

高等学校教学参考书

电路理论基础

(第三版)

教学指导书

陈希有 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是与哈尔滨工业大学陈希有主编《电路理论基础》(第三版)配套的教学指导书。各章体系与配套教材相同,每章包含三部分:一、教学要求:说明对每章内容的要求程度,使读者围绕重点展开教与学。二、阅读指导:说明作者编写意图,对教材内容的理解要点并对教学内容加以归纳、总结和适度拓展。三、习题选解:给出教材中大部分习题的解题方法,对典型习题加以延伸,总结解题要点及相关概念,起到触类旁通的效果。仅就此部分,本书也可算是一套题型丰富的习题解答。

本书虽属配套教学指导书,但对从事电路教学的教师和学习电路课程的学生都有一定的参考价值。既可在电路教学过程中使用,也可在复习、准备硕士研究生入学考试时使用。

图书在版编目(CIP)数据

电路理论基础(第三版)教学指导书/陈希有主编.
北京:高等教育出版社,2004.7
ISBN 7-04-014534-0

I. 电... II. 陈... 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(2004)第044947号

策划编辑 刘激扬 责任编辑 许海平 封面设计 于文燕
责任绘图 朱 静 版式设计 马静如 责任校对 王 雨
责任印制

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 20
字 数 370 000

版 次 年 月第1版
印 次 年 月第 次印刷
定 价 25.10 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

前 言

高等学校电气信息类本科教材《电路理论基础》(第三版)已由高等教育出版社出版。为帮助教师了解编者意图,更好地使用教材;为帮助学生掌握教材的知识要点,更好地复习巩固;为一般读者领会教材内容,更好地自学,特编写本配套材料——《电路理论基础》(第三版)教学指导(以下简称《指导》)。《指导》可在学生学习电路课程过程中使用,也可供学完本课程复习时、准备硕士研究生入学考试时使用。

本《指导》的各章体系与配套教材完全相同。每章包括如下三部分。

教学要求 结合全国电路课程教学基本要求和作者的教学观点,阐明对每章内容要求掌握的不同程度。分为:一般了解、理解、透彻理解、掌握、熟练掌握等。

阅读指导 这是《指导》的重要组成部分。在编写《电路理论基础》(第三版)时,由于考虑学生的接受能力和教材体系等原因,有些内容往往欲言而又止。但在编写《指导》时,作者适度解放思想,将自己的教学体会和教学个性介绍给读者,以达到帮助读者准确地理解编写意图、概括知识要点、奠定扎实的电路理论基础之目的。基于这种考虑,本部分内容在编写过程中形成如下特点:①渗透着作者对某些内容的修订思想,旨在启迪读者领会作者意图、把握教材特点。②突出说明对教材内容的理解要点,指出学生在学习过程中的难点和注意事项。从此意义上讲,《指导》可以看作是对教材内容的一种注释。为提高读者的阅读兴趣,这里一般不重复教材中的原有叙述。另有些内容属有限度的加深和拓展,供有此需要的读者参考。③用尽可能简单明了的方式,对教材内容加以归纳和总结,意在培养学生从整体把握局部的意识,理解各部分内容之间的联系,认识到整体并不是局部的简单总和,从而提升对电路理论的认识高度。若能如此,读者会感到电路理论的和谐与完美。

习题选解 给出教材中大部分习题的求解方法,有些题目还给出多种解法。对某些典型题目进行了适当延伸并概括解题要点,指出所涉及的概念集合,以达触类旁通之功效。对学生而言,在解题之前最好先不要查阅习题选解,待独立完成,通过对照习题选解,找出解题方法的异同,并仔细回味。

《指导》虽是为协助读者领会和使用配套教材而提供的指导性方案,但在教学模式、教学方法多样化的今天,每位教师都有自己的教学特色,因此,不同教师对《指导》内容存在不同看法当属情理之中。这正体现了《指导》仅供参考的作

用。

《指导》的“教学要求”和“阅读指导”部分由陈希有撰写,柴凤、孙立山作补充。在采纳周长源教授和教研室其它教师的意见后得以定稿。第1至第7章习题解答由柴凤完成,其余由孙立山完成。全书由陈希有统稿。

《指导》是立体化教材建设内容的一部分,其它工作仍在继续。请关注立体化教材建设的读者将意见和要求寄至下列地址:

Trg601@hit.edu.cn 或 Chenxy@hit.edu.cn

编者

2004年3月

绪 论

电路学习伊始,学生最了解的便是学习电路课程的目的,电路课程的研究对象和学习电路课程应具备的数理基础。

在现代工程实践活动中,随处可以见到电路。电路就是指电流的通路。各种工程电路的开发和应用极大地促进了社会生产力的进步。很难想像,一个没有电或电路的世界会是怎样的一个世界。电早已和社会生产及人们生活密不可分。即使是短暂的意外停电或事故,也可能会给生产、生活、通信乃至社会稳定产生重大负面影响。大到电力系统,小到集成电路,它们的设计和应用无一例外地要涉及电路理论知识。

