

## 一、简答题：

- 信道对信号的干扰为什么往往只考虑加性干扰？加性干扰中为何将研究重点放在起伏噪声上？白噪声是一种实际存在的噪声吗？

恒参信道非常普遍，如有线信道、无线信道中的超短波信道、卫星信道等都可视为恒参信道。

对恒参信道而言，信道模型可简化为非时变的线性网络，那么信道对信号的干扰就只有加性干扰了。

某些类型的噪声是确知的，在原理上可以消除或基本消除，而另一些不能准确地预测波形的随机噪声是我们关注的重点。常见的随机噪声可分为单频噪声、脉冲噪声和起伏噪声三类。前两者可以使用一些技术进行控制或减轻影响，起伏噪声以热噪声、散弹噪声、宇宙噪声等为代表，它无论在时域还是在频域中总是普遍存在、不可避免的，故研究中常以起伏噪声为重点。

白噪声在数学处理上比较简单，给通信系统的分析带来方便，但它只是一种理想化模型，实际不可能存在。

- 复频谱谐波分量的幅度为什么降为对应实频谱的一半？怎样看待复频谱中的负频率成分？

傅立叶级数可表示为三角函数形式或者复指数形式，前者对应于实频谱，所以谱线都位于非负频率的位置上，而后者对应于复频谱，有负频率分量。可以这样理解：实频谱中的某个谐波分量可表示为复频谱中相应正频率分量和相应复频率分量之和（根据欧拉公式），从分量的幅度大小上看，确有“复频谱分量的幅度降为实频谱一半”的关系。负频率的出现是数学运算（欧拉公式）的结果，并无物理意义。

- 信号理论中“时域和频域之间的对称性”指怎样的关系？

在有限的时间区间内有定义，而在区间外为零，这类信号叫做时域有限信号，简称时限信号。若信号的所有频率成分都局限在某个范围之中，那么这个信号则属于频域有限信号，简称频限信号。在信号理论中，时域和频域之间存在着“对称性关系”：时限信号在频域上是无限的，而频限信号又对应于时域无限信号。这种关系意味着一个信号不可能同时在时域和频域上都是有限的。

- PCM 包括哪些步骤？非均匀量化的目标是什么？接收端是否可能完全恢复出发送端发送的模拟信号？为什么？

模拟信号的数字化包括三个步骤：第一步是“抽样”——对连续的模拟信号进行时间离散化处理，通常是以相等的时间间隔来抽取模拟信号的样值；第二步是“量化”——将采（抽）样值变换到最接近的数字值，是把幅度上连续的抽样值也变成离散的；第三步是“编码”——把量化后的样值信号用一组  $M$  进制数字代码来表示。非均匀量化是为了有效提高小信号时的信噪比。由于量化或多或少会引入误差，所以即使不存在信道噪声，接收端恢复出的模拟信

号与发送端发送的模拟信号多少总有差别。

- 何谓奈奎斯特低通抽样定理？何谓奈奎斯特第一准则？

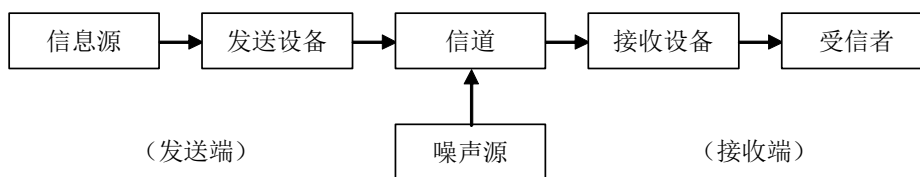
低通抽样定律告诉我们：一个频带限制在  $(0, f_H)$  内的连续信号  $x(t)$ ，如果抽样频率  $f_s$  大于或等于  $2f_H$ ，则可以由抽样序列无失真地重建（恢复）原始信号  $x(t)$ 。奈奎斯特第一准则指出：如果网络或等效网络具有理想低通特性，且截至频率为  $f_N$  时，则该系统允许的最高码元速率为  $2f_N$ ，并且此时系统输出波形在各峰值点上不存在前、后码元间的干扰。

- 如何借助信号眼图来判断数字通信系统的传输质量？在数字基带传输系统中，为什么往往要在接收端设计一个时域均衡器？

眼图是对数字基带信号传输系统性能的定性描述，从中可看出码间干扰的大小和噪声的大小。如果系统不存在码间干扰与噪声，则显示在示波器荧光屏上的数据信号眼图迹线又细又清晰，此时眼图完全张开，说明传输质量好；否则如果存在码间干扰和噪声，则眼图迹线又粗又不太清晰，此时眼图张不大，说明传输质量下降；噪声越大，迹线越粗，越模糊，码间干扰越大，眼图越不端正。时域均衡建立在消除取样点的码间干扰的基础上，不要求传输波形的所以细节都与奈奎斯特准则所要求的理想波形一致，利用接收信号波形本身来进行补偿，使补偿后的波形满足无码间干扰的条件，从而提高判决的可靠性。

