

## **AVALIAÇÃO DE PRINCÍPIOS DE COMUNICAÇÕES – ADNP (S12)**

ALUNO: Felipe Nahhas Scandelari

MATRÍCULA: 1760262

### **INSTRUÇÕES:**

- Esta avaliação consta de três questões.
- As questões valem: 3,3 pontos (1), 3,3 pontos (2), e 3,4 pontos (3).
- Cada questão depende do número de matrícula do estudante (ver Tabela-S12.pdf).
- Avaliações com uso de número de matrícula incorreto serão anuladas.
- Resolva cada questão de forma manuscrita legível e organizada. Não serão consideradas respostas sem o desenvolvimento completo da solução.
- Não faça arredondamentos, utilize sempre três (3) casas decimais de precisão.
- Faça sempre uso das unidades: kHz, MHz,  $\mu\text{F}$ , pF, Volt e Watt. Exemplo:  $f = 12985,0 \text{ Hz}$  deve ser grafado  $f = 12,985 \text{ kHz}$  (não  $13 \text{ kHz}$ ).
- As soluções podem ser incluídas como imagem neste documento que então deve ser salvo em um único arquivo formato pdf.
- O arquivo deve ser nomeado “Prova1\_Nome\_Completo.pdf” e não pode exceder a 15 MB de dimensão.
- A entrega deve ser feita via e-mail até às 18h00 de 09/10/2020.
- Dúvidas podem ser sanadas on-line na primeira meia-hora da data da prova.

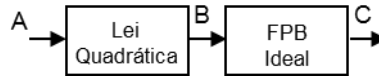
### **IMPORTANTE:**

- Primeiro passo: Obtenha os valores necessários a cada questão na Tabela-S12.pdf disponível na pasta dropbox. As unidades constam no enunciado das questões.
- Segundo passo: O Valor 1 será usado na Questão 1, o Valor 2 na Questão 2, e o Valor 3 na Questão 3. Exemplo: Valor 1 = 0,102 corresponde à  $k_a = 0,102 \text{ V}^{-1}$ .
- Terceiro passo: resolva as questões.

**BOA PROVA !!**

1) Um sinal modulado AM-DSB tonal é aplicado ao *detector de lei quadrática* mostrado na figura. Sabe-se que:  $A_c = 100 \text{ V}$ ,  $A_m = 5 \text{ V}$ ,  $f_c = 800 \text{ kHz}$ ,  $f_m = 4 \text{ kHz}$  e  $k_a = \text{---} \text{ V}^{-1}$ . O FPB ideal tem frequência de corte  $f_{3dB} = 10 \text{ kHz}$ , os coeficientes da lei quadrática valem  $a_1 = a_2 = 1$ . Pede-se:

- Um esboço do sinal modulado (no tempo), com valores de amplitude máximo e mínimo da envoltória (ponto A).
- A potência média da portadora e a potência média de uma banda lateral (ponto A).
- Qual deve ser o valor da amplitude da mensagem para que a *razão sinal-interferência* (SIR) no ponto C corresponda a 16 dB?



Felipe Nathas Scardelari

①  $A_c = 100 \text{ V}$   
 $A_m = 5 \text{ V}$   
 $f_c = 800 \text{ kHz}$   
 $f_m = 4 \text{ kHz}$   
 $k_a = 0,100 \text{ V}^{-1}$   
 $f_{3dB} = 10 \text{ kHz}$   
 $a_1 = a_2 = 1$

a)  $s(t) = A_c [1 + \mu \cos(2\pi f_m t)] \cdot \cos(2\pi f_c t)$   
 $\mu = k_a \cdot A_m$   
 $\mu = 0,100 \cdot 5 = 0,500$   
 $s(t) = 100 \cdot [1 + 0,500 \cdot \cos(2\pi \cdot 4 \cdot 10^3 t)] \cdot \cos(2\pi \cdot 800 \cdot 10^3 t)$   
 $s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) + \frac{\mu A_c}{2} \cos(2\pi(f_c + f_m)t) + \frac{\mu A_c}{2} \cos(2\pi(f_c - f_m)t)$   
 $s(t) = 100 \cdot \cos(2\pi \cdot 800 \cdot 10^3 t) + \frac{0,500 \cdot 100}{2} \cos(2\pi(800,10^3 + 4 \cdot 10^3)t) + \frac{0,500 \cdot 100}{2} \cos(2\pi(800,10^3 - 4 \cdot 10^3)t)$   
 $s(t) = 100 \cdot \cos(2\pi \cdot 800 \cdot 10^3 t) + 25 \cos(2\pi \cdot 804 \cdot 10^3 t) + 25 \cos(2\pi \cdot 796 \cdot 10^3 t)$

