



圣才考研网

www.100exam.com

【圣才考研】—考研考博专业课辅导中国第一品牌

国内外经典教材辅导系列·理工类

康华光《电子技术基础：模拟部分》

(第5版)

笔记和课后习题(含考研真题)详解

主编：圣才考研网

www.100exam.com

赠 140元大礼包

100元网授班 + 20元真题模考 + 20元圣才学习卡

详情登录：圣才考研网首页的【购书大礼包专区】，刮开本书所贴防伪标的密码享受购书大礼包增值服务。

特别推荐：康华光《电子技术基础：模拟部分》名师讲堂[高清视频]



中国石化出版社

HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM

教·育·出·版·中·心

013046302

TN
140

国内外经典教材辅导系列·理工类

康华光《电子技术基础：模拟部分》(第5版)
笔记和课后习题(含考研真题)详解

主编：圣才考研网

www.100exam.com



中国石化出版社

TN/140



北航

C1652518

013048205

内 容 提 要

本书是康华光《电子技术基础：模拟部分》(第5版)的学习辅导书。本书基本遵循第5版的章目编排，共分11章，每章由三部分组成：第一部分为复习笔记，总结本章的重难点内容；第二部分是课(章)后习题详解，对第5版的所有习题都进行了详细的分析和解答；第三部分为考研真题详解，精选近年考研真题，并提供了详细的解答。

圣才考研网(www.100exam.com)提供康华光《电子技术基础：模拟部分》网授精讲班【教材精讲+考研真题串讲】、经典教材与考研真题解析【视频图书】(详细介绍参见本书书前彩页)。随书赠送大礼包增值服务【100元网授班+20元真题模考+20元圣才学习卡】。本书及康华光《电子技术基础：模拟部分》网授精讲班、经典教材与考研真题解析【视频图书】特别适用于参加研究生入学考试指定考研参考书目为康华光所著的《电子技术基础：模拟部分》的考生，也可供各大院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

康华光《电子技术基础：模拟部分》(第5版)笔记
和课后习题(含考研真题)详解/圣才考研网主编.

—北京：中国石化出版社，2013.5

国内外经典教材辅导系列·理工类

ISBN 978-7-5114-2118-0

I. ①康… II. ①圣… III. ①电子技术-研究生-入
学考试-自学参考资料 IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第088107号

未经本社书面授权，本书任何部分不得被复制、抄袭，或者
以任何形式或任何方式传播。版权所有，侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址：北京市东城区安定门外大街58号

邮编：100011 电话：(010)84271850

读者服务部电话：(010)84289974

http://www.sinopec-press.com

E-mail: press@sinopec.com

北京明兴印务有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092毫米16开本14.75印张4彩页348千字

2013年5月第1版 2013年5月第1次印刷

定价：38.00元

序 言

我国各大院校一般都把国内外通用的权威教科书作为本科生和研究生学习专业课程的参考教材,这些教材甚至被很多考试(特别是硕士和博士入学考试)和培训项目作为指定参考书。为了帮助读者更好地学习专业课,我们有针对性地编著了一套与国内外教材配套的复习资料,并提供配套的名师讲堂和题库。

康华光《电子技术基础:模拟部分》是我国高校采用较多的经典教材之一,也被众多高校(包括科研机构)指定为考研参考书目。作为该教材的学习辅导书,本书具有以下几个方面的特点:

1. 整理名校笔记,浓缩内容精华。每章的复习笔记以康华光《电子技术基础:模拟部分》为主,并结合国内外其他相关教材对各章的重难点进行了整理,因此,本书的内容几乎浓缩了经典教材的知识精华。

2. 解答课后习题,解析知识难点。本书以康华光《电子技术基础:模拟部分》为基本依据,参考了该教材的国内外配套资料和其他教材的相关知识对该教材的课(章)后习题进行了详细的分析和解答,并对相关重要知识点进行了延伸和归纳。

3. 精选名校考研真题,提供详细答案。为了强化对重要知识点的理解,本书精选了名校近年考研真题,并提供了详细的解答,所选考研真题基本体现了各章的考点和难点。

与本书相配套,圣才考研网提供康华光《电子技术基础:模拟部分》网授精讲班【教材精讲+考研真题串讲】、经典教材与考研真题解析【视频图书】(详细介绍参见本书书前彩页)。

圣才考研网(www.100exam.com)是圣才学习网旗下的考研考博专业网站,提供全国所有院校各个专业的考研考博辅导班【保过班、一对一辅导、网授班、题库、光盘、图书(含网络学习版)等】、理工类国内外经典教材名师讲堂、考研题库(在线考试)、全套资料(历年真题及答案、笔记讲义等)、考研教辅图书等。购书享受大礼包增值服务【100元网授班+20元真题模考+20元圣才学习卡】。

