

第三章 习题参考答案

3.1 a. 对于多点配置，同一时间只允许一个设备发送，为什么？

b. 集中方式和非集中方式各有什么优缺点？

解答 a. 因为多点配置是共享的广播信道。

b. 集中方式是一种主从工作方式（可以采用轮询、排队、优先选择、令牌环的标记轮转或其它策略），优点是能够实现优先级、信道流量等控制功能，最主要缺点是如果主站故障，易全网瘫痪。非集中方式也称分布式方式，可采用类似以太网的争用或者非主从轮转等策略，争用方式的信道分配算法相对复杂，而轮转方式效率低下。主要优点是，任一站点的故障不影响其它站点使用信道，除非它处于不停地向网上发信息的死循环状态。

3.2 填表，反映音符的波长与频率的关系

解答

已知音速 330m/s 和 8 个音阶频率，根据公式 $\lambda = \frac{v}{f}$ ，求得各自对应的波长填入表内。

音符	C	D	E	F	G	A	B	C
频率	264	297	330	252	396	440	495	528
波长(m)	1.25	1.1111	1	0.9375	0.8333	0.75	0.6667	0.625

3.3 如果图 3.14 中虚线写成 $A \sin(2\pi ft + \varphi)$ ， A 、 f 、 φ 各

是多少？

解答

如果虚线写成 $A \sin(2\pi ft + \varphi)$ ，则

$$A = 2, f = 2, \varphi = \pi.$$

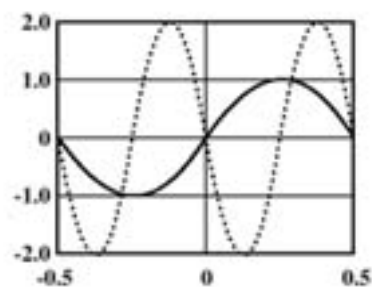


图 3.14 习题 3.3 的图

3.4 一个周期性带宽受限的信号由三个频率成分组成：直流、100Hz 和 200Hz。用正弦形式表示为

$$x(t) = 12 + 15 \cos 200 \pi t + 20 \sin 200 \pi t - 5 \cos 400 \pi t - 12 \sin 400 \pi t$$

请用振幅/相位形式表示该信号。

解答

$$\begin{aligned} x(t) &= 12 + \sqrt{15^2 + 20^2} \cos[200\pi t + \tan^{-1}(\frac{-20}{15})] - \sqrt{5^2 + 12^2} \cos[400\pi t + \tan^{-1}(\frac{-12}{5})] \\ &= 12 + 25 \cos[200\pi t + \tan^{-1}(-\frac{4}{3})] - 13 \cos[400\pi t + \tan^{-1}(-\frac{12}{5})] \end{aligned}$$

3.5 请将信号 $(1 + 0.1 \cos 5t) \cos 100t$ 分解为一个正弦函数的线性组合，并指出每个成分的的振幅、频率和相位。

解答

$$\begin{aligned}& \cos 100t + 0.1 \cos 100t \cos 5t \\&= \cos 100t + \frac{1}{20} [\cos(100t + 5t) + \cos(100t - 5t)] \\&= \cos 100t + \frac{1}{20} \cos 105t + \frac{1}{20} \cos 95t \\&= \sin(100t + \frac{\pi}{2}) + \frac{1}{20} \sin(105t + \frac{\pi}{2}) + \frac{1}{20} \sin(95t + \frac{\pi}{2}) \\&A_1 = 1, \omega_1 = 100, \varphi_1 = \frac{\pi}{2}; \\&A_2 = \frac{1}{20}, \omega_2 = 105, \varphi_2 = \frac{\pi}{2}; \\&A_3 = \frac{1}{20}, \omega_3 = 95, \varphi_3 = \frac{\pi}{2}.\end{aligned}$$

