

高等职业教育教材丛书

计算机电路基础

天津市高等教育自学考试委员会 组编

王金刚 主编

南开大学出版社



高等职业教育教材丛书

计算机电路基础

天津市高等教育自学考试委员会 组编

王金刚 编著

南开大学出版社

天 津

图书在版编目(CIP)数据

计算机电路基础 / 王金刚主编. —天津: 南开大学出版社, 2001. 6

(高等职业教育教材丛书)

ISBN 7-310-01539-8

I. 计... II. 王... III. ①电子计算机—电子电路—
高等教育: 技术教育—教材 IV. TP331

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 15287 号

出版发行 南开大学出版社

地址: 天津市南开区卫津路 94 号

邮编: 300071 电话: (022)23508542

出版人 肖占鹏

承印 天津市宝坻第二印刷厂印刷

经销 全国各地新华书店

版次 2001 年 6 月第 1 版

印次 2001 年 6 月第 1 次印刷

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 11.25

字数 284 千字

印数 1—5000

定价 17.00 元

内容简介

全书包括电路基本理论、模拟电路、数字电路三大部分,共分十章。全书内容简明,概念清楚,例题、习题丰富,各章均有学习目标及小结。在编写过程中,遵循“理论知识必需、够用”的原则,兼顾基础理论知识的系统性、连贯性和适当的前瞻性,突出重点及难点。

本书可供具有高中、中专、技校及职高文化基础的学生自学使用。

高等职业教育教材编审委员会名单

主任委员：

乔丽娟

委员：(以姓氏笔画为序)

丁桂芝 王松岭 边奠英 刘凤桐

李占伦 李维祥 吴功宜 赵雅兴

徐宝强 徐娟敏 葛洪贵

序

全国高等教育自学考试指导委员会副主任
中国职业技术教育学会副会长 王明达

中国高等教育大众化目标的实现必然伴随着高等教育形式和结构多样化的变革。单纯以学术水平为追求目标的高等教育无法满足社会对于多种专门人才的需求,因此要大力发展高等职业教育,培养社会需要的各类专门人才,以适应我国经济和社会发展的要求。

什么是高等职业教育?职业教育的特征不在于办学形式,主要体现在培养目标上。培养生产、服务、管理第一线的实用型人才的教育即为职业教育。按照专业所需接受教育的年限达到相当于普通高等教育学习年限的职业教育即为高等职业教育。

高等职业教育如何实现培养实用人才的目标?首要的就是专业设置。既然培养的是生产第一线的实用型人才,所设专业就一定直接与社会生产、生活相联系的,社会生产、生活中最必需的。这与普通高等学校开设专业的思路有着本质的区别。其次是教学内容的安排和教学计划的制定。接受高等职业教育的学生其学习内容必须是成熟的技术和管理规范,教学计划、课程设置应该按照职业岗位群的职业能力要求来确定,而不应从学科体系出发。再次,为使毕业生毕业就能基本顶岗工作,要求增大实习训练所占的比例,在校期间就基本完成上岗前的实践训练。为了保证实践训练得到社会认可,要实行学历证书与职业资格证书“双证书”制度,同时要求双师型教师任教。只有按部就班实现以上要求的高等职业教育才会被社会认同,也才会有生命力。

办出特色是高等职业教育生命力的源泉。学生毕业即能顶岗是职业教育区别于其他教育的一个突出特点。要想做到这一点,一方面学习理论知识要以“必需”和“够用”为度,让学生掌握基本理论和知识;另一方面要全方位开辟实习基地,保证充足的实训时间。高等职业教育的水准主要是通过专业设置、课程内容,以及实训能力的培养体现的。

为落实第三次全教会“完善自学考试制度”、“大力发展高等职业教育”的改革思路,1999年全国高等教育自学考试指导委员会决定在天津市开展高等教育自学考试职业技术专业的试验工作。

天津市高等教育自学考试委员会在深入调查研究的基础上,从职业岗位群的知识技能需求出发,以能力本位教育(CBE)为理论依托,设计了12个职业技术专业,于2000年面向社会开考。

高等教育自学考试开考职业技术专业的试验,在完善高等教育自学考试专业建设、拓展自学考试教育功能方面,在探索开放式教育、培养应用型高级人才方面,在职业教育课程体系方面,以及在实践技能考核的研究、管理方面,对于我国高等教育自学考试制度的完善和高等职

