



第三章 高频谐振放大器

- 3.1 高频小信号放大器
- 3.2 高频功率放大器的原理与特性
- 3.3 高频功率放大器的实际线路



3.2 高频功率放大器的原理和特性

一、概述

1. **作用**：不失真地放大高频信号，且以高效输出大功率。
主要应用于无线电发射机

因为能量或功率是不能放大的，高频信号的功率放大，其**实质**是在输入高频信号的控制下，将**电源直流功率转换成交流输出功率（高频功率）**。即电流供给集电极以直流功率，当输入信号电流加到晶体管的基极时，由于晶体管电流控制作用，很小的基极电流变化就可能引起很大的集电极电流的变化，这样在负载上就得到一个大的输出功率。

因此除要求高频功率放大器除了产生符合要求的高频功率外，还应要求具有**高的转换效率**

2. **分类**：

（1）宽带功放：效率不高，适用于中小功率

（2）谐振功放：高效大功率，频带窄



3. 与低频功放的异同：

(1) 都要求高效输出大功率

(2) 工作频率和相对频率宽度不同：

低频功放工作频率低，相对频带宽，因此不能采用调谐负载，只能用电阻、变压器等非调谐负载

高频功放工作频率很高，相对频带窄，一般采用选频网络作为负载。也称**谐振功率放大器**。

4. 谐振功放的特点：

(1) 以调谐回路做负载，完成**滤波和阻抗变换**

(2) 工作在C类，以高效输出大功率

(3) 工作在大信号状态：线性放大区和截至区



电路要求：

- (1) 要求工作在C类状态，要求基极偏置电压 E_b 为负值，使晶体管工作在截止区。
- (2) 激励信号为大信号，要求 $U_b \geq 0.5\text{V}$
- (3) 负载为谐振回路

晶体管工作在截止和导通两种状态下，基极电流 i_b 和集电极电流 i_c 都是高频脉冲。 i_c 除了含有有用基波分量外，还有谐波分量和其他频率成份，因此用谐振回路选出有用分量，滤除无用的频率分量。

