



*Homeworks* 21 a 23 referentes às aulas 16 a 20 de “Telecomunicações II ELC1120-316”, aula disponibilizada em

<http://www.fccdecastro.com.br/download.html>

**Departamento de Eletrônica e Computação**  
**Centro de Tecnologia**  
**ELC1120 – Telecomunicações II**  
**Prof. Fernando DeCastro**

*Homeworks* referentes à matéria de ELC1120 até a aula de 11/11/2022 em modalidade REMOTA.



## Homework 21

Um transmissor BPSK envia informação através de um canal de transmissão dispersivo a uma taxa de  $10 \times 10^6$  [símbolos/s]. O receptor BPSK utiliza um equalizador fracionário LMS com um filtro transversal de 4 coeficientes, amostrando o sinal recebido do canal a uma taxa de  $20 \times 10^6$  [símbolos/s]. O passo de adaptação do equalizador é  $\eta = 0.4$  e o vetor  $\underline{W}$  de coeficientes do filtro é inicializado da forma  $\underline{W}(n = 0) = \underline{0}$ . O sincronismo entre transmissor e receptor é tal que amostras de índice par recebidas do canal correspondem a instantes de tempo em que o transmissor gera símbolos. Durante a fase de treino do equalizador o transmissor transmite a seguinte seqüência de treino em banda-base, gravada em ROM no receptor:

$$d(n) = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & \dots \end{bmatrix}$$

A seqüência  $u$  recebida do canal na entrada do receptor durante a fase de treino do equalizador é:

$$u = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -0.4451 & 0.7461 & 0.4451 & -0.7461 & -0.4451 & -1.2539 & -0.7079 \\ 0.7461 & 0.4451 & 1.2539 & 0.7079 & 1.2539 & 0.7079 & 1.2539 & 0.7079 & 1.2539 & 1.2539 \\ 0.7079 & -0.7461 & -0.4451 & -1.2539 & -0.7079 & 0.7461 & 0.4451 & 1.2539 & 0.7079 & 0.7079 \\ 1.2539 & 0.7079 & 1.2539 & 0.7079 & 1.2539 & 0.7079 & -0.7461 & -0.4451 & 0.7461 & 0.7461 \\ 0.4451 & -0.7461 & -0.4451 & 0.7461 & 0.4451 & -0.7461 & -0.4451 & 0.7461 & 0.4451 & 0.4451 \\ 1.2539 & 0.7079 & -0.7461 & -0.4451 & \dots \end{bmatrix}$$

a) Determine o conjunto de regressores do canal resultante de  $u$  para  $n = 0, 1 \dots 11$ .

b) Determine o erro quadrático normalizado  $eqn(n) = \left( \frac{d(n) - y(n)}{d(n)} \right)^2$  para  $n = 11$  sendo  $y(n)$  a saída do equalizador.

c) Determine o vetor  $\underline{W}(n + 1)$  para  $n = 11$ .

Respostas:

a)

0.7461	-0.4451	0	0
-0.7461	0.4451	0.7461	-0.4451
-1.2539	-0.4451	-0.7461	0.4451
0.7461	-0.7079	-1.2539	-0.4451
1.2539	0.4451	0.7461	-0.7079
1.2539	0.7079	1.2539	0.4451
1.2539	0.7079	1.2539	0.7079
1.2539	0.7079	1.2539	0.7079
-0.7461	0.7079	1.2539	0.7079
-1.2539	-0.4451	-0.7461	0.7079
0.7461	-0.7079	-1.2539	-0.4451
1.2539	0.4451	0.7461	-0.7079

b)

