中国矿业大学徐海学院

**教 案**

课程名称： 《通信原理A》

课程性质： 必修课

总学时/学分： 64学时 / 4学分

授课专业： 信息13-1，2，3班

授课教师： 刘 锐

使用学期： 2015 — 2016 学年第 2 学期

**课程基本信息**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 教学大纲名称  及时间 | | 教学大纲名称：《通信原理A》教学大纲 | | | | |
| 采用教材名称、作者、出版社及版本 | | 教材名称：通信原理  主编：樊昌信  出版社：国防工业出版社  版本：第7版 | | | | |
| 教学参考资料 | |  | | | | |
| 教法、学法建议 | | 教法：理论课内容以课堂讲授为主，配以讲练结合方式提高学生分析电路能力；实验课以任务驱动法为主，通过理论结合实际提高实践能力。  学法：多做练习、与实验课紧密结合、组成学习小组讨论。 | | | | |
| 考核方式 | | 闭卷考试 | | | | |
| 班级  名称 | 班  编号 | 本学期 总学时 | 其 中 | | | |
| 讲授时数 | 实训或实验课时数 | 习题(讨论) 课时数 | 机动学时 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 备注 | |  | | | | |

**课程授课学时安排表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **编号** | **班号/周次** | | | | | | | **单元或项目名称** | **计划学时** | **备注** |
| **1** | **2** | | **3** | | **4** | |
| 1 |  | |  | |  | |  | 绪论 | 2 |  |
| 2 |  | |  | |  | |  | **确定信号的分析** | 2 |  |
| 3 |  | |  | |  | |  | **随机信号的分析** | 2 |  |
| 4 |  | |  | |  | |  | **平稳随机过程** | 2 |  |
| 5 |  | |  | |  | |  | **信道、噪声及信息度量** | 2 |  |
| 6 |  | |  | |  | |  | **常规调幅与抑制载波双边带调幅** | 2 |  |
| 7 |  | |  | |  | |  | **单边带调制与残留边带调制** | 2 |  |
| 8 |  | |  | |  | |  | **线性调制系统的抗噪声性能1** | 2 |  |
| 9 |  | |  | |  | |  | **线性调制系统的抗噪声性能2** | 2 |  |
| 10 |  | |  | |  | |  | **宽带角调制及调频信号的产生与解调** | 2 |  |
| 11 |  | |  | |  | |  | **调频系统的抗噪声性能及频分复用** | 2 |  |
| 12 |  | |  | |  | |  | **脉冲编码调制** | 2 |  |
| 13 |  | |  | |  | |  | **均匀量化** | 2 |  |
| 14 |  | |  | |  | |  | **非均匀量化及差分脉冲调制** | 2 |  |
| 15 |  | |  | |  | |  | **增量调制及时分复用** | 2 |  |
| 16 |  | |  | |  | |  | **数字基带信号的码型及功率谱** | 2 |  |
| 17 |  | |  | |  | |  | **无码间串扰的传输机制** | 2 |  |
| 18 |  | |  | |  | |  | **数字信号基带传输的差错率及扰码1** | 2 |  |
| 19 |  | |  | |  | |  | **数字信号基带传输的差错率及扰码2** | 2 |  |
| 20 |  | |  | |  | |  | **二进制数字调制（2ASK、2FSK）** | 2 |  |
| 21 |  | |  | |  | |  | **二进制数字调制（2PSK、2DPSK）** | 2 |  |
| 22 |  | |  | |  | |  | **二进制数字调制的抗噪声性能** | 2 |  |
| 23 |  | |  | |  | |  | **数字信号的最佳接收** | 2 |  |
| 24 |  | |  | |  | |  | **差错控制编码的基本概念** | 2 |  |
| 25 |  | |  | |  | |  | **线性分组码及循环码** | 2 |  |
| 26 |  | |  | |  | |  | **总结，复习** | 2 |  |

**NO1.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | 绪论 | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 常用通信术语 模拟信号和数字信号 系统的组成和分类及通信方式 数字通信系统的主要特点 码元速率、信息速率、频带利用率以及误码率 | | | | |
| 重点难点 | 重点：模拟信号和数字信号、码元速率及信息速率  难点：无 | | | | |
| 采用教法 | 讲授 | 学法建议 | 自学、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、通信与通信系统的一般概念**  1. 通信：传输与交换消息的过程。  2. 电通信：用电信号携带所要传递的消息，然后经过各种电信道进行传输与交换，以达到通信的目的。  3. 通信系统：为完成通信任务所需的一切技术设备和传输媒质所构成的总体。  **二、通信系统的组成和各部分的作用**  1. 信源：原始信号的来源，其作用是将消息转换成相应的电信号。（如电话机、话筒、摄像机、计算机以及各种数字终端设备）  2. 发送设备：对原始电信号进行各种处理和变换，使它变换成适合于信道中传输的形式。（调制、放大、滤波及数字发送设备中的编码功能等）  3. 信道（传输媒介）：发送设备和接收设备之间用于传输信号的媒介（有线和无线两大类）  4. 接收设备：对接收的信号进行处理和变换，以便恢复出对应于发送端的原始信号（放大、滤波、解调及数字接收设备中的译码等功能）  5. 信宿（收信者）：原始信号的最终接收者，其作用是把接收设备恢复出来的原始电信号转换成相应的消息（人、各种终端设备、计算机）  噪声源：是信道中的噪声和通信系统中其他部分所产生的噪声的集中表示。  **三、模拟通信与数字通信**  1. 模拟信号：凡信号参量的取值是连续的或取无穷多个值的，且直接与消息相对应的信号  2. 数字信号：凡信号参量只能取有限个值，并且常常不直接与消息相对应的信号。  3. 模拟信号与数字信号的区别：模拟（连续）信号不一定在时间上也连续；数字（离散）信号不一定在时间上也离散  4. 数字通信系统与模拟通信系统相比，其主要优点在于：（1） 抗噪声性能好；（2） 数字接力通信（中继）时可以消除噪声的积累；（3） 可以采用信道编码降低误码率，提高通信质量；（4） 便于加密，实现保密通信；（5） 便于处理、存储、交换；（6） 便于和计算机等连接，综合传递各种消息，使通信系统功 能增强。  5. 数字通信的主要缺点：它比模拟通信占据数倍甚至数十倍宽的系统频带。（以电话为例，一路模拟电话通常占据4KHz的带宽，但一路数字电路所要占据20KHz～60KHz的带宽，因此在频带时分紧张而对通信质量没有特殊要求的场合，仍将沿用模拟通信。其优点是以占据更多系统频带为代价的。）  **[问题1]** 语音信号为模拟信号，所以传输语音信号的系统一定是模拟通信系统，此说法正确吗？为何？  答：不对。因为语音信号可以转换为数字信号，然后通过数字通信系统进行传输。  **[问题2]** 数字电话与模拟电话有什么区别？  答：区别在于数字电话是数字通信系统，语音信号在信道中已经转换为数字信号；而模拟电话是模拟通信系统，语音信号在信道中仍然为模拟信号。  **四、通信系统的分类**  1、按消息的物理特征分类（业务）  如电报、电话、数据、图像通信系统  2、按调制方式分类  基带传输：未经调制的信号直接传输（音频和数字基带）  调制传输：对各种信号变换方式后进行传输的总称。  3、按信号特征分类  最常用分为模拟与数字通信系统两大类  4、按信号复用方式分类  频分复用：用频谱搬移使不用信号占据不同的频率范围（主要用于模拟通信）  时分复用：用脉冲调制使不同信号占据不同的时间区间（主要用于数字通信）  码分复用：用一组正交的脉冲序列分别携带不同的信号（主要用于扩频通信）  5、按传输媒介分类  最常用分为有线（包括光纤）与无线  **五、通信方式**  1、按消息传输的方向与时间关系分  单工：单方向传输（一点发、一点收）.例如遥控。  半双工：通信双方（两点）均能收发消息但不能同时收发。例如无线对讲机。  全双工：通信双方（两点）能同时收发信号。例如电话。  2、按数字信号码元的排列方式分  串序传输：将数字信号按时间顺序一个接一个的传输,它占用一条通路。适合远距离。  并序传输：将数字信号码元序列分割成多路同时传输，  适合近距离。  **六、通信发展简史**  1838年 有线电报发明，成为使用电通信的标志。  1876年 有线电话发明，是现代通信的开端。  1878年 第一个人工交换局，21个用户。  1896年 无线电报发明，无线通信的开端。  1906年 电子管的发明，使有线、无线通信迅速发展。  20世纪30年代 通信理论体系形成。  20世纪50年代 晶体管和集成电路问世，模拟通信高速发展，数字通信方式形成，计算机和通信技术密切结合，人机通信、机器与机器之间的通信逐渐实现。  20世纪80年代 通信网迅速发展，除传统的电话网、电报网以外，其它先进的通信网蓬勃发展，如移动通信网、综合业务数字网、公用数据网、智能网、宽带交换网等。  **七、通信系统的质量指标**  (1) 通信系统的质量指标主要有：有效性、可靠性、适应性、标准性、经济性及维护使用等。其中最主要的是有效性和可靠性，它们二者是对立统一的。  (2) 模拟通信系统的质量指标  1．