



农网配电营业工职业技能鉴定培训教材

NONGWANG PEIDIAN YINGYEGONG ZHIYE JINENG JIANDING PEIXUN JIAOCAI

农网配电营业工

(初级)

宋美清 主 编
刘素萍 副主编

 中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



农网配电营业工职业技能鉴定培训教材

NONGWANG PEIDIAN YINGYEGONG ZHIYE JINENG JIANDING PEIXUN JIAOCAI

农网配电营业工

(初级)

宋美清 主 编

刘素萍 副主编

林 赟 林 宇 陈 岚 参 编



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本教材根据《国家职业标准 农网配电营业工》的要求编写。教材编写努力做到理论与实际相结合,深入浅出,通俗易懂,面向生产实际,强调实践,旨在使广大农网配电营业工了解和掌握本工种相关技术,适应生产发展需要。为了便于学习和培训,每单元后附有理论知识和技能操作练习题与答案。为检测培训水平,熟悉考核,每个等级附有职业技能鉴定标准概况相关内容和模拟试题两套,以便学员掌握考核鉴定的范围和内容。

本书主要介绍了农网配电营业工初级工必须掌握的电工基础和电子技术、识图与绘图、电气量的测量、农村配电网运行与维护、配电设备安装、配电线路施工、装表接电、抄表收费等内容。

本书适合各级鉴定机构和培训机构组织考前强化培训和申请参加技能鉴定的人员自学使用,对于各类职业技术学校师生、相关行业技术人员均有重要的参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

农网配电营业工:初级/宋美清主编. —北京:中国电力出版社, 2010.3

农网配电营业工职业技能鉴定培训教材

ISBN 978—7—5123—0156—6

I .①农… II .①宋… III .①农村配电—职业技能鉴定—教材 IV .①TM727.1

中国版本图书馆 CIP数据核字 (2010) 第 032479号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6号 100044 http://www.cepp.com.cn)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010年 3月第一版 2010年 3月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 16.75印张 378千字

印数 0001—3000册 定价 32.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

《农网配电营业工职业技能鉴定培训教材》是根据《国家职业标准 农网配电营业工》的要求编写。编写指导思想是坚持“鉴定什么，编什么”，紧扣“准确性、实用性、先进性”的原则。基本理论部分的编写以必须和够用为度，突出技能和技巧，注重能力的培养。并从当前农网配电营业工工作的实际出发，努力做到理论与实际相结合，深入浅出，通俗易懂。

本教材内容以《职业技能鉴定培训大纲》（以下简称《培训大纲》）模块为依据进行全面整合，全书内容和单元设置试图与《培训大纲》模块、实际应用和最新知识进展保持基本一致。在编写上，对应初、中、高（技师）三个等级分成初级、中级和高级（技师）三本教材，每个等级教材按相应《培训大纲》知识要求和技能要求组织内容。在基本保证知识连贯性的基础上，着眼于技能操作，力求浓缩精炼，突出针对性、典型性、实用性。教材力求反映本工种的现状和趋势；体现基础理论、基础知识、基本技能；突出新内容、新知识、新特点。

本教材具有如下特点：

第一，按《培训大纲》模块（MU）设置教学单元，单元中每节开始有明确的教学目标，而且教学目标就是《培训大纲》知识点模块（LE）的学习目标，为学习者的学习起到引导作用。

第二，在每个单元教学内容后，都编写了具有代表性的理论知识和技能操作练习题与答案，便于学习者对学习内容的自检和巩固。

第三，每个等级教材编写了两套模拟题，供学习者模拟测试，起到检测培训水平，熟悉鉴定考核的功能。

本册是《农网配电营业工（初级）》，由福建电力培训中心高级讲师宋美清担任主编，并负责全书的统稿工作。福建电力培训中心高级讲师刘素萍担任副主编并参与第一、三单元的编写，林赞高级技师参与第二、四、五、六单元编写，林宇高级讲师参与第七单元编写，福建电力有限公司营销部陈岚高级工程师参与第八单元编写。

