

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO**

EE882 – LABORATÓRIO DE COMUNICAÇÃO I

EXPERIÊNCIA 5

DEMODULAÇÃO AM e FM

Profs. Bruno Masiero, Michel Yacoub

Segundo Semestre de 2016

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 uma adequada 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 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.

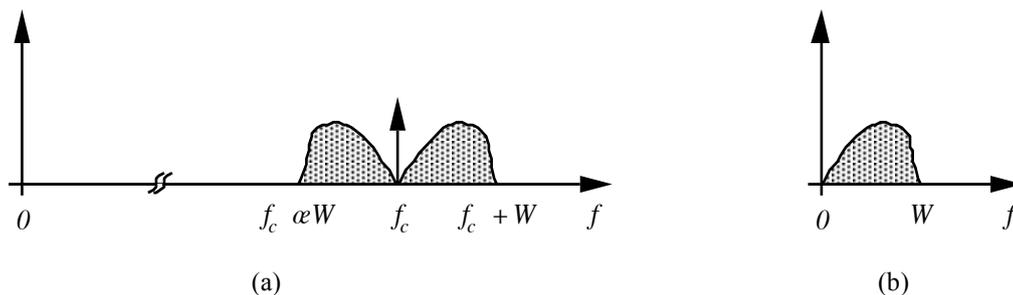


Fig. 1 a) Espectro de um sinal modulado em AM e b) Espectro demodulado.

Os detectores (ou demoduladores) AM podem ser classificados como detectores de envoltória (pico) ou de média, como descritos nos itens seguintes.

2.1 Detector de Envoltória

O mais simples demodulador AM 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 para eliminar as altas frequências. O circuito não linear mais comumente utilizado é o diodo e o filtro pode ser formado pelo conjunto resistor-capacitor, como ilustrado na Figura 2

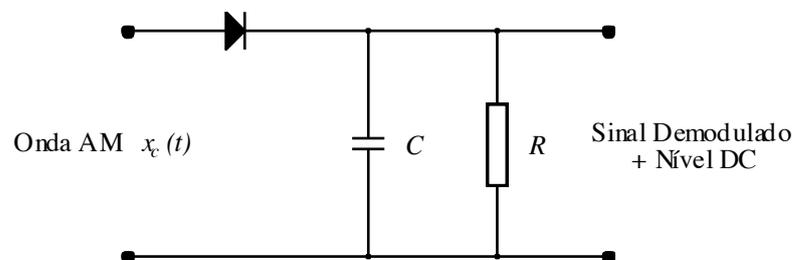


Fig. 2 Detector de Envoltória.

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. Obviamente, se o diodo da Figura 2 estiver invertido, apenas os ciclos negativos seriam detectados, e a Figura 3 conteria apenas sinais negativos.

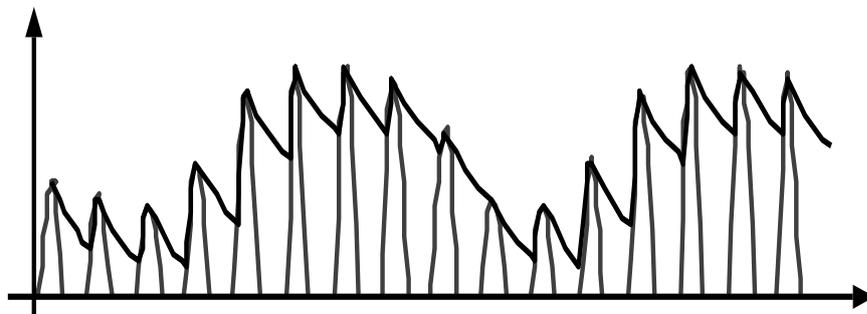


Fig. 3 Saída do Detector de Envoltória.

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 rapidamente 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 (Figura 4a). Se, por outro lado, o valor de RC for muito maior que a máxima variação W do sinal modulator, então o capacitor se descarregará muito lentamente e a saída do detector não seguirá a envoltória da onda AM (Figura 4b).

