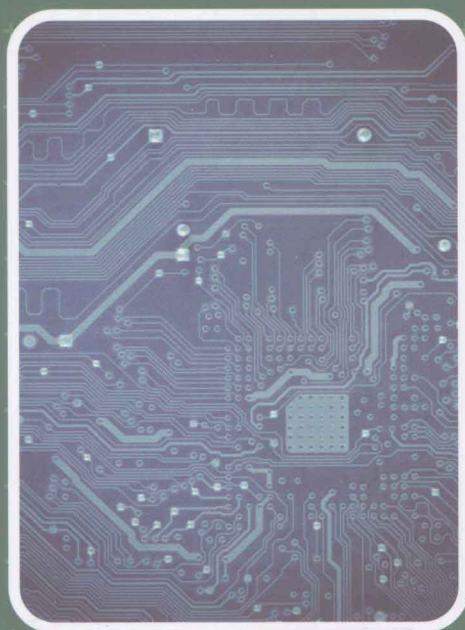


全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

丛书顾问 李培根 林萍华

电工电子技术

马文烈 程荣龙 主编



DIANGONG DIANZI
JISHU



CHANGSHI FUYONG GAOJIAOKEJIXUEJIAO JIXIELEI SHIERWU CHUBANSHI



JIXIELEI SHIERWU



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

电工电子技术

主 编	马文烈	程荣龙	
副主编	王育欣	张永平	周华茂
	黄双根	赖惠鸽	
参 编	许建蓉	李云海	欧阳静怡
	杨小玲	姚正华	隋广州

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 提 要

本书按教育部教育改革要求而编写,内容既保证有必要的基本知识、基本理论,又注重学生能力的培养,注重科学性、先进性和实用性。全书共分为19章,内容有电路的基本概念与定律,正弦交流电路分析,三相交流电路,电路的暂态分析,磁路与变压器,异步电动机,电气控制系统,供配电与安全用电,半导体二极管及其基本电路,半导体三极管与基本放大电路,场效应管及其放大电路,集成运算放大器,正弦波振荡电路,直流稳压电源,数字电路基础,组合逻辑电路,触发器及时序逻辑电路,数模和模数转换,半导体存储器和可编程逻辑器件等。每章附有习题。

本书可作为高等院校相关专业本科或专科和成人教育的教材,亦可供工程技术人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/马文烈 程荣龙 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2012.8
ISBN 978-7-5609-8119-2

I. 电… II. ①马… ②程… III. ①电工技术-高等学校-教材 ②电子技术-高等学校-教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 131569 号

电工电子技术

马文烈 程荣龙 主编

策划编辑:俞道凯

责任编辑:周忠强

封面设计:范翠璇

责任校对:代晓莺

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:武汉市首壹印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:28.5

字 数:724千字

版 次:2012年8月第1版第1次印刷

定 价:58.00元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

编审委员会

顾问：李培根 华中科技大学

林萍华 华中科技大学

主任：吴昌林 华中科技大学

副主任：（按姓氏笔画顺序排列）

王生武 邓效忠 轧 钢 庄哲峰

吴 波 何岭松 陈 炜 杨家军

杨 萍 竺志超 高中庸 谢 军

委员：（排名不分先后）

许良元 程荣龙 曹建国 郭克希 朱贤民 贾卫平 丁晓非

张生芳 董 欣 庄哲峰 蔡业彬 许泽银 许德璋 叶大鹏

李耀刚 耿 铁 邓效忠 宫爱红 成经平 刘 政 王连弟

张庐陵 张建国 郭润兰 张永贵 胡世军 汪建新 李 岚

杨术明 杨树川 李长河 马晓丽 刘小健 汤学华 孙恒五

聂秋根 赵 坚 马 光 梅顺齐 蔡安江 刘俊卿 龚曙光

吴凤和 李 忠 罗国富 张 鹏 张鬲君 柴保明 孙 未

何 庆 李 理 孙文磊 李文星 杨咸启

秘 书：

俞道凯 万亚军

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

序

“十二五”时期是全面建设小康社会的关键时期,是深化改革开放、加快转变经济发展方式的攻坚时期,也是贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》的关键五年。教育改革与发展面临着前所未有的机遇和挑战。以加快转变经济发展方式为主线,推进经济结构战略性调整、建立现代产业体系,推进资源节约型、环境友好型社会建设,迫切需要进一步提高劳动者素质,调整人才培养结构,增加应用型、技能型、复合型人才供给。当今世界的大发展大调整大变革时期和科技创新的新突破,迎接日益加剧的全球人才、科技和教育竞争,迫切需要全面提高教育质量,加快拔尖创新人才的培养,提高高等学校的自主创新能力,推动“中国制造”向“中国创造”转变。

