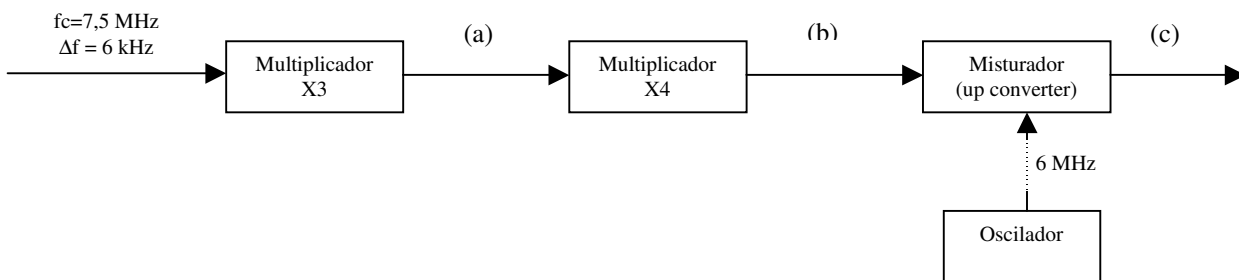


Lista de exercícios 8: Modulação em Frequência

- 1) Determine a equação que representa uma portadora senoidal modulada em frequência por um sinal modulante senoidal.
- 2) Qual é a largura de banda de um sinal modulado em frequência? Este valor é viável na engenharia? Qual a solução?
- 3) A faixa de frequência das emissoras comerciais de rádio difusão sonora em FM estende-se de 88,1 MHz a 107,9 MHz. (ver Anexo 2) Uma determinada emissora opera com uma excursão da portadora de 125 kHz. O espaçamento entre cada canal é de 200 kHz. Segundo a ANATEL, conforme publicado em legislação específica, o desvio máximo de frequência do sinal modulante é de 75 kHz. Determine:
  - a) o número de canais disponíveis na banda de FM comercial;
  - b) a banda de guarda entre os canais de FM;
  - c) o desvio de frequência do sinal modulado;
  - d) a porcentagem de modulação deste sinal;
- 4) O seu velho amigo, dono de uma estação de FM, está querendo “ocupar mais espaço” no espectro, afim de aumentar a percepção de presença. Para isso resolve “esticar” um pouco as coisas, e assim conversa com você se não seria possível levar a excursão da portadora em 180 kHz. “Afinal”, diz ele, “ainda estou dentro da banda de guarda”. O que você diz a seu amigo., à luz da legislação corrente? Justifique.
- 5) Você foi contratado para realizar a análise espectral de uma emissora de FM. O sinal em FM estende-se de 100,02 até 99,8 MHz, quando modulado por uma frequência senoidal de 3 kHz. Determine:
  - a) a frequência da portadora deste sinal, em MHz;
  - b) a excursão da portadora para este sinal, em kHz;
  - c) o índice de modulação neste caso.
- 6) Durante uma visita à uma estação de FM você é informado que no momento estão sendo realizados alguns testes para a implantação da emissora. A portadora modulada em frequência em 100,1 MHz está excursionando entre 100,099 MHz e 100,101 MHz, com uma taxa de 100 vezes por segundo. Determine:
  - a) a frequência do sinal modulante,  $f_m$ , em Hz;
  - b) o desvio de frequência,  $\Delta f$ , em Hz;
  - c) caso o sinal passe a excursionar entre 100,102 MHz e 100,098 MHz qual o efeito perceptível no desvio de frequência;
  - d) o índice de modulação em cada caso acima.



- 13) Determine a equação que determina a largura de banda de um sinal modulado em frequência em função do sinal modulante, conhecida como Regra de Carson. Qual a porcentagem da potência total é abrangida por esta largura de banda?
- 14) Uma onda senoidal com frequência de 5000 rad/s é modulada em frequência por um sinal de 5 rad/s com índice de modulação igual a 10. Determine a largura de banda do sinal modulado
- 15) Uma emissora de FM opera em 97,5 MHz com uma potência de 75 kW, com um índice de modulação igual a 0,25. Determine a potência normalizada nas bandas laterais e na portadora.
- 16) Uma senóide modulada em frequência apresenta um desvio de 5 kHz quando modulada por um sinal senoidal de 3 kHz. Determine:

- 7) Um sinal de 1 MHz é modulado em frequência por dois tons, 200 Hz e 125 Hz. Determine:
  - a) a equação que descreve o sinal, considerando-se uma amplitude da portadora A e índices de modulação  $\beta_1$  e  $\beta_2$ ;
  - b) a composição espectral do sinal.
- 8) Um sinal com modulação angular com amplitude 2 volts é modulado por dois tons, 30 Hz e 20 Hz, com índices de modulação respectivamente iguais a 2 e 5. Determine:
  - a) a equação do sinal;
  - b) o desvio máximo de fase, em radianos;
  - c) o desvio instantâneo de frequência em  $t = 1/1000$  segundo;
  - d) o desvio instantâneo de frequência em  $t = 1/100$  segundo;
  - e) o desvio instantâneo de frequência em  $t = 1/60$  segundo;
  - f) o desvio instantâneo de frequência em  $t = 1/30$  segundo;
  - g) o desvio instantâneo de frequência em  $t = 1/10$  segundo;
  - h) o desvio instantâneo de frequência em  $t = 1/5$  segundo;
  - i) o desvio instantâneo de frequência em  $t = 1/2$  segundo;
  - j) o desvio instantâneo de frequência em  $t = 1$  segundo.
- 9) Uma portadora em 5 MHz é modulada em frequência por um tom de 4 kHz. O sinal de saída é uma portadora em 50 MHz com um desvio de frequência de 24 kHz. Como é possível obter-se tal sinal a partir do sinal original?
- 10) Um circuito multiplicador é constituído por um amplificador em Classe C com um circuito sintonizado em paralelo como carga do coletor. A frequência do sinal de entrada é 1 MHz, o fator de multiplicação é 3, o capacitor de sintonia é de 200 pF e o Q do indutor é igual a 30. A corrente de coletor é uma senóide retificada com amplitude de pico igual a 50 mA. Determine:
  - a) uma expressão para a frequência de ressonância em função de L;
  - b) a indutância L em  $\mu H$ ;
  - c) a impedância R na ressonância;
  - d) a amplitude da tensão do terceiro harmônico sobre o circuito ressonante.
- 11) Segundo a legislação, o desvio máximo de frequência deve ser limitado a 75 kHz em emissoras de radiodifusão sonora em frequência modulada, FM. Considere que no estúdio o sinal de áudio é limitado em frequência entre 30 Hz e 15 kHz.
  - a) determine a faixa máxima de variação do índice de modulação,  $\beta$ ;
  - b) repita o item acima para um sistema de modulação em FM em faixa estreita (NBFM), para o qual o desvio máximo de frequência  $\Delta f$  é 10 kHz e a faixa de frequências de modulação estende-se de 100 Hz a 3 kHz.
- 12) Para o receptor de FM representado no diagrama em blocos abaixo, determine o desvio de frequência  $\Delta f$  e a frequência portadora,  $f_c$  nos pontos (a), (b) e (c).

- a) a largura de banda do sinal para 98% da potência do sinal;
- b) a largura de banda pela regra de Carson;
- c) o índice de modulação;
- d) a nova largura de banda se a frequência do sinal modulante é aumentada para 4 kHz e a amplitude diminuída de um fator de 2.
- 17) Uma portadora com amplitude igual a 4 volts e frequência de 2 MHz é modulada em frequência por um sinal senoidal com amplitude de 2 volts e frequência igual a 500 Hz. O desvio de frequência obtido neste caso é igual a 1 kHz. Determine a equação do sinal modulado e a relação Hz / V do modulador.
- 18) Um sinal com modulação angular é expresso por:  $v(t) = 10 \cos(2 \times 10^7 \pi t + 20 \cos(1000 \pi t))$ . Determine:

- a) a frequência da portadora;  
 b) a frequência do sinal modulante;  
 c) o desvio máximo de frequência;  
 d) o índice de modulação;  
 e) a largura de banda para 98% da potência total.
- 19) Para um modulador binário FSK, com frequências espaço, descanso e marca respectivamente de 60, 70 e 80 MHz e uma taxa de bits de entrada de 20 Mbps, determine a taxa de saída em bauds e a largura mínima de saída.

