

# 电子技术基础考研试题解析

(模拟电路与数字电路)

汪学典 编 著

X

武汉工业大学出版社

## 内 容 提 要

本书是为高等学校工业电气自动化、检测仪器仪表、电力电子技术、计算机等电气、电子类专业的本科生报考硕士研究生而写。书中试题全都采用我国一些重点大学 20 世纪 90 年代的硕士研究生入学考试题,力求反映时代特征,把握最新信息。每道解答均按“分析”、“步骤”和“专家点评”三个层次给出,目的是让考生掌握基本概念,注重解题方法,归纳试题类型和拓宽眼界,以便考生具有居高临下的应试能力。

由于不少试题本身就是某一个科研课题的局部电路,所以本书也可以供从事电子技术的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础考研试题解析/汪学典编著. —武汉:武汉工业大学出版社,2000.6

ISBN 7-5629-1623-3

I. 电… II. 汪… III. 电子学-研究生-入学考试-解题 IV. TN1-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 11309 号

武汉工业大学出版社出版发行

(武昌珞狮路 122 号 邮编:430070)

各地新华书店经销

核工业中南 309 印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:8 字数:200 千字

2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月第 1 次印刷

印数:1—1000 册 定价:12.00 元

(本书如有印装质量问题,承印厂负责退换)

## 前 言

当我留意图书馆书架上的电子类书籍时,发现几乎各种电子技术(含电子线路)基础方面的教材均半新不旧,尚为完好,而几种题解已是“读书破万卷”,百孔千疮。排除其他因素,我想题解的阅览率是相当高的,它引起了读者极大的兴趣。也许,研读题解是一条加深理解,掌握和发挥所学理论知识更妙的途径。

与 20 世纪 80 年代的试题相比较,90 年代的试题变化不大。这是由于电路与系统仍然以固体半导体器件为主构架,没有出现像 20 世纪 40 年代以来的电真空器件被其取而代之的重大突破。90 年代,模拟电路试题逐渐倾向于集成运放、集成乘法器等集成块的各种运用;数字电路试题逐渐倾向于使用各种功能块的连线去完成某一种或多种逻辑功能;然而无论是模电还是数电,基本的分立器件电路仍不可太忽视,原因就是,这是电子技术的基础。

电子技术基础是一门专业技术基础课,与实际的工程技术联系甚紧,确实具有一定的难度。对于那些敢于一搏的考生来说,笔者除抱以极大的热情予以支持外,同时殷切地希望考生早作准备,多做习题,平时自己动手做一些电子小制作往往可以获得意想不到的效果。

全书共分 10 章,模拟电路第 1~5 章,数字电路第 6~10 章。全书内容所覆盖的知识面按对试题所涉及内容的统计概率而定。由于试题的综合性较强,目录中每章的具体内容不排序。近年来,电子技术基础(模拟电路与数字电路)已经自成体系,成为四大考研主干课之一。本书的内容也同样适用于各种电气、电子类专业的本、专科学生以及电大、函大、夜大等的学生阅读。

本书所选试题,一律保持原试题的风貌(包括器件、参数及各种文字符号),不做任何变动。在使用本书时,希望考生不要先看解答,读懂题意后,自己独立地解题,万一有困难可以先看“分析”(提示),再解,最后相互对照,这样可以加深印象,增加理解。

几届考研辅导班办下来,感谢我的学生们为本书搜集了不少试题。其中我要提到的有工电 91 级侯启槟、工电 93 级赵海升、工电 94 级葛言清(98 级上海交通大学研究生)、工电 94 级刘霞玲(98 级东南大学研究生)等。在本书的编著与出版过程中,得到了华中理工大学曹汉房教授、谢瑞和教授的关心和支持。

由于本人学识水平有限,加之时间仓促,解答中难免存在纰漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

编著者

1999 年 11 月于武昌伏虎山

武汉化工学院 宇晖斋

# 目 录

## 模拟电路

<b>第一章</b>	<b>放大电路</b> .....	(1)
	基本放大电路    多级放大电路	
	差动放大电路    放大器的频响与瞬响	
<b>第二章</b>	<b>负反馈放大器</b> .....	(14)
	负反馈放大器的分类    负反馈对放大器性能的影响	
	深度负反馈放大器的近似计算    负反馈放大器的稳定性问题	
<b>第三章</b>	<b>模拟集成运放</b> .....	(24)
	基本运算放大器    运放线性应用电路	
	比较器    模拟乘法器    有源滤波器    线性整流器	
<b>第四章</b>	<b>振荡电路</b> .....	(41)
	RC 正弦波振荡器    LC 正弦波振荡器	
	非正弦波振荡器    压控振荡器(VCO)	
<b>第五章</b>	<b>功率电路</b> .....	(51)
	功率放大器    直流电源	

## 数字电路

<b>第六章</b>	<b>逻辑代数基础</b> .....	(60)
	公式化简法    卡诺图化简法	
<b>第七章</b>	<b>门 电 路</b> .....	(67)
	TTL 门电路    MOS 门电路	
<b>第八章</b>	<b>组合逻辑电路</b> .....	(76)
	组合逻辑电路的分析    组合逻辑电路的设计	
<b>第九章</b>	<b>时序逻辑电路</b> .....	(89)
	时序逻辑电路的分析    时序逻辑电路的设计	
<b>第十章</b>	<b>脉冲波形的发生与整形</b> .....	(111)
	单稳态触发器    施密特触发器	
	多谐振荡器    555 定时器的应用	

# 第一章 放大电路

1-1 图 1-1 所示各电路的电容均视为交流短路,画出不失真的输出电压波形。

(上海交通大学 1991 年试题 10 分)

