

第2章 小信号调谐放大器

2.1 概述

2.2 LC谐振回路

2.3 单调谐放大器

2.4 晶体管高频等效电路及频率参数

2.5 高频调谐放大器

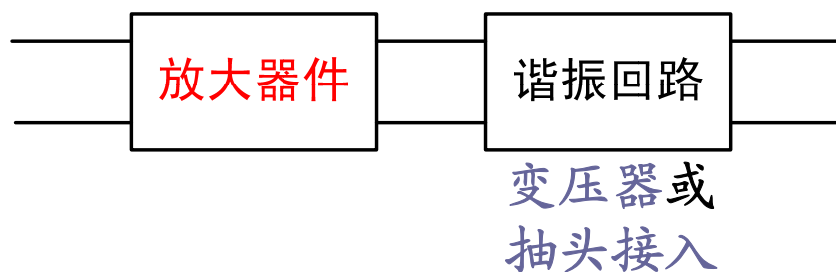
2.6 调谐放大器的级联

2.7 高频调谐放大器的稳定性

2.8 集中选频小信号调谐放大器

2. 3单调谐放大器

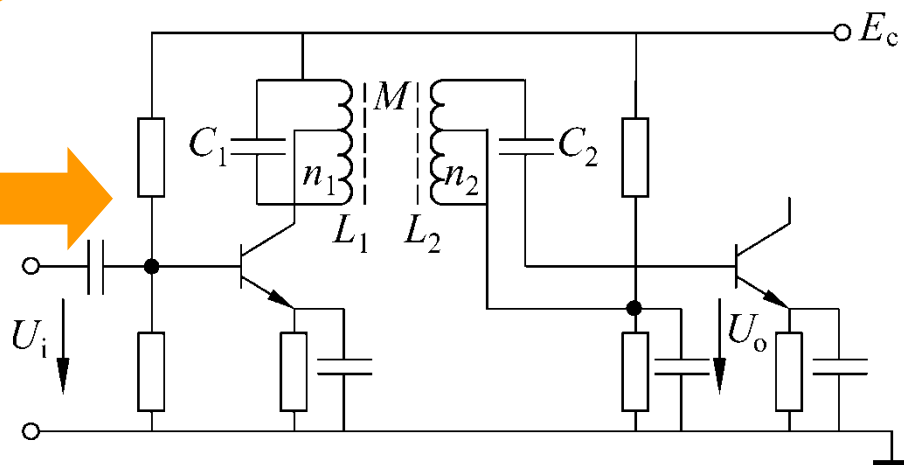
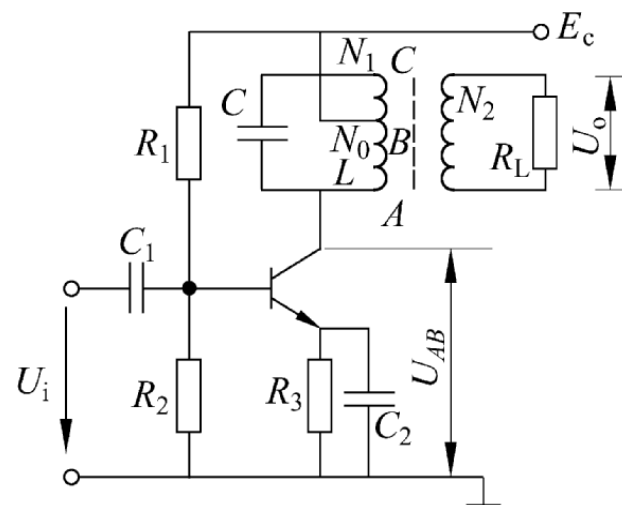
一、调谐放大器的组成



谐振回路

单调谐 (LC 并联)

双调谐 (耦合谐振)



