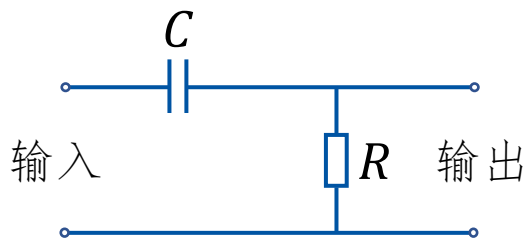


通信原理习题讲解

- Chapter 3~4
- 随堂测试1~2

3-3 设某恒参信道可用题3-3图所示的线性二端网络来等效。试求它的传输函数 $H(f)$ ，并说明信号通过该信道时会产生哪些失真。



题3-3

恒参信道对信号的影响 P76

1. 幅度-频率畸变
2. 相位-频率畸变

解:
$$H(f) = \frac{R}{\frac{1}{j2\pi fC} + R} = \frac{j2\pi fCR}{j2\pi fCR + 1} = \frac{j2\pi fCR(1 - j2\pi fCR)}{1 + (2\pi fCR)^2} = \frac{j2\pi fCR + (2\pi fCR)^2}{(2\pi fCR)^2 + 1}$$

$$|H(f)| = \frac{\sqrt{(2\pi fCR)^2 + (2\pi fCR)^4}}{(2\pi fCR)^2 + 1} = \frac{2\pi fCR}{\sqrt{(2\pi fCR)^2 + 1}}$$

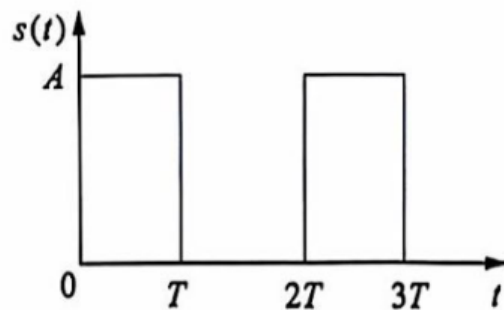
带内衰减不均匀，存在幅度-频率畸变

$$\varphi(f) = \arctan \frac{2\pi fCR}{(2\pi fCR)^2} = \arctan \frac{1}{2\pi fCR}$$

$$\tau(f) = \frac{d(\varphi(f))}{df}$$

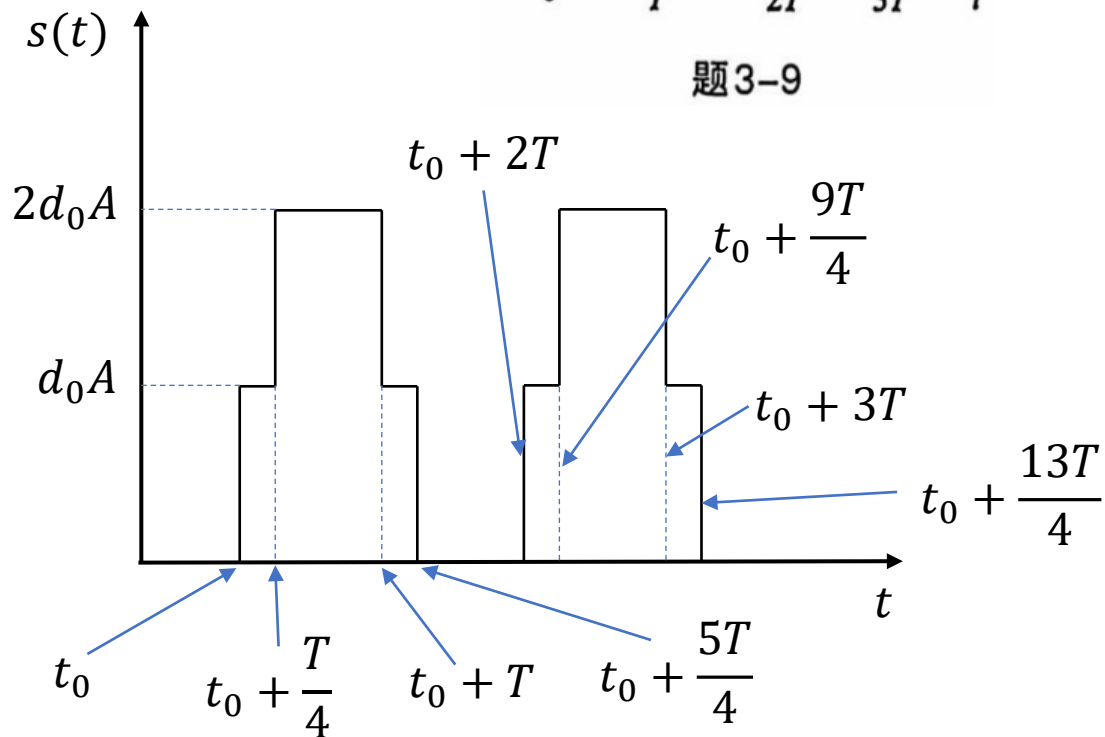
群时延特性不为常数，存在相位-频率畸变

3-9 题3-9图所示的传号和空号相间的数字信号通过某随参信道。已知接收信号是通过该信道两条路径的信号之和。设两径的传输衰减相等（均为 d_0 ），且时延差 $\tau = T/4$ 。试画出接收信号的波形示意图。



题3-9

解：



t_0 为一条路径的时延

3-10 设某随参信道的最大多径时延差为 $3ms$, 为了避免发生频率选择性衰落, 试估算在该信道上传输的数字信号的码元脉冲宽度。

信号相干带宽: $\Delta F = 1/T_m$

当信号带宽 $W < \Delta F$ 时, 信道被称为非频率选择性衰落信道

根据一般工程经验, $\Delta F = (3\sim 5)B$ 时, 不会发生频率选择性衰落

信号带宽为码元脉冲宽度倒数

解: $\Delta F = (3\sim 5)B$, 即 $\frac{1}{T_m} = (3\sim 5)\frac{1}{T_s}$, 则 $T_s = (3\sim 5)T_m = 9\sim 15\text{ ms}$

3-13 具有 6.5MHz 带宽的某高斯信道，若信道中信号功率与噪声功率谱密度之比为 45.5MHz ，试求其信道容量。

高斯信道容量定义：
$$C = W \log_2 \left\{ 1 + \frac{P}{N_0 W} \right\} \text{ (bit/s)}$$

解：
$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 W} \right) = 6.5 \times 10^6 \cdot \log_2 \left(1 + \frac{45.5}{6.5} \right) = 1.95 \times 10^7 \text{ bit/s}$$

3-15 某一待传输的图片约含 2.25×10^6 个像元。为了很好地重现该图片，需要12个亮度电平，假如所有这些亮度电平等概率出现，试计算用3min 传送一张图片时所需的信道带宽（设信道中信噪功率比为 $30dB$ ）。

解：每个像元传输信息需要的位数： $\log_2 12 = 3.58 \text{ bit}$

$$\text{每秒传输比特数: } R = \frac{3.58 \times 2.25 \times 10^6}{3 \times 60} = 4.48 \times 10^4 \text{ bit/s}$$

