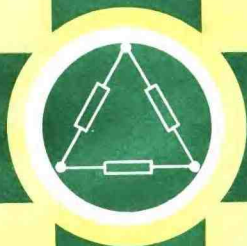


工人技术理论教材

电工基础

何 万 方 编



哈尔滨船舶工程学院出版社

内 容 简 介

本书是为适应船厂焊接工中级技术理论教学需要而编写的。

主要内容包括交流电路；变压器及交直流电机；晶体管放大、整流电路；可控硅等。适合作为造船厂焊接工四~六级技术工人技术理论教育的教材。

本书也可作为船厂气焊工和铲吊车司机中级技术理论教育《电工基础》课程的教材。对于船厂工人自学专业基础知识也有一定参考价值。

本书由新港船厂何万方同志编写，437厂刘一平同志审阅。

电 工 基 础

何万方 编

哈尔滨船舶工程学院出版社出版
北京市新华书店发行
候楼县印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 6.6875 字数 150 千字
1988年12月第一版 1988年12月第一次印刷

印数：1—8,000册

统一书号：15413-015

定价：1.40元



前 言

为了落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，搞好船舶工人技术理论教育工作，加强智力开发，提高职工素质，以适应社会主义现代化建设和振兴船舶工业的需要。中国船舶工业总公司人事部组织了上海船舶工业公司有关船厂，在调查研究和总结经验的基础上，根据总公司《船舶工业造船工人技术等级标准》的要求，编写了船厂二十一个工种的初、中级《造船工人技术理论教育教学计划与教学大纲》。

根据这些教学计划与教学大纲的要求，我们组织一些船厂有实践经验的工程技术人员及有丰富教学经验的教师，编写了五十种船舶工人技术培训教材，并聘请技术水平较高、经验丰富的同志担任主审。在编写过程中，广泛地听取了各船厂的意见，增强了教材的适应性。

编写的教材有：放样号料工、冷加工、火工、装配工、焊接工、铆焊和密性试验工、气焊气割工、船舶钳工、船舶管铜工、螺旋桨工、船舶板金工、船舶电工、船舶木塑工、除锈涂装工、船舶泥工、起重吊运工的工艺学，及船体结构、船舶概论、船体制图、船体结构与识图、船体加工设备与工夹模具、企业管理常识、电工常识、机械制图、船舶常识、船舶电工学、电工基础、船舶电气工程概论、电工仪表与测量、船舶电站与电力拖动、船舶导航概论、木工制图、电动起重机原理及操作、金属材料及热处理、画法几

何、船舶柴油机结构和修理等。

这些教材力图体现工人培训的特点，既考虑到当前造船工人的文化水平，做到通俗易懂，又要有一定的理论深度，适当考虑到长远的发展；既做到理论联系实际，又注意到知识的科学性、系统性和完整性；既体现船舶特色，又兼顾不同类型船厂的需要；既便于集体组织教学，也便于个人自学。

这套教材主要用于船舶工人相应工种的初、中级技术理论教育，也适用于对口专业职业高中和技工学校的教学，有的也可作为其它类型工厂的工人培训教材。相应专业的科技人员、专业教师及管理人员也可选作参考书。

这套教材的出版，得到了哈尔滨船舶工程学院、有关地区公司、船厂的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

编写船舶工人培训的统一教材还是第一次。由于时间仓促，加上编写经验不足，教材难免存在不少缺点和错误。我们恳切希望广大读者在使用中提出批评和指正，以便进一步修改、完善，不断提高教材质量。

中国船舶工业总公司教材编审室

一九八五年七月

目 录

第一章 直流电路	i
第一节 电流.....	1
第二节 电源.....	2
第三节 导体的电阻、一段电路的欧姆定律.....	4
第四节 全电路的欧姆定律.....	5
第五节 电功率、电能.....	8
第六节 简单串并联电路.....	9
第七节 基尔霍夫定律.....	14
第八节 戴维南定理.....	20
复习题.....	22
第二章 交流电路	26
第一节 交流电的基本概念.....	26
第二节 电阻、电感、电容电路及其串并联电路.....	38
第三节 三相正弦交流电的产生和表示方法.....	64
第四节 星形和三角形联接.....	65
第五节 正弦交流电的功率.....	71
第六节 安全用电的一般知识.....	73
复习题.....	75
第三章 变压器与交直流电机	78
第一节 几种常用变压器简介.....	78
第二节 弧焊变压器.....	85
第三节 三相异步电动机.....	87
第四节 单相异步电动机.....	95

