

DIYAJINWANGZUOYEDIANGONG
PEIXUNJIAOCAI



低压进网作业电工

培训教材

湖南省电力行业协会编

中南大学出版社

低压进网作业电工培训教材

湖南省电力行业协会编

中南大学出版社

2003年10月

低压进网作业电工培训教材

湖南省电力行业协会 编

-
- 责任编辑 秦瑞卿 李宗柏
- 出版发行 中南大学出版社
社址:长沙市麓山南路 邮编:410083
发行科电话:0731-8876770 传真:0731-8710482
电子邮件:csuchs @ public. cs. hn. cn
- 经 销 湖南省新华书店
- 印 装 中南大学湘雅印刷厂
-
- 开 本 850×1168 1/16 印张 21 字数 644 千字
- 版 次 2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷
- 书 号 ISBN 7-81061-686-2/TM · 010
- 定 价 34.00 元
-

图书出现印装问题,请与经销商调换

编 委 会

主 任:陈学军

副主任:陈珍高 罗赤橙 尚 佳 朱泌生

编 委:陈学军 陈珍高 罗赤橙 尚 佳 朱泌生 蒋 冬
张志飞 付维生 王宇丹

主 编:朱泌生

副主编:王宇丹

撰稿人:付维生 李智芳 安 歧 王 珏 蒋继雄 沈年其
彭洪范 赵康义 袁荣铸 言子俊 林开银 杨文虎

前 言

为了提高进网作业电工技术素质,维护发、供、用电的公共安全,保障电网的安全、稳定、经济运行,我们组织编写了这本《低压进网作业电工培训教材》。

本书内容丰富,图文并茂,通俗易懂,实用性强,可作为广大电气技术管理人员和电工的参考书,也可作为广大低压电工,包括低压维护电工、低压安装电工、值班电工及农村电工的教材。

参加编写这本书的作者都是多年从事电力工业生产第一线的技术骨干,在编写时广泛收集资料,反复研讨,特别注重实用性、普遍性。书中如有疏漏、错误和不妥之处,敬请广大读者,特别是电工提出宝贵意见。

编 者

2003年10月

目 录

第一章 电工基础	1
1.1 直流电路	1
1.2 电磁和电磁感应	15
1.3 单相交流电路	25
1.4 三相交流电路	50
第二章 常用电工仪表	63
2.1 电工仪表分类与测量方法及误差	63
2.2 电流与电压的测量	68
2.3 钳形电流表	72
2.4 万用表	73
2.5 绝缘摇表(兆欧表)	78
2.6 接地电阻测量仪	80
2.7 功率因数表(力率表)	81
2.8 电能表	83
第三章 变压器	101
3.1 概述	101
3.2 变压器的工作原理	101
3.3 变压器的结构	104
3.4 变压器的运行	106
3.5 变压器的保护	110
3.6 变压器的容量选择、安装位置及变压器台	114
3.7 特殊变压器	119
3.8 变压器的检修	125
第四章 异步电动机	127
4.1 三相异步电动机的工作原理	127
4.2 三相异步电动机的结构	137
4.3 三相异步电动机的启动	143
4.4 三相异步电动机的调速	148
4.5 电动机安装	152
4.6 三相异步电动机的使用、维护及故障处理	159
4.7 电动机的检修	163
4.8 单相异步电动机	167
第五章 低压配电及配电装置	174
5.1 低压配电主结线	174
5.2 低压配电室	175
5.3 低压配电常用电器	175

5.4 低压配电室的常用低压设备	184
第六章 常用机械设备电气控制电路	191
6.1 电工识图	191
6.2 控制电路常用低压电器元件	195
6.3 三相鼠笼异步电动机的控制电路	203
6.4 设备电气控制电路的简单检查	215
第七章 内外线安装	219
7.1 外线工程	219
7.2 内线工程	259
7.3 照明与照明器具	302

第一章 电工基础

1.1 直流电路

1.1.1 电路

电路就是电流通过的路径。它由电源、负载、连接导线和开关等组成,图 1-1 所示为最简单的电路。

电源:把其他形式的能量转换为电能的设备。常用的直流电源有电池、直流发电机等。电池是将化学能转变为电能,直流发电机是将机械能转变为电能。

负载:就是各种用电设备。它的作用是将电能转变为其它形式的能量,如电灯将电能转变为光能,电动机将电能转变为机械能等。

导线:联接电源与负载的金属线,它起着传导电流的作用,把电源的电能输送给负载。导线常用铜、铝等材料制成。

开关:它起到把负载与电源接通、断开或作线路转换之用。

另外,有的电路中还装有熔断器或继电器作为保护设备。为了随时观察电路的工作情况,还常接入一些电工仪表。

通常把电源内部的一段电路称内电路,而把导线、开关和负载叫做外电路。

当开关闭合时,电路中有电流通过,负载就可以工作,叫做接通电路,即合闸。当开关断开时,电路中没有电流通过,负载停止工作,叫做断开电路,即分闸。

在设计、安装或修理各种设备和用电器等的实际电路时,常要用画出电路联接情况的图表示实际电路。为了简便,一般采用统一规定的符号代表各种元件。这种用规定的符号表示电路联接情况的图,称为电路图。其图形符号见国家标准。几种常用的标准图形符号如表 1-1 所示。

