通信原理习题讲解

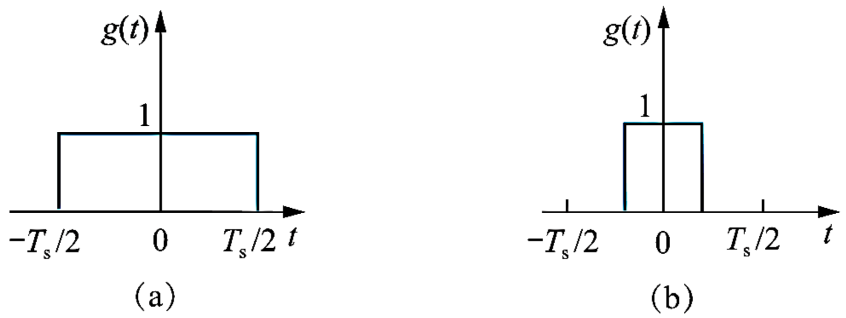
- Chapter 6

6–2 设随机二进制序列中0和1分别由$g(t)$和$-g(t)$表示，它们的出现概率分别为p和$(1-p)$：

(1) 求其功率谱密度及功率；

(2) 若$g(t)$为题6-2(a)图所示波形，T_s为码元宽度，问该序列存在离散分量$f_s=1/T_s$否？

(3) 若$g(t)$改为题6-2(b)图，回答问题(2)。



题6–2

知识点：PAM信号功率谱，P150

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

解：(1)

$$m_a=p\cdot 1+(1-p)\cdot(-1)=2p-1$$

$$\sigma_a{}^2=p\cdot[1-(2p-1)]^2+(1-p)\cdot[-1-(2p-1)]^2=4p(1-p)$$

$$S_V(f)=\frac{4p(1-p)}{T_s}|G(f)|^2+\frac{(2p-1)^2}{T_s{}^2}\sum_{m=-\infty}^{\infty}|G(\frac{m}{T_s})|^2\delta(f-\frac{m}{T_s})$$

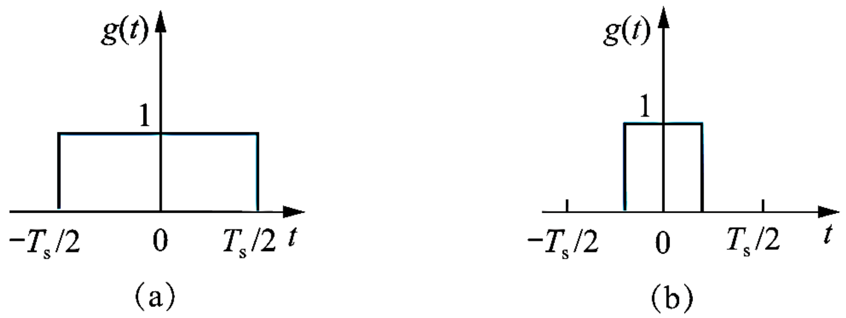
$$P_V=\int_{-\infty}^{\infty}S_V(f)df=\frac{4p(1-p)}{T_s}\int_{-\infty}^{\infty}|G(f)|^2df+\frac{(2p-1)^2}{T_s{}^2}\sum_{m=-\infty}^{\infty}|G(\frac{m}{T_s})|^2$$

6-2 设随机二进制序列中0和1分别由$g(t)$和$-g(t)$表示，它们的出现概率分别为p和$(1-p)$：

(1) 求其功率谱密度及功率；

(2) 若$g(t)$为题6-2(a)图所示波形，T_s为码元宽度，问该序列存在离散分量$f_s=1/T_s$否？

(3) 若$g(t)$改为题6-2(b)图，回答问题(2)。



题6-2

(2)

$$S_V(f)=\frac{4p(1-p)}{T_s}|G(f)|^2+\boxed{\frac{(2p-1)^2}{{T_s}^2}\sum_{m=-\infty}^{\infty}|G(\frac{m}{T_s})|^2\delta(f-\frac{m}{T_s})}$$

$$G(f)=\int_{-T_s/2}^{T_s/2}1\cdot e^{-j2\pi ft}\,dt=T_s sinc(T_s f)\qquad G(\frac{1}{T_s})=0,$$ 该序列不存在此离散分量

(3)

$$G(f)=\int_{-T_s/4}^{T_s/4}1\cdot e^{-j2\pi ft}\,dt=\frac{T_s}{2}sinc(\frac{T_s}{2}f)\qquad G(\frac{1}{T_s})=\frac{T_s}{\pi}\neq 0,$$ 该序列存在此离散分量

6-4 设某二元数字基带信号中，数字信息“1”和“0”分别由$g(t)$和$-g(t)$表示，且“1”与“0”出现的概率相等，$g(t)$是升余弦频谱脉冲，即

$$g(t)=\frac{1}{2}\cdot\frac{\cos(\pi t/T_s)}{1-4t^2/T_s^2}\mathrm{sinc}(t/T_s)$$

(1) 写出该数字基带信号的功率谱密度表示式，并画出功率谱密度图；

(2) 从该数字基带信号中能否直接提取频率$f_s=1/T_s$分量？

(3) 若码元间隔$T_s=10^{-3}$s，试求该数字基带信号的传码率及频带宽度。

解: (1)

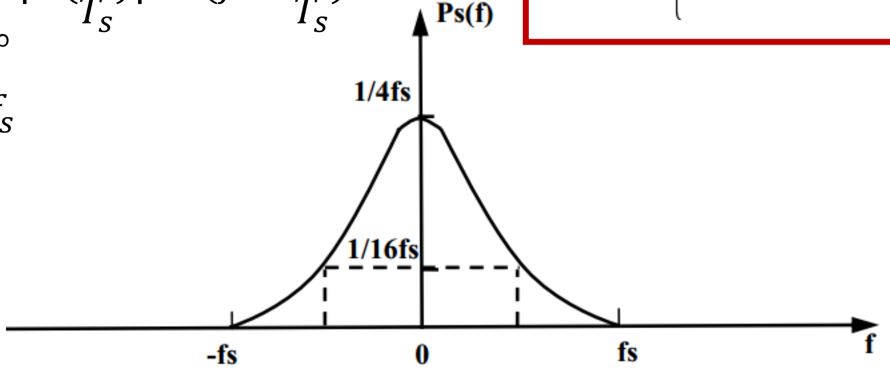
$$G(f)=\begin{cases}\frac{T_s}{4}[1+cos(\pi T_s f)], 0\le|f|\le\frac{1}{T_s}\\ 0,\text{其他}\end{cases}$$

$$S_V(f)=\frac{4p(1-p)}{T_s}|G(f)|^2+\frac{(2p-1)^2}{T_s{}^2}\sum_{m=-\infty}^{\infty}|G(\frac{m}{T_s})|^2\delta(f-\frac{m}{T_s})$$

$$=\frac{1}{T_s}|G(f)|^2=\begin{cases}\frac{T_s}{16}[1+cos(\pi T_s f)]^2,\ |f|<f_s\\ 0,\text{其他}\end{cases}$$

