

## **Trabalho prático 2: Projeto de um sistema de comunicação em Frequência Modulada.**

**Aluno:** Mairon Schneider Cardoso.

**Data:** 23/09/2021

**Número de matrícula:** 17102515.

## **1 Introdução**

Previamente, vimos que a modulação em amplitude tem uma enorme versatilidade quanto a sua aplicabilidade em projetos, desfrutando da sua principal característica, o seu método relativamente simples de estabelecer a comunicação entre emissor e receptor e construção acessíveis no que se refere a custo de construção dos circuitos que compõem as transmissões e recepções de sinais modulados em AM, em decorrência dos métodos arcaicos de construção dos circuitos responsáveis por estabelecer as transmissões. Contudo, o método de modulação em amplitude não é uma alternativa plausível quando o critério adotado para transmissões refere-se a qualidade de transmissão e consequentemente suas sucessividades a interferências.

A modulação em frequência (FM) é uma alternativa admissível para perfazer as necessidades deixadas pela modulação em amplitude, relativas a, robustez quanto a suscetividade a interferências. A modulação FM é um método de transmitir uma determinada mensagem através da relação estabelecida entre a taxa de variação de frequência de modo contínuo a cada instante, que descreve o comportamento da mensagem, e a frequência da portadora. Isso permite com que uma maior faixa de largura de banda, de 30 Hz a 15 kHz, seja compreendida, outrossim, sua transmissão tem uma menor capacidade de alcançar altas distâncias mas isso acaba por se equiparar a modulação AM justamente pela transmissão via modulação AM conseguir alcançar longas distâncias mas com uma pior qualidade sonora. A sua estrutura oferece uma maior proteção contra a interferências de ondas eletromagnéticas quando comparado a modulação AM.

## **2 Resultados e Discussões**

A concepção da estrutura de modulação em frequência é feita considerando as mensagens descritas nas equações 1 e 2. As mensagens elucidaram as etapas da modulação e demodulação através do sistema de modulação FM com a composição de estratégias de multiplexação estereofônica de FM.

$$m_L(t) = \frac{1}{10} \cdot (10 + \cos(640\pi t) + 7\cos(1040\pi t) + \cos(1700\pi t) + 2\cos(4600\pi t) + 5\cos(7400\pi t) + \cos(12200\pi t) + 5\cos(20000\pi t)) \quad (1)$$

$$m_R(t) = \frac{1}{10} \cdot (10 + 5\cos(640\pi t) + \cos(1040\pi t) + 5\cos(1700\pi t) + 2\cos(2800\pi t) + \cos(7400\pi t) + 7\cos(12200\pi t) + \cos(20000\pi t)) \quad (2)$$

As mensagens que pretendemos transmitir tem seu comportamento representado no domínio do tempo e no espectro em frequência nas figuras 1 e 2. Para garantir que nenhuma informação seja perdida por conta de uma inadequada frequência de amostragem, foi tomado como referência um valor ainda maior que a exigida pelo teorema de Nyquist, reiterando a maior frequência exigida sendo a do canal.

## 2.1 Multiplexador no transmissor FM estéreo

A multiplexação das mensagens  $m_L(t)$  e  $m_R(t)$  foram realizadas com base no diagrama de blocos da estrutura (Figura 3) sem considerar os filtros iniciais. A estrutura que implementa a multiplexação dos dois canais de mensagem tem como característica a soma de três procedimentos diferentes de manipulações das mensagens. A primeira importa-se em sacar a componente senoidal da soma das duas mensagens. A segunda preocupa-se em extrair a componente da subtração da mensagem com a multiplicação do sinal com duas vezes a frequência do sinal de referência. A terceira é simplesmente o sinal de referência com uma amplitude ajustável (no caso aqui desejamos uma amplitude de somente 30%). O somatório dessas três manipulações descreve a multiplexação das duas mensagens. Sabendo disso, a mensagem multiplexada tem formato característico representado pela equação 3. A mensagem multiplexada em domínio tempo e espectro em frequência podem ser observadas através da figura 4.

$$m(t) = [m_L(t) + m_R(t)] + ([m_L(t) - m_R(t)] \cdot \cos(2\omega_p t)) + k \cdot \cos(\omega_p t) \quad (3)$$

## 2.2 Modulação e Demodulação FM

Em primeira instância a modulação da mensagem multiplexada  $m(t)$  é realizada através do cálculo requisitado para preencher a equação característica (equação 4 e 5). No decorrer da modulação alguns pontos importantes devem ser considerados para testificar o uso de algumas especificações.