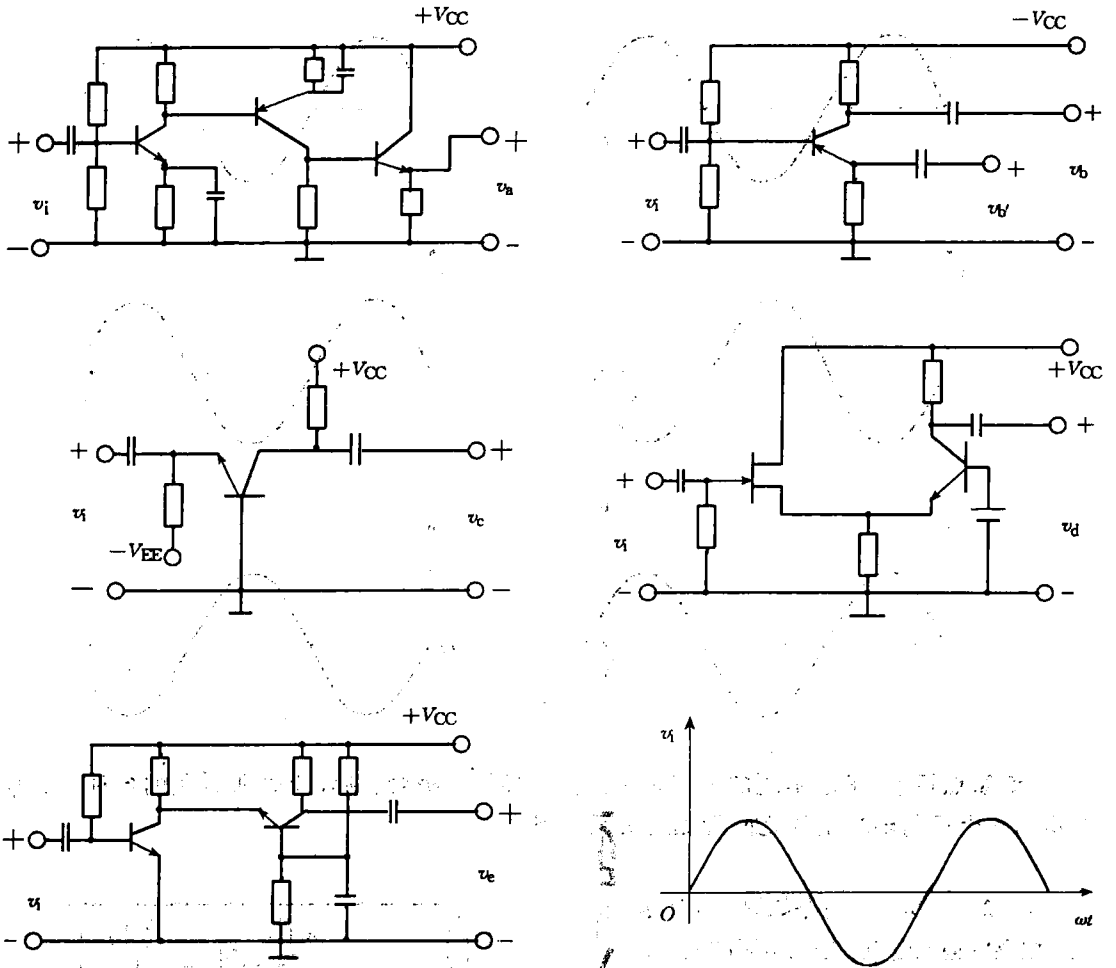


图 1 - 1

**解:**[分析] 由题意可知,本题要求考生分析图示各电路输出电压与输入电压之间的相位关系。

[步骤] 如图 1-2 所示。

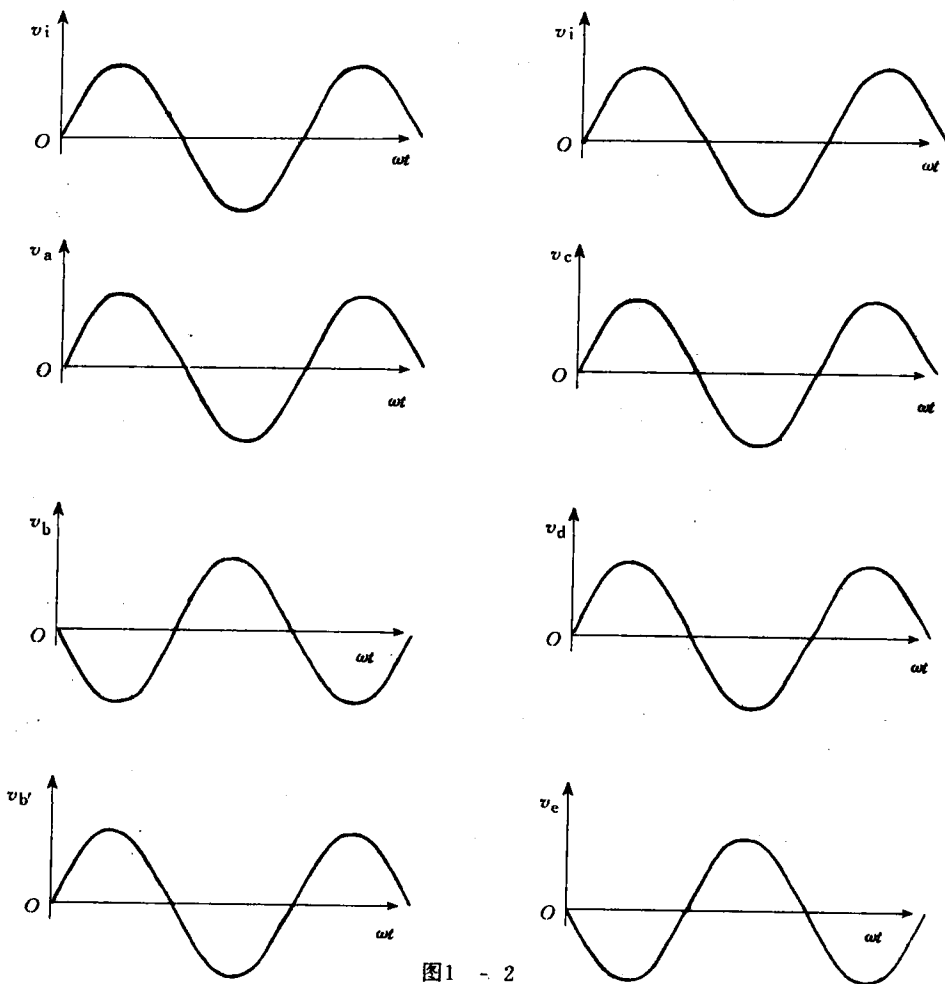


图1 - 2

[专家点评] 求解本题的关键是掌握由半导体三极管、场效应管所组成的各种组态放大电路输入电压与输出电压之间的相位关系规则。

1-2 二级放大电路如图 1-3 所示, 求该放大电路的输入电阻及输出电阻的表达式。

(上海交通大学 1992 年试题 5 分)

解:[分析] 本题要求计算二级(共基-共集)放大电路的交流参数  $r_i$  和  $r_o$ 。

[步骤] 由于电路简单, 直接写出表达式如下

$$r_i = R_{e1} \parallel \frac{r_{be1}}{1 + \beta_1}$$

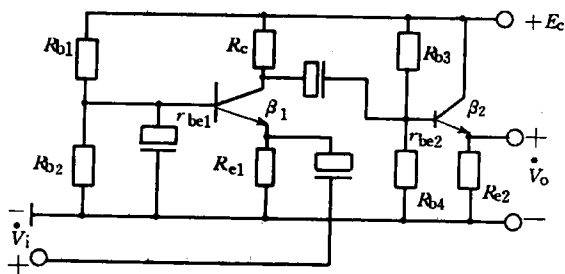


图1 - 3

$$r_o = R_{e2} // \frac{(R_c // R_{b3} // R_{b4}) r_{be2}}{1 + \beta_2}$$

[专家点评] 一般来说,计算两级以上电路的  $r_i$ 、 $r_o$  和  $\dot{A}_V$  时,  $r_i$  就是第一级的输入电阻,  $r_o$  就是末级的输出电阻。  $\dot{A}_V$  是每一级电压放大倍数的乘积 ( $\dot{A}_V = \dot{A}_{V1} \times \dot{A}_{V2} \times \dots$ ), 但是在计算每一级的电压放大倍数时要考虑级联的影响, 可参看题 1-3。

