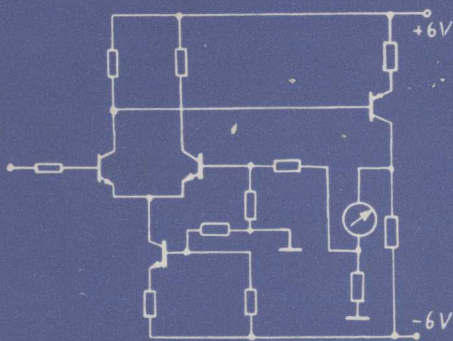


模拟电子技术基础 习题解析

王曙斌 主编



辽宁科学技术出版社

模拟电子技术基础 习题解析

王曙斌 主编

辽宁科学技术出版社

一九八九年·沈阳

模拟电子技术基础习题解析

王曙斌 主编

Moni Dianzi Jishu Jichu Xiti Jiexi

辽宁科学技术出版社出版 (沈阳市南京街6段1里2号)
辽宁广播电视大学发行 沈阳新华印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 8.75 字数: 197,000
1989年9月第1版 1989年9月第1次印刷

责任编辑: 刘绍山 封面设计: 李新生

印数: 1—8,000

ISBN 7-5381-0810-6/TM·42 定价: 3.60元

前 言

《模拟电子技术基础》作为大学理工科电类专业的一门必修课，近年来随着元器件的更新换代也有了相当的调整和更新。在这门课程中，不仅包含较多的概念和独有的分析方法，而且在推导定律、公式及解题中需引入许多简化和近似条件，这些条件大多出自工程实践。对于缺乏实践经验的初学者来说，这些并非是仅凭努力即能克服的困难，他们迫切需要在解题的过程中得到指导。

为了帮助初学者能较快地掌握这门课程中的基本概念和基本规律，学会分析方法和解题技巧，在学习中小走弯路，我们将目前各类工科院校普遍采用的《模拟电子技术基础简明教程》（清华大学电子学教研室编）一书中的复习思考题和习题作了解析，以供学习本课程的同志参考。

本书的第一章由吴应斌编，第二章由石亮编，第三章由王曙斌编，第四章由杨俊莲编，第五章由吴广林编，第六章由姜源编，全书由王曙斌负责组织和定稿。

由于时间仓促加之编者水平所限，书中的疏漏之处敬请读者不吝指正。

编 者

一九八九年六月

目 录

第一章 基本放大电路和多级放大电路	
复习思考题解析.....	(1)
练习题解析.....	(13)
第二章 放大电路中的反馈	
复习思考题解析.....	(70)
练习题解析.....	(79)
第三章 正弦波振荡电路	
复习思考题解析.....	(112)
练习题解析.....	(117)
第四章 直接耦合放大电路与集成运算放大器	
复习思考题解析.....	(133)
练习题解析.....	(146)
第五章 直流电源	
复习思考题解析.....	(192)
练习题解析.....	(208)
第六章 模拟电子电路的读图练习	
复习思考题和练习题解析.....	(253)

第一章 基本放大电路和 多级放大电路

复习思考题解析

1-1 放大电路中三极管静态工作点的设置与数字电路中的三极管有什么区别？

答：在放大电路中，三极管起放大作用，因此它的静态工作点设置在输出特性的放大区；在数字电路中，三极管起开关作用，因此它的工作点通常设置在截止区或饱和区，仅在从一种状态到另一种状态的过渡期间才工作在放大区。

1-2 画出基本放大电路的直流通路和交流通路。求静态工作点应该根据哪些通路？

分析：直流通路是在直流电源 E_C 作用下直流电流的通路，画时应视耦合电容 C_1 、 C_2 为开路。交流通路是在信号源 U_S 作用下所形成的交流电流的通路，画时应视耦合电容 C_1 、 C_2 和直流电源 E_C 为短路。

答：基本放大电路的直流通路和交流通路如图 1-1 所示。直流通路是静态分析所依据的电路，交流通路是动态分析所依据的电路，因此，在求静态工作点时，应该根据直流通路来计算。