有时为了突出电路的本质,可以把图 1-1 进一步简化成图 1-2 的电路图,这就更便于对电路进行分析和计算了。



图 1-1 最简单的电路

1.1.2 基本物理量

1. 电流

导体中的自由电子在电场力的作用下,作有规则的定向运动,就形成了电流。习惯上规定正电荷移动的方向为电流的方向。因此在金属导体中,电流的方向是和自由电子的实际移动方向相反的。如图 1-3 所示,金属导体中的自由电子在电场力的作用下,会向电场强度的反方向移动,即在 AB 导线中,电子运动的方向是由 A 向 B,电流的方向则是由 B 向 A。

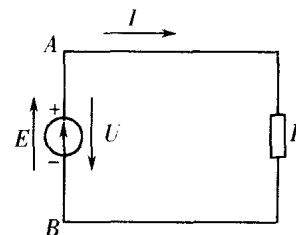


图 1-2 电路图

2. 电流强度

电流的大小用电流强度来表示,简称电流。其数值等于单位时间内通过导体截面的电荷量,通常用符号 I 表示即:

表 1-1

电路符号

元件名称	符 号	说 明
直流电源		其中“+”、“-”是表示电源的正、负极,箭头为正极,箭尾为负极
电 阻		固定电阻
		可变电阻
电 灯		
导 线		其中圆点表示导线的联结点
		其中没有圆点表示导线不联结
开 关		单刀开关
		双刀开关
熔断器		其中“+”“-”是表示正、负端
直流电流表		
直流电压表		

$$I = \frac{Q}{t}$$

(1-1)

式中： I ——电流，单位是安培，简称安，用字母 A 表示；

Q ——通过导体截面的电荷量，单位是库仑，简称库，用字母 C 表示；

t ——通过电荷量 Q 所用的时间，单位是秒，用字母 s 表示。

如果在 1 秒钟内通过导体截面的电量是 1 库仑，这时的电流就是 1 安培，即：

$$1 \text{ 安培} = 1 \text{ 库仑} / 1 \text{ 秒}$$

电流的单位可用千安(kA)、安(A)、毫安(mA)和微安(μA)表示，相互间的换算如下：

$$1 \text{ 千安(kA)} = 1000 \text{ 安(A)} = 10^3 \text{ 安(A)}$$

$$1 \text{ 安(A)} = 1000 \text{ 毫安(mA)} = 10^3 \text{ 毫安(mA)}$$

$$1 \text{ 安(A)} = 1000000 \text{ 微安}(\mu A) = 10^6 \text{ 微安}(\mu A)$$

直流电流的大小和方向都不随时间变化，用大写字母 I 表示。

电流的大小用电流表来测量，测量时将电流表串联在被测的电路中，如图 1-4 所示。

3. 电位、电压

(1) 电位

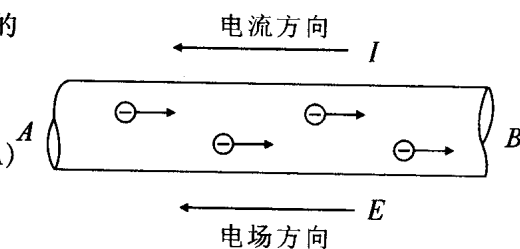


图 1-3 金属导体中的电流方向跟自由电子的定向移动方向相反

电场力将单位正电荷从电场中的某点移到参考点所做的功,叫做该点的电位。如图 1-5 所示,在均匀电场中,电场力 f 把电荷 $+q$ 从 a 点或 b 点移到 o 点所做的功叫做 a 点或 b 点的电位,用公式表达为

$$\varphi_a = \frac{W_{ao}}{Q} \quad (1-2)$$

$$\varphi_b = \frac{W_{bo}}{Q} \quad (1-3)$$

式中: φ_a 、 φ_b —— a 点、 b 点的电位,单位是伏特,简称伏,用字母 V 表示;

Q ——电荷的电量,单位是库仑,用字母 C 表示;