知识点：升余弦信号频谱，P190

$$X_{rc}(f)=\begin{cases}T, & 0\le|f|<\frac{1-\alpha}{2T}\\ \frac{T}{2}\left[1+\cos\frac{\pi T}{\alpha}\left(|f|-\frac{1-\alpha}{2T}\right)\right], & \frac{1-\alpha}{2T}\le|f|<\frac{1+\alpha}{2T}\\ 0, & |f|\ge\frac{1+\alpha}{2T}\end{cases}\quad(6.4.36)$$



6-4 设某二元数字基带信号中，数字信息“1”和“0”分别由 $g(t)$ 和 $-g(t)$ 表示，且“1”与“0”出现的概率相等，$g(t)$ 是升余弦频谱脉冲，即

$$g(t)=\frac{1}{2}\cdot\frac{\cos(\pi t/T_s)}{1-4t^2/T_s^2}\mathrm{sinc}(t/T_s)$$

(1) 写出该数字基带信号的功率谱密度表示式，并画出功率谱密度图；

(2) 从该数字基带信号中能否直接提取频率 $f_s=1/T_s$ 分量？

(3) 若码元间隔 $T_s=10^{-3}$s，试求该数字基带信号的传码率及频带宽度。

(2)

$$S_V\left(\frac{1}{T_S}\right)=\frac{T_S}{16}[1+\cos(\pi)]^2=0$$ 因此无法直接提取

(3)

$$R_S=\frac{1}{T_S}=1000(Baud) \qquad \mathrm{B}=f_S=1000(Hz)$$

6−6 已知信息代码为100000000011，求相应的AMI码、HDB_3码及双相码。

- **AMI编码规则:** 3电平码，把“1”交替变成“+1”和“-1”，“0”仍然是“0”。
- **HDB_3编码规则:** 3电平码，若AMI码中连“0”的个数小于4，此时的AMI码就是HDB3码；若**出现4个连“0”**,则将**第4个“0” 改成与前一个非“0”码元同极性**的码元，用V表示；**相邻的V的极性也需要交替反转。**
  若**相邻V**之间有**偶数个非0码元**，则把4位连“0”串中**第1个“0”变成B**，**B的**极性与前**一非零码元极性相反**，并让**后面的非零码元符号交替**。
- **双相编码规则:** 把每个二进制码元变换成相位不同的一个周期方波，“0”→“01”，“1”→“10”。

解:

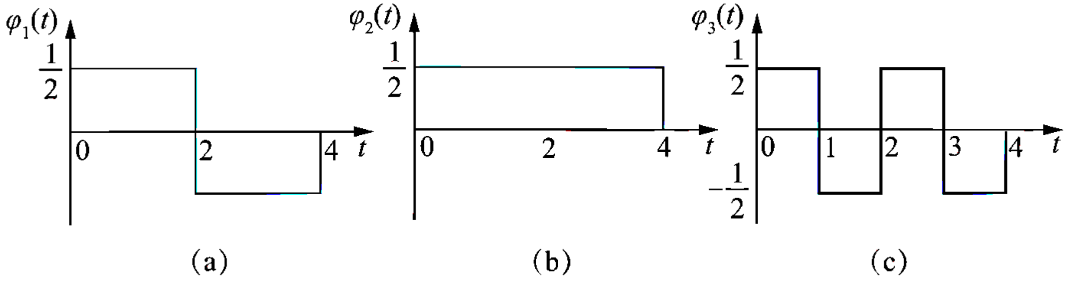
信息代码	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
AMI	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
HDB_3	1	0	0	0	V	-B	0	0	-V	0	1	-1
双相码	10	01	01	01	01	01	01	01	01	01	10	10

6-9　分析题6-9图给出的3个信号波形。

(1) 证明它们是相互正交的；

(2) 将信号$x(t)$表示为$\varphi_n(t)(n=1,2,3)$的线性组合，并求出加权系数。

$$x(t)=\begin{cases}-1, & 0\leqslant t\leqslant 1\\ 1, & 1\leqslant t\leqslant 3\\ -1, & 3\leqslant t\leqslant 4\end{cases}$$



题6-9

解：

(1) $\int_0^4 \varphi_1(t)\varphi_2(t)dt=\int_0^2 \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2}dt+\int_2^4\left(-\frac{1}{2}\right)\cdot\frac{1}{2}dt=0,$

同理：$\int_0^4 \varphi_1(t)\varphi_3(t)dt=0,\quad \int_0^4 \varphi_2(t)\varphi_3(t)dt=0$

所以三个信号相互正交。

(2)
$$\int_0^4 x(t)\varphi_1(t)dt=0$$
$$\int_0^4 x(t)\varphi_2(t)dt=0$$
$$\int_0^4 x(t)\varphi_3(t)dt=0$$

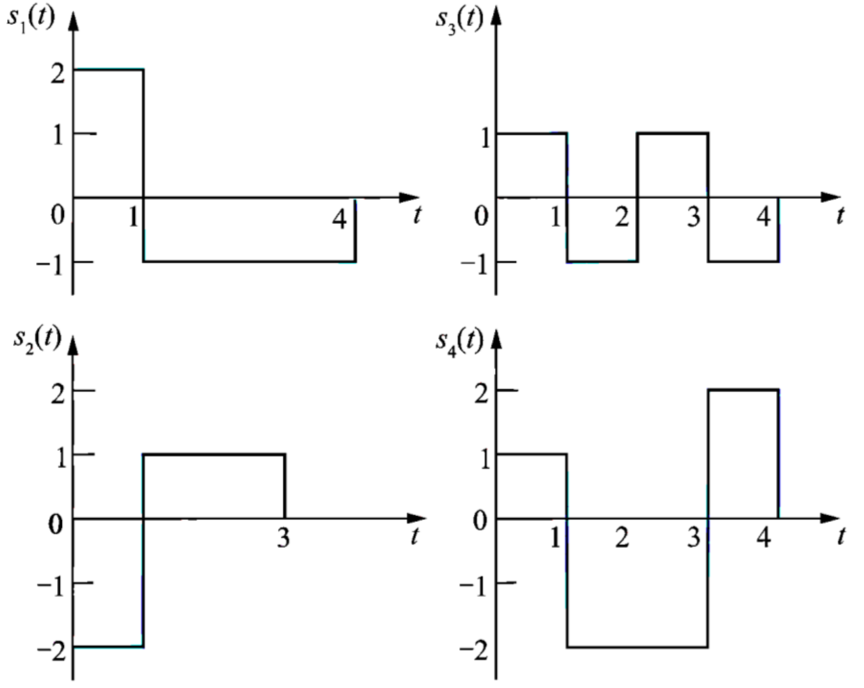
$x(t)$与$\varphi_1(t)$，$\varphi_2(t)$，$\varphi_3(t)$正交

