



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专教育)

电工技术 (第三版)

席时达 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

(高职高专教育)

电工技术

(第三版)

席时达 主编

高等教育出版社

内容提要

本书第一版是在原国家教委高教司组织指导下,根据当时制定的《高等学校工程专科电工技术课程教学基本要求》编写,经国家教委高等工程专科电工学课程教材编审组审查通过,作为高等工程专科非电类专业教材于1992年出版。后经过修改,作为教育部高职高专推荐教材于2000年出版了第二版。现作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,再次修订。

本书内容包括:电路的基础知识和分析方法、单相交流电路和三相交流电路、电路的瞬态过程、变压器与电动机、继电-接触器控制和可编程控制器、安全用电及电工测量等,共计11章。每节后有思考题,每章后有小结和习题(除第十章外),书末附有部分习题答案。

本书有配套的电子版教学参考书和电子教案,2008年秋季以后由出版社提供给用本书授课的教师。教学参考书中有各章的教学要求和供参考的备课教案,还有全部思考题和习题的详细解答以及参考试题和答案;电子教案包括CAI多媒体课件和EDA仿真实验库,教师可以根据自己的意愿修改课件和实验库的内容。

本书可作为高职高专院校非电类专业和近电类专业的教材,也可作为成人教育或职业培训的教材,还可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/席时达主编.—3版.—北京:高等教育出版社,2007.12

ISBN 978-7-04-022347-7

I. 电… II. 席… III. 电工技术-高等学校-教材
IV. TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第154113号

策划编辑 孙杰 责任编辑 魏芳 封面设计 张志奇 责任绘图 尹莉
版式设计 马敬茹 责任校对 杨雪莲 责任印制 宋克学

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landrace.com
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司		http://www.landrace.com.cn
印 刷	北京大容彩色印刷有限公司	畅想教育	http://www.widedu.com
		版 次	1992年5月第1版
开 本	787×1092 1/16		2007年12月第3版
印 张	22.25	印 次	2007年12月第1次印刷
字 数	540 000	定 价	27.80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 22347-00

前 言

本书第二版从2000年出版以来,先后印刷了十多次,除得到高等工程专科非电类专业广大师生的欢迎外,也被一些近电类的专业选作教材,特别是近年来被越来越多的高等职业院校所选用。为了适应社会的实际需求,在教材中更多地体现高等职业教育“以服务为宗旨,以就业为导向,走产学研结合的道路”的办学思想,培养“既能动脑,更能动手”的高技能人才,第三版保留了原教材的基本体系和风格,发扬“宽、浅、新、用”的特点,主要从以下三方面作了修订:

一、删减烦琐的数学推导,加强物理概念的理解和应用。

例如:删除瞬态过程三要素法公式的全部推导过程,加强对公式的理解和应用;避开三相异步电动机内部复杂的理论推导,突出对机械特性的分析和应用;删除直流电动机的定量分析计算,保留定性分析;删除用两表法测量三相功率的数学推导,着重于接线方法和应用。

二、适当扩大技术应用的知识面,删除相对次要的内容。

例如:新添的技能性内容有判定绕组同名端的实验方法、电气接线图的阅读方法、三相异步电动机的运行维护、电度表的接线方法等;增添的实用电路有吊扇调速、洗涤电动机控制、单机控制和集中控制线路等;扩大的实用常识有步进电动机、供电与配电、防雷保护、触电急救等。删除的次要内容有诺顿定理、三相异步电动机的转矩特性、部分特种异步电动机等,此外还删除了一些较难的思考题和计算题,书末删除中英名词对照。

三、跟随技术发展,适时更新内容。

例如:本书第二版中可编程控制器原以日本三菱公司的F系列为实例进行介绍,今F系列已停产,故改为以其取代产品FX₂系列为实例进行介绍,并删除用基本指令设计顺序控制的方法,改为介绍步进指令及其应用,以适应技术发展的要求;“接地保护和接零保护”的内容改为介绍IT系统、TN系统和TT系统。

本书第三版由北京理工大学庄效桓教授审稿,提出了许多宝贵的意见,编者在此表示深切的谢意。

对于书中存在的错误和不妥之处,殷切希望广大师生和读者批评指正。

上海理工大学 席时达
2007年4月

第二版前言

本书第一版是在原国家教育委员会高教司组织指导下,根据《高等学校工程专科电工技术课程教学基本要求》(1991年出版)编写,经国家教委高等工程专科电工学课程教材编审组审查通过,作为高等学校工程专科非电类专业教材于1992年出版的。现根据1996年修订公布的《高等学校工程专科电工学课程教学基本要求》和教育部高工专电工学课程组1997年长春扩大会议对本书的讨论意见修订而成。

