

高等学校教材

电工电子技术

主编 伍爱莲

参编 黎文安 石 晶

审稿 赵志敏

本书是根据高等工业学校电工和电子技术课程教学基本要求编写的。

本书在突出基本要求内容的前提下,对传统内容作了较大幅度的修改。电路部分除调整了章节体系外,还加入了受控源电路的分析,删除了二阶电路,精选了复习题和习题;模拟电子部分将“放大电路中的反馈”单独作为一章讲述,基本放大电路、集成运算放大器以及直流电源等内容都有所加强;数字电子部分增加了卡诺图和计数器电路的设计等内容,使本书更具有合理性、科学性和先进性。

全书共分20章。前10章为电工技术部分,后10章为电子技术部分。各章均有复习题和习题。

该书可作为高等工业学校“电工技术”和“电子技术”两门课程的教材,亦可供有关的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/伍爱群主编. — 北京:机械工业出版社, 1996
高等学校教材
ISBN 7-111-05153-1

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

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第04229号

出版人: 马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)
责任编辑: 贡克勤 版式设计: 王 颖 责任校对: 陈立耘
封面设计: 郭景云 责任印制: 路 琳
机械工业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1996年8月第1版第1次印刷
787mm×1092mm $1/16$ ·25印张·612千字
0 001—6 000册
定价: 26.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

前 言

本书是根据国家教委颁发的《电工学（电工技术和电子技术）教学基本要求》编写的，可作为机械动力、化工、水电、建筑、管理、经济等专业，90~120学时电工学课程的基本教材。

《电工学》是非电类专业的技术基础课程。通过本课程的学习，必须使学生获得电工技术和电子技术的基本知识和基本技能，了解其发展概况，为学习后续课程和从事实际工作打下一定基础。

本书是作者在总结多年使用讲义的基础上，进行反复修改，编写而成。主要做了下面的修改工作：

1. 考虑到教学改革的需要及各专业学时大幅度下降这一实际情况，调整了各章节的体系，突出基本要求的内容，使得既便于使用，又节约课时。

2. 考虑到科学技术的发展，增加了含受控源电路的分析、卡诺图和计数器设计等新内容，精简了非正弦交流电路和时域分析的内容。

3. 精选了部分习题，供学生练习和自我检查用。

本书虽作为电工电子技术一册出版，但既可作为电工学一门课程教材，也可作为电工技术和电子技术两门课程的教材。供参考用的学时分配如下：

电工学 90~120学时（含实验学时，要求不少于25%）

电工技术 45~60学时（同上）

电子技术 45~60学时（同上）

为了培养学生的自学能力，每章末编有复习题和习题。复习题结合各部分的基本概念和基本内容，供复习和总结用。习题供课后练习用。

为了适应不同专业、不同学时的教学要求，本教材部分内容标注了“*”，便于不同学时、不同要求的专业选用。

本书由武汉水利电力大学电力系赵志敏同志仔细审阅，提出了许多有价值的修改意见。部分授课老师也提出了一些建设性意见，在此对他们表示衷心的感谢。

参加本书编写的人员有：黎文安（第八、九、十、十三至十七章）；石晶（第十八、二十章）；伍爱莲（第一至七、十一、十二、十九章），并任全书主编，提出编写大纲和统稿。

由于能力所限，本书定有不妥之处，甚至错误，恳请读者提出宝贵意见，便于修改提高。

编 者

1996年1月

目 录

前言

绪论	1
第一章 电路的基本概念	3
第一节 电路的组成及其作用	3
第二节 电路模型	4
第三节 电流和电压及其参考方向	5
第四节 电路元件	7
第五节 电压源和电流源	11
第六节 受控电源	13
第七节 基尔霍夫定律	14
第八节 等效电路的概念	17
复习题和习题	22
第二章 电路的基本分析方法	28
第一节 电压源模型和电流源模型的等效变换	28
第二节 支路电流法	31
第三节 节点电压法	33
第四节 叠加原理	38
第五节 等效电源定理	40
第六节 负载的三角形与星形联结的等效变换	43
第七节 非线性电阻电路	45
复习题和习题	47
第三章 正弦稳态电路	52
第一节 正弦交流电的基本概念	52
第二节 正弦交流电的相量表示法	56
第三节 电阻、电感与电容中电压和电流的关系	60
第四节 相量形式的基尔霍夫定律	64
第五节 RLC 串联电路 复阻抗	65
第六节 RLC 并联电路 复导纳	68
第七节 正弦电流电路的功率	70
第八节 阻抗的串联和并联 相量图的运用	77
第九节 复杂交流电路的计算	81
第十节 串联谐振电路	84
第十一节 并联谐振电路	87
第十二节 非正弦周期电流电路	90
复习题和习题	96
第四章 三相电路	102
第一节 三相电源	102
第二节 对称三相电路的计算	104
第三节 负载不对称的三相电路	108

