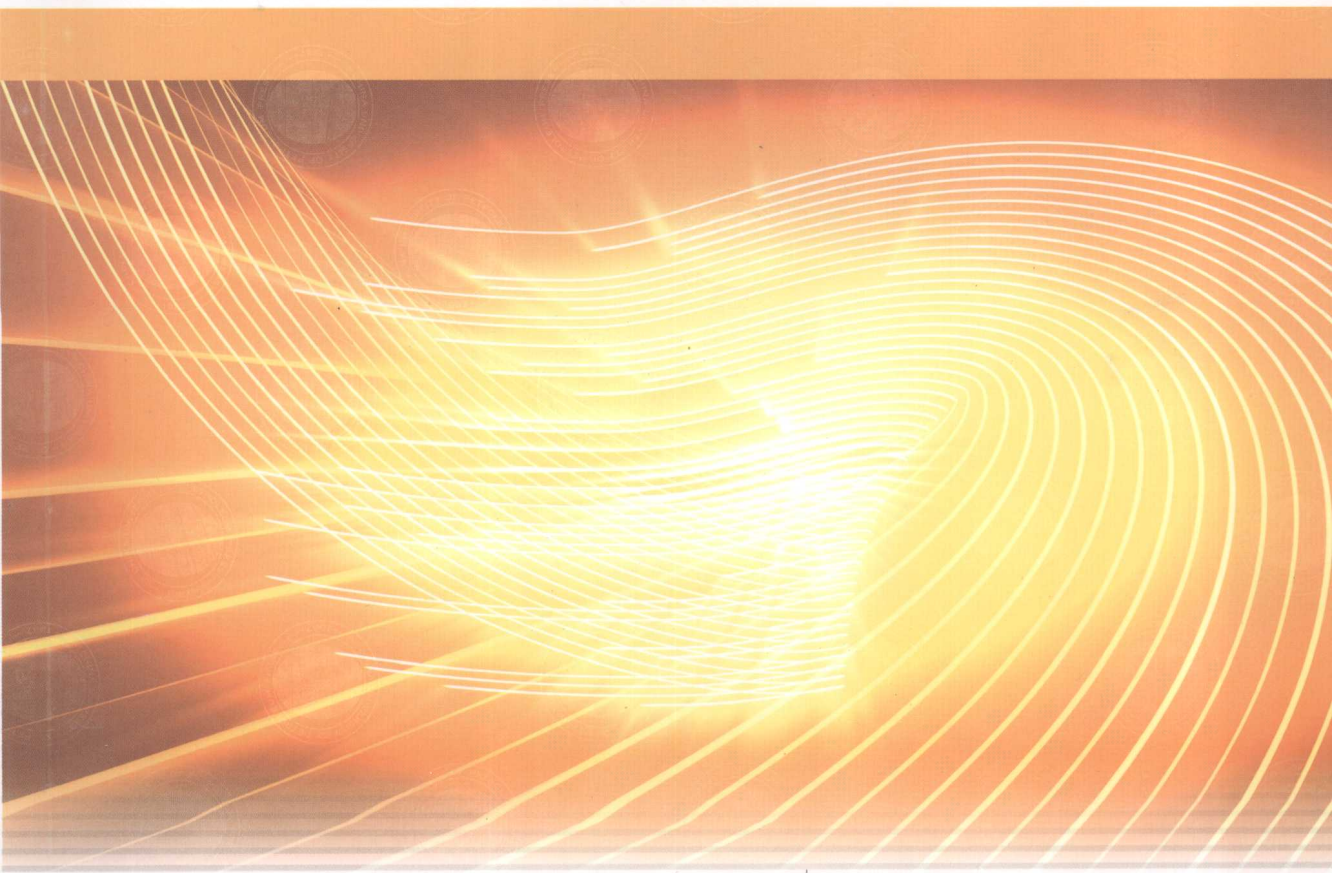




高职高专“十一五”规划教材

电工电子技术

穆念强 主编



中国石油大学出版社

高职高专“十一五”规划教材

电工电子技术

主 编 穆念强

副主编 程翔云 王丽林 宋 静 曹春华

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/穆念强主编. —东营:中国石油大学出版社, 2007. 9
ISBN 978-7-5636-2477-5

