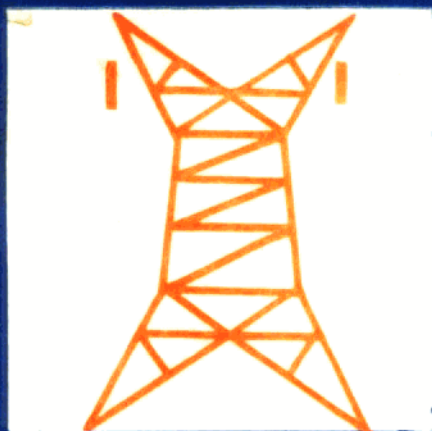


外线施工技术

徐少强 编著



北京科学技术出版社

外 线 施 工 技 术

徐少强 编著

北京科学技术出版社

内 容 提 要

《外线施工技术》是施工企业输配电线路施工中理论和实践集于一体的通俗读物，它全面地系统地阐述了外线技工所应具备的从基础理论到实践施工中安全、技术、质量及其管理等各方面的基本知识。本书还包括了施工中需要使用的大部分技术经验数据，因而又是一本实用的工具书。

本书适用于中、高级技工以及期望掌握外线施工技术的读者，尤其适用于各市、县供电局主管外线的技术人员、外线技工和电力施工企业的技术、管理人员。

外 线 施 工 技 术

徐少强 编著

北京科学技术出版社出版、发行

(北京西直门外南路19号)

建华印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 25.375印张 583千字

1991年12月第一版 1991年12月第一次印刷

印数0001—2000册

ISBN 7—5304—00916-6/T186 定价：14.0元

前 言

为了提高电力施工企业广大职工的科学技术水平和管理水平，使电力外线施工走上正规化、标准化、系统化，从而达到提高外线施工质量的目的，特编写了本书，作为编著者为此所尽微薄之力。

本书共分为三篇。第一篇为理论基础部分，包括电工基础、起重基础、安全基础三方面知识；第二篇为工程基础部分，包括施工测量、基础工程、焊接工艺三方面；第三篇为杆塔与架线部分，这是本书的核心和重点。这一篇既介绍了立杆和架线施工技术，又阐述了施工管理要点。

在编写内容方面，强调系统性和完整性，既注重理论性，又注重实践性，力求从理论方面打基础，为生产施工服务。本书深入浅出，通俗易懂。书中还包括了施工中需要使用的大量技术数据，是一本外线工人必备的工具书，同时对从事外线施工的技术人员也有参考价值。

本书在编写过程中，得到了有关方面的重视和支持。由于编写时间仓促，书中难免存在错误和不足之处，希望广大读者批评指正。

编 者

1990年9月

目 录

第一篇 理论基础部分

第一章 电工基础知识	(1)
第一节 直流电路	(1)
第二节 电磁和电磁感应	(12)
第三节 交流电路基本概念	(20)
第四节 三相交流电路	(37)
第二章 起重基础知识	(46)
第一节 力的基本知识	(46)
第二节 起重的基本方法	(54)
第三节 起重用机具	(58)
第四节 抱杆	(68)
第五节 绳索与索卡	(72)
第六节 吊环、吊钩和卸夹	(81)
第七节 起重作业安全要点	(84)
第三章 安全基础知识	(86)
第一节 电气安全技术	(86)
第二节 安全用具和绝缘工具	(93)
第三节 接地接零与电气安全装置	(99)
第四节 触电急救	(110)
第五节 防火与消防用具	(115)

第二篇 工程基础部分

第四章 施工测量	(128)
第一节 线路工程的术语和平断面图	(128)
第二节 经纬仪在测量上的应用	(132)
第三节 定位测量	(140)
第四节 施工测量中值得注意的几个问题	(150)
第五章 基础工程	(152)
第一节 概述	(152)
第二节 基础荷载及土壤性质	(153)
第三节 电杆基础	(156)
第四节 铁塔基础	(160)
第五节 特殊型基础	(163)
第六节 跨河铁塔灌注高桩基础	(174)
第七节 混凝土及其施工	(174)
第六章 焊接工艺	(188)

