

D I A N L U Y U D I A N Z I J I S H U



普通高等教育“十四五”系列教材

电路与电子技术

主编 © 陈玲



电子课件



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



普通高等教育“十四五”系列教材

电路与电子技术

主 编 ◎ 陈 玲

副主编 ◎ 肖海霞 黄文慧

参 编 ◎ 胡亚娟 刘 亚 朱纯兵



电子课件



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书电路部分主要讲述电路的基本概念、基本定律及简单电路的分析;直流电路及基本分析法、一般电路的时域分析法;正弦稳态电路、三相交流电路为交流电路的范畴。电子部分介绍了组成电路的常用半导体器件的特性、各种放大电路的工作原理、集成运算放大器的工作原理等模电基础知识。最后是数字电子部分,包括常见的门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路及存储器等内容。

本书是电路与电子技术入门教材,一方面,内容由浅入深、通俗易懂,循序渐进地将各个知识点讲解清楚,引导学生顺利学习并掌握;另一方面,为了让学生掌握每章所讲授的基本内容,在章后增加了习题,用以提高学生的学习兴趣,进而达到让学生刻苦钻研、自觉学习的目的。本书可以作为高校教学的教材,还可供工程技术人员参考。

为了方便教学,本书还配有电子课件等教学资源包,任课老师可以发邮件至 hustpeit@163.com 索取。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术/陈玲主编. —武汉:华中科技大学出版社,2022.6
ISBN 978-7-5680-8552-6

I. ①电… II. ①陈… III. ①电路理论 ②电子技术 IV. ①TM13 ②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 154765 号

电路与电子技术

Dianlu yu Dianzi Jishu

陈 玲 主 编

策划编辑:康 序

责任编辑:狄宝珠

封面设计:孢 子

责任监印:朱 玟

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

电话:(027)81321913

邮编:430223

录 排:武汉三月禾文化传播有限公司

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:20.25

字 数:515千字

版 次:2022年6月第1版第1次印刷

定 价:58.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前言

PREFACE

本书是根据教育部“电路与电子技术”课程教学的基本要求和本科人才培养的规格和特点,并结合现代电路与电子技术的发展趋势而编写的。

本教材的编写特点主要体现在将传统性和实用性相结合。一方面,将必要的理论基础知识系统地组织在一起,满足基础要求;另一方面,结合实用、易学的特点,将不必要的复杂理论推导摒弃,使内容精简,满足内容多学时相对少的要求。在传统理论的基础上,本书注重理论与实际的结合,加强实际应用的内容;所建立的模型来源于实际的认识规律,阐述理想元件的定义与实际器件的辩证关系,并提供一些实物图片;每章均附有习题,以帮助学生更好地掌握本章内容。

本教材结构和体系设计的特点如下:前面章节为电路知识部分:电路基本概念、基本定律及简单电路的分析为全书奠定基础;直流电路及基本分析法、一般电路的时域分析法为进一步学习电路知识打下基础;正弦稳态电路、三相交流电路为交流电路的范畴。电子部分介绍了组成电路的常用半导体器件特性分析、各种放大电路的工作原理、集成运算放大器等模电基础知识。最后是数字电子部分,包括了常见的门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路及存储器等数电知识,联系紧密,各成一章。

在编写时,力求突出重点,基本概念明确清晰,努力贯彻教材要少而精和理论联系实际的精神。在章末都附有一定数量的习题,帮助读者加深对课程内容的理解。在习题的选择上充分考虑其针对性、启发性和实用性,充分体现教学要求。使读者能够学、练结合,以帮助读者进一步正确消化、理解和巩固所学理论知识,增强应用能力。部分习题有一定的深度,以使读者在深入掌握课程内容的基础上扩展知识。使读者能够分层次逐步把理论与实际应用紧密结合起来,既能帮助提高读者的理解能力,又能培养读者的学习兴趣。

本书由武汉晴川学院陈玲担任主编,武汉晴川学院肖海霞和黄文慧担任副主编。全书共12章,其中,陈玲编写第1、4、5、6、7、8章,肖海霞编写第2、3章,黄文慧编写第9、10、11、12章,胡亚娟、刘亚、朱纯兵老师协助进行了资料编写的整理工作。

为了方便教学,本书还配有电子课件等教学资源包,任课老师可以发邮件至 hustpeiit@163.com 索取。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥和错误之处,敬请使用本教材的教师、学生以及其他读者批评指正。

编者

2022年2月

目录

CONTENTS

第1章 电路基本概念、基本定律及简单电阻电路的分析/1

- 1.1 电路和电路模型/1
- 1.2 电流/3
- 1.3 电压/4
- 1.4 功率和电能/5
- 1.5 电阻元件和欧姆定律/6
- 1.6 电压源和电流源/8
- 1.7 受控源/10
- 1.8 基尔霍夫定律/11
- 1.9 简单电阻电路的分析/13

