



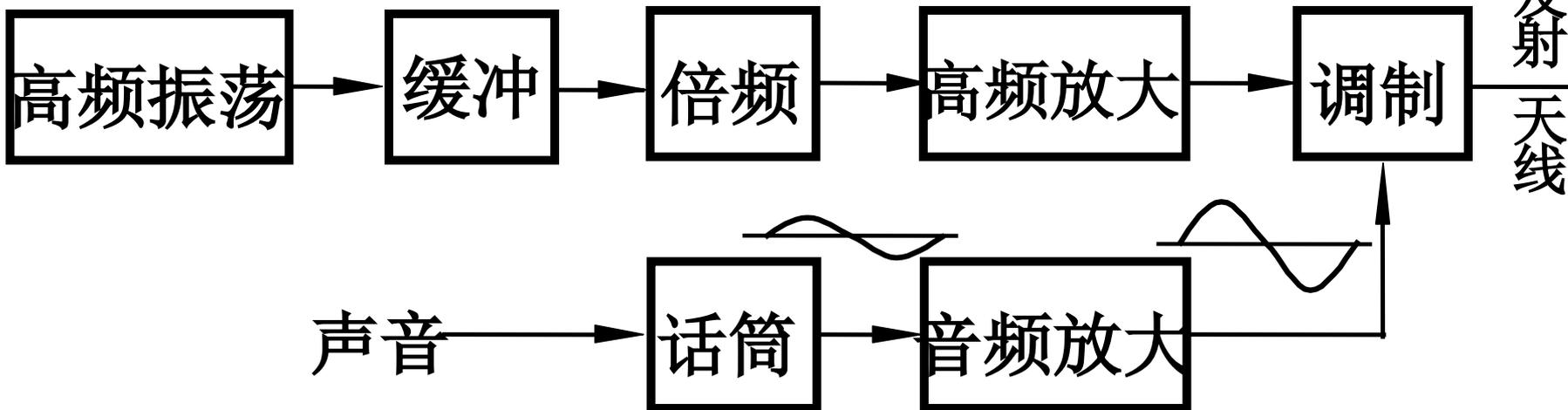
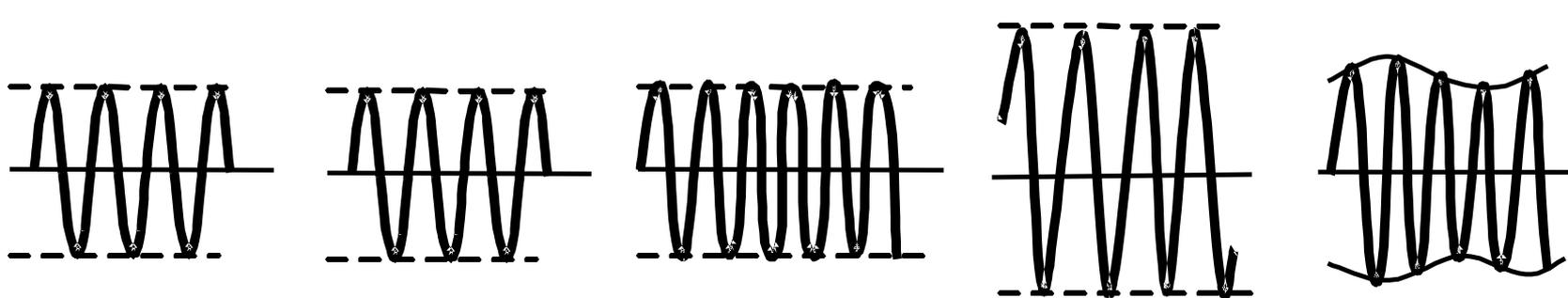
# 6 高频功率放大器

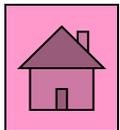
---

- 6.1 概述
- 6.2 谐振功率放大器的原理
- 6.3 晶体管线性分析放大器的折线近似分析法
- 6.4 谐振功率放大器电路
- 6.5 谐振功率放大器实例
- 6.6 晶体管倍频器



# 无线电发射机





## 6.1 概述

1、使用高频功率放大器的目的：

放大高频大信号使发射机末级获得足够大的发射功率。

2、高频功率信号放大器使用中需要解决的两个问题？ **高效率输出** **高功率输出**

联想对比：

高频功率放大器和低频功率放大器的共同特点都是输出功率大和效率高。

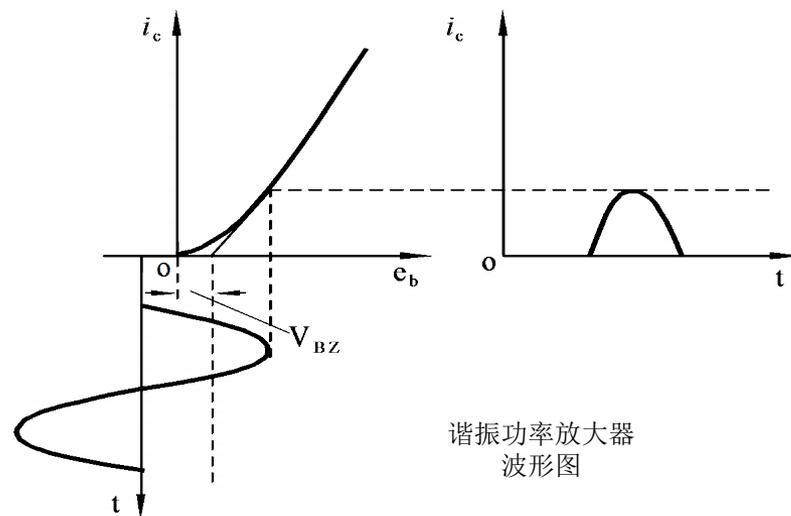
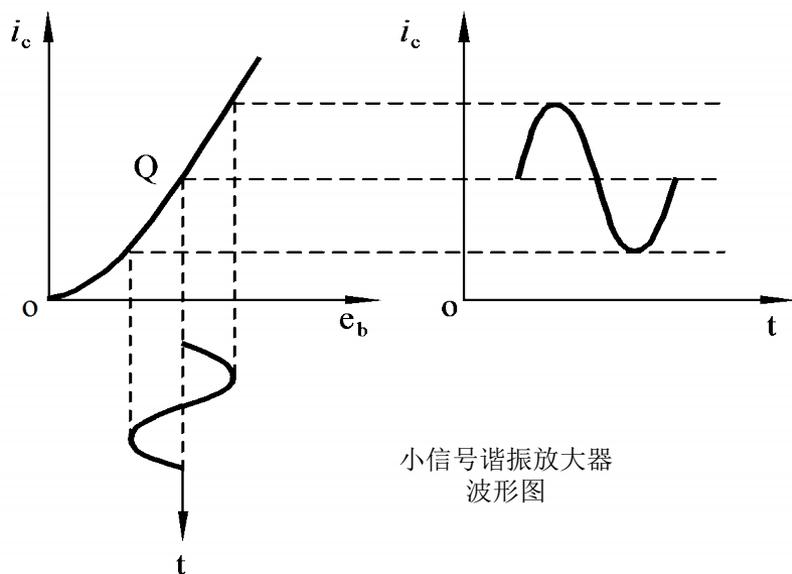


