

# 数字信号处理 I

## 期末考试基本概念复习题

### 第 2 章

1. 模拟信号、离散时间信号和数字信号三者的特点是什么？

模拟信号（连续时间信号）：自变量和函数都取连续值（自然世界信号）

离散时间信号：自变量取离散值，函数取连续值（DSP 信号模型）

数字信号：自变量取离散值，函数值量化（ADC 转换后信号，实际 DSP 系统处理的信号）

2. 数字信号和离散时间信号相同吗？

不相同，区别：数字信号的幅度是量化的，离散时间信号的幅度是连续的。

3. 离散时间信号  $x(n)$  的  $n$  下标如何表示时间？

实际上离散时间信号表示为： $x(nT)$ ， $n$  取整数。

由于离散时间点的间隔均匀为  $T$ ，为了简化， $T$  可以不写，形成信号  $x(n)$ 。

$x(n)$  代表第  $n$  个序列值，表示具体时间时再用  $n$  乘采样间隔  $T$  即可。

4. DSP 系统中最常见的三种基本运算是哪几种？

加法，数乘，移位

5. DSP 的延时操作是怎么实现的？

以存储方式实现的

6. 非时变系统的特点是什么？

系统的输出不取决于输入信号何时加入系统，只取决于输入信号本身的内容。

（补充：非线性系统的特点：不符合叠加原理）

7. 系统一般因果性的概念是什么？

若一个离散时间系统在任意时刻的输出  $y(n)$ ，只和该时刻和(或)该时刻之前的输入序列值（或输出序列）有关，则称此系统为“因果系统”。

8. 系统一般稳定性的概念是什么？

有界输入产生有界输出

9. 线性非时变系统（LTI 或 LSI）输入和输出的时域关系是什么？

$$y(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)h(n-k) \text{ 或 } y(n) = x(n)*h(n)$$

10. LTI 系统的单位冲激响应  $h(n)$  如何表述它的因果性和稳定性?

当  $n < 0$  时,  $h(n) = 0$  或当  $n < n_0$  时,  $h(n - n_0) = 0$  系统具有因果性

$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |h(n)| < \infty$  (即  $h(n)$  绝对可和), 即系统稳定

11. 非因果系统能实现吗? 为什么?

不能, 因为非因果系统的输出取决于未来的输入, 这是物理不可实现的。

12. LTI 系统卷积的物理意义是什么?

表示 LTI 系统对输入信号进行处理的一种通用的数学表达式 (规则、过程的一种数学表述)

13. 一个模拟低通带限信号进行采样时, 理论上不失真的最低采样频率等于什么?

信号最高频率  $f_{max}$  的两倍

14. 模拟信号被采样以后, 频域怎样变化?

频域发生无限项周期延拓 (离散时间信号的频谱, 是原模拟信号的频谱, 沿频率轴以  $\Omega_s$  为周期, 进行无限周期延拓形成的。)

14. 实际中采样模拟信号用什么器件实现? 它的输出是离散时间信号还是数字信号?

ADC, 数字信号

15. 一个模拟信号和它采样后序列的频率关系是什么?

数字频率 = 模拟频率  $\times$  采样间隔 ( $\omega = \Omega T$ )

16. DAC 能实现数字信号到模拟信号的理想重构吗? 为什么?

不能, DAC 将数字信号转换成模拟信号, 是一种近似的信号重构。DAC 实现的是非理想的低通滤波器, 数字信号到模拟信号的理想重构是一个理想的低通滤波器。

17. 理论上离散时间信号重构模拟信号的最佳内插函数是哪一种函数?

$$\varphi_k(t) = \frac{\sin[\frac{\pi}{T}(t-kT)]}{\frac{\pi}{T}(t-kT)} \quad (\text{辛格函数})$$

### 第 3 章

18. LTI 系统对正弦序列的响应有什么特点?

$$y(n) = H(e^{j\omega}) A e^{j\omega n} = |H(e^{j\omega})| A e^{j\{\omega n + \arg[H(e^{j\omega})]\}}$$