第四节 三相电功率的计算	113
复习题和习题	115
第五章 电路的时域分析	117
第一节 概述	117
第二节 换路定律及电路的初始状态和初始条件	118
第三节 RC 电路的响应	119
第四节 微分电路和积分电路	127
第五节 RL 电路的响应	128
第六节 三要素法	134
复习题和习题	137
第六章 磁路和变压器	143
第一节 磁路的基本概念和磁性材料	143
第二节 直流无分支磁路	147
第三节 交流磁路	148
第四节 变压器的结构	149
第五节 变压器的工作原理	150
第六节 三相变压器和变压器绕组的极性	152
第七节 变压器的额定值	153
第八节 变压器的运行特性	154
复习题和习题	156
第七章 三相异步电动机及其控制	159
第一节 三相异步电动机的基本结构	159
第二节 三相异步电动机的工作原理	161
第三节 异步电动机的电磁转矩和机械特性	164
第四节 异步电动机的运行特性和额定值	169
第五节 三相异步电动机的起动、反转和调速	171
第六节 常用低压电器	175
第七节 异步电动机的控制电路	179
复习题和习题	183
第八章 其它电动机	186
第一节 单相异步电动机	186
第二节 同步电动机	187
第三节 直流电动机	189
第四节 电动机的选择	195
复习题和习题	196
第九章 常用电工仪表及其测量	198
第一节 常用电工仪表的分类	198
第二节 电工仪表的误差及准确度	199
第三节 测量误差及数据的处理	201
第四节 磁电式仪表及直流电压和电流的测量	204
第五节 电磁式仪表及交流电压和电流的测量	206
第六节 电动式仪表及功率的测量	207

第七节 兆欧表	209
第八节 万用表	210
第九节 电工仪表的主要技术要求和正确使用	212
复习题和习题	212
第十章 安全用电	214
第一节 触电的危害和预防	214
第二节 电气设备的保护接地和保护接零	216
第三节 电气设备的防火与防爆	217
第四节 静电的危害及防护	218
第五节 触电急救	219
复习题和习题	220
第十一章 半导体器件的基本知识	222
第一节 半导体基础知识	222
第二节 PN 结	224
第三节 半导体二极管	225
第四节 稳压管	227
第五节 半导体三极管	228
第六节 场效应晶体管	233
复习题和习题	236
第十二章 基本放大电路	239
第一节 概述	239
第二节 共射极放大电路	239
第三节 场效应晶体管放大电路	250
第四节 多级放大电路	254
第五节 共集电极放大电路	257
第六节 互补对称功率放大电路	259
复习题和习题	262
第十三章 放大电路中的负反馈	266
第一节 负反馈的基本概念	266
第二节 负反馈对放大电路性能的影响	267
复习题和习题	270
第十四章 正弦波振荡电路	272
第一节 自激振荡	272
第二节 RC 正弦波发生器	274
第三节 LC 正弦波发生器	276
复习题和习题	279
第十五章 直接耦合放大电路及集成运算放大器	281
第一节 直接耦合放大电路及其特殊问题	281
第二节 差动放大电路	282
第三节 集成运算放大器的结构特点	288
第四节 集成运算放大器基本组成部分	289
第五节 集成运算放大器的基本技术指标、等效模型及其选择	290

第六节 具有负反馈的基本运算放大电路	292
第七节 集成运算放大器在信号运算方面的应用	295
复习题和习题	298
第十六章 直流稳压电源	303
第一节 单相整流电路	303
第二节 滤波电路	305
第三节 稳压电路	308
第四节 集成稳压电源	310
复习题和习题	313
第十七章 晶闸管及可控整流电路	315
第一节 晶闸管	315
第二节 可控整流电路	317
第三节 单结晶体管及其触发电路	319
复习题和习题	321
第十八章 门电路和组合逻辑电路	322
第一节 概述	322
第二节 常用数制及其转换	322
第三节 二极管和三极管的开关特性	324
第四节 三种基本逻辑关系和逻辑门	327
第五节 与非门电路	330
第六节 集成逻辑门	331
第七节 MOS 集成逻辑门	336
第八节 逻辑代数及其应用	339
第九节 组合逻辑电路的分析和设计	343
第十节 常用组合逻辑电路	347
复习题和习题	353
第十九章 触发器和时序逻辑电路	355
第一节 常见触发器种类	355
第二节 单稳态触发器和多谐振荡器	358
第三节 移位寄存器	361
第四节 计数器	362
第五节 计数器的设计	365
第六节 半导体存储器	367
第七节 555 集成定时器及其应用	369
复习题和习题	372
第二十章 数/模(D/A)与模/数(A/D)转换	377
第一节 概述	377
第二节 数/模转换器(D/A 转换器)	377
第三节 模/数转换器(A/D 转换器)	381
第四节 应用举例	386
复习题和习题	391
参考文献	392

