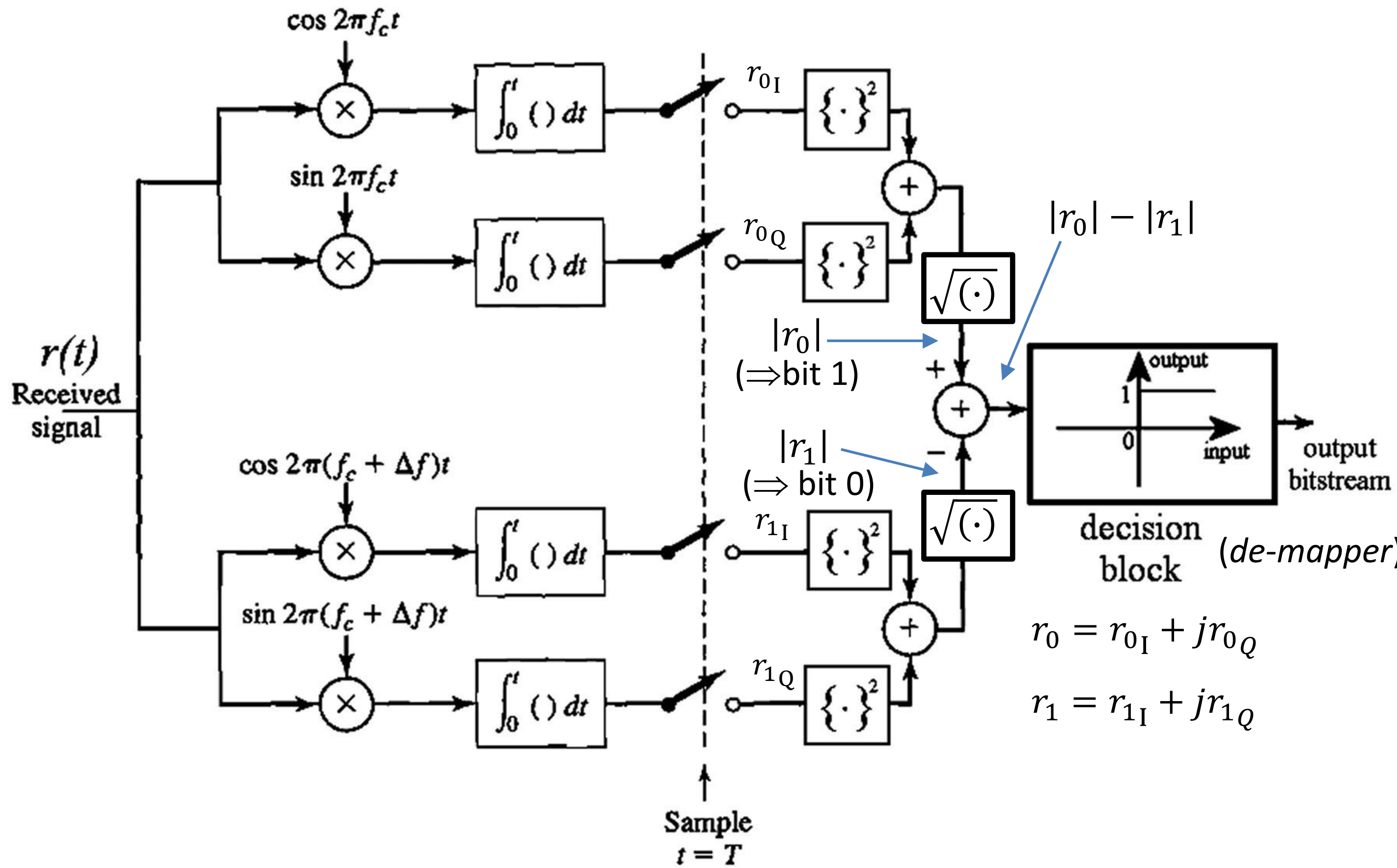
Homework 20 referente à aula 15 de "Telecomunicações II ELC1120-316", aula disponibilizada em http://www.fccdecastro.com.br/download.html

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

***Homeworks* referentes à matéria de ELC1120 até a aula de 01/11/2022 em modalidade REMOTA.**

Homework 20

Um satélite LEO (*Low Earth Orbit* – *ver* https://en.wikipedia.org/wiki/Low_Earth_orbit) utiliza um *link* de telemetria operando em $f_c =$ 470 MHz e modulação FSK binária. O diagrama abaixo mostra o demodulador do RX do referido *link*.