第2章 直流电路及基本分析法/27

- 2.1 电路的拓扑关系/27
- 2.2 电路的 KCL、KVL 方程的独立性/29
- 2.3 支路电流法/30
- 2.4 网孔电流法和回路电流法/32
- 2.5 节点电压法/36
- 2.6 线性电路/39
- 2.7 叠加定理/40
- 2.8 替代定理/43
- 2.9 戴维南定理和诺顿定理/44
- 2.10 最大功率传输/48

第3章 一般电路的时域分析法/53

- 3.1 动态电路的方程及其初始条件/53
- 3.2 一阶电路的零输入响应/55
- 3.3 一阶电路的零状态响应/60
- 3.4 一阶电路的全响应/62

第4章 正弦交流电路/68

- 4.1 正弦交流电路的基本概念/68
- 4.2 正弦量的相量表示法/74
- 4.3 单一参数的正弦交流电路/77
- 4.4 基尔霍夫定律的相量形式/86
- 4.5 复阻抗、复导纳及其等效变换/88
- 4.6 电阻、电感与电容元件串联的交流电路/92
- 4.7 电阻、电感与电容元件并联的交流电路/96
- 4.8 正弦交流电路的功率/101
- 4.9 功率因数的提高/104

第5章 三相交流电路/110

- 5.1 三相电源及其连接方式/110
- 5.2 三相负载的连接及其电压、电流

关系/113

5.3 三相电路的功率/117

第6章 半导体器件基础/122

6.1 半导体基础知识/122

6.2 半导体二极管/128

6.3 晶体三极管/134

6.4 场效应晶体管/145

第7章 放大电路基础/155

7.1 放大的概念/155

7.2 基本共发射极放大电路的组成/159

7.3 基本共发射极放大电路的静态分析/161

7.4 基本共发射极放大电路的动态分析/165

7.5 静态工作点的稳定及其偏置电路/179

第8章 集成运算放大器及其应用/188

8.1 集成电路与运算放大器简介/188

8.2 差动放大电路/194

8.3 反馈在集成运放中的应用/198

8.4 集成运放的应用/208

第9章 数字逻辑基础/227

9.1 数制与编码/227

9.2 逻辑代数及运算/233

9.3 逻辑代数的基本公式和运算规则/238

9.4 逻辑函数的表示方法/240

9.5 逻辑函数的化简/242

9.6 逻辑门电路/245

第10章 组合逻辑电路/253

10.1 组合逻辑电路的分析和设计/253

10.2 常用中规模集成组合逻辑电路部件/258

10.3 组合逻辑电路的竞争和冒险/270

第11章 触发器和时序逻辑电路/276

11.1 触发器/276

11.2 时序逻辑电路的基本概念/285

11.3 时序逻辑电路的分析与设计/285

11.4 中规模时序逻辑电路的分析/289

第12章 数/模和模/数转换/303

12.1 概述/303

12.2 D/A转换器/304

12.3 A/D转换器/308

参考文献 /317

第 1 章

电路基本概念、基本定律及简单电阻电路的分析

随着科学技术的飞速发展,现代电工电子设备种类日益繁多,规模和结构更是日新月异,但无论怎样设计和制造,几乎都是由各种基本电路组成的。所以,学习电路的基础知识,掌握分析电路的规律与方法,是学习电路部分的重要内容,也是进一步学习电子技术的基础。本章的重点是学习有关电路的基本概念、基本变量、基本元件特性、电路基本定律和简单电阻电路的分析。

1.1 电路和电路模型

◆ 1.1.1 电路的概念

1. 电路及其组成

简单地讲,电路是电流通过的路径。实际电路通常由各种电路实体部件(如电源、电阻器、电感线圈、电容器、变压器、仪表、二极管、三极管等)组成。每一种电路实体部件具有各自不同的电磁特性和功能,按照人们的需要,把相关电路实体部件按一定方式进行组合,就构成了一个个电路。如果某个电路元器件数很多且电路结构较为复杂时,通常又把这些电路称为电网络。

手电筒电路、单个照明灯电路是实际应用中较为简单的电路,而电动机电路、雷达导航设备电路、计算机电路、电视机电路是较为复杂的电路,但不管简单还是复杂,电路的基本组成部分都离不开三个基本环节:电源、负载和中间环节。

电源是向电路提供电能的装置。它可以将其他形式的能量,如化学能、热能、机械能、原子能等转换为电能。在电路中,电源是激励,是激发和产生电流的因素。负载是取用电能的装置,其作用是把电能转换为其他形式的能(如:机械能、热能、光能等)。通常在生产与生活中经常用到的电灯、电动机、电炉、扬声器等用电设备,都是电路中的负载。中间环节在电路中起着传递电能、分配电能和控制整个电路的作用。最简单的中间环节即开关和连接导线;一个实用电路的中间环节通常还有一些保护和检测装置。复杂的中间环节可以是由许多电路元件组成的网络系统。

