

电路基础

余 华 主编

DIANLU JICHU

全国电子信息类
职业教育实训系列教材

东南大学出版社

全国电子信息类职业教育实训系列教材

电 路 基 础

主 编 余 华

主 审 李明章

东南大学出版社

· 南京 ·

内 容 提 要

本书是高职高专电子类专业的基础理论教材。全书共分6章,各章内容安排如下:第1章为电路的基本概念和基本定律;第2章为电路的基本分析方法;第3章为一阶动态电路的分析;第4章为正弦稳态交流电路的分析;第5章为谐振电路;第6章为互感与理想变压器。某些带“*”号的章节供学生自学,以帮助学生扩大知识面,增加分析问题和解决问题的能力。计划学时数为80学时左右。

本书可作为3、4年制高职高专电子类专业的电路理论课教材,也适合从事电力、电子、通信等行业的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/余华主编. —南京:东南大学出版社,
2005.8

ISBN 7-81089-829-9

I. 电... II. 余... III. 电路理论-高等学校:技
术学校-教材 IV. TM13

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第044758号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼2号 邮编210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 丹阳市兴华印刷厂印刷
开本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:17.75 字数:443千字
2005年8月第1版 2005年8月第1次印刷
印数:1—4000册 定价:26.00元

(凡有印装质量问题,可直接向发行部调换。电话:025-83795801)

出版说明

全国电子信息类职业教育教学改革与教材建设第二次研讨会于2004年4月17日在山西省电子工业学校召开,历时4天。

本次会议总结了2003年教材建设的经验,并提出了第二批教材建设的四项原则:一是求实的原则:编写的教材必须结合职业教育的特点,高质量、高标准;二是协作的原则:编委会打造了一个平台,各校通过参与教材建设,能够提高本校的教学质量,培养一批优秀的教师;三是民主的原则:编委会是一个民间组织,坚持民主的原则,通过协商共同开展教材建设;四是联系的原则:编委会每年至少召开一次会议,组织学校开展教学交流和教材建设。为了更好地开展教材建设,编委会建议将原来的“全国电子信息类职业教育实训教材编委会”更名为“全国职业教育电子信息类教材编委会”。

与会代表认真地总结了首批教材建设的经验,提出了教材编写的要求:坚决贯彻职业教育的要求,即基础适度够用、加强实践环节、突出职能教育,把握职业教育电子信息类专业课程建设的特点;立足当前学生现状,面向用人单位(市场),打破条条框框,少一些理论,多一些技能教育;采取逆向思维的方式编写,即从市场需要什么技能来决定学生需要什么知识结构,并由此决定编写什么教材。

参加教材编写的单位有:

山东信息职业技术学院
福建省电子工业学校
扬州电子信息学校
河南信息工程学校
大连电子工业学校
黑龙江信息技术职业学院
本溪财贸学校
湖北三峡职业技术学院
四川省电子工业学校
本溪电子工业学校
内蒙古电子信息职业技术学院

南京信息职业技术学院
长沙市电子工业学校
山西综合职业技术学院
北京信息职业技术学院
锦州铁路运输学校
山西省邮电学校
新疆机械电子职业技术学院
山西工程职业技术学院
哈尔滨机电工程学校
上海机电工业学校
贵州省电子工业学校

全国职业教育电子信息类教材编委会
2004年8月

前 言

本书是根据教育部最新制定的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》,参照当前3年制高职高专电子类专业人才培养方案,结合南京信息职业技术学院教师多年来的教学与实践经验,组织编写的一门专业基础课教材。全书计划学时数为80学时左右。

全书共分6章,各章内容安排如下:第1章为电路的基本概念和基本定律;第2章为电路的基本分析方法;第3章为一阶动态电路的分析;第4章为正弦稳态交流电路的分析;第5章为谐振电路;第6章为互感与理想变压器。某些带“*”号的章节供学生自学,以帮助学生扩大知识面,增加分析问题和解决问题的能力。

电路基础课程是高职高专电子类各专业的一门重要的技术基础课。其任务是使学生掌握中高等技术人才所必须具备的电路基本理论及电路的分析和计算方法,同时培养学生的辩证唯物主义观点和辩证思维能力,实事求是的科学态度,分析和解决问题的能力以及自学能力,为学习后续电类课程及从事实际工作准备必要的基础。本书充分考虑学生的实际数理基础,按照循序渐进、理论联系实际、便于自学的原则编写;教材内容以适量、实用为度,不贪多求难,基本概念讲清楚,对问题的讨论注重物理概念阐述、分析透彻,举例结合实际并具有典型性;此外,每章节后面有思考题、小结与习题,便于自学。