1-3 三级放大电路如图 1-4 所示。已知  $r_{bb'} = 200\Omega$ ,  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 50$ , 电容对输入交流信号可视为短路。

(1)  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  晶体管各组成什么放大电路;

(2) 求放大器的中频电压放大倍数  $\dot{A}_V = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i}$ , 输入电阻  $R_i$  与输出电阻  $R_o$ 。

(上海交通大学 1993 年试题 20 分)

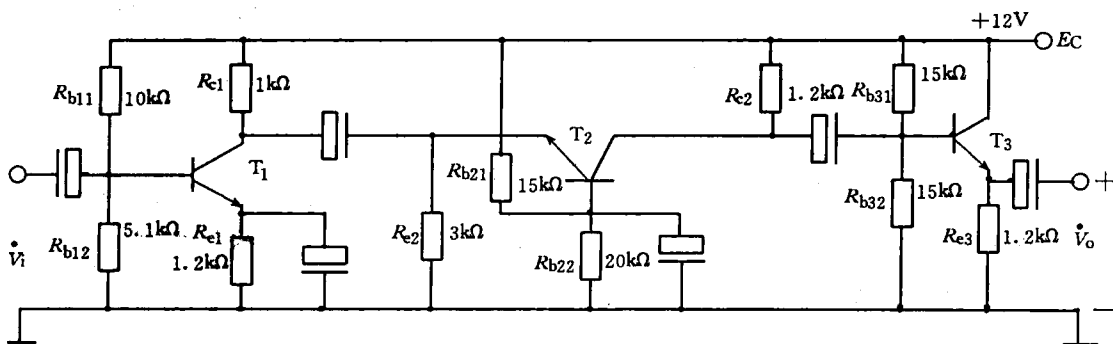


图 1-4

解:[分析] 此电路是一个三级阻容耦合放大器,正因为如此,各级的静态偏置互不影响。

[步骤]

(1)  $T_1$  组成共射放大电路,  $T_2$  组成共基放大电路,  $T_3$  组成共集放大电路。

$$(2) I_{C1} = \left( \frac{R_{b12} \times E_c}{R_{b11} + R_{b12}} - V_{BE1} \right) / R_{e1} = \left( \frac{5.1\text{k}\Omega \times 12}{10\text{k}\Omega + 5.1\text{k}\Omega} - 0.7 \right) / 1.2\text{k}\Omega \approx 2.8\text{mA}$$

$$I_{C2} = \left( \frac{R_{b22} \times E_c}{R_{b21} + R_{b22}} - V_{BE2} \right) / R_{e2} = \left( \frac{20\text{k}\Omega \times 12}{15\text{k}\Omega + 20\text{k}\Omega} - 0.7 \right) / 3\text{k}\Omega \approx 2\text{mA}$$

$$I_{C3} = \left( \frac{R_{b32} \times E_c}{R_{b31} + R_{b32}} - V_{BE3} \right) / R_{e3} = \left( \frac{15\text{k}\Omega \times 12}{15\text{k}\Omega + 15\text{k}\Omega} - 0.7 \right) / 1.2\text{k}\Omega \approx 4.4\text{mA}$$

$$r_{be1} = r_{bb'} + (1 + \beta_1) \frac{26\text{mV}}{I_{E1}} = 200 + 51 \times \frac{26\text{mV}}{2.8\text{mA}} \approx 0.67\text{k}\Omega$$

$$r_{be2} = r_{bb'} + (1 + \beta_2) \frac{26\text{mV}}{I_{E2}} = 200 + 51 \times \frac{26\text{mV}}{2\text{mA}} \approx 0.86\text{k}\Omega$$

$$r_{be3} = r_{bb'} + (1 + \beta_3) \frac{26\text{mV}}{I_{E3}} = 200 + 51 \times \frac{26\text{mV}}{4.4\text{mA}} \approx 0.5\text{k}\Omega$$

$$R_{i2} = R_{e2} // \frac{r_{be2}}{1 + \beta_2} = 3\text{k}\Omega // \frac{0.86\text{k}\Omega}{1 + 50} \approx 0.016\text{k}\Omega$$

$$R_{i3} = R_{b3} // [r_{be3} + (1 + \beta_3)R_{e3}] = 15\text{k}\Omega // 15\text{k}\Omega // (0.5\text{k}\Omega + 51 \times 1.2\text{k}\Omega) \approx 6.7\text{k}\Omega$$

$$\begin{aligned} \dot{A}_v &= \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \dot{A}_{v1} \times \dot{A}_{v2} \times \dot{A}_{v3} = -\frac{\beta_1 R_{c1} // R_{i2}}{r_{be1}} \times \frac{\beta_2 R_{c2} // R_{i3}}{r_{be2}} \times 1 \\ &= \frac{-50 \times (1\text{k}\Omega // 0.016\text{k}\Omega)}{0.67\text{k}\Omega} \times \frac{50 \times (1.2\text{k}\Omega // 6.7\text{k}\Omega)}{0.86\text{k}\Omega} \times 1 \\ &= -1.17 \times 59.2 \times 1 = -69.2 \end{aligned}$$

$$R_i = R_{i1} = R_{b11} // R_{b12} // r_{be1} \approx r_{be1} = 0.67\text{k}\Omega$$

$$R_o = R_{o3} = R_{e3} // \frac{(R_{c2} // R_{b31} // R_{b32}) + r_{be3}}{1 + \beta_3} = 1.2 // \frac{(1.2 // 15 // 15) + 0.5}{1 + 50} = 0.03\text{k}\Omega$$

**[专家点评]** 为了求总的  $\dot{A}_v$ ，在计算每一级的电压放大倍数时，多数情况下是把后一级的输入电阻作为前一级的负载电阻考虑一次（本题就是这样），也可以把前一级的输出电阻作为后一级的信号源内阻考虑一次进行计算，其结果基本一样，但只能考虑一次。

