



第三章 功率放大器

3.1 概述

3.2 甲类、乙类功率放大器

3.3 丙类谐振功率放大器

3.4 丁类和戊类谐振功率放大器

3.5 功放馈电电路和匹配网络

3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

谐振功放：一种用谐振系统作为匹配网络的功率放大器。

应用状态：丙类(或丁类、戊类)

特点：负载匹配网络为谐振系统

用途：对载波或已调波进行功率放大

种类：丙类谐振功放、丁类、戊类谐振功放、倍频器

3.3 丙类谐振功率放大器

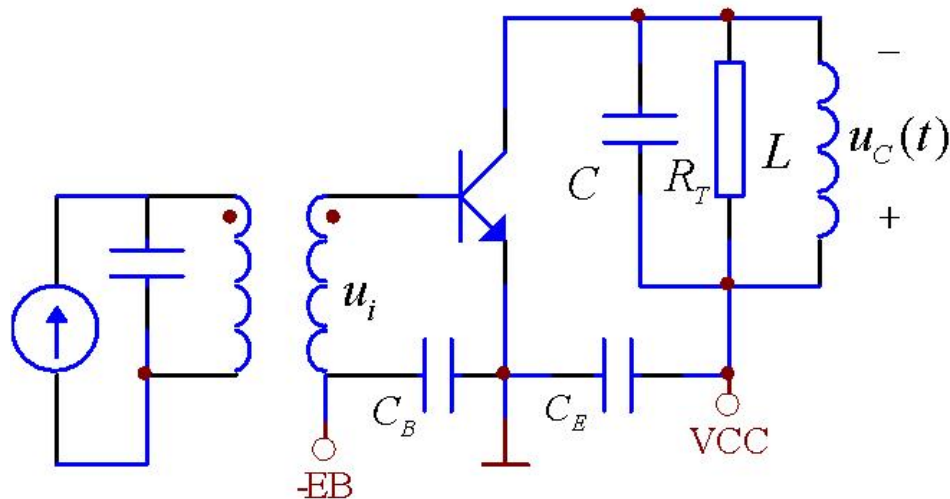


中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

原理电路

$$u_i = U_b \cos \omega t$$

$$u_{BE} = -E_B + U_b \cos \omega t$$



- E_B 保证静态时晶体管处于截止状态, $u_{BE} > U_{on}$ 时才有集电极电流流过, 故工作于丙类, 集电极耗散功率小, 效率高。
- 集电极调谐回路由匹配网络和电抗性负载组成, 起选频和匹配负载的双重作用。
- 当 Q_T 足够高, 可认为回路两端只有基波电压。

$$\begin{cases} u_{BE} = -E_B + U_b \cos \omega t \\ u_{CE} = V_{CC} - U_c \cos \omega t \end{cases}$$

3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

电路性能分析：准线性折线分析法

准线性：仅考察基波分量在负载两端产生输出电压的放大作用；

折线分析法：用几条直线来代替晶体管的实际特性曲线，然后用简单的数学解析式写出它们的表达式，将器件的参数代入表达式中进行电路计算。

优点：物理概念清楚，方法简便，满足工程近似估算要求

准线性折线分析法条件：

①忽略晶体管的高频效应。

认为功放管在工作频率下只考虑非线性电阻特性，而不考虑电抗效应。近似认为功放管的静态伏安特性能代表它在工作频率下的特性。

②输入和输出滤波器具有理想滤波特性。

在此条件下，集电极-发射极间电压仍为正弦波形，且与输入电压相位相反。

③晶体管静态伏安特性可用折线近似。

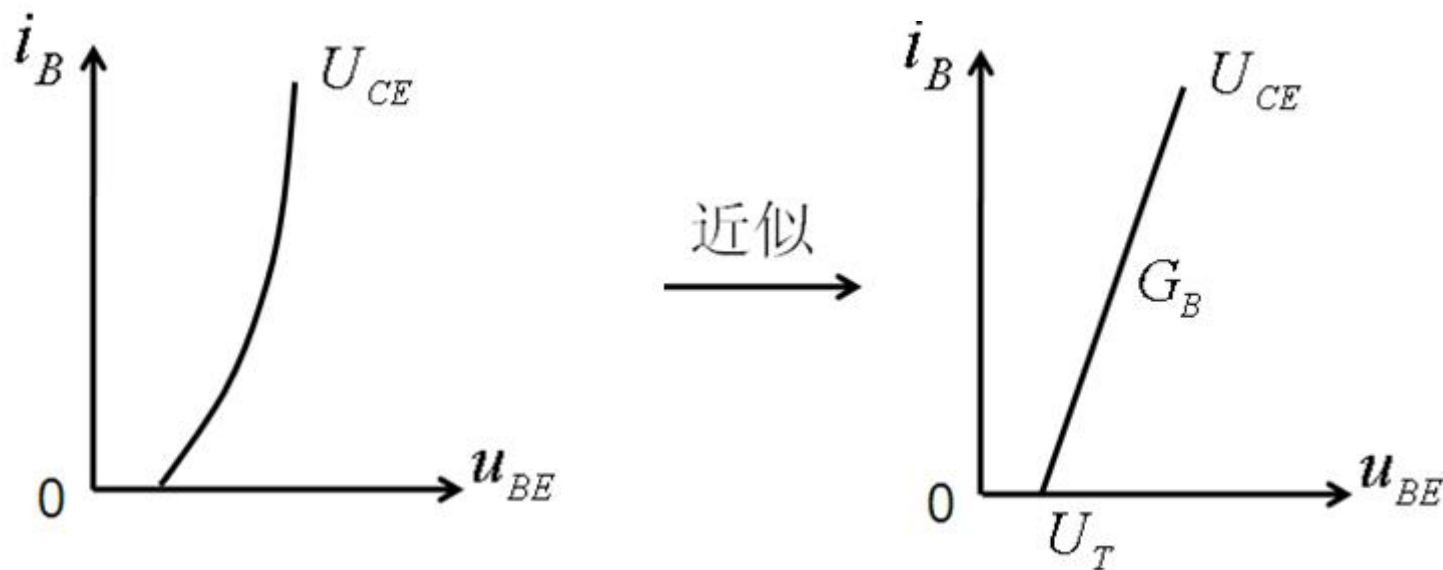
3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

3.3.1 功放管特性的折线化

1. 静态输入特性折线化



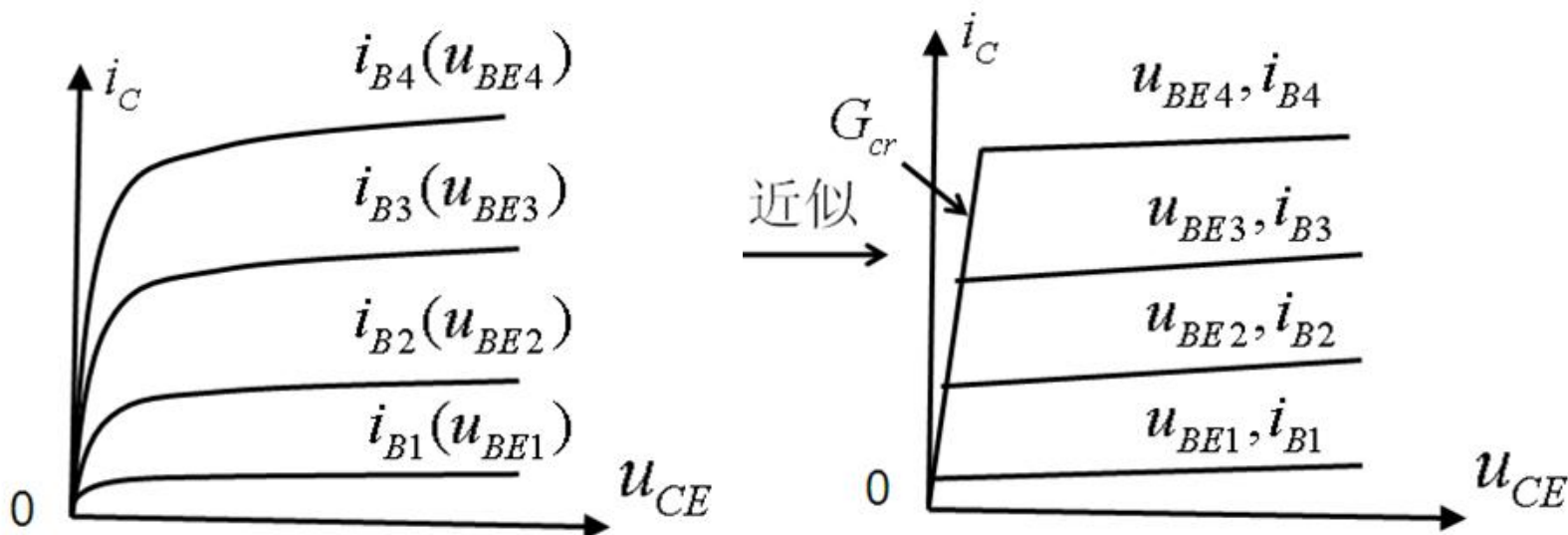
$$i_B = f(u_{BE}, u_{CE}) \approx f(u_{BE}) = \begin{cases} 0 & u_{BE} < U_T \\ G_B(u_{BE} - U_T) & u_{BE} \geq U_T \end{cases}$$

3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

2. 静态输出特性折线化



近似处理:

①忽略 I_{CEO} ;

② β 与 i_C 无关;

③ i_C 只与 i_B 有关 (放大区);

④饱和区 i_C 只与 u_{CE} 有关。

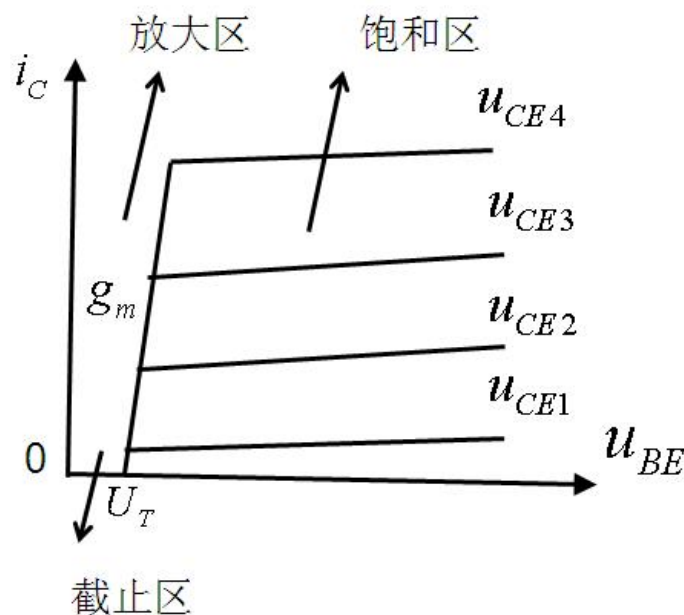
$$i_C = \begin{cases} 0 & \text{截止区, } u_{BE} < U_T \\ G_{cr} u_{CE} & \text{饱和区, } u_{BE} > U_T \\ \beta i_B = \beta G_B (u_{BE} - U_T) & \\ = g_m (u_{BE} - U_T) & \text{放大区, } u_{BE} > U_T \end{cases}$$

