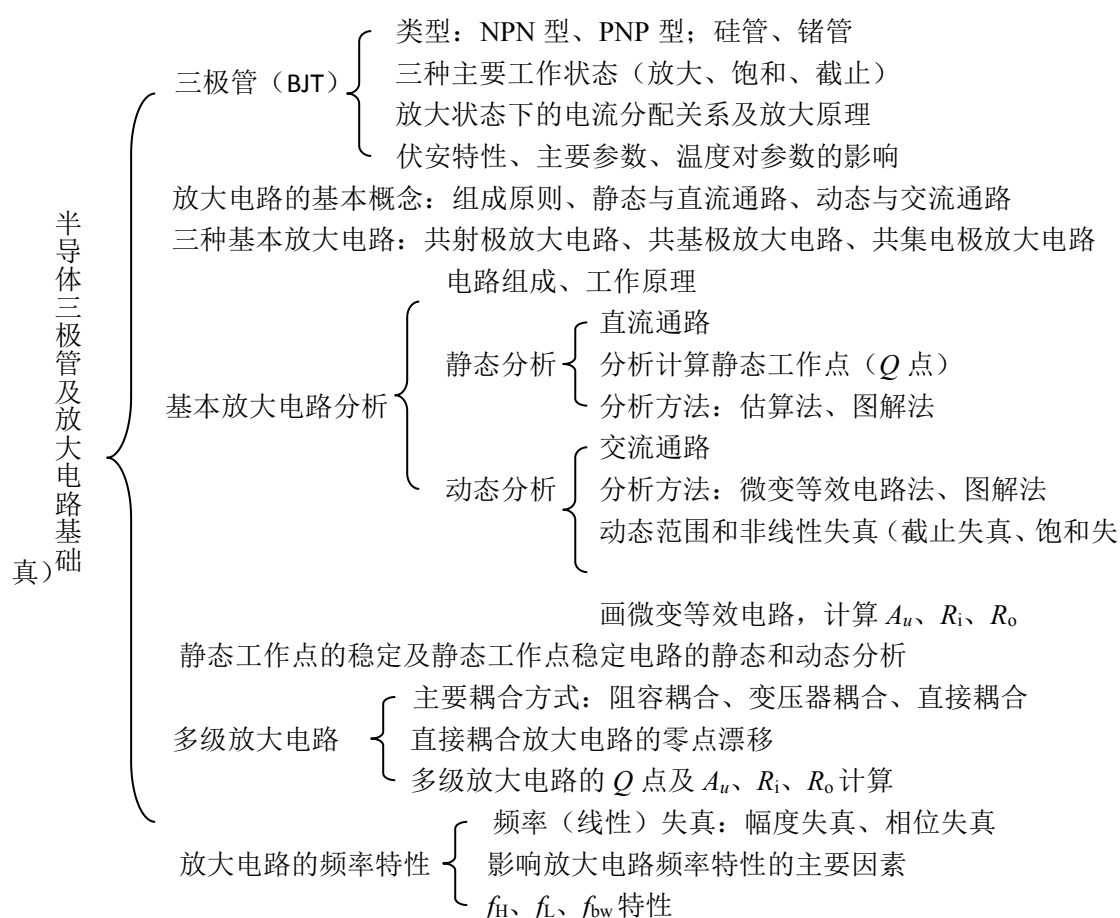


2. 晶体管及放大电路

本章概要

本章首先讨论了晶体管的结构、放大原理、输入和输出特性以及主要电参数，然后介绍了晶体管组成的共发射极、共集电极和共基极三种基本放大电路，分析了电路组成、信号的静态及动态特性。本章还阐述了温度对晶体管特性及放大电路静态工作点的影响，放大电路的耦合方式、多级放大电路以及放大电路频率特性等相关知识。

本章内容的组成及结构



学习目标

- (1) 熟练掌握晶体管的伏安特性及电流放大作用;
- (2) 熟练掌握晶体管组成的三种基本放大电路静态及动态分析;
- (3) 掌握多级放大电路动态指标分析;
- (4) 理解三种放大电路的组成、工作原理、特点及应用场合
- (5) 理解放大电路的频率响应及线性失真
- (6) 了解多级放大电路的耦合方式及特点。