如图 1-1 所示的手电筒照明电路中,电池作电源,灯作负载,导线和开关作为中间环节将灯和电池连接起来。

2. 电路的种类及功能

工程应用中的实际电路,按照功能的不同可概括为两大类:一是完成能量的传输、分配

和转换的电路,如图 1-1 所示,电池通过导线将电能传递给灯,灯将电能转化为光能和热能。这类电路的特点是大功率、大电流;二是实现对电信号的传递、变换、储存和处理的电路,如图 1-2 所示,它展现了一个扩音机的工作过程。话筒将声音的振动信号转换为电信号即相应的电压和电流,经过放大处理后,通过电路传递给扬声器,再由扬声器还原为声音。这类电路的特点是小功率、小电流。

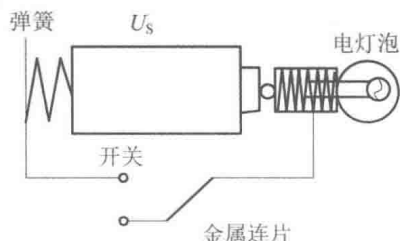


图 1-1 手电筒照明实际电路

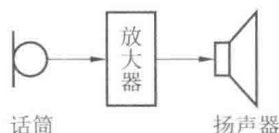


图 1-2 扩音机电路

◆ 1.1.2 电路模型

实际电路的电磁过程是相当复杂的,难以进行有效的分析计算。在电路理论中,为了方便实际电路的分析和计算,我们通常在工程实际允许的条件下对实际电路进行模型化处理,即忽略次要因素,抓住足以反映其功能的主要电磁特性,抽象出实际电路器件的“电路模型”。

例如电阻器、灯泡、电炉等,这些电气设备接收电能并将电能转换成光能或热能,光能和热能显然不可能再回到电路中,因此我们把这种能量转换过程不可逆的电磁特性称之为耗能。这些电气设备除了具有耗能的电磁特性,当然还有其他一些电磁特性,但在研究和分析问题时,即使忽略其他那些电磁特性,也不会影响整个电路的分析和计算。因此,我们就可以用一个只具有耗能电磁特性的“电阻元件”作为它们的电路模型。

我们将实际电路器件理想化而得到的只具有某种单一电磁性质的元件,称为理想电路元件,简称为电路元件。每一种电路元件体现某种基本现象,具有某种确定的电磁性质和精确的数学定义。常用的有表示将电能转换为热能的电阻元件、表示电场性质的电容元件、表示磁场性质的电感元件及电压源元件和电流源元件等,其电路符号如图 1-3 所示。本章后面将分别讲解这些常用的电路元件。

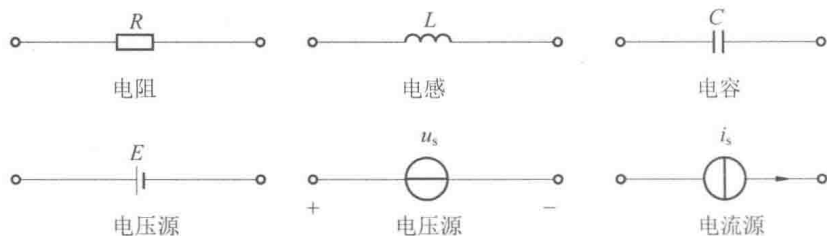


图 1-3 理想电路元件的符号

我们把由理想电路元件相互连接组成的电路称为电路模型。如图 1-1 所示,电池对外提供电压的同时,内部也有电阻消耗能量,所以电池用其电动势 E 和内阻 R_0 的串联表示;灯除了具有消耗电能的性质(电阻性)外,通电时还会产生磁场,具有电感性。但电感微弱,可忽略不计,于是可认为灯是一电阻元件,用 R_L 表示。图 1-4 是图 1-1 的电路模型。

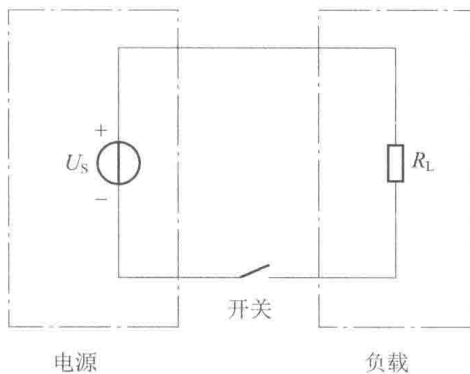


图 1-4 手电筒电路的电路模型

1.2 电流

1.2.1 电流的参考方向

1. 实际方向

电流就是电荷的流动。规定正电荷流动的方向为电流的实际方向,实际上电路中流动的是电子,因为带正电的原子核是不能移动的。但是人们仍然沿用正电荷流动的方向为电流的方向。