**1-4** 判断如图 1-5 所示电路能否正常放大？若不能正常工作，请订正之。改错后的电路不允许出现新元件，但可调整或取消原电路中的元件。

（上海交通大学 1993 年试题 6 分）

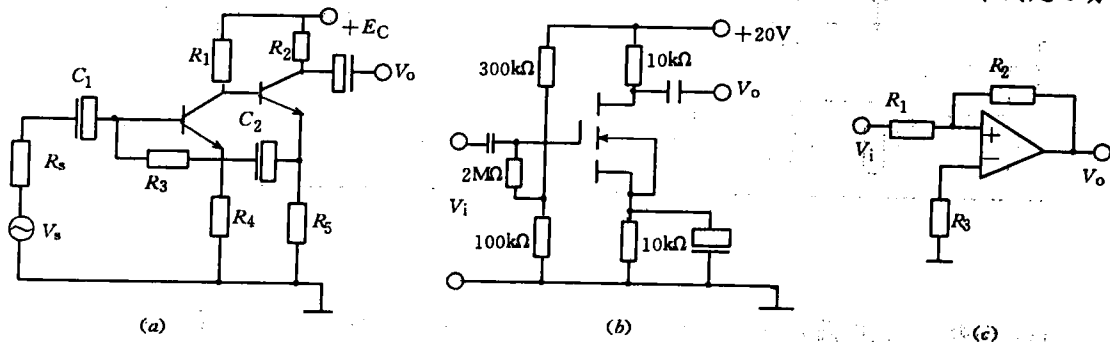


图 1-5

**解：[分析]** 当判断一个电路能否正常放大时，对于三极管（含场效应管）组成的放大电路主要考虑直流偏置设置是否合理；对于运放所组成的放大电路主要考虑其是否具有负反馈。

**[步骤]** 对于图 1-5(a) 电路，将电容器  $C_2$  取消， $R_3$  直接连接三极管的发射极。对于图 1-5(b) 电路，也能进行放大，但静态偏置不太好，应适当减小源极电阻。对于图 1-5(c) 电路，反馈网络  $R_1$ 、 $R_2$  连同输入信号  $V_i$  接到运放反相输入端， $R_3$  接到运放同相输入端，且  $R_3 = R_1 // R_2$ 。

**[专家点评]** 一般而言，考生对场效应管电路比较生疏。本题图 1-5(b) 电路是一个由 N 沟道增强型场效应管组成的放大电路， $V_{GS}$  应该是一个大于开启电压的正电压。图中场效应管的开启电压一般应是一个 2V 以上的电压，综合题给电路参数以及题意，以减小源极上的 10k $\Omega$  电阻为宜。

**1-5** 在图 1-6 中，射极输出器用一个恒流源来设置直流射极电流，已知晶体管的  $\beta = 100$ ， $V_{BE} = 0.7\text{V}$ ， $r_{be} = 300\Omega$ ， $C_1$ 、 $C_2$  在交流通路中可视为短路。



(1) 求静态工作点  $I_{CQ}$ 、 $V_{CEQ}$ ;

(2) 求输出电阻  $R_o$ ;

(3) 求输入电阻  $R_i$ 。

(上海交通大学 1994 年试题 6 分)

解:[分析] 由题目所提供的已知条件可以分析出, 电路中恒流源的交流电阻应当作无穷大来考虑。

[步骤]

(1)  $I_{EQ} = 10.1 \text{ mA}$

$$I_{BQ} = \frac{I_{EQ}}{1 + \beta} = \frac{10.1 \text{ mA}}{101} = 0.1 \text{ mA}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 100 \times 0.1 \text{ mA} = 10 \text{ mA}$$

$$V_{R_b} = R_b \times I_{BQ} = 18 \text{ k}\Omega \times 0.1 \text{ mA} = 1.8 \text{ V}$$

$$V_{BQ} = 5 \text{ V} - V_{R_b} = 5 \text{ V} - 1.8 \text{ V} = 3.2 \text{ V}$$

$$V_{EQ} = V_{BQ} - 0.7 \text{ V} = 3.2 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = 2.5 \text{ V}$$

$$V_{CEQ} = V_{CQ} - V_{EQ} = 5 - 2.5 = 2.5 \text{ V}$$

$$(2) r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26 \text{ mV}}{I_{EQ}}$$

$$= 300 + 101 \times \frac{26}{10.1} = 0.56 \text{ k}\Omega$$

$$R_o \approx \frac{(R_b // R_s) + r_{be}}{1 + \beta} = \frac{(18 // 0.6) + 0.56}{101} = 11.3 \Omega$$

$$(3) R_i \approx R_b // [r_{be} + (1 + \beta) R_L] = 18 // (0.56 + 101 \times 0.11) = 7.1 \text{ k}\Omega.$$

[专家点评] 本题中, 在计算交流参数如  $R_i$ 、 $R_o$  时, 恒流源的交流电阻应该考虑为无穷大, 考生常常用  $V_E$  除以  $I_E$  得到的电阻进行计算, 这样就错了, 这不是交流电阻, 不能参与交流参数的计算。

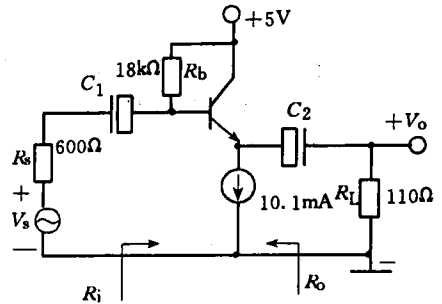


图 1 - 6

1-6 图 1-7 为用场效应管和晶体三极管组成的两级放大电路的交流通路, 已知管子的  $g_m$ 、 $\beta$ 、 $r_{be}$  和各阻值。

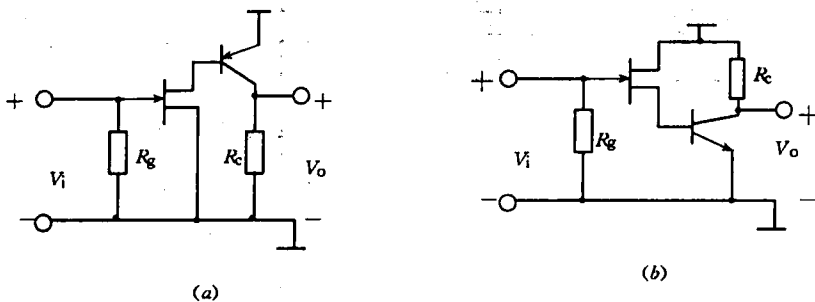


图 1 - 7

(1) 写出各电路的电压增益表达式;

(2) 写出各电路的输入电阻和输出电阻表达式。

(上海交通大学 1994 年试题 6 分)

解:[分析] 图 1-7(a)是由一个 N 沟道结型场效应管和一个 PNP 型晶体三极管组成的共源—共射两级放大电路;图 1-7(b)是由以上场效应管和一个 NPN 型三极管组成的共漏—共射两级放大电路。

