

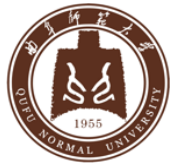
CEC

高频小信号放大器

High Frequency Class A Amplifiers

2025年3月20日

学而不厌 诲人不倦



Chapter 3 高频小信号放大器

- ➡ 3.1 概述
- ➡ 3.2 晶体管高频小信号等效电路与参数
- ➡ **3.3 单调谐回路谐振放大器**
- ➡ 3.4 多级单调谐回路谐振放大器
- ➡ 3.5 双调谐回路谐振放大器
- ➡ 3.6 谐振放大器的稳定性与稳定措施
- ➡ 3.7 谐振放大器常用电路和集成电路谐振放大器
- ➡ 3.9 放大器中的噪声
- ➡ 3.10 噪声的表示和计算方法

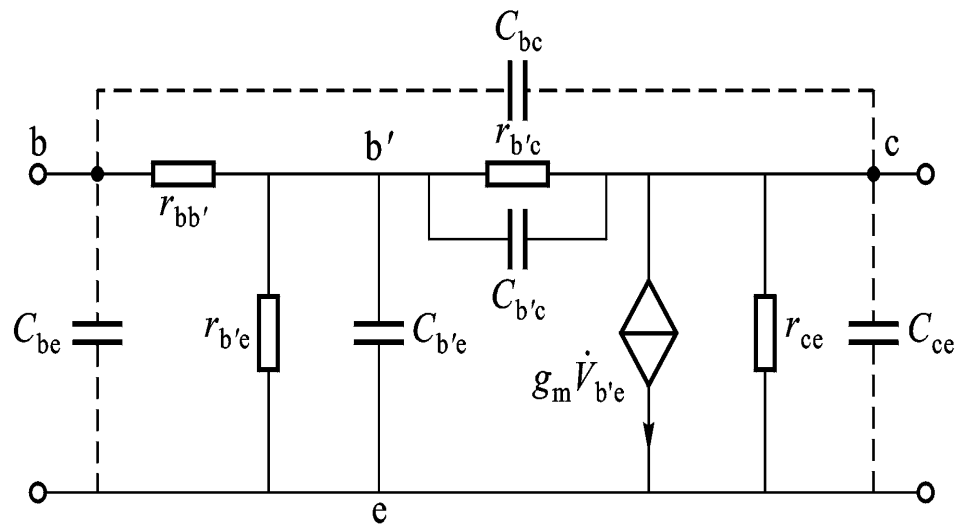
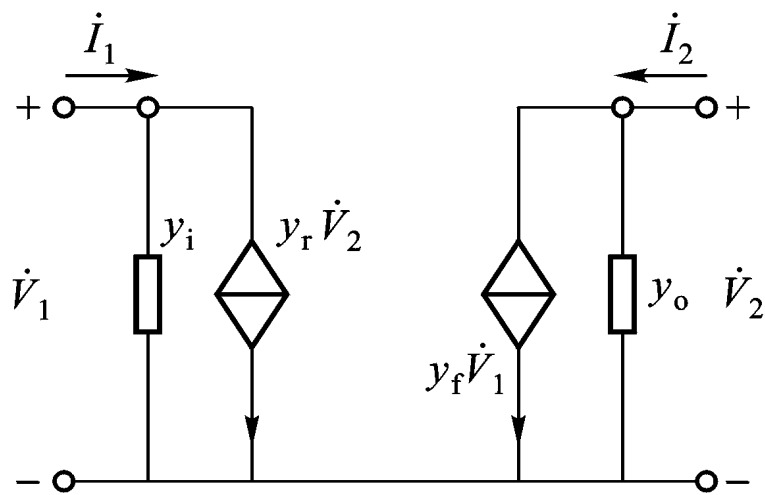


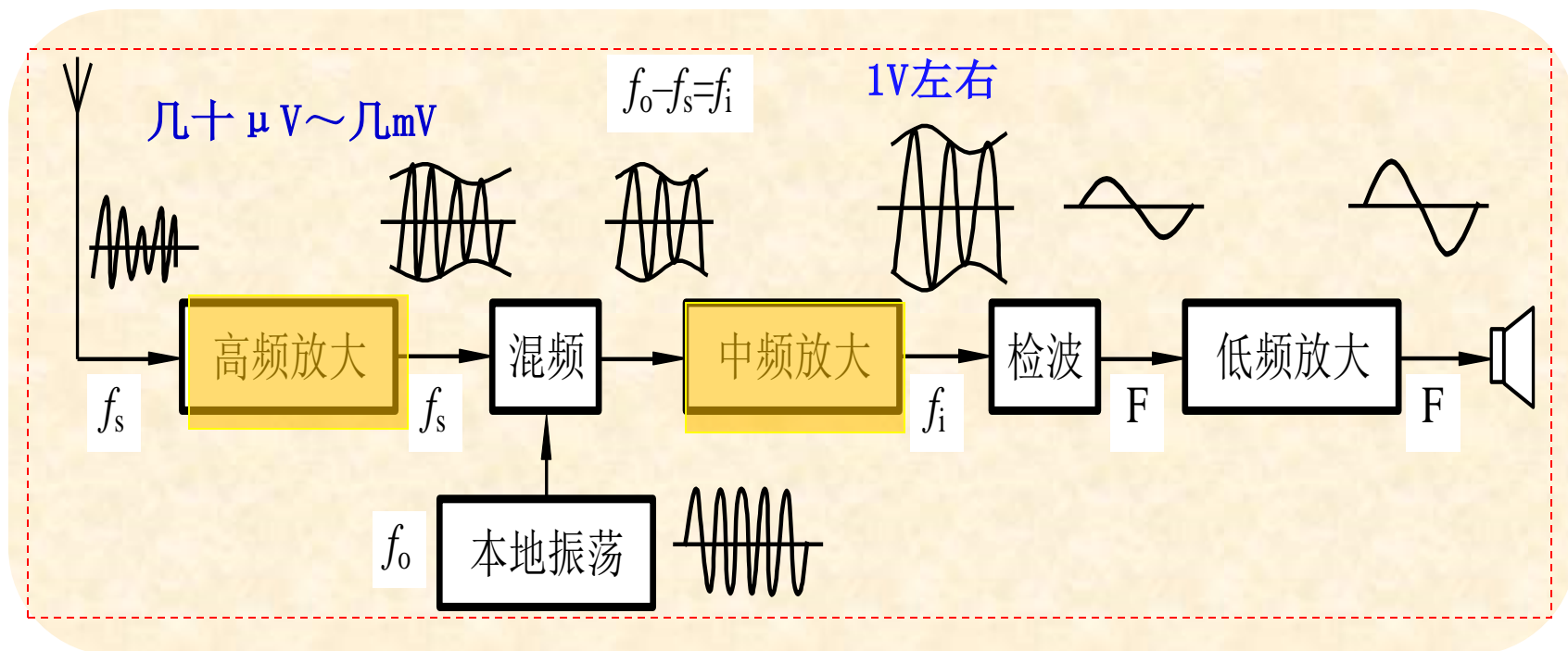
图 4.2.5 晶体管Y参数形式等效电路与混合π等效电路

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= y_i \dot{V}_1 + y_r \dot{V}_2 \\ \dot{I}_2 &= y_f \dot{V}_1 + y_o \dot{V}_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_{ie} &= \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{V}_1} \right|_{V_2=0} = g_{ie} + j\omega C_{ie} \\ y_{oe} &= \left. \frac{\dot{I}_2}{\dot{V}_2} \right|_{V_1=0} = g_{oe} + j\omega C_{oe} \end{aligned}$$

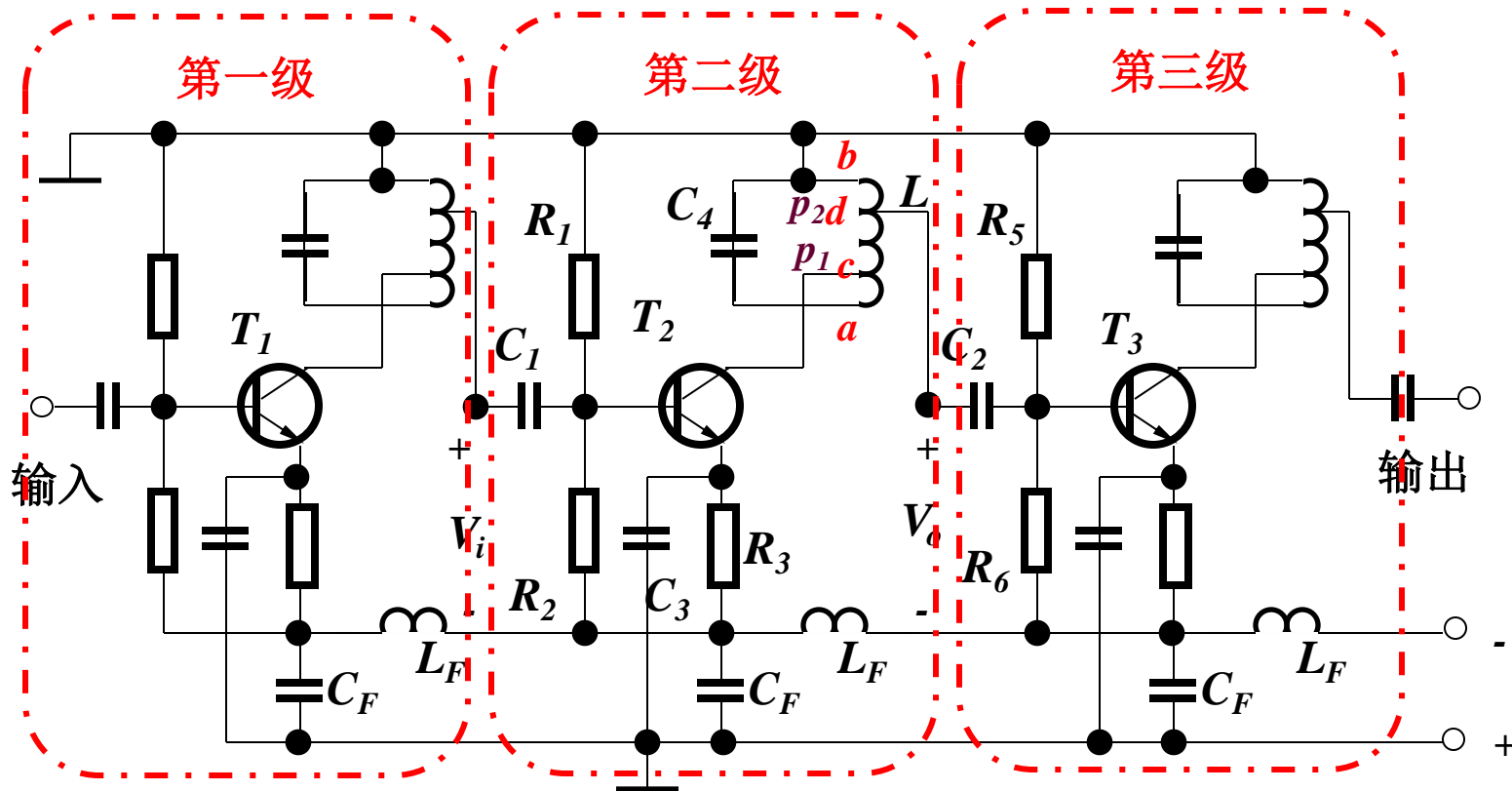
Y参数 Y_{ie} 和 Y_{oe} 中的导纳变成混合π的电导和电容产生的电纳之和。

