



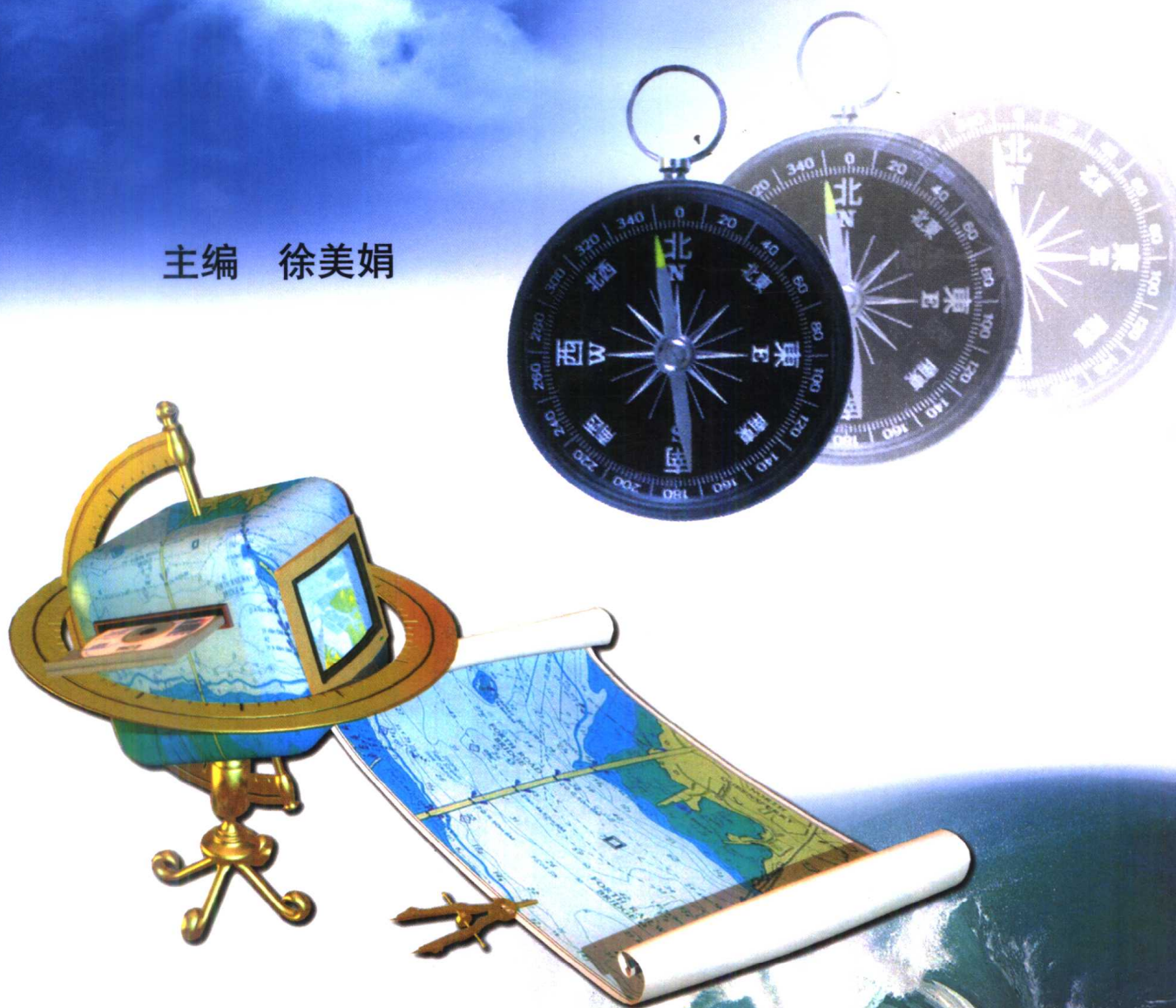
中等职业教育国家规划教材

全国中等职业教育教材审定委员会审定

电工与电子技术

轮机管理专业

主编 徐美娟



人民交通出版社

中等职业教育国家规划教材

Diangong Yu Dianzi Jishu

电工与电子技术

(轮机管理专业)

