

高等学校经典教材“三点”丛书

模拟电子技术基础

重点 难点 考点辅导与精析

谢松云 刘 艺 杨雨奇 编

西北工业大学出版社

高等学校经典教材“三点”丛书

模拟电子技术基础

重点 难点 考点 辅导与精析

谢松云 刘 艺 杨雨奇 编

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书分 10 章内容,对模拟电子技术基础知识点进行了总结归纳,精讲
了重点、难点,并对各高校近几年考研真题及主要习题进行了讲解分析。本书可以作为高
等学校电子类专业本科、专科学生学习模拟电子技术课程的辅导书及相关专业考研辅导
参考书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础重点难点考点辅导与精析/谢松云,刘艺,杨雨奇编.
—西安:西北工业大学出版社,2014.2
(高等学校经典教材“三点”丛书)
ISBN 978-7-5612-3935-3

I. ①模… II. ①谢…②刘…③杨… III. ①模拟电路—电子技术—高等
学校—教学参考资料 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 030087 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:兴平市博闻印务有限公司

开 本:727 mm×960 mm 1/16

印 张:21.625

字 数:369 千字

版 次:2014 年 2 月第 1 版 2014 年 2 月第 1 次印刷

定 价:39.00 元

前 言

本书重点介绍了模拟电子技术的基础知识,对重点、难点等问题进行了分析讲解,设计了各种题型并进行了详细解答,并给出主要习题的参考答案。书中还提供了近几年各重点高校研究生模拟电子技术考题及解答分析。附录中给出了两套西北工业大学本科期末该课程考试试题及答案。

本书的编写由西北工业大学谢松云教授、刘艺、杨雨奇老师合作完成,赵金、吕卓同学绘制了本书的图表,在此表示感谢!感谢为本书提出了许多宝贵意见和建议的老师。

由于水平有限,题目解答和编写中难免有许多疏漏和不妥之处,敬请各位读者批评指正。

编 者

2013 年 4 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 重点及知识点辅导与精析	1
1.2 难点及典型例题辅导与精析	1
第 2 章 运算放大器	4
2.1 重点及知识点辅导与精析	4
2.2 难点及典型例题辅导与精析	6
2.3 考点及考研真题辅导与精析	16
2.4 课后习题解答	28
第 3 章 半导体的基本知识	40
3.1 重点及知识点辅导与精析	40
3.2 难点及典型例题辅导与精析	42
3.3 考点及考研真题辅导与精析	46
3.4 课后习题解答	48
第 4 章 双极型三极管(BJT)及其放大电路	56
4.1 重点及知识点辅导与精析	56
4.2 难点及典型例题辅导与精析	62
4.3 考点及考研真题辅导与精析	80
4.4 课后习题解答	93
第 5 章 场效应管及其放大电路	115
5.1 重点及知识点辅导与精析	115

5.2	难点及典型例题辅导与精析	125
5.3	考点及考研真题辅导与精析	131
5.4	课后习题解答	137
第6章	模拟集成电路	151
6.1	重点及知识点辅导与精析	151
6.2	难点及典型例题辅导与精析	159
6.3	考点及考研真题辅导与精析	173
6.4	课后习题解答	179
第7章	反馈放大电路	194
7.1	重点及知识点辅导与精析	194
7.2	难点及典型例题辅导与精析	200
7.3	考点及考研真题辅导与精析	210
7.4	课后习题解答	216
第8章	功率放大电路	229
8.1	重点及知识点辅导与精析	229
8.2	难点及典型例题辅导与精析	234
8.3	考点及考研真题辅导与精析	241
8.4	课后习题解答	247
第9章	信号处理与信号产生电路	257
9.1	重点及知识点辅导与精析	257
9.2	难点及典型例题辅导与精析	262
9.3	考点及考研真题辅导与精析	275
9.4	课后习题解答	280
第10章	直流稳压电源	298
10.1	重点及知识点辅导与精析	298
10.2	难点及典型例题辅导与精析	302
10.3	考点及考研真题辅导与精析	306
10.4	课后习题解答	308

附录	319
附录 1 西北工业大学本科 2005—2006 学年第一学期 《模拟电子技术基础》考试试题及答案	319
附录 2 西北工业大学本科 2009—2010 学年第一学期 《模拟电子技术基础》考试试题(A 卷)及答案	329
参考文献	338

