

电 子 学 基 础 系 列
E L E C T R O N I C S



ANALOGUE ELECTRONICS
FOUNDATION COURSE

模拟电子学基础

学习指导与教学参考

王 勇 编 著

电 子 学 基 础 系 列
E L E C T R O N I C S



**ANALOGUE ELECTRONICS
FOUNDATION COURSE**

**模拟电子学基础
学习指导与教学参考**

王 勇 编著

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子学基础学习指导与教学参考/王勇编著. —上海:
复旦大学出版社, 2006. 1
ISBN 7-309-04856-3

I. 模… II. 王… III. 模拟电路-电子技术-高等学校-
教学参考资料 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 156384 号

模拟电子学基础学习指导与教学参考

王 勇 编著

出版发行 复旦大学出版社

上海市国权路 579 号 邮编 200433

86-21-65642857(门市零售)

86-21-65118853(团体订购) 86-21-65109143(外埠邮购)

fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

责任编辑 梁 玲

装帧设计 孙 曙

总 编 辑 高若海

出 品 人 贺圣遂

印 刷 上海第二教育学院印刷厂

开 本 787×960 1/16

印 张 11.5 插页 2

字 数 218 千

版 次 2006 年 1 月第一版第一次印刷

印 数 1—3 100

书 号 ISBN 7-309-04856-3/T·301

定 价 20.00 元

如有印装质量问题, 请向复旦大学出版社发行部调换。

版权所有 侵权必究

电子学基础系列
ELECTRONICS

ANALOGUE ELECTRONICS
FOUNDATION COURSE

模拟电子学基础

陈光梦 编著

西安电子科技大学出版社
XIDIAN UNIVERSITY PRESS

献给复旦大学一百周年校庆

(1905-2005)

In celebration of
the 100th anniversary of Fudan University

作者简介

王勇，男，1964年出生。现为复旦大学信息科学与工程学院电子工程系副教授，教育部电子信息与电气信息类基础课教学指导分委员会委员，主讲《模拟电子学基础》、《数字逻辑基础》等电子学基础课程，长期从事电子信息科学与技术专业的教学和研究工作。

内容提要

本书是《模拟电子学基础》一书的教学参考书，基本章节完全按照《模拟电子学基础》一书安排。每章基本分为三部分：第一部分主要以例题讲解和问题回答的方式对重点和难点进行讲解；第二部分是《模拟电子学基础》一书中习题与思考题的详细解答；第三部分则介绍了一些在《模拟电子学基础》一书中没有涉及的扩充内容。

本书适用于高等学校的电气、电子类和其他相关专业，可以作为学生的辅导资料，也可以作为教师的教学参考，还可以供相关领域工程技术人员使用。

前 言

在本书的编写过程中,编者脑海中经常浮现出教学过程中学生问的这样那样的问题。这些问题有的缘于基本概念不清楚,有的缘于对课程中的难点不理解,有的问题则是学生自己的一些不自信的想法和观点。因此在编写这本书时,编者尽量站在学生的立场上,寻找学生在学习《模拟电子学基础》课程中可能遇到的难点和模糊点,通过对基本概念、重要的知识点和难点的讲解,引导学生正确理解所学知识。理解是学习的一个重要过程,只有理解了才能知道所学知识的奥妙,才能真正掌握知识、运用知识,也才能从学习中激发学习兴趣、体会到学习的乐趣。

本书是《模拟电子学基础》一书的教学参考书,基本章节完全按照《模拟电子学基础》一书安排。本书的特点是:

1. 列出了每章的重点和难点

每章的第一部分首先简要地回顾本章的基本内容、重点和难点,然后以问题回答或例题讲解的方式对一些重要的不易理解和掌握的基本概念、基本分析方法和解题思路进行详细讲解,有的例题给出多种解题思路和方法并加以比较。

2. 分析和解答了每章的习题,并对其中某些问题展开讨论

每章的第二部分是对《模拟电子学基础》一书中的习题和思考题的解答,比较简单的题目仅提供解题过程和答案,复杂的则附以一定的说明文字,对于具有典型意义的问题则进行比较详细的分析讨论。

3. 增加了补充和加深的内容

为了帮助读者更好地理解《模拟电子学基础》的内容,除了第1章外,每章在习题解答之后的第三部分均以一定篇幅介绍在《模拟电子学基础》一书中没有涉及的

一些扩充内容。这部分内容可以作为教师在讲课时的选讲或参考内容,也可以作为能力比较强的学生或相关人员参考。

本书可适用于高等学校的电气、电子类和其他相关专业,可以作为学生的辅导教材,也可以作为教师的教学参考,还可以供相关领域工程技术人员参考。由于作者水平有限,书中难免缺点和错误,敬请读者批评和指教。