本书既可作为高职高专电子类专业电路理论课的教材,也适合从事电力、电子、电信等行业的工程技术人员参考。

本书由余华任主编,李明章主审。余华编写了全书的理论内容,并负责全书的组织策划、修改补充和定稿工作,李明章、魏欣编写了全书的例题、思考题和习题。3位教师属老、中、青组合,既具有较丰富的教学与实际经验,又对现代教学法有所探究,相信本书的内容是充实准确的,方式也更适合现代的高职学生。

本书的编写和统稿工作,得到了南京信息职业技术学院电子信息工程系领导华永平、卞小梅、杜庆波的大力支持和帮助,得到了东南大学出版社的大力支持,使得我们能按时完成了本书的编写任务,在此表示衷心的感谢!

限于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免会存在缺点与错误,敬请读者批评指正。

编 者

2005年3月

目 录

1 电路的基本概念和基本定律	(1)
1.1 电路和电路模型	(1)
1.1.1 电路及其功能	(1)
1.1.2 电路模型	(2)
1.1.3 电路结构	(2)
1.1.4 单位制	(3)
1.2 电路变量	(4)
1.2.1 电流	(4)
1.2.2 电压	(6)
1.2.3 电功率和电能	(7)
1.3 电阻	(10)
1.3.1 电阻与电阻元件	(10)
1.3.2 电导	(11)
1.3.3 电阻元件的伏安关系	(11)
1.3.4 电阻的功率和能量	(12)
1.4 电源	(13)
1.4.1 电压源	(14)
1.4.2 电流源	(14)
1.5 基尔霍夫定律	(16)
1.5.1 基尔霍夫电流定律	(17)
1.5.2 基尔霍夫电压定律	(19)
1.6 电路中各点电位的分析	(22)
1.6.1 电位的概念	(22)
1.6.2 电路中各点电位的分析	(23)
1.6.3 电子电路图中的电压源表示方法	(23)
1.6.4 等电位点	(24)
本章小结	(26)
习题 1	(27)
2 电路的基本分析方法	(34)
2.1 电路的等效	(34)
2.1.1 电路等效的一般概念	(34)
2.1.2 电阻的串联及其分压	(35)
2.1.3 电阻的并联及其分流	(36)
2.1.4 电阻的混联	(37)
2.2 星形电阻网络与三角形电阻网络及其等效变换	(39)
2.2.1 星形电阻网络与三角形电阻网络	(39)
2.2.2 星形电阻网络与三角形电阻网络的等效变换	(40)
2.3 两种电源模型的等效互换	(41)
2.3.1 实际电源的电压源模型	(42)
2.3.2 实际电源的电流源模型	(42)
2.3.3 两种电源模型的等效互换	(42)
2.3.4 几种含源支路的等效变换	(43)
2.4 网孔电流法	(47)
2.4.1 网孔电流的引出	(47)
2.4.2 网孔电流法	(48)

2.5	节点电压法	(50)
2.5.1	节点电压法	(50)
2.5.2	弥尔曼定理	(52)
2.6	叠加定理与齐性定理	(54)
2.6.1	叠加定理	(54)
*2.6.2	齐性定理	(57)
*2.7	置换定理	(58)
2.8	戴维南定理与诺顿定理	(60)
2.8.1	二端网路	(60)
2.8.2	戴维南等效电路	(61)
2.8.3	戴维南等效电路参数的测定	(62)
2.8.4	诺顿等效电路	(65)
2.9	最大功率传输条件	(66)
2.10	受控源	(68)
2.10.1	受控源的分类	(68)
2.10.2	含受控源电路的分析方法	(69)
	本章小结	(72)
	习题2	(75)
3	一阶动态电路的分析	(85)
3.1	电容	(85)
3.1.1	电容元件和电容	(85)
*3.1.2	电容器的串、并联	(86)
3.1.3	电容元件的伏安关系	(87)
3.1.4	电容的储能	(90)
*3.1.5	常见电容器简介	(92)
*3.1.6	几种常见电容器的电容	(95)
3.2	电感	(97)
3.2.1	电感元件和电感	(97)
3.2.2	电感元件上电压与电流的关系	(98)
3.2.3	电感的储能	(99)
3.3	换路定律与初始值的计算	(101)
3.3.1	产生过渡过程的原因	(101)
3.3.2	换路定律	(101)
3.3.3	初始值的计算	(102)
3.4	一阶电路的零输入响应	(106)
3.4.1	RC 电路的零输入响应	(106)
3.4.2	RL 电路的零输入响应	(108)
3.5	一阶电路的零状态响应	(112)
3.5.1	直流激励下 RC 串联电路的零状态响应	(112)
3.5.2	直流激励下 RL 串联电路的零状态响应	(115)
3.6	一阶电路的全响应	(117)
3.7	一阶电路的三要素法	(120)
*3.8	过渡过程的应用	(125)
3.8.1	微分电路	(125)
3.8.2	积分电路	(126)
*3.9	RLC 串联电路的零输入响应	(127)
	本章小结	(133)
	习题3	(134)
4	正弦稳态交流电路的分析	(140)
4.1	正弦交流电的基本概念	(140)

