

新版

全国海船船员适任考试培训教材

船舶电气

 中国海事服务中心组织编审



大连海事大学出版社
Dalian Maritime University Press



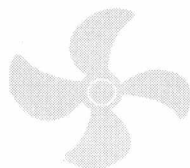
人民交通出版社
China Communications Press

新版

全国海船船员适任考试培训教材

船舶电气

中国海事服务中心组织编审



大连海事大学出版社

人民交通出版社

© 张春来,汤畴羽 2008

图书在版编目(CIP)数据

船舶电气 / 张春来,汤畴羽主编. —大连:大连海事大学出版社;北京:人民交通出版社,2008.3

全国海船船员适任考试培训教材

ISBN 978-7-5632-2153-0

I. 船… II. ①张…②汤… 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 035102 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

大连天正华延彩色印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2008年3月第1版 2008年3月第1次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm 印张:18

字数:459千 印数:1~5000册

责任编辑:史洪源 版式设计:海韵

封面设计:王艳 责任校对:枫叶

ISBN 978-7-5632-2153-0 定价:47.00元

前 言

前 言

《中华人民共和国海船船员适任考试、评估和发证规则》(简称 04 规则)已于 2004 年 8 月 1 日生效,新的《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》也自 2006 年 2 月 1 日实施。为了更好地帮助、指导船员进行适任考前培训和进一步提高船员适任水平,在交通部海事局的领导下,中国海事服务中心组织全国有丰富教学、培训经验和航海实际经验的专家共同编写了与《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》相适应的培训教材。本教材的编写将改变长期以来船员适任培训使用本、专科教材的现状,消除由于教材版本众多所造成知识内容上存在的混淆和分歧,对今后的船员适任培训具有重要的指导意义。

本套教材知识点紧扣考试大纲,具有权威、准确、系统、实用的特点,重点突出船员适任考前培训和航海实践需掌握的知识,旨在培养船员在实践中应用知识的能力,并可作为工具书为船员上船工作使用。本套教材在着重于航海实践的同时,紧密结合现代船舶的特点,考虑到将来有关船舶技术的发展,教材内容涉及到最新的航海技术,与时俱进,进一步拓展船员的知识层次。

本套教材由航海学、船舶值班与避碰、航海气象与海洋学、船舶操纵、海上货物运输、船舶结构与设备、船舶管理(驾驶)、船长业务、航海英语、轮机英语、轮机长业务、轮机工程基础、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)组成。

本套教材在编写、出版工作中得到中华人民共和国海事局、各航海院校、海员培训机构、航运企业、人民交通出版社、大连海事大学出版社等单位的关心和大力支持,特致谢意。

中国海事服务中心
2008 年 2 月

前 言

2008 年 2 月

编者的话

随着航运业和造船业的迅速发展,船舶正朝着大型化、自动化方向发展,电气自动化设备越来越多,也越来越先进、复杂。因此,要求轮机管理人员必须跟上时代的发展,不断提高对船舶电气设备的管理水平。本书是为了履行STCW公约的要求,根据中华人民共和国海事局制订的《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》,使轮机员能够适应新形势下的需要,做到机电合一,全面胜任电气设备和管理、使用和维护工作而编写的。

“船舶电气”课程为海事局海船船员轮机员(二管轮/三管轮)适任证书考试科目之一,学员通过本课程的学习,获得有关电路、电子技术、电机及控制、电力拖动控制线路及系统、船舶电站及自动装置、船舶照明系统、报警系统、船舶安全用电和安全管理、船舶电气管理人员的安全职责方面的基本知识、基本理论和基本技能。培养学员具有一定的船舶电气设备的管理能力,并能顺利通过操作级轮机员(二管轮/三管轮)适任证书的考试。

本书共分十一章,内容包括:第一章直流电路,第二章电与磁,第三章正弦交流电路,第四章半导体理论,第五章船舶电机,第六章电力拖动控制电路及系统,第七章船舶电站,第八章船舶照明系统,第九章报警系统,第十章船舶安全用电和安全管理,第十一章船舶电气管理人员的安全职责。

本书作为海事局海船船员轮机员(二管轮/三管轮)适任证书考试的专用培训教材,还可作为轮机员(二管轮/三管轮)的船舶电气培训教材及轮机员实船工作时处理电气设备及系统故障的参考书。