有效性  有效性可用单位时间内传送的信息量来衡量。模拟通信的有效性是指传输一定的信息量所消耗的信道资源数（带宽或时间），通常用有效传输带宽来衡量。同样的消息采用不同的调制方式，则需要不同的频带宽度。频带宽度越窄，则有效性越好。  2．可靠性  可靠性是指接收信息的准确程度，模拟通信用均方差来衡量发送的模拟信号与接收端恢复的模拟信号之间的误差程度。在实际的模拟通信系统中，其可靠性是用接收终端的输出信噪比来度量的，这是因为在信道是理想的情况下，误差是由信号传输时的加性噪声产生的，而加性噪声一般用信噪比衡量。信噪比越大，通信质量越高。  (3) 数字通信系统的质量指标  1．有效性  数字通信的有效性用传输速率来衡量。  （1）码元速率（传码率）  码元及码元长（宽）度：在数字通信中常用时间间隔相同的符号来表示一位N进制信号，此时间间隔内的信号称为N进制码元，时间间隔的长度称为码元长度。  码元速率：指单位时间传输的码元数，以 表示，单位：baud（波特，简记Bd）。 ， 为码元长度。  码元速率与数字信号进制没有关系，只与码元长度有关。  （2）信息速率（传信率）  单位时间传输的信息量为信息速率，以 表示，单位bit/s（比特/秒）。  对于一个 *M* 进制数字信号， 。所以，信息速率与进制有关。  对于二进制数字信号， ，有时简称它们为数码率。  （3）频带利用率  ，其中B为传输带宽  **[例题]** 某消息用十六元码序列传送时，码元速率是300 baud，问：其信息速率为多少？若改用二元码序列传送该消息，试求信息速率为多少？      2．可靠性  数字通信的可靠性用差错率来衡量。  （1）误码率      （2）误信率      **作业： 一个四进制数字通信系统，码元速率为 1kBd，连续工作1小时后，接收端收到的错码为10个，（1）求误码率；（2）四个符号独立等概且错一个码元时发生1bit信息错误，求误信率。** | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 节后检验学习结果题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO2.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **确定信号的分析** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 周期信号 信号的傅里叶变换 信号的能量谱与功率谱  波形互相关和自相关 信号带宽 | | | | |
| 重点难点 | 重点：信号的能量谱与功率谱  波形互相关和自相关 | | | | |
| 采用教法 | 讲授 | 学法建议 | 自学、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、周期信号**  周期为*T*的周期信号 ，可以展开为：  1. 傅里叶级数  2.三角级数  3.指数形式  其中  **二、信号的傅里叶变换**  **三、信号的能量谱与功率谱**  归一化能量：信号 在 电阻上所消耗的能量      平均功率：    若 为能量信号，则    若 为周期性功率信号，则  *\* \* 结论：时域内能量信号的总能量等于频域内各个频域分量能量的连续和。周期信号的总的平均功率等于各个频域分量功率的总和。*  若  则称 为能量谱密度函数， 为功率谱密度函数。    *\* \* 结论：功率谱只与功率信号频谱的模值有关，而与其相位无关。*  **四、 波形的互相关和自相关**  1.互相关函数  设 和 是两个能量有限的能量号，则它们的互相关函数为：    若 和 是两个功率信号，则：    2.自相关函数  对于两个完全相同的信号，有下述关系：  对于能量信号，有：  对于功率信号，有：  互相关函数的三个重要特性：  （1）R12（t）=0； （2）t≠0, R12（t）= R21（-t)； （3）t=0时, R12（0）表示f1(t)与f2(t)无时差时的相关性  归一化相关系数：  （1）ρ12=0；（2）ρ12=1；（3）ρ12=-1  自相关函数的三个重要特性。  （1）R（t）=R（-t）； （2）R（0）≥|R（t）|； （3）R（0）表示能量或功率。  对于能量信号，有：  对于自相关函数，有：  所以，有：  对于功率信号，同样有： **维纳-辛钦关系**  **五、信号带宽**  （1）根据占总能量或总功率的百分比确定带宽，设带宽为B, 根据下列等式求带宽  或  （2）根据能量谱或功率谱从最大值到下降3dB处所对应的频率间隔定义带宽  （3）满足等式  或 | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 节后检验学习结果题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO3.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **随机信号的分析** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 概率及随机变量 随机变量的数字特征 随机过程及其统计特性 | | | | |
| 重点难点 | 重点：随机变量的数字特征 随机过程的统计特性  难点： | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、概率及随机变量**  1. 概率：  联合概率：  条件概率：    2. 随机变量  (1) 随机变量的概念  某随机实验可能有许多个结果，我们可以引入一变量*X*，它将随机地取某些数值，用这些数值来表示各个可能的结果，这一变量*X* 就称之为随机变量。  当随机变量*X*的取值个数是有限的或可数无穷个时，则称它为离散随机变量；否则，就称它为连续随机变量，即可能的取值充满某一有限或无限区间。  如果一个随机实验需要用多个随机变量（*X*1，*X*2，…，*X*n）表示，则多个随机变量（*X*1，*X*2，…，*X*n）的总体称之为 *n* 维随机变量。  (2) 随机变量的概率分布函数和概率密度函数  用*P*(*X*≤*x*)表示*X*的取值不大于*x*的概率，则定义函数 为随机变量*X*的概率分布函数。这里，*X* 可以是离散随机变量，也可以是连续随机变量。  若*X*是连续随机变量，对于一非负函数*pX*(*x*)有下式成立    则*pX*(*x*)称之为*X*的概率密度函数（简称概率密度）。  对二维随机变量（*X*，*Y*），把两个事件（*X*≤*x*）和（*Y*≤*y*）同时出现的概率定义为二维随机变量的二维分布函数    同样， 称之为二维概率密度。  **二、随机变量的数字特征**  （1）数学期望：反映了随机变量取值的集中位置（均值）  设*pX*(*xi*)(*i*=1,2,…,*K*)是离散随机变量*X*的取值*xi*的概率，则其数学期望为    对于连续随机变量*X*，设*pX*(*x*)为其概率密度函数，则其数学期望为    （2）方差：反映了随机变量的集中程度；  方差定义为：  式中aX*=E*[*X*]。而方差的平方根又称为均方差或标准偏差。  （3）两个随机变量的相关系数：反映了它们之间的线性相关程度。  对两个随机变量*X*，*Y*定义：    为*X*，*Y*的相关矩或协方差。  而*X*，*Y*的归一化相关矩，称之为*X*，*Y*的**相关系数**，定义为      **[例题]** 试求下列均匀概率密度函数的数学期望和方差：      **三、随机过程及其统计特性**  1．随机过程的概念  定义：设随机实验*E*的可能结果为*X*(*t*)，实验的样本空间*S*为{ *x*1(*t*), *x*2(*t*),…, *xi*(*t*)}，*i*为正整数，*xi*(*t*)为第*i*个样本函数（又称之为实现），每次实验之后，*X*(*t*)取空间*S*中的某一样本函数，于是称此*X*(*t*)为随机函数。当*t*代表时间量时，则称此*X*(*t*)为随机过程。      2．随机过程的概率分布函数和概率密度函数  设*X*(*t*)为一随机过程，则*X*(*t*1)为一随机变量，此随机变量的分布函数为，称之为随机过程*X*(*t*)的一维分布函数。如果存在，则称为随机过程*X*(*t*)的一维概率密度函数。  一般用一维分布函数或一维概率密度函数去描述随机过程的完整统计特性是极不充分的，通常需要在足够多的时间点上考虑其分布函数或概率密度函数。*X*(*t*)的*n*维分布函数定义为：  如果存在，则称之为随机过程*X*(*t*)的*n*维概率密度函数。  3．随机过程的统计特性（数字特征）  （1）数学期望：随机过程*X*(*t*)的数学期望定义为    它本该在*t*1时刻求得，但*t*1是任意的，所以它是时间的函数。  （2）方差：随机过程*X*(*t*)的方差定义为    （3）协方差函数和相关函数  协方差函数定义为    相关函数定义为 | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 节后检验学习结果题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO4.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **平稳随机过程** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 平稳随机过程概念 平稳随机过程的自相关函数 平稳随机过程的功率谱密度和自相关函数 平稳随机过程通过线性系统 高斯随机过程 窄带随机过程 | | | | |
