

浙江大学出版社

电路分析方法 与 精品题集

姚仲兴 姚 维 编著



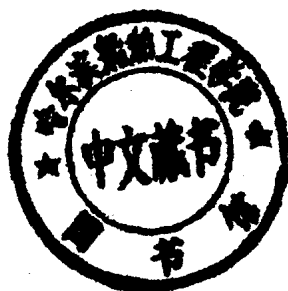
7M13-44

378885

Y 35

电路分析方法 与 精品题集

姚仲兴 编著
姚 维



浙江大学出版社

(浙)新登字 10 号

内 容 简 介

D265/01

全书十七章的内容分别是,电路的基本概念和基本定律,简单电阻电路分析,线性电路分析的一般方法,线性网络的几个定理及等值网络,动态电路元件及其强制响应,正弦稳态分析,正弦稳态功率,互感耦合电路,三相电路的正弦稳态分析,傅里叶分析,一阶电路的时域分析,二阶电路的时域分析,线性定常电路的s域分析,状态变量分析,大型线性网络的矩阵分析,双口网络,简单非线性电阻电路分析。

本书着重介绍电路的分析方法与解题技巧,并提供大量的练习题。每章分三节。第一节理论提要介绍与本章习题相关的理论;第二节例题说明电路分析方法与解题技巧之应用,并作为习题的楷模;第三节为新奇的、题型各异的、难度相当高的习题。

作者参阅了国内外的电路教材,特别是近年来各兄弟院校的研究 生电路试题,结合自身 30 多年来从事电路理论教学之经验,精心设计了 122 个例题,521 个习题。

本书可供学习《电路理论》的学生参考,尤其适用于要报考研究生的学生。对有关教师也有参考价值。

电路分析方法与精品题集

姚仲兴

编著

姚 维

责任编辑

龚建勋

浙江理工大学出版社
浙江理工大学计算机中心电脑排版
浙江煤田地质局制图印刷厂印刷

浙江省新华书店经销

* 译 *

850 × 1168 32 开 17 印张 456 千字

1994 年 8 月第 1 版

1994 年 8 月第 1 次印刷

印数 0001 — 2000

ISBN 7-308-01334-0/TN · 031

定价:7.50 元

序 言

为满足学生,特别是要报考研究生的学生渴望有一本理想的电路理论习题集的迫切要求,作者参阅了国内外的电路教材,尤其是近几年来各兄弟院校的研究生电路试题,结合自身30多年来从事电路理论教学的经验,编著成本书。

本书与姚仲兴、姚维编著的高等学校教材《电路分析导论》(修订本)配套,全书十七章内容的编排次序与《导论》(修订本)相同。本书着重介绍电路的分析方法与解题技巧,并提供大量的练习题。每章分为三节。第一节为理论提要。该节简要介绍与本章习题相关的基本理论与基本分析方法(有些在《导论》中未作介绍的内容,例如罗森定理,对称网络,斜坡响应,一般二阶电路的响应,以及线性时变常态网络、线性定常非常态网络状态方程的直观编写等内容,也在这一节中介绍,作为《导论》教材的补充)。第二节为典型例题。例题主要说明电路基本概念、原理、分析方法与解题技巧之应用,并作为习题的楷模(凡在习题中出现的题型,都有相应的例题,只要真正理解例题,习题也就做得出来)。第三节为大量的、新奇的、题型各异的、分析方法灵活巧妙的、难度相当高的习题。

作者称本书为精品题集。题精在哪里?一是精在每个题的题意都经过精心设计。题内不仅包含着一些简单概念与原理的应用,而且特别注重基本概念与原理的融会贯通。书中大量题目的求解常常需要联合应用好几个定理,例如,在

