

高职高专教材

电工电子技术 (电工学)

刘建军 王吉恒 主编

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高职高专教材

电工电子技术

(电工学)

刘建军 王吉恒 主编

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术. 电工学 / 刘建军, 王吉恒主编. —北京: 人民邮电出版社, 2006.5
高职高专教材

ISBN 7-115-14349-8

I. 电... II. ①刘...②王... III. ①电工技术—高等学校: 技术学校—教材②电子技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 021541 号

内 容 提 要

本书是针对普通高职高专院校非电类专业所使用的电工课程教材, 本书系统地介绍了电工学的基本内容, 重点放在与电工学有关的基本理论、基本知识和基本技能上, 以及各非电类专业的一般岗位对电工知识的实际需要上。

书共分为 9 章, 第 1 章是电路的基本概念和基本定理; 第 2 章是电路的基本分析方法; 第 3 章是正弦交流电路; 第 4 章是三相交流电路; 第 5 章是电路的暂态分析; 第 6 章是磁路及铁芯线圈电路; 第 7 章是变压器; 第 8 章是交流电动机; 第 9 章是常用低压电器及电动机基本控制线路。在编写上力求通俗易懂、简化数学推导过程、适当增加例题和习题练习, 适当淡化理论, 强调应用。使学生通过学习本课程, 掌握电工技术方面的基本理论和实际应用方法。为使学生更好地掌握实际应用技巧, 每章的后面都给出了相关的实训内容, 以巩固所学知识。

本书的特点是系统性强, 内容编排连贯, 突出基本概念、基本原理, 减少不必要的数学推导和计算, 各章均有小结及习题, 可帮助学生加深对相关内容的理解。

本书适用于普通高职高专院校各非电类专业学生学习使用。

高职高专教材

电工电子技术 (电工学)

-
- ◆ 主 编 刘建军 王吉恒
责任编辑 王晓明
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
河北三河市海波印务有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 15.5
字数: 368 千字 2006 年 5 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2006 年 5 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-115-14349-8/TN · 2672

定价: 24.00 元

读者服务热线: (010)67129258 印装质量热线: (010)67129223

前 言

为满足全国高职院校非电类专业的教学要求，加快我国应用型人才培养的步伐，人民邮电出版社与天津通信学会高等教育委员会和有关高职院校共同策划、出版了《电工电子技术》教材。本教材分电工学、电子学两册，本书为电工学部分。

本教材系统地介绍了电工学的基本内容，重点放在与电工学有关的基本理论、基本知识和基本技能方面，以及各非电类专业的一般岗位的实际需要方面，因此，适用于工科各非电类专业的电工学课程教学。

考虑到高职高专院校的特点是注重培养学生操作技能和分析解决实际问题的能力，所以，本教材按照基本理论与基本实践有机结合的指导思想进行编写，每章后面都配有相应的技能训练，这样安排既能较好的满足讲练一体化教学模式，又可对常规教学的实验起指导作用。

为了突出重点，以必需、够用为原则，本教材有些章节省略了一些烦琐的数学推导与较复杂的等值电路介绍。为了使学生了解所学知识在各个领域的实际应用，我们有选择地在部分章节中安排了“工程应用”一项内容，旨在加深学生对本课程实际应用的认识和提高学生的学习兴趣。

本教材每章的后面都给出了经过认真筛选的习题，以便使学生通过做这些习题能够更好地掌握所学的基础理论知识。

本书由天津石油职业技术学院刘建军、王吉恒担任主编，并参加了第1章和第4章的编写；天津石油职业技术学院刘建敏老师编写了第1、2章；袁秀荷老师编写了第3章；张淑芹老师编写了第4、5章；徐鹏老师编写了第7章；天津现代职业技术学院辜志烽老师编写了第6章和第9章；魏群老师编写了第7、8章。刘建军、王吉恒老师负责全书的统稿。

本教材由天津大学沈保锁教授主审；在本教材的编写过程中还得到了天津石油职业技术学院高永强老师的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间紧迫，书中难免存在问题或错误，敬请广大师生和读者批评指正。

