

EXPERIMENTO 5: DEMODULAÇÃO AM E FM

Gustavo Fraidenraich, Levy Boccato, Max Henrique Machado Costa, Michel Daoud Yacoub

2º Semestre de 2018

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, seja ela analógica ou digital. O processo inverso ao da modulação é conhecido como demodulação e consiste em trasladar o sinal de banda passante para a banda básica.

2 Demodulação AM/ASK

A demodulação AM consiste em detectar a envoltória da portadora, onde se encontra a informação transmitida. 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 fig. 1.

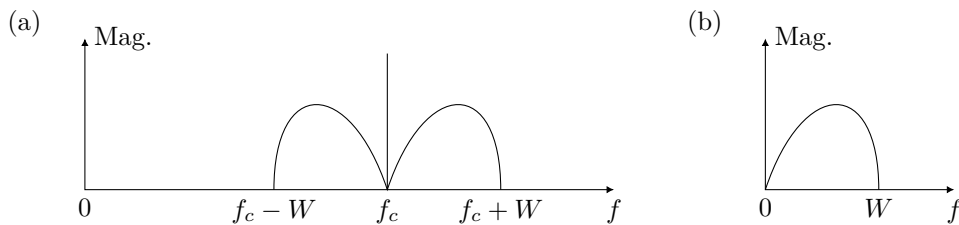


Figura 1: Espectros de sinal AM (a) antes e (b) depois da demodulação.

Os detectores (ou demoduladores) AM podem ser classificados como detectores de envoltória (pico) ou de média, os quais são descritos a seguir.

2.1 Detector de Envoltória

O mais simples demodulador AM é conhecido como detector de envoltória. Uma possível forma de se realizar 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, enquanto o filtro pode ser formado pelo conjunto resistor-capacitor, como ilustrado na fig. 2.

Suponha, inicialmente, que o circuito da fig. 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 se carrega

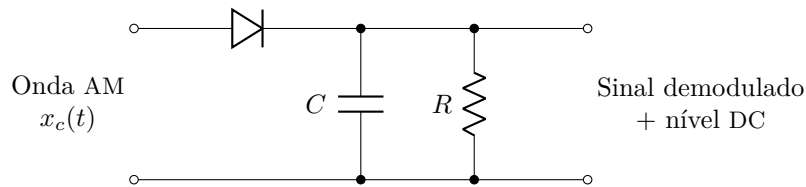


Figura 2: Detector de envoltória

durante o semiciclo positivo da portadora e se descarrega no intervalo entre os picos positivos, segundo uma constante de tempo RC , conforme mostrado na fig. 3. Obviamente, se o diodo da fig. 2 estiver invertido, apenas os ciclos negativos seriam detectados, e a fig. 3a conteria apenas sinais negativos.

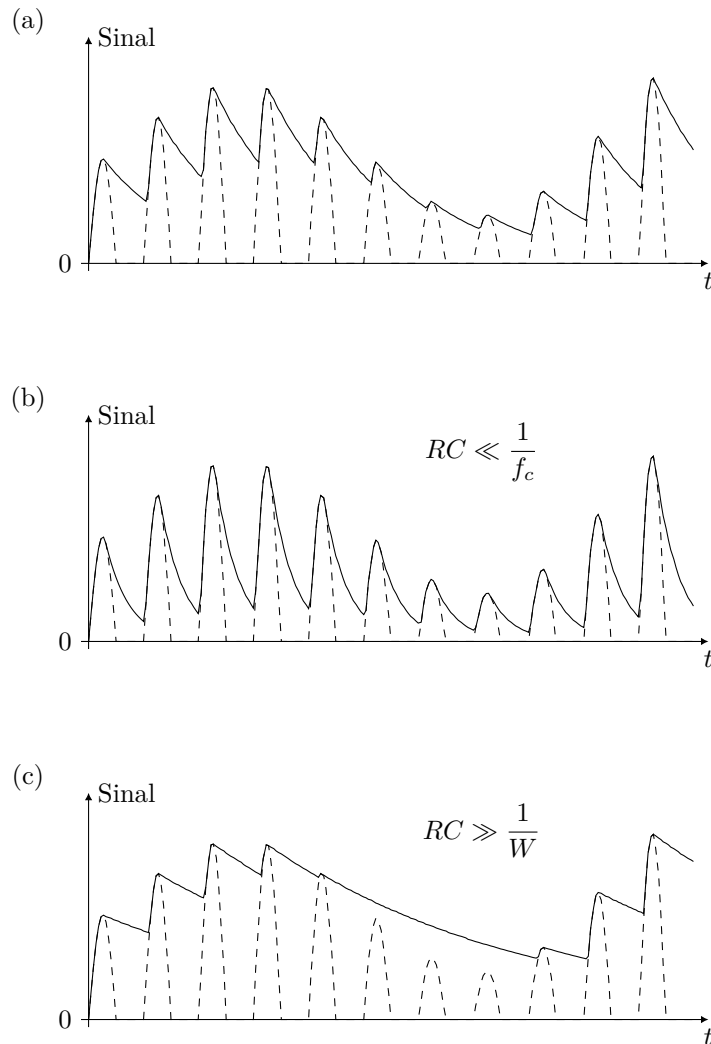


Figura 3: Saída do detector de envoltória com (a) valor de RC adequado, (b) $RC \ll \frac{1}{f_c}$ e (c) $RC \gg \frac{1}{W}$.

