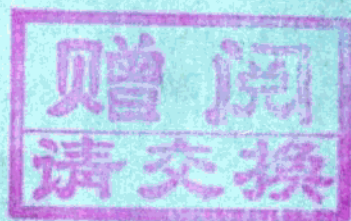




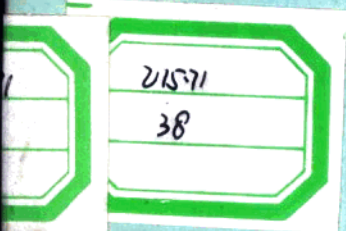
船艇电气设备

(试用本)



中国人民解放军 运输技术学校

一九七六年四月



毛 主 席 语 录

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

我们的教育方针，应该使受教育者在德育、智育、体育几方面都得到发展，成为有社会主义觉悟的有文化的劳动者。

学生也是这样，以学为主，兼学别样，即不但学文，也要学工、学农、学军，也要批判资产阶级。

政治和经济的统一，政治和技术的统一，这是毫无疑义的，年年如此，永远如此。这就是又红又专。

全党都要注重战争，学习军事，准备打仗。

一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。这就是马克思主义的认识论，就是辩证唯物论的认识论。

说 明

遵照伟大领袖毛主席关于“**教育要革命**”和“**教材要彻底改革**”的教导，我们编写了《船艇电气设备》作为第一期船艇机电班学员的试用教材。由于我们对毛主席教育革命的指示学习不够，加之业务水平低，教材中如有缺点错误，切望读者批评指出，以便进一步修改。

目 录

第一篇 电的基本知识	(1)
第一章 直流电路	(1)
第一节 电的基本概念	(1)
第二节 直流电路与欧姆定律	(7)
第三节 串并联电路的联接及其特性	(11)
第四节 电功和电功率	(18)
第五节 电流的热效应	(20)
第六节 电容	(23)
第二章 磁与电磁	(27)
第一节 磁的基本概念	(27)
第二节 电磁	(30)
第三节 通电导体在磁场中运动	(35)
第四节 电磁感应	(36)
第五节 简单发电机工作原理	(41)
第三章 常用电工仪表	(43)
第一节 电工仪表概述	(43)
第二节 磁电式仪表的结构和工作原理	(44)
第三节 直流电流表、电压表和欧姆表	(48)
第四节 万用电表	(51)
第五节 兆欧表	(64)
第六节 电工仪表故障及一般检修	(66)
第七节 电磁式仪表	(67)
第八节 电转速表	(69)
第二篇 船艇电站	(73)
第一章 直流发电机	(73)
第一节 直流电机的构造	(73)
第二节 直流发电机的工作原理	(78)
第三节 直流发电机的功率、转矩和电势平衡关系	(85)
第四节 直流发电机的激磁方式及特性	(88)

第五节	直流发电机在运行中的故障分析与排除	(94)
第二章	配电板	(97)
第一节	配电板电路的识别	(97)
第二节	82吨运输艇总配电板	(99)
第三节	82吨运输艇另一种配电板	(110)
第四节	100 吨运输艇总配电板	(113)
第五节	600 匹拖轮配电板	(122)
第六节	新50吨登陆艇配电板	(125)
第七节	50吨运输艇配电板	(130)
第八节	船艇电站的使用与管理	(133)
第九节	配电板控制元件的检查、调整与故障排除	(134)
第三篇	船艇电力拖动及控制	(137)
第一章	直流电动机	(137)
第一节	直流电动机的工作原理	(137)
第二节	直流电动机的特性	(141)
第三节	直流电动机的启动	(144)
第四节	直流电动机的调速	(146)
第五节	直流电动机在运行中的故障分析与排除	(148)
第六节	直流电动机的维护保养	(151)
第七节	直流电动机的维护保养后的试验	(155)
第二章	直流电动机的控制	(158)
第一节	淡水泵、消防泵的控制电路	(158)
第二节	电动锚机控制电路	(167)
第三节	电动起货机控制电路	(180)
第四节	电动舵机	(185)
第五节	100 吨运输艇副锅炉自动控制	(190)
第三章	直流电机的修理	(193)
第一节	电枢绕组	(193)
第二节	电机的分解	(200)
第三节	电枢绕组的检查和修理	(201)
第四节	激磁绕组的检查和修理	(212)
第五节	电刷的检查、研磨、更换及轴承的检查	(216)
第四篇	船艇附属电气设备	(219)
第一章	调节器	(219)