本书由大连海事大学张春来、上海海事大学汤畴羽任主编(排名不分先后)。第一章至第五章由汤畴羽编写;第六章至第十一章由张春来编写。全书由大连海事大学张春来统稿。大连海事大学赵楠楠、张金男对教材的图文作了修订工作并参加了部分内容的编写。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2007年12月

目 录

第一章 直流电路	1
第一节 直流电路的基本概念	1
第二节 欧姆定律	4
第三节 电路的开路、短路及带载通路状态	6
第四节 基尔霍夫定律	7
第五节 电路中电位的概念	9
第六节 串、并联电阻电路	9
第二章 电与磁	11
第一节 磁场的基本概念与基本物理量	11
第二节 电流的力效应和电磁感应	12
第三节 磁性材料的磁性能	16
第三章 正弦交流电路	19
第一节 正弦交流电	19
第二节 电阻、电感和电容元件	22
第三节 功率因数的提高	25
第四节 三相交流电动势的产生、电源的连接	27
第五节 三相负载的连接	29
第四章 半导体理论	33
第一节 半导体的导电特性	33
第二节 PN 结的单向导电性	33
第三节 半导体二极管和稳压管	34
第四节 单相整流电路	36
第五节 滤波与稳压电路	38
第六节 晶体管	40
第七节 基本放大电路	43
第八节 晶闸管及其应用	47
第九节 集成运算放大器及其应用	51
第十节 数字逻辑电路	53
第五章 船舶电机	59
第一节 直流电机	59
第二节 变压器	71
第三节 交流异步电动机	78
第四节 控制电机	94
第五节 三相交流同步发电机	99
第六章 电力拖动控制电路及系统	105
第一节 常用控制电器	105

第二节	三相异步电动机的基本保护环节	114
第三节	三相异步电动机的各种控制电路	116
第四节	三相异步电动机的典型控制电路	120
第五节	锚机、绞缆机电力拖动控制系统	127
第六节	起货机的运行特点和对电力拖动控制的基本要求	132
第七节	自动操舵控制系统	134
第七章	船舶电站	141
第一节	船舶电力系统	141
第二节	船舶配电装置	147
第三节	船舶应急电源系统	149
第四节	发电机主开关	154
第五节	船舶同步发电机的并联运行	158
第六节	并联运行发电机组有功功率的分配与调整	164
第七节	船舶同步发电机的自励恒压装置及发电机组无功功率分配	167
第八节	船舶电力系统的安全保护	178
第九节	船舶轴带发电机系统	185
第十节	船舶中压电力系统	190
第八章	船舶照明系统	194
第一节	船舶照明系统的分类及特点	194
第二节	船舶常用灯具与电光源	196
第三节	船舶照明系统控制线路	202
第四节	船舶照明系统的维护保养	205
第五节	船舶照明系统的常见故障检查	206
第九章	报警系统	208
第一节	单元组合式报警系统的组成、分类和功能	208
第二节	主要传感器的类型和构造原理	211
第三节	火警报警系统的管理及注意事项	213
第十章	船舶安全用电和安全管理	217
第一节	船舶安全用电常识	217
第二节	船舶电气火灾的预防	219
第三节	船舶电气设备的船用条件及船检规定	221
第四节	船舶电缆安全使用与维护	226
第五节	船舶电气设备的接地的意义和要求	228
第六节	船舶电气设备绝缘	231
第七节	油船电气设备的安全管理	234
第十一章	船舶电气管理人员的安全职责	237
第一节	船舶修理及建造时的职责	237
第二节	船舶航行期间的职责	239
第三节	电气管理人员交接班时的职责	240
练习题		241
附录 电工系统常用电器、电机符号		277
参考文献		281



