



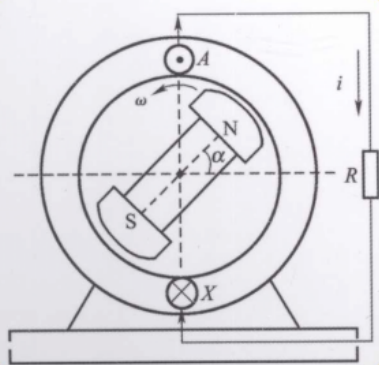
国家示范性高等职业院校重点建设专业教材

轮机工程技术专业

船舶电气

◎主编 许明华

◎主审 高 岚 [武汉理工大学]



人民交通出版社
China Communications Press



国家示范性高等职业院校重点建设专业教材

机电一体化技术专业

| | |
|------------|-----|
| 单片机原理与控制技术 | 吴 赓 |
| 机械设计基础 | 王显彬 |
| 数控机床与编程技术 | 陈贵清 |

汽车检测与维修技术专业

| | |
|-------------|---------|
| 汽车发动机机械系统检修 | 林 平 |
| 汽车底盘机械系统检修 | 陈建宏 许炳照 |
| 汽车电气系统检修 | 张宗荣 |

安全技术管理专业

| | |
|---------------|---------|
| 公路施工现场安全管理与控制 | 张小琴 |
| 公路隧道施工安全管理与控制 | 赵存明 卢立波 |

航海技术专业

| | |
|------------------|---------|
| 航运企业安全管理体系的建立与实施 | 林志忠 林映怡 |
| 船舶结构与设备 | 向 阳 唐寒秋 |
| 海上货物运输 | 陈福金 |
| 船舶原理 | 徐 莉 张秀凤 |
| 水手工艺 | 向 阳 张诗永 |

轮机工程技术专业

| | |
|-------|---------|
| 轮机自动化 | 陈清彬 |
| 船舶柴油机 | 黄步松 吕凤明 |
| 船舶辅机 | 郑仲金 |
| 船舶电气 | 许明华 |
| 制冷与空调 | 郑仲金 |

策划编辑: 黄兴娜

责任编辑: 张向东

封面设计: 王红锋

ISBN 978-7-114-07953-5



9 787114 079535 >

网上购书/www.jtbook.com

定价: 58.00元

国家示范性高等职业院校重点建设专业教材

Chuanbo Dianqi

船舶电气

(轮机工程技术专业)

主 编 许明华

主 审 高 岚[武汉理工大学]

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是国家示范性高等职业院校重点建设专业教材。全书共包括十二个模块,分别是:直流电路的基本概念与基本定律,正弦交流电路,半导体理论,磁路与铁芯线圈电路,船舶电机,电力拖动控制电路及系统,船舶电力系统的组成,船舶同步发电机的并联运行,船舶电力系统的安全保护,船舶照明系统,报警系统,船舶安全用电、安全管理和职责。在每个模块后附有练习。

本书既可以作为高职院校轮机工程技术专业学生的材料,也可以作为有关人员的参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

船舶电气/许明华主编. —北京:人民交通出版社,
2009.10

ISBN 978 - 7 - 114 - 07953 - 5

I. 船… II. 许… III. 船用电气设备 IV. U665

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 151542 号

国家示范性高等职业院校重点建设专业教材

书 名:船舶电气

著 作 者:许明华

责任编辑:张向东

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757969,59757973

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:23.5

字 数:586千

版 次:2009年10月 第1版

印 次:2009年10月 第1次印刷

书 号:ISBN 978 - 7 - 114 - 07953 - 5

定 价:58.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

2006年是中国高等职业教育的春天。这一年,我国教育部、财政部启动了国家示范性高等职业院校建设计划,高等职业教育首次被定性为中国高等教育发展的一种类型。时代赋予了高等职业教育非常广阔的发展空间。

2006年也是福建交通职业技术学院发展的春天。同年12月,这所有着140多年办学历史的百年老校,被确定为全国首批国家示范性高等职业院校建设单位。这对学校而言,是荣誉更是责任,是挑战更是压力。

国家示范性院校建设的核心是专业建设,而课程和教材又是专业建设的重要内容之一。如何通过课程的建构来推动人才培养模式的改革和创新?教材编写工作又如何与学校人才培养模式和课程体系改革相结合?如何实现课程内容适合高素质技能型人才的培养?这均是我校示范性建设中的重要命题。