本书在编写过程中,得到了复旦大学电子工程系陈光梦老师的支持和帮助。陈老师审阅了全书,并提出许多宝贵的修改意见,在此致以衷心的感谢。

由于编写时间紧促,书中难免有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

王 勇

2005 年 8 月

目 录

第 1 章 电路分析基础	1
§ 1.1 要点与难点分析	1
一、线性电阻电路方程分析方法	2
二、线性电阻电路等效分析法	6
三、包含记忆元件的电路分析方法	8
§ 1.2 习题解答	13
第 2 章 半导体器件	25
§ 2.1 要点与难点分析	25
一、基本概念理解	26
二、二极管电路分析	31
三、双极型三极管电路分析	32
四、场效应三极管电路分析	36
§ 2.2 习题解答	40
§ 2.3 用于参考的扩充内容	51
2.3.1 半导体器件的 Pspice 模型	51
一、二极管的 Pspice 模型	51
二、双极型晶体管的 Pspice 模型	52
三、结型场效应管的 Pspice 模型	53
四、MOS 场效应管的 Pspice 模型	54
2.3.2 VMOS 管及其他功率 MOS 管介绍	54
第 3 章 晶体管放大器	56
§ 3.1 要点与难点分析	56

一、放大器直流偏置电路的分析	56
二、放大器动态小信号分析	59
§ 3.2 习题解答	69
§ 3.3 用于参考的扩充内容	83
3.3.1 跨导线性电路	84
一、跨导线性概念	84
二、跨导线性原理	84
三、跨导线性电路应用举例	85
3.3.2 BiCMOS 放大器	86
第 4 章 集成放大器	87
§ 4.1 要点与难点分析	87
一、镜像电流源	88
二、差分放大器	90
三、功率输出电路	96
§ 4.2 习题解答	98
§ 4.3 用于参考的扩充内容	110
4.3.1 基准电压源	110
4.3.2 电流传输器	111
第 5 章 反馈	114
§ 5.1 要点与难点分析	114
一、反馈极性、反馈类型的判断	115
二、负反馈放大器方框图分析法和深度负反馈分析法	117
三、反馈放大器的频率特性和补偿	124
四、正弦波振荡器	126
五、电压比较器电路和非正弦波振荡电路	128
六、串联型稳压电路	130

§ 5.2 习题解答	133
§ 5.3 用于参考的扩充内容	143
一、电流反馈运算放大器基本概念	143
二、电流反馈运算放大器内部结构	144
三、电流反馈运算放大器基本应用	145
 第 6 章 信号处理电路	147
§ 6.1 要点与难点分析	147
一、信号运算电路	148
二、有源滤波电路	155
三、信号转换电路	159
四、集成运放使用和保护	160
五、集成运放的种类	162
§ 6.2 习题解答	162
§ 6.3 用于参考的扩充内容	173
一、跨导放大器基本概念和电路结构	173
二、跨导放大器的基本应用	174
 参考文献	176

第1章 电路分析基础

§1.1 要点与难点分析

本章主要讲解线性电子线路常用的分析方法,为进一步学习模拟电子线路打下良好基础。常用的分析方法按电路类型分类如下:

1 线性电阻电路分析方法

适用于电路中只包含线性电阻、独立源、线性受控源的电子线路分析,如放大器静态工作点分析、不考虑放大器频率特性时的交流小信号分析,由于电路中没有记忆元件,电路中任意时刻的响应只与当前时刻的激励有关。线性电阻电路分析方法主要有方程分析法(如网孔分析法和节点分析法)及等效分析法(如叠加定理和等效电源定理分析方法),实际分析计算过程中往往结合使用方程分析法和等效分析法。

2 包含记忆元件的电路分析方法

适用于电路中包含电容、电感等记忆元件的电子线路分析,如稳态分析、瞬态分析等。包含记忆元件的电路分析方法主要有直接时域分析法(其特点是直接在时域列写满足基尔霍夫定律的微分方程,适用于低阶电路的瞬态分析,如一阶电路三要素分析法)和变换分析法(其特点是将电路的激励函数和响应进行变换,在变换域列写代数方程,可以求解电路的一些变换域特性,如稳态频率分析、相量分析,也可以求解电路的时域瞬态特性,如阶跃响应等)。

由于线性电容、电感等记忆元件在变换域的伏安关系是线性代数方程,因此在变换域电路的分析方法仍可使用方程分析法(如网孔分析法和节点分析法)和等效分析法(如叠加定理和等效电源定理分析方法)。

在进行电路分析时,应该注意任何器件在电路中要满足两个约束:一个是元件约束,即器件自身的伏安关系;另一个是拓扑约束,即器件所在节点的节点方程和所在回路的回路方程。

一、线性电阻电路方程分析方法

方程分析法主要包括网孔分析法(回路电流法)和节点分析法(节点电位法),是分析线性电子线路最常用的分析方法,其难点在于独立源和受控源的处理。如在列写回路方程时,遇到独立电流源或受控电流源,而在列写节点方程时,遇到独立电压源或受控电压源,可以区分成以下六种情况。