电路理论是一门研究电路普遍规律的学科。“电路”课程是电气、电子、信息、控制等学科共同的技术基础课程,也是学习电路理论的入门课程。通过本课程的学习,学生可以掌握电路的基本理论知识、分析计算的基本方法和基本的实验、仿真技能,提高解决实际问题的能力,为学习有关后续课程准备必要的电路知识,并为进一步学习电路理论奠定基础。电路课程的特点是理论严谨、逻辑性强。通过本课程学习,还可以使学生养成严肃认真的学术作风和一丝不苟的科学态度。

实际电路种类繁多,功能各异。电路理论既然是研究电路的普遍规律,那么就需要建立电路模型,即把实际电路的本质特征抽象出来所形成的理想化了的电路。也就是说电路理论的研究对象是电路模型而非各种分门别类的实际电路。本课程重点研究的是集中参数电路模型,它由各种具有单一电磁特性的理想化的电路元件组成。用这些理想化的电路元件可以代表实际电路器件、装置和设备的主要电磁特性。实际电路器件虽种类繁多,但用作电路模型的理想化电路元件却为数很少。

对集中参数电路模型可从如下两个方面来理解。

(1) 什么是集中参数电路模型

由若干理想化电路元件组成的,用于反映实际电路主要电磁特征的电路模型称为集中参数电路模型。其中每一种电路元件只表示单一的电磁特性。例如用电阻元件表示消耗电能,用电容元件和电感元件分别表示电场储能和磁场储能,用互感元件表示磁耦合的存在,用电压源和电流源分别表示以确定的电压

和确定的电流向电路提供电能(有时这些电源也可能处于充电状态)。这些元件都用端口上的电磁量予以严格定义,它们的特性可用参数(例如电阻、电容、电感、互感等)或特性函数(常用于非线性情况)来表示。

(2) 如何建立集中参数电路模型

根据麦克斯韦电磁理论,电和磁是相互作用的。时变电场产生位移电流,并激发磁场,时变磁场产生感应电动势并能产生电流。但是,在电路尺寸远小于工作频率对应的电磁波波长($\lambda = v/f$)时,可以认为电磁量在电路中的传输是即刻完成的,因而忽略电路尺寸及元件位置对电路行为的影响。在此条件下,可以提出电路的集中参数假设:忽略电阻器与电路其它部分间的位移电流和电磁感应,从而用电阻元件来表征电阻器的耗能特性;认为位移电流主要存在于电容器的极板之间,并用电容元件来表征电容器的电场储能特性;认为磁场主要存在于电感器和互感器上,并用电感元件来表征电感器的磁场储能特性;用互感元件表征互感的磁场储能和磁耦合特性;各元件之间用电阻率为零的理想导线连接,并且不考虑导线周围磁场以及导线与其它部分间的位移电流;忽略电路各部分由于交变电磁场而产生的电磁辐射。据此假设而建立的电路模型便是实际电路的集中参数电路模型。

由上述分析可见,集中参数电路只是实际电路的一种近似模型,是为了在一定条件下简化分析而建立的。为提高模型的准确程度,有时需要考虑导线、电容器及电感器等器件的能量损耗。此时可在上述器件模型的基础上增加串联电阻(对导线和电感器)或并联电阻(对电容器)。总之,凡是需要考虑损耗的地方,须增加电阻元件;凡是需要考虑电场储能的地方,须增加电容元件;凡是需要考虑磁场储能的地方,则须增加电感元件。由此所建立的集中参数电路模型也变得更加复杂。

集中参数电路模型实际上是将原本统一在一起的电场储能、磁场储能和电能的发出与损耗彼此孤立开来,认为各自只存在于某一类元件上。由于这些元件都是用端口上的电磁量加以定义,所以分析集中参数电路时,不涉及元件尺寸及其空间位置,只涉及元件端子上或端子间的电磁量。

如果电路的工作频率较高,从而对应的电磁波波长与电路尺寸可比,或虽频率不很高但线路很长(例如远距离输电线),此时电磁量将是空间位置的函数,即表现出“场”的分布特性。此时,若仍用集中参数电路作为其模型,便会导致较大的计算误差。为提高分析精度,须采用分布参数电路模型或基于电磁场理论进行分析。

