

习题参考解答

第一章

1.13.4

解 平均信息量 (熵)

$$\begin{aligned} H(x) &= -\sum_{i=1}^N p(x_i) \log_2 p(x_i) \\ &= -\frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} - \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} - \frac{3}{16} \log_2 \frac{3}{16} - \frac{5}{16} \log_2 \frac{5}{16} = 2.23 \quad (\text{bit/} \end{aligned}$$

符号)

1.13.5

解 (1) 一个字母对应两个二进制码元, 故一个字母的持续时间 (码元宽度) 为 $2 \times 5\text{ms}$, 传送字母的符号速率为

$$R_B = \frac{1}{2 \times 5 \times 10^{-3}} = 100 \quad \text{B}$$

等概时的平均信息速率为

$$R_b = R_B \log_2 M = R_B \log_2 4 = 200 \quad (\text{bit/s})$$

(2) 平均信息量为

$$H = \frac{1}{5} \log_2 5 + \frac{1}{4} \log_2 4 + \frac{1}{4} \log_2 4 + \frac{3}{10} \log_2 \frac{10}{3} = 1.985 \quad (\text{bit/符号})$$

非等概时的平均信息速率为

$$R_b = R_B \cdot H = 100 \times 1.985 = 198.5 \quad (\text{bit/s})$$

1.13.7

解 (1) 二进制时, $R_b = R_B = 2400 \quad (\text{bit/s})$

(2) 16 进制时, $R_b = R_B \log_2 16 = 2400 \times 4 = 9600 \quad (\text{bit/s})$

1.13.8

解 (1)由题 1.12.5 可知, 信息源的熵

$$H = -\frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} - \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} - \frac{3}{16} \log_2 \frac{3}{16} - \frac{5}{16} \log_2 \frac{5}{16} = 2.23 \quad (\text{bit/符号})$$

故平均信息速率

$$R_b = R_B \cdot H = 1000 \times 2.23 = 2230 \quad (\text{bit/s})$$

传送 1h 的信息量

$$I = R_b \cdot t = 2230 \times 3600 = 8.028 \times 10^6 \quad (\text{bit})$$

(2) 等概时的信息熵最大

$$H_{\max} = \log_2 5 = 2.33 \quad (\text{bit/符号})$$

此时平均信息速率最大, 故有最大信息量为

$$I_{\max} = (R_B \cdot H_{\max}) \cdot t = 1000 \times 2.33 \times 3600 = 8.352 \times 10^6 \quad (\text{bit})$$

1.13.9

解 码元速率为

$$R_{\text{Bd}} = \frac{R_b}{\log_2 M} = \frac{2400}{\log_2 4} = 1200 \quad (\text{Bd})$$

时间 $t=0.5h$ 内传送的码元个数为

$$N = R_{\text{Bd}} \cdot t = 1200 \times 1800 = 2.16 \times 10^6 \quad (\text{个})$$

错误码元数 $N_e = 216$ 个, 因此误码率 P_e 为

$$P_e = \frac{N_e}{N} = \frac{216}{2.16 \times 10^6} = 1 \times 10^{-4}$$

1.13.10

解 由香农公式

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) = 8 \times 10^6 \times \log_2 (1 + 1000) = 79.69 \quad (\text{Mb/s})$$

1.13.11

解 (1) 已知信噪比 $S/N=1000(30\text{dB})$, 则由香农公式

$$\begin{aligned} C &= B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \\ &= 3.4 \times 10^3 \times \log_2 (1 + 1000) \\ &= 33.9 \quad (\text{kb/s}) \end{aligned}$$

(2) 信息速率要小于信道容量, 因此可知

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) > R_b = 3.36 \times 10^4 \quad \text{b/s}$$

$$S/N > 942.84, \text{ 即 } S/N > 29.74 \quad \text{dB}$$

即接收端要求的最小信噪比为 29.74dB

1.13.13

解 一张图片所含的信息量位

$$I = 6 \times 10^5 \times \log_2 16 = 24 \times 10^5 \quad (\text{bit})$$

每秒需要传输的信息量为

$$R_b = I \times 24 = 24 \times 24 \times 10^5 = 5.76 \times 10^7 \quad (\text{b/s})$$

由香农公式可得信道的最大信息速率为

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \geq R_b$$

$$\text{即 } B \geq \frac{R_b}{\log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)} = \frac{5.76 \times 10^7}{\log_2 (1001)} = 5.8 \quad (\text{MHz})$$

即信道带宽至少应为 5.8MHz

第二章

2.6.1

解 乘法器的输出为

$$x(t) \cos(\omega_c t) \times \cos(\omega_c t + \theta) = \frac{1}{2} x(t) \cos \theta + \frac{1}{2} x(t) \cos(2\omega_c t + \theta)$$