Para  $n = 11$  temos:

$$\text{eqn}(n) = \left( \frac{e(n)}{d(n)} \right)^2 = 0.000369676$$

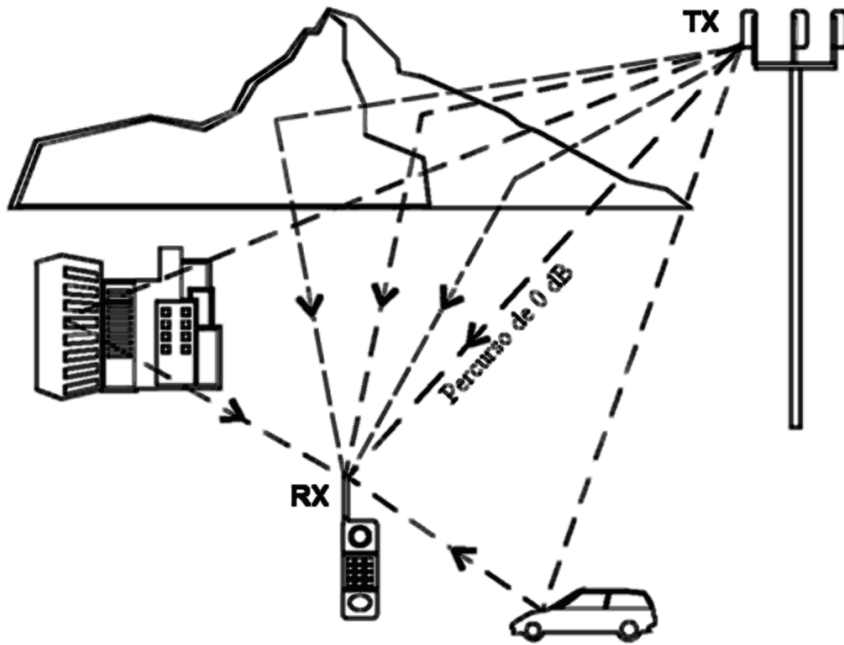
c)

Para  $n = 11$  temos:

$$\underline{W}(n+1) = \underline{W}(n) + \eta \times e(n) \times \underline{r}(n) = [0.947456 \quad -0.236768 \quad -0.101942 \quad 0.00571716]^T$$

## Homework 22

A figura abaixo mostra um possível cenário de multipercurso na operação de um sistema digital *wireless* e o correspondente *delay profile*:



Delay Profile	
Magnitude do eco [dB]	Atraso do eco [ $\mu$ s]
0.0	0.0
-0.5	3.5
-1.1	5.8
-8.5	6.2
-17.2	8.1
-29.3	10.3