主 编	徐美娟
责任主审	孙培廷
审 稿	赵友涛
	赵殿礼

人民交通出版社

内 容 提 要

本书根据全国中等职业技术教学《电工学教学大纲》、《海船船员适任考试和评估大纲》中的《船舶电气》考试大纲及交通职业技术教育航海教育委员会确定的教学大纲(112学时)编写。内容分电工基础、电机、电子技术基础三篇。第一篇包括直流电路、电与磁、电容与电感、正弦交流电路四章;第二篇包括变压器、直流电机、异步电动机、同步发电机、控制电机五章;第三篇包括半导体二极管及应用、半导体三极管及应用、运算放大器及应用、晶闸管及其应用、逻辑数字电路五章。

本书内容叙述详细、难度适宜、涵盖面广,可作为职业技术教学轮机管理专业或非电类专业《电工学》的教学用书,也可以作为轮机管理人员考前培训的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术/徐美娟主编. —北京:人民交通出版社, 2002. 7

ISBN 7-114-04341-4

I. 电... II. 徐... III. ①电工技术②电子技术
IV. ①TM1②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 042878 号

中等职业教育国家规划教材

电工与电子技术

(轮机管理专业)

主 编 徐美娟

责任主审 孙培廷

审 稿 赵友涛

赵殿礼

正文设计:孙立宁 责任校对:刘高彤 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷有限公司印刷

开本:787×1092 1/16 印张:16.5 字数:403 千

2002 年 9 月 第 1 版

2002 年 9 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—1000 册 定价:20.40 元

ISBN 7-114-04341-4

TH·00034

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神,落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划,根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1 号)的精神,我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写,从 2001 年秋季开学起,国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲(课程教学基本要求)编写,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想,从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发,注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本,努力为教材选用提供比较和选择,满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材,并在使用过程中,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的“职业教育课程改革和教材建设规划”，教育部全面启动了中等职业教育国家规划教材建设工作。交通职业教育教学指导委员会航海类学科委员会组织全国交通职业学校(院)的教师，根据教育部最新颁布的船舶驾驶、轮机管理、船体建造与修理专业国家规划教材共 28 册，并通过了全国中等职业教育教材审定委员会的审定。

本套教材的编写以国际、国内和行业的法规、规则及标准为依据，以职业岗位的需求为出发点，始终围绕职业教育的特点，具有较强的针对性。新教材较好地贯彻了“以全面素质为基础，以能力为本位”的教育教学指导思想，结合对培养学生的创新精神、职业道德等方面的要求，提出教学目标并组织教学内容。新教材在内容的编写上以“必需和够用”为原则，紧扣大纲，深度、广度适中，体现了理论和实践的结合，强化了技能训练的力度。新教材在理论体系、组织结构、内容描述上与传统教材有明显的区别。

本套教材是针对四年制中等职业教育编写的，也适用于船员的考证培训和船厂职工的自学。

《电工与电子技术》是中等职业教育轮机管理专业国家规划教材之一，内容包括：第一篇：直流电路、电与磁、电容与电感、正弦交流电路；第二篇：变压器、直流电机、异步电动机、同步发电机、控制电机；第三篇：半导体二极管及应用、半导体三极管及应用、运算放大及应用、晶闸管及其应用、逻辑数字电路共三篇十四章。

参加本书编写工作的有：上海海事职业技术学院徐美娟(编写第一、二篇)、舟山航海学校舒海滨(编写第二篇)全书由徐美娟担任主编，上海海运学院顾杰仁副教授主审。

本书由大连海事大学孙培廷教授担任责任主审，赵友涛、赵殿礼副教授审稿。他们对书稿提出了宝贵意见，在此，表示衷心感谢。

前言

限于编者经历及水平,教材内容很难覆盖全国各地的实际情况,希望各教学单位在积极选用和推广国家规划教材的同时,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,以便再版修订时改正。

交通职业教育教学指导委员会

航海类学科委员会

二〇〇二年五月

第一篇 电工基础

第一章 直流电路	1
第一节 电路的组成和功能.....	1
第二节 电路的基本物理量.....	2
第三节 电阻、欧姆定律	4
第四节 简单电阻电路的计算.....	7
第五节 两种电源模型及其等效变换	10
第六节 基尔霍夫定律	13
第七节 支路电流法	14
第八节 节点电压法	15
第九节 叠加定理	17
第十节 戴维南定理	18
习题	20
第二章 电与磁	22
第一节 磁场与电流的磁效应	22
第二节 电流在磁场中的力效应	24
第三节 铁磁材料的基本特性	26
第四节 磁路及磁路基本定律	28
第五节 直流电磁铁	30
第六节 电磁感应	31
习题	34
第三章 电容与电感	35
第一节 电容	35
第二节 电感	41
习题	45
第四章 正弦交流电路	46
第一节 正弦交流电的三要素	46
第二节 正弦交流电的有效值	48
第三节 正弦交流电的相量表示法	49
第四节 理想元件的正弦交流电路	52

