

第1章 电子通信概论

一、PPT-P9 如图所示, R_i 、 C_i 和 R_o 、 C_o 分别为信号源阻抗和负载阻抗, 已知:

$$L = 0.8\mu H, Q_0 = 100, C_1 = C_2 = 20pF, \\ C_i = 5pF, R_i = 10k\Omega, C_o = 2pF, R_o = 5k\Omega$$

求:

- (1) 谐振频率
- (2) 谐振阻抗 (不计 R_i 与 R_o 时)
- (3) 有载 Q_L 值和通频带

提醒:

C_o 是否要采用折合方式?

电路中是否有什么器件未画?

解 等效电路如右图所示

$$(1) \because C' = C_2 + C_o = 22pF$$

$$C_\Sigma = C_i + \frac{C_1 C'}{C_1 + C'} = 5 + \frac{20 \times 22}{20 + 22} = 15.48pF$$

$$\therefore f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_\Sigma}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.8 \times 10^{-6} \times 15.48 \times 10^{-12}}} \approx 45.3MHz$$

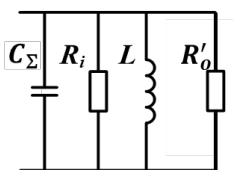
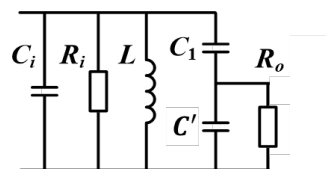
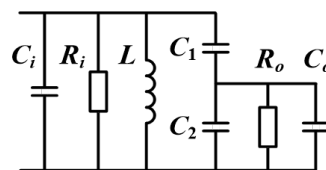
$$(2) R_p = Q_0 \omega_p L = 100 \times 2\pi \times 45.3 \times 10^6 \times 0.8 \times 10^{-6} \approx 22.76k\Omega$$

$$(3) \because p = \frac{C_1}{C' + C_1} = \frac{20}{22 + 20} \approx \frac{1}{2}$$

$$\therefore R_o' = \frac{R_o}{p^2} = \frac{5}{\left(\frac{1}{2}\right)^2} = 20k\Omega$$

$$\therefore Q_L = \frac{Q_0}{1 + \frac{R_p}{R_i} + \frac{R_p}{R_o'}} = \frac{100}{1 + \frac{22.76}{10} + \frac{22.76}{20}} \approx 22.62$$

$$\therefore B = \frac{f_p}{Q_L} = \frac{45.3 \times 10^6}{22.62} \approx 2MHz$$



二、PPT-P10 给定并联谐振回路的谐振频率 $f_0 = 5MHz$, $C = 50pF$, 通频带 $2\Delta f_{0.7} =$

$150kHz$, 试求电感 L 、品质因数 Q_0 以及对信号源频率为 $5.5MHz$ 时的衰减 $\alpha(dB)$ 。又若把 $2\Delta f_{0.7}$ 加宽至 $300kHz$, 问应在回路两端并一个多大的电阻?

提示: 本题对并联谐振回路参数及选择性进行计算, 以便熟悉并联回路的基本计算公式。通过并联回路并接电阻后对通频带的计算, 知道改变回路并接电阻大小调节通频带的方法。

解 回路电感值为

$$L = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C} = \frac{1}{(2\pi \times 5 \times 10^6)^2 \times 50 \times 10^{-12}} H = 20.2\mu H$$

$$\text{又} \quad 2\Delta f_{0.7} = \frac{f_0}{Q_0}$$

$$\text{因此} \quad Q_0 = \frac{f_0}{2\Delta f_{0.7}} = \frac{5 \times 10^6}{150 \times 10^3} = 33.3$$

当信号源频率为 $5.5MHz$ 时

$$\Delta f = f - f_0 = 5.5 - 5 = 0.5 \text{ MHz}$$

$$\alpha = -20 \lg \sqrt{1 + \left(Q \frac{2\Delta f}{f_0}\right)^2} \approx -16.5 \text{ dB}$$

要使 $2\Delta f_{0.7}$ 加宽为 300 kHz , 则 Q 值应减半, 即

$$Q_L = \frac{1}{2} Q_0 = 16.7$$

设回路的并联等效电导为 g_p , 则由

$$Q_0 = \frac{1}{g_p \omega_0 L}$$

$$\text{可以求出 } g_p = \frac{1}{Q_0 \omega_0 L} = \frac{1}{33.3 \times 2\pi \times 5 \times 10^6 \times 20.2 \times 10^{-6}} \text{ S} = 47 \times 10^{-6} \text{ S}$$

