

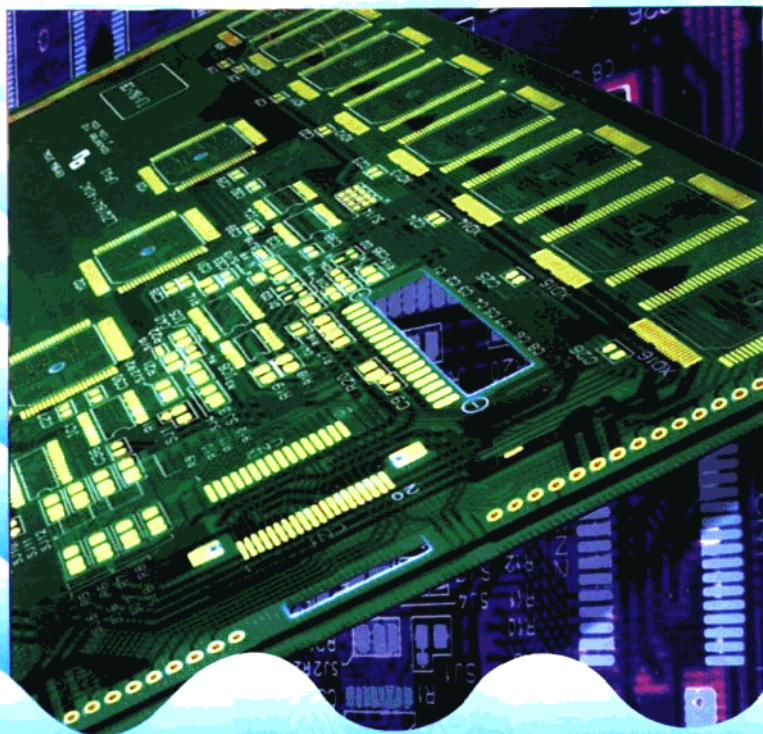
海船船员适任考试培训用书



船舶电气

史际昌 主编

徐正兴 主审



大连海事大学出版社

海船船员适任考试培训用书

船舶电气

史际昌 主编

徐正兴 主审

大连海事大学出版社

内 容 简 介

本书是根据中华人民共和国海事局1998年出版的《中华人民共和国海船船员适任考试和评估大纲》中的〈船舶电气〉考试大纲编写的。全书分上、下两篇。上篇共分十章:有交、直流电路,电磁,半导体电路,船舶电机,电力拖动控制电路及系统,船舶电站,照明系统,报警系统和船舶电气设备管理及安全用电,包括了750 kW~3 000 kW和3 000 kW以上船舶二/三管轮〈船舶电气〉考试所要求的全部内容。下篇共分六章:有船舶电工基础知识,船舶电机,电力拖动控制电路,船舶电站,报警系统和船舶电气设备管理及安全用电,是750 kW以下船舶二/三管轮〈船舶电气〉考试所要求的全部内容。

本书为船员考试参考用书,也可作为〈船舶电气〉的培训或自学教材。

图书在版编目(CIP)数据

船舶电气/史际昌主编. —大连:大连海事大学出版社,1999.10

ISBN 7-5632-1347-3

I. 船… II. 史… III. 船用电气设备-船员-培训-教材 VI. U665

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第65743号

大连海事大学出版社出版

(大连市凌水桥 邮政编码 116026 电话 4727996)

大连海事大学印刷厂印刷 大连海事大学出版社发行

1999年12月第1版 1999年12月第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:16.75

字数:418千 印数:0001—5000册

责任编辑:王铭霞 封面设计:王艳

定价:30.00元

序

在世纪之交,中国航海学会船舶机电专业委员会,又一次不失时机地积极倡导、精心组织轮机界的学者和专家推出这套《海船船员适任考试培训用书》,将它奉献给 21 世纪以及日夜奋战在海洋运输战线上的广大船员,这是一件令人称道的大好事。

