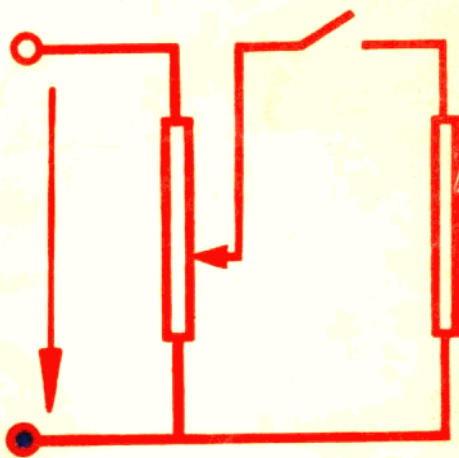
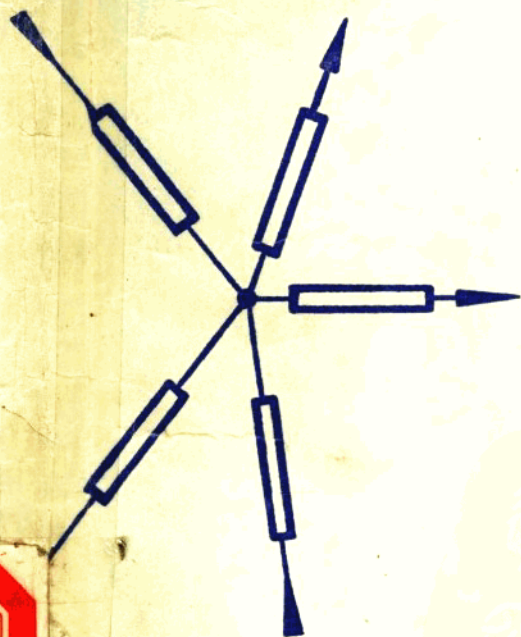


中等专业学校教学用书

# 电工基础

## 普通电工学 I

许经鸾 秦守信 编



中国矿业大学出版社

中等专业学校教学用书

# 电 工 基 础

(普通电工学I)

许经鸾 秦守信 编

中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

普通电工学是煤炭中等专业学校矿山机电专业的教材。全书共分两大部分,第一部分是电工基础,第二部分是电机学。

电工基础部分共七章,内容包括电路的基本概念和基本定律、直流、电路的分析、电磁、正弦交流电路、三相电路、电路的过渡过程和电工测量。本书编入较多的例题和习题,便于读者自学。

本书亦可供其他系统和其他专业以及函授中专作教材使用,还可作为现场技术人员的参考。

责任编辑 胡玉屏

技术设计 杜锦笔

责任校对 周俊平

中等专业学校教学用书

电工基础

(普通电工学I)

许经鸾 秦守信 编

---

中国矿业大学出版社 出版 发行

江苏省新华书店 经销 中国矿业大学印刷厂 印刷

开本787×1092毫米1/16 印张11.75 字数282千字

1989年4月第1版 1989年4月第1次印刷

印数1—10000册

---

ISBN 7-81021-138-2

---

TM·4 定价: 2.15元

# 目 录

第一章	电路的基本概念和基本定律	( 1 )
第一节	电路的组成与作用	( 1 )
第二节	电路的基本物理量	( 2 )
第三节	电阻	( 3 )
第四节	欧姆定律	( 4 )
第五节	电源	( 5 )
第六节	电功率与电能	( 7 )
第七节	克希荷夫定律	( 10 )
第八节	电路中的电位	( 13 )
小结		( 14 )
习题		( 15 )
第二章	直流电路的分析	( 19 )
第一节	电阻的串联与并联	( 19 )
第二节	支路电流法	( 22 )
第三节	回路电流法	( 23 )
第四节	弥尔曼定理	( 25 )
第五节	叠加原理	( 26 )
第六节	Y- $\Delta$ 变换	( 28 )
第七节	等效电源	( 30 )
第八节	负载获得最大功率的条件	( 34 )
第九节	非线性电阻电路	( 34 )
小结		( 36 )
习题		( 37 )
第三章	电磁	( 42 )
第一节	电流的磁场	( 42 )
第二节	磁场的基本物理量	( 42 )
第三节	铁磁材料的性质	( 44 )
第四节	全电流定律	( 46 )
第五节	磁路的基本定律	( 47 )

