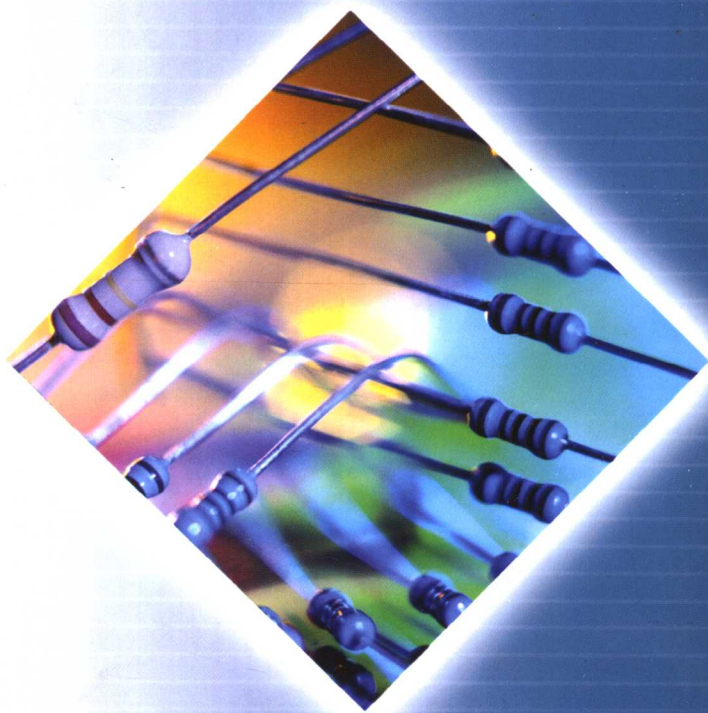




教育科学“十五”国家规划课题研究成果

电路学习指导与实验教程

陈意军 主 编

黄望军 程春红 副主编



高等教育出版社

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

电路学习指导与实验教程

陈意军 主编

黄望军 程春红 副主编

高等教育出版社

内容简介

本书是教育科学“十五”国家规划课题——“21 世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究成果,也是编者及同仁多年电路课程教学的心得。

本书共分三部分。第一部分为电路学习指导,包括电路模型和电路定理、电路的等效变换、线性电阻电路分析方法及电路定理、动态电路的时域分析、基本正弦电流电路、互感与谐振电路、三相电路、非正弦周期电流电路及非线性电路、电路的频域分析与网络函数、二端口网络、电路方程的矩阵形式共 11 章;第二部分为电路实验教程,包括电路实验技术、实验项目两章。其中实验项目含基本实验、综合实验和设计实验共 25 个;第三部分为附录,内容包括自检题、常用电工仪表与仪器。

本书可供高等学校电类及电气信息类本、专科专业的师生作为电路课程的教学参考书及电路实验教学教材,也可作为学生考研复习电路理论的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电路学习指导与实验教程/陈意军主编. —北京:高等教育出版社,2006.2

ISBN 7-04-018463-X

I. 电... II. 陈... III. 电路-高等学校-教学参考资料 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 003427 号

策划编辑	吴陈滨	责任编辑	王莉莉	封面设计	于文燕	责任绘图	朱 静
版式设计	范晓红	责任校对	金 辉	责任印制	孔 源		

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 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭成印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 18.25
字 数 440 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2006 年 2 月第 1 版
印 次 2006 年 2 月第 1 次印刷
定 价 21.20 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

物料号 18463-00

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余所以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 In 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培养工作的实际需要,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培养工作,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型人才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

本书是教育科学“十五”国家规划课题——“21 世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究成果,可作为应用型高等学校本科“电路”类课程配套学习指导和实验的教材;或作为与“电路”类课程并行但独立设课的“电工测量基础”类课程的教学参考书;也可作为高等专科学校“电路与磁路”学习指导与实验的教材。

本书共分三部分。

第一部分为电路学习指导。内容包括:电路模型和电路定理、电路的等效变换、线性电阻电路分析方法及电路定理、动态电路的时域分析、基本正弦电流电路、互感与谐振电路、三相电路、非正弦周期电流电路及非线性电路、电路的频域分析与网络函数、二端口网络、电路方程的矩阵形式。每章都包括重点与难点、学习指导和例题分析三个部分。