| 重点难点 | 重点：平稳随机过程概念 平稳随机过程通过线性系统 窄带随机过程  难点： | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、平稳随机过程概念**  平稳随机过程是指它的任何*n*维分布函数或概率密度函数与时间起点无关。即：对于任意的正整数*n*和任意实数*t*1，*t*2，...，*tn*，*τ*，随机过程*X*(*t*)的*n*维概率密度函数满足    则称*X*(*t*)为平稳随机过程（严平稳随机过程或狭义平稳随机过程）。由此可见，平稳随机过程的统计特性将不随时间的推移而不同。  因为， 所以它的一维分布与*t*无关；又    所以它的二维分布只与时间间隔*τ*有关。  平稳随机过程的数学期望为    平稳随机过程的方差为    由此可见平稳随机过程的数学期望和方差均与时间无关；它的自相关函数只与时间间隔有关，即    满足式上述三式的随机过程称之为宽平稳随机过程或广义平稳随机过程。  **二、平稳随机过程的自相关函数**  （1）*R*(0)为*X*(*t*)的平均功率：  （2）*R*(*τ*)为偶函数：  （3）*R*(0)为*R*(*τ*)的上界：  （4）为*X*(*t*)的直流功率：  （5）为*X*(*t*)的交流功率（方差）：  **[例题]** 试证明随相信号是广义平稳随机过程。其中，是常数，相位是在上均匀分布的随机变量。          三、**平稳随机过程的功率谱密度和自相关函数之间的关系**  确定信号的自相关函数 与其功率谱 之间有确定的傅立叶变换关系，平稳随机过程*X*(*t*)的自相关函数与其功率谱之间也互为傅立叶变换关系，即    **四、平稳随机过程通过线性系统**  随机过程通过线性系统的分析方法可以用确定信号通过线性系统的方法进行分析，因为随机过程的一个实现加到线性系统的输入端，则必将获得一个系统响应。因此，只要输入有界且系统是物理可实现的，则当输入是随机过程时，便有输出随机过程，且有    对随机过程，我们关心的是它的统计特性。  1．的数学期望    输出过程的数学期望与*t*无关。 为常数，  为*h*(*t*)的傅立叶变换。  2．的自相关函数    自相关函数只依赖于时间间隔，而与时间起点无关。  基于1、2两点，此时输出过程是宽平稳的。  3．的功率谱密度    4．的分布  在给定输入过程分布的情况下，原理上可以求得输出过程的分布。一种十分有用的结论是：高斯过程经过线性变换后的过程仍然是高斯过程。  **五、高斯随机过程**  1．一维正态分布  若随机变量*X*的概率密度函数可以表示为    则*X*称之为一维正态分布的随机变量。  2．一维正态分布的特性  一维正态分布的*p*(*x*)可以由图表示    X大于常数C的概率为：    Q函数的定义为：    所以：    **六、窄带随机过程**  1. 窄带随机过程过程的定义  窄带系统是指通带宽度 ，且通带的中心频率的系统。窄带随机过程可以表示为：  式中  分别称为的同相分量和正交分量。  2、零均值平稳高斯窄带随机过程的统计特性  （1）数学期望  因为平稳，且已假设是零均值的，故    则  （2）自相关函数      由于  所以，有  功率谱密度为 | | | 备 注 | |
| 电容连接部分教学内容按教学大纲要求是教材外的补充内容，属于要求掌握并考核的内容 | |
| 思考与  练习 | 节后检验学习结果题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO5.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **信道、噪声及信息度量** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 信道 白噪声 信息及其度量 | | | | |
| 重点难点 | 重点：信息量及平均信息量  难点：无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  一、**信道**  （1）信道的定义  信道：以传输媒质为基础的信号通道    广义信道：除传输媒质外，还包括有关发送设备、接收设备、天线、Modem等。  （2）调制信道模型 （连续系统）  共性:1) 有一对(或多对)输入、输出端  2) 线性的  3) 对信号有延迟、损耗  4)  无信号输入时，仍有噪声输出  时变线性网络模型为：  如果网络的函数变换关系定义为，网络的输入为 则网络的输出  注：乘性干扰。恒参信道： = 常数  随参信道： 常数  加性干扰。  二、**白噪声**  （1）白噪声的定义  功率谱密度在整个频域内都是均匀分布的噪声，称之为白噪声，即  式中，*n*0是一个常数，单位为“瓦/赫兹”（W/Hz）。  白噪声的自相关函数为  如果白噪声服从高斯分布，则称之为高斯白噪声。高斯白噪声在任意两个不同的时刻的取值不仅是不相关的，而且还是统计独立的。  高斯白噪声的功率谱密度  式中， *n*0为单边功率谱密度； *n*0/2 为双边功率谱密度。  (2)带限白噪声  如果白噪声被限制在（-*f*0，*f*0）之内，则这样的白噪声称之为带限白噪声（理想低通白噪声），即    其自相关函数为    白噪声、理想低通白噪声和理想带通白噪声的功率谱及其自相关函数如图所示。  **[例题]** 设信道噪声是一个均值为0，双边功率谱密度为*n*0/2 的高斯白噪声，接收机输入端的收滤波器是一个中心角频率为、带宽为B的理想低通滤波器，且fc>>B:  （1）求收滤波器输出噪声时域表达式和双边功率谱密度；  （2）求收滤波器输出噪声的自相关函数；  （3）求收滤波器输出噪声功率；  （4）写出收滤波器输出噪声的一维概率密度函数。          三、**信息及其度量**  （1）信息量  若xi出现的概率为 ，则其信息量为：    （2）平均信息量（信源熵）  设N种信息源中第i种信息出现ni次，且其出现的概率为  ，则整个消息的信息量为：  统计平均信息量为：  通过平均信息量计算总信息量，利用下式：  信息源中各种符号等概出现信息量最大，即：  **[例题]**一个由字母A，B，C，D组成的字，对于传输的每个字母用二进制脉冲编码，00，01，10，11分别代表A，B，C，D。每个脉冲宽度为5ms。  1)各字母等概出现，求平均信息传输速率。  2)每字母出现可能性分别为 ，求传输平均信息速率。  解 1）每字母传输时间为10ms，所以    2) 每字母平均信息量 | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 |  | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO6.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **常规调幅与抑制载波双边带调幅** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 常规调幅 抑制载波双边带调制 调制与解调 | | | | |
| 重点难点 | 重点：常规调幅与抑制载波双边带调制的时频域表达式及频谱  难点：无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  一、**常规调幅 （**AM**）**  常规调幅为：  26  若  则有：    上式中，，称为调幅指数，用百分比表示时，称为调制度。取值分小于1，等于1和大于1三种可能，分别对应正常调幅、满调幅和过调幅三种情况。  若调制信号为一般信号，则取调幅指数为：  当载波初相为0时，已调信号为：  若有：    则已调信号的频谱为：  此时，已调信号的频谱如下图所示：  27  调幅信号的平均功率为：    由于， ，  所以有：  调制效率：边带功率与总功率之比。即：    当 时，有：  此时：  若  ，则有其最大值为1/3。  **[例题]** 已知一个AM广播电台输出功率是50 kW，采用单频余弦信号进行调制，调幅指数为0.707。  (1) 试计算调制效率和载波功率；  (2) 如果天线用的电阻负载表示，求载波信号的峰值幅度。  解：(1) 依调制效率计算公式，有  又因为 ，所以，有：    （2）因为 ，所以，有：  **二、抑制载波双边带调幅（**DSB-SC**）**  DSB-SC信号表达式为：  已调波频谱为：  已调信号平均功率为：  边带功率即信号的全部功率，所以调制效率为：  DSB-SC波形图及频谱图如下：  **29**  **三、调制与解调**  解调包括相干解调和包络解调两种方式。  （1）相干解调  34  相干解调模型如上图所示。其关键是必须有一个同频同相的载波。表达式如下：    经低通后，得到： ，从而恢复了原有的调制信号。  （2）包络检波原理如下：  35  其中RC的取值范围为：  检波器的输出为： | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 节后检验学习结果题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO7.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **单边带调制与残留边带调制** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 单边带调制 残留边带调制 | | | | |
