



21世纪高职系列教材

SHIJI GAOZHI XILIEJIAOCAI

# 电工技术

主编 / 曹京生

哈尔滨工程大学出版社



21世纪高职系列教材  
SHIJI GAOZHI XILIE JIAOCAI

# 电工技术

主编 / 曹京生 ■

哈尔滨工程大学出版社

## 内 容 简 介

本书是根据高职、高专机电类专业电工技术课程教学的基本要求编写的。主要内容包括:电路的基本概念、基本定律、分析方法;磁路与变压器;电工仪表及测量;异步电动机、直流电动机、特种电机;继电接触器控制及安全用电等。

全书概念清楚,通俗易懂,理论联系实际。每章有小结和习题。

本书可作为高职、高专机电类专业电工技术课的教材,也可供从事电工技术工作的人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

电工技术/曹京生主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2007.8

ISBN 978-7-81133-023-6

I.电… II.曹… III.电工技术-高等学校:技术学校-教材 IV.TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 130708 号

---

出版发行 哈尔滨工程大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号  
邮政编码 150001  
发行电话 0451-82519328  
传 真 0451-82519699  
经 销 新华书店  
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂  
开 本 787mm×1 092mm 1/16  
印 张 12.25  
字 数 260 千字  
版 次 2007 年 8 月第 1 版  
印 次 2007 年 8 月第 1 次印刷  
定 价 21.00 元  
<http://press.hrbeu.edu.cn>  
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

---

# 21 世纪高职系列教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主任委员	王景代	丛培亭	刘 义	刘 勇
	李长禄	张亦丁	张学库	杨永明
	季永青	罗东明	施祝斌	唐汝元
	曹志平	蒋耀伟	熊仕涛	
委 员	王景代	丛培亭	刘 义	刘 勇
	刘义菊	刘国范	闫世杰	李长禄
	杨永明	张亦丁	张学库	陈良政
	肖锦清	林文华	季永青	罗东明
	胡启祥	施祝斌	钟继雷	唐永刚
	唐汝元	郭江平	晏初宏	曹志平
	蒋耀伟	熊仕涛	潘汝良	

# 前 言

本书是根据高职、高专机电类专业电工技术课程教学的基本要求编写的,针对高职、高专培养技术应用型人才的特点,教材内容的组织在基本理论方面以必需、够用为度,尽量减少数理论证,以掌握概念,突出应用、培养技能为教学重点。为便于机电专业后续课程的教学,适度增加了电机与继电器控制的内容。

本书内容包括:

1. 电路的基本概念、基本定律、分析方法;
2. 磁路与变压器;
3. 电工仪表及测量;
4. 异步电动机、直流电动机、特种电机;
5. 继电器控制;
6. 安全用电。

全书概念清楚,通俗易懂,理论联系实际,编入了较多的工程应用实例和例题。每章有小结和习题。

本书的图形符号和文字符号均采用国家标准。

本书内容考虑到机电类不同专业对教材内容要求的差异,编写了一些加深、拓宽的内容可供选学。总学时建议为 90 学时,其中理论教学为 70 学时,实验教学为 20 学时。

全书由曹京生副教授统稿、任主编。参加本书编写的有南通航运职业技术学院缪骏骅(第一、二、三、四章);王爱军(第五、八、九、十章);吴炜(第六、七章);曹京生(第十一、十二章)。夏长凤老师参与了部分插图的绘制,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2007 年 6 月

# 目 录

第一章 电路的基本概念与基本定律 .....	1
第一节 电路的作用与组成 .....	1
第二节 电压的参考方向 .....	2
第四节 电路的工作状态 .....	5
第五节 电路的基本定律 .....	8
第六节 电路中的电位及其计算 .....	12
习题 .....	15
第二章 直流电路的分析方法 .....	18
第一节 电压源与电流源及其等效变换 .....	18
第二节 支路电流法 .....	23
第三节 节点电压法 .....	24
第四节 叠加原理 .....	25
第五节 戴维南定理 .....	27
第六节 受控源电路分析 .....	29
习题 .....	32
第三章 线性电路的暂态分析 .....	36
第一节 概述 .....	36
第二节 换路定律及初始值的确定 .....	36
第三节 $RC$ 电路的暂态分析 .....	38
第四节 $RL$ 电路的暂态分析 .....	42
第五节 求一阶线性电路过渡过程的三要素法 .....	45
习题 .....	47
第四章 正弦交流电路 .....	49
第一节 正弦交流电路的基本概念 .....	49
第二节 正弦量的相量表示法 .....	52
第三节 单一参数的正弦交流电路 .....	54
第四节 $RLC$ 串联的正弦交流电路 .....	60
第五节 并联正弦交流电路 .....	64
习题 .....	68
第五章 三相交流电路 .....	70
第一节 三相电源 .....	70
第二节 三相负载 .....	73
第三节 三相电路的功率 .....	77
习题 .....	79
第六章 磁路与变压器 .....	80
第一节 磁路中的基本物理量 .....	80

