

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

《电路分析教程》 教学指导书

燕庆明 晓荷

高等教育出版社

内容提要

本书是与《电路分析教程》配套的教学参考书。它由教学指导和习题解析两部分组成。书中所编写的教学目标、教学重点、实施方法、重点指导等内容不但对任课教师有参考价值,而且对于学生学习本课程也有指导作用。通过阅读对教材中习题的解析过程,可以帮助学生深化对有关概念的理解,提高分析问题的能力。

本书风格独特、例题典型、题解思路清晰,适于广大师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

《电路分析教程》教学指导书/燕庆明 晓荷编.

北京:高等教育出版社,2003.7

ISBN 7-04-013096-3

I. 电... II. ①燕... ②晓... III. 电路分析-高等学校-教学参考资料 IV. TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 058266 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷

开 本 787×960 1/16
印 张 10.75
字 数 190 000

版 次 年 月第 1 版
印 次 年 月第 次印刷
定 价 14.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用型人才工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

前 言

《电路分析教程》是为大学电气信息类专业本科生编写的教材。为了适应教学改革的需要,帮助教师实施教学,除了教材和多媒体 CAI 课件外,我们编写了本书,供广大师生参考。

实施电路分析这门课程的教学,最重要的是抓住三个“基本”,即基本概念、基本理论和基本分析方法。要循序渐进,强化概念,理论联系实际,切忌空洞抽象。我们在教材编写中也是从感性入手,逐渐向理性推进的。许多新概念的引入,尽量先从事实出发。如图论的引入,是从七桥趣题开始的;受控源的概念,是先通过四个例子引入的,而不是通常先给出四个抽象模型,造成学生接受的困难。老子说过:“天下之难作于易。”内容如此优美、丰富的电路课程,要成为初学者的兴趣导师,而不能变成他们的拦路虎。

教材的一个重要特点,是体现了科学教育与人文教育互相交融的教育理念。书中结合基本内容介绍了许多最新技术和文、史、哲等有趣知识。因为教育改革的发展已经使我们清醒地认识到文理交融的重要性。人类需要牛顿,也要莎士比亚;需要康德,也要贝多芬。“文科的哲学,必置根于自然科学,而理科学者最后的假定,亦往往牵涉哲学。”(蔡元培)。“实现科学与艺术、科技与人文的融合,已经成为教育家和科学家共同的理想追求……可以说,在教育上,实现科学与艺术、科技与人文的完美结合,是现代大学成功的重要标志,也是培养能适应新世纪发展需要之人才的希望所在。”(李政道)。因此,教材中所潜心介绍的有关知识,对于培养学生的科学思想、提高学生的综合素质是有益的。当然,这也给教师提出了更高的要求。

为了便于教学,我们在教材内容的叙述上尽量通俗易懂,在体系结构上尽量层次分明。它适用于电气信息类许多专业,但不同专业,教师要视需要对教学内容做适当调整,学时安排可多可少。若按课内教学 76 学时安排(包括讲课和讨论),参考方案如下:

第 1 章	2 学时
第 2 章	10 学时
第 3 章	8 学时
第 4 章	6 学时
第 5 章	10 学时

第 6 章	8 学时
第 7 章	12 学时
第 8 章	8 学时
第 9 章	4 学时
第 10 章	8 学时
合计	76 学时

若按每周 4 学时实施,共 19 周可完成。多媒体 CAI 课件的内容可在教师指导下由学生自主学习。

实施本课程的教学,要求学生有大学物理电磁学、线性代数和微积分及微分方程的学习背景。

为了给师生提供一些帮助,本书对教材的各章(除导论外)均编写了五部分内容,即教学目标、教学重点、实施方法、重点指导和习题解析。希望通过教师的实践,不断改进,不断创新,提高教学质量。

作者

2003 年 3 月

于无锡 江南大学

目 录

第1章 导 论	1
1.1 电气和电子科学与技术的发展	1
1.2 科学并不神秘 实践才出真知	2
1.3 崇尚科学 追求真理 造福于人类	2
1.4 初步了解电路、信号与系统的概念	2
第2章 基本概念	3
2.1 教学目标	3
2.2 教学重点	3
2.3 实施方法	3
2.4 重点指导	4
2.4.1 电路的基本变量	4
2.4.2 基本元件 R 、 L 、 C 的特性	4
2.4.3 KCL、KVL 和欧姆定律	6
2.4.4 独立源和受控源	7
2.4.5 等效电路的概念	9
2.5 第2章习题解析	14
第3章 电路的分析方法	30
3.1 教学目标	30
3.2 教学重点	30
3.3 实施方法	30
3.4 重点指导	30
3.4.1 网孔分析法	30
3.4.2 节点分析法	31
3.4.3 叠加定理的应用	32
3.4.4 戴维宁定理的应用	32
3.5 第3章习题解析	34
第4章 网络图论	50