- 我们采用怎样的基本模型用于描述通信系统？请画出框图，并简要说明各构成要素的功能。

通信系统基本框图



- 发送端信源（信息源）是发出信息的源，接收端信宿（受信者）是传输信息的归宿点。多数情况下，信源兼为信宿，通信的双方需要随时交流信息，因而要求双向通信。信源可以是离散的数字信源，也可以是连续的模拟信源，其作用是将各种可能的消息转换成原始的电信号。
- 发送设备的基本功能是将信源和信道匹配起来，即将信源产生的原始电信号变换为适合于特定信道传输的电信号，以送往传输信道。变换方式是多种多样的：在需要频谱搬移的场合，调制是最常见的变换方式。有时，发送设备为达到某些特殊要求还需进行种种处理，如多路复用、保密处理、纠错编码处理等等。
- 信道是指将信号由发送设备传输到接收设备的媒介或通道，可以是无线的，也可以是有线的。实际上，模型中的信道部分也可以抽象地表示传输系统。信道既给信号

以通路，也带来各种干扰和噪声，使信号发生畸变（模型中的噪声源正是信道噪声及分散在通信系统各处噪声的集中表示）。传输媒介的固有特性和干扰直接关系到通信的质量。

在接收端，接收设备的功能恰好与发送设备的功能相反，它从接收到的电信号中恢复出相应的原始电信号，再由受信者将复原后的原始电信号转换为相应的消息。

- 比较几种二进制数字调制系统的性能。哪一种调制方式具有较优的综合性能？

1. 频带利用率

2ASK、2PSK、2DPSK 相同，均优于 2FSK；

2. 误码率

对于同一种调制方式，采用相干接收比非相干接收性能好些；

对于不同的调制方式，PSK 性能最好，DPSK 次之，其三是 FSK，而 ASK 性能最差。

3. 对信道特性变化的敏感性

2FSK 最优——2FSK 比较两路解调输出的大小，不需要人为设置判决门限；

2PSK 次之——2PSK 最佳判决门限为 0，不随信道变化；

2ASK 最差——最佳判决门限为  $A/2$ ，与信号幅度  $A$  有关。

4. 设备的复杂程度

同为非相干接收时，2DPSK 设备最复杂，然后依次为 2FSK、2ASK。

5. 应用

相干 2DPSK，用于高速数据传输。

非相干 2FSK 用于中、速数据传输。

- 数字基带信号功率谱通常包括连续谱和离散谱两部分。试问那种信号在什么情况下，可

能没有离散谱？若“0”、“1”等概，单极性不归零码的功率谱中是否存在  $f_s$  分量？

信息序列中 0、1 等概，且基带信号采用双极性码波形。不存在。

- 常用的信号带宽定义方法有那些？

常用的定义方法有以下几种：

1. 能量与信号总能量之比为  $\eta$  的频段，一般取  $\eta = 0.9$  以上；
2. 能量谱或功率谱从最大值下降为最大值的一半（3dB）处所对应的频率间隔，习惯上被称为“3dB带宽”；
3. 绘制与能量谱或功率谱等高或等面积的矩形，矩形的宽度被称为“等效矩形带宽”。

- 按照怎样的标准，可将通信系统分为模拟和数字两大类？这两类系统相比较，各有怎样的优缺点？

按照信号的性质，通信系统分模拟通信系统和数字通信系统。即模拟通信系统是利用模拟信号作为载体来传送消息；数字通信系统以数字信号作为载体。

数字通信与模拟通信相比具有明显的优点：

- 首先，抗干扰能力强。模拟通信时，模拟信号在传输过程中和叠加的噪声很难分离，噪声会随着信号被传输、放大、严重影响通信质量；而数字通信中，信息包含在脉冲的有无之中，只要噪声绝对值不超过某一门限值，接收端便可判别脉冲的有无，以保证通信的可靠性；
- 其次，远距离传输仍能保证通信质量。数字通信采用再生中继方式，在帧中继时，

数字信号可以再生而消除噪声的积累，通信质量不受距离的影响，可高质量地进行远距离通信；

- 此外，数字通信传输数字信号，可以采取差错控制编码对差错进行控制，从而改善传输质量；便于使用现代的数字信号处理技术对数字信息进行处理；数字信息易于做高保密性的加密处理；数字通信可以综合传递各种消息，使通信系统的功能增强等等。

另一方面，数字通信为上述这些优点付出的代价是：比模拟通信占据更宽的系统带宽。例如一路模拟电话一般只占据 4KHz 的带宽，而一路相同质量的数字电话则可能要占据几十 KHz 的带宽。