3.3 单调谐回路谐振放大器



通常需要**多级放大器**来提供足够高的增益和足够好的选择性，从而为下一级（例如混频和检波）提供性能良好的有用信号。

3.3 单调谐回路谐振放大器



三级单调谐回路共发射级放大器

高频小信号放大器的电路分析包括：**1. 多级分单级，2. 静态分析，3. 动态分析，4. 级联系统几个基本步骤。**

3.3 单调谐回路谐振放大器

1. 多级分单级

前级放大器是**本级放大器的信号源**；后级放大器是**本级放大器的负载**。

2. 静态分析

画出**直流等效电路**。其简化规则：**交流输入信号为零；所有电容开路；所有电感短路。**

R_{b1} 、 R_{b2} 、 R_e 为偏置电阻，提供静态工作点。

3. 动态分析

1) 画出**交流等效电路**

其简化规则：**有交流输入信号，所有直流量为零；所有大电容短路；所有大电感开路。（谐振回路 L 、 C 保留）**

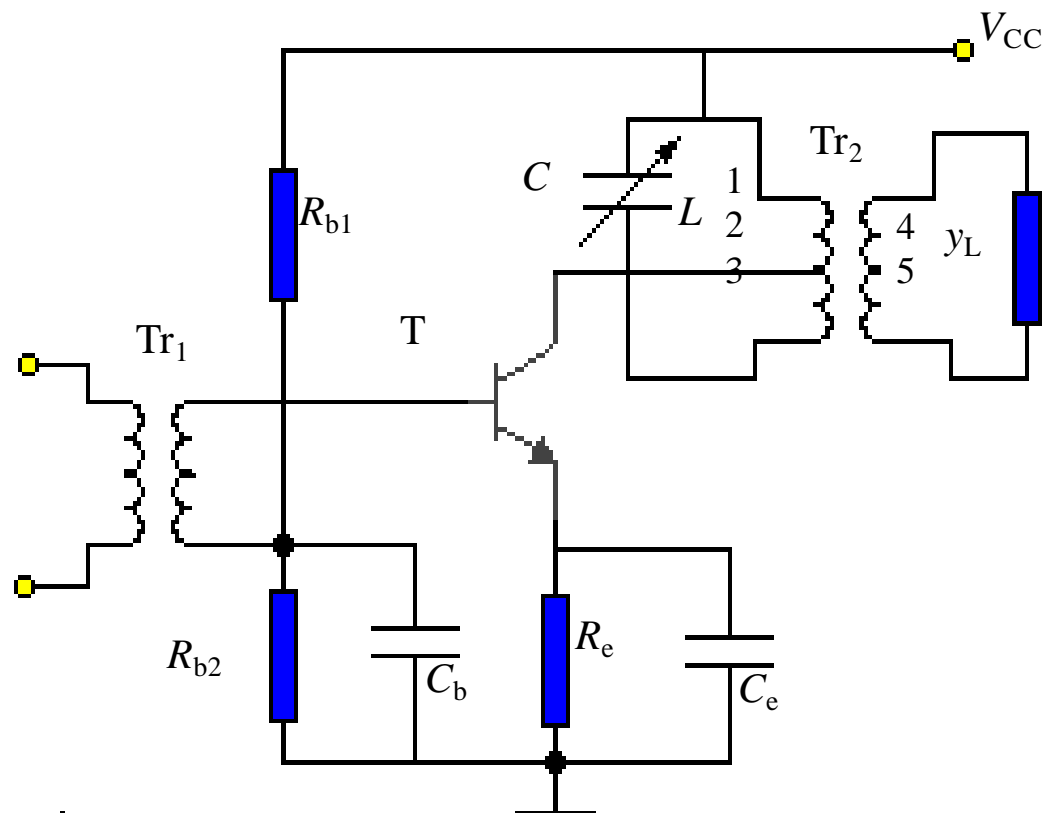
2) 画出**交流小信号等效电路**

利用电路理论和公式，分析计算电路的参数。

3.3 单调谐回路谐振放大器

1. 多级分单级

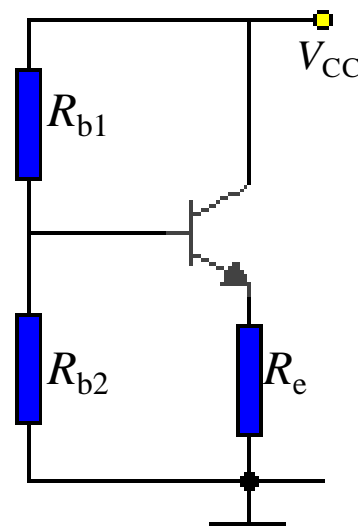
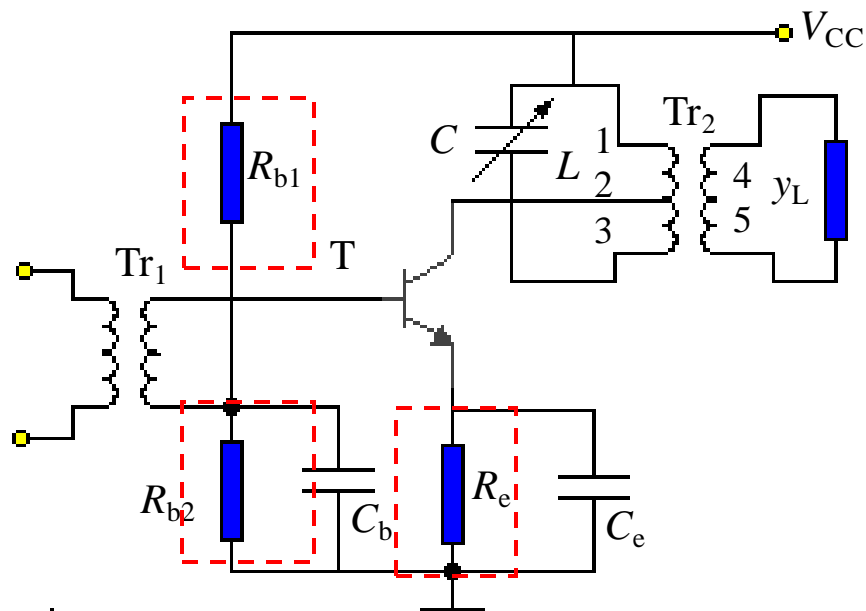
前级放大器是本级放大器的信号源；后级放大器是本级放大器的负载。