O sinal recebido na entrada do demodulador é da forma $r(t) = 0.1\cos(2\pi f_r t + \phi)$, onde $f_r \in \{f_c, f_c + \Delta f\}$ assume um dos dois valores de frequência em correspondência com a respectiva transmissão do "bit 1" ou do "bit 0" pelo TX. O *bitrate* (taxa de bits) no *output bitstream* é 50 Kbps. O ângulo ϕ representa a fase com que a frente da onda eletromagnética é recebida na antena do RX e, para efeito de simulação numérica, é assumido ser 85° .

Homework 20

Pede-se:

(a) Assumindo que o satélite esteja no zênite da estação RX em terra, de modo que a velocidade v relativa entre RX e TX pode ser considerada desprezível, plote $|r_0(\Delta f)| \times \Delta f$ e $|r_1(\Delta f)| \times \Delta f$ em um mesmo gráfico no intervalo $0 < \Delta f < 4\text{SymbolRate}$ para a situação em que o "bit 0" é transmitido, isto é, para a situação em que o sinal recebido é $r(t) = 0.1\cos(2\pi(f_c + \Delta f)t + \phi)$. Quais valores de Δf maximizam a capacidade do *decision block* discriminar entre o "bit 0" e o "bit 1? Dentre estes valores de Δf, qual o que minimiza a banda passante ocupada no canal de transmissão?

(b) Assuma que o satélite esteja despontando na linha do horizonte e com linha de visada com a estação RX em terra (se aproximando da estação RX), de modo que a velocidade v relativa entre RX e TX pode ser aproximada pela velocidade orbital $v =$ 28000 Km/h. Nesta situação operacional os tons f_c e $f_c + \Delta f$ emitidos pelo TX incidem na antena do RX acrescidos de um desvio de frequência $f_{\text{doppler}} = v\frac{f_c}{c}$, de modo que $f_{c_{\text{TX}}} = f_{c_{\text{RX}}} + f_{\text{doppler}}$, sendo, $c = 2.997925 \times 10^8$ m/s a velocidade de propagação da onda entre as antenas TX e RX. Para esta situação operacional plote $|r_0(\Delta f)| \times \Delta f$ e $|r_1(\Delta f)| \times \Delta f$ em um mesmo gráfico no intervalo $0 < \Delta f < 4\text{SymbolRate}$ para a situação em que o "bit 0" é transmitido, isto é, para a situação em que o sinal recebido é $r(t) = 0.1\cos\left(2\pi\left(f_c + \Delta f + f_{\text{doppler}}\right)t + \phi\right)$. Qual o efeito do desvio de frequência f_{doppler} na capacidade do *decision block* discriminar entre o "bit 0" e o "bit 1 para uma separação entre tons $\Delta f = \text{SymbolRate}$?

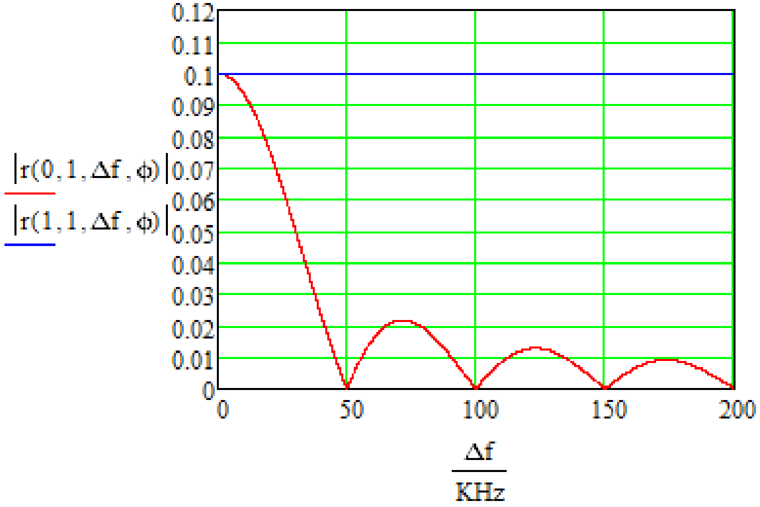
(c) Para o conjunto de velocidades $v \in \{0.25c, 0.5c, 0.75c, c\}$ plote $|r_0(\Delta f)| \times \Delta f$ e $|r_1(\Delta f)| \times \Delta f$ em um mesmo gráfico no intervalo $0 < \Delta f < 4\text{SymbolRate}$ para a situação em que o "bit 0" é transmitido, isto é, para a situação em que o sinal recebido é $r(t) = 0.1\cos\left(2\pi\left(f_c + \Delta f + f_{\text{doppler}}\right)t + \phi\right)$. Para cada uma das velocidades e respectivos desvio de frequência f_{doppler} , qual é a capacidade do *decision block* discriminar entre o "bit 0" e o "bit 1 para uma separação entre tons $\Delta f = \text{SymbolRate}$?