2. 参考方向

为了便于分析,通常假设出电流的方向,将这个假设的方向称为电流的参考方向,如图 1-5 所示。



图 1-5 电流的参考方向

3. 电流值

实际方向与参考方向相同,电流值为正值;实际方向与参考方向相反,电流值为负值。

图 1-5 中的长方框表示一个二端元件。假设流过这个元件的电流的参考方向为由 a 到 b 。如果计算得到 $i > 0$,说明实际电流也是从 a 流到 b ;如果计算得到 $i < 0$,说明实际电流从 b 流到 a (和假设相反)。

1.2.2 电流的定义

1. 电流

电流是电荷随时间的变化率,单位为安培(A)。电流定义的数学表达式为

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

式中: q 表示电荷; t 表示时间(单位为秒,s)。

2. 直流电流

如果电荷随时间的变化率是常数,称此电流为直流(DC, direct current),则 $i(t) = I$,如图 1-6(a)所示,如电池所提供的电流为直流。

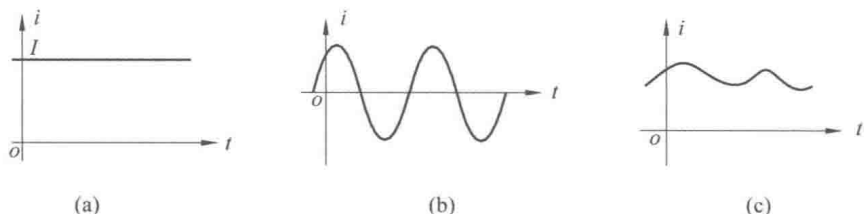


图 1-6 电流的波形

3. 正弦交流

如果电荷随时间的变化率是以正弦规律变化的,称此电流为正弦交流(AC, alternating current),简称为交流,如图 1-6(b)所示。

4. 电流的表示方法

如果电荷随时间的变化率是任意的,则可用对应的时间函数来表示这样的电流,即 $i(t) = f(t)$,如图 1-6(c)所示。

1.3 电压

◆ 1.3.1 电压的定义

1. 电压

电压等于将单位正电荷由 a 点移到 b 点电场力所做的功,单位为伏特(V)。如果电场力是时间的函数,则电压也是时间的函数,其数学表达式为

$$u_{ab}(t) = \frac{d\omega}{dq} \quad (1-2)$$

式中: ω 表示能量,单位为焦耳(J); q 表示电荷,单位为库仑(C)。1 伏特表示 1 牛顿(N)的力可以将 1 库仑的电荷移动 1 米(m)。

电压也称为电位差,如果 $u_{ab}(t) > 0$ 说明在 t 时刻 a 点的电位比 b 点的电位高, $u_{ab}(t) < 0$ 说明 t 时刻 a 点的电位比 b 点的电位低, $u_{ab}(t) = 0$ 说明 t 时刻 a 点和 b 点的电位是相等的,即等电位。

2. 直流电压及交流电压

如果电场力不随时间变化,则电场力所做的功也不随时间变化,此时的电压为常数,可表示为 $u_{ab}(t) = U$,该电压称为直流(DC)电压。当电压随时间按正弦规律变化则称为交流(AC)电压。电压也可以随时间任意变化。

◆ 1.3.2 电压的参考方向

在分析电路前,首先假设出电路中两点间电压的正方向(从高电位指向低电位),将这个假设的方向称为该电压的参考方向。如图 1-7(b)所示为电路中连接到 a 、 b 两点的二端元件,假设电压的参考方向为 u_{ab} 。如果计算得到 $u_{ab} > 0$,说明在 t 时刻电压的参考方向和实际方向相同;如果得到 $u_{ab} < 0$,说明 t 时刻电压的参考方向和实际方向相反。为简单起见,电路中两点间的电压也可以用箭头来表示,如图 1-7(c)所示。

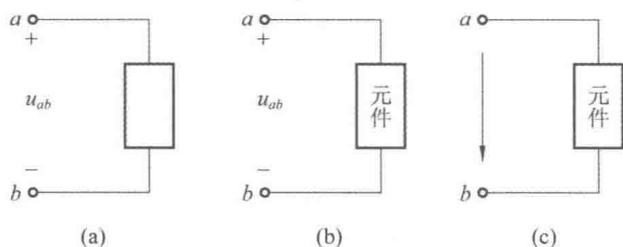


图 1-7 电压的定义与参考方向

电流和电压是电路中两个最为基本的物理量或变量。电流和电压变量既可以表示能量,也可以表示信息。在通信等用于信息传输的系统中,主要考虑电流、电压所携带的信息。在信息传输的系统中通常将电流、电压变量称为电流信号或电压信号。

