

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

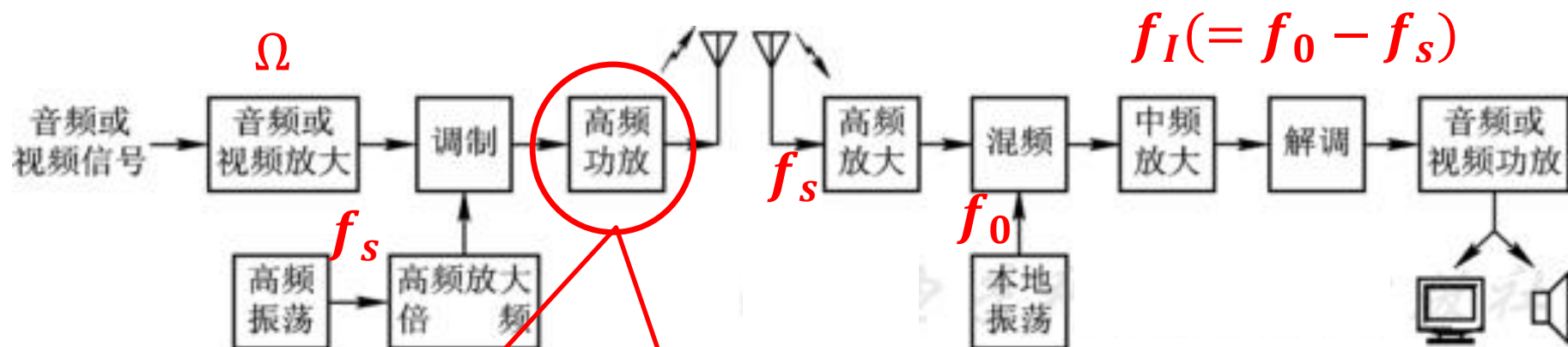
~~*3.3 宽带高频功率放大电路与功率合成电路~~

~~3.4 集成高频功率放大电路及应用简介~~



3.1 概述

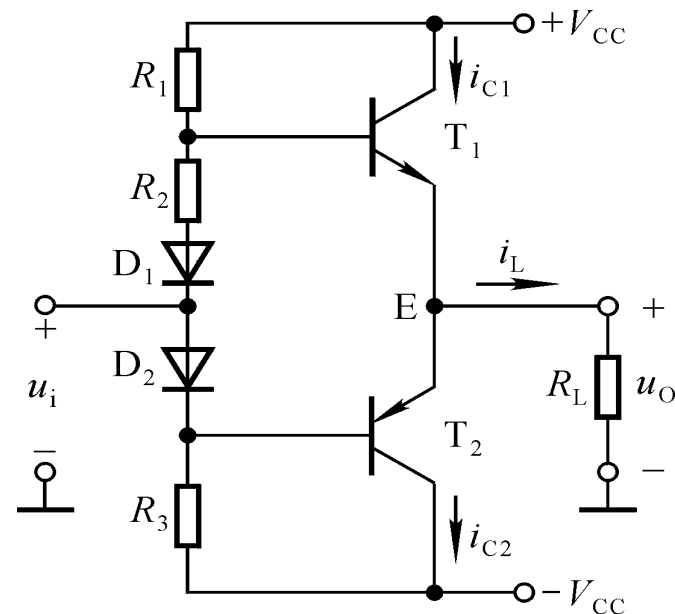
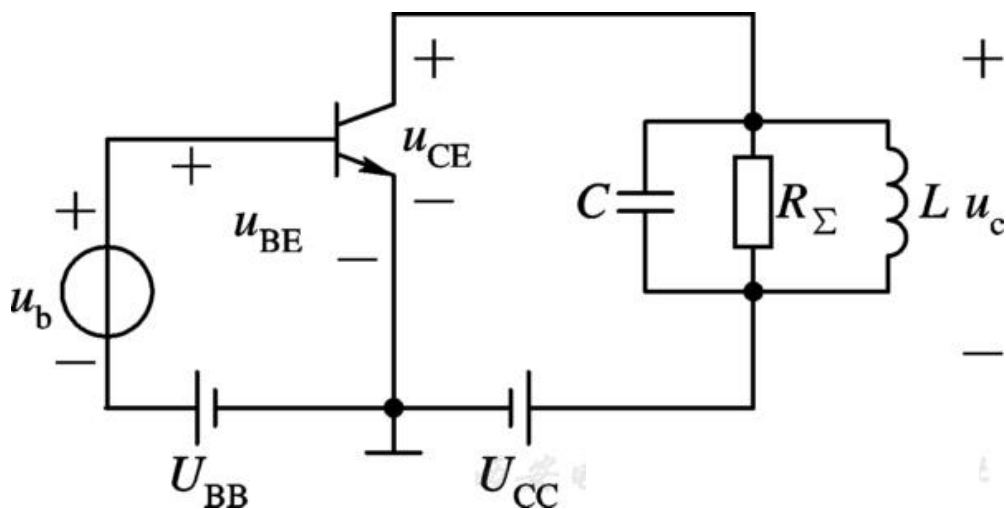
一、使用高频功放的目的



放大高频已调波信号使发射机末级获得足够大的发射功率，能有效地进行远距离传输。



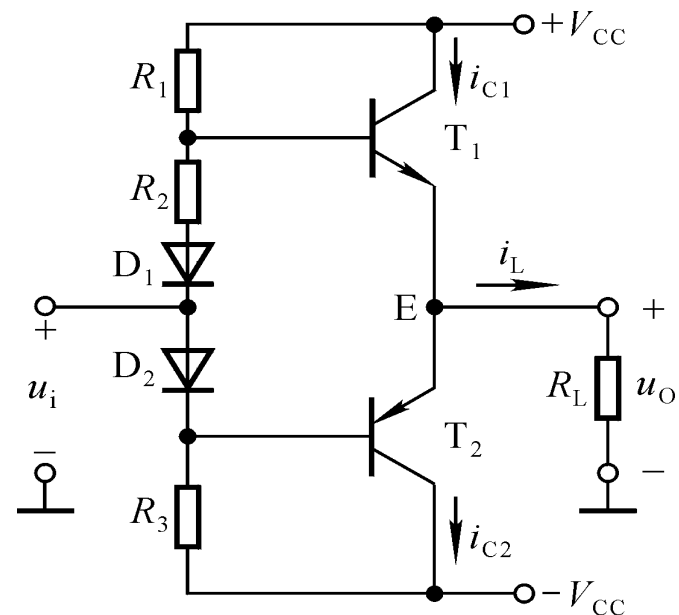
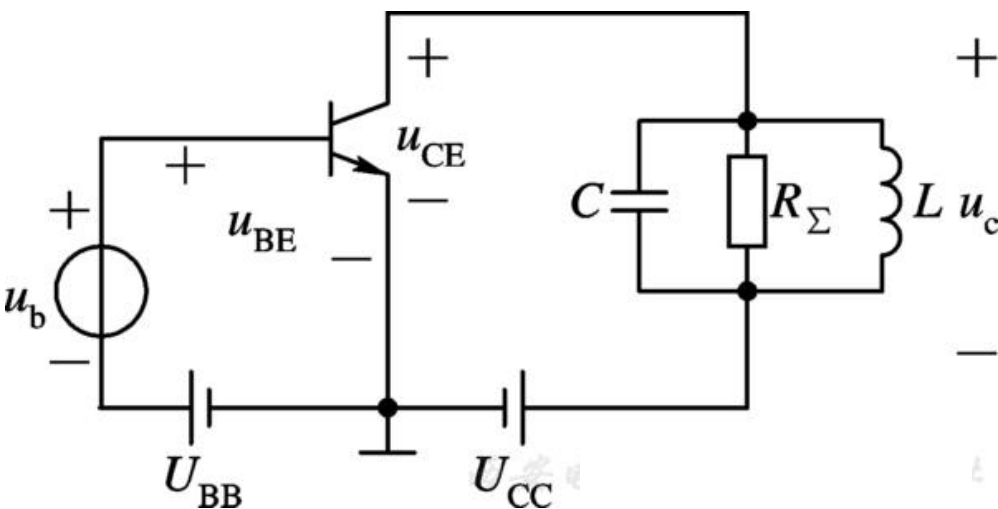
二、高频功放与低频功放的异同之处



