

**Modulações analógicas em amplitude (AM)**

- 1 – Uma onda portadora representada por  $v_p(t) = 10 \cos(2\pi \times 10^7 t)$ , Volt, é modulada em amplitude por um sinal modulador  $x(t) = \frac{3}{7} \cos(2\pi \times 10^2 t)$  Volt. Nestas condições determinar:
- o valor do índice de modulação  $\mu$ ;
  - os valores das frequências das riscas espectrais contidas nas bandas laterais;
  - os valores das amplitudes das riscas espectrais contidas nas bandas laterais;
  - a percentagem da potência total, contida na portadora;
  - a percentagem da potência total, contida em apenas uma banda lateral.
- 2 – Uma estação de rádio emite um sinal AM com potência 5000 Watt, e com um índice de modulação  $\mu=0.6$ . Determinar a potência transmitida na portadora e em cada banda lateral.
- 3 – Um emissor de AM emite um sinal com uma potência 15 kW, quando modulado com a 80%. Determinar a potência do sinal quando:
- a portadora não é modulada;
  - a portadora é modulada a 50%, e a portadora é atenuada de 23 dB;
  - a portadora é modulada a 20%, uma das bandas laterais é suprimida, e a portadora é atenuada de 16 dB.
- 4 – A corrente que flui na antena de um emissor AM, é de 5 A, quando só é transmitida uma portadora não modulada; passando o seu valor para 6 A quando a onda portadora passa a ser modulada por uma onda sinusoidal. Determinar:
- o valor do índice de modulação;
  - o valor da corrente na antena quando a onda portadora for modulada a 10%.
- 5 – Um sinal modulador multi-ton  $x(t) = 2K [\cos(10\pi t) + 4 \cos(30\pi t)]$ , modula em AM uma portadora, a 100%. Sabendo que  $f_p = 1000$  Hz. Determinar:
- o valor K do sinal modulador, por forma a normalizar o mesmo;
  - o maior valor para o quociente entre a potência contida nas duas bandas laterais, e a potência total do sinal modulado.

6 – Um sinal modulador  $x(t) = 4K [1 + \cos(10\pi t)] \cos(30\pi t)$ , modula em AM uma portadora, a 37%. Sabendo que  $f_p = 1000$  Hz. Determinar:

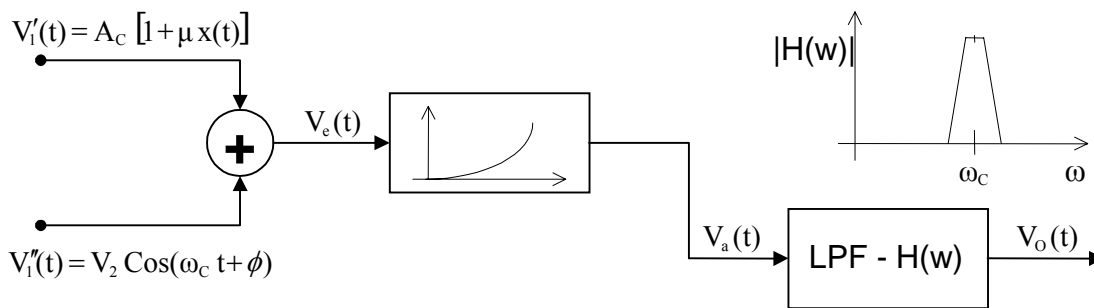
- o valor K do sinal modulador, por forma a normalizar o mesmo;
- o maior valor para o quociente entre a potência contida em apenas uma banda lateral, e a potência contida na portadora.

Sugestão: Desenvolver a expressão do sinal modulador  $x(t)$ .

- Esboçar o espectro do sinal modulado. Utilizar o resultado da sugestão anterior.

7 – Considerar o circuito da figura, em que

$$A_c = 5 \text{ Volt}, V_2 = 3 \text{ Volt}, \text{ e } V_a = \begin{cases} 0 & \text{para } V_e \leq 0 \\ V_e + 3V_e^2 & \text{para } V_e > 0 \end{cases}$$



Determinar o maior valor para o índice de modulação, sem que com isso resulte distorção na envolvente do sinal  $V_o(t)$ .