3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

3. 静态转移特性折线化



$$i_C = \begin{cases} 0 & \text{截止区, } u_{BE} < U_T \\ G_{cr} u_{CE} & \text{饱和区, } u_{BE} > U_T \\ g_m (u_{BE} - U_T) & \text{放大区, } u_{BE} > U_T \end{cases}$$



4. 动态输出特性折线化

考虑加入输入信号和负载后，晶体管各极电流、电压间总的制约关系，忽略晶体管的电抗效应。

①饱和区：动态特性与静态特性没有区别。 $i = G u$

$$i_C = G_{cr} u_{CE}$$

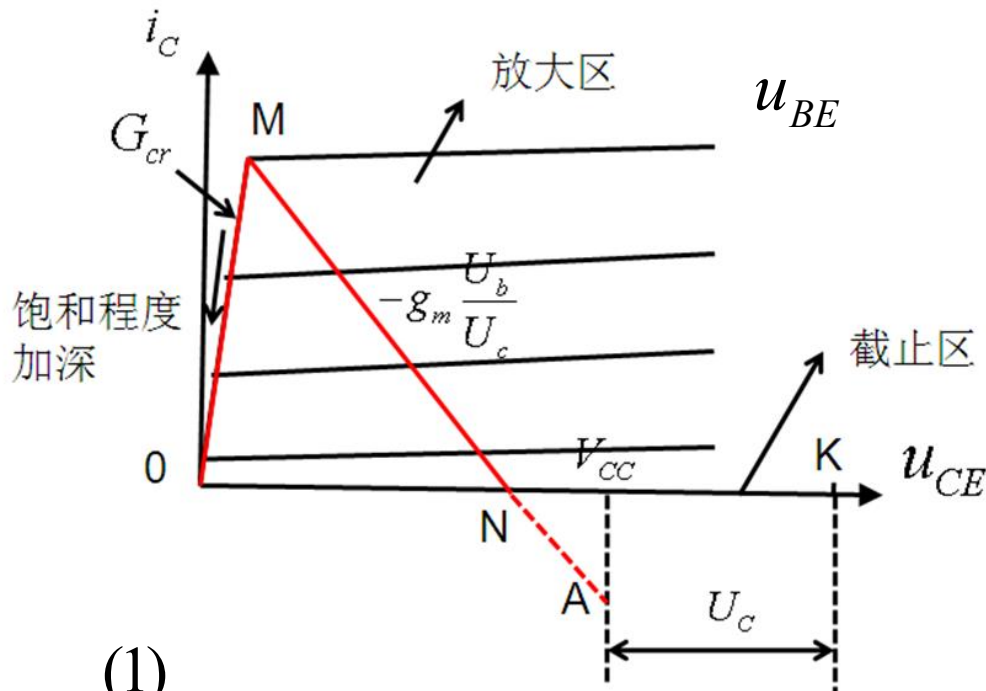
②放大区

$$\textcircled{2}\text{放大区} \quad i_C = g_m(u_{BE} - U_T) \quad (1)$$

对电路有

$$\int u_{CE} = V_{CC} - U_c \cos \omega t \quad (2) \Rightarrow \cos \omega t = \frac{V_{CC} - u_{CE}}{U_c}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{BE} = -E_B + U_b \cos \omega t \quad (3) \quad \Rightarrow u_{BE} = -E_B + \frac{U_b}{U_c}(V_{CC} - u_{CE}) \quad (4) \end{array} \right.$$



3.3 丙类谐振功率放大器

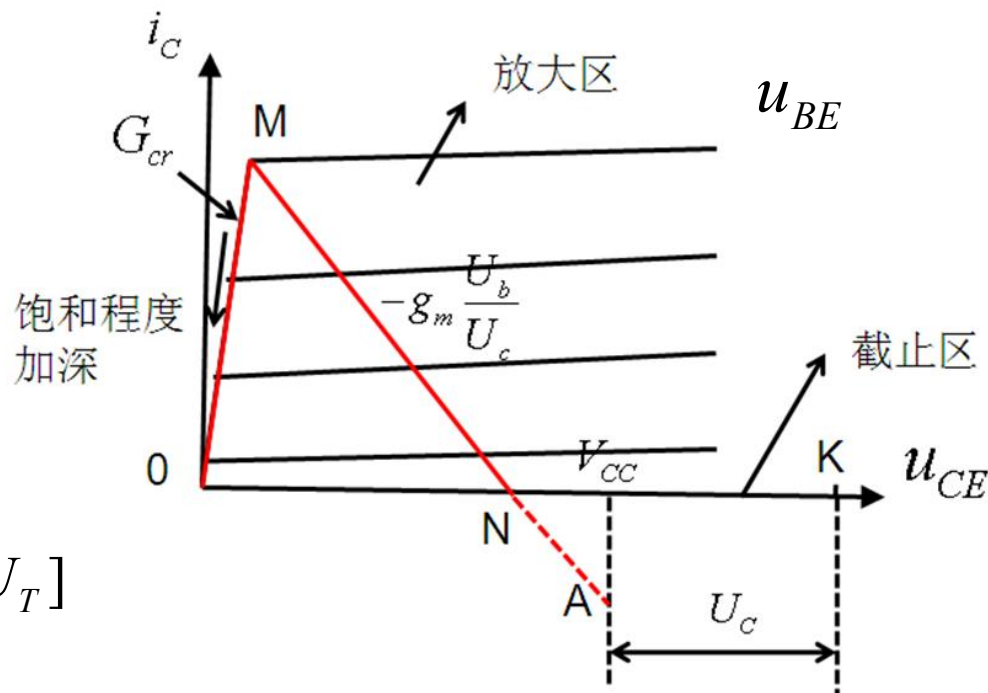


中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

4. 动态输出特性折线化

(4) 式代入 (1) 式得：

$$\begin{aligned} i_C &= g_m(u_{BE} - U_T) \\ &= g_m[-E_B + \frac{U_b}{U_c}(V_{CC} - u_{CE}) - U_T] \\ &= \underbrace{-g_m \frac{U_b}{U_c}}_{\text{斜率}} u_{CE} + g_m[\frac{U_b}{U_c}V_{CC} - E_B - U_T] \end{aligned}$$



③截止区： $i_C = 0$

综合以上分析，得到图示折线化(红色)动态输出特性，图中特征点M为饱和区和放大区交界点。

3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

4. 动态输出特性折线化

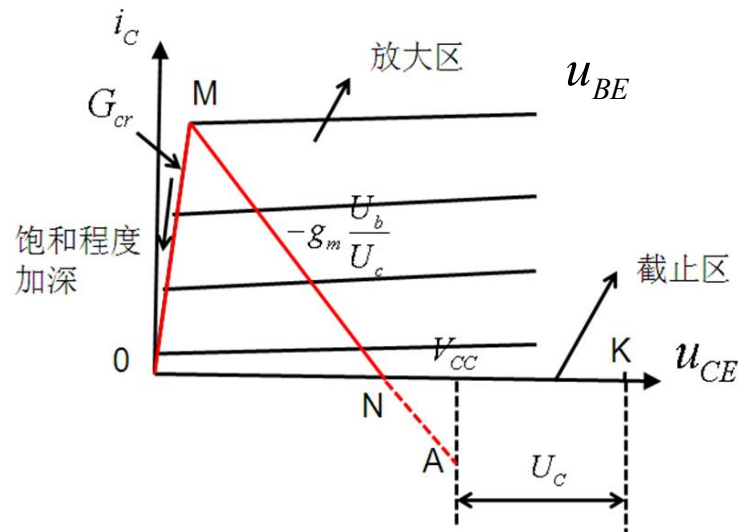
$$G_{cr} u_{CE} = -g_m \frac{U_b}{U_c} u_{CE} + g_m \left[\frac{U_b}{U_c} V_{CC} - E_B - U_T \right]$$

$$\Rightarrow u_{CE} = \frac{g_m \left[\frac{U_b}{U_c} V_{CC} - E_B - U_T \right]}{G_{cr} + g_m \frac{U_b}{U_c}} = \frac{V_{CC} - \frac{E_B + U_T}{\frac{U_b}{U_c}}}{1 + \frac{G_{cr} U_c}{g_m U_b}}$$

$$= \frac{V_{CC} - U_c \cos \varphi}{1 + \frac{G_{cr} U_c}{g_m U_b}}$$

$$\cos \varphi = \frac{E_B + U_T}{U_b}$$

$$\therefore i_C = G_{cr} \frac{V_{CC} - U_c \cos \varphi}{1 + \frac{G_{cr} U_c}{g_m U_b}}$$



$$\therefore M \text{点}: \left[\frac{V_{CC} - U_c \cos \varphi}{1 + \frac{G_{cr} U_c}{g_m U_b}}, G_{cr} \frac{V_{CC} - U_c \cos \varphi}{1 + \frac{G_{cr} U_c}{g_m U_b}} \right]$$

$$i_C = -g_m \frac{U_b}{U_c} u_{CE} + g_m \left[\frac{U_b}{U_c} V_{CC} - E_B - U_T \right]$$

斜率

辅助点

- N点: $[V_{CC} - U_c \cos \varphi, 0]$
- A点: $[V_{CC}, -g_m U_b \cos \varphi]$, 假设 $u_{CE} = V_{CC}$
- K点: $[V_{CC} + U_c, 0]$

3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

5. 动态转移特性折线化

①放大区 $i_C = g_m(u_{BE} - U_T)$

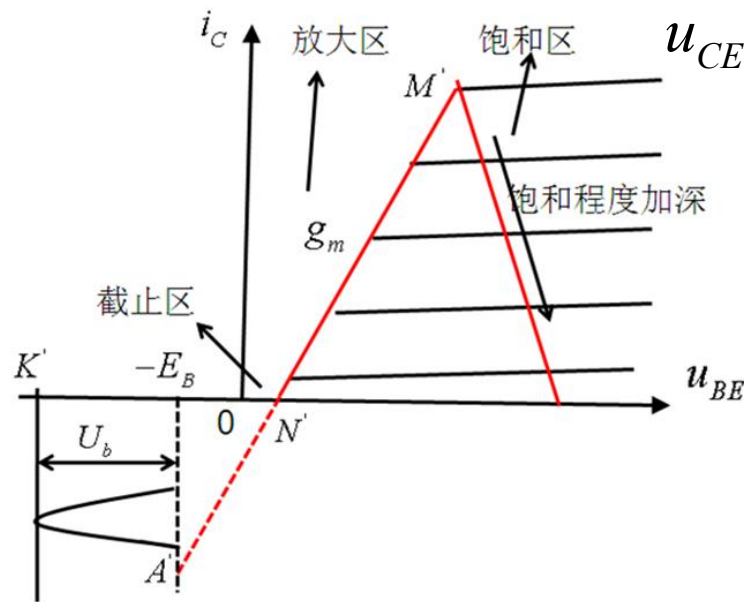
②截止区: $i_C = 0$

③饱和区

$$i_C = G_{cr} u_{CE} = G_{cr} (V_{CC} - U_c \cos \omega t)$$

$$= G_{cr} (V_{CC} - U_c \frac{u_{BE} + E_B}{U_b})$$

$$= -G_{cr} \frac{U_c}{U_b} u_{BE} + G_{cr} (V_{CC} - \frac{U_c E_B}{U_b}) \quad \text{—以 } -G_{cr} \frac{U_c}{U_b} \text{ 为斜率的直线}$$



