

建筑电气 工长培训教程

■ 孙景芝 韩永学 柴 秋 主编
■ 孙陆平 主审



中国建筑工业出版社

建筑电气工长培训教程

孙景芝 韩永学 柴 秋 主编
孙陆平 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑电气工长培训教程 / 孙景芝等主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2005

ISBN 7-112-07347-2

I. 建... II. 孙... III. 房屋建筑设备: 电气设备
- 技术培训 - 教材 IV. TU85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 032192 号

本书主要内容可概括为: 电学基础; 建筑供电、照明与识图; 建筑设备电气控制; 楼宇智能化与安防技术; 建筑电气施工技术及建筑电气工程预算等六个方面。本书根据建筑电气行业的特点, 为了确保从业人员全面掌握该行业的现代化技术, 以较好地完成现代化建筑电气工程施工指导、组织管理及工程预结算等, 在编写时, 注重在强、弱电阐述过程中, 确保密切联系工程实际, 由浅入深, 覆盖面全, 行业针对性强。

本书作者将几十年从教、进行省内电气工长、预算员培训及多年的工程实践发于笔端, 使本书具有鲜明的职业技术培训特点, 既是电气工长、预算员的专门培训教材, 也是高等院校电气专业师生及从事建筑电气行业的工程技术人员的参考书。

* * *

责任编辑: 唐炳文
责任设计: 刘向阳
责任校对: 刘 梅 王雪竹

建筑电气工长培训教程

孙景芝 韩永学 柴 秋 主编
孙陆平 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销
北京蓝海印刷有限公司印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 39 1/2 字数: 958 千字

2005 年 7 月第一版 2006 年 2 月第二次印刷

印数: 2501—4000 册 定价: 62.00 元

ISBN 7-112-07347-2
(13301)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

编 写 人 员

主 编 孙景芝 韩永学 柴 秋

副主编 于学同 陈 响 王 刚

编写人员 张 力 季学法 王连娣 温红真

孙继武 孙景翠 孙继文 王丽君

孔祥华 张斌阁 赵建滨 庄若杉

杨玉红 韩 翀 孙 石 孙志超

夏广奇 李红叶 曲明辉 李建军

张宝君 张 恬 杨喜林 宋佳男

吴 波 陈延辉 董 娟 陈延东

王 辉 王苏夏 杨海军 冯海军

王统杰

前 言

在我国,根据建筑电气行业的特点,为了确保施工、预算的质量和安 全,要求持证上岗,多年来一直进行着电气工长、预算员的培训工作,然而现代化的建筑电气工程技术正日新月异地发展,新规范、新技术、新材料、新工艺的问世,使从业人员大有力不从心之感,尤其是随着智能化建筑的发展,以自动控制技术、通信网络技术和计算机技术为依托的现代化工程,急需培养出适应其施工项目指导、组织管理和工程预结算的应用型人才。因此,作者根据建设部对建筑行业从业人员的要求,总结了多年的工程实践和培训经验,从实际出发编写了本书。

全书分为六章,第一章电学知识:作为电气工程各类技术的研究基础,主要讲述直流电路基本定律;单、三相交流电的产生、特点及应用;变压器、电动机的构造、原理、选用及特点。第二章建筑工程供电、照明及识图:以施工现场及楼宇供电为主,介绍负荷计算、变压器选择及供电设计等;识图主要介绍电气工程中的识图基础知识、相关规定和识图方法;照明主要阐述照明线路组成、设计等内容。第三章建筑设备电气控制:在介绍了电气元件、基本环节的基础上,详细阐述了建筑电气常用设备的控制实例,如给水系统控制、消防系统控制、电梯控制、锅炉房动力设备控制、混凝土搅拌机控制及塔式起重机的控制等。第四章楼宇智能化及安全系统:介绍了智能化技术特点、组成,详细阐述了火灾自动报警系统、出入口控制系统、防盗报警系统及电视监视系统的构成、作用及计算机管理等,并列举了楼宇智能化的工程实例,对其各子系统的作用进行了说明。第五章建筑电气施工:主要介绍了强电和弱电工程的施工方法、步骤和技巧,对智能工程的综合布线部分进行了阐述。第六章建筑电气工程预算:在对工程量计算方法、定额使用及取费等基本知识讲述的基础上,列举了大量的工程预算实例,如照明预算、动力预算及消防预算等,尤其消防预算实例是作者本人工程实践的结晶,具有独到之处。