根据当前新技术的发展和高工专(包括高职)教学改革的要求,本版对部分内容作了一些调整,更侧重于电工技术的应用,适当降低数学运算的要求。例如增添了“可编程控制器”、“电气防火和防爆”、“静电防护”、“直流伺服电动机”以及“数字式万用表”、“兆欧表”等章节,并补充了“软起动”和“三相五线制供电系统”等新内容,删去了“电位的计算”、“补偿电容的选取”等章节,并进一步简化了电路的过渡过程中三要素法公式的推导,删减了正弦交流电路中一些烦琐的复数运算及异步电动机的选用计算等内容。

本课程的参考学时为60学时。考虑到不同专业对教材内容要求的差异及各校实际学时数的不同,本版内容在覆盖课程基本要求的基础上,适当有所扩展,各校可以根据专业设置和学生就业岗位选学所需的内容。

本书由上海理工大学孔凡才教授主审,主审对书稿提出了许多宝贵意见和建议。本书第一版的第一至五章原由合肥工业大学王文胜副教授编写,本版是在第一版基础上修订的,自然包含了王文胜副教授的辛勤劳动。编者在此向孔凡才教授和王文胜副教授表示深切的谢意。

编者水平有限,书中错误和不妥之处恳切希望使用本书的师生和读者批评指正。

编者
2000年1月

第一版前言

本书是在国家教育委员会高教司组织指导下,根据《高等学校工程专科电工技术课程教学基本要求》编写的基本教材。经国家教委高等工程专科电工学课程教材编审组审查通过,作为高等学校工程专科非电类专业教材出版。内容包括电路基础、电机与继电-接触器控制、电工测量和安全用电四部分。取材以工程实践中所需的电工技术的基本知识、基本技能、基本理论为主。遵循“以应用为目的,以必需够用为度”的原则,精选内容,强调概念,注重应用而不着力于公式的推导和理论的论证。同时注意内容结构的合理性和专科教材的系统性。

为使本书能适应各高等专科学校不同专业的实际教学需要,在保证满足课程教学基本要求的前提下,还适当增加了一些拓宽的选学内容。这些内容在章节号前均标有*号。

书中有较丰富的例题和思考题,与教材内容紧密配合,每章后边有小结和习题。参考学时范围为54~63学时,其中实验与习题课等实践性教学环节的学时数应不低于总学时数的30%。

本书第一至五章由郑州机械专科学校王文胜编写,第六至十一章由上海机械专科学校席时达编写,席时达担任主编。

本书由中国计量学院吴项主审,并经国家教委高等工程专科电工学课程教材编审组于1990年12月在郑州召开的审稿会议审阅。参加审稿会的有北京轻工学院孙骆生、哈尔滨机电专科学校吕国泰、山东水利专科学校邱少岳、湖南省纺织专科学校易源屏、江南大学刘琴芳、郑州机械专科学校魏玉清以及南京化工动力专科学校谢蕴华、上海轻工业专科学校许宝发等。与会同志认真地审阅了初稿,提出了许多修改意见和建议,编者在此表示衷心的感谢。

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批评指正。

编者

1991年4月

目 录

第一章 电路的基础知识	1	3-3 单一参数的交流电路	58
1-1 电路及其主要物理量	1	一、电阻电路	58
一、电路的概念	1	二、电感电路	60
二、电路的主要物理量	3	三、电容电路	63
1-2 电路模型	9	3-4 <i>RLC</i> 串联电路	67
一、理想电路元件	9	一、电压与电流之间的关系	68
二、电阻的串联、并联	14	二、电路的功率	72
三、实际电源的两种电路模型	16	3-5 正弦交流电路的分析方法	75
1-3 电路的基本状态	21	一、基尔霍夫定律的相量形式	75
一、有载状态	21	二、复阻抗的串联和并联	75
二、开路状态	22	三、分析正弦交流电路的一般步骤	77
三、短路状态	23	3-6 功率因数的提高	79
1-4 基尔霍夫定律	25	一、功率因数太低的不利影响	80
一、基尔霍夫电流定律	25	二、提高功率因数的方法	80
二、基尔霍夫电压定律	26	三、补偿电容的确定	81
本章小结	28	3-7 电路的谐振	83
本章习题	29	一、串联谐振	83
第二章 电路分析方法	32	二、并联谐振	86
2-1 支路电流法	32	3-8 非正弦交流电路的概念	88
2-2 叠加定理	34	一、非正弦交流电压、电流的产生	89
2-3 戴维宁定理	38	二、非正弦交流电路的分析方法	89
本章小结	41	三、非正弦交流电压、电流的有效值和	
本章习题	41	平均值	90
第三章 正弦交流电路	45	本章小结	91
3-1 正弦交流电的基本概念	45	本章习题	93
一、正弦量的三要素	46	第四章 三相交流电路	96
二、相位差	48	4-1 三相电源	96
三、有效值	50	一、三相电动势	96
3-2 正弦量的相量表示法	52	二、三相四线制供电系统	97
一、复数	52	4-2 负载的星形联结	99
二、正弦量与复数的关系	54	一、电压、电流的基本关系	99
三、相量	54	二、三相负载对称的情况	101
四、正弦电路的相量分析	56	三、三相负载不对称的情况	101
		4-3 负载的三角形联结	103

