text{ V}$, $I_1 = 15 \text{ A}$, $I_2 = 10 \text{ A}$, $I_3 = -5 \text{ A}$, 试求:电路中各元件的功率,判别该元件属于电源还是负载,并校验功率是否平衡。

【解】 已知 $U_{AB} = 50 \text{ V}$, 则 A 点电位高于 B 点电位, A 点为“+”, B 点为“-”。

元件 1 $I_1 = 15 \text{ A}$ (其图中标示电流的方向与端电压的方向为非关联参考方向), 电流的实际方向从实际的“+”端流出, 该元件为电源。元件 1 的功率

$$P_1 = -I_1 U_{AB} = -15 \times 50 \text{ W} = -750 \text{ W}$$

元件 2 $I_2 = 10 \text{ A}$ (其图中标示电流的方向与端电压的方向为关联参考方向), 电流的实际方向从实际的“+”端流入, 该元件为负载。元件 2 的功率

$$P_2 = I_2 U_{AB} = 10 \times 50 \text{ W} = 500 \text{ W}$$

元件 3 $I_3 = -5 \text{ A}$ (其图中标示电流的方向与端电压的方向为非关联参考方向), 电流的实际方向从实际的“+”端流入, 该元件为负载。元件 3 的功率

$$P_3 = -I_3 U_{AB} = -(-5) \times 50 \text{ W} = 250 \text{ W}$$

负载吸收的功率

$$P_L = P_2 + P_3 = (500 + 250) \text{ W} = 750 \text{ W}$$

可见, 负载吸收的功率和电源输出的功率平衡。

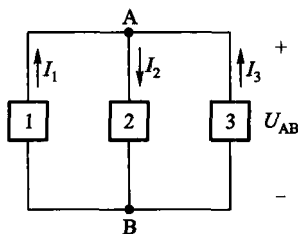


图 1.3.5 例 1.3.3 的电路图

复 习 思 考 题

1.3.1 电路如图 1.3.6 所示, 求: (1) 当 $U_{S1} = U_{S2}$ 时, 电路中哪些是电源? 哪些是负载? (2) 当 $U_{S1} > U_{S2}$ 时, 电路中哪些是电源? 哪些是负载?

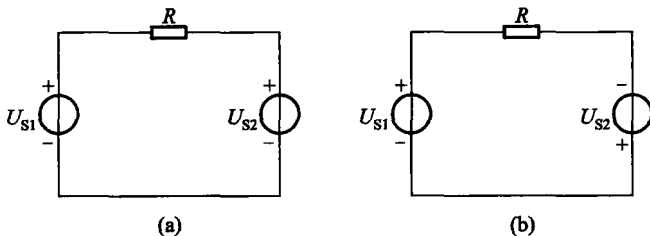


图 1.3.6 题 1.3.1 的图

1.3.2 图 1.3.7 中, 已知 $I = -3 \text{ A}$, $U_{AB} = -6 \text{ V}$, 试判别 I 与 U_{AB} 的实际方向。当 B 点电位为 -4 V 时, 求 A 点电位 V_A 。

1.3.3 如设图 1.3.7 中的 $R = 5 \Omega$, $U_{BA} = 10 \text{ V}$, 试: (1) 判别 A、B 两点哪点电位高。 (2) 求电流 I 。

1.3.4 设图 1.3.8 中 F 点为参考点, 求 A、B、C 各点的电位及电压 U_{AC} ; 如设 B 点为参考点, 求 A、C、F 各点的电位及电压 U_{AC} 。