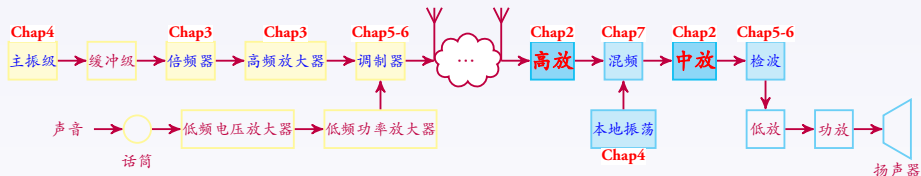


课程主要内容



- 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

小信号调谐放大器

郑海永

选课号：0202004 课程号：071502101211

上课时间地点：周 1/34 节/7108 周 4/12 节/7108

中国海洋大学 电子工程系

2012 年 10 月



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

- 1 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
- 2 晶体管高频等效电路及频率参数
 - 晶体管混合 Π 型等效电路
 - 晶体管 Y 参数等效电路
 - 混合 Π 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
- 3 高频调谐放大器
 - 基本电路
 - 基本指标
- 4 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

- 1 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
- 2 晶体管高频等效电路及频率参数
 - 晶体管混合 Π 型等效电路
 - 晶体管 Y 参数等效电路
 - 混合 Π 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
- 3 高频调谐放大器
 - 基本电路
 - 基本指标
- 4 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

- 1 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
- 2 晶体管高频等效电路及频率参数
 - 晶体管混合 Π 型等效电路
 - 晶体管 Y 参数等效电路
 - 混合 Π 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
- 3 高频调谐放大器
 - 基本电路
 - 基本指标
- 4 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

- 1 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
- 2 晶体管高频等效电路及频率参数
 - 晶体管混合 Π 型等效电路
 - 晶体管 Y 参数等效电路
 - 混合 Π 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
- 3 高频调谐放大器
 - 基本电路
 - 基本指标
- 4 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

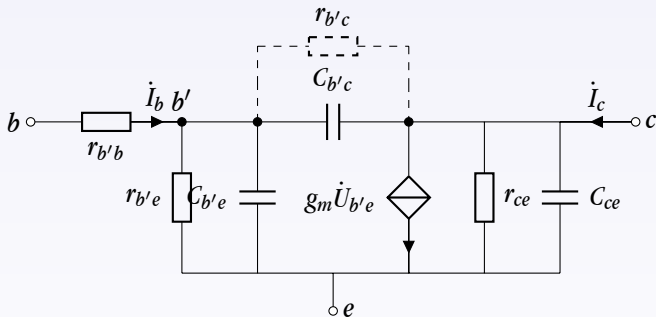
分析计算简便，比较抽象。

b参数等效电路 低频电路

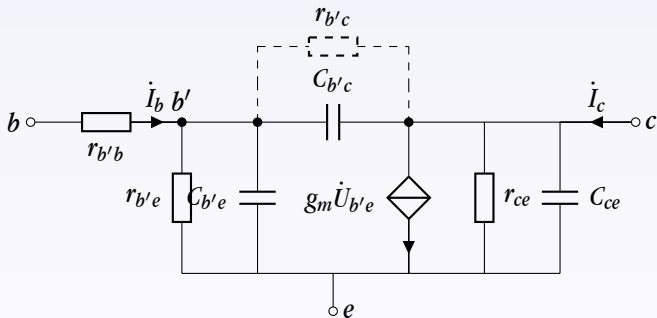
Y参数等效电路 高频调谐电路

内容提要

- 1 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
- 2 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
 - 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
- 3 高频调谐放大器
 - 基本电路
 - 基本指标
- 4 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

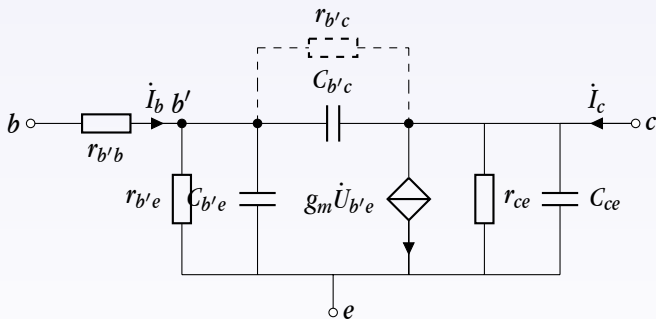


- b 、 c 、 e 三点代表晶体管基级、集电极和发射极三个电极的外部端子， b' 代表设想的基级内部端子。
- **混合 II 型**：晶体管 b' 、 c 、 e 三个电极用一个 II 型电路等效，而由 b 至 b' 又串联一个基级体电阻 $r_{bb'}$ 。