绪 论

1.1 重点及知识点辅导与精析

掌握模拟信号和数字信号的区别。

了解电压放大器的功能。

重点掌握四种类型的放大器电路模型和性能指标。

1.2 难点及典型例题辅导与精析

1.2.1 模拟信号

模拟信号是在时间与数值上都连续的信号。外界的非电物理量如温度、压力、流量等都是模拟信号。最常见的模拟信号波形就是正弦波。对模拟信号进行传输、处理的电子线路称为模拟电路。

1.2.2 数字信号

数字信号是在时间上和数值上不连续的(即离散的)信号。对数字信号进行传输、处理的电子线路称为数字电路。

1.2.3 放大电路的基本知识

1. 放大电路

非电信号通过相应传感器转换为微弱的电信号,再进行滤波及不失真的电压放大、功率放大输出给负载。

2. 放大电路的主要性能指标

输入电阻, 输出电阻, 增益, 频率响应。

输入电阻
$$R_i = \frac{v_i}{i_i}$$

如图 1.1 所示, R_i 决定了放大电路从信号源吸取信号幅值的大小, 即它决定了放大电路对信号源的要求。输入为电压信号的放大电路要求输入电阻越大越好, 输入为电流信号的放大电路要求输入电阻越小越好。

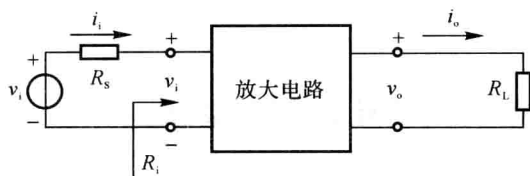


图 1.1

输出电阻
$$R_o = \left. \frac{v_o}{i_o} \right|_{v_s=0, R_L \rightarrow \infty}$$

如图 1.2 所示, 输出电阻大小表示放大器带负载能力的强弱。电压放大电路输出电阻越小, 放大器带负载能力越强; 电流放大电路输出电阻越大, 放大器带负载能力越强。

R_o 的求法: 将信号源短路, 即 $v_s = 0$, 但保留 R_s ; 且负载 R_L 两端开路, 即 $R_L \rightarrow \infty$ 。

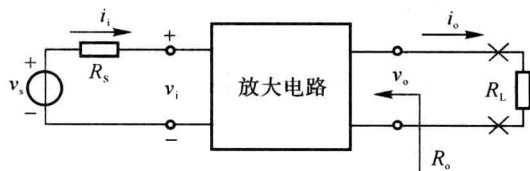


图 1.2

四种类型放大器增益:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i}$$

电压增益, 无量纲, 适用于信号源内阻 R_s 较小、负载电阻 R_L 较大的场合。

$$A_i = \frac{i_o}{i_i}$$

电流增益,无量纲,适用于信号源内阻 R_s 较大、负载电阻 R_L 较小的场合。

$$A_R = \frac{v_o}{i_i}$$

互阻增益,量纲为 Ω ,适用于信号源内阻 R_s 较大、负载电阻 R_L 较大的场合。

$$A_G = \frac{i_o}{v_i}$$

互导增益,量纲为 S,适用于信号源内阻 R_s 较小、负载电阻 R_L 较小的场合。

在工程上常用以 10 为底的对数表达增益,其基本单位为 B(贝尔, Bel),平时用它的 1/10 单位 dB(分贝, decibel 的缩写)。

用分贝表示的电压增益和电流增益如下:

$$\text{电压增益} = 20 \lg |A_v| \text{ dB}$$

$$\text{电流增益} = 20 \lg |A_i| \text{ dB}$$

放大器频率响应:考虑到放大器中电容、电感元件及半导体器件极间电容的作用,放大器的增益是频率的函数。在低频段和高频段,放大倍数都要下降。当 $A(\omega)$ 下降到中频电压放大倍数 A_{vm} 的 $1/\sqrt{2}$ 时,其相应的频率 ω_L 称为下限频率, ω_H 称为上限频率,如图 1.3 所示。