在本教材的编写过程中，参考了大量文献，在此对其作者表示衷心感谢，同时也感谢中国电力出版社和各位编者所在单位给予的大力支持！

限于编者的经验和水平，加上知识的不断更新，对本教材在内容和文字上的不足，诚恳地欢迎广大读者批评指正。

编 者
2009年 12月

目 录

前言

第一单元 电工基础和电子技术	1
第一节 直流电路	1
第二节 电磁与电磁感应	10
第三节 正弦交流电路	15
单元测试题与答案	21
第二单元 识图与绘图	35
第一节 图形符号与项目代号	35
第二节 识读电气图	43
单元测试题与答案	46
第三单元 电气量的测量	50
第一节 常用电工仪表知识	50
第二节 电流与电压的测量	52
单元测试题与答案	59
第四单元 农村配电网运行与维护	65
第一节 运行监测	65
第二节 配电线路基础知识	67
第三节 配电线路巡视和检修	76
单元测试题与答案	80
第五单元 配电设备安装	90
第一节 安装低压熔断器	90
第二节 安装 10kV 跌开式熔断器	94
第三节 安装避雷器	98
第四节 安装接地装置	101
单元测试题与答案	106
第六单元 配电线路施工	117
第一节 基础施工	117
第二节 杆塔施工	125
第三节 杆上作业	135

目 录

单元测试题与答案	145
■ 第七单元 装表接电	157
第一节 工器具的使用	157
第二节 电气安全及防火	168
第三节 单相电能表	174
第四节 常用低压电器	182
第五节 电气照明工程	187
第六节 三相异步电动机的控制	196
第七节 导线的连接	202
单元测试题与答案	208
■ 第八单元 抄表收费	216
第一节 抄表	216
第二节 电费核算	221
第三节 电费回收	224
单元测试题与答案	226
附录 A 农网配电营业工（初级）职业技能鉴定标准概况	231
附录 B 农网配电营业工（初级）职业技能鉴定考试模拟试卷	238
参考文献	260

第一单元 电工基础和电子技术

第一节 直流电路



培训目标

1. 掌握电路和电路图的概念。
2. 掌握电流、电位、电压、电动势和电功率的概念。
3. 掌握电阻、导体、绝缘体、半导体的概念。
4. 能进行电阻的串联、并联、混联连接和等值电阻计算。
5. 能运用欧姆定律、全电路欧姆定律、基尔霍夫第一定律、基尔霍夫第二定律进行简单的电工计算。

一、电路及基本物理量

1. 电路的组成和作用

把各种电气设备和元件，按照一定的连接方式构成的电流通路称为电路。简单地说，电路就是电流流通的路径。如图 1-1 所示，把一个灯泡通过开关、导线和电池连接起来，就组成了一个照明电路。当合上开关，电路中有电流通过，灯泡就亮起来了。

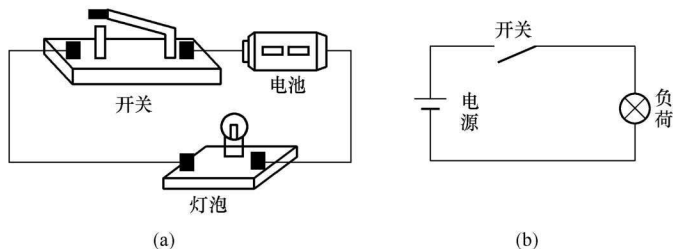


图 1-1 电路

(a) 实物构成的电路；(b) 电路图

一个完整的电路通常由四个基本部分组成：

(1) 电源。它是供给电能的设备，它的作用是将各种形式的能量转换为电能，如发电机、各类电池等装置。

(2) 负荷。即用电设备，它的作用是耗用电能，将电能转变为其他形式能量。如电炉将电能转变为热能，电动机将电能转变为机械能。

(3) 开关。在电路中起控制电路接通和断开的装置。

(4) 导线。作用是将电源、负荷和开关电器连接起来。

此外，根据需要电路还装配有其他辅助设备，如熔断器、仪表和保护装置等设备。

图 1-1 (a) 所示的是用电气设备的实物图形表示的实际电路, 在分析研究电路时, 总是把实际设备抽象成一些理想化的模型, 用规定的图形符号表示, 这种用统一规定的图形符号画出的电路模型称为电路图, 如图 1-1 (b) 所示。