二、电路分析（以单调谐放大器为例）

1. 电路组成

① R_1 、 R_2 、 R_3 为分压式偏置电阻

② C_1 为耦合电容、 C_2 为旁路电容

③ R_L 为负载电阻

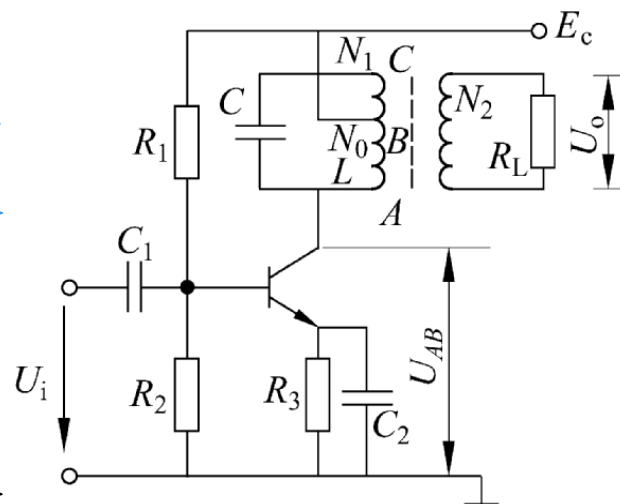
④ L 和 C 组成并联谐振回路

⑤ 谐振回路和晶体管的输出端采

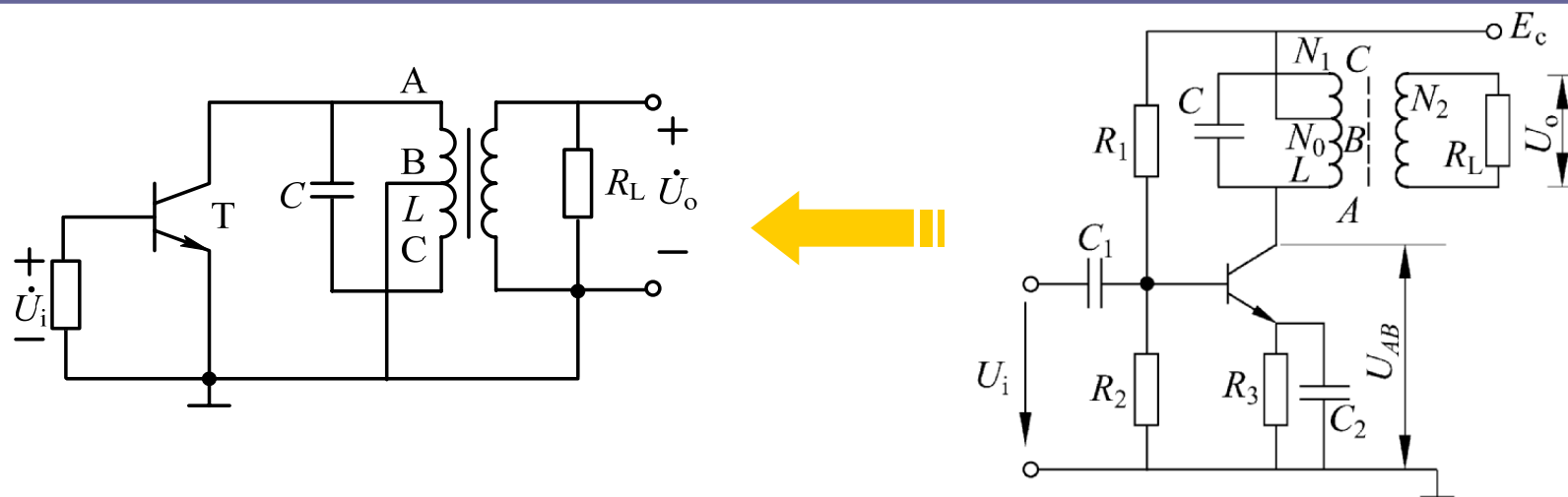
用自耦变压器连接，以减轻晶体管输出电阻对谐振回路 Q 值的影响；谐振回路和负载采用紧耦合的变压器连接

定义

$$n_1 = \frac{N_0}{N_1}, n_2 = \frac{N_2}{N_1} \text{ 分别为晶体管、负载接入系数}$$



等效电路



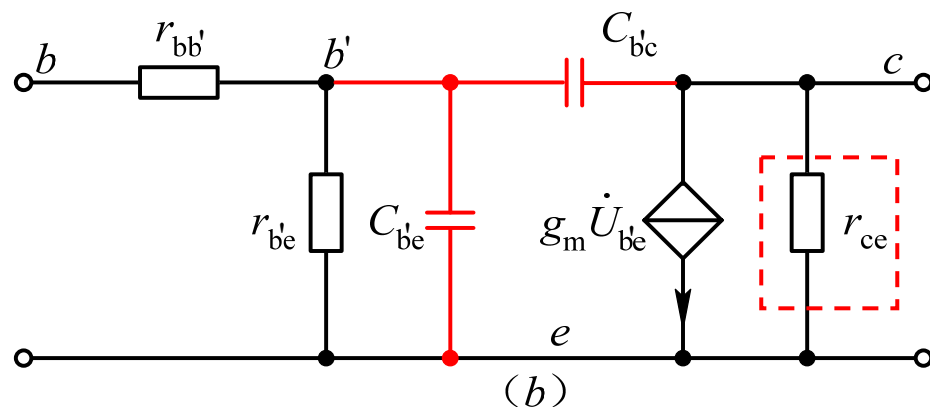
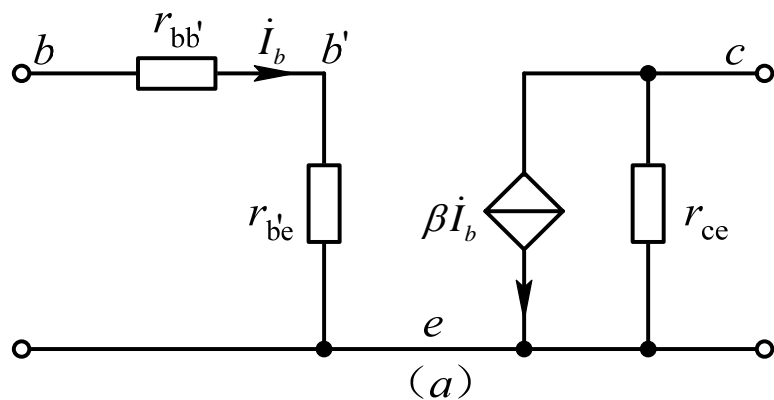
核心部分：①晶体管
②LC并联谐振回路

