



高职高专“十一五”规划教材

电工技术

● 高艳平 智 强 主编
耿长清 主审



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

电工技术

高艳平 智 强 主编
耿长清 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书系统介绍了直流电路的分析方法、正弦交流电路、三相正弦交流电路、非正弦周期性电流电路、动态电路的过渡过程、磁路与变压器、电动机、供电及安全用电、电工测量及相关实验。本书注重基本知识的掌握和基本技能的培养,内容以必需、够用为度。

本书可作为高职高专电气类、机电一体化及相关专业教材,也可作为职工培训、函授学历教育的教材,还可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/高艳平,智强主编. —北京:化学工业出版社,2008.6
高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-02774-0

I. 电… II. ①高… ②智… III. 电工技术-高等学校:技术学院-教材 IV. TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第102179号

责任编辑:张建茹
责任校对:陈静

文字编辑:高震
装帧设计:韩飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张16¼ 字数426千字 2008年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:29.00元

版权所有 违者必究

前言

本教材根据教育部颁发的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》，在多年教学研究和教材建设的基础上，针对高职高专学生特点而编写的。

本教材主要特点有：

1. 回避了繁杂、冗长的数学推导和计算过程，对于基本概念和基本理论（定理或定律）的阐述以定性解释为主，定量计算为辅，力求体现教学内容适宜、适度、层次分明，也力求体现应用、实用的原则。

2. 加强应用和实践内容。全书共编写了十三个实验，在实验项目的安排上回避了一些验证性的实验，力求突出学生基本技能训练，强化学生的创新意识，提高学生的综合能力，并为今后工作积累一定的工程经验。

3. 为培养知识面宽、适应性强的复合型人才的要求，考虑到不同学校、不同专业的实际需要，在章节内容的编排上弱化了专业界限。各学校不同专业可根据需要自行选取相关章节。

本教材包括直流电路的分析方法、正弦交流电路、三相正弦交流电路、非正弦周期性电路、动态电路的过渡过程、磁路与变压器、电动机、供电及安全用电、电工测量及实验部分。

本教材由高艳平、智强任主编，耿长清主审，高艳平负责全书的统稿工作。其中第一、二章由智强编写，第三、六章由高艳平编写，第四、七章由陈林编写，第五、九、十章由马春英编写，第八章由冯燕编写，实验部分由范予强编写。

限于编者水平，书中疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2008年4月

目 录

第一章 电路的基本概念和基本定律	1
第一节 电路和电路模型	1
第二节 电流、电压及其参考方向	2
第三节 电功率和电能	5
第四节 电阻元件和欧姆定律	7
第五节 电压源和电流源	8
第六节 电路的工作状态	11
第七节 基尔霍夫定律	13
本章小结	16
第二章 直流电路的分析方法	20
第一节 电阻的串联、并联和混联	20
第二节 电阻的星形与三角形连接及等效变换	25
第三节 两种电源模型的等效变换	28
第四节 支路电流法	30
第五节 叠加定理	32
第六节 戴维南定理	33
第七节 最大功率传输定理	35
第八节 受控源的基本概念及一般分析方法	37
本章小结	39
第三章 正弦交流电路	44
第一节 正弦交流电路的基本概念	44
第二节 正弦量的相量表示法	48
第三节 电阻元件伏安关系的相量形式	50
第四节 电感元件及其伏安关系的相量形式	52
第五节 电容元件及其伏安关系的相量形式	55
第六节 基尔霍夫定律的相量形式	59
第七节 RLC 串联电路	61
第八节 正弦交流电路分析	64
第九节 正弦交流电路中的功率	67
第十节 功率因数的提高	69
第十一节 谐振电路	71
第十二节 互感电路	76
本章小结	84
第四章 三相正弦交流电路	90
第一节 对称三相电源	90
第二节 三相电源的连接	92
第三节 三相负载的连接	95

