



# 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



### 三、高频谐振功率放大器的工作状态

#### 1. 工作状态的划分：

依据导通期间所经历的工作区域不同，可分为欠压状态，临界状态和过压状态。

#### 2. 高频功放的动特性

(1) 定义：

- ① 动特性是指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 ( $u_{be}$  或  $u_{ce}$ ) 的关系曲线

$$i_c = f(u_{be}, u_{ce})$$

- ② 由  $u_{be}$ 、 $u_{ce}$  同时变化所确定的瞬时工作点的连线叫做动态线或动态特性曲线



## 2. 动特性曲线

在非谐振功放中，负载是纯电阻， $U_c = i_c R_L$ ，此时负载线是斜率为  $1/R_L$  的直线；

在谐振功放中，负载是并联谐振回路， $u_c \propto i_c R_L$ ；而  
 $u_c = i_{c1} R_L$

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

$$u_{ce} = E_c - U_c \cos(\omega t)$$

$\omega t = 0$  A点

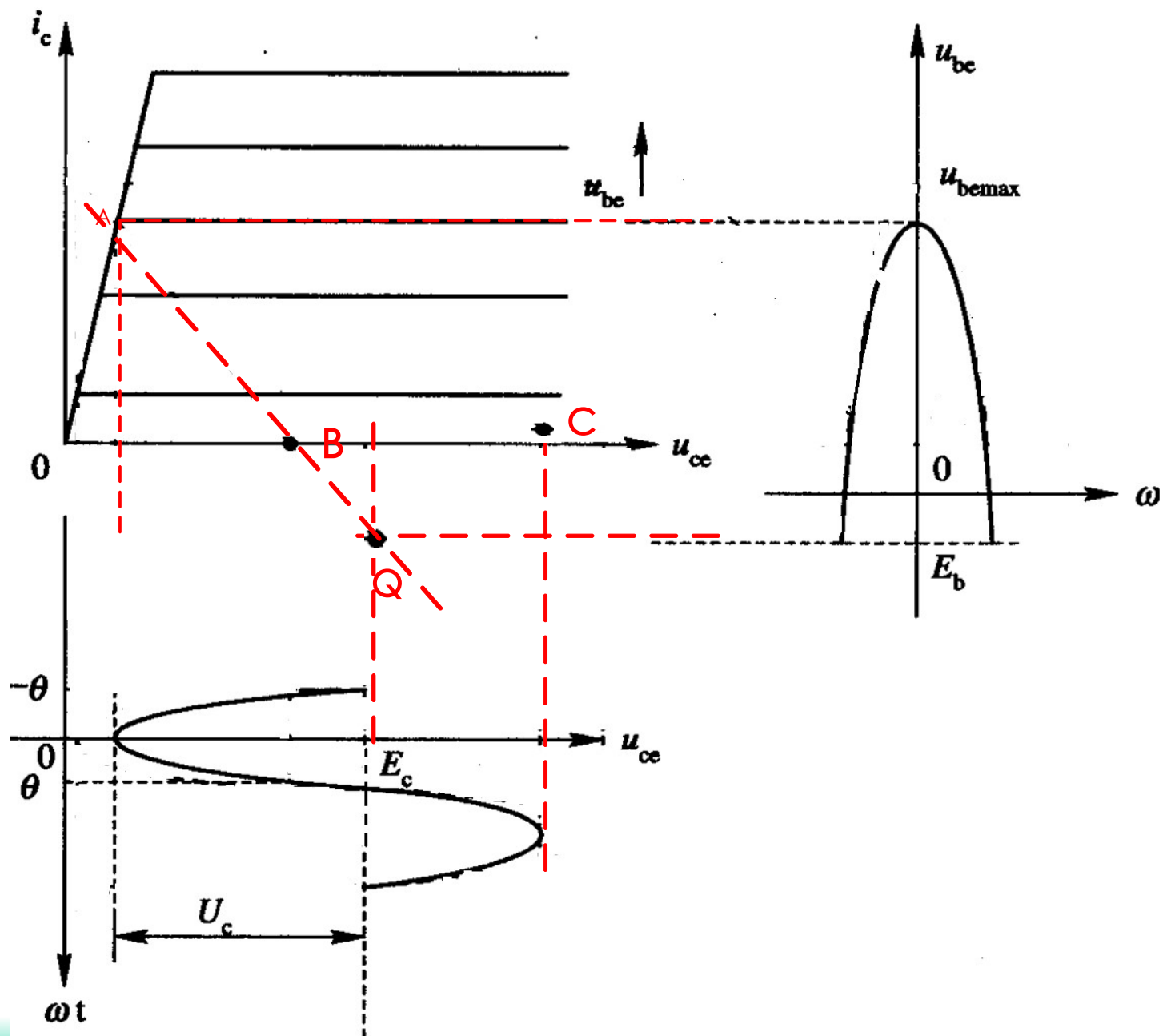