3.3 单调谐回路谐振放大器

2. 静态分析

画出直流等效电路，其简化规则：交流输入信号为零；所有电容开路；所有电感短路。



结论： R_{b1} 、 R_{b2} 、 R_e 为偏置电阻，提供静态工作点；

3.3 单调谐回路谐振放大器

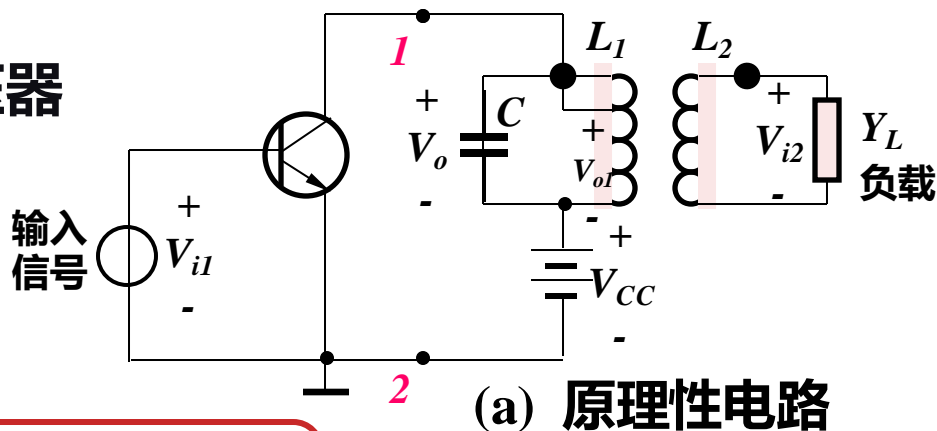
3. 动态分析

负载和回路之间采用了变压器耦合，接入系数

$$p_2 = \frac{N_2}{N}$$

晶体管集、射回路与振荡回路之间采用抽头接入，接入系数

$$p_1 = \frac{N_1}{N}$$



回路本身损耗
 $G_p = 1/R_p$

负载导纳
 $Y_L = g_{i2} + j\omega C_{i2}$

晶体管等效电流源

输出导纳
输出电容

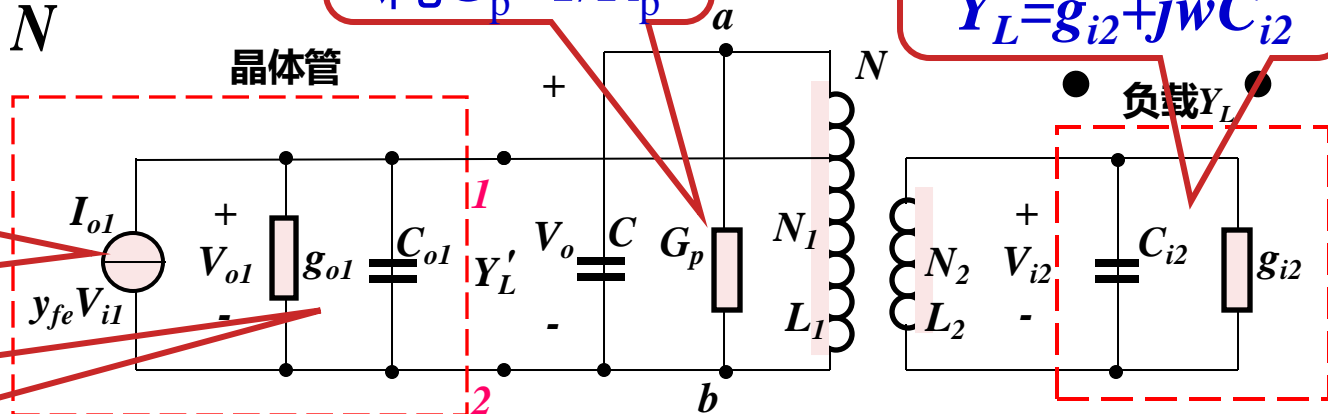
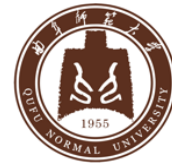


图3.3.1 单调谐回路谐振放大器的原理性电路与等效电路



3.3 单调谐回路谐振放大器

3.3.1 电压增益 A_v

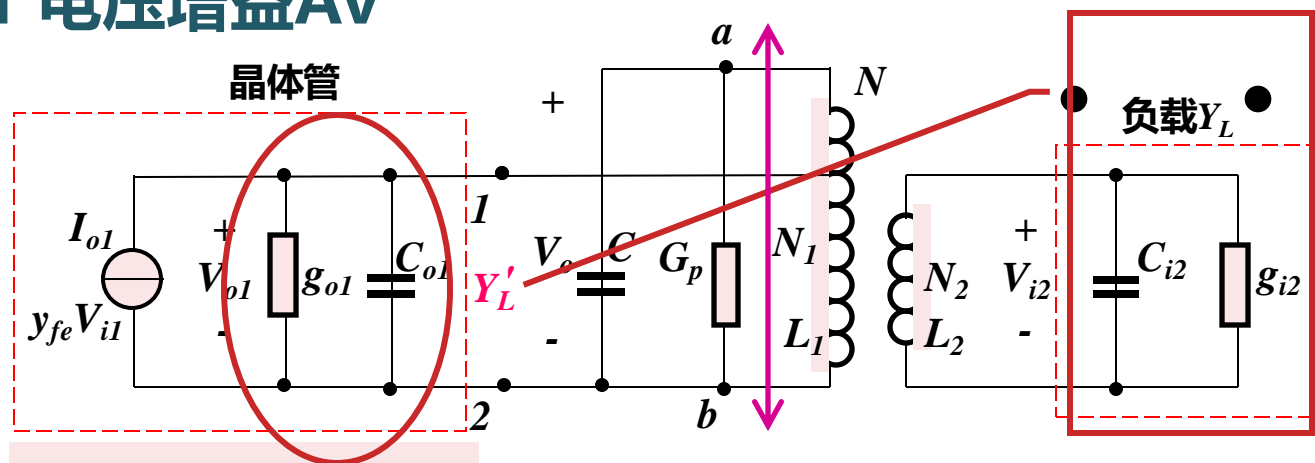
3.3.2 功率增益 A_p

3.3.3 通频带与选择性

3.3.4 级间耦合网络

3.3 单调谐回路谐振放大器

➤ 3.3.1 电压增益 A_v



由式 $\dot{A}_v = \frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} = -\frac{y_{fe}}{y_{oe} + Y_L}$ 可得放大器的电压增益为：

Y'_L 晶体管在输出端1、2
两点之间的负载导纳

$$y_{oe} = y_{o1} = g_{o1} + j\omega C_{o1}$$

$$\dot{A}_v = \frac{\dot{V}_{o1}}{\dot{V}_{i1}} = \frac{-y_{fe}}{y_{oe} + Y'_L}$$

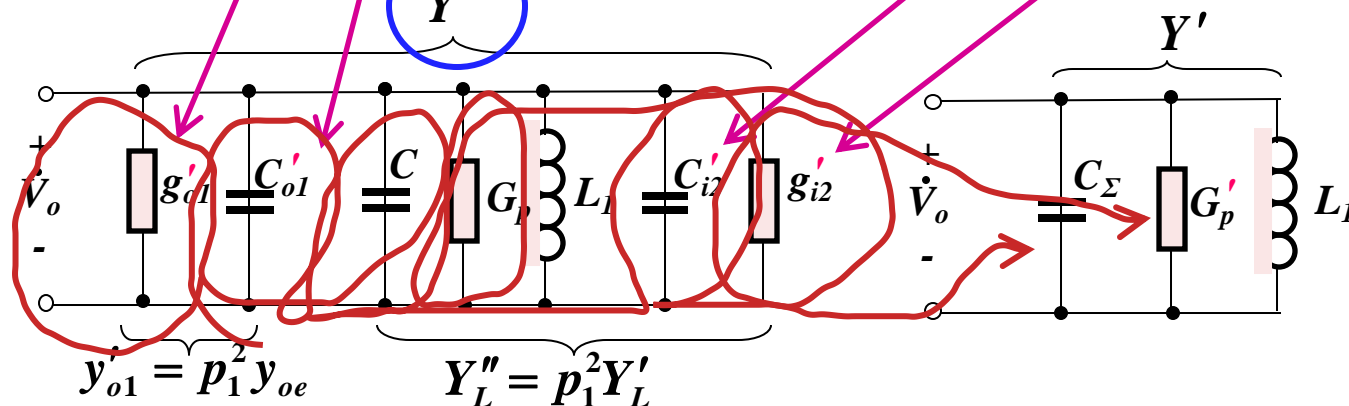
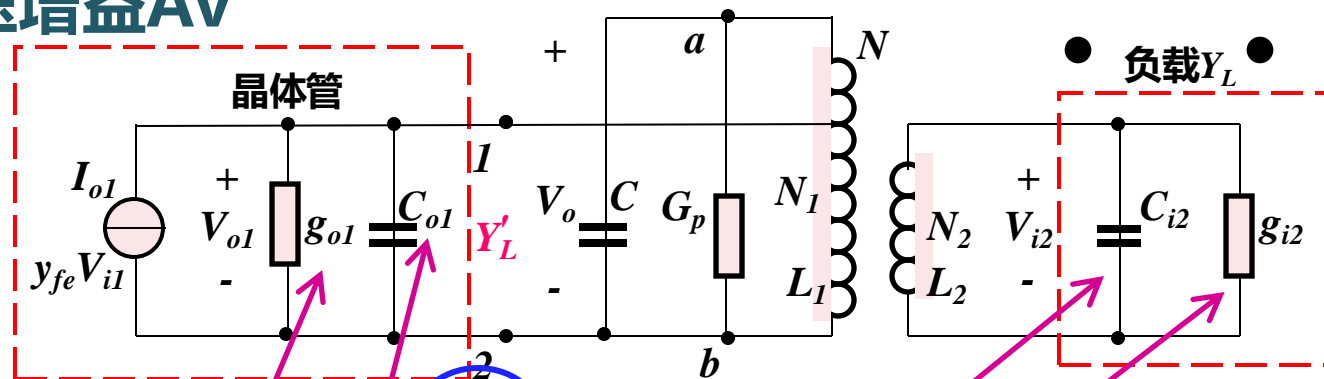
$$\dot{V}_{o1} = \frac{-y_{fe}}{y_{oe} + Y'_L} \dot{V}_{i1}$$

为了分析方便把前后回路折算到 a b 两端。

3.3 单调谐回路谐振放大器

3.3.1 电压增益 A_v

$$\begin{aligned} g'_{o1} &= p_1^2 g_{o1} \\ g'_{i2} &= p_2^2 g_{i2} \\ C'_{o1} &= p_1^2 C_{o1} \\ C'_{i2} &= p_2^2 C_{i2} \end{aligned}$$



