

职业技能培训教材

NONGWANG PEIDIAN YINGYE JISHI
PEIXUN JIAOCAI

农网配电营业技师 培训教材

王金笙 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

职业技能培训教材

农网配电营业技师 培训教材

王金笙 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是为配合农网配电营业技师职业技能鉴定的需要,按照《国家职业标准——农网配电营业工》的要求编写的。内容涵盖了农网配电营业技师需要掌握的知识和技能,主要包括电工基础知识要点,电工仪表,电力系统和电力网络,变压器,动力和照明系统,高、低压设备,配电线路运行维护和检修,配电线路施工,电能计量和装表接电,电力营销,小型发电机,安全生产与触电救护及电子技术基础知识要点。书后还附有农网配电营业技师职业技能鉴定技能操作题等。

本书内容突出职业技能培养,理论以满足技能培养必备为度,将农网配电营业技师的各项技术工作的理论知识、专业知识和操作技能融为一体。为便于读者学习掌握和职业技能鉴定考评人员考核之需,在各章后还附有练习题,分选择题、判断题、简答题、计算题、画图题和技能操作题六种题型。

本书可供农电系统农网配电营业技师参加职业技能鉴定培训使用,也可供职业技能鉴定考试考核工作者使用。

图书在版编目(CIP)数据

农网配电营业技师培训教材/王金笙主编. —北京:中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-9280-6

I. 农… II. 王… III. 农网配电—技术培训—教材
IV. TM727.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 138411 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)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 1 月第一版 2010 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 40 印张 984 千字

印数 0001—3000 册 定价 75.00 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

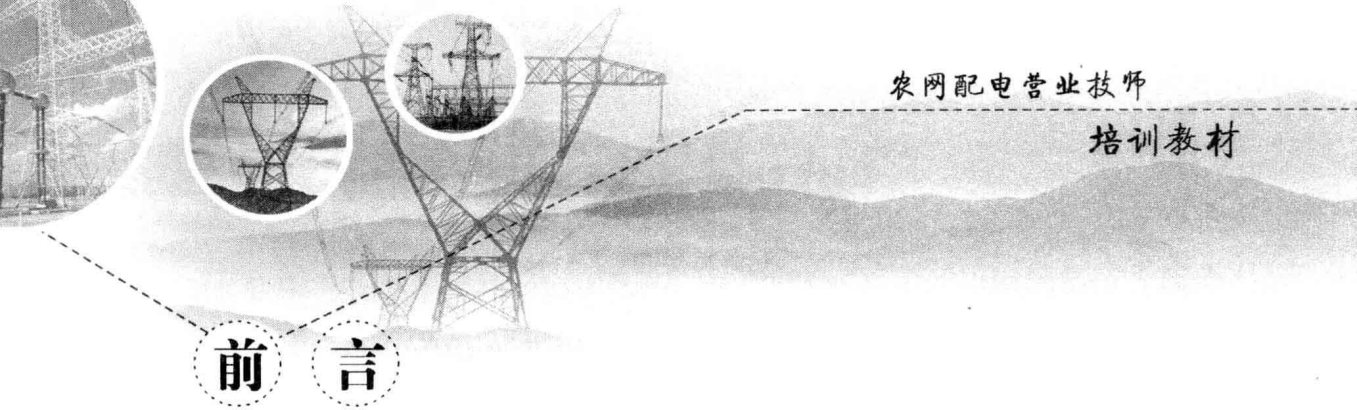
本书编委会

主 编 王金笙

编写人员 王金笙 孟 辉 赵光艳 张宝全 何 莉
韩晓男 唐克兴 王 野 赵纯舶 刘春梅
张 莉 王 玲 张金铭 刘宏宇 魏大庆
王 飞 常维东 李文龙

主 审 毕 强

审核人员 毕 强 高艳华 周 志 田中森 冯艳秋
隋凤国 王雅民 戴东江 汪 君 冷冬梅
张 永 杜建宝 姜海洋 吴学峰 牛德才
马慧杰 朱晓东 尚 军 刘伟东 刘庆松



前言

为配合农网配电营业技师职业技能鉴定工作，我们在承担《国家职业标准——农网配电营业工》编写任务的同时，编写了与之相配套的《农网配电营业技师培训教材》。

在编写这本教材时，我们力求体现以下原则：

(1) 通俗性。主要考虑农网配电营业技师工作实际，力求复杂问题简单化，高深语言通俗化。

(2) 针对性。按照侧重于技能培训的思路，理论部分以满足技能训练要求为度的原则，着重点是针对该工种技师的实际工作需求。

(3) 实用性。书中介绍的技能方法对于农网配电营业技师工作比较实用，本着职业技能培训和鉴定可操作的想法，书中各章后都配有与之内容相配套、与职业技能鉴定指导书相一致并适当增加、适用于鉴定考核的标准试题及答案。学者易学，考者易考。

