一．选择填空（每空 1 分）

空格号	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
答案	C	A	A	D	B	C	B	D	B	B
空格号	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
答案	C	A	C	B	D	C	B	A	A	D
空格号	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)
答案	C	A	D	C	C	D	B	A	D	C
空格号	(31)	(32)	(33)	(34)	(35)	(36)	(37)	(38)	(39)	(40)
答案	D	A	A	B	D	A	D	B	C	B

1. 与双极性 NRZ 码相比，AMI 码的优点是(1)。与 AMI 码相比，HDB3 码的优点是(2)。

(1) (2)	(A) 有利于时钟提取	(B) 主瓣带宽小
	(C) 适合隔直流传输	(D) 符号间干扰小

2. 设 $m(t)$是均值为零、幅度为± 2的模拟基带信号，下列已调信号中，(3)是 FM 信号，(4)是 DSB-SC 信号，(5)是 AM 信号。

(3)(4)(5)	(A) $A\cos\left[2\pi f_c t+2\pi\int_{-\infty}^{t} m(u)\mathrm{d}u\right]$	(B) $\left[4+m(t)\right]\cos\left(2\pi f_c t\right)$
	(C) $2\cos\left[2\pi f_c t+m(t)\right]$	(D) $2m(t)\sin\left(2\pi f_c t\right)$

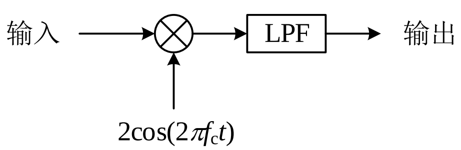
3. 角度调制信号$s(t)=6\cdot\cos[2\pi f_c t+4\sin(2000\pi t)+2\sin(4000\pi t)]$的功率是(6)W，最大频偏是(7)kHz，带宽近似是(8)kHz。

(6)(7)(8)	(A) 4	(B) 8	(C) 18	(D) 20

4. DSB-SC 只能相干解调，它要求接收端的载波与发送端的载波(9)。

(9)	(A) 正交	(B) 同步	(C) 异步	(D) 反相

5. 下图中的输入是功率为 2W 的平稳窄带高斯过程$n(t)=n_c(t)\cos(2\pi f_c t)-n_s(t)\sin(2\pi f_c t)$，其中$f_c$充分大，理想低通滤波器 LPF 的幅度增益是 1、截止频率大于$n(t)$的带宽但远小于f_c。图中 LPF 的输出是(10)，其功率是(11)W。



姓名：　　　　　　班级：　　　　　　　学号

<table>
<tr><td rowspan="2">(10)</td><td colspan="2">(A) 循环平稳的高斯过程</td><td colspan="2">(B) 平稳高斯过程</td></tr>
<tr><td colspan="2">(C) 循环平稳的非高斯过程</td><td colspan="2">(D) 平稳非高斯过程</td></tr>
<tr><td>(11)</td><td>(A) 1/2</td><td>(B) 1</td><td>(C) 2</td><td>(D) 4</td></tr>
</table>

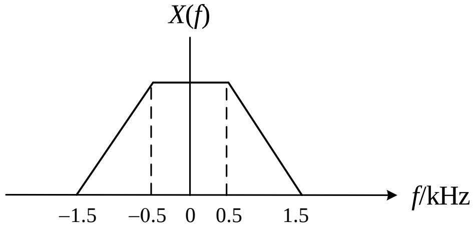
6. 对于模拟基带信号 $m(t)$来说，下列框图中(12)的输出是 FM 信号，(13)的输出是 PM 信号。

<table>
<tr><td rowspan="4">(12)(13)</td><td>(A) $m(t) \rightarrow$ 积分 $\rightarrow$ 调相 $\rightarrow s(t)$</td></tr>
<tr><td>(B) $m(t) \rightarrow$ 微分 $\rightarrow$ 调相 $\rightarrow s(t)$</td></tr>
<tr><td>(C) $m(t) \rightarrow$ 微分 $\rightarrow$ 调频 $\rightarrow s(t)$</td></tr>
<tr><td>(D) $m(t) \rightarrow$ 积分 $\rightarrow$ 调频 $\rightarrow s(t)$</td></tr>
</table>

