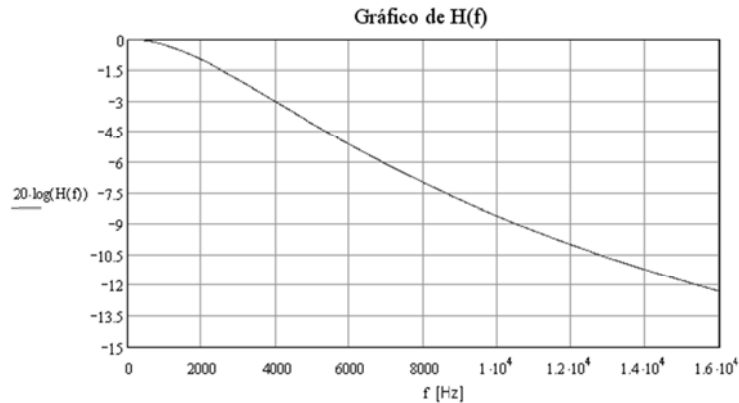


**PUCRS – Escola Politécnica – Engenharia Elétrica**  
**Tópicos Avançados em Comunicações – T450 – Exercício aula 08/08/2019**

1) Deseja-se transmitir um sinal digital através de uma linha telefônica. O módulo da função de transferência  $H(f)$  desta linha telefônica foi medido com um *network analyzer*, resultando em



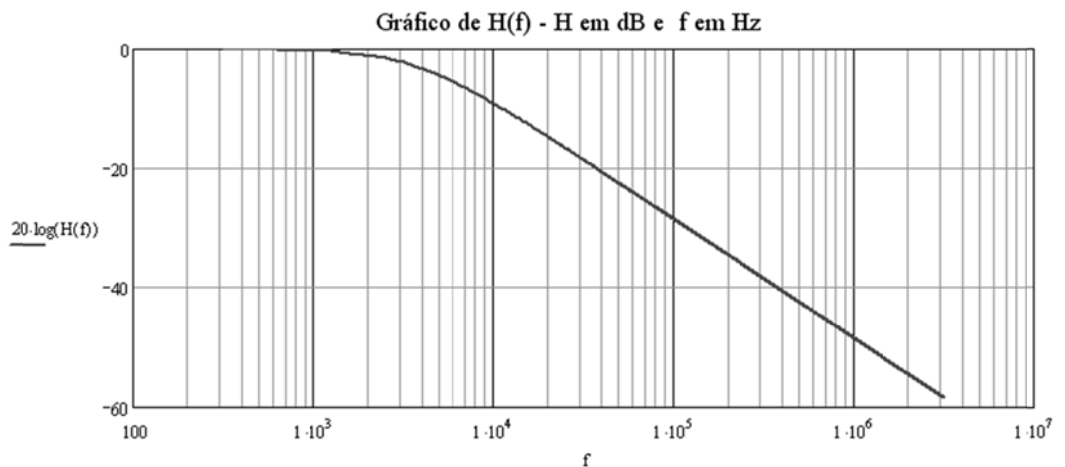
Sabe-se que o ruído na linha telefônica é branco e aditivo resultando em uma SNR de 32 dB.

Determine a velocidade máxima (em bps) que o sinal digital pode ser transmitido através desta linha telefônica.

2) Um sistema digital multiportadora utiliza 16 portadoras igualmente espaçadas na faixa de 0 Hz a 3.2 MHz. Sabe-se que o ruído no canal é branco e aditivo resultando em uma SNR de 32 dB, medida para um sinal de referência na frequência de 100Hz. O canal possui uma função de transferência da forma

$$H(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{-3dB}}\right)^2}}$$

$$f_{-3dB} = 3.8 \times 10^3 \text{ Hz.}$$



Determine uma estimativa da capacidade máxima de transmissão em bps deste sistema para as seguintes situações.

- Sem compensação da função de transferência do canal.
- Com compensação da função de transferência do canal.

