

全国中等卫生学校教材

电 工 学

(供放射医士专业用)

陶 鸿 源 主 编

陈 道 生 主 审

陕西科学技术出版社

全国中等卫生学校教材

电 工 学

(供放射医士专业用)

陶鸿源 主编

陈道生 主审

编 写 者

陶鸿源 丘万安 易万宜

陕西科学技术出版社

全国中等卫生学校教材

电 工 学

陶鸿源 主编

陈道生 主审

陕西科学技术出版社出版

(西安北大街131号)

陕西省新华书店发行 洛南县印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 12.5印张 28万字

1985年8月第1版 1993年10月第6次印刷

印数: 34,771—39,770

ISBN 7-5369-0280-8/G·46

定 价: 5.40元

编写说明

本书是由卫生部组织编写的教材，供全国中等卫生学校四年制放射医士专业使用。

全书包括直流电路，电磁基本知识，正弦交流电，变压器、电动机，电工仪表，电子学基础等六章和十四个学生实验。各章之末编有习题与思考题。书末附有教学大纲。

参加本书编审工作的有：湖北省襄樊市卫生学校陶鸿源老师担任主编并编写第一、二、五章以及第二、三、四、七、十等五个实验；湖南省怀化市卫生学校丘万安老师编写第三、四章以及第一、五、六、八、九等五个实验；长沙市卫生学校易万宜老师编写第六章以及第十一、十二、十三、十四等四个实验。武汉医学院陈道生副教授担任本书主审。

由于编者水平有限，编写时间仓促，缺点和错误在所难免，恳切希望使用本教材的同志批评指正。

编 者

1984年11月

目 录

第一章 直流电路	(1)
第一节 直流电路的基本概念	(1)
一、电路.....	(1)
二、电流.....	(2)
三、电压和电位.....	(2)
四、电动势.....	(3)
五、电阻和电阻器.....	(3)
六、欧姆定律.....	(4)
七、电阻的联接.....	(4)
八、电路中各点电位的计算.....	(7)
第二节 全电路欧姆定律	(8)
一、全电路欧姆定律.....	(8)
二、实际电源外特性.....	(9)
第三节 一段含有电源的电路 反电动势	(10)
一、一段含有电源的电路.....	(10)
二、反电动势.....	(10)
第四节 克希荷夫定律	(11)
一、克希荷夫第一定律.....	(11)
二、克希荷夫第二定律.....	(13)
三、克希荷夫定律的应用.....	(13)
第五节 电功和电功率 电流的热效应	(15)
一、电功和电功率.....	(15)
二、电流的热效应.....	(18)
三、电器元件的额定值.....	(18)
四、导线横截面积的选择.....	(19)
五、熔断器和熔丝.....	(20)
六、负载获得最大功率的条件.....	(21)
第六节 电容器	(21)
一、电容器和电容.....	(21)
二、电容器的种类和额定工作电压(耐压).....	(23)
三、电容器的充、放电和时间常数.....	(24)
习题与思考题.....	(27)
第二章 电磁基本知识	(30)
第一节 电流的磁效应	(30)
一、磁场 磁力线.....	(30)
二、电流的磁场.....	(30)
三、磁通量 磁感应强度.....	(31)

四、电磁力.....	(32)
第二节 铁磁性材料.....	(34)
一、导磁系数 磁场强度.....	(34)
二、磁化曲线.....	(36)
三、磁滞回线.....	(37)
第三节 磁路.....	(38)
一、磁路的基本概念.....	(38)
二、磁路欧姆定律.....	(39)
第四节 电磁感应.....	(41)
一、电磁感应定律.....	(41)
二、自感.....	(44)
三、互感.....	(46)
四、涡流.....	(48)
习题与思考题.....	(49)
第三章 正弦交流电	(51)
第一节 交流电的基本概念.....	(51)
一、正弦交流电的产生.....	(51)
二、正弦交流电的周期、频率和相位.....	(53)
三、正弦交流电的相位差.....	(55)
四、正弦交流电的有效值和平均值.....	(56)
第二节 同频率正弦交流电的叠加.....	(58)
一、三角函数算法.....	(59)
二、波形图求解法.....	(60)
三、矢量运算法.....	(59)
第三节 单相正弦交流电路.....	(63)
一、纯电阻电路.....	(63)
二、纯电感电路.....	(64)
三、纯电容电路.....	(67)
四、电阻、电感串联电路.....	(69)
五、电阻、电感和电容串联电路.....	(73)
第四节 三相正弦交流电路.....	(76)
一、三相交流电的产生.....	(76)
二、三相电源的连接.....	(77)
三、三相负载的连接.....	(79)
四、安全用电常识.....	(83)
习题与思考题.....	(85)
第四章 变压器 电动机	(87)
第一节 变压器.....	(87)
一、变压器的基本结构.....	(87)
二、变压器的工作原理.....	(88)
三、变压器的损耗和效率.....	(92)
四、自耦变压器和调压器.....	(93)