第五节 RLC 串联的正弦交流电路	57
第六节 功率因数的提高	59
.....第七节 三相电路	61
.....第八节 安全用电	68
.....习题	71
.....	
第二篇 电 机	
.....	
.....第五章 变压器	74
.....第一节 交流铁心线圈	74
.....第三节 变压器的结构和铭牌	76
.....第三节 变压器的基本工作原理	78
.....第四节 变压器的绕组极性判别	82
.....第五节 特殊变压器	83
.....第六节 交流电磁铁	85
.....习题	86
第六章 直流电机	88
第一节 直流电机的结构和励磁方式	88
第二节 直流电机的工作原理	90
第三节 直流电机的电动势和电磁转矩	91
第四节 直流发电机的运行特性	92
第五节 直流电动机的运行特性	93
.....习题	97
第七章 异步电动机	98
第一节 三相异步电动机的结构	98
第二节 三相异步电动机的转动原理	101
第三节 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	103
第四节 三相异步电动机的起动、反转、调速和制动	105
第五节 单相异步电动机	109
第六节 异步电动机的维护和常见故障处理	111
.....习题	113
第八章 同步发电机	114

第一节	三相同步发电机的结构	114
第二节	三相同步发电机的工作原理和基本特性	116
第三节	同步发电机的并联运行	118
	习题	119
第九章	控制电机	120
第一节	伺服电动机	120
第二节	测速发电机	121
第三节	自整角机	122
	习题	124

第三篇 电子技术基础

第十章	半导体二极管及应用	125
第一节	半导体和 PN 结	125
第二节	半导体二极管	128
第三节	二极管整流电路	131
第四节	滤波电路	138
第五节	稳压二极管及应用	140
第六节	发光二极管和光敏二极管	142
第七节	二极管的其他应用	143
	习题	145
第十一章	半导体三极管及应用	148
第一节	半导体三极管	148
第二节	三极管放大电路	155
第三节	负反馈在放大电路中的应用	164
第四节	功率放大电路	168
第五节	放大电路的级间耦合	171
	习题	173
第十二章	运算放大器及应用	175
第一节	差动放大电路	175
第二节	运算放大电路	179
第三节	运算放大器的应用	183

习题	188
第十三章 晶闸管及其应用	190
第一节 晶闸管	190
第二节 可控整流电路	196
第三节 晶闸管的触发电路	200
第四节 交流调压电路	205
第五节 可控逆变电路	205
习题	206
第十四章 逻辑数字电路	208
第一节 数制和代码	208
第二节 基本逻辑函数、逻辑门和逻辑代数的运算	212
第三节 组合逻辑电路的分析和设计	217
第四节 编码器和译码器	220
第五节 双稳态触发器	228
第六节 计数器	231
第七节 寄存器	236
第八节 555 时基电路及应用	238
习题	242
附录 半导体分立器件型号命名方法及主要参数简介	245
参考文献	252

第一篇 电工基础

第一章 直流电路

根据电路供电电源的不同,电路有直流电路与交流电路之分。大小和方向不随时间变化的电流和电压称为直流电,在直流电源作用下工作的电路称为直流电路。电路的基本概念、电路的基本定律和定理、电路的基本分析方法是本章讨论的重点。

第一节 电路的组成和功能

一、电路的组成和作用

电路是电流的通路,由电源、负载和中间环节三部分所组成。实际电路是电源和一些电工设备、元件按一定方式连接起来的总体。如图 1-1-1 所示是一个最简单的电路。

电路的作用有两个方面:一个是完成能量的传输和转换;另一个是执行信号的传递和处理。强电系统主要属于前者,如供电部门需要把电能传输给各用户,以便用户用电;弱电系统主要属于后者,如收音机天线接收到的电磁波,需要用一定的电

