



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

*Fundamentos de Telecomunicações*  
*2004/2005 – Eng<sup>a</sup> Sistemas e Informática*

**Trabalho nº1**

**Título: *Modulação de Amplitude***

**1 Objectivos**

O objectivo deste trabalho é o estudo da modulação em amplitude (AM convencional). Serão usadas diferentes técnicas de desmodulação, permitindo a comparação do desempenho de cada uma.

A realização do trabalho tem por objectivo ajudar o aluno a compreender e a assimilar os conceitos leccionados nas aulas teóricas.

**2 Metodologia**

Antes da aula o aluno deverá ler o guia e resolver todas as questões que exigem cálculos analíticos.

Durante a aula deve de responder às perguntas do guia.

No fim da aula deve de enviar por e-mail, ao professor, o relatório em formato PDF.

**3 Preliminares teóricos**

Nos sistemas de amplitude modulada (AM) a amplitude da portadora varia de acordo com o sinal modulante  $x(t)$ :

$$x_{AM}(t) = A_p [1 + \mu x(t)] \cos|\omega_p t| \quad (1)$$

O índice de modulação  $\mu$ , é uma constante positiva.

No domínio da frequência temos que:

$$X_{AM}(f) = \frac{A_p}{2} \delta(f + f_p) + \frac{A_p}{2} \delta(f - f_p) + \frac{A_p}{2} \mu X(f + f_p) + \frac{A_p}{2} \mu X(f - f_p) \quad (2)$$

Embora seja possível utilizar desmodulação coerente o método mais simple e corrente de desmodulação usa um detector de envolvente como o representado na Fig.1.

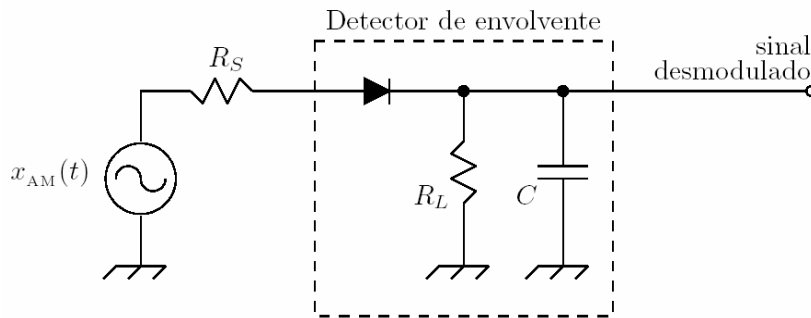


Figura 1: Detector de envolvente.

#### 4 Cálculo da potência de um sinal

De um modo geral os sinais podem ser classificados em 3 categorias alargadas: sinais de potência, sinais de energia e sinais que não são nem de potência nem de energia.

Um exemplo de um sinal de potência é um sinal determinístico, com duração infinita, periódico, constituído por uma ou mais do que uma senoide, trata-se de um sinal com energia infinita caracterizado por ter uma determinada potência média.

A potência de um sinal periódico, com período  $T_0$ , é dada por:

$$S_x = \frac{1}{T_0} \int_{t_0} |x(t)|^2 dt$$

No domínio da frequência, a potência do sinal é dada pelo teorema de Parseval

$$S_x = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |c_n|^2 \quad (3)$$

$$S_x = \int_{-\infty}^{\infty} G_x(f) df \quad \text{e} \quad G_x(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |c(nf_0)|^2 \delta(f - nf_0)$$

$G_x$  é a densidade espectral de potência, e  $c_n$  são os coeficientes da expansão em série no exponencial de Fourier do sinal  $x(t)$

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n \exp(j2\pi n t / T_0) \quad (4)$$

A interpretação gráfica do teorema de Parseval é extremamente simples e poderosa, e diz-nos que a potência média de um sinal é a soma da potência de cada linha espectral que compõe o sinal. Podemos considerar densidade espectral de potência  $G_x(f)$ .

$$G_x(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |c(nf_0)|^2 \delta(f - nf_0) \quad (5)$$

