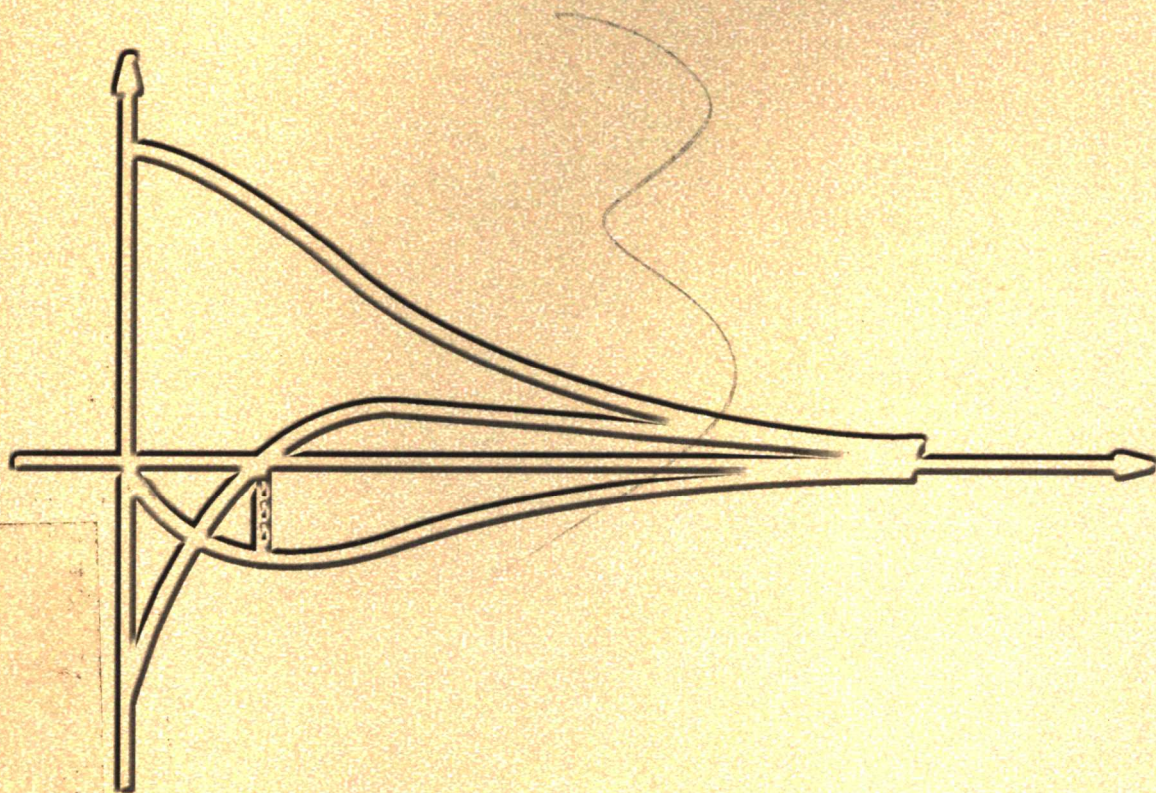


21世纪高等院校系列教材

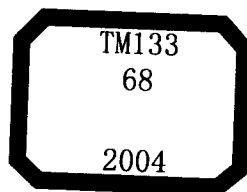
The Analyses of Circuit

电路分析

田化梅 钱 菁 主编



湖北科学技术出版社
HUBEI SCIENCE & TECHNOLOGY PRESS



21 世纪高等院校系列教材

电 路 分 析

田化梅 钱 菁 编著
谭文虎 余久宪

湖北科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路分析/田化梅等主编. —武汉:湖北科学技术出版社,2004.12

ISBN 7-5352-3274-4

I. 电... II. 田... III. 电路分析 IV. TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 103284 号

21 世纪高等院校系列教材

电路分析

©田化梅 钱 菁 主编

责任编辑:李海宁

封面设计:张 浩

出版发行:湖北科学技术出版社

电话:87679468

地 址:武汉市雄楚大街 268 号
湖北出版文化城 B 座 12-14 层

邮编:430070

印 刷:湖北省石首市印刷一厂

邮编:434400

787 毫米 × 1092 毫米

16 开

12 印张

275 千字

2004 年 12 月第 1 版

2004 年 10 月第 1 次印刷

印数:0 001-3 000

ISBN 7-5352-3274-4/TM·15

定价:19.00 元

本书如有印装质量问题 可找承印厂更换

内 容 简 介

本书系统地介绍了电路的基本概念、基本定理和基本分析方法。全书共分为九章,主要包括电路的基本概念和基本定律、电路的等效变换和电路定理、电路的一般分析方法、一阶动态电路分析、二阶电路分析、正弦稳态电路分析、耦合电感和理想变压器、三相电路、电路的频率响应等内容。