业教育的发展都具有重要意义。

天津市高等教育自学考试委员会将根据职业技术专业试验工作的需要陆续出版有关考试课程的教材。教材编撰者多为具有职业教育经验的学科专家和职业教育专家,他们根据职业教育的专业培养目标重新整合了学科知识体系,尽力体现理论知识必需、够用的原则。当然,由于认识水平的局限和时间的紧迫,这些教材还需要继续完善提高。尽管如此,这迈出的第一步是十分可贵的。我深信,高等教育自学考试职业技术专业的试验工作一定能取得成功。

2001年1月于北京

前 言

本教材是天津大学电信学院在天津市高等教育自学考试委员会指导下,依据计算机技术与应用专业高等教育自学考试《电路基础课程自学考试大纲》的要求编写,全书共分十章,包括电路基本理论、模拟电路、数字电路三部分,参考学时 100~108 学时。

本教材根据高等职业教育的特点,对教材中的基础理论部分作了简明的介绍,而对基本概念,基本方法也分别进行了详细的阐述。所选例题难度适中,注重职业能力、继续学习能力和职业适应能力的培养,教材内容在广度和深度上适合职业岗位群的需要。在内容编排上充分体现高职技术教育的特点,依据理论知识必需、够用的原则,突出基本概念和基本方法,引导学生抓住重点,注重其实质内容的理解和应用。建议学生在学习每一章之前,首先阅读教材,注重弄清楚基本概念及分析问题的思路,在学习和掌握定性分析的基础之上进行定量的计算。在学习了每一节的内容之后,有针对性地完成习题和思考题,从中检查自己对本章节内容的掌握程度,然后再去阅读教材,理解基本概念,不断提高。切忌背公式、背定理的学习方法。

电路基础课是一门既有基本理论,又具有实践性的课程,学生不仅要在理论上认识、理解基本内容,还要在实践中体会、巩固所学的理论。

本教材主编为王金刚(1~5 章),编者为冯玉珍(6、7 章)、李伟(8 章)、王铮(9、10 章),参加编写的还有王丽(1、2、3 章练习题),李春阳(4、5、6 章练习题),熊辉(7、8 章练习题),刘颖(9、10 章练习题)。天津大学电信学院的部分在校学生参与了本书初稿的录入工作,在此表示感谢。

由于我们水平有限,时间较短,教材中难免有不当之处,希望各位读者能够提出宝贵意见,为提高高等教育自学考试教材的质量共同努力。

编 者

2001 年 1 月

引言

自学方法建议

在学习每章之前,应首先阅读内容提要和学习指导,了解本章在整个课程中的地位与作用,基本要求及学时。然后阅读正文,要弄清基本概念,掌握分析方法及思路,同时要不断总结其中相同的规律及对偶的关系。

