

21 世纪信息科学与电子工程系列精品教材

DIANLU YUANLI XUEXI ZHIDAO HE KAOYAN ZHIDAO

电路原理学习指导和考研指导

◆ 张红岩 周庭阳 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大學出版社

● 21 世纪信息科学与电子工程系列精品教材

电 路 原 理

学习指导和考研指导

张红岩 周庭阳 编著



浙江大學出版社

内容提要

电路原理课程是电气、自动化、通信、计算机等学科的最重要的基础课之一,通常又是电气类学科考研、自考、学历考试中的主要科目。本书旨在帮助读者迅速、深入地理解和掌握课程的要义,明确重点和难点,并顺利掌握相关知识点之间的互相联系,最终学会根据每个电路所具有的特点,选择最佳的方法对电路进行分析、求解,从而高效率、高质量地学习、掌握课程并做好应试准备。

全书共16章,分为二篇。第一篇共11章,为课程基本内容,同时通过例题对基本概念、基本方法的学习加以指导与提示;第二篇共5章,为典型习题及题解、历年浙江大学电路原理考试试题和硕士研究生入学考试电路原理试题及其参考答案。全书题目丰富,覆盖面广,题型多样,寓于启迪,具有事半功倍的效果。

本书可作为电气、自动化、通信、计算机等学科学生学习电路原理、电路分析课程的辅助教材和参考书,同时又是针对考研、自考、学历考试中的电路原理、电路分析课程的辅导教材。

图书在版编目(CIP)数据

电路原理学习指导和考研指导 / 张红岩,周庭阳编著.
杭州:浙江大学出版社,2006.9
ISBN 7-308-04866-7

I. 电... II. ①张... ②周 III. 电路理论—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092325号

电路原理学习指导和考研指导

张红岩 周庭阳 编著

责任编辑 樊晓燕
封面设计 刘依群
出版发行 浙江大学出版社
(杭州天目山路148号 邮政编码310028)
(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)
(网址: http://www.zjupress.com)
排 版 浙江大学出版社电脑排版中心
印 刷 浙江大学印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 17.75
字 数 431千
版 次 2006年9月第1版 2006年9月第1次印刷
印 数 1000—3000
书 号 ISBN 7-308-04866-7/TM·036
定 价 27.00元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571)88072522

前 言

电路原理就是电子世界的“交通规则”。各种电路广泛应用于电力系统、通信系统、计算机系统、控制系统和信号处理系统,相应地,电路原理课程也成为电气、自动化、通信、计算机等学科的最重要的基础课之一。电路原理把实际电系统转化为数学模型进行研究,其主要内容为集总电路模型所具有的特性及其分析方法,内容抽象,逻辑性较强,故而成为难度较高、挑战性较大的一门课程。为了帮助同学们能迅速地深入理解该课程的要义,顺利掌握相关知识之间的互相联系,学会用最佳的方法分析、计算具体电路,本书作者积多年的教学经验之精华,针对在往年硕士研究生入学考试试卷的批阅过程中发现的问题,编著了这本电路原理学习指导书,以便将多年教学中积累的关于电路原理课程学习的有效方法及各种有助于深入理解和提高的典型习题及其解法介绍给众多的有需要的同学。

本书主要由三部分构成,分别是课程基本内容、典型习题及题解以及历年浙江大学电路原理考试试题和硕士研究生入学考试电路原理试题。

在学习电路原理课程初期,常常有同学感到课程内容繁多,基本概念、定理和各种计算方法难以掌握和灵活运用。在此,根据课程特点,在学习方法上有以下几点建议:

1. 电路的分析和计算都是以电路模型及电压、电流的参考方向为基础的,在最初学习阶段,要真正理解电路模型和电压、电流参考方向的作用。

2. 注重对基本概念和定理的理解。基本概念和定义描述了典型物理问题的本质,通常复杂的问题或现象均是由若干基本物理现象构成的,因此它对新问题具有宽广的适用性。

3. 注重理解物理概念及其数学表达式之间的对应关系。以基尔霍夫电流方程为例,在直流电阻电路中,其数学表达式为代数方程;而在正弦稳态电路中转变为复数方程。

4. 注重对课程内容的整体认识。随着课程内容的不断展开,要注重在整体上对课程内容的认识,掌握课程的基本结构,它包括基本概念、基本定理及其相互之间的关系。这样,就能处理许多看起来似乎生疏但密切关联的知识。对于集总电路而言,基本结构体现在以下几个方面:

(1)任何电路始终满足两条约束,它们是元件伏安特性和基尔霍夫定律。

(2)常用的电路分析法有支路法、回路法、节点法。

(3)简化电路也是分析、计算的方法之一。常用的简化方法有:

1)无源一端口网络的等效变换,可将复杂结构电路简化为简单电路;

2)利用戴维南定理或诺顿定理,可实现有源一端口网络的简化;

3)利用叠加定理,可将复杂激励电路简化为简单激励电路。

(4)基本理论和方法可以在不同的领域中应用。当应用领域演变时,成熟的经典理论和方法仍然适用,改变的仅仅是数学表达形式。如对于直流电阻电路,描述的数学语言为代数;正弦稳态电路为相量;暂态时域分析时为微分方程;频域分析时为象函数。

5. 在学习分析方法时,应注重掌握方法的特点以及优点、局限性和适用场合。对于定理

的学习,仅了解定理的结论是远远不够的,掌握定理成立的条件和使用条件及不同定理的差别是非常重要的。

最后,在电路课程的学习中必不可少的一环是做习题。练习不在于多,而在于深。同学们做每一道题时,要力争深入理解题目中包含的基本概念、定理和方法,只有这样才会有事半功倍的效果,从而理解课程中相继出现的概念、方法、定理及其之间的关系,最终学会根据每个电路所具有的特点,选择最佳的求解方法。其实,很多题目都不过是一些基本题的变形而已。

感谢浙江大学电工电子基础教学中心为本书的撰写提供的各种支持。

因水平有限,书中不足和错误在所难免,希读者给予批评指正。

编者

2006年8月

目 录

第一篇 基本内容和典型题目解析

第一章 电路的基本元件和电路定律	3
一、概 述	3
二、基本内容	3
三、典型例题和真题解析	7
第二章 电路分析的基本方法	11
一、概 述.....	11
二、基本内容.....	11
三、典型例题和真题解析.....	14
第三章 电路的等效变换和基本定理	18
一、概 述.....	18
二、基本内容.....	18
三、典型例题和真题解析.....	25
第四章 正弦交流电路的稳态分析	37
一、概 述.....	37
二、基本内容.....	37
三、典型例题和真题解析.....	58
第五章 非正弦周期电路的计算	70
一、概 述.....	70
二、基本内容.....	70
三、典型例题和真题解析.....	72
第六章 动态电路的经典分析	78
一、概 述.....	78
二、基本内容.....	78
三、典型例题和真题解析.....	94

第七章 电路的 s 域分析及积分法和状态方程	105
一、概 述	105
二、基本内容	105
三、典型例题和真题解析	109
第八章 双端口网络	123
一、概 述	123
二、基本内容	123
三、典型例题和真题解析	128
第九章 网络的矩阵方程	138
一、概 述	138
二、基本内容	138
三、典型例题和真题解析	142
第十章 分布参数电路	149
一、概 述	149
二、基本内容	149
三、典型例题和真题解析	155
第十一章 非线性电路简介	157
一、概 述	157
二、基本内容	157
三、典型例题和真题解析	159

第二篇 练习题、试题及其参考答案

第十二章 直流电阻电路综合练习题	169
一、综合练习题	169
二、综合练习题参考答案	172
第十三章 交流电路的稳态分析综合练习题	179
一、综合练习题	179
二、综合练习题参考答案	183
第十四章 动态电路的暂态分析综合练习题	198
一、综合练习题	198

二、综合练习题参考答案	201
第十五章 二端口网络、网络图论和传输线综合练习题	213
一、综合练习题	213
二、综合练习题参考答案	215
第十六章 历年学期考试试题和考研试题	220
一、考试题	220
(一)浙江大学电路原理考试试题一	220
(二)浙江大学电路原理考试试题二	222
(三)浙江大学电路原理考试试题三	224
(四)浙江大学电路原理考试试题四	228
(五)浙江大学 2001 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	230
(六)浙江大学 2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	233
(七)浙江大学 2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	234
(八)浙江大学 2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	236
二、试题参考答案	239
(一)浙江大学电路原理考试试题一参考答案	239
(二)浙江大学电路原理考试试题二参考答案	242
(三)浙江大学电路原理考试试题三参考答案	245
(四)浙江大学电路原理考试试题四参考答案	248
(五)浙江大学 2001 年攻读硕士学位研究生入学考试试题参考答案	251
(六)浙江大学 2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题参考答案	256
(七)浙江大学 2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题参考答案	263
(八)浙江大学 2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题参考答案	269
参考文献	276

