第二章 高频小信号放大器

2.2 高频电路的基础知识

2.2 高频电路的基础知识

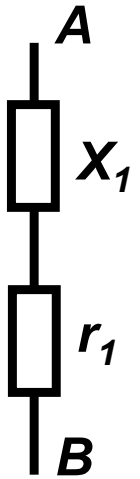
三 串并联阻抗的等效互换

由（a）图得： $Z_1 = r_1 + jX_1$

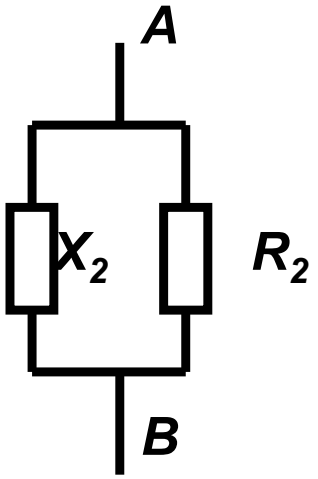
由（b）图得：

$$Z_2 = \frac{R_2 jX_2}{R_2 + jX_2}$$

$$= \frac{R_2 X_2^{\,2}}{R_2^{\,2} + X_2^{\,2}} + j\frac{R_2^{\,2} X_2}{R_2^{\,2} + X_2^{\,2}}$$



图（a）



图（b）

图2-8 等效互换电路

因 $Z_1 = Z_2$： $Z_1 = Z_2 \Rightarrow r_1 = \frac{R_2 X_2^{\,2}}{R_2^{\,2} + X_2^{\,2}}, X_1 = \frac{R_2^{\,2} X_2}{R_2^{\,2} + X_2^{\,2}}$ **(2-11)**

串联回路的品质因素**Q1**

$$Q_1 = \frac{I_1^{\,2} X_1}{I_1^{\,2} r_1} = \frac{X_1}{r_1},$$

并联回路的品质因素**Q2**

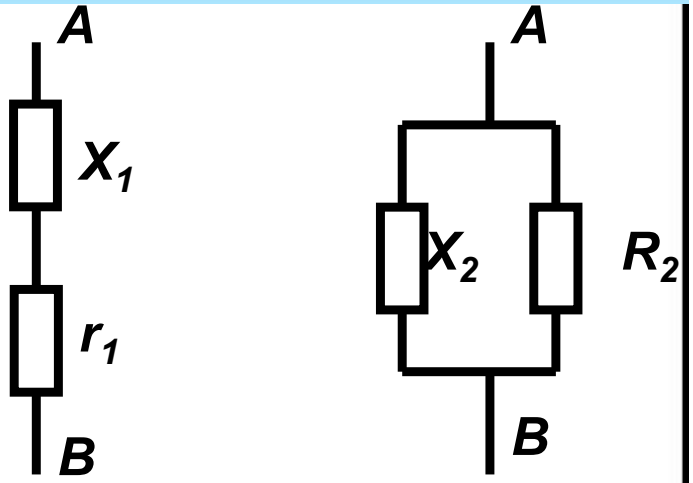
$$Q_2 = (\frac{U_2^{\,2}}{X_2}) / (\frac{U_2^{\,2}}{R_2}) = \frac{R_2}{X_2}$$

将式2-11代入上Q1式得： $Q_1 = Q_2 = Q$

说明：串联电路的有效品质因数也等效于并联电路的 $\frac{R_2}{X_2}$ 比值。

由式(2-11)得

$$\therefore \begin{cases} r_1 = \dfrac{R_2 X_2^{\,2}}{R_2^{\,2} + X_2^{\,2}} = \dfrac{R_2}{\dfrac{R_2^{\,2}}{X_2^{\,2}} + 1} = \dfrac{1}{Q^2 + 1} R_2, \\ X_1 = \dfrac{R_2^{\,2} X_2}{R_2^{\,2} + X_2^{\,2}} = \dfrac{X_2}{1 + \dfrac{X_2^{\,2}}{R_2^{\,2}}} = \dfrac{1}{1 + \dfrac{1}{Q^2}} X_2 \end{cases}$$