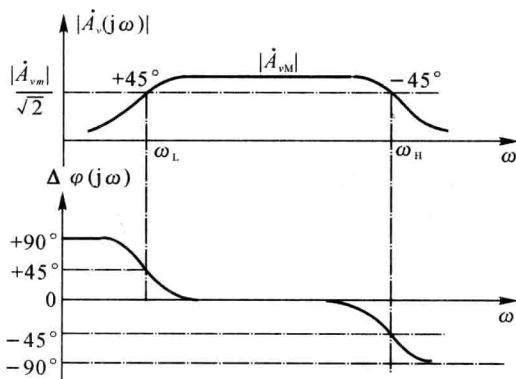


图 1.3

$$A_v = A_v(\omega) \angle \varphi(\omega)$$

式中 ω —— 信号的角频率;

$A_v(\omega)$ —— 幅频响应;

$\varphi(\omega)$ —— 相频响应。

$$A(\omega_L) = A(\omega_H) = \frac{A_{vm}}{\sqrt{2}} \approx 0.7 A_{vm}$$

运算放大器

2.1 重点及知识点辅导与精析

掌握集成运算放大器(以下简称“集成运放”)组成及其电路模型和理想电路模型。

掌握集成运放单端输入、双端(差分)输入组成电路的各自特点。

重点掌握集成运放的特有电特性——虚短、虚断的概念。

会利用“虚短”和“虚断”的概念,分析计算反相比例、同相比例、加、减、积分、微分等电路组成的各种运算电路。

2.1.1 集成运放“虚短”“虚断”的概念

集成运放的开环电压增益 A_{vo} 很高,通常可达 10^6 , 输入电阻很高,为 $10^6 \Omega$, 输出电阻很小,为 100Ω , 理想情况下,输入电阻 $\rightarrow \infty$, 输出电阻 $\rightarrow 0$ 。集成运放如图 2.1 所示。

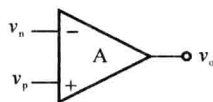


图 2.1

$$A_{vo} \rightarrow \infty, v_o = A_{vo} v_{id} = A_{vo} (v_p - v_n) \rightarrow v_p \approx v_n \quad (\text{虚短})$$

$$\text{输入电阻} \rightarrow \infty \rightarrow i_i \approx 0 \quad (\text{虚断})$$

2.1.2 基本分析原则

1. “虚短”“虚断”概念

对每一个运放先根据“虚短”“虚断”特性分别列出输入端的电流、电压关系方程,再运用电流-电压基本关系方程及其他电路基本方法(KCL, KVL, 节点法等)列出全部方程,从而求解输入、输出关系。

2. 叠加定理的应用

含有两个或两个以上的电源的电路,可以运用叠加定理简化电路。

几种常见的线性运算电路见表 2.1。

表 2.1 常见集成运放组成线性运算电路

电路名称	电路图	输入输出传输关系
反相比例放大器		$v_o = -\frac{R_2}{R_1} v_i$
同相比例放大器		$v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_i$
电压跟随器		$v_o = v_i$

续 表

电路名称	电路图	输入输出传输关系
求差电路		$v_o = \frac{R_4}{R_1}(v_{i2} - v_{i1})$ 当 $R_4/R_1 = R_3/R_2$ 时
积分电路		$v_o = -\int \frac{1}{RC} v_i dt$

2.2 难点及典型例题辅导与精析

例 2.1 如图题 2.1 所示电路,求输出电压 v_o 和输入电压 v_1, v_2 之间的关系。说明电路的功能。

解 先根据“虚短”“虚断”特性分别列出输入端的电流、电压关系方程。由“虚断路”规则可知 $i_- = i_+ = 0$,得输入端节点电流基本方程

$$i_3 = i_1, \quad i_4 = i_2$$

由“虚短路”规则可知

$$v_+ = v_-$$

由 KCL, KVL 和电流-电压基本关系方程可知

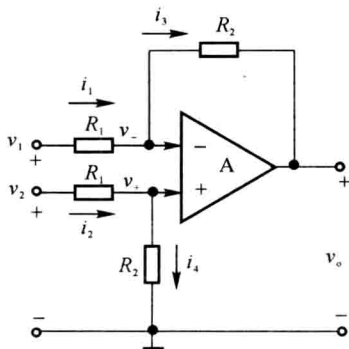
$$-\frac{v_- - v_o}{R_2} = \frac{v_1 - v_-}{R_1}$$

$$v_+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_2$$

则联立求解上述方程得

$$v_o = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1)$$

电路是一个差分放大器。



图题 2.1

对于多电源电路,也可以采用电路分析基础中的“节点电位法”求解,通过列写节点法方程组简化求解步骤。将“虚短”“虚断”的概念引入方程,方程组如下:

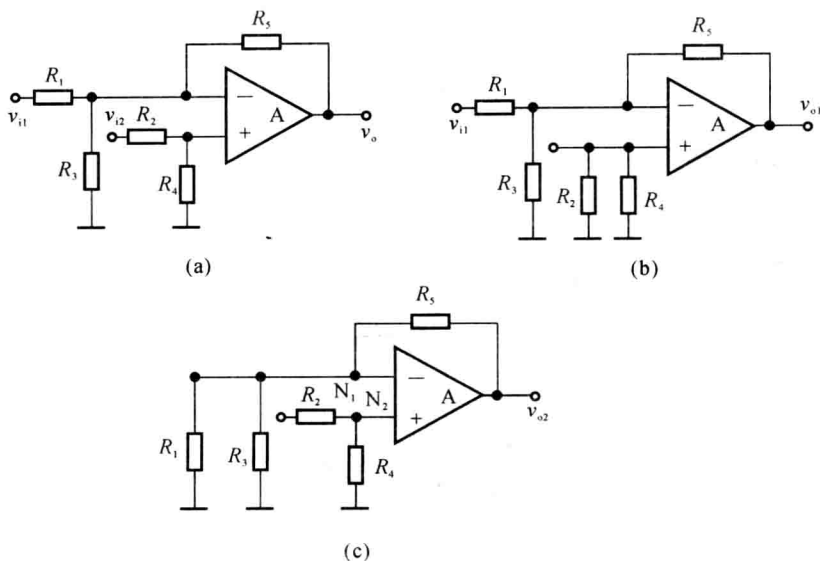
$$\begin{cases} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) v_- - \frac{1}{R_2} v_o = \frac{v_1}{R_1} \\ \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) v_+ = \frac{v_2}{R_1} \\ v_+ = v_- \end{cases}$$

例 2.2 电路如图题 2.2(a) 所示,设运放是理想的,试求输出电压 v_o 的表达式。

解 根据叠加定理,应令电压源 v_{i1} , v_{i2} 分别作用于电路中,求得各自的输出电压 v_{o1} , v_{o2} ,最后将结果求代数和,得到 v_o 。

令 v_{i1} 单独作用, v_{i2} 用短路等效,等效后的电路是一个简单的反比例运

算电路,电路如图题 2.2(b) 所示;令 v_{i2} 单独作用, v_{i1} 用短路等效,等效后的电路是一个同相比例运算电路,等效电路如图题 2.2(c) 所示。



图题 2.2

对于图 2.2(b) 所示电路,易知

$$v_{o1} = -\frac{R_5}{R_1} v_{i1}$$

对于图 2.2(c) 所示电路,求得

$$v_{o2} = \frac{R_4}{R_2 + R_4} \frac{R_5 + R_1 // R_3}{R_1 // R_3} v_{i2}$$

所以

$$v_o = v_{o1} + v_{o2} = -\frac{R_5}{R_1} v_{i1} + \frac{R_4}{R_2 + R_4} \frac{R_5 + R_1 // R_3}{R_1 // R_3} v_{i2}$$

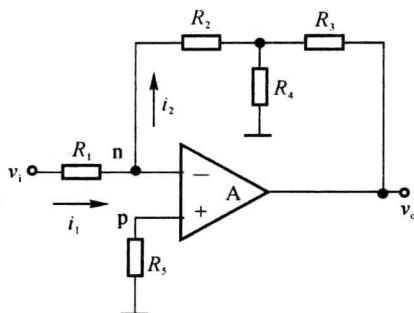
例 2.3 由理想运放组成的运算电路如图题 2.3 所示,试求输出电压 v_o 。

与输入电压 v_i 的运算关系表达式,或者电压增益 $A = \frac{v_o}{v_i}$ 的表达式。

解 本电路的计算方法很多,如可以先算出 R_2, R_3, R_4 组成 T 形连接的等效电阻,再由反相比例运算公式得出结果。也可以仅运用“虚短”和“虚断”的概念来分析求解。