本书是为了适应目前教学改革的需要并结合作者多年的教学经验精心编写的,其内容精练,重点突出。每章都精心挑选了类型丰富的例题和习题,便于教师教学和学生对教学内容的掌握。书后还附有全部习题的答案。

本书可作为高等院校电信、通信、计算机、测控等相关专业的本科教材,也可供有关技术人员学习参考。

前 言

电路分析课程是高等学校电信、通信、计算机、测控等相关专业本科生的一门专业基础课,其后续课程主要有模拟电子电路、信号与系统等,因此该课程在相关专业的本科教学中,具有重要的地位。

为了适应高等教育教学改革的需要,进一步提高本科教学质量,电路分析课程的教学计划进行了多次的修订,教学时数也进行了较大的压缩。为了适应目前教学的需要,作者在多年教学经验的基础上编写了本书。本书可以作为高等院校电路分析课程的教材,也可作为从事电子工程技术工作的工程技术人员参考。

全书共分九章,包括电路的基本概念和基本定律、电路的等效变换和电路定理、电路的基本分析方法、一阶动态电路分析、二阶动态电路分析、正弦稳态电路分析、耦合电感与理想变压器、三相电路、电路的频率响应等内容。

在编写本书的过程中,我们以重基础、重思想方法、重结构和衔接、重实际应用、利于教学为原则,在参考了大量公开出版的相关教材的基础上,对教学内容进行了精心挑选,以元件的伏安特性和基尔霍夫定律为主线,由浅入深,逐步展开。注意各章节之间的联系,通过已有的知识启发读者进行对比分析,帮助读者深入掌握教学内容,举一反三;以系统性为目标,建立了合理的知识结构,使读者在学习过程中,能建立完整有序的概念,为进一步学习有关后续课程和实际应用打下良好的基础;理论联系实际,在重、难点内容上,精选例题;在例题分析中,着重讲清解题思路、步骤和方法,注重读者知识面的拓宽和能力培养;在例题、习题的选材上,注意典型性,题目类型多,题量适中,内容由浅入深,兼顾了不同层次水平读者的要求,习题均附有答案,以便读者自学和自测。

本书由田化梅、钱菁确定编写大纲和编写内容,第一章由余久宪执笔、第二、四、七章由田化梅执笔,第三、五、六、九章由钱菁执笔,第八章由谭文虎执笔,全书由田化梅主编和统稿。

本书属于华中师范大学立项建设教材项目,在编写过程中得到了教学管理部门和教学同仁的大力支持,在此表示衷心的感谢。

限于作者水平有限,书中错误和缺点在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者
2004. 9

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	(1)
1-1 实际电路和电路模型	(1)
1-2 电路的基本物理量	(2)
1-3 电路的基本元件	(4)
1-4 基尔霍夫定律	(10)
习题 1	(14)
第 2 章 电路的等效变换与电路定理	(16)
2-1 电路等效的概念	(16)
2-2 纯电阻电路的等效	(17)
2-3 含源网络的等效变换	(23)
2-4 电路的基本定理	(25)
习题 2	(39)
第 3 章 线性电路的一般分析方法	(44)
3-1 网孔分析法	(44)
3-2 节点分析法	(48)
3-3 电路的对偶性	(52)
习题 3	(54)
第 4 章 一阶动态电路分析	(56)
4-1 电容元件与电感元件	(56)
4-2 一阶电路的零输入响应	(62)
4-3 一阶电路的零状态响应	(65)
4-4 一阶电路的全响应	(67)
4-5 一阶电路的三要素分析法	(68)
4-6 一阶电路的阶跃响应与冲激响应	(72)
习题 4	(80)
第 5 章 二阶动态电路分析	(83)
5-1 RLC 串联电路的零输入响应	(83)
5-2 RLC 串联电路的全响应	(89)
5-3 GLC 并联电路分析	(91)