第二节 电动机.....	(94)
一、三相异步电动机.....	(94)
二、单相异步电动机.....	(102)
三、微电机.....	(100)
习题与思考题.....	(100)
第五章 电工仪表	(110)
第一节 常用电工仪表的分类和符号.....	(110)
第二节 磁电式仪表.....	(110)
第三节 常用电工仪表.....	(111)
一、电流表.....	(111)
二、电压表.....	(112)
三、万用电表.....	(114)
四、兆欧表.....	(118)
习题与思考题.....	(120)
第六章 电子学基础	(121)
第一节 二极管和整流电路.....	(121)
一、真空二极管及其特性.....	(121)
二、晶体二极管及其特性.....	(123)
三、硅稳压管.....	(124)
四、整流电路.....	(125)
五、滤波电路.....	(128)
六、冷阴极充气二极管及其稳压作用.....	(129)
七、闸流管.....	(131)
第二节 三极管和放大电路.....	(132)
一、真空三极管.....	(132)
二、晶体三极管.....	(135)
第三节 电子开关.....	(143)
一、有触点开关的特性.....	(143)
二、晶体管的开关特性.....	(143)
三、延时电路.....	(147)
第四节 可控硅 单结晶体管与限时电路.....	(148)
一、可控硅.....	(148)
二、单结晶体管.....	(150)
三、限时电路举例.....	(152)
第五节 脉冲波形的变换.....	(153)
一、脉冲波的基本概念.....	(153)
二、微分电路.....	(154)
三、积分电路.....	(155)
四、限幅电路.....	(156)
习题与思考题.....	(158)
电工学实验	(160)

实验一	锡焊技术·····	(160)
实验二	电源外特性曲线的测定·····	(161)
实验三	充、放电曲线与时间常数的测定·····	(162)
实验四	磁滞回线的观测·····	(164)
实验五	变压器同名端的测定·····	(166)
实验六	日光灯安装·····	(168)
实验七	日光灯功率因数的测定·····	(169)
实验八	导线的连接和小型移动式配电板的安装·····	(171)
实验九	三相异步电动机始、末端的测定和电动机的使用·····	(173)
实验十	万用电表的使用·····	(174)
实验十一	单相桥式整流电路的安装与测试·····	(177)
实验十二	晶体三极管的简易测试·····	(178)
实验十三	单管低频电压放大器的调试·····	(179)
实验十四	延时电路的安装·····	(181)
附录	电工学教学大纲 ·····	(183)

二、电 流

要使负载不断地工作，就必须保持电路中有持续不断的电流通过。什么叫做电流？电流就是大量电荷的定向运动。

金属中大量的自由电子以及电解质中的正、负离子都在作不规则的热运动。电荷的这种不规则运动不能形成电流。如果在导体中有电场存在，在电场力的作用下，正电荷沿着电场方向、负电荷逆着电场方向作定向运动，就形成电流。习惯上常把正电荷的运动方向规定为电流方向，而把负电荷的运动当成有等量的正电荷沿着相反方向运动。

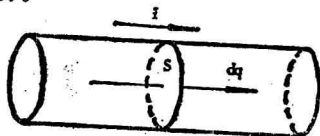


图 1-3

电流的大小用电流强度（简称电流）来表示。如果导体中的电场是随时间变化的，设在某一时刻起，一段无限短的时间 dt 内通过导体横截面 S 的微小电量为 dq ，如图 1-3 所示，则这一瞬时的电流强度为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1)$$

