

高等学校教学参考书

电工学基本教程 学习辅导

孙骆生 编

高等教育出版社

高等学校教学参考书

电工学基本教程 学习辅导

孙骆生 编

高等教育出版社

(京) 112 号

图书在版编目(CIP)数据

电工学基本教程学习辅导/孙骆生编. —北京: 高等教育出版社, 1996

ISBN 7-04-005534-1

I. 电… II. 孙… III. 电工学-高等学校-教学参考资料
IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 11270 号

•
高等教育出版社出版

北京沙滩后街 55 号

邮政编码: 100009 传真: 4014048 电话: 4054588

新华书店总店北京发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

*
开本 850×1168 1/32 印张 6.625 字数 170 000

1996 年 4 月第 1 版 1996 年 4 月第 1 次印刷

印数 0001—2 504

定价 6.00 元

凡购买高等教育出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题者,请与当地图书销售部门联系调换。

版权所有,不得翻印

前 言

本书是与1990年高等教育出版社出版的《电工学基本教程》(第二版)上、下册配套使用的学习指导书,用来帮助读者掌握好电工技术(电工学I)和电子技术(电工学II)两门课程的教学内容。《电工学基本教程》和本学习指导书编写的依据都是1987年经国家教育委员会批准执行的《高等工业学校电工技术(电工学I)课程教学基本要求》和《高等工业学校电子技术(电工学II)课程教学基本要求》。电工学是供非电专业学生学习电工技术和电子技术的技术基础课,在电工和电子技术迅猛发展并渗透到其他技术领域的今天,无疑是提高非电专业工程技术人员的素质,从而更好地在所从事的科技工作中发挥作用的重要课程。根据上述特点,为了使学生的德智体全面发展,应让学生在有限的学时内,在学习负担不致过重的情况下把“基本要求”规定的知识和技能真正学到手,《电工学基本教程》和本指导书都是在这一指导思想下编写的,主要面向学生,也可供电工学教师在工作中参考。

学习一门课程,当然以所用教材为主,一般情况下,还是先看教材,后看学习指导书。本指导书对照第二版《电工学基本教程》的讲解内容和思考题、练习题的安排,逐章按:一、学习要求;二、内容提要;三、问题讨论;四、习题选答;五、补充习题这几个方面来编写。

学习要求 是学习各章内容要达到的基本要求,对于原理性和概念性的内容,有的要深入理解,有的可一般了解;对于运算性和应用性的内容,有的要求较熟练的掌握,有的只作一般了解。

内容提要 扼要回顾各章内容中要理解和掌握的基本理论、分析方法及电路模型、数学表达式,也指出某些要了解的结论,不

1996/10/23

像《电工学基本教程》中本章小结那样全面概括各章内容。

问题讨论 针对各章的重点和难点,结合《电工学基本教程》中某些思考题的解答或补充个别例题,再次阐明有关的基本概念、基本理论和基本分析方法,讨论学习中容易出现的带有普遍性的问题和注意事项,澄清某些模糊概念。

习题选答 是《电工学基本教程》中某些较典型的习题和打*号难题的解答,学生最好先自己做题,再看解答。

补充习题 是补充与已解答的选答题相似的习题或其他不同类型与联系实际的习题,供学生锻炼提高解题能力。

《电工学基本教程》中供不同专业选用的非基本内容(用△号标明)和供学有余力的学生加宽知识面的内容,本书不作说明和讨论。例如没有写有关《电工学基本教程》中打△号的第七章直流电动机的内容。1993年高校工科基础课程教学指导委员会修订了“课程教学基本要求”,本书又参照新要求作了修订和补充。如《电工学基本教程》中第十四章晶闸管及其应用,原来不在课程教学基本要求范围之内,新修订的“基本要求”中已经列入,而且还增加了适应电力电子技术发展的内容,因此本书写了有关第十四章的内容,并补充了功率场效应管及其应用简介的附录;又如在有关第十五章数字电子电路的内容中,补充了集成定时器和用它组成的单稳态触发器、多谐振荡器的附录,以便能按新修订的“基本要求”进行教学。

