

高等学校教材

(第二版)

电工技术与电子技术基础

(上册·电工技术)

符磊 王久华 主编
王俐 符健 刘陆平 副主编



清华大学出版社

电工技术与电子技术基础(第二版)

(上册·电工技术)

符 磊 王久华 主 编
王 俐 符 健 刘陆平 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本教材是根据高等工科大学电工学课程教学指导小组审定的《电工技术》、《电子技术》课程的教学基本要求编写的,分为上、下两册。上册主要讲述电工技术,内容包括电路的基本定律与分析方法、正弦交流电路、电路的暂态过程、变压器和电磁铁、电动机、继电器接触控制电路及可编程控制器。下册主要讲述电子技术,内容包括晶体二极管与整流、滤波及并联稳压电路,晶体三极管和基本放大电路,集成运算放大器,组合逻辑电路,触发器和时序逻辑电路,数—模和模—数转换器以及存储器与可编程逻辑器件。

本书(上册)可作为高等工科院校非电类专业本科生、大专生学习电工学的教材,也可作为高等职业技术学院实用性本科及专科的教材以及工程技术人员的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术与电子技术基础(第二版)(上册·电工技术)/符磊,王久华 主编;王俐,符健,刘陆平 副主编.
—北京:清华大学出版社,2005.8

ISBN 7-302-10811-0

I. 电… II. ①符… ②王… ③王… ④符… ⑤刘… III. ①电工技术②电子技术 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 032092 号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编:100084
社 总 机:010-62770175 客 户 服 务:010-62776969

组稿编辑:胡伟卷

文稿编辑:刘金喜

封面设计:康 博

版式设计:康 博

印 刷 者:北京市昌平环球印刷厂

装 订 者:北京国马印刷厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:15.75 字数:364千字

版 次:2005年8月第1版 2005年8月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-10811-0/TM·60

印 数:1~6000

定 价:22.00元

第二版前言

自 1997 年编写本教材第一版以来,已经历时 8 年,在 20 世纪末到本世纪初所跨越的这几年间,电工技术与电子技术的发展十分迅速。从国民经济到日常生活的所有领域,电工电子产品几乎全部予以覆盖。现代科技的发展使得电能的使用与人们工作条件的改善、生活质量的提高紧密相连。为此,电工技术与电子技术的课程改革也要适应这一发展形式的需要。对此,我们将新版教材相对原版教材作了一些修订。

- 为了让教材能适合各种不同类型专业的院校方便使用,将原版教材一、二两篇改为上、下两册分开出版。
- 对一些经典、传统的知识把握一个度,即够用。删除了繁杂的理论分析与推导,加强了基础理论知识的工程应用,让学生具有应用基础理论分析和解决工程实际问题的能力。
- 为了让学生掌握所讲授的基本内容,每节后均备有丰富的思考题,让学生能通过这些思考题来巩固所学的基本概念。
- 在下册的编写中采用了“管路结合,管为路用”的方法,其目的是加强针对性,不让学生在学学习器件时有空虚之感。
- 将上册中《可编程控制器》这一章的机型由三菱 F1 系列改为 OMRONC 系列 P 型机。下册中增加了《存储器与可编程逻辑器件》一章内容,使教材内容跟随新技术、新器件、新系统的发展而得到不断的更新。
- 为了配合本教材的使用,特编写了《电工技术与电子技术基础(第二版)教学辅导与习题解析》一书,供教师和学生参考。

参加本书编写的有王久华(电路的基本定律与分析方法、变压器和电磁铁)、周冬水(晶体二极管与整流、滤波及并联稳压电路)、符健(晶体三极管及基本放大电路、集成运算放大器、组合逻辑电路)、邹贵平(电路的暂态过程)、王俐(继电接触控制电路、可编程控制器、触发器与时序逻辑电路、数一模与模一数转换器、存储器与可编程逻辑器件)、符磊(电动机)、刘陆平(正弦交流电路)。全书由符磊、王久华组织编写、统稿和审定。

同时,对参与本书编写的南昌理工学院、南昌大学、南昌市城市规划设计研究总院、江西交通职业技术学院、江西日报社等单位表示谢意!

