北京邮电大学 2007——2008 学年第 I 学期

《通信原理》期中考试试题

包括选择填空在内的所有答题都应写在答题纸上，否则不计成绩！

一．选择填空（每空 1 分，共 26 分）

答案必须来自下列答案，必须是最合理的答案。按“空格编号 答案编号”的格式答题，例如：27 *f*; 28 甲

(*a*) 1k 波特	(*b*)1k 波特/秒	(*c*)0.33	(*d*)2
(*e*)50	(*f*)1kbps	(*g*)2kbps	(*h*)0.5
(*i*)4	(*j*)1	(*k*)3	(*l*)10
(*m*)加性噪声	(*n*)AMI	(*o*)HDB3	(*p*)40
(*q*)码间干扰	(*r*)200	(*s*)300	(*t*)60
(*u*)12	(*v*)相干解调	(*w*)包络检波	(*x*)3kbps
(*y*)大	(*z*)等于	(甲)小	(乙)90
(丙)高	(丁)低	(戊)100	(己)0.4
(庚) $H(f+f_c)-H(f-f_c)=1, \lvert f\rvert \le W$		(辛) $H(f+f_c)+H(f-f_c)=1, \lvert f\rvert \le W$	

1．某数字通信系统每毫秒等概发送一个四进制数字信号，那么其符号速率是 __1__，其信息速率是 __2__，符号间隔是 __3__ 毫秒，比特间隔是 __4__ 毫秒。

2．设功率谱密度为 $\frac{N_0}{2}$ W/Hz 的高斯白噪声通过中心频率为 f_c Hz，带宽为 2 f_m Hz 的窄带滤波器，得到平稳高斯噪声 $n(t)=n_c(t)\cos\omega_c t - n_s(t)\sin\omega_c t$，则 $n(t)$ 的平均功率为 __5__ $N_0 f_m$ W，$n_c(t)$ 的功率为 __6__ $N_0 f_m$ W。

3. AM 信号 $s(t)=10[1+m(t)]\cos 2\pi\times10^6 t$，$m(t)=\cos 1000\pi t$，其调制效率为 __7__。

4. 某调频波 $s(t)=10\cos\left[2\pi\times10^6 t+4\cos 200\pi t\right]$，已调信号的平均功率是 __8__；调制指数是 __9__；最大频偏是 __10__ kHz；调频信号带宽是 __11__ kHz。

5. 调制信号 $m(t)$ 的带宽为 W Hz。VSB 调制是将 DSB 信号 $m(t)\cos 2\pi f_c t$ 通过一个带通滤波器 $H(f)$ 形成的，其中 $H(f)$ 需满足 __12__。

6. 对于带宽为 W 的调制信号 $m(t)$，分别采用 DSB-SC 和 SSB 调制，如果保持相干解调输入的 DSB-SC 信号和 SSB 信号的平均功率 P_R 相同，且两者的输入噪声双边谱密度均为 $N_0/2$，DSB-SC 的解调信噪比 __13__ SSB 的解调信噪比；从系统的有效性指标角度来看，DSB-SC 系统 __14__ 于 SSB 系统。

7. AMI 码和 HDB3 码的信号波形均有___(15)___种电压值，当信源输出符号中出现长串连“0”码情况下，提取定时信息时，___(16)___码要更容易。

8. 数字通信系统中，导致误码的原因有___(17)___和___(18)___。

9. 对于幅度为 2V 的单极性不归零脉冲序列，传输过程中受到均值为 0 加性高斯噪声干扰，假设二进制信息序列“0”对应 0 伏，“1”对应 2 伏，“0”和“1”等概率出现，则最佳判决门限 V_{th1} 应设为___(19)___V。若发“1”的概率是 0.8，发“0”的概率为 0.2，则最佳判决门限 V_{th2} ___(20)___于 V_{th1}。