[步骤]

$$\text{电路(a): (1) } \dot{A}_v \approx -g_m r_{be} \times \left(-\frac{\beta R_c}{r_{be}}\right) = g_m \beta R_c$$

$$(2) R_i \approx R_g, R_o \approx R_c$$

$$\text{电路(b): (1) } \dot{A}_v \approx \frac{g_m r_{be}}{1+g_m r_{be}} \times \left(-\frac{\beta R_c}{r_{be}}\right) = -\frac{g_m \beta R_c}{1+g_m r_{be}}$$

$$(2) R_i \approx R_g, R_o \approx R_c$$

[专家点评]

1. 熟练掌握放大电路交流通路的画法。
2. 放大电路的各种组态必须区分清楚。

1-7 在图 1-8(a)中  $A_1$ 、 $A_2$  为理想运算放大器,开关  $K$  接通时  $V_o(0_+) = -12\text{V}$ ,  $V_c(0_-) = 0$ , 其余参数如图示。试回答:(1) $A_1$ 、 $A_2$  的作用;(2) $K$  接通后经过多长时间  $V_o = +12\text{V}$ ; (3)画出  $v_i$ 、 $v_{o1}$ 、 $v_o$  的波形。注:波形画在图 1-8(b)上。

(上海交通大学 1991 年试题 10 分)。

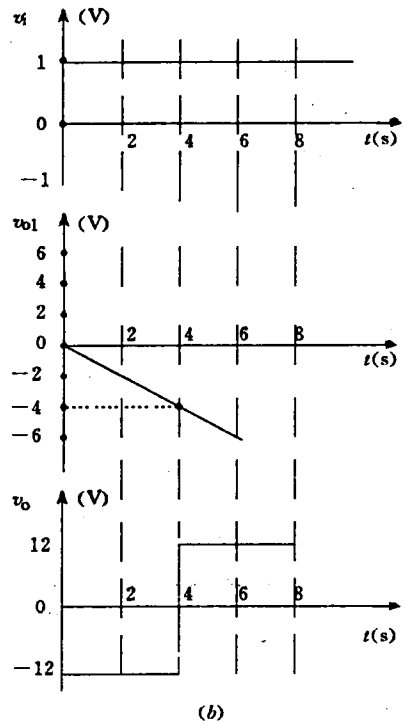
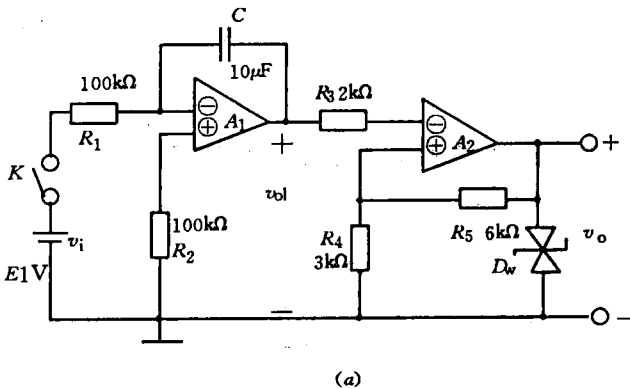


图 1-8

解:[分析] 本题要求考生用瞬态分析法画出电路的时域响应。

[步骤]

(1)  $A_1$  及其外围器件组成有源积分器,  $A_2$  及其外围器件组成施密特触发器。

$$(2) -V_o \frac{R_4}{R_4 + R_5} = -\frac{V_i}{R_1 C} t, \quad -12 \times \frac{3}{3+6} = -\frac{1t}{100\text{k}\Omega \times 10 \times 10^{-6}\text{F}} \quad t=4\text{s}.$$

(3)  $v_i$ 、 $v_{o1}$ 、 $v_o$  的波形画在图 1-8(b) 上。

[专家点评] 解此类题的关键在于掌握由运放组成的积分电路的输入、输出之间的函数关系, 以及由运放组成的施密特触发器的工作特性。

1-8 图 1-9 电路中, 已知晶体管参数  $\beta_1 = \beta_2 = 100$ ,  $r_{be1} = r_{be2} = 260\text{k}\Omega$ , 晶体管处于放大状态, 试求:

(1) 电压放大倍数;

(2) 输入电阻。

(上海交通大学 1995 年试题 10 分)

解:[分析] 由图可见,  $T_1$  组成共集电路,  $T_2$  组成共基电路。

[步骤]

$$(1) \dot{A}_V = \dot{A}_{V1} \times \dot{A}_{V2}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(1+\beta_1) \frac{r_{be2}}{1+\beta_2}}{r_{be1} + (1+\beta_1) \frac{r_{be2}}{1+\beta_2}} \times \frac{\beta_2 R_L}{r_{be2}} \\ &= \frac{(1+100) \times \frac{260}{1+100}}{260 + (1+100) \times \frac{260}{1+100}} \times \frac{100 \times 500}{260} \\ &= 96 \end{aligned}$$

$$(2) R_i = r_{be1} + (1+\beta_1) \frac{r_{be2}}{1+\beta_2} = 260 + (1+100) \times \frac{260}{1+100} = 520\text{k}\Omega$$

[专家点评]

1. 有的考生误以为  $T_1$  无基极直流偏置, 实际中, 基极直流偏置通过信号源内阻接上去。
2. 读者最好自己画一画本体的交流通路。

1-9 已知场效应管的  $I_{DSS} = 2\text{mA}$ ,  $g_m = 1\text{mA/V}$ , 三极管  $T_2$  的  $\beta = 60$ ,  $r_{be} = 300\Omega$ , 其他的电路参数如图 1-10 所示, 设电容均交流短路, 试估算:

- (1) 电路的静态工作点(按  $V_{BE} = 0.7\text{V}$  估算);
- (2) 电路的输入和输出电阻  $r_i$  和  $r_o$ ;
- (3) 电路的放大倍数  $\dot{A}_V = \dot{V}_o / \dot{V}_i$ 。

(上海交通大学 1996 年试题 10 分)