考研辅导: www.100exam.com(圣才考研网)

官方总站: www.100xuexi.com(圣才学习网)

圣才学习网编辑部

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 复习笔记	(1)
1.2 课后习题详解	(3)
1.3 名校考研真题详解	(7)
第2章 运算放大器	(8)
2.1 复习笔记	(8)
2.2 课后习题详解	(11)
2.3 名校考研真题详解	(27)
第3章 二极管及其基本电路	(32)
3.1 复习笔记	(32)
3.2 课后习题详解	(36)
3.3 名校考研真题详解	(44)
第4章 双极结型三极管及放大电路基础	(46)
4.1 复习笔记	(46)
4.2 课后习题详解	(53)
4.3 名校考研真题详解	(80)
第5章 场效应管放大电路	(84)
5.1 复习笔记	(84)
5.2 课后习题详解	(86)
5.3 名校考研真题详解	(103)
第6章 模拟集成电路	(105)
6.1 复习笔记	(105)
6.2 课后习题详解	(110)
6.3 名校考研真题详解	(133)
第7章 反馈放大电路	(137)
7.1 复习笔记	(137)
7.2 课后习题详解	(142)
7.3 名校考研真题详解	(153)
第8章 功率放大电路	(157)
8.1 复习笔记	(157)
8.2 课后习题详解	(160)
8.3 名校考研真题详解	(169)

第9章 信号处理与信号产生电路	(171)
9.1 复习笔记	(171)
9.2 课后习题详解	(177)
9.3 名校考研真题详解	(203)
第10章 直流稳压电源	(208)
10.1 复习笔记	(208)
10.2 课后习题详解	(210)
10.3 名校考研真题详解	(223)
第11章 电子电路的计算机辅助分析与设计	(227)

第1章 绪论

1.1 复习笔记

一、电子系统与信号

电子系统指由若干相互连接、相互作用的基本电路组成的具有特定功能的电路整体。

信号是信息的载体，按照时间和幅值的连续性及离散性可把信号分成4类：①时间连续、数值连续信号，即模拟信号；②时间离散、数值连续信号；③时间连续、数值离散信号；④时间离散、数值离散信号，即数字信号。

二、信号的频谱

任意满足狄利克雷条件的周期函数都可展开成傅里叶级数(含有直流分量、基波、高次谐波)，从这种周期函数中可以取出所需要的频率信号，过滤掉不需要的频率信号，也可以过滤掉某些频率信号，保留其它频率信号。

幅度频谱：各频率分量的振幅随频率变化的分布。

相位频谱：各频率分量的相位随频率变化的分布。

三、放大电路模型

信号放大电路是最基本的模拟信号处理电路。所谓放大作用，其放大的对象是变化量，本质是实现信号的能量控制。放大电路有以下4种类型：

1. 电压放大电路

电路的电压增益为

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = A_{vo} \cdot \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

考虑信号源内阻的电压增益为

$$A_{vs} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_i}{v_s} \cdot \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_i}{R_o + R_i} \cdot A_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_o} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot A_v$$

2. 电流放大电路

电路的电流增益为

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = A_{is} \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

考虑信号源内阻的电流增益为

$$A_{is} = \frac{i_o}{i_s} = \frac{i_i}{i_s} \cdot \frac{i_o}{i_i} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot A_{is} \frac{R_L}{R_L + R_o} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot A_i$$

3. 互阻放大电路

电路的互阻增益为

$$A_r = \frac{v_o}{i_i} = A_{ro} \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

4. 互导放大电路

电路的互导增益为

$$A_g = \frac{v_o}{v_i} = A_{gs} \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

四、放大电路的主要性能指标

1. 输入电阻：输入电压与输入电流的比值，即

$$R_i = \frac{v_i}{i_i}$$

对输入为电压信号的放大电路， R_i 越大越好；对输入为电流信号的放大电路， R_i 越小越好。

2. 输出电阻：当输入端信号短路($v_s = 0$)，输出端负载开路($R_L = \infty$)时，输出电压与输出电流的比值，即

$$R_o = \frac{v_o}{i_o}$$

对于输出为电压负载的电路， R_o 越小越好；对于输出为电流负载的电路， R_o 越大越好。

3. 增益：放大电路在输入信号的控制下，将供电电源能量转换为信号能量的能力，电压增益为 $20\lg |A_v|$ (dB)；电流增益为 $20\lg |A_i|$ (dB)；功率增益为 $10\lg |A_p|$ (dB)。