重难点指导

重点

- (1) 晶体管伏安特性;
- (2) 放大电路的静态和动态分析;
- (3) 共射极和共集电极放大电路动态参数计算;
- (4) 多级放大电路的动态参数计算。
- (5) 放大电路频率失真的原因。

难点

- (1) 晶体管的非线性失真;
- (2) 共射极和共集电极放大电路的动态参数计算及动态范围;
- (3) 阻容耦合多级放大电路的动态参数计算;

本章导学

1. 半导体三极管

1. 半导体三极管: 简称为三极管或晶体管, 由三个电极、两个 PN 结组成, 按结构区分, 有 NPN 型和 PNP 型; 按使用的材料不同分为硅管和锗管。

晶体管的结构特点: 发射区掺杂浓度高、基区很薄、集电结面积大。

三种工作状态与直流偏置:

- a. 放大状态——发射结正向偏置、集电结反向偏置;
- b. 饱和状态——发射结和集电结均正向偏置;
- c. 截止状态——发射结和集电结均反向偏置;

2. 放大状态时的电流分配与放大原理: 发射结正向偏置, 且发射区掺杂浓度高, 使大量多子从发射区扩散到基区 (形成发射极电流 i_E); 因为基区很薄, 只有少量扩散到基区的多子, 又称为非平衡少数子在基区复合 (形成基极电流 i_B); 大多数非平衡少数子因为集电结反向偏置, 且集电结面积大而漂移到集电区 (形成集电极电流 i_C)。基区和集电区里的少数子互相漂移形成 I_{CBO} , 硅管的 I_{CBO} 很小, 对 i_C 的影响可以忽略。

当外部信号改变发射结正向偏置电压的大小时, 从发射区扩散到基区的多子数量、在基区复合的非平衡少数子的数量及漂移到集电区的非平衡少数子的数量都发生改变, 使 i_E 、 i_B 、 i_C 均有增量 Δi_E 、 Δi_B 、 Δi_C 。且 $\Delta i_C = \beta \Delta i_B$, 通常 $\beta \gg 1$ 。这说明晶体管有电流放大能力, 这也就是晶体管的放大原理。

3. 常用来表征晶体管性能的有共射极输入特性和共射极输出特性。由输出特性可见, 改变基极电流可以控制集电极电流 (因而半导体三极管是一个电流控制器件); 晶体管有三个工作区:

- a. 放大区——晶体管工作于放大状态, $i_C = \beta i_B$, 有放大作用;
- b. 饱和区——晶体管工作于饱和状态, i_C 主要受 u_{CE} 的影响, 无放大作用;
- c. 截止区——晶体管工作于截止状态, $i_C \approx 0$, 无放大作用。

4. 晶体管的主要参数

a. 直流参数——共射极直流电流放大系数 $\bar{\beta}$ ($\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B} \Big|_{I_{CBO}=0}$), 共基极直流电流放大系数 $\bar{\alpha}$ ($\bar{\alpha} = \frac{I_C}{I_E} \Big|_{I_{CBO}=0}$), 集电极——基极间反向饱和电流 I_{CBO} 、集电极——发射极间反向饱和电流 (也称穿透电流) I_{CEO} 。

b. 交流参数——共射极交流电流放大系数 β ($\beta = \frac{\Delta i_c}{\Delta i_B}$), 共基极交流电流放大系数 α

$$(\alpha = \frac{\Delta i_c}{\Delta i_E})。$$

c. 极限参数——集电极最大允许耗散功率 P_{CM} , 集电极最大允许电流 I_{CM} , 极间反向击穿电压 $U_{(BR)CBO}$ 、 $U_{(BR)CEO}$ 、 $U_{(BR)EBO}$ 等。

晶体管的一些参数受温度影响: 温度升高时 β 及 I_{CBO} 增大而在基极电流相同情况下的 u_{BE} 减小。

2. 基本放大电路

1. 基本放大电路的组成原则

a. 直流偏置: 发射结正向偏置而集电结反向偏置, 使晶体管处于放大状态。

b. 信号的输入和输出: 信号源及负载接入放大电路时, 应不影响晶体管原有的直流偏置, 始终保持发射结正偏而集电结反偏。为此, 在信号源与放大电路之间、放大电路与负载之间的耦合, 一般要求既能“隔直”, 又能使信号顺利传输。在图 2.1 所示的共射极放大电路中, C_1 、 C_2 为耦合电容, 这种耦合方式称为阻容耦合。