第一篇 基本内容和典型题目解析



第一章 电路的基本元件和电路定律

一、概 述

在电力系统、通信系统、计算机系统、控制系统和信号处理系统等各种不同的系统中存在大量的电气设备,虽然它们的功能各不相同,但它们都遵循相同的电路定律,具有传输、变换、存储电能或电信号等基本功能。电路原理研究的对象是实际的电系统的数学模型,即电路模型所具有的特性及其分析方法。本章的主要内容有:

- (1) 电路,电路元件,电路模型,集总参数电路;
- (2) 电压,电流,功率,参考方向;
- (3) 基尔霍夫电压定律和电流定律。

二、基本内容

(一) 电路和电路模型

电路:通常是指实际的电系统及其数学模型。

电路元件:指反映某一电磁特性的理想器件,是某一电磁现象的数学模型。电路元件可分为电源、负载及耦合元件三类。电源表征了非电能与电能之间的相互转换现象,可分为独立电压源和独立电流源两种;负载表征了电能存在的不同形式,可分为电阻、电感和电容三种;受控电源表征了不同电路元件之间的耦合现象。

电路模型:将实际的电系统用电路元件进行描述,就得到了实际电路的近似数学模型——电路模型。电路的分析、研究,均是对电路模型进行的。

集总参数电路:电路理论的研究对象为集总参数电路。当电路的几何尺寸远小于电路工作频率下的电磁波的波长时,电路可视为集总参数电路,此时,电路可用有限个数的元件来表征,系统的辐射能量可忽略不计。工程上当电路的几何尺寸小于波长的十分之一时,就很好地满足了要求。

(二) 电路的描述变量

常用的电路描述变量为电压、电流和功率。

电流:电荷的有秩序运动形成电流,用电流强度表征电流的大小,简称为电流,其定义为

电荷流动的速率,符号为

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

习惯上,规定正电荷的运动方向为电流方向。在国际单位制中,电流的单位为安培,符号为 A。

电流参考方向:在电路的计算中,很难预先判断电流的真实方向。计算时,可任意假设电流方向,称其为电流参考方向,

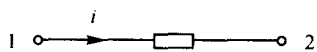


图 1-1 电流的参考方向

在电路图中用箭头表示,如图 1-1 所示。计算时,根据参考方向建立约束方程,求解之后,参考方向和电流值的正、负共同表征了真实的电流。例如,在图 1-1 中,任意假设电流的参考方向为从 1 流向 2,计算后,若电流值为正,说明实际电流方向就是从 1 流向 2;若电流值为负,说明实际电流方向是从 2 流向 1。

电压:单位正电荷由 1 点移至 2 点时,电场力所作的功,为电压(降) $u_{12}(t)$,其表达式为

$$u_{12}(t) = \frac{dW_{12}}{dq}$$

式中: $u_{12}(t)$ 为电压; W_{12} 为能量; q 是电荷量。在国际单位制中,它们的单位分别为伏特、焦耳和库仑,符号分别为 V, J 和 C。

电压参考方向:与电流的情况相同,计算时可先任意假设电压的方向,称为电压参考方向。双下标变量 u_{12} 及图 1-2(a) 中的箭头符号和图 1-2(b) 中的一组正、负号,均表示电压参考方向为 1 点为高电位,2 点为低电位。计算时,根据参考方向建立约束方程,求解之后,若电压值为正,说明实际电压方向为 1 点电位高于 2 点电位,若电压值为负,说明实际电压方向为 2 点电位高于 1 点电位。参考方向和电压值的正、负共同表征了真实的电压。



