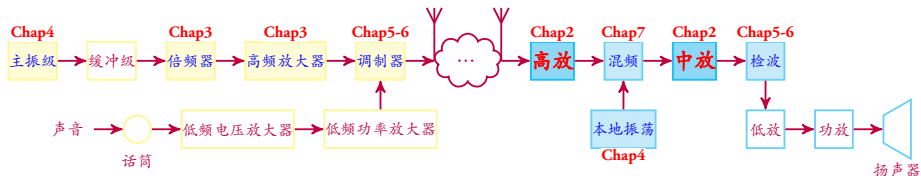


# 课程主要内容



① Chap2 谐振回路 高频电路基础

② Chap2 小信号调谐放大器 放大选频

③ Chap3 调谐功率放大器

④ Chap3 倍频器

⑤ Chap4 正弦波振荡器

⑥ Chap5 振幅调制与解调

⑦ Chap6 角度调制与解调

⑧ Chap7 变频器

⑨ Chap8 锁相环

① 电阻、电容、电感等无源线性元件

② 二极管、三极管等有源非线性器件

③ LC 谐振回路、基本放大电路、振荡器电路等

着重讨论发送设备和接收设备各单元的工作原理和组成，以及构成发送、接收设备的各种单元电路的工作原理、典型电路和分析方法。

**基本概念、基本原理、基本电路、基本分析方法**

# 通信电子电路

郑海永

zhenghaiyong@gmail.com

<http://vision.ouc.edu.cn/~zhenghaiyong/courses/>

中国海洋大学 信息科学与工程学院 电子工程系



## 本章主要内容

- ① LC 谐振回路
- ② 单调谐放大器
- ③ 调谐放大器的级联
- ④ 集中选频小信号调谐放大器
- ⑤ 晶体管高频等效电路及频率参数
- ⑥ 高频调谐放大器
- ⑦ 高频调谐放大器的稳定性

# 目录 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数

## 目录 II

- 晶体管混合  $\Pi$  型等效电路
- 晶体管  $Y$  参数等效电路
- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

# 内容提要 I

## 1 单调谐放大器

- 基本概念
- 基本电路
- 基本原理
- 基本指标
- 思考

## 2 调谐放大器的级联

- 多级单调谐放大器
- 参差调谐放大器
- 双调谐回路放大器
- 思考

## 3 集中选频小信号调谐放大器

- 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器

## 4 晶体管高频等效电路及频率参数

- 晶体管混合 II 型等效电路
- 晶体管 Y 参数等效电路



## 内容提要 II

- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

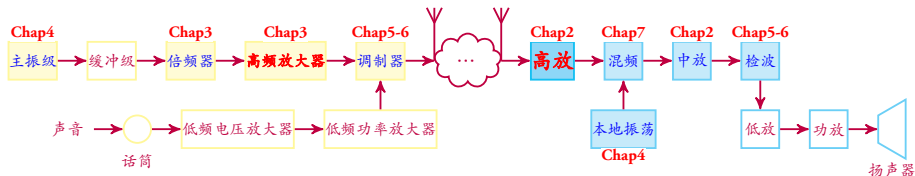
### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

# 高频调谐功率放大器 VS. 小信号调谐放大器



## 高频调谐功率放大器

输入信号电压

几百毫伏到几伏

晶体管工作

延伸到非线性区域（截止和饱和区）；丙类状态；发射机高放

功率和效率

输出功率大，以满足天线发射和其他负载的要求

主要指标要求

输出功率、效率和谐波抑制制度等

## 小信号调谐放大器

微伏至毫伏

线性范围（放大区）；甲类状态；接收机高放、中放

功率较小，但通过匹配阻抗可以获得很大的功率增益；效率较低

有足够的增益，满足通频带和选择性要求，工作稳定等

# 选频放大器

## 选频和放大

- 将有用的信号不失真的放大。
- 把其他无用的干扰信号抑制掉。

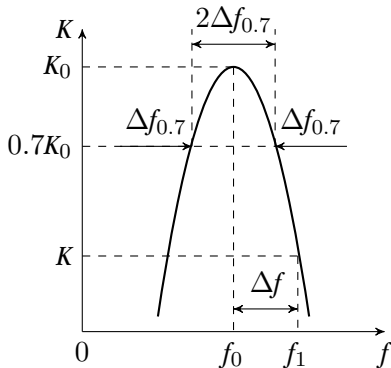
# 选频放大器

## 选频和放大

- 将有用的信号不失真的放大。
- 把其他无用的干扰信号抑制掉。

## 调谐放大器

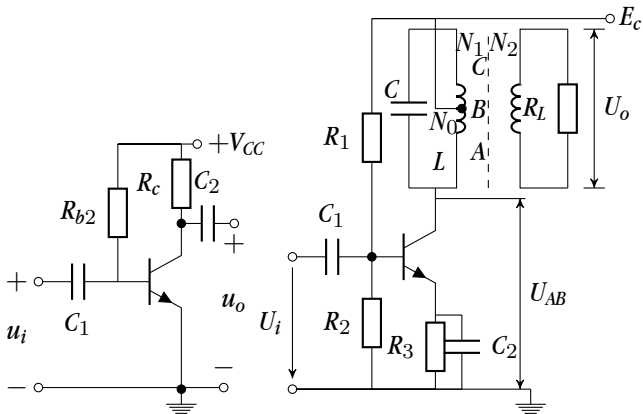
- 主要由放大器（放大）和调谐回路（选频）两部分组成。
- **调谐**：放大器的集电极负载为调谐回路。
- **选频放大**：对谐振频率  $f_0$  的信号具有最强的放大作用，而对其他远离  $f_0$  的频率信号放大作用很差。
- 希望频带尽可能窄，理论上只对单一频率的信号放大，以避免干扰和噪声的影响。



## 普通放大器 VS. 调谐放大器

集电极负载

纯电阻 VS. 谐振回路



频率特性

通频带宽 VS. 通频带窄

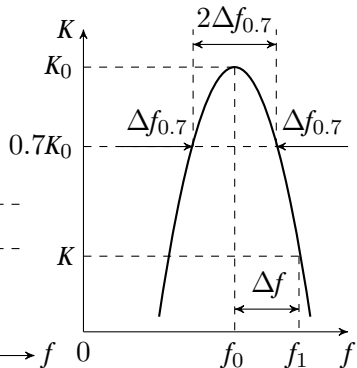
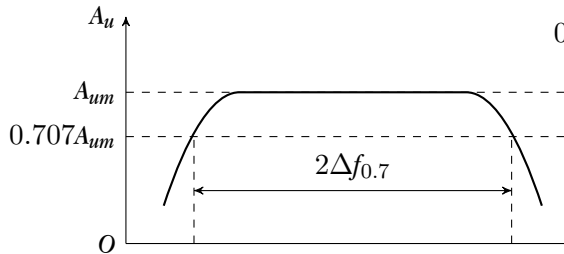
## 普通放大器 VS. 调谐放大器

集电极负载

纯电阻 VS. 谐振回路

频率特性

通频带宽 VS. 通频带宽



## 小信号调谐放大器

- 放大信道中的**高频小信号**（有选择的对某一频率的信号放大）。
- **小信号**：电压一般在微伏至毫伏数量级。
- 放大小信号的工作器一般工作在**线性**范围内。

### 工作状态

一般工作在**甲类**状态，多用在接收机中做高频和中频放大。

### 指标要求

- 有足够的**增益**，满足**通频带**和**选择性**要求，工作稳定等。
- 放大能力：谐振时的放大倍数  $K_0$ 。
- 选择性能：通频带  $B$  和选择性  $\alpha$ 。

### 选频网络

- LC 谐振回路。
- 石英晶体滤波器、陶瓷滤波器和声表面滤波器等。

## 小信号调谐放大器

- 放大信道中的**高频小信号**（有选择的对某一频率的信号放大）。
- **小信号**：电压一般在微伏至毫伏数量级。
- 放大小信号的工作器一般工作在**线性**范围内。

### 工作状态

一般工作在**甲类**状态，多用在接收机中做高频和中频放大。

### 指标要求

- 有足够的**增益**，满足**通频带**和**选择性**要求，工作稳定等。
- 放大能力：谐振时的放大倍数  $K_0$ 。
- 选择性能：通频带  $B$  和选择性  $\alpha$ 。

### 选频网络

- LC 谐振回路。
- 石英晶体滤波器、陶瓷滤波器和声表面滤波器等。



## 小信号调谐放大器

- 放大信道中的**高频小信号**（有选择的对某一频率的信号放大）。
- **小信号**：电压一般在微伏至毫伏数量级。
- 放大小信号的工作器一般工作在**线性**范围内。

### 工作状态

一般工作在**甲类**状态，多用在接收机中做高频和中频放大。

### 指标要求

- 有足够的**增益**，满足**通频带**和**选择性**要求，工作稳定等。
- 放大能力：谐振时的放大倍数  $K_0$ 。
- 选择性能：通频带  $B$  和选择性  $\alpha$ 。

### 选频网络

- LC 谐振回路。
- 石英晶体滤波器、陶瓷滤波器和声表面滤波器等。

## 小信号调谐放大器

- 放大信道中的**高频小信号**（有选择的对某一频率的信号放大）。
- **小信号**：电压一般在微伏至毫伏数量级。
- 放大小信号的工作器一般工作在**线性**范围内。

### 工作状态

一般工作在**甲类**状态，多用在接收机中做高频和中频放大。

### 指标要求

- 有足够的**增益**，满足**通频带**和**选择性**要求，工作稳定等。
- 放大能力：谐振时的放大倍数  $K_0$ 。
- 选择性能：通频带  $B$  和选择性  $\alpha$ 。

### 选频网络

- LC 谐振回路。
- 石英晶体滤波器、陶瓷滤波器和声表面滤波器等。

# 小信号调谐放大器种类

## 按谐振回路

- 单调谐放大器
- 双调谐放大器
- 参差调谐放大器

## 按晶体管连接方法

- 共基级
- 共射级
- 共集级

# 小信号调谐放大器种类

## 按谐振回路

- 单调谐放大器
- 双调谐放大器
- 参差调谐放大器

## 按晶体管连接方法

- 共基级
- 共射级
- 共集级

# 内容提要 I

## 1 单调谐放大器

- 基本概念
- 基本电路
- 基本原理
- 基本指标
- 思考

## 2 调谐放大器的级联

- 多级单调谐放大器
- 参差调谐放大器
- 双调谐回路放大器
- 思考

## 3 集中选频小信号调谐放大器

- 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器

## 4 晶体管高频等效电路及频率参数

- 晶体管混合  $\Pi$  型等效电路
- 晶体管  $Y$  参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

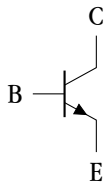
### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

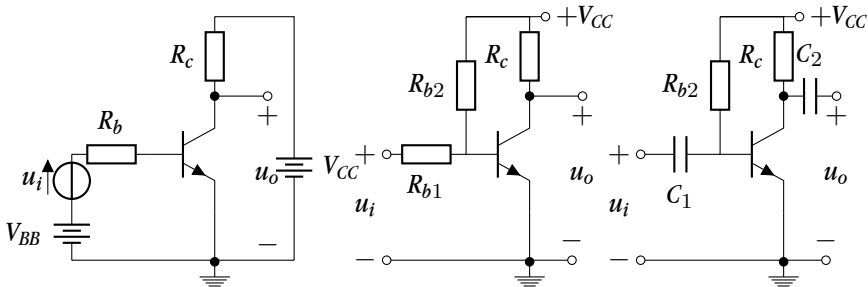
- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

# 晶体管放大电路



# 晶体管放大电路

基本共射放大电路    直接耦合共射放大电路    阻容耦合共射放大电路



**输入回路** 输入的电压信号  $u_i$  接入基极—发射极回路；

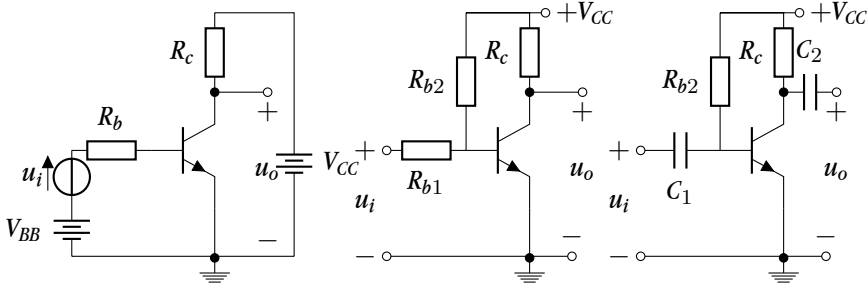
**输出回路** 放大后的信号  $u_o$  在集电极—发射极回路；

**共射** 发射极是两个回路的公共端。



# 晶体管放大电路

基本共射放大电路    直接耦合共射放大电路    阻容耦合共射放大电路

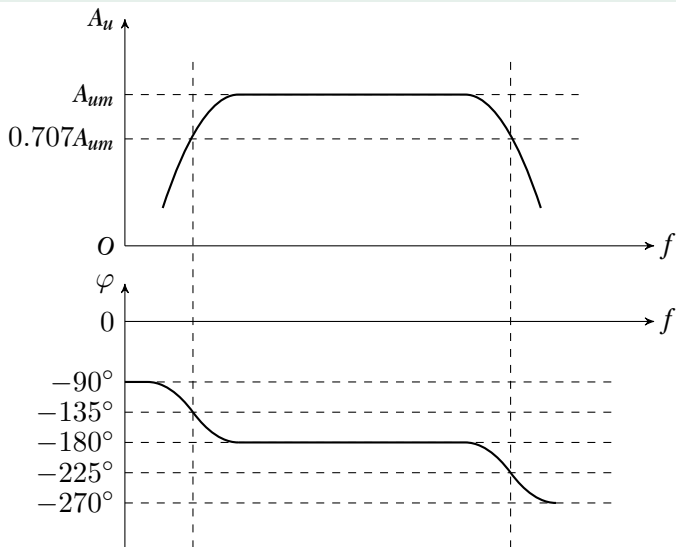


**截止区** 发射结电压小于开启电压且集电结反向偏置（开关断开）

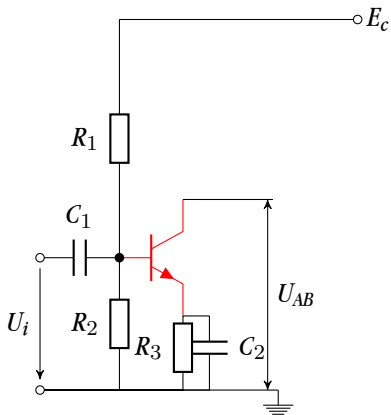
**放大区** 发射结正向偏置且集电结反向偏置

**饱和区** 发射结与集电结均处于正向偏置（开关闭合）

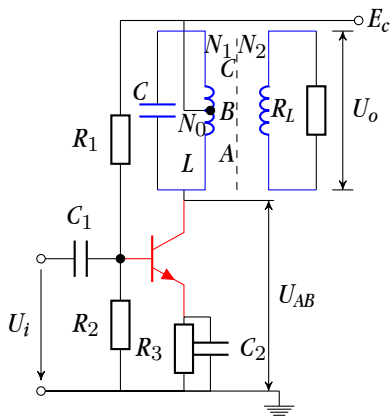
# 频率特性



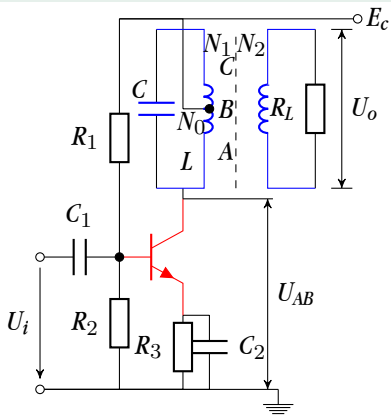
# 单调谐放大器的电路组成



# 单调谐放大器的电路组成

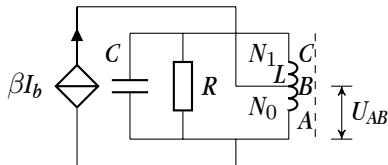
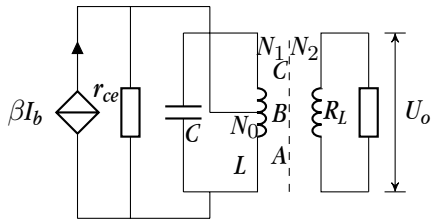
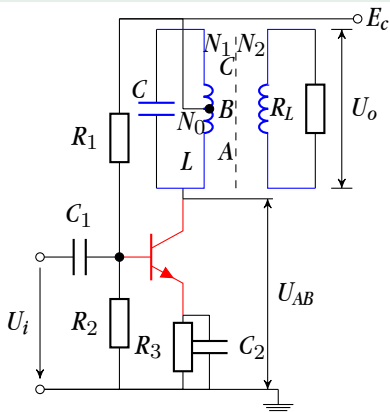


