

# 专业课问答版复习笔记

## 通信原理

知乎/小红书/CSDN@小吴学长 er



微信号: xwxzer

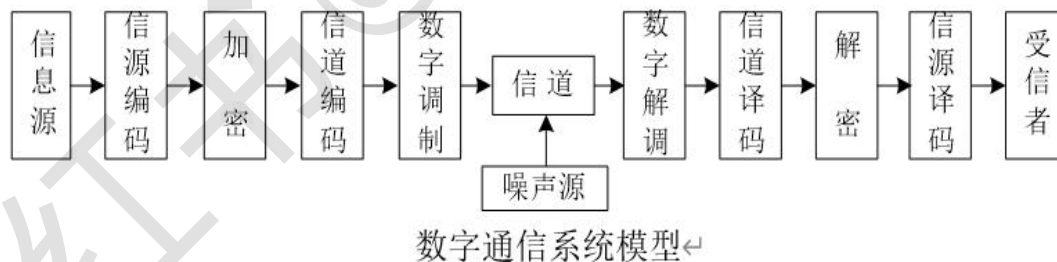
# 通信原理

本文由**小红书**、**知乎@小吴学长 er** 及其团队根据樊昌信第七版《通信原理》整理，禁止商用、转载、摘编，若有侵权，本团队将会追究其法律责任，感谢理解。

标黄题目为建议重点记忆的面试高频问题

## 第一、二、三章 绪论 确知信号 随机过程

### 1.通信系统的模型(2022 年学长面东南真题)



### 2.信源编码与信道编码

- 信源编码是为了减少信源输出符号序列冗余度、提高符号的平均信息量
- 信道编码是通过增加冗余比特从而实现差错控制而进行的编码
- 信源编码是为了提高通信系统的有效性；信道编码是为了提高通信系统的可靠性

### 3.什么是数字信号和模拟信号？二者的区别是什么？

- 数字信号是信号参量的取值是离散的
- 模拟信号是信号参量的取值是连续的
- 区别是信号参量的取值是连续还是离散

### 4.什么是数字通信？数字通信系统特点是什么？

数字通信就是用数字信号传输信息的通信系统。

- 抗干扰能力强

- 传输差错可控
- 便于进行信号处理、存储、变换
- 易于集成, 设备小
- 易于加密
- 占用的较大的传输带宽
- 对同步要求比较高

### 5. 数字通信系统的优缺点? (2022 年学长面南开真题)

- 优点: 1. 差错可控 2. 抗干扰能力强 3. 易于存储, 处理和交换 4. 易于集成和加密 5. 设备便于集成化和微机化, 便于构成数字网。(回答时任选三点回答就行)
- 缺点: 1. 系统设备较为复杂 2. 对同步的要求高 3. 比模拟通信占据更宽的带宽, 频带利用率不高。(回答时要三点回答完整)

### 6. 何为码元速率和信息速率? 他们之间的关系如何?

- 码元速率是单位时间内传输码元的数目
- 信息速率是单位时间内传输平均信息量 (比特) 的数目
- 信息速率等于码元速率乘以信息熵

### 7. 说明能量信号和功率信号的特性?

能量信号的能量有限, 但其功率为 0, 功率信号为平均功率有限, 但其能量无穷大。

### 8. 基带信号的定义?

基带信号是指信号的频谱从零频附近开始的, 没有经过调制的信号

### 9. 什么是窄带高斯白噪声? 它的频谱和时间波形有什么特点?

- 窄带是指频带宽度远小于中心频率, 中心频率偏离零频很远
- 高斯是指时域上表示为信号的概率密度分布服从高斯分布
- 白噪声是指噪声的功率谱密度在所有频率上均为一常数
- 高斯白噪声在任意两个时刻的随机变量都是互不相关的, 而且还是统计独立的。其包络的一维分布服从瑞利分布, 相位的一维分布服从均匀分布。

- 如果随机过程的频谱分布特点为带宽远小于中心频率, 时间波形上呈现出包络和相位随机缓慢变化的正弦波。(注意要分别解释窄带、高斯、白噪声的含义, 不要混在一起作答)

## 10. 什么是信息熵?

信源中每个符号中所含的平均信息量, 当离散信源等概出现的时候, 信息熵最大, 等于  $\log_2 M$ 。

## 11. 模拟通信系统和数字通信系统的有效性和可靠性的衡量指标是什么?

(2022 年浙大真题)

	模拟通信系统	数字通信系统
有效性	有效带宽	频带利用率和传输速率
可靠性	信噪比	误码率或者误信率

- 有效带宽: 能够有效通过该信道信号的最大频带宽度
- 信噪比是信号功率跟噪声功率的比值
- 频带利用率是单位频带内码元的传输速率
- 误码率是指码元在传输系统中被传错的概率, 即错误码元数目在总传输码元中的比例

## 12. 什么是随机过程? 其基本特征是什么?

- 随机过程是指依赖时间参数的一组随机变量
- 基本特征: 他是一个时间函数, 随机过程中任意时刻的值是一个随机变量

## 13. 各态历经性是什么? 平稳随机过程分类? 怎么区别? (2021 年川大真题)

各态历经性: 随机过程的任意一个样本都经历了随机过程所有可能的状态

平稳随机过程分类:

- 狭义平稳: 随机过程与时间的起点无关
- 广义平稳: 随机过程的均值为常数, 相关函数仅仅只与时间间隔相关

区别:

- 广义平稳随机过程的定义只涉及与一维、二维概率密度有关的数字特征。
- 狭义平稳随机过程一定是广义平稳随机过程, 但反之不一定成立

## 第四章 信道

### 14.系统无失真传输条件?

- 幅频特性在整个频率范围内为常数;
- 相频特性是一条过原点的斜率为  $t_0$  的直线, 即具有线性相位的特性。

### 15.什么是快衰落和慢衰落?

- 由多径效应引起的衰落叫做快衰落
- 由信号路径上由于季节, 日夜, 天气等变化引起的信号衰落为慢衰落

### 16.用于抗衰落的技术有哪些?

常用的措施有扩频技术, 功率控制技术, 与交织编码结合的差错控制技术, 分集接收技术。

### 17.什么是加性干扰? 何为乘性干扰? (2021 年北大软微真题)

无论信号有没有都会存在于信道中的噪声叫做加性干扰; 随信号大小变化的干扰叫做乘性干扰。

### 18.什么是分集接收技术?

- 分集是对信号进行分散接收和集中处理, 从而减少衰落对信号的影响。
- 分散接收是指使接收端收到多个携带同一信息, 统计独立的衰落信号。
- 分散接收的方式有空间分集, 频率分集和时间分集。
- 空间分集是指在不同位置接收同一信号, 频率分集是指调制成不同频段的调制信号, 时间分集是指同一信号在不同时间多次重发。
- 集中处理是把接收到的多个信号进行合并。集中处理的方式有选择式合并, 等增益式合并, 最大比值合并。