6-10 分析题6-10图给出的4个信号波形。

(1) 根据格拉姆–施密特法则,由这些波形生成一组正交基函数;

(2) 用矢量表示4个信号点;

(3) 确定任意一对信号点之间的距离。



题6-10

解: (1) $s(t)=(s_1,s_2,s_3,s_4)$, s_i表示$s(t)$在$[i-1,i]$取值

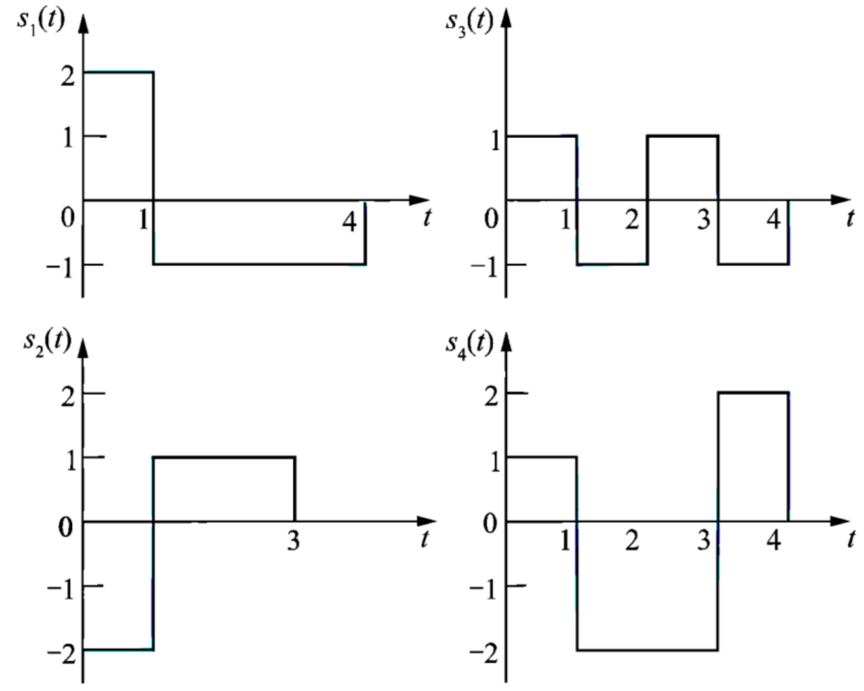
$s_1(t)=(2,-1,-1,-1)$ $s_2(t)=(-2,1,1,0)$ $s_3(t)=(1,-1,1,-1)$ $s_4(t)=(1,-2,-2,2)$

6−10 分析题6-10图给出的4个信号波形。

（1）根据格拉姆−施密特法则，由这些波形生成一组正交基函数；

（2）用矢量表示4个信号点；

（3）确定任意一对信号点之间的距离。



题6−10

由 Gram-Schmidt 法则

$$b_1(t)=s_1(t)$$

$$\|b_1\|=\sqrt{7}$$

$$\varphi_1(t)=b_1(t)/\|b_1(t)\|=(2,-1,-1,-1)/\sqrt{7} \qquad (1)$$

$$b_2(t)=s_2(t)-\langle s_2(t),\varphi_1(t)\rangle\varphi_1(t)=(-2,1,1,-6)/7$$

其中 $\langle s_2(t),\varphi_1(t)\rangle=-6/\sqrt{7}$

$$\|b_2(t)\|=\sqrt{42}/7$$

$$\varphi_2(t)=b_2(t)/\|b_2(t)\|=(-2,1,1,-6)/\sqrt{42} \qquad (2)$$

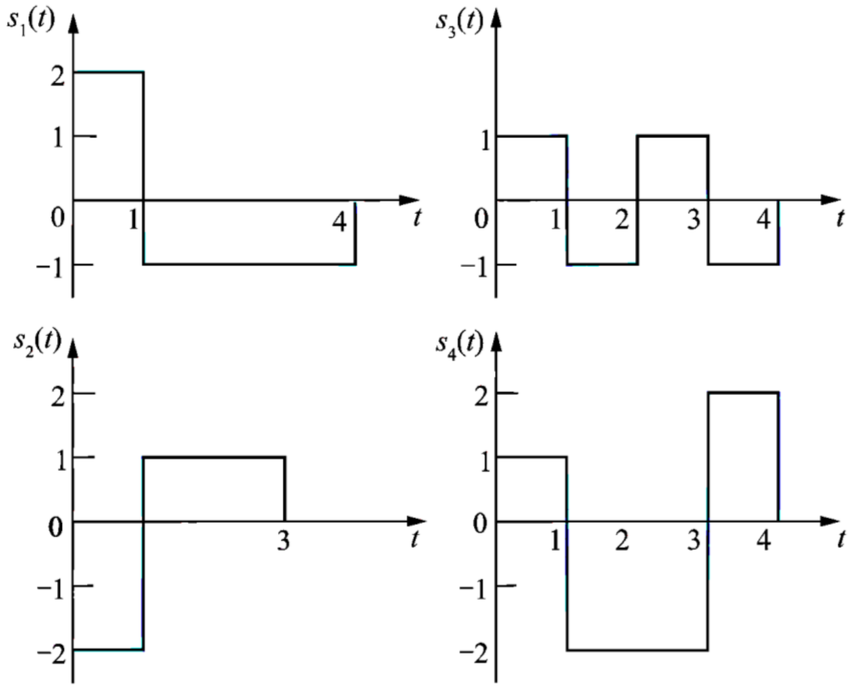
$$b_3(t)=s_3(t)-\sum_{i=1}^{2}\langle s_3(t),\varphi_i(t)\rangle\varphi_i(t)=(1,-2,4,0)/3$$

6–10 分析题6-10图给出的4个信号波形。

(1) 根据格拉姆–施密特法则，由这些波形生成一组正交基函数；

(2) 用矢量表示4个信号点；

(3) 确定任意一对信号点之间的距离。



题6–10

其中 $\langle s_3(t),\varphi_1(t)\rangle = 3/\sqrt{7}$，$\langle s_3(t),\varphi_2(t)\rangle = 4/\sqrt{42}$

$$\| b_3(t)\| = \sqrt{21}/3$$

$$\varphi_3(t) = b_3(t)/\| b_3(t)\| = (1,-2,4,0)/\sqrt{21} \qquad (3)$$

$$b_4(t) = s_4(t) - \sum_{i=1}^{3}\langle s_4(t),\varphi_i(t)\rangle \varphi_i(t) = (-6,-9,-3,0)/7$$