## 单调谐放大器的电路组成



- $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  是工作点偏置环节， $C_1$  为耦合电容， $C_2$  为旁路电容。
- LC 谐振电路作为放大器集电极负载起**选频**作用，采用抽头接入法以减轻晶体管输出电阻对谐振电路  $Q$  值的影响。
- $R_L$  是放大器的负载，它可能是下一级输入端的等效输入电阻。

# 单调谐放大器的电路组成



- 输入电压  $U_i$  形成晶体管输入电流  $I_b$ ，通过晶体管放大，集电极电流为  $\beta I_b$ 。
- 实际的集电极负载为变换到  $AB$  部分的阻抗  $Z_{AB} = Z_{AC} \left( \frac{N_0}{N_1} \right)^2$ 。
- 调谐放大器的工作原理分析：放大能力和选频性能。

# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

### 5 高频调谐放大器

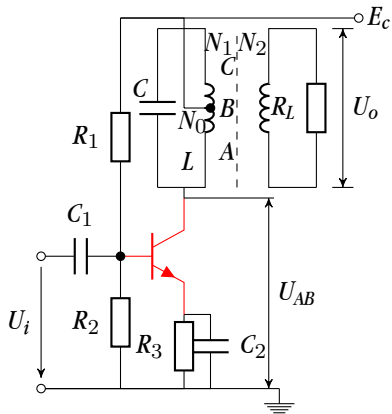
- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

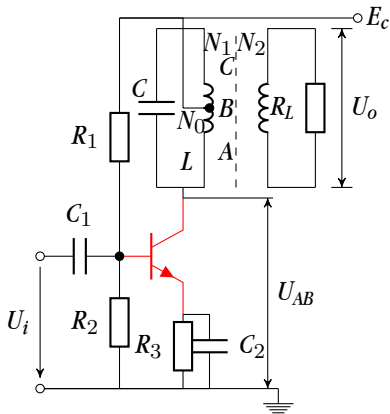
- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法



# 单调谐放大器的放大能力

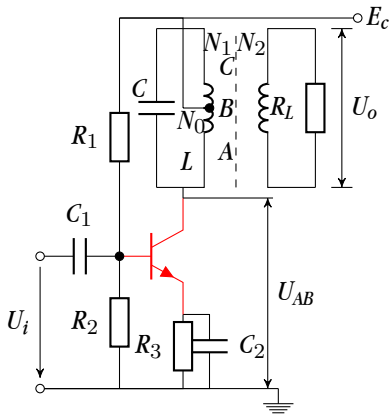


# 单调谐放大器的放大能力



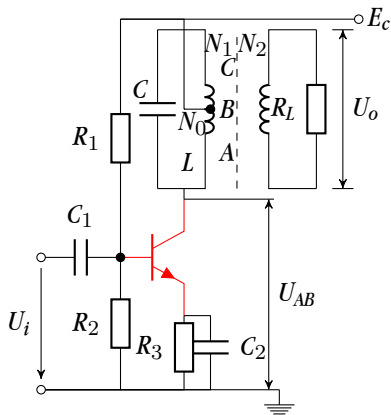
$$\begin{aligned}
 K &= \frac{U_o}{U_i} = \frac{U_o}{U_{AB}} \frac{U_{AB}}{U_i} \\
 &= \frac{N_2}{N_0} \frac{\beta I_b Z_{AB}}{I_b r_i} = \beta \frac{Z_{AB}}{r_i} \frac{N_2}{N_0}
 \end{aligned}$$

# 单调谐放大器的放大能力



$$\begin{aligned}
 K &= \frac{U_o}{U_i} = \frac{U_o}{U_{AB}} \frac{U_{AB}}{U_i} \\
 &= \frac{N_2}{N_0} \frac{\beta I_b Z_{AB}}{I_b r_i} = \beta \frac{Z_{AB}}{r_i} \frac{N_2}{N_0} \\
 Z_{AB} &= Z_{AC} \left( \frac{N_0}{N_1} \right)^2
 \end{aligned}$$

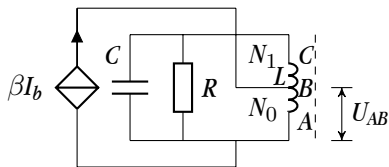
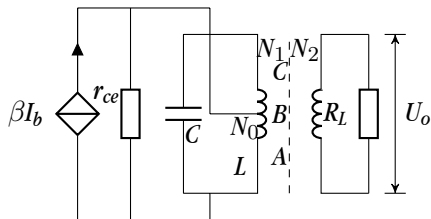
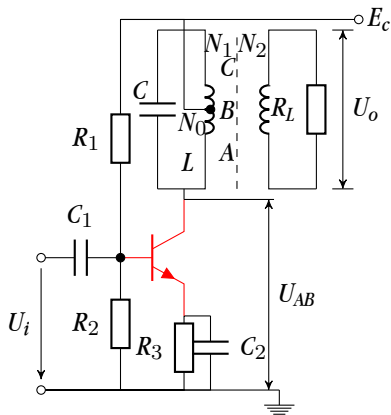
# 单调谐放大器的放大能力



$$\begin{aligned}
 K &= \frac{U_o}{U_i} = \frac{U_o}{U_{AB}} \frac{U_{AB}}{U_i} \\
 &= \frac{N_2}{N_0} \frac{\beta I_b Z_{AB}}{I_b r_i} = \beta \frac{Z_{AB}}{r_i} \frac{N_2}{N_0} \\
 &= \beta \frac{Z_{AC}}{r_i} \left( \frac{N_0}{N_1} \right)^2 \frac{N_2}{N_0} \\
 &= \frac{\beta}{r_i} \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right) Z_{AC}
 \end{aligned}$$

- 对于不同频率的信号， $Z_{AC}$  不同；对于频率  $f_0$  的信号， $Z_{AC}$  最高，故  $K$  也最高。
- $K$  的频率特性和并联谐振回路的特性相同。

## 单调谐放大器的放大能力



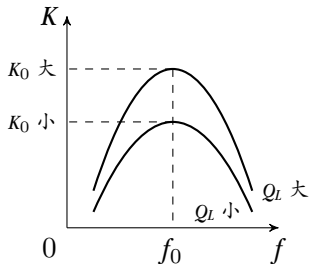
$$\text{谐振时: } Z_{AC} = R = r_{ce} \left( \frac{N_1}{N_0} \right)^2 // Q_0 \omega_0 L // R_L \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 = Q_L \omega_0 L$$

$$\text{谐振电压放大倍数: } K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

# 单调谐放大器的选频性能

$$\text{电压放大倍数: } K = \frac{\beta}{r_i} \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right) Z_{AC}$$

$$\text{谐振电压放大倍数: } K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

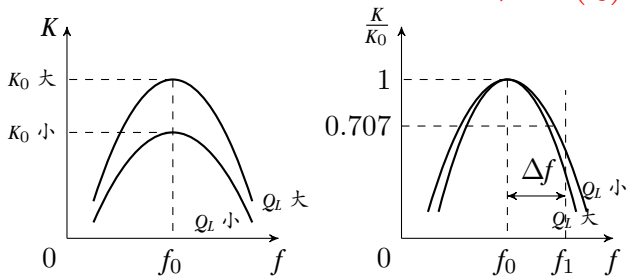


- 放大器的频率特性取决于谐振电路的频率特性，谐振电路的  $Q_L$  值对选频性能有很大影响。
- 当  $\omega_0 L$  一定而  $Q_L$  值不同时， $Q_L$  越大， $K_0$  越大，频率曲线越尖锐。

# 单调谐放大器的选频性能

$$\text{电压放大倍数: } K = \frac{\beta}{r_i} \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right) Z_{AC}$$

$$\text{谐振电压放大倍数: } K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

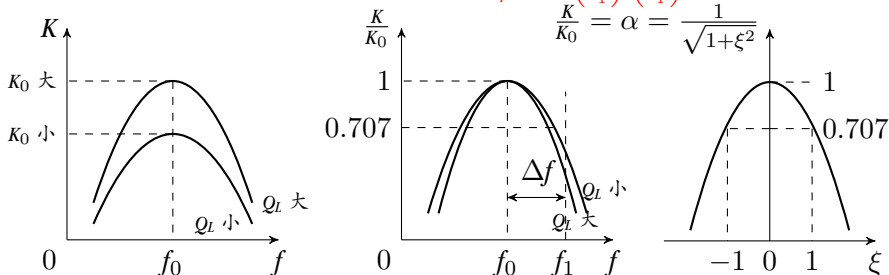


- $Q_L$  小，通频带 ( $2\Delta f_{0.7}$ ) 宽；而  $Q_L$  大，通频带则窄。  $B = \frac{f_0}{Q_L}$
- 若以某一频偏  $\Delta f$  为参考标准，则  $Q_L$  大，衰减量大，选择性好； $Q_L$  小则选择性差。
- 实际工作中常常需要**通频带足够宽而选择性又要好**（相矛盾）。

# 单调谐放大器的选频性能

$$\text{电压放大倍数: } K = \frac{\beta}{r_i} \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right) Z_{AC}$$

$$\text{谐振电压放大倍数: } K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$



由并联谐振电路阻抗特性  $Z_{AC} = \frac{Q_L \omega_0 L}{\sqrt{1 + Q_L^2 \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}}$ , 得

$$K = \frac{\beta}{r_i} \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right) \frac{Q_L \omega_0 L}{\sqrt{1 + Q_L^2 \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}} = \frac{K_0}{\sqrt{1 + Q_L^2 \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}}$$

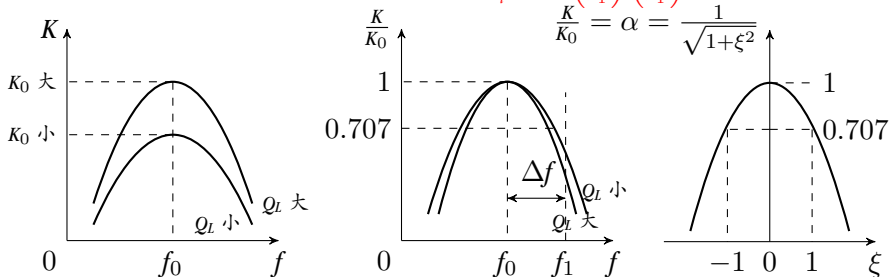
$$\text{通用谐振曲线: } \frac{K}{K_0} = \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_L^2 \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi^2}}$$



# 单调谐放大器的选频性能

$$\text{电压放大倍数: } K = \frac{\beta}{r_i} \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right) Z_{AC}$$

$$\text{谐振电压放大倍数: } K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$



- $f$  偏离  $f_0$  称为失谐，失谐程度通常用  $\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{f-f_0}{f_0}$  来表示。
- 谐振点附近，广义失谐量  $\xi = Q_L \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) \approx Q_L \frac{2\Delta f}{f_0}$  与  $\frac{\Delta f}{f_0}$  近似成正比。
- 谐振点， $\Delta f = 0$ ， $\xi = 0$ ； $\frac{\Delta f}{f_0}$  愈大， $\xi$  越大，表明失谐程度大。
- $\xi > 0$ ，则  $f > f_0$ ； $\xi < 0$ ，则  $f < f_0$ 。 $\xi = \pm 1 \Rightarrow \alpha = \frac{1}{\sqrt{2}}$  对应通频带的上下边界。

# 最大增益及阻抗匹配条件

## 谐振电压放大倍数

$$K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

# 最大增益及阻抗匹配条件

## 谐振电压放大倍数

$$K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

- $\beta$  和  $r_i$  由所用管子的性能及工作点决定。
- $L$  由实际可用的 LC 元件决定（以能获得较高的空载  $Q_0$  为度）。
- $Q_L$  由通频带和选择性的具体要求决定。
- 当上述各个参数决定以后，一般通过调整匝比的方法获得高的增益。

# 最大增益及阻抗匹配条件

## 谐振电压放大倍数

$$K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

- $\beta$  和  $r_i$  由所用管子的性能及工作点决定。
- $L$  由实际可用的 LC 元件决定（以能获得较高的空载  $Q_0$  为度）。
- $Q_L$  由通频带和选择性的具体要求决定。
- 当上述各个参数决定以后，一般通过调整匝比的方法获得高的增益。

## 最大增益及阻抗匹配条件

### 谐振电压放大倍数

$$K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

- $\beta$  和  $r_i$  由所用管子的性能及工作点决定。
- $L$  由实际可用的 LC 元件决定（以能获得较高的空载  $Q_0$  为度）。
- $Q_L$  由通频带和选择性的具体要求决定。
- 当上述各个参数决定以后，一般通过调整匝比的方法获得高的增益。