$$IM = \frac{|f_m - f_s|}{f_b}$$

- 20) Integre um sinal, passe por um modulador de fase e o que você tem? Exatamente! Um sinal modulado em frequência!!! Projete um integrador, à partir de um amplificador operacional com malha resistiva – capacitiva, com frequência de corte em 1000 Hz. Determine em seguida a constante de integração. Qual seria o resultado da aplicação de um sinal senoidal com 1 volt de amplitude e frequência de 1000 Hz no seu integrador?
- 21) Durante a análise de um sinal recebido em um sistema de telecomunicações você constatou que a equação que descreve o sinal é  $v(t) = 10 \cos(10^6 t + 200 \sin 500t)$  volts. Determine:
- a) a largura de banda do sinal recebido;  
 b) o sinal modulante  $m(t)$ , caso o sinal recebido esteja modulado em frequência;  
 c) o sinal modulante  $m(t)$ , caso o sinal recebido esteja modulado em fase.

Tabela 1: Frequências laterais FM à partir das Funções de Bessel

Índice de Modulação ( $\beta$ )	J0	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14
0,0	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,25	0,98	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,5	0,94	0,24	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,0	0,77	0,44	0,11	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,5	0,51	0,56	0,23	0,06	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,0	0,22	0,58	0,35	0,13	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,5	-0,05	0,50	0,45	0,22	0,07	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,0	-0,26	0,34	0,49	0,31	0,13	0,04	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
4,0	-0,4	-0,07	0,36	0,43	0,28	0,13	0,05	0,02	-	-	-	-	-	-	-
5,0	-0,18	-0,33	0,05	0,36	0,39	0,26	0,13	0,05	0,02	-	-	-	-	-	-
6,0	0,15	-0,28	-0,24	0,11	0,36	0,36	0,25	0,13	0,06	0,02	-	-	-	-	-
7,0	0,30	0,00	-0,30	-0,17	0,16	0,35	0,34	0,23	0,13	0,06	0,02	-	-	-	-
8,0	0,17	0,23	-0,11	-0,29	-0,10	0,19	0,34	0,32	0,22	0,13	0,06	0,03	-	-	-
9,0	-0,09	0,24	0,14	-0,18	-0,27	-0,06	0,20	0,33	0,30	0,21	0,12	0,06	-	-	-
10,0	-0,25	0,04	0,25	0,06	-0,22	-0,23	-0,01	0,22	0,31	0,29	0,20	0,12	0,06	0,03	0,01

Tabela 2: canalização radio difusão de sons em FM

Canal	Frequência da portadora - MHz
201	88,1
202	88,3
203	88,5
204	88,7
205	88,9
206	89,1
207	89,3
208	89,5
209	89,7
210	89,9
211	90,1
212	90,3
213	90,5
214	90,7
215	90,9
216	91,1
217	91,3
218	91,5
219	91,7
220	91,9
221	92,1
222	92,3
223	92,5
224	92,7
225	92,9
226	93,1
227	93,3
228	93,5
229	93,7
230	93,9
231	94,1
232	94,3
233	94,5
234	94,7
235	94,9
236	95,1
237	95,3
238	95,5
239	95,7
240	95,9
241	96,1
242	96,3
243	96,5
244	96,7
245	96,9
246	97,1
247	97,3
248	97,5
249	97,7
250	97,9
251	98,1

Canal	Frequência da portadora - MHz
252	98,3
253	98,5
254	98,7
255	98,9
256	99,1
257	99,3
258	99,5
259	99,7
260	99,9
261	100,1
262	100,3
263	100,5
264	100,7
265	100,9
266	101,1
267	101,3
268	101,5
269	101,7
270	101,9
271	102,1
272	102,3
273	102,5
274	102,7
275	102,9
276	103,1
277	103,3
278	103,5
279	103,7
280	103,9
281	104,1
282	104,3
283	104,5
284	104,7
285	104,9
286	105,1
287	105,3
288	105,5
289	105,7
290	105,9
291	106,1
292	106,3
293	106,5
294	106,7
295	106,9
296	107,1
297	107,3
298	107,5
299	107,7
300	107,9