电路理论的研究对象虽然是电路模型,但为加深理解电路理论的物理基础,读者应尽量结合实际电路,并用电磁场知识理解所建立的电路模型。为此,教材

中特别写入了这方面的内容。

学习本课程之前,读者必须预修高等数学的线性代数与微积分,复变函数与积分变换,物理学的电学部分等内容。

讲授本教材全部内容的建议学时为 120 学时。

第 1 章 基尔霍夫定律及电路元件

一、教学要求

① 复习电流、电压和电位的定义及功率和能量的计算,理解电流、电压参考方向的含义及引入参考方向的必要性。

② 透彻理解基尔霍夫定律的涵义并熟练列写基尔霍夫定律方程。一般了解基尔霍夫定律方程的独立性。

③ 熟练掌握电阻元件、独立电源和受控电源的特性。

二、阅读指导

本章从复习电路物理量开始,依次介绍集中参数电路的两个重要定律和即将用到的几种电路元件。

1. 电路中的物理量

(1) 电流、电压和电位

电流、电压是电路中两个常用的基本变量。教材中,基于电磁场原理,介绍了电流、电压和电位的概念,以便与大学物理课程有机衔接。

电流 电流定义为通过某截面电荷量的变化率。即

$$i \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

电流是有方向的物理量,其真实方向规定为正电荷运动的方向。但在计算复杂电路时,通常难以确定电流的真实方向。因此需人为规定电流的流向,即电流的参考方向。规定了参考方向后,电流便是代数量,其符号仅表示参考方向与真实方向是一致还是相反。

电压与电位 在电磁场原理中,电压定义为电场强度的线积分。一般情况下电场应包括库仑电场、感应电场和局外电场,电压是与积分路径有关的。但在集中参数电路中,感应电场只存在于电感元件内部,局外电场只存在于电源元件内部。因此,可选择不经过感应电场和局外电场而只经过库仑电场的路径来计算电压。由于库仑电场具有保守性,所以上述电压与路径无关,故又称为端电压。即

$$u_{ab} = \int_a^b \mathbf{E}_c \cdot d\mathbf{l} \quad (1.2)$$

在电压与路径无关的前提下,可以定义电位。某点 a 的电位 φ_a 等于该点与参考点 n_r 之间的电压

$$\varphi_a = \int_a^{n_r} \mathbf{E}_c \cdot d\mathbf{l} \quad (1.3)$$

而任意两点之间的电压等于这两点电位之差

$$u_{ab} = \int_a^b \mathbf{E}_c \cdot d\mathbf{l} = \int_a^{n_r} \mathbf{E}_c \cdot d\mathbf{l} - \int_b^{n_r} \mathbf{E}_c \cdot d\mathbf{l} = \varphi_a - \varphi_b \quad (1.4)$$

电压也是有方向的物理量,其真实方向是从高电位指向低电位的方向。在列写电路方程时,也要规定电压的参考方向。

(2) 功率与能量

功率是元件或电气设备进行能量转换或传输速率的一种度量。额定功率是许多电器件或设备的重要参数,因此必须掌握功率和能量的计算。某端口吸收或发出的功率等于端口电压与电流的乘积

$$p = ui \quad (1.5)$$

能量等于功率的积分,从 t_0 到 t 时间内,某端口吸收或发出的电能为

$$u(t) = \int_{t_0}^t p(\xi) d\xi = \int_{t_0}^t u(\xi) i(\xi) d\xi \quad (1.6)$$

式(1.5)中 u 与 i 是代数量,所以功率也是代数量。根据其符号和电压、电流的参考方向,可以判断一个端口实际上是吸收功率还是发出功率。具体是:

在关联参考方向下

$$p = ui \begin{cases} > 0 & \text{吸收} \\ < 0 & \text{发出} \end{cases} \quad (1.7)$$

在非关联参考方向下

$$p = ui \begin{cases} > 0 & \text{发出} \\ < 0 & \text{吸收} \end{cases} \quad (1.8)$$

2. 电路定律

基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL)是集中参数电路的两个基本定律。在电路理论成为一门独立学科以后,KCL和KVL通常作为公理提出。但这些公理是有其电磁场基础的,它们要以集中参数假设为前提。

(1) 基尔霍夫电流定律(KCL)

KCL表述了支路电流所满足的关系:在集中参数电路中,流入任一节点的所有支路电流(或穿过任意假想闭合曲面的所有支路电流)满足

$$\sum i_k = 0 \quad (i_k \text{ 表示第 } k \text{ 条支路电流}) \quad (1.9)$$

注释:在集中参数电路中,位移电流只存在于电容元件内部。流入或流出节点的电流只有支路上的传导电流,并且在节点上不可能积累电荷(根据麦克斯

韦电磁理论,若节点上有电荷积累,节点附近的电场便由于电荷的积累而发生改变,从而产生位移电流,此时电路便不满足集中参数假设)。根据电荷守恒原理,流入某节点的电流必恒等于流出该节点的电流。而对分布参数电路,节点上除有支路中传导电流的流入或流出外,还有分布在空间的位移电流的流入或流出。根据全电流的连续性,此时若仍认为 i_k 是支路电流,则式(1.9)便不再成立。

(2) 基尔霍夫电压定律(KVL)