图（a）　　图（b）

图2-8 等效互换电路

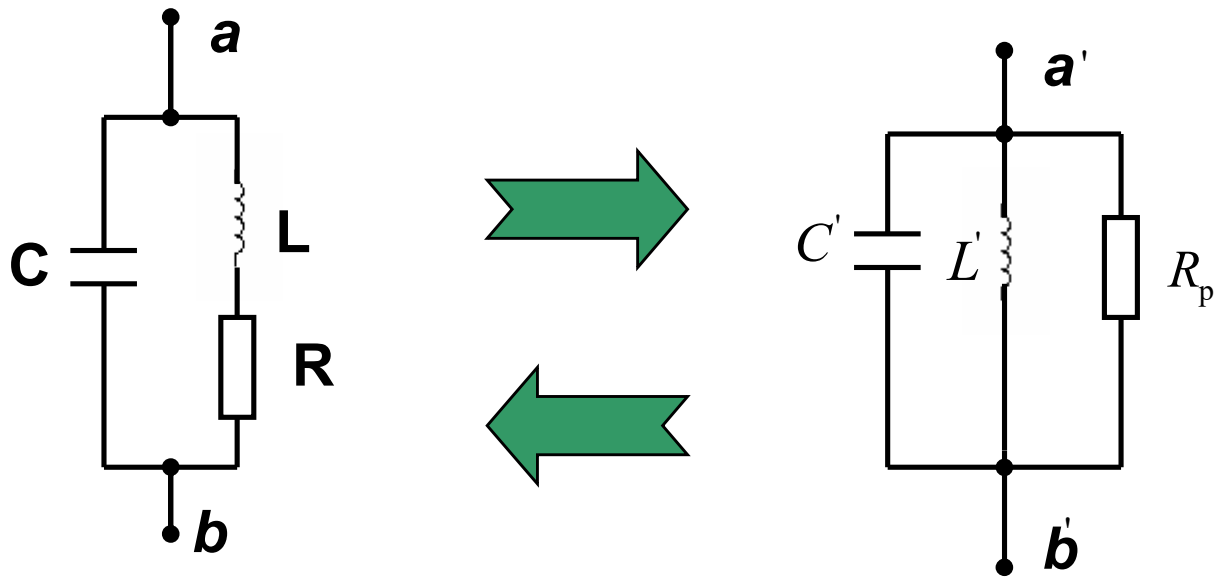
即 $\begin{cases} R_2 = (Q^2 + 1) r_1 \\ X_2 = (1 + \dfrac{1}{Q^2}) X_1 \end{cases}$

当Q>>1时有： $R_2 \approx Q^2 r_1, \quad X_2 \approx X_1$

结论1：串联电路转换成等效并联电路后，电抗X_1与X_2性质相同，当Q值较大时，电抗X基本不变；而并联电路的电阻R_2比串联电路的电阻r1大Q^2倍。

2.2 高频电路的基础知识

[例]：

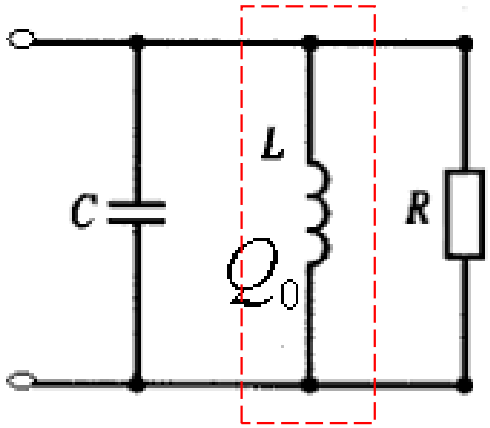


$$\begin{cases} R=\dfrac{R_p}{Q^2} \\ C=C' \\ L=L' \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_p=Q^2R=\dfrac{L}{CR} \\ C=C' \\ L=L' \end{cases}$$

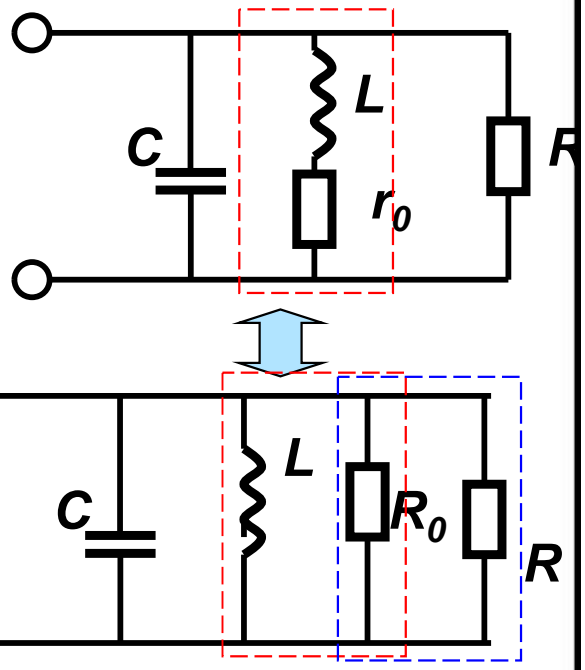
结论2：并联于回路两端的电阻 R_p越大，就相当于串联于电感支路中的电阻 R 越小，回路的 Q 值就越高；并联于回路两端的电阻 R_p越小，就相当于串联于回路中的电阻 R 越大，回路的 Q 值就越低。

例1：已知LCR并联谐振回路，谐振频率 f_0=10*MHz*,电感L在f_0=10*MHz*时测得 *L*=3*uH*， Q_0=100 ，$R=10K\Omega$，利用串并联等效互换求谐振电阻R_p



解：$$r_0=\frac{\omega_0 L}{Q_0}=\frac{2\pi\times10\times10^6\times3\times10^{-6}}{100}$$

$$=1.885(\Omega)$$



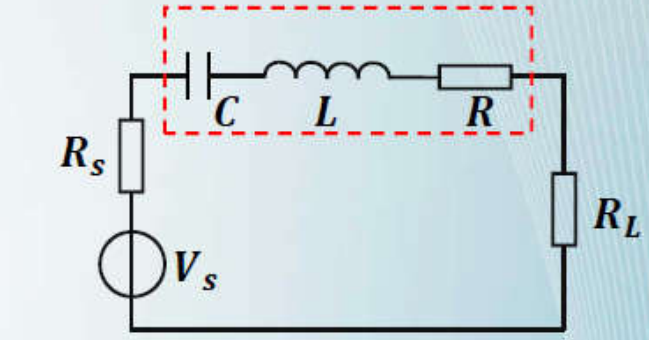
由串并联等效互换有：$R_0\approx Q_0^{\,2}r_0=18.85K\Omega$