信道容量C至少为 $4.48 \times 10^4 \text{ bit/s}$

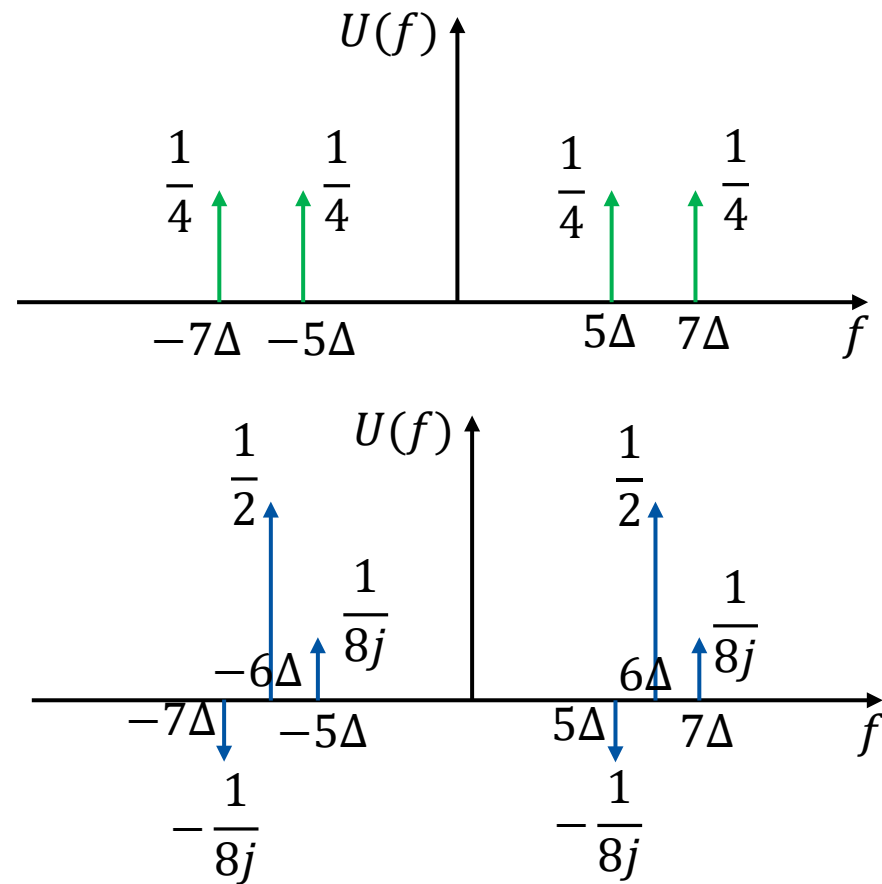
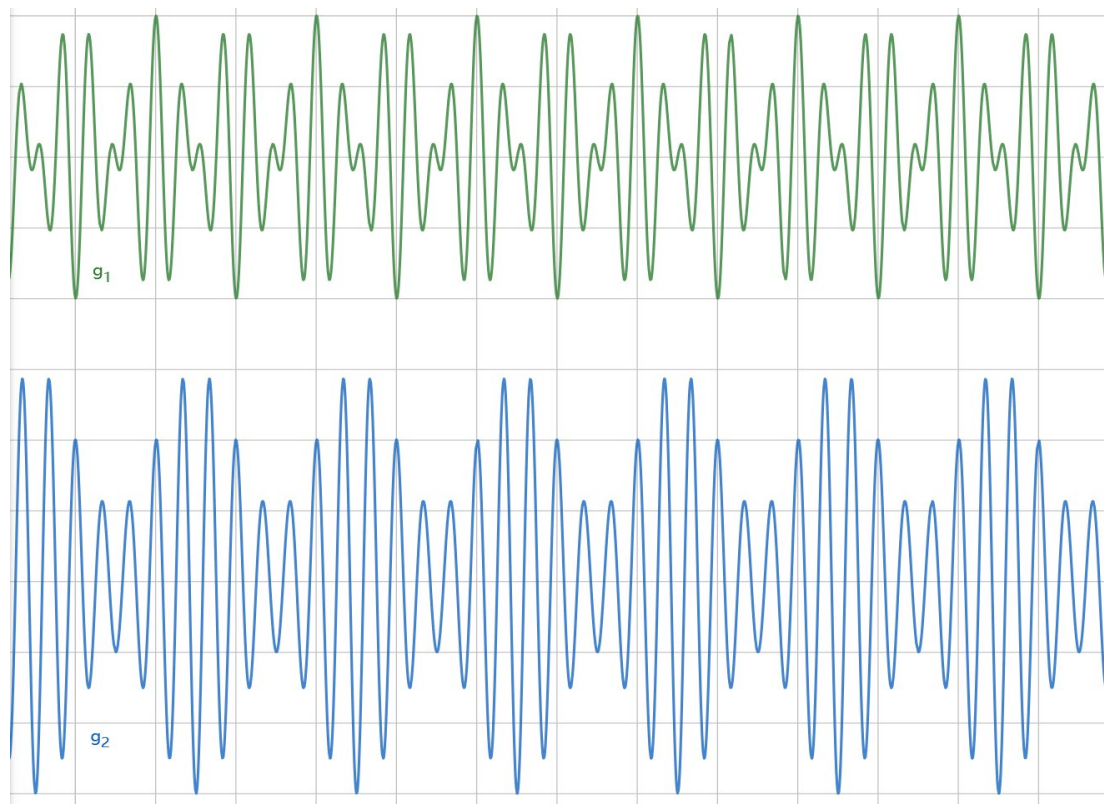
$$\text{而 } \frac{P}{N_0 W} = 30dB = 1000, \text{ 则 } W = \frac{C}{\log_2(1 + \frac{P}{N_0 W})} = \frac{4.48 \times 10^4}{\log_2 1001} \approx 4.49 \times 10^3 \text{ Hz}$$

4-1 已知线性调制信号表示式如下：

(1) $\cos(2\pi\Delta t) \cos(2\pi f_c t)$;

(2) $[1 + 0.5 \sin(2\pi\Delta t)] \cos(2\pi f_c t)$

式中， $f_c = 6\Delta$ 。试分别画出它们的波形图和频谱图



4-3 已知调制信号 $m(t) = \cos(2000\pi t) + \cos(4000\pi t)$, 载波为 $\cos(10^4\pi t)$, 进行单边带调制, 试确定该单边带信号的表示式, 并画出频谱图。

单边带调制, P100-103

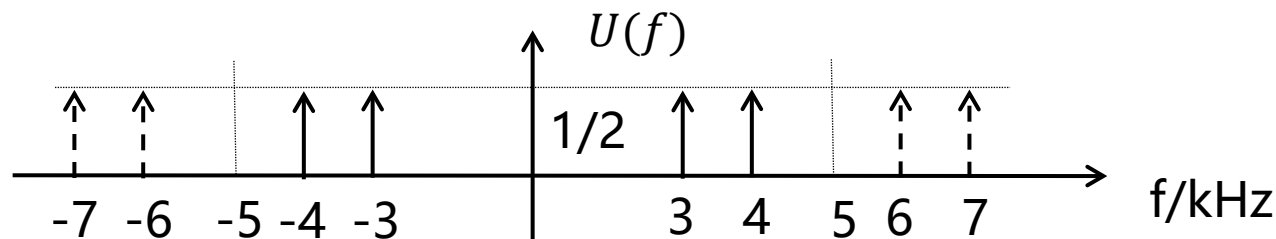
已调信号的时域表示为: $u_{\mp}(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) \mp A_c \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t)$ (4.2.18)

频谱为: $U_{\mp}(f) = \frac{A_c}{2} [M(f - f_c) + M(f + f_c)] \mp \frac{A_c}{2j} [\hat{M}(f - f_c) - \hat{M}(f + f_c)]$ (4.2.19)