| 重点难点 | 重点： 单边带调制的时频域表达式  难点：无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、单边带调制(**SSB**)**  （1）滤波法形成SSB信号  滤波法形成SSB信号原理如下图所示：  36  其中，    所以，SSB信号频谱为：  其频谱变换关系如图所示。  37  归一化值：  一般要求： α≥10-3 ，否则滤波就难以实现。  多级滤波法原理如下图所示：  38  这里：  （2）相移法形成SSB信号  设调制信号为：  载波信号为：  则DSB信号为：  上边带信号为：  下边带信号为：  相移法形成单边带信号原理如下图所示：  39  SSB信号第一项为同相分量，第二项为正交分量。  若调制信号为非周期信号，则通过希尔伯特变换实现SSB信号的产生。  移相法产生SSB信号频谱变换关系如图所示：  43  （3）SSB信号的解调  相干解调原理如右下图所示：  44  由于输入信号为：  所以  经低通后输出为：  **[例题]** 用0 Hz∼3 000 Hz的信号调制频率为的载波以产生单边带信号。对该信号用超外差接收机进行解调，接收机框图如下图所示，两级混频器的本机振荡频率分别为 和，限定高于输入信号的频率，中频放大器的通带范围是 ∼。  (1) 如果信号是上边带信号，试确定和的频率；  (2) 如果信号是下边带信号，重复(1)。  解：(1) 若为上边带，为 ∼。由于要求外差，故有：  －(20.000∼20.003)=10.003 MHz ∼ 10.000 MHz  由此得：=30.003 MHz  由于－(10.003 ∼ 10.000)=0 MHz ∼ 0.003 MHz  所以  (2) 若为下边带，为20.000 MHz ∼ 19.997MHz。由于要求外差，故有：  －(20.000∼19.997)=10 MHz ∼ 10.003 MHz  由此得：=30 MHz  由于(10.000∼10.003)－=0 MHz ∼ 0.003 MHz  于是  二、**残留边带调制(**VSB**)**  （1）残留边带的产生  使用滤波器特性为残留下边带,使用右下滤波特性为残留上边带。  474846  VSB信号频域表达式为：  （2）VSB信号的解调  VSB调制信号采用相干解调方式，见下图：  49  其输出为：  经低通后输出：  可见，只要有下式成立，解调输出就不会失真。 | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 |  | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO8.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **线性调制系统的抗噪声性能** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 通信系统抗噪声性能的分析模型 线性调制相干解调的抗噪声性能 | | | | |
| 重点难点 | 重点： DSB信号与SSB信号的抗噪声性能分析方法  难点：无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、通信系统抗噪声性能的分析模型**    **55**  高斯白噪声通过BPF后，输出为高斯窄带噪声。即    式中  由随机过程理论可知：  设高斯白噪声双边功率谱密度为，BPF特性理想，单边带宽为B，则有：    定义解调器输出信噪比（SNR）为：    对于不同调制方式，定义信噪比增益如下：    上式中，分母为输入信噪比，其定义为：    在相同的输入功率条件下，不同系统的信噪比增益，系统的抗噪声性能不同。信噪比增益愈高，则解调器的抗噪声性能愈好。  **二、线性调制相干解调的抗噪声性能**  模型见下图：        57  此时，有：  （1）DSB调制相干解调  由于  所以有：      经低通后输出：  输出信号功率为：  输出噪声功率为：  输出信噪比为：  输入已调信号功率为：  输入噪声功率为：  输入信噪比为：  所以，信噪比增益为：  （2）SSB调制相干解调  由于  所以有        经低通后输出为：  输出信号功率为：  输出噪声功率为：  输出信噪比为：  输入信号功率为：  输入噪声功率为：  信噪比增益为：  **[例题]** 对双边带信号和单边带进行相干解调，接收信号功率为2 mW，噪声双边功率谱密度为，调制信号是最高频率为4 kHz的低通信号。  (1) 比较解调器输入信噪比；  (2) 比较解调器输出信噪比。  解：SSB信号的输入信噪比和输出信噪比分别为：      DSB信号的输入信噪比和输出信噪比分别为：      输入信噪比的比较为  输出信噪比的比较为  计算结果说明两种信号的抗噪声性能一致。 | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 |  | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO9.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **线性调制系统的抗噪声性能** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 角调制的基本概念 窄带角调制（窄带调频及窄带调相） | | | | |
| 重点难点 | 重点：调频信号的时域表达式及调频指数、最大频偏 窄带调频  难点：无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、角调制的基本概念**  对任意正弦信号，若有：，则称之为调角信号。其中， 称为瞬时相角，而 称之为瞬时频率。  角度调制信号的一般表达式为：  式中，A，ωc和θ0均为常数。为瞬时相位偏移，为瞬时频率偏移， 为瞬时相位，或相位。  设调制信号为，则对于  若有，则S(t)为调相信号，其中KPM为常数，它代表调相器的灵敏度，若初相为零，则  ，且有  此时  若S(t)为调频信号，则瞬时角频率偏移为  其中KFM为频偏常数。  此时的瞬时角频率为：  而瞬时相位为：  所以调频信号为：  设  ，若对载波调相，则有：    其中，称为调相指数。  若对载波调频，则有：    其中， 称为调频指数。  为最大角频偏，而为最大频偏。  67  调相波 调频波  **二、窄带角调制**  认定窄带角调制条件为：    满足上述条件，则称之为窄带调频（或调相），记为NBFM（或NBPM）；不满足上述条件的，则称之为宽带调频（或调相），记为WBFM（或WBPM）。  （1）窄带调频  FM信号为：    当满足窄带调制条件时，有：  ，  此时，有：  设的频谱为，且均值为0，即， 则有：    可见，窄带调频的频谱有载波分量、边频分量，所以带宽是调制信号最高频率的两倍；但边频分量乘有因子，所以有频谱失真，且上边频为负，与下边频反相。若 ，则NBFM信号为：      AM信号为：    AM与NBFM频谱图如下：    70  应该指出：为使AM波不致过调，边频幅度不得超过载频幅度之半；类似地，为使NBFM满足窄带条件，边频幅度应远小于载频幅度。  （2）窄带调相  窄带调相可表示为：  其频谱为：  显然NBPM与AM相似，频谱中有载频和边频，所以带宽二者相等，只是NBPM信号频谱的正负边频要分别移相正负90度。 | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 补充练习题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO10.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **宽带角调制及调频信号的产生与解调** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 宽带角调制（包括宽带调频和宽带调相） 调频信号的产生与解调 | | | | |
| 重点难点 | 重点：宽带调频 调频信号的产生  难点：无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、宽带调频**  不满足窄带调频信号条件的为宽带调频。  设  则宽带调频信号为：  将上式两个因子分别展开成付氏级数，则有：        其中：  称为第一类n阶贝塞尔函数，它是n和函数。  于是，有：    利用三角公式，则可得式：  其频谱为：  频谱特点：有载频，有上下边频，边频幅度为 ，n为奇数时，上下边频极性相反；  当 时，只有和有值，其它n值时的都接近于零，此时的信号只有载频和上下边频，这就是窄带调频。  时，对应宽带调频。  调频信号的带宽一般以边频幅值高于未调载波幅值的10%为标准，于是，有下述近似计算公式：  上述公式就是著名的卡森公式。  当 ，有：。这就是NBFM的带宽。  当 ，有：  若 保持不变而改变，即改变，此时，调频信号的带宽将随的增加而加宽；如果保持不变而改变，那么随着变大，将变小。此时，边频数目虽有增加，但间距却变小，因此有效带宽基本保持不变。  **二、宽带调相**  设，则调相信号为：    其中 为调相指数。  其最大角频偏为：  带宽为：  当 时，  注意：，与无关。即PM信号带宽随的变化而变化，而FM信号则基本不变。  **三、调频信号的产生**  FM信号的产生有直接调频法和倍频法两种。  直接调频又叫参数变值法，它是用调制信号直接控制电抗元件的参数，以改变输出信号瞬时频率，来实现调频的。实际中，常采用VCO作调制器。电抗元件可由变容二极管、电抗管、集成VCO及微波速调管等充当。  倍频法是先窄带调频再倍频以产生WBFM信号。  窄带调频原理如下图所示。      77  这里  78  倍频的目的是提高调频指数，其作用是使输出信号的频率为输入信号频率的某一给定倍数。 以平方律器件为例，其I/O特性为：  当输入为 时，输出为：    滤除直流后，其相位偏移为：  若采用n倍频，则便可获得n倍的相位偏移。  **四、调频信号的解调**  调频信号的解调有相干与非相干解调两种方法。相干解调适合于窄带调频，而非相干解调既适合于窄带调频，也适合于宽带调频。  非相干解调是采用线性频率—电压转换特性以产生  AM—FM波，再进行包络检波。  设输入信号为：  则解调器输出应为：  微分器输出为：  上式即为AM—FM信号。  包络检波后滤除直流，便可得  相干解调原理见下图。      83  设  及  则乘法器的输出为：    经低通后输出为：  经微分器后输出为： | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 补充练习题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO11.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **调频系统的抗噪声性能及频分复用** | | | | |
| 课 型 |  | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 非相干解调的抗噪声性能 相干解调的抗噪声性能 频分复用 | | | | |