## 最大增益及阻抗匹配条件

### 谐振电压放大倍数

$$K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

- $\beta$  和  $r_i$  由所用管子的性能及工作点决定。
- $L$  由实际可用的 LC 元件决定（以能获得较高的空载  $Q_0$  为度）。
- $Q_L$  由通频带和选择性的具体要求决定。
- 当上述各个参数决定以后，一般通过调整匝比的方法获得高的增益。

# 最大增益及阻抗匹配条件

谐振电压放大倍数

$$K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

匝比越高越好？

## 最大增益及阻抗匹配条件

### 谐振电压放大倍数

$$K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

### 匝比越高越好？

$$Z_{AC} = R = r_{ce} \left( \frac{N_1}{N_0} \right)^2 // Q_0 \omega_0 L // R_L \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 = Q_L \omega_0 L$$

- 当提高  $\frac{N_0}{N_1}$  或  $\frac{N_2}{N_1}$  时，同时会使  $Q_L$  降低，而  $Q_L$  的降低会使  $K_0$  下降且选择性变坏。
- 既要保证一定的  $Q_L$  值，又要达到尽可能高的增益，有一个最佳匝比。
- 当变换到谐振电路的负载  $R'_L$  等于变换到谐振电路的内阻  $r'_{ce}$  时，可得最大增益。

最佳匝比  $\frac{N_0}{N_1} = \sqrt{\frac{\eta r_{ce}}{2Q_L \omega_0 L}}$   $\frac{N_2}{N_1} = \sqrt{\frac{\eta R_L}{2Q_L \omega_0 L}}$  谐振电路的效率  $\eta = \frac{Q_0 - Q_L}{Q_0}$

阻抗匹配条件下最大电压放大倍数： $K_{0\max} = \frac{\beta \eta}{2r_i} \sqrt{r_{ce} R_L}$



# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - **基本指标**
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

## 放大能力和选频性能

放大

谐振电压放大倍数

$$K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

选频

通频带和选择性

$$B = 2\Delta f_{0.7} = \frac{f_0}{Q_L} \quad \alpha = \frac{K}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_L^2 \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}}$$

## 放大能力和选频性能

放大

谐振电压放大倍数

$$K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

选频

通频带和选择性

$$B = 2\Delta f_{0.7} = \frac{f_0}{Q_L} \quad \alpha = \frac{K}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_L^2 \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}}$$

- 单谐振回路矩形系数  $K_{0.1} = 10$  为定值，显然选频性能不很理想（矩形系数越接近 1 越理想）。
- 提高通频带与改善选择性相矛盾。
- $K_0 B = \frac{\beta}{r_i} f_0 \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$  为常数，增益越高，带宽就越窄。

## 放大能力和选频性能

放大

谐振电压放大倍数

$$K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

选频

通频带和选择性

$$B = 2\Delta f_{0.7} = \frac{f_0}{Q_L} \quad \alpha = \frac{K}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_L^2 \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}}$$

- 单谐振回路矩形系数  $K_{0.1} = 10$  为定值，显然选频性能不很理想（矩形系数越接近 1 越理想）。
- 提高通频带与改善选择性相矛盾。
- $K_0 B = \frac{\beta}{r_i} f_0 \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$  为常数，增益越高，带宽就越窄。

## 放大能力和选频性能

放大

谐振电压放大倍数

$$K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

选频

通频带和选择性

$$B = 2\Delta f_{0.7} = \frac{f_0}{Q_L} \quad \alpha = \frac{K}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_L^2 \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}}$$

- 单谐振回路矩形系数  $K_{0.1} = 10$  为定值，显然选频性能不很理想（矩形系数越接近 1 越理想）。
- 提高通频带与改善选择性相矛盾。
- $K_0 B = \frac{\beta}{r_i} f_0 \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$  为常数，增益越高，带宽就越窄。

## 放大能力和选频性能

放大

谐振电压放大倍数

$$K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

选频

通频带和选择性

$$B = 2\Delta f_{0.7} = \frac{f_0}{Q_L} \quad \alpha = \frac{K}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_L^2 \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}}$$

- 单谐振回路矩形系数  $K_{0.1} = 10$  为定值，显然选频性能不很理想（矩形系数越接近 1 越理想）。
- 提高通频带与改善选择性相矛盾。
- $K_0 B = \frac{\beta}{r_i} f_0 \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$  为常数，增益越高，带宽就越窄。

为保证足够的增益和适当的带宽  $\Rightarrow$  调谐放大器的级联

# 内容提要 I

## 1 单调谐放大器

- 基本概念
- 基本电路
- 基本原理
- 基本指标
- 思考

## 2 调谐放大器的级联

- 多级单调谐放大器
- 参差调谐放大器
- 双调谐回路放大器
- 思考

## 3 集中选频小信号调谐放大器

- 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器

## 4 晶体管高频等效电路及频率参数

- 晶体管混合 II 型等效电路
- 晶体管 Y 参数等效电路



## 内容提要 II

- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

## 习题：调谐放大器

2-16

高频小信号放大电路的主要技术指标有哪些？

## 习题：调谐放大器

2-16 高频小信号放大电路的主要技术指标有哪些？

答

- 高频小信号放大电路由**放大器**和**选频器**组成。
  - ▶ 衡量放大电路的主要技术指标有**中心频率**、**通频带**和**选择性**、**增益**、**噪声系数**与**灵敏度**。
  - ▶ 中心频率、通频带和选择性主要由选频器决定；增益、噪声系数与灵敏度主要由放大器决定。

## 习题：调谐放大器

2-16

高频小信号放大电路的主要技术指标有哪些？  
如何理解选择性与通频带的关系？

答

- 高频小信号放大电路由**放大器**和**选频器**组成。
  - ▶ 衡量放大电路的主要技术指标有**中心频率**、**通频带**和**选择性**、**增益**、**噪声系数**与**灵敏度**。
  - ▶ 中心频率、通频带和选择性主要由选频器决定；增益、噪声系数与灵敏度主要由放大器决定。

## 习题：调谐放大器

2-16

高频小信号放大电路的主要技术指标有哪些？  
如何理解选择性与通频带的关系？

答

- 高频小信号放大电路由**放大器**和**选频器**组成。
  - ▶ 衡量放大电路的主要技术指标有**中心频率**、**通频带**和**选择性**、**增益**、**噪声系数**与**灵敏度**。
  - ▶ 中心频率、通频带和选择性主要由选频器决定；增益、噪声系数与灵敏度主要由放大器决定。
- 选择性与通频带的关系为：**选择性越好，通频带越窄；通频带越宽，则选择性越差**。
  - ▶ 在实际工作中，常常希望通频带足够宽而选择性又要好，但两者是矛盾的。
  - ▶ 有时选择适当的 $Q$ 值，可以兼顾两者，但有时不能兼顾，就需要另外采取措施。

## 习题：调谐放大器

**2-18** 一个调谐放大器，当提高  $\frac{N_0}{N_1}$  或  $\frac{N_2}{N_1}$  时，有时可以使  $K_0$  增加，有时却反而使  $K_0$  下降，为什么？

## 习题：调谐放大器

**2-18** 一个调谐放大器，当提高  $\frac{N_0}{N_1}$  或  $\frac{N_2}{N_1}$  时，有时可以使  $K_0$  增加，有时却反而使  $K_0$  下降，为什么？

**答**

- 调谐放大器的谐振电压放大倍数为

$$K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right) \propto \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

所以，当提高  $\frac{N_0}{N_1}$  或  $\frac{N_2}{N_1}$  时，可以使  $K_0$  增加；

- 但又因为

$$Q_L = \frac{r_{ce} \left( \frac{N_1}{N_0} \right)^2 // Q_0 \omega_0 L // R_L \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2}{\omega_0 L} \propto \frac{1}{\left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)}$$

所以，当提高  $\frac{N_0}{N_1}$  或  $\frac{N_2}{N_1}$  时， $Q_L$  下降，又使  $K_0$  反而下降，它们之间存在一个最佳匝比问题。

## 习题：调谐放大器

**2-18** 一个调谐放大器，当提高  $\frac{N_0}{N_1}$  或  $\frac{N_2}{N_1}$  时，有时可以使  $K_0$  增加，有时却反而使  $K_0$  下降，为什么？

**答**

- 调谐放大器的谐振电压放大倍数为

$$K_0 = \frac{\beta}{r_i} Q_L \omega_0 L \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right) \propto \left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

所以，当提高  $\frac{N_0}{N_1}$  或  $\frac{N_2}{N_1}$  时，可以使  $K_0$  增加；

- 但又因为

$$Q_L = \frac{r_{ce} \left( \frac{N_1}{N_0} \right)^2 // Q_0 \omega_0 L // R_L \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2}{\omega_0 L} \propto \frac{1}{\left( \frac{N_0}{N_1} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)}$$

所以，当提高  $\frac{N_0}{N_1}$  或  $\frac{N_2}{N_1}$  时， $Q_L$  下降，又使  $K_0$  反而下降，它们之间存在一个最佳匝比问题。



# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路

## 内容提要 II

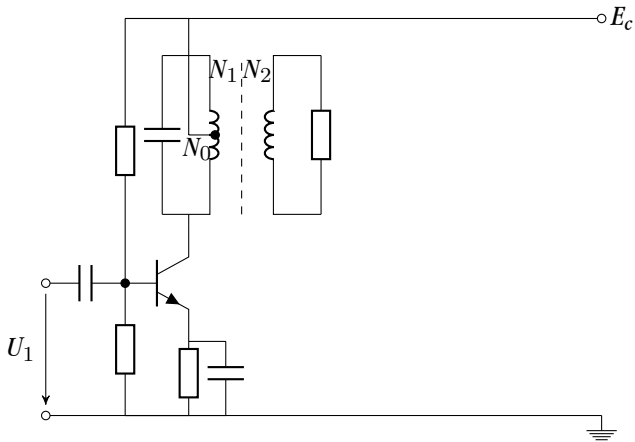
- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

### 5 高频调谐放大器

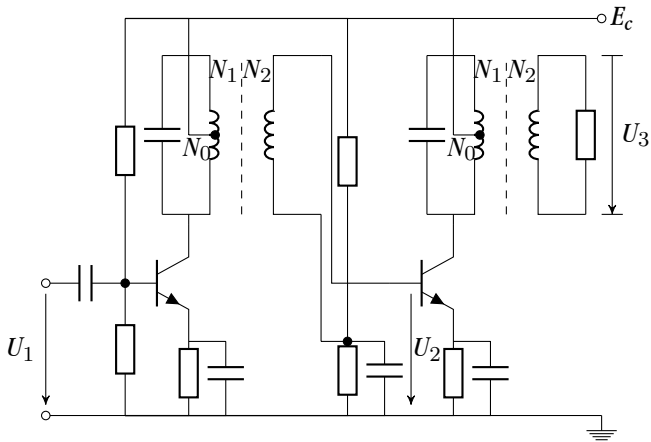
- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法



单调谐放大器



两级单调谐回路放大器

## 调谐放大器的级联

### 单调谐回路

多级单调谐放大器 每一级都调谐在同一频率上

参差调谐放大器 各级回路的谐振频率参差错开

### 双调谐回路

频带宽、选择性好

单级双调谐回路放大器 双调谐回路两回路调谐于同一频率

多级双调谐回路放大器 多个单级双调谐回路放大器的级联

## 调谐放大器的级联

### 单调谐回路

多级单调谐放大器 每一级都调谐在同一频率上

参差调谐放大器 各级回路的谐振频率参差错开

### 双调谐回路

频带宽、选择性好

单级双调谐回路放大器 双调谐回路两回路调谐于同一频率

多级双调谐回路放大器 多个单级双调谐回路放大器的级联

# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

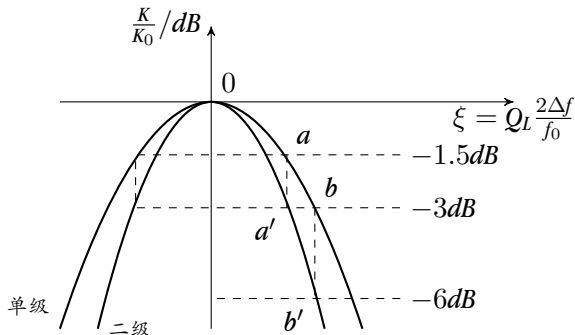
- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法



- 多级单调谐放大器的每一级都调谐在同一频率上。
- 设各级单调谐放大器电压放大倍数是  $K_1, K_2, \dots$
- 设各级单调谐放大器的谐振电压放大倍数是  $K_{01}, K_{02}, \dots$
- 则  $K_{\text{总}} = K_1 K_2 \dots$      $\frac{K_{\text{总}}}{K_{0\text{总}}} = \frac{K}{K_{01}} \frac{K}{K_{02}} \dots$ 。
- $K_{\text{总}}(\text{dB}) = K_1(\text{dB}) + K_2(\text{dB}) + \dots$      $\frac{K_{\text{总}}}{K_{0\text{总}}}(\text{dB}) = \frac{K}{K_{01}}(\text{dB}) + \frac{K}{K_{02}}(\text{dB}) + \dots$ 。

- 多级单调谐放大器的每一级都调谐在同一频率上。
- 设各级单调谐放大器电压放大倍数是  $K_1, K_2, \dots$
- 设各级单调谐放大器的谐振电压放大倍数是  $K_{01}, K_{02}, \dots$
- 则  $K_{总} = K_1 K_2 \dots$      $\frac{K_{总}}{K_{0总}} = \frac{K}{K_{01}} \frac{K}{K_{02}} \dots$ 。
- $K_{总}(dB) = K_1(dB) + K_2(dB) + \dots$      $\frac{K_{总}}{K_{0总}}(dB) = \frac{K}{K_{01}}(dB) + \frac{K}{K_{02}}(dB) + \dots$ 。

- 多级单调谐放大器的每一级都调谐在同一频率上。
- 设各级单调谐放大器电压放大倍数是  $K_1, K_2, \dots$
- 设各级单调谐放大器的谐振电压放大倍数是  $K_{01}, K_{02}, \dots$
- 则  $K_{\text{总}} = K_1 K_2 \dots$        $\frac{K_{\text{总}}}{K_{0\text{总}}} = \frac{K}{K_{01}} \frac{K}{K_{02}} \dots$ 。
- $K_{\text{总}}(\text{dB}) = K_1(\text{dB}) + K_2(\text{dB}) + \dots$        $\frac{K_{\text{总}}}{K_{0\text{总}}}(\text{dB}) = \frac{K}{K_{01}}(\text{dB}) + \frac{K}{K_{02}}(\text{dB}) + \dots$ 。



