

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

2.1概述

- 本章主要内容：高频小信号放大器的工作原理及性能指标
- 小信号：输入信号 $\mu\text{V}\sim\text{mV}$
- 高频：中心频率在几百KHz--几百MHz，甚至GHz
- 作用：将有用的信号放大，将无用的干扰信号抑制掉，即同时具有放大和选频的作用。
- 主要性能指标：增益，通频带，选择性，工作稳定性等。
- 工作在甲类，多用于接收机

2.1概述

什么叫选择性？

从各种不同频率信号的总和（有用的和有害的）中选出有用信号，抑制干扰信号的能力称为放大器的选择性。

为了提高对微弱信号的接收能力，要求放大器有足够的电压（功率）增益

要求：增益足够大，通频带足够宽，选择性好

为什么要求通频带？

放大器所放大的一般都是已调制的信号，已调制的信号都包含一定谱宽度，所以放大器必须有一定的通频带，让必要的信号频谱分量通过放大器。

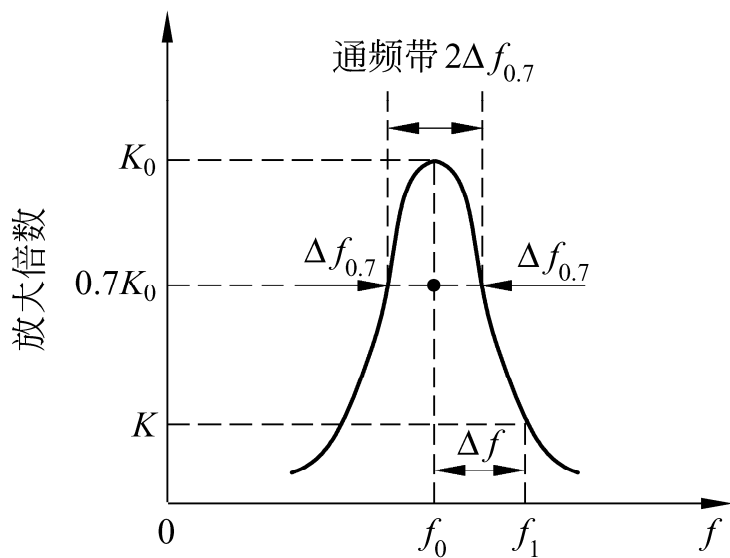


图2-1 一个典型调谐放大器的频率特性

2.1概述

□ 调谐放大器分类

1.小信号调谐放大器

小信号：输入信号 $\mu\text{V}\sim\text{mV}$

要 求：

增益足够大，通频带足够宽，选择性好，工作稳定性好

工作在甲类，多用于接收机

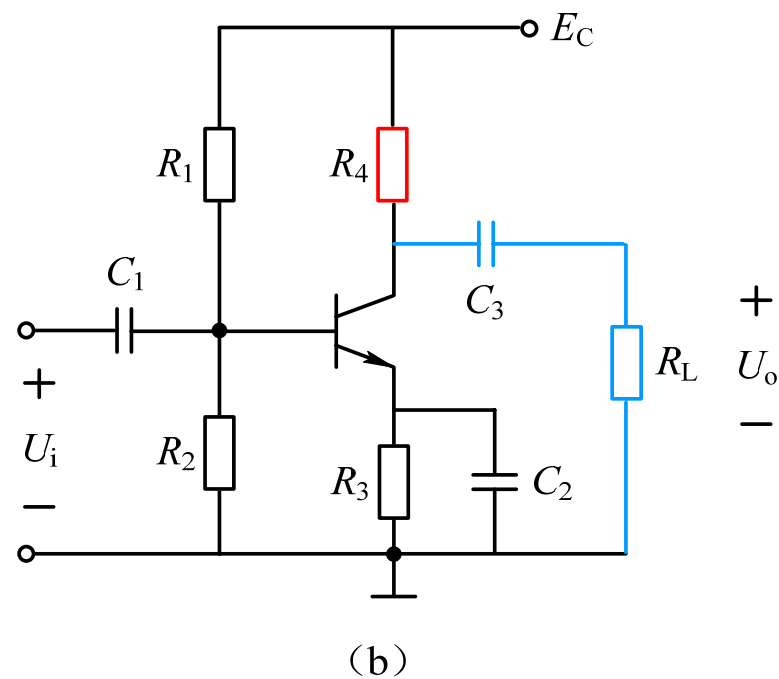
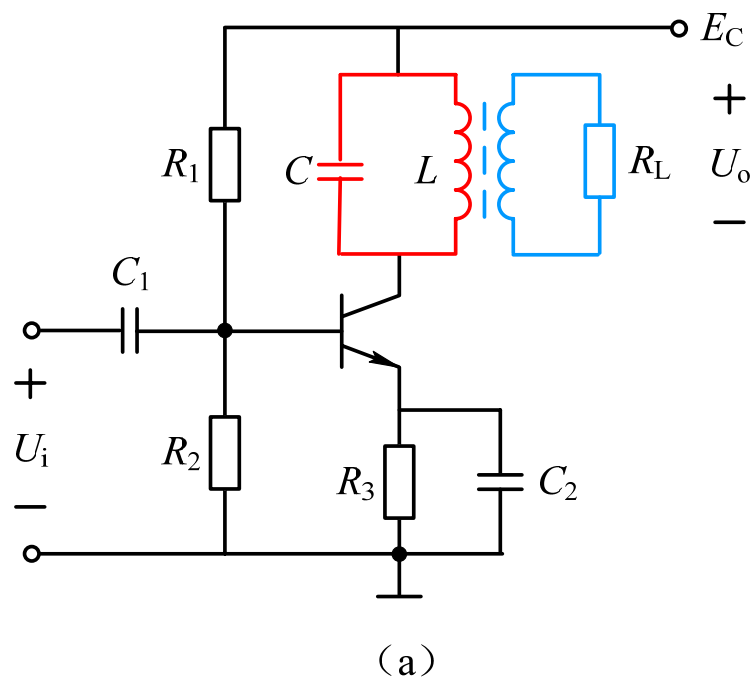
2.调谐功率放大器（第三章）

