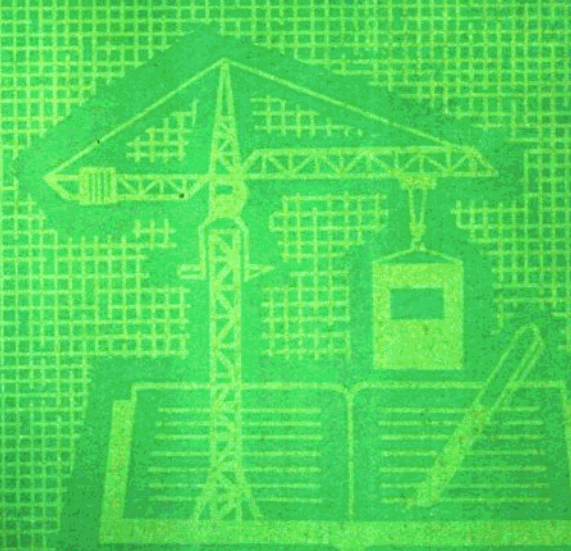


建筑安装技工学校教材

建筑电工

土建教材编写组编



上海科学技术出版社

建筑安装技工学校教材

建筑电工

土建教材编写组 编

上海科学技术出版社

建筑安装技工学校教材

建 筑 电 工

土建教材编写组 编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 12 字数 280,000

1983 年 8 月第 1 版 1983 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1—00,600

统一书号: 15119·2293 定价: (科三) 0.99 元

前 言

《建筑电工》是建筑安装技工学校土建工种技术基础课教材中的一种，是根据技工学校教学计划和教学大纲，由原国家建工总局劳动工资局委托上海市建工局组织编写的。

《建筑电工》以土木建筑工人所应掌握的电工学基本知识和基础理论为主要内容。在编写中考虑了实际施工需要并贯彻《土木建筑工人技术等级标准》的四级工“应知”要求，文字力求通俗易懂，便于教学和自学。它既是技工学校的统编教材，也是青壮年职工技术补课和中级工人技术培训的主要参考用书。

本书由江西省建筑工程技工学校徐步同志编写，国家建工总局第三工程局技工学校郭秀河同志主审，参加审稿工作的还有浙江省第一安装技工学校和黑龙江省第四工程公司科研所。

在编写和审稿过程中，得到了许多省市建工局的大力支持和帮助，谨在此表示诚挚的感谢。

土建教材编写组

一九八二年十二月

目 录

第一章 直流电路	1
第一节 电流、电位、电压和电动势	1
第二节 电路及其工作状态	3
第三节 导体、绝缘体、半导体和电阻	4
第四节 电功和电功率	6
第五节 欧姆定律	7
第六节 电阻的串联电路	10
第七节 电阻的并联电路	13
第八节 电阻的混联电路	16
第九节 焦耳-楞次定律	21
第十节 电容	22
习题一	26
第二章 电磁基本知识	28
第一节 电流和磁场	28
第二节 磁场对载流导体的作用	30
第三节 电磁感应	33
第四节 感生电流的方向	36
第五节 自感、互感和涡流	37
习题二	39
第三章 交流电路	41
第一节 概述	41
第二节 交流电动势的产生	42
第三节 交流电的频率、相位和相位差	44
第四节 交流电的有效值	46
第五节 正弦交流电的表示法	47
第六节 交流电的效应	48
第七节 纯电阻电路	49
第八节 纯电感电路	51
第九节 纯电容电路	53
第十节 电阻、电感和电容串联的交流电路	55
第十一节 电感、电容的并联电路	58
第十二节 功率因数及其提高	59
第十三节 三相对称电动势的产生	61
第十四节 三相交流负载的星形连接	63
第十五节 三相交流负载的三角形连接	64
习题三	66
第四章 变压器	69

第一节 概述	69
第二节 变压器的工作原理和基本结构	69
第三节 三相变压器	73
第四节 变压器的铭牌	75
第五节 交流电弧焊机	77
习题四	78
第五章 交流异步电动机	79
第一节 异步电动机的构造与工作原理	79
第二节 异步电动机的起动	84
第三节 异步电动机的调速、反转与制动	89
第四节 三相异步电动机的铭牌	91
第五节 电动机的使用和维护	93
习题五	94
第六章 低压电器	95
第一节 低压电器的种类、基本要求和结构	95
第二节 非自动低压电器	96
第三节 自动低压电器	99
第四节 继电保护和继电器	104
习题六	110
第七章 电气控制原理	111
第一节 概述	111
第二节 手动控制	114
第三节 自动控制	118
第四节 常用电气原理图	119
习题七	124
第八章 施工现场用电	125
第一节 施工现场的供电和要求	125
第二节 施工用电量的估算	125
第三节 施工现场配电变压器的选择	126
第四节 施工现场配电线路布置的基本要求	128
第五节 配电导线的选择	129
第六节 施工现场电力供应平面图	135
习题八	139
第九章 照明线路	140
第一节 概述	140
第二节 电气施工识图	144
习题九	149
第十章 电子技术基础知识	150
第一节 半导体基础知识	150
第二节 半导体二极管	151