- 对应于每一个频率，两级的选择性 (dB) 应为单级的两倍。
- 两级的**选择性提高**而**通频带变窄**。

- 多级单调谐放大器的每一级都调谐在同一频率上。
- 设各级单调谐放大器电压放大倍数是  $K_1, K_2, \dots$
- 设各级单调谐放大器的谐振电压放大倍数是  $K_{01}, K_{02}, \dots$
- 则  $K_{\text{总}} = K_1 K_2 \dots \quad \frac{K_{\text{总}}}{K_{0\text{总}}} = \frac{K}{K_{01}} \frac{K}{K_{02}} \dots$ 。
- $K_{\text{总}}(\text{dB}) = K_1(\text{dB}) + K_2(\text{dB}) + \dots \quad \frac{K_{\text{总}}}{K_{0\text{总}}}(\text{dB}) = \frac{K}{K_{01}}(\text{dB}) + \frac{K}{K_{02}}(\text{dB}) + \dots$ 。

$$B_{\text{总}} = 2\Delta f_{0.7(\text{总})} = \frac{f_0}{Q_L} \sqrt{\sqrt[n]{2} - 1} = 2\Delta f_{0.7(\text{单})} \sqrt{\sqrt[n]{2} - 1} \quad n > 1 \text{ 且 } n \in N^*$$

- $n > 1$  且  $n \in N^*$ , 故  $\sqrt{\sqrt[n]{2} - 1} < 1$  (缩小系数), 因此多级调谐放大器级联后, 总的通频带比单级放大器通频带缩小了。
- 调谐放大器级联后, 选择性提高, 但总的通频带变窄。

# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合 II 型等效电路参数与 Y 参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

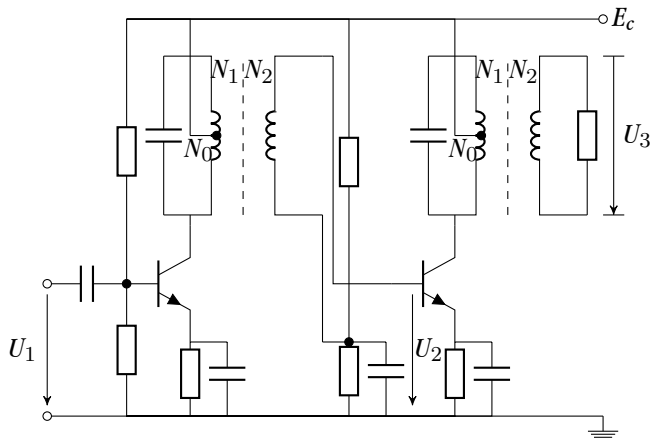
## 双参差调谐放大器

### 双参差调谐

将两级单调谐回路放大器的谐振频率，分别调整到略高于和略低于信号的中心频率。

## 双参差调谐放大器

**双参差调谐** 将两级单调谐回路放大器的谐振频率，分别调整到略高于和略低于信号的中心频率。



- 设信号中心频率  $f_0$ ，则第一级调谐于  $f_0 + \Delta f_d$ ，第二级调谐于  $f_0 - \Delta f_d$ 。
- 每个谐振回路工作于失谐状态，参差失谐量  $\pm \frac{\Delta f_d}{f_0}$ ，广义参差失谐量  $\pm \xi_0 = \pm Q_L \frac{2\Delta f_d}{f_0}$ 。



## 双参差调谐放大器

### 双参差调谐

将两级单调谐回路放大器的谐振频率，分别调整到略高于和略低于信号的中心频率。

- 在  $f_0$  处两个回路处于失谐状态，谐振点附近的  $K_{\text{总}}$  减小，合成的频率曲线较为平坦，使总的**通频带展宽**。
- 参差调谐的综合频率特性与**广义参差失谐量**  $\xi_0 = Q_L \frac{2\Delta f_d}{f_0}$  有关： $\xi_0$  愈小则愈尖，愈大则愈平；若  $\xi_0$  过大，出现**马鞍形双峰**。
  - ▶  $\xi_0 < 1$  为单峰； $\xi_0 > 1$  为双峰； $\xi_0 = 1$  单峰中最平坦的情况。
  - ▶  $\xi_0 > 1$  且  $\xi_0$  愈大，则双峰距离越远，中间下凹愈严重。
- 参差调谐在  $f_0$  处失谐，则在  $f_0$  点放大倍数  $K_{0\text{总}}$  比调谐于同一频率的两级放大倍数小。

$$\frac{K_{0\text{总}}(\text{参差失谐 } \xi_0)}{K_{0\text{总}}(\text{调谐于同一 } f_0)} = \frac{1}{1 + \xi_0^2}$$

## 双参差调谐放大器

### 双参差调谐

将两级单调谐回路放大器的谐振频率，分别调整到略高于和略低于信号的中心频率。

- 在  $f_0$  处两个回路处于失谐状态，谐振点附近的  $K_{总}$  减小，合成的频率曲线较为平坦，使总的**通频带展宽**。
- 参差调谐的综合频率特性与**广义参差失谐量**  $\xi_0 = Q_L \frac{2\Delta f_d}{f_0}$  有关： $\xi_0$  愈小则愈尖，愈大则愈平；若  $\xi_0$  过大，出现马鞍形双峰。
  - ▶  $\xi_0 < 1$  为单峰； $\xi_0 > 1$  为双峰； $\xi_0 = 1$  单峰中最平坦的情况。
  - ▶  $\xi_0 > 1$  且  $\xi_0$  愈大，则双峰距离越远，中间下凹愈严重。
- 参差调谐在  $f_0$  处失谐，则在  $f_0$  点放大倍数  $K_{0总}$  比调谐于同一频率的两级放大倍数小。

$$\frac{K_{0总}(\text{参差失谐 } \xi_0)}{K_{0总}(\text{调谐于同一 } f_0)} = \frac{1}{1 + \xi_0^2}$$

## 双参差调谐放大器

### 双参差调谐

将两级单调谐回路放大器的谐振频率，分别调整到略高于和略低于信号的中心频率。

- 在  $f_0$  处两个回路处于失谐状态，谐振点附近的  $K_{总}$  减小，合成的频率曲线较为平坦，使总的**通频带展宽**。
- 参差调谐的综合频率特性与**广义参差失谐量**  $\xi_0 = Q_L \frac{2\Delta f_d}{f_0}$  有关： $\xi_0$  愈小则愈尖，愈大则愈平；若  $\xi_0$  过大，出现马鞍形双峰。
  - ▶  $\xi_0 < 1$  为单峰； $\xi_0 > 1$  为双峰； $\xi_0 = 1$  单峰中最平坦的情况。
  - ▶  $\xi_0 > 1$  且  $\xi_0$  愈大，则双峰距离越远，中间下凹愈严重。
- 参差调谐在  $f_0$  处失谐，则在  $f_0$  点放大倍数  $K_{0总}$  比调谐于同一频率的两级放大倍数小。

$$\frac{K_{0总}(\text{参差失谐 } \xi_0)}{K_{0总}(\text{调谐于同一 } f_0)} = \frac{1}{1 + \xi_0^2}$$

## 三参差调谐放大器

- 为了加宽通频带，又不造成谐振点输出显著下凹，通常工作于  $\xi_0 = 1$  的情况。
- 也可工作于  $\xi_0$  略大于 1 的情况。

### 三参差调谐放大器

- 使其中两级工作于参差调谐的双峰状态，第三级调谐于  $f_0$ ，合成的谐振曲线比较平坦。
- 适当选择每个回路的有载品质因数  $Q_L$  和  $\xi_0$ ，可以获得双参差调谐所不能得到的通频带。

## 三参差调谐放大器

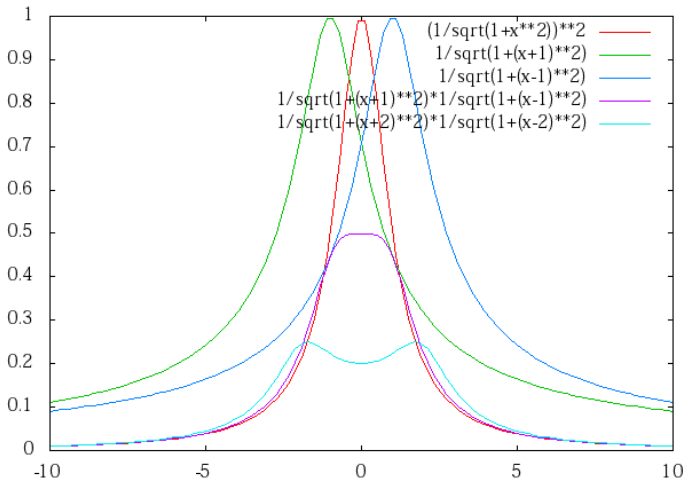
- 为了加宽通频带，又不造成谐振点输出显著下凹，通常工作于  $\xi_0 = 1$  的情况。
- 也可工作于  $\xi_0$  略大于 1 的情况。

### 三参差调谐放大器

- 使其中两级工作于参差调谐的双峰状态，第三级调谐于  $f_0$ ，合成的谐振曲线比较平坦。
- 适当选择每个回路的有载品质因数  $Q_L$  和  $\xi_0$ ，可以获得双参差调谐所不能得到的通频带。

# 参差调谐放大器的频率特性

双参差调谐放大器的频率特性



# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合 II 型等效电路参数与 Y 参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

### 5 高频调谐放大器

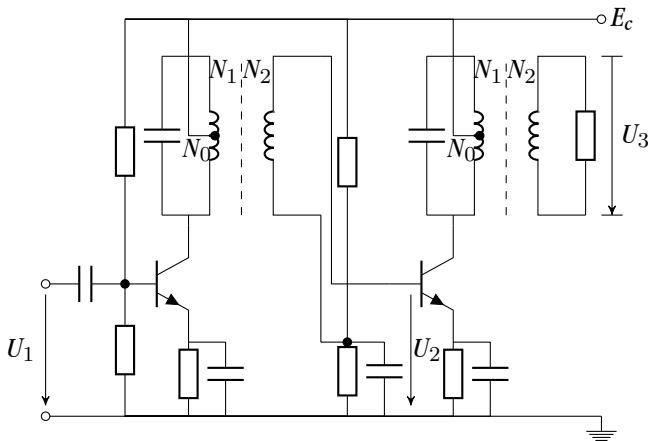
- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

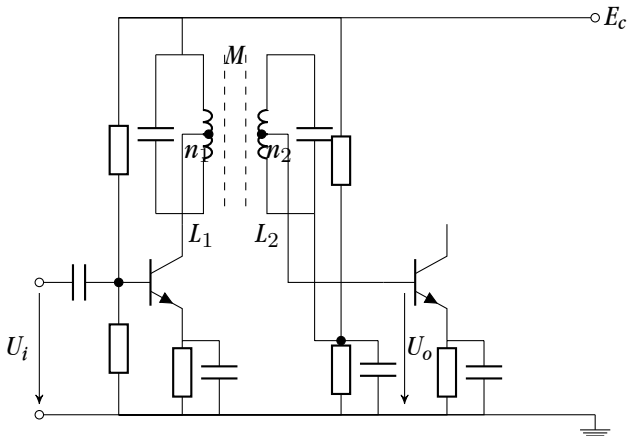
- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法



## 两级单调谐回路



## 单级双调谐回路：频带宽、选择性好



- 集电极电路采用互感耦合的双调谐回路，两回路参数相同，靠互感  $M$  耦合，调谐于同一频率  $f_0$ 。
- 临界双调谐放大器通频带  $B_{\text{双}} = \sqrt{2}B_{\text{单}}$ ，矩形系数  $K_{0.1} = 3.16$ 。
- 临界状态的双调谐放大器谐振曲线顶部较平坦，下降部分也较陡，具有较好的选择性（更接近矩形）。

单级双调谐回路：频带宽、选择性好

多级双调谐回路：

- 频带宽度大于相同级数的单调谐放大器的频带宽度。
- 总通频带不变时，总增益也下降较少。
- 矩形系数比单调谐放大器更接近于 1，选择性较好。
- 缺点：结构较复杂，调整较困难。
- 集中选频小信号调谐放大器

## 单级双调谐回路：频带宽、选择性好

### 多级双调谐回路：

- 频带宽度大于相同级数的单调谐放大器的频带宽度。
- 总通频带不变时，总增益也下降较少。
- 矩形系数比单调谐放大器更接近于1，选择性较好。
- 缺点：结构较复杂，调整较困难。
- 集中选频小信号调谐放大器

## 单级双调谐回路：频带宽、选择性好

### 多级双调谐回路：

- 频带宽度大于相同级数的单调谐放大器的频带宽度。
- 总通频带不变时，总增益也下降较少。
- 矩形系数比单调谐放大器更接近于1，选择性较好。
- 缺点：结构较复杂，调整较困难。
- 集中选频小信号调谐放大器

# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

## 习题：多级单调谐放大器

**2-24** 调谐在同一频率的三级单调谐放大器，中心频率为  $465\text{kHz}$ ，每个回路的  $Q_L = 40$ ，问总的通频带  $B_{\text{总}}$  是多少？



## 习题：多级单调谐放大器

**2-24** 调谐在同一频率的三级单调谐放大器，中心频率为  $465\text{kHz}$ ，每个回路的  $Q_L = 40$ ，问总的通频带  $B_{\text{总}}$  是多少？

解

$$B_{\text{单}} = 2\Delta f_{0.7(\text{单})} = \frac{f_0}{Q_L}$$

$$B_{\text{总}} = 2\Delta f_{0.7(\text{总})} = 2\Delta f_{0.7(\text{单})} \sqrt{\sqrt[n]{2} - 1} = \frac{f_0}{Q_L} \sqrt{\sqrt[3]{2} - 1}$$

## 习题：多级单调谐放大器

**2-24** 调谐在同一频率的三级单调谐放大器，中心频率为  $465\text{kHz}$ ，每个回路的  $Q_L = 40$ ，问总的通频带  $B_{\text{总}}$  是多少？  
如要求总通频带为  $10\text{kHz}$ ，则允许  $Q_L$  最大为多少？

解

$$B_{\text{单}} = 2\Delta f_{0.7(\text{单})} = \frac{f_0}{Q_L}$$

$$B_{\text{总}} = 2\Delta f_{0.7(\text{总})} = 2\Delta f_{0.7(\text{单})} \sqrt{\sqrt[n]{2} - 1} = \frac{f_0}{Q_L} \sqrt{\sqrt[3]{2} - 1}$$

## 习题：多级单调谐放大器

**2-24** 调谐在同一频率的三级单调谐放大器，中心频率为  $465\text{kHz}$ ，每个回路的  $Q_L = 40$ ，问总的通频带  $B_{\text{总}}$  是多少？  
如要求总通频带为  $10\text{kHz}$ ，则允许  $Q_L$  最大为多少？