第二部分为电路实验教程。内容包括:电路实验技术、实验项目。电路实验技术介绍了实验的意义、目的和基本要求,实验基本知识,测量方法和误差分析以及实验设计。实验项目由电阻电路单元模块、基本交流电路模块、三相电路模块、动态电路模块、多端有源件与滤波器模块构成,共包含基本实验、综合实验和设计实验 25 个。有关专业可根据学生的不同要求选择不同的实验内容。

第三部分为附录。内容包括:自检题、常用电工仪表与仪器。学生通过做自检题,能较好地检验学习效果,提高分析问题的能力。学生在认真阅读常用电工仪器设备的原理与使用后,能比较熟练地掌握有关仪器仪表的使用方法,并通过在实验课中的应用,提高学生使用仪器仪表的能力,培养工程技术人员应该具备的基本技能。

本书在内容的组织和编写上具有以下特点:

1. 注重电路学习中重点与难点的分析。电路学习指导部分对电路学习中各章的主要知识点、重点与难点做了全面的总结和归纳,对学生在学习电路理论中灵活应用和综合分析中的困难做了重点介绍,通过大量典型例题加强了学习辅导。

2. 电路学习指导和实验教程融为一体。将电路理论分析与实验技能培养有机结合,不仅帮助学生理解所学的电路基础理论知识,更重要的是提高学生分析问题和解决问题的能力,培养学生严谨的科学作风。所选择的学习指导内容和实验的难易程度覆盖了不同层次的教学要求,有利于帮助不同层次的学生掌握电路基本理论和基本实验技能。

3. 加强学生创新能力和工程素质培养。为满足不同专业、不同层次学生对创新能力和工程素质培养的要求,为学生进行开放性实验和个性培养创造条件,教材在许多实验中安排自选仪器设备、自拟实验步骤、设计实验电路等实验任务,并提供部分综合和设计实验项目,以提高学生的实验设计能力,对其进行创新精神的培养。

本书的电路实验教程按总学时 20~50 学时编写,其中基本实验一般为每次实验 2 学时,综

合实验与设计实验为 2~4 学时。各学校可根据教学条件、不同的教学基本要求和学时进行选择。

参加本书编写工作的有陈意军(第一篇的第 1、2、3 章;第二篇)、黄望军(第一篇的第 4、8、9 章及附录 A、B)、程春红(第一篇的第 5、6、7、10、11 章)。全书由陈意军任主编,负责全书的统稿和定稿工作;黄望军和程春红任副主编,协助主编的工作。

本书由湖南科技大学吴新开教授仔细审阅,并提出了许多宝贵的修改意见。编写过程中还得到了湖南工程学院电气与信息工程系电工电子教研室、电工电子实验中心各位老师的精心指导与帮助,谨在此致以衷心的感谢!特别感谢杨四秧副教授为本书的初稿所作的贡献。感谢方克成、龙泳涛、李立和胡鹤宇老师的关心与指导。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,衷心欢迎读者,特别是使用本书的教师和同学们批评、指正,并提出改进意见。

编者

2005 年 10 月

目 录

第一篇 电路学习指导

第1章 电路模型和电路定理	1	和数目	24
1.1 学习要点	1	3.2.2 系统分析方法	24
1.1.1 要点	1	3.2.3 电路定理	26
1.1.2 重点与难点	1	3.2.4 含理想运算放大器电路	
1.2 学习指导	1	的分析	30
1.2.1 电压、电流的参考方向与		3.3 例题分析	31
功率	1	第4章 动态电路的时域分析	40
1.2.2 电路元件	2	4.1 学习要点	40
1.2.3 基尔霍夫定律	4	4.1.1 要点	40
1.3 例题分析	5	4.1.2 重点与难点	40
第2章 电路的等效变换	12	4.2 学习指导	40
2.1 学习要点	12	4.2.1 电路的初始值	40
2.1.1 要点	12	4.2.2 一阶电路的求解	41
2.1.2 重点与难点	12	4.2.3 一阶电路的零状态响应	42
2.2 学习指导	12	4.2.4 一阶电路的全响应	43
2.2.1 电阻串、并联及星形、三角形		4.2.5 一阶电路的阶跃响应	43
等效电路	12	4.2.6 一阶电路的冲激响应	45
2.2.2 无源二端网络的等效电路		4.2.7 求解一阶电路响应的	
求解方法	13	三要素法	45
2.2.3 有源二端网络的等效电路	14	4.2.8 二阶电路	46
2.3 例题分析	15	4.3 例题分析	48
第3章 线性电阻电路分析方法及		第5章 基本正弦电流电路	60
电路定理	23	5.1 学习要点	60
3.1 学习要点	23	5.1.1 要点	60
3.1.1 要点	23	5.1.2 重点与难点	60
3.1.2 重点与难点	23	5.2 学习指导	60
3.2 学习指导	24	5.2.1 正弦量概念及基本知识	60
3.2.1 独立节点、独立回路的选取		5.2.2 R 、 L 、 C 元件的伏安关系的	