汇总: $Y' = p_1^2 (y_{oe} + Y_L)$

$$p_1 = \frac{N_1}{N}$$

$$p_2 = \frac{N_2}{N}$$

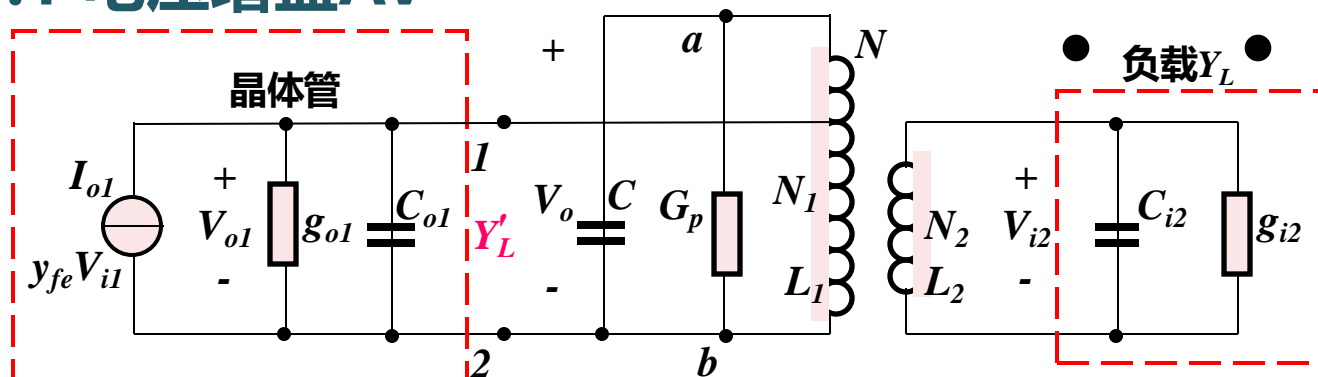
$$G'_p = G_p + g'_{o1} + g'_{i2}$$

$$C_\Sigma = C + C'_{o1} + C'_{i2}$$

$$\dot{A}_v = \frac{\dot{V}_{o1}}{\dot{V}_{i1}} = \frac{-y_{fe}}{y_{oe} + Y'_L} = \frac{-p_1^2 y_{fe}}{Y'}$$

3.3 单调谐回路谐振放大器

3.3.1 电压增益 A_v

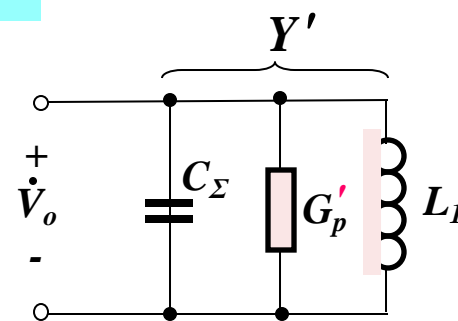


从上图可知，本级的实际电压增益是：
$$\dot{A}_v = \frac{\dot{V}_{o1}}{\dot{V}_{i1}} = \frac{-p_1^2 y_{fe}}{Y'}$$

$$\dot{A}_v = \frac{\dot{V}_{i2}}{\dot{V}_{i1}} = \frac{(\frac{N_2}{N_1})\dot{V}_{o1}}{\dot{V}_{i1}} = \frac{(\frac{p_2}{p_1})\dot{V}_{o1}}{\dot{V}_{i1}} = -\frac{p_1 p_2 y_{fe}}{Y'}$$

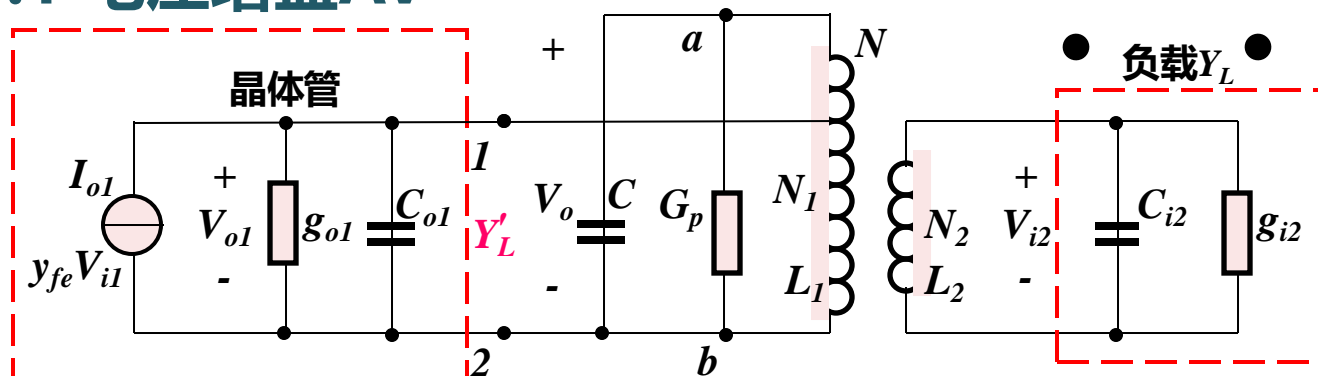
从右图可知，总的导纳是：

$$Y' = G_p' + j(\omega C_\Sigma - \frac{1}{\omega L_1})$$



3.3 单调谐回路谐振放大器

➤ 3.3.1 电压增益 A_v



电压增益:

$$\dot{A}_v = - \frac{p_1 p_2 y_{fe}}{g_{\Sigma} + j\omega C_{\Sigma} + \frac{1}{j\omega L}} = - \frac{p_1 p_2 y_{fe}}{g_{\Sigma} (1 + jQ_L \frac{2\Delta f}{f_0})}$$

谐振时

$$\dot{A}_{v0} = - \frac{p_1 p_2 y_{fe}}{g_{\Sigma}} = - \frac{p_1 p_2 y_{fe}}{g_p + p_1^2 g_{oe1} + p_2^2 g_{ie2}}$$



3.3 单调谐回路谐振放大器

➤ 3.3.1 电压增益 A_v

根据并联谐振原理，在谐振点（ $\omega=\omega_0$ ）时：

$$G'_p = G_p + g'_{o1} + g'_{i2}$$

$$\dot{A}_v = -\frac{p_1 p_2 y_{fe}}{Y'}$$

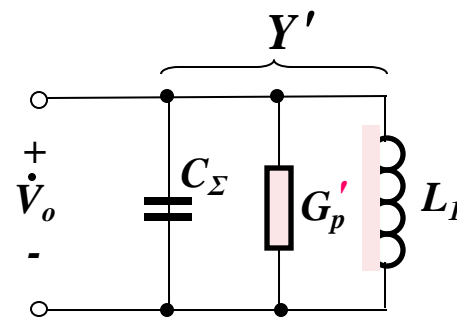
$$Y' = G'_p + j(\omega C_\Sigma - \frac{1}{\omega L_1})$$

$$= -\frac{p_1 p_2 y_{fe}}{G'_p + j(\omega C_\Sigma - \frac{1}{\omega L_1})}$$

可得到在谐振点（ $\omega=\omega_0$ ）的增益为：

$$\omega C_\Sigma = \frac{1}{\omega L_1}, \quad Y' = G'_p$$

$$\dot{A}_{vo} = -\frac{p_1 p_2 y_{fe}}{G'_p} = -\frac{p_1 p_2 y_{fe}}{G_p + g'_{o1} + g'_{i2}}$$



为了**获取最大功率增益**，应适当地选取 p_1 和 p_2 的值，使负载导纳 Y_L 能与晶体管电路的输出导纳相匹配。匹配条件是：

$$g'_{i2} = g'_{o1} + G_p = \frac{G'_p}{2}, \quad \text{即：} \quad p_2^2 g_{i2} = p_1^2 g_{o1} + G_p$$

3.3 单调谐回路谐振放大器

➤ 3.3.1 电压增益 A_v

$$g'_{i2} = g'_{o1} + G_p = \frac{G'_p}{2}, \quad \text{即: } p_2^2 g_{i2} = p_1^2 g_{o1} + G_p$$

通常LC回路本身的损耗 G_p 很小, 与 $p_1^2 g_{o1}$ 相比可以忽略, 因而上式变为:

$$p_2^2 g_{i2} \approx p_1^2 g_{o1} = \frac{G'_p}{2}$$

$$p_1 = \sqrt{\frac{G'_p}{2g_{o1}}},$$

于是可求得匹配时所需接入系数值为:

$$p_2 = \sqrt{\frac{G'_p}{2g_{i2}}}$$

将上两式代入 $A_{vo} = -\frac{p_1 p_2 y_{fe}}{G'_p} = -\frac{p_1 p_2 y_{fe}}{G_p + g'_{o1} + g'_{i2}}$ 得:

$$(A_{vo})_{\max} = -\frac{y_{fe}}{2\sqrt{g_{o1}g_{i2}}}$$

它是达到匹配条件放大器增益。



3.3 单调谐回路谐振放大器

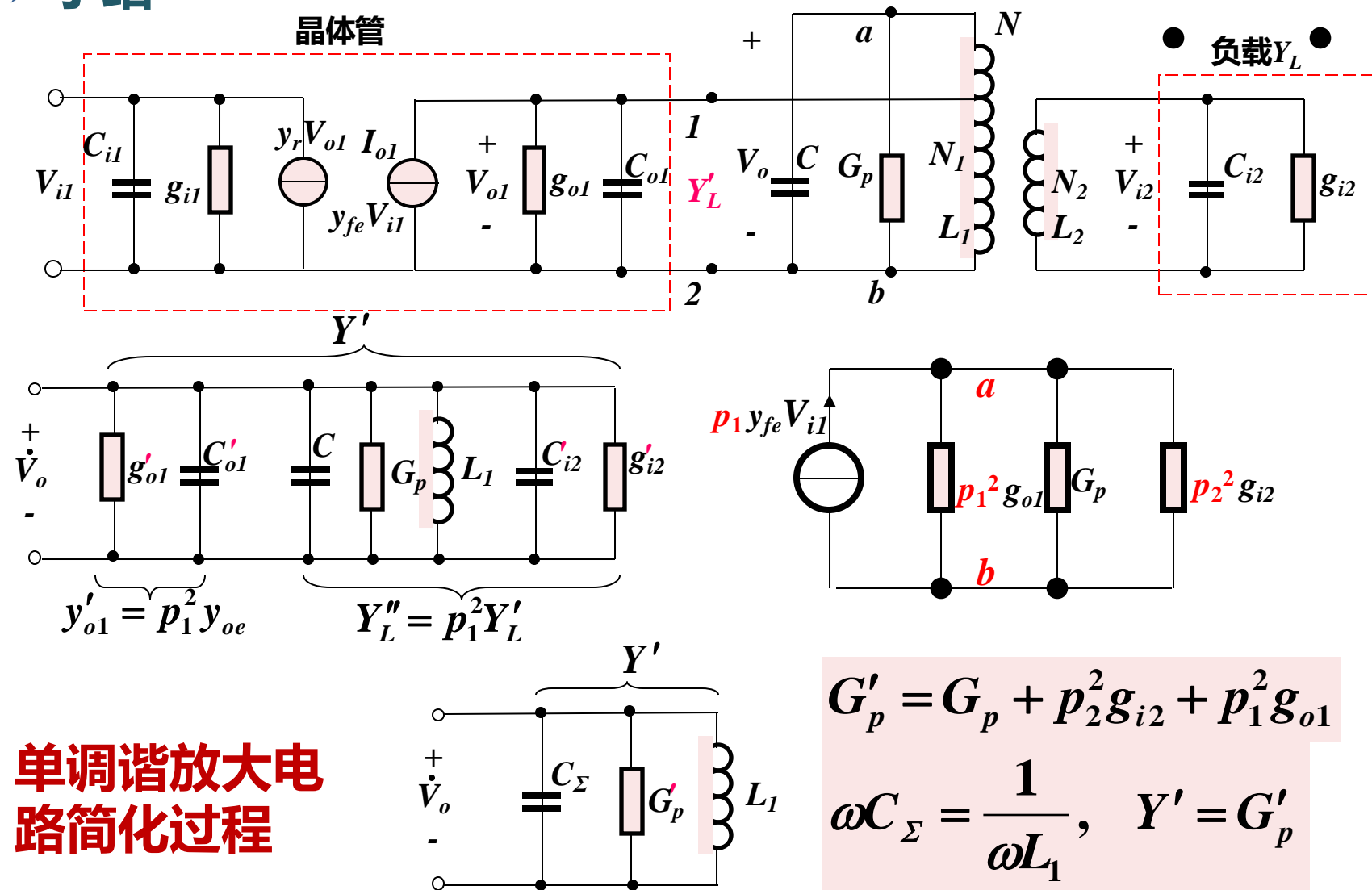
➤ 3.3.1 电压增益 A_v

例3.3.1 某高频管在25MHz时，共发射极接法的 y 参数为 $g_o=0.1 \times 10^{-3}\text{S}$ ， $g_i=10^{-2}\text{S}$ ， $|y_{fe}|=30\text{mS}$ 。则当它作为25MHz放大器时，在匹配状态的电压增益为

$$\begin{aligned}(A_{vo})_{\max} &= -\frac{y_{fe}}{2\sqrt{g_{o1}g_{i2}}} = \frac{|y_{fe}|}{2\sqrt{g_{o1}g_{i2}}} \\ &= \frac{30 \times 10^{-3}}{2\sqrt{0.1 \times 10^{-3} \times 10^{-2}}} = 15\end{aligned}$$

3.3 单调谐回路谐振放大器

小结



3.3 单调谐回路谐振放大器

影响调谐放大器能否获得最大电压放大倍数的因素（ ）。

A

晶体管参数

B

LC回路参数

C

输出与输入之间对匹配情况

D

工作频率

ABCD



3.3 单调谐回路谐振放大器

3.3.1 电压增益 A_v

3.3.2 功率增益 A_p

3.3.3 通频带与选择性

3.3.4 级间耦合网络

3.3 单调谐回路谐振放大器

➤ 3.3.2 功率增益 A_p

在非谐振点计算功率增益是很复杂的，一般用处不大。因此下面只讨论谐振时的功率增益。

谐振时 $A_{po} = \frac{P_o}{P_i}$

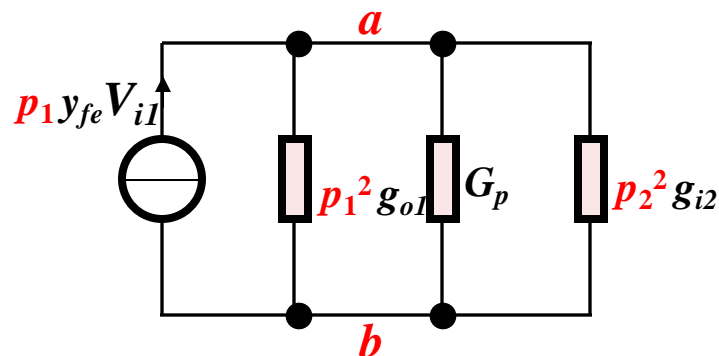


图3.3.3 谐振时的简化等效电路

输入功率 $P_i = \dot{V}_i \dot{I} = V_i^2 g_{i1}$

其中 $G'_p = p_1^2 g_{o1} + p_2^2 g_{i2} + G_p$

输出功率 $P_o = \dot{V}_{ab} \dot{I}_o = V_{ab}^2 p_2^2 g_{i2} = \left(\frac{p_1 |y_{fe}| V_i}{G'_p} \right)^2 p_2^2 g_{i2}$

功率增益 $A_{po} = \frac{P_o}{P_i} = \frac{p_1^2 p_2^2 g_{i2} |y_{fe}|^2}{g_{i1} (G'_p)^2} = (A_{vo})^2 \frac{g_{i2}}{g_{i1}}$

3.3 单调谐回路谐振放大器

➤ 3.3.2 功率增益 A_p

若采用相同型号的晶体管，则 $g_{i1}=g_{i2}$ ，因此得：

$$A_{po} = (A_{vo})^2 \quad G'_P = p_1^2 g_{o1} + p_2^2 g_{i2} + G_P$$

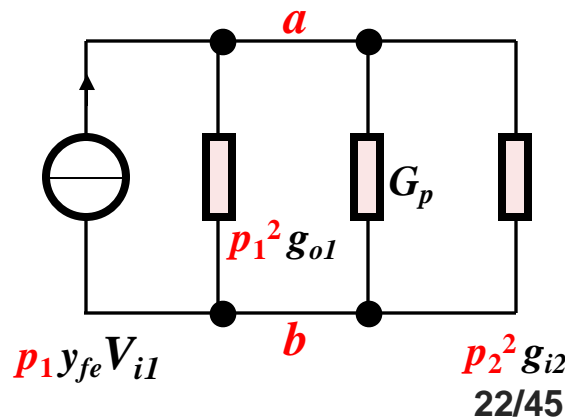
如果回路本身损耗 G_P 可忽略，则匹配条件为： $p_1^2 g_{o1} = p_2^2 g_{i2}$

可获得最大增益：

$$(A_{po})_{\max} = \frac{p_1^2 p_2^2 g_{i2} |y_{fe}|^2}{g_{i1} (p_1^2 g_{o1} + p_2^2 g_{i2})^2} = \frac{p_1^2 g_{o1} p_2^2 g_{i2} |y_{fe}|^2}{g_{o1} g_{i1} (2p_1^2 g_{i2})^2} = \frac{|y_{fe}|^2}{4g_{o1} g_{i2}}$$

考虑 G_P 损耗后，引入插入损耗 K_1 ，有：

$$K_1 = \frac{\text{回路无损耗时的输出功率 } P_1}{\text{回路有损耗时的输出功率 } P'_1}$$

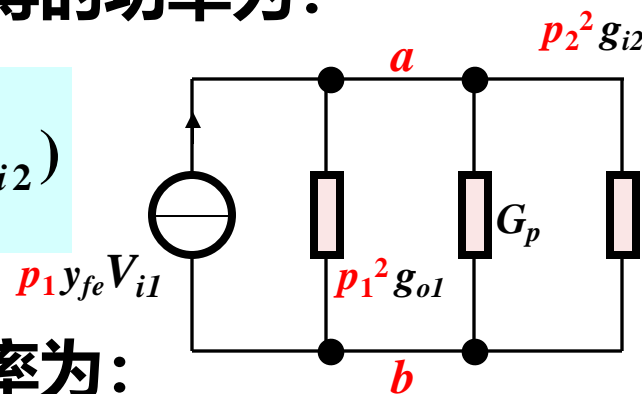


3.3 单调谐回路谐振放大器

➤ 3.3.2 功率增益 A_p

看图，不考虑 G_p 时，负载 $p_2^2 g_{i2}$ 上所获得的功率为：

$$P_1 = V_{ab}^2 (p_2^2 g_{i2}) = \left(\frac{I_o}{p_1^2 g_{o1} + p_2^2 g_{i2}} \right)^2 (p_2^2 g_{i2})$$



在考虑 G_p 后，负载 $p_2^2 g_{i2}$ 上所获得的功率为：

$$P'_1 = V_{ab}^2 (p_2^2 g_{i2}) = \left(\frac{I_o}{p_1^2 g_{o1} + p_2^2 g_{i2} + G_p} \right)^2 (p_2^2 g_{i2})$$

回路的无载 Q 值为： $Q_o = \frac{1}{G_p \omega_o L}$ 或 $L = \frac{1}{G_p \omega_o Q_o}$

回路的有载 Q 值为： $Q_L = \frac{1}{(p_1^2 g_{o1} + p_2^2 g_{i2} + G_p) \omega_o L}$

3.3 单调谐回路谐振放大器

➤ 3.3.2 功率增益 A_p

$$Q_o = \frac{1}{G_p \omega_o L} \quad Q_L = \frac{1}{(p_1^2 g_{o1} + p_2^2 g_{i2} + G_p) \omega_o L}$$

