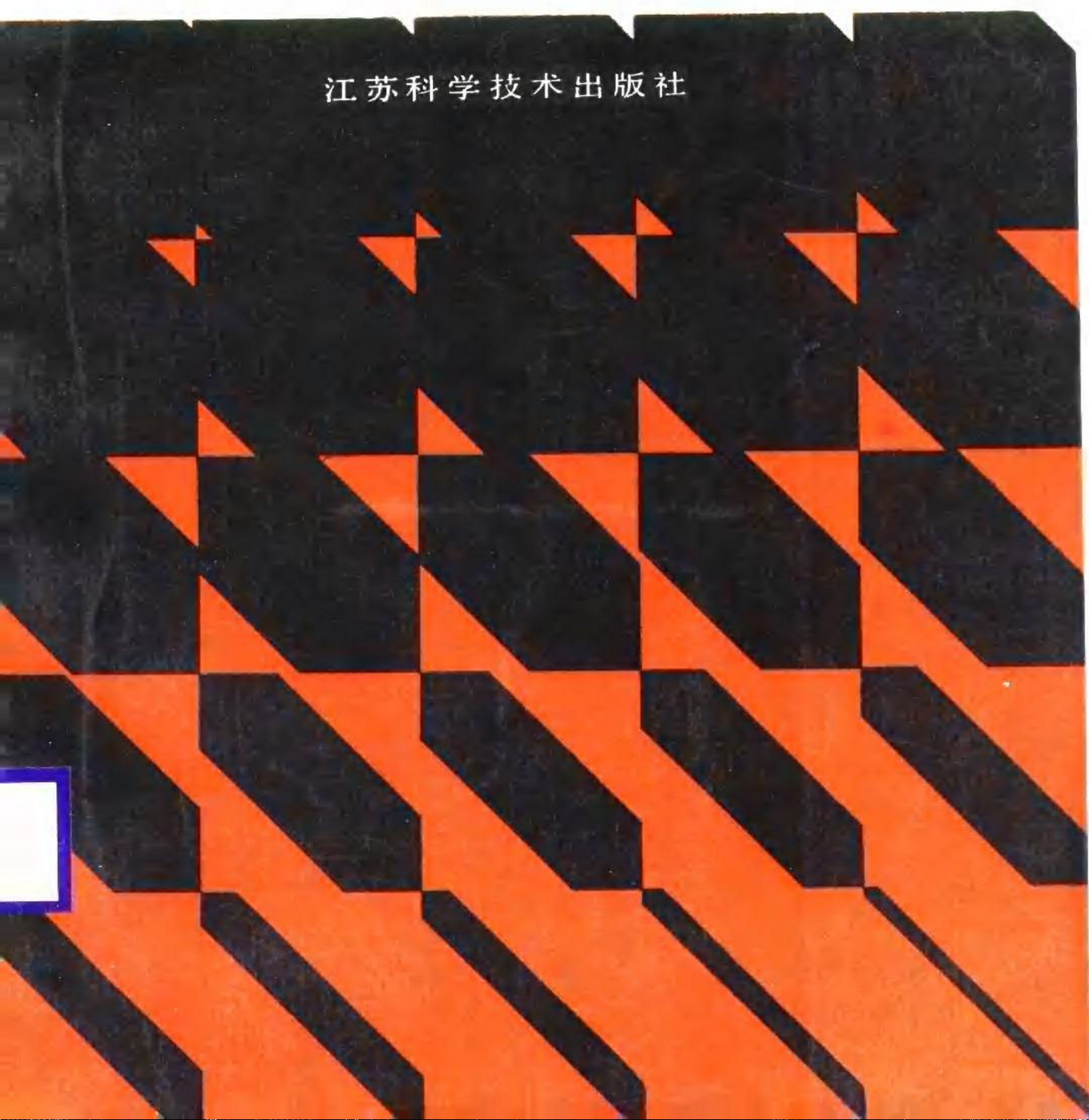


用户电工技术

Yong hu dian gong
ji shu

江苏科学技术出版社



内 容 简 介

本书介绍用户电工必须掌握的电工技术和知识。全书共分五篇二十六章，内容包括电工基础知识，中小型企业变电所，常用低压电气设备和装置，用户电力线路及电气装置的运行管理和安全技术。

本书根据国家近年来新颁布的有关电气技术规程、规范，结合国家和电力部门对广大用户电工的技术要求，针对用户电工技术的特点，介绍了广大用户电工必须掌握的电工基础知识、电子技术基础、高低压电气设备和用户变电所、继电保护、电工计量、照明、电热、动力、控制与保护电器、机床电气、行车电气、内外线装置、农用电气装置等内容，并结合用户电工的实际需要，介绍了自备电源、计划用电、节约用电、电气装置试验、电气安全工作制度及事故处理等。

