

CEC

Ch05

高频功率放大器

High Frequency Power/Class C Amplifiers

2025年4月24日

学而不厌 诲人不倦



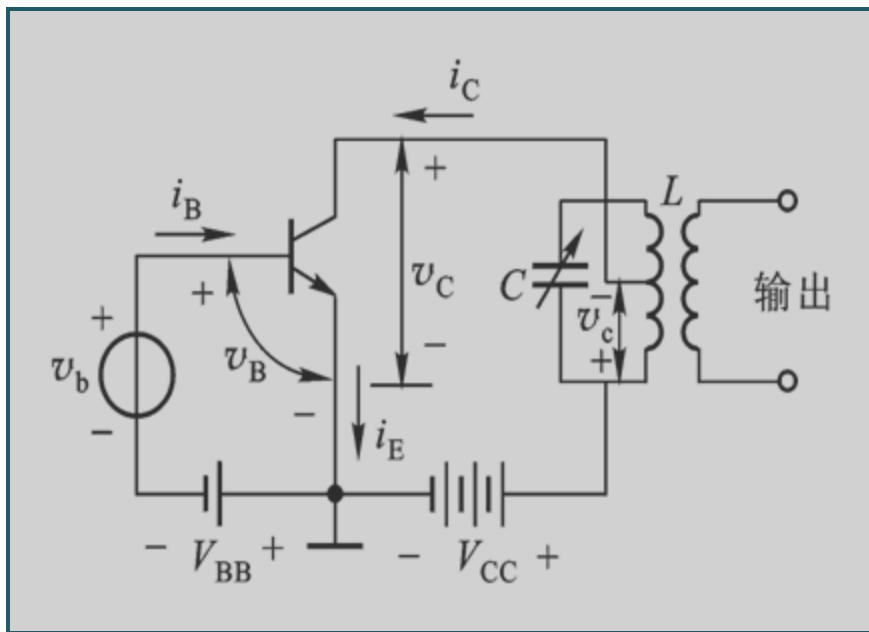
Chapter 5 高频功率放大器

- ➡ §5.1 概述
- ➡ §5.2 谐振功率放大器的工作原理
- ➡ **§5.3 晶体管谐振功率放大器的折线近似分析法**
- ➡ §5.4 晶体管功率放大器的高频特性
- ➡ §5.5 高频功率放大器的电路组成
- ➡ §5.6 丁类(D类)功率放大器
- ➡ §5.7 戊类(E类)功率放大器
- ➡ §5.8 宽带高频功率放大器
- ➡ §5.9 功率合成器
- ➡ §5.10 晶体管倍频器概述

5.3 谐振功放的折线近似分析法

➤ 3. 高频谐振功放的动态特性

— 集电极效率 η_c 和输出功率 P_o 是否能最佳实现最终取决于功放中外部电路参数 R_p 和电压 V_{BB} 、 V_{bm} 、 V_{CC} 。



$$I_{cm1} = i_{Cmax} \alpha_1(\theta_c)$$

$$\cos \theta_c = \frac{|V_{BB}| + V_{BZ}}{V_{bm}}$$

$$V_{cm} = I_{cm1} R_p$$

因此，下面分析四个参数 R_p 和电压 V_{CC} 、 V_{BB} 、 V_{bm} 的变化对工作状态的影响，即谐振功放的动态特性。



5.3 谐振功放的折线近似分析法

➤ 3. 高频谐振功放的**动态特性**

— 动特性是指当加上激励信号及接上负载阻抗时, 晶体管集电极电流 i_c 与集电极电压(v_{be} 或 v_{ce})的关系曲线, 它在 $i_c \sim v_{ce}$ 或 $i_c \sim v_{be}$ 坐标系统中是一条曲线, 反映的是功放的工作点在激励作用下的变化曲线。

