

第3章 高频调谐功率放大器

3.1 概述

3.2 调谐功率放大器的工作原理

3.3 功率和效率

3.4 调谐功率放大器的工作状态分析

3.5 调谐功率放大器的实用电路

3.6 功率晶体管的高频效应

3.7 倍频器

3.8 集成高频功率放大电路及应用简介

3.4 调谐功率放大器的工作状态分析

3.4.1 调谐功率放大器的动态特性

晶体管的静态特性，是指集电极电路没有负载阻抗条件下电压与电流的变化关系。当考虑了负载的反作用后，得到的 u_{ce} 、 u_{be} 与 i_c 的关系曲线称为动态特性（即实际放大器的工作特性）。

当放大器工作于谐振状态时，外部特性方程

$$\left. \begin{aligned} u_{be} &= -E_b + U_{bm} \cos \omega t \\ u_{ce} &= E_c - U_{cm} \cos \omega t \end{aligned} \right\} \Rightarrow u_{be} = -E_b + U_{bm} \frac{E_c - u_{ce}}{U_{cm}}$$

在转移特性的放大区，内部特性方程

$$i_c = g(u_{be} - U_j)$$

动态特性应同时满足外部特性方程和内部特性方程。联立可得

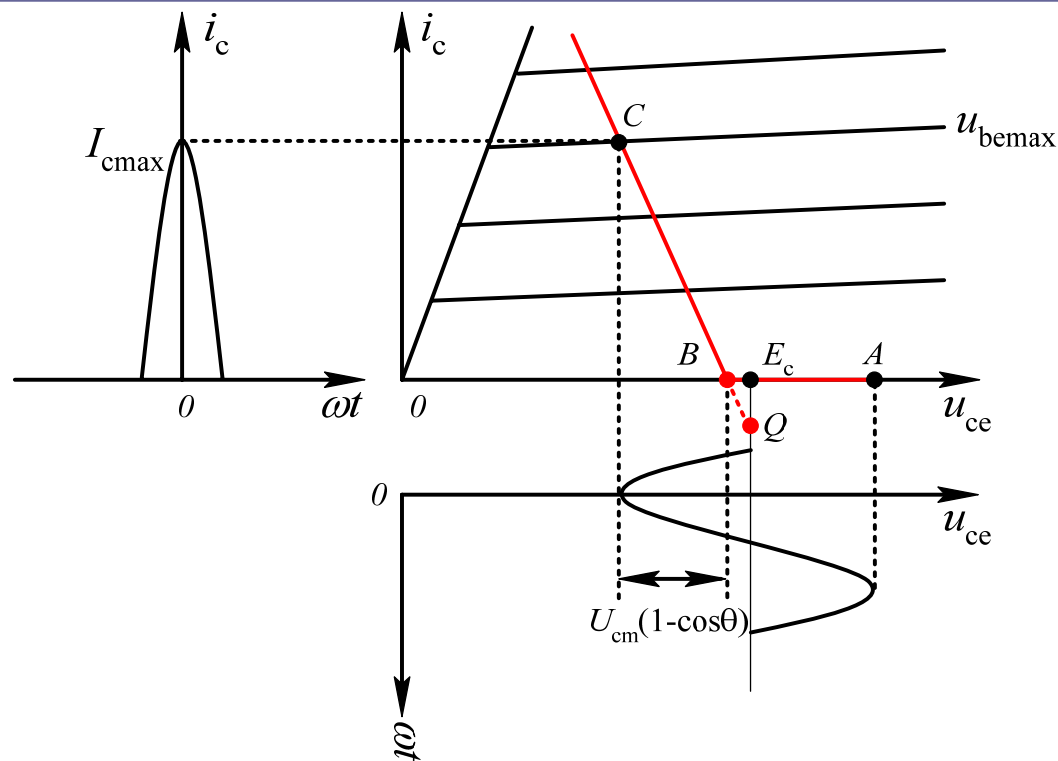
$$i_c = g(-E_b - U_j + U_{bm} \frac{E_c - u_{ce}}{U_{cm}})$$

谐振功率放大器动态特性的方程，它是一条直线，只需找出两个特殊点，就可把它绘出。

$$Q (E_c, -g(E_b + U_j))$$

$$B (E_c - U_{cm} \frac{U_j + E_b}{U_{bm}} = E_c - U_{cm} \cos \theta, 0)$$

作出动态特性曲线后，由它和静态特性曲线相应交点，即可求出对应各种不同 ωt 值的 i_c 值，绘出相应的 i_c 脉冲波形。



B: 起始导通点

Q: 假想点

$$\left. \begin{aligned} u_{be} &= -E_b + U_{bm} \cos \omega t \\ u_{ce} &= E_c - U_{cm} \cos \omega t \end{aligned} \right\} \text{令 } \omega t = 0$$

$$\begin{aligned} \text{C: } -E_b + U_{bm} &= U_{bemax} \\ E_c - U_{cm} &= U_{cemin} \end{aligned}$$

