



UNIVERSIDADE
TÉCNICA DO
ATLÂNTICO



CAMPUS
DO MAR

UNIVERSIDADE TÉCNICA DO ATLÂNTICO
ENGENHARIA INFORMÁTICA E TELECOMUNICAÇÕES
SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES

Trabalho Prático sobre modulação AM

Walter dos Santos

7 Junho 2022

Ferramentas usadas para realização do trabalho:



MATLAB®



Conteúdo

1 Objetivo	1
2 Introdução	2
3 Modulação AM, procedimento	3

1) Objetivo:

O objetivo deste trabalho é modular um sinal em amplitude (AM; DSB-SC e SSB) e efetuar a sua desmodulação. Serão usadas diferentes técnicas de desmodulação, permitindo a comparação do desempenho de cada uma, pondo em evidência algumas restrições de utilização.

2) Introdução:

Nesta experiência considera-se-á um sinal composto pela soma de duas sinusóides de frequência e amplitudes diferentes, que será utilizado para modular uma portadora em amplitude. Serão consideradas as três formas básicas de modulação de amplitude: AM com portadora.

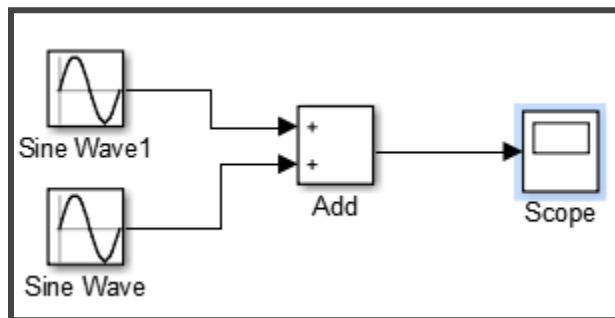
DSB-SC(Double SideBand-Suppressed Carrier) e SSB(Single SideBand). A desmodulação também será experimentada, sendo utilizados os métodos de desmodulação por detecção de envolvente e desmodulação coerente.

Neste trabalho, o ambiente de simulação a ser usado será essencialmente o SIMULINK

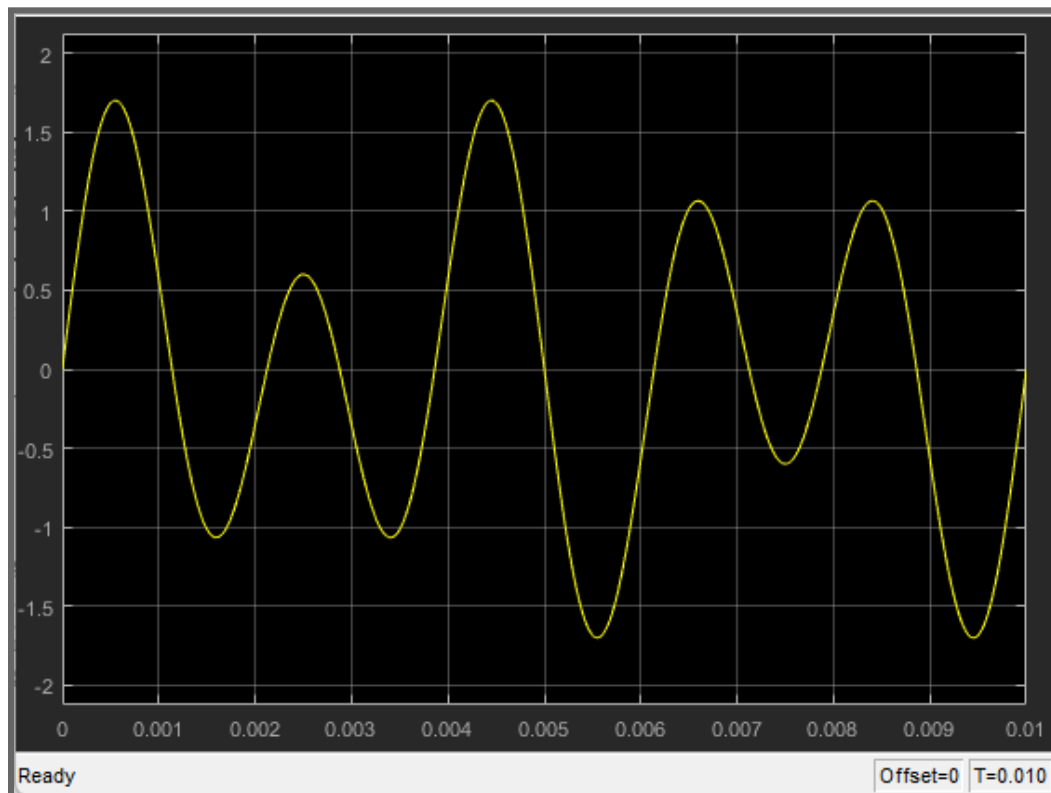
3) Procedimento

3) Resolução:

Diagrama da figura:

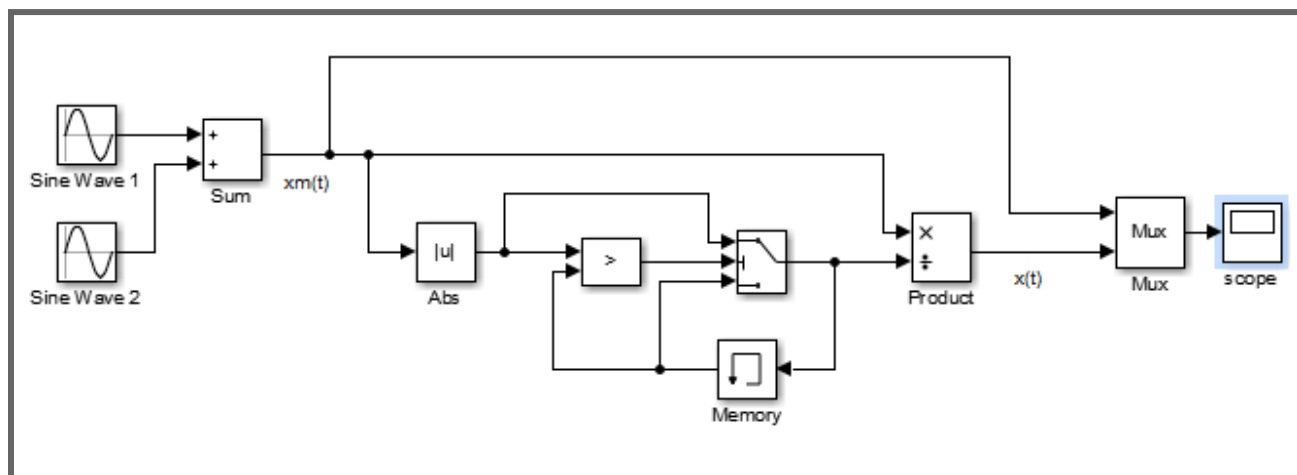


Scope:

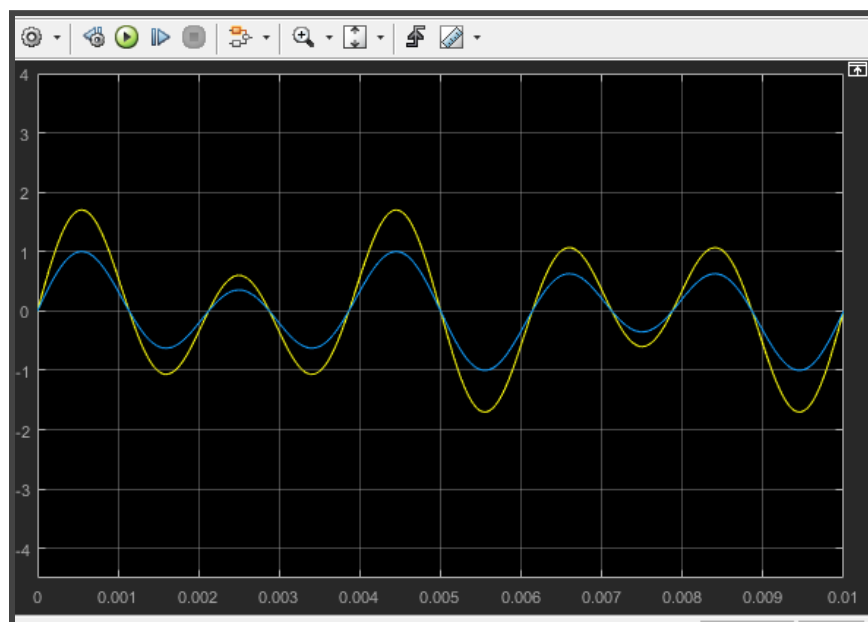


4) Resolução:

Diagrama do circuito:



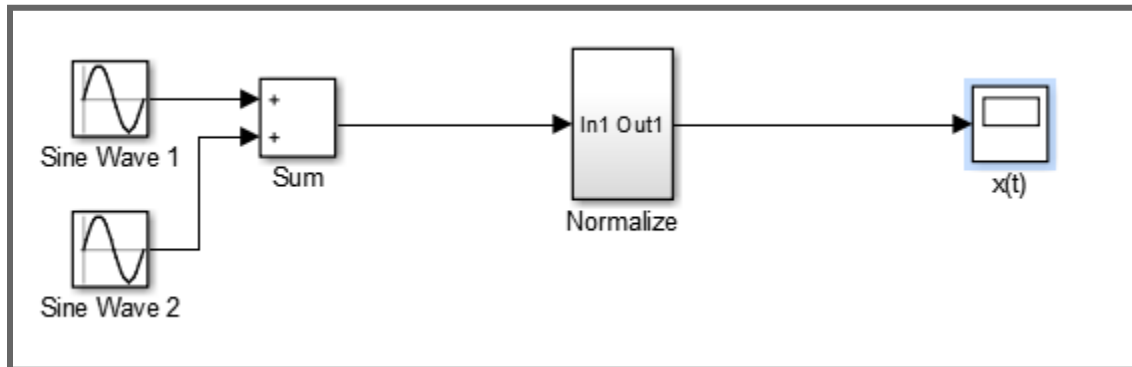
Scope do sinal $x(t)$, azul, normalizado:



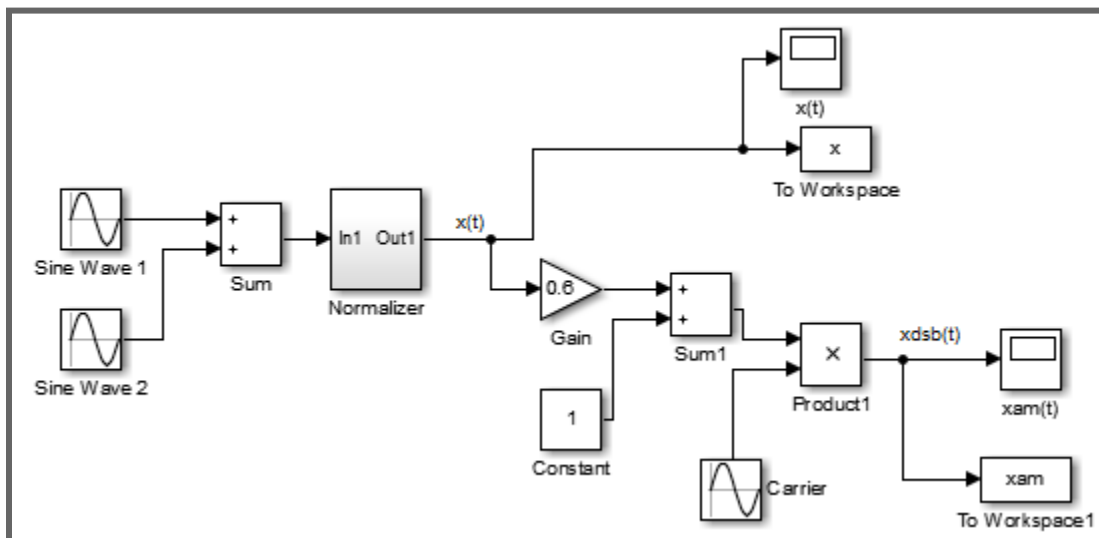
Funcionamento do normalizador:

Resposta: A função de um normalizador é de reduzir a amplitude e frequência de um sinal de modo que este fique nos padrões definidos pela International Telecommunication Unit (ITU) sem que haja distorção do sinal.

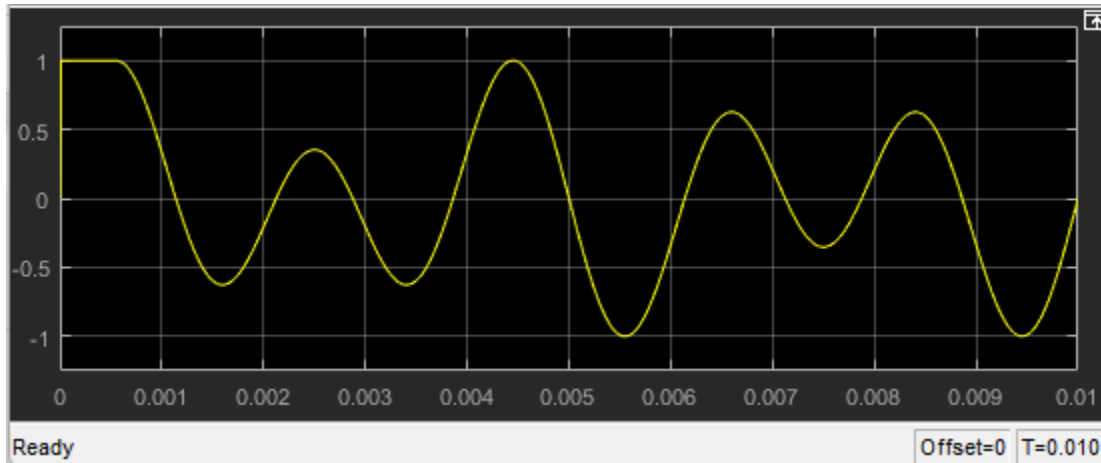
5) Resolução:
Subsistema criado:



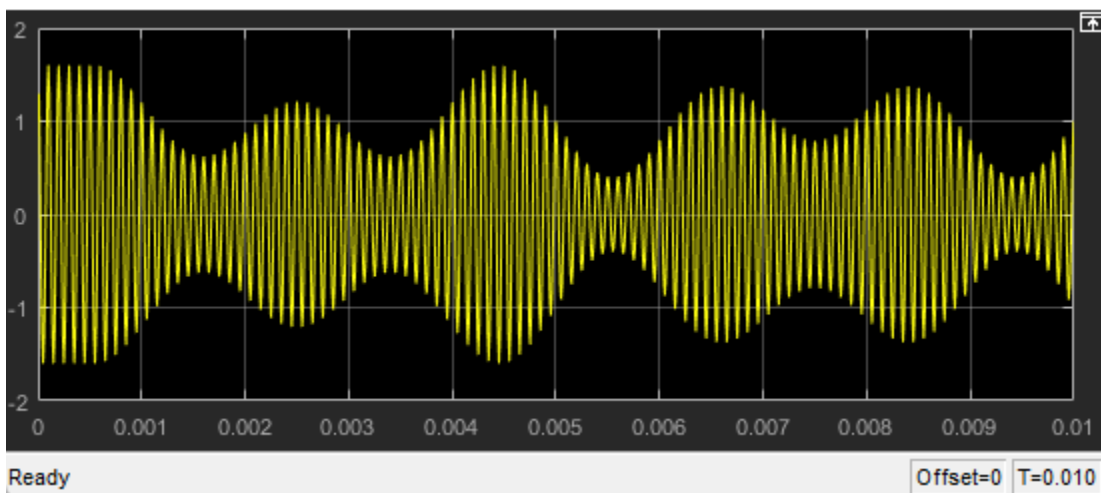
6) Resolução:
Diagrama:



$x(t)$:



$x_{am}(t)$:



Enunciado:

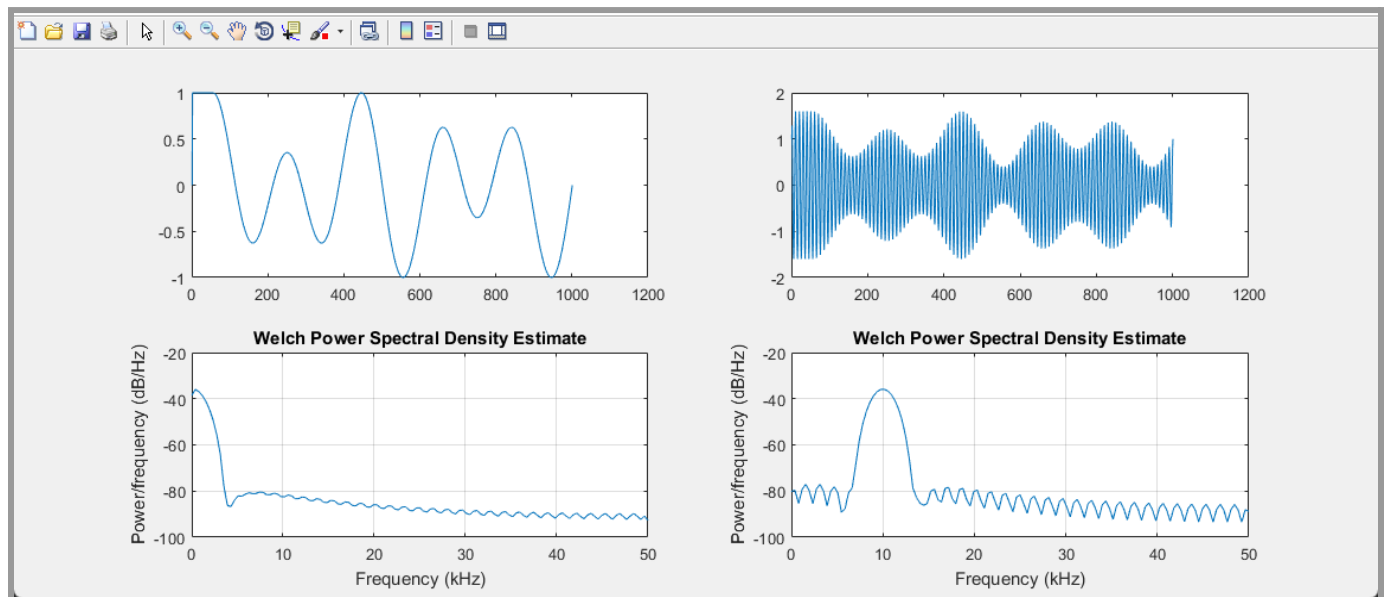
Repare na envolvente do sinal de saída. Consegue encontrar uma relação entre essa envolvente e o sinal modulador? A partir do máximo e do mínimo da envolvente estime o valor do índice de modulação.

Resposta:

A envolvente do sinal e a envolvente do sinal modulado em amplitude atingem os picos máximo e mínimo no mesmo instante de tempo. Sendo que a amplitude máxima é 1.5 e a amplitude mínima é 0.5 o índice de modulação é 50%.

7) Resolução:

Representação gráfica das densidades espectrais de potência dos sinais $x(t)$ e $x_{am}(t)$.



Código usado:

```
fs = 100000;
%ts = linspace(0,0.01,1);
h = spectrum.welch;

Sx1 = psd(h,x,'Fs',fs);
Sxam = psd(h,xam,'Fs',fs);

figure
subplot(2,2,1),plot(x);
subplot(2,2,2),plot(xam);
subplot(2,2,3),plot(Sx1);
subplot(2,2,4),plot(Sxam);
```

8) Resolução:

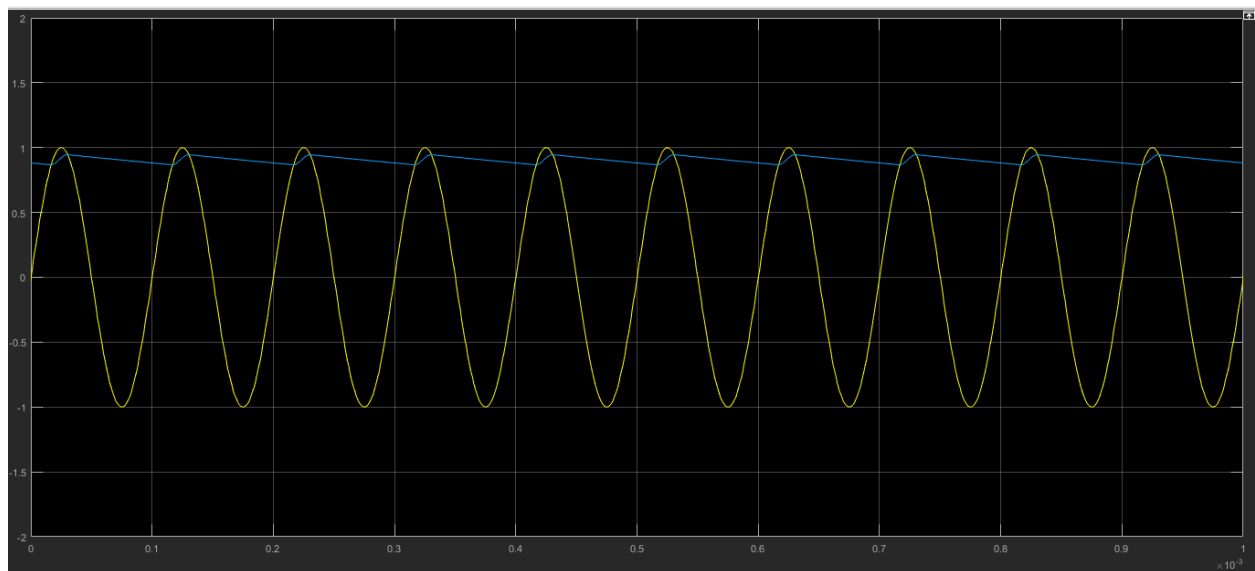
Vai agora ser efectuada a desmodulação do sinal recorrendo a um detector de envolvente (reporte-se à Figura 2).

Entre que valores se deverão encontrar as constantes de tempo de descarga do condensador para uma demodulação eficaz?

- Constante de tempo de descarga mínima: 2s.
- Constante de tempo de descarga máxima: 0.67s.

9) Resolução:

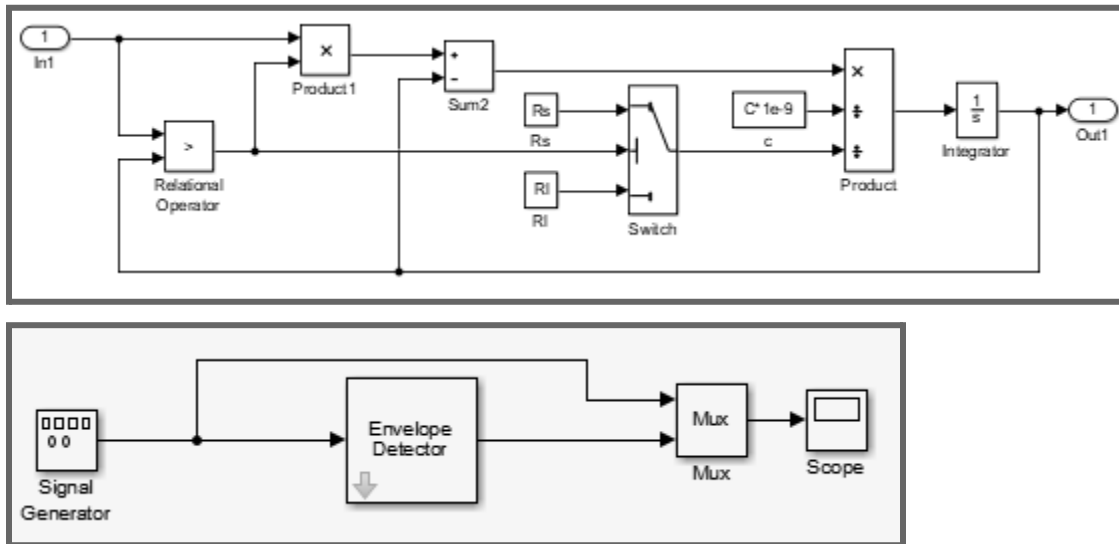
Gráfico:



Explique resumidamente o funcionamento deste detector de envolvente.

Resposta: Quando o sinal (amarelo) aumenta de amplitude a envoltória (roxo) o acompanha com um pequeno erro, mas quando o sinal desce de amplitude a envoltória não consegue acompanhar o sinal de forma perfeita pois o condensador descarrega lentamente através da resistência.

10) Resolução:
Subsistema criado:



11) Resolução:

Use agora o detector de envolvente na janela de simulação do modulador de AM. Faça, então, a desmodulação do sinal com os valores de resistências R_S , R_L e capacidade C correspondentes às duas situações da tabela seguinte:

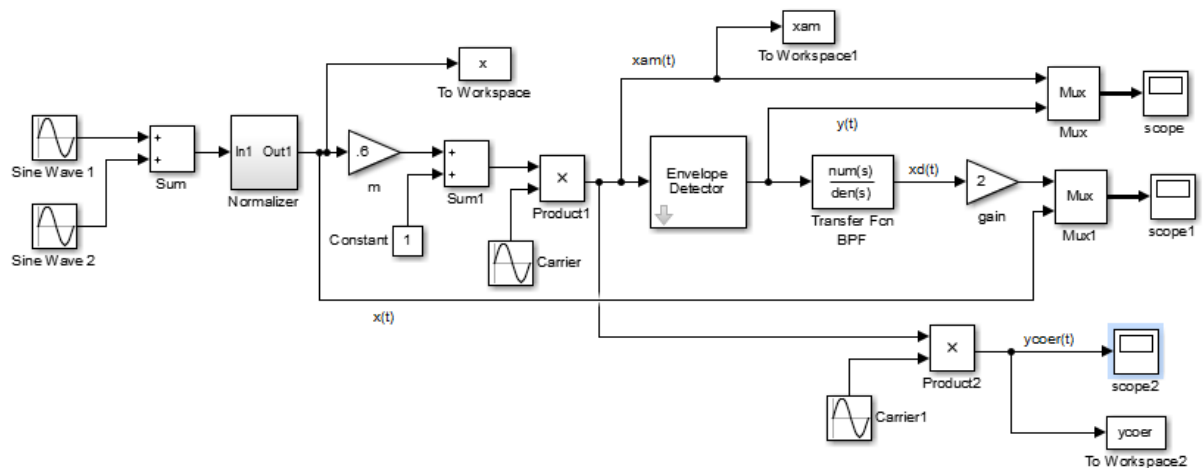
R_s	R_L	C
100 Ω	5 k Ω	100 nF
100 Ω	50 k Ω	100 nF

Efectue a representação do sinal modulador e do sinal desmodulado, para as duas situações anteriores.

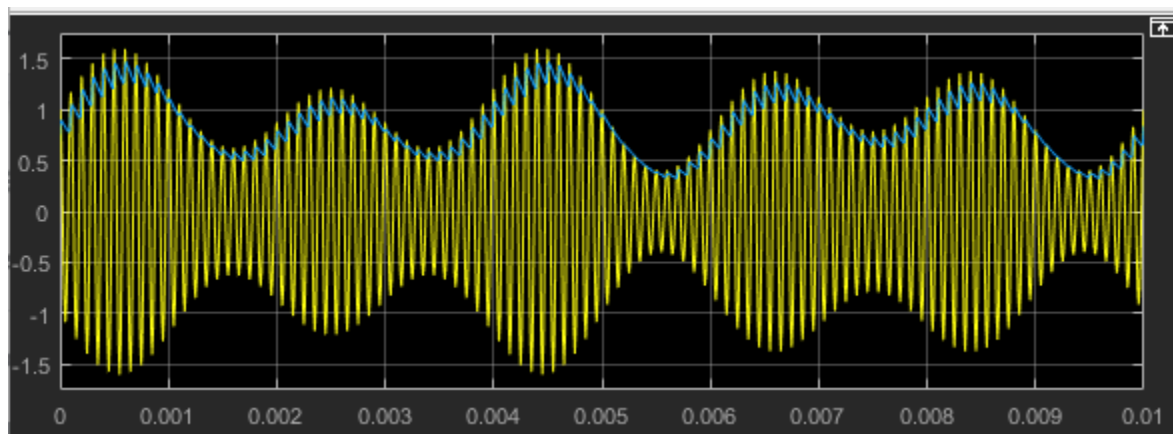
Observou que um dos detectores experimentados origina uma situação de corte em diagonal (*slope overload*). Verifique que a constante de tempo do mesmo não se enquadra nos limites que anteriormente calculou.

12) Resolução:

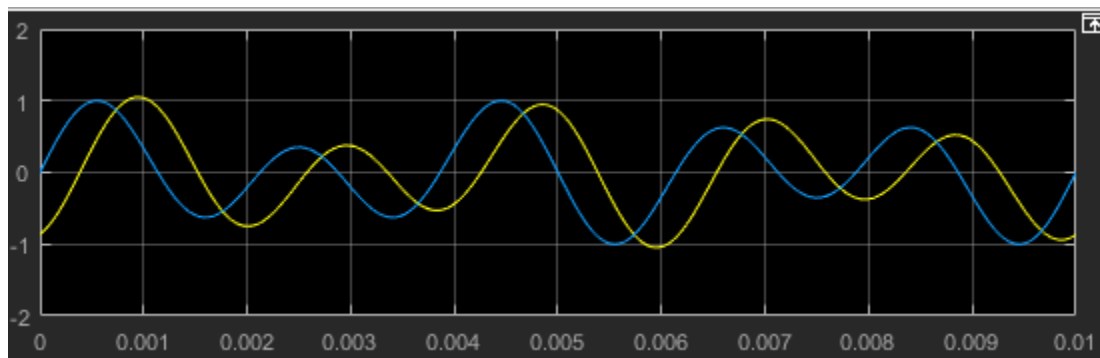
A componente contínua e o ripple podem ser facilmente eliminados recorrendo a uma filtragem passa-banda. Faça passar o sinal de saída do detector de envoltória por um filtro Butterworth passa-banda de ordem 4, em que 50 Hz e 1000 Hz são as frequências inferior e superior de corte, respectivamente. Compare o sinal modulador com o sinal Desmodulado.