第二节	铁磁材料 .....	81
第三节	磁路基本定律 .....	83
第四节	交流铁芯线圈电路 .....	85
第五节	变压器的构造、用途与分类 .....	88
第六节	变压器的工作原理 .....	90
第七节	变压器的运行特性 .....	93
第八节	三相变压器 .....	95
第九节	特殊变压器 .....	96
	习题 .....	100
<b>第七章</b>	<b>电工仪表及其电工测量 .....</b>	<b>101</b>
第一节	电工仪表 .....	101
第二节	电工测量技术 .....	106
	习题 .....	113
<b>第八章</b>	<b>三相异步电动机 .....</b>	<b>114</b>
第一节	三相异步电动机的结构和铭牌 .....	114
第二节	三相异步电动机的工作原理 .....	117
第三节	三相异步电动机的机械特性 .....	123
第四节	三相异步电动机的启动、调速和制动 .....	127
第五节	三相异步电动机运行中常见的故障及处理方法 .....	131
	习题 .....	134
<b>第九章</b>	<b>直流电动机 .....</b>	<b>135</b>
第一节	直流电动机的结构和分类 .....	135
第二节	直流电动机的工作原理 .....	138
第三节	直流电动机的运行特性 .....	139
第四节	直流电动机的启动、反转、调速和制动 .....	142
第五节	直流电动机的维护和常见故障处理 .....	145
	习题 .....	147
<b>第十章</b>	<b>特种电动机 .....</b>	<b>148</b>
第一节	同步电动机 .....	148
第二节	单相异步电动机 .....	151
第三节	伺服电动机 .....	153
第四节	步进电动机 .....	156
第五节	测速发电机 .....	159
第六节	自整角机 .....	162
	习题 .....	166

---

<b>第十一章 继电接触器控制</b> .....	<b>167</b>
第一节 常用低压电器.....	167
第二节 常用电器控制电路.....	176
习题.....	182
<b>第十二章 安全用电</b> .....	<b>183</b>
第一节 安全操作规程与安全措施.....	183
第二节 人身安全与触电形式.....	184
第三节 保护接地与保护接零.....	184
习题.....	185
<b>参考文献</b> .....	<b>186</b>



# 第一章 电路的基本概念与基本定律

电路的基本概念与基本定律是分析和计算电路的基础,本章从直流电路入手,讲授电路的基本物理量和电路的基本定律,在学习过程中要特别注意区别电路所选定的电压、电流的参考方向,电路中各点的电位和几种工作状态。

## 第一节 电路的作用与组成

### 1. 电路的作用

(1)利用电路可以实现电量的转换、传输和分配。例如在电力系统中,发电机能把机械能、水能、热能转换成电能,再通过变压器、输电线路以及各种开关输送和分配到各用户,然后根据用户的实际需要再把电能转换成机械能、光能和热能等,如图 1-1 所示。

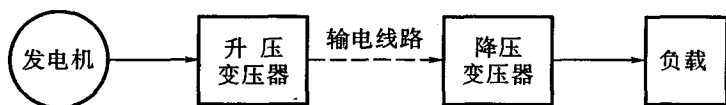


图 1-1 电力系统示意图

(2)利用电路能进行信号的传递和处理。通过电路元件,可以将信号源输出的信号进行加工后成为所需要的输出信号,如图 1-2 所示。

无论是哪一种作用,其中电源或信号源的电压(或电流)也就是电源供给电路的能量,称为激励,它能驱动电路工作,在激励作用下,电路中某一元件上的电压或电流即能量的应用,称为响应。后面的电路分析,就是在已知电路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。

