

海上非自航船舶船员适任培训教材



(轮机专业)

船舶电气

中国海事服务中心 编

CHUANBO DIANQI



大连海事大学出版社

海上非自航船舶船员适任培训教材

(轮机专业)

船舶电气

中国海事服务中心 编

大连海事大学出版社

© 中国海事服务中心 2008

图书在版编目(CIP)数据

船舶电气 / 中国海事服务中心编. —大连: 大连海事大学出版社, 2008. 7

海上非自航船舶船员适任培训教材

ISBN 978-7-5632-2200-1

I. 船… II. 中… III. 船用电气设备—技术培训—教材 IV. U665

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 112409 号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌海路 1 号 邮编: 116026 电话: 0411-84728394 传真: 0411-84727996

<http://www.dmupress.com>

E-mail: cbs@dmupress.com

大连雪莲彩印有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2008 年 7 月第 1 版

2008 年 7 月第 1 次印刷

幅面尺寸: 140 mm × 203 mm 印张: 8.75

字数: 217 千

印数: 1 ~ 3000 册

责任编辑: 董玉洁

版式设计: 冰清

封面设计: 王艳

责任校对: 佳欣

ISBN 978-7-5632-2200-1

定价: 23.00 元

前 言

为了提高非自航工程船舶船员技术素质,加强船舶安全、施工管理,更好地发挥工程船舶效能,保障水上施工人员安全,保证工程质量,保护水域环境,中华人民共和国海事局颁布实施了《中华人民共和国海上非自航船舶船员考试、发证管理办法》。为了更好地帮助、指导非自航船舶船员进行适任考前培训和进一步提高适任水平,中国海事服务中心在天津海事局的大力协助下,组织中交天津航道局有限公司职工中等专业学校长期从事非自航船舶教学培训工作的专家和教师,根据非自航船舶航行和施工管理中船舶生产实际的需要,按照中华人民共和国海事局海上非自航船舶船员适任考试大纲,编写了海上非自航船舶船员适任证书考试科目的相应教材。教材在编写过程中多方征求并吸纳了非自航船舶高级船员、天津以及其他地区非自航船舶单位管理人员及其他相关学校的意见和建议。

本套教材各知识点紧扣考试大纲,内容完全按照考试大纲的要求编写,具有权威、准确、实用的特点,重点突出非自航船舶船员适任考前培训和工作实践中应掌握的知识,对今后非自航船舶船员的适任培训具有重要的指导意义。

本套教材分为驾驶专业(《驾驶基础知识》、《船舶管理》、《法规及规章制度》)和轮机专业(《船舶柴油机》、《船舶辅机》、《船舶电气》、《轮机管理》)。参加教材编写的人员有:王富华、米中彪、刘瑞刚、袁利锋、董军、潘健、贾会成、郭峰、丁浩、杨金朋、范丽莉等,赵向民、黄党和、杨哲、任向宇、李博、黄广源、姜学山、卜勇、王兴琦等对本套教材进行了认真的审定。

教材在编写过程中参考了国内许多优秀的航海专业教材,并

引用了其中的一些插图,恕不一一列举,在此表示感谢。

本套教材在编写和出版工作中得到了中华人民共和国海事局、天津海事局、中交集团、天津航道局以及其他非自航船舶单位和大连海事大学出版社的大力支持,特致谢意。

由于编写时间紧和编写者水平所限,书中难免出现欠妥或疏漏之处,诚望广大读者批评指正。

中国海事服务中心

2008年5月

目 录

第一章 电工基础	(1)
第一节 直流电路	(1)
第二节 电与磁	(11)
第三节 交流电路	(21)
第四节 半导体与二极管	(46)
第五节 三极管及其放大电路	(57)
第六节 可控硅(晶闸管)及其应用	(64)
第七节 常用电工便携测量仪表	(75)
第二章 船舶电气设备	(81)
第一节 直流电机	(81)
第二节 同步发电机	(92)
第三节 异步电动机	(99)
第四节 变压器	(115)
第五节 常用控制电器	(125)
第六节 船舶电力系统	(132)
第七节 发电机的并车与解列	(152)
第八节 接用岸电	(168)
第九节 船用电机的基本要求与维护保养	(169)
第十节 伺服电动机	(176)
第十一节 电气设备接地的意义和要求	(184)
第十二节 船舶安全用电	(187)
第十三节 船用蓄电池	(199)
第十四节 船舶照明系统	(202)
第十五节 船舶报警系统	(217)

