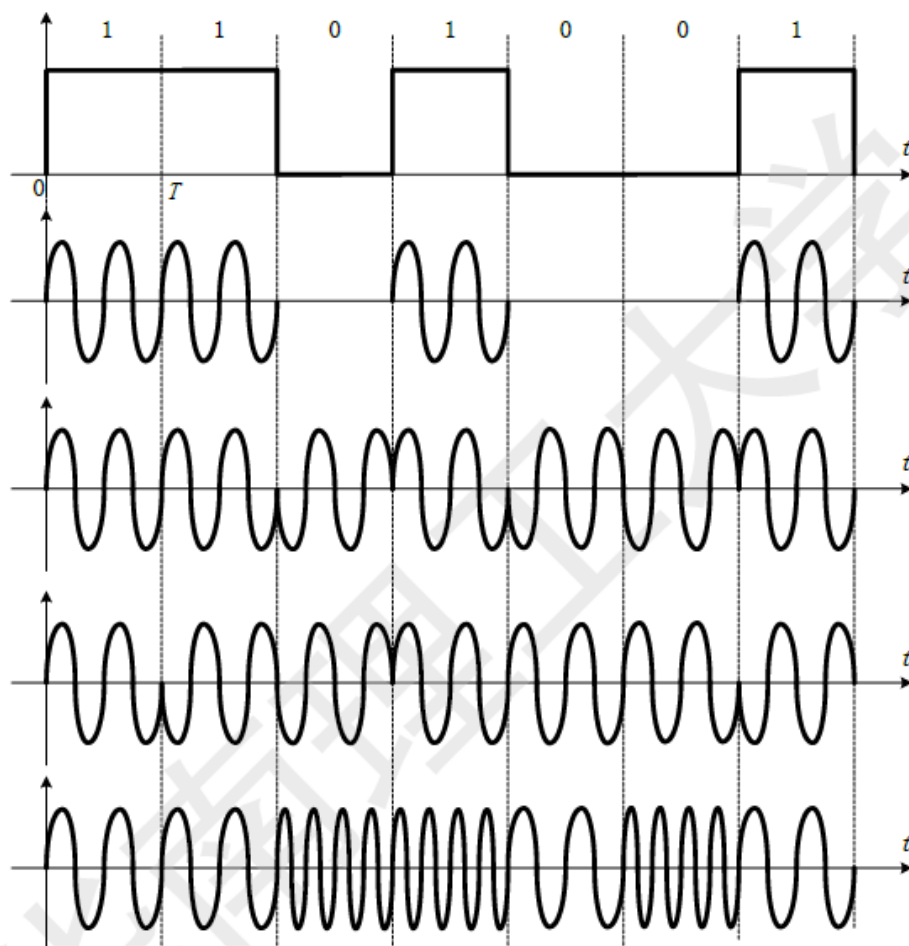


## 第六章

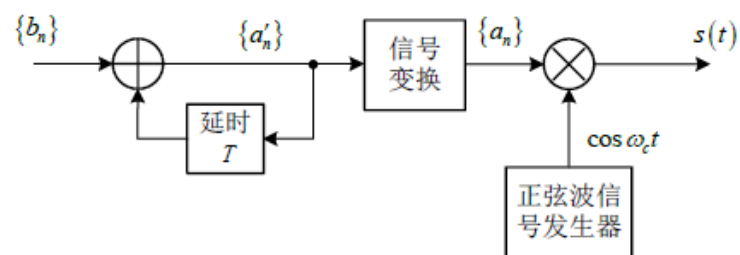
6.1 当输入二元序列为 1101001 时, 若载波频率为码元速率的 2 倍, 画出信号 2ASK、2PSK、2DPSK 和 2FSK ( $f_{c2} = 2f_{c1}$ ) 信号的波形。

解:

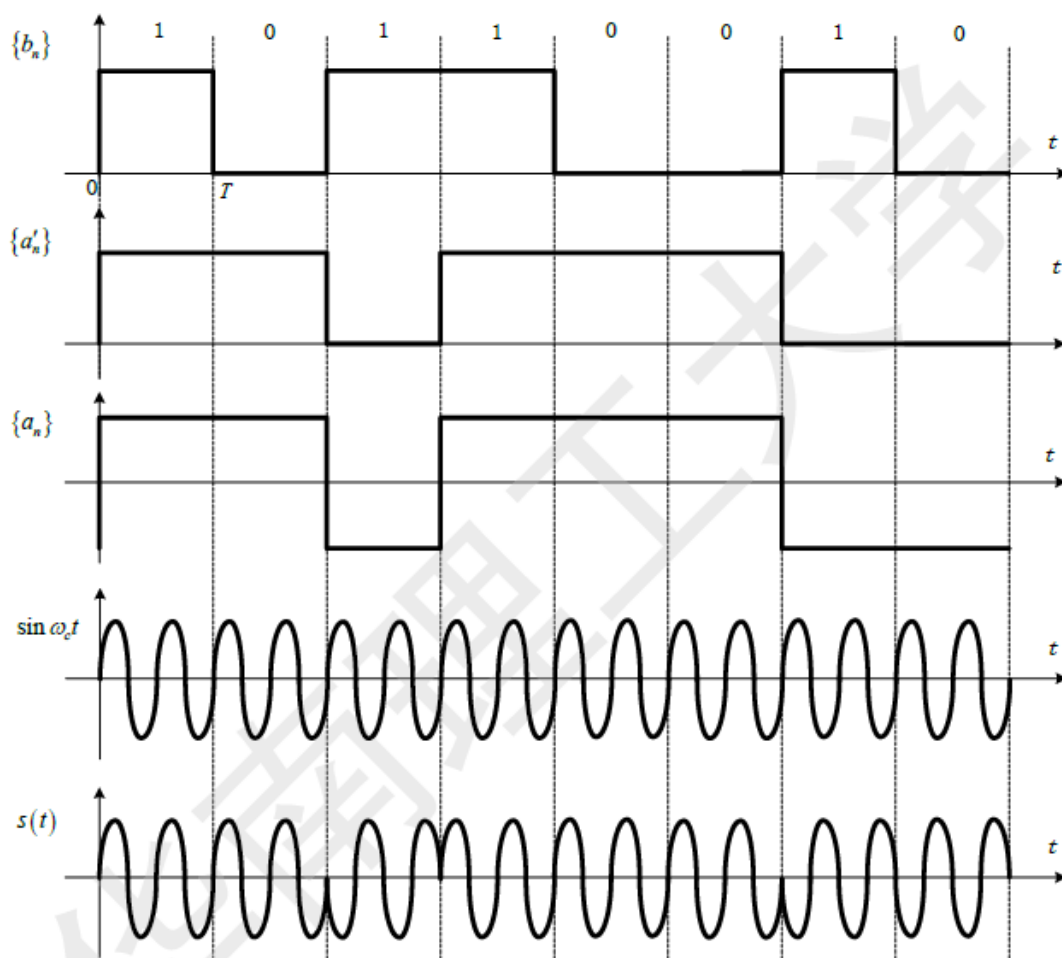


### 6.3

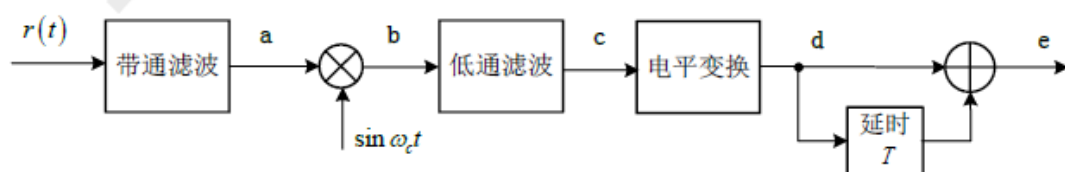
#### (1) 发送端的框图



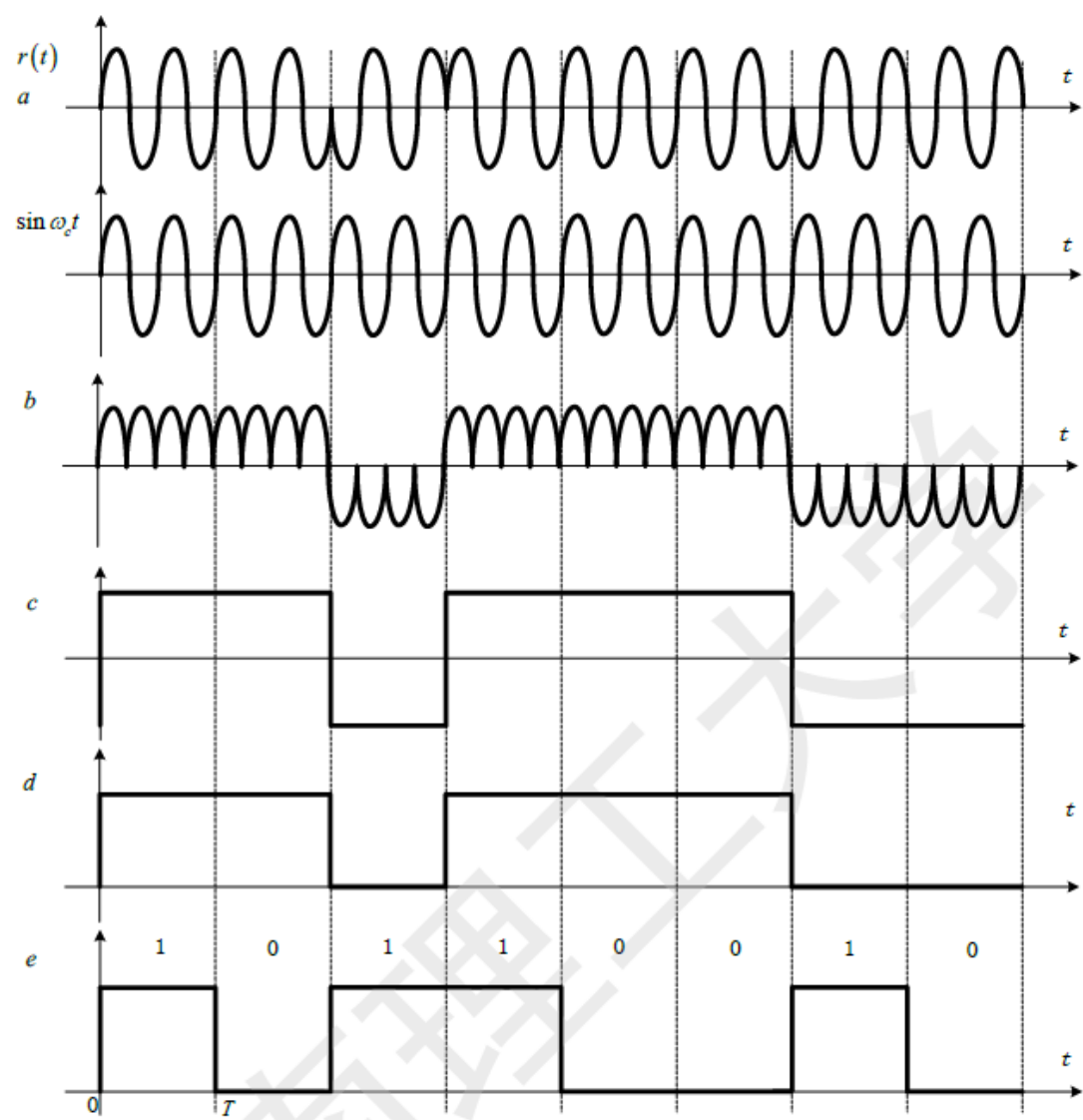
发送端各点波形图



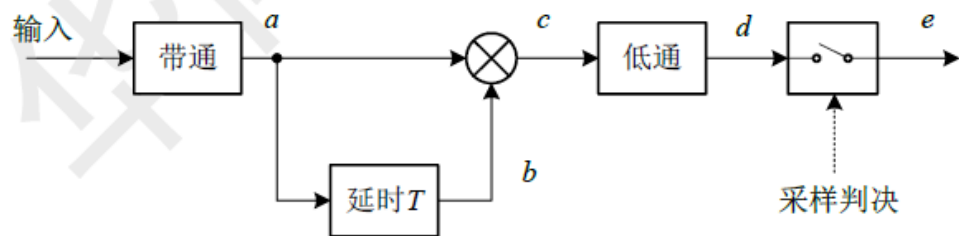
#### (2) 2DPSK 相干接收机的框图



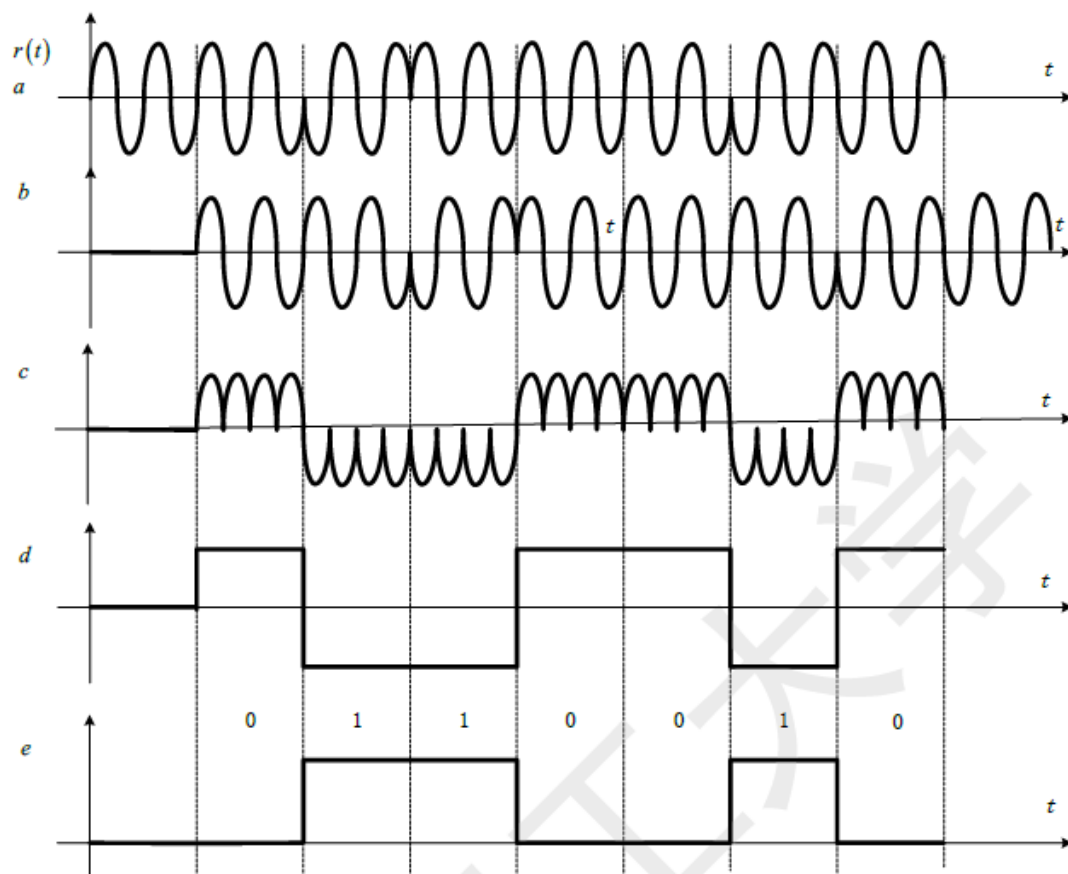
各模块输出点的波形图



(3) 差分相干接收机的框图



各模块输出点的波形图。注意在采样判决的操作中，正的电平应判为“0”，负的电平应判为“1”。



