

# 四川大学《现代通信技术》2010-2011 期末考试 参考答案与解析（按试卷题序）

## 一、单项选择题

1. 题干：对于速率为 64 kb/s 的 PCM 系统，若每个样值的量化位数为 8 位，则可传输基带信号的最高频率为（）①4kHz ②8kHz ③16kHz ④32kHz

答案：①4kHz

解析：PCM 比特率  $R_b = n \cdot f_s$ 。已知  $R_b=64 \text{ kb/s}$ ,  $n=8$ , 得到采样率  $f_s=64/8=8 \text{ kHz}$ 。按奈奎斯特抽样定理  $f_s \geq 2f_{\max}$ , 因此  $f_{\max}=f_s/2=4 \text{ kHz}$ 。考点：PCM 码率关系 + 抽样定理。

课件定位：CommSystemChapter3-2025.pdf 第 83 页（PCM：量化比特数  $n$  与码率  $R_b=f_s \cdot n$ ）； CommSystemChapter3-2025.pdf 第 15 页（抽样定理  $f_s \geq 2W$ ）。

2. 题干：对频率偏移  $\Delta f=75 \text{ kHz}$ , 调制信号最高频率为 25 kHz 的 FM 信号, 其传输带宽约为（）①100kHz ②150kHz ③175kHz ④200kHz

答案：④200kHz

解析：用 Carson 公式估算 FM 带宽  $BT \approx 2(\Delta f + W)$ 。代入  $\Delta f=75 \text{ kHz}$ 、 $W=25 \text{ kHz}$  得  $BT \approx 2(75+25)=200 \text{ kHz}$ 。考点：Carson 带宽估算。

课件定位：CommSystemChapter2-2025.pdf 第 109 页（Carson 公式： $BT \approx 2(\Delta f + fm)$ ）。

3. 题干：对信息信号分别进行 DSB, SSB, VSB 调制, 则已调信号的带宽顺序为（）①DSB>SSB>VSB ②DSB>VSB>SSB ③VSB>SSB>DSB ④VSB>DSB>SSB

答案：②DSB > VSB > SSB

解析：DSB 占用带宽为  $2W$ ; SSB 占用带宽为  $W$ ; VSB 占用带宽介于  $W$  与  $2W$  之间（约为  $W+f_v$ ）。因此大小顺序为 DSB 最大, VSB 居中, SSB 最小。考点：AM 体制带宽比较。

课件定位：CommSystemChapter2-2025.pdf 第 13 页（DSB/AM 带宽  $BT=2W$ ）； CommSystemChapter2-2025.pdf 第 43 页（SSB 带宽  $B_{SSB}=W$ ）； CommSystemChapter2-2025.pdf 第 19 页（VSB：保留残留边带）。

4. 题干：若采用“1”差分编码规则得到的二进制差分码为 0 10011011（首位是参考码元），它所对应的未调制信息码（绝对码）是（）①10010110 ②10110011 ③11010110 ④00101100

答案：③11010110

解析：差分译码为  $a_k = d_k \oplus d_{(k-1)}$ 。参考  $d0=0$ , 差分码  $d1..d8=1,0,0,1,1,0,1,1$ 。逐位：  
 $a1=1 \oplus 0=1$ ;  $a2=0 \oplus 1=1$ ;  $a3=0 \oplus 0=0$ ;  $a4=1 \oplus 0=1$ ;  $a5=1 \oplus 1=0$ ;  $a6=0 \oplus 1=1$ ;  $a7=1 \oplus 0=1$ ;  
 $a8=1 \oplus 1=0$ , 得 11010110。考点：差分编码/译码。

课件定位：CommSystemChapter6-2025.pdf 第 63 页（差分编码/译码规则）；  
CommSystemChapter6-2025.pdf 第 56 页（DPSK：差分相位携带信息）。