第三章 电力拖动与自动控制	(229)
第一节 电动机的基本控制电路	(229)
第二节 锚机拖动与控制系统	(239)
第三节 空压机自动控制系统	(244)
第四节 辅锅炉自动控制系统	(246)
第五节 工程船电力拖动的特点与自动调载控制的 应用	(252)
第六节 可编程控制器 PLC 及其应用	(256)
附录 电工系统常用电器、电机符号	(268)
参考文献	(271)

第一章 电工基础

第一节 直流电路

一、直流电路的基本物理量及其单位

任何一个完整的电路都可以归纳为三个基本组成部分(图 1-1-1),即:

(1) 电源:产生和提供电能的装置,如发电机、电池等,是将非电能转换为电能的装置。

(2) 负载:消耗电能的用电设备,如电动机、电灯等,是将电能转换为非电能的装置。

(3) 连接导体及控制开关:连接电源与负载,输送和控制向负载提供的电能。

电路的基本特征是有电流通过,电流是由电源的电动势或电压引起的,而电流在有阻力的电路中又产生电压降。因此电流、电压、电动势即为电路的基本物理量。

1. 电流

电流是电荷有规则的移动形成的。

电流的大小用电流强度(简称电流)来衡量。电流强度在数值上等于单位时间通过导体横截面的电荷量。

若在极短的时间 dt 秒内通过导体横截面的微小的电荷量为

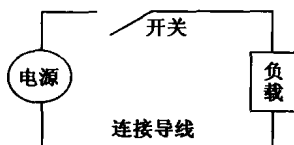


图 1-1-1 电路的基本组成部分

dq 库仑,则电流为

$$i = dq/dt \quad (\text{A})$$

上式表示的电流是随时间变化的。

如果电流不随时间变化,即 $dq/dt = \text{常数}$,则这种电流称为恒定的电流,简称直流。当在 t 秒内有 q 库仑的电荷量通过导体横截面,则直流电流 I 可用下式计算,即

$$I = q/t \quad (\text{A})$$

我国法定计量单位是以国际单位制(SI)为基础的。在国际单位制中,电流(强度)的单位是安培(A)。1 安培 = 1 库仑/1 秒。常用的小电流单位有毫安(mA)和微安(μA)。1 mA = 1 000 μA = 10^{-3} A, 1 μA = 10^{-3} mA = 10^{-6} A。

电流的规定方向(也称实际方向):是指正电荷移动的方向(即负电荷移动的反方向)。

2. 电压和电位

电场力和非电场力:电场力即电荷之间的作用力,表现为同号电荷相斥、异号电荷相吸。非电场力是指作用于电荷上的与电场力的作用方向相反的力,如发电机绕组导体切割磁场时产生的分离正、负电荷的力,电池的化学反应所产生的分离正、负电荷的力,电源内所产生的这种非电场力又称电源力。

任何带电现象都首先是非电场力克服电场力而分离异号电荷所形成的。电荷在非电场力的作用下移动,非电场力做功,使电荷的电位能增加;相反,电荷在电场力的作用下移动,则电场力做功,电荷的电位能减少。

电压:是衡量电场力对电荷做功能力的物理量。电路中任意两点 a 和 b 间的电压 U_{ab} ,在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功,也即单位正电荷从 a 点到 b 点所失去的电位能。因此,电路中两点之间的电压等于该两点的电位之差(单位正电荷在该两点的电位能之差)。例如,电路中 a 和 b 两点的电

位分别为 V_a 和 V_b , 则该两点之间的电压为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (\text{V})$$

电压的规定方向为由高电位指向低电位, 因此电压又称电压降(或电位降)。

电位: 电路中某点的电位等于该点到零电位点(或称参考电位)的电压。

零电位点可任意选取, 所选的零电位点不同, 则电路各点的电位也随之改变, 所以电位值是相对的。例如选 b 点为零电位点, 即 $V_b = 0$, 则由上式可知, a 点的电位 $V_a = V_{ab}$ 。若选 $V_a = 0$, 则 b 点的电位 $V_b = U_{ba} = -U_{ab}$ 。可见电位值是相对的, 但两点之间的电位差(即电压)是绝对的, 与零电位点的选择无关。通常选取电路的公共点作为零电位点, 并用符号“ \perp ”表示。只要已知电路中某点的电位, 譬如已知 V_b ($V_b = 0$, 也可以 $V_b \neq 0$), 则其他任意一点 a 的电位 V_a 可通过计算 a 到 b 点的电压 U_{ab} 求得, 即

$$V_a = U_{ab} + V_b$$

电压、电位的国际单位是伏特(V)。常用的单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV)。

3. 电动势

电动势: 是衡量非电场力对电荷做功的能力。电源的电动势 E 在数值上等于非电场力把单位正电荷由电源的低电位端(-)经电源内部移到高电位端(+)所做的功, 也即单位正电荷所获得的电位能。因此电动势的量度单位与电压的相同, 即伏特。