采用部分接入，使谐振回路呈现出高频功放所要求的最佳负载阻抗值，即匹配。使高频功放高效输出大功率。

二、工作原理

1. 基本线路

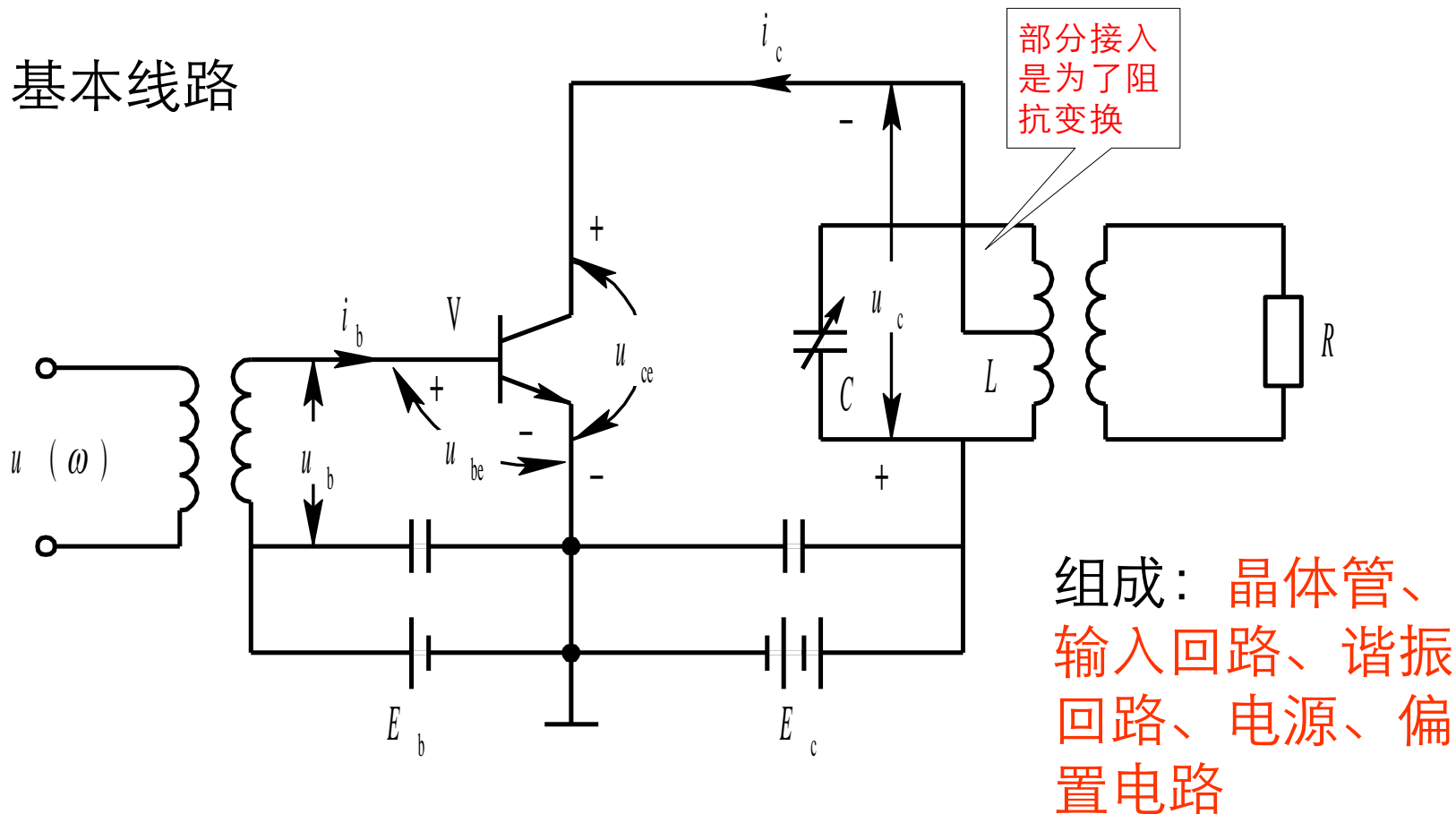


图 3—12 晶体管高频功率放大器的原理线路

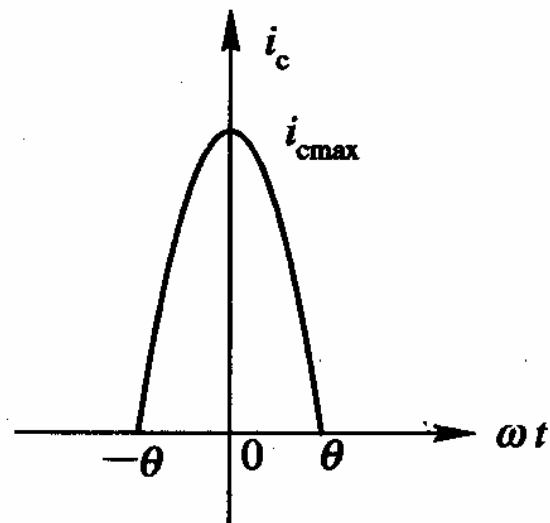
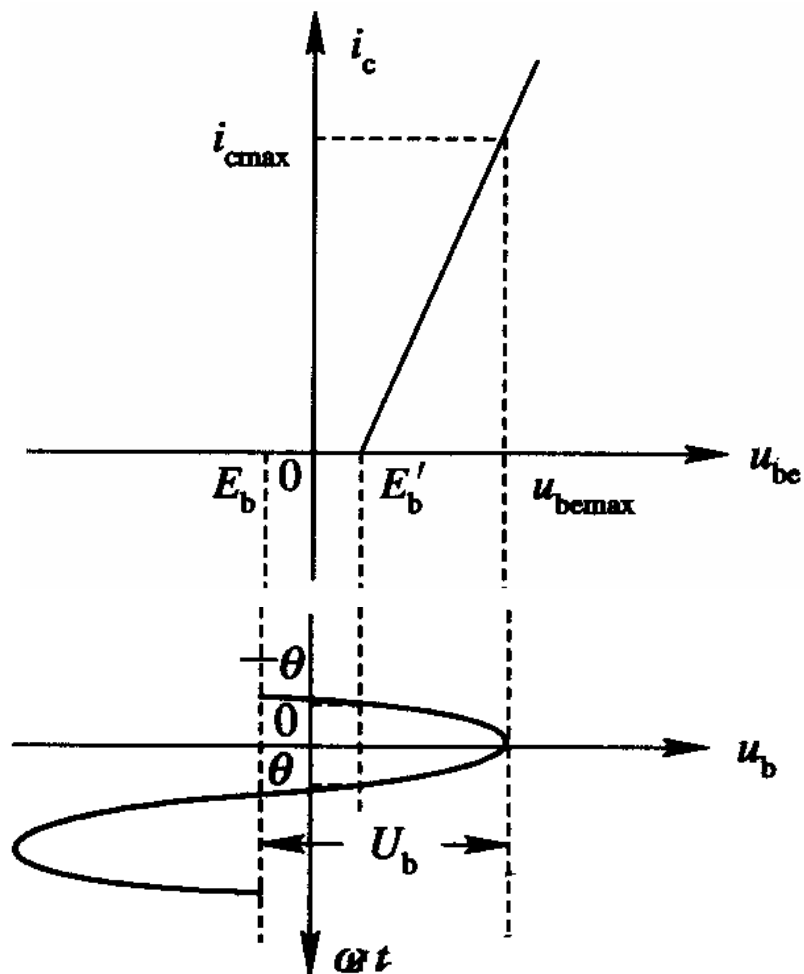


2. 电流、电压波形

设输入信号为： $u_b = U_b \cos \omega t$

由图3-12有： $u_{be} = E_b + U_b \cos \omega t$ (3-17)

则 U_{be} 的波形为：



由晶体管的转移特性可获得 i_c 的波形

由于输入为大信号，当管子导通时，主要工作在线性区，因此转移特性进行了折线化的近似。



由图可看出，波形有如下特点：

(1) 基极偏置可能为负，若无激励信号，则晶体管截止；

(2) U_b 很大， $U_b > 0.5V$ ；

(3) 晶体管处于开关状态：
$$\begin{cases} U_{be} \geq E_b' & ; i_c \neq 0 \\ U_{be} < E_b' & ; i_c = 0 \end{cases}$$

因此 i_c 是一周期性的余旋脉冲

定义：通角——一个周期内电流导通角度的一半，用 θ 表示

周期性脉冲可以分解成直流、基波（信号频率分量）和各次谐波分量，即对 i_c 进行傅氏级数展开有：