5. 题干：信源编码的目的是为了提高信息传输的（）①有效性 ②可靠性 ③保密性 ④随机性

答案：①有效性

解析：信源编码用于去冗余、压缩，提高传输有效性（频带/码率利用）；可靠性主要由信道编码通过增加受控冗余来提高。考点：信源编码与信道编码的目的区分。

课件定位：CommSystemChapter0-2025.pdf 第 79 页（通信系统有效性/可靠性）；  
CommSystemChapter0-2025.pdf 第 92–93 页（信源编码在系统结构中的作用）。

## 二、多项选择题

1. 题干：下列选项中关于多路复用的说法，正确的有（）①频分复用将不同信源的信号分配在不同频段同时传输 ②基于抽样定理，时分复用是不同信源的信号分时轮流传输 ③对时分复用而言，其要求的最低抽样频率是  $4W$  ( $W$  为信道带宽) ④频分复用要求每个信源的频带之间隔离，使各信源信号频谱不重叠 ⑤在频分复用中，每个信源信号必须留有一定的保护频带

答案：①②④⑤

解析：FDM 对应不同用户占不同频带并需隔离与保护带；TDM 为分时轮流占用时隙，模拟信号常先抽样再复用。最低抽样率应满足  $f_s \geq 2W$  而非  $4W$ 。考点：FDM/TDM 定义与抽样定理。

课件定位：CommSystemChapter0-2025.pdf 第 58 页（复用/复接：FDM/TDM）；  
CommSystemChapter3-2025.pdf 第 15 页（抽样率与带宽关系）。

2. 题干：关于各种调制信号的解调方法，下列说法正确的有（）①AM 信号可采用包络检波 ②DSB 信号可采用包络检波 ③2ASK 信号可采用相干解调和非相干解调 ④2FSK 信号可采用相干解调和非相干解调 ⑤2FSK 信号可采用包络检波

答案：①③④⑤

解析：AM（含载波）可包络检波；DSB-SC无载波，包络不再线性对应消息，需相干解调。2ASK、2FSK均可相干/非相干检测；2FSK非相干实现常采用分支滤波后包络/能量比较。考点：包络检波适用条件与相干/非相干解调。

课件定位：[CommSystemChapter2-2025.pdf](#) 第 10 页（AM 包络检波条件与电路）；  
[CommSystemChapter2-2025.pdf](#) 第 31 页（DSB-SC 相干解调）；[CommSystemChapter6-2025.pdf](#) 第 14 页（OOK/2ASK 判决）。

3. 题干：下列编码中，属于纠错编码的有（）①PCM ②DPCM ③奇偶校验码 ④(7,4)汉明码 ⑤卷积码

答案：④⑤

解析：PCM、DPCM 是信源编码/波形编码；奇偶校验码通常用于检错；汉明码与卷积码属于典型纠错编码。考点：检错码与纠错码、信源编码与信道编码区分。

课件定位：[CommSystemChapter10-2025.pdf](#) 第 4 页（差错控制编码分类）；  
[CommSystemChapter10-2025.pdf](#) 第 14–15 页（分组码参数与校验位）；  
[CommSystemChapter10-2025.pdf](#) 第 20 页（dmin 与检错/纠错能力）。

4. 题干：数字调频中，实现载波频率离散变化的数字调制方式为（）①2FSK ②2PSK ③MFSK ④MSK ⑤MPSK

答案：①③④

解析：频率键控（FSK）家族包括 2FSK、MFSK、MSK；PSK/MPSK 属于相位离散变化。考点：数字调制分类。

课件定位：[CommSystemChapter6-2025.pdf](#) 第 6 页（数字调制与 AM/FM/PM 对应 ASK/FSK/PSK）；[CommSystemChapter6-2025.pdf](#) 第 83 页（MSK 属于连续相位 FSK）。

5. 题干：关于部分响应波形传输特点的描述，正确的有（）①频率效率可达  $2 \text{ bit/s}\cdot\text{Hz}$  ②固定引入码间干扰，但可在接收端消除 ③输出波形衰减大、收敛快 ④为避免误差扩展，需要预编码 ⑤信号发射功率会增加

答案：①②③④⑤

解析：部分响应通过受控引入 ISI 提高频带效率；ISI 可通过接收端处理消除；相关滤波器脉冲响应收敛较快；为避免误差扩展常需预编码；多电平/相关传输通常要求更高 SNR 以达到同 BER 目标。考点：部分响应（受控 ISI）与预编码、频带效率权衡。