同

- 高功率输出
- 高效率输出



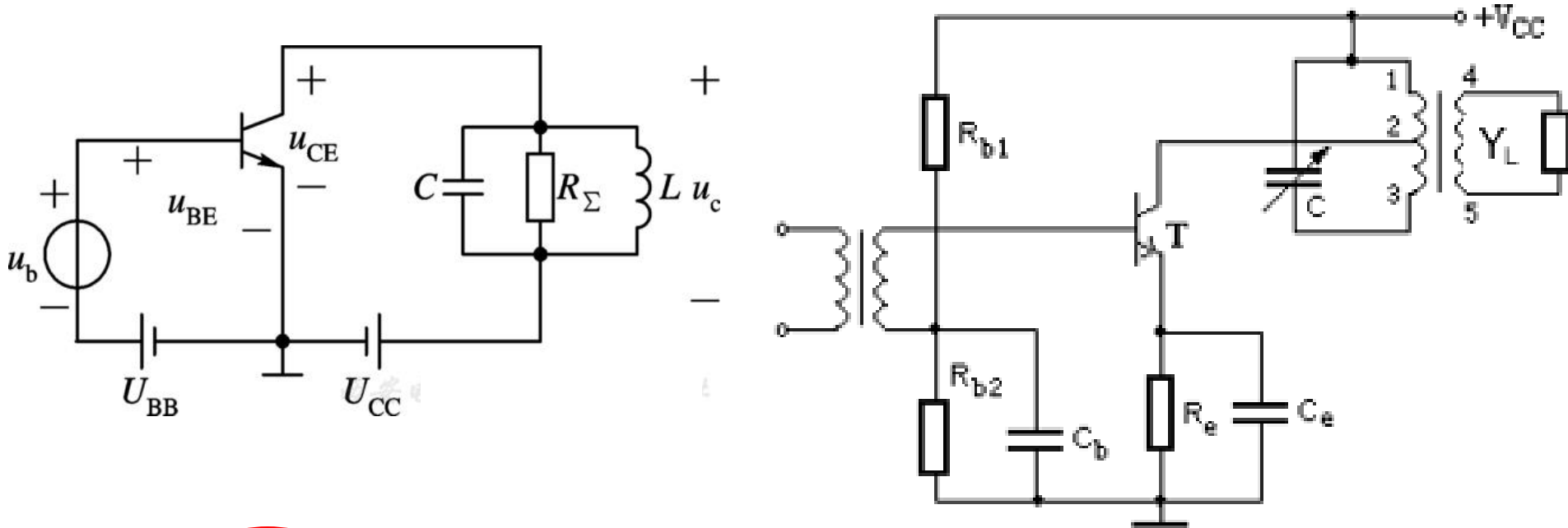


异

- 工作频率和相对带宽不同
- 所选工作状态不同



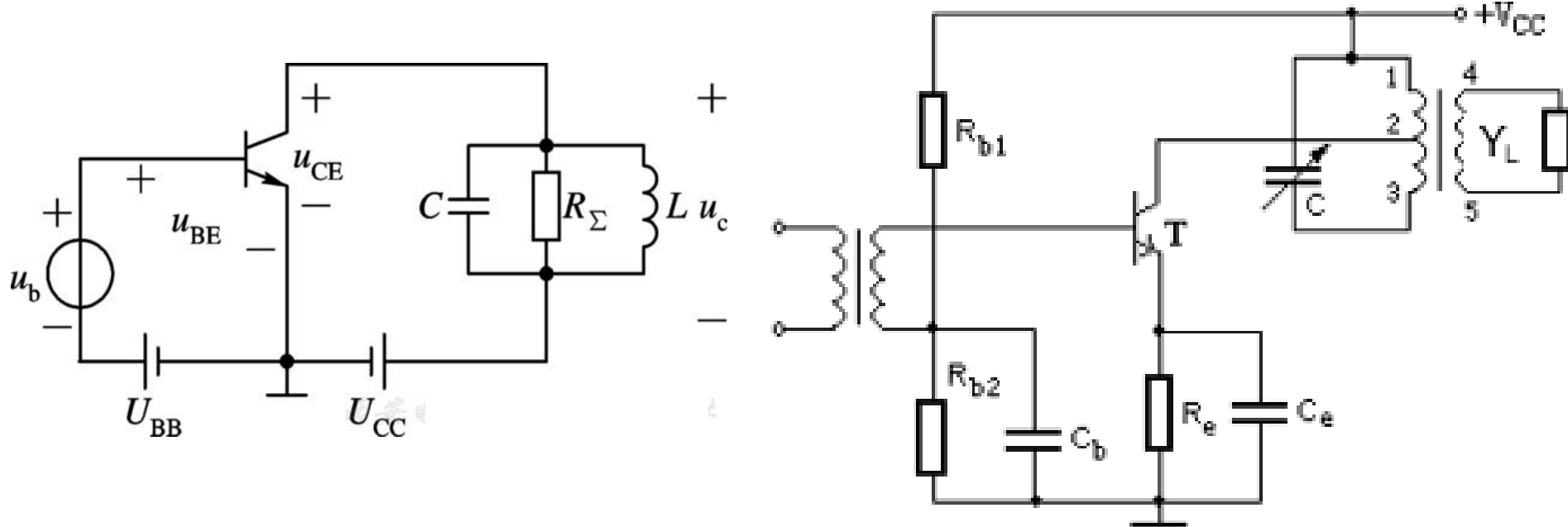
三、谐振功放与小信号谐振放大器的异同之处



同

- 放大的信号均为高频信号，且放大器负载均为谐振回路。

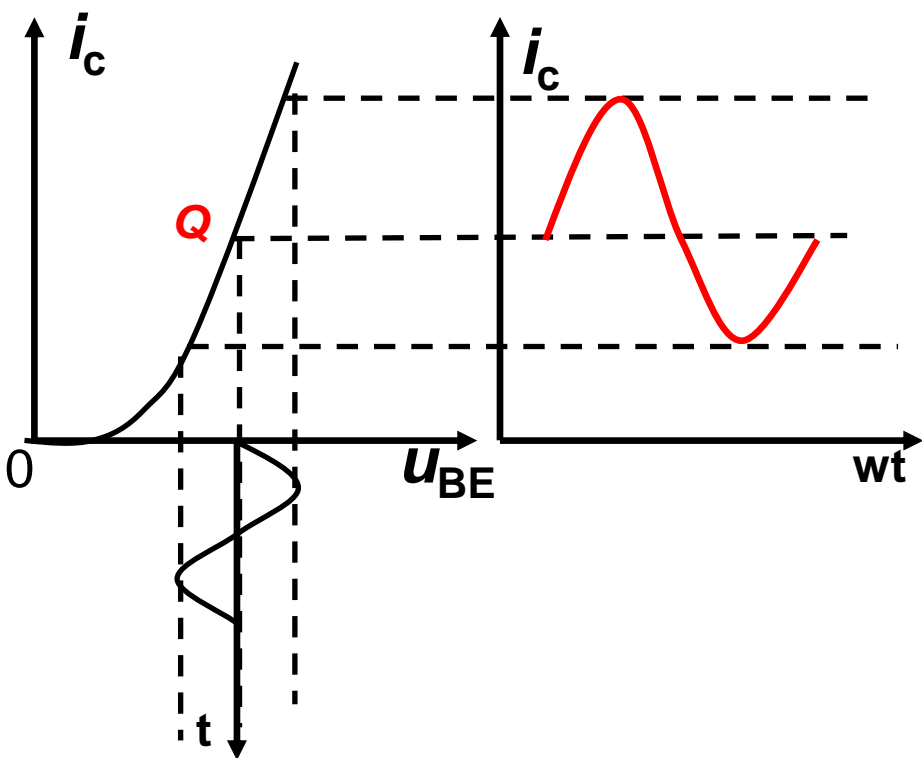




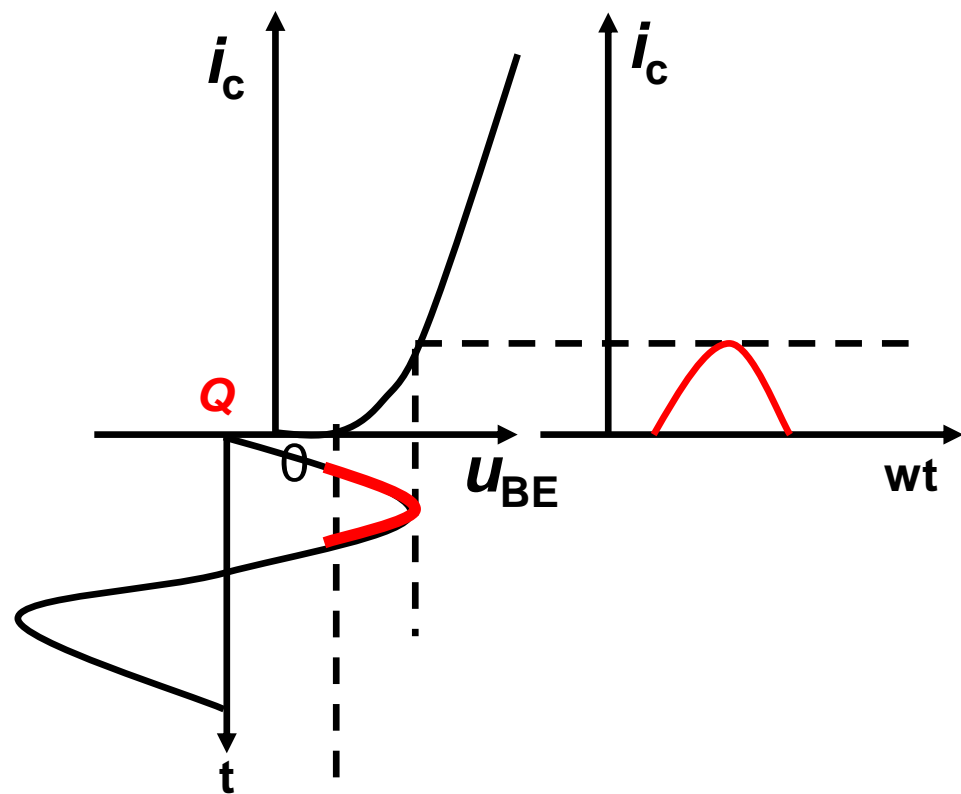
异

- 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, η 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

以谐振回路为负载，故
又称谐振功率放大器

- 宽带高频功放

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~~

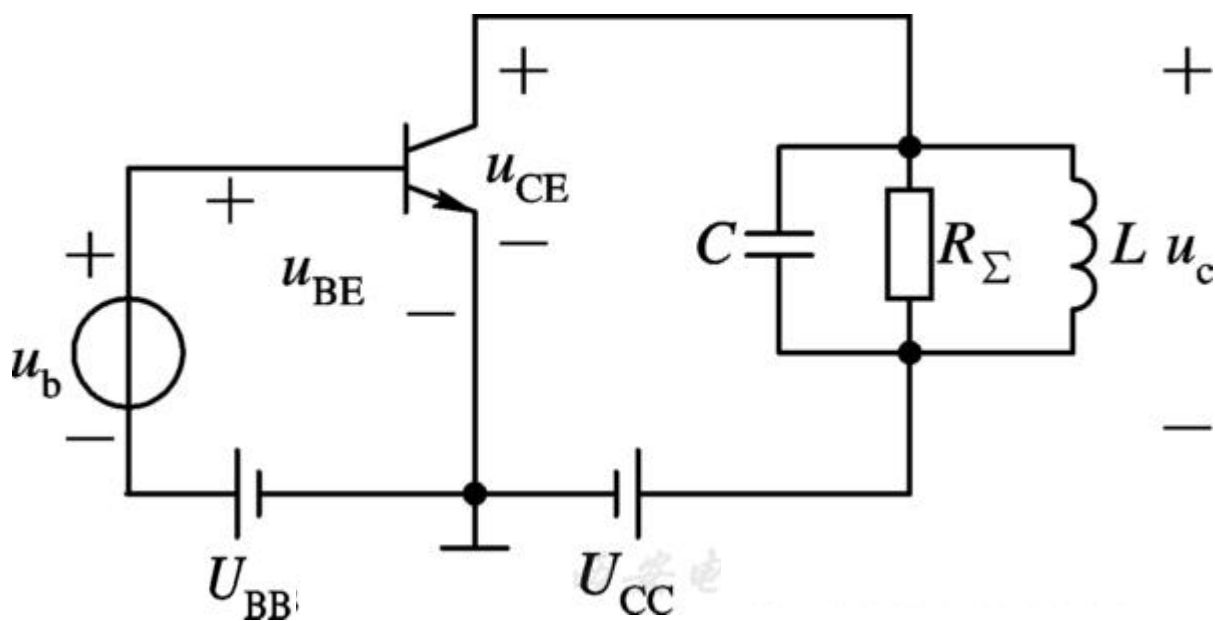
3.2 丙类谐振功率放大电路

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



- 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。

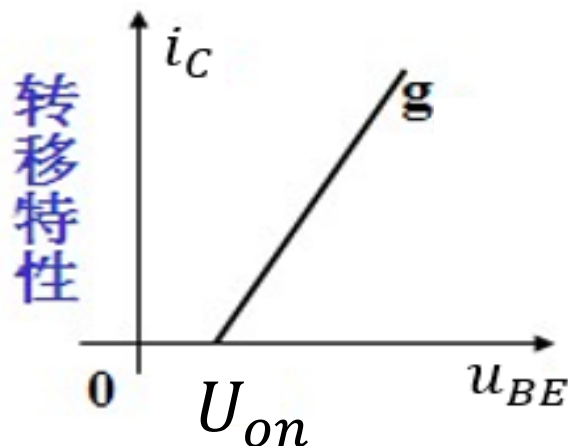
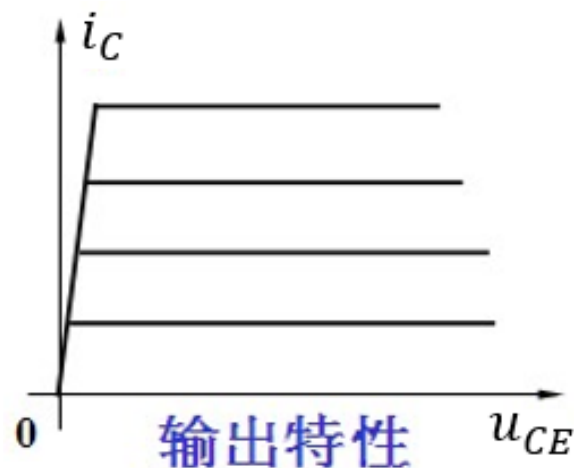
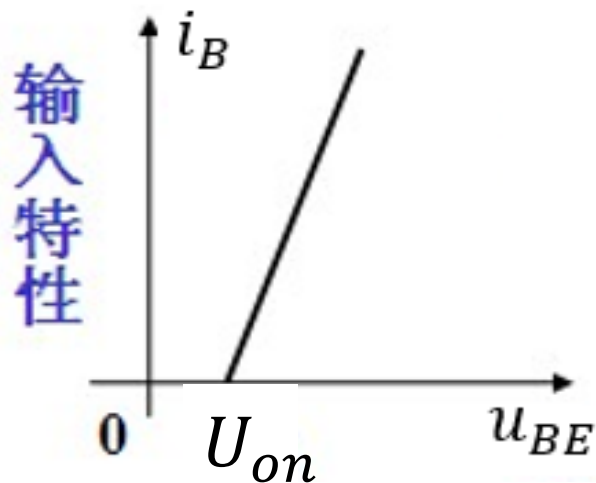
- 馈电电源