基尔霍夫电压定律表述了回路中各支路电压之间的关系:在集中参数电路中,任一回路(包括假想回路)中各支路电压的代数和满足

$$\sum u_k = 0 \quad (u_k \text{ 表示第 } k \text{ 条支路端电压}) \quad (1.10)$$

注释:在集中参数电路中,可以选择只包含库仑电场的路径来计算电压,即端电压,见式(1.2)。库仑电场具有保守性,在任意闭合路径上的线积分等于零。如果用回路中的端电压表示沿闭合路径的分段积分,便得式(1.10)。图1.1和式(1.11)进一步说明了上述关系。

$$\begin{aligned} \oint \mathbf{E}_c \cdot d\mathbf{l} &= \int_a^b \mathbf{E}_c \cdot d\mathbf{l} + \int_b^c \mathbf{E}_c \cdot d\mathbf{l} + \int_c^d \mathbf{E}_c \cdot d\mathbf{l} + \int_d^a \mathbf{E}_c \cdot d\mathbf{l} \\ &= u_{ab} + u_{bc} + u_{cd} + u_{da} = 0 \end{aligned} \quad (1.11)$$

对分布参数电路,积分路径上可能包含感应电场或局外电场,这样的电场不具有保守性,不能使用端电压,故式(1.10)不再成立。

在满足集中参数假设的情况下,KCL、KVL与元件性质及电流、电压的变化规律无关,是列写电路方程的基本依据。

3. 电路元件

本着即学即用、由简及繁的原则,本章介绍几个在线性直流电路中将要用到的理想化的电路元件(其它元件在后续各章再作介绍),重点要掌握它们的元件方程。

(1) 电阻元件

在线性电阻上电压与电流服从欧姆定律,即电压与电流成正比,在关联参考方向下,其方程为

$$u = Ri \quad (1.12)$$

式中 R 为常量,称为电阻,其倒数称为电导。正值电阻在电路中总是吸收电能或电功率,属于无源元件。电阻吸收功率的计算公式为

$$p = ui = i^2 R = u^2 G \quad (1.13)$$

(2) 独立电源

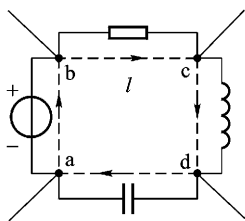


图 1.1 说明 KVL 的正确性

独立电源包括电压源和电流源。电压源提供的电压与电源中的电流无关,为某一确定的时间函数(包括常量),故电压源不得短路;电流源提供的电流与其端电压无关,为某一确定的时间函数,故电流源的端子不得断路。从电路中电压、电流的因果关系来看,电压源所提供的电压即源电压和电流源所提供的电流即源电流是维持各电压、电流存在的原因,故称为激励;由激励引起的各电压、电流则称为响应。上述独立电源是理想化的电源,可以发出或吸收无限大的功率,而实际的电源却不能。

(3) 受控电源

受控电源属二端口元件。被控端口的源电压或源电流受控制端口电压或电流的控制。根据控制量和被控制量是电压还是电流,受控电源分成四种类型。受控源虽然能够向电路提供能量,但是在含有受控源而无独立源的电路中一般不存在持续不断的电流和电压。受控源通常是在建立实际电路的电路模型时引入的,它所提供的功率实际上还是来自电路的工作电源。受控源是学习的难点,较为抽象,讲授时要结合三极管等若干实例帮助学生理解。

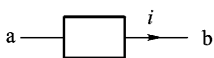
三、习题选解

1.1 图题 1.1 所示元件当时间 $t < 2 \text{ s}$ 时电流为 2 A ,从 a 流向 b ;当 $t > 2 \text{ s}$ 时为 3 A ,从 b 流向 a 。根据图示参考方向,写出电流 i 的数学表达式。

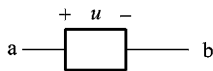
解:图题 1.1 所示电路电流的参考方向是从 a 指向 b 。当时间 $t < 2 \text{ s}$ 时电流从 a 流向 b ,与参考方向相同,电流为正值;当 $t > 2 \text{ s}$ 时电流从 b 流向 a ,与参考方向相反,电流为负值。所以电流 i 的数学表达式为

$$i = \begin{cases} 2 \text{ A} & t < 2 \text{ s} \\ -3 \text{ A} & t > 2 \text{ s} \end{cases}$$

1.2 图题 1.2 所示元件电压 $u = (5 - 9e^{-t}) \text{ V}$ ($t > 0$)。分别求出 $t = 0$ 和 $t \rightarrow \infty$ 时电压 u 的代数值及其真实方向。



图题 1.1

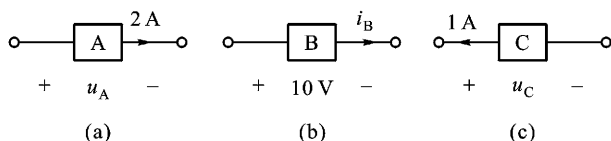


图题 1.2

解:当 $t = 0$ 时 $u(0) = (5 - 9e^0) \text{ V} = -4 \text{ V} < 0$,其真实极性与参考方向相反,即 b 为高电位端, a 为低电位端;

当 $t \rightarrow \infty$ 时 $u(\infty) = (5 - 9e^{-\infty}) \text{ V} = 5 \text{ V} > 0$,其真实极性与参考方向相同,即 a 为高电位端, b 为低电位端。