第三节	二极管整流.....	155
第四节	半导体三极管.....	159
第五节	可控硅基础知识.....	164
习题十		169
第十一章	安全用电	170
第一节	人体和触电.....	170
第二节	触电急救.....	173
第三节	安全用电措施.....	175
第四节	防雷知识.....	179
习题十一		182

第一章 直流电路

第一节 电流、电位、电压和电动势

一、电流

电荷有规则的定向运动,称作电流。

金属导体中的大量自由电子的运动是杂乱无章的,因此在任一瞬间从任一截面两边穿越的自由电子的数目相等,即所通过电子的代数和为零。这样,导体中不存在电荷的定向运动,也就不存在电流。

如果在金属导体的两端保持一个电位差,导体内的自由电子就朝一个方向运动,我们说,导体中有了电流。

电流可以发生在固体中,也可以发生在液体(电解液)、气体或者真空中,只要它们的两端(或两个位置之间)存在着一定的电位差,就会形成电流。

我们规定,正电荷的运动方向为电流的方向,与电子流的方向正好相反。

自由电子在导体中电场力作用下定向运动的速度,每秒不过几毫米左右,但是由于它们是在电场作用下,同时开始作定向运动,所以,电流传导的速度等于电场的传播速度,即等于光速。

在电流发生的同时,总会产生化学、热和磁的效应,我们就是利用电流的这些效应来为我们服务的,同时也尽量避免我们不需要的效应产生,以提高电流的利用率。

由于电流所产生的各种效应具有不同的程度,这样,就形成了电流强度的概念,电流强度也简称电流,它是用在单位时间内通过导体(或电场、磁场)截面的电量多少来度量的。

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

式中: I ——电流强度,单位安培,简称安(A);

Q ——电量,单位库仑(C);

t ——时间,单位秒。

因此: $1 \text{ 安培(A)} = \frac{1 \text{ 库仑(C)}}{\text{秒}} = 6.24145 \times 10^{18} \text{ 个电子/秒}$
 $= 10^3 \text{ 毫安(mA)} = 10^6 \text{ 微安(}\mu\text{A)}$

电流的另一个重要物理量是电流密度。通过导体单位截面积(截面积应与电流方向垂直)的电流强度叫电流密度:

$$j = \frac{I}{S} = \frac{Q}{tS}$$

也就是单位时间内通过单位截面积的电量或电子个数。

在导线的材料确定之后,是电流密度而不是电流强度的大小来决定导线的发热程度,所以,平时所讲的选择导线截面积,就是考虑使导线的电流密度必须在允许的范围之内,以保

证用电量 and 用电安全。

测量电流强度, 使用电流表(计), 或称安培表(计), 按照电流强度的定义, 我们应该把电流表串联在电路中, 使它指示所通过电流的强弱, 如图 1-1。关于串联的方法, 我们在以后讨论。

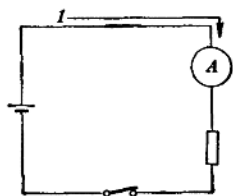


图 1-1 电流表测量电流

电流强度的概念: 手电筒电珠的工作电流为 0.3 安; 220 伏、40 瓦白炽灯为 0.182 安; 小功率半导体三极管为 0.2~4 毫安; 雷电放电电流可达几十安到几万安; 人体能承受的电流强度和电流的频率有关, 一般直流电为 50 毫安; 工频(50 赫)交流电为 10 毫安。

二、电位

电场中某点的电荷的位能与它的电量之比, 就是电场中那一点的电位,

$$U_A = \frac{W_A}{Q}$$

式中: U_A ——电场中 A 点的电位, 单位伏特(V);

W_A ——电荷在 A 点上的位能;