- 什么是调制？调制技术的出现是为了解决怎样的问题？“线性调制、非线性调制”的分类依据是什么？

把信源产生的原始信号（一般不能直接上信道传输）变换为适合于通过信道传输的波形，这一变换过程称为调制。通过调制，可以将基带调制信号的频谱搬移到载波频率附近，使基带信号变成带通信号。实现这样的频谱搬移或者是为了使信号适应在信道传输，或者是通过选择不同的载波频率，将多路信号合并传输以实现多路复用，节约信道。根据调制实现频谱搬移的同时频谱结构是否改变，调制分为线性调制和非线性调制。

- 频域分析的基本方法是怎样的？术语“信号带宽”指什么？

频域分析则将时域信号变换到频域中进行分析，最基本的方法是将信号分解为不同频率的余（正）弦分量的叠加，即利用傅里叶变换（级数）进行分析。考察某个信号的所有单色成分，这些成分覆盖的频率范围，被形象地叫做“频带”。这个范围的大小，就是“带宽”——即频带宽度。带宽是衡量信号特性的一个重要指标。

- 分别从时域和频域角度描述线性系统的输入输出关系，设  $h(t)$  和  $H(\omega)$  分别为线性系统的时域和频域“表征”。当平稳随机过程通过线性系统时，输出过程与输入过程的基本特征（数学期望、自相关函数、功率谱密度）满足怎样的关系？

线性系统的输出信号  $y(t)$  是输入信号  $x(t)$  与系统单位冲激响应  $h(t)$  的卷积，即

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)h(t-\tau)d\tau = h(t) * x(t);$$

输出信号的频谱  $Y(\omega)$  和输入信号的频谱  $X(\omega)$  有如下关系：

$$Y(\omega) = H(\omega) \cdot X(\omega)。$$

时域中较复杂的卷积关系在频域中转化成了易处理的乘积运算。

当平稳随机过程通过线性系统时，输出过程与输入过程的基本特征满足较简单的关系：

$$E[Y(t)] = E[X(t)] \cdot H(0) = a_x \cdot H(0)$$

$$R_Y(t_1, t_2) = R_Y(\tau)$$

$$P_Y(\omega) = |H(\omega)|^2 P_X(\omega)$$

这些关系式分别说明：

- 输出随机过程  $Y(t)$  的数学期望也是与时间无关的常数，它等于输入随机过程  $X(t)$  的数学期望  $a_x$  乘以  $H(0)$ 。这不难理解，因为平稳随机过程的数学期望就是该过程的直流分量，当信号通过线性系统时，系统输出的直流分量就等于输入的直流分量乘以系统的直流增益。
- 当输入随机过程广义平稳时，输出随机过程也是广义平稳的。

输出随机过程  $Y(t)$  的功率谱密度  $P_Y(\omega)$  等于输入随机过程  $X(t)$  的功率谱密度  $P_X(\omega)$  与系统传递函数模值  $|H(\omega)|$  平方的乘积。因为  $|H(\omega)|$  代表系统电压（或电流）增益的频率特性，其平方则是系统功率增益的频率特性。

- 对带通信号，按照两倍于信号最高频率进行抽样可以由这些抽样值无失真地恢复原信号吗？如果可以，又存在什么问题？

可以。但对带通信号而言，这样的抽样频率将高于无失真抽样所需的抽样频率，由此而产生的信号将占用较宽的频率，频带利用率就被降低了。

- 基带传输系统产生码间干扰的原因是什么？什么工具可以用来定性地判断码间干扰的大小？

通信系统是带限系统，根据频域和时域的对称性关系，频域有限，时域脉冲（码元）就被无限展宽，码元间于是产生相互干扰。眼图是对数字基带信号传输系统性能的定性描述，从中可看出码间干扰的大小和噪声的大小。如果系统不存在码间干扰与噪声，则显示在示波器荧光屏上的数据信号眼图迹线又细又清晰，此时眼图完全张开，说明传输质量好；否则如果存在码间干扰和噪声，则眼图迹线又粗又不太清晰，此时眼图张不大，说明传输质量下降；噪声越大，迹线越粗，越模糊，码间干扰越大，眼图越不端正。

- 何为频带传输？它与基带传输的主要区别是什么？数字频带调制有哪几种具体方式？
- 频带传输是用基带信号对载波的某些参量进行控制，使载波的这些参量能够反映基带信号的变化，实现将信号频谱搬移到较高的带通型信道的通带内，以便信号在该信道中传输。

它们使用的信道频段不同：基带传输使用的是低通信道，而频带传输使用的是带通信道。按照基带调制信号控制正弦载波的参数不同，将数字调制分为 ASK（幅移键控）、FSK（频移键控）、PSK（相移键控）三类。其中 PSK 又包括 DPSK（差分 PSK）。

