

# 北京邮电大学 2016—2017 学年第 I 学期

## 《通信原理》期末考试试题（A 卷）

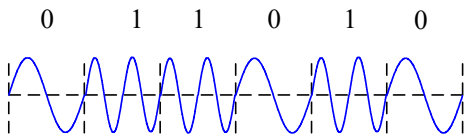
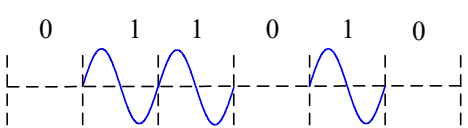
注 意 事 项	一、按指定座位就坐，将证件放在桌面上。 二、闭卷考试，不使用计算器。 三、试卷的背页以及最后一页可作为草稿纸。 四、手机关机、离身。						
课号	3112100140 3112100141		考试时间		2017 年 1 月 11 日		
题号	一	二	三	四	五	六	总分
满分	50	10	10	10	10	10	100
得分							
阅卷教师							

### 一. 选择填空

在候选答案中选出最佳的一个答案写在下面的答题表中，写在别处不得分

空格号	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
答案	B	C	D	A	A	B	D	D	C	A
空格号	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
答案	B	D	D	C	B	A	A	B	A	D
空格号	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)
答案	C	B	D	C	D	C	C	A	D	B
空格号	(31)	(32)	(33)	(34)	(35)	(36)	(37)	(38)	(39)	(40)
答案	D	C	C	A	B	A	C	A	B	C
空格号	(41)	(42)	(43)	(44)	(45)	(46)	(47)	(48)	(49)	(50)
答案	C	A	C	A	D	B	A	B	B	D
空格号	(51)	(52)	(53)	(54)	(55)					
答案	D	B	A	C	B					

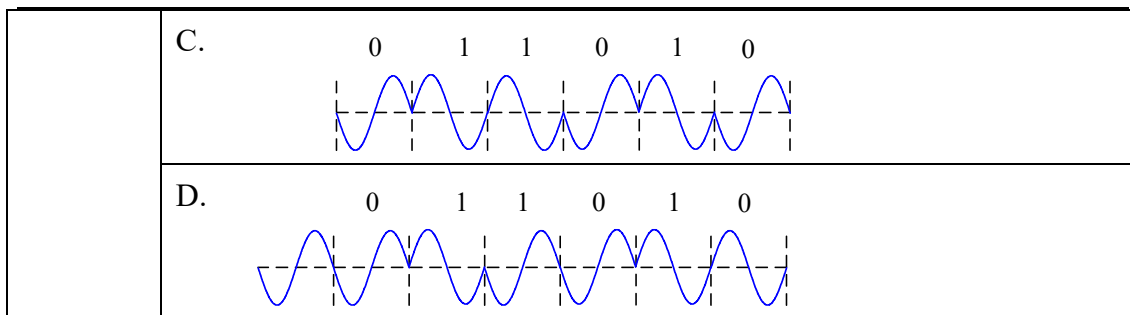
1. 假设二进制数据是 011010，下列已调信号波形中(1)是 OOK，(2)是 BPSK，(3)是 2DPSK，(4)是 2FSK。

(1) (2) (3) (4)	A.	
	B.	

姓名:

学号:

学院/班级:



2. 双极性 NRZ 信号通过调幅指数为 100% 的 AM 调制器, 输出是(5)信号。双极性 NRZ 信号通过 FM 调制器, 输出是(6)信号。将二进制信息序列先经过差分编码, 然后进行 BPSK 调制, 输出是(7)信号。下列调制方式中, 可以采用差分相干解调的是(8)。

(5) (6) (7) (8)	A. OOK	B. 2FSK	C. BPSK	D. DPSK
-----------------	--------	---------	---------	---------

3. 某系统在  $[0, T_b]$  内发送  $s_1(t) = 2 \cos(800\pi t)$  或  $s_2(t) = 0$ 。已知  $T_b = 0.2s$ ,  $s_1(t)$  出现的概率是 0.01。此系统的平均发送功率是(9), 平均比特能量是(10)。