如果导体中的电场是恒定的，则在任一相等的时间内，通过导体横截面的电量也相等，而且方面不变，即 $\frac{dq}{dt} = \text{恒量}$ 。则这种电流称为恒稳电流，简称直流电。直流电的电流强度用大写字母 I 来表示，则

$$I = \frac{q}{t} \quad (2)$$

电流强度是单位时间内通过导体横截面的电量。在国际单位制中电流是七个基本量之一，它的单位叫安培（A），简称安。常用的单位还有毫安（mA）和微安（ μA ）。1 毫安 = 10^{-3} 安培；1 微安 = 10^{-3} 毫安 = 10^{-6} 安培。

三、电压和电位

如前所述，大量电荷在电场力作用下运动形成电流。在这一过程中，电场力推动电荷而作功。电场力对电荷作功的本领用电压来表示。如图 1-4 所示，设正电荷 dq 在电场力作用下由 A 迁移到 B，电场力作功为 dW ，则 A、B 之间的电压为

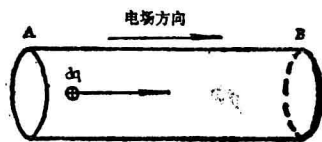


图 1-4

$$u_{AB} = \frac{dW}{dq} \quad (3)$$

由③式可知，A、B 之间的电压，在数值上等于把单位正电荷由 A 移到 B 电场力所作的功。在国际单位制中，功的单位是焦耳，电量的单位是库仑，电压的单位叫做伏特（V），简称伏。常用的电压单位还有千伏（kV）和毫伏（mV）。1 千伏 = 10^3 伏特。1 毫伏 = 10^{-3} 伏特。

如果导体中的电场是恒定的，则 A、B 之间的电压也是恒定的。不随时间变化的电压叫直流电压，用大写字母 U 表示，因而 A、B 之间的电压可写成

$$U_{AB} = \frac{W}{q} \quad (4)$$

如果正电荷 q 在电场力作用下从 A 至 B 通过这段电路时，电场力作正功，即正电

表 1-2 各种导体的电阻率

材料名称	银	铜	铝	钨	铁	铅	锡	锌	汞	康铜	锰铜	镍铬合金
电阻率 (欧·平方 毫米/米)	0.016	0.017	0.028	0.049	0.098	0.029	0.114	0.053	0.958	0.50	0.43	1.00



图 1-5

a图为固定电阻器；b图为可变电阻器；c图为电位器。

各种电阻器所用材料和制作方法各不相同，如果按材料和制作方法来分类，又可将电阻器分为线绕电阻、薄膜电阻（包括碳膜电阻、金属膜电阻和金属氧化膜电阻）和瓷釉电阻等数种。各种电阻器的外形如图 1-6 所示。

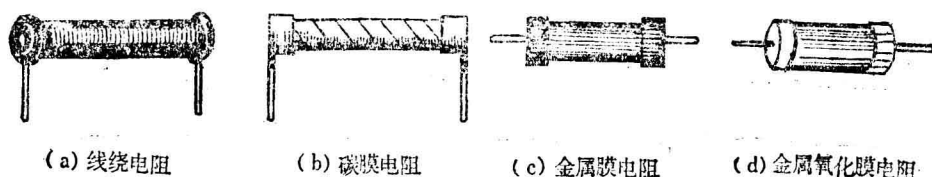


图 1-6

图 1-7 是可变电阻器的外形图。a图为滑臂式可变电阻器，也叫滑线变阻器；b图为转臂式可变电阻器。上述两种可变电阻器大都有两个固定接点和一个滑动接点，所以在实际电路中既可作变阻器用，又可作电位器用。

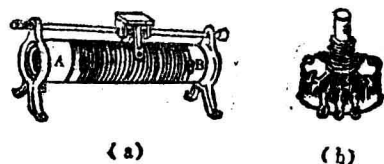


图 1-7

六、欧姆定律

当导体中有电流通过时，其电流强度与导体两端的电压成正比，与导体的电阻成反比，这一规律叫做欧姆定律。其数学表达式为

$$I = \frac{U}{R} \quad (8)$$

式中的 I 、 U 、 R 的单位分别为安培、伏特、欧姆。

七、电阻的联接

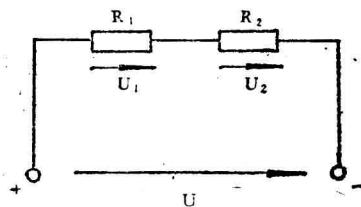


图 1-8

(一) 电阻的串联 几个电阻依次首尾相接，叫做串联。图 1-8 是两个电阻 (R_1 和 R_2) 串联接至电源的电路。

在电阻的串联电路中，各电阻中的电流相同，并且串联电路两端的电压 U 等于各个电阻上电压之和。在图 1-8 的电路中， R_1 和 R_2 上的电压分别用 U_1 和 U_2 表示，电源电压为 U ，则