《电工学基本教程》(第二版)原有例题86题、思考题209题,习题239题,总计534题。本书解答了《电工学基本教程》中的习题47题、思考题18题,新编例题6题、补充习题48题、思考题9题。相当于总例题数增加到157题,总计题目数达到597题,这有助于对课程内容的理解和掌握。补充题主要是增加习题类型和联系实际问题、扩大选题的范围,不是增加做题量。一般情况下,电工和电子技术习题总共做120~140题就可以了,以培养解题能力达到“基本要求”为准。

本书在 1992 年开始编写,“课程教学基本要求”修订稿定稿后,又依据它作了必要的修改。全书经北京航空航天大学罗中仙教授和李郁芬教授详细审阅,提出了许多宝贵的修改意见,在此对这两位老师和在编写过程中提出过意见和建议的其他老师一并致以衷心的感谢!限于编者的学识水平和使用经验,书中难免存在不足和不妥之处,恳切希望读者批评指正。

孙骆生于北京轻工业学院

1994 年 10 月

内 容 简 介

本书是与孙骆生主编的《电工学基本教程》(第二版)配套使用的学习指导书。逐章按:一、学习要求;二、内容提要;三、问题讨论;四、习题选答;五、补充习题这五方面编写,篇幅紧凑,文字简明,便于自学。

本书体现了编者四十多年从事电工学教学工作所积累的经验。针对学习中易出现的疑问,讨论了40个基本问题,选答了47个重要的习题和18个较难的思考题,增添了6个典型例题,再次阐明电工学课程的基本理论和分析方法,并澄清常见的模糊概念,能给学生和读者学好电工学提供帮助,也可供电工学教师在教学中参考。

本书还按照1993年修订的“课程教学基本要求”补充了有关电力电子技术和数字电子技术方面的内容,以便于新基本要求的执行。

目 录

前言	3
第一章 直流电路	1
第二章 交流电路	16
第三章 三相交流电路	36
第四章 电路的瞬变过程	49
第五章 磁路和变压器	65
第六章 异步电动机	73
第七章 直流电动机(略)	
第八章 继电-接触器控制	87
第九章 电工测量	95
第十章 半导体二极管和整流电路	101
第十一章 晶体管和基本放大电路	108
第十二章 集成运算放大器及其应用	133
第十三章 正弦波振荡器	155
第十四章 晶闸管及其应用	158
附录 功率场效应管及其应用简介	165
第十五章 数字电子电路	175
附录 集成定时器的工作原理及其应用	195

第一章 直流电路

一、学习要求

1. 理解电路模型概念及理想电路元件（电阻、理想电压源、理想电流源）的电压-电流关系，理解电压、电流参考方向的意义。
2. 理解实际电源的两种模型及其等效变换。
3. 理解克希荷夫定律，掌握用支路电流法、叠加原理和戴维南定理分析电路的方法。
4. 了解电功率和额定值的意义。
5. 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。了解简单非线性电阻电路的图解分析法。

二、内容提要

1. 电路模型

实际电路在其组成部件由具有单一物理性质的理想电路元件代替后所构成的理想化电路叫做电路模型。电路模型图也叫原理电路图，分析电路就是分析电路模型。

2. 电路元件的特性

电路元件的物理性质由元件的端电压和元件中的电流之间的数学关系来描述，稳态下可用伏安特性—— $U = f(I)$ 或 $I = f(U)$ 曲线来表示，对于电源来说叫做外特性。直流电路中，电阻、理想电压源、理想电流源这三个基本理想电路元件的伏安特性分别如图 1-1(a)、(b)、(c) 所示。图中电压、电流的方向均为参考方向。实际方向由代数量 U 、 I 的正负来表明。

3. 电路遵循的基本规律：即相对独立的两类约束

- (1) 元件约束：表达元件物理性质的电压和电流的关系式或

特性曲线。

(2) 结构约束: 各元件电流之间遵循克希荷夫电流定律 KCL ($\sum I = 0$); 各元件电压之间遵循克希荷夫电压定律 KVL ($\sum U = 0$)。