第一节	概述	(188)
第二节	焊接工艺	(188)
第三节	焊接的质量及安全	(190)
第四节	乙炔和乙炔发生器	(192)

第三篇 杆塔与架线部分

第七章	电力系统的基本知识	(193)
第一节	概述	(193)
第二节	电力系统的结线	(195)
第三节	电力系统的负荷	(197)
第八章	架空线路的电气计算概论	(199)
第一节	电力线路的结构	(199)
第二节	防雷保护	(223)
第三节	接地装置	(227)
第四节	导线换位	(234)
第五节	绝缘避雷线	(235)
第九章	电力线路的机械计算概论	(237)
第一节	概述	(237)
第二节	导地线的机械荷载	(238)
第三节	导地线的弧垂和应力	(239)
第四节	导地线的震动及防震措施	(244)
第五节	线间距离及杆高的确定	(247)
第十章	杆塔的型式和运输	(250)
第一节	杆塔分类和型式	(250)
第二节	杆塔构件的质量检查	(253)
第三节	杆塔构件的运输	(262)
第十一章	杆塔构件的组装	(264)
第一节	概述	(264)
第二节	组装图纸的符号规定	(265)
第三节	组装前的准备工作	(267)
第四节	砼杆的排杆和连接	(269)
第五节	杆塔的组装	(271)
第六节	铁塔的地面组装	(278)
第十二章	杆塔起立方法	(281)
第一节	概述	(281)
第二节	工器具的选择	(282)
第三节	砼杆的起立	(295)
第四节	铁塔的组立	(304)
第五节	杆塔组立的安全注意点	(309)
第十三章	导地线架设	(312)
第一节	放线	(312)

第二节	导地线的连接	(315)
第三节	紧线	(323)
第四节	附件安装	(334)
第十四章	杆塔的施工设计	(337)
第一节	概述	(337)
第二节	杆塔的荷重及重心位置	(339)
第三节	人字抱杆的参数选择	(343)
第四节	固定吊点的选择	(348)
第五节	各设备受力与杆塔起立角 γ 的关系	(352)
第六节	现场布置对杆塔整立的影响	(356)
第七节	施工技术措施	(358)
第十五章	接地装置的施工	(362)
第一节	概述	(362)
第二节	接地装置的施工	(363)
第三节	接地电阻和土壤电阻率的测量	(363)
第十六章	施工验收	(366)
第一节	概述	(366)
第二节	验收的组织形式和技术资料审核	(367)
第三节	线路竣工试验	(369)
第四节	线路绝缘测定和相位鉴别	(370)
第五节	线路常数试验	(371)
第六节	线路递增加压和冲击投切试验	(382)
第七节	施工质量的评价	(383)
附表1~3	钢丝绳的主要数据	(393)
附表4	混凝土杆的规格和重量	(396)
附表5	底拉盘规格和重量	(396)
附表6	每立方米材料重量	(397)

第一篇 理论基础部分

第一章 电工基础知识

第一节 直流电路

电路就是电流通过的闭合回路。它由电源和负载组成，电源和负载用导线连接起来，最常用的导线是铜线和铝线。电源能把其他形式的能量转换成电能，如发电机能把机械能转换成电能，蓄电池能把化学能转换成电能。负载能把电能转换成其他形式的能，如电动机能把电能转换成机械能，电炉丝能把电能转换成热能等等。在电源内能产生电势，在电势的作用下，形成了电荷向一定方向的运动，这叫做电流。不改变方向的电流的电路叫做直流电路。

电荷，也即是带电的质点（在电解液中的离子，在金属中的自由电子）在导体中运动时，便与导体中的离子和分子相碰撞，带电质点的动能便以热能的形式散发出来。对于这种现象，我们通常称做电阻。

在实际电路中，除了电源、负载和连接导线外，为了控制和监视电路，还装有开关、熔丝、测量仪表等设备，如图1-1。

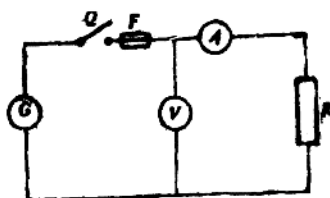


图 1-1 电路图

G —电源， Q —开关， F —熔断器， A —电流表， V —电压表， R —负载

一、电位差、电压和电势

要使电荷流动，就必须要有电位差存在，电位差的大小决定于物体所带电荷的正负和多少，物体带正电荷越多，电位就越高，物体带负电荷越多，电位就越低。两个带电物体之间的电位叫电位差，习惯称为电压。