第一节	调节器的工作原理	(219)
第二节	三、五组调节器的工作情况	(224)
第三节	调节器的检查与调整	(231)
第四节	充电电路及调节器的故障分析与排除	(235)
第二章	启动电机	(239)
第一节	启动电机的工作特点	(239)
第二节	启动电机的传动装置	(241)
第三节	启动电路及其工作情形	(246)
第四节	启动电机的使用与故障分析	(249)
第五节	启动电机的维护保养与试验调整	(251)
第三章	蓄电池	(254)
第一节	蓄电池的结构	(254)
第二节	蓄电池的工作原理	(256)
第三节	蓄电池的性能	(258)
第四节	蓄电池的充电	(261)
第五节	蓄电池的使用管理	(264)
第六节	蓄电池故障分析	(268)
第七节	蓄电池的修理	(269)
第八节	碱性蓄电池	(272)
第四章	讯号、音响装置、充电控制箱	(274)
第一节	传令钟	(274)
第二节	航行灯控制器	(279)
第三节	音响讯号设备	(284)
第四节	充、放电控制箱	(287)
第五章	船艇网路	(295)
第五篇	交流电	(301)
第一章	交流电的基本知识	(301)
第一节	交流电的基本概念	(301)
第二节	交流电路	(305)
第三节	交流电路中的功率	(307)
第二章	三相交流电	(309)
第一节	三相交流发电机	(309)
第二节	三相交流电路	(310)
第三节	三相电路的功率	(314)
第三章	交流电动机	(316)

第一节	三相感应电动机的结构及工作原理	(316)
第二节	异步电动机的使用	(320)
第三节	单相串激电动机(交直流两用)	(325)
第四节	常见故障分析	(326)
第四章	变压器	(327)
第一节	变压器构造和绕组电压及其使用	(327)
第二节	小型变压器设计与制作	(331)
第五章	整流电路	(335)
第一节	半导体二极管	(335)
第二节	整流电路	(339)
第三节	可控硅	(344)
第六章	照明电路和安全用电	(349)
第一节	照明电路	(349)
第二节	安全用电	(352)

第一篇 电的基本知识

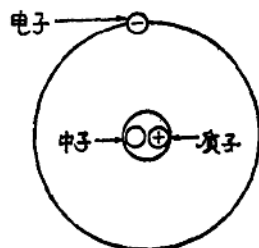
第一章 直流电路

第一节 电的基本概念

一、电是什么

在日常生活与生产中，几乎到处都要用到电。象电灯通电会发光，电动机通电会旋转。电究竟是怎么回事呢？在电线里有什么东西通到电灯，电动机里去，要弄清这个问题，还得从物质内部基本结构的矛盾中找出答案。

经过人们长期科学实验证明，世界上的一切物质都是由分子组成的，分子则是由很小的原子组成，原子又由更小的原子核和电子组成，原子核还可分为质子和中子，质子带正电荷，用符号“+”表示，电子带有负电荷，用符号“-”表示。电子沿着一定的轨道以很高的速度围绕原子核旋转，如图1-1所示。



⊕质子 ⊖中子 ⊖电子
图1-1

不同的物质，它们的原子结构是不一样的，图1-1是氢原子的结构，它只有一个电子围绕原子核旋转，铜原子则有29个电子沿着不同的轨道围绕原子核旋转，如图1-2所示。尽管各种原子结构不相同，电子和质子的数目有多有少，总是离不开基本的物质——正电荷、负电荷。这个正电荷和负电荷就是我们平时所说的电。它是物质内部的一对基本矛盾，是一切物质结构的基础，是一切化学作用和电学作用的根源。由此可见，电是一种物质。平时我们看到的电所表现的各种现象（发光，发热、电解等）就是电荷这种物质运动所显示的现象。为了清晰起见，我们把物质结构列表如下：

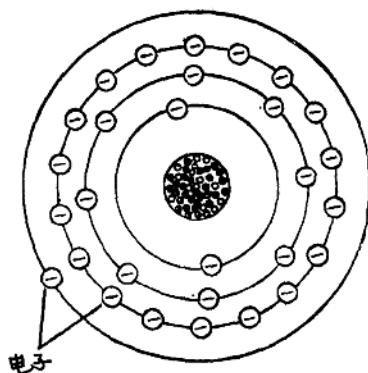
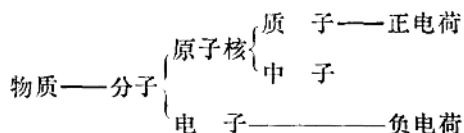