《海船船员适任考试培训用书》符合经 1995 年修正案修正的《1978 年海员培训、发证和值班标准国际公约》(STCW78/95 公约),满足中华人民共和国海事局于 1998 年颁布的《海船船员适任考试和评估大纲》(简称“新大纲”)的要求,由具有丰富教学经验和实践经验的教授、专家所撰写。应该说,这套系列丛书已是第三版了,它的前两版《高级船员适任证书考试用轮机培训教材》,分别在 1989 年和 1993 年出版,先后在数十次的轮机员培训中使用,深受广大船员及考试、发证单位的欢迎和赞许,许多分册一经问世即被购买一空,以致多次重印。几年中,各分册先后印刷 1 万 3 千册至 2 万 6 千多册,平均每分册印刷 2 万余册,全书总印量约 18 万册之巨。

作为第三版的《海船船员适任考试培训用书》正是在前两版的基础上,以原作者为主体编写而成。它由 10 个分册组成,分别是:轮机长业务、主推进动力装置、船舶辅机、船舶电气、轮机自动化、轮机维护与修理、船舶管理、轮机工程基础、轮机英语和机工业务。与前两版比较,在丛书的组成上做了这些变更:将原先的《轮机管理》一书分成两册,即《轮机长业务》和《船舶管理》,借以增强轮机长所需知识的广度和深度;新增了《轮机维护与修理》和《机工业务》两书;删去了《造船大意》一书。

调整改编后的这套培训用书,充分保持了前两版教材的较好的针对性、适用性和系统性,篇幅适中,简明易懂,以及理论与实际密切结合的特点,并根据近年来轮机技术和轮机管理的发展变化,以往教学中发现的问题和不足,对全书的内容进行精选、调整、充实和更新,对文言结构进行推敲和雕琢,做到了有一定的深度而不艰涩,有必要的广度而不琐乱,主次分明,详略得宜。使得这套培训用书,在整体上更好地体现了“新大纲”的要求,在知识体系上更具针对性,在内容上更具适用性和先进性,因而也就更具科学性、实用性和易读性。它无论是对海船轮机人员的考试培训,还是对考试、发证单位的命题,以及对船员的业务学习和提高都是大有裨益的。

在本书出版之际,我作为该书前两版的编委会主任委员,对此额手称庆,相信它一定会像前两版一样,受到广大船员和读者的关心、爱护和支持,并期望成为大家的良师益友。

钱耀鹏

1999 年 8 月

海船船员适任考试培训用书编委会

(以下按姓氏笔画为序)

主任委员 吕登有

副主任委员 刘德洪 刘福生 孙培廷 林建清
袁林新 殷佩海

委 员 毛道彬 史际昌 刘建军 刘宗德
许乐平 朱 峰 陆卫东 芦庆丰
李五平 李 凯 李忠华 李明昌
李成玉 吴树雄 吴 恒 杜荣铭
时培育 陈景杰 金以铨 郑为民
郑凤阁 徐正兴 钱耀鹏 钱 闵
郭祖平 顾宣炎 费 千 黄海波
韩秀廷 谢群威 满一新 詹玉龙
蔡振雄

前 言

为适应经 1995 年修正案修正的《1978 年海员培训、发证和值班公约》(STCW 78/95 公约)及中华人民共和国海事局 1998 年颁布的《海船船员适任考试和评估大纲》的实施和要求,中国航海学会船舶机电专业委员会组建了海船船员适任考试培训用书编写委员会,选聘有丰富教学经验和实践经验的教授、专家为各本书的主编。编委会对各本书的编写大纲进行了审定。

这套船员考试培训用书有较强的针对性、适用性、先进性,符合船员考试和评估大纲要求,篇幅适中,取材切题,联系实际,简明扼要,适用于海船轮机人员适任考试培训用,对船员的业务学习也有参考价值。

