

船舶电气与自动化

(上册：船舶电气)

卢冠钟 主编

任德夫 陈逸宁 主审



大连海事大学出版社

船舶电气与自动化

(上册:船舶电气)

卢冠钟 主编
任德夫 陈逸宁 主审

大连海事大学出版社

© 卢冠钟 2014

图书在版编目(CIP)数据

船舶电气与自动化:全2册/卢冠钟主编. —大连:大连海事大学出版社, 2014. 3
ISBN 978-7-5632-2993-2

I. ①船… II. ①卢… III. ①船用电气设备—高等学校—教材②船舶—自动化系统—高等学校—教材 IV. ①U665②U664.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 053533 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

大连华伟印刷有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2014年3月第1版

2014年3月第1次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm

印张:48

字数:1187 千

印数:1 ~ 1200 册

出版人:徐华东

责任编辑:陆梅 刘牧园

责任校对:何乔 宋彩霞

封面设计:王艳

版式设计:解瑶瑶

ISBN 978-7-5632-2993-2

定价:110.00 元(上、下册)

前 言

《船舶电气与自动化》是 STCW 公约马尼拉修正案后,依据中华人民共和国海事局履约版考试大纲重新编写的教材。本教材分为上下两册,上册为船舶电气,下册为船舶自动化。本书按照项目化分块,在原有教材的基础上,结合各院校老师的教学经验和航运企业的需求,重新按照大纲进行了修订和编写,教材以大纲为依据进行了内容编排。

本册《船舶电气与自动化(上册:船舶电气)》分为七个项目,其中项目一直流电路与电子基础、项目二电与磁、项目三正弦交流电路由渤海船舶职业学院刘欢编写;项目四船舶电机与电力拖动系统由南通航运职业技术学院高峰和程真启编写;项目五异步电动机常用控制电路由九江职业技术学院汪临伟、张怡典和浙江交通职业技术学院卢冠钟、孙飞、张亮编写;项目六船舶发电机和配电系统由江苏海事职业技术学院孙立新、浙江国际海运职业技术学院陈再发和厦门海洋职业技术学院林金华编写;项目七船舶电气安全维修与管理由青岛港湾职业技术学院刘宪珍和李建伟编写。同时在本书编写过程中得到了浙江交通职业技术学院姚建飞教授的大力参与和支持,并感谢浙江海事局陈和平处长、轮机主考官任德夫轮机长,浙江远洋运输有限公司的赵逾轮机长和周进路轮机长,浙江海运集团公司的陈逸宁轮机长提供的资料和宝贵意见。

由于时间仓促,全书还存在许多缺点,希望能够得到广大读者的指正和批评。

目 录

项目一 直流电路与电子基础	1
任务一 电路的基本概念和描述	1
任务二 常用电路定律	6
任务三 串、并联电阻电路	9
任务四 电子器件与电路	11
项目二 电与磁	51
任务一 认识磁场的基本概念物理量与电磁感应	51
任务二 磁性材料的性能	55
项目三 正弦交流电路	59
任务一 正弦交流电	59
任务二 三相交流电动势的产生及连接方式	66
项目四 船舶电机与电力拖动系统	74
任务一 直流电机	74
任务二 变压器	90
任务三 交流异步电动机	101
任务四 控制电机及其在船舶上的应用	123
任务五 船舶常用控制电器	127
项目五 异步电动机常用控制电路	145
任务一 电动机的保护和基本控制环节	145
任务二 异步电机的典型控制电路	152
任务三 空压机和水柜水位自动控制电路	155
任务四 锚机、绞缆机电力拖动控制系统	159
任务五 起货机电力拖动控制系统	162
任务六 船舶舵机控制系统	170
项目六 船舶发电机和配电系统	177
任务一 三相交流同步发电机和轴带发电机	177
任务二 船舶电力系统的基本概念	191
任务三 船舶主配电板与应急电源	198
任务四 发电机主开关	208
任务五 发电机的并联、励磁装置及运行调节	212
任务六 电站保护	244