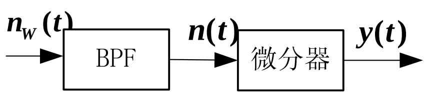
10. 25 路话音信号分别被上边带调幅频分复用为基带信号 $m(t)$，每路话音信号带宽为 4kHz，则 $m(t)$ 信号带宽为___(21)___kHz。

11. 已知信源的数据速率是 4kbps。若采用二进制升余弦滚降基带传输，滚降系数是 0.5，则最少需要的信道带宽是___(22)___kHz；若采用 16 进制升余弦滚降基带传输，滚降系数是 1，则最少需要的信道带宽是___(23)___kHz。

12. 在加性白高斯噪声信道条件下，对 2PAM 信号的接收，采用的接收方案之一是低通滤波器接收，此滤波器用于限制信道所引入的___(24)___，但是该滤波器的带宽要足够宽，让所传输的基带信号波形基本上不失真地通过，使得收端抽样时刻的___(25)___可以忽略。

13. 对于具有离散大载波的幅度调制信号，采用包络检波方案进行解调时，当解调输入信噪比很___(26)___时，包络检波输出信号和噪声不再是相加的，而是信号分量乘以噪声分量，这样就不能从中区分出信号来。

二．(10 分)已知系统如图所示，$n_W(t)$ 是均值为 0 的高斯白噪声，其双边功率谱密度为 $N_0/2$(W/Hz)，理想带通滤波器的中心频率为 f_c，带宽为 B，$f_c \gg B$。



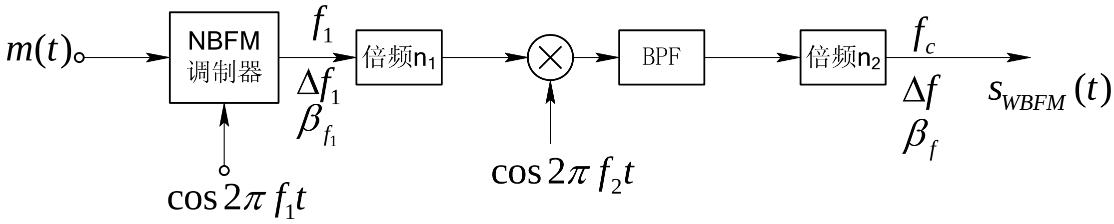
（1） 画出 $n(t)$ 的双边功率谱 $P_n(f)$；

（2） 写出 $y(t)$ 的双边功率谱 $P_y(f)$ 表达式；

（3） 计算微分器输出信号 $y(t)$ 的方差 σ_y^2（写出表达式即可）和均值 m_y；

（4） 请写出 $y(t)$ 的平均功率 P_y。

三．（10 分）已知调频广播的工作频率位于 88～108MHz 范围内。其调频发射机框图如下图所示。在这种发射机中首先以 $f_1 = 200kHz$ 为载频，用最高频率 $f_m = 15kHz$ 的调制信号产生频偏 $\Delta f_1 = 25Hz$ 的窄带调频信号（NBFM）。若 $n_1 = 64$，$n_2 = 48$，$f_2 = 10.9\ MHz$，

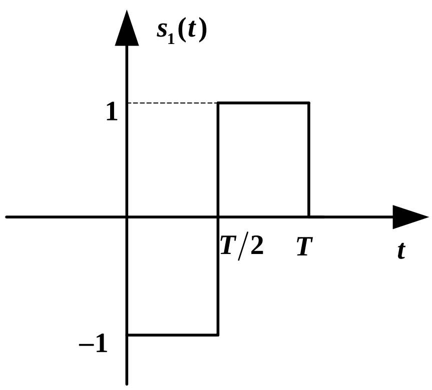


（1）计算该宽带调频信号 $s_{WBFM}(t)$ 的中心频率 f_c；

（2）计算该宽带调频信号 $s_{WBFM}(t)$ 的最大频率偏移 Δf；

（3）计算该宽带调频信号 $s_{WBFM}(t)$ 的调频指数 β_f。

四．(12 分)某系统在 $[0,T]$ 时间内以等概方式发送信号 $s_1(t)$（如图所示）和 $s_2(t)$ 之一，其中 $s_2(t)=-s_1(t)$。叠加了功率谱密度为 $N_0/2$ 的白高斯噪声后，接收信号成为 $r(t)=s_i(t)+n_w(t)$，$i=1,2$。将 $r(t)$ 通过一个冲激响应为 $h(t)=s_1(t)$ 滤波器，其输出信号 $y(t)$ 在 $t=T$ 时刻的抽样值是 y。