$\omega t = \pi / 2$  Q点

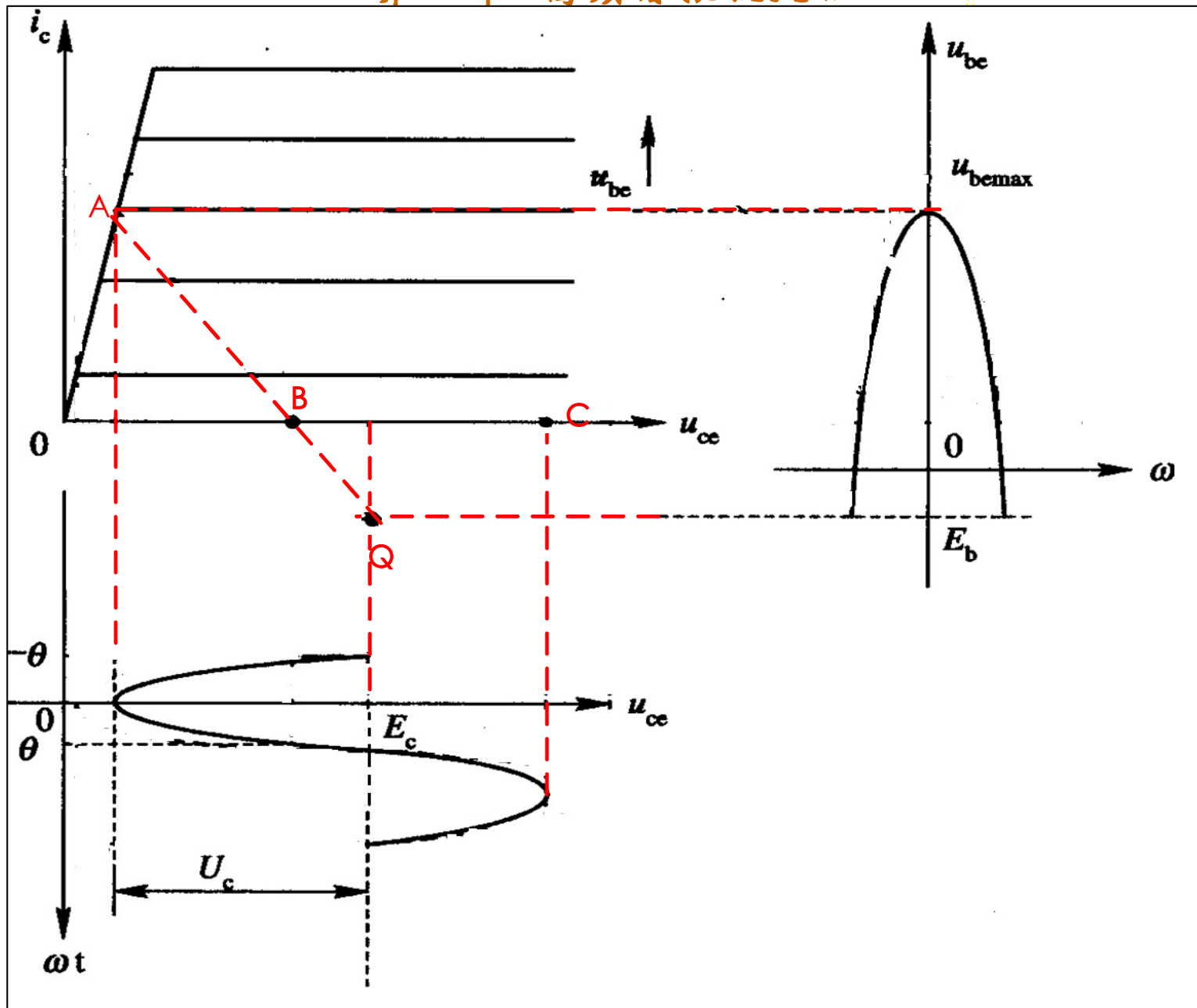
$\omega t = \pi$  C点

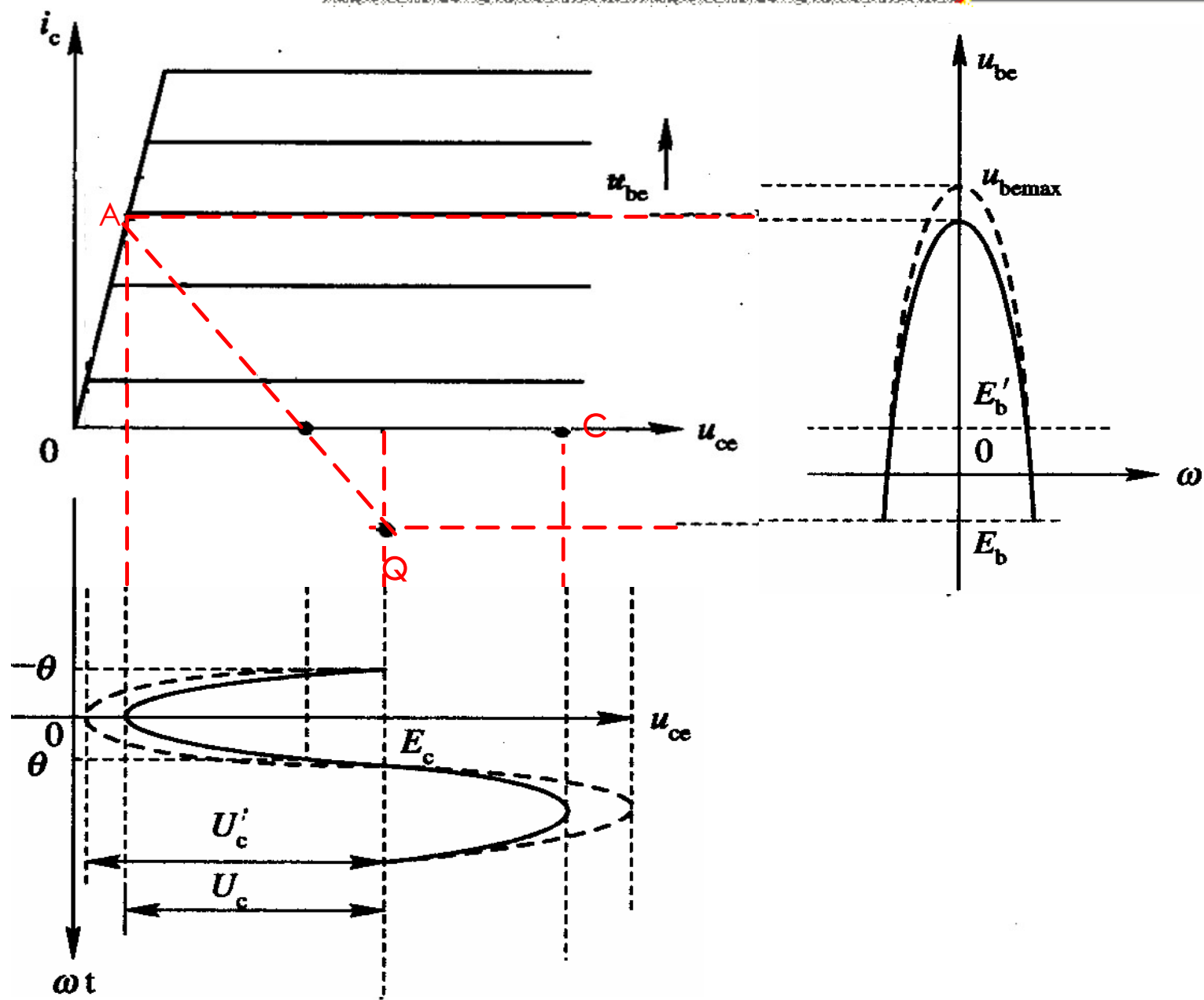
A、C与横轴的交点 B

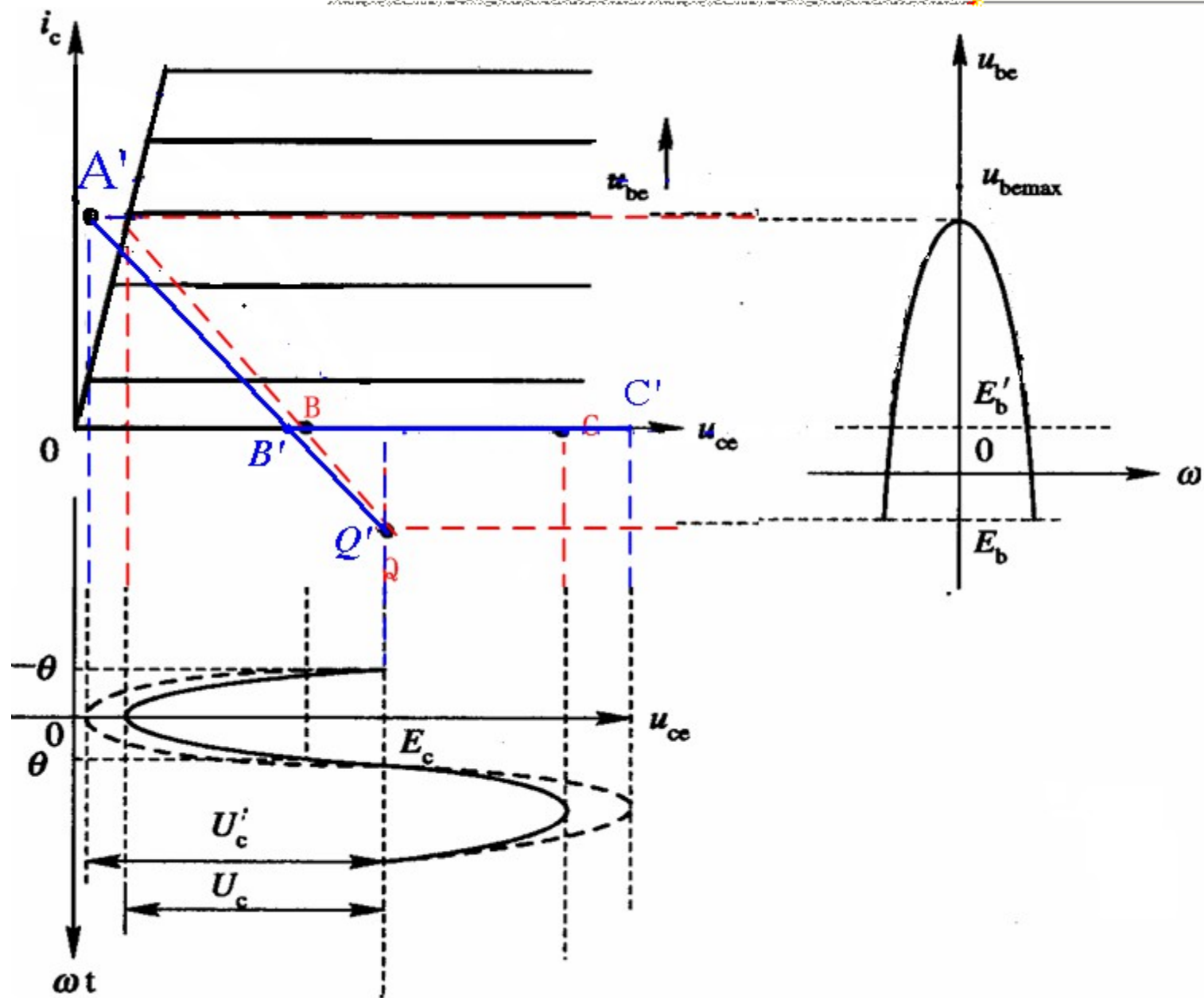
A、B 为动特性曲线

# 第3章 高频谐振放大器











### 3. 高频功放的工作状态

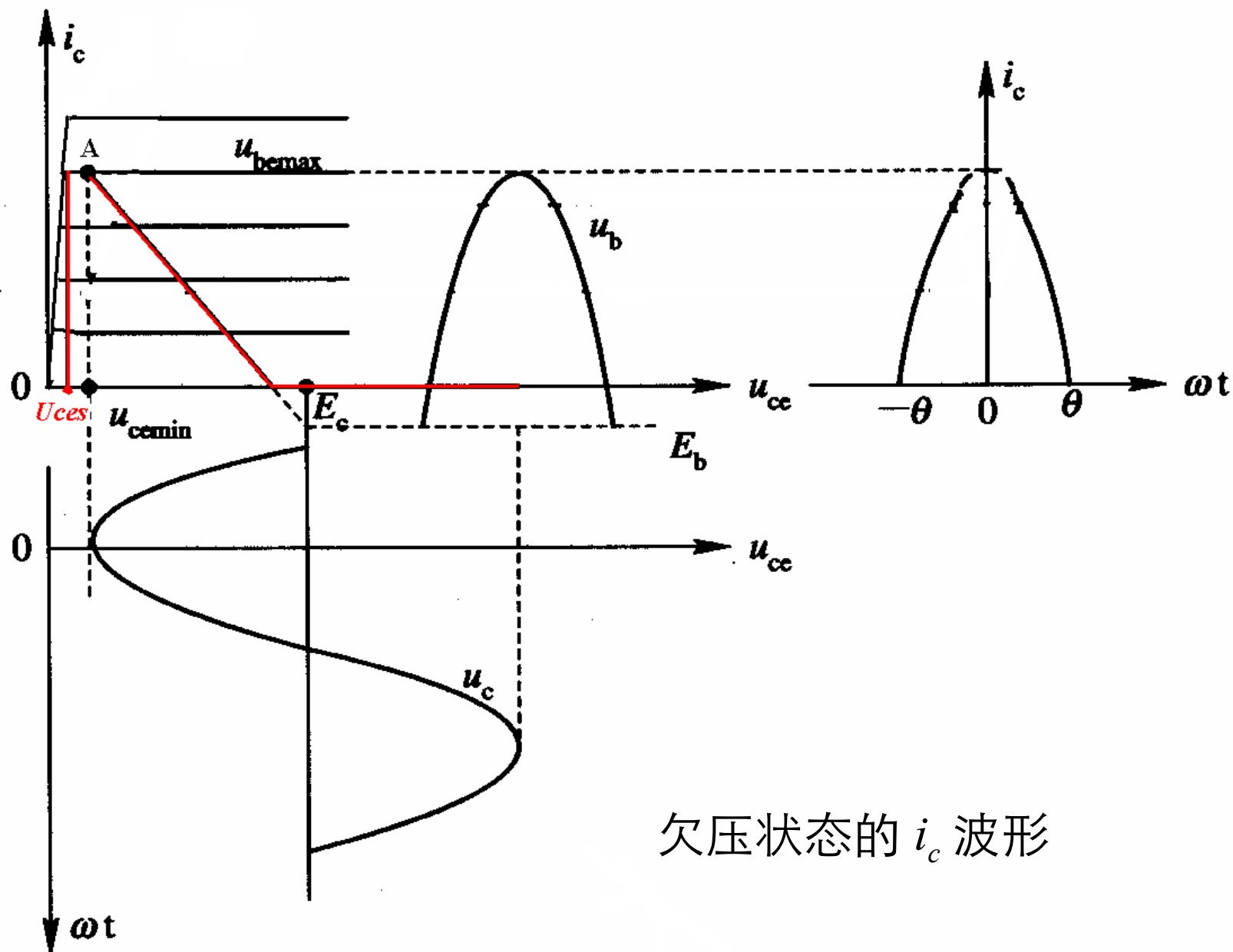
不同的  $U_c$  ( $=R_L I_{c1}$ )，可得到不同的动特性，从而工作在不同的区。

