



国家级示范性高等院校精品教材

GUOJIAJI SHIFANXING GAODENGYUANXIAO JINGPIN JIAOCAI

电工电子与控制技术

DIANGONG DIANZI YU KONGZHI JISHU

主编/丁一凡 副主编/晏永红 刘静

$$\sum i(t) = 0$$

$$\sum U_{\text{电压元}} = \sum U_{\text{电压降}}$$

$$I_1 + I_1 = I_2 + I_3 + I_5$$

$$\mathcal{L} \sum i(t) = \mathcal{L} i(t) \quad \text{或} \quad \sum \mathcal{L} i(t) = 0 \quad \mathcal{L} \sum I(s) = 0$$

内 容 提 要

本书分为三篇：第一篇为电路基础，包含电路及其基本定律、电路分析基础和正弦交流电路等3章；第二篇为电子技术，包含半导体器件基础、晶体管基本放大电路、集成运算放大器的应用、直流电源、数字逻辑基础、逻辑代数与逻辑门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路和数模(D/A)与模数(A/D)转换器等9章；第三篇为电气控制技术，包含常用低压电器、基本电气控制线路及应用和可编程控制器(PLC)的原理及应用等3章。

本书基本涵盖了电工电子技术四个方面(电路基础、模拟电子技术、数字电子技术和电气控制技术及PLC)的实用知识。既可作为应用型高等院校非电类工料本、专科学生的教材，也可作为希望全面了解电类知识的自学者的入门教材或参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子与控制技术/丁一凡主编. —天津: 天津大学出版社, 2011.2

国家级示范性高等院校精品教材

ISBN 978-7-5618-3871-6

I. ①电… II. ①丁… III. ①电工技术—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材 ③自动控制—高等学校—教材 IV. ①TM ②TN ③TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第024993号

出版发行 天津大学出版社

出版人 杨欢

地 址 天津市卫津路92号天津大学内(邮编: 300072)

电 话 发行部: 022-27403647 邮购部: 022-27402742

网 址 www.tjup.com

印 刷 天津泰宇印务有限公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 185mm×260mm

印 张 19.5

字 数 487千

版 次 2011年2月第1版

印 次 2011年2月第1次

定 价 35.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请向我社发行部联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

电工技术和电子技术的应用范围非常广泛，与一切新的科学技术有着密切的关系。因此对于各类非电专业的学生来说，电工电子技术课程是一门重要的技术基础课程，不仅为后续的专业课程和毕业后从事有关电的工作打基础，更为学生的自学、深造、拓宽视野及创新打基础。该课程包含电路基础、模拟电子技术、数字电子技术和电气控制技术及 PLC 等四个方面的内容。

然而，随着各学校教学改革的不深入，课程门数和课时数量都在不断地减少，在非电专业中通常只设一门课程，课时数往往不超过 80 学时。因此在教学组织过程，尤其是教材的选择过程中，经常会遇到难以找到面向应用而且涵盖上述四个方面内容的教材的困难。为此，我们根据自身的教学经验，在确保教学体系完整性的基础上，以培养应用型人才和保证实用性为目标，对难度过大的理论推导等内容进行精简，对实用性不强的部分进行压缩，突出对基础知识及实验和实践方面的要求，并以此作为编写理念组织编写了本书。在书中标出了部分可选章节，可由教师根据具体情况选择，在 64~80 学时内完成教学。

本书在内容编排上，力争做到体系完整、结构清晰、实例丰富、理论知识讲解循序渐进，尽可能使学生或自学者对于电类课程的基础知识有一个全面的了解和掌握，具有很强的实用性。本书既可作为应用型高等院校非电类工科本、专科学生的教材，也可作为希望全面了解电类知识的自学者的入门教材或参考用书。本书还配套有同步实验指导教材，可供有关教学单位选择使用。

在本书的编写过程中，丁一凡老师负责全书的总策划，完成了第 9~11 章的编写工作，并承担全书的统稿和校改工作；晏永红老师完成了第 1~8 章和第 12 章的编写工作，刘静老师负责第 13~15 章的编写工作。此外，武汉工业学院工商学院信息工程系的王珊珊、汪媛、张荆沙等老师为本书的编写提出了宝贵的意见和建议，梁丽娟、陈亮和王翠玉老师对书中的部分习题与案例进行了核实与验证。在此，向他们表示由衷的感谢。

由于编者水平有限，书中错误和不足之处在所难免，真诚地希望广大读者予以批评指正。

编 者

2010 年 11 月 于武汉

目 录

第一篇 电路基础

第 1 章 电路及其基本定律	1
1.1 电路的基本概念	1
1.2 电路中的基本物理量	2
1.3 基本电路元件	5
1.4 电路的基本工作状态	10
1.5 电气设备的额定值	11
1.6 基尔霍夫定律	11
习题 1	14
第 2 章 电路分析基础	17
2.1 等效电路分析法	17
2.2 支路电流分析法	22
2.3 网孔电流分析法	23
2.4 节点电压分析法	25
2.5 电路定理	27
习题 2	32
第 3 章 正弦交流电路	36
3.1 正弦交流电的基本概念	36
3.2 正弦交流电的相量表示法	40
3.3 正弦稳态电路的分析	42
3.4 交流电路的功率及功率因数	49
3.5 电路的谐振	53
3.6 三相交流电路	56
习题 3	61