编 者

2006年1月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定理	1
1.1 电路与电路模型	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电流与电压的参考方向	2
1.2.1 电流及其参考方向	2
1.2.2 电压、电位及电压的参考方向	3
1.3 欧姆定律	5
1.3.1 线性电阻与欧姆定律	5
1.3.2 非线性电阻	6
1.4 电路的工作状态	7
1.4.1 电路的有载工作	7
1.4.2 电路的开路	8
1.4.3 电路的短路	8
1.5 基尔霍夫定律	9
1.5.1 电路中几个专用名词	9
1.5.2 基尔霍夫电流定律 (KCL)	9
1.5.3 基尔霍夫电压定律 (KVL)	10
1.6 电路中各点电位的计算	11
1.6.1 电位的概念	11
1.6.2 电位的计算	12
本章小结	13
习题	13
技能训练 1 常用电工仪表的使用 (1)	17
技能训练 2 常用电工仪表的使用 (2)	21
技能训练 3 基尔霍夫定律的验证	24
第 2 章 电路的基本分析方法	26
2.1 电阻的连接	26
2.1.1 电阻的串联及分压公式	26
2.1.2 电阻的并联及分流公式	27
2.1.3 电阻的混联	28
2.2 电压源和电流源的概念及等效变换	30

2.2.1	电压源	30
2.2.2	电流源	31
2.2.3	电压源和电流源的等效变换	32
2.3	支路电流法	33
2.3.1	简单电路与复杂电路	33
2.3.2	支路电流法	34
2.4	节点电压法	35
2.5	叠加原理	37
2.6	戴维南定理	39
2.6.1	二端网络	39
2.6.2	戴维南定理	39
2.6.3	负载获得最大功率的条件	41
	本章小结	43
	习题	44
	技能训练 4 叠加原理的验证	49
	技能训练 5 戴维南定理的验证	50
第 3 章	正弦交流电路	54
3.1	正弦量	54
3.1.1	周期与频率	54
3.1.2	幅值和有效值	55
3.1.3	初相位与相位差	56
3.1.4	正弦量的表示法	58
3.2	电阻元件、电感元件与电容元件	62
3.2.1	电阻元件	62
3.2.2	电感元件	62
3.2.3	电容元件	64
3.3	电阻元件的交流电路	65
3.3.1	电压与电流的关系	65
3.3.2	功率	66
3.4	电感元件的交流电路	67
3.4.1	电压与电流关系	67
3.4.2	功率	68
3.5	电容元件的交流电路	70
3.5.1	电压与电流关系	70
3.5.2	功率	71
3.6	电阻、电感与电容串联的交流电路	72
3.6.1	电压与电流的关系	73
3.6.2	阻抗和电路性质	73

3.6.3	功率关系	75
3.7	阻抗的串联与并联	78
3.7.1	阻抗的串联	78
3.7.2	阻抗的并联	79
3.8	电路的谐振	80
3.8.1	串联谐振	81
3.8.2	并联谐振	84
3.9	功率因数的提高	86
3.9.1	提高功率因数的意义	86
3.9.2	提高功率因数的方法	88
	本章小结	89
	习题	94
	技能训练 6 日光灯照明线路的安装	98
	技能训练 7 正弦稳态交流电路的研究	100
	技能训练 8 R、L、C 元件阻抗特性的测定	101
第 4 章	三相交流电路	104
4.1	三相电路	104
4.1.1	三相电源	104
4.1.2	三相电源的星形连接 (Y 连接)	106
4.1.3	三相电源的三角形连接 (Δ 连接)	107
4.2	三相负载的连接	108
4.2.1	三相负载的星形连接	108
4.2.2	负载的三角形连接	112
4.3	三相功率	114
4.4	工程应用	115
4.4.1	低压配电线路的结构	115
4.4.2	低压配电线路的组成	116
4.4.3	低压配电标准	117
	本章小结	117
	习题	119
	技能训练 9 室内照明电的一般检测	121
	技能训练 10 三相交流电路电压、电流的测量	121
第 5 章	电路的暂态分析	124
5.1	换路定律	125
5.1.1	电感电路的换路定律	125
5.1.2	电容电路的换路定律	125
5.1.3	初始值的确定	126