Q ——A 点上电荷的电量。

一个电场中某点的电位的高低, 是一个相对的量, 和我们所选择的参考点有关, 当电位的参考点改变时, 这点的电位高低也随着改变。

电场可以由正电荷形成, 也可以由负电荷形成。当我们把一切带电体和大地连通, 带电体的电荷几乎完全失去。因此, 我们在实际应用中, 一般都取大地的电位为参考点, 作为零电位 U_0 。这样一来, 电场中各点的电位可以是正值, 也可以是负值, 正电荷的电场中各点的电位都是正值; 负电荷的电场中各点的电位都是负值。电位只有高低, 没有方向。电流的方向是从高电位到低电位, 如图 1-2。电位的降低称为电位降。

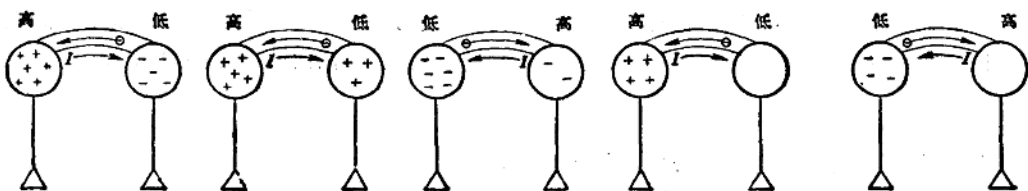


图 1-2 电位与电流方向的关系

三、电压

电场中两电位的差值, 叫这两点间的电压。它的大小等于电场力将电荷在两电位间移动时所做的功和被移电荷电量的比值:

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q}$$

式中: U_{AB} ——电场中 A、B 两点间的电压, 单位伏特(V);

U_A 、 U_B ——电场中 A、B 两点的电位;

W_{AB} ——电场力将电荷从 A 移至 B 所做的功, 单位焦耳;

Q ——被移动电荷的电量。

$$1 \text{ 伏特 (V)} = \frac{1 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 库仑}}$$

电压和电流一样，是代数量。我们规定：电压的方向就是电位降的方向，即从高电位指向低电位，而且，外电路中电流的方向和电压的正方向一致。

测量电压用电压表(计)，或称伏特表(计)。测量时必须并联在负载或电源的两端，如图 1-3。

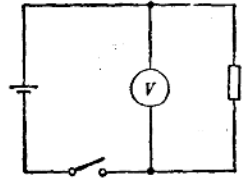


图 1-3 电压表测量电压

四、电动势

由于外力的作用，将电源中的正、负电荷分离所做的功与被分离的电荷电量之比即为电动势：

$$E = \frac{W_{\#}}{Q}$$

式中： E ——电动势，单位伏特，简称伏(V)；

$W_{\#}$ ——外力所做的功，单位焦耳；

Q ——外力所分离的电荷电量。

电源为了不断地维持电路中的电流，就必须用外力不断地将其内部的正、负电荷分离，并将正电荷送至正极，负电荷送至负极。我们称这种外力为非静电力，如电池中的化学力，发电机中的电磁力等。当外力驱使正负电荷在两极聚积时，电源内部的电场也随之增强，而这种电场力却要迫使两极中的异种电荷中和。直到外力驱使到两极的电荷所形成的电场力和外力平衡时，即外力无力再驱使电荷分离，分离到两极的电荷形成的电场力也无力使两极的电荷中和，这时，电源两极电压的大小，就是电源电动势的大小，不过方向正好相反：

$$E_{AB} = -U_{AB} = U_{BA}$$

由此可见，电动势就是电源将非静电力转化为电能的本领。电源的电动势可以是不变的，也可以是变化的，如电池的电动势是恒定电动势，交流发电机是交变电动势。

电动势只存在于电源的内部，它的正方向是电位升的方向。

电位、电压和电动势的单位都是伏特，但它们是性质完全不同的物理量，我们必须严格地把它们区别开来。

第二节 电路及其工作状态

一、电路

电流所经过的途径叫做电路。通常由电源、负载、开关和它们之间的连接导线等组成，如图 1-4。

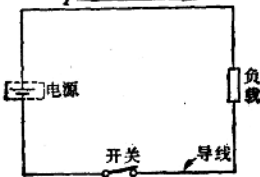


图 1-4 电路

电源是把其它形式的能量转换为电能的装置，如发电机、电池等。

负载是把电能转换为其它形式能量的装置，也就是利用电流的各种效应的装置，如白炽灯是利用电流的热效应；电解槽是利用电流的化学效应；电动机是利用电流的磁效应等。

开关又称电闸、电键等，它的作用是接通或切断电路。

导线是把电源的电流输送给负载的通道，最常用的是铜、铝等金属线。

根据电路的工作性质和特点，又可以分成内电路和外电路。

电源内部的电路叫内电路,其电流由负极流向正极,这是电动势作用的结果。从电源的一端到另一端,包括全部负载、开关和连接导线等电源以外的电路,叫外电路,其电流是由电源的正极流向负极,这是电源电动势在外电路中建立电位差的结果。