# 6.1 概述

## 3、谐振功率放大器与小信号谐振放大器的异同之处。

相同之处：它们放大的信号均为高频信号，而且放大器的负载均为谐振回路。

不同之处：为激励信号幅度大小不同；放大器工作点不同；晶体管动态范围不同。





# 6.1 概述

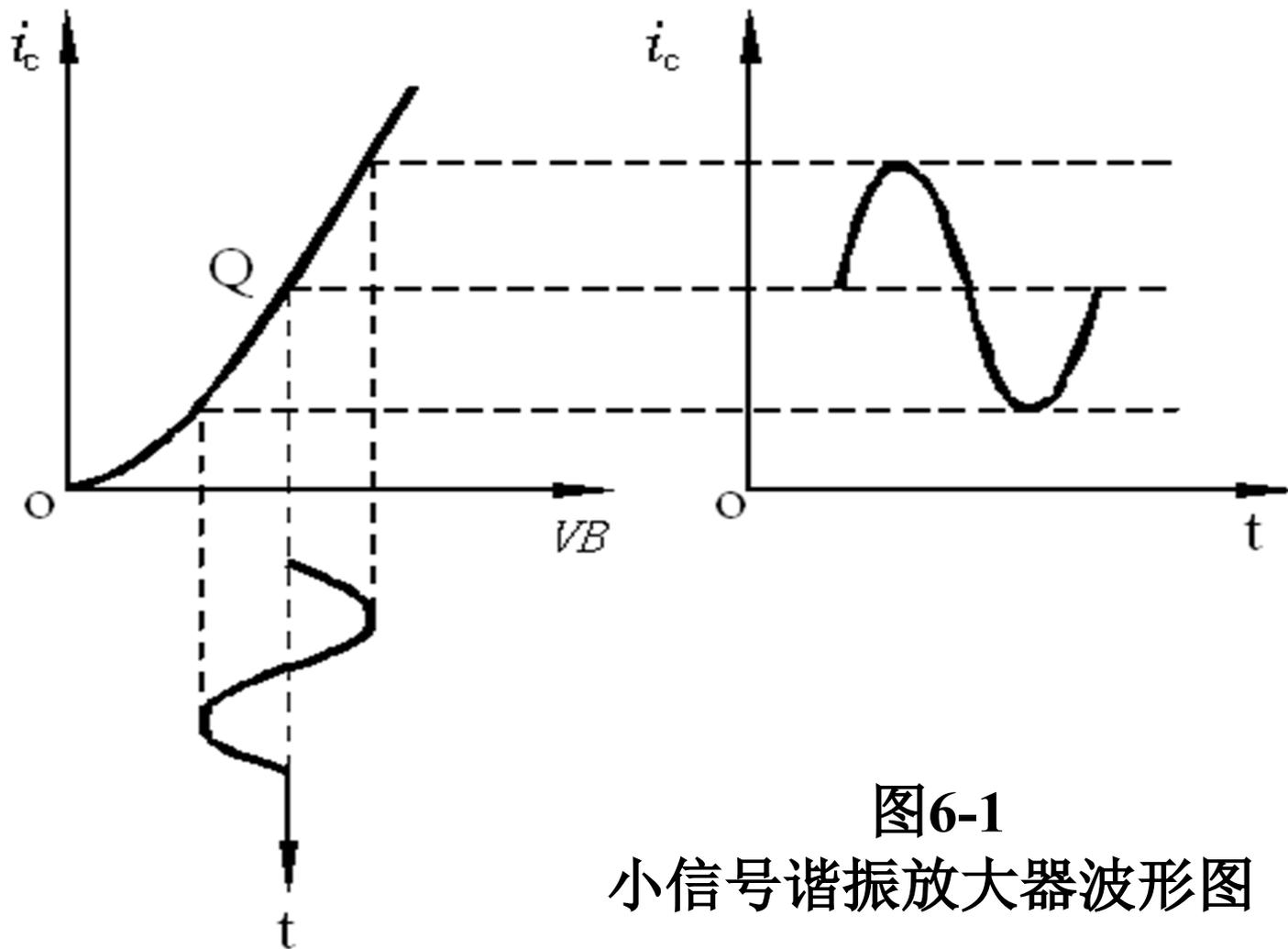


图6-1  
小信号谐振放大器波形图



# 6.1 概述

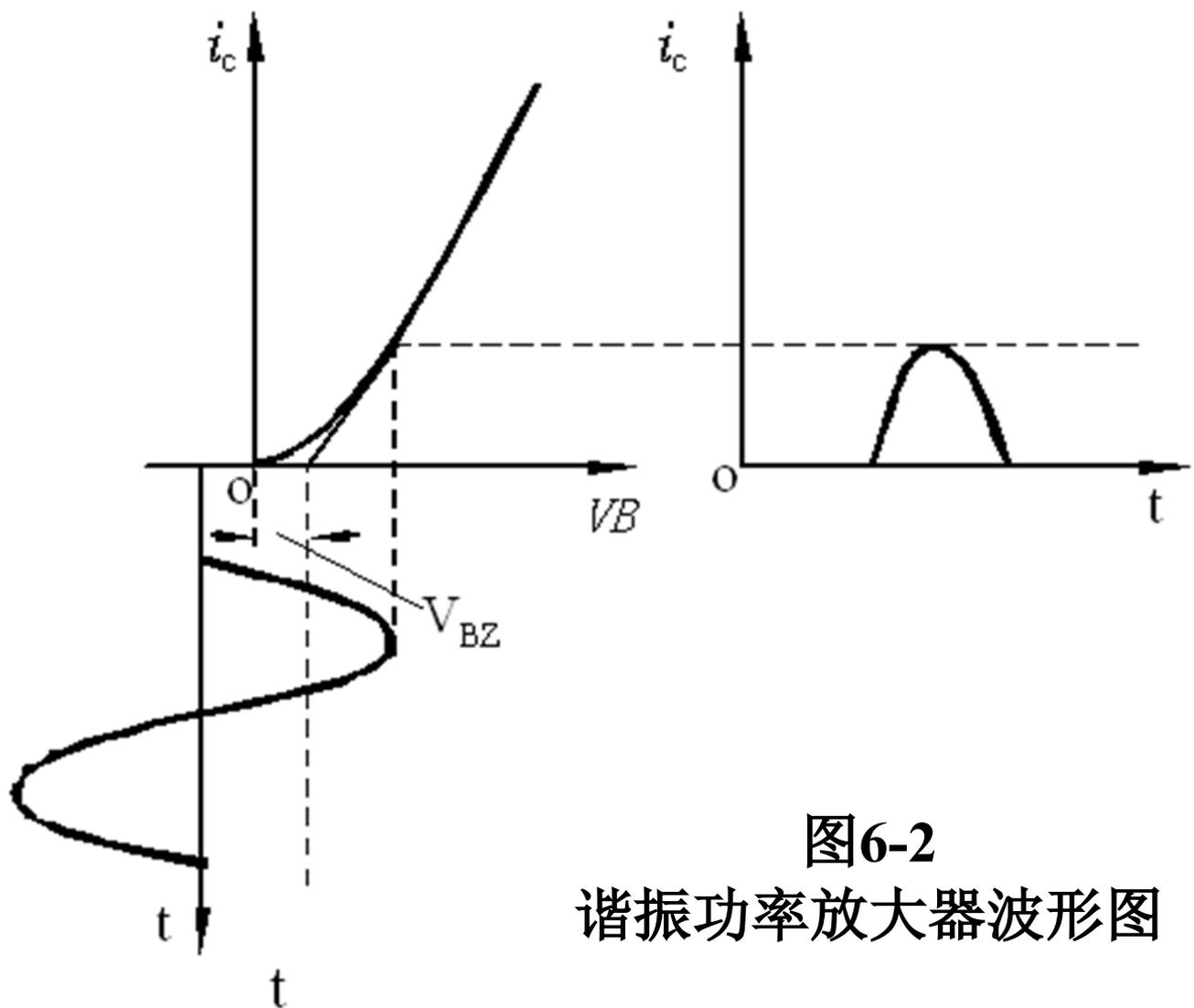


图6-2  
谐振功率放大器波形图



## 6.1 概述

功率放大器**实质**上是一个**能量转换器**，把电源供给的直流能量转化为交流能量，能量转换的能力即为功率放大器的效率。

**谐振功率放大器**通常用来放大**窄带**高频信号(信号的通带宽度只有其中心频率的1%或更小)，其工作状态通常选为丙类工作状态( $\theta_c < 90^\circ$ )，为了不失真的放大信号，它的**负载必须是谐振回路**。

非谐振放大器可分为**低频功率放大器**和**宽带高频功率放大器**。低频功率放大器的负载为无调谐负载，工作在甲类或乙类工作状态；宽带高频功率放大器以宽带传输线为负载。