5-4 一般二阶电路分析	(92)
习题 5	(94)
第 6 章 正弦稳态电路分析	(96)
6-1 正弦量	(96)
6-2 正弦量的相量表示法	(100)
6-3 正弦稳态电路的相量模型	(103)
6-4 正弦稳态电路的相量分析法	(115)
6-5 正弦稳态电路的功率	(120)
习题 6	(128)
第 7 章 耦合电感与理想变压器	(131)
7-1 耦合电感的基本概念	(131)
7-2 耦合电感的去耦等效电路	(134)
7-3 空芯变压器	(138)
7-4 理想变压器	(142)
7-5 全耦合变压器	(147)
习题 7	(149)
第 8 章 三相电路	(152)
8-1 三相交流电源	(152)
8-2 三相电源的负载	(155)
8-3 对称三相电路的分析	(159)
8-4 对称三相电路的功率	(163)
习题 8	(165)
第 9 章 电路的频率特性	(166)
9-1 电路的频率特性与网络函数	(166)
9-2 RC 电路的频率特性	(168)
9-3 谐振电路	(172)
习题 9	(177)
习题参考答案	(179)
参考文献	(183)

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

本章主要介绍电路的基本概念、电路的基本物理量、电路的基本元件和电路的基本定律——基尔霍夫定律。

1-1 实际电路和电路模型

1-1-1 实际电路

实际电路是由各种电器元件按一定的方式连接起来的电流通路,主要由电源、中间环节、负载等三部分组成。

电源是为电路提供电能的设备,包含直流电源和交流电源,交流电源有时也被称为信号源。中间环节连接电源和负载,主要负责对电能进行传输、分配和控制。比如电子电路中的放大器、滤波器,电力设备中的变压器、传输线等均属于电路的中间环节。负载是将电能转换为其他形式能的设备,比如日常生活中用的电灯、喇叭、电炉等均是负载。

电路的功能是多种多样的,根据人们的不同需要,电路可以完成各种任务。比如电视机可以将接收到的电信号进行选频、放大、混频、滤波、电光转换等过程,变成人们可以接收的声音和图像;计算机可以对数据进行计算、存储和控制;电力电路可以完成电能的分配和传输。虽然电路的功能千差万别,但归纳起来主要包括电能和电信号的产生、传输、变换和处理等几方面。

1-1-2 电路模型

对实际电路的分析通常是很复杂的,会受到很多因素的制约。为了便于对实际电路进行分析,常将电路中的元件理想化,即在一定的条件下,突出元件的主要性质,忽略它的次要性质。比如一个实际的电感元件是由线圈绕成的,它除了呈感性外,线圈的导线还包含电阻,线圈的匝与匝之间还呈现电容性。但在低频工作条件下,电感的电阻、电容都很小,可以忽略不计,所以可以把它看成一个理想的电感。

理想电路元件主要包括电阻、电感、电容、电压源、电流源等,其电路符号如图 1-1 所示。

由理想电路元件组成的电路称为实际电路的电路模型。我们在本书里讨论的电路都

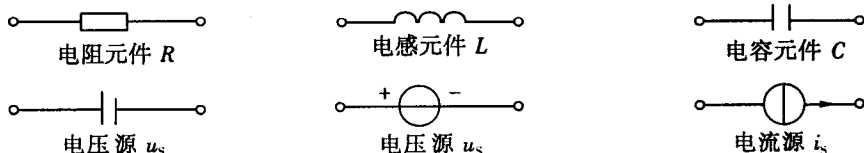


图 1-1 电路元件的符号

是从实际电路中抽象出来的电路模型。电路分析的任务就是研究电路中的电流、电压、功率这些物理量之间的关系。

如果电磁能量只在电路中传输、转换与储藏,无任何电磁辐射,则将这样的电路称为集总参数电路。具体地讲,如果电路的几何尺寸远小于电路的工作波长,则该电路称为集总参数电路。本课程只研究集总参数电路。