第六节	简单磁路的计算	(49)
第七节	电磁铁	(52)
第八节	电磁力	(52)
第九节	电磁感应	(53)
第十节	自感应	(55)
第十一节	互感应	(57)
第十二节	涡流	(58)
小结		(59)
习题		(60)
<b>第四章</b>	<b>正弦交流电路</b>	<b>(64)</b>
第一节	交流电的基本概念	(64)
第二节	正弦量的相量表示法	(69)
第三节	单一参数的交流电路	(74)
第四节	电阻、电感和电容的串联电路	(80)
第五节	电感性负载与电容并联的电路	(86)
第六节	功率因数的提高	(89)
第七节	电路中的谐振	(91)
第八节	交流电路的复数运算	(96)
第九节	实际电路元件	(101)
第十节	非正弦交流电路简介	(102)
第十一节	具有铁心线圈的交流电路	(105)
小结		(109)
习题		(111)
<b>第五章</b>	<b>三相电路</b>	<b>(117)</b>
第一节	三相电源	(117)
第二节	负载的星形联接	(120)
第三节	负载的三角形联接	(125)
第四节	三相电功率	(127)
第五节	三相铁心线圈电路	(130)
第六节	对称分量法	(130)
小结		(134)
习题		(136)
<b>第六章</b>	<b>电路中的过渡过程</b>	<b>(139)</b>
第一节	换路定律	(139)
第二节	$R-C$ 电路的过渡过程	(141)
第三节	$R-L$ 电路的过渡过程	(146)

第四节	$R-L$ 接通正弦电源的过渡过程.....	(149)
小结	.....	(150)
习题	.....	(151)
<b>第七章</b>	<b>电工测量</b> .....	<b>(155)</b>
第一节	基本知识.....	(155)
第二节	磁电式仪表及其应用.....	(157)
第三节	电磁式仪表及其应用.....	(160)
第四节	电动式仪表及应用.....	(161)
第五节	电功率的测量.....	(162)
第六节	感应式电度表.....	(164)
第七节	电阻的测量.....	(166)
第八节	万用表.....	(169)
小结	.....	(173)
习题	.....	(174)

# 第一章 电路的基本概念和基本定律

本章主要讨论电路的基本物理量、基本定律、工作状态、电位的计算以及电压源和电流源的概念。其中有些内容虽然已在物理课中讲过，但是考虑到理论的系统性和有利于对这些基本内容的理解，仍将它们列入本章。

本章内容是分析和计算电路的基础。

**基本要求：**

1. 理解电流、电压、电动势的物理概念及其参考方向的意义；
2. 熟练掌握欧姆定律和克希荷夫定律；
3. 熟悉电源的两种形式及其互换关系；
4. 掌握电阻与功率的计算；
5. 了解电路的三种工作状态和额定值的意义。

## 第一节 电路的组成与作用

电流的路径叫做电路。

电路一般由电源、负载及中间环节三部分组成。

电源是供给电能的装置，它将非电能（化学能、机械能等）转换为电能。例如电池、发电机等。

负载是取用电能的装置，它将电能转换为其它形式的能量（光能、机械能、热能等）。例如电灯、电动机、电炉等。

中间环节是传送、分配和控制电能的部分，它的一端接电源，另一端接负载。最简单的中间环节是联接导线、开关和熔断器，也可以是比较复杂的网络或系统。

图1-1是手电筒或矿灯的电路图，这种只有一个闭合路径的电路称为无分支电路。

图1-2为不只含有一个闭合路径的电路，称为有分支电路。

比较繁杂的电路常称为网络。

注意：电池的符号是长线代表正极，短线代表负极（图1-1）；对于一般的电压源用符号“ $\oplus$ ”表示圆圈外加正、负号表示正、负极（图1-2）。

图1-1是最常见的供电电路，它的作用是实现电能的传输和转换。电路的另一种作用是传递和处理信号，如扩音机（图1.3）。图中的话筒将声音转换为电信号，称为信号

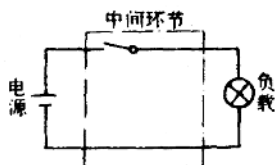


图 1-1

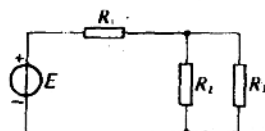


图 1-2



图 1-3

源，它相当于电源。通过中间的放大器将信号放大传递到扬声器，将电信号还原为声音。这里的扬声器就是负载。

## 第二节 电路的基本物理量

### 一、电流

电荷有秩序的移动形成电流。

电流强度简称电流，用符号  $i$  表示，它在数值上等于单位时间内通过导体截面的电量，即

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

大小和方向不随时间变化的电流叫做恒定电流，简称直流。直流的电流强度常用大写字母  $I$  表示，即

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

关于单位制，本教材一律采用我国 1984 年 2 月颁布的中华人民共和国法定计量单位。电流的单位是安培，简称安 (A)，即每秒通过导体截面的电量为 1 库仑 (C) 时，则电流为 1 安培。计量大电流时用千安 (kA)，计量微弱电流时用毫安 (mA)、微安 ( $\mu$ A) 或纳安 (nA) 为单位。它们之间的换算关系是

$$\begin{aligned} 1\text{kA} &= 10^3\text{A} & 1\text{mA} &= 10^{-3}\text{A} \\ 1\mu\text{A} &= 10^{-6}\text{A} & 1\text{nA} &= 10^{-9}\text{A} \end{aligned}$$