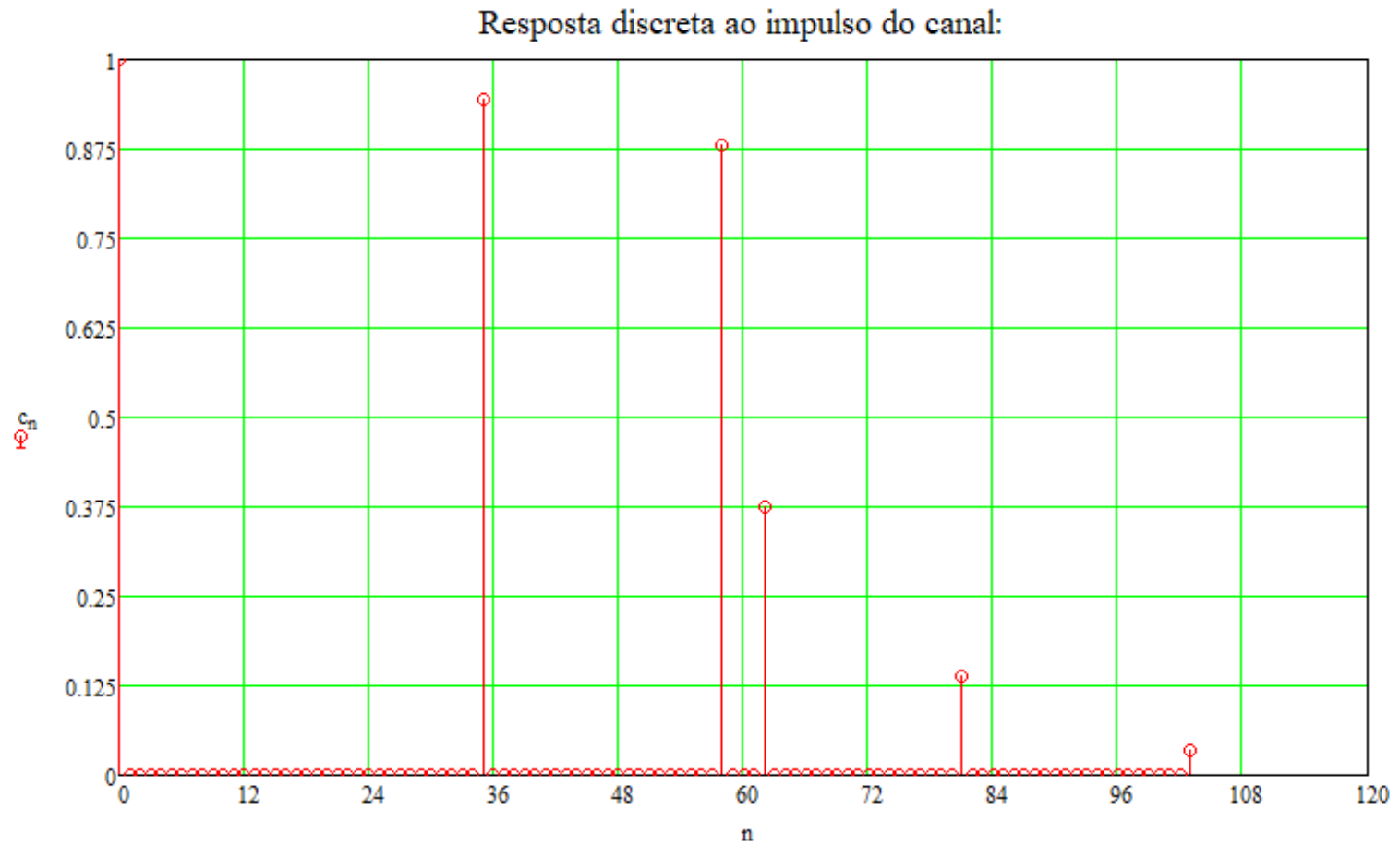
Sabendo que a modulação do transmissor (TX) digital é  $M$ -QAM, que a frequência central do canal é  $f_0 = 2400$  MHz e que o *symbol rate* do TX é 10 MHz, pede-se:

- Determine a resposta ao impulso discreta  $c[n]$  do canal de transmissão.
- Determine as frequências mínima  $F_{min}$  e máxima  $F_{max}$  passíveis de serem transmitidas pelo TX através deste canal de acordo com Nyquist.
- Qual a atenuação em dB que a componente espectral do TX em 2397.3 MHz sofre ao ser transmitida através deste canal?
- Qual o giro de fase em graus que a componente espectral do TX em 2397.3 MHz sofre ao ser transmitida através deste canal?
- Plote os gráficos de magnitude e fase da função de transferência do canal no domínio frequência  $z$ .

## Homework 22

Respostas:

a)



## Homework 22

b)  $F_{\min} = 2.395 \cdot \text{GHz}$

$$F_{\max} = 2.405 \cdot \text{GHz}$$

c) & d)