绪 论

一、电能的应用及其与生产发展的关系

电能的应用在生产技术上曾引起了划时代的革命。在现代社会中,电能的应用范围是极其广泛的。现代一切新的科学技术的发展无不与电有着密切的关系。今天,电能的利用已远远超出作为机器动力的使命,电能已广泛应用到社会生产的各个领域和社会生活的各个方面。

随着生产和科学技术发展的需要,电子技术得到高度发展和广泛应用,现已发展成为包括空间电子技术,生物医学电子技术,信息处理和遥感技术,微波应用等多学科、多领域的新科学。它们对于社会生产力的发展,也起着变革性的推动作用。电子工业的发展速度和技术水平,特别是电子计算机的高速发展及其在生产领域中的广泛应用,直接影响到工业、农业、科学技术和国防建设,关系着社会主义建设的发展速度和国家的安危;也直接影响到亿万人民的物质、文化生活,关系着广大群众的切身利益。

电能之所以能得到如此广泛的应用,是因为它具有无可比拟的优越性,这主要表现在①便于转换:电能既可以从其它多种形态的能量转换得来,而且它本身也易于转换成其它形态的能量。②便于输送:电能可以方便地被输送到远方,而且输电设备简单,输电效率很高。③便于控制、测量和调整:利用电能可以达到高度电气化、自动化,从而为提高劳动生产率和产品质量创造有利条件。

二、电工技术发展概况

电工技术是研究电磁理论的基本知识及其在工程技术中应用的一门课程。电工技术发展很迅速,并且日益渗透到其它学科领域,促进其发展,在我国社会主义四个现代化中占有重要的地位。

翻开浩瀚的历史画卷,我们可以看到,人类很早就已发现电和磁的现象。在这方面,中国曾一度走在世界的前列。我国古籍中就有“慈石召铁”和“琥珀拾芥”的记载,而指南针则是这一时期电磁方面的最为卓著的发明。

18世纪末和19世纪初是电磁理论发展史上最为重要的时期。当时,由于生产发展的需要,在电磁现象方面的研究工作发展得很快,相继涌现出了一大批伟大的科学家和发明家。从库仑到奥斯特,从安培到欧姆,从法拉第到楞次,从焦耳到雅可比,从多里沃·多勃罗沃尔斯基到麦克斯韦,从赫兹到马可尼以及波波夫等等。由于这些伟大人物的出现及其聪明才智和辛勤劳动,带来了电磁理论上的一个又一个的突破:从电荷概念开始具有定量的意义到电磁感应现象的发现,从电机理论到电机工程,从电磁波理论到无线电技术等等。就这样,电磁学从现象到理论,从理论到实用,一步步地将人类文明推向前进。

三、电子技术的发展概况

电子技术是最近一百多年发展起来的一门新科学。1883年美国发明家爱迪生发现了热电子效应。1904年弗莱明据此制成了电子二极管。1906年美国的法福雷斯发明了电子三极管。1948年,美国贝尔实验室制成晶体管,以此取代了电子管。1958年,集成电路的第一个样品见诸于世,以后又出现了大规模和超大规模的集成电路……

随着半导体技术的发展和科学研究、生产与管理等的需要,电子计算机应运而生,并且日臻完善。从1946年第一台电子计算机问世以来,它已经历了四代,目前第五代人工智能计算机和第六代生物计算机正在研制开发之中。

数字控制和数字测量也在不断发展并得到日益广泛的应用。数字控制机床从1952年研制出来后,发展很快。“加工中心”多工序数字控制机床和“自适应”数字控制机床相继出现。目前利用电子计算机对几十台乃至上百台数字控制机床进行集中控制也已经实现。

在工业上晶闸管也获得广泛应用,使半导体技术进入了强电领域。

四、本课程的目的、任务、内容和学习方法

电工和电子技术是非电专业的技术基础课。它的目的是任务:使学生获得电工和电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能,为学习后续课程以及今后从事技术工作打下必要的基础。

该课程主要包括电工技术和电子技术两大方面,其主要内容分别为

电工技术主要包括:电路基础;电机;电工测量;安全用电。

电子技术主要包括:模拟电路;数字电路。

该课程各部分的内容是十分丰富的,怎样学习才能获得较好的效果呢?首先要有正确的学习目的和端正的学习态度;然后就是要讲究学习方法。就学习方法而言,我们在此提供以下几点供参考:

1) 全面、系统、深刻地学习、理解理论知识,广泛阅读、注重思考,培养一定的自学能力,对物理概念、基本理论、工作原理和分析方法有一个较准确的把握。

2) 由于电工和电子技术是实践性较强的技术基础课程,因此要注意理论联系实际,密切结合理论完成一定数量的习题和作业,并在学习过程中勤于动手,做好各项实验,初步掌握实验测试技能和根据理论分析实验数据规律的能力。