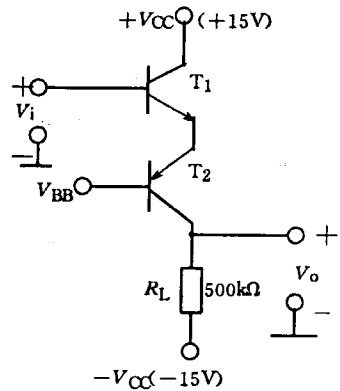


图 1-9

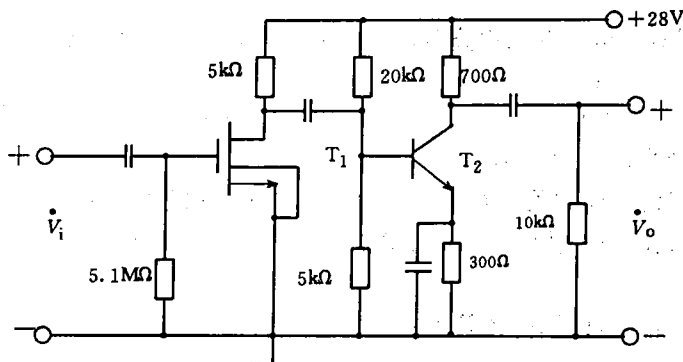


图1 - 10

解:[分析] 本题第一级是由N沟道耗尽型场效管组成的共源放大器,第二级是由半导体三极管组成的共射放大电路。

[步骤]

$$(1) V_{GS} = 0, I_D = I_{DSS} = 2\text{mA},$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_d = 28 - 2 \times 5 = 18\text{V};$$

$$I_{C2} = \left( \frac{R_{b2} V_{CC}}{R_{b1} + R_{b2}} - V_{BE} \right) / R_c = \left( \frac{5 \times 28}{20 + 5} - 0.7 \right) / 0.3 = 16.3\text{mA},$$

$$I_{B2} = I_{C2} / \beta = 16.3 / 60 = 0.27\text{mA}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_{C2} (R_c + R_e) = 28 - 16.3 \times (0.7 + 0.3) = 11.7\text{V}$$

$$(2) r_i = R_g = 5.1\text{M}\Omega, r_o \approx R_c = 0.7\text{k}\Omega$$

$$(3) r_{i2} = R_{b1} // R_{b2} // r_{be} = 20 // 5 // 0.3 \approx 0.3\text{k}\Omega$$

$$\begin{aligned} \dot{A}_V &= \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \dot{A}_{V1} \times \dot{A}_{V2} = -g_m (R_d // r_{i2}) \times \frac{-\beta R_c // R_L}{r_{be}} \\ &= -1 \times (5 // 0.3) \times \frac{-60 \times (0.7 // 10)}{0.3} = (-0.28) \times (-131) = 36.7 \end{aligned}$$

[专家点评] 本电路第一级采用自给零偏压,其漏源电流  $I_D$  就是  $I_{DSS}$ ,其输入电阻  $R_g$  就是整个电路的  $r_i$ ;第二级的输出电阻 ( $\approx R_c$ ) 就是整个电路的  $r_o$ 。

1-10 图 1-11 电路中两个晶体管的特性相同,且  $\beta = 50, V_{BE} = 0.7\text{V}, r_{bb'} = 300\Omega$ ,电位器  $R_w$  的滑动端位于中点,  $V_1$  和  $V_2$  为  $T_1, T_2$  基极的静态工作电压。求:

- (1) 差模电压放大倍数  $A_{vd}$ ;
- (2) 单端输出时的共模放大倍数  $A_{vc}$  及共模抑制比  $K_{CMR}$ ;
- (3) 差模输入电阻  $R_{id}$ 。

(上海交通大学 1997 年试题 10 分)

解:[分析] 将图 1-11 重画如图 1-12 所示,可以看出它就是常见的差动放大器。

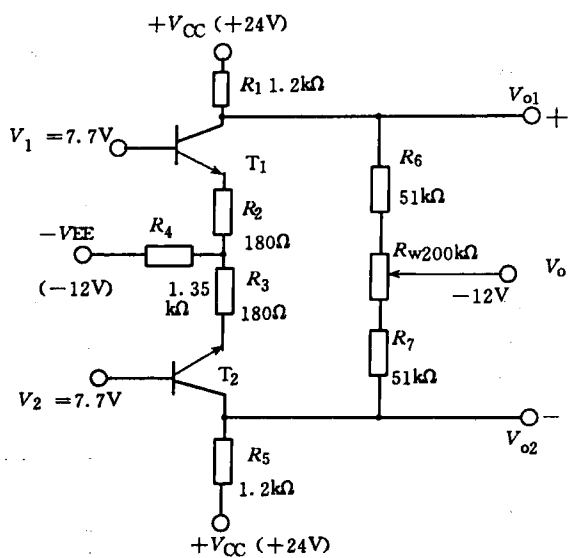


图1 - 11

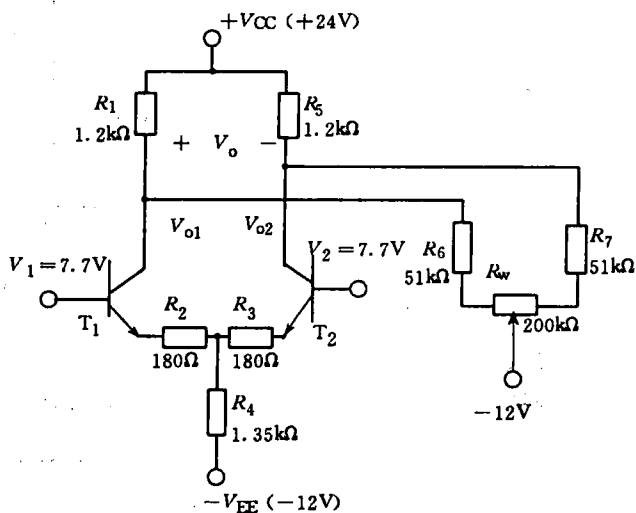


图1 - 12

[步骤]

$$(1) V_{BE} + 0.18I_{E1} + 1.35 \times 2I_{E1} = 12 + 7.7$$

$$0.18I_{E1} + 2.7I_{E1} = 19$$

$$\therefore I_{E1} = 6.6\text{mA}$$

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26}{I_{E1}} = 300 + (50 + 1) \times \frac{26}{6.6} = 501\Omega \approx 0.5\text{k}\Omega$$

$$A_{vd} = \frac{-\beta R_1 // (R_6 + \frac{1}{2}R_w)}{r_{be} + (1 + \beta)R_2} = \frac{-50 \times (1.2 // 151)}{0.5 + (1 + 50) \times 0.18} \approx -6.1$$

$$(2) A_{vc.单} = \frac{\pm \beta R_1 // (R_6 + \frac{1}{2} R_w)}{r_{be} + (1 + \beta)(R_2 + 2R_4)} = \frac{\pm 50 \times (1.2 // 151)}{0.5 + (1 + 50)(0.18 + 2.7)} \approx \pm 0.4$$

$$\therefore K_{CMR} = \left| \frac{A_{vd.单}}{A_{vc.单}} \right| = \frac{\frac{1}{2} \times 6.1}{0.4} \approx 7.6$$

$$(3) R_{id} = 2[r_{be} + (1 + \beta)R_2] = 2 \times (0.5 + 51 \times 0.18) \approx 19.4 \text{ k}\Omega$$

[专家点评]

1. 能够很容易看出图 1-11 电路是一个常见的差动放大器是求解本题的关键。

2. 由于集成运放的第一级毫无例外地采用差动放大电路, 所以各种有关差动放大电路的题目经常出现在各高校历年的考研试题中。希望考生倍加注意!