这套系列丛书共分十册:轮机长业务、船舶主推进动力装置(船舶柴油机)、轮机工程基础、船舶辅机、船舶电气、轮机自动化、轮机维护与修理、船舶管理、机工业务、轮机英语。

本套系列丛书在编审、出版和征订工作中得到中华人民共和国海事局、各航运企业、大连海事大学出版社等单位的关心和大力支持,特致谢意。

海船船员适任考试培训用书编写委员会

1999 年 8 月

编 者 的 话

本书是根据中华人民共和国海事局 1998 年出版的《中华人民共和国海船船员适任考试和评估大纲》轮机专业考试科目中的〈船舶电气〉考试大纲编写的。该科目有三种适用对象的考试大纲,其中 750 kW~3 000 kW 和 3 000 kW 以上船舶的二管轮/三管轮两个大纲要求的绝大部分内容相同,所以本书上篇就是按这两个大纲编写的,其中少部分仅适用于 3000 kW 以上船舶的考试内容在书中均用“*”标出。由于 750 kW 以下船舶对该科目的考试要求不仅内容少,而且即使是相同的内容其评价标准也不一样,因此单独编写作为本书的下篇。

本书在编写形式上完全按考试大纲条目的顺序和要求分章节。考试大纲分:[适任]、[考试内容]和[评价标准]三个栏目,将[适任]栏目的内容作为每章的标题,[考试内容]栏目的条款作为节的标题,以[评价标准]为基础编写正文内容。为了便于对照考试大纲的要求学习和参考,将考试大纲的[考试内容]和[评价标准]的原文列出在每一节的标题下。

每章后面的[复习与思考]题仅用于指导自我测试或对重点问题的自我总结,而不是考题。新大纲的考题形式全部为四个答案的单选题,因此必须按照[考试内容]和[评价标准]所要求的深度和广度在重点理解的基础上全面掌握。

在编写方法上注意到了兼顾不同学历层次对象的使用,对于已经系统学习过《电路与电子技术》、《船舶电气设备及系统》和《轮机自动化》的大专学历的对象,为了能以最短的时间复习考试所要求的内容,本书中尽量将论证性的结论或问题的要点写在论述前面,便于快速浏览;为照顾到没有系统学习过这些课程的对象,对难点问题则尽可能的以深入浅出的物理概念阐述为主,辅以必要的数学论证作为参考。本书由史际昌主编,刘雁澄参编。

由于编写时间仓促,在某些方面对考试大纲的理解不够,难免存在一些偏差或错误,希望批评指正。

编 者

1999 年 8 月

目 录

上篇(750 kW~3 000 kW 以上船舶)

第一章 直流电路	1
§ 1-1 直流电路的基本概念	1
§ 1-2 欧姆定律	3
§ 1-3 电路的开路、短路及带载通路状态	5
§ 1-4 基尔霍夫(或称克希荷夫)定律	7
§ 1-5 串、并联电阻电路的计算	10
* § 1-6 叠加原理和电桥平衡原理	13
第二章 电与磁	17
§ 2-1 磁场的基本概念	17
§ 2-2 电流的力效应和电磁感应	18
* § 2-3 铁磁材料的基本特性	20
第三章 交流电路	24
§ 3-1 交流电的基本概念	24
§ 3-2 电阻、电感、电容单一参数交流电路	30
* § 3-3 电阻、电感、电容串联电路	35
§ 3-4 三相交流电源	40
§ 3-5 三相负载的 Y 接法和 Δ 接法	42
§ 3-6 三相交流电路电功率的计算	45
第四章 半导体电路	48
§ 4-1 半导体导电特性及其 PN 结的单向导电性	48
§ 4-2 二极管、稳压管及其整流电路	50
§ 4-3 晶体管及其电流放大原理	55
* § 4-4 晶闸管及其应用	60
* § 4-5 运算放大器及其应用	63
第五章 船舶电机	68
§ 5-1 直流电机	68
§ 5-2 变压器	74
§ 5-3 异步电动机	80
* § 5-4 伺服电机	89
§ 5-5 同步发电机	93
第六章 电力拖动控制线路及系统	103