$$x_{FM}(t) = A \cdot \cos\left[\omega_c t + k_f \int_{-\infty}^t m(\lambda) d\lambda\right] \quad (4)$$

$$X(\omega) = A \cdot \sum_{-\infty}^{\infty} J_n(\beta) \cdot [\delta(\omega - \omega_c - n\omega_m) + \delta(\omega + \omega_c + n\omega_m)] \quad (5)$$

O cálculo da constante de desvio de frequência ( $k_f$ ) é feito considerando a equação obtida empiricamente denominada regra de Carson. Uma vez que conhecemos o comprimento total da banda de transmissão, é exequível extrair a constante de desvio de frequência ao estipularmos o  $\beta$ . O  $\beta$  é um valor relevante para conseguirmos transmitir a mensagem através da modulação FM na melhor qualidade possível. Aqui, a melhor qualidade possível está intrinsecamente ligada a quantas componentes senoidais serão considerados no somatório descrita pelas funções de Bessel que descreve o comportamento da modulação. Sabendo disso, o  $\beta$  foi concebido preservando o máximo de largura de banda, evitando que o mesmo não ultrapasse o limite máximo da banda e portanto, o valor escolhido foi 0,5 (o que deixa o sinal totalmente condido no comprimento do canal).

Após estipular o valor de  $\beta$ , é calculado o desvio de frequência instantânea ( $\Delta\omega$ ) e logo após, ao dividirmos essa frequência instantânea pela amplitude de pico da mensagem multiplexada, obteremos a constante de desvio de frequência e ao multiplicarmos pela integral da mensagem, obteremos a variação da frequência de uma determinada portadora. A portadora foi extraída considerando a centralização na frequência disponibilizada no canal de transmissão cerca de 76,1 MHz (Figura 5).

As composições das mensagens multiplexadas e posteriormente moduladas podem ser observadas através da figura 6. Mediante a observação da figura, é cabível afirmar que as componentes de frequência do sinal multiplexado está centralizado a frequência estabelecida na portadora e, além disso, conseguimos observar um conjunto de frequências que aproveitam-se da ocupação de todo o comprimento disponibilizado no canal de comunicação, e isso se dá justamente pela escolha das componentes nas funções de Bessel.

A demodulação em frequência para esse projeto é realizada empregando a função disponível no MATLAB. Os tipos de demodulação FM são baseados nos métodos diretos e indiretos de modulação FM. A demodulação mais elementar é baseada no simples cálculo da derivada do sinal modulado, o que nos permite extrair a frequência instantânea naquele instante, de modo a, quando temos uma maior

frequência o resultado da derivada será maior e vice e versa com menores frequências. O comportamento é semelhante ao resultado que temos na demodulação AM.

Um método mais eficiente (julgando pela incapacidade de produzir um derivador ideal) é a demodulação FM via malha de captura de fase. Esse método de modulação tem como princípio a característica de um sistema realimentado cuja qualidade é justamente corrigir uma determinada tendência o que intrinsecamente corrige possíveis interferências através do sinal de erro gerado. O sinal de erro é responsável por obter a demodulação propriamente dita, uma vez que sua frequência é infinitivamente menor que a frequência da mensagem modulada, ou seja, o método de demodulação via malha de captura é um método de garantir de maneira contida, um sinal de erro que aumenta ou diminui de acordo com a variação da frequência da mensagem modulada. A característica da demodulação do sinal modulado pode ser observada através da figura 7, através dela, é possível notar o comportamento extraordinário na origem do sinal, ocorrendo um aumento de amplitude repentino. A hipótese de ocorrência desse evento é justamente uma incoerência numérica produzida pelas ocorrências dos cossenos de zero, além disso, vemos também a perda de algumas componentes, entretanto, é esperado que não haja todas as componentes da mensagem original.

### 2.3 Demultiplexador no receptor FM estéreo

A demultiplexação do sinal demodulado é feita através da recuperação de diferentes faixas de frequências. Como visto anteriormente, isso pode ocorrer através do emprego de filtros em diferentes faixas de frequências. O método de demultiplexação em estéreo possui três etapas. A primeira etapa é um filtro passa baixa menor ou igual a banda base do sinal, a segunda é um filtro passa faixa centrado na banda mais larga do sinal (duas vezes a frequência piloto) e o terceiro filtro consiste de um filtro de banda estreita anexado na frequência piloto adicionado de um duplicador de frequência.