为此,近年来教育部先后印发了《教育部关于实施卓越工程师教育培养计划的若干意见》(教高[2011]1号)、《教育部关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》(教高[2011]5号)、《关于“十二五”期间实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”的意见》(教高[2011]6号)、《教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见》(教高[2012]4号)等指导性意见,对全国高等学校本科教学改革和发展方向提出了明确的要求。在上述大背景下,教育部高等学校机械学科教指委根据教育部高教司的统一部署,先后起草了《普通高等学校本科专业目录机械类专业教学规范》、《高等学校本科机械基础课程教学基本要求》,加强教学内容和课程体系改革的研究,对高校开办机械类办学情况和课程教学情况进行指导。

为了贯彻落实教育规划纲要和教育部文件精神,满足各高校高素质应用型高级专门人才培养要求,根据《教育部关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》文件精神,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,联合一批机械学科办学实力强的高等学校、部分专业特色突出的学校和教指委委员、国家级教学团队负责人、国家级教学名师组成编委会,邀请来自全国高校机械学科教学一线的教师组织编写全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材,将为提高普通高等教育本科教学质量和人才培养质量提供有力保障。

当前经济社会的发展,对高校的人才培养质量提出了更高的要求。该套教材在编写中,应着力构建满足机械工程师后备人才培养要求的教材体系,以机械工程知识和能力的培养为根本,与企业对机械工程师的能力目标紧密结合,力求满足学科、教学和社会三方面的需求;在结构上和内容上体现思想性、科学性、先进性,把握行业人才要求,突出工程教育特色。同时注意吸收教学指导委员会教学内容和课程体系改革的研究成果,根据教指委颁布的各课程教学专业规范要求编写,开发教材配套资源(习题、课程设计和实践教材以及数字化学习资源),适应新时期教学需要。

教材建设是高校教学中的基础性工作,是一项长期的工作,需要不断吸取人才培养模

式和教学改革成果,吸取学科和行业的知识、新技术、新成果。本套教材的编写出版只是近年来各参与学校教学改革的初步总结,还需要各位专家、同行提出宝贵意见,以进一步修订、完善,不断提高教材质量。

谨为之序。

华中科技大学 吴昌林

2012年8月

前 言

为了适应我国科学技术的高速发展和教育新形势的要求,根据国家教育规划纲要和国家教指委会议精神,以及2011年12月在武汉华中科技大学出版社召开的全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材编写研讨会会议精神和具体要求,组织编写了本书。

本书按教育部教育改革要求编写,通过改革教材体系,优化理论课程,强化实践环节,面向生产过程,精选和更新了教学内容。全书基础夯实,重视应用,突出创新,注重理论为实践服务,增加了新技术,适当拓宽了知识面,既保证必要的基本知识、基本理论,又注重学生能力培养,注重科学性、先进性和实用性。

对“电工电子技术”的核心教学内容删繁就简、去粗取精,以基本原理为主线进行整合,使课程体系更加系统、综合和完整。理顺理论教学与实践教学的关系,突出教育特色,强化实践教学环节。本书体例新颖,内容生动,以尽可能适应以能力本位为主旨的学生为主、教师为辅的新型教学模式的需要。

参加本书编写的成员均具有10年以上的高校教龄,有着丰富的教学经验。

本书的第1章、第2章由沈阳广播电视大学王育欣编写,第3章、第6章由晋中学院张永平编写,第4章由湛江师范学院隋广州编写,第5章、第7章由宁夏大学赖惠鸽编写,第8章由长江师范学院姚正华编写,第9章、第10章由江西农业大学黄双根、马文烈编写,第11章由江西农业大学周华茂编写,第12章由江西农业大学杨小玲编写,第13章由江西农业大学欧阳静怡编写,第14章由江西农业大学李云海编写,第15章、第16章由蚌埠学院程荣龙编写,第17章由晋中学院许建蓉编写,第18章、第19章由江西农业大学黄双根、马文烈编写。全书由江西农业大学马文烈审核和统稿。