解: $\hat{m}(t) = \sin(2000\pi t) + \sin(4000\pi t)$

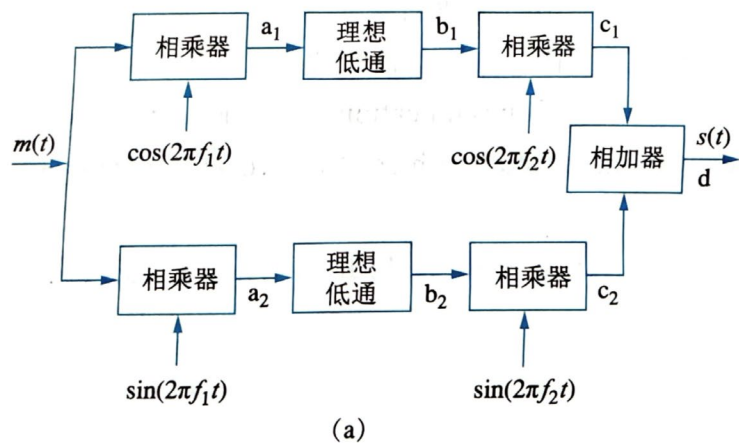
下边带信号: $u_+ = [\cos(2000\pi t) + \cos(4000\pi t)] \cdot \cos(10^4\pi t) + [\sin(2000\pi t) + \sin(4000\pi t)] \cdot \sin(10^4\pi t)$
 $= \cos(10^4\pi t - 2000\pi t) + \cos(10^4\pi t - 4000\pi t) = \cos(8000\pi t) + \cos(6000\pi t)$

上边带信号: $u_- = [\cos(2000\pi t) + \cos(4000\pi t)] \cdot \cos(10^4\pi t) - [\sin(2000\pi t) + \sin(4000\pi t)] \cdot \sin(10^4\pi t)$
 $= \cos(10^4\pi t + 2000\pi t) + \cos(10^4\pi t + 4000\pi t) = \cos(12000\pi t) + \cos(14000\pi t)$

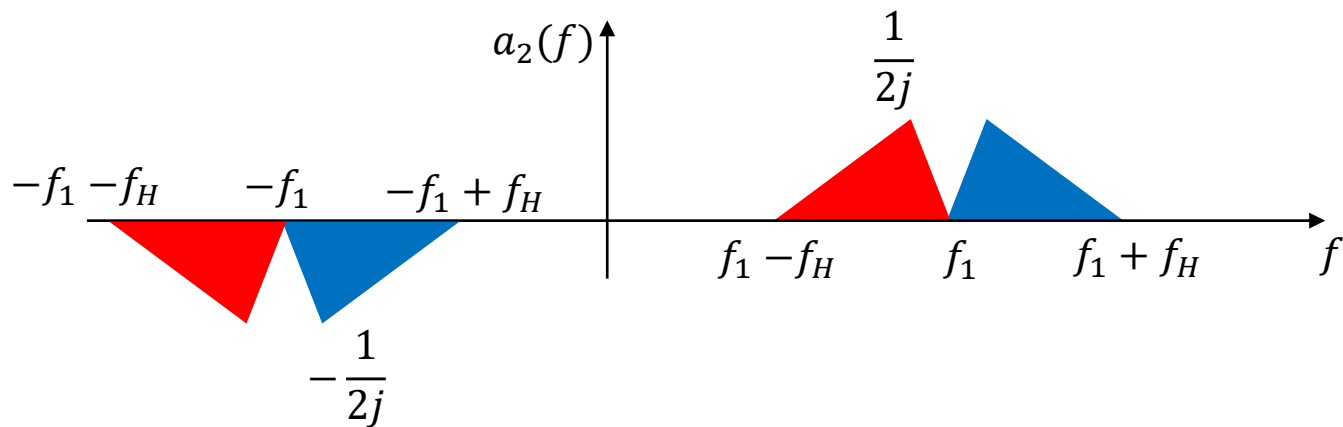
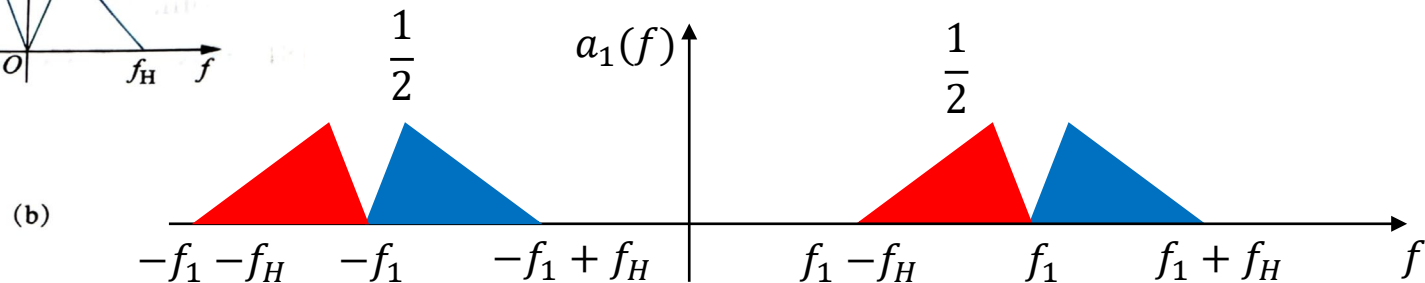
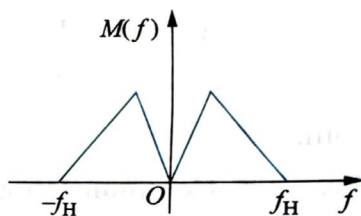
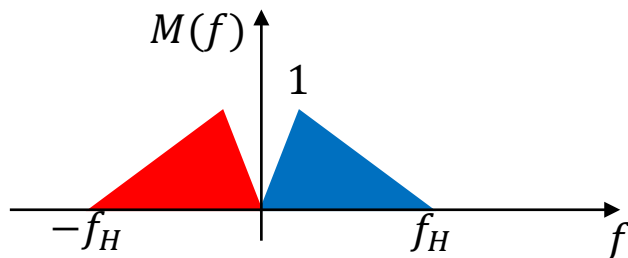