电动势的规定方向: 是由低电位端(-)指向高电位端(+), 与电压的方向相反。由于电源内存在电源力, 正电荷不能通过电源内部由(+)回到(-)。但当电源与外部负载电路接通时, 正电荷可在电场力的作用下通过外电路由高电位端向低电位端移动, 从而形成电路电流。随着两端电荷及其电场力的减少, 电源力又可以克服电场力的阻力继续将正电荷不断地移向高电位端, 从而

保持连续的电流,达到动态平衡。在电场力的作用下电荷通过外部负载电路移动的过程中,由于克服电路的阻力而使电荷的电位能逐渐减少,这是将电能转换为非电能(如热能)的过程。

4. 导体的电阻

导体电阻 R 的大小与导体材料的电阻率 ρ ($\Omega \cdot \text{m}$ 或 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$) 成正比、与导体的长度 l (m) 成正比、与导体的截面 S (m^2) 成反比,其计算式为

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (\Omega)$$

导体材料不同,其电阻率 ρ 不同。电阻率小的为良导体,如银、铜和铝。锰铜和康铜电阻率较大,常用于制作线绕电阻器、电炉丝等。

实际导体电阻与温度的关系:金属导体的电阻随温度的增加而增大。不同的导体材料有不同的温度系数 α ($1/^\circ\text{C}$)。

表 1-1-1 给出了几种常用导体材料在 20°C 时的电阻率和温度系数,其中唯有碳是负温度系数。

表 1-1-1 常用导体材料在 20°C 时电阻率和温度系数

材料名称	电阻率 $\rho(20^\circ\text{C})$ ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	温度系数 α (20°C) ($1/^\circ\text{C}$)	材料名称	电阻率 $\rho(20^\circ\text{C})$ ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	温度系数 α (20°C) ($1/^\circ\text{C}$)
银	0.016 5	0.003 8	锰铜	0.42	0.000 005
铜	0.017 5	0.004 0	康铜	0.49	0.000 005
铝	0.026 3	0.004 2	镍铬合金	1.00	0.001 3
钨	0.055 1	0.004 5	铝铬合金	1.35	0.000 05
铸铁	0.5	0.001	碳	10.0	-0.000 5
铂	0.105	0.003 89			

二、欧姆定律

1. 一段电阻的欧姆定律

欧姆定律指出:电阻两端的电压 U 与流过电阻的电流 I 成正

比,其比值就是该电阻 R 。

由于电荷在电场力的作用下克服导体的碰撞阻力移动,电荷的电位能减少,故电阻的电流总是从高电位流向低电位。当 U 和 I 的正方向一致时,如图 1-1-2 所示,欧姆定律的数学表达式为

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

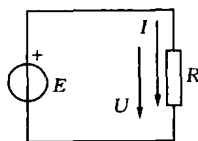


图 1-1-2 欧姆定律

如果遇到电路中某一电阻 R 的电压 U 和电流 I 的正方向相反时,则以上各式应加一负号,如 $U = -IR$ 。

欧姆定律的数学式表明,电阻的 U 和 I 总是成正比;只要有电流 I 流过电阻,在电阻 R 上就产生电压降 U ;只要电阻两端加电压 U ,则在电阻中就有电流 I 。

当电阻 R 与内阻为 0 的理想电源(如图 1-1-2 所示电路的电源)连接时,由于理想电源的电动势 E 就等于其两端电压 U ,故上式中的电压 U 可用电动势 E 代替,即 $I = E/R$ 。

电阻 R 的国际单位是欧姆(Ω), $1 \Omega = 1 \text{ V}/1 \text{ A}$ 。常用的单位还有千欧姆($\text{k}\Omega$)和兆欧姆($\text{M}\Omega$)。 $1 \text{ M}\Omega = 1\,000 \text{ k}\Omega = 10^6 \Omega$ 。