7. 若 4 进制 PAM 系统的发送信号功率是$P=2\text{W}$、带宽是$B=1000\text{Hz}$、符号速率是$R_s=1000\text{Baud}$，则其比特速率R_b是(14)kbit/s、比特间隔T_b是(15)ms、比特能量E_b是(16)mJ、频带利用率是(17)bit/s/Hz。若该系统的误符号率为 0.002，则其误比特率P_b满足(18)

<table>
<tr><td>(14)(15)(16)(17)</td><td>(A) 4</td><td>(B) 2</td><td>(C) 1</td><td>(D) 0.5</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(18)</td><td colspan="2">(A) $0.001\le P_b \le 0.002$</td><td colspan="2">(B) $P_b=0.002$</td></tr>
<tr><td colspan="2">(C) $0.002\le P_b \le 0.004$</td><td colspan="2">(D) $P_b=0.001$</td></tr>
</table>

8. 下图是某 8 进制基带传输系统的总体传递函数。该系统无符号间干扰传输的最高符号速率是(19)kBaud、比特速率是(20)kbit/s、频带利用率是(21)bit/s/Hz。



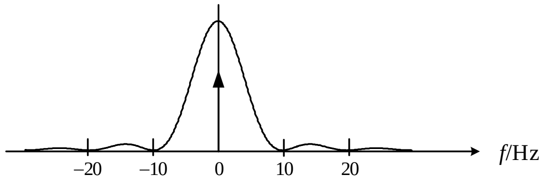
(19)(20)(21)	(A) 2	(B) 3	(C) 4	(D) 6

9. 二进制数据 000011110000 经过 AMI 编码后是(22)，经过 HDB3 编码后是(23)，经过差分编码后是(24)。

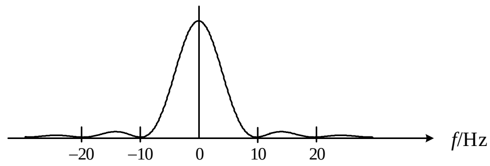
<table>
<tr><td rowspan="2">(22)
(23)</td><td>(A) 0000+−+−0000</td><td>(B) 0000+−−+0000</td></tr>
<tr><td>(C) 000−+−+−000−</td><td>(D) 000−+−+−+00+</td></tr>
</table>

(24)	(A) 0000011110000	(B) 0000001010000
	(C) 0000010100000	(D) 0000010101010

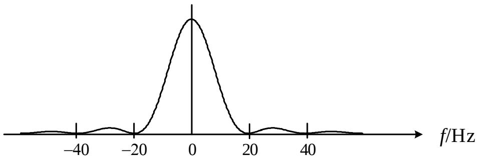
10. 假设数据独立等概，数据速率为 10b/s。下列功率谱密度图当中，图(1)是(25)的功率谱密度图，图(2)是(26)的功率谱密度图，图(3)是(27)的功率谱密度图，图(4)是(28)的功率谱密度图。



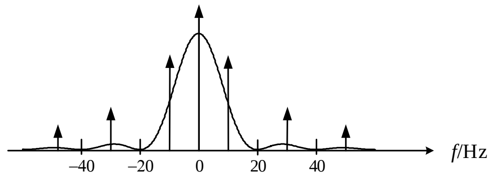
图(1)



图(2)



图(3)



图(4)

(25)(26)(27)(28)	(A)单极性 RZ	(B)双极性 RZ	(C)单极性 NRZ	(D)双极性 NRZ

11. 如果数字基带传输系统的设计遵循奈奎斯特准则，则可以实现(29)。

(29)	(A) 主瓣带宽最小	(B) 判决输出无差错
	(C) 频带利用率最大	(D) 采样点无符号间干扰

12. 以下调制方式中，频带利用率最高的是(30)，抗噪声能力最强的是(31)。

(30)(31)	(A) AM	(B) DSB-SC	(C) SSB	(D) FM

13. 将 12 路带宽为 4kHz 的话音信号按 SSB 方式进行频分复用后成为一路信号 $m(t)$。$m(t)$的带宽至少是(32)kHz。

(32)	(A) 48	(B) 96	(C) 192	(D) 384

14. 用二进制方式在基带信道中传送速率为 10Mbit/s 的数据，按奈奎斯特极限，最小所需的信道带宽是(33)MHz。若采用升余弦滚降、滚降因子是 0.2，则所需的信道带宽是(34)MHz。