图 1-2 电压的参考方向

电压参考方向和电流参考方向相互独立,如果取电压参考方向和电流参考方向一致,称为**关联参考方向**,这样,在电路图中只需标出电压或电流的参考方向即可。

功率:电路元件的电压和电流共同决定了功率,其定义为单位时间能量的交换率,表达式为

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

式中: $p(t)$ 为功率,单位为瓦特,符号为 W。

功率的特性由电压和电流的参考方向共同决定。如图 1-3(a) 所示,此时,电压、电流为关联参考方向,功率 $p(t) = u(t) \cdot i(t)$,计算后若 $p(t)$ 为正值,说明元件是吸收功率的;若 $p(t)$ 为负值,说明元件实际在输出功率。在图 1-3(b) 中,电压、电流为非关联参考方向,功率 $p(t) = u(t) \cdot i(t)$,计算后若 $p(t)$ 为正值,说明元件是产生功率的;若 $p(t)$ 为负值,说明元件实际在吸收功率。

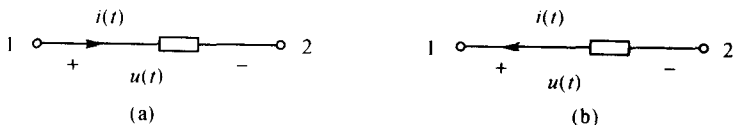


图 1-3 功率的计算

电流、电压的参考方向和数值共同表征了电压、电流和功率变量。对电压、电流而言,若只有数值而没有参考方向是没有意义的。

(三) 部分电路元件

电阻元件:表征将电能转换为其他形式能量的物理现象的二端元件。元件两端的电压 u 和流过元件的电流 i 之间的关系称为元件的伏安特性。电阻元件的伏安特性均可用 $u-i$ 平面上的一条曲线表示。电阻是无记忆元件,即在任一时刻电阻的电压(电流)由同一时刻的电流(电压)所决定。电压和电流成正比的电阻为**线性电阻**,其电路符号如图 1-4 所示,伏安特性如图 1-5 所示。

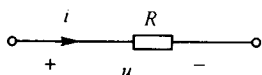


图 1-4 线性电阻的符号

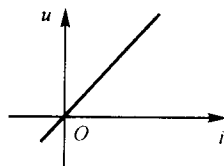


图 1-5 线性电阻的伏安特性

在关联参考方向下,线性电阻的伏安特性为

$$u = Ri$$

或

$$i = Gu$$

式中: R 为电阻,单位为欧姆,符号为 Ω ; G 为电导,单位为西门子,符号为 S ,且有

$$R = \frac{1}{G}$$

此时,电阻吸收的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} = Gu^2$$

电源元件:表征电能与非电能的相互转换现象的二端元件。按伏安特性的不同,可分为理想电压源和理想电流源。

理想电压源:端电压与电源中流过的电流无关,仅为时间的函数,其符号如图 1-6 所示。当电压源电压的大小和方向都不随时间而改变时,称为直流电压源,其伏安特性如图 1-7 所示。其电流的大小取决于电压源的负载,故理想电压源不可短路。

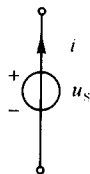


图 1-6 理想电压源符号

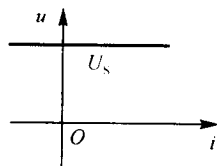


图 1-7 理想直流电压源的伏安特性

理想电流源:电流与电流源两端的电压无关,仅为时间的函数,其符号如图 1-8 所示。当电流源电流的大小和方向都不随时间而改变时,称为直流电流源,其伏安特性如图 1-9 所示。其电压的大小取决于电流源的负载,故理想电流源不可开路

受控电源:表征电路中元件间相互有耦合现象的四端元件,又称为非独立电源。它反映电路中某处的电压或电流(受控支路)被另一处的电压或电流(控制支路)所控制的关系。受

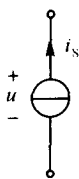


图 1-8 理想电流源符号

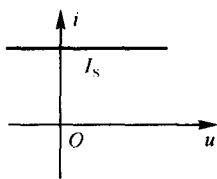


图 1-9 理想直流电流源的伏安特性

控量和控制量成正比的受控源称为线性受控源。受控源可分为电压控制电压源(VCVS)、电压控制电流源(VCCS)、电流控制电压源(CCVS)和电流控制电流源(CCCS)四种,电路符号分别如图 1-10(a)~(d)所示。