5.2	RC 电路的暂态过程	128
5.2.1	RC 电路的充电过程	128
5.2.2	RC 电路的放电过程	129
5.2.3	RC 电路的时间常数	131
5.3	一阶电路暂态分析的三要素法	132
5.3.1	一阶线性电路暂态分析的三要素法	132
5.3.2	三要素法的应用举例	133
5.4	工程应用	133
	本章小结	135
	习题	136
	技能训练 11 用万用表检测电容器和电感器	138
	技能训练 12 RC 一阶电路的响应测试	139
第 6 章	磁路及铁芯线圈电路	142
6.1	磁场的基本物理量	142
6.1.1	磁感应强度 B	142
6.1.2	磁通 Φ	142
6.1.3	磁导率 μ	142
6.1.4	磁场强度 H	143
6.2	铁磁性物质的磁化	143
6.2.1	铁磁性物质的磁化与磁化曲线	143
6.2.2	铁磁性物质的分类	146
6.3	磁路及基本定律	146
6.3.1	磁路	146
6.3.2	磁路的基本定律	147
6.3.3	简单磁路计算	149
6.4	交流铁芯线圈	153
6.4.1	电磁关系	153
6.4.2	电压电流关系	154
6.4.3	功率损耗	155
6.5	电磁铁和磁屏蔽	155
6.5.1	电磁铁	155
6.5.2	磁屏蔽	156
	本章小结	157
	习题	158
第 7 章	变压器	159
7.1	变压器的基本结构	159
7.2	变压器的工作原理	161

7.2.1	变压器的空载运行	162
7.2.2	有载时的变压器	164
7.2.3	变压器的阻抗变换作用	166
7.2.4	变压器的损耗与效率	166
7.3	变压器的额定值	167
7.4	变压器绕组的极性	168
7.4.1	变压器绕组的同极性端	168
7.4.2	变压器绕组的正确连接	169
7.4.3	变压器绕组同极性端的判别	170
7.5	三相变压器	171
	本章小结	172
	习题	173
	技能训练 13 单相变压器实验	174

第 8 章 交流电动机

8.1	三相异步电动机的结构与旋转磁场	176
8.1.1	三相异步电动机的结构	176
8.1.2	三相异步电动机的转子	178
8.1.3	三相异步电动机的旋转磁场	180
8.2	三相异步电动机的工作原理	183
8.2.1	工作原理	183
8.2.2	异步电动机的转差率	183
8.3	三相异步电动机的机械特性	184
8.3.1	机械特性	184
8.3.2	过载能力和起动能力	186
8.4	三相异步电动机的起动	187
8.4.1	鼠笼型异步电动机的起动	187
8.4.2	绕线式三相异步电动机的起动	189
8.5	三相异步电动机的调速、反转和制动	191
8.5.1	三相异步电动机的调速	191
8.5.2	三相异步电动机的反转和制动	195
8.6	单相异步电动机	197
8.6.1	单相异步电动机的工作原理	197
8.6.2	单相电容式异步电动机	198
8.7	安全用电	200
8.7.1	触电	200
8.7.2	保护接地与保护接零	201
8.7.3	安全用电措施	202
	本章小结	203

习题	204
技能训练 14 三相异步电动机的起动	206
技能训练 15 三相异步电动机定子绕组首尾端的测定	208
第 9 章 常用低压电器及电动机基本控制线路	210
9.1 常用低压电器	210
9.1.1 熔断器	210
9.1.2 刀开关	213
9.1.3 断路器	215
9.1.4 接触器	217
9.1.5 继电器	219
9.1.6 主令电器	224
9.2 电动机基本控制线路	226
9.2.1 电动机的直接起动和点动控制电路	226
9.2.2 电动机的正反转控制电路	228
9.2.3 两台电动机的联锁控制电路	230
本章小结	231
习题	231
技能训练 16 三相异步电动机正反转控制线路的安装	233
参考文献	235