大信号：输入信号 mV 以上

要 求：大的功率和效率，工作在丙类，多用于发射机

□ 电路特点

采用谐振回路作为放大器的集电极负载。

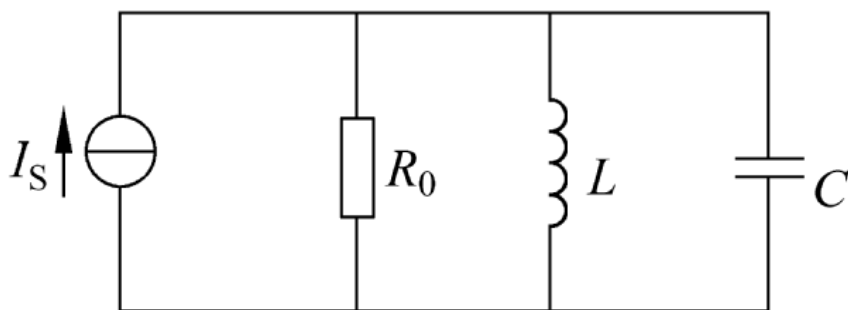


2.2 LC谐振回路

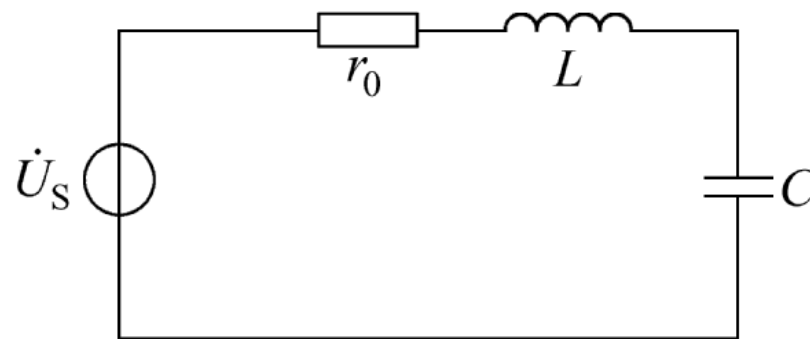
□ 作用：构成选频网络、阻抗变换网络等

2.2.1 串、并联谐振回路的基本特性

一、并联谐振与串联谐振回路比较



并联谐振回路

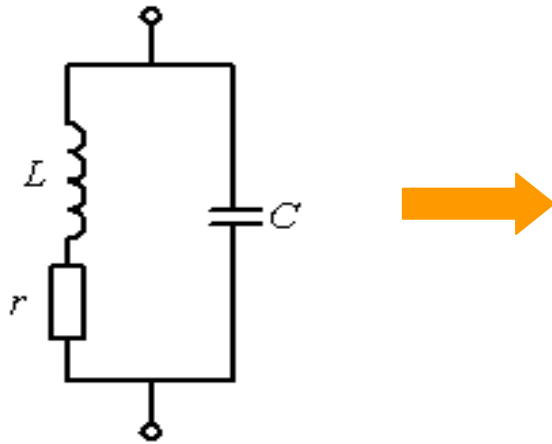


串联谐振回路

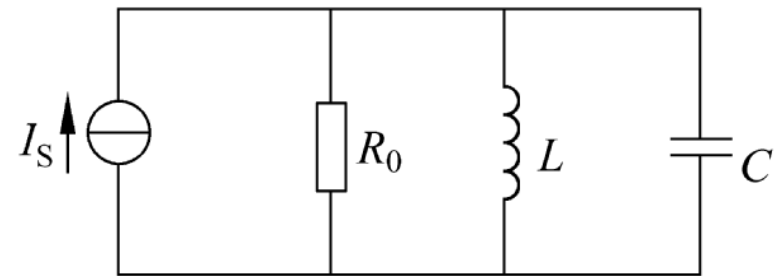
R_0 : 电感线圈的固有损耗电阻
对信号源而言, L, C, R 三者是
并联关系

r_0 : 电感线圈的固有损耗电阻
对信号源而言, L, C, R 三者是
串联关系

并联谐振回路



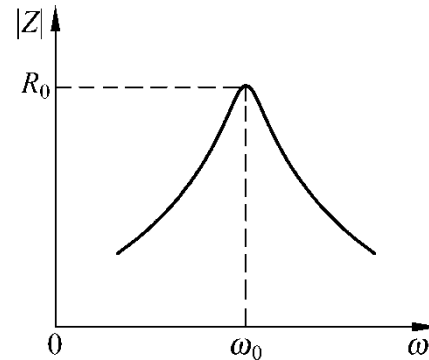
图示为一个有耗的空心线圈和电容组成的并联回路。其中 r 为 L 的损耗电阻， C 的损耗很小，可忽略