相量形式	62	8.2.4 非线性电阻、电容、电感 的概念	105
5.2.3 阻抗的串联和并联	63	8.2.5 小信号分析法	106
5.2.4 正弦电流电路的功率	64	8.3 例题分析	107
5.2.5 正弦电流电路的分析方法	65	第9章 电路的频域分析与网络函数	113
5.3 例题分析	66	9.1 学习要点	113
第6章 互感与谐振电路	75	9.1.1 要点	113
6.1 学习要点	75	9.1.2 重点与难点	113
6.1.1 要点	75	9.2 学习指导	113
6.1.2 重点与难点	75	9.2.1 运算电路	114
6.2 学习指导	75	9.2.2 拉普拉斯反变换	115
6.2.1 含互感的计算	75	9.2.3 网络函数的定义	116
6.2.2 空心变压器	77	9.2.4 网络函数与冲激响应	117
6.2.3 理想变压器	79	9.3 例题分析	117
6.2.4 电路的谐振	79	第10章 二端口网络	126
6.3 例题分析	82	10.1 学习要点	126
第7章 三相电路	89	10.1.1 要点	126
7.1 学习要点	89	10.1.2 重点与难点	126
7.1.1 要点	89	10.2 学习指导	126
7.1.2 重点与难点	89	10.2.1 二端口网络的定义	126
7.2 学习指导	89	10.2.2 二端口网络的方程 与参数	127
7.2.1 三相电路的连接	89	10.2.3 二端口网络的等效电路	127
7.2.2 对称三相电路的分析方法	91	10.2.4 二端口网络的连接	128
7.2.3 不对称三相电路的计算	92	10.2.5 回转器及负阻抗变换器	130
7.2.4 三相电路功率的计算与测量	92	10.3 例题分析	132
7.3 例题分析	93	第11章 电路方程的矩阵形式	139
第8章 非正弦周期电流电路及非 线性电路	103	11.1 学习要点	139
8.1 学习要点	103	11.1.1 要点	139
8.1.1 要点	103	11.1.2 重点与难点	139
8.1.2 重点与难点	103	11.2 学习指导	139
8.2 学习指导	103	11.2.1 关联矩阵、回路矩阵和割集 矩阵	139
8.2.1 周期函数分解为傅里叶级数	103	11.2.2 节点电压法的矩阵形式	141
8.2.2 非正弦周期电流电路的有效值和 平均功率	105	11.2.3 状态方程	143
8.2.3 非正弦周期电流电路 的计算	105	11.3 例题分析	143