难能可贵的是,3年来,在全体教职员工的不懈努力下,我校8个重点建设专业(6个为中央财政支持的重点建设专业)在实验实训条件建设、师资队伍建设、人才培养模式与课程体系改革等方面,都取得了突破性的进展。

更令人欣慰的是,我院教师历经3年的不断探索和实践,为我院的教材建设作出了功不可没的成绩。一系列即将在人民交通出版社出版的国家示范性高等职业院校重点建设专业教材,就是我院部分成果的体现。在这些教材中,既有工学结合的核心课程教材,也有专业基础课程教材。无论是哪种类型的教材,在编写中,我院都强调对教材内容的改革与创新,强调示范性院校专业建设成果在教材中的固化,强调教材为高素质技能型人才培养服务,强调教材的职业适应性。因为新教材的使用,必须根植于教学改革成果之上,反过来又促进教学改革目标的实现,推进高职教育人才培养模式改革。

培养社会所需要的人,是我院一直不懈的努力方向,而这些教材就是我们努力前行的足迹。

在这些教材的编写过程中,也倾注了相关企业有关专家的大量心血和辛勤劳动,在此谨向他们表示衷心的感谢!

福建交通职业技术学院院长
福州大学博士生导师



前 言

《船舶电气》一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。本书主要是为了满足职业院校教学和工学结合的需要,使轮机员能够适应新形势下的需要,做到机电合一,全面胜任船舶电气维护和管理工作的需要,并能顺利通过操作级轮机员(二管轮/三管轮)适任证书的考试而编写。

本书共分十二模块,内容包括:模块一直流电路的基本概念与基本定律,模块二正弦交流电路,模块三半导体理论,模块四磁路与铁芯线圈电路,模块五船舶电机,模块六电力拖动控制电路及系统,模块七船舶电力系统的组成,模块八船舶同步发电机的并联运行,模块九船舶电力系统的安全保护,模块十船舶照明系统,模块十一报警系统,模块十二船舶安全用电、安全管理和职责。

全书由福建交通职业技术学院许明华副教授担任主编,武汉理工大学高岚教授担任主审。其中模块一至模块五由教师游德智编写,模块六由总工程师张金香编写,模块七至模块十二由许明华编写。