W_{ao} 、 W_{bo} ——电场力将单位正电荷从 a 点、 b 点分别移到参考点所做的功,单位是焦耳,用字母 J 表示。

在电场中电位等于零的点叫做参考点,凡电位高于零电位的点,电位为正,凡电位低于零电位的点,其电位为负。通常往往以大地作为参考点。

(2) 电压

电场中两点之间的电位差,称为电压,电场中 a 、 b 两点间电压的大小等于电场力将单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功,其表达式为:

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = \frac{W_{ao}}{Q} - \frac{W_{bo}}{Q} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-4)$$

式中: W_{ab} ——电场力将单位正电荷从一点移到另一点所做的功,单位为焦耳,用字母 J 表示;

U_{ab} ——两点之间的电位差,即电压,单位是伏特,简称伏,用字母 V 表示。

电压的单位除了伏(V)以外,还可以用千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)表示,即:

$$1 \text{ 千伏(kV)} = 1000 \text{ 伏(V)} = 10^3 \text{ 伏(V)}$$

$$1 \text{ 伏(V)} = 1000 \text{ 毫伏(mV)} = 10^3 \text{ 毫伏(mV)}$$

$$1 \text{ 伏(V)} = 1000000 \text{ 微伏}(\mu\text{V}) = 10^6 \text{ 微伏}(\mu\text{V})$$

电场中各点的电位,随着参考点的改变而不同,但是无论参考点如何改变,任意两点间的电位差是不变的,也就是,电位与参考点的选择有关,而电压与参考点的选择无关。电压的正方向是从高电位点指向低电位点,如图 1-2 所示。在工程实际中,有时不知道哪点的电位高,哪点的电位低,无法确定电压的正方向,因此为了便于计算,就先假设一个电压的正方向。如果计算出的电压为正,则表示假设的方向与实际方向一致。如果计算出的电压为负值,则表示假设的方向与实际方向相反。

4. 电动势

在电场中,将单位正电荷由低电位移向高电位时外力所做的功称为电动势,其表达式为:

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

式中: W ——外力移动正电荷所作的功, J;

Q ——电荷量, C;

E ——电动势, V。

能将正电荷从低电位移向高电位的实用设备就是电源,如干电池、蓄电池、发电机,它们对电荷作用的力通常叫做外力。不同类型电源的外力是不同的,如电池内部对电荷作用的是化学力,发电机则是电磁力,我们把电源内部这种能推动电荷移动的作用力统称为电源力。

电动势的正方向规定为由低电位指向高电位,即电位升高的方向,如图 1-2 所示。电动势是表示

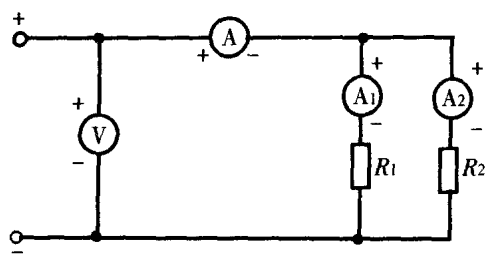


图 1-4 电流表电压表的接线

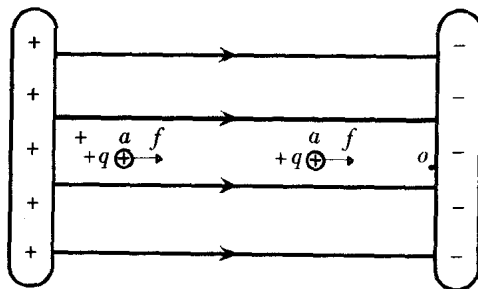


图 1-5 在均匀电场中,电场力 f 把电荷 $+q$ 从 a 点移到 o 和从 b 点移到 o 点所做的功

电源特性的一个重要的物理量。电源的电动势也就是电源力将单位正电荷从电源负极移到正极所做的功。

[例 1-1] 有三个直流电源(没有接通外电路),其连接形式如 1-6 所示,如果三个电源的电势分别为 $E_1 = 100\text{V}$, $E_2 = 20\text{V}$, $E_3 = 50\text{V}$, 试问 U_1 、 U_2 、 U_{AC} 、 U_{BC} 各为多少伏?