| 重点难点 | 重点：相干解调的抗噪声性能 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、非相干解调的抗噪声性能**  分析模型见下图。      84  带通滤波器用于抑制带外噪声，设信道引入的高斯白噪声的单边功率谱密度为no。  解调器输入信号为：  输入信号平均功率为：  输入噪声的平均功率为：  所以，输入信噪比为：  由于：  在高输入SNR时，有，此时可得：  经微分器后，输出为：  这里：  输出信号功率为：  输出噪声功率为：  因此，输出信噪比为：  由于，所以  所以，有：  所以，信噪比增益为：  当 时，有 ，此时，有下式成立：    在单频调制时，还有下式成立：    所以，  **二、相干解调的抗噪声性能**  窄带相干解调模型如下图所示。      427    经相干解调后，输出：  所以输出信号功率为：  噪声的功率谱密度为：  所以输出噪声功率为：  因而，输出信噪比为：  由于输入信噪比为：  所以，窄带调频信噪比增益为：  由于 ，所以  故有：  对于单频调制信号，，并且对窄带调频而言，，常取  所以，有：  注意：相干解调虽信噪比增益很低，但不存在非相干解调的门限效应。  三、**频分复用(**FDM**)**  FDM原理见下图。值得注意的是：为确保各路间无干扰，要求相邻载频间隔为  97  复合调制：  采用两种或两种以上调制方式的复用方式为复合调制。在模拟调制中，通常是先进行FDM，再进行第二种调制；而在数字调制中，通常是先进行TDM，再进行第二种调制。 | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 无 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO12.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **脉冲编码调制** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 脉冲编码调制的基本原理 抽样（低通抽样、带通抽样、自然抽样、平顶抽样） | | | | |
| 重点难点 | 重点：低通抽样 带通抽样  难点：无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、脉冲编码调制的基本原理**  PCM调制过程有抽样、量化和编码三个步骤。  电话语音信号的PCM码组由八位二进制组成，模拟信号为调制信号，二进制脉冲序列为载波，样值改变脉冲序列的码元取值，故称PCM。  模拟信源给出要传输的模拟信号，预滤波器为带限滤波器，波形编码器完成的是将模拟信号变换成数字编码信号的变换，信号经传输到 达接收端。在接收端再将数字编码信号 转换成模拟信号。  **二、抽样**  （1）低通抽样定理  通常进行等间隔T抽样；理论上，抽样过程 ＝ 周期单位冲激脉冲×模拟信号；实际上，抽样过程 ＝ 周期性单位窄脉冲×模拟信号；  抽样定理：只要采样频率fs大于或等于被采样信号最高频率fH的两倍，就可由采样信号不失真地还原被采样信号。  抽样信号可表示为：  单位冲击函数可表示为：  故有：  同时，由于  所以，  抽样信号的时域与频域对照图如下图所示：  116  设理想低通传递函数为：  则滤波器输出为：  根据时域卷积定理，可获得重建信号：    这样，通过内插抽样函数实现了被采样信号的恢复。  （2）带通抽样定理  设带通信号有 ，N为不超过的最大正整数，则只要满足， 就可用带通滤波器不失真地恢复被采样信号。  由于， 所以带通信号的抽样频率在 2B至4B间变化，见图。  117B  （3）自然抽样  由于理想不存在，所以设抽样脉冲序列为，则抽样信号为。  又因为，其中，所以有：  可见，  （4）平顶抽样（有采保电路）  平顶抽样脉冲可表示为：  其传递函数为：  由于，所以，有：    频谱中，有加权项——孔径失真，为确保不失真地恢复，解调时应加予以补偿。 | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 |  | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO13.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **均匀量化** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 量化的基本原理 均匀量化和线性PCM编码 | | | | |
| 重点难点 | 重点：量化的原理及PCM编码的输出信噪比  难点：无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、量化的基本原理**  用有限位数字表示抽样值的过程即为量化。量化器的输入输出关系可表示为：    其中，为量化电平，为分层电平，为量化间隔。  123  量化特性曲线如下图所示：  124  图a为均匀中升型；图b为非均匀中升型；图c为均匀中平型；图d为非均 匀中平型。  量化器输入输出间的误差为量化误差，又叫量化噪声，并记之为：  设输入信号的概率密度为，则量化噪声的平均功率为：    将上式分段计算，则有：  当时，有，当概率均匀分布时，取，又因为输入电平位于第k层的概率为，将上述关系代入量化噪声平均功率表达式，则有：    当很小时，，上式又可表示成:  V表示量化器的最大电平。当输入大于量化范围时，出现过载，这时，量化器保持V值，此时出现的噪声叫过载噪声。  过载噪声的功率为：  量化器总的量化噪声为：  **二、均匀量化和线性PCM编码**  设量化器的量化范围为 -V到V，量化间隔数为L ，则量化间隔为。正常时， ，过载时， 。所以均匀量化不过载噪声功率为：    若信号不过载，则由于，所以，有：  设输入是幅值为Am的正弦信号，则其功率为 ，所以，其信噪比为：    设 ，并取，则可得下式：，或写成：    当，时，上式又可写成：  正弦信号线性PCM编码时的SNR特性曲线如下：    126  每增加一位编码，信噪比改善6dB。当20lgD取 -3dB 时，对应信号过载点。 | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 节后检验学习结果题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO14.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **非均匀量化及差分脉冲调制** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 非均匀量化的基本原理 对数量化及其折线近似 A律PCM编码原理 差分脉冲调制（DPCM） | | | | |
| 重点难点 | 重点： A律PCM编码原理  难点：无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、非均匀量化的基本原理**  由于语音信号动态范围一般在40dB--50dB，而SNR要求 为26dB，为保证SNR要求，编码位数太多会使总码率太高，采用先压缩（动态范围）后扩张的非均匀量化方案，以减少编码位数。  **129**  **二、对数量化及其折线近似**  （1）A律对数压缩特性  设，则定义：  （2）μ律对数压缩特性  μ律对数压缩特性定义为：  （3）A律对数压缩特性的折线近似  参见下图。A律13折逼近A=87.6的压缩特性。  134  **三、A律PCM编码原理**  自然二进制码：十进制正整数的二进制表示；  折叠码：首位为极性码，其余七位为幅度码；  格雷码：相邻电平编码只有一位不同。  语音信号的PCM编码采用折叠码。  A律PCM编码规则：  M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7 M8  M1—极性码，1为正，0为负；  M2M3M4—段落电平码；  M5M6M7M8—段内电平码。  A律正输入值编码表   |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | 段落号 | 段落码  M2  M3 M4 | 段落码对应  的起始电平 | 段内电平码对应的电平  M5  M6 M7 M8 | 段内量  化间隔 | | 1 | 0 0 0 | 0 | 16 8 4 2 | 2 | | 2 | 0 0 1 | 32 | 16 8 4 2 | 2 | | 3 | 0 1 0 | 64 | 32 16 8 4 | 4 | | 4 | 0 1 1 | 128 | 64 32 16 8 | 8 | | 5 | 1 0 0 | 256 | 128 64 32 16 | 16 | | 6 | 1 0 1 | 512 | 256 128 64 32 | 32 | | 7 | 1 1 0 | 1024 | 512 256 128 64 | 64 | | 8 | 1 1 1 | 2048 | 1024 512 256 128 | 128 |   **[例题]** 设输入为，按*A*律13折编码，求编码码组*C*，解码输出和量化误差。  解：(1)因输入样值为正，故极性码*M*1=1；  因 ，故段落码 *M*2 *M*3 *M*4=110  又因为 ， 而      所以，编码码组*C* = 11100011  (2) 解码输出：  (3) 量化误差：，即量化误差小于量化间隔一半。  **四、差分脉冲调制（DPCM）**  DPCM是根据信号样值间的关联性来进行编码的一种方法。其系统原理图见下图。  137  图中，，量化误差为  所以系统SNR为：  上式中， ， | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 节后检验学习结果题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO15.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **增量调制及时分复用** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 简单增量调制 自适应增量调制 时分复用技术 | | | | |