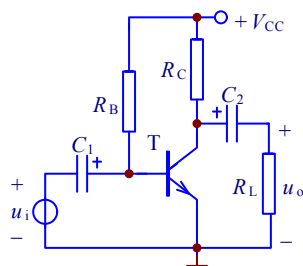


图 2.1 共射极放大电路

2. 放大电路的主要性能指标: 电压放大倍数 A_u 、输入电阻 R_i 、输出电阻 R_o 、频带宽度 f_{bw} 、全谐波失真度 D 、动态范围 U_{op-p} 等。

3. 三种基本放大电路: 共射极放大电路、共基极放大电路、共集电极放大电路。在放大电路中以那个电极作为输入、输出回路的公共端, 就以此电极命名相应的电路。也可以按表 2.1 判断放大电路的组态。

4. 放大电路的两种工作状态: 静态和动态

a. 静态: 放大电路的输入为零 ($U_i = 0$ 或 $I_i = 0$) 时, 电路中晶体管各个电极的电流及电极之间的电压只含有恒定的直流分量, 其瞬时值不变, 这时的工作状态称为静态。静态时的等效电路称为直流通路, 通过直流通路可以求解放大电路的静态工作点值, 即 Q 点值 (I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 U_{BEQ} 、 U_{CEQ})。

画直流通路的原则是: 将放大电路里的耦合电容及旁路电容开路。图 2.2 (a) 是图 2.1 所示放大电路的直流通路。

表 2.1 三种基本组态的判别

电路组态	输入信号所接电极	输出信号所接电极
共射极	基极 (b)	集电极 (c)
共基极	发射极 (e)	集电极 (c)
共集电极	基极 (b)	发射极 (e)

b. 动态：放大电路有信号输入时（ $U_i \neq 0$ 或 $I_i \neq 0$ ）的工作状态称为动态。动态时，放大电路中直流电源和交流信号同时作用，晶体管各极电流和极间电压既有直流分量，又有交流分量。当放大电路的输出没有非线性失真时，直流分量值就是静态工作点值，已在静态分析中已经求得，所以动态分析只是分析交流分量之间的关系，即分析放大电路的动态指标 A_u 、 R_i 、 R_o 、 f_{bw} 等。动态分析要借助于放大电路的交流通路。

画交流通路的原则是：将直流电源接地且耦合电容及旁路电容（电容容量足够大）视为短路。根据这一原则可画得图 2.1 所示放大电路的交流通路如图 2.2（b）。

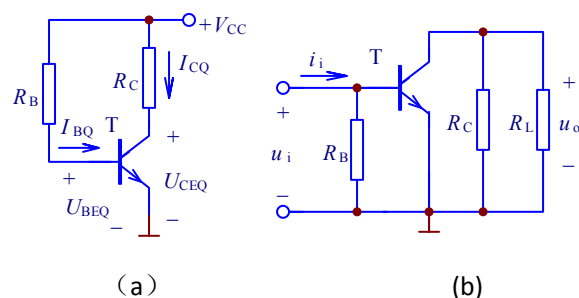


图 2.2 直流通路和交流通路

(a) 直流通路 (b) 交流通路

5. 电路的三种基本分析方法

a. 图解法——既可用于静态分析，求解静态工作点值；也可用于动态分析。由于作图麻烦、小信号时难以作图等缺点，在实际分析中很少使用。

b. 估算法——也称近似计算法，用于静态工作点的计算。

分析过程为：画直流通路，由直流通路列输入回路和输出回路的直流负载线方程，并设 U_{BEQ} 值（硅管为 0.6V 或 0.7V、锗管为 0.2V 或 0.3V），代入方程，求出静态工作点值。

c. 微变等效电路法——用于放大电路小信号工作时的动态分析。

分析过程为：先画出电路的交流通路，再将交流通路中的晶体管用它的 H 参数微变等效电路代替，即得放大电路的微变等效电路。根据放大电路性能指标的定义，计算放大电路的微变等效电路，即可求得放大电路的 A_u 、 R_i 及 R_o 等动态指标。

6. 放大电路的非线性失真

若 Q 点设置不合理或输入信号过大，动态时工作点将进入饱和区产生饱和失真、或进入截止区产生截止失真。饱和失真和截止失真统称为非线性失真，它使输出波形畸变，甚至出现输出波形的顶部或底部被削平。

