



普通高等院校电子信息类应用型规划教材

电工电子技术基础

主 编 陈振云
副主编 郭 婷

DIANGONG DIANZI
JISHU JICHU



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

普通高等院校电子信息类应用型规划教材

电工电子技术基础

主 编 陈振云

副主编 郭 婷

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本教材分为3部分:第1部分是电路理论,主要涉及电路分析的基础理论和基本方法,不仅介绍直流电路的分析方法,还介绍了单相交流电路的分析方法,其目的是让学生掌握各种电路的基本分析方法,为进一步学习电子技术提供知识储备;第2部分是模拟电路基础知识,主要介绍半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器内部结构、集成运算放大器外部应用以及电源电路,该部分内容的组织显得尤为重要,既不能将涉及的内容全面展开,又要保证介绍必要的基础知识。多级放大电路是由基本放大电路组成的,掌握了基本放大电路对于进一步掌握多级放大电路难度不大,且考虑到计算机等相关专业将来从事的是计算机控制电路,各种控制信号的频率不会太高,所以没有介绍多级放大电路和频率特性分析;第3部分是Pspice仿真知识,加强了虚拟实验,弥补了相对薄弱的实验环节。

具体内容包括两个定律、三个元件、四个公式、五个方法、六种放大电路。两个定律是基尔霍夫电流定律和电压定律。三个元件是电阻、电容和电感以及它们的特性定理。四个公式是元件的串联、并联、分压和分流公式。五个方法是叠加、戴维南等效、图解、估算和微变等效电路分析法。六种放大电路分别是电压放大、电流放大、功率放大、差动放大、反馈放大和运算放大电路。另外还含有交流正弦波、相量和阻抗的描述。本书作为这门课的教材,特色是精益求精,各章内容互相渗透,互相服务,整合一体化。强调基本概念、基本定律、基本理论、基本方法。每个知识点都有相关例题和习题,以帮助学生消化吸收。最后增添PSPICE仿真例题。

本书可作为独立学院计算机、自动化、软件工程等专业“电工电子技术基础”的课程教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术基础/陈振云主编. —北京:北京邮电大学出版社,2009.12
ISBN 978-7-5635-1986-6

I. 电… II. 陈… III. ①电工技术②电子技术 IV. TMTN

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第174025号

书 名: 电工电子技术基础

主 编: 陈振云

责任编辑: 王丹丹

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路10号(邮编:100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市梦宇印务有限公司印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 10.5

字 数: 258千字

版 次: 2009年12月第1版 2009年12月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-1986-6

定 价: 19.00元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

前 言

电工电子技术的飞速发展为人们的工作生活提供了广泛的服务,如彩电、电子计算机等电子设备的应用,都离不开电工电子技术。

电路理论和模拟电子技术基础是大学电类专业必修并且紧密相关的两门基础课,由于学科的发展、课目的增多和学时的减少,独立学院某些专业有必要将这两门课整合成一门课。本着实用实效、能用够用的原则,目的是为学生赢得更多的学习时间,加强实践和应用能力的培养。同时课程教学内容满足学生专业学习的需求。这两门课程的关联度较密切,为课程整合提供了先决条件,既能保证各学科足够的知识储备,为学生更深入学习该学科提供基础,又能保证知识前后衔接,并将最新的技术融入教学内容中,如附录中引入了 PSPICE 仿真知识。若不合并教材,学生就要购买两本以上的参考书作为教材,并且由于教学课时的限制,必然不能将教材中的所有内容都讲解,这样严重影响了知识的连贯性,会给学生学习带来很大困扰,而本书却很好地解决了这个问题。

本书作为独立学院使用的教材,尽量做到浅一点、宽一点、严谨一点,便于自学和掌握。同时具有前瞻性,有利于学习新知识、新信息,有利于增强创新意识,培养实际动手能力,强化学以致用,解决工作中的实际问题。另外,浓缩了电子技术有关内容,考虑到集成电路的发展及广泛应用,本书将基本单元电路与集成运放内部相关电路融为一体,在编排行文上有所不同,尽量精简章节,打牢理论基础。另外,电子仿真 PSPICE 技术引入到教学环节,理论课堂进行实验教学,课后作业进行实验验证,使实验手段得到改革,使实验内容得到丰富。目前关于 PSPICE 使用方法的书籍较多,电子技术题解的书籍也较多,而将二者结合起来的书籍相对较少。再说对于一个软件的学习,除了理论书籍的指导之外,更重要的是要通过尽可能多的实际操作,才能达到掌握。因此,结合本书各章内容,最后做了大量 PSPICE 功能电路的范例,方便读者模仿学习。