| 重点难点 | 重点：简单增量调制原理 时分复用原理  难点：无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、增量调制（****）**  （1）简单增量调制  当时，利用样值间的关联，用一位编码表示抽样时刻波形变化趋势，称为增量调制。如图所示  **138**  根据预测规则，有，所以预测值与差值间的误差信号为：。  量化器输出d(n)只输出 +Δ或 -Δ，前者编为1，后者编为0， Δ为的量化间隔。  由接收端可以看出，，如果传输无误，则有： 。其实质是用阶梯波最佳逼近连续波，以跟踪波形斜率。  **139**  当连续波斜率太大时，预测信号跟不上信号的变化，此时会出现过载现象，见下图。为避免过载，应满足下列条件：  如果输入信号为：， 则由于 ，所以应满足，或满足： ，其中Amax为正弦信号不过载最大振幅。  （2）自适应增量调制  简单系统信号动态范围一般满足不了通信系统要求，为改进之，采用自适应增量调制。其原理是采用自适应方法使量阶Δ跟踪输入信号的统计特性而变化。若量阶能随信号瞬时压扩的，称之为瞬时压扩，记为ADM；若量阶音节时间间隔（5ms-20ms）内信号平均斜率变化，则称之为连续可变斜率，记为CVSD。  **二、时分复用（**TDM**）**  （1）时分复用原理  时分复用原理见下图：  143  （2）PCM基群帧结构  A律PCM基群帧结构如下图所示：  146  这种帧结构中每帧有32路时隙，只有30路时隙用来传输30路电话信号，因此A律PCM 基群又称为30/32路系统。  在A律PCM 基群中，帧周期为125 us ，共有32×8=256个码元，所以基群的信息速率  平均每路的信息速率为 | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 节后检验学习结果题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO16.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **数字基带信号的码型及功率谱** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 数字基带信号的码型（设计原则、二元码、三元码） 数字基带信号功率谱 | | | | |
| 重点难点 | 重点：二元码以及三元码的波形绘制  难点：无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、数字基带信号的码型**  （1）数字基带信号的码型设计原则  数字序列的基本单元叫码元，码元的脉冲表示叫数字基带信号，数字信号的直接数字基带信号传输叫数字基带传输，数字基带信号经调制后再传输叫数字信号的调制传输，数字基带信号电脉冲的形式叫码型，数字信息的电脉冲表示过程叫码型编码（或变换），在有线信道中传输的数字基带信号叫线路传输码型，由码型还原为数字信息叫码型译码。  选择码型应考虑的因素：  ①对低频受限信道，码型应不含有直流，且低频成分小； ②在抗噪性能上，应不易产生误码扩散或增值； ③便于提取定时信息； ④尽量减少高频分量以节约频率资源减少串音； ⑤提高传输效率，并具有内在检错能力； ⑥编译码的设备力求简单。  （2）二元码  常见的二元码波形有如下图所示几种。  151  （a）单极性非归零码（NRZ）有直流且有固定0电平； （b）双极性非归零码（NRZ）无直流； （c）单极性归零码（RZ）有直流且每一脉冲都归零，多用于近距离波形变换； （d） 双极性归零码（RZ）每一脉冲都归零，它用正负脉冲表示1和0; （e）传号差分码（NRZ(M)）（电平改变示1）;（f）空号差分码（NRZ(S)）（电平改变示0）。  153  （a）数字双相码：双极性方波01表示1，10表示0； （b）密勒码：码元中心沿变化表示1，不变表示单0或码元间沿变化表示连0； （c）传号反转（CMI）码：用双极性 码01示0，00和11交替 表示1。  （3）三元码  154  （a）传号反转交替（AMI）码：交替+1和-1示1，0示0；  （b）n阶高密度双极性（HDBn）码：改进的AMI码；每四个连0的第四个零用V替代，当两个V之间有奇数个1时，用000V置换四个连0，这里V极性与前一个1相同，当两个V之间有偶数个1时，用B00V置换四个连0，B和V的极性与前一个1相反，B00V码后的非0码与该V码极性相反。  **二、数字基带信号的功率谱**  对于收信者，接收信号为一随机脉冲序列，所以只能用功率谱来加以描述。  设二进制随机序列1的基本波形为，0的基本波形为，且二者出现的概率分别为P和1-P，则接收信号随机过程可表示为：  式中，  对于任意随机信号，都可表示为稳态分量和随机分量两部分，即：。  设  和 的付氏变换分别为 和，则  的功率谱为：  的功率谱为：  所以的功率谱为 与之和，当0和1等概率，即p=1/2时，有： | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 节后检验学习结果题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO17.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **无码间串扰的传输机制** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 无码间串扰的传输条件 传输波形（理想低通信号 升余弦滚降信号） | | | | |
| 重点难点 | 重点：无码间串扰的判断  难点：无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、无码间串扰的传输条件**  无码间串扰传输的充要条件是仅在本码元上有最大值，而对其它码元抽样时刻样值无影响，参见下图示波形。  163  即当在时域上满足时，抽样值是无码间串扰的。  由时域条件得到频域上满足抽样值无失真的充要条件为：    上述无失真充要条件被称之为奈奎斯特第一准则，其物理意义为：把传递函数分段平移到区间 内，将它们叠加起来，叠加的结果为一常数。如下图所示：  164  **二、无码间串扰的传输波形**  **（1）理想低通信号**  如果成形网络满足： ，即为理想低通，相应地，其时域响应为：，参见下述波形图：  165  频域传递函数 时域冲击响应  由图可见，在 时刻有周期性零点，如果发送码元周期为T，就可做到无码间串扰。下图为无码间串扰示意图：  166  实际中，理想低通无法实现，所以其特性没有实际意义，但它给出了基带传输系统传输能力的极限值。  为说明传输系统带宽与码元速率间的关系，定义频带利用率为：，单位为Bd/Hz，即单位频带的码元传输速率。  对理想低通，码元速率为1/T，所需带宽为1/2T，通常，我们称1/2T为奈氏带宽，T为奈氏间隔。  频带利用率的另一种定义：，单位为bit/（s.Hz）。若码元序列为M进制码元，则频带利用率为：2log2*M* bit/（s.Hz）*。*理想低通信号又称为具有最窄频带的无串扰波形。  （2）**升余弦滚降信号**  升余弦信号的基带系统的传递函数为：    这里，α称为滚降系数，当  时，相当于理想低通；时，所需带宽为理想的2倍；时，带宽为 ，频带利用率为： | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 节后检验学习结果题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO18.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **数字信号基带传输的差错率及扰码** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 数字信号基带传输的差错率 扰码 | | | | |
| 重点难点 | 重点：扰码的原理  难点：无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、数字信号基带传输的差错率**  只考虑噪声的基带信号传输模型如下图所示：  172  接收滤波器输出为：  设发送信号为单极性NRZ二元码，且0和1的幅值分别为0和A，并假设传输无损耗，则接收信号的抽样值为：  或  下面是再生判决的过程：  173  高斯噪声的幅度概率密度函数为： ，发0时接收滤波器输出幅度概率密度函数为： ，发1时接收滤波器输出幅度概率密度函数为： ，0码错判为1码的概率为：，1码错判为0码的概率为：  设信源发0和1的概率分别为和，则总误比特率为：，通常，所以，有：。  很明显，最佳判决门限应选为d=A/2，因为此时总误比特率取最小值，且为： ，作变量置换，设，则 ，所以有：  对于单极性NRZ信号，信号平均功率为， 噪声平均功率为 ，所以信噪比为 。 这时的误比特率为 ； 而双极性NRZ码的信号平均功率为，信噪比为 ，相应地，误比特率为 。可见，相同的误比特率，单极性二元码要求信号平均功率比双极性二元码高一倍。或者说，相同的信噪比，双极性二元码的误比率低于单极性二元码，且双极性二元码具有稳定的0判决电平。  **二、扰码**  为解决信源的连0码提取定时信号难的问题，除采用码型编码外，还可用m序列扰码。  m序列是一种最常见的伪随机序列它是最长线性反馈移位寄存器序列的简称，并具有最长周期。参见下图：  178  反馈逻辑符合下式：  任何一级寄存器的输出，在脉冲的触发下，都会产生一寄存器序列。参见P206之表6-2。可见，该移位寄存器的状态具有周期性，且周期长度为15。设初始状态为0001，则得到的序列为：  n级线性反馈移位寄存器的输出是一周期序列，其周期长短取决于移位寄存器的级数、线性反馈逻辑和初始状态，但若周期最长，则初始状态非全0即可，关键是线性反馈逻辑。  一般形式的n级线性反馈移位寄存器见下图。  180  其反馈逻辑表达式为：  (mod 2) ，其中，表示连线贯通，表示连线断开。  设，则有 ，定义多项式 ，其中i表示元素的位置。 该多项式称为线性反馈移位寄存器特征多项式。  可以证明，当*F*(*x*) 满足下列3个条件时，就一定能产生m序列：  （1） *F*(*x*) 是不可约的，即不能再分解因式；  （2） *F*(*x*)可整除，这里；  （3） *F*(*x*)不能整除，这里。  满足上述条件的称之为本原多项式，这样，产生m序列的充要条件就变成了寻找本原多项式问题。  例如，对4级移位寄存器，有，应能整除，而可进行如下因式分解：    由于，所以，不是本原多项式，而前两个因子都是，且是互逆的，找到了一个，另一个可直接写出来。 | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 节后检验学习结果题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO19.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **数字信号基带传输的差错率及扰码** | | | | |