$A_{max} = A_c(1 + \mu) = 100(1 + 0,500)$   
 $A_{max} = 150 \text{ V}$   
 $A_{min} = A_c(1 - \mu) = 100(1 - 0,500)$   
 $A_{min} = 50 \text{ V}$   
 $T_m = \frac{1}{4 \cdot 10^3} = 0,00025 = 0,25 \text{ ms}$   
 $T_c = \frac{1}{800 \cdot 10^3} = 0,00000125 = 1,25 \mu\text{s}$

b) potência média da portadora  $\rightarrow P_{mp} = \frac{A_c^2}{2} = \frac{100^2}{2} = 5000 \text{ W}$   
 potência média de uma banda lateral  $\rightarrow P_{mbl} = \frac{\mu^2 A_c^2}{8} = \frac{0,500^2 \cdot 100^2}{8} = 312,500 \text{ W}$

c)  $SIR = 16 \text{ dB}$   
 $SIR(\text{dB}) = 10 \log_{10}(SIR)$   
 $SIR = 10^{\frac{16}{10}} = 39,811$   
 $SIR = \frac{P_s}{P_i} \rightarrow 39,811 = \frac{P_s}{P_i}$   
 $39,811 = \frac{(a_2 \cdot A_c^2 \cdot K_a)^2 \cdot P_m}{(\frac{a_2 \cdot A_c^2 \cdot K_a^2}{2} \cdot P_m^2) \cdot K_a^2 \cdot P_m} = \frac{4}{(0,100)^2 \cdot P_m}$   
 $39,811 = \frac{4}{0,010 \cdot P_m}$   
 $P_m = \frac{4}{0,010 \cdot 39,811}$   
 $P_m = 10,047 \text{ W}$   
 $P_m = \frac{A_m^2}{2}$   
 $A_m = \sqrt{2 \cdot P_m} = \sqrt{2 \cdot 10,047}$   
 $A_m = 4,483 \text{ V}$

2) O sinal modulante  $m(t) = A \cdot \cos(2\pi \cdot 1k \cdot t) + 5 \cdot \cos(2\pi \cdot 3k \cdot t)$ , onde  $A = \underline{\hspace{1cm}}$  V, é multiplicado pela portadora  $c(t) = 100 \cdot \cos(2\pi \cdot 50k \cdot t)$ , gerando um sinal modulado  $s(t)$  do tipo DSB/SC.

- Determine a expressão do espectro do sinal modulado e apresente seu esboço (com valores de amplitude e frequência).
- O sinal modulado  $s(t)$  é aplicado a um filtro passa-faixa ideal de frequência central = 50 kHz e largura de faixa = 4 kHz, determine a potência média do sinal de saída.
- O mesmo sinal modulado  $s(t)$  é aplicado a um *detector coerente* com portadora local  $c'(t) = 1 \cdot \cos(2\pi \cdot 50k \cdot t)$  e filtro passa-baixa real tipo Butterworth (equação abaixo). Determine a frequência de corte ( $f_{3dB}$ ) deste filtro considerando que as componentes indesejadas mais críticas devem ser atenuadas em pelo menos 30 dB.

$$|H(f)| = 1 / \sqrt{1 + (f/f_{3dB})^2}$$

②  $m(t) = A \cos(2\pi \cdot 1k \cdot t) + 5 \cos(2\pi \cdot 3k \cdot t)$   
 $A = 1,8 \text{ V}$  Valor 2  
 $c(t) = 100 \cdot \cos(2\pi \cdot 50k \cdot t)$

a) Sinal modulado  $s(t) \rightarrow$  DSB/SC  
 $s(t) = c(t) \cdot m(t)$

$$s(t) = 100 \cdot \cos(2\pi \cdot 50k \cdot t) \cdot [1,8 \cos(2\pi \cdot 1k \cdot t) + 5 \cos(2\pi \cdot 3k \cdot t)]$$

