

全国中等卫生学校教材

电 工 学

上 册

(供放射技士专业用)

方汉生 主编

人 民 卫 生 出 版 社

前 言

为了适应中等卫生学校放射技士专业发展的需要,在卫生部领导和支持下,由山东省卫生厅于1987年10月组织讨论和制定了该专业有关课程的教学大纲。《电工学》教材是根据《电工学教学大纲(试行草案)》编写的,分为电工基础(上册)和电子技术基础(下册)两册。

电工基础(上册)的内容包括电路原理、机电能量转换、设备控制等三部分,并结合放射技士专业的特点和发展的需要。对基本概念和基本规律的叙述比较详细,并力求深入浅出,而对数学的配合较为困难,计算分析要求不高。因专业对象要求有所不同,凡带有*号的内容为加深加宽内容,可供选用。

本册教材由南京第二卫生学校方汉生主编(并编写第一、三、四章),参加编写的有绍兴卫生学校周昌文(第六、七、九、十一章部分内容)、北京卫生学校王淑和(第五、八章部分内容)、济南卫生学校李伟(第二、十章部分内容)。由上海医疗器械专科学校徐宜主审。此外,上海医疗器械专科学校唐树森、胡永祥、南京机电学校王忠庆、南京邮电学校金宏龙和南京第二卫生学校朱关麟等也参加了审阅工作,提出了宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平和经验的限制,书中难免存在许多不妥甚至错误之处,恳切希望使用本教材的师生和读者提出批评指正,以便今后修正。

编 者

编写说明

随着卫生事业的发展,放射技术在疾病的诊断、防治中广泛应用。为了提高放射技术水平、培养更多、更好的放射技术人才,山东省卫生厅组织编写了一套供放射技士专业用的教材,由卫生部推荐全国使用。在卫生部科技教育司和人民卫生出版社的指导下,组织省内外有关专家、教师进行了教材编审工作。

这套教材共九种,包括供放射技士专业使用的《X线摄影技术》、《X线摄影化学与暗室技术》、《医用X线机结构与维修》、《X线诊断基础》、《电工学》上、下册(上册为电工基础,下册为电子技术)和供放射技士、放射医士两个专业使用的《X线物理与防护》、《外科学与妇产科学》、《内科学与儿科学》、《五官科学》。

本套教材按四年制放射技士专业总学时数3131,其中电工学304学时(讲授228/实习76)、X线物理与防护76(52/24)、内科学与儿科学133(100/33)、外科学与妇产科学133(100/33)、五官科学57(40/17)、X线摄影化学与暗室技术56(36/20)、医用X线机结构与维修250(166/84)、X线摄影技术268(168/100)、X线诊断基础175(125/50)教学时数计划编写。各校可根据实际情况选用。

本套教材突出了放射专业的特点,坚持理论联系实际,加强技能培养的原则;注意到初中毕业生的特点和接受能力,尽量使深、广度适宜。对各门教材内容进行了合理调整,既保持了各门课课程之间的相互衔接,又避免了遗漏、脱节和过多的重复,予以配套使用。

在编写过程中,得到有关省、市卫生厅(局)和学校领导、教师的支持和帮助,谨此表示诚挚的谢意。由于我们经验不足、水平有限,本套教材难免出现误差,希望广大读者提出宝贵意见。

山东省卫生厅

目 录

第一章 电路的基本概念和基本定律	1
第一节 电路和电路图	1
一、电路的组成和作用	1
二、理想电路元件和电路图	2
三、支路、节点和回路	2
第二节 电路的基本物理量	3
一、电流	3
二、电位、电压和电动势	3
三、电流和电压的参考方向	4
四、电能和功率	5
第三节 电阻元件、欧姆定律	6
一、电阻元件	6
二、欧姆定律	8
三、电路的工作状态	9
四、负载获得最大功率的条件	9
五、电气设备的额定值	10
第四节 电压源和电流源	11
一、电压源	11
二、电流源	12
第五节 基尔霍夫定律	13
一、基尔霍夫电流定律	13
二、基尔霍夫电压定律	14
第六节 电路中各点电位的计算	16
小结	17
习题一	18
第二章 电路的基本分析方法	21
第一节 电阻的串联和并联	21
一、电阻的串联	21
二、电阻的并联	23
三、电阻的混联	25
* 第二节 电阻的星形与三角形联接的等值变换	26
一、星形 $\rightarrow$ 三角形等值变换	27
二、三角形 $\rightarrow$ 星形等值变换	28
第三节 电压源与电流源的等效变换	29
一、电压源与电流源的等效变换	29
二、有源电路的化简	31
第四节 支路电流法	33