(4) 广泛性。本书的作者包括了《国家职业标准——农网配电营业工》的主要编写人员。此前已经对各省农网配电营业人员的情况及工作范围有了广泛而深入的了解，编写思路突破了地域界限，尽可能地考虑了各省的可用性。

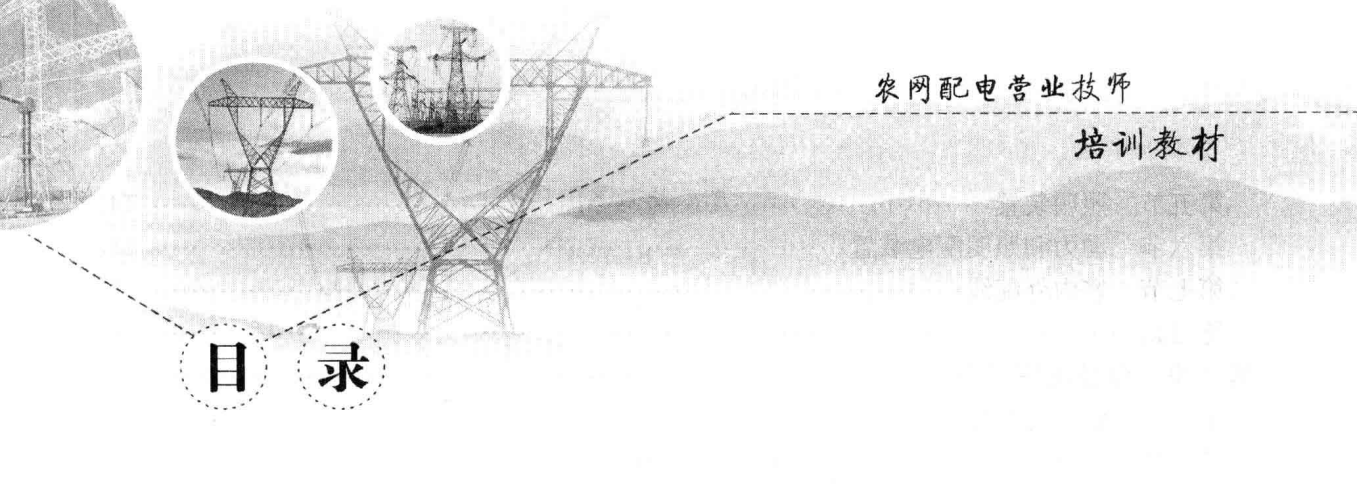
本书的主要编审人员都是《国家职业标准——农网配电营业工》的主要编写人员。第一章由王金笙编写；第二章由王金笙、刘春梅编写；第三章由张宝全、王金笙编写；第四章由王金笙编写；第五章由王金笙、张宝全编写；第六章由唐克兴、张宝全、王金笙编写；第七章由张宝全、王金笙、唐克兴编写；第八章由孟辉、何莉、王金笙、刘宏宇、魏大庆、常维东编写；第九章由何莉、王金笙、孟辉、王飞、李文龙编写；第十章由赵光艳编写；第十一章由韩晓男、王玲编写；第十二章由赵纯舶、王金笙、张金铭编写；第十三章由王野、王金笙编写；第十四章由王金笙、张莉编写；附录由王金笙编写。本书由毕强主审。

一本好的书，在培训人才方面的作用是难以估量的。我们真诚地希望各位同行继续关心和支持我们，及时将这本书在使用中遇到的问题和改进意见反馈给我们，以供修改时参考。

本书在编写过程中，得到了各省、市职业技能鉴定同行们的大力支持和帮助，在此一并致谢！

编者

2009年2月 于长春



目 录

前言

第一章 电工基础知识要点	1
第一节 直流电路知识要点	1
第二节 电磁知识要点	13
第三节 单相交流电路知识要点	20
第四节 三相交流电路知识要点	40
练习题	47
第二章 电工仪表	53
第一节 电工仪表的作用分类及准确度	53
第二节 常见电工仪表的结构和工作原理	54
第三节 常见电工仪表的使用	57
练习题	71
第三章 电力系统和电力网络	75
第一节 电力系统的组成	75
第二节 供用电网络	80
第三节 电力系统的运行特点和基本要求	85
第四节 电力系统中性点接地方式	86
第五节 电气设备和电力网的额定值	95
练习题	97
第四章 变压器	101
第一节 配电变压器的结构和工作原理	101
第二节 互感器原理和结构	110
第三节 变压器的运行和维护	112
第四节 配电变压器的继电保护	120
第五节 箱式变电所	124
练习题	125
第五章 动力和照明系统	129
第一节 三相异步电动机的构造和工作原理	129
第二节 电动机的选用和安装	135
第三节 异步电动机的起动	138
第四节 异步电动机的运行和维护	143