6.13 采用 8PSK 调制传输  $R_b = 4800\text{bps}$  数据:

(1) 最小理论带宽是多少?

(2) 若传输带宽不变, 而数据率加倍, 则调制方式应作何改变?

(3) 若依然采用 8PSK 调制方式不变, 而数据率加倍, 为达到相同误比特率, 发送功率应作何变化?

解:

(1) 当基带信号采用理想低通频谱特性对应的信号时, 可以达到每赫兹 2 波特的频谱效率。若用该信号作为调制载波信号的波形信号, 则系统可以达到每赫兹 1 波特的频谱效率。对于 MPSK 信号, 频带利用率相应地为

$$\eta_{b, \text{PSK}} = \log_2 M \text{ (bits/s/Hz)}$$

因此若  $R_b = 4800\text{bps}$ , 则所需的理论带宽为

$$W = \frac{R_b}{\eta_{b, \text{PSK}}} = \frac{R_b}{\log_2 M} = \frac{4800}{3} = 1600\text{Hz}$$

(2) 若传输带宽  $W$  不变, 而数据率加倍:  $R'_b = 2 \times 4800\text{bps} = 9600\text{bps}$ , 显然此时应有

$$\log_2 M' = \frac{R'_b}{W} = \frac{9600}{1600} = 6 \longrightarrow M' = 2^6 = 64$$

一般当进制数  $M'$  较大时, 通常采用 MQAM 调制方式, 因此可改用 64QAM 调制的工作方式。

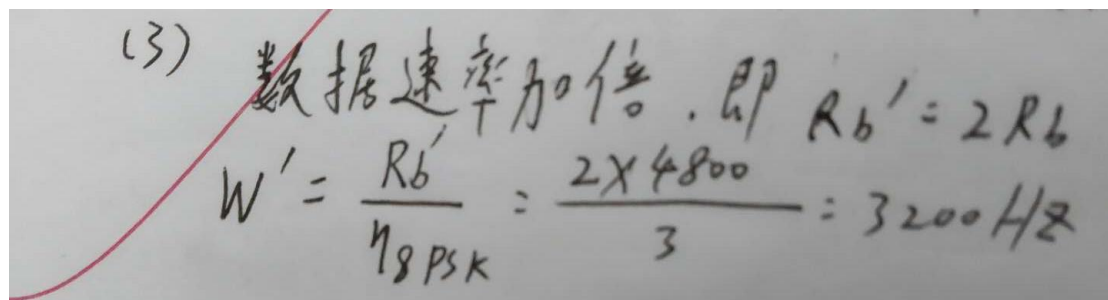
(3) 若依然采用 8PSK 调制方式不变, 而数据率加倍, 此时所需带宽将变为

$$W' = \frac{R'_b}{\eta_{b, \text{PSK}}} = \frac{R'_b}{\log_2 M} = \frac{9600}{3} = 3200\text{Hz}$$

可见信号的带宽  $W'$  需增加 1 倍, 相应地接收端输入的噪声功率  $N' = N_0 W' = 2N_0 W = 2N$  也会增加 1 倍, 为达到相同误比特率, 信噪比应保持不变, 因此发送功率应作加倍, 即应有

$$P'_s = 2P_s$$

有同学出现计算错误, 第 3 问没有说明功率关系



(3) 数据速率加倍, 即  $R'_b = 2R_b$   
$$W' = \frac{R'_b}{\eta_{8\text{PSK}}} = \frac{2 \times 4800}{3} = 3200\text{Hz}$$