4.1	教学目标	50
4.2	教学重点	50
4.3	实施方法	50
4.4	重点指导	50
4.5	第4章习题解析	53
第5章	正弦交流电路	61
5.1	教学目标	61
5.2	教学重点	61
5.3	实施方法	61
5.4	重点指导	61
5.5	第5章习题解析	66
第6章	频率特性与谐振	82
6.1	教学目标	82
6.2	教学重点	82
6.3	实施方法	82
6.4	重点指导	82
6.5	第6章习题解析	86
第7章	双口网络分析	96
7.1	教学目标	96
7.2	教学重点	96
7.3	实施方法	96
7.4	重点指导	96
7.5	第7章习题解析	101
第8章	一阶电路的时域分析	117
8.1	教学目标	117
8.2	教学重点	117
8.3	实施方法	117
8.4	重点指导	117
8.5	第8章习题解析	121
第9章	二阶电路的时域分析	136

9.1	教学目标.....	136
9.2	教学重点.....	136
9.3	实施方法.....	136
9.4	重点指导.....	136
9.5	第9章习题解析	140
第10章	非线性电路分析	147
10.1	教学目标	147
10.2	教学重点	147
10.3	实施方法	147
10.4	重点指导	147
10.5	第10章习题解析	151
	参考文献	161

第1章

导 论

1.1 电气和电子科学与技术的发展

诵诗能使人心旷神怡,变得灵秀;读史能使人贯通古今,变得聪慧。在电的领域中,远的不说,近200多年的发展历史,特别是近100年所取得的成果令人惊叹不已。这里不妨就主要的成果再作补充。

蓄电池(冯克莱斯特,1745年发明)、避雷针(富兰克林,1752)、电荷守恒原理(富兰克林,1749)、化学电源(伏特,1800)、电流的磁效应(奥斯特,1820)、谐波分析法(傅立叶,1822)、安培定律(1825)、欧姆定律(1827)、电磁感应定律(法拉第,1831)、电动机(亨利,1829)、发电机(1832)、电报机(莫尔斯,1837)、基尔霍夫定律(1845)、等效电源定理(霍尔姆兹,1853)、戴维宁(1883)、白炽灯泡(爱迪生,1879)、自激发电机(1855)、电动力学(麦克斯韦,1864)、回路法与节点法(麦克斯韦,1873)、交流高压输电(1882)、无线电通信(马可尼,1894)、电话(贝尔,1875)、复数用于电路理论(史坦麦兹,1894)、发现电子(汤姆逊,1897)、算子法(亥维赛德,1899)、 Δ -Y变换(凯利,1899)、对偶原理(罗斯,1904)、真空二极管(弗莱明,1904)、真空三极管(福斯特,1907)、阻抗概念(亥维赛德,1911)、无线电广播(1916)、滤波器概念(巴提莫,1918)、理想变压器概念(坎贝尔,1920)、四端网络(黑箱)概念(玻利塞,1921)、电抗定理(福斯特,1924)、电视机(贝尔德,1925)、半导体(1915)、暂态响应概念(柯普谬勒,1926)、雷达(1935)、黑白电视(1933)、诺顿定理(1937)、晶体管(巴丁等,1947)、电子计算机(莫利奇等,1946)、彩色电视(1954)、录像机(1956)、集成电路(基尔比,1958)、激光器(1960)、大型IC计算机(1964)、卫星通信(1965)、互联网(1969)、微处理机(1971)、个人计算机(1975)、巨型计算机(1976)。

实践不断发展,认识不断深化,创新不断出现。从电子管到晶体管,从模拟电路到数字电路,从线性电路到非线性电路、从分立元件到集成电路,从小规模集成电路到大规模集成电路,从人工设计到自动设计等等,科技不断地从低级向高级发展。目

前 关于电理论的研究更加深入 应用的领域更加广泛 发展的前景更加迷人。

1.2 科学并不神秘 ,实践才出真知

宇宙间一切事物都有其规律性。天体变化、物理过程、化学过程、机械运动、生态过程。社会发展等都有其科学规律。许多科学发现和发明创造 ,在它们问世之初通常并不复杂。法拉第发现电磁感应定律的装置、贝尔的电话、莫尔斯的电报、马可尼的无线电、爱迪生的电灯、留声机等都是如此。但是 ,一切真知都源于实践 ,是经过几年甚至几十年的反复实验才取得的。

