

## 2003-2004 学年《通信原理 I》试卷

公式提示：（答题时可以不使用这些公式）

1. 宽度为  $\tau$ 、高度为 1 的矩形脉冲  $g(t)$  的傅氏变换是  $G(f) = \tau \operatorname{sinc}(f\tau)$
2.  $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$
3.  $\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2} dt = \operatorname{erfc}(x)$

### 一. 简答题（32 分）

1. 一数字传输系统传送 16 进制码元的速率为 1000 波特，该系统的信息传输速率是多少？
2. 离散消息  $X$  取值于  $\{x_i\}$ ，其中消息  $x_i$  出现的概率是  $p(x_i)$ 。写出消息  $x_i$  所携带的信息量  $I(x_i)$  与  $p(x_i)$  之间关系式。若  $X$  只有两种等可能的取值，写出其熵。
3. 给出任何一种解调调频信号的方法（画出框图）。
4. 某数字基带传输系统的总体等效传递函数和冲激响应分别是  $H(f)$  和  $h(t)$ ，传输速率是  $\frac{1}{T_s}$  波特。若要求系统在取样点无码间干扰， $H(f)$  应满足什么条件？写出无码间干扰时  $h(t)$  在抽样点的取值。
5. 部分响应系统的最高频带利用率是多少波特/Hz？
6. OOK, 2FSK, 2PSK 和 2DPSK 四种数字调制通过 AWGN 信道传输，若发送信号的幅度相同、信息速率相同、噪声的单边功率谱密度  $N_0$  相同，接收端都采用理想的相干最佳解调。请在大信噪比条件下，将这 4 种调制方式按误比特率从小到大排出次序。

7. 速率为  $R_b = \frac{1}{T_b}$  的数字信号  $s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k g(t - kT_b)$  中的码元  $a_k$  以独立等概方式取值于  $\pm 1$ ， $g(t)$  是幅度为  $2V$ 、持续时间为  $\frac{T_b}{2}$  的半占空矩形脉冲。写出  $s(t)$  的功率谱密度表达式  $P_s(f)$ ，画出功率谱密度图。

8. 拟用二进制方式在基带信道中传送 10Mbps 数据，给出以下带宽：
  - a. 最小 Nyquist 带宽
  - b. 采用 Manchester 码的主瓣带宽

- c. 采用 NRZ 码的主瓣带宽
- d. 采用半占空的 RZ 码的主瓣带宽
- e. 采用  $\alpha = 0.25$  升余弦滚降的带宽

二. (12 分) 已知电话信道可用的信号传输频带为 600-3000Hz, 取载频为 1800Hz,

- (1) 采用  $\alpha = 0.2$  的升余弦滚降基带信号 QPSK 调制, 可以传输多少 bit/s 的数据?
- (2) 采用  $\alpha = 0.5$  的升余弦滚降基带信号 16QAM 调制, 可以传输多少 bit/s 的数据?
- (3) 画出第(2)问中 16QAM 调制的发送端框图 (采用矩形星座)

三. (10 分) 用模拟基带信号  $m(t) = 4 \cos 2000\pi t$  对频率为  $10^4$ Hz 的载波进行调制得到的已调信号为  $s(t) = 4 \cos 2000\pi t \cos 20000\pi t - 4 \sin 2000\pi t \sin 20000\pi t$

- (1) 问该调制信号是什么调制方式, 求已调信号的功率;
- (2) 画出  $s(t)$  的频谱图;
- (3) 画出能正确解调该信号的接收框图。

四. (6 分) 幅度范围是 -1V 到 +1V 的语音信号的某个样值经过 A 率 13 折线编码后的结果是 01110001, 此码字经过信道传输后, 由于误码的原因收到的是 01100001, 请问译码结果中纯由误码造成的输出电压误差是多少 V? (提示: 不考虑量化自身引起的误差)