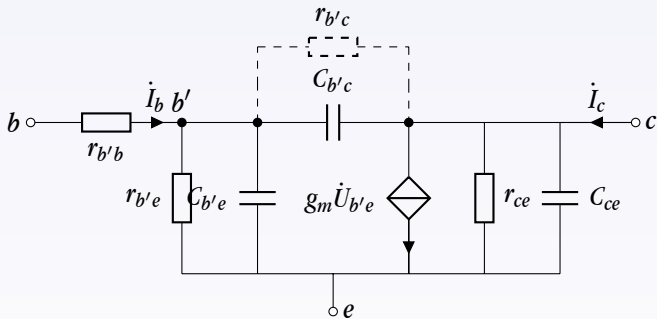


- $r_{b'e}$ 是发射结的结电阻。数值比较小，一般几百欧。

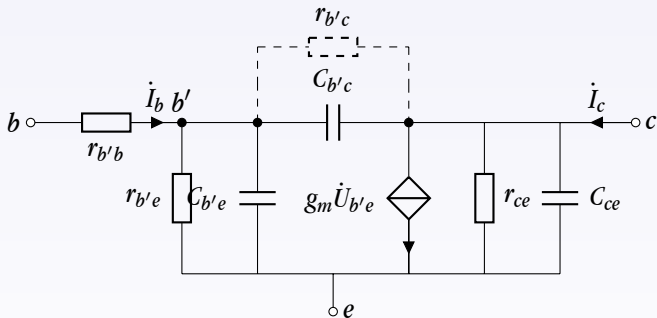
$$r_{b'e} = (1 + \beta_0) \frac{26}{I_e} (\Omega)$$



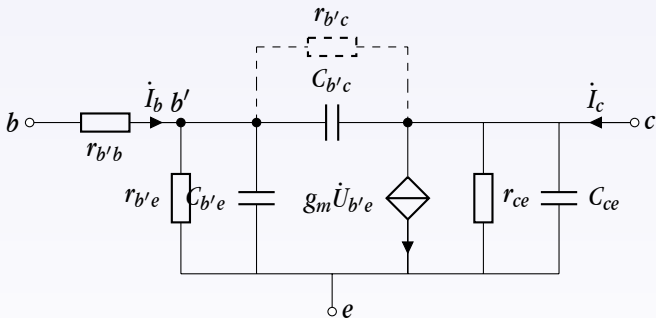
- $r_{b'c}$ 是集电极电阻。较大，约为 $10k\Omega \sim 10M\Omega$ ，一般可忽略。



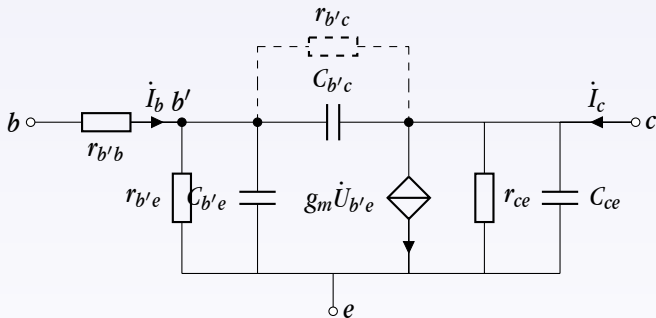
- $C_{b'e}$ 是发射结电容。随工作点电流增大而增大，数值范围为 $20\text{pF} \sim 0.01\mu\text{F}$ 。