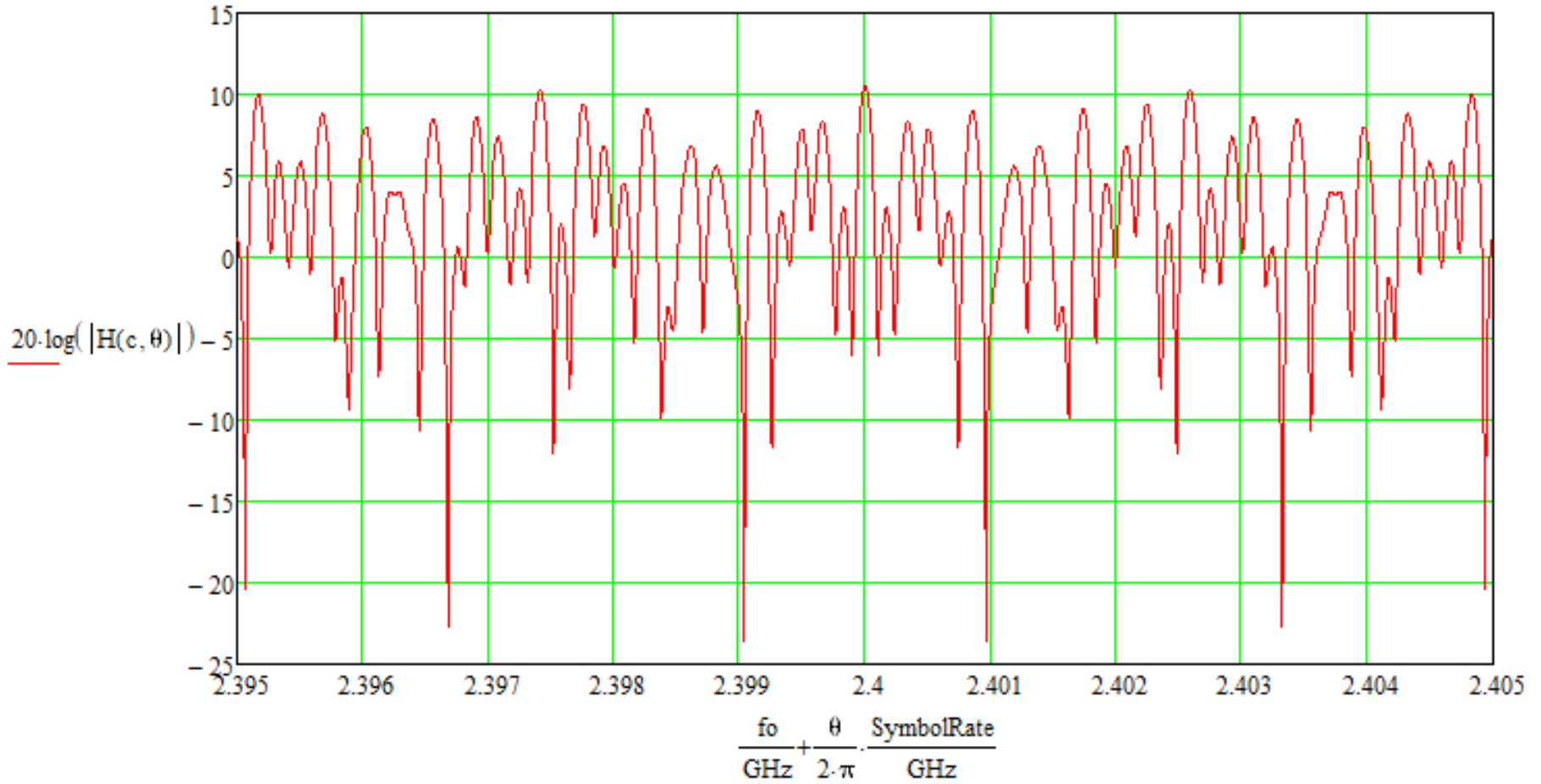
$$\text{Atenuacao} = 0.014 \text{ db}$$

$$\text{GiroDeFase} = -106.617 \cdot \text{deg}$$