(9) (10)	A. 0.004	B. 0.008	C. 0.02	D. 0.04
----------	----------	----------	---------	---------

4. 假设数据独立等概。OOK 已调信号的功率谱密度中包含(11), 其相干解调的载波提取方案可以从(12)中直接用锁相环提取。BPSK 已调信号平方的频谱中包含(13), 提出这个分量后再(14)可以得到相干解调所需的接收载波。

(11)	A. 直流分量	B. 载频分量	C. 时钟分量	D. 2 倍载频分量
(12)	A. 平方环输出信号		B. 科斯塔斯环输出信号	
	C. 压控振荡器输出信号		D. 接收信号	
(13)	A. 直流分量	B. 载频分量	C. 时钟分量	D. 2 倍载频分量
(14)	A. 开方	B. 滤波	C. 分频	D. 放大

5. 下列调制方式中, 频带利用率最高的是(15), 最低的是(16)。给定  $E_b/N_0$  的条件下, 误符号率最低的是(17), 最高的是(18)。

(15)(16)(17)(18)	A. 16FSK	B. 16QAM	C. QPSK	D. 8PSK
------------------	----------	----------	---------	---------

6. 假设星座点等概出现, 给定平均比特能量  $E_b = 1$ 。MASK 星座点间最小距离是(19), 正交 MFSK 星座点间最小距离是(20)。

(19)(20)	A. $\sqrt{\frac{12 \log_2 M}{M^2 - 1}}$	B. $\sqrt{\frac{12 \log_2 M}{M - 1}}$	C. $\sqrt{\log_2 M}$	D. $\sqrt{2 \log_2 M}$
----------	---	---------------------------------------	----------------------	------------------------

7. 严格限带时, QPSK 信号的(21)很大, 使得发送信号对放大器的(22)失真比较敏感。为此可以改用(23)。

(21)	A. 误比特率	B. 带宽	C. 包络起伏	D. 相位模糊
(22)	A. 线性	B. 非线性	C. 幅频	D. 相频

(23)	A. DPSK	B. 8PSK	C. 16QAM	D. OQPSK
------	---------	---------	----------	----------

8. 给定 $E_b/N_0$ 时, QPSK 的(24)与 BPSK 相同。

(24)	A. 带宽	B. 频带利用率	C. 误比特率	D. 误符号率
------	-------	----------	---------	---------

9.  $E_b/N_0$ 较大时, DPSK 的误比特率近似是 BPSK 误比特率的(25)倍。

(25)	A. 1/4	B. 1/2	C. 1	D. 2
------	--------	--------	------	------

10. 高信噪比条件下, 采用格雷码映射的 16QAM 的误符号率 $P_s$ 与误比特率 $P_b$ 的关系是(26)

(26)	A. $P_s = P_b$	B. $P_s = \frac{P_b}{4}$	C. $P_s = 4P_b$	D. $P_s = \frac{P_b}{16}$
------	----------------	--------------------------	-----------------	---------------------------

11. 某 16 进制调制系统的平均发送功率是 2 瓦, 信息速率是 1Mbit/s, 其符号间隔是  $T_s$ =(27)微秒, 比特间隔是  $T_b$ =(28)微秒, 平均符号能量是  $E_s$ =(29)微焦耳, 平均比特能量是  $E_b$ =(30)微焦耳。