图1-2



既然一切物质内部都有正电荷和负电荷存在，那么为什么平时各种物质又看不出有电的现象呢？这是因为事物变化还需要一定的条件——即外因。在没有外因作用的条件下，物质内部的电子和质子数目相等，正、负电荷这对矛盾暂时处于平衡状态，物质也就不表现带电的性能，这种状态叫做电的中和状态。

二、电流的形成

正电荷和负电荷具有同性相斥异性相吸的特性，原子核的正电荷和电子的负电荷之间吸引力的大小与它们两者之间的距离平方成反比，因此在不同轨道上的电子受到原子核的吸引力各不相同，离原子核较近轨道上的电子受到的吸力就大，而在边缘轨道上的电子受到的吸力就小，这些外层电子容易受外力的作用脱离原来的轨道而自由移动，在原子中间穿来穿去，这种可以自由移动的电子称“自由电子”，一般金属物质都有自由电子，这些自由电子在一般情况下的运动是很不规则的，只有给以一定的外因条件，如发电机的电磁感应，或蓄电池的电化学反应，这就强迫这些电子向一定的方向移动，这时便形成电子流，大量电子朝着一定的方向有规则的流动就叫电流，有了电流，电灯就能发光，电机就能旋转，电炉就能发热。

还有一些物体，如食盐的溶液，硫酸溶液等，这些溶液中有一些原子失去了电子而成为带正电的离子叫正离子，另一些原子会得到一些电子而成为带负电的离子叫负离子，给这些溶液以一定的外加条件溶液中的离子也会作定向有规则的移动形成离子流，也叫电流。

因此，电流就是电子或离子在外力作用下作定向有规则的运动。为了进一步说明问题，我们分析一下图 1—3 中电路的工作情况。图中我们把小灯泡用导线和电池的两极联起来，这时灯泡就会发光，说明有电流流过灯泡。这个电流是怎么产生并维持的呢？

要产生电流一定要有电源，这里的电源就是电池，电池是利用化学反应的作用强迫原子中的部分电子脱离原子核的吸引，使电子积聚在电池的一端，由于电子带负电荷，所以这一端就是电源的负极，用符号“—”表示。失去部分电子的原子积聚在另一端，它们带正电荷，成为电源的正极，用符号“+”表示。已经积聚在电源两端的正、负电荷，由于同性相斥的特性，负极端阻止电子继续积聚，正极端也阻止正电荷继续增加，这样便出现了两个力，一个是化学力促使电荷向正、负极积聚，一个是电荷的排斥力阻止电荷继续积聚。当这两个力相等时，电荷积聚停止。如果用导线把电池正、负极与灯泡接成闭合回路后，电源负极上积聚的电子就会推动金属导线中的自由电子作定向移动。正极上的正电荷便吸引电子移过来。因此电子便从电源的负极经过导线、和灯泡流向电源的正极，就形成电流，电流通过灯泡，灯泡就发亮。

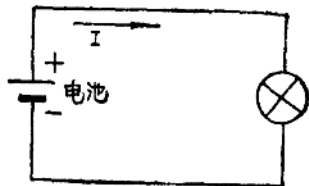


图 1—3

负极上的电子向正极移动，负极上电子的数目就减少。也就是阻止电子聚积的力量减少了。同时，由于电子移向了正极，又和正极上的正电荷结合，使原子中和，正极上的正电荷也减少了，即阻止正电荷聚积的力量也减少，因此，正、负极上化学力和阻止力失去平衡，化学力大于阻止力，又使正、负电荷继续向正负极积聚起来，电池就是这样保持一定的力量推动电子定向移动的，这就是电流产生并维持的过程，也就是将化学能转变为电能的过程。当然，在能量转换过程中，化学力将越来越少，推动电荷积聚的力量就随着减小，电流也逐渐减小，就是我们平常说的电池的电不足了。