3.6 指出函数 $f(t) = (10 \cos t)^2$ 的周期。

解答

$$\begin{aligned}& \text{根据三角函数降幂公式 知 } \cos^2 t = \frac{1}{2}(1 + \cos 2t) \\& \text{或者由积化和差公式 } \cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2}[\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)] \text{ 推得} \\& \cos^2 t = \cos t \cos t = \frac{1}{2}(\cos 2t + \cos 0) = \frac{1}{2}(\cos 2t + 1) \\& \text{所以, } f(t) = (10 \cos t)^2 = 100 \cos^2 t = 50 + 50 \cos 2t \\& \therefore \cos 2t \text{ 的周期是 } \pi, \therefore f(t) \text{ 的周期也为 } \pi.\end{aligned}$$

3.7 图 3.4 所示为一个方波消除了高频谐波，只保留几个低频谐波后的结果。反过来情况会如何？

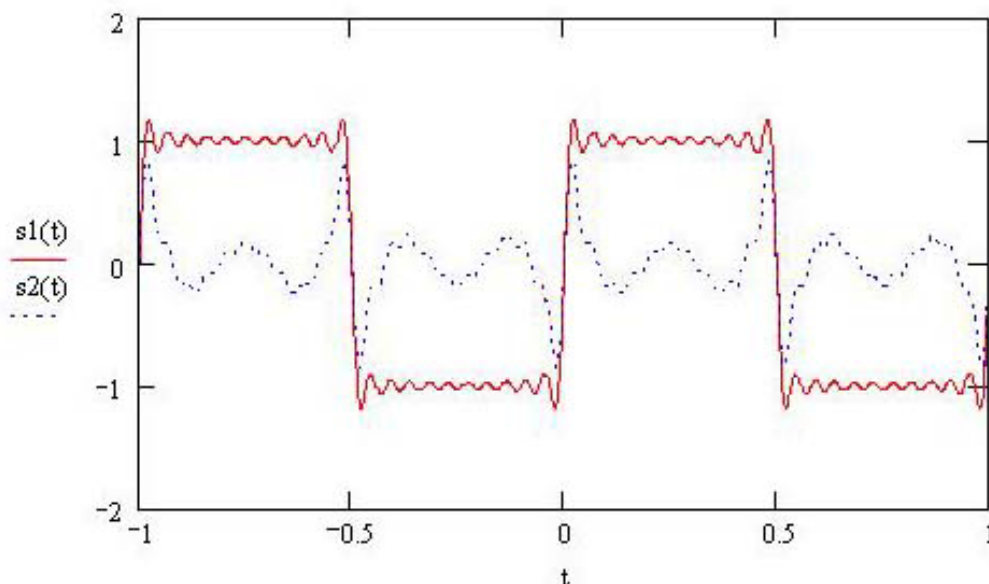
解答

保留所有高频谐波，而消除几个低频谐波，一些人会认为波形将变成频率较高一些（周期变短）幅度小一些的方波，其实则不然。考虑一个最高谐波次数为 21 的一系列正弦波组成的方波信号 $s_1(t)$ ，其图象如下图红色实线所示。当滤掉相对低频的基波（基频）和 3 次谐波后，得到的信号 $s_2(t)$ 的波形却为图中的蓝色虚线。

为什么会这样呢？我们知道， $s_1(t)$ 的所有奇次谐波都是基波的整数倍。设基频为 f ，而去掉低频谐波后，得到的信号 $s_2(t)$ 的基波频率变为 $5f$ ，如果要叠加成方波，它的 3 次谐波应为 $15f$ ，5 次谐波为 $25f$ ，...，都是 $5f$ 的整数倍。但 $s_2(t)$ 则是由 $5f$ 、 $7f$ 、 $9f$ 等等组成， $7f$ 是 $5f$ 的 1.4 倍， $9f$ 是 $5f$ 的 1.8 倍，都不是整数倍的关系，因此变成了如下图所示的波形。

$$s1(t) := \frac{4}{\pi} \sum_{k=0}^{10} \frac{\sin[2\pi(2k+1)t]}{2k+1}$$

$$s2(t) := \frac{4}{\pi} \sum_{k=2}^{10} \frac{\sin[2\pi(2k+1)t]}{2k+1}$$



3.8 如图 3.5(b)所示为单个方波脉冲的频域函数，在通信系统中，该脉冲可代表数字 1。请注意要表示一个方波需要无限多个强度递减的高频成分。那么对于数字传输系统来说它有什么含义？