课件定位：[CommSystemChapter4-2025.pdf](#) 第 86–87 页（部分响应/相关电平：提高带宽效率但引入受控 ISI）。

### 三、填空题

1. 题干：数字通信系统的有效性用\_\_\_\_\_来度量，可靠性用\_\_\_\_\_来度量。

答案：频带利用率（频带效率）；误码率（BER）。

解析：有效性衡量单位带宽可承载的信息速率，可靠性用误码率衡量传输差错。

课件定位：[CommSystemChapter0-2025.pdf](#) 第 79 页（通信系统有效性/可靠性两大指标）。

2. 题干：若数字信息速率为 9600 bit/s，采用 8 进制数字调制，则码元速率为\_\_\_\_\_波特。

答案：3200 波特。

解析： $R_b = R_s \cdot \log_2 M$ ,  $M=8 \rightarrow \log_2 8=3$ , 所以  $R_s=9600/3=3200$  Baud。

课件定位：[CommSystemChapter6-2025.pdf](#) 第 11 页（ $R_b=R_s \cdot \log_2 M$ , 波特率与比特率关系）。

3. 题干：若已调信号的瞬时频率随调制信号线性变化，这种调制方式为\_\_\_\_\_。

答案：频率调制（FM）。

解析：FM 定义为瞬时频率  $f_i(t)=f_c+k_f m(t)$  随  $m(t)$  线性变化。

课件定位：[CommSystemChapter2-2025.pdf](#) 第 84 页（FM:  $\theta(t)=2\pi f_c t + 2\pi k_f \int m(\tau) d\tau$ , 瞬时频率）。

4. 题干：已知窄带高斯信号，其均值为 A、方差为  $\sigma^2$ ，则其概率密度函数为\_\_\_\_\_。

答案： $f(x)=1/\sqrt{2\pi\sigma^2} \cdot \exp(-(x-A)^2/(2\sigma^2))$ 。

解析：高斯分布 PDF 标准形式。

课件定位：[CommSystemChapter1-2025.pdf](#) 第 37 页（高斯随机变量 PDF）。

5. 题干：传统模拟载波电话系统中传输音频信号采用\_\_\_\_\_调制方式。

答案：单边带（SSB）。

解析：话音带宽较窄，SSB 可将带宽从  $2W$  降至  $W$  并节省功率。

课件定位：[CommSystemChapter2-2025.pdf](#) 第 43 页（SSB 频谱与带宽优势）；[CommSystemChapter2-2025.pdf](#) 第 60 页（SSB 节省带宽说明）。

6. 题干：采用 AMI 码对 1101000101 进行编码得到\_\_\_\_\_。

答案: + - 0 + 0 0 0 - 0 + (默认第一个“1”为+, 后续“1”正负交替)。

解析: AMI 对“1”交替反转, 对“0”为零电平。

课件定位: CommSystemChapter3-2025.pdf 第 57–58 页 (AMI 线路编码规则与波形)。

7. 题干: QAM 调制实质上是\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_相结合的一种数字调制方式。

答案: 幅度键控 (ASK); 相位键控 (PSK)。

解析: QAM 同时在同相/正交支路上改变幅度 (等效幅相联合)。

课件定位: CommSystemChapter6-2025.pdf 第 12 页 (QAM 作为联合调制示例)。

8. 题干: 已知信号的码元速率为 500 baud, 采用 2FSK 调制,  $f_2=3\text{kHz}$ ,  $f_1=1\text{kHz}$ , 则其最小信道带宽为\_\_\_\_\_。

答案: 2.5 kHz。

解析: 2FSK 带宽  $B \approx 2W + |f_2 - f_1|$ , 且  $W$  最小可取  $R_b/2 \rightarrow 2W = R_b = 500 \text{ Hz}$ ;  $|f_2 - f_1| = 2000 \text{ Hz}$ , 总计 2500 Hz。