3. 4. 2调谐功率放大器的三种工作状态及其判别方法

1. 调谐功率放大器的三种工作状态

根据调谐功率放大器在工作时是否进入饱和区，可将放大器的工作状态分为欠压、过压和临界三种。

1) 欠压——晶体管在任何时刻都工作在放大状态；

2) 临界——刚刚进入饱和区的边缘；

3) 过压——晶体管工作时有部分时间进入饱和区。

2. 工作状态的判别方法

$$u_{\text{cemin}} = E_c - U_{\text{cm}}$$

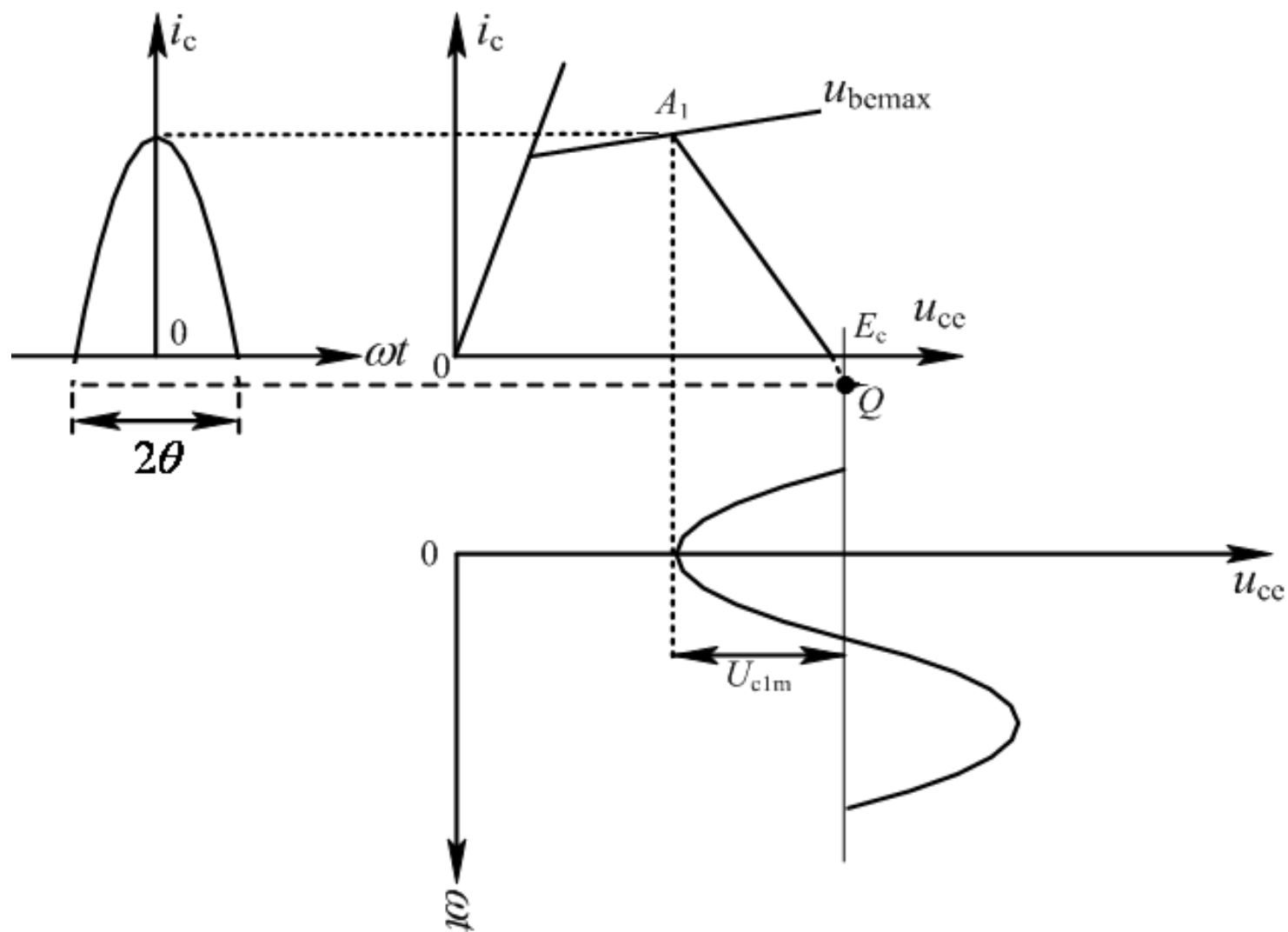
$$u_{\text{cemin}} > U_{\text{ces}} \text{ (欠压)} \quad u_{\text{cemin}} = U_{\text{ces}} \text{ (临界)} \quad u_{\text{cemin}} < U_{\text{ces}} \text{ (过压)}$$

