

Nota T	Nota L
--------	--------

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.

$$P_e \leq \sum_{i=1}^M p_i \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^M \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{d_{ik}}{2\sqrt{N_0}} \right)$$

1ª questão (50 pontos, 12,5 pontos cada item)

As constelações a seguir têm a mesma distância entre os símbolos, os quais são equiprováveis.



a) Determine as expressões de cálculo de P_e em função de d_{12} , para ambas as constelações, utilizando o limitante de união.

Solução

Para ambas as constelações, $P_e = \sum_{i=1}^2 \frac{1}{2} \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^2 \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{d_{12}}{2\sqrt{N_0}} \right) = 2 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{d_{12}}{2\sqrt{N_0}} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{d_{12}}{2\sqrt{N_0}} \right)$.

b) Determine as expressões de cálculo de P_e em função de E_b/N_0 , para ambas as constelações, utilizando o limitante de união.

Solução

Para a constelação antipodal $E_b = E_1 = E_2 \Rightarrow d_{12} = 2\sqrt{E_b}$. Então $P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right)$.

Para a constelação unipolar $E_b = (E_1 + 0)/2 \Rightarrow d_{12} = \sqrt{2E_b}$. Então $P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{2N_0}} \right)$.

c) Justifique a igualdade ou a desigualdade entre as expressões determinadas no item “a”. *Observação:* mesmo que você não tenha deduzido tais expressões, é possível responder esta questão.

Solução

As expressões são iguais, pois as distâncias Euclidianas entre os símbolos são iguais.

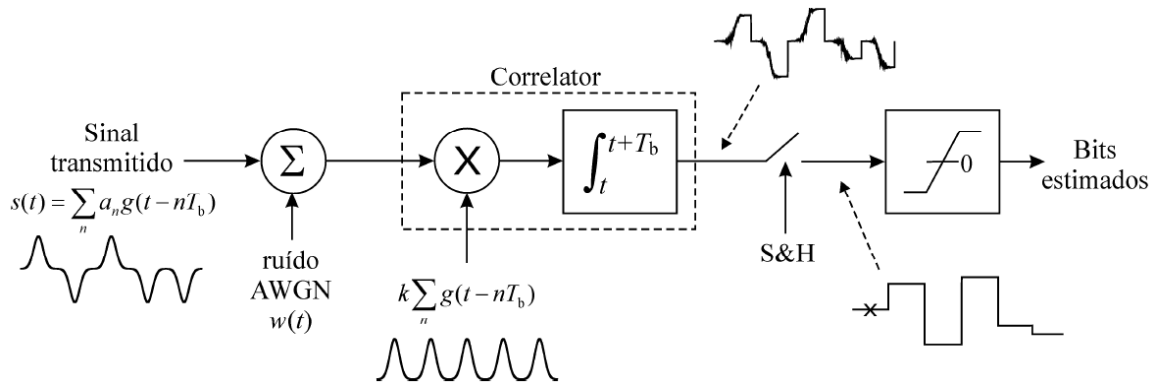
d) Com base nas expressões determinadas no item “b”, qual das constelações necessitará de mais potência média de recepção para produzir a mesma probabilidade de erro de bit, admitindo a mesma R_b em ambas? *Observação:* mesmo que você não tenha deduzido tais expressões, é possível responder esta questão.

Solução

A constelação unipolar necessitará do dobro da potência média de recepção para que se tenha a mesma probabilidade de erro da constelação antipodal.

2ª questão (25 pontos)

A figura a seguir ilustra um sistema de comunicação antipodal em banda base. Explique o que deve ser modificado nele para que se tenha um sistema com sinalização 4PAM, mantendo o formato $g(t)$ dos pulsos transmitidos. Dê exemplos de valores numéricos das grandezas modificadas ou parâmetros modificados. Admita que, na ausência de ruído, as amostras do sinal de saída do correlator têm os mesmos valores de a_n , de forma que você possa reconfigurar o dispositivo de decisão que vem em seguida.