1-2 电路的基本物理量

描述电路工作状态和元件特性的主要物理量有电流、电压和功率,下面就它们的定义、单位、方向等概念分别进行讨论。

1-2-1 电流

电荷的定向移动形成电流,电流的大小用电流强度来描述,符号为 I 或 i 。电流强度定义为单位时间流过导体横截面的电量,即

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

如果电流的大小和方向随时间变化,称为交流电流;若电流的大小和方向不随时间变化,称为直流电流。在这种情况下,通过导体横截面的电量 Q 与时间 t 呈正比,即

$$I = \frac{Q}{t}$$

在国际单位制中,电流的单位为安培(A)。对于较小的电流可以用毫安(mA)、微安(μ A)、纳安(nA)来描述,它们之间的关系是

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A} = 10^9\text{nA}$$

电流的方向规定为正电荷移动的方向。但在实际电路中,往往出现多个电源同时工作的情况,所以电流的实际方向有时很难确定,为此引入了一个新的概念——电流的参考方向。

在电路分析过程中电流的参考方向是可以任意假定的,通常将选定的参考方向称为电流的正方向。电流参考方向的表示方法如图 1-2 所示。

在求解电路中的电流时,应该首先选定电流的参考方向(正方向),然后根据假设的电流方向进行分析求解。若求得 $I > 0$,则电流的实际方向与参考方向一致;若 $I < 0$,则电流的实际方向与参考方向相反。如图 1-2 所示的电路



图 1-2 电流的参考方向

中,因为 I 为负值,所以电流的实际方向与参考方向相反。

应该注意,电流是有数值和方向的量,在电路图中只有标明电流的方向,电流的正、负数值才有意义。

1-2-2 电压

电场力将单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功称为 a 、 b 两点间的电压,用符号 U 或 u 表示,即

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-2)$$

如果电压的大小、方向随时间变化,称为交流电压,若电压的大小、方向不随时间变化,称为直流电压。

在国际单位制中,电压的单位为伏特(V),对于较大的电压可以用 kV 表示,较小的电压可以用毫伏(mV)、微伏(μ V)来描述,它们之间的关系是

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

$$1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V}$$

电压的方向习惯上规定为电压降的方向。与电流一样,电压也可以任意假定参考方向。在电路图中用“+”号表示参考极性的高电位端,“-”号表示低电位端。高电位端指向低电位端的方向为电压降的方向,如图 1-3 所示。

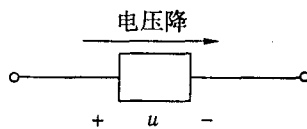


图 1-3 电压的参考方向

与电流一样,在假定了电压参考方向的前提下,若分析计算出 $u > 0$,则电压的参考方向与实际方向一致;若 $u < 0$ 则电压的参考方向与实际方向相反。

在电路分析中,经常用到电位这一物理量。若在电路中选一参考点作为零电位点,则电路中某点与零电位点之间的电压,称为该点的电位。任意两点之间的电位差即为该两点之间的电压。电位的单位也为伏特(V),它与电压的主要区别在于电位是相对量,当参考点变了,电位会发生变化。而电压是绝对量与参考点的选择无关。

1-2-3 电压与电流的关联参考方向

在电路中电压和电流的参考方向均可以任意假定,两者独立无关。但为了电路分析上的方便,对一个元件或一段电路上的电压和电流习惯上采用关联参考方向,即电流的参考方向与电压降的方向一致,如图 1-4 所示,图 1-5 是非关联参考方向的图示。当电压电流采用关联参考方向时,在电路图中可以只标出其中一个的方向。

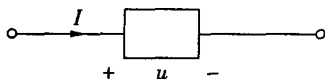


图 1-4 电压电流的关联参考方向

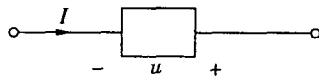


图 1-5 电压电流的非关联参考方向

1-2-4 功率

单位时间内电路吸收或产生的电能称为功率,用符号 P 或 p 表示,即

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1-3)$$

将式(1-1)和式(1-2)代入式(1-3)可得

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

在关联参考方向下,当 $p > 0$ 时,表示电路吸收功率;当 $p < 0$ 时,则表示电路产生功率。在非关联参考方向下,与上面的结论恰好相反。为了使关联和非关联方向下的结论相一致,在非关联参考方向情况下,在功率的计算公式前加一负号,即