*第五节 网孔电流法	34
*第六节 节点电位法	38
第七节 迭加原理	41
第八节 戴维南定理	43
*第九节 受控源	47
小结	48
习题二	49
第三章 电容元件和电感元件	54
第一节 电容元件	54
一、电容	54
二、电容器	55
三、电容器的串联和并联	56
四、电容电压和电流的关系	58
五、电容的储能	59
第二节 电感元件	59
一、电感	59
二、电感线圈的感应电动势	60
三、电感电流和电压的关系	61
四、电感的储能	62
第三节 互感元件	62
一、互感现象	62
二、互感电动势	63
三、同名端	64
四、互感线圈的串联	65
小结	66
习题三	66
第四章 一阶电路的过渡过程	68
第一节 过渡过程的产生和换路定律	68
一、过渡过程的产生	68
二、换路定律	69
第二节 RC 电路的过渡过程	71
一、 RC 电路的充电过程	71
二、时间常数	72
三、 RC 电路的放电过程	75
第三节 RL 电路的过渡过程	76
一、 RL 电路接通恒定电压	76
二、 RL 电路的短接	78
*第四节 一阶电路的三要素法	79
一、零状态响应、零输入响应和全响应	79
二、三要素法	80
小结	84

习题四	84
第五章 正弦交流电路	87
第一节 正弦交流电的基本概念	87
一、周期电压和电流	87
二、正弦交流电及其三要素	88
三、相位差	90
四、交流电的有效值	92
第二节 正弦量的相量表示法	93
一、正弦量的相量图表示法	94
二、正弦量的复数表示法	97
第三节 单一元件的交流电路	101
一、纯电阻电路	101
二、纯电感电路	103
三、纯电容电路	105
第四节 电阻电感电容的串联电路	107
一、电压与电流的关系	107
二、复阻抗	109
第五节 交流电路的功率	112
一、瞬时功率	112
二、有功功率和无功功率	113
三、视在功率	113
*四、复功率	114
第六节 并联交流电路和功率因数的提高	115
一、并联交流电路	115
二、功率因数的提高	117
第七节 谐振电路	118
一、串联谐振	118
二、并联谐振	122
*第八节 交流复杂电路的计算简介	124
*第九节 非正弦周期性电压或电流	127
一、非正弦周期量的产生	127
二、非正弦周期量的分解	128
小结	130
习题五	132
第六章 三相交流电路	136
第一节 三相电源	136
一、三相交流电动势	136
二、三相电源的星形联接	137
第二节 三相负载的联接	138
一、三相负载的星形联接	138
二、三相负载的三角形联接	141

第三节 三相电路的功率及其测量	142
一、三相电路的功率	142
二、三相功率的测量	144
小结	145
习题六	146
第七章 磁路和铁芯线圈	147
第一节 磁场的基本物理量	147
一、磁感应强度	147
二、磁通	147
三、磁导率	147
四、磁场强度	148
第二节 铁磁物质的磁化	149
一、磁化的本质	149
二、起始磁化曲线	149
三、磁滞回线	150
四、基本磁化曲线	151
五、常用铁磁材料	152
第三节 磁路	153
一、磁路的基本概念	153
二、磁路的欧姆定律	154
第四节 交流铁芯线圈	155
一、电压与电流、磁通的关系	156
二、铁芯线圈的电流波形畸变	157
三、铁芯线圈电路的功率损耗	158
四、交流铁芯线圈的等效电路	158
第五节 电磁铁	159
一、直流电磁铁	159
二、交流电磁铁	160
小结	161
习题七	162
第八章 变压器	163
第一节 变压器的基本结构和铭牌	163
一、基本结构	163
二、铭牌	165
第二节 变压器的工作原理	166
一、变压器的空载运行和电压变换	166
二、变压器的负载运行和电流变换	167
三、阻抗变换作用	169
*第三节 变压器的特性	170
一、变压器的外特性	170
二、功率损耗和效率	171