第一章 直流电路

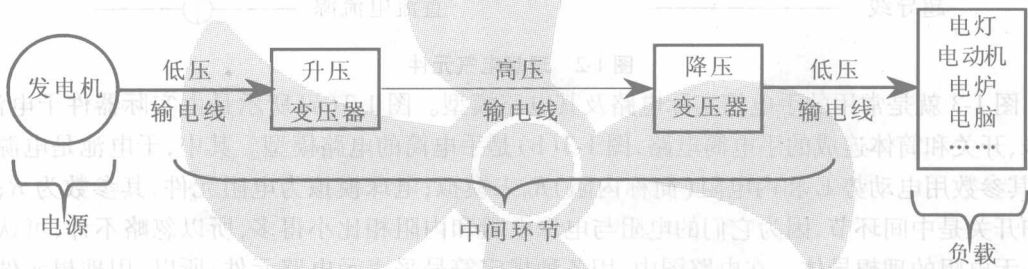
第一节 直流电路的基本概念

一、电路的组成及作用

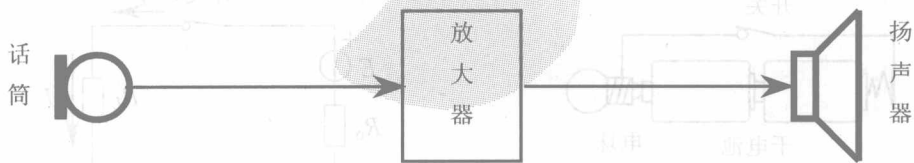
电路就是电流的通路,它是为了某种目的,将一些电气元件或设备按一定的方式组合而成的。

按其所发挥的作用,电路大致可分为两大类。第一类是用来实现电能的转换与传输电路,这就是人们通常所说的电力系统。它包括发电、输配电、电力拖动、照明等部分。第二类是用来处理与传递信息的电路,也就是信息系统。

图 1-1(a)是电力系统示意图,一个完整的电力系统电路大致可以归纳为三个基本组成部分即由电源、负载、中间环节三部分组成。



(a) 电力系统



(b) 语音处理系统

图 1-1 电路作用示意图

1. 电源

产生和提供电能的装置,如各种类型发电机、电池等,是将非电能量转换为电能的装置。

2. 负载

各种类型的用电设备,如电动机、电灯、电炉、电视机、电脑、电信等各种装置。

3. 中间环节

电能的传输及控制装置,包括连接电源与负载之间的电缆、变压器、熔断器、断路器等各种控制设备。



图 1-1(b) 表示的语音处理系统示意图是最简单的信息处理系统, 话筒将语音信息转换为音频电动势, 通过导线和放大器驱动扬声器, 复示或放大语音信息。信息处理系统近年得到了迅猛的发展, 诸如多媒体电脑、网络、数字电视、主机遥控系统、机舱集中监视与报警系统等都是信息处理系统的例子。

要设计一个电气设备, 首先要建立一个电路模型, 进行分析计算, 这个电路模型就是从实际电路中抽象出来的, 由一些理想元件组成的电路, 所谓理想元件就是将实际元件理想化, 即在一定条件下, 突出其主要的电气性能, 忽略其次要因素, 把它看作具有单一电气性能的元件, 理想元件常用规定符号及其相应的参数来表示。图 1-2 就是一些常用的理想元件, 有纯电阻、纯电感、纯电容、理想电压源、理想电流源、超导线等。

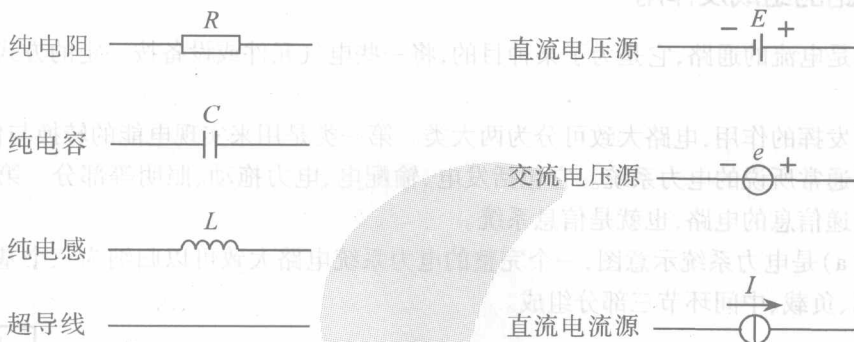


图 1-2 理想电气元件

图 1-3 就是常用的手电筒实际电路及其电路模型。图 1-3(a) 所示是由实际器件干电池、电珠、开关和筒体连成的手电筒电路, 图 1-3(b) 是手电筒的电路模型。其中, 干电池是电源元件, 其参数用电动势 E 和内电阻 (简称内阻) R_0 来模拟; 电珠模拟为电阻元件, 其参数为 R_L ; 筒体和开关是中间环节, 因为它们的电阻与电珠电阻和内阻相比小得多, 所以忽略不计, 可认为是一无电阻的理想导体。在电路图中, 用各种规定符号表示电路元件, 所以, 用理想元件可以相当精确地模拟一个实际电路。