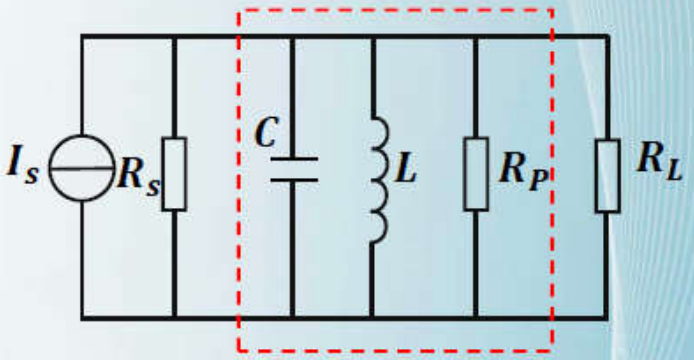
$$R_p=\frac{R_0R}{R_0+R}=6.534(k\Omega)$$

比较 ：$R_0=Q_0\omega_0L=18.85(k\Omega)$, $R_p=\dfrac{R_0R}{R_0+R}$

回顾与讨论

- 信号源内阻R_S和负载电阻R_L小：串联方式 —— 分压小
- 信号源内阻R_S和负载电阻R_L大：并联方式 —— 分流小
- 信号源内阻R_S和负载电阻R_L不大不小：

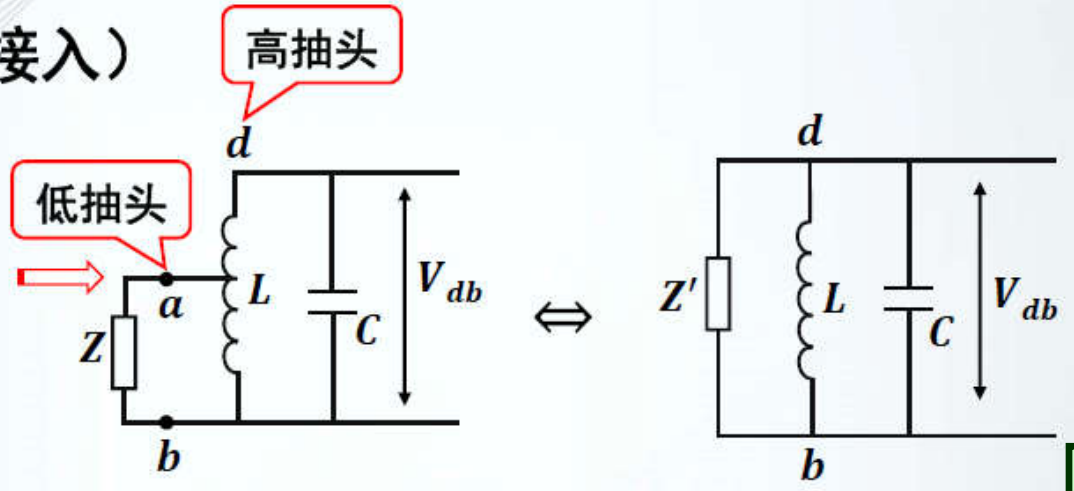




抽头/部分接入

需要阻抗转换
然后并联方式

抽头（部分接入）



接入系数：$p = \frac{V_{ab}}{V_{db}} \leq 1$

$$p = \frac{\text{接入部分的电压}}{\text{回路两端总电压}}$$

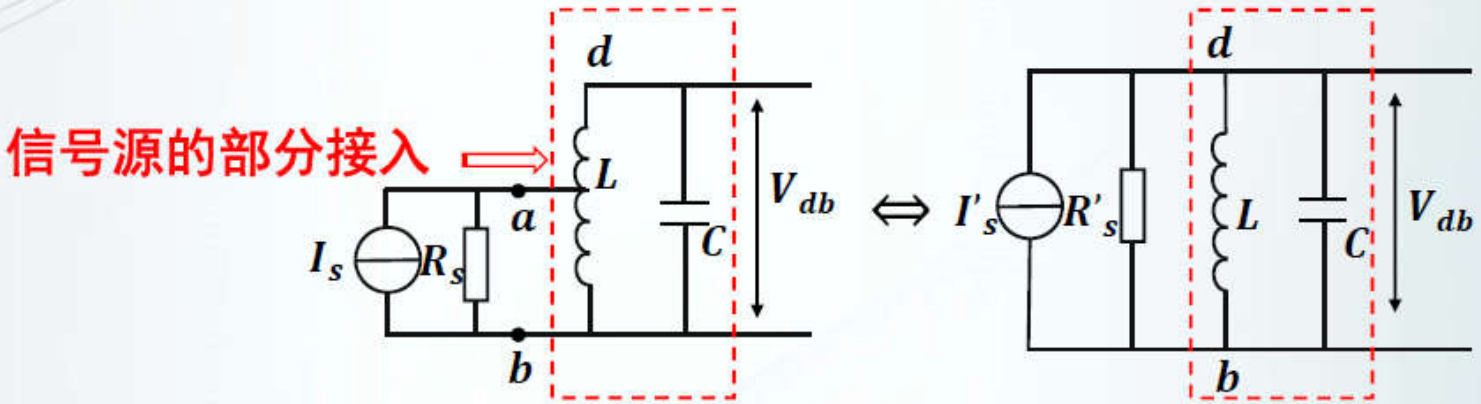
功率等效：$\frac{V_{ab}^2}{Z} = \frac{V_{db}^2}{Z'} \Rightarrow Z' = \left(\frac{V_{db}}{V_{ab}}\right)^2 Z = \frac{1}{p^2} Z$