第五节 照明装置·····	147
第六节 动力和照明配电装置·····	158
第七节 室内外配线·····	172
练习题·····	186
第六章 低压电器设备 ·····	191
第一节 低压熔断器·····	191
第二节 刀开关·····	195
第三节 交流接触器·····	198
第四节 低压断路器·····	201
第五节 常用其他低压电器·····	205
第六节 低压成套配电装置·····	208
第七节 剩余电流保护装置·····	211
练习题·····	218
第七章 高压电气设备 ·····	222
第一节 高压断路器·····	222
第二节 高压隔离开关·····	247
第三节 高压负荷开关·····	256
第四节 高压熔断器·····	263
第五节 防雷装置及防雷设备·····	270
第六节 电力电容器·····	275
练习题·····	279
第八章 配电线路运行维护和检修 ·····	282
第一节 架空配电线路的构成·····	282
第二节 配电线路的巡视·····	311
第三节 配电线路运行管理·····	316
第四节 配电线路检修·····	319
练习题·····	331
第九章 配电线路施工 ·····	336
第一节 配电线路施工图的识读方法·····	336
第二节 配电线路施工·····	345
第三节 电缆接头制作·····	359
第四节 电缆敷设安装·····	378
第五节 变压器安装·····	386
第六节 环网柜安装·····	396
练习题·····	399
第十章 电能计量和装表接电 ·····	404
第一节 电能表·····	404
第二节 互感器·····	409
第三节 电能计量装置的二次回路及计量柜·····	419

第四节	电能计量装置接线方式	421
第五节	电能计量方式及装置配置	425
第六节	电能计量装置安装及验收	431
第七节	电能计量装置的维护及管理	435
第八节	电能计量装置常见故障检查	436
第九节	常见窃电方法的分析	438
练习题		441
第十一章	电力营销	449
第一节	电价与电费	449
第二节	业务扩充及变更用电	457
第三节	抄表、核算和收费	471
第四节	低压线损管理	484
练习题		500
第十二章	小型发电机	505
第一节	同步发电机的结构和工作原理	505
第二节	发电机组	506
第三节	双电源与自发电客户自发电管理和安全措施	509
练习题		509
第十三章	安全生产与触电救护	510
第一节	防触电技术	510
第二节	触电救护	517
第三节	电气防火和防爆	520
第四节	农电安全工作措施	525
第五节	农电工日常安全操作基本步骤	532
第六节	农电工日常安全操作标准卡内容概要	533
练习题		536
第十四章	电子技术基础知识要点	539
第一节	PN 结与二极管	539
第二节	晶体二极管的应用	546
第三节	双极结型晶体三极管及其放大电路	551
练习题		560
附录		562
附录 A	农网配电营业技师职业技能鉴定常用技能操作试题	562
附录 B	电气图常用图形符号	609
附录 C	电器设备常用的基本文字符号	619
附录 D	测量仪表相关符号	624
附录 E	安全操作票的标准格式	626
参考文献		629

第一章 电工基础知识要点

第一节 直流电路知识要点

一、电路和电路图

电流的通路称为电路，直流电源构成的电路称为直流电路，交流电源构成的电路称为交流电路。我们先来认识直流电路。图 1-1 (a) 是实际的直流电路，这里有电池、开关、灯泡和导线。电能是由电池供给的，它是电能的来源，所以人们把产生电能的电器称为电源。灯泡是消耗电能的电器，人们把消耗电能的电器称为负载。电路必须有控制电器来控制开和关，人们把控制电路导通或断开的电器称为开关。电源、开关、负载之间的连接是靠导线来实现的，所以电路中的导线也是不可缺少的，因此我们就清楚了电路是由电源、负载、开关和连接导线四部分组成的。

以后无论学习和分析多么复杂的电路，都要把它们归结为这四个部分组成的电路。把实际的电器用电源、负载、开关或导线来表示，这种用来表示实际电器设备的元件称为理想元件。用理想元件代替实际电器设备而构成的电路模型，我们称为电气回路图，简称电路图，见图 1-1 (b)。在电路模型中，导线被认为是理想导线，是没有电阻的，实际中的导线是有电阻的，所以大家要清楚这一点。

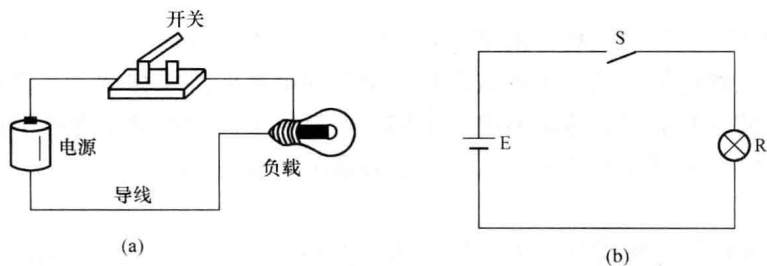


图 1-1 实际的电路和电路图

(a) 实际的电路；(b) 电路图

二、电的基本物理量

电荷在电路里运动，就像能量传递的一个“链条”，这条“链条”是电路中无数个电荷联系构成的，电源在不断地推动这个“链条”运动，向负载提供能量，负载在不断地被“链条”“撞动”而得到能量。电源是怎样使电荷运动起来发出电能，推动“链条”运动传递电能的呢？负载又是怎样被“链条”上的电荷撞动得到电能的呢？这就要了解电流、电荷、单位电荷、带电体、电场、电场力、电场能、电位、电位差、电压、电源力、电动势这些概念了。

