



21

21世纪大学课程辅导丛书

电工技术(电工学I)

学习指导 典型题解

新版

刘 晔 王建华



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

TM1/127C3

:1

2008



21世纪大学课程辅导丛书

电工技术(电工学I)

学习指导—典型题解

新版

刘 晔 王建华



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书是作者按照理工科大学电工技术(电工学 I)教学的基本要求、针对学生在学习中存在问题和困难,根据多年的教学经验编写而成。内容覆盖了现有教材中的基本概念、基本理论和基本方法,部分内容有所扩充。全书共 6 章。包括:电路的基本概念与分析方法、正弦稳态分析、电路的暂态分析、磁路与变压器、电机、继电接触控制与可编程控制器。各章内容均由基本要求、基本知识点、典型题解析和自我检测题四部分组成。最后给出自我检测题参考答案。附录为西安交通大学 2004—2007 年本科生《电工技术》(电工学 I)期末考试题,并附有参考答案。

本书可作为大学生学习《电工电子技术》课程的辅导教材,也可作为有关专业硕士研究生报考人员的复习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术(电工学 I)学习指导典型题解/刘晔,王建华编著. —修订本.

—西安:西安交通大学出版社,2008.8

(21 世纪大学课程辅导丛书)

ISBN 978-7-5605-1687-5

I. 电… II. ①刘…②王… III. ①电工技术-高等学校-教学参考资料②电工学-高等学校-教学参考资料 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 122037 号

书 名	电工技术(电工学 I)学习指导典型题解
编 著	刘晔 王建华
责任编辑	任振国

出版发行	西安交通大学出版社 (西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址	http://www.xjtupress.com
电 话	(029)82668357 82667874(发行中心) (029)82668315 82669096(总编办)
传 真	(029)82668280
印 刷	西安市新城区兴庆印刷厂

开 本	787mm×1 092mm 1/16	印 张	12.75	字 数	306 千字
版次印次	2008 年 8 月(新版) 2008 年 8 月第 1 次印刷				
书 号	ISBN 978-7-5605-1687-5/TN·74				
定 价	18.00 元				

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdgy31@126.com

版权所有 侵权必究

丛书总序

“21 世纪大学课程辅导丛书”第一版出版已有十年时间,几经再版,深受广大读者的喜爱。为了满足读者朋友的需要,也为了适应高等教育改革的形势和新的教学要求,我们组织作者对本丛书进行了修订,以全新的面貌奉献给大家。

我们出版这套丛书的目的是为普通高等学校理工类专业的大学生提供一流的学习资源,使大家共享一流教师的教学经验和教学成果,更好地学习、掌握基础课和专业基础课知识,为今后的学习和深造打下良好的基础。

西安交通大学是国内仅有的几所具有百年历史的高等学府,是首批进入国家“211 工程”建设的七所大学之一,1999 年被国家确定为中西部地区惟一所以建设世界知名高水平大学为目标的学校。西安交大历来重视本科生教学,1996 年成为全国首家本科教学评估为优秀的大学。学校拥有国家级、省部级、校级教学名师数十名,具有丰富的、一流的教学资源。

本丛书由西安交通大学长期在教学一线主讲的教授、副教授主编,他们具有丰富的基础课、专业基础课教学和辅导经验。丛书作者们在长期的教学实践中,深深了解学生在学习基础课、专业基础课时的难点和困惑点之所在,对如何使学生更有效地学习、掌握课程的基本知识和解题技巧进行了深入的探索和研究,并将成果体现于书中。

本丛书以普通高等学校的学生为主要对象,不拘泥于某一本教材,而是将有特色和使用量较大的各种版本的教材加以归纳总结,取其精华,自成一体。书中对课程的基本内容、研究对象、教学要求、学习方法、解题思路等进行了全面、系统的总结和提炼,按基本知识点、重点与难点、典型题解析、自我检测题等环节进行编排;书后附录了自我检测题参考答案和近年来一些院校的期末考试题、考研试题及相应题解。本丛书的指导思想是帮助学生理清学习思路,总结并掌握各章节的要点;通过各类精选题的剖析、求解和示范,分析解题思路,示范解题过程,总结方法要略,展示题型变化;达到扩展知识视野,启迪创新思维,促进能力提高的目的。

