



Homework 7 referente às aulas do Capítulo IV de “Sistemas De Comunicação Digital I – UFSM00261”, aulas disponibilizadas em <http://www.fccdecastro.com.br/download.html>

# Centro de Tecnologia – Departamento de Eletrônica e Computação

## UFSM00261 – SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO DIGITAL I

### Prof. Fernando DeCastro

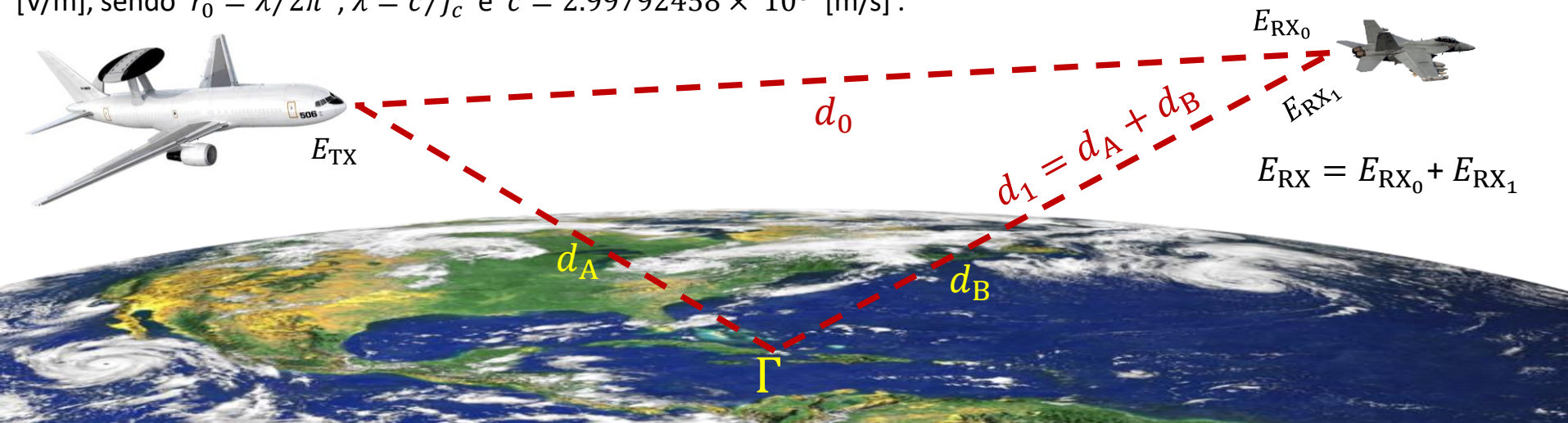
A solução deste homework deve ser enviada por e-mail em 04/12.