• II •

第五节	直流发电机的基本结构、工作原理 及其分类	93
第六节	直流电动机	103
复习题		106
第四章	晶体管及其放大电路和振荡电路	108
第一节	半导体的基本知识	108
第二节	晶体二极管	114
第三节	晶体三极管	118
第四节	低频电压放大器	128
第五节	功率放大器	140
第六节	直流放大器	145
第七节	正弦波振荡现象与条件	150
第八节	振荡器的工作原理	153
第九节	晶体管接近开关	153
复习题		153
第五章	晶体管整流电路与稳压电路	160
第一节	整流电路	160
第二节	滤波电路	171
第三节	直流稳压电路	179
复习题		185
第六章	可控硅及其应用	186
第一节	可控硅的结构、工作原理、主要参数	186
第二节	可控硅元件的判别、串并联及其保护	191
第三节	可控硅整流电路简介	195
第四节	可控硅的触发线路	196
第五节	可控硅的应用	201
复习题		208

第一章 直流电路

第一节 电 流

当物体由于某种原因失去电子或获得电子时，物体就带正电荷或者负电荷。电流就是许多正电荷或者负电荷在电场力的作用下，按着相同的方向，在一定的路径之内运动所形成的电荷流。由于金属原子中最外层的电子和原子核之间的吸引力很小，当受到某种外界影响时，很容易脱离原子核的束缚，而在各原子之间自由移动，成为“自由电子”。这种自由电子(负电荷)，在电场力作用下，作有规则的定向移动，就形成了电流。习惯上规定正电荷运动的方向为电流的方向。

电流的大小用电流强度来表示。电流强度等于单位时间内通过导体横截面的电量。简称为电流。用 I 表示。

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

式中，电量 Q 的单位是库仑；时间 t 的单位是秒；电流 I 的单位为库仑/秒，叫做安培，简称安(A)。即1安=1库仑/秒。电流常用的单位还有毫安(mA)、微安(μ A)、千安(kA)等，它们之间的关系是

$$1\text{安(A)} = 10^3\text{毫安(mA)} = 10^6\text{微安}(\mu\text{A}) = 10^{-3}\text{千安(kA)}$$

电流的大小可举几个例子来说明。例如，220伏，40瓦的灯泡，其电流为0.18安；手工电弧焊的焊接电流通常为100~400安；自动焊的焊接电流通常为400~900安。

第二节 电 源

我们知道金属导体内存在着大量的自由电子，但这只是产生电流的条件之一，要想产生电流还必须使这些自由电子作定向移动。

为达到此目的，就必须把导体放在电场中，使所有的自由电子都受到电场力的作用而运动。在图 1-1 中给出了形成电流的一个装置。 A 和 B 是两个金属球， A 球带着正电荷， B 球带着负电荷。在它们的周围空间就有电场存在，这个电场

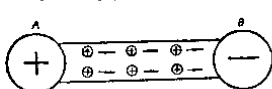


图 1-1 形成电流的装置

是 A 球的电场和 B 球的电场合在一起形成的，称合电场。

将细长的金属导体接在两球中间，导体中所有的自由电子都

受到正电荷的吸引和负电荷的排斥，即受到电场力的作用。这些自由电子将同时沿着由 B 向 A 的方向运动，这就形成了电流。

在电工学里规定，电流的方向是指正电荷运动的方向，负电荷向某一方向运动时相当于正电荷向反方向运动，所以在图 1-1 和图 1-2 中，电流的方向都是由 A 向 B 。 A 球的电位高， B 球的电位低。所以说电流是从高电位流向低电位。