1. 电流、电流强度

电荷在电路中有规则地定向运动，称为电流。

单位时间内流过导体横截面的电荷量，称为电流强度，简称电流。电流强度的基本单位

是安培 (A)。

2. 电荷、单位电荷

自然界的物质由分子组成,分子由原子组成,原子是由原子核和核外电子组成。原子核带有正电荷,电子带有负电荷,电子围绕原子核不停地高速运动着。由于正、负电荷之间存在吸引力,因此运动中的电子受到原子核的束缚,而不会从原子中飞逸出去,对外也不显电性。当有摩擦作用、光的作用、热的作用、磁场的作用等因素影响时,电子可能获得能量而脱离原子核的束缚而在原子之间自由运动而成为自由电子。自由电子也可能被其他原子的原子核吸引而附着在这个原子上。失去电子的原子成为显电性的正电荷,也可称为正离子;得到电子的原子成为显电性的负电荷,也可称为负离子。 6.24×10^{18} 个电子所带的电量,称为 1 库仑电量,或者说:6.24 亿亿个电子所带的电量,称为 1 库仑。带有 1 库仑电量的电荷,称为单位电荷。电荷具有同性相斥异性相吸的特性。电荷的基本单位是库仑 [C]。

3. 带电体

物体带有负电荷多,对外就显负的电性,对正电荷有吸引作用,对负电荷有排斥作用;物体带有正电荷多,对外就显正的电性,对负电荷有吸引作用,对正电荷有排斥作用。我们把对外显电性的物体称为带电体。把对外显电性的分子团称为带电粒子。

4. 电场

带电体在周围会建立一个显电性的空间,我们把显电性的空间称为电场。

5. 电场力

处在电场中的电荷或带电粒子,就会受到电场的作用力,称为电场力,或排斥或吸引。电场力的基本单位是牛顿 (N)。

6. 电场能

如果在显“正”电性的电场中的某一点 a 处放一个带正电荷的带电粒子,这个带正电荷的带电粒子就会受到电场力的作用而被排斥,就会向电场的边缘移动,一直移动到电场力为零的点。物体运动就有能量,这说明电场中的 a 点有能量。能推动带电粒子移动的电场具有电场能。电场能的基本单位是焦耳 [J]。量纲关系是 [J] = N · m。

7. 电位

电场中不同的位置,电场能的大小也不同,电场中某点电场力对单位正电荷具有的作功能力,称为这点的电位能,简称电位。电位是没有方向的。电位的基本单位是伏特 (V),量纲关系是 [V] = $\frac{J}{C}$ 。为了便于比较电路中各点电位的高低,人们在电路中选一个参考点,规定这点的电位为零(工程中常选大地为参考点或设备外壳为参考点),这时电路中其他各点电位的高低,都以这一点为标准进行比较,高于参考点的电位为“正”电位,低于参考点的电位为“负”电位。

8. 电位差

电场中各点的电位是不同的,在电场力的作用下,带正电荷的带电粒子处在电位高的点就会向电位低的点移动,如从 a 点移动到 b 点。电场力将单位正电荷从 a 点移动到 b 点所作功的能力,称为这两点的电位差能,简称电位差。电位差的基本单位是伏特 (V)。只要电场中两点的电位不同,就存在电位差。

9. 电压

电场中两点的电位差称为这两点的电压。电压的方向是从高电位指向低电位的。电压的

基本单位是伏特 (V)。

10. 电源力

初中时我们在物理课上做过一个实验：一个简易的电源，即在磁场中放入一根导体这样一个简易装置。当移动导体切割磁力线，在导体两端通过导线把小灯泡串联进电路，灯泡就会发光。这说明导体两端有电压（电位差），是这个电压（电位差）的作用推动正电荷运动从高电位的一端经过灯泡流到低电位的一端，要维持电流不断地流动使灯泡发光，就要把低电位端的正电荷在电源的导体中再移动到高电位一端，导体就要不断地运动，不断地切割磁力线。通过这个实验我们知道：负载（灯泡）得到的电能是电源的导体切割磁力线而产生的，导体切割磁力线产生的电能是靠导体运动的源动力提供的能量。这就说明：电源的源动力，简称电源力，使导体在磁场中运动切割磁力线，将正电荷从电源导体的低电位端移动到高电位端做功而产生了电能。将正电荷从电源导体的低电位端移动到高电位端做功而产生电能的原动力称为电源力。电源力的基本单位是牛顿 (N)。如水轮发电机发电来自于水流的力量产生的能量，汽轮发电机发电来自于气流的力量产生的能量。