由动特性的工作区域，尤其是 A 的位置来区分高频功放的工作状态。

前面讲到，提高电压利用系数，即增加  $U_c$ ，可以提高效率。下面讨论  $U_c$  由小到大变化时，动特性曲线的变化。

当  $U_c$  不是很大时，晶体管只是在截止和放大区变化，集电极电流  $i_c$  为余弦脉冲，在此区域内  $U_c$  增加时，集电极电流  $i_c$  基本不变，即  $I_{c0}$ ， $I_{c1}$  基本不变，故输出功率  $P_1 = U_{c1} I_{c1} / 2$  随  $U_c$  的增加而增加，而  $P_0 = E_c I_{c0}$  基本不变，所以效率随  $U_c$  的增加而增加，这表明集电极电压利用不够充分，这种工作状态称为欠压工作状态。

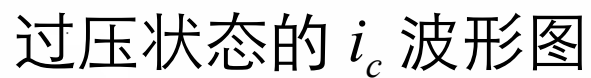


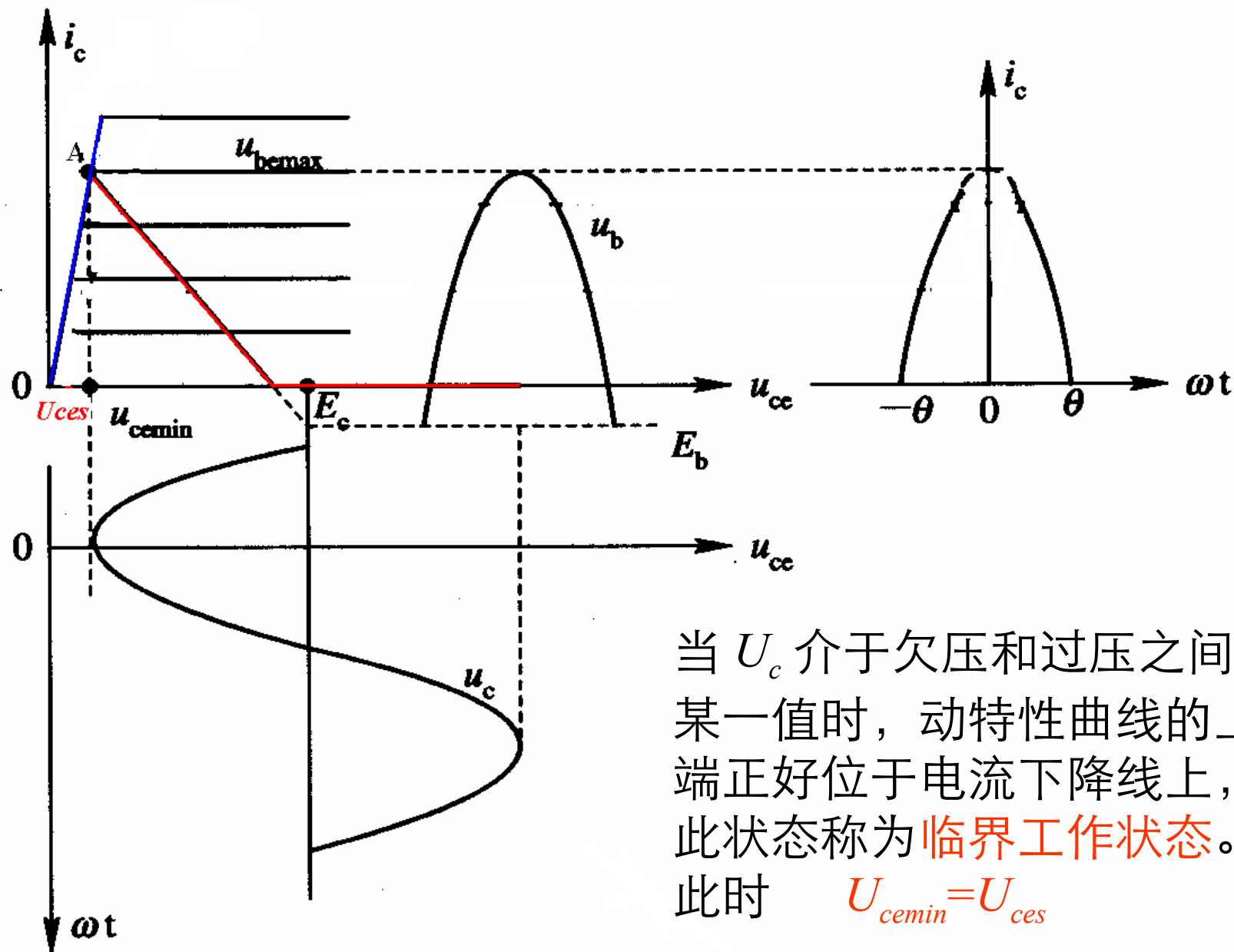




当  $U_c$  加大到接近  $E_c$  时,  $U_{cemin}$  将小于  $U_{ces}$  (晶体管的饱和压降), 这是发射结和集电结都处于正向偏置状态, 即工作到饱和状态。由于饱和区  $U_{ce}$  对  $i_c$  的强烈反作用, 电流  $i_c$  随  $u_{ce}$  的下降而迅速下降, 动特性与饱和区的电流下降段重合。故此时 A 点进入饱和区时动特性曲线用临界饱和线代替。

此时  $i_c$  为顶部出现凹陷的余弦脉冲。高频功放的这种工作状态称为过压状态。





当  $U_c$  介于欠压和过压之间的某一值时，动特性曲线的上端正好位于电流下降线上，此状态称为**临界工作状态**。此时  $U_{cem} = U_{ces}$



综上，谐振功率放大器工作状态的判定：

(1) 临界工作状态：  $U_{cemin} = U_{ces}$  ；

此时放大器工作在放大区，且到临界饱和线上  
 $i_c$  为余弦脉冲

(2) 欠压工作状态：  $U_{cemin} > U_{ces}$  ；

此时放大器工作与放大区，  $i_c$  为余弦脉冲

(3) 过压工作状态该：  $U_{cemin} < U_{ces}$  ；

此时放大器进入饱和区，  $i_c$  为带凹陷的余弦脉冲



## 四、高频功放的外部特性

性

高频功放的外部特性——放大器的性能随放大器的外部参数变化的规律，外部参数主要包括负载  $R_L$ ，激励  $U_b$ ，偏置电压  $E_b$  和  $E_c$ ；外部特性还包括负载在调谐过程中的调谐特性。

### 1. 高频功放的负载特性

负载特性是指  $E_b$ ， $U_b$ ， $E_c$  一定时，只改变负载电阻  $R_L$ ，高频功放电流、电压、功率及效率  $\eta$  变化的特性。