解: 电源在没有接通外电路时,电源两端的电压在数值上就等于电源的电势,但方向相反。因此:

$$U_1 = E_1 = 100(\text{V})$$

$$U_2 = -E_2 = -20(\text{V})$$

$$U_{AC} = E_1 - E_3 = 100 - 50 = 50(\text{V})$$

$$U_{BC} = E_2 - E_3 = 20 - 50 = -30(\text{V})$$

计算所得 U_2 、 U_{BC} 都是负值,说明假设的电压正方向与实际的方向相反。

(5) 电阻

在电场力的作用下,电流在导体中流动时,所受到的阻力,称为电阻,用“ R ”或“ r ”表示。电阻常用的单位为:兆欧($\text{M}\Omega$)、千欧($\text{k}\Omega$)、欧(Ω)、毫欧($\text{m}\Omega$)、微欧($\mu\Omega$),即:

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

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

$$1\Omega = 10^3\text{m}\Omega$$

$$1\Omega = 10^3\text{m}\Omega = 10^6\mu\Omega$$

当导体两端的电压是 1V ,导体中的电流是 1A 时,这段导体的电阻为 1Ω ,即:

$$1\Omega = \frac{1\text{V}}{1\text{A}}$$

实验证明,在一定的温度下,截面积均匀、材料相同的一段金属导体电阻的大小,与其长度成正比,与其截面积成反比,并与其材料有关,这种关系称为电阻定律,可用公式表示为:

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

式中: R ——导体的电阻, Ω ;

L ——导体的长度, m ;

ρ ——导体的电阻率, $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$;

S ——导体的截面积, mm^2 。

导体的电阻率表示导体材料对电流具有阻力的程度,它的数值是指在温度为 20°C 的情况下,长 1m ,截面积为 1mm^2 的导体的电阻值。

导体的电阻还与导体的温度有关。一般金属材料的电阻是随温度的升高而增加,但电解液导体是随温度的升高而降低。考虑温度影响时的电阻,应为:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-7)$$

式中: R_1 ——温度为 t_1 时的电阻值, Ω ;

R_2 ——温度升高到 t_2 时的电阻值, Ω ;

α ——导体材料的电阻温度系数,即温度每增加 1°C 时,导体电阻的变化值与原电阻值的比值。因电阻温度系数也随温度不同而略有变化,故工程上取 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ 范围内的平均值, $1/^\circ\text{C}$ 。

常用导电材料的电阻率和电阻温度系数可参阅表 1-2。

能很好传导电流的物体叫导体;基本不能传导电流的物体叫绝缘体;导电能力介于导体和绝缘体之间的物体叫做半导体。

导体和绝缘体是相对的。若外界条件促使绝缘体内部自由电荷增加(如灰尘、水分、温度等),就会使绝缘体向导体方向转化,失去绝缘体的作用,这种现象就是平常所说的绝缘劣化。

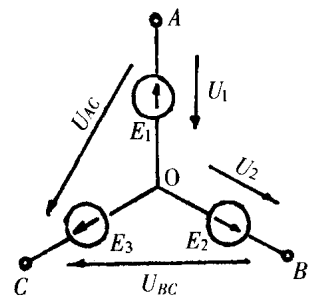


图 1-6

为了计算的方便,电阻值有时用它的倒数来表示,叫电导,它表示导体传导电流的能力。电导用符号 G 表示即:

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-8)$$

电导的单位是 $\frac{1}{\text{欧姆}}$ ($\frac{1}{\Omega}$), 又称姆欧, 有时叫做西门子或简称西门。

表 1-2 常用导电材料的电阻率和电阻温度系数

材料名称	电阻率(20℃) $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$	电阻温度系数 (0~100℃) $1/^\circ\text{C}$	材料名称	电阻率(20℃) $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$	电阻温度系数 (0~100℃) $1/^\circ\text{C}$
银	0.0165	0.0038	镍锌铜	0.34	0.00031
铜	0.0175	0.0040	锰铜	0.42	0.000005
铝	0.0283	0.0042	康铜	0.5	0.000005
钨	0.0551	0.0045	镍铬铁	1.0	0.00013
低碳钢	0.13	0.006	铁铬铝	1.35	0.00005
铸铁	0.5	0.001	铂	0.106	0.00389

注:表中给出的是近似值,这些数值随着材料纯度和成分的不同而有所变化。

导体的电阻可用欧姆表来测量,绝缘体的绝缘电阻可用绝缘摇表(兆欧表)来测量。

[例 1-2] 每根直径 $d = 2.12\text{mm}$ 的 7 股铝胶线,如果导线长为 1km ,试求 20°C 时的电阻。

解:每根导线的截面:

$$S_1 = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{3.14}{4} \times (2.12)^2 = 3.53(\text{mm}^2)$$

7 股导线的截面:

$$S_7 = 7S_1 = 7 \times 3.53 = 24.71(\text{mm}^2)$$

查表 1-2 得 $\rho = 0.0283$, 由公式(1-6)计算求得:

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0.0283 \times \frac{1000}{24.71} = 1.15(\Omega)$$

[例 1-3] 2.5 mm^2 的铜芯电缆,长 100 m ,在 20°C 时的电阻是 0.07Ω ,若环境温度上升到 35°C 时,试计算其电阻值是多少?