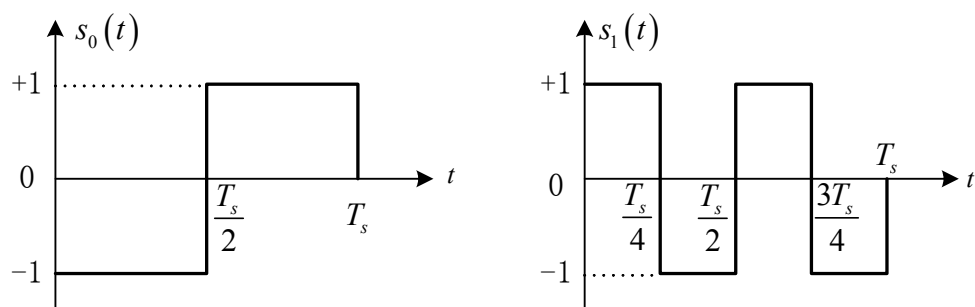
五. (12 分) 某数字通信系统采用 2DPSK 方式传输, 已知载波频率为 4800 Hz, 码元传输速率为 2400 波特, 发送的二进制数据序列为 1100101。

- (1) 若以前后相邻码元的载波相差为 0 度表示“0”, 载波相差为 180 度表示“1”, 试画出 2DPSK 信号的时间波形 (假定初始参考相位为  $-\sin 9600\pi t$ );
- (2) 画出采用差分相干方式解调该 2DPSK 信号的解调器的组成框图;

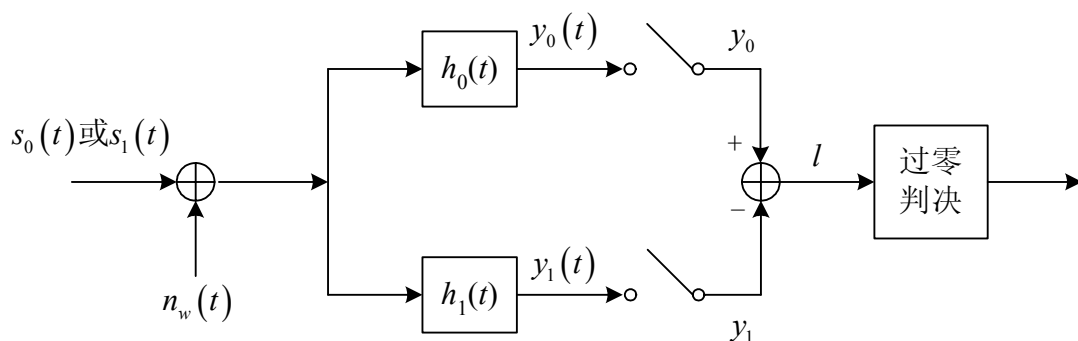
六. (12 分) 某模拟带通信号  $m(t)$  的频率范围限制在 100KHz-101KHz 范围内, 今对  $m(t)$  进行理想抽样。问

- (1) 最低无失真抽样频率是多少?
- (2) 若对抽样结果进行 16 级量化, 并编为自然二进制码, 所得数据速率是多少?
- (3) 将这个数据通过一个频带范围为 100KHz-105KHz 的带通信道传输, 请设计出相应的传输系统 (画出发送、接收框图、标出滚降系数、标出载波频率)

七. (16 分) 某二进制通信系统中, 符号“0”、“1”等概出现, 并分别由如下图所示的两个信号  $s_0(t)$ 、 $s_1(t)$  表示。



发送信号经过信道传输时受到了双边功率谱密度为  $\frac{N_0}{2}$  的 0 均值白高斯噪声  $n_w(t)$  的干扰, 接收框图如下图示, 图中的  $h_0(t)$ 、 $h_1(t)$  是分别对  $s_0(t)$ 、 $s_1(t)$  匹配的匹配滤波器, 取样时刻是  $t = T_s$ 。



- (1) 求两个信号  $s_0(t)$  和  $s_1(t)$  之间的相关系数;
- (2) 画出与信号  $s_0(t)$  匹配的滤波器的冲激响应  $h_0(t)$ ;
- (3) 完整推导出发送  $s_0(t)$  条件下, 抽样值  $y_0$ 、 $y_1$  的均值及方差;
- (4) 写出发送  $s_0(t)$  时, 判决量  $l$  的条件概率密度函数  $p(l|s_0)$ ; (提示: 图中两个采样值  $y_1$ 、 $y_0$  中所包含的噪声分量统计独立)
- (5) 求出平均的判决错误概率。

