



“十二五”职业教育
国家规划教材
经全国职业教育教材
审定委员会审定

电路基本分析

(第4版)

石生 主编

高等教育出版社



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

DIANLU JIBEN FENXI



电路基本分析

(第4版)

石生 主编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是“十二五”职业教育国家规划教材,是在普通高等教育“十一五”国家级规划教材(高职高专教育)《电路基本分析》(第3版)的基础上修订而成的。

本书共十章,其中第九章动态电路的复频域分析和第十章二端口网络为选修内容。其余八章分别为:电路的基本概念和定律、电路分析的等效变换法、电路分析的网络方程法、正弦交流电路、谐振与互感电路、三相电路、非正弦周期电流电路和动态电路的时域分析。

本书所涉及的“电路”课程是电力技术类、电子信息类和自动化类各专业先行的专业基础课,它与先修课程高等数学,“电磁学”密切相关,它是上述专业大类所涉及各类后续课程的基础,是培养职业能力的必备知识。

本次修订与前三版的主要区别有三点:(1)以综合性工程实际案例引入各章教学内容并在该章结束前对此案例进行分析解决。(2)注意增加常用的贴近实际的电工测量的内容。(3)重新编写等效电路、互感耦合的同名端等内容,使其更通俗易懂,删去了对称三相电路的高次谐波的内容。

本书可供高等职业院校、高等专科学校电力技术类、电子信息类、自动化类、通信类和水利水电类专业作为教材使用,同时也可供成人高等学校、高等教育自学考试人员使用。本书还可为工程技术人员和其他科技人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路基本分析 / 石生主编. --4版. --北京:高等教育出版社, 2014.8
ISBN 978-7-04-039474-0

I. ①电… II. ①石… III. ①电路分析-高等职业教育-教材 IV. ①TM133

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第075815号

策划编辑 王莉莉 责任编辑 王莉莉 封面设计 杨立新 版式设计 杜微言
插图绘制 黄建英 责任校对 刁丽丽 责任印制 田甜

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
印刷 北京铭传印刷有限公司
开本 787mm×1092mm 1/16
印张 20.75
字数 500千字
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>
版 次 2000年8月第1版
2014年8月第4版
印 次 2014年9月第2次印刷
定 价 33.80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 39474-00

出版说明

教材是教学过程的重要载体,加强教材建设是深化职业教育教学改革的有效途径,推进人才培养模式改革的重要条件,也是推动中高职协调发展的基础性工程,对促进现代职业教育体系建设,切实提高职业教育人才培养质量具有十分重要的作用。

为了认真贯彻《教育部关于“十二五”职业教育教材建设的若干意见》(教职成[2012]9号),2012年12月,教育部职业教育与成人教育司启动了“十二五”职业教育国家规划教材(高等职业教育部分)的选题立项工作。作为全国最大的职业教育教材出版基地,我社按照“统筹规划,优化结构,锤炼精品,鼓励创新”的原则,完成了立项选题的论证遴选与申报工作。在教育部职业教育与成人教育司随后组织的选题评审中,由我社申报的1338种选题被确定为“十二五”职业教育国家规划教材立项选题。现在,这批选题相继完成了编写工作,并由全国职业教育教材审定委员会审定通过后,陆续出版。

这批规划教材中,部分为修订版,其前身多为普通高等教育“十一五”国家级规划教材(高职高专)或普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专),在高等职业教育教学改革进程中不断吐故纳新,在长期的教学实践中接受检验并修改完善,是“锤炼精品”的基础与传承创新的硕果;部分为新编教材,反映了近年来高职院校教学内容与课程体系改革的成果,并对接新的职业标准和新的产业需求,反映新知识、新技术、新工艺和新方法,具有鲜明的时代特色和职教特色。无论是修订版,还是新编版,我社都将发挥自身在数字化教学资源建设方面的优势,为规划教材开发配备数字化教学资源,实现教材的一体化服务。

这批规划教材立项之时,也是国家职业教育专业教学资源库建设项目及国家精品资源共享课建设项目深入开展之际,而专业、课程、教材之间的紧密联系,无疑为融通教改项目、整合优质资源、打造精品力作奠定了基础。我社作为国家专业教学资源库平台建设和资源运营机构及国家精品开放课程项目实施单位,将建设成果以系列教材的形式成功申报立项,并在审定通过后陆续推出。这两个系列的规划教材,具有作者队伍强大、教改基础深厚、示范效应显著、配套资源丰富、纸质教材与在线资源一体化设计的鲜明特点,将是职业教育信息化条件下,扩展教学手段和范围,推动教学方式方法变革的重要媒介与典型代表。