要使导体里产生电流，必须把导体置于电场中，使导体里的自由电子受到电场力的作用而运动。即必须在导体的两端加一定的电压。电压是电流形成的原因。

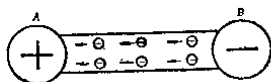


图 1-2 电荷受电场力作用情况

在上述的装置中虽然得到了电流，但是电流在很短的时间内就消失了。从图 1-2 来看，导体里自由正电荷很快流入 B 球，将 B 球所带的负电荷中和。与此同时，导体 A 端多余的负电荷又将 A 球正电荷中和，即导体两端的电压很快减少到零，电流也就随着消失了。为了获得连续稳定的电流，必须保持 A 、 B 两球所带的电量不变，亦即保持导体两端电压不变。如果在电场力不断地把正电荷移到 B 球的同时，又不断地把这些正电荷由 B 球移到 A 球，这样就保证了导体的两端电压不变。要把正电荷由 B 球移到 A 球就必须克服电场力做功。因此必须有这样一个装置，它本身是一个导体，允许自由电荷在其中运动，同时这个装置必须提供外力以克服电场力把正电荷由 B 球移向 A 球。这个装置就是电源。例如发电机、蓄电池等等。发电机是把机械能转换成电能的一种装置；蓄电池则是把化学能转换成电能的一种装置。上述情况如图 1-3 所示。

可以看出，要获得连续稳定的电流必须有一个闭合的导电回路，在回路的一段里，外力移动电荷而做功，将其他形式的能转变为电能，这就是电源。

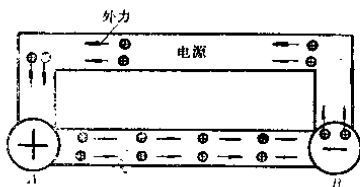


图 1-3 电源装置示意图

在图 1-3 中， A 球就是电源的正极，聚集着正电荷； B 球就是电源的负极，聚集着负电荷。电源在使用之前两极之间必须建立起一定的电压，电压的建立是由外力把电源一极的正电荷移到另一极而完成的。在电源内部主要的物理过程是

外力移动电荷做功的过程。为此，引出电动势的概念。所谓电动势就是在电源内，外力把一个单位的正电荷，由负极移到正极所做的功。它表明了电源把其它形式的能转变为电能的能力的大小。电动势的单位与电压的单位相同。电动势的方向规定为在电源内由负极到正极的方向。

第三节 导体的电阻、一段电路的 欧姆定律

导体能够使电流通过，但同时又对电流有一定的阻力。这种阻力来源于自由电子在导体内运动时对原子的碰撞，来源于原子核对自由电子的引力。导体的这种对于电流的阻力，对电流的大小有很大影响。这种阻力称为电阻。用符号“ R ”表示。电阻的单位叫欧姆，简称欧，用符号“ Ω ”表示。有时也用千欧(k Ω)或兆欧(M Ω)。

$$1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega$$

实践证明，电阻与导体的长度成正比，与导体的截面积成反比，即导体愈细愈长，则电阻愈大；愈粗愈短，电阻愈小。其关系可用下式表示

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-2)$$

式中 L 表示导体的长度，单位为米； S 表示导体的横截面积，单位为毫米²； ρ 称为电阻率，单位为欧姆·毫米²/米。它是衡量物质导电性能好坏的一个物理量，电阻率愈大，导电性能愈差。某一材料的电阻率在数值上等于长1米，截面积为1毫米²的该材料的电阻值。常用导电材料的电阻率见表1-1。

表1-1 常用导电材料的电阻率

材料名称	电阻率 ρ (20 °C) (欧·毫米 ² /米)	材 料 名 称	电阻率 ρ (20 °C) (欧·毫米 ² /米)
银	0.0158	铜	0.13
铜	0.0175	碳	10.0
铝	0.0283	锰铜(铜 ₈₄ +镍 ₄ +锰 ₁₂)	0.42
铀	0.0551	康铜(铜 ₈₀ +镍 ₄₀)	0.44
铁	0.107		

电压是导体内产生电流的原因，而电阻则对电流起着限制的作用，因此，电流、电压、电阻之间必定存在着一定关系。1827年欧姆由实验发现，导体中的电流 I 的大小与加在导体两端的电压 U 成正比，而与导体的电阻 R 成反比。这个关系称为欧姆定律。欧姆定律是计算电路的最基本定律。