解:查表 1-2 得铜的平均电阻温度系数 $\alpha = 0.0040$, 设 20°C 时的电阻值为 R_1 , 35°C 时的电阻值为 R_2 , 由公式(1-7)得:

$$\begin{aligned} R_2 &= R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \\ &= 0.07 [1 + 0.0040(35 - 20)] = 0.0742(\Omega) \end{aligned}$$

1.1.3 欧姆定律

欧姆定律是表示电压(或电势)、电流和电阻三者关系的基本定律。图 1-7(a)所示为部分电路,实验证明,通过电阻的电流,与电阻两端所加的电压成正比,与电阻成反比,称部分电路的欧姆定律,即:

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

将上式移项得 $U = IR$, $R = \frac{U}{I}$

图 1-7(b)所示的电路包括电源在内,称全电路。当开关 K 合上时,在这样的闭合电路中,电路中的电流与电源的电动势成正比,与电路中负载电阻及电源内阻之和成反比,称全电路欧姆定律,即:

$$I = \frac{E}{R + r_0} \quad (1-10)$$

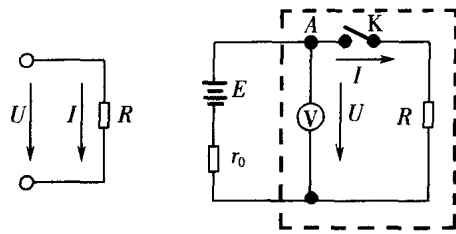
式中： E ——电源电动势，V；

R, r_0 ——分别为负载电阻和电源的内阻， Ω ；

I ——电路中流过的电流，A。

如果要考虑连接导线的电阻时，则总电阻中还要加上导线的电阻值。

欧姆定律是用于求解电路问题的一种基本工具。但值得注意的是，电阻值不随电压、电流变化而变化的电阻叫做线性电阻，由其组成的电路叫线性电路；阻值随电压、电流变化而变化的电阻，叫非线性电阻，由其组成的电路叫非线性电路，欧姆定律只适用于线性电路。



(a) 部分电路 (b) 全电路

图 1-7 部分和全电路

1.1.4 电路的状态

电路的状态有通路、短路和断路三种状态。

1. 通路

电路各部分连接成闭合回路，有电流通过。

2. 短路

电源、负载或电路某一部分的两端有导线连接，使电流直接从导线上通过。换言之，“短路”状态是指电路里不同电位的两点直接接通，接通处的电阻极低，一般可视为零。“短路”状态可能发生在电路的任何处，但最严重的是电源短路，如图 1-8 所示。

在电源两端发生短路时，电流不经过负载，而直接从电源的正极流向负极。由于电源的内阻 r_0 很小，根据欧姆定律： $I = \frac{E}{r_0} = I_D$ ，此时 I_D 很大，称

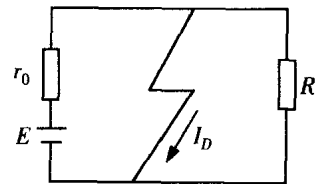


图 1-8 电源短路

为短路电流。因为电流很大，有可能损坏电气设备和导线，严重时甚至引起火灾，有时还会破坏系统稳定。短路是一种严重事故，在工作时要特别注意防止。产生短路的原因很多，例如可能是导线绝缘损坏两线相碰，或一相导线对地短接，或接线错误及误操作等。所以对运行中的电气设备应采取一定的保护措施，例如安装自动开关、熔断器等，当发生短路故障时，这些装置可将短路点及时切除，以限制短路造成的破坏。此外，经常检查电气设备和线路的绝缘情况是一项很重要的安全措施。

应当指出，短路一词，并非都指事故而言，有时由于某种需要，可以将电路中的某一段短路。如在调试电子设备的过程中，常遇到将电路某一部分短路情况，这是为了使与调试过程无关的部分没有电流通过而采取的一种方法。

3. 断路

电路断开，不可能有电流通过。如导线、电气设备的线圈等断线，使电流不能导通的现象，也叫开路。

[例 1-4] 有一个电压为 220V 的灯泡，其灯丝正常发光时的电阻为 484 Ω ，求通过灯丝的电流是多少安培？

解：此题可画成如图 1-7(a) 所示：

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{484} = 0.45(\text{A})$$

[例 1-5] 如图 1-9 所示，已知 E 为 12V，内阻 r_0 为 0.2 Ω ， R_1 为 3 Ω ， R_2 为 0.5 Ω 。试比较转换开关 K 在 1、2、3、4 各不同位置时，电路中电流 I 及电源端电压 U 的情况。