教学改革无止境,精品教材永追求。我社将在今后一到两年内,集中优势力量,全力以赴,出版好、推广好这批规划教材,力促优质教材进校园、精品资源进课堂,从而更好地服务于高等职业教育教学改革,更好地服务于现代职教体系建设,更好地服务于青年成才。

高等教育出版社

2014年7月

第4版序言

本书是“十二五”职业教育国家规划教材,是在普通高等教育“十一五”国家级规划教材(高职高专教育)《电路基本分析》(第3版)的基础上修订而成的。第3版出版五年来,我国的高等职业教育在“以就业为导向、以服务为宗旨、以校企合作、工学结合为主导、努力培养高素质技能型人才”的教育教学改革征途中取得了一系列丰硕成果。近年来,我国高等职业教育正沿着“适应要求、有机衔接、多元立交、建立具有中国特色、世界先进水准的现代化职业教育体系”迈进。提升高等职业教育服务社会的能力,就必须全面提高学生的职业能力和职业素养,并且为学生奠定可持续发展和提高职业能力、职业素养的基础。作为职业核心课程之一的教材,必须体现这些改革取得的成果和观念。五年来,编者不断收集读者的意见,并经过多次研讨,形成了本次修订的总体框架,将许多宝贵意见吸纳进第4版的修订中,对众多院校和读者提出的宝贵意见,编者表示深深的谢意。

与第3版相比,第4版主要修订工作如下:

1. 每章均以实际工程案例引入教学内容,在每章一开始,都给出一个真实的、相对综合的、能够涉及本章核心内容的工程实例,如加热器改造、衰减器设计、双臂电桥测量小电阻、三电流表法测负载有功功率、大电容量电气设备的耐压试验、三相供电系统中性线熔断等,这些实例贴近生活、贴近电气工作者的工作实际。

2. 每章在结束之前,都对引入本章内容的工程实例进行回眸,综合应用本章已掌握的知识,解决该工程实例所提出的问题,以体现知识与能力的融合。

3. 利用工程实例、章节例题、习题等多种环节,将一些常用电工测量方面的内容自然而然地引入各章节,如仪表内阻对测量的影响,如何提高小电阻值电阻的测量精度、多种测量电感线圈参数的方法(包括谐振法、交流电桥法、不平衡电桥法),以及交流功率、三相功率的测量、时间常数 τ 的测量等。

4. 适当降低难度,以适应高等职业教育大众化的需求。

5. 重新编写了某些章节的内容,使其更通俗易懂。如电位、电压的关系、等效电路的概念、互感耦合的同名端的定义和标记法等。

本书第1、2、3章由太原电力高等专科学校张学军修订,第4章由太原电力高等专科学校韩肖宁修订,第5、8、9章由太原电力高等专科学校王国枝修订,第7、10两章由承德石油高等专科学校赵会军修订,第6章由太原电力高等专科学校石生修订。石生教授起草了修订框架并对本次修订的全部内容进行了统稿、修改和定稿。韩肖宁教授负责全书图样的审校。

本次修订后,本书一定还存在不足和错误之处,高等职业教育教学改革的不断深入,对本课程的内容会提出新的要求,在此,编者将一如既往,恳请兄弟院同行和广大读者提出批评指正和进一步修订的意见,编者将再次表示衷心的感谢。

编者

2014年8月

第1版序言

本书在教育部高等工程专科“电工电子系列课程改革”课题组指导下编写而成,课题组多次研讨通过的“电路基本分析方法”课程改革方案和配套的教材编写大纲是起草本书的基本依据。改革方案提出:本课程要注重素质教育,注重应用性人才能力的培养,把立足点放到工程技术应用性上,内容应删繁就简、削枝强干、突出主线、突出重点,做到既为学习后续课程服务,又直接服务于工程技术应用能力的培养。在本书出版之前,相应的初稿(讲义)已在南京动力高等专科学校等五所高工专院校试用,取得了较好的教学效果,同时也征求了对本书的修改意见。在本书修改和统稿之前,作者根据教育部制定的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》作了相应的修改,本书在内容体系、深度、广度以及教学的适应性等方面,都能与此“基本要求”相一致。

本书以线性电路最基本的三部分内容:电阻电路分析、电路的正弦稳态分析和动态电路分析为主体,介绍基本电路理论及电路的基本分析方法,力求做到概念准确、内容精练、重点突出、注重理论联系实际、注重方法论的叙述。在讲解上,力求做到通俗易懂、便于自学。书中给出了较多的例题、习题,以帮助学生掌握和巩固所学知识。