解

$$B_{\text{单}} = 2\Delta f_{0.7(\text{单})} = \frac{f_0}{Q_L}$$

$$B_{\text{总}} = 2\Delta f_{0.7(\text{总})} = 2\Delta f_{0.7(\text{单})} \sqrt{\sqrt[n]{2} - 1} = \frac{f_0}{Q_L} \sqrt{\sqrt[3]{2} - 1}$$

$$\frac{f_0}{Q_L} = 2\Delta f_{0.7(\text{单})} = \frac{2\Delta f_{0.7(\text{总})}}{\sqrt{\sqrt[3]{2} - 1}}$$

## 习题：调谐放大器的级联

**2-27** 参差调谐放大电路与多级单调谐放大电路的区别是什么？

## 习题：调谐放大器的级联

2-27 参差调谐放大电路与多级单调谐放大电路的区别是什么？

答

- 电路形式上没有什么不同。
- 调谐回路的谐振频率上有区别：
  - ▶ 多级单调谐放大电路的调谐回路是调谐于同一频率；
  - ▶ 而在参差调谐放大电路中各级回路的谐振频率是参差错开的。

# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路



## 内容提要 II

- 混合 II 型等效电路参数与 Y 参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

多级调谐放大器回路多，调谐麻烦。

前置放大器

集中滤波器

宽带放大器

- ① 电路简单，调整方便。
- ② 性能稳定。
- ③ 易于大规模生产，成本低。

集中滤波器 选频

- 石英晶体滤波器（压电效应）
- 陶瓷滤波器（压电效应）
- 声表面波滤波器（电声换能）

多级调谐放大器回路多，调谐麻烦。

前置放大器

集中滤波器

宽带放大器

- ① 电路简单，调整方便。
- ② 性能稳定。
- ③ 易于大规模生产，成本低。

集中滤波器 选频

- 石英晶体滤波器（压电效应）
- 陶瓷滤波器（压电效应）
- 声表面波滤波器（电声换能）

多级调谐放大器回路多，调谐麻烦。

前置放大器

集中滤波器

宽带放大器

- ① 电路简单，调整方便。
- ② 性能稳定。
- ③ 易于大规模生产，成本低。

### 集中滤波器 选频

- 石英晶体滤波器（压电效应）
- 陶瓷滤波器（压电效应）
- 声表面波滤波器（电声换能）

多级调谐放大器回路多，调谐麻烦。

前置放大器

集中滤波器

宽带放大器

- ① 电路简单，调整方便。
- ② 性能稳定。
- ③ 易于大规模生产，成本低。

### 集中滤波器 选频

- 石英晶体滤波器（压电效应）
- 陶瓷滤波器（压电效应）
- 声表面波滤波器（电声换能）

# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合  $\Pi$  型等效电路
  - 晶体管  $Y$  参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合 II 型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

## 低频管 VS. 高频管

按照晶体管实际使用时工作频率的高低分为**低频管**和**高频管**

- 低频工作时，常将晶体管的电流放大系数看成与频率无关的常数。
- 高频工作时，晶体管电流放大系数与频率有明显的关系。
  - ▶ 频率越高，电流放大系数越小。
  - ▶ 导致管子放大能力下降，管子的输入输出阻抗变化复杂，容易产生自激，给设计和调整工作带来一定困难。
- 高频管分析方法与低频管不同。



## 低频管 VS. 高频管

按照晶体管实际使用时工作频率的高低分为**低频管**和**高频管**

- 低频工作时，常将晶体管的电流放大系数看成与频率无关的常数。
- 高频工作时，晶体管电流放大系数与频率有明显的关系。
  - ▶ 频率越高，电流放大系数越小。
  - ▶ 导致管子放大能力下降，管子的输入输出阻抗变化复杂，容易产生自激，给设计和调整工作带来一定困难。
- 高频管分析方法与低频管不同。

## 低频管 VS. 高频管

按照晶体管实际使用时工作频率的高低分为**低频管**和**高频管**

- 低频工作时，常将晶体管的电流放大系数看成与频率无关的常数。
- 高频工作时，晶体管电流放大系数与频率有明显的关系。
  - ▶ 频率越高，电流放大系数越小。
  - ▶ 导致管子放大能力下降，管子的输入输出阻抗变化复杂，容易产生自激，给设计和调整工作带来一定困难。
- 高频管分析方法与低频管不同。

## 低频管 VS. 高频管

按照晶体管实际使用时工作频率的高低分为**低频管**和**高频管**

- 低频工作时，常将晶体管的电流放大系数看成与频率无关的常数。
- 高频工作时，晶体管电流放大系数与频率有明显的关系。
  - ▶ 频率越高，电流放大系数越小。
  - ▶ 导致管子放大能力下降，管子的输入输出阻抗变化复杂，容易产生自激，给设计和调整工作带来一定困难。
- 高频管分析方法与低频管不同。

### 物理参数等效电路

物理概念清楚，容易接受。

**T型等效电路** 高频电路

**混合II型等效电路** 宽频带电路

### 网络参数等效电路

分析计算简便，比较抽象。

**b参数等效电路** 低频电路

**Y参数等效电路** 高频调谐电路

# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路

## 内容提要 II

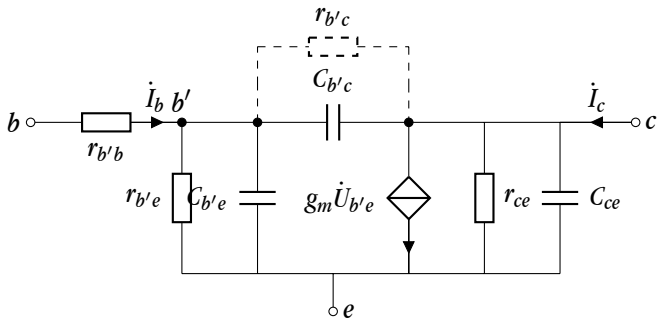
- 混合 II 型等效电路参数与 Y 参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

### 5 高频调谐放大器

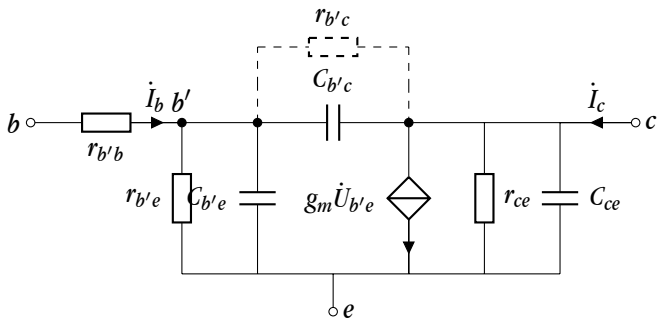
- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

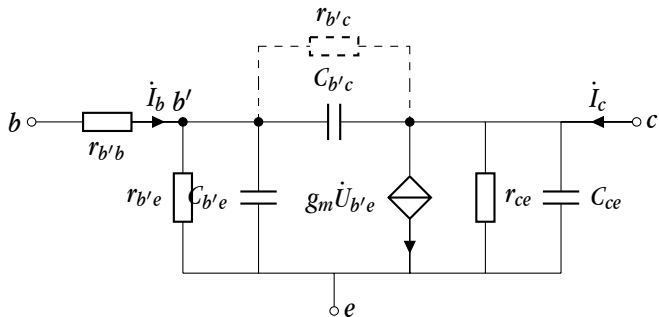


- $b$ 、 $c$ 、 $e$  三点代表晶体管基级、集电极和发射极三个电极的外部端子， $b'$  代表设想的基级内部端子。
- **混合 II 型**：晶体管  $b'$ 、 $c$ 、 $e$  三个电极用一个 II 型电路等效，而由  $b$  至  $b'$  又串联一个基级体电阻  $r_{bb'}$ 。



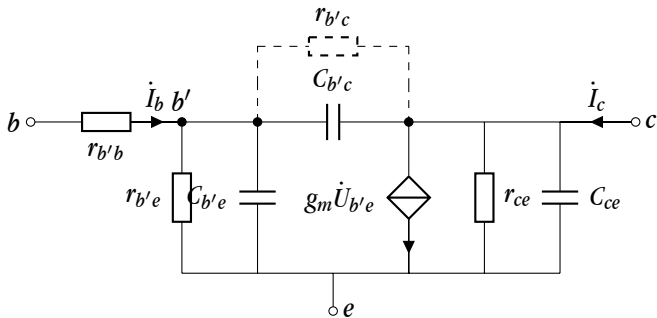
- $r_{b'e}$  是发射结的结电阻。数值比较小，一般几百欧。

$$r_{b'e} = (1 + \beta_0) \frac{26}{I_e} (\Omega)$$

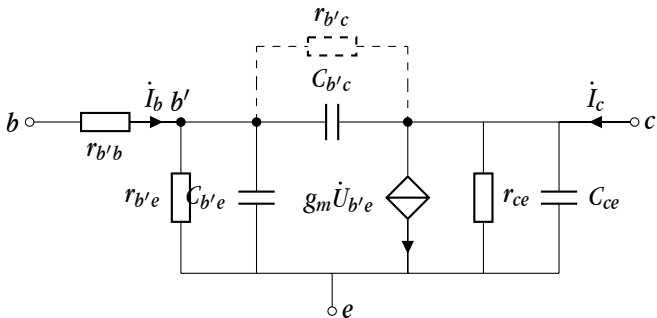


- $r_{b'c}$  是集电极电阻。较大，约为  $10k\Omega \sim 10M\Omega$ ，一般可忽略。

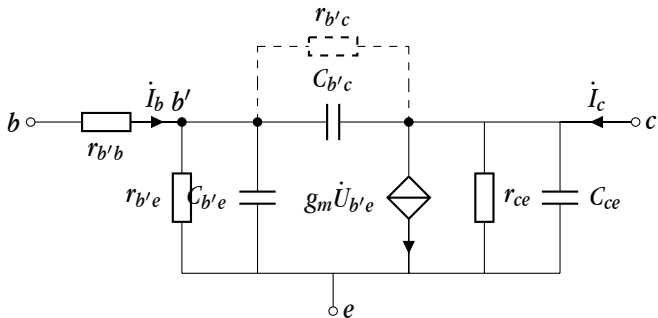




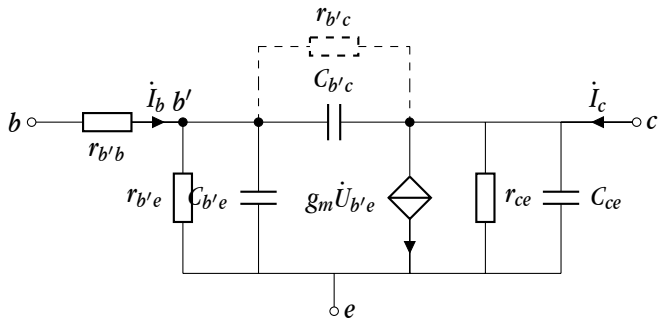
- $C_{b'e}$  是发射结电容。随工作点电流增大而增大，数值范围为  $20\text{pF} \sim 0.01\mu\text{F}$ 。



- $C_{b'c}$ 是集电结电容。随  $c$ 、 $b$  间反向电压增大而减小，数值在  $10\text{pF}$  左右。

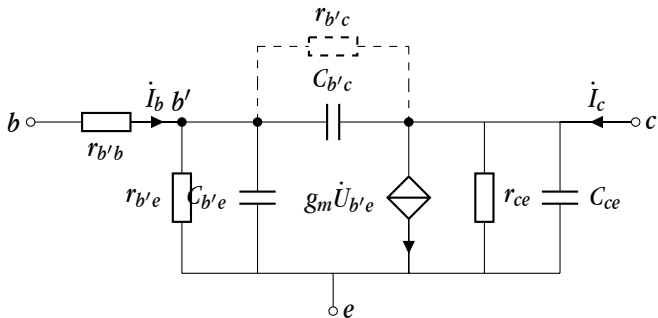


- $r_{bb'}$  是基极体电阻。低频小功率管可达几百欧，高频晶体管一般  $15 \sim 50\Omega$ 。

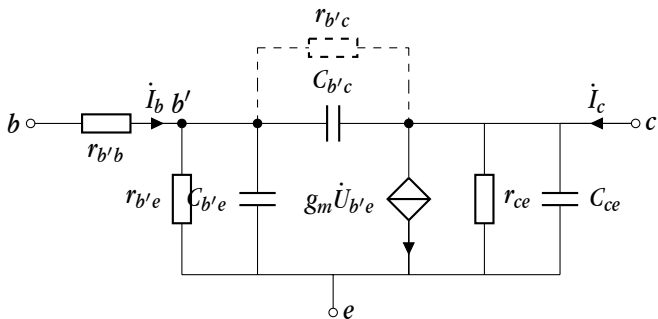


- 电流源  $g_m \dot{U}_{b'e}$  代表晶体管的放大作用。 $g_m$  的大小说明了发射结电压对集电结电流的控制能力， $g_m$  越大，控制能力越强。

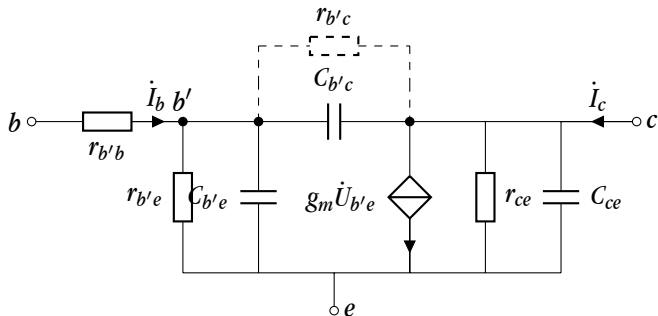
$$g_m = \frac{\beta_0}{r_{b'e}} = \frac{\beta_0}{(1 + \beta_0) \frac{26}{I_e}} = \frac{\beta_0}{1 + \beta_0} \frac{I_e}{26} \approx \frac{I_e}{26}$$



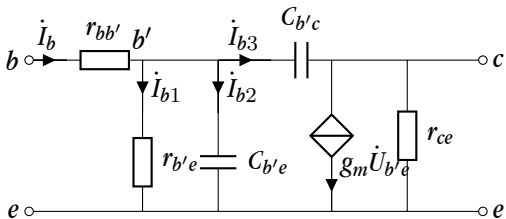
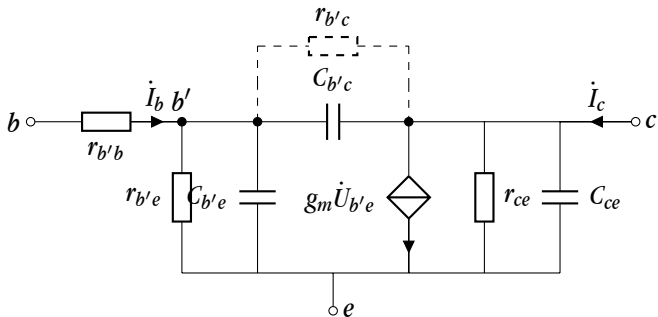
- $r_{ce}$  是集—射级电阻。表示集电极电压  $\dot{U}_{ce}$  对电流  $I_c$  的影响，一般  $30 \sim 50k\Omega$ 。