$$U = U_1 + U_2$$

在这个电路中，如果用一个电阻 R 来代替 R_1 和 R_2 的作用，则 R 叫做串联电阻 R_1 和

R_2 的等效电阻。由欧姆定律可知： $U = IR$ ， $U_1 = IR_1$ ， $U_2 = IR_2$ 。因而两个串联电阻的等效电阻为

$$R = R_1 + R_2$$

显然，两个以上串联电阻的等效电阻为

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (9)$$

在两个电阻的串联电路中电压是怎样分配的呢？由欧姆定律可知，通过这一电路的电流 I 为

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

同理可知，在 R_1 和 R_2 上分配的电压分别为： $U_1 = IR_1$ ， $U_2 = IR_2$ 。

因而

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \\ U_2 &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

上式叫做电阻串联电路的分压公式。

电阻的串联电路通常在需要限流和分压的电路中的应用很多。例如在 X 线机电路中常用的继电器，如果电路中输出电压超过继电器的安全工作电压时，就可以串联一个分压电阻。如图 1-9 所示，图中 J 为继电器， R 为降压电阻；在稳压电路中，稳压管也必须串联一个电阻，这个电阻不仅可以起分压作用以保证稳压器输出电压的稳定（工作原理见第六章），同时又可以起限流作用，使通过稳压管的电流不致超过它的工作电流范围。图 1-10 即为一个稳压电路，图中 DW 为硅稳压管。

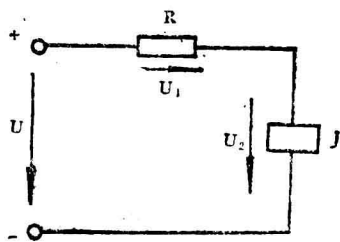


图 1-9

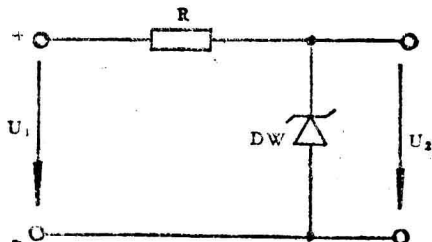


图 1-10

【例 1】某 X 线机上的千伏表的量程为 75 千伏，内阻为 600 千欧，今把它换装到另一台 X 线机上，如果该机需要千伏表的量程为 100 千伏，该怎么办？

解：根据串联电阻的分压作用，可以用一电阻器（叫做分压电阻）和原千伏表串联，分压电阻的大小恰恰可使原千伏表所承受的电压为 75 千伏时，分压电阻上降落的电压为千伏表量程的扩大部分（25 千伏）。但电表面板上的刻度线应按最大量程为 100 千伏（叫做满度）来分度。

如图 1-11 所示， R_1 为原千伏表内阻，分压电阻为 R_2 ，如果并接在 U 为 100 千伏的电源上，原千伏表上的电压为 75 千伏时，分压电阻上的电压 $U_2 = 25$ 千

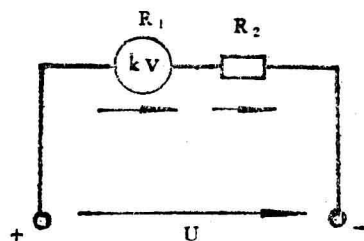


图 1-11

伏。根据串联电路的分压公式 $\left(U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U\right)$ ，可求得分压电阻 R_2 为

$$R_2 = \frac{U_2}{U - U_2} R_1 = \frac{25}{100 - 25} \times 600 = 200 \text{ (千欧)}$$

【例 2】一直流电动机自身的电阻为 1 欧姆，额定电流（正常工作时的电流）为 10 安培，工作电压为 220 伏特，短时间内允许通过电动机的电流为 20 安培，问合闸时