第二篇 电子技术

第 4 章 半导体器件基础	64
4.1 半导体基础知识	64
4.2 半导体二极管	67
4.3 晶体三极管	72
*4.4 场效应管	78
习题 4	80

第 5 章 晶体管基本放大电路	83
5.1 共射极放大电路.....	83
5.2 共集电极放大电路.....	96
5.3 共基极放大电路.....	98
*5.4 多极放大电路.....	99
5.5 差动放大电路.....	100
5.6 功率放大电路.....	102
5.7 负反馈在放大电路中的应用.....	106
习题 5	112
第 6 章 集成运算放大器的应用	116
6.1 集成运算放大器概述.....	116
6.2 集成运放的线性应用.....	119
6.3 集成运放的非线性应用.....	125
习题 6	129
第 7 章 直流电源	132
7.1 整流滤波电路.....	132
7.2 稳压二极管稳压电源.....	139
7.3 串联型线性稳压电源.....	141
7.4 集成稳压电源.....	143
7.5 开关型稳压电源.....	145
习题 7	147
第 8 章 数字逻辑基础	152
8.1 数字电路概述.....	152
8.2 数制与码制.....	154
习题 8	158
第 9 章 逻辑代数与逻辑门电路	159
9.1 基本逻辑门电路.....	159
9.2 逻辑代数.....	165
9.3 逻辑代数化简法.....	167
习题 9	177
第 10 章 组合逻辑电路	179
10.1 组合逻辑电路的分析.....	179
10.2 组合逻辑电路的设计.....	181
10.3 常用组合逻辑电路.....	182
习题 10.....	197
第 11 章 时序逻辑电路	200
11.1 触发器.....	200

11.2 常用时序逻辑电路	212
11.3 应用举例	218
习题 11	220
*第 12 章 数模 (D/A) 与模数 (A/D) 转换器	221
12.1 数模转换器 (D/A)	221
12.2 模数转换器 (A/D)	222
习题 12	225

第三篇 电气控制技术

第 13 章 常用低压电器	226
13.1 低压电器的基本知识	226
13.2 熔断器	226
13.3 接触器	228
13.4 继电器	231
13.5 低压开关	235
13.6 主令电器	237
习题 13	239
第 14 章 基本电气控制线路及应用	241
14.1 电气控制线路图的绘制原则	241
14.2 异步电动机直接启动控制	244
14.3 异步电动机降压启动控制	250
14.4 异步电动机制动控制	254
*14.5 顺序控制与自动循环控制	258
习题 14	260
第 15 章 可编程控制器 (PLC) 的原理及应用	262
15.1 可编程控制器 (PLC) 的基本知识	262
15.2 PLC 的编程语言	270
15.3 S7—200 系列 PLC 的基本指令	273
15.4 PLC 应用举例	282
习题 15	283
附录	285
附录 A Multisim 电路仿真	285
附录 B 电气常用图形与文字符号对照表	298
附录 C S7—200 系列常用指令速查表	299
参考文献	304

第 1 章 电路及其基本定律

随着科学技术的发展,电的应用越来越广泛,电路的形式更是多种多样,人们对电路知识的了解也越来越多。本章从人类最先发现和利用的直流电路开始,介绍电路的基本概念和基本知识,是整个课程的理论基础。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的概念

电路即电流流过的通路。如果通路中流过的电流是直流电流,就称为直流电路;如果通路中流过的电流是交流电流,则称为交流电路;如果交流电流按正弦规律变化,就称为正弦交流电路。电路的基本功能是实现电能的传输和分配或者电信号的产生、传输、处理及利用。

1.1.2 电路的组成

将一些电气设备或元器件按一定方式连接而形成电流流过的通路,以完成不同功能的需要。功能不同,电路的连接方式就不同,但不论电路的具体形式和复杂程度如何变化,它们都是由一些最基本的部件组成的。以最常用的台灯电路为例,其电路示意如图 1-1 所示。

电路的基本部件由三大部分组成:

1. 电源

电源(信号源)是将其他形式的能量转换成电能,为电路提供电能的部件。例如,把化学能转换成电能的电池,把机械能转换成电能的发电机,将声音转换成电信号的话筒等。

2. 负载

负载是电路中的用电设备,它把电能转换成其他形式的能量。例如,台灯将电能转换成光能和热能,扬声器将电能转换成声能等。



图 1-1 电路的组成

3. 中间环节

中间环节是连接电源（信号源）和负载的元件或部件，起输送电能、分配电能、保护或传递信息的作用。例如，导线、开关、熔断器等。

1.1.3 电路模型

实际电路都是由一些按需要起不同作用的电路元件或器件组成，如发电机、变压器、电动机、电池、晶体管以及各种电阻器和电容器等，它们的电磁性质较为复杂。最为人熟悉的白炽灯，除了具有消耗电能的性质（电阻性）外，当通有电流时还会产生磁场，也就是说它还具有电感性，但它的电感微小，可忽略不计，于是可以认为白炽灯是电阻元件。

为了便于对实际电路进行分析和用数学方法描述，可以将种类繁多、形式多样的实际元件理想化（或称模型化），即在一定条件下突出其主要的电磁性质，忽略其次要因素，把它近似看作理想电路元件。由一些理想电路元件所组成的电路，就是实际电路的电路模型，它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。例如，图 1-2 (c) 是图 1-2 (a) 的电路模型，图 1-2 (b) 是图 1-2 (a) 的原理图。后文所分析的都是电路模型，简称电路。在电路图中，各种电路元件用规定的图形符号表示。

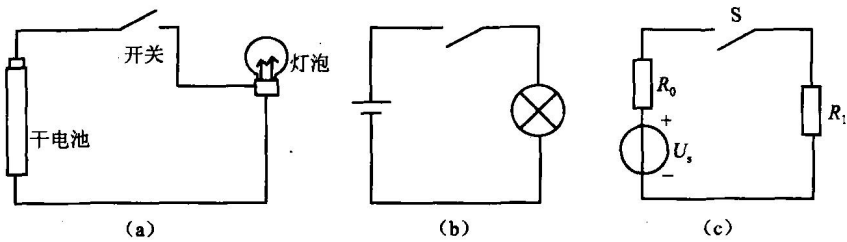


图 1-2 电路的三种表示方法
(a) 实际电路 (b) 原理图 (c) 电路模型

1.2 电路中的基本物理量

1.2.1 电流

1. 电流的定义

电流是指单位时间内流过电路中某一截面的净电荷量。

2. 电流的符号

电路中用 I 表示不随时间变化的电流，用 i 表示随时间变化的电流。

3. 电流的大小

用电流强度来衡量电流的强弱。电流强度是指单位时间内通过导体横截面积的电荷量，电流强度简称电流，其定义式为

$$i = \frac{dq}{dt} \tag{1-1}$$

4. 电流的单位

电流的单位是安培 (A)，是国际单位制 (SI) 中的七个基本单位之一，它表示每秒流过 1 C 的净电荷。

5. 电流的方向

规定正电荷流动的方向为电流的方向 (称为真实方向)。分析电路时用箭头或双下标来指电流的方向。

6. 电流的参考方向

在分析电路之前，电流的真实方向一般是未知的，还可能是随时间变化的。为了用代数表示电流，必须事先规定一个参考方向 (即符号为正时电流的方向)，称为电流的参考方向。电路中用箭头标示。

在电路中，每条通路的电流方向只有两个可能的选择。因此，可以用代数来表示有方向的电流，符号表示方向，绝对值表示大小。

电流的参考方向是人为定义的，而电流的实际方向则是受电路约束客观存在并确定的。当参考方向与实际方向一致时，电流的代数值符号为正；反之为负。若分析电路后确定的电流符号为正，则表明电流的参考方向就是实际方向；反之则表明电流的参考方向与实际方向相反，如图 1-3 所示。

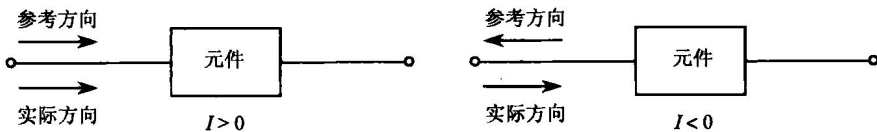


图 1-3 电流实际方向与参考方向

1.2.2 电压

图 1-4 是一个由干电池和白炽灯组成的简单电路。电池的电动势为 E 。

1. 电动势

电动势是描述电源中非电场力对电荷做功的物理量，在数值上等于非电场力在电源内部将单位正电荷从负极移至正极所做的功，单位为伏特 (V)。图 1-4 中，在电动势 E 的作用下，白炽灯两端得到电压 U_{ab} 并有电流 I 流过。

2. 电位

电位是外力将单位正电荷从起点移动到参考点 (0 电位) 所做的功。a 点的电位记为 V_a 。

3. 电压

电压是电路中两点间的电位差，数值上等于电场力把单位正电荷从起点 a 移到终点 b 所做的功，即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-2)$$

电压的方向从高电位指向低电位，是电位降低的方向。

电动势的方向则是从低电位指向高电位，是电位升高的方向。

在分析计算时，必须预先假定电压或电动势的参考方向。在电路中，电压的参考方向可用 (+) (-) 表示其高低电位，由高电位指向低电位。有时也用箭头表示或用双下标表示，

