

施工企业中高级技术工人培训丛书

电 工

张正华 王东荣编

上海科学技术文献出版社

内 容 提 要

本书是根据《建筑电工技术等级标准》编写的。其内容主要包括:电的基础理论知识,基本电气部件的电气原理,现场供电,电气故障处理,节约用电及安全用电。本书可作中、高级电工培训教材。

施工企业中高级技术工人培训丛书

电 工

张正华 王东荣 编

*

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市武康路2号)

新华书店经销

宜兴南漕印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 9.75 字数 235,000

1989年6月第1版 1989年6月第1次印刷

印数: 1—19,000

ISBN 7-80513-305-0/Z·81

定 价: 3.55 元

《科技新书目》183-268

前 言

为了提高工人的技术素质，适应当前施工企业工人岗位培训之急需，上海经济技术咨询服务中心培训部和上海宝钢冶金建设公司教培中心组织有经验的工程技术人员编写了这套施工企业中、高级技术工人培训丛书，即《木工》、《瓦工》、《架工》、《混凝土工》、《抹灰工》、《钢筋工》、《汽车驾驶员》、《汽车修理工》、《机械安装工》、《筑炉工》、《电工》、《焊工》、《铆工》、《管工》等14本。

本丛书内容以各类中、高级技术工人应知知识为主，适当增加了一些在目前各工种已推广应用的新工艺、新技术。在编写中，力求做到内容少而精，实用，语言通俗易懂。本丛书可作为建设系统中、高级技术工人的岗位培训教材，亦可供有关中等专业技术学校师生参考。

本丛书的编委是：李彦博、王道正、冯桂煊、易传刚、沈有福。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中错误之处难免，欢迎读者批评指正。

上海经济技术咨询服务中心培训部

上海宝钢冶金建设公司教培中心

一九八八年十月

目 录

第一章 直流电路

第一节	电流、电位、电压和电动势.....	(1)
第二节	电阻.....	(4)
第三节	欧姆定律.....	(5)
第四节	电路的工作状态.....	(6)
第五节	电阻的联接.....	(7)
第六节	电功与电功率.....	(15)
第七节	电位的计算.....	(20)
第八节	基尔霍夫定律.....	(22)
第九节	复杂电路的一般解法.....	(25)
第十节	电容器.....	(28)
复习思考题		(34)

第二章 电磁基本知识

第一节	电流和磁场.....	(39)
第二节	铁磁材料的磁性能.....	(43)
第三节	磁路欧姆定律.....	(47)
第四节	电磁感应.....	(49)
第五节	自感、互感与涡流.....	(53)
第六节	磁场能量.....	(58)
复习思考题		(60)

第三章 交流电路.....(64)

第一节	交流电动势的产生.....	(64)
-----	---------------	------

第二节	正弦交流电的三种表示法	(70)
第三节	纯电阻电路	(74)
第四节	纯电感电路	(76)
第五节	纯电容电路	(81)
第六节	电阻与电感的串联电路	(84)
第七节	电阻与电容的串联电路	(87)
第八节	电阻、电感和电容的串联电路	(89)
第九节	电感与电容的并联电路	(92)
第十节	三相对称电动势的产生	(93)
第十一节	三相四线制电路	(95)
第十二节	三相电路负载的联接	(98)
复习思考题		(105)

第四章 变压器

第一节	变压器的用途和构造	(109)
第二节	变压器的工作原理	(111)
第三节	三相变压器	(116)
第四节	特殊变压器	(119)
复习思考题		(124)

第五章 交流异步电动机

第一节	异步电动机的构造	(125)
第二节	旋转磁场	(127)
第三节	异步电动机的工作原理	(131)
第四节	三相异步电动机的机械特性	(134)
第五节	三相异步电动机的起动	(136)
第六节	三相异步电动机的调速与制动	(142)
第七节	三相异步电动机的铭牌	(144)
复习思考题		(146)

