

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANGONG DIANZI JISHU

电工电子技术

李海 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANGONG DIANZI JISHU
电工电子技术

主 编 李 海
编 写 宋元胜 崔 雪
张志毅 黎文安
主 审 曾建唐 李守成



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

全书共3篇11章,内容由电路分析基础、电子技术基础和电工电子技术应用三篇组成。其中:电路分析基础篇包括电路元器件及其基本定律、电路定理及分析方法、正弦交流电路;电子技术基础篇包括基本放大电路、集成运算放大电路、数字集成电路等;电工电子技术应用篇包括信号发生器及变换电路、电测技术及数据采集系统、电力电子技术基础、变压器和电动机及电气自动控制技术等。

本书可作为高等院校非电类不同专业的“电工及电子技术”、“电路及电子技术”、“电工电子学”或“应用电子学”等课程的本科教材,也可供其他相关专业师生以及工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/李海主编. —北京:中国电力出版社,2007.6
普通高等教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-5083-5417-0

I. 电... II. 李... III. ①电工技术—高等学校—教材
②电子技术—高等学校—教材 IV. TM TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第045502号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂

各地新华书店经售

*

2007年6月第一版 2007年6月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 26印张 633千字
印数 0001—3000册 定价 36.80元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

人们在生活、学习和生产实践中,对电工电子技术知识的需求正日益渗透到人类社会实践的各个领域。为了适应社会需求和教学改革的需要,我们以教育部最新颁布的高等学校工科本科基础课程“电工学”教学基本要求作为依据,结合教学改革的实践和需要,对传统的体系结构做了适当的整合,将电工技术和电子技术相互贯通,并以电路分析、电子技术和电工电子技术应用三大模块式结构组成《电工电子技术》一书。本书属于电工学系列教材,它适用于非电类不同专业的“电工及电子技术”、“电路及电子技术”、“电工电子学”或“应用电子学”等课程的教学。

本书编写的指导思想是,在内容上既考虑到电子信息技术的迅速发展,又考虑到它在非电类专业越来越广泛的应用,因此编写时既覆盖了教学基本要求所规定的全部内容,又增添了一些拓宽和加深的內容,以便满足非电类各专业的需要;在阐述上由浅入深,循序渐进,使之符合人们认识客观事物的规律,便于自学;适当反映了现代科学技术发展的新成就,并注意加强知识的综合和系统的概念,力求保证基础、体现先进、加强应用,处理好基础性、先进性和应用性的关系。在体系上本书注意各部分章节的有机联系,加强了各主要部分内容的逻辑性,便于读者应用和科技创新能力的培养。

本书的特点是将电工技术和电子技术相互贯通,精选和压缩传统内容,跟踪新技术的发展,强调电子技术应用和新技术的介绍;在内容组织上各模块既具有其独立性又注意不同组合时模块间的逻辑衔接关系,以便于不同专业的使用。本教材具有足够大的信息量,希望能为教师提供丰富的教学内容和选择的余地,也有利于开拓学生眼界和思路,便于学生自学。

本教材的内容除覆盖全部教学基本要求外,还充分考虑培养面向 21 世纪人才所必须具备的基础扎实、知识面宽、能力强和素质高的特点。为此,我们注意下列几点:

(1) 重点保证“三基”,即基本理论、基本知识和基本技能方面的内容,从分立元件入手,建立概念,而重点放在集成电路。加强基本分析方法和集成电路芯片的使用,注重“三基”的培养和训练。

(2) 尽可能反映现代电子技术的新成果、新技术,如零输入和零状态网络的引入,电力电子技术章节的设置,变频技术的介绍,电动机的变频调速及在“存储器”一章中增加了磁盘存储器和光盘存储器等内容,使教材的内容尽可能跟上时代发展的步伐。

(3) 突出电子技术的应用知识,主要体现在三个方面:①从应用角度出发,重点介绍各种常用集成电路芯片的功能和使用方法;②与计算机应用相适应,加强接口电路的内容,如电压比较器,数/模、模/数转换器等。

(4) 为了便于教与学,书中配有多种类型的例题和习题。例题是联系实际的典型例子,用来巩固基本知识和扩展基本内容,多数不必讲述,让学生自学理解。各章的习题大致可分为三种类型:一是在“基本要求”范围内的习题,用于加强概念,理解、掌握“基本要求”的内容;二是较难题,用于加深理解,起到举一反三之功用;三是接近实际的应用题,用于开拓学生视野,掌握实际应用知识。