本课程的基本概念和基本分析方法体现在各种电路的分析之中。要求会在定性分析的基础之上进行定量分析。因此必须多做练习题,从中逐渐体会、理解基本概念,真正掌握。

最后完成自测题,从自测题的错误回答中找出问题,再阅读、理解正文中的内容,不断提高。阅读材料供学习时参考。

电路理论是一门专业基础课,同时又是一门实践性很强的课程。要求不仅会分析问题,还要有解决问题的能力。不仅有理论,还要有实际工作能力。

学习本课程的预备知识

学习本课程之前应首先学习高等数学中的微积分、线性代数及大学物理中的电磁学部分。

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	(1)	本章小结	(65)
1.1 电路及电路模型	(1)	练习题	(66)
1.2 电流和电压的参考方向	(2)	第 4 章 非正弦周期电流的电路	(69)
1.3 功率参考方向	(5)	4.1 正弦周期量的分解	(69)
1.4 基尔霍夫定律	(6)	4.2 非正弦周期电流、电压的有效值	(71)
1.5 二端元件	(8)	4.3 非正弦周期电路中的平均功率	(72)
本章小结	(14)	本章小结	(73)
练习题	(15)	练习题	(74)
第 2 章 电路分析方法	(20)	第 5 章 电路的暂态分析	(75)
2.1 支路电流法	(20)	5.1 电路中过渡过程的产生	(75)
2.2 叠加定理	(27)	5.2 一阶电路的零输入响应	(78)
2.3 戴维南定理与诺顿定理	(28)	5.3 一阶电路的零状态响应	(81)
2.4 等效电源的化简	(30)	5.4 一阶电路的完全响应	(83)
2.5 最大功率传输	(33)	本章小结	(86)
2.6 接地及非线性电阻电路	(35)	练习题	(87)
本章小结	(38)	第 6 章 半导体器件	(90)
练习题	(39)	6.1 半导体和 PN 结	(90)
第 3 章 正弦交流电路	(43)	6.2 半导体二极管	(91)
3.1 正弦量的三要素	(43)	6.3 晶体三极管	(92)
3.2 正弦电压和正弦电流的参考方向	(44)	6.4 场效应晶体管	(95)
3.3 正弦量的有效值	(45)	6.5 复合三极管	(96)
3.4 正弦量的相量表示	(45)	本章小结	(97)
3.5 电阻、电感和电容的阻抗	(48)	练习题	(98)
3.6 KCL 和 KVL 的相量形式	(54)	第 7 章 基本放大电路	(99)
3.7 简单电路的相量分析	(55)	7.1 放大器概述	(99)
3.8 瞬时功率与平均功率	(56)	7.2 放大电路的静态分析	(100)
3.9 无功功率与视在功率和复功率	(58)	7.3 放大电路的动态分析	(102)
3.10 网络函数和频率响应	(60)	7.4 放大电路中的负反馈	(106)
		7.5 多析放大电路及其级间	

耦合	(108)	9.3 MOS 门电路.....	(134)
7.6 差动放大电路	(110)	9.4 逻辑代数	(134)
7.7 场效应管放大电路	(111)	9.5 组合逻辑电路	(138)
7.8 集成运算放大器	(113)	9.6 加法器	(140)
本章小结.....	(116)	9.7 编码器	(142)
练习题.....	(116)	9.8 译码器和数字显示	(145)
第 8 章 集成运算放大器的应用 ...	(119)	9.9 数据分配器与数据选择器 ...	(149)
8.1 运算放大器在信号运算方面 的应用	(119)	本章小结.....	(150)
8.2 运算放大器在信号处理方面 的应用	(123)	练习题.....	(151)
本章小结.....	(126)	第 10 章 时序逻辑电路设计.....	(153)
练习题.....	(127)	10.1 双稳态解发器.....	(153)
第 9 章 逻辑门电路和组合逻辑 电路	(129)	10.2 寄存器.....	(157)
9.1 门电路概念	(129)	10.3 计数器.....	(159)
9.2 TTL 门电路	(130)	10.4 存储器.....	(163)
		本章小结.....	(166)
		练习题.....	(166)

第1章 电路的基本概念和基本定律

内容提要和学习指导

本章介绍“电路理论”课中电压、电流变量的定义和标识方法,基本元件及其伏安关系,基尔霍夫电流定律和电压定律。这些内容是学习电路理论必须清楚了解和熟练运用的基础知识。

1. 了解电路、支路、节点、网孔、网络及集总假设等名词的定义。
2. 熟悉元件约束:电阻元件的伏安关系——欧姆定律;电容元件,电感元件,电压源,电流源的伏安关系。对它们的伏安关系表达式及伏安关系曲线应深刻理解本质。
3. 熟练运用电压、电流参考方向及关联参考方向。
4. 理解基尔霍夫电流定律及电压定律,并能灵活运用两定律建立电流方程和电压方程。

1.1 电路及电路模型

一、电路

电在日常生活中得到了广泛的应用。在电力、通信、电子计算机等领域中使用许多电路来完成多种任务。电路的形式、功能虽然多种多样,但它们受共同的规律约束,在这共同规律的基础上,形成了电路分析的一整套理论和分析方法。学好电路分析的理论和方法对进一步学习电子技术及电子计算机的后续课程十分重要。