一些题的求解过程中,要依次用到替代定理,线性定理,戴维宁定理,互易定理及最大功率传输等定理。二是精在数据处理极其简单有趣。书中绝大部分题目的数据都是1,2,3,4,5,...,例如给定 $v_{s1}=1V$, $i_{s2}=2A$, $R_3=3\Omega$, $L_4=4H$, $C_5=5F$,...,即赋予电路元件的参数值与支路号相同,并使计算结果也是一组良好的数字(作者以为,电路理论主要是介绍电路的基本概念、原理与分析方法,电路题的数据应尽可能地简单,使学生能将主要精力集中在掌握基本内容上,而不是把大量时间消耗在繁复的、枯燥乏味的数据运算中)。实践已经证明,学生做这样的习题兴趣特大。三是精在电路图美观。书中每个电路图的尺寸都是经过1毫米,1毫米地计较的。

如果说你能很好地领悟例题,又能较熟练地完成为你准备的习题,那么,作者有充分的信心说,你在参加研究生考试时,电路这门课定能获得一个满意的成绩。

相信本书的出版会受到你的欢迎。

在本书的编写与出版过程中,得到了教研组的同仁们,特别是简柏敦教授,严克宽副教授,金方勤高工,以及黄小柳,张红岩,张惠英,封亚平,谢荣泉,赵素锦,宗敏,姚祥兴,陆渭琴等同志的大力相助,在此表示衷心的感谢。此外,还要感谢我的学生们为本书作出的贡献。由于编著者水平有限,错误难免,敬请广大读者批评指正。

姚仲兴

一九九三年十一月四日

于求是园

目 录

第 一 章	电路的基本概念和基本定律	(1)
§ 1-1	理论提要	(1)
1.	电路模型	(1)
2.	参考方向	(1)
3.	线性电阻	(1)
4.	欧姆定律	(1)
5.	功率	(2)
6.	KCL 与 KVL	(2)
7.	电压源	(3)
8.	直流电流与直流电压符号	(3)
§ 1-2	例题	(4)
§ 1-3	习题	(5)
第 二 章	简单电阻电路分析	(8)
§ 2-1	理论提要	(8)
1.	电阻串联	(8)
2.	电阻并联	(8)
3.	一段电路的特性方程	(9)
4.	电流源	(9)
5.	电源模型的等值转换	(10)
6.	受控电源	(10)
7.	输入电阻与输出电阻	(10)
8.	二端对称网络	(11)
§ 2-2	例题	(12)
§ 2-3	习题	(20)
第 三 章	线性电路分析的一般方法	(29)

§ 3-1	理论提要	(29)
1.	网络图论的一些基本概念	(29)
2.	支路电流法	(34)
3.	网孔分析	(35)
4.	回路分析	(36)
5.	节点分析	(38)
6.	米尔曼定理	(41)
7.	割集分析	(41)
§ 3-2	例题	(43)
§ 3-3	习题	(51)
第 四 章	线性网络的几个定理及等值网络	(58)
§ 4-1	理论提要	(58)
1.	叠加定理	(58)
2.	互易定理	(59)
3.	替代定理	(61)
4.	戴维宁定理	(62)
5.	诺顿定理	(63)
6.	最大功率传输定理	(63)
7.	Y 形网络与 Δ 形网络的等值变换	(64)
8.	罗森定理	(64)
9.	对称网络及其等值网络	(66)
10.	理想电源的转移	(70)
§ 4-2	例题	(71)
§ 4-3	习题	(82)
第 五 章	动态电路元件及其强制响应	(93)
§ 5-1	理论提要	(93)
1.	激励源常用的几个典型函数(波形)	(93)
2.	线性定常电容器与电感器的特性方程及储能	(93)
3.	电容器、电感器的串联与并联	(94)
§ 5-2	例题	(101)
§ 5-3	习题	(113)

第六章 正弦稳态分析	(119)
§ 6-1 理论提要	(119)
1. 周期电流与电压的有效值	(119)
2. 正弦时间函数的相量表示	(119)
3. 处于正弦稳态的 R 、 L 、 C 及 RLC 串联与 GCL 并联电路	(121)
4. RLC 串联与 GCL 并联电路的谐振	(121)
5. 串并联电路的谐振	(122)
6. 复杂线性电路分析	(122)
7. 电路的对偶性质	(122)
§ 6-2 例题	(127)
§ 6-3 习题	(134)
第七章 正弦稳态功率	(144)
§ 7-1 理论提要	(144)
1. 瞬时功率	(144)
2. 平均功率	(144)
3. 无功功率	(145)
4. 视在功率	(146)
5. 功率因数	(146)
6. 功率因数的提高	(146)
7. 复数功率	(146)
8. 复功率守恒	(147)
9. 从相量 V 、 I 的夹角大小判别网络 N 的性质	(147)
10. 最大功率传输定理	(147)
11. 平均功率的测量	(147)
§ 7-2 例题	(148)
§ 7-3 习题	(153)
第八章 互感耦合电路	(159)
§ 8-1 理论提要	(159)
1. 耦合电感器的自感、互感与耦合系数	(159)
2. 耦合电感器的同名端	(160)
3. 时域中的互感电压	(160)