6.14 已知电话信道可用的传输频带为 300~3000Hz，若取载频为 1800Hz，试说明：

- (1)  $\alpha=1$  升余弦滚降基带信号的 QPSK (4PSK) 调制可获得 2400bps 传输速率；
- (2)  $\alpha=0.5$  升余弦滚降基带信号的 8PSK 调制可获得 4800bps 传输速率；
- (3) 对于参数为  $\alpha$  的，-6dB 带宽各为多少？

解：

- (1) 采用  $\alpha=1$  滚降特性频谱的 QPSK 信号，则带宽与其符号速率  $R_s$  的关系为

$$W = (1+\alpha)R_s, R_s = \frac{W}{1+\alpha} = \frac{W}{2} = \frac{3000-600}{2} = 1200 \text{ baud}$$

对于 QPSK 信号， $M=4$ ，因此 QPSK 信号的符号速率  $R_s$  与基带信号比特速率  $R_b$  的关系为：

$$R_b = R_s \log_2 M = 1200 \times \log_2 4 = 2400 \text{ bps}$$

- (2) 采用  $\alpha=0.5$  滚降特性频谱的 8PSK 信号，则带宽与其符号速率  $R_s$  的关系为

$$W = (1+\alpha)R_s, R_s = \frac{W}{1+\alpha} = \frac{W}{1.5} = \frac{3000-600}{1.5} = 1600 \text{ baud}$$

对于 8PSK 信号， $M=8$ ，因此 8PSK 信号的符号速率  $R_s$  与基带信号比特速率  $R_b$  的关系为：

$$R_b = R_s \log_2 M = 1600 \times \log_2 8 = 4800 \text{ bps}$$

- (3) 若考虑 -6dB 带宽，对  $\alpha$  滚降特性频谱的信号，由

$$H(\omega) = \begin{cases} T, & 0 \leq |\omega| \leq \frac{(1-\alpha)\pi}{T} \\ \frac{T}{2} \left( 1 - \sin \frac{T}{2\alpha} \left( \omega - \frac{\pi}{T} \right) \right), & \frac{(1-\alpha)\pi}{T} < |\omega| \leq \frac{(1+\alpha)\pi}{T} \\ 0, & |\omega| > \frac{(1+\alpha)\pi}{T} \end{cases}$$

$$20 \lg \frac{H(f_{B,-6dB})}{H(0)} = 20 \lg \frac{\frac{T}{2} \left( 1 - \sin \frac{T}{2\alpha} \left( 2\pi f_{B,-6dB} - \frac{\pi}{T} \right) \right)}{T} = -6 \text{ dB}$$

$$1 - \sin \left( \frac{\pi T}{\alpha} f_{B,-6dB} - \frac{\pi}{2\alpha} \right) = 2 \times 10^{-\frac{6}{20}} \rightarrow f_{B,-6dB} = \frac{\alpha}{\pi T} \left( \frac{\pi}{2\alpha} + \arcsin \left( 1 - 2 \times 10^{-\frac{6}{20}} \right) \right)$$

由此可得相应的调制信号 -6dB 的带宽

$$W_B = 2f_{B,-6dB} = \frac{1}{T} + \frac{2\alpha}{\pi T} \arcsin \left( 1 - 2 \times 10^{-\frac{6}{20}} \right)$$

6.14 题目有误，原题如下图所示：

**例 6.6** 已知电话信道可用的信号传输频带为 600~3000 Hz, 取载频为 1800 Hz, 试说明：

- (1) 采用  $\alpha=1$  余弦滚降基带信号时, QPSK 系统可以传输 2400 bps 数据；
- (2) 采用  $\alpha=0.5$  余弦滚降基带信号时, 16QAM 系统可以传输 6400 bps 数据；
- (3) 画出(1)和(2)传输系统的频率特性略图。