电感线圈的固有损耗以并联电阻 R_0 的形式出现

或
$$G_0 = \frac{1}{R_0}$$

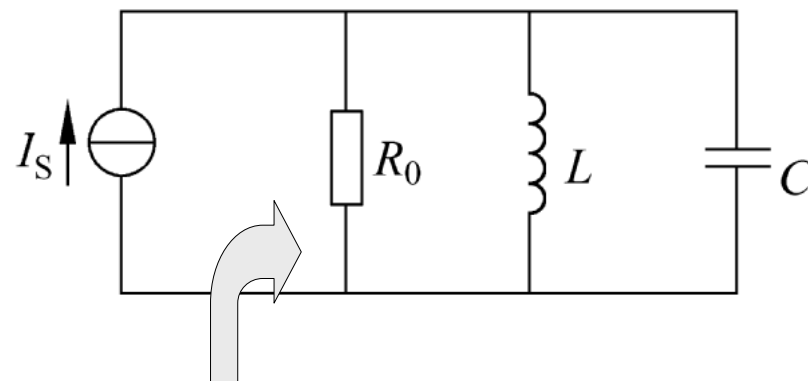
$$|Z| = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R_0^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}}$$



并联阻抗

谐振时，并联回路等效为一纯阻 R_0

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{R_0} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)} = |Z|e^{j\beta_u}$$



当 $\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0$ 时，回路发生并联谐振。

□ 定义谐振频率

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

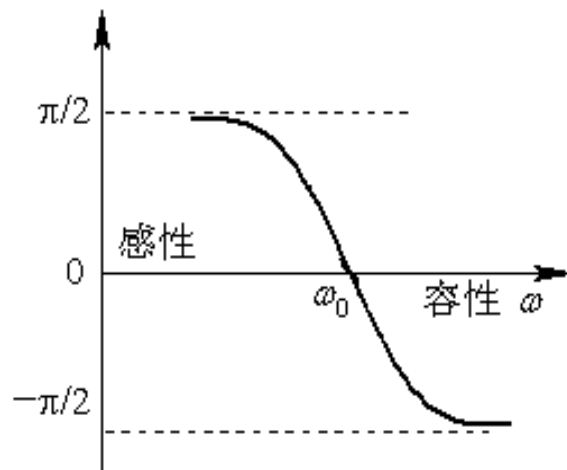
或

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

二、并联谐振回路

并联阻抗
$$Z = \frac{1}{\frac{1}{R_0} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)} = |Z|e^{j\beta_u}$$

相位角
$$\beta_u = -\arctan \frac{\omega C - \frac{1}{\omega L}}{G_0}$$



结论：谐振时，回路呈纯阻；当 $\omega > \omega_0$ 时，回路呈容性；
当 $\omega < \omega_0$ 时，回路呈感性。

□ 定义并联回路的品质因数:

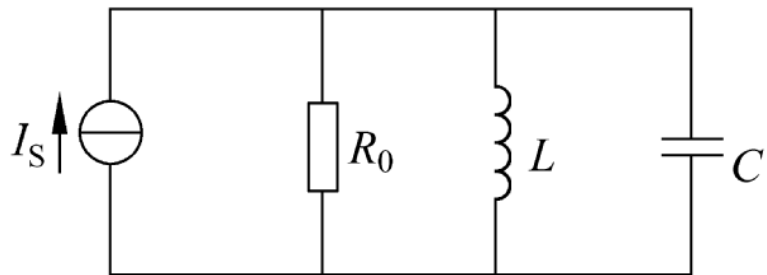
回路谐振电阻 R_0 与谐振时回路电抗（感抗或容抗）的比值，用 Q 表示，它表示回路损耗的大小。

$$Q = \frac{R_0}{\omega_0 L} = R_0 \omega_0 C = \frac{R_0}{\sqrt{L/C}} = \frac{\omega_0 C}{G_0} = \frac{1}{\omega_0 L G_0}$$

2. 谐振曲线和通频带

1) 谐振曲线——回路电压特性曲线

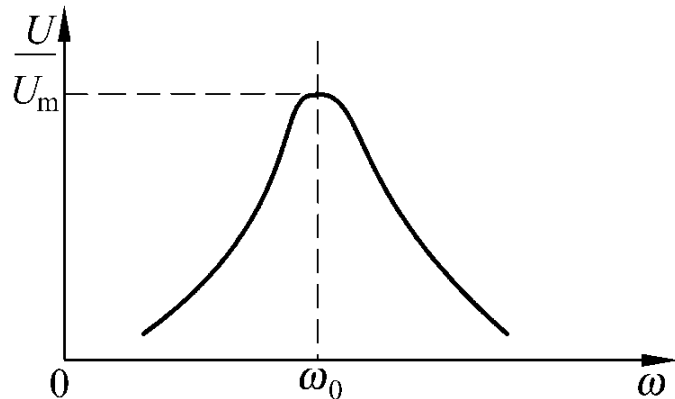
$$\dot{U} = \dot{I}_s Z = \frac{\dot{I}_s}{\frac{1}{R_0} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)}$$



$$= \frac{\dot{I}_s R_0}{1 + j\left(R_0 \omega C - \frac{R_0}{\omega L}\right)} = \frac{\dot{I}_s R_0}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