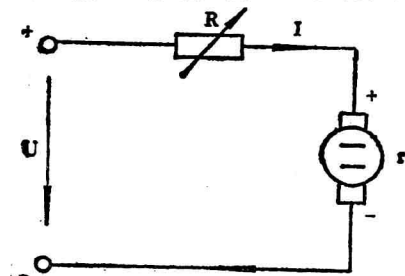


图 1-12

起动电流有多大？为了减小起动电流，以保证电动机的安全，该怎么办（起动后，正常运行时的状态不讨论）？

解：为了减小起动电流，根据串联电阻的限流作用，可以和电动机串联一个限流电阻（叫做起动电阻）。如图 1-12 所示，图中 r 为电动机自身的电阻， R 为起动电阻，如果不接入起动电阻，则起动电流为

$$I = \frac{U}{r} = \frac{220}{1} = 220 \text{ (安培)}$$

如果接入起动电阻 R ，把起动电流减小到 20 安培，则

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

即

$$20 = \frac{220}{R + 1}$$

故起动电阻的电阻值 R 为

$$R = \frac{220}{20} - 1 = 10 \text{ (欧姆)}。$$

（二）电阻的并联 几个电阻的一端接在一起，另一端也接在一起，叫做电阻的并联。图 1-13 是两个电阻（ R_1 和 R_2 ）并联接至电源的电路。显然，两个电阻承受的电压 U 相同。由欧姆定律可知，两条支路中电流的大小分别为： $I_1 = \frac{U}{R_1}$ ， $I_2 = \frac{U}{R_2}$ 。在这个电路中，如果用一个电阻 R 来代替 R_1 和 R_2 的作用，则 R 叫做并联电阻 R_1 和 R_2 的等效电阻。因而总电流 $I = \frac{U}{R}$ 。在并联电路中总电流应该等于各支路电流之

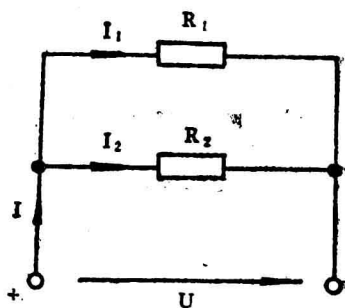


图 1-13

和，因而在图 1-13 的电路中总电流为

$$I = I_1 + I_2$$

即

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

因此

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

同理，在两个电阻以上的并联电路中，等效电阻 R 的倒数为各个电阻的倒数之和。即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n} \quad (11)$$

在两个电阻的并联电路中，两条支路上的电流是怎样分配的呢？根据电阻的并联公式可知，这个电路的等效电阻为

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

由欧姆定律可知总电流为

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

则

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

因此可得两条支路上的电流 I_1 和 I_2 分别为

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \\ I_2 &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

⑫式叫做并联电路的分流公式。电流表量程的扩大就要应用分流的概念。测量电流时，电流表串联于待测电路中，每一电流表都有一定的量程，如果待测电路中的电流比电流表的量程大，则这一电流表就会损坏或烧毁。但是电流表并联一个电阻器（叫做分流电阻）后，电流表的量程就可以扩大。如图 1-14 所示，G 为电流表， R_g 是其内阻， R_s 为分流电阻，这是有两条支路的并联电路。如果

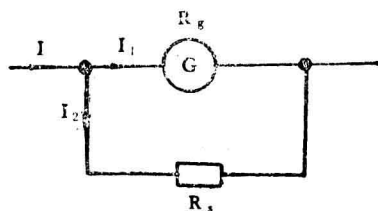


图 1-14

电路中待测电流（总电流）为 I ，则一部分电流 I_1 通过电流表，而另一部分电流 I_2 由分流电阻通过，电流表面板上的刻度线根据电路中的总电流来分度，当电流表指针满度时已不再代表原电流表量程，而是扩大后的电流表的量程了。电流表量程扩大到多少，由分流电阻的大小决定。分流电阻越小，电流表的量程扩大得越大。举下题为例：

【例 3】如图 1-15 所示，微安表的量程 $I_g = 400$ 微安，内阻 $R_g = 1480$ 欧姆，若要把它改装成量程 $I_a = 30$ 毫安的毫安表，问需并联一个多大的分流电阻 R_s ？

解 当总电流 $I = I_a$ 时，通过微安表的电流为 I_g ，根据分流公式 ($I_g = \frac{R_s}{R_g + R_s} I_a$)，求得分流电阻为

$$R_s = \frac{I_g}{I_a - I_g} R_g = \frac{0.4 \times 10^{-3}}{(30 - 0.4) \times 10^{-3}} \times 1480 = 20 \text{ 欧姆}$$