4.1.1	交流电的一般概念	(140)
4.1.2	正弦量的三要素	(142)
4.1.3	交流电的有效值和平均值	(146)
4.2	利用相量表示正弦信号	(148)
4.2.1	复数简述	(149)
4.2.2	正弦量的相量表示法	(153)
4.3	相量形式的基尔霍夫定律	(156)
4.3.1	相量形式的基尔霍夫电流定律	(156)
4.3.2	相量形式的基尔霍夫电压定律	(156)
4.3.3	参考正弦量与参考相量	(157)
4.4	电阻元件上电压与电流的相量关系	(158)
4.4.1	电阻元件上电压与电流的关系	(158)
4.4.2	电阻元件上电压与电流的相量关系	(159)
4.4.3	电阻元件的功率	(160)
4.5	电感元件上电压与电流的相量关系	(162)
4.5.1	电感元件上电压与电流的关系	(162)
4.5.2	电感元件上电压与电流的相量关系	(163)
4.5.3	电感元件的功率	(163)
4.5.4	电感元件中储存的磁场能量	(164)
4.6	电容元件上电压与电流的相量关系	(165)
4.6.1	电容元件上电压与电流的关系	(165)
4.6.2	电容元件上电压与电流的相量关系	(167)
4.6.3	电容元件的功率	(167)
4.6.4	电容元件中储存的电场能量的功率	(168)
4.7	阻抗与导纳	(169)
4.7.1	RL 串联电路的阻抗	(169)
4.7.2	RL 串联电路的功率	(170)
4.7.3	阻抗	(171)
4.7.4	导纳	(172)
4.8	用相量法分析 RLC 串联电路	(174)
4.8.1	电路的 3 种情况	(175)
4.8.2	电路的功率	(176)
4.8.3	复阻抗串联电路	(178)
4.9	并联电路的分析	(182)
4.9.1	用阻抗法分析并联电路	(182)
4.9.2	用导纳法分析并联电路	(184)
4.9.3	并联电路的功率	(186)
4.10	用相量法分析正弦交流电路	(190)
4.10.1	网孔电流法	(190)
4.10.2	节点电压法	(191)
4.10.3	戴维南定理	(192)
4.11	功率因数的提高	(193)
4.11.1	提高功率因数的意义	(193)
4.11.2	提高功率因数的方法	(194)
4.12	正弦交流电路负载获得最大功率的条件	(195)
* 4.13	交流电路的实际元件	(197)
4.13.1	电阻器	(197)
4.13.2	空心线圈	(198)
4.13.3	电容器	(198)
4.14	三相电源	(199)

4.14.1	三相交流电源	(199)
4.14.2	三相电源的连接	(201)
4.14.3	三相负载的连接	(203)
4.14.4	三相电源的功率	(206)
本章小结		(207)
习题4		(210)
5	谐振电路	(222)
5.1	串联谐振电路	(222)
5.1.1	串联谐振	(222)
5.1.2	串联谐振的基本特性	(224)
5.2	串联谐振电路的频率特性	(228)
5.2.1	串联电路的谐振曲线	(228)
5.2.2	串联谐振电路的通频带	(230)
*5.2.3	电源内阻及负载对通频带的影响	(232)
5.3	并联谐振电路	(233)
5.3.1	并联谐振的条件	(234)
5.3.2	并联谐振的特征	(234)
5.4	并联谐振电路的频率特性	(237)
5.4.1	并联谐振电路的幅频和相频特性曲线	(237)
5.4.2	并联谐振电路的通频带	(238)
5.4.3	电源内阻和负载电阻对通频带的影响	(238)
*5.5	谐振电路的应用	(240)
5.5.1	谐振电路在电子技术中的应用	(240)
5.5.2	电力系统对谐振的保护	(241)
5.5.3	复杂的并联谐振电路	(241)
本章小结		(244)
习题5		(245)
6	互感与理想变压器	(247)
6.1	互感与互感电压	(247)
6.1.1	互感现象	(247)
6.1.2	互感系数	(247)
6.1.3	耦合系数	(248)
6.1.4	互感电压	(248)
6.2	互感线圈的同名端及其应用	(249)
6.2.1	同名端的定义	(249)
6.2.2	同名端的判断	(250)
6.2.3	同名端的应用	(251)
6.2.4	互感线圈的电压	(253)
6.3	互感线圈的去耦等效	(255)
6.3.1	互感线圈的顺向串联	(255)
6.3.2	互感线圈的反向串联	(256)
6.3.3	互感与等效电感的关系	(256)
6.3.4	互感线圈的并联	(258)
6.3.5	互感线圈的T形等效	(260)
6.4	理想变压器	(262)
6.4.1	理想变压器的3个理想条件	(263)
6.4.2	理想变压器的主要性能	(263)
本章小结		(267)
习题6		(268)
参考文献		(273)