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

在国际单位制中,功率的单位为瓦特(W),也可以用千瓦(kW)、毫瓦(mW)、微瓦(μ W)来描述,它们之间的关系是

$$1\text{kW} = 10^3\text{W} \quad 1\text{W} = 10^3\text{mW} = 10^6\mu\text{W}$$

[例 1-1] 已知图 1-6 中,元件 A 吸收功率 30W,元件 B 吸收功率 15W,元件 C 产生功率 10W,求各元件中的电流。

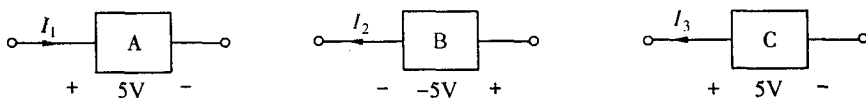


图 1-6 例 1-1 图

解:元件 A 上的电压、电流为关联参考方向,且为吸收功率,所以 $P > 0$,则

$$P = UI = 5 \times I_1 = 30 \quad I_1 = 6\text{A}$$

元件 B 上的电压、电流也为关联参考方向,且为吸收功率,所以 $P > 0$,则

$$P = UI = (-5) \times I_2 = 15 \quad I_2 = -3\text{A}$$

元件 C 上的电压、电流为非关联参考方向,且为产生功率,所以 $P < 0$,则

$$P = -UI = -(5 \times I_3) = -10 \quad I_3 = 2\text{A}$$

1-3 电路的基本元件

电路中的元件总的来说可以分为无源元件和有源元件两大类,其中无源元件主要包括电阻、电容、电感、互感元件等;有源元件包括电压源、电流源、受控源。本节主要介绍电阻、电压源、电流源、受控源的特性,其他元件留待后续相关章节讨论。

1-3-1 电阻

电阻元件是实际电阻器的理想模型。根据电阻的阻值是否随时间变化可分为时变电

阻和非时变电阻(定常电阻);又根据电阻的伏安特性是否是通过原点的直线,可分为线性电阻和非线性电阻。因此电阻共有四种类型,即时变线性电阻、时变非线性电阻、非时变线性电阻、非时变非线性电阻。本课程主要讨论非时变线性电阻。

一、线性电阻

我们通常所说的电阻元件即是线性电阻,其电路符号如图 1-7 所示,单位为欧姆(Ω)。对于阻值较大的电阻可用千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)来表示,它们的关系是

$$1M\Omega = 10^3 k\Omega = 10^6 \Omega$$

线性电阻的伏安关系可以用 $u-i$ 平面上的一条过原点的直线来表征,如图 1-8 所示。电阻值可由直线的斜率来确定。

线性电阻伏安关系的数学表达式即是欧姆定律

$$u = Ri \quad (1-6)$$

因为电阻上的电流与电压降的实际方向总是一致的,所以只有在关联参考方向下,才能运用式(1-6),在非关联参考方向下,则应改为

$$u = -Ri \quad (1-7)$$

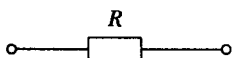


图 1-7 线性电阻

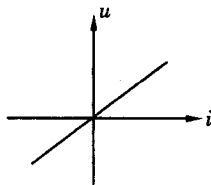


图 1-8 线性电阻的伏安关系

在电路分析中,为了分析上的方便,还常采用电导 G 来表征电阻, G 为 R 的倒数,即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-8)$$

电导的单位为西门子,符号为 S 。采用电导后,欧姆定律可表示为

$$i = Gu \quad (1-9)$$

线性电阻上的功率,在关联参考下可表示为

$$p = ui = Ri^2 = Gu^2 \quad (1-10)$$

因为电阻 $R > 0$, 所以 p 总为正值,这表明电阻是一种耗能元件。

对理想电阻元件,电压和电流可以无限制地满足欧姆定律。但对于任意的实际电阻元件,使用时均不能超过它的额定电压、额定电流和额定功率值。如果超过其额定值,元件会因温度过高而烧坏。由于电压、电流和功率之间存在一定的关系,所以元件的额定电压、电流和功率并不需要全部标出。比如电阻就只标明了其电阻值和额定功率($1k\Omega$, $1/2W$)。所以在使用元件时一定要注意其额定值,以保证其能安全工作。

二、非线性电阻

如果一个电阻的伏安特性是过原点的一条曲线,如图 1-9 所示,则该电阻为非线性电阻。非线性电阻与线性电阻不同,其阻值会随外加的电压、电流而变化,所以非线性电阻的阻值有两种表征方法,即静态电阻和动态电阻。

