北京邮电大学 2017——2018 学年第 I 学期

《通信原理》期末考试

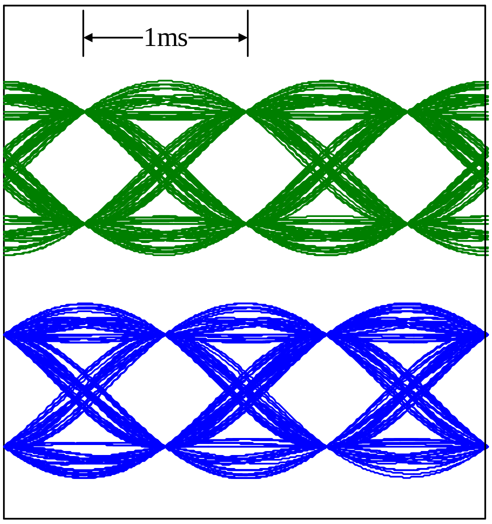
一．选择填空题

空格号	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
答案	B	F	D	C	A	C	C	D	A	B	D
空格号	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)
答案	G	A	C	D	H	A	B	G	C	C	A
空格号	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)	(31)	(32)	(33)
答案	E	B	C	D	A	A	A	B	A	A	B
空格号	(34)	(35)	(36)	(37)	(38)	(39)	(40)	(41)	(42)	(43)	(44)
答案	A	A	B	A	D	F	B	D	C	A	B
空格号	(45)	(46)	(47)	(48)	(49)	(50)	(51)	(52)	(53)	(54)	(55)
答案	C	D	C	A	B	B	C	C	D	E	E

1. 为了提高(1)，部分响应系统借助(2)编码引入了人为的(3)。

(1)(2)(3)	(A) 信噪比	(B) 频谱效率	(C) 差分	(D) 码间干扰
	(E) 噪声	(F) 相关	(G) 格雷	(H) 相位模糊

2. 下图是用双踪示波器在某数字调制系统接收端 I、Q 两路匹配滤波器的输出端观察到的两路眼图。根据这个眼图可以看出，该系统采用的是(4)调制，调制器输入数据的比特间隔是(5)ms，比特速率是(6)kb/s。



(4)	(A) BPSK	(B) QPSK	(C) OQPSK	(D) 16QAM
(5)(6)	(A) 0.5	(B) 1	(C) 2	(D) 4

3. 给定E_b/N_0时，BPSK 的(7)与 QPSK 相同，(8)比 QPSK 小。给定符号速率R_s时，BPSK 的(9)与 QPSK 相同，(10)比 QPSK 小。

(7)(8)(9)(10)	(A) 带宽	(B) 频带利用率	(C) 误比特率	(D) 误符号率

4. E_b/N_0较大时，DPSK 的误比特率近似是 BPSK 误比特率的(11)倍。

(11)	(A) 1/4	(B) 1/2	(C) 1	(D) 2

5. BPSK 信号只能(12)解调，其典型的载波提取方法例如有(13)，它所提取的载波存在(14)问题，DPSK 可以解决此问题。DPSK 的解调可以采用(15)解调，这种解调方式属于(16)解调。

(12)(13)(14)(15)(16)	(A) 平方环法	(B) 锁相环法	(C) 相位模糊	(D) 差分相干
	(E) 相位抖动	(F) 码间干扰	(G) 相干	(H) 非相干

6. 某数字通信系统的接收端采用了时域均衡器，这说明该系统的整体特性不满足(17)准则，需要用均衡器来降低(18)。

(17)	(A) 奈奎斯特	(B) MAP	(C) ML	(D) MMSE
(18)	(A) 包络起伏	(B) 码间干扰	(C) 眼张开度	(D) 噪声方差

7. 8PSK 系统的每个符号携带 k=(19)个比特，若已知平均发送功率是 2 瓦、信息速率是 3Mbit/s，则其符号速率是 R_s=(20)MBaud，符号间隔是 T_s=(21)微秒，比特间隔是 T_b=(22)微秒，平均符号能量是 E_s=(23)微焦耳，平均比特能量是 E_b=(24)微焦耳。

