

# 营区供电照明

营房专业教材

中国人民解放军总后勤部基建营房部

## 编写说明

本教材是在原总后营房部组织有关单位编写的《营区供电照明》教材的基础上重新编写成的，教材中加强了基础内容，增添了电气安装工程预算，适当地补充了一些专业知识方面的内容和复习题、计算题，以便于消化和巩固所学知识。

教材由后勤工程学院发供电教研室电工教学组主编。第十四章电气安装工程预算由设计室蔡连生同志编写，其余各章均由顾乃济同志编写。第一章至第四章由陶永揆同志审定；第五章至第九章以及第十二章、第十四章由郭允峰同志审定；第十章、十一章由袁光海同志审定；第十三章由蒋崇文同志审定。

在编写中由于水平有限，时间仓促，肯定有不当之处，恳切希望在使用中提出批评与修正意见。

编者

一九八五年十二月

# 目 录

|              |                |       |
|--------------|----------------|-------|
| <b>第 一 章</b> | <b>直流电路</b>    | ( 1 ) |
| 第一节          | 电路的组成          | ( 1 ) |
| 第二节          | 电流、电位、电压和电动势   | ( 1 ) |
| 第三节          | 电路及工作状态        | ( 6 ) |
| 第四节          | 欧姆定律           | ( 7 ) |
| 第五节          | 电功和电功率         | ( 9 ) |
| 第六节          | 电路的计算          | (10)  |
|              | 小结             | (17)  |
|              | 复习题            | (18)  |
|              | 计算题            | (19)  |
| <b>第 二 章</b> | <b>电磁</b>      | (23)  |
| 第一节          | 电流的磁场          | (23)  |
| 第二节          | 磁场对载流导体的作用力    | (24)  |
| 第三节          | 电磁感应           | (25)  |
|              | 小结             | (29)  |
|              | 复习题            | (30)  |
| <b>第 三 章</b> | <b>单相交流电路</b>  | (33)  |
| 第一节          | 概述             | (33)  |
| 第二节          | 正弦电势的产生        | (34)  |
| 第三节          | 正弦量的特征         | (35)  |
| 第四节          | 正弦交流电的有效值      | (39)  |
| 第五节          | 正弦交流电的表示法      | (41)  |
| 第六节          | 交流电路的概念        | (43)  |
| 第七节          | 纯电阻电路          | (43)  |
| 第八节          | 纯电感电路          | (46)  |
| 第九节          | 纯电容电路          | (49)  |
| 第十节          | 电阻和电感的串联电路     | (51)  |
| 第十一节         | 功率因数及其提高       | (54)  |
|              | 小结             | (57)  |
|              | 复习题            | (59)  |
|              | 计算题            | (60)  |
| <b>第 四 章</b> | <b>三相交流电路</b>  | (62)  |
| 第一节          | 三相对称电势的产生      | (62)  |
| 第二节          | 交流发电机三相绕组的连接方式 | (64)  |

|            |                  |       |
|------------|------------------|-------|
| 第三节        | 三相负载的连接方式        | (67)  |
|            | 小结               | (75)  |
|            | 复习题              | (76)  |
|            | 计算题              | (77)  |
| <b>第五章</b> | <b>常用电工仪表</b>    | (78)  |
| 第一节        | 电工仪表的分类和等级       | (78)  |
| 第二节        | 直读式仪表的测量机构       | (82)  |
| 第三节        | 电流、电压和电阻等的测量     | (85)  |
|            | 小结               | (94)  |
|            | 复习题              | (95)  |
|            | 计算题              | (96)  |
| <b>第六章</b> | <b>变压器</b>       | (97)  |
| 第一节        | 概述               | (97)  |
| 第二节        | 变压器的工作原理和基本结构    | (97)  |
| 第三节        | 三相变压器            | (101) |
| 第四节        | 变压器的铭牌           | (101) |
| 第五节        | 变压器的选择           | (102) |
| 第六节        | 变压器的并列运行         | (104) |
|            | 小结               | (106) |
|            | 复习题              | (106) |
|            | 计算题              | (106) |
| <b>第七章</b> | <b>异步电动机</b>     | (108) |
| 第一节        | 异步电动机的构造和工作原理    | (108) |
| 第二节        | 异步电动机的使用         | (114) |
| 第三节        | 异步电动机的选择         | (122) |
| 第四节        | 异步电动机的维护及常见故障的处理 | (128) |
|            | 小结               | (132) |
|            | 复习题              | (133) |
| <b>第八章</b> | <b>电器设备控制</b>    | (134) |
| 第一节        | 低压电器的种类、基本要求及结构  | (134) |
| 第二节        | 非自动低压电器          | (135) |
| 第三节        | 自动低压电器           | (140) |
| 第四节        | 继电接触控制           | (148) |
|            | 小结               | (162) |
|            | 复习题              | (162) |
|            | 作业题              | (162) |
| <b>第九章</b> | <b>小型变电站</b>     | (163) |
| 第一节        | 电能的输送和分配         | (163) |
| 第二节        | 变电所的类型及其对建筑的要求   | (164) |