## Homework 7

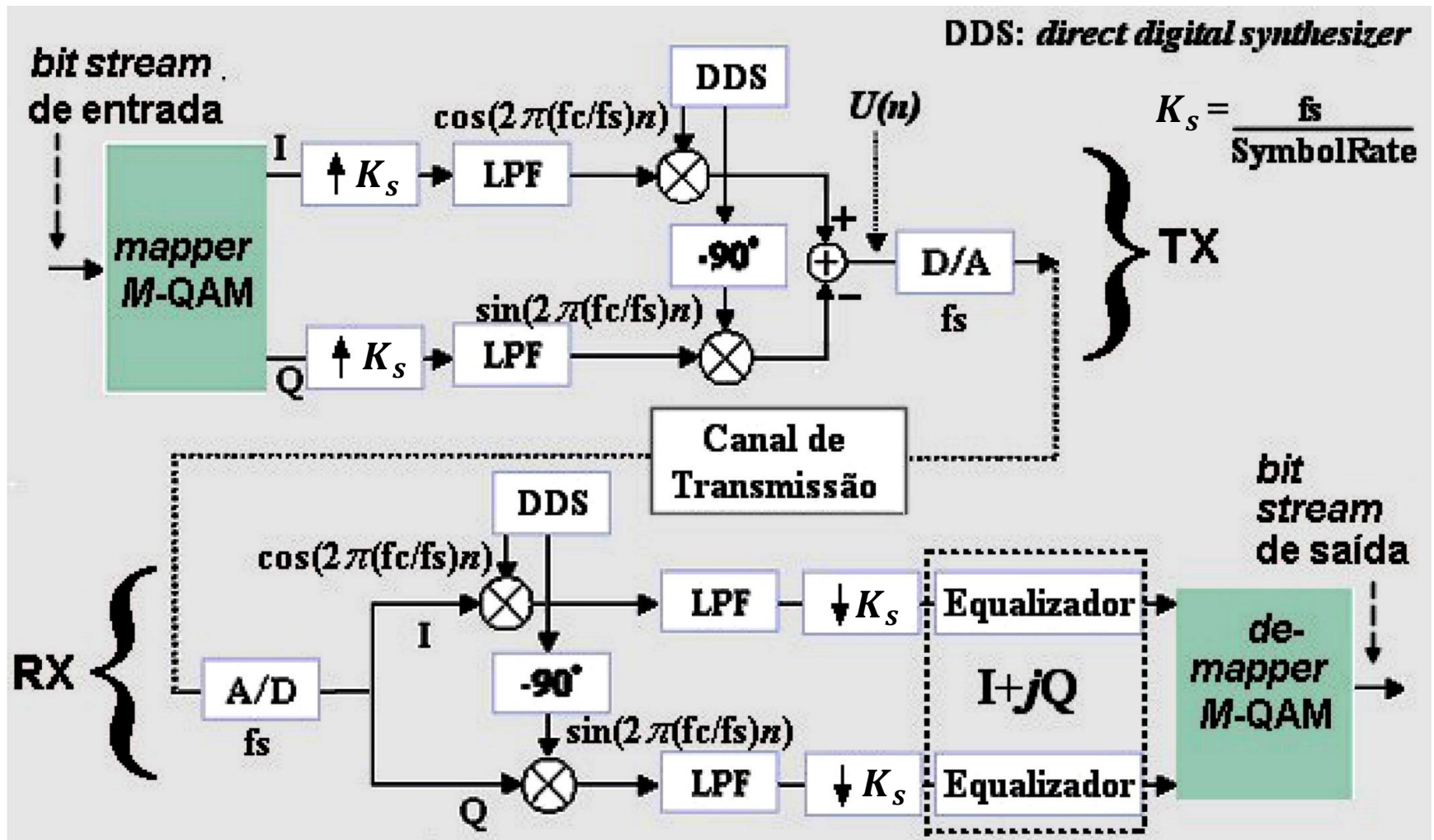
Duas aeronaves militares estabelecem entre si um *data link* tático, conforme cenário operacional mostrado na figura abaixo. A frequência de operação é  $f_c = 45$  [MHz] e a modulação é 16 – QAM. O *data link* adota  $SymbolRate = 11.25$  [MHz] e número de amostras por símbolo (*upsample factor*)  $K_s = 16$  (ver blocos “ $\uparrow K_s$ ” no diagrama de blocos do próximo slide). O *shaping filter* do TX e o *matched filter* do RX são filtros com resposta ao impulso gaussiana  $g_T[n] = K_0 e^{-\pi \left( \frac{n \frac{T}{K_s} - \frac{T}{2}}{\tau} \right)^2}$ , com parâmetros  $K_0 = 0.15$ ,  $\tau = 0.033$  [ $\mu$ s] e  $T = 1/SymbolRate$ , parâmetros que definem os blocos “LPF” mostrados no diagrama de blocos no próximo slide.

O cenário operacional é tal que  $d_0 = 6.962$  [Km],  $d_A = 3.0$  [Km] e  $d_B = 4.0$  [Km]. O coeficiente de reflexão da onda EM no ponto da superfície terrestre em que a onda EM se reflete é  $\Gamma = 0.8e^{-j150^\circ}$  (ver slide 22 e 28 de [https://www.fccdecastro.com.br/pdf/OLT\\_Cap%20IV.pdf](https://www.fccdecastro.com.br/pdf/OLT_Cap%20IV.pdf) e ver slide 5 de [https://www.fccdecastro.com.br/pdf/TR\\_CapII.pdf](https://www.fccdecastro.com.br/pdf/TR_CapII.pdf)). Note que a onda EM refletida é um eco da onda EM direta. As transmitâncias  $H_0 = E_{RX_0}/E_{TX}$  e  $H_1 = E_{RX_1}/E_{TX}$  respectivas aos percursos de propagação  $d_0$  e  $d_1 = d_A + d_B$  são aproximadas pelo modelo adotado no slides 29 e 30 do Cap I (ver [https://www.fccdecastro.com.br/pdf/SCD1\\_CapI.pdf](https://www.fccdecastro.com.br/pdf/SCD1_CapI.pdf)): O campo elétrico  $E_{RX_0}$  da onda EM direta que se propaga no percurso  $d_0$  e que é recebida na antena do RX é dado por  $E_{RX_0} = E_{TX} \frac{r_0}{(r_0 + d_0)} e^{j \frac{2\pi f_c d_0}{c}}$  [V/m], o  $E_{RX_1}$  da onda EM refletida (eco) que se propaga no percurso  $d_1$  e que é recebida na antena do RX é dado por  $E_{RX_1} = E_{TX} \Gamma \frac{r_0}{(r_0 + d_1)} e^{j \frac{2\pi f_c d_1}{c}}$  [V/m], sendo  $r_0 = \lambda/2\pi$ ,  $\lambda = c/f_c$  e  $c = 2.99792458 \times 10^8$  [m/s].