图1-4是闭合回路中的一段电路，在这一段电路中不含电动势，仅有电阻，称为一段电阻电路。根据欧姆定律可知，流过电阻的电流的大小与加在电阻两端的电压成正比，而与电阻值成反比，即

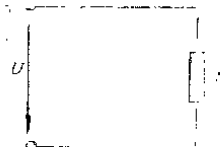


图1-4 一段电阻电路

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-3)$$

式中， U 的单位为伏； I 的单位为安； R 的单位为欧姆。

第四节 全电路的欧姆定律

现在我们来研究一下最简单的闭合电路(图1-5)，电源的电动势为 E ，电源本身的电阻为 R_0 ，叫做内阻，外电路

联接的电阻为 R ，由于导线是用优良的导体铜和铝制成的，电阻很小，对电流的影响微不足道，故把它的电阻看做等于零。

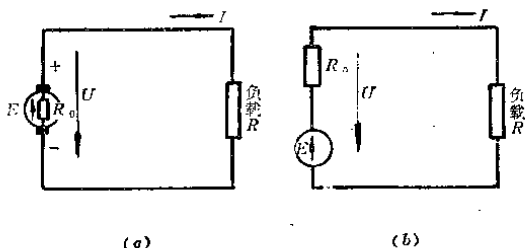


图1-5 最简单的闭合电路

电路中的电流 I 与 E 、 R_0 及 R 有关，可用下式表示

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1-4)$$

公式(1-4)就是全电路欧姆定律。其意义是：回路中流过的电流的大小与电动势成正比，而与回路的全部电阻值成反比。将上式加以变化得

$$E = IR + IR_0$$

根据欧姆定律， $IR = U$ ，是电阻 R 两端的电压，即电源的端电压；而 $IR_0 = U_0$ ，是外力在电源内将一个单位正电荷由负极移到正极时克服内阻 R_0 所做的功，叫做内阻压降。因此，

$$E = U + U_0$$

即电源的电动势等于电源的端电压 U 加上电源内的损失电压，即内阻压降 U_0 。可见，电源的端电压并不等于电动势。内

阻压降 IR_0 使电源的端电压低于电动势, R_0 越大电源端电压就越低。因此 R_0 是衡量电源性能的重要参数之一, R_0 越小越好。

当电路断路时, $I = 0$, 即内阻压降 $U_0 = 0$, 这时

$$E = U$$

即断路时电源的端电压等于电动势。

把电源的正负极直接用导线联起来, 叫做短路。短路时的电流为

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

由于 R_0 很小, 所以短路电流很大。短路时由于外电路的电阻为零, 所以电源的端电压为零。电动势 E 全部消耗在电源内部, 即

$$E = IR_0$$

例 1-1 如图 1-5 所示, 设 $E = 110$ 伏, $U = 100$ 伏, $R_0 = 1$ 欧, 求电流 I , 负载电阻 R , 电源内部压降 U_0 。

解: 根据全电路欧姆定律

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

$$IR = U$$

得
$$I = \frac{E - U}{R_0} = \frac{110 - 100}{1} = 10(\text{安})$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{100}{10} = 10(\text{欧})$$

$$U_0 = IR_0 = 10 \times 1 = 10(\text{伏})$$

第五节 电功率、电能

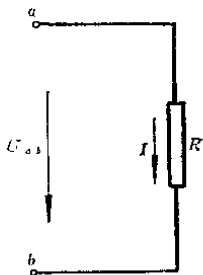
电路中由于电流的流动进行着能量的转换。例如在闭合的电灯电路、电焊机电路和电动机电路中，电能分别转换成光能、热能和机械能。

一、电能

在图 1-6 所示的电路中，有电流 I 通过， ab 间的电压为 U 。根据电压的定义，当电量 Q 在电场力的作用下，由 a 移到 b 时，电场在电路 ab 段所作的功为