3.4.3 R_c, E_c, E_b 和 U_{bm} 变化对放大器工作状态的影响

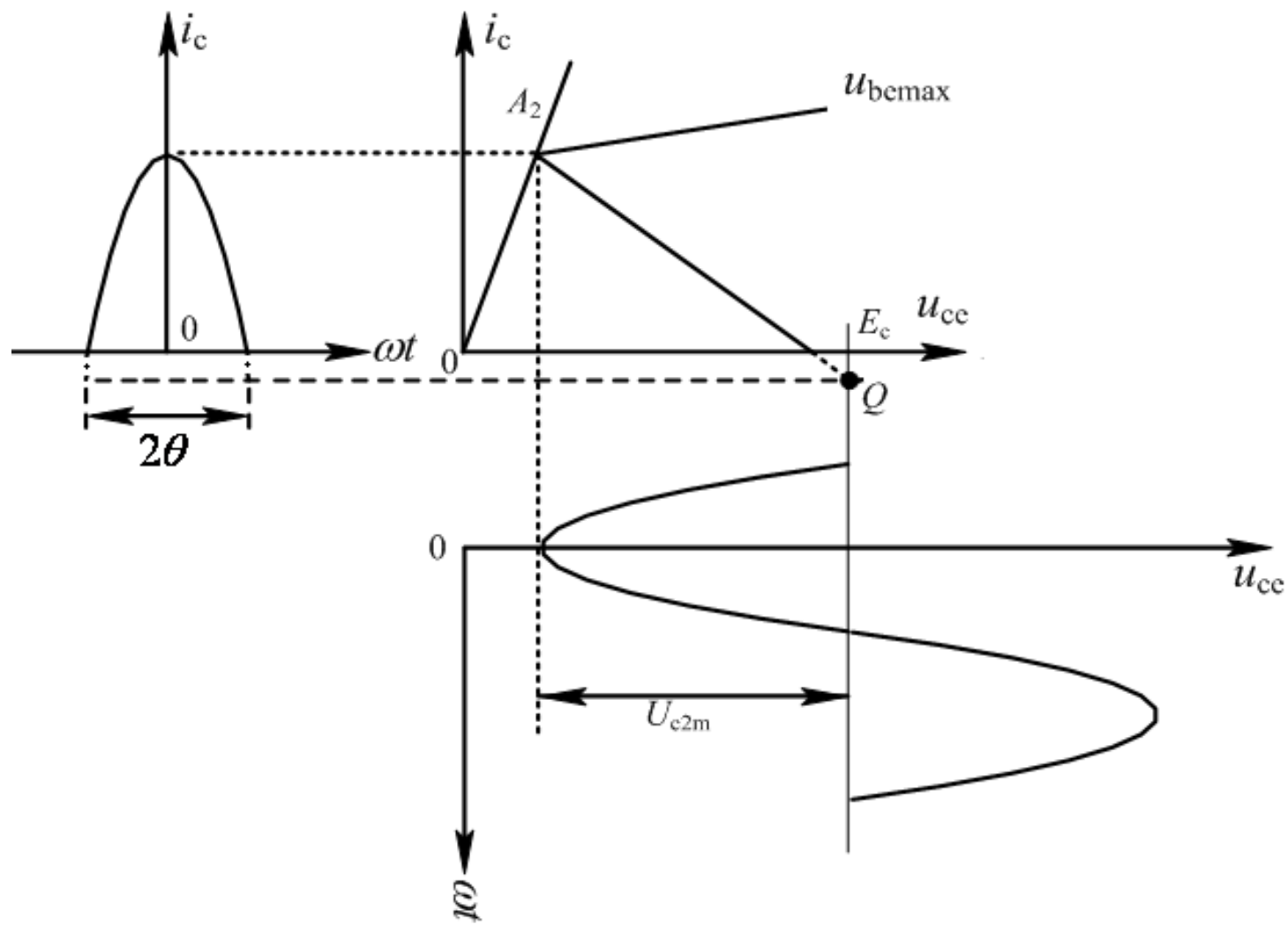
1. R_c 变化对放大器工作状态的影响——负载特性

负载特性是指谐振功率放大器当 E_c 、 E_b 和 U_{bm} 不变时，放大器中各个电流、电压、功率和效率与晶体管等效负载电阻 R_c 之间的变化关系。

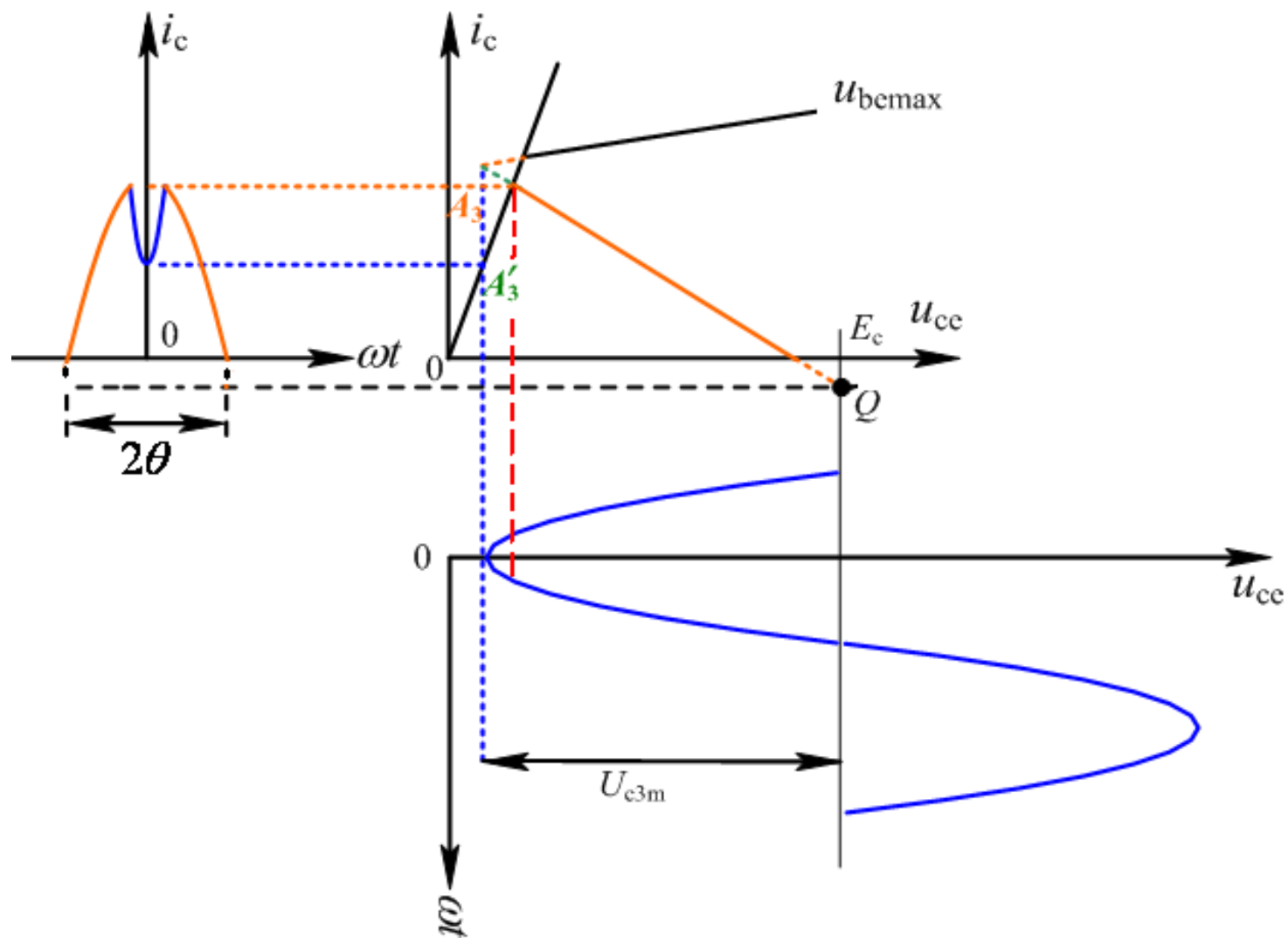
1) 欠压



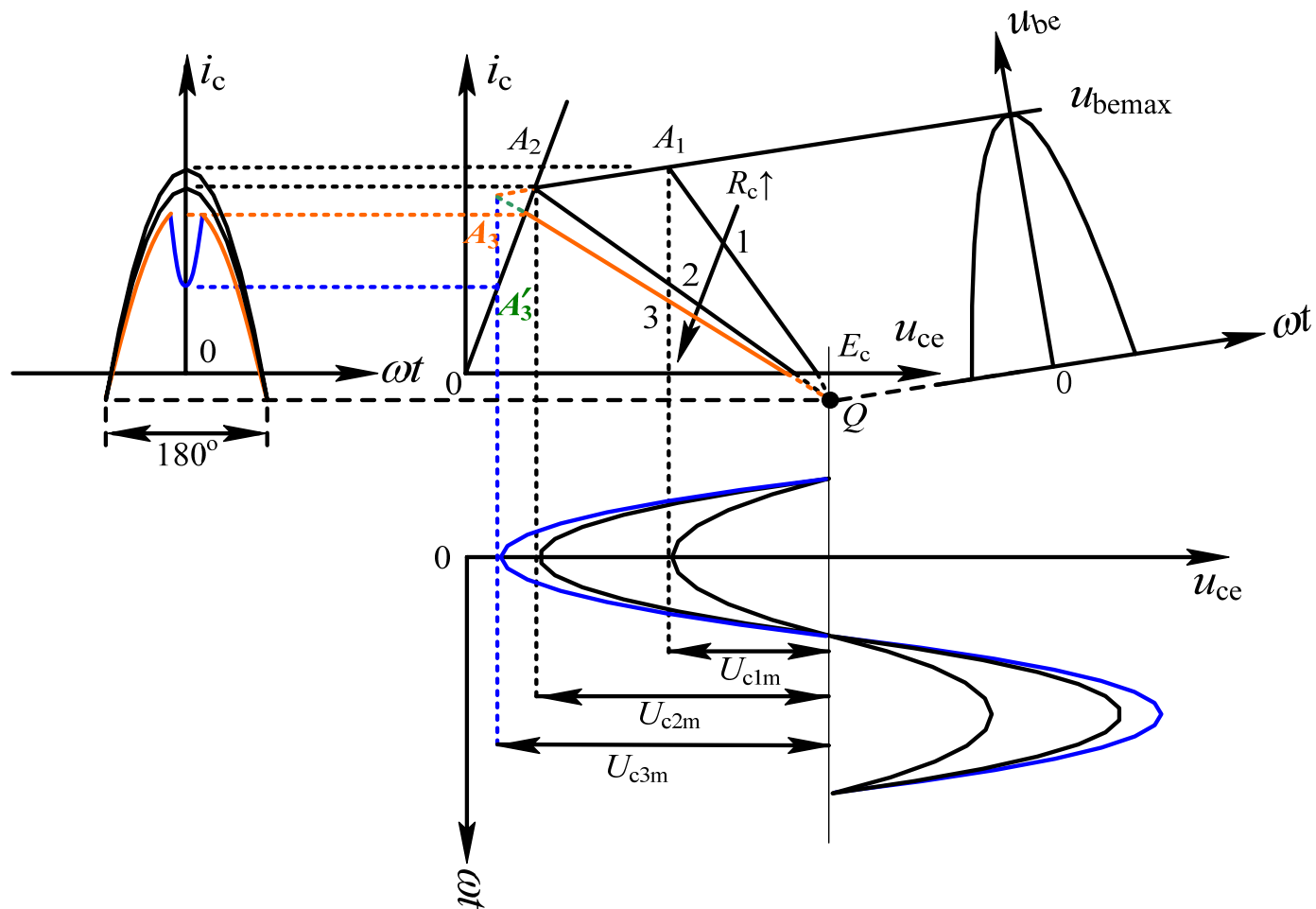