由于编写时间仓促,作者的学识有限,书中内容错误难免,恳请读者批评指正。

编 者
2009 年 6 月

目 录

| | |
|---------------------------------|----|
| 模块一 直流电路的基本概念与基本定律 | 1 |
| 单元一 直流电路的基本概念..... | 1 |
| 单元二 欧姆定律..... | 4 |
| 单元三 电路的工作状态..... | 6 |
| 单元四 基尔霍夫定律..... | 9 |
| 单元五 电路中电位的概念..... | 10 |
| 单元六 串、并联电阻电路..... | 11 |
| 练习题..... | 14 |
| 模块二 正弦交流电路 | 16 |
| 单元一 正弦交流电..... | 16 |
| 单元二 电阻、电感与电容元件的交流电路..... | 19 |
| 单元三 电阻、电感与电容元件串联的交流电路..... | 23 |
| 单元四 三相交流电动势的产生、电源的连接..... | 29 |
| 单元五 三相负载的连接..... | 32 |
| 练习题..... | 34 |
| 模块三 半导体理论 | 37 |
| 单元一 半导体的导电特性..... | 37 |
| 单元二 PN 结的单向导电性..... | 38 |
| 单元三 半导体二极管和稳压管..... | 38 |
| 单元四 单相整流电路..... | 40 |
| 单元五 滤波与稳压电路..... | 43 |
| 单元六 晶体管..... | 45 |
| 单元七 基本放大电路..... | 48 |
| 单元八 晶闸管及其应用..... | 52 |
| 单元九 集成运算放大器及其应用..... | 55 |
| 单元十 数字逻辑电路..... | 57 |
| 练习题..... | 64 |
| 模块四 磁路与铁芯线圈电路 | 68 |
| 单元一 磁场的基本概念与基本物理量..... | 68 |
| 单元二 电流的力效应和电磁感应..... | 69 |
| 单元三 磁性材料的磁性能..... | 73 |
| 单元四 交流铁芯线圈..... | 75 |
| 单元五 电磁铁..... | 77 |
| 练习题..... | 78 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| 模块五 船舶电机 | 81 |
| 单元一 直流电机 | 81 |
| 单元二 变压器 | 93 |
| 单元三 交流异步电动机 | 101 |
| 单元四 控制电机 | 118 |
| 单元五 三相交流同步电机 | 123 |
| 练习题 | 127 |
| 模块六 电力拖动控制电路及系统 | 132 |
| 单元一 常用控制电器 | 132 |
| 单元二 三相异步电动机的基本保护环节 | 145 |
| 单元三 三相异步电动机的各种控制电路 | 147 |
| 单元四 三相异步电动机的典型控制电路 | 151 |
| 单元五 锚机、绞缆机电力拖动控制系统 | 157 |
| 单元六 起货机的运行特点和对电力拖动控制的基本要求 | 161 |
| 单元七 自动操舵控制系统 | 164 |
| 练习题 | 171 |
| 模块七 船舶电力系统的组成 | 177 |
| 单元一 船舶电力系统的概述 | 177 |
| 单元二 船舶电力系统的基本参数及特点 | 178 |
| 单元三 船舶电力网 | 182 |
| 单元四 船舶配电装置 | 187 |
| 单元五 船舶应急电源系统 | 194 |
| 单元六 船用蓄电池和充放电板 | 197 |
| 单元七 船舶同步发电机的自励恒压装置 | 203 |
| 练习题 | 215 |
| 模块八 船舶同步发电机的并联运行 | 220 |
| 单元一 概述 | 220 |
| 单元二 同步发电机的并车条件 | 221 |
| 单元三 同步检测 | 224 |
| 单元四 手动并车操作 | 228 |
| 单元五 电抗同步并车 | 231 |
| 单元六 半自动同步并车装置 | 235 |
| 单元七 自动准同步并车装置 | 237 |
| 单元八 并联运行发电机组有功功率的分配与调整 | 247 |
| 单元九 船舶同步发电机组间无功功率自动分配 | 255 |
| 练习题 | 257 |
| 模块九 船舶电力系统的安全保护 | 262 |
| 单元一 船舶电力系统的安全保护概述 | 262 |
| 单元二 船舶同步发电机的保护 | 263 |
| 单元三 发电机主开关 | 265 |

| | | |
|-------------|-----------------------------|------------|
| 单元四 | 船舶电网的短路、过载保护及绝缘监测 | 271 |
| 单元五 | 逆功率继电器 | 274 |
| 单元六 | 船舶轴带发电机系统 | 277 |
| 单元七 | 船舶中压电力系统 | 282 |
| 练习题 | | 284 |
| 模块十 | 船舶照明系统 | 288 |
| 单元一 | 船舶照明系统的分类及特点 | 288 |
| 单元二 | 船舶常用灯具与电光源 | 291 |
| 单元三 | 船舶照明系统控制线路 | 297 |
| 单元四 | 船舶照明系统的维护保养 | 301 |
| 单元五 | 船舶照明系统的常见故障检查 | 302 |
| 练习题 | | 304 |
| 模块十一 | 报警系统 | 307 |
| 单元一 | 单元组合式报警系统的组成、分类和功能 | 307 |
| 单元二 | 船舶传感器的类型和构造原理 | 310 |
| 单元三 | 火警(消防)报警系统及火警探测传感器 | 317 |
| 单元四 | 火警报警系统的管理及注意事项 | 320 |
| 练习题 | | 323 |
| 模块十二 | 船舶安全用电、安全管理和职责 | 326 |
| 单元一 | 船舶安全用电常识 | 326 |
| 单元二 | 船舶电气火灾的预防 | 329 |
| 单元三 | 船舶电气设备的船用条件及船检规定 | 331 |
| 单元四 | 船舶电缆安全使用与维护 | 337 |
| 单元五 | 船舶电气设备接地的意义和要求 | 339 |
| 单元六 | 船舶电气设备绝缘 | 341 |
| 单元七 | 油船电气设备的安全管理 | 344 |
| 单元八 | 船舶电气管理人员的职责 | 347 |
| 单元九 | 船舶航行期间的职责 | 352 |
| 单元十 | 电气管理人员交接班时的职责 | 355 |
| 练习题 | | 356 |
| 附录 | 电工系统常用电器、电机符号 | 361 |
| 参考文献 | | 366 |