7. 三种基本放大电路性能比较：如表 2.2 所示。

表 2.2 三种基本放大电路性能比较

性 能	共射极	共基极	共集电极
u_o 与 u_i 相位关系	反相	同相	同相
电压放大能力	有	有	无
电流放大能力	有	无	有
输入电阻 R_i	中等	小	大
输出电阻 R_o	大	大	小

3. 静态工作点的稳定

1) 稳定静态工作点的原因：Q 点改变会影响放大电路的性能指标。

2) 影响静态工作点稳定的因素：主要是温度改变引起晶体管参数的变化。

3) 稳定静态工作点的方法：选用温度特性好的元器件；用负反馈稳定 Q 点。

4. 多级放大电路

1. 主要耦合方式：

a. 阻容耦合——各级静态工作点互相独立，只能放大交流信号。

b. 变压器耦合——各级静态工作点互相独立，只能放大交流信号，有笨重的变压器，频率特性较差，但能传输较大功率，还有阻抗变换作用和电隔离功能。

c. 直接耦合——各级静态工作点互相关联，既能放大交流信号，也能放大直流信号和缓变信号。

2. 直接耦合放大电路的两个特殊问题

a. 耦合问题：常用的方法有垫高后一级射极电位；电平移位；NPN 型管和 PNP 型管互补；用正、负两种电源。

b. 零点漂移：简称零漂，由温度变化和元器件老化引起，但主要是温度。零漂大小用折合到输入端的零点漂移电压大小来衡量。抑制零漂的方法与静态工作点稳定的方法相似，在直接耦合放大电路中常采用差动放大电路，它能有效地抑制零漂。

3. 多级放大电路的前一级放大电路为后一级放大电路提供放大的信号，相当于后一级放大电路的信号源。因此，前一级放大电路的输出电阻，相当于后一级放大电路的信号源内阻。从另一个角度看，后一级放大电路的输入电阻相当于前一级放大电路的负载电阻。

5. 放大电路的频率特性

1. 放大电路频率特性包括幅频特性和相频特性。反映放大电路频率特性的性能指标是放大电路的频带宽度 f_{bw} 。

$$f_{bw} = f_H - f_L \quad (2.1)$$

式中： f_H 是放大电路的上限截止频率，是放大电路在高频区工作时，放大倍数下降到中频放大倍数值 $1/\sqrt{2}$ 时的工作频率； f_L 是放大电路的下限截止频率，是放大电路在低频区工作时，放大倍数下降到中频放大倍数值 $1/\sqrt{2}$ 时的工作频率。

2. 频率失真：当放大电路放大非正弦波信号且不产生非线性失真时，因为放大电路对不同频率信号的放大倍数不同而引起的波形失真称为幅度失真；因为放大电路对不同频率信号产生的相移不同而引起的波形失真称为相位失真。它们统称为频率失真，也称为线性失真。

3. 影响放大电路频率特性的主要是电路存在电抗元件，即耦合电容、旁路电容、结电容、负载电容和分布电容等。

低频区：电路的频率特性主要由耦合电容和旁路电容这些大电容影响。

高频区：电路的频率特性主要由结电容、负载电容和分布电容等这些小电容影响。

中频区：放大电路等效为纯电阻电路。耦合电容和旁路电容这些大电容视为短路，结电容、负载电容和分布电容等这些小电容视为开路。

相关电路分析与计算

1. 半导体三极管的偏置与电流分配

1) 当晶体管工作在放大区时

a. 电极的电位特点：NPN 型的 $U_C > U_B > U_E$ ；PNP 型的 $U_C < U_B < U_E$ 。基极电位总是居中。

b. 小功率硅管的 $|U_{BE}|$ 约为 0.6V 或 0.7V；小功率锗管的 $|U_{BE}|$ 约为 0.2V 或 0.3V。

2) 晶体管的直流分配关系（忽略饱和电流）

$$I_E = I_C + I_B \quad (2.2)$$

3) r_{be} 的估算

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{U_T}{|I_{EQ}|} \quad (2.3)$$