2) 临界



3) 过压



4) 比较



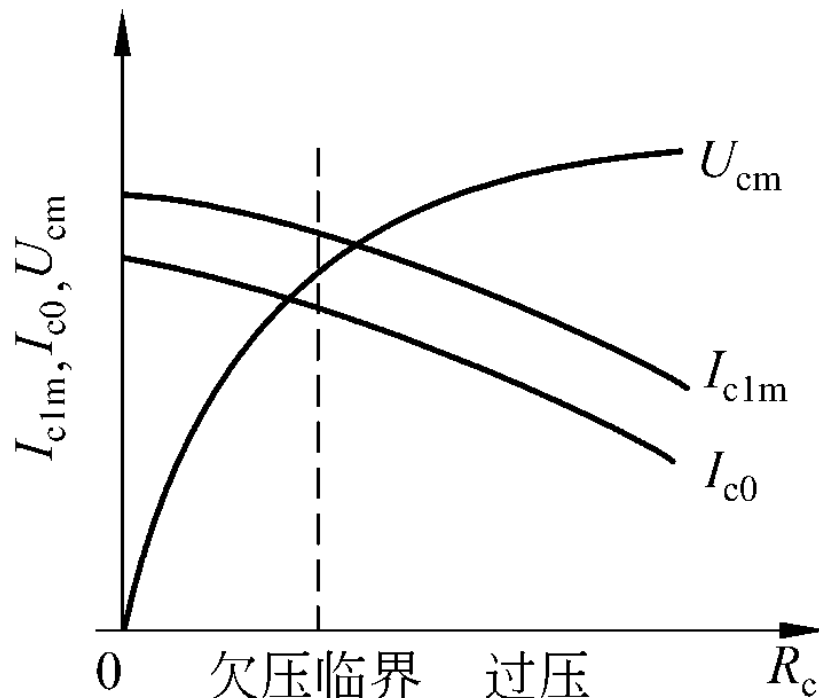
5) 电流、电压、功率、效率与 R_c 的关系

(1) 欠压状态

$$I_{c1m} \approx \text{constant}$$

$$U_{cm} = I_{c1m} R_c$$

U_{cm} 几乎随 R_c 成正比增加



(2) 过压状态

I_{c0} 、 I_{c1m} 急剧下降

$$U_{cm} \approx \text{constant}$$

(a)