(19)(20)(21)(22)(23)(24)	(A) 1/3	(B) 2/3	(C) 1	(D) 4/3
	(E) 2	(F) 8/3	(G) 3	(H) 4

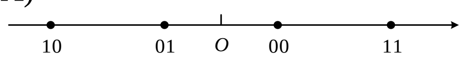
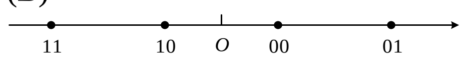
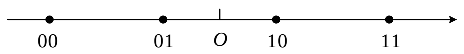
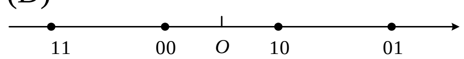
8. 设数据独立等概、速率为R_b，则 OOK、BSPK 信号的主瓣带宽是(25)、正交 2FSK（假设频差为最小值）的主瓣带宽是(26)。若给定E_b/N_0，则它们在最佳相干解调下的误比特率关系是(27)。

(25)(26)	(A) R_b	(B) $1.5R_b$	(C) $2R_b$	(D) $2.5R_b$
(27)	(A) $P_b^{OOK}=P_b^{2FSK}>P_b^{BPSK}$		(B) $P_b^{OOK}>P_b^{BPSK}>P_b^{2FSK}$	
	(C) $P_b^{OOK}>P_b^{2FSK}>P_b^{BPSK}$		(D) $P_b^{OOK}>P_b^{BPSK}=P_b^{2FSK}$	

9. M 进制调制系统发送$s_i\in\{s_1,s_2,\cdots,s_M\}$，经过信道传输后收到$r$。后验概率$P(s_i|r)$、似然函数$p(r|s_i)$、先验概率$P(s_i)$的关系是(28) 。

(28)	(A) $P(s_i\|r)=\dfrac{P(s_i)\cdot p(r\|s_i)}{p(r)}$	(B) $p(r\|s_i)=\dfrac{P(s_i)\cdot P(s_i\|r)}{p(r)}$
	(C) $P(s_i)=\dfrac{p(r\|s_i)\cdot P(s_i\|r)}{p(r)}$	(D) $p(r)=\dfrac{P(s_i\|r)}{P(s_i)p(r\|s_i)}$

10. 在 MASK 中采用格雷码映射可以降低(29)。下列 4ASK 星座图中，采用了格雷码映射的是(30)。

(29)	(A) 误比特率	(B) 误符号率	(C) 包络起伏	(D) 主瓣带宽
(30)	(A) 		(B) 	
	(C) 		(D) 	

11. 与 QPSK 相比，OQPSK 的(31)更小。

(31)	(A) 包络起伏	(B) 码间干扰	(C) 误比特率	(D) 带宽

12. 下列调制方式中，给定数据速率R_{b}时带宽最大的是(32)；给定星座点之间的最小欧氏距离$d_{\min}$时平均符号能量最大的是(33)，最小的是(34)。

(32)(33)(34)	(A) 16FSK	(B) 16ASK	(C) 16QAM	(D) 16PSK

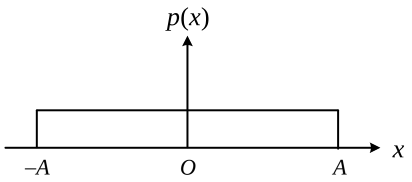
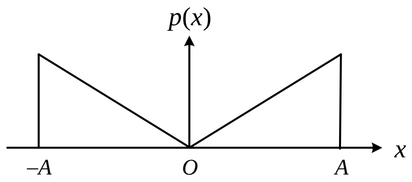
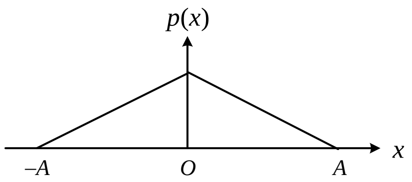
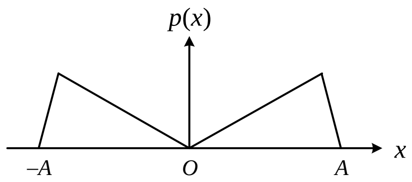
13. 量化比特数为 k 比特的均匀量化器的量化级数M等于(35)。若量化器的输入服从均匀分布，则量化输出信噪比是(36)。