$$i_c = I_{co} + I_{c1} \cos \omega t + \cdots I_{cn} \cos n\omega t + \cdots \quad (3-18)$$

$$I_{co} = i_{c\max} \frac{\sin \theta - \theta \cos \theta}{\pi(1 - \cos \theta)} = i_{c\max} a_0(\theta)$$

直流分
解系数

$$I_{c1} = i_{c\max} \frac{\theta - \sin \theta \cos \theta}{\pi(1 - \cos \theta)} = i_{c\max} a_1(\theta)$$

基波分
解系数

$$I_{cn} = i_{c\max} \frac{2 \sin n\theta \cos \theta - 2n \sin \theta \cos n\theta}{n\pi(n^2 - 1)(1 - \cos \theta \cos \theta)} = i_{c\max} a_n(\theta) \quad (n > 1)$$

n 次谐波
分解系数

分解系数的数值参见附录。



3. 回路滤波作用

为了得到不失真的输出，采用 LC 并联谐振回路对 i_c 进行滤波，取出基波分量，滤除直流和谐波分量。

因为谐振回路的谐振频率为激励信号的频率，它对 i_c 基波分量呈现出大的谐振电阻，而对于谐振频率相差较大的直流和谐波分量呈现出很小的阻抗，因而输出很小，几乎为 0。

