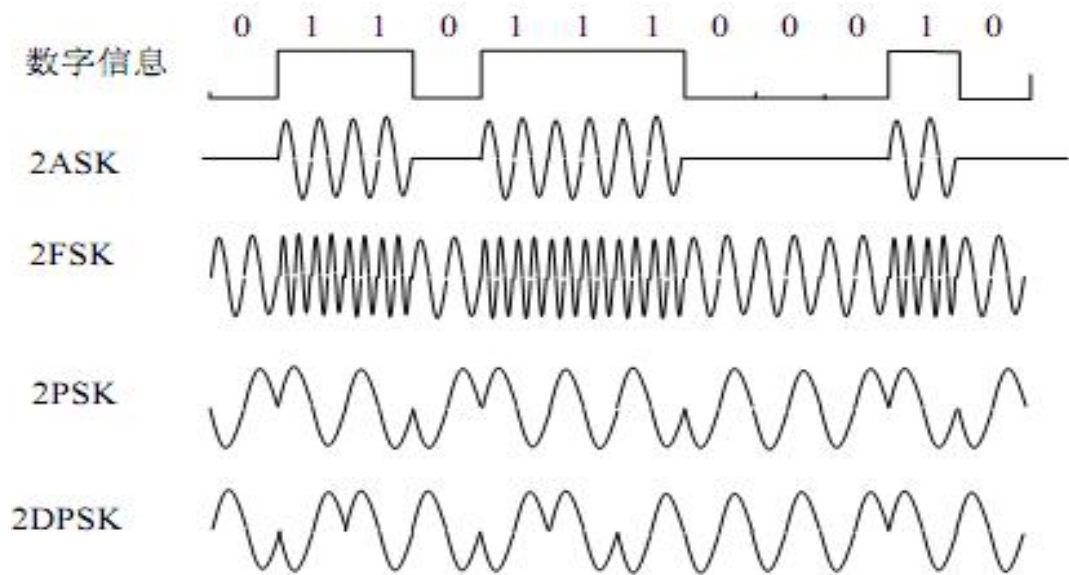


通信原理习题讲解

- Chapter 7
- 随堂测试4
- 随堂测试5

7-1 设发送数字信息为 011011100010, 试分别画出 2ASK、2FSK、2PSK 及 2DPSK 信号的波形示意图。

解：



知识点：正弦波调制，P217 图7.1.1

$$a_n(\text{绝对码}) = 011011100010$$

$$b_n(\text{相对码}) = 010010111100$$

7-2 已知某OOK系统的码元传输速率为 10^3 波特(Baud),所用载波信号为 $A\cos(4\pi \times 10^6 t)$ 。

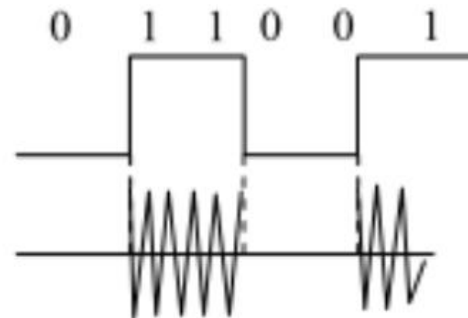
知识点：OOK调制，P217-218

(1) 设所传送的数字信息为011001,试画出相应的OOK信号波形示意图;

(2) 求OOK信号第一零点带宽。

解：

(1) 载波频率 $f_c = 2 \times 10^6 \text{ Hz}$, 码元速率 $R_B = 1000 \text{ Baud}$, 一个符号周期内有2000个载波周期, 相应的OOK信号波形示意图如右。