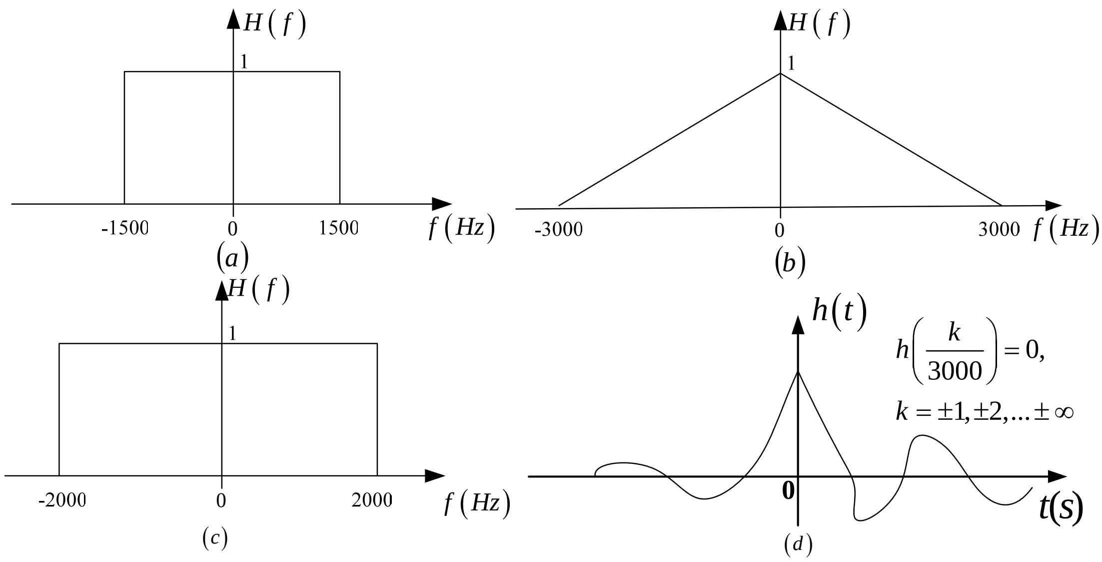
（1）求发送 $s_1(t)$ 条件下的均值 $E[y|s_1]$、方差 $D[y|s_1]$ 和概率密度函数 $f(y|s_1)$；

（2）求发送 $s_2(t)$ 条件下的均值 $E[y|s_2]$、方差 $D[y|s_2]$ 和概率密度函数 $p(y|s_2)$；

（3）求最佳判决门限为 V_{th}；

（4）求发送 $s_1(t)$ 而误判为 $s_2(t)$ 的概率 $P(s_2|s_1)$。

五．（11 分）某基带传输系统的发送滤波器、信道和接收滤波器的合成传输函数 $H(f)$ 或者合成冲激响应 $h(t)$ 如下图所示，如果希望以 4kBaud 的码元速率进行传输，请分析下列四个系统能否实现抽样时刻无码间干扰。如果不能，请分别确定出各系统抽样时刻无码间干扰传输时的最高符号速率，并计算(a)，(b)，(c)系统的频带利用率（请注明单位）。



六.（10 分）符号速率为 R_s 的 PAM 信号 $s(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n g\left(t-\frac{n}{R_s}\right)$ 的功率谱密度为

$$P_s(f)=R_s\left|G(f)\right|^2\left\{\sigma_a^2+R_s m_a^2\sum_{m=-\infty}^{\infty}\delta(f-mR_s)\right\}$$