2. 4晶体管的高频等效电路及频率参数

思路：运用线性元件组成的网络模型来模拟晶体管

建立方法：①物理参数等效电路； ②网络模型（双口网络）

一、混合 Π 型等效电路（P25）



$r_{bb'}$ 基区体电阻，约 十几 Ω ~几十 Ω $r_{b'e}$ 发射结电阻，几百欧

$C_{b'c}$ ：集电结电容，约几个皮法；

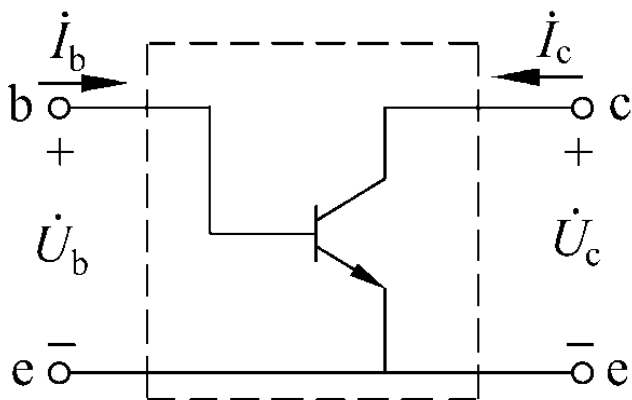
$C_{b'e}$ ：发射结电容，约10皮法到几百皮法；

g_m ：晶体管跨导，几十毫西门子以下；

$$g_m = \frac{\beta_0}{r'_{be}} = \frac{I_E}{26}$$

二、晶体管Y参数等效电路

把晶体管看成一个线性有源四端网络



Y参数方程为：

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

正向传输导纳； y_{fe} 越大，放大能力越强

y_{re} ——反向传输导纳，反映了放大器内部反馈作用，易使放大器工作不稳定，实际中应尽量减小

y_{oe} ——输出导纳

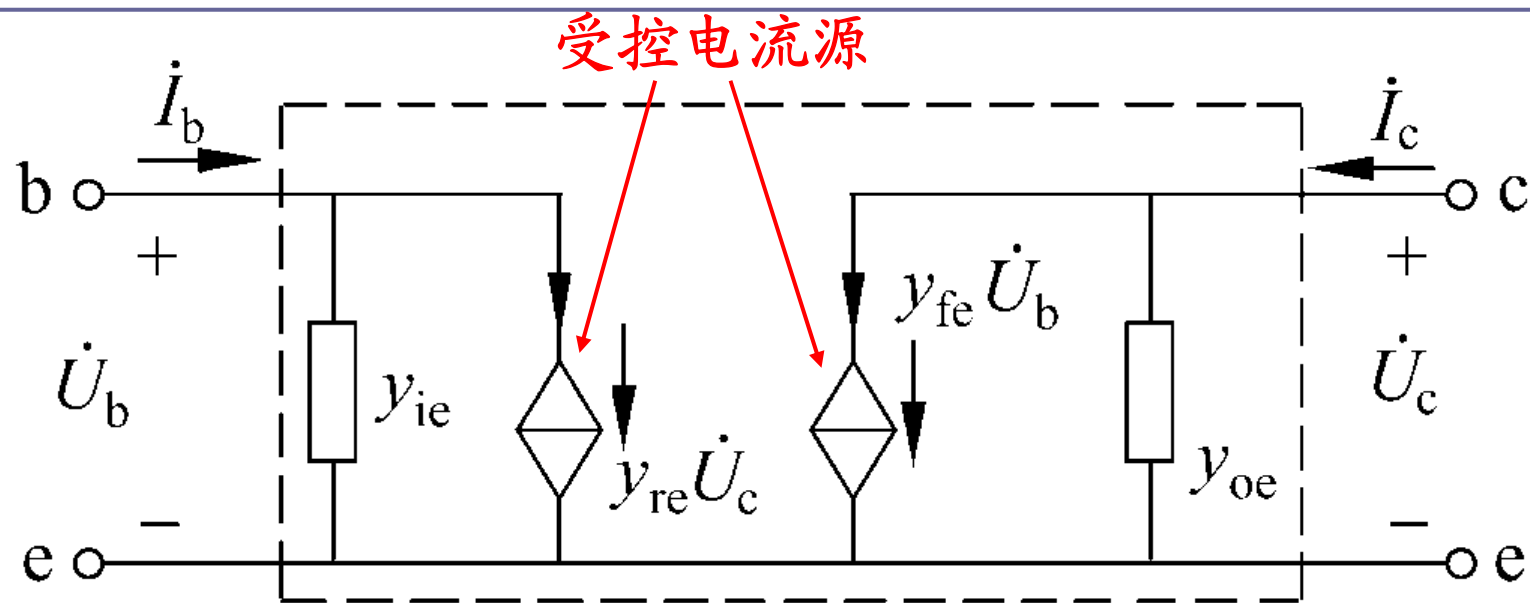
$$y_{ie} = \left. \frac{\dot{I}_b}{\dot{U}_{be}} \right|_{\dot{U}_{ce}=0} \quad y_{fe} = \left. \frac{\dot{I}_c}{\dot{U}_{be}} \right|_{\dot{U}_{ce}=0}$$