由于编者水平有限,书中错误及不妥之处在所难免,恳请读者及同行老师指正。

编 者
2005 年 6 月

目 录

第 1 章 电路的基本定律与分析方法	1
1.1 电路与电路的基本定律.....	1
1.1.1 电路与电路模型.....	1
1.1.2 电路的基本物理量与正方向.....	2
1.1.3 电路的三种工作状态.....	3
1.1.4 克希荷夫定律.....	4
1.1.5 电路中电位的概念和计算.....	7
思考题.....	8
1.2 电压源和电流源及其等效变换.....	9
1.2.1 电压源.....	9
1.2.2 电流源.....	10
1.2.3 电压源和电流源的等效变换.....	10
思考题.....	13
1.3 电路分析方法.....	14
1.3.1 节点电压法.....	14
1.3.2 叠加原理.....	16
1.3.3 戴维南定理(等效电压源定理).....	18
思考题.....	20
习题.....	22
第 2 章 正弦交流电路	24
2.1 正弦交流电的基本概念.....	24
2.1.1 正弦量的三要素.....	24
2.1.2 同频率正弦量的相位关系.....	26
思考题.....	27
2.2 正弦量的相量表示法.....	28
2.2.1 复数及其运算.....	28

2.2.2	相量 相量的复数运算法	29
2.2.3	相量图 相量图法	30
	思考题	30
2.3	单一参数的正弦交流电路	31
2.3.1	纯电阻电路	31
2.3.2	纯电感电路	32
2.3.3	纯电容电路	34
	思考题	37
2.4	串联正弦交流电路	38
2.4.1	RLC 串联交流电路	38
2.4.2	串联谐振电路	42
2.4.3	复阻抗的串联电路	44
	思考题	47
2.5	并联正弦交流电路	48
2.5.1	RLC 并联交流电路	48
2.5.2	复阻抗的并联电路	49
2.5.3	感性负载功率因数的提高	50
2.5.4	并联谐振电路	52
	思考题	53
2.6	三相正弦交流电路	55
2.6.1	三相交流电及其表示方法	56
2.6.2	三相电源星形接法	57
2.6.3	负载星形连接的三相交流电路	59
2.6.4	负载三角形连接的三相交流电路	64
2.6.5	负载星形接法和三角形接法的确定	66
2.6.6	三相电路的功率	66
	思考题	69
2.7	安全用电	70
2.7.1	触电	70
2.7.2	防止触电的保护措施	72
	思考题	74
	习题	75

第 3 章 电路的暂态过程	80
3.1 电路的暂态及换路定律	80
3.1.1 电路的暂态	80
3.1.2 换路定律及电路初始值的确定	81
思考题	83
3.2 RC 电路的暂态分析	84
3.2.1 RC 电路与直流电压的接通	84
3.2.2 具有初始储能 RC 电路的短接	87
3.2.3 RC 电路的时间常数	89
思考题	93
3.3 微分电路和积分电路	94
3.3.1 微分电路	94
3.3.2 积分电路	97
思考题	98
3.4 RL 电路的过渡过程	98
3.4.1 RL 电路与直流电压的接通	98
3.4.2 RL 电路的短接	102
3.4.3 电感电路突然断开, 过电压的产生及防止	103
思考题	104
习题	105
第 4 章 变压器和电磁铁	108
4.1 磁路与磁路的欧姆定律	108
4.1.1 磁路及磁性材料的磁性能	108
4.1.2 磁路的欧姆定律	110
思考题	110
4.2 变压器的基本结构与原理	110
4.2.1 变压器的基本结构	111
4.2.2 变压器的工作原理	112
4.2.3 变压器的外特性、损耗和效率	118
思考题	119
4.3 变压器的额定值	119
思考题	121

4.4	变压器绕组的极性	121
	思考题	123
4.5	三相变压器	123
4.6	特殊用途变压器	124
	4.6.1 自耦变压器	124
	4.6.2 仪用互感器	125
	思考题	127
4.7	电磁铁	127
	4.7.1 电磁铁的结构和电磁吸力	128
	4.7.2 直流电磁铁	128
	4.7.3 交流电磁铁	128
	思考题	130
	习题	130
第5章	电动机	132
5.1	三相异步电动机的基本结构和工作原理	132
	5.1.1 概述	132
	5.1.2 三相异步电动机的构造	132
	5.1.3 三相异步电动机的工作原理	134
	思考题	137
5.2	三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	138
	5.2.1 异步电动机与变压器比较分析	138
	5.2.2 异步电动机的电磁转矩	138
	5.2.3 异步电动机的机械特性	143
	思考题	144
5.3	三相异步电动机的使用	145
	5.3.1 起动	145
	5.3.2 反转	148
	5.3.3 调速	148
	5.3.4 制动	150
	思考题	152
5.4	绕线式异步电动机	152
	思考题	154