本丛书既可以单独使用,也可以与其他教材配合使用;既可以作为课程学习时的同步自学辅导教材,也可以作为考研复习时的主要参考资料。

我们衷心希望本丛书成为您大学基础课和专业基础课学习阶段的良师益友，帮助您克服困难，进入大学学习的自由王国；也希望在考研冲刺时本丛书能助您一臂之力，使您一举成功！

在学习使用过程中，您如果发现书中有不妥之处或有好的建议，敬请批评指正并反馈给我们，我们一定会进一步改进自己的工作，力争使您满意。

真诚感谢您使用西安交大版图书。

西安交大出版社网址：<http://press.xjtu.edu.cn/>

理工医事业部网址：<http://lgny.xjtupress.com/>

理工医事业部信箱：jdlgy@yahoo.cn

西安交通大学出版社

2008年6月

前 言

《电工电子技术》(电工学)包括《电工技术》和《电子技术》,是高等学校非电类专业的一门技术基础课,是面向非电专业学生开设的唯一电类基础课程,影响面大,受益面广。《电工电子技术》课程的作用和任务是:使学生通过本课程的学习,获得电工技术和电子技术的基本理论、基本知识和基本技能,了解电工技术和电子技术的应用和发展,为学习后续课程和从事科学研究工作打下一定基础。为了满足科学技术迅猛发展和拓宽基础、淡化专业,提倡不同专业领域的交叉与融合,培养高素质复合型人才的需要,高等学校非电专业学科调整了人才培养计划和课程设置,对《电工电子技术》课程的教学内容和课程体系提出了更高和更严格的要求。

电工技术特别是电子技术的发展十分迅速,这要求《电工电子技术》课程要不断引入新的教学内容,必然存在教学体系中有限课程容量与无限膨胀的课程内容之间的矛盾。因而,《电工电子技术》课程的课堂教学只能是电工技术和电子技术的基本理论、基本知识和基本技能“启发”和“提纲挈领”式的教学。要学好《电工电子技术》,除了课堂的学习和训练之外,要结合教学要求,完成一定数量的习题,提高分析问题和解决问题的能力。基于这一认识,根据作者在西安交通大学长期为非电类专业学生开设《电工电子技术》课程的教学实践和经验,为了适应教学内容、课程体系改革和发展的需要而编写了本书。

本书为电工技术(电工学Ⅰ)的教学辅导书,全书共6章。包括:电路的基本概念与分析方法、正弦稳态分析、电路的暂态分析、磁路与变压器、电机、继电器接触控制与可编程控制器。各章内容均由基本要求、基本知识点、典型题解析和自我检测题四部分组成。“基本要求”是对学生学习各章内容所提出的要求,一般分为三个层次:了解、理解和掌握。“基本知识点”是对各章主要内容的说明和学习指导,指出在学习中的疑难之处和应注意的问题。“典型题解析”以例题的形式表明了各章的重点和难点,是对基本理论、基本知识和基本技能的应用,这些例题有利于读者掌握学习方法和对问题的深入思考。“自我检测题”用来对学习效果进行检验,书中附有自我检测题的答案(或提示)以及近年来西安交通大学《电工技术》(电工学Ⅰ)课程的考试题及参考答案。本书适于作为普通高等院校非电类专业学生学习《电工技术》(电工学Ⅰ)课程的教学辅导书。本书与王建华、刘晔合作编写《电子技术》(电工学Ⅱ)课程的教学辅导书形成《电工电子技术》课程教学辅导书的姊妹篇。

本书由刘晔和王建华合作编写,编写《电工电子技术》课程的教学辅导书对作者而言是一个全新的课题,编写过程中作者学习和借鉴了有关的参考文献,获益匪浅!研究生陈敬后、张侃侃、陈江波、束秀梅、丁巧娅、胡卫鹏为本书的编写做了不少工作。在此,作者谨致以衷心的感谢!

作者学识水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,欢迎老师和同学批评指正。

编 者

2008年8月于西安交通大学

目 录

丛书总序		
前言		
第1章 电路的基本概念与分析方法		
1.1	基本要求	(1)
1.2	基本知识点	(1)
1.3	典型题解析	(8)
1.4	自我检测题	(22)
第2章 正弦稳态分析		
2.1	基本要求	(29)
2.2	基本知识点	(29)
2.3	典型题解析	(43)
2.4	自我检测题	(64)
第3章 电路的暂态分析		
3.1	基本要求	(71)
3.2	基本知识点	(71)
3.3	典型题解析	(75)
3.4	自我检测题	(86)
第4章 磁路与变压器		
4.1	基本要求	(92)
4.2	基本知识点	(92)
4.3	典型题解析	(96)
4.4	自我检测题	(104)
第5章 电机		
5.1	基本要求	(107)
5.2	基本知识点	(107)
5.3	典型题解析	(111)
5.4	自我检测题	(117)
第6章 继电器接触控制与可编程控制器		
6.1	基本要求	(120)
6.2	基本知识点	(120)
6.3	典型题解析	(125)