- $C_{ce}$  是集—射级电容。通常很小，一般  $2 \sim 10\text{pF}$  之间。



- 物理概念比较清楚，对晶体管放大作用描述较全面，各个参量基本上与频率无关。适用于宽频率范围
- 等效电路比较复杂，实际应用时可以根据具体情况，忽略某些次要因素。

晶体管混合  $\Pi$  型等效电路



# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合II型等效电路
  - 晶体管Y参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合II型等效电路参数与Y参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

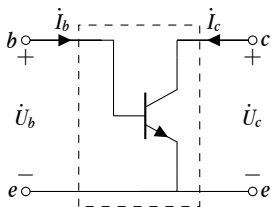
### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

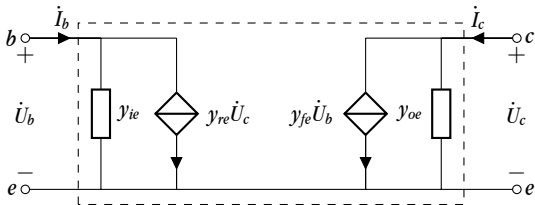
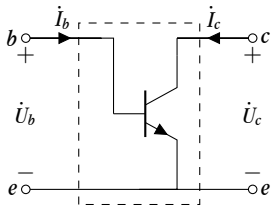
### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

- 撇开晶体管内部的电路结构，只从外部研究它的作用，晶体管看作有源线性四端网络。
- 用网络参数构成等效电路确定晶体管的输入端和输出端的电流—电压关系。

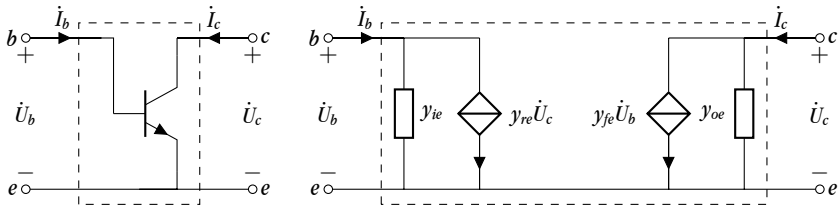


- 撇开晶体管内部的电路结构，只从外部研究它的作用，晶体管看作有源线性四端网络。
- 用网络参数构成等效电路确定晶体管的输入端和输出端的电流—电压关系。



$$\begin{cases} \dot{I}_b = y_{ie}\dot{U}_b + y_{re}\dot{U}_c \\ \dot{I}_c = y_{fe}\dot{U}_b + y_{oe}\dot{U}_c \end{cases}$$

- 撇开晶体管内部的电路结构，只从外部研究它的作用，晶体管看作有源线性四端网络。
- 用网络参数构成等效电路确定晶体管的输入端和输出端的电流—电压关系。

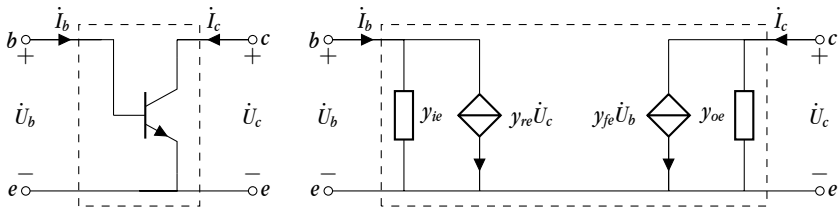


$$\begin{cases} \dot{I}_b = y_{ie}\dot{U}_b + y_{re}\dot{U}_c \\ \dot{I}_c = y_{fe}\dot{U}_b + y_{oe}\dot{U}_c \end{cases}$$

$$\dot{U}_c = 0 \Rightarrow y_{ie} = \frac{\dot{I}_b}{\dot{U}_b} \Big|_{\dot{U}_c=0}$$

**输入导纳** $y_{ie}$  是输出交流短路时的输入电流与输入电压之比，说明了输入电压对输入电流的控制作用。

- 撇开晶体管内部的电路结构，只从外部研究它的作用，晶体管看作有源线性四端网络。
- 用网络参数构成等效电路确定晶体管的输入端和输出端的电流—电压关系。

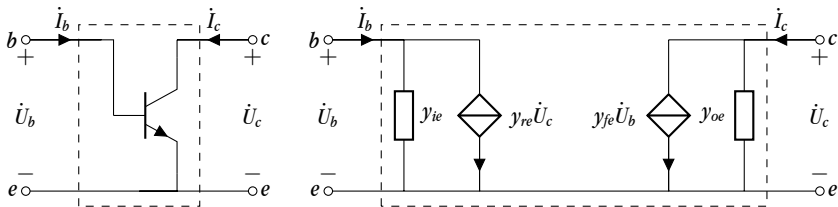


$$\begin{cases} \dot{i}_b = y_{ie}\dot{U}_b + y_{re}\dot{U}_c \\ \dot{i}_c = y_{fe}\dot{U}_b + y_{oe}\dot{U}_c \end{cases}$$

$$\dot{U}_c = 0 \quad \Rightarrow \quad y_{fe} = \frac{\dot{i}_c}{\dot{U}_b} \Big|_{\dot{U}_c=0}$$

**正向传输导纳** $y_{fe}$  是输出交流短路时的输出电流与输入电压之比，表示输入电压对输出电流的控制作用，决定晶体管的**放大能力**。

- 撇开晶体管内部的电路结构，只从外部研究它的作用，晶体管看作有源线性四端网络。
- 用网络参数构成等效电路确定晶体管的输入端和输出端的电流—电压关系。

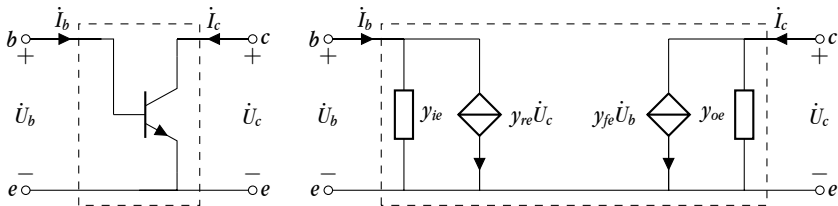


$$\begin{cases} \dot{i}_b = y_{ie}\dot{U}_b + y_{re}\dot{U}_c \\ \dot{i}_c = y_{fe}\dot{U}_b + y_{oe}\dot{U}_c \end{cases}$$

$$\dot{U}_b = 0 \quad \Rightarrow \quad y_{re} = \frac{\dot{i}_b}{\dot{U}_c} \Big|_{\dot{U}_b=0}$$

**反向传输导纳** $y_{re}$  是输入交流短路时的输入电流与输出电压之比，代表晶体管输出电压对输入端的反作用，决定晶体管的**内部反馈**。

- 撇开晶体管内部的电路结构，只从外部研究它的作用，晶体管看作有源线性四端网络。
- 用网络参数构成等效电路确定晶体管的输入端和输出端的电流—电压关系。



$$\begin{cases} \dot{I}_b = y_{ie}\dot{U}_b + y_{re}\dot{U}_c \\ \dot{I}_c = y_{fe}\dot{U}_b + y_{oe}\dot{U}_c \end{cases}$$

$$\dot{U}_b = 0 \Rightarrow y_{oe} = \frac{\dot{I}_c}{\dot{U}_c} \Big|_{\dot{U}_b=0}$$

**输出导纳** $y_{oe}$  是输入交流短路时的输出电流与输出电压之比，说明输出电压对输出电流的控制作用。



# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

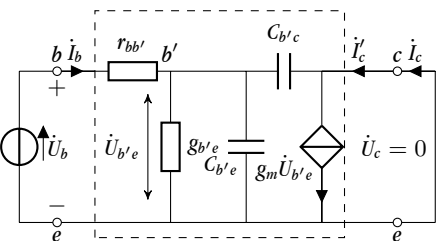
### 5 高频调谐放大器

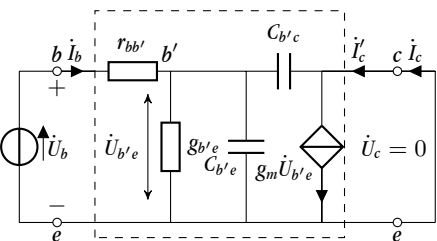
- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

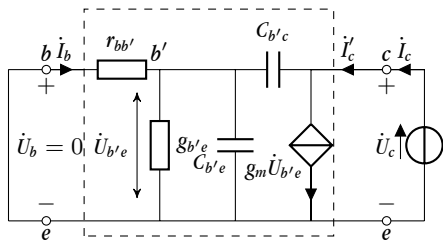
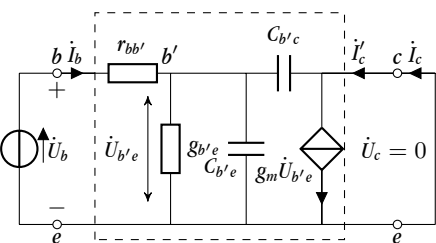
混合  $\Pi$  型电路参数  $\Rightarrow Y$  参数

混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系

混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系

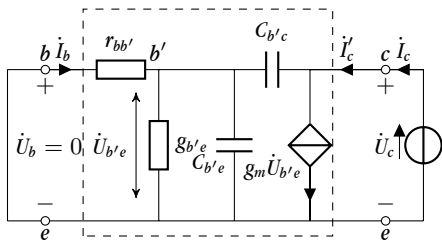
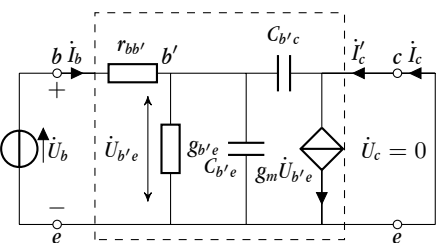
$$y_{ie} = \frac{g_{b'e} + j\omega (C_{b'e} + C_{b'c})}{1 + r_{bb'} [g_{b'e} + j\omega (C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

$$y_{fe} = \frac{\dot{i}_c}{\dot{U}_b} \Big|_{i_c=0} = \frac{g_m - j\omega C_{b'c}}{1 + r_{bb'} [g_{b'e} + j\omega (C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系

$$y_{ie} = \frac{g_{b'e} + j\omega(C_{b'e} + C_{b'c})}{1 + r_{bb'}[g_{b'e} + j\omega(C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

$$y_{fe} = \frac{\dot{I}_c}{\dot{U}_b} \Big|_{i_c=0} = \frac{g_m - j\omega C_{b'c}}{1 + r_{bb'}[g_{b'e} + j\omega(C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

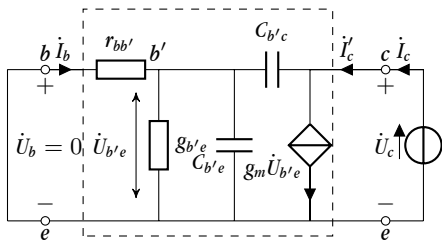
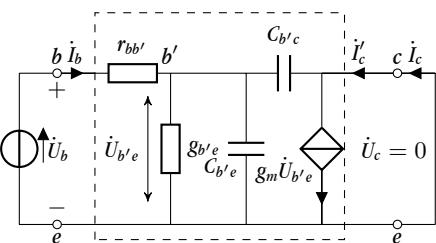
混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系

$$y_{ie} = \frac{g_{b'e} + j\omega (C_{b'e} + C_{b'c})}{1 + r_{bb'} [g_{b'e} + j\omega (C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

$$y_{re} = \frac{\dot{I}_b}{\dot{U}_c} \Big|_{\dot{U}_b=0} = \frac{-j\omega C_{b'c}}{1 + r_{bb'} [g_{b'e} + j\omega (C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

$$y_{fe} = \frac{\dot{I}_c}{\dot{U}_b} \Big|_{\dot{U}_c=0} = \frac{g_m - j\omega C_{b'c}}{1 + r_{bb'} [g_{b'e} + j\omega (C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

$$y_{oe} = \frac{\dot{I}_c}{\dot{U}_c} \Big|_{\dot{U}_b=0} = \frac{j\omega C_{b'c} [1 + r_{bb'} (g_{b'e} + j\omega C_{b'e} + g_m)]}{1 + r_{bb'} [g_{b'e} + j\omega (C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系

$$y_{ie} = \frac{g_{b'e} + j\omega(C_{b'e} + C_{b'c})}{1 + r_{bb'} [g_{b'e} + j\omega(C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

$$y_{re} = \frac{\dot{I}_b}{\dot{U}_c} \Big|_{\dot{U}_b=0} = \frac{-j\omega C_{b'c}}{1 + r_{bb'} [g_{b'e} + j\omega(C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

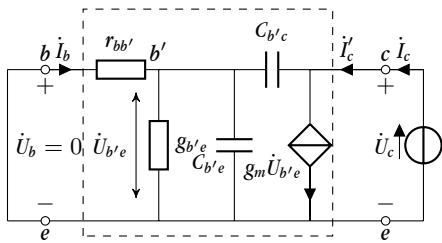
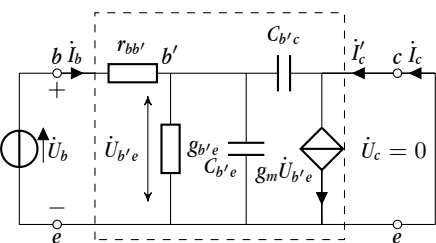
$$y_{fe} = \frac{\dot{I}_c}{\dot{U}_b} \Big|_{\dot{U}_c=0} = \frac{g_m - j\omega C_{b'c}}{1 + r_{bb'} [g_{b'e} + j\omega(C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

$$y_{oe} = \frac{\dot{I}_c}{\dot{U}_c} \Big|_{\dot{U}_b=0} = \frac{j\omega C_{b'c} [1 + r_{bb'} (g_{b'e} + j\omega C_{b'e} + g_m)]}{1 + r_{bb'} [g_{b'e} + j\omega(C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

$$y_{ie} = \frac{g_{b'e} + j\omega C_{b'e}}{1 + r_{bb'} (g_{b'e} + j\omega C_{b'e})}$$

$$y_{fe} = \frac{g_m}{1 + r_{bb'} (g_{b'e} + j\omega C_{b'e})}$$



混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系

$$y_{ie} = \frac{g_{b'e} + j\omega(C_{b'e} + C_{b'c})}{1 + r_{bb'}[g_{b'e} + j\omega(C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

$$y_{re} = \frac{\dot{I}_b}{\dot{U}_c} \Big|_{\dot{U}_b=0} = \frac{-j\omega C_{b'c}}{1 + r_{bb'}[g_{b'e} + j\omega(C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

$$y_{fe} = \frac{\dot{I}_c}{\dot{U}_b} \Big|_{\dot{U}_c=0} = \frac{g_m - j\omega C_{b'c}}{1 + r_{bb'}[g_{b'e} + j\omega(C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

$$y_{oe} = \frac{\dot{I}_c}{\dot{U}_c} \Big|_{\dot{U}_b=0} = \frac{j\omega C_{b'c}[1 + r_{bb'}(g_{b'e} + j\omega C_{b'e} + g_m)]}{1 + r_{bb'}[g_{b'e} + j\omega(C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

$$y_{ie} = \frac{g_{b'e} + j\omega C_{b'e}}{1 + r_{bb'}(g_{b'e} + j\omega C_{b'e})}$$

$$y_{re} = \frac{-j\omega C_{b'c}}{1 + r_{bb'}(g_{b'e} + j\omega C_{b'e})}$$

$$y_{fe} = \frac{g_m}{1 + r_{bb'}(g_{b'e} + j\omega C_{b'e})}$$

$$y_{oe} = \frac{j\omega C_{b'c} r_{bb'} g_m}{1 + r_{bb'}(g_{b'e} + j\omega C_{b'e})} + j\omega C_{b'c}$$

# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

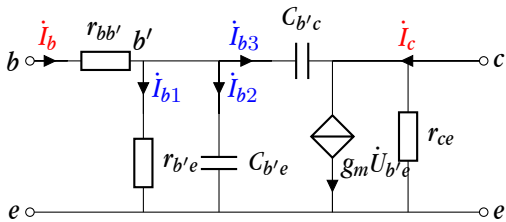
### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

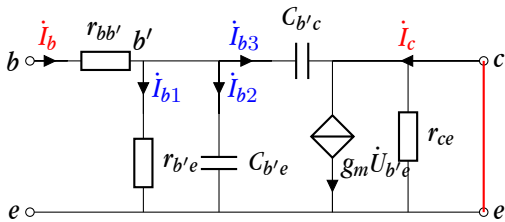
### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

# 晶体管的高频放大能力

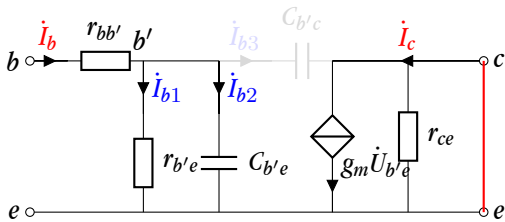


# 晶体管的高频放大能力



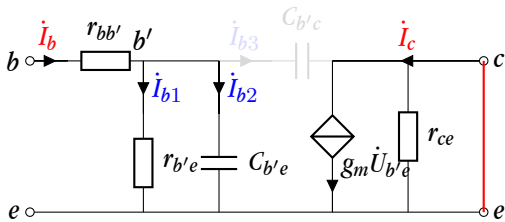
$$\beta = \frac{\dot{I}_c}{\dot{I}_b} \Big|_{\dot{U}_{ce}=0}$$

# 晶体管的高频放大能力



$$\beta = \frac{\dot{I}_c}{\dot{I}_b} \Big|_{\dot{U}_{ce}=0}$$

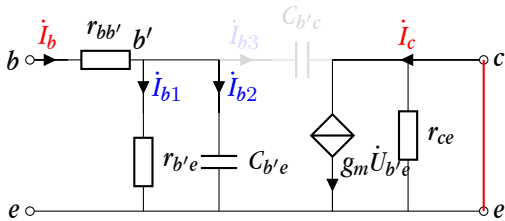
# 晶体管的高频放大能力



$$\beta = \frac{\dot{I}_c}{\dot{I}_b} \Big|_{\dot{U}_{ce}=0}$$

$$\dot{I}_c = g_m \dot{U}_{b'e} = \frac{\beta_0}{r_{b'e}} \dot{U}_{b'e} = \beta_0 \frac{\dot{U}_{b'e}}{r_{b'e}} = \beta_0 \dot{I}_{b1}$$

# 晶体管的高频放大能力

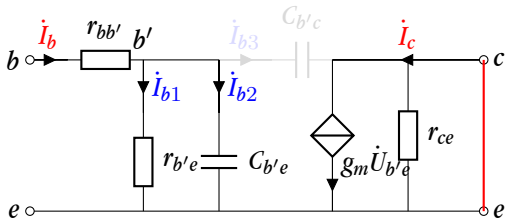


$$\beta = \frac{\dot{I}_c}{\dot{I}_b} \Big|_{\dot{U}_{ce}=0} = \beta_0 \frac{\dot{I}_{b1}}{\dot{I}_b}$$

$$\dot{I}_c = g_m \dot{U}_{b'e} = \frac{\beta_0}{r_{b'e}} \dot{U}_{b'e} = \beta_0 \frac{\dot{U}_{b'e}}{r_{b'e}} = \beta_0 \dot{I}_{b1}$$



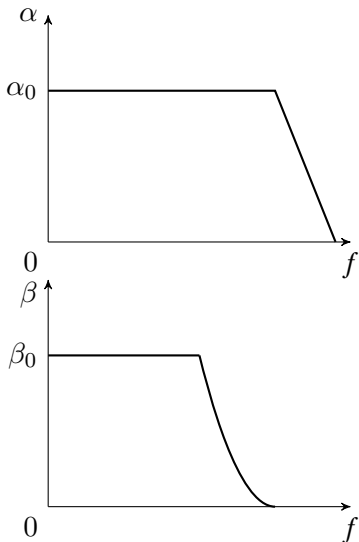
# 晶体管的高频放大能力



$$\beta = \frac{\dot{I}_c}{\dot{I}_b} \Big|_{\dot{U}_{ce}=0} = \beta_0 \frac{\dot{I}_{b1}}{\dot{I}_b} < \beta_0$$

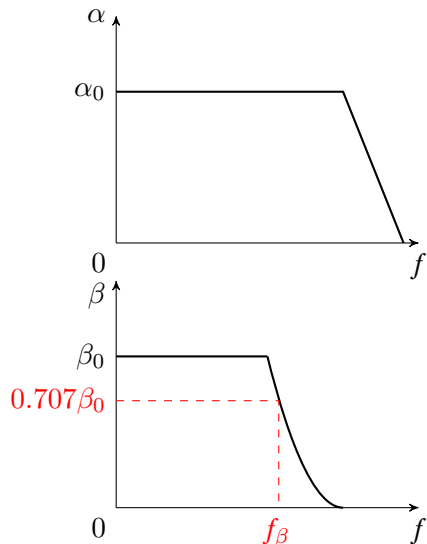
$$\dot{I}_c = g_m \dot{U}_{b'e} = \frac{\beta_0}{r_{b'e}} \dot{U}_{b'e} = \beta_0 \frac{\dot{U}_{b'e}}{r_{b'e}} = \beta_0 \dot{I}_{b1}$$

## 晶体管高频放大的频率参数



- ①  $\beta$  截止频率  $f_\beta = \frac{1}{2\pi C_{b'e} r_{b'e}}$  是  $\beta$  下降到  $0.707\beta_0$  时的频率。
- ② 特征频率  $f_T$  是  $\beta$  下降到 1 时的频率。
- ③  $\alpha$  截止频率  $f_\alpha$  是  $\alpha$  下降到  $0.707\alpha_0$  时的频率。
- ④ 最高振荡频率  $f_{\max} = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{\beta_0}{r_{bb'} r_{b'e} C_{b'e} C_{b'c}}}$

## 晶体管高频放大的频率参数



①  $\beta$  截止频率  $f_{\beta} = \frac{1}{2\pi C_{b'e} r_{b'e}}$  是  $\beta$  下降到  $0.707\beta_0$  时的频率。

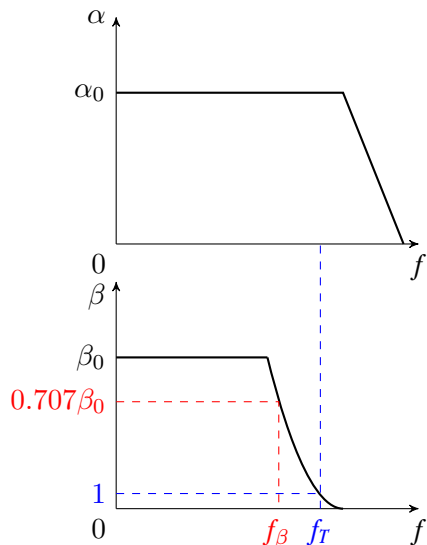
② 特征频率  $f_T$  是  $\beta$  下降到 1 时的频率。

③  $\alpha$  截止频率  $f_{\alpha}$  是  $\alpha$  下降到  $0.707\alpha_0$  时的频率。

④ 最高振荡频率  $f_{\max} = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{\beta_0}{r_{bb'} r_{b'e} C_{b'e} C_{b'c}}}$

$$\beta = \beta_0 \frac{i_{b1}}{I_b} = \frac{\beta_0}{1 + j\omega C_{b'e} r_{b'e}} = \frac{\beta_0}{1 + j\frac{f}{f_{\beta}}}$$

# 晶体管高频放大的频率参数

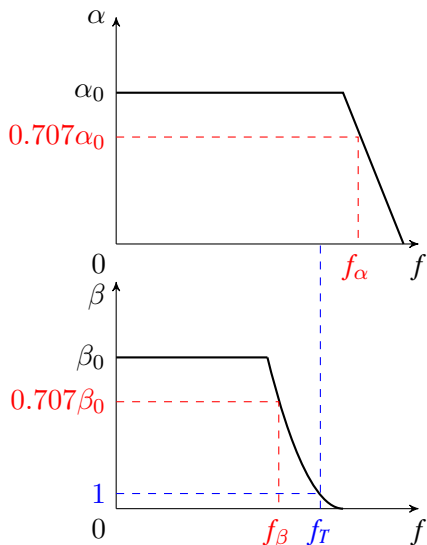


- 1  $\beta$  截止频率  $f_\beta = \frac{1}{2\pi C_{b'e} r_{b'e}}$  是  $\beta$  下降到  $0.707\beta_0$  时的频率。
- 2 特征频率  $f_T$  是  $\beta$  下降到 1 时的频率。
- 3  $\alpha$  截止频率  $f_\alpha$  是  $\alpha$  下降到  $0.707\alpha_0$  时的频率。
- 4 最高振荡频率  $f_{max} = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{\beta_0}{r_{bb'} r_{b'e} C_{b'e} C_{b'c}}}$

$$\beta = \beta_0 \frac{i_{b1}}{I_b} = \frac{\beta_0}{1 + j\omega C_{b'e} r_{b'e}} = \frac{\beta_0}{1 + j\frac{f}{f_\beta}}$$

$$|\beta| = \frac{\beta_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_\beta}\right)^2}} \stackrel{f > 3f_\beta}{\approx} \frac{\beta_0}{\frac{f}{f_\beta}} = \frac{\beta_0 f_\beta}{f} = \frac{f_T}{f}$$

# 晶体管高频放大的频率参数



- ①  $\beta$  截止频率  $f_\beta = \frac{1}{2\pi C_{b'e} r_{b'e}}$  是  $\beta$  下降到  $0.707\beta_0$  时的频率。
- ② 特征频率  $f_T$  是  $\beta$  下降到 1 时的频率。
- ③  $\alpha$  截止频率  $f_\alpha$  是  $\alpha$  下降到  $0.707\alpha_0$  时的频率。
- ④ 最高振荡频率  $f_{max} = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{\beta_0}{r_{bb'} r_{b'e} C_{b'e} C_{b'c}}}$

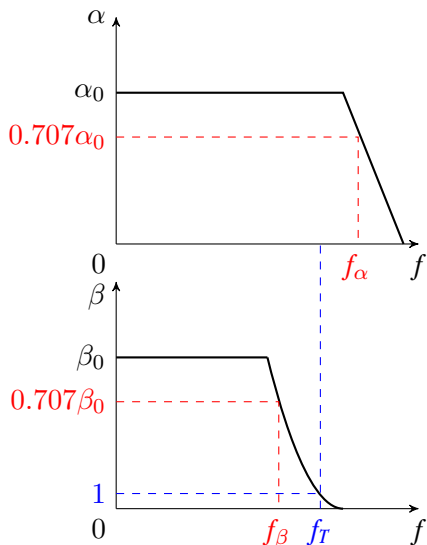
$$\beta = \beta_0 \frac{i_{b1}}{i_b} = \frac{\beta_0}{1 + j\omega C_{b'e} r_{b'e}} = \frac{\beta_0}{1 + j \frac{f}{f_\beta}}$$

$$|\beta| = \frac{\beta_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_\beta}\right)^2}} \stackrel{f > 3f_\beta}{\approx} \frac{\beta_0}{\frac{f}{f_\beta}} = \frac{\beta_0 f_\beta}{f} = \frac{f_T}{f}$$

$$f_T = \beta_0 f_\beta = \gamma \alpha_0 f_\alpha$$

$$f_\beta < f_T < f_\alpha$$

## 晶体管高频放大的频率参数



①  $\beta$  截止频率  $f_\beta = \frac{1}{2\pi C_{b'e} r_{b'e}}$  是  $\beta$  下降到  $0.707\beta_0$  时的频率。

② 特征频率  $f_T$  是  $\beta$  下降到 1 时的频率。

③  $\alpha$  截止频率  $f_\alpha$  是  $\alpha$  下降到  $0.707\alpha_0$  时的频率。

④ 最高振荡频率  $f_{\max} = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{\beta_0}{r_{bb'} r_{b'e} C_{b'e} C_{b'c}}}$

$$\beta = \beta_0 \frac{i_{b1}}{i_b} = \frac{\beta_0}{1 + j\omega C_{b'e} r_{b'e}} = \frac{\beta_0}{1 + j \frac{f}{f_\beta}}$$

$$|\beta| = \frac{\beta_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_\beta}\right)^2}} \stackrel{f > 3f_\beta}{\approx} \frac{\beta_0}{\frac{f}{f_\beta}} = \frac{\beta_0 f_\beta}{f} = \frac{f_T}{f}$$

$$f_T = \beta_0 f_\beta = \gamma \alpha_0 f_\alpha$$

$$f_\beta < f_T < f_\alpha$$

# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法



## 高频小信号调谐放大器

- 放大微弱的有用信号并滤除无用的干扰和噪声信号。
- 主要指标：电压放大倍数、通频带、选择性和矩形系数。

单调谐放大器 工作频率几百千赫到几兆赫

高频单调谐放大器 工作在十几兆赫以上  $\Rightarrow Y$  参数高频等效电路

## 高频小信号调谐放大器

- 放大微弱的有用信号并滤除无用的干扰和噪声信号。
- 主要指标：电压放大倍数、通频带、选择性和矩形系数。

单调谐放大器 工作频率几百千赫到几兆赫

高频单调谐放大器 工作在十几兆赫以上  $\Rightarrow Y$  参数高频等效电路

# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

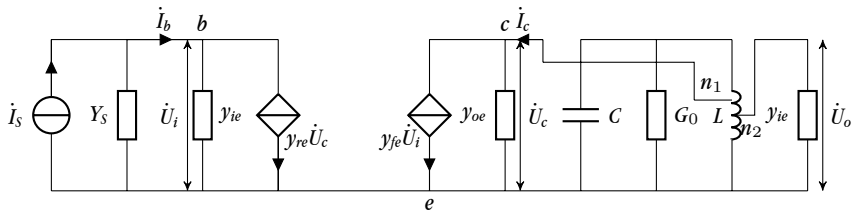
### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