习惯上把正电荷运动的方向 (或负电荷运动的反方向) 规定为电流的方向。电流的实际方向是一定的，但在分析和计算电路时，电流的真实方向有时难以在电路中标出。例如，交流电路中的电流方向随时间变化，很难用一个固定的箭头来表示真实方向；在直流电路中，在求解较复杂的电路时，也往往难以事先判断出电流的真实方向。为了便于分析与计算，我们可以任意选定一个电流方向，作为电流的正方向或称为参考方向。当电流的实际方向与电流的正方向一致时，则电流为正值；当电流的实际方向与正方向相反时，则电流为负值。因此在未标正方向的情况下，电流的正或负是毫无意义的。

本书电路图上所标的电流方向均为正方向。

电流的正方向除用箭头表示外，还可以用双下标来表示，如  $I_{a,b}$  即表示正方向是由  $a$  指向  $b$  的电流。如正方向选为由  $b$  指向  $a$ ，则应该写成  $I_{b,a}$ ，两者之间相差一个负号，即

$$I_{a,b} = -I_{b,a}$$

### 二、电压与电动势

在电场中， $a$ 、 $b$  两点间的电压在数值上等于电场力将单位正电荷从  $a$  点移到  $b$  点所做的功，即

$$U_{a,b} = \frac{A_{a,b}}{Q} \quad (1-3)$$

式中  $A_{a,b}$  —— 电场力所做的功；

$Q$  —— 被移动正电荷的电量。

电压又称为电位差，即

$$U_{a,b} = U_a - U_b \quad (1-4)$$



式中  $U_a$  ——  $a$  点的电位；

$U_b$  ——  $b$  点的电位。

电位就是物理学中的电势。

在图1-4中， $a$ 、 $b$ 两点间的电压也就是单位正电荷从 $a$ 点（高电位）经导线和负载移到 $b$ 点（低电位）所失去的电能。为了在电路中维持电流恒定，就要求 $a$ 、 $b$ 间的电压 $U_{ab}$ 保持恒定，则在电源内部必须有外力克服电场力的作用，使电极 $b$ 上所增加的正电荷流向 $a$ 。外力将正电荷 $Q$ 由电源负极 $b$ 移到正极 $a$ 所做的功，也就是正电荷 $Q$ 由 $b$ 点移到 $a$ 点所得到的电能。

在电源中，电源的电动势在数值上等于外力将单位正电荷从电源负极移到正极所做的功，即

$$E = \frac{A}{Q} \quad (1-5)$$

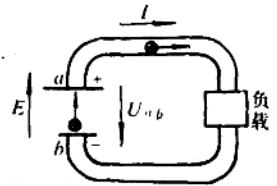


图1-4

式中， $A$  是外力移动正电荷 $Q$ 所做的功。

电压的方向规定为由高电位端指向低电位端，即电位降的方向。电源电动势的方向规定为在电源中由低电位端指向高电位端，即电位升高的方向。

和电流一样，在电路图上也需为电压和电动势规定正方向。用“+”、“-”表示，“+”号表示高电位端，“-”号表示低电位端。也可同电流一样用箭头或双下标来表示。当其值为正时，实际极性与所标的极性相同；当其值为负时，实际极性与所标的极性相反。

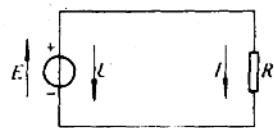


图1-5

由于电压和电流的实际方向都是从高电位指向低电位，在选定电压正方向时，常使其与电流的正方向一致。在选定电动势的正方向时，常使其与电压的正方向相反。如图1-5所示。

电压和电动势的单位都是伏特（焦/库仑），简称伏（V）。计量高电压时用千伏（kV），计量微小电压时，则以毫伏（mV）或微伏（ $\mu V$ ）为单位。

### 第三节 电 阻

表征导体对电流阻碍作用的电路参数称电阻，用符号 $R$ 表示。电阻的单位为欧姆，简称欧（ $\Omega$ ）。对于大电阻常用千欧（k $\Omega$ ）、兆欧（M $\Omega$ ）为单位。

实验证明：在一定温度下，一段金属导体的电阻

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-6)$$

式中  $l$  —— 导体的长度，m；

$S$  —— 导体的横截面积， $\text{mm}^2$ ）

$\rho$  —— 导体材料的电阻率， $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

表1-1列出了一些常用材料的电阻率。

电阻 $R$ 的倒数称为电导，用符号 $G$ 表示，即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-7)$$