参加编写本书的作者大部分是从事建筑电气工程多年的专家、教授、高级工程师等。在编写过程中得到了建设部有关领导及黑龙江省建设厅职教处等有关领导的大力支持;得到了黑龙江省建筑电气学会马洪骧会长总工、副会长总工杨大林、哈尔滨工业大学孙光伟教授、奥新智能网络责任有限公司董事长林彬、黑龙江省安装公司自动化分公司经理高工闫巡忠等的热心帮助,对此一并表示谢意!本书由哈尔滨理工大学孙陆平主审。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免有错误和缺点,恳请读者指正!

作者

2003 年 4 月于哈尔滨

目 录

第一章 电学知识	1
第一节 直流电及磁的基础知识	1
一、直流电路	1
二、欧姆定律、电能和电功率	4
三、克希荷夫定律	5
四、电阻的串联和并联	6
五、电磁原理	9
第二节 交流电路	12
一、单相交流电路	12
二、三相交流电路	24
第三节 变压器和三相异步电动机	32
一、单相变压器的构造及工作原理	32
二、三相变压器	33
三、仪表用互感器	34
四、三相异步电动机的构造和工作原理	35
五、异步电动机的转矩和机械特性	40
六、异步电动机的使用	42
七、异步电动机的铭牌及选用	45
本章小结	47
习题与思考题	50
第二章 建筑电气安装工程供电、照明与识图	52
第一节 输配电及建筑工地户外小型变电所	52
一、输配电概述	52
二、建筑工地户外小型变电所	52
第二节 负荷计算	53
第三节 导线选择	56
一、导线型号的选择	56
二、导线截面的选择	56
第四节 施工现场临时供电	63
第五节 电气照明的基本知识	64
一、照度标准	64
二、常用电光源及灯具	65
第六节 电气照明计算	67

一、选择灯具型式	67
二、灯具布置	67
三、灯具电功率的确定	68
第七节 照明供电线路及敷设	71
一、供电方式	71
二、照明配电线路的布置	71
三、照明线路的敷设	72
第八节 电气安装工程识图	72
一、电气安装工程识图基本知识	72
二、识图的一般程序	73
三、电气图用图例符号和文字符号	74
四、电气照明平面图识图	83
五、电气照明系统图	92
六、设计说明	93
七、材料表	94
第九节 安全用电与建筑防雷	94
一、安全用电	94
二、建筑物的防雷	96
本章小结	100
习题与思考题	101
第三章 常用建筑设备电气控制	102
第一节 常用电气控制元件	102
一、常用开关	102
二、接触器	112
三、继电器	119
四、熔断器	134
第二节 电气控制的基本环节	138
一、电气控制图形的绘制规则	138
二、三相鼠笼式异步电动机的控制线路	145
三、绕线式异步电动机的控制线路	160
第三节 给水系统的电气控制	163
一、水位自动控制的生活给水泵	163
二、压力自动控制的生活水泵	173
三、变频调速恒压供水的生活水泵	176
四、消防给水控制系统	178
第四节 常用建筑机械的典型线路	194
一、控制器及电磁抱闸	194
二、散装水泥自动控制电路	198
三、混凝土搅拌机的控制	198