### 19.相关带宽是什么?

- 相关带宽是信道传输特性函数相邻两个零点之间的频率间隔
- 如果信号的频谱比相关带宽要宽的话, 则将产生严重的频率选择性衰落

### 20.多径传播会导致什么现象? (2022 年学长面山大真题)

- 会导致瑞利型衰落, 频率弥散和频率选择性衰落。

- 瑞利型衰落是多径传播使单一频率的正弦信号变成了包络和相位受调制的窄带信号
- 从频谱上看就是频率弥散, 多径传播使得单一谱线变成了窄带谱线
- 频率选择性衰落表示对信号不同的频率成分, 信道有着不同的衰减, 当失真随时间随机变化时就形成频率选择性衰落
- 具体的判断方法是信号的频谱比相关带宽宽时, 则将产生严重的频率选择性衰落。在传输数字信号时, 频率选择性衰落还会引起严重的码间干扰

tips: 先说导致的三种现象, 再分开解释现象所导致的后果

## 21. 什么是恒参信道? 什么是随参信道? (2019 年中山、2020 年北航真题)

- 恒参信道是信道传输函数不随时间变化的信道
- 随参信道是信道传输函数随时间参数随机快速变化的信道
- 恒参信道对信号传输的影响可以完全消除, 而随参信道对信号传输的影响只能在统计平均的意义下消除

## 22. 信道容量的定义是什么? (2022 年学长面哈工大真题)

- 信道容量是指信号能在信道中可实现无差错传输数据的最大平均信息速率。(很重要, 特别容易被问到。尽量一个字都别错, 准确表述)
- 信道容量在没有噪声的理想状态下可以由奈奎斯特准则测算出来, 在没有噪声的情况下, 数据率的限制仅仅来自于信号的带宽, 如果带宽为  $B$ , 那么可以被传输的最大信号速率就是  $2B$ 。
- 在有噪声的情况下可以由香农公式测量计算出来。

## 23. 香农公式是什么? 其意义是什么?

$$C = B \log_2(1 + S/N)$$

- 其中  $C$  为信道容量,  $B$  为信道带宽。香农公式给出了理想情况下, 理论上通信系统所能达到的极限信息传输速率。也就是说只要传输速率小于等于信道容量, 则总可以找到一种信道编码技术, 实现无差错传输信息。
- 三种增加信道容量的思路: 1. 提高信号发射功率 2. 减少噪声功率 3. 增大信道带宽, 但是用信道带宽来增加信道容量不是无限制的增大 (最大为  $1.44S/n_0$ , 根据高数里面的两个重要极限推导而来) 可以用带宽换取信噪比, 如果给定信道容量  $C$ , 则可以增大带宽来降低对信噪比的要求; 或者可以提高信噪比来换取较窄的频带, 节约频谱资源。

## 24.为什么不能无止境得用带宽来换取信噪比?

由于增加传输带宽, 会增大输出的噪声功率, 导致输入信噪比下降, 严重的情况下可能还会出现门限效应。

## 25.根据噪声的性质分类, 可以把噪声分成几类? (2020 年中科大 6 系真题)

- 单频噪声, 频谱特性可能是单一频率也可能是窄带谱。单频噪声的特点是一种连续波干扰。
- 脉冲噪声是在时间上无规则得突发脉冲波形。
- 起伏噪声是一种连续波随机噪声, 起伏噪声的特点是具有很宽的频带, 并且始终存在于系统中。其功率谱密度均匀分布在整個频率范围内, 概率分布满足正太分布。常见的起伏噪声有热噪声, 散弹噪声和宇宙噪声, 其中散弹噪声是电子管中电子发散不均匀导致的。

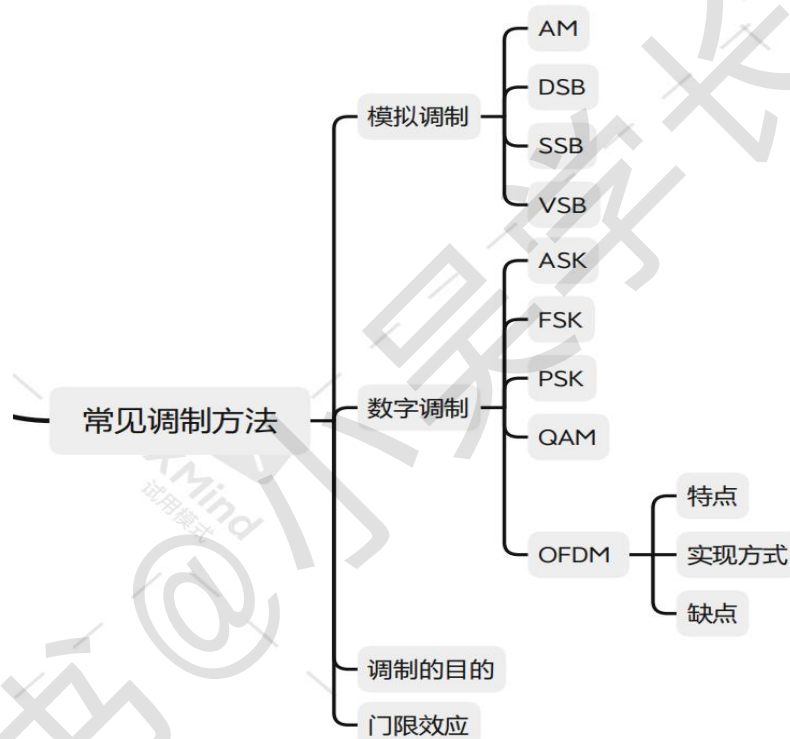
## 26.热噪声是怎么产生的?