I. 电… II. 穆… III. ①电工技术—高等学校—教材
②电子技术—高等学校—教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 139693 号

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,翻版必究。

书 名: 电工电子技术
作 者: 穆念强

策划编辑: 宋秀勇(电话 0546—8392139)
责任编辑: 刘 清
封面设计: 李 东

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营, 邮编 257061)
网 址: <http://www.uppbook.com.cn>
电子信箱: yibian8392139@163.com
印 刷 者: 沂南县汇丰印刷有限公司
发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546—8392139)
开 本: 180×235 印张: 16.75 字数: 337 千字
版 次: 2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷
定 价: 28.00 元

本书封面覆有中国石油大学出版社标志的激光防伪膜。

本书封面贴有中国石油大学出版社标志激光防伪标签,无标签者不得销售。

前 言

本书主要依据教育部关于《高等职业学校培养目标与人才规格》的精神,针对高等职业教育职业化、应用性的特点,结合高等职业工科非电类各专业知识结构与技能的要求而编写。

本书的编写总结了我校机械、冶金、化工、计算机等非电类各专业电类课程多年的教学经验,结合企业相关工种、岗位、专业对电类课程的要求,以及在企业职工培训、职业技能培训中取得的经验,并针对高职学生的学习特点,在适用范围、内容深度、应用性等方面作了充分考虑,力求使教材内容更具科学性、实用性,简明扼要,宜教宜学。

本书包含电工技术和电子技术两部分内容,共 11 章。电工技术部分从第 1 章到第 5 章,电子技术部分从第 6 章到第 11 章。内容包括:电路基本概念和基本定律、直流电路分析、交流电路分析、电机与变压器、常用半导体器件、基本放大电路、集成放大电路、直流稳压电源、门电路与组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路等。每章配有精选的习题,便于课后练习与自学。本书以 60~80 课时讲授比较合适,使用者可根据专业要求灵活取舍。

本书适于作为高职高专机械、冶金、化工、计算机等非电类专业作电工电子基础课程的教材,或其他相近课程的教学参考,宜可作为相关专业企业职工培训、职业技能培训用书。

参加本书编写的有:穆念强(第 6、7、8 章)、程翔云(第 2、10、11 章)、王丽林(第 3、4 章)、宋静(第 1、9 章)、曹春华(第 5 章),全书由穆念强统

稿。

本书经过中国石油大学刘润华教授的认真审阅,提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢。在本书编写过程中,参考了大量的文献资料,在此向其作者一并表示感谢。

由于作者水平有限,加之时间比较仓促,书中错误和不足之处在所难免,欢迎广大读者提出批评和指正,以便不断改进和提高。

编 者

2007年12月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路与电路模型	1
1.2 电路的基本物理量	2
1.3 欧姆定律	6
1.4 电源的有载、开路与短路工作状态	7
1.5 基尔霍夫定律	10
1.6 电路中电位的概念及计算	13
本章小结	16
思考与练习	16
第 2 章 直流电路分析	19
2.1 电阻的串并联	19
2.2 电压源和电流源	22
2.3 支路电流法	24
2.4 节点电压法	25
2.5 叠加原理	27
2.6 用戴维南定理计算	29
本章小结	31
思考与练习	32
第 3 章 正弦交流电路	35
3.1 正弦交流电的表示方法	35
3.2 三种基本元件交流电路	43
3.3 电阻、电感、电容串并联电路	52
3.4 电路的谐振	57
3.5 功率因数的提高	59
本章小结	62
思考与练习	63
第 4 章 三相交流电路	65
4.1 三相交流电的产生	65
4.2 三相交流电路的连接	69