基极负偏压或零偏压(丙类)

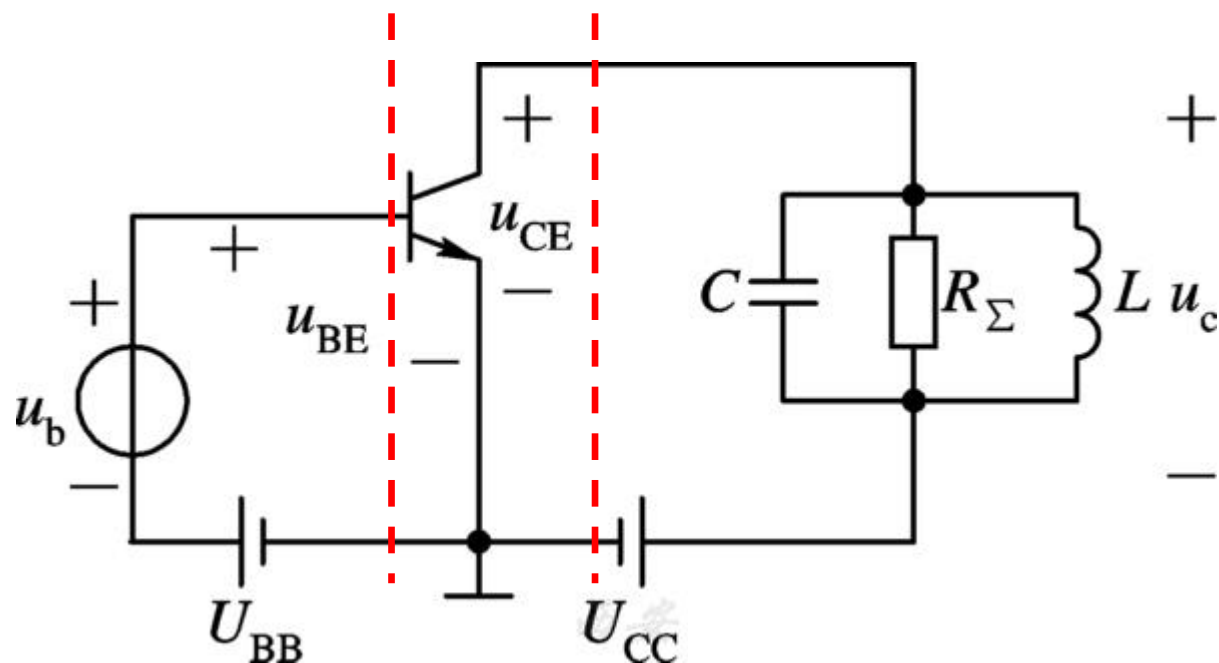


二、工作原理及性能指标

1. 特性曲线的折线化



2. 基本关系式

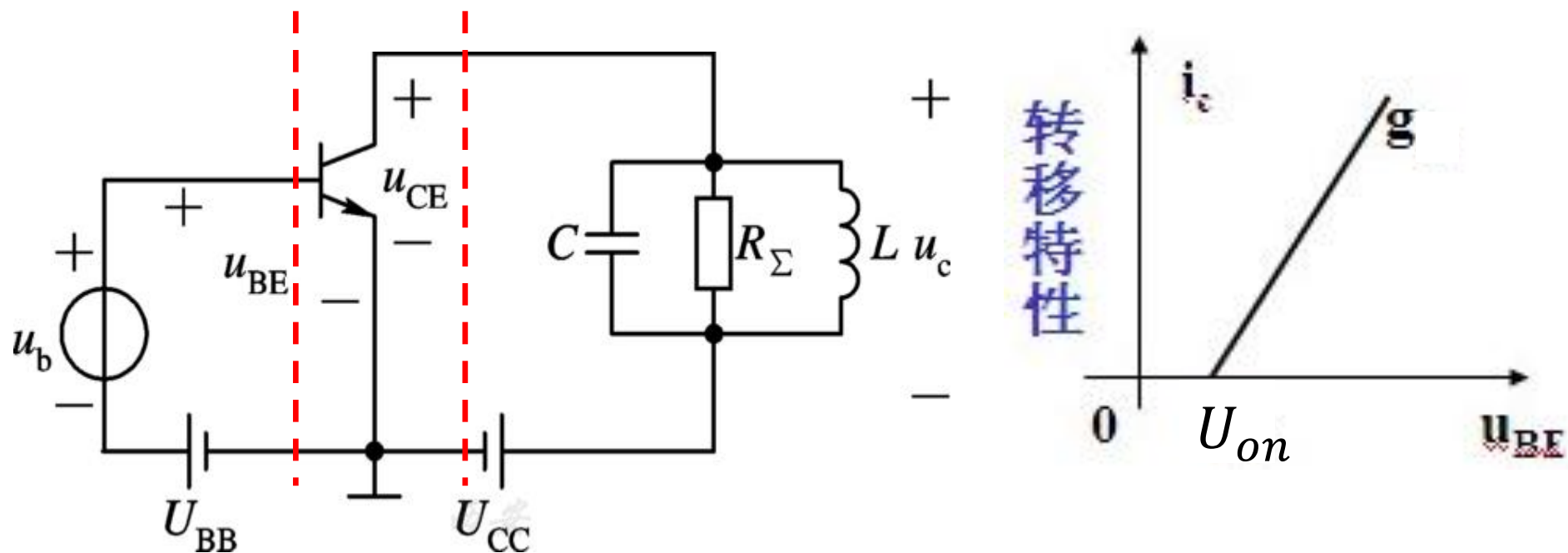


- 外部电路

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

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





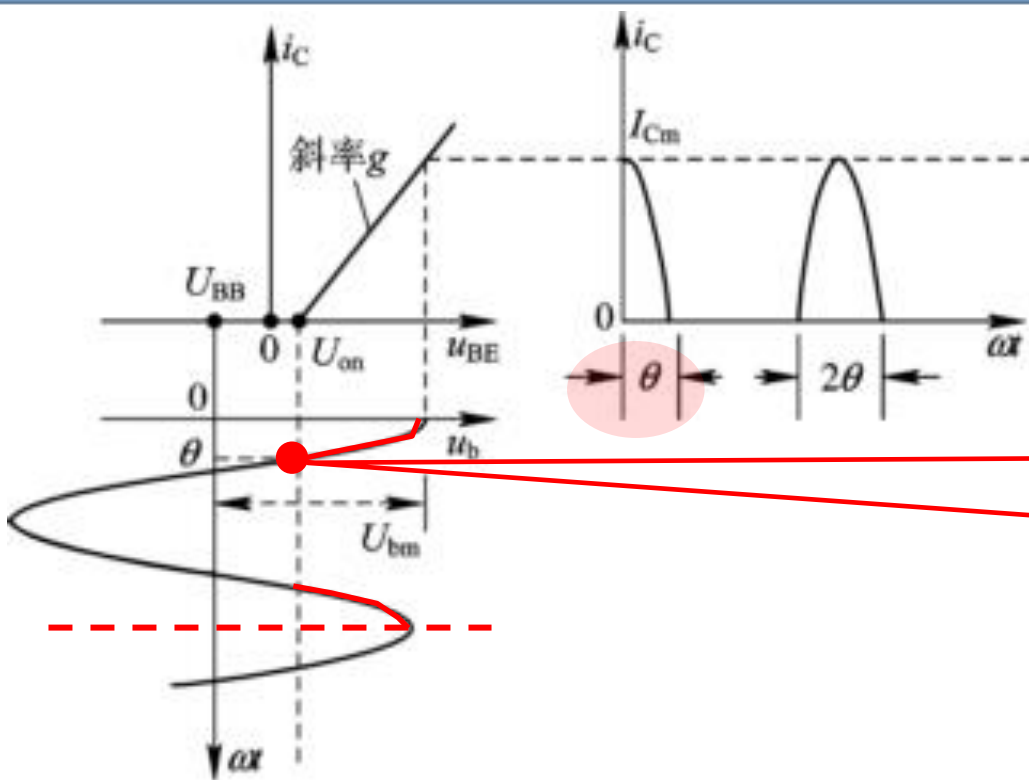
• 晶体管的内部电路

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

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

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



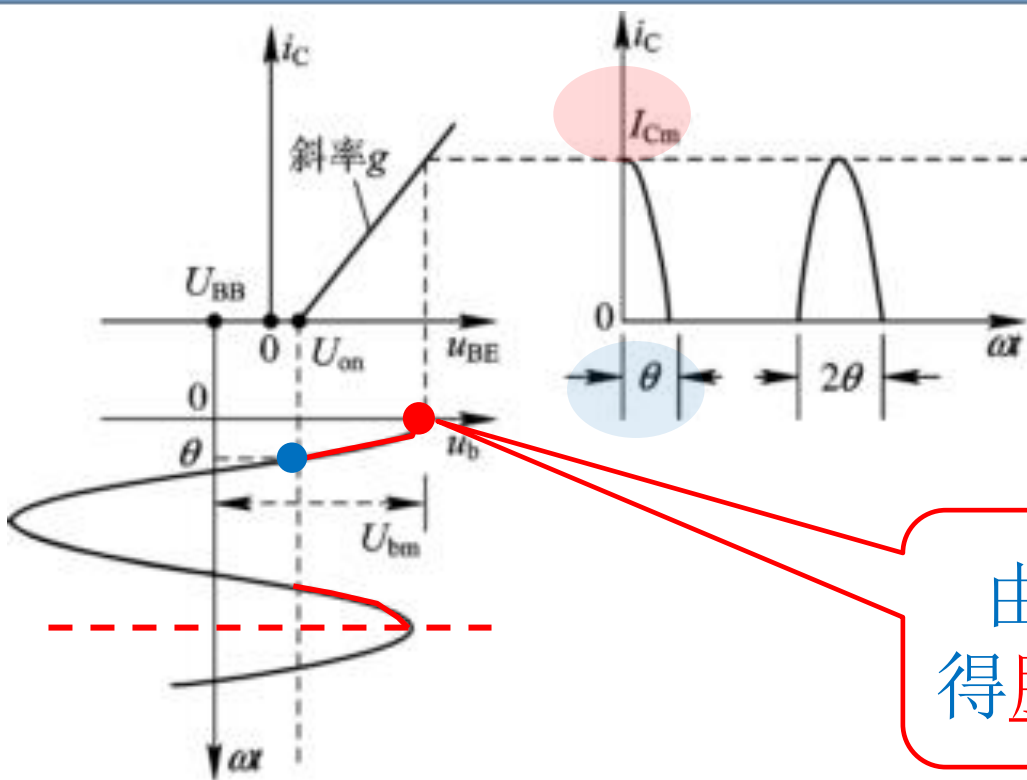


由 $\omega t = \theta, i_C = 0$
得 脉冲宽度 θ

• (半)导通角 θ

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





- 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 θ 和 I_{Cm} 来表示)

$$\begin{aligned} i_C &= g(u_{BE} - U_{on}) = g(U_{BB} + U_{bm}\cos\omega t - U_{on}) \\ &= gU_{bm}\left(\cos\omega t - \frac{U_{on} - U_{BB}}{U_{bm}}\right) \\ &= I_{Cm} \cdot \frac{\cos\omega_s t - \cos\theta}{1 - \cos\theta} \end{aligned}$$