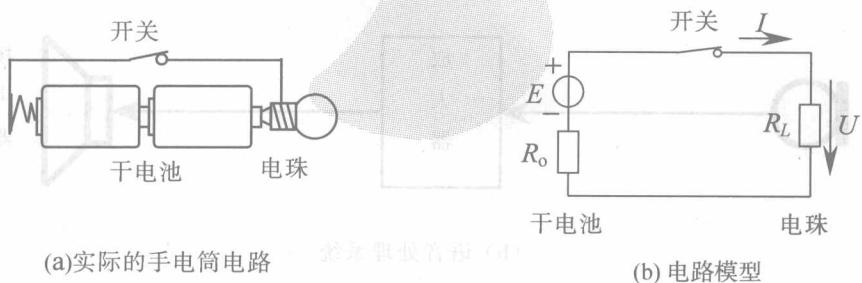


图 1-3 手电筒实物电路及电路模型

二、电路的基本物理量及单位

电源通过导线与负载连接, 即构成一个完整的电路, 电源的电动势在电源的正、负输出端产生电压, 接通负载后, 即在电路中产生电流, 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

电荷移动即形成电流。

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

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

式(1-1)表示电流的大小是随时间变化的。

如果电流的大小不随时间变化,即 $dq/dt = \text{常数}$,则这种电流称为直流。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

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

我国在工程计算中大多采用国际单位制(SI)。在国际单位制中,电流(强度)的单位是库仑/秒,称为安培,简称安(A),千进制,常用的小电流单位有毫安(mA)和微安(μA)。 $1 \text{ mA} = 1000 \mu\text{A} = 10^{-3} \text{ A}$, $1 \mu\text{A} = 10^{-3} \text{ mA} = 10^{-6} \text{ A}$ 。本书如不特别说明均采用国际单位制,并且在电学中的单位大多为千进制。

电流的实际方向:规定正电荷移动的方向(即负电荷移动的反方向)为电流的实际方向。

电流的方向用箭头或双下标表示,如采用双下标表示,则先要标定电路的端标,如图1-4所示。

电流的参考方向(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 or 条件还不能确定电流的实际方向时,就需要在电路图中,对未知电流先假设一个电流的参考方向,然后再根据基本定律列出计算式,进行分析计算。如果分析计算的结果电流得正值,则假设的参考方向就是该电流的实际方向;如果得负值,则其实际方向与假设的参考方向相反。

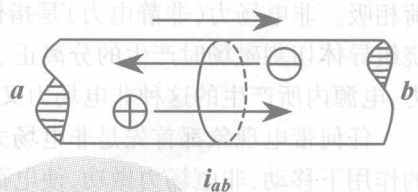


图1-4 电流的实际方向

2. 电压

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 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

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

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,同样可以设参考方向(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,假设了电流的参考方向也就关联的设定了电压降的参考方向。

电压单位是焦耳/库仑(J/C),称为伏特,简称伏(V),千进制。常用的单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV)。

电压的方向用箭头、正(+)、负(-)极性或双下标表示,如采用双下标表示,则先要标定电路的端标,如图1-5所示。

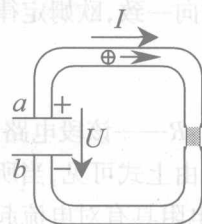


图1-5 电压的实际方向



3. 电动势

电动势:是衡量电源力对电荷做功的能力。电源的电动势在数值上等于电源力把单位正电荷由电源的低电位(负)端经电源内部移到高电位(正)端所做的功,即单位正电荷所获得的电能,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(负)端指向高电位(正)端,与电压的方向相反,如图 1-6 所示。由于电源内存在电源力,正电荷不能通过电源内部由(正)端回到(负)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。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。电动势的方向表示亦同电压,但方向与电压相反,即由低电位端(负)指向高电位(正)端。

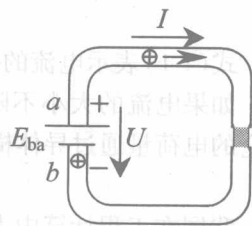


图 1-6 电动势的实际方向

电场力和非电场力:电场力(静电力)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(非静电力)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。