从电流实质的分析中可以看出，电流的方向应该是电子移动的方向，也就是说由电源的负极经过用电设备到电源的正极。但由于人们在弄清电流实质之前就已经规定电流的方向是由“正”到“负”。而且一直延用到现在。因此，平时我们讲电流的方向一般都是指由“正”到“负”。这样规定电流的方向，虽然和金属导体中自由电子移动的方向不一致，但由于一定的数量的正电荷向一定方向运动与相等数量的负电荷向相反的方向运动，其效果是完全一样的，同时考虑到电荷运动形式各有不同，除了金属中是负电荷运动外，其他也有正电荷运动（如液体中就是正负电荷同时相对运动）。因此，这样规定电流方向是完全可以的。有时为了研究某些问题的方便，也采用电子移动的方向，称电子流方向，它恰好与平时所说的电流方向相反。

电流按其不同形式又可分为直流电流，交流电流和脉动电流。电流的大小和方向不随时间而变化的叫做直流电，由于它便于控制电机的启动和转速，所以目前陆军船艇都使用直流电。

电流的大小和方向随时间而变化的叫交流电，今后，随着电子工业的发展，交流电在船艇的应用会不断增多。目前，陆军船艇600吨油轮和100吨登陆艇已经应用。

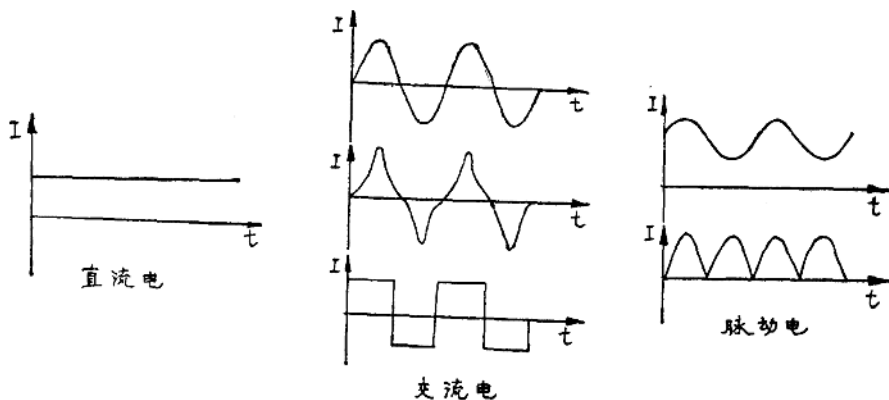


图 1-4

大小随时间变化，而方向不随时间变化的电流，叫做脉动电流，在无线电电路中常会遇到。

电流用符号“ I ”表示，他的计量单位是安培（ A ），简称“安”。一安培电流是每秒钟通过导线截面的电量是一库仑，一库仑的电量是 6.25×10^{18} 个电荷。

计量微小的电流时还用毫安（ mA ）或微安（ μA ）作单位，它们与安培的关系是：

$$\begin{aligned} 1 A &= 1000 mA \\ &= 1000000 \mu A \end{aligned}$$

三、电 压

为了便于理解，我们把电路比作水路，水管好比导线，水流好比电流，电源就相当于水泵。水在水管里能继续不断地流动，就因为有水泵把水升高到水塔里，产生水位差，水才能由水塔的高水位点经水管流到低水位点，同样，电路里要有电流也必须先产生电位差，电流才能从电路里的高电位点流向低电位点。电源就是起升高电位的作用，或者说产生电位差，前面在分析电池的工作过程中我们看到，由于化学反应，正负电荷分别积聚在两个极上。因为正电荷的电位比负电荷的电位高，所以电池两极的电位就不同，正极电位高，负极电位低，这就产生了电位差，电路接通后，电流便从高电位（正极）经过用电设备流向低电位（负极）。因此，电源的作用就象水泵的作用一样，水泵产生水位差，电源产生电位差，水位差产生水压，有了电位差就叫电压。电压用符号“ U ”表示。

电位与电压是有区别的。电位的数值与高度一样，是一个相对的概念，它有正电位和负电位之分，根据在电路中选择哪一点为零电位来决定，在图1—5中，如假定 B 点电位为零，则 A 点的电位比 B 点升高 U 值，为 $+U$ 。如假定 A 点电位为零，则 B 点电位比 A 点降低 U 值，为 $-U$ 。电压则是电路中任意两点之间的电位差。而电源两端产生的电位差，称为电动势，这个电动势是由其它能量转换过来的，如电池就是利用化学反应的结果推动电子移动，即将化学能转变为电能，发电机则在原动机带动发动机的转子旋转时，由于电磁感应，使发电机两极建立电动势，因而有电流供给用电设备，所以发电机是将机械能转化为电能。