## 2003-2004 学年《通信原理 I》试卷参考答案

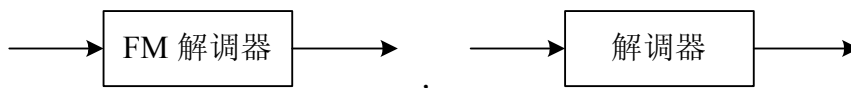
注: 本参考答案不表示唯一正确的答案或者唯一正确的做法。

### 一. 简答题

1. 4000bit/s

2.  $I(x_i) = -\log_2 p(x_i)_{\text{bit}}$ ,  $H(X) = E[-\log_2(X)] = 1_{\text{bit}}$

3. 只要能解调 FM 信号都可以, 但以下答案不能接受

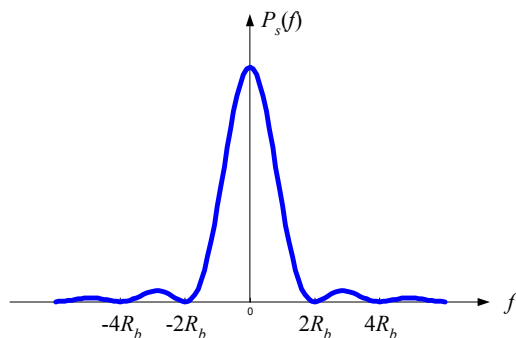


$$4. \sum_n H\left(f - \frac{n}{T_s}\right) = \text{常数}, \quad h(kT_s + t_0) = \begin{cases} \text{常数} & k=0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases}, \quad (t_0 \text{ 可以不写})$$

5. 2 波特/Hz

6. 2PSK、2DPSK、2FSK、OOK

$$7. P_s(f) = \frac{1}{R_b} \text{sinc}^2\left(\frac{f}{2R_b}\right)$$



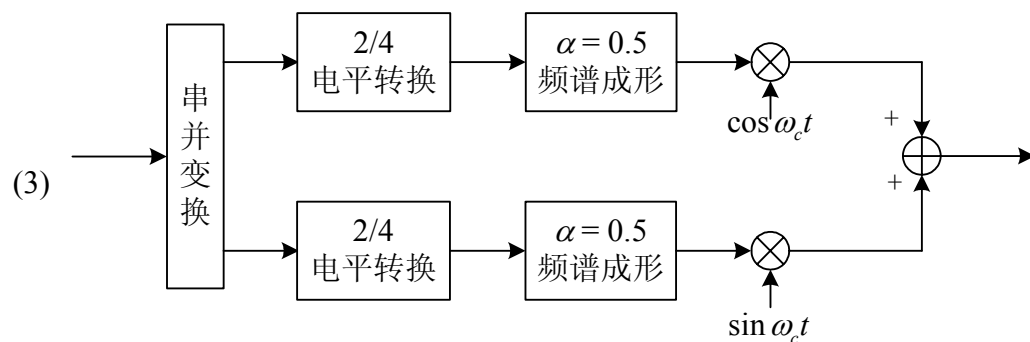
8. a. 5MHz; b. 20MHz; c. 10MHz; d. 20MHz; e. 6.25MHz

二.

$$R_s(1+\alpha) = 2400$$

$$(1) R_s = \frac{2400}{1.2} = 2000 \text{ 波特}, \quad R_b = 4000 \text{ bit/s};$$

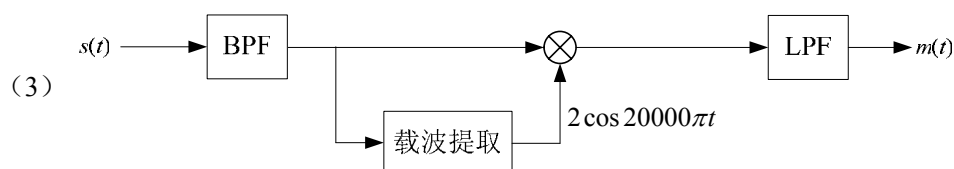
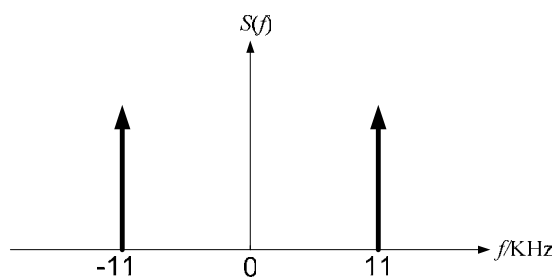
$$(2) R_s = \frac{2400}{1.5} = 1600 \text{ 波特}, \quad R_b = 6400 \text{ bit/s};$$



三.