## Homework 22

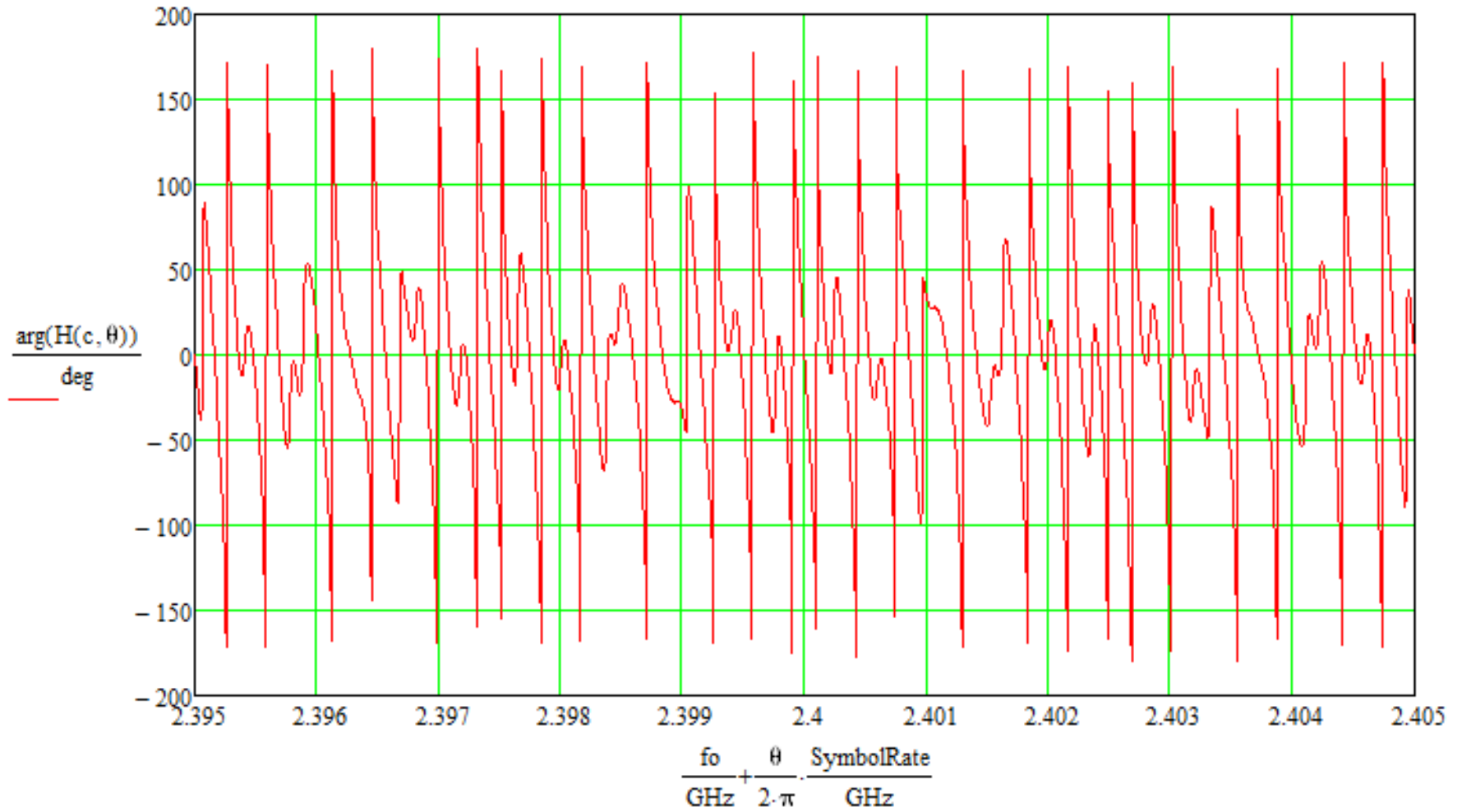
e)

Módulo da resposta em frequência do canal:



# Homework 22

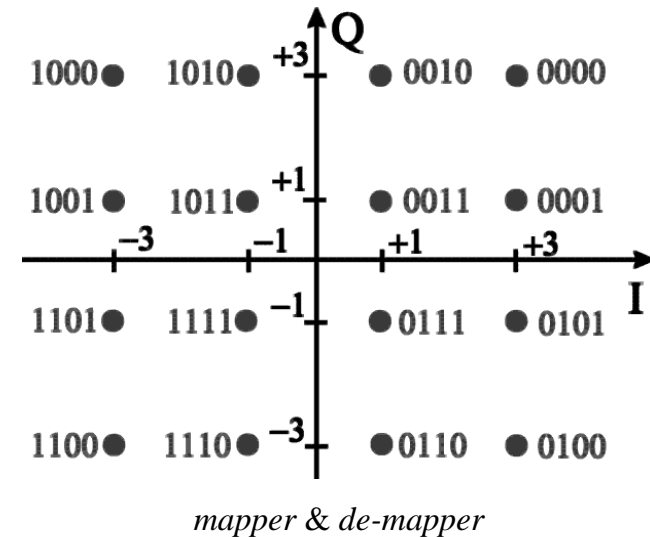
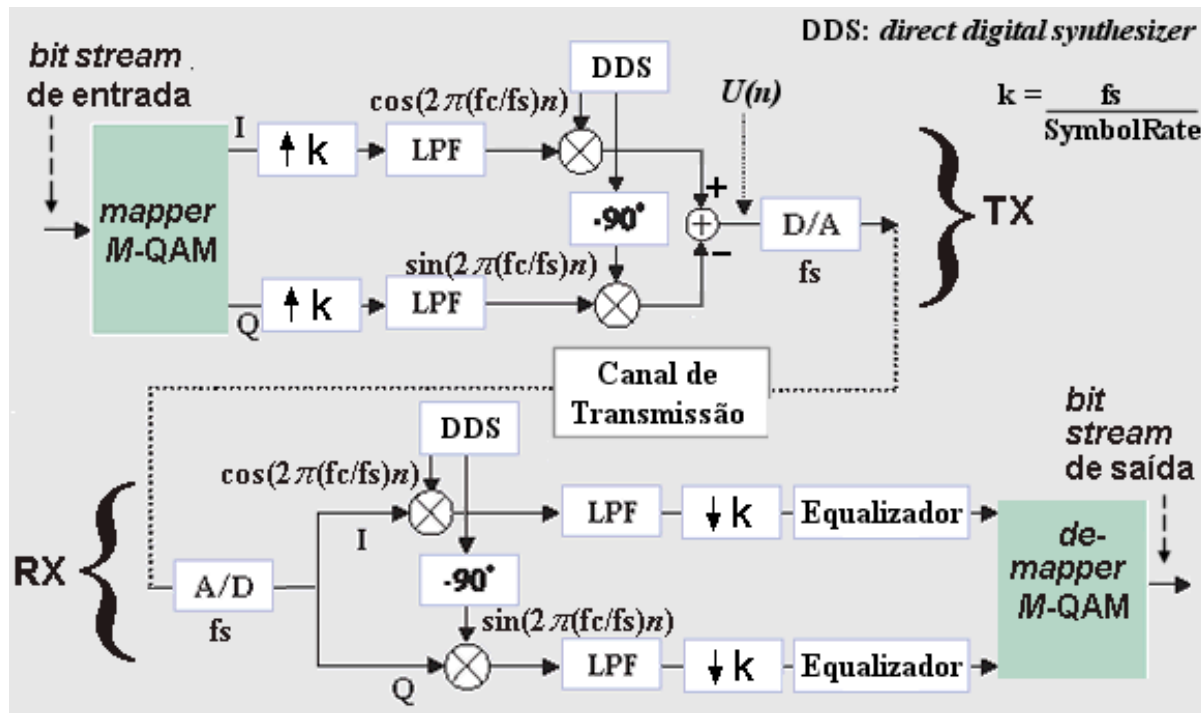
Fase da resposta em frequência do canal:





## Homework 23

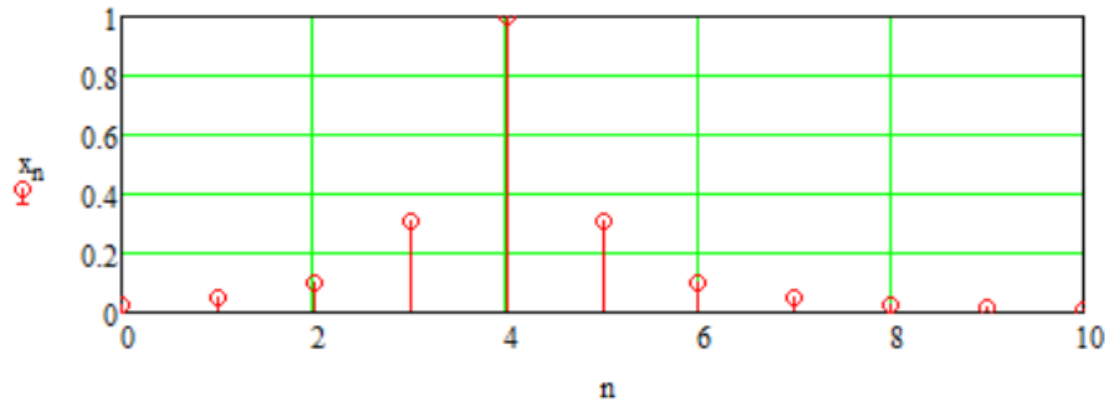
O diagrama na Figura 1 abaixo mostra a etapa de modulação de um sistema de comunicação digital:



**Figura 1:** Etapa de modulação de um sistema de comunicação digital 16-QAM. O bloco “**Equalizador**” no RX é um filtro digital FIR (*Finite Impulse Response*) que efetua a convolução de sua resposta ao impulso com a resposta ao impulso do “Canal de Transmissão”, de forma a minimizar os efeitos do multipercurso na curva de resposta em freqüência do sistema. O *shaping filter* (LPF) do TX e o *matched filter* (LPF) do RX são também filtros FIR com resposta ao impulso característica de uma resposta em freqüência tipo *root-raised-cosine*.

## Homework 23

Para caracterizar o cenário de multipercursos e medir o *delay profile* do canal de transmissão, em um instante pré-determinado no início de cada *frame* de transmissão, o TX transmite um impulso (um dos 4 símbolos de maior magnitude da constelação 16-QAM). O RX “ouve” o canal a partir deste instante pré-determinado e registra a seguinte resposta  $x[n]$  ao impulso transmitido pelo TX (normalizada para valor máximo unitário):



	0
0	0.027
1	0.047
2	0.1
3	0.308
4	1
5	0.308
6	0.1
7	0.047
8	0.027
9	0.017
10	0.012

### Pede-se:

- a) Utilizando a equação (13) de [http://www.fccdecastro.com.br/pdf/T2\\_Aulas16a20\\_27052020.pdf](http://www.fccdecastro.com.br/pdf/T2_Aulas16a20_27052020.pdf) determine o vetor  $\underline{c} = \mathbf{X}^{-1}\underline{q}$  de  $N = 7$  componentes que define a resposta ao impulso do filtro FIR do bloco “Equalizador” na Figura 1 tal que  $\underline{q} = [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ , i.e., determine  $\underline{c}$  de forma ao sistema aproximar a condição *zero-forcing*.
- b) Plote o gráfico da sequência  $y[n] = x[n] * c[n]$  na saída do “Equalizador”, sendo  $c[n] \leftarrow \underline{c}$  a resposta ao impulso do “Equalizador” obtida em a).
- c) Verifique o quanto a solução encontrada para  $\underline{c}$  aproxima a condição *zero-forcing* calculando a

$ISI_{(\text{peak})}$  (*peak intersymbol interference*) através de  $ISI_{(\text{peak})} = \frac{\sum_k |y_k| - \max_k |y_k|}{\max_k |y_k|}$ , onde  $y_k$  são os elementos do vetor  $\underline{y}$  e que correspondem às amostras de  $y[n]$  obtidas em b), isto é,  $\underline{y} \leftarrow y[n]$ .