第二篇 电路实验教程

第1章 电路实验技术	149	实验十一 磁耦合线圈的研究	189
1.1 实验的意义、目的和基本要求	149	实验十二 综合实验 无源二端网络参数的测量	192
1.1.1 实验的意义	149	2.3 三相电路模块	194
1.1.2 实验的目的	149	实验十三 三相电路中电压和电流测量	194
1.1.3 实验的基本要求	149	实验十四 三相电路功率测量	197
1.2 实验基本知识	150	实验十五 设计实验 仪用三相电压源电路设计	200
1.2.1 电工仪器设备的选用	150	2.4 动态电路模块	201
1.2.2 合理布局与正确接线	152	实验十六 RC 移相电路的研究	201
1.2.3 有效数字	153	实验十七 一阶电路的响应研究	204
1.2.4 实验数据的读取	154	实验十八 二阶电路的响应研究	208
1.2.5 实验故障的分析和处理	155	2.5 多端有源器件与滤波器模块	210
1.3 测量方法和误差分析	156	实验十九 运算放大器和受控源	210
1.3.1 测量方法	156	实验二十 综合实验 含运算放大器电路的综合分析	216
1.3.2 误差的简单分析	157	实验二十一 综合实验 负阻抗变换器的特性研究	219
1.4 实验设计	161	实验二十二 综合实验 回转器特性测试	222
1.4.1 设计步骤	161	实验二十三 二端口网络参数的测定	226
1.4.2 设计思路	161	实验二十四 设计实验 有源滤波器的设计	229
1.4.3 设计实例	162	实验二十五 无源滤波器的设计	235
提示思考与习题	164	附录 A 自检题	237
第2章 实验项目	166	A.1 一阶段自检题	237
2.1 电阻电路单元模块	166	A.2 二阶段自检题	239
实验一 直流电阻的测量	166	A.3 三阶段自检题	240
实验二 电位测量和电路故障的处理	168	A.4 四阶段自检题	242
实验三 电阻器与理想电源模型的伏安特性测定	170	A.5 五阶段自检题	244
实验四 叠加定理和基尔霍夫定律的验证	172	A.6 研究生入学考试模拟试题	245
实验五 电源模型的等效变换	174	A.7 研究生入学考试模拟试题	248
实验六 设计实验 戴维宁定理的研究	176	附录 B 常用电工仪表与仪器	254
2.2 基本交流电路模块	179	B.1 电工仪表的基本知识	254
实验七 示波器的使用	179		
实验八 正弦交流电路中器件参数的测量	181		
实验九 RLC 串联电路的谐振	183		
实验十 功率因数的提高	186		

B. 1. 1 电工仪表的分类	254	B. 4. 2 数字万用表的使用注意 事项	268
B. 1. 2 电工指示仪表的主要 技术性能	254	B. 5 调压器	268
B. 1. 3 指示仪表的组成	256	B. 6 晶体管毫伏表	269
B. 2 磁电系仪表	257	B. 6. 1 仪表的特点和结构	269
B. 2. 1 磁电系仪表的结构和 工作原理	257	B. 6. 2 晶体管毫伏表的使用	269
B. 2. 2 磁电系电流表和电压表	259	B. 7 示波器	270
B. 2. 3 电阻表	260	B. 7. 1 示波器结构	270
B. 2. 4 兆欧表	261	B. 7. 2 示波器显示被测信号 原理	271
B. 3 电动系仪表	262	B. 7. 3 示波器的应用	273
B. 3. 1 电动系仪表的结构和 工作原理	262	B. 8 信号发生器	275
B. 3. 2 电动系功率表(瓦特表)	264	B. 8. 1 信号发生器的组成及工作 原理	275
B. 4 数字万用表	266	B. 8. 2 YB1638 型函数发生器	276
B. 4. 1 DT890D 数字万用表	266		
参考文献	278		

第一篇 电路学习指导

第1章 电路模型和电路定理

1.1 学习要点

1.1.1 要点

1. 电路与电路模型的概念。
2. 电压、电流的参考方向,重点掌握参考方向与实际方向之间的关系。
3. 功率与能量的概念,重点掌握计算与分析。
4. 无源元件 R 、 L 、 C 的定义、主特征,重点掌握元件伏安关系表达式的分析与应用。
5. 电压源与电流源的定义、特征,重点掌握伏安关系的意义、特点与应用。
6. 受控源的概念、类型,重点掌握其在电路中的处理方法。
7. KCL 和 KVL 两个定律的意义、应用条件。

1.1.2 重点与难点

(1) 电路的分析基础是建立在两类约束的基础上进行的,一是元件伏安关系(VAR),它表述的是单件(元件)自身应受到的约束;二是基尔霍夫定律(KCL、KVL),它表达了元件构成整体电路后节点、回路应遵循的约束。两类约束贯穿电路学习全过程,因此本章学习的重点是元件的VAR和电路定律KCL、KVL的应用。