本书可供高等工程专科、高等职业技术学院、成人高等学校电气类、电子类、通信类各专业作为教材使用,也可供有关科技人员和相近专业的本科学学生、自学考试者参考。

书中凡是标有(*)号的章节,属于加宽或加深的内容,供不同学校和专业选用。

本课程的改革方案和教材编写大纲由太原电力高等专科学校李崇贺教授、石生教授起草。第一、二、三章由石生教授编写,第四、五、六章由太原电力高等专科学校韩肖宁副教授编写,第八、九章由南京电力高等专科学校范瑛编写,第七、十章由承德石油高等专科学校赵会军编写。全书由石生、韩肖宁共同统稿,修改和定稿。韩肖宁还负责全书的绘图工作。

本书送审稿承蒙南京电力高等专科学校徐熙文副教授仔细审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示深切的感谢。

本书的初稿(讲义)经南京动力高等专科学校、南京电力高等专科学校、郑州电力高等专科学校、山东电力高等专科学校、太原电力高等专科学校试用后,提出了许多宝贵意见,对本书的修改帮助很大,对于所有提出意见的同志,在此表示衷心的感谢。

在本课程的改革方案、教材编写大纲的研讨过程中,得到教育部高等工程专科“电工电子系列课程”改革课题组长、南京电力高等专科学校原副校长牛维扬,上海理工大学孔凡才教授等许多专家、教授和同行的帮助,在此表示衷心的感谢。

纵然如此,本书受编者学识水平和教学经验的限制,难免有疏漏和错误之处,恳请读者批评指正。

石 生 韩肖宁

2000年3月

目 录

第一章 电路的基本概念和定律	1	第三章 电路分析的网络方程法	55
1.1 引言与工程实例	1	3.1 引言与工程实例	55
1.2 知识结构和教学要求	1	3.2 知识结构与教学要求	56
1.3 教学内容	2	3.3 教学内容	56
1.3.1 实际电路和电路模型	2	3.3.1 2b 方程法	56
1.3.2 电路的基本物理量	5	3.3.2 电路的拓扑结构	58
1.3.3 电阻元件及其特征	9	3.3.3 支路(电流)法	60
1.3.4 电路中的独立电源	11	3.3.4 节点分析法	61
1.3.5 基尔霍夫定律	15	3.3.5 网孔分析法	66
工程实例回眸	19	3.3.6 回路分析法	69
本章小结	20	工程实例回眸	71
习题	21	本章小结	72
第二章 电路分析的等效变换法	24	习题	72
2.1 引言与工程实例	24	第四章 正弦交流电路	76
2.2 知识结构和教学要求	24	4.1 引言与工程实例	76
2.3 教学内容	25	4.2 知识结构和教学要求	77
2.3.1 等效电路	25	4.3 教学内容	78
2.3.2 电阻的串、并联等效变换	25	4.3.1 正弦量	78
2.3.3 电阻星形联结与三角形联结 的等效变换	30	4.3.2 正弦量的相量表示	85
2.3.4 电源的等效变换	32	4.3.3 电容元件和电感元件	91
2.3.5 受控源及其等效变换	35	4.3.4 电路基本定律的相量形式	96
2.3.6 叠加定理与替代定理	38	4.3.5 阻抗与导纳	102
2.3.7 戴维宁定理与诺顿定理	42	4.3.6 正弦交流电路的相量图法 求解	114
工程实例回眸	49	4.3.7 正弦交流电路中的功率	119
本章小结	50	4.3.8 正弦交流电路的相量法 求解	129
习题	51		

工程实例回眸	134	7.3.1 非正弦周期电流	204
本章小结	135	7.3.2 有效值、平均值和平均功率	209
习题	138	7.3.3 非正弦周期电流电路的分析	213
第五章 谐振与互感电路	144	工程实例回眸	218
5.1 引言与工程实例	144	本章小结	218
5.2 知识结构和教学要求	145	习题	219
5.3 教学内容	145	第八章 动态电路的时域分析	221
5.3.1 串联谐振电路	145	8.1 引言与工程实例	221
5.3.2 并联谐振电路	150	8.2 知识结构和教学要求	222
5.3.3 互感与互感电压	155	8.3 教学内容	223
5.3.4 含互感的正弦交流电路 分析	160	8.3.1 电路的动态过程与 动态响应	223
5.3.5 理想变压器	166	8.3.2 电路初始条件的确定	224
工程实例回眸	168	8.3.3 求解一阶电路动态响应的 三要素法	226
本章小结	169	8.3.4 一阶电路响应的分类	234
习题	170	8.3.5 一阶电路的阶跃响应	240
第六章 三相电路	175	8.3.6 一阶电路的冲激响应	243
6.1 引言与工程实例	175	8.3.7 二阶 RLC 电路的零 输入响应	249
6.2 知识结构和教学要求	175	工程实例回眸	257
6.3 教学内容	176	本章小结	259
6.3.1 三相电源与三相负载	176	习题	259
6.3.2 对称三相电路的计算	183	*第九章 动态电路的复频域 分析	263
6.3.3 不对称三相电路的特点 及分析	189	9.1 引言与工程实例	263
6.3.4 三相电路的功率	195	9.2 知识结构和教学要求	263
工程实例回眸	199	9.3 教学内容	264
本章小结	200	9.3.1 拉普拉斯变换及其基本 性质	264
习题	201	9.3.2 拉普拉斯反变换的部分分式 展开法	269
第七章 非正弦周期电流电路	203	9.3.3 电路基本定律的复频域形式	
7.1 引言及工程实例	203		
7.2 知识结构和教学要求	204		
7.3 教学内容	204		