LTI 系统对正弦序列的响应输出, 仍是一个相同频率的正弦序列, 变化的是幅度和初相, 幅度由幅频响应改变, 初相由相频响应改变。

19. LTI 系统幅频响应的物理意义是什么?

系统对不同输入频率正弦信号幅度的改变

20. LTI 系统相频响应的物理意义是什么?

表示系统对不同频率正弦信号初相的改变

21. 序列傅里叶变换 DTFT 的定义式什么？

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} x(n)e^{-j\omega n}$$

22. 序列傅里叶变换 DTFT 是信号的频谱，频谱的物理概念是什么？

表示信号中各种频率正弦信号的能量分布情况

23. 序列频谱（DTFT）是周期函数吗？周期等于多少？

是，周期为  $2\pi$

24. DTFT 频谱在一个周期  $[0, 2\pi]$  内的负频率范围是什么？一个频谱在一个周期  $[0, 2\pi]$  最高频率点为多少？

$$\pi \sim 2\pi, \pi$$

25. 为什么要对信号进行傅里叶变换？它比时域分析好在哪里？

对信号进行傅里叶变换可以获得分析信号更宽的分析视野、更好的分析内容。

比时域分析的更精确。（凡是精确测量都是在频域测量的）

（从频域分析信号，得到的信息量大，分析得更准确）

26. LTI 系统的频域描述关系式是什么？

$$Y(e^{j\omega}) = H(e^{j\omega})X(e^{j\omega}) \quad (\text{相乘})$$

27. LTI 系统的频率响应函数和单位冲激响应的关系是什么？

在数学上频率响应是单位冲激响应的离散时间傅立叶变换 DTFT

28. 一个序列的 Z 变换与 DTFT 的关系是什么？

当 Z 变换的收敛域包含单位圆时， $X(e^{j\omega}) = X(z) |_{z=e^{j\omega}}$

29. 与傅里叶变换相比，Z 变换的优点是什么？

一个序列的 Z 变换存在的条件要比它的 DTFT 存在条件宽松，容易满足；分析的区域得到扩大。

30. Z 变换收敛域的概念是什么？

对于任何一个序列，使得它的 Z 变换收敛的 Z 值的集合

31. 一个稳定因果系统的系统函数的收敛域有什么特点？

$$R_{x-} < |z| \leq \infty$$

$$R_{x-} < 1 \quad (\text{对 LTI 系统而言})$$

32. 一个因果有限长序列的 z 变换收敛域存在吗？有什么特点？

存在，有限长因果序列的收敛域是除了 0 以外的整个  $z$  平面。

33. 系统函数  $H(z)$  和单位冲激响应是什么关系？

$$H(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n)z^{-n}$$

在数学上系统函数  $H(Z)$  是单位冲激响应  $h(n)$  的  $Z$  变换。

34. 系统函数  $H(z)$  和系统的频率响应函数的关系是什么？

当  $H(Z)$  的收敛域包含单位圆时， $H(e^{j\omega}) = H(z) |_{z=e^{j\omega}}$

35. 系统函数的零点和极点对幅频响应的影响是什么？

极点位置影响幅频响应的峰值位置及尖锐程度，但极点不能位于单位圆上；零点位置影响幅频响应谷点位置及形状。

处于原点的零点和极点不影响系统的幅频特性，只影响相频特性。

36. 系统函数的极点是否可以在  $Z$  平面的单位圆上？为什么？

不能 会导致系统不稳定（因为当  $H(Z)$  的收敛域包含单位圆时，系统才稳定；极点若是在  $Z$  平面的单位圆上， $H(Z)$  的收敛域肯定不包含单位圆，系统不稳定）

37. 什么是 FIR 系统？它的系统函数有什么特点？

有限冲激响应系统；  $H(z)$  是关于  $z^{-1}$  的一个有限阶多项式

（由系统函数：
$$H(z) = \sum_{r=0}^M b_r z^{-r}$$
 可知，该系统只有零点，除原点之外没有极点，因此也称为全零点系统。）

38. 什么是 IIR 系统？它的系统函数有什么特点？

无限冲激响应系统；  $H(z)$  是关于  $z^{-1}$  的有理分式形式（2 种形式）

（IIR 系统的系统函数有两种形式：

(1) 
$$H(z) = \frac{1}{1 - \sum_{k=1}^N a_k z^{-k}}$$
 :  $H(z)$  是一个只有分母项的有理分式，分母项是一个  $N$  阶多项式，有  $N$  个根，所以， $H(z)$  有  $N$  个极点。