(27)(28)(29)(30)	A. 1	B. 2	C. 4	D. 8
------------------	------	------	------	------

12. 在  $M$  进制调制中, 星座点数加倍则每符号携带的比特数(31)。保持符号速率不变, 如欲传输速率加倍则需进制数变成(32)。

(31)	A. 不变	B. 增加一倍	C. 增加 2 比特	D. 增加 1 比特
(32)	A. $M+1$	B. $2M$	C. $M^2$	D. $M+2$

13.  $M$  进制数字通信系统每次发送 $s_1(t), s_2(t), \dots, s_M(t)$ 中的某一个, 经过信道后接收信号为 $r(t)$ 。按(33)准则设计的接收机将 $r(t)$ 判决为能使后验概率最大者。按(34)准则设计的接收机将 $r(t)$ 判决为能使似然概率最大者。如果发送信号先验等概且信道噪声是加性白高斯噪声, 上述准则等价于将 $r(t)$ 判决为(35)离 $r(t)$ 最近者。

(33)(34)	A. ML	B. MMSE	C. MAP	D. Max-Lloyd
(35)	A. 汉明距离	B. 欧氏距离	C. 能量	D. 功率

14.  $M$  进制数字通信系统每次发送 $s_1(t), s_2(t), \dots, s_M(t)$ 中的某一个。给定一组基函数 $f_1(t), f_2(t), \dots, f_N(t)$ , 若每个基函数的能量(36), 不同基函数(37), 且 $s_1(t), s_2(t), \dots, s_M(t)$ 中的每一个都可以表示成 $f_1(t), f_2(t), \dots, f_N(t)$ 的(38), 则称 $f_1(t), f_2(t), \dots, f_N(t)$ 为完备的归一化正交基函数。

(36)	A. 都是 1	B. 是常数	C. 互不相同	D. 是无穷大
(37)	A. 线性无关	B. 互不相同	C. 彼此正交	D. 形状相同
(38)	A. 线性组合	B. 非线性组合	C. 和	D. 积

姓名： 学号： 学院/班级：

15. 对信号 $x(t)$ 按速率 $f_s = 1/T_s$ 进行理想采样后得到的信号 $x_s(t)$ 的表达式为 $x_s(t)=$ (39)。若 $x(t)$ 的傅氏变换为 $X(f)$ ，则 $x_s(t)$ 的傅氏变换是 $X_s(f) =$ (40)。若 $x(t)$ 是最高频率为 11kHz、带宽为 5kHz 的带通信号，能使理想采样后频谱不交叠的最低采样频率是(41)kHz。

(39)	A. $\sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_s) \delta\left(t - \frac{n}{T_s}\right)$		B. $\sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_s) \delta(t - nT_s)$	
	C. $\sum_{n=-\infty}^{\infty} x(t - nT_s)$		D. $\sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_s) \delta(t)$	
(40)	A. $\sum_{n=-\infty}^{\infty} X(nf_s) \delta\left(f - \frac{n}{T_s}\right)$		B. $f_s \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(nf_s) \delta(f - nf_s)$	
	C. $\frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(f - nf_s)$		D. $\frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(f - nT_s)$	
(41)	A. 5	B. 10	C. 11	D. 22

16.若 16QAM 系统的滚降系数为 1，数据速率为 1Mbit/s，则发送信号的带宽是(42)MHz，频带利用率是(43)bit/s/Hz。

(42)(43)	A. 1/2	B. 1	C. 2	D. 4
----------	--------	------	------	------

17.某 A 律十三折线 PCM 编码器的设计输入范围是 $[-5, +5]$ V，若采样值为 $x = +1.2$ V，编码器的输出码组是(44)，解码器输出的量化电平是(45)。

(44)	A. 11011110	B. 11101110	C. 11101110	D. 01011111
(45)	A. 635/512	B. 155/128	C. 75/64	D. 305/256

18.量化信噪比与量化输入的概率分布以及量化器的设计有关，能使量化信噪比最大的量化设计应使量化电平位于每个量化区间的(46)，使量化边界处于相邻两个量化电平的(47)。如果量化输入服从(48)分布，最优的设计是(49)量化，其量化信噪比是量化(50)的平方。

(46) (47)	A. 中点	B. 概率质心	C. 左侧	D. 右侧
(48) (49)	A. 高斯	B. 均匀	C. 瑞利	D. 指数
(50)	A. 误差	B. 比特数	C. 边界数	D. 电平数