实线为下边带信号, 虚线为上边带信号

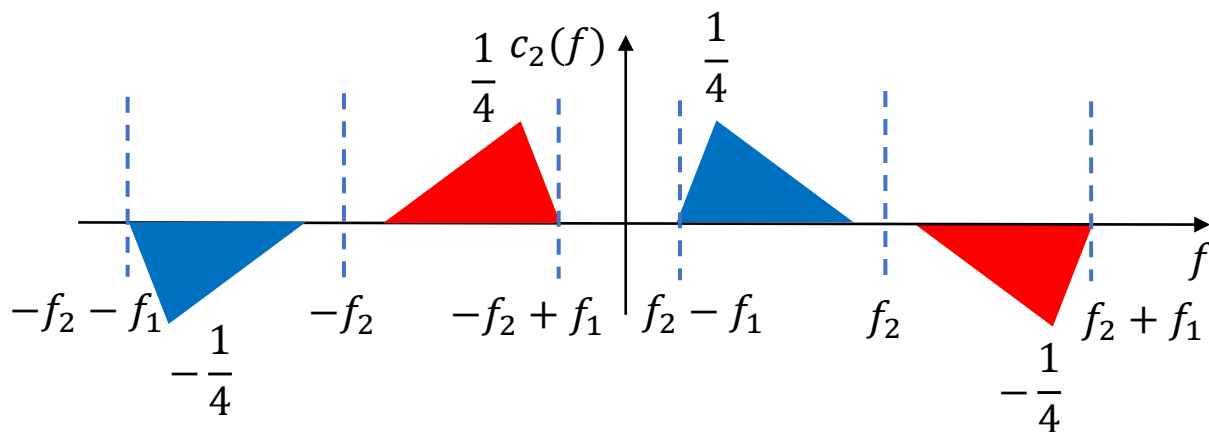
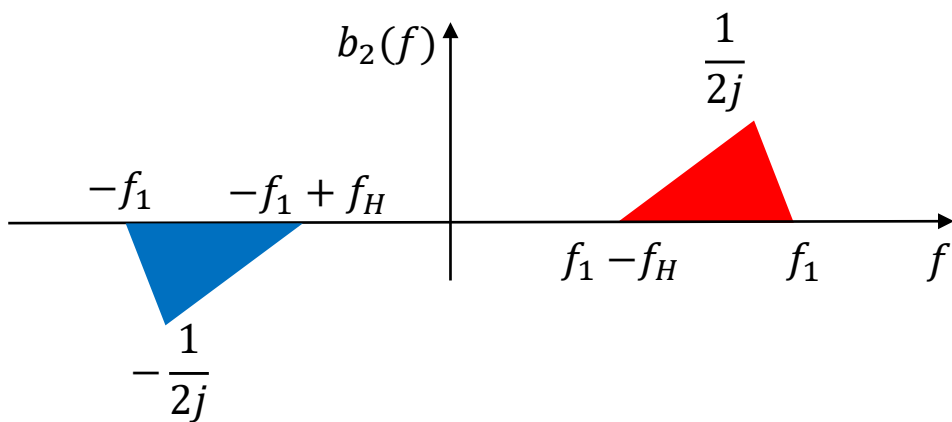
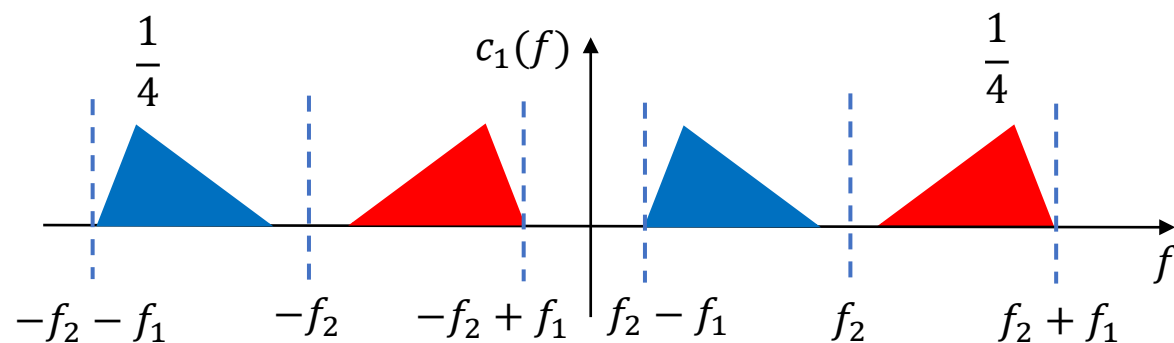
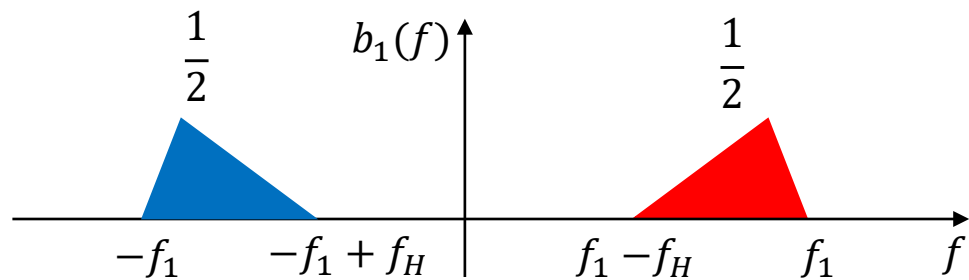
4-5 某调制方框图如题4-5(a)图所示。已知 $m(t)$ 的频谱如题4-5(b)图所示，载频 $f_1 \ll f_2$ ， $f_1 > f_H$ ，且理想低通滤波器的截止频率为 f_1 。试求输出信号 $s(t)$ ，并说明 $s(t)$ 为何种已调制信号。



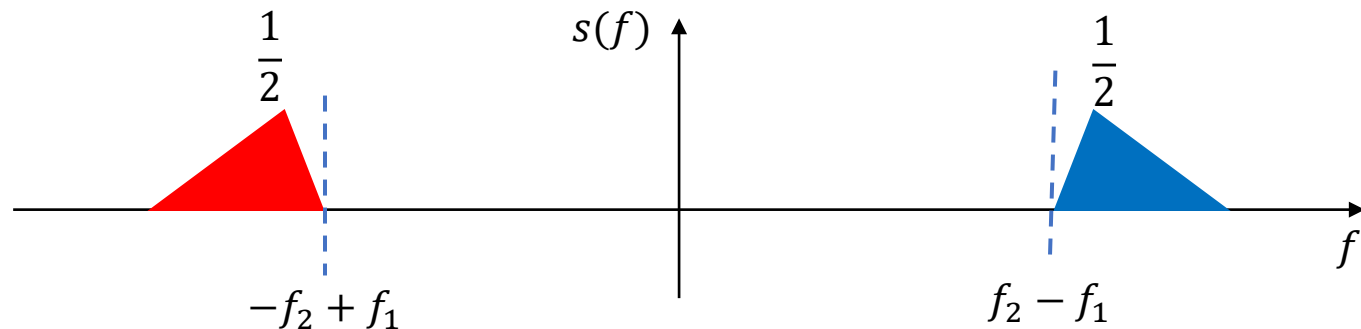
题4-5



4-5 某调制方框图如题4-5(a)图所示。已知 $m(t)$ 的频谱如题4-5(b)图所示，载频 $f_1 \ll f_2$ ， $f_1 > f_H$ ，且理想低通滤波器的截止频率为 f_1 。试求输出信号 $s(t)$ ，并说明 $s(t)$ 为何种已调制信号。



4-5 某调制方框图如题4-5(a)图所示。已知 $m(t)$ 的频谱如题4-5(b)图所示，载频 $f_1 \ll f_2$ ， $f_1 > f_H$ ，且理想低通滤波器的截止频率为 f_1 。试求输出信号 $s(t)$ ，并说明 $s(t)$ 为何种已调制信号。



$$s(t) = \frac{1}{2}m(t) \cos(2\pi(f_2 - f_1)t) - \frac{1}{2}\hat{m}(t) \sin(2\pi(f_2 - f_1)t)$$

$s(t)$ 为上边带信号

4-7 设某信道具有均匀的双边噪声功率谱密度 $P_n(f) = 0.5 \times 10^{-3} \text{ W/Hz}$ ，在该信道中传输抑制载波的双边带信号，并设调制信号 $m(t)$ 的频带限制在 5 kHz 内，而载波为 100 kHz，已调信号的功率为 10 kW。若接收机的输入信号在加至解调器之前，先经过带宽为 10 kHz 的一理想带通滤波器滤波，试问：

(1) 该理想带通滤波器的中心频率为多大？

双边带抑制载波调幅 (DSB-SC AM)，P96-97

若消息信号为 $m(t)$ ，载波为：

$$c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \phi_c)$$

则DSB-SC AM已调信号为：

$$u(t) = m(t) \cdot c(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t + \phi_c)$$