1.4 功率和电能

1.4.1 电功率的定义

功率是能量随时间的变化率,即

$$p(t) = \frac{d\omega}{dt} \quad (1-3)$$

式中: $p(t)$ 表示功率,单位为瓦(W); ω 表示能量,单位为焦耳(J); t 表示时间,单位为秒(s)。给式(1-3)的分子分母同乘 dq ,则

$$p(t) = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = u(t)i(t) \quad (1-4)$$

可见,功率是电压和电流的乘积,当电压、电流是时间的函数时,功率也是时间的函数,即功率 $p(t)$ 是随时间变化的,该功率称为瞬时功率。

当电压、电流不随时间变化(DC)时,功率也不随时间变化,则 $p(t) = P = UI$ 为定值。

由电压的定义可知, u_{ab} 表示电场力将正电荷从 a 点移到 b 点,电场力在做正功。由电流的定义可知,电流 i 的方向也是正电荷流动的方向。所以,功率的表达式(1-4)中的功率为正功率,即吸收的功率。

1.4.2 电压、电流的关联参考方向

关联:如果给出电压的参考方向为 u_{ab} ,即假设 a 点的电位比 b 点的电位高,正电荷从 a 流到 b ;如果假设功率为正,则电流的参考方向必须由 a 到 b 。对于这种电流、电压在参考方向假设上的相互制约称为关联参考方向。

不关联:如果电流、电压的参考方向不满足上述制约关系,称为不关联,则此时有

$$p(t) = -u(t)i(t) \quad (1-5)$$

此式仍然满足电场力做正功(功率为正)的思想。如图1-8(a)中电压、电流是关联参考方向,而图1-8(b)中电压、电流则不关联。

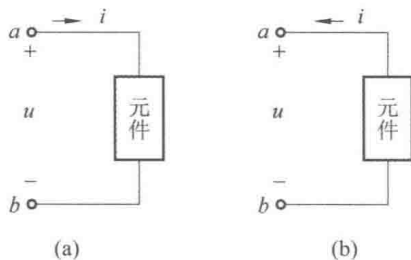


图 1-8 电压、电流的关联参考方向

由式(1-4)和式(1-5)可知,功率也有正有负,即 $p = \pm ui$ 。如果 $p > 0$,说明元件在吸收功率(见图 1-4);如果 $p < 0$,说明元件在吸收负功率即释放(发出)功率。式(1-4)和式(1-5)是假设元件处于吸收功率的状态。

◆ 1.4.3 功率守恒与电能的计算

根据能量守恒定律,在一个完整的电路中,任一瞬时所有元件吸收功率的代数和等于零,即

$$\sum p(t) = 0 \quad (1-6)$$

由此可见,一个电路中吸收功率之和等于释放功率之和。

根据式(1-4),一个元件从 t_0 时刻到 t 时刻吸收或释放的电能为

$$w(t) = \int_{t_0}^t p(\xi) \, d\xi = \int_{t_0}^t u(\xi)i(\xi) \, d\xi \quad (1-7)$$

在实际中电能的度量单位为度,即

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

例 1-1 已知某二端元件的端电压为 $u(t) = 50\sin(10\pi t) \text{ V}$,流入元件的电流为 $i(t) = 2\cos(10\pi t) \text{ A}$,设电压、电流为关联参考方向,求该元件吸收瞬时功率的表达式,并求 $t = 10 \text{ ms}$ 和 $t = 80 \text{ ms}$ 时瞬时功率的值。

解 由式(1-4),有

$$p(t) = u(t)i(t) = 50\sin(20\pi t) \text{ W}$$

当 $t = 10 \text{ ms}$ 和 $t = 80 \text{ ms}$ 时

$$p(10 \times 10^{-3}) = 50\sin(20\pi \times 10 \times 10^{-3}) \text{ W} = 29.38 \text{ W}$$

$$p(80 \times 10^{-3}) = 50\sin(20\pi \times 80 \times 10^{-3}) \text{ W} = -47.59 \text{ W}$$