电动势和电压的区别就在于：电动势是指电源产生的总电位差，也就是推动和维持电子移动的总能力。是表示电源把其它能量转换为电能本领的物理量。电压则表示电路中任意两点间推动电子移动的能力，如电灯、电炉，电动机接上电源后两端就有电压存在，这个电压推动电灯、电炉、电动机的自由电子定向移动。电动势仅在于电源内部，是维持电路中一定电压的基本条件，所以船上都装有发电机或蓄电池这样的电源设备，以确保各用电设备所需要的电压。电动势用符号“ E ”表示。

电压和电动势的计量单位是伏特，用符号“ V ”表示，计量微小电压时，则以毫伏（ mV ）或微伏（ μV ）为单位，计量高电压时，则用千伏（ kV ）为单位。它们之间的关系是：

$$\begin{aligned} 1 V &= 1000 mV \\ &= 1000000 \mu V \\ 1 kV &= 1000 V \end{aligned}$$

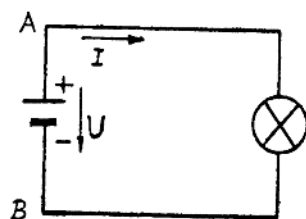


图 1—5

四、导体与绝缘体

一个灯泡接上电源便有电流通过,灯泡发光,而拿一根木头接上电源则不会或只有很小的电流通过,这说明不同的物质它们传导电流的能力是不一样的。比较容易传导电流的物体叫导体,常见的导体是金属,如铜、铝、银、铁等。金属之所以能很好的传导电流,是由于在金属原子中,最外层的电子与原子核结合比较松散,这部分电子容易脱离自己的原子成为自由电子,当接上电源使电路闭合时,金属导体中的自由电子在电源电动势的作用下,就作定向移动,形成电流。除金属外,大地、人体、石墨以及酸、碱、盐溶液也都是导体。

还有一类物质的电子极不容易脱离原子核而自由移动,这类物体称绝缘体,也称电介质,如橡胶、塑料、云母、胶木、陶瓷、玻璃等,人们常把这些用来作绝缘材料,如导线外面包一层橡胶或塑料,电机内则用云母片、塑料薄膜及各种绝缘纸作为绝缘材料,把带电体隔离开。

绝缘体和导体的区分是相对的,各种绝缘体的绝缘性能也不一样,如通常的玻璃是绝缘体,可是在高温下熔化了了的玻璃溶液却是导体,又例如橡胶在一般电压(如数百伏)下是绝缘体,但是在高压下导电性能又增长了,可见在一定条件下绝缘体和导体是可以相互转化的,不同的绝缘材料,它们的绝缘性能不一样,耐热性能也是不同的。因此要根据电气设备电压的大小、温度的高低来确定选用那一种绝缘物质作为绝缘材料。

五、电阻

电子在电路中定向移动时,首先要克服原子核对它的吸引力,同时在移动中还会发生电子与电子,电子与原子的碰撞现象,这些都是电子移动的阻力,称电阻,用符号“ R ”表示。

电阻的单位是欧姆,用符号“ Ω ”表示,电阻很大时还采用千欧($K\Omega$)和兆欧($M\Omega$)这两个计量单位,它们之间的关系是

$$1 K\Omega = 1000\Omega$$

$$1 M\Omega = 1000000\Omega$$

导体电阻的大小决定于以下四个因素:

1. 导体的材料:不同的材料它们的电阻大小是不一样的,例如长度、直径相同时,银的电阻很小,铜的电阻就大一些,铝更大些,而铁比铝的电阻还要大,为了比较各种材料的导体电阻的大小,我们取各材料的导线长度为一米,截面积为1平方毫米作为比较标准,这样测量出来的导线的电阻值,叫做该材料导线的电阻系数,电阻系数用“ ρ ”表示,几种常用导体的电阻系数见表

导体材料	银	铜	铝	钨	铁	康铜	镍铬合金	锰铜
电阻率	0.016	0.0175	0.028	0.056	0.10	0.5	1.1	0.42

从表中可以看出,银的电阻系数最小,也就是说传导电流的能力最高,所以常用银做成各种接触器或继电器的触点。铜的电阻系数比银大些,但是由于铜的价格要比银便宜得多,所以铜是各种导线的制作材料。铝的电阻系数比铜还大,但它更便宜,并且很轻,原料丰富,因

