

1、解：（1）第一问共 5 分

$$H(s) = \frac{v_o}{v_i} = \frac{(g_m v_i) Z_o}{v_i} = g_m Z_o(s) \quad (1 \text{ 分})$$

$$= g_m \frac{1}{G_o + G_p + G_L + s(C_o + C_L) + \frac{1}{sL}}$$

$$= \frac{g_m}{G_o + G_p + G_L} \cdot \frac{s \frac{G}{C}}{s^2 + s \frac{G}{C} + \frac{1}{LC}} \quad (2 \text{ 分})$$

$$= A_v \frac{\frac{\omega_0}{Q} s}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$$

其中, $A_v = \frac{g_m}{G}$, $G = G_o + G_p + G_L$, $G_p = \frac{\omega_0 C}{Q_0}$, $C = C_o + C_L$, $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, $Q = \frac{1}{G} \sqrt{\frac{C}{L}}$ 。

具有带通特性 (2 分)

（2）第 2 问共 7 分

根据上述分析, 有如下方程成立

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 2\pi f_0 = 2\pi \times 10M \quad (1 \text{ 分})$$

$$Q = \frac{1}{G} \sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{f_0}{BW} = \frac{10MHz}{500kHz} = 20 \quad (1 \text{ 分})$$

这里三个未知数, L, C, G , 只有两个方程, 考虑到当

$$G_L = G_o + G_p \quad (1 \text{ 分})$$

时, 负载可以获得最大功率输出, 因此也作为一个条件, 则有第三个方程

$$G = G_o + G_p + G_L = 2(G_o + G_p) = 2\left(G_o + \frac{\omega_0 C}{Q_0}\right) \quad (1 \text{ 分})$$

由第 1 第 2 方程, 有

$$\frac{Q}{\omega_0} = \frac{C}{G} = \frac{C}{2\left(G_o + \frac{\omega_0 C}{Q_0}\right)}$$

故有

$$C = \frac{2G_o \frac{Q}{\omega_0}}{1 - 2 \frac{Q}{Q_0}} = \frac{2 \times 0.1m \times \frac{20}{2\pi \times 10M}}{1 - 2 \cdot \frac{20}{50}} = 318pF \quad (1 \text{ 分})$$

$$C_L = C - C_o = 318 - 30 = 288pF \quad (1 \text{ 分})$$

$$L = \frac{1}{C\omega_0^2} = \frac{1}{318 \times (2\pi \times 10)^2} = 0.796\mu H \quad (1 \text{ 分})$$

（3）第 3 问共 3 分

$$G_p = \frac{\omega_0 C}{Q_0} = \frac{20mS}{50} = 0.4mS \quad (1 \text{ 分})$$

$$G_L = G_o + G_p = 0.1 + 0.4 = 0.5mS \quad (1 \text{ 分})$$

$$G = G_o + G_p + G_L = 1mS$$

$$A_v = \frac{g_m}{G} = \frac{10mS}{1mS} = 10 \quad (1 \text{ 分})$$

题注：如果将有损电感等效为无损电感和电阻串联的，并指出具有低通或带通特性的，不扣分。本题用来考察放大概念，并联 LC 谐振回路诸多性质，带通滤波概念，以及匹配概念。本题共 15 分。