电路中，由电源产生的电位差，叫做电动势，简称电势。它能把电子从一个极转移到另一个极，积累正电荷的那个极叫正极，积累负电荷的那个极叫负极。

在电路中，电压和电势的区别在于：

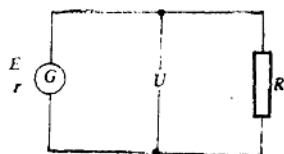


图 1-2 电路

在闭合电路中，电势由电源产生，经过内阻产生压降，在电源出口端的电位差，就是电压。在开路电源两端的电压就等于它的电势。

$$\therefore E = U + Ir = IR + Ir = I(R + r)$$

电压和电势的单位都是“伏特”，用字母“V”表示，在实用中以千伏(kV)、伏

(V)、毫伏(mV)、微伏(μV)表示，其单位换算如下：

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

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

$$1 \text{ 毫伏 (mV)} = 1000 \text{ 微伏 (}\mu V\text{)}$$

二、电流、电流密度

电流强度简称电流，是衡量电流大小的物理量，在一秒钟内通过导体截面的电荷量就是对电流大小的度量。假使电流的方向和大小均不随时间而变化，就称做直流电流；反之电流的方向和大小均随时间而变化就称做交流电流，简称交流。在直流电路中，公式：

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

式中 I ——电流强度(安培)，单位符号为“A”；

Q ——电荷量(库仑)，单位符号为“C”；

t ——时间(秒)，单位符号为“s”。

从公式可以看出，假如在1秒钟内通过导体截面的电荷等于1库仑，则导体内的电流就等于1安培。即：

$$1 [\text{安培}] = \frac{1 [\text{库仑}]}{1 [\text{秒}]}; \text{ 即 } 1 [A] = \frac{1 [C]}{1 [s]}$$

电流的流动方向是取带正电子子移动的方向，也就是与电子的流动方向相反。

在电源内电流的流动方向是从负极到正极；在电源外部，电流的流动方向是正极流向负极。

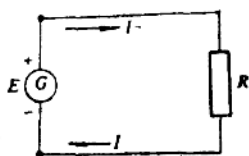


图 1-3 电路

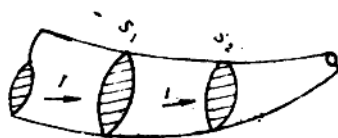


图 1-4 不同截面的导体

电流与导体的横截面积之比值，叫做电流密度。

公式：

$$\delta = \frac{I}{s} \quad (1-2)$$

式中 δ ——电流密度(安培/厘米²)；

s ——导体的横截面积(厘米²)。

在实用中,电流密度是我们对导体进行选型的依据。选得恰当,电路就能安全经济地运行,选得过大,虽然年运行费用小,但一次投资太大,不合算;选得过小,虽然投资小,但运行不安全、不经济,所以在这两者之间、有一个经济的数据,我们称它为经济电流密度。用 J 表示。

三、电阻、电阻率、电阻的温度系数和电导

1. 电阻。导体中的自由电子在移动过程中,电子之间、电子和带不同电荷的质点之间不断地发生碰撞,同时还要克服原子核对它的吸引力,因而就受到一定的阻力,导体对电流的阻力,称做电阻,用字母 R 表示。电阻大的物体导电性能差,电阻小的物体导电性能好。

这种导电性能差的物体,叫做电的不良导体。在通常条件下,由于其内部不存在自由电子,因而它不易于传导电流,这类物体又称做绝缘体,如橡胶、塑料、玻璃、云母、陶瓷、胶木、油类、干燥的木材、纸张、空气等。