及运算电路	274	10.3.1 二端口网络的方程和参数 ...	290
9.3.4 线性电路的复频域法求解	278	10.3.2 二端口网络的等效电路	301
工程实例回眸	283	10.3.3 二端口网络的级联	304
本章小结	284	工程实例回眸	306
习题	286	本章小结	307
第十章 二端口网络	289	习题	308
10.1 引言与工程实例	289	部分习题答案	310
10.2 知识结构和教学要求	289	参考书目	317
10.3 教学内容	290		

第一章

电路的基本概念和定律

1.1 引言与工程实例

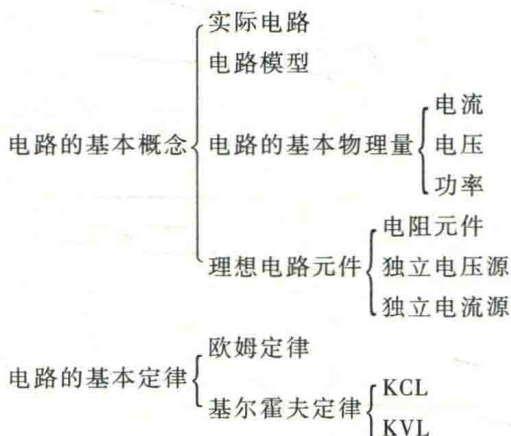
本章从实际电路入手,介绍电路和电路模型、电路中的基本物理量;定义理想电路元件:电阻、独立电压源和独立电流源并讨论各自的属性;介绍电路分析中最重要的定律——基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL)。这些内容是电路分析的基础知识。

工程实例

家用电器中有一类是加热设备,如热水器、电暖器等。这些设备一般有两个挡位,高挡位的功率是低挡位的两倍。现要在原有两挡位的基础上增加功率为0.25倍最大功率的第三挡位,该如何解决呢?

1.2 知识结构和教学要求

1. 知识结构



2. 教学要求

- ① 理解电路模型的概念。
- ② 理解电流、电压、功率的定义。
- ③ 掌握电流、电压参考方向的概念,掌握功率的计算方法。

④ 理解电阻元件、独立电压源、独立电流源的属性和端口对外特性(伏安关系)。

⑤ 理解基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL)的实质;掌握依据 KCL、KVL 列方程的方法。

1.3 教学内容

1.3.1 实际电路和电路模型

1. 实际电路

电路就是电流的通路。实际电路是为某种目标而将各种电气、电子器件(如电阻器、电容器、线圈、变压器、电机、开关、电池、晶体管)按一定方式相互连接而成的。人们在工作和生活中常会遇到各种各样的实际电路,大到电力网络、通信网络、控制系统,小到家庭照明都是实际电路的范例。图 1-1 所示为常见的日光灯实际电路,其中, L 是镇流器,它是一个铁心线圈; R 是日光灯管,实际上是将电能转换为光和热的耗能元件电阻器; C 是电容器; Q 是启辉器; S 是开关,另外还有 220V 交流电源以及将这些器件连接起来的导线。

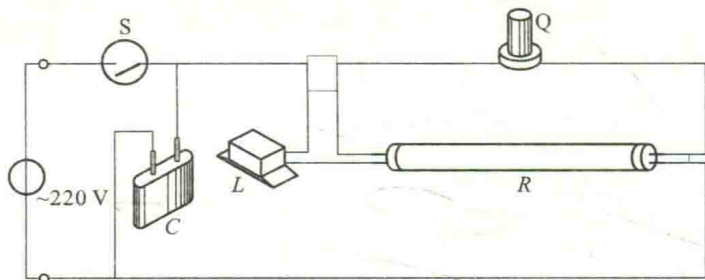


图 1-1 日光灯实际电路

实际电路的组成方式很多,功能也各不相同。但按其功能分为两大类:第一类电路的功能是进行电能的产生、传输、分配与转换,特点是工作电压高、电流大,所以称为强电系统。这方面的典型实例是电力系统,发电机将其他形式的能源转换为电能,再通过变压器和输电线路将电能输送给工厂、农村和千家万户的用电设备,这些用电设备再将电能转换为机械能、光能、热能或其他形式的能量。