1 在列写回路方程时遇到电流源,而该电流源所在支路是电路中的一条独立支路

例 1-1 用网孔电流法求解图 1-1 电路。

解 图 1-1 电路中,电流源 I_s 所在支路是电路中的一条独立支路,即只有一个网孔电流流过该支路。可以设网孔 3 的网孔电流就等于电流源 I_s , 由于该网孔电流已知,所以在列写网孔方程时只需列写网孔 1 和网孔 2 两个网孔方程,

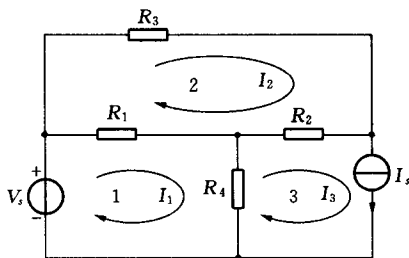


图 1-1 例 1-1 的电路

$$\begin{cases} (R_1 + R_4)I_1 - R_1I_2 - R_4I_3 = V_s \\ (R_1 + R_2 + R_3)I_2 - R_1I_1 - R_2I_3 = 0 \\ I_3 = I_s \end{cases}$$

求解上述方程即求得各网孔电流。

2 在列写回路方程时遇到电流源,而该电流源可以用等效电源定理转换为电压源

例 1-2 用网孔电流法求解图 1-2 电路。

解 本来电流源 I_s 和 R_5 构成一个网孔,但若把 I_s 和 R_5 等效成电压源串联电阻,则可少列一个网孔方程。等效变换后电路如图 1-3 所示。

网孔方程为

$$\begin{cases} (R_1 + R_5)I_1 - R_5I_2 - R_1I_3 = V_s - R_5I_s \\ -R_5I_1 + (R_2 + R_4 + R_5)I_2 - R_2I_3 = R_5I_s \\ -R_1I_1 - R_2I_2 + (R_1 + R_2 + R_3)I_3 = \alpha_m I_2 \end{cases}$$

求解上述方程即求得各网孔电流。

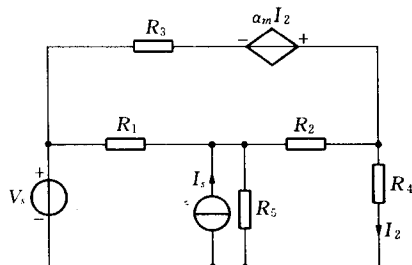


图 1-2 例 1-2 的电路

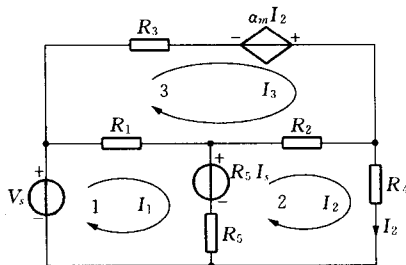


图 1-3 等效电路

3 在列写回路方程时遇到电流源, 而该电流源所在支路既不是电路中的一条独立支路, 也不能用等效电源定理转换为电压源

例 1-3 用网孔电流法求解图 1-4 电路。

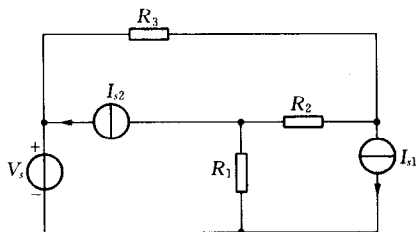


图 1-4 例 1-3 的电路

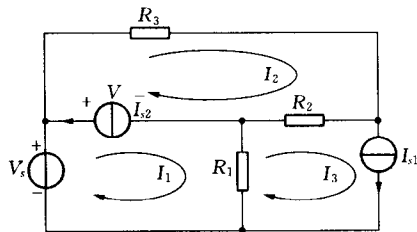


图 1-5

解 电流源 I_{s2} 所在支路不是电路中的一条独立支路, 也不能用等效电源定理转换为电压源。可以把该电流源两端的电压作为变量列入网孔方程, 而将该电流源电流与有关网孔电流的关系作为补充方程, 一并求解。设 I_{s2} 两端的电压为 V , 如图 1-5 所示。

网孔方程为

$$\begin{cases} R_1 I_1 - R_1 I_3 = V_s - V \\ (R_2 + R_3) I_2 - R_2 I_3 - V \\ I_3 = I_{s1} \\ I_2 - I_1 = I_{s2} \end{cases}$$