低频小功率晶体管的 $r_{bb'}$ 可取为 300Ω ，室温 (25°) 下的 $U_T \approx 26\text{mV}$ 。

2. 基本放大电路的计算

1) 放大电路中常用四种偏置电路 (如图 2.3) 的静态计算

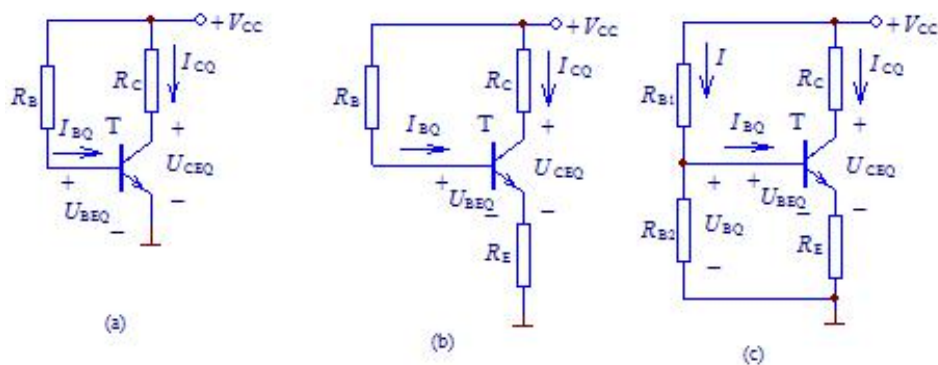


图 2.3 四种常用偏置电路

(a) 固定偏置($R_E=0$) (b) 固定偏置($R_E \neq 0$) (c) 分压反馈式偏置

(a) 固定偏置($R_E=0$): 电路如图 2.3(a)所示

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_B} \quad (2.4a)$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} \quad (2.4b)$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C \quad (2.4c)$$

(b) 固定偏置($R_E \neq 0$): 电路如图 2.3(b)所示

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_B + (1 + \beta) R_E} \quad (2.5a)$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} \quad (2.5b)$$

$$U_{CEQ} \approx V_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E) \quad (2.5c)$$

(c) 分压反馈式偏置: 电路如图 2.3 (c)所示, 当 $I \gg I_{BQ}$ 时

$$U_{BQ} \approx \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{CC} \quad (2.6a)$$

$$I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_E} \quad (2.6b)$$

$$U_{CEQ} \approx V_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E) \quad (2.6c)$$

2) 三种基本放大电路的动态计算

a. 共射极放大电路 (放大电路及其微变等效电路如图 2.4 所示)

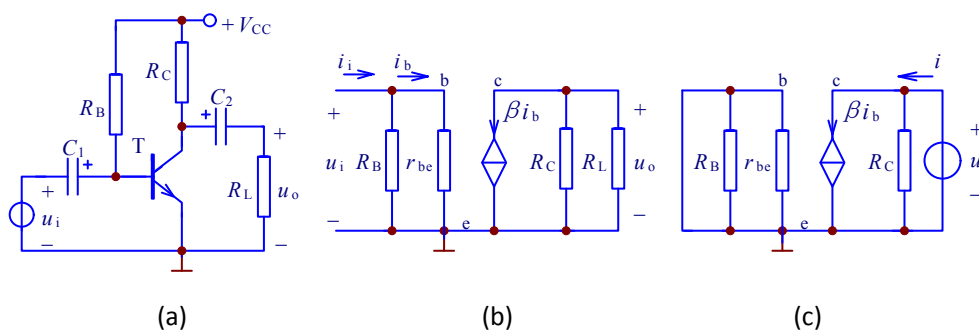


图 2.4 共射极放大电路的动态分析

(a) 固定偏置共射极放大电路 (b) 微变等效电路 (c) 求 R_o 的等效电路

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be}} = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}} \quad (2.7a)$$

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = R_B // r_{be} \approx r_{be} \quad (2.7b)$$

$$R_o = \frac{U}{I} \bigg|_{\substack{U_i=0 \\ R_L=\infty}} = R_C \quad (2.7c)$$

b. 共集电极放大电路(放大电路及其微变等效电路如图 2.5 所示)

