

《通信原理 I》期中考试题目及答案

一. 选择填空

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

1. $x(t) = \cos(20\pi t)$ 的希尔伯特变换是 $\hat{x}(t) = \underline{(1)}$, $y(t) = \sin(200\pi t)$ 的希尔伯特变换是 $\hat{y}(t) = \underline{(2)}$, $s(t) = x(t)y(t)$ 的希尔伯特变换是 $\hat{s}(t) = \underline{(3)}$ 。

| | | | | |
|-----|----------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| (1) | (A) $x(t)$ | (B) $x(-t)$ | (C) $x\left(t - \frac{1}{40}\right)$ | (D) $x\left(t - \frac{1}{20}\right)$ |
| (2) | (A) $\cos(200\pi t)$ | (B) $\sin(200\pi t)$ | (C) $-\cos(200\pi t)$ | (D) $-\sin(200\pi t)$ |
| (3) | (A) $x(t)\hat{y}(t)$ | (B) $x(t)y(t)$ | (C) $\hat{x}(t)\hat{y}(t)$ | (D) $\hat{x}(t)y(t)$ |

2. 设 $m(t)$ 是模拟基带信号, 下列中 (4) 是 DSB-SC 信号, (5) 是上边带 SSB 信号, (6) 是下边带 SSB 信号。

| | | |
|-----------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| (4)(5)(6) | (A) $\text{Re}\{[m(t) - j\hat{m}(t)]e^{j2\pi f_c t}\}$ | (B) $\text{Re}\{[m(t) + j\hat{m}(t)]e^{j2\pi f_c t}\}$ |
| | (C) $\text{Re}\{m(t)e^{j2\pi f_c t}\}$ | (D) $m(t)e^{-j2\pi f_c t}$ |

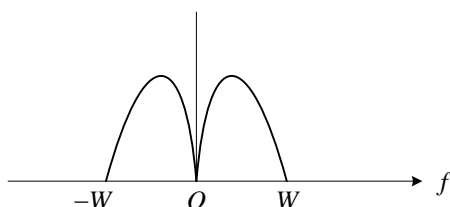
3. 能量为 1 的确定信号 $g(t)$ 叠加了功率谱密度为 $\frac{N_0}{2}$ 的白高斯噪声后通过匹配滤波器。在匹配滤波器输出端, 最佳采样时刻的信噪比是 (7)。

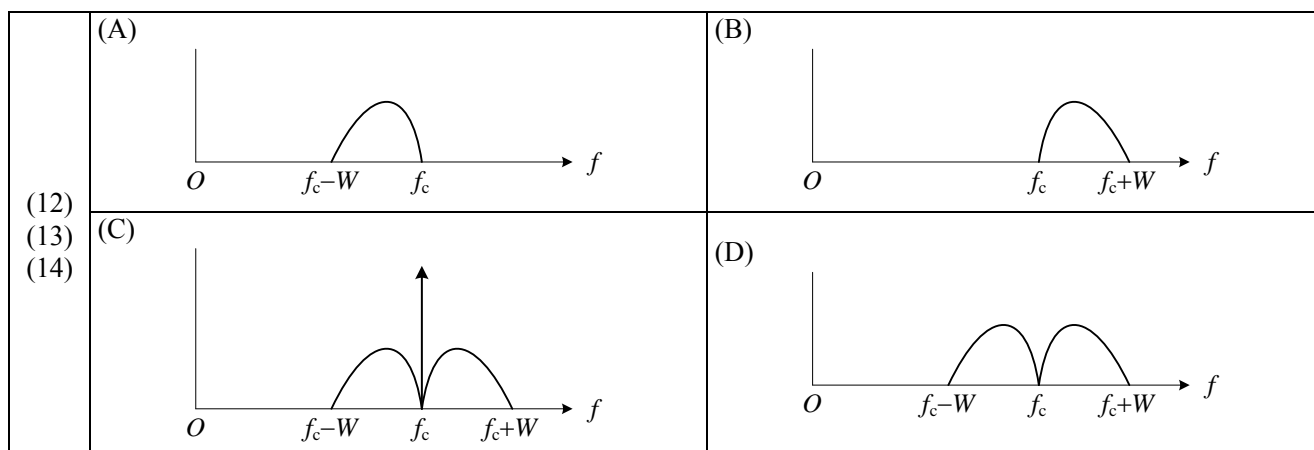
| | | | | |
|-----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| (7) | (A) $\frac{N_0}{2}$ | (B) $\frac{2}{N_0}$ | (C) $\frac{N_0}{4}$ | (D) $\frac{4}{N_0}$ |
|-----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|