此很多导线是用铝制成的，以铝代铜对我国电气工业发展有很大的意义，如目前有用铝导线制造各种电机的，它可以大大减小电机的重量，为国家节约大量的铜材。但是铝的焊接困难，强度差，所以还没有大量使用。

2. 导体的截面积：

同一种材料，长度也相同，截面积越大，电阻越小，反之则越大，这和水管的道理一样，水管越粗，流过的水也就越多。反之则越少。

3. 导体的长度：

同一种材料，截面积相同时，导体越长，电子移动时受到的阻力越大，反之电阻则小。

4. 导体的温度：

导体的电阻与温度有关，一般金属导体，温度升高时其电阻值也增大。这是因为由于温度升高，金属内部的原子核与电子运动加剧，碰撞机会多，自由电子流动时受到的阻力增大。普通铜导线当环境温度增加 10°C 时，电阻要增加4%，所以在准确测量或计算电阻值时，必须考虑温度的影响。用康铜、锰铜等材料做成的电阻受温度变化的影响很小，因此常用作制作各种比较精确电阻的材料，一般电阻则采用镍铬铁材料。也有一些材料（如碳）的电阻是随温度的增加而减小的。

综上所述，要计算一根导线电阻的大小，可用下列公式

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

式中 R ——电阻，欧姆

ρ ——电阻系数，欧毫米²/米

l ——导体长度，（米）

S ——导体截面积，单位（毫米）²

例1：某铜导线，截面积为2毫米²，长度为2000米，求它的电阻。

解：

$$R = \rho \times \frac{l}{S} = 0.0175 \times \frac{2000}{2} = 17.5\Omega$$

例2：一根直径 $d = 1$ 毫米的镍铬合金导线，它的电阻 $R = 11.2\Omega$ ，求它的长度 l

解：

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.1416 \times 1^2}{4} = 0.785 \text{毫米}^2$$

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

$$L = \frac{RS}{\rho} = \frac{11.2 \times 0.785}{1.1} = 8 \text{米}$$

导体中的电阻对电流输送来说是不利的一面，另一方面，人们又充分利用电阻来调整或限制电流的大小，以实现对各种电器的控制，例如直流电机启动时就加进一些电阻，限制启动电流，改变直流电动机的转速也是靠增减电阻来实现的。因此人们就用电阻系数较大的材料做

成各种电阻器（简称电阻），根据不同的用途，常用康铜、锰铜、镍铬合金拉成丝做成各种形状的电阻，有些电阻值可以调整的如磁场变阻器、滑杆电阻、电位器等，叫做可变电阻，另一些阻值不可调整的叫做固定电阻。如图 1—6。