2. 基本物理量

(1) 电流。

电荷有规则的定向移动, 形成电流。衡量电流大小的物理量称为电流强度, 电流强度在数值上等于单位时间内通过导体截面的电荷量。定义为

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

式中 I ——电流, A (安);

q ——通过导体截面的电荷量, C (库);

t ——通过电荷量 q 所用的时间, s (秒)。

如果在 1s 内通过导体截面的电荷量为 1C, 则导体中流过的电流为 1A。电流单位还常用 kA (千安), mA (毫安) 和 μ A (微安) 表示。它们与 A 的关系是

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

电流是有方向的, 习惯上规定正电荷定向移动的方向为电流的方向。在金属导体中, 电流是由自由电子的运动形成的, 自由电子定向移动的方向与电流反向。

如果电流的大小和方向不随时间变化, 称为直流电流, 用大写字母 I 表示。

如果电流的大小和方向随时间变化, 称为交流电流, 用小写字母 i 表示。如果电流的大小和方向随时间按正弦规律变化, 称为正弦交流电。

在分析或计算电路时, 常常要求标出电流的方向。但当电路比较复杂时, 某段电路中电流的实际方向往往难以确定, 此时可先假定电流的参考方向, 然后求解。当解出的电流为正值时, 就认为电流方向与参考方向一致; 电流为负值时, 就认为电流方向与参考方向相反。

(2) 电压。

导体中的自由电子在电场力作用下定向移动时, 我们就说电场力对电荷做功。为了衡量电场力做功的能力, 引入电压这一物理量。电场力把单位正电荷 q 从电场中 a 点移至 b 点所做的功称为 a 、 b 两点间的电压, 用 U_{ab} 表示

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-2)$$

电压的单位是伏特, 简称伏, 用符号 V 表示。工程上常用 kV (千伏)、mV (毫伏) 表示。它们与 V 的关系是

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

电压的四个性是:

- 1) 两点间的电压具有唯一确定的数值。
- 2) 两点间的电压只与两点的位置有关, 与电荷移动的路径无关。
- 3) $U_{ab} = -U_{ba}$ 。
- 4) 沿电路中任一闭合回路行走一圈, 各段电压的和恒为零。

(3) 电位。

在电路中任选一点为参考点，电路中某点的电位就是该点到参考点之间的电压。在数值上等于电场力将单位正电荷从该点移至参考点所做的功，电位的符号用 j 表示。在分析电路各点电位时，如图 1-2 所示，以 o 点为参考点， a 点的电位 $j_a = U_{ao}$ ， o 点的电位 $j_o = 0$ 。参考点又称为零电位点，通常选择大地作为参考点。凡是外壳接大地的电气设备，其外壳都是零电位。电位高于零电位的点，电位为正；电位低于零电位的点，电位为负。

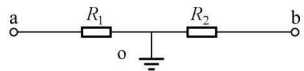


图 1-2 分析电路各点电位示意图

两点之间的电压也称为两点的电位差，即

$$U_{ab} = j_a - j_b \quad (1-3)$$

式中， j_a 为 a 点的电位，V； j_b 为 b 点的电位，V。电场中各点的电位，随着参考点的改变而不同；两点间的电压具有唯一性，不随参考点变化。

【例 1-1】在图 1-3 中，已知 $U_{CO} = 5V$ ， $U_{CD} = 2V$ ，分别以 O 点和 D 点为参考点，求各点的电位及电压 U_{DO} 。