**Exercício 1 (Cálculo da potência de um sinal sinusoidal)**

Considere o sinal

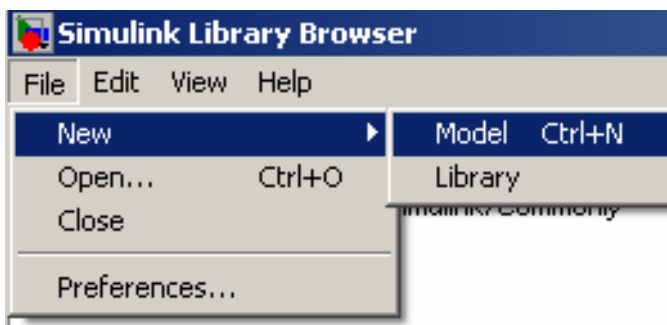
$$x(t) = A_x \cos 2\pi f_x t \text{ com } A_x = 1 \text{ e } f_x = 256 \text{ Hz} \quad (6)$$

a) Calcule analiticamente a potência do sinal  $x(t)$ , no domínio do tempo e no domínio da frequência.

b) Execute uma sessão SIMULINK executando na janela do MATLAB o comando:

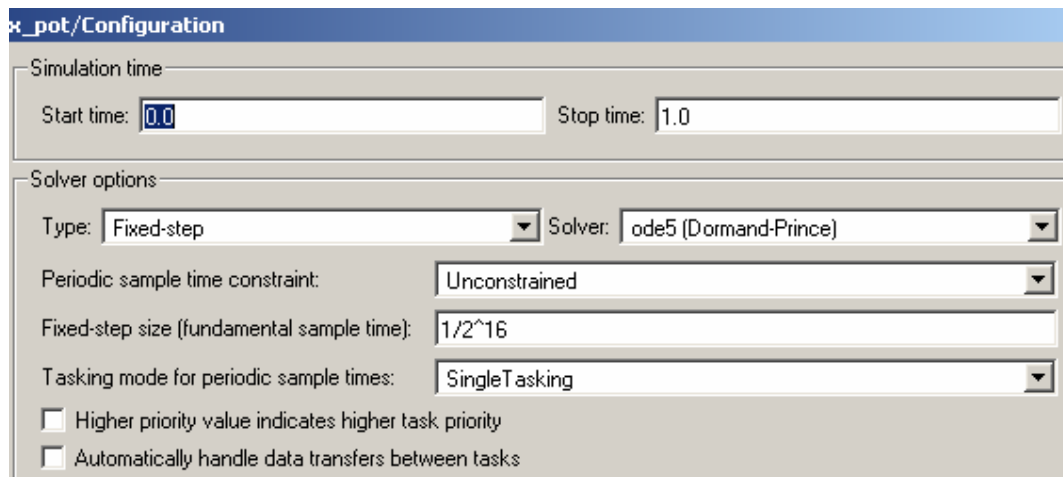
```
>> simulink
```

c) Abra uma janela de simulação, onde vai colocar os vários blocos, efectuando:



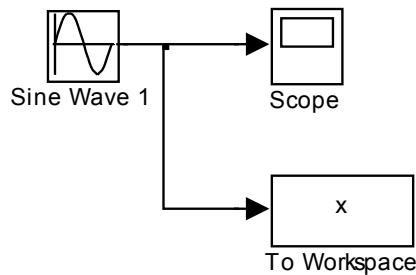
d) Grave com o nome amod.mdl.

e) Os parâmetros de simulação a usar nesta experiência devem de ser:



f) Cria o sinal mensagem, usando 1 gerador

O diagrama a obter deverá ser semelhante ao da figura seguinte:



Observe o sinal resultante no osciloscópio. Envie o sinal  $x(t)$  para o workspace, tenha o cuidado de selecionar a opção *Save Format: array*

g) A densidade espectral de potência do sinal pode ser calculada numericamente utilizando-se o seguinte programa do MATLAB

```
Fs=2^16;
h = spectrum.periodogram('hamming');
hopts = psdopts(h,x); % Default options
set(hopts,'Fs',Fs,'SpectrumType','twosided','centerdc',true);
msspectrum(h,x,hopts);
```

Compare o resultado obtido com o resultado calculado. Comente.