解：(1) 该理想带通滤波器的中心频率为 f_c ，即100 kHz。

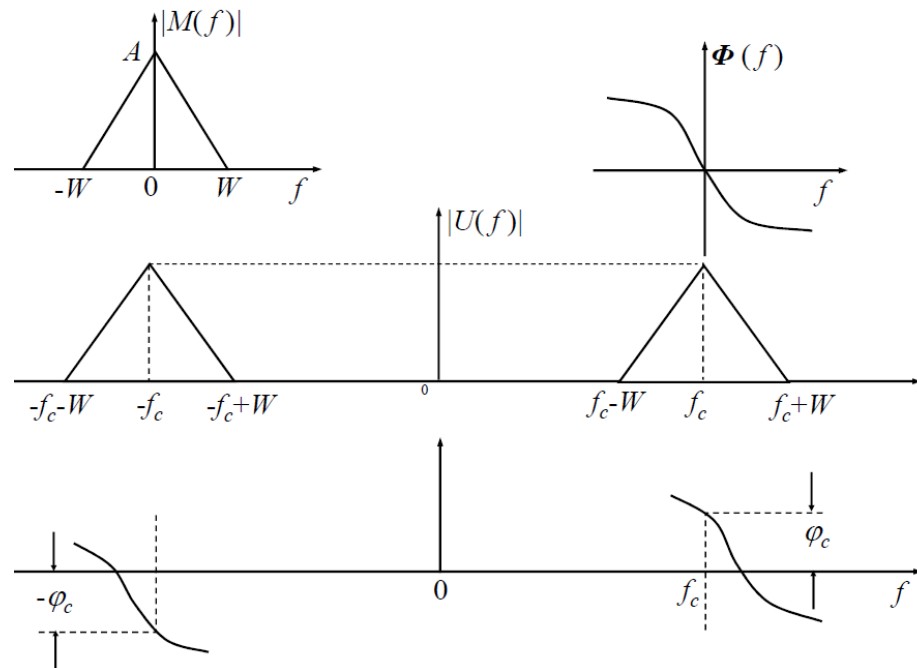


图4.2.1 DSB-SC AM调制的频谱

4-7 设某信道具有均匀的双边噪声功率谱密度 $P_n(f) = 0.5 \times 10^{-3} \text{ W/Hz}$ ，在该信道中传输抑制载波的双边带信号，并设调制信号 $m(t)$ 的频带限制在 5 kHz 内，而载波为 100 kHz，已调信号的功率为 10 kW。若接收机的输入信号在加至解调器之前，先经过带宽为 10 kHz 的一理想带通滤波器滤波，试问：

(2) 解调器输入端的信噪功率比为多少？

DSB-SC AM 信号的相干解调的性能之输入信噪功率比，P108

解调器输入信号为： $u(t) = m(t)\cos(2\pi f_c t)$

$$P_u = E[u^2(t)] = E\left\{[m(t)\cos(2\pi f_c t)]^2\right\} = E\left[\frac{1}{2}m^2(t)\right]$$

解调器输入噪声为： $n_{in}(t) = n_c(t)\cos(2\pi f_c t) - n_s(t)\sin(2\pi f_c t)$

输入噪声功率为： $P_{n_{in}} = BN_0$

$$\text{输入的信噪功率比： } (S/N)_{in} = \frac{P_u}{P_{n_{in}}} = \frac{\frac{1}{2}E[m^2(t)]}{BN_0}$$

解： (2) $P_u = 10 \text{ kW}$

$$P_{n_{in}} = BN_0 = 10 \text{ kHz} \times 2 \times 0.5 \times 10^{-3} \text{ W/Hz} = 10 \text{ W}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{in} = \frac{P_u}{P_{n_{in}}} = \frac{10 \times 10^3}{10} = 1000$$

4-7 设某信道具有均匀的双边噪声功率谱密度 $P_n(f) = 0.5 \times 10^{-3} \text{ W/Hz}$ ，在该信道中传输抑制载波的双边带信号，并设调制信号 $m(t)$ 的频带限制在 5 kHz 内，而载波为 100 kHz，已调信号的功率为 10 kW。若接收机的输入信号在加至解调器之前，先经过带宽为 10 kHz 的一理想带通滤波器滤波，试问：

(3) 解调器输出端的信噪功率比为多少？

$$\text{解： (3) } P_{m_{out}} = \frac{1}{2} P_u, \quad P_{n_{out}} = \frac{1}{4} P_{n_{in}}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out} = \frac{P_{m_{out}}}{P_{n_{out}}} = 2 \left(\frac{S}{N}\right)_{in} = 2000$$

DSB-SC AM 信号的相干解调的性能之输出信噪功率比 P108

$$\text{解调器输出信号功率为： } P_{m_{out}} = \frac{1}{4} E[m^2(t)]$$

$$\text{输出噪声功率为： } P_{n_{out}} = \frac{1}{4} E[n_c^2(t)] = \frac{1}{4} N_0 B$$

$$\text{所以 } (S/N)_{out} = \frac{E[m^2(t)]}{N_0 B}$$

4-7 设某信道具有均匀的双边噪声功率谱密度 $P_n(f) = 0.5 \times 10^{-3} \text{ W/Hz}$ ，在该信道中传输抑制载波的双边带信号，并设调制信号 $m(t)$ 的频带限制在 5 kHz 内，而载波为 100 kHz ，已调信号的功率为 10 kW 。若接收机的输入信号在加至解调器之前，先经过带宽为 10 kHz 的一理想带通滤波器滤波，试问：

(4) 求出解调器输出端的噪声功率谱密度，并用图形表示出来。

DSB-SC AM 信号的相干解调的性能, P108

$$r(t) = [m(t) + n_c(t)] \cos(2\pi f_c t) - n_s(t) \sin(2\pi f_c t)$$

$$r(t) \cos 2\pi f_c t = \frac{1}{2} [m(t) + n_c(t)] + \text{高频项}$$

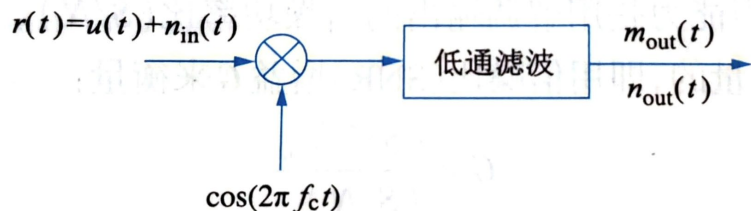
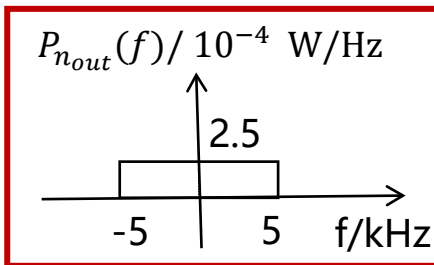
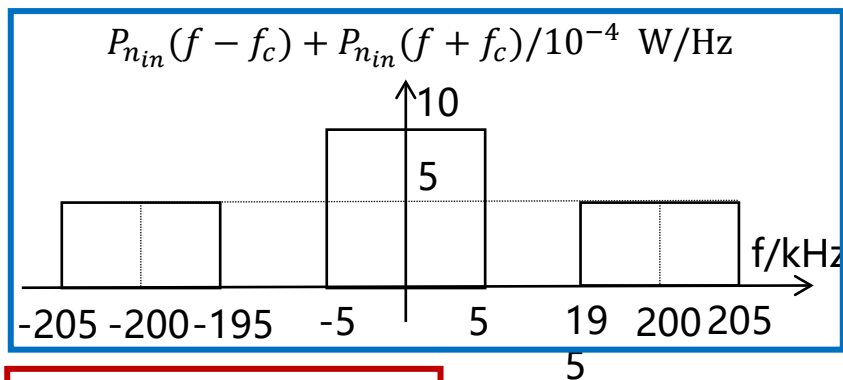
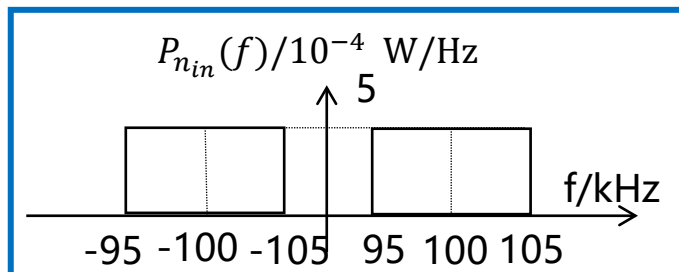