计算结果说明,在 $t = 10 \text{ ms}$ 时该元件从外界吸收功率,在 $t = 80 \text{ ms}$ 时该元件向外界释放功率。

1.5 电阻元件和欧姆定律

◆ 1.5.1 电阻元件与欧姆定律

1. 理想电阻

理想电阻是一个二端元件,记为 R 。当电流流过材料时,材料中消耗电能的现象可以用理想电阻 R 来表示,它是从实际元件中抽象出的集总参数的电路元件模型。

2. 欧姆定律

欧姆定律(Ohm's law)表明电阻两端的电压和流过它的电流成正比,比例系数就是电阻的电阻值。

当电压、电流为关联参考方向时,在任一瞬时电阻两端电压和流过其电流之间的关系为

$$u(t) = Ri(t) \quad (1-8)$$

或

$$R = \frac{u(t)}{i(t)} \Big|_{t=t_0} \quad (1-9)$$

式(1-9)表明,在任一时刻 t_0 ,电阻两端电压和电流的比值为电阻值。当电压的单位为伏(V),电流的单位为安(A),则电阻的单位为欧姆(Ω)。

◆ 1.5.2 线性电阻的伏安特性、开路与短路的概念

1. 线性电阻

在任何时刻,如果式(1-9)的比值为常数,称该电阻为线性电阻,如图 1-9 所示。



图 1-9 线性电阻的符号和伏安特性

如果电阻上电压、电流的参考方向是非关联的,则欧姆定律表达式为

$$u(t) = -Ri(t) \quad (1-10)$$

式中负号的意思说明假设与实际相反。在分析电路时这点要特别注意。

电阻也可以用另一个参数表示,即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-11)$$

式中: G 称为电导(参数),单位为 S(西门子),此时欧姆定律变为

$$i(t) = Gu(t) \quad (1-12)$$

2. 开路

线性电阻有两种极端情况。一种是当 $R = \infty (G = 0)$ 时,无论电阻两端的电压多大,流过电阻的电流恒为零,该情况称为开路,其伏安特性如图 1-10(a) 所示。

3. 短路

当 $R = 0 (G = \infty)$ 时,无论流过电阻的电流多大,它两端的电压恒为零,此时称为短路,其伏安特性如图 1-10(b) 所示。

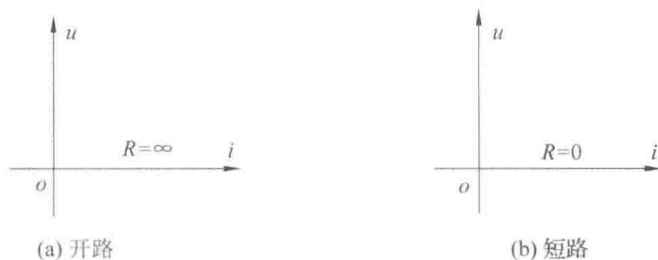


图 1-10 开路和短路的伏安特性

◆ 1.5.3 电阻元件上的功率与能量

当电阻上电压和电流取为关联参考方向时,根据式(1-4)和式(1-8),有

$$p(t) = u(t)i(t) = Ri^2(t) = \frac{u^2(t)}{R} = Gu(t) = \frac{i^2(t)}{G} \quad (1-13)$$

若电阻 R (或电导 G) 是正实数 ($R > 0$, 正电阻), 则 $p(t) > 0$, 说明电阻是一个耗能元件, 也是一种无源元件。如果电阻 $R < 0$ (负电阻), 则 $p(t) < 0$, 则电阻耗的功率为负值, 说明这种电阻向外界输出功率, 可见负电阻是一种有源元件。用电子电路可以实现负电阻。除非特别声明, 今后提到的电阻均为正电阻。

从 t_0 到 t 电阻元件所消耗的电能为

$$w(t) = \int_{t_0}^t Ri^2(\xi) d\xi \geq 0 \quad (1-14)$$

由此可见, 在任何时间段电阻从不向外界提供能量, 进一步说明电阻是一种无源元件。

例 1-2 已知一个阻值为 51Ω 的碳膜电阻接入电源电压为 12 V 的直流电源上, 求流过该电阻的电流和所消耗的功率。

解 由欧姆定律可知, 电流

$$i = \frac{u}{R} = \frac{12}{51} \text{ A} = 0.24 \text{ A}$$

所消耗的功率为

$$p = \frac{u^2}{R} = \frac{12^2}{51} \text{ W} = 2.82 \text{ W}$$

1.6 电压源和电流源

◆ 1.6.1 电压源的概念与伏安特性

如果用电压变量表示理想电源产生的能量的能力或信息的变化, 则这种理想电源称为电压源元件, 简称电压源。电压源为二端有源元件。

电压源两端的电压 $u(t)$ 为

$$u(t) = u_s(t) \quad (1-15)$$

电压源的符号如图 1-11(a) 所示, 正负号表示其参考方向。当 $u_s(t) = U_s$ 时, 说明电压源的电压不随时间变化, 称为直流电压源, 符号如图 1-11(b)、(c) 所示。

