

考题类型：1、填空题 20 分，每空 1 分。

2、简述题 20 分，每题 4 分。

3、综合计算题 60 分，A6~B7 个题，每题分值不等(课堂例题及课后习题)。

#### 第 1 章

1、通信系统的模型（数字通信系统模型）

2、通信系统的分类。

3、通信方式：（1）单工、半双工和全双工传输；（2）串行传输和并行传输。

4、通信系统的主要性能指标。

（1）模拟通信系统的有效性和可靠性指标（带宽和信噪比）；

（2）数字通信系统的有效性和可靠性指标（信息传输速率和误码率）；

（3）二进制和多进制码元传输速率及信息传输速率的计算及其之间的关系。

（4）误码率和误信率的概念，及其之间的关系。

#### 第2章 信号与噪声

1、白噪声

（1）白噪声的概念及特点；

（2）白噪声功率谱。

2、窄带噪声

（1）窄带噪声概念；

（2）窄带系统概念。

#### 第3章 信道

1、理想信道的概念及理想信道的传输函数具有什么特点。

#### 第4章 模拟调制系统

1、调制的概念、目的和作用。

2、标准调幅 AM 的波形及频谱计算。

3、抑制载波双边带调制（DSB-SC）的波形及频谱计算。

4、单边带调制（SSB）的波形及频谱计算。

5、DSB 信号相干解调的抗噪声性能（系统增益）。

6、SSB 信号相干解调的抗噪声性能（系统增益）。

7、调相信号 PM 相关计算：调制信号、调相波表达式、调制常数、最大频偏和频带宽度。

8、调频信号 FM 相关计算：调制信号、调相波表达式、调制常数、最大频偏和频带宽度。

9、频率调制和相位调制的概念，两者之间的关系。

#### 第 5 章 基带数字传输系统

1、基带信号的概念。

2、数字基带传输系统模型。

3、数字基带信号的常用码型计算：差分码（相对码）、AMI 码和 HDB3 码。

#### 第 6 章 模拟信号的数字传输

1、低通信号的抽样定理相关计算

（1）抽样间隔、抽样频率；

（2）抽样信号的频谱。

2、模拟信号的数字化概念。

3、量化的概念及分类。

4、均匀量化计算：量化间隔和编码。

5、A 律 13 折线 PCM 编码规则及编码计算。

## 第7章 数字频带传输系统

- 1、2ASK 信号调制原理框图, 信号的波形, 信号功率谱及信号带宽计算。
- 2、2FSK 调制原理框图, 信号的波形, 信号功率谱及信号带宽计算。
- 3、2PSK 调制原理框图, 信号的波形, 信号功率谱及信号带宽计算。
- 4、2DPSK 信号的调制原理框图, 信号波形、信号功率谱及信号带宽计算。

部分例习题

### 第一章

1-2 已知二进制信源(0, 1), 若 0 符号出现的概率为 1/4, 求出现 1 符号的信息量。

解 因为全概率  $P(0)+P(1)=1$ , 所以  $P(1)=3/4$ , 其信息量为

$$I = \lg \frac{1}{P(1)} = \lg \frac{4}{3} = 0.412 \text{ (bit)}$$

1-5 设一数字传输系统传送二进制码元的速率为 2400 B, 试求该系统的信息速率; 若该系统改为传送十六进制信号码元, 码元速率不变, 则这时的系统信息速率为多少? (设各码元独立等概率出现。)

解 (1)  $R_b = R_B = 2400 \text{ (b/s)}$

(2)  $R_b = R_B \lg 16 = 2400 \times 4 = 9600 \text{ (b/s)}$

评注 码元速率不变时, 通过增加进制数  $M$ , 可以增加信息速率。

1-8 已知二进制数字信号的传输速率为 2400 b/s, 试问变换成四进制数字信号时, 传输速率为多少波特?