模块一 直流电路的基本概念与基本定律

教学目标

1. 具有正确使用电路基本物理量的能力；
2. 具有分析电阻串联、并联、混联电路的能力；
3. 具有使用欧姆定律、基尔霍夫定律简单分析直流电路的能力。

单元一 直流电路的基本概念

一、电路的组成及作用

电路是泛指能够提供电流途径,由电源、电子元器件或电工设备所组成的总体。

电路具有两个主要功能:①在电路中随着电流的流动,它能实现电能与其他形式能量的转换传输和分配。例如,发电厂将热能转变成电能,通过输电线路将电能送到用户,用户再用电器将电能转化为其他形式的能量使用。②电路可以实现信号的传递和处理。比如信息系统。

图 1-1a)是电力系统示意图。一个完整的电力系统电路,大致可以归纳为由电源、负载、中间环节三个基本部分组成。电源是提供电能的装置,如各种类型发电机、电池等;负载是消耗电能的装置,如电动机、电灯、电炉等装置;中间环节是电能的传输与控制装置,根据工作需要有的复杂的也有简单的,如电缆、变压器、熔断器、断路器等各种控制设备。

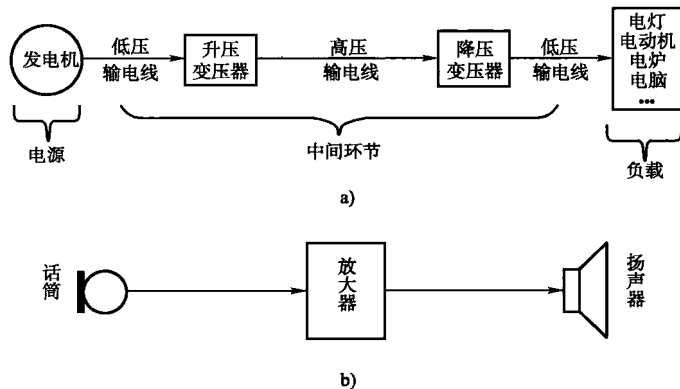


图 1-1 电路作用示意图

a)电力系统;b)语音处理系统

图 1-1b)是语音处理系统示意图。话筒将语音信息转换为音频电动势,通过放大器驱动扬声器,将信号转换后放大,经由扬声器输出。信息系统近年得到了迅猛的发展,诸如多媒体计算机、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属于信息系统。

为便于分析和计算,人们把实际电路中的器件和元件理想化并用国家统一的标准符号表示在电路原理图中,这些器件和元件就成为用抽象的电路模型来表示的电路元件。电路模型

中能表征电路的特征,并且具有单一电磁性质的元件被称为理想电路元件,如图 1-2 所示。所谓单一电磁性质是指突出该部分电路的主要电或磁的性质,而忽略次要的电或磁的性质。

图 1-3 是常用的手电筒实际电路及其电路模型。图 1-3a) 是由实际器件干电池、电珠、开关和导线连成的手电筒电路,图 1-3b) 是手电筒的电路模型。其中,干电池是电源,其参数用电动势 E 和内阻 R_0 来模拟;电珠是负载,为电阻元件 R_L ;导线和开关是中间环节,通常认为是无电阻的理想导体。

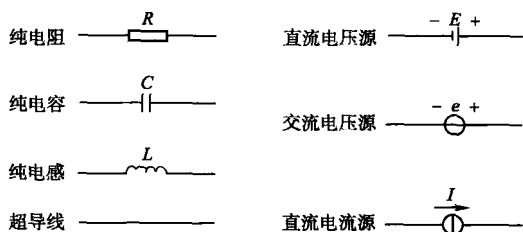


图 1-2 理想电气元件

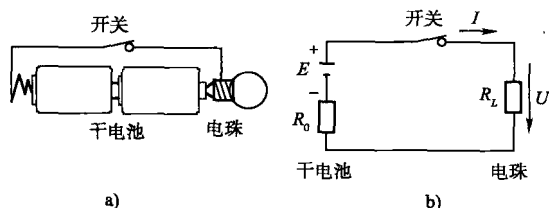


图 1-3 手电筒实物电路及电路模型
a) 实际的手电筒电路; b) 电路模型

二、电路的基本物理量

1. 电流

电流是带点质点有规律运动的物理现象。在金属物体中带电质点是指带负电的自由电子。电流的实际方向是指正电荷的运动方向。

电流的大小用电流强度(简称电流)来衡量。电流强度是指单位时间通过导体某一横截面的电荷量。

设在极短的时间 dt 秒内通过导体横截面的电荷量为 dq 库仑,则电流为

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

一般情况下,电流 i 是随时间 t 变化的。如果电流的大小和方向都不随时间变化,即 $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$,那么这种电流称为直流电流,用 I 表示