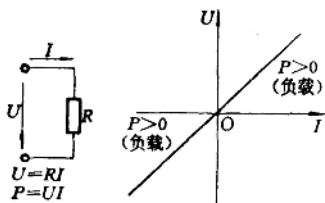
4. 解复杂电路常用的基本方法

(1) 支路电流法: 以支路电流作为待求量, 根据 KCL 和 KVL 列写独立的电流方程 ($\sum I = 0$) 和电压方程 ($\sum E = \sum RI$) 联立求解。

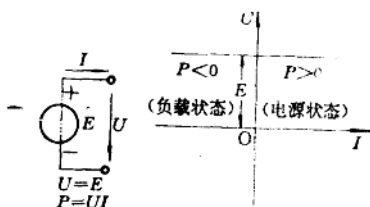
(2) 应用普遍适用于线性系统的叠加原理解电路: 先分别求出各个电源单独作用时在各支路所产生的电流或在某节点形成的电位, 然后按叠加关系求出各支路的电流或某节点的电位。

(3) 应用等效电源定理直接求出某一条支路的电流: 电路中的其余部分是线性有源二端网络, 可用等效电源代替(用电压源代替是戴维南定理; 用电流源代替是诺顿定理)。等效电源的电动势、电激流和内阻分别等于有源二端网络的开路电压、短路电流和除源 ($E = 0$ 、 $I_s = 0$) 电阻。

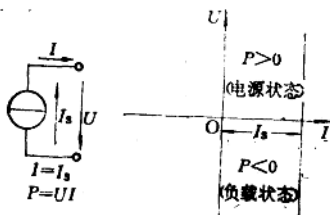
5. 非线性电阻电路的分析方法



(a) 电阻



(b) 理想电压源



(c) 理想电流源

图 1-1

用等效电源代替(用电压源代替是戴维南定理; 用电流源代替是诺顿定理)。等效电源的电动势、电激流和内阻分别等于有源二端网络的开路电压、短路电流和除源 ($E = 0$ 、 $I_s = 0$) 电阻。

利用非线性电阻的伏安特性(曲线)和其余部分(线性有源二端网络)的伏安特性(直线)通过图解法求出工作点 Q , 非线性电阻在各工作点的电压、电流比值 $R_Q = \frac{U_Q}{I_Q}$ 称为静态电阻, 而电压、

电流增量的比值 $r_Q = \frac{\Delta U_Q}{\Delta I_Q}$ 称为动态电阻, $R_Q \approx r_Q$, r_Q 用于组成电路小信号模型, 以便分析非线性电阻电路输入小信号时的工作状态。

三、问题讨论

1. 电压、电流参考方向

电工学中, 对于不论是已知的还是待求的电压(或电动势)、电流统一采用参考方向结合代数量的方法来表示其大小和实际方向, 这是贯穿全课程的基本规则, 全书所有电路图中标注的电压、电流方向都是参考方向。参考方向可任意规定, 电压 U 和电流 I 不只是符号, 而是有大小和正负的代数量, 它同它的参考方向结合起来要符合实际情况。分析电路之前, 一定要把各电压、电流的参考方向规定清楚。

电压、电流参考方向的规定还决定功率 P 的含义。对于电阻元件: I 的参考方向规定同 U 一致(称关联参考方向), $P = UI$ 表示消耗的功率; 对于电源元件: 一般情况下, I 的参考方向规定和 E 一致, 而和端电压 U 相反, U 的参考方向通常规定和 I 相反, $P = EI = UI$ 和 $P = -UI$, 分别表示理想电压源和理想电流源发出的功率, 但电源元件有时会工作于负载状态, 此时 P 也为负值。前面图 1-1(b) 和(c) 所示电源的伏安特性第二和第四象限就是这种情况。因此分析电路时, 可根据 U 、 I 的参考方向和算出的 $P = UI$ (或 EI 、 UI) 代数值的正负判定元件的工作状态(是电源还是负载)。