由于编者水平有限,书中难免会有缺点甚至错误,欢迎广大读者给予批评指正。

编 者

2012年4月

目 录

第 1 章 电路的基本概念与定律	(1)
1.1 电路的基本概念	(1)
1.2 电路的基本物理量及参考方向	(2)
1.3 电功率和能量	(7)
1.4 电路元件	(8)
1.5 电路的基本定律和工作状态	(13)
1.6 电阻电路的等效变换	(17)
1.7 电路的图	(31)
1.8 电路的基本分析方法	(33)
习题	(59)
第 2 章 正弦交流电路分析	(61)
2.1 正弦交流电路的基本概念	(61)
2.2 电阻、电容及电感中的正弦电流	(64)
2.3 正弦量的相量表示法	(66)
2.4 电路定律及电路基本元件 VCR 的相量形式	(74)
2.5 复阻抗、复导纳	(76)
2.6 正弦稳态电路分析的相量法	(81)
2.7 正弦稳态电路的电功率	(85)
2.8 功率因数提高与最大功率传输	(89)
2.9 频率特性和谐振电路	(92)
习题	(99)
第 3 章 三相交流电路	(103)
3.1 三相电源	(103)
3.2 三相负载	(106)
3.3 三相功率	(109)
习题	(111)
第 4 章 电路的暂态分析	(113)
4.1 储能元件	(113)
4.2 换路定则	(115)
4.3 一阶线性电路的暂态分析	(117)
4.4 电路暂态分析的应用	(122)
习题	(122)
第 5 章 磁路与变压器	(125)
5.1 磁路的基本概念及定律	(125)
5.2 铁磁材料	(130)

5.3	交流铁芯线圈电路	(132)
5.4	电磁铁	(134)
5.5	变压器	(136)
	习题	(144)
第 6 章	异步电动机	(146)
6.1	三相异步电动机的基本结构	(146)
6.2	三相异步电动机的工作原理	(148)
6.3	三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	(152)
6.4	三相异步电动机的铭牌数据	(155)
6.5	三相异步电动机的启动	(158)
6.6	三相异步电动机的制动	(163)
6.7	三相异步电动机的调速	(165)
6.8	三相异步电动机的选择与使用	(167)
6.9	单相异步电动机	(169)
	习题	(172)
第 7 章	电气控制系统	(174)
7.1	常用低压电器元件	(174)
7.2	继电接触器控制的基本线路	(179)
7.3	电力拖动的基本控制方法	(182)
7.4	可编程控制器	(186)
7.5	PLC 应用举例	(197)
7.6	计算机自动控制系统简介	(199)
	习题	(204)
第 8 章	供配电与安全用电	(206)
8.1	电力系统基本概念	(206)
8.2	供配电技术	(208)
8.3	安全用电	(213)
	习题	(218)
第 9 章	半导体二极管及其基本电路	(219)
9.1	半导体的基本知识	(219)
9.2	PN 结	(221)
9.3	半导体二极管	(224)
9.4	整流电路	(228)
9.5	稳压管及其稳压电路	(230)
9.6	特殊二极管	(231)
	习题	(233)
第 10 章	半导体三极管与基本放大电路	(235)
10.1	半导体三极管	(235)
10.2	共发射极放大电路	(241)
10.3	静态工作点的稳定	(246)

10.4	共集电极放大电路——射极输出器	(249)
10.5	多级放大电路及其级间耦合方式	(250)
10.6	放大电路中的负反馈	(252)
10.7	功率放大器	(257)
	习题	(264)
第 11 章	场效应管及其放大电路	(267)
11.1	结型场效应管	(267)
11.2	绝缘栅场效应管	(270)
11.3	场效应管的主要参数	(274)
11.4	场效应管的特点	(276)
11.5	场效应管放大电路	(277)
	习题	(282)
第 12 章	集成运算放大器	(285)
12.1	集成运算放大器简介	(285)
12.2	集成运算放大器在信号运算方面的应用	(289)
12.3	集成运算放大器在信号处理方面的应用	(292)
12.4	集成运算放大器的非线性应用	(294)
12.5	集成运算放大器使用注意事项	(297)
	习题	(298)
第 13 章	正弦波振荡电路	(301)
13.1	正弦波振荡电路的基本原理	(301)
13.2	RC 正弦波振荡电路	(302)
13.3	LC 正弦波振荡电路	(304)
13.4	石英晶体正弦波振荡电路	(306)
13.5	集成函数发生器 ICL8038 简介	(307)
	习题	(308)
第 14 章	直流稳压电源	(310)
14.1	概述	(310)
14.2	整流电路	(310)
14.3	滤波电路	(314)
14.4	稳压电路	(317)
14.5	集成稳压电路	(322)
	习题	(328)
第 15 章	数字电路基础	(332)
15.1	数字电路概述	(332)
15.2	基本逻辑运算及门电路	(334)
15.3	复合逻辑门电路	(337)
15.4	TTL 集成与非门	(339)
15.5	其他形式的 TTL 电路	(342)
15.6	CMOS 门电路	(344)