$$i = \frac{q}{t} (\text{A}) \quad (1-2)$$

在国际单位制中,电流的单位是库[仑]/秒,即安[培],简称安(A)。常用的小电流单位有毫安(mA)和微安(μA)。

$$1\text{mA} = 1\,000\mu\text{A} = 10^{-3}\text{A}, 1\mu\text{A} = 10^{-3}\text{mA} = 10^{-6}\text{A}$$

本书如不特别说明均采用国际单位制,并且在电工学中的单位大多为千进制。

电流的方向有两种表示方法:①用箭头表示;②用双下标表示。如图 1-4 所示, i_{ab} 表示电流由 a 流向 b 。

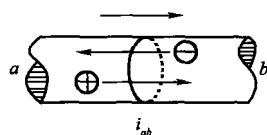


图 1-4 电流的实际方向

2. 电压

电场力将单位正电荷 q 从 a 点移动到 b 点所做的功称为 a 、 b 两点间的电压。电压是衡量电场力对电荷做功能力的物理量。

$$U_{ab} = \frac{W_{q,ab}}{q} (\text{V}) \quad (1-3)$$

任意两点间的电压只与这两点的位置(起点与终点)有关,而与电荷移动的路径无关。

电压的方向规定为由高电位指向低电位,因此电压又称电压降(或电位降)。

在国际单位制中,电压的单位是焦[耳]/库[仑](J/C),即为伏(特),简称伏(V)。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(如 U_{ab})表示,如图 1-5 所示。

3. 电动势

电动势是描述电源内部特性的物理量。如图 1-6 所示,当电源与外部负载电路接通时,正电荷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,形成电路电流。随着正电荷的移动, a 、 b 两端的电位差越来越小,电场越来越弱,电场力逐渐减小,电源内部的电源力克服电场力的阻力将正电荷不断地移向高电位端,从而保持连续的电流。电源力把正电荷从低电位端 b 经过电源内部移动到高电位端 a 所做的功称为电源的电动势,用 E 表示。

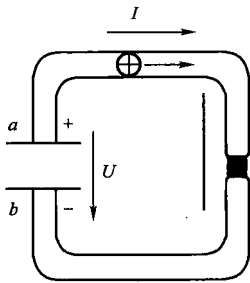


图 1-5 电压的实际方向

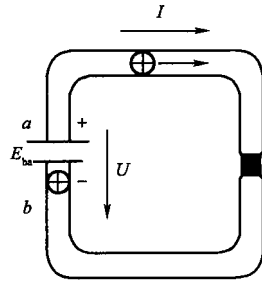


图 1-6 电动势的实际方向

在国际单位制中,电动势的单位是伏[特]。

电动势的方向规定为由低电位(负)端指向高电位(正)端,与电压的方向相反,如图 1-6 所示。

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。

任何带电现象首先是外力克服电场力使异性电荷分离所形成的。电荷在外力的作用下移动,外力做功,使电荷的电位能增加;相反,电荷在电场力的作用下移动,电场力做功,电荷的电位能减少。

三、参考方向

在对电路进行分析或计算之前,有时很难对电路中某一段电路的电压和电流的方向作出准确判断,此时,必须对待求的电压和电流假定一个方向,以便对电路进行分析和计算。这种假定的方向称为电压和电流的参考方向。参考方向的选择是任意的,要注意的是,参考方向一旦选定,在以后的分析和计算中就不再变更。

由于电压、电流的参考方向不一定是它们的实际方向,因此,电压、电流的数值就有了正、负之分。若电压、电流的数值为正,说明参考方向与实际方向相同;若电压、电流的数值为负,

说明参考方向与实际方向相反。

单元二 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之间大小和方向的关系及电路的功率。电路中用欧姆定律来确定线性电阻元件的电压与电流的关系(伏安特性)。欧姆定律也称为电路的 VCR (Voltage Current Relation)。

一、欧姆定律

1. 线性电阻电路的欧姆定律

欧姆定律表明流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比。当电压和电流的参考方向一致时,如图 1-7 所示电路,欧姆定律可用下式表示