1.3 崇尚科学 ,追求真理 ,造福于人类

任何有成就的科学家都有自己的信条和人生理想。富兰克林冒着生命危险放风筝 ,把闪电引入“手中” ,画家出身的莫尔斯把别人的讥讽抛在脑后 ,41岁开始立志发明电报 ,教师出身的贝尔虽然不懂电学和机械 ,但在亨利的鼓励下发明电话 ,20岁的马可尼克服种种困难实现无线电通信。古今中外 ,事例很多。科学家们成功的关键是具有追求科学、立志创新的欲望和激情。

1.4 初步了解电路、信号与系统的概念

在导论教学中 ,要引导学生初步了解的几个概念是 :电路(网络)、集总参数电路与分布参数电路、线性电路与非线性电路、时变电路与时不变电路、信号和系统。在电路分析教学中 ,正确理解以下框架是有益的。

第2章

基本概念

2.1 教学目标

通过本章学习,要让学生掌握电路的基本概念和基本定律。学会电阻电路的串、并联化简、分流、分压和电源互换等方法。为学习以后各章打下基础。

2.2 教学重点

1. 电路的基本变量;
2. 基本元件 R 、 L 、 C 的特性;
3. KCL、KVL 和欧姆定律;
4. 独立源和受控源;
5. 等效电路的概念。

2.3 实施方法

实施本章教学可以安排 10 学时,其中对讲授和讨论学时的分配,可以由教师根据情况自行决定。课后要求学生看 CAI 课件,以便增加或巩固所学知识。本章共有 32 个习题,要求学生至少完成 20 个习题的作业量。

2.4 重点指导

2.4.1 电路的基本变量

电路中常用的基本变量为 u 、 i 、 q 、 Φ 其中

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

$$u(t) = \frac{dw}{dq}$$

$$u(t) = \frac{d\Phi}{dt}$$

且瞬时功率

$$p(t) = \frac{dw}{dt} = u(t)i(t)$$

在应用这些物理量分析问题时,一定要注意以下三个问题:

1. 在电路图中所用到的电流或电压,一定要先设出参考方向,这是求解电路的前提,否则所得结果的正、负值没有意义。

2. 一定要弄清某支路上电流和电压方向是关联还是非关联。否则无法列写方程。如图 2-1 所示,对于电路(支路) N_2 而言 u 和 i 的方向是关联的;对于电路(支路) N_1 而言 u 和 i 的方向是非关联的。

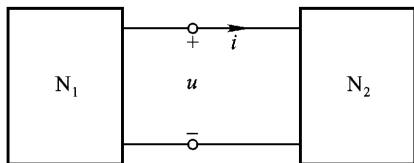


图 2-1

3. 在计算某支路的功率时,若 u 和 i 方向关联,则功率

$$p = ui$$

若 $p > 0$, 则说明该支路吸收(消耗)功率;若 $p < 0$, 则说明该支路产生功率。例如图 2-1 所示,由于电路 N_1 外部 u 、 i 非关联,故 N_1 消耗的功率应写为

$$p_{\text{吸收}} = -ui$$

或者说 N_1 产生的功率为

$$p_{\text{产生}} = ui$$

2.4.2 基本元件 R 、 L 、 C 的特性

对于基本元件 R 、 L 、 C 的教学,要明确以下重要概念:

1. 基本元件 R 、 L 、 C 分别是实际电阻器、电感器和电容器的理想元件模型。

通常所说的 R 、 L 、 C 是对应的各线性时不变元件的量值常数。线性基本元件的电压电流关系 (VCR) 最为重要。例如

$$u(t) = Ri(t)$$

即在线性电阻上, 电压与电流成正比, 比例系数为 R , R 称为线性电阻的阻值。对线性电容, 有

$$i(t) = C \frac{du}{dt}$$

即 $i(t)$ 与电压的变化率成正比, 比例系数 C 为线性电容的电容量。对线性电感, 有

$$u(t) = L \frac{di}{dt}$$

即 $u(t)$ 与电流的变化率成正比, 比例系数 L 为线性电感的电感量。

2. 电容元件和电感元件为记忆元件, 而电阻元件为无记忆元件。这是因为

$$\begin{aligned} u_C(t) &= \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau \\ &= u_C(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau \quad (t \geq t_0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_L(t) &= \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u(\tau) d\tau \\ &= i_L(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u(\tau) d\tau \quad (t \geq t_0) \end{aligned}$$