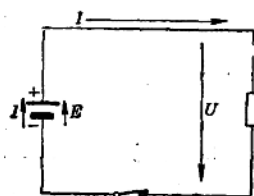


图 1-5 闭合电路

二、电路的工作状态

(一)通路(闭路): 将内外电路接通,构成闭合电路,电路中就有电流通过,图 1-5。

在内电路中,电流方向由负到正,是电位升的方向,亦即电动势的正方向;在外电路中,电流方向由正到负,是电位降的方向,亦即电压的正方向。

可以看出,闭合电路中,内、外电路中的电流强度 I 是相等的。

(二)短路(捷路): 闭合电路的一种特殊形式,指闭合电路中外电路的总电阻或者某分电路的电阻接近于零的状态,叫做整个电路或某分电路的短路。此时整个电路或某分电路中通过极大的电流,导致导线的烧毁或电源的永久性破坏。但是短路的原理也能被我们利用,如电焊机、点焊机等都是利用短路时的巨大电流产生巨大热量进行焊接的。电路的短路保护装置也是利用这种原理设计制作的。

(三)断路(开路): 整个电路中的某一部分断开,表现出无限大的电阻,使电路呈不闭合、无电流通过的状态。

断路可以是外电路的断路,如利用开关故意造成的断路,或者事故性的断路;也可以是内电路的断路,即电源内部的断路,这是事故性的断路。

第三节 导体、绝缘体、半导体和电阻

通常,我们把一切物体按它们的导电本领分为三类:导体、绝缘体(电介质)和半导体。

在外电场作用下,物体内的电荷(电子或离子)能够自由移动的叫导体。靠自由电子的运动来导电的物体为第一类导体,这绝大多数是固体类导体,如金属、人体、碳、大地等,我们以后所讨论的导体,都是第一类导体,特别是金属导体;利用离子导电的导体,为第二类导体,它们都是液体,如酸、碱、盐的溶液等。

绝缘体在电场力的作用下,电荷不能够自由地在其中移动,即使获得了自由电子,也是被束缚的,只能停留在原来的地方,如玻璃、橡胶、瓷器、松香、云母、油类、塑料、空气等。

导体和绝缘体之间没有绝对的界限,导体的导电性能一般比较好,但也是各不相同的。一切绝缘体多少总会传导一些电子,不过其主要特征是只能局部带电,它们的绝缘性能也各不相同,在一定的条件下,甚至可以变成导体。

那些导电性能介于导体和绝缘体之间的物体,叫半导体,如酒精、乙醚、石板等。不过,我们现在通常所指的半导体,是指硅、锗、硒、氧化铜和硫化铅之类的物质,有的只在一定的方向上导电,而相反方向几乎不导电;有的在热、光、电压等外界条件不同程度的影响下,导电能力也随之变化。

物质导电本领的大小和差异,是由它们的微观结构来决定的,即由它们所含有的自由电子(或离子)的多少而定的。导体中自由电子为每立方厘米 $10^{23} \sim 10^{25}$ 个;绝缘体中每立方厘米只有 $10^0 \sim 10^5$ 个;半导体中则为每立方厘米 $10^{10} \sim 10^{15}$ 个(也可以同时存在呈正电性的

空穴)。

在固体类导体中,是由自由电子形成电流的,所以导电时导体没有可察觉的质量变化(同时,电流的形成是自由电子的等量进出);而第二类导体中因由离子形成电流,所以会产生化学反应,并且伴有显著的质量迁移现象。

当在导体两端加上电压时,导体内便产生电流,导体内的自由电子在作定向移动的过程中,必然会和导体中其它非自由电子碰撞,阻碍电子的移动,降低自由电子的平均定向运动速度,这就是导体对电流所产生阻力,这种阻力叫电阻。必须注意,这种阻力并不影响导体内电流的速度,只是电流强度受到了影响,那些被碰撞的电子做了其它的功,例如热功,这就是电流有热效应的原因。

导体对电流所呈现的阻力,因导体的物理条件不同而不同,这些物理条件主要是:导体的材料(含自由电子的多少)、长短(含自由电子的多少)、粗细(含自由电子的多少)和温度(自由电子的运动状况),即:

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

就是说,导体的电阻(代号 R , 单位欧姆, Ω),与导体的长度 l 成正比、与导体的截面积 S 成反比,式中 ρ 为电阻率。这个公式叫做导体的电阻公式。

在实用上,我们把导体两端有 1 伏特电压,导体中通过的电流强度是 1 安培时导体的电阻值,定为 1 欧姆(Ω)。即:

$$1 \text{ 欧姆} = \frac{1 \text{ 伏特}}{1 \text{ 安培}}$$

欧姆的辅助单位有千欧($k\Omega = 10^3 \Omega$);兆欧($M\Omega = 10^6 \Omega$)。

在决定导体电阻的三个因素中, ρ 由导体材料的性质而定,导体一经选定, ρ 就不能改变了, l 的选择余地也不太大,所以工程上往往以选择导体截面积 S 来减小导体的电阻。

导体的电阻率 ρ 是什么意思呢?我们把不同材料的导体做成等长、等截面,在相等的温度条件下,两端加上相等的电压,它们所通过的电流强度,是各不相同的。这是因为不同的材料所含的自由电子数各不相同,这说明不同材料的导电性能是不同的。前面讲到的绝缘体就是具有极大电阻率的物体。

通常规定,某材料在 20°C 温度下,长 1 米、截面积为 1 平方毫米的电阻值,叫做这种材料的电阻率 ρ , 其单位为: $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ 即 $\frac{\text{欧} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}}$ 。

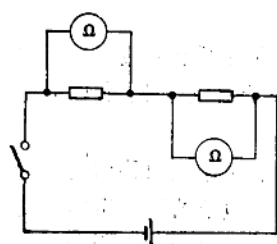
这样一来,电阻率就不再和导体的长度和截面积有关了。

我们可以用导体的电阻大小,来判断导体导电能力的大小;也可以用另一种单位来表示导体的导电性能,这就是电导。电导是电阻的倒数,其代号为 G 或 g , 单位西门子简称西门(s),也可用姆欧作单位($\mathcal{U}$)。

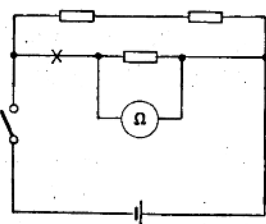
$$G = \frac{1}{R}$$

其单位为 $s(\mathcal{U}) = \frac{1}{\Omega}$ 。电导大说明电阻小,导电的能力强;电导小说明电阻大,导电的能力小。

测量导体电阻大小,使用电阻计(欧姆表),它是利用在被测电阻两端加上一定电压后,在电阻内形成电流的大小来判断电阻值的大小。测量电阻时要注意两个问题,一是必须切断电阻上的电源,并使被测电阻的一端断开(图 1-6);二是避免把人体电阻量入,图 1-7。



(a) 断电路测量



(b) 断电路测量

图 1-6 电阻的测量

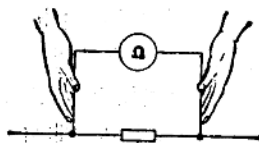


图 1-7 量入了人体的电阻

第四节 电功和电功率

一、电功

前面我们讲到了电流的化学、热和磁效应，也就是电能转变为化学、热和磁能的过程。这种电能的转换，说明电流做了功。

电流做功的大小，简称电功。电流做了多少功，就有多少电能转变为其它形式的能。应该注意的是，功是一个过程的物理量；能是一种状态的物理量。

在电场中，电场力将电荷在任意两点之间移动，就是电场力对电荷做功的过程，做功的大小等于被移动的电荷的电量与这两点之间的电位差（即电压）的乘积：

$$A = q(U_1 - U_2)$$

因为： $U_1 - U_2 = U$ ，所以： $A = qU$ 。

（注意：若 $U_1 - U_2 = 0$ ，就是在等势面上移动电荷，则功 A 等于 0。）

电功的大小与电流强度和通电时间有关。因为电量 $q = It$ ，代入 $A = qU$ ，就得到电流在某段电路上所做的功：

$$A = UI t$$

它的物理意义是，电流在一段电路上所做的功，跟这段电路两端的电压、电路中的电流强度和通电的时间成正比。如果在一段电路中，电路的性质（如电压、电阻）是固定的，则电流强度也固定，电功的大小就只和通电的时间成正比了。