如 U_{ab} 表示电压参考方向由 a 指向 b。为了分析方便，如果电压、电动势的实际方向为已知，就常以其实际方向作为参考，如图 1-5 所示。

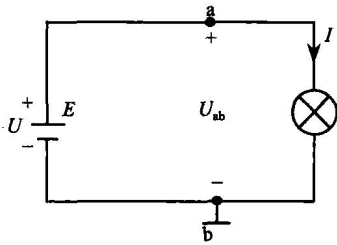


图 1-4 白炽灯电路

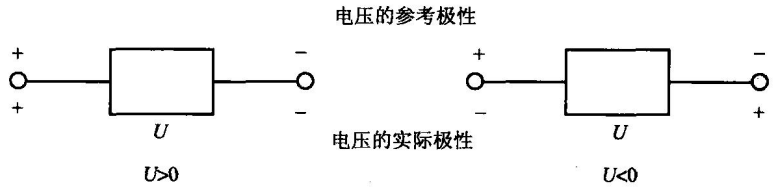


图 1-5 电压实际方向与参考方向

4. 关联参考方向

同一电路元件上既有电流参考方向，也有电压参考方向。作为参考方向，它们都是人为假设出来的，两者之间没有实际联系。在电路分析中，在一个元件上定义两个独立的参考方向是不合适的。为了分析方便，对同一电路元件或电路部分，电压和电流的参考方向应保持一致，即电流从假设的高电位点“+”流向低电位点“-”，称为关联参考方向，如图 1-6 (a) 所示；相反，如果电压和电流的参考方向不一致，则称为非关联参考方向，如图 1-6 (b) 所示。若无特别需要，一般采用关联的参考方向，这样在电路中只需要标出一个参考方向即可。

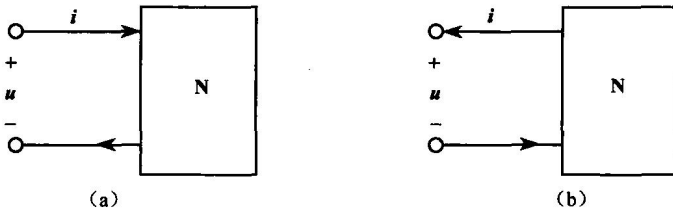


图 1-6 关联参考方向

(a) 关联参考方向 (b) 非关联参考方向

例 1-1 如图 1-7 所示，已知电压源 $U_1=2\text{ V}$ ， $U_2=4\text{ V}$ ，分别求以 a 为参考点和以 b 为参考点时，各点电位及 U_{ab} 和 U_{bc} 。

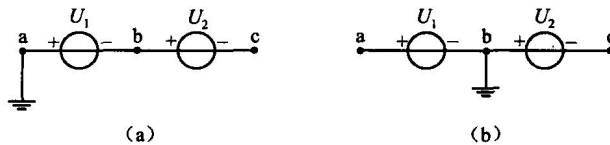


图 1-7 例 1-1 图

(a) 以 a 为参考点 (b) 以 b 为参考点

解：1) 取 a 为参考点，如图 1-7 (a) 所示，

$$V_a=0 \quad V_b=-U_1=-2\text{ V} \quad V_c=-(U_1+U_2)=- (2+4)=-6\text{ V}$$

$$U_{ab}=V_a-V_b=0-(-2)=2\text{ V} \quad U_{bc}=V_b-V_c=-2-(-6)=4\text{ V}$$

2) 取 b 点为参考点，如图 1-7 (b) 所示，

$$V_a=U_1=2\text{ V} \quad V_b=0 \quad V_c=-U_2=-4\text{ V}$$

$$U_{ab}=V_a-V_b=2-0=2\text{ V} \quad U_{bc}=V_b-V_c=0-(-4)=4\text{ V}$$

由此可见，电位与参考点的选取有关，参考点不同，各点电位不同；而电压与参考点的选取无关，参考点不同，两点之间的电压不变。但电压的参考极性不同，则符号不同。

1.2.3 功率

如果某个元件的电流和电压分别为 i 和 u ，而且电流和电压的参考方向关联，则功率

$$P=ui \quad (1-3)$$

功率的单位为瓦特 (W)。

在电压和电流参考方向关联时，根据式 (1-3) 计算的功率为正值，表示该元件吸收功率 (即消耗电能或吸收电能)；若为负值，则表示输出功率 (即输出电能)。

习惯上对电源的端电压和流过电源的电流采用非关联参考方向。例如在图 1-4 (b) 中，按所示电流参考方向，电流从电池的“-”端流向“+”端，此时电池的端电压 $U=E$ (忽略电池的内阻)，乘积 UI 表示电源向外电路 (白炽灯) 所提供 (输出) 的功率大小。