1-3 什么叫直流负载线和交流负载线？基本放大电路（通过 C_2 连接 R_L ）的直流负载线和交流负载线何者更陡些？如改用电阻 R 代替 C_2 连接 R_L ，则两种负载线有什么区别？

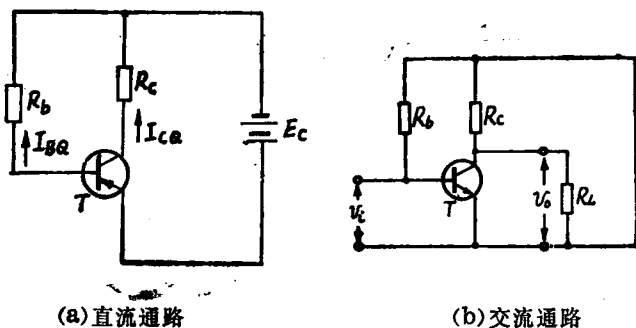


图1-1

答：直流负载线是对应直流通路的，是由方程

$$U_{CE} = E_C - I_C R_C$$

代表的一条直线，其斜率为 $-\frac{1}{R_C}$ 。利用直流负载线可用图解法求出静态工作点。

交流负载线是对应交流通路的，是一条通过静态工作点斜率为 $-\frac{1}{R'_L}$ 的直线，其方程为

$$v_{CE} = E'_C - i_C R'_L$$

在上式中， E'_C 和 R'_L 是放大电路中晶体管 $c-e$ 两端所接电路的等效电源电动势和等效内阻。利用交流负载线可以对放大电路进行动态分析，如求 A_v 、 A_i 、 U_o 等。

对于基本放大电路，由于 $R'_L (R_C // R_L)$ 小于 R_C ，使交流负载线的斜率大于直流负载线的斜率，所以交流负载线比直流负载线更陡些。当改用电阻 R 代替 C_2 连接 R_L 时，由于直流通路和交流通路中晶体管 $c-e$ 两端所接电路的等效电阻相同，所以直流负载线和交流负载线没有区别，同为一条过

Q点的直线。

1-4 用图解法求电压放大倍数 A_v 时应根据哪种负载线？观察波形是否失真应根据哪种负载线？

答：因为交流负载线是放大电路动态工作时工作点的轨迹，所以对放大电路进行动态分析时应利用交流负载线。如求电压放大倍数 A_v 和观察波形是否失真都应根据交流负载线。