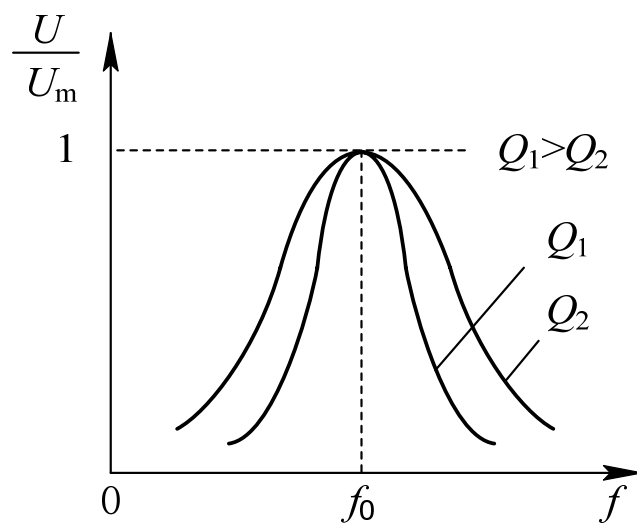
➡

$$\frac{\dot{U}}{\dot{U}_m} = \frac{1}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$



Q 对谐振曲线的影响——

Q 可以衡量谐振现象的尖锐程度



$$\frac{\dot{U}}{\dot{U}_m} = \frac{1}{1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$$

当 ω 在 ω_0 附近时

$$\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{\omega\omega_0} = \frac{(\omega + \omega_0)(\omega - \omega_0)}{\omega\omega_0} \approx \frac{2\omega}{\omega_0} \left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0} \right) = \frac{2\Delta f}{f_0}$$

$$\frac{U}{U_m} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(Q \frac{2\Delta f}{f_0} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi^2}}$$

$\Delta f = f - f_0$ 表示频率偏离谐振的程度，称为失谐量。

$\xi = Q \frac{2\Delta f}{f_0}$ 称为广义失谐量，它反映失谐的相对程度。

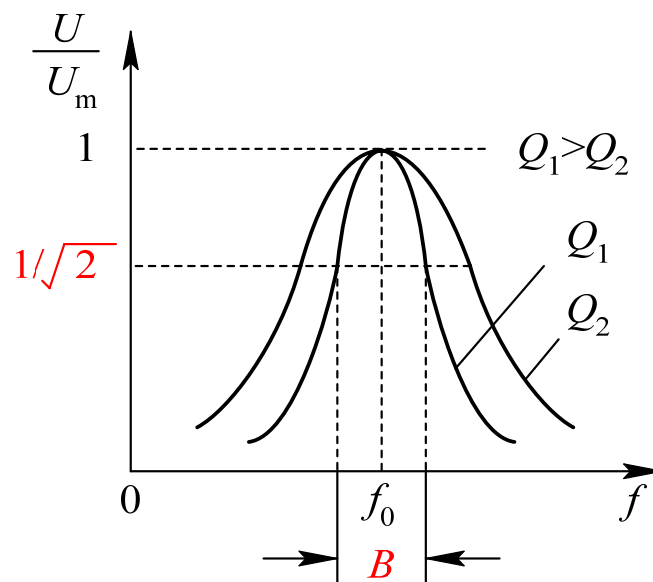
2) 通频带 —— 通过有用信号的能力

当 $\frac{U}{U_m}$ 由最大值1下降到0.707 ($= 1/\sqrt{2}$) 时, 所确定的

频带宽度 $2\Delta f$ 称为回路的通频带 B 。

$$\text{令 } \frac{U}{U_m} = \frac{1}{\sqrt{1 + (Q \frac{2\Delta f}{f_0})^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\Rightarrow B = \frac{f_0}{Q}$$