4. 频率响应：在输入正弦信号情况下，输出随输入信号频率连续变化的稳态响应，即

$$\dot{A}_v(j\omega) = \frac{\dot{V}_o(j\omega)}{\dot{V}_i(j\omega)} \text{ 或}$$

$$\dot{A}_v = A_v(\omega) \angle \varphi(\omega)$$

其中， $A_v(\omega)$ 为幅频响应， $\varphi(\omega)$ 为相频响应。

5. 带宽

在输入信号幅值保持不变的条件下，增益下降 3dB 的频率点，其输出频率约等于中频区输出功率的一半，称为半功率点。带宽是指幅频响应的高、低两个半功率点间的频率差，它反映的是放大电路的工作频率范围，即

$$BW = f_H - f_L$$

式中， f_H 是频率响应的高端半功率点，称为上限频率； f_L 是频率响应的低端半功率点，称为下限频率；通常情况下， $f_L \ll f_H$ ，故 $BW \approx f_H$ 。

6. 放大电路失真

幅度失真：输入信号由基波和二次谐波组成，受放大电路带宽的限制，基波增益较大，二次谐波增益较小，由此输出电压波形产生的失真。

相位失真：放大电路对不同频率的信号产生的相移不同时产生的失真。

相位失真和幅度失真总称为频率失真，它们都是由于线性电抗元件引起的，又称为线性失真。

非线性失真：由放大电路放大倍数的非线性造成的输出波形与输入波形形状不同。其中，非线性失真系数：

$$\gamma = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} V_{ok}^2}}{V_{o1}} \times 100\%$$

式中， V_{o1} 为输出电压信号基波分量的有效值， V_{ok} 为高次谐波分量的有效值， k 为正整数。

1.2 课后习题详解

1.2 信号的频谱

1.2.1 写出下列正弦波电压信号的表达式(设初始相角为零):

(1) 峰-峰值 10 V, 频率 10 kHz;

(2) 有效值 220 V, 频率 50 Hz;

(3) 峰-峰值 100 mV, 周期 1 ms;

(4) 峰-峰值 0.25 V, 角频率 1 000 rad/s。

解: 正弦波电压表达式为: $v(t) = V_m \sin(\omega t + \theta)$, 其中, $\theta = 0$ 。

(1) 由已知条件得:

$$\omega = 2\pi f = 2 \times 3.14 \times 10 \times 10^3 = 62800 \text{ rad/s}, V_m = 5 \text{ V}$$

则有

$$v(t) = 5 \sin(2 \times 10^4 \pi t) \text{ V}$$

(2) 由已知条件得, 最大值为有效值的 $\sqrt{2}$ 倍, 则有

$$v(t) = 220 \sqrt{2} \sin(100\pi t) \text{ V}$$

(3) 由已知条件得:

$$V_m = 0.05 \text{ V}, \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \times 10^3 \text{ rad/s}$$

则有

$$v(t) = 0.05 \sin(2 \times 10^3 \pi t) \text{ V}$$

(4) 由已知条件得:

$$V_m = 0.125 \text{ V}, \omega = 1000 \text{ rad/s}$$

则有

$$v(t) = 0.125 \sin(10^3 t) \text{ V}$$

1.2.2 图 1-1 所示的方波电压信号加在一个电阻 R 两端, 试用公式

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{v^2(t)}{R} dt$$

计算信号在电阻上耗散的功率; 然后根据

$$v(t) = \frac{V_s}{2} + \frac{2V_s}{\pi} \left(\sin\omega t_0 + \frac{1}{3} \sin 3\omega t_0 + \frac{1}{5} \sin 5\omega t_0 + \dots \right)$$

分别计算方波信号的傅里叶展开式中直流分量、基波分量、三次谐波分量在电阻上耗散的功率, 并计算这 3 个分量在电阻上耗散功率之和占电阻上总耗散功率的百分比。

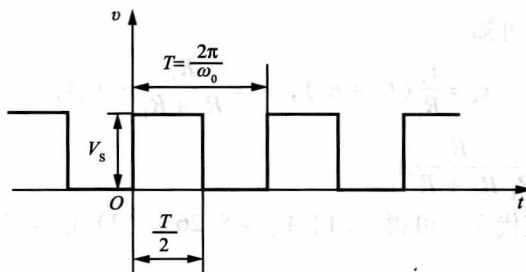


图 1-1

解：(1) 方波信号在电阻上的耗散功率为：

$$P_S = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{v^2(t)}{R} dt = \frac{V_S^2}{TR} \int_0^{\frac{T}{2}} dt = \frac{V_S^2}{2R}$$

(2) 由方波信号的傅里叶表达式

$$v(t) = \frac{V_S}{2} + \frac{2V_S}{\pi} \left(\sin \omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_0 t + \dots \right)$$