第 1 章 电路的基本概念和基本定理

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路

将某些电气设备或器件按一定方式连接起来，构成电流的通路，这就是电路。电路的基本功能是实现电能的传输和分配，或者电信号的产生、传输、处理加工及利用。最简单的电路如图 1-1 所示，它由下列三部分组成：电源、中间环节、负载。

1. 电源

电源是一种将非电能转换成电能的装置。常用的电源有干电池、蓄电池和发电机等，它们分别将化学能和机械能转换成电能。电源的符号如图 1-2 所示。图 1-2 (a) 所示为干电池或蓄电池符号，图 1-2 (b) 所示为干电池组或蓄电池组的符号。在电路分析中，电源设备一般用图 1-2 (c) 所示的电压源表示，图中 R_s 表示电压源的内阻。

2. 中间环节

中间环节起传输、分配和控制电能的作用。最简单的中间环节就是开关和导线。一般导线的电阻很小，所以为了简单起见，电路分析中常把导线的电阻视为零。中间环节一般还有保护和测量设备。对于一个实际电路来说，中间环节可能是相当复杂的，它可能是由各种元器件或设备组成的网络系统。

3. 负载

负载是消耗电能的设备，其作用是将电能转换成其他形式的能量（如机械能、光能、热能）。常见的负载有电灯、电动机、电炉、扬声器等。

图 1-3 是电路在两种较典型场合的应用。

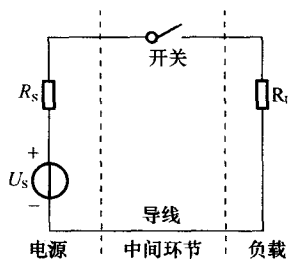


图 1-1 电路的组成

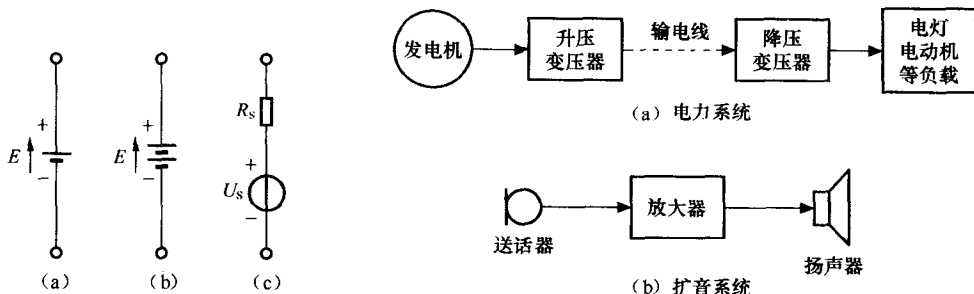


图 1-2 电源的符号

图 1-3 电路在两种较典型场合的应用

不论是电能的传输和转换电路，还是信号的传递和变换电路，其中来自电源和信号源的电压、电流输入称为激励，它推动电路工作。激励在各部分所产生的电压和电流输出称为响应。对电路的分析，就是在已知电路结构和元件参数的情况下，分析激励和响应之间的关系。

1.1.2 电路模型

由一些元器件所组成的电路，就是实际电路的模型，它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。例如手电筒的电路模型，如图 1-4 所示。

