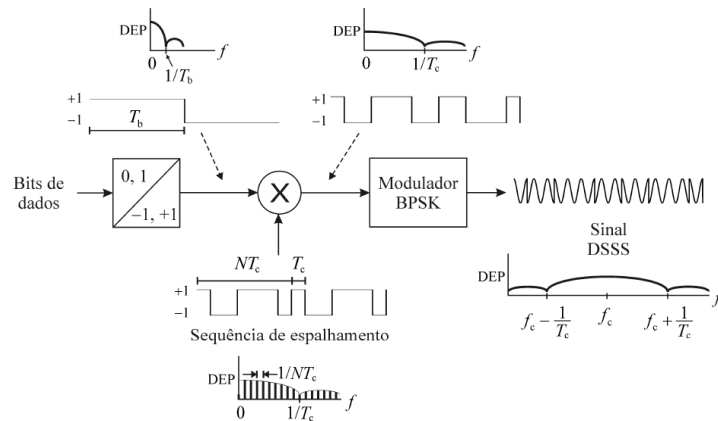


Nota T	Nota P
--------	--------

Aluno(a): _____ Matrícula _____.

- Prova sem consulta, com duração de 1h40min.
- A interpretação é parte integrante das questões.
- Solucione as questões nos espaços reservados. Use o verso das folhas apenas como rascunho.
- É proibido portar quaisquer aparelhos eletrônicos de comunicação e de gravação de sons e imagens, bem como óculos escuros, protetor auricular ou quaisquer acessórios de chapalaria durante a realização dessa avaliação. O aluno que desrespeitar essa determinação terá nota zero e será penalizado de acordo com o Artigo 63 do Regimento do Inatel.



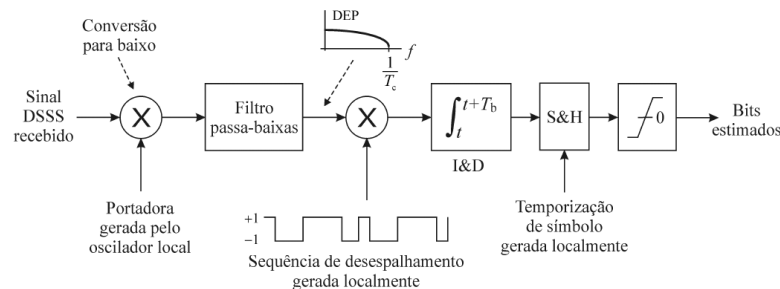
$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \text{ para BPSK como detecção coerente.}$$

$$B = B_{\min}(1 + \alpha).$$

$$GP = B_{SS}/B.$$

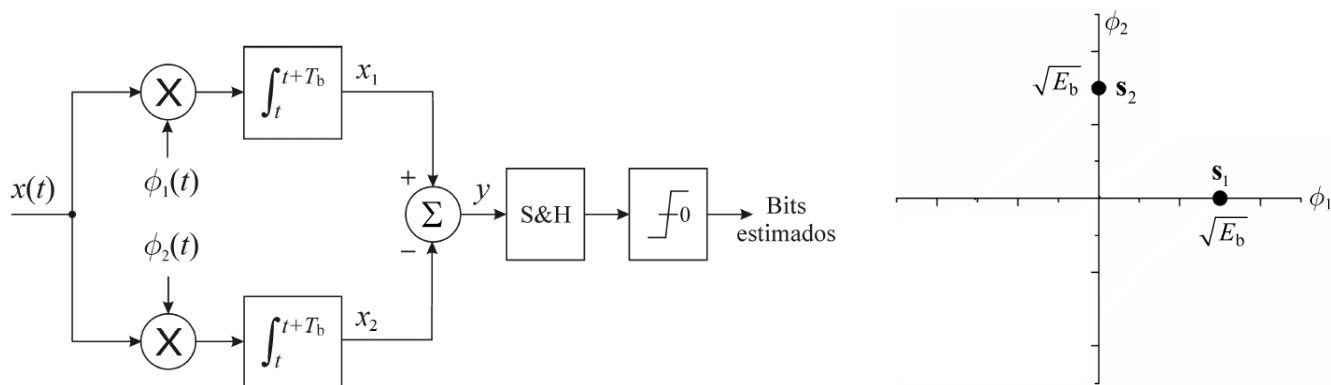
$$P_e = \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \text{ para QPSK como detecção coerente.}$$

$$M_J = 10 \log(J/P) = GP - E_b/(J_0 + N_0) \text{ dB.}$$



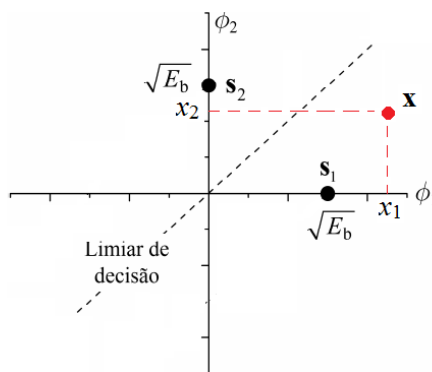
1ª questão (60 pontos)

a) O receptor dado a seguir é ótimo segundo o critério de máxima verossimilhança, ou seja, ele minimiza a probabilidade de erro de símbolo, para símbolos equiprováveis com detecção coerente. Justifique essa afirmação a partir de uma análise geométrica da constelação BFSK também dada. **Dica:** faça um desenho sobre a constelação para auxiliar na sua explicação.