电导的单位为西门子，简称西（S）。

表1-1

材料名称	20℃时的电阻率 $\rho$ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	在0℃~100℃之间的电 阻温度系数 $\alpha$ , (1/℃)
银	0.0162	0.0036
铜	0.0175	0.0040
铝	0.026	0.0042
钨	0.049	0.0044
铂	0.105	0.00398
钢	0.13~0.25	0.006
康铜	0.4~0.51	0.000008
锰铜	0.42	0.000006
镍铬合金	0.95~1.2	0.00012~0.0005

等于温度上升1℃时，每欧导体电阻所增加的数值。

表1-1列出了一些常用材料的电阻温度系数。

一般金属材料的电阻温度系数近于0.004 (1/℃)。这个数值很小，因此在温度变化不大时，金属材料的电阻可以近似地认为不变，例如一般使用的电阻器。钨丝的电阻温度系数虽然也不大，但是白炽灯中的钨丝，由于工作温度高达1800℃，所以它的工作电阻比常温下的阻值增大了许多倍。

有些半导体材料的电阻温度系数为负值，它的电阻随温度升高而明显减小，如热敏电阻。

有些金属和某些合成材料，在一定的温度下，电阻突然变为零，这种现象叫做超导电性。超导电性的实用价值很大，现在正致力于高温超导材料的研制和努力扩大它的应用范围。

例1-1 煤矿井下用的铜芯橡胶电缆，芯线截面一般为16~35mm<sup>2</sup>。求常用的25mm<sup>2</sup>的电缆，每100m芯线的电阻。

解 据表1-1查得铜的 $\rho = 0.0175 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。所以

$$R = \rho \frac{l}{S} = 0.0175 \times \frac{100}{25} = 0.07 \Omega$$

例1-2 电机制造厂制造大型电机时，在内部放置一个铂丝电阻元件，以便及时测出电机内部温度。现已知20℃时元件的电阻 $R_1 = 49.5 \Omega$ ，运行到某一时刻测出元件的电阻 $R_2 = 60.9 \Omega$ 。求此时电机内部的温度为多少？

解 由表1-1查得铂丝的 $\alpha = 0.00398$  (1/℃)。由式(1-8)可得

$$\begin{aligned} t_2 &= t_1 + \frac{R_2 - R_1}{\alpha R_1} \\ &= 20 + \frac{60.9 - 49.5}{0.00398 \times 49.5} = 78^\circ\text{C} \end{aligned}$$

电机内部温度为78℃。

通常，导体的电阻随温度的增加而增大。在0~100℃之间，导体电阻所增加的相对数值，基本上与温度上升的值成正比，可以证得

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-8)$$

式中  $R_1$ ——起始温度 $t_1$ 时的导体电阻， $\Omega$ ；

$R_2$ ——温度增加到 $t_2$ 时的导体电阻， $\Omega$ ；

$\alpha$ ——电阻温度系数，1/℃。它

#### 第四节 欧姆定律

在电压的作用下，电阻中会有电流通过，如图1-6所示。实验表明：通过电阻 $R$ 的电流 $I$ 与电阻两端的电压 $U$ 成正比，与电阻 $R$ 成反比，即

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-9)$$

引用电导后，欧姆定律还可以写成

$$I = GU \quad (1-10)$$

式中 $U$ 、 $I$ 、 $R$ 、 $G$ 分别以 $V$ 、 $A$ 、 $\Omega$ 、 $S$ 为单位。

如果电阻是一个常数，其值与通过它的电流和施于其两端的电压无关，即它的电压和电流是直线关系，这种电阻称为线性电阻。温度不变或变化不大时，大多数金属导体属于线性电阻。如果电阻不是常数，其值随通过它的电流和施于其两端的电压而变化，即它的电压和电流不是直线关系，这种电阻称为非线性电阻，例如白炽灯的钨丝、碳丝、半导体。由线性元件构成的电路叫线性电路。含有非线性元件的电路叫非线性电路。本书主要介绍线性电路，以后如不加说明，电阻均指线性的。

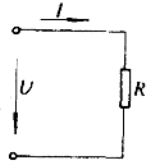


图 1-6

## 第五节 电 源

电源有电压源和电流源两种形式，且任意一种都可以用其两种不同的等效电路来表示。

### 一、电压源

发电机、电池等实际电源都含有电动势和内阻。在分析电路时，往往把它们分开。通常用一个电动势 $E$ 和一个内阻 $R_0$ 串联所构成的等效电源来表示，该电源称为电压源，如图1-7a所示。由图可得电压源的输出电压与输出电流之间的关系是

$$U = E - R_0 I \quad (1-11)$$

用函数曲线来表示，则如图1-7b所示，称为电压源的外特性。

空载（开路 $R = \infty$ ）时， $I = 0$ ，则 $U = U_0 = E$ （ $U_0$ 代表空载电压）。负载时，电源端电压 $U$ 随着负载电流 $I$ 的增大（ $R$ 减小）而下降。当电源短路（ $R = 0$ ）