第四节	三相电路的分析	97
第五节	三相电路的功率	103
本章小结		105
第五章	非正弦周期性电流电路	108
第一节	非正弦周期信号及其分解	108
第二节	非正弦周期量的有效值、平均值和功率	112
第三节	非正弦周期信号的谐波分析法	116
本章小结		120
第六章	动态电路的过渡过程	124
第一节	换路定律及初始值的确定	124
第二节	一阶电路的三要素法	128
第三节	微分电路和积分电路	132
本章小结		134
第七章	磁路与变压器	139
第一节	磁路的基本物理量及基本定律	139
第二节	铁磁物质的磁化	142
第三节	磁路及磁路定律	145
第四节	交流铁芯线圈	147
第五节	电磁铁	150
第六节	变压器	152
本章小结		157
第八章	电动机	160
第一节	三相异步电动机的结构	160
第二节	三相异步电动机的工作原理	162
第三节	三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	166
第四节	三相异步电动机的启动、反转、调速和制动	171
第五节	三相异步电动机的铭牌和技术数据	178
第六节	三相异步电动机的选择	180
第七节	单相异步电动机	181
第八节	三相同步电动机	183
第九节	直流电机	184
第十节	直流电机的励磁方式、铭牌数据和主要系列	186
本章小结		188
第九章	供电及安全用电	192
第一节	电力传输的概念	192
第二节	工厂供配电系统简介	194
第三节	安全用电常识	195
第四节	节约用电	200
本章小结		203
第十章	电工测量	204
第一节	电工仪表的分类	204
第二节	仪表的误差和准确度	204

第三节	仪表的结构和工作原理	207
第四节	电工测量技术	209
第五节	电阻的测量和万用表	213
本章小结		220
实验部分		222
实验一	直流电路的认识实验	222
实验二	直流电阻、电压、电流的测量	224
实验三	直流电路的故障检查	225
实验四	直流单、双臂电桥及兆欧表的使用	227
实验五	正弦交流电路的认识实验	231
实验六	示波器的使用	233
实验七	日光灯电路及功率因数的提高	235
实验八	单相电度表的认识实验	237
实验九	串联谐振	240
实验十	互感线圈同名端及互感系数 M 的测定	243
实验十一	三相星形负载电路	245
实验十二	一阶 RC 电路的研究	247
实验十三	三相异步电动机的认识实验	251
参考文献		254

第一章 电路的基本概念和基本定律

第一节 电路和电路模型

一、电路的组成和功能

电路是电流流通的路径，它是为了满足某种需要由一些电气设备和元器件按一定方式组合而成的。复杂的电路呈网状，又称电网络，简称网络。

图 1-1 是一个最简单的实际照明电路。开关闭合后，随着电流的通过，小灯泡发光，电池将化学能转换成电能。根据人们的需要，电路的形式多种多样，归结起来，电路是由电源、负载和中间环节三个基本部分组成。

(1) 电源——给电路提供电能的设备。其作用是将其他形式的能量转换为电能。如发电机、电池等。

(2) 负载——使用电能的设备。其作用是将电源供给的电能转变为其他形式的能量。如电灯、电炉、电动机等。

(3) 中间环节——将电源和负载连接成一个电流通路，其作用是传输、分配和控制电能。如连接导线、测量仪表、控制和保护设备等。

电路的功能，可概括为两个方面。其一，是进行能量的转换、传输与分配，习惯上称为“强电”电路，如电力系统中的输电电路。发电厂的发电机组将其他形式的能量转换成电能，通过变压器、输电线等输送给各用户，用户又把电能转换成机械能、光能、热能等。其二，是实现信息的传递与处理，习惯上称为“弱电”电路，如电话、收音机、电视机电路。接收天线把载有语言、音乐、图像信息的电磁波接收后，通过电路把输入信号（又称激励）变换或处理为人们所需要的输出信号（又称响应），送到扬声器或显示器，再还原为语言、音乐或图像。

二、电路模型

实际的电路元件种类繁多，特性、用途各异。为了便于分析，常常在一定条件下对实际器件加以理想化，只考虑其中起主要作用的电磁特性，而将次要特性忽略，用一些理想电路元件及其组合来表征实际器件的电磁性能。如，电阻器、灯泡、电炉等，它们主要是消耗电能的，可以用一个理想的“电阻元件”来表示；像干电池、发电机等，它们主要是供给能量的，就可以用一个理想“电压源”来表示；另外，还有的元件主要是储存磁场能量或储存电场能量的，就可以用一个理想“电感元件”或一个理想“电容元件”来表示等。表 1-1 中列出了六种常用的理想电路元件及其图形符号。

用理想元件及其组合近似地替代实际电路元件，便构成了与实际电路相对应的电路模

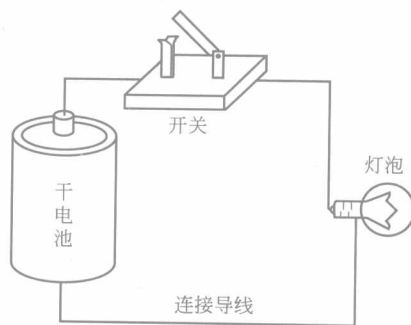
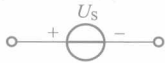