$$y_{re} = \left. \frac{\dot{I}_b}{\dot{U}_{ce}} \right|_{\dot{U}_{be}=0} \quad y_{oe} = \left. \frac{\dot{I}_c}{\dot{U}_{ce}} \right|_{\dot{U}_{be}=0}$$

二、晶体管Y参数等效电路

Y参数又称为短路导纳参数，即确定这四个参数时必须使某一个端口电压为零，也就是使该端口交流短路。

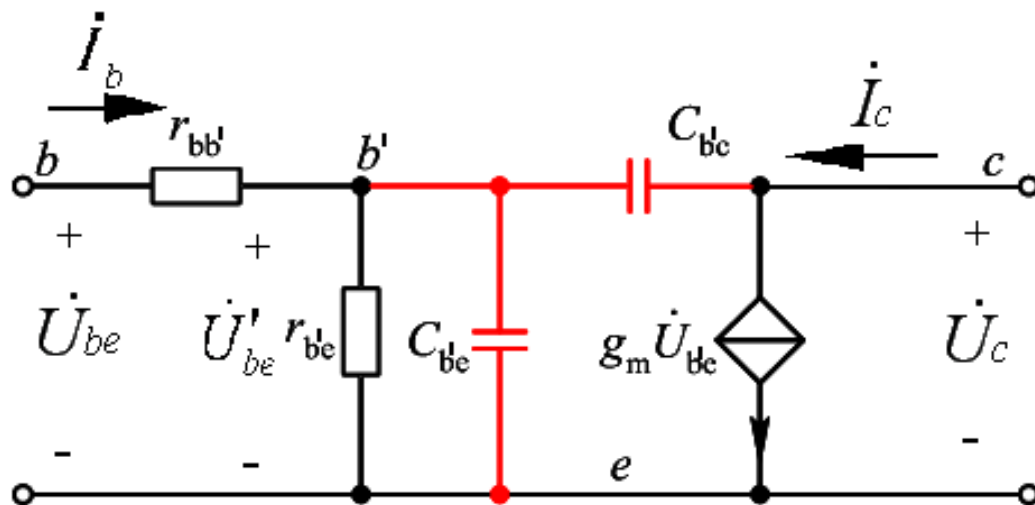
二、晶体管Y参数等效电路



Y参数方程为：

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

三、混合Π型等效电路参数与Y参数的关系



$$y_{b'e} = g_{b'e} + j\omega C_{b'e}$$

$$y_{b'c} = j\omega C_{b'c}$$

整理三式，消去 $\dot{U}_{b'e}$

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

$$\dot{I}_b = \frac{1}{r'_{bb}} \dot{U}_{be} - \frac{1}{r'_{bb}} \dot{U}'_{be}$$

$$0 = -\frac{1}{r'_{bb}} \dot{U}_{be} + \left(\frac{1}{r'_{bb}} + y_{b'e} + y_{b'c} \right) \dot{U}_{b'e} - y_{b'c} \dot{U}_{ce}$$

$$\dot{I}_c = g_m \dot{U}_{b'e} - y_{b'c} \dot{U}_{b'e} + y_{b'c} \dot{U}_{ce}$$

$$y_{ie} \quad y_{fe} \quad y_{re} \quad y_{oe}$$

P29式 (2-68) —— (2-71)

$$y_{ie} = g_{ie} + j\omega C_{ie}, \quad y_{oe} = g_{oe} + j\omega C_{oe}$$

$$y_{fe} = |y_{fe}| \angle \varphi_{fe}, \quad y_{re} = |y_{re}| \angle \varphi_{re}$$