全书包括电路分析基础、电子技术基础和电工电子技术应用3篇共11章,第1、2、3、5、8、9、11章及第6章6.1~6.4由李海编写,第4章由宋元胜编写,第6章6.5~6.8由张志毅编写,第7章由黎文安编写,第10章由崔雪编写。

本书由曾建唐教授审阅全稿,李守成教授审阅大纲,并提出了宝贵的意见和修改建议;在编写过程中,还得到武汉大学教务部和电工学课程组同志的关心和大力支持。在此,对主审及关心帮助本书出版的同志和单位一并致以诚挚的谢意。另外,本书在编写过程中参考和引用了许多同仁的优秀成果,在此对参考资料和成果的原作者,表示衷心的感谢。

由于编者学识水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请使用本书的教师、学生以及其他读者批评指正。

编者

2006年11月于武汉大学

目 录

前言

电路分析基础篇

第1章 电路元器件及其基本定律	1
1.1 电路及其基本物理量	1
1.2 电路基本元件	3
1.3 电路基本定律	8
1.4 元件连接及等效简化	11
1.5 半导体二极管	17
1.6 双极型晶体管	24
1.7 绝缘栅型场效应管	28
1.8 半导体光电器件	32
习题	34
第2章 电路定理及分析方法	38
2.1 电位计算及电路简化表示	38
2.2 网络等效变换	39
2.3 电路一般分析方法	41
2.4 分解法及端口网络	45
2.5 电路定理	49
2.6 一阶电路分析	57
习题	71
第3章 正弦交流电路	76
3.1 正弦量及其表示	76
3.2 电路约束的相量形式	82
3.3 复阻抗与复导纳	85
3.4 正弦稳态分析的相量法	90
3.5 正弦交流电路的功率	94
3.6 三相电路	101
3.7 非正弦交流电路	109
3.8 交流电路的频率特性	115
习题	125

电子技术基础篇

第4章 基本放大电路	129
4.1 放大器及技术参数	129
4.2 共发射极放大电路	131

4.3	射极输出器	141
4.4	场效应晶体管共源极放大电路	144
4.5	多级放大电路	146
	习题	157
第5章	集成运算放大器	161
5.1	集成运算放大器简介	161
5.2	放大电路中的负反馈	164
5.3	集成运放在信号运算方面的应用	170
5.4	集成运放在信号处理方面的应用	178
5.5	集成运放的选择和使用	184
	习题	186
第6章	数字集成电路	190
6.1	数字电路的数学基础	190
6.2	集成逻辑门电路	203
6.3	组合逻辑电路的分析和设计方法	208
6.4	组合逻辑部件	212
6.5	双稳态触发器	220
6.6	常用时序逻辑电路	227
6.7	存储器	242
6.8	可编程逻辑器件	246
	习题	250

电工电子技术应用篇

第7章	信号发生器与变换电路	255
7.1	正弦波振荡电路	255
7.2	555 定时器	259
7.3	多谐振荡器	261
7.4	单稳态触发器	266
7.5	施密特触发器	268
	习题	271
第8章	电测技术与数据采集系统	274
8.1	电测的基本知识	274
8.2	测量放大电路	280
8.3	电压—频率转换电路	281
8.4	多路模拟开关与采样—保持电路	283
8.5	D/A 转换器	287
8.6	A/D 转换器	289
8.7	数据采集系统	293
8.8	非电量电测系统	295
	习题	297

第 9 章 电力电子技术基础	299
9.1 电力电子器件	299
9.2 晶闸管触发电路	304
9.3 整流电路	307
9.4 直流稳压电路 (DC—DC)	315
9.5 逆变电路 (DC—AC)	322
习题	326
第 10 章 变压器和电动机	329
10.1 磁路	329
10.2 交流铁芯线圈电路	332
10.3 变压器	335
10.4 异步电动机	344
* 10.5 直流电动机	357
* 10.6 控制电机	359
习题	368
第 11 章 电气自动控制技术	371
11.1 常用控制电器	371
11.2 继电器—接触器控制系统及应用	377
11.3 PLC 控制系统	382
习题	396
习题答案	398
参考文献	405

电路分析基础篇

第1章 电路元器件及其基本定律

电工和电子技术的实践过程中离不开电路。作为未来的工程师和科技工作者,掌握电工技术的有关理论知识和技能是极为重要的。学习电路主要掌握电路的基本规律及其计算方法,从而了解典型电路的特性,为今后的实际工作做好理论准备。但是,书本中所能介绍的电路毕竟是有限的,而今后工作中可能遇到的电路问题则是千变万化、层出不穷的,因此,应立足于掌握一些分析问题的方法,这样将会终生受益,在解决实际问题时就能得心应手,应付自如。