4.	互感电抗与频域中的互感电压	(160)
5.	耦合电感器的串联	(161)
6.	去耦合等值电路	(162)
7.	理想变压器	(162)
§ 8-2	例题	(164)
§ 8-3	习题	(173)
第九章	三相电路的正弦稳态分析	(182)
§ 9-1	理论提要	(182)
1.	对称三相电源	(182)
2.	对称三相负载	(184)
3.	对称三相电路	(184)
4.	对称三相电路负载 Δ 形连接	(184)
5.	对称三相电路的计算	(185)
6.	对称三相电路的功率	(185)
7.	三相电路的功率测量	(185)
§ 9-2	例题	(187)
§ 9-3	习题	(194)
第十章	傅里叶分析	(200)
§ 10-1	理论提要	(200)
1.	周期函数的傅里叶级数	(200)
2.	周期电流、电压的最大值、平均值与有效值	(200)
3.	描述周期波形特征的几个系数	(201)
4.	非正弦周期电流与电压的测量	(202)
5.	非正弦稳态电路中的功率	(203)
6.	频域中的网络函数	(203)
7.	线性非正弦稳态电路分析	(204)
8.	对称三相非正弦稳态电路分析	(204)
§ 10-2	例题	(205)
§ 10-3	习题	(217)
第十一章	一阶电路的时域分析	(226)
§ 11-1	理论提要	(226)

1. 暂态过程, 暂态电流与暂态电压	(226)
2. 换路	(226)
3. 一阶电路	(226)
4. 一阶电路的时间常数	(226)
5. 电压、电流初始值的确定	(227)
6. 一阶电路的微分方程及其解的一般形式	(228)
7. 用三要素法求解一阶电路的一般过程	(229)
8. RC 与 RL 电路的零输入响应	(229)
9. 零输入响应是初始值的线性函数	(229)
10. RC 与 RL 电路的零状态响应	(230)
11. RC 与 RL 电路的全响应	(230)
12. 全响应与零输入响应、零状态响应之间的关系	(230)
13. 零状态响应是激励的线性函数	(230)
14. 单位阶跃响应	(231)
15. 线性定常零状态电路的定常特性	(231)
16. 阶跃响应	(231)
17. 正弦函数激励下的响应	(231)
18. 冲激响应	(231)
19. 斜坡响应	(232)
20. 脉冲系列响应	(234)
21. 任意波形激励下的零状态响应——卷积	(235)
22. 一阶奇异电路	(235)
§ 11-2 例题	(235)
§ 11-3 习题	(283)
第十二章 二阶电路的时域分析	(304)
§ 12-1 理论提要	(304)
1. 二阶电路	(304)
2. RLC 串联电路的零输入响应	(304)
3. GCL 并联电路的零输入响应	(306)
4. 一般二阶电路的零状态响应	(306)
5. 一般二阶电路的全响应	(307)