Resposta

O receptor de máxima verossimilhança decide pelo símbolo mais próximo do símbolo recebido \mathbf{x} , em termos de distância Euclidiana. Como ilustrado na figura a seguir, sempre que $x_1 > x_2$ o símbolo recebido estará abaixo do limiar de decisão, estando mais próximo de \mathbf{s}_1 do que de \mathbf{s}_2 . Se $x_1 < x_2$ o símbolo recebido estará acima do limiar de decisão, estando mais próximo de \mathbf{s}_2 do que de \mathbf{s}_1 . Portanto, se $x_1 - x_2 > 0$, decide-se por \mathbf{s}_1 e se $x_1 - x_2 < 0$, decide-se por \mathbf{s}_2 . Os valores de x_1 e x_2 são as amostras de saída dos dois correladores do receptor BFSK.



b) Descreva em detalhes o que se deve fazer com o receptor dado para que seja transformado em um receptor com detecção não-coerente. O que se ganha e o que se perde com essa transformação?

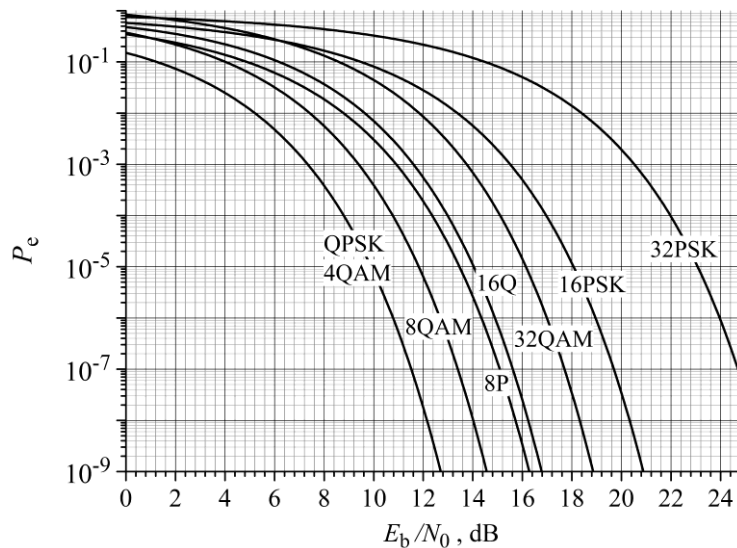
Resposta

No lugar de cada correlator coloca-se um filtro casado não coerente seguido de um detector de envoltória. O filtro 1 tem resposta ao impulso igual a uma função cossenoidal de frequência f_1 e fase inicial qualquer. O filtro 2 tem resposta ao impulso igual a uma função cossenoidal de frequência f_2 e fase inicial qualquer. Com tal transformação se ganha a redução de complexidade do receptor, pois não haverá necessidade de um circuito de extração de sincronismo de portadora. Por outro lado, o desempenho da detecção não-coerente será pior que aquele conseguido com a detecção coerente.

2ª questão (40 pontos)

Pretende-se dimensionar um sistema de comunicação digital para operar em uma banda que não deve ser menor que 30 kHz, utilizando um filtro de transmissão do tipo raiz de cosseno elevado com fator de forma 0,5. É necessário que o sistema consiga dar vazão a 80 kbit/s.

a) Dentre as opções mostradas na figura abaixo, escolha (a)s modulação(ões) que pode(m) atender aos requisitos do enunciado e, adicionalmente, tenha(m) a pior eficiência de potência.



Solução

$$B \geq 30 \text{ kHz} \Rightarrow R(1 + \alpha) \geq 30 \times 10^3 \Rightarrow 1/T(1 + 0,5) \geq 30 \times 10^3 \Rightarrow T \leq 50 \mu\text{s}.$$

Se a taxa de bits é de 80 kbit/s, a duração de um bit vale $T_b = 1/80.000 = 12,5 \mu\text{s}$. Então o número de bits por símbolo deverá ser $T/T_b \leq 4$ bits/símbolo. Portanto, todas as modulações com 16 ou menos símbolos atendem os requisitos de banda e taxa de transmissão. Dentre elas, a modulação 16PSK possui a pior eficiência de potência, pois necessita de um valor maior de E_b/N_0 para atingir determinada taxa de erro de símbolo.

b) Para a(s) modulação(ões) selecionada(s) no item anterior, determine os valores de E_b/N_0 que atendam à taxa de erro de bit de, no máximo, 1×10^{-3} , admitindo a utilização de mapeamento Gray entre símbolos vizinhos mais próximos.