可知直流分量、基波分量、三次谐波分量分别为 $\frac{V_S}{2}$ 、 $\frac{2V_S}{\pi}$ 、 $\frac{2V_S}{3\pi}$ ，故有

$$\text{直流分量在电阻上消耗的功率为：} P_0 = \left(\frac{V_S}{2}\right)^2 / R = \frac{V_S^2}{4R}$$

$$\text{基波分量在电阻上消耗的功率为：} P_1 = \left(\frac{2V_S}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 / R = \frac{2V_S^2}{\pi^2 R}$$

$$\text{三次谐波分量在电阻上消耗的功率为：} P_3 = \left(\frac{2V_S}{3\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 / R = \frac{2V_S^2}{9\pi^2 R}。$$

(3) 消耗总功率为

$$P_{0-3} = P_0 + P_1 + P_3 = \frac{V_S^2}{4R} + \frac{2V_S^2}{\pi^2 R} + \frac{2V_S^2}{9\pi^2 R} \approx 0.475 \frac{V_S^2}{R}$$

故这 3 个分量在电阻上耗散功率之和占电阻上总耗散功率的百分比为

$$(P_{0-3}/P_S) \times 100\% \approx \frac{0.475 V_S^2/R}{V_S^2/2R} \times 100\% = 95\%。$$

1.4 放大电路模型

1.4.1 电压放大电路模型如图 1-2 所示，设输出开路电压增益 $A_{vo} = 10$ 。试分别计算下列条件下的源电压增益 $A_{vs} = v_o/v_s$ ：

(1) $R_i = 10R_s$, $R_L = 10R_o$ ；(2) $R_i = R_s$, $R_L = R_o$ ；(3) $R_i = R_s/10$, $R_L = R_o/10$ ；(4) $R_i = 10R_s$, $R_L = R_o/10$ 。

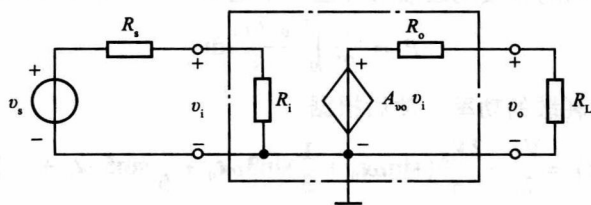


图 1-2

解：由电路放大模型可知

$$v_s = \frac{v_i}{R_i} (R_s + R_i), \quad v_o = \frac{R_L}{R_o + R_L} \cdot A_{vo} v_i$$

$$\text{故 } A_{vs} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{R_L}{R_o + R_L} \frac{R_i}{R_s + R_i} A_{vo}$$

将已知条件中的数值代入，可得：(1) $A_{vs} \approx 8.26$ ；(2) $A_{vs} = 2.5$ ；(3) $A_{vs} \approx 0.0826$ ；(4) $A_{vs} \approx 0.826$ 。

1.5 放大电路的主要性能指标

1.5.1 在某放大电路输入端测量到输入正弦信号电流和电压的峰-峰值分别为 $5 \mu\text{A}$ 和 5mV ，输出端接 $2 \text{k}\Omega$ 电阻负载，测量到正弦电压信号峰-峰值为 1V 。试计算该放大电路的电压增益 A_v 、电流增益 A_i 、功率增益 A_p ，并分别换算成 dB 数表示。

解：由题意可知

$$v_o = \frac{1}{2} \times 1 \sin \omega_o t \text{ V}$$

$$v_i = \frac{1}{2} \times 5 \sin \omega_o t \text{ mV}$$

则电压增益为： $A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{1 \text{ V}}{0.005 \text{ V}} = 200$

故有： $20 \lg |A_v| = 20 \lg 200 \approx 46 \text{ dB}$ ，又

$$i_i = \frac{1}{2} \times 5 \sin \omega_o t \mu\text{A} = \frac{5}{2} \times 10^{-6} \sin \omega_o t \text{ A}, i_o = \frac{u_o}{R_L} = \frac{0.5 \sin \omega_o t}{2 \times 10^3}$$

则电流增益为： $A_i = \frac{i_o}{i_i} = 100$ ，故有 $20 \lg |A_i| = 20 \lg 100 \approx 40 \text{ dB}$ 。

因此功率增益为： $A_p = \frac{P_o}{P_i} = \frac{v_o^2 / R_L}{v_i i_i} = 20000$

$10 \lg A_p = 10 \lg 20000 \approx 43 \text{ dB}$ 。

1.5.2 当负载电阻 $R_L = 1 \text{k}\Omega$ 时，电压放大电路输出电压比负载开路 ($R_L = \infty$) 时输出电压减少 20% ，求该放大电路的输出电阻 R_o 。