4.3 对称三相电路的计算	73
本章小结	78
思考与练习	79
第5章 电机与变压器	80
5.1 电磁基础	80
5.2 变压器	83
5.3 交流电动机	90
本章小结	101
思考与练习	102
第6章 常用半导体器件	103
6.1 半导体二极管	103
6.2 半导体三极管	112
*6.3 场效应晶体管	118
本章小结	120
思考与练习	121
第7章 基本放大电路	125
7.1 共发射极放大电路	125
7.2 共集、共基电路简介	135
7.3 多级放大电路	138
7.4 差分放大电路	140
7.5 互补放大电路	145
本章小结	149
思考与练习	149
第8章 集成放大电路	153
8.1 集成运算放大电路简介	153
8.2 放大电路中的负反馈	156
8.3 基本运算电路	160
8.4 信号产生电路	165
本章小结	172
思考与练习	173
第9章 直流稳压电源	178
9.1 概述	178
9.2 单相桥式整流电路	179
9.3 电容滤波电路	181
9.4 稳压电路	183

9.5 集成稳压电源	186
9.6 晶闸管简介	189
本章小结	193
思考与练习	193
第 10 章 门电路与组合逻辑电路	196
10.1 数字电路概述	196
10.2 逻辑函数与逻辑代数	200
10.3 逻辑门电路	213
10.4 组合逻辑电路的分析与设计	217
10.5 集成组合逻辑电路	220
本章小结	230
思考与练习	231
第 11 章 触发器与时序逻辑电路	235
11.1 触发器	235
11.2 寄存器	241
11.3 计数器	244
11.4 中规模集成计数器组件及其应用	250
本章小结	257
思考与练习	257
参考文献	260



第 1 章

电路的基本概念和基本定律



内容提要

电路的基本概念和基本定律是电工技术和电子技术的基础。本章主要介绍电路模型、电路中的基本物理量、电压和电流的参考方向、欧姆定律、基尔霍夫定律、电路的工作状态及其电位的概念和计算等。

1.1 电路与电路模型

电路是电流所通过的路径。实际的电路是用导线将一些起不同作用的电气元件或设备连接起来的整体,从最简单的手电筒电路到尖端复杂的航天测控系统,都遵循电路的基本定律,都需要电路的基本描述方法,这是设计、维护、使用、认识电子电气设备及系统的基础。

如图 1.1 为较简单的手电筒实际电路,由一节 1.5 V 的干电池、一只小灯泡、一段输电导线和一个开关组成。

在手电筒电路的工作过程中,小灯泡除具有消耗电能的性质(电阻性)外,当通有电流时还会产生磁场,也就是它还具有电感性。但电感微小,可忽略不计,于是可认为小灯泡是一个电阻元件。

为了便于分析与计算实际电路,在一定条件下突出其主要的电磁性质而忽略实际电路元件

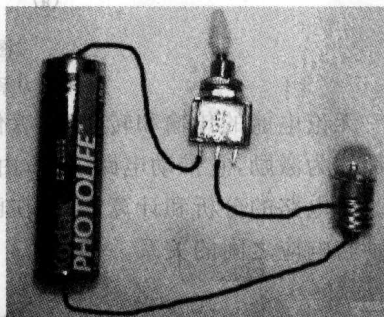


图 1.1 手电筒的实际电路

的次要因素,可把它近似看成理想的电路元件。由一些理想电路元件所组成的电路,就是实际电路的电路模型,它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。在理想电路元件中主要有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等。这些元件分别由相应的参数 $R, L, C, E(R_0)$ 来表示。如图 1.2 为手电筒的电路模型。小灯泡是电阻元件,其参数为 R ;干电池是电源元件,其参数为电动势 E 和内电阻 R_0 ;开关和输电导线应该属于电路中的中间环节。