第二节 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. 线性电阻电路的欧姆定律

通常流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比,这就是欧姆定律。它是分析电路的基本定律之一。对图 1-7 的电路,电路图上所选电压和电流的参考方向一致,欧姆定律可用下式表示

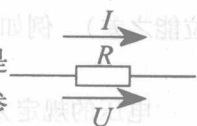


图 1-7 欧姆定律

$$R = \frac{U}{I} \quad (1.4)$$

式中: R ——该段电路的电阻。

由上式可见,当所加电压 U 一定时,电流 I 与电阻 R 成反比,电阻越大,电流则越小。显然,电阻具有对电流起阻碍作用的物理性质。

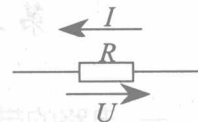
在国际单位制中,电阻的单位是 V/A ,称为欧[姆](Ω)。当电路两端的电压为 $1 V$ 、通过的电流为 $1 A$ 时,则该段电路的电阻为 1Ω 。计量高电阻时,常以千欧($k\Omega$)或兆欧($M\Omega$)为单位。



如果在电路图所选电压和电流的参考方向不一致,如图 1-8 所示,则在欧姆定律的表示式中要加一负号,则得

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

(1-5)



这里应注意,一个式子中有两套正负号,上两式中的正负号是根据电压和电流的参考方向得出的。此外,电压和电流本身还有正值和负值之分。图 1-8 欧姆定律欧姆定律 $U = IR$ 所表示的电流与电压的正比关系,是通过实验得出的。我们可测量电阻两端的电压值和流过电阻的电流值,绘出的是一根通过坐标原点的直线,如图 1-9 所示。因此,遵循欧姆定律的电阻称为线性电阻,它是一个表示该段电路特性而与电压和电流无关的常数。

图 1-9 的直线常称为线性电阻的伏安特性曲线。

材料的导电特性也可用电导 G 表示: $G = 1/R$, 单位为 $1/\Omega$, 称为西门子(S)。当电压和电流的参考方向一致时,用电导 G 表示欧姆定律表达式为

$$I = UG \quad U = I/G \quad G = I/U \quad (1-6)$$

当电压和电流的参考方向不一致时,以上各式均应加一负号。

如果一个电阻的伏安特性不是直线,这个电阻称为非线性电阻。

2. 影响导体的电阻的参数

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 (mm^2) 成反比,其计算式为

$$R = \rho \frac{l}{S} (\Omega) \quad (1-7)$$

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 ($1/^\circ\text{C}$), 其电阻值随温度变化的情况可用下式计算,即

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_1 - t_2)] (\Omega) \quad (1-8)$$

式中 R_2 和 R_1 是同一个导体分别在温度为 t_2 ($^\circ\text{C}$) 和 t_1 ($^\circ\text{C}$) 时的电阻值。在实际工作中应当注意温度对电阻值的影响,有时它会影响设备的运行性能或引起故障,例如当船舶从冷带海域驶入热带海域,电网电压通常会降低;反之会升高。这就是电力系统阻值变化所引起的,需要及时加以调整。

根据欧姆定律,电阻的功率的计算式有三种形式,即

$$P = UI = I^2 R = U^2/R (\text{W}) \quad (1-9)$$

功率的单位为 J/s, 称为瓦, 简称瓦(W)。

电路的电能是指在一定的时间 t 内所转换的电能, 即

$$W = Pt = UIt (\text{J}) \quad (1-10)$$

电能的单位为焦耳(J)。因为 J 这个单位太小, 计量不方便, 所以电气工程中常用千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$) 为电能的计量单位, 1 千瓦时俗称 1 度电。它们的换算关系是:

$$1 \text{ 度电} = 3.6 \times 10^6 (\text{J})$$

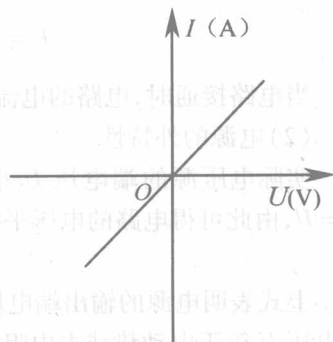


图 1-9 线性电阻的伏安特性曲线



第三节 电路的开路、短路及带载通路状态

一、电路的带载通路、开路与短路

1. 电路的带载通路

电路的负载与电源接通时即为电路的有载工作状态,如图 1-10 所示。

电路带载状态的特征:

(1) 电路中的电流

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-11)$$

当电路接通时,电路的电流大小主要决定于负载电阻 R 。

(2) 电源的外特性

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

$$U = E - IR_0 \quad (1-12)$$

上式表明电源的输出端电压 U 与输出电流 I 的关系,常称为电源的外特性。电源的输出端电压 U 等于电动势减去内阻电压降 IR_0 , 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 1-11 所示。其斜率与电源的内阻 R_0 有关,电源的内阻越小越好,输出电压就越稳定,当 $R_0 \ll R$ 时,则

$$U \approx E$$

上式表明当负载电流变化时,电源的输出电压基本不变,近似是一个理想的恒压源,驱动负载的能力就很强。无穷大电网、电子稳压电源就近似是一个理想的恒压源。

(3) 电路的功率与功率平衡

将 $U = E - IR_0$ 两边各项均乘以电流 I , 则变为电路的功率平衡方程式,即

$$EI = I^2 R_0 + UI \quad \text{或} \quad P_E = P_0 + P \quad (1-13)$$

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

在一个电路中,电源产生的功率和负载取用的功率以及内阻上所损耗的功率是平衡的。

(4) 电源和储能元件工作状态的判别

电源大多是可逆的,即可工作在电源状态(输出电能),也可工作在负载状态(吸收电能),例如在手机中正常工作的电池就工作在电源状态,而当手机充电时,即工作在负载状态,电感、电容此类储能元件在交流电路中,也有类似的特性。

在分析电路时,有时还要判别哪个电路元件是电源(或起电源的作用),哪个是负载(或起负载的作用)。

通常,根据电压和电流的实际方向可确定某一元件是电源还是负载,如图 1-12 所示,元件上电压 U 和电流 I 的实际方向相反,则工作在电源状态。电流从“+”端流出,发出功率。

元件上电压 U 和电流 I 的实际方向相同,则工作在负载状态。电流从“+”端流入,取用



图 1-10 电路的带载通路

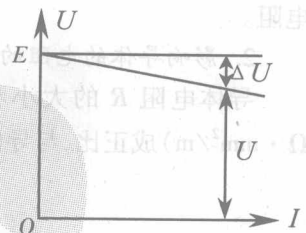


图 1-11 电源的外特性



功率。

也可由 U 和 I 的参考方向来确定电源或负载。如果某一电路元件上两者的参考方向选得一致时,

电源 $P = UI$ (负值)

负载 $P = UI$ (正值)

如果 U 和 I 的参考方向选得相反时,则电源的功率为正值,负载的功率为负值,与上相反。

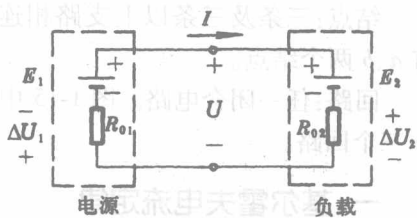


图 1-12

2. 开路和短路状态

(1) 开路就是负载电路与电源断开

如图 1-13 所示,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。

如上所述,电源开路时的特征可用下列各式表示

$$\left. \begin{aligned} I &= 0 \\ U &= U_0 = E \\ P &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

(2) 短路即电源的两个输出端或负载的两个输入端被电阻为零的导体短接如图 1-14 所示。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,如上所述,电源短路时的特征可用下列各式表示

$$\left. \begin{aligned} U &= 0 \\ I &= I_s = \frac{E}{R_0} \\ P_E &= \Delta P = I^2 R_0, P = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-15)$$

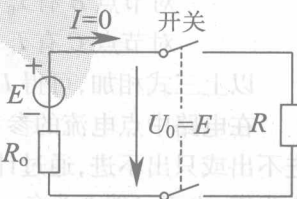


图 1-14

一般电压源的内阻 R_0 都很小,电源电动势全部加在电源内阻上,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。同时巨大的短路电流也会在短路的线路上产生巨大的热量而迅速燃烧起来。事实上,电路短路是引发火灾的重要原因之一,所以,所有电路都必须采取短路保护措施,通常加装熔断器或自动断路器,当电路发生短路时,立即切断电路,避免事故进一步扩大。