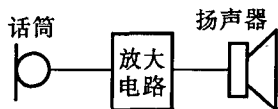


图 1-2 半导体扩音器示意图

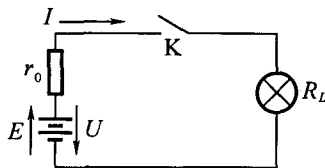


图 1-3 电路组成

### 2. 电路的组成

电路是电流流通的路径。图 1-3 是一个最简单的电路图,它由电源、负载和中间环节(包括连接的导线和开关)三大部分组成,这三大部分被称为电路组成的三要素。在电路中随着电流的流动,进行着不同形式的能量转换。

## 第二节 电压的参考方向

### 一、电流

电流是由带电粒子(简称电荷)有规则的定向运动而形成的。

电流的强弱用电流强度来度量,电流强度用  $I$  表示。如果电流的方向不随时间而变化,这种电流称为直流;如果电流的大小和方向都不随时间而变化,这种电流称为恒定电流。对于直流,其电流强度用单位时间内通过导体横截面的电量来衡量,即

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

电流强度简称为电流。电流的单位是安培,用符号 A 来表示。如果 1 s 内有 1 库仑(C)的电量通过导体某一横截面,则这时的电流就是 1 A。电流的

较小单位是毫安(mA)或微安( $\mu\text{A}$ );电流的较大单位是千安(kA),它们的换算关系为

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

习惯上规定正电荷运动的方向为电流的正方向。但在分析较为复杂的电路时往往难以事先判别某支路中电流的实际方向,故引入电流的参考方向,又称电流的正方向。在进行电路计算时,先任意选定某一方向为待求电流的正方向,并根据此正方向进行计算。如果计算结果为正值,说明电路中电流的实际方向与所选的电流方向相同;如果计算结果为负值,说明电路中电流的实际方向与正方向相反。电流的正、负值与正方向以及实际方向之间的关系,如图 1-4 所示。必须要说明的是:本书中电路图上所标的电流方向都是选定的参考方向,电流的参考方向除了用箭头表示外,还可以用双下标表示。例如,  $I_{ab}$  表示电流的参考方向由  $a$  流向  $b$ ,  $I_{ba}$  表示电流的参考方向由  $b$  流向  $a$ ,两者间相差一个负号,即

$$I_{ab} = -I_{ba} \quad (1-2)$$

综上所述,电流的参考方向是分析电路的一项重要概念,在学习过程中必须注意以下三点。

(1) 电流的实际方向是客观存在的,而参考方向则是根据分析和计算的需要而任意选定的,当参考方向一旦选定后,则全部分析与计算的过程就必须以此为据,不得随意变动。

(2) 如果是同一电流,若参考方向的选取不同,其结果是:数值相等符号相反。因此,电流值的正负只有在选定参考方向的前提下才有意义。

(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。因此,在应用这些公式和结论时,必须注意参考方向的选择。

还应特别指出,电流虽具有大小和方向,但它是代数量,是标量,而不是矢量,因电流的方向是人为规定的。请务必注意这一点。

### 二、电压

在电路中任意两点间的电位差称作这两点间的电压,用字母  $U$  来表示。例如  $a, b$  两点间的电压为

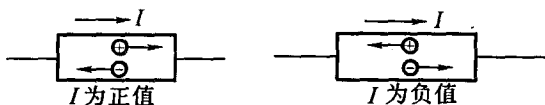


图 1-4 电流的正方向

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-3)$$

电压是衡量电场力做功能力的物理量,其单位是伏特,简称伏(V),电压的实际方向规定为由高电位点指向低电位点(即电位降落的方向),常用电压的单位有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏( $\mu\text{V}$ ),它们之间的换算关系为

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}, 1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}, 1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$$

电压也有正、负之分,在一些复杂的电路中,某两点间的电压实际方向有时难以事先确定,所以在分析电路的过程中,也需选取电压的正方向。当电压的正方向与所选取的方向一致时,电压为正( $U > 0$ );相反,电压为负( $U < 0$ )。电压的参考方向与实际方向的关系如图 1-5 所示。