解 若信息速率保持不变, 则传码率为

$$R_B = \frac{R_b}{\lg M} = \frac{2400}{\lg 4} = 1200 \text{ (B)}$$

评注 信息速率不变时, 通过增加进制数  $M$ , 可以降低码元传输速率。

1-9 已知某四进制数字传输系统的传信率为 2400 b/s, 接收端在半小时内共收到 216 个错误码元, 试计算该系统的误码率  $P_e$ 。

解 传码率为

$$R_B = \frac{R_b}{\lg M} = \frac{2400}{\lg 4} = 1200 \text{ (B)}$$

半小时(1800 秒)内传送的码元个数为

$$N = T \cdot R_B = 1800 \times 1200 = 2.16 \times 10^6$$

错误码元数  $N_e = 216$  个, 因此误码率  $P_e$  为

$$P_e = \frac{N_e}{N} = \frac{216}{2.16 \times 10^6} = 10^{-4}$$

1-10 某系统经长期测定, 它的误码率  $P_e = 10^{-5}$ , 系统码元速率为 1200 B, 问在多长时间可能收到 360 个误码元。

解 由  $P_e = \frac{N_e}{N}$  和  $N = T \cdot R_B$  可得时间为

$$T = \frac{N_e}{P_e \cdot R_B} = \frac{360}{10^{-5} \times 1200} = 3 \times 10^4 \text{ (s)}$$

#### 第四章

思考题: 4.1 (P97)

例题

已知调制信号  $f(t) = \cos(2000\pi t) + \cos(4000\pi t)$ , 载波为  $\cos(104\pi t)$ , 进行单边带 SSB 调制, 试确定该单边带信号的表达式, 并画出频谱图。

第六章 例题

已知一基带信号  $m(t) = \cos 2\pi t + 2\cos 4\pi t$ , 对其进行理想抽样:

(1) 为了在接收端能不失真地从已抽样信号  $m_s(t)$  中恢复  $m(t)$ , 试问抽样间隔应如何选择?

(2) 若抽样间隔取 0.2S, 试画出已抽样信号的频谱图。

例一:

设信号  $f(t) = 9 + A \cos \omega t$ , 其中,  $A = 10V$ 。若被均匀量化为 40 个电平, 试确定所需的二进制码组的位数  $N$  和量化间隔  $\Delta$ 。

例二:

对于一个 8bit 均匀量化器范围为  $-1 \sim 1V$ , 试确定量化器的量化间隔  $\Delta$  的大小。

例: 设输入信号抽样值  $I_s = +1260\Delta$  ( $\Delta$  为一个量化单位, 表示输入信号归一化值  $1/2048$ ), 采用逐次比较型编码器, 按 A 律 13 折线编成 8 位码 C1C2C3C4C5C6C7C8。

解 编码过程如下:

(1) 确定极性码 C1: 由于输入信号抽样值  $I_s$  为正, 故极性码 C1=1。

2) 确定段落码 C2C3C4:

参看表 4.3 可知, 段落码 C2 是用来表示输入信号抽样值  $I_s$  处于 13 折线 8 个段落中的前四段还是后四段, 故确定 C2 的标准电流应选为

$$I_W = 128\Delta$$

第一次比较结果为  $I_s > I_W$ , 故 C2=1, 说明  $I_s$  处于后四段。

C3 是用来进一步确定  $I_s$  处于 5~6 段还是 7~8 段, 故确定 C3 的标准电流应选为

$$I_W = 512\Delta$$

第二次比较结果为  $I_s > I_W$ , 故 C3=1, 说明  $I_s$  处于 7~8 段。

同理，确定 C4 的标准电流应选为

$$IW=1024\Delta$$

第三次比较结果为  $I_s > IW$ ，所以  $C_4=1$ ，说明  $I_s$  处于第 8 段。经过以上三次比较得段落码 C2C3C4 为“111”， $I_s$  处于第 8 段，起始电平为  $1024\Delta$ 。

3) 确定段内码 C5C6C7C8：段内码是在已知输入信号抽样值  $I_s$  所处段落的基础上，进一步表示  $I_s$  在该段落的哪一量化级（量化间隔）。参看表 4.3 可知，第 8 段的 16 个量化间隔均为  $64\Delta$ ，故确定 C5 的标准电流应选为

$$\begin{aligned} IW &= \text{段落起始电平} + 8 \times (\text{量化间隔}) \\ &= 1024 + 8 \times 64 = 1536\Delta \end{aligned}$$

