

高等学校通用教材

电工电子简明教程

DIANGONGDIANZIJIANMINGJIAOCENG

危水根 聂文滨 ◎主 编
董 华 童立君 ◎副主编



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

高等学校通用教材

电工电子简明教程

危水根 聂文滨 主 编
董 华 童立君 副主编

北京航空航天大学出版社

内容简介

全书共 10 章,内容包括:电路的基本概念和基本理论、电路的分析方法、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路、电路的暂态分析、半导体二极管和三极管、基本放大电路、集成运算放大器、正弦波振荡电路、直流稳压电源。

本书注重基础性和应用性,理论联系实际,培养学生的实际应用能力。

主要适用于科技学院、高职高专等非电类专业学生,用于电子应用基础知识的普及,也可以作为各类本科、大专文科生拓展知识面、加强文理渗透的综合素质课教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子简明教程/危水根,聂文滨主编.

--北京:北京航空航天大学出版社,2011.1

ISBN 978-7-5124-0270-6

I. ①电… II. ①危…②聂… III. 电工电子

—高等学校—教材 IV. ①TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 234415 号

版权所有,侵权必究。

电工电子简明教程

危水根 聂文滨 主 编

董 华 童君立 副主编

责任编辑 李文轶

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:bhpress@263.net 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×960 mm 1/16 印张:12.75 字数:286 千字

2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-5124-0270-6 定价:22.00 元

前 言

本书是根据教育部给高等职业教育提出的“致力于培养应用型和通用型人才的任务”而编写的,突出了高等职业教育注重实际技术和综合素质培养的特点,培养视野开阔、动手能力强的通用型和应用型人才。

本书首先介绍电路与模拟电子技术的基础理论,重点强调基本理论、基本知识和基本技能,然后介绍常用分立元件电路和集成电路等工业生产和日常生活中的实用电子技术,为学生学习后续专业课程打下基础,也为从事有关工作和继续深造做好准备,强化文科与工科之间的渗透,强化非电专业的电子信息化和现代化,从而提高学生自身的综合素质和就业竞争力。

本书在内容安排上注重先介绍电路中普遍适用的规律,再介绍不同类型电路的特殊规律;先讲述单元电路,后讲述复杂电路;先一般后特殊,先简单后复杂。循序渐进,利于教学。内容简练、重点突出、层次分明,还特意安插了诸如注意、提示的内容,有利于学生深刻理解内容。每章安排了一定的例题和习题,便于学生自学。

为突出高等职业教育的要求,本书有以下特点:

- 保证基础性。保证基础理论以够用为度,不过多涉及理论的数学推导,而注重对各种定律定理的特点归纳与总结。
- 在编写中注重启发式教学,教师在讲清某些元件或电路的特性和关系式后,可启发学生根据对偶原理自己推知具有对偶关系的元件或电路的特性和关系式,发挥学生学习的主动性,培养学生自学的能力,从而提高教学效果。

本书编写的具体分工:南昌航空大学龙佳丽老师(第1章),南昌航空大学周晋军讲师(第2章),南昌航空大学董华副教授(第3章),南昌航空大学程若发副教授(第4章),南昌航空大学童立君讲师(第5、10章),南昌航空大学彭登峰副教授(第6、7章),南昌航空大学危水根副教授(第8章),南昌航空大学聂文滨副教授(第9章),危水根副教授、聂文滨副教授和董华副教授对全书进行了校稿,全书由危水根副教授负责统稿与定稿。

作者水平有限,误漏之处还请广大师生和其他读者批评指正。作者的 E-mail: weishuigen@yahoo. com. cn。

编 者
2010 年 10 月

目 录

第 1 章 电路的基本概念与基本定律	1
1.1 电路的作用和组成	1
1.2 电路模型和电路原理图	2
1.3 电路中的基本物理量及其参考方向	3
1.3.1 电 流	3
1.3.2 电 压	4
1.3.3 功 率	4
1.4 电路的工作状态	6
1.4.1 电源开路	6
1.4.2 电源短路	6
1.4.3 电源有载工作状态	6
1.5 欧姆定律	7
1.6 基尔霍夫定律	8
1.6.1 基尔霍夫电流定律	8
1.6.2 基尔霍夫电压定律	10
1.7 电路中电位的计算	11
习 题	13
第 2 章 电路分析方法	15
2.1 电阻的串并联连接的等效变换	15
2.1.1 电阻的串联	15
2.1.2 电阻的并联	16
2.2 电源的两种模型及其等效变换	17
2.2.1 电压源模型	17
2.2.2 电流源模型	18
2.2.3 电压源与电流源之间的等效变换	18
2.3 支路电流法	19
2.4 叠加原理	20
2.5 节点电压法	22