(33)(34)	(A) 5	(B) 6	(C) 10	(D) 20

15. 理想限带信道下的最佳基带传输要求在抽样点上(35)。

(35)	(A) 噪声功率等于 ISI 的功率	(B) 无 ISI、无噪声
	(C) 噪声功率小于 ISI 的功率	(D) 无 ISI 且信噪比最大

姓名：　　　　　　班级：　　　　　　　学号

16. 某基带传输系统的发送信号$s(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}a_n g_{\mathrm{T}}(t-nT_{\mathrm{s}})$经过信道传输时叠加了白高斯噪声成为$r(t)=s(t)+n_{\mathrm{w}}(t)$。$r(t)$通过冲激响应为的$g_{\mathrm{R}}(t)$的接收滤波器后输出$y(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}a_n x(t-nT_{\mathrm{s}})+n(t)$，其中$n(t)$是噪声、$x(t)=$(36)。若该系统满足奈奎斯特准则，则$x(t)$的傅氏变换$X(f)$满足(37)。此时，$x(t)$的带宽最小是(38)，相应的频带利用率为(39)Baud/Hz。

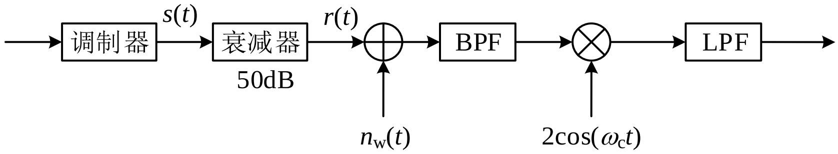
(36)	(A) $\int_{-\infty}^{\infty} g_{\mathrm{T}}(t-u)g_{\mathrm{R}}(u)\mathrm{d}u$	(B) $\int_{-\infty}^{\infty} g_{\mathrm{T}}(t-u)g_{\mathrm{R}}(u-t)\mathrm{d}u$
	(C) $g_{\mathrm{T}}(t)g_{\mathrm{R}}(t)$	(D) $\int_{-\infty}^{\infty} g_{\mathrm{T}}(u)g_{\mathrm{R}}(t+u)\mathrm{d}u$
(37)	(A) $\sum_{n=-\infty}^{\infty} X^n(f)=T_{\mathrm{s}}$	(B) $\sum_{n=-\infty}^{\infty} X\left(f-\frac{n}{T_{\mathrm{s}}}\right)=X(f)$
	(C) $\sum_{n=-\infty}^{\infty} X\left(f-\frac{n}{T_{\mathrm{s}}}\right)\mathrm{e}^{-\mathrm{j}2\pi nT_{\mathrm{s}}}=T_{\mathrm{s}}$	(D) $\sum_{n=-\infty}^{\infty} X\left(f-\frac{n}{T_{\mathrm{s}}}\right)=T_{\mathrm{s}}$

(38)	(A) $\frac{1}{T_s}$	(B) $\frac{1}{2T_s}$	(C) $\frac{2}{T_s}$	(D) $\frac{3}{2T_s}$
(39)	(A) 0.5	(B) 1	(C) 2	(D) 3

17. 下列中，(40)不是人名。

(40)	(A) 高斯	(B) 白高斯	(C) 奈奎斯特	(D) 波特

二．（12 分）下图中$m(t)$的带宽是W =10kHz、功率是P_m =0.2W、最大值是$|m(t)|_{\max} = 1$V。调制器的载波频率f_c充分大。已调信号$s(t)$的功率是 40W。加性白高斯噪声$n_w(t)$的单边功率谱密度是$N_0 = 10^{-10}$W/Hz。理想带通滤波器 BPF 的通带范围$[f_L, f_H]$恰好能使$s(t)$通过，理想低通滤波器 LPF 的截止频率是W。



(1) 若$s(t) = A_c \cdot m(t)\cos 2\pi f_c t$，试求$A_c$的值，并求输出信噪比；

(2) 若$s(t) = A_c \cdot [m(t)\cos 2\pi f_c t - \hat{m}(t)\sin 2\pi f_c t]$，其中$\hat{m}(t)$是$m(t)$的希尔伯特变换，试求$A_c$的值，并求输出信噪比；