图 4.4.2 DSB-SC AM 信号的相干解调

解调器输入噪声为： $n_{in}(t) = n_c(t) \cos(2\pi f_c t) - n_s(t) \sin(2\pi f_c t)$

低通滤波后的噪声： $n_{out}(t) = \frac{1}{2} n_c(t) = \frac{1}{2} [n_{in}(t) \cos(2\pi f_c t) + \hat{n}_{in}(t) \sin(2\pi f_c t)]$

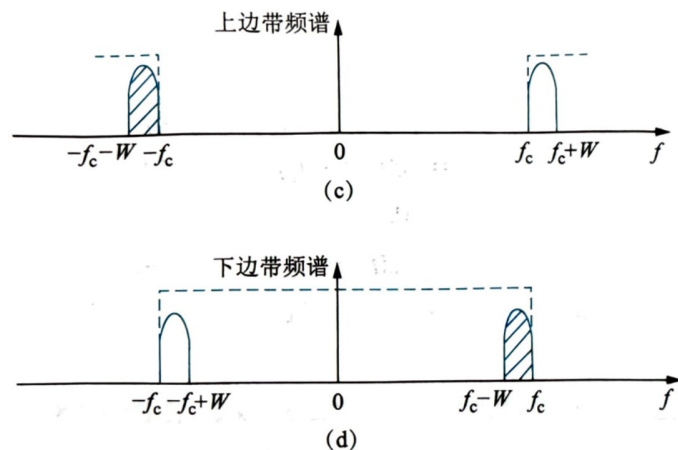
输出噪声功率谱密度： $P_{n_{out}}(f) = \begin{cases} 2.5 \times 10^{-4} \text{ W/Hz}, & |f| < 5 \text{ kHz} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$



4-9 设某信道具有均匀的双边噪声功率谱密度 $P_n(f)=0.5\times 10^{-3}$ W/Hz, 在该信道中传输单边带(上边带)信号, 并设调制信号 $m(t)$ 的频带限制在 5kHz 内, 而载波是 100 kHz, 已调信号功率是 10 kW。若接收机的输入信号在加至解调器前, 先经过带宽为 5 kHz 的一理想带通滤波器滤波, 试问:

- (1) 该理想带通滤波器中心频率为多大?
- (2) 解调器输入端的信噪功率比为多少?

单边带 (SSB) 调制, P100-101



SSB AM信号相干解调的性能之输入信噪功率比, P109

已调SSB信号为: $u(t) = m(t)\cos(2\pi f_o t) \mp \hat{m}(t)\sin(2\pi f_o t)$

输入信号功率为: $P_u = E[u^2(t)] = \frac{1}{2} \{ E[m^2(t) + \hat{m}^2(t)] \} = E[m^2(t)]$

输入噪声功率为: $P_{n_{in}} = BN_0$

所以输入信噪比: $(S/N)_{in} = \frac{E[m^2(t)]}{BN_0}$

对单边带调制而言, 滤波器带宽B仅为双边带时的一半。

解: (1) 中心频率为 $f_c + \frac{W}{2} = 102.5$ kHz

(2) $P_{n_{in}} = BN_0 = 5 \text{ k} \times 2 \times 0.5 \times 10^{-3} = 5 \text{ W}$ $P_u = 10 \text{ kW}$ $(\frac{S}{N})_{in} = \frac{P_u}{P_{n_{in}}} = \frac{10 \times 10^3}{5} = 2000$

4-9 设某信道具有均匀的双边噪声功率谱密度 $P_n(f)=0.5\times 10^{-3}$ W/Hz, 在该信道中传输单边带(上边带)信号, 并设调制信号 $m(t)$ 的频带限制在 5kHz 内, 而载波是 100 kHz, 已调信号功率是 10 kW。若接收机的输入信号在加至解调器前, 先经过带宽为 5 kHz 的一理想带通滤波器滤波, 试问:

(3) 解调器输出端的信噪功率比为多少?

SSB AM信号相干解调的性能之输出信噪功率比, P109

相干解调器输出的信号功率为: $P_{m_{out}} = \frac{1}{4} E[m^2(t)]$

输出的噪声功率为: $P_{n_{out}} = \frac{1}{4} BN_0$

输出信噪比为: $(S/N)_{out} = \frac{E[m^2(t)]}{BN_0}$

于是 $G = \frac{(S/N)_{out}}{(S/N)_{in}} = 1$

$$(3) \quad P_{m_{out}} = \frac{1}{4} P_u, \quad P_{n_{out}} = \frac{1}{4} P_{n_{in}} \quad \left(\frac{S}{N}\right)_{out} = \frac{P_{m_{out}}}{P_{n_{out}}} = \left(\frac{S}{N}\right)_{in} = 2000$$

4-12 设某信道具有均匀的双边噪声功率谱密度 $P_n(f) = 0.5 \times 10^{-3} \text{ W/Hz}$ ，在该信道中传输振幅调制信号，并设调制信号 $m(t)$ 的频带限制于 5 kHz，载频是 100 kHz 以内，边带功率为 10 kW，载波功率为 40 kW。若接收机的输入信号先经过一个合适的理想带通滤波器，然后再加至包络检波器进行解调。试求：

- (1) 解调器输入端的信噪功率比；
- (2) 解调器输出端的信噪功率比；
- (3) 信噪比增益 G 。

普通调幅 (AM) P97-98 ; 普通 AM 调制的性能 P108-110

解调器输入信号为： $u(t) = [1 + am_n(t)] \cos(2\pi f_c t)$

输入噪声功率为： $P_{n_n} = N_0 B$ 输入信号功率为： $P_u = \frac{1}{2} + \frac{a^2}{2} E[m_n^2(t)]$ 于是 $(S/N)_{in} = \frac{\frac{1}{2} + \frac{a^2}{2} E[m_n^2(t)]}{N_0 B}$

采用包络检波，输入信号加噪声为： $r(t) = [1 + am_n(t) + n_c(t)] \cos(2\pi f_c t) - n_s(t) \sin(2\pi f_c t) = V(t) \cos[2\pi f_c t + \varphi(t)]$

其中包络 $V(t) = \sqrt{[1 + am_n(t) + n_c(t)]^2 + n_s^2(t)}$ 当 $1 + am_n(t) \gg n_c(t)$ 和 $n_s(t)$ 时，则 $V(t) \approx 1 + am_n(t) + n_c(t)$

4-12 设某信道具有均匀的双边噪声功率谱密度 $P_n(f) = 0.5 \times 10^{-3} \text{ W/Hz}$ ，在该信道中传输振幅调制信号，并设调制信号 $m(t)$ 的频带限制于 5 kHz ，载频是 100 kHz 以内，边带功率为 10 kW ，载波功率为 40 kW 。若接收机的输入信号先经过一个合适的理想带通滤波器，然后再加至包络检波器进行解调。试求：