(d) Para uma separação entre tons $\Delta f = \text{SymbolRate}$, qual valor de velocidade relativa v entre TX e RX a partir do qual a capacidade δ do *decision block* discriminar entre o "bit 0" e o "bit 1 é reduzida a 70% de seu máximo ? Esta redução de δ reduz o desempenho do enlace? Se sim, quantifique esta redução de desempenho em termos da SNR necessária no canal de transmissão para que seja mantida uma determinada BER na saída do *de-mapper (decision block)*.

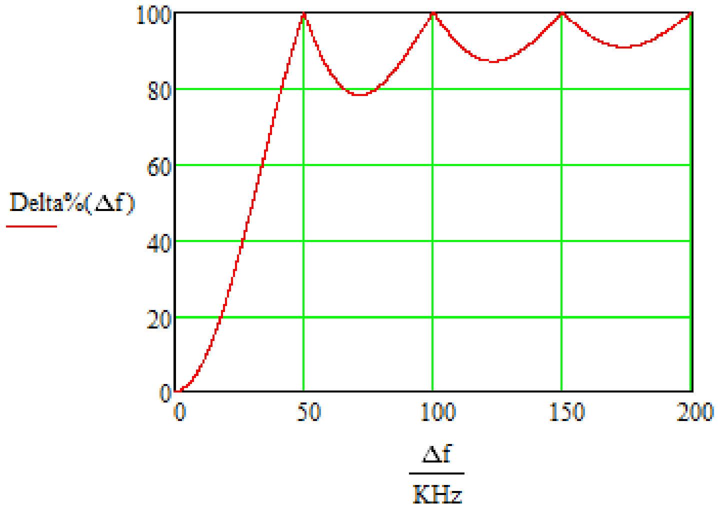
Homework 20

Respostas:

(a)



$$\mathrm{Delta\%}(\Delta f) := 100\,\frac{|r(1,1,\Delta f,\phi)| - |r(0,1,\Delta f,\phi)|}{A}$$

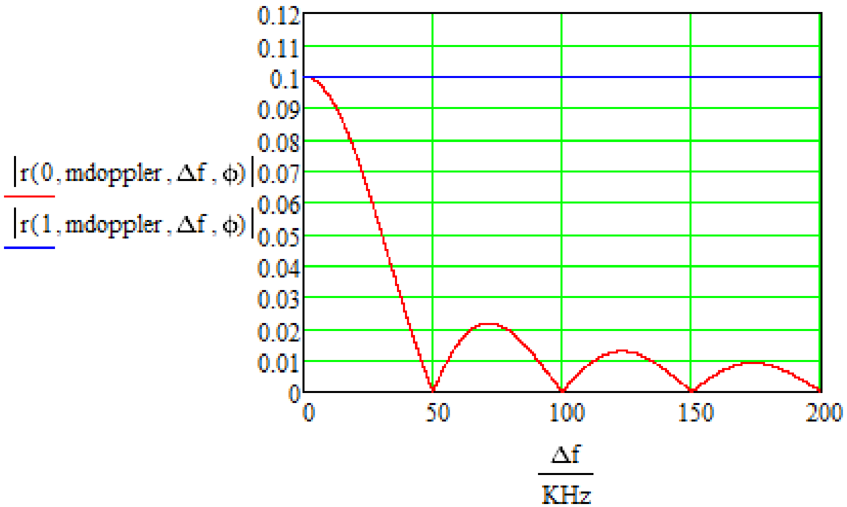


Homework 20

(b)

$$\text{Deltad\%(mdopppler\_)} := 100\,\frac{\left|r(1,\text{mdopppler\_},\text{SymbolRate},\phi)\right| - \left|r(0,\text{mdopppler\_},\text{SymbolRate},\phi)\right|}{A}$$

$$\text{mdoppler} := 1\,\frac{(\text{fc} + \text{fdoppler})}{\text{fc}} = 1.000026$$