(3) 若$s(t) = A_c \cdot [1 + m(t)]\cos 2\pi f_c t$，试求此 AM 信号的调幅系数、调制效率，并求$A_c$的值、输出信噪比。

(4) 若将 BPF 的f_H提高，同时保持 LPF 的截止频率以及其他条件不变，则以上三个小题中，BPF、LPF 输出的信噪比将如何变化（变大、变小、还是不变）？

答案

(1)$P_s = \frac{A_c^2}{2} P_m$，$40 = \frac{A_c^2}{2} \times 0.2$，$A_c = 20$。

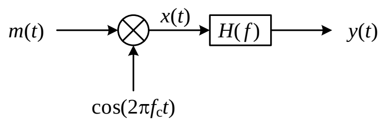
BPF 输出信号是$KA_c \cdot m(t)\cos 2\pi f_c t + n(t)$，其中$K = 10^{-2.5}$，噪声功率是$P_n = 10^{-10} \times 2 \cdot 10^4 = 2 \times 10^{-6}$W。解调输出是$KA_c \cdot m(t) + n_c(t)$，信噪比是$\frac{(KA_c)^2 P_m}{P_{n_c}} = \frac{\left(20 \cdot 10^{-2.5}\right)^2 \cdot 0.2}{2 \times 10^{-6}} = 400$。

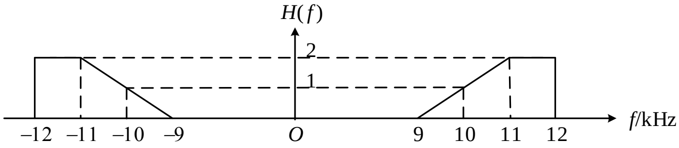
(2)$P_s = \frac{A_c^2}{2} P_m + \frac{A_c^2}{2} P_{\hat{m}} = A_c^2 P_m$，$40 = A_c^2 \times 0.2$，$A_c = 10\sqrt{2}$。SSB 的输出信噪比与 DSB 相同，是 400

(3)调幅系数是 1，调制效率是$\eta = \frac{0.2}{1+0.2} = \frac{1}{6}$。$P_s = \frac{A_c^2}{2}[1 + 0.2] = 40$，$A_c = 10\sqrt{\frac{2}{3}}$。输出信噪比是$\frac{1}{6} \times 400 = \frac{200}{3}$

(4) BPF 的输出信噪比减小，但 LPF 的输出信噪比不变

三．（12 分）下图中$x(t)=m(t)\cos 2\pi f_c t$通过一个传递函数为$H(f)$的带通滤波器后成为$y(t)=y_c(t)\cos 2\pi f_c t-y_s(t)\sin 2\pi f_c t$。已知$m(t)$的带宽是 2kHz，$f_c$ =10kHz。令$x_L(t)$、$y_L(t)$分别表示$x(t)$、$y(t)$的复包络，令$M(f)$、$X_L(f)$、$Y_L(f)$分别表示$m(t)$、$x_L(t)$、$y_L(t)$的傅氏变换。试：



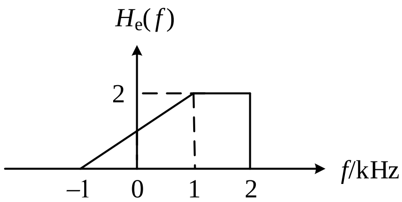


(1)写出$x(t)$的复包络$x_L(t)$的表达式；
(2)画出$H(f)$的等效基带传递函数$H_e(f)$；
(3)写出$Y_L(f)$与$X_L(f)$、$M(f)$的关系式；
(4)写出$y(t)$的同相分量$y_c(t)$与$y_L(t)$的关系式，写出$y_c(t)$的傅氏变换表达式；
(5)画出从$y(t)$中解调出$m(t)$的解调框图。

答案：

(1) $x_L(t)=m(t)$

(2)