任务七 船舶中高压电力系统·····	256
任务八 船舶照明系统·····	263
任务九 船舶自动化电站·····	277
项目七 船舶电气安全维修与管理·····	314
任务一 船舶电气系统的工作安全要求·····	314
任务二 电气控制线路识图与控制线路装配·····	334
任务三 电子元器件的识别、电子控制线路、电路板、电子元器件的焊接与装配 ·····	339
任务四 电气控制箱的常见故障查找与排除·····	354
任务五 船用电机的维修·····	362
任务六 船舶电力系统的继电保护及主要故障的判断和排除·····	375
参考文献·····	383



项

目一

直流电路与电子基础

任务一

电路的基本概念和描述 ||

● 知识目标

- 认识电路单元组成
- 主要电学单位: 电流、电压、电动势

● 能力目标

- 学习电路基本知识并进行计算分析

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。

图 1-1(a) 是手电筒电路示意图,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(电池)、负载(小电珠)、中间环节(开关和导线)三部分组成。

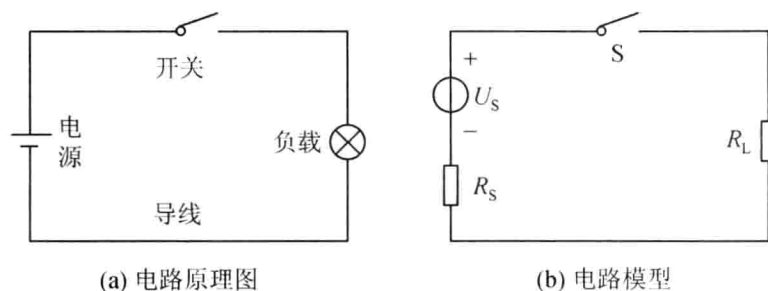


图 1-1 手电筒电路

1. 电源

产生和提供电能的装置,如各种类型发电机、电池等,也是将其他形式能转换为电能的装置。

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

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

按其所发挥的作用,电路可以分为两大类。第一类是用来实现电能转换和电能传输,这就是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。例如图 1-1(a)和图 1-1(b)。第二类是用来处理与传递信息的电路(即信息系统),例如无线通信系统、电路检测系统、船舶集中监视与报警系统等都是信息处理系统。

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及符号,包括纯电阻、纯电感、纯电容、理想电压源、理想电流源等。要掌握一个电气设备,首先要掌握它的电路模型,然后进行分析计算。

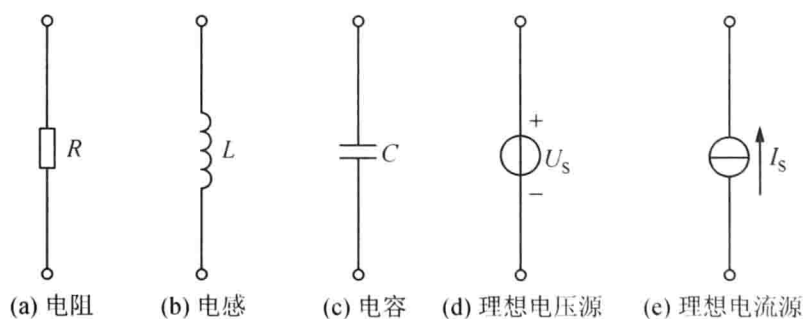


图 1-2 理想电路元件

二、电路的主要物理量及单位

一般地说,电流、电压、电动势为电路的主要物理量。

1. 电流

电荷定向移动即形成电流。

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

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

在国际单位制(SI)中,电流(强度)的单位是库仑/秒,称为安培,简称安(A),常用的小电流单位有毫安(mA)和微安(μA)。 $1 \text{ mA} = 1\,000 \mu\text{A} = 10^{-3} \text{ A}$, $1 \mu\text{A} = 10^{-3} \text{ mA} = 10^{-6} \text{ A}$ (千进制)。本书如不特别说明均采用国际单位制。

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。通常用箭头或双下标表示 I_{ab} ,表示电流由 a 流向 b。

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。对未知电路可以假设一个电流的参考方向,然后再根据基本定律电路进行分析计算。计算结果电流是正值,即实际方向与参考方向一致;负值,即实际方向与参考方向相反。