课件定位: CommSystemChapter3-2025.pdf 第 35–36 页 (基带脉冲宽度与频谱主瓣宽度/零点间隔, 用于估算带宽); CommSystemChapter6-2025.pdf 第 6 页 (FSK 基本概念)。

9. 题干: 最小码距为 5 的纠错码最多可以纠正\_\_\_\_\_位错码。

答案: 2 位。

解析: 纠错能力  $t = \lfloor (d_{min}-1)/2 \rfloor = \lfloor 4/2 \rfloor = 2$ 。

课件定位: CommSystemChapter10-2025.pdf 第 20 页 ( $t \leq L \lfloor (d_{min}-1)/2 \rfloor$ )。

10. 题干: 某信道带宽为 4kHz, 信噪比为 30dB, 则该信道的信道容量为\_\_\_\_\_。

答案: 约 39.9 kb/s (约 40 kb/s)。

解析:  $C = B \cdot \log_2(1 + SNR)$ ,  $SNR = 10^{(30/10)} = 1000$ ,  $C = 4000 \cdot \log_2(1001) \approx 3.986 \times 10^4 \text{ b/s}$ 。

课件定位: CommSystemChapter0-2025.pdf 第 85 页 (香农容量:  $C = B \cdot \log_2(1 + SNR)$ )。

#### 四、判断改错题

1. 题干: 窄带带通噪声的同相分量和正交分量具有相同的功率密度谱。

答案: 对。

解析：窄带带通噪声的等效低通 I/Q 表示中，同相与正交分量具有相同的 PSD（且常互不相关/同方差）。考点：窄带噪声 I/Q 分解性质。

课件定位：[CommSystemChapter1-2025.pdf](#) 第 57–59 页（窄带噪声 I/Q 表示： $N_I(f)=N_Q(f)=1/4[N_c(f-f_c)+N_c(f+f_c)]$ ）。

2. 题干：在信道为加性白噪声的环境下，FM 解调器的输出噪声功率密度谱也为白噪声。

答案：错。

改正：FM 鉴频器输出噪声 PSD 不是白噪声，随频率上升而增大（典型呈  $f^2$  上翘）。

解析：鉴频过程对高频噪声更敏感，导致输出噪声谱不平坦。考点：FM 解调噪声特性。

课件定位：[CommSystemChapter3-2025.pdf](#) 第 12 页（带通信号抽样定理： $f_s$  满足带通抽样范围）；[CommSystemChapter3-2025.pdf](#) 第 15 页（基带抽样定理）。

3. 题干：对带通信号抽样时抽样频率必须满足  $f_s \geq 2f_H$  ( $f_s$  为抽样频率， $f_H$  为信号的最高截止频率)。

答案：错（关键在“必须”）。

改正：带通信号可采用带通抽样/欠采样，不必一定满足  $2f_H$ ；应满足带通抽样使频谱副本不重叠的条件。

解析：本题考低通抽样定理与带通抽样定理的区别。

课件定位：[CommSystemChapter3-2025.pdf](#) 第 51–52 页（线路编码动机/形式）；[CommSystemChapter3-2025.pdf](#) 第 57–58 页（AMI 等线路编码与同步相关）。

4. 题干：在相同的功率信噪比情况下，双极性二元码的误码率高于单极性二元码的误码率。

答案：错。

改正：同等功率信噪比下，双极性（polar）二元码通常误码率更低（更省功率，常体现约 3 dB 优势）。

解析：单极性码含直流分量导致功率利用不佳，判决距离相对小。考点：线路码功率效率与 BER。

课件定位：[CommSystemChapter4-2025.pdf](#) 第 32 页（ISI 形成原因与分析）；[CommSystemChapter4-2025.pdf](#) 第 13–18 页（Nyquist 无 ISI 准则与脉冲成形）。