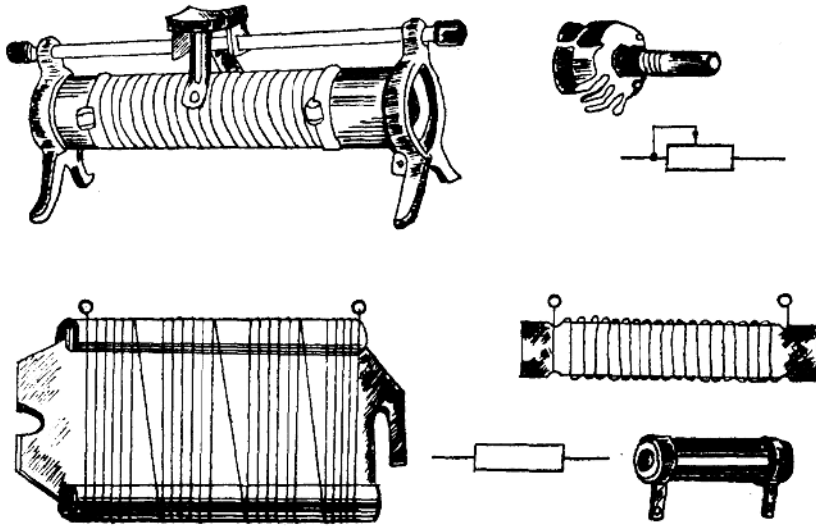


图 1—6

第二节 直流电路与欧姆定律

一、直流电路

所谓电路就是电流经过的线路，一个最简单的闭合电路必须由电源（如蓄电池）、负载（即用电设备、如灯泡）、开关及联接导线组成，如图 1—7，电流从电源正极出发，经过导线、开关和负载回到电源的负极，构成一个闭合回路，这时，电源向灯泡供电，灯泡发光，如果有一个地方断开就叫开路或断路，电流就不能通过，电灯也就不亮。因此，人们为了一定的目的用导线将电源、负载、开关联接起来构成电子流动的线路，就叫电路。在图中导线、开关、灯泡叫外电路，在外电路中电流由电源的正极流向负极，电源内部叫内电路，在内电路中电流是从负极流向正极。通过直流电的电路叫直流电路，船上各种电气设备的电路无论怎样复杂，都离不开这个最基本的组成部分，仅仅是增加一些控制机构（如各种接触器、开关）、测量机构（仪表）、和其他附属设备，因

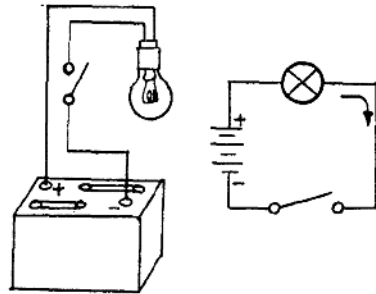


图 1—7

此，必须懂得这个最简单电路的基本规律。

二、部分电路欧姆定律

欧姆定律是说明直流电路中电流、电压及电阻三者之间相互关系的一个基本规律。

一切客观事物本来是互相联系和具有内部规律的。在直流电路中电压、电流、电阻三者之间既互有联系又互相制约，所谓互有联系是指它们在一个闭合电路中是同时存在的，所谓互相制约是指它们之间是互相影响的，为了说明问题我们将上述电路简化成如图 1—8 所示的电路，用电阻 R 代替用电设备，电源向电阻供给一定的电压 U ，在这个电路中，当电阻 R 保持不变时，如果将电压 U 增大一倍，那么通过电路中的电流 I 也就增大一倍；如果 U 增加二倍，电流也增加二倍。当电源电压不变时，如果将电阻 R 增大一倍，那么电路中的电流就要减小一半；如果 R 增大二倍，电流就再减小一半。这个相互制约的关系如果用数学公式来表示，可以写成

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

式中 I ——电流 安
 U ——电压 伏
 R ——电阻 欧

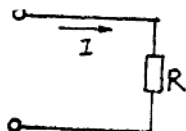


图 1—8

上述公式说明：电路中的电流大小与电压成正比，而与电阻成反比，这个规律说明了电压、电流、电阻三者之间的相互关系，因为是欧姆这个人总结出来的，所以叫欧姆定律。

欧姆定律是计算直流电路中电压、电流、电阻的基本公式。

如果知道电路中电压和电阻，就可求出电流。

例：若在电压为 220 伏的直流电路中，接着一盏电阻为 240 欧的灯泡，试计算通过这盏灯的电流是多少

解
$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{240} = 0.9A$$

如果知道电路中电流和电阻的大小也可求出电压多高。

例：要在 6Ω 的电阻上通过 20A 电流，须有多高的电压？

解 因为
$$I = \frac{U}{R}$$

$$U = IR = 20 \times 6 = 120V$$

如果知道电压和电流也可算出负载电阻的大小。

例：某电炉中有 5A 电流通过，电炉接在 220 伏的直流电源上，请问该电炉电阻多大？

解 因为
$$I = \frac{U}{R}$$

所以
$$R = \frac{U}{I}$$

$$= \frac{220}{5} = 44 \Omega$$

从 $U = IR$ 的公式中还告诉我们，当电阻上有电流通过时，电阻两端就有电压存在，也就是说有一部分电压要降落在电阻（负载）两端，这个电压称为该电阻（负载）的电压降，不难看出电压降是随电流的变化而变化的。凡是电流流过有电阻的地方就有电压降产生，例如导线上有一定电阻，当有电流通过时，也会有一部分电压降落在导线上，这部分电压纯属损耗，所以一般应尽量减少导线的电阻以减少在导线上的电压降，办法是缩短长度或增加截面积，如高速柴油机启动电机到蓄电池的联接导线因通过 $800A$ 的电流，只要导线上有 0.01Ω 的电阻，就要产生 $8V$ 电压降，这样到启动电机的电压就减少 $8V$ ，电机就不易启动，因此采用短而粗的导线。当联接处接触不良时，电阻也会增大（这个电阻叫接触电阻），也会产生电压降而影响电器设备的正常工作，所以必须经常保养，清洁各接触点。