6.4 自我检测题	(131)
-----------------	-------

自我检测题参考答案	(136)
-----------------	-------

附录 1 西安交通大学电工技术(电工学 I)考试题

西安交通大学 2004 年 6 月电工技术(电工学 I)试题	(164)
西安交通大学 2005 年 5 月电工技术(电工学 I)试题	(167)
西安交通大学 2005 年 12 月电工技术(电工学 I)试题	(169)
西安交通大学 2006 年 12 月电工技术(电工学 I)试题	(172)
西安交通大学 2007 年 6 月电工技术(电工学 I)试题	(176)

附录 2 西安交通大学电工技术(电工学 I)试题参考答案

西安交通大学 2004 年 6 月电工技术(电工学 I)试题参考答案	(180)
西安交通大学 2005 年 5 月电工技术(电工学 I)试题参考答案	(183)
西安交通大学 2005 年 12 月电工技术(电工学 I)试题参考答案	(186)
西安交通大学 2006 年 12 月电工技术(电工学 I)试题参考答案	(190)
西安交通大学 2007 年 6 月电工技术(电工学 I)试题参考答案	(193)

参考文献	(196)
------------	-------

第 1 章 电路的基本概念与分析方法

1.1 基本要求

- (1) 了解电路模型及理想电路元件的意义；
- (2) 理解电压、电流参考方向的意义；
- (3) 理解电路基本定律并能正确应用；
- (4) 了解电源的有载工作、开路与短路状态，并能理解电功率和额定值的意义；
- (5) 掌握分析与计算简单直流电路和电路中各点电位的方法；
- (6) 掌握用支路电流法、叠加原理和戴维宁定理分析电路的方法；
- (7) 理解实际电源的两种模型及其等效变换；
- (8) 了解非线性电阻元件的伏安特性及静态电阻、动态电阻的概念，以及简单非线性电阻电路的图解分析法；
- (9) 了解常用的几种电工测量仪表的基本构造和工作原理，并能正确使用；
- (10) 了解测量误差和仪表准确度等级的意义，以及量程范围和选用方法；
- (11) 学会几种常见的电路物理量的测量方法；
- (12) 了解非电量的电测法。

1.2 基本知识点

1. 电路的基本概念

电路是电流的通路。实际电路是指含有产生、传送和使用电能的各种电气部件的组合物，所以电路由三个部分组成：电源、负载和中间环节。电路分析的对象是电路模型，电路模型是按一定方式相互联接着的理想电路元件的集合，理想电路元件恰当地组合，能够相当精确地表示实际电路的电磁性能。

表 1.1 是描述电路过程和电路分析计算中常用的物理量。在电路规定：正电荷移动的方向为电流的实际方向，电位降低的方向为电压的实际方向，电位升高的方向为电动势的实际方向。但在实际电路中往往难以事先判断电流和电压的实际方向。为了分析和计算的方便，可任意选定一个方向作为参考方向，这样电流、电压就成为代数量，有正负之分。为了方便起见，常采用关联参考方向：电流参考方向与电压参考极性（方向）相一致的方向。在分析电路时应注意：

- ① 电路中标出的电流方向和电压极性都是参考方向。

表 1.1 电路的物理量

物理量	符号	单位	定义和说明	关系式
电流	I, i	安培(A)	单位时间通过导体某截面的电荷量	$I = \frac{Q}{t}$ $i = \frac{dq}{dt}$
电压	U, u	伏特(V)	电路中两点的电位差, 是电场力把单位正电荷从某点移到另一点所做的功	$U = \frac{W}{Q}$ $u = \frac{dw}{dq}$
电位	V_a, v_a	伏特(V)	电场力把单位正电荷从某点 a 移到参考点 O 所做的功。参考点 O 的电位 $V_o = 0$	$V_a = U_{ao}$ $v_a = u_{ao}$
电动势	E, e	伏特(V)	电源力(非电场力)把单位正电荷从电源的低电位端经内部移到高电位端所做的功	$E = \frac{W_{\text{电源力}}}{Q}$ $e = \frac{dw_{\text{电源力}}}{dq}$
电量	Q, q	库仑(C)	带电粒子(质子和电子)所带正电荷或负电荷的多少。一个电子所带负电荷约等于 1.6×10^{-19} 库仑	$Q = It$ $q = \int_{-\infty}^t idt$
磁通	ϕ, Φ	韦伯(Wb)	线圈中通有电流时, 在线圈里便产生了磁通 ϕ 。 磁通 ϕ 与线圈匝数 N 相交链称为磁链, 其值 $\psi = N\phi$	$u = \frac{d\psi}{dt} = N \frac{d\phi}{dt}$ $\psi = N\phi = \int_{-\infty}^t u dt$
电能	W, w	焦耳(J)	电阻元件通以电流 I , 在时间 t 内消耗的电能。 电感元件通以电流 I , 线圈中产生磁通形成磁场, 储存了磁场能量。 电容元件两端施以电压 U , 极板上聚集电荷形成电场, 储存了电场能量	$W_R = I^2 R t = U I t$ $W_L = \frac{1}{2} L I^2$ $W_C = \frac{1}{2} C U^2$
电功率	P, p	瓦特(W)	简称功率, 用来衡量单位时间内电能的大小	$P = \frac{W}{t} = UI$ $p = ui$