例 1-2 在图 1-8 所示的电路中，求各元件的功率，并说明哪些是负载，哪些是电源。

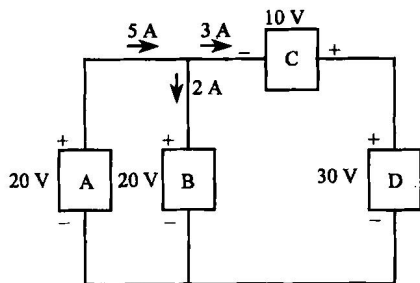


图 1-8 例 1-2 图

解：A、C 元件采用非关联参考方向，B、D 元件采用关联参考方向。

$$P_A = -20 \times 5 = -100\text{ W} < 0 \quad (\text{是电源})$$

$$P_B = 2 \times 20 = 40\text{ W} > 0 \quad (\text{是负载})$$

$$P_C = -10 \times 3 = -30\text{ W} < 0 \quad (\text{是电源})$$

$$P_D = 3 \times 30 = 90\text{ W} > 0 \quad (\text{是负载})$$

$$P_A + P_C + P_B + P_D = 0$$

因此，电路中所有电源产生的功率等于所有负载吸收的功率，达到功率平衡。

1.3 基本电路元件

1.3.1 电阻

电阻是表征电路中阻碍电流流动特性的参数，而电阻元件是表征电路中消耗电能的理想元件。电阻元件的特性由 $u-i$ 平面上的一条曲线表示，如图 1-9

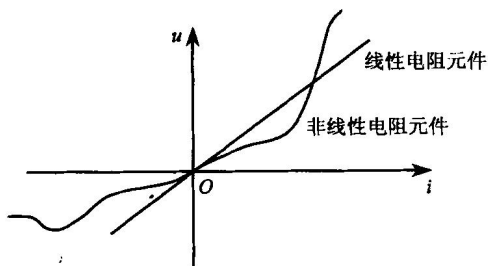


图 1-9 电阻元件及其伏安特性

所示。当这条曲线是一条过原点的直线时，称为线性电阻。本课程中若无特别声明，电阻元件均指线性电阻。

在采用关联参考方向时，任意瞬间（线性）电阻两端的电压和流过它的电流遵循欧姆定律，即

$$u= Ri \tag{1-4}$$

电阻元件的功率为

$$P= ui= i^2 R= \frac{u^2}{R} \tag{1-5}$$

1.3.2 电容

电容元件是一种表征电路元件储存电荷特性的理想元件，其原始模型为两块金属极板中间用绝缘介质隔开的平板电容器，如图 1-10 (a) 所示。当在两极板上加上电压后，极板上分别积聚着等量的正、负电荷，在两个极板之间产生电场 (E)。积聚的电荷越多，所形成的电场就越强，电容元件所储存的电场能也就越大。

存储在极板上的电荷量 q 与两极板之间的电压 u 满足代数关系，用 $q-u$ 上的一条曲线 $f_C(q, u)=0$ 描述，如图 1-10 (b) 所示。当这条曲线是一条过原点的直线时，称为线性电容。本课程中若无特别声明，电容元件均指线性电容。

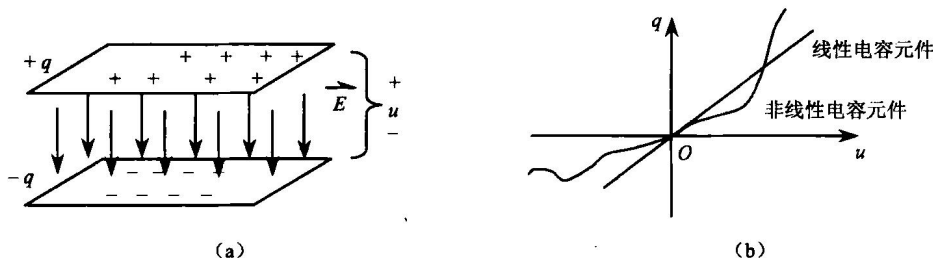


图 1-10 电容元件及其伏安特性

(a) 电容元件的原始模型 (b) 电容元件的伏安特性

电容元件的参数为特性曲线的斜率，记作 C ，称为电容元件的电容（量），单位为法拉 (F)。法拉的单位很大，实用中常采用微法 μF ($10^{-6} F$) 和皮法 pF ($10^{-12} F$)。电容元件的符号如图 1-11 所示。

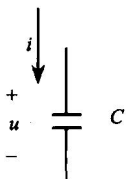


图 1-11 电容元件的符号

$$C= \frac{q}{u} \tag{1-6}$$

当电路中有电流流入电容时，极板上的电荷量 q 将发生变化，电容的端电压 u 也将随之发生变化，根据电流的定义

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = C \frac{du(t)}{dt} \quad (1-7)$$