第四节 几种常用的变压器	171
一、三相变压器	171
二、自耦变压器	172
三、仪用互感器	174
小结	175
习题八	176
第九章 电动机	177
第一节 三相异步电动机的结构和工作原理	177
一、基本结构	177
二、旋转磁场	179
三、工作原理	182
*第二节 异步电动机的转矩和机械特性	183
一、电磁转矩	183
二、机械特性	185
第三节 三相异步电动机的起动和反转	187
一、三相异步电动机的起动	187
二、三相异步电动机的反转	188
第四节 单相异步电动机	188
一、电容分相式异步电动机	190
二、罩极式异步电动机	191
第五节 控制微电机	192
一、交流伺服电动机	192
二、直流伺服电动机	193
三、微型同步电动机	195
小结	195
习题九	196
第十章 常用低压控制电器	197
第一节 常用手动电器和熔断器	197
一、闸刀开关	197
二、组合开关	197
三、按钮	198
四、微动开关	198
五、琴键开关	199
六、熔断器	199
第二节 自动控制电器	200
一、交流接触器	200
二、继电器	202
三、行程开关	206
四、自动空气断路器	206
第三节 继电接触控制电路举例	207
一、控制电路的图形符号和文字符号	207

二、电动机的基本控制电路	210
第四节 安全用电	215
一、触电	215
二、电气设备的接地和接零	216
小结	218
习题十	218
第十一章 电工仪表	220
第一节 概述	220
一、电工仪表的分类	220
二、电工仪表的误差及准确度	220
三、仪表表面符号及其意义	222
第二节 磁电系仪表	223
一、结构	223
二、工作原理	224
第三节 电磁系仪表	225
一、结构	225
二、工作原理	225
第四节 电动系仪表	226
一、结构	226
二、工作原理	226
三、电动系电表的构成	227
第五节 万用电表	229
一、结构	229
二、原理	229
三、MF 9型万用电表线路分析	232
第六节 兆欧表	235
一、结构	235
二、工作原理	235
小结	237
习题十一	237
电工学(上册) 实验指导	239
实验一 电阻伏安特性的测量	241
实验二 负载获得最大功率的条件	242
实验三 电源外特性的测定	244
实验四 直流电路的电位测量	245
实验五 迭加原理的验证	247
实验六 戴维南定理的验证	248
实验七 三种常用电子仪器的使用	249
实验八 RC 电路的充放电过程	259
实验九 用二踪示波器观测相位差	261

实验十 交流电路的参数测定	264
实验十一 RLC 串联电路的谐振	266
实验十二 日光灯的安装和功率因数的提高	268
实验十三 三相负载的联接	270
实验十四 三相电路功率的测量	272
实验十五 用示波器观测磁滞回线	274
实验十六 变压器的空载实验	275
实验十七 低压控制电器的使用	277
实验十八 三相异步电动机的使用	279
习题答案	280
电 工 学(上册)教学大纲(试行草案)	285

第一章 电路的基本概念和基本定律

电路的应用十分广泛。本章讨论电路的组成、作用和建立由理想电路元件构成的电路模型的一般概念；描述电路的基本物理量及其参考方向；着重介绍一般电路所遵循的基本规律：一是组成电路的各个元件（如直流电路中，有电阻元件、恒压源和恒流源元件）的伏安特性；二是电路中各元件之间必须服从的关系——基尔霍夫电流定律和电压定律。

本章虽然讨论的是直流电路，但只要把这些理论和方法稍加扩展，便可用来分析交流电路。因此，本章是进一步学习电机、电器以及电子技术的共同基础。

第一节 电路和电路图

一、电路的组成和作用

在日常生活、生产和科研中，广泛应用各种电气元件和设备，如电灯、电炉、电动机等。为了实现某种功能，常将若干个电气元件按一定的方式联接成一体，称为电路。含元件较多的电路形状象网一样，有时将电路称为网络。