热噪声起源于一切电阻性元器件中的电子热运动

# 第五章 模拟调制系统

## 27.什么是调制? // 为什么要进行载波调制?





调制是指用载波的某个参量来表示基带信号。

- 把基带信号调制成适合在信道中传输的信号
- 实现信道的多路复用，提高信道利用率
- 减小干扰，提高系统的抗干扰能力；实现传输带宽与信噪比之间的互换

## 28.什么是线性调制？什么是非线性调制？

- 线性调制是频谱上的线性搬移。常见线性调制：调幅，双边带调制，单边带调制和残留边带调制
- 非线性调制则不再是原调制信号的线性搬移，而是频谱的非线性变换

## 29.AM 信号的波形和频谱有哪些特点？

AM 信号的波形包络和调制信号的包络一样，AM 的信号频谱包括载频分量，上边带和下边带。其中上边带的频谱结构和原调制信号的频谱结构一样，下边带是上边带的镜像。AM 信号用包络检波器来解调，因为他们是用相位调制不是用振幅。

## 30.什么是调幅信号的过调幅？

AM 信号的调幅系数大于一，导致 AM 信号的包络不再反映基带信号的变换规律。



### 31.为什么要抑制载波?

为了提高调制效率, 减少载波功率。对于抑制载波的双边带, 可以使其调制效率由三分之一提高到 1

### 32.单边带调制信号的产生方式有哪些? 各有什么技术难点

相移法和滤波法

- 滤波法是先产生双边带调制信号再用边带滤波器过滤掉其中一个边带, 主要的难点是由于上下边带之间的频率间隔十分得窄导致边带滤波器的制作
- 相移法是利用希尔伯特变换来形成单边带调制信号, 难点在于宽带移相网络的制作

### 33.残留边带滤波器的传输特性满足什么条件? 为什么?

残留边带滤波器的传输特性要满足在载频处有互补奇对称的特性。这样才能在相干解调的时候不失真得从残留边带中恢复出所需要的调制信号。

### 34.包络检波的组成是什么?

微分整流器和低通滤波器。为了保证检波质量, 插入的载波振幅应远大于信号的振幅。

### 35.相干解调的关键是什么? 如何获得同频同相的信号?

相干解调的关键在于要提供一个与已调信号载波同频同相的信号。

实现载波同步的方法有插入导频法和直接提取法。

- 插入导频法是在接受信号的载频处插入相移 90 度的正交载波信号。
- 直接提取法是对接收信号作非线性变换产生载波的谐波分量, 利用锁相环或者窄带滤波器提取出载波的谐波分量, 再进行分频, 即可得到载波同步信号。

### 36.什么是门限效应? 什么是门限值? 为什么相干解调不会出现门限效应? 什么是最佳判决门限电平?

门限效应本质上是由包络检波器的非线性引起, 是当有用信号被噪声淹没, 输入信噪比减小到一定程度导致输出信噪比急剧恶化。开始出现门限效应的输入信噪比为门限值。使误码率最小的判决电平就是最佳门限电平。由于相干解调信号和噪声可以分开解调, 解调器的输出总是存在有效信号。

### 37.降低门限值的方法有什么?

锁相环鉴频器和负反馈解调器。还有预加重和去加重技术。

### 38.什么是频率调制？什么是相位调制？二者之间如何转换？

- 频率调制是指瞬时频率偏移随调制信号成比例变化
- 相位调制是指瞬时相位偏移随调制信号线性变化
- 将基带信号先微分再调频可以得到调相信号；将基带信号先积分后再调相可以得到调频波

### 39.为什么说 DSB 和 SSB 调制系统的抗噪声性能是相同的？

因为在相同的输入信号功率和噪声条件下，两者的输出信噪比是相同的。

### 40.为什么调频系统可以进行带宽与信噪比之间的互换，但调幅不能？

因为调幅系统的带宽是固定的。

### 41.卡森公式是什么？他的意义是什么？

- 卡森公式指调频信号的带宽等于两倍的最大频偏加上调制信号的频率
- 意义：说明了调频信号的带宽取决于最大频偏和调制信号的频率

### 42.调频系统的调制制度增益和信号带宽的关系如何？

信号带宽越大，调制增益越高。

### 43.调频信号如何产生？

- 直接法，锁相环调制器的结构包括相位检测器，环路滤波器和压控振荡器。其中压控振荡器本身就是调频器，因为压控振荡器的振荡频率正比于输入控制电压，用调制信号作为控制信号就能产生调频波。
- 间接法，先通过积分器再做相位调制就可得到调频信号。

### 44. 调频系统的调制制度增益和调制指数的关系如何？说明了什么问题？

大信噪比时制度增益与调制指数的平方成正比，说明对于调频系统而言，增加传输带宽就可以改善抗噪声性能。

### 45. 调频系统中采用加重技术的原理和目的是什么？

- 原理：调频系统要经过鉴频器来解调，鉴频器的功率谱密度会随着频率的平方而增加，所以输出噪声随着调制信号频率的升高而增强，而基带信号的高频分量会随着频率的增加而减小，所以鉴频器输出的信噪比明显下降。

- 目的：为了进一步改善解调器的输出信噪比，加重技术的原理是保持输出信号不变，有效降低噪声，来提高输出信噪比。在解调前加上预加重网络，提高调制信号的高频分量，即调高信号的上升沿和下降沿处的幅度。去加重技术是在解调后保持信号不变同时降低高频处噪声，抑制噪声分量。同时恢复调制信号高频处的幅度。

## 46. 发射分集和空间复用的区别是什么？

- 发射分集技术是指在不同的天线上发射相同的信息，从而起到抗衰落的作用。
- 空间复用技术是在不同的天线上发射不同的信息，提高系统的容量和频谱利用率。空间复用相当于按照发送天线将无线信道划分为若干并行的信道，每个信道传输的都是完全不同的数据。

## 第六章 数字基带传输系统

### 47. 数字基带传输系统的基本结构和各部分功能？

数字基带传输系统是由发送滤波器，信道，接收滤波器，抽样判决器及定时和同步系统构成。

- 信道信号发生器：把原始的基带信号转换成适合基带传输的信号
- 信道：传输基带信号
- 接收滤波器：接收信号并尽可能得滤除带外噪声和干扰，进行均衡，形成利于抽样判决的信号
- 抽样判决器：对接收滤波器的输出波形进行判决，恢复出基带信号
- 定时和同步系统：为抽样判决器提供准确的抽样时钟

### 48. 数字基带信号的功率谱有什么特点？它的带宽取决于什么？研究它的意义何在？

由于基带信号具有随机性，没有明确的频谱特性，只能通过研究功率谱来研究其频谱。数字基带信号的功率谱包括连续谱和离散谱。连续谱总是存在的，而离散谱不一定总是存在，由离散谱可以确定随机序列是否包含直流分量和定时分量，用于提取定时分量。它的带宽取决于一个码元的持续时间  $T_s$  和基带信号的码元波形的傅里叶变换形式。通过频谱分析，可以确定信号需要占据的频带宽度，还可以获得信号谱中的直流分量，位定时分量，主瓣宽度和谱滚降衰减速度等信息。

### 49. 为什么要研究数字基带传输系统？

- 大多数局域网使用基带传输
- 数字基带传输中包含频带传输的许多基本问题
- 任何一个采用线性调制的频带传输系统可等效为基带传输系统进行研究

## 50.理想低通传输特性的基带系统优缺点?

- 优点: 有最大的频带利用率 $\eta = 2$
- 缺点: 理想矩形特性的物理实现困难; 冲激响应有很长的“拖尾”, 衰减慢, 可能出现严重码间串扰解决方法——引入滚降