一、电压、电流的基本关系	103	一、变压器的基本结构	138
二、三相负载对称的情况	105	二、变压器的工作原理	138
三、三相负载不对称的情况	106	6-5 变压器的额定值和运行特性	143
4-4 三相负载的功率	107	一、变压器的额定值	143
一、三相功率的基本关系	107	二、变压器的外特性和电压变化率	144
二、三相对称负载的功率	107	三、变压器的损耗和效率	144
本章小结	108	6-6 常用变压器	146
本章习题	109	一、三相电力变压器	146
第五章 电路的瞬态分析	111	二、自耦变压器和调压器	148
5-1 瞬态过程的基本知识	111	三、小功率电源变压器	149
一、电路中的瞬态过程	111	四、仪用互感器	152
二、换路定律	112	本章小结	154
三、分析一阶电路瞬态过程的三要素法	112	本章习题	156
四、根据换路定律确定瞬态过程的 初始值	112	第七章 电动机	159
5-2 RC 电路的瞬态过程	114	7-1 三相异步电动机的结构和工作 原理	159
一、RC 电路的充电过程	114	一、三相异步电动机的结构	159
二、RC 电路的放电过程	116	二、三相异步电动机的工作原理	161
5-3 微分电路与积分电路	118	7-2 三相异步电动机的特性和铭牌 数据	165
一、微分电路	118	一、机械特性	165
二、积分电路	119	二、运行特性	168
5-4 RL 电路的瞬态过程	120	三、铭牌数据	169
一、RL 电路与直流电压接通	120	7-3 三相异步电动机的使用	172
二、RL 电路的短接	121	一、三相异步电动机的运行控制	172
三、RL 电路的断开	121	二、三相异步电动机的选择	181
本章小结	123	三、三相异步电动机的维护	183
本章习题	123	7-4 单相异步电动机	184
第六章 磁路与变压器	126	一、电容分相式电动机	185
6-1 磁路的基本知识	126	二、罩极式电动机	186
一、磁路的概念	126	三、三相异步电动机的单相运行	187
二、磁路的主要物理量	127	四、单相异步电动机的应用举例	187
三、磁性材料	128	7-5 直流电动机	188
四、磁路欧姆定律	130	一、直流电动机的结构和工作原理	188
6-2 交流铁心线圈电路	132	二、直流电动机的励磁方式和机械特性	192
一、电磁关系	132	三、直流电动机的使用	193
二、功率损耗	133	7-6 伺服电动机	195
6-3 电磁铁	134	一、交流伺服电动机	195
一、直流电磁铁	135	二、直流伺服电动机	196
二、交流电磁铁	135	7-7 步进电动机	197
6-4 变压器的结构和工作原理	137		

一、反应式步进电动机的简化结构和工作			
原理	197		
二、步距角和转速	200		
三、小步距角步进电动机	200		
本章小结	201		
本章习题	204		
第八章 继电 - 接触器控制	206		
8-1 几种常用低压电器	206		
一、隔离器	206		
二、按钮	208		
三、接触器	209		
8-2 三相笼型异步电动机的直接			
起动控制	210		
一、点动控制	210		
二、起、停控制	211		
三、多地点控制	212		
8-3 三相异步电动机的保护	214		
一、短路保护	214		
二、过载保护	215		
三、失压保护	216		
四、低压断路器	217		
8-4 三相笼型异步电动机的正反转			
控制	218		
一、接触器互锁的正反转控制电路	218		
二、复合互锁的正反转控制电路	219		
8-5 开关自动控制	220		
一、行程控制	221		
二、时间控制	222		
三、速度控制	225		
8-6 联锁控制	228		
一、按顺序先后起动	228		
二、按顺序先后停转	229		
三、不许单独工作	229		
四、不许同时工作	230		
五、中间继电器	230		
8-7 继电 - 接触器控制电路图的			
阅读	233		
一、电气原理图	233		
二、电气接线图	237		
本章小结	238		
本章习题	239		
第九章 可编程控制器	242		
9-1 可编程控制器的组成和工作			
原理	242		
一、可编程控制器的组成和各部分			
作用	242		
二、可编程控制器的工作过程	244		
三、可编程控制器的等效继电器系统	245		
四、可编程控制器与继电器控制系统的			
区别	246		
9-2 可编程控制器的编程语言和			
编程元件	247		
一、梯形图编程规则	247		
二、语句表	249		
三、编程元件	249		
9-3 可编程控制器的指令系统	253		
一、基本指令	253		
二、基本指令编程实例	256		
三、步进指令	261		
9-4 可编程控制器的应用	264		
一、PLC 控制系统设计的大致步骤	264		
二、PLC 代替继电器控制	264		
三、顺序控制	271		
本章小结	278		
本章习题	280		
第十章 安全用电	282		
10-1 供电与配电	282		
一、电力系统	282		
二、工厂供电系统	283		
10-2 触电	285		
一、电伤与电击	285		
二、触电对人体伤害程度的影响因素	285		
三、触电方式	286		
10-3 防止触电的保护措施	289		
一、安全电压	289		
二、安全距离和绝缘保护	289		
三、保护接地	290		
四、漏电保护器	295		
10-4 电气防火和防爆	297		
一、电气火灾和爆炸的原因	297		