规定参考方向并无深奥理论, 只是分析电路时离不开的习惯

规定和基本概念,务必在开始学习电工学课程时就明确起来,这有助于对后面各部分内容的正确理解和避免分析问题出错。为此,对《电工学基本教程》中给出的一些思考题(仍用原书的题号),在此作些解答。

思考题 1-1 电路如图 1-2 所示,已知: $E_1 = 110\text{V}$, $E_2 = -50\text{V}$, $E_3 = 220\text{V}$, $R = 20\Omega$, $I_1 = 2.5\text{A}$, $I_5 = 7.5\text{A}$, $I_6 = -4\text{A}$ 。求:

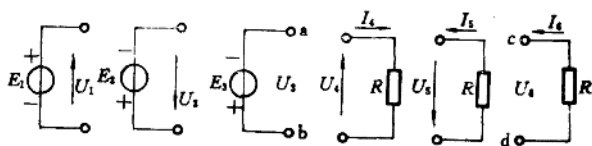


图 1-2

- (1) 电源的开路电压 U_1 、 U_2 、 U_3 和 $U_{b,a}$ 的代数值;
- (2) 负载电阻端电压 U_4 、 U_5 、 U_6 和 $U_{c,d}$ 的代数值。

解 (1) $U_1 = -E_1 = -110\text{V}$

$$U_2 = -E_2 = -(-50) = 50\text{V}$$

$$U_{b,a} = E_3 = 220\text{V}$$

U_3 因未标参考方向,不能确定正负。

$$(2) U_4 = -RI_1 = -20 \times 2.5 = -50\text{V}$$

$$U_5 = -RI_5 = -20 \times 7.5 = -150\text{V}$$

$$U_{c,d} = -RI_6 = -20 \times (-4) = 80\text{V}$$

U_6 也因未标参考

方向,无法确定正负。

思考题 1-11 理想电压源 ($E = 5\text{V}$) 与理想电流源 ($I_s = 5\text{A}$) 连接成图 1-3 所示的闭合回路。求:

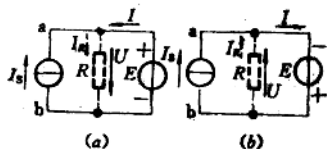


图 1-3

(1) (a)、(b) 两种情况下(不连接虚线所示电阻 R)，连接导线中电流和线间电压及各电源的输出功率各为何？谁是电源？谁是负载？

(2) 若在电路的连接导线间接一个 $R = 1\Omega$ 的电阻元件，如图 1-3 中虚线所示，各元件的电压、电流和功率是多少？谁是电源？谁是负载？

解 按习惯规定 U 、 I 的参考方向，但是 (b) 图中 U 的参考方向和 I_s 相同， $P = UI_s$ 表示理想电流源的消耗功率。

$$(1) (a) U = E = 5V \quad I = -I_s = -5A$$

$$\text{理想电流源发出功率: } P_I = UI_s = 5 \times 5 = 25W$$

是电源

$$\text{理想电压源发出功率: } P_E = UI = 5 \times (-5) =$$

$-25W$ 是负载

$$(b) U = E = 5V \quad I = I_s = 5A$$

$$\text{理想电流源消耗功率: } P_I = UI_s = 5 \times 5 = 25W$$

是负载

$$\text{理想电压源发出功率 } P_E = UI = 5 \times 5 = 25W$$

是电源

$$(2) (a) U = E = 5V \quad I_R = \frac{U}{R} = \frac{5}{1} = 5A \quad I = -I_s +$$

$$I_R = -5 + 5 = 0$$

$$\text{电阻元件消耗功率: } P_R = UI_R = 5 \times 5 = 25W$$

是负载

$$\text{理想电流源发出功率: } P_I = UI_s = 5 \times 5 = 25W$$

是电源

$$\text{理想电压源发出功率 } P_E = UI = 5 \times 0 = 0$$

未工作

$$(b) U = E = 5V \quad I_R = \frac{U}{R} = \frac{5}{1} = 5A \quad I = I_s + I_R =$$