② 如果题中给定了参考方向, 就按给定的参考方向完成解题过程; 如果没有给定参考方向, 必须首先选定参考方向, 并在电路图上标出。没有参考方向的电流、电压数值是没有意义的。

③ 按参考方向求出的值为正, 说明参考方向与实际方向相同; 为负说明参考方向与实际方向相反。

④ 在关联参考方向下, 功率的参考方向取进入电路的方向, 如图 1.1 所示。这时, 若 $p > 0$, 说明实际方向与参考方向一致, 即电路吸收功率; 若 $p < 0$, 说明参考

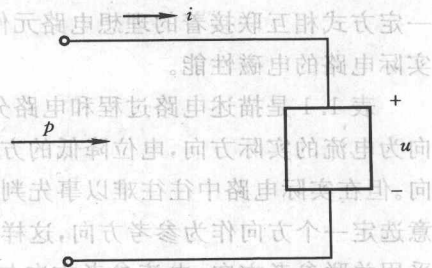


图 1.1 电流、电压、功率的关联参考方向

方向与实际方向相反,即电路放出功率。

2. 基尔霍夫定律

基尔霍夫电流定律(KCL), $\sum_{k=1}^K i_k = 0$, 反映了汇合到电路中任一结点的各支路电流间相互制约的关系。KCL 遵循电荷守恒法则, 是电流连续性的体现; KCL 与元件性质无关, 是对支路电流所加的约束; KCL 不仅适用于结点, 也适用于闭合线和闭合面。

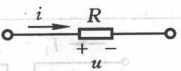
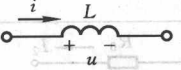
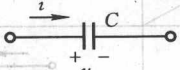
基尔霍夫电压定律(KVL), $\sum_{k=1}^K u_k = 0$, 反映了一个回路中各段电压间相互制约的关系。KVL 遵循能量守恒法则, 单位正电荷由回路的某点出发, 绕行一周又回到该点, 获得或失去的总能量为零; KVL 与元件性质无关, 是对支路电压所加的约束; KVL 也适用于部分电路。

KCL 与 KVL 具有普遍适用性, 适用于任一瞬时对任何变化的电压和电流, 也可适用于由各种不同元件所构成的电路。基尔霍夫定律是电路的基本定律, 必须深刻理解和熟练应用。

3. 无源电路元件

根据某一电路元件的等效电路中是否含有电源, 可以把元件分为有源电路元件和无源电路元件。基本的无源电路元件有电阻、电感和电容。表 1.2 是线性电阻元件、电感元件和电容元件的性质。

表 1.2 基本线性无源电路元件的性质

元件	电阻 R	电感 L	电容 C
电路符号			
定义	$R = \frac{u}{i}$ (欧姆定律)	$L = \frac{N\phi}{i}$	$C = \frac{Q}{u}$
伏安特性	$u = Ri$	$u = L \frac{di}{dt}$	$i = C \frac{du}{dt}$
能量	消耗电能 $W = \int_0^t Ri^2 dt$	储存磁场能 $W = \frac{1}{2} Li^2$	储存电场能 $W = \frac{1}{2} Cu^2$
直流稳态下的特点	服从欧姆定律	相当于短路	相当于开路

4. 有源电路元件

基本的有源电路元件有理想电压源和理想电流源。根据理想电压源的电压值或理想电流源的电流值是一确定值, 还是随其他支路的电压或电流而变化, 又可将其分为独立电源和受控电源。表 1.3 是电压源与电流源的特性。

