

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE  
COMPUTAÇÃO - FEEC**

**EE 882 – LABORATÓRIO DE COMUNICAÇÃO I**

**EXPERIÊNCIA 5**

**DEMODULAÇÃO AM e FM**

# Parte Teórica

## 1. INTRODUÇÃO

Neste experimento, estudam-se os circuitos básicos empregados em receptores AM/ASK e FM/FSK. Analisam-se os aspectos básicos necessários para a detecção da forma de onda enviada, analógica ou digital. O processo inverso ao da modulação é chamado demodulação e consiste em trasladar o sinal de banda passante para a banda básica.

## 2. DEMODULAÇÃO AM/ASK

A demodulação AM consiste basicamente em se detectar a envoltória da portadora, onde se encontra a informação. Para um sinal AM-DSB, este processo resulta no traslado para a origem do espectro do sinal centrado na frequência da portadora, como ilustrado na Figura 1.

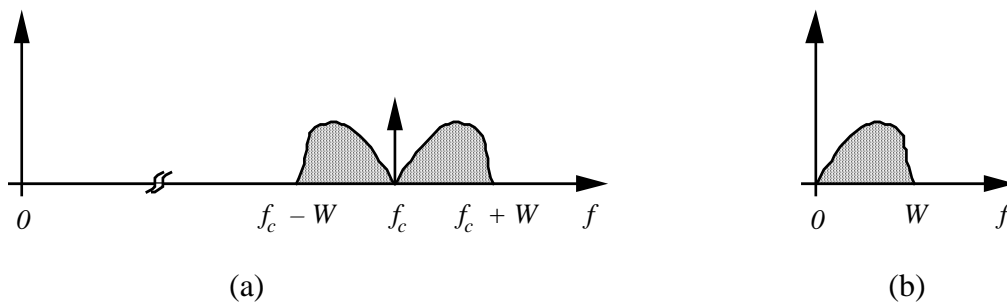


Fig. 1 a) Espectro de um sinal modulado em AM e b) Espectro demodulado.

Os detectores (ou demoduladores) AM podem ser classificados como detectores de envoltória (pico) ou de média.

### 2.1 Detector de Envoltória

O demodulador AM mais simples é conhecido como detector de envoltória. A detecção de envoltória consiste em passar o sinal modulado  $x_c(t)$  por um dispositivo não-linear, seguido de uma filtragem passa-baixa para eliminar as altas frequências. A não-linearidade pode ser produzida por diodo, enquanto que o filtro pode ser construído utilizando um resistor e um capacitor, como ilustrado na Figura 2

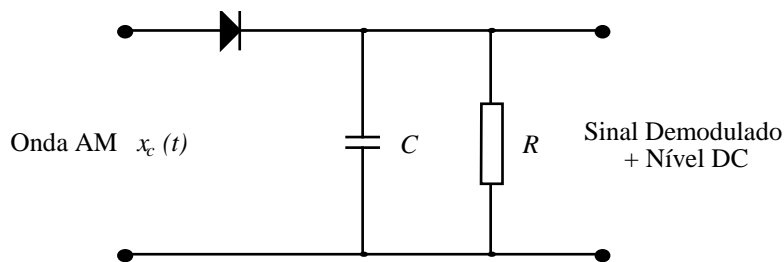


Fig. 2 Detector de Envoltória.

Suponha inicialmente que o circuito da Figura 2 não contenha o capacitor  $C$  e a resistência do diodo seja desprezível quando comparada com  $R$ . Desta forma, o circuito se comporta como um retificador de meia onda. Colocando-se o capacitor  $C$  em paralelo com o resistor  $R$ , ele irá se carregar durante o semiciclo positivo da portadora e se descarregar no intervalo entre os picos positivos, segundo uma constante de tempo  $RC$ , conforme mostrado na Figura 3.