导电性能好的物体,叫做电的良导体,由于其内部存在自由电子、离子等带电微粒,易于传导电流,所以称做导体。如金属、酸、碱、盐的水溶液、大地、人体等。

介于导体和绝缘体之间的物体,称做半导体,它具有单向导电的性能,如:锗、硅、硒等。现代广泛用的晶体管和集成电路,都是用这些材料制成的。

2. 电阻率。金属导体的电阻和其长度成正比,和其横截面积成反比,并且与其材料、温度等因素有关。

公式:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

推导得:

$$\rho = \frac{RS}{L} \quad (1-3)$$

式中 R ——导体的电阻(欧姆),单位符号为“ Ω ”;

L ——导体的长度(米),单位符号为“m”;

S ——导体的截面积(毫米²),单位符号为“mm²”;

ρ ——导体的电阻率(欧·毫米²/米),单位符号为“ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ”。

导体的电阻率 ρ 决定导体的材料的特性,电阻率高的材料,导电性能差,电阻率低的材料,导电性能好。电阻率 ρ 是指长度为1米,截面积为1毫米²的均匀导体,在温度20℃时所具有的电阻值。常用材料的电阻率见表1-1。

表 1-1 常用导体材料的电阻率和平均温度系数表

材 料	电阻率 (欧·毫米 ² /米)	平均温度系数 (0°~100°C)	材 料	电阻率 (欧·毫米 ² /米)	平均温度系数 (0°~100°C)
银	0.016	0.004	黄铜	0.07~0.08	0.002
铜	0.0175	0.004	青铜	0.021~0.4	0.004
铝	0.029	0.004	锰铜	0.42	0.000006
钨	0.056	0.0046	康铜	0.4~0.51	0.000005
铂	0.13~0.25	0.006	镍铬	1.1	0.00015
铁	0.13~0.30	0.006	铁铬铝	1.4	0.00005

注:表中是指20℃时的数值

电阻的单位是欧姆，在实用中还常以千欧(kΩ)、兆欧(MΩ)表示，其换算单位是：

$$1\text{兆欧}(\text{M}\Omega) = 1000\text{千欧}(\text{k}\Omega)$$

$$1\text{千欧}(\text{k}\Omega) = 1000\text{欧}(\Omega)$$

3. 电阻的温度系数。随着导体温度的升高，有的导体电阻也随着增加，如金属类物体；而有的导体电阻却随着温度增加而减小，如电解液、石墨和碳之类物体。但是，温度的变化却对某些合金几乎没有影响，故可以看作某些合金的电阻系数实际上不随温度而变化。公式：

$$\frac{r_2 - r_1}{r_1} = \alpha(t_2 - t_1)$$

$$r_2 = r_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-4)$$

式中 r_2 ——与温度 t_2 相对应的电阻；

r_1 ——与温度 t_1 相对应的电阻；

α ——电阻的温度系数，它等于当温度升高1℃时，导体电阻的相对增量。

化学纯金属的电阻温度系数近于 $0.004 \frac{1}{^\circ\text{C}}$ ，如铜、铝的电阻；康铜、锰铜的电阻温度系数非常小；碳、电解液有着负的电阻温度系数。

例 1-1 截面 $S=120\text{mm}^2$ ，长 $l=50\text{km}$ 的铝质输电线，试求在温度 $0^\circ\sim 20^\circ\text{C}$ 时的电阻？

解：

$$r_{20} = \rho \frac{l}{S} = 0.029 \times \frac{50000}{120} = 12.1(\text{欧})$$

$$r_0 = r_{20} + r_{20} \cdot \alpha(t_0 - t_{20}) = 12.1 + 12.1 \times 0.004(-20) = 11.1[\text{欧}]$$

4. 电导。在工程技术中，常用电阻的倒数，称电导来表示，即公式：

$$g = \frac{1}{R}$$

电导的单位名称为[西门子]，单位符号为“s”，它的含意与电阻相反，电导大，表示导体的导电性能好，反之电导小，表示导体的导电性能差。

四、欧姆定律

欧姆定律是电路的基本定律，在工程技术中应用极为广泛。它是反映电路中电压、电流和电阻之间关系的定律。

在实际电路中，有直流发电机或蓄电池等作电源供给负载的电路，它由内电路（即电源内部的电路）和外电路（包括导线和负载）所组成的电路，称为全电路。但是在闭合电路中，往往有某一段电路中不含有电势，而仅有电阻，这种电路，称为一段电路。

