

# 第3章 高频功率放大电路

3.1 概述

3.2 丙类谐振功率放大电路

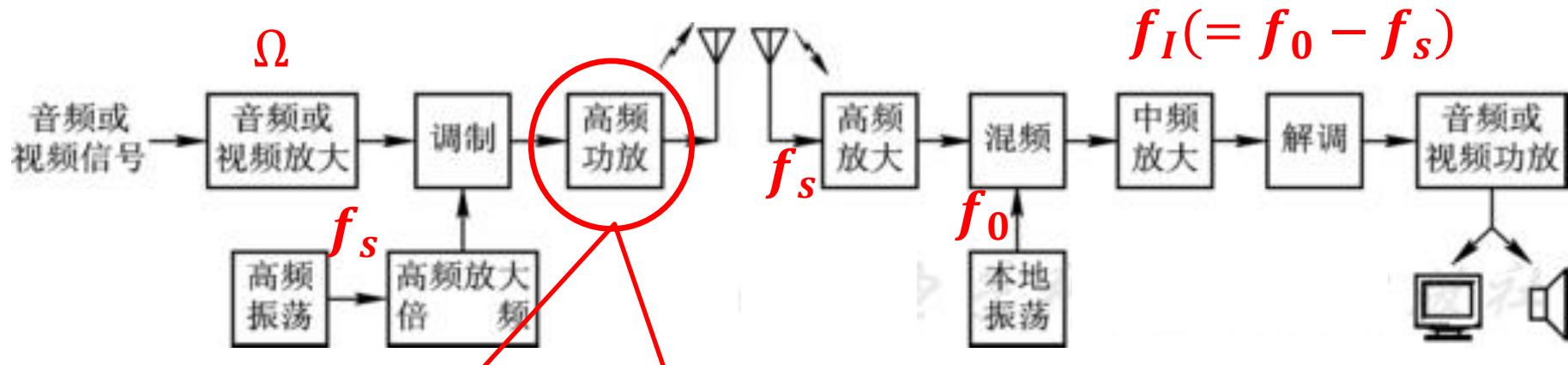
\*3.3 宽带高频功率放大电路与功率合成电路

3.4 集成高频功率放大电路及应用简介



# 3.1 概述

## 一、使用高频功放的目的

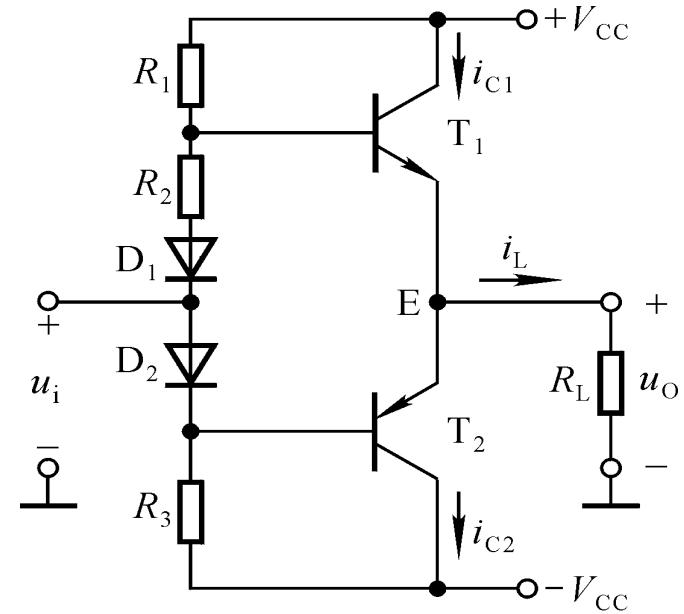
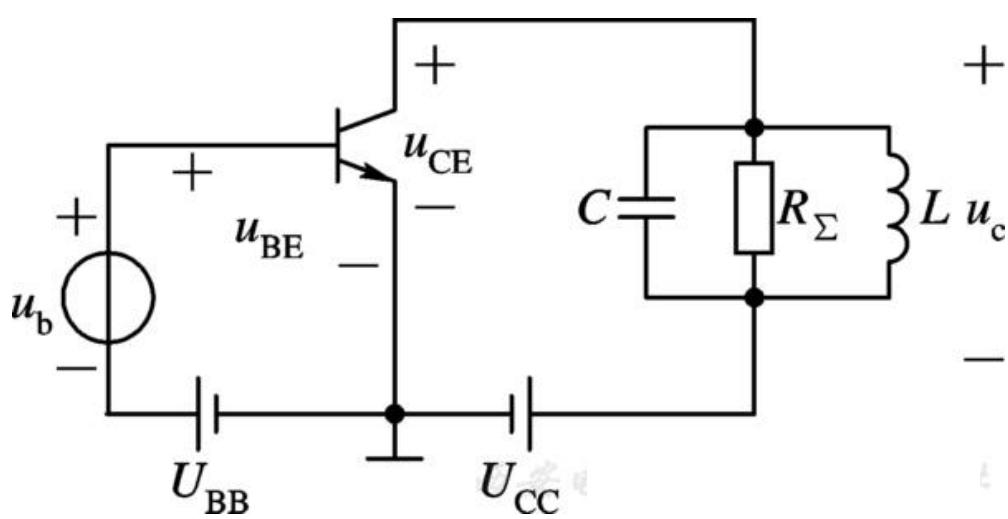


$$f_I (= f_0 - f_s)$$

放大高频已调波信号使发射机末级获得足够的发射功率，能有效地进行远距离传输。



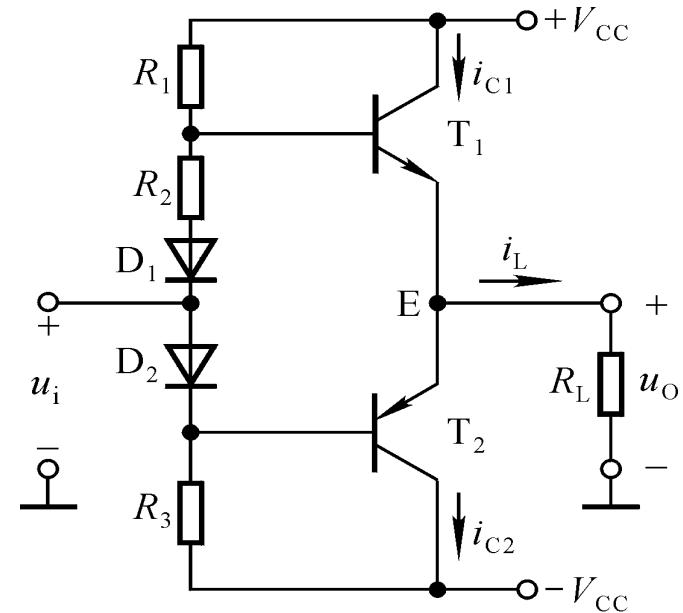
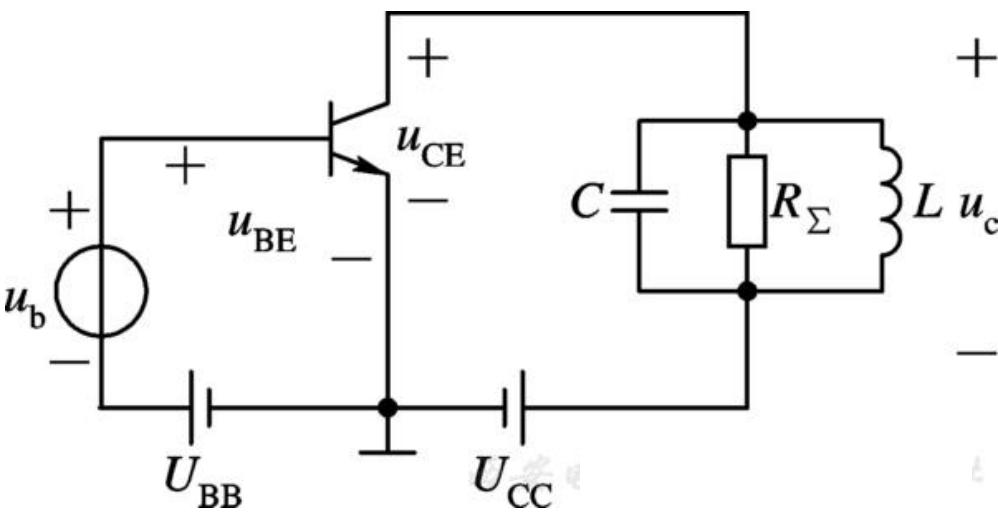
## 二、高频功放与低频功放的异同之处



同

- 高功率输出
- 高效率输出





异

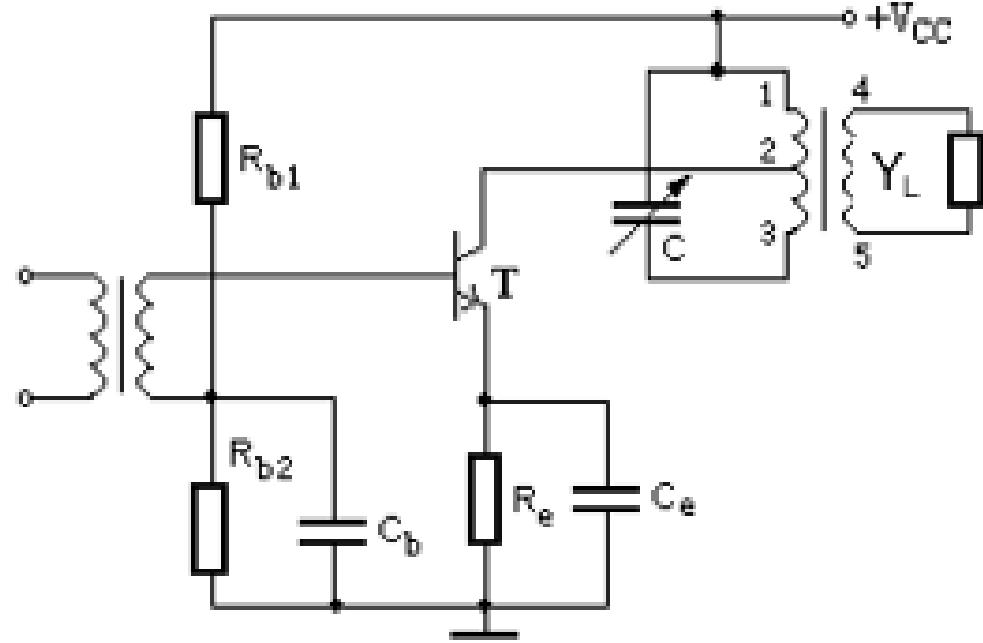
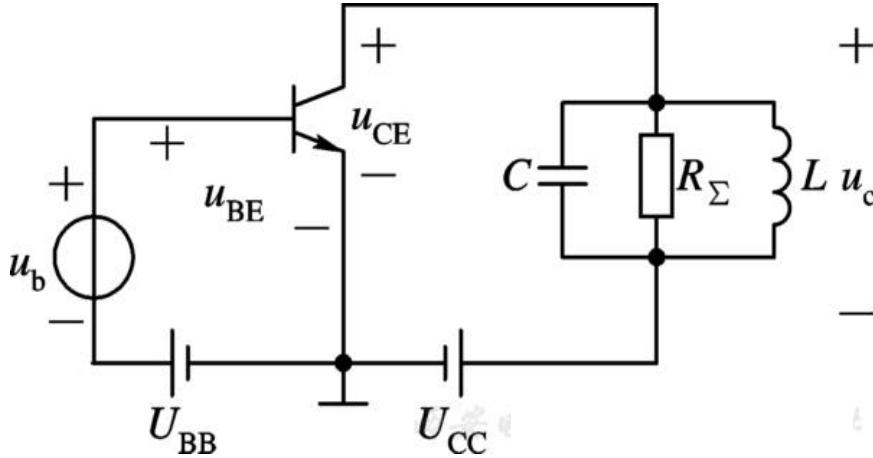
- 工作频率和相对带宽不同
- 所选工作状态不同