19. 某分组码的全部码字是 0000000、0101110、1011100、1111111，所有码字中的最大码重是(51)，最小汉明距离是(52)。该码用于纠错时可以保证纠正(53)位错。

(51) (52) (53)	A. 1	B. 3	C. 4	D. 7
----------------	------	------	------	------

20.某线性分组码的生成矩阵  $G$  有 3 行 7 列，其监督矩阵  $H$  有(54)行 7 列。该码的编码率是(55)。

(54)	A. 1	B. 3	C. 4	D. 7
(55)	A. 1/7	B. 3/7	C. 4/7	D. 1

姓名:

学号:

学院/班级:

二. 某二进制调制系统在 $[0, T_b]$ 内等概发送 $s_1(t) = \cos \frac{20\pi t}{T_b}$ 和 $s_2(t) = \cos \frac{21\pi t}{T_b}$ 之一。发送信号叠加了双边功率谱密度为 $N_0/2$ 的白高斯噪声后到达接收端。

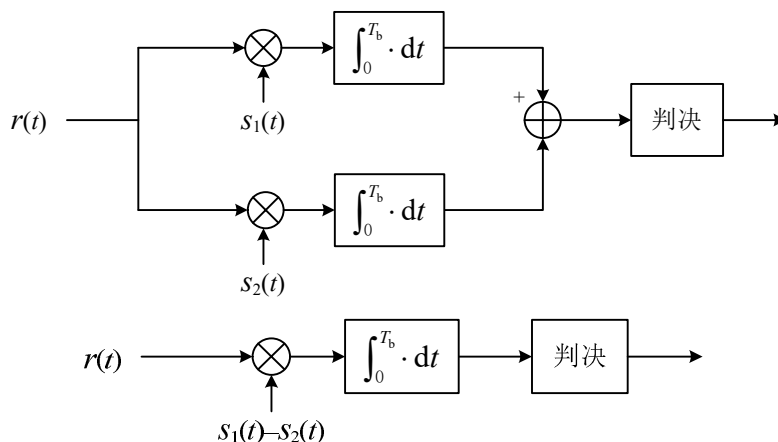
(1)画出最佳接收框图;

(2)推导出该系统的误比特率;

(3)若将 $s_2(t)$ 变成 $s_2(t) = \cos \frac{83\pi t}{4T_b}$ , 其他保持不变, 问 $s_1(t)$ 与 $s_2(t)$ 是否仍然正交?  
 $s_1(t)$ 与 $s_2(t)$ 之间的欧氏距离是变大还是变小? 误比特率是变大还是变小?

参考答案:

(1) 有多种等价形式, 例如下面两个。其他: 用匹配滤波、先相干解调再基带积分或者匹配滤波等。



(2)推导方法可以有很多种。以上面第 1 个图为例:  $s_1(t) = \cos \frac{20\pi t}{T_b}$ 和 $s_2(t) = \cos \frac{21\pi t}{T_b}$ 的频差是 $\frac{1}{2T_b}$ , 两路正交。判决器输入端的信号是 $\pm \frac{T_b}{2} + z$ 。噪声 $z$ 是上下两个支路的噪声之差, 两路噪声独立, 故 $z \sim \mathcal{N}(0, \frac{N_0 T_b}{2})$ 。根据对称性, 最佳判决门限是 0。发送 $s_1(t)$ 而错的概率是 $\Pr \left\{ \frac{T_b}{2} + z < 0 \right\} = \Pr \left\{ z < -\frac{T_b}{2} \right\} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{T_b}{4N_0}} \right)$ 。根据对称性, 系统的误比特率是 $\frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{T_b}{4N_0}} \right)$ 。