解答

表明数字信号波形具有无限带宽，因此对于数字传输系统来说应提供从零频率直到高频的基带传输。

然而，对于实际数字传输系统来说，它不必需要保证传输包含无限多个强度递减的高频成分的理想方波，图 3.5(b)中的方波频谱中，从零频率到该频域函数曲线的第一个过零点之间包含了该信号整个能量的 90%，因此矩形脉冲信号的带宽可只在该区间内来考察（区间上界 $f = 1/X$ ）。图中的 X 指矩形方波的宽度，当 X 越小，方波宽度越窄，而 $f = 1/X$ 越大，则过零点向值大的方向伸展，信号带宽越宽，所含的能量强度也越高。

通常数字传输系统传输的信号带宽定义是信号的半功率带宽。半功率（率）带宽是信号 $f(t)$ 一个频率区间，在该区间内的频率分量对 $f(t)$ 功率的贡献是整个信号功率的一半，即 $P_{\text{半功}}$

$= 0.5P_{\text{峰值}}$ 。根据附录 3B (P.81) 的定义 $N_{dB} = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}$ ，有 $10 \lg \frac{P_{\text{峰值}}}{P_{\text{半功}}} = 10 \lg 2 = 3 \text{ dB}$ 。也

就是说该区间边界的功率值比峰值功率值低 3dB，信号带宽值可取 $S(f) = 0.5X$ 处对应的 f 。

在时域图中考察，方波的高频谐波也不必叠加过多，即波形边沿不一定要要求十分陡直。只要在波形宽度决定的时间区间边界保证其振幅电压值达到某个阈值，由

$N_{dB} = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} = 20 \lg \frac{V_2}{V_1}$ 得知，若波形峰值电压为 V_2 ，则该值 V_1 为 $\frac{\sqrt{2}}{2} V_2$ 。

3.9 IRA 码是 7 位代码，总共允许定义 128 个字符。在 20 世纪 70 年代，许多报纸接收到报道都是通过有线服务传送下来的被称为 TTS 码的 6 位代码。典型的 TTS 字符集允许定义 100 多个字符。你认为是如何做到这一点的？

解答

TTS 码(TeleTypeSetter Code)被 ITU-T 称为 ITA 字符集(INTERNATIONAL TELEGRAPH ALPHABET)。其中 ITA 2、ITA3、ITA5 分别是 5 单位 TTS、6 单位 TTS、7 单位 TTS。7 单位 TTS 就是本题所说的典型的 TTS 字符集，亦即通用的 IRA (ASCII)码，它定义了 128 个字符。而 6 单位 TTS 就是本题所说的 6 位代码的 TTS 码，该编码明确规定最多支持 64 个字符编码。

可以取其中两种编码作为转义开始字符以及转义结束字符，不应用转义字符时，有 62 种字符编码，当使用转义字符时，这 62 种编码代表了另外的字符，这样可以表示出 124 种字符编码。

3.10 对视频信号来说，如果带宽提高到 5MHz，水平分辨率和垂直分辨率分别提高多少？

解答

由于采用美国教材，黑白电视体制为 CCIR-M，彩色电视制式为 NTSC。NTSC 实际上使用与黑白电视兼容的视频载波和附加的色彩副载波。因此下列计算对黑白与彩色电视的视频载波都适用。

(1) 计算水平分辨率的增幅

因为每行扫描时间为 $52.5\mu s$ (见 187 页图 8.3(a))。假定 P 像素/行，最短周期的是黑白相间信号，共有 $P/2$ 对。所以该信号周期为 $52.5/(P/2)=105/P\mu s$ ，也就是说最高频率为 $f_H=P/105\text{MHz}$ 。而最低频率 $f_L=0$ (全白或全黑信号)。因此信号带宽 $B=P/105\text{MHz}$ 。