静态电阻也称为直流电阻,是指过曲线某一点 Q 上电压和电流的比值,即

$$R_Q = u_Q / i_Q$$

动态电阻也称交流电阻,它是指过曲线某一点 Q 电压微变量 du 和电流微变量 di 之比,即

$$r_Q = du / di$$

很显然工作点不同,静态电阻和动态电阻的阻值也不同,其阻值均随工作点的变化而变化;并且在一般情况下,在同一工作点,动态电阻和静态电阻也不相等。

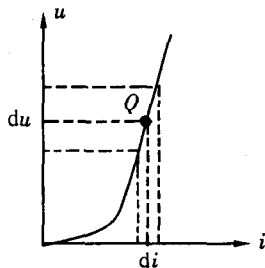


图 1-9 非线性电阻的伏安关系

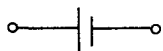
1-3-2 理想电源

理想电源是实际电源

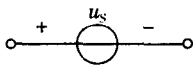
在一定条件下的理想化模型,包括理想电压源和理想电流源。

一、理想电压源

如果一个两端元件其输出电压恒定不变,则称这个两端元件为理想电压源。其电路符号如图 1-10 所示。图 1-10(a)常用来表示直流电源,特别是电池组,图 1-10(b)是一般电压源的符号,既可以表示直流电源,也可以表示交流电源。理想电压源的伏安特性见图 1-11 所示。



(a)



(b)

图 1-10 理想电压源的符号

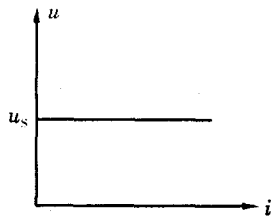


图 1-11 理想电压源的伏安特性

从其伏安特性可知,理想电压源具有如下基本性质:

- (1) 理想电压源的输出电压恒定不变,与外接电路无关。
- (2) 理想电压源流过的电流可以是任意的,由外接电路决定。

例如图 1-12 所示的电路中,无论外接电阻 R 为何值,其两端的电压均不变,而流过的电流会变化。当电阻 R 为 5Ω 时,电压源上流过的电流是 $2A$,当电阻 R 为 10Ω 时,流过的电流是 $1A$ 。

二、理想电流源

如果一个两端元件的输出电流恒定不变,则称这个两端元件为理想电流源。其电路符号如图

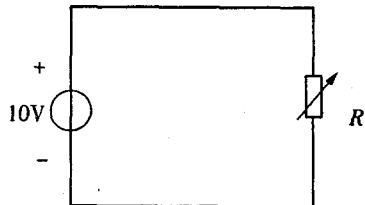


图 1-12

1-13 所示。伏安特性见图 1-14。

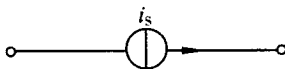


图 1-13 电流源的符号

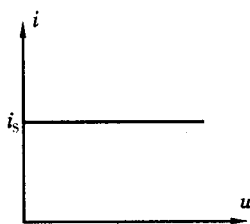


图 1-14 理想电流源的伏安特性

从其伏安特性可知,理想电流源具有如下基本性质:

- (1) 电流源的输出电流恒定不变,与外接电路无关。
- (2) 电流源两端的电压是任意的,由外接电路决定。

综上所述,理想电压源具有恒压不恒流的性质,而理想电流源具有恒流不恒压的性质,所以在电路理论中也称理想电压源为恒压源,理想电流源为恒流源。电压源、电流源均可以独立向外电路提供能量,所以也称其为独立源。

1-3-3 实际电源

一、实际电压源

理想电压源是不存在的,我们通常所用的是实际电压源。实际电压源的电路模型如图 1-15 所示,它是由一个理想电压源和一个电阻串联而成, R_s 是表征电压源损耗的参量,称为实际电压源的内阻。

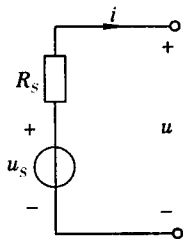


图 1-15 实际电压源的电路模型

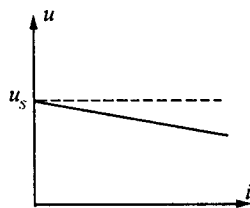


图 1-16 实际电压源的伏安特性

由实际电压源的电路模型可以得出其伏安关系为

$$u = u_s - iR_s \quad (1-11)$$

由上式可画出实际电压源的伏安特性曲线,如图 1-16 所示。由图 1-16 可以看出,实际电压源的输出电压(即端电压)是随着它上面流过电流的增大而逐渐减小的。其内阻 R_s 越小,曲线越平坦,就越接近理想电压源。所以在实际使用中我们希望电压源的内阻越小越好。

实际电压源在使用时可以处在三种工作状态,即加载、开路和短路。当实际电压源开

路时,其输出电压最大,称为开路电压 u_{OC} ,开路电压 $u_{OC} = u_S$;当实际电压源短路时,其输出电流也最大,称为短路电流 i_{SC} ,短路电流 $i_{SC} = u_S/R_S$ 。