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)。电压的实际方向通常用箭头或双下标表示 U_{ab} ,表示电压由 a 指向 b。

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相互关联的,当两者的方向均不能确定时,假设了电流的参考方向也就是关联的设定了电压降的参考方向。在实际解决电路问题时我们尽量设电流、电压参考方向一致。计算结果为正值表示与假设方向相同,为负值则相反。

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, $1 \text{ V} = 10^3 \text{ mV}$)和微伏(μV , $1 \text{ mV} = 10^3 \mu\text{V}$)。

3. 电动势

电动势是衡量电源对电荷做功的能力。通常意义是将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位能,因此电动势的方向与电压的方向相反,在数值上电动势的量度单位与电压相同,即伏特。

电动势的规定方向:由低电位(负)端指向高电位(正)端,与电压的方向相反,如图 1-3 所示。

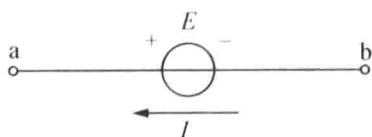


图 1-3 电动势的实际方向

电场力与非电场力: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)是指电源内部作用在电荷上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,电池内部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。

任何带电现象首先是非电场力克服电场力而分离正负电荷形成的。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;相反在电场力的作用下移动,则电场力做功,电荷的电位能减少。

由于电源内存在电源力,正电荷只能通过电源内部由(负)端回到(正)端。当电源与外部负载接通时,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。从能量角度上看在电源内部是将其他形式的能(化学能、机械能)转换为电能。在电源外部电路中是将电能转化为其他形式的能(热能、机械能)。

三、电路中电位的概念

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,则电荷在该点具有的能量就高;某点的电位低,则电荷在该点具有的能量就低。电路中一点电位高低只是相对于电路中某一参考点而言,因此,进行电位计算时,必须根据需要选定电路中某一点作为参考点(用符号“⊥”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,比它低的为负电位。正数值越大则电位越高,负数值越大则电位越低。参考点选定后,电路中某一点电位等于该点与参考点(电位为零)之间的电压;参考点选的不同,电路中各点的电位值也随之改变,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。电位与电压用字母 U 表示,两者具有相同的单位,即伏特(V)。

四、电路的工作状态

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 1-4 所示。

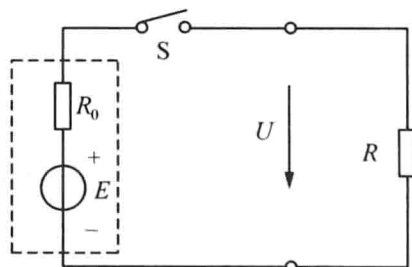


图 1-4 电路带载通路

电路带载状态的特征:

(1) 电路中的电流

$$I = E / (R_0 + R) \quad (1-4)$$

当电路接通时,电路的电流大小主要决定于负载电阻 R (R_0 为内阻)。

(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 $I = U/R$, 由此可得端电压平衡方程式

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

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 , 负载电流越大其端电压越低。电压源的端电压 U 与输出电流 I 的关系曲线称为电源的外特性曲线,如图 1-5 所示。其斜率与电源的内阻 R_0 有关,电源的内阻越小,输出电压就越稳定。当 $R_0 \ll R$ 时,则

$$U \approx E$$

即使电路电流变化,电源的端电压基本不变,可以看成理想的恒压源,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 $U = E - IR_0$ 各项均乘以电流 I , 则得到电路的功率平衡方程式,即

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

上式表明,电路中功率是平衡的。即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。

(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)。例如汽车中使用的蓄电池组,在启动发动机时是工作在电源状态,在发动机启动之后处于充电状态则是负载。

在分析电路时,有时还要判别哪个电路元件是电源(或起电源作用),哪个是负载(或起负载作用)。可以根据电源与负载的工作性质来判断,由于电源是克服电场力做功,所以在电源内部实际电压的方向与实际电流方向相反。而负载是消耗或吸收电能,所以电压与电流的实际方向相同。