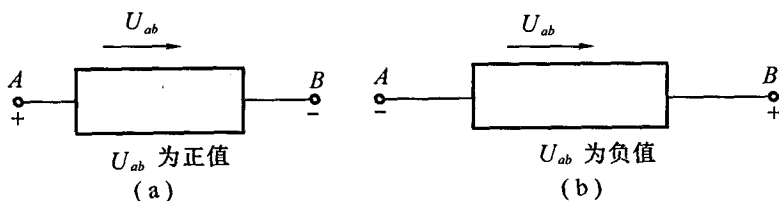


图 1-5 电压的正方向

(a)正方向与实际方向相同;(b)正方向与实际方向相反

在计算某一电路中的电压或电流时,应假定该电路的电压或电流的正方向,如果不标出正方向,计算所得的电压或电流的正、负值就没有正确的意义了。

对于无源元件(电阻、电感或电容)上电压或电流正方向的假定,原则上是任意的,但为了方便起见,常采用与流过该元件的电流方向相一致的正方向。

### 三、电位

由于电压是对电路中某两点而言的,因此在分析较复杂的电路时,电路中每两点的电压就显得很繁琐。如果在电路中任选一点为参考点,则电路中某点的电位就等于该点到参考点之间的电压,常用  $V$  表示,并把这一参考点称为“零”电位点。电路中电位比参考点高的一些点的电位为正值;电位比参考点低的一些点,它们的电位为负值。所以从  $a$  点到参考点的电位可以写成

$$V_a = U_{a0} \quad (1-4)$$

电位的单位与电压相同,也是伏特(V)。

在电路中电位的参考点可以任意选定,但在电力工程中,常常取大地作为参考点,并令其电位等于零。因此,凡是外壳接地的电器设备,其机壳都是零电位。对于不接地的设备,在分析问题时,常选许多元件汇集的公共点作为零电位点,并用符号“ $\perp$ ”表示。

**例 1-1** 在图 1-6 所示的电路中,已知  $U_{ac} = -8 \text{ V}$ ,  $E = 5 \text{ V}$ , 若分别以  $a$  点、 $b$  点和  $c$  点为参考点,试求各点的电位。

**解** 根据参考点的选择的不同,也可得到不同的电压,以  $a$  点为参考点,则各点的电位为

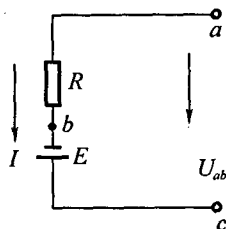


图 1-6 例 1-1 的电路

$$U_{ca} = 8 \text{ V}; U_{ba} = U_{ca} - U_{cb} = 8 \text{ V} - 5 \text{ V} = 3 \text{ V}; U_a = 0 \text{ V}.$$

以  $b$  点为参考点, 则各点的电位为

$$U_{cb} = E = 5 \text{ V}; U_{ab} = U_{ac} - U_{bc} = -8 \text{ V} - (-5 \text{ V}) = -3 \text{ V}; U_b = 0 \text{ V}.$$

#### 四、电动势

在闭合电路中, 需要维持连续不断的电流, 则必须要有电源。在电源的内部有一种力(非静电力), 它能把由正极经负载流回到负极的正电荷从电源内部搬运到电源的正极, 从而使正电荷沿着电路不断地循环流动。

非静电力把正电荷从负极(如图 1-7 所示)搬运到正极所做的功  $W_{ba}$  与被搬运的电量  $Q$  的比值, 称为  $a$  与  $b$  两点间的电动势, 用  $E_{ba}$  表示, 即

$$E_{ba} = W_{ba} / Q \quad (1-5)$$

电动势是衡量非静电力做功能力的物理量, 非静电力所做的功使正电荷电位能升高。电动势的实际方向规定为从低电位点指向高电位点, 即电位升的方向, 如图 1-7 所示。电动势的单位与电压的单位相同。

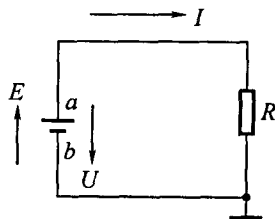


图 1-7  $b$  点为参考点的电路

特别强调, 在外电路中, 在电场力的作用下, 电流从高电位的正极经负载流向低电位的负极; 在电源的内部, 电流却是从低电位的负极流向高电位的正极。这样, 在整个闭合的电路中形成了电流的连续流动。