第二类电路的主要功能是实现电信号的产生、传递、变换、处理与控制,特点是工作电压低、电流小,所以称为弱电系统。如通信系统、计算机系统、控制系统和信号处理系统等均属于此类电路。

由此可见,实际电路主要由电能的提供者电源、电能的消耗者负载和各种各样的传输环节构成,或者是由信号的提供者、信号的接收者和传输环节构成。

2. 理想电路元件、电路模型

对实际电路分析的方法有两种:一种是用电气仪表对实际电路进行测量;另一种是将实际电路抽象为电路模型,而后用电路理论进行分析计算。由于对电路的测量有时不便进行,或要分析研究的电路正在设计之中,无法开展测量工作,使得第二种方法的使用更为普遍,也是本书讨论的重点。

为了将实际电路抽象为电路模型,需要将实际电路及其中每一个实际电路器件的主要电磁性质进行科学的抽象与概括,即在一定条件下对实际电路器件加以理想化,只考虑其中起主要作用的某些电磁现象,而将其他次要现象忽略。理想电路元件正是将实际电路器件的主要电磁属性进行科学抽象后得到的。科学抽象的办法是:定义一些理想化的电路元件,一种理想元件模拟电路器件的一种电磁特性。例如无论是照明用电灯、加热用电炉,还是将电能转换为机械能的电动机等电路器件,其消耗电能这一共有的电磁特性在电路模型中均可用理想电阻元件 R 来表现。即理想的电阻元件是用来模拟实际电路器件消耗电能这一电磁特性的。除电阻外,理想的电路元件还有电容、电感、恒压源和恒流源等。电容是一种能无损耗地储存和释放电场能量的理想元件;电感是一种能无损耗地储存和释放磁场能量的理想元件;恒压源和恒流源分别是能维持电压或电流恒定不变的理想电源元件。一个实际的电路器件的电磁特性可以用一个或多个理想元件来模拟。用理想电路元件模拟实际电路中每个电路器件,再根据这些器件的连接方式,用理想导线将这些理想电路元件连接起来形成的电路,就是实际电路的电路模型。理想导线是指电阻、电容和电感都等于零的导线。图 1-2(c) 所示就是图 1-2(a) 所示实际电路的电路模型图,简称电路图。图 1-2(b) 所示电路是图 1-2(a) 所示电路的原理接线图,简称原理图,它描述了实际电路的组成和各器件之间的连接关系。模型图中的理想元件和原理图中的电路器件都需用规定的图形和文字符号表示,表 1-1 是部分电气图用图形符号。

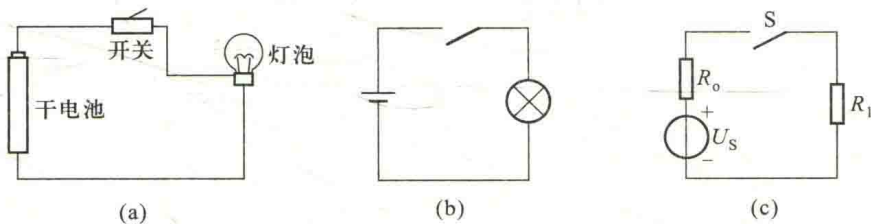


图 1-2 实际电路与电路模型

表 1-1 部分电气图用图形符号(根据国标 GB4728—2000)

名称	符号	名称	符号	名称	符号
导线	—	传声器		电阻器	
连接的导线		扬声器		可变电阻器	
接地		二极管		电容器	
接机壳		稳压二极管		线圈,绕组	
开关		隧道二极管		变压器	
熔断器		晶体管		铁心变压器	

续表









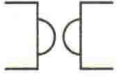








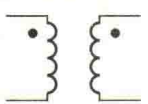


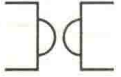


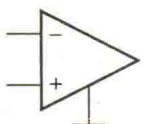






名称	符号	名称	符号	名称	符号
灯		运算放大器		直流发电机	
电压表		电池		直流电动机	
独立电流源		独立电压源		回转器	

表 1-2 是部分电路元件的图形符号。

表 1-2 部分电路元件的图形符号

名称	符号	名称	符号	名称	符号
独立电流源		理想导线		电容	
独立电压源		连接的导线		电感	
受控电流源		电位参考点		理想变压器 耦合电感	
受控电压源		理想开关		回转器	
电阻		开路		理想运放	
可变电阻		短路		二端元件	
非线性电阻		理想二极管		非线性电感	