2. 有多个电源串联电路的欧姆定律

对于有多个电源和多个电阻串联的电路,可简化为只有一个等效电源 E 和一个等效电阻 R 串联的电路,因此仍然可用欧姆定

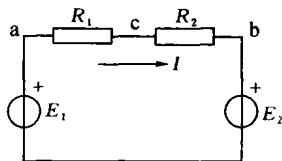


图 1-1-3 多电源串联电路

律分析计算电路的电压和电流的关系。图 1-1-3 为两个理想电源

和两个电阻串联的电路。可通过计算两电源的电位差 U_{ab} 得到一个等效电源的电动势 E , 即

$$E = U_{ab} = V_a - V_b = (V_a - V_c) + (V_c - V_b) = E_1 - E_2$$

根据欧姆定律, 该电路的电流为

$$I = \frac{U_{ab}}{R_1 + R_2} = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2}$$

三、电功率与电功

电功率是单位时间所转换的电能或所做的功。电功率简称功率, 用 P 表示。电路的电压 U 是移动单位正电荷所做的功, 而电路电流 I 是单位时间移动的电荷量, 则电路的功率应等于 U 乘以 I , 即

$$P = UI \quad (\text{W})$$

电功率的单位: 瓦特 (W), 常用单位还有千瓦 (kW)、兆瓦 (MW) 和毫瓦 (mW)。电路的电功是指在一定的时间 t 内所转换的电能, 即

$$W = Pt = UIt \quad (\text{J})$$

电能的单位: 焦耳 (J)。在实用上, 常用千瓦·小时 (kW·h) 为电能的计量单位, 1 千瓦·小时俗称 1 度电。

(1) 电源的电功率: 当电流是从电源的高电位 (+) 端流出时, 电源是发出功率。若电流是从高电位端流入时则是吸收功率, 此时电源成了负载, 如蓄电池充电、发电机变成电动机运行。

(2) 电阻的功率: 根据欧姆定律, U 、 I 和 R 三者的关系, 电阻功率的计算式有三种形式, 即

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

(3) 电流的热效应: 电流通过导体电阻, 使导体发热, 称为电流的热效应。根据焦耳—楞次定律, 电阻消耗的电能全部转换为

热能,即

$$W = I^2 R t \quad (\text{J})$$

可见电阻的发热与电流的平方成正比。电热器、白炽灯就是利用电流热效应的电器。当然电流的热效应对电气设备也有不利的一面。由于电流的热效应,长时超额定电流工作,则实际温度将超过其允许温度,使绝缘材料过早地老化而缩短使用寿命,甚至引起绝缘材料的焦灼而损坏。一些电热、电阻元件和白炽灯会因电流大、温度过高而烧断。

四、电路的状态

1. 电路的有载状态(图 1-1-4)

电路的负载与电源接通时即为电路的有载工作状态。

电路有载状态的特征:

(1) 电路有电流。电流的大小主要决定于负载电阻 R 。如图 1-1-4(a) 所示电路,当电路接通时,根据含源电路的欧姆定律,电路的电流为

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

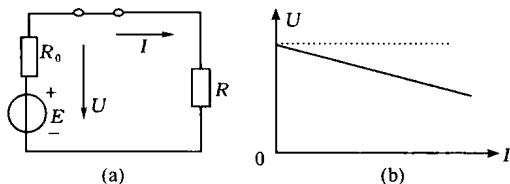


图 1-1-4 电路的有载工作状态

(2) 实际电源的端电压 U 小于其电动势 E 。根据欧姆定律 $IR = U$,由此可得电路的电压平衡方程式

$$E - IR_0 = U$$

上式表明,电源的电动势减去内阻电压降 IR_0 等于输出端电

压 U , 因此负载电流越大其端电压越低。电源的端电压 U 与其输出电流 I 的关系曲线称为电源的外特性曲线, 如图 1-1-4(b) 所示。

(3) 电源输出的功率小于它产生的功率。将上式两边各项均乘以电流 I , 则变为电路的功率平衡方程式, 即

$$EI - I^2 R_0 = UI \text{ 或 } P_E - P_0 = P$$

上式表明, 实际电源所产生的电功率 ($P_E = EI$) 减去内阻损耗功率 ($P_0 = I^2 R_0$) 等于负载电路消耗的功率 ($P = UI = I^2 R$), 即电路中电源产生的功率与电路消耗的功率总是相平衡的。

