习题 4

一、填空题（每空 2 分，共 18 分）

1、在 0、1 等概的单极性 NRZ 码、单极性 RZ 码、双极性 NRZ 码和双极性 RZ 码基带信号中，有位定时分量的是 **单极性 RZ 码** 。

2、在 0、1 等概的单极性码、双极性码、数字双相码和 AMI 码基带信号中，有离散谱的是 **单极性码** 。

3、已知半占空 RZ 码基带信号的谱零点带宽为 10 kHz，则码元速率为 **5 kbaud** 。

4、数字基带传输系统中的发送滤波器、信道和接收滤波器合起来称为 **成形网络** 。

5、为了消除码间干扰，数字基带传输系统在频域必须满足 **奈奎斯特第一准则（奇对称特性、表达式）** 。

6、某数字基带系统采用理想低通波形进行传输，已知码元速率为 4 kB，则占用信道带宽至少为 **2 kHz** 。

7、已知信道带宽为 15 kHz，采用α=0.5 的升余弦波形传输数字代码，则没有码间干扰时能够获得的最高码元速率为 **20 kbaud** 。

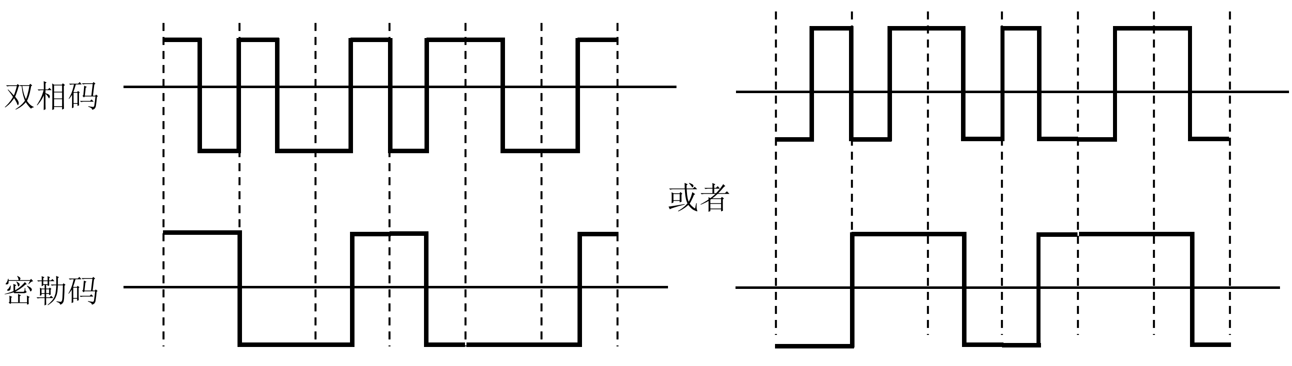
8、某数字基带传输系统具有奇对称滚降特性，已知奇对称的角频率为 10 kπrad/s，则能够获得的最高码元速率为 **10 kbaud** 。

9、码元速率为 1 kB 的数字代码序列采用占空比为 20%的双极性 RZ 码基带信号通过低通信道传输，要求信道带宽至少为 **5 kHz** 。

二、简单分析题（每小题 10 分，共 40 分）

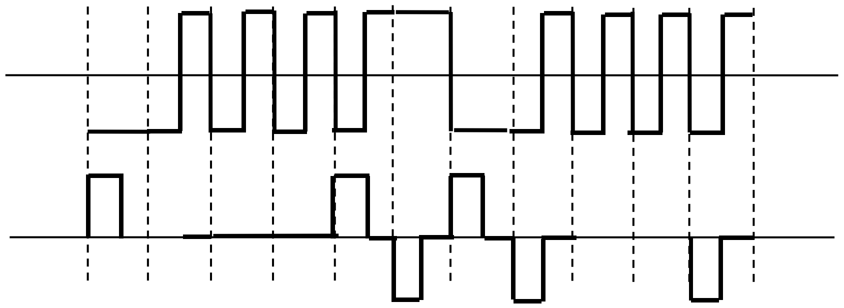
1、分别画出代码序列 001101 对应的数字双相码和密勒码基带信号波形，并分析总结两种基带信号波形上的关系。