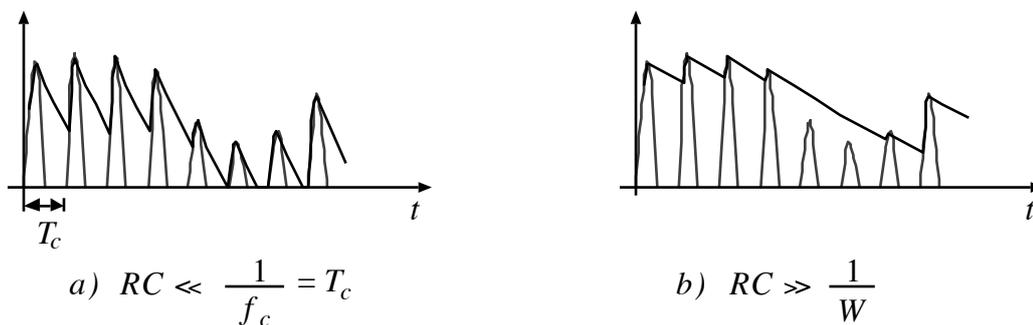


Fig. 4 a) Descarregamento C quando $RC \ll 1/f_c$ b) Descarregamento C quando $RC \gg 1/W$

A constante de tempo RC deverá, assim, satisfazer 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.

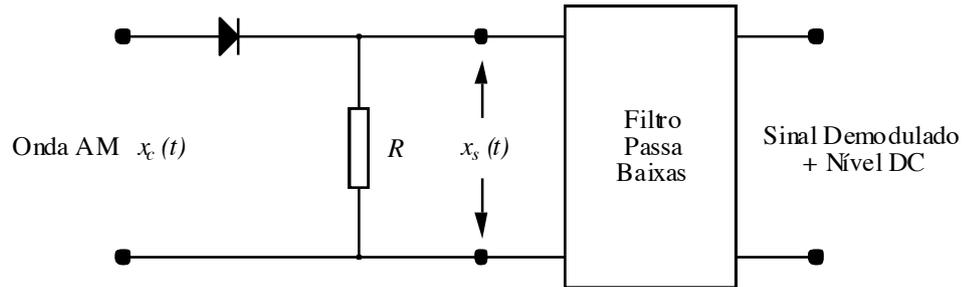


Fig. 5 – Detector de Média

O sinal $x_s(t)$ é o sinal modulado $x_c(t)$ retificado como em um retificador de meia onda. Este sinal pode ser entendido como o produto de $x_c(t)$ por um trem de pulsos $s(t)$ de amplitude unitária e período $T_c = 1/f_c$. A Figura 6 mostra esse produto.

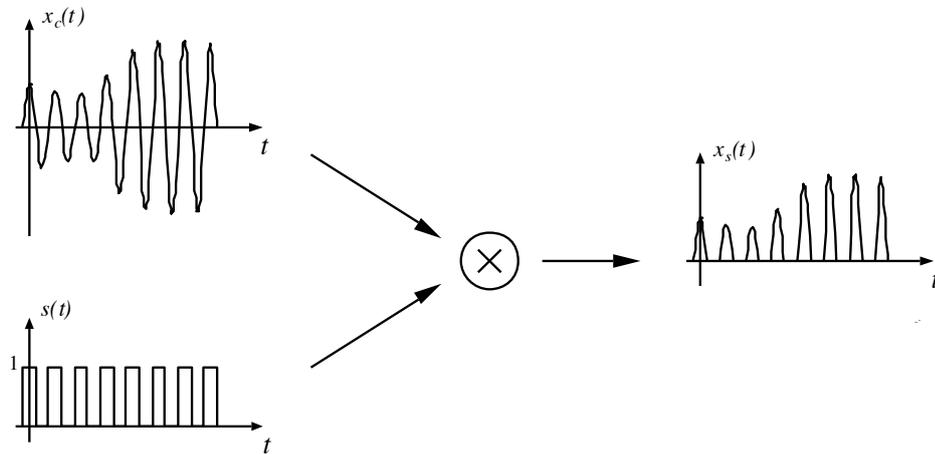


Fig. 6 – Detector Síncrono

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,

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

em que $A(t) = A_c[1 + m x(t)]$. 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 o sinal $x(t)$ em torno da origem como uma das componentes (Figura 7). Supondo $f_c > W$, pode-se recuperar o sinal $x(t)$ usando-se um filtro passa-baixas (FPB) com frequência de corte maior que W e menor que $f_c - W$.