- 通频带与回路的品质因数 Q 成反比, Q 越高, 谐振曲线愈尖锐, 回路的选择性越好, 通频带越窄。

3.选择性 —— 抑制无用信号的能力

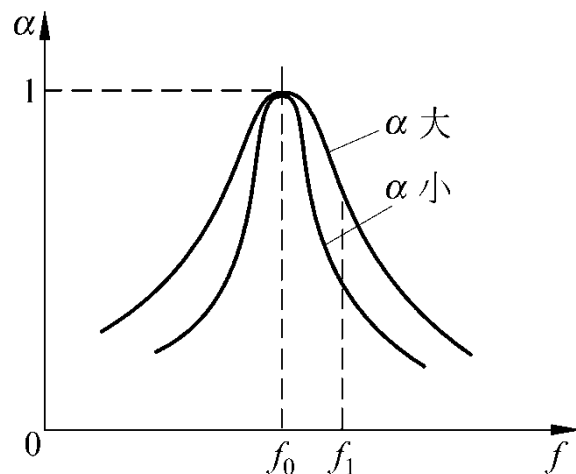
通常对某一频率偏差 Δf 下的 U/U_m 值记为 α ，叫做回

路对这一指定频偏下的选择性。

实际中，常常用分贝来表示

$$\alpha(dB) = 20 \lg \frac{U}{U_m}$$

——抑制比



选择性表示回路对通频带以外干扰信号的抑制能力。

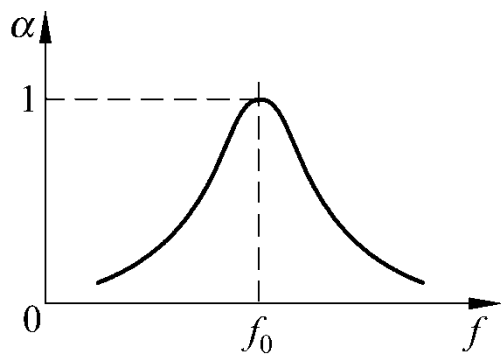
α 越小 (Q 高), 选择性越好

-
- 结论：Q值愈高，通频带越窄，谐振曲线越尖锐，回路的选择性越好。
 - 希望回路有一个良好的选择性，同时保证有一个较宽的通频带，这是矛盾的。

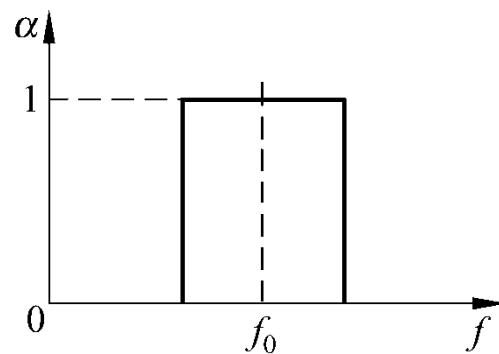
4.矩形系数—衡量选择性的另一指标

放大器的电压增益下降到谐振增益的**0.1**（或**0.001**）时，相应的频带宽度 **$B_{0.1}$** （或 **$B_{0.01}$** ）与放大器通频带 **$B_{0.7}$** 之比

$$K_{0.1} = \frac{B_{0.1}}{B_{0.7}} \quad \text{或} \quad K_{0.01} = \frac{B_{0.01}}{B_{0.7}}$$



(a) 实际回路



(b) 理想回路

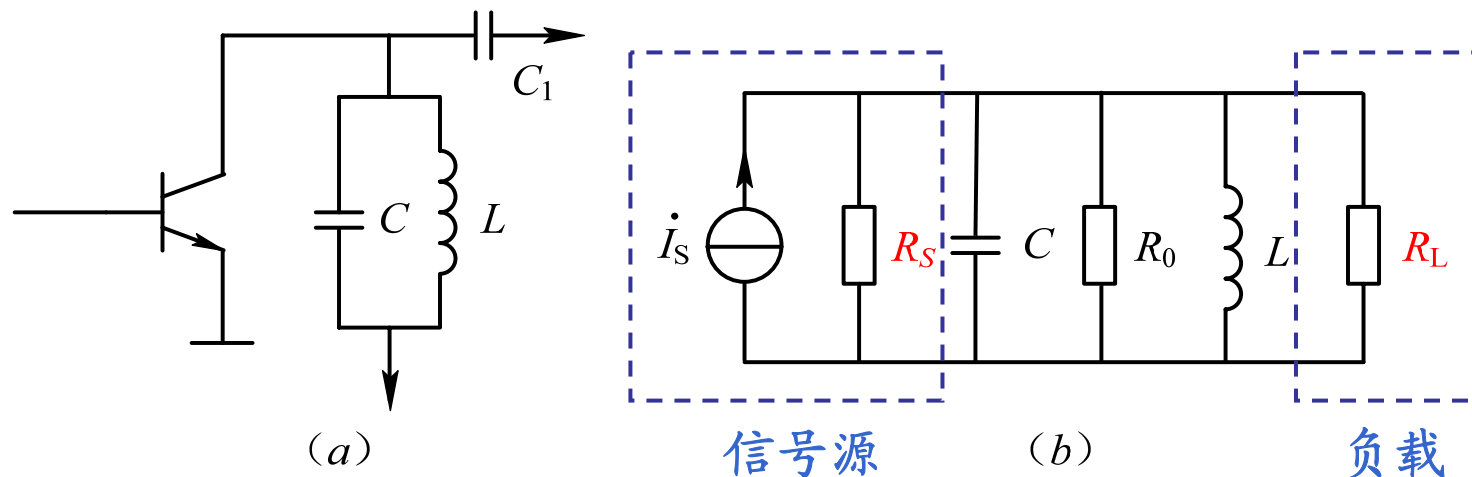
并联谐振回路的矩形系数

理想矩形 **$K_{0.1}=1$**

$$K_{0.1} = \frac{10f_0/Q}{f_0/Q} = 10$$

单谐振回路放大器的**选择性差**

2.2.2 负载和信号源内阻对谐振回路的影响

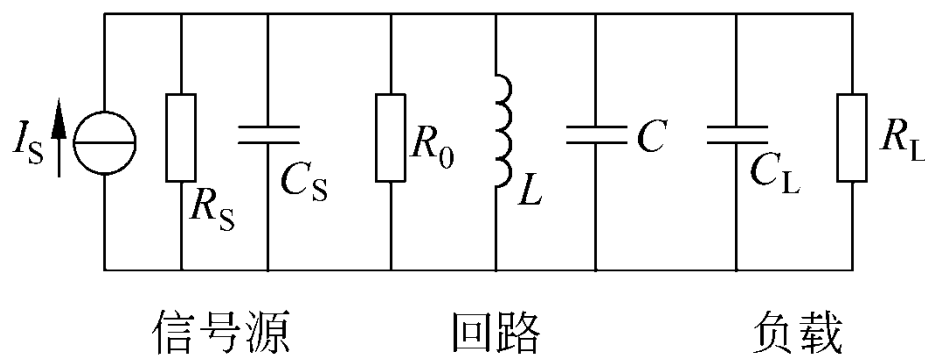


1. 负载和信号源内阻为纯电阻

□ 空载品质因数 $Q_0 = \frac{R_0}{\omega_0 L}$ □ 有载品质因数 $Q_L = \frac{R_\Sigma}{\omega_0 L} = \frac{R_0 // R_S // R_L}{\omega_0 L}$