# 6.1 概述——工作状态

功率放大器一般分为甲类、乙类、甲乙类、丙类等工作方式，为了进一步提高工作效率还提出了丁类与戊类放大器

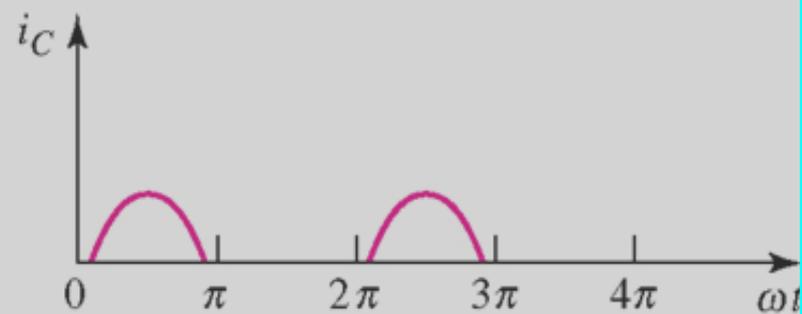
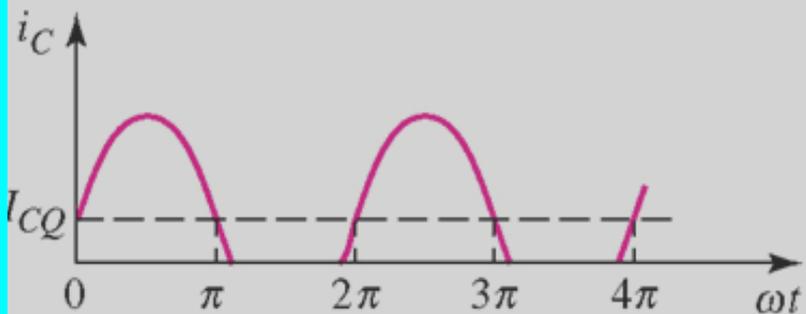
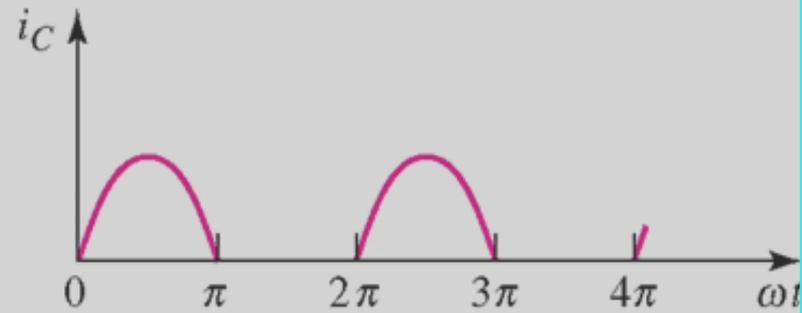
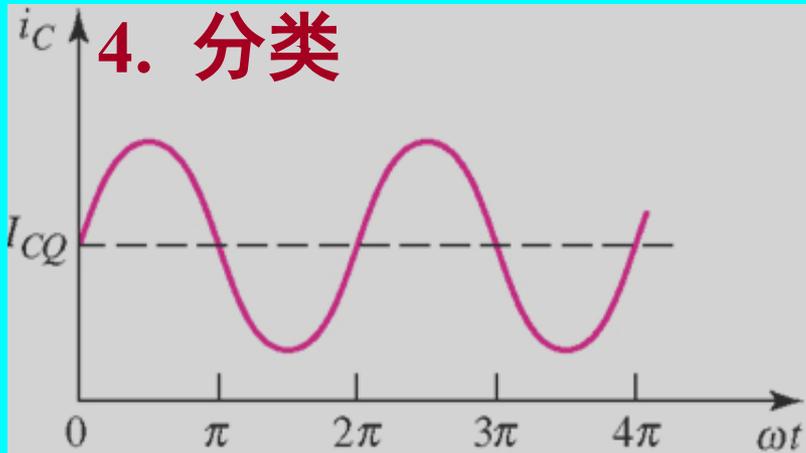
表 2-1 不同工作状态时放大器的特点

工作状态	半导通角	理想效率	负 载	应 用
甲类	$\theta_c=180^\circ$	50%	电阻	低频
乙类	$\theta_c=90^\circ$	78.5%	推挽, 回路	低频, 高频
甲乙类	$90^\circ < \theta_c < 180^\circ$	$50\% < \eta < 78.5\%$	推挽	低频
丙类	$\theta_c < 90^\circ$	$\eta > 78.5\%$	选频回路	高频
丁类	开关状态	90%~100%	选频回路	高频

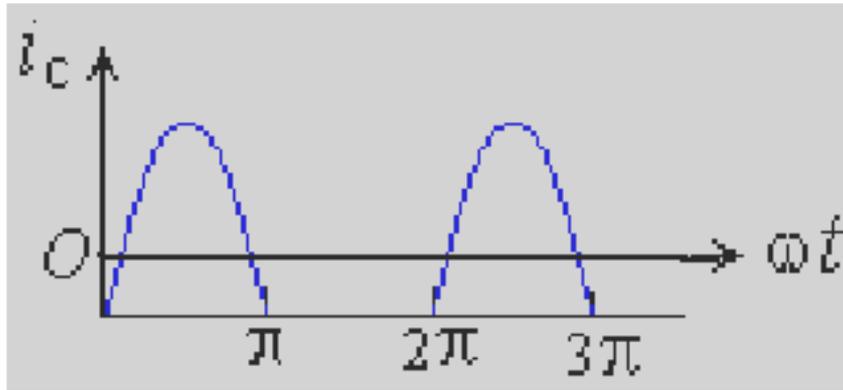
谐振功率放大器通常工作于丙类工作状态，属于非线性电路  
功率放大器的主要技术指标是**输出功率与效率**

# 6.1 概述

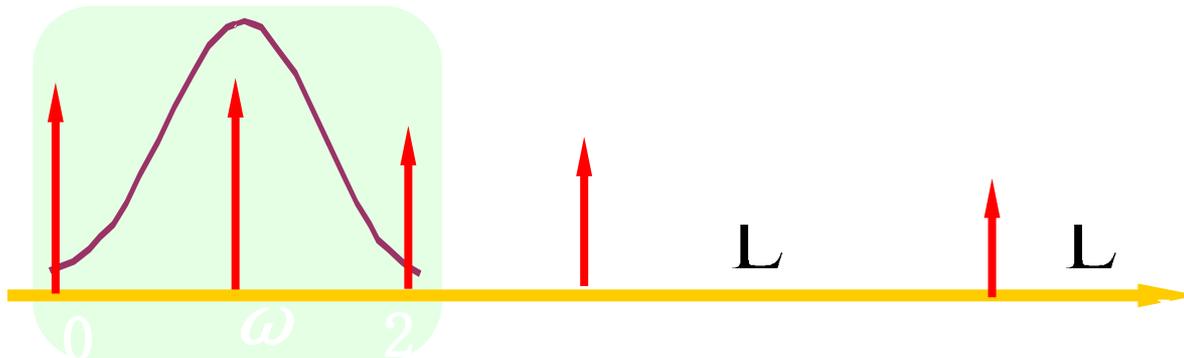
## 4. 分类



# 6.1 概述



$$i_C = I_{c0} + I_{cm1} \cos \omega t + I_{cm2} \cos 2\omega t + L + I_{cmn} \cos n\omega t + L$$





## 6.2 谐振功率放大器工作原理

### 谐振功率放大器的功率关系和效率

功率放大器的**作用原理**是利用输入到基极的信号来控制集电极的直流电源所供给的直流功率，使之转变为交流信号功率输出去。

有一部分功率以热能的形式消耗在集电极上，成为集电极耗散功率。

$P_{\text{=}}$  = 直流电源供给的直流功率；

$P_{\text{o}}$  = 交流输出信号功率；

$P_{\text{c}}$  = 集电极耗散功率；

根据能量守恒定理： $P_{\text{=}} = P_{\text{o}} + P_{\text{c}}$

故集电极效率：
$$\eta_{\text{c}} = \frac{P_{\text{o}}}{P_{\text{=}}} = \frac{P_{\text{o}}}{P_{\text{o}} + P_{\text{c}}}$$