解：波形如图（a）或（b）所示。　　（每个码元波形 0.5 分，共 6 分）



关系：数字双相码的正（或负）跳变，对应密勒码波形上的跳变。　　（4 分）

2、已知某数字代码序列对应的 CMI 码基带信号波形如图所示，画出对应的 HDB_3 码基带信号的波形，其中第一位波形已经给出。　　（每个码元波形 1 分）



3、某数字基带传输系统成形网络的频率特性为

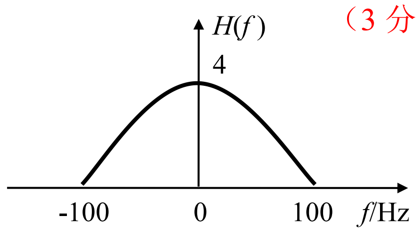
$$H(f)=\begin{cases}2+2\cos(0.01\pi f), & -100<f<100\\ 0 & ,\text{ 其他}\end{cases}$$

求成形网络的单位冲激响应 $h(t)$，并粗略画出频率特性曲线和单位冲激响应的波形。

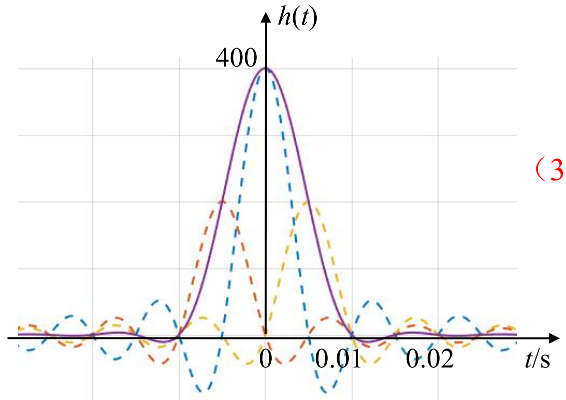
提示：傅里叶反变换的定义：$h(t)=\int_{-\infty}^{\infty}H(f)\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi ft}\,\mathrm{d}f$，注意利用欧拉公式和 Sa 函数的定义。

解：对频率特性求傅里叶反变换得到

$$\begin{aligned}h(t)&=\int_{-\infty}^{\infty}H(f)\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi ft}\,\mathrm{d}f=\int_{-100}^{100}2[1+\cos(0.01\pi f)]\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi ft}\,\mathrm{d}f\\&=400\mathrm{Sa}(200\pi t)+200\mathrm{Sa}200\pi(t+0.005)+200\mathrm{Sa}200\pi(t-0.005)\end{aligned}$$　　（4 分）



（3 分）



（3 分）

4、已知二进制数字基带传输系统接收到双极性 NRZ 码基带信号脉冲的幅度为±1 V，噪声功率为 0.16 W，码元速率为 2 kbaud，求传输 1 s 的平均误码个数 M。

解：误码率 $P_{\mathrm{b}}=Q\left(\sqrt{\dfrac{S}{N}}\right)=Q\left(\sqrt{\dfrac{1^2}{0.16}}\right)=0.00621$　　**（5 分）**

则传输 1 s 的平均误码个数为 $M=(2\times1000)\times0.00621=12.42$　　**（5 分）**

三、综合分析计算题（每题 14 分，共 42 分）

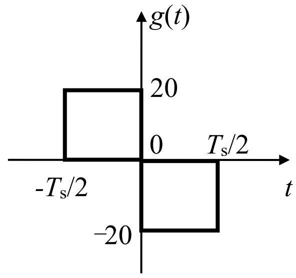
1、已知某二进制数字基带传输系统中，等概出现的 1 码和 0 码对应的传输波形分别为 $g(t)$ 和 $-g(t)$，$g(t)$ 的波形如图所示，其中码元间隔 T_s=2 ms。

（1）求 $G(f)$；

（2）求该数字基带信号的连续谱 $P_c(f)$；

（3）粗略分析画出连续谱的波形，并求信号的带宽 B；

（4）求离散谱 $P_d(f)$，并分析有无直流分量和位定时分量。



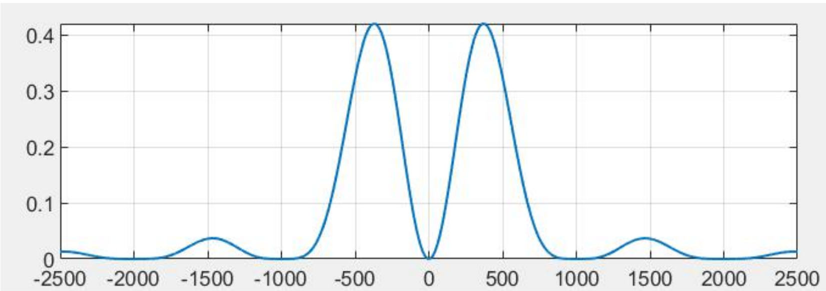
解：（1） $G(f)=10T_s\mathrm{Sa}^2\left(\dfrac{\pi f T_s}{2}\right)(\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi f T_s/4}-\mathrm{e}^{-\mathrm{j}2\pi f T_s/4})=\mathrm{j}0.04\mathrm{Sa}^2(0.001\pi f)\sin(0.001\pi f)$ **（3 分）**