## 51. 构成 AMI 码和 HDB3 码的规则是什么? 它们各有什么优缺点?

- AMI 码是把 1 码变换为交替的正一负一, 0 码保持不变。AMI 码的优点是无直流分量。编译码电路简单, 具有内在的检错能力。缺点是长连零导致定时信号难以提取。
- HDB3 码是改进式的 AMI 码, 1 码还是变换为交替的正一负一, 当出现 4 个或 4 个以上的 0 码时, 第四个 0 变换为与前一个非零符号用相同的极性的破坏符号, 用 V 表示。但相邻 V 码的极性必须交替出现, 以确保编好的码中无直流分量。若 V 码与前一个非零码的极性不同, 则将第一个四连 0 的第一个 0 更改为与 V 码相同极性的 B 码。
- HDB3 码保持了 AMI 码的优点外, 还减少了连零串的出现, 有利于定时信号的提取。

## 52. 简述双相码和差分双相码的优缺点?

- 双相码的编码原则是对每一个二进制码分别用两个具有不同相位的二进制新码表示源码, 0 表示 01, 1 表示 10; 优点是只用两个电平, 能提取足够的定时分量, 且无直流漂移, 编码过程简单。缺点是占用带宽加倍, 使频带利用率降低。
- 差分双相码中用码元间隔中心点出现跳变来表示 1, 即 10 或 01, 0 用码元间隔中心没有出现跳变来表示。优点是解决了双相码极性翻转而引起的译码错误, 缺点是占用带宽加倍。

## 53.什么是码间干扰? 如何产生的?

码间干扰的产生是由于信道的传输特性不理想, 使前后码元发生畸变, 展宽, 拖尾, 影响当前码元的抽样, 从而对当前码元的抽样造成干扰, 导致判决电路对信号进行误判, 产生误码。(很重要, 高频考点, 学长面试被问到过很多次, 要背记熟练, 尽量做到一字不漏)

## 54. 为了消除码间串扰，基带传输系统的传输函数应满足什么条件？其相应的冲击响应应具有什么特点？

其传输函数在  $\omega$  轴上以  $2\pi/T_s$  间隔切开，然后分段沿  $\omega$  轴平移到  $(-\pi/T_s, \pi/T_s)$  区间内进行叠加，其结果应为常数，其相应的冲击响应除  $t=0$  时刻取值不为零，其他抽样时刻取值均为零。也即其他码元波形在当前码元的抽样时刻全部衰减为 0。

## 54. 什么是奈奎斯特速率和奈奎斯特带宽，此时频带利用率有多大？

- 无码间串扰的情况下，系统能实现的最高传输速率就叫奈奎斯特速率，大小为  $1/T_s$
- 无码间串扰下，系统实现最高传输速率所需的最小传输带宽，大小为  $1/2T_s$ ；此时能提供的最高频带利用率为两波特每赫兹

## 55. 奈奎斯特三大准则？ (2021 年成电信通面试真题)

- 奈奎斯特第一准则：抽样点无失真准则，或无码间串扰 (ISIFree) 准则
- 奈奎斯特第二准则：转换点无失真准则，或无抖动 (JitterFree) 准则
- 奈奎斯特第三准则：波形面积无失真准则。
- 第一准则：抽样值无失真。即如果信号经传输后整个波形发生了变化，但只要其特定点的抽样值保持不变，那么用再次抽样的方法仍然可以准确无误地恢复原始信码。奈奎斯特第一准则规定带限信道的理想低道截止频率为  $f_H$  时，最高的无码间干扰传输的极限速度为  $2f_H$ 。例如，信道带宽为 2000Hz 时，每秒最多可传送 4000 个二进制码元。一路数字电话速率为 64kbit/s，则无码间干扰的信道带宽为 32kHz。
- 第二准则：转换点无失真。有控制地在某些码元的抽样时刻引入码间干扰，而在其余码元的抽样时刻无码间干扰，就能使频带利用率达到理论上的最大值，同时又可降低对定时精度的要求。通常把满足奈奎斯特第二准则的波形称为部分响应波形。利用部分响应波形进行传送的基带传输系统称为部分响应系统。
- 第三准则：脉冲波形面积保持不变。即如果在一个码元间隔内接收波形的面积正比于发送矩形脉冲的幅度，而其他码元间隔的发送脉冲在此码元间隔内的面积为零，则接收端也能无失真地恢复原始信码。

## 56. 什么是升余弦滚降传输特性？为什么要设计升余弦滚降？



- 由于系统在实际应用中难以实现, 并且理想低通滤波器的冲击响应的拖尾很长, 当定时存在误差时, 可能出现很严重的码间串扰。故需要设计升余弦滚降系统, 它的传输特性为具有关于奈奎斯特带宽呈奇对称的振幅特性。可以利用半周期的余弦信号作为低通滤波器的下降沿。
- 升余弦滚降系统的优点是拖尾衰减快, 定时抖动不敏感; 缺点是频带利用率低。

## 57. 无码间串扰的条件下, 基带传输系统的误码率与哪些因素有关? 如何降低系统的误码率?

- 无码间串扰时, 基带传输系统的误码率与抽样判决时刻的信噪比有关
- 要降低系统的误码率要提高抽样判决时的信噪比

## 58. 什么是部分响应波形? 什么是部分响应系统?

- 部分响应波形是指人为得有规律地在抽样时刻引入码间串扰, 并在接收判决前再以约定的方式加以消除码间干扰, 从而可以达到改频谱的特性, 压缩传输频带, 还可以加速传输波形尾巴得衰落, 使频带利用率提高到理论上的最大值。
- 利用部分响应波形传输的基带系统就叫部分响应系统。由于升余弦滚降系统虽然有拖尾衰减快的优点, 但是频带利用率不高, 所以来设计一种部分响应系统同时满足两个优点。由于要恢复的信息码元只是接受信号中的一部分, 所以叫做部分响应系统。部分响应系统是既能使频带利用率达到理论上的最大值又具有拖尾收敛快的优点的系统。

## 59. 部分响应技术解决了什么问题? 第一部分响应系统的缺点?

- 部分响应技术提高了频带利用率, 降低了对定时精读的要求
- 第一部分响应系统的缺点是不适用与低频受限的系统

## 60. 什么是眼图? 眼图有什么作用? 由眼图模型可以说明基带传输系统的哪些性能? (2022 年成电抗干扰真题, 眼图的几个作用要背熟)

- 眼图的获取方法是调整示波器的扫描周期为信息码元周期的整数倍, 由于示波器的“余辉效应”, 示波器将显示多个周期的接收波叠加的结果。
- 眼图是指接收滤波器输出信号示波器将多个周期的接收信号叠加起来的结果, 用于观察码间串扰和噪声的影响, 从而估计系统的性能。另外也可以用眼图对接收滤波器的特性加以调整, 以减少码间串扰和改善系统的传输性能。