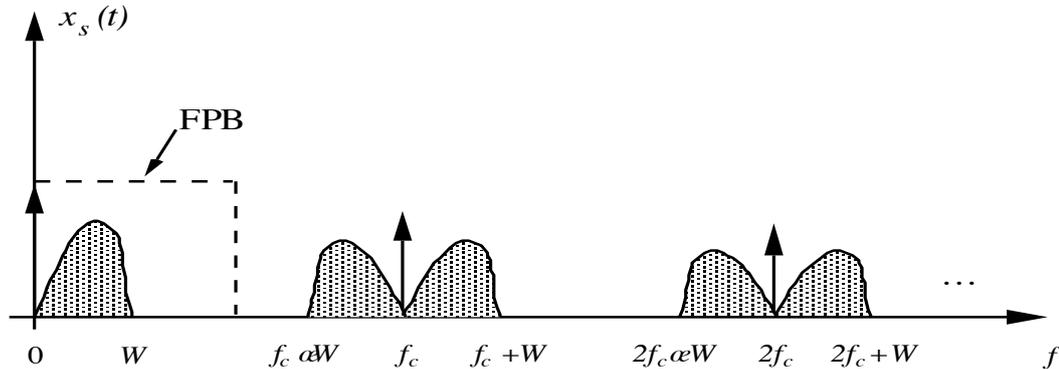


Fig. 7 – Espectro do Sinal Retificado

3. DEMODULAÇÃO FM

Um demodulador FM consiste 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

$$x_c(t) = A_c \cos \left[\omega_c t + 2\pi k_f \int_{-\infty}^t x(\lambda) d\lambda \right] \quad (1)$$

então na sua saída tem-se

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

em que 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).

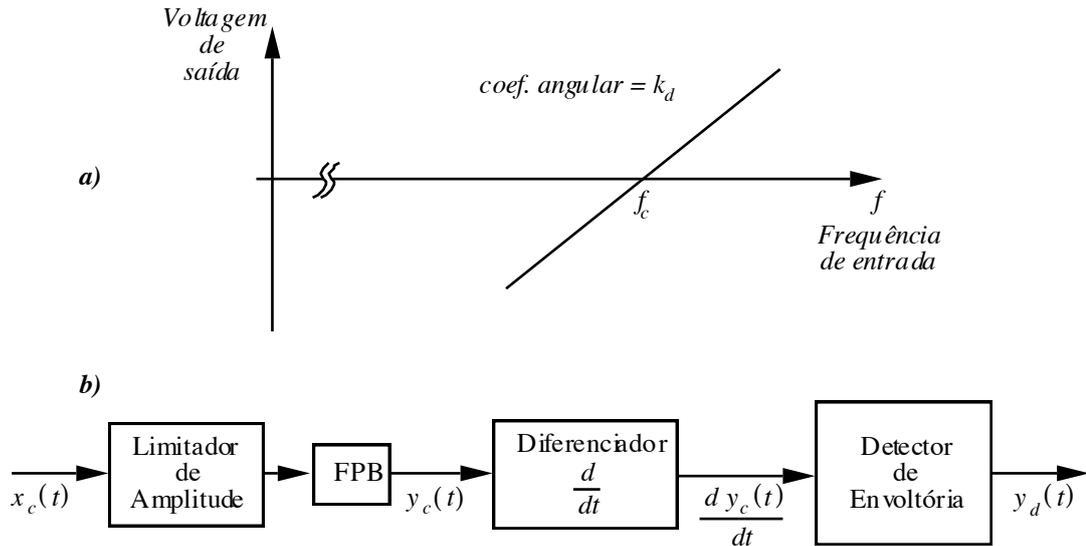


Fig. 8. Discriminador FM Ideal com Limitador de Amplitude

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 de forma aproximadamente linear com a frequência 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.

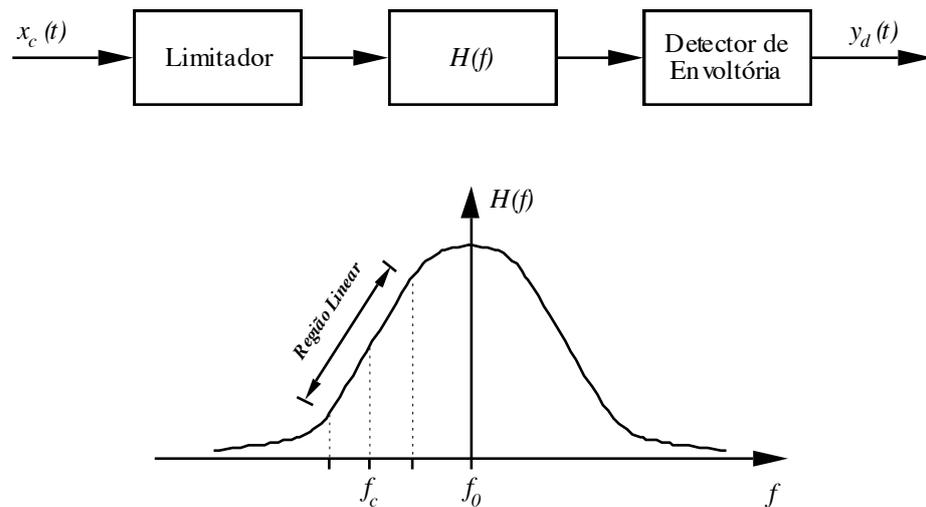


Fig. 9 - Demodulador por Inclinação e Função de Transferência $H(f)$ do Circuito Diferenciador