5.5 单相异步电动机	155
5.5.1 工作原理	155
5.5.2 几种类型的单相异步电动机	157
思考题	159
5.6 直流电动机的构造及工作原理	159
5.6.1 直流电动机的结构	159
5.6.2 直流电动机的工作原理	161
5.6.3 直流电动机的电磁转矩和电枢电势	161
思考题	163
5.7 直流电动机的机械特性	163
5.7.1 直流电动机按励磁方式分类	163
5.7.2 机械特性	164
思考题	166
5.8 直流电动机的使用	166
5.8.1 直流电动机的起动	166
5.8.2 直流电动机的反转	168
5.8.3 直流电动机的调速	168
思考题	170
5.9 电动机的额定值	171
习题	173
第 6 章 继电接触控制电路	175
6.1 常用低压电器及其图形符号和文字符号	175
6.1.1 闸刀开关和组合开关	175
6.1.2 熔断器	177
6.1.3 按钮	178
6.1.4 交流接触器	179
6.1.5 中间继电器	180
6.1.6 热继电器	181
6.1.7 低压断路器	182
思考题	183
6.2 异步电动机的基本控制电路和保护环节	183
6.2.1 单向运转的“起—停”控制电路	183

6.2.2 正反转控制电路	185
思考题	187
6.3 异步电动机常用的控制方式	188
6.3.1 行程控制	188
6.3.2 时间控制	190
6.3.3 顺序控制	192
6.3.4 速度控制	193
思考题	195
习题	196
第7章 可编程控制器	199
7.1 概述	199
7.1.1 PC 的由来及发展概况	199
7.1.2 PC 的特点和应用场合	200
思考题	201
7.2 PC 的结构和工作原理	201
7.2.1 PC 的基本结构	201
7.2.2 PC 的工作原理	202
7.2.3 PC 的工作过程	203
思考题	204
7.3 可编程控制器的程序设计方法	204
7.3.1 可编程控制器常用的编程语言	204
7.3.2 CPM1A 系列 PC 的编程元件	206
7.3.3 CPM1A 系列 PC 指令系统及编程方法	208
7.3.4 编程注意事项	228
思考题	229
7.4 可编程控制器应用举例	229
7.4.1 车库大门自动控制	229
7.4.2 传送带控制	231
7.4.3 标签检测控制	233
习题	235
参考文献	239

第1章 电路的基本定律与分析方法

本章主要讨论电路的基本概念、基本定律，以及应用基本定律分析一般直流电路的方法。这些研究直流电路的理论和方法，原则上也适用于其他电路。

1.1 电路与电路的基本定律

1.1.1 电路与电路模型

电路是电流的通路，主要由电源、负载和中间环节(包括连接导线和开关等)3个基本部分组成。发电机、蓄电池等是电源，它们将非电能转换成电能，向电路提供能量。电灯、电动机、电炉等是负载，分别把电能转换为光能、机械能和热能等非电能，它们是取用电能的设备。中间环节是连接电源和负载的部分，它起着连接与断开电路，控制、传递和分配电能的作用。

电路依其功能可分为两大类。一类是实现电能的传输、转换和分配，如电力系统，称为电力电路。这类电路，一般要求在传输、转换和分配电能过程中，尽可能地减少能量损耗以提高效率。另一类是实现信号(例如语言、音乐、文字、图像、温度、压力等)的传递和处理，在电子技术、电子计算机和非电量电测中应用广泛，如广播电信系统，称为信号电路。在这种系统中，信号源是电源，扬声器、电视、电话机等是负载。这类电路，一般要求信号传递质量好、不失真、准确、灵敏和快速等。