四川大学  
SICHUAN UNIVERSITY



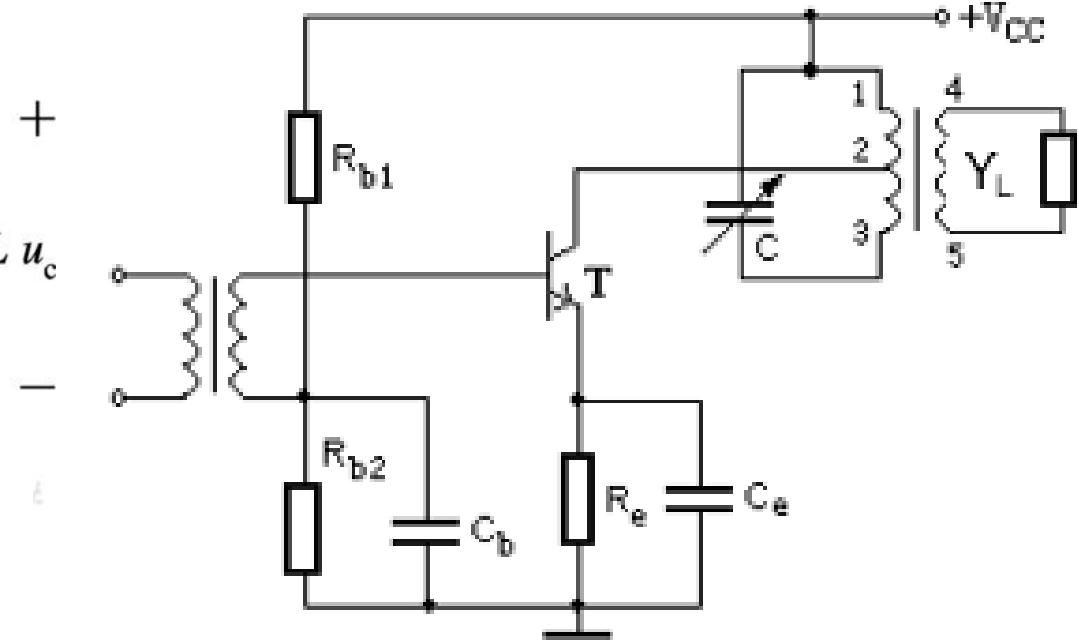
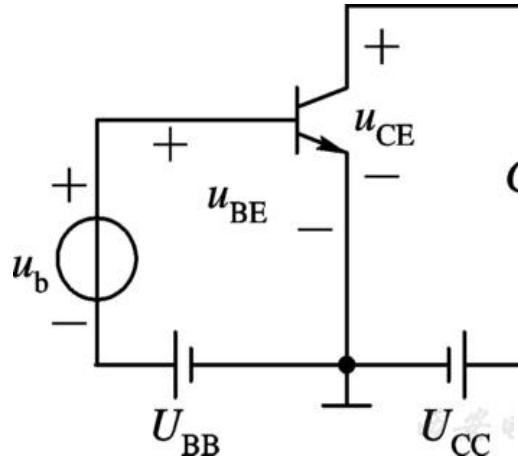
### 三、谐振功放与小信号谐振放大器的异同之处



同

- 放大的信号均为高频信号，且放大器负载均为谐振回路。

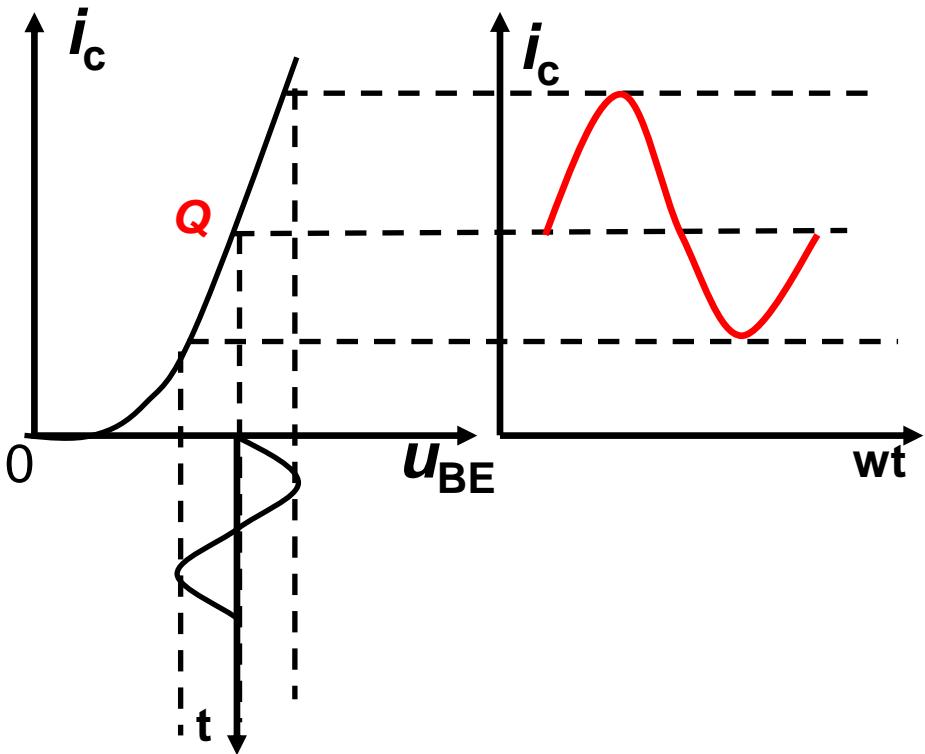




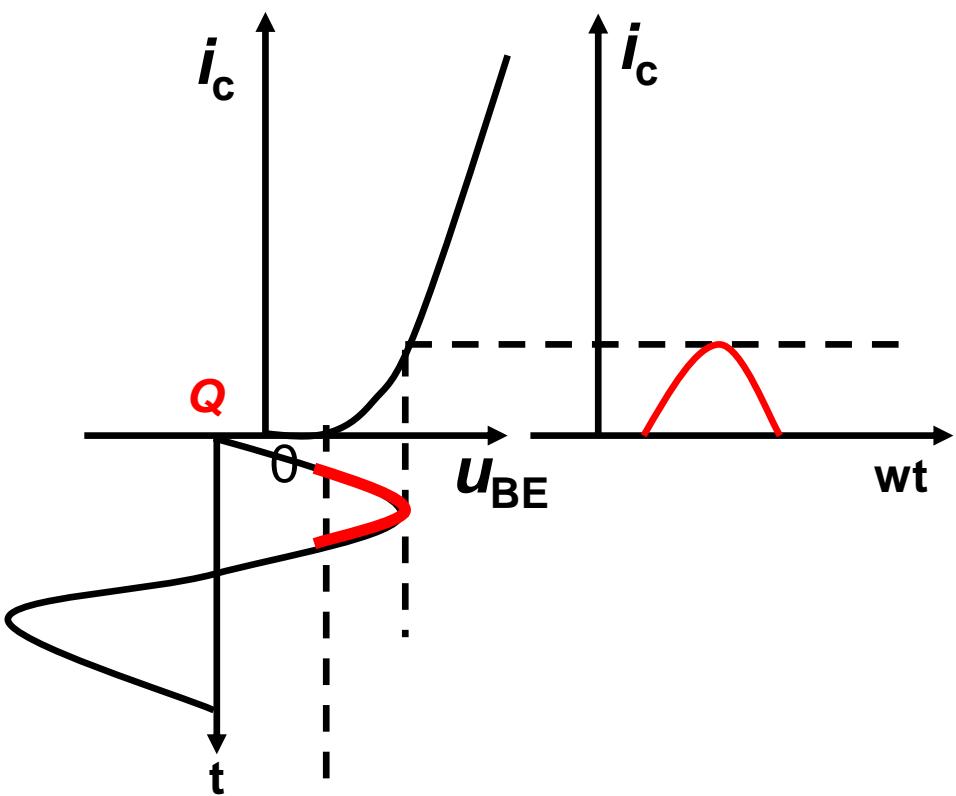
异

- 激励信号幅度大小不同；
- 放大器静态工作点的设置不同；
- 晶体管动态范围不同。





小放波形图



功放波形图



- 高频功放的特点：高频、大信号、非线性工作；
- 要求： $P_o$ 大， $\eta$ 高。
- 分析方法：折线法近似分析



## 四、高频功放的分类

- 窄带高频功放
- 宽带高频功放

以谐振回路为负载，故又称谐振功率放大器

采用非选频性负载，如传输线变压器或其他宽带匹配电路。



# 第3章 高频功率放大电路

3.1 概述

3.2 丙类谐振功率放大电路

\*3.3 宽带高频功率放大电路与功率合成电路

3.4 集成高频功率放大电路及应用简介



## 3.2 丙类谐振功率放大电路

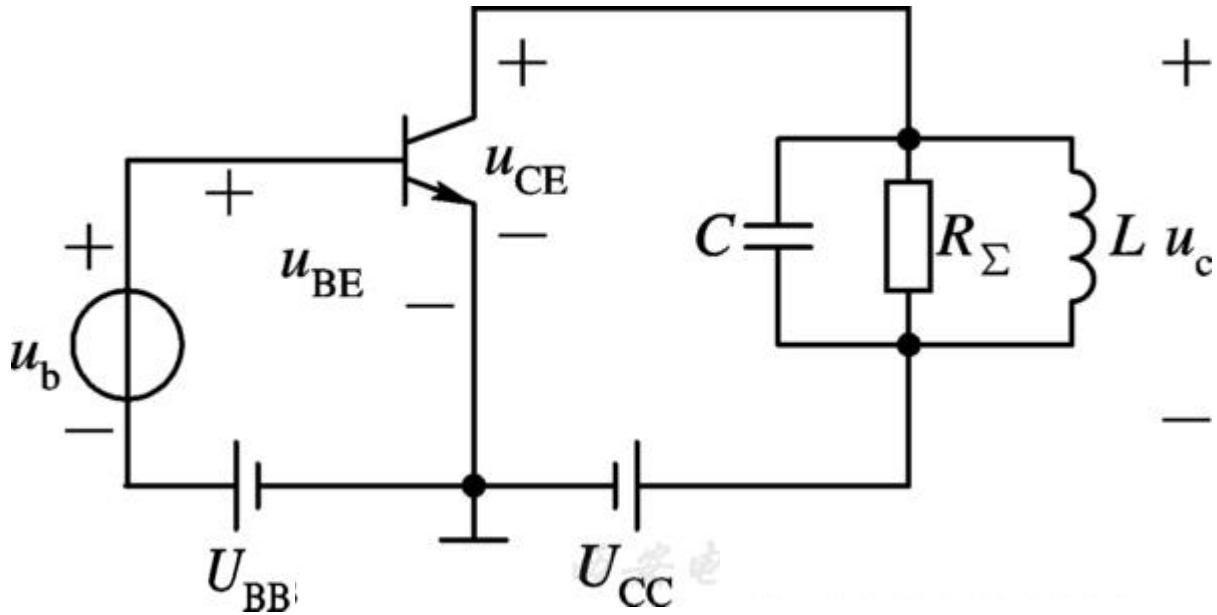
### 3.2.1 工作原理

3.2.2 性能分析 - 折线分析法

3.2.3 直流馈电线路与匹配网络



# 一、丙类谐振功放电路原理图



基极负偏压或零偏压(丙类)

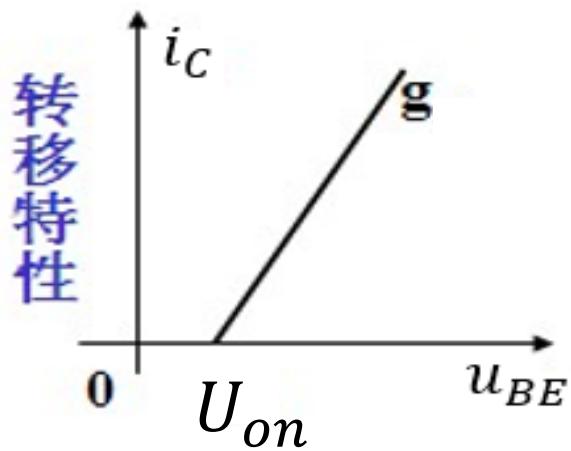
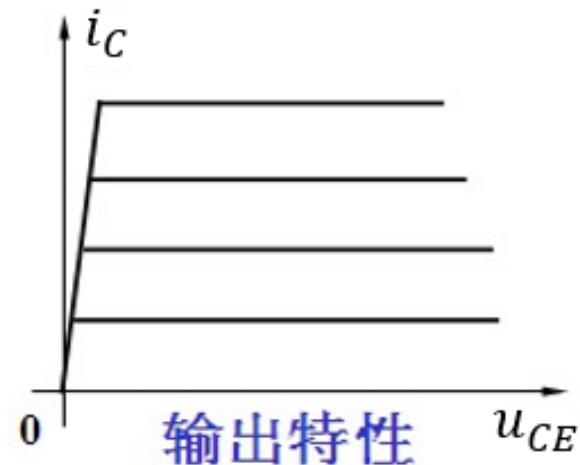
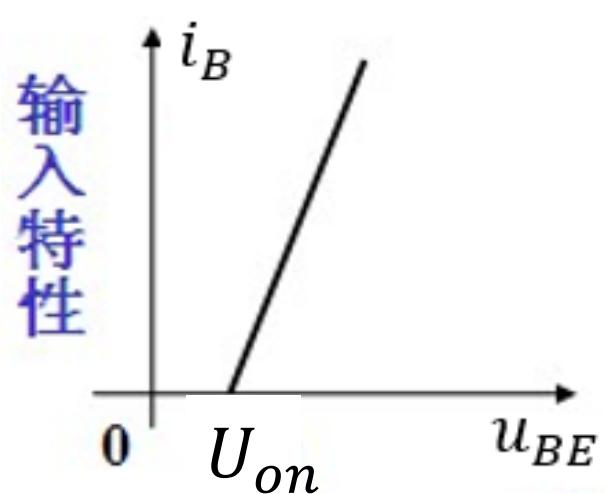
- 功率管
- 谐振回路