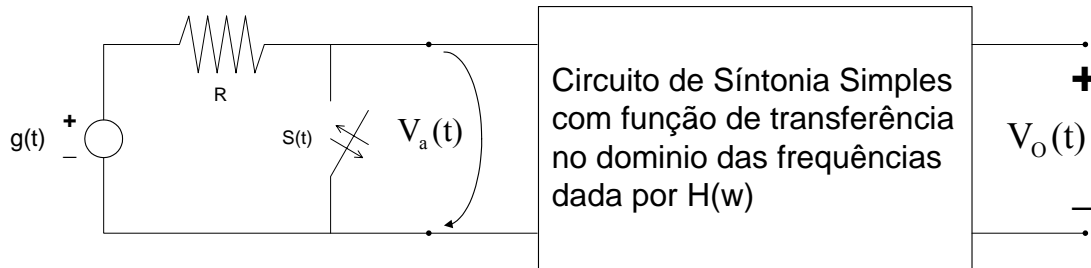
8 – Considerar o sinal  $x(t)$ , dado por  $x(t) = \sum_{k=1}^n [\cos(W_p t) \cdot \cos(W_k t + \alpha_k) - \sin(W_p t) \cdot \sin(W_k t + \alpha_k)]$ , em que  $W_p \gg W_k$ ,  $K \in 1, 2, \dots, n$ .

- Nas condições do problema, demonstrar que  $x(t)$ , se trata de um sinal modulado em AM na variante Single Side Band With Supressed Carrier (SSB-SC);
- Para o sinal  $x(t)$  trata-se de um sinal SSB de banda lateral superior ou inferior?
- Escrever uma expressão  $x'(t)$ , para a outra banda lateral que falta no sinal  $x(t)$ ;
- Escrever uma expressão completa para o sinal, modulado em AM na variante Double Side band With Supressed Carrier (DSB-SC).

9 – Para o circuito da figura,  $g(t) = 2(1 + \cos(2\pi \times 10^4 t))$ ,  $W_p = 10^7 \text{ rad.s}^{-1}$ , e o filtro  $H(w)$  é um circuito de sintonia simples do tipo RLC, com uma largura de banda a -3dB, igual a  $LB = 2 \times 10^4 \text{ rad.s}^{-1}$ , centrado à frequência angular  $W_0 = 3 \times 10^7 \text{ rad.s}^{-1}$ .

Admitindo que o filtro se comporta como um circuito de *bypass*, apresentando uma função de transferência unitária à frequência de ressonância, determinar a expressão

de  $V_o(t)$ , tendo em linha de conta que  $S(t) = \begin{cases} 1 & \text{para } \cos(W_p t) \geq 0 \\ 0 & \text{para } \cos(W_p t) < 0 \end{cases}$



- 10 – Considerar um receptor super-heterodino, sintonizado à frequência de 555 kHz. O seu oscilador local apresenta à entrada do misturador um sinal de frequência 1010 kHz.
- Determinar o valor da frequência imagem;
  - Admitindo que a antena está ligada ao misturador através de um circuito sintonizado com um factor de qualidade  $Q=40$ . Determinar o valor do factor de rejeição para a frequência imagem (a atenuação sofrida por essa frequência).
- 11 – Determinar o valor do factor de rejeição da frequência imagem para um receptor de dupla conversão, i.e., um receptor com dois andares de frequência intermédia (andares FI), em que a primeira frequência intermédia vale 2 MHz, e a frequência da segunda vale 200 kHz. O amplificador localizado no andar de RF apresenta um factor de qualidade  $Q=75$ , e está sintonizado à frequência de 30 MHz.
- 12 – Para o projecto e síntese de um grupo primário de 12 canais, multiplexados em FDM, é necessário a execução das seguintes etapas:
- Filtragem dos sinais a serem multiplexados, na gama 300 até 3600 Hz;
  - Modulação SSB-SC da banda lateral superior, de três canais pelas portadoras 12 kHz, 16 kHz e 20 kHz sucessivamente;
  - Executar o procedimento anterior, mas para mais três grupos de três canais;
  - Modulação em SSB-SC da banda lateral inferior, dos quatro subgrupos, através das portadoras de valor 120 kHz, 108 kHz, 96 kHz e 84 kHz sucessivamente.

- e) Nas condições anteriores, determinar os valores das máxima e mínima frequências de cada um dos grupos.

13 – Considerar um sinal modulador  $x(t)$ , com forma quadrada, que comuta periodicamente entre  $x(t_k)=+1$  e  $x(t_{k-1})=-1$ .