其中 $G(f)$ 是 $g(t)$ 的傅氏变换，m_a 和 σ_a^2 分别是平稳独立序列 $\{a_n\}$ 的均值和方差。已知 $g(t)=\begin{cases}1, 0<t<\frac{1}{R_s} \\ 0, \quad \text{其他t}\end{cases}$，$a_n\in\{-1,+1\}$，出现概率分别为 $\frac{1}{4},\frac{3}{4}$，求 $P_s(f)$。

七.（11 分）已知某基带随机过程 $M(t)$ 的自相关函数为

$$R_M(\tau)=16Sa^2(10000\pi\tau)$$

设已调信号的经过信道传输后衰减 80dB，信道的加性白噪声功率谱密度 $N_0/2=10^{-12}W/Hz$，要求调制系统的解调输出信噪比至少为 50dB。

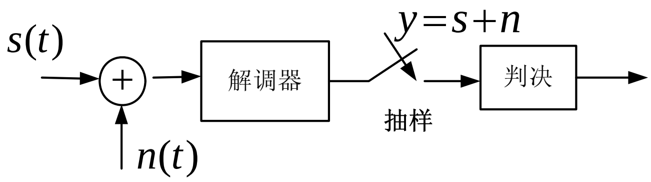
（1）请画出基带随机过程 $M(t)$ 的功率谱 $P_M(f)$，并说明其带宽（Hz）;

（2）如果对 $M(t)$ 采用 DSB－SC 幅度调制，请计算其发射功率及信道带宽（Hz）;

（3）如果对 $M(t)$ 采用 SSB 幅度调制，请计算其发射功率及信道带宽（Hz）。

八.（10 分）对于 2PAM 系统接收框图如下，假设判决器的输入抽样值 $y=s+n$，其中信号抽样值 s 取 0、A 伏（注：发“0”时抽样值为 0 伏，发“1”时抽样值为 A 伏），“0”和“1”的发送概率分别为 0.5，噪声抽样值 n 服从下述概率密度分布：

$$f(n)=\frac{1}{2\lambda}\exp(-\frac{|n|}{\lambda}),\lambda>0(\text{常数})$$



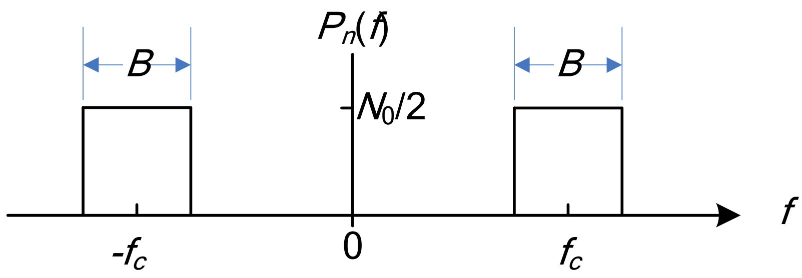
试求该系统的最佳判决门限V_{th}，并计算最小误码概率P_e。

《通信原理》期中 A 卷参考答案

一．选择填空（每空 1 分，共 26 分）

空格编号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
答案编号	*a*	*g*	*j*	*h*	*d*	*d*	*c*	*e*	*i*	己	*j*	辛	*z*
空格编号	⑭	⑮	⑯	⑰⑱		⑲	⑳	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕	㉖
答案编号	丁 甲	*k*	*o*	(*m*,*q*)或 (*q*,*m*)		*j*	甲 丁	戊	*k*	*j*	*m*	*q*	甲 丁

二．（1）



（2）$P_y(f)=\begin{cases}\dfrac{N_0}{2}(2\pi f)^2, & |f|\in\left[f_c-\dfrac{B}{2}, f_c+\dfrac{B}{2}\right]\\ 0, & 其他f\end{cases}$

