



INSTITUTO SUPERIOR DE CIÊNCIAS DO TRABALHO E DA  
EMPRESA

Departamento de Ciências e Tecnologias de Informação

## Engenharia de Telecomunicações e Informática

# Modulação e Codificação

Ano Lectivo 2001/2002

2º Semestre - Frequência

25/6/02

Escreva o seu **nome** e **número de aluno** na sua folha de resposta. Justifique sempre todos os cálculos. **A duração da frequência é de 2h + 30 mn de tolerância.** Boa sorte!

A frequência está dividida em duas partes. A primeira parte consiste em 2 problemas que valem 14 valores. A segunda consiste em 10 perguntas de escolha múltipla. **A frequência deve ser resolvida nas folhas do enunciado** apresentando todos os cálculos que efectuar e justificando sempre todas as respostas.

### Identificação do Aluno

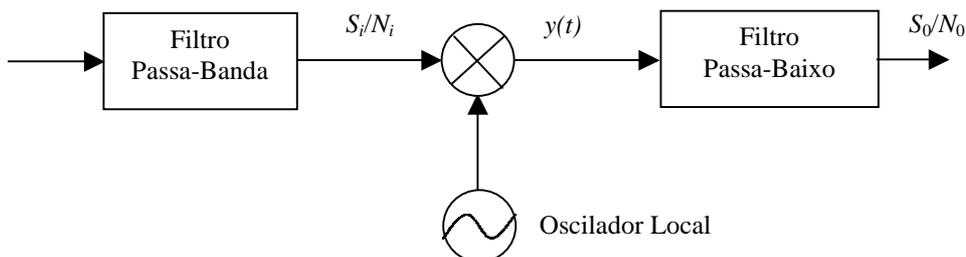
Nome: \_\_\_\_\_

Nº \_\_\_\_\_

### PARTE I — Problemas

**A (1,5+1+1+1+1+1+1,5=8 val.)**

Considere uma mensagem descrita por  $x_m(t) = \sin[(\pi t)/T] \cdot \text{rect}[(t-T)/(2T)]$  com  $T = 0,25 \mu\text{s}$ . Esta mensagem modula em AM convencional uma portadora  $x_p(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$  com  $f_c = 200\text{MHz}$  e índice de modulação  $\mu = 0,5$ . No receptor, este sinal é desmodulado por um desmodulador síncrono com a seguinte estrutura:



O filtro passa-banda tem uma função de transferência rectangular, largura de banda 30 KHz e uma amplitude igual a 2. A densidade espectral de potência unilateral do ruído na entrada do desmodulador é  $G_n(f)=6 \times 10^{-12} \text{ A}^2/\text{Hz}$ .

- a) Indique um esquema para o modulador AM, a expressão do sinal modulado na sua saída e represente-o graficamente no domínio do tempo.
  
- b) Obtenha o espectro da mensagem  $x_m(t)$  e represente graficamente o seu módulo.
  
- c) Calcule o espectro do sinal modulado  $x_c(t)$  e represente graficamente o seu módulo.
  
- d) Determine uma expressão para o sinal  $y(t)$  à saída do oscilador local e represente o módulo do seu espectro. A partir deste diga por que é necessário utilizar o filtro passa-baixo.
  
- e) Admitindo que o sinal  $x_m(t)$  é periódico com período  $2T=t_0$ , determine a potência do sinal modulado e a eficiência de potência da modulação,  $\eta = \frac{\mu^2 P_m}{1 + \mu^2 P_m + 2 \overline{x_m}}$ .
  
- f) Determine o valor da relação sinal ruído  $S_i/N_i$ . Nota:  $s_i = \overline{x_c^2} = \left[ 1 + \mu^2 P_m + 2 \overline{x_m} \right] \cdot \overline{x_p^2}$ .
  
- g) Existirá outro método de desmodular o sinal  $x_c(t)$ ? Se sim, diga qual e indique um diagrama de blocos adequado, explicando sucintamente o seu funcionamento e indicando as formas de onda nos principais pontos.

**B (2+2+2=6 val.)**

Considere uma fonte binária que gera dados a um ritmo de 16 kbits/s.

- a) De entre os códigos que conhece, escolha um código  $M$ -ário adequado para transmitir este sinal numa linha telefónica normal, a qual possui uma banda de passagem entre 300 Hz e 3400 Hz, considerando que basta transmitir o lobo principal. Após dimensionar o valor de  $M$  do código escolhido, indique o seu espectro, desenhando de forma aproximada o respectivo módulo.
  