由于电路元器件的品种繁多，在电路分析中不可能因物而异，通常是将实际的电路元器件理想化(或称模型化)。即在一定的条件下，突出其主要的电磁性质，忽略其次要因素，把它们近似地看作理想元件，用一个理想电路元件或几个理想电路元件的组合来代替实际的电路元器件。如用“电阻”这个理想的电路元件来代替灯泡、电炉等。这样，用理想电路元件及其组合来代替实际的电路元器件，就构成了与实际电路相对应的电路模型，为对实际电路进行分析研究和数学描述提供了极大的方便。我们所分析研究的电路都是指这种电路模型。

在电路分析中，常用的理想电路元件有理想电阻元件、理想电感元件和理想电容元件，以及理想电压源和理想电流源。实际电源的电路模型有电压源和电流源，它们在电路原理图中一律采用国家规定的图形符号表示。

1.1.2 电路的基本物理量与正方向

电流、电压和电动势是电路中的基本物理量。在物理学中已经学过，电压的实际方向规定与电场的方向相同，即从高电位端指向低电位端。电动势的方向在电源内部是由低电位端指向高电位端，即电位升高的方向。电流的方向规定为正电荷在电路中流动的方向。在电源内部，电流的方向由低电位端流向高电位端，与电动势方向相同；在电源外部，电流的方向是由高电位端流向低电位端，与电压方向相同，这些方向称为电压、电动势、电流的实际方向，如图 1.1.1 所示。

在图 1.1.1 所示的简单电路中，很容易判断电压、电流的实际方向。但在电路分析中，有时往往难以事先判断电压、电流的实际方向。为了解决电路的分析和计算的问题，可任意选定一方向作参考，称为参考方向(或正方向)，在电路图中用箭头表示。并规定：当电流(或电压)

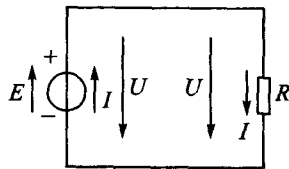


图 1.1.1 电路中电流、电压、电动势的方向

的实际方向与正方向一致时，电流或(电压)取正值。当电流(或电压)的实际方向与正方向相反时，电流(或电压)取负值。这样，在电路计算时，只要选定了正方向，并算出了电流(或电压)值，就可以根据其值的正负号判断其实际方向了。

在分析电路时，首先要假定电流(或电压)的参考方向，并以此为准去分析计算，最后从答案的正负值来确定电流(或电压)的实际方向。本书电路图上所标出的电流(或电压)的方向都是指参考方向。

为了计算方便，应注意尽可能使所选的参考方向与实际方向一致，并将负载元件，例如将电阻元件上的电压和电流的参考方向选得一致(称为关联参考方向)，这样，在电路图中就只需要标出电压或电流的参考方向中的一个即可；并将电源元件上的电压和电流的参考方向选得相反(称为非关联参考方向)，如图 1.1.1 所示。

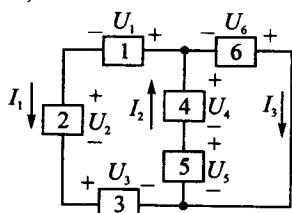
电路中单位时间内消耗的电能称为电功率，电功率的大小等于电流与电压的乘积，即 $P=UI$ 。判断负载和电源的方法是：当电流与电压的实际方向一致时，表示该电路元件是负载，消耗电能；当电流与电压的实际方向相反时，表示该电路元件是电源，向负载提供电能。

[例 1.1.1] 如图 1.1.2(a)所示电路，方框代表电源或负载，电流和电压的正方向如图 1.1.2(a)所示，通过测量得知： $I_1=4\text{A}$ ， $I_2=2\text{A}$ ， $I_3=-2\text{A}$ ， $U_1=8\text{V}$ ， $U_2=8\text{V}$ ， $U_3=2\text{V}$ ， $U_4=8\text{V}$ ， $U_5=10\text{V}$ ， $U_6=-18\text{V}$ 。

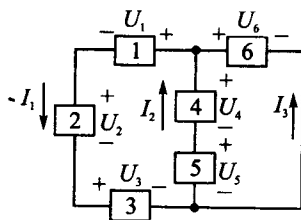
- (1) 试标出各电流、电压的实际方向或极性；
- (2) 判断哪几个方框代表电源，哪几个方框代表负载；
- (3) 计算各个方框所代表电源(或负载)提供(或消耗)的功率。

解：(1) 根据正方向与实际方向间关系的规定，只要把各负值的电流、电压的正方向反过来便是该电流、电压的实际方向，如图 1.1.2(b)所示。(各正值的电流、电压的实际方