根据“虚短” $v_n = v_p$, 且 $v_p = 0$, 则有 $v_n = v_p = 0$ 。

根据“虚断”则有 $i_1 = i_2$ 。



图题 2.3

由 KCL, KVL 和电流-电压基本关系方程可得

$$v_A = \frac{R_2 // R_4}{R_3 + R_2 // R_4} v_o$$

$$i_1 = \frac{v_i}{R_1}$$

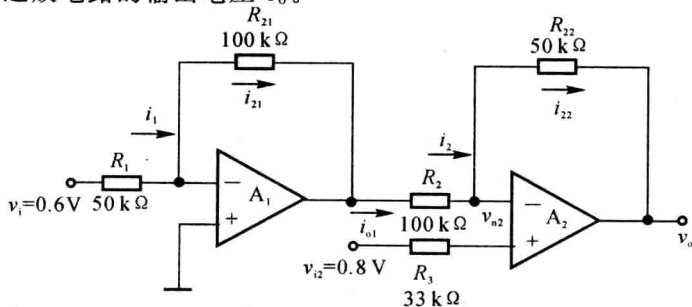
$$i_2 = -\frac{v_A}{R_2}$$

$$-\frac{v_A}{R_2} = \frac{v_i}{R_1}$$

则联立求解上述方程得

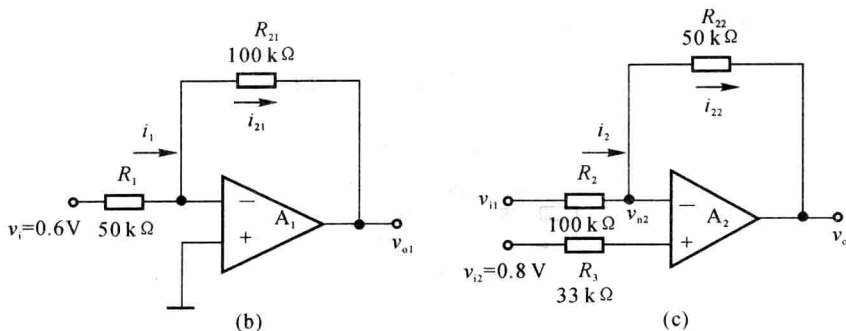
$$\dot{A} = \frac{v_o}{v_i} = -\left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_3}{R_1} + \frac{R_2 R_3}{R_1 R_4}\right)$$

例 2.4 电路如图题 2.4(a) 所示, 设运放是理想的, $v_{i1} = 0.6 \text{ V}$, $v_{i2} = 0.8 \text{ V}$, 求运放电路的输出电压 v_o 。



(a)

图题 2.4



(续) 图题 2.4

解 本电路是一个简单的含两级运算放大器的电路,可以看到 A_1 的输出作为 A_2 的输入,将 A_1 和 A_2 两个运放分开,电路如图题 2.4(b)(c) 所示, $v_{o1} = v_{i1}$ 。

先从最靠近输出端的 A_2 一级进行分析, A_2 是一个求差电路,有

$$v_o = -\frac{R_{22}}{R_2} v_{i1} + \left(1 + \frac{R_{22}}{R_2}\right) v_{i2}$$

再分析 A_1 , 这是一个典型的反比例运算电路,有

$$v_{o1} = -\frac{R_{21}}{R_1} v_i = -\frac{100}{50} \times 0.6 = -1.2 \text{ V}$$

所以

$$\begin{aligned} v_o &= -\frac{R_{22}}{R_2} v_{i1} + \left(1 + \frac{R_{22}}{R_2}\right) v_{i2} = \\ &= -\frac{50}{100} \times (-1.2) + \left(1 + \frac{50}{100}\right) \times 0.8 = 1.8 \text{ V} \end{aligned}$$

例 2.5 含理想运算放大器电路如图题 2.5 所示,当电压增益 $A = v_o / (v_2 - v_1)$ 的值在 $1 \sim 100$ 之间变化时,试求电阻 R_w 对应变化的范围。

解 本电路是一个较复杂的含两级运放的电路, A_2 的输出作为 A_1 输入的一部分, v_o 又作为 A_2 的输入。该电路采取逐级分解的方法进行分析较为合理。注意到 A_2 是一个反比例运放,则

$$v_{o1} = -\frac{10}{R_w} v_o$$

A_1 须运用“虚短”和“虚断”的概念来分析求解,注意到 1,2 点处电势,则

$$v_1 = \frac{10}{10 + 10} v_1$$