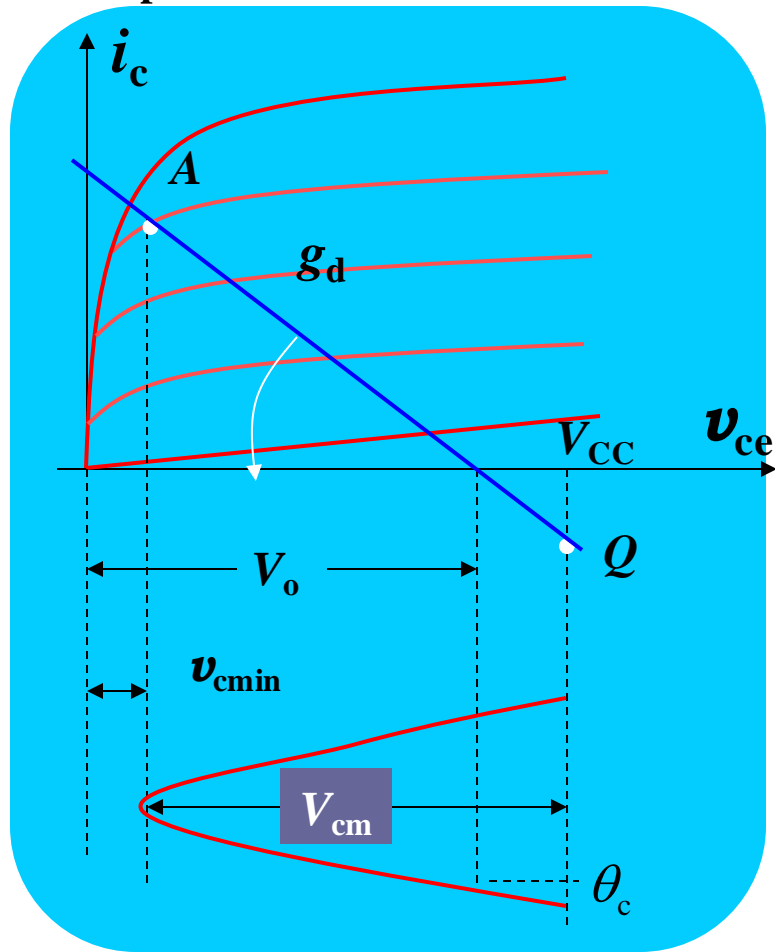
— 在高频功放中, 其动特性一般不是直线。

— **动特性的具体作法:** 根据 $v_{BE} = v_b - V_{BB} = V_{bm} \cos \omega t - V_{BB}$
和 $v_{CE} = V_{CC} - v_c = V_{CC} - V_{cm} \cos \omega t$ 逐点(以 ωt 为变量)由 v_{BE}
 v_{CE} 从晶体管输出特性上找出 i_C , 并连成线即为动特性。

5.3 谐振功放的折线近似分析法

➤ 3. 高频谐振功放的动态特性

下面通过折线近似分析法定性分析其动态特性，首先，建立由 R_p 和 V_{CC} 、 V_{BB} 、 V_{bm} 所表示的输出动态负载曲线。



$$v_{CE} = V_{CC} - V_{cm} \cos \omega t$$

$$i_c = g_c V_{bm} (\cos \omega t - \cos \theta_c)$$

$$\cos \theta_c = \frac{|V_{BB}| + V_{BZ}}{V_{bm}}$$

$$i_c = -g_c \left(\frac{V_{bm}}{V_{cm}} \right) [v_{CE} - (V_{CC} - V_{cm} \cos \theta_c)]$$