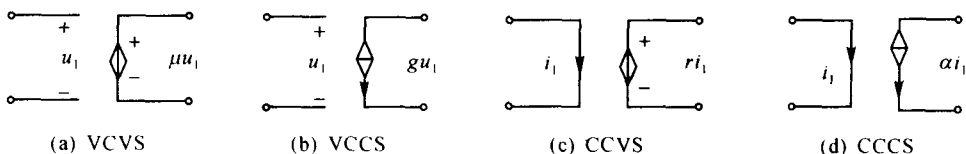


图 1-10 四种受控源

图 1-10 中 μ, g, r, α 为控制系数,均为常数。

(四) 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律描述了电路中电压、电流的结构约束关系,是能量守恒原理和电荷守恒原理在电路中的体现。相关的结构有以下几种。

支路:由一个或一个以上的二端元件串联而成的分支,图 1-11 中, R_1 与 I_{S1} , R_2 与 I_{S2} 和 R_3 分别构成 3 条支路。支路两端的电压称为**支路电压**,流过的电流称为**支路电流**。

节点:两条或两条以上的支路的联接点,如图 1-11 中 a, b 两点。

回路:由电路中的若干支路组成的闭合路径,图中 R_1, R_3, I_{S1} 可构成回路, R_2, I_{S2}, R_3 及 R_1, R_2, I_{S2}, I_{S1} 均组成回路。

基尔霍夫电流定律(KCL):电路中,在任何时刻,任一节点上所有支路电流的代数和等于零,其数学表达式可写为

$$\sum i(t) = 0$$

在应用基尔霍夫电流定律时,首先需约定支路电流关于节点代数值的正负。在图 1-12 中若假设离开节点的支路电流为正,则此时流进节点的支路电流为负, KCL 方程可写为

$$-i_1 - i_2 + i_3 - i_4 + i_5 = 0$$

基尔霍夫电流定律实际上是电流连续性的体现,其也可理解为,所有流进节点的支路电流等于所有流出节点的支路电流。对应的数学表达式为

$$\sum_{\text{流进}} i(t) = \sum_{\text{流出}} i(t)$$

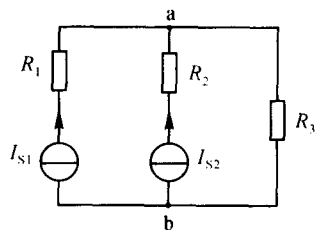
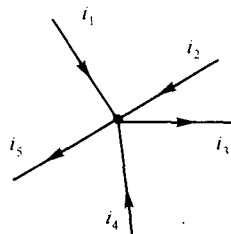


图 1-11

图 1-12 基尔霍夫
电流方程

据此,图 1-12 所示电路的电流方程为

$$i_1 + i_2 + i_4 = i_3 + i_5$$

基尔霍夫电流定律也适用于任一闭合面。

基尔霍夫电压定律(KVL): 电路中,在任何时刻,任一回路中所有支路电压的代数和为零,其数学表达式为

$$\sum u(t) = 0$$

在图 1-13 中,各支路电压分别为

$$u_{ab} = R_1 i_1 - u_{S1}$$

$$u_{bc} = R_4 i_4 + u_{S4}$$

$$u_{cd} = -R_3 i_3 + u_{S3}$$

$$u_{da} = -R_2 i_2 - u_{S2}$$

在列 KVL 方程时,同样需约定支路电压关于回路绕向代数值的正负。若支路电压参考方向与回路绕向一致则为正,相反则为负。在图 1-13 中,取回路绕向为 a-b-c-d-a,则电压方程可写为

$$u_{ab} + u_{bc} + u_{cd} + u_{da} = 0$$

将上述各式带入可得

$$\begin{aligned} R_1 i_1 - u_{S1} + R_4 i_4 + u_{S4} - R_3 i_3 + u_{S3} \\ - R_2 i_2 - u_{S2} = 0 \end{aligned}$$

若将每一元件都视为一条支路,取回路绕向同上,则元件 R_1, R_4, u_{S4}, u_{S3} 的电压代数值为正,元件 u_{S1}, R_3, R_2, u_{S2} 的电压代数值为负,同样,可得

$$R_1 i_1 - u_{S1} + R_4 i_4 + u_{S4} - R_3 i_3 + u_{S3} - R_2 i_2 - u_{S2} = 0$$