尽管实际应用的电路种类繁多，结构形式也各不相同，但电路的作用不外乎两个方面：一是进行电能的输送和转换，如电力系统的照明电路和动力电路；二是应用电路对电信号进行变换和处理，使输入信号变成需要的输出信号，如电子仪器中的放大电路，就是将输入较弱的信号放大为较强的信号输出。

电源、负载和联接导线是组成一个完整电路的三个最基本部分，如图 1-1(a) 所示。电源是能供给电能或提供电信号的设备或元件，如发电机、电池、信号发生器等；负载是取用或转换电能的设备或元件，如电灯、电炉、电动机等，将电能分别转换为光能、热能或机械能等；电源与负载之间的联接导线是用来沟通电路，达到输送和分配电能的作用，是电路的中间环节。

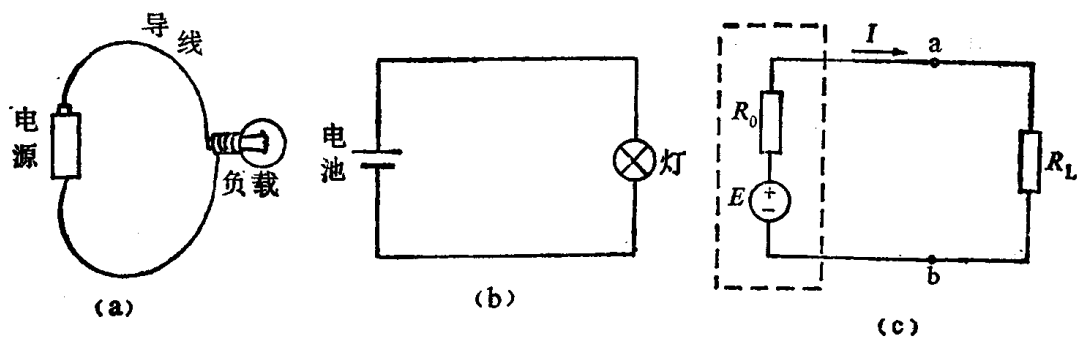


图 1-1 最简单的实际电路及其电路图

此外，电路常常根据需要而增添一些辅助元件或设备，如开闭电路的开关等控制电器和保障安全用电的熔断器等保护电器等。

对于电源来说，由导线、开关和负载等组成的电路称为外电路，而电源内部的电路

则称为内电路。

二、理想电路元件和电路图

实际电路部件种类繁多，而每一电路部件在电路中往往同时表现出几种电磁性能，如果全部加以考虑，就会给电路分析带来困难，实际上也没有这个必要。通常在分析每一电路部件时，都是对它的主要电磁性能加以考虑，而忽略次要的性能。因此，在一定的条件下，对电路部件加以近似化，用一个足以表征它的主要电磁性能的理想化元件组成的模型来表示。

每一理想化元件都具有某一确定的特性。常见的理想化元件中，具有消耗电能特性的电阻元件；具有储存电场能量特性的电容元件；具有储存磁场能量特性的电感元件；不消耗电能而输出恒定电压的电源称为理想电压源（或称恒压源）；输出恒定电流的电源（称为理想电流源或称恒流源），等等。此外，短而粗的联接导线，因电阻极小，可以忽略不计所消耗的电能，可以看成是理想导线。理想电路元件都有相应的图形符号表示，表 1-1 为常见电路元件的图形符号。表征电路元件特性的量称为电路的参数。

表 1-1 常见电路元件的图形符号

元件名称	电路符号	元件名称	电路符号	元件名称	电路符号
电 池		交流电源		电容元件	
灯 泡		电阻元件		电感元件	
恒压源		可变电阻		开 关	
恒流源		电 位 器		熔断器	