|             |                         |       |
|-------------|-------------------------|-------|
| 第三节         | 变电站的主要设备 .....          | (167) |
| 第四节         | 变电站的主结线和常见的几种构造型式 ..... | (179) |
| 第五节         | 变电站的二次结线和控制操作电源 .....   | (198) |
| 第六节         | 变电站的管理与维护 .....         | (209) |
|             | 小结 .....                | (213) |
|             | 复习思考题 .....             | (214) |
| <b>第十章</b>  | <b>电气照明及配电线路</b> .....  | (215) |
| 第一节         | 电光源 .....               | (215) |
| 第二节         | 照明器的选择与布置 .....         | (223) |
| 第三节         | 照明配电线路 .....            | (238) |
| 第四节         | 配电线路导线截面的选择 .....       | (242) |
| 第五节         | 室内线路的敷设 .....           | (245) |
| 第六节         | 电气照明 .....              | (251) |
| 第七节         | 高层建筑的供电和配电介绍 .....      | (260) |
| 第八节         | 照明线路和常用灯具的维修 .....      | (265) |
| 第九节         | 低压架空线路 .....            | (270) |
|             | 小结 .....                | (304) |
|             | 复习题 .....               | (304) |
|             | 练习题 .....               | (305) |
| <b>第十一章</b> | <b>建筑防雷</b> .....       | (310) |
| 第一节         | 雷电的形成及危害 .....          | (310) |
| 第二节         | 建筑防雷等级的分类 .....         | (311) |
| 第三节         | 建筑物的防雷措施 .....          | (311) |
| 第四节         | 接地装置 .....              | (318) |
| 第五节         | 烟囱和水塔的保护及人身的防护 .....    | (327) |
| 第六节         | 避雷与接地装置的维护检查 .....      | (331) |
|             | 小结 .....                | (334) |
|             | 复习题 .....               | (334) |
|             | 计算题 .....               | (334) |
| <b>第十二章</b> | <b>安全用电与节约用电</b> .....  | (335) |
| 第一节         | 安全用电 .....              | (335) |
| 第二节         | 节约用电 .....              | (348) |
|             | 小结 .....                | (348) |
|             | 复习题 .....               | (349) |
| <b>第十三章</b> | <b>小型柴油机发电站</b> .....   | (350) |
| 第一节         | 柴油发动机 .....             | (350) |
| 第二节         | 交流发电机 .....             | (360) |
| 第三节         | 柴油机发电站 .....            | (365) |
| 第四节         | 柴油发电机组的运行与维护 .....      | (376) |



|      |                                                    |       |
|------|----------------------------------------------------|-------|
| 第五节  | 交流发电机的并列运行 .....                                   | (387) |
|      | 小结 .....                                           | (392) |
|      | 复习题 .....                                          | (393) |
|      | 计算题 .....                                          | (394) |
| 第十四章 | 电气安装工程预算 .....                                     | (395) |
| 第一节  | 预算的意义及分类 .....                                     | (395) |
| 第二节  | 电气安装工程预算费用的分类与取值 .....                             | (397) |
| 第三节  | 预算定额和材料预算价格表 .....                                 | (400) |
| 第四节  | 施工图预算的编制 .....                                     | (401) |
|      | 小结 .....                                           | (410) |
|      | 复习题 .....                                          | (410) |
|      | 计算题 .....                                          | (410) |
| 附录   | .....                                              | (411) |
| 一、   | 汉语拼音及拉丁、希腊字母表 .....                                | (411) |
|      | (一) 汉语拼音字母表 .....                                  | (411) |
|      | (二) 拉丁、希腊字母表 .....                                 | (412) |
| 二、   | 常用电工及设备文字代号 .....                                  | (412) |
| 三、   | 电工常用英寸与毫米换算表 .....                                 | (414) |
| 四、   | 常用单位换算 .....                                       | (414) |
|      | (一) 长度单位的换算表 .....                                 | (414) |
|      | (二) 面积换算表 .....                                    | (415) |
|      | (三) 体积换算表(附容量换算) .....                             | (415) |
|      | (四) 重量换算表 .....                                    | (416) |
|      | (五) 热功单位换算表 .....                                  | (416) |
|      | (六) 功率单位换算表 .....                                  | (416) |
| 五、   | 常用电工材料 .....                                       | (417) |
|      | (一) 导电材料 .....                                     | (417) |
|      | (二) 常用绝缘材料 .....                                   | (426) |
| 六、   | 照明负荷、用电设备需用系数、功率因数 .....                           | (427) |
|      | (一) 照明负荷分级需用系数 .....                               | (427) |
|      | (二) 用电设备的需用系数和功率因数表 .....                          | (427) |
| 七、   | 变电所内根据变压器容量选择熔断器、母线及金具 .....                       | (428) |
| 八、   | 自然接地电阻 .....                                       | (429) |
|      | (一) 埋地电缆金属外皮的自然接地电阻 .....                          | (429) |
|      | (二) 埋地金属水管的自然接地电阻 .....                            | (430) |
|      | (三) 水泥电杆的自然接地电阻 .....                              | (430) |
| 九、   | 水泵站的近距和远距控制 .....                                  | (431) |
| 十、   | 低压双路电源的自动互投 .....                                  | (432) |
| 十一、  | $\cos \phi$ 与 $\tan \phi$ 、 $\sin \phi$ 对应值表 ..... | (434) |