图示红色部分为折线化动态转移特性，特征点M' 为放大区与饱和区交界点。

$$g_m(u_{BE} - U_T) = -G_{cr} \frac{U_c}{U_b} u_{BE} + G_{cr} (V_{CC} - \frac{U_c E_B}{U_b}) \Rightarrow M' = \left[\frac{U_T + \frac{G_{cr}}{g_m} (V_{CC} - \frac{U_c}{U_b} E_B)}{1 + \frac{G_{cr} U_c}{g_m U_b}}, \frac{G_{cr} (V_{CC} - U_c \cos \varphi)}{1 + \frac{G_{cr} U_c}{g_m U_b}} \right]$$

与M点纵坐标相同

3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

5. 动态转移特性折线化

特征点N' 为放大区与截止区交界点：

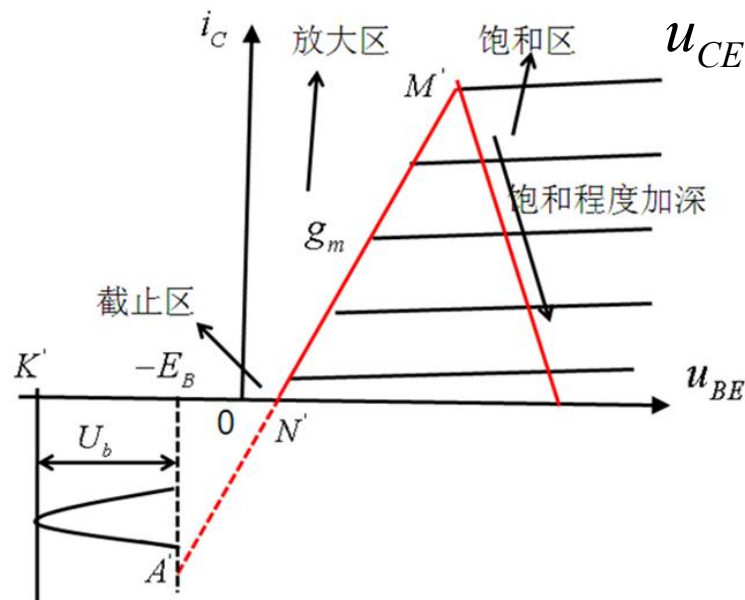
$$\begin{aligned}g_m(u_{BE} - U_T) &= 0 \Rightarrow u_{BE} = U_T \\&\Rightarrow N' = [U_T, 0]\end{aligned}$$

辅助点K'： $[-E_B - U_b, 0]$

辅助点A'：

$$[-E_B, -g_m U_b \cos \varphi]$$

与A纵坐标相同



动态特性决定输出电流和输出电压的波形，由以上分析可知，各点坐标、饱和区动态转移特性的斜率和放大区动态输出特性的斜率均随电路参数 U_b, E_B, V_{CC} 和负载电导 G_T 的变化而变化。

3.3 丙类谐振功率放大器

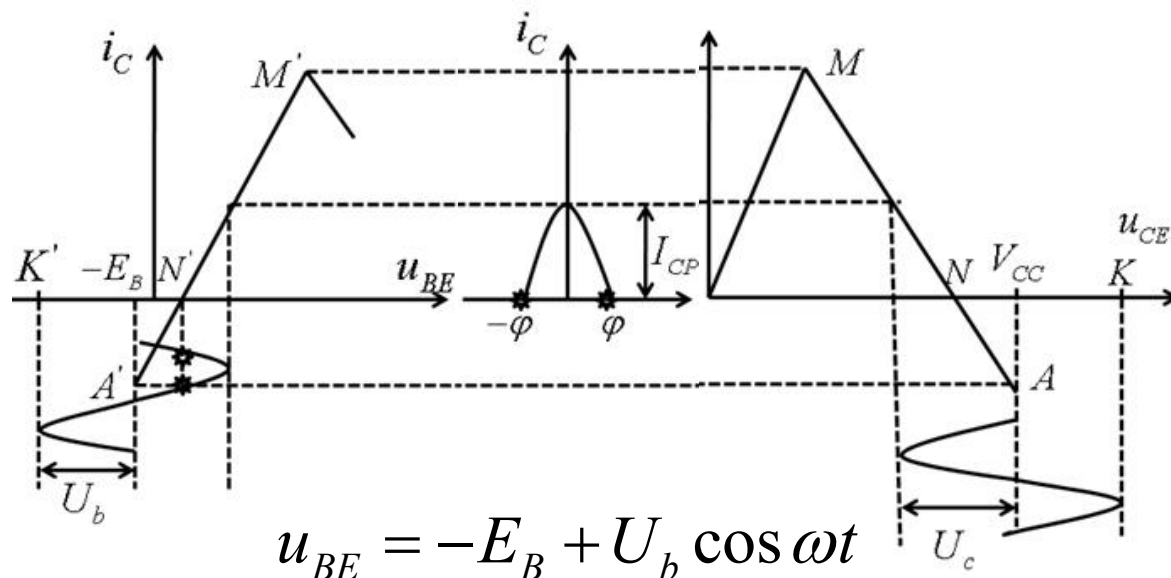


中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

3.3.2 谐振功放的工作状态分析

三种工作状态：欠压、临界和过压。

1. 欠压状态



$$u_{BE} = -E_B + U_b \cos \omega t$$

$$u_{CE} = V_{CC} - U_c \cos \omega t$$

输入电压幅度较小时，最远动态点落在放大区，工作于欠压状态：

① I_{CP} 较小， U_c 较小；

② 集电极电流为正弦脉冲，回路压降为不失真正弦波。

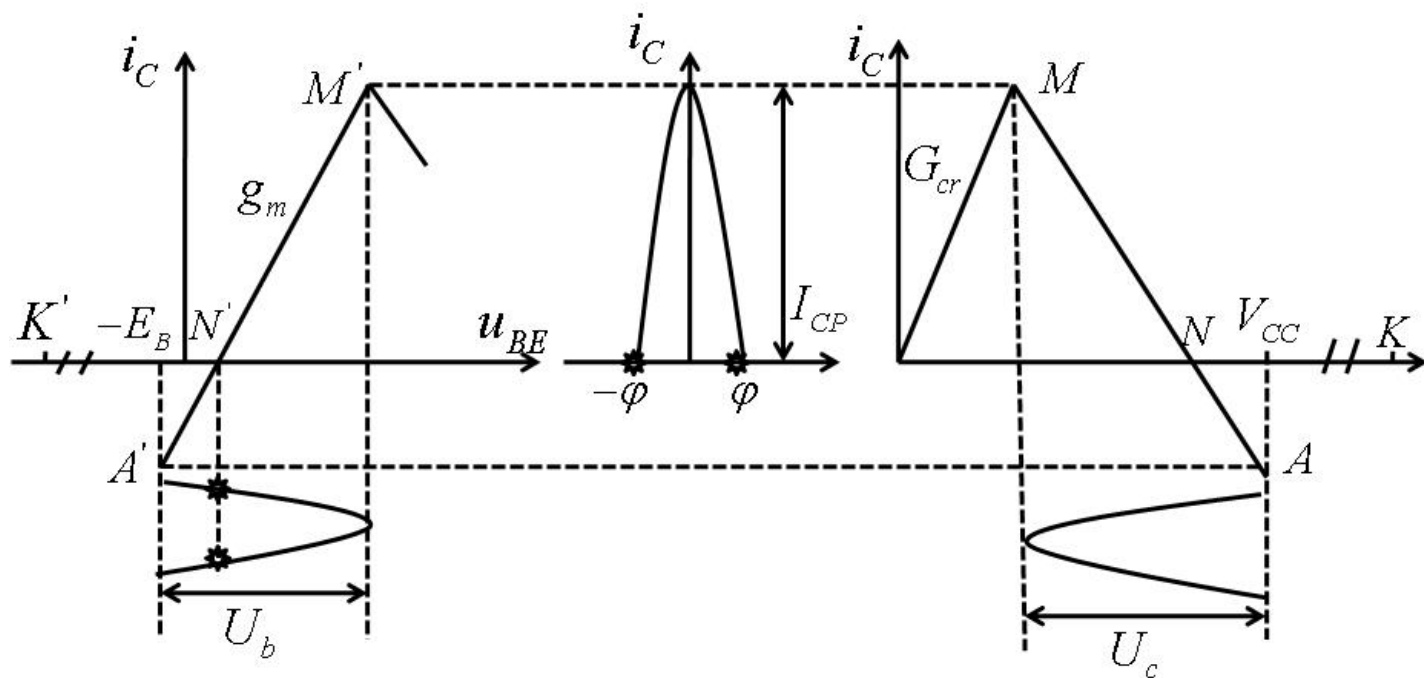
3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