在理想电路元件（今后理想两字略去不写）中主要有电阻元件，电感元件，电容元件和电源元件。

为了便于对实际电路进行分析和数学描述，往往将实际元件理想化（或称模型化），即在一定条件下突出其主要的电磁性质，而忽略其次要因素，把它近似地看作理想电路元件。

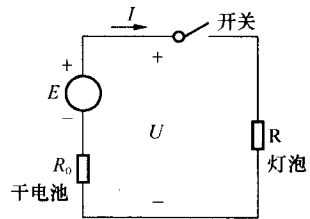


图 1-4 手电筒电路模型

1.2 电流与电压的参考方向

1.2.1 电流及其参考方向

电子和质子都是带电的粒子。电子带负电荷，质子带正电荷。带电粒子在外电场作用下定向移动就形成电流。在金属导体内的电流是由于导体内部的自由电子在电场力的作用下有规则地运动而形成的。电流在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。如果电流用 I 表示，电荷量用 q 表示，时间用 t 表示，则有

$$I = \frac{q}{t} \tag{1.1}$$

式中 q 为时间 t 内通过导体横截面的电荷量，如图 1-5 所示。

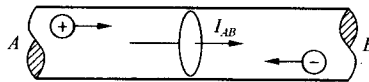


图 1-5 通过导体的电荷量

对于随时间变化的电流来说，则电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \tag{1.2}$$

上式表示电流是随时间而变化的，是时间的函数，称为变化电流，用小写字母 i 表示。

在国际单位制（SI）中，电流的单位为安培，用大写字母 A 表示。当 1 秒（s）内通过导体横截面的电荷量为 1 库仑（C）时，则电流为 1 安培（A）。在电力系统中，遇到的电流常常为几安、几十安甚至更大；而在电子设备中经常遇到较小的电流，是以毫安（mA）或微安（ μA ）为单位来计算的。它们之间的关系是

$$1\text{kA} = 10^3\text{A} \quad 1\text{mA} = 10^{-3}\text{A} \quad 1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

通常规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的实际方向。但是在分析电路的时候，有时电流的实际方向难以事先确定，特别是在交流电路中，电流的实际方向随时间不断地反复改变，在电路图上也无法用一个箭头来表示它的实际方向。因此，为了分析电路方便，我们可任意选定某一方向作为电流的参考方向，或称为正方向。当电流的实际方向与其参考方向一致时，则电流为正值，如图 1-6 (a) 所示；当电流的实际方向与其参考方向相反时，则电流为负值，如图 1-6 (b) 所示。因此，在参考方向选定之后，电流值的正与负，就决定了电流的实际方向。本书中电路图上所标的电流方向都是参考方向（正方向）。

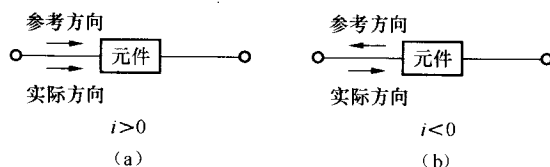


图 1-6 电流的参考方向与实际方向的关系

另外，电流的参考方向除用带箭头的直线表示外，还可用双下标表示。例如 i_{AB} 表示电流的参考方向是由 A 指向 B 。若选定参考方向为由 B 指向 A ，则为 i_{BA} ，两者相差一个负号，即 $i_{AB} = -i_{BA}$ 。

1.2.2 电压、电位及电压的参考方向

1. 电压

电路中的电荷具有电位（势）能。电荷只有在电场力的作用下才能作有规则的定向移动，形成电流。电场力对电荷作功的大小是用电压来衡量的，因此，电压是电路分析中重要的物理量。电路中 a 点对 b 点的电压，在数值上等于电场力把单位正电荷由 a 点移到 b 点所作的功，也就是该单位正电荷在此过程中获得或失去的能量。电压用符号 u 表示，其定义式为

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1.3)$$

式中 W 是电场力把正电荷从 a 点移到 b 点所做的功，单位为焦耳，符号为 J 。 q 是被移动的正电荷的电量，单位为（库仑），符号为 C 。 u 是 a 、 b 两点间的电压，单位为伏（特），符号为 V ，常用的电压单位还有千伏（ kV ）、毫伏（ mV ）和微伏（ μV ）。

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} \quad 1\text{V} = 10^3\text{mV} \quad 1\text{mV} = 10^3\mu\text{V}$$