O filtro relatado na primeira etapa tem como função oferecer a possibilidade de obter a soma dos dois canais de mensagem sem efetivamente aproveitar-se do som estéreo, a representação da sua saída pode ser observada através da figura 8.

O duplicador de frequência que é utilizado é baseado na estrutura contida na figura 9, entretanto, sua construção é feita considerando um método alternativo que emprega o uso de dois filtros com exclusão do nível DC do restante do sinal, contudo, as duas maneiras de implementar o duplicador resultam em efeitos bastante semelhantes.

A escolha das frequências de corte dos filtros foram feitos levando em consideração os experimentos empíricos da reconstrução do sinal. Por obtermos um sinal com um certo ruído em alta frequência (proveniente do erro matemático) acabamos por ter um plato em termos da reconstrução do sinal na frequência (figura 10), entretanto, foi minimizado considerando a troca de frequências dos filtros. No geral, o método recuperou de maneira satisfatória as componentes da mensagem original (figura 11) e como podemos perceber, a frequência mais baixa detém a forma de como o sinal se comportará e as componentes mais altas de frequência são responsáveis pela variação nessas componentes de menor frequência.

## 3 Conclusões

Portanto, através dos experimentos propostos pelo trabalho, compreendemos como funciona o projeto de uma transmissão, aproveitando-se da modulação FM, considerando a estratégia estéreo de uma determinada mensagem. Em geral, a reconstrução do sinal de maneira satisfatória em um canal de alta frequência nos demonstra as qualidades da modulação FM, sendo extremamente importante para atingir altas frequências no canal de comunicação, além de, possuir menos interferências, uma vez que na natureza interferências na frequência são menos comum que nas amplitudes.

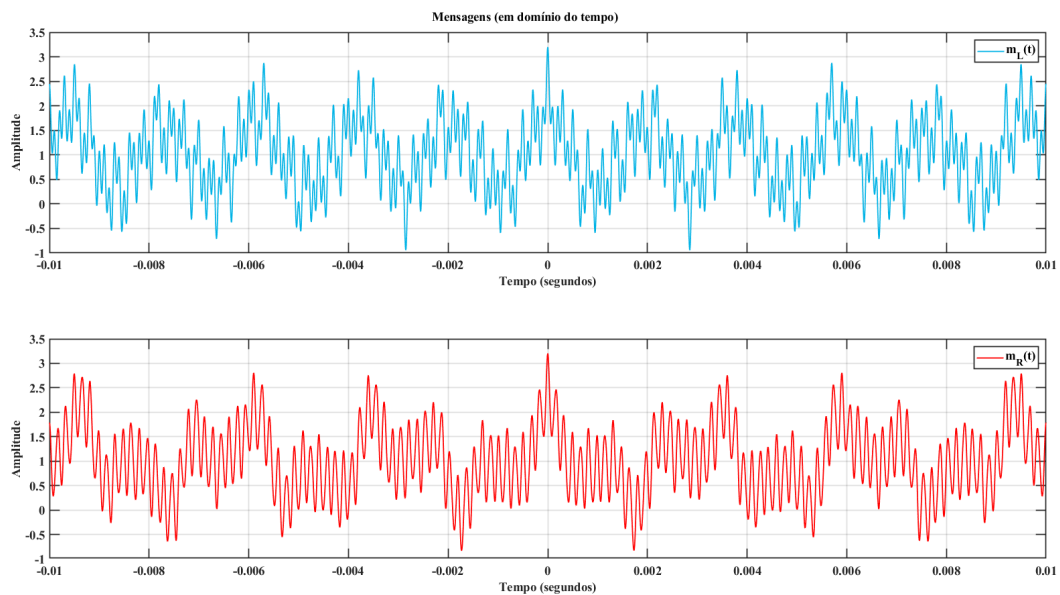


Figura 1: Mensagens em domínio do tempo.