第六章 低压电器

- 第一节 低压电器的种类及基本要求、基本结构.....(148)
- 第二节 手动低压电器(150)
- 第三节 自动低压电器(156)
- 第四节 继电保护和继电器(164)
- 复习思考题(179)

第七章 常用仪表

- 第一节 概述(180)
- 第二节 检测仪表(184)
- 第三节 控制仪表(196)
- 复习思考题(207)

第八章 电气控制原理

- 第一节 概述(208)
- 第二节 手动控制(213)
- 第三节 自动控制(220)
- 第四节 常用电气原理图(223)
- 复习思考题(232)

第九章 电机、电器故障及排除

- 第一节 电机的故障与排除(233)
- 第二节 电器的故障及排除(239)
- 复习思考题(247)

第十章 电气识图及现场供电

- 第一节 电气施工识图(248)
- 第二节 现场的供电和要求(260)
- 第三节 施工用电量的估算(261)
- 第四节 施工现场配电变压器的选择(262)
- 第五节 施工现场配电线路布置基本要求(265)

第六节 配电导线的选择 (267)

第七节 施工现场电力供应平面图 (278)

复习思考题 (285)

第十一章 节约用电与安全用电

第一节 节约用电 (286)

第二节 人体和触电 (287)

第三节 触电急救 (293)

第四节 防雷知识 (296)

第五节 安全用电对电气人员的基本要求 (302)

复习思考题 (305)

第一章 直流电路

第一节 电流、电位、电压和电动势

一、电流的形成

在电场力的推动下，带电粒子沿着一定方向作迁移运动就形成电流。

通常规定，正电荷移动的方向为电流的方向，与电子流的方向正好相反。

二、电流强度

电流的大小用电流强度表示。电流强度也称电流，它被定义为每秒钟流过导体横截面的电荷量。

当 Q 库仑的电荷，在 t 秒钟内以均匀速率通过导体某截面时，则通过该截面的电流 I 为

$$I = \frac{Q}{t}$$

这时电流的单位是安培，简称安(A)。对于较小的电流，常采用毫安(mA)、微安(μ A)等作为电流的单位。

$$1 \text{ 毫安} = 10^{-3} \text{ 安}, \quad 1 \text{ 微安} = 10^{-6} \text{ 安}$$

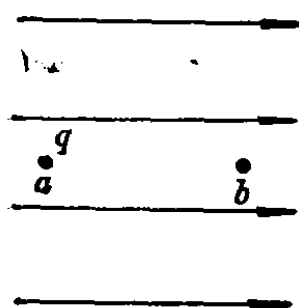
电流的方向和大小不随时间变化的电流，称为稳恒直流电流，习惯上称为直流电流。

三、电位与电压

1. 电场力做功

设有一单位正电荷 q ，在图 1-1 的均匀电场里，受电场力的

作用,从 a 点移至 b 点。这时电场力做了正功,使正电荷 q 的电位能降低。



相反若希望正电荷 q 从 b 点再回到 a 点,就必需有一种外力(非静电力),来克服电场力才能把它推回到 a 点。这样外力作了正功,或者说电场力作了负功。使正电荷 q 的电位能又升高到原来的数值。

图 1-1 电场中的电位能

因此,电荷在电场中具有能量,这种能量叫做电位能,简称位能。如果电场力对电荷做正功,电荷的位能就降低;如果电场力对电荷做负功,电荷的位能就升高。

如果顺着电力线的方向移动正电荷,电场力就做正功;如果顺着电力线移动负电荷或逆着电力线移动正电荷,电场力就做负功。

比较位能的大小时,同地心引力场中某物体的位能一样,必需假设电荷在某参考位置上的位能为零,然后根据由参考点移动电荷到现在的位置时,电场力作功的正、负和大小来确定该电荷在现在位置上的电位能。