1.3 图题 1.3 所示电路。设元件 A 消耗功率为 10 W ,求 u_A ;设元件 B 消耗功率为 -10 W ,求 i_B ;设元件 C 发出功率为 -10 W ,求 u_C 。



图题 1.3

解:(a) 元件 A 电压和电流为关联参考方向。元件 A 消耗的功率为

$$p_A = u_A i_A \text{ 则 } u_A = \frac{p_A}{i_A} = \frac{10 \text{ W}}{2 \text{ A}} = 5 \text{ V} \text{ 真实方向与参考方向相同。}$$

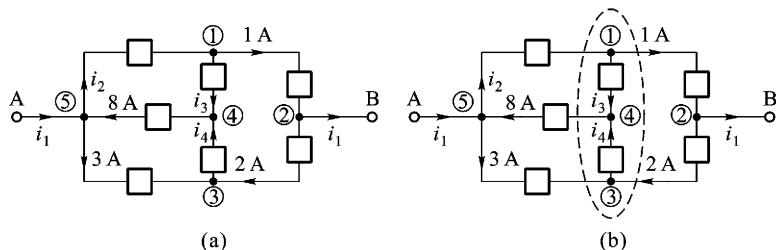
(b) 元件 B 电压和电流为关联参考方向。元件 B 消耗的功率为

$$p_B = u_B i_B \text{ 则 } i_B = \frac{p_B}{u_B} = \frac{-10 \text{ W}}{10 \text{ V}} = -1 \text{ A} \text{ 真实方向与参考方向相反。}$$

(c) 元件 C 电压和电流为非关联参考方向。元件 C 发出的功率为

$$p_C = u_C i_C \text{ 则 } u_C = \frac{p_C}{i_C} = \frac{-10 \text{ W}}{1 \text{ A}} = -10 \text{ V} \text{ 真实方向与参考方向相反。}$$

1.4 求图题 1.4(a) 所示电路电流 i_1 、 i_2 、 i_3 、 i_4 。若只求 i_2 能否一步求得?



图题 1.4

解:对图题 1.4(a) 节点列 KCL 方程

$$\text{节点 } \textcircled{3}: i_4 - 2 \text{ A} - 3 \text{ A} = 0 \text{ 得 } i_4 = 2 \text{ A} + 3 \text{ A} = 5 \text{ A}$$

$$\text{节点 } \textcircled{4}: -i_3 - i_4 + 8 \text{ A} = 0 \text{ 得 } i_3 = -i_4 + 8 \text{ A} = 3 \text{ A}$$

$$\text{节点 } \textcircled{1}: -i_2 + i_3 + 1 \text{ A} = 0 \text{ 得 } i_2 = i_3 + 1 \text{ A} = 4 \text{ A}$$

$$\text{节点 } \textcircled{5}: -i_1 + i_2 + 3 \text{ A} - 8 \text{ A} = 0 \text{ 得 } i_1 = i_2 + 3 \text{ A} - 8 \text{ A} = -1 \text{ A}$$

若只求 i_2 可做闭合面如图题 1.4(b) 所示, 对其列 KCL 方程, 得

$$-i_2 + 8 \text{ A} - 3 \text{ A} + 1 \text{ A} - 2 \text{ A} = 0$$

解得

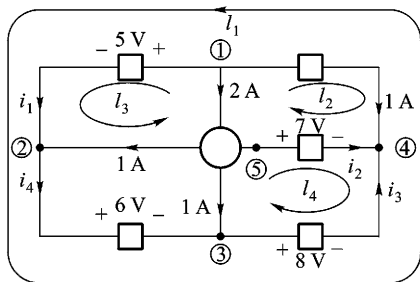
$$i_2 = 8 \text{ A} - 3 \text{ A} + 1 \text{ A} - 2 \text{ A} = 4 \text{ A}$$

1.5 图题 1.5 所示电路, 已知部分电流值和部分电压值。

① 试求其余未知电流 i_1 、 i_2 、 i_3 、 i_4 。若少一个已知电流, 能否求出全部未知

电流？

② 试求其余未知电压 u_{14} 、 u_{15} 、 u_{52} 、 u_{53} 。



图题 1.5

解：① 由 KCL 方程得

$$\text{节点 } ① : i_1 = -2 \text{ A} - 1 \text{ A} = -3 \text{ A}$$

$$\text{节点 } ② : i_4 = i_1 + 1 \text{ A} = -2 \text{ A}$$

$$\text{节点 } ③ : i_3 = i_4 + 1 \text{ A} = -1 \text{ A}$$

$$\text{节点 } ④ : i_2 = -1 \text{ A} - i_3 = 0$$

② 由 KVL 方程得

$$\text{回路 } l_1 : u_{14} = u_{12} + u_{23} + u_{34} = 19 \text{ V}$$

$$\text{回路 } l_2 : u_{15} = u_{14} + u_{45} = 19 \text{ V} - 7 \text{ V} = 12 \text{ V}$$

$$\text{回路 } l_3 : u_{52} = u_{51} + u_{12} = -12 \text{ V} + 5 \text{ V} = -7 \text{ V}$$

$$\text{回路 } l_4 : u_{53} = u_{54} + u_{43} = 7 \text{ V} - 8 \text{ V} = -1 \text{ V}$$