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

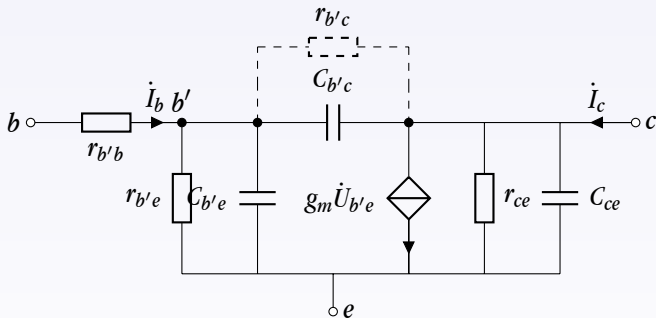


- $r_{bb'}$ 是基极体电阻。低频小功率管可达几百欧，高频晶体管一般 $15 \sim 50\Omega$ 。

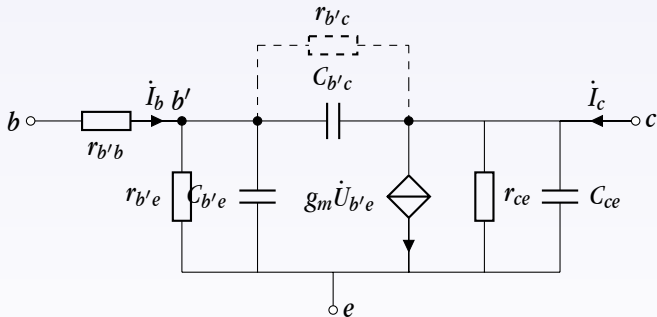


- 电流源 $g_m \dot{U}_{b'e}$ 代表晶体管的放大作用。 g_m 的大小说明了发射结电压对集电结电流的控制能力， g_m 越大，控制能力越强。

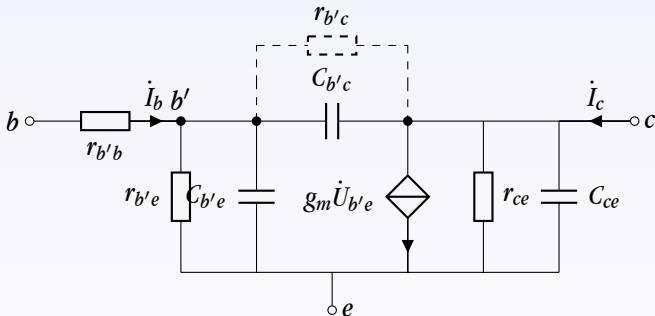
$$g_m = \frac{\beta_0}{r_{b'e}} = \frac{\beta_0}{(1 + \beta_0) \frac{26}{I_e}} = \frac{\beta_0}{1 + \beta_0} \frac{I_e}{26} \approx \frac{I_e}{26}$$



- 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 $30 \sim 50k\Omega$ 。

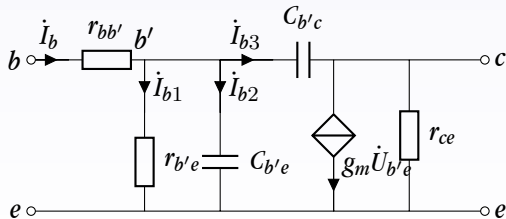
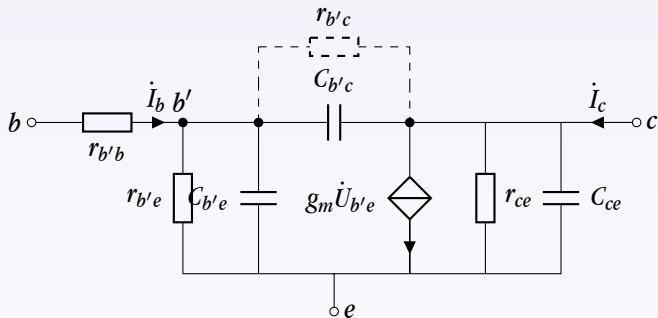


- C_{ce} 是集—射级电容。通常很小，一般 $2 \sim 10\text{pF}$ 之间。



- 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。

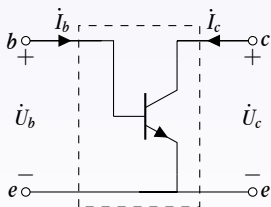
晶体管混合 II 型等效电路



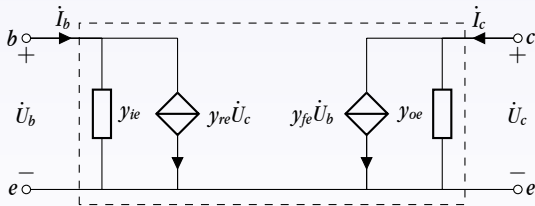
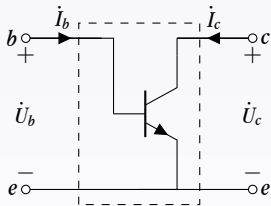
内容提要

- 1 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
- 2 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
 - 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
- 3 高频调谐放大器
 - 基本电路
 - 基本指标
- 4 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。

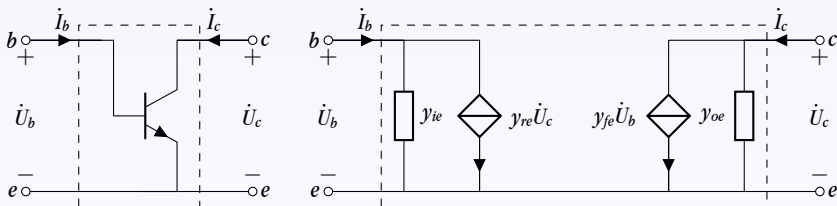


- 撇开晶体管内部的电路结构，只从外部研究它的作用，晶体管看作有源线性四端网络。
- 用网络参数构成等效电路确定晶体管的输入端和输出端的电流—电压关系。



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

- 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。

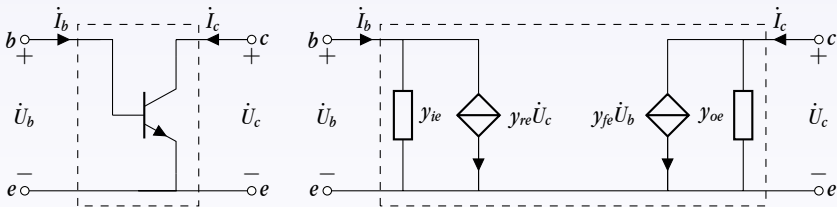


$$\begin{cases} \dot{I}_b = y_{ie}\dot{U}_b + y_{re}\dot{U}_c \\ \dot{I}_c = y_{fe}\dot{U}_b + y_{oe}\dot{U}_c \end{cases}$$

$$\dot{U}_c = 0 \quad \Rightarrow \quad y_{ie} = \left. \frac{\dot{I}_b}{\dot{U}_b} \right|_{\dot{U}_c=0}$$