当 Q_0 下降为 Q_L 后, g_p 变为 $g_\Sigma = 2 \times 47 \times 10^{-6} \text{ S}$ 。因而并联电导值为

$$g = g_\Sigma - g_p = 47 \times 10^{-6} \text{ S}$$

即并联电阻值为

$$R = \frac{1}{g} = 21.3 \text{ k}\Omega$$

三、课后练习 1.20 图 T1.20 所示电路中, 电路谐振在 $f_0 = 16 \text{ MHz}$, 带宽为 $B_{3\text{dB}} =$

1.6 MHz , 在谐振频率上有最大的信号传输到 R_L 上。试求 C_1 , C_2 和 L 的值。

解 等效电路如右图所示

品质因素

$$Q_p = \frac{f_0}{B_{3\text{dB}}} = \frac{16}{1.6} = 10$$

根据在谐振频率上有最大的信号传输到 R_L 上, 可得

$$R'_L = \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1}\right)^2 \cdot R_L = R_s = 9 \text{ k}\Omega$$

再得

$$\left(\frac{C_1 + C_2}{C_1}\right)^2 = \frac{R'_L}{R_L} = \frac{R_s}{R_L} = \frac{9 \times 10^3}{1 \times 10^3} = 9 \quad \text{①}$$

$$R_p = R_s // R'_L = 4.5 \text{ k}\Omega$$

根据 $Q_p = \frac{R_p}{\omega_0 L}$, 可得

$$L = \frac{R_p}{\omega_0 Q_p} = \frac{4.5 \times 10^3}{2\pi \times 16 \times 10^6 \times 10} = 4.48 \mu\text{H}$$

根据 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, 可得

$$C = \frac{1}{\omega_0^2 L} = \frac{1}{(2\pi \times 16 \times 10^6)^2 \times 4.48 \times 10^{-6}} = 22.08 \text{ pF}$$

$$\text{即 } C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 22.08 \text{ pF} \quad \text{②}$$

联立①②, 可得 $C_1 = 33 \text{ pF}$, $C_2 = 66 \text{ pF}$

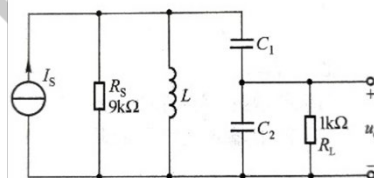
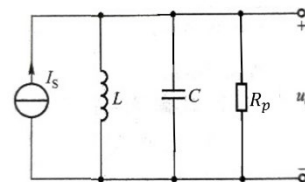
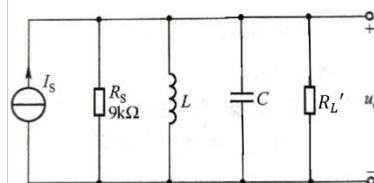


图 T1.20



第3章 混频器

四、PPT-P16 超外差式广播收音机的接收频率范围为535~1605kHz，中频为465kHz，

(1)当收听700kHz的电台时，还可能收到哪些频率电台？（写出两个最强的），并说明产生原因？(2)若干扰信号和电台信号幅度相等，求信号中频和干扰中频幅度比。

解 (1) 还可能收到频率为815kHz、(932.5kHz和1397.5kHz二选一)的电台

已知 $f_s = 700\text{kHz}$, $f_i = 465\text{kHz}$

则 $f_0 = f_s + f_i = 700 + 465 = 1165\text{kHz}$ ，干扰信号频率为 $f_n \approx \frac{1}{q}(pf_0 \pm f_i)$

当 $p = q = 1$ 时，

$f_n \approx f_0 + f_i = 1165 + 465 = 1630\text{kHz}$ ，镜频干扰，但超出接收频率范围

当 $p = 1$, $q = 2$ 时，

$f_n \approx \frac{1}{2}(f_0 + f_i) = \frac{1}{2}(1165 + 465) = 815\text{kHz}$ ，三阶副波道干扰

$f_n \approx \frac{1}{2}(f_0 - f_i) = \frac{1}{2}(1165 - 465) = 350\text{kHz}$ ，超出接收频率范围

当 $p = 2$, $q = 1$ 时，

$f_n \approx 2f_0 + f_i = 2 \times 1165 + 465 = 2795\text{kHz}$ ，超出接收频率范围

$f_n \approx 2f_0 - f_i = 2 \times 1165 - 465 = 1865\text{kHz}$ ，超出接收频率范围

当 $p = q = 2$ 时，

$f_n \approx \frac{1}{2}(2f_0 + f_i) = \frac{1}{2}(2 \times 1165 + 465) = 1397.5\text{kHz}$ ，四阶副波道干扰

$f_n \approx \frac{1}{2}(2f_0 - f_i) = \frac{1}{2}(2 \times 1165 - 465) = 932.5\text{kHz}$ ，四阶副波道干扰

(2) 设干扰信号表达式为 $U_n = U_m \cos \omega_n t$ ，电台信号表达式为 $U_s = U_m \cos \omega_s t$ ，本振信号表达式为 $U_L = U_{Lm} \cos \omega_L t$

① 当 $p = 1$, $q = 2$ 时， $f_n \approx \frac{1}{2}(f_0 + f_i)$ ，即 $f_i \approx 2f_n - f_0$