1.6 图题 1.6 所示电路, 已知 $i_1 = 2 \text{ A}$ 、 $i_3 = -3 \text{ A}$ 、 $\mu_1 = 10 \text{ V}$ 、 $\mu_4 = -5 \text{ V}$ 。求各元件消耗的功率。

解：各元件电压电流的参考方向如图题 1.6 所示。

$$\text{元件 1 消耗功率为 } p_1 = -u_1 i_1 = -10 \text{ V} \times 2 \text{ A} = -20 \text{ W}$$

$$\text{对回路 } l \text{ 列 KVL 方程得 } u_2 = u_1 + u_4 = 10 \text{ V} - 5 \text{ V} = 5 \text{ V}$$

$$\text{元件 2 消耗功率为 } p_2 = u_2 i_1 = 5 \text{ V} \times 2 \text{ A} = 10 \text{ W}$$

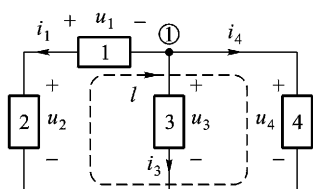
$$\text{元件 3 消耗功率为 } p_3 = u_3 i_3 = u_4 i_3 = -5 \text{ V} \times (-3) \text{ A} = 15 \text{ W}$$

$$\text{对节点 } ① \text{ 列 KCL 方程 } i_4 = -i_1 - i_3 = 1 \text{ A}$$

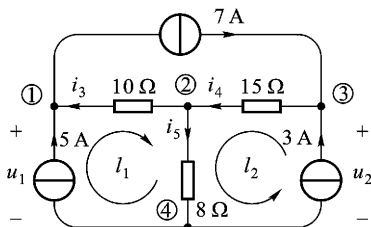
$$\text{元件 4 消耗功率为 } p_4 = u_4 i_4 = -5 \text{ W}$$

1.7 求图题 1.7 所示电路电压 u_1 、 μ_2 。

解：对节点列 KCL 方程



图题 1.6



图题 1.7

$$\text{节点 } \textcircled{1} : i_3 = -5 \text{ A} + 7 \text{ A} = 2 \text{ A}$$

$$\text{节点 } \textcircled{3} : i_4 = 7 \text{ A} + 3 \text{ A} = 10 \text{ A}$$

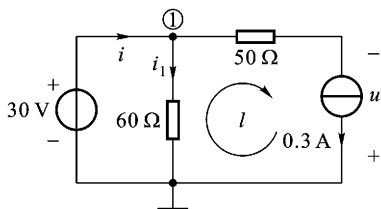
$$\text{节点 } \textcircled{2} : i_5 = -i_3 + i_4 = 8 \text{ A}$$

对回路列 KVL 方程得：

$$\text{回路 } l_1 : u_1 = -i_3 \times 10 \Omega + i_5 \times 8 \Omega = 44 \text{ V}$$

$$\text{回路 } l_2 : u_2 = i_4 \times 15 \Omega + i_5 \times 8 \Omega = 214 \text{ V}$$

1.8 求图题 1.8 所示电路两个独立电源各自发出的功率。



图题 1.8

解：由欧姆定律得

$$i_1 = \frac{30 \text{ V}}{60 \Omega} = 0.5 \text{ A}$$

对节点①列 KCL 方程

$$i = i_1 + 0.3 \text{ A} = 0.8 \text{ A}$$

对回路 l 列 KVL 方程

$$u = -i_1 \times 60 \Omega + 0.3 \text{ A} \times 50 \Omega = -15 \text{ V}$$

因为电压源、电流源的电压、电流参考方向为非关联，所以电源发出的功率分别为

$$P_{U_S} = 30 \text{ V} \times i = 30 \text{ V} \times 0.8 \text{ A} = 24 \text{ W}$$

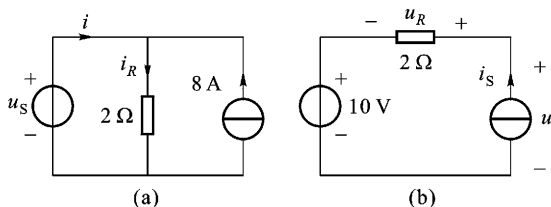
$$P_{I_S} = u \times 0.3 \text{ A} = -15 \text{ V} \times 0.3 \text{ A} = -4.5 \text{ W}$$

即吸收 4.5 W 功率。

1.9 图题 1.9 所示电路，已知 $u_s = 10\cos(\omega t) \text{ V}$ ， $i_s = 8\cos(\omega t) \text{ A}$ 。求 (a)、(b) 两电路各电源发出的功率和电阻吸收的功率。

解：(a) 电路各元件电压、电流参考方向如图题 1.9(a) 所示。

由欧姆定律得 $i_R = u_s / R = 10\cos(\omega t) \text{ V} / 2 \Omega = 5\cos(\omega t) \text{ A}$