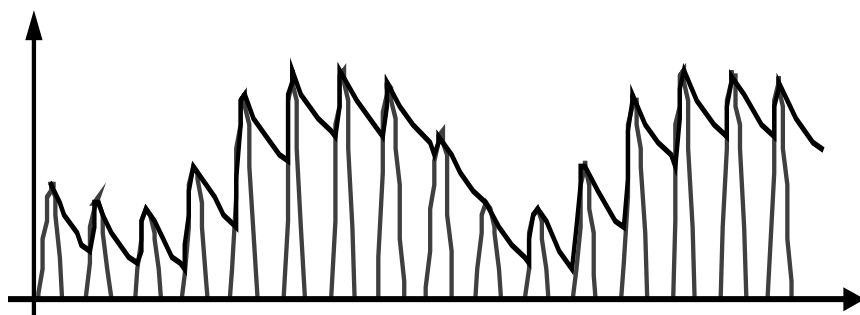


Fig. 3 Saída do Detector de Envoltória.

A escolha do valor de  $RC$  é de fundamental importância no detector de envoltória. Se o valor de  $RC$  for muito menor que o período da portadora ( $1/f_c$ ), o capacitor se descarregará muito rápido quando a portadora cai abaixo do seu valor de pico, o que fará com que a saída do detector não siga a envoltória desta onda (vide Figura 4a). Se, por outro lado, o valor de  $RC$  for muito maior que a máxima variação  $W$  do sinal modulador, então o capacitor se descarregará muito lentamente e a saída do detector não seguirá a envoltória da onda AM (vide Figura 4b).

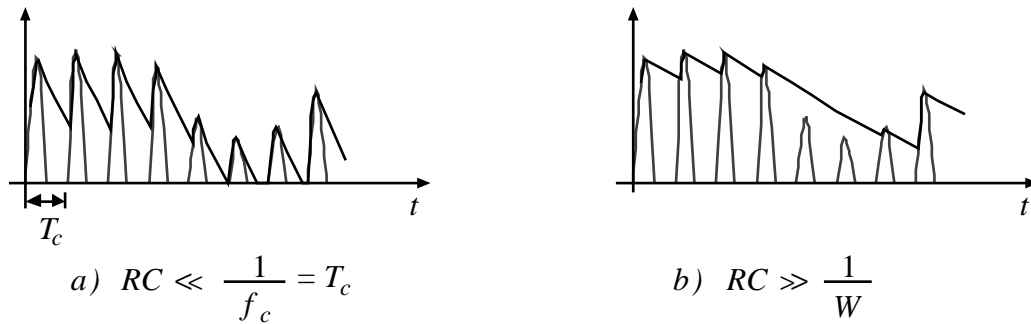


Fig. 4 a) Descarregamento C quando  $RC \ll 1/f_c$ , b) Descarregamento C quando  $RC \gg 1/W$

Assim, para se ter uma boa demodulação do sinal transmitido, deve-se utilizar uma constante de tempo  $RC$  que satisfaça a desigualdade

$$\frac{1}{f_c} \ll RC \ll \frac{1}{W}. \quad (1)$$

## 2.1 Detector de Média

Considere o esquema da Figura 5.

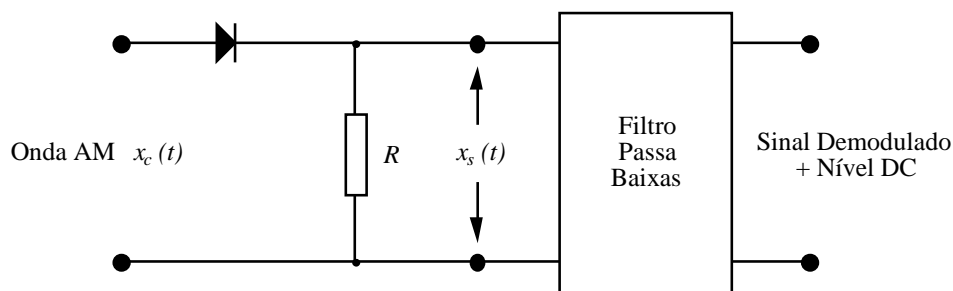


Fig. 5 – Detector de Média

O sinal  $x_s(t)$  é o sinal modulado  $x_c(t)$  retificado como em um retificador de meia onda (diodo). Note que  $x_s(t)$  pode ser representado como sendo o produto de  $x_c(t)$  e um trem de pulsos  $s(t)$  de amplitude unitária e período  $T_c = 1/f_c$ , como mostrado na Figura 6.