1 电路的基本概念和基本定律

学习“电路基础”课程主要是掌握电路的基本规律和分析方法。本章从建立电路模型、认识电路变量等最基本的问题出发,进而介绍常见的理想电路元件——电阻器、理想电源及其伏安特性,重点讨论理想电源、欧姆定律、基尔霍夫定律等重要概念。

1.1 电路和电路模型

“模型”是现代各个自然科学、社会科学分析研究中普遍使用的重要概念。例如,没有宽窄厚薄的“直线”是数学学科研究中的一种模型;不占空间尺寸确有一定质量的“质点”是物理学科研究中的一种模型。人们在分析研究某一实际装置时,也常采用模型化的方法,即先建立能反映该装置基本特性的模型,使问题得到合理简化,然后对该模型进行定量分析,以求得该装置的某些分析研究结果。研究电路的问题也是如此,我们先建立电路模型,然后进行定量分析。

1.1.1 电路及其功能

在科学技术发达的今天,无论是人们的日常生活还是各种生产实践都广泛使用种类繁多的电路。例如,为了采光而使用照明电路;异地间交流信息而使用通信电路;将微弱电信号进行放大要借助于放大电路;为实现现代化生产而使用各种自动控制电路等。

电路是为了实现某种预期的目的而将电器设备和元件按一定方式连接起来的总体。电路有时也称网络,两个名词可以通用,只是网络一般指较为复杂的电路。图 1-1 和图 1-2 就是两个实际电路的例子。

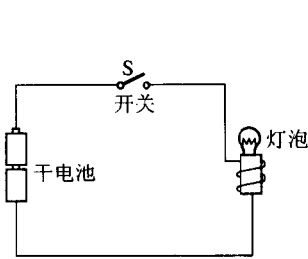


图 1-1 照明电路

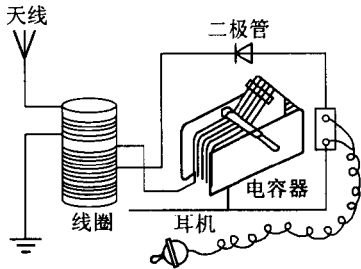


图 1-2 收音机电路

图 1-1 是最简单的一种实际照明电路。开关 S 合上后,随着电流的通过,灯泡将电能转换成光能和热能。图 1-2 是最简单的收音机电路,天线将收到的电波(即电信号)由线圈感应出一个电压,再通过电路将该电压变换(“加工”)成耳机所需要的电信号并转换成声音。一般来说,电路的主要功能是进行能量的传输和转换(见图 1-1)或者信号的传递和处理(见图 1-2)。

不管是简单电路还是复杂电路,都可以看成由 3 部分组成:提供电能(或信号)的部分称为

电源(或信号源);消耗或转换电能的装置,称为负载;连接及控制电源和负载部分的中间环节,如导线、开关等。最简单的中间环节可以仅仅是两根连接导线,而复杂的中间环节则可以是一个庞大的控制系统。

1.1.2 电路模型

组成实际电路的元件种类繁多,即使是很简单的实际元件,在工作时所发生的物理现象也可能是很复杂的。比如说,制作一个电阻器是要利用它的电阻,即对电流呈现阻力的性质;制作一个电压源要利用它正负极间能保持一定电压的性质;制作连接导线要利用它优良的导电性能,使电流顺利流过。但是,事实上不可能制造出只表现其主要特性的部件,也就是说,不可能制造出理想的部件。例如,一个实际的电阻器,有电流通过时会产生磁场,因而兼有电感器的性质;一个实际电压源总有内阻,因而在使用时不可能保持一定的端电压;连接导线总有电阻,还有电感。如果对部件的各种性质都加以考虑,就会给电路分析带来困难。为了便于对电路进行分析和计算,我们常把实际的元件加以近似化、理想化,在一定的条件下忽略其次要性质,突出其主要特征,用一个足以表征其主要电磁性质的“模型”——理想元件来表示。例如,我们用“电阻元件”这样一个理想电路元件来反映消耗电能的特性,因为当电流通过电阻器时,在它内部进行着把电能转换成热能等不可逆过程。这样,在电源频率不十分高的电路中,所有的电阻器、电烙铁、电炉等电路元器件,都可以用“电阻元件”这个模型来近似地表示。同样,在一定条件下,线圈可以用“电感元件”来近似地表示;电容器可以用“电容元件”来近似地表示。