本章将从建立实际装置的电路符号入手,进而遵照电路的基本规律建立其数学模型,由此引出的一些基本概念是后面各章学习的基础。

1.1 电路及其基本物理量

一门严谨的理论,往往有若干已被公认的公理作为全部立论依据,以示无懈可击。电路理论发展至今已成为完整的理论体系也有它的理论支柱,即电荷守恒、能量守恒这两条公理和一条集中化假设——理想模型(元件)不具有空间几何尺寸。凡符合上述集中化假设条件的元件称集中参数元件,由此组成的电路称集中参数电路。集中参数电路中各部分的电压和电流仅是时间 t 的函数,可表示为 $u(t)$ 或 $i(t)$ 。而元件端钮上的电压和电流,可以用物理方法准确测定,不会因其测试位置的不同而异。凡不符合上述假设条件者,将要用分布参数表示。本课程只讨论集中参数电路。

1.1.1 电路及电路模型

人们在日常生活、生产和科学研究中,常遇到各种各样的电路,它们功能各异,结构繁简差别甚大,但不管差异如何,所有电路确有相同的组成部分,即都是由电源(信号源)、负载、控制开关和中间处理环节组成。

多种形式的电路,就其主要功能而言,可分为两类。一类是传输、分配和使用电能的电路,如照明电路、动力电路及电力系统,这类电路由于电压较高、电流和功率较大,习惯称为“强电”电路;另一类是传递、变换、存储和处理电信号的电路,如电子仪器设备、计算机、电视机、收音机等电路,这类电路通常电压较低、电流和功率较小,习惯称为“弱电”电路。

无论是电能的传输、分配和转换,还是信号的传递和处理,其中电源或信号源总是向电路输入能量推动电路工作,故称为激励源,简称激励;在激励作用下,电路各部分产生的电压、电流(经电路传递和处理后的信号)称为响应。有时根据激励和响应的因果关系,把激励称为输入,响应称为输出。

为了分析和研究电路,常采用模型化的方法,即在一定的条件下,对某物理过程忽略次

要因素,用足以表示其主要特征的理想化“模型”来表示它,即用电路元件上物理量的数学关系(模型)来描述。这种理想化“模型”常称为电路元件,由电路元件构成的电路,称为实际电路的“电路模型”。电路理论所研究的电路就是电路模型。

1.1.2 电路中的基本变量

电路中存在着能量转换和能量交换两种物理过程。能量转换是指电能与非电能间的物理过程;能量交换是指电场能量与磁场能量间物理过程。电路理论主要研究电磁过程,其主要物理量表现为电流、电压、电荷和磁通,而常用的是电压和电流以及由它们形成的电功率,为了便于应用,以下对电工中最常用的电压、电流和功率略加回顾。

1. 电压

电压是电路中两点电位之差值,即电位差,在数值上等于电场力驱使单位正电荷从一点移到另一点时所作的功,可表示为

$$u = \frac{d\omega}{dq} \quad (1-1)$$

法拉弟发现:线圈两端之间的电压还可简单的表示为

$$u = \frac{d\phi}{dt} \quad (1-2)$$

式中: u 为电压,单位为 V (伏特); q 为电荷,单位为 C (库仑); ω 为能量,单位为 J (焦耳); ϕ 为磁通,单位为 Wb (韦伯); t 为时间,单位为 s (秒)。

2. 电流

电荷的定向运动就形成电流,其大小等于单位时间通过导体横截面的电量,表示为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-3)$$

式中: i 为电流,单位为 A (安培); q 为电荷,单位为 C (库仑)。

如果电压和电流的大小和方向不随时间变化,则称为“直流电”,分别用大写字母 U 和 I 表示。

3. 功率

单位时间内电路消耗(或吸收)的能量称为功率,可表示为

$$p = \frac{d\omega}{dt} \quad (1-4)$$

式中: p 为功率,单位是 W (瓦特)。

若每秒消耗 1J 的电,则其功率为 1W,于是功率表达式可改写成

$$p = \frac{d\omega}{dq} \cdot \frac{dq}{dt}$$

应用式(1-1)和式(1-3)可得

$$p = ui \quad (1-5)$$

对直流电,则功率为

$$P = UI \quad (1-6)$$

结果表明,功率是两个基本变量的乘积,即可用基本变量表示,故称 p 为复合变量。

1.1.3 物理量的方向

电压、电动势存在着高低电位端之分,电流存在着流向,习惯称之为方向。在电路计算

中常用到实际方向和参考方向两个术语。

1. 实际方向

所谓实际方向,系指反映物理量物理意义的方向,即电压为高电位指向低电位、电动势则是由低电位指向高电位,电流在外电路由高电位流向低电位、在电源内部由低电位流向高电位。