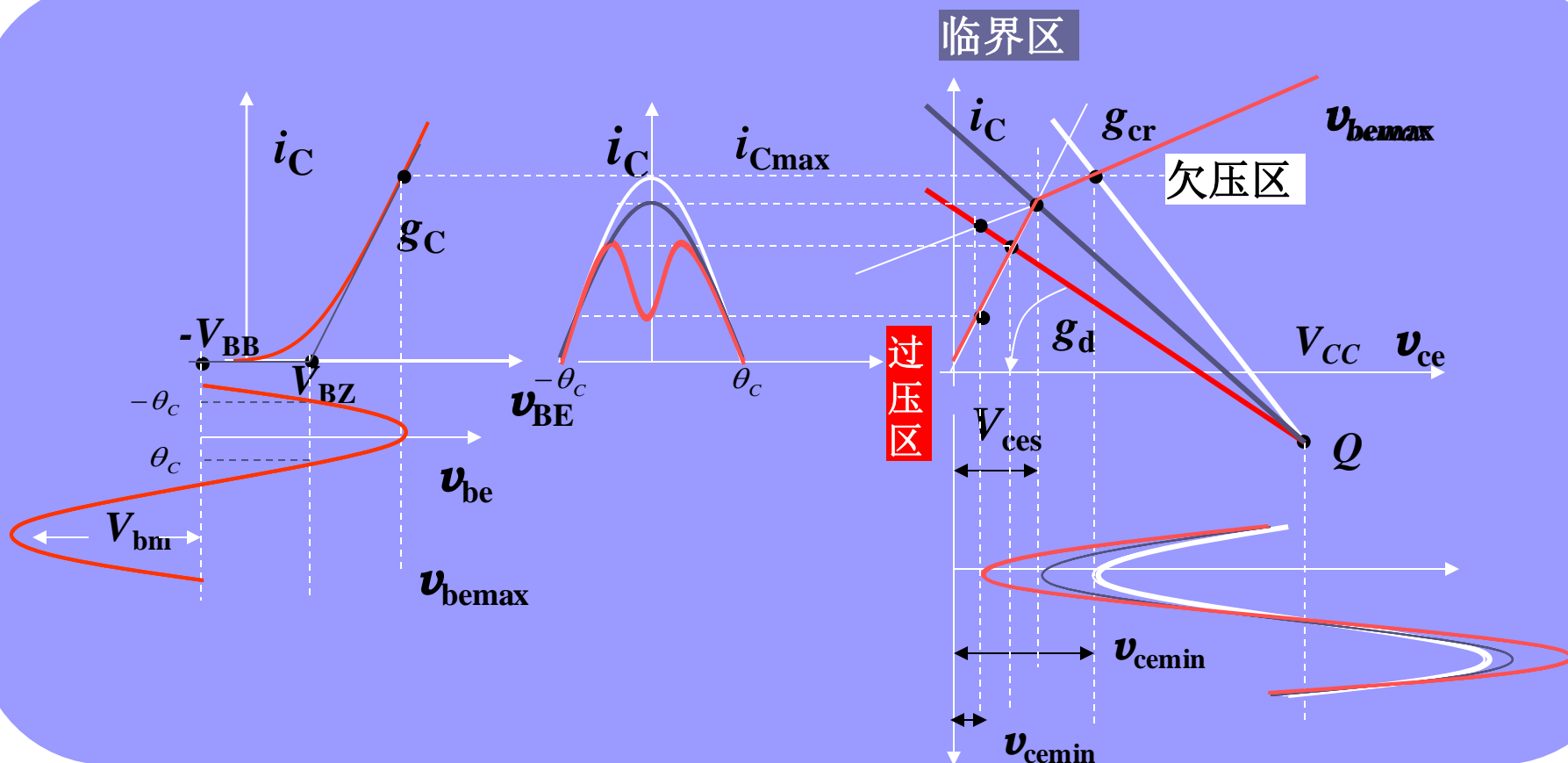
$$= g_d (v_{CE} - V_0) \quad V_{cm} = I_{cml} R_p$$