如果正电荷从 a 点移到 b 点失去能量，则电位降低，即 a 点的电位高于 b 点。反之，若正电荷从 a 点移到 b 点获得能量，则电位升高，即 a 点的电位低于 b 点。所以正电荷在电路中移动时，电能的失去或获得体现为电位的降低或升高。通常把电位降低的方向作为电压的实际方向。

如果大小和方向都不随时间变化的电压，称为恒定电压或直流电压。直流电压用大写字母 U 表示。

如同电流需要指定参考方向一样，在电路分析中，电压也需要指定参考方向（或参考极

性），如图 1-7 所示。

指定了电压参考方向之后，如果计算得到的电压为正值，说明电压的实际方向与参考方向一致；若计算得到的电压为负值，就说明电压的实际方向与参考方向相反。电压的参考方向与实际方向如图 1-8 所示。

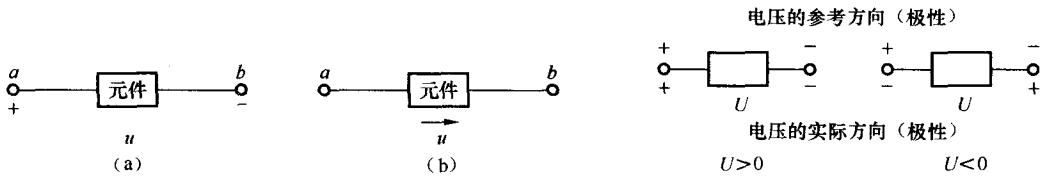


图 1-7 电压参考方向

图 1-8 电压参考方向（极性）与实际方向（极性）

在计算式中，电压参考方向可用带有双下标的电压符号表示，如 u_{ab} 表示电压的参考方向从 a 指向 b 。当指定的参考方向与实际方向相反时，两电压互为负值。即

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

在电路图上，电路两点间电压的实际方向常用一种表示极性的方法来表示：在高电位点以“+”表示，称此点为“正”极，反之在低电位点以“-”表示，称此点为“负”极。

在电路分析中，电流和电压的参考方向都是人为任意指定的，彼此互不相关。但是为了分析方便起见，常常采用关联的参考方向。即电流与电压降参考方向一致，如图 1-9（a）所示。在关联参考方向下，只需标出电流的参考方向或电压的参考方向，如图 1-9（b）和 1-9（c）所示。

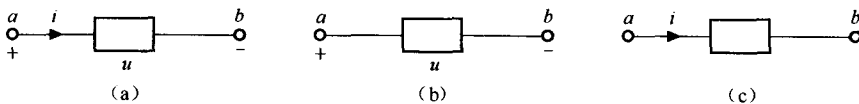


图 1-9 电压与电流的关联方向

电压、电流的参考方向相同时称为关联参考方向，相反时称为非关联参考方向，如图 1-10 所示。

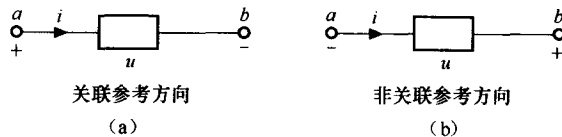


图 1-10 参考方向

电流、电压参考方向的几点说明如下：

（1）电流、电压的实际方向是客观存在的，而其参考方向是根据计算的需要任意选取的，参考方向一经选定后，在电路分析和计算过程中就必须以此为依据，不能随意改动；

（2）同一电流、电压，若参考方向选择不同，其数值相等而符号相反，因此，电流值、电压值的正负只有在选定参考方向下才有意义；

（3）电路中的基本公式和结论，都是在一定的参考方向下得出来的，应用时必须注意参

考方向的选择:

(4) 计算电路时,一般先标出参考方向再进行计算,在电路图中,所有标有方向的电流、电压均可认为是电流、电压的参考方向,而不是实际方向;