表明：低抽头→高抽头，等效电阻/电抗提高$\frac{1}{p^2}$倍

电压提高$\frac{1}{p}$倍

电流降低p倍

抽头（部分接入）



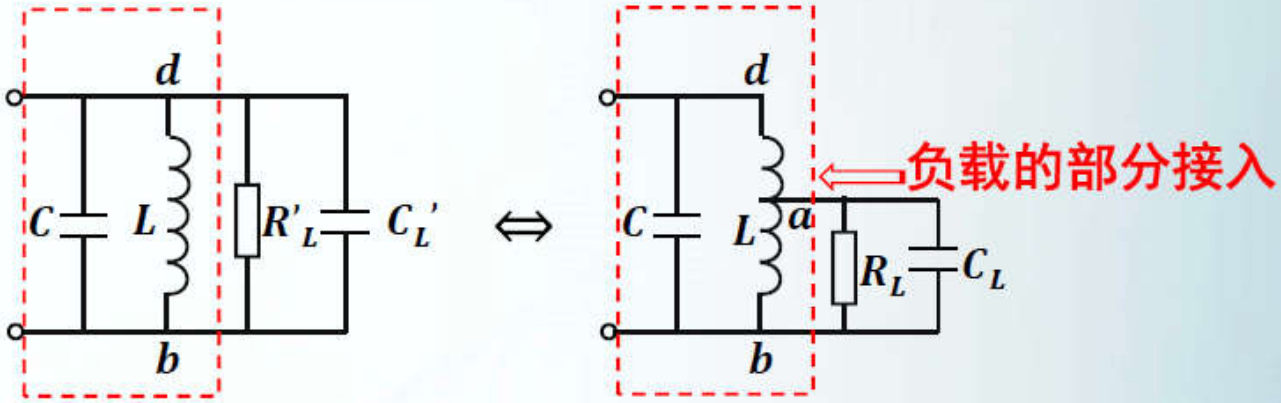
低抽头→高抽头：

$R'_s = \frac{1}{p^2} R_s$ ⇔等效信号源内阻R'_s提高$\frac{1}{p^2}$倍

$I'_s = p \cdot I_s$ ⇔等效信号源电流I'_s降低p倍

功率等效：
$I_s \cdot V_{ab} = I'_s \cdot V_{db}$

抽头（部分接入）



低抽头→高抽头：

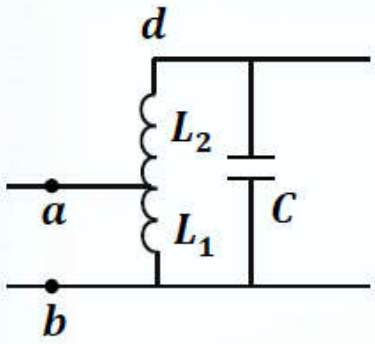
$R_L' = \frac{1}{p^2} R_L$ ⇔等效负载电阻R_L'提高$\frac{1}{p^2}$倍

$\frac{1}{\omega C_L'} = \frac{1}{p^2} \cdot \frac{1}{\omega C_L}$ ⇔等效负载容抗$\frac{1}{\omega C_L'}$提高$\frac{1}{p^2}$倍