1-5 Q点设置在何处将产生截止失真或饱和失真？试用图解法来示意说明。

答：当Q点设置偏低时，在输入信号的负半周工作点进入截止区，产生截止失真；当Q点设置偏高时，在输入信号的正半周工作点进入饱和区，产生饱和失真。

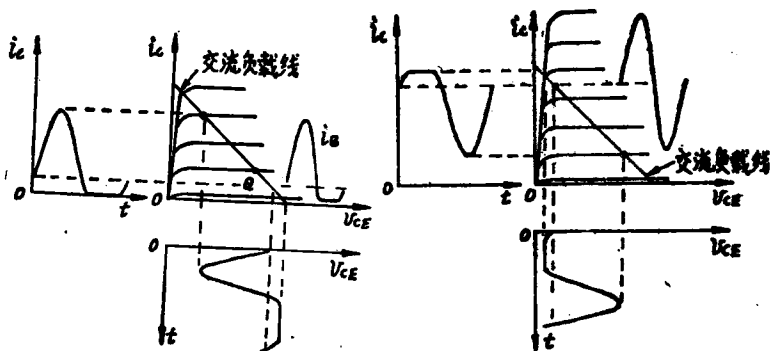


图1-2 静态工作点对非线性失真的影响

(a) 截止失真 (b) 饱和失真

利用图解法可得到图1-2，从图中的特性曲线上能清楚地观察到波形失真的情况。

1-6 如果出现截止失真或饱和失真，应该调整电路中哪些参数？画出调整参数后Q点变化的示意图。

答：出现截止失真时，可通过减小 R_b ，增大静态电流 I_B 和 I_C ，使工作点上升。

出现饱和失真时，可通过增加 R_b ，使工作点降低，或减小 R_c 使直流负载线的斜率增加。

调整 R_b 、 R_c 后，Q点变化的示意图如图1-3所示。

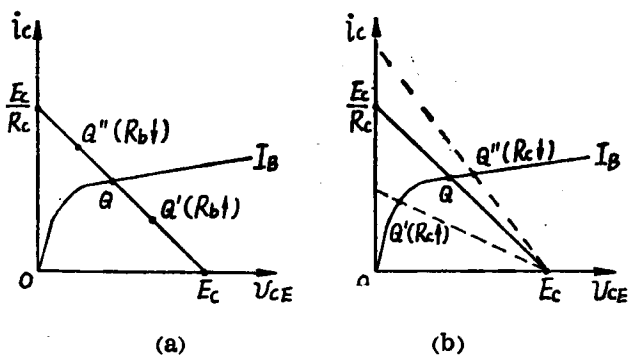


图1-3 电路参数 R_b 、 R_c 对Q点的影响

(a) R_b 的影响

(b) R_c 的影响

1-7 分别画出 PNP管组成的基本放大电路产生截止失真和饱和失真时的波形。

分析：PNP型三极管的共发射极输入、输出特性与NPN型三极管的差别是 I_b 、 I_c 的方向相反， V_{be} 和 V_{ce} 均为负值。

答：PNP管组成的基本放大电路所产生的失真波形如图1-4所示。在图中， Q_1 点处产生的是饱和失真， Q_2 点处产生的是截止失真。

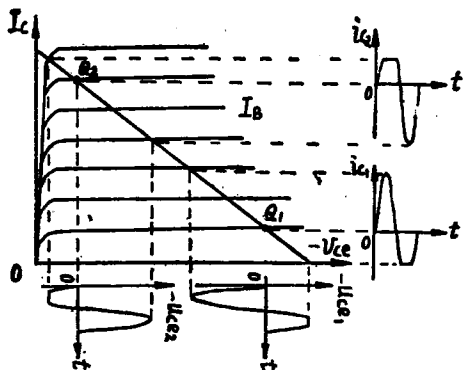


图1-4 PNP管基本放大电路的饱和失真和截止失真

1-8 画出基本共射放大电路的简化微变等效电路，并求 A_v 、 r_i 和 r_o 。

答：所求的简化微变等效电路如图 1-5 所示。作法是先画出原电路的交流通路，再将其中的三极管用简化的 h 参数等效电路代换即可。

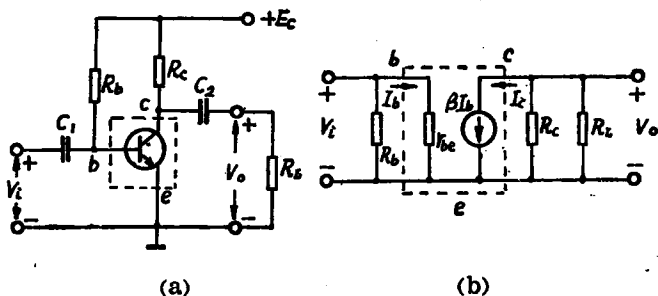


图1-5 共射基本放大电路的微变等效电路

(a) 电路图 (b) 等效电路

根据等效电路可求得

$$A_v = -\beta \frac{R_L'}{r_{be}} \quad \text{其中 } R_L' = R_C \parallel R_L$$

$$r_i = R_b \parallel r_{be}$$

$$r_o \approx R_C$$

1-9 在基本共射放大电路中，将 $\beta = 50$ 的三极管换成另一个 $\beta = 100$ 的管子， $|A_v|$ 是否相应地增加一倍？

答： β 值不同的三极管其 r_{be} 也不相同， β 值大的三极管其 r_{be} 也大。由 $|A_v| = \beta \frac{R_L'}{r_{be}}$ 可知，虽然 β 值增加一倍，