二、电气防火防爆的措施	298	二、电压的测量	321
三、电气火灾的扑灭	298	三、电功率的测量	322
10-5 静电防护	299	四、电能的测量	326
一、静电的产生	300	11-4 万用表	328
二、静电的危害	300	一、指针式万用表	328
三、静电的防护措施	301	二、数字式万用表	330
10-6 防雷保护	302	11-5 兆欧表	333
一、雷电	302	一、兆欧表的结构和工作原理	333
二、防雷措施	304	二、兆欧表的使用方法	334
10-7 安全用电和触电急救常识	306	本章小结	335
一、安全用电常识	306	本章习题	336
二、触电急救常识	307	附录	337
本章小结	309	附表1 本书主要物理量的符号	
第十一章 电工测量	311	及单位	337
11-1 电工仪表的一般知识	311	附表2 本书所用的主要下角标	337
一、指示仪表的分类和符号	311	附表3 用于构成十进倍数和分数	
二、测量误差	312	单位的词头	338
三、仪表的准确度	313	附表4 Y系列三相异步电动机技术	
四、仪表量程的选择	314	数据	338
11-2 常用指示仪表的基本结构和		附表5 常用电气图形符号和文字	
工作原理	315	符号	339
一、指示仪表的基本结构	315	附表6 常用电线电缆型号、名称和	
二、指示仪表的工作原理	316	用途	340
11-3 电流、电压、电功率及电能的		部分习题答案	342
测量	319	参考书目	343
一、电流的测量	319		

第一章 电路的基础知识

科学技术飞速发展的今天,电的应用范围越来越广,工农业生产和日常生活已处处离不开它。各行各业的高技能人才,都应该掌握一定的电工技术基本理论、基本知识和基本技能。学习电工技术是为学习后续课程和从事专业技术工作打下必要的基础。

学习电工技术要从电路的基础知识开始。本章首先介绍电路及其主要物理量和电路模型的概念,并认识理想电路元件的特性和实际电源的两种电路模型,然后分析电路的工作状态,介绍电气设备的额定值,最后讨论基尔霍夫的电流、电压定律。这些内容是学习电工技术的基础。本章从直流电路出发,得出一般规律,以后这些规律还可应用到交流电路中去。

1-1 电路及其主要物理量

一、电路的概念

所谓电路,简单地说就是电流流通的路径。它通常是由某些电气设备和元器件根据某种需要按一定方式组合起来的。如图 1-1-1(a)所示是常见的手电筒电路,它主要由电池、电珠、开关和金属连片组成。将手电筒的开关接通时,金属片把电池和电珠连接成通路,就有电流通过电珠,使电珠发光。