即在电容上 $t < t_0$ 时的电流作用都由 $u_C(t_0)$ 来记忆, 在电感上 $t < t_0$ 时的电压作用都由 $i_L(t_0)$ 来记忆。

若在 $t=0$ 时电容上电流为有限值, 电感上电压为有限值, 则分别有

$$u_C(0_-) = u_C(0_+)$$

$$i_L(0_-) = i_L(0_+)$$

这反映了电容电压的连续性和电感电流的连续性。

3. 由于电容元件和电感元件的 VCR 为微分或积分关系, 故电容对于直流相当于开路, 电感对于直流相当于短路。而对变化的电压或电流, 通过微、积分关系可进行各种波形变换。

4. 利用基本变量 u, i, q, Φ , 不仅可以在三个平面分别定义元件 R, L, C , 而且还可以在 $\varphi-q$ 平面定义新的元件——忆阻器。利用电学中的这种观点, 还可类推到机械平移系统、机械转动系统和流体力学系统。具体见图 2-2 所示。由图可知, 虽然系统的性质不同, 但各系统基本变量的关系却惊人地相似。因此, 机械系统、流体力学系统也可以构建类似电学的模型来模拟。

2.4.3 KCL、KVL 和欧姆定律

分析集总参数电路的基本定律是基尔霍夫电流定律、电压定律和欧姆定律。教学中所要明确的概念是：

1. KCL 是电路中各支路在节点(封闭面)处必须满足的电流约束关系 ,与支路(元件)的性质无关。KCL 是电荷守恒的体现。

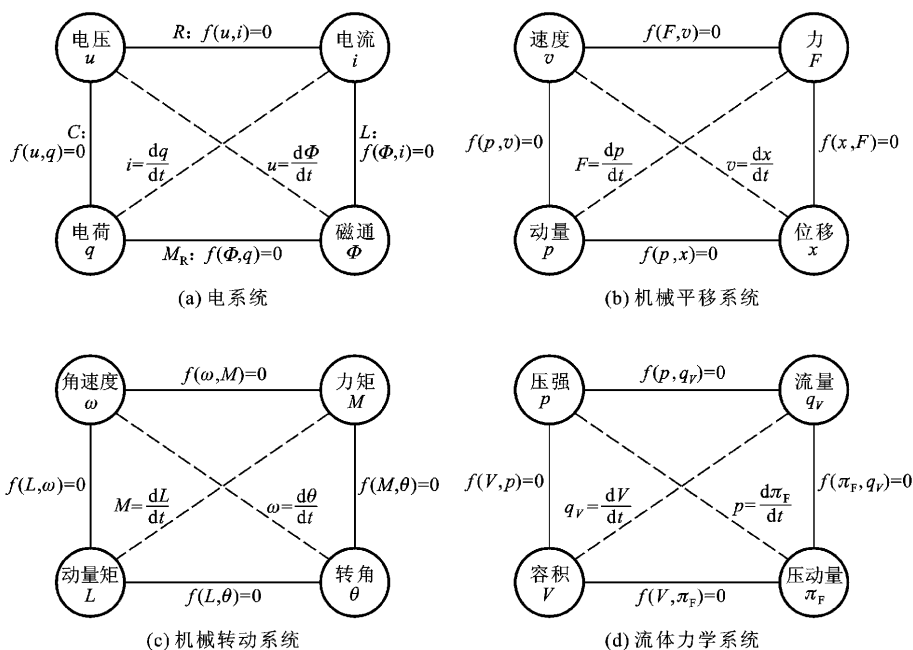


图 2-2

2. KVL 是电路的各回路中必须满足的电压约束关系 ,与回路中各支路的性质无关。KVL 是能量守恒的体现。

3. KCL 和 KVL 不但适用于线性电路 ,也适用于非线性电路 ,既适用于时不变电路 ,也适用于时变电路。

4. 欧姆定律仅适用于线性电阻 ,不管线性电阻上电压、电流如何变化 ,都必须服从欧姆定律。

在应用 KCL、KVL 和欧姆定律分析电路时 ,必须首先假设所关心的各支路电流、电压的参考方向 ,否则无法正确地列出有关方程。

例 2-1 如图 2-3 所示电路 ,试求电压 U 和电流 I_2 。

解 对于节点 A ,由 KCL 得

$$I_2 = 10 + I_1$$

对于回路 1, 由 KVL 有

$$5I_2 + 4I_1 + I_2 + 2I_1 = 0$$

将 $I_2 = 10 + I_1$ 代入上式得

$$6(10 + I_1) + 6I_1 = 0$$

故

$$I_1 = -5 \text{ A}$$

进而

$$I_2 = 5 \text{ A}$$

由欧姆定律得

$$U = -2I_1 = -2(-5) \text{ V} = 10 \text{ V}$$

例 2-2 如图 2-4 所示电路, 试求 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 和电压 U 。