解：由题意可知

$$\frac{R_L}{R_o + R_L} v_o = 0.8 v_o, R_L = 1 \text{ k}\Omega$$

故该放大电路的输出电阻 $R_o = 250 \Omega$ 。

1.5.3 一电压放大电路输出端接 $1 \text{k}\Omega$ 负载电阻时，输出电压为 1V ，负载电阻断开时，输出电压上升到 1.1V ，求该放大电路的输出电阻 R_o 。

解：由题意可知

$$\frac{R_L}{R_o + R_L} \times 1.1 = 1 \text{ V}, R_L = 1 \text{ k}\Omega$$

故该放大电路的输出电阻 $R_o = 100 \Omega$ 。

1.5.4 某放大电路输入电阻 $R_i = 10 \text{k}\Omega$ ，如果用 $1 \mu\text{A}$ 电流源 (内阻为 ∞) 驱动，放大电路输出短路电流为 10mA ，开路输出电压为 10V 。求放大电路接 $4 \text{k}\Omega$ 负载电阻时的电压增益 A_v 、电流增益 A_i 、功率增益 A_p ，并分别换算成 dB 数表示。

解：放大电路的输出等效电阻为

$$R_o = \frac{u_{oc}}{i_{sc}} = \frac{10 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 1 \text{ k}\Omega$$

当放大电路接 $4 \text{k}\Omega$ 的电阻时，输出电压、电流、功率分别为

$$u_o = \frac{R_L}{R_L + R_o} u_{oc} = 8 \text{ V}; i_o = \frac{u_o}{R_L} = 2 \text{ mA}; P_o = u_o i_o = 16 \text{ mW}$$

电压增益为： $A_v = \frac{u_o}{u_i} = \frac{u_o}{R_i I_i} = \frac{8}{10^4 \times 10^{-6}} = 800$ ， $20 \lg |A_v| \approx 58 \text{ dB}$

电流增益为: $A_i = \frac{i_o}{i_i} = 2000$, $20\lg|A_i| \approx 66$ dB

功率增益为: $A_p = \frac{P_o}{P_i} = \frac{u_o i_o}{R_i i_i^2} = 1.6 \times 10^6$, $10\lg|A_p| \approx 62$ dB。

1.5.5 有以下三种放大电路备用: (1) 高输入电阻型: $R_{i1} = 1$ M Ω , $A_{vo1} = 10$, $R_{o1} = 10$ k Ω ; (2) 高增益型: $R_{i2} = 10$ k Ω , $A_{vo2} = 100$, $R_{o2} = 1$ k Ω ; (3) 低输出电阻型: $R_{i3} = 10$ k Ω , $A_{vo3} = 1$, $R_{o3} = 20$ Ω 。用这三种放大电路组合, 设计一个能在 100 Ω 负载电阻上提供至少 0.5 W 功率的放大器。已知信号源开路电压为 30 mV(有效值), 内阻为 $R_s = 0.5$ M Ω 。

解: 利用三级放大电路设计。第一级放大采用高输入电阻型, 对电压信号源衰减减小; 第二级放大用高增益型, 使放大倍数尽可能的大; 第三级用低输出电阻型, 可向负载尽可能大地提供大的输出电压。电路图如图 1-3 所示。输入信号源为 $v_s = 30$ mV, 内阻为 $R_s = 0.5$ M Ω 的电压源。

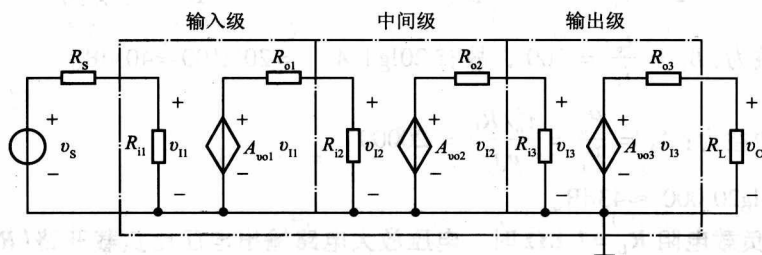


图 1-3

由电路图 1-3 可得

$$v_o = \frac{R_L}{R_{o3} + R_L} \cdot A_{vo3} \cdot \frac{R_{i3}}{R_{o2} + R_{i3}} \cdot A_{vo2} \cdot \frac{R_{i2}}{R_{o1} + R_{i2}} \cdot A_{vo1} \cdot \frac{R_{i1}}{R_s + R_{i1}} \cdot v_s = \frac{1000}{132} \text{ V}$$

则该放大器输出功率为

$$P_o = v_o^2 / R_L = [(1000/132)^2 / 100] \text{ W} \approx 0.574 \text{ W} > 0.5 \text{ W}$$