解：(1) 当开关合至位置 1 时：

$$I = \frac{E}{R_1 + r_0}$$

$$= \frac{12}{3+0.2} = 3.75(\text{A})$$

$$U = IR_1 = 3.75 \times 3 = 11.25(\text{V})$$

可见,在电路闭合时,端电压 U 小于电势 E ,说明电路中电流通过电源内阻有电压损失。

(2) 当 K 合至位置 2 时:

$$I = \frac{E}{R_2 + r_0} = \frac{12}{0.5+0.2} = 17.14(\text{A})$$

$$U = IR_2 = 17.14 \times 0.5 = 8.57(\text{V})$$

比较(1)、(2)的计算结果可以看出,对同一电源,当电路中负荷电阻越小,电路中电流就越大,电源内阻上电压降也就越大,而路端电压 U 就要比电势小得多。

(3) 当 K 合至位置 3 时,此时电源外部被导线短接(也叫短路状态),外电路负载电阻 $R = 0$ 。

$$I = \frac{E}{r_0} = \frac{12}{0.2} = 60(\text{A})$$

$$U = IR = 60 \times 0 = 0$$

这说明短路时,电路中电流很大,而电源端电压等于零,电源的能量全部被内阻消耗了。这样大的电流很快就会损坏电源,因此要严防短路故障的发生。

(4) 当 K 合至位置 4 时,此时因电源与外电路之间是断开的(断路),电路中没有电流通过,即:

$$I = 0$$

$$U = E - Ir_0 = E - 0 = 12(\text{V})$$

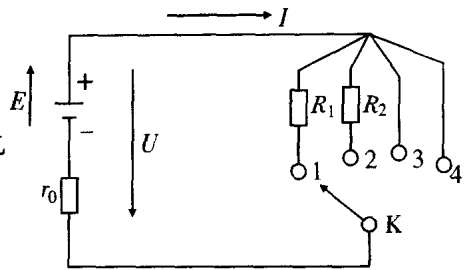


图 1-9

1.1.5 电能和电功率及用电设备的效率

1. 电能

电能就是电场力或外力所做的功,用符号 W 表示。

对于电源,它所产生的电能等于电动势与被外力移动的电荷的电量的乘积,即

$$W = EQ = EIt \tag{1-11}$$

对于负载,它所吸收的电能等于负载的端电压与被电场力移动的电荷的电量所乘积,即

$$W = UQ = UIt = I^2 Rt \tag{1-12}$$

电能的单位名称是焦(耳),单位符号为 J ,另一单位名称是千瓦·时,单位符号为 kWh 。它们之间的关系是

$$1 \text{ 千瓦} \cdot \text{时} = 3.6 \text{ 兆焦} = 3.6 \times 10^6 J$$

$$\text{或写作 } 1kWh = 3.6MJ = 3.6 \times 10^6 J$$

2. 电功率

在单位时间内电源产生的电能或负载吸收的电能叫做电功率,用字母 P 表示。用公式表示为:

$$P = \frac{W}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \tag{1-13}$$

式中: W ——电能, J ;

t ——时间, s ;

U ——电压, V ;

I ——电流, A ;

R ——电阻, Ω 。

电功率的单位名称称为瓦(特),单位符号为 W ,也可称为焦耳/秒(J/s)。电功率大单位有千瓦(kW)、兆瓦(MW);小单位有毫瓦(mW)、微瓦(μW)。

$$1 \text{ 千瓦} = 10^3 \text{ 瓦}(W)$$

1 兆瓦 = 10^6 瓦(W)

1 瓦 = 10^3 毫瓦(mW)

有些地方还采用公制马力作为功率单位。公制马力与瓦、千瓦的关系是：

1 公制马力 = 736 瓦(W) = 0.736 千瓦(kW)

3. 用电设备的效率

用电设备(负载)的效率就是负载输出的功率(铭牌上的额定功率 P_e)和电源供给的功率 P_λ 之比(常用百分数表示)即：

$$\eta = \frac{P_e}{P_\lambda} \times 100\% \quad (1-14)$$

由于输入负载功率总是大于负载输出的功率,所以效率 η 总是小于 1 的。

[例 1-6] 额定电压 220V、额定功率 25W 的电灯泡,它的电阻是多少? 点亮时有多少电流通过?