3.3.2 谐振功放的工作状态分析

2. 临界状态



输入电压幅度使最远动态点落在放大区与饱和区的交界点，工作于临界状态：

① I_{CP} 最大， U_c 较大，导通角变大；
$$\varphi = \cos^{-1} \frac{U_T + E_B}{U_b}$$

② 集电极电流为正弦脉冲，回路压降为不失真正弦波。可得到最大交流功率。

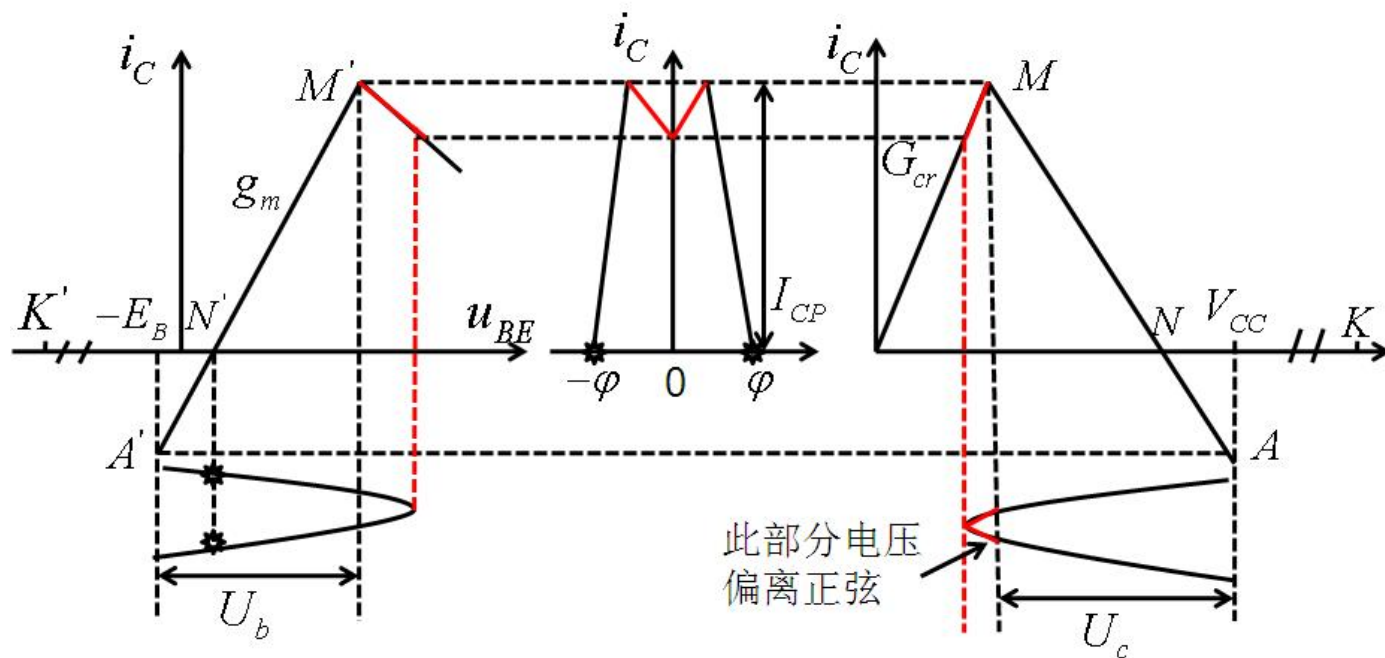
3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

3.3.2 谐振功放的工作状态分析

3. 过压状态



输入电压幅度使最远动态点落在饱和区，工作于过压状态：

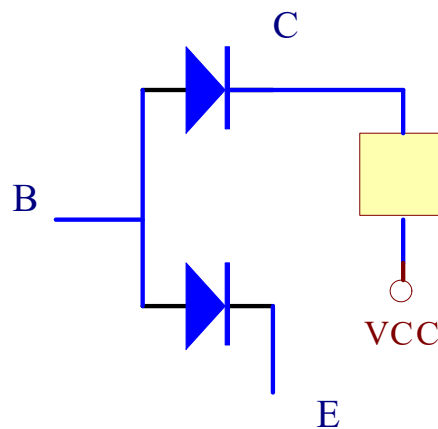
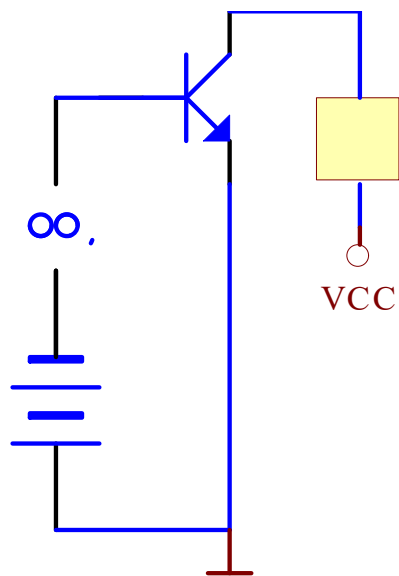
- ①集电极电流为顶部凹陷的正弦脉冲， I_{CP} 较大， U_c 较大，导通角变大；
- ②回路压降负半周顶部失真，正半周不失真。

3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

过压时： $U_B > U_C$ ，饱和时等效阻抗小，使得选频网络Q变小，选频能力变低，波形失真。



3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

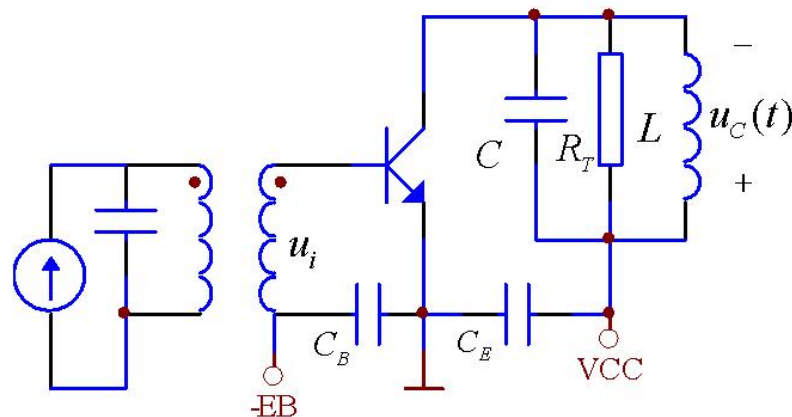
4. 功放计算（欠压或临界状态）

(1) 公式法计算

给定器件参数： U_T, g_m, G_{cr}

信号参数： $-E_B, U_b, V_{CC}$

电路参数： $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, R_T$



折线
律特性

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi = \cos^{-1} \frac{U_T + E_B}{U_b} \\ I_{CP} = g_m U_b (1 - \cos \varphi) \\ I_{C0} = I_{CP} \alpha_0(\varphi) \rightarrow P_{DC} = V_{CC} I_{C0} \quad \text{—直流功率电源供给功率} \\ I_{C1} = I_{CP} \alpha_1(\varphi) \rightarrow P_0 = \frac{1}{2} I_{C1}^2 R_T = \frac{1}{2} I_{C1} U_C \quad \text{—交流功率} \end{array} \right. \quad \therefore \eta_c = \frac{P_0}{P_{DC}} = \frac{1}{2} \frac{\alpha_1(\varphi)}{\alpha_0(\varphi)} \frac{U_C}{V_{CC}} = \frac{1}{2} \frac{\alpha_1(\varphi)}{\alpha_0(\varphi)} \xi$$

3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

$$\therefore \eta_c = \frac{P_0}{P_{DC}} = \frac{1}{2} \frac{\alpha_1(\varphi)}{\alpha_0(\varphi)} \frac{U_C}{V_{CC}} = \frac{1}{2} \frac{\alpha_1(\varphi)}{\alpha_0(\varphi)} \xi \quad \text{效率}$$

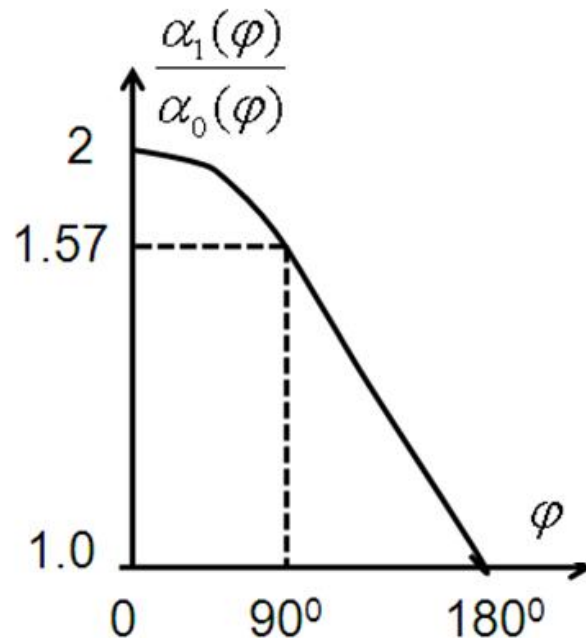
$$\xi = \frac{U_C}{V_{CC}} \quad \text{电源电压利用系数}$$

当 $\xi = 1$ (理想情况), 有:

$$\varphi = 180^\circ, \quad \eta_{c,\max} = \frac{1}{2} \rightarrow \text{甲类}$$

$$\varphi = 90^\circ, \quad \eta_{c,\max} = \frac{\pi}{4} \rightarrow \text{乙类}$$

$$\varphi \rightarrow 0^\circ, \quad \eta_{c,\max} \rightarrow 1$$



3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

$$G_i = \frac{I_{b1}}{U_b} = \frac{I_{c1}}{\beta U_b} = \frac{g_m U_b (1 - \cos \varphi) \alpha_1(\varphi)}{\beta U_b} = G_B (1 - \cos \varphi) \alpha_1(\varphi)$$

输入电导, 输入阻抗太低影响前级推动能力

$$= G_B \frac{\varphi - \sin \varphi \cos \varphi}{\pi} = G_B F(\varphi)$$

φ 越小, 输入电导 G_i 越小, 输入阻抗越大。

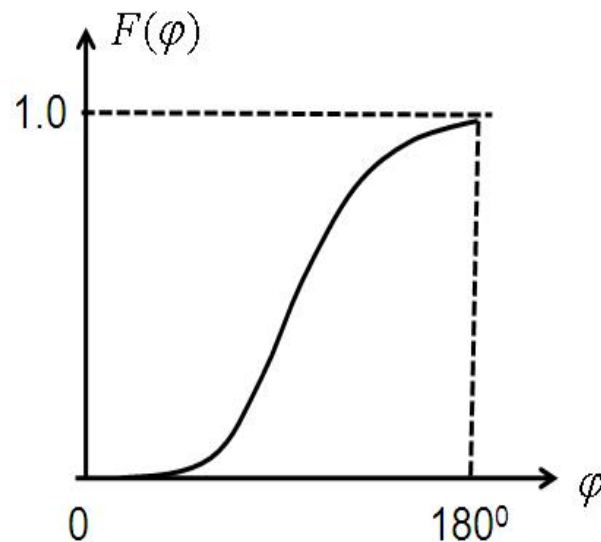
$$A_u = \frac{U_c}{U_b} = \frac{I_{C1} R_T}{U_b} = g_m (1 - \cos \varphi) \alpha_1(\varphi) R_T = g_m R_T F(\varphi)$$

电压放大倍数

A_u 随 φ 减小而减小。

总结: 导通角越小, 效率越高, 但输出功率也越小, 不能片面追求效率, 理想情况: 54%~60%。

$$\begin{cases} \alpha_0(\varphi) = \frac{1}{\pi} \frac{\sin \varphi - \varphi \cos \varphi}{1 - \cos \varphi} \\ \alpha_1(\varphi) = \frac{1}{\pi} \frac{\varphi - \sin \varphi \cos \varphi}{1 - \cos \varphi} \\ g_m = \beta G_B \end{cases}$$