2. 参考方向

在电路分析计算时,要根据电路定律建立电路方程,而在建立电路方程时需要知道电压、电流的方向。然而,在绝大多数情况下,特别是一些复杂电路,是很难事先直观判断确定各电压、电流的实际方向,为了解决这一矛盾引进参考方向。

所谓参考方向(或正方向),系指为了定量分析计算而事先假定的电压、电流方向,电流多用箭头“→”标注,而电压多用“+、-”极性标注。

电压、电流参考方向的选择,原则上讲是任意的,但当把同一元件上的电压和电流方向选择一致时,则给电路分析带来很多方便,这种组合选择,称关联参考方向。

1.2 电路基本元件

电路元件按其引出端钮数目可分为二端元件和多端元件,按能量的转换关系可分为有源元件和无源元件,按其元件的数学模型又分为线性元件和非线性元件两大类。

有源元件又分为独立电源和受控源,无源元件又分为储能元件和耗能元件,下面以有源和无源为序给出电路元件的定义。

1.2.1 独立电源

若电源电压(或电流)的大小和变化规律取决于局外力的做功,具有这种特性的电源,称独立电源。独立电源包括电动势源和电激流源。

1. 电动势源

电动势源亦称理想电压源。其定义为:能维持端口电压为定值(常数或确定的时变函数),而与通过的电流无关的二端元件,称为理想电压源。其维持能力靠外力做功来实现,并用电动势描述,故称为电动势源,用 $e(t)$ 表示,其伏安特性及电路符号如图1-1(a)、(b)所示。电路符号旁边的“+”、“-”表示电源的极性(高低电位端),电动势表示电位的升高,故正方向由“-”指向“+”。当 $e(t) = E$ 为常数时电源称为恒定电动势,若 $e(t)$ 按某种确定函数规律(如正弦)变化时则称为交变电动势,其波形如图1-1(c)、(d)所示。

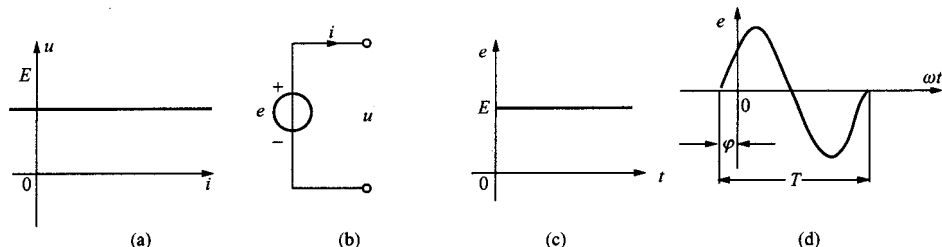


图1-1 电动势源模型及变化规律

(a) 伏安特性; (b) 电路符号; (c) 恒定电动势; (d) 交变电动势

2. 电激流源

电激流源又称为理想电流源。其定义为：能维持端口电流为定值（常数或确定的时变函数），而与通过的电压无关的二端元件，称为电激流源，用 $i_s(t)$ 表示。其维持能力也是靠外力做功来实现。其伏安特性及电路符号如图 1-2 (a)、(b) 所示。若 $i_s(t) = I_s$ 为常数时，称为恒定电激流源，若 $i_s(t)$ 按某种确定函数规律（如正弦）变化时则称为交变电激流源，其波形如图 1-2 (c)、(d) 所示。

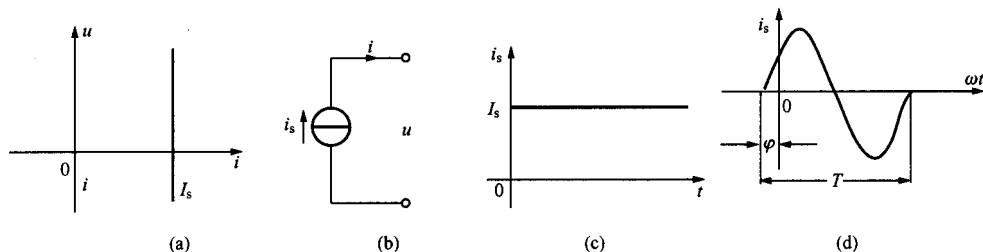


图 1-2 电激流模型及变化规律

(a) 伏安特性；(b) 电路符号；(c) 恒定电激流；(d) 交变电激流

电阻元件、电容元件和电感元件是电路的基本无源元件。它们分别代表实际装置中的电磁能量与其他形式的能量的转换，电场能量、磁场能量的储存和变化的外部功能。

1.2.2 电阻元件

电阻是对电阻器进行抽象而得的理想模型。既然是理想模型就应有确切的定义。电阻元件可定义为：在任一时刻 t ，其特性可为 $i-u$ 平面中的一条曲线所表征的二端元件称电阻元件。该曲线称为电阻在某一时刻 t 的 $i-u$ 特性曲线，如图 1-3 (a) 所示曲线。