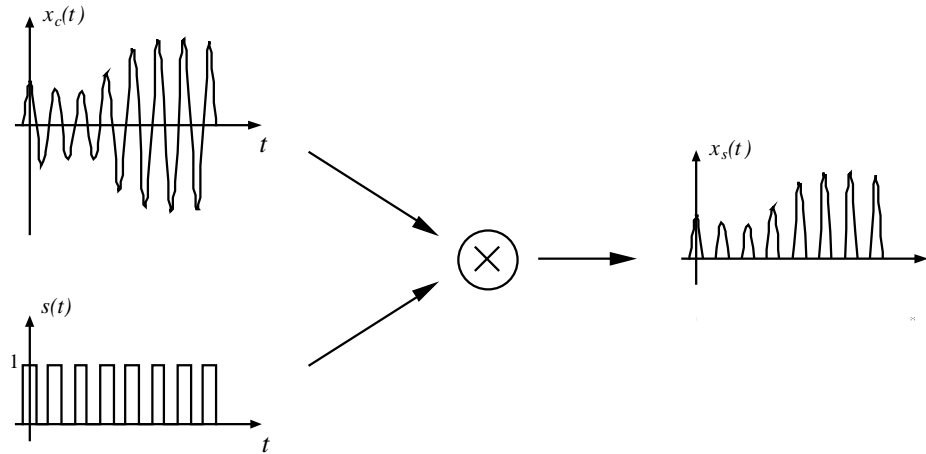


Fig. 6 – Detector Síncrono

Como  $s(t)$  é uma onda quadrada com amplitude igual a um, nível DC igual a  $1/2$  e período igual a  $T_c$ , então sua representação em série de Fourier é dada por

$$s(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \cos(\omega_c t) - \frac{2}{3\pi} \cos(3\omega_c t) + \frac{2}{5\pi} \cos(5\omega_c t) - \dots \quad (2)$$

Portanto,

$$x_s(t) = x_c(t)s(t) = A(t) \cos(\omega_c t) s(t) \quad (3)$$

onde  $A(t) = A_c [1 + m x(t)]$ . Substituindo-se (2) em (3) obtém-se

$$x_s(t) = \frac{1}{\pi} A(t) + \frac{A(t)}{2} \cos(\omega_c t) + \frac{2A(t)}{3\pi} \cos(2\omega_c t) - \frac{2A(t)}{15\pi} \cos(4\omega_c t) + \frac{2A(t)}{35\pi} \cos(6\omega_c t) - \dots \quad (4)$$

Como se pode notar, o espectro do sinal  $x_s(t)$  contém como uma das componentes o sinal  $x(t)$  em torno da origem (vide Figura 7). Supondo  $f_c > W$ , pode-se recuperar o sinal  $x(t)$  usando-se um filtro passa-baixa (FPB) com frequência de corte maior que  $W$  e menor que  $f_c - W$ .