§ 12-2	例题	(307)
§ 12-3	习题	(313)
第十三章	线性定常电路的 s 域分析	(316)
§ 13-1	理论提要	(316)
1.	拉普拉斯变换	(316)
2.	一些常用函数的拉普拉斯变换	(316)
3.	拉普拉斯反变换	(317)
4.	拉普拉斯变换的几个基本性质	(318)
5.	电路基本定律的 s 域形式	(319)
6.	线性定常电路的 s 域分析	(319)
7.	s 域中的网络函数	(319)
§ 13-2	例题	(326)
§ 13-3	习题	(339)
第十四章	状态变量分析	(352)
§ 14-1	理论提要	(352)
1.	状态	(352)
2.	状态变量	(352)
3.	状态方程及其标准形式	(352)
4.	输出方程及其标准形式	(352)
5.	常态树	(353)
6.	常态网络与非常态网络	(353)
7.	关于“最少量”含义	(353)
8.	常态网络状态方程直观编写的一般步骤	(354)
9.	非常态网络状态方程的直观编写	(354)
10.	线性时变常态网络状态方程的直观编写	(355)
11.	线性定常常态网络状态方程与输出方程的 s 域解	(355)
§ 14-2	例题	(355)
§ 14-3	习题	(371)
第十五章	大型线性网络的矩阵分析	(375)
§ 15-1	理论提要	(375)
1.	关联矩阵与节点分析	(375)

2. 基本割集矩阵与割集分析	(377)
3. 网孔矩阵与网孔分析	(378)
4. 基本回路矩阵与回路分析	(379)
5. $\mathbf{B}$ 、 $\mathbf{Q}$ 之间的关系	(381)
6. 特勒根定理	(381)
§ 15-2 例题	(382)
§ 15-3 习题	(410)
第十六章 双口网络	(417)
§ 16-1 理论提要	(417)
1. 双口网络的概念	(417)
2. 双口网络的六组参数及其相应的网络方程	(417)
3. 双口网络六组参数间的相互换算	(419)
4. 互易双口网络的等值网络	(419)
5. 复合双口网络	(420)
6. 有载双口网络	(423)
7. 回转器	(424)
8. 运算放大器	(426)
§ 16-2 例题	(427)
§ 16-3 习题	(450)
第十七章 简单非线性电阻电路分析	(475)
§ 17-1 理论提要	(475)
1. 非线性电阻电路概述	(475)
2. 含有一个非线性电阻器的直流电阻网络	(478)
3. 非线性电阻器的串联与并联	(479)
4. 小信号分析法	(481)
§ 17-2 例题	(482)
§ 17-3 习题	(490)
习题答案	(496)

第一章 电路的基本概念和基本定律

内 容 提 要

本章主要涉及电流、电压、功率等基本概念,以及电压源、电路基本定律欧姆定律、KCL 与 KVL。

§ 1-1 理论提要

1. 电路模型

由理想元件构成的电路称为电路模型。本书所讨论的电路都是电路模型。

2. 参考方向

电路中任意指定的电流方向与电压极性称为电流、电压的参考方向。不管分析什么样的电路,必须首先指定参考方向,然后才能建立电路方程。有了参考方向与计算值的正负,实际方向是唯一确定的。

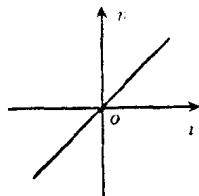


图 1-1 在关联方向下,线性电阻器的伏安特性曲线

3. 线性电阻

在关联方向下,在 vi 平面上,如图 1-1 所示, v 、 i 间关系为一条通过原点的直线的元件,称为线性电阻器(即线性电阻)。若直线斜率为常数,则该电阻器称为线性定常电阻器。

4. 欧姆定律(Ohm's Law)

在线性电阻 R 上, v 、 i 有关联方向时, $v = Ri$ (或 $i = Gv$); 有非关联方向时, $v = - Ri$ (或 $i = - Gv$)。

5. 功率

任一直流二端网络 N (network) 的功率 P 等于该网络的端电压 V 与端电流 I 之乘积。在图 1-2(a) 中, V, I 关联于网络 N , 网络的功率为

$$P = VI \begin{cases} > 0 & \text{网络 } N \text{ 吸收正功率 (亦即产生负功率)} \\ < 0 & \text{网络 } N \text{ 吸收负功率 (亦即产生正功率)} \end{cases}$$

在图 1-2(b) 中, V, I 关于网络 N 非关联, 网络的功率为

$$P = VI \begin{cases} > 0 & \text{网络 } N \text{ 产生正功率 (亦即吸收负功率)} \\ < 0 & \text{网络 } N \text{ 产生负功率 (亦即吸收正功率)} \end{cases}$$