第四次比较结果为  $I_s < IW$ ，故  $C_5=0$ ，由此可知： $I_s$  处于前 8 级（1~8 量化间隔）。

同理，确定 C6 的标准电流为

$$IW=1024+4 \times 64=1280\Delta$$

第五次比较结果为  $I_s < IW$ ，故  $C_6=0$ ，表示  $I_s$  处于前 4 级（1~4 量化间隔）。

确定 C7 的标准电流为

$$IW=1024+2 \times 64=1152\Delta$$

第六次比较结果为  $I_s > IW$ ，故  $C_7=1$ ，表示  $I_s$  处于 3~4 量化间隔。

最后，确定 C8 的标准电流为

$$IW=1024+3 \times 64=1216\Delta$$

第七次比较结果为  $I_s > IW$ ，故  $C_8=1$ ，表示  $I_s$  处于序号为 4 的量化间隔。

由以上过程可知，非均匀量化和编码实际上是通过非线性编码一次实现的。经过以上七次比较，对于模拟抽样值  $+1260\Delta$ ，编出的 PCM 码组为 1 111 0011。

它表示输入信号抽样值  $I_s$  处于第 8 段序号为 4 的量化级，其量化电平为  $1216\Delta$ ，故量化误差等于  $44\Delta$ 。顺便指出，若使非线性码与线性码的码字电平相等，即可得出非线性码与线性码间的关系，如下表所示。编码时，非线性码与线性码间的关系是 7/11 变换关系，如上例中除极性码外的 7 位非线性码 1110011，相对应的 11 位线性码为 10011000000。

例：设码组的 8 位码为 11110011，求该样值量化电平为多少？

解：

$C_1=1$ ，说明样值为正极性。

段落码为 111，说明在第 8 段，段落起点电平：

$$1024\Delta$$

段内码 0011，段内电平：

$$128+64=192\Delta$$

故该 8 位非线性码所代表的信号抽样量化值为：

$$1024+192=1216\Delta$$

【例】单路话音信号的最高频率为 4kHz，对其进行 PCM 传输，求：

(1) 最低抽样频率；

(2) 抽样后按 8 级量化，求 PCM 系统的码元速率；

(3) 若抽样后按 128 级量化，PCM 系统的码元速率又为多少？

解：

(1) 由于  $f_m=4\text{kHz}$ ，根据低通抽样定理，可知最低抽样频率  $f_s=2f_m=8\text{kHz}$ 。也就是说，对一个抽样值编码后的码元所占时间为  $T_s=1/f_s$ 。