3.3 丙类谐振功率放大器



(2) 根据输出动态特性曲线估算

a. 由动态特性曲线与 $u_{BE\max}$ 的交点确定工作状态

① 临界状态

② 欠压状态

③ 过压状态

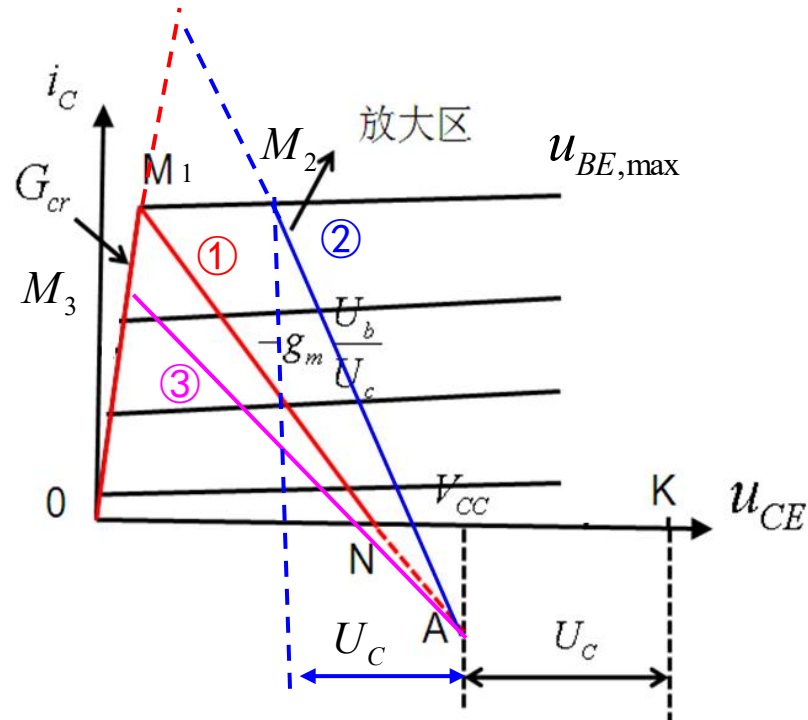
b. 欠压和临界状态：由动态特性曲线与 $u_{BE\max}$ 的交点、各特征点坐标值及动态特性曲线斜率估算 $U_c, \varphi, P_o, \eta_c$ 。

N点: $[V_{CC} - U_c \cos \varphi, 0]$

A点: $[V_{CC}, -g_m U_b \cos \varphi]$, 假设 $u_{CE} = V_{CC}$

K点: $[V_{CC} + U_c, 0]$

动态特性曲线斜率: $-g_m \frac{U_b}{U_c}$



3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

- 作业:

3.9, 3.11 (选做一题)

3.12, 3.13 (选做一题)

3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

3.3.3 谐振功放的负载特性、调制特性和放大特性

1. 负载特性 — R_T 变化, V_{CC} 、 E_B 、 U_b 保持不变, 动态输出特性发生变化。

A点坐标 $[V_{CC}, -g_m U_b \cos \varphi] = [V_{CC}, -g_m (E_B + U_T)]$ 保持不变

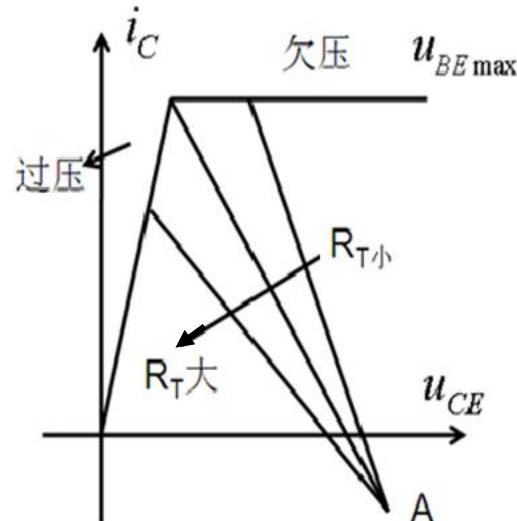
$$u_{BE} = -E_B + U_b \cos \omega t \Rightarrow u_{BE \max} = -E_B + U_b \text{ 保持不变}$$

$$\varphi = \cos^{-1} \frac{E_B + U_T}{U_b} \text{ 保持不变}$$

放大区特性斜率: $-g_m \frac{U_b}{U_C} = -g_n$

与 R_T 成反比

$$g_n = g_m \frac{U_b}{U_c} = \frac{g_m U_b}{I_{CP} \alpha_1(\varphi) R_T}$$
$$= \frac{g_m U_b}{g_m U_b (1 - \cos \varphi) R_T \frac{\varphi - \sin \varphi \cos \varphi}{\pi (1 - \cos \varphi)}} = \frac{\pi}{R_T (\varphi - \sin \varphi \cos \varphi)} = G_T \frac{\pi}{\varphi - \sin \varphi \cos \varphi}$$

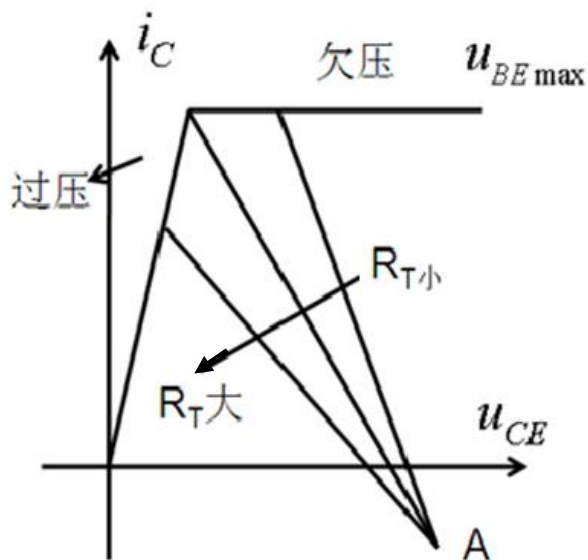


3.3 丙类谐振功率放大器

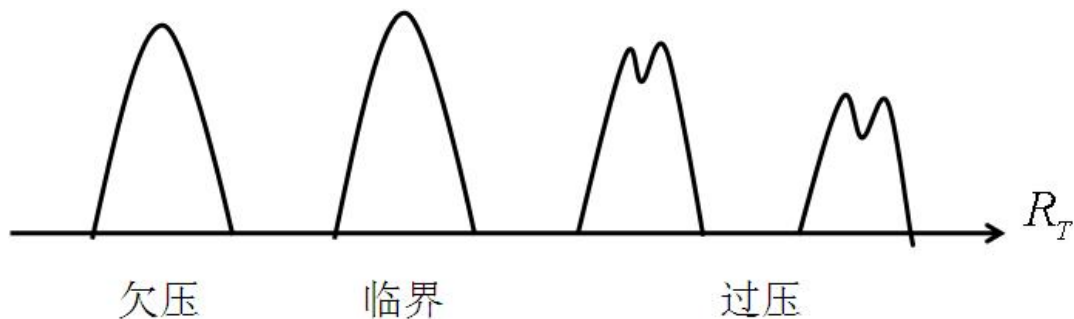


中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

R_T : 小 \rightarrow 大, A点、 U_b 、 $u_{BE\max}$ 、 φ 不变, g_n 与 R_T 成反比



输出基波电流波形变化情况

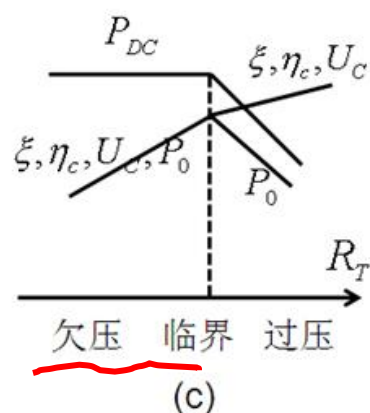
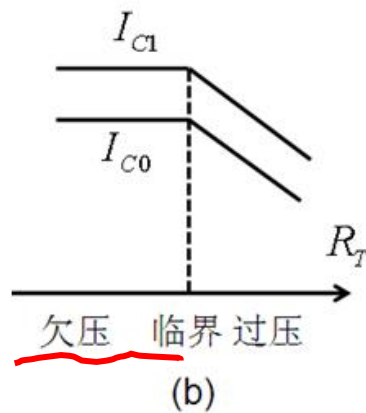


$$I_{CP} = g_m U_b (1 - \cos \varphi) \text{ 不变} \Rightarrow I_{C1}, I_{C0} \text{ 不变}$$

$$P_{DC} = I_{C0} V_{CC} \text{ 不变}$$

①欠压 \rightarrow 临界

$$R_T \uparrow \Rightarrow U_C \uparrow = I_{C1} R_T \uparrow \Rightarrow \begin{cases} \xi \uparrow = \frac{U_C}{V_{CC}} \\ P_o \uparrow = \frac{1}{2} I_{C1} U_C \\ \eta_c \uparrow = \frac{1}{2} \frac{\alpha_1(\varphi)}{\alpha_0(\varphi)} \xi \end{cases}$$

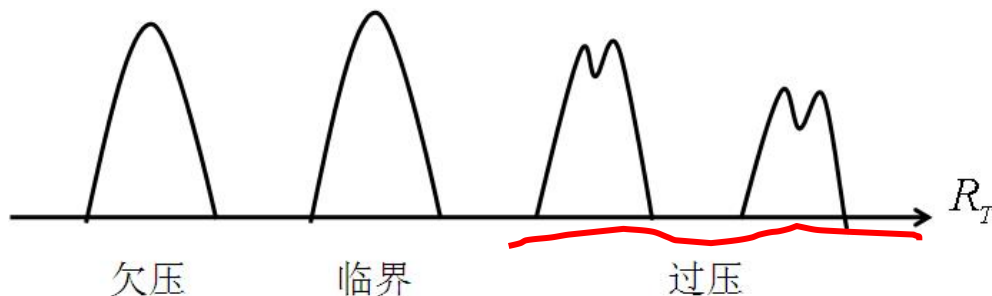
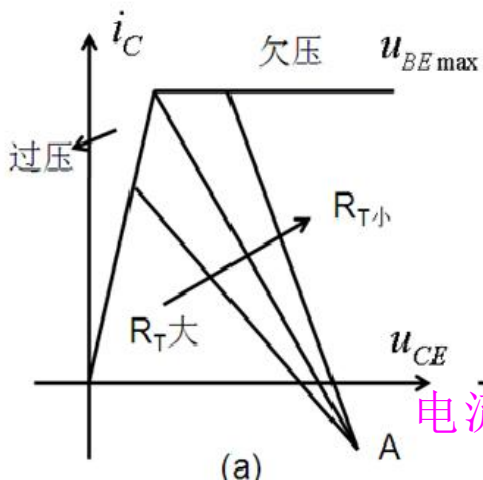