- 最佳抽样时刻是眼睛张得最大的时刻；对定时误差的灵敏度可由眼睛的斜率来决定，斜率越陡，定时误差就越灵敏；眼图中间的横轴对应判决门限电平

### 61. 什么是频域均衡？什么是时域均衡？ (2022 年学长面试南开真题)

- 时域均衡是利用均衡器产生的时间波形去直接校正已畸变的波形，使得包括均衡器在内的整个系统的冲击响应满足无码间串扰的条件。时域均衡能够根据信道特性的变化进行调整，有效地减少码间串扰。
- 频域均衡是指利用可调滤波器的频率特性来补偿基带系统的频率特性，使得包括均衡器在内的基带系统的总特性满足无失真传输的条件。

### 62. 横向滤波器为什么能实现时域均衡？

横向滤波器是由无限多的横向排列的延时单元和抽头系数组成的。横向滤波器能将输入端在抽样时刻上有码间串扰的响应波形变换成抽样时刻上无码间串扰的响应波形。由于横向滤波器的均衡原理是建立在响应波形上的，所以说这种均衡称为时域均衡。

### 63. 时域均衡器的均衡效果是怎么衡量的？

通过峰值失真准则和均方失真准则来衡量。所谓峰值失真是指码间串扰最大值与有用信号的样值之比，无码间串扰的均衡器的峰值失真为零，峰值失真越小越好。而均方失真准则的计算过程类似，按这个准则来确定均衡器的抽头系数可以使失真最小，获得最佳的均衡效果。

## 第七章 数字带通传输系统

### 64. 什么是数字调制？它与模拟调制有哪些异同点？

- 由于数字基带信号的取值是有限的离散状态，数字调制是用载波信号的某些离散状态来表征传送的信息，在接收端对载波信号的离散调制参量估值
- 数字调制三种基本形式：调幅、调频、调相
- 数字调制的优点：1.数字调制可以采用门限值检测 2.数字脉冲在中继器中很容易再生 3.通过压缩技术可以降低数字传输中所需要的带宽 4.数字信号的信号质量通常优于模拟系统

### 65. 数字调制的基本方法有哪些？其时间波形上各有什么特点？

- 利用模拟调制方法去实现数字式调制。用数字基带信号和载波信号相乘，来得到数字调制信号。



- 利用开关键控载波, 从而实现数字调制。其时间波形可能是不连续的。

## 66. 基带调制和频带调制的不同点?

基带调制没有进行频谱搬移, 而频带调制把基带信号的频谱搬移到了适合信号传播的频带范围。

## 67. 什么是振幅键控? OOK 信号的产生和解调方法有哪些? 它的功率谱密度有什么特点?

- 2ASK 是指正弦载波的幅度值随数字基带信号而变化的数字调制
- 产生方法: 1. 模拟幅度调法 2. 开关电路控制的键控法
- 解调方法: 1. 非相干解调 2. 包络检波法和相干解调法 3. 同步检测法。
- 振幅键控的功率谱密度函数由离散谱和连续谱两部分形成, 离散谱是由载波分量确定的, 连续谱是由基带信号波形确定的。

## 68. 2DPSK 的解调方法是什么? (2022 年学长面试南开真题)

- 2DPSK 的解调方法有可以用码反变换法和差分解调法。
- 码反变换的原理是用普通的相干解调还原出相对码, 再进行码反变换, 把相对码还原成绝对码。
- 差分相干解调是通过一个延时器来比较前后两个码元的相位, 再滤波抽样判决。但是不能用包络检波器来解调, 因为他们是用相位调制不是用振幅。

## 69. 什么是二进制频移键控? 它的产生和解调方法有哪些?

- 若正交载波的频率随着二进制的基带信号在两个频率间变化, 2FSK 信号可以看成是两个 2ASK 信号的叠加。
- 产生方法有模拟调频和数字键控。模拟调频是用二进制不归零信号和载波信号相乘。数字键控则是用两个反相开关电路, 接两个不同频率的载波。其中采用模拟调频实现的 2FSK 信号的相位变化是连续的, 采用数字键控法产生的信号的相位变化不一定连续。相位不连续的 2FSK 信号的带宽大于基带信号带宽的两倍。
- 解调方法有同步检测法和包络检测法, 还有过零点检测法。首先用两个不同的带通滤波器将 2FSK 信号分离成两个 2ASK 信号, 再用对应的载波相乘, 通过低通滤波器滤除高频分量, 再用抽样判决器还原出原始信号。包络检波法也是类似的将分离出来的两个 2ASK 信号经过包络检波器去检出两路信号, 再用抽样判决器还原出原始信号。过零点检测法是对二进制频移键控信号的过零点数随着载波频率不同而不同, 通过检测过零点的数量从而得到频率的变化。

## 70. 二进制数字调制系统的误码率与哪些因素有关?

与调制方式, 解调方式和信噪比都有关系。

## 71. 什么是绝对移相调制? 什么是相对相移?

- 绝对相移是指用载波的相位直接表示数字信息, 相对相移是用相邻码元的相位差表示数字信息
- 在绝对相移中, 相位变化时通过未调载波的相位作为参考基准, 而相对相移是以前一码元的相位作为基准。
- 绝对相移可以看成是把数字信息序列的绝对码变成相对码, 再根据相对码来进行绝对相移。

## 72. 比较 OOK 系统, 2FSK 系统, 2PSK 系统和 2DPSK 系统的抗噪声性能?

2PSK 系统的性能最好, 2FSK 的性能次之, OOK 的最差。

## 73. 2PSK 的优势在哪?

相同误码率下, 所需要的信噪比较小。

## 74. 2DPSK 与 2PSK 相比优势在哪?

相同信噪比下, 采用相干解调, 2DPSK 与 2PSK 比误码率减少一半。

## 75. 什么是多进制数字调制? 有哪些优缺点?

采用多种基带波形的数字调制称为多进制数字调制

- 在相同的码元速率下, 可以传输更多的信息量, 提高频带利用率
- 相同的信息速率下, 所需要的码元速率比较低, 所需的带宽也更窄, 节约频带资源
- 相同噪声下, 抗噪声性能更差