四、塔式起重机的电气控制	201
第五节 电梯的电气控制	206
一、概述	206
二、电梯电气控制系统中的主要专用器件	213
三、电梯的电力拖动	218
四、交流双速、轿内按钮控制电梯	221
第六节 锅炉房动力设备的电气控制	231
一、锅炉设备的组成和运行工况	231
二、锅炉的自动控制任务	234
三、锅炉动力设备电气控制实例	237
本章小结	240
习题与思考题	245
第四章 楼宇智能化及安全系统	252
第一节 概述	252
一、楼宇智能化技术的基本特征	252
二、楼宇智能化技术的主要内容	253
第二节 消防系统	258
一、概述	258
二、火灾自动报警系统	269
三、消防系统的设计及设计实例	342
第三节 智能大厦的保安监控系统	359
一、智能楼宇对保安监控系统的要求	359
二、安全监控系统的组成	359
三、智能保安监控系统的智能性	360
四、门禁管制系统	361
五、防盗报警系统	363
六、楼宇巡更系统	367
七、停车场自动管理系统	368
八、可视对讲系统	369
九、电视监视系统	370
十、智能大厦安全防范监视系统综合实例	371
第四节 楼宇自动化系统	373
一、楼宇自动化(BA)系统组成	373
二、各子系统的监控要求	373
本章小结	375
习题与思考题	375
第五章 建筑电气施工	378
第一节 概述	378
一、施工前的准备工作	378

二、电气工程施工与土建工程施工的配合	379
第二节 室内配线工程施工	379
一、室内配线工程的一般要求	379
二、线管配线	381
三、绝缘导线的连接	389
四、钢索配线	391
第三节 配电箱安装	393
一、照明配电箱安装	393
二、电力配电箱安装	394
第四节 照明开关和插座的安装	394
第五节 电缆线路施工	395
一、电缆的种类	396
二、电力电缆的结构	396
三、电缆的型号及名称	397
四、电缆敷设	398
五、电缆终端头和中间接头的制作	410
第六节 硬母线安装	413
一、母线的检查与加工	414
二、矩形硬母线连接	417
三、低压硬母线安装	420
四、母线的排列与涂色	424
五、高、低压母线过墙施工方法	424
第七节 成套配电柜的安装	427
一、配电柜的搬运和开箱检查	428
二、配电柜的布置	428
三、基础型钢的加工和安装	429
四、安装配电柜	429
第八节 电力变压器安装	431
一、电力变压器的结构	431
二、变压器安装前的检查	433
三、变压器安装	434
四、变压器的试运行	435
五、变压器试验	436
第九节 隔离开关、负荷开关及高压熔断器的安装	439
一、隔离开关的安装	439
二、负荷开关的安装	442
三、高压熔断器安装	443
第十节 少油断路器的安装	443
一、高压断路器的型号	443

二、少油断路器的安装	444
第十一节 二次结线安装	446
一、二次结线安装主要技术要求	447
二、柜内配线	447
三、二次结线的检验	449
第十二节 建筑物防雷及接地装置安装	450
一、建筑物防雷等级划分	451
二、雷电危害的形式	451
三、防雷装置	451
四、建筑物防直击雷措施	452
五、防雷装置安装	452
六、接地装置安装	460
七、接地线外观检查与涂色	467
八、接地电阻的测量	467
第十三节 火灾自动报警系统安装	469
一、火灾探测器	469
二、火灾报警控制器	470
第十四节 综合布线系统	472
一、综合布线系统的特点	472
二、综合布线系统的组成	473
三、综合布线系统部分产品的分类	474
四、综合布线系统中的图形符号	475
五、综合布线系统中线缆颜色的规定	475
六、综合布线系统的线路敷设方法	476
训练题 1	477
训练题 2	478
训练题 3	479
复习思考题	480
第六章 电气安装工程预算	482
第一节 预算的基本知识	482
一、基本建设工程项目的划分	482
二、电气安装工程的施工程序	483
三、建筑工程与电气工程“三算”的区别	484
四、电气安装工程类别的划分	485
复习思考题	486
第二节 建筑电气安装工程定额	486
一、预算定额的性质和作用	486
二、全国统一安装工程预算定额	488
三、全国统一房屋修缮工程预算定额	507