1.5.6 图 1-4 所示电流放大电路的输出端直接与输入端相连, 求输入电阻 R_i 。

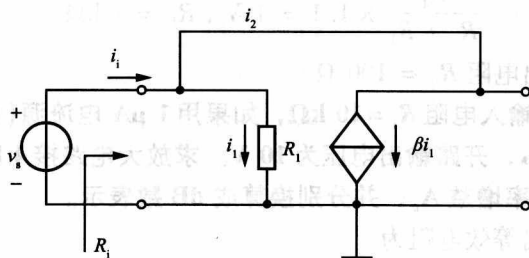


图 1-4 电流放大电路

解: 由图 1-4 可知

$$i_i = i_1 + i_2 = (1 + \beta)i_1 = (1 + \beta) \frac{v_s}{R_i}$$

故输入电阻为: $R_i = v_s / i_i = R_i / (1 + \beta)$ 。

1.5.7 在电压放大电路的上限频率点，电压增益比中频区增益下降 3 dB，这时在相同输入电压条件下，与中频区比较，输出电压下降到多少？

解：设输入电压为 V_i ，上限频率点输出电压为 V_H ，增益为 A_{VH} ；中频区输出电压为 V_o ，电压增益为 A_V 。

根据题意可知

$$20\lg \left| \frac{V_H}{V_o} \right| = -3 \text{ dB}$$

解得： $|V_H| \approx 0.708 |V_o|$

因此，输出电压下降到中频区的 0.708。

1.3 名校考研真题详解

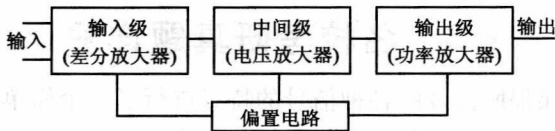
本章主要是对整个课程所涉及的各种信号的特点进行了一个简单介绍，基本上没有学校的考研试题涉及到本章内容，读者不必作为复习重点，因此，本部分也就没有选用考研真题。

第2章 运算放大器

2.1 复习笔记

一、集成电路运算放大器

1. 集成运算放大器的组成



输入级(差分放大): 具有大的输入电阻; 能减小零点漂移和抑制干扰信号, 一般采用带恒流源的差放电路。

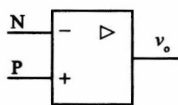
中间级(电压放大): 具有很高的电压放大倍数和较高的输入电阻。

输出级(功率放大): 具有小的输出电阻。一般情况下, 输出级工作在大信号状态, 因此, 应设法减小输出波形的失真, 常由互补对称电路或射极输出器构成。

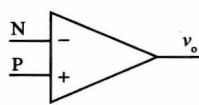
偏置电路: 为上述各级电路提供稳定合适的静态工作点, 由各种恒流源电路组成。

2. 运放的符号表示

如图2-1所示, 运算放大器有两个输入端和一个电压输出端 v_o 。两个输入端即反相输入端N(N端电位升高, 则输出端电位降低)和同相输入端P(P端电位升高, 则输出端电位升高)。



(a) 国家标准



(b) 国内外常用符号

图2-1

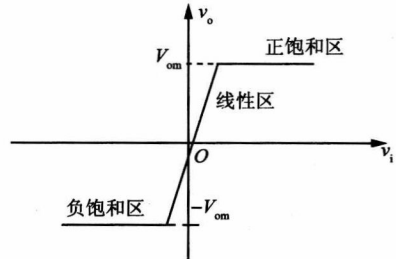


图2-2 运算放大器的电压传输特性

3. 运放的电压传输特性

图2-2所示运放的电压传输特性分为三部分:

- ①线性区: $-V_{om} < v_i < V_{om}$ 时, $v_o = A_{vo}(v_P - v_N)$;
- ②正饱和区: $v_i > V_{om}$ 时, $v_o = V_{om}$;
- ③负饱和区: $v_i < -V_{om}$ 时, $v_o = -V_{om}$ 。

二、理想运算放大器

理想运算放大器的电路模型如图2-3所示, 电路包含输入端口、输出端口和供电电源端口。运算放大器一般使用两个正负对称的电源(也有使用单电源的)。

理想集成运放的输入电阻为无穷大, 输出电阻为无穷小(近似为零), 电压放大倍数为无穷大, 共模抑制比为无穷大, 上限截止频率为无穷大, 失调电压、电流及其温漂均为0。

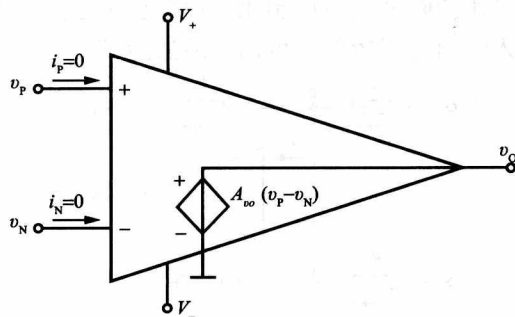


图 2-3 运算放大器的电路模型

理想集成运放工作在线性区时有两个重要的特点：

- ①差模输入电压等于零，这种现象称为“虚短”；
- ②输入电流等于零，这种现象称为“虚断”。

在非线性区内，“虚短”现象不复存在，而“虚断”现象仍然存在。

集成运放的反相输入端与同相输入端两点的电位不仅相等，而且都等于零，这种现象称为“虚地”。

三、基本线性运放电路

1. 同相放大器(电压跟随器)