当  $R_L$  较小时， $U_c$  也较小，高频功放工作在欠压状态。

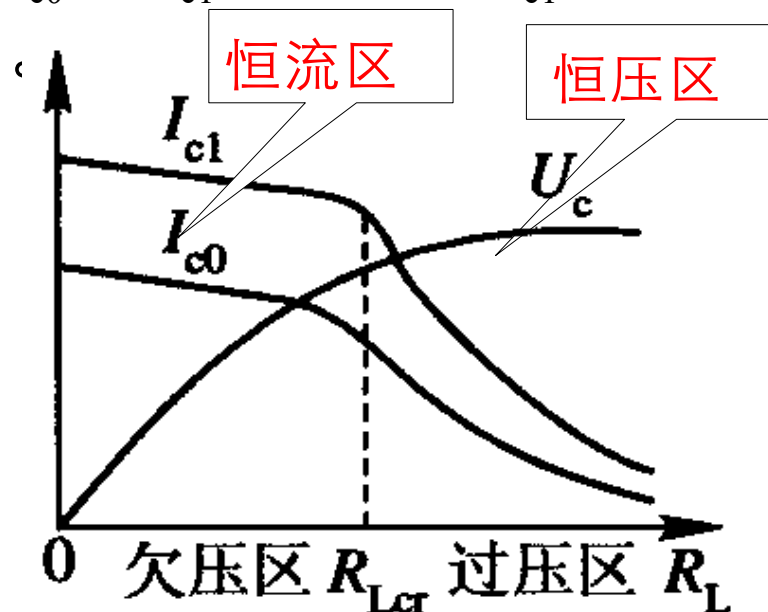
在欠压状态小， $R_L$  增加，因为在欠压状态下， $i_c$  的大小和形状基本不变，即  $I_{c0}$ 、 $I_{c1}$  不变。

这是因为晶体管其他参数不变，因此晶体管的通角不变，而  $i_c$  的最大值由  $U_{be}$  的最大值决定，因此  $i_{cmax}$  不变。因此说此时  $i_c$  的大小和形状基本不变。

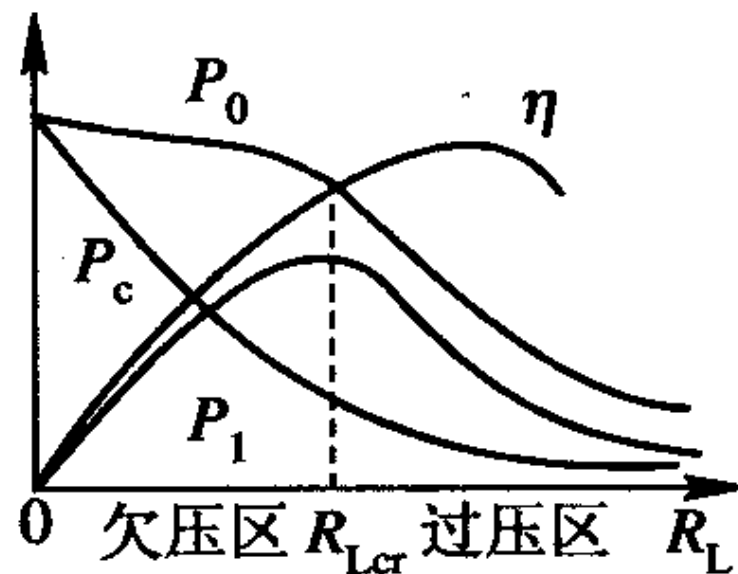
此时， $R_L \uparrow \rightarrow U_c = R_L I_{c1} \uparrow$ ，即  $U_c$  与  $R_L$  成近似线性关系。

当  $R_L$  增加到  $R_L = R_{Lcr}$  时， $U_{cemin} = E_c - U_c = U_{ces}$ ，此时放大器工作在临界状态，此时  $i_c$  仍为一完成的余弦脉冲，与欠压状态时的  $i_c$  基本相同， $I_{c0}$ ， $I_{c1}$  也基本不变，但此时的  $U_c$  大于欠压状态时的  $U_c$ 。

$R_L$  继续增加,  $U_c$  会进一步增加, 此时晶体管在导通期间进入饱和区, 从而使放大器工作在过压状态, 集电极电流出现凹顶。进入饱和区越深, 凹顶现象越严重, 从  $i_c$  中分解出的  $I_{c0}$ 、 $I_{c1}$  就越小。 $I_{c1}$  的迅速下降,  $U_c = I_{c1} R_L$  则只是慢慢增加



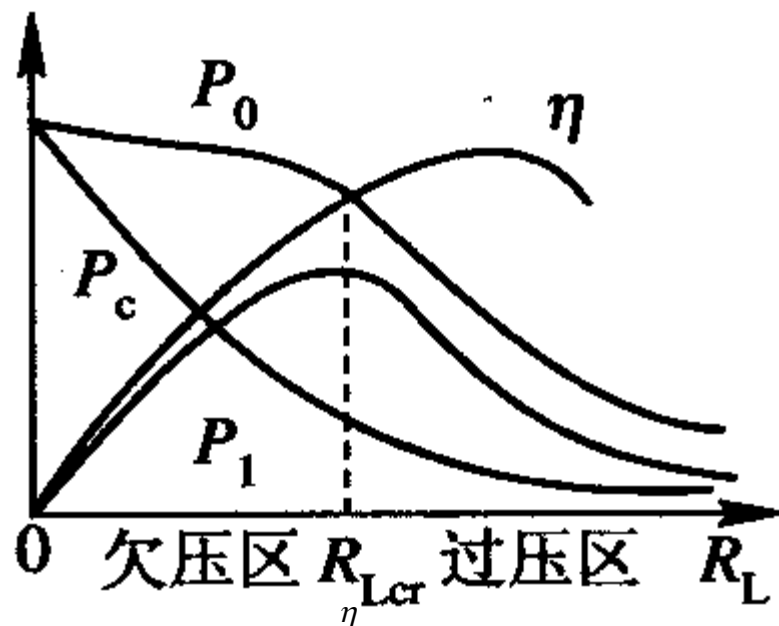
(a)



(b)

高频功放的负载特性





(b)

分析效率的变化情况：在欠压状态时， $\eta = \xi \gamma / 2$ ，因为  $\gamma = I_{c0} / I_{c1}$  基本不变，故  $\eta$  与  $\xi = U_c / E_c$  及  $R_L$  成近似线性关系。

在过压状态，因  $\xi$  随  $R_L$  增加稍有增加，所以  $\eta$  也稍有增加。当  $R_L$  很大，到达强过压状态时，因为  $i_c$  波形强烈畸变，波形系数要下降，效率也会有所下降。



## 结论：

(1) 临界状态 ( $R_L = R_{Lcr}$ )：输出功率最大，效率较高，为最佳状态，通常选择在此状态工作。  $I_c$  为余弦脉冲。

保证最佳工作状态的措施： a. 调谐  $f_0 = f_c$ ，  $Z_L = R_L$

b. 阻抗变换：  $R_L = R_{Lcr}$   
(2) 过压状态 ( $R_L > R_{Lcr}$ )：效率高，损耗小，输出电压受负载电阻  $R_L$  的影响小，近似为交流恒压源特性。

(3) 欠压状态 ( $R_L < R_{Lcr}$ )：输出电流受电阻  $R_L$  的影响小，近似为交流恒流源特性。但是效率低，集电极损耗大，一般不选择此状态工作。