(2) 
$$H(z) = \frac{\sum_{r=0}^M b_r z^{-r}}{1 - \sum_{k=1}^N a_k z^{-k}}$$
 : 该系统函数既有极点也有零点，称为零极点模型)

39. 常系数差分方程表示系统的优点是什么？

有限阶数的差分方程是系统实现的一种表达方式（对于 FIR 滤波器：差分方程和卷积表达式相同，对于 IIR 滤波器：差分方程是一种工程实现的方案，而卷积表达式是无法实现的）

40. 系统的网络结构表示系统的意义是什么？

表示系统实现的一种方案、资源的大小

## 第 4 章

41. DFS（离散傅里叶级数）适用于哪一类序列的频谱计算？

离散周期序列

42. DFT（离散傅里叶变换）适用于哪一类序列的频谱计算？

有限长序列

43. DFT（离散傅里叶变换）和 DTFT（离散时间傅里叶变换）的表示的频域信息相同吗？它们有什么区别？

不同，DFT 频域是离散的，DTFT 频域是连续的

44. 对一个序列进行 DFT 计算，序列的频谱 DTFT 如何变化？

DTFT 的频谱均匀离散化

45. 工程实际中对序列进行频谱分析采用的是 DTFT 还是 DFT？为什么？

DFT，它实质上完成了对 DTFT 变换后得到的  $X(e^{j\omega})$  的一个离散采样过程，频域离散化更便于数字运算和存储，更具实用性和灵活性

46. 一个 N 点有限长序列的 DTFT、DFT 和 Z 变换都存在吗？它们的关系是什么？

都存在， $X(k) = X(z)|_{z=W_N^{-k}} = X(e^{j\omega})|_{\omega=\frac{2\pi}{N}k}$ （文字描述：X(k) 为 X(z) 在 z 平面单位圆上 N 等分的离散值，为  $X(e^{j\omega})$  在  $\omega=0\sim 2\pi$  内的 N 等分点上的离散值）

47. 为什么 DFT 可以用在工程实际中？

首先，有限长序列是工程中最常见的序列模型，而 DFT 适用于有限长序列的频域计算；DFT 使信号频域离散化，频域离散化更便于数字运算和存储；DFT 有快速算法可提高信号处理速度，减小计算量。

48. DFT 比 DTFT 好在哪里？

DFT 实质上完成了对 DTFT 变换后得到的  $X(e^{j\omega})$  的一个离散采样过程，频域离散化更便于数字运算和存储，更具实用性和灵活性；DFT 有快速算法可提高信号处理速度，减小计算量。

## 第 5 章

49. FFT 名称的含义是什么？它是一种新的傅里叶变换吗？

快速傅里叶变换，不是，FFT 是计算 DFT 的一种高效的快速算法

50. 发明 FFT 算法的目的是什么？它有什么好处？

为了解决 DFT 运算过于耗费时间，计算设备昂贵的问题；

FFT 使 DFT 的运算量大为简化，节约成本，节省时间，使 DFT 技术得到了广泛的应用

51. 对于一个 N 点序列，直接计算 DFT 的复数乘法计算量是多大？FFT 的计算量是多大？

DFT :  $N^2$  次复数乘法， $N(N-1)$  次复数加法

FFT :  $NM/2$  次复数乘法， $NM$  次复数加法， $M=\log_2^N$

52. 一个 N 点序列的 N 点 FFT 和 DFT 的结果相等吗？

相等

53. FFT 算法可以减少计算量的最主要思路是什么？

基本思路是利用 W 因子的周期性、对称性和正交性等性质，同时将一个 N 点 DFT 的计算划分成  $N/2$ 、 $N/4$ ...，2 点序列的 DFT 计算的组合，由于 DFT 运算量和点数平方成正比，计算量得以大幅度减少。

54. 按时间抽取基 2-FFT 算法的抽取规律是什么？

按时间下标的奇偶性进行抽取。（将 N 点序列按时间下标的奇偶分为两个  $N/2$  序列，计算这两个  $N/2$  点序列的 DFT 计算量可减小约一半；每一个  $N/2$  点序列按照同样的划分原则，可以划分为两个  $N/4$  点序列，以此类推，最后，将原序列划分为  $N/2$  个 2 点序列。）