解: 由(1-11)式 $R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{25} = 1936(\Omega)$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{25}{220} = 0.114(\text{A})$$

[例 1-7] 试计算一下 220V、2.5A 的单相电度表,能带几个 220V、40W 的灯泡。如某用户装有两个 220V、40W 的灯泡,每天平均使用 3 小时,试计算每月用电量是多少? 每月电费是多少?(每千瓦小时的电按 0.50 元计算,每月按 30 天计算)

解: 电度表总共能带的瓦数是

$$P = UI = 220 \times 2.5 = 550(\text{W})$$

能带 220 伏、40 瓦的灯泡数目是:

$$n = \frac{550}{40} = 13.7 \approx 14(\text{个})$$

两个电灯的总功率是:

$$P = 40 \times 2 = 80 \text{ 瓦} = 0.08 \text{ 千瓦(kW)}$$

每月总用电量是:

$$A = Pt = 0.08 \times 3 \times 30 = 7.2(\text{kW}\cdot\text{h})$$

每月应交电费为:

$$0.50 \times 7.2 = 3.60(\text{元})$$

1.1.6 电流的热效应

电流通过电线、电灯、电烙铁、电炉等,都会使其温度升高发出热量。这种电流通过电阻发热的现象,叫做电流的热效应。热量通常以卡(cal)为单位(1 克水升高 1°C 需要的热量是 1 卡)。1 焦耳的电能可转化为 0.24 卡的热量。实验证明,通电导体所产生的热量与电流的平方,导体的电阻以及通电的时间成正比。用公式表达就是:

$$Q = 0.24 I^2 R t = 0.24 W \quad (1-15)$$

式中: I ——导体中通过的电流, A;

R ——导体的电阻, Ω ;

t ——电流通过导体的时间, s;

W ——消耗的电能, cal;

Q ——导体产生的热量, cal;

0.24——热功当量,它相当于电阻为 1 欧姆的导体中通过 1 安培电流时,每秒钟产生的热量。

这个关系式又叫做楞次-焦耳定律。

上式中 Q 、 W 的单位如均以焦耳(J)表示,则其表达式可改写为:

$$Q = I^2 R t = W \quad (1-16)$$

电流的热效应有利的一面,也有不利的一面。

在生产或日常生活中常用到的电烙铁、电烘箱、电阻炉等,就是利用电流通过电阻时产生的热效应的原理制成的;照明用的白炽灯,也利用了电流的热效应,使白炽灯的钨丝因发热而发光。

在其它电气设备(如发电机、变压器、输电线)中,当电流通过导体电阻时,电流的热效应不仅造成了电能的损失,还降低了设备的效率,同时由于这部分热量的积累而使电气设备的温度升高,当温度超过了电气设备中绝缘材料所能耐受的程度时,绝缘材料就要受到损伤甚至被烧毁。为了避免设备过度发热,根据绝缘材料的允许温度,对于各种导线规定了不同截面下的最大允许电流(有时叫做安全电流),可从手册中查得。电气设备中的绝缘介质都有一定的耐热限度,因此电气设备一般都有一个在长期工作时容许比周围环境高出的温度,称做温升,在铭牌上标出。

为了使电气设备安全、经济地运行,并保证一定的使用寿命,制造厂对于产品都规定了额定值,如额定电压 U_e , 额定电流 I_e , 额定转速 n_e , 额定功率 P_e 等等。电气设备的额定值通常标在一小块小金属牌上,钉在设备的外壳上,叫做铭牌,所以额定值又可以叫做铭牌数据。电器长时间持续工作时能保持正常运行的电流叫做额定电流。电气设备在额定电流工作时称为满载,超过额定电流时称为过载。在一般情况,应该按照铭牌数据的规定来使用设备。例如一个电灯泡,上面标有“220V、100W”字样,就是指它的额定电压是 220V,额定功率是 100W,在使用时,应该接到 220V 电源上,这时消耗的功率是 100W。如果把它接到 110V 的电源上,灯泡就很暗淡;如果接到 380V 的电源上,灯丝就会因为电流过大而烧断。

[例 1-8] 有一个电压为 220V、功率为 25W 的灯泡,导线的电阻是 0.5Ω ,由于吊线盒到灯头之间的导线绝缘损坏而引起短路故障。试计算在正常使用和短路时两种情况下,电路中的电流、导线上消耗的电功率和导线在 2s 内所产生的热量是多少?

解: 正常使用时:

$$\text{线路电流 } I = \frac{P}{U} = \frac{25}{220} = 0.114(\text{A})$$

$$\text{导线消耗功率 } P = I^2 R = 0.114^2 \times 0.5 = 0.006(\text{W})$$

$$\text{产生热量 } Q = 0.24 I^2 R t = 0.24 \times 0.114^2 \times 0.5 \times 2 = 0.003(\text{cal})$$

短路故障时:

$$\text{线路电流 } I_D = \frac{U}{R} = \frac{220}{0.5} = 440(\text{A})$$

$$\text{导线消耗功率 } P_D = I_D^2 R = 440^2 \times 0.5 = 96800(\text{W}) = 96.8(\text{kW})$$

$$\text{产生热量 } Q_D = 0.24 I_D^2 R t = 0.24 \times 440^2 \times 0.5 \times 2 = 46464(\text{cal}) = 46.464(\text{kcal})$$