## Solução:

1)

$$W := 4 \cdot 10^3 \quad [\text{Hz}] \rightarrow \text{banda passante -3dB do canal}$$

$$\text{SNR} := 32 \quad [\text{dB}] \rightarrow \text{relação sinal-ruído do canal}$$

$$C := \frac{1}{\ln(2)} \cdot W \cdot \ln\left(1 + 10^{\frac{\text{SNR}}{10}}\right) \quad [\text{bps}] \rightarrow \text{Expressão geral da capacidade de transmissão de um canal de banda passante } W \text{ e relação sinal-ruído SNR}$$

$$C = 4.252 \times 10^4 \quad [\text{bps}] \rightarrow \text{máxima taxa do canal (capacidade de transmissão do canal)}$$

2)

$$f_{\text{corte}} := 3.8 \cdot 10^3 \quad [\text{Hz}] \rightarrow \text{frequência de corte -3dB do canal}$$

$$\text{SNRo} := 32 \quad [\text{dB}] \rightarrow \text{relação sinal-ruído do canal medida em 100Hz}$$

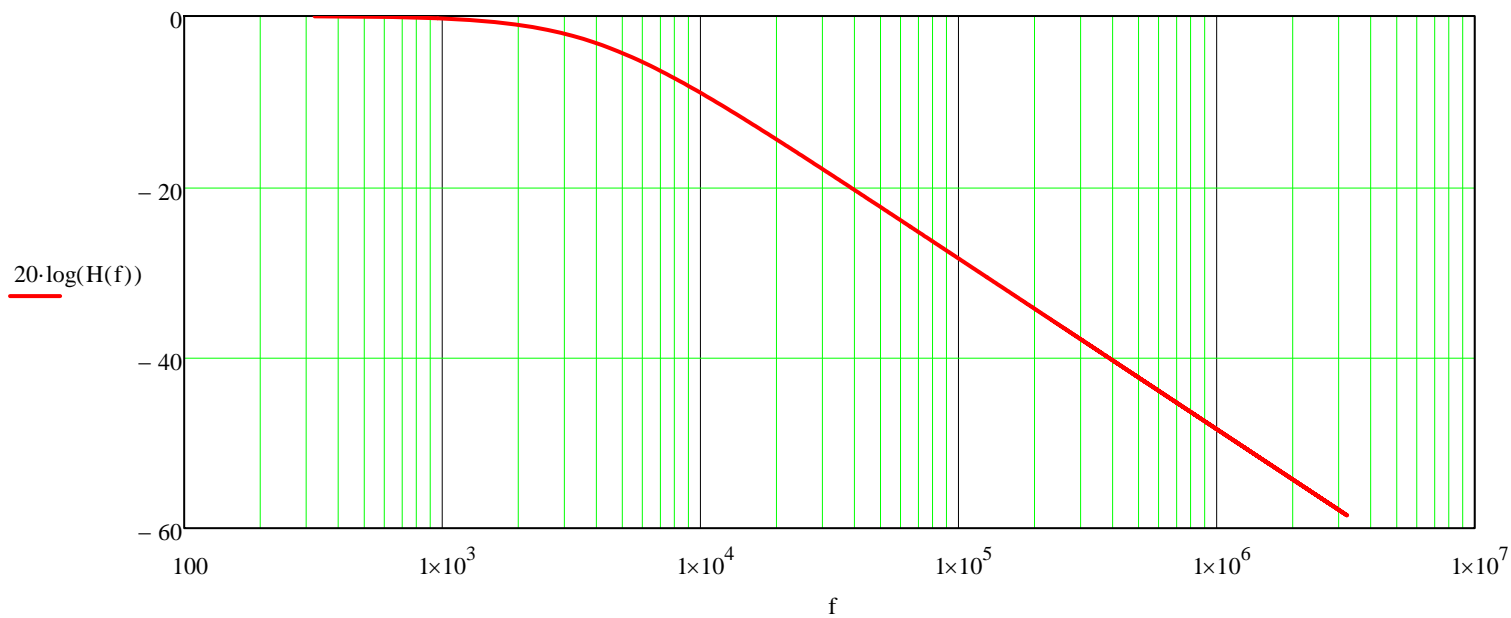
$$F_{\text{Max}} := 3.2 \cdot 10^6 \quad [\text{Hz}] \rightarrow \text{frequência máxima da faixa de frequências a ser transmitida através do canal}$$