解：以 O 点为参考点， $j_o = 0V$

$$j_c = U_{CO} = 5V$$

$$j_d = U_{DO} = U_{CO} - U_{CD} = 3V$$

以 D 点为参考点， $j_d = 0V$

$$j_c = U_{CD} = 2V$$

$$j_o = U_{OD} = -U_{DO} = -3V$$

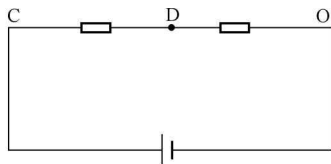


图 1-3 电路图

(4) 电动势。

1) 电动势。

在电源内部，正电荷在电源力的作用下，从负极源源不断地移到正极。将单位正电荷由电源负极（低电位）移至正极（高电位）时，电源力所做的功，叫做电源的电动势，用 E 表示

$$E = \frac{W}{q} \quad (1-4)$$

式中 E ——电动势，V；

q ——电荷量，C；

W ——外力所做的功，J

电动势的方向由电源负极指向正极。由于电源力对电荷的作用，电源两端产生一定的电位差。不同的电源中，电源力的来源有所不同。例如：电池中的电源力是电解液和极板间的化学作用产生的，发电机的电源力则是电磁作用产生的。

2) 电动势与电压的关系。

在电动势的形成过程中，出现了电荷的分离，形成了电场，使电源两端具有了不同的电位。电源两端的电位差，称为电源的端电压。电动势的方向由电源负极指向正极，而端电压的方向则是由高电位指向低电位，在电源内部，电动势的方向与端电压的方向是相反的。在电源不接负载的情况下，电源电动势与电源端电压在数值上是相等的。图

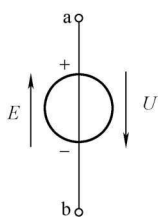


图 1-4 电源电动势
方向标示

1-4 所示为电源的另一种符号表示方法，图中电动势参考方向与电压参考方向相反， $E = -U$ 。

电源的电动势和电压的物理意义不同。电动势是描述电源力（非电场力）做功的物理量，而电压则是描述电场力做功的物理量。电动势仅存在于电源内部，而电压不仅存在于电源两端，而且也存在于电源外部。

（5）电阻。

当电流通过金属导体时，做定向运动的自由电子会与金属中的带电粒子发生碰撞，导体对电荷的定向运动有阻碍作用。电阻就是反映导体对电流起阻碍作用大小的一个物理量。

电阻用字母 R 表示，单位为欧姆，符号为 Ω 。

导体的电阻是客观存在的，它不随导体两端电压大小变化。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。其表达式为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-5)$$

式中 R ——导体的电阻， Ω ；

L ——导体长度， m ；

S ——导体截面积， m^2 ；

ρ ——导体的电阻率， $\Omega \cdot m$ 。它是指在温度为 $20^\circ C$ 时，长度为 $1m$ 、截面为 $1m^2$ 的导体的电阻值。如：铜的电阻率是 $1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ，铝的电阻率是 $2.8 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ 。

电阻的单位，除欧姆（ Ω ）外，还有千欧（ $k\Omega$ ）、兆欧（ $M\Omega$ ）。它们与欧姆（ Ω ）的关系是

$$1k\Omega = 10^3 \Omega, \quad 1M\Omega = 10^6 \Omega$$

此外，导体的电阻还与导体的温度有关。一般金属材料，温度升高后，导体的电阻增加。这是因为温度的升高使导体中的带电粒子的热运动加剧，自由电子在导体中碰撞的机会增加的原因。

电阻是物质本身具有的导电特性。自然界的物质按导电能力分为导体、绝缘体和半导体三类。

1) 导体。导电能力强的材料称为导体。导体的电阻率一般都在 $1 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ 左右，如各类金属。

2) 绝缘体。导电性能极差的材料称为绝缘体，它的电阻率一般在 $10^6 \sim 10^{18} \Omega \cdot m$ 之间。如橡胶、塑料、玻璃、树脂、云母、陶瓷、变压器油等。