(1) 上单边带调制,  $P = 8 \text{ W}$ ;

$$(2) s(t) = 4 \cos 2200\pi t, \quad S(f) = 2\delta(f - 11000) + 2\delta(f + 11000)$$



(载波提取可以不画)

四.

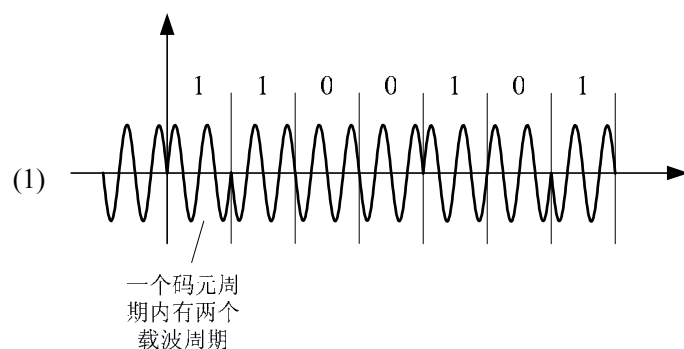
01110001 的译码结果是  $\frac{35}{64}$  V，所代表的样值范围是  $\left[\frac{17}{32}, \frac{18}{32}\right]$  V，不考虑量化引起的误差，

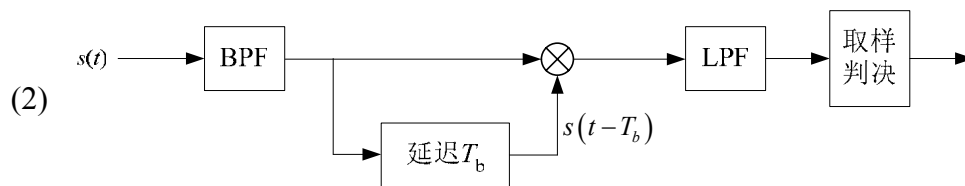
则发送样值是  $\frac{35}{64}$  V。01100001 的译码结果是： $\frac{1}{4} + \frac{1}{64} + \frac{1}{128} = \frac{37}{128}$  V。所求误差是

$$\frac{35}{64} - \frac{37}{128} = \frac{33}{128} \text{ V.}$$

如果译码译为量化间隔的边界，也算对。此时的结果是  $\frac{17}{32} - \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{64}\right) = \frac{17}{64}$ 。

五.



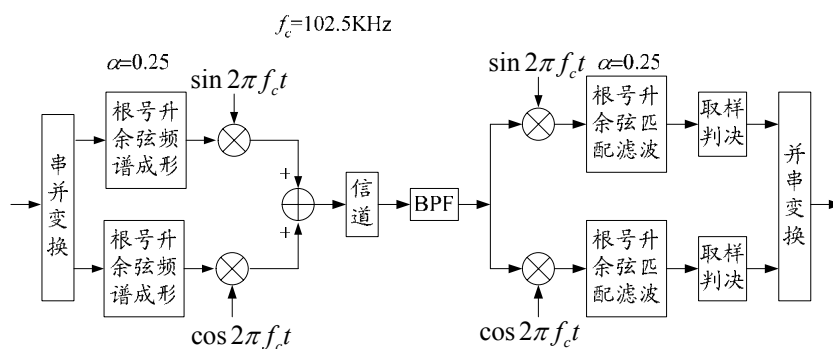


六.