(2) 第一零点带宽 $= \frac{2}{T_s} = \frac{2}{1/R_B} = 2000 \text{ Hz}$

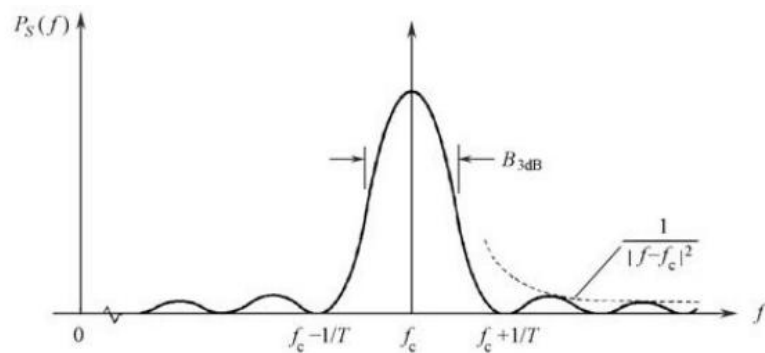


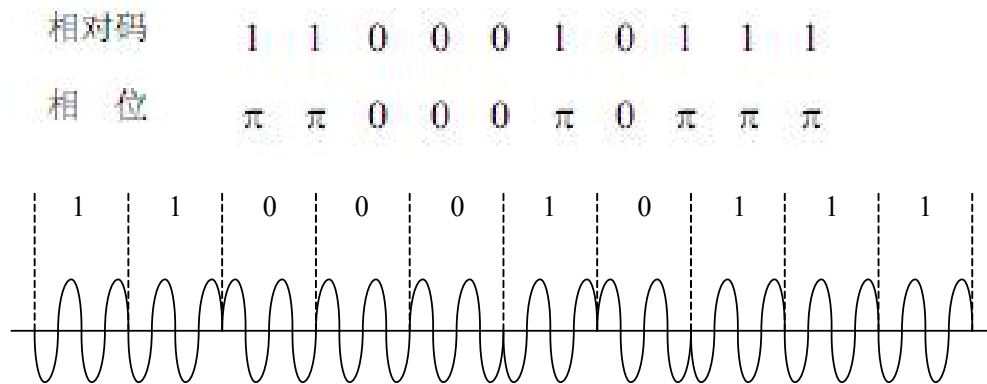
图 7.1.3 $s(t)$ 的功率谱 $P_S(f)$ 的正频分量部分

7-4 假设在某2DPSK系统中,载波频率为2400Hz,码元速率为1200B,已知相对码序列为1100010111。

- (1) 试画出2DPSK波形;
- (2) 若采用差分相干解调法接收该信号,试画出解调系统的各点波形;
- (3) 若发送符号“0”和“1”的概率为0.6和0.4,求2DPSK信号的功率谱。

知识点：DPSK调制，P222-225

解：(1)



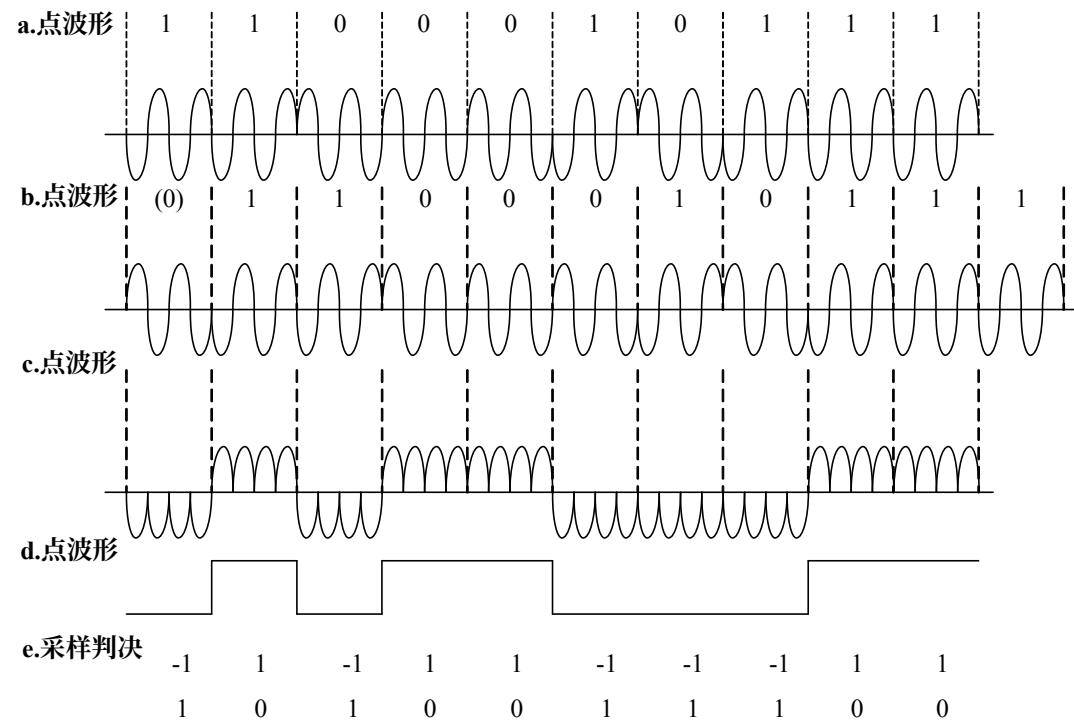
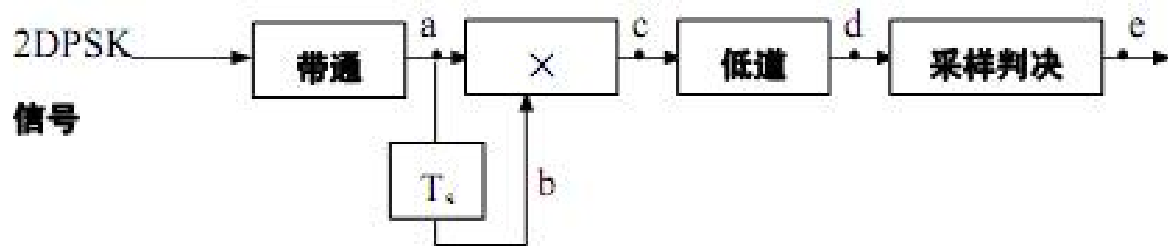
画波形时要注意每个符号周期中所含有的载波周期个数

$f_c=2400\text{Hz}$, $f_s=1200\text{B}$,故一个符号周期内恰好有2个载波周期

7-4 假设在某2DPSK系统中,载波频率为2400Hz,码元速率为1200B,已知相对码序列为1100010111。

- (1) 试画出2DPSK波形;
- (2) 若采用差分相干解调法接收该信号,试画出解调系统的各点波形;
- (3) 若发送符号“0”和“1”的概率为0.6和0.4,求2DPSK信号的功率谱。