3) 半导体。导电能力介于导体和绝缘体之间的材料叫做半导体，半导体的电阻率一般在 $10^{-6} \sim 10^6 \Omega \cdot m$ 之间，如硅、锗等。

（6）电能。

电场力在电路中移动电荷所做的功叫做电功，又叫电能，用 W 表示。其表达式为

$$W = UIt = I^2 R t \quad (1-6)$$

式中 W ——电能， J ；

t ——通电时间, s

U ——电压, V;

I ——电流, A。

电能的大小与电路中的电流、电压以及通电时间成正比。电能单位为焦耳, 简称焦, 用 J 表示。在实际应用中, 电能还有一个常用单位 $\text{kW} \cdot \text{h}$ (千瓦·时)

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

(7) 电功率。

电流在单位时间内消耗的电能, 叫做电功率 (简称功率)。它表明了电能与非电能相互转换的速率大小。电功率用字母 P 表示。其表达式为

$$P = \frac{W}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-7)$$

式中 P ——电功率, W;

U ——电压, V;

I ——电流, A;

R ——电阻, Ω 。

功率的单位是 W (瓦特), 符号为 P, 常用的还有 kW (千瓦) 和 MW (兆瓦)。它们与 W 的关系是

$$1\text{kW} = 10^3 \text{ W}, \quad 1\text{MW} = 10^6 \text{ W}$$

【例 1-2】 一台空调机每天平均使用 4h, 它的功率为 800W, 电费为 0.5 元 / $\text{kW} \cdot \text{h}$, 请问用户使用这台空调机时, 每月电费是多少? (每月按 30 天计)

解: 每月用电小时数

$$t = 4 \times 30 = 120 \text{ (h)}$$

每月所用的电能: $W = Pt = 800 \times 120 = 96\,000 \text{ (W} \cdot \text{h)} = 96 \text{ (kW} \cdot \text{h)}$

用户每月使用这台空调机应付电费: $96 \times 0.5 = 48 \text{ (元)}$

二、直流电路的连接

电路的连接有三种形式: 串联、并联和混联。

1. 串联电路

将几个电阻首尾依次相连, 中间没有分支, 各电阻流过同一电流的接法, 称为电阻的串联, 如图 1-5 所示。

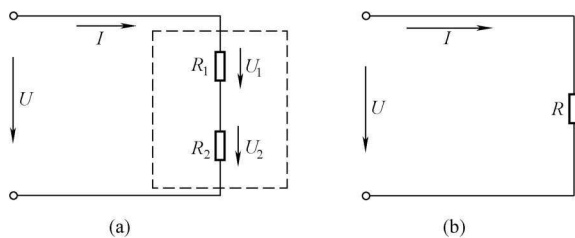


图 1-5 串联电路图

(a) 电路图; (b) 等效电路图

串联电路的特点:

(1) 串联电路中各电阻流过的电流都相等。

(2) 总电压等于各电阻上电压降之和, 电阻起分压作用, 即

$$U=U_1+U_2+\cdots+U_n \quad (1-8)$$

(3) 总电阻 (即等效电阻) R 为各个负载电阻之和, 即

$$R=R_1+R_2+\cdots+R_n \quad (1-9)$$

(4) 各电阻上的电压与其电阻的阻值成正比, 此比值也称为分压比或分压公式, 即

$$U_n=\frac{R_n}{R}U \quad (1-10)$$

在计算中, 经常遇到两个电阻串联, 当给定总电压时, 它们的分压公式为

$$\begin{cases} U_1=\frac{R_1}{R_1+R_2}U \\ U_2=\frac{R_2}{R_1+R_2}U \end{cases} \quad (1-11)$$

【例 1-3】两个灯泡, 额定电压 U_e 都是 220V, 额定功率分别为 $P_1=100\text{W}$, $P_2=200\text{W}$, 将两灯泡串联, 接于 380V 的电源上, 问能否安全工作?