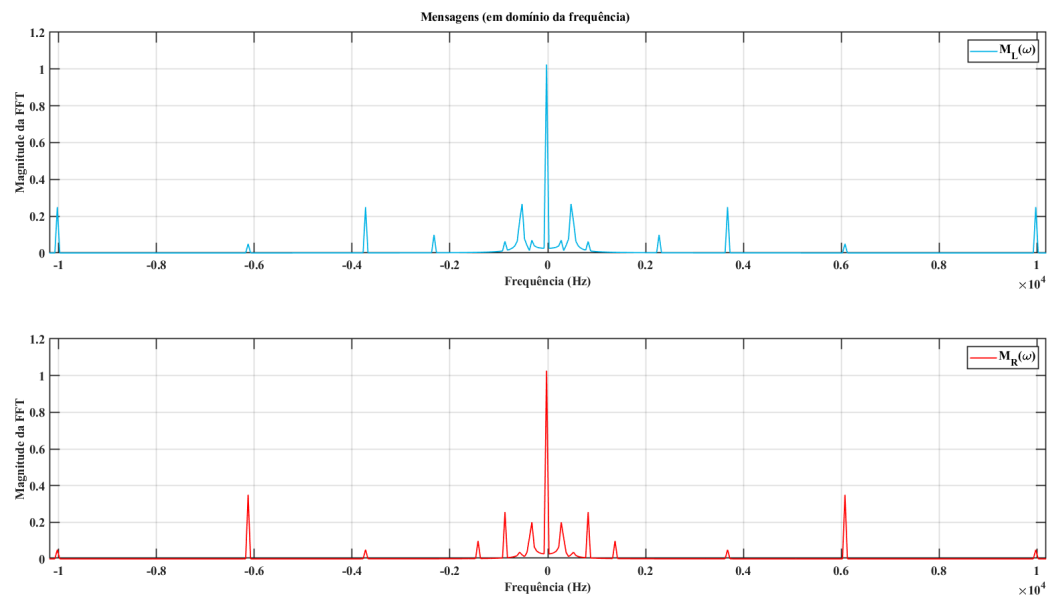


Figura 2: Mensagens no espectro em frequência.