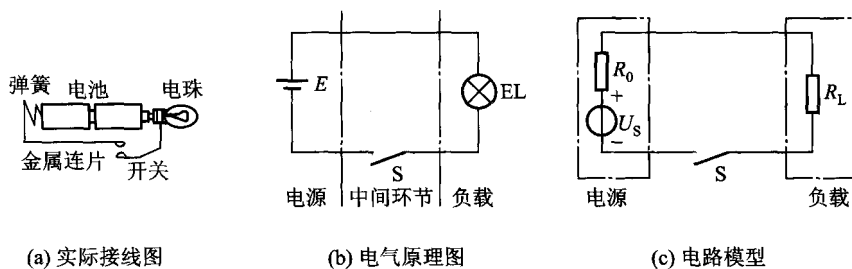


图 1-1-1 手电筒电路图

1. 电路的组成

电路的形式是多种多样的,但是不论电路的具体形式和复杂程度如何不同,每一个完整的电路都是由以下三个基本部分组成的。

(1) 电源

电源是提供电能的设备,它将其他形式的能转换为电能。例如干电池将化学能转换为电能,发电机将机械能转换为电能等。

(2) 负载

负载是用电的设备,它将电能转换为其他形式的能。例如白炽灯将电能转换为热能和光能,电动机将电能转换为机械能、热能等。

(3) 中间环节

中间环节把电源和负载连接起来形成电路,并控制电路的通、断,或起保护作用。

2. 电路的作用

实际电路的种类繁多,例如电力系统、自动控制系统、电视机、电子计算机等,为了实现不同的目的,各有各的要求。但从总体来说,电路的作用可以概括为两个方面:

(1) 实现电能的传输和转换

例如电厂的发电机把机械能、热能、原子能等非电能形式的能量转换为电能,通过变压器、输电线等送给用户,并通过白炽灯、电动机、电炉等负载把电能转换成光能、机械能、热能等其他形式的能量,这类电路称为**电力电路**。对这类电路的主要要求是在传送和转换的过程中消耗的能量要少,效率要高。由于这类电路的功率一般较大,俗称**强电电路**。

(2) 实现信号的传递和处理

例如电话机、电视机等将接收到的信号经过处理,转换成声音或图像等,这类电路称为**信号电路**。信号电路中虽然也伴随着能量的传输和转换,但损耗和效率一般不是主要考虑的问题。对信号电路的主要要求是信号传递的质量,如不失真、抗干扰能力强等。由于这类电路的功率一般较小,俗称**弱电电路**。

3. 电路图

图 1-1-1(a)是按照手电筒实物原样画出来的实际**接线图**,很直观,但不便于画图,即便画出来也很难看清各个元器件是如何连接的。因此,工程中为了便于画图和读图,常将实际电路中的各种器件用国家统一规定的标准图形符号和文字符号表示,并用实线表示连接导线。这种图称为**电气原理图**。手电筒的电气原理图如图 1-1-1(b)所示。国家规定的常用电气图形符号和文字符号可参阅本书后面的附表 5。

实际电路中电气元件的品种各种各样,而且电磁性质往往比较复杂,不便于对电路进行分析和计算。为了在电路分析中简化分析和计算,可以用**理想电路元件**来代替实际的电路元件。例如用“电阻”这个理想的电路元件来代替电阻器、电阻炉、白炽灯等消耗电能的实际元件,用电阻和理想电压源相串联的理想元件的组合来代替实际的电池等。

在电工技术中,常用的理想电路元件只有五种,如图 1-1-2 所示,它们可以用来表征千万种实际器件。

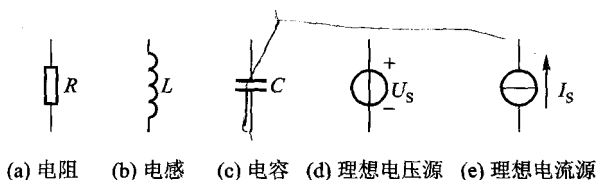


图 1-1-2 理想电路元件

由理想电路元件构成的电路称为**电路模型**。图 1-1-1(c) 是手电筒电路的电路模型, 图中的电珠用理想电阻元件 R_L 来代替, 电池用理想电阻元件 R_0 和理想电压源 U_s 的串联组合来代替, 电路模型中的导线都是理想化导体, 电阻为零。今后在电路分析中讨论的电路都是电路模型。电路模型虽然与实际电路的性能不完全一致, 但在一定条件下, 在工程上允许的近似范围内, 实际电路的分析完全可以用电路模型代替, 从而使电路的分析与计算得到简化。

二、电路的主要物理量

1. 电流

(1) 电流的大小

在电场力的作用下, 带电粒子(电荷)有规则的定向移动, 形成了电流。电流的大小等于单位时间内通过导体某一横截面的电荷量。设在 dt 时间内通过导体某一横截面的电荷量为 dq , 则通过该横截面的电流为

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

在一般情况下电流是随时间而变的, 如果电流不随时间而变, 即 $dq/dt = \text{常数}$, 则这种电流称为直流, 它所通过的路径就是直流电路。在直流电路中, 式(1-1-1)可写成