图 1-1 实际照明电路

表 1-1 六种常用的理想电路元件及其图形符号

元件名称	图 形 符 号	元件名称	图 形 符 号
电阻		电池	
电感		理想电压源	
电容		理想电流源	

型。用规定的电路符号表示各种理想元件而得到的电路模型图称为电路原理图，简称电路图。图 1-2 便是实际电路图 1-1 的电路模型。这样做的结果，不仅简化了电路的画法，更重要的是，由于电路中只包含为数不多、特性比较简单的理想元件，使电路的分析大大简化。今后如未加特殊说明，所研究的均是由理想元件构成的电路模型，电路中的连接导线均为无阻导线。



思考题

- ① 电路主要由哪几个部分组成？
- ② 电路在电力系统和电信系统中主要起什么作用？
- ③ 什么是电源、负载、激励和响应？
- ④ 在电路分析中采用理想元件和电路模型的意义何在？

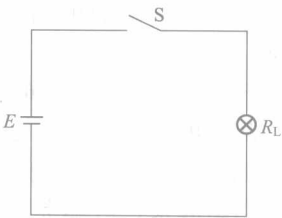


图 1-2 电路模型

第二节 电流、电压及其参考方向

一、电流及其参考方向

电荷的定向运动形成电流。金属导体内的电流是由带负电荷的自由电子，在电场力的作用下，逆电场方向作定向运动而形成的。电解液或被电离后的气体中的电流是由正、负离子，在电场力的作用下，分别向两个方向定向运动形成的。

电流的大小用电流强度来衡量，其数值等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流强度常简称为电流，用 i 表示，即

$$i = \frac{dq}{dt} \tag{1-1}$$

式中， q 为电荷量，单位是 C(库仑)； t 为时间，单位是 s(秒)； i 为电流，单位是 A(安培)。电流的常用单位还有：kA(千安)、mA(毫安)、 μ A(微安) 等。

电流不但有大小，而且有方向。规定：正电荷运动的方向为电流的实际方向。

大小和方向都不随时间改变的电流叫做恒定电流。通常所说的直流电流是指恒定电流，简称直流 (DC)。以后对大小和方向都不随时间变化的物理量均用大写字母来表示。如对直流电流，用大写字母 “ I ” 表示；对变化的电流，用小写字母 “ i ” 表示。对于直流，式 (1-1) 应写为

$$I = \frac{Q}{t} \tag{1-2}$$

在一些很简单的电路中，电流的实际方向是显而易见的。如图 1-2 所示电路，开关 S 闭

合后, 电流从电源的正极流出, 经负载 R_L 流向电源的负极。但在一些较复杂的电路中, 电流的实际方向往往很难预先判断。特别是在交流电路中电流的实际方向在不断地改变, 因此在这样的电路中很难标明电流的实际方向, 为此, 引入电流的“参考方向”来解决这一问题。当不知道电流的实际方向时, 先任意选取一个方向作为电流的方向并标注在电路图上。然后, 就按这个任意选取方向对电路进行分析计算。这个任意选取的方向就称为参考方向或正方向。

如图 1-3 所示, 图中箭头是任意指定的该段电路中电流的参考方向, 这个方向不一定是电流的实际方向。若经计算得出电流为正值, 说明所设参考方向与实际方向一致; 若经计算得出电流为负值, 说明所设参考方向与实际方向相反。

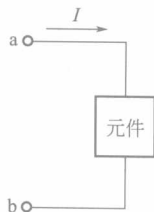


图 1-3 电流参考方向

例如, 对图 1-3 所选定的电流参考方向下, 若算得电流 $I=2\text{A}$, 可知这 2A 的电流实际方向是由 a 端流向 b 端; 如果算得电流 $I=-2\text{A}$, 说明电流的实际方向与所选参考方向相反, 那么这 2A 电流的实际方向是从 b 端流向 a 端。电流的参考方向除用箭头在电路图上表示外, 还可以用双下标表示, 如对某一电流, 用 i_{ab} 表示其参考方向由 a 指向 b。用 i_{ba} 表示其参考方向由 b 指向 a。显然, 两者相差一个负号, 即

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

二、电压及其参考方向

在物理学中已经知道, 电荷在电场力的作用下形成电流, 电场力对运动电荷做功, 运动电荷的电能将减少, 电能转化为其他形式的能量。为了衡量电场力做功的能力, 引入“电压”这个物理量。在电路中, 把电场力将单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功定义为 a、b 两点间的电压。用 u_{ab} 表示, 即

$$u_{ab} = \frac{dW_{ab}}{dq} \quad (1-3)$$

式中, dW_{ab} 是电场力将正电荷 dq 从 a 点移动到 b 点所做的功, 单位是 J (焦耳); u_{ab} 是电压, 单位是 V (伏特)。电压的常用单位还有: kV (千伏)、mV (毫伏)、 μV (微伏) 等。