即 电源 $P = UI$ (负值)

负载 $P = UI$ (正值)

2. 开路和短路状态

(1) 开路

开路就是负载电路与电源断开。如图 1-6 所示,无论是工作开路或故障断路,最主要的特征是:回路电流 $I = 0$, 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电源的开路电压 U_0 而得知

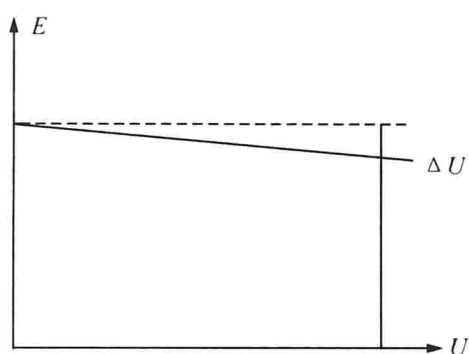


图 1-5 电源的外特性

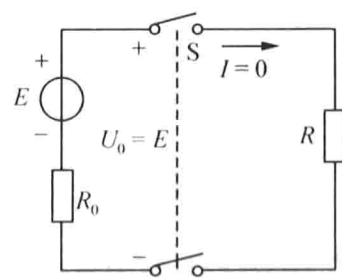


图 1-6 开路状态

其电动势 E ; 或通过查测疑似断路点两端的电压来查找断路故障点位置。

如上所述, 电源开路时的特征可用下列各式表示

$$\begin{aligned} I &= 0 \\ U &= U_0 = E \\ P &= 0 \end{aligned} \quad (1-7)$$

(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 1-7 所示。其特征是: 端电压 $U=0$ 而短路电流 I_s 很大。

如上所述, 电源短路时的特征可用下列各式表示

$$\begin{aligned} U_0 &= 0 \\ I &= I_s = E/R_0 \\ P_E &= I^2 R_0, P = 0 \end{aligned} \quad (1-8)$$

一般电压源的内阻 R_0 都很小, 而短路时, 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, 通常办法是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。

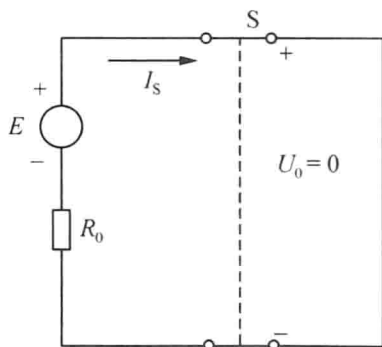


图 1-7 短路状态

任务二

常用电路定律

● 知识目标

- 欧姆定律
- 基尔霍夫 (Kirchhoff) 定律

● 能力目标

- 运用欧姆定律、基尔霍夫定律分析计算电路

一、欧姆定律与电阻

1. 线性电阻的欧姆定律

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。假设, 电压和电流所选的参考方向一致, 欧姆定律可用下式表示

$$R = U/I \quad (1-9)$$

式中, R 为该段电路的电阻。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 $1\ \Omega$ 。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, 则在欧姆定律的表示式中要加一负号, 则得

$$R = -U/I \quad (1-10)$$

这里应注意, 一个公式有两种表示, 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, 但电阻是一个标量。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。我们通过测量电阻两端的电压值和对应流过电阻的电流值可绘出一根通过坐标原点的直线, 如图 1-8 所示。同一电路的电阻是一个常数。

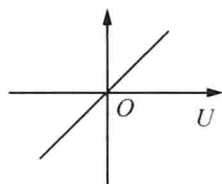


图 1-8 电阻的伏安特性

材料的导电性也可用电导 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

$$I = UG \quad U = I/G \quad G = I/U \quad (1-11)$$

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. 影响导体电阻的参数

通过实验证明, 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 (mm^2) 成反比, 其计算式为

$$R = \rho L/S \quad (\Omega) \quad (1-12)$$

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

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

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (\Omega) \quad (1-13)$$

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, 有时它会影响设备的运行性能或引起故障。例如当船舶从低温海域驶入高温海域, 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。