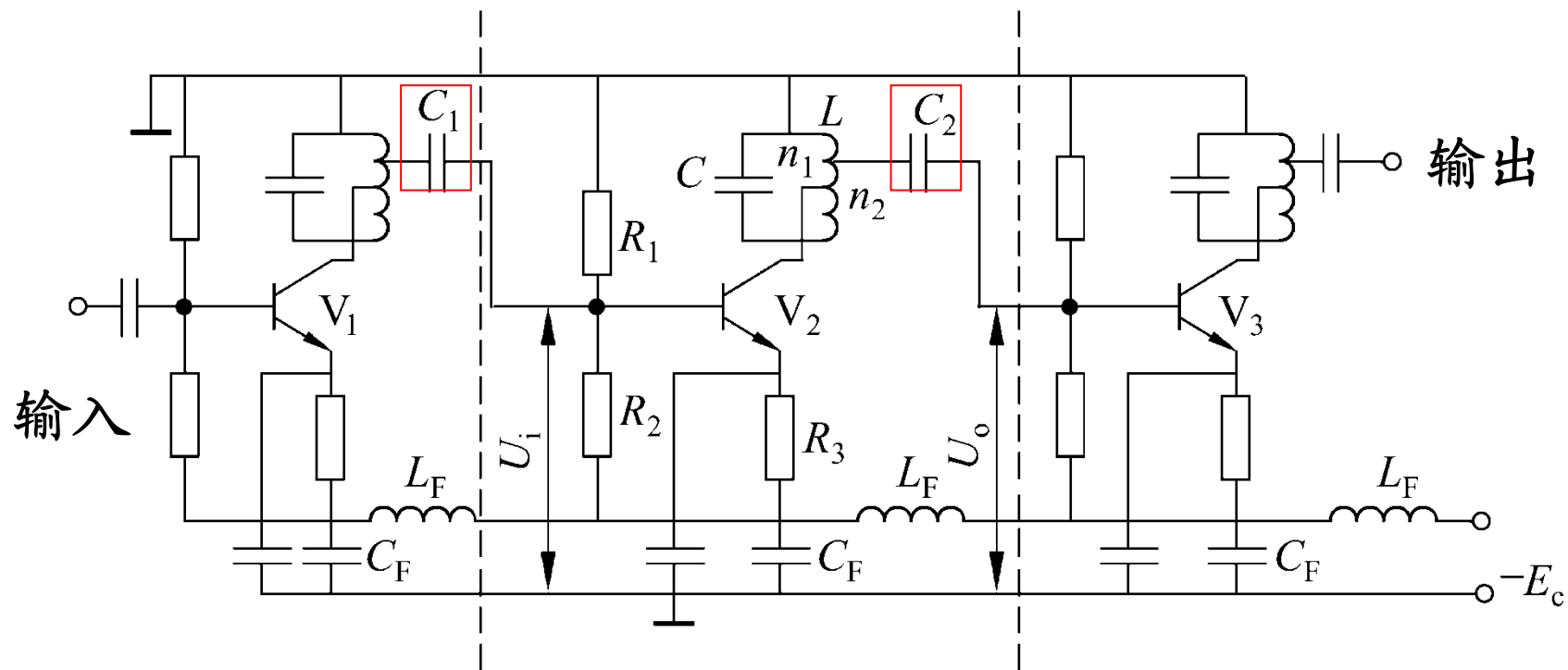
四个参数都是复数，并与 ω 有关

晶体三极管的Y参数可以通过直接测量得到。

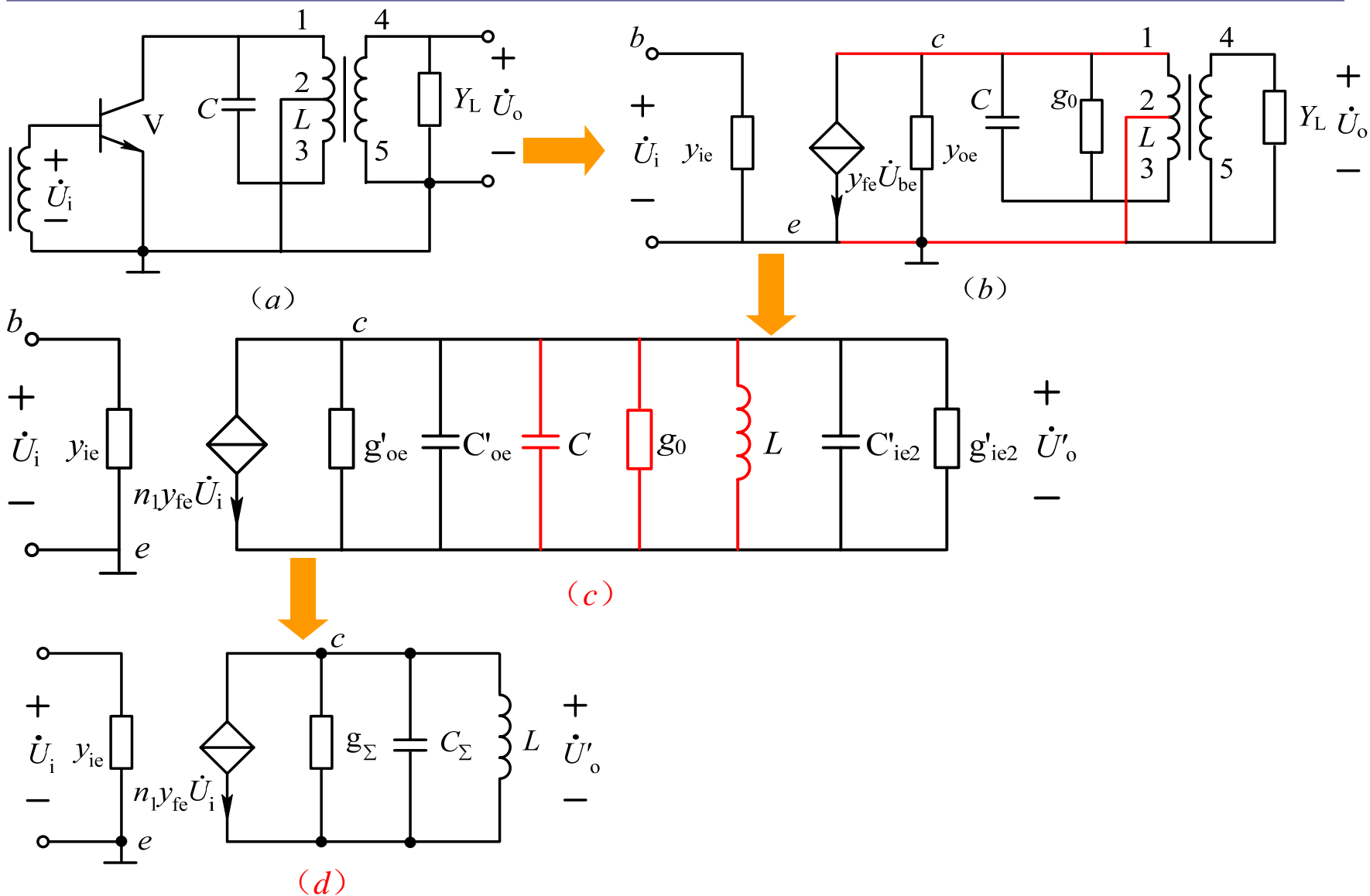
四、晶体管的高频放大能力及其频率参数

2. 5 高频调谐放大器

一、电路组成（图2-29）

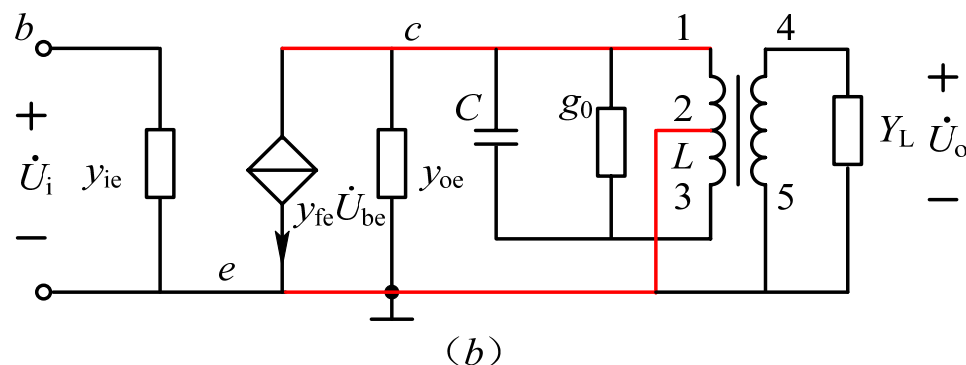


二、高频等效电路



晶体管接入系数 $n_1 = \frac{N_{1-2}}{N_{1-3}}$

负载导纳接入系数 $n_2 = \frac{N_{4-5}}{N_{1-3}}$

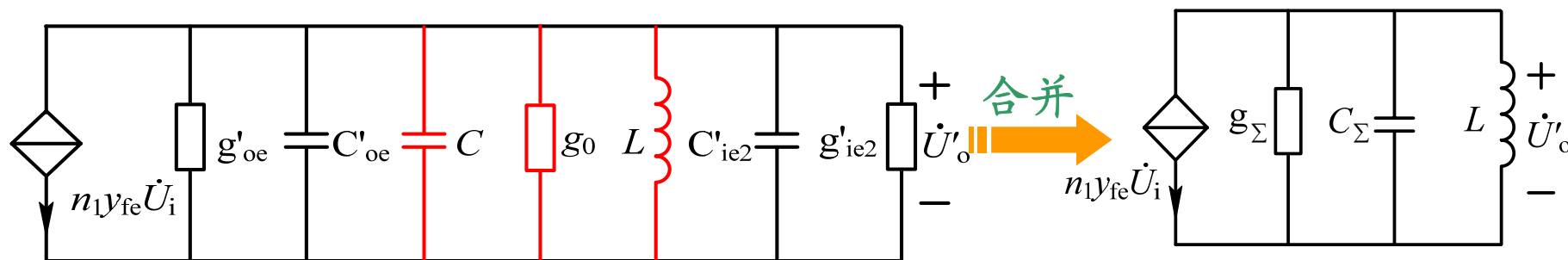


将输出电路所有元件参数均折合到LC两端：

电流源 $y_{fe} \dot{U}_i \rightarrow n_1 y_{fe} \dot{U}_i$

$y_{oe} \rightarrow y'_{oe} = n_1^2 y_{oe} = n_1^2 g_{oe} + j\omega n_1^2 C_{oe} = g'_{oe} + j\omega C'_{oe}$