但由于 r_{be} 的增大，使 $|A_v|$ 不能相应的增加一倍。

1-10 基本共射放大电路引入电阻 R_e 后，其 $|A_v|$ 、 r_i 和 r_o 变大还是变小了？

答：对于具有发射极电阻的基本共射放大电路，有

$$A_v = - \frac{\beta R_L'}{r_{be} + (1 + \beta)R_e} \quad R_L' = R_C \parallel R_L$$

$$r_i = [r_{be} + (1 + \beta)R_e] \parallel R_b$$

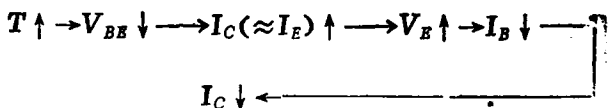
$$r_o \approx R_C \parallel \left[r_{ce} \left(1 + \frac{\beta R_e'}{r_{be}} \right) \right] \quad R_e' = R_e \parallel r_{be}$$

由此上表达式可以看出，引入发射极电阻 R_e 后，电压放大倍数 $|A_v|$ 降低了，输入电阻 r_i 增大了，输出电阻 r_o 提高了。

1-11 当温度变化时，电流负反馈式工作点稳定电路为什么能保持静态工作点基本不变？

答：电流负反馈式工作点稳定电路的特点是：（1）具有稳定的基极电位 V_B ；（2）比较稳定的静态发射极电流 I_E ；（3）发射极电阻 R_e 有电流负反馈作用。

当温度变化时，保持静态工作点基本不变的过程概括表达如下：



这里是通过 I_E 的负反馈作用，限制了 I_C 的改变，使静态工作点保持稳定。

1-12 上述工作点稳定电路与基本共射放大电路求静态工作点的方法有何不同？它们的 A_v 是否相同？

答：基本共射放大电路求静态工作点 Q 的顺序为：

$$I_{BQ} \rightarrow I_{CQ} \rightarrow V_{CEQ}$$

电流负反馈式工作点稳定电路求静态工作点 Q 的顺序为：

$$V_{BQ} \rightarrow I_{EQ} \rightarrow I_{CQ} \rightarrow I_{BQ} \rightarrow V_{CEQ}$$

可见两种电路求静态工作点的方法有所不同。

对于基本共射放大电路

$$A_v = -\beta \frac{R_L'}{r_{be}} \quad R_L' = R_C // R_L$$

对于电流负反馈式工作点稳定电路

$$A_v = -\frac{\beta R_L'}{r_{be} + (1 + \beta) R_e} \quad R_L' = R_C // R_L$$

由两种电路 A_v 的表达式可知，它们的 A_v 不相同。

1-13 对于三种不同组态的基本放大电路（共射、共基、共集），分别讨论它们的 A_v 、 A_i 、 r_i 和 r_o 何者最高，何者最低？

答：共射极电路 A_v 最高，共集极电路 A_v 最低；共集极电路 A_i 最高，共基极电路 A_i 最低；共集极电路 r_i 最高，共基极电路 r_i 最低；共基极电路 r_o 最高，共集极电路 r_o 最低。它们的表示式和具体数值范围见表 1-1。

表1-1 三种基本放大电路的比较

	共射极电路	共基极电路	共集极电路
A_v	$-h_{21}R_L'/h_{11}$ (几十~几百倍)	$h_{21}R_L'/h_{11}$ (几十~几百倍)	$1-h_{21}/r_i$ (小于1, 约等于1)
A_i	$h_{21}(\beta)$ (几十~一百以上)	$h_{21}/(1+h_{21})$ (小于1, 约等于1)	$1+h_{21}$ (几十~一百以上)
r_i	$h_{11}(r_{be})$ (几百~几千欧)	$h_{11}/(1+h_{21})$ (几~几十欧)	$h_{11}+(1+h_{21})R_e'$ (几十千欧以上)
r_o	$1/h_{22}$ (几十~几百千欧)	$(1+h_{21})/h_{22}$ (几百千欧~几兆欧)	$(R_S'+h_{11})/(1+h_{21})$ (几~几十欧)

1-14 多级放大电路的三种耦合方式(阻容耦合、直接耦合、变压器耦合)各有什么优缺点?