信号中频由二次项产生，即

$$\begin{aligned} & a_2(U_L + U_s)^2 \\ &= a_2(U_{Lm} \cos \omega_L t + U_m \cos \omega_s t)^2 \\ &= a_2(U_{Lm}^2 \cos^2 \omega_L t + 2U_{Lm}U_m \cos \omega_L t \cos \omega_s t + U_m^2 \cos^2 \omega_s t) \\ &= a_2 \left\{ U_{Lm}^2 \frac{\cos 2\omega_L t + 1}{2} + U_{Lm}U_m [\cos(\omega_L + \omega_s)t + \cos(\omega_L - \omega_s)t] + U_m^2 \frac{\cos 2\omega_s t + 1}{2} \right\} \end{aligned}$$

因此信号中频的幅度为： $a_2 U_{Lm} U_m$

干扰中频由三次项产生，即

$$\begin{aligned} & a_3(U_n + U_L)^3 \\ &= a_3(U_m \cos \omega_n t + U_{Lm} \cos \omega_L t)^3 \\ &= a_3(U_m^3 \cos^3 \omega_n t + 3U_m^2 U_{Lm} \cos^2 \omega_n t \cos \omega_L t + 3U_m U_{Lm}^2 \cos \omega_n t \cos^2 \omega_L t + U_{Lm}^3 \cos^3 \omega_L t) \\ &= a_3 \left[U_m^3 \left(\frac{1}{4} \cos 3\omega_n t + \frac{3}{4} \cos \omega_n t \right) + 3U_m^2 U_{Lm} \frac{\cos 2\omega_n t + 1}{2} \cos \omega_L t \right. \\ & \quad \left. + 3U_m U_{Lm}^2 \cos \omega_n t \frac{\cos 2\omega_L t + 1}{2} + U_{Lm}^3 \left(\frac{1}{4} \cos 3\omega_L t + \frac{3}{4} \cos \omega_L t \right) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= a_3 \left[\frac{1}{4} U_m^3 \cos 3\omega_n t + \frac{1}{4} U_{Lm}^3 \cos 3\omega_L t + \frac{3}{2} U_m^2 U_{Lm} \cos 2\omega_n t \cos \omega_L t + \frac{3}{2} U_m U_{Lm}^2 \cos \omega_n t \cos 2\omega_L t \right. \\
&\quad \left. + \left(\frac{3}{4} U_m^3 + \frac{3}{2} U_m U_{Lm}^2 \right) \cos \omega_n t + \left(\frac{3}{2} U_m^2 U_{Lm} + \frac{3}{4} U_{Lm}^3 \right) \cos \omega_L t \right] \\
&= a_3 \left\{ \frac{1}{4} U_m^3 \cos 3\omega_n t + \frac{1}{4} U_{Lm}^3 \cos 3\omega_L t + \frac{3}{4} U_m^2 U_{Lm} [\cos(2\omega_n + \omega_L t) + \cos(2\omega_n - \omega_L t)] \right. \\
&\quad \left. + \frac{3}{4} U_m U_{Lm}^2 [\cos(\omega_n + 2\omega_L t) + \cos(\omega_n - 2\omega_L t)] \right. \\
&\quad \left. + \left(\frac{3}{4} U_m^3 + \frac{3}{2} U_m U_{Lm}^2 \right) \cos \omega_n t + \left(\frac{3}{2} U_m^2 U_{Lm} + \frac{3}{4} U_{Lm}^3 \right) \cos \omega_L t \right\}
\end{aligned}$$

因此干扰中频的幅度为: $\frac{3}{4} a_3 U_m^2 U_{Lm}$

信号中频和干扰中频幅度比 = $\frac{a_2 U_{Lm} U_m}{\frac{3}{4} a_3 U_m^2 U_{Lm}} = \frac{4a_2}{3a_3 U_m}$

② 当 $p = q = 2$ 时, 略

五、PPT-P16 当 $f_{n1} = 1.2\text{MHz}$, $f_{n2} = 0.8\text{MHz}$, 若接收机在 $1 \sim 3.5\text{MHz}$ 波段工作, 问在几个频率上会产生互调干扰?

解 根据 $|\pm m f_1 \pm n f_2|$, 得

若 $m, n = 1$

则 $|f_{n1} + f_{n2}| = |1.2 + 0.8| = 2.0\text{MHz}$

$|f_{n1} - f_{n2}| = |1.2 - 0.8| = 0.4\text{MHz}$ (波段外)

若 $m = 1, n = 2$

则 $|f_{n1} + 2f_{n2}| = |1.2 + 1.6| = 2.8\text{MHz}$

$|f_{n1} - 2f_{n2}| = |1.2 - 1.6| = 0.4\text{MHz}$ (波段外)

若 $m = 2, n = 1$

则 $|2f_{n1} + f_{n2}| = |2.4 + 0.8| = 3.2\text{MHz}$

$|2f_{n1} - f_{n2}| = |2.4 - 0.8| = 1.6\text{MHz}$

因此, 考虑三次以下谐波 f_{n1} 和 f_{n2} 在 $1 \sim 3.5\text{MHz}$ 波段内对 2.0MHz , 2.8MHz , 3.2MHz , 1.6MHz 等 4 个频率会产生互调干扰。

六、PPT-P16 某超外差接收机工作频段为 $0.55 \sim 25\text{MHz}$, 中频为 450kHz , 在波段内有哪些频率可能出现较大的组合干扰。(六阶以内)