11. 电动势

电源力将单位正电荷从低电位端（“-”极性端）移动到高电位端（“+”极性端）所做的功，称为电源的电动势。电动势的方向是从电源的低电位（“-”极性端）指向高电位（“+”极性端）的。电动势的基本单位是伏特 (V)。

现在我们总结以下：

电荷在电路中有规则地定向运动称为电流。电流的方向规定为正电荷移动的方向，在负载上与电压方向相同，在电源上与电动势的方向相同。

单位时间内流过导体横截面的电荷量称为电流强度，简称电流。电流用“ I ”表示，单位为安培 (A)、毫安 (mA)、微安 (μA)。以后的电流一般就是指电流强度。

电场中某点电场力对单位正电荷具有的作功能力称为这点的电位能，简称电位。电位是没有方向的。电位用“ V ”表示，单位为伏 (V)、千伏 (kV)。

电场力将单位正电荷从 a 点移动到 b 点所作功的能力称为这两点的电位差能，简称电位差。

电场中两点的电位差称为这两点的电压。电压的方向是从高电位指向低电位的。电压用“ U ”表示，单位为伏 (V)、千伏 (kV)。电压也叫电压降，也叫电位降。

电源力将单位正电荷从低电位端（“-”极性端）移动到高电位端（“+”极性端）所做的功称为电源的电动势。电动势的方向是从电源的低电位端指向高电位端的。电动势用“ E ”表示，单位为伏 (V)、千伏 (kV)。电动势也叫电势，也叫电位升。

三、导体、绝缘体、半导体、超导体

1. 导体和导体的电阻

容易通过电流的物体称为导体。导体中的电荷（带电粒子）在电场力的作用下作定向运动时，由于不断地与导体内的许多原子发生碰撞，并受到邻近原子中正、负电荷的吸引或排斥，因此会受到一定的阻力。导电物体对电流的这种阻力称为电阻，用“ R ”表示，导体电阻值的大小由下式决定

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

式中 R ——电阻的阻值, Ω ;

ρ ——电阻率, 其大小与导体材料性质有关, $\Omega \cdot \text{m}$;

L ——导体长度, m ;

S ——导体横截面积, mm^2 。

理解电阻这个概念需要把握三点: 一是指电阻元件; 二是指对电流的阻碍作用; 三是指电阻值。

2. 绝缘体和绝缘电阻

不能通过电流的物体为绝缘体。绝缘体的电阻值很大, 电流几乎不能通过。由绝缘体物质制作成的材料称为绝缘材料。绝缘材料在长期的设备运行中会因热的、电的、光的、环境的、机械的等因素的各种作用而逐渐失去原有的绝缘性能, 这种变化叫做绝缘的老化。温度对绝缘老化的影响是最甚的, 温度愈高, 绝缘老化速度愈快, 绝缘材料的绝缘性能也就愈差, 很容易被高电压击穿, 造成故障。严重过热会使绝缘变脆而破裂, 导致导体失去绝缘层而发生短路或接地故障。因此, 电气设备在正常运行时, 不允许超过绝缘材料所容许的温度。

3. 半导体

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。这一类材料有硅、锗、硒等。

4. 超导体

当温度降低到某一绝对温度值时电阻率突然变为零的一些物质称为超导体。电阻率突然变为零的温度称为这种超导材料的转变温度。绝对温度的 273.15K (开), 相当于摄氏温度的 0°C 。

四、电路的基本定律

在学习电路基本定律之前, 先了解几个电路的概念:

支路: 在电路中的一段电路称为支路。

节点: 几条支路汇合的连接点称为电路的节点。

回路: 在电路中, 从某一点出发, 沿着电路环绕一周, 这个环绕路径称为回路。

选择方向: 电路中的电流或电压在电路中人为地选择一个方向, 标在电路中, 这个方向称为电流或电压的选择方向。实际计算结果为正值, 说明实际方向与选择方向相同。实际计算结果为负值, 说明实际方向与选择方向相反。

1. 欧姆定律

欧姆定律是表示电压 (或电动势)、电流和电阻三者关系的基本定律。

图 1-2 (a) 所示为部分电路。

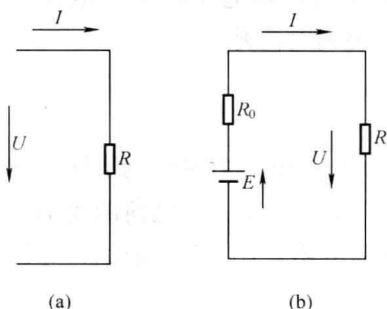


图 1-2 部分电路及全电路

(a) 部分电路; (b) 全电路

部分电路欧姆定律: 流过电阻的电流, 与加在电阻两端的电压成正比, 与电阻的阻值成反比。即

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-2)$$

在应用欧姆定律时, 应注意电压与电流的选择方向应一致。

2. 全电路欧姆定律

图 1-2 (b) 所示为全电路。

全电路欧姆定律: 在闭合的电路中, 电路中的电流

与电源的电动势成正比，与负载电阻及电源内阻之和成反比。即

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1-3)$$

式中 E ——电源电动势；

R 、 R_0 ——分别为负载电阻和电源内阻；

I ——电路中流过的电流。

式 (1-3) 又可变换成

$$\begin{aligned} E &= I(R + R_0) = IR + IR_0 = IR_0 + U \\ U &= E - IR_0 \end{aligned} \quad (1-4)$$