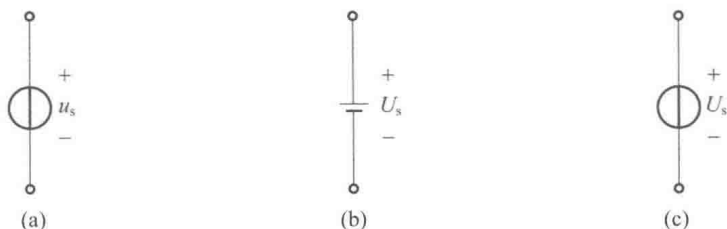


图 1-11 电压源的符号

当电压源和外电路相连时, 如图 1-12 所示, 电压源的电压 $u(t) = U_s$ 是不随时间变化的, 电流由外电路决定。

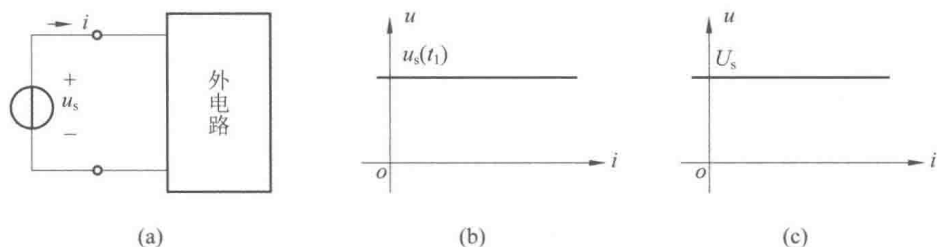


图 1-12 电压源的伏安特性

◆ 1.6.2 电流源的概念与伏安特性

如果用电流变量表示理想电源产生的能量的能力或信息的变化,则这种理想电源称为电流源元件,简称为电流源。电流源发出的电流 $i(t)$ 为

$$i(t) = i_s(t) \quad (1-16)$$

电流源的符号如图 1-13(a)所示,箭头表示其参考方向。

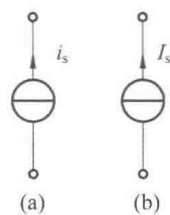


图 1-13 电流源的符号

当 $i_s(t) = I_s$ 时,电流源的电流不随时间变化,称为直流电流源,符号如图 1-13(b)所示。电流源为二端有源元件。

当电流源和外电路相连时,如图 1-14 所示,电流源的电流 $i(t) = I_s$ 不随时间变化,电压由外电路决定。

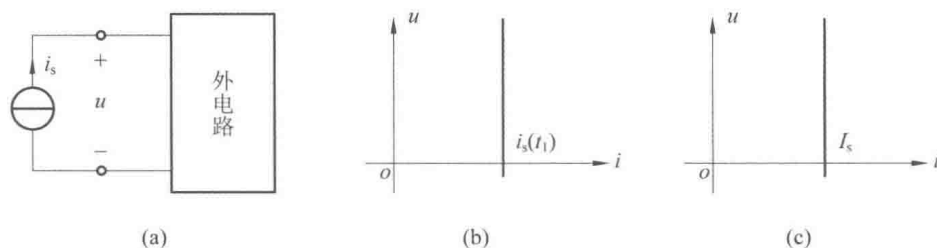


图 1-14 电流源的伏安特性

◆ 1.6.3 电压源和电流源的功率

在图 1-12(a)中,由于电压源的电压和电流的参考方向是非关联的,则电压源吸收的功率为

$$p(t) = -u_s(t)i(t) \quad (1-17)$$

电压源发出的功率为

$$p = u_s(t)i(t) \quad (1-18)$$

由于图 1-14(a)中电流源电压和电流的参考方向是非关联的,则它吸收的功率为

$$p(t) = -u(t)i_s(t) \quad (1-19)$$

则电流源发出的功率为

$$p(t) = u(t)i_s(t) \quad (1-20)$$

电压源的端电压和电流源发出的电流与电路中的其他电量无关,也就是说,电压源的电压和电流源的电流独立于电路中的其他变量,所以称它们为独立电源。由于它们能产生能量,所以又称为有源元件。

1.7 受控源

◆ 1.7.1 受控源的定义

电路中有这样一类现象,即某些变量(电压或电流)随电路中的其他变量(电压或电流)变化,或者说它们受其他变量控制,这类现象可以用理想电源元件来表示。由于这些元件的端电压或发出的电流是受其他电量控制的,所以称它们为受控源或非独立电源。

例如,在给晶体三极管和运算放大器建模时,其中的电流或电压之间就存在着控制和被控制的关系。这类控制关系可以用受控源表示。

◆ 1.7.2 四种线性受控源

理想受控源有四种类型,即电压控制的电压源(VCVS, voltage controlled voltage source)、电压控制的电流源(VCCS, voltage controlled current source)、电流控制的电压源(CCVS, current controlled voltage source)和电流控制的电流源(CCCS, current controlled current source)。它们的符号分别如图 1-15(a)、(b)、(c)、(d)所示。为了和独立源区别,受控源符号用菱形表示。