其中 $\langle s_4(t),\varphi_1(t)\rangle = 4/\sqrt{7}$，$\langle s_4(t),\varphi_2(t)\rangle = -18/\sqrt{42}$，$\langle s_4(t),\varphi_3(t)\rangle = -3/\sqrt{21}$

$$\| b_4(t)\| = \sqrt{126}/7$$

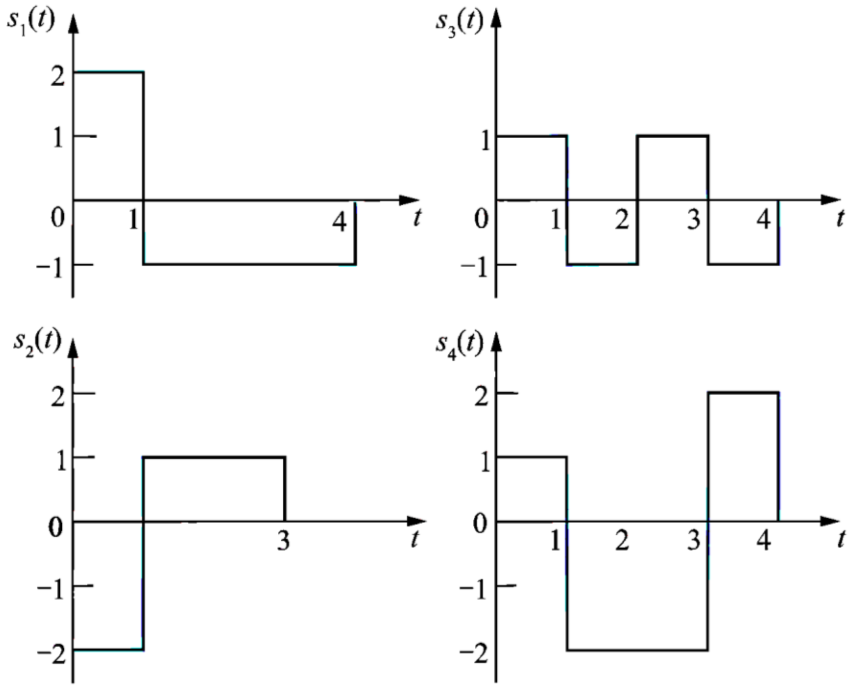
$$\varphi_4(t) = b_4(t)/\| b_4(t)\| = (-2,-3,-1,0)/\sqrt{14} \qquad (4)$$

6-10 分析题6-10图给出的4个信号波形。

(1) 根据格拉姆-施密特法则，由这些波形生成一组正交基函数；

(2) 用矢量表示4个信号点；

(3) 确定任意一对信号点之间的距离。



题6-10

(2) 如果取$\{\varphi_i(t), i = 1,2,3,4\}$为基函数，

则$\{s_i(t), i = 1,2,3,4\}$可表示为:

$$s_1(t) = \sqrt{7}\varphi_1(t)$$

$$s_2(t) = \frac{\sqrt{42}}{7}\varphi_2(t) - \frac{6}{\sqrt{7}}\varphi_1(t)$$

$$s_3(t) = \frac{\sqrt{21}}{3}\varphi_3(t) + \frac{4}{\sqrt{42}}\varphi_2(t) + \frac{3}{\sqrt{7}}\varphi_1(t)$$

$$s_4(t) = \frac{\sqrt{126}}{7}\varphi_4(t) - \frac{3}{\sqrt{21}}\varphi_3(t) - \frac{18}{\sqrt{42}}\varphi_2(t) + \frac{4}{\sqrt{7}}\varphi_1(t)$$

则，$\boldsymbol{s}_1 = (\sqrt{7}, 0,0,0)$，$\boldsymbol{s}_2 = (-\frac{6}{\sqrt{7}}, \frac{\sqrt{42}}{7}, 0,0)$，

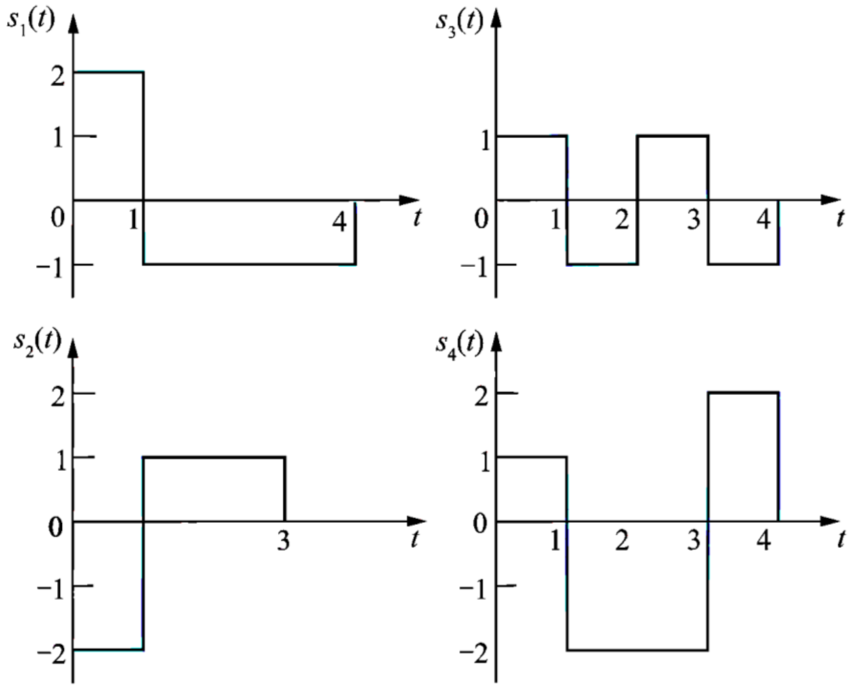
$\boldsymbol{s}_3 = (\frac{3}{\sqrt{7}}, \frac{4}{\sqrt{42}}, \frac{\sqrt{21}}{3}, 0)$，$\boldsymbol{s}_4 = (\frac{4}{\sqrt{7}}, \frac{-18}{\sqrt{42}}, \frac{-3}{\sqrt{21}}, \frac{\sqrt{126}}{7})$

6−10　分析题6-10图给出的4个信号波形。

（1）根据格拉姆–施密特法则，由这些波形生成一组正交基函数；

（2）用矢量表示4个信号点；

（3）确定任意一对信号点之间的距离。



题6−10

(3) $d_{ij} = \sqrt{||\boldsymbol{s}_i - \boldsymbol{s}_j||^2}$

$d_{12} = 5$，$d_{13} = \sqrt{5}$，$d_{14} = \sqrt{12}$，

$d_{23} = \sqrt{14}$，$d_{24} = \sqrt{31}$，$d_{34} = \sqrt{19}$

6−13 一个在 AWGN 信道中传输数据的 PAM 通信系统，其发送比特的先验概率是 $P(a_m=1)=1/3$ 和 $P(a_m=-1)=2/3$。

(1) 试求检测器的最佳门限；

(2) 试求系统的平均错误概率。

解：（1）设信号的能量是E_b，AWGN噪声的功率谱密度为 $N_0/2$，检测器判决门限为λ。

发送信号$s_1(t)$ = “1”时 $$P(e|s_1)=\int_{-\infty}^{\lambda}p(r|s_1)dr=\frac{1}{\sqrt{\pi N_0}}\int_{-\infty}^{\lambda}\exp\left[-\frac{(r-\sqrt{E_b})^2}{N_0}\right]dr$$