1. 一段电路的欧姆定律

定义：当导体温度不变时，通过导体的电流与其两端的电压成正比，而与其电阻成反比，这就叫做一段电路的欧姆定律。公式：

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-5)$$

式中 I ——流过导体的电流[安]，单位符号为“A”；

U ——加在导体两端的电压[伏],单位符号为“V”;

R ——导体的电阻[欧],单位符号为“ Ω ”。

由公式可知:电压等于电流与电阻的乘积,即:

$$U = IR$$

2. 全电路的欧姆定律

在只有一个电源的无分支电路中,电流的大小与电源的电动势成正比,而与内外电路电阻之和成反比,这就叫做全电路的欧姆定律。

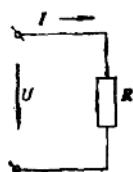
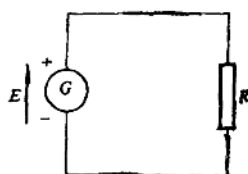
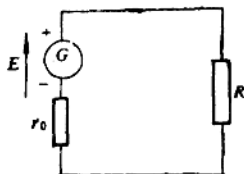


图 1-3 一段电路



(a) 实际电路



(b) 等效电路

图 1-6 简单全电路

公式:

$$I = \frac{E}{R + r_0} \quad (1-6)$$

则:

$$E = I(R + r_0) = IR + Ir_0 = U + U_0$$

$$U = E - U_0$$

式中 E ——电源电动势(伏);

I ——电路中的电流(安);

r_0 ——电源的内电阻(欧);

R ——外电路的电阻(欧);

U_0 ——电源内电阻上的电压降(伏);

U ——电源两端的电压(伏)。

由公式(1-6)可知:

(1) 当电源两端开路(即 $R = \infty$)时,电路中电流为零(即 $I = 0$),则电源端电压等于电源电动势(即 $U = E$)。

(2) 当 R 逐渐减小时,电路中的电流随之增加,则电源内阻上的压降(即 $U_0 = Ir_0$)也逐渐增加,而其端电压(即 $U = IR$)却逐渐下降。

(3) 当 $R = 0$ 时,电路称为短路,电源端电压 $U = 0$,而电流达到最大值(即 $I = \frac{E}{r_0}$)称为短路电流。短路电流要比正常电流大好多倍,而这是不容许存在的电路。

例 1-2 已知电源 $E = 220$ 伏,其内阻 $r_0 = 0.90$ 欧,线路输送距离为625米,用铜塑线25平方毫米,负载电阻为82欧,求:(1)电路中电流;(2)负载两端的端电压;(3)线路上的压降;(4)电源出口短路时的短路电流。

解:(1)求线路电阻: $R_{\text{线}} = \rho \cdot \frac{L}{S} = 0.0175 \times \frac{625 \times 2}{25} = 0.875$ 欧

求总电阻: $R_{\text{总}} = r_0 + R_{\text{线}} + R_{\text{负}} = 0.90 + 0.875 + 82 = 83.78 \text{欧}$

则电流: $I = \frac{E}{R_{\text{总}}} = \frac{220}{83.78} = 2.63 \text{安}$

(2) 求负载两端电压: $U = IR_{\text{负}} = 2.63 \times 82 = 215.9 \text{伏}$

(3) 求线路上的压降: $U_{\text{线}} = IR_{\text{线}} = 2.63 \times 0.875 = 2.3 \text{伏}$

(4) 电源短路时的短路电流: $I_{\text{短}} = \frac{E}{r_0} = \frac{220}{0.90} = 241.8 \text{安}$

五、基尔霍夫定律

前面已经论述了用欧姆定律求解简单电路的公式和方法,但在实际工程中,往往比简单电路要复杂得多,对这些电路就需要用基尔霍夫第一定律和第二定律来求解。

1. 基尔霍夫第一定律

定义: 流入分支点的电流之和等于流出分支点的电流之和,即在分支点电流的代数和等于零。在图1-7里,假定流入分支点的电流方向作为“+”,而流出分支点的电流方向作为“-”。则对于分支点A处 $I_1 + I_3 + I_5 = I_2 + I_4$ 。

