

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： $BT \approx 2(\Delta f + f_m)$ ）。

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 $d_0=0$ ，差分码 $d_1..d_8=1,0,0,1,1,0,1,1$ 。逐位：
 $a_1=1 \oplus 0=1$ ； $a_2=0 \oplus 1=1$ ； $a_3=0 \oplus 0=0$ ； $a_4=1 \oplus 0=1$ ； $a_5=1 \oplus 1=0$ ； $a_6=0 \oplus 1=1$ ； $a_7=1 \oplus 0=1$ ；
 $a_8=1 \oplus 1=0$ ，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（ d_{min} 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 bit/s·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 σ^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（ $t \leq \lfloor (d_{\min} - 1)/2 \rfloor$ ）。

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

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

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

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 α 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 $f_s=5$ MHz 载频上产生 DSB 信号；接收机参考载频 $f_s'=4.999$ MHz。(1)画出调制与解调原理框图；(2)若低通截止频率 3.5 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（ $f_c=3.5$ 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 $\Delta f=f_s-f_s'=1$ kHz。 $m(t)$ 含 2 kHz 与 3 kHz 分量，与 1 kHz 相乘产生 (2 ± 1) kHz 与 (3 ± 1) kHz，即 1、2、3、4 kHz；低通 3.5 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 $s(t)=A$ ， $0\leq t\leq T_b$ （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 \rightarrow 相位 π ，0 \rightarrow 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）。