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。

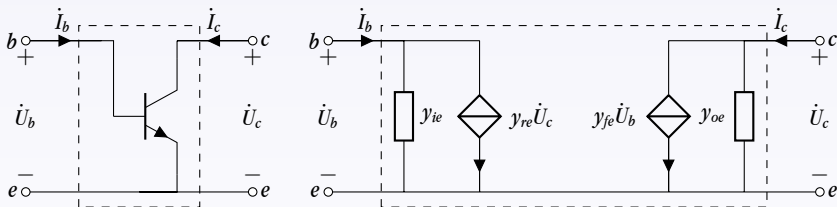


$$\begin{cases} \dot{I}_b = y_{ie}\dot{U}_b + y_{re}\dot{U}_c \\ \dot{I}_c = y_{fe}\dot{U}_b + y_{oe}\dot{U}_c \end{cases}$$

$$\dot{U}_c = 0 \Rightarrow y_{fe} = \left. \frac{\dot{I}_c}{\dot{U}_b} \right|_{\dot{U}_c=0}$$

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。

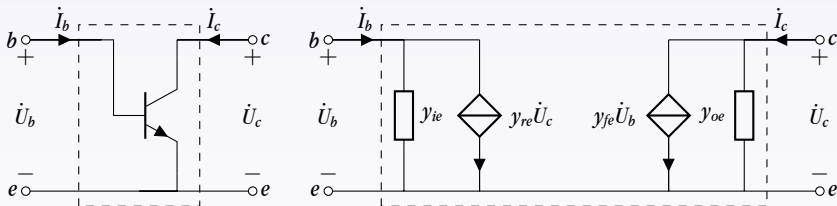


$$\begin{cases} \dot{I}_b = y_{ie}\dot{U}_b + y_{re}\dot{U}_c \\ \dot{I}_c = y_{fe}\dot{U}_b + y_{oe}\dot{U}_c \end{cases}$$

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

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。



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

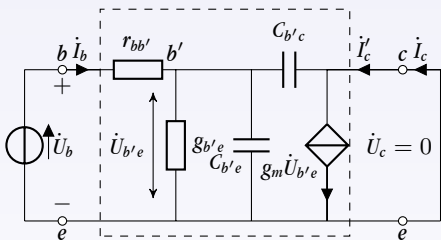
$$\dot{U}_b = 0 \Rightarrow y_{oe} = \left. \frac{\dot{I}_c}{\dot{U}_c} \right|_{\dot{U}_b=0}$$

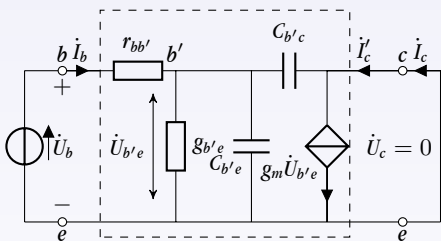
输出导纳 y_{oe} 是输入交流短路时的输出电流与输出电压之比，说明输出电压对输出电流的控制作用。

内容提要

- 1 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
- 2 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
 - 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
- 3 高频调谐放大器
 - 基本电路
 - 基本指标
- 4 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

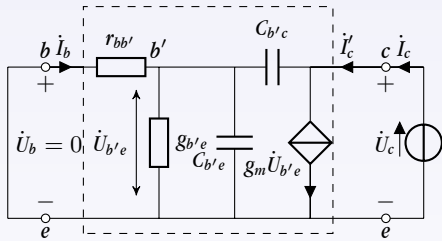
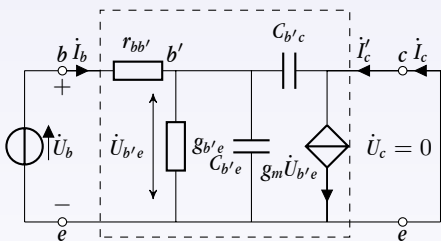
混合 Π 型电路参数 $\Rightarrow Y$ 参数

混合 Π 型等效电路参数与 Y 参数的关系

混合 Π 型等效电路参数与 Y 参数的关系

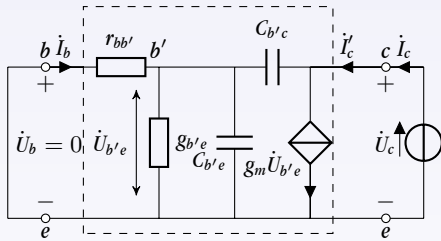
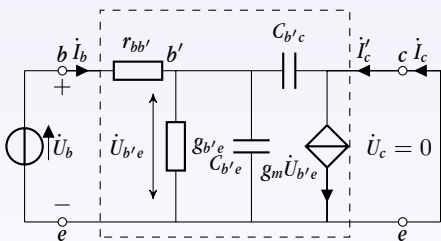
$$y_{ie} = \frac{g_{b'e} + j\omega (C_{b'e} + C_{b'c})}{1 + r_{bb'} [g_{b'e} + j\omega (C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