(1) 所求抽样率是 2KHz;

(2) 所求数据速率是 8Kbps;

(3)  $M=4$ ,  $\alpha=0.25$ ,  $f_c = 102.5\text{KHz}$



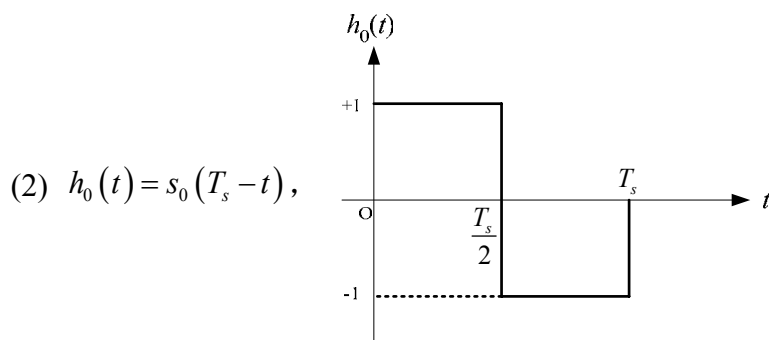
(BPF 及信道可以不画, 也可以有其它画法)

七.

(1)  $s_0(t)$ 、 $s_1(t)$  的等量是  $E_0 = \int_0^{T_s} s_0^2(t) dt = T_s$ ,  $E_1 = \int_0^{T_s} s_1^2(t) dt = T_s$

$$\rho = \frac{\int_0^{T_s} s_0(t) s_1(t) dt}{\sqrt{E_0 E_1}} = 0$$

所求相关系数为:



$$(3) \quad y_0(t) = \int_0^{T_s} r(\tau) h_0(t - \tau) d\tau = \int_0^{T_s} r(\tau) s_0(T_s - t + \tau) d\tau$$

$$y_1(t) = \int_0^{T_s} r(\tau) s_1(T_s - t + \tau) d\tau$$

发送  $s_0(t)$  条件下:

$$y_0 = \int_0^{T_s} s_0(t) r(t) dt = \int_0^{T_s} s_0^2(t) dt + \int_0^{T_s} \underbrace{n_w(t)}_{v_0} s_0(t) dt = T_s + v_0,$$

$$y_1 = \int_0^{T_s} s_1(t) r(t) dt = \int_0^{T_s} s_0(t) s_1(t) dt + \int_0^{T_s} \underbrace{n_w(t)}_{v_1} s_1(t) dt = v_1$$

$$E[v_0] = E\left[\int_0^{T_s} s_0(t) n_w(t) dt\right] = \int_0^{T_s} s_0(t) E[n_w(t)] dt = 0,$$

$$D[v_0] = E[v_0^2] = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{N_0}{2} |H_0(f)|^2 df = \frac{N_0}{2} \int_{-\infty}^{\infty} |S_0(f) e^{-j2\pi f T_s}|^2 df = \frac{N_0 E_0}{2} = \frac{T_s N_0}{2}$$

$$\text{同理: } E[v_1] = 0, \quad D[v_1] = \frac{N_0 T_s}{2}$$

$$\text{即: } E[y_0 | s_0] = T_s + E[v] = T_s, \quad D[y_0 | s_0] = D[v_0^2] = \frac{N_0 T_s}{2};$$

$$E[y_1 | s_0] = 0, \quad D[y_1 | s_0] = \frac{T_s N_0}{2}。$$

$$(4) l = y_1 - y_2, \text{ 发送 } s_0(t) \text{ 条件下, } l = T_s + v_0 - \underbrace{v_1}_{\xi} = T_s + \xi, \quad v_0 \text{ 和 } v_1 \text{ 是高斯随机变量,}$$

且统计独立, 所以  $\xi = v_0 - v_1$  是高斯随机变量, 其均值为 0, 方差为  $T_s N_0$ 。所以

$$p(l | s_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi T_s N_0}} e^{-\frac{(l-T_s)^2}{2N_0 T_s}}$$

(5) 发送  $s_0(t)$  而错判为  $s_1(t)$  的概率是

$$\begin{aligned} P(e | s_0) &= P(l < 0 | s_0) = P(T_s + \xi < 0) = P(\xi < -T_s) \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{T_s}{\sqrt{2N_0 T_s}}\right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{T_s}{2N_0}}\right) \end{aligned}$$

$$\text{同理 } P(e | s_1) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{T_s}{2N_0}}\right), \text{ 因此平均的判决错误概率是 } P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{T_s}{2N_0}}\right)。$$