- a) Desenhar devidamente cotadas, as formas de onda dos sinais modulados em AM, com valores do índice de modulação  $\mu = 0.5$  e  $\mu = 1$ .
- b) Desenhar as respectivas envolventes a tracejado.
- c) Desenhar devidamente cotadas, as formas de onda dos sinais modulados em AM na variante DSB-SC. Desenhar as respectivas envolventes a tracejado.

14 – Considerar um sinal de voz  $x(t)$ , em que  $\max\{|x(t)|\} = 1$ , e com uma potência média de  $S_x=0.2$ , nestas condições determinar:

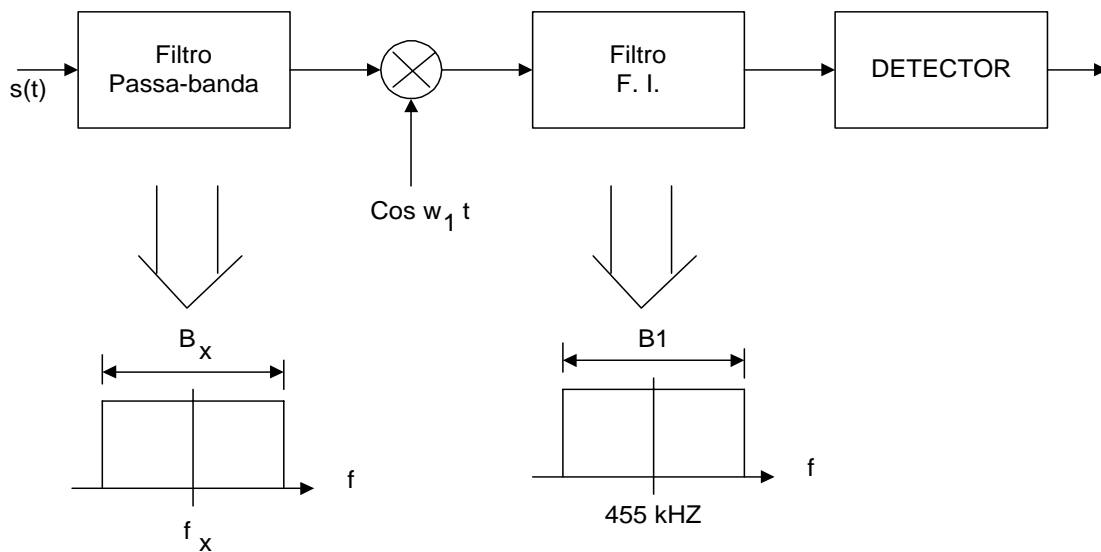
A potência  $S_T$  do sinal modulado, e valor da amplitude da envolvente  $A_{MAX}$ , de forma a que a potência contida nas duas bandas laterais tenha um valor de 10 Watt, quer se trate de uma modulação DSB-SC; e quer se trate de uma modulação AM modulada a 100%.

15 – Desenhar um diagrama de blocos que faça uma modulação DSB-SC, fazendo uso de elementos não lineares do tipo  $v_{out} = a_1 v_{in} + a_3 v_{in}^3$ , e de um dispositivo duplicador de frequência. Qual a condição que a frequência  $f_p$  da onda portadora deve obedecer relativamente à máxima componente espectral  $f_{MAX}$  contida no espectro de  $x(t)$ .

16 – Um sinal emitido por uma estação AM apresenta a seguinte forma analítica:

$$s(t) = A_c [1 + \mu f(t)] \cos(2\pi \times 800 \times 10^3 t), \text{ com } |\mu f(t)| \leq 1$$

A largura de banda do sinal  $f(t)$  é  $B = 8$  kHz, e sabe-se que as portadoras das diferentes estações diferem entre si de 30 kHz. Considere o receptor da figura seguinte:



- Determinar  $f_x$ ,  $f_l$  e a larguras de banda  $B_x$  e  $B_l$  máximas, se à saída do receptor se pretender obter  $f(t)$ .
- Dimensionar o circuito detector, em termos dos componentes necessários, tais como filtros, por exemplo, bem como as suas características quantitativas, e recorrendo a um diagrama de blocos contendo os mesmos componentes, por forma a se obter à saída do circuito detector, o sinal  $f(t)$ .
- Sabendo que à entrada do filtro, o sinal modulado em AM com índice de modulação unitário, apresenta uma potência de 2 mW, e sabendo que a impedância de entrada do filtro está perfeitamente adaptada à antena, determinar o quociente entre os valores da potência do sinal modulado e a potência contida numa das bandas laterais.