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

混合 Π 型等效电路参数与 Y 参数的关系

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

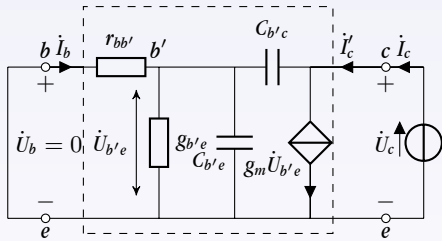
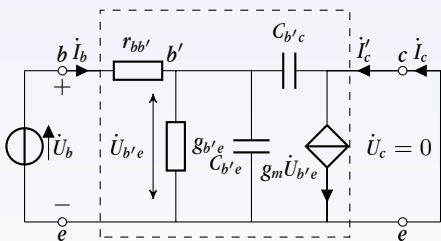
$$y_{je} = \frac{\dot{I}_c}{\dot{U}_b} \Big|_{\dot{U}_c=0} = \frac{g_m - j\omega C_{b'c}}{1 + r_{bb'}[g_{b'e} + j\omega(C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

混合 Π 型等效电路参数与 Y 参数的关系

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

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

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

混合 Π 型等效电路参数与 Y 参数的关系

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

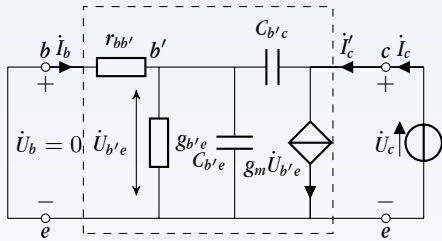
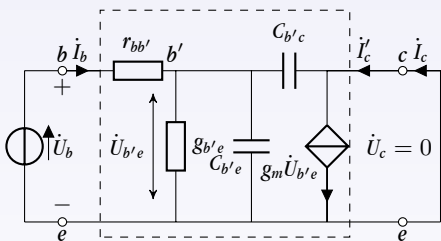
$$y_{fe} = \frac{\dot{I}_c}{\dot{U}_b} \Big|_{\dot{U}_c=0} = \frac{g_m - j\omega C_{b'c}}{1 + r_{bb'} [g_{b'e} + j\omega(C_{b'e} + C_{b'c})]}$$

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

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

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

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

混合 Π 型等效电路参数与 Y 参数的关系

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

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

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

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

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

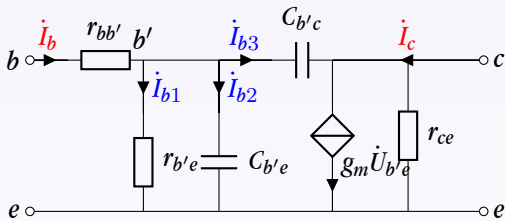
$$y_{fe} = \frac{g_m}{1 + r_{bb'} (g_{b'e} + j\omega C_{b'e})}$$

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

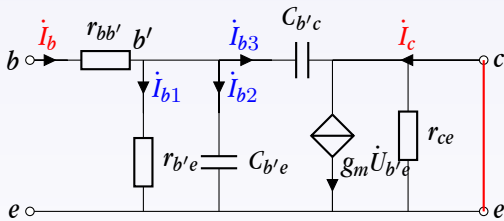
内容提要

- 1 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
- 2 晶体管高频等效电路及频率参数
 - 晶体管混合 Π 型等效电路
 - 晶体管 Y 参数等效电路
 - 混合 Π 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
- 3 高频调谐放大器
 - 基本电路
 - 基本指标
- 4 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

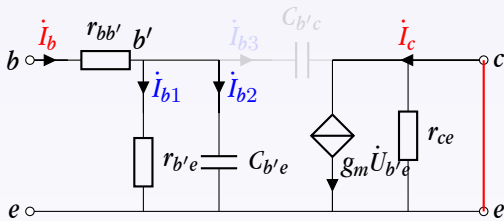


晶体管的高频放大能力



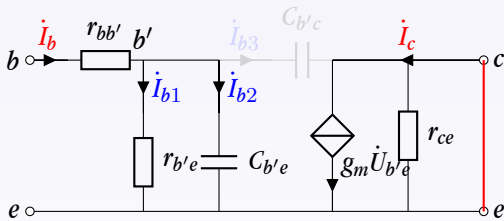
$$\beta = \frac{\dot{I}_c}{\dot{I}_b} \Big|_{\dot{U}_{ce}=0}$$