电能产生于电源, 当把用电设备接到电源上时, 电场力就推动电荷形成电流, 并且做功, 这样, 将电荷从电源获得的能量转换到用电设备上而成为其他形式的能量。

#### 一、电功率

电路的作用之一是将电能转换成其他形式的能量, 衡量电流做功的快慢用电功率(简称功率)来表示。

图 1-8 中  $ab$  两点的电压为  $U$ , 电路中的电流为  $I$ , 则负载电阻  $R_L$  在  $t$  时间内所消耗(或吸收)的电能为

$$W = UIt \quad (1-6)$$

单位时间内消耗的电能为电功率

$$P = W/t = UI \quad (1-7)$$

即电功率的大小等于电压和电流的乘积。

当负载两端的电压、电流的参考方向相反时, 则有

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

对于电阻负载来说, 根据欧姆定律可以得出

$$P = UI = I^2 R = U^2 / R \quad (1-9)$$

计算功率时应注意  $U$  和  $I$  的方向, 当  $U$  和  $I$  的参考方向一致时按式(1-7)计算, 当  $U$  和  $I$  的方向相反时按式(1-8)计算。若计算结果  $P > 0$ , 则表示元件吸收功率, 说明元件起负载作用; 若  $P < 0$ , 则表示元件发出功率, 说明元件起电源作用。如果电压的单位为伏特(V)、电流的单位为安培(A), 则功率的单位为瓦特(W), 即

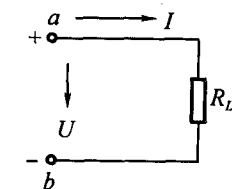


图 1-8 求电功率示意图

$$1 \text{ W} = 1 \text{ V} \times 1 \text{ A}$$

工程上常用千瓦(kW)和兆瓦(MW)作单位,较小的功率也有用毫瓦(mW)以及微瓦( $\mu\text{W}$ )表示,它们的换算关系为

$$1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}, 1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}, 1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}, 1 \mu\text{W} = 10^{-6} \text{ W}$$

例 1-2 计算图 1-9 所示电源的功率,说明方框内是电源还是负载。假设图 1-9 中  $U > 0, I > 0$ 。

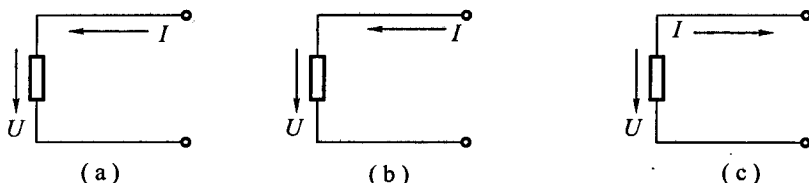


图 1-9 例 1-2 题图

解 图 1-9(a)中  $U$  和  $I$  的方向一致(关联),故  $P = UI$ ,电路吸收功率。说明方框内是负载。

图 1-9(b)中  $U$  和  $I$  的方向一致(关联),但电流为负号,说明电流的方向与选定的方向相反,故  $P = -UI$ ,电路发出功率,此时方框内为电源。

图 1-9(c)中  $U$  和  $I$  的方向不一致,故  $P = -UI$ ,同样说明电路发出功率,方框内仍为电源。

## 二、电能

在我国的法定计量单位中,能量的单位是焦耳(J),是指一段时间内电流所做的功,如果用电设备的功率为  $P$ ,使用时间为  $t$ ,则消耗的电能

$$W = Pt = UIt \quad (1-10)$$

电能的单位也可用千瓦时(kWh)表示,1 kWh 就是指 1 千瓦功率的设备使用 1 小时所消耗的电能。如 100 W 的灯泡工作 10 小时,则消耗的电能就是 1 kW·h。1 kW·h 俗称 1 度电。

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 36 \times 10^5 \text{ J}$$

## 第四节 电路的工作状态

### 一、有载工作状态及电源的外特性

电路在有负载工作状态下,电路中电流的变化将引起端电压的变化,图 1-10 所示电路中的开关合上后就是电路的有载工作状态。则电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L} \quad (1-11)$$