四、施工定额	508
五、建筑电气安装工程费用	511
六、安装工程费用计算程序	517
复习思考题	518
第三节 电气安装材料和设备的预算价格	519
一、常用电气材料和设备	519
二、材料预算价格	520
三、材料差价的调整和处理方法	523
四、电气设备的预算价格	524
第四节 施工图预算的编制	526
一、施工图预算的编制步骤和方法	526
二、施工图预算的编制依据	529
三、室内照明安装工程施工图预算编制实例	529
四、锅炉房安装工程施工图预算编制实例	553
五、消防安装工程施工图预算编制实例	566
复习思考题	595
第五节 施工预算的编制	595
一、概述	595
二、施工预算的编制依据	595
三、施工预算编制的内容	596
四、施工预算的编制步骤和方法	598
五、施工预算与施工图预算的对比	601
复习思考题	603
第六节 竣工结算的编制	603
一、竣工结算的概念	603
二、竣工结算的编制依据和原则	603
三、竣工结算的方式	604
四、竣工结算的编制步骤和方法	604
第七节 施工图预（结）算的审核	605
一、概述	605
二、工程预、结算的审核程序	606
本章小结	608
训练试题 1	610
训练试题 2	614
训练试题 3	617

第一章 电 学 知 识

第一节 直流电及磁的基础知识

本节主要讨论电路的基本概念以及电与磁的基本关系，为研究电气线路打基础。

一、直流电路

(一) 电路的组成

什么是电路？简要地说就是电流所经过的路径。在建筑工程或生活中所用任一用电设备都必须将用电设备与电源形成一个完整的闭合电路，才能实现能量的传输与转换，用电设备才可以投入运行。作为一个完整的闭合电路必须具备以下几部分，即：电源 E 、控制开关 S 、负载（用电器、保护电器 FU 以及连接导线），如图 1-1 所示。

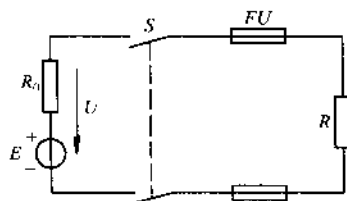


图 1-1 电路的组成

1. 电源

它的作用是将非电形式的能量转换成电能。例如：发电机将机械能转换成电能，蓄电池将化学能转换为电能。

当电路中有了电源后，就可以使电源两端产生一个电压。在这个电压作用下，电路中的电荷将有规则地运动，形成电流。由此可知，电源是产生电流的“动力”。

2. 负载

其作用是将电能转换为其他形式的能量。例如：电热炉、电灯将电能转成热能、光能，电动机将电能转成机械能。

3. 连接导线

它的作用是联通电路，是组成电流通路的中间环节。

4. 控制开关与保护电器

开关是向电路发出开通和分断指令的控制设备，用 S 表示。为了保证电路在发生短路、过流时不损坏用电设备，电路中必须有保护设备，这里用熔断器 FU 作保护。

(二) 电路的基本物理量

要想定量地描述电路在运行过程中的特征，应对电流、电压、电动势、电功率等基本参数予以掌握，以较好地完成电路的分析及计算。

1. 电流

在电路中，把电荷的定向运动称为电流。从电流通过导体中所产生的磁效应、热效应、发光、化学效应等现象中，能觉察到电流的存在。

电流的强弱可用电流强度衡量。电流强度是指单位时间内流过导线截面的电量，其计

算公式为：

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

式中 I ——电流 (A)；

Q ——电量 (C)；

t ——时间 (S)。

当电流较小时可采用毫安 (mA) 或微安 (μA) 作单位，即 $1\text{A} = 1000\text{mA}$ ， $1\text{mA} = 1000\mu\text{A}$ 。

大家知道水是从高处流向低处，由此规定电流的正方向是从高电位流向低电位，也就是把正电荷移动方向定为电流的方向。在实际进行电路计算时，电流沿导线流动的方向有两种可能性，可规定某一方向为电流正方向，并用箭头表示。当电流正方向与实际方向相同时，则电流取正值；当电流的正方向与实际方向相反时，则电流取负值。

2. 电位与电压

把单位正电荷在电场中某一点所具有的电位能称为该点的电位，用字母 ϕ 表示，则：

$$\phi = \frac{W}{Q} \quad (1-2)$$

式中 W ——电位能 (J)；

ϕ ——电位 (V)；

Q ——电量 (C)。

物体处于某点位能的大小是对参考点而言的，参考点不同，电路中各点电位大小也不同。参考点的电位为零，用符号“ $\perp$ ”表示，参考点可任意选择，但一经定下参考点，各点电位大小就被确定了。