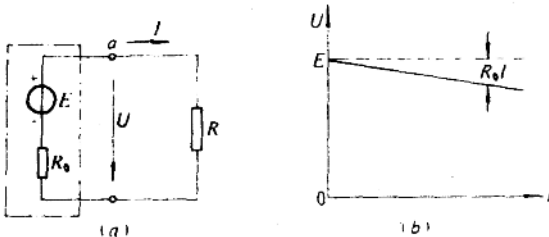


图 1-7

时， $U = 0$ ， $I = I_s = \frac{E}{R_0}$ （ $I_s$ 代表短路电流）。

电压源外特性的斜率取决于电源内阻 $R_0$ 的大小。内阻愈小，直线愈平，输出电压愈稳定，最理想的情况是 $R_0 = 0$ 。这种内阻等于零的电压源称为理想电压源，其外特性为一水平线，端电压与负载电流无关， $U = E$ 恒定。

理想电压源实际上是不存在的，但引入这个概念用于分析电路是必要的。当电源的内阻 $R_0$ 远小于负载电阻 $R$ 时，则 $U \approx E$ 基本上恒定，可视为理想电压源，如稳压电源。

电压源可以看成是由理想电压源 $E$ 和内阻 $R_0$ 串联组成。

### 二、电流源

除了电压源以外，还有一种电源叫做电流源。它是一种能“产生”电流的装置，例如光电池，在具有一定照度的光照下，将激发产生一定值的电流 $I_s$ 。电流源产生的电流 $I_s$ 不会全部输送出去，内部要损失一小部分。所以这种电源通常用恒定不变的电流 $I_s$ 和内阻 $R_0$

(或内电导 $G_0$ )的并联来等效,如图1-8a所示。由图可得电流源的输出电流与输出电压之间的关系是

$$I = I_s - \frac{U}{R_0} \quad (1-12)$$

用函数曲线表示,则如图1-8b所示,称为电流源的外特性。

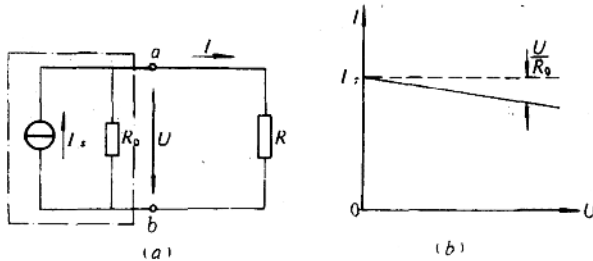


图 1-8

当电流源短路( $R=0$ )时, $U=0$ , $I=I_s$ 。负载时, $U \neq 0$ , $I_s$ 不能全部送出去,有一部分由 $R_0$ 中通过。随着 $U$ 的增大( $R$ 增大), $R_0$ 的分流作用增大,输出电流 $I$ 将随之减小。空载( $R=\infty$ )时,输出电流 $I=0$ , $I_s$ 全部由 $R_0$ 中通过,此时电源端电压 $U=U_0=R_0 I_s$ 。

电流源外特性的斜率取决于电源内阻 $R_0$ 的大小。内阻愈大(电导愈小),分流作用愈小,直线愈平,输出电流愈稳定。最理想的情况是 $R_0=\infty$ ( $G_0=0$ )。这种内阻等于无穷大的电流源称为理想电流源,(用符号 $\phi$ 表示),其外特性为一水平线,输出电流与外电路无关, $I=I_s$ 恒定。

理想电流源实际上也是不存在的,当电源的内阻 $R_0$ 远大于负载电阻 $R$ 时,则 $I \approx I_s$ 基本恒定,可视为理想电流源。例如在放大区工作的晶体三极管可近似地认为是一个理想电流源。

电流源可以看成是由理想电流源 $I_s$ 和内阻 $R_0$ 并联组成。

### 三、电压源和电流源的等效变换

电压源(图1-7)和电流源(图1-8)在对外部电路等效的条件下,即保持外特性不变的条件,互相可以进行等效变换。

由式(1-11)和式(1-12)可知:

$$E = U + R_0 I \quad (1)$$

$$I_s = \frac{U}{R_0} + I$$

或  $R_0 I_s = U + R_0 I \quad (2)$

比较式①、②,可知,当两种电源的外特性相同时,必须

$$E = R_0 I_s \quad \text{或} \quad I_s = \frac{E}{R_0} \quad (1-13)$$

所以, $E$ 和 $R_0$ 串联的电压源,可以等效为 $I_s$ 和 $R_0$ 并联的电流源,其中 $I_s = \frac{E}{R_0}$ 为电压源的短路电流; $I_s$ 与 $R_0$ 并联的电流源,可以等效为 $E$ 和 $R_0$ 串联的电压源,其中 $E = R_0 I_s$ 为