电压不但有大小, 也有方向。规定: 电场力移动正电荷的方向为电压的实际方向。对于直流电压, 式(1-3) 应写为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-4)$$

在复杂的电路中, 电压的实际方向也是很难判定的, 这给电路的分析计算带来困难。因此, 和对待电流一样, 在所研究的电路两点之间任意选定一个方向作为电压的“参考方向”, 在假设的电压参考方向下, 若经计算得出电压为正值, 说明所设参考方向与实际方向一致; 若经计算得出电压为负值, 说明所设参考方向与实际方向相反。两点间电压的标法可以用箭头表示; 也可以用“+”、“-”极性表示; 还可以用双下标表示, 如 U_{ab} 表示电压的参考方向由 a 指向 b。

参考方向是一个极为重要的概念, 电路的分析计算大都是在参考方向下进行的, 使用时需要注意以下几点。

- ① 电流、电压的实际方向是客观存在的, 不会因为参考方向选取的不同而改变。
- ② 在对电路进行分析计算时, 对所提及的电流、电压必须首先选取其参考方向, 并标明在电路图上, 而后才能对电路进行分析计算。在未选取参考方向的情况下, 所得电流、电压的值为正或为负是没有意义的。

③ 电流、电压的参考方向可以任意假定，参考方向选取的不同，算出的电流、电压值相差一个负号，大小并不改变。

④ 参考方向一经选定，在电路的整个分析计算过程中就不能再有任何变动。

⑤ 虽说电流、电压的参考方向可以任意选定，但为了分析方便，常将同一元件上的电流和电压的参考方向选成一致，称为关联参考方向。反之，为非关联参考方向。如图 1-4 所示。

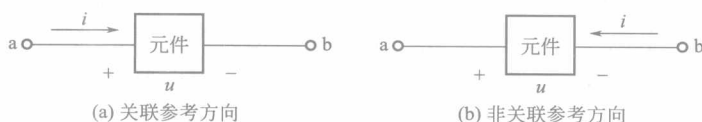


图 1-4 关联参考方向与非关联参考方向

三、电位

在分析电子电路时，常用到电位这一物理量。在电路中任选一点为参考点，常用符号“ $\perp$ ”表示，则某点的电位就是该点到参考点的电压。电位用字母 V 表示，单位是 V （伏特）。

在电路中指定某点为参考点，如 o 点，则 a 点的电位

$$V_a = U_{ao}$$

而参考点本身的电位，则是参考点到参考点的电压，显然， $V_o = U_{oo} = 0$ 。所以参考点又称零电位点。

如果已知 a 、 b 两点的电位分别为 V_a 、 V_b ，则此两点间的电压

$$U_{ab} = U_{ao} + U_{ob} = U_{ao} - U_{bo} = V_a - V_b$$

可见，两点间的电压就等于这两点的电位的差，所以，电压又叫电位差。

在电路中不指明参考点而谈某点的电位是没有意义的。至于选哪点为参考点，则要以分析问题方便为依据。在电工技术中，通常以与大地连接的点作为参考点；在电子线路中，通常以与公共的接机壳点作为参考点。

需要指出：电路中的参考点可以任意选取，但同一电路中只能选一个点作为参考点，参考点一经选定，电路中其他各点的电位也就确定了。当所选参考点变动时，电路中其他各点的电位将随之而变，但任意两点间的电压则是不变的。

【例 1-1】 图 1-5 电路中，已知 $U_2 = 5V$ ， $U_3 = -3V$ ， $U_4 = 4V$ ，试分别求：①以 d 点为参考点时其他各点的电位；②以 a 点为参考点时其他各点的电位；并求两种情况下的 U_{ac} 。

解 ① $V_d = 0$ 时

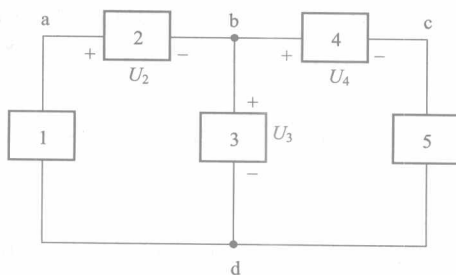


图 1-5 例 1-1 用图

$$V_b = U_{bd} = U_3 = -3V$$

$$V_a = U_{ad} = U_{ab} + U_{bd} = U_2 + U_3 = 5 + (-3) = 2V$$

$$V_c = U_{cd} = U_{cb} + U_{bd} = -U_{bc} + U_{bd} = -U_4 + U_3 = -4 + (-3) = -7V$$