⇨ $C_L' = p^2 \cdot C_L$ ⇔等效负载电容C_L'降低p^2倍

接入系数p

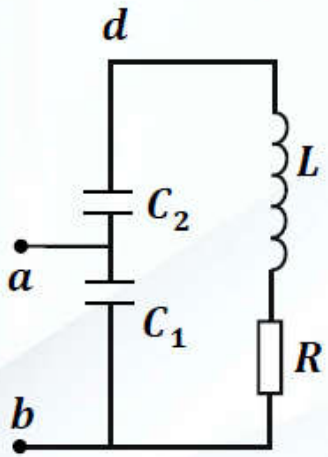
- 电感抽头



不考虑L_1和L_2之间的互感M：$p=\dfrac{L_1}{L_1+L_2}=\dfrac{N_1}{N_1+N_2}$

考虑L_1和L_2之间的互感M：$p=\dfrac{L_1\pm M}{L_1+L_2\pm 2M}$

- 电容抽头



$C=\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}$

$p=\dfrac{C}{C_1}=\dfrac{C_2}{C_1+C_2}$

注：当外接在ab端的阻抗远大于 ωL_1或$\dfrac{1}{\omega C_1}$时才成立

定义接入系数：$p=\dfrac{\text{转换前的圈数 (或容抗)}}{\text{转换后的圈数 (或容抗)}}$

五、接入系数与变换关系：

接入系数：

$$p = \frac{\text{转换前的圈数 (或容抗)}}{\text{转换后的圈数 (或容抗)}}$$

变换关系：

$$R_L' = \frac{R_L}{p^2}, X_L' = \frac{X_L}{p^2}, U_g' = \frac{U_g}{p};$$

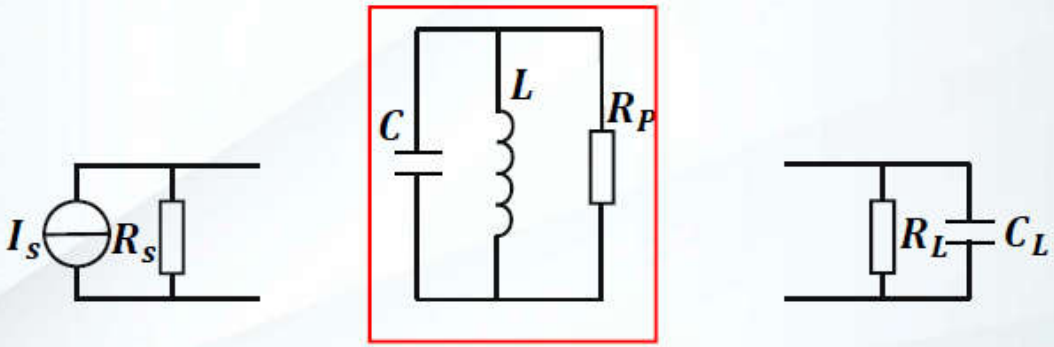
$$g_L' = p^2 g_L, C_L' = p^2 C_L, I_g' = p I_g$$

要点提示—抽头（部分接入）

抽头本质：阻抗转换

低抽头→高抽头 ⇔ 等效阻抗提高$\frac{1}{p^2}$倍

抽头目的：减小信号源内阻和负载对回路的影响

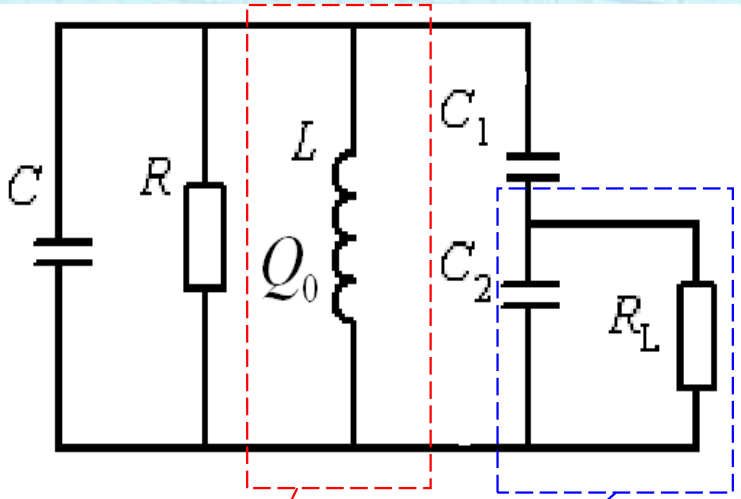


例1：右图等效电路中 $L=0.8uH,$

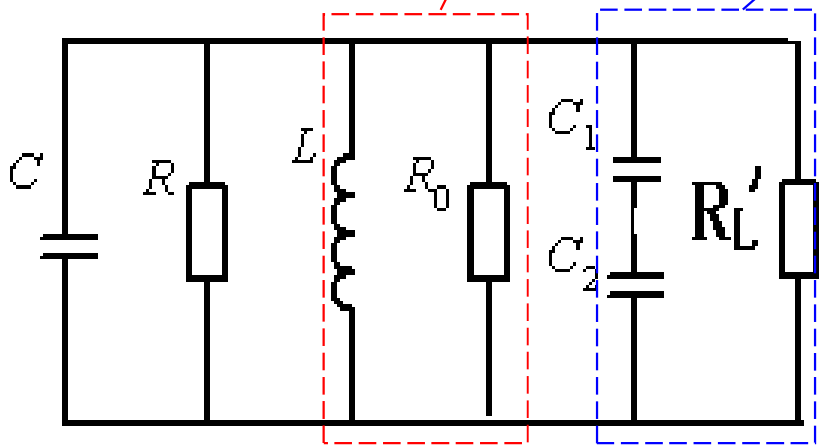
$Q_0=100, C=5\,pF, C_1=20\,pF,$

$C_2=20\,pF, R=10k\Omega, R_L=5k\Omega$

计算回路的谐振频率、谐振电阻。



解：画出等效电路如右图：



接入系数

$$p=\frac{\dfrac{1}{\omega C_2}}{\dfrac{1}{\omega C_1}+\dfrac{1}{\omega C_2}}=\frac{C_1}{C_1+C_2}=\frac{1}{2},$$

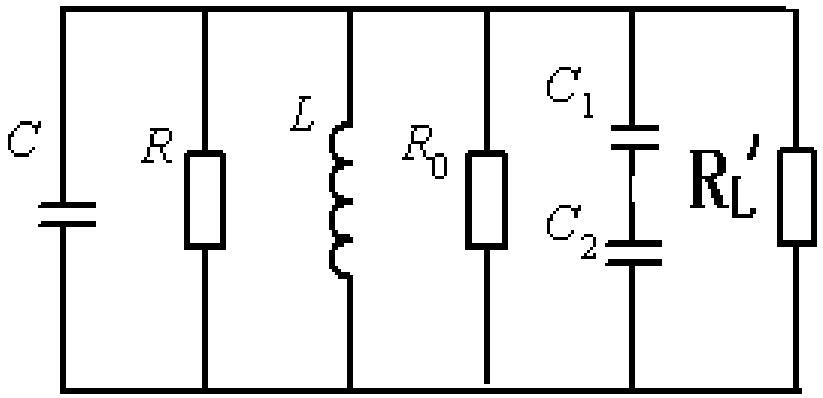
$$R_L'=\frac{R_L}{p^2}=20k\Omega \qquad R_0=\omega_0 L Q_0$$