此时回路的输出电压为：

$$u_o = u_c = I_{c1} R_L \cos(\omega t) = U_c \cos(\omega t)$$

则集电极电压为：
$$u_{ce} = E_c - u_o = E_c - U_c \cos(\omega t)$$



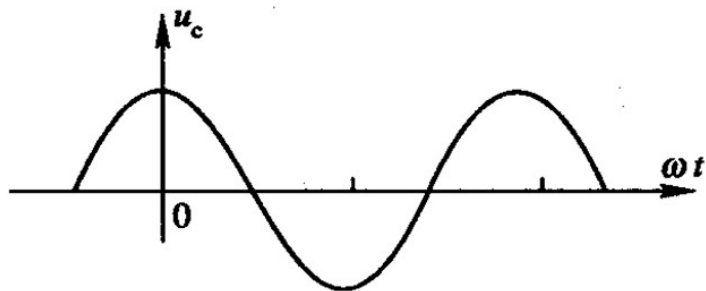
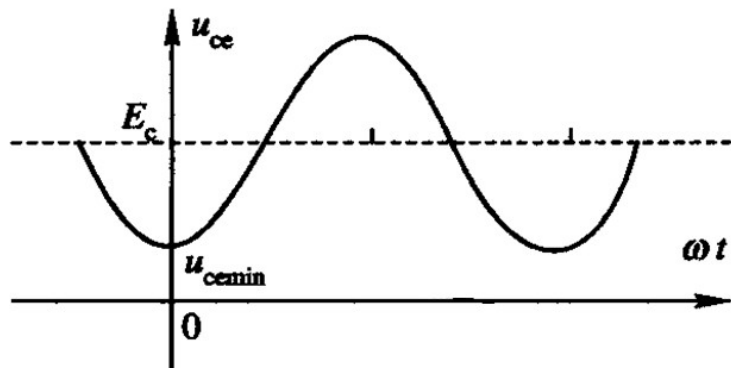
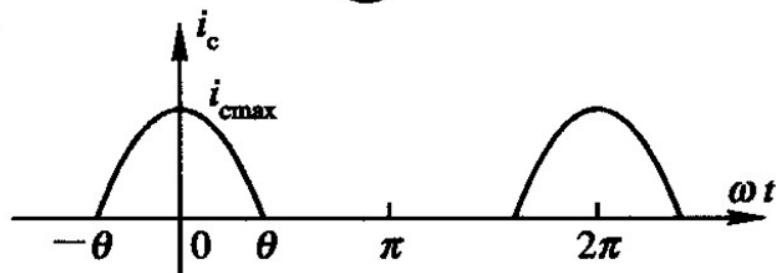
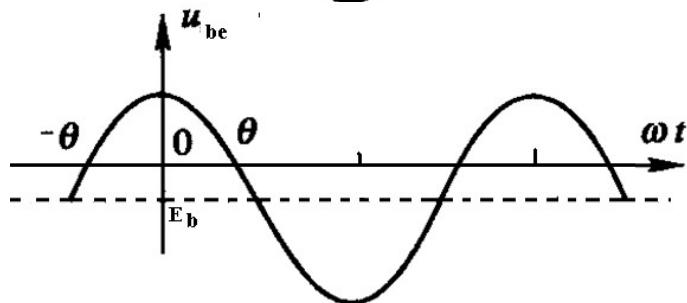
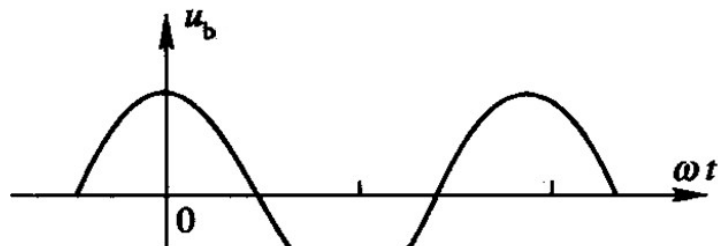
电流电压波形图：

$$u_b = U_b \cos(\omega t)$$

$$u_{be} = E_b + U_b \cos(\omega t)$$

$$i_c = I_{C0} + I_{c1} \cos(\omega t) + \dots$$

$$\begin{aligned} u_{ce} &= E_c - U_c \cos(\omega t) \\ &= E_c - I_{c1} R_L \cos(\omega t) \end{aligned}$$