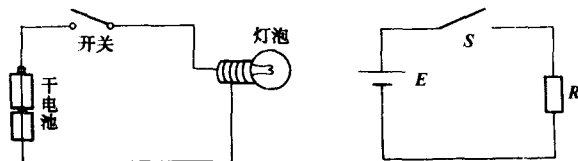


图 1-1-1 最简单的电路

路将其转换成相应的电信号,送到后续各相应的电路进行调谐、变频、检波和放大等处理,最后送扬声器,将电信号还原成声波。

在强电电路中,电路各部分的作用如下:

(1) 电源是电路中提供电能的装置,它的功能是将非电能转换成电能。例如发电机将机械能转换成电能,电池将化学能转换成电能。

(2) 负载是电路中取用电能的装置,它的功能是将电能转换成其它形式的能量。例如电灯将电能转换成光能,电动机将电能转换成机械能。

(3) 中间环节是将电源和负载连接起来以形成闭合回路的部分,起到传输电能、分配电能和控制电路的作用。例如连接导线、控制电器(开关等)、保护电器(熔断器等)。

二、元件模型和电路模型

在研究和分析电路时,如果直接去研究实际的电路器件以及由它们组成的实际电路,就会被这些实体的各种电的、非电的因素弄得毫无头绪,因此需要构造元件模型和电路模型来模拟

和逼近实际器件及实际电路。

实际电路中的器件虽然种类很多,但其所表现的电磁现象却只有几种。在一定的条件下,把实际器件的主要电磁特性抽象出来,忽略其次要因素,用简单的数学模型来模拟,并赋以一定的符号,这种数学模型就是元件模型,又称理想元件。常见的元件模型有以下一些:

- (1)电阻元件:用以模拟以消耗电能为主要电磁特性的器件。如电灯、电阻器。
 - (2)电感元件:用以模拟以储存磁能为主要电磁特性的器件。如线圈。
 - (3)电容元件:用以模拟以储存电场能量为主要电磁特性的器件。如电容器。
 - (4)电源:用以模拟以提供电能为主要电磁特性的实际器件。如电池、发电机。
- 常见理想元件的符号如表 1-1-1 所示。

常见理想元件符号 表 1-1-1

名称	电阻	可变电阻	电感	电容	可变电容	电池	电压源	电流源
文字符号	R	R	L	C	C	E	U_s	I_s
图形符号								

电路中的实际元件用理想元件代替后,就可以绘出由理想元件组成的电路图。这种由理想元件构成的电路就是实际电路的电路模型。以后未加特殊说明,所有的电路均指电路模型,元件也均是理想元件。

第二节 电路的基本物理量

一、电 流

电荷作定向运动形成电流,其大小由电流强度来衡量。单位时间内通过导体横截面的电荷量称为电流强度(简称电流)用 i 表示,其单位为安培(A),

$$I = \frac{q}{t}$$

1 安培 = 1 库仑/秒。我们习惯上所称为“电流”实际上就是电流强度。

电流的实际方向规定为正电荷移动的方向。在电源电流由负极流向正极,在负载电流由正极流向负极。

在分析较为复杂的电路时,电流的实际方向有时是很难判断的,有时还是不断改变的,因此很难标明电流的实际方向,由此引入电流参考方向的概念。电路中任意选定的电流方向称为电流的参考方向,又称电流的正方向。

在进行电路分析时,先任意选定某一个方向为待求电流的参考方向,并按此方向进行分析、计算。若计算的结果电流值为正,则说明电流的实际方向与参考方向相同;若计算的结果电流值为负,则说明电流的实际方向与参考方向相反。

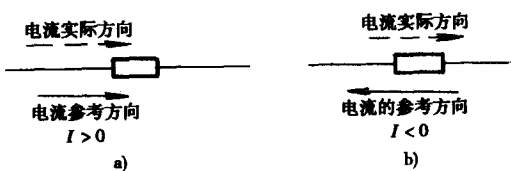


图 1-2-1 电流的实际方向和参考方向
a)参考方向与实际方向一致;b)参考方向与实际方向相反

电流的实际方向和参考方向及电流正、负值之间的关系如图 1-2-1 所示。

二、电位和电压

与物体在重力场的某一位置上具有一定的位能(势能)相似,正电荷在电路的某一点上也具有一定的电位能。物体位能的大小与物体所处位置与参考点之间的相对高度有关,因而正电荷电位能的大小也与参考点的选择有关。在图 1-2-2 电路中,设 B 点为参考点(用符号 $\perp$ 表示),则正电荷在 A 点的电位能 W_A 与正电荷的电荷量 q 的比值,称为电路中 A 点的电位,用 V_A 表示,即