由基尔霍夫电压定律可知,电路中任意两点间的电压与计算路径无关。在图 1-13 中,有

$$u_{ac} = u_{ab} + u_{bc} = u_{ad} + u_{dc}$$

基尔霍夫电压和电流定律是集总电路中的基本定律,在任何时刻,任一电路的支路电压、支路电流都满足这两种电路结构约束。基尔霍夫定律和元件的伏安特性是集总电路分析的基础。

三、典型例题和真题解析

例 1-1 图 1-14 所示电路中,已知电压源 $U_s = 10V$, 电流源 $I_s = 1A$, 试分别求图 1-14(a) 和图 1-14(b) 所示电路中电压源和电流源分别发出的功率。

题目解析 本题练习的重点是独立源的特性和功率计算。在图 1-14(a), (b) 中,电压源 U_s 和电流源 I_s 形成回路,两者既串联又并联。参考方向如图 1-14 所示,电压源 U_s 两端的电压取决于电压源自身,为 U_s ; 流过电流源 I_s 的电流取决于电流源自身,为 I_s 。流过电压源的电流 I 与电路其他部分相关,在这里取决于与其串联的电流源 I_s 。电流源两端的电压 U 与其负载相关,在这里取决于与其并联的电压源 U_s 。

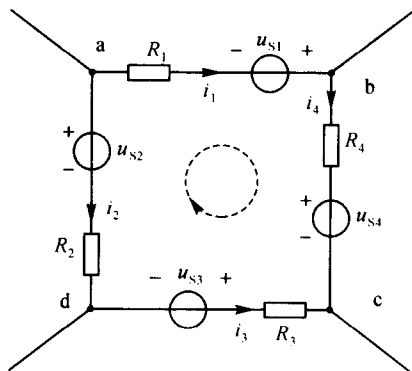


图 1-13 基尔霍夫电压方程

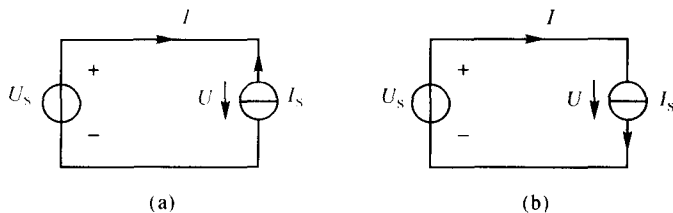


图 1-14

图 1-14(a) 中,电压源和电流源的电压、电流方向均为非关联参考方向,因此按定义计算的功率均为发出的;图 1-14(b) 中,电流源的电压、电流方向为关联参考方向,按定义计算的功率是吸收的,故在表达式前增加了负号,这样计算的是发出的功率。

解 图 1-14(a) 中,电压源发出的功率为

$$P_{U_s} = U_s I = -U_s I_s = -10(\text{W})$$

电流源发出的功率为

$$P_{I_s} = U I_s = U_s I_s = 10(\text{W})$$

在图 1-14(b) 中,有

$$P_{U_s} = U_s I = U_s I_s = 10(\text{W})$$

$$P_{I_s} = -U I_s = -10(\text{W})$$

例 1-2 直流电路如图 1-15 所示。已知 $U_s = 100\text{V}$, $I_s = 5\text{A}$, $R_1 = 25\Omega$, $R_2 = 10\Omega$, 求各电源输出的功率。

题目解析 电压源与电阻 R_1 并联,则并联支路的电压与电压源相同;电流源与电阻 R_2 串联,则流过串联支路的电流与电流源相同。

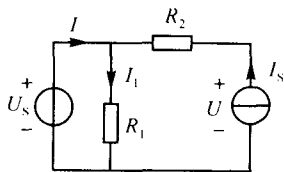


图 1-15

解
$$I_1 = \frac{U_s}{R_1} = 4(\text{A})$$

$$I = I_1 - I_s = 4 - 5 = -1(\text{A})$$

电压源输出功率 $P_{U_s} = U_s I = -100(\text{W})$, 即电压源吸收功率。

$$U = I_s R_2 + I_1 R_1 = 150(\text{V})$$

电流源输出功率

$$P_{I_s} = 5 \times 150 = 750(\text{W})$$

例 1-3 在图 1-16 所示电路中,已知电流源 $I_{s1} = 2\text{A}$, $I_{s2} = 1\text{A}$, $R = 5\Omega$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, 试求电流 I 、电压 U 及电流源的端电压 U_1 和 U_2 。