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-4)$$

式(1-4)中的比例常数称为电路的电阻,用 R 表示。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。

在国际单位制中,电阻的单位是欧[姆](Ω)。大电阻常用千欧($k\Omega$)或兆欧($M\Omega$)为单位。

当电压和电流的参考方向不一致时,如图 1-8 所示电路,欧姆定律可用下式表示

$$R = -\frac{U}{I} \quad (1-5)$$

如果电阻是一个常数,与它两端的电压和流过它的电流无关,这样的电阻称为线性电阻。线性电阻和电流的关系遵循欧姆定律,它是一个表示该段电路特性而与电压和电流无关的常数。通过测量线性电阻两端的电压值和流过线性电阻的电流值,可以绘出一根通过坐标原点的直线,如图 1-9 所示。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。

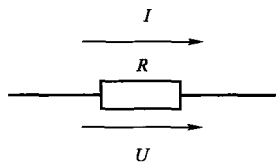


图 1-7 欧姆定律

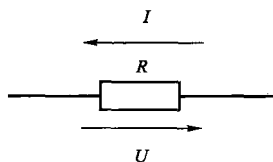


图 1-8 欧姆定律

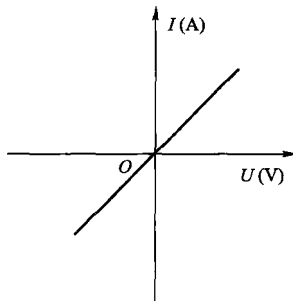


图 1-9 线性电阻的伏安特性曲线

物质的导电特性不仅能用电阻表示,也可用电阻的倒数电导表示

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

电导的单位是西门子(S)。当电压和电流的参考方向一致时,用电导 G 表示的欧姆定律表达式为

$$G = \pm \frac{I}{U} \quad (1-6)$$

2. 影响导体的电阻的参数

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, 与导体的截面积 S (mm^2) 成反比

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

导体材料不同, 其电阻率 ρ 不同。一般以 20°C 时导体材料的电阻率和温度系数为参照, 电阻率小的导体称为良导体, 如银、铜和铝。锰铜和康铜电阻率较大, 常用于制作线绕电阻、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升高而增大; 非金属导体的电阻随温度的升高而减小, 如碳。不同的导体材料有不同的温度系数 α ($1/^\circ\text{C}$), 导体材料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_1 和 R_2 是同一个导体分别在温度为 t_1 ($^\circ\text{C}$) 和 t_2 ($^\circ\text{C}$) 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甚至引发故障, 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。这是电力系统的电阻值随温度变化而引起的, 需要及时加以调整。

根据欧姆定律, 电阻的功率

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

功率的单位为瓦[特] (W)。

电路的电能是指在一定的时间 t 内元件转换的电能, 即

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

电能的单位为焦[耳] (J)。在电气工程中, 常用千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$) 为计量电能的单位, 1 千瓦时俗称 1 度电。

$$1 \text{ 度电} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

二、含源支路欧姆定律

在电路的某一条支路中, 如果不但有电阻, 而且还有电动势, 那么这条支路就称为含源支路。欧姆定律也适用于含源支路中电压和电流关系的分析与计算。含源支路欧姆定律的一般形式可表示为:

$$I = \frac{\pm E \pm U}{\sum R} \quad (1-11)$$

即如果 E 的方向与 I 的方向相同取正, 反之取负; U 的方向与 I 的方向相同取正, 反之取负。

对于闭合电路, 电路中的电压、电流之间的关系也遵循欧姆定律

$$I = \frac{\sum U}{\sum R} \quad (1-12)$$

单元三 电路的工作状态

电路在不同的工作条件下会处于不同的工作状态,也有不同的特点。现以最简单的直流电路(如图 1-10)来讨论电路的有载、开路、短路三种工作状态。

一、有载状态

在图 1-10 电路中, R_L 为负载电阻, R_0 为电源内阻, E 为电源电动势。闭合电路开关,接通电源和负载,电路处于有载工作状态。

1. 电压与电流

开关闭合时,应用欧姆定律得到电路中的电流

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

负载电阻两端的电压

$$U = R_L I$$

并由上面两式得出

$$U = E - R_0 I \quad (1-13)$$

式(1-13)称为全电路欧姆定律。欧姆定律,其表示形式仅适用于不含电源的一段电阻电路,称为部分电路欧姆定律。由式(1-13)可见,电源端电压 U 小于电源电动势 E ,两者之差等于电流在电源内阻上产生的压降 $R_0 I$ 。根据式(1-13)可画出电源端电压 U 和输出电流 I 的关系曲线,称为电源的外特性曲线,如图 1-11 所示。曲线的斜率与电源的内阻 R_0 有关。电源的内阻一般很小,当 $R_0 \ll R_L$ 时,则 $U \approx E$ 。即当电流(负载)变动时,电源的端电压波动不大,说明电源的带载能力强。反之,当内阻 R_0 压降大到不能忽略时,电源的端电压随电流(负载)变化波动明显,说明电源的带载能力差。

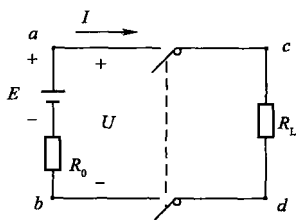


图 1-10 电源有载工作

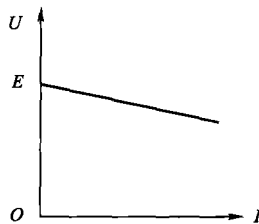


图 1-11 电源的外特性曲线

2. 功率与功率平衡

对式(1-13)的各项均乘以电流 I ,则得到功率平衡式

$$UI = EI - R_0 I^2$$

$$P = P_E - \Delta P$$

式中: $P_E = EI$ ——电源产生的功率;

$\Delta P = R_0 I^2$ ——电源内阻损耗的功率;

$P = UI$ ——电源输出的功率。

在国际单位制中,功率的单位是瓦[特](W)或千瓦(kW)。1s内转换1J的能[量],则功率为1W。

【例 1-1】 在图 1-12 所示的电路中, $U = 220\text{V}$, $I = 5\text{A}$, 内阻 $R_{01} = R_{02} = 0.6\Omega$ 。

(1) 求电源的电动势 E_1 和负载的反电动势 E_2 ;

(2) 试说明功率的平衡。

【解】 (1) 电源:

$$U = E_1 - \Delta U_1 = E_1 - R_{01}I \quad \text{①}$$

$$E_1 = U + R_{01}I = 220 + 0.6 \times 5 = 223(\text{V}) \quad \text{②}$$

负载

$$U = E_2 + \Delta U_2 = E_2 + R_{02}I$$

$$E_2 = U - R_{02}I = 220 - 0.6 \times 5 = 217(\text{V})$$

(2) 功率:

由①、②两式可得

$$E_1 = E_2 + R_{01}I + R_{02}I$$

上式中各项均乘以电流 I , 则得

$$223 \times 5 = 217 \times 5 + 0.6 \times 5^2 + 0.6 \times 5$$

$$1115\text{W} = 1085\text{W} + 15\text{W} + 15\text{W}$$

其中 $E_2I = 1085\text{W}$, 是电源产生的功率, 即在单位时间内由电能转换成的机械能(负载是电动机)或化学能(负载是充电时的蓄电池)的值;

$R_{01}I^2 = 15\text{W}$, 是电源内阻损耗的功率;

$R_{02}I^2 = 15\text{W}$, 是负载内阻损耗的功率。

由上所述可见, 在一个电路中, 电源产生的功率和负载取用的功率及内阻的损耗功率是平衡的。

3. 电源与负载的判别

根据电压和电流的实际方向或参考方向可判别电路中某个电路元件是电源(或起电源的作用)还是负载(或起负载的作用)。

根据电压和电流的实际方向判别:

电源: 电压和电流的实际方向相反, 电流从“+”流出, 发出功率;

负载: 电压和电流的实际方向相同, 电流从“+”流入, 取用功率。

根据电压和电流的参考方向判别:

当某一电路元件电压和电流为关联参考方向时, 若 $P = UI < 0$, 则此电路元件是电源(或起电源的作用), 若 $P = UI > 0$, 则此电路元件是负载(或起负载的作用)。