## 76. 提高频带利用率的两种方法?

1. 多进制调制方法 2. 频谱旁瓣滚降迅速的调制信号

## 第八、九章 新型数字带通调制技术 数字信号的最佳接受

## 77. 什么是 MSK?

.MSK 就是最小频移键控, 一种信号相互正交的情况下调制指数最小的二元连续相位 FSK, 相位连续可以让频带更加集中。

## 78.MSK 特点是什么?

1.相位连续 2.包络恒定 3.带外辐射小 即旁瓣衰减更快 4.实现简单 5.用于移动通信中的数字传输 6.占用带宽最小的二进制正交 2FSK 信号

## 79.如何产生 MSK 信号?

- 将基带信号积分以后再做调频可得到 MSK 信号
- 利用 OQPSK 的电路。MSK 等效于差分编码后再做 OQPSK 可得到 MSK 信号

## 80.什么是 GMSK?有什么优缺点?

- GMSK 的中文是高斯最小频移键控, 是基带信号经过高斯低通滤波器的 MSK。MSK 的相位路径是不同斜率的直线组合成的折线, GMSK 在其基础上, 通过高斯滤波器使得相位路径变成了更光滑的曲线。
- 优点: 相对于 MSK, 具有更加集中的功率谱密度, 对邻道干扰更小。缺点是有码间串扰。

## 81.什么是 QPSK?

QPSK 是四相调制, 用子载波的四个相位来表示数字基带信号。

## 82.什么是 OQPSK?

由于 QPSK 的包络不再恒定, 所以对 QPSK 改进成 OQPSK, 它的意思是指偏移 QPSK, 把 QPSK 的两正交支路的码元在时间上错开, 使得两个支路的符号不会同时发生变化, 则相位的跳变被限制在正负 90 度, 使得相位跳变的幅度减小了。

## 83.什么是 $\pi/4$ DQPSK?

$\pi/4$ DQPSK 也是改进型的 QPSK, 它的调制特点为相邻码元间的最大相位差的绝对值为  $3\pi/4$ , 它综合了 QPSK 和 OQPSK 两种调制方式的优点。具有更小的包络波动和更高的频谱利用率。

**84.什么是 OFDM?他的正交性如何来理解?** (OFDM 技术很重要, 一定要背熟, 如果老师问到 4G 的关键技术也可以用 OFDM 来作答)

- OFDM 即正交频分复用。将信道分为  $N$  个子信道，每个子信道上一个载波，称为子载波。各子载波间相互正交。OFDM 是将串行数据流转换为  $N$  路并行的子数据流，去调制各路子载波。各子载波的频谱有  $1/2$  的重叠，但是又保持相互正交。
- 正交是指每个载波的频谱零点和相邻载波的频谱零点相重叠，以减少载波间的干扰。每路信号占用其中一个频段，在接收端通过滤波器把其中要接收的信号进行解调。正交的意思是子载波间相互重叠，但是互不干扰。

## 85. OFDM 的优点和缺点有哪些？OFDM 的中心思想是什么？

- 优点：1.有效得克服多径效应对信号的影响。2.各路子载波的已调信号频谱有部分重叠，可以大大提高频带利用率和传输速率。3.各路已调信号是严格正交的，以便接收端能完全分离各路信号。4.每路子载波的调制是以多进制调制的。5.可以根据各个子载波处信道特性的优劣不同采取不同的体制。可实现上下行链路的不同传输速率。
- 缺点：1.对频偏和相位噪声比较敏感 2 峰值平均功率较大 3 设备相对复杂，但是可采用 FFT 来实现 OFDM 信号，简化系统的硬件结构。
- 中心思想：化宽为窄，把不平坦的复杂宽信道转换成近似平坦的窄带子信道。类似于积分把一条曲线无限细分，则其中的一小段就可以看成是直线，进而计算其面积。

## 86. OFDM 的实现方法？

首先对输入信号进行串并变换，再进行编码映射，插入导频后做快速反傅里叶变换 IFFT，再插入循环前缀，做并串变换，再做数模转换，再通过低通滤波器，做正交调制，即可得到 OFDM 信号。

## 86. 什么是频分复用？什么是时分复用？什么是码分复用？

- 频分复用中，一个信道的可用频带被划分为若干个互不重叠的频段，每路信号占用其中一个频段，在接收端通过滤波器把其中要接收的信号进行解调
- 时分复用是利用信号的抽样值在时间上不相互重叠来在同一信道中传输多路信号的一种方法
- 码分复用则是用不同的编码技术来复用多路信号

## 87. 什么是扩频调制？有哪些方式实现扩频？

- 扩频调制是指扩展频带的宽度来把码元“打碎”，提高抗干扰能力。扩展信号的频谱的方式主要有三种。一是直接序列扩频二是跳频扩频三是跳时扩频。

- 直接序列扩频在发送端直接用高码率的扩频码去展宽数据信号的频谱，在接收端再用同样的扩频序列进行解扩。由于直扩系统的同步要求很严格，对设备要求高，故引入跳频扩频，而跳频扩频是指窄带数字已调信号的载波频率在一个很宽的频率范围内跳变。
- 跳频扩频还可以分为慢跳频和快跳频。若跳频速率小于码元速率，则为慢跳频，跳频速率大于码元速率则为快跳频。跳变的规律称为调频图案，跳变的规律实际上是一个可以重复的伪随机序列，只要接收机也可以按照这一规律同步跳变载波频率就可以实现收发双方的通信连接。GSM系统在业务量大，干扰大的情况下常常采用跳频，平均所有载波的总的干扰电平，减小瑞利衰落的影响和同频干扰。
- 跳时扩频是使发射信号在时间轴上跳变，首先将时间轴分成许多时片，在一帧内的时片的发射信号由扩频码序列来控制。

## 88. 什么是伪随机序列? (2020年清深真题)

伪随机序列是指具有随机噪声的一些统计特性，但同时又可以重复生产和处理的序列。

## 89. 跳频系统的抗干扰性和直扩系统的抗干扰性的区别?

直扩系统是把窄带干扰信号的功率谱密度均匀得分散在整个频带上，而跳频系统则是利用跳频序列的随机性来躲避干扰，使得它和干扰信号的频率发生的概率大为减小。

## 90. 调制和混频的区别?

- 调制是指用调制信号来控制高频载波的一个或几个参数，是把调制信号装载到高频载波上
- 混频是把输入信号通通搬移到一个本地振荡信号频率，搬移前后输入信号的变化规则不变

## 91. 扩频信号的优点?

1.由于伪随机码把消息打乱，具有很高的保密性 2.扩频后信号的功率很低，甚至低于噪声功率，所以具有很高的隐蔽性，可用于防止窃听。3.解扩时对信号解扩，但是对噪声又相当于是扩频，从而分散了噪声，大大得提高了抗干扰性 4.利用不同的扩频码可传输多路信号，实现码分多址，码分复用。解扩时对某一信号解扩，其他信号仍为宽频带，则其他信号对解扩信号的干扰很小。