二、实际电流源

理想电流源也是不存在的,我们通常所用的是实际电流源。实际电流源的电路模型如图 1-17 所示,它是由一个理想电流源和一个电阻并联而成, R_S 是实际电流源的内阻。

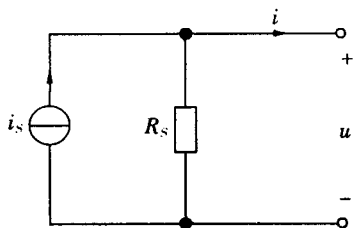


图 1-17 实际电流源的电路模型

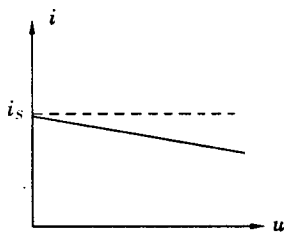


图 1-18 实际电流源的伏安特性

由实际电流源的电路模型可以得出其伏安关系为

$$i = i_s - u/R_S \quad (1-12)$$

由上式可画出实际电流源的伏安特性曲线,如图 1-18 所示。由图 1-18 可以看出,实际电流源的输出电流是随着它两端电压的增大而逐渐减小的,其内阻 R_S 越大,曲线越平坦,就越接近理想电流源,所以在实际使用中我们希望电流源的内阻越大越好。

三、实际电源的等效变换

实际电压源和实际电流源其内部结构不同,但其外特性在一定条件下可以相同。当两种实际电源外特性相同时,对外电路来说,它们就是完全等效的,即它们之间可以进行等效变换。下面就按照等效的概念,来讨论这两种实际电源参数之间的关系。

由前面的讨论知,一个实际电压源的伏安关系为

$$u = u_S - iR_S \quad (1-13)$$

而一个实际电流源的伏安关系为

$$i = i_s - u/R'_S \quad (1-14)$$

上式可改写为

$$u = i_s R'_S - iR'_S \quad (1-15)$$

比较式(1-13)和式(1-15),如果要两者伏安关系完全相同,则必须满足

$$\begin{cases} u_S = R'_S i_s \\ R_S = R'_S \end{cases} \quad (1-16)$$

或满足

$$\begin{cases} i_s = u_S/R_S \\ R'_S = R_S \end{cases} \quad (1-17)$$

若已知电流源模型,则可用式(1-16)求得其等效电压源模型;若已知电压源模型,则可用式(1-17)求得其等效电流源模型。两种实际电源的等效变换关系如图 1-19 所示。