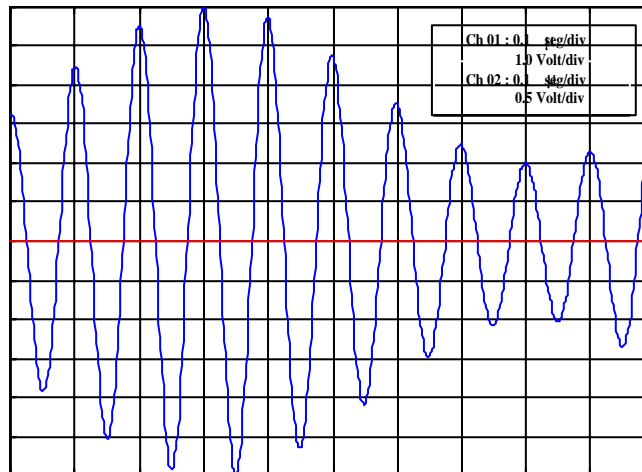
17 – Um emissor de AM emite um sinal com uma potência de 25 kW quando a portadora é modulada a 45% por um sinal de potência normalizada  $P_x=0.8$  W.

- Determinar a potência associada à portadora e às duas bandas laterais.
- O sinal de AM é desmodulado por um detector coerente. Admitir que o oscilador local tem um erro de fase e determinar o limite máximo para esse erro se se quiser recuperar um sinal com um nível nunca inferior a 80% da detecção máxima.

18 – Um sinal modulador sinusoidal, com amplitude 0.15 V, frequência 12 kHz, e fase  $\pi/5$  radianos, modula uma portadora de amplitude 3.1 V, à frequência de 11 MHz.

- a) Determinar o valor do índice de modulação.
- b) Determinar a percentagem de potência contida na portadora, em relação à potência total.
- c) Repetir a alínea anterior mas para uma das duas bandas laterais.

19 – A figura seguinte ilustra a forma de onda de um sinal modulado em amplitude, visualizado no ecrã de um osciloscópio digital de duplo canal. A base de tempo está calibrada para  $0.1 \mu\text{seg/div}$ , e os canais 01 e 02 estão calibrados para  $1.0 \text{ volt/div}$  e  $0.5 \text{ volt/div}$ . O sinal modulado está a ser visualizado no canal 01; no canal 02 está a ser constantemente visualizado  $0 \text{ Volt}$ .



- a) Sabendo que se consegue visualizar no osciloscópio, um período completo do sinal modulador, determinar os valores das frequências dos sinais modulador e da portadora.
- b) Determinar a amplitude da onda portadora, bem como o índice de modulação, e a amplitude do sinal modulador, sabendo que o valor numérico desta última é dezasseis vezes superior ao valor do índice de modulação.
- c) Com base nas alíneas anteriores, determinar os valores das potências referentes ao sinal modulado, da onda portadora, e a potência contida numa das bandas laterais do sinal modulado.

- 20 – Um sinal modulador sinusoidal, com amplitude 0.15 V, frequência 12 kHz, e fase  $\frac{\pi}{5}$  radianos, modula uma portadora de amplitude 3.1 V, à frequência de 11 MHz. Considerando  $V_{AM}(t)=[A_c+A_x\cos(w_x t)]\cos(w_c t)$ .
- Determinar o valor do índice de modulação.
  - Determinar a percentagem de potência contida na portadora, em relação à potência total.
- 21 – Um sinal modulador sinusoidal, com amplitude 0.4 V, frequência 10 kHz, e fase  $\frac{\pi}{3}$  radianos, é modula uma portadora de amplitude 7.2 V, à frequência de 3 MHz. Considerando  $V_{AM}(t)=[A_c+A_x\cos(w_x t)]\cos(w_c t)$ .
- Justificar se está ou não perante uma situação de sobremodulação, e determinar o índice de modulação.
  - Determinar a percentagem de potência contida na portadora, em relação à potência total.
  - Nas condições do problema, determinar a condição, que evita que se entre na situação de sobremodulação.