- (1) 解调器输入端的信噪功率比；
- (2) 解调器输出端的信噪功率比；
- (3) 信噪比增益 G 。

解：(1) $P_{n_{in}} = BN_0 = 2 \times 10 \text{ k} \times 0.5 \times 10^{-3} = 10 \text{ W}$

$$P_u = 10 + 40 = 50 \text{ kW}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{in} = \frac{P_u}{P_{n_{in}}} = \frac{50 \times 10^3}{10} = 5000$$

$$(2) P_{n_{out}} = P_{n_c} = P_{n_{in}} = 10 \text{ W}$$

$$P_{m_{out}} = a^2 E[m_n^2(t)] = 2 \cdot 10 = 20 \text{ kW}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out} = \frac{P_{m_{out}}}{P_{n_{out}}} = \frac{20 \times 10^3}{10} = 2000$$

$$(3) G = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{out}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{in}} = \frac{2}{5}$$

4-14 设一个宽带调频系统，载波幅度为 100 V，频率为 100 MHz，调制信号 $m(t)$ 的频带限制为 5 kHz， $\overline{m^2(t)} = 5\,000\text{ V}^2$ ， $k_f = 500\pi\text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}/\text{V}$ ，最大频偏 $\Delta f = 75\text{ kHz}$ ，并设信道中噪声功率谱密度是均匀的，其中 $P_n(f) = 10^{-3}\text{ W/Hz}$ （单边功率谱密度），试求：

(1) 接收机输入端理想带通滤波器的传输特性 $H(\omega)$ ；

(2) 解调器输入端的信噪功率比；

非线性调制（角调制）系统的抗噪声能力 P111-114

角度已调信号为： $u(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + \phi(t)]$

输入信号功率为： $P_u = \frac{1}{2} A_c^2$

输入噪声功率为： $P_{n_{in}} = N_0 B$

所以输入信噪比： $(SNR)_{in} = \frac{A_c^2}{2N_0 \cdot B}$

解： (1) $B = 2(f_m + \Delta f) = 2 \cdot (5 + 75) = 160\text{ kHz}$

$$H(f) = \begin{cases} 1, & |f \pm 1 \times 10^8| < 8 \times 10^4\text{ Hz} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$$H(\omega) = \begin{cases} 1, & |\omega \pm 2\pi \times 10^8| < 1.6\pi \times 10^5\text{ rad/s} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

(2) $P_{n_{in}} = N_0 B = 10^{-3}\text{ W/Hz} \times 160\text{ kHz} = 160\text{ W}$

$$P_u = \frac{1}{2} A_c^2 = 5000\text{ W}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{in} = \frac{P_u}{P_{n_{in}}} = \frac{5000}{160} = 31.25$$

4-14 设一个宽带调频系统，载波幅度为 100 V，频率为 100 MHz，调制信号 $m(t)$ 的频带限制为 5 kHz， $\overline{m^2(t)} = 5\,000\text{ V}^2$ ， $k_f = 500\pi\text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}/\text{V}$ ，最大频偏 $\Delta f = 75\text{ kHz}$ ，并设信道中噪声功率谱密度是均匀的，其中 $P_n(f) = 10^{-3}\text{ W/Hz}$ （单边功率谱密度），试求：

(3) 解调器输出端的信噪功率比；

$$\text{输出信噪比公式: } (S/N)_{\text{out}} = \frac{k_f^2 E[m^2(t)]}{\frac{2N_0 f_m^3}{3A_c^2}} = \frac{3A_c^2 k_f^2 E[m^2(t)]}{2N_0 f_m^3}$$

$$(3) \quad \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{out}} = \frac{3A_c^2 k_f^2 E[m^2(t)]}{2N_0 f_m^3} = \frac{3 \cdot 100^2 \cdot \left(\frac{500\pi}{2\pi}\right)^2 \cdot 5000}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 5000^3} = 3.75 \times 10^4$$

4-14 设一个宽带调频系统，载波幅度为 100 V，频率为 100 MHz，调制信号 $m(t)$ 的频带限制为 5 kHz， $\overline{m^2(t)} = 5\,000\text{ V}^2$ ， $k_f = 500\pi\text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}/\text{V}$ ，最大频偏 $\Delta f = 75\text{ kHz}$ ，并设信道中噪声功率谱密度是均匀的，其中 $P_n(f) = 10^{-3}\text{ W/Hz}$ （单边功率谱密度），试求：

(4) 若 $m(t)$ 以振幅调制方式传输，并以包络检波器检波，试比较输出信噪比和所需带宽方面与调频有何不同？

普通AM调制的性能 P110-111

普通AM信号的带宽要求：若 $m(t)$ 的带宽为 W ，则普通AM信号要求的带宽为 $2W$ 。

当采用包络检波时，输入信号加噪声可表示成： $r(t) = [1 + am_n(t) + n_c(t)] \cos 2\pi f_c t - n_s(t) \sin 2\pi f_c t$

当 $1 + am_n(t) \gg n_c(t)$ 和 $n_s(t)$ 时 $V(t) \approx 1 + am_n(t) + n_c(t) = V(t) \cos[2\pi f_c t + \varphi(t)]$

于是包络检波输出和相干解调输出一样，信噪比增益也与相干解调一样，为： $(SNR)_{out} = \frac{a^2 E[m_n^2(t)]}{N_o B}$

$$(4) \quad B_{AM} = 2f_m = 10\text{ kHz} \quad B_{FM}/B_{AM} = 16$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out_AM} = \frac{P_{m_{out}}}{P_{n_{out}}} = \frac{a^2 E[m_n^2(t)]}{N_o B_{AM}} = \frac{5000}{10^{-3} \cdot 10000} = 500 \quad (\text{假设 } a=1) \quad \left(\frac{S}{N}\right)_{out_FM} / \left(\frac{S}{N}\right)_{out_AM} = 75$$

4-17 使用信号 $m(t) = \cos(2000\pi t) + 2\sin(2000\pi t)$ 调制一个 800 kHz 的载波，以产生 SSB AM 信号。载波的振幅为 $A_c = 100$ 。

- (1) 试确定信号 $\hat{m}(t)$ ；
- (2) 试确定 SSB AM 信号下边带的（时域）表达式；
- (3) 试确定 SSB 信号下边带的幅度谱。

单边带 (SSB) 调制 P100-103

已调信号的时域表示为： $u_{\pm}(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) \mp A_c \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t)$

解：(1) $\hat{m}(t) = \sin(2000\pi t) - 2\cos(2000\pi t)$

(2) $u_+(t)$

$$= 100\cos(1.6 \times 10^6 \pi t) [\cos(2000\pi t) + 2\sin(2000\pi t)] + 100\sin(1.6 \times 10^6 \pi t) [\sin(2000\pi t) - 2\cos(2000\pi t)]$$

$$= 100\cos(1.6 \times 10^6 \pi t - 2000\pi t) - 200\sin(1.6 \times 10^6 \pi t - 2000\pi t)$$

$$= 100\cos(1.598 \times 10^6 \pi t) - 200\sin(1.598 \times 10^6 \pi t)$$

$$(3) U_+(f) = 50[\delta(f + 7.99 \times 10^5) + \delta(f - 7.99 \times 10^5)] - 100j[\delta(f + 7.99 \times 10^5) - \delta(f - 7.99 \times 10^5)]$$

$$\begin{aligned} |U_+(f)| &= \delta(f + 7.99 \times 10^5) \sqrt{50^2 + (-100)^2} + \delta(f - 7.99 \times 10^5) \sqrt{50^2 + 100^2} \\ &= 50\sqrt{5}[\delta(f + 7.99 \times 10^5) + \delta(f - 7.99 \times 10^5)] \end{aligned}$$

- 1 某信息源的符号集由A、B、C和D四个符号组成，设每个符号出现的概率相互独立，其符号A和符号B出现的概率分别为1/2和1/16，则该信息源符号的最大平均信息量为_____。若信息源每秒发出5000个符号，则该信息源的最小平均信息速率为_____。