这种由理想元件构成的电路,就称为实际电路的“电路模型”,简称电路图。图 1-3 为图 1-1 的电路模型。今后书中未加特殊说明时,我们所说的电路均指这种抽象的电路模型,所说的元件均指理想元件。

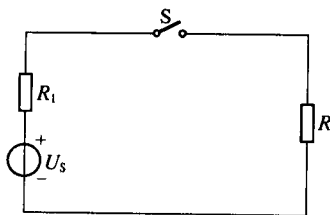


图 1-3 电路模型

1.1.3 电路结构

实际的电路元件总有 2 个或 2 个以上端钮与电路的其他部分连接,因而与其对应的理想元件也有 2 个或多个连接端钮,分别称为二端和多端元件。本书主要讨论由二端元件构成的电路。

为叙述方便,电路分析中定义了一些电路名词,下面我们来讲解它们的含义。

(1) 支路

电路中具有 2 个端钮且通过同一电流的每个分支(至少包含 1 个元件),称为支路。如图 1-4 中, $a1b$ 、 $a2b$ 、 $a43b$ 均为支路, $a4$ 则不是支路。支路 $a1b$ 中有电源,称为含源支路;支路 $a2b$ 中没有电源,称为无源支路。支路数用 b 表示。

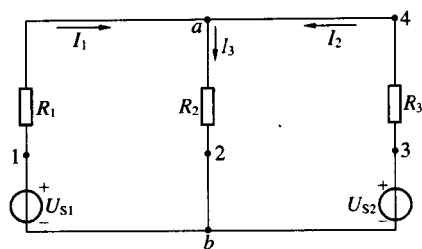


图 1-4 电路名词定义用图

(2) 节点

3 条和 3 条以上支路的连接点称为节点。图 1-4 中, a 点和 b 点都是节点。节点数用 N 表示。

(3) 回路

电路中任一闭合路径称为回路。在图 1-4 中, $a2b1a$ 、 $a3b1a$ 、 $a3b2a$ 都是回路。只有 1 个回路的电路称为单回路电路。

(4) 网孔

在电路内部不含有支路的回路称为网孔。在图 1-4 所示电路中, $a2b1a$ 和 $a3b2a$ 都是网孔, 而 $a3b1a$ 则不是网孔。网孔数用 m 表示。

(5) 网络

一般把包含元件较多的电路称为网络, 实际上电路和网络两个名词可以通用。

电路是由支路构成的。

1.1.4 单位制

1984 年国务院发布《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》, 明确规定国际单位制 (SI) 是我国法定计量单位的基础。1986 年修订后, 国务院再次发布命令, 要求全面执行。在国际单位制中有 7 个基本单位, 其中长度以米 (m) 为单位; 质量以千克 (kg) 为单位; 时间以秒 (s) 为单位; 电流以安[培] (A) 为单位; 热力学温度以开[尔文] (K) 为单位; 物质的量以摩[尔] (mol) 为单位; 发光强度以坎[德拉] (cd) 为单位。其他物理量的单位可以根据其定义从这些基本单位导出。例如, 电荷量的单位是库[仑] (C), $1\text{ C}=1\text{ A}\cdot\text{s}$; 力的单位是牛[顿] (N), $1\text{ N}=1\text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 等。为了使单位含义清楚, 并简化单位名称及符号, 有些物理量的导出单位也可以用专门名称的 SI 导出单位表示, 如功率的单位是瓦[特] (W), $1\text{ W}=1\text{ J/s}$; 电压的单位是伏[特] (V), $1\text{ V}=1\text{ W/A}$ 。以上单位名称中, 带[] 的单位为全称, 去掉[] 的单位为简称, 无方括号的单位名称, 简称与全称同。例如, “米”、“安培”为全称, “安”为简称。使用时, 去掉[] 内的字。() 内的英文字母例如 “m”、“A” 为其符号。

除了 SI 基本单位和导出单位之外, 有时需要 SI 单位的倍数单位, 则在原单位上加词头。以上均见 GB 3100—93。例如, $1\text{ kV}=10^3\text{ V}$, $1\text{ mV}=10^{-3}\text{ V}$ 。