可知, 在关联参考方向下, 电容元件的电流与其电压的导数(变化率)成正比, 而与电容元件端电压的绝对值无关。这说明电容元件是一种动态元件, 当电容两端电压不随时间变化(即直流)时, 则电压的导数为零, 也就是没有电流流过电容元件。因此, 电容在直流情况下相当于开路, 或者说电容具有隔离直流的作用。需要注意的是, 实际应用时电路不能提供无穷大的充电电流, 所以电容两端电压是不能突变的, 将式(1-7)两边积分可得

$$\begin{aligned} u(t) &= \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(t) dt = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^0 i(t) dt + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt \\ &= u(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt \end{aligned} \quad (1-8)$$

式中, $u(0)$ 为初始值, 即 $t=0$ 时电容两端的电压。这表明, 当前状态下电容元件的电压与电路对电容充电的过去状况有关, 电容元件具有记忆能力, 因此, 将其称为记忆元件。

关联参考方向下, 电容的瞬时功率为

$$p_C(t) = u(t) \cdot i(t) = C \cdot u(t) \frac{du(t)}{dt} \quad (1-9)$$

电容的瞬时功率在数值上有三种情况。

- 1) 电压绝对值增大, $p > 0$, 电容吸收电功率并将电能转化为电场能储存起来。
- 2) 电压绝对值减小, $p < 0$, 电容发出功率, 将储存的电场能转化为电能输出。
- 3) 电压绝对值保持不变, $p = 0$, 此时电容功率为零。

电容是一种储能元件, 可以与电路其他部分之间实现能量的相互转换。理想电容元件在这种转换过程中本身并不消耗能量。

1.3.3 电感

电感元件的原始模型是空心线圈, 如图 1-12 (a) 所示。基本特性是线圈中的磁通量 Φ 与流过线圈的电流 i 满足代数关系, 用 $\Phi-i$ 平面上的一条曲线 $f_L(\Phi, i) = 0$ 描述, 如图 1-12 (b) 所示。当这条曲线是一条过原点的直线时, 这种电感元件称为线性电感元件。本课程中若无特别声明, 电感元件均指线性电感元件。

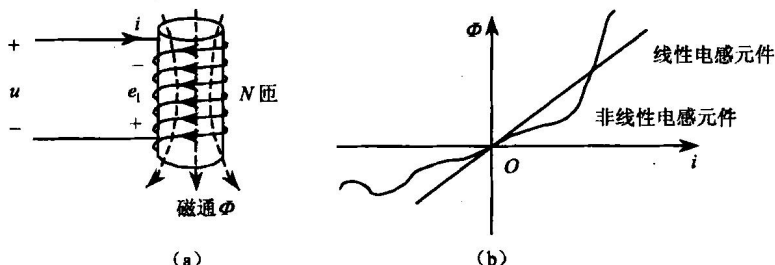


图 1-12 电感元件及其韦安特性

(a) 电感元件的原始模型 (b) 电感元件的韦安特性

电感元件的符号如图 1-13 所示。

电感元件的参数为特性曲线的斜率，记作 L ，称为电感元件的电感（量），单位为亨（利）（H）。亨的单位很大，实用中常采用毫亨 mH (10^{-3}H) 和微亨 μH (10^{-6}H)。

电感的电压、电流关系为

$$u(t) = \frac{d\Phi(t)}{dt} = L \frac{di(t)}{dt} \quad (1-10)$$

式 (1-10) 表明，电感两端的电压与流过电感的电流变化率成正比，而与电流的大小无关，说明电感也是动态元件。当电感电流不变化即为直流电流时，电感两端的电压为零，也就是说，对直流而言，电感相当于短路。电感也是不能突变的。

将式 (1-10) 两边积分，得到电感元件的电流与其端电压的关系为

$$\begin{aligned} i(t) &= \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u(t) dt = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^0 u(t) dt + \frac{1}{L} \int_0^t u(t) dt \\ &= i(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u(t) dt \end{aligned} \quad (1-11)$$

式中， $i(0)$ 是 $t=0$ 时电感中通过的电流，叫初始值。表明当前状态下电感元件的电流与电路加载到电感的过去状况有关，因此，电感元件也是记忆元件。

关联参考方向下，电感的瞬时功率为

$$p_L(t) = u(t) \cdot i(t) = L \cdot i(t) \frac{di(t)}{dt} \quad (1-12)$$

电感的瞬时功率在数值上有三种情况。

- 1) 电流绝对值增大， $p > 0$ ，电感吸收电功率并将电能转化为磁场能储存起来。
- 2) 电流绝对值减小， $p < 0$ ，电感发出功率，将储存的磁场能转化为电能输出。
- 3) 电流绝对值保持不变， $p = 0$ ，此时电感功率为零。

理想电感元件与外部电路之间实现能量转换，转换过程中电感元件本身不消耗能量，即电感是一个无损耗储能元件。

1.3.4 有源电路元件

三种基本电路元件（电阻、电容、电感）都不能主动向电路提供能量，因此称为无源元件。电路中能向外提供能量的电路元件称为有源电路元件，理想的有源电路元件包括电压源和电流源。