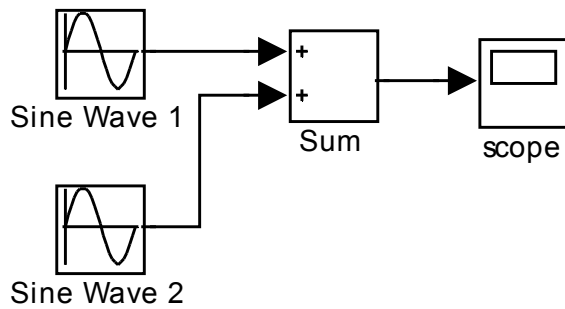
## Exercício 2 (Modulador AM)

O objectivo deste exercício é a implementação de um modulador AM.

a) Cria agora o sinal mensagem,  $x_m(t) = a_1 \sin(2\pi f_1 t) + a_2 \sin(2\pi f_2 t)$ , usando dois geradores sinusoidais com as seguintes características:

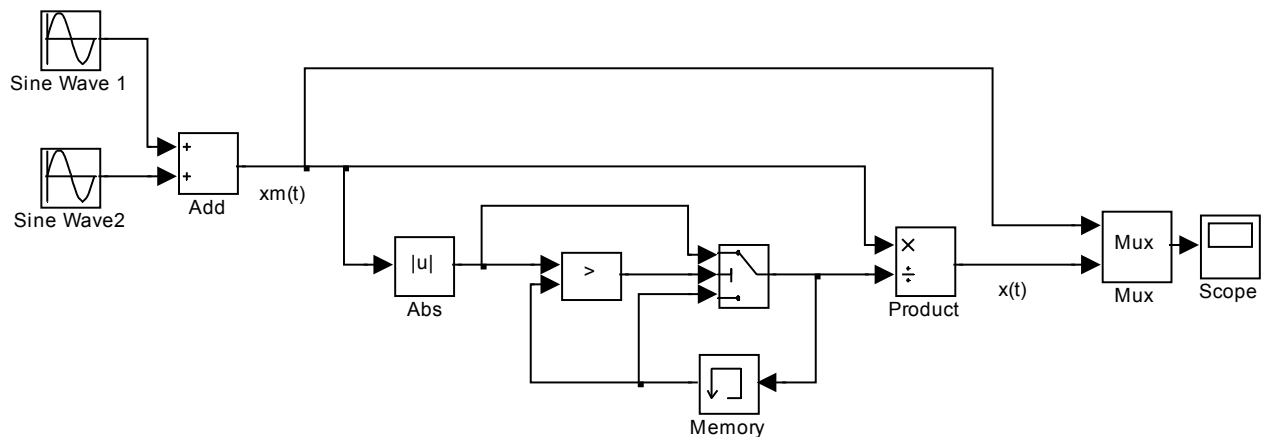
Parâmetro	Sine Wave 1	Sine Wave 2
Amplitude	0.6	1.2
Frequency (Hz)	256	512
Phase (rad)	0	0
Sample time	0	0

O diagrama a obter deverá ser semelhante ao da figura seguinte:



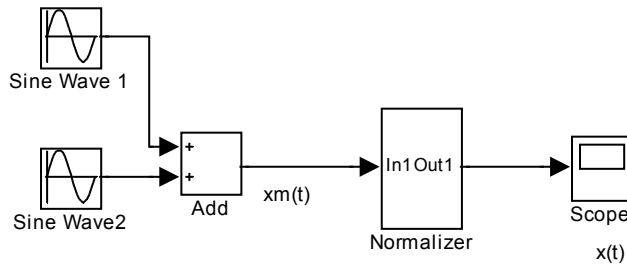
Observe o sinal resultante no osciloscópio. Calcule analiticamente a potência do sinal no domínio da frequência e compare o resultado com o calculo numerico do MATLAB. Comente.