第四节 基尔霍夫定律

欧姆定律只能计算简单的电路,对于复杂电路,如图 1-15 这样的电路就得用基尔霍夫定律来分析计算。

在讨论基尔霍夫电流定律之前,先讨论几个概念。

支路:即每一分支电路,每一条支路都有一个支路电流。图 1-15 中有三个支路,其中 I_1 、 I_2 和 I_3 分别为三个支路电流。



结点:三条及三条以上支路相连接的点。图 1-15 中有 a 、 b 两个结点。

回路:任一闭合电路。图 1-15 中有 abc 、 $adba$ 和 $cadbc$ 三个回路。

一、基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律(简称 KCL)指出:任一瞬时,流入一个节点的电流之和等于流出该节点电流之和,则任一瞬时,一个节点上的电流的代数和等于零,若取流向节点的电流为正值,流出节点的取负值,即

$$\sum I = 0 \quad (1-16)$$

根据 KCL,对于图 1-15 电路中的节点 a ,可列出电流方程:

$$I_1 + I_2 = I_3 \text{ 或 } \sum I = I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

基尔霍夫节点电流定律反映了任何节点上的电荷不能堆积的原理,所以在任何瞬时流入结点的电荷必然等于流出该节点的电荷。

基尔霍夫电流定律也满足于广义节点,所谓广义节点,即任一闭合面所包围的电路,称为广义节点。对于图 1-16 中的电路,根据基尔霍夫电流定律,可得出 $I_A + I_B + I_C = 0$ 。

可证明其正确性

$$\text{对节点 } A \text{ 有 } I_A + I_{CA} = I_{AB} \quad I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

$$\text{对节点 } B \text{ 有 } I_B + I_{AB} = I_{BC} \quad I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

$$\text{对节点 } C \text{ 有 } I_C + I_{BC} = I_{CA} \quad I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

以上三式相加,可得 $I_A + I_B + I_C = 0$ 。

在电路中点电流的参考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,其值必定有正有负。对于图 1-16 中的电路中的 I_A 、 I_B 、 I_C 不可能全为正,也不可能全为负,肯定有正,有负。

二、基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律(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,则沿绕行回路,各元件电压降 U 的代数和等于零,即

$$\sum U = 0 \quad (1-17)$$

应用电压定律分析计算电路的关键,是要能正确的确定上式中各元件电压降 U 的正、负。在绕行回路中:

(1)若电阻电流的参考方向与绕行方向一致,则该电阻的电压降取正值(IR),与绕行方向相反则取负值($-IR$);

(2)当绕行经过电源时,若从电源的高电位端走向低电位端则取正电压降($+E$ 或 $+U$);反之由低电位走向高电位则取负的电压降($-E$ 或 $-U$)。

按上述规列写,则图 1-15 所示电路的各回路电压方程如下:

由 d 点出发,沿 $dacbd$ 回路绕行一周,则 $I_2R_2 - I_1R_1 + E_1 - E_2 = 0$

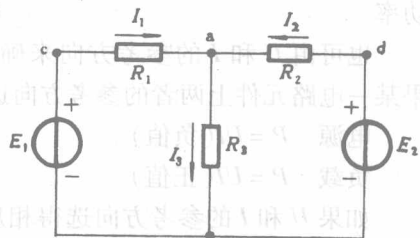


图 1-15 电路举例

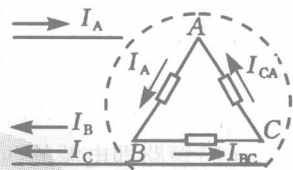


图 1-16



由 a 点出发,沿 $acba$ 回路绕行一周,则 $-I_1R_1 + E_1 - I_3R_3 = 0$

由 a 点出发,沿 $adba$ 回路绕行一周,则 $-I_2R_2 + E_2 - I_3R_3 = 0$

基尔霍夫电压定律不仅满足回路电路,也同样满足开口电路。如图 1-17(a)所示电路,求 A 、 B 两点间电压时可将此图看成是一个开口电路如图 1-17(b)所示,按顺时针方向绕行一周,根据基尔霍夫电压定律得到电压方程

$$-E_1 - IR + E_2 - U_{AB} = 0$$

得

$$U_{AB} = -E_1 - IR + E_2$$

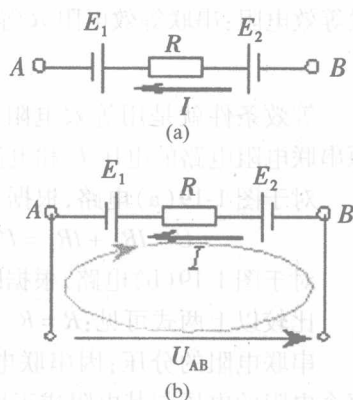


图 1-17

第五节 电路中电位的概念

在分析电子电路时,要应用到电位这个概念。比如对二极管讲,只有当它的阳极电位高于阴极电位的某一数值时,管子才能导通;否则就截止。在讨论晶体管的工作状态时,也要分析各个极的电位高低。