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

我国法定计量单位是以国际单位制(SI)为基础的。它规定电流的单位是 A(安[培])。当每 1s(秒)内通过导体横截面的电荷量为 1C(库[仑])时, 电流为 1A。故 $1A = 1C/s$ 。计量微小电流时, 以 mA(毫安)或 μA (微安)为单位。它们之间的换算关系为

$$1A = 10^3 mA = 10^6 \mu A$$

用于构成十进倍数和分数单位的词头, 可参阅本书后面的附表 3。

(2) 电流的方向

习惯上, 人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实际方向, 如图 1-1-3 所示。

电流的方向是客观存在的。在简单电路情况下, 人们很容易判断出电流的实际方向, 如图 1-1-4(a) 中所示的 I_1, I_2 。倘若在图中 A、B 点之间再接入一个电阻 R , 如图 1-1-4(b) 所示, 那么该电阻中电流的实际方向就很难直观判定了。另外, 在交流电路中, 电流是随时间变化的, 在图上也无法表示其实际方向。为了解决这一问题, 需引入电流的**参考方向**这一概念。对于电流这种具有两种可能方向的物理量, 可以任意选定一个方向作为某支路电流的参考方向, 用箭头表示在电路图上, 以此参考方向作为计算的依据。计算完毕后, 对于某一条支路, 若在设定的参考方向下算出 $I > 0$, 表明电流的实际方向与设定的参考方向一致; 反之, 若算出 $I < 0$, 则表明电流的实际方向与所选的参考方向相反。

采用了电流的参考方向以后, 电流就变为代数量(有正、有负)。在选定的参考方向下, 根据

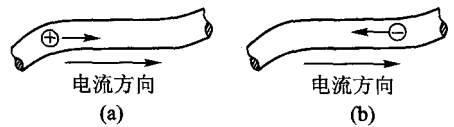


图 1-1-3 电流的方向

电流的正、负,就可以确定电流的实际方向,如图 1-1-5 所示。此后,本书电路图上所标出的电流方向都是参考方向。

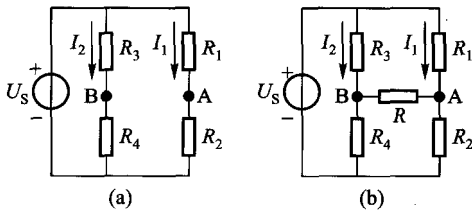


图 1-1-4 电流方向的判断

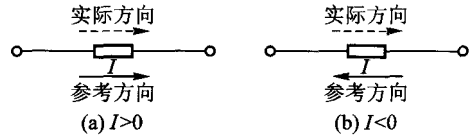


图 1-1-5 电流的参考方向与实际方向

2. 电压

(1) 电压的大小

带电粒子在电场中运动必然要做功。设某电源有 A、B 两个极板,如图 1-1-6 所示, A 极板带正电, B 极板带负电,因而两极板间形成电场。当用导线将电源的正、负极与负载连接成一个闭合电路时,正电荷将在电场力的作用下由正极 A 经导线和负载流向负极 B(实际上在金属导体中是自由电子由负极流向正极),从而形成电流。这时电场力对电荷做功,这种电场力做功的本领用电压来度量。

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 点经外电路移动到 B 点电场力所做的功。若电场力移动电荷 Q 所做的功为 W ,则移动单位电荷所做的功为 W/Q ,即

$$U_{AB} = W/Q$$

在国际单位制中,电压的单位是 V(伏[特])。当电场力把 1C(库[仑])的电荷从一点移到另一点所做的功为 1J(焦[耳])时,该两点间的电压为 1V。计量微小电压时,则以 mV(毫伏)或 μV (微伏)为单位。计量高电压时,则以 kV(千伏)为单位。它们之间的换算关系为

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

(2) 电压的方向

电压的实际方向习惯上规定从高电位点指向低电位点,即电压降的方向。但在分析电路时,也需选取电压的参考方向。在标定了电压的参考方向之后,电压的数值就有了正、负之分。当电压为正($U > 0$)时,电压的实际方向与参考方向一致;电压为负($U < 0$)时,电压的实际方向与参考方向相反,如图 1-1-7 所示。

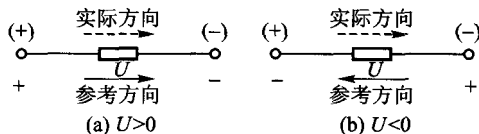


图 1-1-7 电压的参考方向与实际方向

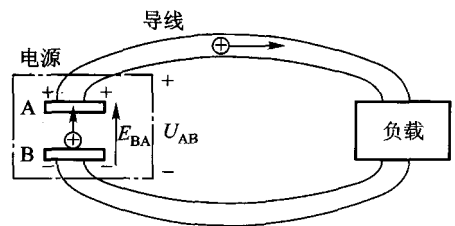


图 1-1-6 电压与电动势

电压的参考方向可用箭头表示,也可用双下标(如 U_{AB})表示,也可用极性“+”、“-”表示。“+”表示高电位,“-”表示低电位,称为参考极性,代表着电压参考方向从正(+)极性端指向负(-)极性端。本书一般情况下采用极性表示,电路图中出现的“+”、“-”极性,都是参考极性,也称为参考方向。