八、电路中各点电位的计算

要确定电路中各点的电位，必须选择一个参考点，规定其电位为零，而电路中某点的电位由该点和参考点之间的电压确定。在电子仪器中通常以机壳为公共连接端，所以

就选择机壳为参考点，把电路中某点和机壳之间的电压称为该点的电位。

在很多实际问题中，测量电位往往比测量电压更方便。例如测量输电线两端之间的电压，如果把电压表并接到遥远的两端之间，事实上是不可能的。但如果我们选择大地为参考点，只须分别测量输电导线两端和地之间的电压（即两端的电位）就可以了。对各种电子线路的分析，如果用电压的概念来讨论，就显得极其繁琐，以机壳为参考点讨论各点的电位则比较方便。选择不同的参考点时，电路中同一点的电位就不一样，所以各点电位的大小是相对的，而两点之间的电压大小是绝对的，电压的大小和参考点的选择无关。

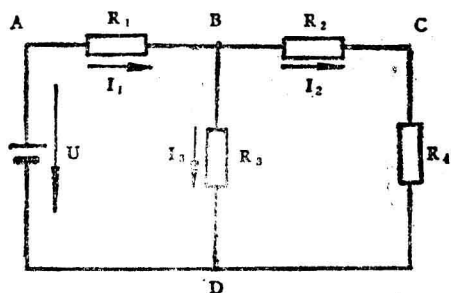


图 1-16

在电路中电流总是由电位高的一端流向低的一端，如果某点的电位比参考点的电位低，则表示该点的电位为负，反之为正。今以图 1-16 为例，设电源两端电压 $U = 15$ 伏， $R_1 = R_3 = 10$ 欧， $R_2 = R_4 = 5$ 欧。经计算求得 $I_1 = 1$ 安， $I_2 = I_3 = 0.5$ 安。如果以 D 点为参考点，则电路中各点的电位分别为

$$V_A = U = 15 \text{ (伏)}$$

$$V_B = U_{BD} = I_3 R_3 = 0.5 \times 10 = 5 \text{ (伏)}$$

$$V_C = U_{CD} = I_2 R_4 = 0.5 \times 5 = 2.5 \text{ (伏)}$$

$$V_D = 0$$

如果以 B 点为参考点，则各点的电位分别为

$$V_A = U_{AB} = I_1 R_1 = 1 \times 10 = 10 \text{ (伏)}$$

$$V_B = 0$$

$$V_C = -U_{BC} = -I_2 R_2 = -0.5 \times 5 = -2.5 \text{ (伏)}$$

$$V_D = -U_{BD} = -I_3 R_3 = -0.5 \times 10 = -5 \text{ (伏)}$$

不难看出，无论选择哪一点作为参考点，在电路中任意两点之间的电压总是相同的，以 AC 之间的电压为例，如果以 D 点为参考点，则 $U_{AC} = V_A - V_C = 15 - 2.5 = 12.5$ (伏)；

如果以 B 点为参考点，则 $U_{AC} = V_A - V_C = 10 - (-2.5) = 12.5$ (伏)。

第二节 全电路欧姆定律

一、全电路欧姆定律

图 1-17 所示，是一个实际电源电路。由欧姆定律可知路端电压 U 和电源内压降 U_0 分别可表示为： $U = IR$ ， $U_0 = Ir$ 。我们在物理学中已经知道，电源电动势 E 恒等于该闭合电路上各部分电压降之和，即

$$E = IR + Ir$$

或

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (13)$$

由 (13) 式可知，通过闭合电路的电流强度，跟电源电动势成正比，

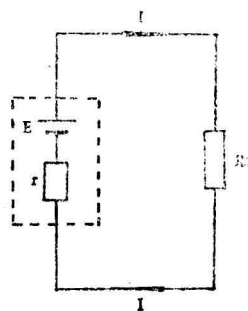


图 1-17

跟内外电路上电阻之和成反比。这个规律适用于全电路，所以叫做全电路欧姆定律。

二、实际电源外特性

一般情况下，电源电动势 E 和电源内阻都可以认为是恒定的，而路端电压 U 随负载电阻 R 的变化而变化，因而全电路欧姆定律又可写成

$$U = E - Ir \quad (14)$$

根据⑭式所作的 $U \sim I$ 曲线为实际电源的外特性曲线，这是一条直线，它与纵轴相交于 E ，与横轴相交于 I_2 ，如图 1-18 所示。下面我们分别讨论实际电源电路在运行过程中的三种状态。