3) 鉴于课程内容,需抓住应用为主的特点,体现重在使用的要求。学习各部分内容时必须有所侧重,并注意在今后工作中结合实际需要,不断实践,从而真正把电工与电子技术学好。

第一章 电路的基本概念

在分析电路时，通常是将电路表示为模型，标出各电量的参考方向，利用电路定律研究电路的规律和性质。本章主要介绍电路模型、电流和电压的参考方向、电路元件、电路的基本定律和等效电路的概念。这些内容是今后进行电路分析的基础。

第一节 电路的组成及其作用

电路，简言之就是电流所经之路。电路一般是由电路器件和电工设备以一定方式构成的。图 1-1a 所示是一个最简单的实际电路，它由三部分组成：①干电池；②白炽灯泡；③联接导线及开关等。这三部分分别称为电源、负载和中间环节，它们是电路的基本组成部分。一般电路可用图 1-1b 的框图表示。各组成部分及其作用简述如下：

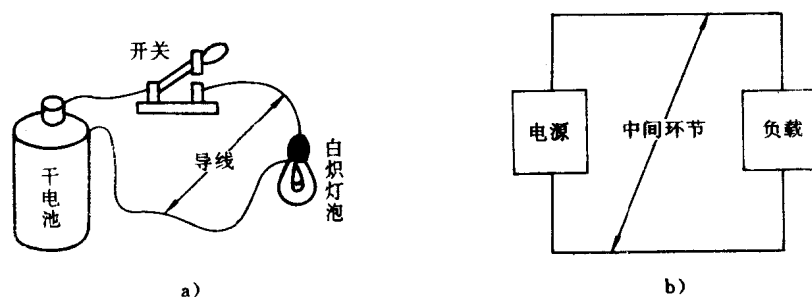


图 1-1 一个简单电路及其框图

a) 电路的组成 b) 电路框图

电源是供电设备，它是将其它形式的能量转换为电能或者把电能转换成另一种形式的电能或信号的装置。常见的电源设备有发电机、干电池和信号发生器等。

负载是用电设备。它是将电能转换为其它形式能量，或者接收、传递电信号的装置。实际用电设备有电阻器、电感器、电容器、二极管、三极管、电子管等各种器件。

中间环节除了联接导线和开关以外，还有变压器、电工仪表、熔断器（熔丝）等多种设备。它们在电路中的作用为联接电源和负载，控制电能的传送和分配等。

电路的作用常从下面两个方面来考虑：

一方面，在电力工程中，电路起输送和转换电能的作用。通常，发电机发电、输电线输电、变电站变配电、电力拖动、电气照明、电热等都属于电力工程的范畴。

另一方面，电路还起着信号的变换与处理作用，就是对外加输入信号进行加工处理，使之成为需要的输出信号。由于对信号进行加工处理，必须经过电流和电压的变化才能实现，因此就其本质而言，信号的变换和处理仍属于能量的转换。这方面的例子很多，例如：三极管放大，电能转换，信息处理和存储等电路。

第二节 电路模型

为了用数学方法来描述和分析电路,需要将实际电路和电路器件模型化,也就是建立电路模型。电路模型是在一定的条件下,由实际电路及其器件抽象出来的数学模型。它是由反映单一电磁性质的理想电路元件构成的。

实际电路元件的种类虽然繁多,但它们有着共同特点:所有电路,伴随电流的流动,存在着能量转换的电磁现象。一般而论,导体总具有电阻,当电流通过它时,会发热而消耗电能;有电流通过就会有磁场,磁场会储存磁场能量;有电压建立就会有电场,电场会储存电场能量。这三种电磁现象可以用下面三个电路参数来反映:电阻反映电能的消耗,电感反映磁场能量的储存,电容反映电场能量的储存。

严格地说,上述参数是分布在电路之中。但是,当电路在工作中电磁波的波长远大于实际电路的尺寸时,我们可以忽略次要因素,考虑主要矛盾,用集中的电阻 R 、电感 L 和电容 C 作为电路参数。并且认为:电能消耗集中在电阻元件中进行,磁场储能集中在电感元件中进行,电场储能集中在电容元件中进行。电阻元件、电感元件、电容元件是理想电路元件,它们在电路模型中分别用图 1-2a、b、c 所示的符号表示。

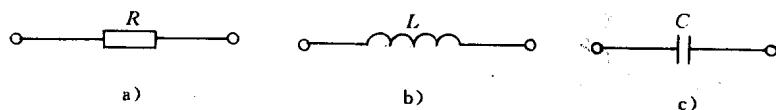


图 1-2 理想电路元件

a) 电阻元件 b) 电感元件 c) 电容元件

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,它们的电压和电流分别用 u_s 和 i_s 表示,方向分别用正、负号及箭头表示,在电路图中的符号分别如图 1-3a 和 b 所示。