$$U_{ac} = V_a - V_c = 2 - (-7) = 9V$$

② $V_a = 0$ 时

$$V_b = U_{ba} = -U_{ab} = -U_2 = -5V$$

$$V_c = U_{ca} = U_{cb} + U_{ba} = -U_4 - U_2 = -4 - 5$$

$$= -9\text{V}$$

$$V_d = U_{da} = U_{db} + U_{ba} = -U_3 - U_2 = -(-3) - 5 = -2\text{V}$$

$$U_{ac} = V_a - V_c = 0 - (-9) = 9\text{V}$$



思考题

- ① 什么是参考方向？什么是关联参考方向？参考方向与实际方向是什么样的关系？
- ② 为什么必须把参考方向标明在电路图上？
- ③ 在某电路中，若选 d 点为参考点，a 点的电位为 6V。若改选 a 点为参考点，d 点的电位为多少？电路中其他各点的电位又将怎样变化？

第三节 电功率和电能

一、电功率

电功率是电路分析中常用到的一个物理量。单位时间内电路吸收或发出电能的速率称为该电路的电功率，简称功率，用 p 或 P 表示。功率的单位是 W(瓦特)，简称瓦，常用的单位还有 kW(千瓦)，mW(毫瓦)。

任选一段电路，如图 1-6 所示。电压和电流取关联参考方向时，电场力做功，电路吸收功率。其值为

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

在直流情况下

$$P = UI \quad (1-6)$$

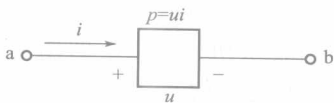


图 1-6 u 、 i 为关联参考方向下的功率

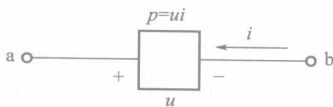


图 1-7 u 、 i 为非关联参考方向下的功率

当电压和电流取非关联参考方向时(如图 1-7 所示)，非电场力做功，电路发出功率。为了与吸收功率区分开，计算公式为

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

在直流情况下

$$P = -UI \quad (1-8)$$

总之，在计算功率时，首先应根据电压和电流的参考方向是否关联，选用相应的计算公式，再代入相应的电压、电流值， u 、 i 可以为正，也可以为负，但无论 u 、 i 的正、负如何，无论选用哪一个计算公式，若算得电路的功率为正值，则表示电路在吸收功率；若算得电路的功率为负值，则表示电路在发出功率。

【例 1-2】 试求图 1-8 中各元件吸收或发出的功率。

解 ① 图 1-8(a) 电压和电流取关联参考方向，应选用式(1-6)， $P = 6 \times 2 = 12\text{W}$ ($P > 0$ ，元件吸收功率 12W)；

② 图 1-8(b) 电压和电流取非关联参考方向，应选用式(1-8)， $P = -6 \times 2 = -12\text{W}$ ($P < 0$ ，元件发出功率 12W)；

③ 图 1-8(c) 电压和电流取关联参考方向，应选用式(1-6)， $P = (-6) \times 2 = -12\text{W}$ ($P < 0$ ，元件发出功率 12W)；

④ 图 1-8(d) 电压和电流取非关联参考方向, 应选用式(1-8), $P = -6 \times (-2) = 12\text{W}$ ($P > 0$, 元件吸收功率 12W)。

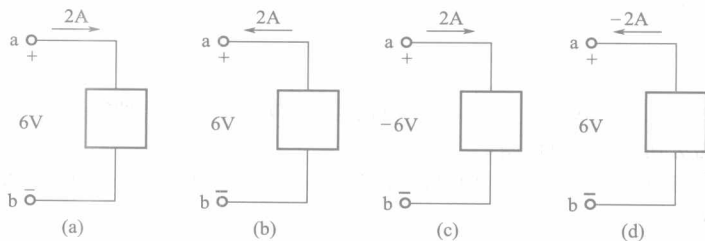


图 1-8 例 1-2 用图

二、电能

在电源内部, 外力不断地克服电场力对正电荷做功, 正电荷在电源内部获得了能量, 把非电能转换成电能。在外电路中, 正电荷在电场力的作用下, 不断地通过负载放出能量, 把电能转换成为其他形式的能量。由此可见, 在电路中, 电荷只是一种转换和传输能量的媒介物, 电荷本身并不产生或消耗任何能量。