向与正方向相同)



(a) 电流与电压的正方向



(b) 电流与电压的实际方向

图 1.1.2 例 1.1.1 的电路

(2) 根据电流、电压的实际方向, 可以判断是负载还是电源。当元件上的电流、电压的实际方向一致时, 是负载。反之, 是电源。观察图 1.1.2(b)可知: 4、5、6 为电源, 1、2、3 为负载。

(3) 各元件的功率计算如下:

$$P_1 = U_1 I_1 = 8 \times 4 = 32 \text{ W}$$

$$P_2 = U_2 I_1 = 8 \times 4 = 32 \text{ W}$$

$$P_3 = U_3 I_1 = 2 \times 4 = 8 \text{ W}$$

$$P_4 = U_4 I_2 = 8 \times 2 = 16 \text{ W}$$

$$P_5 = U_5 I_2 = 10 \times 2 = 20 \text{ W}$$

$$P_6 = U_6 I_3 = 18 \times 2 = 36 \text{ W}$$

显然, $P_1 + P_2 + P_3 = P_4 + P_5 + P_6$, 即负载消耗的功率等于电源提供的功率。

1.1.3 电路的三种工作状态

当电源向负载正常供电时, 电路中流过电流, 这种状态称为有载工作状态(又称负载状态)。根据电流、电压、电动势的正方向规定, 可作出电路模型如图 1.1.3(a)所示。这时有

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1.1.1)$$

即负载电流 I 等于电源电动势 E 除以电源内阻 R_0 与负载电阻 R 之和。

电源端电压为

$$U_1 = E - IR_0 \quad (1.1.2)$$

可见, 负载状态时, 电源端电压 U_1 总是小于电源电动势。

电源输出功率为

$$P_1 = U_1 I = (E - IR_0)I = EI - I^2 R_0 = P_E - \Delta P \quad (1.1.3)$$

若忽略线路上的压降, 则负载从电源吸收的功率

$$P_2 = U_2 I = U_1 I = P_1 = P_E - \Delta P \quad (1.1.4)$$

式中 U_2 为负载端电压, $P_E = EI$ 为电源电动势发出的功率, $\Delta P = I^2 R_0$ 为电源内阻上损耗的功率。

这说明, 电源供给外电路负载的功率等于电源电动势发出的功率减去内阻上损耗的功率。

显然, 当开关断开时, 如图 1.1.3(b)所示, 电源不能向负载供电, 电路中电流为零; 电源端电压等于电源的电动势, 称为开路电压, 用 U_0 表示; 电源输出的功率和负载吸取的功率均为零, 这种状态称为开路。

当电路中的电源两端短接时, 如图 1.1.3(c)所示, 电源内部将流过极大的短路电流 $I_s = \frac{E}{R_0}$; 但电源和负载的端电压均为零, 输出电流为零。电动势发出的电功率全部被内阻所消耗, 电源输出的功率和负载吸取的功率均为零, 这种状态称为短路。一般来说, 短路是一种严重事故, 应尽量预防和避免。