如图 2-4 所示，同相放大器的电压信号从同相输入端输入，采用的是电压串联负反馈结构；同相放大器具有输入电阻高(近似认为是无穷大)和输出电阻低(近似认为是零)的特点。

$$\text{电压增益: } A_v = \frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

在同相放大电路中，令 $R_1 = \infty, R_F = 0$ ，则得到如图 2-5 所示的电压跟随器，电压跟随器的电压增益等于 1，输入电阻 $R_i \rightarrow \infty$ ，输出电阻 $R_o \rightarrow 0$ ，常作为阻抗变换器或缓冲器。

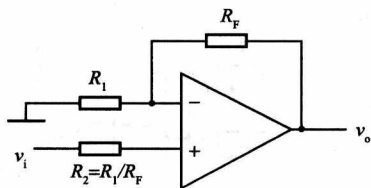


图 2-4 同相放大电路

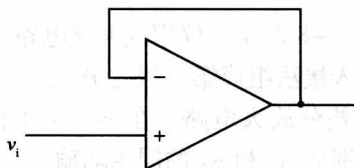


图 2-5 电压跟随器

2. 反相放大器

如图 2-6 所示，反相放大器的电压信号从反相输入端输入，采用的是电压并联负反馈结构，它具有较低的输入输出电阻。由于反相放大器存在“虚地”现象，因此，加在放大器输入端的共模输入电压很小。

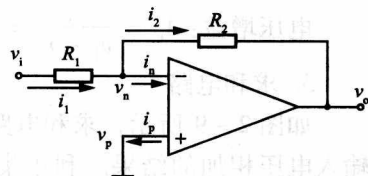


图 2-6 反相放大电路

$$\text{电压增益: } A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

四、同相输入和反相输入放大电路的其他应用

1. 求差电路

图 2-7 所示电路是求差电路，又称差分放大电路，差分放大电路是反相输入和同相输

人相结合的放大电路。为了避免降低共模抑制比，通常要求运放的两个输入端对地的电阻要平衡。差分放大电路的输入输出电阻较低，可用于减法运算。

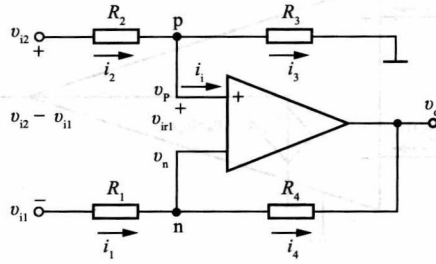


图 2-7 求差电路

$$\text{输出电压: } v_o = \left(1 + \frac{R_4}{R_1}\right) \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right) v_{i2} - \frac{R_4}{R_1} v_{i1}$$

2. 仪用放大器电路

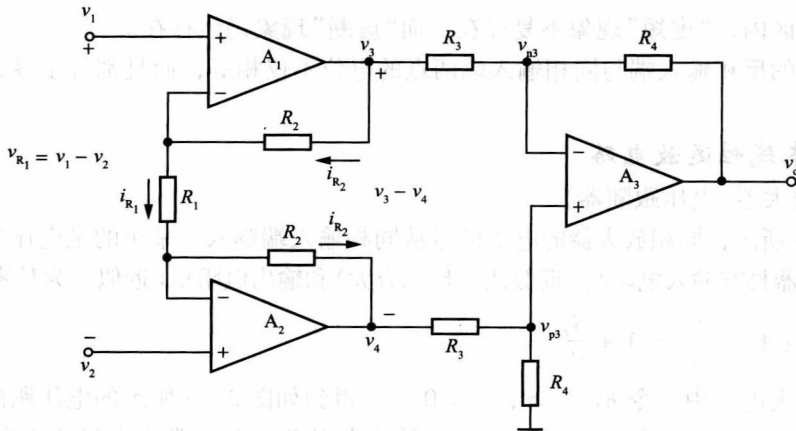


图 2-8 仪用放大器电路

如图 2-8 所示，仪用放大器电路是由运放 A_1 、 A_2 按同相输入接法组成第一级差分放大电路，运放 A_3 组成第二级差分放大电路。在第一级电路中，输入信号 v_1 、 v_2 分别从 A_1 和 A_2 的同相端输入，输入内阻为无穷大； R_1 和两个 R_2 组成的反馈网络，引入了负反馈。

$$\text{电压增益: } A_v = \frac{v_o}{v_1 - v_2} = -\frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)$$