(3)此时频差是 $\frac{3}{8T_b}$ , 比正交所需的最小频差 $\frac{1}{2T_b}$ 小, 所以不正交。或者

$$\int_0^{T_b} s_1(t)s_2(t)dt = \frac{1}{2} \int_0^{T_b} \left[ \cos \frac{3\pi t}{4T_b} + \cos \frac{163\pi t}{4T_b} \right] dt \approx \frac{1}{2} \int_0^{T_b} \cos \frac{3\pi t}{4T_b} dt = \frac{2T_b}{3\pi} \sin \frac{3\pi}{4} > 0, \text{ 不正交}$$

距离平方是 $\int_0^{T_b} [s_1(t) - s_2(t)]^2 dt = \int_0^{T_b} s_1^2(t) dt + \int_0^{T_b} s_2^2(t) dt - 2 \int_0^{T_b} s_1(t)s_2(t) dt$ , 小于正交时的 $\int_0^{T_b} [s_1(t) - s_2(t)]^2 dt = \int_0^{T_b} s_1^2(t) dt + \int_0^{T_b} s_2^2(t) dt$ , 距离变小

因为距离变小，所以误比特率变大。

还可以通过相关系数来得到结果：频差比最小正交所需频差更小时，相关系数变正、误比特率变大、距离变小。

姓名:

学号:

学院/班级:

三. 设 $b_1(t), b_2(t), b_3(t)$ 是三个速率同为 1000bit/s 且数据独立的双极性 NRZ 信号。令 $x_1(t) = b_1(t) \cos 2\pi f_c t$ 、 $x_2(t) = b_2(t) \sin 2\pi f_c t$ 、 $x_3(t) = b_3(t) \cos 2\pi f_c t$ 。假设所有二进制数据独立等概,  $f_c$ 充分大。试问

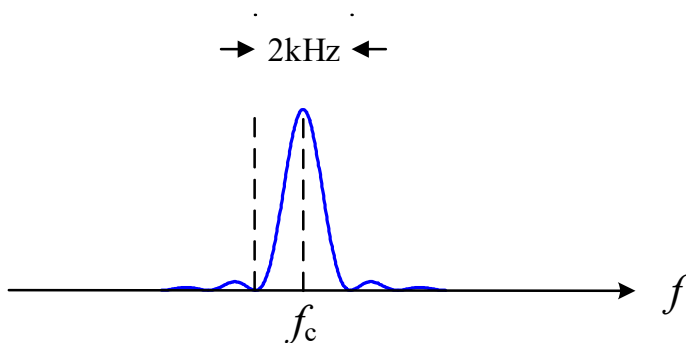
- (1)  $x_1(t)$ 、 $x_1(t) + x_2(t)$ 、 $2x_1(t) + x_3(t)$ 分别是什么调制?
- (2) 分别写出这三种调制方式的主瓣带宽、按主瓣带宽算的频带利用率(bit/s/Hz);
- (3) 画出 $x_1(t)$ 的单边功率谱密度图(标出频率值)。

### 参考答案

(1)BPSK、QPSK、4ASK

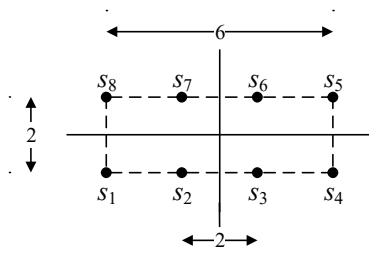
(2)主瓣带宽都是 2kHz, 频带利用率分别是 0.5、1、1bit/s/Hz

(3)功率谱密度形状相同, 图如下





四. 某 8 进制调制在归一化正交基下的星座图如下所示。假设各星座点等概出现，信道中加性白高斯噪声的双边功率谱密度是  $\frac{N_0}{2} = \frac{1}{2}$ 。