答: (1) 阻容耦合 主要优点是各级直流互不影响, 不存在零点漂移问题, 静态分析设计简便, 但低频响应差。适用于分立元件交流放大电路。

(2) 直接耦合 放大电路的低频特性好, 可放大直流或缓慢变化的信号, 但各级直流相互影响, 需要解决零点漂移问题和各级静态电位配合问题。适用于集成直流放大电路。

(3) 变压器耦合 各级直流互不影响, 没有零点漂移问题, 变压器的阻抗变换作用可使放大器获得最佳匹配, 提高增益。但由于变压器存在漏感和分布电容, 使放大器频带变窄; 另外, 变压器体积大、造价高, 所以一般用于低频功率放大或中频调谐放大电路, 不适于集成放大电路。

1-15 多级放大电路总的电压放大倍数、输入电阻和输出电阻与组成它的各级电路的电压放大倍数、输入电阻和

输出电阻之间有什么关系？

答：（1）总的电压放大倍数

多级放大电路总的电压放大倍数为各单级电压放大倍数的乘积。即：

$$A_v = A_{v1} \cdot A_{v2} \cdot \dots \cdot A_{vn} = \prod_{k=1}^n A_{vk}$$

式中各单级电压放大倍数应考虑级间影响。对于 n 级阻容耦合共射电路， A_v 也可用各级晶体管的电流放大系数近似表示为

$$A_v \approx (-1)^n \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \dots \cdot \beta_n \frac{R_{Ln}'}{r_{be1}}$$

式中， n 为多级放大电路的级数；

r_{be1} 为输入级的输入电阻；

R_{Ln}' 为第 n 级总的交流负载电阻。

（2）输入电阻

多级放大电路的输入电阻是从放大电路的输入端看进去的等效电阻。即输入级的输入电阻。定义为

$$r_i = \frac{V_i}{I_i}$$

（3）输出电阻

多级放大电路的输出电阻是从放大电路的输出端看进去的等效电阻。即输出级的输出电阻。定义为

$$r_o = \frac{V_o}{I_o} \Big|_{R_L = \infty, V_i = 0}$$

1-16 定性说明基本放大电路的电压放大倍数为为什么在低频和高频时下降。

答：当交流信号频率降低时，由于耦合电容 C_1 和 C_2 的容

抗加大, C_1 和 C_2 上的交流压降增加, 使输入给放大器和放大器输出给负载的交流电压下降, 使放大倍数下降。当信号频率极低时, 放大器的电压放大倍数近似为零。

当交流信号频率升高时, 由于晶体管结电容和载流子渡越时间的影响, 晶体管的电流放大系数将下降, 同时集电极电流与基极电流不再同相, 由于输入回路和输出回路中分布电容的影响, 这些电容中的旁路电流增加, 以至使输入给放大器和输出给负载的交流电流减小, 使放大倍数下降。

由此可知, 当信号频率很低和很高时, 放大电路的电压放大倍数都将显著下降。

1-17 三极管的截止频率 f_β 、特征频率 f_T 和共基截止频率 f_a 的定义是什么? 三者之间有什么关系?

答: f_β 定义为共射电流放大系数 $|\beta|$ 值随着频率的增加而下降到中频值 β_0 的 $1/\sqrt{2}$ 倍 (即下降 $3dB$) 时所对应的频率。