§ 6-1 常用控制电器的结构原理、功能、电路符号	103
§ 6-2 电动机的保护环节	106
§ 6-3 继电器—接触器的典型控制电路及基本控制环节	107
* § 6-4 电动机自动切换和 Y— Δ 起动控制电路	113
* § 6-5 系/锚泊机械电力拖动控制系统	116
* § 6-6 起货机械电力拖动控制系统	120
§ 6-7 自动操舵控制系统	123
附录 电工系统常用电器、电机符号	127
第七章 船舶电站	130
§ 7-1 船舶电力系统	130
§ 7-2 主配电板的组成及其功用	132
§ 7-3 应急电源系统组成及其功用	133
§ 7-4 发电机主开关的基本结构及功能	136
§ 7-5 交、直流发电机并车和解列	139
§ 7-6 并联运行发电机组的有功功率分配与调节	144
§ 7-7 自励恒压装置及其发电机组的无功功率分配	145
§ 7-8 电站运行的安全保护环节	150
* § 7-9 轴带发电机系统	154
第八章 船舶照明系统	158
§ 8-1 照明系统的分类和特点	158
§ 8-2 船舶常用灯具和电光源	161
§ 8-3 照明控制线路	165
第九章 报警系统	168
§ 9-1 单元组合式报警系统组成、分类和功能	168
§ 9-2 船舶常用传感器	170
§ 9-3 火警(消防)报警系统及火警探测传感器	174
第十章 船舶电气设备管理和安全用电	178
§ 10-1 电气设备的船用条件	178
§ 10-2 电气设备接地的意义和要求	180
§ 10-3 电气设备绝缘的意义和要求	182
§ 10-4 电缆的安全使用与维护	184
§ 10-5 安全用电基本知识	186

下篇(750 kW 以下船舶)

第一章 船舶电工基础知识	190
---------------------------	------------

§ 1-1	直流电路	190
§ 1-2	电与磁	196
§ 1-3	交流电路	200
第二章	船舶电机	210
§ 2-1	直流电机的构造和工作原理	210
§ 2-2	变压器的构造和工作原理	214
§ 2-3	三相异步电动机的构造和工作原理	216
§ 2-4	三相同步发电机的构造和工作原理	221
第三章	电力拖动控制电路	227
§ 3-1	常用控制电器的结构原理、功能、电路符号	227
§ 3-2	电动机直接起动控制电路	230
§ 3-3	电动机正反转控制电路	231
第四章	船舶电站	234
§ 4-1	船舶电力系统	234
§ 4-2	船用蓄电池	236
§ 4-3	交、直流发电机并车和解列	237
§ 4-4	电站运行的安全保护环节	241
第五章	报警系统	246
§ 5-1	火警(消防)报警系统	246
第六章	船舶电气设备管理和安全用电	248
§ 6-1	电气设备接地的意义和要求	248
§ 6-2	电气设备绝缘的意义和要求	249
§ 6-3	电缆的安全使用与维护	251
§ 6-4	安全用电基本知识	253
	主要参考书目	258

上篇(750 kW~3 000 kW 以上船舶)

第一章 直流电路

§ 1-1 直流电路的基本概念

[考试内容] 直流电路的基本概念。

[评价标准] 理解电路的基本物理量及其单位。

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,是将非电能量转换为电能的装置。
- (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 dq 库仑,则电流为

$$i = dq/dt \quad (\text{A}) \quad (1-1-1)$$

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

$$I = q/t \quad (\text{A}) \quad (1-1-2)$$

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 $\mu\text{A} = 10^{-3}$ A, 1 $\mu\text{A} = 10^{-3}$ 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)。

* 电流的正(值)方向(或参考方向):在分析和计算电路时,需要根据电路中各电流的方

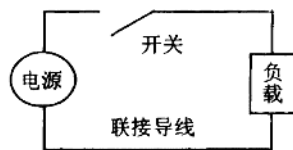


图 1-1-1 电路的基本组成部分

向,应用电路的基本定律写出分析计算式。但有时仅根据电路中给定的电源极性或条件还不能确定电流的实际方向时,就需要在电路图中对未知电流先任意标定一个电流的正值方向,然后再根据正值方向写电路的计算式。由于一个电流只有两个可能的方向,因此可在标定正方向的基础上用数学的正、负加以区别。如果分析计算的结果电流得正值,则假定的正方向就是该电流的实际方向;如果得负值,则其实际方向与正方向相反。这和用直流电表测量直流电压一样,当不能确定电压的实际方向时,往往是先用电表试测一下(即假定一个正值方向),如果电表指针正偏(即此时电压为正值),表明试测的方向就是实际方向;若指针反偏(则此时电压为负值),说明试测方向与实际方向相反。