$$W = UQ = UI t = I^2 R t \quad (1-5)$$

式中， U 的单位为伏， I 的单位为安， t 的单位为秒，则电能 W 的单位为焦耳。



由于电能电阻中转变为热能， 图 1-6 一段电路
且 1 焦耳 = 0.24 卡，所以在 t 秒钟内电阻所产生的热量为

$$Q = 0.24 I^2 R t \quad (1-6)$$

式中 Q 的单位为卡。这个关系称为楞次-焦耳定律。

例 1-2 一个电炉的电流为 5 安，电炉丝的电阻为 20 欧姆，通电时间 30 分钟，求此电炉产生多少卡的热量？

解： $Q = 0.24 I^2 R t$

$$= 0.24 \times 5^2 \times 20 \times 30 \times 60$$

$$= 2.16 \times 10^5 (\text{卡})$$

二、电功率

电功率就是用电设备或者电源在单位时间内所消耗或发出的电能。即

$$P = \frac{UI t}{t} = UI = I^2 R \quad (1-7)$$

式中, U 的单位为伏; I 的单位为安; 功率 P 的单位为瓦特, 简称瓦, 用符号 W 表示。工程上常以千瓦(kW)作电功率的单位。

$$1 \text{ 千瓦} = 10^3 \text{ 瓦}$$

供电部门用“电度表”来计量用户的用电数量。电能的计算单位是“千瓦-小时”, 简称为“度”。“1度”电就是功率为1千瓦的负载, 使用1小时所消耗的电能。

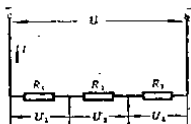
第六节 简单串并联电路

一、串联电路

如果在一段电路上, 把几个电阻的首尾依次地联接起来, 这种联接方式叫做串联, 如图1-7所示。

串联电路的特点是:

1. 由于串联电路是一个不分支的电路, 所以流过各段电阻的电流都相等, 即流过 R_1 、 R_2 、 R_3 的电流为同一电流。



2. 根据能量守恒定律, 各段电阻的功率之和等于整个电路的总功率。

图1-7 串联电路

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

或

$$UI = U_1 I + U_2 I + U_3 I$$

由此可得

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (1-8)$$

上式说明，在串联电路中，总电压等于各段电压之和。

3. 几个电阻串联在电路中，可用一个等效的总电阻来代替。在串联电路中总电阻 R 等于各电阻之和。即

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1-9)$$

4. 根据欧姆定律

$$U_1 = IR_1 \quad U_2 = IR_2 \quad U_3 = IR_3$$

可以看出各段电阻的端电压与它的电阻值成正比，电阻大的电压大。

$$U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$$

例 1-3 把 4 欧姆电阻的弧光灯和 7 欧姆电阻的变阻器串联在一起，然后接入 110 伏特电压的线路里，求通过弧光灯的电流强度。

解：根据串联电路的特点

$$R = R_1 + R_2 = 4 + 7 = 11 (\text{欧})$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{110}{11} = 10 (\text{安})$$

二、并联电路

将两个或两个以上的电阻接在共同的两个节点之间，形成分支的电路，则这样的联接法就称为电阻的并联。它也是电路中常见的一种联接方式，如图 1-8 所示。

并联电路的特点是：

1. 各并联支路两端的电压相等。

2. 电路内的总电流等于各分支电路的电流之和。即

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (1-10)$$

3. 根据欧姆定律

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \quad I_2 = \frac{U}{R_2} \quad I_3 = \frac{U}{R_3} \quad I = \frac{U}{R}$$

所以

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

等式两边除以 U 得

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

即并联电阻可用一个等效的总电阻来代替。在并联电路中总电阻的倒数就等于各支路电阻倒数之和。

当 $R_1 = R_2 = R_3$ 时，
则总电阻为

$$R = \frac{1}{3} R_1$$

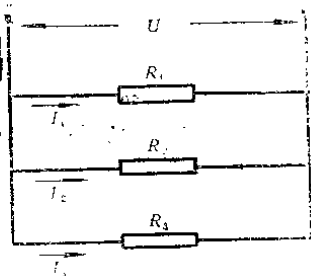


图1-8 并联电路

如果有几个相同的电阻并联，则其总电阻为

$$R = \frac{1}{n} R_1$$

由此可知，并联的电阻愈多，则总电阻愈小，且其值小于任一支路的电阻值。

4. 由于加在各并联电阻两端的电压相等，所以流过各并联支路的电流就与它们对应的电阻值成反比。即

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad \frac{I_2}{I_3} = \frac{R_3}{R_2}$$