3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

输出基波电流波形变化情况

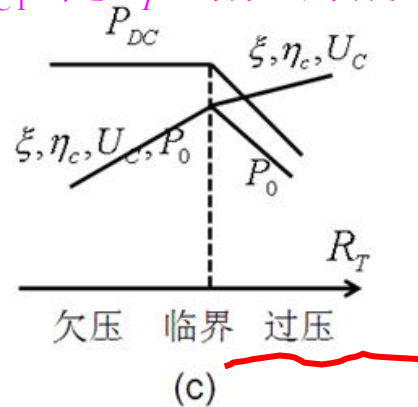
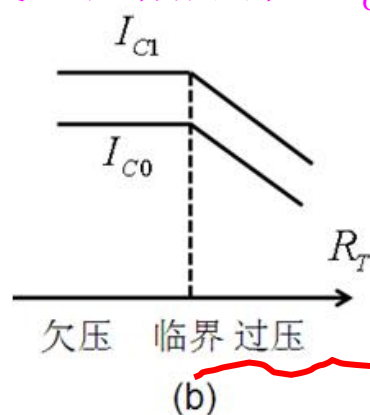


电流脉冲高度变小, ϕ 不变, 凹陷加深, $I_{C0}I_{C1}$ 随 R_T 增大而减小
下降

② 临界 \rightarrow 过压

$$P_{DC} = I_{C0} V_{CC}$$

$$U_C^{\uparrow} = I_{C1}^{\downarrow} R_T^{\uparrow} \Rightarrow \begin{cases} \xi^{\uparrow} = \frac{U_C}{V_{CC}} \\ P_o^{\downarrow} = \frac{1}{2} I_{C1}^{\downarrow} U_C^{\uparrow} \\ \eta_c^{\uparrow} = \frac{1}{2} \frac{\alpha_1(\phi)}{\alpha_0(\phi)} \xi^{\uparrow} \end{cases}$$



尽管 I_{C1} 减小、 R_T 增大使 U_C 仍然上升

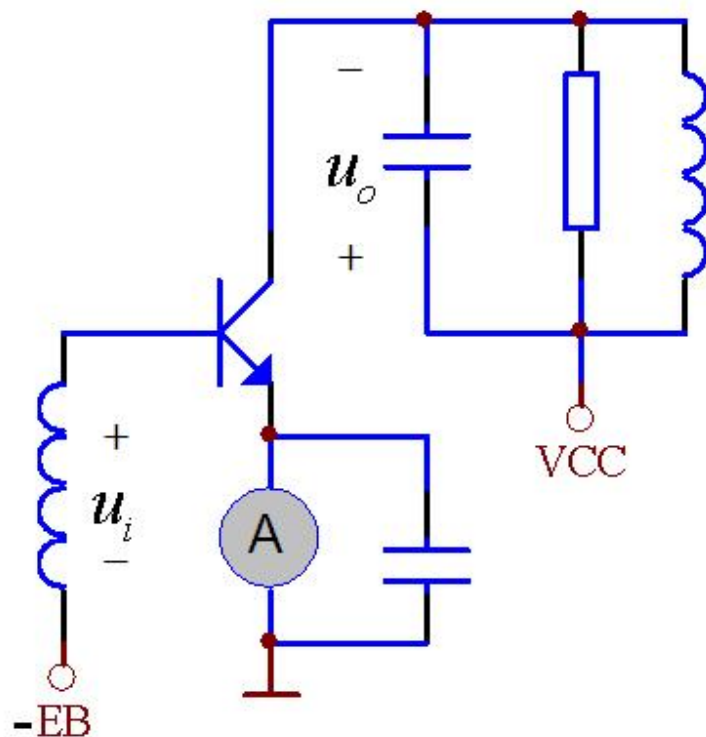
总结: 当 R_T 变化到使放大器处于临界状态时, 输出功率达到最大值, 而集电极效率也越大, 放大器处于**最佳工作状态**, 这时的 R_T 被称为谐振功率放大器的**最佳负载**。

3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

一般在发射极加一电流表监视负载特性，观察流过发射极的均值电流，使其达到临界状态。



3.3 丙类谐振功率放大器

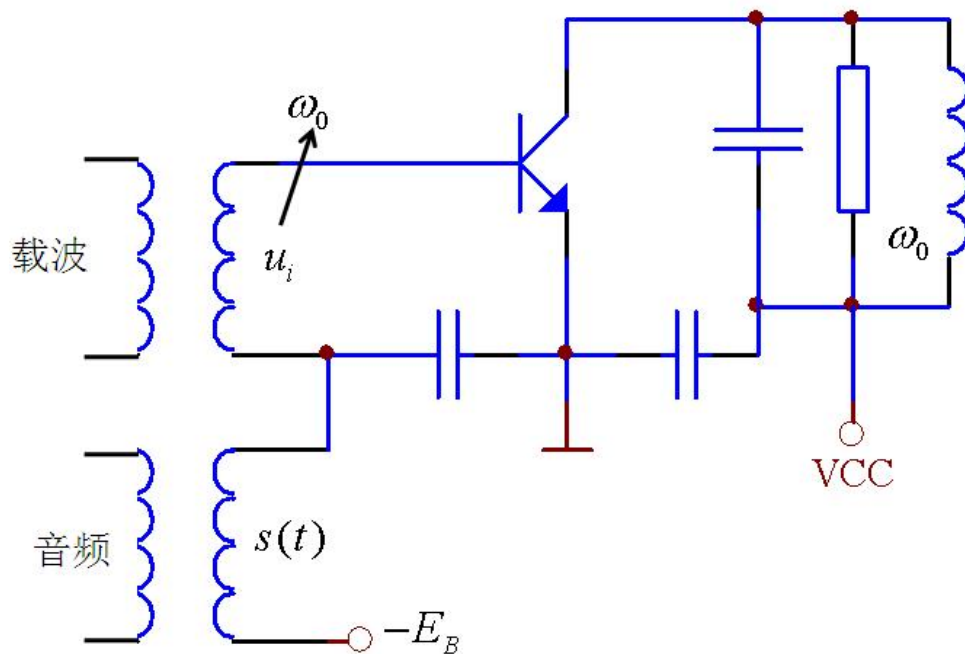


中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

3.3.3 谐振功放的负载特性、调制特性和放大特性

2. 基极调制特性 — E_B 变化, V_{CC} 、 R_T 、 U_b 保持不变, 动态输出特性发生变化

$$\begin{aligned}u_{BE} &= -E_B + s(t) + U_b \cos \omega t \\ &= -E_B(t) + U_b \cos \omega t\end{aligned}$$



3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

3.3.3 谐振功放的负载特性、调制特性和放大特性

2. 基极调制特性 — E_B 变化, V_{CC} 、 R_T 、 U_b 保持不变, 动态输出特性发生变化

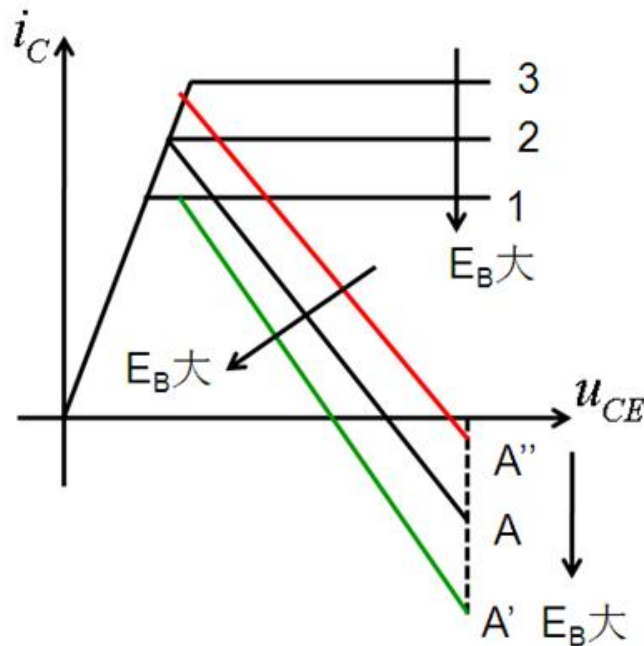
A点坐标 $[V_{CC}, -g_m U_b \cos \varphi] = [V_{CC}, -g_m (E_B + U_T)]$ 随 E_B 增大而下移

$u_{BE} = -E_B + s(t) + U_b \cos \varphi t \Rightarrow u_{BE \max} = -E_B(t) + U_b$ 随 E_B 增大而下降

$\varphi = \cos^{-1} \frac{E_B + U_T}{U_b}$ 随 E_B 增大而减小

放大区特性斜率: $g_n = G_T \frac{\pi}{\varphi - \sin \varphi \cos \varphi}$ 随 E_B 增大而变大

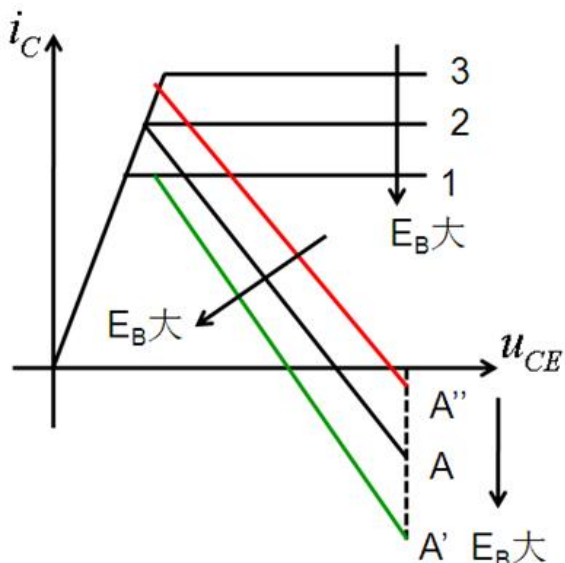
随着 E_B 增大, 放大器从过压区 \rightarrow 临界状态 \rightarrow 欠压区。