- b) Admita agora que, em vez do código de linha, dispõe de um *modem* que utiliza a técnica de modulação digital BPSK a operar sobre uma linha alugada, de melhor qualidade. No sistema é também utilizado um filtro de Nyquist com factor de excesso de banda 0,5. Nestas condições, calcule a largura de banda mínima a exigir à linha alugada.
  
- c) Qual a relação  $E_b/N_0$  que deve ser existir na entrada de um *modem*, se numa ligação com 6 troços iguais tivermos uma probabilidade de erro de  $6 \times 10^{-6}$  e a modulação utilizada for BPSK. Admita que, na linha, o sinal é apenas corrompido por ruído do tipo AWGN.

Nota: use o gráfico anexo para PSK sem codificação (curva Uncoded PSK)

## PARTE II — Perguntas de escolha múltipla

Para responder às perguntas de escolha múltipla, faça **apenas uma cruz** no quadrado junto da resposta que achar mais correcta. Cada questão vale 0,6 valores mas cada resposta marcada no local errado desconta 0.2 valores.

1. Quando se calcula a largura de banda de ruído num sistema digital em banda base necessitamos de conhecer:
  - O ritmo binário e o factor de excesso de banda do filtro de Nyquist.
  - A função da probabilidade de erro adequada para determinarmos o índice  $M$  da modulação e o ritmo de símbolo.
  - O factor de excesso de banda do filtro de Nyquist e o ritmo de símbolo.
  - O índice  $M$  da modulação e o factor de excesso de banda do filtro de Nyquist.
  
2. Se a amplitude de uma portadora local é de  $A_c=2V$  podemos dizer que a sua potência vale:
  - 30 dBm
  - 2 W.
  - 4 dBW.
  - 2 dB.
  
3. Um dos objectivos da modulação é:
  - Utilizar um índice de modulação  $M$  tão baixo quanto possível para diminuir o ritmo binário do sinal transmitido.
  - Adaptar as características do sinal às do canal para se propagar a grandes distâncias.
  - Conseguir que a relação  $S/N$  do sinal modulado seja o melhor possível.
  - Conseguir que a probabilidade de erro na recepção seja o mais baixa possível.
  
4. O limiar teórico de sensibilidade:
  - Serve para calcular a probabilidade de erro teórica das modulações digitais a partir da distância euclideana.
  - Indica uma potência de sinal recebido a partir da qual um sistema com modulação FM deixa de funcionar.
  - É uma figura de mérito usada para comparar diferentes receptores super-heterodinos.
  - Indica a potência do sinal a emitir teoricamente por um emissor de AM, de forma que o respectivo receptor consiga captar a emissão.
  
5. Um sistema FDM que multiplexa 1200 canais telefónicos que em banda base ocupam 4 kHz, sendo o desvio máximo de frequência da portadora para os 1200 canais de 2 MHz, vai ocupar uma largura de banda total, dada pela regra de Carson, de:
  - 4800 kHz
  - 4008 kHz.
  - 8 MHz.
  - 9600 kHz.

6. Numa comunicação analógica:

- O erro de fase é muito importante se a modulação for AM com desmodulador de envolvente.
- O erro de fase pode sempre ser ignorado, sendo por isso que geralmente não se representa a fase dos espectros.
- O erro de fase num sistema DSB pode conduzir à anulação do sinal recebido.
- O erro de fase num sistema SSB pode conduzir à anulação do sinal recebido.

7. A largura de banda de ruído de um sistema 8-PSK é :

- O triplo da ocupada por um sistema BPSK equivalente.
- O dobro da ocupada por um sistema QPSK equivalente.
- Um terço da ocupada por um sistema BPSK equivalente.
- Metade da ocupada por um sistema QPSK equivalente.

8. Diga qual das seguintes afirmações é falsa:

- A entropia duma fonte é máxima quando as mensagens geradas são equiprováveis.
- Quanto menor a probabilidade de um acontecimento, maior é a quantidade de informação associada.
- Na codificação de fonte aumenta-se a redundância do sinal transmitido.
- A codificação de Huffman permite reduzir o número médio de símbolos transmitidos por mensagem.

9. Um filtro adaptado:

- É utilizado para minimizar a interferência inter-simbólica.
- É usado no emissor para limitar a banda do sinal emitido.
- É usado no receptor para maximizar a relação sinal-ruído num instante óptimo de amostragem.
- É usado no receptor para maximizar a relação sinal-ruído em todo o tempo.

10. A largura de banda equivalente de ruído:

- Depende do factor de excesso de banda do filtro de Nyquist utilizado.
- Num sistema digital, com impulsos de Nyquist, calcula-se dividindo o ritmo binário por  $\log_2(M)$ .
- Utiliza-se para quantificar o ruído apenas nos receptores analógicos.
- Define a qualidade dos sistemas digitais.