式中 U ——外电路电阻 R 两端的电压，即电源端电压。

【例 1-1】 在图 1-2 (b) 中，若 $E=12\text{V}$ ， $R_0=0.1\Omega$ ， $R=3.9\Omega$ ，求电路中的电流 I 、电源内阻 R_0 上的电压降 U_0 及电源端电压 U 。

解
$$I = \frac{E}{R + R_0} = \frac{12}{3.9 + 0.1} = 3(\text{A})$$

$$U_0 = IR_0 = 3 \times 0.1 = 0.3(\text{V})$$

$$U = E - U_0 = 12 - 0.3 = 11.7(\text{V})$$

答 电路中的电流为 3A，内阻上的电压降为 0.3V，电源端电压为 11.7V。

3. 基尔霍夫第一定律 (节点电流定律 KCL)

基尔霍夫第一定律：对于电路中的任一节点，流入节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。即

$$\sum I_R = \sum I_C \quad (1-5)$$

式中 I_R ——表示流入节点电流；

I_C ——表示流出节点电流。

若规定流入节点电流为正，流出节点电流为负，节点电流定律也可表示为流入节点电流的代数和为零。即

$$\sum (I_R - I_C) = 0 \text{ 或 } \sum I = 0 \quad (1-6)$$

4. 基尔霍夫第二定律 (回路电压定律 KVL)

基尔霍夫第二定律：对于电路中的任一回路，沿任一方绕行一周，各电源电动势的代数和等于各电阻电压降的代数和。即

$$\sum E = \sum IR \quad (1-7)$$

或

$$\sum E = \sum U \quad (1-8)$$

应用时要注意：

(1) 绕行方向可任意选择，顺时针方向或逆时针方向。

(2) 电动势 E 方向与绕行方向一致取正号，与绕行方向相反取负号。

(3) 电流 I 或电压 U 的选择方向与绕行方向一致取正号，与绕行方向相反取负号。

五、电阻的连接

1. 电阻的串联

几个电阻头尾依次相接，没有分支地连成一串，叫做电阻的串联，如图 1-3 (a) 所示。

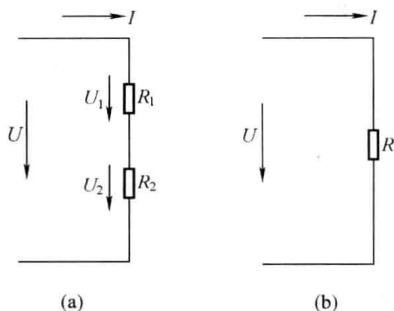


图 1-3 电阻的串联

(a) 原电路; (b) 等效电路

串联电路有以下特点:

- (1) 电路各电阻上流过的电流相等。
- (2) 各个电阻上电压降之和等于总电压。

$$\text{即 } U = IR_1 + IR_2 = U_1 + U_2$$

由此可以看出, 串联电阻可以起分压作用, 各电阻分压的大小与其电阻值成正比。

- (3) 串联电路的总电阻等于各电阻之和, 即总电阻为

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2 \quad (1-9)$$

串联电路的总电阻通常也叫等效电阻。图 1-3 (b)

是图 1-3 (a) 的等效电路图。

【例 1-2】 在图 1-3 中, 若 $U=140\text{V}$, $R_1=10\Omega$, $R_2=25\Omega$, 求电路的总电阻 R 和电阻 R_2 的端电压 U_2 。

解

$$R = R_1 + R_2 = 10 + 25 = 35(\Omega)$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{140}{35} = 4(\text{A})$$

$$U_2 = IR_2 = 4 \times 25 = 100(\text{V})$$

答 电路总电阻 $R=35\Omega$, 电阻 R_2 的端电压 $U_2=100\text{V}$ 。

2. 电阻并联

将几个电阻的头与头接在一起, 尾与尾接在一起, 叫做电阻的并联, 如图 1-4 (a) 所示。 R_1 与 R_2 并联 (可用习惯表示为 $R=R_1 // R_2$)。

并联电路有以下特点:

- (1) 各并联电阻两端间的电压相等。
- (2) 并联电路中的总电流等于各支路电流之和, 即

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

从上式可看出, 电压一定时, 并联电阻可以使总电流增大; 在总电流一定时, 并联电阻可以起分流作用, 分流的数值按各支路电阻值的大小成反比分配。

- (3) 并联电路等效电阻的倒数等于各支路电阻的倒数之和, 即

$$\frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-10)$$

$$R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-11)$$

也可用电导表示为

$$G_{\Sigma} = G_1 + G_2 \quad (1-12)$$

其中

$$G_{\Sigma} = \frac{1}{R_{\Sigma}}, \quad G_1 = \frac{1}{R_1}, \quad G_2 = \frac{1}{R_2}$$