(35)(36)	(A) 2^k	(B) 2^{2k}	(C) k^2	(D) $(2k)^2$

14.某 A 律十三折线 PCM 编码器的设计输入范围是$[-1024,+1024]$mV，若采样值为$x=+128$mV，编码器的输出码组$b_1b_2b_3b_4b_5b_6b_7b_8$中的极性码b_1是(37)，段落码$b_2b_3b_4$是(38)，段内码$b_5b_6b_7b_8$是(39)；解码器若正确收到该码组，则输出的量化电平是(40) mV，若收到的码组中b_8出错，则输出的量化电平是(41) mV。

(37)(38)(39)	(A) 1	(B) 0	(C) 011	(D) 101
	(E) 111	(F) 0000	(G) 0010	(H) 0100
(40)(41)	(A) +128	(B) +132	(C) +136	(D) +140

15.某量化器的输入范围是$[-A,+A]$。对于 A 律十三折线量化来说，当输入x的概率密度函数为(42)时量化噪声功率最小；对于均匀量化器来说，当输入x的概率密度函数为(43)时量化噪声功率最小。

<table>
<tr><td rowspan="2">(42)
(43)</td><td>(A)
</td><td>(B)
</td></tr>
<tr><td>(C)
</td><td>(D)
</td></tr>
</table>

16. 若 256QAM 系统的滚降系数为 1/3，数据速率为 24Mbit/s，则发送信号的带宽是(44)MHz，频带利用率是(45)bit/s/Hz。

(44)(45)	(A) 3	(B) 4	(C) 6	(D) 8

17. 矩形 16QAM 由两个正交的(46)构成，QPSK 由两个正交的(47)构成，2FSK 由两个(48)构成。

(46)(47)(48)	(A) OOK	(B) 2FSK	(C) BPSK	(D) 4ASK

18. 若正交 16FSK 的比特速率是 16kbit/s，则相邻频率之间的频差最小是(49)kHz。若其符号能量E_s是 1J，则相邻星座点之间的欧氏距离的平方是(50)J。

(49)(50)	(A) 1	(B) 2	(C) 4	(D) 8

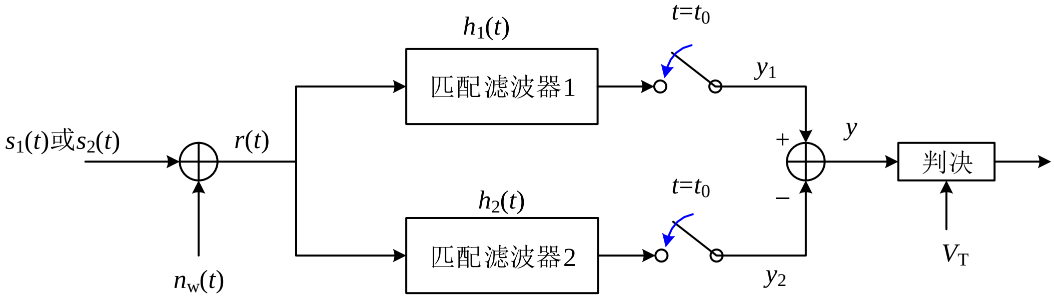
19. 将(3,1)重复码的码字通过差错率为 1/4 的随机差错信道传输，接收码字与发送码字的汉明距离超过 1 的概率是(51)。

(51)	(A) 1/4	(B) 1/12	(C) 5/32	(D) 27/32

20. 已知某(7,4)线性分组码的最小码距是 3。该码的编码率是(52)。该码用于纠错时可以纠正(53)位错。该码的非全零码字中，汉明重量最小是(54)。该码的督矩阵 *H* 有(55)行。