$$g_d = -g_c \frac{V_{bm}}{V_{cm}}; \quad V_0 = V_{CC} - V_{cm} \cos \theta_c$$

5.3 谐振功放的折线近似分析法

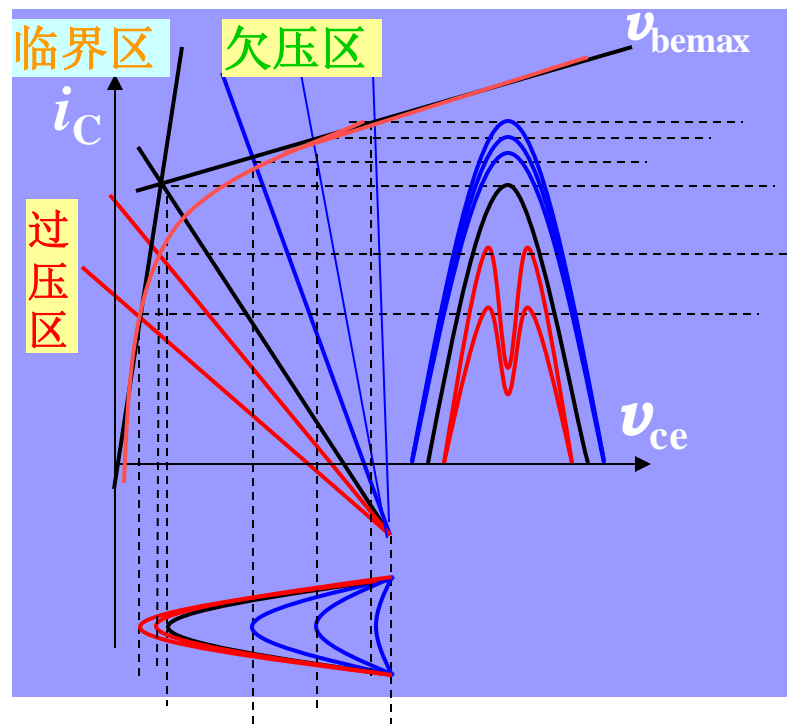
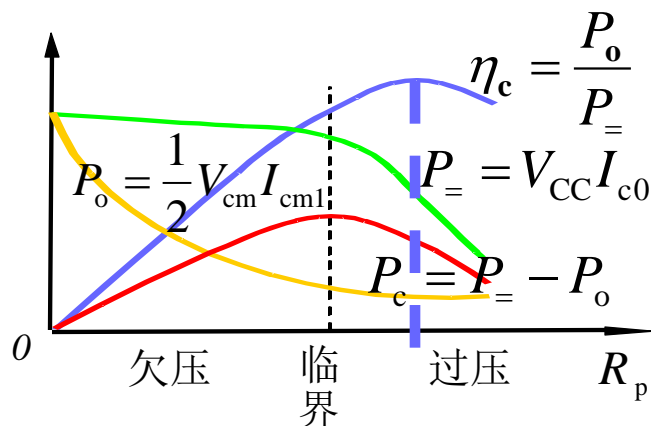
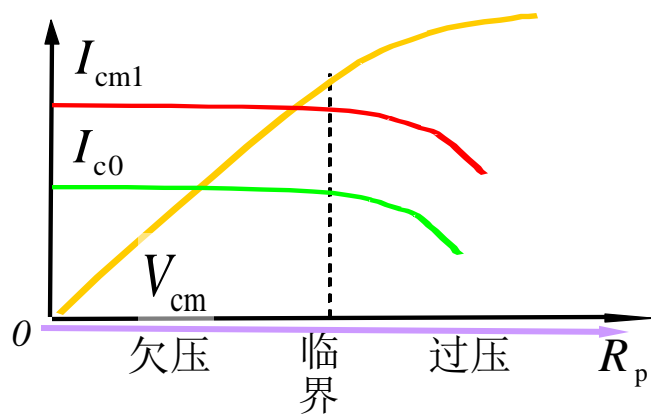
➤ 4. 高频谐振功放的负载特性