5) 电流、电压、功率、效率与 R_c 的关系

(1) 欠压状态 ($I_{c1m} \approx \text{constant}$)

$$P_o = \frac{1}{2} I_{c1m}^2 R_c$$

输出功率 P_o 随 R_c 增大而增加

$$P_S = I_{c0} E_c \quad \text{接近常量}$$

$$\eta_c = \frac{P_o}{P_S} \quad \text{随} R_c \text{增大而增加}$$

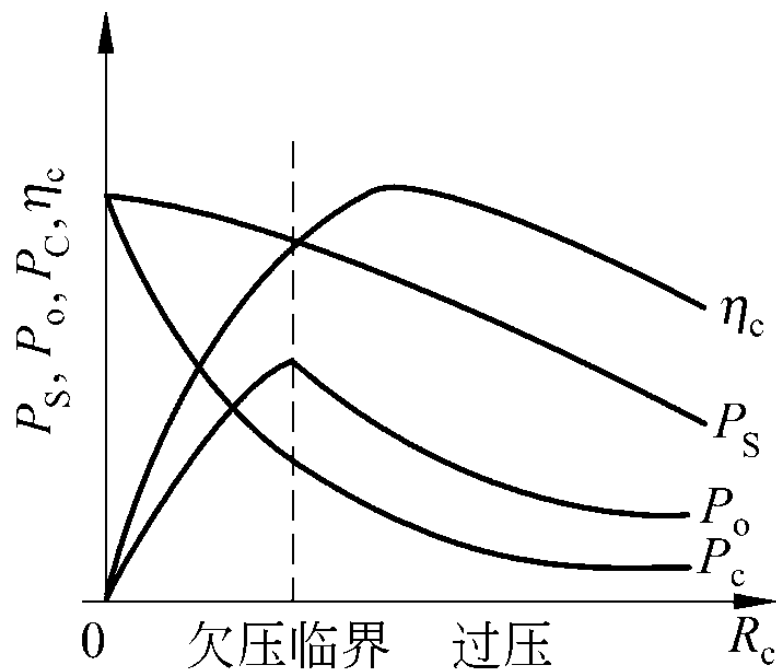
$$P_C = P_S - P_o \quad \text{随} R_c \text{增大而减小}$$

(2) 过压状态

$$P_o = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_{cm}^2}{R_c} \quad (U_{cm} \approx \text{constant})$$

输出功率 P_o 随 R_c 增大而减小。

在临界状态 P_o 最大。



(b)