## Homework 7

A relação sinal-ruído no cenário operacional (i.e., no bloco “canal de transmissão” no diagrama de blocos abaixo) é  $SNR = 120$  [dB]. O subsistema de CAG (Controle Automático de Ganho) e o subsistema de sincronismo de portadora do RX (subsistemas não explicitados no diagrama abaixo) utilizam como referência o sinal recebido da onda EM que se propaga no percurso direto e, portanto, a amplitude, fase e atraso no tempo da onda EM direta são adotadas como referência (i.e., os subsistemas consideram que o sinal recebido da onda EM que se propaga no percurso direto apresenta amplitude 0 [dB], fase  $0^\circ$  e *delay* 0 [ $\mu$ s]).



## Homework 7

### Pede-se:

**(a)** A partir da transmitância do percurso direto  $H_0 = E_{RX_0}/E_{TX}$  e a partir da transmitância do percurso refletido  $H_1 = E_{RX_1}/E_{TX}$  (vide slide anterior), determine o *delay profile* do canal de transmissão que representa este cenário operacional. Dica: Dado que o CAG e o sincronismo de portadora do RX utilizam como referência o sinal da onda EM do percurso direto, normalize  $H_0$  em relação a  $H_0$  para obter a amplitude e fase do sinal recebido através do percurso direto e normalize  $H_1$  em relação a  $H_0$  para obter a amplitude e fase do sinal recebido através do percurso refletido (eco). O *delay* [ $\mu\text{s}$ ] do percurso refletido  $d_1$  em relação ao percurso direto  $d_0$  é obtido através da diferença entre os tempos de propagação das ondas EM refletida e direta, i.e., através de  $(d_1 - d_0)/c$ .

**(b)** Plote a curva de módulo e a curva de fase da resposta em frequência do canal de transmissão que representa este cenário operacional.

**(c)** Determine a banda passante BW de -3 [dB] na curva de módulo da resposta em frequência *passband* deste sistema para a situação em que não há multipercurso no canal de transmissão (i.e., não há a onda EM refletida que se propaga no percurso  $d_1$ ).

**(d)** Plote a curva do módulo em [dB] do espectro do sinal da onda EM que é recebida no RX, com 0 [dB] correspondendo ao valor máximo da curva de módulo.

**(e)** Qual a distância  $\Delta f_{\text{notch}}$  em [MHz] no domínio frequência entre os *notches* na curva do módulo do espectro obtida em (d)? Justifique analiticamente (I) a ocorrência dos *notches* e (II) a ocorrência do padrão de *notches* recorrentes distantes de  $\Delta f_{\text{notch}}$  na curva do módulo do espectro.

**(f)** Plote a constelação de símbolos IQ recebidos após o *downsampler* do RX (bloco “ $\downarrow K_s$ ” no diagrama de blocos do slide anterior).

**(g)** Determine a MER [dB] (*modulation error ratio*) da constelação obtida em (f).

**Diretriz 1:** Utilize como auxílio à solução dos itens acima os *scripts* MathCad “Bit&SymbolStreamGenerator.xmcd” e “Simulador\_16-QAM\_Gaussian.xmcd” disponíveis na *link* <http://www.fccdecastro.com.br/ZIP/Simulador16-QAM.zip>.

**Diretriz 2:** Configure as escalas vertical e horizontal dos gráficos plotados nos referidos *scripts* MathCad de modo à se obter uma visualização coerente dos resultados (dois *left-clicks* no gráfico p/ configurar os parâmetros de formatação, um *left-click* no gráfico p/ configurar os limites das escalas vertical e horizontal e um *right-click* p/ acessar o menu do *trace*).