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：

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

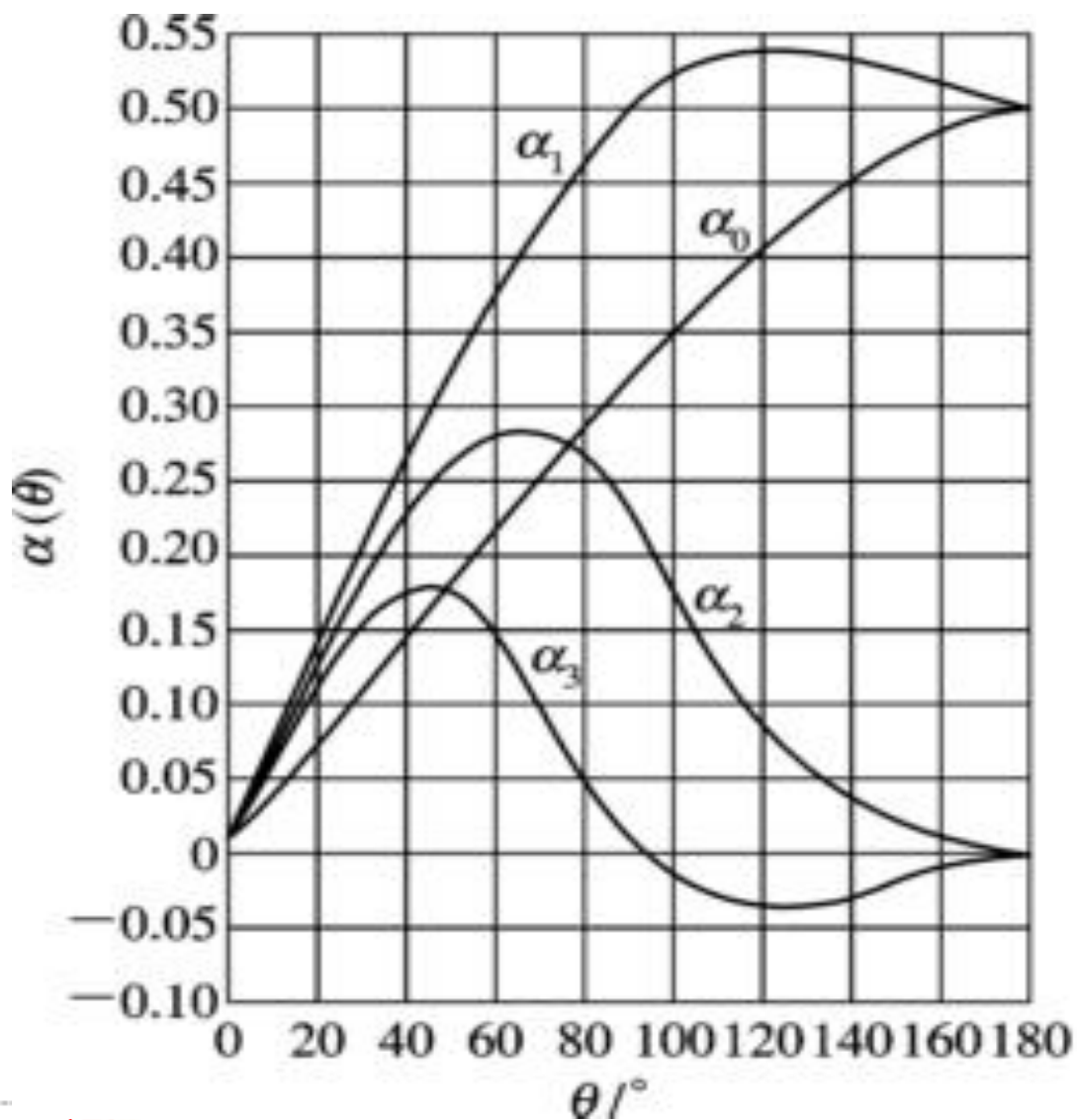
$$I_{C1m} = \frac{1}{\pi} \int_{-\theta}^{\theta} i_C \cos \omega t d\omega t = I_{Cm} \alpha_1(\theta)$$

.....

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



或可查余弦脉冲的分解系数表得到



4. 电压、电流的波形图

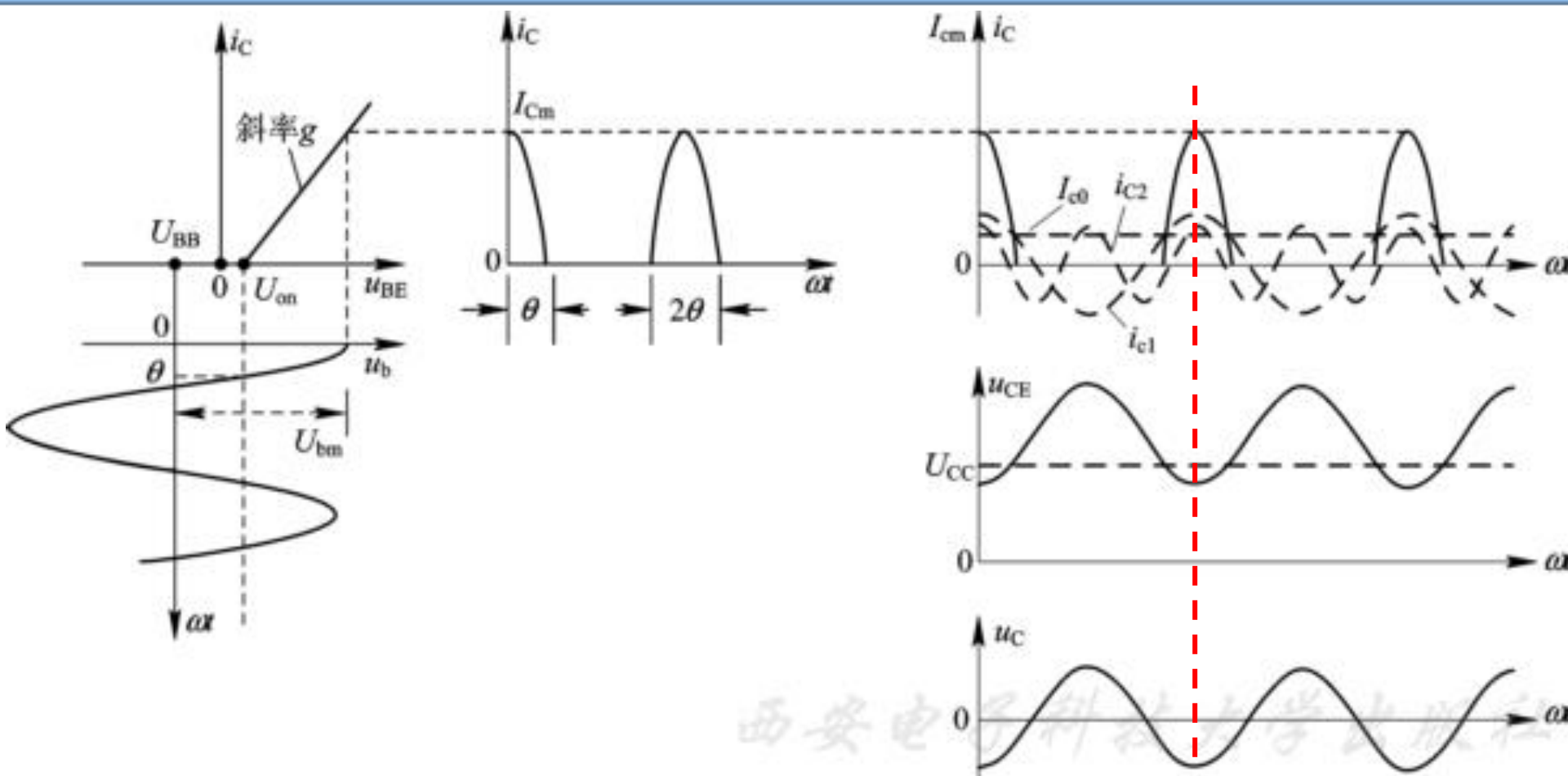


图 3.2.3 丙类状态转移特性分析



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 : $P_D = U_{CC} I_{C0}$
- 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_{Σ} : 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: $P_D = P_O + P_C$



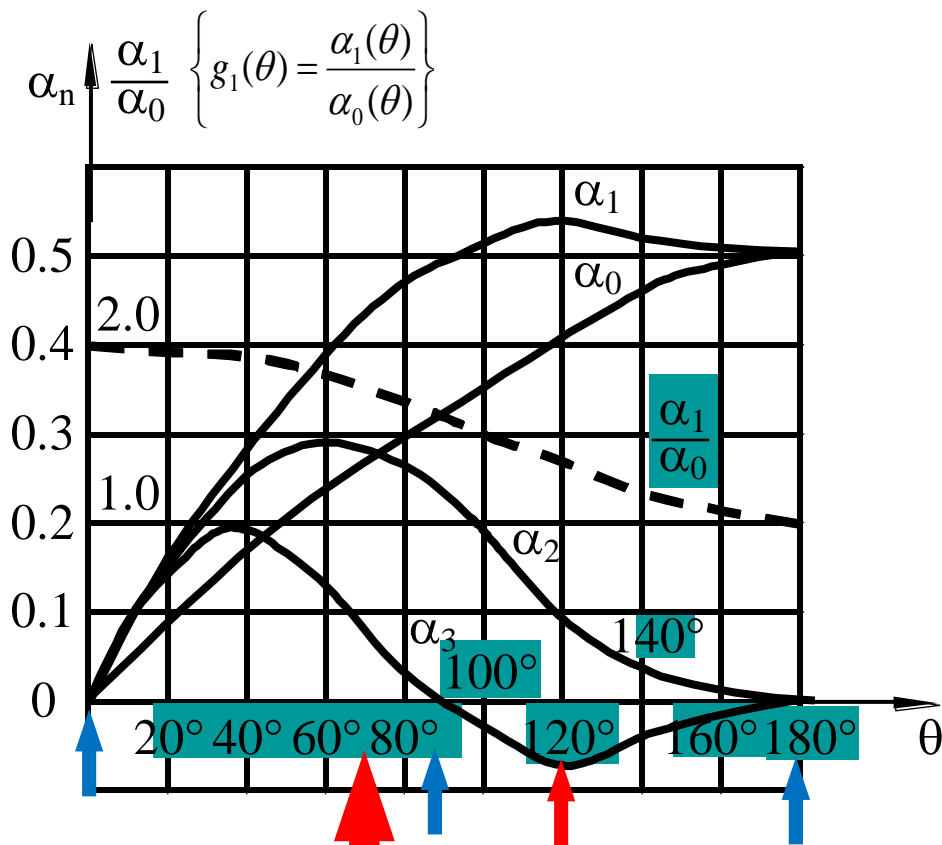
(2) 效率

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

$\xi = \frac{U_{cm}}{U_{CC}}$, 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)