作负载可以滤除高频脉冲电流  $i_C$  中的谐波分量，同时实现阻抗匹配。

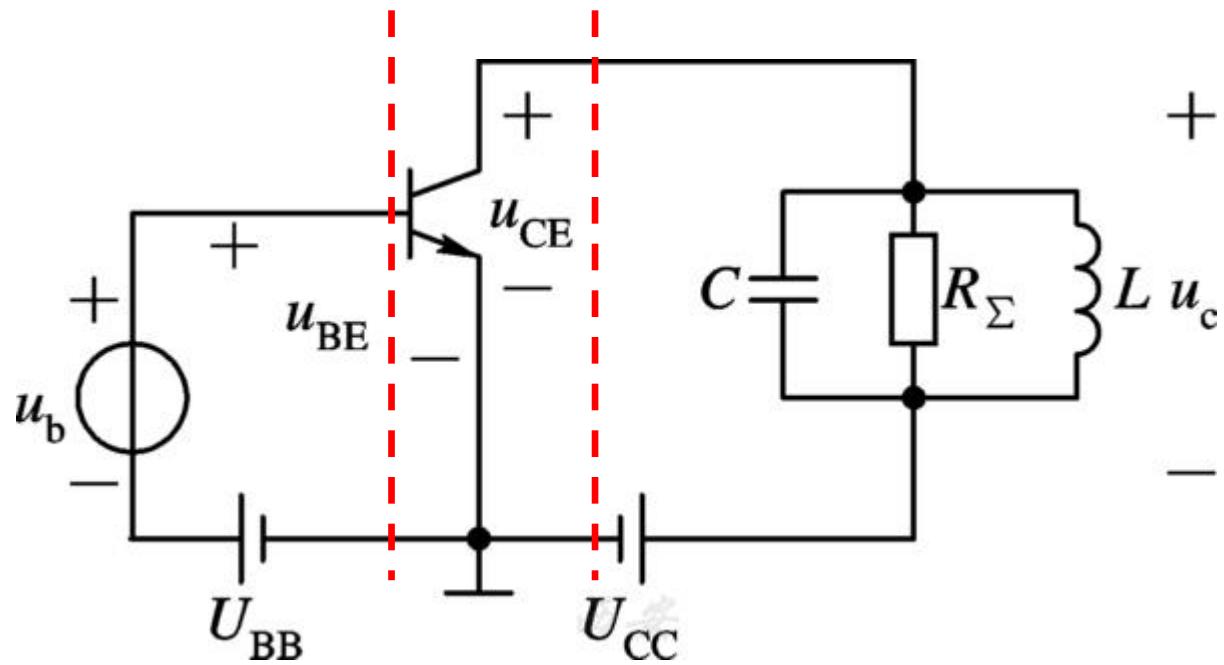
- 馈电电源

## 二、工作原理及性能指标

### 1. 特性曲线的折线化



## 2. 基本关系式



• 外部电路

$$u_{BE} = U_{BB} + u_b = U_{BB} + U_{bm} \cos \omega t$$

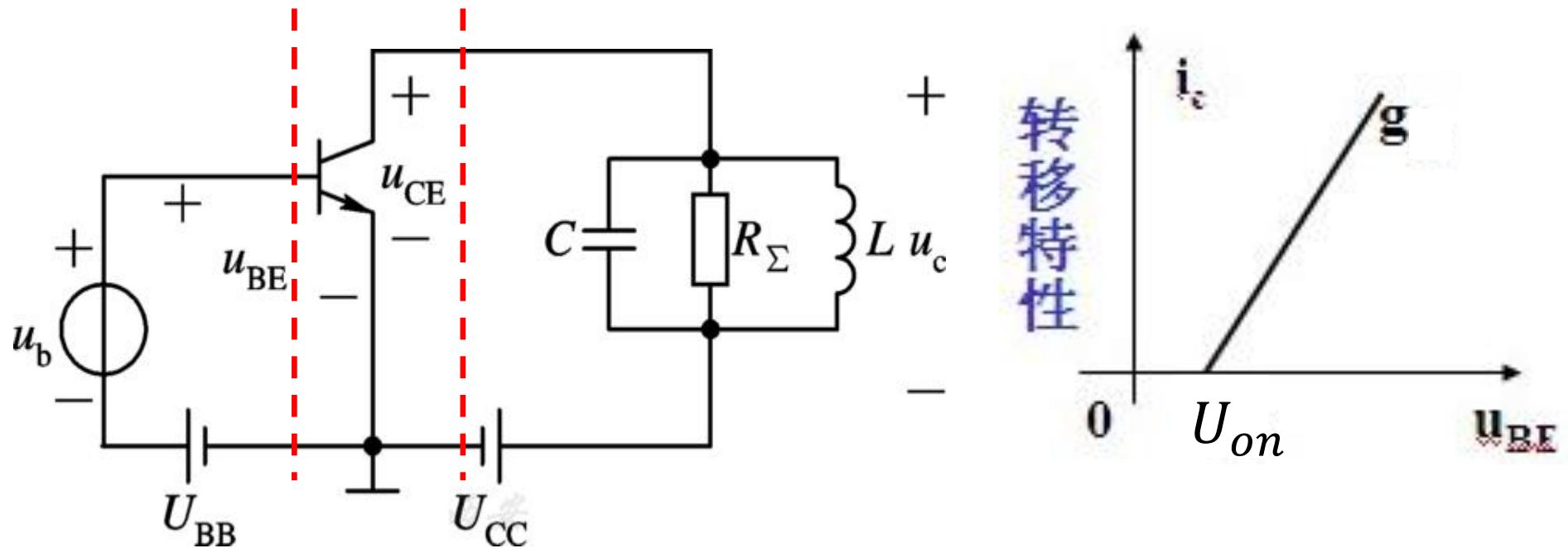
$$\begin{aligned} u_{CE} &= U_{CC} + u_c = U_{CC} - U_{cm} \cos \omega t \\ &= U_{CC} - I_{c1m} R_{\Sigma} \cos \omega t \end{aligned}$$



四川大学



SICHUAN UNIVERSITY



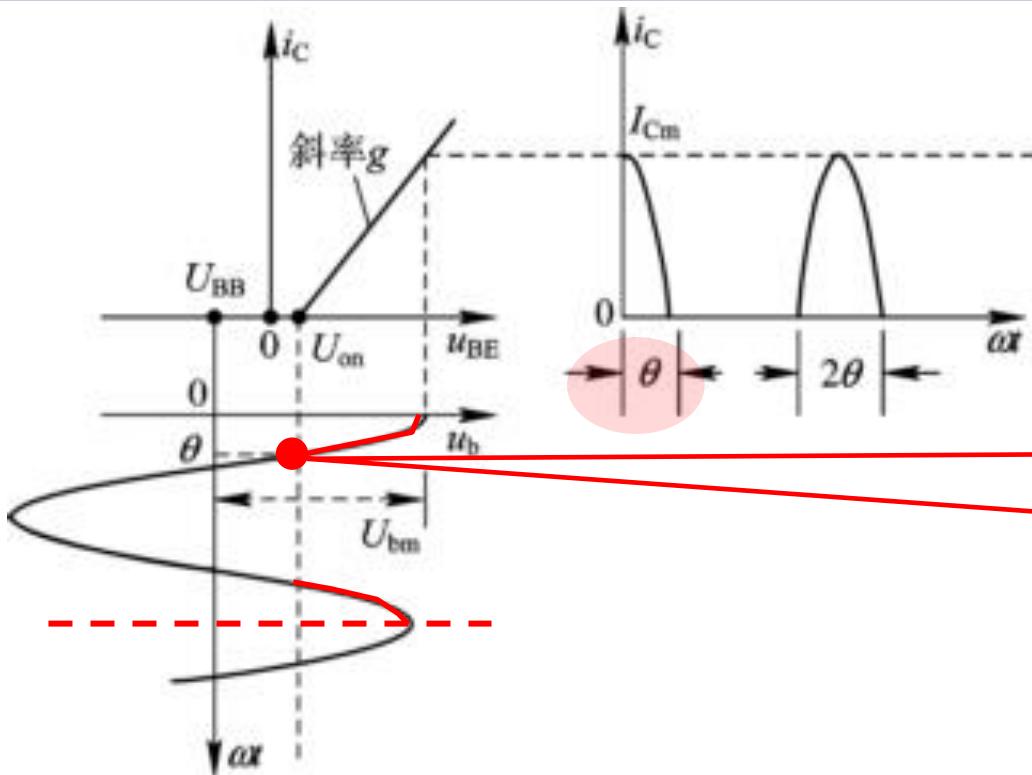
## • 晶体管的内部电路

$$\begin{cases} i_C = g(u_{BE} - U_{on}) \\ i_C = 0 \end{cases}$$

$$u_{BE} \geq U_{on}$$

$$u_{BE} < U_{on}$$



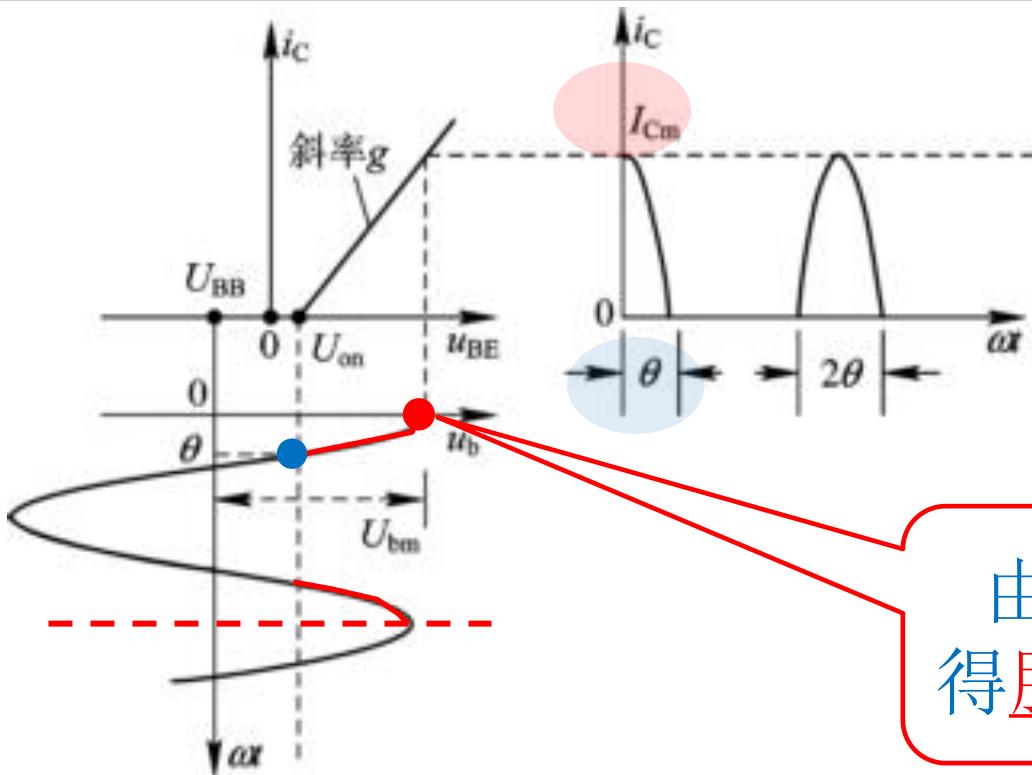


由  $\omega t = \theta, i_C = 0$   
得脉冲宽度  $\theta$

- (半)导通角  $\theta$

$$\theta = \arccos \frac{U_{on} - U_{BB}}{U_{bm}}$$





由  $\omega t = 0, i_C = I_{Cm}$   
得脉冲高度  $I_{Cm}$

- 脉冲高度  $I_{Cm}$

$$I_{Cm} = g(U_{BB} + U_{bm} - U_{on}) = gU_{bm}(1 - \cos\theta)$$



### 3. 集电极余弦尖顶脉冲的分解（用 $\theta$ 和 $I_{Cm}$ 来表示）

$$i_C = g(u_{BE} - U_{on}) = g(U_{BB} + U_{bm} \cos \omega t - U_{on})$$

$$= gU_{bm} \left( \cos \omega t - \frac{U_{on} - U_{BB}}{U_{bm}} \right)$$

$$= I_{Cm} \cdot \frac{\cos \omega_s t - \cos \theta}{1 - \cos \theta}$$



# 周期性的尖顶脉冲可进行傅里叶频谱分解：

$$i_C = I_{C0} + I_{c1m} \cos \omega t + I_{c2m} \cos 2\omega t + \cdots + I_{cnm} \cos n\omega t$$