工作状态的选择：

- (1) 输出级：希望效率高，功率大→选临界状态。
- (2) 中间级：希望输出电压稳定→选弱过压状态。



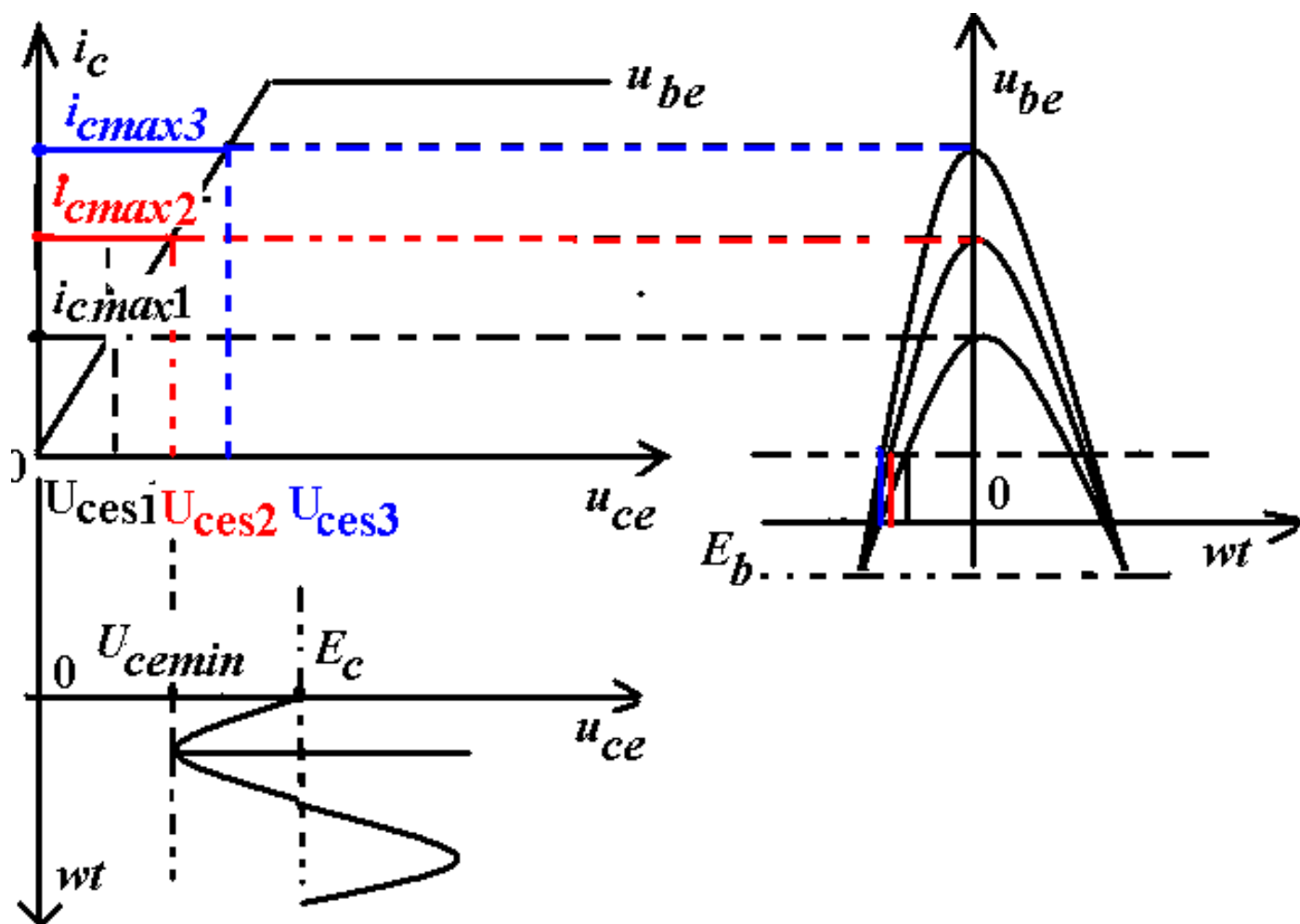
## 2. 高频功放的振幅特性

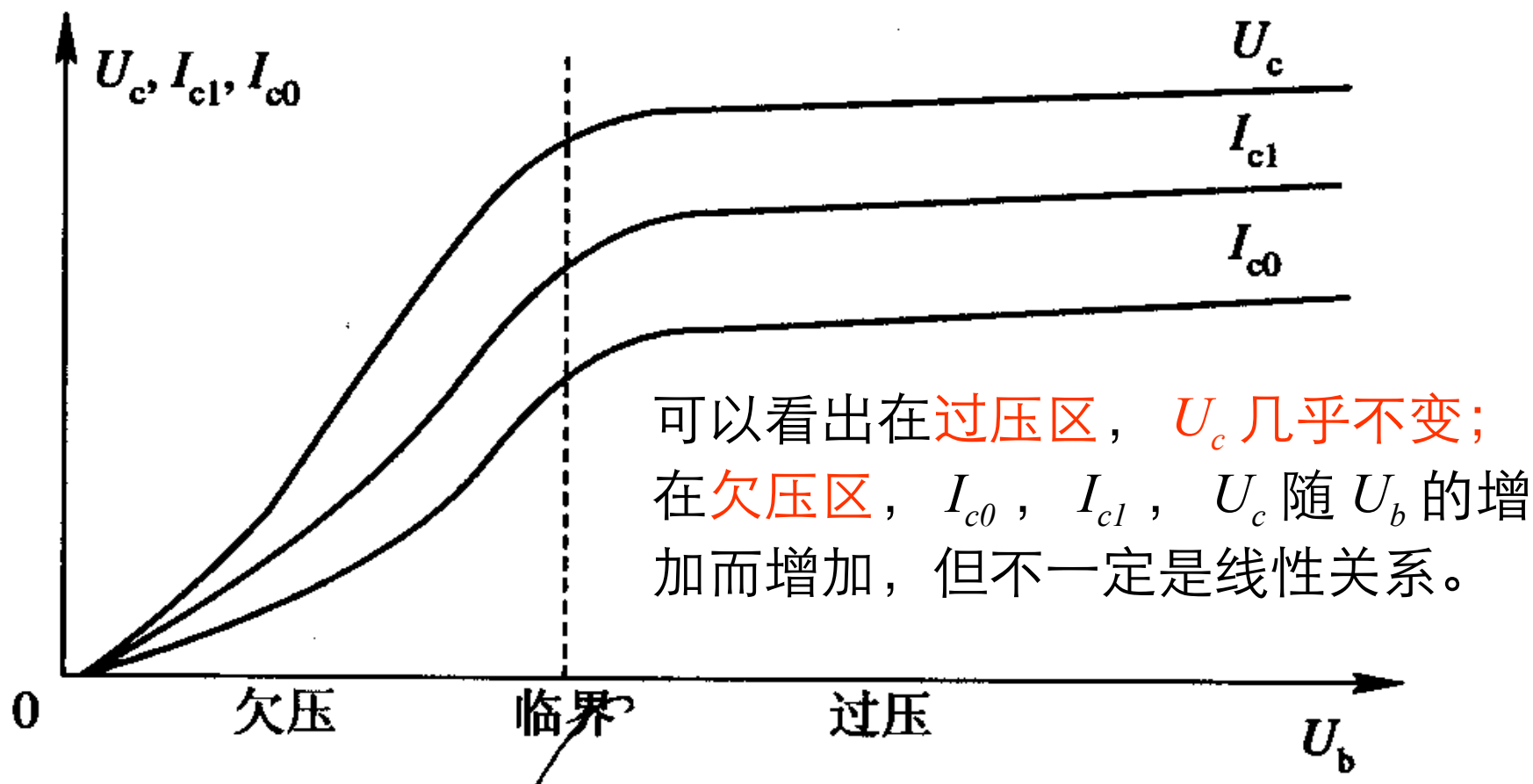
**高频功放的振幅特性**——只改变激励信号振幅  $U_b$  时，放大器电流、电压、功率及效率的变化特性。