A escolha do valor de RC é de fundamental importância para o funcionamento do detector de envoltória. Se ele for muito menor que o período da portadora, 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 (fig. 3b). Se, por outro lado, o valor de RC for muito maior que a máxima variação do sinal modulado, então o capacitor se descarregará muito lentamente e a saída do detector não seguirá a envoltória da onda AM (fig. 3c). A constante de

tempo RC deverá, assim, satisfazer a desigualdade

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

2.2 Detector de Média

Considere o circuito da fig. 4. 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 $T_c = \frac{1}{f_c}$. A fig. 5 mostra esse produto.

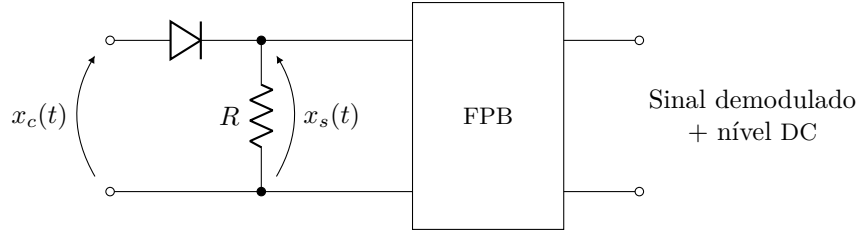


Figura 4: Detector de média.

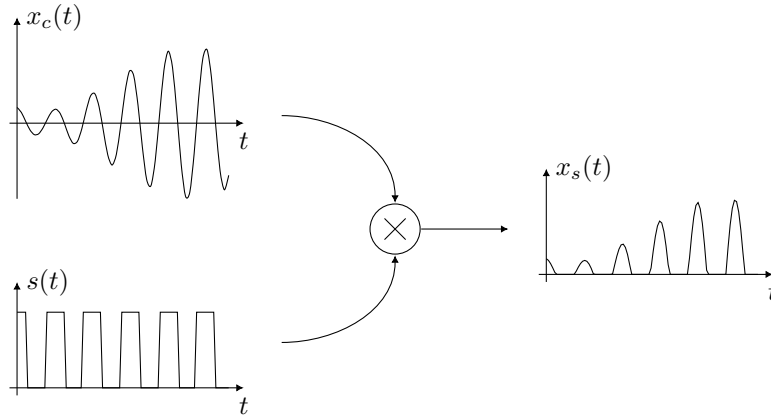


Figura 5: Detector síncrono.

Como $s(t)$ é uma onda quadrada com faixa de variação igual a 1, nível DC igual a $\frac{1}{2}$ e período T_c , então sua representação em série de Fourier é

$$s(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \cos((2n+1)\omega_c t) \quad (2)$$

Assim

$$\begin{aligned} x_s(t) &= x_c(t)s(t) = A(t) \cos(\omega_c t) s(t) \\ &= \frac{A(t)}{\pi} + \frac{A(t)}{2} \cos(\omega_c t) + \frac{2A(t)}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n-1)(2n+1)} \cos(2n\omega_c t) \end{aligned} \quad (3)$$

em que $A(t) = A_c[1 + mx(t)]$. Como se pode notar, o espectro do sinal $x_s(t)$ contém o sinal $x(t)$ em torno da origem como uma das componentes (fig. 6). 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 $f_c - W$.

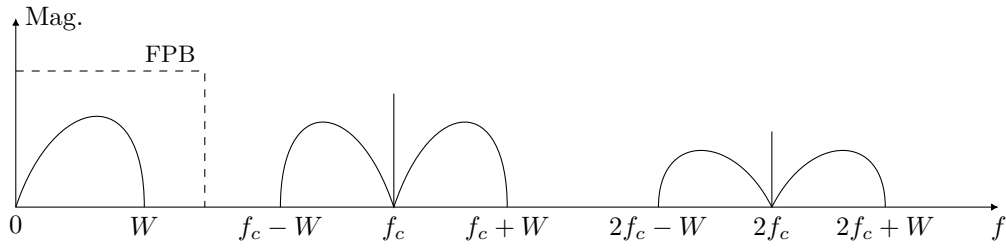


Figura 6: Espectro do sinal retificado.

3 Demodulação FM/FSK

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

$$x_c(t) = A_c \cos\left(\omega_c t + 2\pi k_f \int_{-\infty}^t x(\tau) d\tau\right) \quad (4)$$

então na sua saída tem-se

$$y_d(t) = 2\pi k_f k_d x(t) \quad (5)$$

em que k_d é a constante denominada sensibilidade do discriminador. A característica tensão versus frequência de um discriminador ideal é mostrada na fig. 7a.