3. 功率

根据欧姆定律, 电阻功率的计算式有三种形式, 即 $P = UI = I^2 R = U^2/R$ (W)

功率的单位为 J/s , 称为瓦特, 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 $W = Pt = UIt$ (J)

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

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

二、基尔霍夫(Kirchhoff)定律

欧姆定律只能计算简单的电路,对于复杂电路,通常用基尔霍夫定律来分析计算。

在讨论基尔霍夫定律之前,先熟悉支路、节点和回路的相关概念。

支路:即每一分支电路。每一条支路的电器元件电流相等。图 1-9 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:与三条或三条以上支路相连接的点。如图 1-9 中有 a、b 两个结点。

回路:电路中任意闭合的路径。图 1-9 中有 cabc, adba 和 cadbc 三个回路。

1. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律(简称 KCL),包括结点电流定律和回路电压两个定律,是一般电路必须遵循的普遍规律。

基尔霍夫电流定律是将物理学中的“液体流动的连续性”和“能量守恒定律”用于电路中,它指出:任一时刻,流入任一结点的电流的代数和恒等于零。

数学表达式 $\sum I = 0$

根据 KCL,对于图 1-9 电路中的节点 a,可列出电流方程: $\sum I = I_1 + I_2 - I_3 = 0$

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,即任一闭合面包围的电路,称为广义节点。

对于图 1-10 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

对节点 A 有 $I_A + I_{CA} = I_{AB}$ $I_A = I_{AB} - I_{CA}$;

对节点 B 有 $I_B + I_{AB} = I_{BC}$ $I_B = I_{BC} - I_{AB}$;

对节点 C 有 $I_C + I_{BC} = I_{CA}$ $I_C = I_{CA} - I_{BC}$;

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在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,其值必定有正负。如图 1-10,若设参考方向为流入节点,则 I_C 计算出的值为负值,则表示电流是流出的。

2. 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律(简称 KVL)指出,在任一瞬间,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 $\sum U = 0$

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

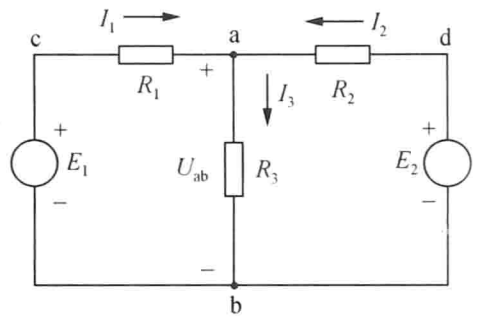


图 1-9 三支路电路

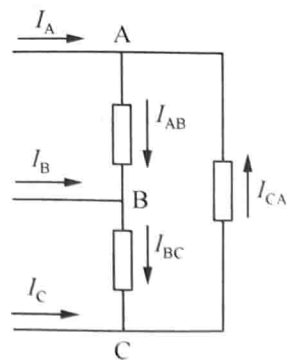


图 1-10 广义节点



(1) 若流过电阻的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绕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取负电压降($-E$ 或 $-U$);

(3) 绕行经过某元件电压时,若电压方向与绕行方向一致则取正值,相反则取负值。

按上述规则列写,则图 1-9 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 $I_2R_2 - I_1R_1 + E - E_2 = 0$

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 1-11(a) 所示电路,要求 A、B 两点间电压可将此图看成是一个开口电路如图 1-11(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

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

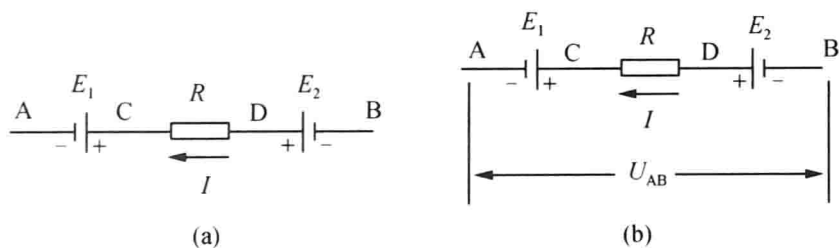


图 1-11 开口电路

任务三

串、并联电阻电路

● 知识目标

- 认识和区分串联和并联电路

● 能力目标

- 化简与计算电阻串联和并联电路

一、电阻的串联

两个或多个电阻一个接一个地顺序相连,各电阻流过同一电流,即为串联电阻。串联等效电阻等于各串联电阻之和,即 $R = \sum R$ 。

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

对于图 1-12(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 1-12(a) 两个电阻串联, R_1 和 R_2 的分压公式分别为