习题	(348)
第 16 章 组合逻辑电路	(352)
16.1 组合逻辑电路分析基础	(352)
16.2 常用数字集成组合逻辑电路	(360)
习题	(373)
第 17 章 触发器及时序逻辑电路	(376)
17.1 双稳态触发器	(376)
17.2 寄存器	(382)
17.3 计数器	(386)
17.4 时序逻辑电路的分析	(394)
17.5 555 定时器及其应用	(395)
17.6 应用举例	(399)
习题	(401)
第 18 章 数模和模数转换	(403)
18.1 D/A 转换器	(403)
18.2 A/D 转换器	(406)
习题	(410)
第 19 章 半导体存储器和可编程逻辑器件	(411)
19.1 半导体存储器概述	(411)
19.2 只读存储器(ROM)	(411)
19.3 随机存储器	(415)
19.4 可编程逻辑器件	(418)
19.5 MAX+Plus II 的原理图输入设计	(419)
习题	(427)
部分习题参考答案	(428)
参考文献	(441)

第 1 章 电路的基本概念与定律

电路理论源于物理学中电磁学的一个分支。若从欧姆定律(1827 年)和基尔霍夫定律(1845 年)的发表算起,电路理论的诞生至今已有 170 多年。电路理论融合了物理学、数学和工程技术等多方面的成果。物理学,尤其是其中的电磁学为研制各种电路器件提供了理论依据,对各种电路现象做出了理论上的阐述。数学中的许多理论也在电路理论中得到广泛的应用,成为分析、设计电路的重要方法。同时,工程技术的不断发展对电路理论提出了更高的要求,推动着电路理论的发展。

电路理论是研究电路基本规律及基本分析方法的应用理论。它通常包括电路分析和网络综合两个分支。电路分析是指根据已知的电路结构和元件参数,求解电路的特性;网络综合是指根据对电路性能的要求,确定合适的电路结构和元件参数,实现所需要的电路性能。另外,电子元件与设备规模的扩大,促进了故障诊断理论的发展,因而,故障诊断理论被人们视为继电路分析和网络综合之后电路理论的又一个新的分支。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成和功能

为了实现电能的产生、传输及使用,而将所需的电路元件按一定的方式连接起来,即构成了电路。所以电路是由电工(电器)设备构成的总体,它提供了电流流通的路径。随着电流的通过,电路进行着能量的转换、传输和分配。一个完整的电路要有以下三个基本组成部分。

(1) 电源(source):产生电能或信号的设备,是电路中的信号或能量的来源,工作时将其其他形式的能量转变为电能,如发电机、干电池、光电池等。电源又被称为激励。

(2) 负载(load):用电设备,消耗电能的装置。工作时将电能转变为其他形式的能量,如电动机、电阻器等。

(3) 电源与负载之间的连接部分:除连接导线外,还必须有控制、保护电源用的开关、熔断器、升压变压器、降压变压器等。

电路根据其功能分为两种:一种是实现电能传输和分配,并将电能转换成其他形式能量的电路,称为力能电路(用在“强电”电路中);另一种是以信号处理为目的的电路,称为信号电路(用在“弱电”电路中),它可将输入信号(激励——excitation)进行变换或加工转变为所需要的输出(响应——response)。放大电路可将微弱信号进行放大,如:收音机、电视机的放大电路。

1.1.2 电路模型

实际电路中使用的电路部件一般都与电能的消耗现象及电磁能的储存现象有关,这些现象交织在一起并发生在整个部件中。如果把这些现象或特性全部加以考虑,会给电路分析带来困难。因此,必须在一定条件下,忽略它的次要性质,用一个足以表征其主要电磁性能模型来表示,以便进行定量分析。