电功的代号是 A ，单位是焦耳。

$$1 \text{ 焦耳} = 1 \text{ 伏特} \times 1 \text{ 安培} \times 1 \text{ 秒}$$

二、电功率

电功率是指某一电路在单位时间（1 秒钟）内所作的电功，也就是在单位时间（1 秒钟）内将电能转变为其它形式的能的本领。

$$P = \frac{A}{t} = \frac{UI t}{t} = UI$$

这样，电功率就是一个与通电时间无关的物理量了。（电功率和电功的关系，可以用电阻率和电阻的关系来类比。）

电功率的代号用 N 或 P 表示，单位是瓦特（W）。

$$1 \text{ 瓦特} = \frac{1 \text{ 焦耳}}{\text{秒}}$$

即1秒钟可做1焦耳的电功或1秒钟里可将1焦耳电能转变为其它形式的能。

$P=UI$ 就是电功率的公式,它的物理意义是:一段电路的电功率,等于这段电路两端的电压和所通过的电流强度的乘积;或者说,一段电路的电功率,和这段电路两端的电压与所通过的电流强度成正比。

显然,一段电路的电功率乘上通电的时间,便是这段电路所做的功:

$$Pt=A$$

所以,

$$1 \text{ 瓦特秒} = 1 \text{ 焦耳}$$

$$1 \text{ 瓦特小时} = 3600 \text{ 焦耳}$$

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ 千瓦小时} = 3600000 \text{ 焦耳}$$

简言之,1度就是一段电功率为1千瓦的电路通电1小时所消耗的电功,也可以认为是电功率为1瓦的电路通电1千小时所消耗的电功,等等。

电功率(瓦)和机械功率(马力)的关系如下:

$$1 \text{ 马力} = 736 \text{ 瓦} = 0.736 \text{ 千瓦}$$

$$1 \text{ 千瓦} = 1.36 \text{ 马力}$$

【例一】日常用的白炽灯泡上标明220V、25W,即说明该灯泡要求在220伏电压下工作,此时它的功率是25瓦,即1秒钟消耗25焦耳的电功,若灯泡工作40小时,则消耗

$$25 \text{ 瓦} \times 40 \text{ 小时} = 1000 \text{ 瓦小时}$$

或
$$\frac{25 \text{ 焦耳}}{\text{秒}} \times 40 \times 3600 \text{ 秒} = 3600000 \text{ 焦耳} = 1 \text{ 度}$$

第五节 欧姆定律

一、部分电路的欧姆定律

在不包括电源的部分电路中,通过电路的电流强度,和加在电路两端的电压大小成正比,和电路本身的电阻大小成反比。即:

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

式中, I 的单位用安培,简称安(A); U 的单位用伏特,简称伏(V); R 的单位用欧姆,简称欧(Ω)。

由上式还可以得到:

$$R = \frac{U}{I} \text{ 和 } U = IR$$

对于 $R = \frac{U}{I}$, 绝对不可以理解为导体中的电阻,和加在导体两端的电压成正比,和导体中通过的电流成反比。因为导体的电阻是导体本身的因素所决定的,应由导体电阻公式 $R = \rho \frac{l}{S}$ 决定。

$R = \frac{U}{I}$ 的物理意义应该是:部分电路的电阻大小,可以由加在它两端的电压和由此而通过的电流强度的比值来判断;或者说,电路的电阻,恒等于加在它两端的电压和由此而通过的电流的比值。就是我们在第三节中所规定的1欧姆 = $\frac{1 \text{ 伏特}}{1 \text{ 安培}}$ 。如果电路两端加上2伏

电压, 那末通过的电流强度为 2 安培, 它和 2 伏的比值, 仍然是 1 欧姆, 电阻值没有变化。

如果两个不同的电路, 它们两端加上相等的电压, 而通过的电流一个是 1 安, 另一个是 2 安, 那末, 前一个电路的电阻是后一个电路的 2 倍。它们的具体电阻值要看刚才通过 1 安和 2 安电流时所加的电压大小而定。如果所加电压是 10 伏, 则前一电路的电阻 $R_1 = \frac{10}{1} = 10$ (欧), 后一电路的电阻 $R_2 = \frac{10}{2} = 5$ (欧); 如果电压增加到 15 伏, 那它们之中通过的电流就分别是 $I_1 = 1.5$ 安, $I_2 = 3$ 安, 此时, $R_1 = \frac{15}{1.5} = 10$ (欧), $R_2 = \frac{15}{3} = 5$ (欧), 前者的电阻仍是后者的 2 倍。