(52)(53)(54)(55)	(A) 1/7	(B) 3/7	(C) 4/7	(D) 1	(E) 3	(F) 4

二． 某二进制调制系统在$[0,T_b]$内等概发送$s_1(t)=2\cos\left(\frac{20\pi t}{T_b}\right)$和$s_2(t)=\sqrt{2}\cdot\cos\left(\frac{22\pi t}{T_b}+\frac{\pi}{4}\right)$之一。接收框图如下所示，其中$t_0=T_b$，两个匹配滤波器的冲激响应分别是$s_1(t_0-t)$及$s_2(t_0-t)$，高斯白噪声$n_w(t)$的双边功率谱密度是$N_0/2$。



试求：

(1)$s_1(t),s_2(t)$的相关系数，该系统的平均比特能量；

(2)发送$s_1(t),s_2(t)$条件下y的均值$A_1=\mathrm{E}[y|s_1(t)]$及$A_2=\mathrm{E}[y|s_2(t)]$；

(3)判决量 y 中的噪声功率；

(4)取判决门限为$V_T=\frac{A_1+A_2}{2}$，求该系统的平均误比特率。

答案：

(1) $s_1(t)$的能量是$E_1=2T_b$，$s_2(t)$的能量是$E_2=T_b$，平均比特能量是$E_b=1.5T_b$

从频差可以看出正交。具体来说$s_1(t),s_2(t)$的内积是它们的乘积在$[0,T_b]$内的积分。今$s_1(t)s_2(t)=2\sqrt{2}\cos\left(\frac{20\pi t}{T_b}\right)\cos\left(\frac{22\pi t}{T_b}+\frac{\pi}{4}\right)$，三角函数积化和差，和或者差的频率都是$\frac{1}{T_b}$的整倍数，故在$[0,T_b]$内的积分是零。相关系数是能量归一化之后的内积，即

$\rho=\int_0^{T_b}\frac{s_1(t)}{\sqrt{E_1}}\cdot\frac{s_2(t)}{\sqrt{E_2}}\mathrm{d}t$ 。由此可知$s_1(t),s_2(t)$的相关系数是 0。

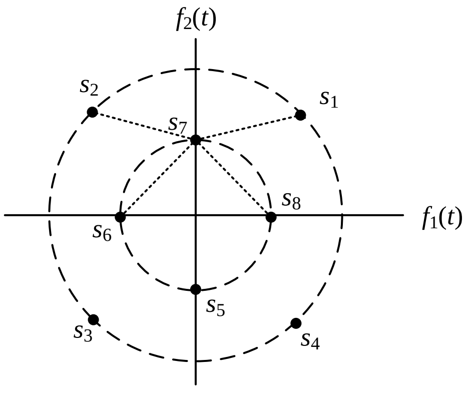
(2) 发送$s_1(t)$时，上支路的输出包括有用信号及噪声。先看有用信号，匹配滤波器的输出是$s_1(t)$的自相关函数，最佳采样点的值是自相关函数的最高值，是$s_1(t)$的能量E_1。此时，由于$s_1(t), s_2(t)$正交，所以下支路的有用信号是零（匹配滤波器+采样=相关器），两路相减是E。噪声的均值是零，因此$A_1 = E_1 = 2T_{\mathrm{b}}$。

同理，发送$s_2(t)$时，对有用信号来说，下支路的采样值是E_2，上支路的采样值是零，上下相减得到$A_2 = -E_2 = -T_{\mathrm{b}}$

(3)上下支路的噪声方差分别是$\frac{N_0}{2}E_1$和$\frac{N_0}{2}E_2$，上下两路正交，所以 y 中的噪声功率=$\frac{N_0}{2}E_1 + \frac{N_0}{2}E_2 = N_0 E_{\mathrm{b}}$