解 组合频率干扰条件: $\frac{f_s}{f_i} = \frac{p \pm 1}{q - p}$

由已知条件: $\frac{f_s}{f_i} = \frac{0.55 \sim 25\text{MHz}}{450\text{kHz}} = 1.2 \sim 55.5$

当 $p = 0$ 时 $\frac{f_s}{f_i} = \frac{\pm 1}{q}$, q 为整数时不在范围之内, 所以不可能

当 $p = 1$ 时 $\frac{f_s}{f_i} = \frac{2}{q-1}$, 只有当 $q = 2$ 时, $\frac{f_s}{f_i} = 2$ 此时: $f_s = 450 \times 2 = 900\text{kHz}$

当 $p = 2$ 时 $\frac{f_s}{f_i} = \frac{3}{q-2} = \begin{cases} 3, & \text{当 } q = 3 \text{ 时} \\ 1.5, & \text{当 } q = 4 \text{ 时} \end{cases}$ 此时: $f_s = 450 \times 3 = 1350\text{kHz}$

$\frac{f_s}{f_i} = \frac{1}{q-2}$, 不在范围之内, 所以不可能

当 $p \geq 3$ 时 $\frac{f_s}{f_i} = \frac{4}{q-3}$, 不在范围之内, 所以不可能

所以, 在频率 675kHz , 900kHz , 1350kHz 会出现较大的组合频率干扰。

第4章 射频功率放大器

七、PPT-P25 已知谐振功率放大器的动态特性曲线如图中 ABC。

- 求：(1) 该谐振功率放大器工作在何状态？
 (2) U_{CC} , U_{cm} , $\cos \theta$, U_D , R_e
 (3) 若要输出功率最大、效率高，如何调整 R_e ？应为多少？

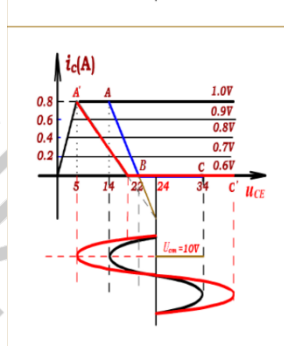
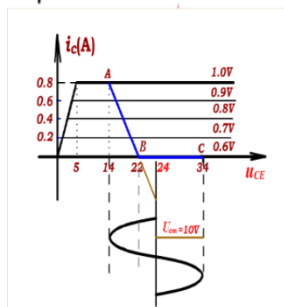
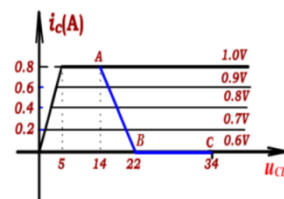
解 (1) 该谐振功率放大器工作在欠压状态

$$\begin{aligned} (2) \quad U_D &= 0.6V \\ U_{cm} &= (34 - 14)/2 = 10V \\ U_{CC} &= (14 + 10) = 24V \\ U_{cm} \cos \theta &= 24 - 22 = 2V \\ \cos \theta &= 2/10 = 0.2 \\ \theta &= 78.5^\circ \\ \text{查表} \alpha_1 &= 0.47 \end{aligned}$$

$$R_e = \frac{U_{cm}}{I_{c1}} = \frac{U_{cm}}{I_{cm} \alpha_1} = \frac{10}{0.8 \times 0.47} = 27\Omega$$

- (3) 增大 R_e 至临界状态，如图

$$\begin{aligned} U_{cm} &= 19V \\ \cos \theta &= 0.2 \text{ (不变)} \\ R_e' &= \frac{U_{cm}}{I_{c1}} = \frac{U_{cm}}{I_{cm} \alpha_1} = \frac{19}{0.8 \times 0.47} = 51\Omega \end{aligned}$$



八、PPT-P25 某谐振功率放大器的转移特性如图所示。已知该放大器采用晶体管的参数为 $f_T \geq 150MHz$ ，功率增益 $A_p \geq 13dB$ ，管子允许通过的最大电流 $I_{CM} = 3A$ ，最大集电极功耗为 $P_{Cmax} = 5W$ 。管子的 $V_{BZ} = 0.6V$ ，放大器的负偏置 $|V_{BB}| = 1.4V$ ，导通角 $\theta_c = 70^\circ$ ， $V_{CC} = 24V$ ，电压利用率 $\xi = 0.9$ ，试计算放大器的各参数。

解 (1) 根据图可求得转移特性的斜率

$$g_c = \frac{1}{(2.6 - 0.6)} = 0.5(A/V)$$

- (2) 根据 $\cos \theta_c = \frac{|V_{BB}| + V_{BZ}}{V_{bm}}$ ，求得

$$\theta_c = 70^\circ, \cos 70^\circ = 0.342, V_{bm} = \frac{|V_{BB}| + V_{BZ}}{\cos \theta_c} = \frac{1.4 + 0.6}{0.342} = 5.8(V)$$