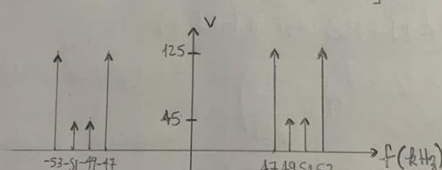
$$s(t) = 180 \cos(2\pi \cdot 50k \cdot t) \cdot \cos(2\pi \cdot 1k \cdot t) + 500 \cos(2\pi \cdot 50k \cdot t) \cdot \cos(2\pi \cdot 3k \cdot t)$$

utilizando  $\cos(x) \cos(y) = \frac{1}{2} [\cos(x+y) + \cos(x-y)]$

$$s(t) = 90 [\cos(2\pi \cdot 51k \cdot t) + \cos(2\pi \cdot 49k \cdot t)] + 250 [\cos(2\pi \cdot 53k \cdot t) + \cos(2\pi \cdot 47k \cdot t)]$$

$$s(t) = 90 \cos(2\pi \cdot 51k \cdot t) + 90 \cos(2\pi \cdot 49k \cdot t) + 250 \cos(2\pi \cdot 53k \cdot t) + 250 \cos(2\pi \cdot 47k \cdot t)$$

utilizando a transformação  $\cos(2\pi \cdot f_c \cdot t) \Leftrightarrow \frac{1}{2} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)]$

$$S(f) = 45 [\delta(f - 51k) + \delta(f + 51k)] + 45 [\delta(f - 49k) + \delta(f + 49k)] + 125 [\delta(f - 53k) + \delta(f + 53k)] + 125 [\delta(f - 47k) + \delta(f + 47k)]$$


b)

FPF

50 kHz  
 BW = 4 kHz

mín  $\rightarrow$  48 kHz  
 máx  $\rightarrow$  52 kHz

Logo, após o filtro teremos:

$$s_{\text{FPF}}(t) = 90 [\cos(2\pi \cdot 51k \cdot t) + \cos(2\pi \cdot 49k \cdot t)]$$

Então,

$$P = 90^2 / 2 = 4050 \text{ W}$$

c) detector coerente

$$A_L(\text{dB}) = 10 \log_{10}(A_L)$$

$$c(t) = 1 \cdot \cos(2\pi \cdot 50 \cdot k \cdot t)$$

$$|H(f)| = 1 / \sqrt{1 + (f/f_{3dB})^2} \rightarrow \text{FPB}$$

$$r(t) = \Delta(t) \cdot c(t)$$

$$r(t) = [90 \cos(2\pi \cdot 51 k t) + 90 \cos(2\pi \cdot 49 k t) + 250 \cos(2\pi \cdot 53 k t) + 250 \cos(2\pi \cdot 47 k t)] \cdot [1 \cdot \cos(2\pi \cdot 50 k t)]$$

$$r(t) = 90 \cos(2\pi \cdot 51 k t) \cdot \cos(2\pi \cdot 50 k t) + 90 \cos(2\pi \cdot 49 k t) \cdot \cos(2\pi \cdot 50 k t) + 250 \cos(2\pi \cdot 53 k t) \cdot \cos(2\pi \cdot 50 k t) + 250 \cos(2\pi \cdot 47 k t) \cdot \cos(2\pi \cdot 50 k t)$$

$$\text{utilizando novamente } \cos(x) \cdot \cos(y) = \frac{1}{2} [\cos(x+y) + \cos(x-y)]$$

$$r(t) = 45 [\cos(2\pi \cdot 101 k t) + \cos(2\pi \cdot 1 k t)] + 45 [\cos(2\pi \cdot 99 k t) + \cos(2\pi \cdot 1 k t)] + 125 [\cos(2\pi \cdot 103 k t) + \cos(2\pi \cdot 3 k t)] + 125 [\cos(2\pi \cdot 97 k t) + \cos(2\pi \cdot 3 k t)]$$

$$r(t) = 90 \cos(2\pi \cdot 1 k t) + 250 \cos(2\pi \cdot 3 k t) + 125 \cos(2\pi \cdot 97 k t) + 45 \cos(2\pi \cdot 99 k t) + 45 \cos(2\pi \cdot 101 k t) + 125 \cos(2\pi \cdot 103 k t)$$

$$|H(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{3dB}}\right)^2}} = 20 \log \left( \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{3dB}}\right)^2}} \right)$$

$$-3\text{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{3dB}}\right)^2}} \right) \rightarrow -1.5 = \log_{10} 1 - \log_{10} \left( 1 + \left(\frac{f}{f_{3dB}}\right)^2 \right)$$

$$\log_{10} \left( 1 + \left(\frac{f}{f_{3dB}}\right)^2 \right) = 1.5 \Rightarrow 1.5 = \frac{1}{2} \log_{10} \left( 1 + \left(\frac{f}{f_{3dB}}\right)^2 \right)$$