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,非电场力作功,使电荷的电位能增加。相反,电荷在电场力的作用下移动,则电场力作功,电荷的电位能减少。

电压:是衡量电场力对电荷作功能力的物理量。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 点所作的功,也即单位正电荷从 a 到 b 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(也即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

$$U_{ab} = V_a - V_b (\text{V}) \quad (1-1-3)$$

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)。

* 当电压的实际方向不能确定时,同样可以设正方向(或参考方向)。但是在电源以外的电路中,电流总是从高电位流向低电位,电压和电流的方向是互相关联的,当两者的方向均不能确定时,假设了电流的正方向也就关联的设定了电压降的正方向。

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 $V_a = U_{ab}$ 。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。式(1-1-3)是计算电位的基本公式。只要已知电路中某点的电位,譬如已知 V_b (V_b 可以是 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作功的能力。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(-端)经电源内部移到高电位端(+端)所作的功,也即单位正电荷所获得的电位能。因此电动势的量的单位与电压的相同,即伏特。

电动势的规定方向:是由低电位端(-端)指向高电位端(+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(+端)回到(-)端。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量(如热能)的过程。电路的这种动态过程与构成闭合管路的泵水循环系统类似。电源就相当于一个‘电荷泵’。

二、电源的开路、短路及带载通路状态

为便于说明,本[评价标准]内容放在欧姆定律之后。

§ 1-2 欧姆定律

[考试内容]欧姆定律。

[评价标准]掌握一段含源电路的欧姆定律。

电路分析和计算中的基本问题是分析和计算电路的电压与电流间的大小、方向关系及电路的功率。电阻元件的电压与电流关系(或称伏安关系)由欧姆定律确定。

一、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 1-2-1 所示,欧姆定律的数学表达式为

$$R = \frac{U}{I}, U = IR, I = \frac{U}{R} \quad (1-2-1)$$

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 与内阻为零的理想电压源(如图 1-2-1 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), $1 \Omega = 1 \text{ V}/1 \text{ A}$ 。常用的大单位有千欧($\text{k}\Omega$)和兆欧($\text{M}\Omega$)。 $1 \text{ M}\Omega = 1000 \text{ k}\Omega = 10^6 \Omega$ 。

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律分析计算电路的电压和电流的关系。如图 1-2-2 为两个理想电压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:

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

对于有更多电源和电阻串联的含源电路,通常是根椐电流的正方向来确定各电源电动势(或电压)的正、负:即当正方向电流是从一个电源的高电位(+)端流出时,该电源的电动势(或电压)取正值;若电流是从(+)端流入时则取负值。然后将它们代数相加($\sum E$)即为一个等效电源的电动势(或电压)。而电路电阻则是串联电阻之和($\sum R$)。所以对于简单含源电路欧姆定律公式的一般形式为

$$I = \frac{\sum E}{\sum R} \quad (1-2-3)$$

考试大纲中,一段含源电路的欧姆定律,实际上就是基尔霍夫电压定律,故放在基尔霍夫定律中介绍更容易接受和应用。

二、导体的电阻

导体电阻 R 的大小与导体材料的电阻率 ρ ($\Omega \cdot m$ 或 $\Omega \cdot mm^2/m$) 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

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad (\Omega) \quad (1-2-3)$$

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 ($1/^\circ C$),其电阻值随温度变化的情况可用下式计算,即

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (\Omega) \quad (1-2-4)$$

式中 R_2 和 R_1 是同一个导体分别在温度为 t_2 ($^\circ C$) 和 t_1 ($^\circ C$) 时的电阻值。在实际工作中应当注意温度对电阻值的影响,有时会影响设备的运行性能或引起故障。