$U_{be} = E_b + U_b \cos(\omega t) \rightarrow$  当  $E_b$  不变时， $U_b \uparrow \rightarrow U_{bemax} \uparrow \rightarrow i_{cmax} \uparrow, \theta \uparrow \rightarrow$  在**欠压状态**时， $i_c$  的面积增加  $\rightarrow$  从中分解出的  $I_{c0}$ ， $I_{c1}$  增加， $U_c = I_{c1} R_L \uparrow$

$E_b \uparrow \rightarrow U_{bemax} \uparrow \rightarrow U_{ces} \uparrow$ ，而  $U_{cemin}$  不变，因此当  $E_b$  增加到  $U_{ces} = U_{cemin}$  时，放大器由**欠压状态**  $\rightarrow$  **临界工作状态**

$E_b$  继续增加，当增加到  $U_{ces} > U_{cemin}$  时，放大器进入到**过压状态**。此时虽然  $i_c$  的波形产生凹顶现象，但因为  $U_{bemax}$  增加， $i_{cmax}$  和  $\theta$  还会增加，从  $i_c$  中分解出来的  $I_{c0}$ ， $I_{c1}$  随  $U_b$  的增加略有增加。 $U_c = I_{c1} R_L$  的变化与  $I_{c1}$  相同。





高频功放的振幅特性



要使  $U_c$  和  $U_b$  成线性关系，则只有在  $\theta = 90^\circ$  的乙（B）类工作状态下才能得到，因为此时  $E_b' = E_b$ ， $\theta = 90^\circ$ ， $U_b$  变化时， $\theta$  不变，而只有  $i_{c\max}$  随  $U_b$  线形变化，从而使  $I_{c1}$  随  $U_b$  线形变化。此时可用来放大振幅变化的高频信号。

#### 结论：

- （1）如果对已调波放大，应使放大器工作在欠压区，保证包络不失真。（B类工作状态）
- （2）如果作恒压输出，应使放大器工作在过压区，起到限幅的作用。



### 3. 高频功放的调制特性

**调制特性**——  $U_b$  ,  $R_L$  一定时, 放大器性能随  $E_c/E_b$  变化的特性。

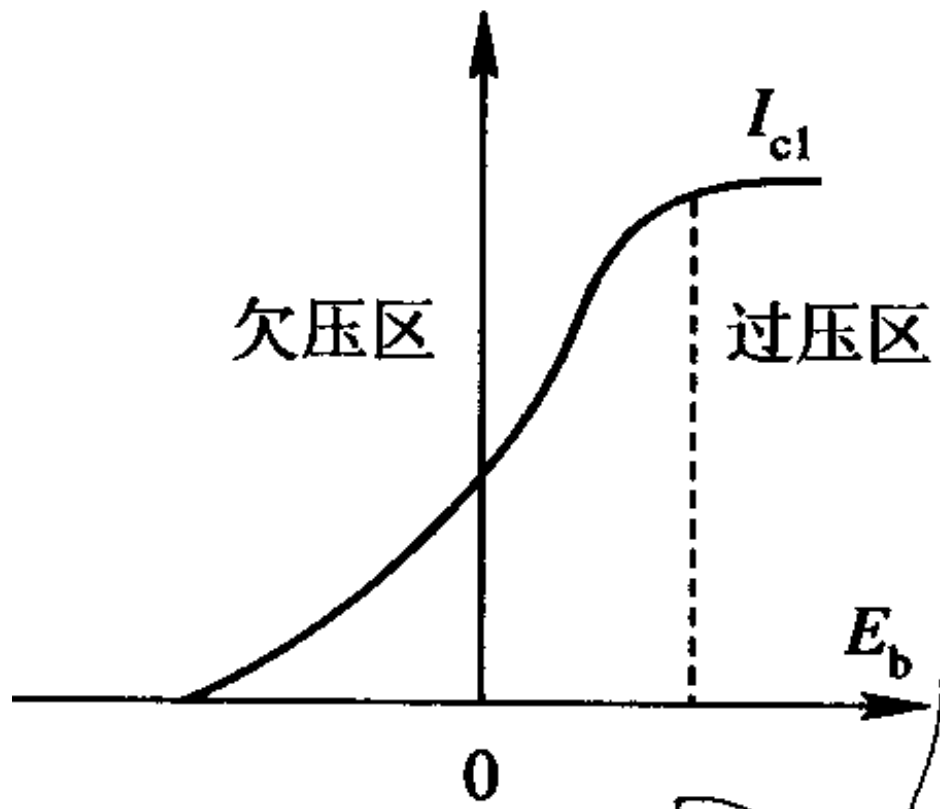
(1) **基极调制特性**——仅改变  $E_b$  时, 放大器电流、电压、功率及效率的变化特性

$$u_{be} = E_b + U_b \cos(\omega t) \quad \rightarrow E_b, U_b \text{ 决定了放大器的 } u_{bemax}$$

$\rightarrow$  改变  $E_b$  的情况与改变  $U_b$  的情况类似。

即:  $E_b \uparrow \rightarrow i_{cmax} \uparrow, \theta \uparrow \quad \rightarrow \text{放大器: 欠压} \rightarrow \text{临界} \rightarrow \text{过压}$