4. 设双边功率谱密度为 0.001mW/Hz 的高斯白噪声通过一个带宽为 10kHz 的理想带通滤波器后的输出是 $n(t)$ 。 $n(t)$ 的功率是 (8)mW, 其同相分量 $n_c(t)$ 的功率是 (9)mW。 $n(t)$ 的正交分量服从 (10) 分布, $n(t)$ 的包络服从 (11) 分布。

| | | | | |
|----------|--------|--------|--------|--------|
| (8)(9) | (A) 2 | (B) 5 | (C) 10 | (D) 20 |
| (10)(11) | (A) 高斯 | (B) 指数 | (C) 瑞利 | (D) 均匀 |

5. 设模拟调制系统中的基带调制信号 $m(t)$ 的双边功率谱密度如右图所示。在下列已调信号的单边功率谱密度中, (12) 是 DSB-SC, (13) 是 AM, (14) 是上边带 SSB。





6. 设话音信号的带宽是 4kHz。给定信道带宽为 96kHz，若采用 DSB 调制方式进行频分复用，最多可以传输(15)路话音信号；若采用 SSB 调制方式进行频分复用，最多可以传输(16)路话音信号。

| | | | | |
|----------|--------|--------|--------|--------|
| (15)(16) | (A) 12 | (B) 18 | (C) 24 | (D) 30 |
|----------|--------|--------|--------|--------|

7. 设 AM 系统中基带信号 $m(t)$ 的均值为零、带宽为 4kHz、峰值幅度为 $|m(t)|_{\max} = 4 \text{ V}$ ，功率为 $\overline{m^2(t)} = 2 \text{ W}$ ，已调信号为 $s(t) = [A + m(t)]\cos(2\pi f_c t)$ 。若该 AM 已调信号的调制效率为 1/9，则 $A =$ (17)V，系统的调制指数为(18)，带宽为(19)kHz，已调信号功率为(20)W。

| | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|
| (17)(18)(19)(20) | (A) 1 | (B) 4 | (C) 8 | (D) 9 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|

8. 设某 $M = 2^k$ 进制传输系统的误符号率为 p ，则其误比特率至少是(21)，至多是(22)。

| | | | | |
|----------|----------|---------|-----------|-----------|
| (21)(22) | (A) kp | (B) p | (C) p/M | (D) p/k |
|----------|----------|---------|-----------|-----------|

9. 二进制数据信息序列 1 0000 0000 0000 1 经过 AMI 编码后是(23)，经过 HDB3 编码后是(24)，经过差分编码后是(25)。

| | | |
|------|-------------------------|-------------------------|
| (23) | (A) +0000+-+0000- | (B) +0000 0000 0000- |
| (24) | (C) +000-+00-0000- | (D) +000+ -00- +00+ - |
| (25) | (A) 01 1111 1111 1111 0 | (B) 00 1111 1111 1111 1 |
| | (C) 01 0000 1111 0000 1 | (D) 01 1010 1010 1010 0 |

10. 设数据速率为 100kbit/s，则双极性 NRZ 码的主瓣带宽是(26)kHz，占空比为 25%的单极性 RZ 码的主瓣带宽是(27)kHz，AMI 码的主瓣带宽是(28)kHz，Manchester 码（分相码）的主瓣带宽是(29)kHz。

| | | | | |
|------------------|--------|---------|---------|---------|
| (26)(27)(28)(29) | (A) 50 | (B) 100 | (C) 200 | (D) 400 |
|------------------|--------|---------|---------|---------|

11. 设某 32 进制 PAM 信号平均功率是 5W、平均比特能量是 2mJ，则该系统的比特速率是(30)kbit/s，符号速率是(31)kBaud，比特间隔是(32)ms，符号间隔是(33)ms。

| | | | | |
|------------------|---------|-------|---------|---------|
| (30)(31)(32)(33) | (A) 5/2 | (B) 2 | (C) 1/2 | (D) 2/5 |
|------------------|---------|-------|---------|---------|

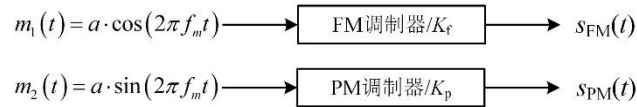
12. 以下调制方式中，频带利用率最高的是(34)，抗噪声能力最强的是(35)。

| | | | | |
|----------|---------|------------|--------|--------|
| (34)(35) | (A) SSB | (B) DSB-SC | (C) AM | (D) FM |
|----------|---------|------------|--------|--------|