(4)发送$s_2(t)$时，若噪声 z 使得$y = A_2 + z$的值超过门限V_{T}则判决出错，其概率就是噪声$\mathrm{z} > V_{\mathrm{T}} - A_2 = \frac{A_1 - A_2}{2} = 1.5T_{\mathrm{b}}$的概率，为$\frac{1}{2}\mathrm{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_{\mathrm{b}}}{2N_0}}\right) = \frac{1}{2}\mathrm{erfc}\left(\sqrt{\frac{3T_{\mathrm{b}}}{4N_0}}\right) = \mathrm{Q}\left(\sqrt{\frac{3T_{\mathrm{b}}}{2N_0}}\right)$。

三．某 8QAM 调制的符号间隔是$T_{\mathrm{s}} = 2\ \mathrm{ms}$，两个归一化正交基函数为$f_1(t) = \cos(2\pi f_{\mathrm{c}} t)$、$f_2(t) = -\sin(2\pi f_{\mathrm{c}} t)$，$0 \le t \le T_{\mathrm{s}}$。星座图如下图所示，是一个对称图形，其中$s_7$与$s_1, s_2, s_6, s_8$的距离都是 1。各星座点等概出现。（注：基函数能量归一化中，单位能量是 mJ；f_{c}充分大）



(1)求平均符号能量；
(2)写出该调制系统发送信号的主瓣带宽；
(3)写出s_1、s_6对应的波形$s_1(t)$、$s_6(t)$表达式。

答案：

(1)每个星座点对应一个波形，其能量是星座点到原点的距离平方，若内圆的半径是r_1，则内圆的四个点的能量是r_1^2；同样，若外圆的半径是r_2，则外圆上的四个点的能量是r_2^2。平均符号能量是$E_{\mathrm{s}} = \frac{r_1^2 + r_2^2}{2}$。$s_7 s_8$的距离是 1，故内圆半径是$\frac{1}{\sqrt{2}}$。$s_7 s_8$到原点

的距离是$\frac{1}{2}$、s_7s_8到s_1的距离是$\sqrt{1-\left(\frac{1}{2}\right)^2}=\frac{\sqrt{3}}{2}$，故外圆半径是$\frac{1+\sqrt{3}}{2}$。平均符号能量是$\frac{1}{2}\left[\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2+\left(\frac{1+\sqrt{3}}{2}\right)^2\right]=\frac{(3+\sqrt{3})}{4}$。

(2)本题中的基函数可以看成是宽度为 2ms 的矩形脉冲对$\cos 2\pi f_c t$或$-\sin 2\pi f_c t$做 DSB 调制。矩形脉冲的主瓣带宽是 500Hz，因此这两个基函数的主瓣带宽是 1000Hz，中心频率相同。所有发送信号都是这两个基函数的线性组合，因此该调制系统发送信号的主瓣带宽是 1000Hz。

(3)$s_1(t)$的幅度是外圆半径，相位是$\frac{\pi}{4}$，故$s_1(t)=\frac{1+\sqrt{3}}{2}\cos\left(2\pi f_c t+\frac{\pi}{4}\right)$。或者：星座点$s_1$的坐标是$\left(\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{2}},\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{2}}\right)=\left(\frac{\sqrt{2}+\sqrt{6}}{4},\frac{\sqrt{2}+\sqrt{6}}{4}\right)$，因此$s_1(t)=\frac{\sqrt{2}+\sqrt{6}}{4}\cos(2\pi f_c t)-\frac{\sqrt{2}+\sqrt{6}}{4}\sin(2\pi f_c t)$。$s_6(t)=-\frac{1}{\sqrt{2}}\cos 2\pi f_c t$