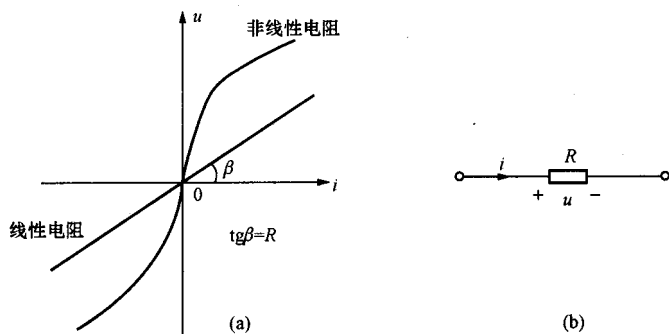


图 1-3 电阻元件模型

(a) 特性曲线；(b) 电路符号

如果电阻的特性曲线在所有时间都是过原点的一条直线，则称之为线性电阻，否则称为非线性电阻。所以任何一个电阻可按照它是线性还是非线性、是时变还是定常归类。本课程主要讨论线性定常和非线性定常两类电阻。下面以线性定常电阻为例介绍电阻元件数学模型和电路符号。

由解析几何可知，线性定常电阻的特性曲线方程为

$$u = Ri \quad (\text{或} \quad i = Gu) \quad (1-7)$$

式中： R 系电压与电流的比例系数，称它为电阻元件的参数，即 R 表示电阻，其单位为 Ω （欧姆）， $G = \frac{1}{R}$ ，称为电导，其单位为 S （西门子）。式 (1-7) 反映了电阻元件上的电压 u 和电流 i 这两个基本变量的一种约束关系，即电压电流关系，用文字符号 VCR 表示^❶，习惯称之为伏安关系。

❶ VCR—Voltage Current Relation.

从特性曲线来看,此时电压、电流是一个代数量,即电压、电流可能为正或为负。但是从物理方面看,电压、电流为正为负并无实际意义。为了给电压、电流的正负赋予了物理的解释,引进物理量的参考方向。有了参考方向后:电压、电流为正,则表示实际方向与参考方向一致;为负,则表示与参考方向相反。人们把参考方向说成是连通数学和物理的桥梁,可见在电路分析计算中参考方向是十分重要的。

同一元件上的电压和电流常假设有相同的参考方向,即关联参考方向,在这种假定下,电阻上的功率总是正的。这种在电阻上电压、电流参考方向选择一致,又称为负载惯例。

1.2.3 电容元件

电容是对电容器进行抽象而得到的理想模型,用它来表示实际装置中电场的外部功能。理想电容的定义为:在任一时刻 t ,其特性能用 $u-q$ 平面上的一条曲线描述的二端元件,称电容元件。如果特性曲线在所有的时刻都是过原点的一条直线,如图1-4(a)所示,则称为线性定常电容。

线性定常电容的特性曲线方程为

$$q = Cu$$

方程两边对时间求导则有

$$\frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}$$

考虑电流的定义,上式可改写成

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1-8)$$

此式(1-8)为电容元件的伏安关系(VCR)式,其中 C 是一个常数,是联系电流与电压微分的比例常数,称之为电容元件的参数,其单位为F(法拉)。

电容元件的伏安关系表明,任意时刻线性电容的电流与端电压的变化率成正比,与该时刻电压的大小及电压的“历史”情况无关。故在直流稳态情况下 $\frac{du}{dt} = 0$,即 $i = 0$,电容元件相当于开路。

将式(1-8)与式(1-7)比较可知,电容是个动态元件,即电容的电压不能突变,这是因为实际的电容器的电流 $i(t)$ 没有无穷大,也就是说 $\frac{du}{dt}$ 不可能无穷大。所以电容的端电压只能连续变化,而不能跃变。

【例1-1】 电路如图1-5(a)所示, u_C 的变化波形如图1-5(b)所示,电容 $C = 500\mu\text{F}$ 。试求 $i(t)$,并绘出波形图。