发送信号$s_2(t)$ = “− 1”时 $$P(e|s_2)=\int_{\lambda}^{+\infty}p(r|s_2)dr=\frac{1}{\sqrt{\pi N_0}}\int_{\lambda}^{+\infty}\exp\left[-\frac{(r+\sqrt{E_b})^2}{N_0}\right]dr$$

$$P_{be}=P(s_1)P(e|s_1)+P(s_2)P(e|s_2)=\frac{1}{3\sqrt{\pi N_0}}\int_{-\infty}^{\lambda}\exp\left[-\frac{(r-\sqrt{E_b})^2}{N_0}\right]dr+\frac{2}{3\sqrt{\pi N_0}}\int_{\lambda}^{+\infty}\exp\left[-\frac{(r+\sqrt{E_b})^2}{N_0}\right]dr$$

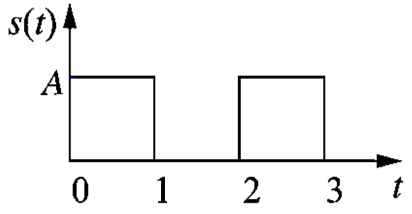
使平均错误概率最小，令 $\frac{\partial P_{be}}{\partial \lambda}=0$ ，得 $\lambda_o=\frac{N_0\ln 2}{4\sqrt{E_b}}$

（2）将 $\lambda_o=\frac{N_0\ln 2}{4\sqrt{E_b}}$ 代回P_{be}表达式，得 $$P_{be}=\frac{1}{3}Q\left(\frac{\sqrt{E_b}-\lambda_o}{\sqrt{N_0/2}}\right)+\frac{2}{3}Q\left(\frac{\lambda_o+\sqrt{E_b}}{\sqrt{N_0/2}}\right)$$

6−14 一个使用对映信号传输信息的二进制通信系统，其接收信号是

$$r(t)=s(t)+n(t)$$

其中$s(t)$如题6-14图所示，$n(t)$是功率谱密度为$N_0/2$(W/Hz)的AWGN噪声。



题6−14

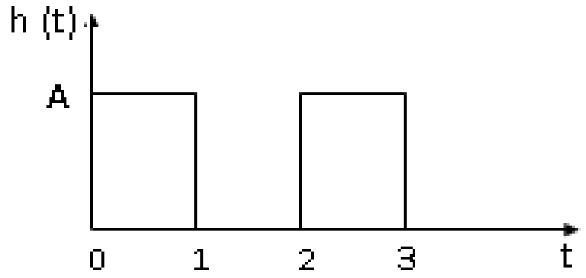
(1) 画出信号$s(t)$的匹配滤波器的脉冲响应波形；

(2) 画出输入信号为$s(t)$时，匹配滤波器的输出信号波形；

(3) 试求出$t=3$时，匹配滤波器的输出噪声的方差；

(4) 试写出用A和N_0表示的错误概率表达式。

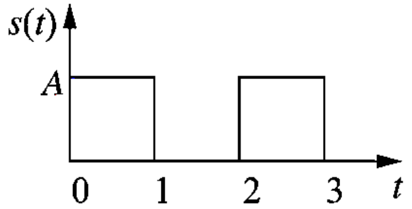
解： (1) 匹配滤波器脉冲响应$h(t)=\begin{cases} s(T-t), 0<t<T \\ 0, 其他 \end{cases} = \begin{cases} A, & 0<t<1或2<t<3 \\ 0, & 其他 \end{cases}$



6−14 一个使用对映信号传输信息的二进制通信系统，其接收信号是

$$r(t)=s(t)+n(t)$$

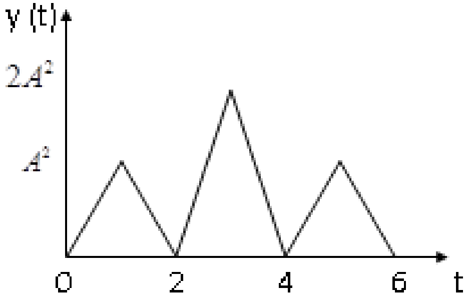
其中$s(t)$如题6-14图所示，$n(t)$是功率谱密度为$N_0/2$(W/Hz)的AWGN噪声。



题6−14

(2) 画出输入信号为$s(t)$时，匹配滤波器的输出信号波形；

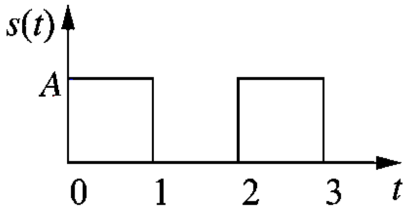
解：(2) $y(t)=s(t)*h(t)=\int_{-\infty}^{+\infty}s(t-\tau)h(\tau)d\tau=\begin{cases}A^2(1-|t-1|),|t-1|<1\\2A^2(1-|t-3|),|t-3|<1\\A^2(1-|t-5|),|t-5|<1\\0,\ \text{其他}\end{cases}$



6−14　一个使用对映信号传输信息的二进制通信系统,其接收信号是

$$r(t)=s(t)+n(t)$$

其中 $s(t)$ 如题6-14图所示,$n(t)$ 是功率谱密度为 $N_0/2$(W/Hz)的AWGN噪声。



题6−14

(3) 试求出 $t=3$ 时,匹配滤波器的输出噪声的方差;

(4) 试写出用 A 和 N_0 表示的错误概率表达式。

解:　(3) $\sigma_n^2 = E\left[y_n^2(3)\right] = \dfrac{N_0}{2}\int_0^3 h^2(3-t)dt = A^2 N_0$

(4) AWGN信道上二电平对称PAM信号即为二进制对映信号

$$E_b = \int_0^3 s^2(t)dt = 2A^2 \qquad P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{4A^2}{N_0}}\right)$$

知识点:匹配滤波器,P166-168

$$E\left[y_n^2(T)\right] = \int_0^T\int_0^T E\left[n(\tau)n(t)\right]h(T-\tau)h(T-t)\mathrm{d}t\mathrm{d}\tau$$

$$= \frac{N_0}{2}\int_0^T\int_0^T \delta(t-\tau)h(T-\tau)h(T-t)\mathrm{d}t\mathrm{d}\tau$$

$$= \frac{N_0}{2}\int_0^T h^2(T-t)\mathrm{d}t$$

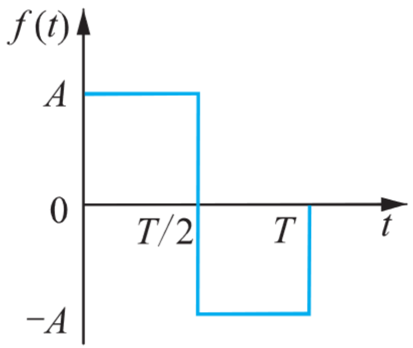
$$P_b = p(s_1)P(e\,|\,s_1) + p(s_2)P(e\,|\,s_2) = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$$