在 t_0 到 t_1 的一段时间内, 电路消耗的电能

$$w = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t u i dt \quad (1-9)$$

在直流电路中, 电压、电流和功率均为恒定值, 则

$$W = P(t - t_0) = UI(t - t_0) \quad (1-10)$$

当选择 $t_0 = 0$ 时, 式(1-10) 为

$$W = Pt = UIt \quad (1-11)$$

在 SI 单位制 (国际单位制), 电能的单位是 J (焦耳), 它表示功率为 1W 的用电设备在 1s 时间内所消耗的电能。实际应用中, 供电部门是按度来收取电费的, 功率为 1kW 的用电器工作 1h, 所消耗的电能即为 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ (1 千瓦小时), 或称 1 度电, 所以

$$1 \text{ 度电} = 1\text{kW} \cdot \text{h} = 1000\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

【例 1-3】 教室里有 40W 日光灯 7 只, 每只耗电 48W (包括灯管和镇流器的耗电), 每天用电 4 小时, 每月按 30 天计算, 每度电收费 0.50 元, 问一个月的电费为多少?

解 一个月共用电

$$W = Pt = 48 \times 7 \times 10^{-3} \times 4 \times 30 = 40.32\text{kW} \cdot \text{h}$$

应付电费

$$40.32 \times 0.50 = 20.16 \text{ 元}$$



思考题

- ① 当电压和电流的参考方向选择为关联或非关联参考方向时, 需选用不同的功率计算公式, 为什么功率计算结果为正时均认为是吸收功率? 功率计算结果为负时均认为是发出功率?
- ② 发电厂为了传输一定的功率, 为什么采用高压输电?
- ③ 试求图 1-9 电路中各元件吸收或发出的功率。

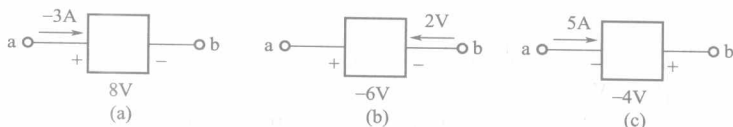


图 1-9 思考题 3 用图

第四节 电阻元件和欧姆定律

一、电阻元件

电阻元件是对电流呈现阻力、消耗电能的一种理想元件。它是电路的基本元件之一。用字母 R 表示。电阻的单位是 Ω (欧姆), 常用的单位还有 $k\Omega$ (千欧), $M\Omega$ (兆欧)。

电阻元件的突出作用是耗能。当电流通过电阻元件时, 元件两端沿电流的方向就会有电压产生, 电场力就会对移动的正电荷做功, 将电能转换成热能、光能、机械能等。因此, 电阻元件又称为耗能元件。

如果电阻值的大小仅取决于材料本身的性质, 而与加在它两端的电压和通过它的电流无关, 则这样的电阻元件称为线性电阻元件, 否则称为非线性电阻元件。线性电阻元件的图形符号如图 1-10 所示。实际上所有电阻器、电炉、白炽灯等, 或多或少都是非线性的, 但有些元件, 特别是像金属膜电阻、线绕电阻器等, 在一定的工作范围内, 它们的阻值变化很小, 可以近似地看做是线性电阻元件。今后所说的电阻元件, 如无特殊说明, 均是指线性电阻元件, 并简称为电阻。

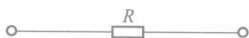


图 1-10 线性电阻元件的图形符号

电阻的倒数称为电导, 用 G 表示, 即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-12)$$

电导的单位是 S(西门子)。

二、欧姆定律

欧姆定律是反映线性电阻的电流与该电阻两端电压之间关系的, 是电路分析中最重要的基本定律之一。其内容是: 通过线性电阻 R 的电流 i 与作用其两端的电压 u 成正比。

当线性电阻上的电压与电流取关联参考方向时, 如图 1-11(a) 所示, 欧姆定律为

$$u = Ri \quad (1-13)$$

直流时

$$U = RI \quad (1-14)$$



图 1-11 一段电阻电路

由于电阻元件上电压和电流的实际方向总是一致的, 当线性电阻上的电压与电流取非关联参考方向时, 如图 1-11(b) 所示, u 和 i 便总是异号, 因此, 欧姆定律应为

$$u = -Ri \quad (1-15)$$

直流时

$$U = -RI \quad (1-16)$$

三、电阻元件的伏安关系

在 $u-i$ 坐标平面上画出电阻元件的电压与电流的关系曲线称为该元件的伏安特性曲线,

简称伏安特性。

线性电阻的电阻值是一个常量，在关联参考方向下，其伏安特性是一条通过原点的直线，如图 1-12(a) 所示。

非线性电阻的阻值不是一个常量，随其电压、电流的变化而变化，也不遵循欧姆定律。因此，其伏安特性也不再是一条直线，而是一条曲线。图 1-12(b) 所示为某晶体二极管在关联参考方向下的伏安特性曲线。