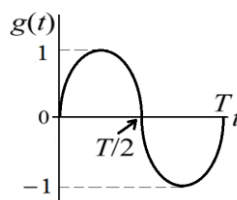


Solução

No sinal transmitido deve-se ter a_n com 4 valores, por exemplo -3 V, -1 V, 1 V e 3 V. O sinal de saída do amostrador deve ser aplicado a um comparador com $M - 1 = 3$ limiares de comparação. Se as amostras de saída do correlator tiverem valores -3 V, -1 V, 1 V e 3 V na ausência de ruído, os limiares de comparação no dispositivo de decisão (comparador) serão -2 V, 0 V e 2 V.

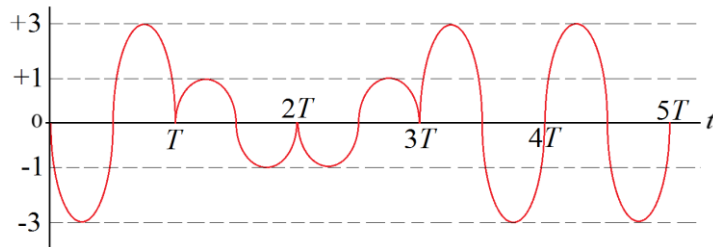
3ª questão (25 pontos)

Considerando a sequência de bits de informação 0001101111, esboce a forma de onda do sinal transmitido em um sistema de comunicação digital com sinalização 4PAM cujo formato de pulso é mostrado na figura a seguir. Registre o mapeamento símbolo-bit adotado e escolha as amplitudes de pico de modo que a máxima seja de 3 volts. Preencha adequadamente os valores nos eixos de amplitude e tempo.



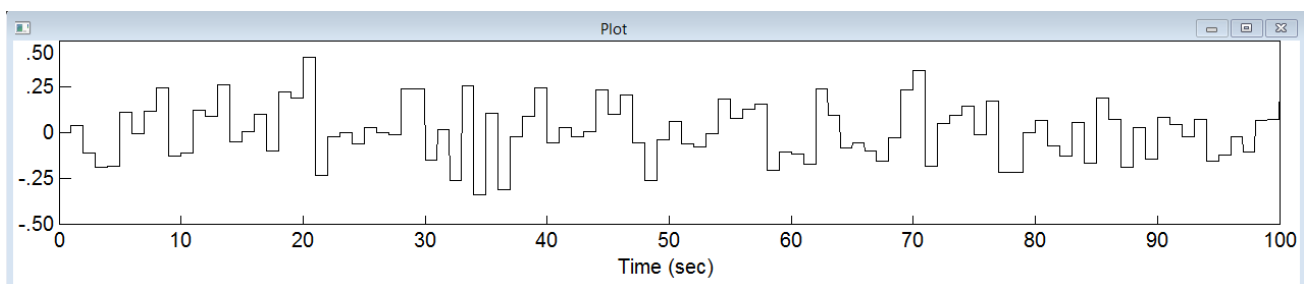
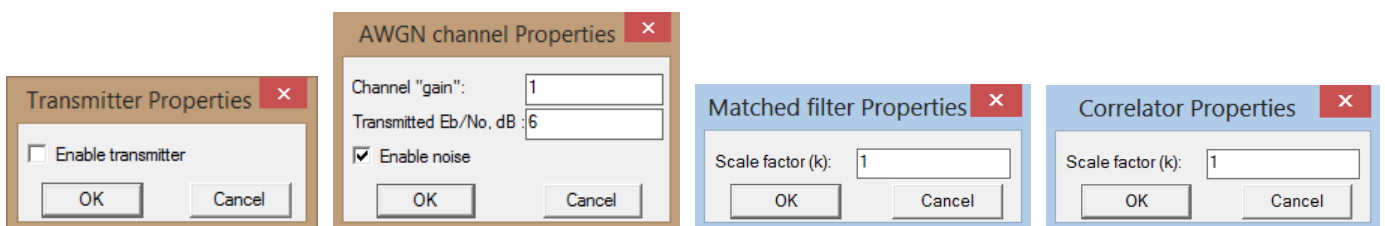
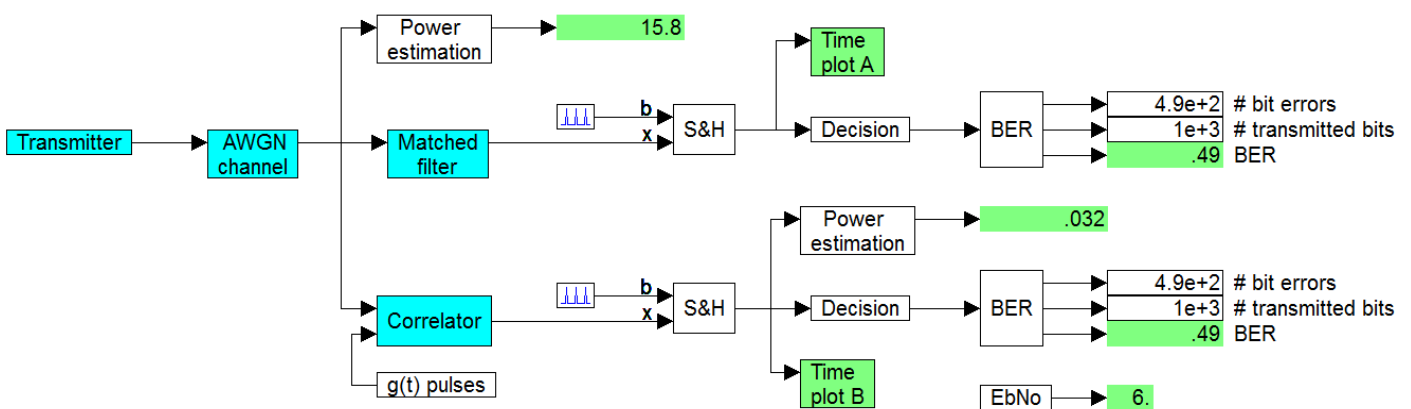
Solução