已知视频带宽 $B=5\text{MHz}$ ，所以有 $5=P/105$ ，则每行的像素数 $P=5\times 105=525$ 。

然而，通常 CCIR-M/NTSC 制式每行只约有 450 像素，带宽 $B=P/105=450/105=4.3\text{MHz}$ (实际技术指标 4.2Hz)。

带宽由 4.2MHz 增加到 5MHz 时，水平分辨率约增加 75 像素，增幅 16.7%。

(2) 计算垂直分辨率的增幅

由于信号最高频率 $f_H=5\text{MHz}$ ，即最短的信号周期 $1/f_H=0.2\mu s$ 。

又因为每个最短周期包含 2 个像素，则有 225 周期/行。那么，每行扫描时间为 $0.2\mu s\times 225=45\mu s$ 。加上水平回扫 $11\mu s$ ，每行往返扫描时间为 $56\mu s$ ，即 $56\times 10^{-6}s$ ，

假定每屏 V 行，每秒扫描 30 场 (帧、屏)，则每秒扫描行数为 $30V$ 。

因此对于画面刷新，有 $30V\times 56\times 10^{-6}=1s$ ， $V=595$ 行/屏。目前 NSTL 制式每行只有 525 行。垂直分辨率增加了 70 行，增幅 13.3%。

3.11 a. 假设一个数字化电视画面从源点被发送时使用的是 480×500 的像素矩阵，其中每个像素可携带 32 种强度值中的一种。假设每秒发送 30 幅画面。计算源点的数据率 R(bps)？

b. 假设这个电视画面通过带宽为 4.5MHz，信噪比为 35dB 的信道传输，计算该信道容量(bps)。

c. 讨论一下，需要怎样修改(a)中的参数，才能在不提高 R 值的情况下，允许传输彩色电视信号？

解答

a. 因为每秒发送 30 幅画面，每个画面 480×500 像素，则需创建一个每秒为

$$(30 \text{ 画面/秒}) \times (480 \times 500 \text{ 像素/画面}) = 7.2 \times 10^6 \text{ 像素}$$

的像素流。

每个像素可取 32 种强度值之一，可由 5 个比特表示。因此数据率为

$$R = 7.2 \times 10^6 \text{ 像素/秒} \times 5 \text{ 比特/像素} = 36 \text{ Mbps。}$$

b. 已知 $B=4.5 \times 10^6 \text{ MHz}$ ，

又因 $\text{SNR}_{\text{dB}} = 35\text{dB}$ ，知 $\text{SNR} = 10^{35/10} = 10^{3.5}$ 。

根据香农容量公式，

$$\begin{aligned} C_s &= B \log_2(1+\text{SNR}) \\ &= 4.5 \times 10^6 \log_2(1+10^{3.5}) \\ &= 4.5 \times 10^6 \times \log_2(3163) \\ &= (4.5 \times 10^6 \times 11.63) \\ &= 52.335 \times 10^6 \text{ bps} \end{aligned}$$

c. 由上面 (a) 中知黑白像素由 5 个比特表示，要想不提高数据率，应该仍使用该 32 种取值或者它们的一个子集来表示所有可能的彩色像素值。假定可设三种颜色 (红、蓝、绿)，在不降低分辨率的情况下，任一种都具有 3 个强度级别之一，每个像素总共有 $3^3 = 27$ 组值 (另外五组取值不允许使用)。每组值由 5 个比特表示。

下面是采用子集方案取值的例子：

红	1	1	1	1	1	1	1	1	1
绿	1	1	1	2	2	2	3	3	3
蓝	1	2	3	1	2	3	1	2	3
值	00000	00001	00010	00011	00100	00101	00110	00111	01000

红	2	2	2	2	2	2	2	2	2
绿	1	1	1	2	2	2	3	3	3
蓝	1	2	3	1	2	3	1	2	3
值	01001	01010	01011	01100	01101	01110	01111	10000	10001