(2) 判断相差的时候可以直接通过前后两个码元相乘的方法得到,若前后相差为0,则相乘后是正值;若相差为 π ,则相乘后是负值。



7-4 假设在某2DPSK系统中,载波频率为2400Hz,码元速率为1200B,已知相对码序列为1100010111。

- (1) 试画出2DPSK波形;
- (2) 若采用差分相干解调法接收该信号,试画出解调系统的各点波形;
- (3) 若发送符号“0”和“1”的概率为0.6和0.4,求2DPSK信号的功率谱。

(3) 设2PSK调制中,发送符号“0”和“1”的概率分别为 p 和 $1-p$ 。
2DPSK调制可通过先进行差分编码再进行2PSK调制实现。

设原始数据序列中,符号“0”和“1”出现的概率分别为 p_0 和

$$b_n = b_{n-1} \oplus a_n = |b_{n-1} - a_n|$$

$$P_{b0} = P_{b0}P_{a0} + P_{b1}P_{a1} = p_0 \cdot P_{b0} + (1 - p_0) \cdot P_{b1} = P_{b1} = 0.5$$

$$P_{b1} = P_{b0}P_{a1} + P_{b1}P_{a0} = (1 - p_0) \cdot P_{b0} + p_0 \cdot P_{b1}$$

$$\begin{aligned} P_{lp}(f) &= \frac{4p(1-p)}{T} |G(f)|^2 + \frac{(2p-1)^2}{T^2} \sum_{m=-\infty}^{\infty} |G(\frac{m}{T_s})|^2 \delta(f - \frac{m}{T_s}) \\ P_s(f) &= \frac{p(1-p)}{T} \{|G(f+f_0)|^2 + |G(f-f_0)|^2\} + \frac{(2p-1)^2}{4T^2} |G(0)|^2 \{\delta(f+f_0) + \delta(f-f_0)\} \end{aligned}$$

因此 $P_s(f)$

$$G(f) = AT \text{sinc}(Tf) e^{-j\pi f \frac{T}{2}}$$

知识点1: PAM信号功率谱 P149~152

$$S_V(f) = \frac{\sigma_a^2}{T} |G_T(f)|^2 + \frac{m_a^2}{T^2} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left| G_T\left(\frac{m}{T}\right) \right|^2 \delta\left(f - \frac{m}{T}\right) \quad (6.1.13)$$

知识点2: 正弦波数字信号的谱分析

P216~217

$$\begin{aligned} s(t) &= A(t) \cos[2\pi f_c t + \Phi(t) + \theta] \\ &= x(t) \cos(2\pi f_c t + \theta) - y(t) \sin(2\pi f_c t + \theta) \quad (7.1.1) \end{aligned}$$

$$P_{lp}(f) = P_X(f) + P_Y(f) \quad (7.1.5)$$

$$P_S(f) = \frac{1}{4} \{P_p(f-f_0) + P_p(f+f_0)\} \quad (7.1.6)$$

7-6 采用OOK方式传送二进制数字信息,已知码元传输速率 $R_b = 2 \times 10^6$ bit/s,接收端输入信号的振幅 $a = 40\mu\text{V}$,信道加性噪声为高斯白噪声,且其单边功率谱密度 $N_0 = 6 \times 10^{-18}$ W/Hz,试求:

- (1) 非相干接收时系统的误码率;
- (2) 相干接收时系统的误码率。

知识点：相干解调与非相干解调误码率，P235，P258

解：(1) OOK 信号非相干接收时系统的误码率为

$$P_b = \frac{1}{2}Q(\sqrt{\rho}) + \frac{1}{2}e^{-\rho/2} \approx \frac{1}{2}e^{-\rho/2}, \quad \rho = E_{av} / N_0$$

由于 $E_{av} = 0.5E = 0.5a^2T_b / 2 = 200 \times 10^{-18}$ W / Hz

所以 $\rho = E_{av} / N_0 = 33.3$

$$P_b = \frac{1}{2}e^{-\rho/2} \approx 2.9 \times 10^{-8}$$

(2) OOK 信号相干接收时系统的误码率为

$$P_e = Q(\sqrt{\rho}) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi\rho}}e^{-\rho/2} \approx 4 \times 10^{-9}$$

7-10 若某2FSK系统的码元传输速率为 2×10^6 Baud,数字信息为“1”时的频率 $f_1 = 10\text{MHz}$,数字信息为“0”时的频率 $f_2 = 10.4\text{MHz}$,输入接收端解调器的信号振幅 $a = 40\mu\text{V}$,信道加性噪声为高斯白噪声,且其单边功率谱密度 $N_0 = 6 \times 10^{-18}\text{W/Hz}$,试求:

- (1) 2FSK信号第一零点带宽;
- (2) 非相干接收时,系统的误码率;
- (3) 相干接收时,系统的误码率。

解：(1) 2FSK信号第一零点带宽为

$$B = |f_2 - f_1| + 2f_s = 4.4 \text{ MHz}$$

(2) 由于码元波特率为 $2 \times 10^6\text{B}$,所以 $T_b = 0.5 \mu\text{s}$

$$\rho = \frac{E}{N_0} = \frac{a^2 T_b / 2}{N_0} = 66.6$$

非相干接收误码率为

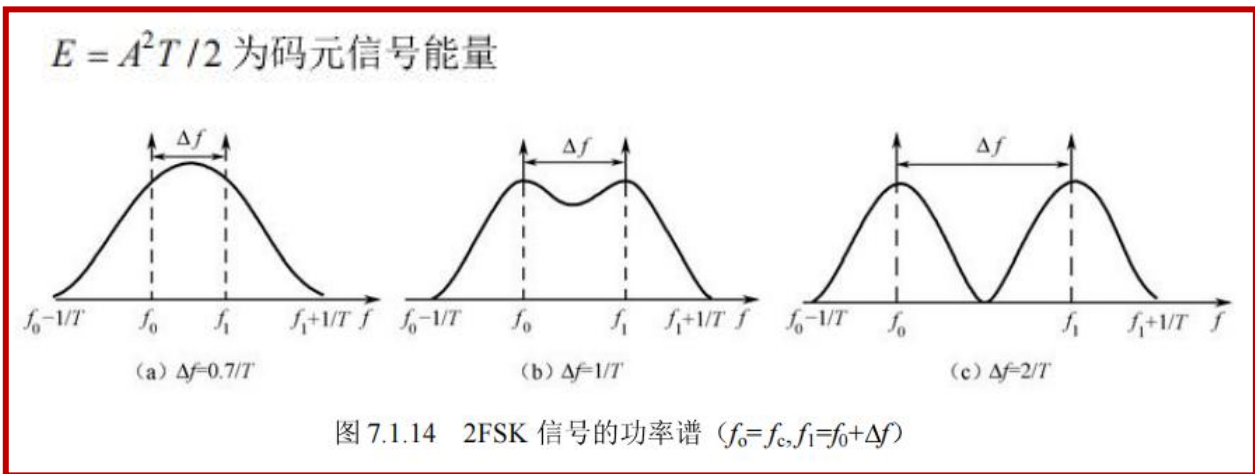
$$P_e = \frac{1}{2} e^{-\frac{\rho}{2}} = 1.67 \times 10^{-15}$$

(3) 相干接收误码率为

$$P_e = Q(\sqrt{\rho}) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi\rho}} e^{-\frac{\rho}{2}} = 1.69 \times 10^{-16}$$

知识点：FSK信号功率谱，P226

相干解调与非相干解调误码率，P235，P258



7-12 在二元移相键控系统中,已知解调器输入端的信噪比为 $\rho = 10\text{dB}$,试分别求出相干解调 2PSK、相干解调-码变换和差分相干解调 2DPSK 信号时的系统误码率。

解： $\rho=10\text{dB}=10$, 相干解调 2PSK 误码率为

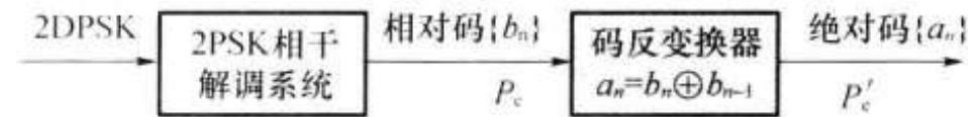
$$P_e = Q(\sqrt{2\rho}) \approx \frac{1}{2\sqrt{\pi\rho}} e^{-\rho} \approx 4 \times 10^{-6}$$

相干解调-码变换 2DPSK 误码率近似为相干 2PSK 误码率的 2 倍, 即

$$P_e \approx 2 \times 4 \times 10^{-6} = 8 \times 10^{-6}$$

差分相干 2DPSK 误码率

$$P_e = \frac{1}{2} e^{-\rho} = 2.3 \times 10^{-5}$$



$$a_n = b_n \oplus b_{n-1} \quad (7.1 - 22)$$

码反变换器的功能是将相对码变成绝对码。由式(7.1-22)可知,只有当码反变换器的两个相邻输入码元中,有一个且仅有一个码元出错时,其输出码元才会出错。设码反变换器输入信号的误码率是 P_e ,则两个码元中前面码元出错且后面码元不错的概率是 $P_e(1 - P_e)$,后面码元出错而前面码元不错的概率也是 $P_e(1 - P_e)$ 。所以,输出码元发生错码的误码率为

$$P_e' = 2(1 - P_e)P_e \quad (7.2 - 65)$$

7-14 已知码元传输速率 $R_b = 10^3 \text{Baud}$, 接收机输入噪声的双边功率谱密度 $N_0/2 = 10^{-10} \text{W/Hz}$, 今要求误码率 $P_e = 10^{-5}$ 。试分别计算出相干 OOK、非相干 2FSK、差分相干 2DPSK 以及 2PSK 等系统所要求的输入信号功率。

解：首先我们求出所需要的每符号能量，然后求出相应的功率。

① 对于 OOK, $P_e = Q(\sqrt{\rho}) = 10^{-5}$,

$$\rho = \frac{E_{av}}{N_0} = \frac{0.5 \cdot A^2 T_b / 2}{N_0} = (4.3)^2 = 18.5$$