例如有两个电源，一个 3V，一个 9V，把它们顺向连接起来如图 1-2 所示。

如图 1-2 (a)， b 点为参考点，则各点电位为：

$\phi_a = 3\text{V}$ ， $\phi_b = 0\text{V}$ ， $\phi_c = -9\text{V}$ 。

如图 1-2 (b)， c 点为参考点，则各点的电位为： $\phi_a = 12\text{V}$ ， $\phi_b = 9\text{V}$ ， $\phi_c = 0\text{V}$ 。

我们把电路中两点之间的电位之差称为这两点的电位差，即电路中 A 、 B 两点间的电压为 $U_{AB} = \phi_A - \phi_B$ 。或者说电场力把单位正电荷从高电位移向低电位所做的功称为电位差或电压降，即如果 A 点为高电位， B 点为低电位，则两点间电压降为

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-3)$$

式中 U_{AB} —— A 、 B 两点间的电压 (V)；

W_{AB} ——电场力移动电荷所做的功 (J)；

Q ——电荷量。

电压的正方向为从高电位指向低电位，用箭头表示。

例如图 1-2 (a) 中： $U_{ac} = \phi_a - \phi_c = 3 - (-9) = 12\text{V}$ ；图 1-2 (b) 中： $U_{ac} = \phi_a - \phi_c$ 。

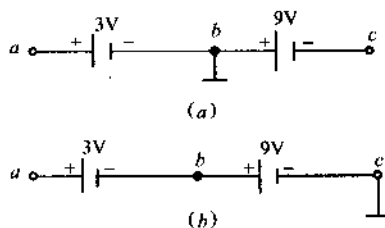


图 1-2 各点的电位

$=12-0=12\text{V}$ ，由此得出结论，电路中任意两点间的电压与电位参考点的选择无关。

3. 电动势

电源是组成电路不可缺少的部分，是在电路中产生电压驱动电流的必要条件。为了描述电源作用能力的大小，引入了一个重要的物理概念，即电源电动势 E 。它的定义是：电源力将单位正电荷由电源负极（低电势）通过电源内部移至电源正极（高电势）时所做的功，其定义式为：

$$E = \frac{W_{BA}}{Q} \quad (1-4)$$

式中 E ——电源电动势 (V)；

W_{BA} ——电源力移动电荷所做的功 (J)；

Q ——电荷量。

例如：1 号干电池它的电动势为 1.5V。

电源电动势正方向的规定：由电源的负极通过电源的内部指向电源的正极为电动势正方向。其方向可用箭头表示，也可以用“+”和“-”表示。

4. 电阻

按物质本身传导电流的能力，一般可分为三类：导体、绝缘体和半导体。金属大多是导体，如铜、铝、铁等，另外有些液体（如溶有盐类的水）也可以导电。绝缘体是不导电的物质，常见的有橡皮、陶瓷、云母、石蜡、玻璃、棉纱以及干燥的木材、空气等。半导体的特性则介于导体与绝缘体之间，如锗、硅、氧化铜等均为半导体。本书中仅研究导体的导电性能。不同的物质接到同样的电源上，各种物质中流过的电流大小都不相同，说明不同的物质有不同的阻力。一般把加在导体两端的电压和通过导体电流的比值称为电阻，用 R （或 r ）表示，则有

$$1 \text{ 欧姆}(\Omega) = \frac{1 \text{ 伏特}(\text{V})}{1 \text{ 安培}(\text{A})} \quad (1-5)$$

然而，电阻的大小不仅和导体材料有关，而且和导体的尺寸有关。实践证明，同一材料导体的电阻和导体的截面积成反比，而和导体的长度成正比。另外，同一种导体，在不同的温度下有不同的电阻值，一般而言，导体的电阻随温度的升高而增大，可用公式表示为：