## Homework 7

Dicas – resposta dos itens (a), (c) e (g) para efeito de balizamento dos resultados da solução:

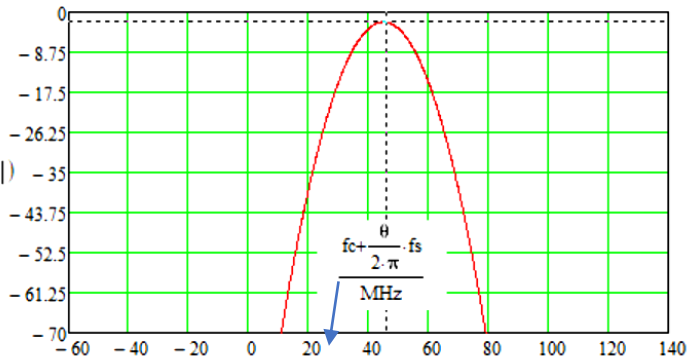
(a)

|                 | Magnitude do<br>eco em [db] | Fase do<br>eco em [°] | Atraso do<br>eco em [μs] |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------|
|                 | ↓                           | ↓                     | ↓                        |
| DelayProfile := | 0                           | 0-deg                 | 0                        |
|                 | -1.985                      | 79.754-°              | 0.125                    |
|                 | -∞                          | 0-deg                 | 0                        |
|                 | -∞                          | 0-deg                 | 0                        |
|                 | -∞                          | 0-deg                 | 0                        |
|                 | -∞                          | 0-deg                 | 0                        |

# Homework 7

(c)

Resposta em frequencia do sistema (system BW):



X-Y Trace

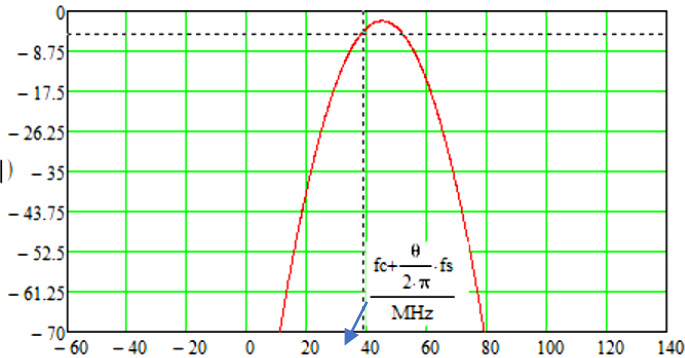
X-Value 45 Copy X

Y-Value -2.1623 Copy Y

Y2-Value            Copy Y2

Track data points Close

Resposta em frequencia do sistema (system BW):



X-Y Trace

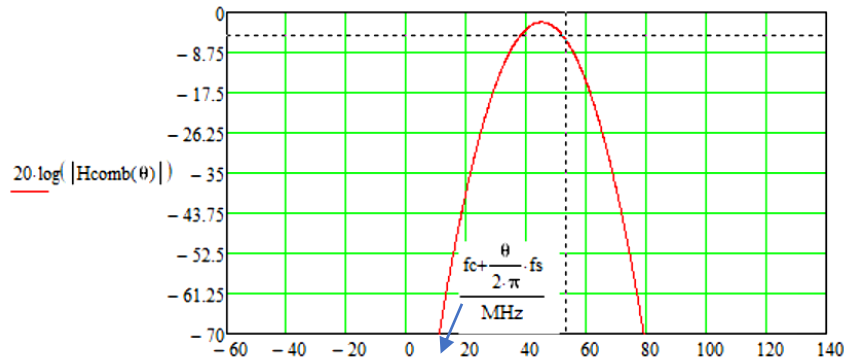
X-Value 37.8 Copy X

Y-Value -5.1812 Copy Y

Y2-Value            Copy Y2

Track data points Close

Resposta em frequencia do sistema (system BW):



X-Y Trace

X-Value 52.2 Copy X

Y-Value -5.1812 Copy Y

Y2-Value            Copy Y2

Track data points Close

-3 [dB]

-3 [dB]

-3 [dB]

$$BW_{-3dB} \cong 52.2 \text{ [MHz]} - 37.8 \text{ [MHz]} = 14.4 \text{ [MHz]}$$

(g) MER = 4.073 [dB]