2. 电位

在电场中,任何被讨论点上的电位值,等于电场力把单位正电荷从参考零电位点,移到被讨论点所做的功。

在电路中, A 点的电位用 U_A 表示,单位是伏特(V)。计算 U_A 的数值时,与选择参考零电位点有关。例如在图 1-2 中,设 D 点为参考零电位点(以后简称参考点或零点),则

$$U_D = 0, \quad U_A = 3 \text{ 伏}$$

若选择 B 点为参考点,则

$$U_B = 0, \quad U_A = 1 \text{ 伏}$$

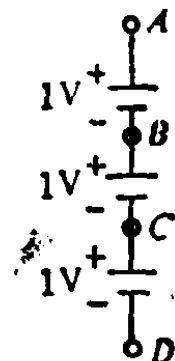


图 1-2 电位和参考点的关系

通常选择大地或机壳为参考点。

3. 电压

电路两点间的电位差值，称为这两点间的电压。电压的方向规定为电位降低的方向，即从高电位点指向低电位点。例如在图 1-2 中，求电压 U_{AC} 的值。选 D 点为参考点，则

$$U_{AC} = U_A - U_C = U_{AD} - U_{CD} = 3 - 1 = 2 \text{ 伏}$$

若选 B 点为参考点重算一次，则

$$U_{AC} = U_A - U_C = U_{AB} - U_{CB} = 1 - (-1) = 2 \text{ 伏}$$

(1) 计算结果都是 $U_{AC} = 2$ 伏，表示从 A 点到 C 点电位降低(即电压)等于 2 伏。

(2) 两次计算结果相同，这表示两点间电压的大小，只跟两点的位置有关，与参考点的选择无关。电压的单位也是伏特，有时也用千伏(kV)、毫伏(mV)表示。

$$1 \text{ 千伏} = 10^3 \text{ 伏}, 1 \text{ 毫伏} = 10^{-3} \text{ 伏}$$

(3) 在第二次计算式中，引进了 $U_{CB} = -1$ 伏，因为 U (电压)被定义为电位降低，所以 U_{CB} 表示从 C 点到 B 点的电位降低了 -1 伏，实际是升高 1 伏。

四、电动势

如图 1-3 所示。因为电源两极 A 、 B 上积累了异性电荷，从而在电源内外都建立起电场，当电源与负载电阻 R 联成回路后，外部电场立即将正电荷 q 从 A 极拉出，经负载 R 流向 B 极(在金属导线中，实际是负电荷从 B 极拉出，经负载流向 A 极)，然后同 B 极上的 $-q$ 中和掉。若这样类似的情况重复继续下去，则电源两极上的电荷最终趋于全部中和掉，电位差变为零，停止供电。

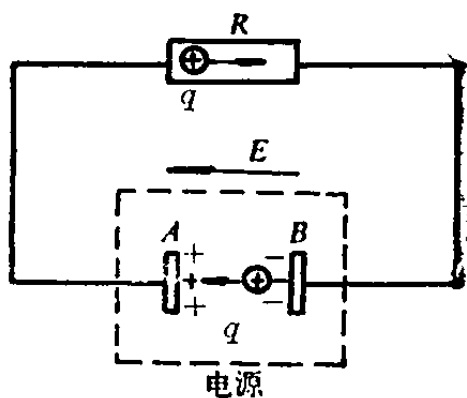


图1-3 电动势的作用

事实上,由于电源内部有一种非静电力或称电源力的存在,它能及时从 B 极将多余的 $+q$ 拉回,经电源内部克服内部电场力的阻碍再回到 A 极,使 A 极失去的正电荷得到补偿。这样,整个回路就构成了电流的连续。同时也就保持了电源两端的电位差(电压)不变。

我们把电源力克服电源内部电场力,将单位正电荷从负极拉回到正极所做的功,称为电源的电动势,用 E 表示。

设电源力搬移任意电荷量 q 所做的功为 W ,则

$$E = \frac{W}{q}$$

W 的单位是焦耳, q 的单位是库仑,电动势 E 的单位仍然是伏特。

应当指出,电动势与电压是两种意义不同的物理量。电动势是表示电源力作功本领的物理量,它使非电能转换成电能。而电压是外电路电场力作功的本领,通常它使电能转换成非电能。