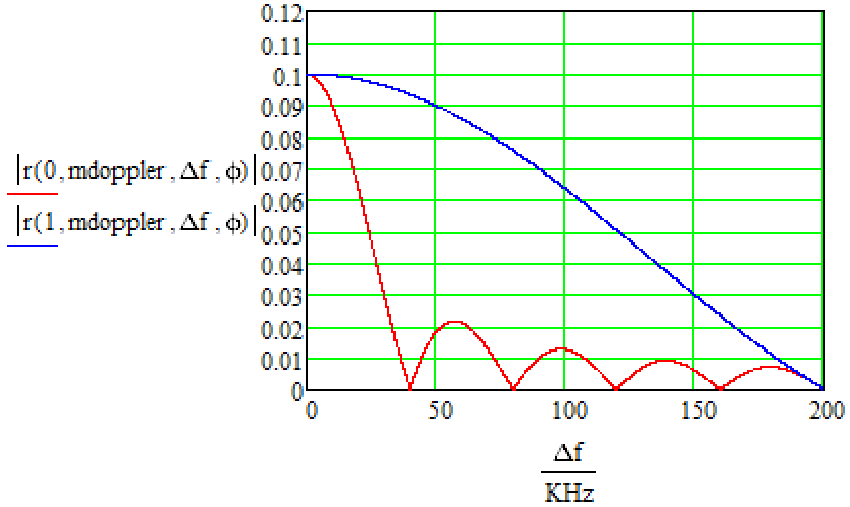


$\text{Deltad\%(mdoppler)} = 99.997$ %

Homework 20

(c)

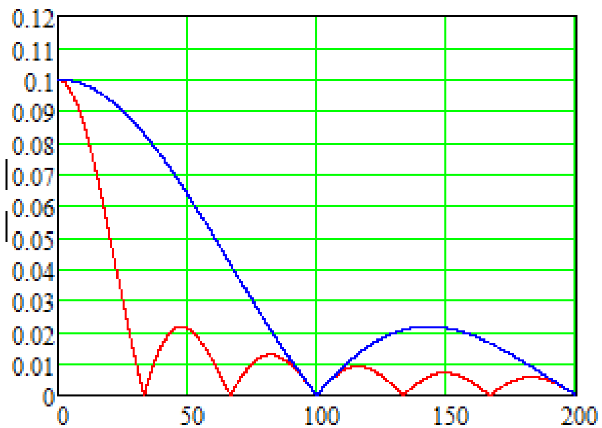
$v := 0.25 \cdot c \qquad fdoppler := \frac{v}{c} \cdot fc = 3.425 \times 10^{7} \cdot Hz \qquad mdoppler := 1 \cdot \frac{(fc + fdoppler)}{fc} = 1.25$



Deltad%(mdoppler) = 72.025 %

Homework 20

$v := 0.5c$ $\qquad$ $fdoppler := \frac{v}{c} \cdot fc = 6.85 \times 10^{7} \cdot Hz$ $\qquad$ $mdoppler := 1 \cdot \frac{(fc + fdoppler)}{fc} = 1.5$



$\left|r(0, mdoppler, \Delta f, \phi)\right|$

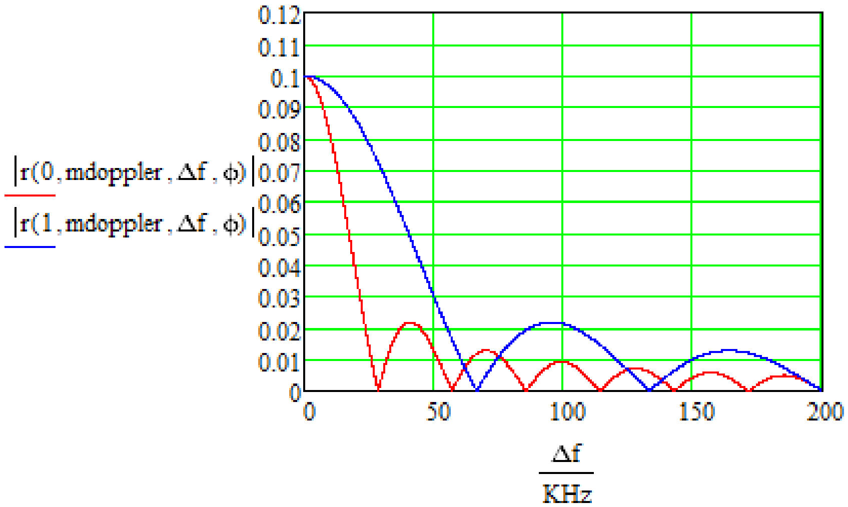
$\left|r(1, mdoppler, \Delta f, \phi)\right|$