兼顾功率与效率，最佳导通角常取 70°

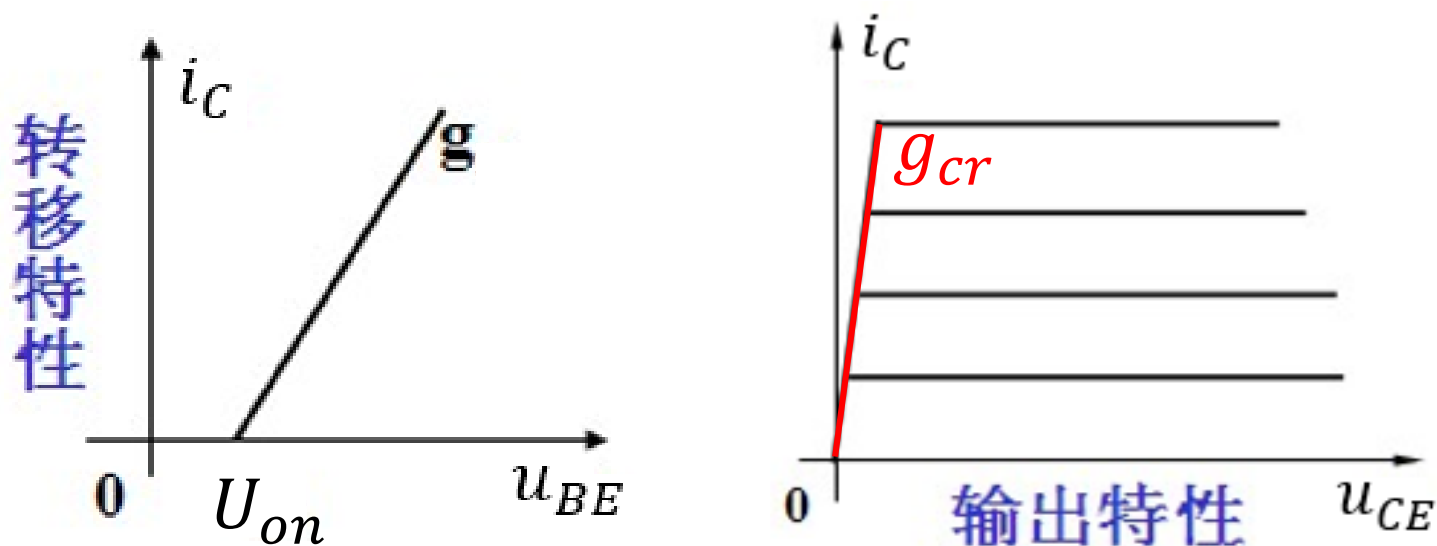


3.2.2 性能分析 —— 折线分析法

- 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: $i_C = 0 \quad (u_{BE} < U_{on})$

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

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

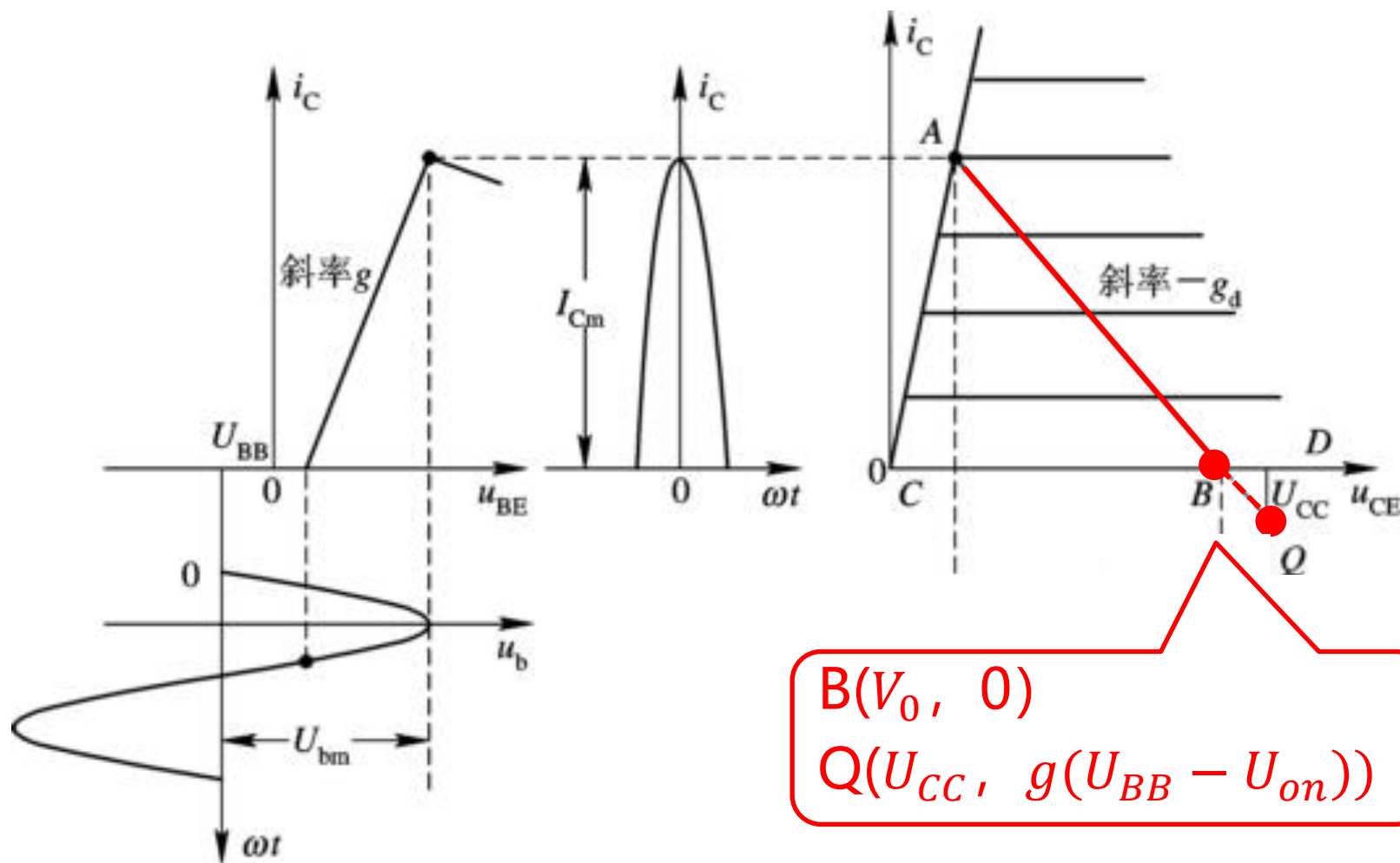
$$u_{CE} = U_{CC} - U_{cm} \cos \omega t \quad (2)$$

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

联立求解得负载线方程：

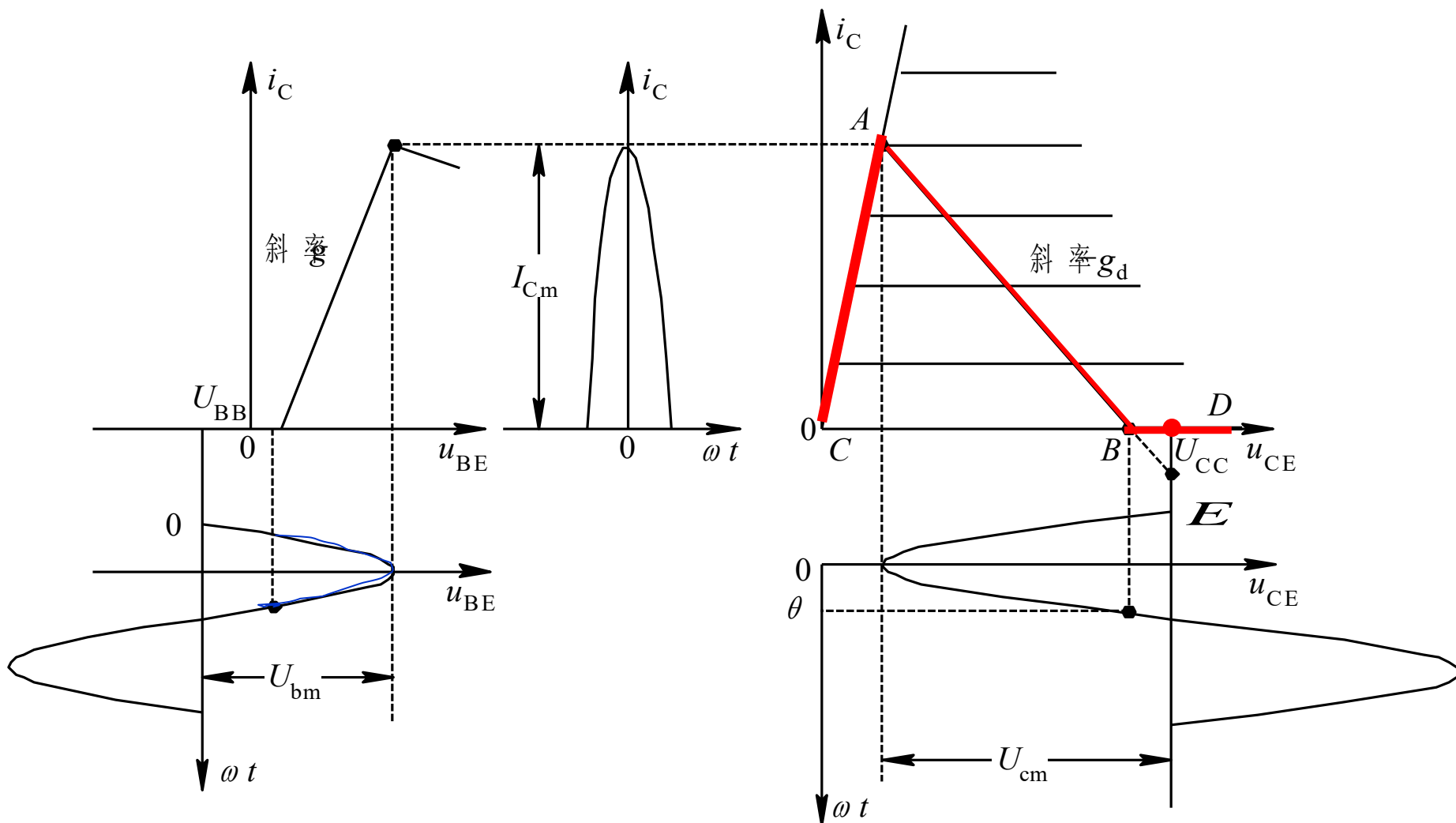
$$\begin{aligned} i_C &= g \left[U_{BB} + U_{bm} \frac{U_{CC} - u_{CE}}{U_{cm}} - U_{on} \right] = g \left[-\frac{U_{bm}}{U_{cm}} u_{CE} + U_{BB} - U_{on} + \frac{U_{bm}}{U_{cm}} U_{CC} \right] \\ &= -g \frac{U_{bm}}{U_{cm}} \left[u_{CE} - \frac{U_{cm}}{U_{bm}} (U_{BB} - U_{on}) - U_{CC} \right] = -g_d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