电流源的开路电压。

变换时要注意以下几点：

(1)  $E$ 和 $I_s$ 的方向应该一致，即电压源电动势的正极应该是电流源电流的流出端。

(2) 两种电源中 $R_0$ 是一样的，但联接方式不同。

(3) 理想电压源与理想电流源之间不能进行等效变换。这是因为理想电压源( $R_0 = 0$ )的短路电流 $I_s = \infty$ ，理想电流源( $R_0 = \infty$ )的开路电压 $U_0 = \infty$ ，均不能得到有限数值，故两者之间不存在等效关系。

(4) 电源的这种等效变换只是对外电路而言，对电源内部则不等效。例如在电源开路时，在图1-7a中，电压源内部消耗的功率为零，而在与其等效的电流源(图1-8a)内部消耗的功率却为 $R_0 I_s$ ，但两者对外部都无功率输出。

例1-3 有一直流发电机 $E = 115\text{V}$ ， $R_0 = 0.5\Omega$ ，负载电阻 $R = 11\Omega$ 。试用电源的两种等效电路分别求出负载两端的电压 $U$ 和负载电流 $I$ ，并计算出电源内部损耗的功率 $P_0$ ，看其是否也相等。

解 电源的两种等效电路如图1-9所示，

图中

$$I_s = \frac{E}{R_0} = \frac{115}{0.5} = 230\text{A}$$

(1) 计算电压 $U$ 和电流 $I$

在图1-9a中

$$I = \frac{E}{R + R_0} = \frac{115}{11 + 0.5} = 10\text{A}$$

$$U = RI = 11 \times 10 = 110\text{V}$$

在图1-9b中

$$I = \frac{R_0}{R + R_0} I_s = \frac{0.5}{11 + 0.5} \times 230 = 10\text{A}$$

$$U = RI = 11 \times 10 = 110\text{V}$$

(2) 计算电源内部损耗的功率 $P_0$

在图1-9a中

$$P_0 = R_0 I^2 = 0.5 \times 10^2 = 50\text{W}$$

在图1-9b中

$$P_0 = R_0 \left( \frac{U}{R_0} \right)^2 = \frac{U^2}{R_0}$$

$$= \frac{110^2}{0.5} = 24200\text{W}$$

$$= 24.2\text{kW}$$

可见，两种电源对外等效，对内不等效。

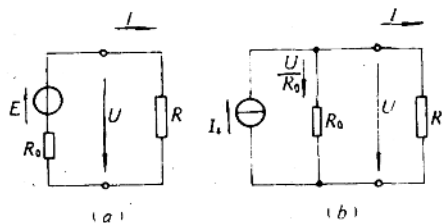


图 1-9

## 第六节 电功率与电能

### 一、电功率

单位时间内电流所做的功称为电功率。

根据电压的定义，电流通过负载电阻 $R$ (图1-7)，电场力所做的功为 $A = QU$ ，单位时

间内电场力所做的功，即负载取用的电功率

$$P = \frac{QU}{t} = IU \quad (1-14)$$

或

$$P = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1-15)$$

可见，当电流一定时，电阻所吸收的功率与电阻成正比；当电压一定时，电阻吸收的功率与电阻成反比。

根据电动势的定义，外力所做的功为  $A = QE$ ，单位时间内外力所做的功，即电源产生的电功率

$$P_E = \frac{QE}{t} = IE \quad (1-16)$$

电源内阻消耗的电功率

$$P_0 = R_0 I^2 \quad (1-17)$$

式中， $R_0$  为电源的内阻。

将式 (1-11) 两边各乘以  $I$ ，可得电路的功率平衡方程式为

$$EI = UI + R_0 I^2 \quad (1-18)$$

或

$$P_E = P + P_0 \quad (1-19)$$

即，电源产生的电功率等于负载吸收的电功率和内阻消耗的电功率之和。

上列各式中电流、电压、电阻分别以安、伏、欧为单位，则电功率的单位为瓦(W)。计量较大的电功率时用千瓦(kW)为单位，计量较小的电功率时用毫瓦(mW)为单位。

## 二、电能

负载在时间  $t$  内取用的电能

$$A = Pt = UI t = RI^2 t \quad (1-20)$$

式中当功率、时间分别用瓦、秒代入时，电能的单位为焦耳(J)。电能的实用单位为千瓦小时(kW·h)，俗称“度”。

## 三、电气设备的额定值

电阻上通过电流时要消耗电能，将其转变为热能并使导体发热，这种现象叫做电流的热效应。

在时间  $t$  内导体电阻产生的热量

$$Q = RI^2 t, \text{ J} \quad (1-21)$$

利用电流的热效应可以制成电炉、电烙铁等电热装置。但它也有不利的一面，因为任何电气设备，其导电部分都有电阻，故通电后都要发热。例如电机和变压器的绕组以及电阻元件，由于发热就会产生温升。如果在使用时，电流过大，温升过高就会导致绝缘的损坏，甚致烧坏设备或元器件。为了保证正常工作，制造厂在电器的铭牌上都要标出它的电压、电流或功率的限额，称为额定值。以此做为使用的根据。