$$V_A = \frac{W_A}{q}$$

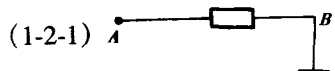


图 1-2-2

电位的单位为伏特,1 伏特 = 1 焦耳/1 库仑。

显然电路中某一点的电位是相对参考点而言的,参考点不同,其电位也不同。这与重力场中物体的位能与参考地点有关相同。

电路中两点间的电位差称为电压,用 U_{AB} 表示,即

$$U_{AB} = U_A - U_B \quad (1-2-2)$$

从能量的角度而言,电路中 A 、 B 两点间的电压等于电场力把单位正电荷从 A 点移到 B 点所做的功,也即正电荷从 A 点(高电位)移到 B 点(低电位)失去了电位能。所以电压是衡量电场力做功能力的物理量。

电压的实际方向规定为由高电位指向低电位,即电压的方向是电位降的方向。由于在实际电路中有时很难判定电位的高低,所以与电流相同也引入参考方向的概念。在进行电路分析时,先任意选定某一个方向为待求电压的参考方向(用“+”表示高电位,“-”表示低电位,将其标在元件两端),并按此方向进行分析、计算。若计算的结果电压值为正,则说明电压的实际方向与参考方向相同;若计算的结果电压值为负,则说明电压的实际方向与参考方向相反,如图 1-2-3。

在设定参考方向时,通常遵循这样的规则:电流由电源的正极流出,在电源上设电流、电压的参考方向相反;在负载上,电流流过的方向就是电压下降的方向,即在负载上设电流、电压的参考方向一致。

如果选定电流的参考方向与电压的参考方向一致,这种电流电压的参考方向称为关联参考方向,简称关联方向,如图 1-2-4 所示。

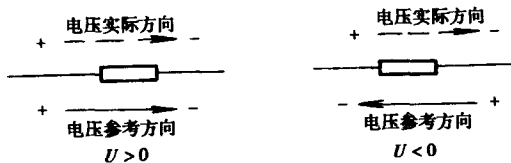


图 1-2-3 电压实际方向和参考方向

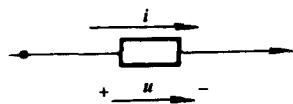


图 1-2-4 电流和电压的关联参考方向

三、电 动 势

在闭合电路中,正电荷在电场力的作用下,经负载由高电位向低电位移动,正电荷失去电位能,负载吸收能量并消耗掉。要维持电流(移动的电荷)在电路中的持续不断地流动,必须将回到低电位的正电荷重新推到高电位,这就需要外力克服电场力做功。电源的作用就是通过

外力在内部把正电荷由低电位推到高电位。

电动势是衡量电源内外力做功能力的物理量,其大小等于外力克服电场力将单位正电荷从 B 点(低电位)移到 A 点(高电位)所做的功。用 E 表示,单位为伏特(V)。

$$E = \frac{W_{\text{外}}}{q} \quad (1-2-3)$$

电动势的实际方向规定为由电源的低电位指向电源的高电位,即电动势的方向为电位升的方向。

第三节 电阻、欧姆定律

一、电 阻

导体对电流的阻碍作用称为电阻,用字母 R 表示。电阻的单位为欧姆(Ω)。计量高电阻时用千欧($k\Omega$)或兆欧($M\Omega$)。

实验证明:导体的电阻 R 与导体长度成正比,与导体的横截面积成反比,并与材料有关。即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-3-1)$$

式中: ρ ——导体的电阻率,单位为欧姆·毫米²/米($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$);

l ——导体的长度,单位为米(m);

S ——导体的横截面积,单位为毫米(mm)。

电阻的倒数称为电导用 G 表示,单位为西门子(s)。

二、欧 姆 定 律

欧姆定律是分析和计算电路的最基本定律,并且只适合于分析线性电阻。在应用时分以下几种形式。

1. 一段电阻电路的欧姆定律

一段电阻电路是指这段电路不包含电源,如图 1-3-1 所示。由于电阻具有阻碍电流的作用,所以电流流过电阻元件要消耗电能,沿电流流动的方向会出现电压降。

实验证明:流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比,与电阻的阻值成反比,即

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

这就是一段电阻电路的欧姆定律。

式中: U ——加在电阻两端的电压,单位伏特(V);