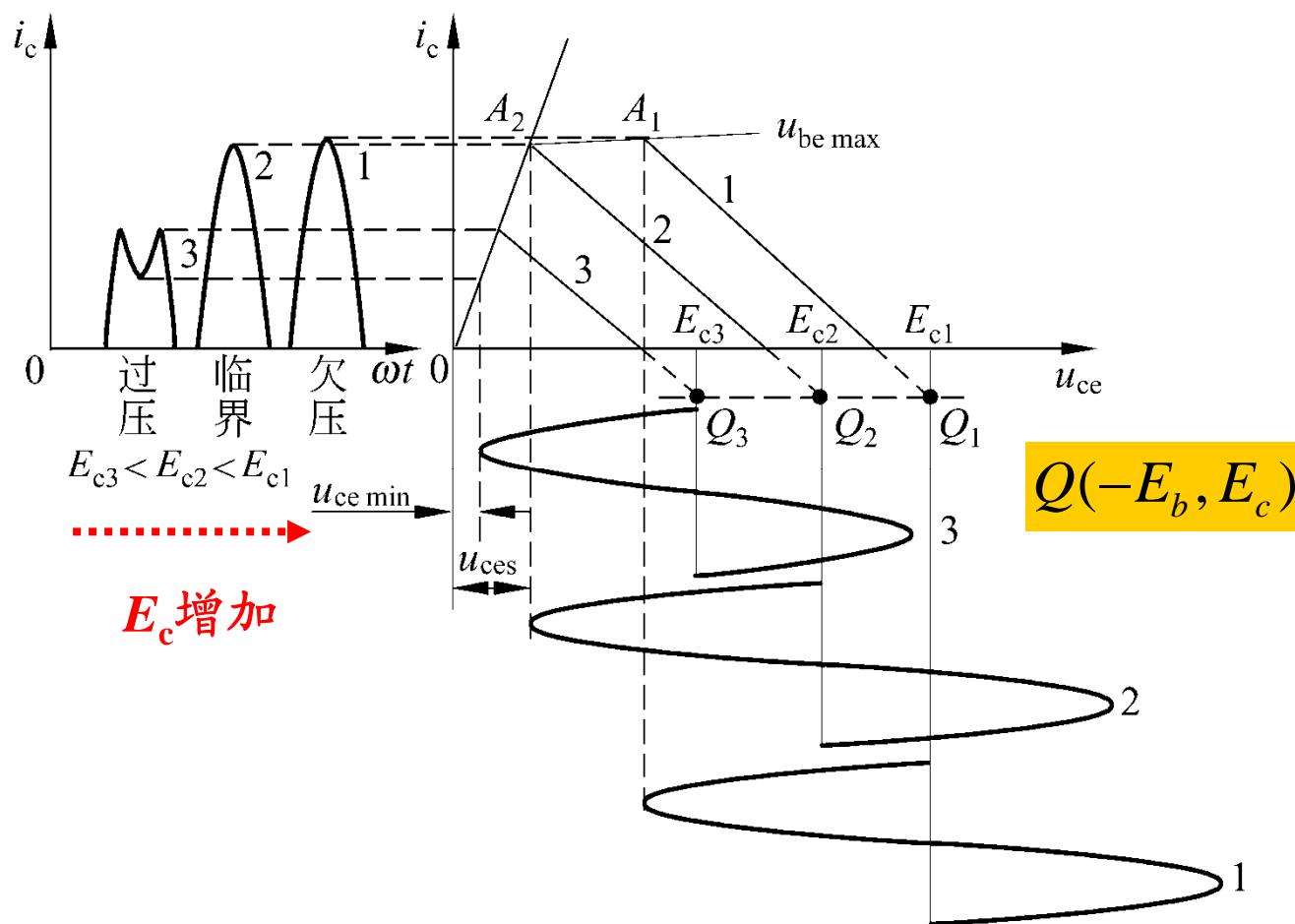
6) 三种工作状态的比较

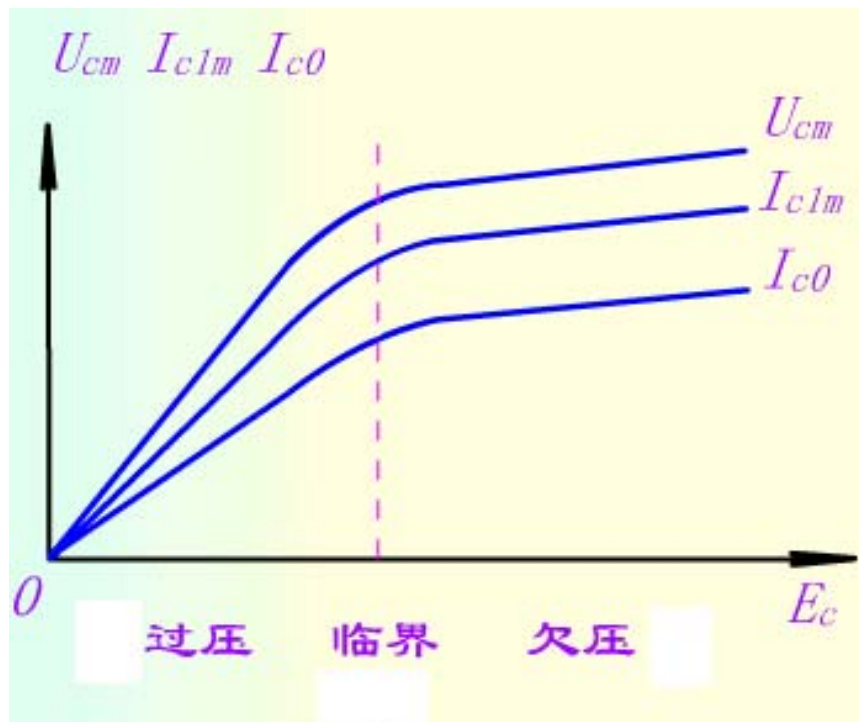
- **欠压状态**: 电流 I_{c1m} 基本不随 R_c 变化, 输出功率 P_o 随 R_c 增大而增加, 损耗功率 P_C 随 R_c 增加而减小。当 R_c 很小时, 易使 P_C 超过晶体管**最大允许损耗功率** P_{CM} , 因此在实际使用中要注意保证 $P_C < P_{CM}$ 。
- **临界状态**: 放大器输出功率最大, 效率也较高, 通常称为**最佳工作状态**。
- **过压状态**: 在弱过压状态时, 输出电压基本上不随 R_c 变化; 深度过压时, i_c 波形下凹严重, 谐波增多, 一般应用较少。

□ 作业: 3-11 3-19 3-20

2. E_c 变化对放大器工作状态的影响

——集电极调制特性

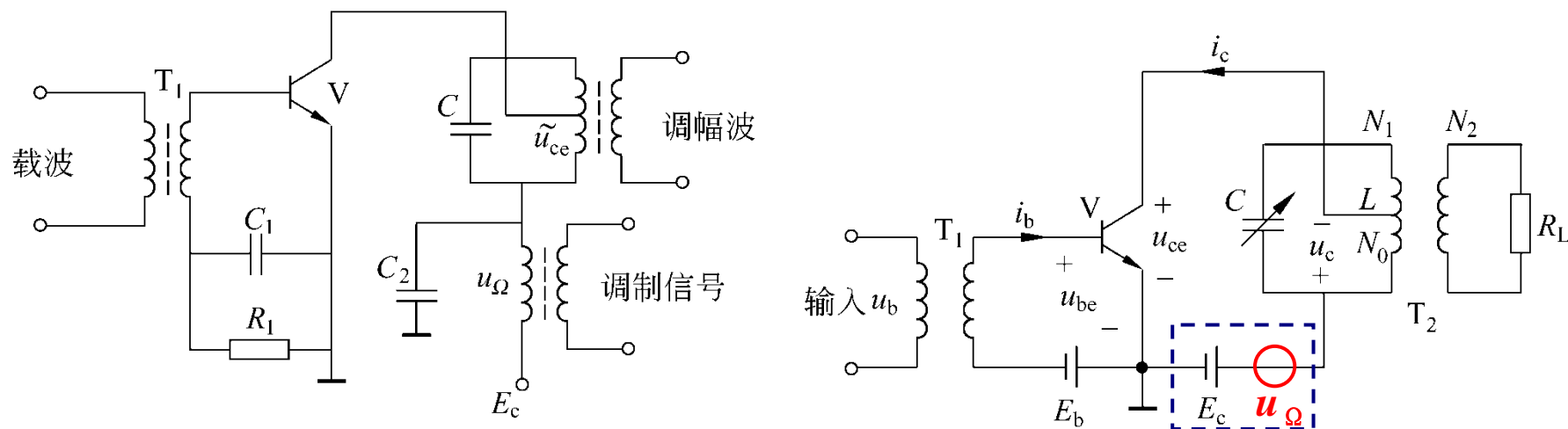




集电极调制特性

集电极调制是通过改变 E_c 来改变 U_{cm} 、 I_{c1m} (P_0)