如果两个不同的电路, 两端各加上不相等的电压后, 而通过的电流都是 1 安, 那末, 所加电压高的那个电路的电阻大, 大的倍数和高、低电压之间的倍数相同。例如前一个电路两端所加电压是 10 伏, 后一个电路两端所加电压是 20 伏, 那末, 后一个电路的电阻是前一个电路的 2 倍, $R_1 = \frac{10}{1} = 10$ (欧), $R_2 = \frac{20}{1} = 20$ (欧)。

对于 $U = IR$, 我们也不能理解为加在导体两端的电压与导体的电阻和通过导体的电流强度成正比。应理解为: 部分电路两端的电压 (或电路的电压降), 等于电路的电阻和所通过的电流的乘积。例如某一电路的电阻是 100 欧, 通过的电流强度是 2.2 安, 我们说, 电路两端的电压降 $U = 2.2 \times 100 = 220$ (伏)。

由上面的分析和讨论, $I = \frac{U}{R}$ 、 $R = \frac{U}{I}$ 、 $U = IR$ 都适用于外电路, 所以我们称由 $I = \frac{U}{R}$ 所表达的电流、电压、电阻关系的欧姆定律为部分电路欧姆定律。

由部分电路欧姆定律公式, 我们还可以得到两个电功率的计算公式:

$$P = I^2 R \quad \text{和} \quad P = \frac{U^2}{R}$$

二、全电路欧姆定律

从部分电路欧姆定律的学习中, 我们知道凡电流通过电阻, 都将产生电压降。当一个电路的外电路闭合时, 外电路中通过了多少电流, 电源内部就必须在电源电动势的作用下, 不断将多少电流从负极驱向正极, 这时, 就要克服电源内部的电阻——内阻, 这个克服内阻做功的过程, 也同样产生电压降。由于电源总是和外电路连接在一起的, 我们又把这种电路称为有源闭合电路。

在有源闭合电路中, 电流强度为 I , 外电路的电压降为 U_1 , 内电路 (电源内部) 的电压降为 U_2 , 而电源的电动势必须抵偿电路中内外电压降, 所以电源的电动势应为:

$$E = U_1 + U_2$$

如外电路的电阻为 R , 内电路的电阻为 r , 则:

$$E = I(R + r)$$

可得

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

这就是全电路欧姆定律的数学表达式, 它的物理意义是: 全电路中的电流强度, 跟电源的电动势成正比, 跟整个电路的总电阻成反比。

由此, 我们还可以得到全电路的电功率公式:

$$P = EI$$

从 $E = I(R+r)$, 可得 $E = IR + Ir$ 。所以:

$$IR = E - Ir$$

式中 IR 就是外电路产生的电压降, 又叫闭合电路电源的路端电压; Ir 是电源中因内阻而产生的电压降, 因此可以认为, IR 就是电源电动势和电源内部电压降之差。

现在, 我们根据 $I = \frac{E}{R+r}$ 和 $U_1 = IR$ 、 $U_2 = Ir$ 来讨论整个电路的情况。

对于一定的电源来讲, r 是定值, E 也是定值(或者是按一定规律变化的值), 它们都不受外电路的影响, 只有 I 是一个由外电路的电阻 R 所决定的量。外电阻 R 越大, 整个电路中的电流强度 I 就越小, 这样 Ir 的乘积也就越小。也就是说 $U_1 (=E - Ir)$ 就越接近 E 。当 R 为无穷大即外电路断路时, I 等于零, Ir 也等于零, 则有 $U_1 = E$, 这就是我们在第一节中所讲到的电源的电动势在数值上可以认为是电路断路时电源两极的电压值的道理。

同样, 当外电阻 R 越小, 整个电路中的电流强度 I 就越大, Ir 也就越大, 使路端电压 U_1 越小。当外电阻等于零, 即形成短路, 也就是电压降为零, 这时 $E = Ir$, 即 $I = \frac{E}{r}$ 。由于电源的内阻都是很小的, 所以 I 的值很大, 将导致电源的严重甚至彻底损坏。

表 1-1 是在外电路电阻 R 变化时, 根据 $I = \frac{E}{R+r}$ 和 $U_1 = E - Ir$ 的规律所引起的电路变化的情况。

表 1-1 外电路电阻变化引起路端电压变化情况

原 因	结 果		
外电路电阻 (R)	电流强度 (I)	内电压降 ($U_2 = Ir$)	路端电压 ($U_1 = IR$)
增 大	减 小	减 小	增 大
∞ (断路)	0	0	$U_1 = E$
减 小	增 大	增 大	减 小
0 (短路)	$I_{\text{短}} = \frac{E}{r}$ (极大)	$U_2 = E$	0