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

式中 ρ ——导体材料的电阻系数，又称电阻 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)；

L ——导体材料的长度 (m)；

S ——导体材料的截面积 (mm^2)。

电阻系数的倒数为电导系数（又称电导率）即： $r = \frac{1}{\rho}$ 。因此式 (1-6) 可写为：

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

在计算时为了方便，有时用电阻的倒数表示称之为电导，电导符号用 G 表示，则：

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

电导的单位是西门子简写为 S ，则有：

$$1 \text{ 西门子} = \frac{1\text{A}}{1\text{V}}$$

二、欧姆定律、电能和电功率

电路中电压、电流和电阻是相互联系且具有一定的规律。1826 年欧姆通过反复实验得到了这一规律，即为欧姆定律。通常为计算电路方便采用两种形式表示。

(一) 一段电路的欧姆定律

如图 1-3 所示，在一段无源电路上加上电压 U ，这段电路中通过的电流 I 与所加电压成正比，而与电阻的大小成反比，称之为一段电路的欧姆定律，即有

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

上式也可以表示为

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

$$\text{或} \quad U_{ab} = IR = \phi_a - \phi_b \quad (1-11)$$

式 (1-11) 说明电流流过电阻，必引起电位的变化，即电流流过电阻要引起电压降（实为电位降）。

(二) 全电路的欧姆定律

在工程实际的应用中，电路都是如图 1-4 所示构成闭合的回路，即有电源、导线、负载电阻构成称为全电路。若已知电源电动势 E 、电源内阻 R_0 和负载电阻 R 的大小，则电流可由全电路欧姆定律求得即：

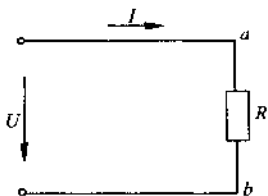


图 1-3 一段无源电路的欧姆定律

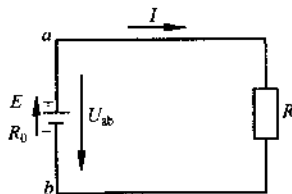


图 1-4 全电路

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-12)$$

对于电动势进行精确测量较难，而用电压表测电源两端电压较方便，故应找到电动势与端电压 U_{ab} 的关系。把 $R = \frac{U}{I}$ 代入 (1-12) 式中得

$$U_{ab} = E - IR_0 \quad (1-13)$$

根据 (1-13) 式，可画出电源等效电路图 1-5。图中将内阻 R_0 人为地与电动势 E 分开，这时从电源 a 、 b 两端输出的电压 U_{ab} 便是满足式 (1-13) 中的电压，与图 1-5 的端电压等效。

由式 (1-13) 知，电源的端电压随着电流增大而逐渐减小，由此式所绘如图 1-6 所示，称其为电源的外特性。由此可见内阻越小，外特性越硬（即随电流增大电源端电压下降较小），反之特性越软。如果内阻很小，则忽略其内阻，压降则有： $U_{ab} = E - IR \approx E$ 。

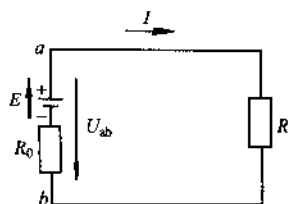


图 1-5 电源的等效电路

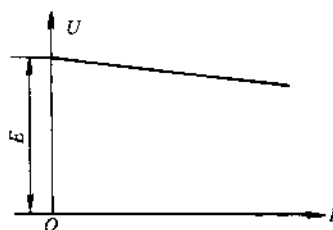


图 1-6 电源外特性

(三) 电能和电功率

1. 电能

电能有电源给的电能和外电路吸收的电能之分。

电源供给的电能：根据电源力移动电荷做功的概念及电动势的定义应为：

$$A_d = EQ = EIt \quad (1-14)$$

外电路吸收的电能：根据电场力做功的概念有

$$A_{\text{ex}} = UQ = UI t \quad (1-15)$$

电能的单位为焦耳 (J)。

2. 电功率

电源的电功率是指电源在单位时间内供给的电能，表示为：

$$P_d = \frac{A_d}{t} = EI \quad (1-16)$$

负载吸收的电功率是指在单位时间内负载吸取的电能，表示为：

$$P_{\text{ex}} = \frac{A_{\text{ex}}}{t} = UI = (IR)I = I^2 R = U\left(\frac{U}{R}\right) = \frac{U^2}{R} \quad (1-17)$$