红	3	3	3	3	3	3	3	3	3
绿	1	1	1	2	2	2	3	3	3
蓝	1	2	3	1	2	3	1	2	3
值	10010	10011	10100	10101	10110	10111	11000	11001	11010

对上表中的取值的对应关系，可以进行仔细的分析调整，使其具有某种规律，更方便对三色强度的控制。

还可以考虑，用 5 个比特表示固定的三原色的 32 种色彩组合，对于每一取值，三原色具有不同的强度变化。

上述两种方案由于每个原色强度过少，色彩单调，图象层次感差，对于数字电视无实际应用价值。如果可以提高三倍数据率，以每三个连续的 5 比特组分别表示一个像素，三种颜色各有 32 种强度值，共有 32768 种色彩，这对于计算机显示器而言，色彩并不算丰富，

而对于数字彩色电视机，相当不错了。如果不提高数据率，还可以通过降低分辨率或刷新速率，来换取色彩数的提高，但这也不实用的方法。

当然还可考虑别的方法，比如适当提高数据率并使用 3 比特组，有 512 种颜色。

3.12 假定一放大器有 10000 ° K 的有效噪声温度及 10MHz 的带宽，其输出端的热噪声值估计为多少？

解答

$$\begin{aligned} N &= -228.6\text{dBW} + 10\log 10^4 + 10\log 10^7 \\ &= -228.6 + 40 + 70 \\ &= -118.6\text{dBW} \end{aligned}$$

3.13* 电机信道的带宽为 300Hz 且信噪比为 3dB，该信道容量是多少？

解答

已知 $B=300\text{Hz}$ ，又因 $\text{SNR}_{\text{dB}} = 3\text{dB}$ ，知 $\text{SNR} = 10^{3/10} = 10^{0.3}$ ，根据香农公式

$$\begin{aligned} C_S &= B \log_2(1+\text{SNR}) \\ &= 300 \times \log_2(1+10^{0.3}) \\ &= 300 \times \log_2 3 \\ &= 300 \times 1.58 \\ &= 474\text{bps} \end{aligned}$$

3.14 一个数字信号传输系统要求其工作在 9600bps。

- 如果一个信号单元可编码成 4 比特的单字，那么需要的最小信道带宽是多少？
- 在 8 比特单字的情况下又是多少？

解答 a. 每个码元含有 4 个比特，即 $\log_2 M=4$ 。根据奈奎斯特准则和已知条件 $R = 9600 \text{ bps}$ ，有

$$C_N = 2B \log_2 M = 9600 \text{ bps}$$

因此，

$$B = 9600 / 2 \times 4 = 1200\text{Hz}$$

- 如果 $\log_2 M=8$ ，则

$$B = 9600 / 2 \times 8 = 600\text{Hz}$$

3.15* 信道的带宽为 10KHz，功率为 1000W，操作环境温度为 50 ° C，则该信道的热噪声值为多少？信噪比为多少 dB？

解答

该信道 1Hz 带宽内热噪声值 $N_0 = kT = (1.3803 \times 10^{-23}) \times (273 + 50) = 4.46 \times 10^{-21} \text{ W/Hz}$

带宽 10kHz 的该信道热噪声值 $N = N_0 \times 10 \times 10^3 = 4.46 \times 10^{-17} \text{ W}$

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \lg (S/N) = 10 \lg (1000 / (4.46 \times 10^{-17})) = 10 \lg (2.24 \times 10^{19}) = 193.5 \text{ dB}$$

(增加的解答，原题未要求计算信噪比)

3.16 (问题略)

解答

教材 P.73-74 上的例子从某种角度描述了香农与奈氏容量公式的关系。两者都与信道带宽有关。香农公式研究有噪信道，奈奎斯特准则适用无噪信道。教材上已有描述两者关系的例题。