$\frac{\Delta f}{KHz}$

$Deltad\%(mdoppler) = 42.441$ %

Homework 20

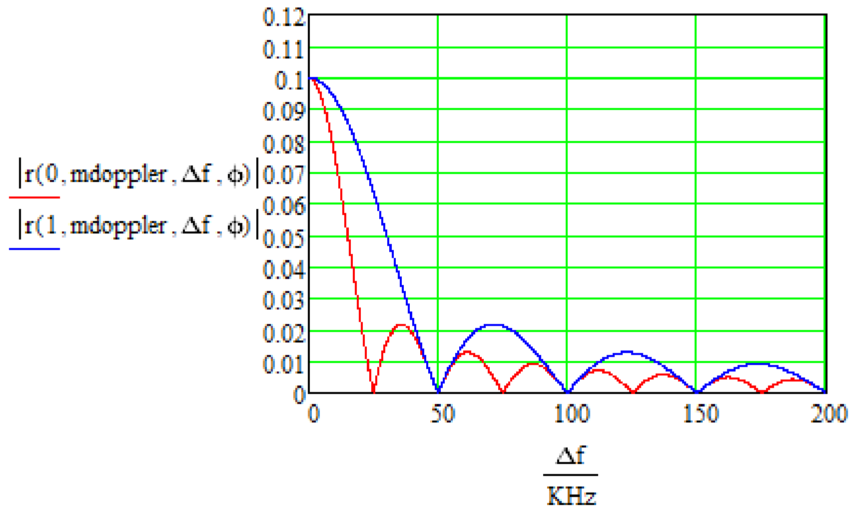
$v := 0.75 \cdot c$ $\quad fdoppler := \frac{v}{c} \cdot fc = 1.028 \times 10^{8} \cdot Hz$ $\quad mdoppler := 1 \cdot \frac{(fc + fdoppler)}{fc} = 1.75$



Deltad%(mdoppler) = 17.149 %

Homework 20

$v := c$ $\quad fdoppler := \frac{v}{c} \cdot fc = 1.37 \times 10^{8} \cdot Hz$ $\quad mdoppler := 1 \cdot \frac{(fc + fdoppler)}{fc} = 2$



$Deltad\%(mdoppler) = 0$ %

Homework 20

(d)

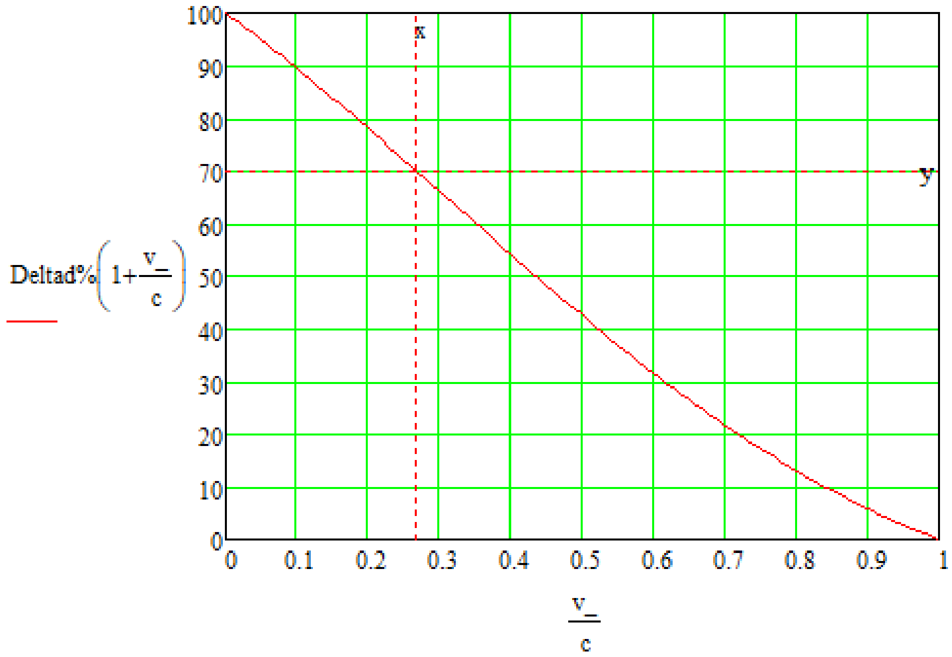
$$\text{mdoppler\_} := 1 \cdot \frac{\left(fc + \frac{v}{c} \cdot fc\right)}{fc} = 2$$

$$\text{mdoppler\_} = \left[1 \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right)\right]$$

$$v\_ := 0, 0.01 \cdot c .. c$$

$$x := 0.26693$$

$$y := \text{Deltad\%}(1 + x) = 70$$



$$20 \cdot \log(0.7) = -3.098 \text{ dB}$$