2.6 戴维南定理与诺顿定理	24
2.6.1 戴维南定理	24
2.6.2 诺顿定理	26
习 题	27
第3章 单相正弦交流电路	30
3.1 正弦交流电的基本概念	30
3.2 正弦量的相量表示法	33
3.3 单一参数的正弦交流电路	36
3.3.1 纯电阻电路	36
3.3.2 纯电感电路	38
3.3.3 纯电容电路	40
3.4 RLC 串联的正弦交流电路	43
3.5 阻抗的串联和并联	47
3.5.1 阻抗的串联	47
3.5.2 阻抗的并联	48
3.6 交流电路中的谐振	51
3.6.1 串联谐振	51
3.6.2 并联谐振	53
3.7 功率因数的提高	54
习 题	56
第4章 三相正弦交流电路	60
4.1 三相电源	60
4.1.1 三相对称电压	60
4.1.2 三相电源的连接	61
4.2 三相负载的星形连接	63
4.2.1 三相负载不对称	64
4.2.2 三相负载对称	64
4.3 三相负载的三角形连接	68
4.3.1 三相负载不对称	68
4.3.2 三相负载对称	69
4.4 三相功率	71
习 题	73

第 5 章 电路的暂态分析	75
5.1 电路的过渡过程概述与换路定理	75
5.1.1 过渡过程概述	75
5.1.2 换路定理	76
5.2 RC 电路的过渡过程	80
5.2.1 RC 电路的暂态响应	80
5.2.2 RC 电路的充电过程	84
5.2.3 RC 电路的放电过程	86
5.3 微分电路和积分电路	87
5.3.1 微分电路	87
5.3.2 积分电路	88
5.4 RL 电路的过渡过程	89
习 题	93
第 6 章 半导体二极管和三极管	95
6.1 半导体基础知识	95
6.1.1 本征半导体	95
6.1.2 杂质半导体	96
6.2 PN 结	98
6.2.1 PN 结的形成	98
6.2.2 PN 结的单向导电性	98
6.3 半导体二极管	100
6.3.1 基本结构	100
6.3.2 伏安特性	100
6.3.3 主要参数	101
6.3.4 特殊二极管	103
6.4 半导体三极管	105
6.4.1 基本结构	105
6.4.2 放大原理	105
6.4.3 特性曲线	107
6.4.4 主要参数	110
习 题	111

第 7 章 基本放大电路	114
7.1 共发射极放大电路	114
7.1.1 共发射极放大电路的组成	114
7.1.2 放大电路的静态分析	115
7.1.3 放大电路的动态分析	117
7.1.4 非线性失真	120
7.2 分压式偏置共发射极放大电路	121
7.2.1 静态工作点的稳定	121
7.2.2 分压式偏置共发射极放大电路分析	122
7.3 射极输出器	125
7.3.1 静态分析	125
7.3.2 动态分析	126
7.4 功率放大电路	128
7.4.1 功率放大器的特殊要求	128
7.4.2 互补对称功率放大电路	128
7.4.3 集成功率放大器	130
7.5 差动放大电路	131
7.5.1 多级放大器的耦合方式	131
7.5.2 差动放大器的原理与分析	132
习 题	136
第 8 章 集成运算放大器	139
8.1 集成运算放大器简介	139
8.1.1 集成运放的组成	139
8.1.2 集成运放的主要参数	140
8.1.3 集成运放的电压传输特性	141
8.1.4 理想运放的特点	141
8.2 负反馈放大器	142
8.2.1 反馈的基本概念	142
8.2.2 反馈放大器的类型及其判别	144
8.2.3 负反馈对放大器性能的影响	148
8.3 集成运算放大器的应用	150
8.3.1 基本运算电路	151