解： 当分布最集中时，信息量最小；当分布最均匀时，信息量最大。

$$\text{最小信息量: } -\frac{1}{2}\log\left(\frac{1}{2}\right) - \frac{1}{16}\log\left(\frac{1}{16}\right) - \frac{7}{16}\log\left(\frac{7}{16}\right) = 1.2718\text{bit}$$

$$\text{最大信息量: } -\frac{1}{2}\log\left(\frac{1}{2}\right) - \frac{1}{16}\log\left(\frac{1}{16}\right) - \frac{7}{32}\log\left(\frac{7}{32}\right) - \frac{7}{32}\log\left(\frac{7}{32}\right) = 1.7093\text{bit}$$

最小平均信息速率 6358.9111 bit/s

2 一个零均值，单边功率谱密度为 $2N_0$ 的白高斯噪声通过一个理想带通滤波器，此滤波器的增益为 A ，中心频率为 f_c ，带宽为 $2B$ ，求

(1) 滤波器输出的窄带过程 $X(t)$;

$$\text{解: } P_X(f) = P_N(f)|H(f)|^2 = \begin{cases} A^2 N_0, & |f \pm f_c| < B \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$$R_X(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} P_X(f) \cdot e^{j2\pi f\tau} df = 4N_0 A^2 B \cos(2\pi f_c \tau) \text{sinc}(2B\tau)$$

$$E^2[X(t)] = R(\infty) = 0, \text{ 即 } \mu = 0 \quad \sigma^2 = R(0) - R(\infty) = 4N_0 A^2 B$$

$$X(t) = V(t) \cos(2\pi f_c t + \theta(t))$$

$$f_V(v) = \frac{v}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{v}{2\sigma^2}\right] = \frac{v}{4N_0 A^2 B} \exp\left[-\frac{v}{8N_0 A^2 B}\right], v \geq 0$$

$$f_\theta(\theta) = \frac{1}{2\pi}, -\pi \leq \theta \leq \pi$$

平稳带通（窄带）过程，P53-57

包络瑞利分布 $f_V(v) = \int_{-\pi}^{\pi} f_{V\theta}(v, \theta) d\theta$

$$= \frac{v}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{v^2}{2\sigma^2}\right], \quad v \geq 0$$

相位均匀分布 $f_\theta(\theta) = \int_0^\infty f_{V\theta}(v, \theta) dv$

$$= \frac{1}{2\pi}, \quad -\pi \leq \theta \leq \pi$$

2 一个零均值，单边功率谱密度为 $2N_0$ 的白高斯噪声通过一个理想带通滤波器，此滤波器的增益为 A ，中心频率为 f_c ，带宽为 $2B$ ，求

(2) $X(t)$ 的低通同相分量和低通正交分量的自相关函数。

$$R_X(\tau) = 4N_0A^2B\cos(2\pi f_c\tau)\text{sinc}(2B\tau)$$

$$\hat{P}_X(f) = -j\text{sgn}(f)P_X(f) = \begin{cases} -jN_0A^2, & |f - f_c| < B \\ jN_0A^2, & |f + f_c| < B \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$$\hat{R}_X(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{P}_X(f) \cdot e^{j2\pi f\tau} df = 4N_0A^2B\sin(2\pi f_c\tau)\text{sinc}(2B\tau)$$

$$R_{X_c}(\tau) = R_{X_s}(\tau) = R_X(\tau)\cos(2\pi f_c\tau) + \hat{R}_X(\tau)\sin(2\pi f_c\tau) = 4N_0A^2B\text{sinc}(2B\tau)$$

零均值平稳窄带随机过程同相分量和正交分量的自相关函数 P55

$$X_c(t) = X(t)\cos(2\pi f_0t) + \hat{X}(t)\sin(2\pi f_0t)$$

$$X_s(t) = \hat{X}(t)\cos(2\pi f_0t) - X(t)\sin(2\pi f_0t)$$

$$R_{X_s}(\tau) = R_{X_c}(\tau) = R_X(\tau)\cos(2\pi f_0\tau) + \hat{R}_X(\tau)\sin(2\pi f_0\tau)$$

1. 随参信道的信道参数随时间变化，其特征包括衰耗随时变化、传输时延随时变化、出现多径传输现象。

随参信道及其特征， P80

2. 设一个宽带调频系统，载波幅度为 $100V$ ，频率为 $500MHz$ ，调制信号 $m(t)$ 的频带限制为 $10kHz$ ， $\overline{m^2(t)} = 5000V^2$ ， $k_f = 250Hz/V$ ，最大频偏 $\Delta f = 90kHz$ ，并设信道中噪声功率谱密度是均匀的，其中噪声双边功率谱密度为 $5 \times 10^{-4}W/Hz$ ，求：

- (1) 接收机输入端理想带通滤波器的传输特性 $H(f)$ ；
- (2) 解调器输入端的信噪功率比；
- (3) 解调器输出端的信噪功率比；
- (4) 若 $m(t)$ 以振幅调制方式传输，并以包络检波器检波，试比较输出信噪比和所需带宽方面与调频有何不同？

解：(1) $B = 2(f_m + \Delta f) = 2 \cdot (10 + 90) = 200 kHz$

$$H(f) = \begin{cases} 1, & 499.9MHz < |f| < 500.1MHz \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

2. 设一个宽带调频系统，载波幅度为 $100V$ ，频率为 $500MHz$ ，调制信号 $m(t)$ 的频带限制为 $10kHz$ ， $\overline{m^2(t)} = 5000V^2$ ， $k_f = 250Hz/V$ ，最大频偏 $\Delta f = 90kHz$ ，并设信道中噪声功率谱密度是均匀的，其中噪声双边功率谱密度为 $5 \times 10^{-4}W/Hz$ ，求：

(2) 解调器输入端的信噪功率比；

(3) 解调器输出端的信噪功率比；

(4) 若 $m(t)$ 以振幅调制方式传输，并以包络检波器检波，试比较输出信噪比和所需带宽方面与调频有何不同？

解： (2) $P_{nin} = N_0 B = 10^{-3}W/Hz \times 200kHz = 200 W$

$$P_u = \frac{1}{2} A_c^2 = 5000 W$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{in} = \frac{P_u}{P_{nin}} = \frac{5000}{200} = 25$$

$$(3) \left(\frac{S}{N}\right)_{out} = \frac{3A_c^2 k_f^2 E[m^2(t)]}{2N_0 f_m^3} = \frac{3 \cdot 100^2 \cdot (250)^2 \cdot 5000}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 10000^3} = 4687.5$$

2. 设一个宽带调频系统，载波幅度为 $100V$ ，频率为 $500MHz$ ，调制信号 $m(t)$ 的频带限制为 $10kHz$ ， $\overline{m^2(t)} = 5000V^2$ ， $k_f = 250Hz/V$ ，最大频偏 $\Delta f = 90kHz$ ，并设信道中噪声功率谱密度是均匀的，其中噪声双边功率谱密度为 $5 \times 10^{-4}W/Hz$ ，求：

(2) 解调器输入端的信噪功率比；

(3) 解调器输出端的信噪功率比；

(4) 若 $m(t)$ 以振幅调制方式传输，并以包络检波器检波，试比较输出信噪比和所需带宽方面与调频有何不同？

解： (4) $B_{AM} = 2f_m = 20 \text{ kHz}$ $B_{FM}/B_{AM} = 10$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out_AM} = \frac{P_{m_out}}{P_{n_out}} = \frac{a^2 E[m_n^2(t)]}{N_0 B_{AM}} = \frac{5000}{10^{-3} \cdot 20000} = 250 \quad (\text{假设 } a=1)$$

$$\frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{out_FM}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{out_AM}} = 18.75$$