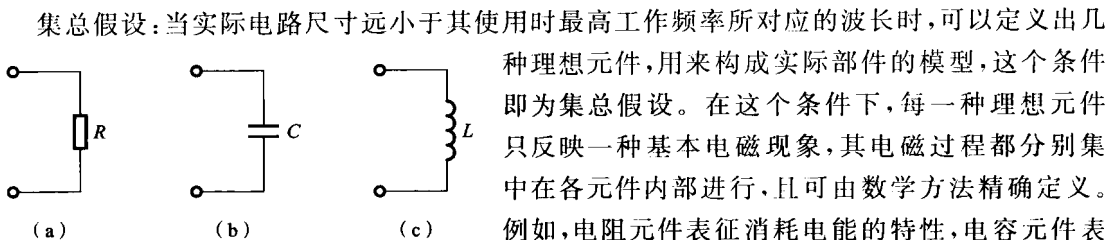


图 1.1 三种理想元件的模型

集总假设:当实际电路尺寸远小于其使用时最高工作频率所对应的波长时,可以定义出几种理想元件,用来构成实际部件的模型,这个条件即为集总假设。在这个条件下,每一种理想元件只反映一种基本电磁现象,其电磁过程都分别集中在各元件内部进行,且可由数学方法精确定义。例如,电阻元件表征消耗电能特性,电容元件表征储存电场能量的特性,电感元件表征储存磁场能量的特性。这三种理想元件的模型如图 1.1 所示。

电路模型:电路模型是指实际电路在一定条件下的科学抽象和足够精确的数学描述。电路分析的对象不是实际电路,而是理想化的电路模型。电路理论中所说的电路是指由一些理想元件按一定方式连接组成的总体。

不同的实际部件,只要具有相同的主要电磁性能,在一定条件下可用同一个模型表示。同一个实际部件在不同的条件下,其模型也可以有不同的形式。例如,实际电感器在不同条件下的模型如图 1.2 所示。将实际电路中各个部件用其模型表示,这样画出的图形即为实际电路的电路模型,也称电路原理图。

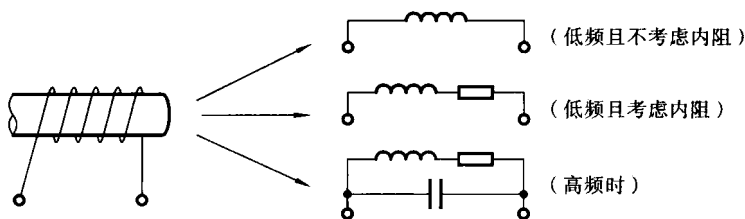


图 1.2 实际电感器在不同条件下的模型

1.2 电路的基本物理量及参考方向

1.2.1 电路的基本物理量

电路分析能够得出给定电路的电性能。电路的电性能通常可以用一组表示时间函数的变量来描述,电路分析的任务在于:给定电源(激励),解得变量(响应)。从根本上说,电荷与能量是描述电现象的基本变量或原始变量。为便于描述电路,引入了电路的基本变量:电流、电压和功率。它们都易于测定,其中功率又可由电压、电流算得。因此,对于电路分析问题,往往侧重于求解电流和电压。

1. 电流

电荷有规则的定向运动,形成传导电流。金属导体中的大量自由电子,在外电场的作用下逆电场运动而形成电流;电解液中带电离子作规则定向运动形成电流。

定义: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。用 $i(t)$ 可表示为

$$i(t) = \frac{dq}{dt}$$

单位: kA, A, mA, μ A。

实际方向:习惯上把正电荷的运动方向定为电流的实际方向(又称真实方向)。

如果电流的大小和方向不随时间的变化而变化,则这种电流称为恒定电流,简称直流(DC),否则称为时变电流。如果电流的大小和方向都随时间的变化而周期性变化,则这种电流称为交变电流,简称交流(AC)。

参考方向:假设正电荷运动的方向为正。

在实际问题中,电流的真实极性往往在电路图中难以判断。如图 1.3 所示,电阻 R 的电流实际方向不是一看便知的,但其实际方向无非是从 a 点流向 b 点或从 b 点流向 a 点。因此,可以像对待其他代数量问题一样,任意假设正电荷的运动方向,用箭头标在电路图上,或用双下标表示(如 i_{ab} 表示电流从 a 点流向 b 点),并以此为已知条件去分析计算。

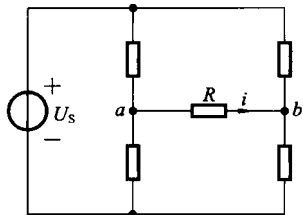


图 1.3 一简单电路图

实际方向的判定:经计算后根据电流的正负可判断其实际方向。规定计算所得电流为正值,说明实际方向与假设参考方向一致;若计算所得电流为负值,则说明实际方向与假设参考方向相反。