通过低通滤波器后的输出为

$$\frac{1}{2} x(t) \cos \theta$$

恢复出的信号的理想值是 $0.5x(t)$ ，因此，由

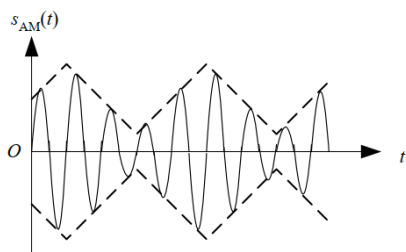
$$\frac{1}{2} x(t) \cos \theta_{\max} = \frac{1}{2} x(t) \times 90\%$$

得到

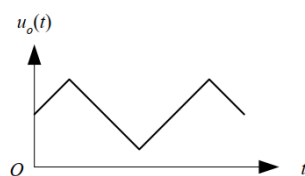
$$\theta_{\max} = \arccos 0.9 \approx 25.8^\circ$$

2.6.2

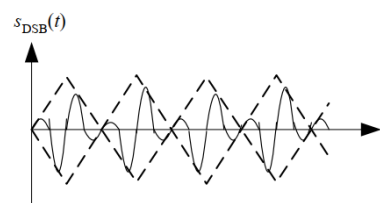
解 相关波形图如下所示，



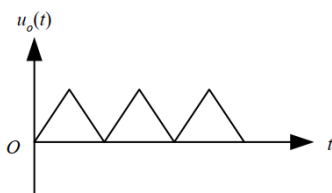
(a) AM信号的波形图



(b) AM信号的包络检波器输出波形



(c) DSB信号的波形图



(d) DSB信号的包络检波器输出波形

2.6.3

解 $m(t)$ 的 Hilbert 变换为

$$\hat{m}(t) = 2 \cos\left(400\pi t - \frac{\pi}{2}\right) + 4 \sin\left(600\pi t - \frac{\pi}{2}\right) = 2 \sin(400\pi t) - 4 \cos(600\pi t)$$

LSB 和 USB 信号的时域表达式分别为

$$\begin{aligned} s_{\text{LSB}}(t) &= m(t) \cos(\omega_c t) + \hat{m}(t) \sin(\omega_c t) \\ &= [2 \cos(400\pi t) + 4 \sin(600\pi t)] \cos(20000\pi t) \\ &\quad + [2 \sin(400\pi t) - 4 \cos(600\pi t)] \sin(20000\pi t) \\ &= 2 \cos(19600\pi t) + 4 \sin(19400\pi t) \end{aligned}$$

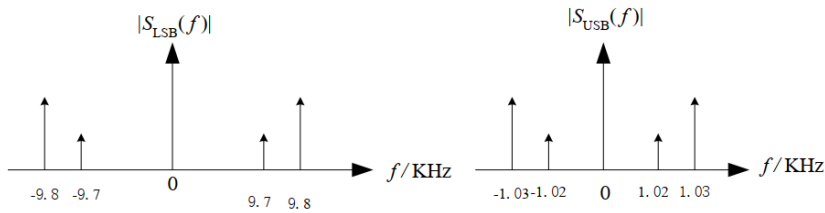
$$\begin{aligned} s_{\text{USB}}(t) &= m(t) \cos(\omega_c t) - \hat{m}(t) \sin(\omega_c t) \\ &= [2 \cos(400\pi t) + 4 \sin(600\pi t)] \cos(20000\pi t) \\ &\quad - [2 \sin(400\pi t) - 4 \cos(600\pi t)] \sin(20000\pi t) \\ &= 2 \cos(20400\pi t) + 4 \sin(20600\pi t) \end{aligned}$$

LSB 和 USB 信号的频谱为

$$S_{\text{LSB}}(f) = 2\pi[\delta(f+9800) + \delta(f-9800)] - 4\pi j[\delta(f-9700) - \delta(f+9700)]$$

$$S_{\text{USB}}(f) = 2\pi[\delta(f+10200) + \delta(f-10200)] - 4\pi j[\delta(f-10300) - \delta(f+10300)]$$

LSB 和 USB 信号的幅度谱示意图如图答 4-3 所示。



2.6.5

解 当 $c_1(t) = 2\cos(\omega_c t)$ 时,

$$\begin{aligned} & [f_1(t)\cos(\omega_c t) + f_2(t)\sin(\omega_c t)]c_1(t) \\ &= 2f_1(t)\cos^2(\omega_c t) + 2f_2(t)\sin(\omega_c t)\cos(\omega_c t) \\ &= f_1(t) + f_1(t)\cos(2\omega_c t) + f_2(t)\sin(2\omega_c t) \end{aligned}$$