6−18　在功率谱密度为$N_0/2$的加性白高斯噪声下，设计一个与题6-18图所示波形$f(t)$匹配的滤波器。

(1) 如何确定最大输出信噪比的时刻？

(2) 求匹配滤波器的冲激响应和输出波形，并绘出相应图形；

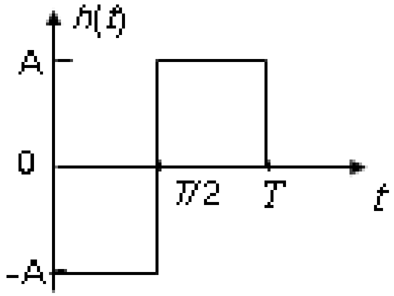
(3) 求最大输出信噪比的值。



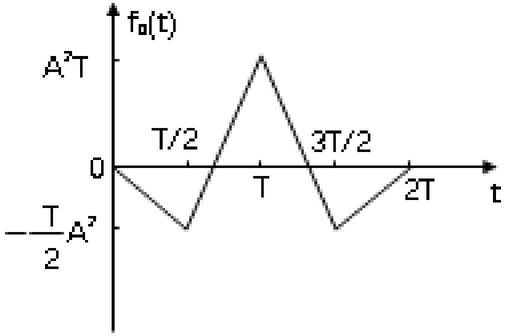
题6−18

解：（1）当 $t_0=T$时，输出信号的功率最大，相应的输出信噪比最大。

（2）匹配滤波器冲激响应$h(t)=\begin{cases} f(T-t), 0<t<T \\ 0, \text{其他} \end{cases} = \begin{cases} -A, & 0<t<\frac{T}{2} \\ A, & \frac{T}{2}<t<T \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$



$$f_0(t)=f(t)*h(t)=\int_{-\infty}^{+\infty} s(t-\tau)h(\tau)d\tau=\begin{cases} -A^2 t, 0<t<\frac{T}{2} \\ A^2T-3A^2|t-T|, |t-T|<\frac{T}{2} \\ A^2(t-2T), \frac{3T}{2}<t<2T \\ 0, \text{其他} \end{cases}$$



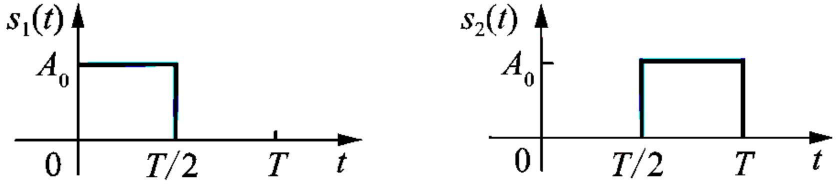
（3）$SNR_o \le \dfrac{\int_0^T s^2(\tau)d\tau}{N_0/2}=\dfrac{2E_s}{N_0}=\dfrac{2A^2T}{N_0}$

6-22 设到达接收机输入端的二元信号码元$s_1(t)$及$s_2(t)$的波形如题6-22图所示，输入高斯噪声功率谱密度为$N_0/2$(W/Hz)：

(1) 画出匹配滤波器形式的最佳接收机结构；

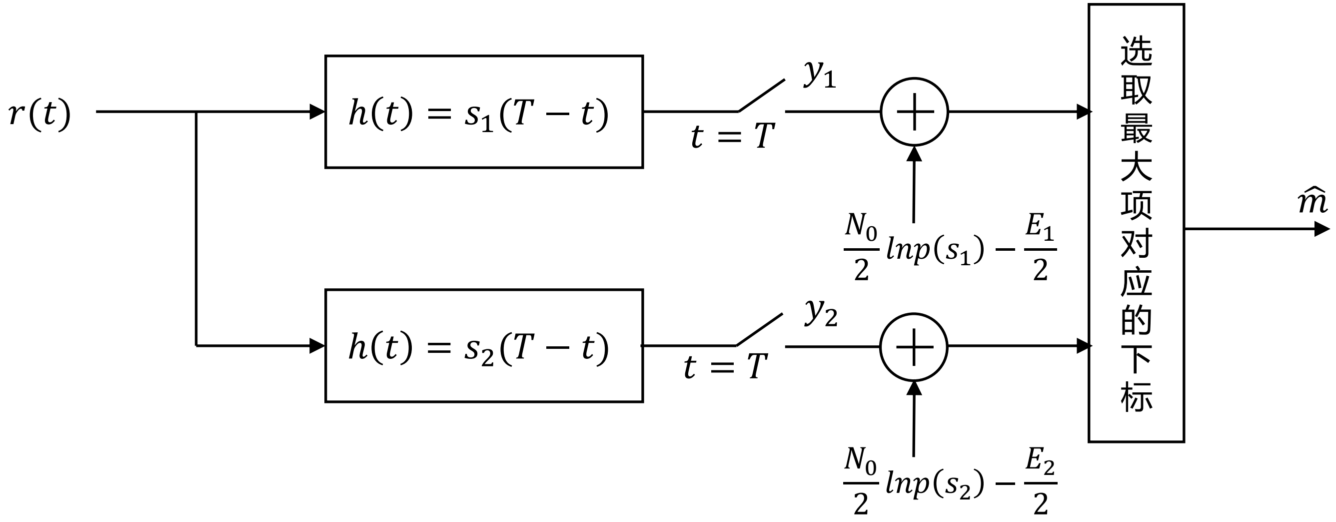
(2) 确定匹配滤波器的单位冲激响应及可能的输出波形；

(3) 求系统的误码率。



题6-22

解: (1)

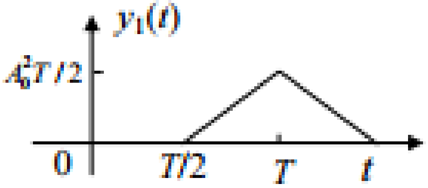


6−22 设到达接收机输入端的二元信号码元$s_1(t)$及$s_2(t)$的波形如题6-22图所示，输入高斯噪声功率谱密度为$N_0/2$(W/Hz)：

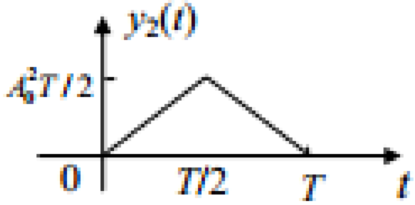
（2）确定匹配滤波器的单位冲激响应及可能的输出波形；

解: （2） $h_1(t)=\begin{cases} s_1(T-t), 0<t<T \\ 0, 其他 \end{cases} = \begin{cases} 0,\ \ 0<t<\frac{T}{2} \\ A_0,\ \ \frac{T}{2}<t<T \\ 0,\ \ 其他 \end{cases}$ $h_2(t)=\begin{cases} s_2(T-t), 0<t<T \\ 0, 其他 \end{cases} = \begin{cases} A_0,\ \ 0<t<\frac{T}{2} \\ 0,\ \ \frac{T}{2}<t<T \\ 0,\ \ 其他 \end{cases}$

$$y_1(t)=s_1(t)*h_1(t)=\int_{-\infty}^{+\infty} s_1(t-\tau)h_1(\tau)d\tau=\begin{cases} \frac{A_0{}^2T}{2}-A_0{}^2|t-T|,\ \ |t-T|<\frac{T}{2} \\ 0,\ \ 其他 \end{cases}$$



$$y_2(t)=s_1(t)*h_2(t)=\int_{-\infty}^{+\infty} s_1(t-\tau)h_2(\tau)d\tau=\begin{cases} \frac{A_0{}^2T}{2}-A_0{}^2|t-\frac{T}{2}|),\ \ |t-\frac{T}{2}|<\frac{T}{2} \\ 0,\ \ 其他 \end{cases}$$