本书是广大电力用户初、中级电工的培训教材，也可供有关用户电气设备设计、管理的专业技术人员参考使用。

用 户 电 工 技 术

江苏省电机工程学会
南通市电机工程学会 编

出版、发行：江苏科学技术出版社

经 销：江苏省新华书店

印 刷：江苏海门印刷厂

开本787×1092毫米 1/16 印张29.5 字数720,000

1988年5月第1版 1988年5月第1次印刷

印数1—36,200册

ISBN 7—5345—0323—x

TM·7

定价：6.95 元

责任编辑 程增础

前 言

随着电力工业和现代科学技术的日益发展，电力用户的变配电装置和用电设备容量不断增加，对用户电工在电气设备的安装、运行、维护和管理方面，相应地提出了更高的要求。

为了帮助广大用户电工提高技术水平，受江苏省电力工业局的委托，我们在长期培训用户电工工作实践的基础上，针对用户电工技术培训的特点和用户电工技术水平的现状与发展，编写了本书，作为用户电工培训的综合教材。

本书主要包括三个方面：

- (1) 电工基础知识；
- (2) 国家颁布的必须掌握的电气规程、规范中的技术要求；
- (3) 用户电工在安装、运行、维护和管理中必须掌握的实际知识。

本书的读者对象主要是实际从事用户电气设备安装、运行、维护和管理工作的初、中级用户电工。本书可供有关用户电气设备设计、管理的技术人员参考，尤其适用于电业部门、劳动部门和有关厂矿企业对用户电工进行技术培训。全书的基本内容可在250~300学时内讲授，书中的习题和思考题可作为课外练习使用。本书同时也适用于广大电工自学。

本书由顾仲圻主编。许品元编写第一、二、三章，朱良编写第五、六章，陈云发编写第七、八、九、十章，成肇基编写第十二（1、2）、十四、十五、十六（1）章，季运兴编写第十七、二十一、二十六章，顾仲圻编写了全书的其余章节和附录。

全书由易企衡、董宗祥高级工程师主审，刘时中、伍捷增组织了编写工作，并参加了审稿。

本书在编写过程中得到南通供电局及许多同志的大力支持，对此，编者表示衷心感谢。由于编者技术水平有限，本书如有不妥之处，恳请读者指正。

编 者

一九八八年三月

目 录

第一篇 电 工 基 础 知 识

第一章 直流电路	1
第一节 物体的带电和电场	1
第二节 电流、电位、电压与电动势	2
第三节 电阻、导体和绝缘体	4
第四节 电路的基本定律	5
第五节 电路的连接	8
第六节 电功率、电能及电流的热效应	10
第二章 电磁感应	13
第一节 磁场	13
第二节 电磁力	16
第三节 电磁感应	17
第四节 自感、互感与涡流	19
第三章 交流电路	22
第一节 交流电	22
第二节 纯电阻、纯电感及纯电容电路	24
第三节 电阻、电感、电容的串联与并联电路	29
第四节 三相电源及其连接法	33
第五节 三相负载的连接	36
第四章 电子技术基础及其应用	40
第一节 半导体器件基本知识	40
第二节 晶体管放大电路	47
第三节 半导体整流与稳压电路	52
第四节 可控硅基础知识及其应用	60

第二篇 中小型工厂企业变电所

第五章 电力系统概述	67
------------	----

第一节	电力网及电力系统的组成	67
第二节	电力系统的基本要求	69
第六章	变压器	74
第一节	变压器的工作原理及结构	74
第二节	变压器的额定技术数据	80
第三节	变压器的运行	86
第四节	特殊变压器	88
第七章	变电所的高、低压电气设备	92
第一节	高压油断路器及其操作机构	92
第二节	隔离开关及其操作机构	95
第三节	高压熔断器和负荷开关	97
第四节	电流互感器和电压互感器	99
第五节	绝缘子和母线	103
第六节	成套高压配电装置	107
第七节	成套变电站	108
第八节	避雷器	109
第九节	成套低压配电装置	111
第十节	无功功率补偿装置	113
第八章	工厂变配电所的接线和布置	115
第一节	工厂变配电所的主接线图	115
第二节	工厂变配电所的布置与结构	117
第九章	继电保护与二次回路	122
第一节	继电保护的基本知识	122
第二节	电力线路的继电保护	126
第三节	电力变压器的继电保护	127
第四节	电动机和电容器的保护	132
第五节	采用高压熔断器的保护	133
第六节	二次回路的原理图和安装图	134
第七节	断路器的控制回路和信号回路	138
第八节	变电所的操作电源	144
第十章	电工计量	149
第一节	常用电工仪表	149
第二节	电气测量	150
第三节	电能计量	153
第十一章	用户自发电和备用电源	158