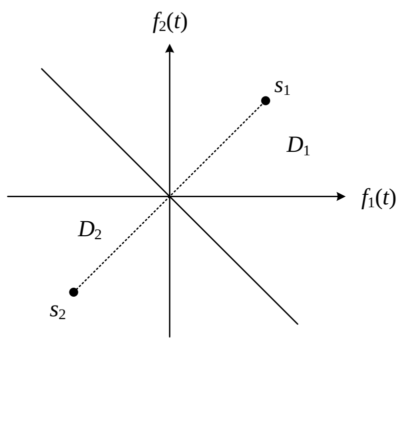
四. 某二维二进制调制的两个星座点$\boldsymbol{s}_1=(+1,+1)$与$\boldsymbol{s}_2=(-1,-1)$等概出现。发送其中某一个$\boldsymbol{s}_i, i=1,2$，接收端收到$\boldsymbol{y}=(y_1,y_2)=\boldsymbol{s}_i+\boldsymbol{n}$，其中$\boldsymbol{n}=(n_1,n_2)$是噪声向量，已知$n_1,n_2$独立同分布。

(1) 若n_1,n_2是均值为零、方差为 1/2 的高斯随机变量，试画出最佳判决域，并求发送$\boldsymbol{s}_1$、$\boldsymbol{s}_2$条件下的错误率$P(e|\boldsymbol{s}_1)$、$P(e|\boldsymbol{s}_2)$；

(2) 若n_1,n_2的概率密度函数是 $f(n_i)=\begin{cases}e^{-n_i}, & n_i\ge 0\\ 0, & n_i<0\end{cases}$，$i=1,2$，试画出最佳判决域，并求发送$\boldsymbol{s}_1$、$\boldsymbol{s}_2$条件下的错误率$P(e|\boldsymbol{s}_1)$、$P(e|\boldsymbol{s}_2)$。

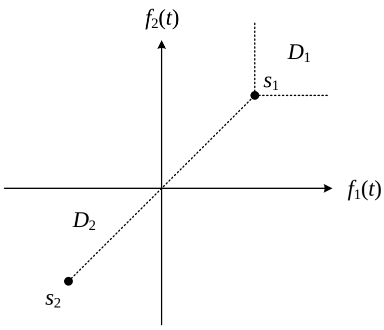
答案：

(1)n_1,n_2是独立同分布的零均值高斯噪声，此条件下 ML 判决等价与按距离远近来判决，因此最佳判决域是按离开$\boldsymbol{s}_1$、$\boldsymbol{s}_2$的欧氏距离来划分，结果如下：



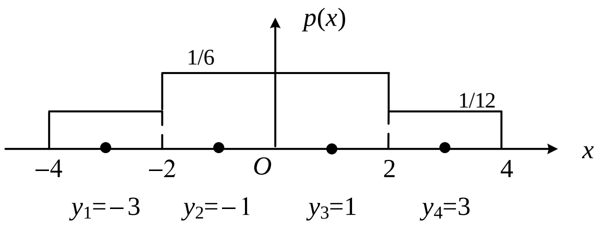
发送s_2条件下，噪声沿s_2s_1方向的分量越过原点、进入判决域 D1 时判决出错。由于n_1,n_2是独立同分布的零均值高斯随机变量，随机向量(n_1,n_2)在任何方向的分量也是零均值高斯随机变量，且方差不变，仍然是 1/2。s_2到判决域边界线的距离是$\sqrt{2}$，噪声沿s_2s_1方向的分量超过$\sqrt{2}$的概率是$\frac{1}{2}\mathrm{erfc}(\sqrt{2})=\mathrm{Q}(2)$，此即$P(e|\boldsymbol{s}_2)$。根据问题得对称性可知$P(e|\boldsymbol{s}_1)=P(e|\boldsymbol{s}_2)=\frac{1}{2}\mathrm{erfc}(\sqrt{2})=\mathrm{Q}(2)$。

(2) 噪声只正不负，发送s_1时，接收信号只能落在s_1的右上方，即下图中的 D_1 区域。因此首先可以确认，D_1 之外一定不属于s_1的判决域。发送s_2时，接收信号虽然也有落入区域 D_1 的可能性，但对于任意点$y\in D_1$，显然有$P(y\in D_1|s_1)>P(y\in D_1|s_2)$，因此 D_1 区域之内的所有点一定属于s_1的判决域。D_1 之外的所有区域可以归属给s_2。注意：发送s_2时，接收信号只能落在s_2的右上方，因此对于s_2西边和南边的这个区域来说，似然函数$p(y|s_1)=p(y|s_2)=0$，此区域归给谁都无所谓。