由图可知：

(1) u_{ce} 中的交流分量与 u_c 反向；

(2) $\omega t=0$ 时， I_{cmax} ， U_{cemin} ， U_{bemax} 同时出现，因此，当集电极电压 U_{ce} 最大时，电流 I_c 为 0，所以集电极管耗功率减小，这正好 c 类放大器效率高的原因。



4、高频功放的能量关系

(1) 输出功率 P_1 ——谐振回路得到的高频功率（高频一周的平均功率）：

$$P_1 = \frac{1}{2} I_{c1} U_c = \frac{1}{2} I_{c1}^2 R_L = \frac{1}{2} \frac{U_c^2}{R_L} \quad (3-22)$$

(2) 集电极电源供给的直流输入功率 P_0 为：

$$P_0 = I_{c0} E_c \quad (3-23)$$

(3) 管耗功率——直流输入功率与集电极输出高频功率之差：

$$P_c = P_0 - P_1 \quad (3-24)$$



(4) 集电极效率 η

$$\eta = \frac{P_1}{P_0} = \frac{1}{2} \frac{I_{c1}}{I_{c0}} \frac{U_c}{E_c} = \frac{1}{2} \gamma \xi \quad (3-25)$$

其中 $\gamma = \frac{I_{c1}}{I_{c0}} = \frac{\alpha_1(\theta)}{\alpha_0(\theta)}$ 为波形系数;

$\xi = \frac{U_c}{E_c}$ 为集电极电压利用系数。

η 的物理意义: 说明直流功率转换成交流功率的能力。

由 (3-24、3-25) 有
$$P_1 = \frac{P_c}{\frac{1}{\eta} - 1} \quad (3-26)$$

晶体管允许的损耗功率 P_c 一定时, 效率 η 越高, 输出功率 P_1 越大。



(5) **激励功率**——基极电路中，信号源供给的功率

设基波电流振幅为 I_{b1} ，且与 U_b 同相，则激励功率为：

$$P_d = \frac{1}{2} I_{b1} U_b \quad (3-27)$$

(6) **功率放大倍数**

$$K_p = \frac{P_1}{P_d} \quad (3-28)$$

$$K_p = 10 \lg \frac{P_1}{P_d} (dB) \quad (3-29)$$



5. 提高效率的途径:

(1) 提高电压利用系数 ξ 。

$\xi = \frac{U_c}{E_c} \rightarrow$ 提高 U_c ，可通过提高回路谐振阻抗 R_L 来实现。

(2) 提高波形系数 γ

图3-15给出了波形系数、各次谐波分解系数与通角的关系曲线，由图可知：

$$\theta \square\square \quad \gamma \square\square \quad \eta \square$$

但是 θ 太小, $\alpha_1(\theta) \square$ ，输出功率下降，通常 θ 选 $65^\circ \sim 75^\circ$



根据导通角划分晶体管工作类别：

☐ A: $\theta = 180^\circ$ $\gamma = 1$ $\eta \approx 50\%$

☐ B: $\theta = 90^\circ$ $\gamma = 1.57$ $\eta \approx 78.5\%$

☐ C: $\theta < 90^\circ$ 可达 $\gamma > 1.57$ $\eta \approx 90\%$

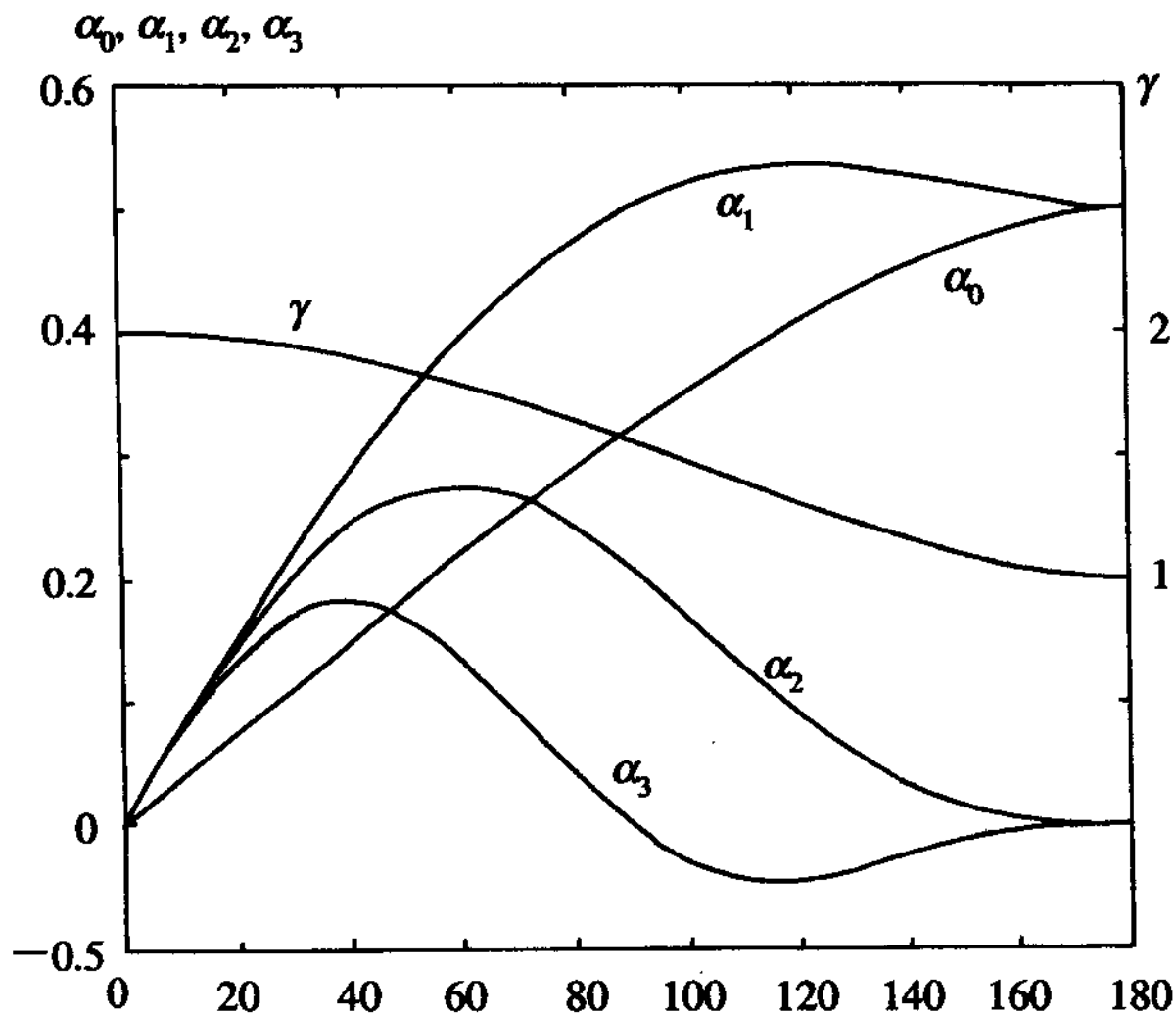


图 3-15 γ 、 $\alpha_0(\theta)$ 、 $\alpha_1(\theta)$ 、 $\alpha_2(\theta)$ 、 $\alpha_3(\theta)$ 与 θ 的关系