常用 SI 词头如表 1-1 所示。

表 1-1 SI 常用词头

因 数	词 头		符 号	因 数	词 头		符 号
	英 文	中 文			英 文	中 文	
10^{12}	tera	太[拉]	T	10^{-3}	milli	毫	m
10^9	giga	吉[咖]	G	10^{-6}	micro	微	μ
10^6	mega	兆	M	10^{-9}	nano	纳[诺]	n
10^3	kilo	千	k	10^{-12}	pico	皮[可]	p
10^2	hecto	百	h	10^{-15}	femto	飞[母托]	f
10^1	deca	十	da	10^{-18}	atto	阿[托]	a
10^{-1}	deci	分	d	10^{-21}	zepto	仄[普托]	z
10^{-2}	centi	厘	c	10^{-24}	yocto	幺[科托]	y

思考与练习

- 1.1 我们研究的电路(模型)是不是实际电路?
- 1.2 确定图 1-5 中电路的支路数、节点数和网孔数。

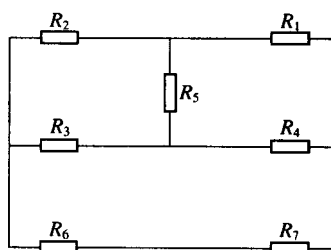


图 1-5 练习 1.2 图

1.2 电路变量

在电路问题的分析中,人们所关心的是通过一些物理量来描述电路的特征。电路的基本物理量(表征量)分为两类:基本变量和基本复合量。电路的基本变量有 4 个:电流、电压、电荷和磁通。其中最常用的有 2 个,即电流和电压。电路的基本复合量有 2 个:电功率和电能(量)。

1.2.1 电流

在物理课中已经学过,电荷的定向移动就形成了电流。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向,电流的大小常用电流强度来表示。电流的强度指单位时间内通过导体横截面的电荷量,电流强度习惯上又被称为电流。

电流主要分为两类:一类为大小和方向均不随时间改变的电流,称为恒定电流,简称直流,常简写作 dc 或 DC。其强度用符号 I 表示。另一类为电流的大小和方向都随时间变化,称为变动电流。其强度用符号 i 表示。其中一个周期内电流的平均值为 0 的变动电流称为交变电流,简称交流,常简写作 ac 或 AC。其强度也用符号 i 来表示。

图 1-6 中,给出了几种常见电流,(a)为直流,(b)、(c)均为交流。

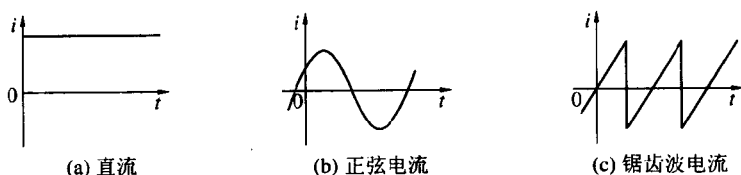


图 1-6 几种常见电流

对于直流,单位时间内通过导体横截面的电荷量是恒定不变的,其电流强度为:

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

对于变动电流(含交流),在一很小的时间间隔 dt 内,通过导体横截面的电荷量为 dq ,则该瞬间电流强度为:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

电流的单位是安[培],SI 符号为 A。它表示 1 秒(s)内通过截面的电荷为 1 库[仑](C)。有时也会用到千安(kA)、毫安(mA)或微安(μ A),其关系如下:

$$1 \text{ kA} = 1000 \text{ A} = 10^3 \text{ A}$$

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

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

在分析电路时,对复杂电路某一段电路中的电流的实际方向有时很难立即判定,有时电流的实际方向还在不断地改变,因此在电路中很难标明电流的实际方向。为了解决这样的困难,引入了电流的“参考方向”这一概念。

在一段电路或一个电路元件中事先选定一个方向,这个选定的电流方向称为电流的参考方向。参考方向可以任意选定。当然,所选定的电流参考方向并不一定就是电流的实际方向,参看图 1-7。本书中电流的参考方向用实线箭头表示,有时也用双下标表示,如 i_{ab} ,其参考方向是由 a 指向 b 。电流的实际方向用虚线箭头表示。



图 1-7 电流的参考方向和实际方向

我们规定:若电流的实际方向与任意选定的电流参考方向一致,则电流值为正值,即 $i > 0$;若电流的实际方向与选定的参考方向相反,则电流值为负值,即 $i < 0$ 。这样,我们就可以在选定的电流参考方向下,根据电流值的正负来确定出某一时刻电流的实际方向。

电流的参考方向是有关电路分析计算的一个重要概念。不规定参考方向而谈论一个电流 i 的值乃是讨论一个不确定的事物。因此,图 1-8 中,(a)和(b)表示的电流是不完整的,而图(c)表示的电流是完整的。