回路总电容 $C_\Sigma = C + \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 5 + \dfrac{20 \times 20}{20 + 20} = 15(pF)$

求谐振频率：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_\Sigma}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.8\times10^{-6}\times15\times10^{-12}}} = 45.97(MHz)$$

求谐振电阻：



$$R_0 = \omega_0 L Q_0$$

$$= 2\pi \times 45.97 \times 10^6 \times 0.8 \times 10^{-6} \times 100$$

$$= 23.09(k\Omega)$$

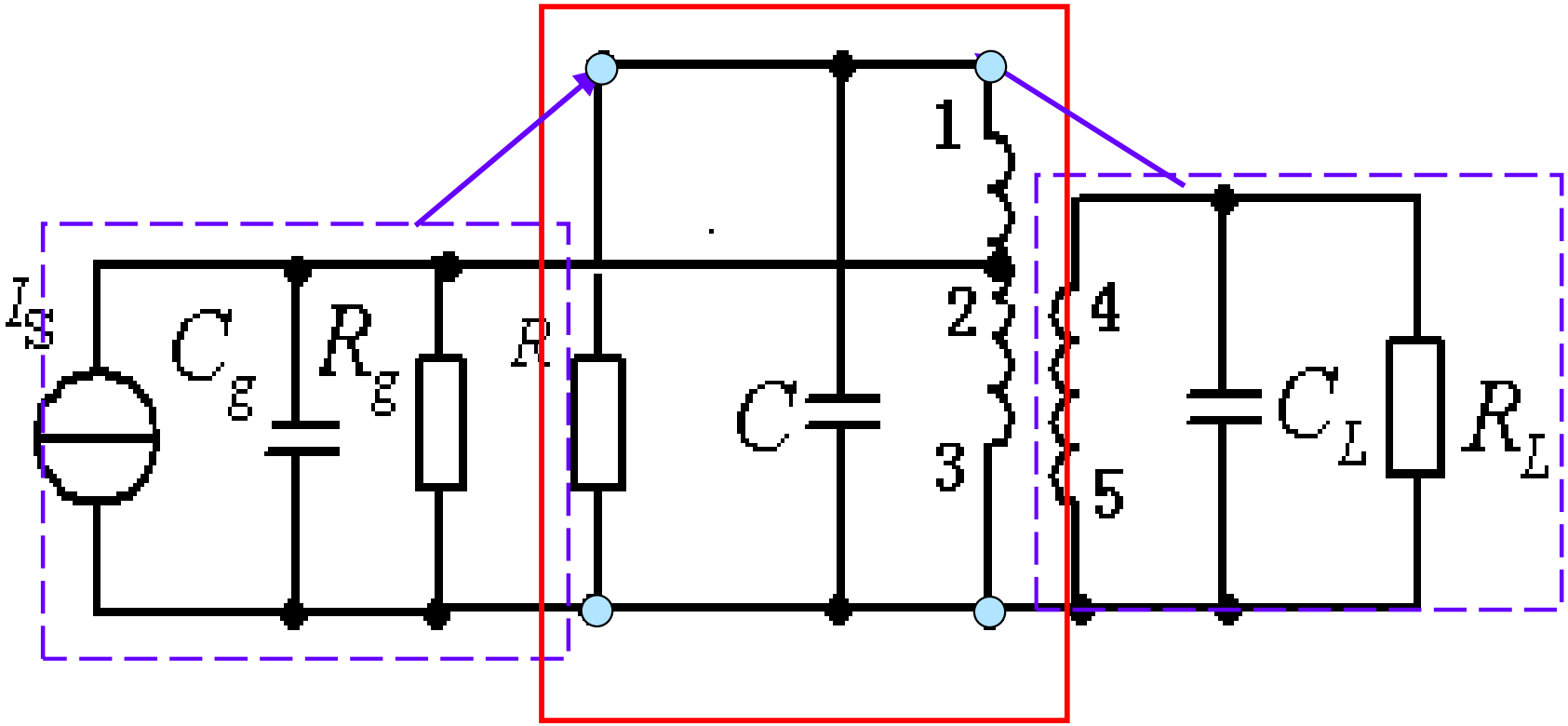
$$R_p = \frac{1}{\dfrac{1}{R} + \dfrac{1}{R_0} + \dfrac{1}{R_L'}} = 5.17(k\Omega)$$