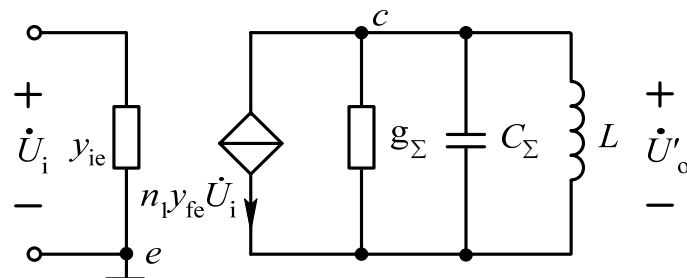
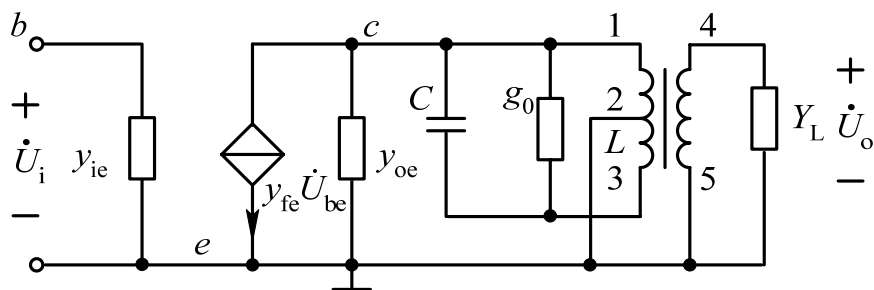
$y_{ie2}(Y_L) \rightarrow y'_{ie2} = n_2^2 y_{ie2} = n_2^2 g_{ie2} + j\omega n_2^2 C_{ie2} = g'_{ie2} + j\omega C'_{ie2}$



其中 $g_{\Sigma} = g_0 + n_1^2 g_{oe} + n_2^2 g_{ie2}$ $C_{\Sigma} = C + n_1^2 C_{oe} + n_2^2 C_{ie2}$

三、电路性能指标

1. 电压增益



$$\dot{U}_o = n_2 U'_o = \frac{-n_1 y_{fe} \dot{U}_i}{g_{\Sigma} + j\omega C_{\Sigma} + \frac{1}{j\omega L}} \cdot n_2$$

$$\dot{K}_V = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-n_1 n_2 y_{fe}}{g_{\Sigma} + j\omega C_{\Sigma} + \frac{1}{j\omega L}} = \frac{-n_1 n_2 y_{fe}}{g_{\Sigma} (1 + jQ_L \frac{2\Delta f}{f_0})}$$

讨论:

① \dot{K}_V 是工作频率 f 的函数;

② 当 $\Delta f = 0$ 时,

$$K_{V0} = \frac{-n_1 n_2 y_{fe}}{g_{\Sigma}} = \frac{-n_1 n_2 y_{fe}}{g_0 + n_1^2 g_{oe} + n_2^2 g_{ie2}}$$

“—”号表示输入和输出有 180° 的相位差。此外, y_{fe} 是一个复数, 它也有一个相角 φ_{fe} , 因此输入和输出之间的相位差不是 180° , 而是 $180^\circ + \varphi_{fe}$;

③ 当频率较低时, $\varphi_{fe} = 0$, \dot{U}_o 和 \dot{U}_i 的相位差才是 180° ;

④ \dot{K}_{V0} 与晶体管正向传输导纳 y_{fe} 成正比, 和回路的总电导 g_{Σ} 成反比;

⑤ \dot{K}_{V0} 与 n_1 、 n_2 之间的关系?