求解上述方程即求得各网孔电流。

4 在列写节点方程时遇到电压源, 可以将电压源一端设为参考节点

例 1-4 用节点分析法求解图 1-6 电路。

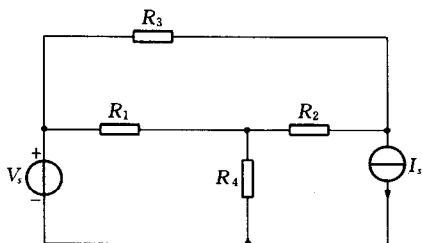


图 1-6 例 1-4 的电路

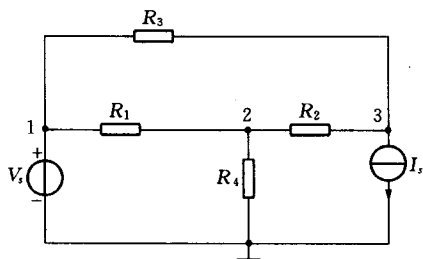


图 1-7 用节点分析法求解例 1-4 的电路

解 设参考节点如图 1-7 所示。

则节点 1 的节点电位为 V_s , 只需列写节点 2 和节点 3 的方程,

$$\begin{cases} -\frac{1}{R_1}V_1 + \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4}\right)V_2 - \frac{1}{R_2}V_3 = 0 \\ -\frac{1}{R_3}V_1 - \frac{1}{R_2}V_2 + \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)V_3 = -I_s \\ V_1 = V_s \end{cases}$$

求解上述方程即求得各节点电位。

5 在列写节点方程时遇到电压源串联电阻情况, 可以将电压源串联电阻等效为电流源并联电阻

例 1-5 用节点分析法求解图 1-8 电路。

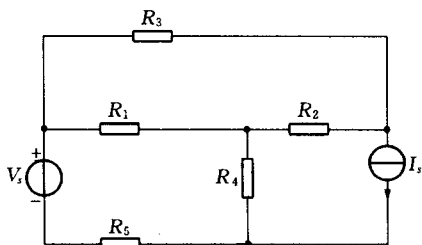


图 1-8 例 1-5 的电路

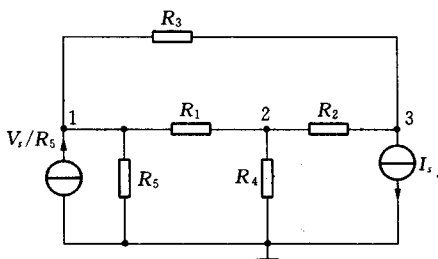


图 1-9 用节点分析法求解例 1-5 的电路

解 将 V_s 串联 R_5 支路等效为电流源并联电阻, 并设参考节点如图 1-9 所示。节点方程为

$$\begin{cases} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5}\right)V_1 - \frac{1}{R_1}V_2 - \frac{1}{R_3}V_3 = \frac{V_s}{R_5} \\ -\frac{1}{R_1}V_1 + \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4}\right)V_2 - \frac{1}{R_2}V_3 = 0 \\ -\frac{1}{R_3}V_1 - \frac{1}{R_2}V_2 + \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)V_3 = -I_s \end{cases}$$

求解上述方程即求得各节点电位。

6 在列写节点方程时遇到电压源既没有串联电阻,也不能设其一端为参考节点情况

例 1-6 用节点分析法求解图 1-10 电路。

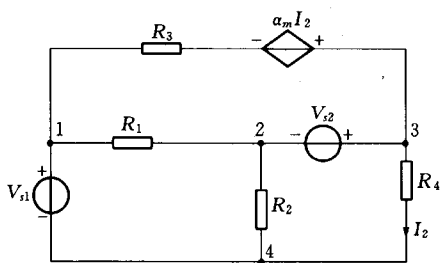


图 1-10 例 1-10 的电路

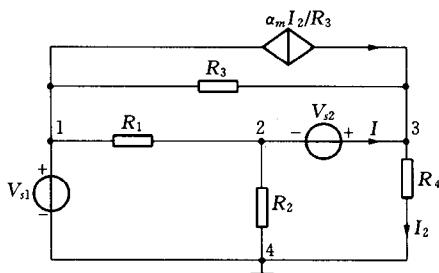


图 1-11 等效电路

解 如设节点 4 为参考节点,则节点 1 的电位为 V_{s1} ,为了列写节点 2 和节点 3 的方程,可以设电压源 V_{s2} 的电流为 I ,并将 V_{s2} 与节点电位的关系列写一补充方程。另外该电路有一个将其受控电压源串联电阻等效为受控电流源的并联电阻,如图 1-11 所示。

节点方程为

$$\begin{cases} V_1 = V_{s1} \\ -\frac{1}{R_1}V_1 + \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)V_2 = -I \\ -\frac{1}{R_3}V_1 + \left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_3}\right)V_3 = I + \frac{\alpha_m I_2}{R_3} \\ I_2 = \frac{V_3}{R_4} \\ V_3 - V_2 = V_{s2} \end{cases}$$