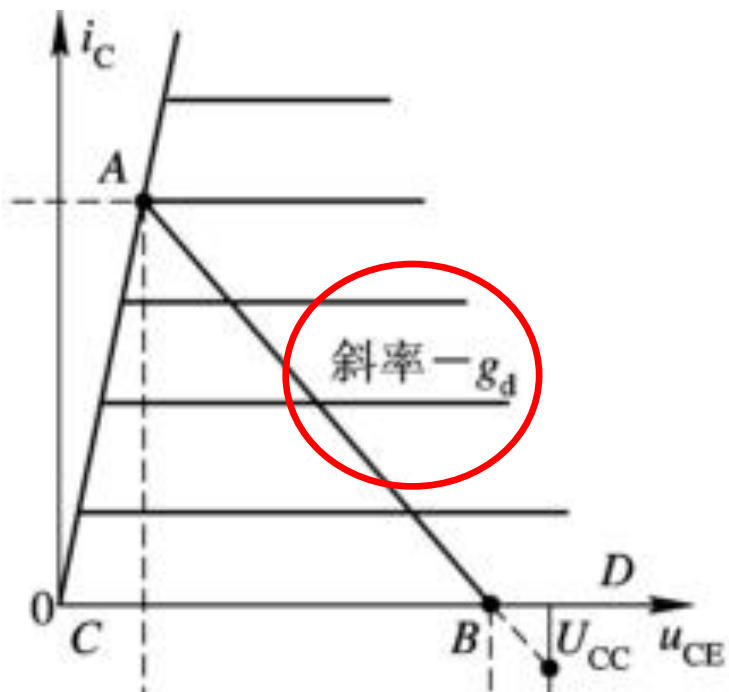


2. 谐振放大器的动态线

折线CABD



■ 斜率值 g_d (动态电导)的另一种形式

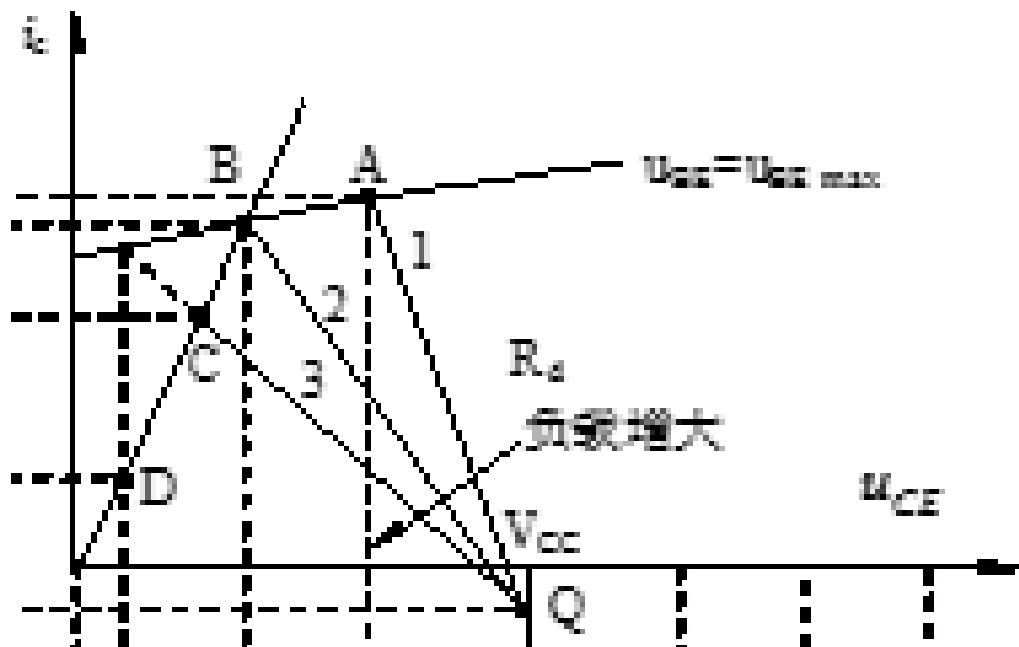


$$g_d = g \frac{U_{bm}}{U_{cm}} = \frac{I_{Cm}}{U_{cm}(1 - \cos \theta)}$$

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

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

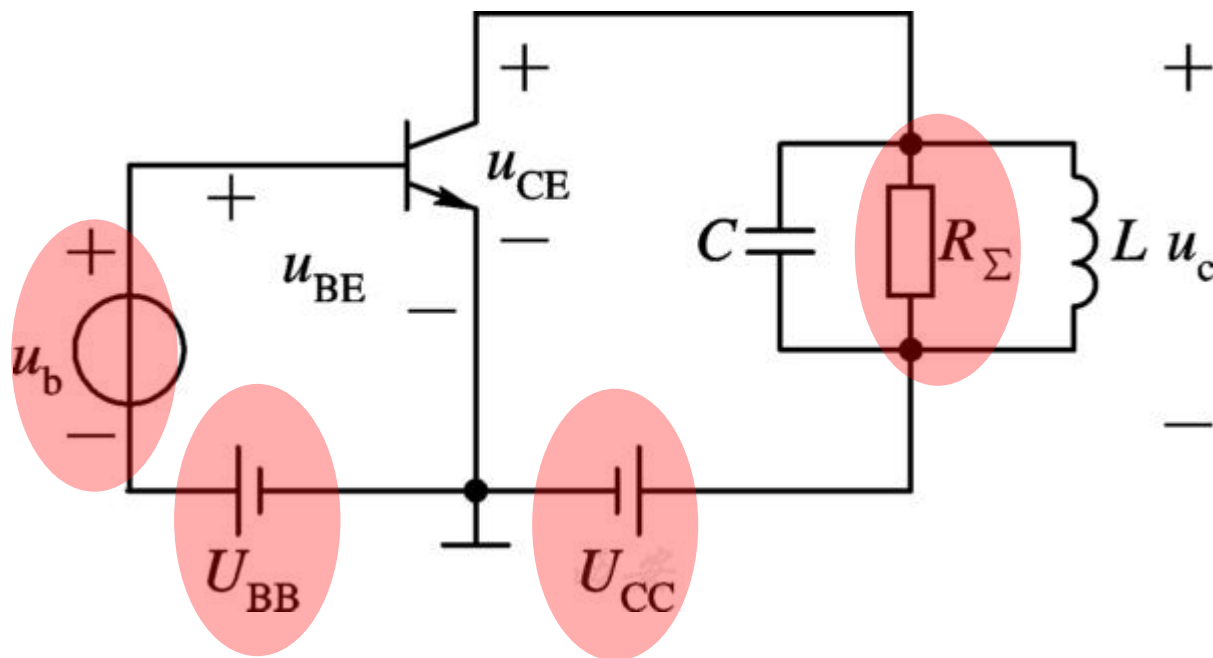
3、定义放大器的工作状态



- 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_Σ

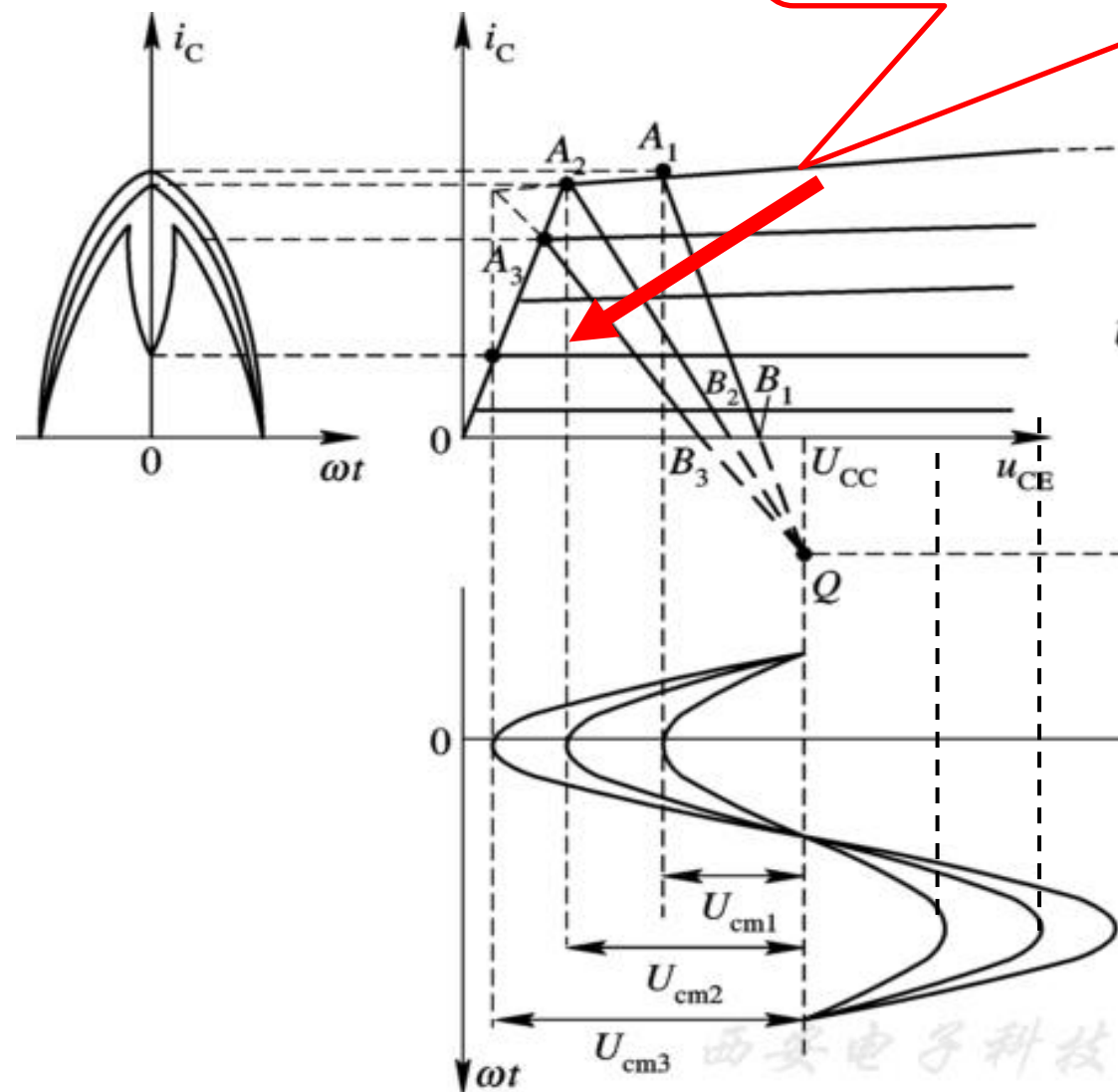
负载增大 $R_d = \frac{1}{g_d} = \alpha_1(\theta)(1 - \cos \theta)R_\Sigma$