Scope:



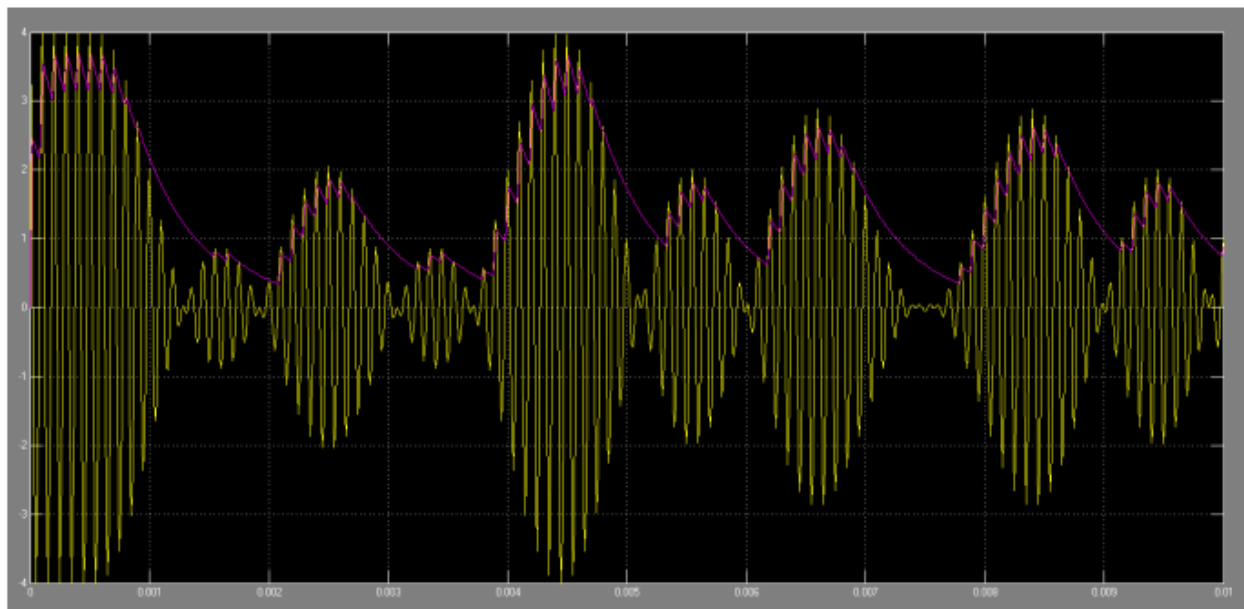
Scope1:



R: Ambos os sinais atingem seus máximos e mínimos no mesmo instante de tempo, ou seja, estão em fase, mas o sinal desmodulado apresenta maior amplitude que o sinal modulador.

13) Enunciado: Se um sinal AM for sobremodulado ($m > 1$), a sua envolvente aparecerá distorcida e o sinal modulador não poderá ser recuperado pelo detector de envolvente. Verifique isso mesmo modificando a simulação para $m = 3$. Repare na envolvente do sinal modulado e repare ainda no resultado obtido pelo detector de envolvente.

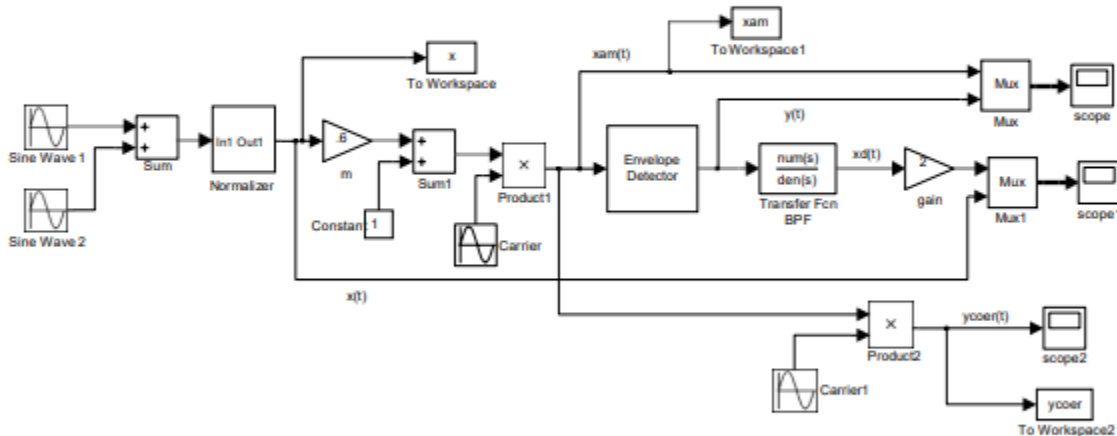
 Resolução:



R: Pelo fato de m ser maior que 1 é notável a sobremodulação e assim a distorção da envoltória que não consegue acompanhar o sinal modulado.