(2) 对抽样值进行 8 级量化意味着要用 3 位二进制编码。

因为是单路信号，每秒有 8000 个抽样值，一个抽样值用 3 个码元，所以码元传输速率

$$f_{\text{BPCM}} = 3 \times 8000 = 24\text{k (Baud)}$$

(3) 因为 128 级量化需用 7 位二进制码进行编码，所以，码元速率为

$$f_{\text{BPCM}} = 7 \times 8000 = 56\text{k (Baud)}$$

#### 思考与练习题

1、脉冲编码调制 PCM 是把模拟信号转换为数字信号的一种调制方式。请问它由哪三个步骤构成？

2、简要说明利用 A 律 13 折线特性进行 PCM 编码时，8 位 PCM 码的码位是如何安排的。

3、请简述逐次比较型编码器的工作原理。

4、采用 13 折线 A 律编码器电路，设接收到的码组为“01010011”，最小量化间隔为  $\Delta$ 。

(1) 试问编码器输出的该样值量化电平为多少；

(2) 写出对应于该 7 位码的均匀量化 11 位码。

5、若采用 13 折线 A 律编码，设最小的量化间隔为  $\Delta$ ，已知抽样值为  $-95\Delta$ 。

(1) 试求此时编码器输出码组，并计算量化误差；

(2) 写出对应于该 7 位码的均匀量化 11 位码。

4、解：

(1) 已知接收端收到的码组为：

C1C2C3C4C5C6C7C8=01010011，由于 C1=0，则可判定信号为负值。

再由 C2C3C4=101 知：

码组位于第 6 段，起始电平为 256，终止电平为 511，则量化间

隔为 16。所以，编码器输出的电平为：

$$I_q = -(256 + 1 \times 32 + 1 \times 16) = -304$$

(2) 根据 7 位非线性码与 11 位线性码的转换关系，304 对应的均匀量化 11 位码为：

B1B2B3B4B5B6B7B8B9B10B11= 00100110000

5、解：

(1) 极性码：

因为抽样值  $I_s = -95 < 0$ ，所以极性码  $C_1 = 0$ ；

(2) 段落码：（三次比较）

取  $I_{W1} = 128$ ，因为  $I_s < I_{W1}$  所以， $C_2 = 0$ ；

取  $I_{W2} = 16$ ，因为  $I_s > I_{W2}$  所以， $C_3 = 1$ ；

取  $I_{W3} = 32$ ，因为  $I_s > I_{W3}$  所以， $C_4 = 1$ ；

段落码为  $C_2C_3C_4 = 011$ ，说明码组处于第四段中；起点电平 64，量化间隔为 4。

(3) 段内码：（四次比较）

取  $I_{W4} = 64 + 8 \times 4 = 96$ ，因为  $I_s < I_{W4}$  所以， $C_5 = 0$ ；

取  $I_{W5} = 64 + 4 \times 4 = 80$ ，因为  $I_s > I_{W5}$  所以， $C_6 = 1$ ；

取  $I_{W6} = 64 + 6 \times 4 = 88$ ，因为  $I_s > I_{W6}$  所以， $C_7 = 1$ ；