表 1-2-1 给出了几种常用导体材料在 $20^\circ C$ 时的电阻率和温度系数,其中惟有碳是负温度系数。

表 1-2-1

材料名称	电阻率 ρ ($20^\circ C$) ($\Omega \cdot mm^2/m$)	温度系数 α ($20^\circ C$) ($1/^\circ C$)	材料名称	电阻率 ρ ($20^\circ C$) ($\Omega \cdot mm^2/m$)	温度系数 α ($20^\circ C$) ($1/^\circ C$)
银	0.0165	0.0038	锰 铜	0.42	0.000005
铜	0.0175	0.0040	康 铜	0.49	0.000005
铝	0.0263	0.0042	镍铬合金	1.00	0.00013
钨	0.0551	0.0045	铂铬合金	1.35	0.00005
铸铁	0.5	0.001	碳	10.0	-0.0005
铂	0.105	0.00389			

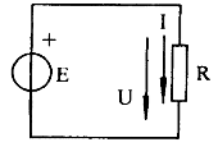


图 1-2-1 欧姆定律

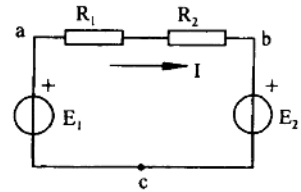


图 1-2-2 多电源串联电路

§ 1-3 电路的开路、短路及带载通路状态

[考试内容] 直流电路的基本概念。

[评价标准] 理解电路的开路、短路和带载通路状态。

一、电功率

电功率是单位时间所转换的电能或所作的功。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作的功,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 I ,即

$$P = UI \text{ (W)} \quad (1-3-1)$$

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)。电路的电能是指在一定的时间 t 内所转换的电能,即

$$W = Pt = UIt \text{ (J)} \quad (1-3-2)$$

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

二、电功率的计算

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。因此在分析计算多电源的电路时,应注意电源电压和电流的正方向,以确定它是吸收功率还是发出功率。当理想电源的电流是按输出功率假设的正方向时,则电源输出功率的计算式应为 $P = UI$ (或 $P = EI$),而吸收功率的计算式应为 $P = -UI$ (或 $P = -EI$)。若电流和电压的正方向是按吸收功率假设的,则吸收功率为 $P = UI$ (或 $P = EI$),而发出功率则为 $P = -UI$ (或 $P = -EI$),如图 1-3-1 所示。但实际它是输出还是输入功率,还要看最后计算结果的正、负来确定,如果功率得负值,表明与假设的功率方向相反。

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

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-3-3)$$

三、电流的热效应与电气设备的额定值

1. 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

$$W = I^2 R t \text{ (J)} \quad (1-3-4)$$

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。

2. 电气设备的额定值:额定值是指为保证电气设备或电路元件长期正常的工作所规定的电压、电流和功率等的使用数据。这些使用数据是根据它们的绝缘材料的耐压强度和耐热温度规定的。额定电压有不同等级的标准电压,如果使用的电压等级超过电气设备或元件的额定电压等级值,其绝缘材料将有被电击穿而损坏的危险。额定电流是根据所用绝缘材料的允

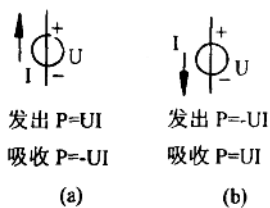


图 1-3-1 电源功率与其 U 、 I 的方向关系

许温度决定的,而绝缘材料的实际温度则决定于电流。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,使绝缘材料过早的老化而减少使用寿命,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。电气设备大多都在标准额定电压下工作,故超电流工作是降低电气设备的使用寿命或使其损坏的主要因素。

四、电源的开路、短路及带载通路状态

1. 电路的有载状态(图 1-3-2):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 1-3-2(a) 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