从式可得：

$$p_1^2 g_{o1} + p_2^2 g_{i2} + G_p = \frac{1}{Q_L \omega_o L}$$

$$p_1^2 g_{o1} + p_2^2 g_{i2} = \frac{1}{Q_L \omega_o L} - G_p = \frac{1}{\omega_o L} \left(\frac{1}{Q_L} - \frac{1}{Q_o} \right)$$

把以上的关系式代入到 K_1 式得：

$$K_1 = \frac{P_1}{P_1'} = \left(\frac{p_1^2 g_{o1} + p_2^2 g_{i2} + G_p}{p_1^2 g_{o1} + p_2^2 g_{i2}} \right)^2 = \left[\frac{\frac{1}{\omega_o L Q_L}}{\frac{1}{\omega_o L} \left(\frac{1}{Q_L} - \frac{1}{Q_o} \right)} \right]^2 = \left(\frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_o}} \right)^2$$

注：插入损耗也可用分贝表示 $K_1 = 20 \lg[1/(1 - \frac{Q_L}{Q_o})]$

3.3 单调谐回路谐振放大器

➤ 3.3.2 功率增益 A_p

考虑损耗后匹配时的最大功率增益为：**分贝形式：**

$$(A_{po})_{\max} = \frac{|y_{fe}|^2}{4g_{o1}g_{i2}} \left(1 - \frac{Q_L}{Q_o}\right)^2 \quad (G_{po})_{\max} = 10 \lg(A_{po})_{\max}$$

这时的电压增益为：

$$(A_{vo})_{\max} = \frac{|y_{fe}|}{2\sqrt{g_{o1}g_{i2}}} \left(1 - \frac{Q_L}{Q_o}\right) \quad (G_{vo})_{\max} = 20 \lg(A_{vo})_{\max}$$

最后应该说明，从功率传输的观点来看，希望满足匹配条件，以获得最大的输出功率。

但是从降低噪声的观点来看，必须使噪声系数最小，这时不能不满足最大功率增益的条件。

3.3 单调谐回路谐振放大器

➤ 3.3.2 功率增益 A_p

i) 如果设LC调谐回路自身元件无损耗，且输出回路传输匹配

$$(A_{p0})_{\max} = \frac{|y_{fe}|^2}{4g_{o1}g_{i2}}$$

ii) 如果LC调谐回路存在自身损耗，且输出回路传输匹配

$$(A_{p0})'_{\max} = \frac{p_1^2 p_2^2 |y_{fe}|^2}{(G_P + p_1^2 g_{o1} + p_2^2 g_{i2})^2} \cdot \frac{g_{i2}}{g_{i1}}$$

$$(A_{p0})_{\max} = \frac{p_1^2 p_2^2 |y_{fe}|^2}{(p_1^2 g_{o1} + p_2^2 g_{i2})^2} \cdot \frac{g_{i2}}{g_{i1}}$$

iii) 插入损耗=回路无损时输出功率/回路有损时输出功率

$$K_1 = \frac{(A_{po})_{\max}}{(A_{po})'_{\max}} = \frac{1}{\left(1 - \frac{Q_L}{Q_0}\right)^2}$$

$$K_1(dB) = 20 \lg[1/(1 - \frac{Q_L}{Q_0})]$$

3.3 单调谐回路谐振放大器

➤ 3.3.2 功率增益 A_p

调谐放大器的电压放大倍数不大于1时，功率放大倍数（ ）。

A

可能小于1

B

可能大于1

C

一定小于1

D

电流放大倍等于1时一定小于1

ABD



3.3 单调谐回路谐振放大器

3.3.1 电压增益 A_v

3.3.2 功率增益 A_p

3.3.3 通频带与选择性

3.3.4 级间耦合网络

3.3 单调谐回路谐振放大器

3.3.3 通频带与选择性

$$\dot{A}_v = -\frac{p_1 p_2 y_{fe}}{Y'} \quad \dot{A}_{vo} = -\frac{p_1 p_2 y_{fe}}{G'_p}$$

上两式比可得：

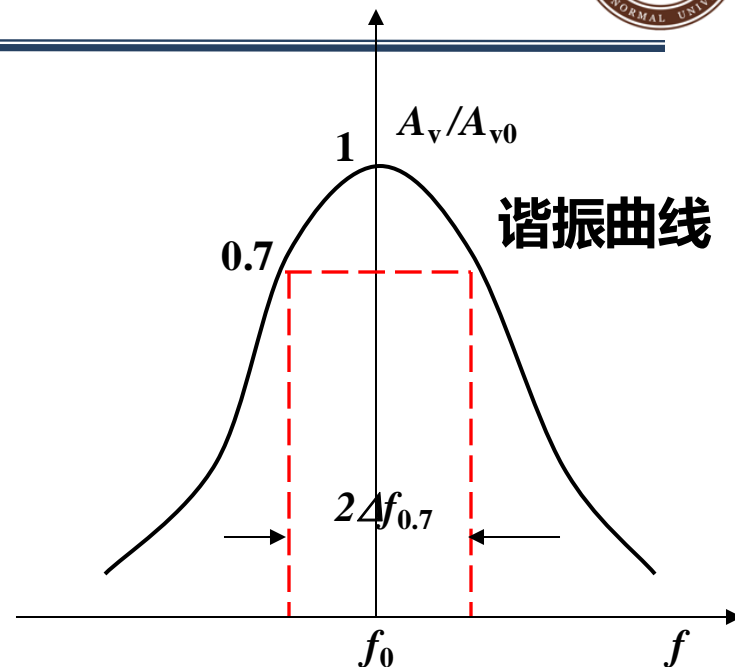
$$\frac{\dot{A}_v}{\dot{A}_{vo}} = -\frac{G'_p}{Y'} = -G'_p Z'$$

其中：

$$Z' = \frac{1}{Y'} = \frac{1}{G'_p + j(\omega C - \frac{1}{\omega L_1})} = \frac{1}{G'_p (1 + j \frac{2Q_L \Delta f}{f_o})}$$

$$\frac{\dot{A}_v}{\dot{A}_{vo}} = -\frac{G'_p}{Y'} = \frac{1}{1 + j \frac{2Q_L \Delta f}{f_o}}$$

$$\frac{A_v}{A_{vo}} = \left| \frac{\dot{A}_v}{\dot{A}_{vo}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{2Q_L \Delta f}{f_o})^2}}$$



3.3 单调谐回路谐振放大器

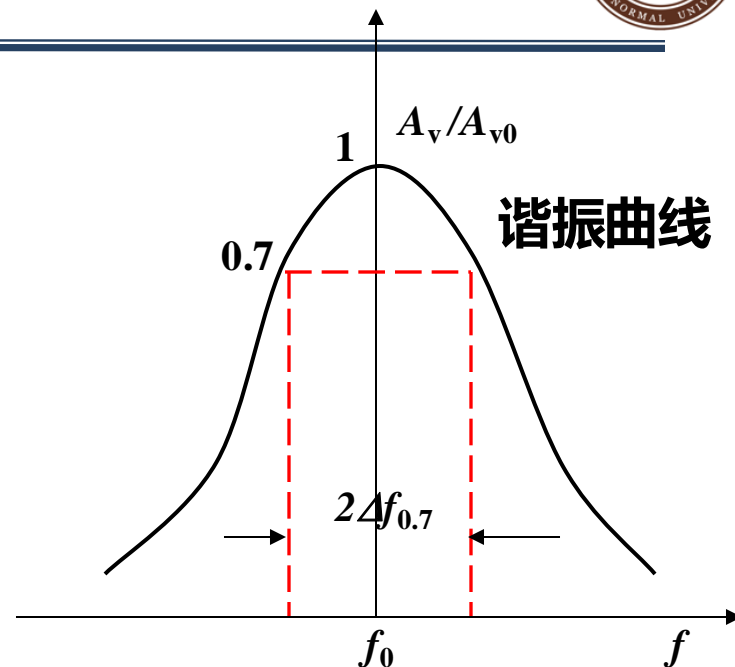
3.3.3 通频带与选择性

$$\frac{A_v}{A_{v0}} = \left| \frac{\dot{A}_v}{\dot{A}_{v0}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2Q_L \Delta f}{f_0} \right)^2}}$$

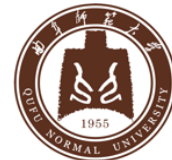
$$\text{当: } \frac{A_v}{A_{v0}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1+1}}$$

$$\text{得 } \frac{Q_L 2\Delta f_{0.7}}{f_0} = 1$$

$$\text{通频带为: } 2\Delta f_{0.7} = \frac{f_0}{Q_L}$$



说明 $Q_L \uparrow \Rightarrow 2\Delta f_{0.7} \downarrow$



3.3 单调谐回路谐振放大器

➤ 3.3.3 通频带与选择性

例4.3.2 广播接收机的中频 $f_o=465\text{kHz}$, $2\Delta f_{0.7}=8\text{kHz}$, 则需要中频回路的 Q_L 值为:

$$Q_L = \frac{f_o}{2\Delta f_{0.7}} = \frac{465 \times 10^3}{8 \times 10^3} = 58$$

若雷达接收机的中频 $f_0=30\text{MHz}$, $2\Delta f_{0.7}=10\text{MHz}$, 则需要中频回路的 $Q_L=30/10=3$, 这时需在中频调谐回路上并联一定数值的电阻, 以增大回路的损耗, 使 Q_L 值降到所需要的值。