2、答：(1) 第 1 问共 14 分

①天线：可将电磁波能量从自由空间有效耦合到接收机。

②低噪声放大器：以较小额外附加噪声的代价对微弱的射频信号进行放大，同时提供足够的增益用于抑制后级电路噪声。

③镜像抑制滤波器：用于抑制包括镜像干扰信号在内的所有射频通带之外的无用的射频信号

④下变频器（混频器）：将射频信号频谱平移到中频频段

⑤信道选择滤波器：用于选择信道，滤除信道外的所有其他信号，包括前级电路的失真

⑥中频放大器：在固定中频上提供足够的放大倍数，利于后级电路继续进行信号处理

⑦本地振荡器：通过改变其频率，可将位于不同频率的不同信道的射频信号下变频到固定中频上进行信号处理。

名字正确，1 分，功能解释正确，1 分，第一问共 14 分。

(2) 第 2 问共 6 分

$$F_{n2} = 2dB = 1.585, \quad G_{m2} = 10dB = 10 \quad (0.5 \text{ 分})$$

$$F_{n3} = 2dB = 1.585, \quad G_{m3} = 0.631 \quad (0.5 \text{ 分})$$

$$F_{n4} = 10dB = 10, \quad G_{m4} = 10dB = 10 \quad (0.5 \text{ 分})$$

$$F_{n5} = 10dB = 10, \quad G_{m5} = 0.1 \quad (0.5 \text{ 分})$$

$$F_{n6} = 11dB = 12.59, \quad G_{m6} = 50dB = 100000 \quad (0.5 \text{ 分})$$

$$F_n = F_{n2} + \frac{F_{n3}-1}{G_{m2}} + \frac{F_{n4}-1}{G_{m2}G_{m3}} + \frac{F_{n5}-1}{G_{m2}G_{m3}G_{m4}} + \frac{F_{n6}-1}{G_{m2}G_{m3}G_{m4}G_{m5}} \quad (2 \text{ 分})$$

$$= 1.585 + \frac{1.585-1}{10} + \frac{10-1}{10 \times 0.631} + \frac{10-1}{10 \times 0.631 \times 10} + \frac{12.59-1}{10 \times 0.631 \times 10 \times 0.1}$$

$$= 1.585 + 0.059 + 1.426 + 0.143 + 1.837$$

$$= 5.05 \quad (1 \text{ 分})$$

$$= 7dB \quad (0.5 \text{ 分})$$

答：从第二端口看入的总噪声系数为 7dB。

(3) 第 3 问共 5 分

$$P_{si, \min} = SNR_{o \min} F_n k T \Delta f \quad (2 \text{ 分})$$

$$= 6 + 7 - 174 + 10 \log(200k)$$

$$= 13 - 174 + 53 \quad (3 \text{ 分})$$

$$= -108dBm$$

答：接收机灵敏度为 -108dBm。

(4) 第 4 问共 5 分

假设中频为 f_{IF} ，则高本振方案中本振频率为 $f_{LO} = f_{IF} + f_{RF}$ (0.5 分)

100 个信道的中心频率分别为

$$f_{RF} := 88.1MHz, 88.3MHz, 88.5MHz, \dots, 107.9MHz \quad (0.5 \text{ 分})$$

对应的本振频率为

$$f_{LO} := 88.1MHz + f_{IF}, 88.3MHz + f_{IF}, 88.5MHz + f_{IF}, \dots, 107.9MHz + f_{IF} \quad (0.5 \text{ 分})$$

$2f_{RF} - f_{LO}$ 产生的频率分量位于

$$1: (176 \sim 216MHz) - (88.1 + f_{IF}) = (87.9 \sim 127.9) - f_{IF}$$

$$2: (176 \sim 216MHz) - (88.3 + f_{IF}) = (87.7 \sim 127.7) - f_{IF}$$

...

$$100: (176 \sim 216MHz) - (107.9 + f_{IF}) = (68.1 \sim 108.1) - f_{IF}$$

可见，如果 100 个信道都有信号， $2f_{RF} - f_{LO}$ 占用的频带宽度为

$$(68.1 \sim 127.9) - f_{IF} \quad (0.5 \text{ 分})$$

这个频带不能落入 $f_{IF} \pm 100kHz$ 频率范围内，因此

$$(68.1 \sim 127.9) - f_{IF} > f_{IF} + 0.1 \quad (0.5 \text{ 分})$$

或者

$$(68.1 \sim 127.9) - f_{IF} < f_{IF} - 0.1 \quad (0.5 \text{ 分})$$

由此推导出

$$(68.1 \sim 127.9) - 0.1 > 2f_{IF}$$

$$f_{IF} < 34 \sim 63.9MHz \quad (0.5 \text{ 分})$$

或者

$$(68.1 \sim 127.9) + 0.1 < 2f_{IF}$$

$$f_{IF} > 34.1 \sim 64 \quad (0.5 \text{ 分})$$

因此，中频选择应该为

$$f_{IF} < 34MHz \text{ 或者 } f_{IF} > 64MHz \quad (1 \text{ 分})$$

考虑到本振频率应该在有用信带之外以防止本振泄漏等问题，因此可取 $f_{IF} > 20MHz$ ，又考

考虑到当 $f_{IF} > 64MHz$ 时，中频频率过于接近射频频率，故而舍弃。因此最终取

$$20MHz < f_{IF} < 34MHz \quad (\text{额外加 2 分})$$

题注：最后一问如果全部答对，得 5 分；进一步分析有一定道理得，额外加 2 分。本题是综合题，用于考察超外差式接收机中的种种概念，因此占分比重较大，总共 30 分。