## 92. 什么是确知信号，随相信号，起伏信号?

- 确知信号是可以预知其变化规律的信号
- 随相信号是接收信号的相位具有随机性，除相位外的其他参数都是确定的信号
- 起伏信号是指振幅和相位都是随机信号，其他参数都是确定的信号



### 93.什么是匹配滤波器？匹配滤波器的冲击响应是怎样的？

- 使滤波器的输出信噪比在某一特定时刻达到最大的滤波器就是匹配滤波器。
- 匹配滤波器的单位冲击响应是输入信号的镜像函数。匹配滤波器的误码率仅和两种码元的波形之差的能量有关，而与波形本身无关。差别越大，误码率越小。

### 94.简要说明为什么匹配滤波器能等效为相关器？

因为在抽样时刻，匹配滤波器的输出为输入信号的自相关函数的  $K$  倍。故此时等效为相关器。

### 95.数字信号的最佳接收准则的标准是？

以最小差错概率和最大输出信噪比准则作为准则。最小差错概率是指使误码率达到最小的划分点为最佳划分点。使滤波器的输出信噪比在某一特定时刻达到最大的滤波器就是最大输出信噪比准则。

### 96.写出二进制信号的最佳接收的判决准则？

二进制信号的最佳接收准则为最大似然准则，也即接收到的信号中，哪个似然函数最大，就判为哪个信号出现。

### 97.二进制确知信号的最佳形式是什么？

是两种确知信号的相关系数为负一的信号，此时两种确知信号的码元波形相反，误码率最小。

### 98.二进制确知信号的最佳接受机构？

通过比较接收信号和两个确知信号的相关性，在抽样时刻，接收信号与哪个发送信号的相关值大就判为哪个信号出现。

### 100.什么是相关接收？

相关接收是将输入信号与参考信号进行相关运算，然后再进行抽样判决比较的数字信号接收形式。

### 101.什么是最佳基带传输系统？简述其构成原理？

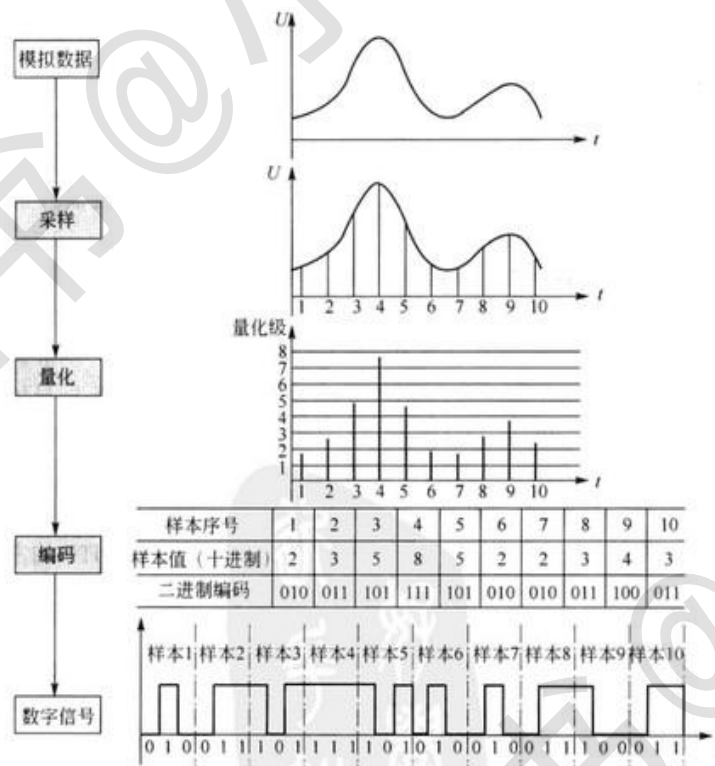
最佳基带传输系统是通过设计发送滤波器和接收滤波器的设计，使得系统的出错概率最小。其原理一是通过对系统的传输函数的设计，使得抽样时刻样值的码间干扰为零；二是通过接收滤波器的设计尽可能减少噪声的影响。

## 第十章 信源编码

## 102. 利用数字系统传输模拟信号的过程？

模拟信号数字化，即模数转换，步骤：抽样——量化——编码

- 第一步是抽样，（通常抽样是按照等时间间隔进行）模拟信号被抽样后，成为抽样信号，它在时间上是离散的，但其取值仍然是连续的，是离散模拟信号。
- 第二步是量化。量化是把时域离散，幅度连续的模拟信号用有限的电平数去表示幅度，从而变成数字信号。量化的结果使抽样信号变成量化信号，其取值的离散的，所以量化信号是数字信号。
- 第三步是编码。最基本和最常用的编码方法是脉冲编码调制（PCM），它将量化后的信号变成二进制码元。



## 103. 说明抽样会产生混叠的原因 (2022 年哈工大真题)

时域的采样会对应于信号频谱的周期延拓。当采样频率小于信号带宽时，就会造成周期延拓后的频谱混叠。

## 104. 简述低通抽样定理，它是在什么前提下提出的？

如果对一个频带有限的时间连续的模拟信号抽样，当抽样速率达到一定数值时，那么根据它的抽样值就可以重建还原出原来的信号。如果传输的是低通型的模拟信号，当带限信号的带宽为  $B$  时，不发生频谱混叠现象的最低抽样速率为  $2B$ 。前提是待抽样的模拟信号是低通信号。



#### 104. 理想抽样, 自然抽样, 平顶抽样在波形上和频谱结构上有什么区别?

理想抽样的抽样波形是冲激串, 自然抽样的抽样波形是窄带脉冲, 脉冲幅度随着被抽样的模拟信号而变化, 平顶抽样的抽样波形为矩形脉冲。理想抽样信号的频谱带宽是无穷大的, 而自然抽样的频谱是有限的。

#### 105. 模拟信号抽样和 PAM 信号的异同点?

模拟信号抽样和 PAM 信号都是时间离散取值连续的信号。不同点是抽样信号的频谱是周期延拓的, 但幅度不下降; 而 PAM 信号的频谱是周期延拓, 但是幅度是下降的。

#### 106. 什么是奈奎斯特速率和奈奎斯特间隔?

对于无失真恢复低通信号即不发生频谱混叠的所要求的最低采样速率为奈奎斯特速率。与此相对应的最小抽样间隔也即最低抽样速率的倒数为奈奎斯特间隔。

#### 108. 什么是量化, 什么是量化噪声?

量化是是把时域离散, 幅度连续的模拟信号用有限的电平数去表示幅度, 从而变成数字信号。量化噪声就是由量化后的信号与原信号之间的误差导致的噪声。量化噪声与量化间隔有关, 量化间隔越小, 量化噪声越小。