注意:电流值的正负在设定参考方向的前提下才有意义。因此,如果选用电流变量时一定要标出其参考方向。正因为从参考方向可以判定其实际方向,故今后在电路图中所标出的电流方向都可以认为是参考方向。

例 1.1 接于某一电路的 ab 支路如图 1.4 所示,在图示参考方向下,若 $i(t) =$

$$4\cos\left(2\pi t + \frac{\pi}{4}\right) \text{ A, 试问:}$$

图 1.4 例 1.1 题图

(1) $i(0)$ 、 $i(0.5)$ 的实际方向?

(2) 若电流参考方向与图 1.4 中相反,则 $i(0)$ 、 $i(0.5)$ 的实际方向有无变化?

解 (1) $i(0) = 4\cos\frac{\pi}{4} = 2\sqrt{2} \text{ A} > 0$, 故该电流实际方向和图示参考方向一致,为 $a \rightarrow b$;

$i(0.5) = 4\cos\left(\pi + \frac{\pi}{4}\right) = -2\sqrt{2} \text{ A} < 0$, 故该电流实际方向和参考方向相反,为 $b \rightarrow a$ 。

(2) 电流的参考方向可以任意假设,但实际方向由该支路与外电路确定,故实际方向不会因参考方向的选择而改变。事实上,在例 1.1 条件下, $i'(t) = -4\cos\left(2\pi t + \frac{\pi}{4}\right) \text{ A}$, 故实际方向和本例第一问中的完全一致。

2. 电压

电荷在电路中流动,就必然会发生能量的交换。电荷可能在电路的某处获得能量而在另一处失去能量。因此,电路中存在着能量的流动,电源一般提供能量,有能量流出;电阻等元件吸收能量,有能量流入。为便于研究问题,引入“电压”这一物理量。

定义:单位正电荷由 a 点移到 b 点时电场力所做的功 W 称为 ab 两点间的电压,又称电位差(或电势差)。用 $u(t)$ 可表示为

$$u(t) = \frac{dW}{dq}$$

单位: kV, V, mV, μV 。

实际方向:习惯上把电位降落的方向称为电压的实际方向(又称实际极性)。

如果电压的大小和方向不随时间的变化而变化,则这种电压称为恒定电压,否则称为时变

电压。

电压的参考方向:与需要为电流选定参考方向一样,也需要为电压选定参考方向。通常在电路图上用“+”表示参考方向的高电位端,“-”表示参考方向的低电位端,如图 1.6 所示;或用箭头、双下标表示电压的参考方向(如 u_{ab} 表示电压参考方向从 a 点指向 b 点)。

实际方向的判定和注意点:同电流实际方向的判定和注意点。

电位的概念及计算:在电路中,某点的电位是指将单位正电荷沿一路径移至参考点(选定电路中的某点,用符号“⊥”表示)电场力做的功。将参考点的电位定为零,则所求点的电位就是该点到参考点的电压。所以计算电位的方法与计算电压的方法完全相同。

在电路分析中引入了电位,可以简化分析,方便计算。如图 1.5(a)所示电路,为求各电阻元件的电压,当选 d 点为参考点时,只需以 b 点电位为变量,列出有关电路方程求得该电位,各电阻电压即为电阻两端电位之差。

另外,对于如图 1.5(a)所示电路,还可将其改画成用电位极性表示的形式,如图 1.5(b)所示。在“电子电路”课程中,这种画法称为“习惯画法”。

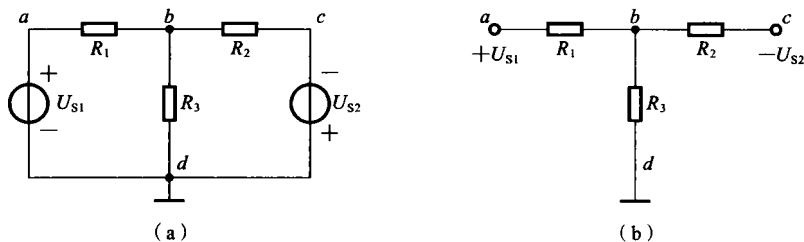


图 1.5 两种等效电路画法

显然,没有参考点,谈论电位数值的大小是没有意义的。

关联的电压电流参考方向:在电路分析中,电流与电压的参考方向是任意选定的,两者之间无关。但为了方便起见,常采用关联参考方向,即电流参考方向与电压“+”极到“-”极的方向一致,即电流与电压参考方向一致。如图 1.6 所示,图中电流 i 和电压 u 是关联的,否则称非关联的。