式中 G_{Σ} ——总电导;

G_1 ——电导 1;

G_2 ——电导 2。

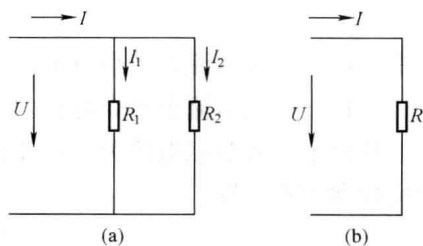


图 1-4 电阻的并联

(a) 原电路; (b) 等效电路

电导是指电器元件导通电流的能力,在数值上等于电阻值的倒数。单位是西门子(S)。

【例 1-3】 在图 1-4 中,若 $R_1=20\Omega$, $R_2=40\Omega$, $U=100\text{V}$, 求电阻 R_1 流过的电流 I_1 , 电阻 R_2 流过的电流 I_2 , 电路的总电流 I 和总电阻 R 。

解

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{100}{20} = 5(\text{A})$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{100}{40} = 2.5(\text{A})$$

$$I = I_1 + I_2 = 5 + 2.5 = 7.5(\text{A})$$

$$R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{20 \times 40}{20 + 40} = 13.33(\Omega)$$

答 电阻 R_1 流过的电流 $I_1=5\text{A}$, 电阻 R_2 流过的电流 $I_2=2.5\text{A}$, 电路的总电流 $I=7.5\text{A}$, 总电阻 $R=13.33\Omega$ 。

3. 电阻混联

既有电阻串联,又有电阻并联的电路称为电阻的混联电路,如图 1-5 (a) 所示。

分析计算混联电路的方法如下:

(1) 应用电阻的串、并联逐步简化电路,求出电路的等效电阻。如图 1-5 (b)、(c), 先求出并联电阻 R_2 和 R_3 的等效电阻 R_{23} , 然后再求出串联电阻 R_1 和 R_{23} 的等效电阻 R 。

(2) 由电路的等效电阻和总电压根据欧姆定律求电路的总电流。

(3) 根据基尔霍夫定律、欧姆定律,以及分压、分流规律由总电流求各支路的电流和电压。

在分析和计算混联电路时,首先应将电路中的串、并联关系搞清楚。当电路图中这些关系不易辨认时,可以将电路图改画,使其直观、清楚。

【例 1-4】 在图 1-5 中 $R_1=2\Omega$, $R_2=4\Omega$, $R_3=4\Omega$, 电源电压 $U=40\text{V}$, 求:

(1) R_2 和 R_3 并联电阻 R_{23} ;

(2) 电路总电阻 R ;

(3) 电路中总电流 I ;

(4) 电阻 R_2 流过的电流 I_2 ;

(5) 电阻 R_3 流过的电流 I_3 。

解

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{4 \times 4}{4 + 4} = 2(\Omega)$$

$$R = R_1 + R_{23} = 2 + 2 = 4(\Omega)$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{40}{4} = 10(\text{A})$$

$$U_2 = U_3 = IR_{23} = 10 \times 2 = 20(\text{V})$$

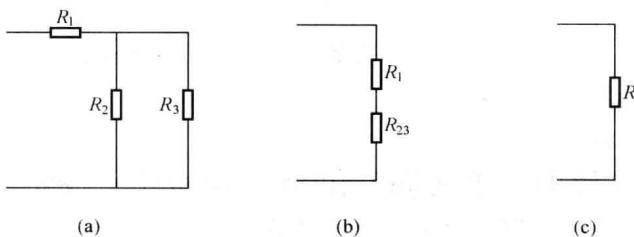


图 1-5 电阻的混联

(a) 混联电路; (b) 中间等效电路; (c) 结果等效电路

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{20}{4} = 5(\text{A})$$

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{20}{4} = 5(\text{A})$$

答 $R_{23}=2\Omega$, $R=4\Omega$, $I=10\text{A}$, $I_2=5\text{A}$, $I_3=5\text{A}$ 。

六、电功、电功率、电流的热效应、电气设备的额定值和工作状态

1. 电功

电源力或电场力在电路中移动正电荷所做的功称为电功, 又称电能, 用“W”表示。其表达式为

$$W = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t \quad (1-13)$$

式中 I ——电路中的电流;

U ——电路两端的电压;

R ——电路的电阻;

t ——电流导通时间, s。

电功及电能的单位为焦耳 (J)。它的实用单位是千瓦·时, 用“kWh”表示。1kWh 俗称 1 度电, 即

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

量纲关系 $1\text{J}=1\text{N} \cdot \text{m}$

2. 电功率

电功率简称功率, 即单位时间内电源力或电场力所做的功。电功率是衡量电源力或电场力做功能力的, 以“P”表示, 其表达方式为

$$P = \frac{W}{t} = IU = I^2R = \frac{U^2}{R} \quad (1-14)$$

式中 I ——电路中的电流;