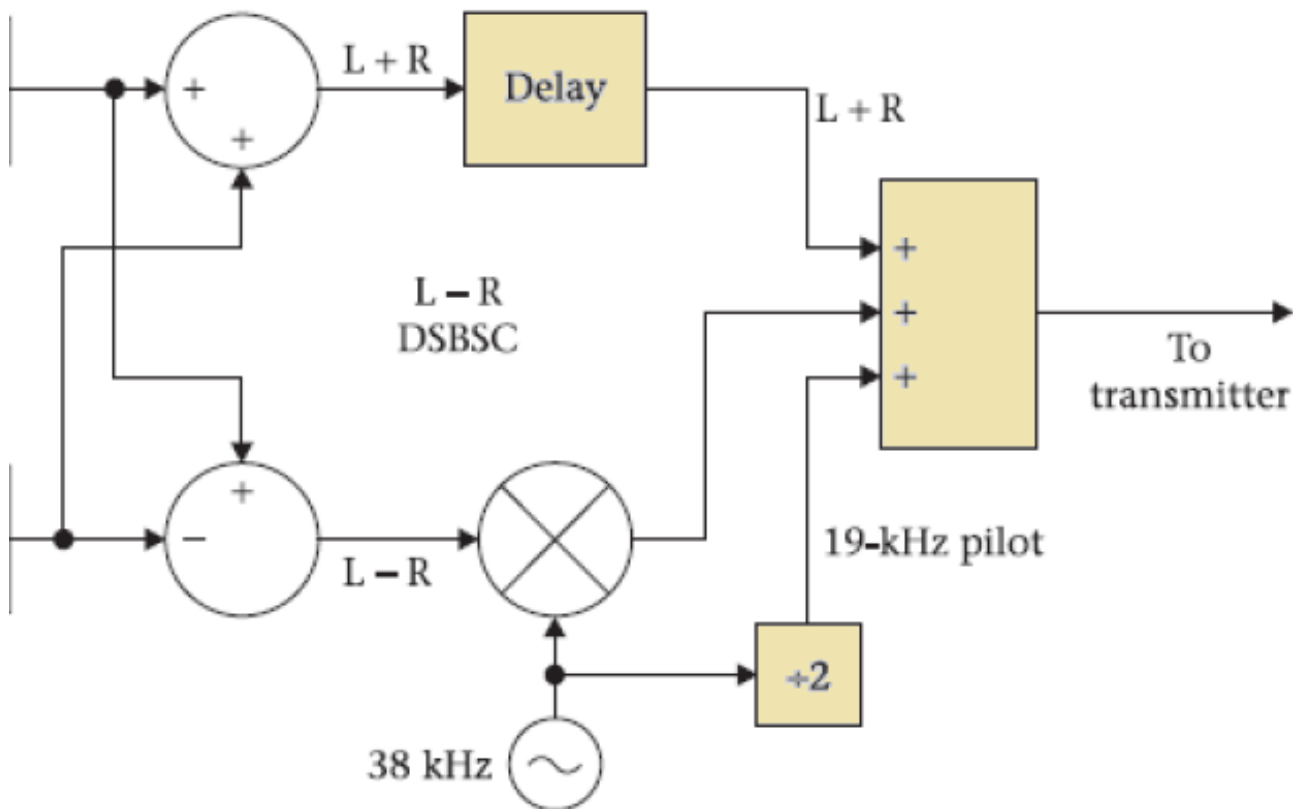


Figura 3: Bloco que descreve o multiplexador no transmissor FM estéreo.

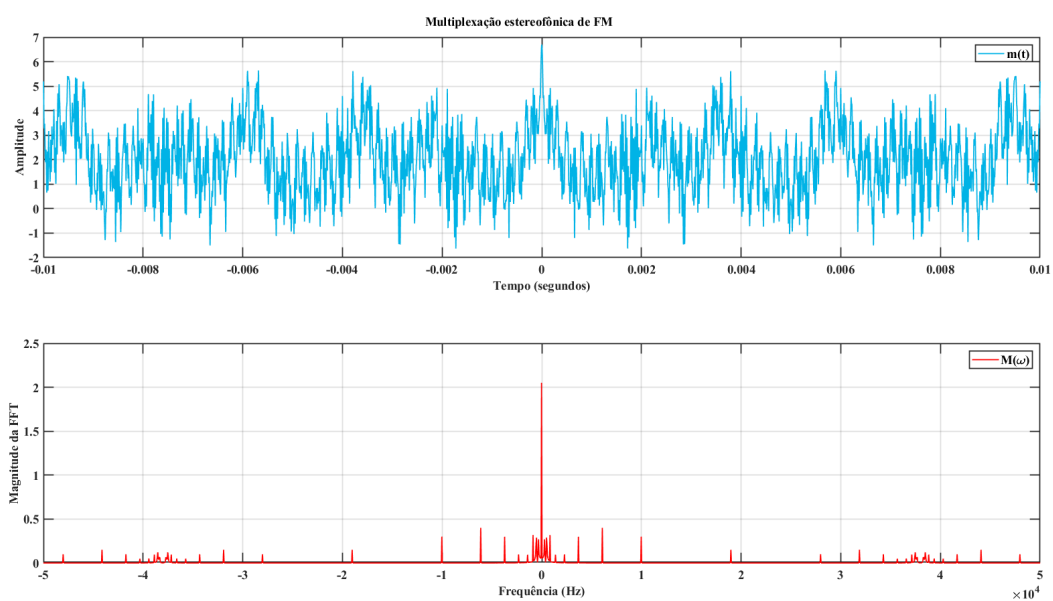


Figura 4: Mensagem multiplexada  $m(t)$ .