8.3.2 电压比较器	155
8.3.3 集成运放的应用实例	156
习 题	157
第 9 章 正弦波振荡电路	160
9.1 自激振荡	160
9.1.1 自激振荡的产生过程	160
9.1.2 自激振荡的条件	162
9.2 RC 正弦波振荡电路	163
9.2.1 RC 串并联振荡电路	163
9.2.2 RC 移相式振荡电路	165
9.3 LC 正弦波振荡电路	166
9.3.1 变压器反馈式 LC 正弦波振荡电路	167
9.3.2 三点式 LC 正弦波振荡电路	169
习 题	171
第 10 章 直流稳压电路	173
10.1 整流电路	173
10.1.1 单相半波整流电路	174
10.1.2 单相桥式整流电路	175
10.2 滤波电路	178
10.2.1 电容滤波电路	178
10.2.2 电感滤波电路	180
10.2.3 复式滤波电路	180
10.3 稳压电路	183
10.3.1 稳压二极管稳压电路	183
10.3.2 串联型稳压电路	184
10.3.3 集成稳压电路	186
习 题	190
参考文献	194

第 1 章 电路的基本概念与基本定律

本章要点

- 电路模型及理想电路元件的电压和电流关系；
- 电压和电流的参考方向；
- 基尔霍夫定律；
- 电功率和额定值的意义。

电路是电工技术和电子技术的基础，它是为学习后面的电子电路、电机电路以及控制与测量电路打基础。

本章首先要了解电路的基本模型及电路的组成部分，了解电路各部分的作用，主要讨论电压和电流的参考方向、基尔霍夫定律、电源的工作状态以及电路中电位的概念及计算等，这些内容都是分析与计算电路的基础。

1.1 电路的作用和组成

若干电器设备按照一定方式组合起来，构成电流的通路，称为电路。

电路的作用：一方面实现电能的输送与转换，如供电系统（其电路示意图见图 1.1），其作用是实现电能的传输和转换。另一方面可以实现信号的传递和处理，如收音机（其电路示意图见图 1.2）和电视机的电路等。电路的形式多种多样，有的可以延伸到几百公里以外，有的可以集成在几平方厘米以内，但是通常都是由电源（或信号源）、负载和中间环节三部分组成。

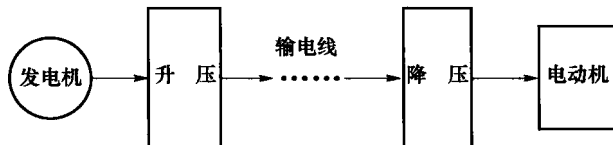


图 1.1 电力系统电路示意图

在实现电能的输送与转换的电路中，电源是为电路提供电能的装置，可以将化学能、机械能转换为电能或者把电能转换成为另一种形式的电能或者电信号，如电池和发电机等。

负载是取用电能的装置或者器件，可将电能转换为其他形式的能量，如电炉、电动机、电灯和扬声器等设备和器件。

中间环节是连接电源和负载的部分，它起到传输、分配和控制电路的作用，如变压器、输电

线和开关等。

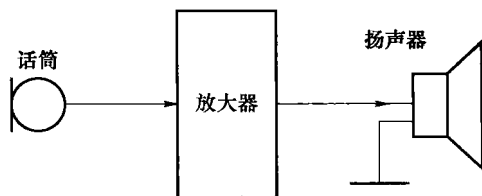


图 1.2 收音机电路示意图

不论电能的传输和转换,或信号的传递和处理,其中电源或信号源的电压或电流称为激励,它推动电路工作。由于激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应,则人们应在一定的电路结构和元件参数的条件下分析和讨论电路激励和响应之间的关系。

复习思考题

- 1.1.1 电路的基本作用是什么?
- 1.1.2 电路的基本结构是什么?

1.2 电路模型和电路原理图

由发电机、变压器、电动机、电池、电灯、电容、电感线圈、二极管和三极管等功能不同的实际元件或器件组成的电路称为实际电路。由于实际电路器件中的电磁关系比较复杂,为了便于对实际电路进行分析计算,必须在一定的条件下,将实际元件加以近似化和理想化,忽略其次要特性,用一个或多个足以表征其主要特性的理想化电路元件代替。而由理想元件组成的电路,称为实际电路的电路模型(简称电路)。

如图 1.3(a)所示的手电筒电路是最简单的电路。其中,干电池是电源,灯泡是负载,开关和导线是中间环节。图 1.3(b)为图 1.3(a)所示的实际手电筒电路的电路模型。其中灯泡为理想电阻元件,干电池(忽略其内阻)为理想电源 U_s ,导线和开关认为是无电阻的理想导线。