也即: $I_1 + I_3 + I_5 - I_2 - I_4 = 0$

或写成一般式: $\Sigma I = 0$ (1-7)

基尔霍夫第一定律用处十分广泛,例如在变电所的汇流母线上,往往就需要根据基尔霍夫第一定律来搞电量平衡,以校正计量表的正确性。

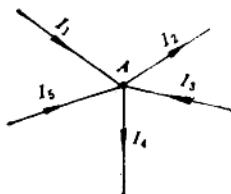


图 1-7 结点电路

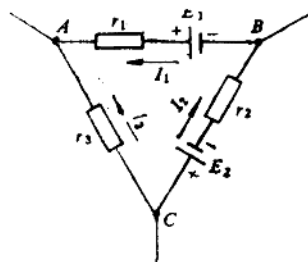


图 1-8 分支电路

2. 基尔霍夫第二定律

定义: 在闭合电路中,电势的代数和等于在各段电阻内电压降的代数和。

在图1-8中有:

$$-E_1 + E_2 = -I_1(r_1 + r_{01}) - I_2(r_2 + r_{02}) + I_3 r_3$$

即: $\Sigma E = \Sigma IR$ (1-8)

在这里,当各电势的方向和任意选取的绕行方向相一致的时候,这电势就定为正的;当电流的方向和绕行的方向一致时,在电阻上的电压降就定为正的,反之,就是负的。

在特殊情况下,当回路内不包含有电源时,则: $\Sigma(Ir) = 0$

例 1-3 如图1-9所示,已知 $E_1 = 24 \text{伏}$, $E_2 = 12 \text{伏}$, $R_1 = 200 \text{欧}$, $R_2 = 400 \text{欧}$,若忽略电池内阻,求这回路中的电流,电阻 R_1 、 R_2 上的电压降各多少?

解：选定绕行方向为顺时针，则

$$E_1 - E_2 = IR_1 + IR_2$$

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} = \frac{24 - 12}{200 + 400} = 20 \text{ 毫安}$$

$$U_1 = IR_1 = 20 \times 10^{-3} \times 200 = 4 \text{ 伏}$$

$$U_2 = IR_2 = 20 \times 10^{-3} \times 400 = 8 \text{ 伏}$$

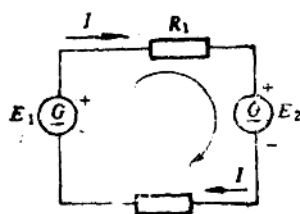


图 1-9

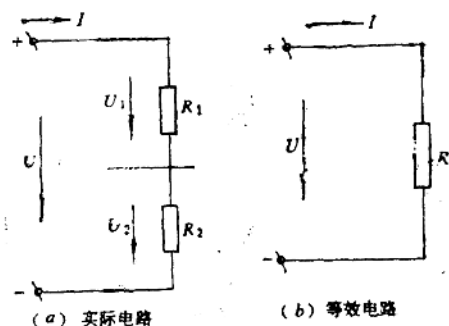


图 1-10 串联电路

六、电路的串联、并联和混联

1. 串联电路

定义：若干个电阻的头尾依次连接，这样的连接叫串联。如图1-10所示。

在串联电路中，有如下三个特点：

- (1) 流过各电阻的电流均相同。
- (2) 总电压等于各电阻上的分电压之和。

即：

$$U = U_1 + U_2 = IR_1 + IR_2$$

从公式中可推导出，各电阻上的电压降和它的电阻值成正比。

- (3) 总电阻等于各分电阻之和。即 $R = R_1 + R_2$ 。

串联电路的这三个特点非常重要，工程中常用它来达到限流，分压和降压的目的。

2. 并联电路

定义：若干个电阻并排地接至同一电压的两个节点之间，这样的连接叫并联。如图1-11所示：在并联电路中，有如下三个特点：

- (1) 各电阻两端上的电压均相等。
- (2) 总电流等于各并联支路电流之

和。即： $I = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = U g_1; \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = U g_2;$$