| 课 型 | 理论题 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 眼图的形成 均衡的原理 | | | | |
| 重点难点 | 重点：均衡的原理  难点： | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、眼图**  眼图是用简单方法和通用仪器观察系统性能的一种手段。其方法是：将接收到的待测基带信号加于示波器输入端，定时信号作为示波器扫描同步信号，这样示波器的扫描周期与信号的码元周期严格同步，示波器上就可见如同人眼的图形，谓之眼图。眼睛睁的越大，系统性能越好，反之眼睛睁的越小，系统性能越差。  185  眼图模型如下图所示：  186  **二、均衡**  实际中，恒定特性的信道是不存在的，所以，码间串扰也是不可避免的。为此，往往需要加入可调滤波器，即均衡滤波器，以减少码间串扰。  如图，由于信道特性不理想，导致单个脉冲的响应在其它抽样值时刻产生拖尾，均衡网络用来产生虚线响应，使总响应成（b）状。  187  时域均衡就是在基带传输系统的接收滤波器之后加入横向滤波器。均衡器如图：  188  横向滤波器由延迟线、乘法器及加法器组成。  当激励为单位冲击信号时，设均衡中心抽头的响应为*x*(*t*) ，则均衡器输出为：，在抽样时刻*t* = *kT*s 时为：，或简写成 。适当地选择加权系数，使码间串扰最小。  定义峰值失真为： ，显然，该比值越小， 系统性能越好。同样地，定义均衡前的输入峰值失真为D0及均方失真e，它们的物理意义与峰值失真类似。    依峰值失真最小或均方失真最小设计系统使码间串扰最小，分别称之为最小峰值失真准则和最小均方失真准则。  根据最小失真准则，由于 ，所以，当均衡到最佳程度时，有：    即选择一组系数CN，以满足上式。 由yK（K=-N,-N-1,…,-1,0,1,…,N）建立联立方程组，并求解之。     * 这种使yK除K=0外皆为零设计出来的均衡器称为“迫零”均衡器。 | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 节后检验学习结果题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO20.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **二进制数字调制（2ASK、2FSK）** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 二进制幅度键控（2ASK） 二进制移频键控（2FSK） | | | | |
| 重点难点 | 重点：二进制幅度键控（2ASK）及二进制移频键控（2FSK）的波形绘制  难点： 无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、二进制幅度键控（2ASK）**  2ASK信号，其幅度按调制信号取0或1有两种取值，最简单的形式为通断键控（OOK）。  OOK信号的表达式为：  调制信号为：  OOK信号如下图所示：  197  一般地，调制信号具有一定波形，可表示为： ，所以，2ASK信号为： ，可见，2ASK为DSB信号。  设调制信号功率谱为，则2ASK信号功率谱为：    上式表明：2ASK信号频带是二进制基带信号的二倍。如下图所示：  198  通常取第一个过零点带宽作为传输带宽，即谱零点带宽，则OOK信号的谱零点带宽为。  由于与相同，所以OOK信号的传输带宽为码元速率的二倍。为限制带宽，可采用带限的基带信号。如采用下图所示信号。  2ASK调制器见下图：  200  解调方式：包络检波和相干解调，原理框图见下图：  201  **二、二进制移频键控（2FSK）**  移频键控是数字信号改变载波频率。2FSK载波频率随0和1有两种取值，分别为和。  所以已调波的时域表达式可写成：    其中，  2FSK还可表示成：  2FSK信号的波形及分解如下图所示：  202  设2FSK两个载频的中心频率为，频差为Δ *f* ，则  定义调频指数（频移指数）为：  2FSK信号带宽可近似为。  通常，2FSK信号由频率选择法产生，且其相位是不连续的，其调制器可参见下图：  204  2FSK解调也有相干与非相干解调之分，见下图：  205  （a）图中，是把2FSK看成为两个独立的2ASK信号，然后分别加以解调，解调后再合成。  过零解调也是2FSK信号一种常见的解调方法，见下图。其原理是：载频不同，过零点数不同，检测过零点数，即可进一步得到原始的调制信号。  **206** | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 节后检验学习结果题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO21.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **二进制数字调制（2PSK、2DPSK）** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 二进制相移键控（2PSK） 二进制差分相移键控（2DPSK） | | | | |
| 重点难点 | 重点：二进制幅度键控（2PSK）及二进制移频键控（2DPSK）的波形绘制  难点：无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、二进制相移键控（2PSK）**  相移键控是利用数字信号去控制载波的相位，对二进制，相位只有两种取值，通常为0和π。所以称之为二相键控。  2PSK信号表达式：  其中，  若*g*(*t*)是幅度为1宽度为的矩形脉冲，则2PSK信号可表示为  如果，与载频间为整数倍关系，则2PSK信号有如下波形：  Txy207  2PSK与2ASK在表达式形式上是一致的，但2ASK调制信号为单极性脉冲，而2PSK为双极性脉冲，且二者皆为DSB，只是2PSK没有载频离散谱成分。  2PSK解调可用乘法器，或用相位选择器，如下图所示。  由于PSK信号频谱中没有载频，解调必须用相干解调方法，而此时如何获得同频同相的载频就成了关键问题。  208  2PSK相干解调器如下图所示：  210  2PSK调制与解调过程如下：    **二、二进制差分相移键控（2DPSK）**  为避免绝对调相存在的问题，引入相对调相，即2DPSK，其原理及波形见图：  **211**  差分码可取传号差分也可取空号差分，传号差分的编码规则为：  其中，的初始值可以任意设定。  差分译码规则为：  显然，只要传输没有差错，则译码值便是原始数据，即 。  2DPSK相干解调器及各点波形如下图所示：  TXY212 | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 节后检验学习结果题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO22.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **二进制数字调制的抗噪声性能** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | ASK系统、FSK系统、2PSK和2DPSK的抗噪声性能 | | | | |
| 重点难点 | 重点：抗噪声性能的分析方法  难点： 无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、ASK系统的抗噪声性能**  （1）相干接收时ASK系统的误比特率  为方便，设2ASK信号如下式，并设信号传输无损耗。    信道噪声经BPF后输出为窄带高斯噪声，且为：  当发送0时，BPF输出为：  经与相干载波相乘，再经低通，解调器输出为：  其一维概率密度函数为  同理，当发送0时，解调器输出的一维概率密度函数为  当发送0和1等概时，解调错判的概率（即误比特率）为：    当最佳判决门限确定在时，有：  令 ，则有：  设峰值信噪比为，则。  （2）非相干ASK的误比特率  当发送信号不为0时，包络检波器输入信号为：    包络R的概率部分符合莱斯分布，即：  当发送信号为0时，包络R符合瑞利分布，即：  当0和1等概发送时，平均误比特率为：  当判决门限为两条线的交点时，有：，所以，有下式成立：    在信噪比很高的条件下，即接收信噪比为 ，进一步有：  二、**FSK系统的抗噪声性能**  （1）相干FSK的误比特率  2FSK信号可表示为：  相干FSK的误比特率为：    （2）非相干FSK的误比特率    这里为接收信噪比。  三、**2PSK和2DPSK的抗噪声性能**  由于PSK是DSB信号，所以必须用相干解调方法。相干PSK的误比特率为：    DPSK系统的误比特率为：，这里，引入了接收信噪比  。 | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 节后检验学习结果题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO23.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **数字信号的最佳接收** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 使用匹配滤波器的最佳接收机 相关接收机 | | | | |