一个电路无论简单还是复杂,都是由电源、负载、中间环节(输电导线、控制装置)等组成。

电源是供应电能的装置,它把其他形式的能转换为电能。如发电机、电池、信号源等。

负载指用电设备,是使用电能的装置,它把电能转换为其他形式的能。例如,电灯把电能转换成光能,电炉把电能转换成热能,电动机把电能转换成机械能。

中间环节是用作电源与负载相接的部分,它起着传输和分配电能的作用。通常是指一些导线、开关、接触器等辅助设备。

电路的主要作用:一是用来实现电能的传输和转换;二是实现信号的传递和处理。如图 1.3 是电路在两种典型场合的应用,图(a)为电力系统示意图。发电厂的发电机把热能、水能或原子能等转换成电能,通过变压器、输电线路等中间设备输送到厂矿或家庭。图(b)为扩音机的示意图。它通过电路把所接受的信息经过变换或处理,再由扬声器输出。

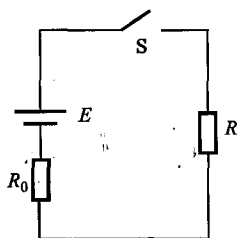


图 1.2 手电筒的电路模型

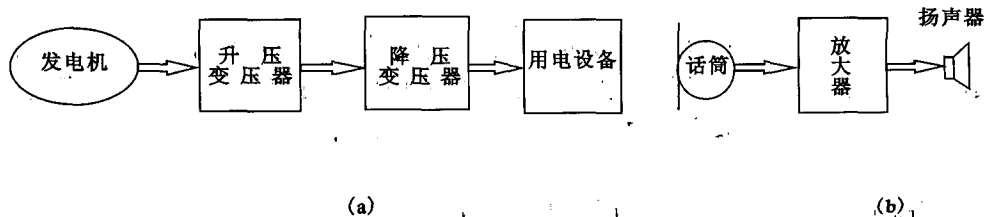


图 1.3 电路示意图

(a) 电力系统示意图; (b) 扩音机示意图

无论电能的传输和转换,或者信号的传递和处理,其中电源或信号源的电压和电流都称为激励,它推动电路工作;由于激励在电路各部分所产生的电压和电流称为响应。对电路的分析和计算,就是在已知电路的结构和元件参数的条件下,讨论电路的激励与响应之间的关系。

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

1. 电流定义

带电粒子或电荷在电场力作用下的定向移动形成电流。单位时间内流过导体横截面的电荷量定义为电流强度,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

2. 电流方向

电流是由电荷的定向移动形成的。习惯上把正电荷定向移动的方向或负电荷定向移动的反方向规定为电流的实际方向。对于比较简单的直流电路来说,可以事先判断出电流的实际方向,但是对于比较复杂的直流电路或者交流电路来说,往往难以事先判断电流的实际方向。为了方便分析与计算电路,引入电流“参考方向”的概念。

在分析与计算某一段电路或一个电路元件时,可事先假定一个电流的方向,这个假定的方向叫做电流的“参考方向”。规定:若电流的“参考方向”与实际方向相同,则电流值为正值,即 $i > 0$,如图 1.4 所示。若电流的“参考方向”与实际方向相反,则电流值为负值,即 $i < 0$,如图 1.5 所示。

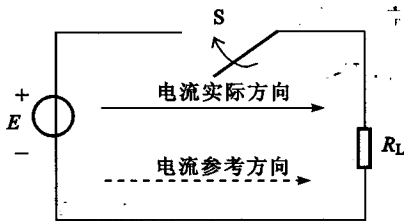


图 1.4 电流参考方向与实际方向相同

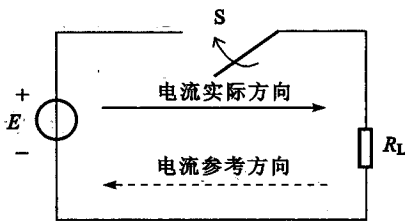


图 1.5 电流参考方向与实际方向相反

3. 电流单位

在国际单位制中,电流的单位是安培,简称安,符号为 A,有时还用到千安(kA)、毫安(mA)或微安(μA),换算关系如下:

$$1 \text{ kA} = 1\,000 \text{ A} = 10^3 \text{ A}$$

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$$

$$1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

1.2.2 电压和电动势

1. 电压定义

电场力把单位正电荷从 A 点移到 B 点所做的功,即

$$u_{AB} = \frac{dA}{dq} \quad (1.2)$$

2. 电动势定义

电源力把单位正电荷从“-”极板经电源内部移到“+”极板所做的功,即

$$e = \frac{dA}{dq} \quad (1.3)$$

3. 电压、电动势方向

电压的方向规定为由高电位端指向低电位端,即电位降低的方向。电源电动势

的方向规定为在电源内部由低电位端指向高电位端,即电位升高的方向。与分析电流一样,有时很难对电路或元件中电压的实际方向做出判断,必须对电路或元件中两点之间的电压任意假定一个方向为“参考方向”,在电路中一般用实线箭头表示,箭头所指的方向为参考方向。有时电压的参考方向也用参考极性来表示,即在元件或电路两端用“+”和“-”符号表示,“+”号表示高电位端,称为正极,“-”号表示低电位端,称为负极,由正极指向负极的方向假定为电压的参考方向。若电压的“参考方向”与实际方向相同,电压值为正,即 $U > 0$; 反之,若电压的“参考方向”与实际方向相反,电压值为负,即 $U < 0$,如图 1.6 所示。

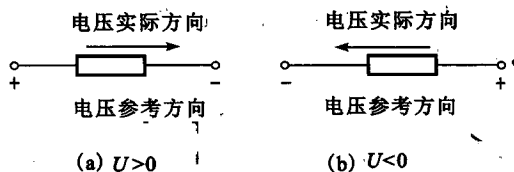


图 1.6 电压的参考方向与实际方向的关系

4. 电压、电动势单位

在国际单位制中,电压、电动势的单位都是伏[特],简称伏,符号为 V。有时还需要用千伏(kV)、毫伏(mV)或微伏(μV)。换算关系如下:

$$1 \text{ kV} = 1\,000 \text{ V} = 10^3 \text{ V}$$

$$1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$$

$$1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$$

【例 1.1】 图 1.7 中已给出电压参考方向,已知 $U_1 = 9 \text{ V}$, $U_2 = -9 \text{ V}$,试指出电压的实际方向。

解 如图 1.7(a)所示,因为 $U_1 = 9 \text{ V} > 0$,所以 U_1 的实际方向与它的参考方向相同,即由 A 指向 B。

如图 1.7(b)所示,因为 $U_2 = -9 \text{ V} < 0$,所以 U_2 的实际方向与它的参考方向相反,即由 A 指向 B。

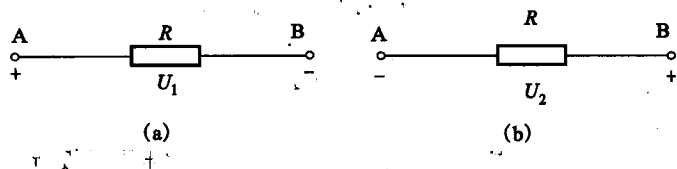


图 1.7

注意:

(1) 电压、电流和电动势的参考方向可任意假定。但一经选定,分析过程中不应改变。

(2) 电路图中标出的方向一律指参考方向。

(3) 同一元件的电压、电流若选的参考方向相同,称为关联参考方向。反之为非关联方向,如图 1.8(a)、(b) 所示。

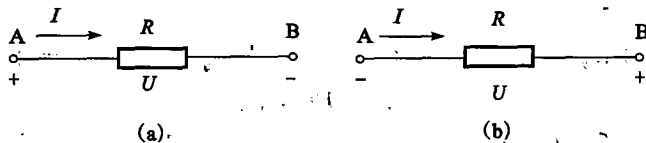


图 1.8 电压、电流参考方向

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

1.2.3 功率

1. 功率定义

在直流电情况下,我们称单位时间内做的功为电功率,简称功率,功率用符号 P 表示,公式如下:

$$P = W/t = UI = U^2/R = I^2R \quad (1.4)$$

2. 元件吸收或供出功率的判断

在电压和电流关联参考方向下,当计算出功率值为正,即 $P = UI > 0$ 时,表明元件吸收或消耗电能;当计算出功率值为负,即 $P = UI < 0$ 时,表明元件发出电能。