5. 题干：DPSK 相对移相键控在解调时可以消除相位模糊。

答案：对。

解析：DPSK 用相邻码元相对相位差携带信息，不需要与载波绝对相位同步，可消除/显著缓解相位模糊。考点：差分调相动机与非相干/差分相干检测。

课件定位：CommSystemChapter0-2025.pdf 第 79 页（有效性/可靠性指标回顾，用于判断题）。

## 五、简答分析题（共 16 分）

1. 题干：写出调频信号的一般时域表达式，并分析说明鉴频器的解调原理，画出原理框图。（8 分）

答案：

(1) 调频信号一般时域表达式： $s_{FM}(t)=A_c \cos(2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau)$ ；瞬时频率  $f_i(t)=f_c + k_f m(t)$ 。

(2) 鉴频器原理：经限幅去除幅度扰动后，对 FM 波形微分使输出包络幅度与瞬时角频率  $\omega_i(t)$  成正比，实现“频率变化→幅度变化”；再用包络检波与低通滤波去直流/高频项，得到与  $m(t)$  成比例的输出。

(3) 框图： $s_{FM}(t) \rightarrow BPF \rightarrow Amplifier \rightarrow Limiter \rightarrow Differentiator \rightarrow Envelope\ Detector \rightarrow LPF \rightarrow m(t)$ 。

解析：考点为 FM 一般表达式、瞬时频率定义，以及“微分+包络检波”的直接鉴频解调链路。

课件定位：CommSystemChapter2-2025.pdf 第 84 页（FM 时域表达式与瞬时频率）；  
CommSystemChapter2-2025.pdf 第 172 页（FM 接收机/鉴频器原理框图）；  
CommSystemChapter2-2025.pdf 第 182 页（鉴频器输出噪声 PSD 特性与预加重/去加重动机）。

2. 题干：根据数字基带传输系统基带模型来分析码间串扰形成的主要原因，写出无码间串扰的条件。有哪些无码间串扰的基带传输特性？（8 分）

答案：

(1) 形成原因：系统等效脉冲响应  $p(t)=g(t)*h(t)*c(t)$ 。当  $p(t)$  在抽样时刻之外的  $nT_b$  处不为 0 时，邻码叠加导致 ISI；根因通常是信道带宽受限/频响不平坦、成形滤波不满足奈奎斯特条件、多径或色散等使脉冲展宽拖尾。

(2) 零 ISI 条件：时域条件  $p(0)=1, p(nT_b)=0 (n \neq 0)$ ；频域条件为  $P(f)$  的周期叠加为常数（奈奎斯特第一准则）。

(3) 典型零 ISI 基带特性：理想奈奎斯特（矩形频谱，对应 sinc 脉冲）与升余弦滚降（raised cosine，滚降因子 $\alpha$ 在带宽与时域收敛间折中）。

解析：考点为基带等效模型、ISI 机理、奈奎斯特零 ISI 条件（时域/频域）以及常用成形（矩形/升余弦）。

课件定位：[CommSystemChapter4-2025.pdf](#) 第 32 页（ISI 形成机制与无码间串扰条件）；[CommSystemChapter4-2025.pdf](#) 第 13–18 页（满足 Nyquist 准则的基带传输特性/脉冲）。

## 六、计算题（共 34 分）

1. (10 分) 题干： $m(t)=\cos(4 \times 10^3 \pi t) + \cos(6 \times 10^3 \pi t)$  在  $f_s=5 \text{ MHz}$  载频上产生 DSB 信号；接收机参考载频  $f_s'=4.999 \text{ MHz}$ 。（1）画出调制与解调原理框图；（2）若低通截止频率  $3.5 \text{ kHz}$ ，问解调输出有哪些频率成分？

答案：

(1) 调制： $m(t)$  与  $\cos(2\pi f_s t)$  相乘得到 DSB；解调：接收信号与  $\cos(2\pi f_s' t)$  相乘后经低通滤波 ( $f_c=3.5 \text{ kHz}$ )。

(2) 输出频率成分：1 kHz, 2 kHz, 3 kHz。

解析：相干解调乘本振后保留差频项： $y(t)=0.5 m(t)\cos(2\pi\Delta f t)$ ，其中  $\Delta f=f_s-f_s'=1 \text{ kHz}$ 。 $m(t)$  含 2 kHz 与 3 kHz 分量，与 1 kHz 相乘产生  $(2\pm 1)\text{kHz}$  与  $(3\pm 1)\text{kHz}$ ，即 1、2、3、4 kHz；低通  $3.5 \text{ kHz}$  滤去 4 kHz，保留 1、2、3 kHz。考点：DSB 相干解调与频率偏差导致的拍频分量。