$$\text{输入信号平均功率} = 0.5 \times A^2 / 2 = 37 \times 10^{-7} \text{ (W)}$$

② 对于非相干 2FSK, $P_e = \frac{1}{2} e^{-\rho/2} = 10^{-5}$,

$$\rho = \frac{E_{av}}{N_0} = \frac{A^2 T_b / 2}{N_0} = 21.6$$

$$\text{输入信号功率} = A^2 / 2 = 43.2 \times 10^{-7} \text{ (W)}$$

③ 对差分相干 2DPSK, $P_e = \frac{1}{2} e^{-\rho} = 10^{-5}$,

$$\rho = \frac{E_{av}}{N_0} = \frac{A^2 T_b / 2}{N_0} = 10.8$$

$$\text{输入信号功率} = A^2 / 2 = 21.6 \times 10^{-7} \text{ (W)}$$

④ 对于 2PSK, $P_e = Q(\sqrt{2\rho}) = 10^{-5}$

$$\rho = \frac{E_{av}}{N_0} = \frac{A^2 T_b / 2}{N_0} = 9.25$$

$$\text{输入信号功率} = A^2 / 2 = 18.5 \times 10^{-7} \text{ (W)}$$

7-17 一个 4 kHz 带宽的信道，当采用如下调制方式时可以支持传输多大的比特率？

- (1) BPSK; (3) 8PSK; (5) 相干 BFSK, $\Delta f = 1/(2T)$; (7) 相干 4FSK, $\Delta f = 1/(2T)$;
(2) QPSK; (4) 16PSK; (6) 非相干 BFSK ($\Delta f = 1/T$); (8) 非相干 4FSK, ($\Delta f = 1/T$); (9) 16QAM。

各种调制方式频谱利用率
P228 表7.1.3

如果 $N_0 = 10^{-8}$ W/Hz，为了达到误比特率 $P_b = 10^{-6}$ ，问对于以上调制方式所需的信号功率为多少？

解：(1) 最大比特率

MPSK 的频带利用率 $\eta = 0.5 \cdot \log_2 M$ bps/Hz

故 BPSK 的码率 $R_b = 4 \times 0.5 \cdot \log_2 2 = 2k$ (bps)

QPSK 的码率 $R_b = 4 \times 0.5 \cdot \log_2 4 = 4k$ (bps)

8PSK 的码率 $R_b = 4 \times 0.5 \cdot \log_2 8 = 6k$ (bps)

16PSK 的码率 $R_b = 4 \times 0.5 \cdot \log_2 16 = 8k$ (bps)

MQAM 的频带利用率 $\eta = 0.5 \times \log_2 M$ bps/Hz

故 16QAM 的码率 $R_b = 4 \times 0.5 \times \log_2 16 = 8k$ (bps)

非相干 MFSK(采用非相干情况下最小正交频率间隔 $\Delta f = \frac{1}{T}$)

的频带利用率 $\eta = \log_2 M / (M + 1)$ bps/Hz

非相干 BFSK 的码率 $R_b = 4 \times \log_2 2 / 3 = 1.33k$ (bps)

非相干 4FSK 的码率 $R_b = 4 \times \log_2 4 / 5 = 1.6k$ (bps)

相干 MFSK(采用最小正交频率间隔 $\Delta f = \frac{1}{2T}$)的频带利用率

$\eta = 2 \log_2 M / (M + 3)$ bps/Hz

相干 BFSK 的码率 $R_b = 4 \times 2 \times \log_2 2 / (2 + 3) = 1.6k$ (bps)

相干 4FSK 的码率 $R_b = 4 \times 2 \times \log_2 4 / (4 + 3) = 2.3k$ (bps)

7-17 一个 4 kHz 带宽的信道，当采用如下调制方式时可以支持传输多大的比特率？

- (1) BPSK; (3) 8PSK; (5) 相干 BFSK, $\Delta f = 1/(2T)$; (7) 相干 4FSK, $\Delta f = 1/(2T)$;
 (2) QPSK; (4) 16PSK; (6) 非相干 BFSK ($\Delta f = 1/T$); (8) 非相干 4FSK, ($\Delta f = 1/T$); (9) 16QAM。

如果 $N_0 = 10^{-8}$ W/Hz，为了达到误比特率 $P_b = 10^{-6}$ ，问对于以上调制方式所需的信号功率为多少？

解：(2) 信号功率

对于 BPSK，误比特率

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_{av}}{N_0}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{2P_{av}}{N_0 R_b}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{2P_{av}}{10^{-8} \times 2 \times 10^3}}\right) = 10^{-6}$$

$$\text{信号功率 } P_{av} = 2.26 \times 10^{-4} \text{ W}$$

对于 MPSK，误比特率

$$P_b \approx \frac{2}{k} Q\left(\sqrt{2kE_{bav} / N_0} \cdot \sin \frac{\pi}{M}\right) = \frac{2}{k} Q\left(\sqrt{2kP_{av} / N_0 R_b} \cdot \sin \frac{\pi}{M}\right)$$

$$\text{其中 } k = \log_2 M$$

a、QPSK

$$\frac{2}{2} Q\left(\sqrt{\frac{2 \times 2 P_{av}}{10^{-8} \times 4 \times 10^3}} \sin \frac{\pi}{4}\right) = 10^{-6}$$

$$\text{信号功率 } P_{av} = 4.52 \times 10^{-4} \text{ W}$$

b、8PSK

$$\frac{2}{3} Q\left(\sqrt{\frac{2 \times 3 P_{av}}{10^{-8} \times 6 \times 10^3}} \sin \frac{\pi}{8}\right) = 10^{-6}$$

$$\text{信号功率 } P_{av} = 1.49 \times 10^{-3} \text{ W}$$

c、16PSK

$$\frac{2}{4} Q\left(\sqrt{\frac{2 \times 4 P_{av}}{10^{-8} \times 8 \times 10^3}} \sin \frac{\pi}{16}\right) = 10^{-6}$$

$$\text{信号功率 } P_{av} = 0.56 \times 10^{-2} \text{ W}$$

7-17 一个 4 kHz 带宽的信道，当采用如下调制方式时可以支持传输多大的比特率？

- (1) BPSK; (3) 8PSK; (5) 相干 BFSK, $\Delta f = 1/(2T)$; (7) 相干 4FSK, $\Delta f = 1/(2T)$;
(2) QPSK; (4) 16PSK; (6) 非相干 BFSK ($\Delta f = 1/T$); (8) 非相干 4FSK, ($\Delta f = 1/T$); (9) 16QAM。