第一节	用户自发电装置	158
第二节	备用电源自动投入装置	161
第三节	交流不停电电源装置	163

第三篇 常用低压电气设备和装置

第十二章	照明和电热	166
第一节	照明种类和电光源	166
第二节	照明装置的安装和维护	171
第三节	工业电热设备	172
第十三章	低压控制与保护电器	180
第一节	低压熔断器	181
第二节	低压开关	187
第三节	接触器和起动器	195
第四节	控制继电器	200
第五节	其它低压控制电器	204
第十四章	电动机及其控制线路	211
第一节	三相交流异步电动机	211
第二节	电力传动原理图和接线图	214
第三节	电动机的控制线路	216
第四节	其它交流电动机	219
第五节	直流电动机及其控制线路	223
第十五章	常用机床电路	229
第一节	普通车床的电气控制线路	229
第二节	M7120型平面磨床的电气控制线路	230
第三节	T 68型镗床的电气控制线路	231
第四节	X 62W型万能铣床的电气控制线路	233
第五节	龙门刨床的主要电气控制线路	237
第六节	交、直流电焊机	246
第十六章	桥式起重机及其它电气设备	251
第一节	交流桥式起重机	251
第二节	起重机滑触线及移动电缆的安装	256
第三节	简易载货升降机电气线路	260
第十七章	农用电气装置	263
第一节	农用低压电气装置技术规范	263

第二节 农业排灌用电气装置.....	265
第三节 液位控制装置.....	273

第四篇 用户电力线路

第十八章 配电线路.....	276
第一节 配电线路的基本知识.....	276
第二节 电气施工图.....	281
第三节 导线和电缆截面的选择.....	286
第四节 架空线路.....	289
第五节 电缆线路.....	296
第十九章 内线装置.....	306
第一节 内线装置的基本知识.....	306
第二节 内线装置的主要规定.....	308
第三节 建筑物内部的明配线路.....	314
第四节 线管配线.....	318
第五节 内线装置的其它配线方式.....	321

第五篇 电气装置的运行管理和安全技术

第二十章 计划用电与节约用电.....	326
第一节 用电规则.....	326
第二节 计划用电.....	328
第三节 节约用电.....	333
第二十一章 电气装置的试验.....	340
第一节 试验工作的基本知识.....	340
第二节 绝缘试验.....	340
第三节 电气特性试验.....	346
第四节 继电保护装置试验.....	353
第二十二章 电气事故的类型及其规律性.....	358
第一节 电气事故的种类.....	358
第二节 电气事故的规律性.....	359
第三节 电气事故的调查处理.....	362
第二十三章 电气安全工作制度.....	366
第一节 电气安全用具.....	366

第二节 变配电所的倒闸操作.....	370
第三节 变电所的事故处理.....	373
第四节 电气设备的停电检修.....	375
第五节 低压带电工作.....	380
第六节 电气装置的运行与巡视.....	380
第七节 其它安全工作.....	385
第二十四章 接地、接零和防雷保护.....	388
第一节 接地和接零的基本知识.....	388
第二节 接地保护和接地装置的安装.....	392
第三节 低压接零保护.....	398
第四节 防雷保护装置.....	400
第二十五章 电气防火与防爆.....	408
第一节 电气防火与防爆的基本知识.....	408
第二节 电气线路引起的火灾及其防护.....	412
第三节 电气设备的火灾危险及其防护.....	414
第四节 电气火灾的扑救.....	417
第二十六章 触电保护与急救.....	421
第一节 触电生理现象与安全电流.....	421
第二节 安全电压.....	423
第三节 低压触电保安器.....	425
第四节 触电急救.....	431

附 录

I、导线、电缆的安全载流量.....	434
II、绝缘导线穿管配合表.....	439
III、常用熔丝规格表.....	442
IV、常用电工图形符号.....	443
V、电工设备文字符号.....	447
VI、变压器及配电设备选择表.....	448
VII、常用电气设备的保护设备与导线选择.....	450
VIII、功率因数补偿.....	453
IX、低压电网电压损失表.....	455
X、发电厂、变电所和电力线路工作票.....	457
XI、参考资料目录.....	461

第一篇 电工基础知识

第一章 直流电路

第一节 物体的带电和电场

一、物质的结构

自然界的物质大多是由分子组成的。分子是一种能够单独存在并且保持物质固有性质的最小微粒。而各种分子又是由一些更小的微粒——原子组成的。

原子由原子核和电子组成。原子核带有正电荷，电子带有负电荷并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力，而不会从原子中飞逸出去。

不同物质的原子具有不同的结构，主要表现在原子核内的正电荷、核外电子的数目各不相同。图1-1所示为氢原子和铝原子的结构，各种物质的电荷只有正电荷和负电荷两种，同性电荷相互排斥，异性电荷相互吸引，这是电荷的基本特性。

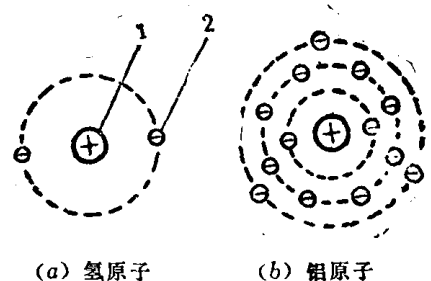


图1-1 原子的电结构

1—原子核，2—电子

二、物体的带电

在通常情况下，原子核所带正电荷的总数，总是等于核外电子所带负电荷的总数，所以整个物体不呈现电的特性，物体处于中性状态。当由于某种原因使物体电子增多或减少时，物体内正负电荷的总数就不再相等，这时物体就显示出电的特性，叫做物体带电。例如，用毛皮摩擦硬橡胶，毛皮上的电子便跑到硬橡胶上来，因而硬橡胶带上负电，毛皮带上正电。这时毛皮和硬橡胶都称为带电体。