当 V_{CC} 、 V_{BB} 、 V_{bm} 不变时，动态特性曲线与负载 R_P 的关系。



5.3 谐振功放的折线近似分析法

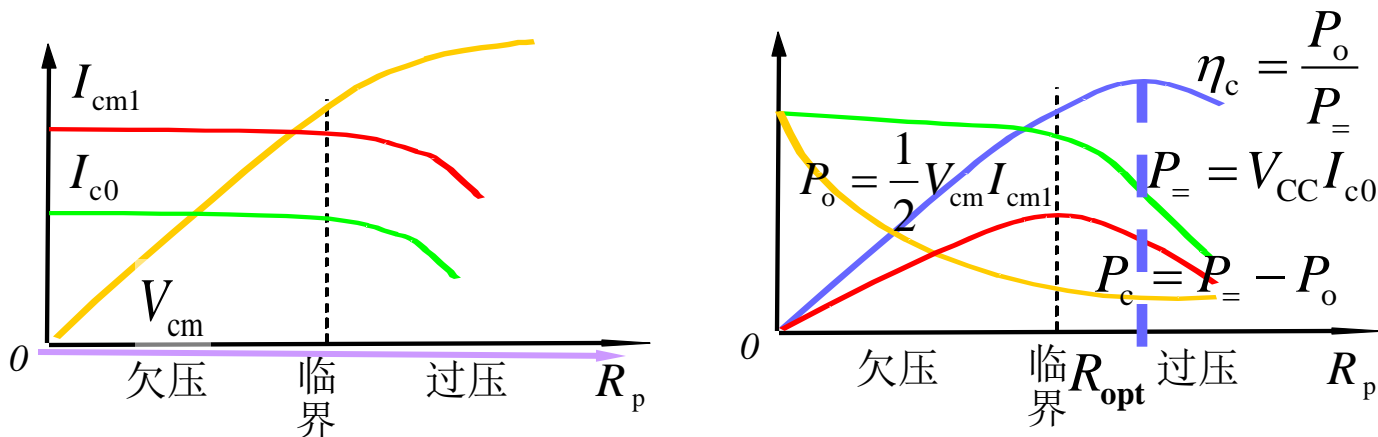
➤ 4. 高频谐振功放的负载特性



$$\eta_c = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_{cm}}{V_{CC}} \cdot \frac{I_{cm1}}{I_{c0}} = \frac{1}{2} \xi g_1(\theta_c)$$

5.3 谐振功放的折线近似分析法

➤ 4. 高频谐振功放的负载特性



结论：

图6.3.7 负载特性曲线

欠压、过压、临界三种工作状态的特点：

欠压：恒流， V_{cm} 变化， P_o 较小， η_c 低， P_c 较大；

过压：恒压， I_{cm1} 变化， P_o 较小， η_c 可达最高； 中间放大级

临界： P_o 最大， η_c 较高； 发射机末级

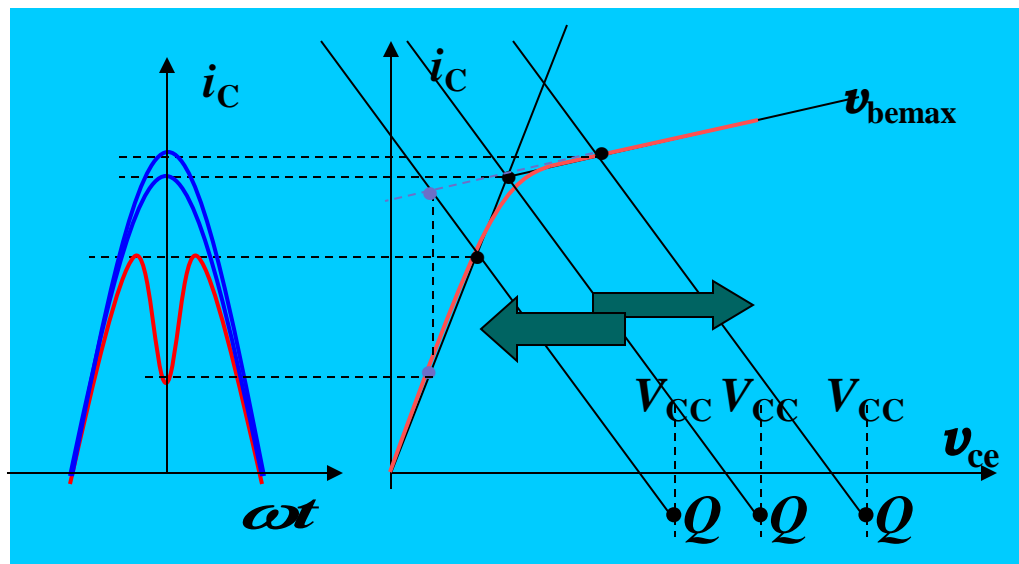
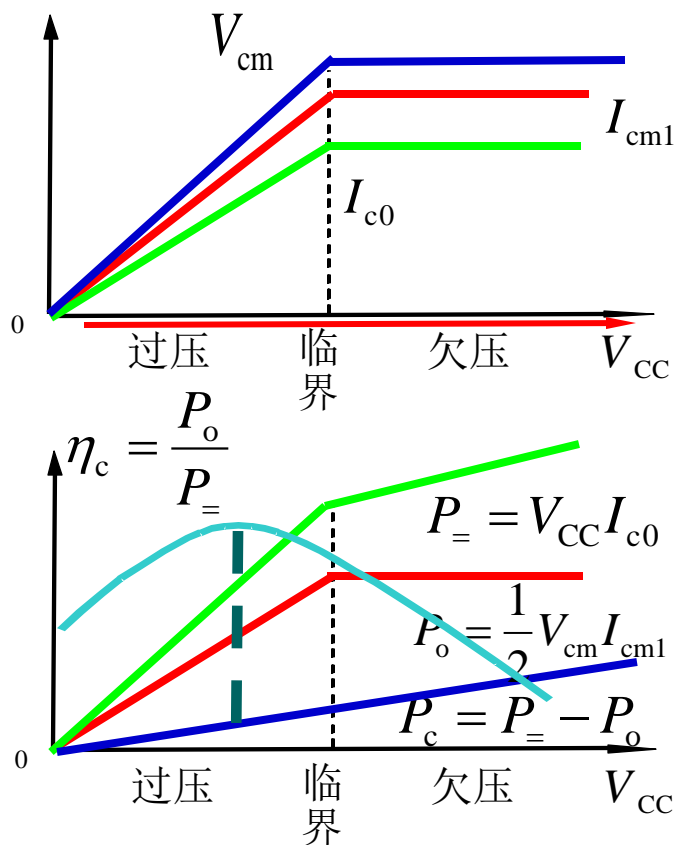
最佳工作状态