电动势仅产生于电源内部。它的方向规定沿电源内部,从低电位点(负极)指向高电位点(正极),即电位升高的方向,这与表示电压的方向正好相反。

在电源内部,除有电动势外,还有一定数值的内电阻 r_0 ,通常 r_0 比负载电阻 R 小得多,有时可将 r_0 忽略不计。没有内电阻的电源是理想电源。

第二节 电 阻

一、电阻

电流在导体中流动时,移动着的电荷不时地同原子或分子

• • •

碰撞因此而受到阻碍。导体中由于这种粒子间碰撞引起电流受到阻碍的作用,就叫做电阻。

实验证明,导体电阻的大小与所选用的导体材料、形状以及温度有关。其数学表达式为

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

因此导体的电阻 R (欧) 与导体长度 l 成正比、与导体截面积 S 成反比。式中 ρ 为电阻率,单位是欧·毫米²/米,它与导体材料的性质有关。

根据需要,电阻的单位还可采用千欧(kΩ)、兆欧(MΩ)表示。

$$1 \text{ 千欧} = 10^3 \text{ 欧}, \quad 1 \text{ 兆欧} = 10^6 \text{ 欧}$$

二、电阻上的能量转换

当导体两端加上电压时,使导体内部建立起电场,这时电场力推动自由电子加速运动,使其位能不断减少而动能不断增加。当出现碰撞时,自由电子的动能传递给被碰撞的原子或分子,使之加剧热振动而内能增加。

这就是电流通过电阻把电能转换为热能的过程。设导体两端电压为 U , 通过导体横截面的电荷量为 q , 则电场力做功为 $W = qU$ 。又因为 $q = It$, 则

$$W = UIt$$

式中的功、电压、电流及时间的单位分别是:焦耳(J)、伏特(V)、安培(A)和秒(s)。

第三节 欧姆定律

一、一段电路的欧姆定律

实验证明,在不含电动势的一段电阻电路中,电阻上流过的

电流,其大小同加在它两端的电压成正比,与它的阻值成反比。
用公式表示为

$$I = \frac{U}{R}$$

这就是一段电路的欧姆定律。若改变形式又可写成

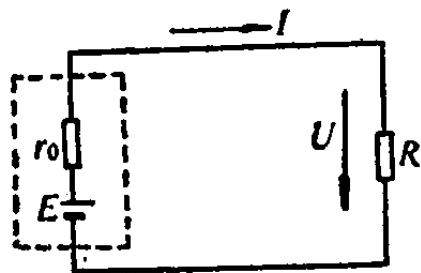
$$U = IR$$

或

$$R = \frac{U}{I}$$

二、全电路的欧姆定律

将电源和负载联接起来,构成全电路如图 1-4 所示。这电路里只有一个电源,是一个无分支的闭合电路。



实验证明, 电路的电流 I 与电动势 E 成正比, 而与内、外电阻之和 $(r_0 + R)$ 成反比。用公式表示为

$$I = \frac{E}{r_0 + R}$$

图 1-4 最简单的全电路 或 $E = Ir_0 + IR$

这就是全电路欧姆定律的表达式。

在外电路中, 因为 $U = IR$, 则上式又可写成

$$E = Ir_0 + U$$

或

$$U = E - Ir_0$$

式中 U 是负载两端的端电压。若不计导线电阻值, 它也是电源两端的端电压。而 Ir_0 则称为电源内阻电压降。

第四节 电路的工作状态

一、电路的工作状态

根据全电路欧姆定律的公式

$$U = E - Ir_0$$

或
$$I = \frac{E}{r_0 + R} \text{ 知}$$

1. 电路在通路状态时, 电源端电压 U 总是小于电源电动势 E 。

2. 电路在开路状态时 ($R = \infty$), $I = 0$, 电源端电压 U 等于电源电动势 E 。

3. 电路在短路状态时 ($R = 0$), $I = E/r_0$, 由于 r_0 值一般都很小, 所以这时将产生很大的短路电流, 往往造成短路事故。为此常常将熔断器(保险丝)串入电路, 当电路电流超过允许值时, 它就迅速熔断, 使短路变为断路, 保护了线路的安全。