电气设备长期通过的最大电流定为该电气设备的额定电流，用  $I_N$  表示。

如果作用在绝缘材料上的电压过高，绝缘材料就会因承受过大的电场强度而造成击穿，丧失绝缘作用。为了限制电气设备的电流及限制绝缘材料承受的电压，把允许加在电气设备上的电压定为该设备的额定电压，用  $U_N$  表示。

对于电阻性负载，电气设备的额定电压和额定电流的乘积就等于它的额定功率，即

$$P_e = U_e I_e$$

电气设备在额定电压和额定电流，即额定功率条件下工作称额定工作状态。这种工作状态又称为达到了满载。电气设备工作在额定状态是最经济合理和安全可靠的，并且能够保证电气设备的设计寿命。

当负载增加超过额定值时，称为过载。由于温度升高需要一定时间，因此电气设备短时间过载，不会立即损坏。但过载时间较长时，就会大大缩短电气设备的使用寿命，甚至烧坏。为了防止因过载或短路造成设备损坏，在电路中常装有过载和短路保护，如熔断器等。

**例1-4** 有一手电筒的灯泡，当两端电压为3V时，电流为300mA。问灯泡的电阻多大？灯泡的功率为多少？

解 灯泡的电阻

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3}{300 \times 10^{-3}} = 10 \Omega$$

灯泡的功率

$$P = UI = 3 \times 300 \times 10^{-3} = 0.9 \text{ W}$$

**例1-5** 试求100Ω、1W的碳膜电阻在使用时，电流、电压不得超过多大数值？

解 由式(1-15)得

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{1}{100}} = 0.1 \text{ A}$$

由式(1-9)得

$$U = RI = 100 \times 0.1 = 10 \text{ V}$$

该电阻在使用时电流不得超过0.1A，电压不得超过10V。

**例1-6** 有一个220V60W的灯泡，接在220V的电源上。试求通过灯泡的电流*I*和灯泡的电阻*R*。如果每晚用3小时，问一个月消耗的电能是多少？

解

$$I = \frac{P}{U} = \frac{60}{220} = 0.273 \text{ A}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.273} = 807 \Omega$$

也可以用  $R = \frac{P}{I^2}$  或  $R = \frac{U^2}{P}$  计算。

一个月内消耗的电能

$$A = Pt = 60 \times 10^{-3} \times 3 \times 30 = 5.4 \text{ kWh}$$

**例1-7** 在图1-10中， $E = 110 \text{ V}$ ， $R_0 = 0.3 \Omega$ ，负载电阻  $R = 10.5 \Omega$ ，线路电阻  $R_1 = 0.2 \Omega$ 。试求：(1) 电路中的电流*I*；(2) 电源产生的功率 $P_E$ ，负载消耗的功率*P*、电源内阻和线路损耗的功率 $P_0$ 和 $P_1$ ；(3) 在电源端短路和在负载端短路时的电流*I*，各为多少？

解 (1) 根据欧姆定律

$$I = \frac{E}{R_0 + R_1 + R} = \frac{110}{0.3 + 0.2 + 10.5} = 10 \text{ A}$$

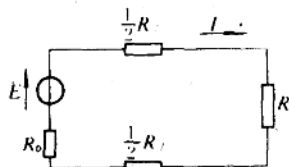


图 1-10

## (2) 功率

$$P_E = EI = 110 \times 10 = 1100 \text{ W}$$

$$P = RI^2 = 10.5 \times 10^2 = 1050 \text{ W}$$

$$P_0 = R_0 I^2 = 0.3 \times 10^2 = 30 \text{ W}$$

$$P_1 = R_1 I^2 = 0.2 \times 10^2 = 20 \text{ W}$$

## (3) 短路电流 电源端短路时

$$I_s = \frac{E}{R_0} = \frac{110}{0.3} = 367 \text{ A}$$

为正常工作时的36.7倍。

## 负载端短路时

$$I_s = \frac{E}{R_0 + R_1} = \frac{110}{0.3 + 0.2} = 220 \text{ A}$$

为正常工作时的22倍。

## 第七节 克希荷夫定律

克希荷夫定律是电路的基本定律。在讨论该定律之前,就图1-11所示电路介绍几个名词:

(1) 支路 电路中的每一个分支称为支路。

图1-11电路中共有三个支路。

(2) 节点 三个或三个以上支路的联接点叫做节点,该电路中共有两个节点,即a点和b点。

(3) 回路 电路中任一闭合路径称为回路,该电路中共有三个回路。

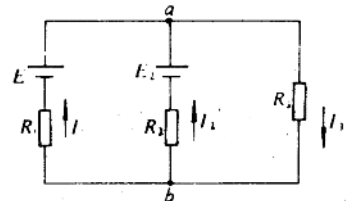


图 1-11

### 一、克希荷夫第一定律

第一定律是表明某一节点处各支路电流之间的关系,称为电流定律。它指出:流入任何一个节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。

在图1-11所示电路中,对节点a可写出

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1-22)$$

第一定律的根据是电流的连续性原理:电路中任意点(包括节点在内)均不能堆积电荷,所以流入节点的电流必等于流出节点的电流。

把式(1-22)改写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

可见,如果将流入节点的电流取正号,流出节点的电流取负号,则第一定律又可表示为:流入节点的电流的代数和等于零,即

$$\sum I = 0 \quad (1-23)$$

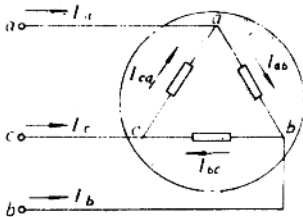


图 1-12

节点电流定律不仅适用于电路中的任意节点,而且还可以推广应用于任意假定的闭合面。即通过任一闭合面的电流的代数和也等于零。例如,图1-12中



$$I_a = I_{ca} - I_{ca}$$

$$I_b = I_{bc} - I_{bc}$$

$$I_c = I_{ca} - I_{bc}$$

上列三式相加，可得

$$I_a + I_b + I_c = 0$$

即，对于假想的闭合面S， $\Sigma I = 0$ 。

## 二、克希荷夫第二定律

第二定律是表明任一回路内各部分电压之间的相互关系，称为电压定律。

第二定律的根据是电位的单值性原理：当参考点选定后，电路中任意点的电位就只有一个数值，即从电路中任一点出发绕行电路一周，其间所有电位升之和等于电位降之和，即电位的变化等于零。

第二定律指出：电路中任一闭合回路内各段电压的代数和为零，即

$$\Sigma U = 0 \quad (1-24)$$

在写上式时，通常需要规定一个绕行回路的方向，凡电压的正方向与回路绕行方向一致者，此电压前取正号，反之，则取负号。

在图1-13所示的回路（图1-11所示电路左面的一个回路）中，绕行回路的方向如图虚线箭头所示，按图中所指定的各段电压的正方向，式（1-24）可写为

$$U_{ca} + U_{db} + U_{bc} + U_{ac} = 0$$

按图所示的参考方向，将有  $U_{ca} = E_1$ 、 $U_{db} = -R_1 I_1$ 、 $U_{bc} = R_2 I_2$ 、 $U_{ac} = -E_2$ ，将它们代入上式经整理后得

$$R_1 I_1 - R_2 I_2 = E_1 - E_2$$

或

$$\Sigma(RI) = \Sigma E \quad (1-25)$$

因此，第二定律也可以表示为：在任意回路内，电阻上电压降的代数和等于电动势的代数和。其中，电流的正方向与回路绕行方向一致者，则该电流在电阻上所产生的电压降取正号，相反则取负号；凡是电动势的正方向与回路绕行方向一致者，取正号，相反者则取负号。

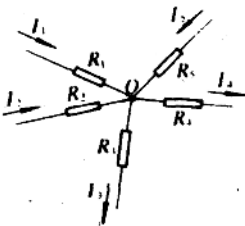


图 1-14

例1-8 在图1-14中，已知  $I_1 = 1\text{ A}$ 、 $I_2 = -2\text{ A}$ 、 $I_3 = -3\text{ A}$ 、 $I_4 = 4\text{ A}$ ，求  $I_5$ 。

解 由克希荷夫电流定律可得

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 + I_5 = 0$$

则

$$\begin{aligned} I_5 &= I_3 + I_4 - I_1 - I_2 \\ &= (-3) + 4 - 1 - (-2) \\ &= -2\text{ A} \end{aligned}$$

$I_5$  为负值，说明它的实际方向与图中所假设的参考方向相反。

图 1-15

例1-9 在图1-15所示某复杂电路中的一个闭合回路中，已知： $U_1 = 4\text{ V}$ 、 $U_2 = 3\text{ V}$ 、 $U_4 = -9\text{ V}$ （图中方块表示任意元件）。试求：（1） $U_3$ ；（2） $U_5$ 。