今后计算电路,一般要先标出电流和电压的参考方向再进行计算。参考方向可以任意选定,但一经选定,在电路的分析计算过程中不应改变。

(3) 关联参考方向

在分析和计算电路时,电压和电流参考方向的假定,原则上是任意的。但为了方便起见,元件上的电压和电流常取一致的参考方向,即电流从正极性端流入该元件,从负极性端流出。这样选择的某一段电路的电流与电压的参考方向称为**相关联的参考方向**。

在图 1-1-8 中,图(a)所示的 U 与 I 参考方向一致,为关联参考方向,则其电压与电流的关系是 $U = IR$;而图(b)所示的 U 与 I 参考方向不一致,称为非关联参考方向,则电压与电流的关系是 $U = -IR$ 。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。

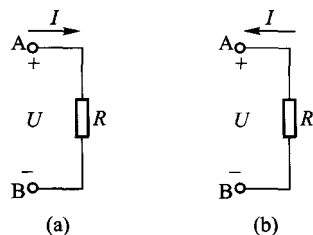


图 1-1-8 关联参考方向与非关联参考方向

3. 电位

(1) 电位与电压的关系

在电气设备的调试和检修中,经常要选择电路中的某一点作为参考点,然后测量各点的电位,看其是否符合设计数值。电位是度量电路中各点所具有的电位能大小的物理量,它在数值上等于电场力将单位正电荷从该点移到参考点所做的功。

对照电位与电压的定义,不难理解电路中任意一点的电位,就是该点与参考点之间的电压,而电路中任意两点之间的电压,则等于这两点电位之差,即

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-1-3)$$

因此,电位的测量实质上就是电压的测量,即测量该点与参考点之间的电压。

参考点选得不同,电路中各点的电位也不同,因为各点的电位高低是相对于参考点而言的,但任意两点间的电位差不变,即两点间的电压值与参考点的选择无关。

分析电子电路时用电位来讨论问题,会给电路分析带来方便,如某电路有 4 个结点(三条或三条以上支路的汇合点称为结点),任意两个结点之间都有电压,当用电压来讨论问题时,就会涉及 6 个不同的电压值。然而改用电位来讨论时,选取其中 1 个结点为参考点,设其电位为零,则只需讨论其余 3 个结点的电位就可以了。因此,在电子线路中,往往不再把电源画出,而改用电位标出,即把电源的一端作为参考点,另一端用等于电源电压的电位来表示。图 1-1-9 是电路的一般画法与用电位表示的习惯画法对照,后者各点的电位一目了然,有利于对电路的电位分析。

电位参考点的选取原则上是任意的,但实用中常选大地为参考点,在电路图中用图形符号“ \perp ”表示。有些设备的外壳是接地的,凡与机壳相连的各点,均是零电位点。有些设备的机壳不接地,则选择许多导线的公共点(通常是机壳或底板)作参考点,电路中用图形符号“ \perp ”

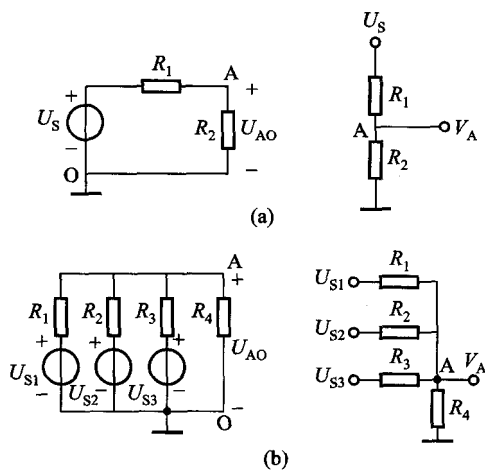


图 1-1-9 电路的一般画法与用电位表示的习惯画法

或“ \perp ”表示。

(2) 电位的计算

既然电路中任一点的电位就是该点到参考点的电压,那么电路中电位的计算实质上就是电压的计算。简单地说,要计算电路中某一点的电位,就是从参考点出发,沿着任选的一条路径“走”到该点,遇到电位升高取正值,遇到电位降低取负值,累计其代数和就是该点的电位。

例 1-1-1 试计算图 1-1-10(a) 所示电路中 B 点的电位 V_B 。

解 图 1-1-10(a) 所示电路按一般画法如图 (b)