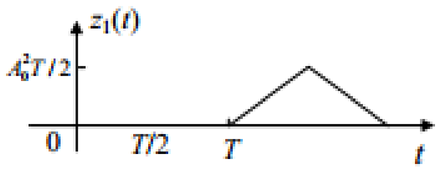


6-22 设到达接收机输入端的二元信号码元 $s_1(t)$ 及 $s_2(t)$ 的波形如题6-22图所示，输入高斯噪声功率谱密度为 $N_0/2(\mathrm{W/Hz})$：

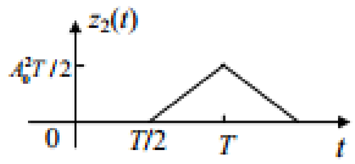
（2）确定匹配滤波器的单位冲激响应及可能的输出波形；

（3）求系统的误码率。

解：（2）$z_1(t)=s_2(t)*h_1(t)=\int_{-\infty}^{+\infty}s_2(t-\tau)h_1(\tau)d\tau=\begin{cases}\dfrac{A_0{}^2T}{2}-A_0{}^2\left|t-\dfrac{3T}{2}\right|, & \left|t-\dfrac{3T}{2}\right|<\dfrac{T}{2}\\ 0, & \text{其他}\end{cases}$



$z_2(t)=s_2(t)*h_2(t)=\int_{-\infty}^{+\infty}s_2(t-\tau)h_2(\tau)d\tau=\begin{cases}\dfrac{A_0{}^2T}{2}-A_0{}^2|t-T|, & |t-T|<\dfrac{T}{2}\\ 0, & \text{其他}\end{cases}$



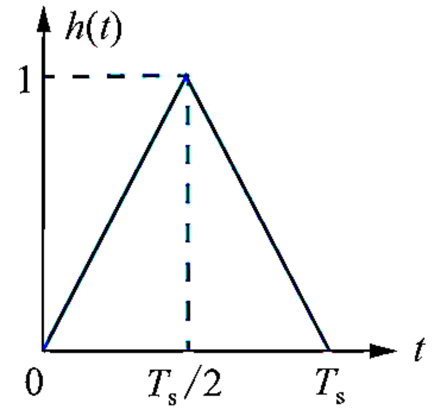
（3）构造二维正交基，可得 $\boldsymbol{s}_1=(\sqrt{E_b},0)$，$\boldsymbol{s}_2=(0,\sqrt{E_b})$ $d_{12}=\sqrt{2E_b}$，$P_b=Q\left(\sqrt{\dfrac{2E_b}{2N_0}}\right)=Q\left(\sqrt{\dfrac{A_0{}^2T}{2N_0}}\right)$

例6.3.7 P176

6-25 某基带传输系统接收滤波器输出信号的基本脉冲波形是如题6-25图所示的三角形。

(1) 求该基带传输系统的传输函数 $H(f)$；

(2) 假设信道传输函数 $C(f)=1$，收、发滤波器相同，即 $G_T(f)=G_R(f)$，试求这时 $G_T(f)$ 和 $G_R(f)$ 的表示式。



解： (1) $H(f)=\int_{-\infty}^{+\infty}h(t)e^{-j2\pi ft}dt$

$$=\int_0^{\frac{T_s}{2}}\frac{2}{T_s}te^{-j2\pi ft}dt+\int_{\frac{T_s}{2}}^{T_s}(2-\frac{2}{T_s}t)e^{-j2\pi ft}dt$$

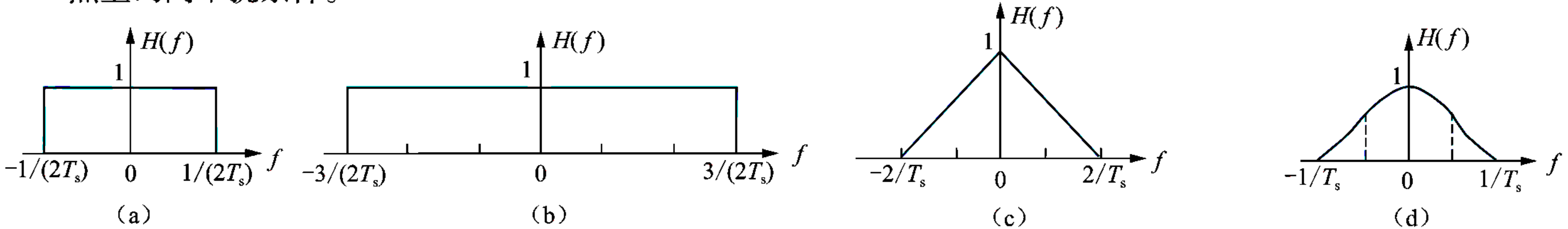
$$=\frac{T_s}{2}\sin c^2(f\frac{T_s}{2})e^{-j\pi fT_s}$$

(2) $H(f)=G_T(f)\cdot C(f)\cdot G_R(f)$

已知 $C(f)=1,\ G_T(f)=G_R(f)$

$$G_T(f)=G_R(f)=\sqrt{H(f)}=\sqrt{\frac{T_s}{2}}\mathrm{sinc}(f\frac{T_s}{2})e^{-j\pi f\frac{T_s}{2}}$$

6−27 设基带传输系统的发送滤波器、信道及接收滤波器组成 $H(f)$，若要求以 $2/T_s$ 波特的速率进行数据传输，试检验题6-27图所示各种 $H(f)$ 是否满足消除抽样点上码间干扰条件。



码间干扰，P184-185　奈奎斯特准则 P187-P189

$$Z(f) = T \qquad (6.4.32a)$$

$$\sum_{m=-\infty}^{\infty} X\left(f + \frac{m}{T}\right) = T \qquad (6.4.32b)$$

解：码元速率 $R_B = \frac{2}{T_s}, \mathrm{T} = \frac{T_s}{2}$

根据奈奎斯特准则，无码间干扰的传输系统总特性应满足 $\sum_{m=-\infty}^{\infty} H(f + \frac{m}{T_s/2}) = 常数$

仅(c)满足条件。

6-29 使用二元PAM在长为1000km的有线信道上传输数据。该系统中每隔 50km 使用一个再生中继器。信道的每一段在 $0 \leqslant f \leqslant 1200$Hz 频段上具有理想(恒定)的频率响应,且具有1dB/km的衰减。信道噪声为AWGN。

(1) 无ISI时能传输的最高比特速率是多少?