如果 $N_0 = 10^{-8}$ W/Hz，为了达到误比特率 $P_b = 10^{-6}$ ，问对于以上调制方式所需的信号功率为多少？

解：(2) 信号功率

对于相干 BFSK，误比特率

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{E_{av}}{N_0}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{P_{av}}{N_0 R_b}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{P_{av}}{10^{-8} \times 1.6 \times 10^3}}\right) = 10^{-6}$$

信号功率 $P_{av} = 3.7 \times 10^{-4}$ W

对于相干 4FSK，误比特率

$$P_b = \frac{1}{\sqrt{8\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ 1 - [1 - Q(x)]^3 \right\} \cdot \exp\left[-\frac{(x - \sqrt{2\rho_b \log_2 M})^2}{2}\right] dx = 10^{-6}$$

由图 6.3.16 查得 $\rho_b = 11\text{db} = 12.6$ ，

$$\rho_b = \frac{E_{bav}}{N_0} = \frac{E_{av}}{N_0 \log_2 M} = \frac{P_{av}}{N_0 R_s \log_2 M} = \frac{P_{av}}{N_0 R_b}$$

信号功率 $P_{av} = 12.6 \times 10^{-8} \times 2.3 \times 10^3 = 2.9 \times 10^{-4}$ W

对于非相干 BFSK，误比特率

$$P_b = \frac{1}{2} e^{-\frac{E_{av}}{2N_0}} = \frac{1}{2} e^{-\frac{P_{av}}{2N_0 R_b}} = \frac{1}{2} e^{-\frac{P_{av}}{2 \times 10^{-8} \times 1.33 \times 10^3}} = 10^{-6}$$

信号功率 $P_{av} = 3.5 \times 10^{-4}$ W

对于非相干 4FSK，误比特率

$$P_b = \frac{1}{2} P_e = \frac{1}{2} \left(\frac{3}{2} e^{-\frac{2P_{av}}{2N_0 R_b}} - e^{-\frac{2 \times 2 P_{av}}{3N_0 R_b}} + \frac{1}{4} e^{-\frac{3 \times 2 P_{av}}{4N_0 R_b}} \right) = 10^{-6}$$

信号功率 $P_{av} \approx 2 \times 10^{-4}$ W

对于 16QAM，误比特率

$$P_b = 4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{16}} \right) Q\left(\sqrt{\frac{3 \times \log_2 16 \times P_{av}}{(16-1)N_0 R_b}}\right) = 10^{-6}$$

信号功率 $P_{av} \approx 2.5 \times 10^{-3}$ W

7-19 一个非相干 OOK 系统,为了达到误符号率为 $P_e < 10^{-3}$, 请问平均信噪比应为多少?

解: 对于非相干 OOK 系统, 误码率为

$$P_e = \frac{1}{2} e^{-\frac{\rho}{2}} < 10^{-3}$$

于是 $\rho = -2 \ln(0.002) > 12.4$

7-25 对于比特信噪比为 $\rho_b = 13\text{dB}$, 计算如下调制方式的误符号率 P_e :

- (1) 2FSK(非相干);
- (2) BPSK;
- (3) 64PSK;
- (4) 64QAM。

解： (1) 对于 2FSK (非相干), $\rho = \rho_b = 13\text{dB} = 20$

$$P_e = 0.5e^{-0.5\rho} = 2.3 \times 10^{-5}$$

(2) 对于 BPSK, $\rho = \rho_b = 13\text{dB} = 20$

$$P_e = Q(\sqrt{2\rho}) = \frac{1}{2\sqrt{\pi\rho}} e^{-\rho} = 1.3 \times 10^{-10}$$

(3) 对 64PSK, $\rho = \rho_b \log_2 M = 20 \times 6 = 120$

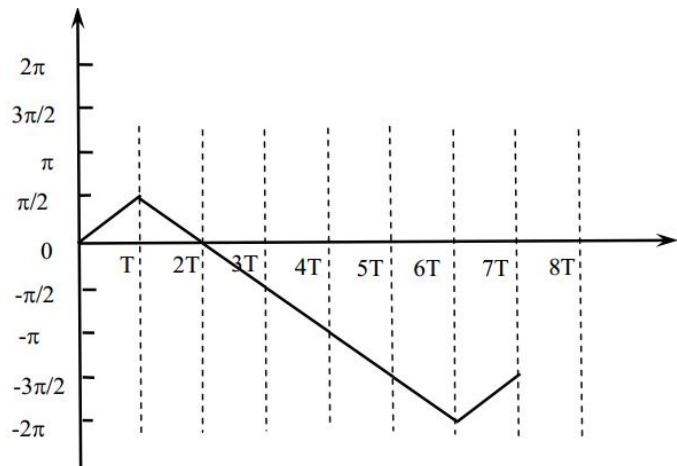
$$P_e = 2Q\left(\sqrt{2\rho} \cdot \sin \frac{\pi}{M}\right) = 0.4$$