解 根据 u_C 的波形图可写出 u_C 的表达式

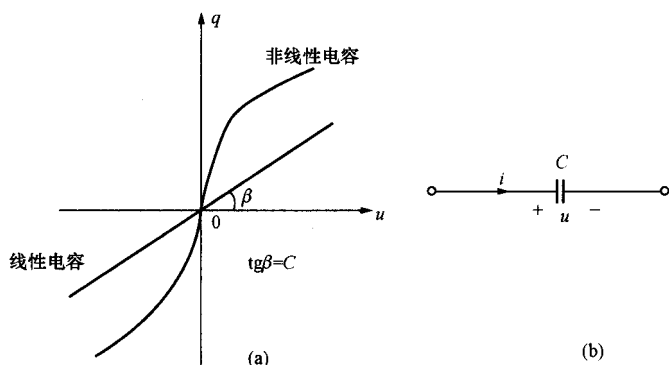


图1-4 电容元件模型

(a) 特性曲线; (b) 电路符号

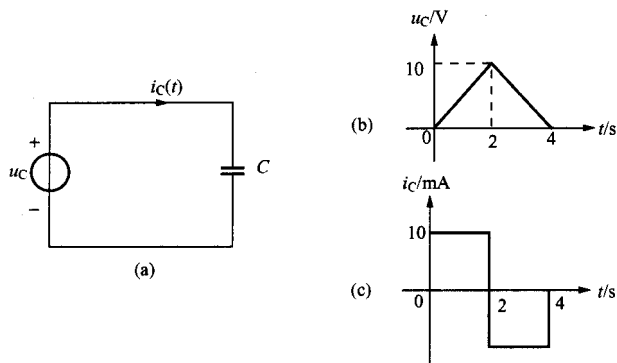


图 1-5 例 1-1 图

$$u_C(t) = \begin{cases} 5t \text{ V} & 0 \leq t \leq 2\text{s} \\ -5t + 20 \text{ V} & 2 \leq t \leq 4\text{s} \\ 0 \text{ V} & t \geq 4\text{s} \end{cases}$$

$u_C(t)$ 、 $i_C(t)$ 取关联参考方向, 由式 (1-8) 可得

$$i_C(t) = \begin{cases} 2.5 \text{ mA} & 0 \leq t \leq 2\text{s} \\ -2.5 \text{ mA} & 2 \leq t \leq 4\text{s} \\ 0 \text{ mA} & t \geq 4\text{s} \end{cases}$$

$i_C(t)$ 的波形如图 1-5 (c) 所示。

1.2.4 电感元件

电感元件是对电感器进行抽象得到的理想模型, 用它来代表实际装置中的磁场的外部功能。电感元件定义为: 在任意时间 t , 其特性为 $i-\phi$ 平面上的一条曲线所描述的二端元件, 称为电感元件, 如图 1-6 (a) 所示。如果特性曲线在所有时间内, 都是通过原点的一条直线, 则称为线性定常电感, 本课程只讨论这类电感。

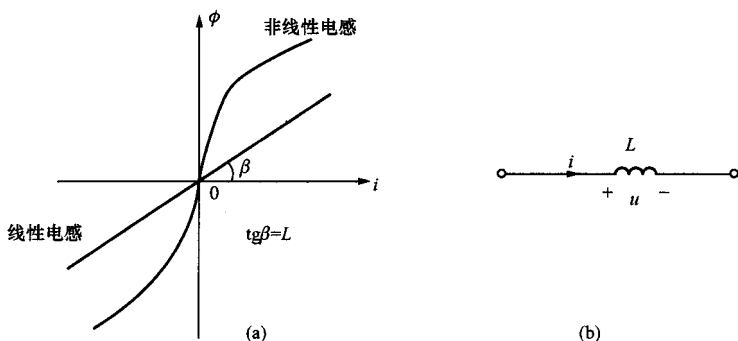


图 1-6 电感元件模型

(a) 特性曲线; (b) 电路符号

线性定常电感的特性曲线方程可写成 $\phi = Li$

方程两边对时间求导得

$$\frac{d\phi}{dt} = L \frac{di}{dt}$$

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1-9)$$

式(1-9)为电感元件的伏安关系(VCR)式, L 为一常数, 它是联系电压与电流的变化率的比例系数, 故称之为电感元件的参数。其单位为 H (亨利)。同样借助于参考方向来统一电感元件的物理模型和数学模型。其电路符号及参考方向如图 1-6 (b) 所示。