b) Em seguida é necessário normalizar o sinal  $x_m(t)$  de tal modo que  $|x_m(t)| \leq 1$ . Um conjunto possível de blocos SIMULINK capazes de efectuarem essa normalização de uma forma automática, encontra-se representada a seguir:

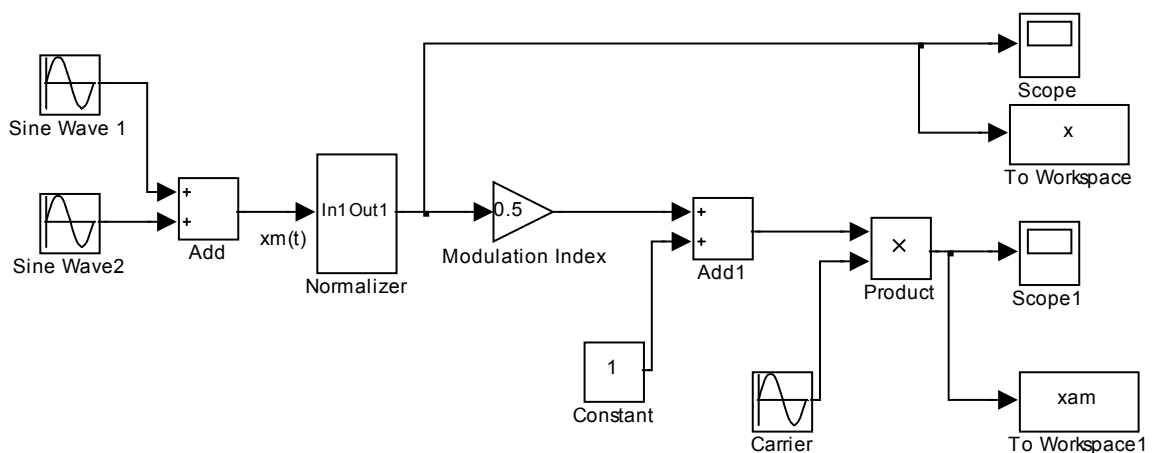


Verifique que o sinal de saída,  $x(t)$ , se encontra normalizado. Explique sucintamente o funcionamento do normalizador.

c) De modo a simplificar a janela de simulação, é conveniente agrupar os blocos associados à mesma função num *subsistema*. Crie um subsistema designado por normalizer recorrendo seleccionando os blocos do normalizador e recorrendo ao menu: *Edit > Create Subsystem*.



d) Agora que já tem o sinal mensagem normalizado o passo seguinte é modular uma portadora  $x_p(t) = A_p \cos(2\pi f_p t)$  com frequência  $f_p = 10.24 \text{ kHz}$  e amplitude  $A_p = 1$ . O diagrama de blocos fica, por exemplo, como o apresentado a seguir:



e) Visualize os sinais  $x(t)$  e  $x_{am}(t)$  numa gama temporal de 10 ms. Compare o sinal AM simulado com o sinal analítico quer no domínio do tempo quer no domínio da frequência.