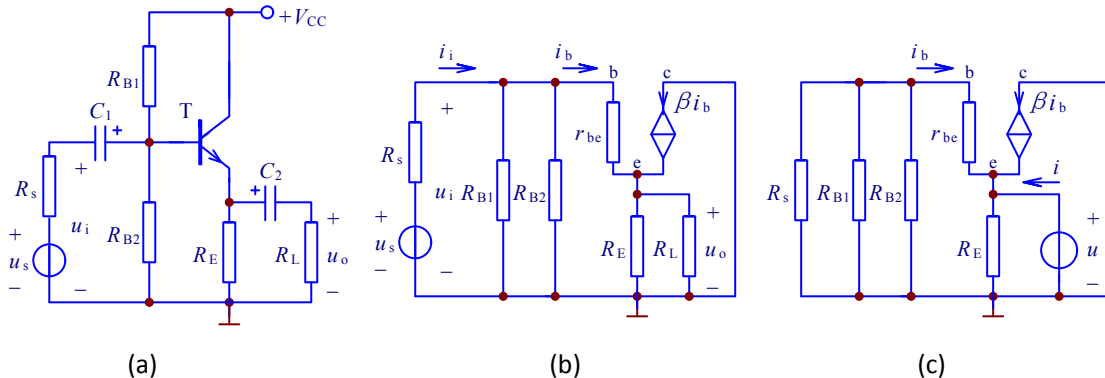


图 2.5 共集电极放大电路的动态分析

(a) 共集电极放大电路 (b) 微变等效电路 (c) 求 R_o 的等效电路

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{(1+\beta)(R_E // R_L)}{r_{be} + (1+\beta)(R_E // R_L)} = \frac{(1+\beta)R'_L}{r_{be} + (1+\beta)R'_L} \quad (2.8a)$$

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (1+\beta)R'_L] \quad (2.8b)$$

$$R_o = \frac{U}{I} \bigg|_{\substack{U_i=0 \\ R_L=\infty}} = R_E // \frac{(R_s // R_{B1} // R_{B2}) + r_{be}}{1+\beta} \quad (2.8c)$$

c. 共基极放大电路(放大电路及其微变等效电路如图 2.6 所示)

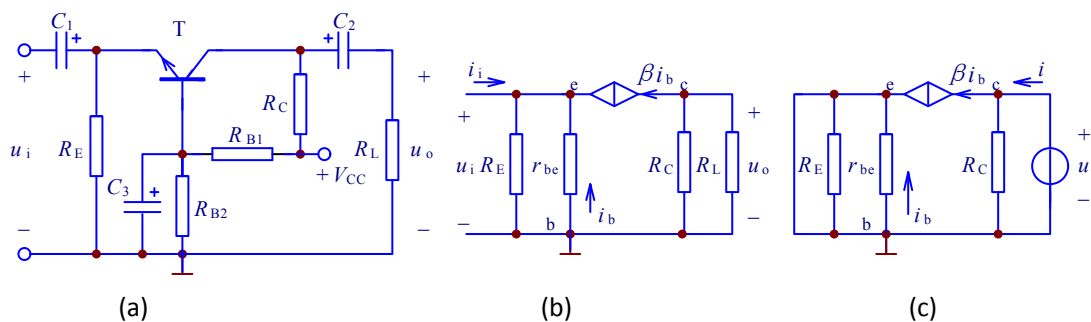


图 2.6 共基极放大电路的动态分析

(a) 共基极放大电路 (b) 微变等效电路 (c) 求 R_o 的等效电路

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be}} = \frac{\beta R'_L}{r_{be}} \quad (2.9a)$$

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = R_E // \frac{r_{be}}{1 + \beta} \quad (2.9b)$$

$$R_o = \frac{U}{I} \bigg|_{\substack{U_i=0 \\ R_L=\infty}} = R_C \quad (2.9c)$$

表 2.3 是晶体管基本放大电路类型及参数计算图。

表 2.3 晶体管基本放大电路的类型及其参数计算

	基本电路	微变等效电路	静态参数	动态参数
固定偏置放大电路			$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B}$ $I_C = \beta I_B$ $U_{CE} = U_{CC} - R_C I_C$	$A_u = -\frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be}}$ $R_i = R_B // r_{be} \approx r_{be}$ $R_o = R_C$
共集电极放大电路			$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E}$ $I_E = (1 + \beta)I_B$ $U_{CE} = U_{CC} - R_E I_E$	$A_u = \frac{(1 + \beta)(R_E // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)(R_E // R_L)} \approx 1$ $R_i = R_B // [r_{be} + (1 + \beta)R_E // R_L]$ $R_o = R_E // \frac{(R_S // R_B) + r_{be}}{1 + \beta}$
共基极放大电路			$V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{CC}$ $I_C \approx I_E = \frac{V_B - U_{BE}}{R_E}$ $U_{CE} = U_{CC} - (R_C + R_E)I_C$	$A_u = \frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be}}$ $R_i = R_E // \frac{r_{be}}{1 + \beta}$ $R_o = R_C$