解 该电路含有短路电流 I_3 。因 3Ω 和

6Ω 电阻为并联, 故从分流关系得

$$I_1 = \frac{6}{3+6} \times 2 \text{ A} = \frac{6}{9} \times 2 \text{ A} = \frac{4}{3} \text{ A}$$

由 KCL 得

$$I_2 = 2 - I_1 = \frac{2}{3} \text{ A}$$

由欧姆定律得

$$I_4 = \frac{10 \text{ V}}{10 \Omega} = 1 \text{ A}$$

再由 KCL

$$I_3 = I_4 - I_2 = \left(1 - \frac{2}{3}\right) \text{ A} = \frac{1}{3} \text{ A}$$

由 KVL 得

$$U = 3I_1 + 10 = \left(3 \times \frac{4}{3} + 10\right) \text{ V} = 14 \text{ V}$$

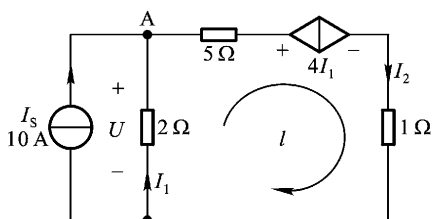


图 2-3

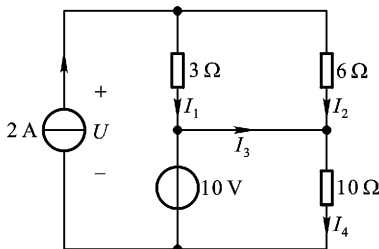


图 2-4

2.4.4 独立源和受控源

在电路分析中, 所遇到的电源元件分为独立电源和受控电源两类。与此相关的重要概念如下:

1. 理想电压源和理想电流源是实际电源在不考虑内阻影响时的电路模型。电压源输出的电压与负载变化无关; 电流源输出的电流与负载变化无关。电压源支路的电流必须通过外电路决定; 电流源两端的电压必须通过外电路决定。

2. 实际电源可以根据其外特性用电压源串联内阻形式或用电流源并联内阻形式两种模型表示, 如图 2-5 所示。

由于上述模型(a)的 $u-i$ 关系可以写为

$$u = u_s - R_s i$$

因此,当已知某支路端口处的 $u-i$ 关系曲线后,应能写出上式方程并画出其电路模型。特别是,根据等效概念,图 2-5 所示的两种模型可以等效互换。

3. 受控源模型的重要应用之一是模拟电路中某些电子器件所发生的电气过程。四种线性受控源可以分别表示为:

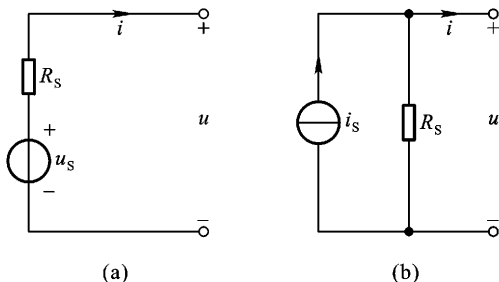


图 2-5

$$\text{VCVS} : u_{Su} = \mu u$$

$$\text{VCCS} : i_{Su} = g u$$

$$\text{CCVS} : u_{Si} = r i$$

$$\text{CCCS} : i_{Si} = \beta i$$

式中 μ g r β 均为常数, u 或 i 为电路中某支路的电压或电流, 为控制量。

若受控源为非线性的, 即被控量是控制量的非线性函数, 则可分别表示为

$$u_{Su} = f(u)$$

$$i_{Su} = f(u)$$

$$u_{Si} = f(i)$$

$$i_{Si} = f(i)$$

4. 在受控源元件的教学中,传统的教材大多首先引入四端元件模型。多年的教学实践证明,许多学生很难理解这种抽象的定义方式。为此,在《电路分析教程》中,我们是以四个例题的方式给出四种受控源的概念和分析方法。这样便于学生理解和接受。

例 2-3 如图 2-6(a) 所示电路,已知网络 N 的外部 $u-i$ 关系(VCR) 曲线如图(b)所示。试求电流 i 。

解 由图 2-6(b) 特性曲线所示,可以把 N 等效为一个实际电源模型,其 VCR 可以表示为

$$u = 10 - 2000i$$

即一个 10 V 电压源和 2 k Ω 内阻串联。把它再和外电路连接为图 2-7,则可解得

$$i = \frac{(10 - 4) \text{ V}}{6 \text{ k}\Omega} = 1 \text{ mA}$$