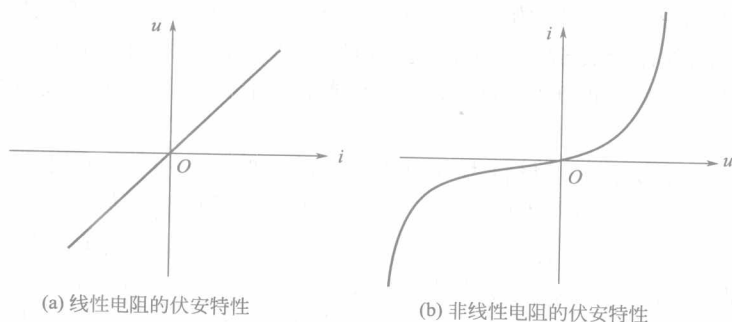


图 1-12 线性和非线性电阻的伏安特性

四、电阻元件的功率

当电阻元件的电压、电流为关联参考方向时如图 1-13 所示，由式(1-5)、式(1-13) 可得电阻元件的功率为

交流时
$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1-17)$$

直流时
$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1-18)$$

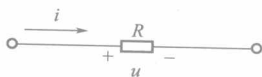


图 1-13 关联参考方向下的电阻元件

由式(1-17)、式(1-18) 可知，电阻元件吸收的功率恒为正值，而与电压、电流所取参考方向无关。这是因为电阻元件是耗能元件，只要有电流通过它，无论电流的方向如何，它都要消耗功率。



思考题

- ① 欧姆定律的内容是什么？说明它的应用范围。
- ② 在公式 $P = RI^2$ 中， R 越大， P 越大；而在公式 $P = \frac{U^2}{R}$ 中， R 越大， P 越小。怎样解释这一矛盾？

第五节 电压源和电流源

一、电压源

(一) 理想电压源

理想电压源是一种从实际电源中抽象出来的理想电路元件。它两端的电压是一个定值

U_S 或是一定的时间函数 u_S ，与通过它的电流无关；流过它的电流由它及与之相连的外电路共同决定，或者完全由外电路决定。理想电压源简称为电压源，图形符号如图 1-14 所示。其中，图 1-14(a) 表示一般电压源的模型；图 1-14(b) 表示直流电压源的模型； u_S 、 U_S 为电压源的电压，“+”、“-”号表示电压源的参考极性。图 1-14(c) 为电池的符号， E 为电池的电动势，长线段代表正极，短线段代表负极。需要指出的是：电动势的参考方向规定为由电压源的负极指向正极。

图 1-15 是直流电压源的伏安特性曲线，它是一条平行于电流轴的直线，表明其端电压与电流的方向和大小无关。根据所连外电路的不同，电流的实际方向既可以从它的负极流向正极，也可以从正极流向负极；前者是在发出功率，起电源的作用，而后者则是在吸收功率，如给蓄电池充电。理论上讲，电流的大小可以是零（外电路断开）和无穷大（外电路短路）之间的任意值。但是，无穷大的电流将造成电源的烧毁。因此，理想电压源决不允许短路。

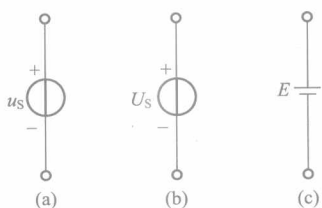


图 1-14 理想电压源模型

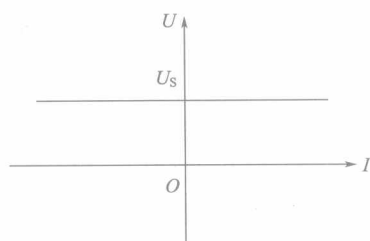


图 1-15 直流电压源的伏安特性

当电压源的电压 $U_S = 0$ 时，其伏安特性与电流轴重合。因而，可以认为， $U_S = 0$ 的电压源在电路中的作用相当于一根短路线。

有时也将几个电压源串联使用，其串联方式和它们的等效电路如图 1-16 和图 1-17 所示。这里所说的“等效”，仅指二者对外电路来说伏安特性完全相同，但其内部组成和结构并不一定相同。