$$U_1 = IR_1 = R_1 U / (R_1 + R_2); U_2 = IR_2 = R_2 U / (R_1 + R_2)$$

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。

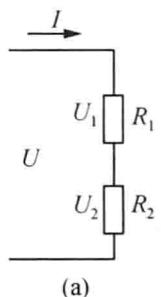


图 1-12 电阻串联

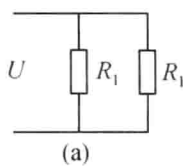
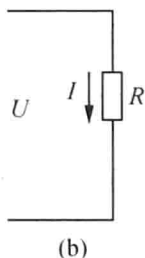
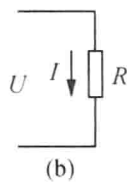


图 1-13 电阻并联



串联电阻的电流相同,所以任一串联电阻的功率($I_2 R_1$ 或 $I_2 R_2$)也与其电阻成正比。

串联电阻在实际中的应用:常用串联电阻进行分压或限流(称为分压电阻,在稳压二极管电路中称限流电阻,在直流继电器中称经济电阻)。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做成多量程电压表。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

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

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 1-13(a) 电路中,两并联电阻的电流公式分别为

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}; I_2 = \frac{U}{R_2} = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

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,有时因电路图的画法看不出明显的串并关系,可利用节点法,找出一个独立节点,试着连



线缩短,或改变一下图中元件的摆放位置(水平或垂直摆放),一般经过画几次草图后便可分清串并联的关系。然后利用电阻的串并联计算公式,逐级进行计算。

任务四

电子器件与电路 II

●知识目标

- 认识半导体材料和 PN 结
- 认识二极管,晶闸管的结构原理
- 认识三极管的结构原理与特性参数

●能力目标

- 具有判断二极管晶闸管极性,整流和稳压等电路的应用分析能力
- 能够分析三极管的工作点电路和三极管的基本应用电路
- 运算放大器的基本应用电路分析

一、半导体、PN 结的基本概念

1. 半导体材料

半导体材料是导电能力介于导体和绝缘体之间的材料。半导体器件主要有半导体二极管,三极管,场效应管等常用元件。

按照导电物质的导电特性可分为导体,半导体和绝缘体。电阻率 $\rho < 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 的为导体; $\rho > 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 的为绝缘体;半导体导电能力介于导体与绝缘体之间。

半导体材料能够广泛应用的主要原因并非在于它电阻率的大小,而是电阻率受温度、光照、杂质种类、浓度等条件的不同而表现出显著的差异,一般具有以下三个特点:

①热敏性:电阻率随温度的上升明显下降,呈负温度系数的特性,导电能力随温度的增高而增强,主要应用于热敏电阻。

②光敏性:随光照的不同电阻率发生改变。如硫化镉薄膜,无光照时电阻达到几十兆欧姆,具有典型的绝缘体特点;有光照时,电阻只有几十千欧姆,主要应用于光敏元件。

③掺杂性:电阻率与所含微量元素的浓度有关系。在纯净的半导体中掺入微量的其他元素(通常叫掺杂),半导体的导电能力会随着浓度的变化发生改变,在纯硅中掺入百万分之一的磷 P,电阻率从 $2.14 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 变化到 $0.2 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

本征半导体:是指完全纯净的具有晶体结构的半导体,如硅和锗,属于四价元素(外层有四个价电子),硅与硅原子之间采用 4 个共价键结合。本征半导体中的自由电子和空穴是成对的,当光照或温度增加时,自由电子和空穴的数目就会成对的增加。在外电场的作用下,自由电子和空穴会作方向相反的定向运动,自由电子和空穴的移动(并非原子移动)产生了电