各谐波振幅由傅里叶级数的求系数法得：

$$I_{C0} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\theta}^{\theta} i_C d\omega t = I_{Cm} \alpha_0(\theta)$$

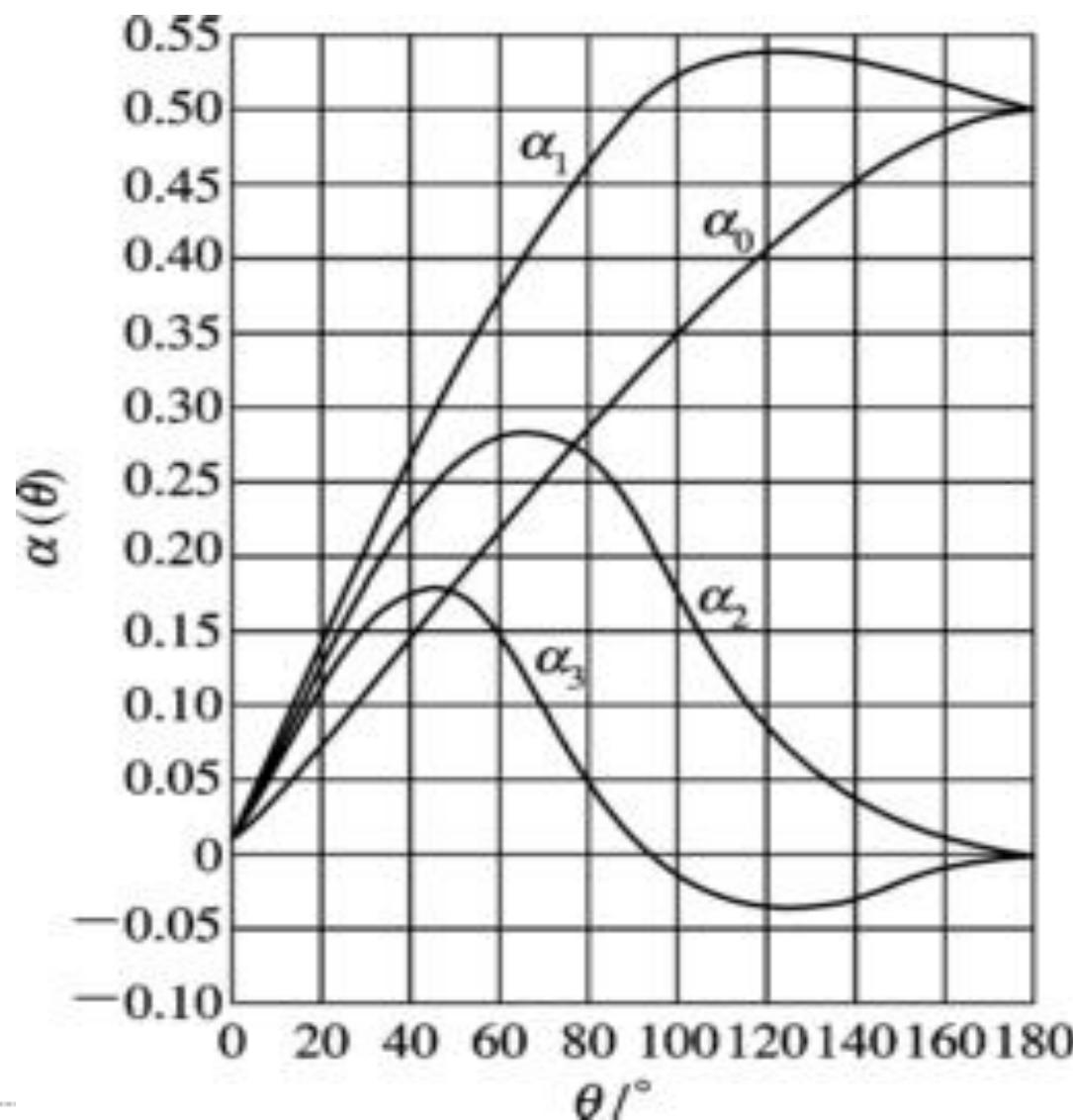
$$I_{c1m} = \frac{1}{\pi} \int_{-\theta}^{\theta} i_C \cos \omega t d\omega t = I_{Cm} \alpha_1(\theta)$$

.....

分解系数  $\alpha_0(\theta) = \frac{\sin \theta - \theta \cos \theta}{\pi(1 - \cos \theta)}$      $\alpha_1(\theta) = \frac{\theta - \sin \theta \cos \theta}{\pi(1 - \cos \theta)}$



或可查余弦脉冲的分解系数表得到



## 4. 电压、电流的波形图

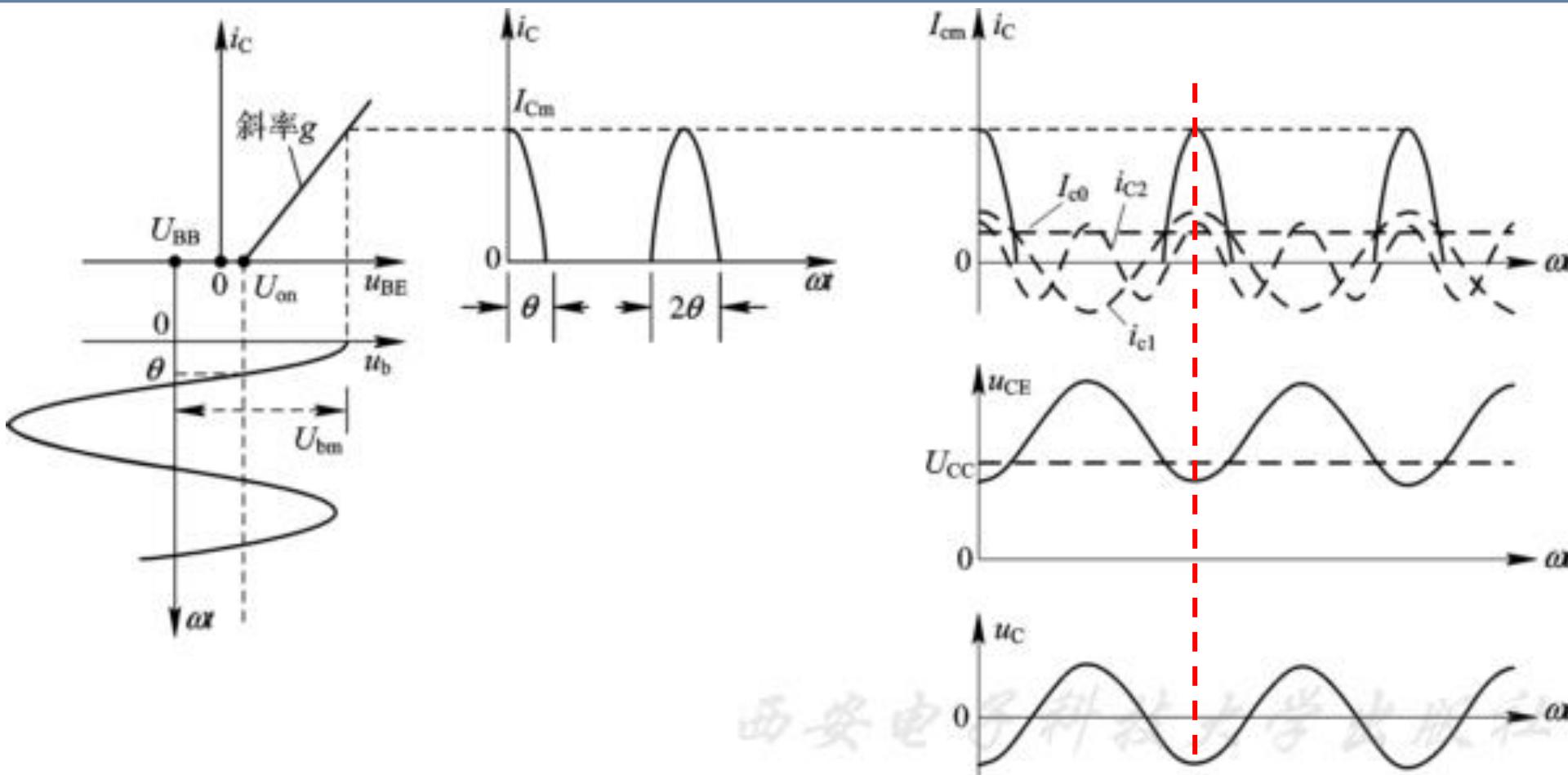


图 3.2.3 丙类状态转移特性分析

## 5. 谐振功放的功率关系和效率

### (1) 功率

- 集电极电源供给的直流功率  $P_D = U_{CC}I_{C0}$
- 输出交流功率  $P_o$  :  $P_o = \frac{1}{2} I_{c1m} U_{cm} = \frac{1}{2} I_{c1m}^2 R_\Sigma = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_{cm}^2}{R_\Sigma}$ 

$R_\Sigma$ : 回路两端的等效电阻

$I_{c1m}$ : 余弦脉冲的基波分量

$U_{cm}$ : 谐振回路两端的端电压
- 集电极损耗功率  $P_C$

根据能量守恒定律:  $P_D = P_o + P_C$



## (2) 效率

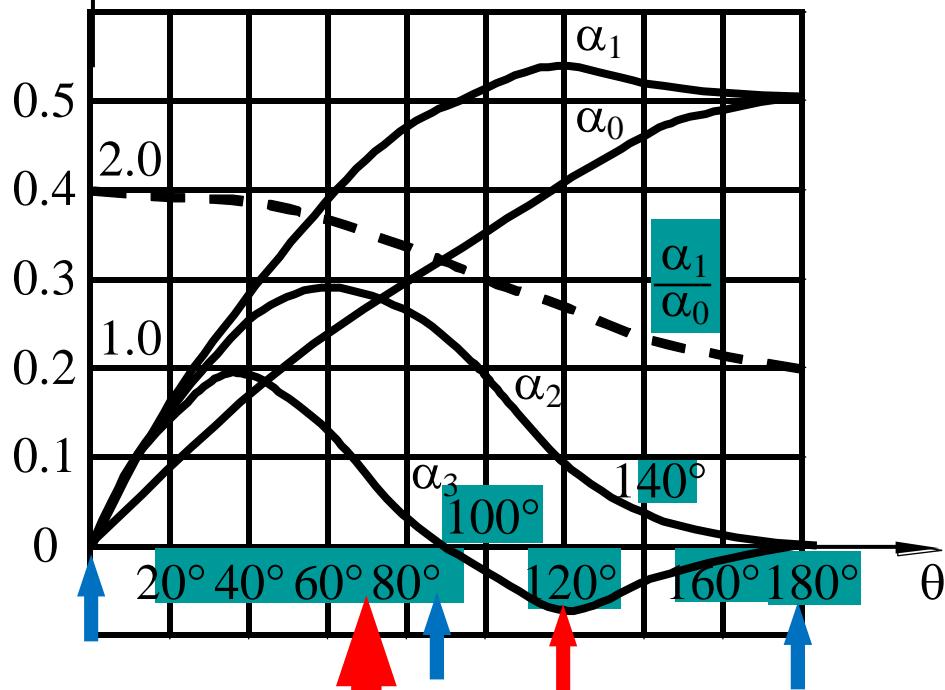
$$\eta_c = \frac{P_o}{P_D} = \frac{1}{2} \cdot \frac{I_{c1m} U_{cm}}{I_{C0} U_{CC}} = \frac{1}{2} \xi g_1(\theta)$$