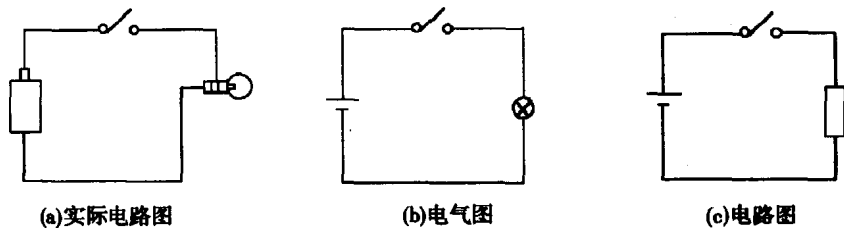


图 1-1

实际电路是由电器件(如电源、电阻、晶体管等)相互连接组成的。例如一个手电筒的实际电路如图 1-1(a)所示。图 1-1(b)给出了手电筒实际电路的“电气图”。在这个图中实际的干电池、灯泡及开关分别用它们的电气图符号表示。可以看出,电气图要比实际电路图简单多了。图 1-1(c)给出了手电筒电路的电路模型,也称“电路图”。在电路图元件是理想元件。理想元件是一定条件下对实际元件的理想化。这种理想化元件也称电路模型。一个实际电路元件在用理想元件表示时,根据要求条件不同,取得的电路模型也不同。例如图 1-1(a)中的实

实际电路元件干电池,当其内阻可以忽略不计时,可以用一个理想电压源构成它的电路模型。而实际电源的内阻必须考虑时,则其电路模型为理想电压源与电阻 R_s 串联。因此一个实际电路元件的电路模型可以有一个或多个理想元件构成它的电路模型。

二、集总假设、集总电路和集总元件

各种实际电路元件可以用理想模型近似表示它的特性。实际的器件是一个整体,内部有电能的消耗、电磁能的存储等。而构成它的电路模型中的单个元件,是假设只有一种基本现象,这种元件称为集总参数元件,简称集总元件。

为器件建立模型时,采用上述集总假设的条件是:在电路中,电场作用只发生在电容元件中,磁场作用只发生在电感元件中,不存在电磁辐射的能量损失。即只有在辐射能量可以忽略不计时,才能应用集总的概念。

由集总元件构成的电路模型称为集总电路模型,或称集总电路。本书不加注明的都是讨论集总电路的分析。以后讨论中为简化计,通常忽略“集总电路”中的“集总”二字。一般情况下,当电路工作的频率对应的波长与电路的元件尺寸相比,波长远大于元件的尺寸时,就可以不考虑电磁辐射问题,而把电路作为集总电路考虑。

1.2 电流和电压的参考方向

一、电流

在电路中定义正电荷的流动方向为电流方向。用来衡量电流强弱的物理量称为“电流强度”。电流强度等于单位时间内穿过导体横截面的正电荷电量的代数和。电流强度以后简称为“电流”。

平均电流等于 $\frac{\Delta q}{\Delta t}$,其中 Δq 是在 Δt 时间间隔内通过的电荷量,如半小时通过 3 600 库仑(C),则

$$\text{平均电流} = \frac{3\,600}{30 \times 60}$$

以上平均电流取的时间太长,为了更详细地反映更小时间间隔的电流,我们可以按 15 分钟为一间隔取平均电流。如果流过第一个 15 分钟的电荷为 1 200C,第二个 15 分钟为 0,第三个 15 分钟为反向流过 800C,第四个 15 分钟为 3 200C,则总的流过的电荷量为

$$q = 1\,200 + 0 - 800 + 3\,200 = 3\,600\text{C}$$

$$\text{第一个 15 分钟:平均电流} = 1\,200\text{A}$$

$$\text{第二个 15 分钟:平均电流} = 0$$

$$\text{第三个 15 分钟:平均电流} = -800\text{A}$$

$$\text{第四个 15 分钟:平均电流} = 3\,200\text{A}$$

为了反映更短时间的瞬时电流,令 Δt 趋近于零,这时平均电流的表达式则为瞬时电流表达式:

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

任意时刻的电流等于那一瞬时流过的电荷 dq 与那一瞬时时间间隔 dt 之比。

设流过导线的电荷如图 1-2(a)所示,在 0 到 2 秒的时间间隔内平均电流为 5mA,在 2 到

4 秒的时间间隔内平均电流为 -5mA ，在 4 秒之后平均电流为零。电流如图 1-2(b) 所示。

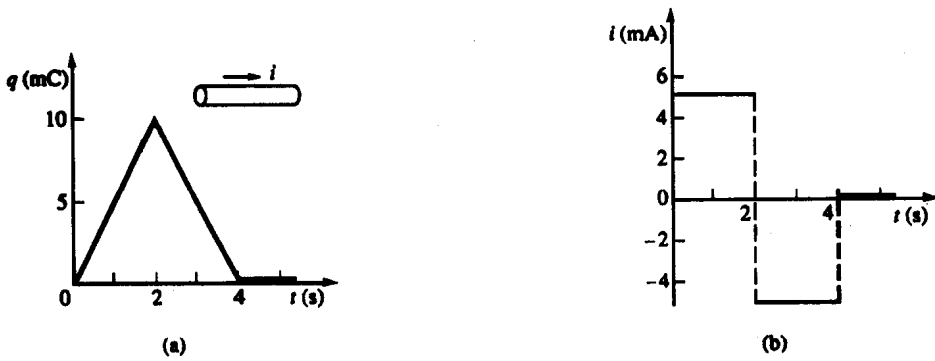


图 1-2

二、电流参考方向

电路中电流的真实方向有时不易确定，有时是随时间变化的。因此为表示真实电流的方向，我们必须选择一个电流参考方向为讨论电路的真实方向提供方便。其实，选哪一个方向为某一路径的电流参考方向并没有本质上的区别。重要的是你必须选一个方向为参考方向。只有选定了一个参考方向，才能在这个参考方向下讨论电流的正负值，也就是说，电流的真实方向才能依所示的参考方向表示出来。如果只给出了电流的数值而没有标出参考方向，那么电流的真实方向就不能正确表示出来。

电流参考方向：在电路中的某一条路径中，我们任意设定一个沿路径的方向为电流参考方向。如果正电荷的流动真实方向与设定方向一致，则这时流过的电流为正值，否则为负值。

如图 1-3(a) 所示，设定图中电流参考方向如箭头表示。电路中的电流如图 1-3(b) 所示。图中，电流的真实方向，在 $0 \sim 1.5$ 秒时电流由左流向右， i 的值为正，最大 1mA 。在 $1.5 \sim 3.5$ 秒时由右流向左， i 的值为负，最大 -2mA 。

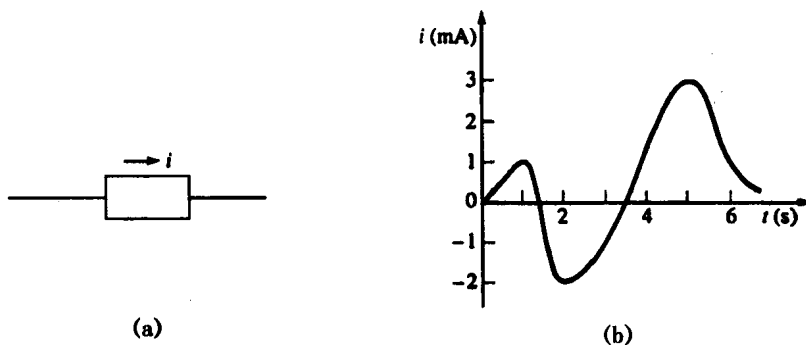


图 1-3

图 1-3(b) 中的电流不是恒定的，是随时间变化的，用小写 i 表示电流， i 和时间 t 的关系是一条曲线。

电路中的电流如果是恒定的，不随时间变化，电流也可以用大写字母 I 表示，表明是直流

电。 i 和时间 t 的关系是一条直线。

当我们用电流表测量电路中的电流时,将表的“+”、“-”端接入电路,我们实际上是猜测电流的方向是由“+”端流入,由“-”端流出。也就是说,设定了电流的参考方向是由表的“+”端指向表的“-”端。但实际上表的指针可能向右偏,这就说明电路中电流方向与设定的参考方向一致,电流为正值。如果向左偏,则说明电流由电流表的负端流入,正端流出,说明电流的真实方向与设定参考方向相反,电流为负值。