分压式偏置放大电路			$V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{CC}$ $I_C \approx I_E = \frac{V_B - U_{BE}}{R_E}$ $U_{CE} = U_{CC} - (R_C + R_E) I_C$	$A_u = -\frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_{E1}}$ $R_i = R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (1 + \beta)R_{E1}]$ $R_o = R_C$
-----------	--	--	--	--

3. 多级放大电路计算

设多级放大电路由 n 级基本放大电路组成。

$$A_u = A_{u1} A_{u2} \dots A_{un} \quad (2.10a)$$

$$R_i = R_{i1} \quad (2.10b)$$

$$R_o = R_{on} \quad (2.10c)$$

4. 只考虑一个电容影响时的频率特性计算

1. f_L 计算：当放大电路在低频区工作，并只考虑一个电容影响时，首先将所考虑的电容所在回路经过等效后，等效成图 2.7(a)所示的一阶高通电路。则

$$f_L = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.11)$$

2. f_H 计算：当放大电路在高频区工作，并只考虑一个电容影响时，首先将所考虑的电容所在回路经过等效后，等效成图 2.7(b)所示的一阶低通电路。则

$$f_H = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.12)$$

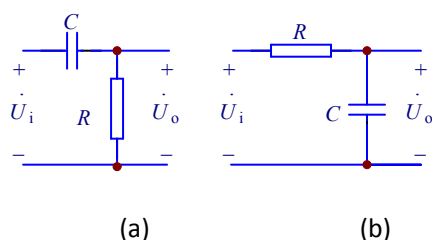


图 2.7 一阶高通电路和低通电路

(a) 一阶高通电路 (b) 一阶低通电路

学习中注意的问题

1. 放大器件特性—非线性

晶体管是非线性器件，若 Q 点设置不合理或输入信号幅度过大，动态时工作点将进入饱和区和截止区产生饱和失真、或进入截止区产生截止失真。饱和失真和截止失真统称为非线性失真，它使输出波形畸变，甚至出现输出波形的顶部或底部被削平。

2. 放大信号基本条件—不失真

放大电路的基本功能是将输入的小信号不失真地放大到负载所需要的数值。以此，一定要注意输出信号不得产生失真现象。失真包括线性失真（幅度失真和相位失真）和非线性失真（饱和失真和截止失真）。

3. 信号特点—交直流共存

放大电路中的电压及电流信号一般既有直流成分又有交流成分，信号将在交流通路和直流通路分别进行分析和计算。

在直流通路中，大电容（耦合电容和旁路电容）可以视为开路，直流通路用于分析电路

的静态工作点；而在交流通路中，大电容（耦合电容和旁路电容）容抗小可以视为短路。交流通路用于分析信号的交流成分，求得放大电路的 A_u 、 R_i 及 R_o 等动态指标。

4. 微变等效电路使用条件—小信号

晶体管是非线性器件，当输入信号比较小时，可以用近似的线性电路（微变等效电路）替代非线性的晶体管。但当输入信号幅度较大时，只能采用图解法分析电路。

5. 旁路电容 C_E 的作用—隔直通交

采用图 2.3 (c) 中分压式偏置的共射极或者共基极放大电路，其射极电阻 R_E 的旁边会有一个电容 C_E 。静态时，电容 C_E 视为开路，直流电流 I_E 通过电阻 R_E 形成负反馈的作用，从而稳定电路的静态工作点；动态时，交流电流 i_e 流过电容 C_E ，电容 C_E 容抗小可视为短路，则射极电位交流接地。所以，一定注意放大电路有无旁路电容 C_E ，因为电路的交流通路不同则计算的动态参数会有差异。