例2：电路如图所示，给定参数为

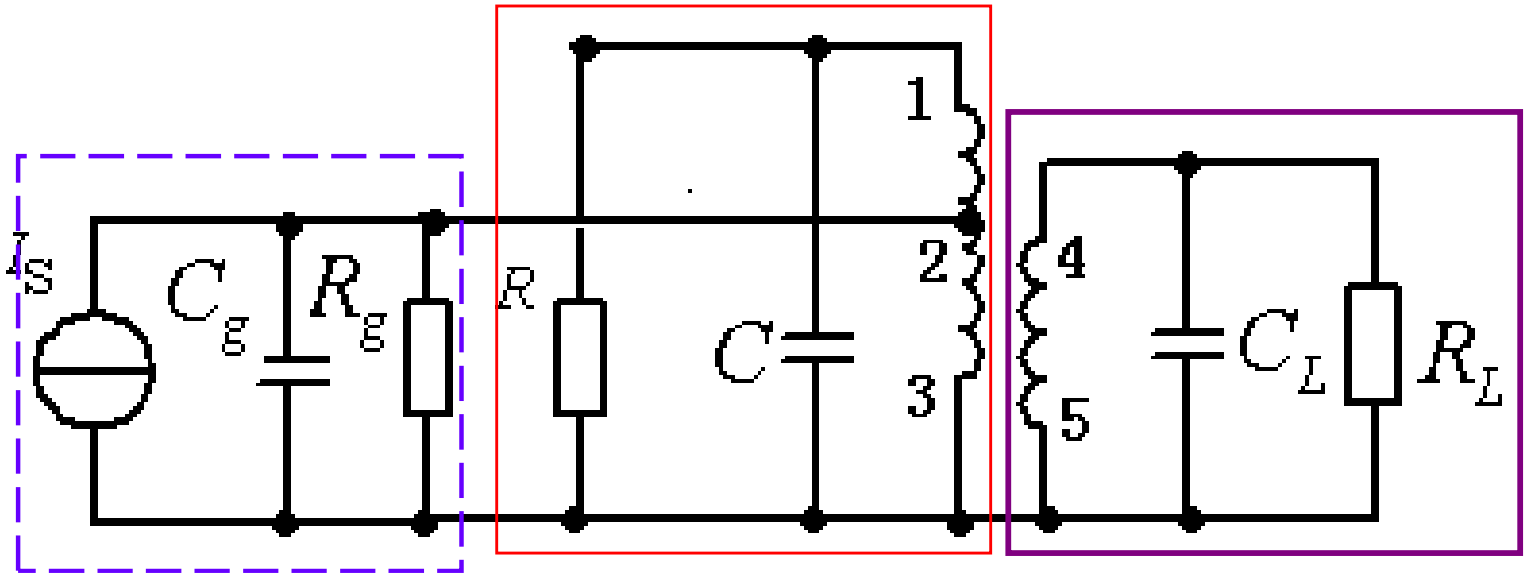
$f_0 = 30MHz, C = 20\,pF$，线圈L_{13}的$Q_0 = 60,$