13. 下列中的(36)是 FM 的解调器。

| | | | | |
|------|---------|-----------|-----------|-----------|
| (36) | (A) 鉴频器 | (B) 包络检波器 | (C) 相干解调器 | (D) 匹配滤波器 |
|------|---------|-----------|-----------|-----------|

二. 下图中, FM 调制器的频率偏移常数为 K_f (Hz/V), PM 调制器的的相位偏移常数是 K_p (rad/V)。两个调制器的输入 $m_1(t)$ 、 $m_2(t)$ 是同频同幅度的单频信号。设 $a=1$ V、 $f_m=2000$ Hz 时, $s_{FM}(t)=s_{PM}(t)=s(t)=10\cos[2\pi f_c t + 4\sin(4000\pi t)]$ 。试求:



- (1) 调制器参数 K_f 、 K_p , 已调信号 $s(t)$ 的最大频偏及带宽;
- (2) 当 $a=2$ V、 $f_m=2000$ Hz 时, FM 信号及 PM 信号的带宽;
- (3) 当 $a=1$ V、 $f_m=4000$ Hz 时, FM 信号及 PM 信号的带宽;
- (4) 当 $a=2$ V、 $f_m=4000$ Hz 时, FM 信号及 PM 信号的带宽。

答案 (1) $K_p m_2(t) = 4\sin(4000\pi t)$, 因此 $K_p = 4$; $2\pi K_f \int_{-\infty}^t m_1(\tau) d\tau = 4\sin(4000\pi t)$, 因此 $K_f = 8$ kHz/V。

最大频偏 $\Delta f_{\max} = K_f a = K_p \cdot f_m a = 8000$ Hz, 带宽是 $2(8000 + 2000) = 20$ kHz。

(2) 此时 FM 信号为 $s_{FM}(t) = \cos\left[2\pi f_c t + 2\pi K_f \int_{-\infty}^t 2\cos(4000\pi\tau) d\tau\right] = \cos[2\pi f_c t + 8\sin(4000\pi t)]$, 其最大频偏是 $K_f |m_1(t)|_{\max} = 2K_f = 16$ kHz, 带宽是 $2(16 + 2) = 36$ kHz。

PM 信号是 $s_{PM}(t) = \cos[2\pi f_c t + K_p m_2(t)] = \cos[2\pi f_c t + 8\sin(4000\pi t)]$ 与 FM 信号相同, 故其带宽也是 36kHz。

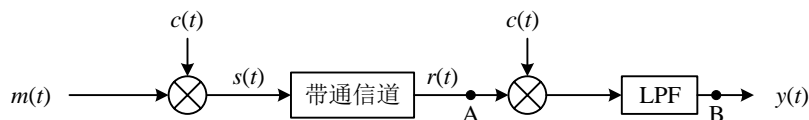
(3) 此时 FM 信号为 $s_{FM}(t) = \cos\left[2\pi f_c t + 2\pi K_f \int_{-\infty}^t \cos(8000\pi\tau) d\tau\right] = \cos[2\pi f_c t + 2\sin(8000\pi t)]$, 其最大频偏是 $K_f |m_1(t)|_{\max} = K_f = 8$ kHz, 带宽是 $2(16 + 2) = 36$ kHz。

PM 信号是 $s_{PM}(t) = \cos[2\pi f_c t + K_p m_2(t)] = \cos[2\pi f_c t + 4\sin(8000\pi t)]$, 相位部分是 FM 信号的 2 倍, 鼓起最大斜率也是 2 倍, 即最大频偏是 FM 的 2 倍, 为 16kHz, 带宽为 $2(16 + 4) = 40$ kHz。

(4) 此时 FM 信号为 $s_{FM}(t) = \cos\left[2\pi f_c t + 2\pi K_f \int_{-\infty}^t 2\cos(8000\pi\tau) d\tau\right] = \cos[2\pi f_c t + 4\sin(8000\pi t)]$, 其最大频偏是 16kHz, 带宽是 $2(16 + 4) = 40$ kHz。