(一) 开路状态 当输出端开路时，外电阻为无限大，电流 I 为零，则电源内压降 Ir 也为零，因而电源路端电压等于电源电动势，即

$$U = E$$

这就是图 1-18 上直线 EAI_2 在纵轴上的截距。

(二) 正常工作状态 当电源接上负载后，电路中便有电流通过，此电流在电源内阻上的压降为 Ir 。由⑭式可知，路端电压小于电源电动势。电源外特性的直线上的 A 点表示这一工作状态，设这时的电流为 I_1 ，电压为 U_1 ，则

$$U_1 = E - I_1 r$$

在纵轴上 EU_1 段为电源内压降 $I_1 r$ 。

(三) 短路状态 外电阻 R 逐渐减小时，电流 I 不断增大，当 $R \rightarrow 0$ 时的电路称为短路。短路时电流最大，称短路电流，用 I_K 表示，则

$$I_K = \frac{E}{r}$$

由于电源内阻一般都很小，所以短路电流很大。短路时可能使电源或电路中的电器损坏，同时使输电线路中电流过大因而电线过热燃烧甚至引起火灾，所以输电线路和用电器上都装有保护装置（例如保险丝），当发生短路时，能自动切断电路，以防止事故发生。

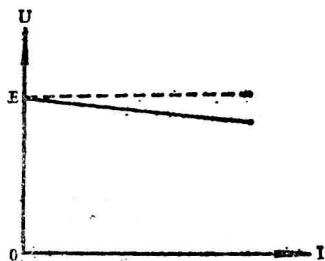


图 1-19

一般的电源内阻都很小，因而表示电源外特性的直线的斜率也很小，而电源的额定电流比短路电流小得多，因此电源的正常工作状态只是表示电源外特性的直线上的一小段，如图 1-19 所示。电源内阻越大，直线就越倾斜。对要求供给稳定电压的负载而言，这种电源是不理想的。

【例 4】 有一电池，当外电阻为 1 欧时电流为 1 安；当外电阻为 2.5 欧时，电流为 0.5 安。求电池的电动势和内电阻。

解：在上述两种情况下，分别引用全电路欧姆定律，即

$$E = I_1(R_1 + r); \quad E = I_2(R_2 + r)$$

故

$$I_1(R_1 + r) = I_2(R_2 + r)$$

求得电池的内电阻和电动势分别为

$$r = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2} = \frac{0.5 \times 2.5 - 1 \times 1}{1 - 0.5} = 0.5 \text{ (欧)}$$

$$E = I_1 (R_1 + r) = 1 \times (1 + 0.5) = 1.5 \text{ (伏)}$$

第三节 一段含有电源的电路 反电动势

一、一段含有电源的电路

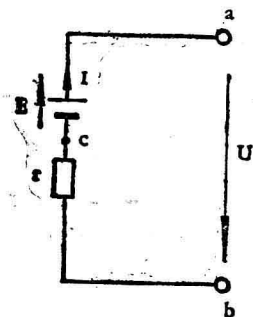


图 1-20

在含有电源的电路中，如果电流方向与电动势方向相同，则这个电源向电路输送电能；如果方向相反，则电源向电路吸取电能。图 1-20 是一段含有电源的电路，在这段电路上电流与电动势方向相同，根据图上给定的电动势、电流、电压的正方向（图上箭头所指方向），可列出下面两式

$$E = V_a - V_c$$

$$Ir = V_b - V_c$$

将两式相减后得

$$V_a - V_b = E - Ir = U \quad (15)$$

⑮式是一段含源电路的电压平衡方程。

如果已知 E 、 U 、 r ，则可求出通过这段含源电路的电流为

$$I = \frac{E - U}{r} \quad (16)$$

⑯式就是一段含有电源电路的欧姆定律。

二、反电动势

如果在一段含有电源的电路中，电动势方向和电流方向相反，则此电动势叫做反电动势。例如正被充电的蓄电池的电动势是反电动势；正在运转的电动机上的感应电动势也是反电动势。具有反电动势的电源由电路中吸取电能。