所示,则电路中的电流

$$I = \frac{V_A - V_C}{R_1 + R_2} = \frac{9 - (-6)}{100 + 50} \text{mA} = \frac{15}{150} \text{mA} = 0.1 \text{mA}$$

从参考点(O 点)出发,经 A 点到 B 点,计算 B 点的电位为

$$V_B = V_A - IR_1 = (9 - 0.1 \times 10^{-3} \times 100 \times 10^3) \text{V} = -1 \text{V}$$

或者从参考点(O 点)出发,经 C 点到 B 点,计算 B 点的电位为

$$V_B = V_C + IR_2 = (-6 + 0.1 \times 10^{-3} \times 50 \times 10^3) \text{V} = -1 \text{V}$$

上面选择的两条路径求 B 点电位,计算结果是一样的。

这说明,当选定电位参考点后,电路中各点的电位就有了确定值,与计算的路径无关。

(3) 等电位

如果电路中某两点间电压的计算结果为零,则表示该两点等电位。若两等电位点之间原无导线连接,则用导线连接这两点后,此导线中不会有电流通过。高压带电作业时,要求人体与高压电线等电位,这样人体即使碰到高压电线也不会有电流通过,可以保证人身安全。

当电气设备正常工作时,电路处于通路,对于已选定的参考点,电路中的各点都应有相应的

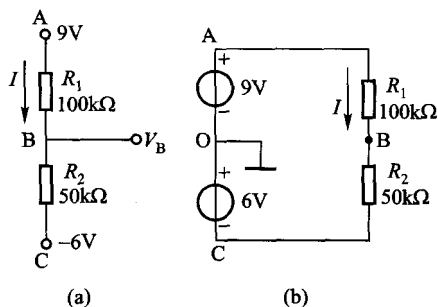


图 1-1-10 例 1-1-1 的电路图

电位值。如果设备不能正常工作,则可用测电位的方法查找电路中可能出现的故障。以下两种情况在检查故障时经常会用到。

① 电路中用短线连接的两点,对于同一参考点的电位应该相等,如果不相等,可判定这两点之间实际上发生了断路。

② 两点间连接有正常工作的元器件,就应该有一定的电压,如果这两点对同一参考点的电位相等,则可判定这两点之间实际上发生了短路,或是至少有一点与电源之间的连线发生了断路。

4. 电动势

在图 1-1-6 所示的电路中,正电荷在电场力作用下不断从 A 极板经负载流向 B 极板,如果没有一种外力作用,A 极板因正电荷的减少电位逐渐降低,而 B 极板则因正电荷的增多电位逐渐升高,这样 A、B 两点之间的电位差就会减小,最后减为零。连接导线上的电流也会减小,最后为零。为了维持导线中的电流,必须使 A、B 两极板间保持一定的电压,这就要借助外力使移动到 B 极板的正电荷经过另一路径回到 A 极板,在这过程中外力要克服电场力做功,这种外力是非电场力,称为电源力。

为了衡量电源对电荷做功的能力,引出电动势这个物理量。电动势在数值上等于电源力将单位正电荷从电源负极(B 点)移到电源正极(A 点)所做的功,电动势用 E 表示,即

$$E = \frac{W_{\text{外}}}{Q}$$

电动势的单位与电压相同,也是 V(伏[特])。电动势的实际作用方向是在电源内部由低电位端指向高电位端,是电位升的方向。电动势的参考方向也可用箭头、双下标或“+”、“-”极性表示。

5. 电能和电功率

电场力推动正电荷在电路中运动时,电场力做功,同时电路消耗电能,电路在单位时间内消耗的能量称为电路消耗的电功率,简称功率。

在图 1-1-6 所示的电路中,电流 I 和电压 U 的参考方向一致,在时间 t 内电荷 Q 受电场力作用从 A 点经负载移到 B 点,电场力所做的功为

$$W = UQ = UIt$$

这就是该电路在 t 时间内所消耗的电能,而单位时间内消耗的电功率

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-1-4)$$

这说明,当电流、电压取相关联的参考方向时,某电路消耗的功率等于 I 与 U 两者的乘积。由于电压和电流都是代数量,故功率也是代数量,有正、有负。当 I 与 U 参考方向一致时,若求得 $P > 0$,则电路实际消耗功率;若 $P < 0$,则电路消耗负功率,即实际提供功率。当 I 与 U 参考方向不一致时,则电路消耗的功率为 $P = -UI$ 。

在国际单位制中,功的单位是 J(焦耳),功率的单位是 W(瓦特)。此外,功率的单位还有 kW(千瓦)和 mW(毫瓦)。它们之间的关系为

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

当电路接通后,电路中就有了电能和非电能的转换。根据能量转换和守恒定律,电路中电源