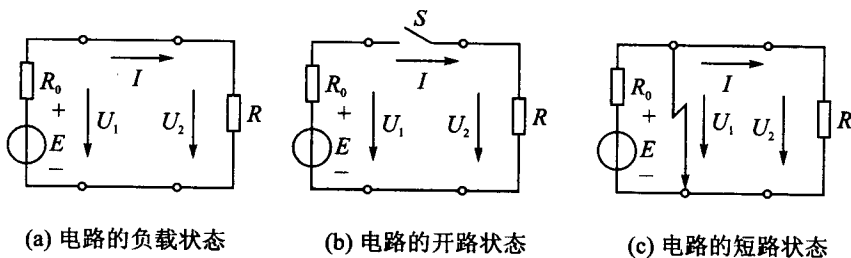


图 1.1.3 电路的工作状态

1.1.4 克希荷夫定律

在任意电路中, 电流和电压总是严格遵循两大定律, 这就是克希荷夫第一定律(节点电流定律)和克希荷夫第二定律(回路电压定律)。

支路 电路中的每一分支称为支路, 每一支路流过一个电流, 称为支路电流。图 1.1.4 中共有 AB、ACB、ADB 三条支路、三个支路电流。

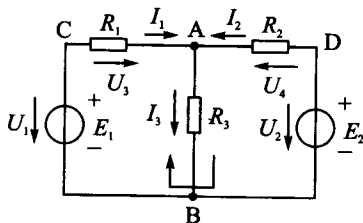


图 1.1.4 电路举例

节点 电路中三条或三条以上支路的交点称为节点。在图 1.1.4 中, 共有 A、B 两个节点。

回路 电路中任意闭合电路称为回路。图 1.1.4 中, 共有 ACBA、ABDA、ACBDA 三

条回路。

网孔 内部不含有支路的回路称为网孔。图 1.1.4 中, 共有 ABCA、ABDA 两个网孔。

1.1.4.1 克希荷夫电流定律(KCL)

克希荷夫第一定律是说明电路中电流分布规律的一个基本定律, 故又称为节点电流定律(KCL)。其内容为: 在任一瞬时, 流入某一节点的电流之和, 等于从该节点流出的电流之和。它的理论根据是电流的连续性, 否则将在节点处引起电荷的积累或消失。

在图 1.1.4 中, 对节点 A 可以写出节点方程

$$I_1 + I_2 = I_3$$

如果规定流入节点的电流为正, 从节点流出的电流为负, 则可写成一般式

$$\sum I = 0 \quad (1.1.5)$$

因此, 克希荷夫第一定律又可以归纳为: 在电路中的任何节点上, 电流的代数和等于零。克希荷夫第一定律通常适用于节点, 但也可以把它推广应用于任意假设的闭合面。

在应用克希荷夫第一定律时, 要先在电路图上标定支路电流的正方向, 再写出节点电流方程。根据计算结果和参考方向的规定, 就可以求得各支路电流的大小和实际方向了。

1.1.4.2 克希荷夫电压定律(KVL)

克希荷夫第二定律是说明电路中电压分布规律的一个基本定律, 故又称为回路电压定律(KVL)。其内容为: 在任一瞬时, 沿任一回路循行方向, 回路中所有支路或元件电压的代数和等于零。即

$$\sum U = 0 \quad (1.1.6)$$

列式时, 凡电压(或电流)的正方向与循行方向一致者取正号, 反之取负号。

下面仍以图 1.1.4 为例, 其中电源电动势、电流和电压的正方向如图 1.1.4 所示。按顺时针方向沿 ADBCA 循行一周, 应用克希荷夫第二定律可以写出回路电压方程为

$$-U_1 + U_2 - U_4 + U_3 = 0$$

即

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2$$

$$\sum E = \sum IR \quad (1.1.7)$$

因此, 克希荷夫第二定律又可以归纳为: 在任一回路循行方向上, 回路中电动势的代数和等于电压降的代数和。列式时, 凡电动势、电压(或电流)的正方向与回路循行一致者取正号, 反之取负号。

克希荷夫第二定律通常适用于任一闭合回路, 但也可以推广应用于任意假想回路。

克希荷夫两大定律是电路遵守的最基本的规律, 也是进行电路计算的理论基础。它不但可用于直流电路, 也可以应用于交流电路; 不但可应用于线性电路, 还可以用于非线性

电路。

值得指出的是,在应用定律时,会用到两套正负符号,务必不要混淆。一是列方程式时各项前的符号;它必须遵循列 KVL 和 KCL 方程式符号法则的规定(此时不要考虑本身数值的正负)。二是每项电流或电压数值的符号:若计算中,得出的电流或电压数值为正,说明其实际方向与所标正方向一致;得出的数值为负,说明其实际方向与所标正方向相反。

1.1.4.3 支路电流法

[例 1.1.2] 在图 1.1.5 中,已知, $R_1=R_2=10\Omega$, $R_3=5\Omega$, $E_1=10\text{V}$, $E_2=5\text{V}$, 试求各支路电流。

解:观察图 1.1.5,对节点 a,由克希荷夫第一定律可得节点电流方程

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

显然,对两节点电路,只有一个节点电流方程是独立的。

由克希荷夫第二定律可得两网孔回路的两独立电压方程。

对图 1.1.5 中 abc 网孔

$$-E_1 = I_1 R_1 - I_3 R_3$$

对图 1.1.5 中 adb 网孔

$$-E_2 = -I_2 R_2 + I_3 R_3$$

综合上述三个独立方程,可得三支路电流的方程组

$$\begin{cases} I_1 + I_2 + I_3 = 0 \\ -E_1 = I_1 R_1 - I_3 R_3 \\ -E_2 = -I_2 R_2 + I_3 R_3 \end{cases}$$