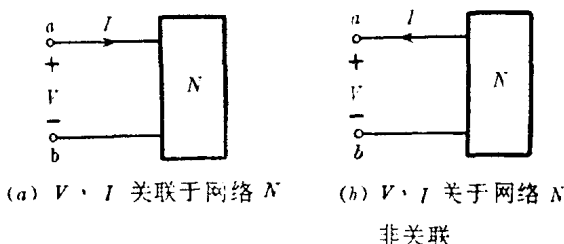


图 1-2

6. KCL (Kirchhoff's Current Law) 与 KVL (Kirchhoff's Voltage Law)

(1) KCL 在电路任一节点 (或任一封闭面) 上, 在任一时刻, 流出该节点 (或封闭面) 的电流之代数 and 等于零, 即 $\sum i = 0$ 。

(2) KVL 在电路的任一回路中, 在任一时刻, 沿着指定的回路参考方向, 各元件上电压降之代数 and 等于零, 即 $\sum v = 0$ 。

KCL 用于约束节点与封闭面上的电流, KVL 用于约束回路中的电压。例如, 对图 1-3(a) 电路的 0 点, 应用 KCL 可得

$$i_3 = i_1 - i_2 = 1 - 2\sin t \text{ A}$$

对图 1-3(b) 电路的封闭面 S , 应用 KCL 有

$$i_1 = -i_2 + i_3 = -2e^{-t} + 3t \text{ A}$$

在图 1-3(c) 中, 方块表示电路元件, 对回路应用 KVL 得

$$v_3 = -v_1 + v_2 = -1 + 2t \text{ V}$$

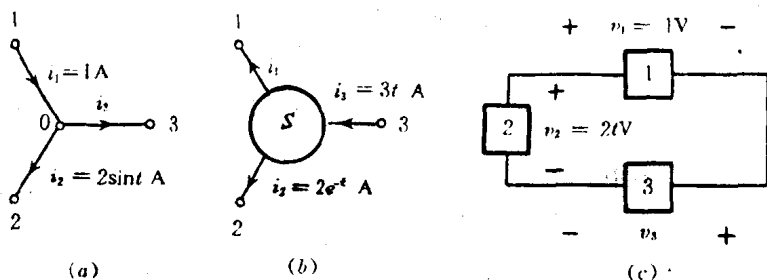


图 1-3

7. 电压源

电压源的端电压始终等于规定值 $v_s(t)$ [下标 s 表示电源 (source)]。流经电压源的电流在其端节点上用 KCL 确定。

仅由短接导线形成的支路, 可以看作为零电压源支路。例如在图 1-4 中, 中间支路为零电压源支路, 支路 1、2 与该支路并联, 这样有

$I_1 = V_{s1}/R_1$ (拿去支路 2 不影响 I_1)

$I_2 = V_{s2}/R_2$ (拿去支路 1 不影响 I_2)

在节点 a 应用 KCL 得

$$\begin{aligned} I_0 &= I_1 + I_2 \\ &= V_{s1}/R_1 + V_{s2}/R_2 \end{aligned}$$

8. 直流电流与直流电压符号

直流电流、电压分别以大写斜体字母 I 与 V 表示, 时变电流、电压分别以小写斜体字母 i 与 v 表示。由于直流仅是时变电流的特例, 因此, i, v 也可用于表示直流电流、电压, 而 I, V 则不能表示时变电流与电压。

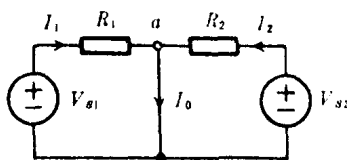
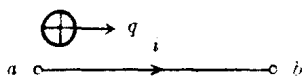


图 1-4 含零电压源支路的电路

§ 1-2 例 题

例 1-1 在图 1-5 中, 设流经 ab 段电路的电荷为 $q = 2\sin t \text{ C}$, 试计算在 $t = 0, t = \pi/2 \text{ s}$ 与 $t = \pi \text{ s}$ 三个时刻的电流 i , 并指出这几个电流的实际流向。