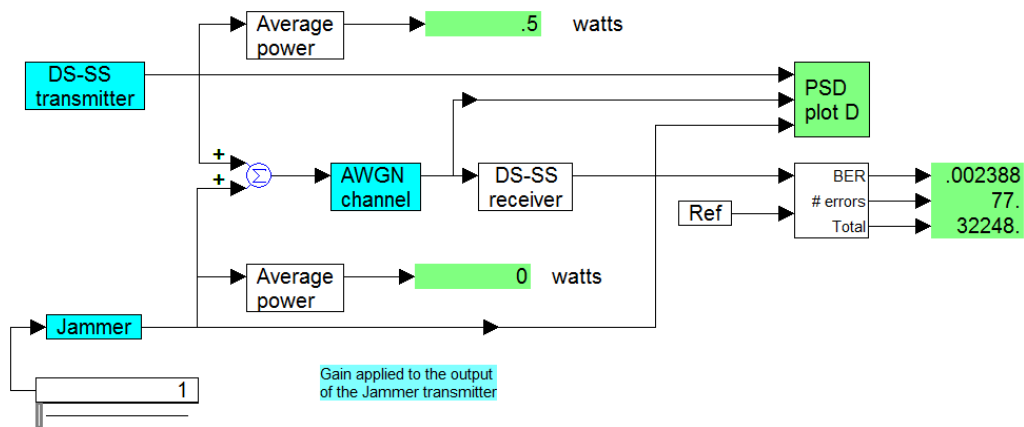
Solução

Para a modulação 16PSK com mapeamento Gray, $\text{BER} = P_e/4$. Então a P_e máxima permitida é 4×10^{-3} . Do gráfico, E_b/N_0 não deverá ser menor que 14,4 dB.

3ª questão (100 pontos) - Laboratório

O digrama a seguir corresponde à simulação utilizada em laboratório para o estudo do sistema DSSS sob interferência. Transmissor e receptor DSSS foram construídos de acordo com a teoria. A configuração inicial da simulação foi feita para produzir os resultados apresentados nos *displays*.

Os bits são transmitidos a uma taxa de 20/31 bit/s, utilizando modulação BPSK com detecção coerente e portadora com frequência $f_c = 30$ Hz. No transmissor, os bits no formato NRZb são multiplicados por uma sequência de espalhamento de comprimento máximo (tipo m), com $N = 31$ e taxa de 20 chips/s. O sinal interferente (*Jammer*) é uma portadora não modulada (*CW jammer*). A potência média de saída do sinal interferente, J , pode ser ajustada através do controle do tipo botão deslizante (*slider*). O sinal interferente pode ser desabilitado.



a) Calcule o ganho de processamento do sistema DSSS, em dB.

Solução

Como $R_b = 20/31$ bit/s e $R_c = 20$ chips/s, $GP = R_c/R_b = 31 = N$. Em dB, $GP = 10\log N \cong 14,91$ dB.

b) Sabendo que o canal AWGN está configurado para $E_b/N_0 = 6$ dB, como se pode calcular teoricamente esta BER e qual será seu valor aproximado?

Resposta

Na ausência de interferência, o desempenho do sistema é aquele referente à modulação BPSK em canal AWGN, ou seja, $BER = (1/2)\text{erfc}(\sqrt{E_b/N_0}) = (1/2)\text{erfc}(\sqrt{10^{6/10}})$. De acordo com o diagrama, o sinal interferente está desligado e, portanto, o cálculo acima resultará em $BER \approx 2,388 \times 10^{-3}$.

c) Sabendo que o canal AWGN está configurado para $E_b/N_0 = 6$ dB, calcule a BER do sistema na ausência de interferência, utilizando o gráfico da Questão 2.

Resposta

Na ausência de interferência, o desempenho do sistema é aquele referente à modulação BPSK em canal AWGN. Pelo gráfico da Questão 2, para a modulação QPSK tem-se $P_e \approx 4,5 \times 10^{-3}$ para $E_b/N_0 = 6$ dB. Como a BER da modulação BPSK é a metade (de acordo com o formulário), então $BER \approx 2,25 \times 10^{-3}$.

d) Calcule e interprete a margem de interferência do sistema para que a taxa de erro de bit do sistema não ultrapasse $2,25 \times 10^{-3}$.

Solução

$M_I = GP - E_b/(J_0+N_0)$ dB. Para que se mantenha a BER, $E_b/(J_0+N_0)$ deve ser mantida em 6 dB. Portanto, $M_I = 14,91 - 6 = 8,91$ dB. Isto significa que a potência do sinal interferente poderá estar até 8,91 dB acima da potência do sinal desejado para que se mantenha $BER \leq 2,25 \times 10^{-3}$.

e) Calcule o valor da potência do sinal interferente que pode ser configurado na simulação para que se mantenha a BER de $2,25 \times 10^{-3}$.

Solução

Como $M_I = 8,91$ dB $\cong 7,78$ e a potência de sinal é $P = 0,5$ watts, então $J = 7,78 \times 0,5 = 3,89$ watts.