（2） $G_1(f)=G_1(f)$，$G_2(f)=-G(f)$，P=1/2，**则基带信号的连续谱为**

$$\begin{aligned}P_c(f)&=f_sP(1-P)\left|G_1(f)-G_2(f)\right|^2=f_s\left|G(f)\right|^2\\&=500\times[0.04\mathrm{Sa}(0.001\pi f)\sin(0.001\pi f)]^2\\&=0.8\mathrm{Sa}^2(0.001\pi f)\sin^2(0.001\pi f)\end{aligned}$$ **（3 分）**

（3）连续谱波形如图所示。 **（2 分）**

当 f=1 kHz 时，$P_c(f)$第一次过零点，因此带宽近似为 B=1 kHz。 **（1 分）**

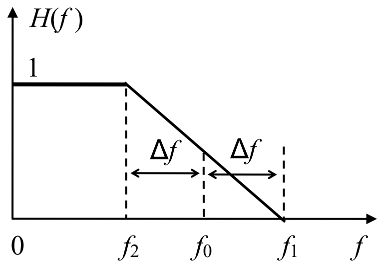


（4）离散谱为

$$\begin{aligned}P_d(f)&=f_s^2\sum_{n=-\infty}^{\infty}\left|[PG_1(nf_s)+(1-P)G_2(nf_s)]\right|^2\delta(f-nf_s)\\&=\frac{f_s^2}{4}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\left|[G(nf_s)-G(nf_s)]\right|^2\delta(f-nf_s)\\&=0\end{aligned}$$ **（3 分）**

由于 $P_d(f)$=0，因此无直流分量和位定时分量。 **（2 分）**

2、某数字基带传输系统中的成形网络具有如图所示奇对称滚降特性，其中频带利用率η_s =1.5 baud/Hz，传输带宽 B = 6 kHz。



（1）求能够获得的最高码元速率 R_s；

（2）求图中的参数 f_0、f_1、f_2 和 Δf；

（3）若采用 256 进制传输，求最高信息速率 R_b；

（4）若换为 16 进制传输，为达到相同的信息速率，求所需的传输带宽 B_1。

解：（1）$R_s = \eta_s B$ = 9 kbaud （3 分）

（2）$f_0 = R_s/2$ = 4.5 kHz，$f_1 = B$ = 6 kHz，

$\Delta f = f_1 - f_0$ = 1.5 kHz，$f_2 = f_0 - \Delta f$ =3 kHz （4 分）

（3）$R_b = R_s\log_2 256$ = 72 kbps （3 分）

（4）$R_s = R_b/\log_2 16$= 18 kbaud，则

$B_1 = R_s/\eta_s$ = 18/1.5 = 12 kHz （4 分）

3、将模拟正弦信号进行抽样量化和 A 律 13 折线 PCM 编码后，用 100 W 的单极性 NRZ 码脉冲波形进行传输。已知数字基带传输系统的传输带宽为 20 kHz。信道对传输信号衰减 20 dB，接收端噪声的功率为 1/18 W。求：

（1）为避免码间干扰能够达到的最高码元速率 R_s； （3 分）

（2）所允许的正弦信号最高频率 f_H； （3 分）

（3）传输的差错率 P_b； （5 分）

（4）1 min 可能达到的最多误码个数 M。 （3 分）不重复扣分

解：（1）NRZ 码的频带利用率η_s = 1 baud/Hz，则最高码元速率

$$R_s = \eta_s B = 1\times 20 = 20 \text{ kbaud}$$

（2）由 $8f_s = 8\times 2f_H = R_s = 20$ **求得** $f_H = 20/16 = 1.25\,\text{kHz}$

（3） $P_b = Q\left(\sqrt{\dfrac{100\times 10^{-20/10}}{2\times 1/18}}\right) = Q(3) = 1.35\times 10^{-3}$

（4） $M = 1.35\times 10^{-3}\times(60\times 20\times 10^3) = 1620$