正负电荷都是自然界固有的一种物质，它们不会凭空产生或消失，只能从一个物体转移到另一个物体上。这种规律称为电荷守恒定律。

物体所带电荷的多少叫电荷量，用字母 Q 表示，单位是库仑（C）。一个电子带有最小的负电荷，电荷量等于 1.60×10^{-19} 库仑，1库仑为 6.25×10^{18} 个电子所具有的电荷量。

三、电场

两个带电体之间存在互相排斥或吸引的作用，它表明两个带电体之间有作用力。带电体

周围存在着一种叫做电场的特殊物质，带电体之间的作用就是通过电场进行的。电场对处于电场中的电荷产生作用力，称电场力。电荷在电场中某一点受到的电场力 F 的大小，与该电荷的电量 Q 以及该点的电场强度 E 成正比，即

$$F = EQ \quad \text{或} \quad E = \frac{F}{Q} \quad (1-1)$$

电场强度的单位是牛顿/库仑，或伏/米。电场强度是向量，它的方向跟正电荷在该点所受的电场力方向相同，跟负电荷在该点所受电场力的方向相反。

第二节 电流、电位、电压与电动势

一、电流

在金属导体中存在着大量原子，金属原子的内层电子被原子核紧紧束缚着，不能自由运动；而原子的外层电子受原子的束缚力较弱，可以脱离原子核的束缚，在金属中自由运动，这种电子又称自由电子。金属中的自由电子是很多的。如果给导体两端加一个电场，导体内的自由电子在电场力的作用下，向电场的正端运动。电荷在电场力的作用下产生的定向运动称为电流。

电流具有一定的方向。我们规定正电荷定向移动的方向为电流的正方向（在电解液中电流的方向与正离子移动的方向相同）。这与电子运动的方向正好相反。在电路计算时，可任意选择一个方向作为电流的假定正方向，简称正方向或参考方向。电流的实际方向可能与选定的正方向一致，也可能相反。实际方向与假定正方向一致时，计算结果电流为“+”；反之，电流则为“-”。

电流的大小叫做电流强度，简称电流，用 I 表示。它是以流过导体横截面的电荷量 Q 和所用的时间 t 之比来度量的：

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

电流的单位为安培，简称安，用字母 A 表示。1安电流表示每秒钟内通过导体截面的电荷量为1库仑。电流的实用单位除安外，还有千安（ kA ）、毫安（ mA ）和微安（ μA ），其换算关系如下：

$$1 \text{ 千安} = 1000 \text{ 安} = 10^3 \text{ 安}$$

$$1 \text{ 安} = 1000 \text{ 毫安} = 10^3 \text{ 毫安}$$

$$1 \text{ 安} = 1000000 \text{ 微安} = 10^6 \text{ 微安}$$

电流的大小可用串联在电路中的电流表来测量。

方向不随时间而改变的电流叫做直流电；方向和大小都不随时间改变的电流叫做稳恒直流，通常简称直流。干电池、蓄电池产生的电流都是直流电。

二、电位与电压

在电场中，当我们把正电荷逆着电场方向沿任一路径从一点移动到另一点的时候，正电荷克服电场力做功所获得的位能，叫电位能。电场中某点 A 的电位（ φ_A ）在数值上等于单位电荷在该点所具有的电位能（ W_A ），即

$$\varphi_A = \frac{W_A}{Q} \quad (1-3)$$

电位的单位是伏特，简称伏，以字母V表示。

为了确定电场中各点电位的高低，可在电路中任选一个参考点，令其电位为零（工程中常选大地为参考点），这时电路中其它各点电位的高低，都以这一点为标准进行比较，高于参考点的电位叫高电位或正电位，低于参考点的电位叫低电位或负电位。

电位的参考点是可以任意选择的。参考点选得不一样，电场中各点的电位数值也跟着变化，但是两点间的电位差保持不变。这个电位差就称为两点间的电压，用字母 U 表示。图1-2表示两个带电体A和B分别具有电位 φ_A 和 φ_B ，并且 $\varphi_A > \varphi_B$ ，则A、B两点间的电压

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = \frac{W_A}{Q} - \frac{W_B}{Q} = \frac{W_A - W_B}{Q} \quad (1-4)$$