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

(2) 实际电压源的端电压 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:

$$E - IR_0 = U \quad (1-3-5)$$

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。电压源的端电压 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 1-3-2(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

$$EI - I^2 R_0 = UI \quad \text{或} \quad P_E - P_0 = P \quad (1-3-6)$$

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功率总是相平衡的。

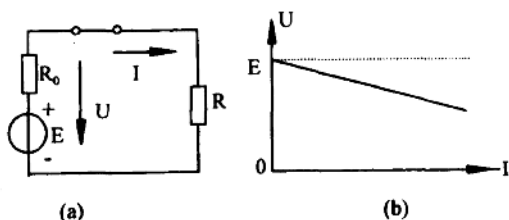


图 1-3-2 电路的有载工作状态

2. 开路和短路状态

(1) 开路就是负载电路与电源断开(图 1-3-3(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零,电路的功率为零,电源处于空载状态。

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压源的开路电压 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。

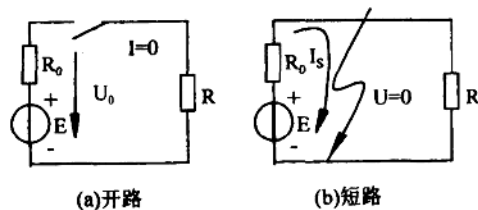


图 1-3-3 电路的开路和短路状态

(2) 短路即电源输出两端被电阻为零的导体联接(图 1-3-3(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零,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。

§ 1-4 基尔霍夫(或称克希荷夫)定律

[考试内容]基尔霍夫定律。

[评价标准]掌握基尔霍夫第一、第二定律。

欧姆定律和克希荷夫定律是分析计算电路的基本定律。对于复杂电路仅靠欧姆定律不行,必须应用这两个定律才能分析计算。而掌握克希荷夫定律的应用是解决有分支电路问题的关键。

复杂电路通常是指经过简单串并联也不能简化为单一回路的电路,如图 1-4-1 电路就是复杂电路。它是有分支、有节点和不止一个回路的电路。

支路:即分支电路,每一条支路都有一个支路电流。图 1-4-1 中有三个支路,其中 I_1 、 I_2 和 I_3 分别为三个支路电流。

节点:至少有三条支路相连接的点。图 1-4-1 中有 a 、 b 两个节点。

回路:各支路通过节点的连接而构成的闭合回路。图 1-4-1 中有 $acba$ 、 $adba$ 和 $cadbc$ 三个回路。

一、克希荷夫电流定律(也称为克希荷夫第一定律或节点电流定律)

克希荷夫电流定律(简称 KCL)指出:任一瞬时,流向一个节点的电流之和等于流出该节点电流之和。若取流向节点的电流为正值,流出节点的取负值,则任一瞬时,一个节点电流的代数和等于零,即

$$\sum I = 0 \quad (1-4-1)$$

根据 KCL ,图 1-4-1 节点 a 的电流: $I_1 + I_2 = I_3$ 或 $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

克希荷夫节点电流定律反映了电荷守恒(即物质不灭)定律和电流连续性原理。在电路中定向移动的电荷既不能创生也不能消灭,而且还要保持连续的移动,所以在任何瞬时流入节点的电荷必然等于流出该节点的电荷。

根据电荷守恒定律和电流连续性原理,可把节点推广为封闭面,称为广义节点,流入(或流出)广义节点的电流的代数和等于零。例如可把晶体三极管视为一个广义节点,其三个极的电流关系即为节点电流关系。

在电路中节点电流的正方向可以设为全部指向节点或背向节点,这并不表明实际电流只进不出或只出不进,通过计算其中必有负的电流。例如图 1-4-2 的部分电路,四个电流正方向都是流入电路,且图中已有三个电流给出了正值,则第四个电流 I_d 必定是负值。把该部分电路看成一个广义节点, $I_a + I_b + I_c + I_d = 0$,则得 $I_d = -1 - 10 - 2 = -13 \text{ mA}$ 。

二、克希荷夫电压定律(也称为克希荷夫第二定律或回路电压定律)

1. 克希荷夫电压定律(简称 KVL)指出:在任一瞬时,沿任一回路、以任一方向(顺时针或逆时针)绕行一周,则按绕行方向来说,回路各元件电位降 U 的代数和等于零,即