$\xi = \frac{U_{cm}}{U_{CC}}$ , 集电极电压利用系数

$g_1(\theta) = \frac{\alpha_1(\theta)}{\alpha_0(\theta)}$ , 波形系数(是导通角的函数)



$$\alpha_n \uparrow \frac{\alpha_1}{\alpha_0} \left\{ g_1(\theta) = \frac{\alpha_1(\theta)}{\alpha_0(\theta)} \right\}$$



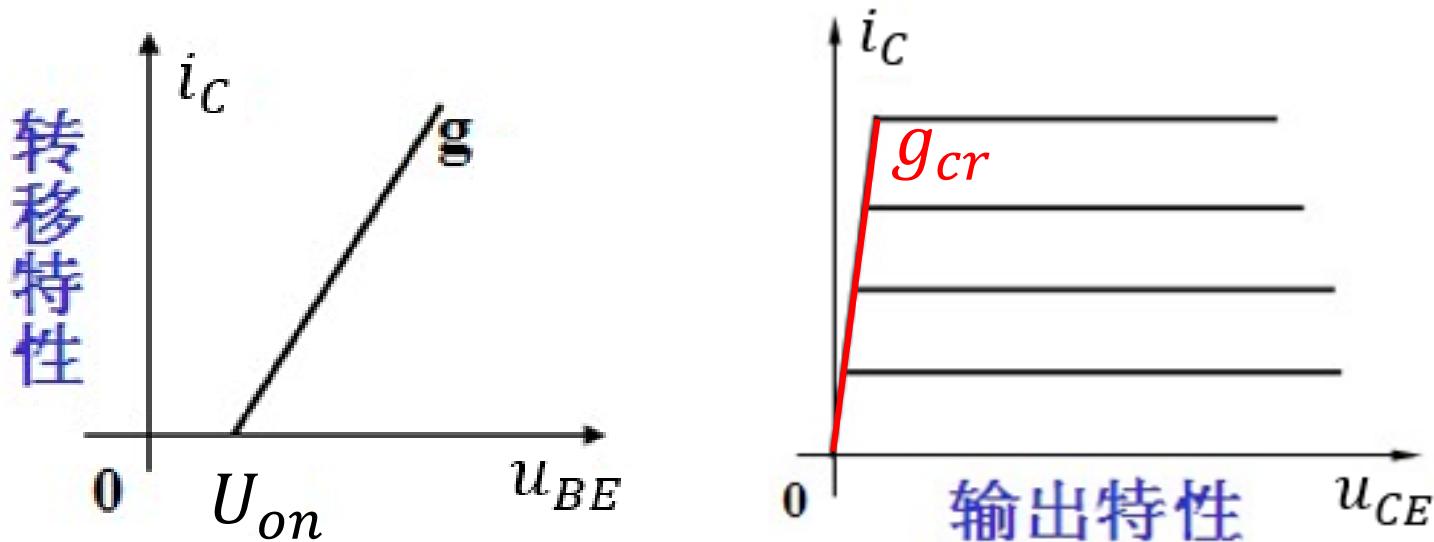
兼顾功率与效率，最佳导通角常取70°

## 3.2.2 性能分析 —— 折线分析法

- 一. 晶体管的 **转移特性曲线** 和 **输出特性曲线**
- 二. 谐振放大器的 动态线 (负载线)
- 三. 谐振功放的外部特性



# 一. 晶体管的转移特性曲线 和 输出特性曲线



**放大区:**  $i_C = g(u_{BE} - U_{on}) \quad (u_{BE} > U_{on})$

**截止区:**  $i_C = 0 \quad . \quad (u_{BE} < U_{on})$

**临界饱和:**  $i_C = g_{cr} u_{CE}$



## 二. 谐振放大器的 动态线 (负载线)

### 1. 放大区动态线方程的数学推导

$$u_{BE} = U_{BB} + U_{bm} \cos \omega t \quad (1)$$

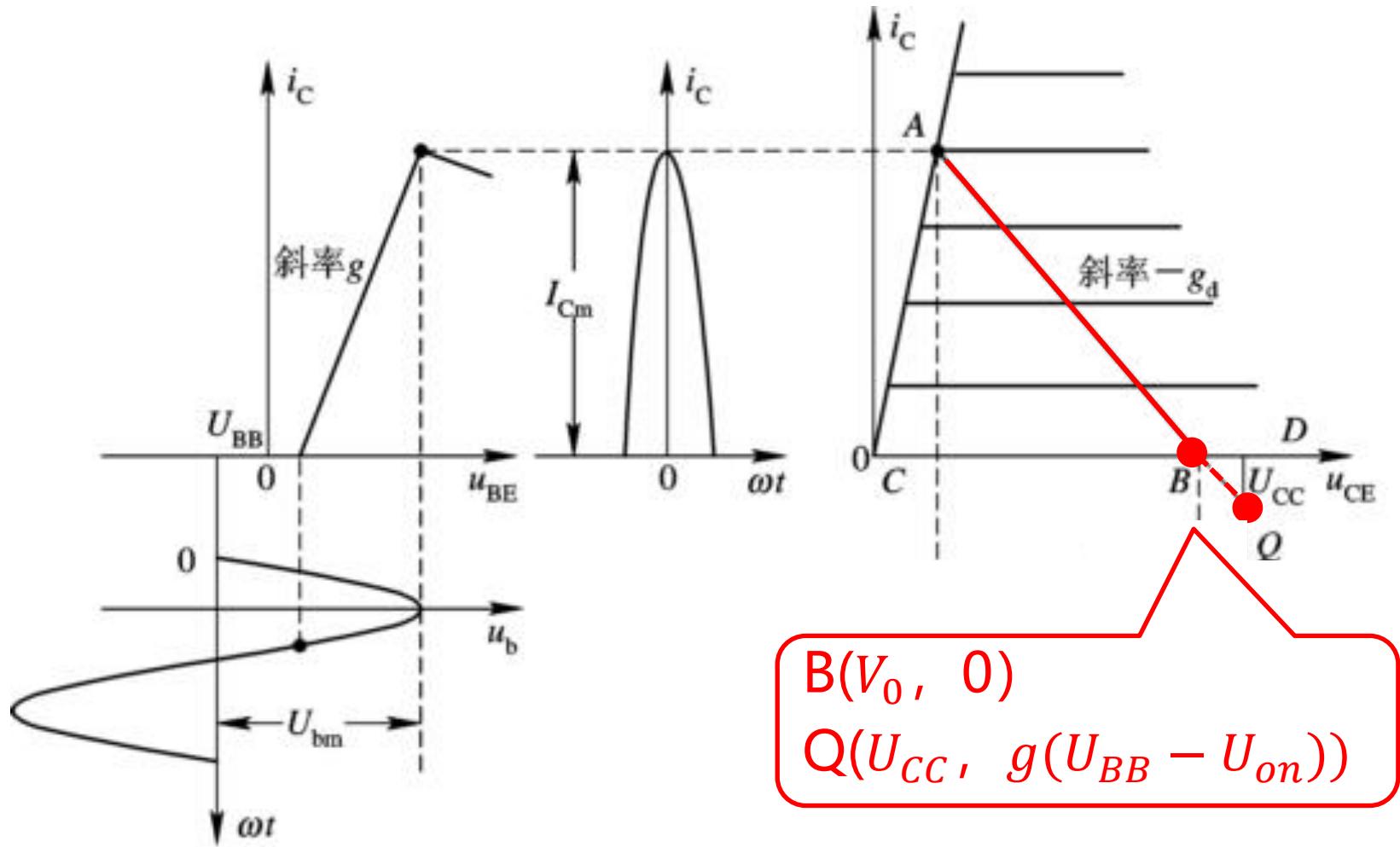
$$u_{CE} = U_{CC} - U_{cm} \cos \omega t \quad (2)$$

$$i_C = g(u_{BE} - U_{on}) \quad u_{BE} \geq U_{on} \quad (3)$$

联立求解得负载线方程：

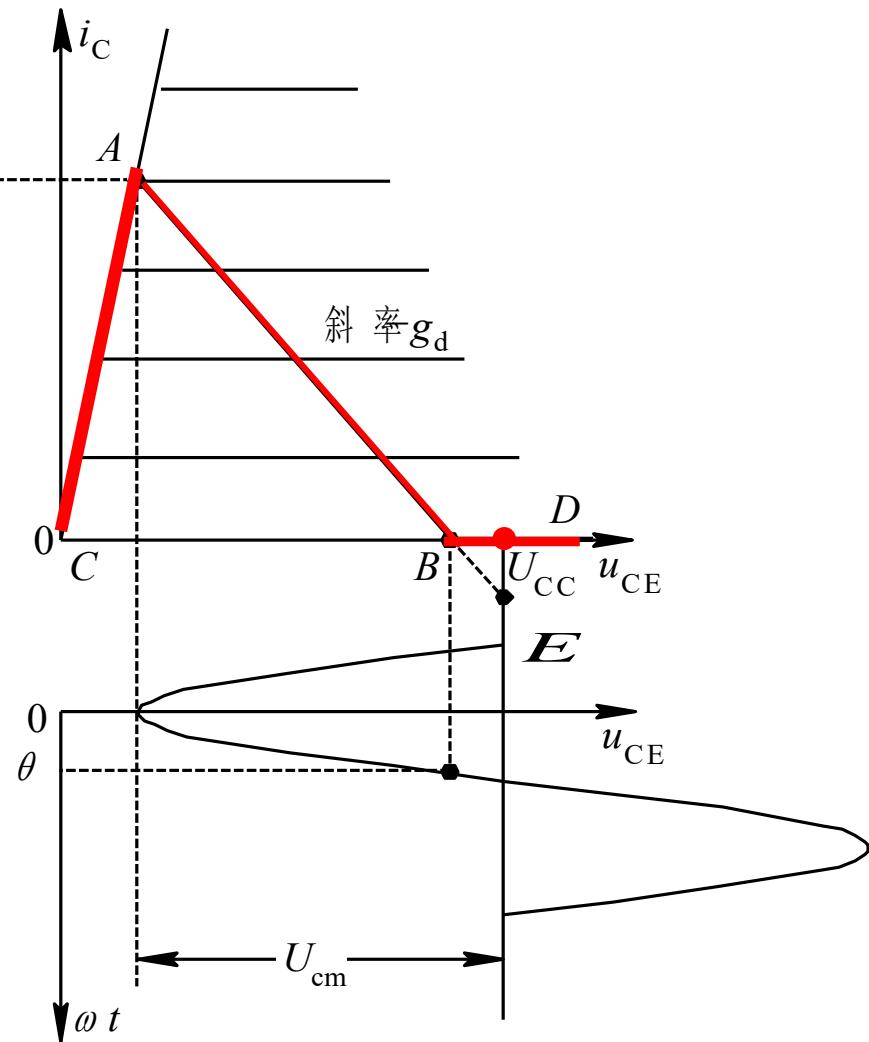
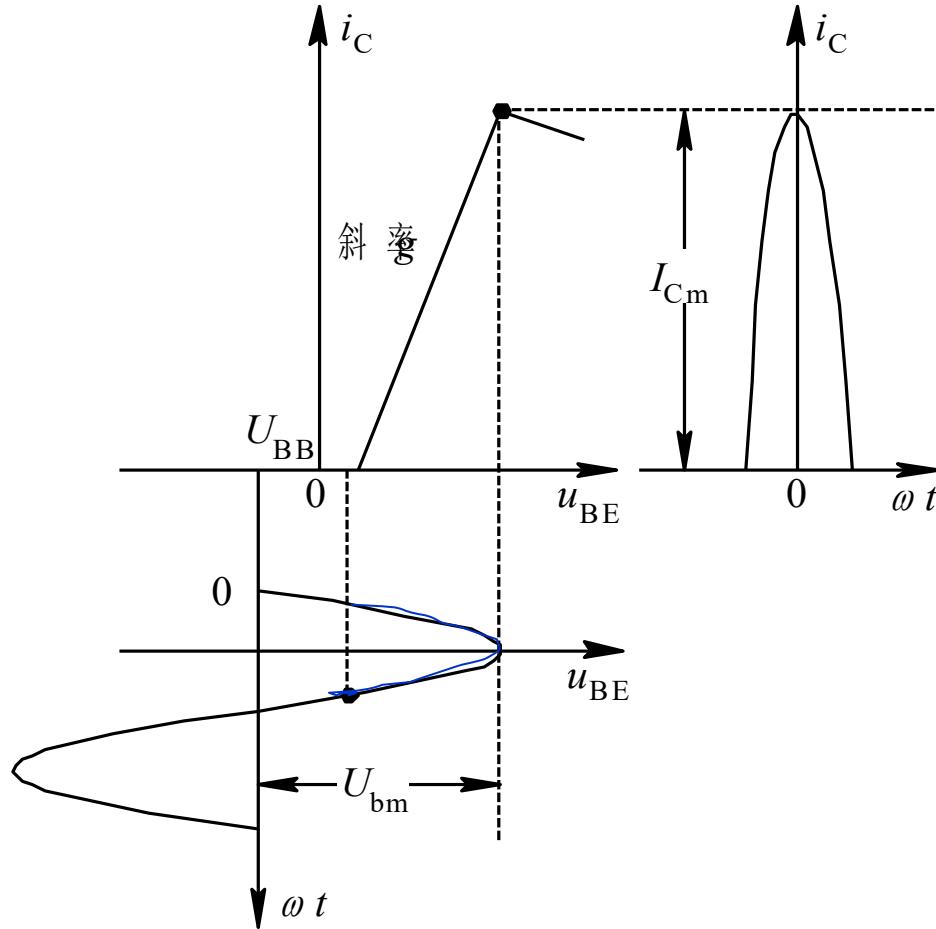
$$\begin{aligned} i_C &= g[U_{BB} + U_{bm} \frac{U_{CC} - u_{CE}}{U_{cm}} - U_{on}] = g[-\frac{U_{bm}}{U_{cm}} u_{CE} + U_{BB} - U_{on} + \frac{U_{bm}}{U_{cm}} U_{CC}] \\ &= -g \frac{U_{bm}}{U_{cm}} [u_{CE} - \frac{U_{cm}}{U_{bm}} (U_{BB} - U_{on}) - U_{CC}] = -g_d (u_{CE} - V_0) \end{aligned}$$