图题 1.9

又由 KCL 得

$$i = i_R - i_S = [5\cos(\omega t) - 8] \text{ A}$$

电压源发出功率为

$$\begin{aligned} p_{u_s} &= u_s i = 10\cos(\omega t) \text{ V} \times [5\cos(\omega t) - 8] \text{ A} \\ &= [50\cos^2(\omega t) - 80\cos(\omega t)] \text{ W} \end{aligned}$$

电流源发出功率为

$$\begin{aligned} p_{i_s} &= u_s i_s = 10\cos(\omega t) \text{ V} \times 8 \text{ A} \\ &= 80\cos(\omega t) \text{ W} \end{aligned}$$

电阻消耗功率为

$$\begin{aligned} p_R &= i_R^2 R = [5\cos(\omega t) \text{ A}]^2 \times 2 \Omega \\ &= 50\cos^2(\omega t) \text{ W} \end{aligned}$$

(b) 电路各元件电压、电流参考方向如图题 1.9(b) 所示。

电压源发出功率为

$$\begin{aligned} p_{u_s} &= -u_s i_s = -10 \text{ V} \times 8\cos(\omega t) \text{ A} \\ &= -80\cos(\omega t) \text{ W} \end{aligned}$$

由 KVL 可得

$$u = u_R + u_s = 8\cos(\omega t) \times 2 \Omega + 10 \text{ V} = [16\cos(\omega t) + 10] \text{ V}$$

电流源发出功率为

$$\begin{aligned} p_{i_s} &= u i_s = [16\cos(\omega t) + 10] \text{ V} \times 8\cos(\omega t) \text{ A} \\ &= [128\cos^2(\omega t) + 80\cos(\omega t)] \text{ W} \end{aligned}$$

电阻消耗功率为

$$p_R = u_R i_s = 16\cos(\omega t) \text{ V} \times 8\cos(\omega t) \text{ A} = 128\cos^2(\omega t) \text{ W}$$

1.10 求图题 1.10 所示网络 N 吸收的功率和电流源发出的功率。

解：取电阻元件和网络 N 电压、电流为关联参考方向。

对节点①列 KCL 方程 $i_1 = -5 \text{ A} + 3 \text{ A} = -2 \text{ A}$

对回路列 KVL 方程：

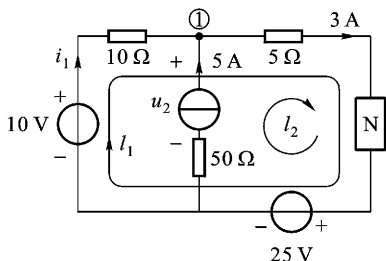
$$\text{回路 } l_1: i_1 \times 10 \Omega + 3 \text{ A} \times 5 \Omega + u_N = -25 \text{ V} + 10 \text{ V} \quad \text{得 } u_N = -10 \text{ V}$$

$$\text{回路 } l_2: -u_2 + 5 \Omega \times 3 \text{ A} + u_N + 5 \text{ A} \times 50 \Omega = -25 \text{ V} \quad \text{得 } u_2 = 280 \text{ V}$$

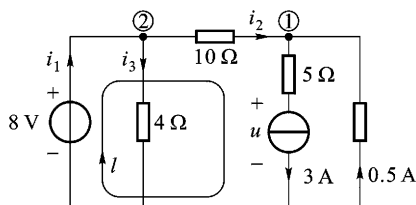
网络 N 吸收的功率 $P_N = u_N \times 3 \text{ A} = -30 \text{ W}$

电流源发出的功率 $P_{i_s} = u_2 \times 5 \text{ A} = 1400 \text{ W}$

注释:根据电流源的特性,图中与电流源串联的电阻只影响电流源端电压或者说只影响电流源提供的功率。



图题 1.10



图题 1.11

1.11 求图题 1.11 所示电路两个独立电源各自发出的功率。

解:设各元件电压电流方向如图题 1.11 所示。

$$i_2 = 3 \text{ A} - 0.5 \text{ A} = 2.5 \text{ A}$$

$$i_3 = \frac{8 \text{ V}}{4 \Omega} = 2 \text{ A}$$

对节点列 KCL 方程

节点①: $i_2 = 3 \text{ A} - 0.5 \text{ A} = 2.5 \text{ A}$

节点②: $i_1 = i_2 + i_3 = 2.5 \text{ A} + 2 \text{ A} = 4.5 \text{ A}$

对回路 l 列 KVL 方程 $10 \Omega \times i_2 + 5 \Omega \times 3 \text{ A} + u = 8 \text{ V}$

得 $u = -32 \text{ V}$

电压源发出的功率 $P_{U_s} = 8 \text{ V} \times i_1 = 8 \text{ V} \times 4.5 \text{ A} = 36 \text{ W}$

电流源发出的功率 $P_{I_s} = -u \times 3 \text{ A} = 32 \text{ V} \times 3 \text{ A} = 96 \text{ W}$