在非关联参考方向下,若 $P = -UI > 0$ 时,表明元件吸收或消耗电能;若 $P = -UI < 0$ 时,表明元件发出电能。

凡吸收或消耗电能的元件都可称为负载,而发出电能的元件都可称为电源。

3. 功率单位

在国际单位制中,功率的单位为瓦特,简称瓦,符号为 W,有时还用到千瓦 (kW)。功率只有正负,没有方向。换算关系如下:

$$1 \text{ kW} = 1,000 \text{ W} = 10^3 \text{ W}$$

【例 1.2】在图 1.9 中,方框代表电源或负载。已知 $U = 220 \text{ V}$, $I = -1 \text{ A}$,试分析哪些方框是电源? 哪些是负载?

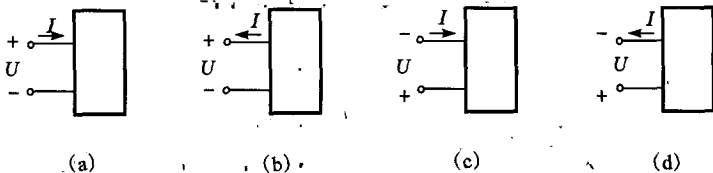


图 1.9

解 图 1.9(a)、(d) 两方框中, U 和 I 是关联方向,故 $P = UI = 220 \times (-1) = -220 \text{ (W)} < 0$,元件发出电能,所以图 1.9(a)、(d) 中两方框代表的是电源;

图 1.9(b)、(c)的两方框中, U 和 I 是非关联方向, 故 $P = -UI = -220 \times (-1) = 220$ (W) > 0 , 元件吸收电能, 所以图 1.9(b)、(c)中两方框代表的是负载。

1.2.4 电能

在直流电路中, 负载上的功率不随时间变化, 则功率与时间的乘积称为电能, 即

$$W = Pt = UIt \quad (1.5)$$

电能的单位常用千瓦小时(kW·h)或度表示, 1 kW·h 的电能通常叫做一度电。一度电为 $1 \text{ kW} \times 1 \text{ h} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ 。

若功率的单位为瓦特(W), 时间的单位为秒(s), 则电能的单位为焦耳(J)。

1.2.5 电阻

电流通过导体所受到的阻碍作用称为导体的电阻, 用符号 R 来表示。电阻的单位是欧姆(Ω)。有时用到千欧(k Ω)、兆欧(M Ω)。换算关系如下:

$$1 \text{ k}\Omega = 1000 \Omega = 10^3 \Omega$$

$$1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$$

通过实验可知, 当温度一定时导体的电阻不仅与它的长度和横截面积有关, 而且与导体材料的电阻率有关, 即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1.6)$$

式中, L 为导体的长度, 单位为米(m); S 为导体的横截面积, 单位为平方米(m^2); ρ 为导体的电阻率, 单位为欧[姆]米($\Omega \cdot \text{m}$)。

电阻是物体本身固有的一种特性。电阻的倒数称为电导, 用 G 来表示, 电导在国际单位制中的单位为西[门子](S), 即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1.7)$$

1.3 欧姆定律

1. 欧姆定律

1827 年德国物理学家欧姆通过科学实验得出: 流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比, 这就是欧姆定律。如图 1.10(a)所示, 元件上的电压与通过它的电流在关联参考方向下可表示为