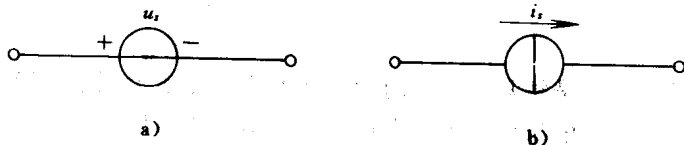


图 1-3 理想电源元件

a) 理想电压源 b) 理想电流源

实际中,电压源元件有时用电动势 E (直流) 和 e (交流) 表示。

电路模型均由一定的理想元件组成。有些实际器件的模型可以只用一种元件组成。例如,电阻器、电灯和电炉可以只用电阻元件表示;空载变压器可以认为是一个电感元件;电容器可以认为是一个电容元件。同一电路器件,在不同的条件下,有不同的模型。

以后所讨论的电路,是指由理想电路元件和电源元件构成的模型,也称为原理电路图。例如,与图 1-1a 所示电路相对应的电路模型,如图 1-4 所示。图中, E 和 R_0 串联电路是干电池

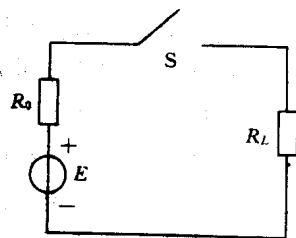


图 1-4 图 1-1a 所示电路的模型

模型; R_L 是灯泡的模型; S 是开

关的模型；联接导线的电阻远小于负载电阻，将其忽略可视为理想导体（电阻为零）。

第三节 电流和电压及其参考方向

电流和电压是电路的基本物理量。

电荷的定向运动形成电流。电流的大小用电流强度表示，单位时间内通过导体某一截面的电荷量，定义为电流强度。习惯上，将电流强度简称为电流，用字母 I 表示，即

$$I = \frac{Q}{t}$$

上式中的 Q 表示通过导体横截面的电荷量。为了分析的方便，常用大写字母 I 表示直流电流（大小和方向均不随时间改变的电流），而用小写字母 i 表示随时间变化的交变电流，即

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

习惯上我们将电流的实际方向规定为正电荷移动的方向。要判别电流的实际方向，只有在简单的直流电路中才有可能。当电路比较复杂（图 1-5），或者电源的极性随时间改变时，要确定电流的实际方向就不容易了。因此，研究电路时，总是预先选定某一个方向作为电流的方向。这个选定的方向，称为电流的参考方向。参考方向是任意选定的，不必考虑其实际方向。在一定参考方向下，电流有正负之分。当电流的参考方向与它的实际方向相同时，则电流值记作正；反之，其值记作负，如图 1-6 所示。电流的参考方向也称作电流的正方向。

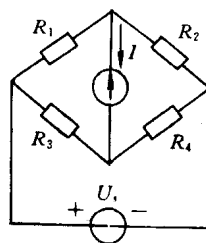


图 1-5 直流电桥电路

我国规定，在国民经济、科学技术和文化教育等一切领域中，必须以国际单位制（SI）为法定计量单位。在国际单位制中，电荷〔量〕的单位为库〔仑〕，简称库，用符号 C 表示；时间的单位为秒，用符号 s 表示；电流的单位为安〔培〕，简称安，用符号 A 表示。

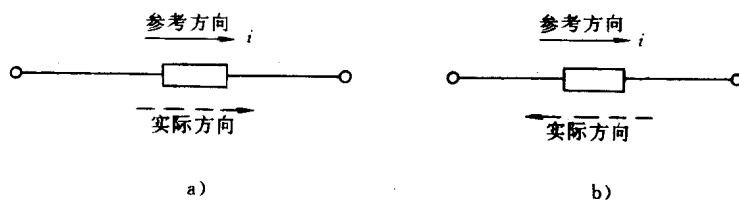


图 1-6 电流的参考方向和实际方向

a) $i > 0$ (正值) b) $i < 0$ (负值)

同理，电压也有参考方向或参考极性。电路中两点之间的电压等于电场力把单位正电荷从电路一点移到另一点所做的功。电压用字母 U 和 u 表示。其中，大写字母 U 表示直流电压， W 表示电场力所做的功，小写字母 u 表示交流电压，它们的表达式分别为

$$U = \frac{W}{Q} \text{ (直流)}$$

和

$$u = \frac{dW}{dq} \text{ (交流)}$$

电压的实际方向规定为由高电位点指向低电位点。电压的参考方向也是任意选定的。当电压的参考方向与它的实际方向一致时，其电压值记作正；否则，其电压值记作负。和电流一样，电压也可以用一个箭头表示其参考方向，见图 1-7a。同时，电压也可采用“+”、“-”极性表示，见图 1-7b。