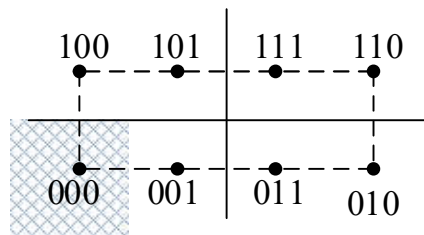


- (1) 求平均符号能量  $E_s$ 、最小星座点距离  $d_{min}$ ，并标出  $s_1$  的最佳判决域；
- (2) 按格雷码映射规则标注出各星座点所携带的比特；
- (3) 求发送  $s_1$  条件下误判为  $s_2, s_3, s_4$  之一的总概率  $P\{s_2, s_3, s_4|s_1\}$ 。

参考答案：

$$E_s = \frac{(3^2 + 1^2) + (1^2 + 1^2)}{2} = 6, \quad d_{min} = 2。$$

判决域及格雷映射：



发送  $s_1$  条件下误判为  $s_2, s_3, s_4$  之一的概率就是水平方向噪声分量大于 1 且垂直方向噪声分量小于 1 的概率，为  $P\{s_2, s_3, s_4|s_1\} = \frac{1}{2} \text{erfc}(1) \times \left\{1 - \frac{1}{2} \text{erfc}(1)\right\}$

姓名:

学号:

学院/班级:

五. 某二电平量化器的输入范围是 $(0, \infty)$ , 输入输出关系是

$$y = \begin{cases} \frac{e-2}{e-1}, & 0 \leq x < 1 \\ 2, & 1 \leq x < \infty \end{cases}$$

若输入 $x$ 的概率密度函数为 $p(x) = e^{-x}$ , 试求

(1) 量化输入信号的均值 $E[x]$ 及功率 $S = E[x^2]$ ;

(2) 量化输出信号 $y$ 的各可能取值的出现概率、均值 $E[y]$ 及功率 $S_q = E[y^2]$ ;

(3) 证明本题条件下 $E[xy] = S_q$ ;

(4) 写出量化噪声功率 $N_q = E[(y-x)^2]$ 与 $S$ 、 $S_q$ 的关系。

参考答案

$$E[x] = \int_0^{\infty} x \cdot e^{-x} dx = -\int_0^{\infty} x de^{-x} = -[xe^{-x}]_0^{\infty} + \int_0^{\infty} e^{-x} dx = \int_0^{\infty} e^{-x} dx = [-e^{-x}]_0^{\infty} = 1$$

$$E[x^2] = \int_0^{\infty} x^2 \cdot e^{-x} dx = -\int_0^{\infty} x^2 de^{-x} = -[x^2 e^{-x}]_0^{\infty} + 2 \int_0^{\infty} x e^{-x} dx = 2$$

$$\Pr\left\{y = \frac{e-2}{e-1}\right\} = \int_0^1 e^{-x} dx = 1 - \frac{1}{e}, \quad \Pr\{y = 2\} = \frac{1}{e}$$

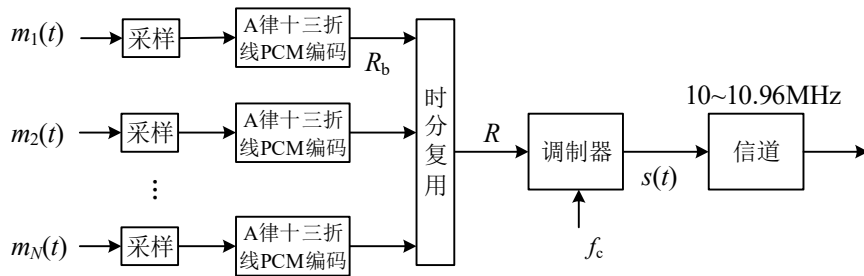
$$E[y] = \frac{e-2}{e-1} \times \frac{e-1}{e} + 2 \times \frac{1}{e} = 1$$

$$E[y^2] = \left(\frac{e-2}{e-1}\right)^2 \times \frac{e-1}{e} + 4 \times \frac{1}{e} = \frac{(e-2)^2}{e-1} \times \frac{1}{e} + \frac{4}{e} = \frac{e}{e-1}$$