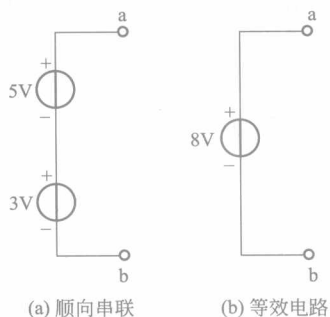


图 1-16 两个电压源顺向串联

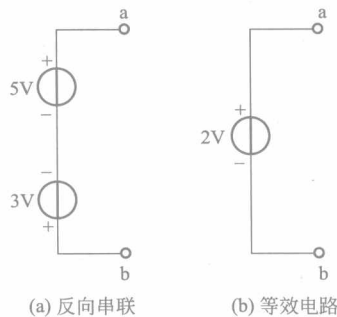


图 1-17 两个电压源反向串联

(二) 实际电压源

在实际中，理想的电压源是不存在的，实际电压源内部或多或少总是存在一定的电阻，称之为内阻。当接上负载时，电源中就有电流通过，在电源内阻上就会产生电压降 IR_S ，则电源两端的电压必然下降，电流越大，电源端电压下降越多。由此可见，实际电压源不具有端电压为定值的特性。其电路模型可以用一个理想电压源与一个电阻的串联组合来表示，如图 1-18(a) 所示。此时实际直流电压源的端电压为

$$U_{ab} = U_S - IR_S \quad (1-19)$$

由式(1-19)可画出实际直流电压源的伏安特性曲线,如图1-18(b)所示。同时还可以得出,实际电压源的开路电压等于 U_S ,短路电流等于 $\frac{U_S}{R_S}$ 。实际电压源的内阻越小,其特性就越接近于理想电压源。工程上所使用的稳压电源及大型电网的输出电压基本不随外电路变化而变化,可近似地看成是理想电压源。

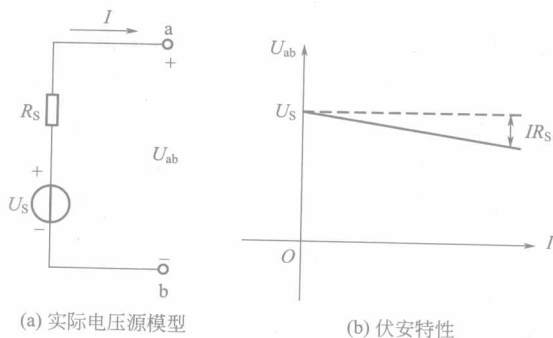


图 1-18 实际直流电压源模型及其伏安特性曲线

二、电流源

1. 理想电流源

理想电流源也是一种从实际电源中抽象出来的理想电路元件。它输出的电流是一个定值 I_S 或是一定的时间函数 i_S ,与它两端的电压无关;它两端的电压由它及与之相连的外电路共同决定,或者完全由外电路决定。理想电流源简称电流源,图形符号如图1-19所示。其中,图1-19(a)表示一般电流源的模型;图1-19(b)表示直流电流源的模型; i_S 、 I_S 为电流源的输出电流,箭头表示电流的参考方向。

图1-20是直流电流源的伏安特性曲线,它是一条平行于电压轴的直线,表明其输出电流与电压的方向和大小无关。根据所连外电路的不同,电流源端电压的实际方向既可与其输出电流的实际方向相反,也可相同;前者是在发出功率,后者是在吸收功率。理论上讲,电流源端电压的大小可以是零(外电路短路)和无穷大(外电路开路)之间的任意值。但是,无穷大的电压将造成电流源被击毁。因此,理想电流源决不允许开路。

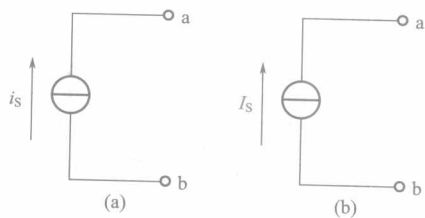


图 1-19 理想电流源模型

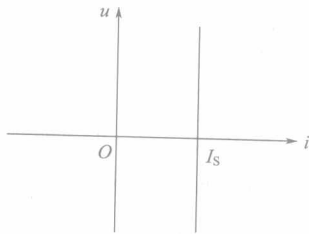


图 1-20 直流电流源的伏安特性

当电流源的电流 $I_S = 0$ 时,无论其端电压如何,其所在支路的电流恒为零,伏安特性与电压轴重合。因而,可以认为, $I_S = 0$ 的电流源在电路中的作用相当于一段开路电路。

有时也将几个电流源并联使用,其并联方式和等效电路如图1-21和图1-22所示。

2. 实际电流源

理想的电流源事实上也是不存在的,实际电流源内部也存在一定的电阻,称之为内阻。