由理想电路元件和理想导线构成的图形称为电路图。例如图 1-1(a) 的实际电路中，灯泡通电时消耗电能，具有电阻特性外，同时还有磁场产生，兼有电感特性。但由于它的电感量极小，可以忽略不计，因此可以将灯泡看成是一个理想电阻元件；干电池除输出电压外，内部也要消耗电能，故兼有电阻特性，因此，把干电池看成由一个理想电压源和一个内电阻串联的电路模型来表示；联接导线很短，电阻可以略而不计，可看作理想导线。于是，图 1-1(a) 的实际电路可以用图 1-1(c) 的电路图来模拟。电路图是电路理论研究的对象，是依图中所给的元件及其参数进行分析和计算的。

三、支路、节点和回路

电路按结构可分为无分支电路（图 1-1(c)）和有分支电路（图 1-2）两种。电路中通过同一电流的每条分支称为支路。在图 1-2 中，有 $abcd$ 、 ad 、 $afed$ 三条支路，其中 ad 为无源支路，其余两条为有源支路。

三条或三条以上支路的联接点称为节点。在图 1-2 中，有 a 、 d 两个节点。因此，支路是跨接在两个节点之间的电路。

电路中任一闭合的路径称为回路。在图 1-2 中，有 $abcda$ 、 $adefa$ 、 $abcdefa$ 三个回路。通常把内部不含支路的回路称为网孔。如回路 $abcda$ 和 $adefa$ 是网孔，而 $abcdefa$

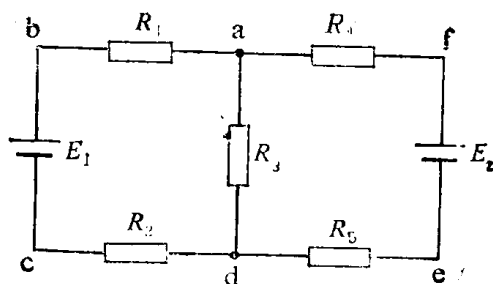


图 1-2 有分支电路

回路不是网孔。

第二节 电路的基本物理量

一、电 流

电流是电荷的定向移动。习惯上把正电荷移动方向规定为电流的实际方向。外电路电流方向则由电源正极经负载流向负极，内电路电流方向则由电源负极流向正极。

电流的大小用电流强度表示。设在极短时间 dt 内流过导体横截面的电量为 dq ，则电流强度为

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

式中 i 表示随时间变化的电流强度。

大小和方向都不随时间变化的电流称为稳恒电流，简称直流电流。其电流强度用大写字母 I 表示，则式 (1-1) 可写成

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

电流强度的单位是安〔培〕，符号为 A。对于较小的电流常用毫安 ($1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$) 或微安 ($1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$) 做单位。电量 Q 的单位为库〔仑〕，符号为 C。由式 $Q = It$ 可知，1 库 = 1 安秒。

电流的大小和方向对电路的工作状态都有关系，在测量或计算时，应同时给出电流的大小和方向。

二、电位、电压和电动势

正电荷在电路某点上所具有的能量，称为正电荷在该点的电位能（即电势能），符号为 W 。电位能与电荷量的比值称为该点的电位（即电势），符号为 φ ，即

$$\varphi = \frac{W}{q} \quad (1-3)$$

电位的单位是伏〔特〕，符号用 V

在电路图上可以指定任一点（只能有一点）的电位为零，称为电位参考点。设备中常以接机壳的点作为电位参考点，称为接地，用符号 $\perp$ 表示。在指定参考点后，各点的电位就是代数值，电位比参考点高的为正值；反之为负值。

电路中两点之间的电位之差称为电位差或电压 u 。在直流电路中，电压用大写字母 U 表示，即

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b \quad (1-4)$$

由式 (1-3) 可知

$$U_{ab} = -\frac{W_a - W_b}{q} = -\frac{W_{ab}}{q} = -\frac{A}{q} \quad (1-5)$$

可见，电压 U_{ab} 是电场力将电荷 q 从 a 点移到 b 所做的功 A （或释放的电能 W_{ab} ）与电荷 q 的比值。

若 $\varphi_a > \varphi_b$ ，则电压 U_{ab} 为正值；反之为负值。两点间的电压大小与电位参考点的选择无关。

电压的方向规定由高电位点指向低电位点，也就是电位降落的方向，因此，有时又称电压为电位降或电压降。电压的下标顺序如 U_{ab} ，规定电压的方向由 a 指向 b 。