必须强调指出,实际电源的等效变换只是对外电路而言,其电源内部并不等效。对理想电源因其伏安关系不可能相同,故不能进行等效变换。

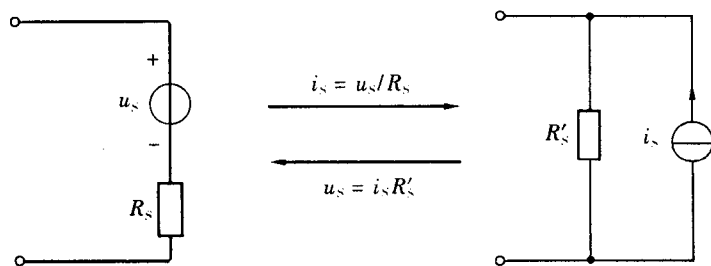


图 1-19 两种实际电源的等效变换

在电路分析中,对实际电源进行等效变换可以简化电路,是经常采用的一种分析手段。

[例 1-2] 如图 1-20(a)所示电路,求电流 I 。

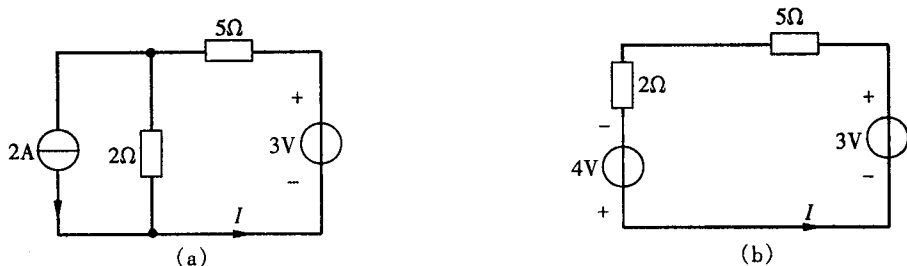


图 1-20 例 1-2 图

解:利用实际电源等效的概念可将图 1-20(a)所示电路等效变换为图 1-20(b)所示电路,由图 1-20(b)电路可得

$$I = \frac{4+3}{2+5} = 1\text{A}$$

1-3-4 受控源

前面讨论的电压源和电流源均是独立源,它们输出的电压或电流都是由电源本身决定的,与电源以外的其它电路无关。在电路中除存在独立源以外,还存在受控源。受控源是晶体管和电子管等电路元件在一定条件下的理想化模型,与它对应的实际器件不一定唯一。受控源与独立源一样可以为电路提供功率,但它是非独立的,其输出电压或电流的大小和方向均受电路中另一条支路的电压或电流控制。根据控制量和输出量的不同,受控源可分为四种基本类型,如图 1-21 所示,其中(a)为电压控制电压源(VCVS);(b)为电压控制电流源(VCCS);(c)为电流控制电压源(CCVS);(d)为电流控制电流源(CCCS)。图中菱形符号表示受控源,以与独立源符号相区别; α 、 β 、 γ 、 g 为相关的控制系数,在具体器件中这些系数具有一定的物理意义。例如对于三级管,在低频小信号条件下,可等效为一个电流控制电流源,其控制系数为电流放大倍数。当控制系数为常数时,则为线性受控源,否则称为非线性受控源。本书仅讨论线性受控源。

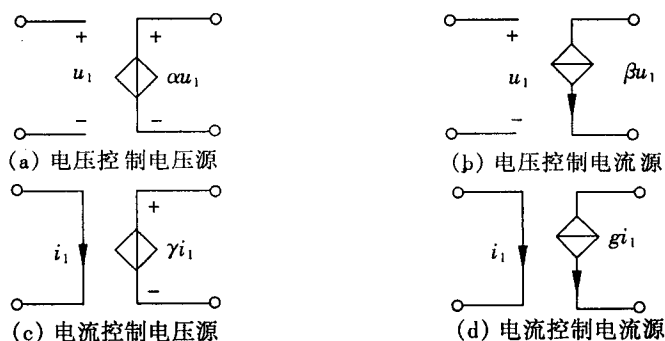


图 1-21 受控电源

受控源为一个四端元件,它在电路中具有两重性:电源性和电阻性。由于受控源也能像电源一样为电路提供能量,且在电路分析中的处理方法与独立源相同,这表现出它的电源性。但应注意,受控源与独立源在本质上有很大差异,独立源在电路中可以直接起激励作用,为电路提供信号或能量。而受控源则不能直接起激励作用,它仅是对实际器件中所发生的物理现象的模拟,可以在宏观上描述器件的性能。对受控源来说,若控制量存在,则受控源存在;若控制量为零,则受控源数值也为零。

一个只含有受控源的电路可以用一个电阻来等效,这就是受控源的电阻性。受控源的等效电阻可能为正值,也可能为负值。当电路中的受控源为电路提供的能量大于电路中电阻消耗的能量时,就会出现负电阻,否则为正电阻。

1—4 基尔霍夫定律

在电路理论中,电路元件的电压、电流受自身伏安关系的约束。当各元件连接成一个电路以后,电路中的电压、电流除了必须满足元件自身的约束方程以外,还必须同时满足电路结构的约束。这种约束体现为基尔霍夫的两个定律,即基尔霍夫电流定律(Kirchhoff's Current Law,简称为 KCL)和基尔霍夫电压定律(Kirchhoff's Voltage Law,简称为 KVL),它们是电路分析的基础。其中基尔霍夫电流定律给出了电路中各支路电流间的内在联系规律,可用于电路中的任一节点;基尔霍夫电压定律则给出了电路中各支路电压的内在联系规律,适用于电路中的任一回路。

在讨论基尔霍夫定律之前,先介绍几个有关电路的术语:

支路:每一个二端元件构成一个支路。

节点:两条或两条以上支路的连接点称为节点。

回路:由支路构成的闭合路径称为回路。

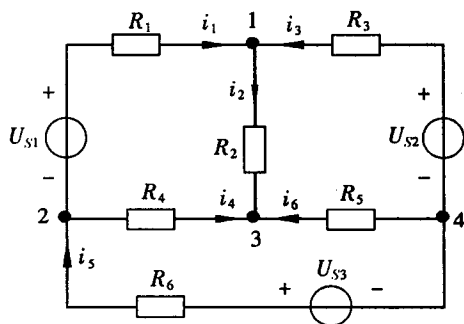


图 1-22