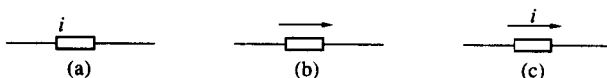


图 1-8 电流的不完整表示和完整表示

1.2.2 电压

电路分析中用到的另一个基本变量是电压。直流电压用符号 U 表示,交流电压用符号 u 表示。

物理课电学中已学过电场力做功的问题。图 1-9(a) 均匀电场中,正电荷 Q 在电场力 F 的作用下,由 a 点移到 b 点,电场力所作的功为 W ,则 a 点到 b 点的电压 $U=W/Q$ 。同理,在电路的导线中(见图 1-9(b)),正电荷 Q 在电场力 F 的作用下,由 a 点移到 b 点,电场力所作的功为 W ,则 a 点到 b 点的电压 $U=W/Q$ 。

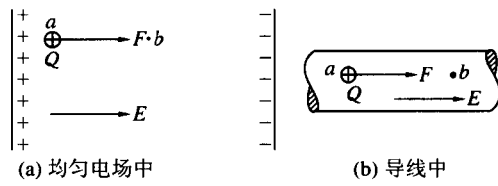


图 1-9 电场力作用

电路中 a 、 b 两点间电压的大小等于电场力由 a 点移动单位正电荷到 b 点所作的功,其表达式为:

$$U_{ab} = \frac{W}{Q} \tag{1-3}$$

还可以表示为 $U_{ab}=U_a-U_b$,其中 U_a 、 U_b 分别为 a 点与 b 点的电位(参见 1.6 节)。

当电场力做功 $W>0$ 时,电压的实际方向为从 a 到 b 。即电压的实际方向就是正电荷在电场中受电场力作用移动的方向。电压的实际方向也称为电压降的方向(参见 1.6 节)。

在 SI 中,电压的单位是伏[特],用符号 V 表示。即电场力将 1 C(库)正电荷从 a 点移至 b 点所作的功为 1 J(焦)时, a 、 b 之间的电压为 1 V。

实际使用中,有时也需用千伏(kV)、毫伏(mV)或微伏(μ V)作单位。

与对待电流一样,对元件和电路中两点之间可以任意选定一个方向为电压的参考方向。电路图中一般用实线箭头表示。当电压的实际方向与它的参考方向一致时,电压值为正,即 $u>0$;反之,当电压的实际方向与它的参考方向相反时,电压值为负,即 $u<0$,见图 1-10。

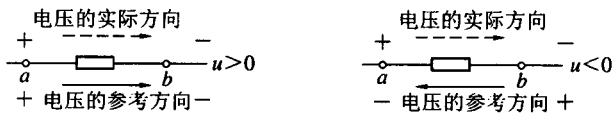


图 1-10 电压的参考方向和实际方向

有时电压用参考极性表示,即在元件或电路的两端用“+”、“-”符号表示。由正极“+”指向负极“-”的方向就是电压的参考方向,即电压降的方向;反之,由负极“-”指向正极“+”的方向就是电压升的方向。

在选定参考极性下,当电压值为正时,该电压的真实极性与所选的参考极性相同,当电压值为负时,该电压的真实极性与所选的参考极性相反。

有时还用双下标来表示电压的参考方向,如电压 u_{ab} 表示电压的参考方向由 a 点指向 b 点。

电压的实际方向是客观存在的,它决不因该电压的参考方向的不同选择而改变,由此可知:

$$u_{ab} = -u_{ba}$$

电压与电流是电路分析中通常要求解的物理量。前面对这些电路的方向作了明确的规定。电压与电流的参考方向可以任意选定,但为了方便起见,往往将一段电路或一个元件上的电流和电压的参考方向选成一致,即电流参考方向与电压参考“+”极到“-”极的方向一致。也就是说,电流的流向是从电压的“+”极流向“-”极,如图 1-11 所示,这种参考方向称为关联参考方向,简称关联方向;反之为非关联参考方向,即电流从电压的“-”极流向“+”极,如图 1-12 所示。

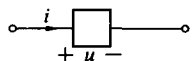


图 1-11 关联参考方向

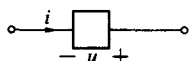


图 1-12 非关联参考方向

参考方向是进行电路分析、计算的一个重要概念。在选取一定参考方向的前提下,电流、电压都是代数量,其实际方向由参考方向与该代数值的正、负来决定。不规定参考方向而去谈论一个电流或电压值是没有意义的。读者应养成习惯,每提及一个电流或电压,应同时指明其参考方向;每求解一个电流或电压,应预先设定其参考方向。