集电极调制特性

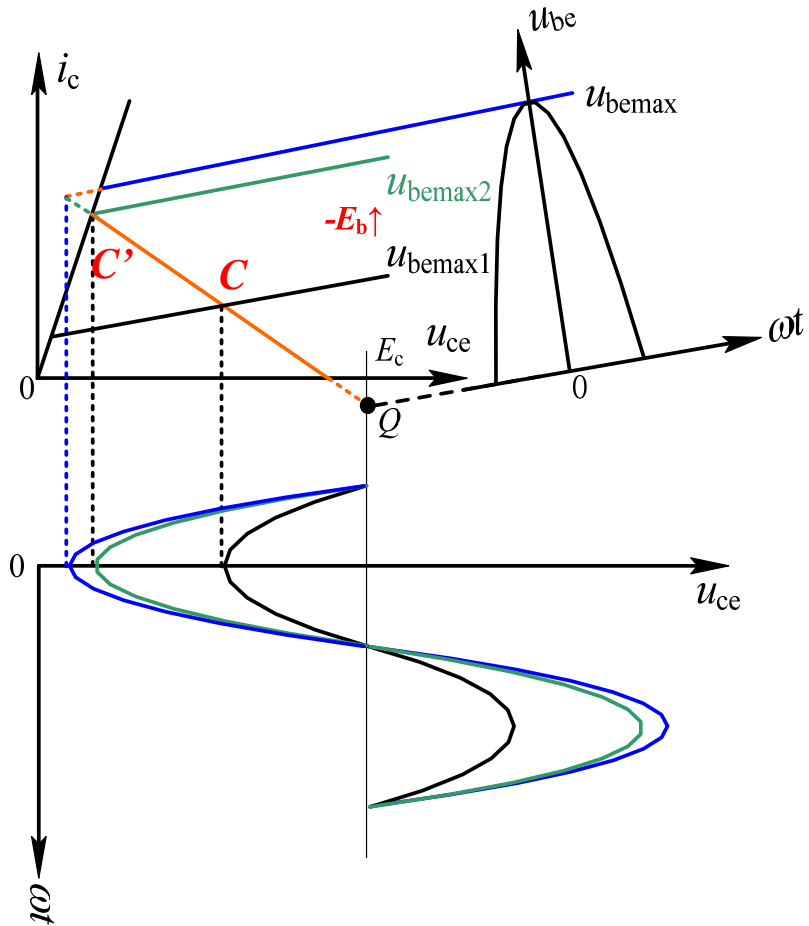


由于只有在过压状态， E_c 对 U_{cm} 才能有较大的控制作用，所以**集电极调幅工作在过压状态**。

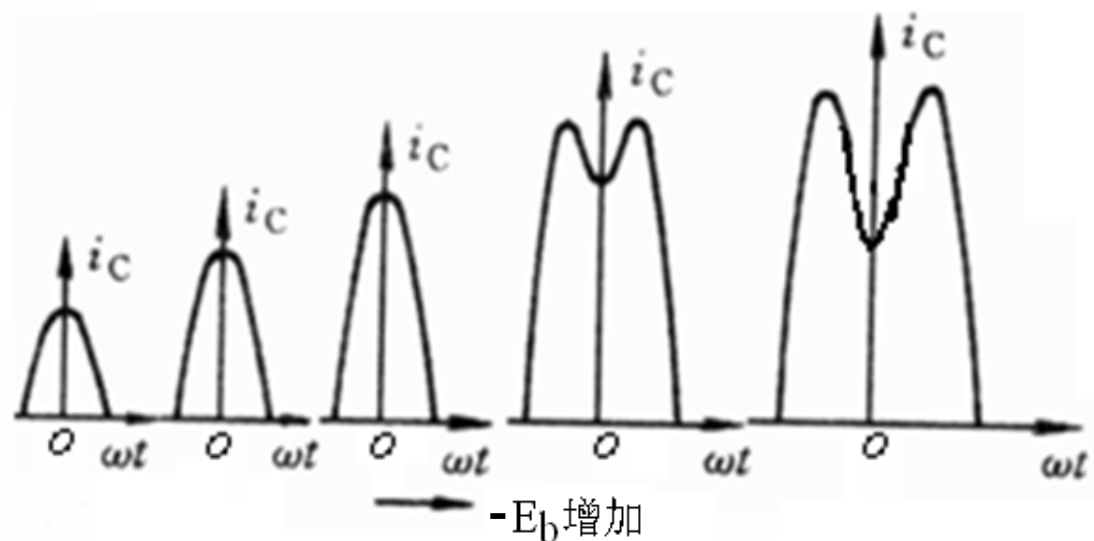
3. E_b 变化对放大器工作状态的影响 ——基极调制特性

基极调制特性是指当 E_c 、 U_{bm} 、 R_c 保持恒定，放大器的性能随基极偏置电压 E_b 变化的特性。

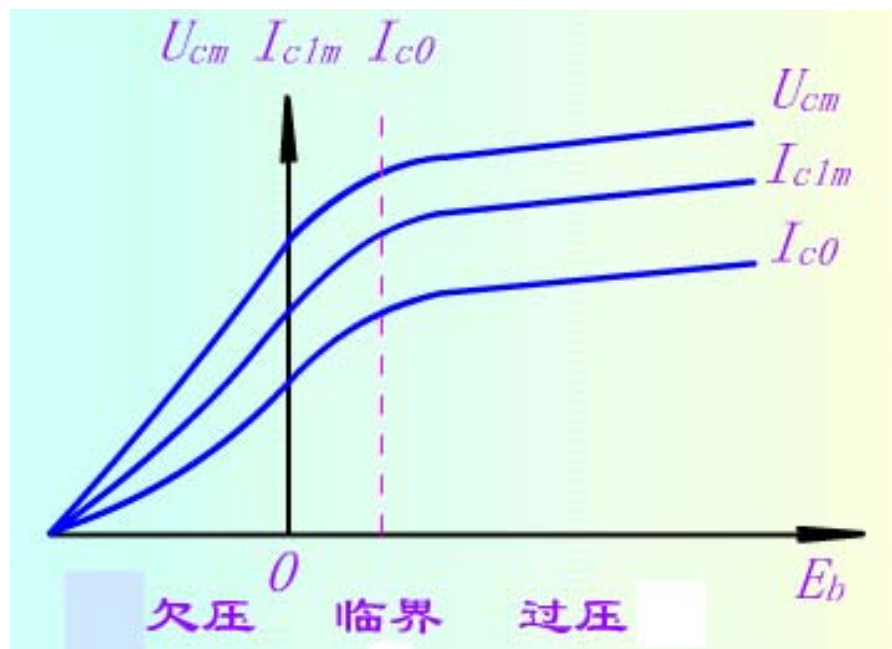
C: $-E_b + U_{bm} = U_{bemax}$
 $E_c - U_{cm} = U_{cemin}$