# 第一章 直流电路

## 第一节 电路的组成

在我们的工农业生产和日常生活中，可以遇到各式各样的电路，有的简单，有的又很复杂，尽管电路中的元器件或多或少，线路或繁或简，概括起来，由以下三个基本部分组成：电源、负载、联结导线（包括一定的控制、保护和测量装置）。

所谓电路，就是电流通过的路径。它实际上是电工设备的主体。

电源：是一种将其它形式的能量转换成电能的装置，常用的电源有发电机、原电池和蓄电池等，它们分别将机械能或化学能转换为电能。

负载：即用电设备，是将电能转换成其它形式能量的装置，如电灯、电炉、电动机等，它们分别将电能转换成光能，热能和机械能。

联接导线：是用来传输电能的。

其它装置如开关、仪表、保险丝等是用来控制、测量、保护电路能正常、安全地工作的辅助设备。图 1-1 是一个最简单的直流电路图。

从图中可以看出，它由电动势为  $E$  的电源、负载  $R$ 、开关  $K$  及导线所组成。

电路中电源以外的负载、导线等部分的电路称为外电路；电源内部的通路则称为内电路。

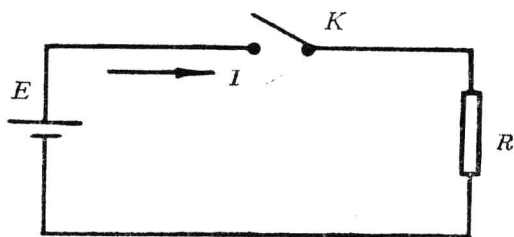


图 1-1 最简单的直流电路

## 第二节 电流、电位、电压和电动势

### 一、电流

电荷有规则的定向运动称为电流。

金属导体中的自由电子，电解质或惰性气体中的正负离子在通常情况下的运动是杂乱无章的，因此在任何瞬间、任一截面所通过的电荷数，其代数和为零。这样导体中就不存在电荷的定向运动，也就不存在电流。

如果在图1-1电路中，将开关  $K$  闭合，使它成为一个闭合回路，则导体中的自由电子在电场力的作用下，就要作有规则的定向运动，我们说，导体中就有了电流。

电流可以发生在固体中，同样也可以发生在液体(电解液)、气体或真空中。

我们规定，正电荷的运动方向为电流的方向，它和电场的方向一致，与电子流的方向正好相反。

导体中单个自由电子在电场力的作用下其运动的速度不过每秒几毫米左右，但是由于它们在电场力的作用下作定向运动，故电流的传导速度等于电场的传播速度，即等于光速。

必须指出，电路中有电流存在的同时，总会伴随着产生化学、热或磁等效应，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。

电流的大小是以单位时间内通过导体某一截面的电量多少来衡量，在物理学中称为电流强度，在工程上就简称电流。所以“电流”一词的含意，不仅表示是一种物理现象，而且也是一个物理量，用字母  $i$  或  $I$  来表示。

电荷运动的速率一般是随时间而变化的，因此，电流也将随时间而变化。设在  $dt$  时间内某导体截面通过的电量为  $dq$ ，则电流的表达式为

$$i = \frac{dq}{dt}$$

如果电流不随时间变化，即在相同的时间间隔内，通过的电量相等，那末这种电流就称为恒定电流，或称直流，这就是本章所要讨论的，这时电流强度的表达式为

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

式中  $Q$  —— 电量，单位为库仑（一库仑等于  $6.25 \times 10^{16}$  个电子的电量）；

$t$  —— 时间，单位为秒；

$I$  —— 电流强度，单位为安培。

如果在 1 秒钟内通过导体横截面的电量是 1 库仑，则导体内的电流强度就是 1 安培。安培用  $A$  表示。即

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}$$

电流强度大的单位是千安 ( $KA$ )；小的单位则是毫安 ( $mA$ ) 或微安 ( $\mu A$ )。

$$1 \text{ 千安}(KA) = 1000 \text{ 安}(A) = 10^3 \text{ 安}(A)$$

$$1 \text{ 毫安}(mA) = \frac{1}{1000} \text{ 安}(A) = 10^{-3} \text{ 安}(A)$$

$$1 \text{ 微安}(\mu A) = \frac{1}{1000000} \text{ 安}(A) = 10^{-6} \text{ 安}(A)$$

电流的另一个重要物理量是电流密度，在选用导线的截面时必须考虑这一物理量，当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，故平时在选导线截面时，就是考虑要使导线的电流密度必须在允许的范围之内，以确保用电的安全。