**Modulações exponenciais (modulação em frequência e em fase – FM e PM)**

- 1 – Um sinal de 1 MHz com amplitude 3 Volt, é modulado em frequência por um sinal de 500 Hz, com amplitude 1 Volt. O desvio de frequência vale 1 kHz.
  - a) Se o nível do sinal modulador passar a ser de 5 Volt, e a frequência de 2 kHz, escrever a expressão do novo sinal FM resultante das alterações dos valores referidos atrás.
  - b) Determinar a largura de banda do sinal modulado nas duas situações descritas anteriormente.
- 2 – O desvio de frequência de 75 kHz de um sinal FM, é obtido com um sinal modulador sinusoidal de amplitude unitária. Supor que a mesma portadora é modulada em FM por um outro sinal sinusoidal de valor eficaz igual a 80% do valor eficaz do primeiro sinal e de frequência 15 kHz. O sinal de FM obtido é aplicado a um filtro passa-banda ideal de largura de banda  $B = 2(2\beta + 1)f_x$ . Qual a fracção de potência à saída deste filtro?
- 3 – Supor que a máxima largura de banda requerida por um sinal modulador arbitrário, cuja máxima componente espectral vale 10 kHz, vale  $B_t$ .
  - a) Determinar a percentagem de  $B_t$  ocupada, quando o sinal modulador é um sinal sinusoidal de amplitude unitária, para diferentes valores de frequência, dados por  $f_x = 0.1, 1$  e 5 kHz respectivamente; em que a modulação é feita de modo a que o máximo desvio de frequência relativamente à portadora  $f_c$ , vale  $\Delta f = 30$  kHz (não confundir com  $f_\Delta$ ).
  - b) Repetir a alínea anterior, mas para o caso de PM, com índice de modulação  $\beta_{PM} = 3$ . Fazer uma análise crítica dos dois resultados obtidos nas duas alíneas.
- 4 – Considerar um sistema de modulação FM, em que  $\Delta f = 75$  kHz e o sinal modulador trata-se de uma onda sinusoidal de frequência 15 kHz. Pretende-se determinar o valor da largura de banda do sinal, por forma a incluir 95% da potência do sinal FM não filtrado.



<b>n</b>	<b><math>J_n(2)</math></b>	<b><math>J_n(5)</math></b>	<b><math>J_n(10)</math></b>
0	0.22	-0.18	-0.25
1	0.58	-0.33	0.04
2	0.35	0.05	0.25
3	0.13	0.36	0.06
4	0.03	0.39	-0.22
5		0.26	-0.23
6		0.13	-0.01
7		0.05	0.22
8		0.02	0.32

5 – A um modulador de FM com uma constante de 30kHz/V é aplicado um sinal modulador sinusoidal com uma amplitude de 0.5 V.

- Calcular a largura de banda do sinal FM para os casos do sinal modulador ter frequências de 3 kHz e de 300 kHz. Fazer uma representação do espectro de amplitude para as duas situações, se  $A_C = 10$  V e  $f_C = 10$  MHz.
- Determinar as frequências instantâneas máxima e mínima para as duas situações, utilizando a tabela seguinte.

<b>n</b>	<b><math>J_n(5)</math></b>	<b><math>J_n(10)</math></b>
0	-0.18	-0.25
1	-0.33	-0.04
2	0.05	0.25
3	0.36	0.06
4	0.39	-0.22
5	0.26	-0.23
6	0.13	-0.01

6 – Uma portadora de 100 MHz está modulada em FM por um sinal sinusoidal com valor de tensão pico-a-pico de 6 V<sub>pp</sub> e frequência 15 kHz. Se a constante de desvio de frequência do sistema for 50 kHz/V. Tendo em conta a tabela, determinar:

- a) A largura de banda de transmissão correspondente a pelo menos 87% da potência total do sinal FM.
- b) As frequências instantâneas máxima e mínima do sinal FM resultante.

<b>n</b>	<b><math>J_n(2)</math></b>	<b><math>J_n(5)</math></b>	<b><math>J_n(10)</math></b>	<b>n</b>	<b><math>J_n(5)</math></b>	<b><math>J_n(10)</math></b>
0	0.22	-0.18	-0.25	8	0.02	0.32
1	0.58	-0.33	0.04	9		0.29
2	0.35	0.05	0.25	10		0.21
3	0.13	0.36	0.06	11		0.12
4	0.03	0.39	-0.22	12		0.06
5		0.26	-0.23	13		0.03
6		0.13	-0.01	14		0.01
7		0.05	0.22			