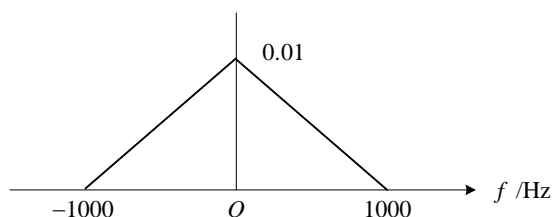
PM 信号是 $s_{PM}(t) = \cos[2\pi f_c t + K_p m_2(t)] = \cos[2\pi f_c t + 8\sin(8000\pi t)]$, 最大频偏是 32kHz, 带宽为 $2(32 + 4) = 72$ kHz。

三. 下图所示 DSB-SC 系统中, 收发载波均为 $c(t) = 2\cos(2\pi \times 10^6 t)$, 模拟基带信号 $m(t)$ 的自相关函数是 $R_m(\tau) = 10\text{sinc}^2(1000\tau)$ 。发送信号通过信道传输后成为 $r(t) = a \cdot s(t) + n(t)$, 其中 $a = 0.1$ 是信道衰减系数, $n(t)$ 是窄带高斯噪声, 其单边功率谱密度为 $P_n(f) = \begin{cases} 5 \times 10^{-7} \text{ W/Hz}, & |f - f_c| \leq W \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$, 其中 W 是 $m(t)$ 的带宽。接收端 LPF 的带宽恰好能使 $m(t)$ 通过。试求:



- (1) $m(t)$ 的功率、带宽, 并画出功率谱密度图;
- (2) $s(t)$ 的功率、带宽;
- (3) A 点信噪比, 并折算为分贝值;
- (4) B 点信噪比, 并折算为分贝值。

答案: (1) $m(t)$ 的功率 10, 带宽为 $W=1000\text{Hz}$, 功率谱密度图为



(2) $s(t) = 2m(t)\cos(2\pi f_c t)$, 其功率是 $P_s = 2P_m = 20 \text{ W}$, 带宽是 2000Hz 。

(3) A 点信号功率是 $(0.1)^2 P_s = 0.2 \text{ W}$, 噪声功率是 $5 \times 10^{-7} \times 2W = 10^{-3} \text{ W}$, 信噪比是 $\frac{0.2}{10^{-3}} = 200$, 折合 23dB。

(4) B 点输出是 $0.2m(t) + n_c(t)$, 其中 $0.2m(t)$ 的功率是 0.4W , $n_c(t)$ 是 $n(t)$ 的同相分量, 其功率是 10^{-3} W 。
信噪比是 $\frac{0.4}{10^{-3}} = 400$, 折合 26dB

四. 设 $d(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \delta(t - nT_b)$, 其中 a_n 以独立等概方式取值于 $\{\pm 1\}$ 。 $d(t)$ 通过冲激响应为 $g(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{\beta T_b}\right)$

的滤波器后成为 $s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n g(t - nT_b)$ 。 试:

(1) 写出 $d(t)$ 的功率谱密度 $P_d(f)$ 以及 $g(t)$ 的能量谱密度 $|G(f)|^2$ 的表达式;

(2) 若 $\beta=1$, 写出 $s(t)$ 的功率谱密度表达式以及按 $s(t)$ 主瓣带宽计算的频带利用率, 并按照发送 4 个比特 $a_0 a_1 a_2 a_3 = +1 +1 -1 +1$, 画出 $s(t)$ 的波形;

(3) 若 $\beta=0.5$, 写出 $s(t)$ 的功率谱密度表达式以及按 $s(t)$ 主瓣带宽计算的频带利用率, 并按照发送 4 个比特 $a_0 a_1 a_2 a_3 = +1 +1 -1 +1$, 画出 $s(t)$ 的波形;

答案 对于零均值不相关序列 $\{a_n\}$, PAM 信号 $\sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n g_T(t - nT_b)$ 的功率谱密度的通式为

$$\frac{E[a_n^2]}{T_b} |G_T(f)|^2 = \frac{1}{T_b} |G_T(f)|^2。$$

取 $g_T(t) = \delta(t)$, 则 $G_T(f) = 1$, 故 $P_d(f) = \frac{1}{T_b}$ 。

$g(t)$ 的能量谱密度为 $|G(f)|^2 = (\beta T_b)^2 \cdot \text{sinc}^2(f \beta T_b)$ 。

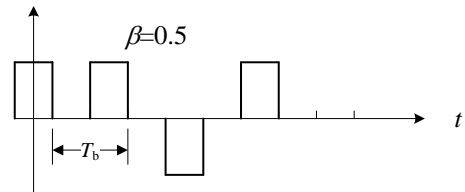
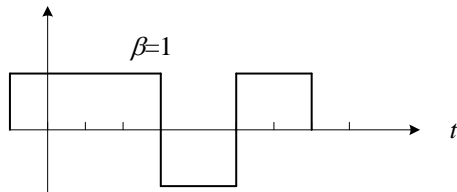
$s(t)$ 的功率谱密度为 $P_s(f) = \frac{1}{T_b} |G(f)|^2 = \beta^2 T_b \cdot \text{sinc}^2(f \beta T_b)$, 其主瓣带宽是 $\frac{1}{\beta T_b}$, 频带利用率等