显然, $Q_L < Q_0$ ➡ 减小加载影响 采用 部分接入 并联谐振回路
通频带 ↑, 选择性 ↓

2. 负载和信号源内阻含有电抗成分（一般是容性）



回路总电容为: $C_{\Sigma} = C_S + C + C_L$

注意: 考虑了负载电容和信号源输出电容后, 在谐振回路的谐振频率、品质因数等的计算中, 式中的电容都要以 C_{Σ} 代入。如: 谐振频率

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC_{\Sigma}}}$$

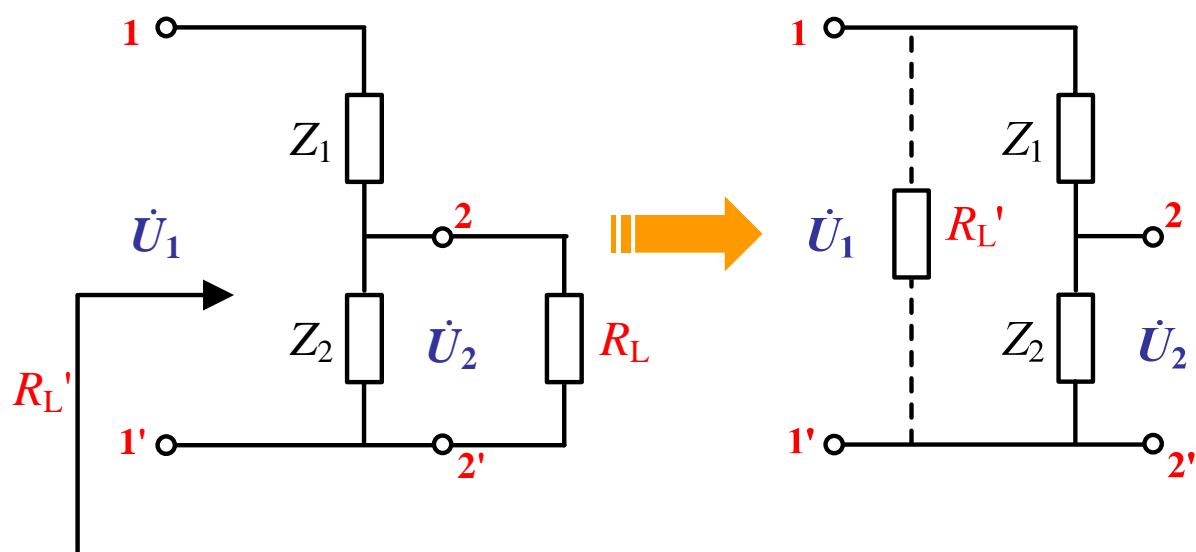
2.2.3 谐振回路的接入方式（重点内容）

信号源和负载直接并在 L, C 元件两端，存在以下三个问题：

- ① 谐振回路 Q 值大大下降，一般不能满足实际要求；
- ② 信号源和负载电阻常常是不相等的，即阻抗不匹配。当相差较多时，负载上得到的功率可能很小；
- ③ 信号源输出电容和负载电容影响回路的谐振频率，在实际问题中， R_S, R_L, C_L, C_S 给定后，不能任意改动。

解决这些问题的途径是采用“阻抗变换”的方法，使信号源或负载不直接并入回路的两端，而是跨接在谐振回路的一部分上——部分接入。

一、阻抗变换的原理



设 $Z_2 \ll R_L$

$$\frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2}$$

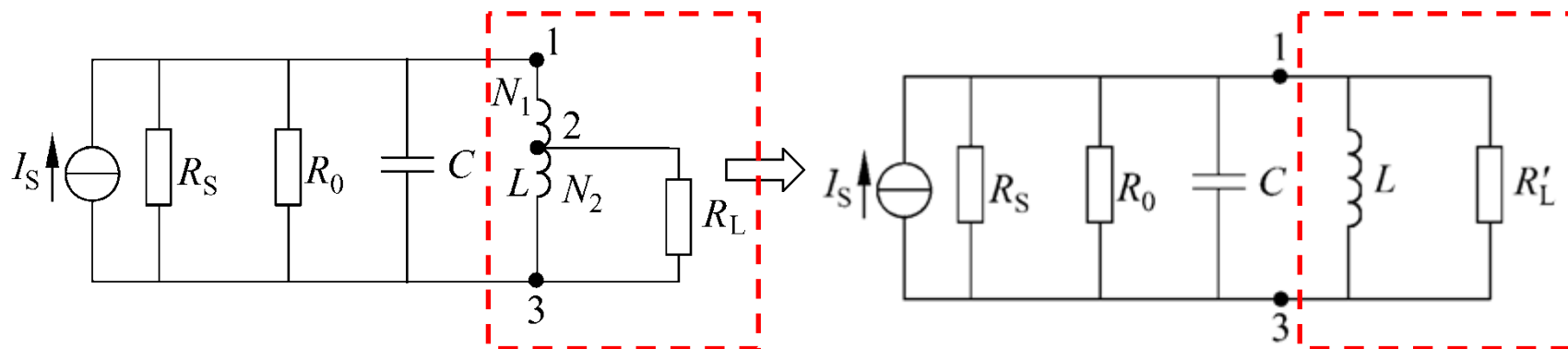
利用等效前后
消耗的功率相等

$$P_2 = \frac{U_2^2}{R_L} = P_1 = \frac{U_1^2}{R'_L} \longrightarrow R'_L = \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^2 R_L = \left(\frac{Z_1 + Z_2}{Z_2} \right)^2 R_L = \frac{1}{n^2} R_L$$