#### 109. 什么是均匀量化, 什么是非均匀量化? 他们有什么优缺点?

均匀量化是量化间隔相等的量化方式。非均匀量化是量化间隔不相等的量化方式。均匀量化的缺点是信号的量化噪声往往很大, 均匀量化时输入信号的动态范围将受很大的限制。非均匀量化的优点是能够有效降低量噪比。

#### 110. 怎么实现非均匀量化?

非均匀量化可以利用压缩扩张信号处理后, 再把压缩的信号进行均匀量化。利用对数特性将小幅度信号放大, 大幅度的信号缩小。即小幅度的信号用小的来量化间隔, 大幅度的信号用大的量化间隔。

#### 111. 什么是 PCM, 如何形成 PCM 信号?

- PCM 是指脉冲编码调制。它是一种用一组二进制数字代码来代表连续信号的波形编码方式, 从而实现数字通信

- 形成 PCM 信号主要包括三个过程，分别是抽样，量化，编码。抽样是把时间上连续的信号转换成时间上离散的信号；量化是把时间离散，幅度连续的信号变换成时间离散，幅度也离散的信号；编码是用二进制码组表示  $M$  个量化电平值。

## 112. 什么是 13 折线法？为什么 13 折线律中的折线段数比 15 折线律中的少两段？

- 因为 13 折线律中的第一段和第二段的斜率相同，合并成了一条折线。
- 15 折线中，每段斜率都不相同。13 折线律是将压扩特性曲线近似为 13 条斜率不同的折线，将输入  $X$  轴和输出  $Y$  轴用不同的方法划分。对  $x$  轴每次以  $1/2$  划分，对  $y$  轴则等间隔划分即可。

## 113. 线性编码和非线性编码的区别？

线性编码即二进制编码，非线性编码分为段落码和段内码，段落码表示信号的绝对值落在哪个段落，段内码表示每一段落内的 16 个均匀划分的量化级。

## 114. PCM 电话信号中，为什么要采用折叠码进行编码？

因为电话信号的幅度值只要集中在幅度较小的区间，采用折叠码进行编码可以减少误码对信号造成的影响。

## 115. 在 PCM 系统中，量噪比和信号带宽有什么关系？增量编码的量噪比和什么因素有关？

在低通信号的最高频率给定时，PCM 系统的输出量噪比随着系统带宽指数级增加，与编码位数成线性关系。增量编码的量噪比和抽样速率成立方关系，还与信号频率成反比。

## 116. 简述 PCM 和增量调制的区别？

PCM 中二进制代码表示的是样值本身的大小，所需的码位数目较多，导致编译码设备复杂。增量调制中，只用每位表示相邻样值的相对大小，以此反映抽样时刻波形的变化趋势，而与样值大小无关。

## 117. PAM 和 PCM 有什么区别？

PAM 是脉冲幅度调制信号，是模拟信号；PCM 是脉冲编码调制信号，是数字信号。

## 118. 一般量化噪声和过载量化噪声是怎么产生的？如何防止过载噪声的出现？

- 当本地译码器输出信号能跟上模拟信号的变化时, 误差局限在量化间隔内的变化为一般量化误差。
- 当模拟信号斜率陡变时, 译码信号跟不上模拟信号的变化时, 使误差明显增大, 则称为过载失真。当译码器的最大跟踪斜率大于或等于模拟信号的最大变化斜率时不会发生过载现象。

## 第十三章 同步

### 119. 有哪几种同步信号? 在何处? 有何要求?

有四种同步信号。一是载波同步, 在相干解调时, 要求载波同步信号要与发送信号同频同相。二是码元同步, 在抽样判决处, 要求同步信息频率与码元速率相同的定时脉冲。三是群同步, 获取每帧的起止标志, 以便对接收码元能正确分组。四是网同步, 是使通信网中各站点时钟保持同步。

### 120. 载波同步的提取方法? 各有什么优缺点?

载波同步的方法有插入导频法和直接提取法。

插入导频法, 在频域上已调信号频谱中的零点处, 插入相移九十度后的正交载波。相移九十度是为了避免产生直流分量。插入导频法适用于不含有载波分量, 或者载波分量难以提取的信号。

直接提取法又分为平方变换法和科斯塔斯环法。平方法是将信号经过平方律部件后用锁相环提取出载波信号的谐波分量, 再分频得到载波信号。平方变换法提取的载波存在 180 度相位模糊的问题, 解决方案主要是用 2DPSK 来替代 2PSK。

### 121. 为什么会产生相位模糊问题?

这是由于平方后产生的载波频率是原始载波频率的两倍, 故需要使用二分频电路, 由于分频起点的不确定性, 导致了相位模糊。

### 122. 码元同步分为几类?

外同步法和自同步法

- 外同步法需要在信号外加含有定时信息的导频; 自同步法从信息码元中提取出位定时信息
- 外同步法简单可靠, 需要消耗一定功率, 占用一定带宽, 易与信号相互干扰
- 自同步法的优点是不占功率和带宽, 不与信息相互干扰, 缺点是同步方式复杂

### 123. 码元同步信息应满足什么要求?

重复频率要与接收码元速率相同, 相位要和最佳抽样时刻保持一致。

### 124. 码元同步有哪些提取方法?

直接提取位同步信号: 将解调后的基带接收码元先通过某种非线性变换, 再送入一个窄带滤波电路从而滤除码元同步信号

锁相法: 用误差信号控制压控振荡器, 不断调整输出的定时抽样脉冲, 使定时误差不断减小, 当定时误差等于零时停止调整, 这样构成一个负反馈跟踪环的闭环系统

插入导频法: 位同步中的插入导频是在基带信号频谱的零点处插入反相的载波。

### 125. 什么是群同步法? 群同步有哪几种方法?

为了使接收码元能够正确分组。又叫帧同步。群同步方法有三种。一是起止同步法, 二是分散插入法, 三是集中插入法。

- 起止同步法是在每帧数据的开头集中插入群同步码组。
- 集中插入法是寻找一组在信息码中很少出现的特殊码组, 将同步码插在信息码前面, 常用巴克码。
- 分散插入法是将同步码等间隔得插在信息码中。

### 126. 群同步保护的构思?

捕捉态时提高判决门限电平, 降低假同步概率; 维持态时降低门限电平, 降低漏同步的概率。

### 127. 群同步的性能指标与哪些性能指标? 这些性能指标与什么有关系?

主要指标是假同步概率和漏同步概率。这些性能指标都和判决门限电平有关。假同步是由于信道干扰使信息码错码成同步码, 或者是信息码中出现了和同步码一样的码组, 从而使信息码被识别器误以为是同步码, 提高判决门限电平可以降低假同步的概率。漏同步是由于信道干扰, 使得接收码组中出现错码, 从而使识别器漏识别出同步码组, 降低判决门限电平可降低漏同步的概率。