于 β bit/s/Hz。

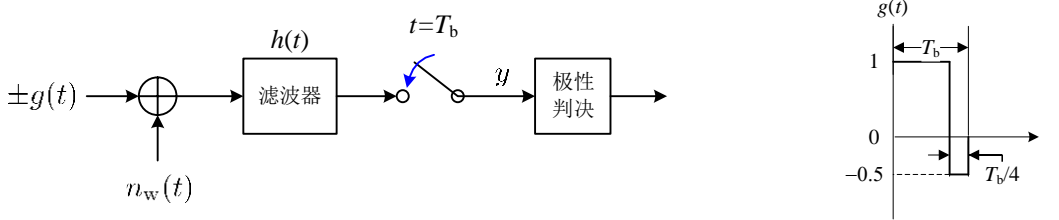
$\beta=1$ 时, $s(t)$ 为双极性 NRZ 码, $P_s(f) = \frac{1}{T_b} |G(f)|^2 = T_b \cdot \text{sinc}^2(f T_b)$, 频带利用率 1 bit/s/Hz。

$\beta=1$ 时, $s(t)$ 为双极性 NRZ 码, $P_s(f) = \frac{1}{T_b} |G(f)|^2 = \frac{T_b}{4} \cdot \text{sinc}^2\left(\frac{f T_b}{2}\right)$, 频带利用率 0.5 bit/s/Hz。

波形如下图所示。



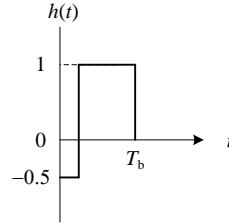
五. 下图所示系统在 $[0, T_b]$ 内等概率发送 $\pm g(t)$ 之一。发送信号经过 AWGN 信道传输，到达接收端时叠加了双边功率谱密度为 $N_0/2$ 的加性白高斯噪声 $n_w(t)$ ，然后通过冲激响应为 $h(t)$ 后在 $t = T_b$ 时刻采样得到样值 y ，再根据 y 的极性进行判决。试：



- (1) 求出平均比特能量 E_b ；
- (2) 画出最佳接收对应的冲激响应 $h(t)$ 波形，写出采样点的噪声功率；
- (3) 写出发送 $-g(t)$ 条件下，最佳接收采样值 y 的概率密度函数；
- (4) 写出发送 $-g(t)$ 条件下，最佳接收采样值 $y > 0$ 的概率。

答案 (1) $E_b = E_g = \frac{3}{4}T_b + \frac{1}{4} \cdot \frac{T_b}{4} = \frac{13}{16}T_b$

(2) $h(t) = g(T_b - t)$ ，波形如下



采样点噪声功率为 $\sigma^2 = \frac{N_0}{2} E_h = \frac{13N_0 T_b}{32}$ 。

(3) 发送 $-g(t)$ 条件下，最佳接收采样值 $y = -E_g + z$ ，它是均值为 E_g 、方差为 σ^2 的高斯随机变量，其概率密度函数为 $\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(y+E_g)^2}{2\sigma^2}}$ 。

(4) 此概率就是最佳接收判决错误的概率，对于双极性 PAM，公式为 $\frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$ ，代入 E_b 后得到 $P\{y > 0 | -g(t)\} = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{13T_b}{16N_0}}\right)$ 。

或者： $P\{y > 0 | -g(t)\} = \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(y+E_g)^2}{2\sigma^2}} dy = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{13T_b}{16N_0}}\right)$

或者： $P\{y > 0 | -g(t)\} = P(z > E_g) = P\left(\frac{z}{\sqrt{2\sigma^2}} > \frac{E_g}{\sqrt{2\sigma^2}}\right) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\frac{E_g}{\sqrt{2\sigma^2}}\right) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{13T_b}{16N_0}}\right)$