晶体管的高频放大能力



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

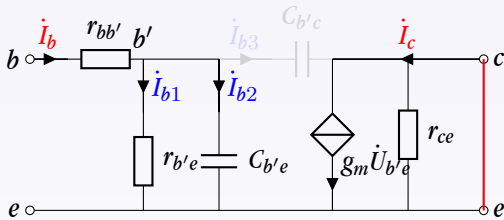
晶体管的高频放大能力



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

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

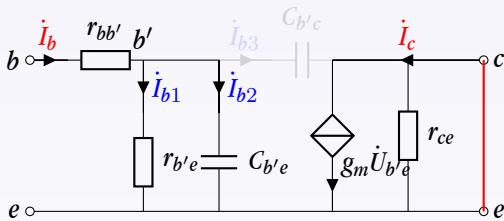
晶体管的高频放大能力



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

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

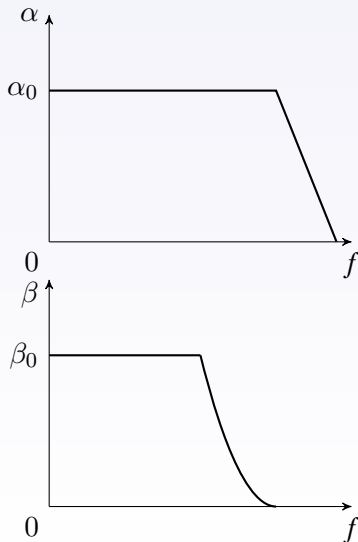
晶体管的高频放大能力



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

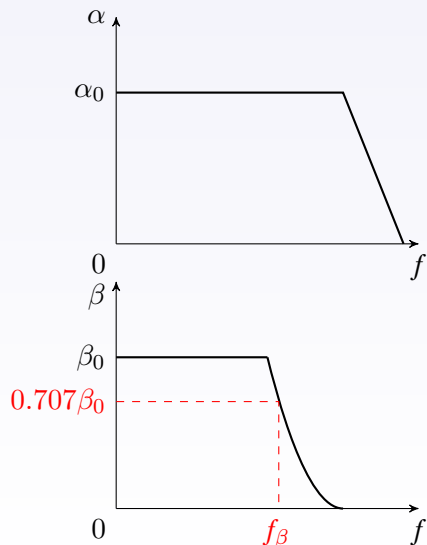
$$\dot{I}_c = g_m \dot{U}_{b'e} = \frac{\beta_0}{r_{b'e}} \dot{U}_{b'e} = \beta_0 \frac{\dot{U}_{b'e}}{r_{b'e}} = \beta_0 \dot{I}_{b1}$$

晶体管高频放大的频率参数



- ① β 截止频率 $f_\beta = \frac{1}{2\pi C_{b'e} r_{b'e}}$ 是 β 下降到 $0.707\beta_0$ 时的频率。
- ② 特征频率 f_T 是 β 下降到 1 时的频率。
- ③ α 截止频率 f_α 是 α 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 β 截止频率 $f_{\beta} = \frac{1}{2\pi C_{b'e} r_{b'e}}$ 是 β 下降到 $0.707\beta_0$ 时的频率。

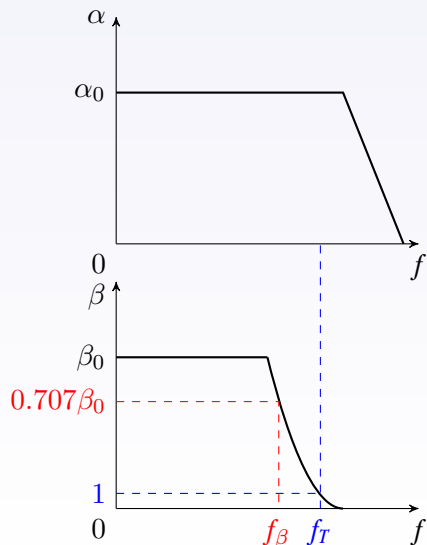
② 特征频率 f_T 是 β 下降到 1 时的频率。

③ α 截止频率 f_{α} 是 α 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 β 截止频率 $f_\beta = \frac{1}{2\pi C_{b'e} r_{b'e}}$ 是 β 下降到 $0.707\beta_0$ 时的频率。

② 特征频率 f_T 是 β 下降到 1 时的频率。

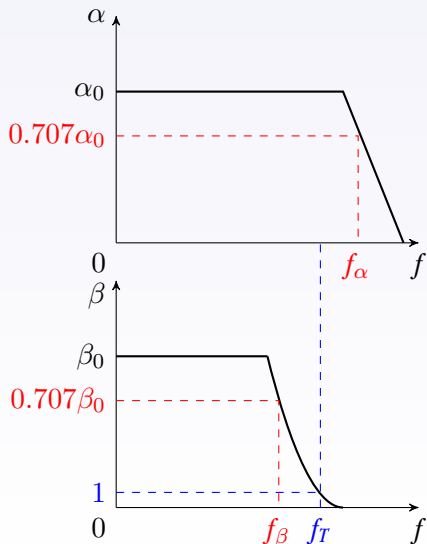
③ α 截止频率 f_α 是 α 下降到 $0.707\alpha_0$ 时的频率。