解 对于 a 点,有

$$I = I_{s1} + I_{s2} = 3(\text{A})$$

则
$$U = IR = 3 \times 5 = 15(\text{V})$$

$$U_1 = U + I_{s1} \cdot R_1 = 15 + 2 \times 1 = 17(\text{V})$$

$$U_2 = U + I_{s2} \cdot R_2 = 15 + 1 \times 2 = 17(\text{V})$$

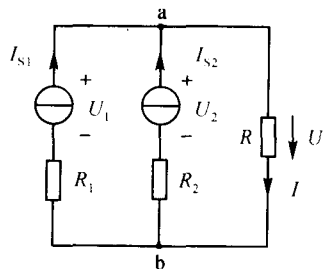


图 1-16

例 1-4 在图 1-17 所示电路中,已知 $I_1 = 5\text{A}$, $I_2 = 1\text{A}$, 试求电压源 U_s 的数值及流经电

压源的电流 I 。

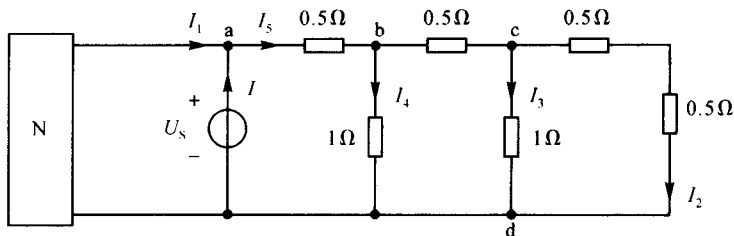


图 1-17

解 由结构可知, c, d 间为 0.5Ω 电阻串联 0.5Ω 电阻后, 再与 1Ω 电阻并联, 故 $I_3 = I_2$,
 同理 $I_4 = 2I_2, I_5 = 2I_4$
 可得 $I_5 = 4I_2 = 4(A)$
 在 a 点有 $I_1 + I = I_5$
 则 $I = I_5 - I_1 = 4 - 5 = -1(A)$

由 KVL 定律可得

$$U_s = I_5 \times 0.5 + I_4 \times 1 = 4 \times 0.5 + 2 \times 1 = 4(V)$$

例 1-5 电路的一部分如图 1-18 所示, 已知电压 $U_{bc} = 4V$, 求电压 U_{ad} 。(浙江大学电路原理考试试题)

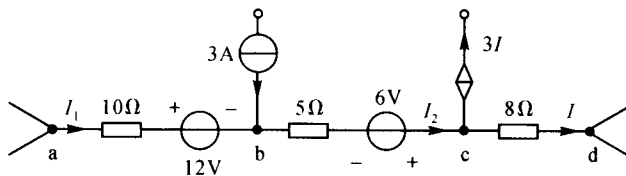


图 1-18

题目解析 $U_{ad} = U_{ab} + U_{bc} + U_{cd}$, 故解题的关键是求出电流 I_1 和 I 。

解 由 $U_{bc} = I_2 \times 5 - 6 = 4(V)$
 可得 $I_2 = 2A$
 由 b 点可得 $I_1 + 3 = I_2$
 解之得 $I_1 = -1A$
 由 c 点可得 $I_2 = 4I$, 则 $I = 0.5A$
 电压 $U_{ad} = 10I_1 + 12 + U_{bc} + I \times 8$

$$= -10 \times 1 + 12 + 4 + 0.5 \times 8 = 10(V)$$

例 1-6 图 1-19 所示电路中, 已知 $I_{S1} = 0.5A, I_S = 1A$, 控制系数 $r = 10\Omega$, 电阻 $R =$

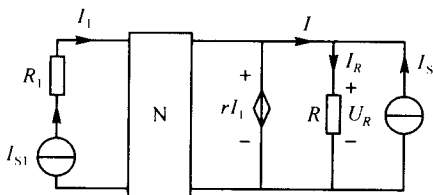


图 1-19