所谓电流密度就是当电流在导体的横截面上均匀分布时，该电流与导体横截面积（横截面积应与电流方向垂直）的比值，用字母  $j$  表示。即

$$j = \frac{I}{s}$$

式中  $I$  —— 电流强度，单位是安培；

$s$  —— 导体的横截面积，单位是平方毫米；

$j$  —— 电流密度，单位是  $A/mm^2$ 。



## 二、电位

我们知道，电场力推动电荷作定向运动即产生电流，电流又通过负载转换成各种形式的其它能量。

单位正电荷在电场中处于不同的位置，它所具有的电位能也是不同的，这与物体在重力场中处于不同位置具有各自的重力位能相似。

如图1-2(a)，如果我们将正电荷Q由A点移到B点，根据同性电荷相斥的原理，一定要

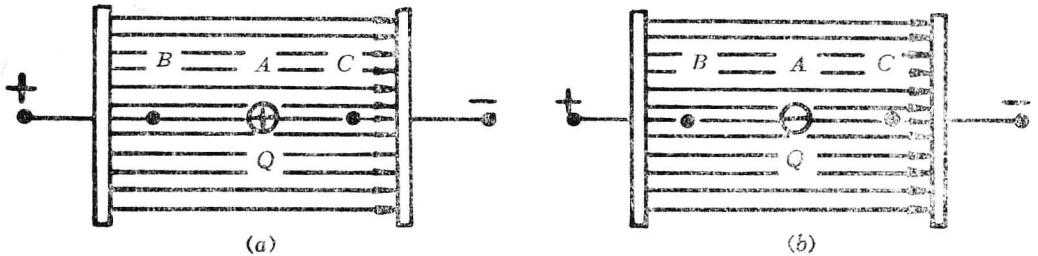


图1-2 在均匀电场中，电场力移动电荷做功的情况

施加外力克服电场的排斥力，这时外力做功，电荷Q的位能增加；如果正电荷Q由A点移到C点，这时电场力做功，电位能减小。

如果将负电荷Q放在电场中A点，如图中1-2(b)，则情况正好相反，当由A点移到B点时，电场力做功，电位能减小；而由A点移到C点时，需要外力做功，这时电位能增加。

从上面的分析可以得出电位的物理意义是：单位正电荷在电场中某一点所具有的电位能称为该点的电位，用字母 $\varphi$ 表示。即

$$\varphi = \frac{W}{Q}$$

式中： $W$ ——功(电位能)，单位为焦耳；

$\varphi$ ——电位，单位为伏特，简称伏，用字母V表示。

在重力场中，物体处于某一位置所具位能的大小是相对于所选择的参考点来说的。讲电位的高低要先指定一个参考点，否则便无意义。通常令参考点的电位为零，将其它点与参考点作比较，就可以定出其它各点电位的高低。在电力工程中，常取地球作为参考点并令它的电位为零。因此，凡是机壳接地的电气设备，其机壳都是零电位。有些不接地的设备，在分析问题，常选择许多元件汇集的公共点作为零电位点，并用符号“ $\perp$ ”表示；接大地则用符号“ $\text{⏏}$ ”表示，以示区别。

必须注意，参考点不同，电路中各点的电位便有不同的数值。

如图1-3(a)中，有两个电源，一个3伏，一个6伏，将它们顺向联接起来，并把C点接地，则图中各点的电位为：

$$\varphi_a = 9 \text{ V}, \varphi_b = 6 \text{ V}, \varphi_c = 0$$

若将b点接地，图1-3(b)，则各点电位值为：

$$\varphi_a = 3 \text{ V} \quad \varphi_b = 0 \quad \varphi_c = -6 \text{ V}$$

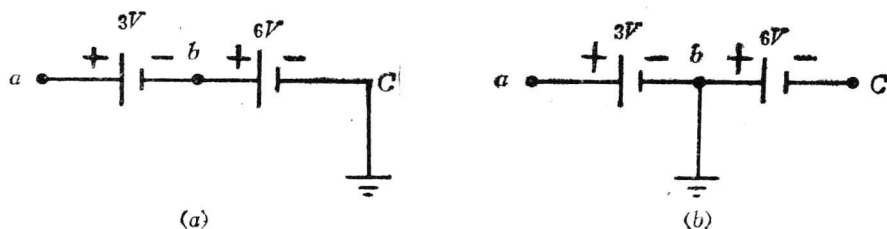


图1-3 电位计算举例

这就说明参考点改变后，各点电位值也随着改变。

电位的概念在电子线路中经常用它来分析研究问题。

### 三、电压

在电场中两电位的差值，叫这两点间的电压。同样在电路中某两点的电位之差称为这两点的电位差，电位差也叫电压，用 $u$ 或 $U$ 表示。如果对于电路中指定的某两点A和B来说，则用 $u_{AB}$ 或 $U_{AB}$ 表示，即

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = \frac{W_A}{Q} - \frac{W_B}{Q} = \frac{W_A - W_B}{Q} = \frac{W_{AB}}{Q}$$

从公式可以看出，电压的物理意义是电路中A、B两点之间的电位差，其值等于把单位正电荷从A点沿任一路径移到B点电场力所做的功。

电压的单位是伏特。如果电场力把1库仑的电量从A点移到B点所做的功为1焦耳，那么A、B两点间的电压就是1伏特。简称伏，用V表示。

$$1 \text{ 伏特} = \frac{1 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 库仑}}$$

电压较高的单位是千伏(kV)，较低的单位是毫伏(mV)或微伏( $\mu V$ )

$$1 \text{ 千伏(kV)} = 1000 \text{ 伏(V)} = 10^3 \text{ 伏(V)}$$

$$1 \text{ 毫伏(mV)} = \frac{1}{1000} \text{ 伏(V)} = 10^{-3} \text{ 伏(V)}$$

$$1 \text{ 微伏}(\mu V) = \frac{1}{1000000} \text{ 伏(V)} = 10^{-6} \text{ 伏(V)}$$

电压的方向是从高电位指向低电位，常用箭头表示。还必须注意，电路中任意两点间的电压与电位的参考点的选择无关。如前面的例子，当以C点为参考点时

$$\varphi_C = 0$$

$$\varphi_A = 9V$$

$$\varphi_B = 6V$$

$$\text{则 } V_{AC} = \varphi_A - \varphi_C = 9 - 0 = 9V$$

以b点为参考点时

$$\varphi_B = 0$$

$$\varphi_A = 3V$$

$$\varphi_C = -6V$$

则  $U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C = 3 - (-6) = 3 + 6 = 9V$