取  $I_{W7} = 64 + 7 \times 4 = 92$ ，因为  $I_s > I_{W7}$  所以， $C_8 = 1$ ；

抽样值位于第四段的第 7 个量化级，段内码为  $C_5C_6C_7C_8 = 0111$ 。

所以，编码器输出码组为： $C_1 C_2 C_3 C_4 C_5 C_6 C_7 C_8 = 00110111$ 。

(4) 量化误差：

编码器输出码组所表示的量化值为  $I_q = -92$ ，那么，量化误

差为：

$I_e = |I_s - I_q| = |-95 + 92| = 3$ ，所以，量化误差为 3 个量化单

位。

(5) 编码器输出码组

C1C2C3C4C5C6C7C8= 00110111

对应的均匀量化 11 位码为：

B1B2B3B4B5B6B7B8B9B10B11=00001011100

## 第七章

### 思考与练习题

设发送的二进制信息为 101100011，采用 2ASK 方式传输。

已知码元传输速率为 1200B，载波频率为 2400Hz。

1) 试构成一种 2ASK 信号调制器原理框图，并画出 2ASK 信号的时间波形；

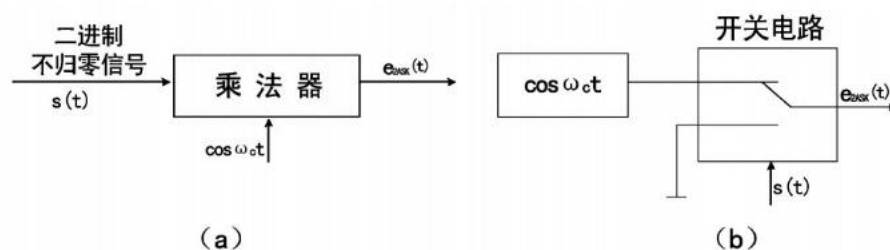
2) 试画出 2ASK 信号频谱结构示意图，并计算其带宽。

解：

1) 2ASK 信号是一种数字振幅调制，已调信号的振幅随数字基带信号变化。

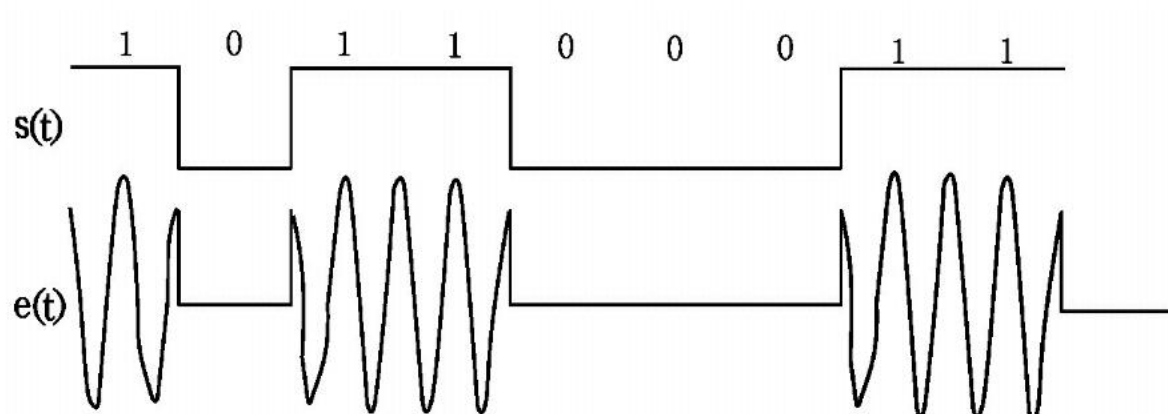
2ASK 信号可以采用模拟相乘的方式产生，如图 (a)。图中数字基带信号  $s(t)$  应是单极性不归零波形。

2ASK 信号也可以采用数字键控的方式产生，通过开关的接通和接地来产生 2ASK 信号，如图 (b) 所示。



根据题中已知条件，码元传输速率为 1200B，载波频率为 2400Hz。因此，在 2ASK 信号的时间波形中，每个码元时间内共有两个周期的载波。

数字基带信号  $s(t)$  和 2ASK 信号的时间波形如图。



2) 2ASK 信号是一种双边带调制信号，其功率谱结构是将数字基带信号的功率谱线性搬移到载频位置。

2ASK 信号功率谱密度结构示意图如下。

2ASK 信号的功率谱分布在整個频率范围，若以功率主瓣宽度计算带宽，则 2ASK 信号带宽

B2ASK 为:

$f_c=2400\text{Hz}$ ,  $f_b=1/T_b=1200\text{B}$ 。

$B_{2ASK} = 2f_b = 2 \times 1200 = 2400 \text{ (Hz)}$

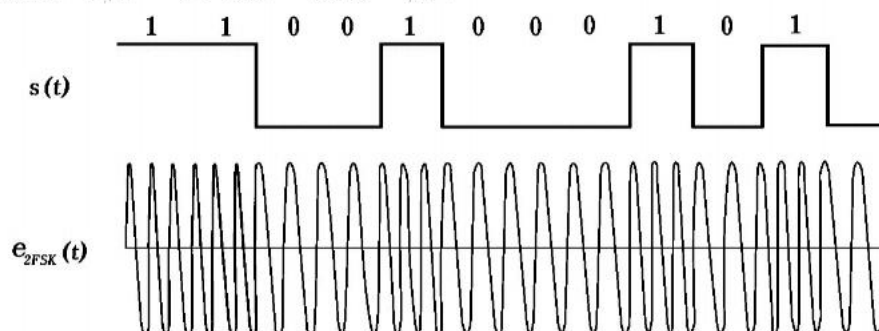


图 7-22

设发送的二进制信息为 11001000101，采用 2FSK 方式传输。已知码元传输速率为 1000B，“1”码元的载波频率为 3000Hz，“0”码元的载波频率为 2000Hz。

(1) 试构成一种 2FSK 信号调制器原理框图，并计算其带宽。

(2) 试画出 2FSK 信号频谱结构示意图，并计算其带宽

解：(1) 2FSK 信号是一种数字频率调制信号，已调信号的频率随数字基带信号变化。2FSK 信号采用数字键控的方式产生。由数字基带信号控制选通开关选择两个载波频率之一输出，由此产生 2FSK 信号。其调制器原理框图