3.3 单调谐回路谐振放大器

➤ 3.3.3 通频带与选择性

电压增益 A_v 也可以用 $2\Delta f_{0.7}$ 来表示。

回路总电导:
$$G'_L = \frac{\omega_o C_\Sigma}{Q_L} = \frac{2\pi f_o C_\Sigma}{f_o / 2\Delta f_{0.7}} = 4\pi C_\Sigma \Delta f_{0.7}$$

$$\dot{A}_{vo} = - \frac{p_1 p_2 y_{fe}}{G'_p} = - \frac{p_1 p_2 y_{fe}}{4\pi C_\Sigma \Delta f_{0.7}}$$

$$\left| \dot{A}_{vo} \cdot 4\pi \Delta f_{0.7} \right| = \frac{p_1 p_2 |y_{fe}|}{C_\Sigma}$$

该式说明：晶体管选定(即 y_{fe} 确定)接入系数不变, A_{vo} 与 $2\Delta f_{0.7} C_\Sigma$ 成反比。当 A_{vo} 为常数, $2\Delta f_{0.7} \uparrow \rightarrow C_\Sigma \downarrow$ 。

带宽增益积为一常数, 带宽和增益为一对矛盾。

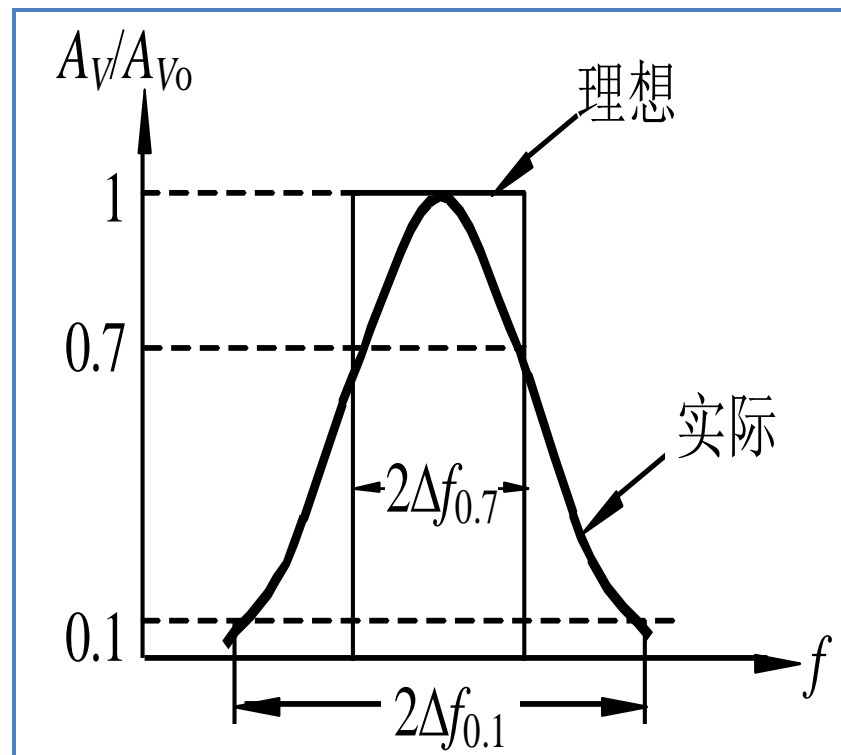
3.3 单调谐回路谐振放大器

3.3.3 通频带与选择性

放大器的选择性是用矩形系数来表示的，根据定义可得：

$$k_{r0.1} = \frac{2\Delta f_{0.1}}{2\Delta f_{0.7}}$$

$$\frac{A_v}{A_{v0}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2Q_L \Delta f}{f_0}\right)^2}} = \frac{1}{10} = \frac{1}{\sqrt{100}}$$



解之得 $2\Delta f_{0.1} = \sqrt{10^2 - 1} \cdot \frac{f_0}{Q_L} = \sqrt{10^2 - 1} \cdot 2\Delta f_{0.7}$

$$k_{r0.1} = \frac{2\Delta f_{0.1}}{2\Delta f_{0.7}} = \sqrt{10^2 - 1} \approx 9.95$$

说明：单调谐回路放大器的矩形系数远大于1，不论其Q值为多大，其谐振曲线和理想的矩形相差甚远。缺点是选择性差。

3.3 单调谐回路谐振放大器

► 矩形系数推导

$$\left| \frac{A_v}{A_{v0}} \right|_{0.1} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(Q_L \frac{2\Delta f_{0.1}}{f_0} \right)^2}} = \frac{1}{10} \quad \left| \frac{A_v}{A_{v0}} \right|_{0.7} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(Q_L \frac{2\Delta f_{0.7}}{f_0} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\text{则: } 2\Delta f_{0.1} = \sqrt{100-1} \cdot \frac{f_0}{Q_L} \quad 2\Delta f_{0.7} = \sqrt{2-1} \cdot \frac{f_0}{Q_L}$$

$$K_{r0.1} = \frac{2\Delta f_{0.1}}{2\Delta f_{0.7}} = \frac{\sqrt{100-1} \cdot \frac{f_0}{Q_L}}{\sqrt{2-1} \cdot \frac{f_0}{Q_L}} = \sqrt{100-1} \approx 9.95$$