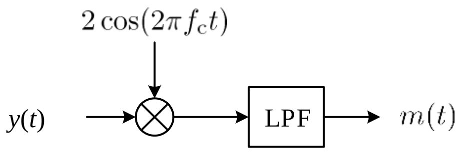


(3) $Y_L(f)=H_e(f)X_L(f)=H_e(f)M(f)$

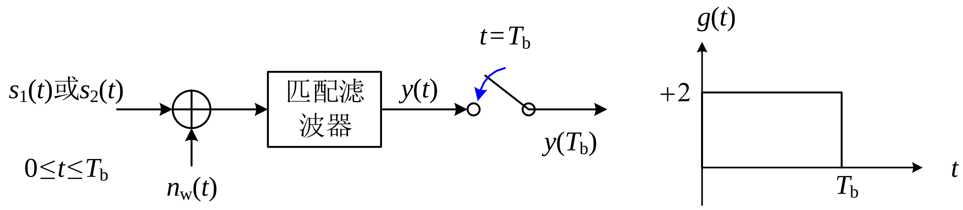
(4) $y_c(t)=\mathrm{Re}\{y_L(t)\}=\frac{1}{2}\{y_L(t)+y_L^*(t)\}$，$y_c(t)$的傅氏变换为

$$\begin{aligned}Y_c(f)&=\frac{1}{2}\{Y_L(f)+Y_L^*(-f)\}=\frac{1}{2}\{H_e(f)M(f)+H_e^*(-f)M^*(-f)\}\\&=\frac{1}{2}\{H_e(f)M(f)+H_e(-f)M(f)\}=\frac{1}{2}M(f)\{H_e(f)+H_e(-f)\}\\&=M(f)\end{aligned}$$

(5) $y(t)=y_c(t)\cos 2\pi f_c t-y_s(t)\sin 2\pi f_c t=m(t)\cos 2\pi f_c t-y_s(t)\sin 2\pi f_c t$，因此解调框图为（载波前的系数是 1、是 2 或其他都行）



四.（12 分）下图中，系统在$[0,T_\mathrm{b}]$内发送$s_1(t)=g(t)$或$s_2(t)=-g(t)$。发送信号叠加了双边功率谱密度为$N_0/2$的白高斯噪声$n_\mathrm{w}(t)$，然后用一个对$g(t)$匹配的滤波器$h(t)$进行接收，已知$h(t)$的能量是$E_h=1$。滤波器输出是$y(t)=\pm a(t)+n(t)$，其中$a(t)$是$g(t)$通过滤波器的输出，$n(t)$是$n_\mathrm{w}(t)$通过滤波器的输出。试：

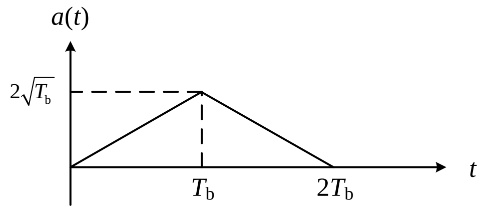


(1) 求匹配滤波器的冲激响应$h(t)$；
(2) 画出$a(t)$的波形；
(3) 求$n(t)$的功率、功率谱密度；
(4) 求发送$s_2(t)$条件下$y(T_\mathrm{b})$的均值、方差、概率密度函数。

答案：

(1) $h(t)=K\cdot g(T_\mathrm{b}-t)=K\cdot g(t)$，由能量$E_h=1$求出$K=\frac{1}{2\sqrt{T_\mathrm{b}}}$

(2) $a(t)$是$h(t)$与$g(t)$卷积的结果，两个矩形卷积是三角形，底宽$2T_\mathrm{b}$、高度是矩形对齐后的积分值，最高点的位置是最佳采样时刻T_b。



(3) $n(t)$的功率是$\frac{N_0}{2}E_h=\frac{N_0}{2}$、功率谱密度是$P_n(f)=\frac{N_0}{2}|H(f)|^2=\frac{N_0}{2}K^2|G(f)|^2=\frac{N_0}{2}\frac{1}{4T_\mathrm{b}}\cdot\left|2T_\mathrm{b}\cdot\mathrm{sinc}(fT_\mathrm{b})\cdot\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\pi fT_\mathrm{b}}\right|^2=\frac{N_0T_\mathrm{b}}{2}\cdot\mathrm{sinc}^2(fT_\mathrm{b})$。

(4) 发送$s_2(t)$条件$y(T_\mathrm{b})=-2\sqrt{T_\mathrm{b}}+n$，均值是$-2\sqrt{T_\mathrm{b}}$，方差是$n(t)$的功率$\frac{N_0}{2}$。