电源具有把正电荷从电源负极（低电位）推向正极（高电位）的能力，称为电源力（或非静电力）。电源力将正电荷从电源负极推向正极所做的功与正电荷的比值称为电源电动势，用 e 表示随时间变化的电动势；而 E 表示直流电源电动势，则

$$E = \frac{A}{q} \quad (1-6)$$

电动势的单位与电压相同，也是伏 V 。

电动势 E 的方向规定从电源负极（低电位）指向正极（高电位），它表示的是电位升，并用箭头表示在电路图上，如图 1-3 中所示。电源端电压 U 的方向是从电源正极（高电位）指向负极（低电位），它表示的是电位降，也用箭头表示在图 1-3 电路图上，但它的方向与 E 的方向相反。

在电源提供电能时，电动势方向与电流方向相一致，都是由电源负极指向正极。如果流经电源的电流实际方向与电源电动势的方向相反，例如蓄电池充电的过程，这时电源是吸收电能而不提供电能，因而它处于负载状态。

三、电流和电压的参考方向

对于简单的直流电路，电源的极性是已知的，只要根据电源极性，就能很容易确定电流和电压的实际方向。但在复杂的直流电路中，有多个电源，支路上的电流和电压的实际方向往往难以事先判断。即使只有一个电源，有时某些支路上的电流和电压方向也很难确定，如图 1-4 中的 bd 支路。尤其在交流电路中，电源电动势、电压和电流的大

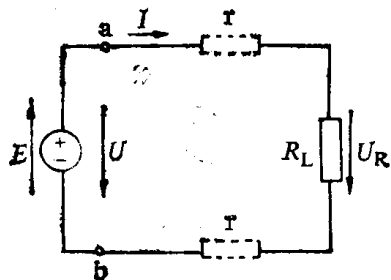


图 1-3 电源电动势与端电压的关系

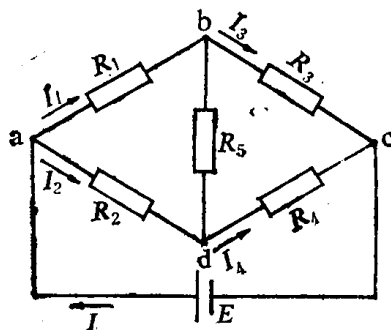


图 1-4 电桥电路

小和方向都随时间不断地作周期性变化,更难在电路图上判断它们的实际方向。

因此,在电路分析中,常常采用“先假定,后判断”的方法。即:在电路分析计算以前,先在电路图的各支路上,用箭头符号来标明假定的电流和电压方向,称为参考方向。然后根据参考方向对电路进行分析计算。最后根据所得电流值和电压值的正负,就可以很容易地确定各支路的电流和电压的实际方向。凡是计算结果为负值的,其参考方向与实际方向相反;为正值的,其参考方向与实际方向相一致,所以参考方向又称为假定正方向。所以,在没有标明参考方向以前,说电流或电压的正负值,是没有意义的。参考方向可以任意选定,但一经选定后,就不得再变更。

一段支路或一个元件上的电流和电压参考方向可以各自独立地给以任意选定。但考虑到外电路电流和电压的实际方向总是一致的,为了方便,常采用关联参考方向,即电压和电流参考方向相一致,这样,就只要标明一个参考方向了。本书凡未同时标出电流和电压参考方向的,都采用关联参考方向。