(2) 每个中继器为达到 $P_b = 10^{-7}$ 的比特错误概率所需的 E_b/N_0 是多少?

(3) 为达到要求的 E_b/N_0,每个中继器的发送功率是多少? 其中 $N_0 = 4.1\times 10^{-21}$ W/Hz。

无ISI传输, 二元PAM

$$P_b = p(s_1)P(e|s_1) + p(s_2)P(e|s_2) = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (6.3.74)$$

解: (1) $R_b = R_B = 2W = 2400$ bit/s

(2) $P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) = 10^{-7}$ $\quad E_b/N_0 = (5.2^2)/2 = 13.52$

(3) 接收处信号功率为 $P_R = E_b R_b = 4.1\times 10^{-21} \times 13.52 \times 2400 = 1.33\times 10^{-16}$ W

50km共衰减50dB, 50dB=10^5

因此发送功率为 $P_T = P_R \times 10^5 = 1.33\times 10^{-11}$ W

6-34 输入预编码器的二进制序列为10010110010,其输出用来调制一个双二进制发送滤波器。试写出该序列相应的预编码序列、发送幅度电平、接收信号电平和译码序列。

预编码的双二元传输系统, P193

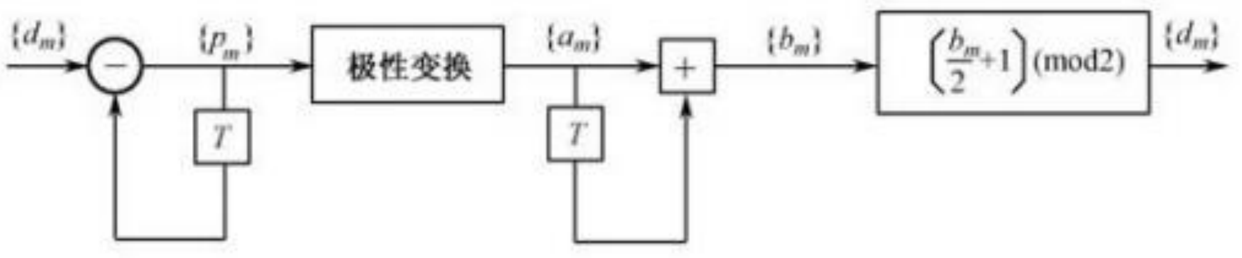
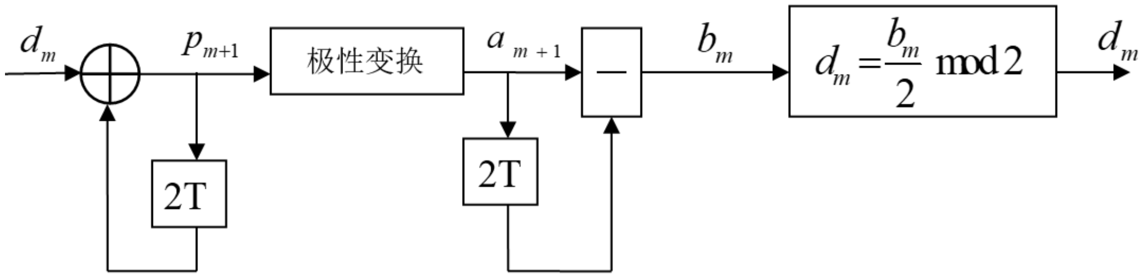


图 6.5.2 采用预编码的双二元传输系统的原理框图

解:

输入序列		1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	d_m
预编码序列	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	$p_m = d_m - p_{m-1} (\text{mod } 2)$
发送幅度电平	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	$a_m = 2p_m - 1$
接收信号电平		0	2	2	0	-2	0	0	-2	-2	0	2	$b_m = a_m + a_{m-1}$
译码序列		1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	$d_m = (b_m / 2 + 1)(\text{mod } 2)$

6-36 对于修正双二元部分响应信号方式，试画出包括预编码在内的系统组成方框图。



修正的双二元信号 P197

修正双二元信号波形为

$$x(t) = \frac{\mathrm{sinc}\left[(t+T)\right]}{T} - \frac{\mathrm{sinc}\left[(t-T)\right]}{T} \qquad x\left(\frac{n}{2W}\right) = x(nT) = \begin{cases} 1, & n=-1 \\ -1, & n=1 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

接收端匹配滤波器输出为 $y(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n x(t-nT) + \xi(t)$

在 $t = mT$ 时的采样值为 $y_m = y(mT) = a_{m+1} - a_{m-1} + \xi_m$ ，记 $b_m = a_{m+1} - a_{m-1}$

对 d_m 进行预编码，得到预编码序列 p_{m+1}：$p_{m+1} = d_m \oplus p_{m-1}$

对 p_m 进行极性变换 $p_m = 0 \to a_m = -1$，$p_m = 1 \to a_m = 1$，即 $a_m = 2p_m - 1$

因此，若不考虑噪声，则接收滤波器的采样输出为 $b_m = a_{m+1} - a_{m-1} = 2(p_{m+1} - p_{m-1})$

又因为 $d_m = p_{m+1} - p_{m-1}$ (模2减)，所以 $d_m = b_m / 2 \ (\mathrm{mod}\ 2)$

即当 $b_m = 0$ 时，$d_m = 0$；当 $b_m = \pm 2$ 时，$d_m = 1$。

6-37 某信道的码间干扰长度为3，信道脉冲响应采样值为$x(0)=1$，$x(-T)=0.3$，$x(T)=0.2$，求三抽头迫零均衡器的抽头系数以及均衡后的剩余码间干扰值。

解：设抽头矢量为 $\mathbf{c}^{\mathrm{T}}=(c_{-1},c_0,c_1)$

$$\mathbf{X}=\begin{pmatrix} x(0) & x(-T) & x(-2T) \\ x(T) & x(0) & x(-T) \\ x(2T) & x(T) & x(0) \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 1 & 0.3 & 0 \\ 0.2 & 1 & 0.3 \\ 0 & 0.2 & 1 \end{pmatrix} \qquad \mathbf{q}^{\mathrm{T}}=(0,1,0)$$

抽头矢量为 $\mathbf{c}=\mathbf{X}^{-1}\mathbf{q}=(-0.3409,1.1346,-0.2273)^{\mathrm{T}}$

均衡以后脉冲响应的采样值为 $q(mT)=\sum_{n=-1}^{1}c_n x(mT-nT)$

剩余码间干扰值 $q(2T)=-0.0455$，$q(T)=0$，$q(0)=1$，$q(-T)=0$，$q(-2T)=-0.1023$