

EE882 Experimento 4

Alunos:

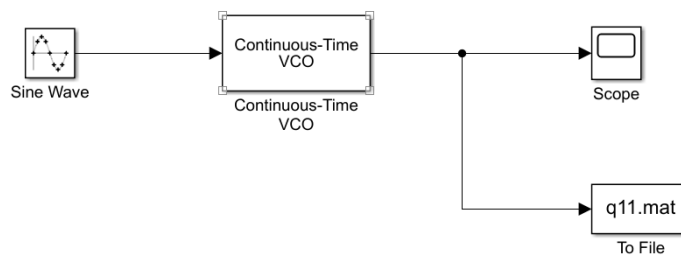
- Marcos Gabriel Barboza Dure Diaz RA: 221525 TURMA A

Questão 1 - Modulação FM

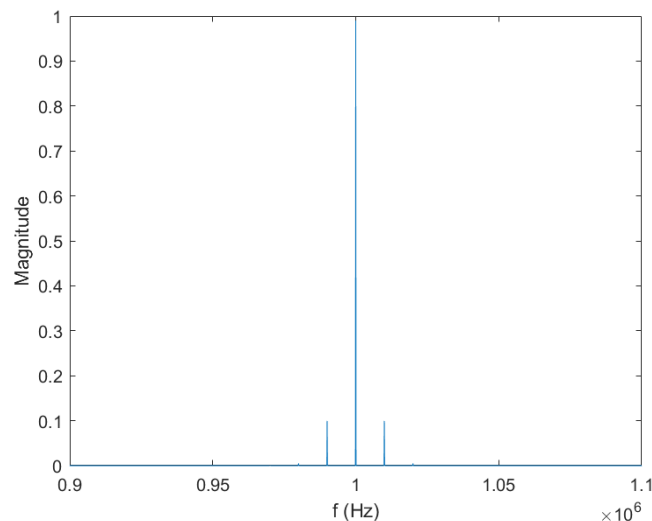
Questão 1.1-a

Inicialmente é necessário calcular a amplitude do sinal modulante (D) que garante o índice de modulação pretendido (0,2) . Assim $D = \beta f_m$, e o desvio de frequência necessário é $0,2 \cdot 10^4$.

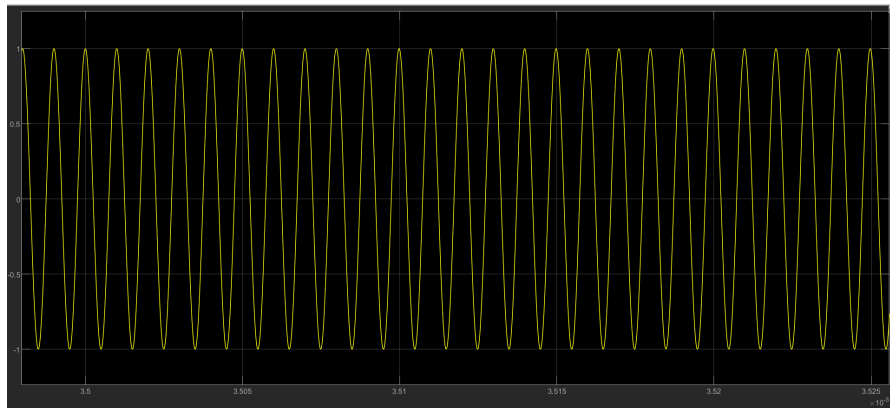
Modelo simulink para o Modulador



Espectro da modulação com Portadora Cossenoidal e Modulante Cossenoidal



Sinal no tempo da modulação com Portadora Cossenoidal e Modulante Cossenoidal



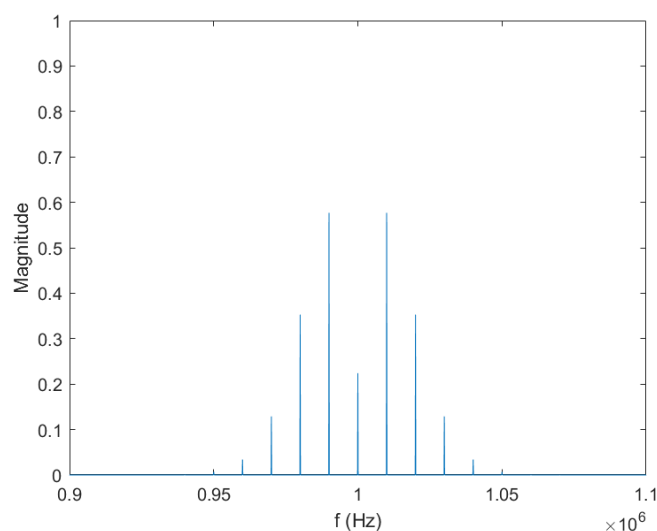
Pelo osciloscópio não foi possível observar como a frequência da portadora é alterada pela variação do sinal modulante, provavelmente pois a frequência da portadora é muito maior que a da modulante.

Na frequência observamos que o espectro é centrado na frequência da portadora (1 MHz) e possui componentes separados por 10 kHz, a frequência da modulante. Utilizando a fórmula de Carson $B_t = 2f_M (\beta + 1)$, com $f_m = 10\text{kHz}$, encontramos uma banda teórica de 24kHz, aproximadamente a faixa das duas primeiras componentes. Assim, a banda observada está majoritariamente dentro dessa faixa de 24 kHz, como previsto pela teoria.