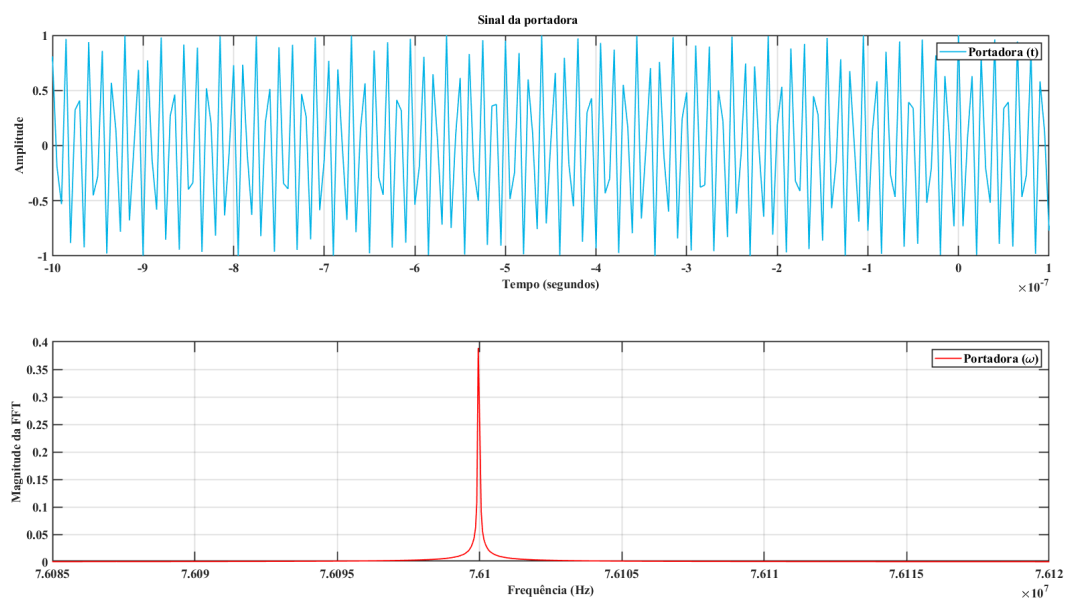


Figura 5: Sinal da portadora centrada em 76,1 MHz.

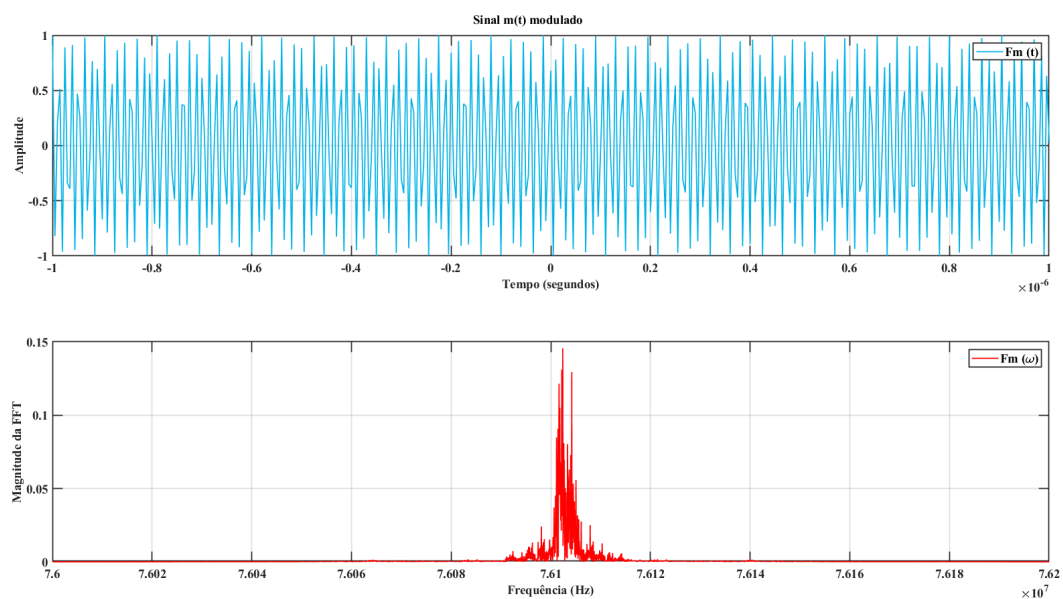


Figura 6: Sinal modulado.