(4) 对于 64QAM, $\rho = \rho_b \log_2 M = 20 \times 6 = 120$

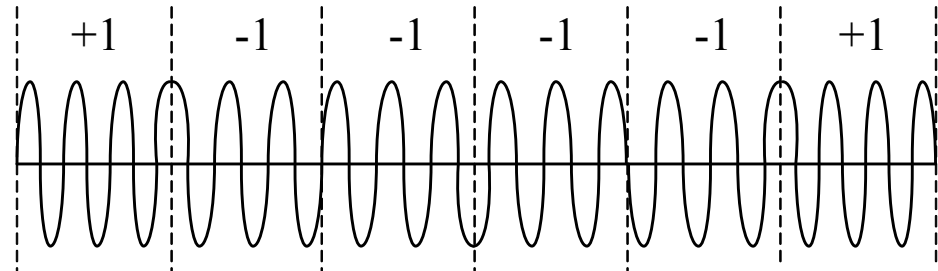
$$P_e = 4\left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right)Q\left(\sqrt{\frac{3\rho}{(M-1)}}\right) = 3.5Q(2.4) = 2.8 \times 10^{-2}$$

7-26 设发送数字信息序列为+1,-1,-1,-1,-1,-1,+1,试画出MSK信号的相位变化图形,若码元速率为1000Baud,载频为3000Hz,试画出MSK信号的波形。

解：相位变化图形如下，变化台阶为 $\frac{\pi T}{2T} = \frac{\pi}{2}$



MSK 信号相位变化图



注意事项：作图前需计算出一个码元周期内的载波周期数，MSK为恒包络信号，相位连续变化

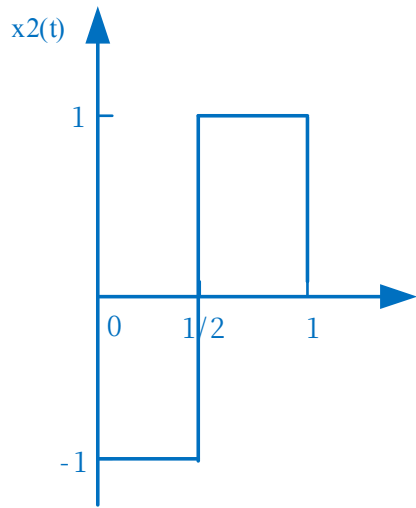
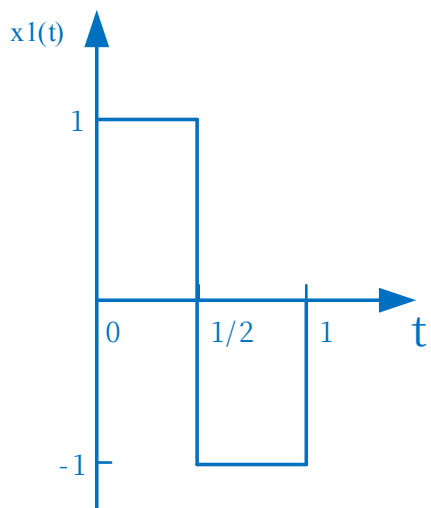
发送+1时，一个码元周期内码元信号频率为 $f_1 = 3000 + \frac{1}{4} \cdot 1000 = 3250 \text{ Hz}$ ，则一个码元周期内含有3.25个频率为3250Hz的周期载波；

发送-1时，在一个码元周期内的信号频率为 $f_0 = 3000 - \frac{1}{4} \cdot 1000 = 2750 \text{ Hz}$ ，那么一个码元周期内含有2.75个频率为2750Hz的周期载波；

考虑采用信号集 $X = \{x_1(t), x_2(t)\}$ 的二元等概数字通信系统，其中信道为加性高斯白噪声

(AWGN) 信道，其单边功率谱密度为 N_0 ，且 $x_1(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < \frac{1}{2} \\ -1, & \frac{1}{2} \leq t < 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$, $x_2(t) = -x_1(t)$,

(1). 画出两个信号的波形，并计算 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 间的相关系数 ρ .



相关系数 $E_1 = \int_0^1 x_1^2(t) dt = 1$, $E_2 = \int_0^1 x_2^2(t) dt = 1$

$$E_b = \frac{E_1 + E_2}{2} = 1$$

$$\rho = \frac{1}{E_b} \int_0^1 x_1(t) x_2(t) dt = -1$$

考虑采用信号集 $X = \{x_1(t), x_2(t)\}$ 的二元等概数字通信系统，其中信道为加性高斯白噪声

(AWGN) 信道，其单边功率谱密度为 N_0 ，且 $x_1(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < \frac{1}{2} \\ -1, & \frac{1}{2} \leq t < 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$, $x_2(t) = -x_1(t)$,

(2). 采用基函数匹配滤波型最佳接收机结构时，求发送端发送 $x_2(t)$ 时， $t=1$ 时刻匹配滤波器的输出？

选择 $x_1(t)$ 为基函数，则结果为 1

$$\varphi_1(t) = \frac{x_1(t)}{\|x_1(t)\|} = x_1(t) \quad \varphi_2(t) = x_2(t) - (x_2(t), \varphi_1(t)) \cdot \varphi_1(t) = 0$$

$$h(t) = \varphi_1(1 - t) = x_1(1 - t)$$

$$y(t) = x_2(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x_2(t - \tau) h(\tau) d\tau = \int_{-\infty}^{+\infty} x_2(t - \tau) x_1(1 - \tau) d\tau$$

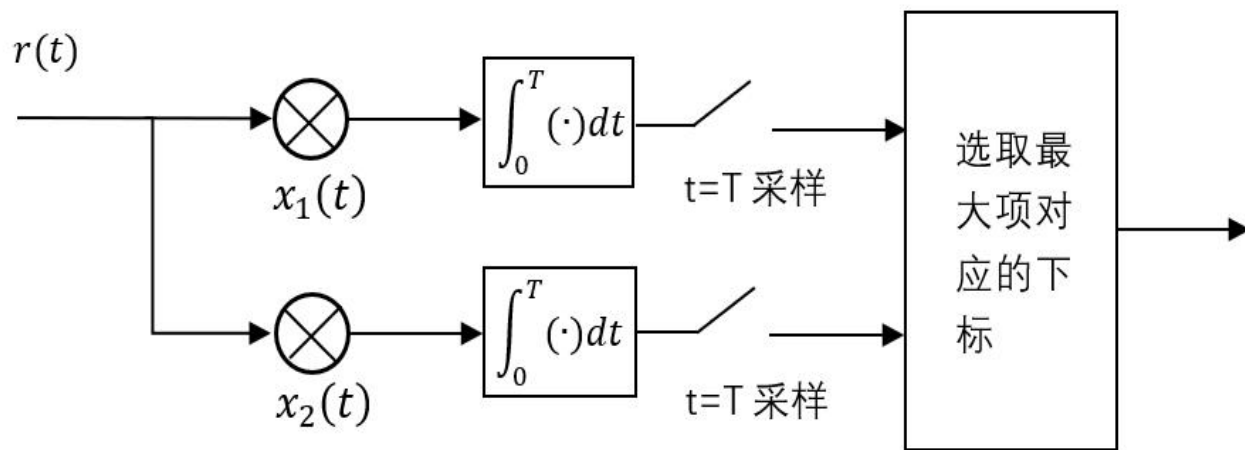
$$y(1) = \int_{-\infty}^{+\infty} x_2(1 - \tau) x_1(1 - \tau) d\tau = -1$$

考虑采用信号集 $X = \{x_1(t), x_2(t)\}$ 的二元等概数字通信系统，其中信道为加性高斯白噪声

(AWGN) 信道，其单边功率谱密度为 N_0 ，且 $x_1(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < \frac{1}{2} \\ -1, & \frac{1}{2} \leq t < 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$ ， $x_2(t) = -x_1(t)$ ，

(3). 接收端采用信号 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 相关型最佳接收机结构时，请画出最佳结构机的原理框图.

等概率、能量相同



一个二元传输系统发送信号功率为 $S_T=200\text{mW}$ ，传输损耗为 $L=90\text{dB}$ ，输入高斯单边噪声功率谱密度为 10^{-15}W/Hz ，要求误码率 $P_e < 10^{-4}$ ，分别求下面4种传输方式的最大容许比特率：

(1) 相干OOK (2) 非相干2FSK (3) 差分相干2DPSK (4) 相干BPSK。

解：接收信号功率为 $P = 200 \cdot 10^{-9}\text{mW} = 2 \times$

10^{-10}W

(1) 相干OOK

$$P_e = Q(\sqrt{\rho}) < 10^{-4}$$

$$\sqrt{\rho} = \sqrt{\frac{E}{2N_0}} = \sqrt{\frac{P}{2N_0R_B}} > 3.7$$

$$R_b = R_B < \frac{P}{3.7^2 \cdot 2 \cdot N_0} = 7304.6\text{bit/s}$$

(2) 非相干2FSK

$$P_e = \frac{1}{2} e^{-\frac{\rho}{2}} < 10^{-4}$$

$$\rho = \frac{E}{N_0} = \frac{P}{N_0R_B} > 2\ln(2 \times 10^{-4})$$

$$R_b = R_B < \frac{P}{2\ln(2 \times 10^{-4}) \cdot N_0} = 11741\text{ bit/s}$$

一个二元传输系统发送信号功率为 $S_T=200\text{mW}$ ，传输损耗为 $L=90\text{dB}$ ，输入高斯单边噪声功率谱密度为 10^{-15}W/Hz ，要求误码率 $P_e < 10^{-4}$ ，分别求下面4种传输方式的最大容许比特率：

(1) 相干OOK (2) 非相干2FSK (3) 差分相干2DPSK (4) 相干BPSK。

解：接收信号功率为 $P = 200 \cdot 10^{-9}\text{mW} = 2 \times$

10^{-10}W
(3) 差分相干2DPSK

$$P_e = \frac{1}{2} e^{-\rho}$$

$$\rho \leq \frac{P}{N_0 R_B} = \ln(2 \times 10^{-4})$$

$$R_b = R_B < \frac{P}{\ln(2 \times 10^{-4}) \cdot N_0} = 23481.9 \text{ bit/s}$$

(4) 相干BPSK

$$P_e = Q(\sqrt{2\rho}) < 10^{-4}$$

$$\sqrt{2\rho} = \sqrt{2 \frac{P}{N_0 R_B}} > 3.7$$

$$R_b = R_B < \frac{2P}{3.7^2 \cdot N_0} = 29218.4 \text{ bit/s}$$