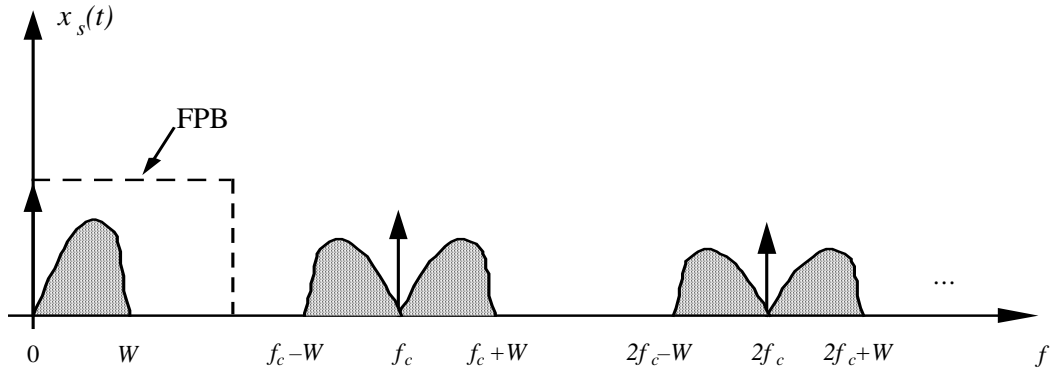


Fig. 7 – Espectro do Sinal Retificado

### 3. DEMODULAÇÃO FM

Um demodulador FM consiste basicamente de um discriminador de frequência. O discriminador de frequência é um dispositivo que converte frequência em amplitude, produzindo em sua saída uma tensão linearmente proporcional à frequência de entrada. Se na entrada de um discriminador é injetada a onda FM

$$x_c(t) = A_c \cos \left[ \omega_c t + 2\pi k_f \int_{-\infty}^t x(\lambda) d\lambda \right] \quad (5)$$

então na sua saída tem-se

$$y_d(t) = 2\pi k_f k_d x(t) \quad (6)$$

onde  $k_d$  é a constante denominada sensibilidade do discriminador. A característica tensão versus frequência de um discriminador ideal é mostrada na Figura 8a.

Uma aproximação das características do discriminador ideal pode ser obtida utilizando-se um diferenciador seguido de um detector de envoltória (Figura 8b). O sinal na saída do diferenciador, com exceção do desvio de fase  $\phi(t)$ , tem a forma de um sinal AM. Assim, o detector de envoltória pode ser utilizado para recuperar o sinal modulador. O limitador na entrada do discriminador serve para eliminar variações de amplitude do sinal modulado (rejeição de AM).