3、解：(1) 第 1 问共 6 分

图略，正确画出高频等效电路者 4 分，正确画出直流通路者 2 分。

(2) 第 2 问共 4 分

$$C_{\Sigma} = ((C_1 \text{ 串 } C_2 \text{ 串 } C_j) \text{ 并 } C_0) \text{ 串 } C_q \quad (1 \text{ 分})$$

$$C_1 = C_2 = 100pF$$

$$C_{j0} = 4pF, C_0 = 2pF, C_q = 0.04pF$$

$$L_q = \frac{1}{C_q \omega_q^2} = \frac{1}{0.04p \times (2\pi \times 20M)^2} = 1.583mH \quad (1 \text{ 分})$$

$$C_{\Sigma} = ((C_1 \text{ 串 } C_2 \text{ 串 } C_j) \text{ 并 } C_0) \text{ 串 } C_q = ((100p \text{ 串 } 100p \text{ 串 } 4p) \text{ 并 } 2p) \text{ 串 } 0.04p = 0.03972p \quad (1 \text{ 分})$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{\Sigma}}} = 20.0700073\text{MHz} \quad (1 \text{ 分})$$

(3) 第 3 问共 4 分

$$C_{\Sigma u} = ((C_1 \text{串} C_2 \text{串} C_{ju}) \text{并} C_0) \text{串} C_q = ((100p \text{串} 100p \text{串} 2p) \text{并} 2p) \text{串} 0.04p = 0.03960p \quad (0.5 \text{ 分})$$

$$f_u = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{\Sigma u}}} = 20.1017022\text{MHz} \quad (0.5 \text{ 分})$$

$$\Delta f_u = f_u - f_c = 31.7\text{kHz} \quad (1 \text{ 分})$$

$$C_{\Sigma d} = ((C_1 \text{串} C_2 \text{串} C_{ju}) \text{并} C_0) \text{串} C_q = ((100p \text{串} 100p \text{串} 7p) \text{并} 2p) \text{串} 0.04p = 0.03980p \quad (0.5 \text{ 分})$$

$$f_d = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{\Sigma d}}} = 20.0490777\text{MHz} \quad (0.5 \text{ 分})$$

$$\Delta f_d = f_c - f_d = 20.9\text{kHz} \quad (1 \text{ 分})$$

(4) 第 4 问共 2 分

扩大频偏的两种方法：倍频法，提高振荡器振荡频率，串并电感（2 分）

题注：本题考察直接调频基本概念，晶体振荡器和变容管基本认知。

4 解：鉴相功能 4 分，鉴频功能 4 分，加速捕获 2 分，共 10 分。

$$v_{up*} = K v_{in} v_{out} = \frac{KV_{im} V_{om}}{2} (\sin((\omega_{i0} - \omega_o)t - \theta_o) + \sin((\omega_{i0} + \omega_o)t + \theta_o))$$

$$v_d = \frac{KV_{im} V_{om}}{2} \sin((\omega_{i0} - \omega_o)t - \theta_o) = K_d \sin \varphi_e$$

因此上面的乘法器和其后的低通滤波器完成了鉴相功能。 (2 分)

因此上虚框子系统为一锁相环系统。 (2 分)

下面两个乘法器和其后低通同样完成鉴相功能，分别为

$$v_{d1} = K_d \sin(\varphi_e)$$

$$v_{d2} = K_d \cos(\varphi_e) \quad (0.5 \text{ 分})$$

第一路经过微分电路，为

$$v_{p1} = K_d \dot{\varphi}_e \cos(\varphi_e) \quad (0.5 \text{ 分})$$

两路信号相乘，为

$$\begin{aligned} v_{down} &= K_d^2 \dot{\varphi}_e \cos^2(\varphi_e) \\ &= \frac{K_d^2}{2} (\omega_{i0} - \omega_o - \dot{\theta}_o) (1 + \cos(2(\omega_{i0} - \omega_o)t - 2\theta_o)) \end{aligned} \quad (1 \text{ 分})$$