$-E_b$ 增加, 欠压区 \rightarrow 临界 \rightarrow 过压区



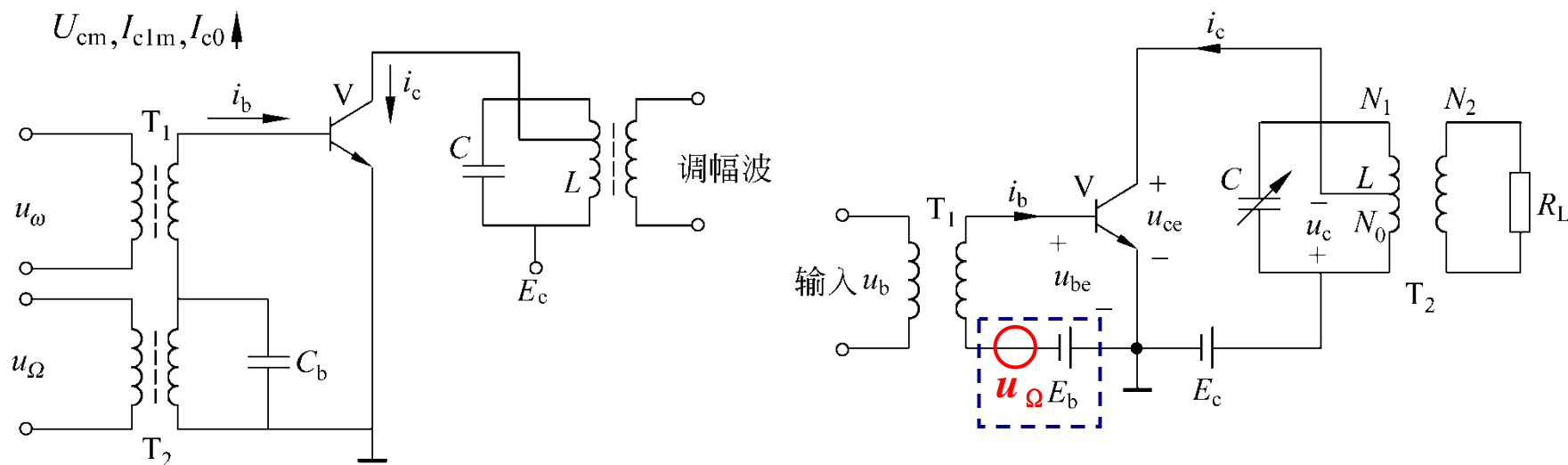
- 在欠压区，随着 $-E_b$ 增加， i_c 增加， I_{c0} ， I_{c1m} 也增加；
- 在过压区， i_c 出现凹陷， E_b 增加， i_c 高度增加，但凹陷程度也加深，故 I_{c0} ， I_{c1m} 增加缓慢。



基极调制特性

基极调制是通过改变 E_b 来改变 U_{cm} 、 I_{c1m} (P_0)

由于只有在欠压状态， E_b 对 U_{cm} 才能有较大的控制作用，所以基极调幅工作在欠压状态。



4. U_{bm} 变化对放大器工作状态的影响——振幅特性

调谐功放的振幅特性是指当 E_c 、 E_b 、 R_c 保持恒定，放大器的性能随激励振幅 U_{bm} 变化的特性。

因为 $u_{bemax} = -E_b + U_{bm}$ ， E_b 和 U_{bm} 决定了放大器的 u_{bemax} ，因此，改变 U_{bm} 的情况和改变 E_b 的情况类似。

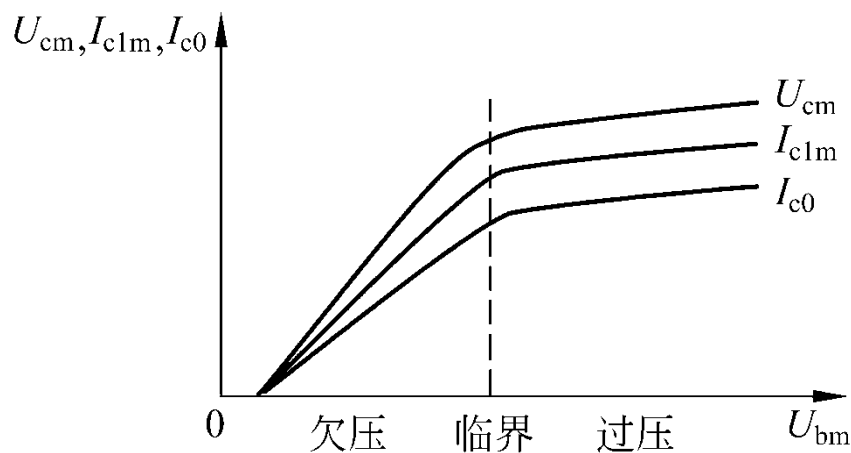


图3-13 调谐功放的振幅特性

作业

教材 3-12 3-13

思考题

1. 为什么低频功率放大器不能工作在丙类，而调谐功率放大器可以工作在丙类？

2. 放大器根据什么划分甲类、乙类、丙类工作状态？放大器的欠压、临界和过压三种状态又是根据什么来划分的？这三种状态各有什么特点？

3. 什么是调谐功率放大器的负载特性？放大器的电流、电压与 R_c 的关系怎样？放大器的功率、效率与 R_c 的关系怎样？在调测放大器时，应防止负载开路还是短路，为什么？

4. 如果放大器原工作于过压状态，现要调整到临界状态，可以调整哪些参数来实现？不同方法所得到的输出功率是否相同？

□ 仿真：调谐功率放大器的负载特性、
集电极调制特性、
基极调制特性

探究 R_c ， E_c 和 E_b 对高频调谐功率放大器的工作状态影响
仿真工具自选（如 Multisim，Proteus）。

- 明确提出解决什么问题（10%）
- 仿真过程实现：电路搭建、波形（40%）
- 结果分析（20%）
- 考核形式：课堂讲解（30%）
讲解时间每人不超过10分钟