1. 理想电压源

理想电压源是一种理想二端元件，不管外部电路状态如何，其端电压总保持定值 U_s 或者是一定的时间函数，而与流过它的电流无关。理想电压源的一般符号及直流伏安特性如图 1-14 所示。

2. 实际电压源

实际电压源等效电路及伏安特性如图 1-15 所

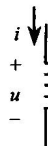


图 1-13 电感的符号

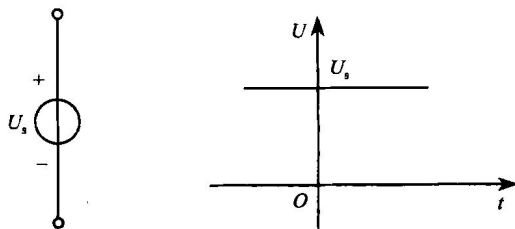


图 1-14 理想电压源符号及伏安特性

示。其端电压受电压源内阻影响而减小，其值为

$$U = U_s - U_{R_s} = U - R_s I \quad (1-13)$$

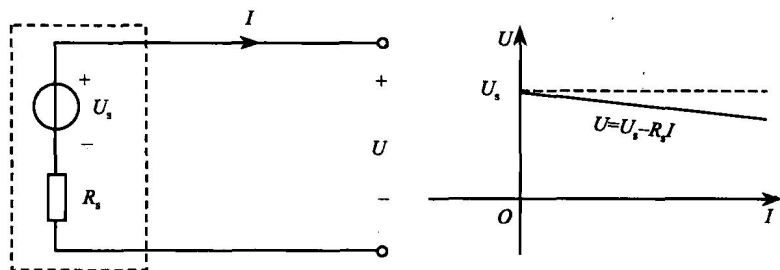


图 1-15 实际电压源等效电路及伏安特性

例 1-3 某电压源的开路电压为 30V，当外接电阻 R 后，其端电压为 25V，此时电路中的电流为 5A，求 R 及电压源内阻 R_s 。

解：根据题意，设电流、电压的参考方向如图 1-16 所示。

由欧姆定律可得

$$R = \frac{U}{I} = \frac{25}{5} = 5 \Omega$$

根据 $U = U_s - IR_s$ 可得

$$R_s = \frac{U_s - U}{I} = \frac{30 - 25}{5} = 1 \Omega$$

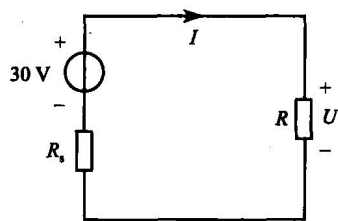


图 1-16 例 1-3 图

3. 理想电流源

理想电流源是另一种理想二端元件，不管外部电路状态如何，其输出电流总保持定值 I_s 或一定的时间函数，而与其端电压无关。理想电流源的一般符号及直流伏安特性如图 1-17 所示。

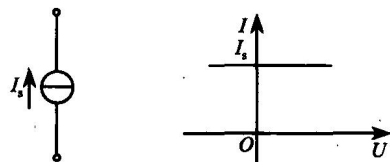


图 1-17 理想电流源符号及伏安特性

4. 实际电流源

实际电流源等效电路及伏安特性如图 1-18 所示。

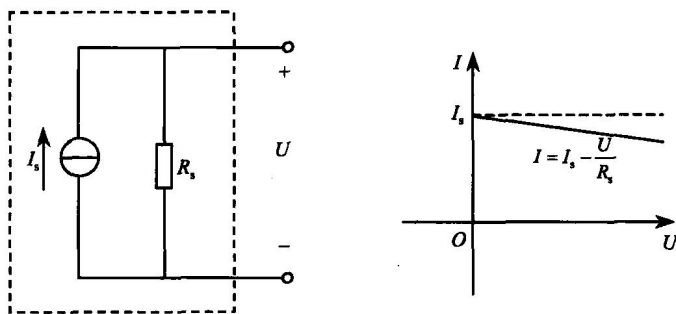


图 1-18 实际电流源等效电路及伏安特性

其输出电流受电流源内阻影响而减小，其值为

$$I = I_s - \frac{U}{R_s} \quad (1-14)$$

例 1-4 在电路图 1-19 中, 试求: 1) 电阻两端的电压; 2) 1 A 电流源两端的电压及功率。

解: 1) 由于 $5\ \Omega$ 电阻与 1 A 电流源相串联, 因此流过 $5\ \Omega$ 电阻的电流就是 1 A, 而与 2 V 电压源无关, 即