课件定位：[CommSystemChapter2-2025.pdf](#) 第 31 页（相干解调与本振同步要求）；[CommSystemChapter2-2025.pdf](#) 第 142 页（DSB 调制信号与频谱移位/乘法关系，用于频移推导）。

2. (12 分) 题干：输入信号为幅度 A、持续时间  $(0, T_b)$  的矩形脉冲；噪声为 PSD  $N_0/2$  的白噪声。（1）求匹配滤波器  $H(f)$ 、 $h(t)$ ；（2）求输出信号波形；（3）求输出信噪比。

答案：

(1) 设  $s(t)=A$ ,  $0 < t < T_b$ （否则为 0）。频域匹配滤波器： $H(f)=S^*(f) \cdot e^{-j2\pi f t_0}$ ，取  $t_0=T_b$ ；时域  $h(t)=s^*(t_0-t)=s(T_b-t)$ ，仍为幅度 A、宽度  $T_b$  的矩形。

(2) 输出信号为三角波： $y_s(t)=A^2 t$ ,  $0 \leq t \leq T_b$ ;  $y_s(t)=A^2(2T_b-t)$ ,  $T_b \leq t \leq 2T_b$ ; 其它时刻为 0；峰值  $y_s(T_b)=A^2 T_b=E_s$ 。

(3) 最大输出信噪比： $(S/N)_{\max}=2E_s/N_0=2A^2 T_b/N_0$ 。

解析：直接套用匹配滤波器公式  $H(f)=S^*(f)e^{-\{j2\pi ft_0\}}$ 、 $h(t)=s^*(t_0-t)$ ，以及 AWGN 下最大输出 SNR 结论  $2E_s/N_0$ ；矩形与矩形卷积得到三角形输出。考点：匹配滤波器与最大输出信噪比。

课件定位：CommSystemChapter4-2025.pdf 第 14–16 页（Nyquist 脉冲与接收滤波/成形思路；与匹配滤波推导相关）；CommSystemChapter4-2025.pdf 第 18 页（系统频域特性与采样点无 ISI 条件）。

3. (12 分) 题干：抽样值 0.48 V,  $\Delta=0.04$  V 均匀量化并编码为 4 位自然二进制；(2)偶校验组成 5 位码组；(3)用  $g(x)=x^2+x+1$  组成(7,5)循环码；(4)“1”差分编码，初始码元为 1；(5)画 2PSK 波形 (1→相位  $\pi$ , 0→相位 0)。

答案：

(1) 量化级编号  $n=0.48/0.04=12$ ，对应 4 位自然二进制：1100。

(2) 1100 中“1”个数为 2 (偶数)，偶校验位  $p=0$ ，得 5 位：11000。

(3) (7,5) 系统循环码： $m(x)=x^4+x^3$ ,  $x^2m(x)=x^6+x^5$ 。对  $g(x)=x^2+x+1$  作模 2 除余式  $b(x)=x$  (余式比特 10)，得到 7 位码：1100010。

(4) “1”差分编码  $d_k=a_k \oplus d_{k-1}$ ,  $d_0=1$ 。对  $a=1100010$  得到  $d=0111100$ 。

(5) 2PSK:  $s_n(t)=A\cos(2\pi f_c t+\theta_n)$ , 0 对应  $\theta=0$  (+Acos), 1 对应  $\theta=\pi$  (-Acos)。对  $d=0111100$ ，相位序列为 [0,  $\pi$ ,  $\pi$ ,  $\pi$ ,  $\pi$ , 0, 0]，据此逐码元画正弦/反相正弦分段波形。

解析：依次考均匀量化与自然二进制映射、偶校验、系统循环码多项式编码、差分编码规则、BPSK(2PSK)相位映射。

课件定位：CommSystemChapter0-2025.pdf 第 85 页（香农容量计算）。