- d) Repita a), b) e c) utilizando um equalizador com um filtro FIR de  $N = 3$  coeficientes ao invés de 7 e para  $\underline{q} = [0 \ 1 \ 0]^T$ . Qual equalizador resulta no menor  $ISI_{(\text{peak})}$ ?

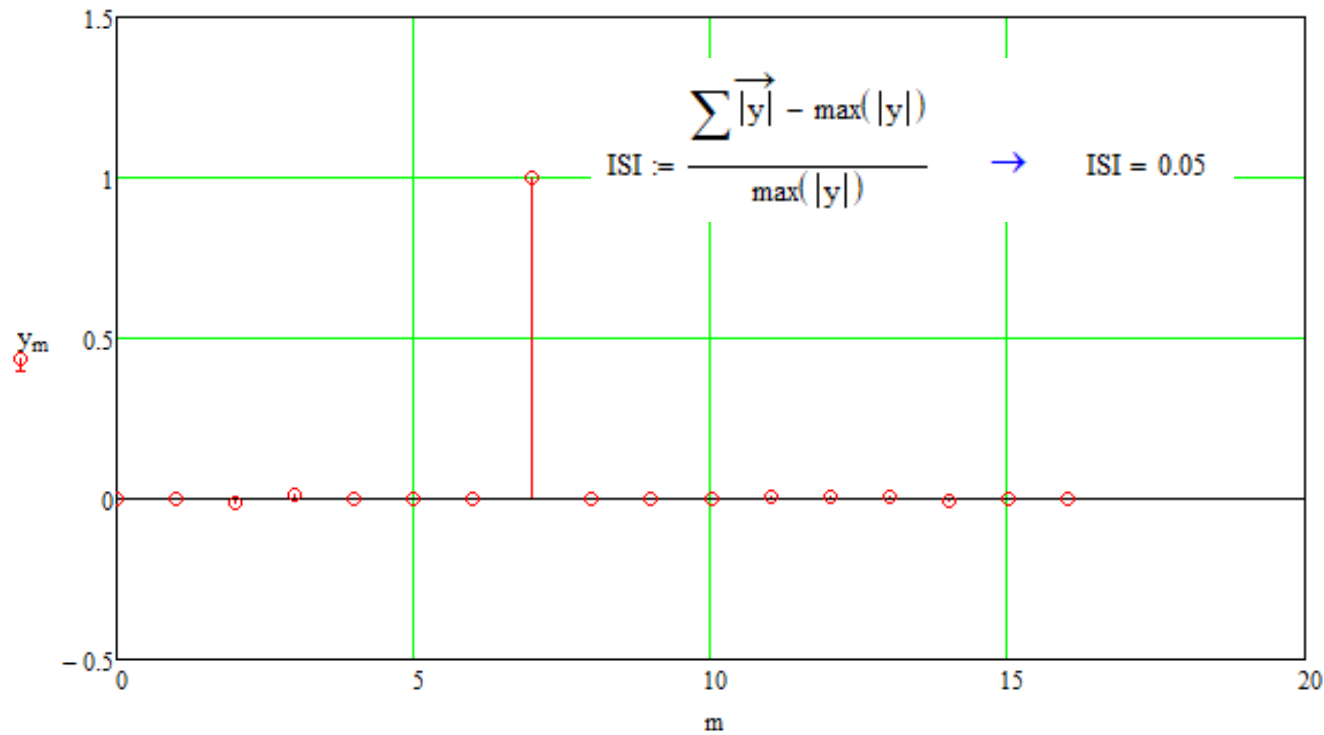
# Homework 23

Respostas:

a)

$$c_{-} = \begin{pmatrix} -0.015 \\ 3.378 \times 10^{-3} \\ -0.337 \\ 1.208 \\ -0.337 \\ 3.656 \times 10^{-3} \\ -0.015 \end{pmatrix}$$

b) & c)



# Homework 23

Respostas:

a)

$$\mathbf{c}_- = \begin{pmatrix} -0.338 \\ 1.208 \\ -0.338 \end{pmatrix}$$

b) & c)