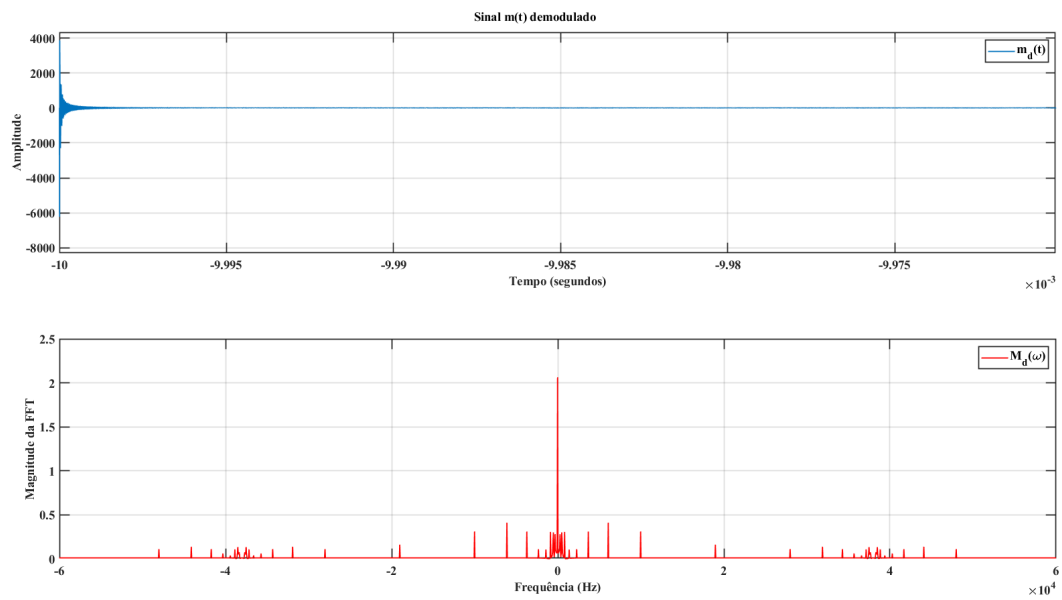


Figura 7: Sinal demodulado.

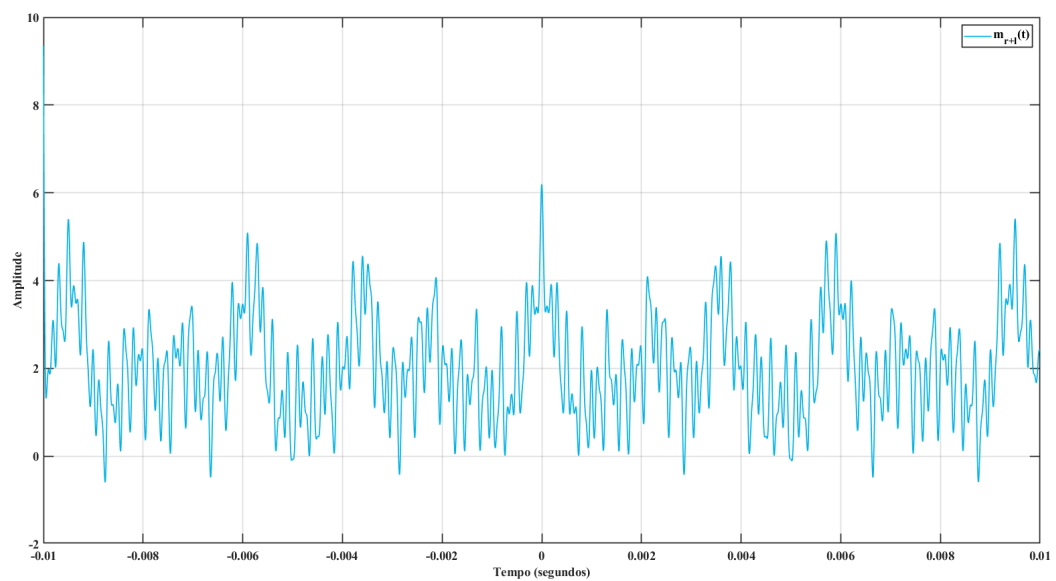


Figura 8: Saída do FPB de banda base.

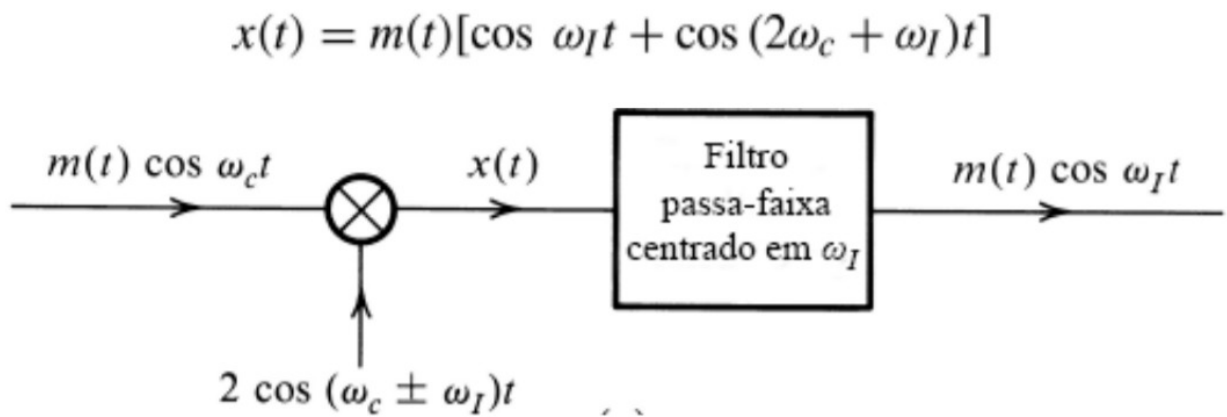


Figura 9: Duplicador de frequência.