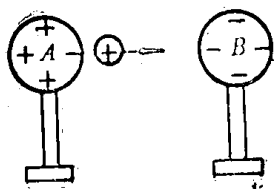


图1-2 正电荷在电压作用下运动

电位能之差 $W_A - W_B$ 表示在电场力作用下将一正电荷从A移动到B所做的功。

电压的方向由高电位指向低电位。电流假定为正方向时，通常由高电位流向低电位。如果电路中两点电位相等，则电位差等于零，也就是说没有电流流过。我们把电位相等的点叫做等电位点。等电位点间没有电流流通，这是高压带电作业的理论基础。

跟电流计算一样，在无法确定电压正方向时，可先假定一个正方向进行计算，最后根据结果的正负来确定其实际方向。

电压的单位也是伏特（简写为伏，符号为V）。其实用单位还有千伏（kV）、毫伏（mV）和微伏（ μV ）。其换算关系如下：

$$1 \text{ 千伏} = 1000 \text{ 伏} = 10^3 \text{ 伏}$$

$$1 \text{ 伏} = 1000 \text{ 毫伏} = 10^3 \text{ 毫伏}$$

$$1 \text{ 伏} = 1000000 \text{ 微伏} = 10^6 \text{ 微伏}$$

三、电源和电动势

在图1-2中，如用导线将A、B两个带电体联接起来，由于A、B间存在电位差，导体中就有电流流过。但随着电荷的中和，A、B间的电位差随之减小，直到A、B间的电位相等时，导体中也就没有电流。若要继续维持电流，就要用“电源”来不断产生导体两端的电位差。所谓电源，就是能将其它形式的能转化为电能的设备，如发电机、蓄电池，分别可将机械能、化学能转化为电能。

各种电源都具有正负两个电极，而且都能在电源内移动电荷，使得一个极具有一定量的正电荷，另一个极具有一定量的负电荷，于是两极间就形成了电场，产生了电位差。电源内部这种移动电荷的作用力称为电源力。图1-3为电源工作的示意。电源力在电源内不断地将负电荷从正极移到负极。（相当于将正电荷从负极移向正极），保证了两极之间的电位差，使电流在电路中持续不断地流动。

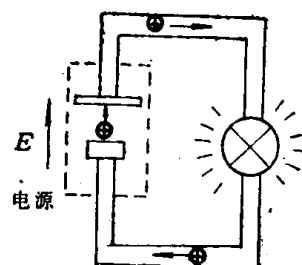
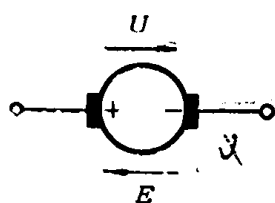


图1-3 电源工作示意

电源力既然能使电荷移动，就说明它能做功。电源力将单位正电荷从电源负极移到正极所做的功（ W ），叫做电源的电动势，以字母 E 表示，即

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

和电压一样，电动势的单位也是伏特。



电动势的正方向是在电源内部电源力移动正电荷的方向（或者说是移动负电荷的反方向），即从低电位指向高电位；而电压的方向是电场力移动正电荷的方向，即从高电位指向低电位。

电源力和电场力的方向是相反的，因此电动势与电压的方向也是相反的，如图1-4所示。电动势标示电位升高的方向，而电压所指示的是电位降低的方向。

图1-4 电压与电势的方向

第三节 电阻、导体和绝缘体

一、电阻和电导

导体中的自由电子在电场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、负电荷的吸力和斥力，因此会受到一定的阻力。各种导电物体对电流的这种阻力称为电阻，以字母 R 表示，其大小可以表示为

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

式中 ρ ——电阻率，单位是欧·毫米²/米，几种常用导电材料的电阻率见表1-1；

l ——导体长度，单位为米；

S ——导体横截面积，单位为平方毫米。

可见导体电阻的大小与导体的材料、导体的长短、横截面积及温度有关。

表1-1

几种常用材料的电阻率（20℃）

单位：欧·毫米²/米

材 料 名 称	电 阻 率	材 料 名 称	电 阻 率
银	0.0165	云母	$10^{10} \sim 10^{19}$
铜	0.0175	瓷	$10^{12} \sim 10^{19}$
铝	0.0283	橡皮	$10^{12} \sim 10^{21}$
钨	0.055	电木	$10^{15} \sim 10^{18}$
铁	0.100	绝缘纸	$10^{15} \sim 10^{19}$
镍铬合金	1.0~1.2	变压器油	$10^{16} \sim 10^{17}$

电阻率的单位也有用欧·厘米的，其换算关系为：

$$1 \text{ 欧} \cdot \text{毫米}^2/\text{米} = 10^{-4} \text{ 欧} \cdot \text{厘米} \quad (1-7)$$

电阻的常用单位是欧（ Ω ）。此外，还有千欧（ $k\Omega$ ）和兆欧（ $M\Omega$ ）。

各种导体都有一定的导电能力。这种能力称电导，以符号 G 表示。

电阻和电导从两个不同的方面来说明导体的性质。导体的电阻越大，它的电导就越小，电导与电阻互成倒数关系：

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

电导的单位是西门子，简称西（S）。

二、导体和绝缘体

物体按其导电性能分为三类：导体、绝缘体和半导体。其本质差别是由于这些物体的原子结构中最外层的电子与原子核结合的松紧程度不同，单位体积内所具有的自由电子数目不同，最终影响到它们的导电能力不同。