其结果是  $V_{AC}$  都是  $9V$ ，这说明了电压与参考点无关。

从上面的计算可以看出，由于 A 点电位高于 C 点电位，所以  $U_{AC}$  为正值。反之，为负值， $U_{CA} = -9V$ 。

即

$$U_{CA} = \varphi_C - \varphi_A = 0 - 9 = -9V \text{ (参考点为 C)}$$

$$\text{或 } U_{CA} = \varphi_C - \varphi_A = -6 - 3 = -9V \text{ (参考点为 b)}$$

由此可以得到：

$$U_{AC} = -U_{CA}$$

上式包含了一定的物理意义，在分析和计算电路时常常用到。

在进行电路计算时，经常会遇到电位和电压的计算，下面举一些例题。

例1-1 有一个电位器(如图1-4)，已知：A 点电位  $\varphi_A = 115$  伏，B 点电位  $\varphi_B = 100$  伏，C 点电位  $\varphi_C = 80$  伏，D 点电位  $\varphi_D = 0$ ，试求： $U_{AB}$ 、 $U_{BC}$ 、 $U_{CD}$ 。

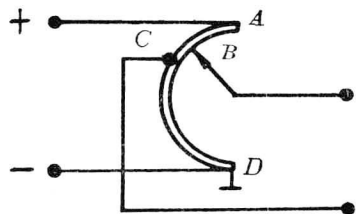


图1-4 例1-1的图

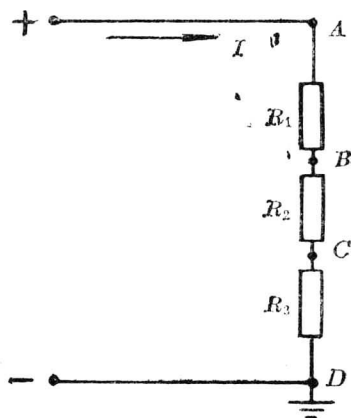


图1-5 例1-2的图

解：根据电压定义

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 115 - 100 = 15 \text{ (伏)}$$

$$U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C = 100 - 80 = 20 \text{ (伏)}$$

$$U_{CD} = \varphi_C - \varphi_D = 80 - 0 = 80 \text{ (伏)}$$

例1-2 在图1-5电路中，D点接地，测量得A、B间的电压为5伏，B、C间的电压为4伏，C、D的电位为2伏，试求A、B、C、D各点电位

解：根据电压定义：又  $\varphi_D = 0$

$$U_{CD} = \varphi_C - \varphi_D = \varphi_C = 2 \text{ (伏)}$$

$$U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C$$

$$\varphi_B = U_{BC} + \varphi_C = 4 + 2 = 6 \text{ (伏)}$$

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$$

$$\varphi_A = U_{AB} + \varphi_B = 5 + 6 = 11 \text{ (伏)}$$

#### 四、电动势

外力（也称电源力或局外力）在电源内部把单位正电荷从低电位推向高电位所做的功称为电源的电动势，用字母 $e$ 或 $E$ 表示。

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

电动势与电压有相同的单位即伏特，但电动势的概念与电压的概念是既有联系又有区别。电压是指电路中两点电位之差，表示电场推动电荷做功的能力；电动势是指在电源内部借助外力所产生的推动电荷的能力。

图1-6的电路为一闭合电路，电流从电源高电位正极经负载 $R$ 流向低电位负极说明了下面两个问题

1. 在外电路，正电荷在电场力的作用下，从高电位 $a$ 通过负载 $R$ 流向低电位 $b$ ，这就规定了电压的正方向是从高电位到低电位，也就是电位降低（电压降）的方向。
2. 在内电路，正电荷在外力的作用下，克服了电场的阻力，通过电源内部从低电位 $b$ 流向高电位 $a$ ，这就规定了电动势的正方向是从低电位到高电位，即电位升高的方向。

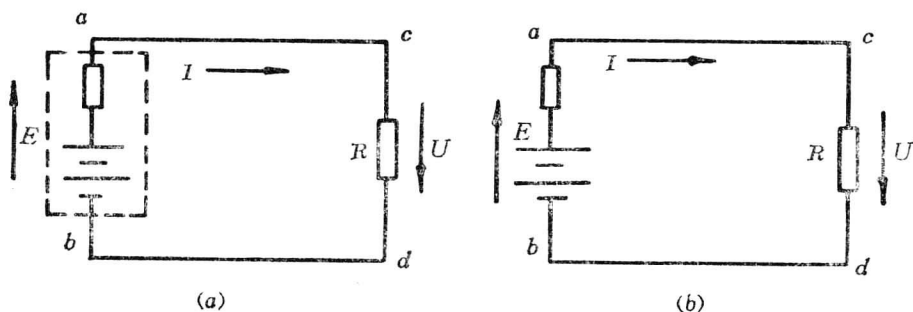


图1-6 最简单的闭合电路

电动势只存在于电源内部，电源为了不断地维持电路中的电流，就必须依靠外力的作用（如电磁感应，化学反应等），使正电荷逆电场方向从 $b$ 移到 $a$ ，如果没有这种外力来完成这个把正电荷从低电位推向高电位的任务，不断维持电路中 $a$ 端电位高， $b$ 端电位低，则电路中就不可能维持有持续的电流。