随 $R_\Sigma \uparrow$,

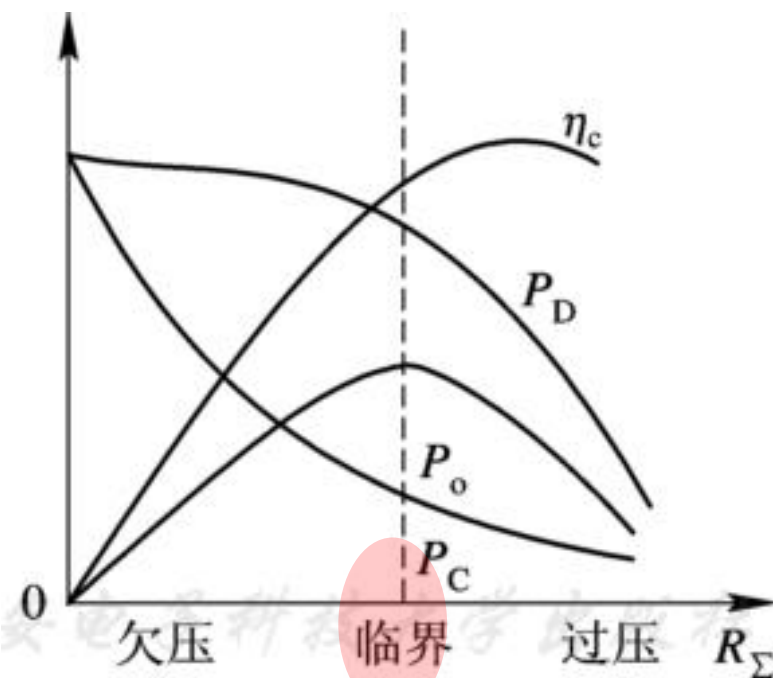
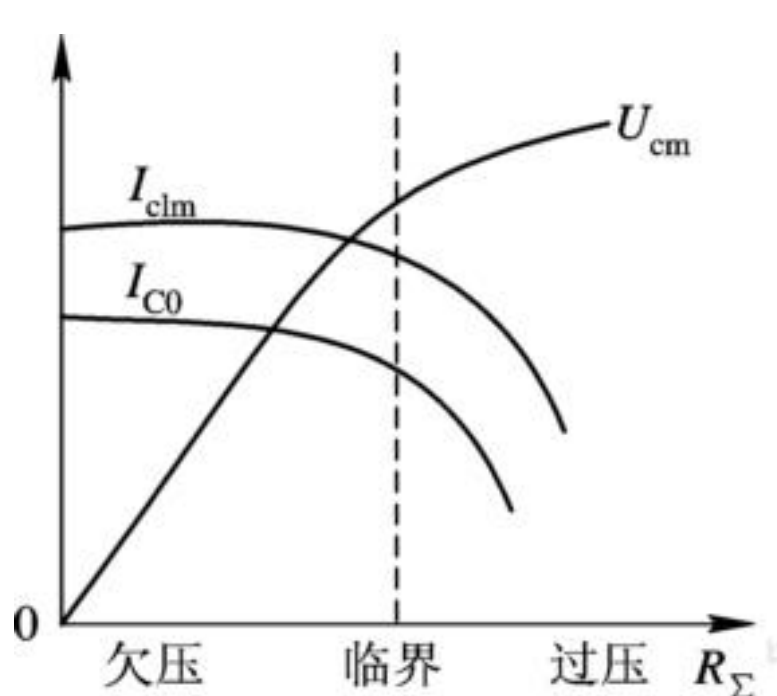
- 工作状态

- i_C 波形

- U_{cm}



负载特性曲线 (a)(b)



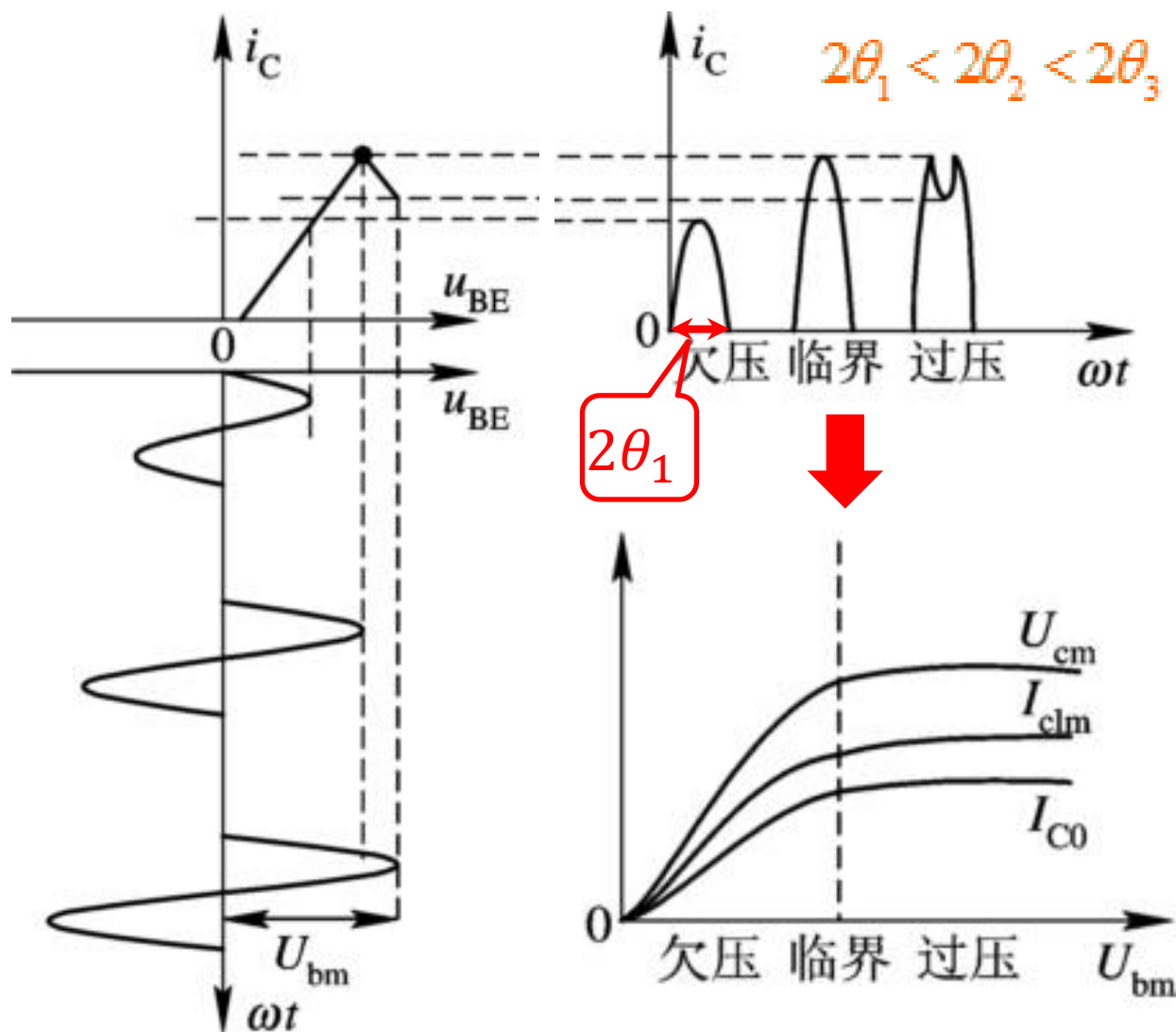
$$P_D = V_{CC} I_{C0} \quad \eta_c = \frac{P_o}{P_D}$$

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

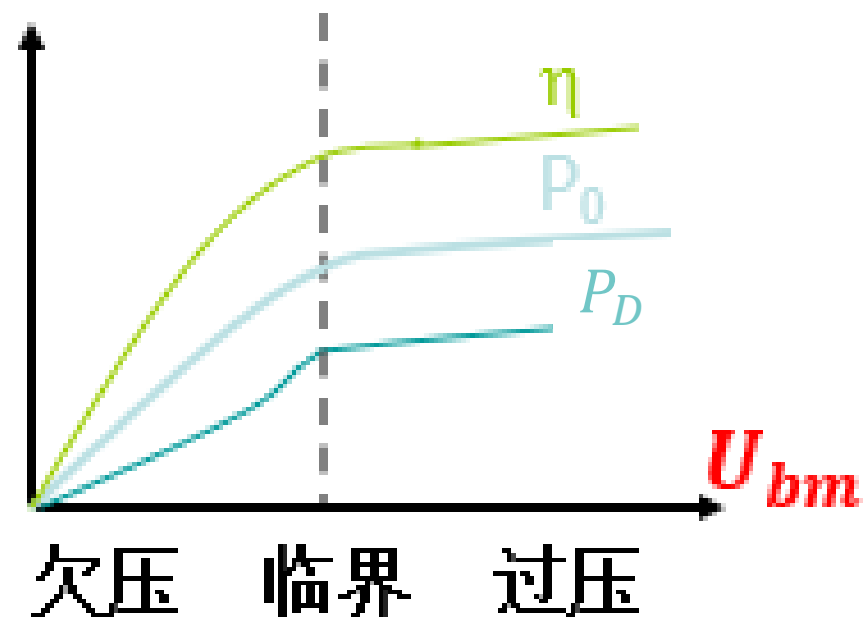
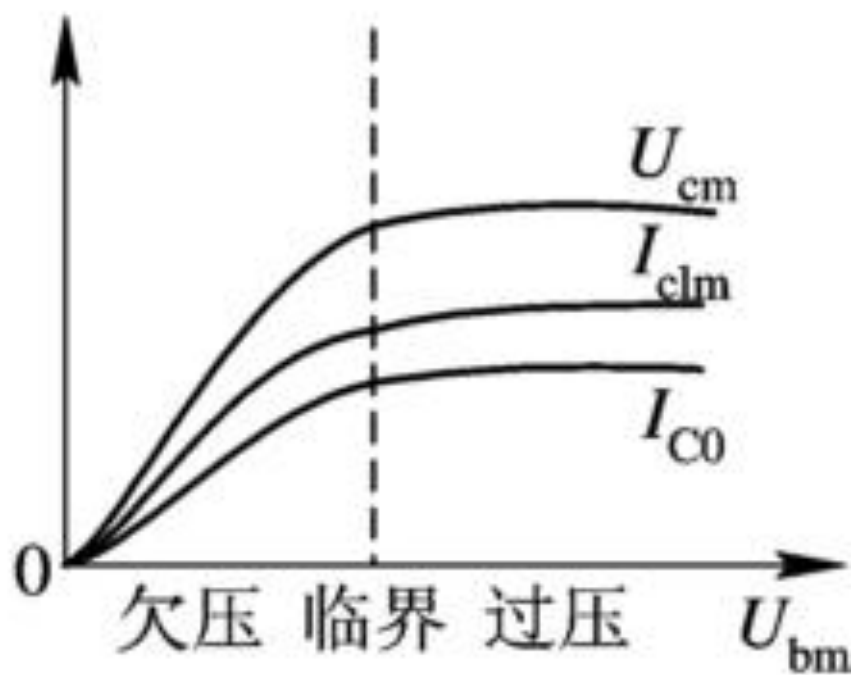
P_o 最大,
 η 较高;
末级或末前级功放
常选此状态工作



2. 放大特性（振幅特性）—— U_{bm} 变化(其余3量不变)