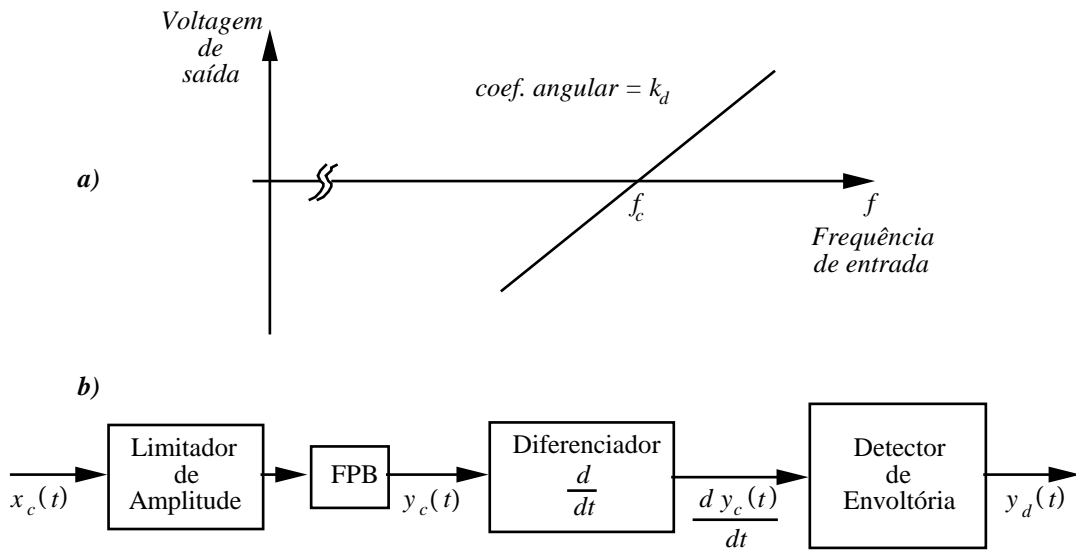


Fig. 8. Discriminador FM Ideal com Limitador de Amplitude

### 3.1. Detector por Inclinação

O demodulador por inclinação utiliza um circuito sintonizado cuja frequência  $f_0$  de ressonância não coincide com a frequência  $f_c$  de portadora FM. A função de transferência dentro da faixa  $H(f)$  deste circuito deve variar linearmente com a frequência, pelo menos de forma aproximada, dentro da faixa de frequências ocupadas pelo sinal FM. O esquema do detector por inclinação e a função de transferência  $H(f)$  são mostrados na Figura 9.

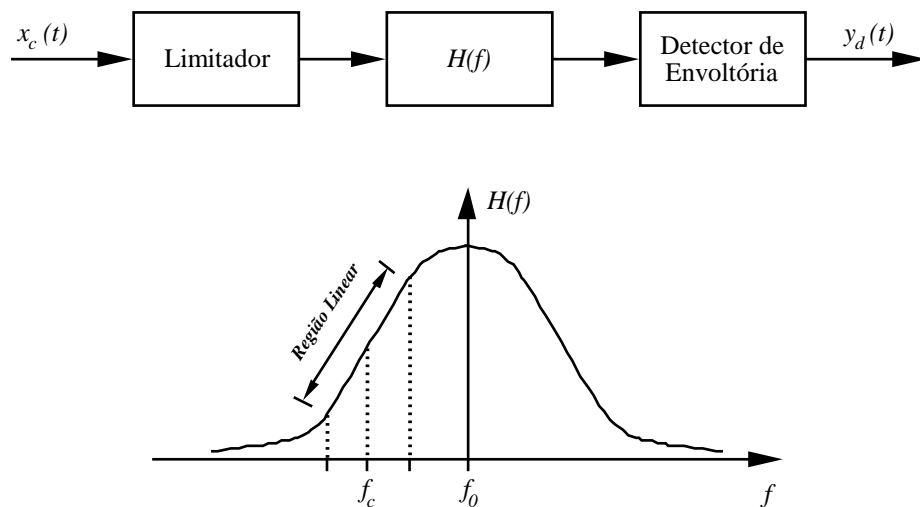


Fig. 9 - Demodulador por Inclinação e Função de Transferência  $H(f)$  do Circuito Diferenciador

A saída  $y_d(t)$  é proporcional à frequência instantânea do sinal FM, ou seja, ela é proporcional a  $x(t)$ . O circuito que realiza a função de transferência  $H(f)$  é ilustrado na Figura 10. Note que a frequência de ressonância  $f_0$  é igual a  $1/2\pi\sqrt{LC}$  e que  $f_c$  deve estar centrada em uma das duas regiões lineares de  $H(f)$ , isto é, na região linear acima ou abaixo de  $f_0$ .