- 实际的基带传输系统的传输码应具有怎样的特性？

应具有以下一些特性：

- 相应的基带信号无直流分量和很小的低频分量，以适合在频带低端特性不好的信道中传输；
- 是基带信号中的高频分量尽量小，从而提高频带利用率；
- 便于从基带信号中提取位定时信息；
- 能适应信源的变化，即不受信源统计特性的影响；
- 码型变换设备应简单可靠；

码型本身具备一定的检错能力等。

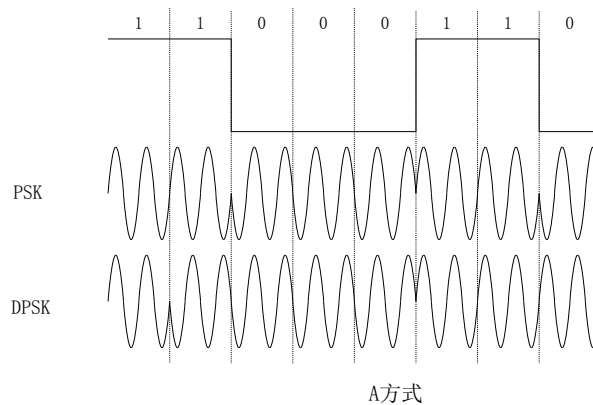
二、应用题：

- 给出信息序列“1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1”的 AMI 码和 HDB3 码。

信息序列： 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1  
 AMI 码： +1 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 +1 -1 0 0 0 0 +1 -1  
 HDB3 码： +1 0 0 0 +V -1 0 0 0 -V +1 -1 +B 0 0 +V -1 +1

- 30/32 路 PCM 时分复用系统在基带传输系统中的传码率
- 某 2PSK 系统码元速率为 1200 波特，载波频率为 2400Hz。若发送数字信息为 11000110，分别画出 A 方式时的 2PSK、2DPSK 信号波形。

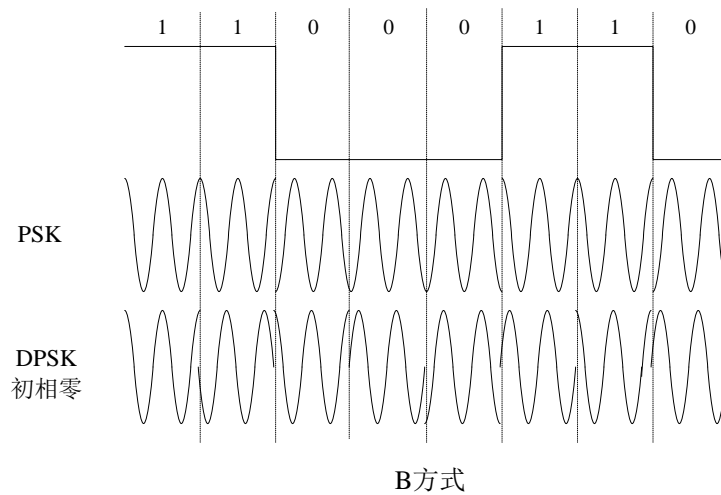
载波为正弦波时，波形如下：



- 同上题条件分别画出对应 B 方式时的 2PSK、2DPSK 信号波形。

B 方式下，可选择以下策略（亦可相反）：“1”对应于  $\pi/2$  的角度偏移，“0”对应于  $-\pi/2$  的角度偏移

载波为正弦波（也可选择余弦波）时，波形如下：



注：DPSK 也允许先将原信息序列转换成差分码，再进行 PSK。

- 若普通电话线路带宽约 4kHz，试分别在二进制和八进制情况下，求数据传输速率的理论极限。求 30/32 路语音 PCM 时分复用系统在基带传输系统中的数据传输率。

**解** 由讲义中式 (3.7) 可得，二进制时的信道容量为

$$C = 2B \log_2 N = 2 \times 4000 \times 1 = 8000 \quad (\text{bps})$$

八进制时的信道容量为

$$C = 2B \log_2 N = 2 \times 4000 \times \log_2 8 = 24 \quad (\text{kbps})$$

30/32 路 PCM 时分复用系统在基带传输系统中的数据传输率为

$$R_b = 2 \times 4 \times 10^3 \times 32 \times 8 = 2.048 \text{ Mbit/s}$$

- 已知信道的输出信噪比为 30dB，带宽为 3kHz，求信道容量。

**解** 由  $10 \lg(S/N) = 30$ ，可得  $S/N = 10^3 = 1000$

所以，由式 (3.8) 可得  $C = B \log_2(1 + S/N) = 3000 \log_2(1 + 1000) \approx 30 \quad (\text{kbps})$