1-11 求图 1-13 所示差动放大器单端输出的 CMRR, 已知  $T_1, T_2, T_3$  参数相同。

$$h_{ie} = 1 \text{ k}\Omega \quad h_{fe} = 50 \quad h_{re} = 0 \quad h_{oe} = 0.25 \times 10^{-4} \text{ s}$$

(清华大学 1997 年试题 7 分)

解: [分析] 由图 1-13 可见, 电路为带有电流源的差放, 且电路中的电阻未给出阻值, 因此, 在解题时可采用比较灵活的方法。

[步骤]

$$\begin{aligned} CMRR &\approx \frac{\beta R_c}{R_s + r_{be}} \approx \frac{h_{fe} \times 1/h_{oe}}{h_{ie}} \\ &= \frac{50 \times 40 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} = 2000 \end{aligned}$$

[专家点评]

1. 对半导体三极管  $h$  参数的物理意义应该十分明确。

2. 对差动放大器在各种情况下的计算公式应该牢记, 当然只有在完全掌握差放的电路结构、工作原理后才能记得住。

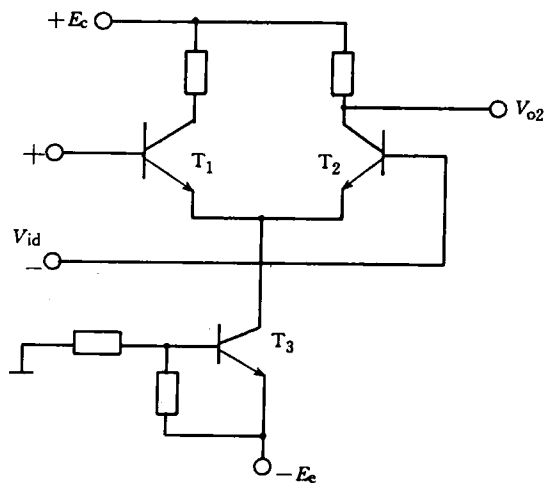


图 1-13

1-12 电路如图 1-14 所示, 它是某集成电路中的一个放大单元。设各管参数相同,  $\beta = 120, r_{be} = 60 \Omega, V_{BE} \approx 0.7 \text{ V}$ 。

(1) 分析电路的组成和各管的作用。

(2) 估算各管的静态电流  $I_{CQ}$ 。

(3) 计算中频时的电压增益  $A_v = v_o/v_i$ , 输入电阻  $R_i$  及输出电阻  $R_o$ 。

(4) 若要求电路的低频截止频率  $f_L \leq 10 \text{ Hz}$ , 耦合电容  $C_1$  应如何选择?

(5) 若要求电路的输入电阻  $R_i \geq 8 \text{ k}\Omega$ , 应修改电路的什么元件参数?

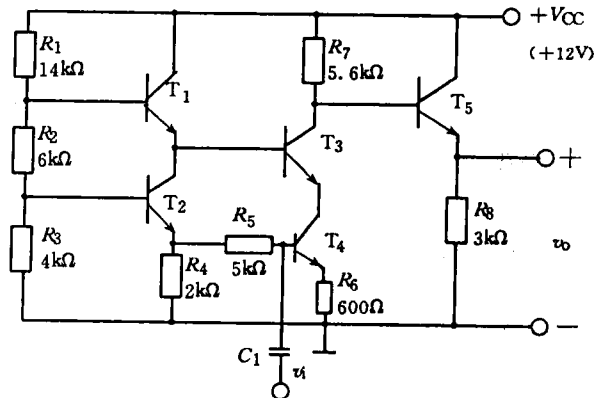


图 1-14

解:[分析] 该放大单元电路中,  $T_1$ 、 $T_2$  组成偏置电路,  $T_4$ — $T_3$  组成共射—共基电路(cascode),  $T_5$  组成射极输出器。

[步骤]

(1) 见[分析]。

$$(2) I_{R4} = \frac{1.3V}{2k\Omega} = 0.65mA, I_{B4} = \frac{1.3-0.7}{5+(1+\beta)\times 0.6} = \frac{0.6}{77.6} = 0.0077mA$$

$$I_{E2} = I_{R4} + I_{B4} = 0.65 + 0.0077 = 0.6577mA$$

$$I_{C2} = \frac{\beta}{1+\beta} I_{E2} = \frac{120}{121} \times 0.6577 = 0.6522mA$$

$$I_{C4} = \beta I_{B4} = 120 \times 0.0077 = 0.924mA, I_{E3} = I_{C4} = 0.924mA$$

$$I_{C3} = \frac{\beta}{1+\beta} I_{E3} = \frac{120}{121} \times 0.924 = 0.916mA, I_{B3} = \frac{I_{C3}}{\beta} = \frac{0.916}{120} = 0.0076mA$$

$$I_{E1} = I_{C2} + I_{B3} = 0.6522 + 0.0076 = 0.6598mA$$

$$I_{C1} = \frac{\beta}{1+\beta} I_{E1} = \frac{120}{121} \times 0.6598 = 0.6543mA$$

由  $5.6(I_{C3} + I_{B5}) + 0.7 + (1+\beta)I_{B5}R_8 = 12$ , 可得

$$I_{B5} = \frac{12 - 0.7 - 5.6I_{C3}}{5.6 + (1+\beta)R_8} = \frac{12 - 0.7 - 5.6 \times 0.916}{5.6 + 121 \times 3} = 0.0167mA$$

$$I_{C5} = I_{B5}\beta = 0.0167 \times 120 = 2mA$$

(3) 射极输出器的电压放大倍数取为 1, 则

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{\beta\{R_7 // [r_{be5} + (1+\beta)R_8]\}}{r_{be4} + (1+\beta)R_6} \approx \frac{-\beta R_7}{r_{be4} + (1+\beta)R_6}$$

$$r_{be4} = r_{bb'} + (1+\beta)\frac{26}{I_{E4}} = 60 + 121 \times \frac{26}{0.924 + 0.0077} = 3.4k\Omega$$

$$\therefore A_v \approx \frac{-120 \times 5.6}{3.4 + 121 \times 0.6} = -8.8$$

$$R_i = r_{be4} + (1+\beta)R_6 = 3.4 + 121 \times 0.6 = 76k\Omega$$

$$R_o = R_8 // \frac{R_7 + r_{be5}}{1+\beta} \approx \frac{R_7 + r_{be5}}{1+\beta} = \frac{5.6 + 1.6}{121} = 0.06k\Omega$$

$$r_{be5} = r_{bb'} + (1+\beta)\frac{26}{I_{E5}} \approx 60 + 121 \times \frac{26}{2} = 1.6k\Omega$$

$$(4) f_L = \frac{1}{2\pi C_1 [r_{be4} + (1+\beta)R_6]} \leq 10, \text{ 即}$$

$$C_1 \geq \frac{1}{2 \times 3.14 \times 76 \times 10^3 \times 10} = 0.21\mu F$$

(5) 可以修改电路中  $R_6$  的参数, 即  $r_{be4} + (1+\beta)R_6 \geq 8k\Omega, 3.4 + 121R_6 \geq 8k\Omega, \therefore R_6 \geq 38\Omega$ 。