经过 LPF 后的输出为 $f_1(t)$, 因此, $c_1(t) = 2\cos(\omega_c t)$ 。

当 $c_2(t) = 2\sin(\omega_c t)$ 时,

$$\begin{aligned} & [f_1(t)\cos(\omega_c t) + f_2(t)\sin(\omega_c t)]c_2(t) \\ &= 2f_1(t)\sin(\omega_c t)\cos(\omega_c t) + 2f_2(t)\sin^2(\omega_c t) \\ &= f_1(t)\sin(2\omega_c t) + f_2(t) - f_2(t)\sin(2\omega_c t) \end{aligned}$$

经过 LPF 后的输出为 $f_2(t)$, 因此, $c_2(t) = 2\sin(\omega_c t)$ 。

2.6.7

解 (1) 平均功率为

$$P = \frac{U_{cm}^2}{2R_L} = \frac{20^2}{2 \times 50} = 40 \text{ (W)}$$

(2) 瞬时相位表达式为

$$\theta(t) = 2 \times 10^8 \pi t + 3 \sin(2000 \pi t) \text{ rad}$$

调制指数为

$$m = \left| \theta(t) - 2 \times 10^8 \pi t \right|_{\max} = \left| 3 \sin(2000 \pi t) \right|_{\max} = 3 \text{ (rad)}$$

(3) 带宽为

$$B \approx 2(m+1)f_m = 2(3+1) \times 1000 = 8 \times 10^3 \text{ (Hz)}$$

(4) 瞬时频率为

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{1}{2\pi} \times \frac{d\theta(t)}{dt} = \frac{1}{2\pi} \times \frac{d[2 \times 10^8 \pi t + 3 \sin(2000 \pi t)]}{dt} \\ &= 10^8 + 3 \times 10^3 \sin(2000 \pi t) \text{ (Hz)} \end{aligned}$$

频偏为

$$\Delta f = \left| 3 \times 10^3 \sin(2000 \pi t) \right|_{\max} = 3 \times 10^3 \text{ (Hz)}$$

(5) 不能。

2.6.8

解 (1) 该理想带通滤波器的传输函数为:

$$H(f) = \begin{cases} K & f \in [100 \text{ kHz}, 105 \text{ kHz}] \\ 0 & \text{Others} \end{cases}$$

其中心频率为 102.5 kHz, 通带宽度为 5 KHz。

(2) 解调器输入端的噪声功率为:

$$N_i = P_n(f) \cdot f_H = 10^{-3} \times 5 \times 10^3 = 5 \text{ (W)}。$$

输入信噪比为为

$$\frac{S_i}{N_i} = \frac{10 \times 10^3}{5} = 2000$$

(4) 因为 $G_{SSB} = 1$, 输出信噪比为为

$$\frac{S_o}{N_o} = \frac{S_i}{N_i} = 2000$$

2.6.11

解 包络检波器输入端的信号功率为

$$S_i = P_c + P_s = 40 + 10 = 50 \text{ (KW)}$$

其中, P_c 和 P_s 分别表示载波功率和边频功率。

包络检波器输入端的噪声功率为

$$N_i = P_n(f) \cdot 2B = 10^{-3} \times 10 \times 10^3 = 10 \text{ (W)}$$

包络检波器输入端的信噪比为

$$\frac{S_o}{N_o} = \frac{50 \times 10^3}{10} = 5 \times 10^3$$

这显然是大信噪比的情况。包络检波器输出端的有用信号和噪声的功率分别为

$$S_o = 2P_s = 20 \text{ (KW)}$$

$$N_o = N_i = 10 \text{ (W)}$$

包络检波器输出端的信噪比为

$$\frac{S_o}{N_o} = \frac{20 \times 10^3}{10} = 2 \times 10^3$$

制度增益为

$$G_{AM} = \frac{S_o / N_o}{S_i / N_i} = \frac{2 \times 10^3}{5 \times 10^3} = 0.4$$

第三章

3.8.2

解 (1) 随机二进制序列的功率谱密度

$$P_s(f) = f_s P(1-P) |G_1(f) - G_2(f)|^2 + \sum_{m=-\infty}^{\infty} [f_s [PG_1(mf_s) + (1-P)G_2(mf_s)]]^2 \delta(f - mf_s)$$

由题意知 $g_1(t) = -g_2(t) = g(t)$ ，因此双极性波形序列的功率谱密度为

$$\begin{aligned} P_s(f) &= 4f_s P(1-P) |G(f)|^2 + f_s^2 (1-2P)^2 \sum_{-\infty}^{+\infty} |G(mf_s)|^2 \delta(f - mf_s) \\ &= \frac{24}{25} f_s |G(f)|^2 + \frac{1}{25} f_s^2 \sum_{-\infty}^{+\infty} |G(mf_s)|^2 \delta(f - mf_s) \end{aligned}$$