当  $E$  和  $R_0$  一定时,电流就由电阻  $R_L$  的大小决定。

一般的电动势  $E$  和内阻  $R_0$  的值是一定的。由式(1-11)可见,负载电阻  $R_L$  越小,则电路中的电流就越大。这样,电源两端的端电压为

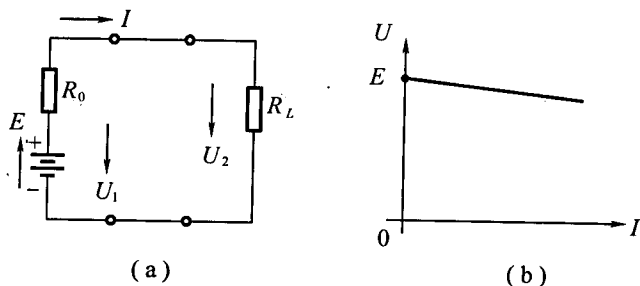


图 1-10 电路的负载状态及电源的外特性曲线

(a)有载工作状态;(b)电源外特性曲线

$$U_1 = E - R_0 I = R_L I \quad (1-12)$$

式(1-12)说明电源的端电压总是小于电源的电动势。如果忽略线路的压降,则负载的端电压  $U_2$  等于电源的端电压。如果式(1-12)中的每一项都乘以  $I$ ,则可得电路中的各项功率。电源的输出功率为

$$P_1 = U_1 I = (E - R_0 I) I = EI - R_0 I^2 \quad (1-13)$$

式(1-13)表明,电源电动势发出的功率  $EI$  减去内阻消耗的功率,这才是供给外电路的功率。显然,负载所吸收的功率为

$$P_2 = U_2 I = U_1 I = P_1$$

在一定的电压下,  $R_L$  的阻值减小,则负载电流增大,电源输出功率增加,这种现象称为负载增加;反之负载减小,把这种端电压随负载电流变化的情况,绘成的  $U = f(I)$  曲线,称为电源的外特性曲线,如图 1-10 (b)所示。

**例 1-3** 电路如图 1-11 所示。已知  $U_1 = 12 \text{ V}$ ,  $I_1 = 2 \text{ A}$ ,  $U_2 = 8 \text{ V}$ ,  $I_2 = 1 \text{ A}$ ,  $U_3 = -6 \text{ V}$ ,  $I_4 = -1 \text{ A}$ ,求各方框电路中的功率。

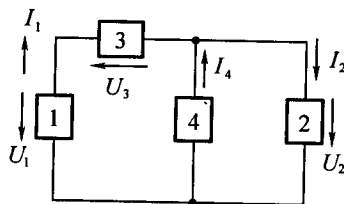


图 1-11 例 1-3 题图

**解** 由于方框 1 两端的电压和通过它的电流为非关联方向,所以

$$P_1 = -U_1 \times I_1 = -12 \times 2 = -24 \text{ (W)}$$

$$P_2 = U_2 \times I_2 = 8 \times 1 = 8 \text{ (W)}$$

$$P_3 = -U_3 \times (I_1 + I_2 + I_4) = -(-6) \times [2 + 1 - (-1)] = 24 \text{ (W)}$$

$$P_4 = U_2 \times I_4 = 8 \times (-1) = -8 \text{ (W)}$$

值得说明的是:由于  $P_1, P_4$  都小于零,这说明方框 1,4 发出功率,是电源。 $P_2, P_3$  均大于零,说明方框 2,3 吸收功率,是负载。

在一个完整的电路中,负载吸收功率的总和应等于电源发出功率的总和,这就反映了电路中的能量守恒。

还必须指出,对于一定的电源来说,负载电流不能无限制地增加,否则会造成由于电流过大而烧坏电源,因此,对于电气设备或电路元件,都有规定的电压、电流和功率的使用限额,这种限额值称为额定值。额定值常用有下标“N”的字母来表示,如额定电压  $U_N$ 、额定电