Como $M = 4$, tem-se 2 bits por símbolo. Adotando o mapeamento $00 \Rightarrow -3g(t)$, $01 \Rightarrow +g(t)$, $10 \Rightarrow -g(t)$ e $11 \Rightarrow +3g(t)$, tem-se a forma de onda:



4ª questão (20+20+25+35 pontos) - Laboratório

O diagrama a seguir corresponde ao experimento utilizado em laboratório para analisar a equivalência entre os dispositivos filtro casado e correlator. Em seguida são mostradas as caixas de configuração de alguns blocos e a forma de onda obtida pelo *Time plot A* par tal configuração, nos primeiros 100 segundos.



a) Sabendo que o sistema opera com transmissão binária, justifique a presença de vários níveis na forma de onda obtida pelo bloco *Time plot A*.

Solução

Como o transmissor está desligado, os vários níveis se devem à presença apenas do ruído na entrada do receptor.

b) Qual a taxa de bits e a taxa de símbolos do sistema? Mostre como as calculou.

Solução

Observando o sinal obtido do *Time plot A*, verifica-se a presença de 10 valores nos primeiros 10 segundos, permitindo concluir que $R = 1$ símbolo/s. Como a sinalização é binária, $R_b = R = 1$ bit/s.

c) Justifique a taxa de erro de bit estimada pela simulação.

Solução

Como não há sinal recebido, mas apenas ruído, o receptor produzirá em média 50% de bits corretos e, portanto, o máximo valor possível para a BER $\approx 0,5$.

d) Calcule a energia média por bit e a potência média de transmissão quando o transmissor for ligado.

Solução

Como o transmissor está desligado, o medidor de potência à direita está medindo a potência média de ruído $\sigma^2 = N_0/2 = 0,032$ watts. Então, $N_0 = 0,064$ watts/Hz. Como $E_b/N_0 = 6$ dB = 3,98, $E_b \approx 0,255$ joule. Então, como o ganho do canal é unitário, $P_{TX} = E_b R_b = 0,255$ watt.