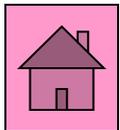
## 6.2 谐振功率放大器工作原理

由上式可以得出以下两点结论：

1) 设法尽量降低集电极耗散功率 $P_c$ ，则集电极效率 $\eta_c$ 自然会提高。这样，在给定 $P_c$ 时，晶体管的交流输出功率 $P_o$ 就会增大；

2) 由式 
$$P_o = \left( \frac{\eta_c}{1 - \eta_c} \right) P_c$$
 可知

如果维持晶体管的集电极耗散功率 $P_c$ 不超过规定值，那么提高集电极效率 $\eta_c$ ，将使交流输出功率 $P_o$ 大为增加。谐振功率放大器就是从这方面入手，来提高输出功率与效率的。



## 6.2 谐振功率放大器工作原理

如何减小集电极耗散功率 $P_c$ 呢？

晶体管集电极平均耗散功率：

$$\frac{1}{T} \int_0^T i_c \cdot V_{CE} dt$$

可见使 $i_c$ 在 $V_{CE}$ 最低的时候才能通过，那么，集电极耗散功率自然会大为减小。



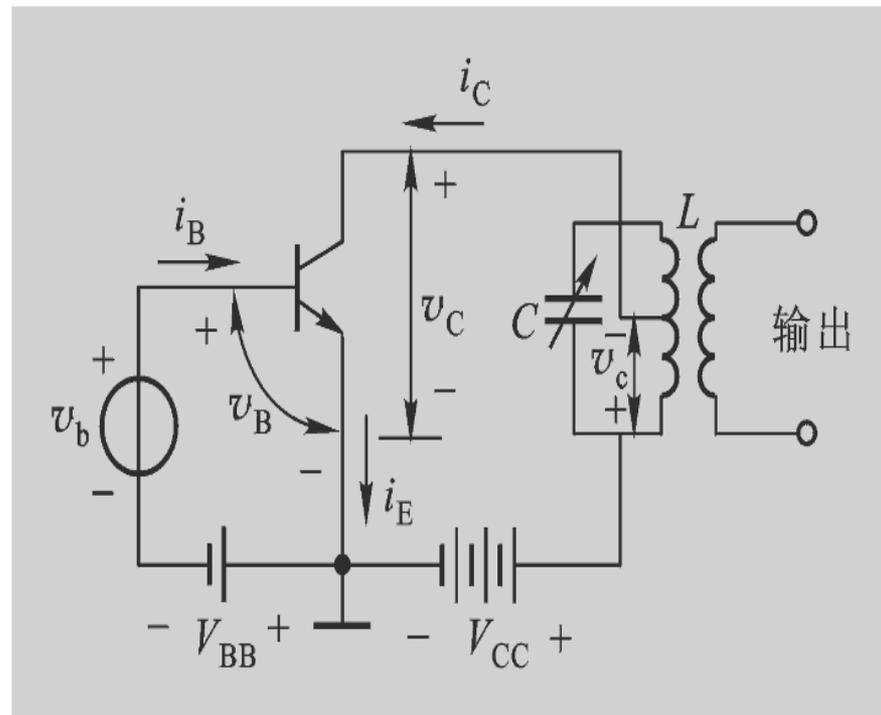
## 6.2 谐振功率放大器工作原理

### 1、原理电路

晶体管的作用是在将供电电源的直流能量转变为交流能量的过程中起开关控制作用。

谐振回路LC是晶体管的负载

电路工作在丙类工作状态



# 6.2.1 获得高效率所需要的条件

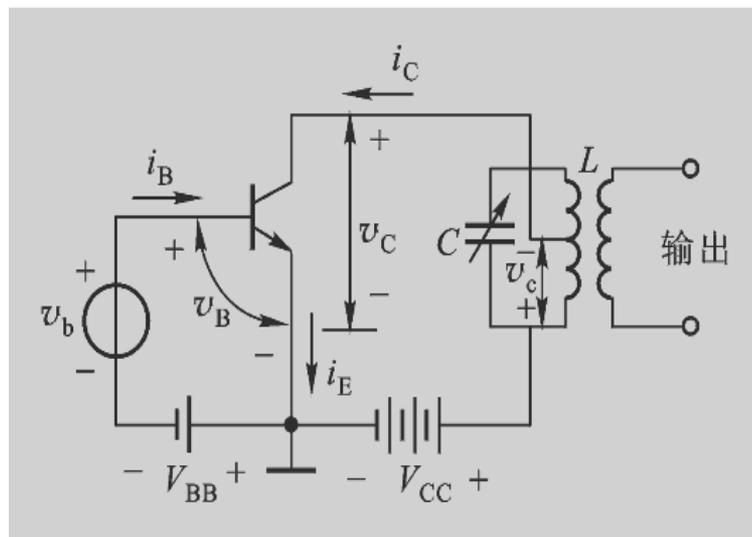
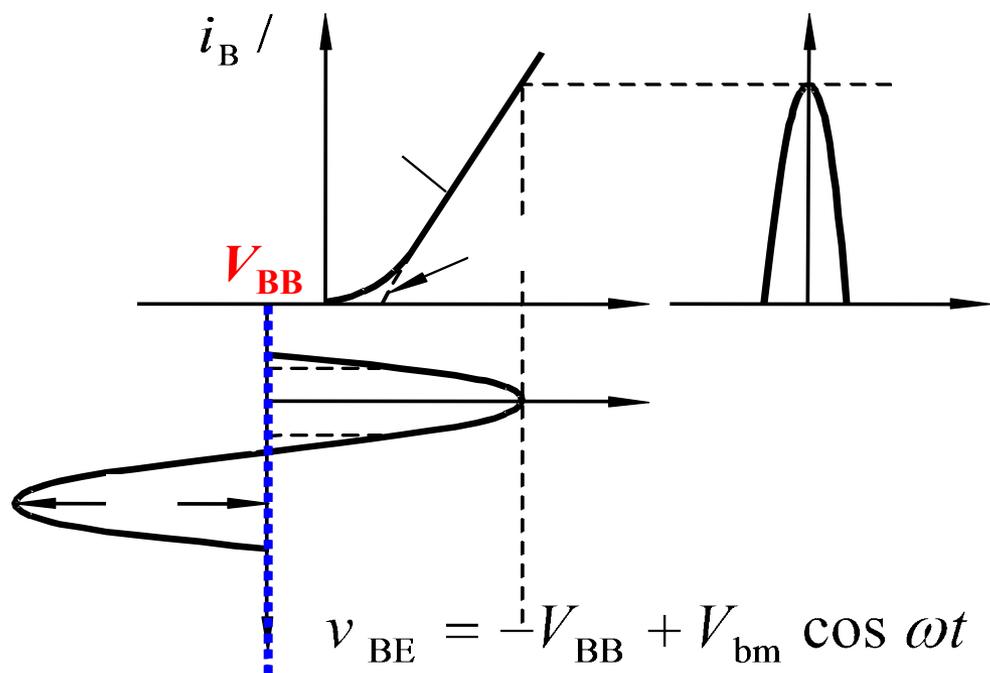
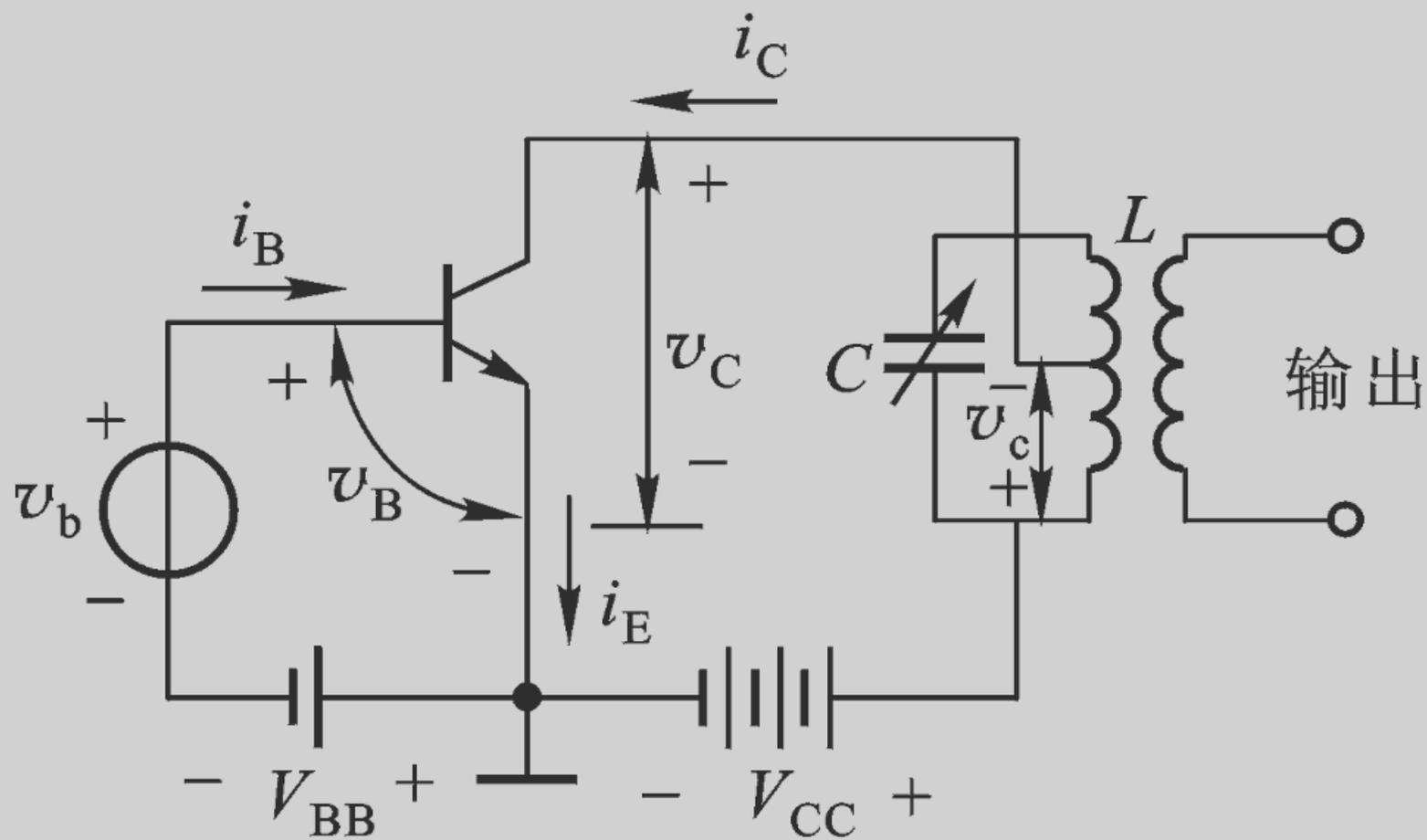
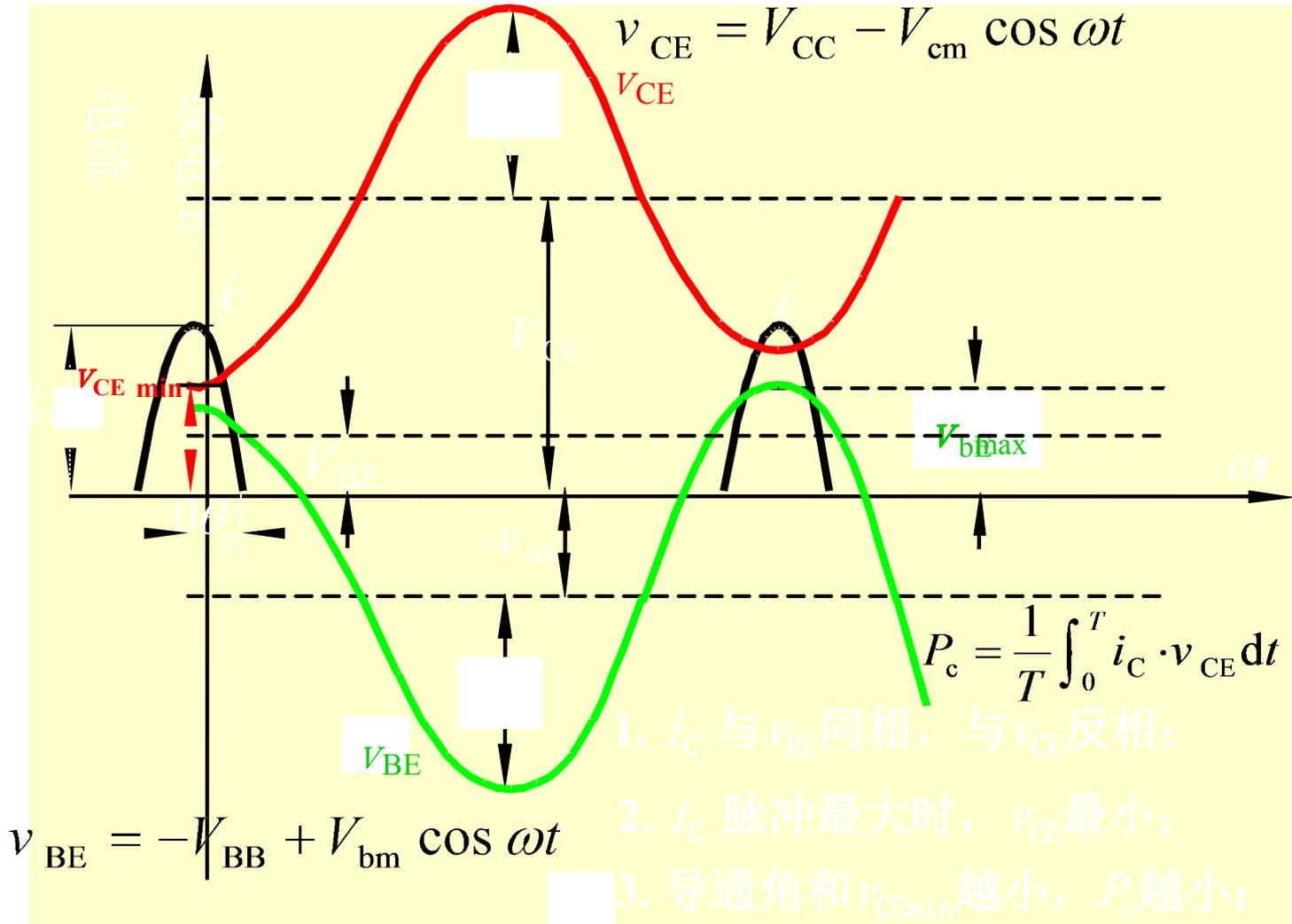