当电压源元件用电动势 E 或 e 表示时，它的实际方向与电压的实际方向相反，即规定为在电源内部由低电位点指向高电位点。



图 1-7 电压的参考方向与参考极性

此外，电流和电压的参考方向还可以用双下标表示。例如：

若某段电路中， $i_{ab} = 5A$ ， $u_{ab} = 10V$

则

$$i_{ba} = -i_{ab} = -5A$$

$$u_{ba} = -u_{ab} = -10V$$

在电路分析中，参考方向是很重要的，分析和计算电路时，应该事先确定电路各处电流和电压的参考方向。原则上讲，电流和电压的参考方向可以分别任意假定。但是，一般取电压的参考方向与电流的参考方向相同，如图 1-8 所示。这种参考方向，叫做关联参考方向。采用关联参考方向的优点，是两个参考方向只需标出其中的一个就可以了。

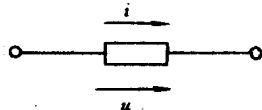


图 1-8 关联参考方向

电动势的极性常为已知，如果它的极性也待确定时，同样可用上述方法；任意假定它的参考方向或参考极性。

在国际单位制中，电压的单位为伏〔特〕，简称伏，用符号 V 表示。

根据电压和电流的定义，可以得到下述关系

$$\frac{dW}{dt} = \frac{udq}{dt} = ui$$

上式表示电能对时间的变化率，称为功率，用符号 P 和 p 表示。当电流和电压取关联参考方向时，电路中吸收的功率表达式为

$$\left. \begin{aligned} p &= ui \text{ (交流)} \\ P &= UI \text{ (直流)} \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

若 u 、 i 的实际方向相同，则 $p > 0$ ，表明电路吸收功率；否则 $p < 0$ ，表明电路实为发出功率。这就是说，当电压和电流取关联参考方向时，功率的正号表示电路吸收功率，负号表示电路发出功率。一个电路的功率应该是平衡的，即吸收的功率应该等于发出的功率。

在国际单位制中，当电压和电流的单位分别为伏和安时，功率的单位为瓦〔特〕，简称瓦，用符号 W 表示。

各种电气设备在出厂时，制造厂家对其电压、功率和电流都规定了一个最合理的使用数据，也就是额定值，分别称为额定电压、额定功率和额定电流，用符号 U_N 、 P_N 和 I_N 表示。其中，额定电压是在规定时间内，设备的绝缘可靠工作时允许承受的电压限额；额定电流是在

一定的环境温度下, 设备的绝缘性能不会损坏时长期容许通过的电流限额; 额定功率是在额定电压和额定电流下, 设备正常工作时的功率。

为什么要规定电气设备的额定值呢? 因为任何导体都具有电阻, 电阻上流过电流时要产生功率损耗且转换为热能, 使电气设备温度升高。电流愈大, 温度愈高。当温度升高到一定数值时, 电气设备的绝缘受损, 甚至烧坏。此外, 绝缘材料的绝缘强度是一定的, 若加上远大于规定值的电压时, 有可能将绝缘材料击穿。因此, 制造厂家为了使电气设备绝缘材料的工作温度不超过规定的允许值, 并考虑到其它因素 (经济性、使用寿命及材料的绝缘强度等), 同时便于用户正确使用电气设备, 所以规定了它们的额定值。

电气设备的额定值由厂家标明在铭牌或外壳上, 用户应按额定值使用。例如 220V、40W 的白炽灯泡, 就应该在 220V 电源电压下使用。因为在额定值下使用, 经济、可靠, 且寿命长。

在时间 t 内, 如果消耗的功率为 p , 则电路消耗 (或储存) 的总能量为

$$W = \int_0^t p dt = \int_0^t u i dt$$

在国际单位制中, 当 p 的单位为瓦、时间的单位为秒时, 能量 W 的单位为焦 [耳], 简称焦, 用符号 J 表示。

总之, 电流和电压从数字上看是代数量, 其值有正、负之分; 它们的正、负决定于所选的参考方向; 而参考方向是可以任意选定的; 参考方向一经选定, 在计算过程中不得随意更改; 电路中所标电压、电流方向, 不加声明均指参考方向。式 (1-2) 只在电流和电压取关联参考方向时才成立。