按照上述判决域判决时，发送s_1不可能出错，$P(e|\boldsymbol{s}_1)=0$。发送s_2出错的条件是n_1,n_2都大于 2，$P(e|s_2)=\left[\int_2^{\infty}\mathrm{e}^{-x}\mathrm{d}x\right]^2=\mathrm{e}^{-4}$。

五. 某四电平均匀量化器的输入x取值范围是$(-4,-4)$，其概率密度函数如下图所示，图中的黑色圆点表示量化输出y的四个量化电平y_1,y_2,y_3,y_4。



试求：

(1)量化输入 x 的功率 $S=\mathrm{E}\left[x^2\right]$；

(2)量化输出y各可能取值的出现功率以及 y 的功率 $S_{\mathrm{q}}=\mathrm{E}\left[y^2\right]$；

(3)量化噪声功率 $N_{\mathrm{q}}=\mathrm{E}\left[(y-x)^2\right]$。

答案：

(1) $S=\mathrm{E}\left[x^2\right]=2\int_0^4 x^2 p(x)\mathrm{d}x=2\int_0^2\frac{x^2}{6}\mathrm{d}x+2\int_2^4\frac{x^2}{12}\mathrm{d}x=4$

(2) 四个量化电平 y_1,y_2,y_3,y_4 的出现概率依次是 $\frac{1}{6},\frac{1}{3},\frac{1}{3},\frac{1}{6}$ 。$S_\mathrm{q}=\mathrm{E}\left[y^2\right]=2\left[\frac{1}{6}\times 9+\frac{1}{3}\times 1\right]=\frac{11}{3}$

(3)方法 1：本题条件（量化电平位于区间的概率质心）下，$N_\mathrm{q}=S-S_\mathrm{q}=\frac{1}{3}$。

方法 2：量化噪声$y-x$的取值范围是$(-1,+1)$，且均匀分布，所以$N_\mathrm{q}=\frac{1}{3}$。
方法 3：

$$N_\mathrm{q}=\mathrm{E}\left[(y-x)^2\right]=\int_{-4}^4(y-x)^2\,p(x)\mathrm{d}x=\int_{-4}^{-2}\frac{(x+3)^2}{12}\mathrm{d}x+\int_{-2}^{0}\frac{(x+1)^2}{6}\mathrm{d}x+\int_0^2\frac{(x-1)^2}{6}\mathrm{d}x+\int_2^4\frac{(x-3)^2}{12}\mathrm{d}x$$
$$=\frac{1}{12}\int_{-1}^1 t^2\mathrm{d}t+\frac{1}{6}\int_{-1}^1 t^2\mathrm{d}t+\frac{1}{6}\int_{-1}^1 t^2\mathrm{d}t+\frac{1}{12}\int_{-1}^1 t^2\mathrm{d}t=\frac{1}{2}\int_{-1}^1 t^2\mathrm{d}t=\frac{1}{3}$$

方法 4： $N_\mathrm{q}=\mathrm{E}\left[(y-x)^2\right]=\mathrm{E}\left[x^2-2xy+y^2\right]=S+S_\mathrm{q}-2\mathrm{E}[xy]$，其中

$$\mathrm{E}[xy]=\int_{-4}^4 xyp(x)\mathrm{d}x=\int_{-4}^{-2}\frac{-3x}{12}\mathrm{d}x+\int_{-2}^0\frac{-x}{6}\mathrm{d}x+\int_0^2\frac{x}{6}\mathrm{d}x+\int_2^4\frac{3x}{12}\mathrm{d}x$$
$$=\frac{1}{3}\int_0^2 x\mathrm{d}x+\frac{1}{2}\int_2^4 x\mathrm{d}x=\frac{11}{3}$$