流  $I_N$ 、额定功率  $P_N$  等等。所有的用电设备都必须在额定值以下的范围内工作,否则会造成重大事故。

## 二、开路

当电路某点断开或开关断开(或保险丝断开),电路处于开路状态,此时也称为空载状态电路。如图 1-12 所示电源开路时,外电路的电阻为无穷大,电路中没有电流通过,此时电源的端电压等于电源的电动势,电源对外不输出电流。电源开路时的特征为

$$E = U_1 - R_0 \cdot I, R_L = \infty$$

$$I = 0, P = UI = 0$$

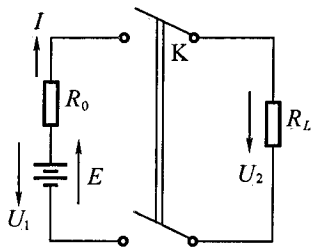


图 1-12 电路的开路状态

## 三、短路

短路就是当电源的输出两 endpoint 由于某种原因而直接接通,造成了电源直接被短路的情况。短路可能会发生在电路的任何一处,但是,尤其严重的是电源被短路,如图 1-13 所示特征为

$$R_L = 0, U = 0, I_s = \frac{E}{R_0}$$

$$P_L = UI = 0, P_E = I_s^2 R_0$$

当电路短路时电源中的电流很大,这将会使电源因过热而烧毁,甚至引起火灾或损坏其他机械。为了避免这类事故的发生,则必须在电路中加入自动保护装置,即漏电保护器或快速熔断器等。

例 1-4 电路如图 1-12 所示,已知  $E = 6 \text{ V}$ ,  $R_0 = 0.5 \Omega$ , 导线电阻  $R_1 = 0.1 \Omega$ ,  $R_L = 5.4 \Omega$ , 求:

- (1) 当开关闭合后,电路正常工作情况下的电流  $I$ ;
- (2) 当负载两端发生短路时,电源中流过的电流  $I_s$ ;
- (3) 当电源两端发生短路时,电源中流过的电流  $I'_s$ 。

解 (1) 当开关闭合后,电路正常工作情况下的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R_1 + R_L} = \frac{6}{6} = 1 \text{ (A)}$$

(2) 当负载两端发生短路时,电源中流过的电流

$$I_s = \frac{E}{R_0 + R_1} = \frac{6}{0.6} = 10 \text{ (A)}$$

(3) 当电源两端发生短路时,电源中流过的电流

$$I'_s = \frac{E}{R_0} = \frac{6}{0.5} = 12 \text{ (A)}$$

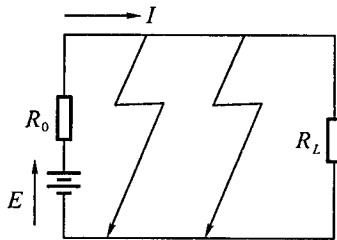


图 1-13 电路的短路状态

## 第五节 电路的基本定律

线性电路中最基本的定律有两个,即欧姆定律和基尔霍夫定律,它们客观地描述了电路中各部分电压、电流间的相互关系,因而,它们是分析和计算电路的重要理论基础。

### 一、欧姆定律

#### 1. 一段电阻电路的欧姆定律

图 1-14 所示中的一段电路,这一段不含电源在内的电路,称之为一段电路。在图 1-14 (a)中, $U$  和  $I$  为正方向关联,即电流从电源的正极流出,经  $R_L$  到电源的负极,则欧姆定律可表示为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-14)$$

或

$$U = RI$$

如果  $U$  和  $I$  的正方向为非关联,如图 1-14(b)所示,这时欧姆定律表示为

$$U = -RI$$

#### 2. 全电路的欧姆定律

图 1-15 是最简单的闭合电路,用电动势  $E$  和一个内阻  $R_0$  的串联来表示理想元件,  $R_L$  是负载电阻,根据能量守恒定律可得

$$EIt = UIt + U_{R_0}It$$

所以

$$E = U + U_{R_0}$$

其中电源内阻上的电压为

$$U_{R_0} = R_0 I$$

这样可得全电路欧姆定律为

$$I = \frac{E}{R_L + R_0} \quad (1-15)$$

当电源开路时,则电源内阻上的电压降  $U_{R_0} = 0$ ,则可得  $E = U$ ,即电源开路时的端电压等于电动势。在工程技术中测量电源的电动势就是测量电源的开路电压。

**例 1-5** 电路如图 1-15 所示,当  $R_{L1}$  为  $1 \Omega$  时,电路中的电流  $I$  为  $1 \text{ A}$ ;当  $R_{L2}$  为  $2.5 \Omega$  时,电路中的电流  $I$  为  $0.5 \text{ A}$ 。求电池的电动势及内阻  $R_0$ 。