3. 功率

电路中存在着能量的传输,引用功率变量描述能量传输的速率。

定义:单位时间内电场力所做的功或电路所吸收的能量称为功率,用 P 表示,即有

$$P(t) = \frac{d\omega}{dt}$$

单位: kW, W, mW。

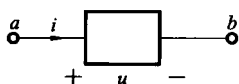


图 1.6 电流与电压参考方向

功率的计算:对于某一元件或局部电路,如图 1.6 所示,采用关联的电压电流参考方向,则该元件或局部电路吸收的功率为

$$P(t) = \frac{d\omega}{dt} = \frac{u dq}{dt} = ui$$

结论:在电压 u 、电流 i 参考方向关联的条件下,一段电路所吸收的功率为该段电路两端电压与电流的乘积。显然,若 u 、 i 参考方向非关联,则计算吸收功率的公式中应加负号,即 $P(t) = -ui$ 。

据此,代入 u 、 i 数值,若计算的 P 为正值,表示该段电路吸收功率(或消耗功率);若 P 为负值,表示该段电路向外提供功率(或产生功率)。

能量的计算:在电压电流参考方向关联时,从 t_0 到 t 时刻内,该部分电路吸收的能量为

$$W(t_0, t) = \int_{t_0}^t P(\xi) d\xi = \int_{t_0}^t u(\xi) i(\xi) d\xi$$

例 1.2 图 1.7(a)所示电路中,已知 $I_1 = 3 \text{ A}$, $I_2 = -2 \text{ A}$, $I_3 = 1 \text{ A}$, 电位 $U_a = 8 \text{ V}$, $U_b = 6 \text{ V}$, $U_c = -3 \text{ V}$, $U_d = 8 \text{ V}$ 。

- (1) 欲验证电流数值是否正确,直流电流表应如何接入电路? 并标明极性。
- (2) 求电压 U_{ac} 、 U_{db} , 要测量这两个电压,应如何连接电压表? 并标明电压表极性。
- (3) 求元件 1、3、5 上吸收的功率。

解 (1) 根据各支路电流的正负值,电流表应按图 1.7(b)所示方式接入各支路。

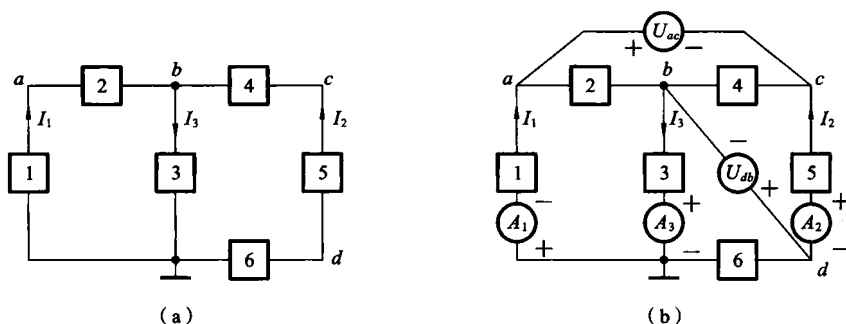


图 1.7 例 1.2 图

(2) $U_{ac} = U_a - U_c = (8 + 3) \text{ V} = 11 \text{ V}$, $U_{db} = U_d - U_b = (8 - 6) \text{ V} = 2 \text{ V}$ 。电压表的接法如图 1.7(b)所示。

(3) 设元件 1、3、5 上吸收的功率分别为 P_1 、 P_3 、 P_5 , 则

$$P_1 = -U_a I_1 = -8 \times 3 \text{ W} = -24 \text{ W}$$

$$P_3 = U_b I_3 = 6 \times 1 \text{ W} = 6 \text{ W}$$

$$P_5 = U_{dc} I_2 = (U_d - U_c) I_2 = (8 + 3) \times (-2) \text{ W} = -22 \text{ W}$$