导体的电阻很小，常见的导体是金属，如银、铜、铝、铁等。另外，大地、酸、碱、盐溶液等也都是导体，其电阻率一般在 $10^{-2} \sim 1$ 欧·毫米²/米范围内。

绝缘体的电阻很大，导电能力极差，电流几乎不能通过。如橡胶、云母、陶瓷、油类及干燥的木材等，其电阻率一般为 $10^{12} \sim 10^{22}$ 欧·毫米²/米。

导体和绝缘体在电力工业中都得到了广泛的应用。这里要指出的是绝缘材料长时间受温度、湿度和灰尘影响后，其绝缘性能下降（称绝缘老化），也会影响设备的正常工作。

除此以外，还有少数金属材料 and 金属化合物，当温度降到某一临界温度（接近绝对零度，即 -273°C ，也有些数值较高，甚至可达室温附近）时，电阻会突然变为零。这种现象叫超导现象。具有超导现象的导体叫超导体，如铌（Nb）等。如果采用超导体制作电机的电枢和磁场绕组，可使电机的效率提高到99%以上，在同样体积、同样重量的情况下，超导体电机的容量可提高10倍左右。

第四节 电路的基本定律

一、电路的组成

电路就是电流所流经的路径，它由电路元件组成。图1-5（a）就是用2节干电池经刀闸向灯泡供电的实物电路图。

组成电路的电路元件通常可分为四类：

1) 电源 是供给电能的设备。它的作用是将其它形式的能量（如化学能、机械能等）转换成电能。

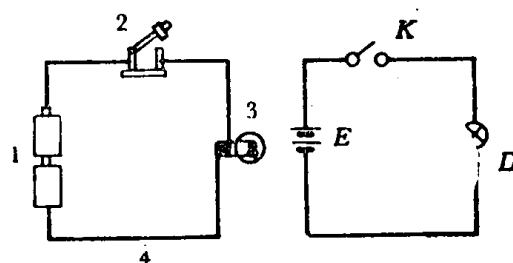
2) 负载 即用电设备。它的作用是耗用电能，将电能转换成非电能。

3) 控制电器 在电路中起控制和保护作用，如开关、接触器等。

4) 导线 由导体制成。其作用是将电源、负载和控制电器连接起来，将电源的电能量传输给负载。

除了以上一次电路的设备外，为了实现对一次电气设备的控制、监视、保护和测量，还装有二次电路设备。

图1-5（a）中的实物电路图，在实际应用中很不方便，通常是将电路中的实际元件用国家规定的图形符号表示在电路图中，称为原理电路图，简称电路图。图1-5（b）就是图1-5（a）的电路图，它虽不反映电路的几何尺寸和各元件的位置形状，但突出表示出电路中各



(a) 实物图 (b) 电路图

图1-5 简单电路图

1、E—电池； 2、K—开关；
3、D—灯泡； 4—导线

元件之间电的关系，便于分析、研究和安装、检修、调试。

常用的电路元件的图形符号见附录Ⅳ所示。

二、欧姆定律

电流、电压和电动势是电路中的基本物理量，电阻是电路元件的一种参数。欧姆定律是表明电阻元件两端的电压 U 与电流 I 同电阻 R 三者关系的定律，可用下列公式表示：

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

可见，流过电阻元件的电流与电阻两端的电压成正比，而与电阻值成反比。

欧姆定律是电路的一个基本定律。

欧姆定律不仅适用于一个元件的部分电路，也适用于全电路（整个闭合电路）。图1-6是一个全电路，其中 E 是电源电动势， R_0 是电源内阻， R 是外部电路的总电阻，这时有

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1-10)$$

可见，对于只有一个电动势的闭合电路，其电流等于电动势与内外电路电阻之和的比值。这叫做全电路的欧姆定律。

式(1-10)又可变换成

$$E = I(R_0 + R) = IR_0 + IR = IR_0 + U$$

$$U = E - IR_0 \quad (1-11)$$

式中， U 为外电路电阻 R 两端的电压，即电源端电压。

例 在图1-6中，若 $E = 12$ 伏， $R_0 = 0.1$ 欧， $R = 3.9$ 欧，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 根据全电路欧姆定律，

$$I = \frac{E}{R + R_0} = \frac{12}{3.9 + 0.1} = 3 \text{ 安}$$

$$U_0 = IR_0 = 3 \times 0.1 = 0.3 \text{ 伏}$$

$$U = E - U_0 = 12 - 0.3 = 11.7 \text{ 伏}$$

在应用欧姆定律时，还应注意电压和电流的方向应一致，即电压由高电位指向低电位，电流也由高电位流向低电位。

当电阻中有电流通过时，两端必有电压，这个电压习惯上被称为电压降，表示其电位的降低。通常导线都是有电阻的，当用导线输电时，就产生电压降，因此输电线路末端的电压总是比始端的电压低，其降低的数值叫做电压损失。在线电较长、线路电流较大时，线路的电压损失也较大，特别在电源电压较低时，供电质量就会明显下降，必须采取措施改进。