- (3) 根据 $i_{Cmax} = g_c V_{bm} (1 - \cos \theta_c)$ ，求得

$$i_{Cmax} = \frac{1}{2} \times 5.8 \times (1 - 0.342) = 2A < I_{CM} \text{ (安全工作)}$$

$$I_{cm1} = i_{Cmax} \cdot \alpha_1(70^\circ) = 2 \times 0.436 = 0.872(A)$$

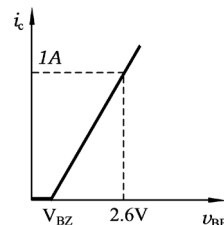
$$I_{C0} = i_{Cmax} \cdot \alpha_0(70^\circ) = 2 \times 0.253 = 0.506(A)$$

- (4) 求交流电压振幅

$$V_{cm} = V_{CC} \xi = 24 \times 0.9 = 21.6(V)$$

对应功率、效率

$$P_e = V_{CC} \cdot I_{C0} = 24 \times 0.506 = 12(W)$$



$$P_o = \frac{1}{2} I_{cm1} \cdot V_{cm} = \frac{1}{2} \times 0.872 \times 21.6 = 9.4W$$

$$P_c = P_{\Sigma} - P_o = 12 - 9.4 = 2.6W < P_{cmax} \quad (\text{安全工作})$$

$$\eta_c = \frac{P_o}{P_{\Sigma}} = \frac{9.4}{12} = 78\%$$

(5) 激励功率。因为 $A_p = 13dB$ ，即

$$A_p = 10 \lg \frac{P_o}{P_i} (dB)$$

$$\text{则} \quad P_b = P_i = \frac{P_o}{10^{\frac{A_p}{10}}} = \frac{9.4}{10^{1.3}} = 0.47(W)$$

九、PPT-P26 某高频谐振功放工作于临界状态，输出功率为 $15W$ ，且 $U_{CC} = 24V$ ，导通角 $\theta = 70^\circ$ ，功放管参数 $S_C = 1.5A/V$ ，试问：

- (1) 直流功率 P_E ，耗损 P_C ， η_c ，临界谐振电阻 R_e
- (2) 若输入信号振幅 U_{im} 增加一倍。功放工作状态如何变化？此时输出功率为多少？
- (3) 若谐振电阻增加一倍，功放的工作状态如何改变？
- (4) 若回路失谐，会有何危险？

解 (1) 查表，得 $\alpha_1(\theta) = 0.436$ ， $\alpha_0(\theta) = 0.253$

$$P_o = \frac{1}{2} I_{c1} U_{cm} = \frac{1}{2} I_{cm} \alpha_1(\theta) U_{cm}$$

$$I_{cm} = S_C U_{ce min} = S_C (U_{CC} - U_{cm})$$

联立上面的两个方程，得

$$U_{cm} = 21.84V, \quad I_{cm} = 3.15A$$

$$I_{c1} = i_{cm} \cdot \alpha_1(\theta) = 3.15 \times 0.436 \approx 1.37A$$

$$I_{c0} = i_{cm} \cdot \alpha_0(\theta) = 3.15 \times 0.253 \approx 0.79A$$

$$P_E = U_{CC} I_{c0} = 24 \times 0.79 = 18.96W$$

$$P_C = P_D - P_o = 18.96 - 15 = 3.96W$$

$$\eta_c = \frac{P_o}{P_D} = \frac{15}{18.96} = 79\%$$

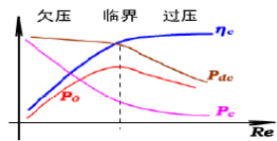
$$R_e = \frac{U_{cm}}{I_{c1}} = \frac{21.84}{1.37} \approx 15.94\Omega$$

(2) $U_{im} \rightarrow 2U_{im}$ ，根据功放振幅特性：
放大器临界状态 \rightarrow 过压状态，此时输出功率基本不变。

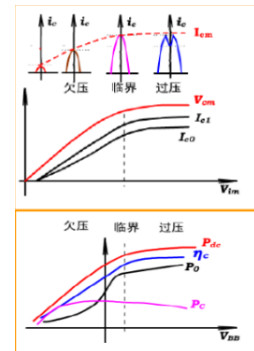
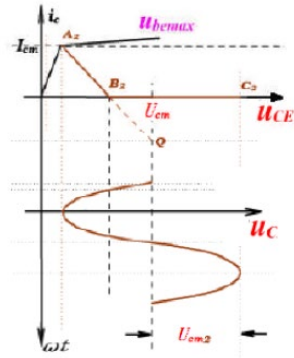
(3) $R_e \rightarrow 2R_e$ ，根据功放的负载特性：
放大器临界状态 \rightarrow 过压状态，输出功率为原来的一半。

$$\therefore P_o = \frac{U_{cm}^2}{2R_e}$$

$$\therefore P'_o = \frac{U'^2_{cm}}{2(2R_e)} \approx \frac{U^2_{cm}}{2(2R_e)} = \frac{P_o}{2}$$