3.3 丙类谐振功率放大器

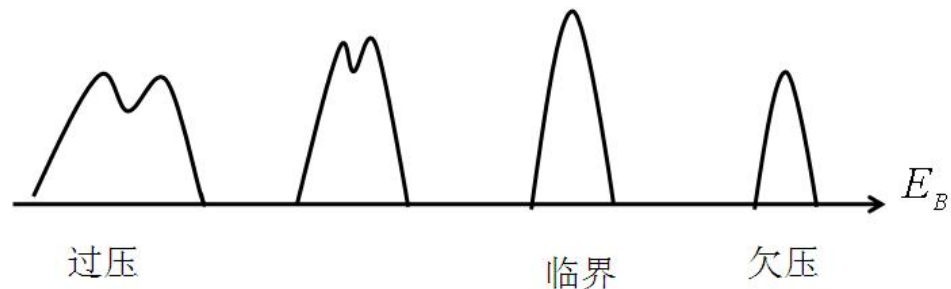


中国科学技术大学
University of Science and Technology of China



E_B : 小 \rightarrow 大

输出基波电流波形变化情况

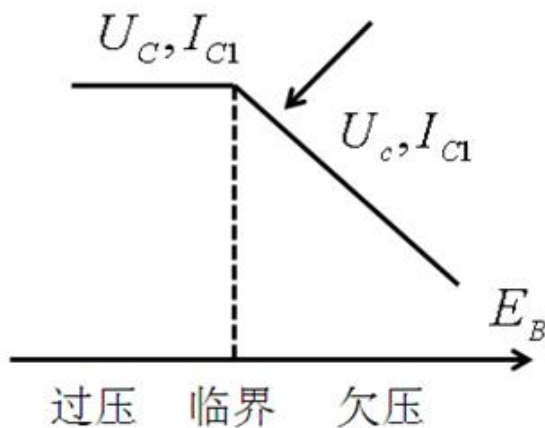


① 过压 \rightarrow 临界

过压区, E_B 小, φ 角大, 但电流凹陷严重, 二者作用抵消, 使得 I_{C1} , I_{C0} 基本与 E_B 无关。

② 临界 \rightarrow 欠压

欠压区, φ 随 E_B 增大而减小, $I_{CP} = g_m U_b (1 - \cos \varphi)$ 减小, I_{C1} , I_{C0} 减小。



$I_{C1}(U_C)$ 随 E_B 的增大而几乎线性减少的特性, 称为 基极调制特性。

3.3 丙类谐振功率放大器



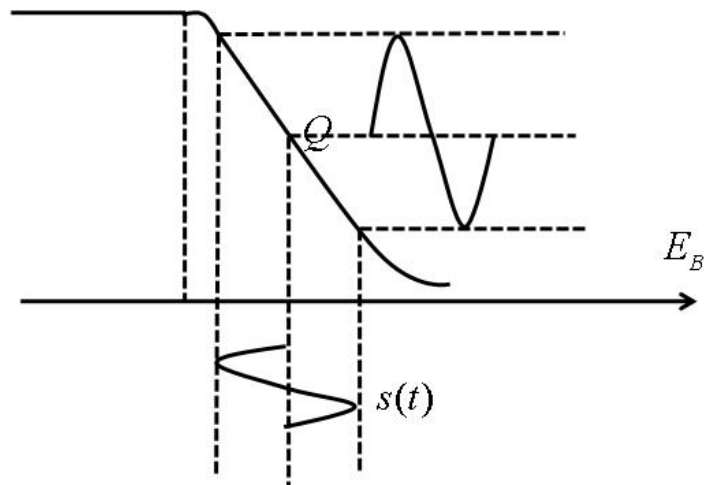
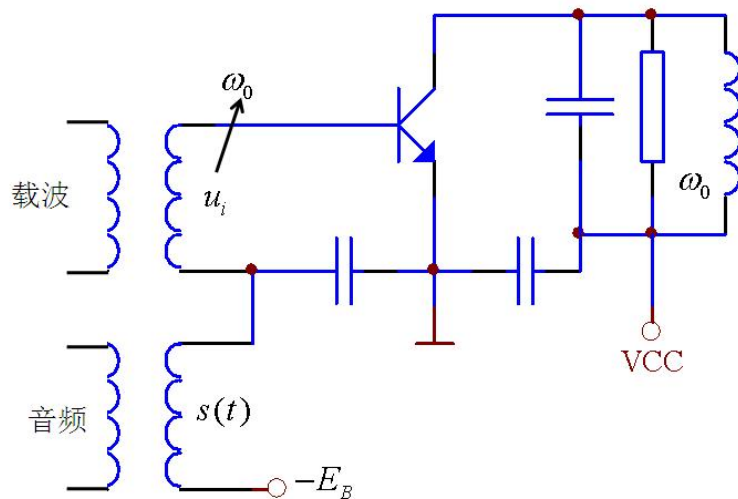
中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

2. 基极调制特性

基极调制特性将音频信号调制到高频信号上，使高频信号的幅值随 $s(t)$ 变化。

当音频信号为 $s(t)$ 时，RLC两端输出高频振荡信号，其幅值为 U_c 。

当电路工作在欠压区时， U_c 的幅值受 $s(t)$ 限制。



$s(t)$ 叠加在 E_B 上，由于线性关系所以得到的输出为正弦。

3.3 丙类谐振功率放大器



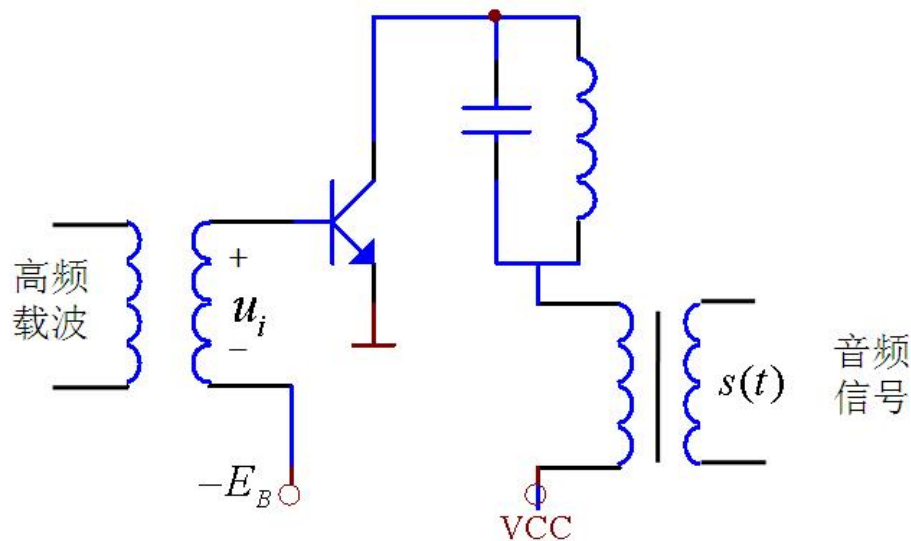
中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

3.3.3 谐振功放的负载特性、调制特性和放大特性

3. 集电极调制特性 — V_{CC} 变化, E_B 、 R_T 、 U_b 保持不变, 动态输出特性发生变化

$$V_{CC}(t) = V_{CC} + s(t)$$

$$u_i = -E_B + U_b \cos \omega t$$



3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

3.3.3 谐振功放的负载特性、调制特性和放大特性

3. 集电极基极调制特性 — V_{CC} 变化, E_B 、 R_T 、 U_b 保持不变, 动态输出特性发生变化

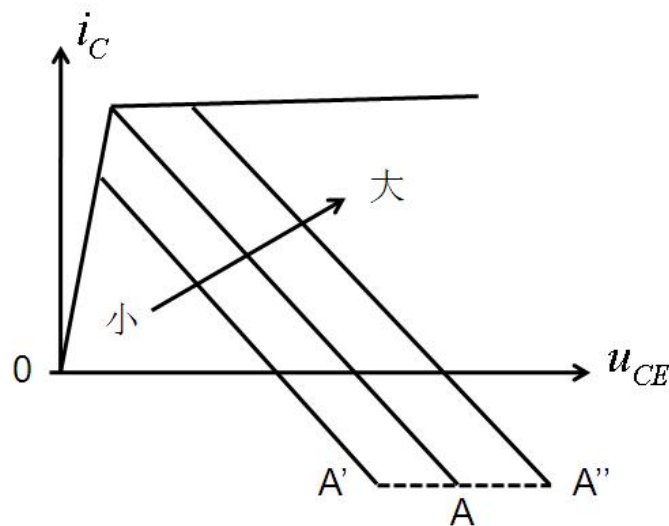
A点坐标 $[V_{CC}, -g_m U_b \cos \varphi] = [V_{CC}, -g_m (E_B + U_T)]$ 随 V_{CC} 变化左右移动

$$u_{BE} = -E_B + U_b \cos \varphi t \Rightarrow u_{BE \max} = -E_B + U_b \quad \text{不变}$$

$$\varphi = \cos^{-1} \frac{E_B + U_T}{U_b} \quad \text{不变}$$

放大区特性斜率:
$$g_n = G_T \frac{\pi}{\varphi - \sin \varphi \cos \varphi}$$
 不变

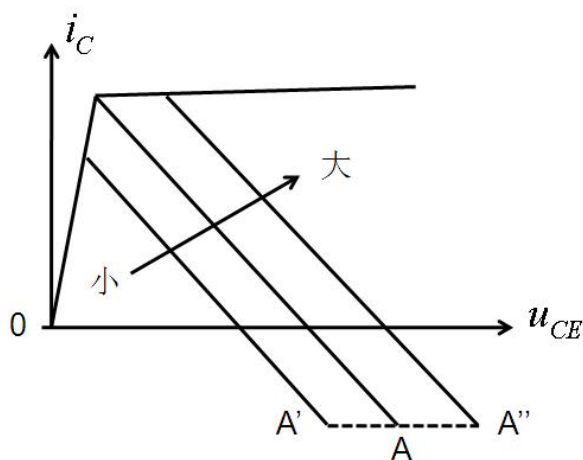
随着 V_{CC} 增大, 放大器从过压区 \rightarrow 临界状态 \rightarrow 欠压区。



3.3 丙类谐振功率放大器

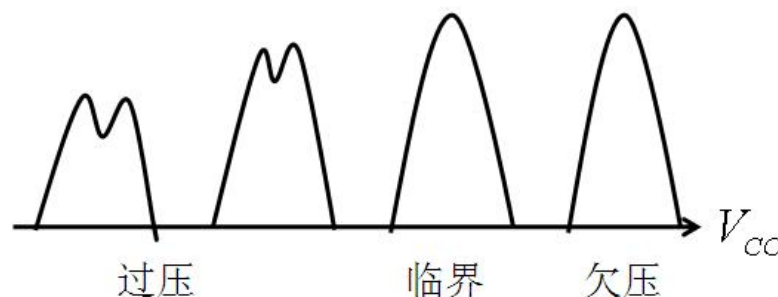


中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

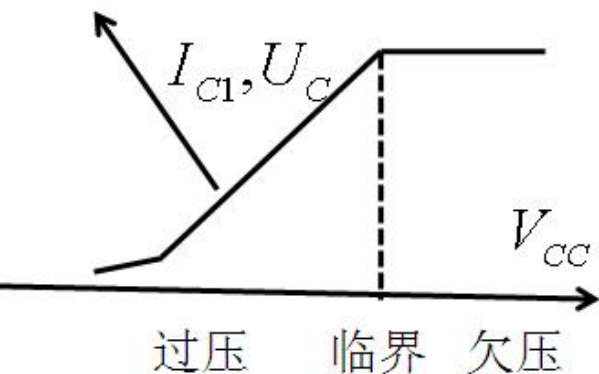


V_{CC} : 小 \rightarrow 大

输出基波电流波形变化情况



集电极调制特性



①过压 \rightarrow 临界

过压区, φ 不变, 电流凹陷严重, $I_{C1}(U_C)$ 随 V_{CC} 增大而增大, 近似呈线性关系, 这种特性称为集电极调制特性。

② 临界 \rightarrow 欠压

欠压区, φ 、 I_{CP} 不变, I_{C1} 、 I_{C0} 保持不变, V_{CC} 越大, U_{CB} 越大, 越不容易饱和, 放大器工作在线性区