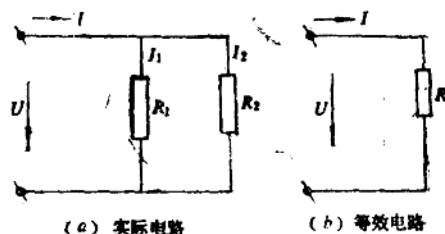


图 1-11 并联电路

$$\therefore I_1 : I_2 = g_1 : g_2 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2}$$

由公式可看出，支路电阻越小，则分流电流就越大，并且各支路间的电流分配和各支路的电导成正比或者和各支路的电阻成反比。由此可知，并联电阻具有分流原理。

(3) 总电阻的倒数等于各分电阻的倒数之和。

$$\text{即: } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \therefore R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

由公式可见，总电阻之值必定小于其最小的电阻值。

在实际工程中，负载多数是并联接在电源上的。例如：电灯和电动机通常都是互相并联的。这样，各负载都是独立的，不会因其中任何一个负载工作状况而影响其他负载的工作状况。

3. 混联电路

在实际工程中，电路往往是由串联和并联混合接在一起的，这种电路，称为混联电路。从图1-12a所表示的电路，来求混联电路的总电阻，它的计算步骤应该是 R_2 和 R_3 并联，然后再与 R_1 串联，即公式：

$$R_{\Sigma} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

$$\text{其总电流为: } I = \frac{U_{AD}}{R_{\Sigma}}$$

串联、并联以及由串并联组成的混合电路，我们统称为直流的简单电路。

在复杂的分支电路中，电阻和电源是任意安放着的。计算这样复杂的电路，单靠欧姆定律是不够的，这就要运用基尔霍夫第一定律和第二定律去求解。

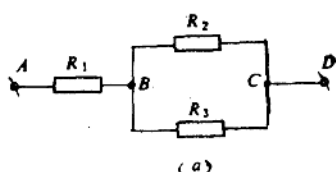


图 1-12a 混合电路

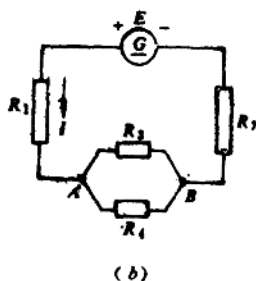


图 1-12b 混合电路计算图

例 1-4 如图1-12b所示的电路内的电流和电压为： $E = 24V$ ， $r_0 = 0.5\Omega$ ， $R_1 = 3\Omega$ ， $R_2 = 5\Omega$ ， $R_3 = 20\Omega$ ， $R_4 = 30\Omega$ 试求总电阻和总电流？

解：(1) 求总电阻：

$$R_{AB} = \frac{1}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = \frac{20 \times 30}{20 + 30} = \frac{600}{50} = 12\Omega$$

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + R_{AB} + r_0 = 3 + 5 + 12 + 0.5 = 20.5\Omega$$

(2) 求总电流:

$$I = \frac{E}{R_{\text{总}}} = \frac{24}{20.5} = 1.17 \text{ A}$$

4. 具有可变电阻的无分支电路

在具有两个电阻串联, 其中一个电阻是可变电阻的无分支电路中, 当电路两端的电压不变时, 而可变电阻从无限大变到零时, 其发生的现象可由以下公式表示。

在这电路内的电流为:

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

当 $R_2 = \infty$ 时具有电流最小值: $I_0 = \frac{U}{\infty} = 0$

当 $R_2 = 0$ 时具有电流最大值: $I_K = \frac{U}{R_1}$

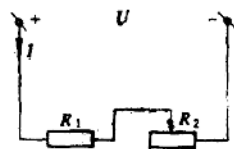


图 1-13 具有可变电阻的无分支电路

从以上公式可知, 当 $R_2 = \infty$ 时的电路, 称做无载状态; 而当 $R_2 = 0$ 时的电路, 称做短路状态。

5. 电流、电压和电阻的测定

(1) 安培计: 用来测量电流的仪器, 叫安培计或叫电流表。

根据被测量大小, 还有毫安计、微安计。它们的换算关系为:

$$1 \text{ 安培} = 1000 \text{ 毫安}$$

$$1 \text{ 毫安} = 1000 \text{ 微安}$$

安培计和负载串联接入电路内。为了减少安培计内的电压降和功率损失, 安培计的电阻应做得很小 (几分之一欧姆), 因此当测量大电流时 ($I > 0.5$ 安), 仪器就需要分路, 在刻度上同样反映出被分流的数值就可以。