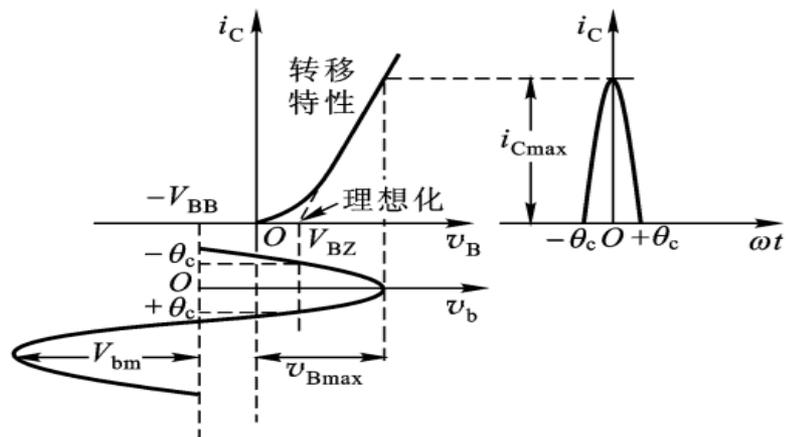
图 6.2.1 高频功率放大器的基本电路



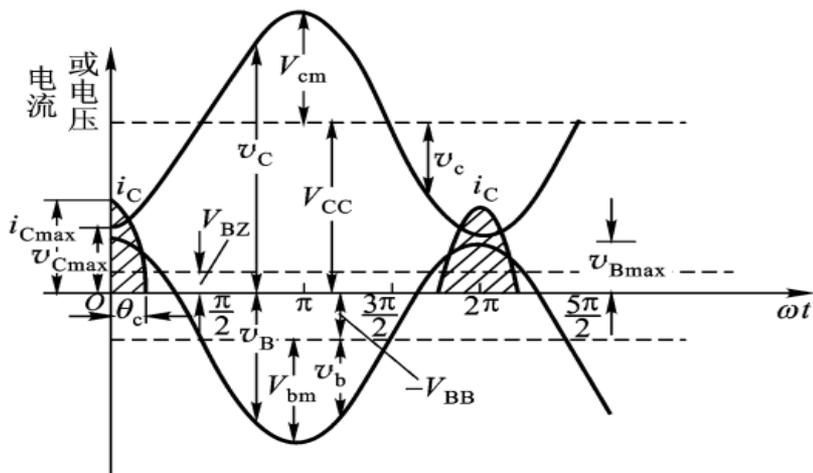
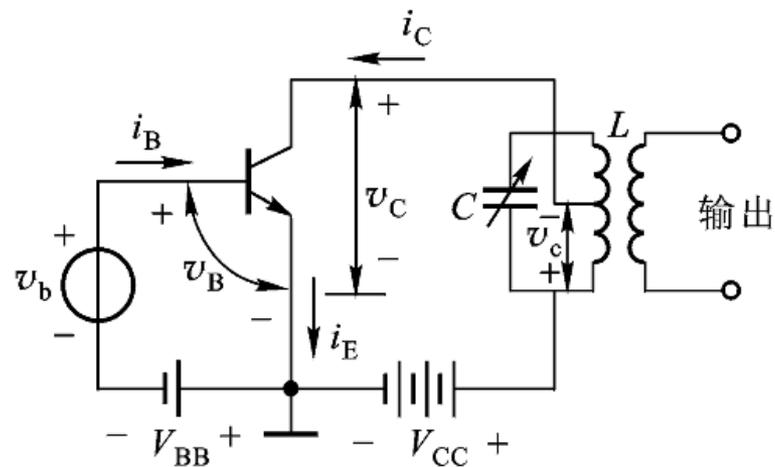
# 6.2.1 获得高效率所需要的条件



# 6.2.2 功率关系



(a)



(b)

$$v_{BE} = -V_{BB} + V_{bm} \cos \omega t$$

$$v_{CE} = V_{CC} - V_{cm} \cos \omega t$$

$$i_c = I_{c0} + I_{cm1} \cos \omega t + I_{cm2} \cos 2\omega t + \dots + I_{cmn} \cos n\omega t + \dots$$

## 6.2.2 功率关系

$$i_C = I_{c0} + I_{cm1} \cos \omega t + I_{cm2} \cos 2\omega t + \dots + I_{cmn} \cos n\omega t + \dots$$

$$P_{=} = V_{CC} \cdot I_{c0}$$

$$P_o = \frac{1}{2} V_{cm} \cdot I_{cm1} = \frac{V_{cm}^2}{2R_p} = \frac{1}{2} I_{cm1}^2 R_p$$

$$\eta_c = \frac{P_o}{P_{=}} = \frac{\frac{1}{2} V_{cm} \cdot I_{cm1}}{V_{CC} I_{c0}} = \frac{1}{2} \xi g_1(\theta_c)$$

$$\xi = \frac{V_{cm}}{V_{CC}}$$

$$g_1(\theta_c) = \frac{I_{cm1}}{I_{c0}}$$



## 6.2 谐振功率放大器工作原理

放大器的集电极效率：
$$\eta_c = \frac{P_o}{P_{cc}} = \frac{\frac{1}{2} V_{cm} \cdot I_{cm1}}{V_{CC} I_{c0}} = \frac{1}{2} \xi g_1(\theta_c)$$

$g_1(\theta_c) = \frac{I_{cm1}}{I_{c0}}$  波形系数，通角 $\theta_c$ 的函数； $\theta_c$ 越小 $g_1(\theta_c)$ 越大

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

基极偏置为负值；半通角 $\theta_c < 90^\circ$ ，即丙类工作状态；  
负载为LC谐振回路。

故谐振功率放大器的工作特点：

$\xi$ 越大(即 $V_{cm}$ 越大或 $V_{CE_{min}}$ 越小) $\theta_c$ 越小效率 $\eta_c$ 越高。因此，丙类谐振功率放大器提高效率 $\eta_c$ 的途径即为**减小 $\theta_c$ 角**；使LC回路谐振在信号的基频上，即 **$i_c$ 的最大值应对应 $V_{CE}$ 的最小值**。



## 6.3 谐振功率放大器的折线近似分析法

### 一、折线法

折线法分析是工程上常用的一种计算方法，和实验调整相结合的方法对高频功率放大器进行分析和计算。折线法就是常用的一种分析法。

1、测出晶体管的转移特性曲线  $i_c \sim V_{BE}$  及输出特性曲线  $i_c \sim V_{CE}$ ，

并将这两组曲线作理想折线化处理

对谐振功率放大器进行分析和计算，关键在于求出直流的直流电流  $I_{C0}$  和输出电流  $i_c$  的直流分量  $I_{C0}$ 。折线法就是将晶体管的特性曲线理想化，用一组折线代替晶体管静态特性曲线后进行分析 and 计算的方法。

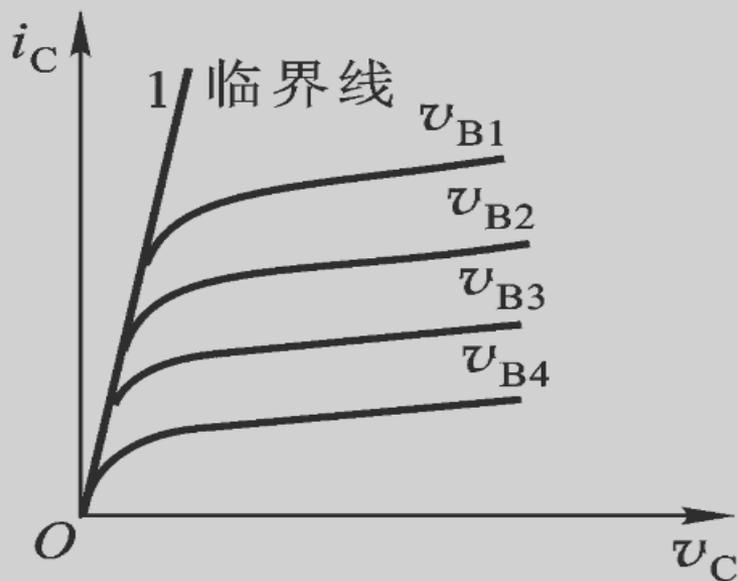
3、根据激励电压  $v_{BE}$  的大小在已知理想特性曲线上画出对应电流脉冲  $i_c$

4、求出  $i_c$  的各次谐波分量  $I_{c0}$ 、 $I_{c1}$ 、 $I_{c2}$ ……由给定的负载谐振阻抗的大小，即可求得放大器的输出电压、输出功率、直流供给功率、效率等指标