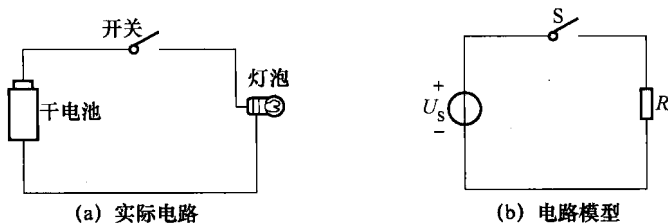


图 1.3 手电筒电路

理想电器元件主要有理想电阻元件(简称电阻)、理想电感元件(简称电感)、理想电容元件(简称电容)。理想电压源和理想电流源等。

此后,所分析研究的电路都是指电路模型。

复习思考题

1.2.1 电路模型的基本组成有哪些?

1.2.2 简述图 1.2 所示收音机的电路模型。

1.3 电路中的基本物理量及其参考方向

1.3.1 电 流

电流是电荷(带电粒子)有规则的定向运动形成的,在单位时间内通过某一导体横截面的电荷量称为电流,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

式中 dq 为微小的电荷量, dt 表示微小的时间段。式(1.1)表示电流为时间的函数,是随时间而变化的,用小写字母 i 表示(国标规定,随时间变化的物理量用小写字母表示,不随时间变化的物理量用大写字母表示)。若 $\frac{dq}{dt}$ 等于常数,则该电流称为恒定电流,简称直流,用大写字母 I 表示。

电流的实际方向为正电荷移动的方向。在分析计算电路前,往往很难事先断定电路中电流的实际方向,为此,在分析计算电路前,可先任意选定某一方向作为电流的参考方向(又称正方向)。如图 1.4 中所示箭头方向,表示选定的电流的正方向是从 a 端流向 b 端,又可用 i_{ab} 来表示该电流的正方向,且 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。

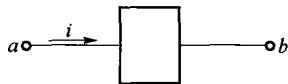


图 1.4 电流的参考方向

若计算结果 i 为正值,则表示电流的实际方向与参考方向相同;如 i 为负值,则表示其实际方向与参考方向相反。

图 1.4 中的方框,表示一个二端元件或二端网络(与外部只有二个端钮相联的元件或网络称为二端元件或二端网络)。

1.3.2 电 压

电场力将单位正电荷从 a 点沿任意路径移动到 b 点所做的功被定义为 a 、 b 两点之间的电压,即

$$U_{ab} = \frac{dw}{dq} \quad (1.2)$$

式中, dw 是电场力在时间 dt 内将电荷量 dq 从 a 点移动到 b 点所做的功。

电场力对正电荷做功的方向,就是电位降低的方向,故规定电压的实际方向(极性)为由高电位指向低电位。

同样,在分析计算电路中的电压前,先任意选定电路中两点间电压的参考方向(极性),用“+”代表高电位,“-”代表低电位。图 1.5 中,电压 u 的参考方向(极性)是 a 点为高电位端 b 点为低电位端,亦可用双下标 u_{ab} 来表示该参考方向,且 $u_{ab} = -u_{ba}$ 。

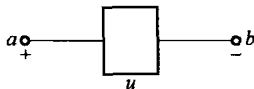


图 1.5 电压的参考方向

当电流和电压选取的参考方向相同则称为关联参考方向,如图 1.6(a)所示;若电流和电压的参考方向相反,则称为非关联参考方向,如图 1.6(b)所示。

当采用关联参考方向时,电路中只要标出电流或电压中的一个参考方向即可。本书在分析计算电路时,如未作特殊说明,均采用关联参考方向。

要特别指出的是,欧姆定律在关联参考方向下才可写为 $u = Ri$;在非关联参考方向下,则写为 $u = -Ri$ 。

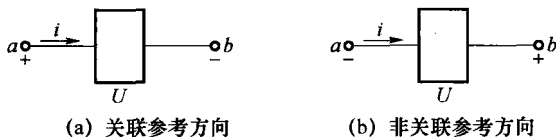


图 1.6 关联参考方向与非关联参考方向

1.3.3 功 率

将单位时间内电路吸收或释放的电能定义为该电路的功率,即

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1.3)$$

一个二端元件或二端网络当电压、电流采用关联参考方向时,其吸收(或消耗)的功率为:

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \frac{dq}{dt} = ui \quad (1.4)$$