(4) 若回路失谐，进入欠压状态， P_C 增大可能烧坏管子。



第5章 振荡器

十、PPT-P33 振荡电路如图所示，试画出交流等效电路，并判断电路在什么条件下起振，属于什么形式的振荡电路？

解 该电路的交流等效电路如图所示：

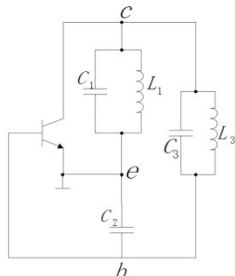


图 5-24

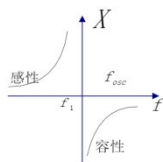
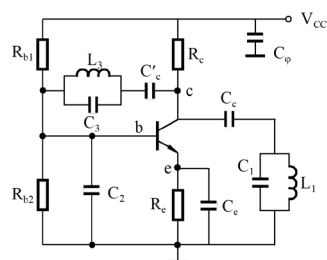


图 5-25

根据交流等效电路可知，因为 X_{be} 为容性电抗，为了满足三端电路相位平衡判断准则， X_{ce} 也必须呈容性。同理， X_{cb} 应该呈感性。

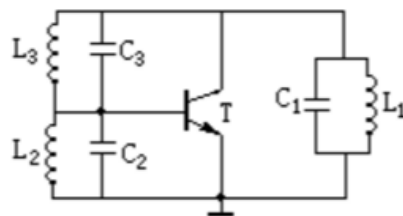
根据并联谐振回路的相频特性（见图 5-25），当振荡频率 $f_{osc} > f_1$ （回路 L_1C_1 的固有谐振频率）时， L_1C_1 呈容性。根据 $X_{be} + X_{ce} + X_{cb} = 0$ ， L_3C_3 回路应呈感性，振荡电路才能正常工作。由图 5-25 可知，当 $f_{osc} < f_3$ （回路 L_3C_3 的固有谐振频率）时电路可以振荡，等效为电容三端振荡电路，其振荡条件可写为 $f_1 < f_{osc} < f_3$ 。



十一、PPT-P33 假定有以下 6 种情况：

- 1) $L_1C_1 > L_2C_2 > L_3C_3$;
- 2) $L_1C_1 < L_2C_2 < L_3C_3$;
- 3) $L_1C_1 < L_2C_2 = L_3C_3$;
- 4) $L_1C_1 = L_2C_2 = L_3C_3$;
- 5) $L_1C_1 = L_2C_2 > L_3C_3$;
- 6) $L_1C_1 > L_3C_3 > L_2C_2$;

判断哪几种可能产生振荡？说明缘由，且等效为哪种类型的振荡电路？其振荡频率和各个回路的固有谐振频率之间的关系是什么？



注 LC 并联网络在谐振信号频率大于谐振频率时，电路感抗大于容抗， I_C 大于 I_L ，对外呈容性；在谐振时信号频率小于谐振频率时，电路容抗大于感抗， I_L 大于 I_C ，对外呈感性。

解 设 L_1C_1 回路谐振频率为 $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_1C_1}}$ ， L_2C_2 回路谐振频率为 $\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_2C_2}}$ ， L_3C_3 回路谐振频率为 $\omega_3 = \frac{1}{\sqrt{L_3C_3}}$ 。能满足振荡的相位条件是 X_{ce} 、 X_{be} 同电抗性质， X_{cb} 与 X_{ce} 、 X_{be} 反性质。

- 1) $L_1C_1 > L_2C_2 > L_3C_3$

可知 $f_1 < f_2 < f_3$ ，若振荡频率满足 $f_1 < f_2 < f_{osc} < f_3$ 条件，则 L_1C_1 回路呈容性、 L_2C_2 回路呈容性，而 L_3C_3 回路呈感性，满足相位条件，可能振荡。为电容三点式振荡器。

- 2) $L_1C_1 < L_2C_2 < L_3C_3$

可知 $f_1 > f_2 > f_3$ ，若振荡频率满足 $f_1 > f_2 > f_{osc} > f_3$ 条件，则 L_1C_1 回路呈感性、 L_2C_2 回路呈感性，而 L_3C_3 回路呈容性，满足相位条件，可能振荡。为电感三点式振荡器。