3. 集总参数电路与分布参数电路

当实际电路器件的几何尺寸 l 远小于其使用时最高频率所对应的波长 λ 时,在分析电路时可以忽略器件本身的几何尺寸,所抽象出的电路称为集总参数电路。如工频 50 Hz 时,波长 $\lambda = 6\,000\text{ km}$,因而在工频情况下,大多数电路满足 $l \ll \lambda$,均可认为是集总参数电路。分布参数电路是指电路器件的几何尺寸相对于工作波长不可忽略的电路。集总参数电路又按其元件参数是否随运行参数变化,分为线性电路和非线性电路,本书重点讨论集总参数线性电路的分

析方法。

1.3.2 电路的基本物理量

电荷的概念是描述所有电现象的基础。无论是用电路的观点还是电磁场的观点,所有电现象的本质都来自电荷的定向运动和对电荷做功。为了便于定量描述和分析电路,从电荷运动和对电荷做功引入电路的基本物理量:电流、电压、功率和能量。四个变量中,能量是功率对时间的积分,而功率可由电流和电压求得,因此,最基本的是电流和电压。

1. 电流及电流的参考方向

电荷或带电粒子的定向运动形成了电流。在电路中用电流这一物理量来描述带电粒子(电荷)运动的强弱程度。电流在数值上等于单位时间内通过某一截面的电荷量,它实际上是电流强度的简称,用符号 i 表示,即

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

式中, dq 是时间 dt 内通过截面的电荷量。在国际单位制(SI)中,时间 t 的单位为秒,符号为 s ; 电荷量 q 的单位为库[仑],符号为 C ; 电流 i 的单位为安[培],符号为 A 。由式(1-1)可见,当电路中某一截面在 1 s 时间内通过 1 C 的电荷量时,电路中该处的电流为 1 A 。

根据实际需要,电流的单位还可用 kA (千安)、 mA (毫安)、 μA (微安)等,它们与 SI 单位 A 的关系是

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

关于电流的方向,人们把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向。当负电荷或电子运动时,电流的实际方向就是负电荷运动方向的相反方向。

电流的实际方向是客观存在的,但在分析复杂电路时,很难用实际方向进行分析计算,原因之一是分析计算之前是很难判定某支路中电流的实际方向;原因之二是当电流是交流量时,电流的实际方向随时间不断变化,也无法用一个固定方向来表示它的实际方向。解决的办法是引入参考方向的概念。对于电流这种具有两个可能方向的物理量,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,以此参考方向作为假定的电流的实际方向。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 $i < 0$,表明电流的实际方向与所选的参考方向相反。图 1-3(a)、(b)表示参考方向与实际方向的关系,图的上方为实际方向,下方为参考方向。

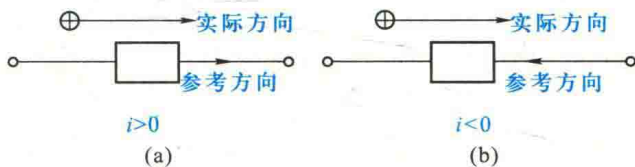


图 1-3 电流实际方向和参考方向的关系

可见,电流值的正负,只有在设定参考方向的前提下才有意义。因为要从电流的参考方向和其代数值来判断电流的实际方向,故在分析电路前必须指定各支路或回路电流的参考方向,并在电路图上进行标示。

2. 电位、电压及电压的参考方向

电荷在电路中定向运动形成电流是由于电荷受到了电场力的作用。如果电场力在推动电荷运动的过程中遇到了阻力,那么电场力必须克服阻力而做功,正是这种推动力和阻力的相互作用实现了电路中能量的转换。为了对电路中电场力做功和做功的能力进行研究,引入了电压这一物理量。

在介绍电压前,首先介绍电位。在电路中,某点的电位等于将单位正电荷从该点沿任意路径移动到参考点的过程中电场力所做的功。参考点是在电路中指定电位为零的点,可以任意选定,常选大地、设备外壳或多支路连接点为参考点。常用带下标的字母 V 表示一点的电位,如果 V_a 表示 a 点的电位。