受电路中其他支路电压或电流控制的电压源或电流源称为受控源。受控源不能作为电路的激励, 可以作为电子元器件等的电路模型的一个组成部分。表 1.4 是受控源的模型。

5. 电路的工作状态

电路的工作状态有 3 种: 有载状态、空载状态和短路状态。表 1.5 以电压源为例, 说明了电路处于上述 3 种状态时的特点。在一个电路中, 电源产生的功率与负载取用的功率、电路电源

内阻消耗的功率以及线路电阻消耗的功率总是平衡的。

表 1.3 电压源与电流源

种类	电压源		电流源	
	理想电压源	电压源	理想电流源	电流源
电路符号				
特点	1. 内阻为零; 2. 端电压恒定或是给定的时间函数; 3. 电流由外电路决定。	$U = U_s - IR_0$	1. 内阻无穷大; 2. 电流恒定或是给定的时间函数; 3. 电压由外电路决定。	$I = I_s - \frac{U}{R_0}$
等效变换	无	等效电流源参数 $I_s = U_s / R_0$	无	等效电压源参数 $U_s = I_s R_0$
可提供的能量情况	“无穷大”	有限能源	“无穷大”	有限能源

表 1.4 受控源的电路模型

控制量		电压控制	电流控制
类型	受控电压源	$\mu = \left. \frac{U_2}{U_1} \right _{I_2=0}$ (电压放大系数)	$r = \left. \frac{U_2}{I_1} \right _{I_2=0}$ (转移电阻)
	理想电压源	VCVS (如:理想变压器)	CCVS (如:直流发电机)
受控电流源	电流源	$g = \left. \frac{I_2}{U_1} \right _{U_2=0}$ (转移电导)	$\beta = \left. \frac{I_2}{I_1} \right _{U_2=0}$ (电流放大系数)
	理想电流源	VCCS (如:场效应管)	CCCS (如:晶体三极管)

表 1.5 电路的工作状态

表 1.5 电路的工作状态

工作状态	有载状态	空载(开路)状态	短路状态
电路图			
负载电阻	R_L	∞	0
电路电流	$I_L = U_s / (R_0 + R_L)$	$I_L = 0$	$I_s = \frac{U_s}{R_0}$ 很大, $I_L = 0$
电源端电压	$U = U_s - I_L R_0$	$U_0 = U_s$	$U = 0$
电源输出功率	$P_s = U_s I$	$P_s = 0$	$P_s = U_s I_s$ 很大
负载消耗功率	$P_L = UI_L = I_L^2 R_L = U^2 / R_L$	$P_L = 0$	$P_L = 0$
电源内阻消耗功率	$P_{R_0} = I_L^2 R_0$	$P_{R_0} = 0$	$P_{R_0} = I_s^2 R_0$ 很大
功率平衡关系	$P_s = P_L + P_{R_0}$	$P_s = P_L + P_{R_0} = 0$	$P_s = P_{R_0}$, 烧坏电源

电器设备的额定值是制造厂为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常允许值。电器设备在实际使用中的有关参数(如电流、电压和功率)并不一定等于额定值,超过额定值称过载,不足额定值称欠载,在额定值下工作称满载。

6. 电路中的电位

在一个电路中,如果指定某一点为参考点,设其电位为零,则电路中其他各点的电位才可用数值来表示其高低,其数值为该点到参考点的电压。必须注意:参考点选得不同,各点电位的数值也随之而异;但任何两点间的电压值是不变的。

7. 支路电流法

支路电流法是分析计算复杂电路的基本方法,是以支路电流作为直接求解对象的电路分析方法。对于有 b 条支路和 n 个结点的电路,应用支路电流法求解的步骤是

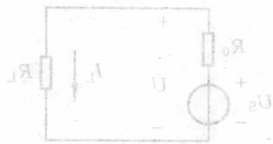
- ① 在电路图上设定支路电流的正方向(参考方向);
- ② 由 KCL 列出 $n-1$ 个独立结点电流方程;
- ③ 由 KVL 列出 $b-(n-1)$ 个独立回路电压方程;
- ④ 由元件的伏安特性,把 KVL 方程中的支路电压用支路电流表示;
- ⑤ 将上述 $(n-1) + b - (n-1) = b$ 个方程联立求解。

需要加以说明:电路的网孔数恰好等于 $b-(n-1)$,所以在上述步骤③中可以先确定电路的网孔,然后列出 $b-(n-1)$ 个网孔电压方程。可以证明, $b-(n-1)$ 个网孔电压方程是相互独立的。