(5) 为了分析方便,电流、电压常选择关联的参考方向。

2. 电位

在电路分析中,经常用到电位的概念。选择电路中某一点作为参考点,参考点的电位为零。电路中其他各点对参考点之间的电压称为相应的电位,电位的符号用 V 表示。实质上,电位也是两点间的电压。在电路中,两点间的电压即是两点间的电位之差。一旦选定了参考点,电路中各点都有确定的电位值。选择的参考点不同,电路中各点的电位将随之不同,但任意两点之间的电压是不变的。

3. 电动势

为了维持导体中的电流,电源力把经导体从正极移向负极的正电荷从电源内部拉回到正极,电源力对电荷做了功,电源力移动正电荷做功的能力用电动势 E 表示。电源的电动势 E 在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的低电位端经电源内部移到高电位点所做的功,即

$$E = \frac{W}{q}$$

电动势的方向规定为在电源内部由低电位指向高电位,可以用“+”、“-”极性表示,也可以用箭头表示,还可以用双下标表示。在表示同一电源时,电源电动势的方向与电源端电压的方向相反。

4. 电功率

在电流通过电路时,电场力或电源力做功,电路中发生了能量的转换。传递转换电能的速率叫电功率,简称功率,用 P 表示,单位为瓦,用 W 表示。在电压、电流为关联参考方向下

$$P = \frac{dW}{dt} = u \cdot i$$

$P > 0$ 表示元件消耗功率, $P < 0$ 表示元件发出功率,即当 u 、 i 的实际方向相同时,表明该元件消耗功率;当 u 、 i 的实际方向相反时,表明该元件发出功率。

1.3 欧姆定律

在任意时刻 t , 能用通过坐标原点的伏安特性曲线来表征其外部特性的二端网络称为电阻元件,例如电阻器就是其中之一。根据电阻元件的伏安特性曲线是否通过坐标原点的直线,而将它分为线性电阻和非线性电阻两大类。

1.3.1 线性电阻与欧姆定律

线性电阻元件以图 1-11 (a) 所示符号表示。当电压 u 与电流 i 方向关联时,其伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线,如图 1-11 (b) 所示,其数学表达式为

$$u = Ri \quad \text{或} \quad i = Gu \tag{1.4}$$

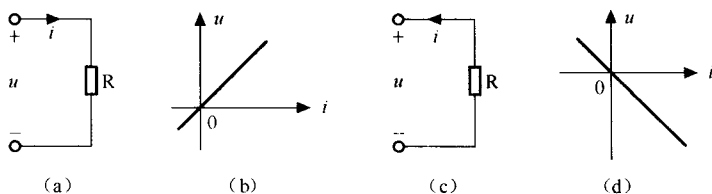


图 1-11 电阻元件的伏安特性

式 (1.4) 称为电阻元件的伏安关系，它就是大家熟知的欧姆定律。

式中比例系数 R 是一正常数，它与电压、电流无关， R 称为电阻元件的电阻量。为简便起见，以后电阻一词既表示电阻元件，也表示电阻量。电阻的单位是欧姆，用 Ω 表示。 $1\Omega = 1V/A$ 。式中， $G = 1/R$ 称为电阻元件的电导，其单位是西门子，用 S 表示， $1S = 1A/V$ 。如果电阻的电压与电流方向非关联，见图 1-11 (c)，则欧姆定律

$$u = -Ri \quad \text{或} \quad i = -Gu \tag{1.5}$$

其对应的伏安特性曲线如图 1-11 (d) 所示。

1.3.2 非线性电阻

伏安特性不能用通过坐标原点的直线来表征的电阻元件，称为非线性电阻。非线性电阻不服从欧姆定律。例如，半导体二极管就是非线性电阻元件，如图 1-12 (a) 所示。其伏安特性曲线如图 1-12 (b) 所示。理想二极管在正向电压 ($u > 0$ 情况) 作用下，相当于短路，而在反向电压 ($u < 0$ 情况) 作用下，相当于开路。电子线路中常用二极管的这种单向导电性，从交变电流中获取单向流动的电流。白炽灯中所用的钨丝也是非线性电阻元件，它在额定电流下的电阻比电流很小时的电阻大得多。非线性元件具有线性元件无法达到的功能，在工程实际中的应用很广泛。实际电路严格地说都为非线性。