概率密度函数是$\frac{1}{\sqrt{\pi N_0}}\mathrm{e}^{-\frac{\left(y+2\sqrt{T_\mathrm{b}}\right)^2}{N_0}}$。

姓名：　　　　　　班级：　　　　　　　　　学号

五.（12 分）一基带传输系统在采样时刻的采样值为$y=a+n+i_{\mathrm{m}}$，其中a等概取值于±1。n是均值为零、方差为$\sigma^2=\frac{1}{2}$的高斯噪声。i_{m}是采样点的符号间干扰值，i_{m}等概取值于$\{0,-1,+1\}$且与a独立。接收端的判决门限是$V_{\mathrm{th}}=0$，若$y\ge V_{\mathrm{th}}$则判$a=+1$，否则判$a=-1$。试求：

(1) $i_{\mathrm{m}}=0$条件下，发送$a=-1$而判决为+1 的概率；

(2) $i_{\mathrm{m}}=a$条件下，发送$a=-1$而判决为+1 的概率；

(3) $i_{\mathrm{m}}=-a$条件下，发送$a=-1$而判决为+1 的概率；

(4) 该系统的平均误比特率。

答案：

(1) $i_{\mathrm{m}}=0$时，$y=a+n$。发送$a=-1$条件下，$y=-1+n$。判决出错的概率是$-1+n>0$的概率，也即$n>1$的概率，为$\frac{1}{2}\mathrm{erfc}(1)$

(2) $i_{\mathrm{m}}=a$时，$y=2a+n$。发送$a=-1$条件下，$y=-2+n$此时判决出错的概率是$\frac{1}{2}\mathrm{erfc}(2)$

(3) $i_{\mathrm{m}}=-a$时，$y=n$。此时无论发送的是什么，判决出错的概率是$\frac{1}{2}$

(4) 平均误比特率是以上三种情况的平均，以上三种情况的出现机会相同，故平均误比特率是$\frac{1}{6}\left[1+\mathrm{erfc}(1)+\mathrm{erfc}(2)\right]$

六.（12 分）设有双极性 NRZ 信号$s_1(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}a_n g(t-nT_s)$、$s_2(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}b_n g(t-nT_s)$，其中$g(t)$是持续时间为$T_s$、能量为 1 的矩形脉冲，序列$\{a_n\}$的元素以独立等概方式取值于$\{\pm1\}$,序列$\{b_n\}$的元素以独立等概方式取值于$\{\pm2\}$。令$s(t)=s_1(t)+s_2(t)$，试：

(1) 求$s_2(t)$的功率谱密度；

(2) 若$\{a_n\}$与$\{b_n\}$相互独立，求$s(t)$的功率谱密度；

(3) 若对所有 n，恒有$b_n=-2a_n$，求$s(t)$的功率谱密度；

(4) 若对所有 n，恒有$\mathrm{E}[a_n b_n]=-1$，求$s(t)$的功率谱密度。

答案：

$$|G(f)|^2=T_s\cdot\mathrm{sinc}^2(fT_s)$$

(1) a_n的均值为零方差为 1，$s_1(t)$的功率谱密度是$\frac{1}{T_s}|G(f)|^2=\mathrm{sinc}^2(fT_s)$

b_n的均值为零方差为 4，$s_2(t)$的功率谱密度是$\frac{4}{T_s}|G(f)|^2=4\cdot\mathrm{sinc}^2(fT_s)$

(2)是以上两个功率谱密度之和，为$5\cdot\mathrm{sinc}^2(fT_s)$

(3)此时$s_1(t)+s_2(t)=-s_1(t)$，所求功率谱密度为$\mathrm{sinc}^2(fT_s)$

(4)令$c_n=a_n+b_n$，则$s(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}c_n g(t-nT_s)$，$\{c_n\}$是零均值不相关序列，方差是$\mathrm{E}[c_n^2]=E[(a_n+b_n)^2]=E[a_n^2]+E[b_n^2]+2E[a_n b_n]=1+4-2=3$，所求功率谱密度为$\frac{\sigma_c^2}{T_s}|G(f)|^2=3\cdot\mathrm{sinc}^2(fT_s)$。