第四节 电路元件

电路由元件组成。研究电路, 必须了解元件的性能, 而性能主要由元件上电压和电流的关系表现出来。

本节讨论电路器件的三种理想化模型——电阻元件、电感元件和电容元件的性能, 主要介绍它们的电压和电流之间的关系。

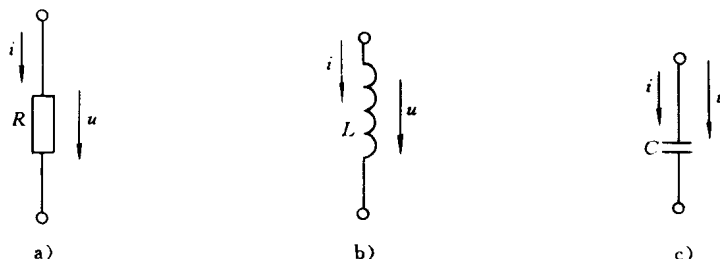


图 1-9 电路元件

a) 电阻 b) 电感 c) 电容

一、电阻元件

具有耗能特征的电路器件, 称为电阻元件。它在电路中的符号如图 1-9a 所示。在图示参考方向下, 电阻元件上电流 i 和电压 u 之间满足下列关系式, 即

或写成

$$\left. \begin{aligned} i &= \frac{u}{R} \\ u &= Ri \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

式 (1-3) 说明, 当电阻 R (或电导 G) 为常数时, 电阻元件上的 u 、 i 之间的关系符合欧姆定律。

在国际单位制中, 当电压 u 的单位为伏, 电流 i 的单位为安时, 电阻 R 的单位为欧 [姆], 简称欧, 用符号 Ω 表示。

电阻的倒数

$$G = \frac{1}{R}$$

称为电导, 单位为西 [门子], 简称西, 用字母 S 表示。引入电导以后, 式 (1-3) 可改写成

$$\left. \begin{aligned} i &= uG \\ u &= \frac{i}{G} \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

或

在 u 、 i 的参考方向一致的情况下, 电阻元件吸收 (或消耗) 的功率为

$$\left. \begin{aligned} p &= ui = Ri^2 = Ri^2 \\ p &= ui = \frac{u}{R}u = Gu^2 \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

或

由于电阻 R 和电导 G 均为正值, 所以式 (1-5) 中的功率 p 恒为正值, 即电阻总在消耗电能。电阻吸收的电能是转化为热能消耗掉的, 故在使用电阻元件时, 不仅要使所选电阻的阻值合适, 而且还要注意它的额定电流和额定功率是否满足要求。若选择不当, 则电阻元件会因发热过量而损坏。

由于电压和电流的单位分别为伏和安, 因此表示元件上电压和电流之间函数关系的曲线称为伏安特性曲线。图 1-10 画出了两种电阻元件的伏安特性曲线。其中, 图 a 所示为通过原点的一条直线, 它表示此电阻的阻值为常数, 也就是说, 其阻值不会因电压和电流的不同而改变, 这种电阻称为线性电阻。最常见的电阻实际上均指线性电阻。图 b 所示曲线是非线性的, 即其电压和电流不成正比关系, 这种电阻称为非线性电阻。

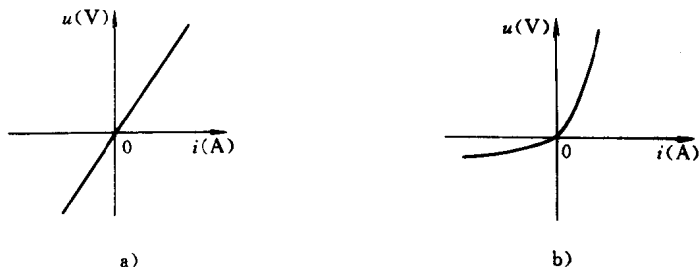


图 1-10 电阻元件的伏安特性

二、电感元件

若某电路器件有储存磁场能量的作用时, 则称它具有电感参数。例如变压器线圈、日光灯镇流器等就属于这类器件。电感线圈的理想化模型是电感元件, 它在电路中的符号如图 1-9b 所示。

在图 1-11 所示的电感线圈中, 设线圈的匝数为 N , 通过线圈的电流为 i , 电流产生的磁通为 Φ 。磁通与线圈绞链, 它与线圈匝数 N 的乘积定义为磁通链, 即

$$\Psi = N\Phi$$

磁通或磁通链是由于线圈中的电流 i 产生的。当选定 Φ 和 Ψ 的参考方向与产生它们的电流 i 的参考方向之间符合右螺旋定则时, Ψ 与 i 之间的关系为

$$\Psi = Li$$

上式中的系数 L 称为电感线圈的电感。在国际单位制中, 磁通或磁通链的单位为韦 [伯], 简称韦, 用符号 Wb 表示。当电流和磁通链的单位分别为安和韦时, 电感 L 的单位为亨 [利], 简称亨, 用符号 H 表示。