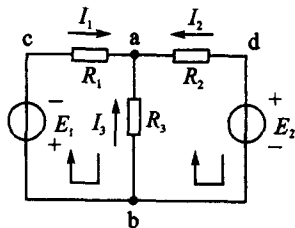


图 1.1.5 例 1.1.2 的电路

将已知数据代入,即得

$$\begin{cases} I_1 + I_2 + I_3 = 0 \\ -10 = 10I_1 - 5I_3 \\ -5 = -10I_2 + 5I_3 \end{cases}$$

可解得 $I_1 = -0.875\text{A}$, 其值为负,故 I_1 实际方向与正方向相反。 $I_2 = 0.625\text{A}$, $I_3 = 0.25\text{A}$, 两值均为正,故其实际方向与正方向相同。

从上述解题过程,可以得到用克希荷夫两定律解题的方法和步骤如下:

- (1) 若电路有 m 条支路,则设定 m 个支路电流,并选定各支路电流的正方向。
- (2) 若电路有 n 个节点,则由克希荷夫第一定律,列出 $n-1$ 个独立的节点电流方程。
- (3) 选定 $m-(n-1)$ 个独立回路,并选定各回路的循行方向,由克希荷夫第二定律列出 $m-(n-1)$ 个独立回路电压方程。

(4) 解 m 个独立方程组成的方程组,可得 m 个支路电流。

上述这种方法是用克希荷夫两定律求解复杂电路最基本、最直接的方法,由于这种方

法是以各支路电流为求解对象，故上述解题方法称为支路电流法。

1.1.5 电路中电位的概念和计算

电位是电路中一个极重要的概念。在电子技术中，常应用电位的概念分析电路。例如，二极管只有当其阳极电位高于阴极电位时，才能导通。在讨论三极管的工作状态时，也要分析各个极的电位高低。两点间的电压就是两点间的电位差。为简化电路图的画法，更需要应用电位的概念。

为了求出各点的电位，必须选定电路中的某一点作为参考点，并规定参考点的电位为零。则电路中的任一点与参考点之间的电压(即电位差)就是该点的电位。现仍以例 1.1.2 中图 1.1.5 所示电路为例，来讨论电路中的电位问题。

在图 1.1.5 中，已求得 $I_1 = -0.875\text{A}$ ， $I_2 = 0.625\text{A}$ ， $I_3 = 0.25\text{A}$ ，现设 b 点作为参考点， $V_b = 0$ ，容易求得各元件与 b 点之间的电压，故不难求得电路中任一点的电位。

$$V_c = U_{cb} = -E_1 = -10\text{V}$$

$$V_d = U_{bd} = E_2 = 5\text{V}$$

$$V_a = U_{ab} = -I_3 R_3 = -0.25 \times 5 = -1.25\text{V}$$

或

$$V_a = -I_2 R_2 + V_d = (-0.625 \times 10) + 5 = -1.25\text{V}$$

若选 c 点为参考点，即 $V_c = 0$ ，则有

$$V_a = U_{ac} = -I_1 R_1 = 8.75\text{V}$$

$$V_b = U_{bc} = E_1 = 10\text{V}$$

$$V_d = U_{dc} = E_1 + E_2 = 15\text{V}$$

$$U_{ab} = V_a - V_b = 8.75 - 10 = -1.25\text{V}$$

从上面的结果可以看出：电路中的某一点的电位与参考点的选择有关，而与计算时所选择的路径无关。参考点的选择不同，电路中的各点的电位就不同。但是，任意两点间的电压则是不变的。所以，电路中的各点的电位是相对的，而两点间的电压则是绝对的。在研究同一电路系统时，只能选取一个电位参考点。电位相同的各点可用短路线联通。比参考点高的电位为正，比参考点低的电位为负。

在电力系统中，常选大地为参考点；在电子线路中，则常选机壳或电路的公共线为参考点。在线路图中都用符号“⊥”表示，简称接“地”。

图 1.1.6 所示电路，是利用电位的概念，简化图 1.1.5 所画出的电路图。在电子线路中，常使用这种画法。