1.2.3 电功率和电能

1) 电功率

电路分析中常用到的一个复合物理量是电功率。当正电荷在电场力作用下,从元件的电压“+”极,经元件移到电压“-”极,即从高电位端移到低电位端,这时是电场力移动电荷做功,元件吸收(或消耗)能量。我们用有两个端点的方框表示对外有两个端钮的某一元件,上述情况见图 1-13(a)。相反,正电荷从元件电压的“-”极经元件移到电压的“+”极,是外力克服电场力移动电荷做功,这时元件向外发出(输出)能量,见图 1-13(b)。

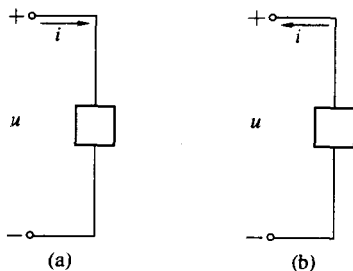


图 1-13 元件吸收和发出能量

设在 dt 时间内,当正电荷 dq 从电路元件的电压“+”极经元件移到电压“-”极,若元件上的电压降为 u ,则电场力移动电荷做功(即电场付出能量)为:

$$dW = u dq \quad (1-4)$$

这说明了在 dt 时间内,电路元件吸收(或消耗)了电能 dW 。

电能对时间的变化率称为电功率。在电路课程中,电功率简称为功率,用符号 p 或 P 表示。

$$p = \frac{dW}{dt} = u \frac{dq}{dt} \quad (1-5)$$

由于:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-6)$$

所以：

$$p = ui \quad (1-7)$$

在电压和电流的关联参考方向下,如图 1-13(a),功率 p 是元件吸收的功率。当计算出功率值为正,即 $p > 0$ 时,表示元件实际吸收或消耗电能;当计算出功率值为负,即 $p < 0$ 时,表示元件实际发出电能。

在非关联参考方向下,我们取:

$$p = -ui \quad (1-8)$$

这样规定之后, $p > 0$ 仍表示元件吸收电能; $p < 0$ 表示元件发出电能。

在直流情况下,功率为:

$$p = UI \quad (1-9)$$

在 SI 中,功率的单位为瓦[特],SI 符号为 W。1 kW(千瓦) = 10^3 W(瓦)。

以上有关元件功率的讨论同样适用于一段电路。

例 1.1 如图 1-14 所示,求 U_{ab} 和 U_{ad} 及各段电路的功率并指明吸收还是发出功率。已知: $U_1 = 1\text{ V}$, $I_1 = 2\text{ A}$, $U_2 = -3\text{ V}$, $I_2 = 1\text{ A}$, $U_3 = 8\text{ V}$, $I_3 = -1\text{ A}$, $U_4 = -4\text{ V}$, $U_5 = 7\text{ V}$, $U_6 = -3\text{ V}$ 。

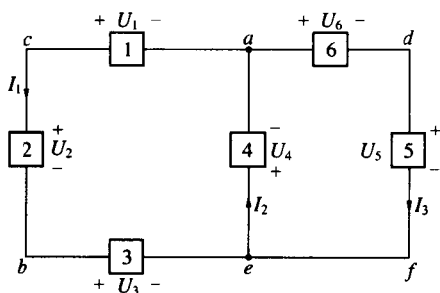


图 1-14 例 1.1 图

解:根据电压的定义式(1-3),可得电路中任意两点 a, b 电压 U_{ab} 的计算方法:选定一条路径,从 a 到 b ,则 U_{ab} 应等于从 a 到 b 沿途各段电路元件上电压的代数和,若元件电压的参考方向与从 a 到 b 方向一致,则该电压为正,否则为负。即

$$U_{ab} = \sum_a^b U_i$$

式中: i 为元件数。

$$U_{ab} = U_{ac} + U_{cb} = -U_1 + U_2 = -(1) + (-3) = -4\text{ (V)} =$$

$$U_{ae} + U_{eb} = -U_4 - U_3 = -(-4) - (8) = -4\text{ (V)}$$

可见,求任意两点之间的电压与路径无关。

$$U_{ad} = U_6 = -3\text{ V}$$

$$P_1 = -U_1 I_1 = -2\text{ W} < 0\text{ (发出)}$$

$$P_2 = U_2 I_1 = -6\text{ W} < 0\text{ (产生)}$$

$$P_3 = U_3 I_1 = 16\text{ W} > 0\text{ (吸收)}$$

$$P_4 = U_4 I_2 = -4\text{ W} < 0\text{ (产生)}$$

$$P_5 = U_5 I_3 = -7\text{ W} < 0\text{ (产生)}$$

$$P_6 = U_6 I_3 = 3\text{ W} > 0\text{ (吸收)}$$