同电容元件一样, 电感元件也是动态元件, 不同的是电感元件上的电流不能突变, 只能连续变化。

【例 1-2】 如图 1-7 (a) 所示电路中, i_s 的波形如图 1-7 (b) 所示, 已知 $f=50\text{Hz}$, $L=100\text{mH}$ 。试求 $u_L(t)$, 并绘出波形图。

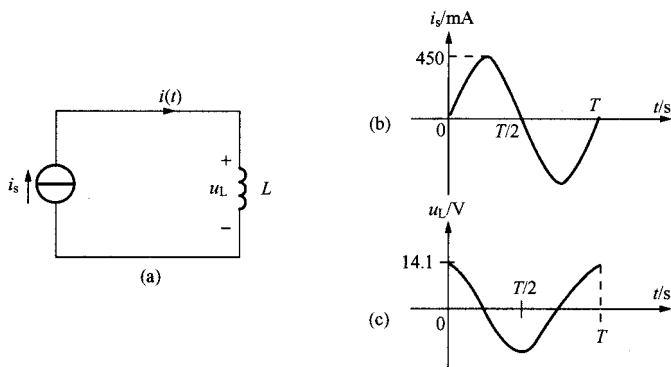


图 1-7 例 1-2 图

解 根据 i_s 的波形图可写出 i_s 的表达式

$$i_s = 450 \sin \omega t \quad \text{mA}$$

$u_L(t)$ 、 $i(t)$ 取关联参考方向, 由式(1-9)可得

$$u = L \frac{di}{dt} = 450L\omega \cos \omega t = U_m \cos \omega t$$

$$\omega = 2 \times \pi \times 50 = 314 \quad \text{rad/s}$$

$$U_m = 314 \times 0.1 \times 0.45 = 14.1 \quad \text{V}$$

$$u_L(t) = 14.1 \cos \omega t \quad \text{V}$$

$u_L(t)$ 的波形如图 1-7 (c) 所示。

以上介绍了 R 、 L 、 C 三个基本的无源元件, 一个实际装置可用这三个无源元件的适当组合来描述它的外部功能。但模拟实际器件的原则是择其主要者, 弃之次要者。因此, 即使同一器件, 视其工作情况之不同, 其主次亦各异, 而所有元件亦各有区别。

1.2.5 受控源

在实际应用中 (例如分析晶体管放大电路), 还存在着电源的输出电压或电流的大小和变化规律受所在电路的其他某支路的电流或电压控制, 不具有确定值。当控制量消失或为零时, 该电源的电压或电流也将为零, 具有这种特性的电源称为受控源。

根据受控源在电路中提供的是电压或是电流, 是受电压或是电流的控制, 受控源可分成四种类型, 即电压控制电压源 (VCVS)、电流控制电压源 (CCVS)、电压控制电流源

(VCCS) 电流控制电流源 (CCCS)^①。受控电源的表示既考虑与独立电源符号的区别, 又体现电压源和电流源的特点。

1. 理想受控源

所谓理想受控电源, 控制端消耗的功率为零, 即电压控制的受控源输入电阻无穷大 ($I_i=0$), 电流控制的受控源输入电阻为零 ($U_i=0$), 其输出为恒定电压或电流。四种理想受控源模型如图 1-8 所示。

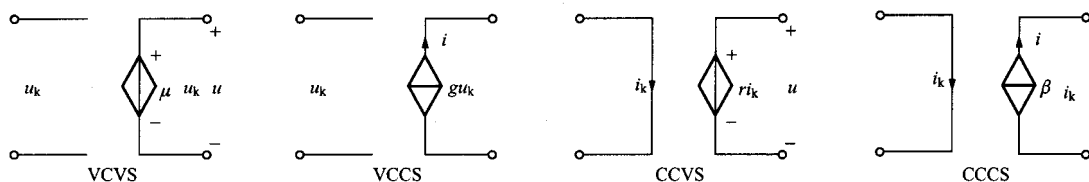


图 1-8 理想受控电源

2. 受控源的特点

控制量与受控量的关系是通过控制系数反映出来的, 若控制系数为常数, 则称线性受控源。而理想受控源控制系数分别定义为:

$$\begin{aligned} \text{VCVS 的转移电压比 } \mu &= \frac{u}{u_k} & \text{CCVS 的转移电阻 } r &= \frac{u}{i_k} \\ \text{VCCS 的转移电导 } g &= \frac{i}{u_k} & \text{CCCS 转移电流比 } \beta &= \frac{i}{i_k} \end{aligned} \quad (1-10)$$

在某些情况下, 受控源虽然在电路中看成是激励, 但是更常见的是用来模拟电子器件中发生的现象, 反映受控量和控制量的依存关系。但值得注意的是, 这一控制通常是单方向的, 不存在反方向的控制作用。