$$\begin{aligned} E[xy] &= \int_0^{\infty} xy \cdot e^{-x} dx = \frac{e-2}{e-1} \int_0^1 x \cdot e^{-x} dx + 2 \int_1^{\infty} x \cdot e^{-x} dx \\ &= \frac{e-2}{e-1} \int_0^{\infty} x \cdot e^{-x} dx + \left(2 - \frac{e-2}{e-1}\right) \int_1^{\infty} x \cdot e^{-x} dx \\ &= \frac{e-2}{e-1} + \frac{e}{e-1} \int_1^{\infty} x \cdot e^{-x} dx = \frac{e-2}{e-1} + \frac{e}{e-1} \times \frac{2}{e} = \frac{e}{e-1} = S_q \end{aligned}$$

$$N_q = E[(x-y)^2] = S + S_q - 2S_q = S - S_q$$

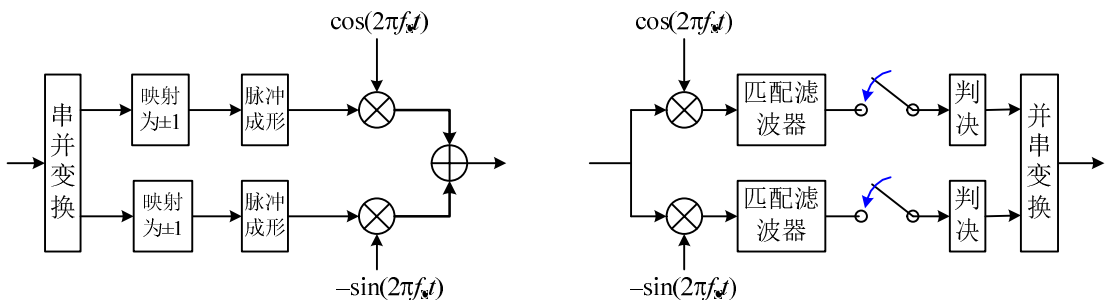
六. 有 $N$ 个带宽均为  $4\text{kHz}$  的模拟基带信号 $m_1(t), m_2(t), \dots, m_N(t)$ 分别经过奈奎斯特速率采样、A 律十三折线 PCM 编码后时分复用为一 路速率为 $R$ 的二进制数据。然后经过数字调制后传输。已知信道带宽限制在  $10\text{MHz} \sim 10.96\text{MHz}$  范围内。



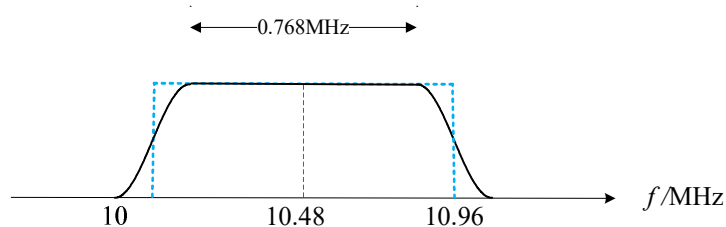
- (1) 若 $N = 24$ ，试写出每路量化编码的输出速率  $R_b$ 、时分复用后的总速率 $R$ ，并设计调制器和解调器（给出载频、进制数、符号速率、滚降系数的数值，给出调制名称，画出调制、解调框图），画出发送功率谱密度图；
- (2) 将(1)中的进制数提高一倍，其他保持不变， $N$ 可提高至多少？

参考答案

(1)  $R_b = 8 \times 8 = 64\text{kbit/s}$ 。  $R = 24R_b = 1536\text{kbit/s}$ 。载频 $f_c = 10.48\text{MHz}$ ，进制数 $M = 4$ ， $R_s = 768\text{kBaud}$ ，滚降系数 $= 0.25$ 。设计为 QPSK，调制解调框图如下：



发送功率谱密度如下



(2) 从四进制变成八进制后，传输系统的比特速率可提高 50%，因此 $N$ 可提高至 36。