3) $L_1C_1 < L_2C_2 = L_3C_3$

可知 $f_1 > f_2 = f_3$ ，此电路不可能振荡，原因是 L_2C_2 、 L_3C_3 两回路性质相同，不能满足相位条件。

4) $L_1C_1 = L_2C_2 = L_3C_3$

可知 $f_1 = f_2 = f_3$ ，此电路不可能振荡，原因是 L_3C_3 与 L_1C_1 、 L_2C_2 两回路性质相同，不能满足相位条件。

5) $L_1C_1 = L_2C_2 > L_3C_3$

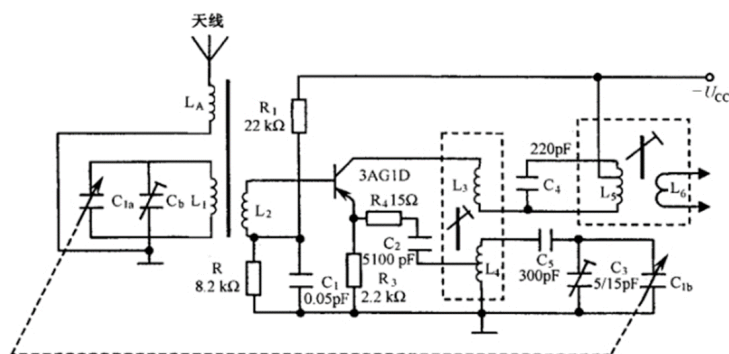
可知 $f_1 = f_2 < f_3$ ，若振荡频率满足 $f_1 = f_2 < f_{osc} < f_3$ 条件，则 L_1C_1 回路呈容性、 L_2C_2 回路呈容性，而 L_3C_3 回路呈感性，满足相位条件，可能振荡。为电容三点式振荡器。

6) $L_1C_1 > L_3C_3 > L_2C_2$

可知 $f_1 < f_3 < f_2$ ，此电路不可能振荡，原因若振荡频率满足 $f_1 < f_{osc} < f_2$ 条件，是 L_3C_3 总会与 L_1C_1 、 L_2C_2 其中一个回路性质相同，且 L_1C_1 、 L_2C_2 两回路性质不同，不能满足相位条件。

十二、 PPT-P35 如图所示为晶体管收音机(中频 465kHz)的某部分电路，试回答下列问题:

- 1) 该部分电路是混频器还是变频器？调节可变电容 C_{1a} 、 C_{1b} 起什么作用？
- 2) L_4 、 C_3 、 C_5 和可变电容 C_{1b} 组成的回路决定了什么频率？ C_4 、 L_5 组成回路的中心频率是多少？
- 3) L_3 、 L_4 虚线框内部件的作用是什么？ C_1 、 C_2 的作用是什么？



解 1) 该电路是变频器，调节可变电容 C_{1a} 、 C_{1b} 使本振回路与输入调谐回路谐振频率差一个固定中频。

- 2) L_4 、 C_3 、 C_5 和可变电容 C_{1b} 组成本振回路，决定了本地振荡器频率。
 C_4 、 L_5 组成中频回路，其中心频率为465kHz。

- 3) L_3 、 L_4 虚线框内部件作用是提供本振反馈回路，对中频频率近于短路。
 C_1 是旁路电容， C_2 是耦合电容。

第7章 调制解调与通信系统

十三、 PPT-P41 已知下列已调信号电压的表达式:

$$v_1(t) = 5 \cos(2\pi \times 3 \times 10^3 t) \cos 2\pi \times 10^6 t (V)$$

$$v_2(t) = 5 \cos 2\pi(10^6 + 3 \times 10^3)t (V)$$

$$v_3(t) = (5 + 3 \cos 2\pi \times 3 \times 10^3 t) \cos 2\pi \times 10^6 t (V)$$

试求: (1) 说明各已调信号的类型; (2) 画出各已调信号频谱图; (3) 计算各已调信号在单位负载上的平均功率 P_{av1} 、 P_{av2} 、 P_{av3} 。

解 (1) $\because v_1(t) = 5 \cos(2\pi \times 3 \times 10^3 t) \cos 2\pi \times 10^6 t$

$$= \frac{5}{2} \cos(2\pi \times 10^6 + 2\pi \times 3 \times 10^3)t + \frac{5}{2} \cos(2\pi \times 10^6 - 2\pi \times 3 \times 10^3)t$$

$\therefore v_1(t)$ 是双边带调制 (DSB)

$\because v_2(t) = 5 \cos 2\pi(10^6 + 3 \times 10^3)t$

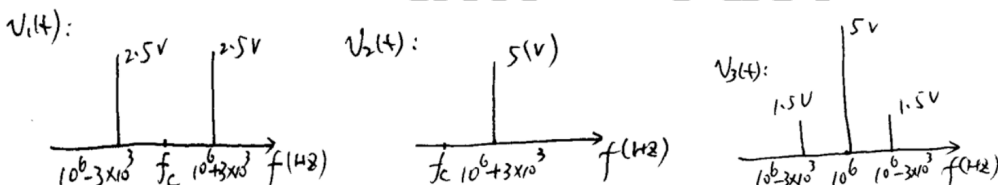
$\therefore v_2(t)$ 是单边带调制 (SSB)

$\because v_3(t) = (5 + 3 \cos 2\pi \times 3 \times 10^3 t) \cos 2\pi \times 10^6 t$

$$= 5 \cos 2\pi \times 10^6 t + \frac{3}{2} \cos 2\pi(10^6 + 3 \times 10^3)t + \frac{3}{2} \cos 2\pi(10^6 - 3 \times 10^3)t$$

$\therefore v_3(t)$ 是振幅调制 (AM)