5.3 谐振功放的折线近似分析法

➤ 5. 改变 V_{CC} 对工作状态的影响

$$V_0 = V_{CC} - V_{cm} \cos \theta_c$$

当 V_{bm} 、 V_{BB} 、 R_P 不变时，动态特性曲线与 V_{CC} 的关系。



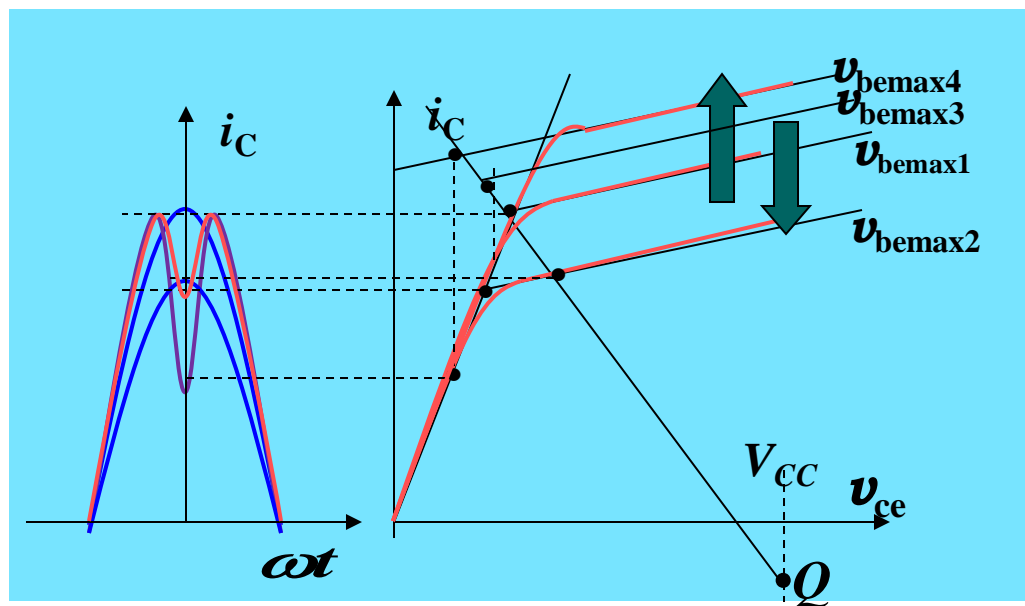
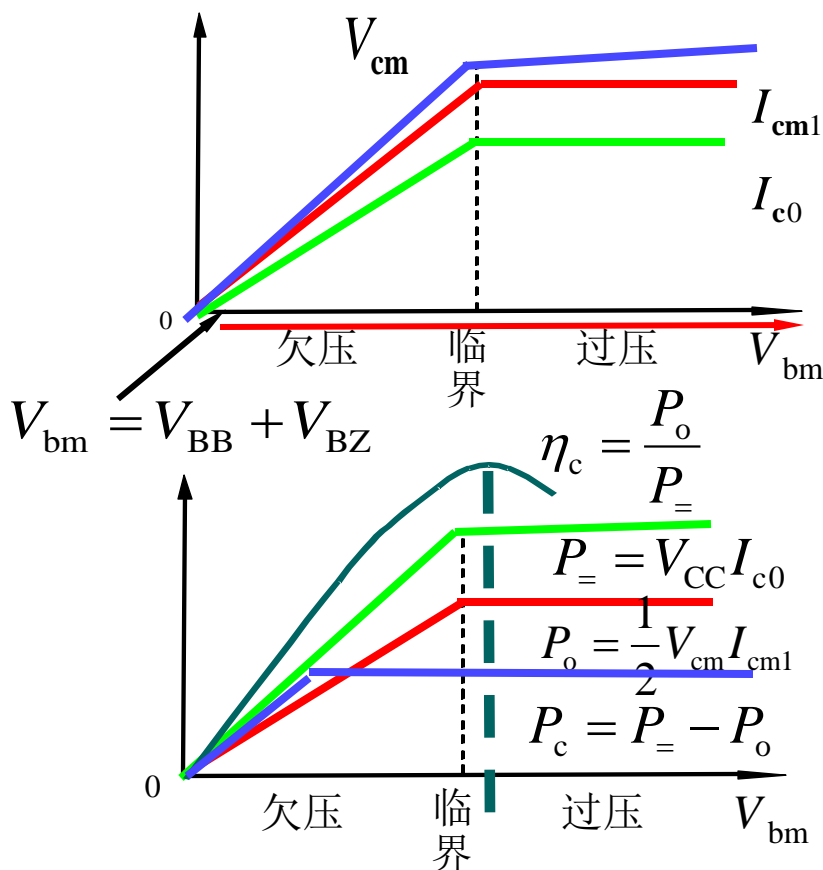
集电极调幅作用是通过改变 V_{CC} 来改变 I_{c1} 与 P_o 才能实现的，因此，必须工作于过压区。

5.3 谐振功放的折线近似分析法

➤ 6. 改变 V_{bm} 对工作状态的影响

$$v_{BE} = -V_{BB} + V_{bm} \cos \omega t$$

当 V_{CC} 、 V_{BB} 、 R_P 不变时，动态特性曲线与 V_{bm} 的关系。

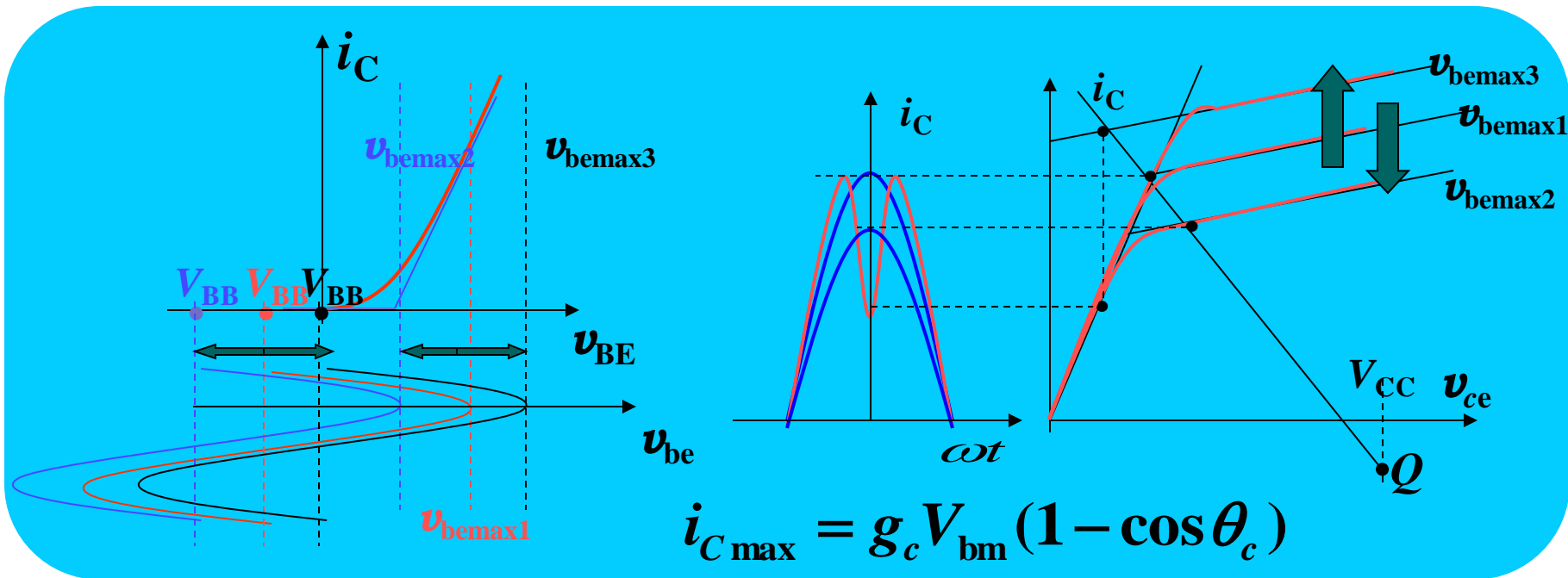


$$i_{C\max} = g_c V_{bm} (1 - \cos \theta_c)$$

5.3 谐振功放的折线近似分析法

➤ 7. 改变 V_{BB} 对工作状态的影响 $v_{BE} = -V_{BB} + V_{bm} \cos \omega t$

当 V_{CC} 、 V_{bm} 、 R_p 不变时，动态特性曲线与 V_{BB} 的关系。



V_{BB} 绝对值增加等效于减少 V_{bm} ，两者都会使 v_{bemax} 产生相同变化

基极调幅作用是通过改变 V_{BB} 来改变 I_{cm1} 与 P_o 才能实现的，因此，必须工作于欠压区。



5.3 谐振功放的折线近似分析法

例5.3.1 有一个用硅NPN外延平面型高频功率管3DA1做成的谐振功率放大器，设已知 $V_{CC}=24V$ ， $P_o=2W$ ，工作频率 $=1MHz$ 。试求它的能量关系。由晶体管手册已知其有关参数为 $f_T \geq 70MHz$ ， A_p （功率增益） $\geq 13dB$ ， $I_{Cmax}=750mA$ ， $V_{CE(sat)}$ （集电极饱和压降） $\geq 1.5V$ ， $P_{CM}=1W$ 。

解： 1) 由前面的讨论已知，工作状态最好选用临界状态。作为工程近似估算，可以认为此时集电极最小瞬时电压

$$v_{Cmin} = v_{CE(sat)} = 1.5V$$

$$V_{cm} = V_{CC} - v_{Cmin} = 24 - 1.5V = 22.5V$$

$$2) \quad R_p = \frac{V_{cm}^2}{2P_o} = \frac{(22.5)^2}{2 \times 2} \Omega = 126.5\Omega$$

$$I_{cm1} = \frac{V_{cm}}{R_p} = \frac{22.5}{126.5} A = 0.178A = 178mA$$