3.3 单调谐回路谐振放大器

一般情况下，带宽增益积为一常数，提高增益，带宽就会变小；展宽带宽，就会增益变小。

A 正确

B 错误



3.3 单调谐回路谐振放大器

3.3.1 电压增益 A_v

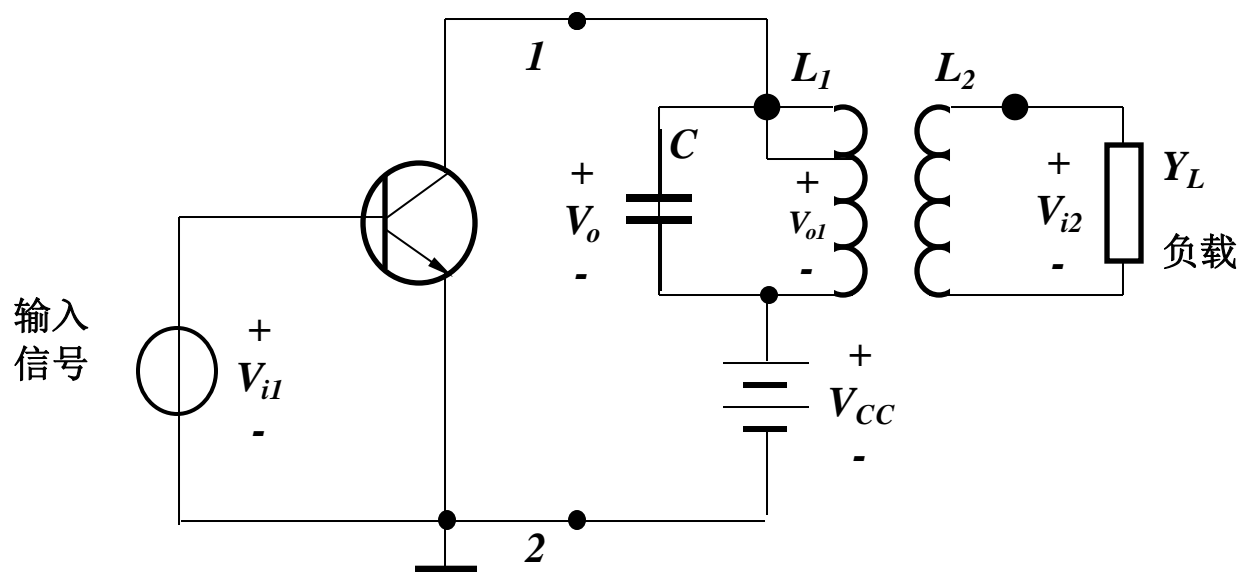
3.3.2 功率增益 A_p

3.3.3 通频带与选择性

3.3.4 级间耦合网络

3.3 单调谐回路谐振放大器

➤ 3.3.4 级间耦合网络



(a) 原理性电路
图 3.3.1

3.3 单调谐回路谐振放大器

适用共发射极电路，特点是调谐回路通过降压形式接入后级晶体管，使后级低输入电阻和前级高输出电阻匹配。

用于输入电阻很低的共基极电路，用前面办法，次级匝数少，不易实现。此时次级可采用谐振电阻较小的串联谐振电路。

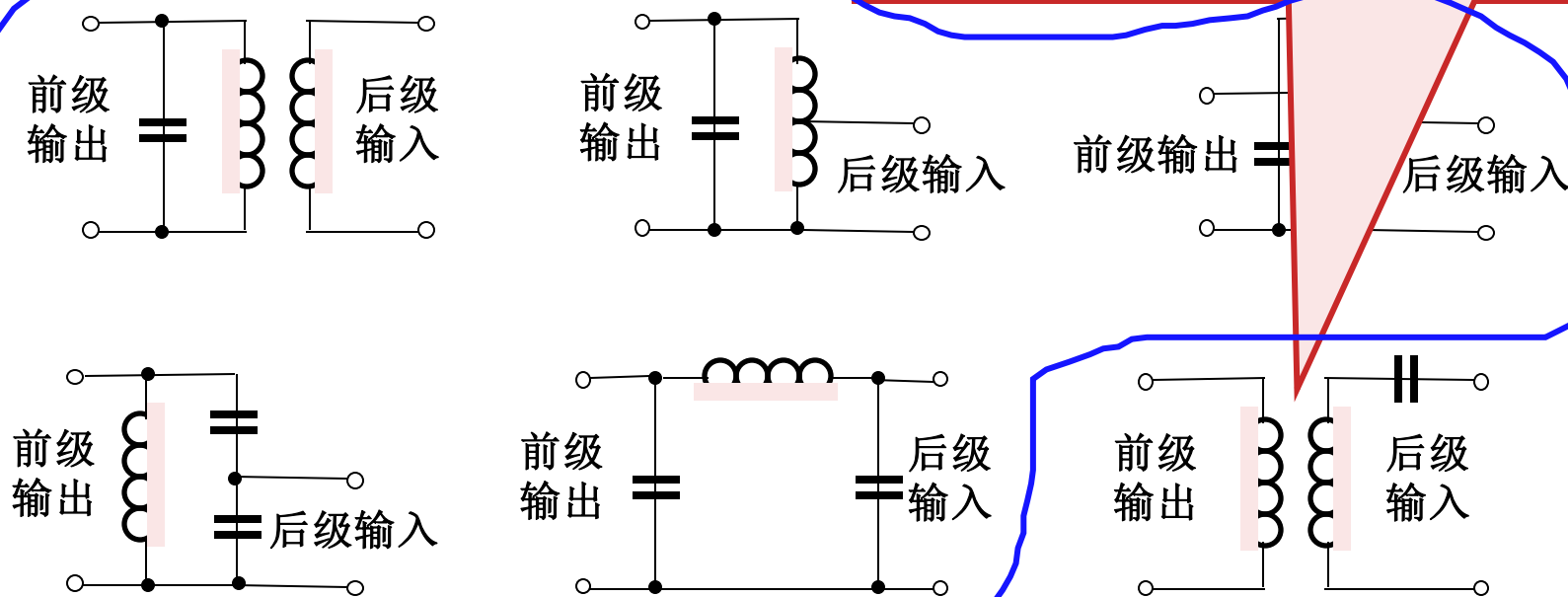


图3.3.4 单调谐放大器的级间耦合网络形式

3.3 单调谐回路谐振放大器

例4.3.3 设计一个中频放大器，指标如下：中心频率 $f_o=465\text{kHz}$ ，带宽 $2\Delta f_{0.7}=8\text{kHz}$ 。负载 Z_L 为下级一个完全相同的晶体管的输入阻抗，采用自耦变压器-变压器耦合网络。

解：选用某高频小功率晶体管，当 $V_{CE}=6\text{V}$ ， $I_E=2\text{mA}$ 时，它的 y 参数为：

$$g_{ie}=1.2\text{mS}, C_{ie}=12\text{pF}, g_{oe}=400\mu\text{S}, C_{oe}=9.5\text{pF}.$$

$$|y_{fe}|=58.3\text{mS}, \varphi_{fe}=-22^\circ, |y_{re}|=310\mu\text{S}, \varphi_{re}=-88.8^\circ.$$

设暂不考虑 y_{re} 的作用，可得出输入导纳

$$\begin{aligned} Y_i \approx y_{ie} &= g_{ie} + j\omega C_{ie} = 1.2 \times 10^{-3} + j2\pi \times 465 \times 10^3 \times 12 \times 10^{-12} \text{ S} \\ &= (1.2 + j0.035) \text{ mS} \end{aligned}$$

输出导纳 $Y_o \approx y_{oe} = g_{oe} + j\omega C_{oe} = (0.4 + j0.0278) \text{ mS}$

3.3 单调谐回路谐振放大器

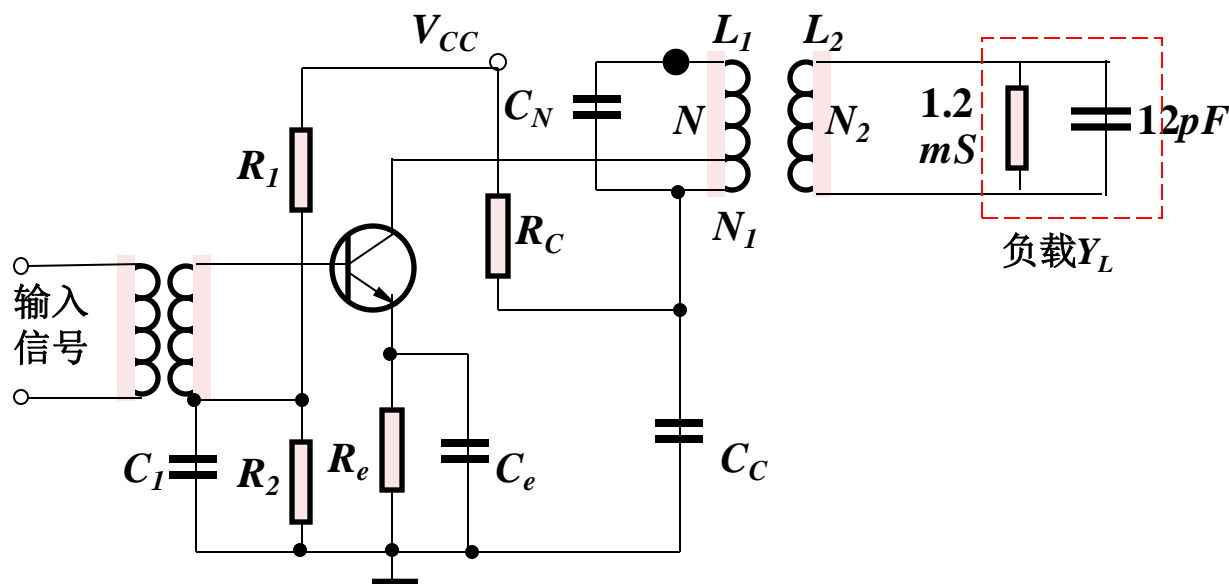


图3.3.5 单调谐放大器的设计举例

设采用图 3.3.1(a)所示的原理性电路,加上各种辅助元件,绘出如图 3.3.5 所示的实际电路。图中 R_1 、 R_2 为偏置电路,它们的值应经过实际调整,以使 $I_E = 2 \text{ mA}$ 。 C_1 为旁路电容,它的阻抗在 465 kHz 时应远小于 R_2 。例如,若 $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$,则 C_1 可选为 $0.05 \sim 0.1 \mu\text{F}$ 。 R_e 是为偏置稳定而加的射极电阻,一般典型数值约为 $500 \sim 1000 \Omega$,旁路电容 C_e 仍可用 $0.05 \sim 0.1 \mu\text{F}$ 。 $R_c C_c$ 为去耦电路,是为了消除多级放大器各级通过电源 V_{CC} 所引起的寄生耦合,一般可取 $R_c = 500 \Omega$ 左右, C_c 取 $0.05 \mu\text{F}$ 。

3.3 单调谐回路谐振放大器

设选取回路总电容 $C_{\Sigma}=200\text{pF}$ ，则回路电感为：

$$L = \frac{1}{\omega_o^2 C_{\Sigma}} = \frac{1}{(2\pi \times 465 \times 10^3)^2 \times 200 \times 10^{-12}} \text{H} = 586 \mu\text{H}$$

若回路的空载品质因数 $Q_o=100$ ，则回路损耗电导为：

$$G_p = \frac{1}{Q_o \omega_o L} = \frac{1}{100 \times 2\pi \times 465 \times 10^3 \times 586 \times 10^{-6}} \text{S} = 5.84 \mu\text{S}$$

在题中回路的有载品质因数 $Q_L=58$ ，则回路总损耗电导为：

$$G'_p = \frac{1}{Q_L \omega_o L} = \frac{1}{58 \times 2\pi \times 465 \times 10^3 \times 586 \times 10^{-6}} \text{S} = 10.1 \mu\text{S}$$

3.3 单调谐回路谐振放大器

已知 $g_{i2}=1.2mS$, $g_{o1}=400\mu S$ 。匹配时初级抽头比为:

$$p_1 = \frac{N_1}{N} = \sqrt{\frac{G'_p}{2g_{o1}}} = \sqrt{\frac{10.1 \times 10^{-6}}{2 \times 400 \times 10^{-6}}} = 0.112$$

次级的匝数比为

$$p_2 = \frac{N_2}{N} = \sqrt{\frac{G'_p}{2g_{i2}}} = \sqrt{\frac{10.1 \times 10^{-6}}{2 \times 1.2 \times 10^{-3}}} = 0.065$$

如果根据 $L=586\mu H$ 已求得初级线圈的匝数 $N=200$, 则:

$$N_1 = p_1 N = 0.112 \times 200 = 22.4$$

$$N_2 = p_2 N = 0.065 \times 200 = 13$$

3.3 单调谐回路谐振放大器

最后求本级的增益，得：

$$(A_{vo})_{\max} = \frac{y_{fe}}{2\sqrt{g_{o1}g_{i2}}} = \frac{58.3 \times 10^{-3}}{2\sqrt{400 \times 10^{-6} \times 1.2 \times 10^{-3}}} = 42 \text{倍}$$

功率增益为： $(A_{po})_{\max} = (A_{vo})_{\max}^2 = 1764 \text{倍}$

以分贝表示为： $(A_{po})_{\max} = 10 \lg 1764 = 32 \text{dB}$ $(A_{podB})_{\max}$

考虑回路的插入损耗，得：

$$K_1 = 20 \lg \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_o}} = 20 \lg \frac{1}{1 - \frac{58}{100}} = 7.33 \text{dB}$$

净功率增益 $(A_{podB})_{\max} = (A_{po})_{\max} - K_1 = 32 \text{dB} - 7.33 \text{dB}$

小结

1. 高频小信号放大器是通常分为**谐振放大器**和**非谐振放大器**，谐振放大器的负载为**串、并联谐振回路或耦合回路**。
2. 小信号谐振放大器的选频性能可由**通频带**和**选择性**两个质量指标来衡量。用**矩形系数**可以衡量实际幅频特性接近理想幅频特性的程度，矩形系数越接近于1，则谐振放大器的选择性愈好。
3. 高频小信号放大器由于信号小，可以认为它工作在管子的线性范围内，常采用**有源线性四端网络**进行分析。
Y参数等效电路和混合 π 等效电路是描述晶体管工作的重要模型。
Y参数与混合 π 参数有对应关系，Y参数不仅与静态工作点有关，而且是工作频率的函数。



Thank You !

Q & A