三、电压参考方向

同电流参考方向一样,我们在讨论电路中的电压时,也要设定一个电压参考方向或称电压参考极性。如图 1-4 所示。

1. 电压参考方向

在电路中的某一条路径中,我们任意设定一个沿路径的方向为电压参考方向。用“+”表示高电位,用“-”表示低电位,如果电压的真实方向与参考方向相同则电压为正值,否则为负值。

我们设定图 1-4(a)中 A 点电位高于 B 点电位。用一个“+”表示高电位端,用一个“-”表示低电位端,这时电路中的电压真实极性可能是 A 点高于 B 点,则电压数值 $U > 0$,如图 1-4(b)所示;若电压真实极性是 A 点低于 B 点,这时电压数值 $U < 0$,如图 1-4(c)所示。

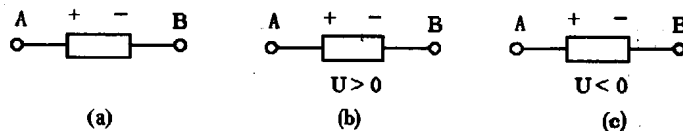


图 1-4

2. 电位

设定电路中某一点为参考节点,其他节点到参考节点的电压,称为该节点的电位。其中参考节点称为零电位点。

如图 1-5 所示,设定电路中的 d 点为参考节点。其中 a, b 及 c 节点到参考节点的电压分别称 U_a, U_b 及 U_c 。

电路中的参考节点是任意设定的,一旦设定参考节点,则其他节点的电位就随之确定。

在电路图中,表示电位有时采用简化画法。将电源电压标在图中,任一点的电位直接用单下标标出,如图 1-6 所示。

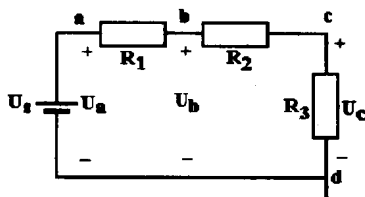


图 1-5

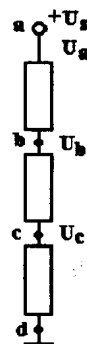


图 1-6

四、关联参考方向

为了分析电路,有时要同时设定电路中某一段电路的电流参考方向和电压参考方向,如图1-7(a)和(b)所示。

其中图1-7(a)中表示的参考方向称为关联参考方向,其中电流参考方向的箭头指向与电压参考方向的电压降的方向一致。图1-7(b)所示为非关联参考方向,电流参考方向与电压参考方向不一致。

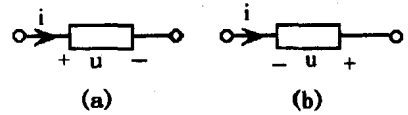


图 1-7

1.3 功率参考方向

我们在定义功率时,设定电压和电流参考方向如图1-8(a)所示为关联参考方向,如果在某时 $u=10\text{V}$, $i=3\text{A}$, A、B 两点的电位差, A 高 B 低, 电流方向是由 A 流向 B。即电压降的真实方向与电流的真实方向一致。对这部分电路,在这时消耗或吸收功率为:

$$p = u \cdot i = 10 \times 3 = 30\text{W}$$

如果在另外一时刻 $U=10\text{V}$, $I=-3\text{A}$, 则这时功率为

$$p = u \cdot i = 10 \times (-3) = -30\text{W}$$

说明这时电路是提供功率。

当然我们也可以将电压、电流的参考方向选择为非关联参考方向,这时如图1-8(b)所示。如果某时 $u=10\text{V}$, $i=-3\text{A}$, 那么这时功率应该是