$$U_1 = 5 \times 1 = 5\ \text{V}$$

2) 1 A 电流源两端的电压包括 $5\ \Omega$ 电阻上的电压和 2 V 电压源, 因此

$$U = U_1 + 2 = 5 + 2 = 7\ \text{V}$$

$$P = 1 \times 7 = 7\ \text{W}$$

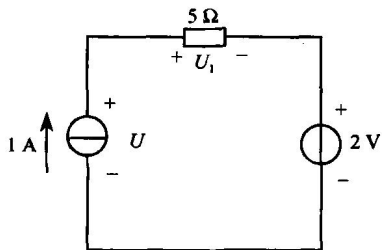


图 1-19 例 1-4 图

1.4 电路的基本工作状态

工作时, 根据所接负载不同, 电路的工作状态分为三种: 开路、短路、负载状态。

1.4.1 开路工作状态

电路外接端未接任何负载, 端电流 $i=0$ (开路) 时, 端口电压由电路内部的电源与结构决定, 称为开路电压, 记作 u_{oc} 或 U_{oc} , 如图 1-20 所示。

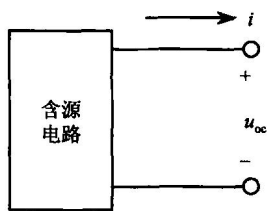


图 1-20 开路工作状态

1.4.2 短路工作状态

电路外接端直接用导线连接, 端口电压 $u=0$ (短路) 时, 端电流由电路内部电源与结构决定, 称为短路电流, 记作 i_{sc} 或 I_{sc} , 如图 1-21 所示。

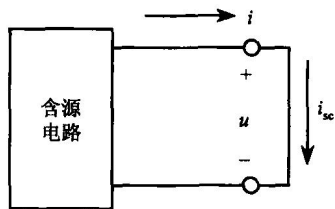


图 1-21 短路工作状态

1.4.3 负载工作状态

当电源接有负载时, 电路中有电流流过, 此时的状态称为负载状态, 如图 1-22 所示。电路中的电流 $I = U_s / (R_s + R_L)$, 实际工作中电源 (包括内阻) 是确定的, 所以电流 I 的值取决于负载电阻 R_L 的大小。当电路中的电流等于电源或供电线的设计容量 (额定电流) 时, 称为满载 (或称额定状态); 当电路中的电流大于额定电流时, 称为过载; 当电路中的电流小于额定电流时, 称为欠载或轻载。一般来说, 电路不宜工作在过载状态, 但短时少量的过载还是可以的, 长时过

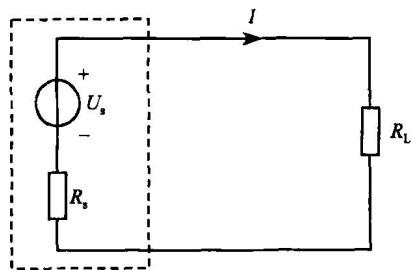


图 1-22 负载工作状态

载则可能引起事故的发生, 是绝不允许的, 所以一般电路中都会接入必要的过载保护装置。

1.5 电气设备的额定值

电气设备长期、安全工作条件下的最高限值称为额定值。

额定电流：电气设备在长期连续运行或规定工作条件下允许通过的最大电流，用 I_n 表示。

额定电压：根据电气设备所用绝缘材料的耐压程度和容许温升等，规定正常工作时的电压，用 U_n 表示。

额定功率：电气设备在额定电压、额定电流下工作时的功率，用 P_n 表示。

电气设备的额定值是根据设计材料及制造工艺等因素，由制造厂家给出的技术数据。使用电气设备时，一定要注意它的额定值，避免出现不正常的情况和发生事故。

例 1-5 有一盏白炽灯，标有 220 V/60 W 的字样，问：

- 1) 能否将其接到 380 V 的电源上使用？
- 2) 若将它接到 125 V 电源上使用，其实际功率为多少？

解：1) 根据白炽灯所标字样，可知白炽灯的额定电压是 220 V，额定功率是 60 W，所以不能将其接到 380 V 的电源上使用，否则会因电压过高而烧毁。

2) 在额定电压下，白炽灯的灯丝电阻为

$$R = \frac{U_n^2}{P_n} = \frac{220^2}{60} = 807 \Omega$$

将它接到 125 V 的电源上时，假设白炽灯的电阻不变，则功率

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{125^2}{807} = 19.4 \text{ W}$$

从以上计算可知，将白炽灯接到 125 V 上时，虽然能安全工作，但亮度不够，实际功率只有 19.4 W，属于轻载工作状态。

1.6 基尔霍夫定律

1.6.1 电路中的几个专有名词

1. 支路

电路中的每一分支称为支路，一条支路流过同一个电流，称为支路电流。图 1-23 中共有五条支路，分别是 ab, bc, cd, cf, be。

2. 节点

节点是电路中三条或三条以上支路的连接点，图 1-23 中有三个节点，即 b 点、c 点、e 点（f 点与 e 点同电位）。

3. 回路

电路中的任意一个闭合路径都是一个回路。图 1-23 中共有六个回路，分别是 abe, bcfe, cdf, abcfe, abcdf, bcdfe。