3.3 丙类谐振功率放大器



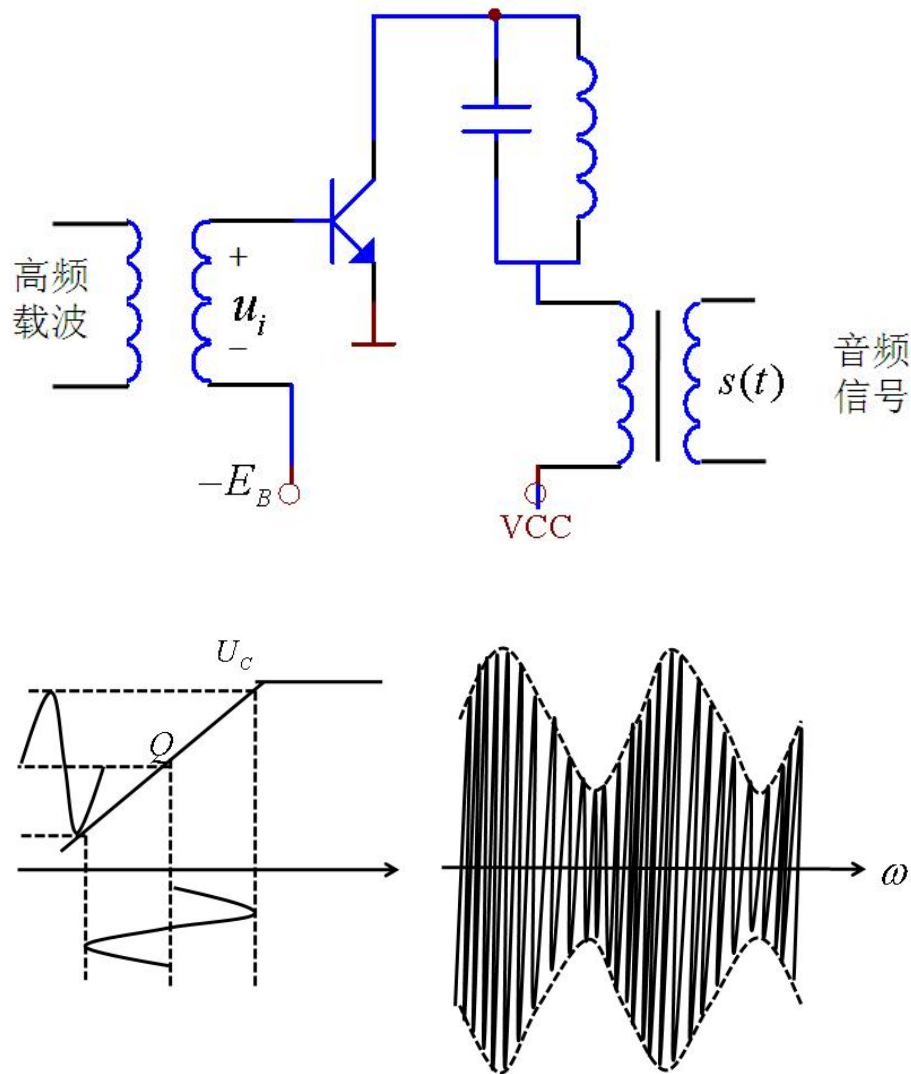
中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

3. 集电极调制特性

集电极基极调制特性将音频信号调制到高频信号上，使高频信号的幅值随 $s(t)$ 变化。

当音频信号为 $s(t)$ 时，RLC两端输出高频振荡信号，其幅值为 U_c 。

当电路工作在过压区时， U_c 的幅值受 $s(t)$ 限制。



3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

3.3.3 谐振功放的负载特性、调制特性和放大特性

4. **放大制特性** — U_b 变化, E_B 、 R_T 、 V_{CC} 保持不变, 动态输出特性发生变化

A点坐标 $[V_{CC}, -g_m U_b \cos \varphi] = [V_{CC}, -g_m (E_B + U_T)]$ **不变**

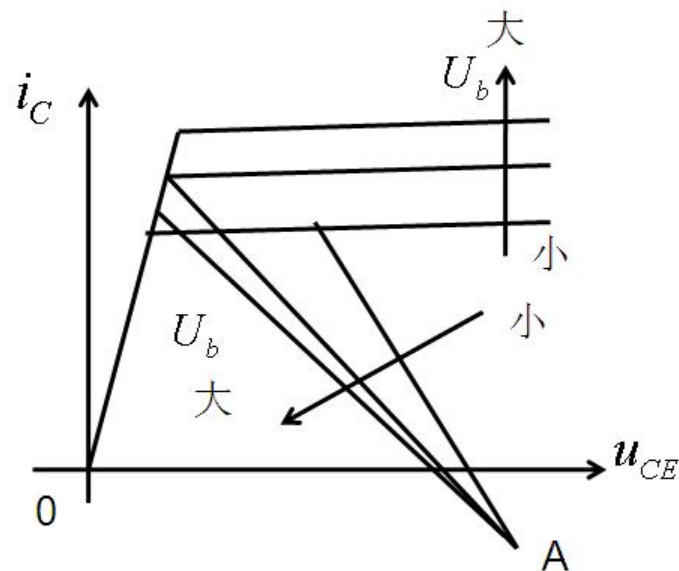
$u_{BE} = -E_B + U_b \cos \varphi t \Rightarrow u_{BE \max} = -E_B + U_b$ **随 U_b 增大而上移**

$\varphi = \cos^{-1} \frac{E_B + U_T}{U_b}$ **随 U_b 增大而增大**

放大区特性斜率: $g_n = G_T \frac{\pi}{\varphi - \sin \varphi \cos \varphi}$

随 U_b 增大而减小

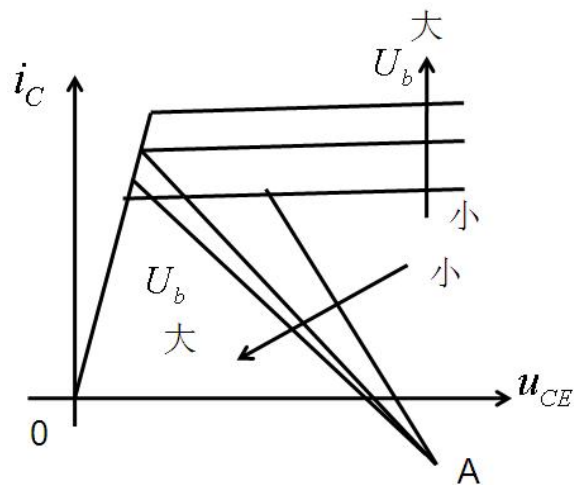
随着 U_b 增大, 放大器从欠压区 \rightarrow 临界状态 \rightarrow 过压区。



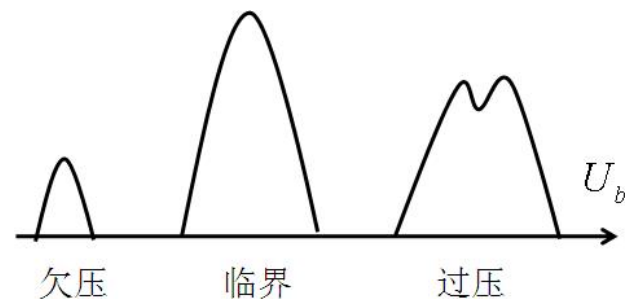
3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China



U_b : 小 \rightarrow 大 输出基波电流波形变化情况

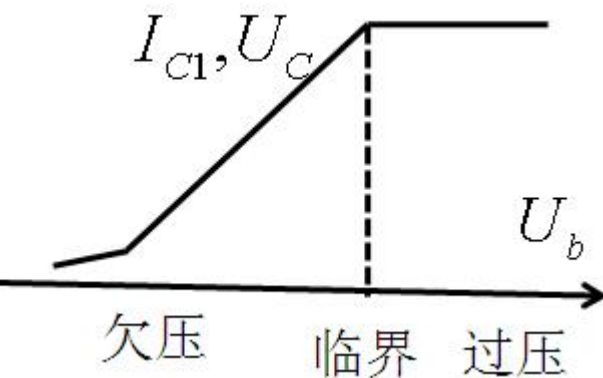


① 欠压 \rightarrow 临界

欠压区, $I_{CP} = g_m U_b (1 - \cos \varphi)$ 随 U_b 增大而增大, φ 增大, 因而 I_{C1}, I_{C0}, U_C 随 U_b 增大而增大, 呈近似线性关系, 这种特性称为放大特性。

② 临界 \rightarrow 过压

过压区, φ 增大但电流凹陷严重, U_C 基本与 U_b 无关, 此特性称为限幅特性。

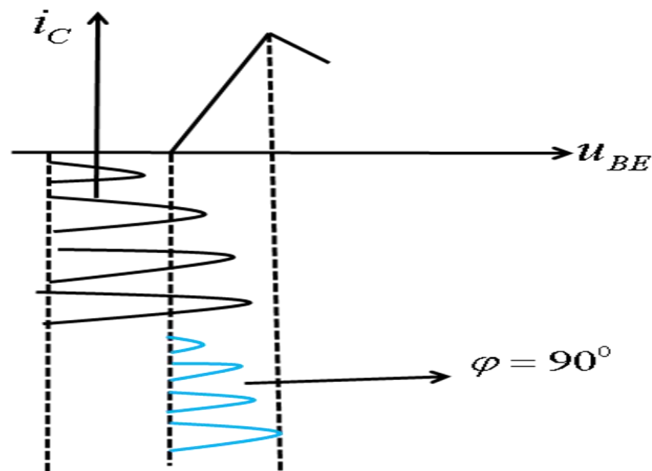


3.3 丙类谐振功率放大器



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

线性放大特性用于放大调幅波：
须保证对任何 $u_b(t)$ 都工作在欠压状态，同时还要适当选择导通角。为了保证放大的线性，工作在通角为 90° 的**乙类状态**。



放大等幅波（调频波）：应工作在**临界状态**。

限幅放大特性可用做动态限幅器：将幅度在较大范围内变化的输入信号（比如有寄生调幅的调频波）变化成幅度变化很小的输出信号，可用于抑制寄生调幅。