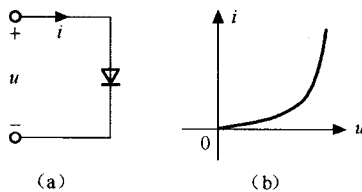


图 1-12 二极管及其伏安特性

由电阻的伏安关系可以看出，电阻上的电压完全由同一时刻的电流所决定，而与该时刻以前的电流值无关。这一关系反映了电压与电流的即时效应，或者说“无记忆”特性，因此电阻是一无记忆元件。

线性电阻 R 的端电压 u 与电流 i 方向关联时，其吸收的功率

$$P = ui = i^2 R = \frac{u^2}{R} \tag{1.6}$$

若 u 与 i 方向非关联，再考虑到式 (1.5)，即

$$u = -Ri \quad \text{或} \quad i = -Gu$$

则

$$P = -ui = Ri^2 = Gu^2 \tag{1.7}$$

1.4 电路的工作状态

电路工作时，有可能处于有载工作状态、开路状态和短路状态。现分别讨论每一种状态下的特点。

1.4.1 电路的有载工作

分析、应用的电路往往是含有电源的闭合回路，如图 1-13 所示的电路是一个简单的电源有载工作电路。当开关 S 闭合时，有电流通过负载电阻 R_L ，电路处于通路状态，即有载工作状态，此时电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L} \quad (1.8)$$

当电压源 E 和内阻 R_0 一定时，电流 I 的大小取决于负载电阻 R_L 的大小。负载两端电压为

$$U = R_L I = E - R_0 I \quad (1.9)$$

式 (1.9) 两边都乘以电流 I ，则得功率的平衡方程式

$$UI = EI - I^2 R_0 \quad (1.10)$$

令 $P = UI$ 、 $P_S = EI$ 、 $P_0 = I^2 R$ ，式 (1.10) 改写为

$$P_S = P + P_0 \quad (1.11)$$

式 (1.11) 说明，电路在有载工作状态下，电压源 E 产生的功率等于电源内阻 R_0 损耗的功率与负载 R_L 消耗的功率之和。

电路中的用电器是经常变动的。一般情况下，当并联的用电器增多时，等效负载电阻 R_L 就会减小，而电源 E 通常是一恒定值，且内阻很小，电源端电压 U 变化很小，则电源输出的电流和功率将随之增大，这种情况称为电路的负载增大；反之，电源输出的电流和功率将随之减小，这种情况称为电路的负载减小。可见，所谓负载增大或负载减小，是指增大或减小电流，而不是增大或减小电阻值。

各种电气设备和电路元件都有额定值，只有按照额定值使用，电气设备的运行才能安全可靠，经济合理，同时也不致于缩短使用寿命。例如一台变压器的寿命与它的绝缘材料的耐热性能和绝缘强度有关，如果通过变压器的电流大于其额定电流时，将会由于发热过甚而损坏绝缘材料。同理，若所加电压超过额定电压，绝缘材料有可能被击穿，影响使用寿命。导线的使用也是如此，一定要根据使用场合、通过电流的大小来选定导线的线径和绝缘等级等。

为了便于用户使用，生产厂家在电气设备和元器件的铭牌或外壳上均明确标出了其额定数据——额定电压、额定电流和额定功率，分别用 U_N 、 I_N 和 P_N 表示。

根据负载的大小，电路在有载工作状态下又分为下列三种工作状态：

- (1) 满载工作状态，即电器设备的电流等于额定电流时的状态；
- (2) 轻载工作状态，即电器设备的电流小于额定电流时的状态，又称为欠载；

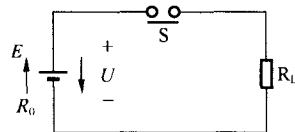


图 1-13 电路的有载工作状态