解 图中正电荷 q 的流向是指定的电荷移动的参考方向, 当取电流 i 的方向与 q 一致时, 有



$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} 2\sin t = 2\cos t \text{ A}$$

这样有

图 1-5

$$i(0) = 2\cos t|_0 = 2 \text{ A} \quad (i \text{ 从 } a \text{ 流向 } b)$$

$$i(\pi/2) = 2\cos t|_{\pi/2} = 0 \quad (\text{电路中无电流})$$

$$i(\pi) = 2\cos t|_{\pi} = -2 \text{ A} \quad (i \text{ 从 } b \text{ 流向 } a)$$

例 1-2 在图 1-6 中, 方块表示电路元件, 试完成下列各项 (1) 计算元件 1~4 的功率, 并指出功率的性质 (2) 已知元件 5 吸收功率 -5W , 确定 I_5 值 (3) 已知元件 6 产生功率 6W , 确定 V_6 值。

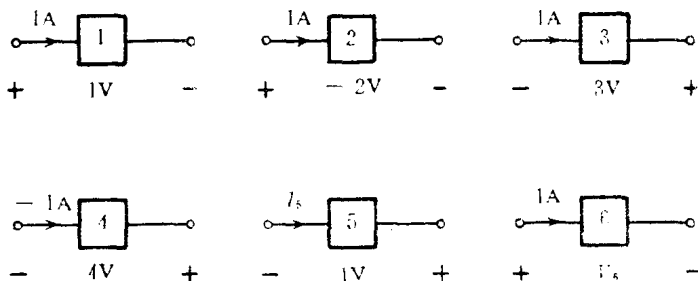


图 1-6

解 (1) 元件 1~4 的功率

$P_1 = 1 \times 1 = 1 \text{ W}$	关联, 吸收 1W (产生 -1W)
$P_2 = -2 \times 1 = -2 \text{ W}$	关联, 吸收 -2W (产生 2W)
$P_3 = 3 \times 1 = 3 \text{ W}$	非关联, 产生 3W (吸收 -3W)
$P_4 = 4(-1) = -4 \text{ W}$	非关联, 产生 -4W (吸收 4W)

(2) I_5 值

在元件 5 上, 电压、电流有着非关联方向, 已知其吸收功率 -5W , 亦即产生功率 5W , 这样有

$$P_5 = 1 \times I_5 = 5 \text{ W} \quad \text{得} \quad I_5 = 5 \text{ A}$$

(3) V_6 值

在元件 6 上, 电压、电流有关联方向, 已知其产生功率 6W , 亦即吸收 -6W , 于是有

$$P_6 = V_6 \times 1 = -6 \text{ W} \quad \text{得} \quad V_6 = -6 \text{ V}$$

例 1-3 在图 1-7 所示电路中, $V_{s1} = 1\text{V}$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $V_{s3} = 3\text{V}$, 试计算各支路电流。

解 支路 1、2 与电压源 V_{s3} 并联, 这样有

$$I_1 = \frac{V_{s1} - V_{s3}}{R_1} = \frac{1 - 3}{1} = -2 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{V_{s3}}{R_2} = \frac{3}{2} = 1.5 \text{ A}$$

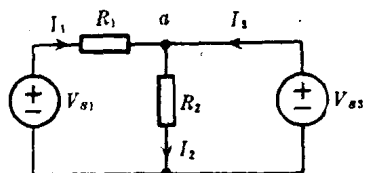


图 1-7

电压源 V_{s3} 支路中电流 I_3 由节点 a 上的 KCL 得

$$I_3 = -I_1 + I_2 = -(-2) + 1.5 = 3.5 \text{ A}$$

§ 1-3 习 题

1-1 图(a)中时变电压源 v_s 波形如图(b)所示, 请指出在 $t = -1 \text{ s}$, $t = 0 \text{ s}$ 与 $t = 3 \text{ s}$ 三个时刻 a , b 两点的电位高低, 并画出用恒定电压源表示的相应的等值电路。

1-2 图示电路中, $R_1 = 1\Omega$, $V_{s2} = 2\text{V}$, $R_3 = 3\Omega$, $V_{s4} = 4\text{V}$, 试求各