**解** (1) 信道带宽为

$$B_c = (3000 - 600) \text{ Hz} = 2400 \text{ Hz}$$

$\alpha=1$  的余弦滚降 QPSK 系统的频带利用率为

$$\eta_b = \frac{\log_2 M}{1+\alpha} = \frac{\log_2 4}{1+1} \text{ bps/Hz} = 1 \text{ bps/Hz}$$

数据传输速率为

$$R_b = B_c \cdot \eta_b = 2400 \times 1 \text{ bps} = 2400 \text{ bps}$$

(2)  $\alpha=0.5$  的余弦滚降 16QAM 系统的频带利用率为

$$\eta_b = \frac{\log_2 16}{1+0.5} = \frac{8}{3} \text{ bps/Hz}$$

数据传输速率为

$$R_b = B_c \cdot \eta_b = 2400 \times \frac{8}{3} \text{ bps} = 6400 \text{ bps}$$

因此使用 300~3000 或 600~3000 计算都不算错误，但要对自己使用的数值进行说明

第(3)问出现较多问题，不少同学反映不知如何解答

→ {b<sub>n</sub>}  $\eta = \frac{\log_2 4}{1+1} = 1 = \frac{R_b}{W} \Rightarrow R_b = 2400 \text{ bps}$

(2)  $\eta = \frac{\log_2 16}{1+0.5} = \frac{8}{3} = \frac{R_b}{W} \Rightarrow R_b = 6400 \text{ bps}$

(3) 不会. 希望老师讲一下.



(1) 对于图中的 8QAM 信号, 可列出方程

$$\begin{cases} A^2 = a^2 + a^2 \\ A^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \frac{\pi}{4} \end{cases}$$

解得

$$\begin{cases} a = \frac{A}{\sqrt{2}} = 0.7071A \\ b = \frac{1+\sqrt{3}}{2}A = 1.366A \end{cases}$$

(2) 对于 8PSK 信号,  $A = 2r \sin \frac{\pi}{8}$ , 因此

$$r = \frac{A}{2 \sin \frac{\pi}{8}} = 1.3066A$$

(3) 8PSK 的平均符号能量为

$$E_{8PSK} = r^2 = \frac{A^2}{\left(2 \sin \frac{\pi}{8}\right)^2} = \frac{A^2}{2-\sqrt{2}} = 1.7071A^2$$

因此平均发送功率为

$$P_{8PSK} = \frac{E_{8PSK}}{T_s} = 1.7071 \frac{A^2}{T_s}$$

8QAM 的平均符号能量为

$$E_{8QAM} = \frac{a^2 + b^2}{2} = \frac{3+\sqrt{3}}{4}A^2 = 1.1830A^2$$

因此平均发送功率为

$$P_{8QAM} = \frac{E_{8QAM}}{T_s} = 1.1830 \frac{A^2}{T_s}$$

可见对于同样的最小星座点间的最小距离, 8QAM 所需的平均功率较 8PSK 信号小。

有同学出现计算错误, 有同学第三问没有比较两者之间关系或判断错误。



## 第七章

7.1 对于自由空间路径损耗模型，求使接收功率达到  $1\text{dBm}$  所需的发射功率。假设载波频率  $f = 5\text{GHz}$ 、全向天线 ( $G_t = G_r = 1$ )，距离分别为  $d = 10\text{m}$  及  $d = 100\text{m}$ 。

解：由  $P_r = P_t \left[ \frac{\sqrt{G_t G_r} \lambda}{4\pi d} \right]^2$ ， $\lambda = \frac{c}{f_c} = 0.06$