当电路元件电压和电流的参考方向选得相反时, 则 $P = UI > 0$, 此电路元件是电源, $P = UI < 0$, 此电路元件是负载。

4. 电气设备的额定值

通常负载(例如电灯、电动机等用电设备)都是并联运行的。由于电源的端电压是基本不变的, 所以负载两端的电压也是基本不变的。电源带负载运行, 总希望整个电路运行正常、安全可靠, 然而随着电源所带负载的增加, 负载吸收电源的功率增大, 即电源输出的总功率和总电流就会相应增加。这说明电源输出的功率和电流决定于其所带负载的大小。从电路可靠正常运行角度讲, 电气设备不是在任何电压、电流下均可正常工作的, 它们要受其绝缘强度和其耐热性能等自身因素的制约。那么有没有一个最合适的数值呢? 要回答这个问题, 必须了解

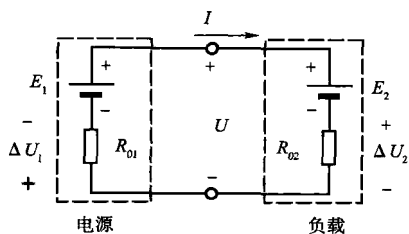


图 1-12 例 1-1 图

电气设备的额定值(rate value)的意义。

每一个电气设备的电压、电流和功率等都有一个额定值。例如,一个照明用白炽灯的电压是220V,功率是60W,就是指它的额定值。额定值是生产厂家为了使电气设备在给定的工作条件下正常运行而规定的正常允许值,它根据电气设备的使用寿命与其所用材料的耐热性能、绝缘强度等而规定的。当电流超过额定值过多时,由于发热过甚,绝缘材料将遭到损坏;当所加电压超过额定值过多时,绝缘材料可能会被击穿。反之,如果电压和电流远远低于额定值,不仅得不到正常合理的工作情况,而且也不能充分利用设备的能力。此外,对于电灯和各种电阻器来说,当电压过高或电流过大时,其灯丝或电阻丝也将被烧毁。生产厂家在制定产品的额定值时,要综合考虑使用的经济性、可靠性以及寿命等因素,特别是要保证设备的工作温度不要超过规定的允许值。

电气设备的额定值常标注在铭牌上或写在说明书中,我们在使用中要充分考虑到额定数据。如一只灯泡,标有电压220 V,功率100 W,这是它的额定值,在使用时就不会接到380V的电源上。电气设备的额定电压、额定电流和额定功率分别用 U_N 、 I_N 和 P_N 表示。

电气设备在使用时,电压、电流和功率的实际值不一定等于它们的额定值。

一方面原因是受外界因素的影响。例如前面所说的额定电压为220 V、额定功率为100W的灯泡,在使用时,接到了220V的电源上,但电源电压经常波动,稍高于或低于220V,这样灯泡的实际功率就不会正好等于其额定值100W了。

另一方面原因是由于在一定电压下电源输出的功率和电流决定于其所带负载的大小。负载需要多少功率和电流,电源就输出多少,所以电源通常不一定处于额定工作状态,但是一般不应超过额定值。对于电动机来说,它的实际功率和电流是取决于轴上所带负载的大小,通常也不一定处于额定工作状态。

【例 1-2】 有一只额定值为5W、500Ω的线绕电阻,求其额定电流 I_N 和额定电压 U_N 的值。

【解】 根据额定功率和电阻的阻值可求出额定电流

$$I_N = \sqrt{\frac{P_N}{R}} = \sqrt{\frac{5}{500}} = 0.1 \text{ A}$$

【例 1-3】 一只标有“220V、40W”的灯泡,试求它在正常工作条件下的电阻和通过灯泡的电流。若每天使用4h,问一个月消耗多少度的电能?(一个月按30天计算,1 kW·h即为俗称的1度电)

【解】
$$I = \frac{P}{U} = \frac{40}{220} = 0.182 \text{ A}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.182} = 1\,209 \Omega$$

一个月用电

$$W = Pt = 40(\text{W}) \times (4 \times 30) = 0.04(\text{kW}) \times 120(\text{h}) = 4.8 \text{ 度}$$

所以,灯泡的电阻为1 209Ω;通过灯泡的电流为0.182A;每月耗电4.8度。

二、电源开路(open circuit)

图1-10所示电路中,将电路中的开关断开,电源则处于开路(空载)状态。如图1-13所示,开路时外电路的电阻视为无穷大,因

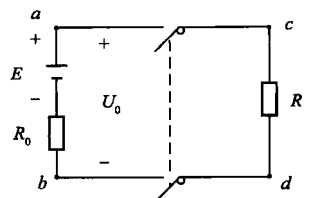


图 1-13 电源开路