电压是指电路中两点间的电位之差,所以又称为电位差。如 a 点的电位为 V_a , b 点的电位为 V_b , 则 a 、 b 两点间的电压

$$u_{ab} = V_a - V_b \quad (1-2)$$

可见,某点的电位实际上就是该点与参考点之间的电压。

根据电位的定义,电压又可表述为:电路中任意两点 a 和 b 之间的电压等于将单位正电荷从 a 点沿任意路径移动到 b 点的过程中电场力所做的功,即

$$u_{ab} = \frac{dA}{dq} \quad (1-3)$$

式中, dq 是移动的电荷量, dA 是移运的过程中电场力所做的功。

显然,当选定的参考点不同时,同一点的电位也可能不同,但不影响两点间的电压。

在 SI 中,电压和电位的单位一样,都是伏[特],符号为 V 。电压的常用单位还有 kV (千伏)、 mV (毫伏)等,它们与 V 之间的关系是

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

在电路中,如果 $u_{ab} > 0$,表明 a 点电位高于 b 点电位,正电荷从电路中的 a 点移动到 b 点的过程中电场力做了正功,其结果是使正电荷的电位能减少,电位能的减少说明这段电路吸收了电能并将电能转化成了其他形式的能量;如果 $u_{ab} < 0$,表明 a 点电位低于 b 点电位,正电荷从电路中的 a 点移动到 b 点的过程中电场力做了负功,其结果是使正电荷的电位能增加,电位能的增加说明这段电路吸收了其他形式的能量并将吸收的能量转化成了电能;如果 $u_{ab} = 0$,表明 a 点电位等于 b 点电位,正电荷从电路中的 a 点移动到 b 点的过程中电场力没有做功,即该段既不吸收也不放出电能。

规定由**高电位点指向低电位点的方向,即电位降的方向为电压的实际方向**。从式(1-2)可以看出,当 a 点到 b 点的指向与电位降方向一致时, a 点到 b 点的电压 $u_{ab} > 0$ 。在电路图上,电路两点间电压的实际方向还常用一种表明极性的方法来表示:在高电位点标以“+”号并称此点为“正”极,在低电位点标以“-”号并称之为“负”极。这种按两点电位的实际高低所标的极性称为电压的实际极性。

同电流一样,电压也需要规定参考方向。**电压的参考方向是假定的电位降的方向**。电路中两点之间电压的参考方向或参考极性可以任意选择。也就是说,任意选定某一点的极性为“+”,另一点的极性为“-”,这样就选择了两点间电压的参考极性。电压的参考方向还可用从正极指向负极的箭头表示,习惯上还常用双下标的办法来表示电压的参考方向,如 u_{ab} 表示电压

的参考方向由 a 指向 b。上述三种方法,都可以用来表示电压的参考方向。图 1-4 说明电压的参考方向与参考极性的关系,图的上部为参考方向,下部为参考极性。图中的两种表示方法与双下标 u_{ab} 的含义一致。

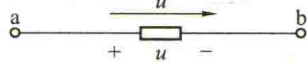


图 1-4 电压参考方向和参考极性的关系

在选定参考方向以后,若计算结果为 $u > 0$,表明实际方向同参考方向一致;若 $u < 0$,表明实际方向与参考方向相反。

一般来讲,同一段电路电流和电压的参考方向可以各自选定,不必强求一致。但为了分析方便,常选定**同一段电路电流的参考方向与电压的参考方向一致**,即电流从电压的正极性端流入、从负极性端流出,这样选择的参考方向,称为**电流、电压的关联参考方向**。图 1-5 (a)、(b) 为关联参考方向的示例。

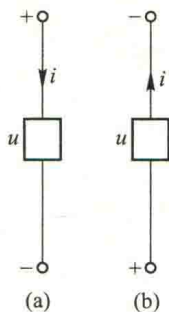


图 1-5 电压电流的关联参考方向

3. 电动势及其参考方向

在电场力作用下,正电荷总是从高电位点向低电位点运动,即从电源的正极经外电路流向电源的负极。为了形成连续电流,在电路中必须有电源,其作用是产生电源力并将正电荷从低电位点移到高电位点,即将正电荷从电源的负极移至电源的正极。在电源力移动电荷的过程中,电源力克服电场力做功,将其他形式的能量转化为电能,其结果是使正电荷的电位能升高。

将单位正电荷从电源的负极经电源内部移至电源正极的过程中电源力所做的功称为电源的电动势,用符号 e 表示,数学表达式为

$$e = \frac{dA}{dq} \quad (1-4)$$

式中, dq 为电荷量, dA 为将 dq 从电源的负极经电源内部移至电源正极的过程中电源力所做的功。电动势的单位与电压的单位相同。

规定**电动势的实际方向与正电荷在电源内部移动的方向一致,是从低电位点指向高电位点的方向**。在电路分析中,同样需要选定电动势的参考方向,即假定电源内部电位升的方向。电动势的参考方向表示方法与电压的参考方向表示方法相同。电动势与电压两者都选定参考方向后,两者的代数关系如图 1-6 所示,图 (a) 和图 (b) 满足 $u = e$, 而图 (c) 满足 $u = -e$ 。