1.2.2 电流和电压的参考方向

1. 电流参考方向

图 1.8 表示一个电路的一部分,其中的方框表示一个二端元件。流过这个元件的电流为 i , 其实际方向或是由 A 到 B, 或是由 B 到 A。图 1.8 中导线上的箭头表示电流的参考方向, 它不一定是电流的实际方向。指定参考方向的用意在于把电流看成代数量。如果电流 i 的实际方向是由 A 到 B, 如图 1.8(a)中虚线箭头所示, 它与参考方向一致, 则电流为正值, 即 $i > 0$ 。在图 1.8(b)中, 指定的电流参考方向自 B 到 A (见实线箭头), 如果电流的实际方向是由 A 到 B (见虚线箭头), 两者不一致, 故电流为负值, 即 $i < 0$ 。这样, 在指定的电流参考方向下, 电流的正和负就可以反映出电流的实际方向。电流的参考方向可以任意指定, 一般用箭头表示, 也

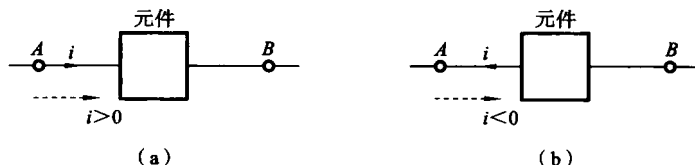


图 1.8 电流的参考方向

可以用双下标表示,例如 $i_{AB} > 0$ 表示参考方向是由 A 到 B。电路元件或一段电路的电流无参考方向,其值的正负无意义。分析电路的过程中,参考方向一旦选定,中途不得更改。

需要指出的是:电流的参考方向可以任意指定;指定参考方向的用意是把电流看成代数数量。在指定的电流参考方向下,电流值的正和负就可以反映出电流的实际方向。

2. 电压参考方向

对电路中两点之间的电压也可以指定参考方向或参考极性。两点之间的电压参考方向可

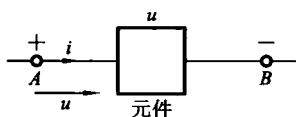


图 1.9 电压的参考方向

以用正(+)、负(-)极性表示,正极指向负极的方向就是电压的参考方向,如图 1.9 所示。指定电压参考方向后,电压就成为一个代数数量。在图 1.9 中,如果 A 点电位高于 B 点电位,即电压的实际方向是由 A 到 B,两者的方向一致,则 $u > 0$ 。当实际电位是 B 点高于 A 点,两者相反,则 $u < 0$ 。有时为了方便,可用一个箭头表示电压的参考方向。还可

用双下标表示电压,如 $u_{AB} > 0$ 表示 A 到 B 之间电压参考方向是由 A 指向 B。

需要指出的是:电路中电位参考点可任意选择;参考点一经选定,电路中各点的电位值就是唯一的;当选择不同的电位参考点时,电路中各点电位值将改变,但任意两点间电压保持不变。

电压参考方向有以下三种表示方式。

用箭头表示:箭头的指向为电压的参考方向。

用双下标表示:如 U_{AB} ,表示电压参考方向由 A 指向 B。

用正负极性表示:表示电压参考方向由“+”指向“-”。

3. 电流和电压的关联参考方向

一个元件的电流或电压的参考方向可以独立地任意指定。

如果指定流过元件的电流参考方向是从电压正极性的一端指向负极性的一端,即两者的参考方向一致,则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向,如图 1.10 所示,即电流参考方向为电压降低的参考方向;当两者不一致时,称为非关联参考方向。

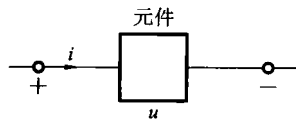


图 1.10 关联参考方向

常常习惯采用关联参考方向。

在国际单位制(SI)中,电流的单位为 A(安培,简称安),电荷的单位为 C(库仑,简称库),电压的单位为 V(伏特,简称伏)。

需要指出的是:分析电路前必须选定电压和电流的参考方向;参考方向一经选定,必须在图中相应位置标注(包括方向和符号),在计算过程中不得任意改变。参考方向不同时,其表达式相差一负号,但实际方向不变。

例 1.3 已知:4 C 正电荷由 a 点均匀移动至 b 点,电场力做功 8 J,由 b 点移动到 c 点,电场力做功为 12 J。

(1) 若以 b 点为参考点,求 a、b、c 点的电位和电压 U_{ab} 、 U_{bc} ;

(2) 若以 c 点为参考点,再求以上各值。

解 (1) 如图 1.11(a)所示,以 b 点为电位参考点有

$$U_b = 0$$

$$U_a = \frac{W_{ab}}{q} = \frac{8}{4} \text{ V} = 2 \text{ V}$$