在图 1-15 中, u_1 和 i_1 是控制量, u 和 i 是被控量, μ 、 g 、 r 和 β 分别是各自受控源的控制系数。其中 μ 和 β 是无量纲的量, g 具有电导的量纲, r 具有电阻的量纲。若系数 μ 、 g 、 r 和 β 为常数,则被控量和控制量为线性关系,这类受控源称为线性受控源。若系数 μ 、 g 、 r 和 β 不是常数(如随控制量变化),则被控量和控制量为非线性关系,这类受控源称为非线性受控源。本书只考虑线性受控源。

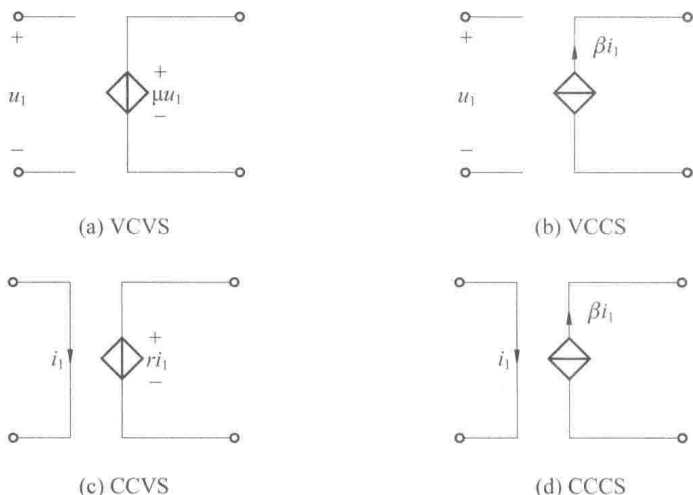


图 1-15 受控源的符号

由于受控源同样能给外电路提供能量,所以也称之为有源元件。

例 1-3 图 1-16 是由单个晶体三极管组成放大器的等效电路,已知 $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, 输入电压 $u_1(t) = 50\sin(1000t) \text{ mV}$, 求放大器的输出电压 $u_o(t)$ 。

解 由图 1-16 可知

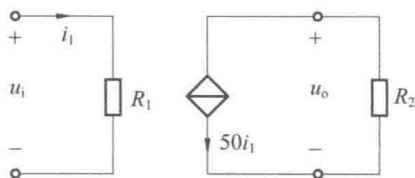


图 1-16 例 1-3 图

$$i_1(t) = u_i(t)/R_1 = [50\sin(1000t)]/(1 \times 10^3) \text{ mA} = 0.05\sin(1000t) \text{ mA}$$

$$u_o(t) = -50R_2i_1 = -50 \times 2 \times 10^3 \times 0.05 \times 10^{-3} \sin(1000t) \text{ V} = -5\sin(1000t) \text{ V}$$

1.8 基尔霍夫定律

本节介绍电路中最为重要的两个定律,即基尔霍夫电流定律(KCL, Kirchhoff's current law)和基尔霍夫电压定律(KVL, Kirchhoff's voltage law)。

◆ 1.8.1 支路、结点和回路的概念

1. 支路

在电路中,一个二端元件称为一条支路(branch)。流经支路的电流和支路两端电压分别称为支路电流和支路电压,它们是电路分析中最基本的电路变量。图 1-17 是由 5 个元件连接而成的电路,所以它有 5 条支路。常把多个二端元件串联的部分也称为一条支路,图 1-17 中的元件 C、D 和 E 是一条支路,因为其中流过同一电流,这样图中支路可简化为 3 条。

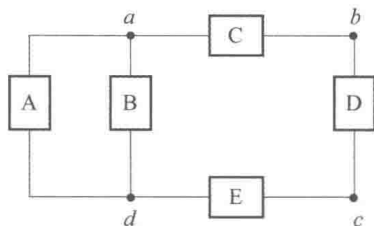


图 1-17 支路、结点和回路

2. 结点

两个或两个以上支路的连接点称为结点(node)。在图 1-17 中,连接点 a 、 b 、 c 和 d 皆为结点。如果按 3 条支路计则结点就减少到 2 个,即结点 a 和 d 。

3. 回路

由支路构成的闭合路径称为回路(loop)。在图 1-17 中有 3 个闭合路径,即 A、B 元件构成一个回路,A、C、D 和 E 元件构成一个回路,B、C、D 和 E 元件也构成一个回路。

◆ 1.8.2 基尔霍夫电流定律(KCL)

1. 基本 KCL

对于集总参数电路中的任一结点,在任一瞬时,流入(或流出)该结点所有支路电流的代数和为零,即

$$\sum_{k=1}^N i_k(t) = 0 \quad (1-21)$$

式中: $i_k(t)$ 为流入(或流出)该结点的第 k 条支路的电流; N 为和该结点相连的支路总数。代数和为零说明如果假设流入该结点的电流为“+”,则流出该结点的电流就为“-”。

例如图 1-18 所示为电路中的一个结点,设流出该结点的电流为正,流入的电流为负,则