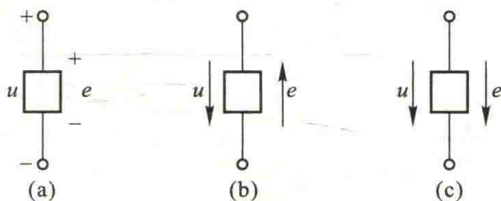


图 1-6 电压和电动势的参考方向

4. 电功率

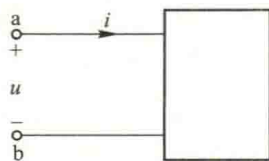
电场力推动正电荷在电路元件中运动时,电场力做功,相应的电路元件吸收电能;电源力推动正电荷在电路元件中运动时,电源力做功,相应的电路元件发出电能。**电路元件在单位时间内吸收或发出的电能称为电功率**,简称功率。

图 1-7 所示 ab 电路段, 电流和电压的参考方向一致。由电流和电压的定义可知, 在 dt 时间内通过电路段的电荷量为 $dq = i \cdot dt$, 将电荷量 dq 由 a 端移到 b 端的过程中电场力做功为 $dA = u \cdot dq$ 。即在此过程中, 电路段吸收的能量为

$$dW = u \cdot i \cdot dt \quad (1-5)$$

电路段 ab 吸收的功率为

$$p = \frac{dW}{dt} = ui \quad (1-6)$$



这说明, 当电流、电压取关联参考方向时, 电路段吸收的功率等于 u 与 i 两者的乘积。由此可见, 当 u 与 i 参考方向一致时, 若求得 $p > 0$, 则电路实际吸收功率, 若 $p < 0$, 则电路吸收负功率, 即实际发出功率; 当 u 与 i 参考方向不一致时, 若求得 $p > 0$, 则电路实际发出功率; 若 $p < 0$, 则电路实际吸收功率。

在 SI 中, 功率的单位是瓦[特], 符号为 W, 由式(1-6)可知, $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$ 。工程上常用的功率单位还有 MW(兆瓦)、kW(千瓦)和 mW(毫瓦)等, 它们的关系分别是

$$1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}, 1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}, 1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$$

5. 电能

能量是功率对时间的积分, 由 t_0 至 t 时间内电路吸收的能量, 由下式表示

$$W = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t u i dt \quad (1-7)$$

当式(1-7)中 p 的单位为瓦[特]时, 能量 W 的单位为焦[耳], 符号为 J。即 1 J 等于功率为 1 W 的用电设备在 1 s 内消耗的电能。工程和生活中还常用千瓦时(kW·h)作为电能的单位, 1 kW·h 俗称 1 度(电)。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 10^3 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J} = 3.6 \text{ MJ}$$

显然, 若由 t_0 至 t 时间内, 电压 u 和电流 i 为不变的常数时, 式(1-7)可写为

$$W = ui(t - t_0) = PT \quad (1-8)$$

式中, $P = ui, T = t - t_0$ 。

各种电气设备常在铭牌上给出电压、电流或功率的额定值。电气设备能在额定电压、电流和功率下正常、安全地工作。超过额定电压有可能引发绝缘损坏, 电压过低时又会功率不足(如电灯变暗), 超过额定电流或功率时, 会因过热而引起设备损坏。

电路中的电流、电压随时间变化的电路称为交流电路, 电流、电压不随时间变化的电路称为直流电路。习惯上, 交流电路中的物理量用小写字母表示, 直流电路中的物理量用大写字母表示。如电流、电压、电动势和功率在交流电路中的常用字母 i, u, e 和 p 来表示, 而在直流电路常用字母 $I, U(V), E$ 和 P 来表示。

例 1-1 图 1-8 所示电路, 电流 I 和电压 U_2, U_3 的参考方向已给出。若在 5 s 内 10 C 的负电荷均匀地由 b 端流向 a 端, $P_1 = 8 \text{ W}, U_2 = -8 \text{ V}, U_3 = 6 \text{ V}$ 。试求电流 I 、电压 U_1 及其实际方向, 并求 P_2, P_3 和整个电路吸收的功率 P 。

解: 由于电荷的流动是均匀的, 所以电路是一个直流电路。

负电荷由 b 端流向 a 端相当于正电荷由 a 端流向 b 端, 所以电流 I 的

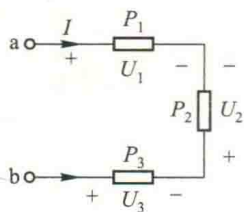


图 1-8 例 1-1 图