得  $d = 10\text{m}$  时：  $10^{-3} = P_t \left[ \frac{1 \times \lambda}{4\pi \times 10} \right]^2$

$$P_t = 4.39\text{kW}$$

$d = 100\text{m}$  时：  $10^{-3} = P_t \left[ \frac{1 \times \lambda}{4\pi \times 100} \right]^2$

$$P_t = 438.65\text{kW}$$

此题答案单位错误，正确单位应为：

4.39dBm

438.65dBm

或者换算为

5.5kW

551kW

7.6 在移动通信中，发射机载频为  $900\text{MHz}$ ，一辆汽车以  $80\text{km/h}$  的速度运动，试计算在下列情况下车载接收机的载波频率：

- (1) 汽车沿直线朝向发射机运动；
- (2) 汽车沿直线背向发射机运动；
- (3) 汽车运动方向与入射波方向成  $90^\circ$ 。

解：由  $\lambda = \frac{c}{f_c}$ ，则多普勒频移

$$f_D = \frac{v}{\lambda} \cos \theta = \frac{v}{c/f} \cos \theta = \frac{80 \times 10^3 / 3600}{3 \times 10^8 / 900 \times 10^6} \cos 0^\circ = 66.67\text{Hz}$$

- (1) 汽车朝向发射机运动，则  $f_D$  取正，因此

$$f_1 = f + f_D = 900\text{M} + 66.67 = 9000066.67\text{Hz}$$

- (2) 汽车背向发射机运动，则  $f_D$  取负，因此

$$f_1 = f - f_D = 900\text{M} - 66.67 = 8999933.33\text{Hz}$$

- (3) 汽车沿以发射机为圆心的方向运动，多普勒频移为 0，因此

$$f_3 = 900\text{MHz}$$

7.20 发送单个测试脉冲时接收信号的采样序列取值为： $x_{-2}=0, x_{-1}=-1/4, x_0=1, x_1=1/4, x_2=0$ 。(1) 设计一个三抽头的横向滤波器，迫使主瓣两侧各一个采样点处的码间串扰为零；(2) 计算均衡前后的峰值畸变值。

解：

(1) 由题意得： $x_{-2}=0, x_{-1}=-1/4, x_0=1, x_1=1/4, x_2=0$

对于一个 3 抽头的横向滤波器，需要确定的系数值为： $w_{-1}, w_0, w_1$ ，由此可得方程组

$$\begin{bmatrix} x_0 & x_1 & x_2 \\ x_1 & x_0 & x_1 \\ x_2 & x_1 & x_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_{-1} \\ w_0 \\ w_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 1 & -1/4 & 0 \\ 1/4 & 1 & -1/4 \\ 0 & 1/4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_{-1} \\ w_0 \\ w_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

由此可解得

$$w_{-1} = \frac{2}{9}, w_0 = \frac{8}{9}, w_1 = -\frac{2}{9}$$

(2) 均衡前的峰值畸变

$$D_x = \frac{1}{x_0} \sum_{k=-1}^1 |x_k| = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$$

均衡后的，单个测试脉冲输入时的输出  $\{y_k\}$  可由下列方程决定

$$\begin{bmatrix} x_{-1} & x_{-2} & x_{-3} \\ x_0 & x_{-1} & x_{-2} \\ x_1 & x_0 & x_{-1} \\ x_2 & x_1 & x_0 \\ x_3 & x_2 & x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_{-1} \\ w_0 \\ w_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{-2} \\ y_{-1} \\ y_0 \\ y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/4 & 0 & 0 \\ 1 & -1/4 & 0 \\ 1/4 & 1 & -1/4 \\ 0 & 1/4 & 1 \\ 0 & 0 & 1/4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2/9 \\ 8/9 \\ -2/9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/9 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1/9 \end{bmatrix}$$

均衡后的峰值畸变

$$D_y = \frac{1}{y_0} \sum_{k=-2}^2 |y_k| = \frac{1}{18} + \frac{1}{18} = \frac{1}{9}$$

可见均衡后峰值畸变大大减小。

出现行列式计算错误。