1.12 求图题 1.12 所示电路两个受控源各自发出的功率。

解: $i = \frac{4 \text{ V}}{4 \Omega} = 1 \text{ A}$ $\mu = 1 \Omega \times 2 \text{ A} = 2 \text{ V}$

受控电压源发出的功率

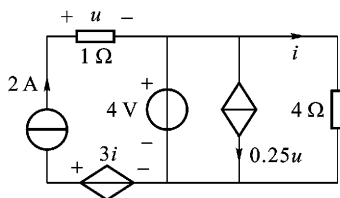
$$P_{CCVS} = 3i \times 2 \text{ A} = 3 \Omega \times 1 \text{ A} \times 2 \text{ A} = 6 \text{ W}$$

受控电流源发出的功率

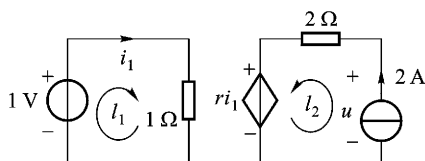
$$P_{VCCS} = -4 \text{ V} \times 0.25u = -4 \text{ V} \times 0.25u = -4 \text{ V} \times 0.25 \text{ S} \times 2 \text{ V} = -2 \text{ W}$$

注释:受控电源可能处于供电状态,例如图题 1.12 中的 CCVS,也可能处于用电状态,例如图题 1.12 中的 VCCS。

1.13 图题 1.13 所示电路,已知电流源发出的功率是 12 W,求 r 的值。



图题 1.12



图题 1.13

由已知 $p_{is} = u \times 2 \text{ A} = 12 \text{ W}$ 可得 $u = \frac{12 \text{ W}}{2 \text{ A}} = 6 \text{ V}$

解: 对回路列 KVL 方程:

$$\text{回路 } l_1: \quad i_1 \times 1 \Omega = 1 \text{ V} \quad i_1 = 1 \text{ A}$$

$$\text{回路 } l_2: \quad -u + 2 \Omega \times 2 \text{ A} = -ri_1$$

将 $u = 6 \text{ V}$ $i_1 = 1 \text{ A}$ 代入, 解得 $r = 2 \Omega$

1.14 求图题 1.14 所示电路受控源和独立源各自发出的功率。

解: 设各元件电流参考方向如图题 1.14

所示。

对回路列 KVL 方程:

$$\text{回路 } l_1: \quad 1 \Omega \times i_2 = 2 \text{ V} - 2 \text{ V} + 1 \text{ V}$$

得 $i_2 = 1 \text{ A}$

$$\text{回路 } l_2: \quad 2 \Omega \times i = -2 \text{ V} + 1 \text{ V} \quad \text{得 } i =$$

$$-0.5 \text{ A}$$

对节点列 KCL 方程:

$$\text{节点 } \textcircled{1}: \quad i_1 = i + i_2 = 0.5 \text{ A}$$

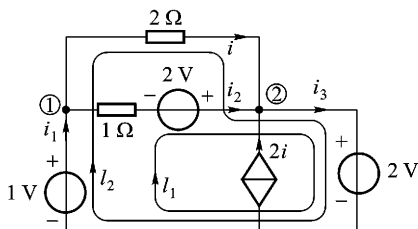
$$\text{节点 } \textcircled{2}: \quad i_3 = i + i_2 + 2i = -0.5 \text{ A}$$

$$1 \text{ V 电压源发出的功率 } P_{1\text{V}} = 1 \text{ V} \times i_1 = 1 \text{ V} \times 0.5 \text{ A} = 0.5 \text{ W}$$

$$\text{与 } 1 \Omega \text{ 串联的 } 2 \text{ V 电压源发出的功率 } P_{2\text{V}, 1\Omega} = 2 \text{ V} \times i_2 = 2 \text{ V} \times 1 \text{ A} = 2 \text{ W}$$

$$2 \text{ V 纯电压源发出的功率 } P_{2\text{V}} = -2 \text{ V} \times i_3 = -2 \text{ V} \times (-0.5 \text{ A}) = 1 \text{ W}$$

$$\text{受控电流源发出的功率 } P_{\text{VCCS}} = 2 \text{ V} \times 2i = 2 \text{ V} \times 2 \times (-0.5 \text{ A}) = -2 \text{ W}, \text{ 实际吸收 } 2 \text{ W 功率。}$$



图题 1.14

1.15 图题 1.15 所示电路为独立源、受控源和电阻组成的一端口。试求出其端口特性, 即 $u - i$ 关系。

解: (a) 对节点①列 KCL 方程得 $i_1 = i - \beta i$

$$\text{由 KVL 得} \quad u = u_R + u_S = i_1 R + u_S = (1 - \beta)iR + u_S$$

$$(b) \text{ 由 KCL 得} \quad i_0 = i_S + i$$

$$\text{由 KVL 得} \quad u = ri_0 + Ri_0 = (r + R)i_0 = (r + R)(i_S + i)$$