2. 通频带和选择性

$$\frac{\dot{K}_V}{\dot{K}_{V0}} = \frac{1}{1 + jQ_L \frac{2\Delta f}{f_0}}$$

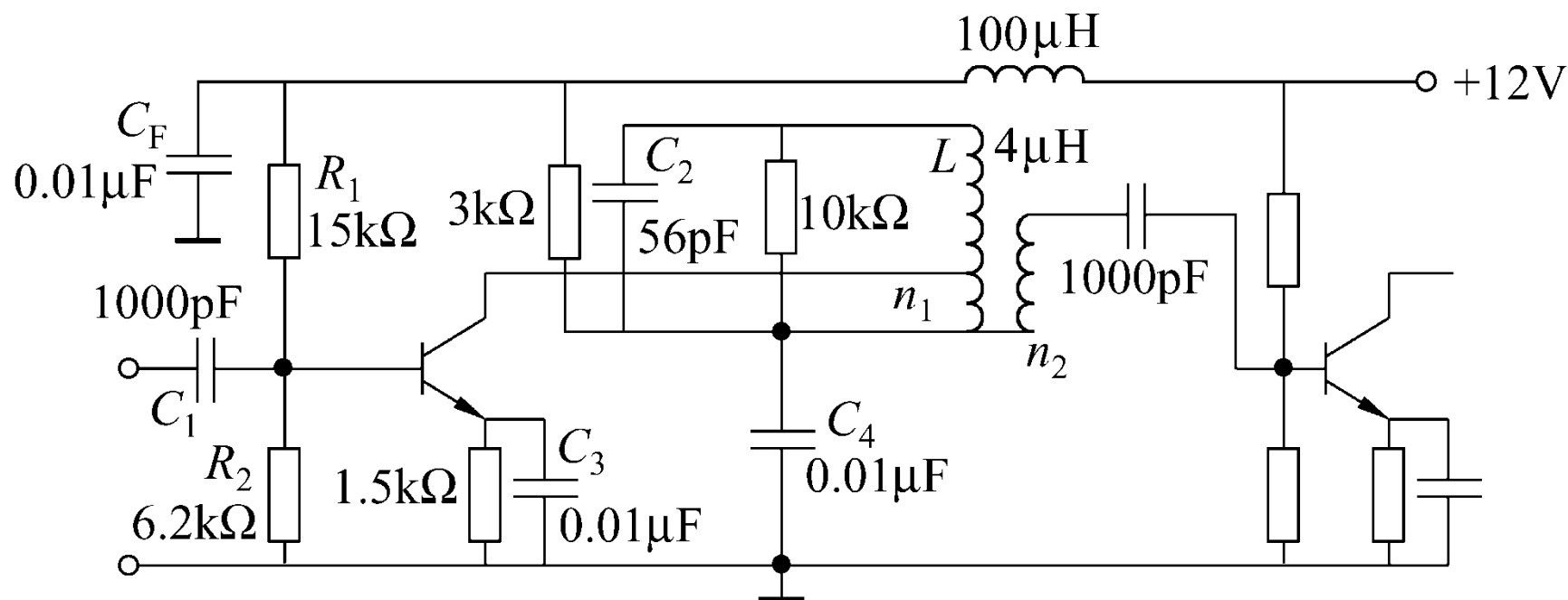
取其模值

$$\left| \frac{\dot{K}_V}{\dot{K}_{V0}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (Q_L \frac{2\Delta f}{f_0})^2}}$$

可见，单调谐放大器的通频带、选择性有与并联谐振回路相同的结论。

四、举例

例2-1 设工作频率 $f_0 = 10.7\text{MHz}$ ，回路电容 $C_2 = 56\text{pF}$ ， $L = 4\mu\text{H}$ ， $Q_0 = 60$ ，匝数 $N = 20$ ，接入系数 $n_1 = n_2 = 0.25$ ，晶体管Y参数： $y_{ie} = (0.96 + j1.5)\text{mS}$ ， $y_{fe} = (37 - j4.1)\text{mS}$ ， $y_{re} = (0.032 - j0.00058)\text{mS}$ ， $y_{oe} = (0.058 + j0.72)\text{mS}$ ，求 K_{V0} 和 B 。



□ 习题： 2-26

□ 仿真：单调谐放大器

仿真工具自选（如 Multisim, Proteus）。

- 考察内容包括：
- 明确提出解决什么问题 （10 %）
- 仿真过程实现：电路搭建、波形 （40 %）
- 结果分析 （20 %）
- 考核形式：课堂讲解 （30 %）

讲解时间每人不超过10分钟