U ——电阻端电压;

R ——电阻。

电功率的单位是瓦特, 简称瓦, 用“W”表示, 常用单位还有 mW、kW、MW, 其换算关系是 $1\text{kW}=10^3\text{W}$, $1\text{MW}=10^6\text{W}$, $1\text{W}=10^3\text{mW}$ 。量纲关系是 $1\text{W}=1\text{J/s}$ 。

3. 电流热效应

电流通过电阻时, 由于自由电子的碰撞, 电能不断地转换成热能, 因而使电阻发热。这种电流通过电阻会产生热的现象, 称为电流的热效应。

电流热效应产生的热量, 用“Q”表示, 其表达式为

$$Q = Pt = I^2Rt = IUt = \frac{U^2}{R}t \quad (1-15)$$

式中 P 、 I 、 U 、 R 、 t 的意义及单位同前; 热量 Q 的单位为焦耳 (J)。

4. 电气设备的额定值和工作状态

为保证电气设备既能安全工作, 又具有一定的使用寿命及良好的经济指标, 根据使用的绝缘材料不同, 或绝缘材料的等级不同, 都规定了设备的最高工作温度。而设备的工作温度除取决于环境温度、连续工作时间外, 还取决于电流、电压或功率。允许设备在一定时间内

安全工作的最大电流、电压或功率,分别称为额定电流、额定电压或额定功率,用 I_N 、 U_N 或 P_N 表示。它们都标在设备的铭牌上,也可从产品目录中查得。

用电设备在额定功率下的工作状态称为额定工作状态(满负荷或满载)。低于额定功率的工作状态称为轻负荷(欠负荷或欠载),用电设备在此状态下工作时,一般运行效率会降低。高于额定功率的工作状态称为过负荷(超负荷或过载),此时用电设备将因温度过高而导致寿命缩短,甚至损坏。用电设备应尽量工作在满负荷或接近满负荷状态,对过负荷运行,应采取必要的限制措施。

【例 1-5】 某电阻的阻值为 100Ω , 接在电压为 $50V$ 的直流电源上,求工作 $1h$ 所做的功、功率和产生的热量。

解

$$W = \frac{U^2}{R}t = \frac{50^2}{100} \times 3600 = 90\,000(J)$$

$$W = \frac{U^2}{R}t = \frac{50^2}{100 \times 1000} \times 1 = 0.025(kWh)$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{0.025}{1} = 0.025(kW)$$

$$Q = Pt = 0.025 \times 1000 \times 3600 = 90\,000(J)$$

答 工作 $1h$ 所做的功为 $90\,000J$ 或 $0.025kWh$, 功率为 $0.025kW$, 产生的热量为 $90\,000(J)$ 。

七、复杂直流电路

不能用串、并联规则进行简化的直流电路,称为复杂直流电路。计算复杂电路的方法很多,此处介绍最常用的支路电流法、回路电流法、节点电位法及戴维南定理等。简单介绍电压源和电流源的等效变换。

1. 支路电流法

支路电流法是解复杂电路的最基本方法。其思路是:以各支路电流为未知量,根据基尔霍夫定律列出所需的回路电压方程和节点电流方程,然后求得各支路电流。其步骤如下:

- (1) 假设各支路的电流参考方向及选定回路绕行方向。
- (2) 根据基尔霍夫第一定律列出独立的节点电流方程,得到的方程总数目等于节点数减 1。
- (3) 由基尔霍夫第二定律列出独立回路的电压方程,有几个“网孔”,列出几个方程。
- (4) 联立求解节点电流方程和回路电压方程,然后代入数据求出各支路电流。

【例 1-6】 图 1-6 所示电路中,已知 $E_1 = 120V$, $E_2 = 130V$, $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $R_3 = 10$, 求各支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 。图中的回路 A、B 称为网孔。

解 各支路电流的参考方向及回路绕行方向如图 1-6 所示,图中有两个节点,应列出一个节点电流方程,有两个网孔,应列出两个回路电压方程:

$$\text{节点 a} \quad I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$\text{回路 A} \quad I_1 R_1 + I_3 R_3 = E_1$$

$$\text{回路 B} \quad -I_2 R_2 - I_3 R_3 = -E_2$$

联立方程并代入数据,则

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$10I_1 + 10I_2 = 120$$

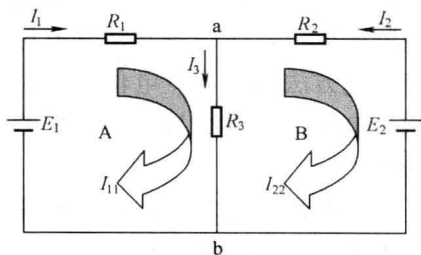


图 1-6 支路电流法