3. 求和电路

如图 2-9 所示，求和电路输出电压决定于多个输入电压相加的结果。利用集成运放实现求和运算时，常常采用反相输入方式。

$$\text{输出电压: } -v_o = \frac{R_3}{R_1} v_{i1} + \frac{R_3}{R_2} v_{i2}$$

4. 积分电路

如图 2-10 所示，积分电路是利用集成运放工

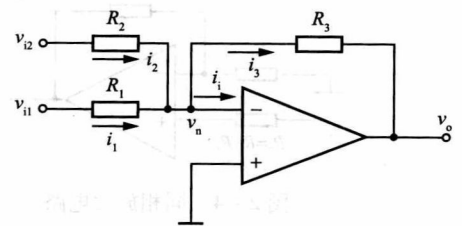


图 2-9 求和电路

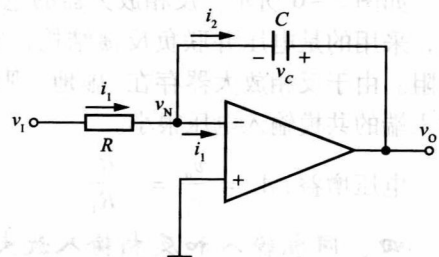


图 2-10 积分电路

作在线形区时“虚地”和“虚断”的特点来实现积分的要求。

$$\text{输出电压: } v_o = -\frac{1}{RC} \int v_1 dt$$

输出电压 v_o 为输入电压 v_1 对时间的积分, 其实质是电容两端电压 v_c 为流过电容电流 i_c 的积分。

5. 微分电路

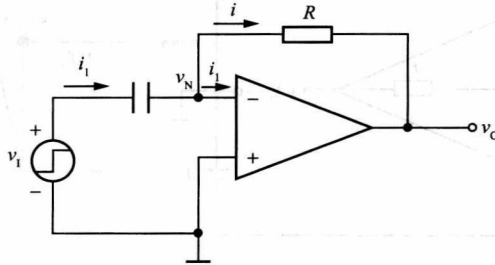


图 2-11

如图 2-11 所示, 微分是积分的逆运算, 将积分电路中 R 和 C 的位置互换即可组成微分电路。微分电路也存在着“虚地”和“虚断”的现象。

$$\text{输出电压: } v_o = -RC \frac{dv_1}{dt}$$

输出电压 v_o 正比于输入电压 v_1 对时间的微商, 负号表示它们的相位相反。

2.2 课后习题详解

2.1 集成电路运算放大器

2.1.1 电路如图 2-12 所示, 运放的开环电压增益 $A_{vo} = 10^6$, 输入电阻 $r_i = 10^9 \Omega$, 输出电阻 $r_o = 75 \Omega$, 电源电压 $V_+ = +10V$, $V_- = -10V$ 。当运放输出电压为饱和值时, 求: (1) 输入电压的最小幅值 $v_p - v_N = ?$ (2) 输入电流 $i_i = ?$

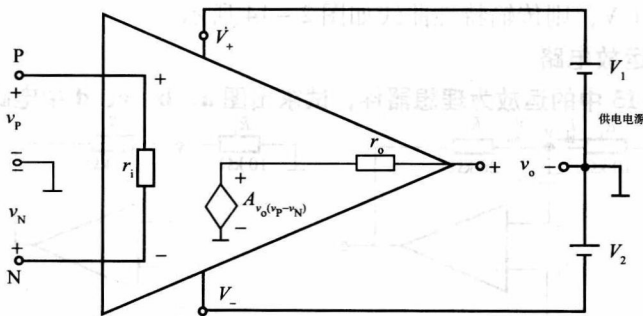


图 2-12

解: (1) 输入电压的最小幅值为: $v_p - v_N = \frac{v_o}{A_{vo}} = \frac{\pm V_{om}}{A_{vo}} = \frac{\pm 10V}{10^6} = \pm 10 \mu V$ 。

(2) 输入电流为: $i_i = \frac{v_p - v_N}{r_i} = \frac{\pm 10 \mu V}{10^9 \Omega} = \pm 10^{-8} \mu A$ 。

2.1.2 电路如图 2-13 所示, 运放的 $A_{vo} = 2 \times 10^5$, $r_i = 2 M\Omega$, $r_o = 75 \Omega$, $V_+ = 12V$, $V_- = -12V$, 设输出电压的最大饱和电压值 $\pm V_{om} = \pm 11V$ 。(1) 如果 $v_p = 25 \mu V$, $v_N = 100 \mu V$, 试求