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

② 特征频率 f_T 是 β 下降到 1 时的频率。

③ α 截止频率 f_α 是 α 下降到 $0.707\alpha_0$ 时的频率。

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

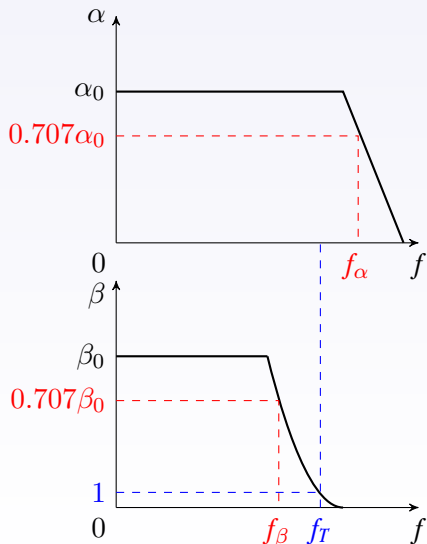
$$\beta = \beta_0 \frac{i_{b1}}{i_b} = \frac{\beta_0}{1 + j\omega C_{b'e} r_{b'e}} = \frac{\beta_0}{1 + j\frac{f}{f_\beta}}$$

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

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

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

晶体管高频放大的频率参数



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

② 特征频率 f_T 是 β 下降到 1 时的频率。

③ α 截止频率 f_α 是 α 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

- 1 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
- 2 晶体管高频等效电路及频率参数
 - 晶体管混合 Π 型等效电路
 - 晶体管 Y 参数等效电路
 - 混合 Π 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
- 3 高频调谐放大器
 - 基本电路
 - 基本指标
- 4 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。

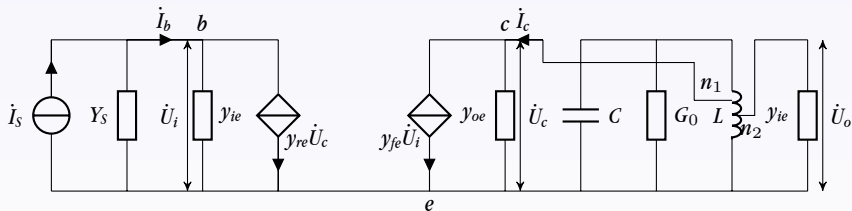
单调谐放大器 工作频率几百千赫到几兆赫

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

- 1 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
- 2 晶体管高频等效电路及频率参数
 - 晶体管混合 Π 型等效电路
 - 晶体管 Y 参数等效电路
 - 混合 Π 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
- 3 高频调谐放大器
 - 基本电路
 - 基本指标
- 4 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

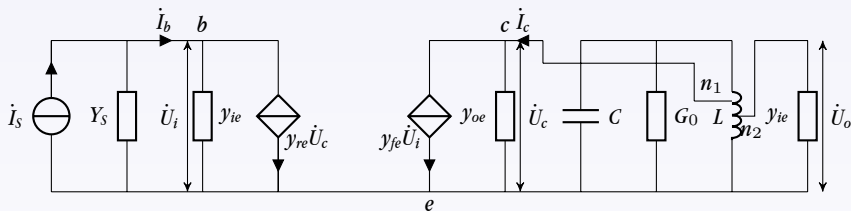
单级单调谐回路放大器的高频等效电路



内容提要

- 1 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
- 2 晶体管高频等效电路及频率参数
 - 晶体管混合 Π 型等效电路
 - 晶体管 Y 参数等效电路
 - 混合 Π 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
- 3 高频调谐放大器
 - 基本电路
 - 基本指标
- 4 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

- 1 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
- 2 晶体管高频等效电路及频率参数
 - 晶体管混合 Π 型等效电路
 - 晶体管 Y 参数等效电路
 - 混合 Π 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
- 3 高频调谐放大器
 - 基本电路
 - 基本指标
- 4 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

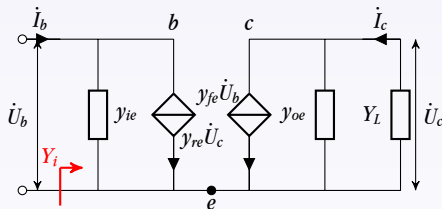
- 1 集中选频小信号调谐放大器
 - 集中滤波与集中放大相结合的调谐放大器
- 2 晶体管高频等效电路及频率参数
 - 晶体管混合 Π 型等效电路
 - 晶体管 Y 参数等效电路
 - 混合 Π 型等效电路参数与 Y 参数的关系
 - 晶体管的高频放大能力及其频率参数
- 3 高频调谐放大器
 - 基本电路
 - 基本指标
- 4 高频调谐放大器的稳定性
 - 晶体管内部反馈的有害影响
 - 解决办法