电源的电动势可以是不变的，也可以是变化的，如电池的电动势可以看成是恒定电动势，交流发电机所产生的电动势则是交变电动势。

### 第三节 电路及工作状态

电路有三种工作状态，即额定工作状态、空载状态和短路状态。

#### 一、额定工作状态

各种电气设备或电器元件，都有规定的额定电压、电流、功率等使用数据，这些数据就是该设备或元件的额定值，在使用这些电气设备或电器元件时，都应该在这些规定的额定情况下工作，这种情况称为额定工作状态。

额定值是设计、制造部门对产品使用的规定，一般用下标 $e$ 表示，如额定电压为 $U_e$ 、额定电流为 $I_e$ ，额定电功率为 $P_e$ 等。

电气设备只有按照额定值工作，才能保证安全可靠，经济合理，不致于缩短寿命（大多数电气设备的寿命与绝缘强度有关）。当通过电气设备的电流超过额定值较大时，由于过量发热而使绝缘老化甚至遭到破坏，当电压超过额定值较高时，就有可能使设备的绝缘被击穿。反之，如果电气设备在低于额定值使用时，又不能够正常工作，或者说不能充分利用设备能力，达到预期效果。

电气设备和电路元件的额定值常标在铭牌上或打印在外壳上，使用时务必核对各额定值的具体数据。

必须指出，对于白炽灯、电阻炉之类的电气设备，只要在额定电压下使用，其电流和功率都将达到额定值。但是对另一类电气设备，如电动机、变压器等，虽然在额定电压下工作，但电流和功率也可能没有达到额定值，也有可能超过额定值。这是因为电动机的电流和输出功率还要取决于它所带的机械负荷，变压器的电流和输出功率也取决于它所带的用电负荷。它们虽然在额定电压下工作，但还是存在着过载（电流和功率超过额定值）的可能性，这在使用时是必须注意的。

## 二、空载（开路）状态

开关断开或电路中某处导体断裂，负载不能工作，这时电路的工作状态称为空载（开路）。空载时表现在外电路的电阻为无限大，因此电路中的电流为零，电源不输出功率。即

$$I = 0$$

$$P = 0$$

这时电源的端电压等于电源的电动势，称开路电压，用 $U_{oc}$ 表示，所以

$$U_{oc} = E$$

## 三、短路状态

如果由于某种原因电源直接被电阻很小的导体所联接，其外电路电阻 $R \approx 0$ ，这种状态称为电源被短接，或称短路状态，这时的电流会达到很大的数值，这个电流叫短路电流，用 $I_{sc}$ 表示。

电源被短接后，电动势全部降落在内阻上，对外不输出电压，也不输出功率。这时电源的功率全部转换成热能，使电源的温度迅速上升以致烧毁。

电源短接是应当避免的，为了防止由于短路引起的大电流而将电源烧毁的事故出现，通常在电路中安装熔断器或其它自动保护装置，使一旦发生短路时能迅速地切除故障，防止事故扩大，保护电气设备和供电线路。

# 第四节 欧姆定律

欧姆定律说明电路中的电流与电源电动势、电压和电阻之间的关系。

## 一、部分电路的欧姆定律

在不包括电源的部份电路中，如图1-6中 $cd$ 段电路所示，通过这段电路的电流强度，和加在这段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

$$I = \frac{U_{cd}}{R} \quad \text{或} \quad I = \frac{U}{R}$$

式中，电流的单位用安培 (A)；电压的单位用伏特 (V)；电阻的单位用欧姆 ( $\Omega$ )。

由上式还可以得到：

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{和} \quad U = I \cdot R$$

上面的式子都适用于外电路，它们所表达的电流、电压、电阻关系的欧姆定律为部份电路欧姆定律。

## 二、全电路欧姆定律

当一个电路的外电路闭合时，外电路中就有电流通过，同样电源内部也有电流通过。电流通过电源内部的电阻（内电阻）时，也要克服阻力做功，同样产生内电压降。由于电源总是和外电路联接在一起的，我们把这种电路称为有源闭合电路。如图1-6所示。

在有源闭合电路中，电流强度为 $I$ ，外电路的电压降为 $U$ ，内电路（电源内部）的电压降为 $U_0$ ，而电源的电动势应该抵偿电路中内外电压降，所以电源的电动势应为：

$$E = U + U_0$$

如外电路的电阻为 $R$ ，内电路的电阻为 $R_0$ ，则：

$$E = I \cdot R + I \cdot R_0 = I(R + R_0)$$

即

$$I = \frac{E}{R + R_0}$$

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，与电源的电动势成正比，与整个电路的总电阻成反比。

同样可以得到全电路的电功率公式：

$$P = E \cdot I$$

对于一定电源来说， $R_0$ 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，只有电流强度 $I$ 是一个由外电路的电阻 $R$ 所决定的值。