$N_{12} = 6, N_{23} = 4, N_{45} = 3, R_g = 10k\Omega, R = 2.5k\Omega,$

$R_L = 830k\Omega, C_g = 9\,pF, C_L = 12\,pF$，求$L_{13}, Q_L$

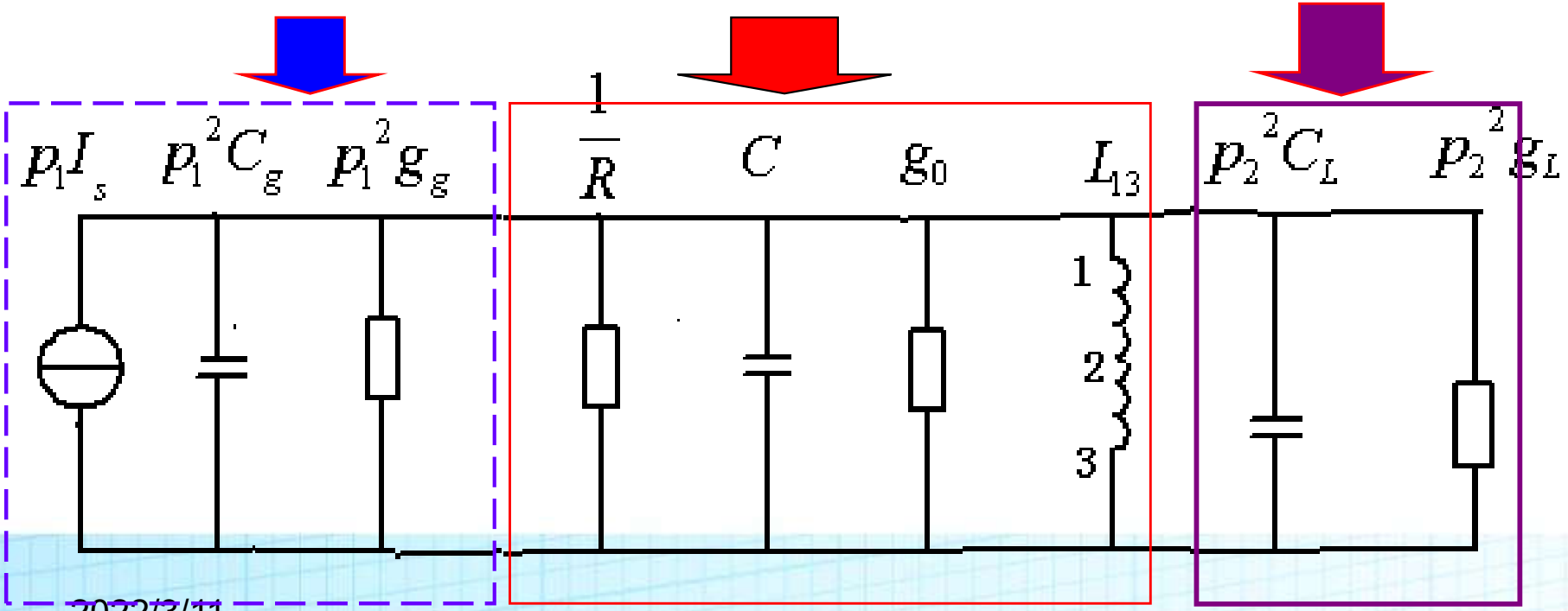


分析：计算之前要画等效电路，画等效电路时要注意两点：(1)L为有损电感要补充损耗电阻(2)要进行等效电路变换

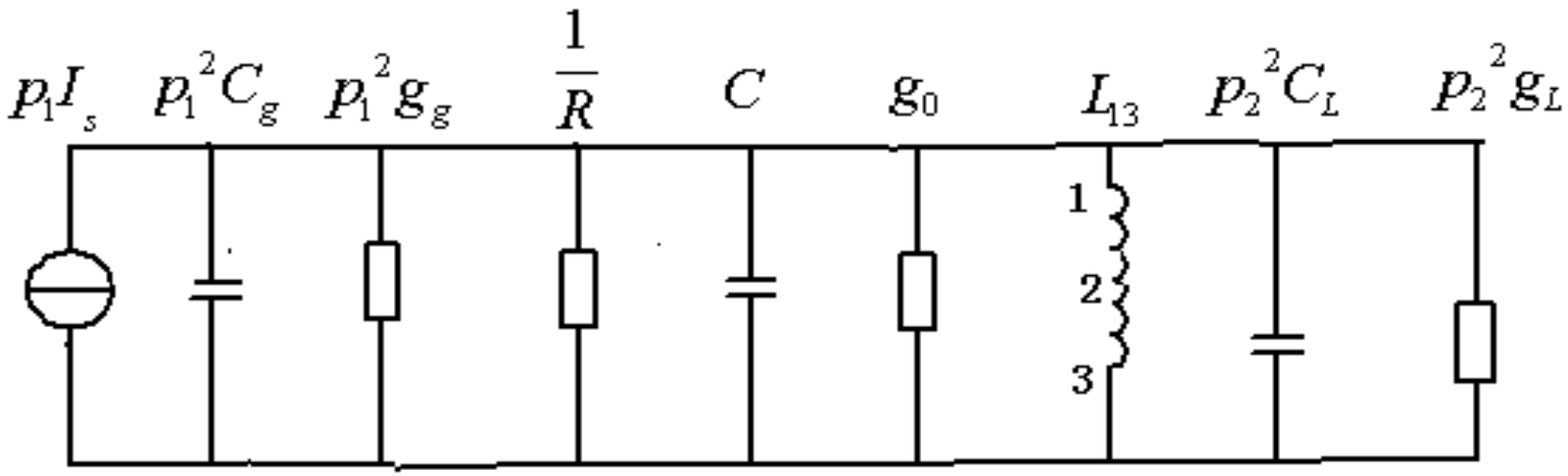


$$p_1 = \frac{N_{23}}{N_{13}}$$

$$p_2 = \frac{N_{45}}{N_{13}}$$



解：等效电路如下：



$$p_1 = \frac{N_{23}}{N_{13}} = 0.4, p_2 = \frac{N_{45}}{N_{13}} = 0.3, g_g = \frac{1}{R_g}, g_L = \frac{1}{R_L}, g_0 = \frac{1}{R_0}$$

(1)求L_{13}

$$C_\Sigma = p_1^2 C_g + C + p_2^2 C_L = 0.4^2 \times 9 + 20 + 0.3^2 \times 12 = 22.52(pF)$$

$$L_{13} = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C_\Sigma} = \frac{1}{(2\pi \times 30 \times 10^6)^2 \times 22.52 \times 10^{-12}} = 1.25(uH)$$

(2)求Q_L

$$g_0 = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{\omega_0 L_{13} Q_0} = \frac{1}{2\pi \times 30 \times 10^6 \times 1.25 \times 10^{-6} \times 60} = 70.7(uS)$$

$$g_\Sigma = p_1^{\,2} g_g + \frac{1}{R} + g_0 + p_2^{\,2} g_L$$

$$= 0.4^2 \frac{1}{2.5 \times 10^3} + \frac{1}{10 \times 10^3} + 70.7 \times 10^{-6} + 0.3^2 \frac{1}{830 \times 10^3}$$

$$= 343.1(uS)$$

$$Q_L = \frac{1}{\omega_0 L_{13} g_\Sigma} = \frac{1}{2\pi \times 30 \times 10^6 \times 1.25 \times 10^{-6} \times 343.1 \times 10^{-6}} = 12.37$$

要点提示—特斯拉线圈

- 隔空点灯
- 人工闪电
- 无线远距离电力传输

特斯拉之塔:沃登克里弗塔

复习题作业题

1.Q值较大时,串并联阻抗等效互换前后,电阻和电抗的关系是怎样的?

2. 负载对谐振电路的Q值有何影响?串并联谐振电路对负载电阻的大小分别有什么样的要求?

作业

教材二版： 2-1，2-5，2-6，2-10