本章小结

1. 三极管在结构上由两个 PN 结组成，它有放大、截止、饱和三种工作状态。当发射结处于正向偏置，集电结处于反向偏置时，三极管工作在放大状态，此时集电极电流 I_C 受基极电流 I_B 的控制，即 $I_C \approx \beta I_B$ ；当发射结和集电结都处于反向偏置时，三极管工作在截止状态，此时 $I_C \approx 0$ ，集电极和发射极之间相当于开路；当发射结和集电结均处于正向偏置时，三极管工作在饱和状态，此时 $U_{CE} \approx 0$ ，集电极和发射极之间相当于短路， I_C 不再受 I_B 控制，而是由外电路来决定。三极管按结构分为 NPN 型和 PNP 型，两者使用时偏置电源的极性和三极管内电流方向相反。在三极管中，空穴和电子两种载流子都参与了导电，是双极型器件，在这种双极型器件中，由于少数载流子数目受温度影响较大，其参数往往受温度影响较大，稳定性差。

2. 为了对信号进行不失真地放大，必须为放大电路设置合适的静态工作点以使三极管工作在放大区。如果静态工作点设置的过高或过低，将有可能引起输出信号发生饱和或截止失真。

3. 放大电路的分析包括静态和动态两个方面。静态分析可以采用图解法和估算法，动态分析也可以采用图解法和微变等效电路法，图解法形象、直观地反映了电路参数对静态工作点的影响以及非线性失真与静态工作点的关系。但图解法作图麻烦费时，无法用来分析放大电路的某些动态指标，如输入和输出电阻，对于较复杂的反馈放大电路也无法用图解法分析。所以一般用图解法分析放大电路处于大信号工作状态下的非线性失真和动态工作范围。直流估算法和交流微变等效电路法采用电路分析的方法对放大电路的直流和交流小信号工作状态进行分析，是分析放大电路的主要方法。用微变等效电路法分析放大电路的动态性能指标简单方便，其缺点是不能分析大信号状态下的放大电路。

4. 三极管的参数易受温度影响，当环境温度变化时会引起静态工作点的改变，所以在实际中常采用具有稳定静态工作点作用的分压式偏置放大电路。

5. 在低频电子线路中，放大电路常采用共发射极和共集电极两种形式。共发射极放大电路的电压放大倍数大，但输入电阻小，输出电阻大。共集电极放大电路的输入电阻大，输出电阻小，但没有电压放大能力。在实际电路中，常将这两种电路组合应用，以发挥它们各自的优势。共基极放大电路的特点是输入电阻小，分布电容和三极管结电容对电压放大倍数的影响较小，因而有较好的高频特性，所以主要用于高频放大电路。

6. 多级放大电路的级间耦合方式有直接耦合、阻容耦合和变压器耦合三种形式。变压器耦合方式目前已很少采用，直接耦合方式各级静态工作点互相有影响，存在零点漂移现象，阻容耦合方式各级静态工作点互相没有影响。多级放大电路总的电压放大倍数是各级电压放大倍数之积，但计算时要考虑后级对前级的负载效应。

7. 放大电路的频率特性包括放大电路的幅频特性和相频特性。反映放大电路频率特性的

性能指标是放大电路的频带宽度 f_{bw} 。当放大电路放大非正弦波信号且不产生非线性失真时，因为放大电路对不同频率的信号有不同放大倍数引起的波形失真称为幅度失真；因为放大电路对不同频率的信号产生的相移不同而引起的波形失真称为相位失真。它们统称为频率失真，也称为线性失真。影响放大电路频率特性的主要是电路存在电抗元件，即耦合电容、旁路电容、结电容、负载电容和分布电容等。不同的电容对放大电路的影响不同，需要分别讨论中频区、低频区和高频区的频率特性。影响放大电路下限截止频率的主要是旁路电容，而影响电路上限截止频率的是结电容或负载电容。

思考题

1. 晶体管的结构是怎样的？晶体管的四种工作状态是什么？为什么晶体管会完成电流放大作用？
2. 共射极放大电路的组成有什么特点？信号是如何被放大的？
3. 什么是放大电路的静态和动态？静态分析应采用哪种电路？而动态分析需要借助哪种电路？
4. 什么是非线性失真？包括哪两种类型？如何克服非线性失真？
5. 共射极放大电路的特性及主要动态指标如何计算？
6. 共集电极放大电路和共基极放大电路的特性是什么？如何计算动态指标？
7. 多级放大电路耦合方式有哪几种？各自有哪些特点？如何计算多级放大电路的静态和动态指标？
8. 什么是频率失真？与放大电路的非线性失真有区别吗？放大电路的上限截止频率与下限截止频率都受电路哪些参数影响？