例1-3、如图1-7所示，电源的电动势为3伏，内阻 $r$ 为0.6欧，求电路的总电流、内电压降和电源的端电压。

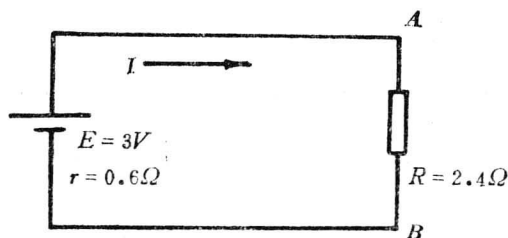


图 1-7

$$\begin{aligned} \text{解:} \quad & \because I = \frac{E}{R + r} \\ & \therefore I = \frac{3}{2.4 + 0.6} = 1 \text{ (安)} \\ & \therefore U_{AB} = I \cdot R = 1 \times 2.4 = 2.4 \text{ (伏)} \\ & \quad U_0 = I \cdot r = 1 \times 0.6 = 0.6 \text{ (伏)} \end{aligned}$$

故电源电动势  $E = U_{AB} + U_0 = 2.4 + 0.6 = 3 \text{ 伏}$

在有些电路中，具有几个电源，其中有的电源电动势方向与电路中电流方向相同，是推动电荷运动的；有的电动势却与电流方向相反，是阻碍电荷运动的。这种阻碍电荷运动的电



电动势称为反电动势。因全电路欧姆定律计算这种电路时，首先要假设电路中电流的方向，再确定那些是反电动势，然后代入到公式中去进行计算。计算时，反电动势应作为负值。计算得出的结果，电流如是正值，说明电流的实际方向与假设方向相同；电流如是负值，说明电流的实际方向与假设方向相反。

例1-4 有一个电源，电动势  $E_1 = 60$  伏，电阻  $r_1 = 4.5$  欧，给一组蓄电池充电，蓄电池组的电动势  $E_2 = 50$  伏，内阻  $r_2 = 0.5$  欧，试求充电时的电流  $I$ 。（如1-8电路图）

解：假设电流如图中所示。这时  $E_2$  为反电动势，作为负值代入公式得

$$I = \frac{E_1 - E_2}{r_1 + r_2} = \frac{60 - 50}{4.5 + 0.5} = \frac{10}{5} = 2 \text{ (安)}$$

充电电流为 2 A，电流的实际方向与假设方向相同。

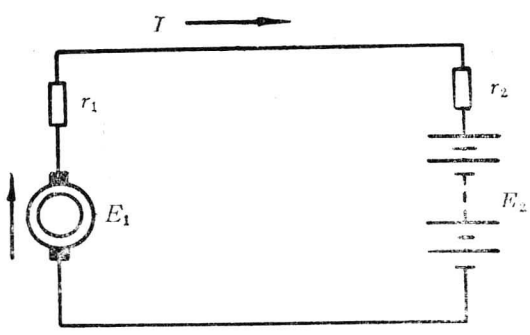


图1-8 含有反电动势的电路

## 第五节 电 功 和 电 功 率

### 一、电功

电流有化学的、热的和磁的效应，也就是电能转变为化学能、热能和磁能的过程。这种电能的转换，说明电流做了功。

电功（用A表示）就是电路中，电场力使电荷移动所做的功。做功的大小等于被移动的电量与这两点间的电位差（即电压）的乘积：

$$A = Q(\varphi_A - \varphi_B) = Q \cdot U_{AB}$$

因为电量  $Q = I \cdot t$ ，代入上式得

$$A = U_{AB} \cdot I \cdot t$$

它的物理意义是电流在一段电路上所做的功，与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。

○ 电功的单位是焦耳。

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

### 二、电功率

○ 电功率（用P表示）是指某个电路在单位时间（如1秒钟）内所做的电功，也就是在单位时间内将电能转换为其它形式能的本领。

$$P = \frac{A}{t} = \frac{U \cdot I \cdot t}{t} = U \cdot I$$

这样，电功率就是一个与通电时间无关的物理量了。

电功率的单位是瓦特，用符号W表示。

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

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及所通过的电流强度成正比。

我们平时用了多少电就是指电流为我们做了多少功。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

$$A = P \cdot t$$

所以

$$1 \text{ 焦耳} = 1 \text{ 瓦特秒}$$

或

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

$$1 \text{ 千瓦小时又称为 } 1 \text{ 度}$$

也就是说 1 度电就是电功率为 1 千瓦的用电设备用了一个小时所消耗的电功。

电功率和机械功率的关系是

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

$$1 \text{ 千瓦} = 1.36 \text{ 马力}$$

例1—5 日常用的白炽灯泡上标明电压为220V、电功率为25W，它工作多长时间消耗1度电能。

解：  $1000 \text{ 瓦时} = 25 \text{ 瓦} \times t \text{ 时}$

$$t = \frac{1000}{25} = 40 \text{ (小时)}$$

## 第六节 电路的计算

在实际电路中，通常由多个电阻组成负载，这些负载电阻常见的联接方法有串联、并联和混联等简单电路；也有多个电阻和电源组成的复杂电路。下面进行这两种电路的分析和计算。

### 一、简单电路的计算

例1—6 有一只电压表，其内阻  $R_{\text{表}} = 2000$  欧，只能测50伏以下的电压，现在要求能测量300伏以下的电压，应串接一个多大的分压电阻？