解: 由额定值可知两灯泡的电阻的比值为

$$\frac{R_1}{R_2}=\frac{\frac{U_e^2}{P_1}}{\frac{U_e^2}{P_2}}=\frac{P_2}{P_1}=\frac{200}{100}=\frac{2}{1}$$

由分压公式, 两灯泡实际承受电压的比值为

$$U_1=\frac{R_1}{R_1+R_2}U=\frac{2}{3}\times 380=253\text{ (V)}>220\text{ (V)}$$

$$U_2=\frac{R_2}{R_1+R_2}U=\frac{1}{3}\times 380=127\text{ (V)}$$

即 100W 的灯泡超过它的额定电压, 灯丝将会被烧毁, 所以两灯泡不能正常工作。

2. 并联电路

将电路中几个电阻并排连接起来, 使之在电路中承受相同电压的接法, 称为电阻的并联。如图 1-6 所示。

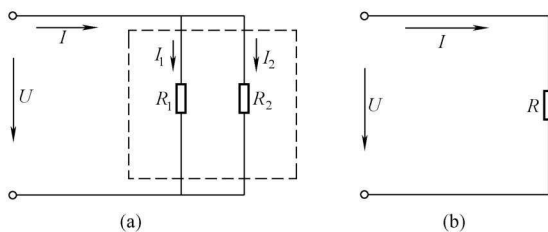


图 1-6 并联电路图

(a) 电路图; (b) 等效电路图

并联电路的特点:

(1) 各电阻两端的电压相等。

(2) 电路的总电流等于电路中各支路电流的总和, 即

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n \quad (1-12)$$

(3) 电路总电阻 (即等效电阻) R 的倒数等于各个支路电阻倒数之和, 即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n} \quad (1-13)$$

并联负载越多, 电路的总电阻越小, 电源供给的电流越大。

两个并联电阻的总电阻是

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-14)$$

(4) 各支路分配的电流与支路的电阻值成反比, 即

$$I_n = \frac{R}{R_n} I \quad (1-15)$$

两个电阻并联时, 它们的分流公式为

$$\begin{cases} I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \\ I_2 = \frac{R_1}{R_2 + R_1} I \end{cases} \quad (1-16)$$

【例 1-4】 有一个 200Ω 的电阻, 分别与 300Ω 、 200Ω 的电阻并联, 并联后的等效电阻各是多少?

解: 根据两电阻并联公式,

若与 300Ω 电阻并联, 则

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{200 \times 300}{200 + 300} = 120 (\Omega)$$

若与 200Ω 电阻并联, 则

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{200 \times 200}{200 + 200} = 100 (\Omega)$$

从以上计算可以看出, 并联电路的等效电阻总是比任何一个分电阻都小; 若两个电阻相等, 并联后总电阻等于一个电阻的一半。

3. 混联电路 (复联电路)

电路中既有元件的串联又有元件的并联的电路称为混联电路。

分析计算混联电路的一般步骤如下:

(1) 计算各元件串联和并联的等效电阻值, 再计算电路的总电阻值。

(2) 根据欧姆定律, 由电路总电阻值和电路的端电压计算出电路的总电流。

(3) 根据元件串联的分压关系和元件并联的分流关系, 逐步推算出各部分的电压和电流。

【例 1-5】 在图 1-7 中, 已知电路中 $U = 100V$, $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = R_3 = 6\Omega$, 求流过各电阻的电流大小。