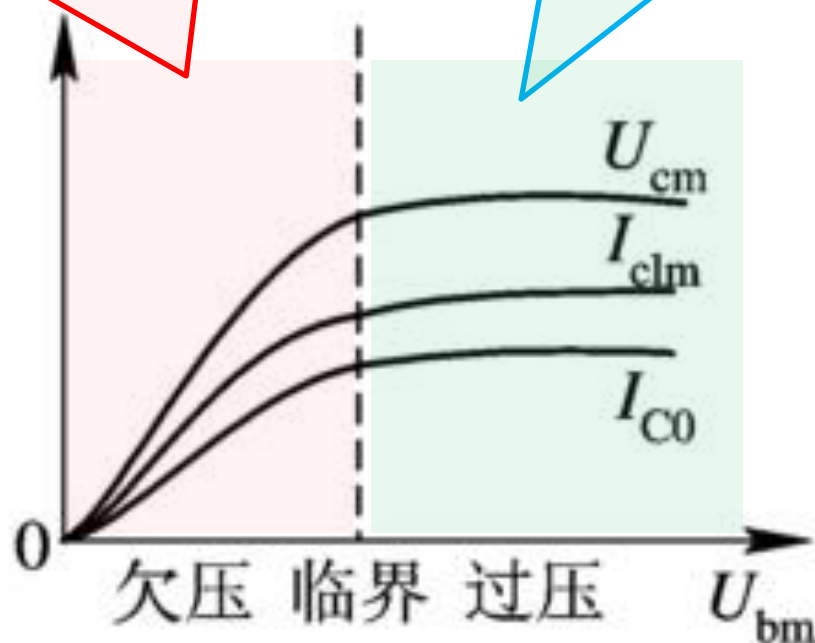
■ 放大特性曲线



■ 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。

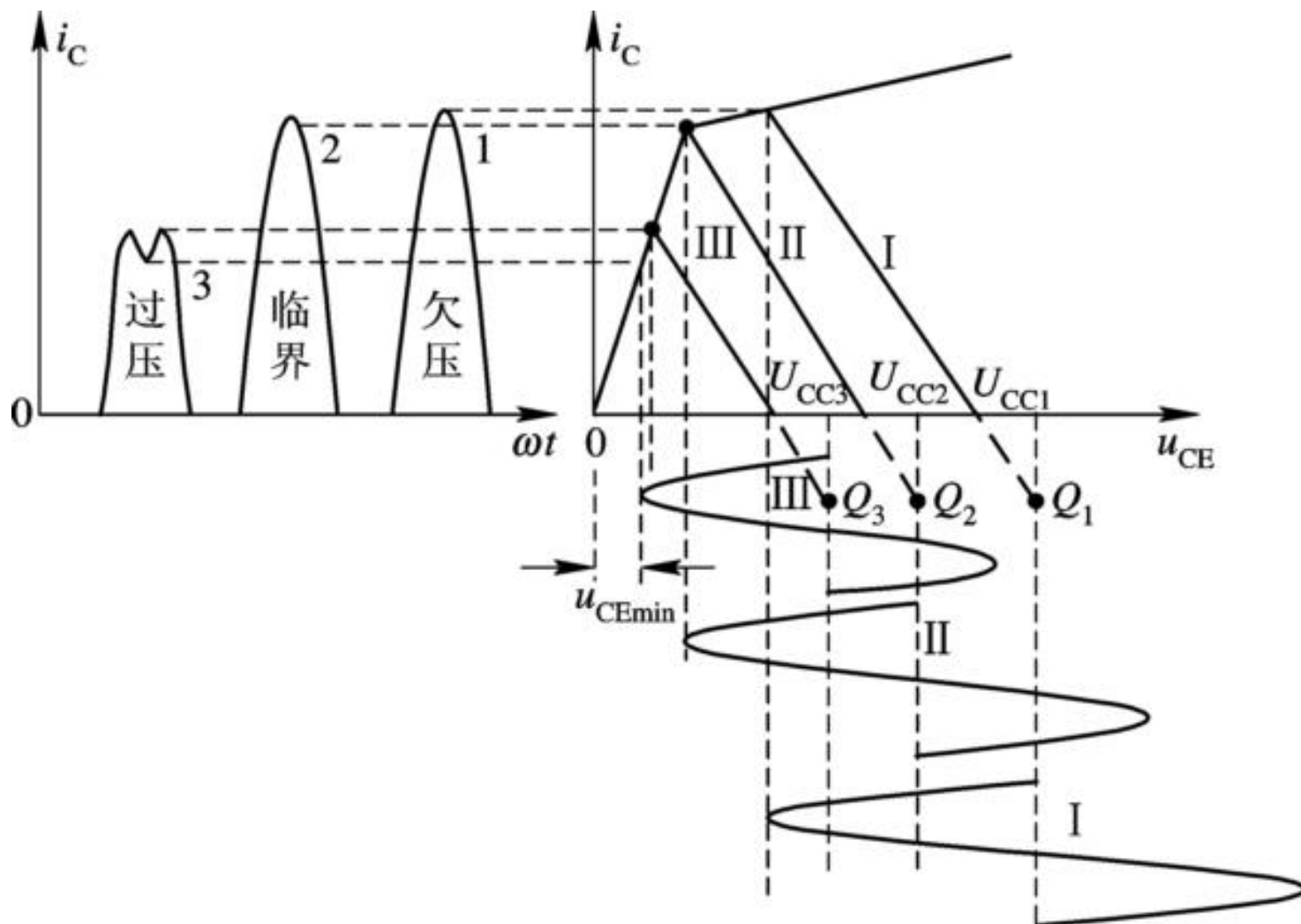


3. 调制特性 —— U_{CC} 、 U_{BB}

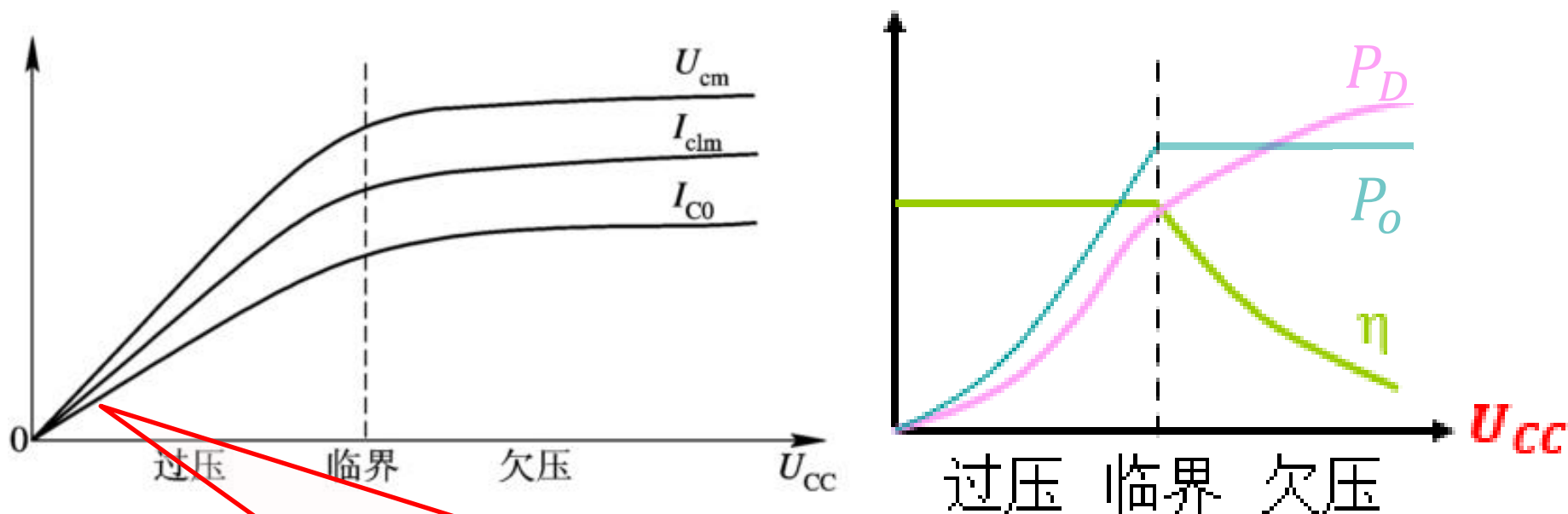
- 集电极调制特性 —— U_{CC} 的影响
- 基极调制特性 —— U_{BB} 的影响



■ 集电极调制特性—— U_{CC} 的影响



- 集电极调制特性曲线



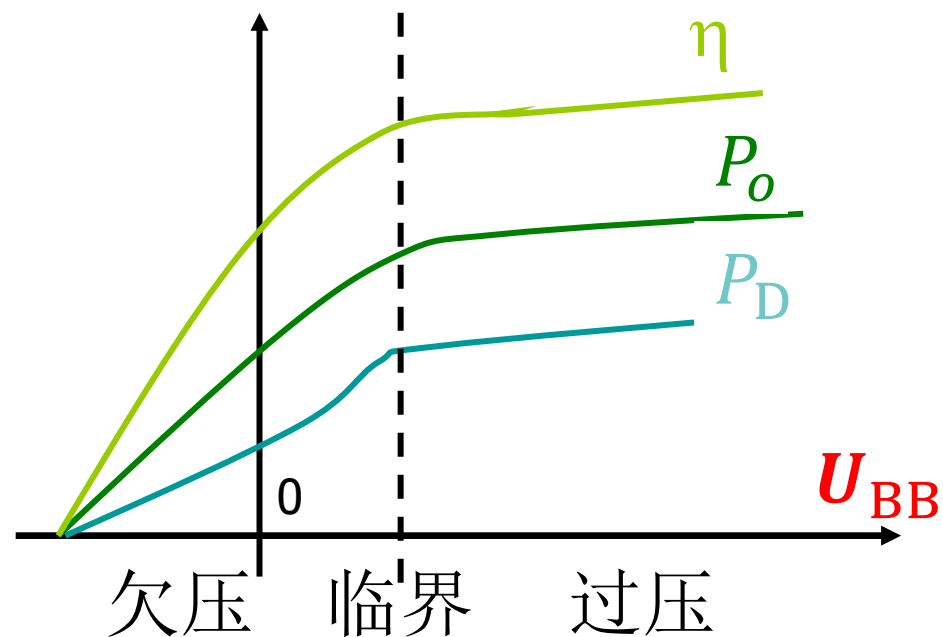
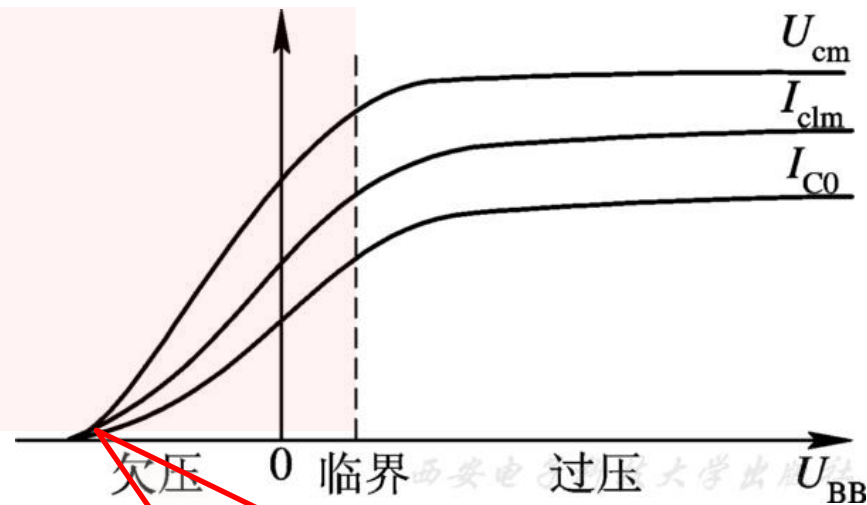
过压区域， U_{cm} 与 U_{cc} 近似呈线性关系。可通过控制 U_{cc} 的变化，实现集电极调幅。



■ 基极调制特性 — U_{BB} 变化

$$u_{BE\max} = U_{BB} + U_{bm}$$

• 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