$$p = -u \cdot i = -(10) \times (-3) = 30\text{W}$$

它是吸收功率。

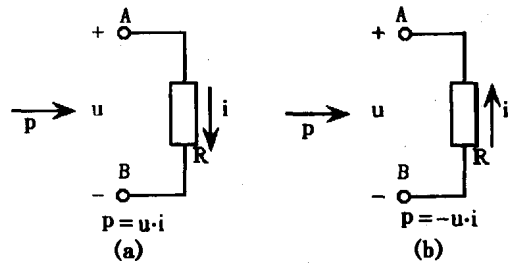


图 1-8

在这两个电路中,电压都是 A 点高 B 点低,电流真实方向都是由 A 流向 B,因此它们的功率应是相同的。注意在关联参考方向下用 $p = u \cdot i$, 在非关联参考方向下用 $p = -u \cdot i$ 。如图1-9所示的电路的两条支路构成的简单回路中,设定两支路中的电压参考方向极性和电流参考方向如图所示。其中,左边支路电压、电流参考方向为非关联参考方向,则 $p_1 = -u \cdot i$ 。右边支路电压、电流参考方向为关联参考方向,则 $p_2 = u \cdot i$ 。从这个电路中可以看出,只有一个 u , 一个 i , 无论 u, i 的值为何,总是一个功率为正,一个功率为负;即,一个吸收功率,另一个放出功率。除非电流为零,电压也为零,既不吸收功率也不放出功率。

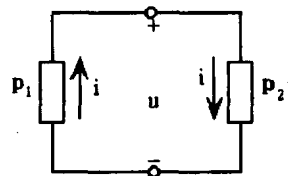


图 1-9

总结:电路吸收的功率在电压、电流关联参考方向下用下列公式:

$$p = u \cdot i$$

电路吸收的功率在电压、电流非关联参考方向下用下列公式:

$$p = -u \cdot i$$

然后用 u, i 的数值代入公式,若为正值则说明吸收或消耗功率,若为负值则说明放出或提供功率。

1.4 基尔霍夫定律

在讨论基尔霍夫定律之前我们先介绍一下有关的几个名词。

支路:我们把每一个二端元件看成一个支路,元件的电流称为支路电流,元件的电压称为支路电压。

节点:支路的连接点称为节点。在图 1-10 中有 5 个支路,其中支路 1、2、3、4 汇接的点 a 或 b 为一个节点。同理元件 1、2、3 及 5 汇接的点为节点,如图中的 c 点或 d 点。由于 a(c)点和 b(d)点是由导线连接的,因此 a(c)点与 b(d)点称为一个节点。

有时把元件 4 与元件 5 串联连接看做一条支路,这时 e 点不作为节点处理。

回路:电路中的任何一个闭合路径称为一个回路,其中支路 1、2 构成一个回路,支路 1 与支路 4、5 也构成一个回路。

网孔:闭合回路内不含另外支路的回路称为网孔,其中支路 1、2 构成一个网孔。而支路 1、4、5 构成的回路内部含有支路 2、3,因此它们不是网孔。

网络:一般把含有较多元件的电路称为网络。在电路理论中网络与电路没有明确的区别。

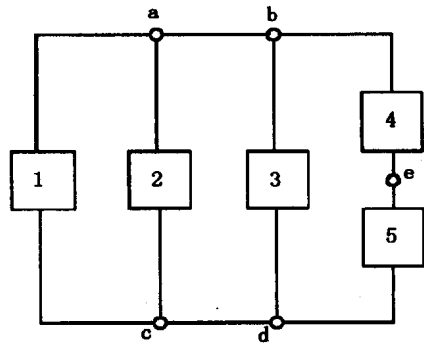


图 1-10

电路分析中的基本规律可以分为两方面,一是电路各部分应服从的规律,另一是各部分之间应服从的规律。对各部分应服从的规律有时称为元件约束,如电阻元件的伏安关系应遵守欧姆定律。各部分之间的约束称为拓扑约束,也就是基尔霍夫定律。

电路的整体约束又分为电流约束和电压约束,也就是基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。

基尔霍夫电流定律可以表述为:在任一电路中的任何一个节点,任一时刻,流出(或流进)该节点的电流的代数和为零,其数学表达式为:

$$\sum_{k=1}^K i_k(t) = 0$$

其中 $i_k(t)$ 为流出(或流进)节点的第 K 条支路的电流, k 为该节点处的支路数。“基尔霍夫电流定律”有时用英语缩写“KCL”表示。

例 1-1 电路中的某节点 A 如图 1-11 所示,其中各支路电流参考方向如图中箭头所示。根据基尔霍夫电流定律,如以流入节点 A 的电流为正,流出为负,则可以得到

$$i_1 + i_2 - i_3 = 0$$

如以流出节点 A 为正,流入该节点的电流为负,则可以表示为:

$$-i_1 - i_2 + i_3 = 0$$

以上两种方法,以流出节点为正或以流入节点为正的表达式没有本质区别。任一式乘“-1”即可得另一式。