第五节 电阻的联接

一、串联

把各电阻一个接一个地依次联接起来, 如图 1-5 所示, 称为电阻的串联。

1. 特点

(1) 电路各处电流强度相等, 即

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

(2) 总电压等于各电阻上的分电压之和, 即

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

2. 等效电阻

把串联的总电阻称为等效电阻 R ,

由
$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$= IR_1 + IR_2 + \dots + IR_n = I(R_1 + R_2 + \dots + R_n)$$

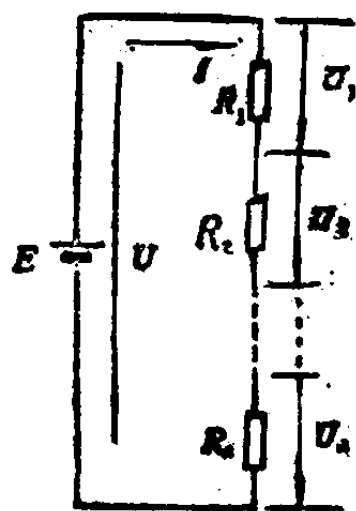


图 1-5 电阻的串联

$$= IR$$

故等效电阻 R 为

$$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

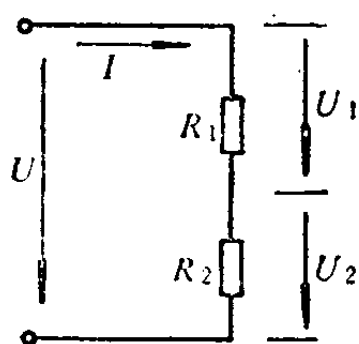


图 1-6 串联电阻的分压作用

3. 分压公式

以两电阻串联为例, 如图 1-6 所示, 则

$$U = I(R_1 + R_2)$$

$$\text{故 } I = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

$$\text{又 } U_1 = IR_1$$

$$U_2 = IR_2$$

则分压公式为

$$U_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

这样串联电阻 R_1 、 R_2 就各自分配到总电压的一部分, 称之为分压作用。

串联电阻用作分压的同时, 也达到了限流和降压的目的。

例 1 有一盏弧光灯, 其额定电压 $U_1 = 40$ 伏, 正常工作电流 $I = 5$ 安, 使用电源 $U = 100$ 伏时, 应将多大电阻串入电路, 才能使弧光灯正常工作?

解 直接将弧光灯接入 100 伏电源是不允许的, 因为电源电压远大于灯的额定电压值, 会使灯损坏, 故可用电阻与灯串联, 让电阻分去一部分电源的电压 U_2 , 即

$$U_2 = U - U_1 = 100 - 40 = 60 \text{ 伏}$$

因串联电路各处电流相等, 故流过分压电阻 R 上的电流也应为 5 安, 如图 1-7 所示, 则

$$R = \frac{U_2}{I} = \frac{60}{5} = 12 \text{ 欧}$$

例2 500型万用表测量直流电压的部分, 如电路图1-8所示。它有五个量程, 分别为 $U_1 = 2.5$ 伏, $U_2 = 10$ 伏, $U_3 = 50$ 伏, $U_4 = 250$ 伏, $U_5 = 500$ 伏。