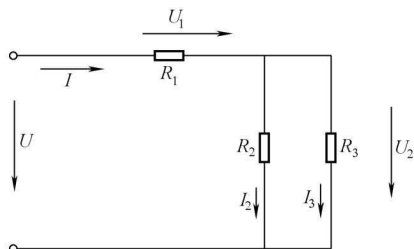


图 1-7 混联电路

解：

$$R_{23} = \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3} = \frac{6 \times 6}{6 + 6} = 3 \text{ } (\Omega)$$

$$R_{\text{总}} = R_{23} + R_1 = 3 + 5 = 8 \text{ } (\Omega)$$

$$I = \frac{U}{R_{\text{总}}} = \frac{100}{8} = 12.5 \text{ (A)}$$

$$I_2 = \frac{1}{2} \times 12.5 = 6.25 \text{ (A)}$$

$$I_3 = I_2 = 6.25 \text{ (A)}$$

三、直流电路的基本定律

1. 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。

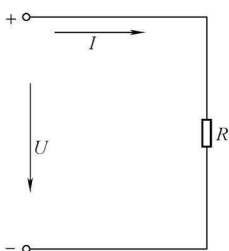


图 1-8 部分电路

(1) 部分电路欧姆定律。

部分电路是指不含电源的一段电路，如图 1-8 所示。

部分电路欧姆定律的内容是：在电阻一定的电路中，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。其表达式为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-17)$$

移项得

$$U = IR \text{ 或 } R = \frac{U}{I}$$

式中 I ——电流，A；

U ——电压，V；

R ——电阻， Ω 。

(2) 全电路欧姆定律。

全电路是指含有电源的闭合电路，如图 1-9 所示。电源的内部一般都有电阻，称为电源的内电阻，用 r_0 表示。当开关 S 打开时，电源的端电压在数值上等于电源的电动势。当 S 闭合时，电阻 R 上有电流流过，即

$$I = \frac{E}{R + r_0} \quad (1-18)$$

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。

式 (1-18) 表明，闭合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，这个规律称为全电路欧姆定律。

【例 1-6】在图 1-9 中，若 $E = 24\text{V}$ ， $r_0 = 0.1\Omega$ ， $R = 3.9\Omega$ 时，求：电路的电流和电源端电压有多大？

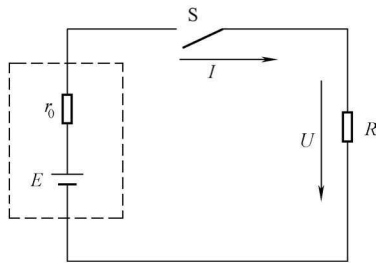


图 1-9 全电路

解：根据欧姆定律

$$I = \frac{U}{R} = \frac{E}{R + r_0} = \frac{24}{0.1 + 3.9} = 6 \text{ (A)}$$

$$U = IR = 6 \times 3.9 = 23.4 \text{ (V)}$$

2. 基尔霍夫定律

对于较复杂的电路，仅用欧姆定律难以计算，还要应用基尔霍夫定律。基尔霍夫定律包括两个方面的内容：节点上各支路电流之间的关系和回路中各电压之间的关系。

(1) 基尔霍夫第一定律 (KCL)。

电路中三条及三条以上支路的联结点称为节点，如图 1-10 中的 A 点。基尔霍夫第一定律也称节点电流定律，其内容是：电路中任意一个节点上，电流的代数和恒等于零。即

$$\sum I = 0 \quad (1-19)$$

我们规定流入节点的电流为正，流出节点的电流为负，那么，基尔霍夫第一定律内容也可叙述为：电路中任意一个节点上，流入节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。即

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-20)$$

对于图 1-10 的节点 A 有四个电流，支路电流 I_1 和 I_3 流入节点， I_2 和 I_4 从节点流出。根据基尔霍夫第一定律，其表达式为

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4$$

基尔霍夫节点电流定律的依据是电流的连续性原理，体现了在电路中电荷守恒的规律。应用该定律分析计算电路时，应先在电路图中标出电流的正方向（参考方向）。如果计算结果出现负值，则说明假定的方向与实际方向相反。

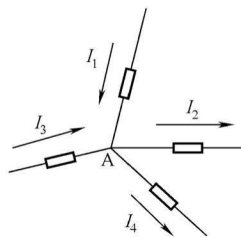


图 1-10 节点电流

【例 1-7】图 1-10 电路中，已知 $I_1 = 7\text{A}$ ， $I_2 = 10\text{A}$ ， $I_3 = 2\text{A}$ ，求 I_4 。