（3）$m_y=0$。$\sigma_y^2=\int_{-\infty}^{\infty}P_y(f)df=2\int_{f_c-\frac{B}{2}}^{f_c+\frac{B}{2}}P_y(f)df$。

由于$f_c>>B$，所以在积分区间内$P_y(f)\approx P_y(f_c)=2\pi^2 f_c^2 N_0$，因此$\sigma_y^2=(2\pi f_c)^2 N_0 B$

（4）由于 $y(t)$ 的均值为 0，所以其功率等于方差：$P_y=\sigma_y^2=\left(2\pi f_c\right)^2 N_0 B$。

三.（1）f_c 的可能取值按 MHz 单位计算是 $f_c=n_2\left(n_1 f_1\pm f_2\right)=48\times\left(64\times 0.2\pm 10.9\right)$，结果分别是 91.2 和 1137.6，考虑 FM 广播的频段，只能是 91.2MHz。

（2）$\Delta f=n_1 n_2 \Delta f_1=76.8kHz$

（3）$\beta_f=\dfrac{\Delta f}{f_m}=5.12$

四. $y(t)=\int_0^T s_1(\tau)\left[s_1(t-\tau)+n_w(t-\tau)\right]d\tau$，采样值是

$$
\begin{aligned}
y=y(T)&=\int_0^T s_1(\tau)\left[s_1(T-\tau)+n_w(T-\tau)\right]d\tau=\int_0^T s_1(\tau)\left[-s_1(\tau)+n_w(T-\tau)\right]d\tau\\
&=-T+\int_0^T s_1(\tau)n_w(T-\tau)d\tau=-T+\int_0^T s_1(T-\tau)n_w(\tau)d\tau=-T-\int_0^T s_1(\tau)n_w(\tau)d\tau
\end{aligned}
$$

其中 $Z=-\int_0^T s_1(\tau)n_w(\tau)d\tau$ 是 0 均值高斯随机变量，其方差是 $\dfrac{N_0}{2}E_{s_1}=\dfrac{N_0T}{2}$。

因此

$$E\left[y\,|\,s_1\right]=-T$$

$$D\left[y\,|\,s_1\right]=\frac{N_0T}{2}=\sigma_y^2$$

$$f\left(y\,|\,s_1\right)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y^2}}\exp\left(-\frac{\left(y+T\right)^2}{2\sigma^2}\right)=\frac{1}{\sqrt{\pi N_0 T}}\exp\left(-\frac{\left(y+T\right)^2}{N_0T}\right)$$

同理，

$$E\left[y\,|\,s_2\right]=T$$

$$D\left[y\,|\,s_2\right]=\frac{N_0T}{2}=\sigma_y^2,$$

$$f\left(y\,|\,s_2\right)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y^2}}\exp\left(-\frac{\left(y-T\right)^2}{2\sigma^2}\right)=\frac{1}{\sqrt{\pi N_0 T}}\exp\left(-\frac{\left(y-T\right)^2}{N_0T}\right)$$

（3）由问题的对称性可知最佳门限是 $V_{th}=0$。

（4）$P\left(s_2\,|\,s_1\right)=P\left(Z>T\right)=\dfrac{1}{2}\mathrm{erfc}\left(\dfrac{T}{\sqrt{2\sigma_y^2}}\right)=\dfrac{1}{2}\mathrm{erfc}\left(\sqrt{\dfrac{T}{N_0}}\right)$

或者：$P\left(s_2|s_1\right)=\int_0^{+\infty} f\left(y|s_1\right)dy=\int_0^{+\infty}\dfrac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y^2}}\exp\left(-\dfrac{\left(y+T\right)^2}{2\sigma_y^2}\right)dy=\dfrac{1}{2}\mathrm{erfc}\left(\sqrt{\dfrac{T}{N_0}}\right)$