完成鉴频功能 (1 分)

因此下虚框子系统为一 AFC 环 (1 分)

两个子系统合并后，可以加速锁相环捕获过程，降低捕获时间。在输出输入频率相差较大时，AFC 环起作用，迅速拉近频率；当频率接近时，锁相环起主要作用，迅速捕获。（2 分）

题注：本题为提高题，考察 AFC 环、PLL 环、加速捕获等概念。

5/解: $3+3+2+2+2+2=14$

(1) 为双音调制的调幅波

(3 分)

(2)

$$\begin{aligned} v_o(t) &= 4\cos(2\pi \times 10^6 t) + 0.4\cos(2\pi \times (10^6 + 10^3)t) + 1.6\cos(2\pi \times (10^6 + 10^4)t) \\ &\quad + 0.4\cos(2\pi \times (10^6 - 10^3)t) + 1.6\cos(2\pi \times (10^6 - 10^4)t) \\ &= 4\cos(2\pi \times 10^6 t) + 0.4\cos(2\pi \times (10^6 + 10^3)t) + 0.4\cos(2\pi \times (10^6 - 10^3)t) \\ &\quad + 1.6\cos(2\pi \times (10^6 + 10^4)t) + 1.6\cos(2\pi \times (10^6 - 10^4)t) \\ &= 4\cos(2\pi \times 10^6 t) + 0.8\cos(2\pi \times 10^6 t)\cos(2\pi \times 10^3 t) + 3.2\cos(2\pi \times 10^6 t)\cos(2\pi \times 10^4 t) \\ &= 4\cos(2\pi \times 10^6 t)(1 + 0.2\cos(2\pi \times 10^3 t) + 0.8\cos(2\pi \times 10^4 t)) \end{aligned}$$

(3 分)

(3) $BW = 2 \times 10^4 = 20\text{kHz}$

(2 分)

$$P = \frac{1}{2} \frac{1}{R} (4^2 + 1.6^2 + 0.4^2 + 1.6^2 + 0.4^2) = 10.72\text{W}$$

(2 分)

(4) 输出为调幅调相波: 或者为两个信号相加

(2 分)

(5) 用包络检波方法, 解调信号频率为 1kHz 。

(2 分)

题注: 本题为基本题, 第一问回答出调幅波即可给全分, 第 2 问正确给出两个调制指数给 2 分。第 4 问回答为调幅调相者给 2 分, 回答两个信号相加给 1.5 分, 回答为带导频的单边带给 1.5 分。第 5 问回答包络检波给 2 分, 回答用同步解调给 2 分, 其他酌情。本题共 14 分。

6 解: (1) 第 1 问共 6 分

相图, 略 (4 分), 正确标明参数 4 分, 仅是示意无参数标明者 3 分

$$\Delta f_p = K_p = 2.5 \times 10^4 = 25\text{kHz}$$

$$\Delta f = 0.98 - 1 = -0.02\text{M} = -20\text{kHz} < 25\text{kHz}, \text{一定可以锁定。} (2 \text{ 分})$$

(2) 第 2 问共 5 分

$$\varphi_{\infty} = \arcsin \frac{\Delta f}{K} = \arcsin \frac{-20}{25} = -53^\circ \quad (2.5 \text{ 分})$$

$$V_p = \frac{-20\text{k}}{10\text{k}} = -2\text{V} \quad (2.5 \text{ 分})$$

(3) 第 3 问共 4 分。

$$\theta_i(t) = 3\sin(8\pi \times 10^4 t)$$

$$\Delta \omega_i(t) = 24\pi \times 10^4 \times \cos(8\pi \times 10^4 t) = 2\pi \times (120\text{k}) \times \cos(8\pi \times 10^4 t)$$

最大频偏为 120kHz , 远大于一阶环的捕捉带, 因此无法正确解调。 (2 分)

若要能够正确解调, 要求: 最大频偏小于捕捉带, 因此可以在鉴相器后接放大器, 获得更大的直流环路增益, 放大倍数至少为 5 倍。 (2 分)

题注: 本题考察一阶 PLL 基本概念, 最后一问其他回答者酌情给分。本题共 15 分。