模拟电子技术主要学习放大电路,而放大电路又是一切功能电路的基础,反相器、跟随器、偶相器,实际上都是放大器的应用。电阻是耗能元件,只能分压和分流;电容是储能元件,只能充电和放电;变压器能放大电压、电流和电阻,但绝不能放大功率,而电子器件组成的放大电路,关键是放大了功率。比如共发射极电路既放大了电压又放大了电流;共集电极电路放大电流而不降电压,总之,功率都得到了放大。放大电路实质是控制电路,它是用小信号去控制直流电源产生大的功率输出。另外,放大电路是双口电路,主要研究放大倍数。双口电路一定有损耗,这些损耗来自双口电路的输入电阻和输出电阻。所以,输入电阻和输出电阻也得研究。温度会改变器件参数,所以放大器的温度特性也得研究。总之,模拟电子

技术是大学电类专业必修的一门技术基础课,同时又是学生普遍感到不太好学的一门课,戏言“模电”即“魔鬼电子”。

任何学科都是一门语言,数学是理工科的语言,电子技术就是电子工程师的语言。学生懂数学,教电工电子技术的老师就是将电工电子技术的语言转换为数学语言,所以形成了分析方法,比如画图的方法叫图解法,计算的方法叫等效电路法。学会此电路,不如学会分析此电路的方法。方法多了,能力就强了,就可举一反三。电子器件是非线性的,但是线性电路相对好学一些,所以我们就做了语言的转换,即建立静态工作点,其目的就是为了将非线性电路系统等效成线性电路系统。相应就有了直流分析和交流分析,于是非线性电路中就含有直流和交流两种电量,区分这两种电量是模拟电子技术学习入门的关键。模拟电子技术最重要的学法叫定性分析、定量估算,模拟、近似、等效、估算都含相近的意思,精确的理论分析和计算行不通,这就要靠我们电子工程师动手实验去调整,从电路设计、安装、预期效果到产品成型,不一定完美,存在就是合理的,满足需要就行。对学生除了要求验证性实验外,还有课程设计,毕业设计,也可开展第二课堂,举办电子设计竞赛,提倡亲自动手修理家用电器,变封闭式实验室为开放式实验室等,来训练学生的综合动手能力。

电工电子技术与计算机技术高速发展,使得电子设计自动化(EDA)技术应运而生并且趋于成熟,各种 EDA 工具用于电路系统的设计、制作和实验,的确取得了良好的效果,甚至在理论课中,不小心搞错了的电路都可得到纠正,为此,应该提升 EDA 在电工电子技术中的地位。前面提到的图解分析法和等效电路法都是一种不太精确的估算,当要进行精确计算时,它们就显得力不从心,而 EDA 工具做出的结果就精确得多。PSPICE 就是电工电子技术仿真设计、制作和实验很好的工具,老师在使用本教材时,应该让学生逐步从理解为什么要学习 PSPICE,到应用离不开 PSPICE;应该让学生认识到 PSPICE 不是可有可无,而是要放在一个很重要的地位;应该让学生知道教材不是附带给予介绍,而是应该熟练掌握。为此,本书每章都涉及 PSPICE 的范例。

本书由华中科技大学文华学院陈振云副教授任主编,完成全书的策划设计、修改校对、排版统稿,并编写第 1、5、6、7 章及全部 PSPICE 的内容;由华中科技大学文华学院郭婷老师任副主编,完成全书的打字、画图,并编写第 2、3、4 章。本书的出版得到了华中科技大学容太平教授的关心和帮助,同时也得到北京邮电大学出版社的大力支持,在此表示衷心感谢!

鉴于编者水平有限,难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者



CONTENTS

第 1 章 直流电路	1
1.1 电路的三个物理量	1
1.1.1 电流及其参考方向	1
1.1.2 电压及其参考极性	2
1.1.3 功率	3
1.2 电路的两个定律	6
1.2.1 基尔霍夫电流定律	6
1.2.2 基尔霍夫电压定律	8
1.3 电路的三种元件	9
1.3.1 电阻元件	9
1.3.2 电容元件	11
1.3.3 电感元件	13
1.4 电路的两个电源	16
1.4.1 电压源	16
1.4.2 电流源	18
1.5 电阻的两种连接	20
1.5.1 电阻的串联	20
1.5.2 电阻的并联	20
1.6 电路的两个分析方法	23
1.6.1 多源叠加分析法	23
1.6.2 单口电路等效分析法	25
1.7 PSPICE9.2 直流电路举例	26
习题	28

第 2 章 正弦交流电路	30
2.1 正弦交流电的基本概念	30
2.1.1 正弦交流电概述	30
2.1.2 正弦交流电的方向	30
2.1.3 正弦交流电的基本参数	31
2.2 正弦交流电的相量表示法	34
2.2.1 有向线段与正弦函数	34
2.2.2 正弦量的相量表示法	34
2.2.3 相量图及相量运算	36
2.3 正弦交流电路的简单分析与计算	37
2.3.1 基尔霍夫定律的相量形式	37
2.3.2 R、L、C 单一元件的正弦交流电路	38
2.3.3 RLC 串联交流电路	44
2.3.4 复阻抗电路	46
2.3.5 正弦交流电路的功率	48
2.3.6 电路中的串联谐振	50
2.3.7 正弦交流电路的稳态分析	52
2.4 PSPICE9.2 交流电路举例	55
习题	57
第 3 章 半导体器件	59
3.1 半导体	59
3.1.1 本征半导体	59
3.1.2 杂质半导体	61
3.1.3 PN 结	62
3.2 二极管	64
3.2.1 二极管的结构	64
3.2.2 二极管的特性	64
3.2.3 二极管的直流分析	66
3.3 三极管	68
3.3.1 三极管的结构	68
3.3.2 放大条件下的工作原理	69
3.3.3 三极管的特性曲线及放大系数	71
3.4 PSPICE9.2 半导体器件电路举例	73

习题	81
第 4 章 基本放大电路	83
4.1 简单放大电路	83
4.1.1 组成原理	83
4.1.2 图解分析法	84
4.1.3 直流等效电路分析法	86
4.1.4 交流等效电路分析法	87
4.2 共发射极放大电路	87
4.2.1 直流工作点的计算	88
4.2.2 交流放大倍数的计算	88
4.3 共集电极放大电路	89
4.3.1 直流工作点的计算	90
4.3.2 交流放大倍数的计算	90
4.4 PSPICE9.2 基本放大电路举例	91
习题	99
第 5 章 集成运算放大器的内部电路	101
5.1 互补功率放大电路	101
5.1.1 电路特点	101
5.1.2 图解分析	102
5.1.3 最大指标	103
5.1.4 功率管的安全	103
5.1.5 交越失真	103
5.1.6 互补功率放大电路的单电源供电	104
5.2 差动放大电路	105
5.2.1 从一个例子说起	105
5.2.2 基本差动放大电路的直流分析	106
5.2.3 任意输入信号的等效	107
5.2.4 共模等效电路及其性能特点	107
5.2.5 差模等效电路及其性能特点	108
5.2.6 差动放大器的内电阻和共模抑制比	109
5.3 PSPICE9.2 集成运算放大器的内部电路举例	110
习题	116

第 6 章 运算放大器的外部反馈及应用	119
6.1 反馈放大电路	119
6.1.1 反馈放大电路组成	119
6.1.2 负反馈放大电路的四种类型	120
6.1.3 反馈类型的判断	121
6.1.4 负反馈能改变放大电路的性能	122
6.1.5 负反馈放大电路的放大倍数	123
6.2 集成运算放大器的应用	127
6.2.1 反相放大器	128
6.2.2 同相放大器	129
6.2.3 反相加法器	129
6.2.4 同相加法器	130
6.2.5 减法器	130
6.2.6 微分器	131
6.2.7 积分器	131
6.2.8 电压比较器	132
6.2.9 迟滞比较器	133
6.3 PSPICE9.2 运算放大器的外部反馈及应用举例	134
习题	143
第 7 章 直流稳压电源	147
7.1 整流电路	147
7.2 滤波电路	148
7.3 稳压电路	149
7.3.1 简单型稳压电路	149
7.3.2 串联型稳压电路	150
7.4 PSPICE9.2 直流稳压电源电路举例	152
习题	156
参考文献	157



直流电路

直流电路中电压或电流的大小和方向都是不随时间而变化的;而在交流电路中,电压或电流的大小和方向都在随时间而变化,其变化规律多种多样,应用最普遍的是按正弦规律变化的交流电。本章介绍直流电路的有关问题。

1.1 电路的三个物理量

无论哪一种电路,在实现它的能量转换时,都要涉及电流、电压和功率这三个物理量,电路理论就是对这三个物理量进行分析和计算而建立的理论。

1.1.1 电流及其参考方向

电荷在电场力作用下进行的定向移动形成电流。正电荷移动的方向(或负电荷移动的反方向)规定为电流的实际方向。电流的大小(强弱)用电流强度来衡量,它定义为单位时间内通过导体某横截面的电荷量。

电流强度通常简称为电流,用字母 i 表示,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1.1)$$

式中, dq 为在极短时间 dt 内通过导体某横截面的电荷量。

电路中经常遇到各种类型的电流,式(1.1.1)中 dq/dt 为一常数,即表示电流的大小和方向都不随时间变化,这时称之为恒定电流,简称直流,一般用大写字母 I 表示;而随时间变化的电流则用小写字母 i 表示,例如正弦电流就是其中的一种。

直流电流 I 的表达式可以写为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.1.2)$$

在国际单位制中, Q 为电荷量,其单位为库[仑](C); t 为时间,单位为秒(s); I 为电流,

其单位为安培,简称安(A)。当计量微小的电流时,可用毫安(mA)、微安(μA)或皮安(pA)为单位。它们的换算关系如下:

$$1\text{ A}=10^3\text{ mA}=10^6\text{ }\mu\text{A}=10^{12}\text{ pA}$$

在分析和计算较为复杂的电路时,往往事先难于判断某支路中电流的实际方向,可任意选定某一方向为电流的参考方向。

电流的参考方向常用箭头表示,还可用双下标表示,如假设电流从 a 点流向 b 点,则可表示为 I_{ab} ,如图 1.1.1 所示。

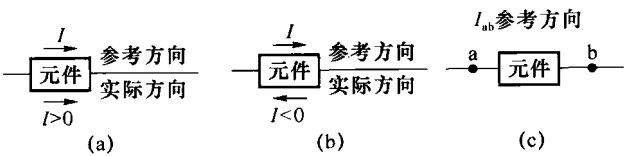


图 1.1.1 电流的参考方向

需要强调的是,所选的电流参考方向并不一定与实际方向相同。如果相同,这时电流的值为正,否则为负。只有当参考方向选定以后,电流才可成为一个代数量,这时讨论电流的正负才有意义,而后根据电流的正负就可以确定电流的实际方向。大家必须养成在分析电路时首先标出有关电量的参考方向的习惯。

例 1.1.1 电路如图 1.1.2 所示,已知通过元件的电荷 $q(t)=2\sin(2t)\text{ C}$,求 $t>0$ 时的电流 $i(t)$ 。



图 1.1.2 例 1.1.1 的电路

解
$$i=\frac{dq}{dt}=4\cos(2t)\text{ A}\quad t>0$$

例 1.1.2 流过某元件的电流波形如图 1.1.3 所示,则在 $t=0$ 至 $t=4.5\text{ s}$ 期间,求通过的电荷量为多大?

解
$$q=\int_0^{4.5} i dt=\int_0^1 0.5 dt+\int_2^3 0.5 dt+\int_4^{4.5} 0.5 dt=1.25\text{ C}$$

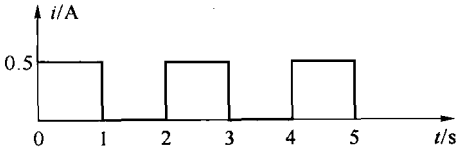


图 1.1.3 例 1.1.2 的电路

1.1.2 电压及其参考极性

电压表明了电场力对电荷做功的能力,可用公式表示为

$$u=\frac{dW}{dq}\tag{1.1.3}$$

电场力对单位正电荷从电场内的 a 点移动到无限远处所做的功称为 a 点的电位 V_a , 因为在无限远处的电场为零, 故其电位也为零。可见, a 、 b 两点间的电压也就是 a 、 b 两点间的电位差, 即有

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.1.4)$$

电压和电位的标称单位都是伏[特](V), 有时也用毫伏(mV)、微伏(μ V)等。

对于电压的实际方向, 首先作如下的规定: 电压的实际方向规定为由高电位端指向低电位端, 即为电位降低的方向。

电压的参考方向都是任意指定的, 常用箭头表示, 如图 1.1.4 所示, 也可用“+”、“-”符号及双下标表示, 如 U_{ab} 表示 a 点与 b 点之间电压参考方向由 a 指向 b 。因此, 要注意电压 U 的实际和参考方向间的不同的内在含义。

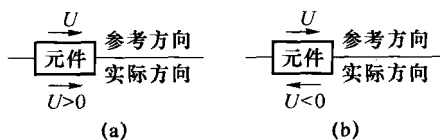


图 1.1.4 电压的参考方向

在电路图中, 常需对某个元件作电压 U 和电流 I 的参考方向的设定, 习惯于将电压 U 和电流 I 的参考方向取为一致, 这称为关联参考方向, 如图 1.1.5(a) 所示; 否则就称为非关联参考方向, 如图 1.1.5(b) 所示。

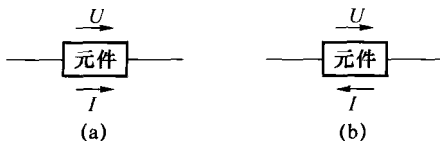


图 1.1.5 关联和非关联参考方向

例 1.1.3 设电路中某元件的电压与电流参考方向如图 1.1.6 所示, 已知 $U < 0, I > 0$, 则电压与电流的实际方向如何?

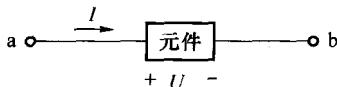


图 1.1.6 例 1.1.3 的电路

解 因为电压的实际方向与参考方向相反, 电流的实际方向与参考方向相同, 故 b 点为高电位, 电流由 a 至 b 。

1.1.3 功率

功率定义为单位时间内能量的变化, 也就是能量对时间的导数, 即

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{udq}{dt} = ui \quad (1.1.5)$$

在直流电路中,若电路中某元件两端电压和其中的电流已求得,则此元件的功率就可以计算出来,此时功率用大写字母 P 表示。

当电压 U 和电流 I 采用关联参考方向时,有

$$P=UI \quad (1.1.6)$$

若 $P>0$,这说明是电场力对电荷做功,表明元件此时是在吸收或者说是消耗功率,它在实际电路中起负载作用;如果 $P<0$,这说明是外力对电荷做功,表明元件此时是在产生或者说是释放功率,它在实际电路中起电源作用。

反之,当电压 U 和电流 I 采用非关联参考方向时,如果仍然规定元件消耗功率时 $P>0$,产生功率时 $P<0$,则功率的计算公式应相应改为

$$P=-UI \quad (1.1.7)$$

关于这个问题,也可直观地根据电压和电流的实际方向来确定某一电路元件是电源还是负载。

如果电流的实际方向是从电压实际极性的高电位端流出,则表明是产生功率,此元件是电源;如果电流的实际方向是从电压实际极性的高电位端流入,则表明是吸收功率,此元件是负载。

若电压的单位为伏,电流的单位为安,则功率的单位为瓦特,简称瓦(W)。有时还可用千瓦(kW)、毫瓦(mW),它们的换算关系如下:

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

从前面的分析可看出,功率 P 是能量的平均转换率,有时也称为平均功率。对于发电设备(电源)来说,功率是单位时间内所产生的电能;对于用电设备(负载)来说,功率就是单位时间内所消耗的电能。

如果用电设备功率为 P ,使用的时间为 t ,则该设备消耗的电能

$$W=Pt=UI t \quad (1.1.8)$$

若功率的单位为瓦[特](W),时间的单位为秒(s),则电能的单位就是焦[耳](J)。

当功率的单位为千瓦(kW),时间的单位为小时(h),则电能的单位就是千瓦·小时(kW·h),俗称“度”。1度电就相当于1千瓦·小时的电能。

$$1\text{ 度}=1\text{ kW}\cdot\text{h}=1\,000\text{ W}\times 3\,600\text{ s}=3\,600\,000\text{ J}=3.6\times 10^6\text{ J}$$

例 1.1.4 某元件在2分钟内吸收功率10 W,则吸收的能量为多少?

解

$$W=Pt=10\times 120=1\,200\text{ J}$$

例 1.1.5 电路如图 1.1.7 所示,若 $U_s>0, I_s>0, R>0$,则:

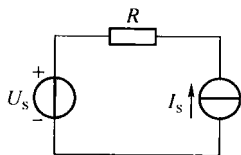


图 1.1.7 例 1.1.5 的电路

- A. 电阻吸收功率,电压源与电流源供出功率;
- B. 电阻与电压源吸收功率,电流源供出功率;
- C. 电阻与电流源吸收功率,电压源供出功率;

D. 电压源供出功率, 电流源供出功率。

解 B。对于电压源, 其实际电流 I_s 从电压的正端流入, 为负载, 吸收功率。

例 1.1.6 电路如图 1.1.8 所示, 各点对地的电压: $U_a = 5\text{ V}$, $U_b = 3\text{ V}$, $U_c = -5\text{ V}$, 说明元件 A、B、C 分别是起电源作用还是负载作用。

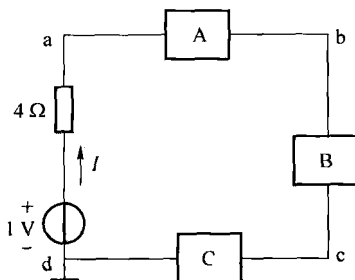


图 1.1.8 例 1.1.6 的电路

解 $I = -\frac{5-1}{4} = -1\text{ A}$ (此处用到了欧姆定律, 关于欧姆定律的介绍见后文)

对于元件 A, 电流的实际方向从高电位端 a 点流出, 故发出功率, 起电源作用。

对于元件 B, 电流的实际方向从高电位端 b 点流出, 故发出功率, 起电源作用。

对于元件 C, 电流的实际方向从高电位端 d 点流入, 故吸收功率, 起负载作用。

电路在实际工作时, 各电源元件产生或发出的功率之和必定等于各负载元件吸收或消耗的功率之和, 这就是功率的平衡。从能量的角度来看, 也可以说各电源元件产生或发出的电能之和必定等于各负载元件吸收或消耗的电能之和, 这就是电能量的守恒。电能不可能自生自灭, 电源产生或发出的电能必定可以通过其他的元件和途径加以吸收或消耗。因此, 当我们分析一个电路时, 可以根据电路中各元件的电压和电流的参考方向计算出它们的电压和电流的数值, 而后根据这些数值来判别电路中哪些元件是电源, 哪些元件是负载, 最后检验是否满足功率的平衡。功率平衡的检验是判断计算结果正误的一个很重要的过程。

值得注意的是, 今后在分析电路时可能会遇到多个相同或不同的电源形式, 那么这多个“电源”元件是否在这个实际电路中就一定起电源作用呢? 不一定, 这同样要借助这些“电源”元件的电压和电流的值来判定。可能这多个“电源”元件在电路中全部实际起电源作用; 也可能其中部分实际起电源作用, 另外一些实际起负载作用; 但绝不可能全部都起负载作用, 对于这一点, 大家要有明确的概念。

例 1.1.7 在图 1.1.9 所示电路中, 5 个元件分别代表电源或负载, 有关元件的电压和电流的参考方向如图中所示, 现通过测量已知:

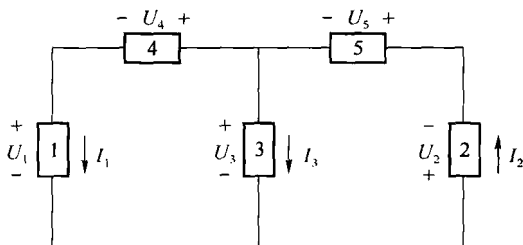


图 1.1.9 例 1.1.7 的电路

$$I_1 = -2 \text{ A}, I_2 = 3 \text{ A}, I_3 = 5 \text{ A}, U_1 = 70 \text{ V}, U_2 = -5 \text{ V}, U_3 = 30 \text{ V}, U_4 = -40 \text{ V}, U_5 = 15 \text{ V}.$$

试计算各元件的功率,判断是电源还是负载,并检验功率的平衡。

解 对于元件 1、2、3、4、5,电压和电流均为关联参考方向,则它们的功率分别为

$$P_1 = U_1 I_1 = 70 \times (-2) = -140 \text{ W}$$

$$P_2 = U_2 I_2 = (-45) \times 3 = -135 \text{ W}$$

$$P_3 = U_3 I_3 = 30 \times 5 = 150 \text{ W}$$

$$P_4 = U_4 I_1 = -40 \times (-2) = 80 \text{ W}$$

$$P_5 = U_5 I_2 = 15 \times 3 = 45 \text{ W}$$

由计算结果可知:

元件 1、2 功率为负,表示这两个元件产生功率,为电源;

元件 3、4、5 功率为正,表示这 3 个元件消耗功率,为负载;

电源发出的功率: $140 + 135 = 275 \text{ W}$;

负载消耗的功率: $150 + 80 + 45 = 275 \text{ W}$ 。

可见在一个电路中,电源产生的功率和负载消耗的功率总是平衡的。

各种电气设备的电流、电压及功率等物理量都有一个额定值,例如一盏电灯的电压是交流 220 V、功率为 60 W,这就是该灯泡的额定值。额定值是设计和制造单位为了使产品在给定的工作条件下正常运行而规定的正常允许值,是对产品的使用规定。只有按照额定值使用电气设备才能保证该设备安全可靠、经济合理地运行。额定值通常以下标 N 表示,如额定电流 I_N 、额定电压 U_N 、额定功率 P_N 等。在选用元件时,不能只考虑使用时的电流、电压和功率,还应注意考虑其额定的电流、电压和功率。

1.2 电路的两个定律

基尔霍夫定律是电路整体必须服从的约束关系,这种关系与电路中各元件的连接情况有关。基尔霍夫定律反映了电路最基本的规律,与元件的具体性质无关,不论是直流电路还是交流电路;不论是线性电路还是非线性电路;不论是平面电路还是非平面电路,基尔霍夫定律都是普遍适用的。基尔霍夫定律包括基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL),前者应用于电路中的结点,而后者应用于电路中的回路。

首先介绍支路、结点和回路的概念,把电路中的每一分支称为支路,一条支路流过一个电流,称为支路电流;电路中三条或三条以上支路的汇接点称为结点;回路是由一条或多条支路所组成的闭合电路。

1.2.1 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律简称 KCL, KCL 可表述为:对于电路中任一结点,在任一时刻,流入该结点的电流之和恒等于流出该结点的电流之和,或者说电路中任一结点上电流的代数和

恒等于零。即

$$\sum I = 0 \text{ 或 } \sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1.2.1)$$

它反映了结点处各电流的相互约束关系,是电流连续性和电荷守恒的体现。其使用范围取决于电路的拓扑结构,与电路元件性质无关,并可推广于广义结点(闭合面)。

例 1.2.1 在图 1.2.1 所示电路中,已知 $I_1=2\text{ A}$, $I_2=-3\text{ A}$, $I_5=4\text{ A}$,试求 I_3 、 I_4 和 I_6 。

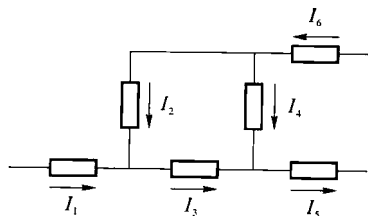


图 1.2.1 例 1.2.1 的电路

解 依 KCL,有

$$I_3 = I_1 + I_2 = 2 + (-3) = -1\text{ A}$$

$$I_4 = I_5 - I_3 = 4 - (-1) = 5\text{ A}$$

$$I_6 = I_2 + I_4 = -3 + 5 = 2\text{ A}$$

也可根据广义结点,得到

$$I_6 = I_5 - I_1 = 4 - 2 = 2\text{ A}$$

例 1.2.2 在图 1.2.2 所示电路中,求电流 i_1 及 i_2 。

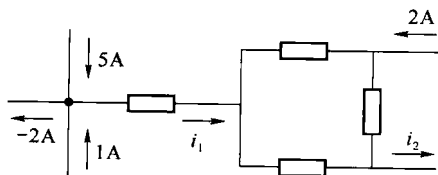


图 1.2.2 例 1.2.2 的电路

解 依 KCL,有

$$i_1 = 1 + 5 - (-2) = 8\text{ A}$$

$$i_2 = i_1 + 2 = 8 + 2 = 10\text{ A}$$

例 1.2.3 求图 1.2.3 所示部分电路中 A 点电位 V_A 和电阻 R_1 。

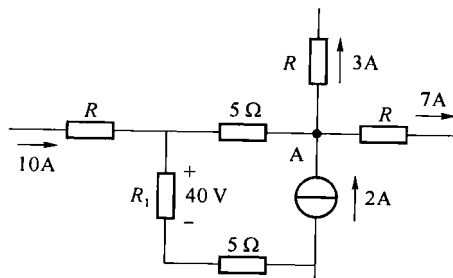


图 1.2.3 例 1.2.3 的电路

解 设与结点 A 相连的 $5\ \Omega$ 电阻中电流为 I_5 (参考方向从左至右), 列 KCL, 有

$$I_5 = 3 + 7 - 2 = 8\ \text{A}$$

设 R_1 中电流为 I_1 , 参考方向从上至下有

$$I_1 = 10 - I_5 = 10 - 8 = 2\ \text{A}$$

所以得到

$$R_1 = \frac{40}{2} = 20\ \Omega$$

$$V_A = -5 \times I_5 + 40 + 5 \times I_1 = 10\ \text{V}$$

1.2.2 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律简称 KVL, KVL 可表述为对于电路中任一回路, 在任一时刻, 沿某闭合回路的电压降之和等于电位升之和, 或者说沿某闭合回路所有元件上电压的代数和恒等于零。即

$$\sum U = 0 \quad (1.2.2)$$

KVL 的物理本质就是能量守恒原理, 因为电荷沿回路绕行一周后, 它所获得的能量与消耗的能量必然相等。它同样与电路元件性质无关, 并可应用于假想回路, 即广义回路。

例 1.2.4 有一闭合回路如图 1.2.4 所示, 各支路的元件是任意的。已知 $U_{AB} = 2\ \text{V}$, $U_{BC} = 3\ \text{V}$, $U_{ED} = -4\ \text{V}$, $U_{AE} = 6\ \text{V}$ 。试求 U_{CD} 和 U_{AD} 。

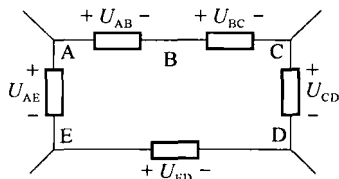


图 1.2.4 例 1.2.4 的电路

解 设顺时针方向为回路的绕行方向, 列出 KVL 方程为

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} - U_{ED} - U_{AE} = 0$$

$$2 + 3 + U_{CD} - (-4) - 6 = 0$$

$$U_{CD} = -3\ \text{V}$$

把 ADEA 看作一个广义回路, 又有

$$U_{AD} - U_{ED} - U_{AE} = 0$$

$$U_{AD} - (-4) - 6 = 0$$

$$U_{AD} = 2\ \text{V}$$

也可把 ABCDA 看作一个广义回路, 列出 KVL 方程为

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} - U_{AD} = 0$$

$$2 + 3 + (-3) - U_{AD} = 0$$

$$U_{AD} = 2\ \text{V}$$