| 重点难点 | 重点：匹配滤波器的原理  难点：无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、使用匹配滤波器的最佳接收机**  最佳接收应该使判决尽可能正确，以获得最小的差错率，见下图：  216217  假如滤波器能在判决瞬间给出最大信号功率，并将噪声最大的抑制，则差错率一定最小。  上右图示滤波器为一匹配滤波器。  滤波器的输入信号为：  则滤波器的输出信号为：  其中信号输出为：  输出噪声平均功率为：  设 时刻输出信号最大，则此时输出SNR为：  满足上述关系的*H*(*f* )正是所要求的传递函数。  根据许瓦兹不等式，有：  上式中，只有在，k为任意常数时取等号。因此，令：    则有：  上式取等号时，必须满足： ，式中，。  可见，传递函数应与信号频谱的复共扼成正比，故称匹配滤波器。  由付氏反变换，可得匹配滤波器的冲击响应：    当输入为实信号时，有，所以，    显然，h(t)是s(t)的纵轴镜象s(-t)延迟了tm。  由于要求物理可实现，所以要求。 通常取，所以，，这时，匹配滤波器的输出信号为：    令  ，则有：  由此可见，匹配滤波器的输出信号与输入信号的自相关函数成正比。  当 时，有。  上式说明，匹配滤波器输出信号的最大值与输入信号波形无关，而与其能量有关。  从频域角度看，也可导出同样的结论。    由帕什瓦尔定理，可知，信号能量为：    代入许瓦兹不等式,得匹配滤波器输出最大信噪比为：    上式表明：滤波器在*t* =T时刻的输出SNR与输入信号能量成正比，与输入噪声功率谱密度成反比。  **二、相关接收机**  时间有限信号，频谱必无限，所以，匹配滤波器不能做到全频段匹配。  由于滤波器输入信号为：  而输出信号在t=T时刻为：  设 ，并取 t 不在(0,T)时，*h*(*t*) = 0 ，则有：    两个函数相乘后再积分的运算为相关运算，所以，由这种运算得到的接收机称为相关最佳接收机，其原理框图如下图所示。  222 | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 |  | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO24.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **差错控制编码的基本概念** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 差错控制方式 差错控制编码分类 几种简单的检错码 检错与纠错基本原理 | | | | |
| 重点难点 | 重点：差错控制方式 检错与纠错的基本原理  难点：无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、差错控制方式**  常用的差错控制方式有三种：  （a）前向纠错（FEC）：发送能纠错的码，译码时纠错，适合单向信道和一发多收系统；  （b）检错重发（ARQ）：收到错码后，通过反向信道通知发端重发，直到正确接收为止；  （c）混合纠错（HEC）：先用前向纠错，当前向纠错不能解决问题时，再用检错重发。  241  检错重发的三种方式  **二、差错控制编码分类**  （1）按信息码和附加监督码间的检验关系可分为线性码和非线性码。若监督码是信息码的线性组合，称为线性码。反之，称之为非线性码。  （2）按信息码和监督码间的约束方式可分为分组码和卷积码。它是在编码前先把信息序列分为*k*位一组，然后附加*m*位监督码，形成*n* = *k* + *m*位的码组。监督码仅与本码组的信息码有关，称之为分组码；若监督码与之前的若干个信息码组的码元有约束关系，称之为卷积码或连环码或链码。  **三、几种简单的检错码**  （1）奇偶监督码  设码组长为n，且为：  则偶校验时有：  奇校验时有：  （2）二维奇偶监督码  一行的n列中增加一位监督码，  一列的m行中增加一位监督码。  该码可检错可纠错，尤其可检突发错码。  （3）重复码  重复码是在每位信息码元之后，再简单重复多次的编码。  （4）恒比码  从固定码长码组中选那些1和0比例恒定的码组作为许用码组，如五单位保护电码等。  （5）ISBN国际统一图书编号  243  **四、检错与纠错的基本原理**  差错编码的思想是在被传输的信息中附加监督码，用信息冗余度来实现检错和纠错的。  例如：000、001、010、011、100、101、110、111用来传递信息，则无法检错；  000、011、101、110用来传递信息可以检一位错，但无法纠错；  000、111用来传递信息可以检一位或两位错码，还可以纠一位错码。  可见，码组间的差异与纠检错能力十分重要。  定义1：码组中非零码元的数目称为码组的重量，简称码重。  定义2：两码组中对应码位上具有不同码元的数目称为两码组的码距，又叫汉明距。  选择下图的三种编码组合，其汉明距分别为1，2，3。  245  对于分组码，一般有如下结论：  (1) 在一个码组内检测*e*个误码，要求；  (2) 在一个码组内纠正*t*个误码，要求  ；  (3) 在一个码组内纠正*t*个误码，同时检测个误码，要求。  差错控制编码提高了通信系统的可靠性，也降低了有效性。为衡量有效性，定义编码效率 。  其中，*k*是编码前码组中的码元数，即信息码元数；*n*是编码后码组中的码元数，它包含了校验码元。 | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 无 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO25.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | **线性分组码及循环码** | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 线性分组码 循环码 | | | | |
| 重点难点 | 重点：线性分组码及循环码的编码规则  难点：无 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）  **一、线性分组码**  线性码组中的监督码是信息码元的线性组合，线性码具有封闭性，即任意两个许用码组之和（模2加），结果仍为一许用码组。  设n位分组码用表示，k位信息码用表示，记该码组为(*n* , *k*)码。  将码组和信息码组用行矩阵和表示出来，则有：      写成矩阵形式，有，G为生成矩阵，且：    设  则  其中前k位D为信息位，后m位Cm为监督位。  编码前，信息码元有k位，编码组合有种，编码后，码组有m位，编码组合有种，很显然，，找到合适的P矩阵，使编码前后的码组一一对应起来，同时具有较强的纠检错能力的P矩阵是我们要做的工作。  数学上已经证明：线性码的最小码距刚好等于其非零码的码重。  找到最小码距就可计算该码的纠检错能力。  **二、循环码**  循环码是一种系统分组码，前k位是信息码，后r位是监督码。不仅具有封闭性，还具有循环性，即一许用码组经循环移位后得到另一个许用码组。  设  是一个循环码组，则可将之表示为：    上式称为码多项式。  码组C移位1次得到的仍是码组，它可写成：    不难验证：  类似地，码组C经i次移位后，得到的新的码组是除以的余式。  也就是说，在模意义下，若*c*(*x*)是码多项式，则都是码多项式。  循环码的编码过程也可用多项式来描述。  一个k位信息码组 用信息多项式表述出来，则有：    编码问题就是求解码组多项式*c*(*x*) 的问题。  设，这里*g*(*x*)是的*n–k*次因式，称为生成多项式。 所以，有：  由于  而前已证明：  显然，  上式表明：对应某个信息码组，就是说*c*(*x*) 一定是循环码组。或者说，循环码完全由其码组长度n及生成多项式*g*(*x*)所决定。由于*g*(*x*)是一个能除尽的*n–k*次多项式，所以对进行因式分解，便可得到相应的*g*(*x*)。  通常，由信息码组D和生成多项式求出的码组不是系统码。根据系统码的定义，码组的前k位是信息码，后m位是校验码。  用多项式表示为：  又因为，所以，有：或写成：  因此，有：  可见， 。 | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 节后检验学习结果题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |

**NO26.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课 题 | 机动 | | | | |
| 课 型 | 理论课 | | 教学时数 | | 2 |
| 教学目的 | 讲评第6章之后作业，对本课程所学重点章节要点简单回顾，达到巩固知识的教学目的 | | | | |
| 重点难点 | 重点：讲评第6章之后作业、检测题 | | | | |
| 采用教法 | 讲练结合 | 学法建议 | 练习、讨论 | | |
| 教 学  过 程  设 计 | （复习内容、课题引入、主要知识点序列或操作步骤教法设计、时间分配等）   * **讲评第6章之后作业（60分钟）** * **对课程所学重点章节要点进行回顾 （20分钟）** * **学生提问（20分钟）** | | | 备 注 | |
|  | |
| 思考与  练习 | 节后检验学习结果题 | | | | |
| 教学后记 |  | | | | |