$$I = U/R \quad (1.8)$$

或 $U = IR, R = U/I$

如果电阻元件上电压的参考方向与电流的参考方向为非关联方向时, 如图

1.10(b)所示,则欧姆定律可表示为

$$U = -RI \quad (1.9)$$

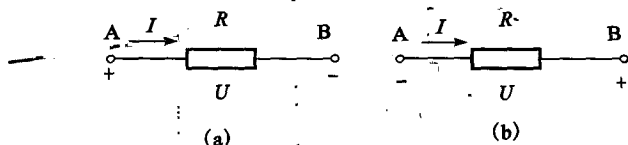


图 1.10 电压、电流、电阻三者的关系

所以欧姆定律的公式必须与电压、电流的参考方向配合使用。

2. 伏安特性

式(1.8)所表示的电流与电压的正比关系,是通过实验得出的。我们可通过测量电阻两端的电压值和流过电阻的电流值,绘出一条通过坐标原点的直线,如图 1.11 所示。因此,遵循欧姆定律的电阻称为线性电阻,它表示了该段电路的特性,是一个与电压和电流大小无关的常数。图 1.11 的直线常称为线性电阻的伏安特性曲线。

电阻两端的电压与流过的电流不满足线性关系的电阻,称非线性电阻。非线性电阻的伏安特性是一条曲线。如图 1.12 的曲线为非线性电阻的伏安特性曲线。

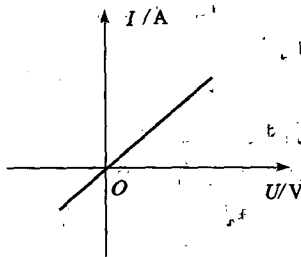


图 1.11 线性电阻的伏安特性曲线

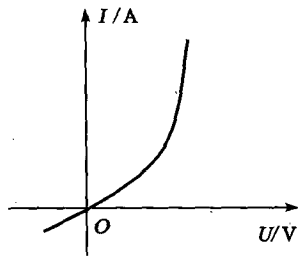


图 1.12 非线性电阻的伏安特性曲线

1.4 电源的有载、开路与短路工作状态

1.4.1 电源有载工作状态(通路)

通路就是电源与负载接成闭合回路,即图 1.13(a)所示的电路中开关 S 合上时的工作状态。如果忽略导线电阻,闭合电路中的电流为

$$I_L = E / (R_0 + R_L) \quad (1.10)$$

负载的电压降 U_L 就等于电源的端电压 U 。

$$U = U_L = I_L R_L = ER_L / (R_0 + R_L) = E - I_L R \quad (1.11)$$

式中, E 为电源电动势; R_0 为电源内阻; U 为电源的端电压; R_L 为负载的电阻; U_L 为负载两端的电压; I_L 为通过负载的电流。

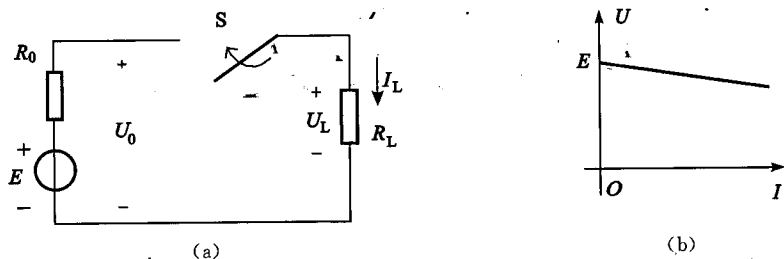


图 1.13 电源有载工作及电源外特性曲线

由式(1.11)可见, R_0 越小, 则 U_L 越大, 就越接近于 E , 即带负载能力越强。

图 1.13(b) 所示曲线, 表示的是电源端电压 U 和输出电流 I 之间的关系曲线, 称为电源的外特性曲线。曲线的斜率与电源的内阻 R_0 有关, 电源的内阻一般很小, 当 $R_0 \ll R_L$ 时, $U \approx E$, 这时电源的外特性曲线与 I 轴几乎平行。

通常负载(例如电灯、电动机等用电设备)都是并联运行的。由于电源的端电压是基本不变的, 所以负载两端的电压也是基本不变的。电源带负载运行, 总希望整个电路运行正常、安全可靠, 然而随着电源所带负载的增加, 负载吸收电源的功率增大, 即电源输出的总功率和总电流就会相应增加。这说明电源输出的功率和电流决定于其所带负载的大小。从电路可靠正常运行角度讲, 电气设备也不是在任何电压、电流下均可正常工作, 要受其绝缘强度和耐热性能等自身因素影响。在这里, 要说明一下“额定值”这个概念。各种电气设备的电压、电流及功率等都有一个额定值。额定值是制造厂为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常容许值。如一只灯泡, 标有电压 220 V, 功率 100 W, 这是它的额定值。表示这只灯泡的额定电压是 220 V、额定功率是 100 W, 在使用时就不会接到 380 V 的电源上。

电气设备的额定值常有: 额定电压、额定电流、额定功率等, 分别用 U_N , I_N 和 P_N 表示。

不能将额定值与实际值等同, 如前面所说的额定电压为 220 V, 额定功率为 100 W 的灯泡, 在使用时, 接到了 220 V 的电源上, 但电源电压经常波动, 稍高于或低于 220 V, 这样, 灯泡的实际功率就不会正好等于其额定值 100 W。所以, 电气设备在使用时, 电压、电流和功率的实际值不一定等于它们的额定值。

1.4.2 断路(开路状态)

断路就是电源与负载没有接成闭合回路, 如图 1.14 所示电路中的开关 S 断开时的工作状态。断路状态相当于负载 R_L 为无穷大, 电路中的电流 I 为零, 即

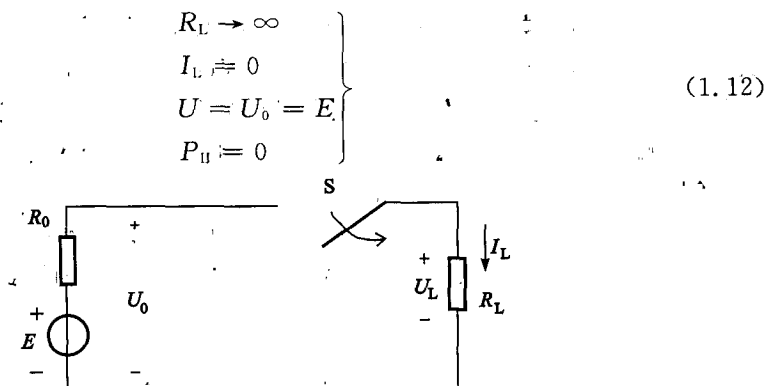


图 1.14 电源开路(断路状态)

此时电源不向负载供电功率,即电源功率 $P_E = 0$,负载功率 $P_L = 0$ 。这种情况称为电源空载。电源空载时的端电压称为断路电压或开路电压 U_0 ,电源的端电压 U 就等于电源电动势 E 。

1.4.3 短路(故障状态)

如图 1.15 所示,当电源的两端由于某种原因被连在一起时,电源则被短路。图 1.15 中折线是指明短路点的符号。电源短路时,外电路的电阻可视为零,电流有捷径可通,不再流过负载。因为在电流的回路中仅有很小的电源内阻 R_0 ,所以这时的电流很大,此电流为短路电流 I_S 。

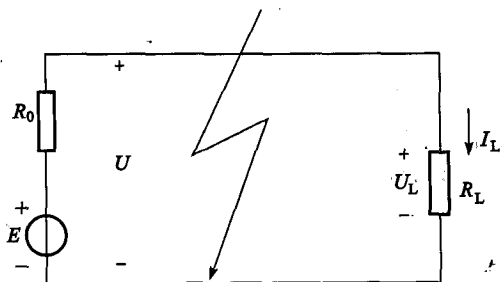


图 1.15 电源短路(故障状态)

短路时的特征为

$$\left. \begin{aligned} U &= 0 \\ I &\doteq I_S = E/R_0 \\ P_E &= I_S^2 R_0, P_L = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.13)$$

因为电源内阻 R_0 一般比负载电阻小得多,所以短路电流总是很大。如果电源短路状态不迅速排除,则由于电流热效应,很大的短路电流将会烧毁电源、导线以及