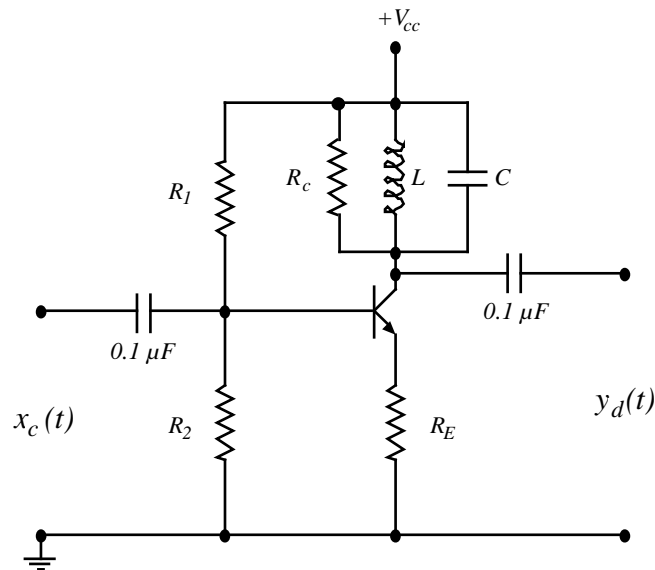


Fig. 10 - Circuito Sintonizado do demodulador FM por inclinação

## Parte Prática

### Demodulação AM

1. Ajuste o gerador de funções Agilent 33220A para que em sua saída haja uma onda senoidal (portadora) com amplitude  $A_c$  igual a  $1 V_{pp}$  e frequência  $f_c = 1 \text{ MHz}$ . Ajuste, em seguida, o sinal modulante (informação) para uma frequência  $f_m = 2 \text{ kHz}$  e índice de modulação igual a 50%. Use a própria modulação interna do gerador.
  - a. Usando o módulo EDLAB 2950C, monte um detector de envoltória, utilizando um diodo de germânio, os resistores de  $100 \text{ k}\Omega$  e  $4,7 \text{ k}\Omega$  em paralelo e o capacitor  $C$  de  $5 \text{ nF}$ . Injete o sinal modulado no detector e visualize sua saída no osciloscópio. Veja se a onda



- demodulada possui oscilações. (Use “ACQUIRE” e “PEAK DETECT” no osciloscópio digital.)
- b. Repita o item a) para  $C$  igual a 1 nF e 20 nF. Verifique o que ocorre com a onda demodulada.
  - c. Retorne o capacitor para 5 nF e mude o índice de modulação para 120% e verifique o que ocorre na onda demodulada.
  - d. Conecte a saída do demodulador no amplificador e este em um alto-falante. Verifique se há mudanças no som para os três valores de capacitores utilizados e para os dois índices de modulação
2. Com o índice de modulação em 50%, repita os itens a) e b) para ondas modulantes quadrada e triangular.

### Demodulação FM

1. Ajuste o gerador de funções Agilent 33220A para que em sua saída tenha uma onda senoidal com amplitude  $A_c$  igual a 1 V<sub>pp</sub> e frequência  $f_c = 460$  kHz.
  - a. Insira este sinal na entrada do circuito (um filtro passa-faixa sintonizável) do módulo EDLAB 2950H e ajuste a frequência do circuito para se obter no osciloscópio a máxima amplitude da onda em sua saída.
  - b. Faça a senóide gerada pelo gerador de funções varrer a faixa de frequência de 400 kHz a 540 kHz, com um tempo de varredura de 50 s. Trace no analisador de espectro a função de transferência do filtro. Utilize na entrada do analisador um resistor de 10 k $\Omega$  em série para não carregar o circuito.
  - c. Escolha uma frequência de portadora igual ao centro de uma das regiões lineares (região de decaimento) do filtro e module em FM esta portadora com um sinal senoidal com frequência  $f_m$  igual a 1 kHz e um valor de desvio de frequência menor que a extensão da região linear obtida no item anterior.
  - d. Conecte a saída do circuito do item a) no detector de envoltória montado com o resistor  $R$  de 100 k $\Omega$  e capacitor  $C$  igual a 1 nF no módulo EDLAB 2950C. Visualize o sinal demodulado no osciloscópio.
  - e. Varie o desvio de frequência e verifique o que ocorre com o sinal demodulado.

2. Utilizando o analisador de espectro, sintonize a faixa de frequência das estações de FM comerciais. Use a antena (varal) do laboratório. Escolha a emissora mais potente e determine a sua faixa de frequência. Estime o desvio de frequência utilizado por esta estação.
  
3. Utilize o gerador de funções Agilent 33220A para gerar um sinal FM com frequência de portadora de 445 KHz , desvio de frequência de  $D = 10$  kHz,  $V_{pp} = 10$  V e modulação externa. Use o amplificador de áudio com microfone como sinal modulante. Conecte a saída do gerador de funções no “varal” e use o demodulador FM do item 1 com a saída conectada na caixa de som para realizar a demodulação do sinal.

**Relatório: Analise os resultados obtidos, compare com a teoria e comente.**