上述计算结果说明,短路电流比正常电流大了 3860 倍,功率和热量都比正常情况下大了 1500 多万倍,如果没有保险丝,很可能烧毁导线甚至引起火灾。

1.1.7 电路的连接

电路的连接,有串联、并联和混联三种形式。

1. 串联电路

(1) 电阻的串联。将两个或两个以上电阻依次首尾串接起来,组成中间无分支的电路,叫做电阻串联电路,如图 1-10(a)所示。

电阻串联电路的特点:

① 通过各电阻的电流是同一电流即: $I = I_1 = I_2$

② 总电压等于各电阻上电压降之和,即:

$$U = U_1 + U_2 \quad (1-17)$$

故串联电路能把电压分成所需大小的几个部分,起到分压作用。

③ 总电阻 R 等于各电阻之和即:

$$R = R_1 + R_2 \quad (1-18)$$

式中 R 即为 R_1 和 R_2 串联后的等值(或等效)电阻。图 1-10 (b)为图 1-8(a)的等值(或等效)电路。“等值”就是指当电路中某一部分被替换(如 R_1 、 R_2 被 R 替换)后,在相同电压作用之下,电流不变。

④ 各电阻上电压降之比等于其电阻比,即:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (1-19)$$

⑤ 各电阻消耗的功率与电阻成正比,即:

$$P_1 : P_2 = R_1 : R_2 \quad (1-20)$$

(2) 电源的串联。将前一个电源的负极和后一个电源的正极依次连接起来,即为电源的串联。电源这样连接可以获得较大的电源电压。

$$\text{串联电源的总电势为: } E = E_1 + E_2 + \dots + E_n \quad (1-21)$$

$$\text{总内阻为: } r_o = r_{o1} + r_{o2} + \dots + r_{on} \quad (1-22)$$

$$\text{串联电源发出的总电流为: } I = \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_n}{R + (r_{o1} + r_{o2} + \dots + r_{on})} \quad (1-23)$$

[例 1-9] 设图 1-10(a)中的 $R_1 = 6\Omega$, $R_2 = 4\Omega$, 端电压 $U = 220\text{V}$ 。求电路的等值电阻 R , 通过电路的电流 I 和 R_1 、 R_2 上的电压 U_1 、 U_2 。

解: $R = R_1 + R_2 = 6 + 4 = 10(\Omega)$

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{U}{R} = \frac{220}{10} = 22(\text{A})$$

$$U_1 = IR_1 = 22 \times 6 = 132(\text{V})$$

$$U_2 = IR_2 = 22 \times 4 = 88(\text{V})$$

2. 并联电路

(1) 电阻的并联

将两个或两个以上电阻接入电路中相同的两点之间,其两端的电压相同,叫做电阻并联电路,如图 1-11(a)所示。图 1-11(b)为图 1-11(a)的等值电路。

电阻并联电路的特点:

① 各电阻两端的电压均相等,即:

$$U = U_1 = U_2$$

② 电路的总电流等于电路中各支路电流之总和,即:

$$I = I_1 + I_2, \quad (1-24)$$

可起到分流作用。

③ 电路总电阻(等值电阻) R 的倒数等于各个支路电阻倒数之和,即:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-25)$$

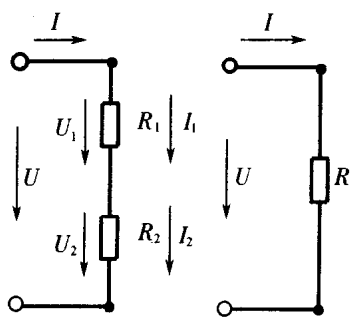
对于由两个电阻构成的并联电阻,总电阻

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-26)$$

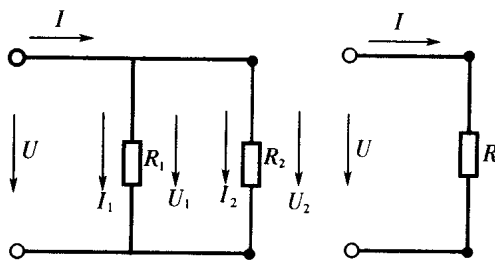
并联负载愈多,电路的总电阻愈小,电源供给的电流愈大,即负荷愈重。

④ 通过各支路的电流与各自电阻成反比,即:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad (1-27)$$



(a)电阻的串联 (b)等值电路
图 1-10 电阻串联电路



(a) 电阻的并联 (b) 等值电路
图 1-11 电阻并联电路