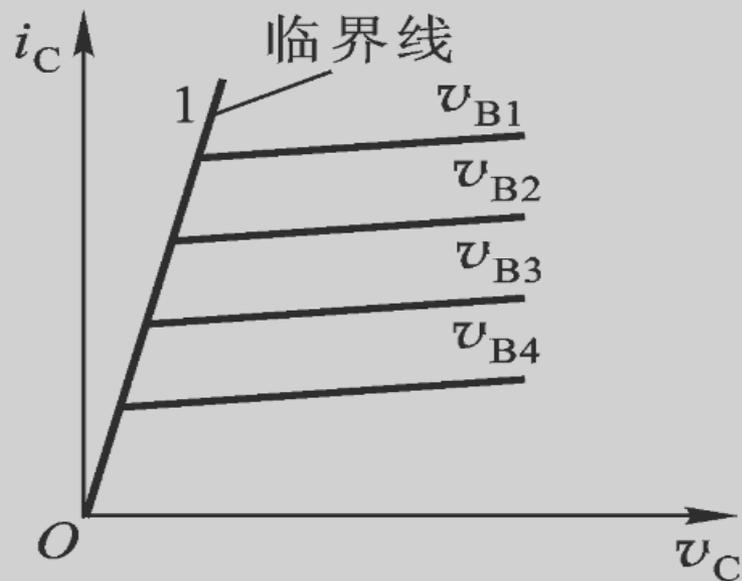


## 6.3 谐振功率放大器的折线近似分析法

### 二、晶体管特性曲线的理想化及其特性曲线



(a) 实际输出特性



(b) 输出特性的理想化



在非线性和谐功率放大器中，常常根据集电极是否进入饱和区，工作状态分为三种：

**B) 临界工作状态：**集电极最大点电压接近饱和区，输出电流波形顶部较平缓，变化不大。

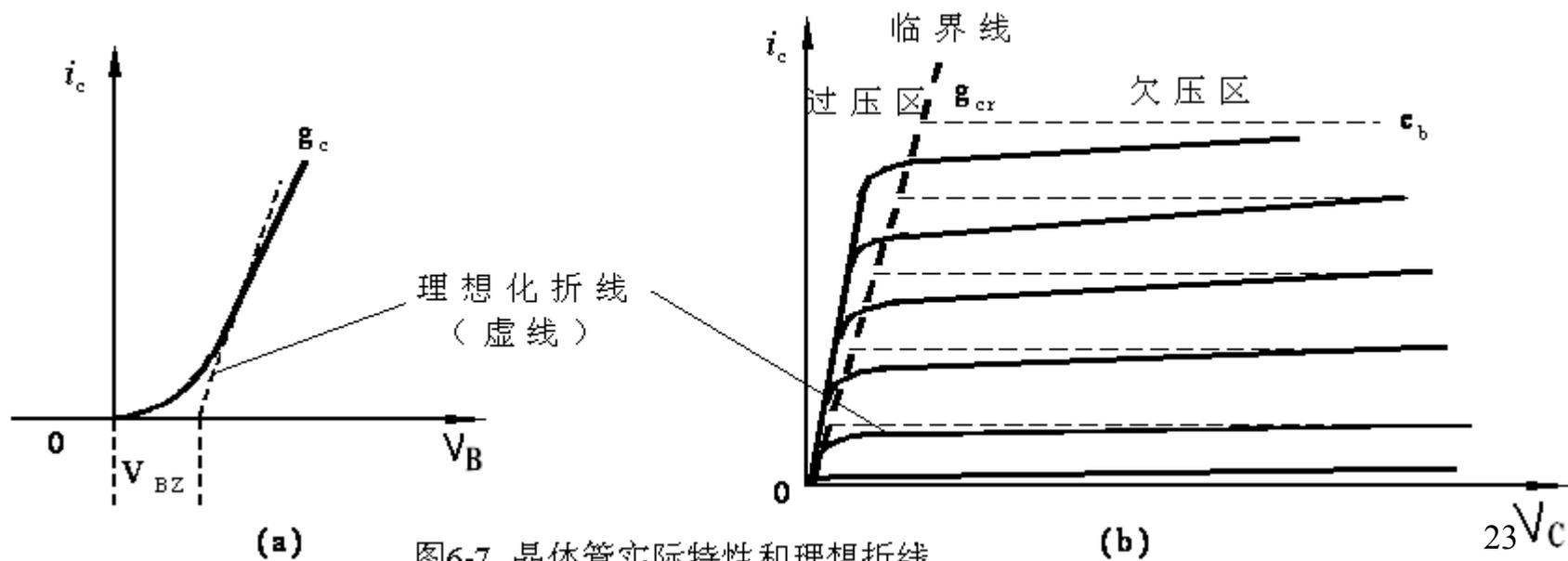


图6-7 晶体管实际特性和理想折线

## 6.3 谐振功率放大器的折线近似分析法

若临界线的斜率为 $g_{cr}$ ，则临界线方程可写为

$$i_c = g_{cr} V_c$$

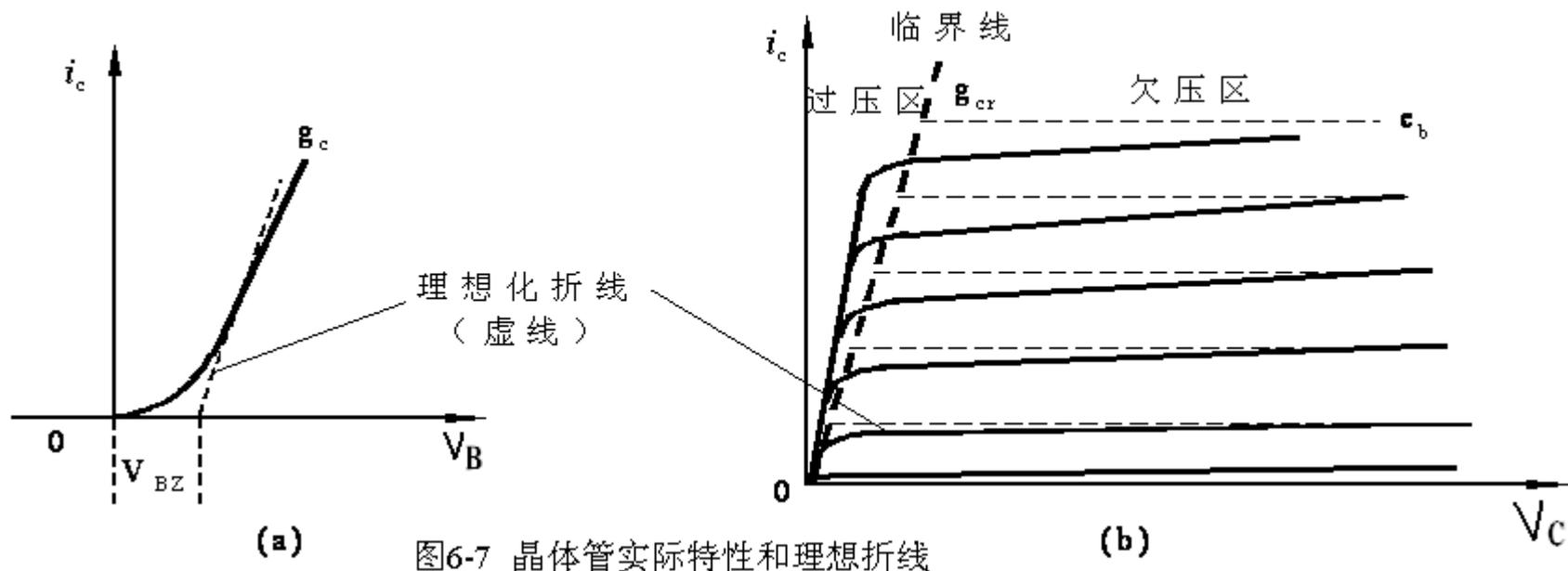
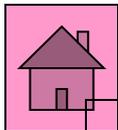