〔例 1-1〕 图 1-5 中,电阻和理想电压源的电压参考方向已标明,试说明 I 、 U 和 E 的实际方向。

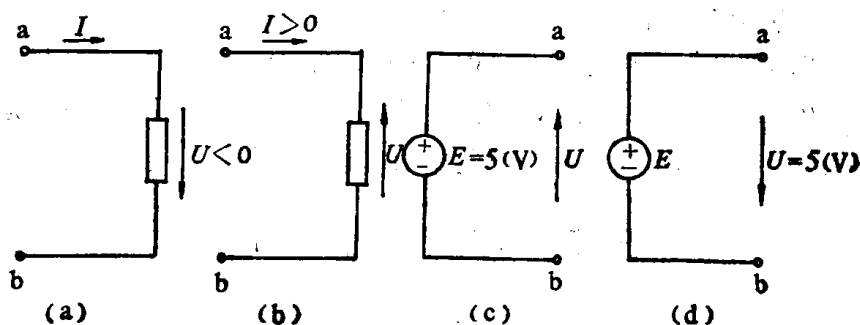


图 1-5 例 1-1 的图

〔解〕 图 (a) 中电流与电压取关联参考方向,由 a 指向 b ,电阻上的电压为负值,即 φ_a 低于 φ_b ,故电流实际方向由 b 流向 a 。

图 (b) 中电流与电压的参考方向相反,电阻中电流为正值,其实际方向由 a 流向 b ;电阻两端电压为负值,其实际方向由 a 指向 b 。

图 (c) 中电动势和端电压方向一致, $E = 5V$,则 $U = -E = -5V$ 。

图 (d) 中电动势和端电压方向相反, $U = 5V$,则 $E = 5V$ 。

四、电能和功率

当负载电阻两端加以电压 U 时,有电流 I 流过,而消耗电能为 W 。按式 (1-5),在时间 t 内消耗的电能

$$W = qV = IVt \quad (1-7)$$

负载电阻在单位时间内消耗的电能称为电阻消耗的功率,用 P 表示,即

$$P = \frac{W}{t} = IV \quad (1-8)$$

其单位为瓦〔特〕,符号用 W 。由于 $W = Pt$,所以工程上常用千瓦小时作为电能的单位。1 千瓦小时俗称为 1 度。

电源产生的电能为

$$W_s = qE = IEt \quad (1-9)$$

因而电源在单位时间内产生的电能称为电源的功率，即

$$P_s = \frac{W_s}{t} = EI \quad (1-10)$$

在元件的电压和电流取关联参考方向下，若计算所得的功率为正值，该元件消耗功率，是一个负载；若功率为负值，则该元件产生功率，是一个电源。若电压与电流参考方向不一致，则上述情况相反。

〔例1-2〕 图1-6电路中，已知 $I = 1\text{A}$ ， $U_1 = -5\text{V}$ ， $U_2 = 3\text{V}$ ， $U_3 = -4\text{V}$ ， $U_4 = 2\text{V}$ ，参考方向已标明，求各方框中的元件是消耗还是产生功率？

〔解〕 元件1和2取关联参考方向，

$$P_1 = U_1 I = -5 \times 1 = -5(\text{W}) \quad (\text{产生功率})$$

$$P_2 = U_2 I = 3 \times 1 = 3(\text{W}) \quad (\text{消耗功率})$$

元件3和4的参考方向相反，

$$P_3 = U_3 I = -4 \times 1 = -4(\text{W}) \quad (\text{消耗功率})$$

$$P_4 = U_4 I = 2 \times 1 = 2(\text{W}) \quad (\text{产生功率})$$

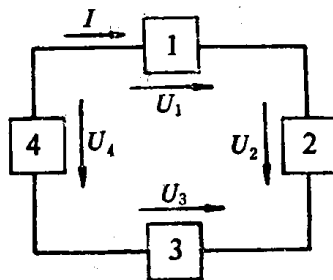


图1-6 例1-2的图

计算结果表明：消耗总功率为7W，产生总功率也是7W，符合能量守恒原理。

第三节 电阻元件、欧姆定律

一、电阻元件

电阻元件具有阻碍电流的特性，用 R 或 r 表示。电阻的单位是欧〔姆〕，符号为 Ω ，

电阻的大小主要与导体材料有关。在温度不变时，导体的电阻与它的长度 L 成正比。与它的横截面 S 成反比，称为电阻定律。用公式表示为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-11)$$