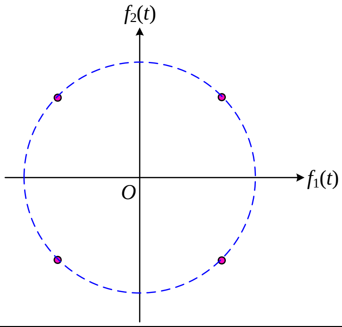
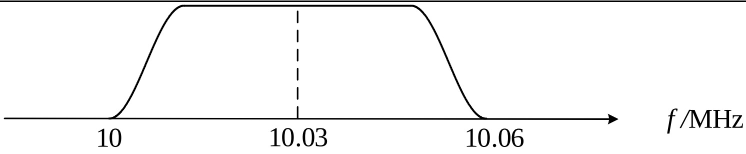
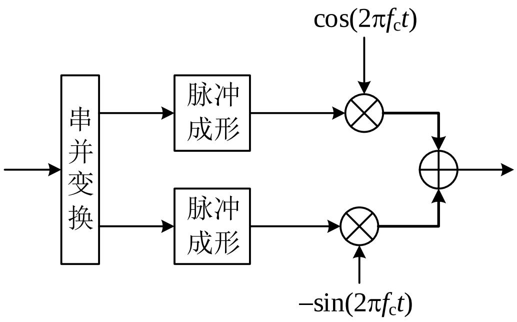
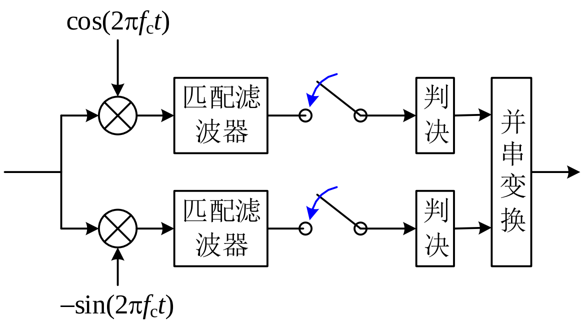
代入后得到$N_\mathrm{q}=\frac{1}{3}$。

六．将 2 路模拟信号$m_1(t),m_2(t)$分别进行抽样量化编码，按时分复用合为一路数据流，然后通过一个频带范围为 10.000MHz-10.060MHz 的带通信道传输。已知$m_1(t)$是带宽为 4kHz 的话音信号，$m_2(t)$是零均值平稳过程，其一维概率密度函数大致服从均匀分布，其频带范围是 3kHz~5kHz。试进行系统设计。

<u>设计要求</u>：(1)采样率必须是频谱不交叠的最小采样率；(2)话音$m_1(t)$采用 A 律十三折线编码；(3)$m_2(t)$的量化信噪比至少要达到 20dB；(4)滚降系数尽可能大，至少是 1/3；(5)调制阶数尽可能低。

<u>设计输出</u>：(1)每路模拟信号的抽样速率、量化编码后的输出数据速率，时分复用后的总速率；(2)数字调制的载波频率f_c、调制阶数 M、滚降系数α；(3)星座图、发送功率谱密度图、调制和解调框图。

答案：

<table>
<tr><td>$m_1(t)$抽样率</td><td>8kHz</td></tr>
<tr><td>$m_2(t)$抽样率</td><td>5kHz</td></tr>
<tr><td>$m_1(t)$数据速率</td><td>64kbps</td></tr>
<tr><td>$m_2(t)$数据速率</td><td>4×5 =20kbps</td></tr>
<tr><td>TDM 总速率</td><td>84kbps</td></tr>
<tr><td>f_c</td><td>10.030MHz</td></tr>
<tr><td>M</td><td>4</td></tr>
<tr><td>α</td><td>3/7</td></tr>
<tr><td>星座图</td><td>
</td></tr>
<tr><td>发送信号的功率谱密度</td><td>
</td></tr>
<tr><td>调制框图</td><td>
</td></tr>
<tr><td>解调框图</td><td>
</td></tr>
</table>