I ——流过电阻的电流,单位安培(A);

R ——电阻元件的阻值,单位欧姆(Ω)。

2. 一段含源电路的欧姆定律

当一段电路含有电源时,确定这段电路中电流、电压、电阻及电源电动势之间关系的欧姆定律称为一段含源电路的欧姆定律。

图 1-3-2 中 AB 为一段含源电路,电源电动势、电压、电流的正方向如图所示。

在图 1-3-2a)中: $E = U_A - U_0$, $IR = U_B - U_0$, $U = U_A - U_B = E + U_0 - (IR + U_0) = E - IR$

得

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

同理从图 1-3-2b)中可得

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

一段含源电路的欧姆定律可以写成以下形式

$$I = \frac{\pm E \pm U}{R} \quad (1-3-3)$$

式(1-3-3)中电动势 E 和电压 U 前的正负符号是这样确定的:电动势和电压的正方向与电流正方向一致取正,反之取负。

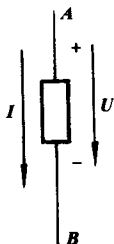


图 1-3-1 一段电阻电路的欧姆定律

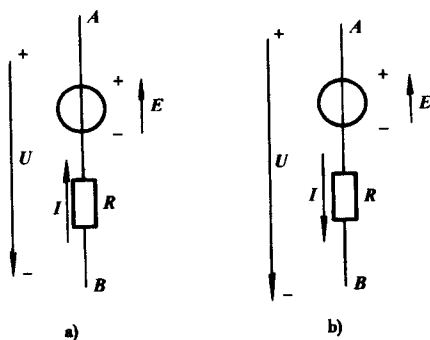


图 1-3-2 一段含源电路的欧姆定律

3. 全电路欧姆定律

欧姆定律应用于闭合电路时,称为全电路欧姆定律。在图 1-3-3 所示的闭合电路中,电源电动势为 E ,电源本身存在的损耗用内阻 R_S 表示,外电路电阻为 R_L ,根据欧姆定律的前两种形式可以得出: $U = E - IR_S$ 和 $U = IR_L$ 。所以全电路欧姆定律的形式为

$$I = \frac{E}{R_S + R_L} \quad (1-3-4)$$

如果闭合回路由多个电源和电阻组成,式(1-3-4)可以写成

$$I = \frac{\sum U_S}{\sum R} \quad (1-3-5)$$

上式中, $\sum U_S$ 是回路各电源电压的代数和, $\sum R$ 是回路各电阻的算术和。它表明,在闭合回路中,电流等于各个电源电压代数和与回路总电阻的比值,这就是全电路欧姆定律。

4. 电路的三种工作状态

电路根据负载情况的不同,有三种不同的工作状态。如图 1-3-4 所示:

1) 有(负)载工作状态

电路正常工作时总是有负载的,所以有载状态又称为正常工作状态,电路如图 1-3-4a)所示,此时电路具有以下特征:

①电路中的电流为:

$$I = \frac{U_S}{R_S + R_L}$$

当 U_S 和 R_S 一定时, 电流的大小由负载 R_L 决定。

②电源的端电压为: $U = U_S - IR_S$ 。这就是负载所能得到的电压。

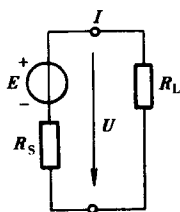


图 1-3-3 最简单的
闭合
电路

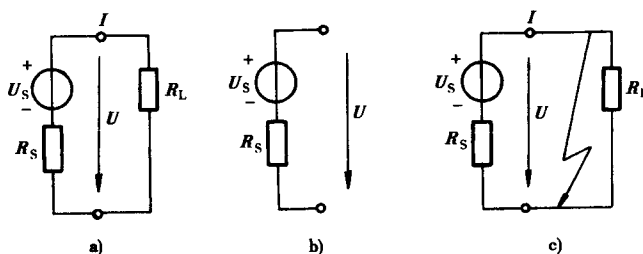


图 1-3-4 电路的工作状态
a)有载状态;b)空载状态;c)短路状态

2)空载状态

空载状态又称为开路状态, 即外电路断开。电路如图 1-3-4b) 所示。电路开路时, 可认为负载电阻为无穷大。此时电路具有以下特征:

①电路中的电流为零, 即 $I = 0$ 。

②电路的端电压等于电源电压, 即 $U = U_S$ 。这个电压称为空载电压或开路电压, 用符号 U_{oc} 表示。

③空载状态时电源不输出电能。

3)短路状态

短路状态又称为故障状态, 电路如图 1-3-4c) 所示。常常是由某些意外的原因所引起。电路短路时, 相当于负载被旁路, 计算时可以认为负载电阻为零。此时电路具有以下特征:

①电源中的电流 I_S 为最大, 这个电流称为短路电流, 用符号 I_{sc} 表示 ($I = I_{sc} = \frac{U_S}{R_S}$)。因为电源的内阻很小, 所以这个电流往往很大, 甚至会烧坏电源, 所以电路必须进行短路保护。另外, 此时负载中的电流 I 为零。

②电源和负载的端电压都等于零, 即 $U = 0$ 。

③短路状态时电源也不输出电能。

三、电功率和电能

正电荷在电场力的作用下经元件由高电位 A 点到低电位 B 点, 电场力对电荷做功, 电荷失去电能, 元件吸收电能并消耗掉, 该电能为

$$W = qU_{AB} \quad (1-3-6)$$

电功率(简称功率)是单位时间内元件吸收或发出的电能, 用 P 表示, 单位为瓦特(W)。

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-3-7)$$

由于电能的单位为焦耳(J), 时间的单位为秒(s), 所以 1 瓦特 = 1 焦耳/秒。

因为电阻是消耗电能的元件, 其消耗的功率可以由下式计算。

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Uq}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-3-8)$$

所以计算电阻消耗电能的实用公式为

$$W = Pt = IUt \quad (1-3-9)$$

工程上电能的单位用度, 1 度 = 1 千瓦·时(kW·h)。

第四节 简单电阻电路的计算

由一个电源和若干个电阻经串联、并联和混联组成的电路称为简单电路。简单电路的分析可以通过电阻的等效变换来进行。

一、电阻的串联

几个电阻首尾相连流过同一电流的联接方式称为电阻的串联。图 1-4-1 所示是两个电阻串联的电路。串联电阻电路具有以下特点:

- (1) 各串联电阻流过同一电流。
- (2) 总电压等于各电阻两端电压之和。即

$$U = U_1 + U_2 \quad (1-4-1)$$

- (3) 等效电阻等于各串联电阻之和。

$$R = R_1 + R_2 \quad (1-4-2)$$

- (4) 串联电阻对总电压有分压作用。

两个电阻串联的分压公式为

$$\begin{cases} U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \\ U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \end{cases} \quad (1-4-3)$$

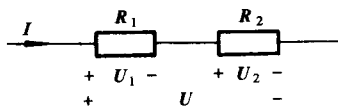


图 1-4-1 两个电阻的串联

例 1-4-1 收音机的音量控制采用串联电阻分压电路, 如图 1-4-2 所示, 设输入电压为 1V, R_1 为滑线电阻, 其阻值在 $0 \sim 4.8\text{k}\Omega$ 范围内连续可调, $R_2 = 0.2\text{k}\Omega$, 求输出电压的变化范围。

解: 当 R_1 的滑动触点在最下面时

$$U_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U = \frac{0.2}{0.2 + 4.8} \times 1 = 0.04\text{V}$$

当 R_1 的滑动触点在最上面时

$$U_0 = U = 1\text{V}$$

因此输出电压的调节范围为 $0.04 \sim 1\text{V}$ 。

二、电阻的并联

几个电阻跨接在两个公共点之间, 承受同样的电压, 电阻的这种联接方式称为电阻的并联。图 1-4-3 所示为两个电阻并联的电路。并联电阻电路具有以下特点:

- (1) 各并联电阻承受同样的电压。
- (2) 总电流等于流过各电阻电流的和。即

$$I = I_1 + I_2 \quad (1-4-4)$$

- (3) 等效电阻等于各并联电阻倒数和的倒数。

即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-4-5)$$