$$N_p := 16 \quad \rightarrow \text{número de portadoras = número de sub-canais}$$

$$W := \frac{F_{\text{Max}}}{N_p} \quad W = 2 \times 10^5 \quad [\text{Hz}] \rightarrow \text{banda passante de cada sub-canal}$$

$$H(f) := \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{\text{corte}}}\right)^2}} \quad \rightarrow \text{expressão analítica da função de transferência } H(f) \text{ do canal}$$

Gráfico de H(f) - H em dB e f em Hz



$H(100) = 1$  → Ou seja, em  $f=100\text{Hz}$  (e em toda  $f$  abaixo desta frequência, dado que  $H(f)$  é passa-baixa) o canal não atenua o sinal. Logo, se **SNRo=32dB** em 100Hz, então a SNR em qualquer outra frequência  $f_x$  pode ser obtida através de **SNRo+20logH( $f_x$ )**

$$C = \frac{1}{\ln(2)} \cdot W \cdot \ln \left( 1 + 10^{\frac{\text{SNR}}{10}} \right) \quad [\text{bps}] \rightarrow \text{Expressão geral da capacidade de transmissão de um canal de banda passante } W \text{ e relação sinal-ruído SNR}$$

$\frac{W}{2} \cdot (2 \cdot k + 1) = [\text{Hz}] \rightarrow$  Frequência da  $k$ -ésima portadora = Frequência central do  $k$ -ésimo sub-canal de largura  $W$

1 · 10 <sup>5</sup>
3 · 10 <sup>5</sup>
5 · 10 <sup>5</sup>
7 · 10 <sup>5</sup>
9 · 10 <sup>5</sup>
1.1 · 10 <sup>6</sup>
1.3 · 10 <sup>6</sup>
1.5 · 10 <sup>6</sup>
1.7 · 10 <sup>6</sup>
1.9 · 10 <sup>6</sup>
2.1 · 10 <sup>6</sup>
2.3 · 10 <sup>6</sup>
2.5 · 10 <sup>6</sup>
2.7 · 10 <sup>6</sup>
2.9 · 10 <sup>6</sup>
3.1 · 10 <sup>6</sup>

$$C_{\text{ww}}(k) := \frac{1}{\ln(2)} \cdot W \cdot \ln \left[ 1 + 10^{\frac{\text{SNRo} + 20 \cdot \log \left[ H \left[ \frac{W}{2} \cdot (2 \cdot k + 1) \right] \right]}{10}} \right]$$

[bps] → Capacidade do sub-canal na frequência da  $k$ -ésima portadora **sem** compensação da função de transferência  $H(f)$  do canal

$$C_c(k) := \frac{1}{\ln(2)} \cdot W \cdot \ln \left[ 1 + 10^{\frac{\text{SNRo} + 20 \cdot \log \left[ H \left[ \frac{W}{2} \cdot (2 \cdot k + 1) \right] \right] - 20 \cdot \log \left[ H \left[ \frac{W}{2} \cdot (2 \cdot k + 1) \right] \right]}{10}} \right]$$

[bps] → Capacidade do sub-canal na frequência da  $k$ -ésima portadora **com** compensação da função de transferência  $H(f)$  do canal

$$C_{\text{TotC}} := \sum_{k=0}^{N_p-1} C(k)$$

$C_{\text{TotC}} = 4.775 \times 10^5$  [bps] → Capacidade total do canal  
sem compensação da função  
de transferência  $H(f)$  do canal

$$C_{\text{TotCc}} := \sum_{k=0}^{N_p-1} C_c(k)$$

$C_{\text{TotCc}} = 3.402 \times 10^7$  [bps] → Capacidade total do canal  
com compensação da função  
de transferência  $H(f)$  do canal