已知表头内阻 $R_a = 3$ 千欧, 最大允许电流 $I_a = 50$ 微安。试求各串联电阻的阻值。

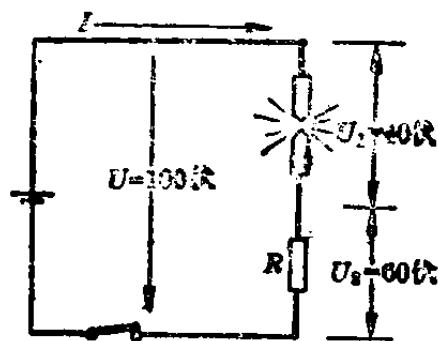


图 1-7 串入分压电阻

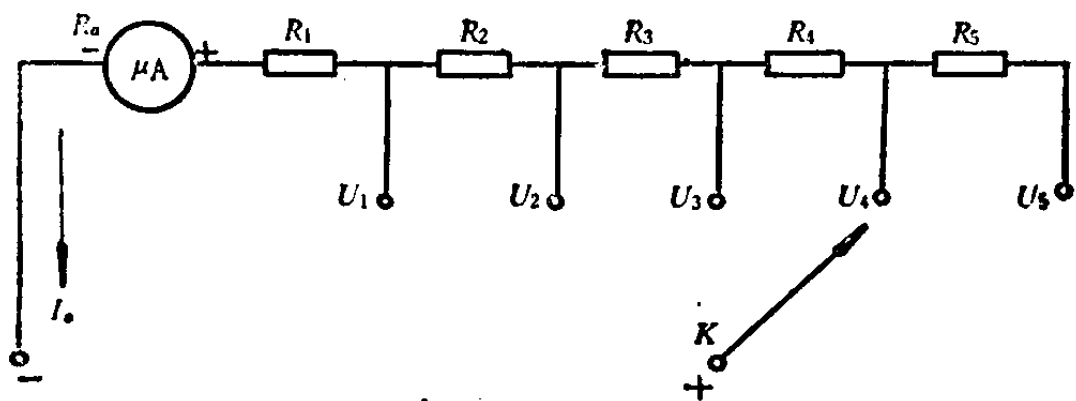


图 1-8 串联电阻扩大电压表的量程

解 因为表头是一只微安表, 根据欧姆定律知, 该微安表能测试的最大电压为

$$U_a = I_a R_a = 50 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^3 = 0.15 \text{ 伏}$$

显然, 若测量大于 0.15 伏的电压, 就要损坏表头。为了扩大量程, 可采用串联电阻进行分压, 保证表头 R_a 上分压等于或小于 0.15 伏即可。

因 $U_{R1} = U_1 - U_a$, $U_a = I_a R_a$, $U_{R1} = I_a R_1$

则 $I_a R_1 = U_1 - I_a R_a$

$$R_1 = \frac{U_1 - I_a R_a}{I_a} = \frac{2.5 - 50 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^3}{50 \times 10^{-6}} = 47 \text{ 千欧}$$

又 $U_{R2} = U_2 - U_1$, $U_{R2} = I_a R_2$

则 $I_a R_2 = U_2 - U_1$

$$R_2 = \frac{U_2 - U_1}{I_a} = \frac{10 - 2.5}{50 \times 10^{-6}} = 150 \text{ 千欧}$$

同理可得

$$R_3 = \frac{U_3 - U_2}{I_a} = 800 \text{ 千欧}$$

$$R_4 = \frac{U_4 - U_3}{I_a} = 4 \text{ 兆欧}$$

$$R_5 = \frac{U_5 - U_4}{I_a} = 5 \text{ 兆欧}$$

二、并联

把几个电阻并列地联接在一起,叫做电阻的并联,如图 1-9 所示。

1. 特点

(1) 电路中各支路两端的电压相等,即

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

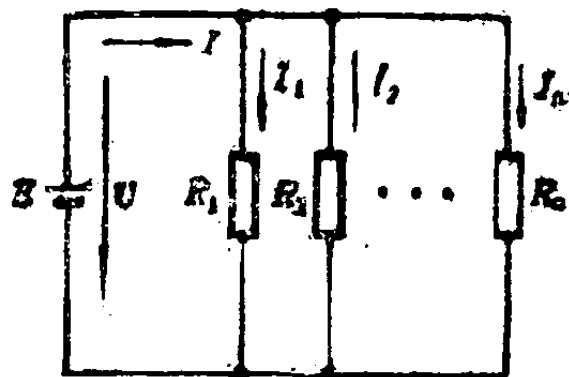


图 1-9 电阻的并联

(2) 总电流 I 为各支路电流之和,即

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

2. 等效电阻

设并联电路的总电阻或等效电阻为 R , 则

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