3.17 假设信道所要求的容量为 20Mbps，信道带宽为 3MHz，为达到这一信道容量，要求信噪比为多少？

解答已知 $C=20\text{Mbps}$ ， $B=3\text{MHz}$ 。根据香农容量公式 $C_s = B \log_2(1 + \text{SNR})$ ，有

$$C = 20 \times 10^6 \quad 3 \times 10^6 \times \log_2(1 + \text{SNR})$$

则

$$\log_2(1 + \text{SNR}) \quad 6.67$$

$$1 + \text{SNR} \quad 2^{6.67}$$

$$1 + \text{SNR} \quad 102$$

$$\text{SNR} \quad 101$$

3.18. 假设图 3.7(c)中的方波周期 $T=1\text{ms}$ 经过一个允许 8kHz 频率无衰减通过的低通滤波器。

- 计算输出波形的功率。
- 假设该滤波器输入中有热噪声电压，其 $N_0 = 0.1\mu\text{W/Hz}$ ，计算以 dB 为单位的输出信噪比。

解题提示

已知方波周期 $T=1\text{ms}$ ，即信号频率 $f=1000\text{Hz}$ 。 $N_0=0.1\mu\text{W/Hz}=1 \times 10^{-7}\text{W/Hz}$ 。

- 该信号为如图 3.7(c)的周期信号，假定经过一个 8kHz 无衰减通过的低通滤波器，其它高频分量经过该滤波器被滤除了，因此，输出波形的最高谐波频率 $7f$ ，即 7kHz。则输出信号一个周期内的平均功率为

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T \left| \frac{4}{\pi} \sum_{k=0}^3 \frac{\sin[2\pi(2k+1)ft]}{2k+1} \right|^2 dt$$

其中，当 $k=3$ 时， $2k+1=7$ 。

- 信噪比 S/N 中的 S 就是信号功率，令 $S = P$ ；因滤波器热噪声 N 等于噪声功率密度 N_0 与滤波器信道带宽 B 的乘积， S 和 N 的单位都为 W。已知 $B = 8\text{kHz}$ ，所以

$$N = N_0 B = (1 \times 10^{-7}\text{W/Hz}) \times (8 \times 10^3 \text{ Hz})$$

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log(S/N) = 10\lg S (\text{dBW}) - 10\lg N (\text{dBW})。$$

3.19 假设某数字系统接收到的信号值是 -151dBW，接收系统的有效噪声温度是 1500 °K。对于一个传输速率为 2400bps 的链路，其 E_b/N_0 是多少？

解答已知 $S_{\text{dbw}}=-151\text{dB}$ ， $T=1500^\circ\text{K}$ ， $R=2400\text{bps}$ ，则

$$\begin{aligned} E_b/N_0 &= S_{\text{dbw}} - 10 \lg R + 228.6\text{dBW} - 10 \lg T \\ &= -151 - 10 \lg 2400 + 228.6 - 10 \lg 1500 \\ &= -151 - 33.8 + 228.6 - 31.8 \\ &= 12 \text{ dB} \end{aligned}$$

3.20. 请根据下表不同分贝值的大约功率比填充表中空白项。

解答

根据分贝 y ，计算 $10 \lg x = y \text{ (dB)}$ 求衰耗或增益 x 。 y 值为正，表示增益； y 值为负，表示衰耗。分别将其填入表内。

分贝	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
衰耗	0.8	0.63	0.5	0.4	0.316	0.25	0.2	0.16	0.125	0.1
增益	1.25	1.6	2	2.5	3.16	4	5	6.3	8	10

从表中看出，互为倒数的增益与衰耗用分贝表示，成了绝对值相同的正负数；此外，分贝表示，增益和衰减的累积可以用求代数和的方法，简化了计算。

3.21 如果一个放大器的增益为 30dB，那么这个增益代表的电压比值是多少？

解答

已知 $20 \lg x = 30 \text{ dB}$ ，则 $\lg x = 1.5$ ， $x = \sqrt{1000}$

3.22 如果放大器的输出功率为 20W，则它的输出是多少 dBW？

解答

$10 \lg 20 = 13 \text{ dBW}$