55. FFT 算法中码位倒置规律和同址运算概念是什么？

码位倒置规律：序列在进入这种 FFT 算法之前，序列要求重新排序，使之符合 FFT 的算法要求，新序是原序的二进制码位倒置顺序，简称码位倒序。

同址运算：算法中的任何一个蝶形的两个输入变量经该蝶形计算后，便没有用处了，蝶形的两个输出计算结果可存放到与原输入量相同的地址单元中，称这种蝶形运算的规律为同址运算。

## 第 6 章

56. 数字滤波器分为哪两种类型？

经典滤波器（有限冲击响应滤波器、无限冲激响应滤波器），现代滤波器

57. 数字滤波器的通带指标含义是什么？阻带指标含义是什么？

$$\alpha_p = -20\lg|H(e^{j\omega_p})| \text{ dB} \quad \alpha_s = -20\lg|H(e^{j\omega_s})| \text{ dB}$$

通带内允许最大衰减为  $\alpha_p$ ，阻带内允许最小衰减为  $\alpha_s$

58. 3 分贝截止频率的概念是什么？

当幅度降到  $\frac{\sqrt{2}}{2}$  时， $\omega=\omega_c$ ，此时  $\alpha_p=3\text{dB}$ ，我们称  $\omega_c$  为滤波器的 3dB 通带截止频率。



59. 理想滤波器能实现吗？为什么？

不能，因为理想滤波器的单位脉冲响应是非因果且无限长的，这是不可实现的。

60. 巴特沃斯滤波器的特点是什么？

巴特沃斯滤波器具有通带最平坦特性和单调下降的幅频特性。

61. 通带最平坦滤波器是哪一种滤波器？

巴特沃斯滤波器

62. 冲激响应不变设计法的缺点是什么？

会产生频率混叠现象，适合低通、带通滤波器设计，不适合高通、带阻滤波器的设计。

63. 双线性变换设计法可以设计高通滤波器吗？为什么？

可以，双线性变换设计法采用非线性频率压缩方法，通过两次压缩映射消除了混叠现象，可以进行高通滤波器的设计。

## 第 7 章

64. FIR 滤波器实现第一类线性相位特性的条件是什么？它能实现吗？

$h(n)=h(N-1-n)$ ，能，序列关于  $(N-1)/2$  对称

65. 系统具有线性相位特性处理信号的优点是什么？

线性相位滤波器保证了通过该滤波器的各频率成分的延迟一致，从而能保证信号不失真。

66. FIR 滤波器窗函数设计法的阻带指标由什么因素决定？

阻带指标由窗函数决定，不受  $N$  的影响；选择尽量低的旁瓣，特别是第一旁瓣相对高度，且在  $\omega$  趋近于  $\pi$  时，能量迅速趋于 0

67. 吉布斯效应是什么？

理想滤波器无限长冲激响应信号被截断为有限长序列，所带来的影响：通带、阻带内出现了波纹，出现了过渡带，从而带来技术指标不能满足要求。

68. 窗函数设计法中，增加 FIR 滤波器长度  $N$  可以改进阻带和通带技术指标吗？为什么？

增加  $N$ ，可缩小主瓣宽度，使过渡区变窄，却不能改变旁瓣振幅，不能改进阻带和通带技术指标

69.  $N$  点长度的线性相位 FIR 滤波器的处理时延等于多少？

$(N-1)T/2$

70. FIR 滤波器的频率取样设计法的特点是什么？

直接从频域出发，对理想频响函数进行采样，以此来确定  $H_d(k)$  值，这样可以使设计所得的系统函数  $H(z)$  去逼近理想的系统函数  $H_d(z)$

(1) 可以从频域直接处理，不要求积分，可以设计较复杂频响函数

(2) 需要优化设计，截止频率不容易精确确定，过渡点值需优化设定

71. 如何改进频率取样设计法的阻带技术指标？

增大抽样点数  $N$ ，使  $H(e^{j\omega})$  与  $H_d(e^{j\omega})$  更逼近

在通带阻带交界处人为增加若干过渡点