图6-7 晶体管实际特性和理想折线



## 6.3 谐振功率放大器的折线近似分析法

根据理想化原理晶体管的静态转移特性可用交横轴于 $V_{BZ}$ 的一条直线来表示( $V_{BZ}$ 为截止偏压)。

$$\text{则 } i_c = g_c(V_B - V_{BZ}) \quad (V_B > V_{BZ}) \quad g_c = \left. \frac{\Delta i_c}{\Delta V_B} \right|_{v_c = \text{常数}}$$

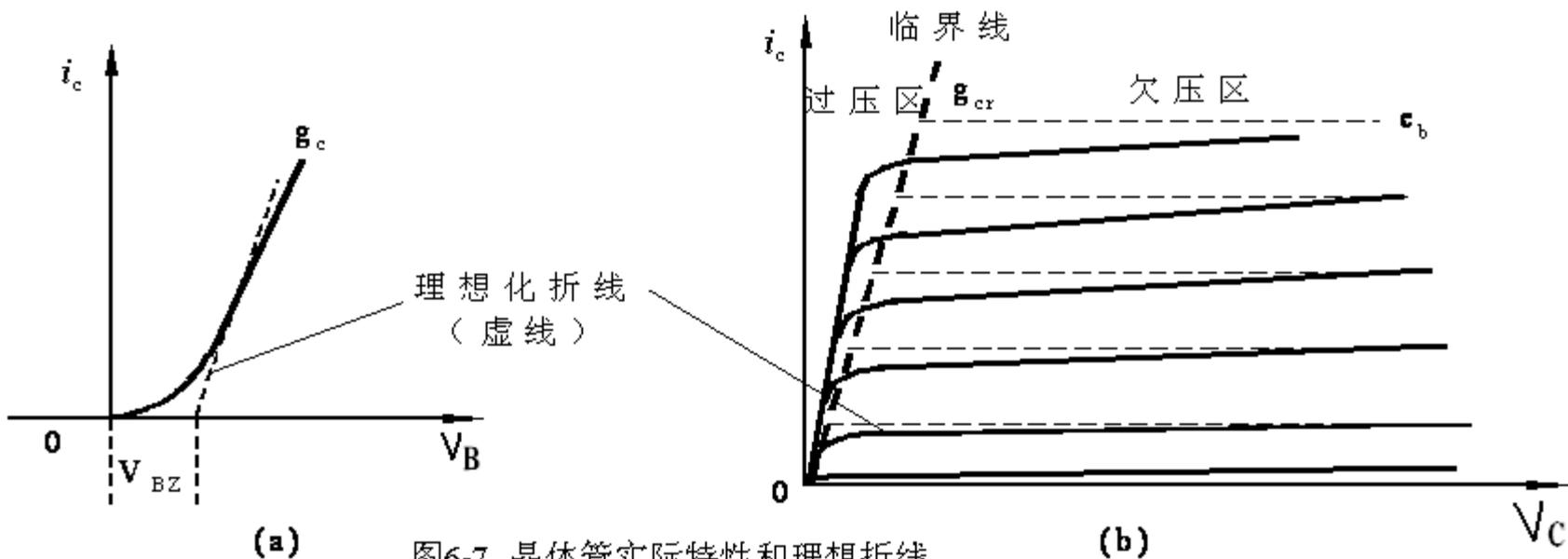
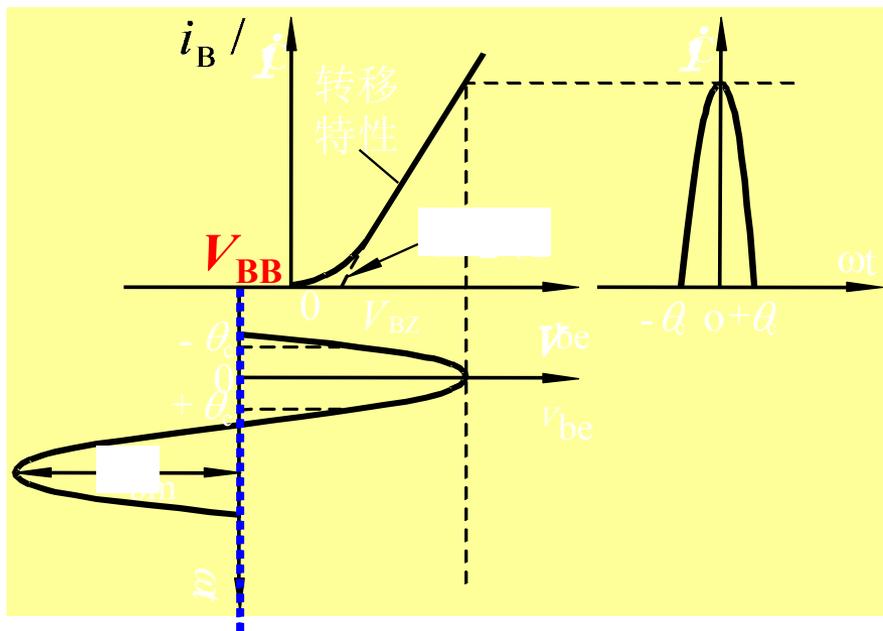


图6-7 晶体管实际特性和理想折线

# 6.3.2 集电极余弦电流脉冲的分解



$$\cos \theta_c = \frac{|V_{BB}| + V_{BZ}}{V_{bm}}$$

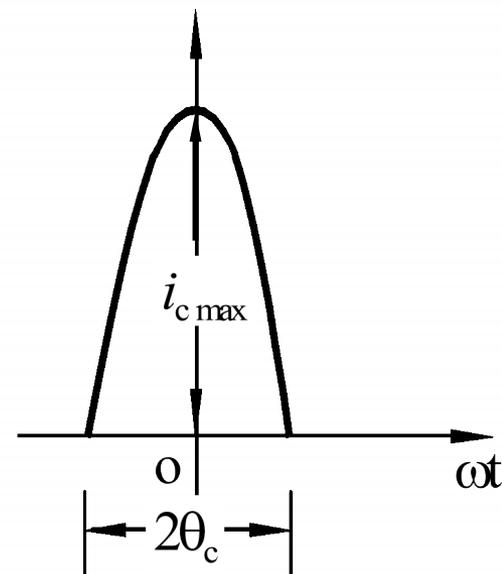
$$v_{BE} = -V_{BB} + V_{bm} \cos \omega t$$

$$\frac{i_C}{i_{Cmax}} = \frac{\cos \omega t - \cos \theta_c}{1 - \cos \theta_c}$$

## 6.3.2 集电极余弦电流脉冲的分解

$$i_C = i_{Cmax} \frac{\cos \omega t - \cos \theta_c}{1 - \cos \theta_c}$$

$$i_C = I_{c0} + I_{cm1} \cos \omega t + I_{cm2} \cos 2\omega t + L \\ + I_{cmn} \cos n\omega t + L$$



$$I_{c0} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\theta_c}^{+\theta_c} i_C d\omega t = i_{Cmax} \alpha_0(\theta_c)$$

$$I_{cmn} = \frac{1}{\pi} \int_{-\theta_c}^{+\theta_c} i_C \cos n\omega t d\omega t = i_{Cmax} \alpha_n(\theta_c)$$

$$\alpha_0(\theta_c) = \frac{\sin \theta_c - \theta_c \cos \theta_c}{\pi(1 - \cos \theta_c)} \quad \alpha_1(\theta_c) = \frac{\theta_c - \cos \theta_c \sin \theta_c}{\pi(1 - \cos \theta_c)}$$

$$\alpha_n(\theta_c) = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\sin n\theta_c \cos \theta_c - n \cos n\theta_c \sin \theta_c}{n(n^2 - 1)(1 - \cos \theta_c)}$$

$$g_1(\theta_c) = \frac{I_{cm1}}{I_{c0}} = \frac{\alpha_1(\theta_c)}{\alpha_0(\theta_c)}$$

$$g_1(\theta_c) = \frac{\theta_c - \cos \theta_c \sin \theta_c}{\sin \theta_c - \theta_c \cos \theta_c}$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/238140013103007003>