若电感 L 为常数, 则称为线性电感。通常, 线性电感简称为电感。

当通过电感线圈的电流发生变化时, 磁通链也跟随变化, 根据电磁感应定律, 电感线圈中会产生感应电压。在选定电压的参考方向与磁通链的参考方向成右螺旋关系的情况下, 感应电压的大小可用下式计算

$$u = \frac{d\Psi}{dt}$$

此电压也就是电感元件的端电压, 简称电感电压。

对于线性电感, 若取 u 、 i 为关联参考方向, 则

$$u = \frac{d(Li)}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (1-6)$$

式 (1-6) 表明, 线性电感元件端电压的大小正比于电流的变化率。由此看出, 电感元件是一种动态元件。对直流电而言, 由于 $di/dt=0$, 因此 $u=0$, 故电感在直流电路中相当于短路。

式 (1-6) 也可改写成如下的形式

$$\begin{aligned} i &= \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u dt \\ &= i(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u dt \end{aligned} \quad (1-7)$$

上式表明: 任一时刻电感电流的值取决于积分开始 ($t=0$) 时电流的值 $i(0)$ 以及从 0 到 t 时间内电压的积分, 而不是取决于相应时刻的电压值。这一结论, 说明电感是一种记忆元件。

如果 $t=0$ 时, $i(0)=0$, 则

$$i = \frac{1}{L} \int_0^t u dt$$

当电感中有电流时, 必然存在磁场。磁场储存的能量 (即磁场能量) 的计算方法如下:

选取 u 、 i 的参考方向如图 1-12b 所示, 由式 (1-2) 可得电感电路吸收的功率为

$$p = ui = L \frac{di}{dt} i$$

显然, 在 $i \neq 0$, 且 di/dt 不为零时, p 不等于零。当 $i=I$ (直流) 时, $di/dt=0$, $p=0$ 。但是, 电流 i 的建立, 说明在电感中储存了磁场能量, 这也即功率 p 所起的作用。而且, 能量

$$W = \int_0^t p dt$$

上式中的 t , 是建立电流 i 所用的时间, 所以磁场能量

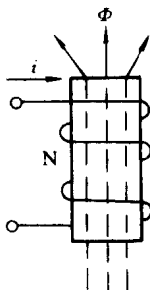


图 1-11 电感线圈

$$W = \int_0^t L \frac{di}{dt} i dt$$

$$= \int_0^t L i di = \frac{1}{2} L i^2$$

可见, 磁场能量与电流的建立过程无关, 而仅取决于最后的电流值。当电感元件中 u 、 i 的实际方向一致时, 功率 p 为正值, 表明电感吸收能量; 当 u 、 i 的实际方向相反时, 功率 p 为负值, 表明电感放出能量。因此, 电感有时吸收能量, 有时放出能量, 它放出的能量正是它所吸收的能量 (详见第三章第七节)。所以说, 电感是一个储能元件。

三、电容元件

若某一电路器件有储存电场能量的作用时, 称它具有电容参数。例如, 电容器就属于这类器件。电容器的理想化模型是电容元件, 它在电路中的符号如图 1-9c 所示。

电容元件的电荷正比于它两端的电压, 即

$$\left. \begin{aligned} q &= Cu \\ \text{或} \quad C &= \frac{q}{u} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

上式中的 C 称为电容。在国际单位制中, 当 u 的单位为伏, q 的单位为库时, C 的单位为法[拉], 简称法, 用符号 F 表示, 即

$$1 \text{ 法[拉]}(\text{F}) = \frac{1 \text{ 库[仑]}(\text{C})}{1 \text{ 伏[特]}(\text{V})}$$

若电容 C 的大小不随其电压、电荷的改变而变化, 即 C 保持为常数, 称这种电容为线性电容。通常, 线性电容简称为电容。

当 u 、 i 的参考方向一致时 (图 1-9c), 根据式 (1-1) 和式 (1-8) 可得

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(Cu)}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-9)$$

由式 (1-9) 可知, 电容电流正比于电压对时间的变化率。由此可知: 电容元件也是一种动态元件。如果 $u=U$ (直流), 即 $du/dt=0$, 则 $i=0$, 所以电容在直流电路中相当于开路。

式 (1-9) 也可以改写成如下的形式

$$u = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt$$

$$= u(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i dt \quad (1-10)$$

式 (1-10) 中, $u(0)$ 是 $t=0$ 时电压 u 的值。式 (1-10) 表明: 任一时刻电容电压的值取决于 $t=0$ 时的电压值以及从 0 到 t 时间内电流的积分, 而不是取决于相应时刻的电流值。所以, 电容也是一种记忆元件。

如果 $t=0$ 时, $u(0)=0$, 则

$$u = \frac{1}{C} \int_0^t i dt$$

电容元件储存有电荷或具有电压时, 其电场中就储存有能量。该能量称为电场能量, 其计算方法如下: 由式 (1-2), 功率 $p=ui$ 可知

$$p = ui = uC \frac{du}{dt}$$