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

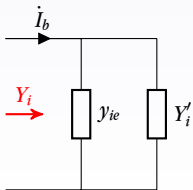
由于 y_{re} 的存在使得放大器的输入和输出导纳分别与负载和信号源有关



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

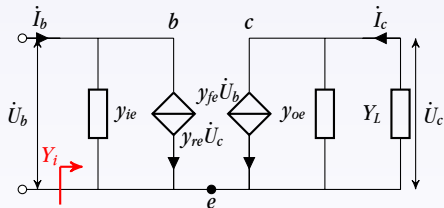
① 晶体管的输入导纳 y_{ie}

② 输出电路负载导纳 Y_L 对输入电路的影响 Y_i'

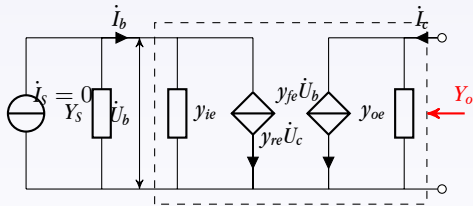


① 放大器调试困难

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

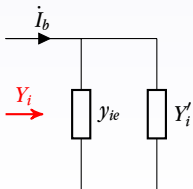


放大器输入导纳： $Y_i = y_{ie} + Y'_i = y_{ie} + \frac{-y_{fe}y_{re}}{y_{oe} + Y_L}$



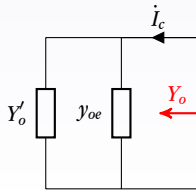
放大器输出导纳： $Y_o = y_{oe} + Y'_o = y_{oe} + \frac{-y_{fe}y_{re}}{y_{ie} + Y_S}$

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

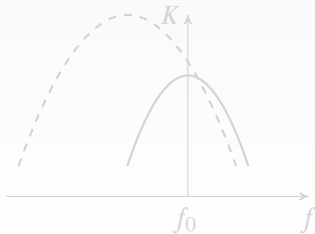
② 放大器工作不稳定

- 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。



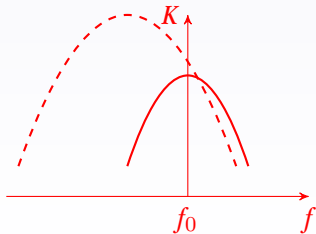
② 放大器工作不稳定

- 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

- 1 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
- 2 晶体管高频等效电路及频率参数
 - 晶体管混合 Π 型等效电路
 - 晶体管 Y 参数等效电路
 - 混合 Π 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
- 3 高频调谐放大器
 - 基本电路
 - 基本指标
- 4 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**。

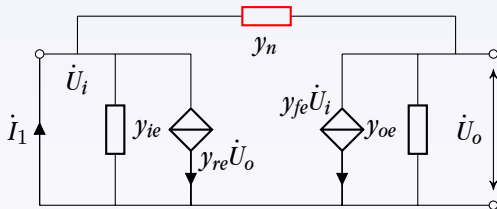
晶体管

- 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 $C_{b'c}$ 。

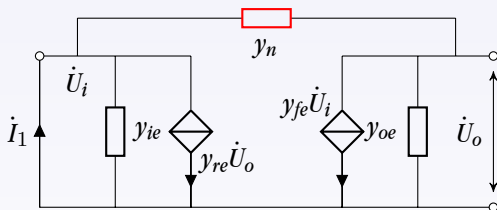
电路

- 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

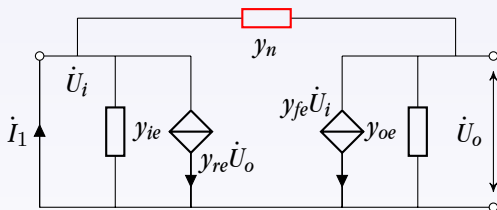


中和法



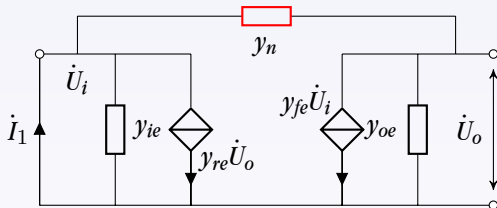
$$y_{ren} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_o} \Big|_{\dot{U}_i=0} = \frac{y_{re}\dot{U}_o - y_n\dot{U}_o}{\dot{U}_o} \Big|_{\dot{U}_i=0} = y_{re} - y_n$$

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。

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

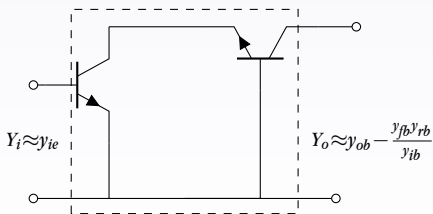
失配法

- 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