【例】如图 1-8 所示, 电源的电动势为 3 伏, 内阻为 0.6 欧, 外电路电阻为 2.4 欧, 求电路的总电流、内电压降和电源的路端电压。

解: 按 $I = \frac{E}{R+r}$, 则

$$I = \frac{3}{2.4 + 0.6} = 1 \text{ (安)}$$

按部分电路欧姆定律, 路端电压降为:

$$U_1 = U_{AB} = I \cdot R = 1 \times 2.4 = 2.4 \text{ (伏)}$$

或按全电路欧姆定律, 路端电压为:

$$U_1 = E - Ir = 3 - 1 \times 0.6 = 2.4 \text{ (伏)}$$

结果完全一致。

内电压降为:

$$U_2 = Ir = 1 \times 0.6 = 0.6 \text{ (伏)}$$

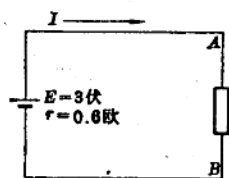


图 1-8 全电路欧姆定律实验

电源电动势为:

$$E = U_1 + U_2 = 2.4 + 0.6 = 3 \text{ (伏)}$$

第六节 电阻的串联电路

把几个电阻的首尾依次用导线连接,使电流依次通过各个电阻的电路形式,叫做电阻的串联电路,图 1-9。

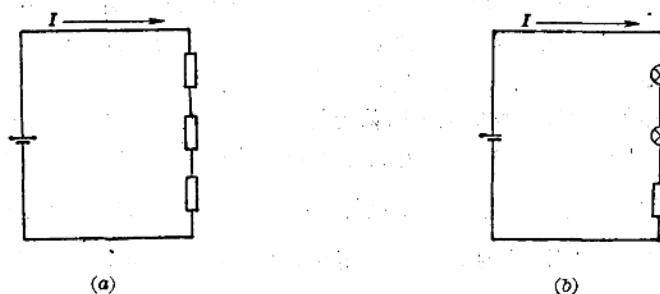


图 1-9 串联电路

串联电阻的总阻值等于各电阻阻值之和,即:

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

这是串联电路的第一条性质。

图 1-10 中的 R_{Σ} 即为各电阻之和的等效电阻,由 R_{Σ} 代替各电阻之和的电路为等效电路。

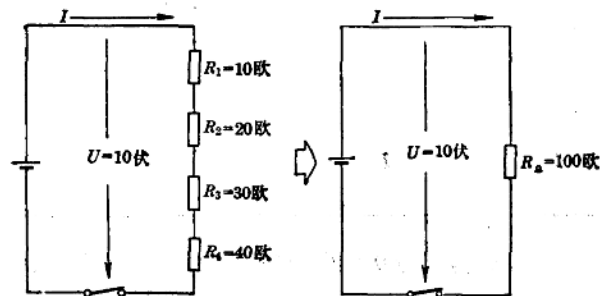


图 1-10 等效电阻和等效电路

如果把电压表并联在图 1-10 串联电阻群的首尾或并联在等效电阻的首尾,电压值是一样的。将电流表串联在图 1-10 电路中的任何地方,电流强度 I 是一样的,即:

$$I_{\Sigma} = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

这就是串联电路的第二条性质:

质: 串联电路中通过各电阻的电流强度相等。

仍按图 1-10 的装置,将电压表分别接在 R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 的两端,测出各电阻两端的电压为: $U_1 = 1$ 伏、 $U_2 = 2$ 伏、 $U_3 = 3$ 伏、 $U_4 = 4$ 伏。则:

$$U_{\Sigma} = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 = 10 \text{ (伏)}$$

这就是串联电路的第三条性质: 总电路两端的总电压等于各电阻两端电压之和,即:

$$U_{\Sigma} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

这个性质又说明,电流通过电阻以后,一定会产生电压降,而且各电阻上的电压降之和等于 R_{Σ} 的电压降。电压降的大小,可由公式 $U = IR$ 求得。证明如下: 因 $U_{\Sigma} = I_{\Sigma} \cdot R_{\Sigma} = I_{\Sigma} \cdot (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)$ 所以:

$$U_{\Sigma} = I_{\Sigma} \cdot R_1 + I_{\Sigma} \cdot R_2 + I_{\Sigma} \cdot R_3 + \dots + I_{\Sigma} \cdot R_n$$