f_T 定义为 $|\beta|$ 值随着频率的增加而下降为 1 时所对应的频率。

f_a 定义为共基电流放大系数 $|\alpha|$ 值下降到中频值 α_0 的 $1/\sqrt{2}$ 倍时所对应的频率。

f_β 、 f_T 、 f_a 三者之间的关系为

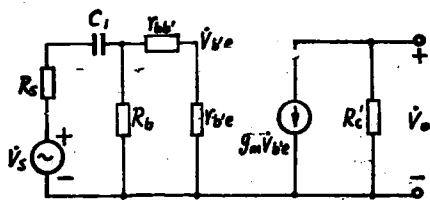
$$f_a \approx \beta_0 f_\beta = f_T$$

1-18 画出基本共射放大电路低频和高频时的混合 π 等效电路, 写出低频时间常数 τ_l 和高频时间常数 τ_h 的表达式。

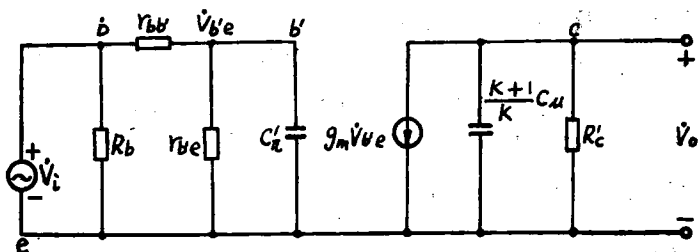
答: 低频和高频时的混合 π 等效电路如图 1-6 (a)、(b) 所示。

低频时间常数 τ_l 的表达式为

$$\tau_l = (R_s + r_i)C_1 \quad \tau_h = R_b // (r_{bb}' + r_b'e')$$



(a) 低频等效电路



(b) 高频等效电路

图1-6

高频时间常数 τ_h 的表达式为

$$\tau_h = RC_x' \quad R = r_{b'e}' / [r_{bb'}' + (R_s // R_b)]$$

1-19 写出下限频率 f_l 和上限频率 f_h 的表达式，解释它们的物理意义。

答：

$$f_l = \frac{1}{2\pi\tau_l} = \frac{1}{2\pi (R_s + r_i)C_i}$$

$$f_h = \frac{1}{2\pi\tau_h} = \frac{1}{2\pi RC_x'}$$

下限频率 f_l 为电压放大倍数随着频率的减小而下降到中频值的 $1/\sqrt{2}$ 倍时所对应的频率值。它主要与低频等效电路

的时间常数有关, C_1 和 $(R_s + r_i)$ 的乘积愈大, 则 f_l 愈小, 即放大电路的低频响应愈好。

上限频率 f_h 为电压放大倍数随着频率的增加而下降到中频值的 $1/\sqrt{2}$ 倍时所对应的频率值。它主要与高频等效电路的时间常数有关, C'_2 和 R 的乘积愈小, 则 f_h 愈大, 即放大电路的高频响应愈好。

1-20 示意画出基本共射放大电路的波特图, 在图上标出 f_l 、 f_h 以及相应的相移角 φ 。

分析: 用折线近似的方法画放大电路的波特图需要已知三个条件, 即中频电压放大倍数 A_{vsm} 和下限频率 f_l 、上限频率 f_h , 则可画出放大电路的波特图。应注意幅频特性的转折点在 f_l 和 f_h 处, 而相频特性是在 f_l 的 $1/10$ 和 10 倍以及

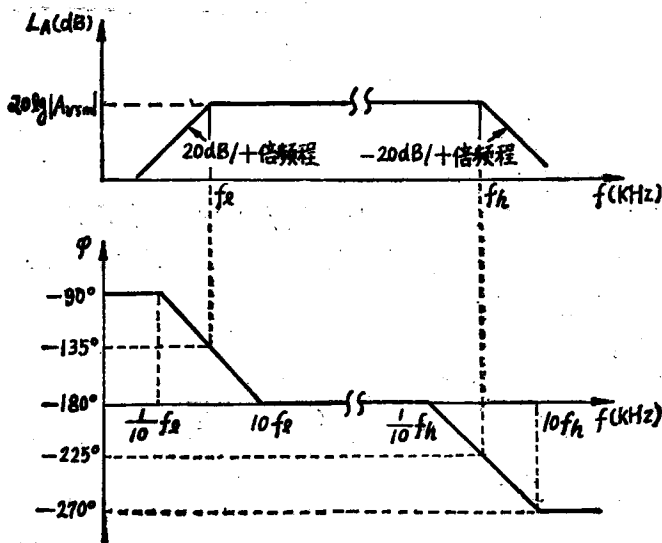


图1-7 基本共射放大电路的波特图