n —— 接入系数，它表明负载电压占回路电压的比例。

$$n < 1$$

二、自耦变压器接入



接入系数 $n = \frac{L_{23}}{L_{13}} \approx \frac{N_2}{N_1}$

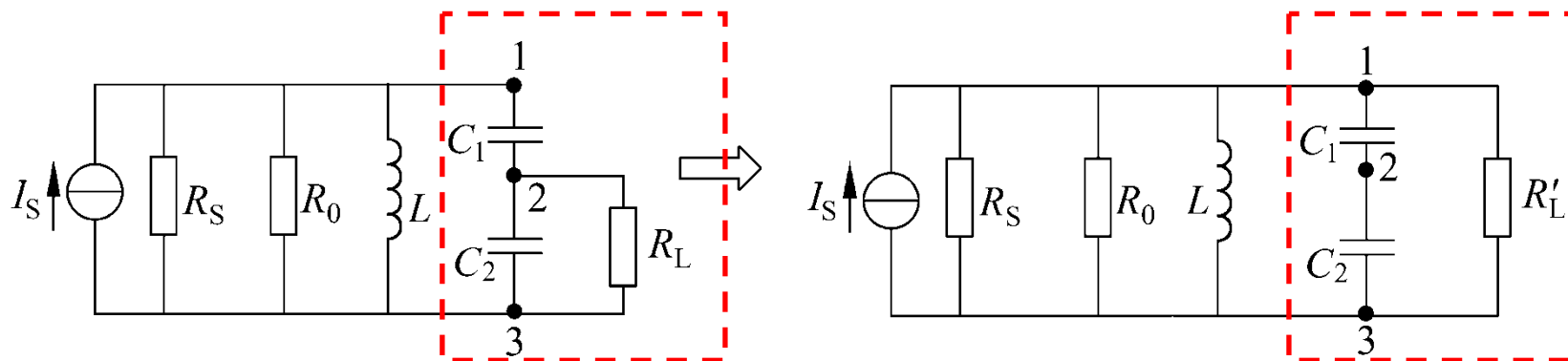
$$R'_L = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 R_L = \frac{1}{n^2} R_L$$

$$Q_L = \frac{R_0 // R_S // R'_L}{\omega_0 L}$$

$$R'_L > R_L, \uparrow Q_L$$

$$n \downarrow \rightarrow R'_L \uparrow \rightarrow Q_L \uparrow$$

三、电容抽头接入



接入系数 $n = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$

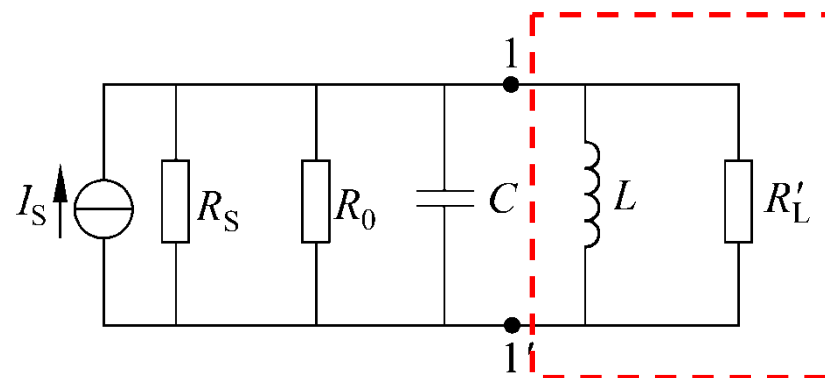
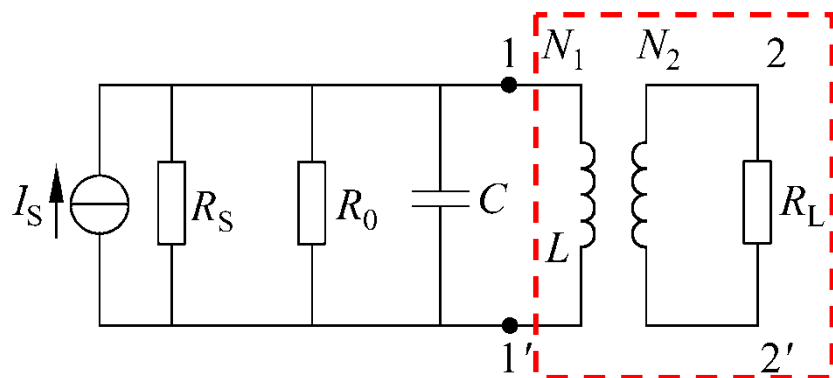
$$R'_L = \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1} \right)^2 R_L = \frac{1}{n^2} R_L$$