图 1-21 是一段含有反电动势的电路。根据图上给定的电动势，电压，电流的正方向可列出下列两式，即

$$E = V_a - V_c$$

$$Ir = V_c - V_b$$

将以上两式相加后得

$$V_a - V_b = E + Ir$$

即

$$U = E + Ir \quad (17)$$

⑰式是一段含有反电动势电源电路的电压平衡方程，其意义是，

外加电压的一部分用来平衡反电动势，另一部分则为该段电路上电阻的电压降，如果 E 是一个正在充电的蓄电池， r 是其内电阻（忽略导线的电阻），则⑰式还可表示蓄电池只能从电路中吸取一部分能量，而另一部分能量消耗在其内阻上。如果已知 E 、 U 、 r ，就可求出通过这段含有反电动势电路的电流

$$I = \frac{U - E}{r} \quad (18)$$

上式就是一段含有反电动势电路的欧姆定律。

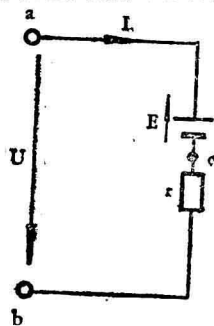


图 1-21

在一个无分支的闭合回路中，如果有两个电动势方向相反电源，则一个电源输出电能，起电源作用，另一电源吸取电能，处于负载状态。如图 1-22 所示， E_1 在电路中起电源作用， E_2 处于负载状态，其电动势为反电动势。把电压平衡方程⑮式和⑰式分别用到 RE_1r_1 段和 RE_2r_2 段，得

$$E_1 - I(r_1 + R) = E_2 + Ir_2$$

即
$$E_1 - E_2 = I(r_1 + r_2 + R) \quad (19)$$

如果把上式推广到含有两个以上电源的无分支闭合回路中，则其电压平衡方程为

$$\Sigma E = \Sigma Ir + IR$$

由于在无分支的闭合回路中电流处处相等，所以上式可写成

$$\Sigma E = I \Sigma r + IR \quad (20)$$

在这一闭合回路中的电流为

$$I = \frac{\Sigma E}{\Sigma r + R} \quad (21)$$

ΣE 为各电源电动势的代数和，其方向和电流同向取正号，反向取负号。 Σr 为各电源内阻之和。

把⑳式和㉑式相比较，可以看出，这就是含有两个或两个以上电源的全电路欧姆定律。即在含有多个电源的闭合电路中，电流强度与电动势的代数和成正比，与内、外电路中的电阻之和成反比。

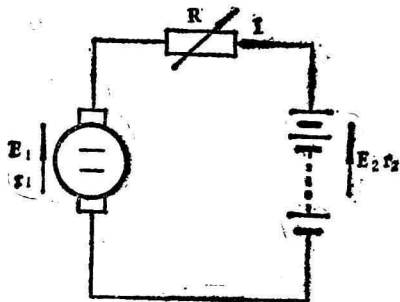


图 1-23

【例 5】图 1-23 是正在给蓄电池组充电的充电电路。充电机电动势为 33 伏特，内阻为 0.4 欧姆。蓄电池组的内阻为 0.6 欧姆。为保持充电电流恒定在 4 安培，当蓄电池组充电至 21 伏特时，电路中的可变电阻器应调到多少欧姆？

解：无分支回路电压平衡方程为： $E_1 - E_2 = I(r_1 + r_2 + R)$ ，由此求得可变电阻的电阻值为

$$R = \frac{E_1 - E_2}{I} - (r_1 + r_2) = \frac{33 - 21}{4} - (0.4 + 0.6) = 2 \text{ (欧姆)}$$

第四节 克希荷夫定律

一、克希荷夫第一定律

我们从直流电路的基本概念中已经知道，一个没有分支的恒稳电路中，任一相等的时间内，通过电路中任一截面的电量都是相等的。同时，在电路中两点之间的电压也是恒定的。电荷守恒定律又告诉我们，电荷既不能创造，又不能消灭。所以在电路中任何一点都不可能有电荷的堆积。如图 1-24 所示，如果 c 点有电荷的堆积，则流入 c 点的电荷将比流出的多。因此通过 ac 段的电流将大于通过 cb 段的电流。并且 cb 之间的电