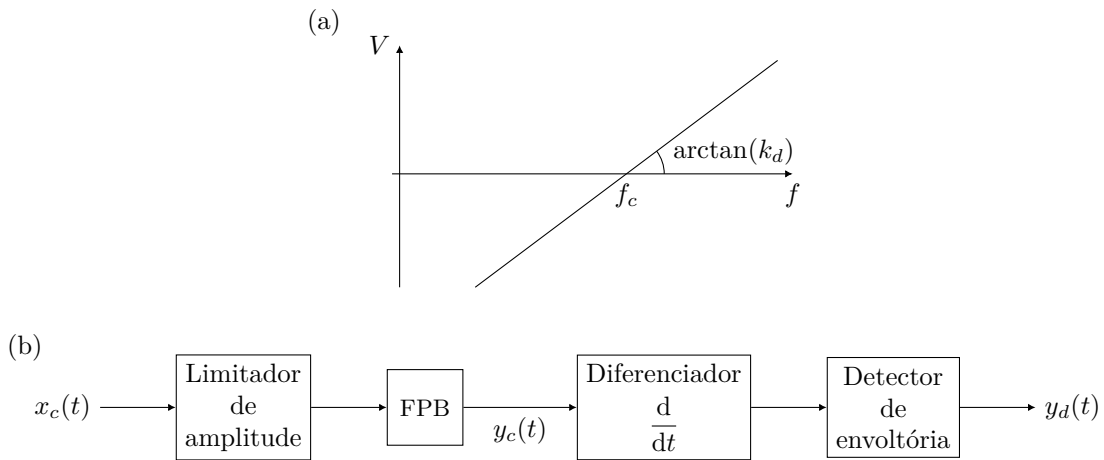


Figura 7: Discriminador FM ideal com limitador de amplitude.

Uma aproximação das características do discriminador ideal pode ser obtida utilizando-se um diferenciador seguido de um detector de envoltória (fig. 7b). 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).

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 $H(f)$ deste circuito deve variar de forma aproximadamente linear com a frequência dentro da faixa de frequências ocupada pelo sinal FM. O esquema do detector por inclinação e a função de transferência $H(f)$

são mostrados na fig. 8. A saída $y_d(t)$ é proporcional à frequência instantânea do sinal FM, ou seja, ela é proporcional a $x(t)$.

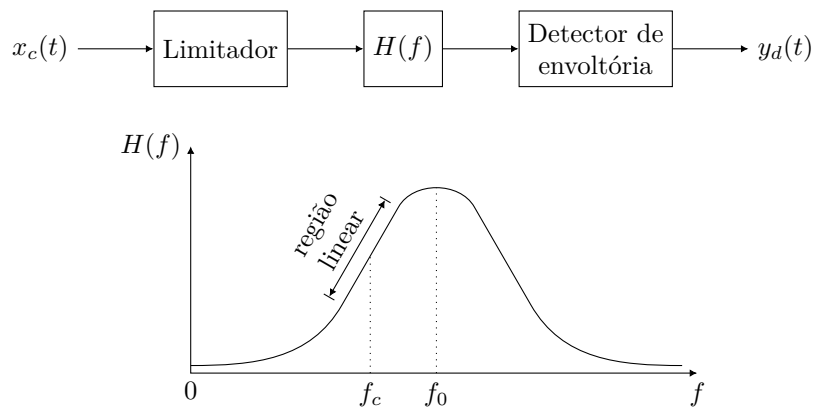


Figura 8: Demodulador por inclinação e função de transferência $H(f)$.

Parte Prática

1 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 determinar essa região 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 também pode ser utilizado como um amplificador.

Escolha uma frequência central qualquer 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 150 kHz em torno da frequência central escolhida, 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 $10 k\Omega$ 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 50Ω no osciloscópio.

2 Demodulação AM

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.

1. Com 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 nF . Injete o sinal modulado no detector e visualize sua saída no osciloscópio. Varie o índice de modulação em toda a sua extensão. Mude o sinal modulante para onda quadrada e onda triangular.
2. Repita o item anterior para C igual a 1 nF e 20 nF . Verifique o que ocorre com a onda demodulada.

3 Demodulação FM

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 igual àquela escolhida para ocupar o centro da região linear do filtro obtida no item “Circuito de Sintonia.”

1. Module em FM essa portadora tendo como modulante um sinal senoidal de frequência f_m igual a 1 kHz e um valor de desvio de frequência menor que a extensão da região linear obtida no item “Circuito de Sintonia.”
2. Conecte a saída do modulador na entrada do filtro e a saída deste 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.
3. Varie o desvio de frequência e verifique o que ocorre com o sinal demodulado.
4. Varie a frequência da portadora e verifique o que ocorre com o sinal demodulado.
5. 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.

4 Transmissão e Recepção Sem Fio

1. Faça as diversas bancadas funcionarem como emissoras AM, cada qual em uma frequência, escolhida na faixa 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, então, 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.