式中， $G(f) \leftrightarrow g(t)$ ；等式右端第一项是连续谱成分，第二项是离散谱成分。功率

$$\begin{aligned} S &= \int_{-\infty}^{\infty} P_s(f) df = 4f_s P(1-P) \int_{-\infty}^{\infty} |G(f)|^2 df + f_s^2 (1-2P)^2 \sum_{-\infty}^{\infty} |G(mf_s)|^2 \int_{-\infty}^{\infty} \delta(f - mf_s) df \\ &= \frac{24}{25} f_s P(1-P) \int_{-\infty}^{\infty} |G(f)|^2 df + \frac{1}{25} f_s^2 \sum_{-\infty}^{\infty} |G(mf_s)|^2 \end{aligned}$$

(2) 若基带脉冲波形 $g(t)$ 为

$$g(t) = \begin{cases} 1, & |t| \leq \frac{T_s}{2} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

则 $g(t)$ 的傅里叶变换 $G(f)$ 为

$$G(f) = T_s \text{Sa}(\pi T_s f)$$

因为

$$G(f_s) = T_s \text{Sa}(\omega T_s f_s) = T_s \frac{\sin \pi}{\pi} = 0$$

所以由题 (1) 的结果可知，该二进制序列不存在离散分量 $f_s = 1/T_s$ 。

3.8.3

解 由图可写出

$$g(t) = \begin{cases} A \left(1 - \frac{2}{T_s} |t| \right) & |t| \leq \frac{T_s}{2} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

故 $g(t)$ 的傅里叶变换 $G(f)$ 为

$$G(f) = \frac{AT_s}{2} \text{Sa}^2\left(\frac{\pi}{2} f T_s\right)$$

由题意, $P(0)=P(1)=P=\frac{1}{2}$, 且有

$$g_1(t) = g(t)$$

$$g_2(t) = 0$$

所以

$$G_1(f) = G(f)$$

$$G_2(f) = 0$$

代入二进制基带信号的功率谱密度公式, 可得

$$P_z(f) = f_s P(1-P) |G_1(f) - G_2(f)|^2 +$$

$$\sum_{-\infty}^{\infty} |f_s [PG_1(mf_s) + (1-P)G_2(mf_s)]|^2 \delta(f - mf_s)$$

$$= f_s P(1-P) |G(f)|^2 + \sum_{-\infty}^{+\infty} |f_s (1-P)G(mf_s)|^2 \delta(f - mf_s)$$

$$= \frac{f_s}{4} \left| \frac{A^2 T_s^2}{4} \text{Sa}^4\left(\frac{\pi f T_s}{2}\right) \right| + \sum_{-\infty}^{+\infty} \left| \frac{f_s}{2} G(mf_s) \right|^2 \delta(f - mf_s)$$

$$= \frac{A^2 T_s}{16} \text{Sa}^4\left(\frac{\pi f T_s}{2}\right) + \frac{A^2}{16} \sum_{-\infty}^{\infty} \text{Sa}^4\left(\frac{m\pi}{2}\right) \delta(f - mf_s)$$

3.8.4

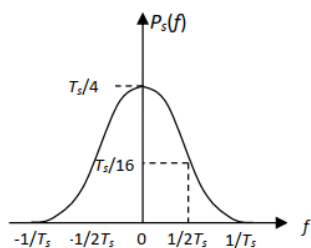
解 (1) 设 $g(t) \leftrightarrow G(f)$, 则

$$G(f) = \begin{cases} \frac{T_s}{4} (1 + \cos \pi f T_s) & |f| \leq \frac{1}{T_s} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

等概 ($P=1/2$) 时, 双极性基带信号的功率谱密度

$$P_z(f) = f_s |G(f)|^2 = \begin{cases} \frac{T_s}{16} (1 + \cos \pi f T_s)^2 & |f| \leq \frac{1}{T_s} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

示意图如下所示,



(2) 因为双极性信号在等概时离散谱 $P_v(f) = 0$ ，故不存在定时分量。

(3) 码元速率 $R_B = \frac{1}{T_s} = 10000(\text{B})$

频带宽度 $B = \frac{1}{T_s} = 10000(\text{Hz})$

3.8.5

解 AMI 码:

+1 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 +1

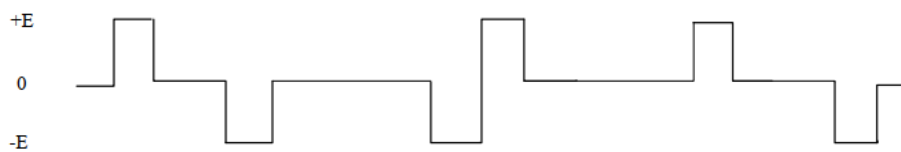
AMI 码波形图如下所示，



HDB₃ 码:

+1 0 0 -1 0 0 0 -V +B 0 0 +V 0 0 0 -1

HDB₃ 码波形图如下所示，



3.8.8

解 (1) 由图可知，系统传输函数 $H(\omega)$ 为

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/976113211132011101>