$$5 + 5 = 10\text{A}$$

电阻元件消耗功率 $P_R = UI_R = 5 \times 5 = 25\text{W}$
是负载

理想电流源消耗功率 $P_I = UI_S = 5 \times 5 = 25\text{W}$
是负载

理想电压源发出功率 $P_E = UI = 5 \times 10 = 50\text{W}$
是电源

2. 电压源和电流源

《电工学基本教程》中指的是含内阻 (R_0 或 R'_0) 的实际电压源和实际电流源; 在电路理论中一般指的是理想电压源和理想电流源, 并且电压源电压用 U_s (代替 E) 表示, 电流源电流用 I_s 表示。这是电压源和电流源的两种命名方法, 看参考书时要注意。

实际的电压源和电流源的外特性都是随着输出给负载的电流 I 的增大, 输出电压 U 要减小, 输出功率 $P = UI$ 是受限制的。因此, 电压源的模型由理想电压源和代表电源内部损耗的电阻 R_0 串联组成, $U = E - R_0 I$, 体现了 I 增大时 U 减小; 电流源的模型由理想电流源和等效内阻 R'_0 并联组成, $I = I_s - \frac{U}{R'_0}$, 或 $U =$

$R'_0(I_s - I)$, 也体现了 I 增大时 U 减小。电压源和电流源按外特性完全(不是某一点)相同的条件进行等效变换, 关系式为

$$I_s = \frac{E}{R_0}, E = R'_0 I_s, R_0 = R'_0$$

理想电压源并联电阻仍是恒压源, 理想电流源串联电阻仍是恒流源, 对外部电路的工作状态没有影响, 只改变理想电压源的电流和理想电流源的端电压 U 。因此在进行电路分析时, 这种电阻可以先不加考虑。例如:

思考题 1-20 试用电源等效变换的方法, 解图 1-4(a) 电路。已知: $I_{s1} = 5\text{A}$, $E_2 = 100\text{V}$, $R_1 = R_2 = 2.5\Omega$, $R_3 = 10\Omega$ 。

解 先不考虑 R_1 , 将理想电流源 I_{s1} 和 R_3 搭配成电流源, 并

变换成等效电压源, 即 $R'_{01} = R_3$ 见图 1-4(b). 按等效变换公式

$$E_1 = R'_{01} I_{s1} = R_3 I_{s1} = 10 \times 5 = 50V$$

E_1 方向和 I_{s1} 方向一致.

$$R_{01} = R'_{01} = R_3 = 10\Omega$$

由图 1-4(b) 电路可求出

$$I_2 = \frac{E_2 - E_1}{R_2 + R_{01}} = \frac{100 - 50}{2.5 + 10}$$

$$= 4A$$

因此图 1-4(a) 中

$$I_3 = I_1 + I_2 = I_{s1} + I_2$$

$$= 5 + 4 = 9A$$

理想电流源端电压

$$U_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3 = 2.5 \times 5 + 10 \times 9 = 102.5V$$

在《电工学基本教程》的习题

1-26、1-29、1-37 的电路中, 有和理想电压源并联的电阻, 也可以先不考虑. 同理, 和理想电压源并联的有源支路, 和理想电流源串联的一段有源电路, 也可以先不考虑.

3. 克希荷夫定律的运用

电工学学科包含“路”和“场”两大范畴, 电工学课程(电工技术和电子技术)所涉及的内容都还在“路”的范畴, 克希荷夫定律是电路必须遵循的基本规律, 当然就是电工学课程所含内容的主要理论根据, 自始至终要应用它来分析问题.

一般说来, 应用克希荷夫电流定律写电流方程 ($\sum I = 0$) 不大容易出错, 当然也有犯了不标定电流参考方向就写方程之大忌的; 而应用克希荷夫电压定律正确写出各种电压方程、求出电路中任意两点间的电压或某一点的电位 (即该点到零电位的参考点的电压) 就不那么容易了, 这是本章也是全课程的重点, 一定要理解和掌握, 从而学好整个课程.