# 单级单调谐回路放大器的高频等效电路



# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

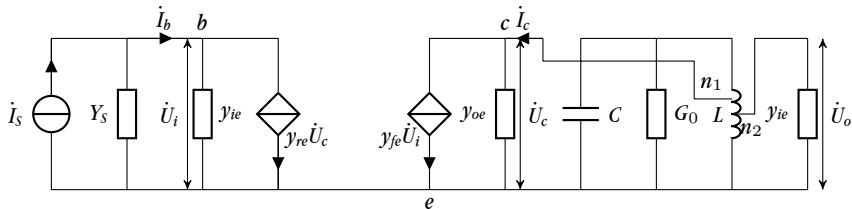
### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

## 放大器的电压放大倍数、通频带和选择性



$$|K_{V0}| = \frac{n_1 n_2 |y_{fe}|}{G_0 + n_1^2 g_{oe} + n_2^2 g_{ie}}$$

$$B = 2\Delta f_{0.7} = \frac{f_0}{Q_L}$$

$$K_{0.1} = \frac{2\Delta f_{0.1}}{2\Delta f_{0.7}} = 10$$



# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

## 放大器的工作稳定性

假定放大器工作稳定时，

- 输出回路对输入端没有影响 ( $y_{re} = 0$ )。
- 晶体管单向工作，输入可以控制输出，而输出则不影响输入。

若考虑反向传输导纳  $y_{re}$ ，

- 放大器的输入导纳和输出导纳对放大器工作稳定性产生影响。
- 改善措施。

## 放大器的工作稳定性

假定放大器工作稳定时，

- 输出回路对输入端没有影响 ( $y_{re} = 0$ )。
- 晶体管单向工作，输入可以控制输出，而输出则不影响输入。

若考虑反向传输导纳  $y_{re}$ ，

- 放大器的输入导纳和输出导纳对放大器工作稳定性产生影响。
- 改善措施。

# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

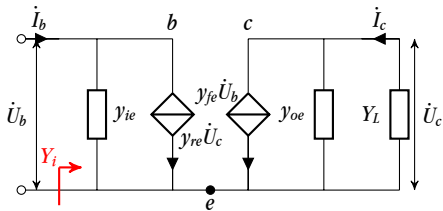
- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

## ① 放大器调试困难

由于  $y_{re}$  的存在使得放大器的输入和输出导纳分别与负载和信号源有关

## ① 放大器调试困难

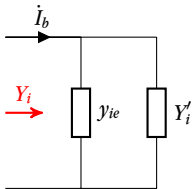
由于  $y_{re}$  的存在使得放大器的输入和输出导纳分别与负载和信号源有关



放大器输入导纳： $Y_i = y_{ie} + Y_i' = y_{ie} + \frac{-y_{fe}y_{re}}{y_{oe} + Y_L}$

① 晶体管的输入导纳  $y_{ie}$

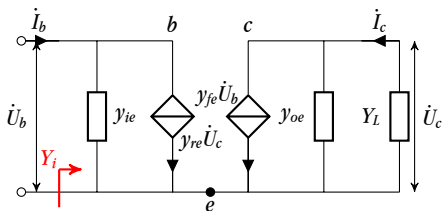
② 输出电路负载导纳  $Y_L$  对输入电路的影响  $Y_i'$



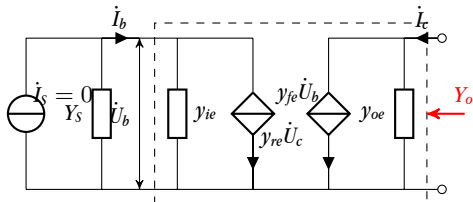


## ① 放大器调试困难

由于  $y_{re}$  的存在使得放大器的输入和输出导纳分别与负载和信号源有关



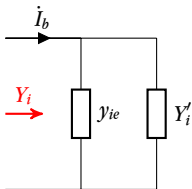
放大器输入导纳： $Y_i = y_{ie} + Y'_i = y_{ie} + \frac{-y_{fe}y_{re}}{y_{oe} + Y_L}$



放大器输出导纳： $Y_o = y_{oe} + Y'_o = y_{oe} + \frac{-y_{fe}y_{re}}{y_{ie} + Y_S}$

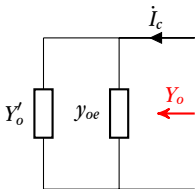
① 晶体管的输入导纳  $y_{ie}$

② 输出电路负载导纳  $Y_L$  对输入电路的影响  $Y'_i$



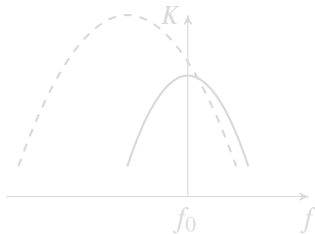
① 晶体管的输出导纳  $y_{oe}$

② 输入电路信号源导纳  $Y_S$  对输出电路的影响  $Y'_o$



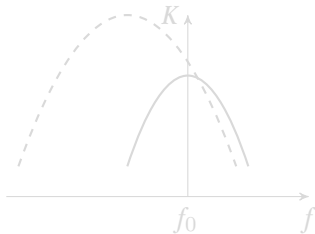
## ② 放大器工作不稳定

- ① 放大后的输出电压  $\dot{U}_o$  通过反向传输导纳  $y_{re}$ ，把一部分信号反馈到输入端。
- ② 条件合适时，放大器甚至不需要外加信号，也能够产生正弦或其他波形的振荡，正常的放大作用被破坏。
- ③ 即使不发生自激振荡，但由于内部反馈随频率而不同，对某些频率可能是正反馈，对某些频率可能是负反馈，反馈强弱也不相等，这样使得某些频率信号加强，某些频率信号削弱，从而影响放大器频率特性、通频带和选择性。



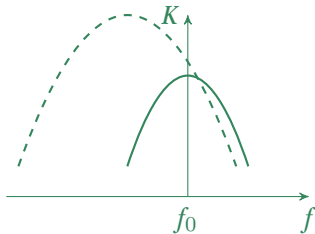
## ② 放大器工作不稳定

- ① 放大后的输出电压  $\dot{U}_o$  通过反向传输导纳  $y_{re}$ ，把一部分信号反馈到输入端。
- ② 条件合适时，放大器甚至不需要外加信号，也能够产生正弦或其他波形的振荡，正常的放大作用被破坏。
- ③ 即使不发生自激振荡，但由于内部反馈随频率而不同，对某些频率可能是正反馈，对某些频率可能是负反馈，反馈强弱也不相等，这样使得某些频率信号加强，某些频率信号削弱，从而影响放大器频率特性、通频带和选择性。



## ② 放大器工作不稳定

- ① 放大后的输出电压  $\dot{U}_o$  通过反向传输导纳  $y_{re}$ ，把一部分信号反馈到输入端。
- ② 条件合适时，放大器甚至不需要外加信号，也能够产生正弦或其他波形的振荡，正常的放大作用被破坏。
- ③ 即使不发生自激振荡，但由于内部反馈随频率而不同，对某些频率可能是正反馈，对某些频率可能是负反馈，反馈强弱也不相等，这样使得某些频率信号加强，某些频率信号削弱，从而影响放大器频率特性、通频带和选择性。



# 内容提要 I

- 1 单调谐放大器
  - 基本概念
  - 基本电路
  - 基本原理
  - 基本指标
  - 思考
- 2 调谐放大器的级联
  - 多级单调谐放大器
  - 参差调谐放大器
  - 双调谐回路放大器
  - 思考
- 3 集中选频小信号调谐放大器
  - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 4 晶体管高频等效电路及频率参数
  - 晶体管混合 II 型等效电路
  - 晶体管 Y 参数等效电路

## 内容提要 II

- 混合  $\Pi$  型等效电路参数与  $Y$  参数的关系
- 晶体管的高频放大能力及其频率参数

### 5 高频调谐放大器

- 基本电路
- 基本指标

### 6 高频调谐放大器的稳定性

- 晶体管内部反馈的有害影响
- 解决办法

## 晶体管

- 从晶体管本身减小反向传输导纳。
- $y_{re} = \frac{-j\omega C_{b'c}}{1+r_{bb'}(g_{b'e}+j\omega C_{b'e})}$  主要决定于集电极和基级间的电容  $C_{b'c}$ ，设计晶体管时应尽量减小  $C_{b'c}$ 。

## 电路

- 从电路上设法消除晶体管的反向作用，使其变为单向化。
- 单向化的方法：**中和法**和**失配法**。

## 晶体管

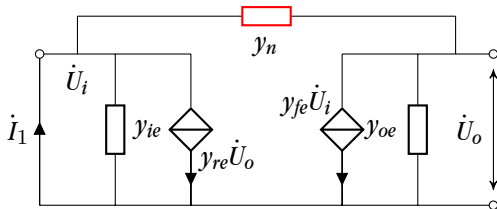
- 从晶体管本身减小反向传输导纳。
- $y_{re} = \frac{-j\omega C_{b'c}}{1+r_{bb'}(g_{b'e}+j\omega C_{b'e})}$  主要决定于集电极和基级间的电容  $C_{b'c}$ ，设计晶体管时应尽量减小  $C_{b'c}$ 。

## 电路

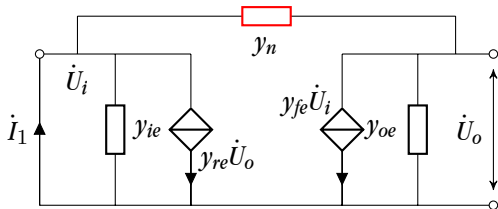
- 从电路上设法消除晶体的反向作用，使其变为单向化。
- 单向化的方法：**中和法**和**失配法**。



## 中和法

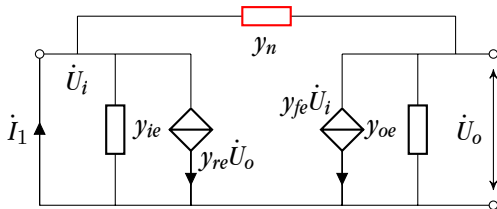


## 中和法



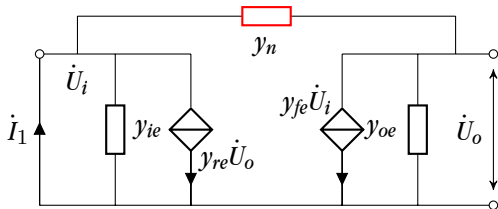
$$y_{ren} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_o} \Big|_{\dot{U}_i=0} = \frac{y_{re}\dot{U}_o - y_n\dot{U}_o}{\dot{U}_o} \Big|_{\dot{U}_i=0} = y_{re} - y_n$$

## 中和法



$$y_{ren} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_o} \Big|_{\dot{U}_i=0} = \frac{y_{re}\dot{U}_o - y_n\dot{U}_o}{\dot{U}_o} \Big|_{\dot{U}_i=0} = y_{re} - y_n = 0$$

## 中和法



$$y_{ren} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_o} \Big|_{\dot{U}_i=0} = \frac{y_{re}\dot{U}_o - y_n\dot{U}_o}{\dot{U}_o} \Big|_{\dot{U}_i=0} = y_{re} - y_n = 0$$

- $y_{re} = \frac{-j\omega C_{b'e}}{1+r_{bb'}(g_{b'e}+j\omega C_{b'e})}$  与频率有关，要实现放大电路单向化，必须使  $y_n$  与  $y_{re}$  频率特性相同。
- 但不可能使  $y_n$  与  $y_{re}$  相同，实际电路中只能在一个频率点起到中和作用。
- 因此中和法不能在一个频段满足实际需要。
- 中和电路应该是电阻和电容构成的网络，这样设计和调整都比较麻烦。
- 目前仅在收音机中采用中和电路方法。

## 失配法

- ① 信号源内阻不与晶体管输入阻抗匹配；
- ② 晶体管输出端的负载阻抗不与本级晶体管的输出阻抗匹配。

## 失配法

- ① 信号源内阻不与晶体管输入阻抗匹配；

$$Y_o = y_{oe} - \frac{y_{fe}y_{re}}{y_{ie} + Y_S} \stackrel{Y_S \ll y_{ie}}{\approx} y_{oe} - \frac{y_{fe}y_{re}}{y_{ie}}$$

- ② 晶体管输出端的负载阻抗不与本级晶体管的输出阻抗匹配。

## 失配法

- ① 信号源内阻不与晶体管输入阻抗匹配；

$$Y_o = y_{oe} - \frac{y_{fe}y_{re}}{y_{ie} + Y_S} \stackrel{Y_S \ll y_{ie}}{\approx} y_{oe} - \frac{y_{fe}y_{re}}{y_{ie}}$$

- ② 晶体管输出端的负载阻抗不与本级晶体管的输出阻抗匹配。

$$Y_i = y_{ie} - \frac{y_{fe}y_{re}}{y_{oe} + Y_L} \stackrel{Y_L \text{很大}}{\approx} y_{ie}$$

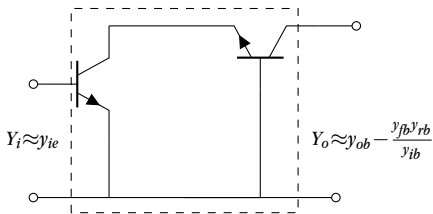
# 失配法

- ① 信号源内阻不与晶体管输入阻抗匹配；

$$Y_o = y_{oe} - \frac{y_{fe}y_{re}}{y_{ie} + Y_S} \quad Y_S \ll y_{ie} \approx y_{oe} - \frac{y_{fe}y_{re}}{y_{ie}}$$

- ② 晶体管输出端的负载阻抗不与本级晶体管的输出阻抗匹配。

$$Y_i = y_{ie} - \frac{y_{fe}y_{re}}{y_{oe} + Y_L} \quad Y_L \text{很大} \approx y_{ie}$$



共射—共基级联电路