在一个电路里面,电荷在不断地流动,电荷在电路中不同的点上具有不同的能量,常用电位表示电荷在电路中不同的点上所具有的能量,某点的电位高,则电荷在某点具有的能量就高;某点的电位低,则电荷在某点具有的能量就低。电路中某点的电位高、低只能相对于电路中某一参考点而言,因此,计算电位时,必须根据需要选定电路中某一点作为参考点(用符号“ \perp ”表示),它的电位称为参考电位,通常设参考电位为零。其他各点的电位都同它比较,比它高的为正电位,比它低的为电位负。正数值越大则电位越高,负数值越大则电位越低。当然这里的高与低是相对与参考点而言的。参考点选定后,电路中某一点的电位等于该点与参考点(电位为零)之间的电压;参考点选得不同,电路中各点的电位值随着改变,但是任意两点间的电压值是不变的,所以各点电位的高低是相对的,而两点间的电压值是绝对的。

如图 1-18 所示的电路,如果设 a 点为参考点,即 $V_a = 0$,则可得出

$$V_b - V_a = U_{ba} \quad V_b = U_{ba} = -60 \text{ V}$$

即 b 点的电位比 a 点低 60 V 。

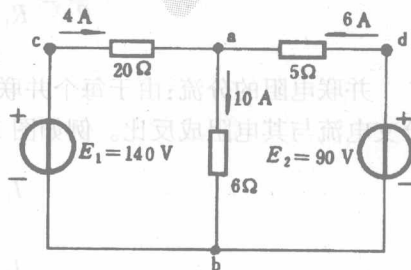


图 1-18 电路举例

第六节 串、并联电阻电路

一、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

$$R = \sum R \quad (1-17)$$

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 1-19(a) 电路,根据基尔霍夫电压定律有

$$U = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$$

对于图 1-19(b) 电路,根据欧姆定律有: $U = IR$

比较以上两式可见: $R = R_1 + R_2$

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 1-19(a) 两个电阻串联, R_1 和 R_2 的分压分别为

$$U_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U; U_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (1-18)$$

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 ($I_1 R_1$ 或 $I_2 R_2$) 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。有时为了限制或调节负载电流也常采用串联电阻的办法。

二、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。

并联电阻的等效电阻值 R 的计算: R 的倒数等于各个并联电阻倒数之和,即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ 或 } R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-19)$$

并联电阻的分流:由于每个并联电阻上的电压 U 相同,故根据欧姆定律每一并联电阻的分支电流与其电阻成反比。例如图 1-20(a) 电路中,两并联电阻的电流分别为

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R_1} = \frac{IR}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \\ I_2 &= \frac{U}{R_2} = \frac{IR}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \end{aligned} \quad (1-20)$$

以上两式称为分流公式。

由于电气设备大都并联在恒定电压的电网或电源上运行,并联的用电设备越多,其等效负载电阻越小,电路的电流和功率越大。

三、电阻的混联

电阻的混联电路,即既有串联又有并联的电阻电路,计算的关键在于理清各电阻的串并联关系,利用电阻的串并联计算公式,逐级进行计算,有时因电路图的画法看不出明显的串、并联关系,可试着将有关的连线缩短,或改变一下图中元件的摆放位置,一般经过画几次草图后便可分清串、并联的关系。

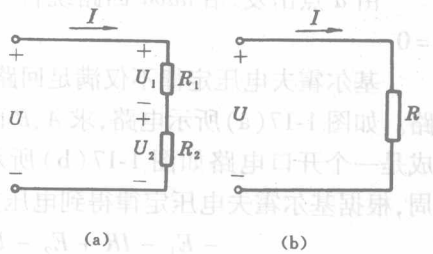


图 1-19