解：先任意假设未知电流 I_4 的参考方向，如图 1-10 所示。

由题意可知：在节点 A 应用基尔霍夫第一定律，列出节点电流方程式

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

或
即

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4$$

$$I_4 = I_1 + I_3 - I_2 = 7 + 2 - 10 = -1 \text{ (A)}$$

电流 I_4 为负值，表示 I_4 的实际方向与参考方向相反。所以电流 I_4 的大小为 1A，实际方向应为流进 A 节点。

(2) 基尔霍夫第二定律 (KVL)。

基尔霍夫第二定律也称回路电压定律。其内容是：对于电路中的任一回路，沿回路绕行方向各段电压的代数和等于零。即

$$\sum U = 0 \quad (1-21)$$

也可叙述为：在任一闭合回路中，各个电阻上电压的代数和等于各个电动势的代数和。即

$$\sum IR = \sum E \quad (1-22)$$

应用基尔霍夫第二定律列回路电压方程时，通常采用式 (1-22) 的形式，其步骤

如下:

1) 假设各支路电流的参考方向和回路的绕行方向。

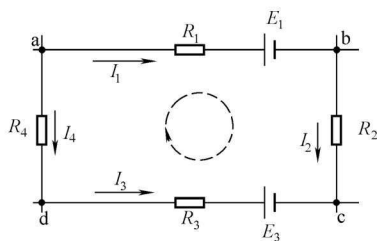


图 1-11 【例 1-8】电路图

2) 通过电阻的电流方向与绕行方向一致, 则该电阻上的电压取正, 反之取负。

3) 若电动势的方向 (由负极指向正极) 与绕行方向一致, 则该电动势取正, 反之取负。

【例 1-8】图 1-11 所示为某电路的一个回路, 试列出其回路电压方程式。

解: 标出各支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 参考方向和绕行方向, 如图所示, 则回路电压方程式为

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_4 R_4 = -E_1 + E_3$$

第二节 电磁与电磁感应



培训目标

1. 掌握有关磁的基本概念。
2. 掌握磁体和载流导体产生的磁场方式。
3. 了解磁化曲线。
4. 掌握电磁力的判断方法。
5. 掌握直导体感应电动势方向的判断方法。
6. 了解磁通、磁感应强度的概念。

一、磁场及基本物理量

1. 磁场

(1) 磁铁。

凡是能够吸引铁、钴、镍等金属的物体叫做磁铁, 被吸引的物体叫做磁性材料。磁铁能够吸引磁性材料的特性叫做磁性。

能够长久保持磁性的磁铁叫做永久磁铁。永久磁铁有天然和人造的两种, 常见的磁铁几乎都是人造的。人造磁铁有条形、马蹄形和针形等几种, 由钢和铁经过磁化制成, 如图 1-12 所示。磁铁具有极性, 任一磁铁均有两个磁极, N 极 (北极) 和 S 极 (南极)。磁铁两端部磁性最强, 越接近中央磁性越弱。磁极将具有相互作用力, 即同性磁极相吸, 异性磁极相斥。

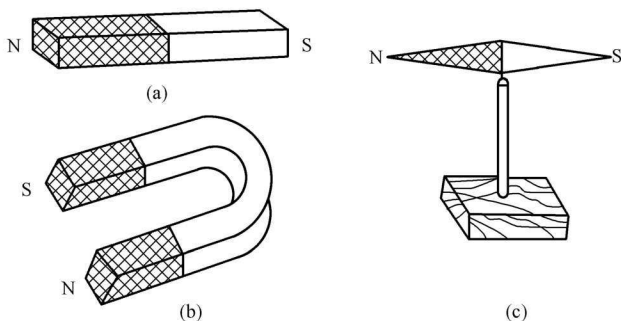


图 1-12 人造磁铁

(a) 条形; (b) 马蹄形; (c) 针形