14) Enunciado:

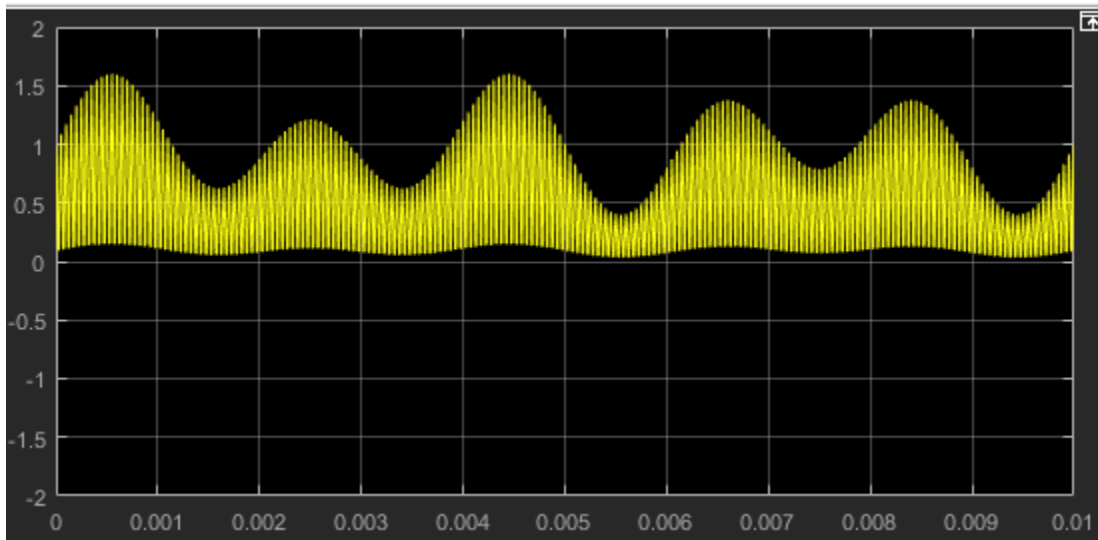
Neste ponto vai ser usada detecção coerente para recuperar o sinal modulador. Para tal, o sinal recebido terá que ser multiplicado por uma onda sinusoidal com a mesma frequência e fase da portadora (recorde a Figura 3). Altere o índice de modulação novamente para $m = 0,6$ e acrescente os blocos necessários para realizar o desmodulador coerente.



Visualize o sinal modulador e o sinal resultante da desmodulação coerente numa gama temporal de 10 ms. Acha que o sinal resultante é uma boa aproximação do sinal modulador original, $x(t)$, ou será ainda necessário efectuar mais alguma operação?

 Resolução:

Scope2:



R: A desmodulação é boa, mas é preciso usar um filtro passa-baixo para eliminar frequências espectrais.

15) Resolução:

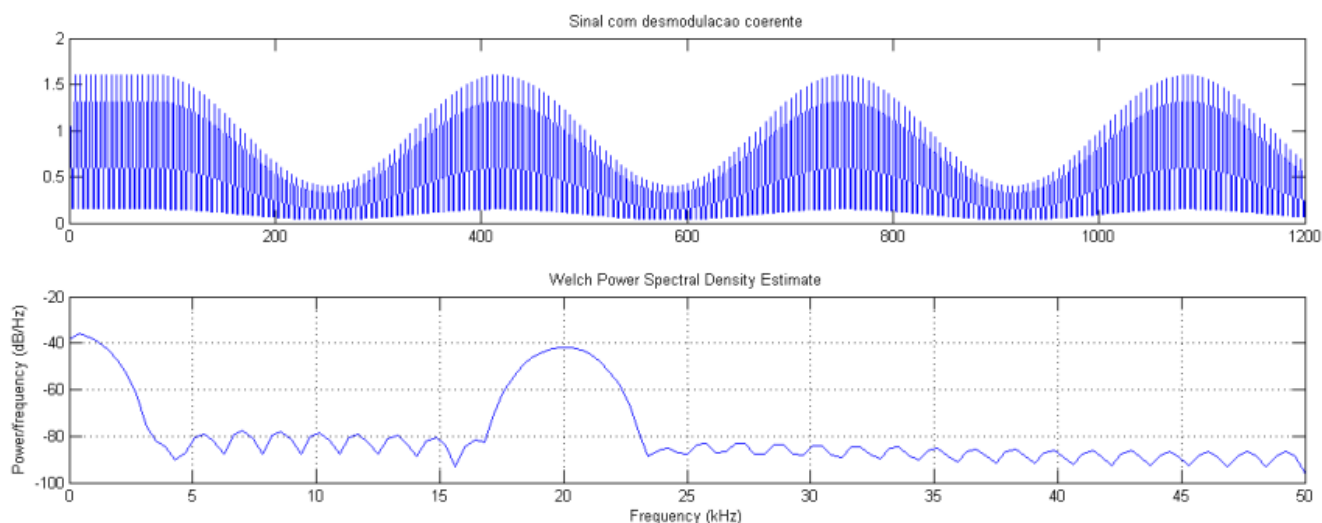


Figure 8 - Desmodulação coerente

Enunciado: Como pode ver pela representação anterior é necessário passar o sinal $y_{coer}(t)$ por um filtro passa-baixo para eliminar componentes espectrais centradas em $2 f_c$. Explique o aparecimento destas componentes espectrais.

R: Estas componentes apareceram, porque o sinal modulado em amplitude foi multiplicado pela frequência de portadora que acrescentou ao sinal frequências indesejáveis.

Enunciado: Passe o sinal $y_{coer}(t)$ por um filtro passa-baixo de frequência de corte adequada e represente graficamente o sinal obtido, comparando-o com o sinal modulador original, $x(t)$.

R: Sendo que $f_c = 1/(2\pi R C)$ e $R = 5100$ ohms e $C = 100$ nF, logo a frequência de corte apropriada é 312.23 Hz.