5.3 谐振功放的折线近似分析法

解： 3) 选 $\theta_c = 70^\circ$, $\alpha_0(\theta_c) = 0.253$ $\alpha_1(\theta_c) = 0.436$

$$4) i_{C_{\max}} = \frac{I_{cm1}}{\alpha_1(\theta_c)} = \frac{178}{0.436} \text{mA} = 408 \text{mA} < 750 \text{mA}$$

未超过电流安全工作范围。

$$5) I_{cm0} = i_{C_{\max}} \alpha_0(\theta_c) = 408 \times 0.253 \text{mA} = 103 \text{mA}$$

$$6) P_- = V_{CC} \cdot I_{c0} = 24 \times 103 \times 10^{-3} \text{W} = 2.472 \text{W}$$

$$7) P_c = P_- - P_o = (2.472 - 2) \text{W} = 0.472 \text{W} < P_{CM} (1 \text{W})$$

$$8) \eta_c = \frac{P_o}{P_-} = \frac{2}{2.472} = 81\%$$

$$9) P_i = \frac{P_o}{\lg^{-1}\left(\frac{A_p}{10}\right)} = \frac{2}{\lg^{-1}(1.3)} = \frac{2}{20} \text{W} = 0.1 \text{W}$$

本章小结

1. 掌握**甲乙丙类功率放大器**的特点，**丙类功放**的特点和优点；
2. **谐振功率放大器电路基本结构及其工作原理**，基极反偏，导通角，谐振回路。
3. **谐振功放获得高效率的条件**，需要借助于集电极余弦脉冲的分解。**谐振功放的功率关系**；
4. **谐振功放的动特性，动特性曲线做法**，以及欠压、临界、过压三种状态的特点。

谐振功放的**负载特性**：改变 R_p ；

谐振功放的**调制特性**：改变 V_{CC} 和 V_{BB} ；

谐振功放的**放大特性**：改变 V_{bm} ；

5. 谐振功放工作状态的**近似估算**。



Thank You !

Q & A