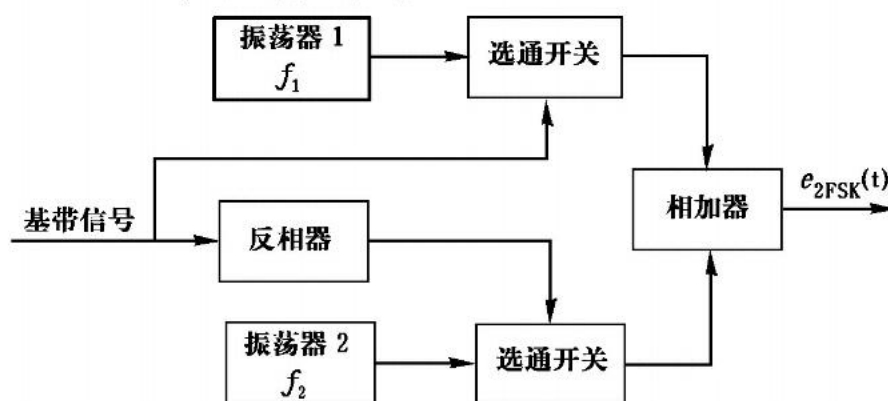
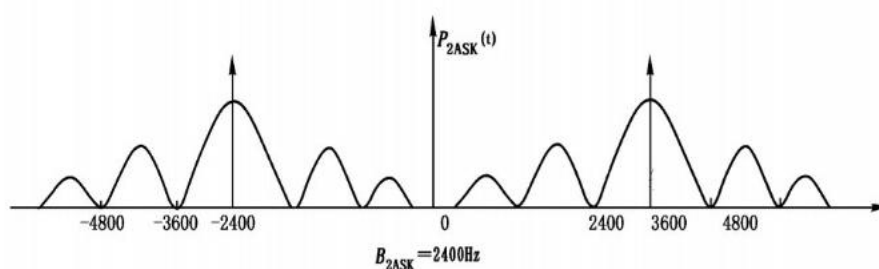


图 7-21

根据题中已知条件，码元传输速率为 1000B，“1”码元的载波频率为 3000Hz，“0”码元的载波频率为 2000Hz。因此，在 2FSK 信号的时间波形中，每个“1”码元时间内共有 3 个周期的载波，每个“0”码元时间内共有两个周期的载波。

数字基带信号  $s(t)$  和 2FSK 信号的时间波形如图：



(2) 2FSK 信号的功率谱结构可以近似看成是两个 2ASK 信号频谱的叠加。

由题已知：  $f_1=3000\text{Hz}$ ，  $f_2=2000\text{Hz}$ ，  $f_s=1/T_s=1000\text{B}$ 。码元传输速率为 1000B，  $f_1$  和  $f_2$  两上载波频差为 1000Hz， 因此 2FSK 信号功率谱有一部分重叠； 其结构示意图如下。

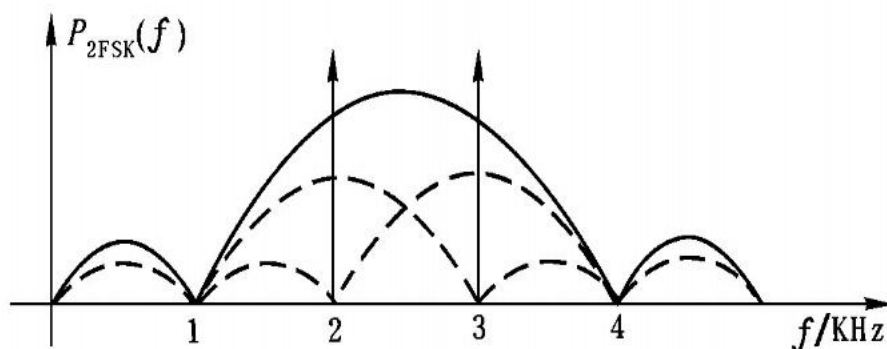


图 7-23

由图， 2FSK 信号的功率谱分布在整个频率范围， 若以功率谱主瓣宽度计算带宽， 则 2FSK 信号带宽  $B_{2FSK}$  为

$$B_{2FSK} = |f_2 - f_1| + 2f_s = 3000 - 2000 + 2 \times 1000 = 3000 \text{ (Hz)}$$

以上分析可以看到：

第一， 2FSK 信号的功率谱同样有连续谱和离散谱组成。其中， 连续谱由两个双边谱叠加而成， 而离散谱出现在两个载频位置上；

第二， 若两个载频之差较小， 比如小于等于  $f_b$ ， 则连续谱出现单峰； 若两个载频之差逐步增大， 则连续谱将出现双峰。