三、全电路欧姆定律

图 1—8 是最简单电路，没有考虑电源本身对电路工作的影响，因此叫部分电路欧姆定律。那么电源本身对电路的工作有什么影响呢，这是因为除了它供给电动势外，电源内部也存在一个电阻，叫内阻，用符号“ γ_0 ”表示，为了便于分析，将 γ_0 画在电源外面。电流在电源外部由电源正极经电阻回到电源负极称外电路，这个电流也必然要流过电源内部，从电源的负极到电源的正极，构成一个完整的回路，电流在内电路中通过时，就要受到内电阻的影响，也要消耗一部分电压，叫做内电压降，因此总电压（即电动势）等于外部电压降和内部电压降之和：

$$\begin{aligned} \text{外电压降} & U = IR \\ \text{内电压降} & U_0 = I\gamma_0 \\ \text{电 动 势} & E = U + U_0 \\ & = IR + I\gamma_0 \\ & = I(R + \gamma_0) \\ \text{移 项 得} & I = \frac{E}{R + \gamma_0} \end{aligned}$$

上式说明：在全电路中，电流的大小与电源电动势成正比，与全电路的总电阻 $(R + \gamma_0)$ 成反比。这就是全电路欧姆定律。

通过对全电路欧姆定律的分析，我们应该懂得：

1. 在分析整个电路的工作情况时必须考虑电源内电阻的影响，一般电源内电阻可以看做是不变的。所以，当外电路的电阻 R 增大时，电路电流减小，内压降也就小，输出电压就增大，反之则减小，如船艇发电机输出电压随负载增减而变化，原因之一就是由于发电机内阻造成的。

2. 由于
因此

$$\begin{aligned} E &= U + U_0 \\ U &= E - U_0 \end{aligned}$$

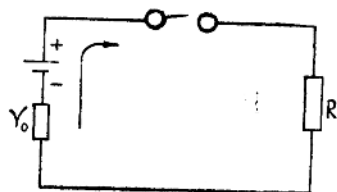


图 1—8

这就是说电源的输出电压（也叫端电压）总是小于电源电动势，只有当电路断开时，即 $I = 0$ ，这时电源两端的端电压就是电源电动势。

例1：蓄电池的单格电动势为2.1V，用电阻为 0.01Ω 的高率放电计进行放电测量，量出的端电压为1.5伏，请求出流过高率放电计电阻上的电流和蓄电池单格内电阻，内压降。

$$\begin{aligned}\text{解：因为} \quad R &= 0.01\Omega \\ U &= 1.5\text{伏}\end{aligned}$$

$$\text{所以} \quad I = \frac{U}{R} = \frac{1.5}{0.01} = 150A$$

$$\begin{aligned}\text{又因为} \quad E &= 2.1V \\ U &= 1.5V \\ E &= U + U_0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{所以} \quad U_0 &= E - U = 2.1 - 1.5 = 0.6V \\ U_0 &= I\gamma_0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma_0 &= \frac{U_0}{I} \\ &= \frac{0.6}{150} = 0.004\Omega\end{aligned}$$

例2：发电机的内电阻是0.2欧姆，要想使离发电厂300米远的工厂内得到220伏特的电压，工厂需用的电流是110安培，铜导线的截面积是50毫米²，求发电机的电动势是多少？

解：铜的电阻率查表得 $\rho = 0.0175$ 欧姆毫米²/米
铜导线的电阻为

$$R_1 = \rho \frac{l}{S} = 0.0175 \frac{300 \times 2}{50} = 0.21\Omega$$

工厂用电器的电阻为

$$R_2 = \frac{U}{I} = \frac{220}{110} = 2\Omega$$

外电路总电阻为

$$\begin{aligned}R &= R_1 + R_2 \\ &= 2 + 0.21 = 2.21\Omega\end{aligned}$$

因为 $E = I(R + \gamma_0)$

$$= 110(2.21 + 0.2) = 265V$$

例3：某船艇有一台发电机，内阻为0.4欧姆，正常输出电压是220伏，电流是20安，试求当输出电流增加到100安培时，输出电压是多少？

解：先求发电机电动势