$$3 = \log_{10} \left( 1 + \left(\frac{f}{f_{3dB}}\right)^2 \right) \rightarrow 10^3 = 1 + \left(\frac{f}{f_{3dB}}\right)^2$$

$$999 = \left(\frac{f}{f_{3dB}}\right)^2 \rightarrow f_{3dB} = \frac{f}{\sqrt{999}}$$

frequências: 1 kHz, 3 kHz, 97 kHz, 99 kHz, 101 kHz, 103 kHz

97 kHz, 99 kHz, 101 kHz, 103 kHz

componentes indexadas mais críticas

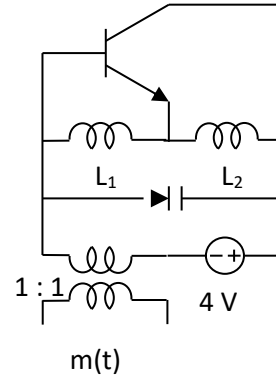
$$f_{3dB} = \frac{97 \text{ kHz}}{\sqrt{999}} = 3068,944 \text{ Hz}$$

3) O circuito abaixo representa um modulador em frequência pelo método direto, onde  $L_1 = L_2 = 5,0 \mu\text{H}$ . O sinal  $m(t) = 1.\cos(2\pi.20\text{k}.t)$  é aplicado à entrada do circuito. Sabe-se que o sinal modulado apresenta amplitude de 10 V de pico. O varicap tem uma capacitância de junção,  $C_V$  (em pF), que varia com a tensão de polarização inversa,  $V_r$  (em Volts), de acordo com a expressão dada abaixo, onde  $\alpha = \underline{\hspace{1cm}}$ .

$$C_V = 200/(1 + \alpha.V_r)^{1/2}$$

Pede-se:

- A expressão matemática (no tempo) que representa o sinal FM tonal.
- Os valores máximo e mínimo da frequência instantânea do sinal FM.
- A potência média do sinal modulado, e a largura de espectro do sinal modulado (por Carson).



③  $L_1 = L_2 = 5,0 \mu\text{H}$   
 $m(t) = 1.\cos(2\pi.20\text{k}.t)$   
 $V_p = 10\text{ V}$

$$C_V = \frac{200}{1 + \alpha.V_r} = \frac{200}{1 + 0,228.4} = 144,639 \text{ pF} = 144,639.10^{-12} \text{ F}$$

Valor 3, 0,228

a)

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1 + L_2)C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(5.10^{-6} + 5.10^{-6}).144,639.10^{-12}}} = 4184826,203 \text{ Hz}$$

$$f_c = 4,184 \text{ MHz}$$

$$k_f = -\frac{k_c}{2C_0} \cdot \frac{f_c}{V}$$

$$\frac{k_c}{\Delta V} = \frac{(136,717.10^{-12} - 154,1199.10^{-12})}{5 - 3}$$

$$k_c = -8,701 \text{ pF/V} = -8,701.10^{-12} \text{ F/V}$$

$$k_f = -\frac{(-8,701.10^{-12})}{2.144,639.10^{-12}} \cdot \frac{4184826,203}{4} = 125878,382 \text{ Hz/V}$$

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{125878,382}{20.10^3} = 6,2939 \text{ rad}$$

$$\Delta f = k_f \cdot V_p = 125878,382 \cdot 10 = 1,25878382 \text{ MHz}$$

$$s(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t)] = 10 \cos[2\pi 4,18410^6 t + 6,2939 \sin(2\pi 20.10^3 t)] \text{ V}$$

b)

$$f_s(t) = f_c + k_f m(t)$$

$$f_s(t) = f_c + k_f A_m \cos(2\pi f_m t)$$

máximo  $\cos(0) = 1$ , logo  $f_{s,\text{max}} = f_c + k_f A_m.1 = 4,184.10^6 + 125878,382 = 4309878,382 \text{ Hz}$

mínimo  $\cos(0) = -1$ , logo  $f_{s,\text{min}} = f_c + k_f A_m.(-1) = 4,184.10^6 - 125878,382 = 4058121,6176 \text{ Hz}$

c)

$$P = \frac{A_c^2}{2} = \frac{10^2}{2} = 50 \text{ W}$$

Lei de Carson:  $B_T = 2(\beta + 1)f_m = 2(\Delta f + f_m) = 2(125878,382 + 20.10^3)$

$$B_T = 0,2917 \text{ MHz}$$

d)