(2) 受控源的概念和含受控源电路的分析是学习的难点,学习中要抓住其特点,特别是与独立电源的异同。

1.2 学习指导

1.2.1 电压、电流的参考方向与功率

1. 电压、电流的实际方向

电流的实际方向规定为正电荷运动的方向;电压的实际方向(极性)规定为电路中两点之间由高电位指向低电位的方向,即高电位端为正极,低电位端为负极。

2. 电流、电压的参考方向

电压、电流的参考方向为电路分析时任意选定的方向,当电压、电流为正值时,实际方向与参考方向相同;当电压、电流的值为负值时,实际方向与参考方向相反。在电路图中标注的方向均为参考方向,电路方程均按参考方向列写。

3. 功率

一般电路或元件的电压与电流参考方向可以任意指定,若电流从标有电压正极的一端流入,从标有负极的另一端流出,则称该电路(元件)的电压、电流参考方向一致,称为关联参考方向,如图1-1-1(a)所示。图1-1-1(b)为非关联参考方向。

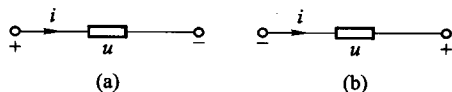


图1-1-1 电路或元件电流与电压参考方向

若元件(支路)的 u 、 i 为关联参考方向时,该段电路吸收的功率为

$$p = ui$$

若元件(支路)的 u 、 i 为非关联参考方向时,该段电路吸收的功率为

$$p = -ui$$

上述两种情况中,当计算的 p 为正值,即 $p > 0$ 时,表明该元件(支路)吸收功率,在电路中的作用相当于负载;当计算的 p 为负值,即 $p < 0$ 时,表明该元件(支路)发出功率,在电路中的作用相当于电源。

1.2.2 电路元件

电路元件有不同的分类方法。依据有源与无源概念分类, R 、 L 、 C 元件为无源元件;电压源、电流源为有源元件,也称独立电源。依据端口多少分类, R 、 L 、 C 、电流源、电压源为二端元件;受控源为四端元件。

1. 电阻元件

电阻元件为理想的二端元件,其主特征是消耗电能。若电阻元件的电阻 R 和电导 G 与电压、电流变化无关,为一常数,则称为线性电阻,反之称为非线性电阻。

线性电阻元件的伏安关系为

关联参考方向下: $u = iR$ 或 $u = i/G$

非关联参考方向下: $u = -iR$ 或 $u = -i/G$

电阻元件的功率,在关联方向下

$$p = ui = i^2 R = u^2 / R = u^2 G$$

上式表明, p 值恒为正,表明任何时刻电阻元件均吸收功率,因此电阻元件为无源元件、耗能元件。

2. 电感元件

电感元件为理想的二端元件,其主特征是储存磁场能量。在关联参考方向下,其伏安关系为

$$u = L \frac{di}{dt}$$

在关联方向下,其功率与能量式为

$$p = ui$$

$$W_L = \frac{1}{2} Li^2$$

分析伏安关系式表明, u, i 为微分关系;分析其功率表达式, p 可大于零,小于零也可等于零,说明电感元件不消耗能量。综上所述,电感元件又称为动态元件,无源元件。

3. 电容元件

电容元件为理想的二端元件,其特征是储存电场能量,在关联参考方向下,其伏安关系和功率为

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

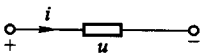
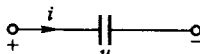
$$p = ui$$

$$W_C = \frac{1}{2} Cu^2$$

与电感元件相比较,它具有对偶性,电容元件也是动态元件,无源元件。

R, L, C 元件的基本特征见表 1-1-1。

表 1-1-1 线性 R, L, C 元件基本特征

元件符号	R	L	C
电路符号			
伏安关系	$u = iR$	$u = L \frac{di}{dt}$	$i = C \frac{du}{dt}$
主 特 征	消耗电能	磁场现象	电场现象
储能公式	0	$W_L(t) = \frac{1}{2} Li^2$	$W_C(t) = \frac{1}{2} Cu^2$

4. 电压源与电流源

(1) 电压源 电压源是理想的二端元件,其电路符号如图 1-1-2(a) 中点画线框所示,其端口伏安关系为:

① $u = u_s$, 电压源电压不随外电路变化。

② 电压源电流 i 的变化决定于外电路,随外电路变化而变化。

(2) 电流源 电流源是理想的二端元件,其电路符号如图 1-1-2(b) 中点画线框所示,其端口伏安关系为:

① $i = i_s$, 电流源电流不随外电路变化。

② 电流源电压 u 的变化决定于外电路,随外电路变化而变化。

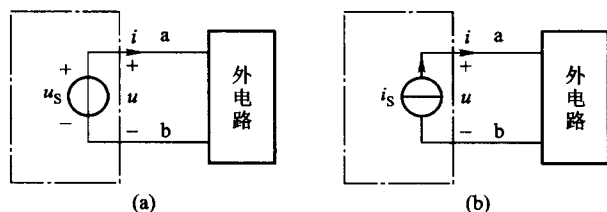


图 1-1-2 电压源与电流源

电压源与电流源均为有源元件,在非关联参考方向下,其功率可表示为

$$p = -ui$$

$p > 0$, 吸收功率, 处于负载状态; $p < 0$, 发出功率, 处于电源工作状态。电压源电压和电流源电流均不受外电路影响, 常将它们称为独立电源; 它们是电路中产生电压、电流响应的基础和原因, 因此, 独立电源的作用又称为激励。

5. 受控源

受控源为四端元件, 如图 1-1-3 所示, 图 (a) 为受控电压源, 图 (b) 为受控电流源。受控源由两部分构成, 一是控制支路, 如图 1-1-3 所示中的 i_1 、 u_1 支路; 二是被控支路, 如图 1-1-3 中的 i_s 、 u_s 支路。如果控制系数 μ 、 g 、 r 、 β 为常数, 被控制量与控制量成比例, 这种受控源称为线性受控源。

当 $u_s = \mu u_1$ 时, μ 为控制系数, u_1 为控制量, 受控源为电压控制的电压源 (VCVS);

$u_s = r i_1$ 时, r 为控制系数, i_1 为控制量, 受控源为电流控制的电压源 (CCVS)。

当 $i_s = g u_1$ 时, g 为控制系数, u_1 为控制量, 受控源为电压控制的电流源 (VCCS);

$i_s = \beta i_1$ 时, β 为控制系数, i_1 为控制量, 受控源为电流控制的电流源 (CCCS)。

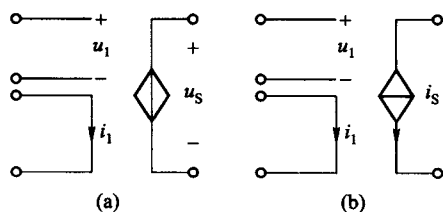


图 1-1-3 受控源

受控源与独立源的异同:

① 独立源具有激励作用, 而受控源不具备。当受控源的控制量为零时, 受控电压源的电压或受控电流源的电流也为零, 受控源只反映控制量与被控制量之间的关系。

② 当受控源控制系数和控制量确定之后, 受控源具有电压源或电流源的特点。

1.2.3 基尔霍夫定律

1. 基尔霍夫电流定律 (KCL)

在集总参数电路中, 任何时刻对于任一节点, 流出该节点电流的代数和恒为零, 即 $\sum i = 0$ 。

使用 KCL 时应注意:

① 它反映了集总参数电路中任一节点遵循的电流约束关系, 与元件性质和参数无关, 可以用于线性和非线性电路、时变和时不变电路。

② 列写 KCL 方程,首先约定电流正方向(如选流出节点方向为正),再选定支路电流参考方向。

③ KCL 定律既可用于节点列写电流方程,也满足广义节点列写电流方程。

④ KCL 定律表明在每一节点上电荷是守恒的。

2. 基尔霍夫电压定律(KVL)

在集总参数电路中,任一时刻,沿任一回路所有支路电压的代数和恒为零,即 $\sum u = 0$ 。

使用 KVL 时应注意:

① 它反映了集总参数电路中任一回路遵循的电压约束关系,与元件性质和参数无关,适用于线性和非线性电路、时变和非时变电路。

② 列写 KVL 方程时,首先约定回路绕行方向,再约定支路(元件)电压参考方向,两者方向一致时取正,反之取负。

③ KVL 是电位单值性的具体体现,即电压与路径无关。

1.3 例题分析

例题 1-1-1 求例图 1-1-1 电路中的电流 I_a 、 I_b 、 I_c 。

解:

(1) 依据欧姆定律,求支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3

$$I_1 = \frac{5}{10} \text{ A} = 0.5 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{5}{10} \text{ A} = 0.5 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{5+5}{10} \text{ A} = 1 \text{ A}$$

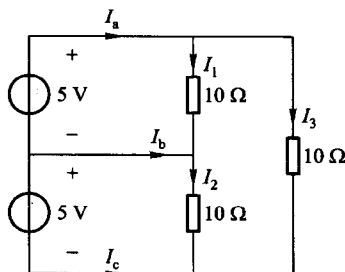
(2) 依据 KCL 定律求 I_a 、 I_b 、 I_c

$$I_a = I_1 + I_3 = 1.5 \text{ A}$$

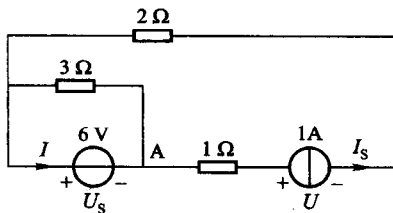
$$I_b = I_2 - I_1 = 0 \text{ A}$$

$$I_c = -I_2 - I_3 = -1.5 \text{ A}$$

例题 1-1-2 求例图 1-1-2 所示电路中电流源和电压源的功率 P_{U_s} 和 P_{I_s} 为多少瓦? 并



例图 1-1-1



例图 1-1-2

校核功率平衡。

解:

(1) 选定电压源电流 I 和电流源电压 U 的参考方向

(2) 用 KCL、KVL 求 I 和 U

$$I_s - I - \frac{6}{3} = 0 \quad \text{得 } I = -1 \text{ A}$$

$$U + I_s(2+1) + 6 = 0 \quad \text{得 } U = -9 \text{ V}$$

(3) 求功率 P_{U_s} 和 P_{I_s}

$$P_{I_s} = I_s U = 1 \times (-9) \text{ W} = -9 \text{ W (发出)}$$

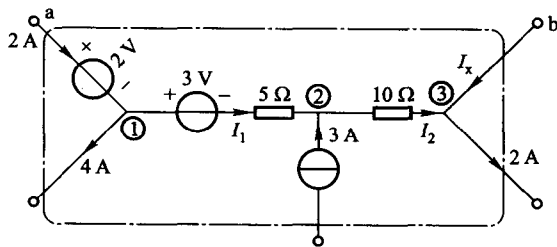
$$P_{U_s} = I U_s = -1 \times 6 \text{ W} = -6 \text{ W (发出)}$$

$$P_R = I_s^2(2+1) + \frac{U_s^2}{3} = \left(1 \times 3 + \frac{36}{3}\right) \text{ W} = 15 \text{ W (吸收)}$$

$P_{I_s} + P_{U_s} + P_R = 0$ 吸收功率等于发出的功率, 功率平衡。

例题 1-1-3 求例图 1-1-3 电路的 I_x 和 U_{ab} 。

解: (1) 点画线框切割的支路构成广义节点, 对其列 KCL 方程求 I_x



例图 1-1-3

$$-I_x + 2 - 3 + 4 - 2 = 0$$

$$I_x = 1 \text{ A}$$

对各节点应用 KCL 定律, 再求 I_x

节点①

$$I_1 = (2 - 4) \text{ A} = -2 \text{ A}$$

节点②

$$I_2 = I_1 + 3 = (-2 + 3) \text{ A} = 1 \text{ A}$$

节点③

$$I_x = 2 - I_2 = (2 - 1) \text{ A} = 1 \text{ A}$$

(2) 应用 KVL 有

$$U_{ab} - 10I_2 - 5I_1 - 3 - 2 = 0$$

$$U_{ab} = [10 \times 1 + 5 \times (-2) + 3 + 2] \text{ V} = 5 \text{ V}$$

例题 1-1-4 一个 $2 \mu\text{F}$ 电容上所加电压波形如例图 1-1-4(a) 所示, 在关联电压、电流参考方向下求 (1) 电容电流 i ; (2) 电容吸收功率 p 。

解: (1) 依据 u 的波形写出函数式 $u(t)$