三、基尔霍夫定律

欧姆定律只能解决简单的电阻电路问题。对于不能简化的复杂电路和多电源电路，必须采用电路的另一个基本定律——基尔霍夫定律来解决。基尔霍夫定律包括两个方面内容：支路电流之间的关系和回路电压之间的关系。

1. 基尔霍夫第一定律（节点电流定律）

电路中三个或三个以上的支路相连接的点称为节点。基尔霍夫第一定律指出：对于电路中任一节点，流入节点的电流之和必等于流出该节点的电流之和，即

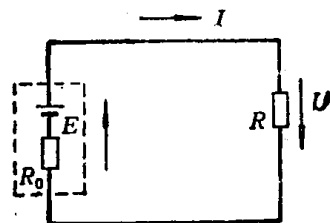


图1-6 全电路

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-12)$$

在图1-7中, 对于节点A来说, I_1 、 I_2 是流入节点A的, I_3 是由节点A流出的, 即有

$$I_1 + I_2 = I_3$$

基尔霍夫节点电流定律是电流连续性原理, 即电荷守恒原理在电路中的体现。

将上式移项得: $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

或者 $\sum I = 0$

即流入节点的电流的代数和为零。在分析计算问题时还应注意以下几点:

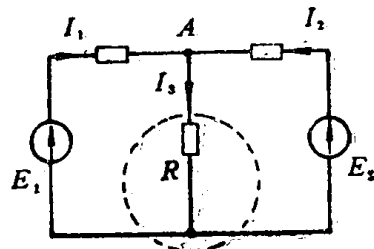


图1-7

基尔霍夫节点电流定律例图

①首先应在电路图中标出电流的假定正方向, 通常称为参考方向。如果计算结果出现负值, 则说明假定的正方向与实际方向相反。

②该定律也可以推广到电路中的任一部分。如对于图1-7中虚线包围的部分电路, 流进电流的代数和也为零。

2. 基尔霍夫第二定律 (回路电压定律)

基尔霍夫第二定律指出: 对于任一回路, 沿任一方向绕行一周, 各电源电动势的代数和等于各电阻电压降的代数和, 即

$$\sum E = \sum IR \quad \text{或} \quad \sum E = \sum U \quad (1-14)$$

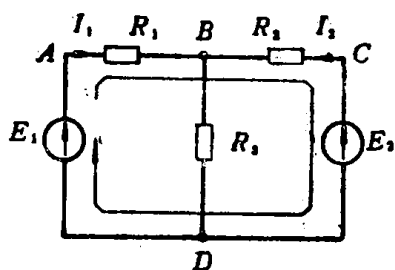


图1-8

基尔霍夫回路电压定律例图

在图1-8中, 对于回路ABCDA, 若按图示选定顺时针方向绕行一周, 可列出回路电压方程:

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

这一定律体现了能量守恒的基本规律, 即一定量的电荷沿着回路流动一圈时电动势的电源力对电荷做功使其获得的能量, 与电压的电场力对电荷做功使电荷失去的能量相等。

应用时应注意:

①绕行方向可任意选定 (顺时针或逆时针)。

②绕行方向选定后, 回路中凡与绕行方向相同的电动势、电压在回路电压方程式中取正号, 反之取负号。

例 在图1-9所示的电路中, 已知 $R_1 = 1$ 欧, $E_1 = 130$ 伏, $E_2 = 117$ 伏, $R_2 = 0.6$ 欧, $R_3 = 24$ 欧, 求 I_1 、 I_2 和 I 。

解 先在图中标出各电流的假定正方向和回路的绕行方向。

本题的节点数 n 为 2 (A、B 两个节点), 可列出独立节点电流方程式 $n - 1 = 1$ 个; 支路数 $m = 3$, 可列出独立回路电压方程式 $[m - (n - 1)] = 2$ 个, 故可得方程组:

$$\begin{cases} I = I_1 + I_2 \\ E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2 \\ E_2 = I_2 R_2 + I R_3 \end{cases}$$

将已知数据代入上述方程组, 解得

$$I_1 = 10 \text{ 安}, I_2 = -5 \text{ 安}, I = 5 \text{ 安}$$

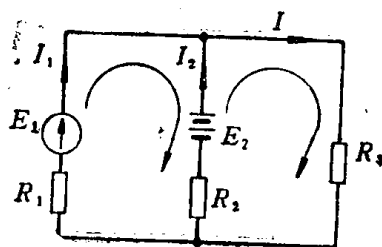


图1-9

I_2 为负值,表明该电流的实际方向与假定正方向相反。

在电路计算中,除上述两个基本定律外,电流源、电压源的概念及其等效变换、叠加原理、戴维南定理等在解决实际问题中也很有用处,读者可参阅有关书籍。

第五节 电路的连接

一、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1-10(a)所示。

串联电路有以下特点:

①电路各个电阻上流过的是同一个电流。

②各个电阻上电压降之和等于总电压,

即 $U = IR_1 + IR_2 + IR_3 = U_1 + U_2 + U_3$

由此可以看出,串联电阻可以起到分压作用,电阻分压器和多量程电压表就是利用了这个原理。各电阻分压的大小是与其电阻值成正比的,即电阻值大,分压大,电阻值小,分压小。

③串联电路的总电阻等于各电阻之和,即总电阻 R 为

$$\begin{aligned} R &= \frac{U}{I} = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{I} = \frac{IR_1 + IR_2 + IR_3}{I} \\ &= R_1 + R_2 + R_3 \end{aligned} \quad (1-15)$$

串联电路的总电阻 R 通常叫做等效电阻,即 R 与 $R_1 + R_2 + R_3$ 在数值上相等,在电路中所起的作用相同。图1-10(b)就是图1-10(a)的等效电路图。在起动容量较大的电动机时,就可以在起动回路中串入一个起动电阻,以减少起动电流,待运行正常后再切除。

例 在图1-10中,若 $U = 140$ 伏, $I = 4$ 安, $R_1 = 10$ 欧, $R_2 = 15$ 欧,求 R_3 和 U_3 。

$$\begin{aligned} \text{解} \quad R &= \frac{U}{I} = \frac{140}{4} \text{欧} = 35 \text{欧} \\ R_3 &= R - R_1 - R_2 = 35 - 10 - 15 = 10 \text{欧} \\ U_3 &= IR_3 = 4 \times 10 = 40 \text{伏} \end{aligned}$$

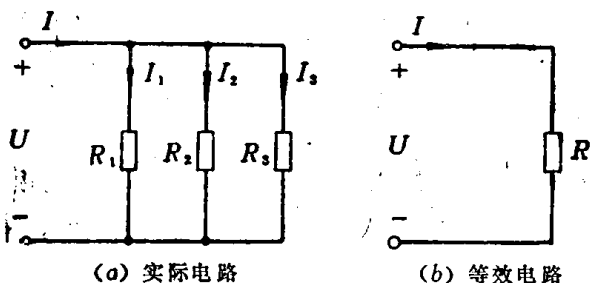


图1-11 并联电路

流之和。图1-11(a)中的总电流为

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

从式中可以看出,并联电阻可以使总电流增大。在总电流一定的情况下,并联电阻可以起

二、电阻的并联

将几个电阻的头与头接在一起,尾与尾接在一起,这种连接方式叫并联,如图1-11(a)所示。

并联电路有以下特点:

①各并联支路两端间的电压相等。

②并联电路中的总电流等于各电阻支路电

分流作用,如电流表并联一电阻后可以扩大其量程。分流的数值是按各支路电阻的大小成反比分配的,即电阻值大的支路分流的电流小,反之,分流的电流大。

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

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1-16)$$

也可用电导来表示:

$$G = G_1 + G_2 + G_3 \quad (1-17)$$

并联适用于恒定电压的供电方式,供电系统都是采用恒定电压供电的。而且负载并联时,其中一个支路负载接通或切断,不会影响其它支路负载的正常工作,因而负载的并联形式得到广泛的应用。

例 在图1-11 (a) 中,若 $R_1 = 20$ 欧, $R_2 = 30$ 欧, $R_3 = 60$ 欧,求电路的总电阻。若 $U = 110$ 伏,求 I 、 I_1 、 I_2 及 I_3 。

解 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{20} + \frac{1}{30} + \frac{1}{60} = \frac{1}{10}$ 西

$$R = 10 \text{ 欧}$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{110}{10} = 11 \text{ 安}$$

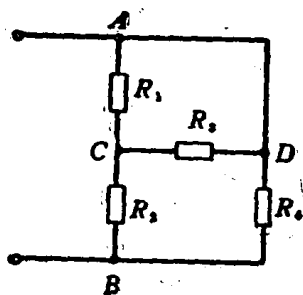
$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{110}{20} = 5.5 \text{ 安}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{110}{30} = 3.67 \text{ 安}$$

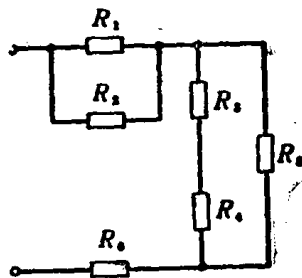
$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{110}{60} = 1.83 \text{ 安}$$

三、电阻的混联

电阻的串联与并联是电路最基本的联接方式。但在实际电路中,单一的连接方式是极少的,既有串联,又有并联的电路称为电阻的混联电路。图1-12 (a)、(b) 所示都属混联电路。



(a)



(b)

图1-12 电阻的混联电路

分析计算混联电路的方法如下:

- ① 应用电阻的串联、并联逐步简化电路,求出电路的等效电阻。
- 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。