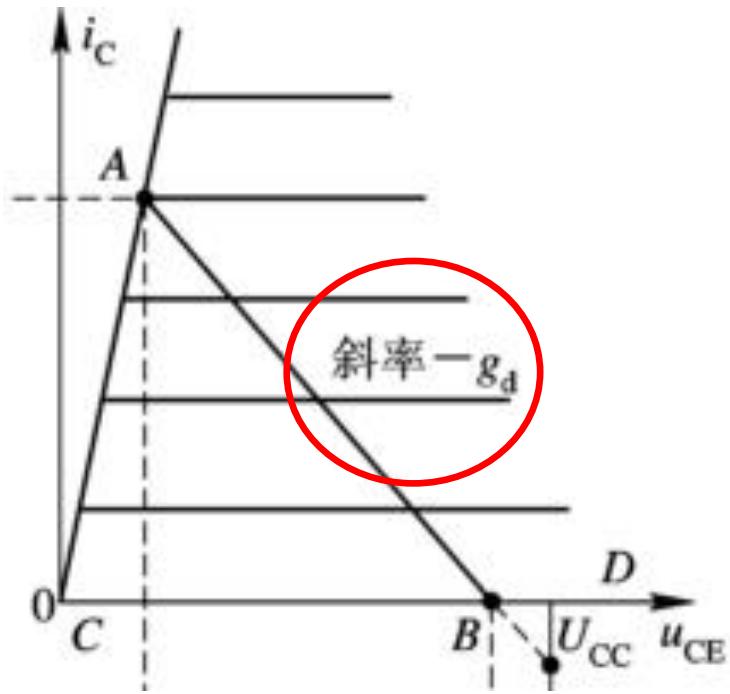


## 2. 谐振放大器的动态线

折线CABD



## ■ 斜率值 $g_d$ (动态电导)的另一种形式



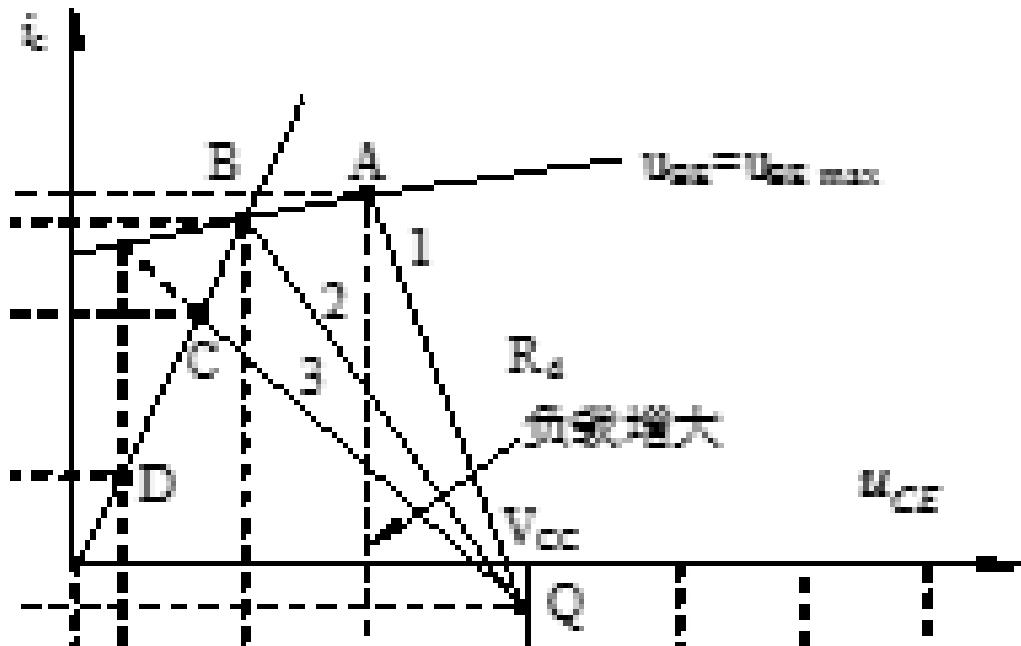
$$g_d = g \frac{U_{bn}}{U_{cm}} = \frac{I_{Cm}}{U_{cm}(1-\cos\theta)}$$

$$= \frac{\cancel{I_{c1m}}}{\alpha_1(\theta)} \cdot \frac{1}{\cancel{I_{c1m}} R_\Sigma (1-\cos\theta)}$$

$$R_d = \frac{1}{g_d} = \alpha_1(\theta)(1-\cos\theta)R_\Sigma$$

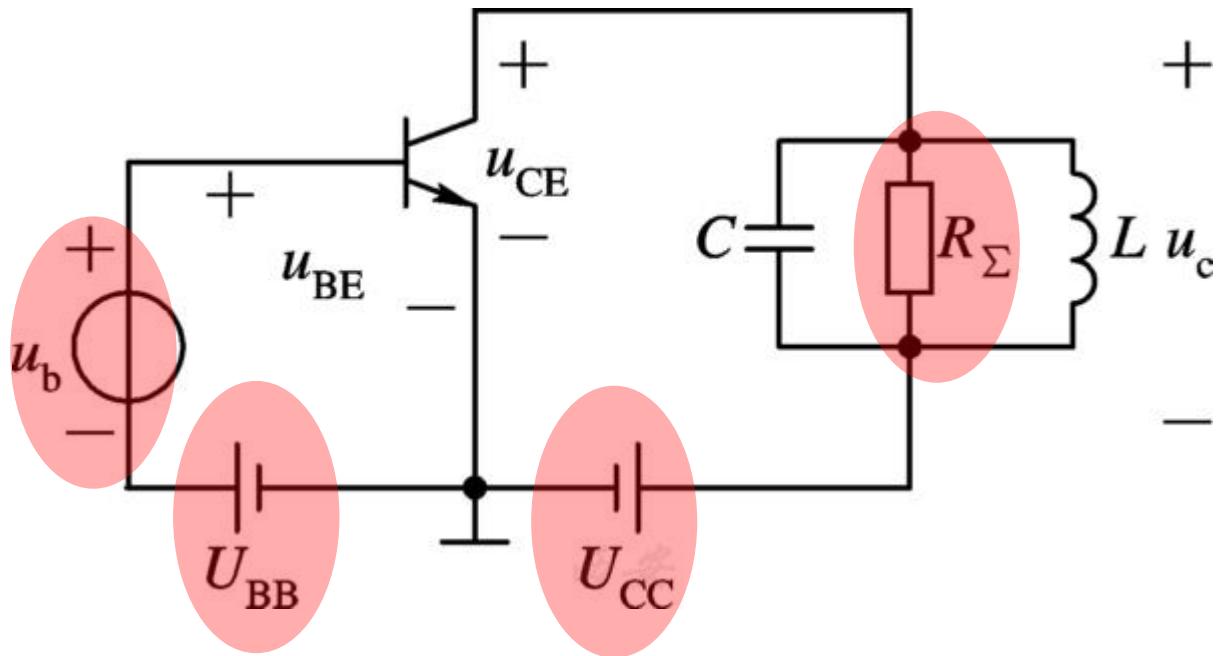


### 3、定义放大器的工作状态



- 交点B落在输出特性临界线—**临界状态**
- 交点A落在输出特性放大区—**欠压状态**
- 交点落在输出特性饱和区—**过压状态**

### 三. 谐振功放的外部特性



# 1. 负载特性 — $R_{\Sigma}$

负载增大

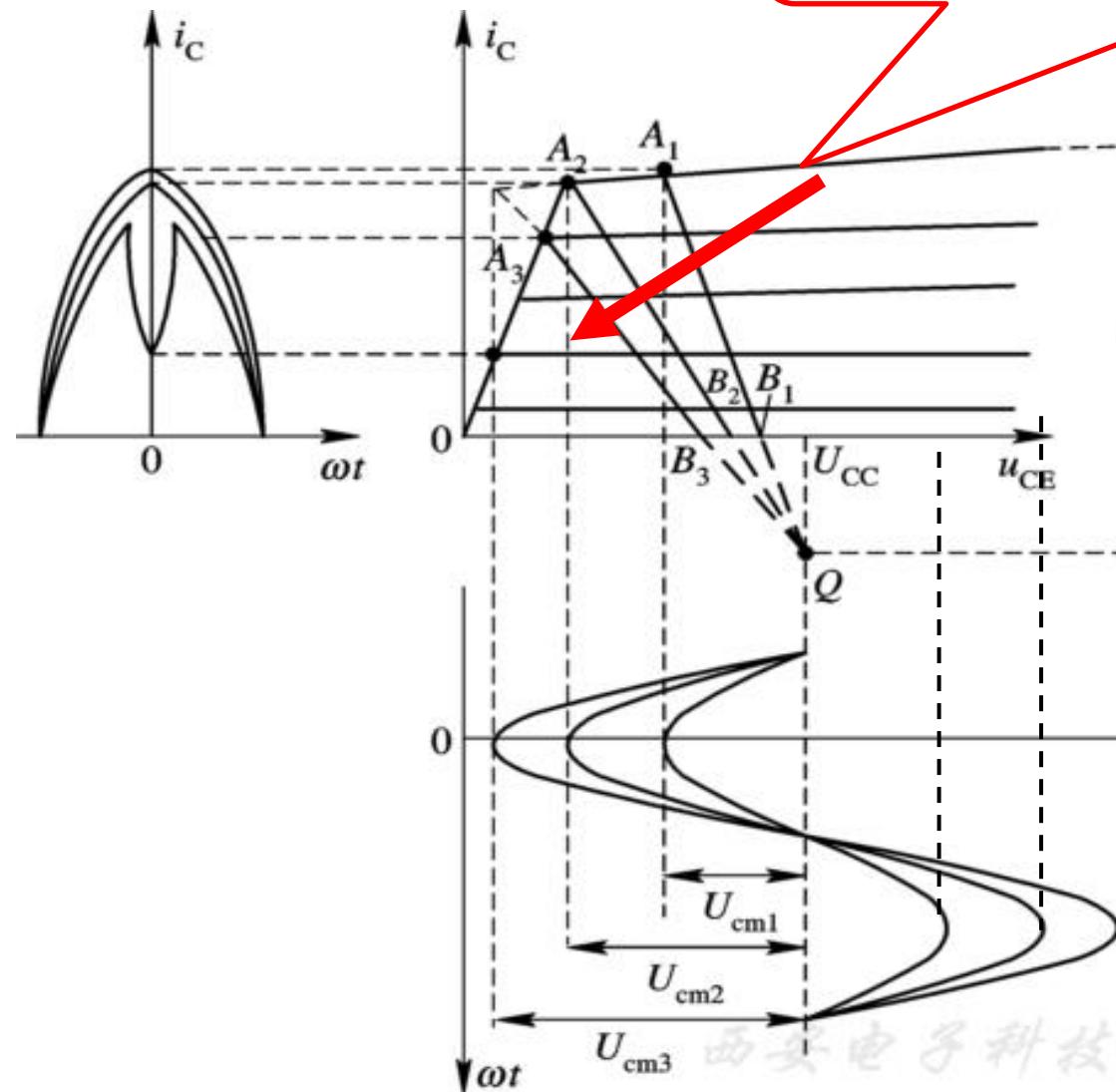
$$R_d = \frac{1}{g_d} = \alpha_1(\theta)(1 - \cos \theta)R_{\Sigma}$$