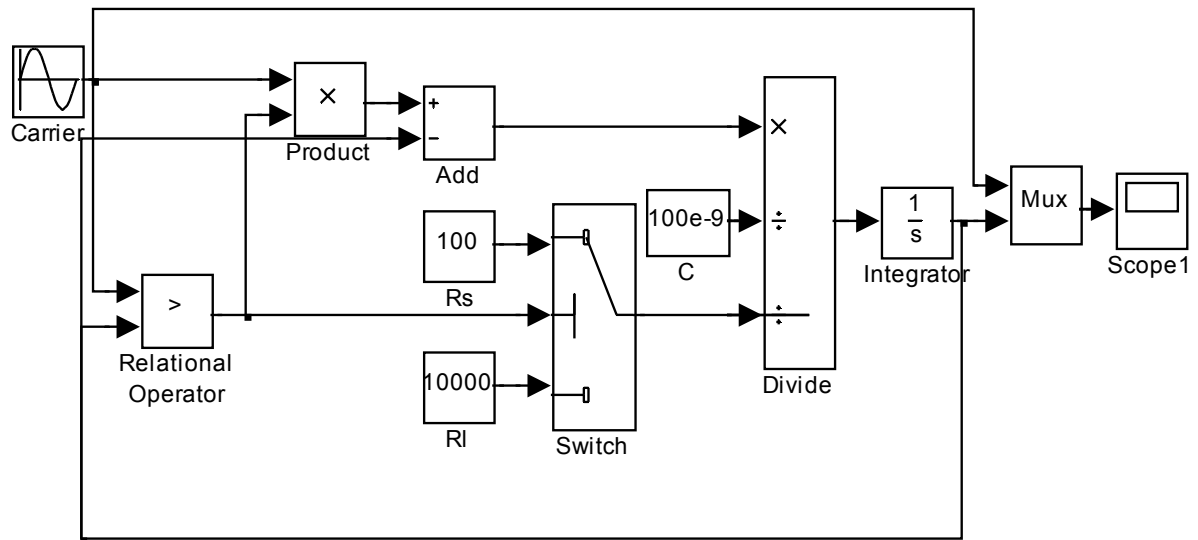
f) Repare na envolvente do sinal de saída. Consegue encontrar uma relação entre a envolvente do sinal  $x_{am}(t)$  e o sinal modulador? A partir do máximo e do mínimo da envolvente estime o valor do índice de modulação.

g) Faça um gráfico da razão  $\frac{\text{Potência das Bandas Laterais}}{\text{Potência Total}}$  versus Índice de Modulação. Faça variar o índice de modulação de 0.1 até 1.0 em passos de 0.1. Indique a metodologia utilizada e comente o resultado obtido.

### Exercício 3 (Detector de envolvente)

O objectivo deste exercício é a desmodulação do sinal AM recorrendo a um detector de envolvente.

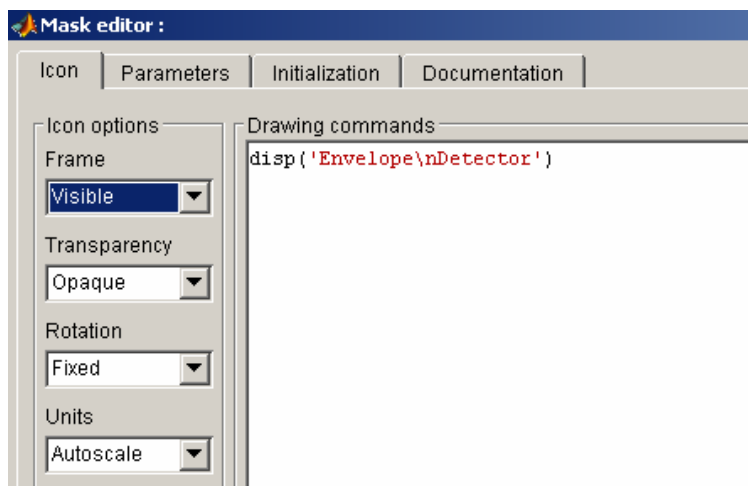
a) Implemente o detector de envoltória. Um exemplo, embora simplificado, está representado na figura seguinte:

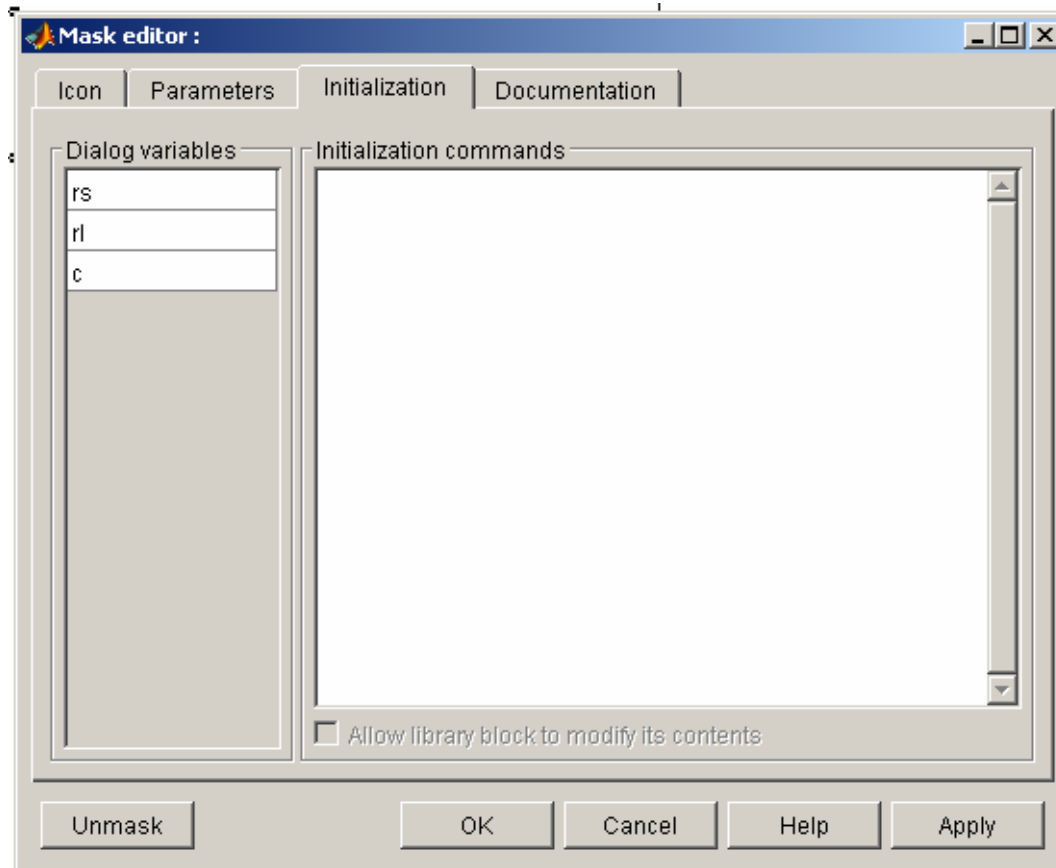
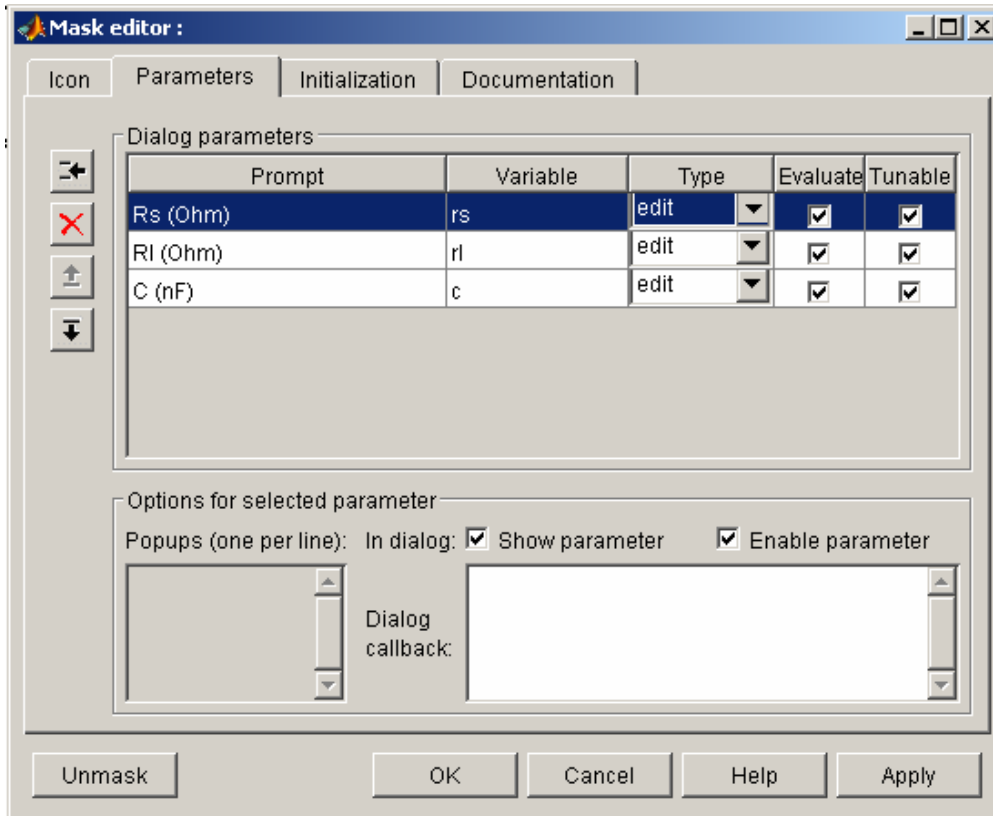