8. 结点电压法

结点电压法是以结点电位为求解对象,由结点电位确定支路电压,进而求得支路电流的电路分析方法。若电路中有 n 个结点,则方程组的一般形式为

$$\begin{cases} G_{11}U_1 + G_{12}U_2 + \cdots + G_{1(n-1)}U_{(n-1)} = \sum I_{S11} \\ G_{21}U_1 + G_{22}U_2 + \cdots + G_{2(n-1)}U_{(n-1)} = \sum I_{S22} \\ \vdots \\ G_{(n-1)1}U_1 + G_{(n-1)2}U_2 + \cdots + G_{(n-1)(n-1)}U_{(n-1)} = \sum I_{S(n-1)(n-1)} \end{cases}$$



式中, G_{jj} ($j = 1, 2, \dots, (n-1)$) 分别为各独立结点的自电导(与某独立结点相连接的所有支路电导之和),取正值; G_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, (n-1); i \neq j$) 为独立结点 i 和独立结点 j 的互电导(接于 i 和 j 结点之间的所有支路电导之和),取负值; $\sum I_{Sij}$ ($j = 1, 2, \dots, (n-1)$) 为汇集在第 j 结点的电流源(如为电压源应先化为电流源)电流的代数和,其中流入的取正,流出的取负。

若电路中仅有 1, 2 共两个结点,设结点 2 为电位参考点,则 $U_1 = U_{12}$

$$U_1 = \frac{\sum \frac{E}{R}}{\sum \frac{1}{R}}$$

式中, $\sum \frac{E}{R}$ 是各支路中电动势与本支路电导的乘积之代数和,当 E 的正极接结点 1 时取正,当

E 的负极接结点 1 时取负; $\sum \frac{1}{R}$ 是所有支路电导之和。这一结论被称为弥尔曼定理,应重点掌握。

9. 叠加原理

设线性网络 N 的激励为 $e(t)$, 响应为 $r(t)$, 若

则有 $e_1(t) \rightarrow r_1(t)$ 和 $e_2(t) \rightarrow r_2(t)$ 某宝混果成, 中混申个一查

① $\alpha e_1(t) \rightarrow \alpha r_1(t)$ 和 $\beta e_2(t) \rightarrow \beta r_2(t)$, 式中, α 和 β 是任意常数。网络 N 的这一性质称为比例性, 又称齐次性;

② $e_1(t) + e_2(t) \rightarrow r_1(t) + r_2(t)$ 。网络的这一性质称为叠加性。

比例性和叠加性是线性网络的固有属性, 叠加原理是这一特性的表述。在用叠加原理求解电路时请注意:

- ① 叠加原理只适用于线性电路;
- ② 独立源可以单独作用, 受控源不能单独作用, 独立源单独作用时, 受控源应和电阻一样予以保留(视受控源的控制量而定);
- ③ 独立源单独作用是指: 其他独立源不作用(电压源用短路替代, 电流源用开路替代);
- ④ 线性电路的功率不能用叠加的方法来求, 但可用叠加原理求出总电流和总电压后再计算功率;
- ⑤ 叠加原理的重要性不在于应用它来计算复杂电路, 而在于它是分析线性电路的普遍原理。

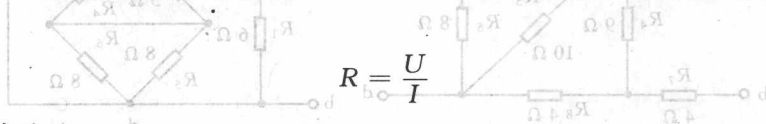
10. 等效电源定理 凡具有两个出线端的部分电路称为二端网络(或称单口网络)。二端网络分无源二端网络与有源二端网络。无源二端网络可等效为一个电阻,称为该网络的输入电阻。该输入电阻的数值等于二端网络端口电压与电流之比。有源二端网络对外电路来说好比一个电源,可等效为一个电压源(戴维宁定理)或等效为一个电流源(诺顿定理)。

戴维宁定理:任何一个线性含源二端网络,对外电路来说都可以用一个电压源支路来等效替代,电压源的电压为该网络的开路电压,电压源的内阻等于该网络中所有独立电源不作用时的输入电阻。

诺顿定理:任何一个线性含源二端网络,对外电路来说都可以用一个电流源支路来等效替代,电流源的电流为该网络的短路电流,电流源的内阻等于该网络中所有独立电源不作用时的输入电阻。

戴维宁定理和诺顿定理是对偶的,应用这两个定理分析电路的关键是求开路电压(或短路电流)和输入电阻。开路电压(或短路电流)可以应用 KCL、KVL、电源等效变换、支路电流法、结点电压法和叠加原理等方法分析计算得到。确定输入电阻的方法有:

- ① 将含源二端网络除去独立电源后,利用电阻串并联公式化简电路,求得输入电阻;
- ② 将含源二端网络除去独立电源后,在端口上外加电压源 U ,求得端口电流 I ,则输入电阻为



此法称为加压求流法;

- ③ 保留含源二端网络中的独立电源,依次求得网络的开路电压 U_o 和短路电流 I_s ,则输入电阻为

$$R = U_o / I_s$$

对于简单电阻电路可用方法 ①,复杂的或含有受控源的电路则需要用方法 ② 或 ③ 求输入电阻。

11. 非线性电阻电路

非线性电阻的阻值随电压或电流而变,而线性电阻两端的电压与其中电流的关系服从欧姆定律,其伏安特性是一直线;非线性电阻两端的电压与其中电流的关系不遵循欧姆定律,其伏安特性也不是直线。

可用静态电阻 R 和动态电阻 r 来表征非线性电阻。从伏安特性看, R 与 r 都是在非线性电阻工作点处的电阻,所不同的是

$$R = \frac{U}{I}, \quad r = \frac{du}{di}$$

即电压和电流为直流的情况下用静态电阻 R ,电压和电流为微变量时用动态电阻 r 。

分析由非线性电阻组成的非线性电路的方法有:曲线相交图解法、分段线性化法(折线法)、小信号分析法和数值解法等。

12. 电工测量

电工测量结合电工实验进行学习。

- (1) 进行电工实验应掌握下列技能——正确选择与使用电源,包括直流电源和交流电源;

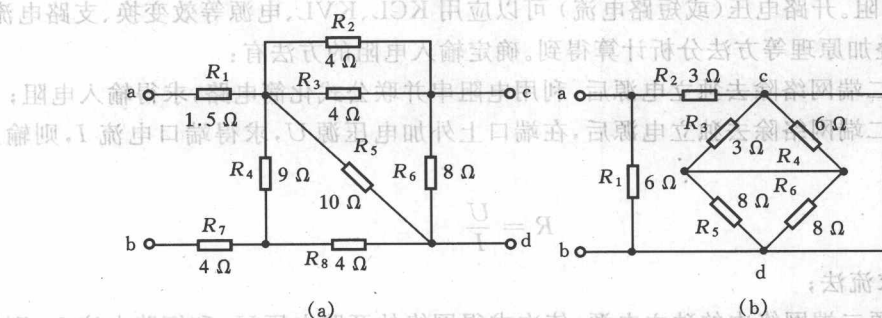
正确选择与使用常用电工设备,如调压器和变阻器等;正确选择和使用常用电工仪表;科学和安全地进行实验操作,仔细观察实验现象,正确读取实验数据;掌握数据处理与误差分析方法。

(2) 常用电工仪表的使用 要求了解电磁式、磁电式、电动式和直流式仪表的结构和原理,掌握电流表、电压表、万用表和功率表的使用方法。常用仪表的选择方法有:根据被测电路所用电源、测量对象及数值范围,选择仪表的种类及量程;根据测量要求的精确度选择仪表的准确度等级;根据被测电路输入阻抗大小,选择仪表的灵敏度和相应的测量电路。

(3) 实验数据的处理与误差分析 包括有效数字的选取,仪表测量误差的分析与处理,实验曲线的绘制等。

1.3 典型题解析

例 1.1 如图 1.1 图所示,分别求二端网络的等效电阻 R_{ab} 及 R_{cd} 。



例 1.1 图

解 对图(a):

$$R_{ab} = R_1 + (((R_2 // R_3) + R_6) // R_5 + R_8) // R_4 + R_7 = 10 \Omega$$

$$R_{cd} = ((R_2 // R_3) + (R_4 + R_8) // R_5) // R_6 = 3.91 \Omega$$

对图(b):

$$R_{ab} = R_1 // R_2 = 2 \Omega$$

$$R_{cd} = 0$$

注释 求无源二端网络的等效电阻时,由于端口的不同,以及短路和开路的存在与否、结构的对称与否等,其等效的过程和结果将大不相同。具体求解时,假定有一电流从该端口的一个端钮流入,而从另一端钮流出,以弄清元件的串并联关系。对无电流通过的元件,元件以开路替代(本题中,求图(a)的 R_{cd} 时 R_1, R_7 不计);电位相等的两点之间可用导线连接,电阻为零(本题中,求图(b)的 R_{ab} 和 R_{cd} 时,由于 c, d 两点之间存在短路线,所以 $R_{cd} = 0$,而不计 R_3, R_4, R_5 及 R_6)。