采用非关联方向, 则其吸收(或消耗)的功率为

$$p = -ui \quad (1.5)$$

若 $p > 0$ 表示该二端元件(或网络)吸收功率, 为负载; 若 $p < 0$ 表示该二端元件(或网络)发出(或产生)功率, 为电源。

例 1.1 求图 1.7 所示二端网络的功率, 并说明是吸收功率还是发出功率。

解 在图(a)中, u 与 i 为关联参考方向, 故

$p = ui = 6 \text{ V} \times 1 \text{ A} = 6 \text{ W} > 0$, 则该二端网络吸收功率。

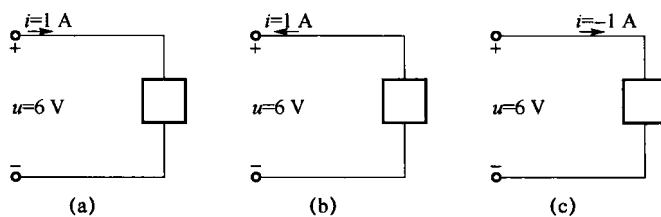


图 1.7 二端网络图

在图(b)中, u 与 i 为非关联参考方向, 故

$p = -ui = -6 \text{ V} \times 1 \text{ A} = -6 \text{ W} < 0$, 则该二端网络发出功率。

在图(c)中, u 与 i 为关联参考方向, 故

$p = ui = 6 \text{ V} \times (-1) \text{ A} = -6 \text{ W} < 0$, 则该二端网络发出功率。

复习思考题

1.3.1 电流是如何形成的?

1.3.2 $2 \text{ k}\Omega$ 电阻中通过 3 mA 的电流, 试问电阻两端的电压是多少?

1.3.3 试计算图 1.8 中各元件的功率, 并说明元件是吸收还是发出功率。

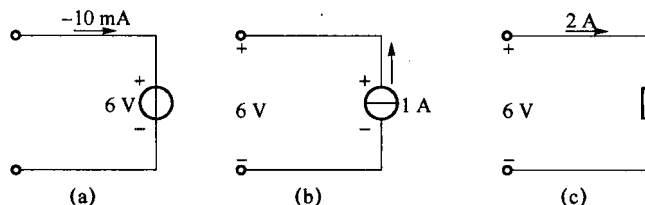


图 1.8 习题 1.3.3 所用的图

1.4 电路的工作状态

电源有开路、有载和短路三种工作状态,现以直流电路为例进行讨论。

1.4.1 电源开路

当图 1.9(a)中, a, b 两点断开时($R_L = \infty$), 电源处于开路(空载)状态, 如图 1.9(a)所示。开路的特点是开路处电流为零, 故图 1.9(a)中电源电流 $I=0$, 其端电压(称开路电压 U_0) $U=U_0=E$, 电源输出功率 $P=0$ 。

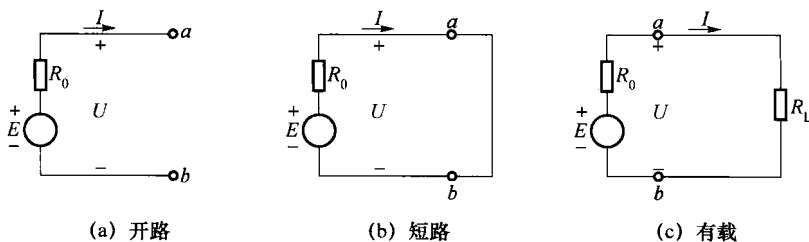


图 1.9 电源的三种工作状态

1.4.2 电源短路

当图 1.9(a)中 a 和 b 两点间由于某种原因被短接($R_L = 0$)时, 电源处于短路状态, 如图 1.9(b)所示。短路的特点是, 短路处电压为零。故图 1.9(b)中电源的端电压 $U=0$, 此时电源的电流(称为短路电流 I_s) $I=I_s=\frac{E}{R_0}$ 很大, 电源的输出功率 $P=0$, 电源产生的功率全部消耗在内阻上, 而造成电源过热而损伤或毁坏, 故应尽力防止或采用保护措施。

开路和短路也可以发生在电路的任意两点之间, 其特点是, 开路处电流为零, 短路处电压为零。

1.4.3 电源有载工作状态

如图 1.9(c)所示, E 为电源的电动势, R_0 为电源的内阻, 当电源与负载 R_L 接通时, 电路中

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L} \quad (1.6)$$

$$U = IR_L = E - IR_0 \quad (1.7)$$

电源输出功率, 即负载获得功率为

$$P=UI \quad (1.8)$$

若电源额定输出功率 $P_N=U_N I_N$, 当电源输出功率 $P=P_N$ 时称为满载, 当 $P<P_N$ 时称为轻载。当 $P>P_N$ 时称为过载, 过载会导致电气设备的损害, 应注意防止。

复习思考题

1.4.1 有一额定值为 $5\text{ W } 500\ \Omega$ 的线绕电阻, 其额定电流为多少? 在使用时电压不得超过多大的数值?