$$Q_L = \frac{R_0 // R_S // R'_L}{\omega_0 L}$$

$$R'_L > R_L, \uparrow Q_L$$

$$n \downarrow \rightarrow R'_L \uparrow \rightarrow Q_L \uparrow$$

四、互感变压器接入

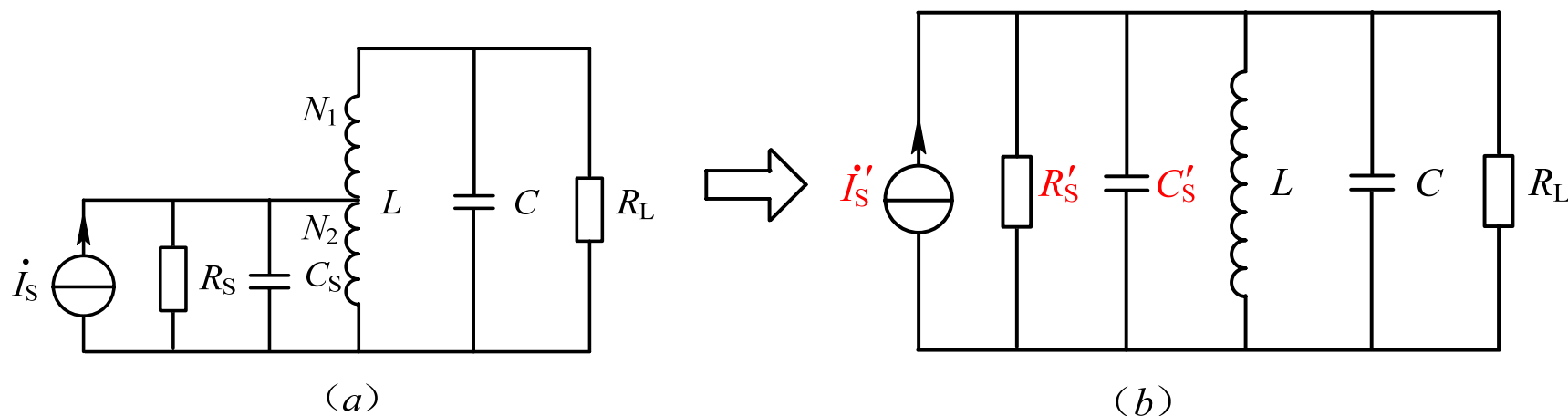


接入系数

$$n = \frac{N_2}{N_1}$$

$$R'_L = \frac{1}{n^2} R_L$$

五、电容及信号源部分接入的计算



定义接入系数

$$n = \frac{N_2}{N_1}$$

则 $R'_S = \frac{1}{n^2} R_S$ $C'_S = n^2 C_S$ $I'_S = n I_S$

说明:

(1) $0 < n < 1$, 调节 n 可改变折算电阻数值。 n 越小, R_L 与回路接入部分越少, 对回路影响越小, R'_L 越大。

(2) 对于电容抽头接入, 接入系数为

$$n = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

(3) 当外接负载不是纯电阻, 包含有电抗成分时, 上述等效变换关系仍适用。

$$R'_L = \frac{1}{n^2} R_L$$

$$C'_L = n^2 C_L$$

(4) 谐振回路信号源的部分接入的折算方法与上述负载的接入方式相同。

$$R'_S = \frac{1}{n^2} R_S$$

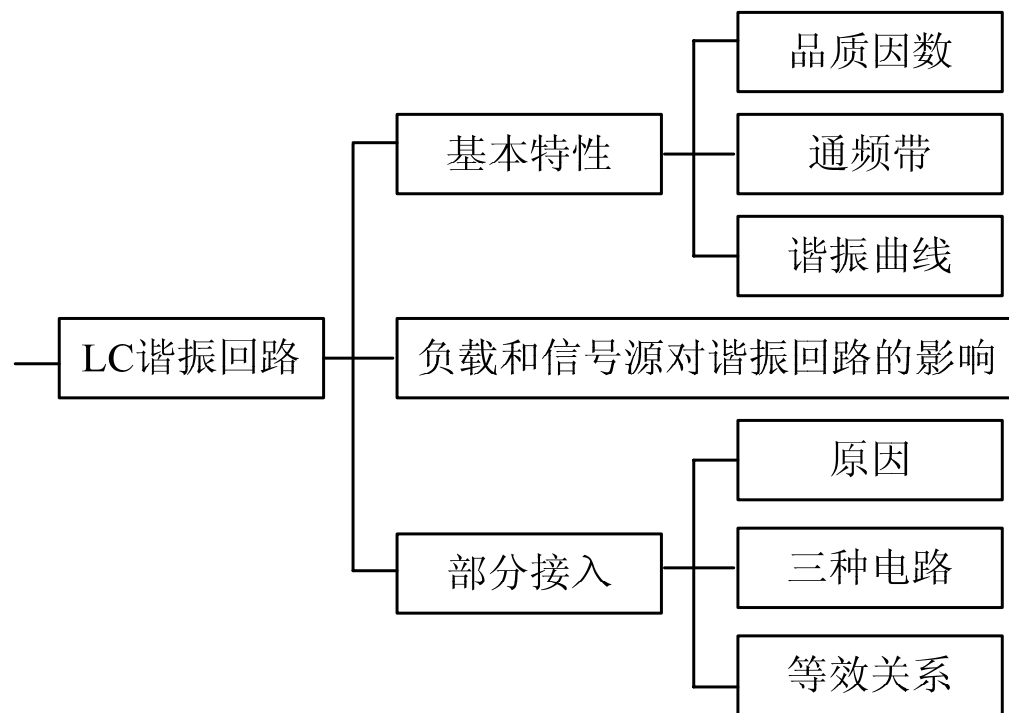
$$I'_S = nI_S$$

(5) 为区别信号源和负载与回路的接入系数，在信号源和负载均采用部分接入的电路中，可以规定两个接入系数，如：

n_1 为信号源与回路的接入系数，

n_2 为负载与回路的接入系数。

本节知识结构框图



作业

教材 2-4 2-6 2-7