2. 开路和短路状态

(1) 开路就是负载电路与电源断开(图 1-1-5(a))。无论是工作开路或故障断路, 最主要的特征是: 电路电流 $I = 0$, 各电阻上的电压均为 0, 电路的功率为 0, 电源处于空载状态。

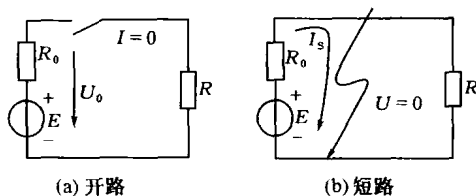


图 1-1-5 电路的开路和短路状态

电源的开路端电压 U_0 (或断路点两端的电压) 等于电源电动势 E , 即 $U_0 = E$ 。因此可通过测量实际电源的开路电压 U_0 而得知其电动势 E ; 或通过查测嫌疑断路点的电压来查找断路故障点。

(2) 短路即电源输出两端被电阻为 0 的导体连接(图 1-1-5(b))。其特征是: 端电压 $U = 0$, 而短路电流 I_s 很大。由电压平衡方程式可知, 当 $U = 0$ 时, 短路电流

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

一般电压源的内阻 R_0 都很小, 故短路电流比额定电流大很多倍, 内阻上的电流热效应足以将电源烧毁。短路对外输出功率为

0, 电源此时产生的电功率全部消耗在内阻上。

有时因工作需要人为地将电路的部分元件短路, 这种短路通常称为短接。

五、电阻的串联与并联

1. 电阻的串联

两个或多个电阻一个接一个地顺序相连, 各电阻通过同一电流, 即为电阻的串联电路。

串联等效电阻: 串联等效电阻 R 等于串联电阻之和, 即

$$R = \sum R$$

等效条件就是用等效电阻代替串联电阻而不改变原串联电阻电路的电压 U 和电流 I 。

对于图 1-1-6 电路: $R = R_1 + R_2$ 。

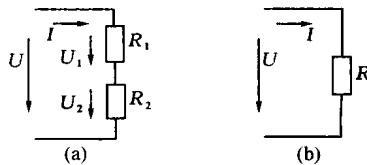


图 1-1-6 串联电阻及其等效电阻电路

串联电阻的分压: 因串联电阻流过同一个电流, 故每个电阻的电压与其电阻成正比。例如图 1-1-6(a) 两个电阻串联, R_1 和 R_2 的分压分别为

$$U_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2}U \text{ 和 } U_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}U$$

以上两式称为分压公式, 其中分压电阻与串联总电阻之比称为分压系数。串联电阻的电流相同, 所以任一串联电阻的功率 (I^2R_1 或 I^2R_2) 也与其电阻成正比。

串联电阻的基本应用: 常用串联电阻进行分压或限流。例如

当电气设备的额定电压低于电源电压时,常采用串联一适当的电阻进行分压;再如电压表,用同一个表头串联几个分压电阻可作成多量程电压表。有时为了限制负载电流过大或调节负载电流也常采用串联电阻的方法。值得注意的是白炽灯的串联,每个灯实际分配的电压与灯丝电阻成正比,而不决定于它的标称电压,为保证各灯分配的电压相等,灯丝电阻必须相等,即串联各灯的额定电压和瓦数必须相同。

2. 电阻的并联

两个或多个电阻连接在两个公共节点之间,具有同一电压,即为电阻的并联。

并联等效电阻:并联等效电阻 R 的倒数等于各个并联电阻倒数之和,即

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

例如,根据等效条件,图 1-1-7(b)中 R 就是图 1-1-7(a)中 R_1 和 R_2 并联的等效电阻。

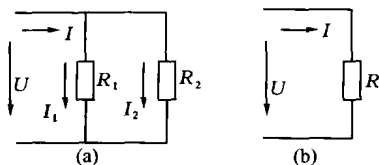


图 1-1-7 并联电阻及其等效电阻电路

根据电压 U 和电流 I 不改变的等效条件,可见

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{或} \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

在上式中,用两并联电阻的“积被和除”计算其等效电阻 R 比较方便。若 $R_1 = R_2$ 则可直接写 $R = R_1/2$ 。并联的电阻越多,其等效电阻越小,它比并联电阻中最小的一个还要小。

并联电阻的分流:由于节点电压 U 相同,故根据欧姆定律每