1.4.2 有一台直流发电机, 其铭牌上标有“ 40 kW 、 230 V 、 174 A ”。试问, 什么是发电机的空载运行、轻载运行、满载运行和过载运行? 负载的大小, 一般以什么而言?

1.4.3 根据日常观察, 电灯在深夜要比在黄昏时亮一些, 为什么?

1.4.4 若电源的开路电压 $U_0=12\text{ V}$, 其短路电流 $I_s=30\text{ A}$, 试问该电源的电动势和内阻各为多少?

1.5 欧姆定律

通常流过电阻的电流与电阻两端的电压之比成正比, 这就是欧姆定律, 它是分析电路的基本定律之一。对如图 1.10 所示的电路, 欧姆定律可用下式表示, 即

$$\frac{u}{i} = R \quad (1.9)$$

其中 R 为这段电路的电阻, 通常认定为线性电阻。

由式(1.9)可见, 当所加电压 U 一定时, 电阻越大, 则电流 I 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, 则该电路的电阻为 $1\ \Omega$ 。在计量高电阻时, 则以千欧($\text{k}\Omega$)或兆欧($\text{M}\Omega$)为单位。

根据电路图所选电压和电流参考方向的不同, 在欧姆定律的表示式中可带有正号或负号。当电压和电流的参考方向一致时, 如图 1.10 所示, 则得

$$u=iR \quad (1.10)$$

当两者的参考方向选的相反时, 即图 1.10 中的 I 反向时, 则得

$$u=-iR \quad (1.11)$$

这里要注意, 一个式子中有两套正负号, 式(1.10)与式(1.11)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。

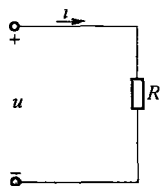


图 1.10 欧姆定律

复习思考题

1.5.1 通常电灯开得愈多,负载愈大还是愈小? 总负载愈大还是愈小?

1.5.2 试求图 1.11(a)中的 U_0 和图 1.11(b)中的 I_s 。

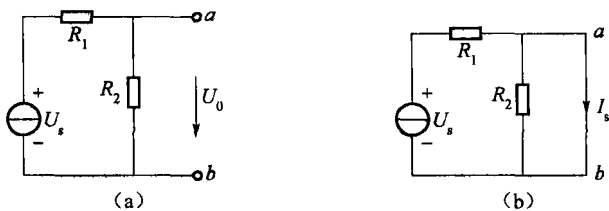


图 1.11 习题 1.5.2 图

1.6 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是分析和计算电路的基本定律,包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。为了便于介绍,现以图 1.12 为例,先介绍有关电路结构的几个术语。

- 支路: 电路中通过同一个电流的每一分支称为支路。如图 1.12 中 ab 、 ac 、 cd 等共有 6 条支路。

- 节点: 三条或三条以上支路的连接点,称为节点。如图 1.12 中 a 、 b 、 c 、 d 等共有 4 个节点。

- 回路: 电路中任一闭合路径称为回路,如图 1.12 中 $abcda$ 、 $acda$ 等共有 7 个回路。

- 网孔: 内部不含支路的回路称为网孔,如图 1.12 中有 $abca$ 、 $acda$ 、 $cbdc$ 共 3 个网孔。

一个平面电路,设支路数为 b ,节点数为 n ,网孔数为 m ,则根据尤拉公式有

$$b = (n - 1) + m \quad (1.12)$$

图 1.12 中,根据公式(1.12)可得 $b = (4 - 1) + 3 = 6$ 。

1.6.1 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律(简称 KCL),又称节点电流定律,用以确定连接到节点上的各支路电流之间关系,其依据是电流的连续性。对任一节点、任一时刻,流入节点的电流之和等于流出节点的电流之和。否则,在节点上就有电荷的产生或消灭,这是不符合“电流守恒定律”的。

在图 1.12 所示电路中的节点 a ,由图 1.13 可得出