**解** 设电池的电动势为  $E$ ,其内阻为  $R_0$ ,根据全电路欧姆定律得

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_0}, \quad I_2 = \frac{E}{R_2 + R_0}$$

于是有

$$I_1(R_1 + R_0) = I_2(R_2 + R_0)$$

所以

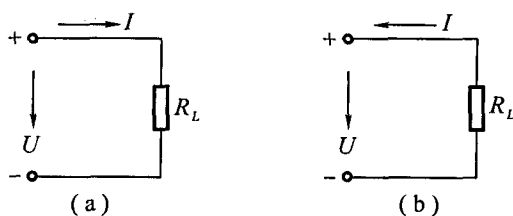


图 1-14 一段电阻电路

(a)  $U$  和  $I$  均为正值; (b)  $U$  为正值,  $I$  为负值

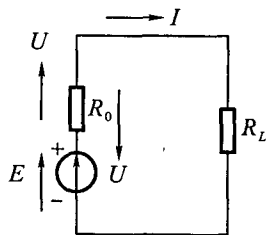


图 1-15 最简单的闭合电路



$$R_0 = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2} = \frac{0.5 \times 2.5 - 1 \times 1}{1 - 0.5} = 0.5 (\Omega)$$

则

$$E = I_1 (R_1 + R_0) = 1 \times (1 + 0.5) = 1.5 (\text{V})$$

## 二、电阻的连接

### 1. 电阻的串联

在电路中将两个或两个以上的电阻一个接一个地顺序相联,中间没有分支的连接,这样的连接方式称为电阻的串联,图 1-16(a)所示是两个电阻的串联电路。两个串联电阻可用一个等效电阻  $R$  来代替,如图 1-16(b)所示。等效电阻  $R$  等于各个串联电阻之和,即

$$R = R_1 + R_2 \quad (1-16)$$

两个串联电阻上的电压分别为

$$U_1 = IR_1 = \left[ \frac{U}{R_1 + R_2} \right] \cdot R_1 = \left[ \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right] \cdot U$$

$$U_2 = IR_2 = \left[ \frac{U}{R_1 + R_2} \right] \cdot R_2 = \left[ \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] \cdot U$$

式中的中括号内为电阻的比值,称分压比。可见串联电阻上的电压与阻值成正比。所以,电阻的串联电路具有分压的作用。

### 2. 电阻的并联

在电路中将两个或两个以上的电阻的一端连接在一起,另一端也连接在一起,中间具有多个分支的连接,这样的连接方式称为电阻的并联,图 1-17 所示是两个电阻的并联电路。两个并联电阻可用一个等效电阻  $R$  来代替,如图 1-17(b)所示。等效电阻  $R$  的倒数,是各个电阻的倒数之和,即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-17)$$

由于并联电阻两端承受的是同一电压,且  $I = I_1 + I_2$ ,即

$$I = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$$

$$\left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) U = \frac{1}{R} U$$

两个并联电阻上的电流分别为

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{IR}{R_1} = \left[ \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] \cdot I$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{IR}{R_2} = \left[ \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right] \cdot I$$

括号内的电阻比值称为分流比,可见,并联电阻中的电流与阻值成反比。所以电阻的并联电路具有分流的作用。

这里需要说明的是,在相同电压等级的情况下,负载总是并联运行的。

### 3. 电阻的混联

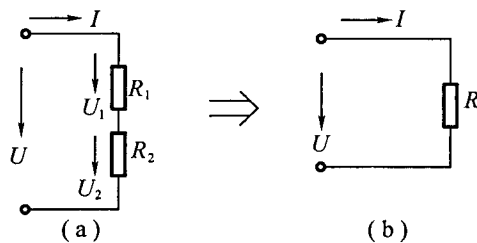


图 1-16 电阻的串联及其等效路

(a)电阻的串联;(b)等效电路

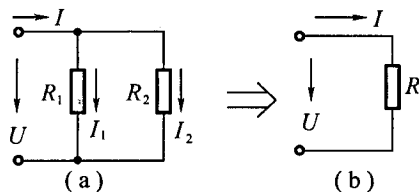


图 1-17 电阻的并联

(a)电阻的并联;(b)等效电路