随  $R_{\Sigma} \uparrow$ ,

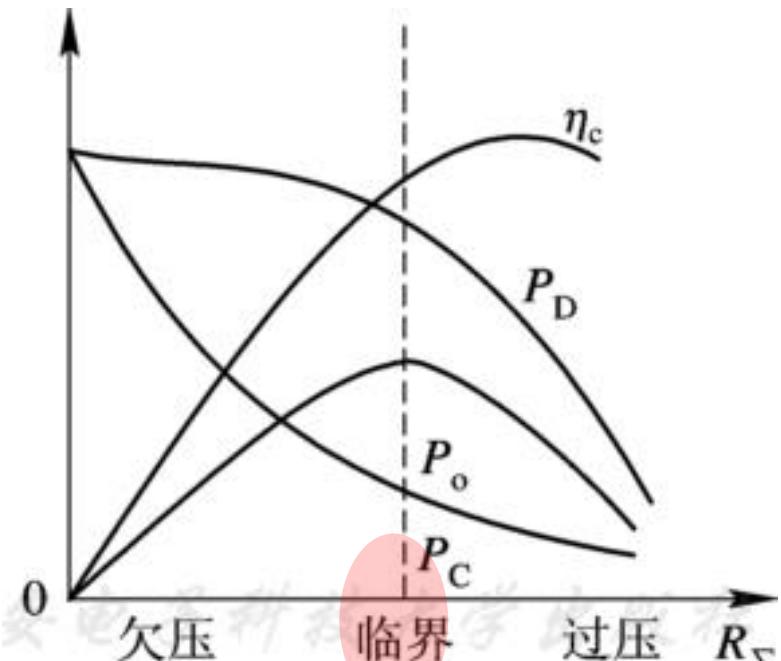
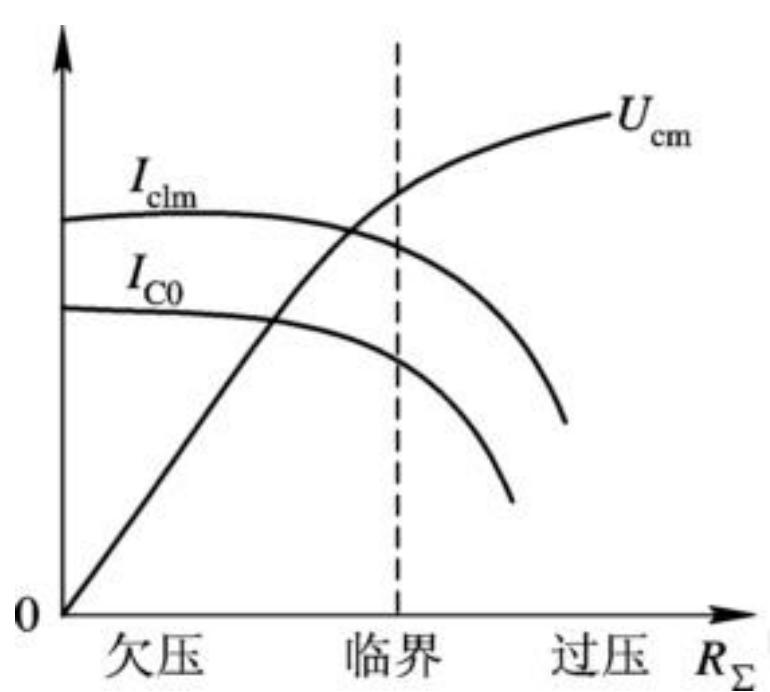
• 工作状态

•  $i_C$  波形

•  $U_{cm}$



# 负载特性曲线 (a)(b)



$$P_D = V_{CC} I_{C0}$$

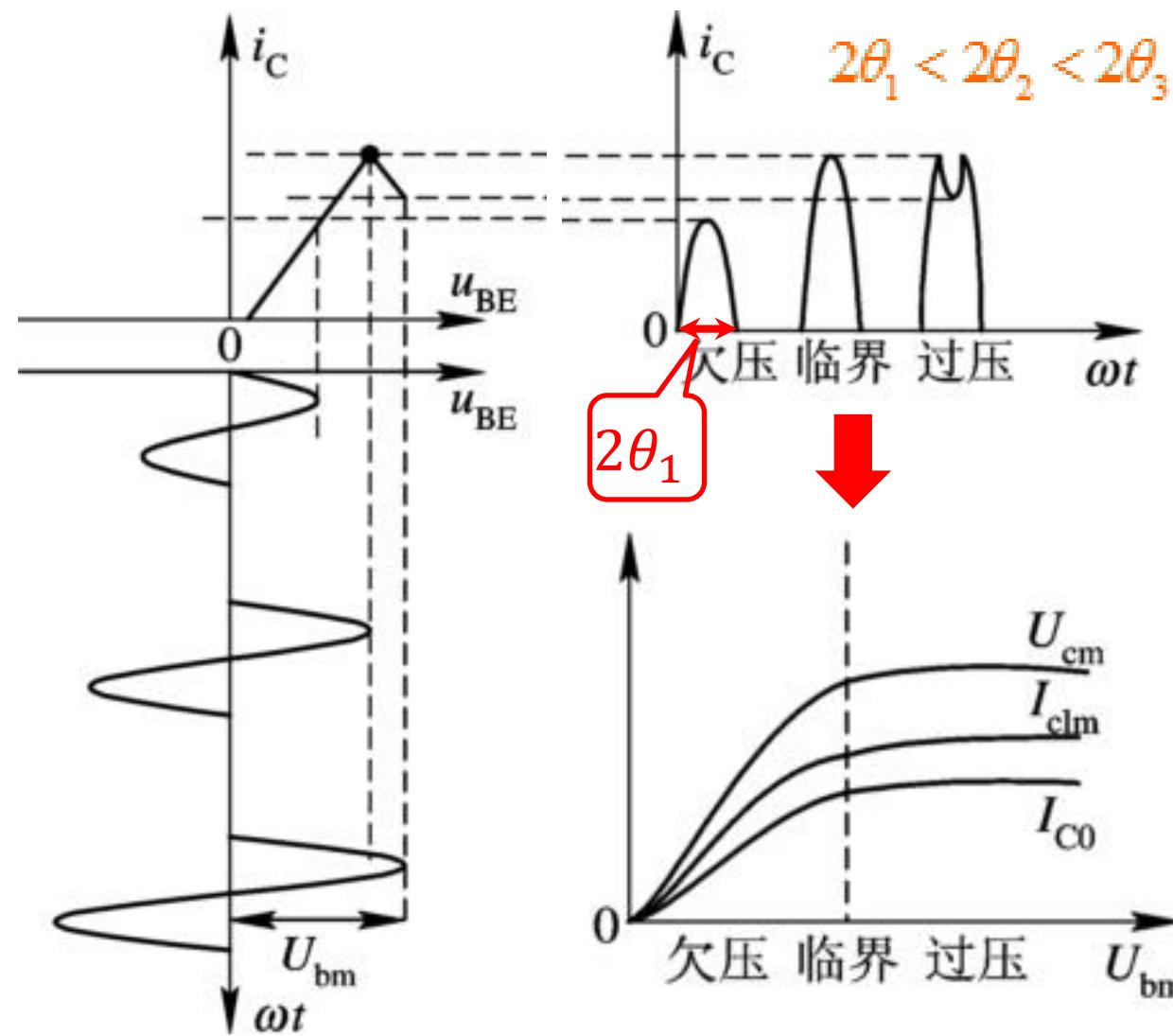
$$\eta_c = \frac{P_o}{P_D}$$

$$P_o = \frac{1}{2} I_{c1m} U_{cm} \quad P_c = P_D - P_o$$

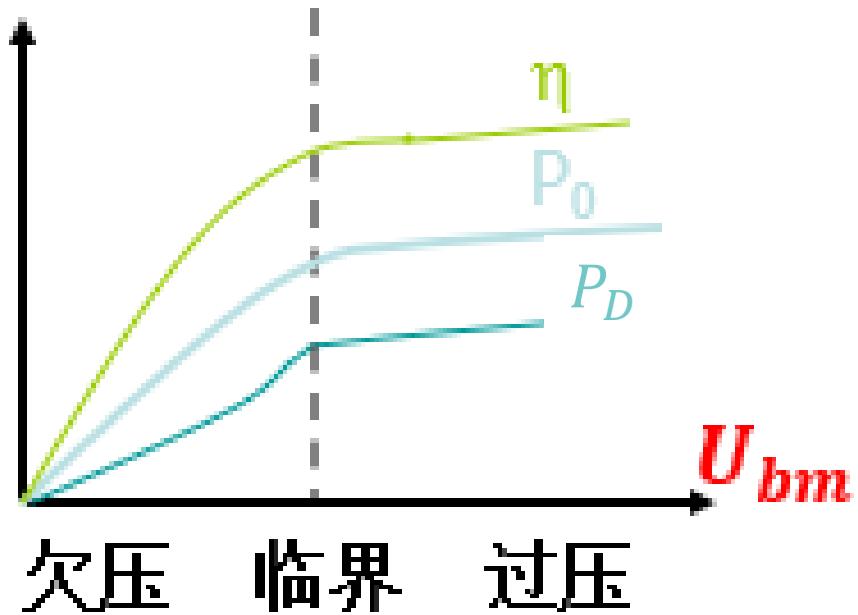
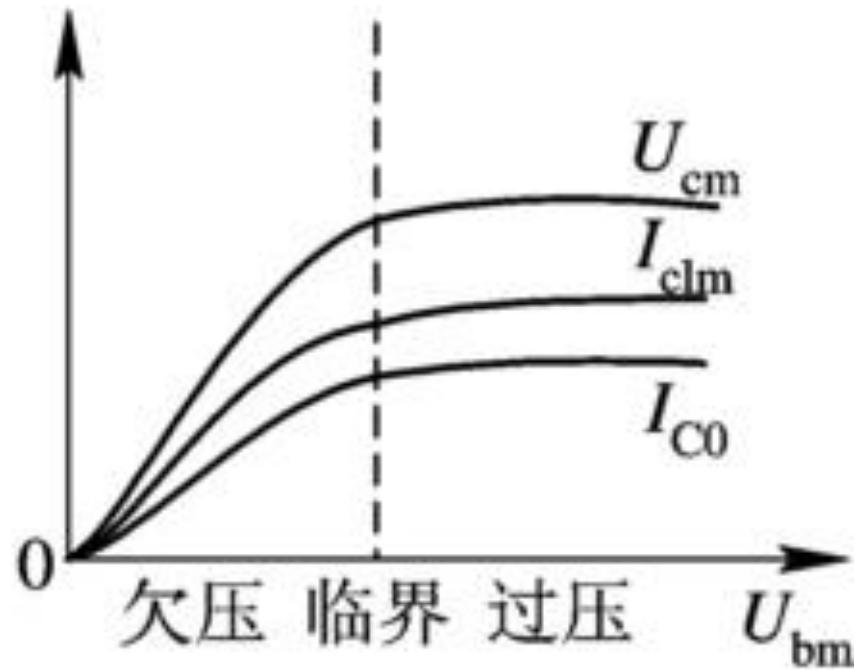
$P_o$  最大，  
 $\eta$  较高；  
末级或末前级功放  
常选此状态工作