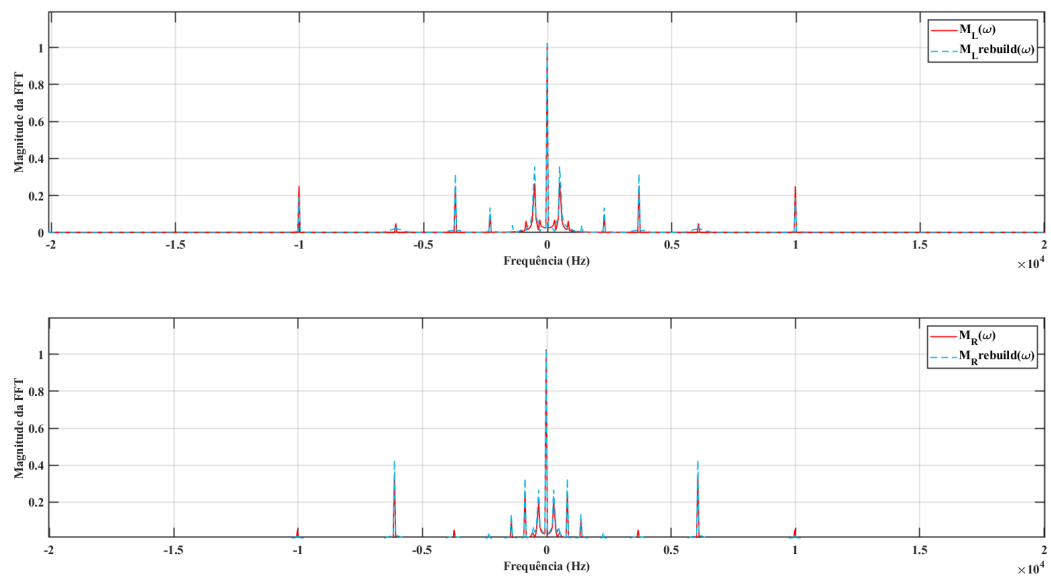


Figura 10: Sinal reconstruído em espectro frequência em comparação com a mensagem original.



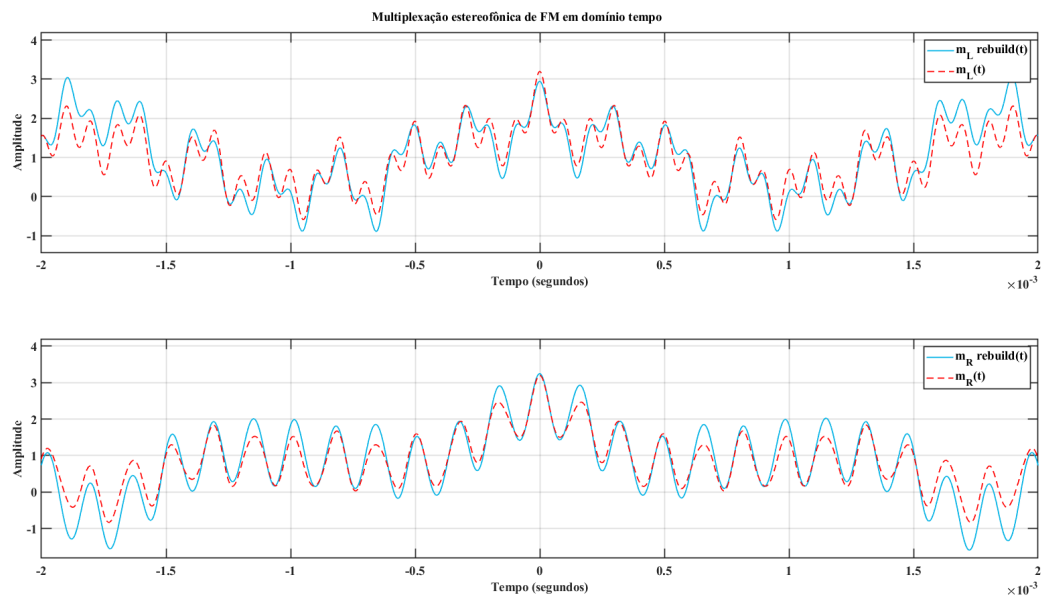


Figura 11: Sinal reconstruído no tempo em comparação com a mensagem original.