五.（a）不能，$R_s=3000Baud,\dfrac{R_s}{B}=2Baud/Hz$

（b）不能，$R_s = 3000Baud, \frac{R_s}{B} = 1Baud/Hz$

（c）能，$\frac{R_s}{B} = 2Baud/Hz$

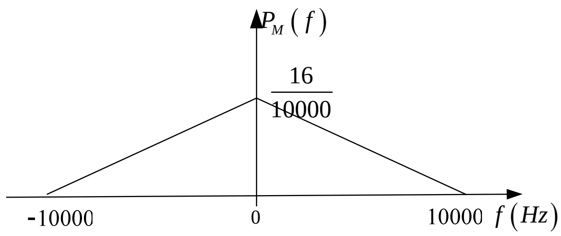
（d）不能，$R_s = 3000Baud$

六. $\left|G(f)\right| = \left|\frac{1}{R_s}\mathrm{sinc}\left(\frac{f}{R_s}\right)\right|$，$m_a = -\frac{1}{4} + \frac{3}{4} = \frac{1}{2}$，$\sigma_a^2 = \frac{1}{4} + \frac{3}{4} - \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$

$$P_s(f) = R_s\left|\frac{1}{R_s}\mathrm{sinc}\left(\frac{f}{R_s}\right)\right|^2\left\{\frac{3}{4} + R_s\frac{1}{4}\sum_{m=-\infty}^{\infty}\delta(f - mR_s)\right\} = \frac{3}{4R_s}\mathrm{sinc}^2\left(\frac{f}{R_s}\right) + \frac{R_s^2}{4}\delta(f)$$

七.（1）对 $R_M(\tau)$ 做傅氏变换得

$$P_M(f) = \begin{cases} \frac{16}{10000}\left(1 - \frac{|f|}{10000}\right) & |f| \le 10000 \\ 0 & else \end{cases}$$



带宽为 W=10kHz

（2）因为是 DSB 调制，故所需的信道带宽是 2W=20kHz。
接收到的信号功率是 $P_R = 10^{-8}P_T$。

DSB-SC 输出的信噪比是输入端的 2 倍。因此要求的输入信噪比是 $\frac{10^5}{2} = 50000$，即 $\frac{10^{-8}P_T}{2N_0W} = 50000$。因此

$$P_T = 10^8 \times 50000 \times 2 \times \left(2 \times 10^{-12}\right) \times 10^4 = 2 \times 10^5 \text{（W）}$$

（3）SSB 的性能和 DSB-SC 一样，故此需要的发送功率仍然是 2×10^5（W），但信道带宽只需要 10kHz。

八. 解：发送“1”时 y 的条件概率密度函数是

$$f_{y|1}(y) = \frac{1}{2\lambda}\exp\left(-\frac{|y - A|}{\lambda}\right)$$

发送“0”时 y 的条件概略密度函数是

$$f_{y|0}(y)=\frac{1}{2\lambda}\exp\left(-\frac{|y|}{\lambda}\right)$$

由于先验等概，所以最佳门限V_{th}是$f_{y|1}(y)$和$f_{y|0}(y)$曲线的交点，即

$$\frac{1}{2\lambda}\exp\left(-\frac{|V_{th}-A|}{\lambda}\right)=\frac{1}{2\lambda}\exp\left(-\frac{|V_{th}|}{\lambda}\right)$$

解得$V_{th}=\frac{A}{2}$。

平均误码率是：

$$P_e=\frac{1}{2}P(0|1)+\frac{1}{2}P(1|0)$$

$$P(0|1)=P(n<V_{th}-A)=\int_{-\infty}^{-\frac{A}{2}}\frac{1}{2\lambda}\exp(-\frac{|n|}{\lambda})dn=\frac{1}{2}\int_{-\infty}^{-\frac{A}{2\lambda}}e^x dx=\frac{1}{2}e^{-\frac{A}{2\lambda}}$$

$$P(1|0)=P(n>V_{th})=P\left(n>\frac{A}{2}\right)=P\left(n<\frac{A}{2}\right)=P(0|1)=P(n<V_{th}-A)=\frac{1}{2}e^{-\frac{A}{2\lambda}}$$

所以

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