A saída $y_d(t)$ é proporcional à frequência instantânea do sinal FM, ou seja, ela é proporcional a $x(t)$.

Parte Prática

Circuito de Sintonia

O módulo EDLAB 2950H é um filtro passa-faixa (FPF) de frequência central ajustável que servirá de circuito de sintonia tanto para o demodulador AM quanto para o demodulador FM. Para o caso da demodulação AM a sintonia será a frequência central do filtro. Para o caso da demodulação FM a sintonia será alguma frequência diferente da frequência central, em alguma parte do filtro em que a sua resposta se mostre aproximadamente linear. Para isso, é necessário caracterizar a resposta do filtro. É importante notar que o FPF possui uma configuração de transformador que dá um ganho de tensão. Assim ele pode ser utilizado como um amplificador.

Escolha uma frequência central do FPF no módulo EDLAB 2950H (e.g., 470 kHz). Ajuste o gerador de funções Agilent 33220A para que em sua saída haja uma onda senoidal com amplitude A_c igual a $1 V_{pp}$ e frequência igual àquela escolhida. Faça uma varredura 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 Ω para não carregar o circuito.) Como dito anteriormente, a frequência de sintonia do demodulador AM será a frequência central do FPF (qualquer frequência na faixa do módulo). Por outro lado, para o demodulador FM, escolha uma frequência de portadora igual ao centro de uma das regiões lineares do filtro. (Isso será utilizado mais adiante.)

Atenção: NÃO utilize o casador de impedâncias de 50 Ω no osciloscópio.

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 $f_c = 1$ MHz. Ajuste, em seguida, o sinal modulante (informação) para uma frequência $f_m = 2$ kHz e índice de modulação igual a 50%. Use a própria modulação interna do gerador.
 - a. Com o módulo EDLAB 2950C, monte um detector de envoltória, utilizando um diodo de germânio, os resistores de 100 k Ω e 4,7 k Ω em paralelo e o capacitor C de 5 nF. Injete o sinal modulado no detector e visualize sua saída no osciloscópio. Veja se a onda demodulada possui oscilações.
 - 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 varie o índice de modulação de 0% a 120% e verifique o que ocorre na onda demodulada.
 - d. Repita os procedimentos anteriores para ondas modulantes quadrada e triangular.

Demodulação FM

1. Ajuste o gerador de funções Agilent 33220A para que em sua saída haja uma onda senoidal com amplitude A_c igual a $1 V_{pp}$ e frequência $f_c = 460$ kHz.
 - a. Escolha uma frequência de portadora igual ao centro de uma das regiões lineares 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. (Utilize os resultados obtidos no item “Circuito de Sintonia”.)
 - b. Conecte a saída do circuito do item a) no detector de envoltória montado com o resistor R de $100\text{ k}\Omega$ e capacitor C igual a 1 nF no módulo EDLAB 2950C. Visualize o sinal demodulado no osciloscópio.
 - c. Varie o desvio de frequência e verifique o que ocorre com o sinal demodulado.
 - d. Varie a frequência da portadora 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.

Transmissão/Recepção Sem Fio

1. Faça as diversas bancadas funcionar como emissoras AM, cada qual em uma frequência, escolhida no range de 400 kHz a 540 kHz. Monte um receptor AM com resistor de $100\text{ k}\Omega$ e capacitor de 1 nF . A fim de melhorar a recepção e prover um circuito de sintonia, conecte o módulo EDLAB 2950H à entrada do demodulador AM. Ligue a saída do demodulador ao amplificador do referido módulo e a sua saída à entrada de uma caixa de som. Teste o seu receptor sintonizando as diversas emissoras do laboratório.
2. Idem ao item anterior, agora para emissoras FM.
3. Embora funcionando por diferentes princípios, receptores AM e FM, como montados no laboratório, utilizam a mesma configuração de circuitos. Assim, faça uma bancada funcionar como emissora AM e outra com FM e detecte as emissoras com o seu receptor.