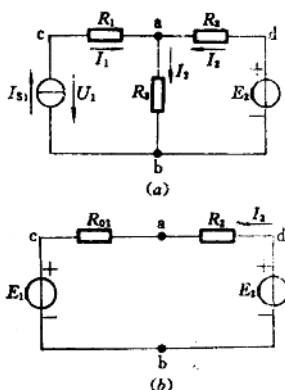


图 1-4

克希荷夫电压定律的物理概念和写电压方程的要领在《电工学基本教程》中有充分的阐述和举例示范。在此再针对常见的错误重点讲述注意事项和分析方法。

克希荷夫电压定律有三种表述形式：对于任一闭合路径（不一定是闭合的电路）为 $\sum U = 0$ 或 $\sum E = \sum RI$ ；对于从始点沿任一路径到终点的电压为 $U = \sum U_k$ (U_k 为该路径的各分段电压)。写方程时，一要从具体电路的实际情况出发，选定路径，有一项写一项，不可丢项，也不可写入无关（不在路径中）的项；二要把每一项的正负号写对，上面的表达式中，除 $\sum E$ 以电位升高为正以外，其他写的是电压，均以电位降低为正。要明确代数量的正负是相对于它的定义而言的，没有绝对的正和负，如果在写电压项时，若因为是电位“降”，又添上负号，而负的电位降就是电位升，那岂不是作为电位升写入了电压方程。

电压电动势和始末端电位的关系分别是： $U_{ab} = V_a - V_b$ 、 $E_{ab} = V_b - V_a$ 。因为 U 代表电位降、 E 代表电位升，不可弄反了。

通常分析标注端点电位的简化电路或部分电路往往容易出错，这时可以等效地认为这些端点接在电压等于该点电位的理想电压源的始端上，这些电压源的末端连成一点，该点就是零电位的参考点。例如图 1-5 (c) 所示电路可以等效成图 1-5 (b)，该电路

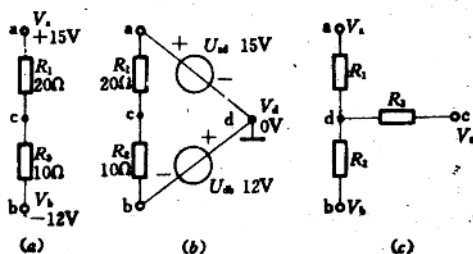


图 1-5

c 点的电位 V_c , 可运用叠加原理, 将 U_{ad} 和 U_{bd} 电源分别单独作用(不起作用的电源短路)时的电位 V'_c 和 V''_c 叠加求得, 即

$$\begin{aligned} V_c &= V'_c + V''_c = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{ad} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{bd} \\ &= \frac{R_2 V_a + R_1 V_b}{R_1 + R_2} = \frac{10 \times 15 + 20 \times (-12)}{20 + 10} \\ &= -3V \end{aligned}$$

同理, 对于图 1-5(c) 所示电路, d 点电位也可用叠加原理求得, 即

$$\begin{aligned} V_d &= \frac{R_2 // R_3}{R_1 + R_2 // R_3} V_a + \frac{R_1 // R_4}{R_2 + R_3 // R_4} V_b \\ &\quad + \frac{R_1 // R_2}{R_3 + R_1 // R_2} V_c \end{aligned}$$

4. 戴维南定理的运用

戴维南定理常用来先求出复杂电路的某一支路的电流, 从而求出其他支路的电流或电压。这个支路可任意选择, 不一定只含电阻, 也可以是如图 1-6(a)、(b) 所示的串联有理想电压源或并联有理想电流源的支路, 主要看电路中其余部分所组成的有源二端网络分析计算起来是否简易方便。而且组成有源二端网络的不一定是电路中除去某一支路的其余部分, 也可以是除去某个电路元件的其余部分。

应用好戴维南定理的关键, 是正确地求出等效电压源的电动