解：按题意，应在分压电阻上降去  $300 - 50 = 250$  伏的电压，根据  $R_{\text{表}} : R_{\text{分}} = U_{\text{表}} : U_{\text{分}}$

所以  $2000 : R_{\text{分}} = 50 : 250$   $R_{\text{分}} = 10000$  欧

故应串联一个阻值为10千欧的分压电阻后，电压表就能测量300伏以内的电压。

例1—7 如图1-9， $R_1 = R_2 = R_3 = R$ ，求AD间的总电阻。

解：从图中可以看出，A、C和B、D间各用一根导线联接，所以A、C是等电位点，B、D也是等电位点，这样图1-9实际上就是  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  相互并联的电路，所以

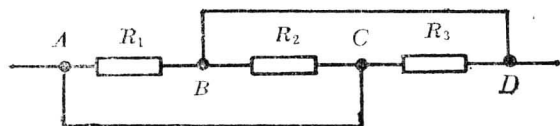


图 1-9

$$R_{\text{总}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{R}{3}$$

例1—8 如图1-10有一电流表，其内阻  $R_{\text{表}} = 1\Omega$ ，只能测  $100\text{mA}$  以下的电流，现要求能测量  $0 \sim 1\text{A}$ 、 $0 \sim 5\text{A}$  的电流，就必须并联接入分流器，求分流器的电阻？

解：根据题意，电流表只能通过  $100\text{mA}$  的电流，如要测量  $0 \sim 1\text{A}$  和  $0 \sim 5\text{A}$  的电流就必须分去  $0.9\text{A}$  和  $4.9\text{A}$  的电流，按  $I_{\text{表}} : I_{\text{分}} = R_{\text{分}} : R_{\text{表}}$  代入数值得：

$$0.1 : 0.9 = R_{\text{分}1} : 1 \quad \text{所以} \quad R_{\text{分}1} = 0.11(\Omega)$$

$$\text{同理：} 0.1 : 4.9 = R_{\text{分}2} : 1 \quad \text{所以} \quad R_{\text{分}2} = 0.02(\Omega)$$

故分流器的电阻应为  $0.1\Omega$  和  $0.02\Omega$ 。

## 二、复杂电路的计算

电路按其结构可分为无分支电路和分支电路。无分支电路只包含一个闭合路径。有些电路看上去有分支，但可以用串并联的方法，把它简化后等效为无分支电路，然后用欧姆定律来进行计算。

在生产实践中，常常会遇到一些不能用串并联的方法进行简化等效的电路，这样单用欧姆定律就无法求解。如施工机械中有两个电源的电路如图1-11。

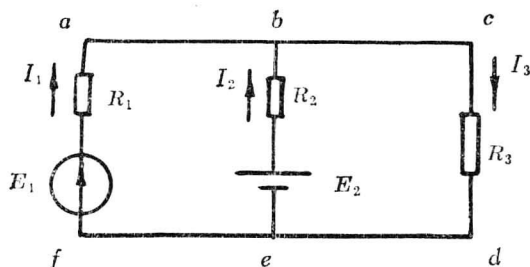


图1-11 复杂电路举例

是三个回路，这电路共有三个回路，其中  $abefa$ 、 $bcdeb$  只含有一个孔眼，叫做单孔回路或称网孔， $abcdefa$  则不是单孔回路。

复杂电路不能用欧姆定律来进行计算，但是它可以用基尔霍夫定律得到求解。

### 1. 基尔霍夫第一定律

基尔霍夫第一定律也称节点电流定律。在无分支电路中，电流只有一个流通路径，因此通过电路各部分的电流处处相等。在分支电路中，各支路电流就不一定相等，节点电流定律就是解决关于分支电路中各部分电流间相互关系的定律。

定律指出：流入一个节点的电流之和等于从这个节点流出的电流之和。对于图1-11中节点  $b$  来说，可以写出节点电流方程为（图中标出的电流是任意假定的）：

$$I_1 + I_2 = I_3$$

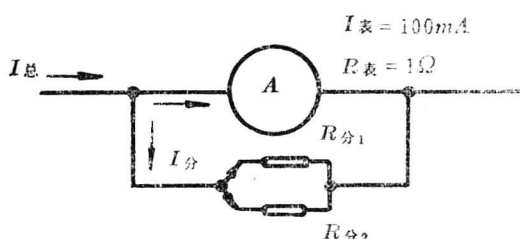


图1-10 例1-8图

图1-11为一分支电路，它包含有一个以上的闭合电路，在这个电路中的  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  一般均为已知，电流为待求，并可任意假定它们的方向。图中我们把三根或三根以上的连接处称为节点（也称结点）。两个节点间的电路称为支路。由几个支路组成的闭合路径称为回路。图中  $b$  点和  $e$  点就是节点，图中只有两个节点； $bafe$ 、 $be$ 、 $bcde$  是三个支路，这电路共有三个支路； $abefa$ 、 $bcdeb$ 、 $abcdefa$