(2) 伏特计: 用来测量电压的仪器叫做伏特计, 或叫电压表。

根据被测量大小, 还有用千伏、毫伏等单位, 它们的换算关系为:

$$1 \text{ 千伏} = 1000 \text{ 伏}$$

$$1 \text{ 伏} = 1000 \text{ 毫伏}$$

测量电路两点间的电压时, 伏特计的两端直接和这二点并联接入。由于伏特计内不允许流过大量的电流 ($I < 0.1$ 安), 所以必须与仪器串联一附加电阻, 在刻度上同样能反映出被测量的实际数值。

(3) 电阻的测定: 电阻的测定有好几种方法, 最常用的是电流电压法, 它是利用欧姆定律经过换算, 求得电阻值的, 这就是在电路中同时接入安培计和伏特计, 读得读数以后, 再进行换算的。

另外, 电阻的测量常常用电桥来进行, 例如变压器绕组的电阻就是用电桥测定的。

6. 电功率与电能

在电力系统中, 发电厂和供电企业的基本任务就是发出和输送电功率, 向用户销售电能, 这就牵涉到电功率和随着时间而积累的电能的计量和计算问题。

(1) 电功率。发电机是发出电能的, 负载是消耗电能的。如图 1-14 所示, 设负载两

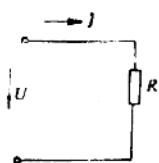


图 1-14 负载电路

端的电压为 U ，电路中输送的电流为 I ，则负载 R 所消耗的功率 P 为：

$$P = UI \text{ [瓦特]} \quad (1-9)$$

式中 P ——电功率（瓦特），单位符号为“W”；

U ——端电压（伏）；

I ——电流（安）。

电功率的单位为伏安（即：瓦特），用字母“W”表示。在实际工程中，还常用千瓦（kW），兆瓦（MW）作单位。它们之间的换算关系为：

$$1 \text{ 兆瓦 (MW)} = 1000 \text{ 千瓦 (kW)}$$

$$1 \text{ 千瓦 (kW)} = 1000 \text{ 瓦 (W)}$$

根据欧姆定律，电功率的公式还可改写为：

$$P = UI = IRI = I^2 R$$

$$P = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$$

例 1-5 有一只 220 伏的灯泡，当并接到 220 伏电源时，其灯泡通过的电流是 0.455 安，灯泡的电阻为 484 欧，问灯泡的电功率为多少？

$$\text{解：} P = I^2 R = 0.455^2 \times 484 = 100 \text{ (瓦)}$$

（2）电能量。负载的电功率只能表示它们的工作能力的大小，而不能表示它们随时而消耗的功率，所以电能量就是电功率在某段时间内所作的功。

则：公式：

$$W = P \cdot t = UI \cdot t = I^2 R t = \frac{U^2}{R} \cdot t \quad (1-10)$$

式中 W ——电能（焦耳），单位符号为“J”；

t ——时间（秒），单位符号为“s”。

如果负载的功率为 1 [瓦特]，时间为 1 [秒]，则负载上所消耗的电能量为 1 [焦耳]。

即：

$$1 \text{ [焦耳]} = 1 \text{ [瓦特]} \times 1 \text{ [秒]}$$

在实际工程中，电能的法定单位用千瓦小时来表示，单位符号为 kW·h，则：

$$1 \text{ 千瓦小时} = 1 \text{ 千瓦} \times 1 \text{ 小时}$$

例 1-6 一台直流电动机，其运行时消耗的功率为 5.6 千瓦，问一年（按 8000 小时计算）要用多少电能？

$$\text{解：} W = Pt = 5.6 \times 8000 = 44800 \text{ [千瓦时]}$$

（3）电的热效应（焦耳-楞次定律）。电流通过导体时，导体就会发热，这就是电能转变成热能的现象，这种现象就叫做电流的热效应。

功率表示电能转变成热能的速率： $P = UI$

根据欧姆定律： $U = IR$

将 U 代入上式中，得到热功率： $P = I^2 R$