例 1.2 例 1.2 图所示电路,已知 $I_1 = 3 \text{ mA}$, $I_2 = 1 \text{ mA}$ 。试确定电路元件 3 中的电流 I_3 和其两端电压 U_3 ,并判断它是电源还是负载。校验整个电路的功率是否平衡。

解 由 KCL 得

$$-I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

所以 $I_3 = -2 \text{ mA}$ (I_3 的实际方向与图中的参考方向相反)

由 KVL 得

$$U_3 = 30 + 10 \times 10^3 \times 3 \times 10^{-3} = 60 \text{ V}$$

其次确定元件是电源还是负载。

方法一 从电压和电流的实际方向判别

电路元件 3 电流 I_3 从“+”端流出, 故为电源;

80 V 元件 电流 I_2 从“+”端流出, 故为电源;

30 V 元件 电流 I_1 从“+”端流入, 故为负载。

方法二 从电压和电流的参考方向判别

电路元件 3 U_3 和 I_3 参考方向相同

$$P = U_3 I_3 = 60 \times (-2) \times 10^{-3} = -0.12 \text{ W} < 0, \text{ 故为电源};$$

80 V 元件 U_2 和 I_2 的参考方向相反

$$P = -U_2 I_2 = -80 \times 1 \times 10^{-3} = -0.08 \text{ W} < 0, \text{ 故为电源};$$

30 V 元件 U_1 和 I_1 的参考方向相同

$$P = U_1 I_1 = 30 \times 3 \times 10^{-3} = 0.09 \text{ W} > 0, \text{ 故为负载}。$$

可见, 由方法一和方法二得到的结果是一致的。

电源的功率

$$P = 80 \times 1 \times 10^{-3} + 60 \times 2 \times 10^{-3} = 0.2 \text{ W (发出)}$$

负载的功率

$$P = 30 \times 3 \times 10^{-3} + 10 \times 10^3 \times (3 \times 10^{-3})^2 + 20 \times 10^3 \times (1 \times 10^{-3})^2 = 0.2 \text{ W (取用)}$$

可见, 整个电路电源发出的功率等于负载吸收的功率, 电路功率是平衡的。

注释 要确定某电路元件是电源还是负载, 首先要求出它的电压和电流, 得到电压和电流的具体数值后, 可以从电压和电流的实际方向去判别某电路元件是电源还是负载, 也可从电压和电流的参考方向去进行判别。功率平衡是电路的基本平衡关系, 要深入理解。

例 1.3 求例 1.3 图所示电路中的 I, U_s, R 。

解 取支路电流 I_1, I_2, I_3 及电压 U_R 的参考

方向如例 1.3 图所示。按广义的 KCL 得

$$6 - 5 - I = 0$$

所以 $I = 1 \text{ A}$

由 KCL 得

$$6 + 12 - I_1 = 0 \Rightarrow I_1 = 18 \text{ A}$$

$$I_1 - I_3 - 15 = 0 \Rightarrow I_3 = 3 \text{ A}$$

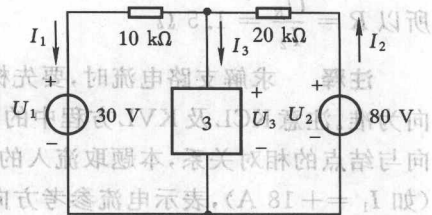
$$-I - I_2 + 15 = 0 \Rightarrow I_2 = 14 \text{ A}$$

由 KVL 得

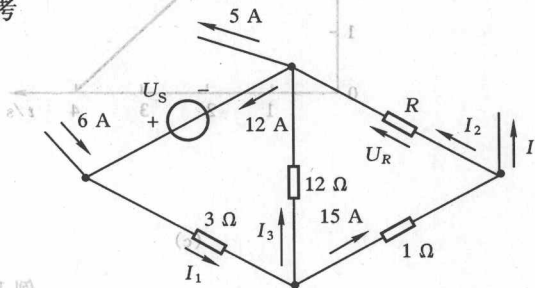
$$U_s - 12I_3 - 3I_1 = 0 \Rightarrow U_s = 12 \times 3 + 3 \times$$

$$18 = 90 \text{ V}$$

$$U_R - 12I_3 + 15 \times 1 = 0 \Rightarrow U_R = 12 \times 3 - 15 = 21 \text{ V}$$



例 1.2 图



例 1.3 图