功率的单位用瓦 (W) 表示。

在工程中，例如电度表的读数是按另一种单位计算电能的，即千瓦小时，又称一度电，则 1 度电 = 1 千瓦 × 1 小时。

【例题】一盏 60W 的白炽灯，每天平均照明 3h，每度电为 0.5 元，试问 30d 耗电多少？应收电费多少？

【解】 $A = 0.06 \times 3 \times 30 = 5.4$ (度电)
 电费 = $5.4 \times 0.5 = 2.7$ (元)

三、克希荷夫定律

在实际工程中进行电路计算时，电路中电阻、电动势是已知的，需求取电路中电流及电压和电功率等，如为简单电路，自然用前面知识可以解决，但对于两个以上的复杂电路，如图 1-7 所示就无法计算了，为此克希荷夫经实验得到两个解复杂电路的定律。

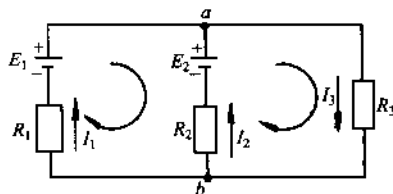


图 1-7 复杂电路

名词解释：

支路：不分岔的部分电路，图中为三条支路。

节点：三条或三条以上支路的汇合点称为节点，图中 a 和 b 分别为两个节点。

回路：电路中经一闭合的电路，如图中有 $a \rightarrow R_3 \rightarrow b \rightarrow R_2 \rightarrow E_2 \rightarrow a$ 、 $b \rightarrow R_1 \rightarrow E_1 \rightarrow a \rightarrow E_2 \rightarrow R_2 \rightarrow b$ 及 $a \rightarrow R_3 \rightarrow b \rightarrow R_1 \rightarrow E_1 \rightarrow a$ 为三个回路，但本图中仅有两个不重复的回路即前两个。

为了计算准确无误可把回路用“网眼”代替，上图中只有两个网眼，这比确定回路方便。

(一) 克希荷夫第一定律（又称节点电流定律）

这一定律是用来描述同一节点上各支路中电流关系的，可以采取两种形式表示这一关系，一种为流入节点电流的代数和等于流出节点电流的代数和，即：

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-18)$$

由图中节点 a 可列出节点电流方程为：

$$I_1 + I_2 = I_3$$

另一种表示为一个节点上电流的代数和恒等于零即

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

根据式 1-19 列电流方程时，流入节点的电流取正，流出节点的电流取负，由此节点 a 可表示为 $I_1 + I_2 - I_3 = 0$ 。

(二) 克希荷夫第二定律（又称回路电压定律）

回路电压定律是用来确定回路中各部分电压关系的。它表明：在任一闭合回路内，电动势（电位升）的代数和恒等于电压降（电位降）的代数和，即

$$\sum E = \sum IR = \sum U \quad (1-20)$$

关于各项符号的规定是：凡与绕行方向（绕行方向可根据每个网眼确定一个，可顺时针，也可逆时针方向）一致的取正号（即对电动势如绕向与规定正方向从低至高一致，对电阻上的电压则为电流从低至高与绕向一致），反之取负号。

例如图 1-7 中的电压回路方程的列写过程是：在已标出电流方向的情况下，分别确定两网眼的绕行方向为顺时针，只要按上述规定列出两网眼回路电压方程便是独立合理的回路电压方程，即：

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

$$E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3$$

由回路电压方程及节点电流方程三个方程联立求解可得到 I_1 、 I_2 、 I_3 及各段电压大小。

四、电阻的串联和并联

在电路中，电阻的最基本的连接方法有三种即串联、并联和混联。

(一) 负载的串联

把几个电阻元件首尾依次联接，无分支的电路称之为电阻的串联。如图 1-8 所示为三个电阻串联电路。

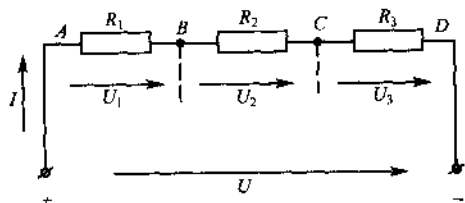


图 1-8 电阻串联电路

1. 串联电路的特点

(1) 根据电流连续性原理，串联电路中电流强度处处相等。

(2) 根据能量平衡原理，串联电路的总电压等于各个电阻上电压的代数和。则有：