(2)



$$(3) P_{av1} = \frac{1}{2} M_a^2 P_o = \frac{1}{4} (M_a U_{cm})^2 = \frac{1}{4} \times 5^2 = 6.25 W$$

$$P_{av2} = \frac{1}{4} M_a^2 P_o = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} M_a U_{cm} \right)^2 = \frac{1}{2} \times 5^2 = 12.5 W$$

$$P_{av3} = P_o \left(1 + \frac{1}{2} M_a^2 \right) = \frac{U_{cm}^2}{2} \left(1 + \frac{1}{2} M_a^2 \right) = \frac{1}{2} \times 5^2 \times \left[1 + \frac{1}{2} \times \left(\frac{3}{5} \right)^2 \right] = 14.75 W$$

十四、 PPT-P44 已知已调角信号 $u_{FM}(t) = 100 \cos(2\pi \times 10^8 t + 2 \sin 2\pi \times 10^3 t) (mV)$, 已知调频灵敏度 $k_f = 10^4 \text{ Hz/V}$ 。

求: 1) 调制信号表达式; 2) 最大频偏 Δf_m ; 3) 画出频谱图; 4) 调频波有效带宽 BW ; 5) 若调制频率扩大一倍, 调频波有效带宽为?

解 1) $\because u_{FM}(t) = 100 \cos(2\pi \times 10^8 t + 2 \sin 2\pi \times 10^3 t) (mV)$

$$\therefore 2 \sin 2\pi \times 10^3 t = k_f \int_0^t u_{\Omega}(t) dt$$

$$\therefore k_f = 10^4 \text{ Hz/V} = 2\pi \times 10^4 \text{ rad/V}$$

$$\therefore u_{\Omega}(t) = \frac{1}{5} \cos 2\pi \times 10^3 t (mV)$$

$$2) M_f = 2$$

$$\text{根据 } M_f = \frac{\Delta f_m}{F}, \text{ 求得 } \Delta f_m = M_f F = M_f \frac{\Omega}{2\pi} = 2 \cdot \frac{2\pi \times 10^3}{2\pi} = 2 \text{ kHz}$$

- 3) 查表, 得 $M_f = 2$ 时, 可产生一个振幅减小的载频和四组振幅明显的边频。

载频和边频的振幅分别为

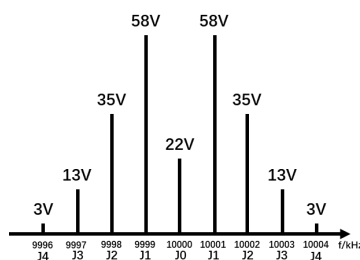
$$\text{载频} \quad J_0 = 0.22 \times 100 = 22V$$

$$\text{边频} \quad J_1 = 0.58 \times 100 = 58V$$

$$J_2 = 0.35 \times 100 = 35V$$

$$J_3 = 0.13 \times 100 = 13V$$

$$J_4 = 0.03 \times 100 = 3V$$



该 FM 波的频谱如右图所示。

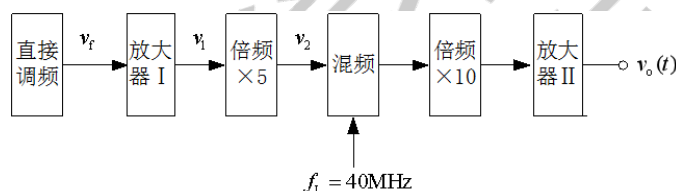
$$4) \quad BW = 2(M_f + 1)F = 2(2 + 1) \times 1000 = 6kHz$$

$$5) \quad F \rightarrow 2F, \Delta f_m \rightarrow 2\Delta f_m, M_f = \frac{\Delta f_m}{F} \rightarrow M_f$$

根据 $BW = 2(M_f + 1)F$, 可得 $BW \rightarrow 2BW$, 即 $BW = 2 \times 6kHz = 12kHz$

十五、 PPT-P44 直接调频器调频波的中心频率 $f_{c1} = 10MHz$, 调制频率 $F = 1kHz$, 最大频偏 $\Delta f_m = 1.5kHz$, 混频器输出取差频。试问:

- (1) 放大器 I 和 II 的中心频率与频带宽度各为多少?
- (2) 输出 $v_o(t)$ 的中心频率 f_c 和最大频偏 Δf_m 各为多少?



解 (1) 放大器 I: 中心频率 $f_{01} = 10MHz$
频带宽度 $B_1 = 5kHz$
放大器 II: 中心频率 $f_{01} = 100MHz$
频带宽度 $B_1 = 152kHz$

- (2) 中心频率 $f_c = f_{01} = 100MHz$
最大频偏 $\Delta f_m = 75kHz$

十六、 PPT-P45 某调幅收音机的混频电路如图所示。

图中输入信号是载频 $700kHz$ 的普通调幅波 AM。

- (1) 试说明 T_1 和 T_2 三极管组成何种电路?
- (2) 试说明三个并联回路的谐振频率;
- (3) 定性画出 A、B 和 C 三点对地的电压波形 (上下坐标对齐)

解 (1) T_1 组成混频电路, T_2 组成本振电路。

(2) L_1C_1 、 L_4C_4 、 L_3C_3 三个并联回路的谐振频率分别为 $700kHz$ 、 $1165kHz$ 、 $465kHz$ 。

- (3) A、B 和 C 三点对地的电压波形分别为:

