

习题课

Chapter 7

忻杨璇

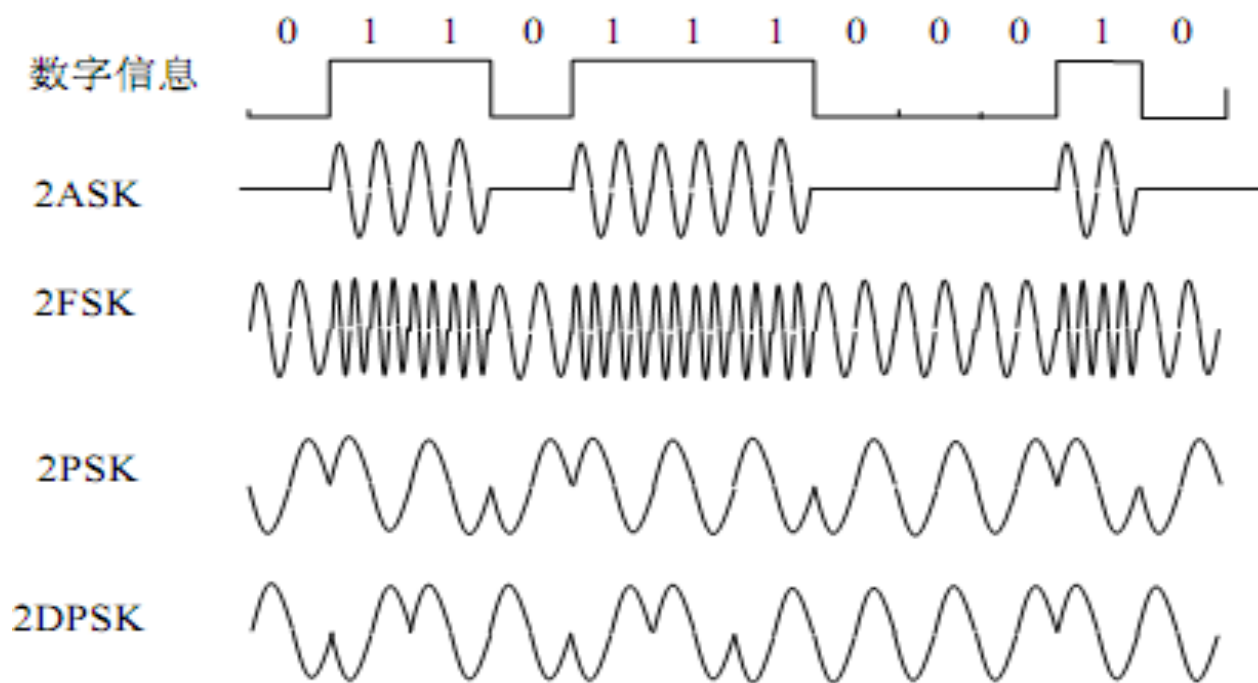
邮箱：xinyx@zju.edu.cn

微信：18867151153

Chapter 7

- 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。

知识点：调制波形



2DPSK信号的产生方法：将绝对码进行码变换得到相对码，然后进行绝对调相，即可产生2DPSK信号。

差分编码器： $b_n = b_{n-1} \oplus a_n$

a_n (绝对码)= 011011100010

b_n (相对码)= (0)010010111100

Chapter 7

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

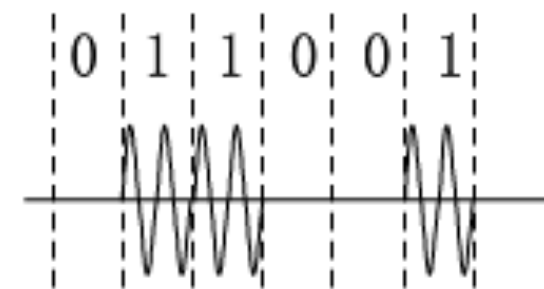
(1) 设所传送的数字信息为011001, 试画出相应的OOK信号波形示意图 ;

(2) 求OOK信号第一零点带宽 ;

知识点：调制波形

(1) 由题得 : $R_B = 10^3 \text{ Baud}$, 因此码元周期为 $T_s = \frac{1}{10^3} = 10^{-3} \text{ s}$

载波频率为 $f_c = 2\times 10^6 \text{ Hz}$, 载波周期为 $T_c = \frac{1}{2\times 10^6} = \frac{T_s}{2000}$



这说明在一个码元周期内有2000个载波周期, 用两个载波周期代表2000个周期

(2) $B = \frac{2}{T_s} = 2R_B = 2000 \text{ Hz}$

Chapter 7

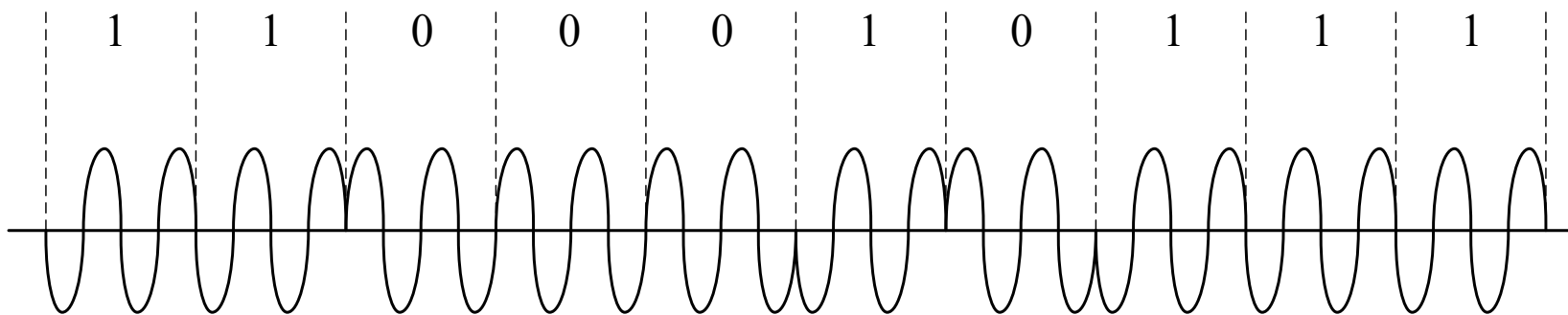
- 7-4 假设在某2DPSK系统中，载波频率为2400Hz，码元速率为1200B，已知相对码序列为1100010111：
 - (1) 试画出2DPSK波形；
 - (2) 若采用差分相干解调法接收该信号，试画出解调系统的各点波形；
 - (3) 若发送符号“0”和“1”的概率为0.6和0.4，求2DPSK信号的功率谱。

知识点：差分相干解调

(1)

相对码	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1
相位	π	π	0	0	0	π	0	π	π	π

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两个载波周期

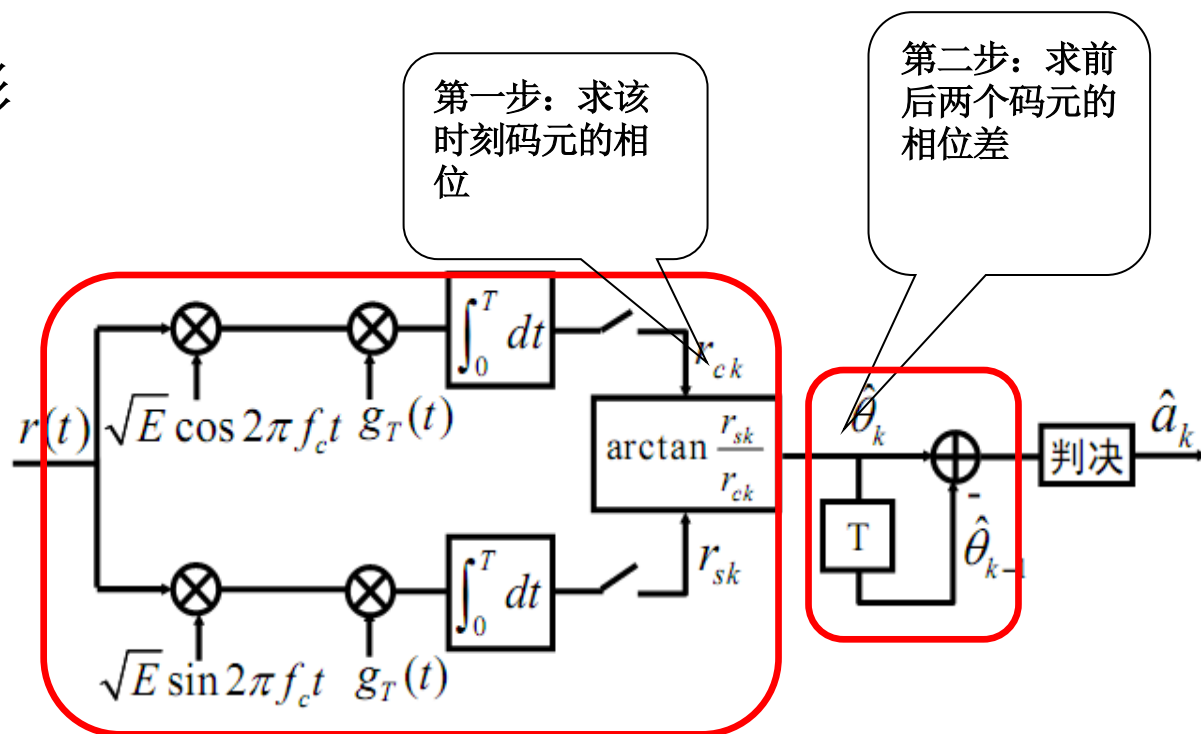
Chapter 7

- 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：
- (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：差分相干解调

(2) 解调系统各点波形

P250



DMPSK信号的差分相干解调方框图

Chapter 7

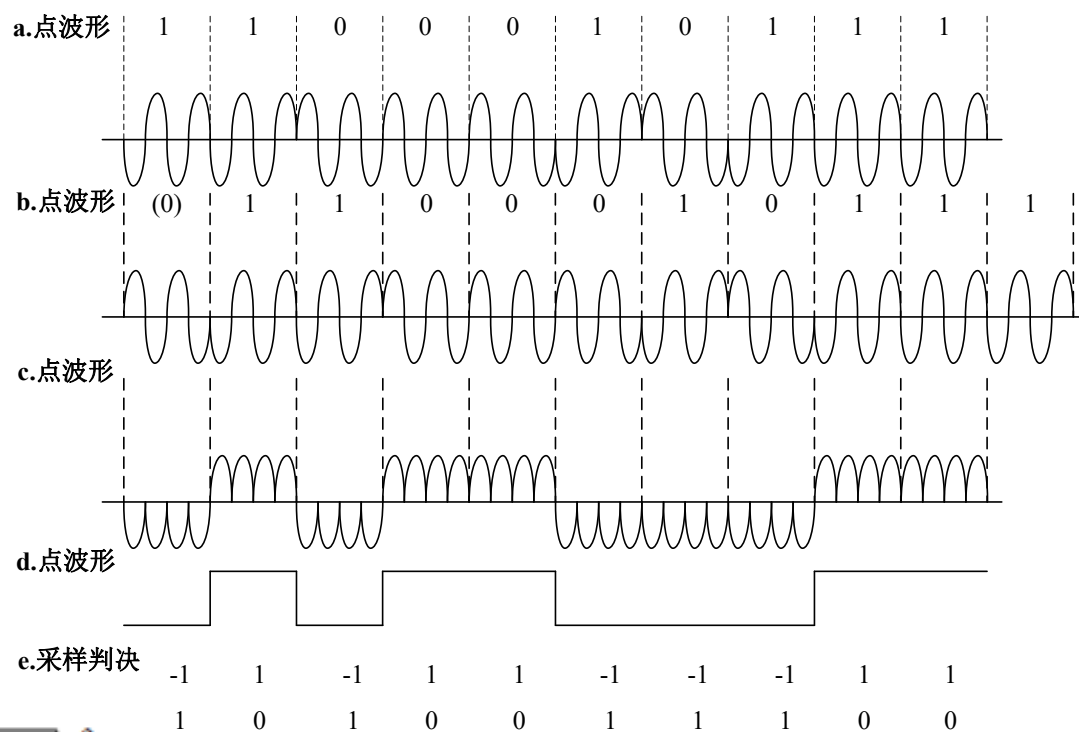
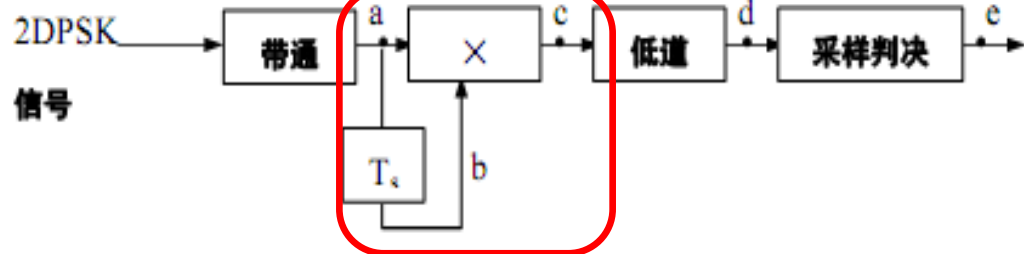
- 7-4 假设在某2DPSK系统中，载波频率为2400Hz，码元速率为1200B，已知相对码序列为1100010111：

(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；

知识点：差分相干解调

(2) 解调系统各点波形

对于2DPSK，其特点是，前后两个码元的相位差或者为0或者为 π ，对应为 $\cos(2\pi f_c t)$ 和 $-\cos(2\pi f_c t)$ ，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



画波形时注意：

$f_c = 2400\text{Hz}$,

$f_s = 1200\text{B}$,

故一个符号周期内恰好有两个载波周期

相乘后为负，说明前后两个码元相位不相同，即相位差为 π

Chapter 7

- 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：

(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：差分相干解调

(3) 2DPSK的功率谱密度和2PSK功率谱密度相同，对2PSK信号

$$P_{2PSK}(f) = f_s p(1-p)[|G(f+f_c)|^2 + |G(f-f_c)|^2] \\ + \frac{1}{4} f_s^2 (1-2p)^2 |G(0)|^2 [\delta(f+f_c) + \delta(f-f_c)]$$

由于经过差分编码后，输出差分编码符号以0.5和0.5的概率取“0”和“1”，代入 $f_s = 1200$ ， $f_c = 2400$ ， $p = 0.5$ ， $G(f) = \frac{1}{f_s} \left| \frac{\sin \pi f T_s}{\pi f T_s} \right|$

则 $P_{2PSK}(f) = 300[|G(f+f_c)|^2 + |G(f-f_c)|^2]$

$P(b_n = 1) = P_{b1}, P(b_n = 0) = P_{b0}$
且 $P(a_n = 1) = P_{a1} = 0.4, P(a_n = 0) = P_{a0} = 0.6$
又因为 $b_n = |b_{n-1} - a_n|$
所以 $P_{b1} = P_{a1}P_{b0} + P_{a0}P_{b1}, P_{b0} = P_{a1}P_{b1} + P_{a0}P_{b0}$
得 $P_{b1} = P_{b0} = 0.5$

Chapter 7

- 7-6 采用OOK方式传送二进制数字信息，已知码元传输速率 $R_b = 2 * 10^6 \text{bit/s}$ ，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 $N_0 = 6 * 10^{-18} \text{W/Hz}$ ，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，P230，P253

(1) OOK信号非相干接收时系统的误码率为 (表7.4.1)

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

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

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 (表7.2.1)

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

Chapter 7

- 7-10 若某2FSK系统的码元传输速率为 $2 \times 10^6 B$ ，数字信息为“1”时的频率 $f_1 = 10MHz$ ，数字信息为“0”时的频率 $f_2 = 10.4MHz$ ，输入接收端解调器的信息峰值振幅 $a = 40\mu V$ ，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) 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。

知识点：相干解调与非相干解调误码率，P230，P253

- (1) 2FSK信号第一零点带宽为 (书P221图7.1.14, 2FSK信号功率谱)

$$B = |f_2 - f_1| + 2f_s = 4.4MHz$$

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

$$\rho = \frac{E_{av}}{N_0} = \frac{a^2 T_b / 2}{N_0} = 66.6, \text{ 则非相干接收误码率为 } P_e = \frac{1}{2} e^{-\rho/2} = 1.67 \times 10^{-15}$$

- (3) 相干接收误码率为

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

Chapter 7

- 7-12 在二进制移相键控系统中，已知解调器输入端的信噪比为 $\rho = 10dB$ ，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。

知识点：相干解调与非相干解调误码率， P230， P253

$\rho = 10dB = 10$ ，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误码率的两倍，即

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

差分相干2DPSK误码率

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

Chapter 7

- 7-14 已知码元传输速率 $R_b = 10^3 B$ ，接收机输入噪声的双边功率谱密度 $N_0/2 = 10^{-10} W/Hz$ ，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等系统所要求的的输入信号功率。

知识点：相干解调与非相干解调误码率， P230， P253

首先我们求出所需要的每符号能量，然后求出响应的功率。

注意OOK输入信号的平均功率要乘以0.5

(1) 对于OOK： $P_e = Q(\sqrt{\rho}) = 10^{-5}$ ， $\rho = \frac{E_{av}}{N_0} = \frac{0.5 \cdot A^2 T_b / 2}{N_0} = 4.3^2 = 18.5$

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

(2) 对于非相干2FSK： $P_e = \frac{1}{2} e^{-\rho/2} = 10^{-5}$ ， $\rho = \frac{E_{av}}{N_0} = \frac{A^2 T_b / 2}{N_0} = 21.6$

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

(3) 对于差分相干2DPSK， $P_e = \frac{1}{2} e^{-\rho} = 10^{-5}$ ， $\rho = \frac{E_{av}}{N_0} = \frac{A^2 T_b / 2}{N_0} = 10.8$

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

(4) 对于2PSK， $P_e = Q(\sqrt{2\rho}) = 10^{-5}$ ， $\rho = \frac{E_{av}}{N_0} = \frac{A^2 T_b / 2}{N_0} = 9.25$

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

• 7-17 一个4kHz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; (2)QPSK; (3)8PSK; (4)16PSK; (5)相干BFSK, $\Delta f = 1/(2T)$; (6)非相干BFSK, $\Delta f = 1/T$; (7)相干4FSK, $\Delta f = 1/(2T)$; (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？

知识点：解调方式频谱利用率， P223

(1) 频谱利用率 (P223 表7.1.3)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 $\eta = \log_2 M / (M + 1) \text{ bps/Hz}$

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

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

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

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

Chapter 7

• 7-17 一个4kHz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; (2)QPSK; (3)8PSK; (4)16PSK; (5)相干BFSK, $\Delta f = 1/(2T)$; (6)非相干BFSK, $\Delta f = 1/T$; (7)相干4FSK, $\Delta f = 1/(2T)$; (8)非相干4FSK, $\Delta f = 1/T$; (9)16QAM。

如果 $N_0 = 10^{-8} \text{ W/Hz}$ ，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？

知识点：M元数字调制信号相干解调与非相干解调误码率，P240

(2) 误比特率

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

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

其中 $k = \log_2 M$

a、QPSK

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

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

c、16PSK

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

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

b、8PSK

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

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

• 7-17 一个4kHz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; (2)QPSK; (3)8PSK; (4)16PSK; (5)相干BFSK, $\Delta f = 1/(2T)$; (6)非相干BFSK, $\Delta f = 1/T$; (7)相干4FSK, $\Delta f = 1/(2T)$; (8)非相干4FSK, $\Delta f = 1/T$; (9)16QAM。

如果 $N_0 = 10^{-8} \text{ W/Hz}$ ，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？

知识点：M元数字调制信号相干解调与非相干解调误码率，P240

(2) 误比特率

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 $P_{av} = 3.7 \times 10^{-4} \text{ W}$

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

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 $P_{av} = 3.5 \times 10^{-4} \text{ W}$

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 $P_{av} \approx 2 \times 10^{-4} \text{ W}$

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 $P_{av} \approx 2.5 \times 10^{-3} \text{ W}$

Chapter 7

- 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？

知识点：OOK非相干解调误码率， P253

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 $\rho = -2 \ln(0.002) > 12.4$

Chapter 7

- 7-21 一个二元传输系统发送信号功率为 $S_T = 200mW$ ，传输损耗为 $L = 90dB$ ，噪声单边功率谱密度 $N_0 = 10^{-15}W/Hz$ ，要求误码率 $P_e < 10^{-4}$ ，分别求下面3种传输方式的最大容许比特率：（1）非相干FSK；（2）差分相干DPSK；（3）相干BPSK。

知识点：M元数字调制信号相干解调与非相干解调误码率，P230，P241，P253

接收到信号功率为 $P_s = 0.2 \times 10^{-9}W$

(a) 非相干FSK(二进制)的误码率为

$$P_e = 0.5 \cdot e^{-\rho/2} < 10^{-4}, \text{ 要求 } \rho \geq 8 \cdot \ln 10 + 2 \cdot \ln 0.5 = 17$$

$$\rho = P_s / (N_0 \cdot R_b), \text{ 所以 } R_b = \frac{P_s}{N_0 \rho} \leq 11.8k \text{ (bit/s)}$$

(b) 差分相干DPSK的误码率为

$$P_e = 0.5 \cdot e^{-\rho} < 10^{-4}, \text{ } \rho \geq 4 \cdot \ln 10 + \ln 0.5 = 8.5$$

$$\rho = P_s / (N_0 \cdot R_b), \quad R_b = \frac{P_s}{N_0 \rho} \leq 23.6k \text{ (bit/s)}$$

(c) 相干BPSK的误码率为：

$$P_e = Q(\sqrt{2\rho}) \leq 10^{-4}, \quad \rho \geq 6.85$$

$$\rho = P_s / (N_0 \cdot R_b), \quad R_b = \frac{P_s}{N_0 \rho} \leq 29k \text{ (bit/s)}$$

Chapter 7

- 7-23 在带宽为250kHz的无线信道上传输比特率为 $R_b = 800\text{ kbit/s}$ 的二进制数据，（1）确定要求信号能量最小的基本调制解调方式，并计算为达到误码率 $P_e < 10^{-6}$ 所需要的信噪比；（假设都采用Golay编码。）
（2）若信道的非线性要求采用常包络调制，再求解（1）。

知识点：相干解调与非相干解调误码率， P230, P240, P253

（1）在基本调制方式中，只有相干解调的128PSK和256QAM,和差分相干解调的D128PSK能够保证在带宽为250kHz的无线信道上传输 $R_b = 800\text{ kbit/s}$ 的二进制数据。他们的频谱效率分别为3.5, 4, 3.5。

相干解调的128PSK和256QAM的误比特率为：

$$P_{128PSK}(be) = \frac{2}{7} Q\left(\sqrt{2\rho} \cdot \sin\frac{\pi}{128}\right) \leq 10^{-6}, \quad \rho \geq 11520$$
$$P_{256QAM}(be) = \frac{15}{32} Q\left(\sqrt{3\rho/255}\right) \leq 10^{-6}, \quad \rho \geq 1799$$

所以采用256QAM，这时要求 $\rho \geq 1799$ 。

（2）若信道的非线性要求采用常包络调制，则只能采用相干解调的128PSK，这时要求 $\rho \geq 11520$ 。

- 频谱利用率= R_b/B_T
- PSK信号是恒包络信号。
- MQAM调制把相位调制和幅度调制组合起来。

Chapter 7

- 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；

知识点：M元数字调制信号相干解调与非相干解调误码率，P230，P240，P253

(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， $\rho = \rho_b \log_2 M = 20 \times 6 = 120$

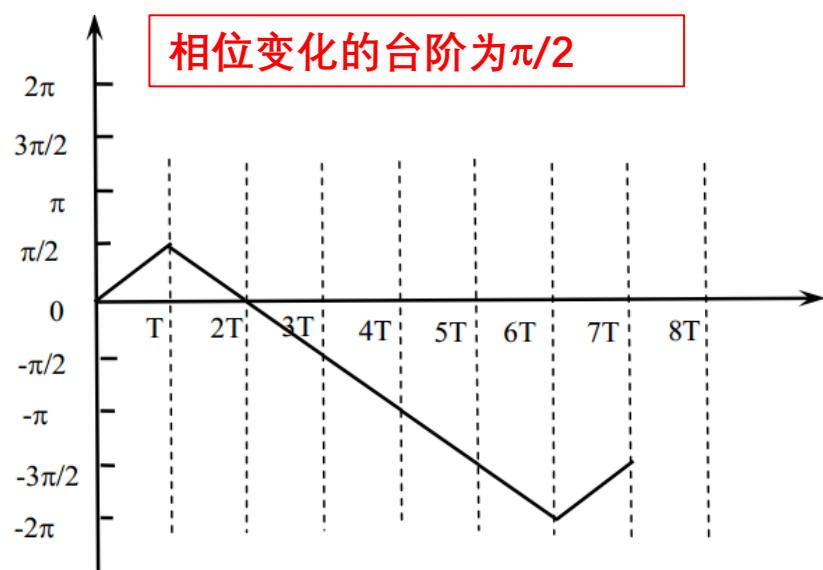
$$P_e = 4\left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right)Q\left(\sqrt{\frac{3\rho}{(M-1)}}\right) = 3.5Q(2.4) = 2.8 \times 10^{-2}$$

Chapter 7

- 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1000B, 载频为3000Hz, 试画出MSK信号的波形;

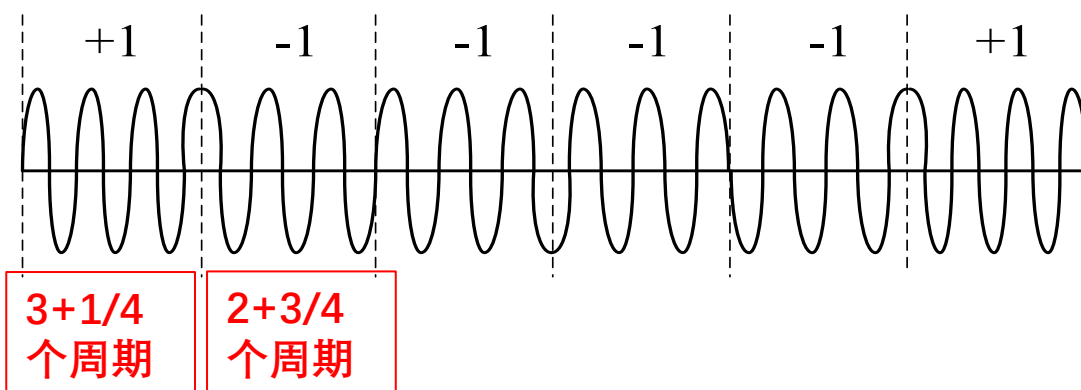
知识点: MSK信号, P256

(1) MSK信号相位变化图形如图所示



MSK 信号相位变化图

(2) MSK波形如下所示



由于载频为3000Hz, 码元速率为1000B。 (式7.5.12a-b)

1) 发送+1时, 在一个码元周期内的信号频率为 $f_0 = f_c + f_s/4 = 3000 + 1000/4 = 3250\text{Hz}$, 那么在一个码元周期内含有3.25个频率为3250Hz的周期载波;

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

注意:

- MSK信号是恒包络信号;
- MSK信号的相位在数据符号转换时刻连续;

- 7-27 画出 $h=1/2$ 和 $g(t) = \begin{cases} \frac{1}{4T}, 0 < t < 2T \\ 0, else \end{cases}$ 的部分响应CPM相位树、状态网格图和状态图。

知识点：连续相位调制，P253

(1) 部分响应CPM相位树

为了简化，可以假设是二元CPM。因为是部分响应：

$$q(T) = \int_0^T g(t)dt = \frac{1}{4}; q(2T) = \int_0^{2T} g(t)dt = \frac{1}{2}; q(t) = \frac{1}{2}, t > 2T$$

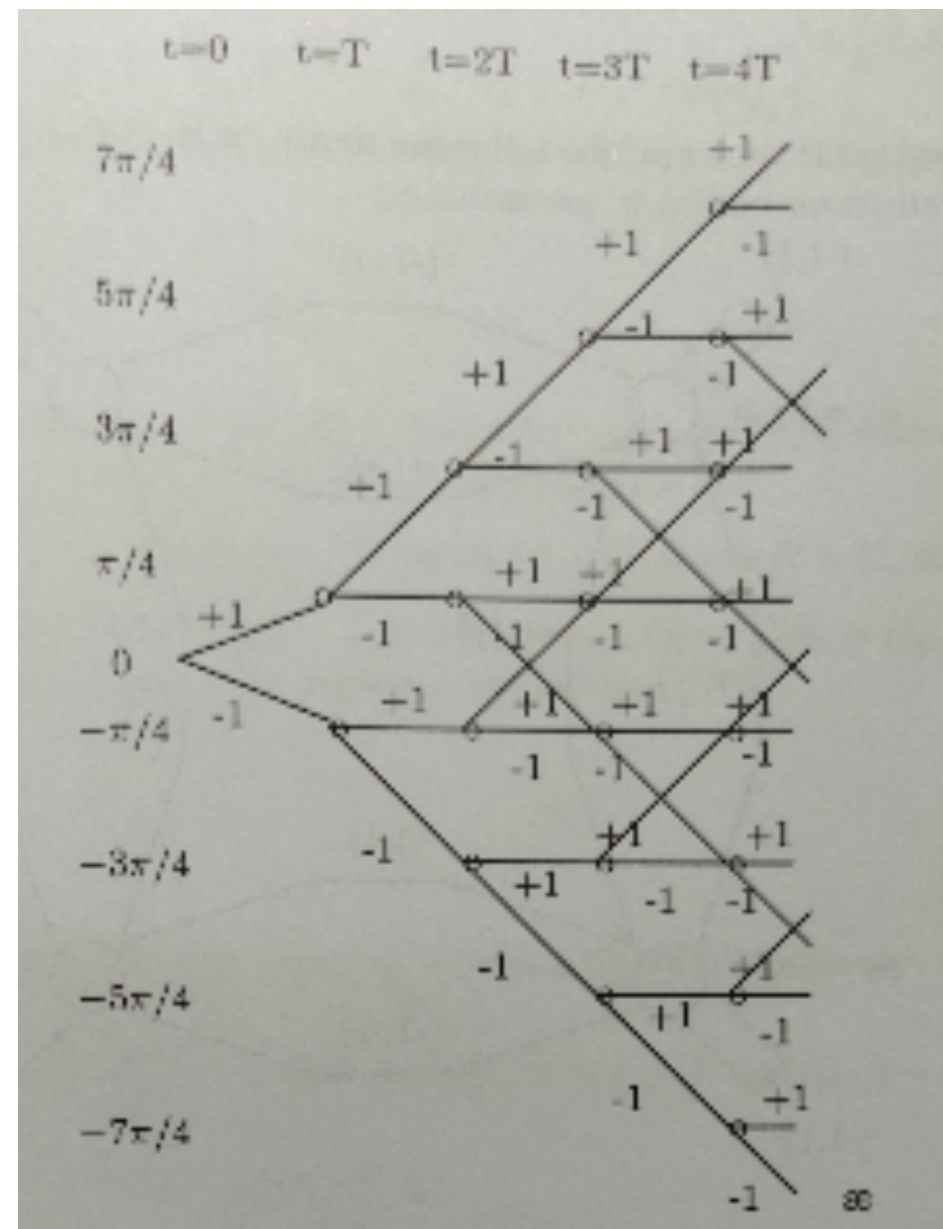
因此只有后两个符号对相位有作用：

$$\begin{aligned} \phi(t; \mathbf{I}) &= 2\pi h \sum_{k=-\infty}^n I_k q(t - kT), \quad nT \leq t \leq nT + T \\ &= \frac{\pi}{2} \sum_{k=-\infty}^{n-2} I_k + \pi (I_{n-1} q(t - (n-1)T) + I_n q(t - nT)), \end{aligned}$$

相位斜率为：如果 I_n, I_{n-1} 异号，则为0，如果同号则为 $\text{sgn}(I_n) \pi/2T$

当 $t=(n+1)T$ 时，相位为：

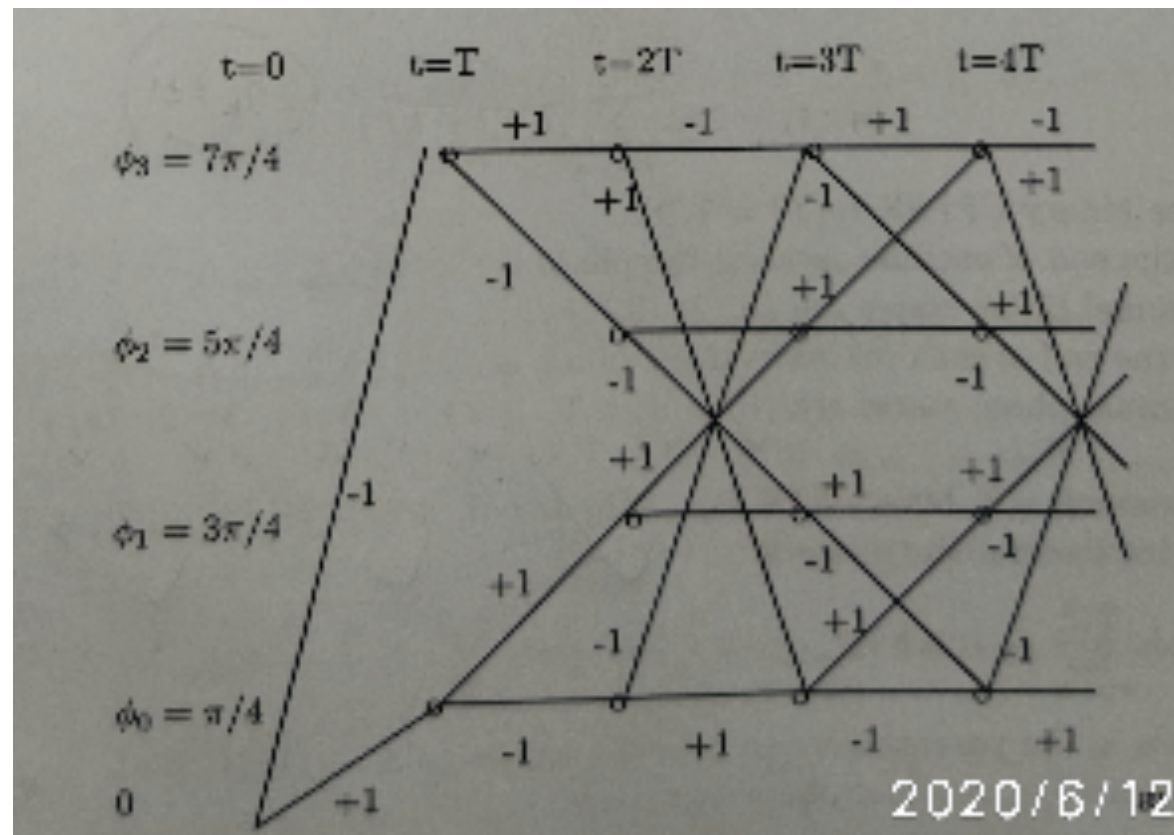
$$\phi((n+1)T; \mathbf{I}) = \frac{\pi}{2} \sum_{k=-\infty}^{n-1} I_k + \frac{\pi}{4} I_n$$



- 7-27 画出 $h=1/2$ 和 $g(t) = \begin{cases} \frac{1}{4T}, 0 < t < 2T \\ 0, else \end{cases}$ 的部分响应CPM相位树、状态网格图和状态图。

知识点：连续相位调制， P253

(2) 相位状态网格图是相位树 $\text{mod}(2\pi)$



- 7-27 画出 $h=1/2$ 和 $g(t) = \begin{cases} \frac{1}{4T}, 0 < t < 2T \\ 0, else \end{cases}$ 的部分响应CPM相位树、状态网格图和状态图。

知识点：连续相位调制，P253

(3) 对于 $h=1/2$ ，相应的状态转移图如下图所示：