[专家点评]

1. 考试时, [步骤](2)可以适当简化, 直接取  $I_{CQ} \approx I_{EQ}$ , 以节省时间。

2. 此电路虽然是集成电路的内部电路, 但对于分立元件电路的基本组态(共射、共集、共基)和分立元件电路的组合放大单元电路的几种基本组合(共射—共集, 共射—共基等)的静态

参数、动态参数的分析求解、具体计算必须牢固掌握。

1-13 图 1-15 所示放大电路,各三极管的  $\beta=50$ ,结型场效应管的转移特性为

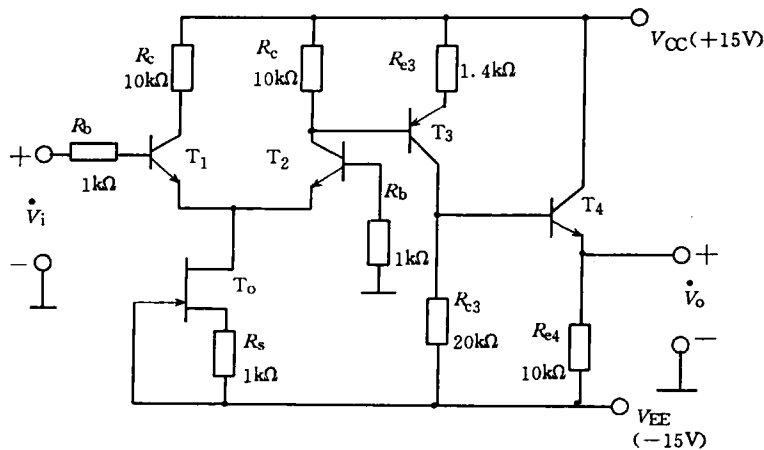


图1 - 15

$$I_D = 0.5 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-1}\right)^2 \text{mA}.$$

(1) 估算各管 ( $T_1 \sim T_4$ ) 的静态电流  $I_C$ ;

(2) 求差模电压放大倍数  $\dot{A}_{vd} = \dot{V}_o / \dot{V}_i$ ;

(3) 求电路的差模输入电阻  $R_{id}$ ;

(4) 求电路的输出电阻  $R_o$ 。

注:  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_4$  为硅管,其中  $T_1$ 、 $T_2$  是对管;  $T_3$  是锗管。

(东南大学 1999 年试题 12 分)

解: [分析]  $T_1$ 、 $T_2$  组成差分对电路,且单端输入,单端输出,  $T_0$  为其恒流源以增加抑制共模信号的能力。  $T_3$  为共射电路,  $T_4$  为射极输出器。

[步骤]

(1) 解如下联立方程

$$\begin{cases} I_D = 0.5 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-1}\right)^2 \\ V_{GS} = -I_D R_s \end{cases} \quad \text{其中 } R_s = 1\text{k}\Omega$$

可得  $I_D = 0.27\text{mA}$ , 由此  $V_{GS} = -0.27\text{V}$

$$\therefore I_{C1} = I_{C2} = \frac{1}{2} I_D = \frac{1}{2} \times 0.27 = 0.135\text{mA}$$

$$V_{B3} = V_{CC} - I_{C2} R_c = 15 - 0.135 \times 10 = 13.65\text{V}$$

$$\therefore I_{C3} = \frac{V_{CC} - V_{B3} - V_{BE3}}{R_{c3}} = \frac{15 - 13.65 - 0.3}{1.4} = 0.75\text{mA}$$

$$I_{C4} = \frac{I_{C3} R_{c3} - V_{BE4}}{R_{e4}} = \frac{0.75 \times 20 - 0.7}{10} = 1.43\text{mA}$$



$$(2)r_{be1}=200+(1+\beta)\frac{26}{I_{C1}}=200+51\times\frac{26}{0.135}\approx 10\text{k}\Omega$$

$$r_{be3}=200+(1+\beta)\frac{26}{I_{C3}}=200+51\times\frac{26}{0.75}\approx 2\text{k}\Omega$$

$$r_{be4}=200+(1+\beta)\frac{26}{I_{C4}}=200+51\times\frac{26}{1.43}\approx 1.1\text{k}\Omega$$

第二级的输入电阻  $r_{i2}=r_{be3}+(1+\beta)R_{e3}=2+51\times 1.4=73.4\text{k}\Omega$

第三级的输入电阻  $r_{i3}=r_{be4}+(1+\beta)R_{e4}=1.1+51\times 10=511.1\text{k}\Omega$

$$\therefore \dot{A}_{vd}=\frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i}=\frac{\beta R_c//r_{i2}}{2(R_b+r_{be1})}\times\frac{-\beta R_{c3}//r_{i3}}{r_{be3}+(1+\beta)R_{e3}}\times 1$$

考虑到  $r_{i3}\gg R_{e3}$ , 所以:

$$\dot{A}_{vd}=\frac{\beta R_c//r_{i2}}{2(R_b+r_{be1})}\times\frac{-\beta R_{c3}}{r_{be3}+(1+\beta)R_{e3}}\times 1=\frac{50(10//73.4)}{2(1+10)}\times\frac{-50\times 20}{2+51\times 1.4}\times 1=-272.5$$

$$(3)R_{id}=2(R_b+r_{be1})=2\times(1+10)=22\text{k}\Omega$$

$$(4)R_o=R_{e4}//\frac{R_{c3}+r_{be4}}{1+\beta}=10//\frac{20+1.1}{51}\approx 0.4\text{k}\Omega$$

[专家点评]

1. 解本题的关键在于正确处理正负电源和正确选定源极负载线  $V_{GS}=-I_D R_s$ 。
2. 低频小功率管的  $r_{bb}$  一般选定为  $200\Omega$  左右(在题文未给出具体数值的情况下)。
3. 多级放大器级间的相互关系表现为各级的输入和输出电阻之间的关系, 详见试题 1-3 的[专家点评]。