1.3 电路基本定律

电路元件的伏安关系反映了电路元件对其所在支路的电压和电流间所起的一种约束作用, 故常把元件的伏安关系称为元件约束。当若干元件按某种组合构成电路后, 元件上的电压、电流就不再是互不相关的变量了, 在任何时刻它们除开必须各自遵循其元件约束外, 同时还要遵循相互间的约束关系, 即所有连在同一结点上的支路电流和任意回路中各元件上的电压之间, 将受到结构的约束, 而基尔霍夫定律就是概括这种约束的基本定律。

1.3.1 电路结构术语

因电路结构约束必将涉及电路结构术语, 为此先介绍有关电路结构的几个术语。

(1) 支路: 没有分支的一段电路, 称为支路。如图 1-9 所示电路中, E_1 和 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 、 R_5 、 E_6 和 R_6 分别称支路。所以图示电路有 6 条支路, 即支路数 $b=6$ 。每条支路

① VCVS——Voltage Controlled Voltage Source。
CCVS——Current Controlled Voltage Source。
VCCS——Voltage Controlled Current Source。
CCCS——Current Controlled Current Source。

上所有元件中流过同一个电流,该电流称为支路电流。含有电动势的支路称有源支路,否则称无源支路。

(2) 结点:电路中三条及其以上的支路的汇聚点称为结点。图 1-9 所示电路中 a 、 b 、 c 、 d 点称结点,即结点 $n=4$ 。由此可见,支路是跨接在两结点间的一段电路,所以,电路中两结点间的电压称为支路电压。

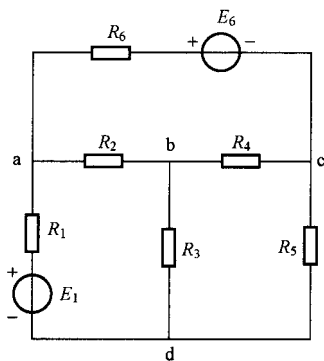


图 1-9 电路结构术语示意图

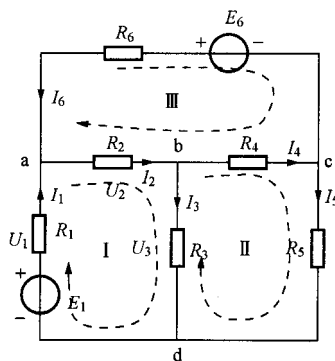


图 1-10 支路电流及回路方向

(3) 回路:从网络的一个结点出发,经过若干支路与结点,重回到起始结点(所有支路和结点只准经过一次),这样首尾相连的闭合路径,称为回路。如图 1-10 中, $abdca$ 、 $abcda$ 、 $adbca$ 分别称为回路,按回路的定义,还可以选择很多回路。含有电动势的回路称有源回路,否则称无源回路。

(4) 网孔:内部不包围任何支路的回路,称为网孔。用 m 作文字符号。如图示电路中的回路 $abda$ 、 $cbdc$ 和 $abca$ 又叫做网孔。图示电路的网孔数 $m=3$,但是网孔是相对的。

1.3.2 基尔霍夫定律

为了便于理解,下面以图 1-10 所示具体电路为例来介绍其定律,首先假定各支路电流的参考方向和回路(网孔)的绕向,即回路的方向,如图中所示。

1. 基尔霍夫电流定律 (KCL)❶

基尔霍夫电流定律,是基于电荷守恒的电流连续性原理在电路问题中的表述。其内容可叙述为:对于集中参数电路的任一结点,在任一时刻,流出该结点的所有支路电流的代数和等于零。用数学语言表示则为

$$\sum i = 0 \quad (1-11)$$

在支路电流的代数和中,设参考方向离开结点的电流带正号,参考方向指向结点的电流带负号。反之亦可。例如,对应图 1-10 中的结点 b 有

$$I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

基尔霍夫电流定律可能推广到电路中任何一个封闭面所包围的部分。如图 1-11 所示的电路中,封闭面 S 内有三个结点 a 、 b 、 c 。在三个结点处,分别有

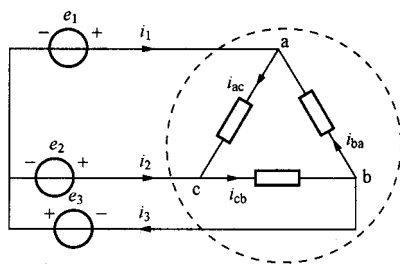


图 1-11 KCL 用于广义结点

❶ KCL—Kirchhoff's Current Law.