Teste o funcionamento do detector de envoltória para uma forma de onda sinusoidal com 10 kHz de frequência e 1 V de amplitude.

Explique resumidamente o funcionamento deste detector de envoltória.

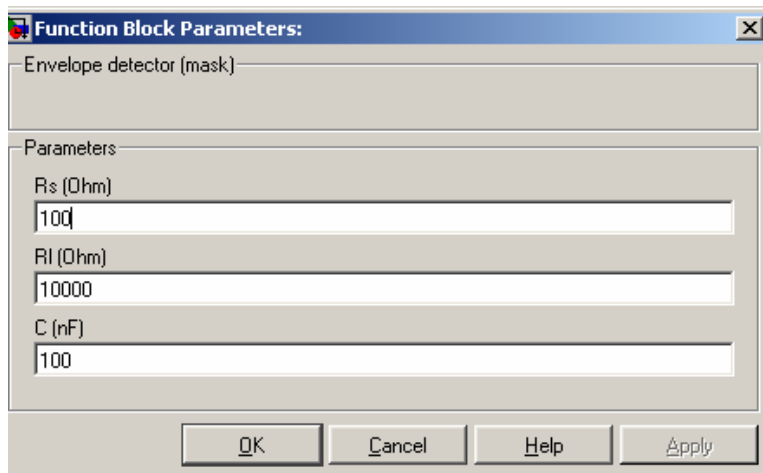
b) Crie um subsistema a partir dos blocos do detector de envoltória, antes de criar o subsistema, retire os valores de  $R_s=100$ ,  $R_I=10000$  e  $C=100e-9$ , e coloque variáveis, no caso do condensador use  $c*1e-9$ . De seguida use a facilidade de ‘mascarar’ o subsistema de modo a proporcionar parâmetros de configuração ao detector. Pode fazer isto através do menu: *Edit>Mask Subsystem* e preenchendo os campos de *Icon*, *Parameters*, e *Inicialization*.







A janela de configuração do detector de envoltório deve de ser



#### **Exercício 4 (Receptor AM usando detector de envoltório)**

Vai agora efectuar a desmodulação do sinal AM recorrendo ao detector de envoltório.

- Entre que valores se deverão encontrar as constantes de tempo de descarga do condensador para que seja efectuada uma desmodulação eficaz?
- Use agora o detector de envoltório na janela de simulação do modulador de AM. Faça, a desmodulação do sinal com valores de resistências  $R_l$  e  $C$ , calculados anteriormente. Compare o resultado com a desmodulação utilizando  $RIC$  muito pequeno e  $RIC$  muito grande. Comente os resultados.
- 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 envoltório 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. Comente.
- Se um sinal AM for sobremodulado (*Índice de modulação*  $> 1$ ), a sua envoltório aparecerá distorcida e o sinal modulador não poderá ser recuperado pelo detector de envoltório. Verifique isso mesmo utilizando um índice de modulação de 3.

#### **Exercício 5 (Receptor AM usando detecção coerente)**

- Para proceder à detecção coerente do sinal AM, multiplique o sinal recebido por um sinal sinusoidal com a mesma frequência e fase da portadora. Use um índice de modulação de 0.5. Compare o resultado do simulador com o resultado analítico calculado por si, quer no domínio temporal como na frequência.
- Acha que o sinal resultante é uma boa aproximação do sinal modulador original, ou será que necessita ainda de efectuar mais alguma operação?