基极调制特性

在欠压区， $U_c$ 基本上与  $E_b$  成线性关系，可完成基极调制。



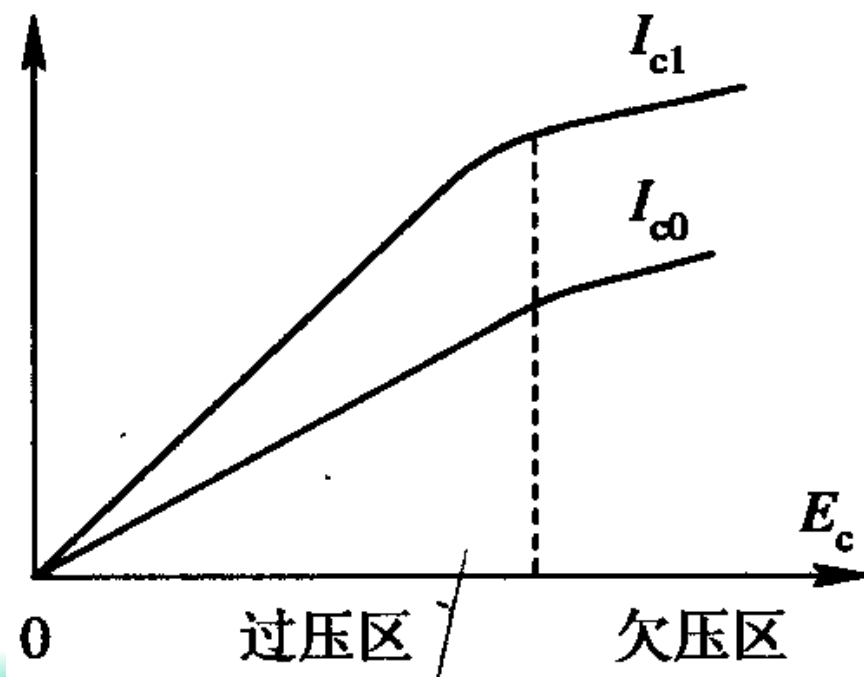
(2) **集电极调制特性**——只改变  $E_c$ ，放大器的电流、电压、功率及效率的变化特性。

$E_c \uparrow$ ，因为  $U_{ce} = E_c - U_c \cos(\omega t) \rightarrow U_{cemin} \uparrow$ ，又  $U_{ces}$  不变

→ 当  $E_c$  很小时， $U_{cemin} < U_{ces}$ ，此时放大处于过压状态；  
当  $E_c$  增大到  $U_{cemin} > U_{ces}$  时，放大器处于欠压状态；

→  $E_c \uparrow$ ，放大器：**过压** → **临界** → **欠压**  
 **$I_c$  凹形余弦脉冲** → **完整余弦脉冲**

结论：**过压区**可完成  
**集电极调制**





利用谐振功放完成调制时，若调制信号加在**基极**，则应使放大器工作在**欠压状态**；  
若调制信号加在**集电极**，应使放大器工作在**过压状态**。

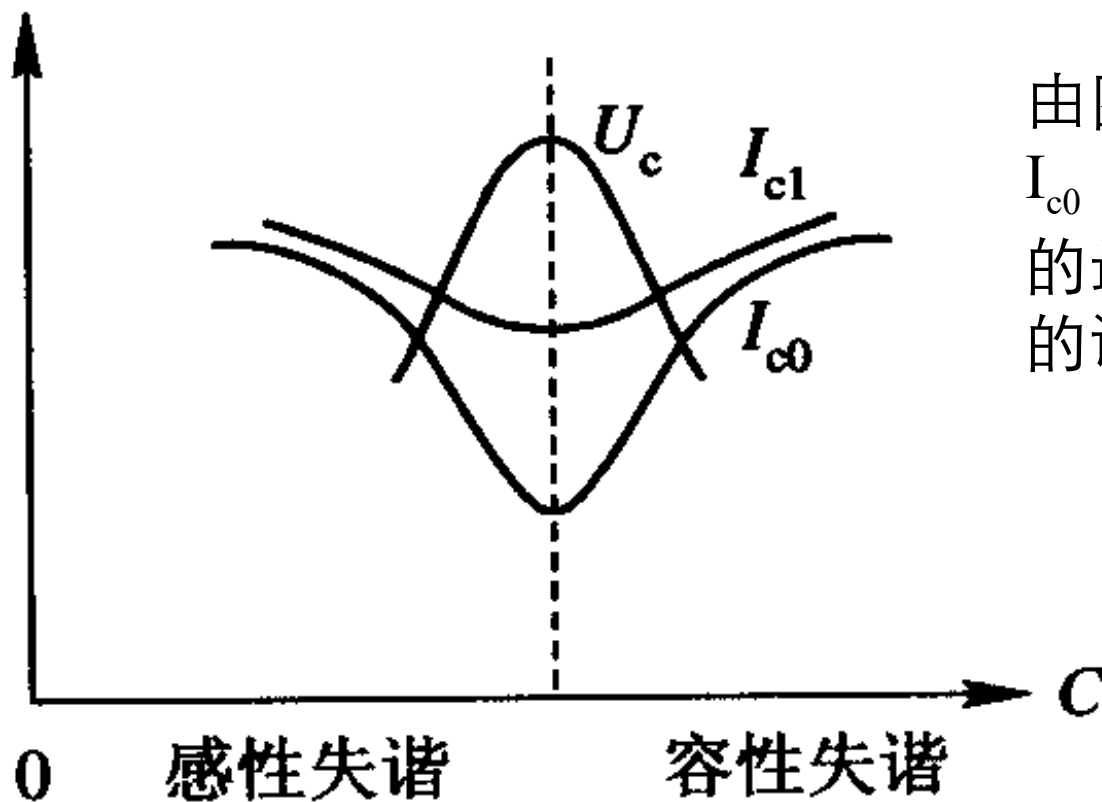


#### 4. 高频功放的调谐特性：

**调谐特性**——改变回路元件参数时，放大器的外部电流  $I_{c0}$ ， $I_{c1}$ ，电压  $U_c$  的变化特性。利用这种特性可以判断放大器是否调谐。

回路失谐时，阻抗  $|Z_L| \downarrow$ ，且存在一幅角  $\psi$ ， $u_c = I_{c1} |Z_L| \cos(\psi)$ ， $U_c$  与  $I_{c1}$  不再同相  $\rightarrow U_{cemin}$  与  $U_{bemax}$  不再同时出现。

假设调谐时，放大器工作在弱过压状态，则失谐时，由于  $|Z_L| \downarrow$ ，因此由放大器的负载特性可知，此时放大器向临界以及欠压状态变化， $I_{c0}$ ， $I_{c1}$  增大，而  $U_c$  下降。



高频功放的调谐特性

由图可中，可以利用  $I_{c0}$ ， $I_{c1}$  最小，或  $U_c$  的最大来指示放大器的调谐。

一般，因为  $I_{c0}$  变化明显，又只用直流电流表，对回路影响小，故采用  $I_{c0}$  指示调谐的较多。



**注：**回路失谐时，直流输入功率  $P_0 = I_{c0} E_c$  随  $I_{c0}$  的增加而增加，而输出功率  $P_1 = U_{c1} I_{c1} \cos\psi / 2$  将因  $\cos\psi$  而下降，因此失谐后集电极功耗  $P_c$  将迅速增加。

因此高频功放必须经常保持在**谐振状态**。调谐过程中，**失谐状态的时间要尽可能短**，调谐动作要迅速，否则晶体管会因为过热而损坏。

为了防止调谐时损坏晶体管，在调谐时可降低  $E_c$  或激励电压  $U_b$ 。