式中 ρ 称为电阻率，由导体的材料性质决定。其单位为欧·米 ($\Omega \cdot \text{m}$)。 ρ 越小，表示导体的导电性能越好。导体的电阻还与温度有关，一般情况下，导体电阻随温度升高而增大。

电阻的倒数 $1/R$ 称为电导，用 G 或 g 表示。电导的单位是西〔门子〕，符号为 S 。电阻率的倒数 $1/\rho$ 称为电导率，用 σ 表示。电导率的单位为西/米 (S/m)。电导率越大，表示导体的导电性能越好。

常用电阻器的标称阻值系列见表1-2。

电阻器的标称阻值是表中系列值乘以 10^n ，其中 n 为正整值或负整数。电阻器的标称阻值和容许误差常用的标志方法有两种：

1. 直接标志法 将阻值和误差等级直接用数字印在电阻器上。对于不到 1000Ω 的阻值只标数值，不注单位；对 $\text{k}\Omega$ 、 $\text{M}\Omega$ 只注 k 、 M 。误差等级标 I 或 II 级，对 III 级不标明。

表 1-2 常用电阻器标称阻值系列

容许误差	系列代号	系 列 值
±5% (I级)	E24	1.0 1.1 1.2 1.3 1.5 1.6 1.8 2.0 2.2 2.4 2.7 3.0 3.3 3.6 3.9 4.3 4.7 5.1 5.6 6.2 6.8 7.5 8.2 9.1
±10% (II级)	E12	1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 6.8 8.2
±20% (III级)	E6	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8

2. 色环标志法 对体积很小和一些合成电阻器，其阻值和误差常以色环表示。靠近电阻器一端有四道色环：第1和第2道色环分别表示第一和第二两位数字，第3道色环表示再乘以10的次方数，第4道色环表示阻值的允许误差。表1-3列出色环所表示的数字和容许误差。

表 1-3 色环表示的数字和误差

色 别	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑	金	银	本色
对应数字和误差	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	±5%	±10%	±20%

例如：某电阻器色环排列为①红色—②黄色—③橙色—④金色
 $\downarrow \quad \quad \downarrow \quad \quad \downarrow \quad \quad \downarrow$
 2 4 10^3 ±5%

则该电阻器的阻值为 $24000\Omega \pm 5\%$ 。

对于任何电路元件，都需要研究它的电压与电流的关系，称为伏安关系。在 $U-I$ 坐标轴上的伏安关系曲线，称为元件的伏安特性。

电流流过电阻就会沿着电流的方向产生电压降。通过实验可以得到电阻的伏安特性，如果测得的伏安特性是一条通过坐标原点的直线，如图1-7(a)所示，则表明电阻两端的电压与通过的电流成正比，电阻的阻值不随电压或电流的变化而改变，这样的电阻元件称为线性电阻元件。理想电阻元件都是线性元件。

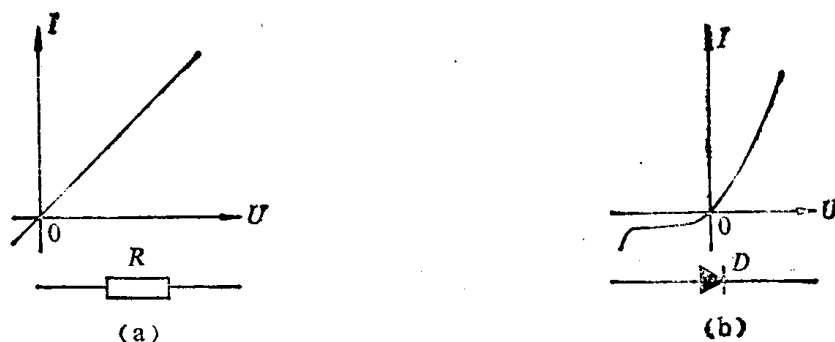


图 1-7 线性和非线性电阻的伏安特性

有些电阻元件的伏安特性不是直线而是曲线，其电阻值随电流或电压的大小和方向的变化而改变，则称为非线性电阻元件。图1-7(b)为晶体二极管的伏安特性，它是一