## 2. 放大特性 (振幅特性) —— $U_{bm}$ 变化(其余3量不变)



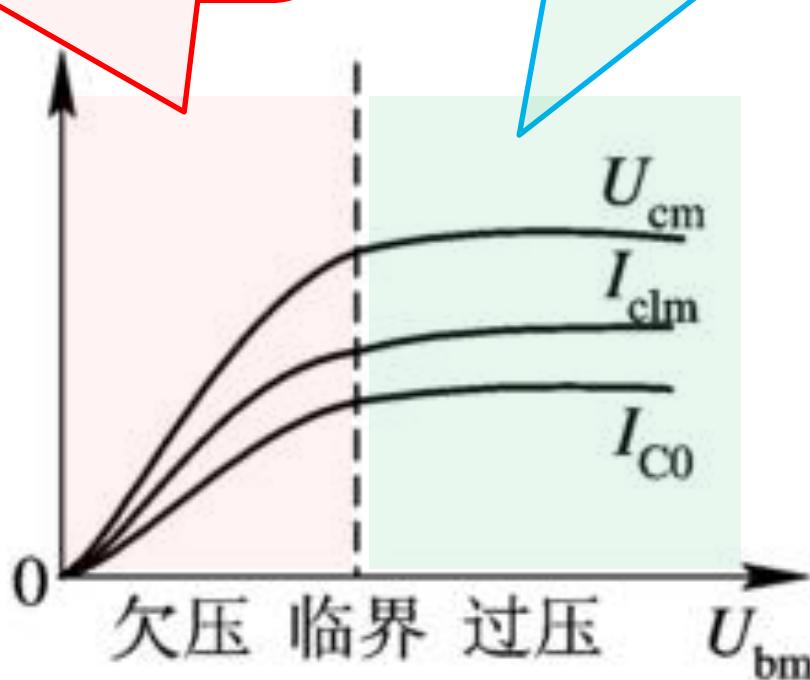
## ■ 放大特性曲线



## ■ 应用：作为线性放大器和振幅限幅器

$U_{Cm}$ 与 $U_{bm}$ 近似呈线性关系。可实现对振幅变化信号（非等幅信号）的线性放大。

$U_{Cm}$ 近似呈现恒压特性，可实现对振幅变化信号的限幅。

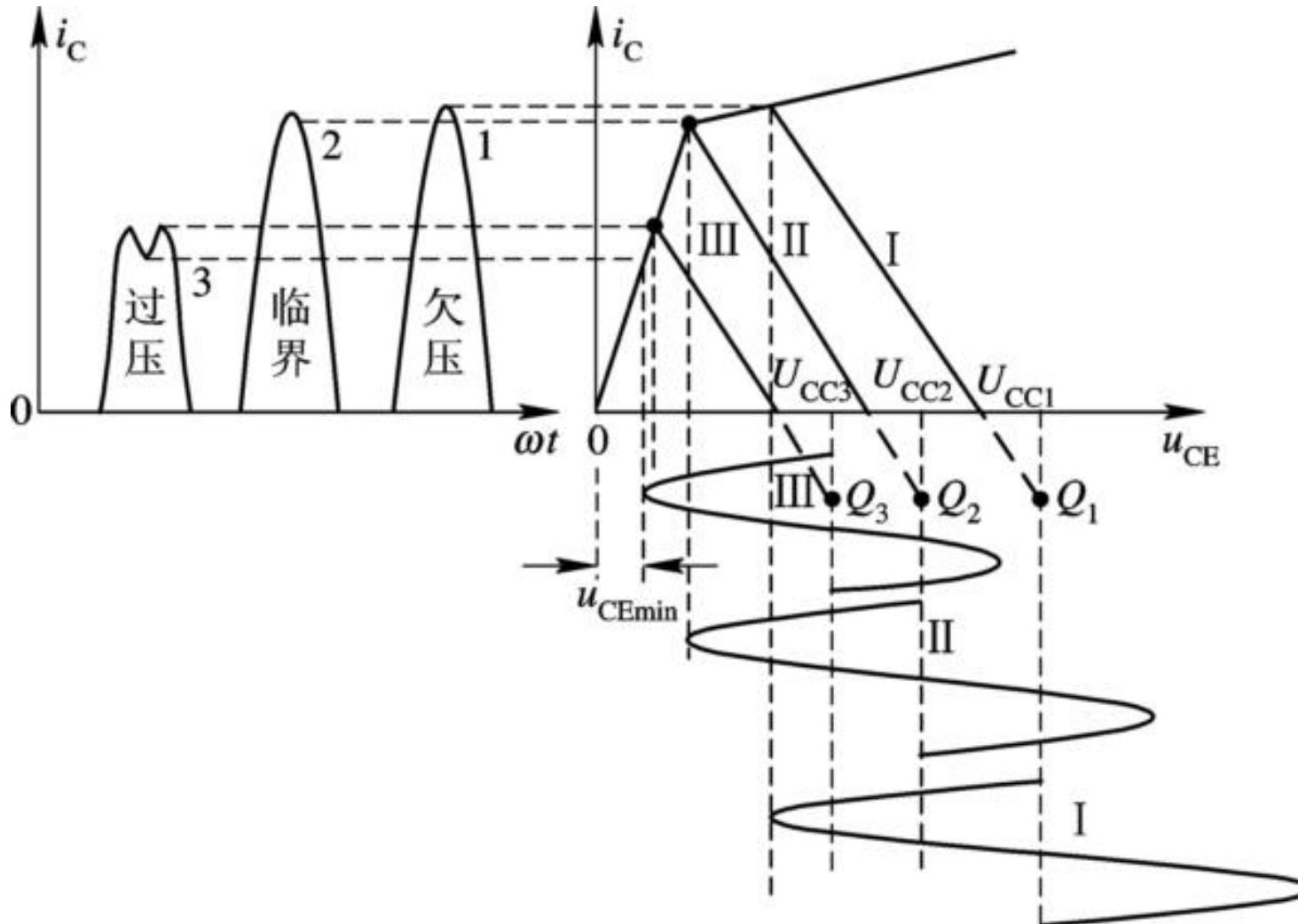


### 3. 调制特性 —— $U_{CC}$ 、 $U_{BB}$

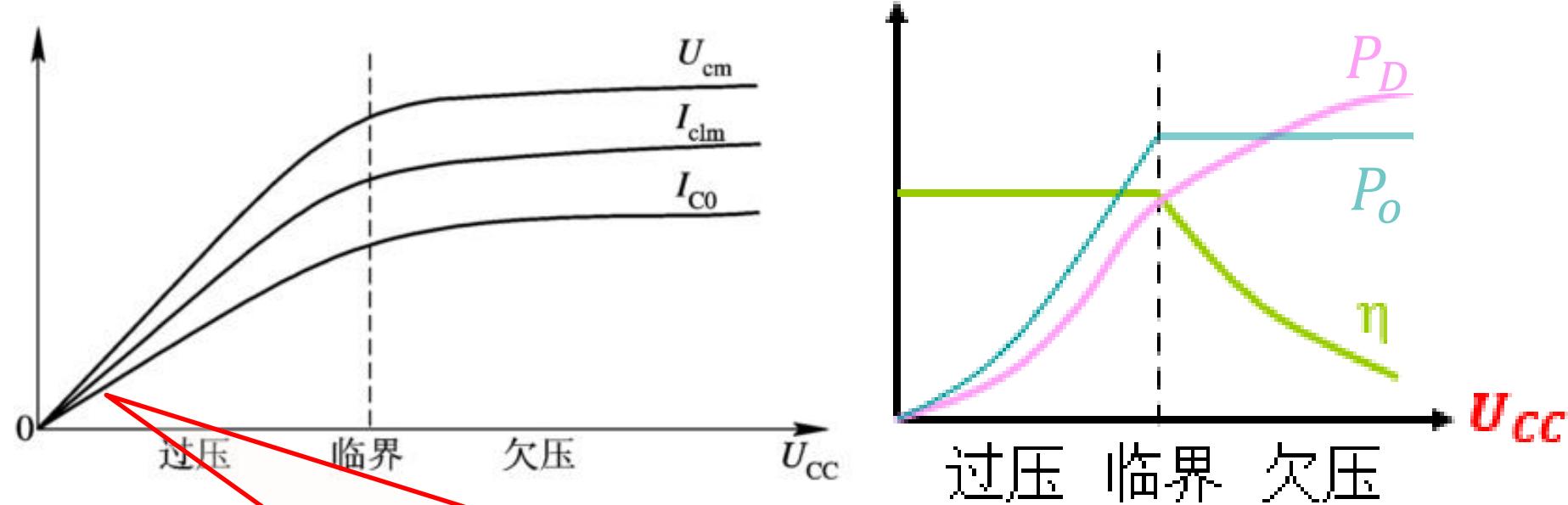
- 集电极调制特性 ——  $U_{CC}$  的影响
- 基极调制特性 ——  $U_{BB}$  的影响



## ■ 集电极调制特性—— $U_{CC}$ 的影响



## • 集电极调制特性曲线

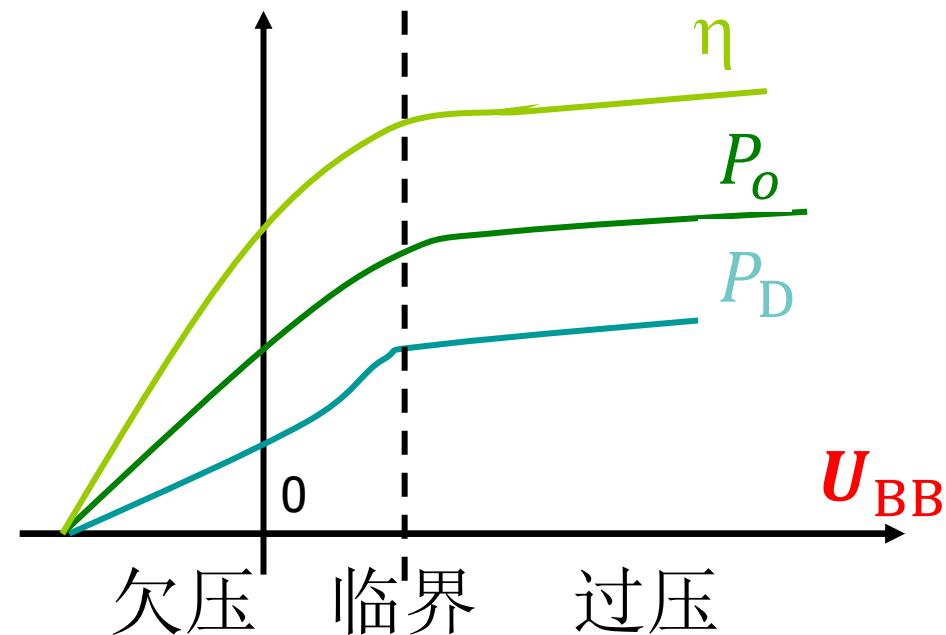
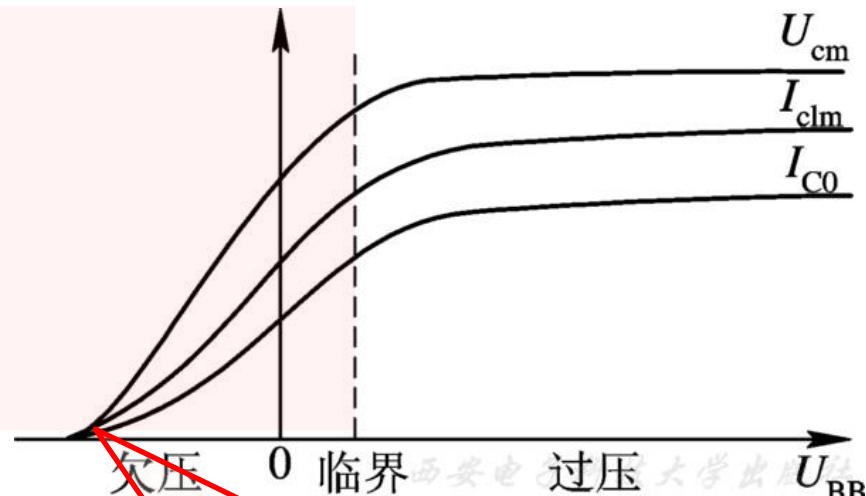


过压区域， $U_{cm}$ 与 $U_{cc}$ 近似呈线性关系。可通过控制 $U_{cc}$ 的变化，实现集电极调幅。

## ■ 基极调制特性 — $U_{BB}$ 变化

$$u_{BEmax} = U_{BB} + U_{bm}$$

- 基极调制特性曲线



$U_{cm}$  与  $U_{BB}$  近似呈线性关系，  
实现基极调幅。

# 本章作业

- 例题：自看
- 习题(P70) : 2、4、5、7、9



四川大学  
SICHUAN UNIVERSITY