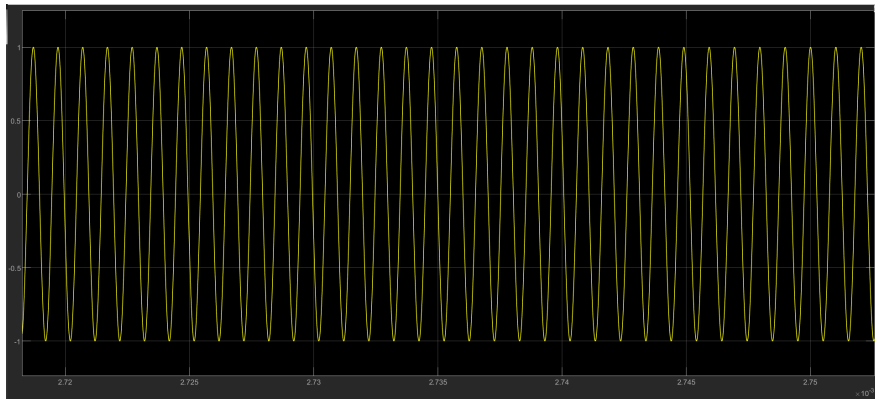
Questão 1.1-b

Para índice de modulação 2, a amplitude necessária é $2 \cdot 10^4$.

Espectro da modulação com Portadora Cossenoidal e Modulante Cossenoidal



Sinal no tempo da modulação com Portadora Cossenoidal e Modulante Cossenoidal



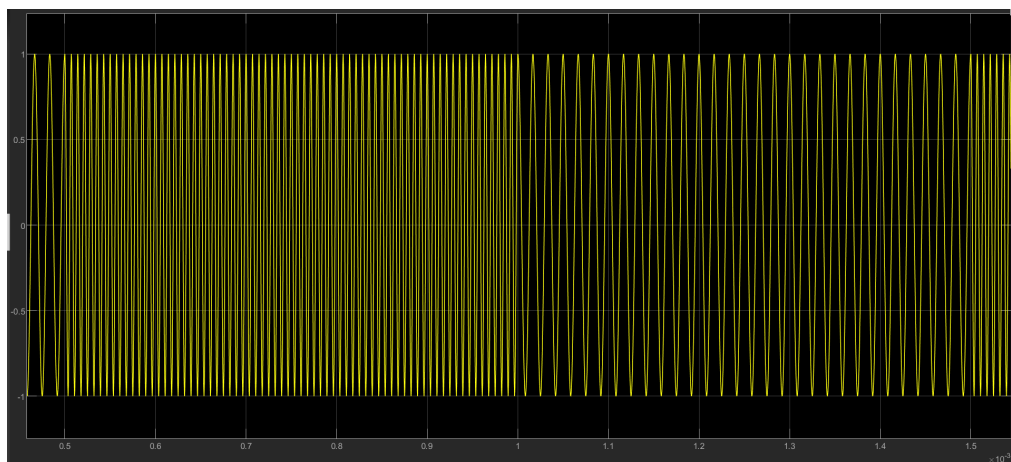
Em comparação com o índice de faixa estreita (0,2), o índice de faixa larga (2) causa uma redução da amplitude relativa entre os picos de frequência, de modo que mais componentes de frequência são significativos, resultando em uma banda maior. A banda teórica desse sinal é calculada novamente com a fórmula de Carson e tem valor de 60 KHz, o que é compatível com a banda observada no espectro.

Questão 1.2

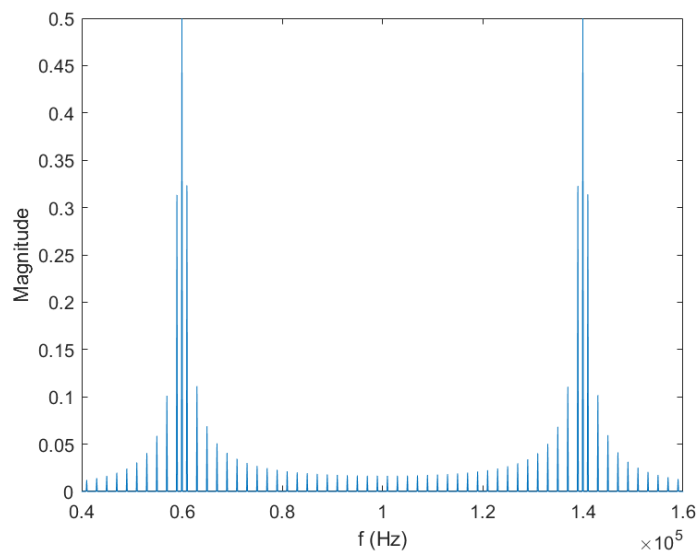
Agora utilizamos uma onda quadrada como informação. Foi possível medir a frequência instantânea para o nível alto e baixo da onda quadrada, respectivamente 138 kHz e 58 kHz. Essa modulação é esperada pois utilizamos um desvio de frequência de 40 kHz e uma frequência da moduladora de 100 kHz, de modo que a frequência correspondente ao nível baixo deveria ser aproximadamente $100 - 40 = 60$ kHz e a de nível alto $100 + 40 = 140$ kHz.

As duas raías do espectro correspondem exatamente a essas duas frequências de modulação.

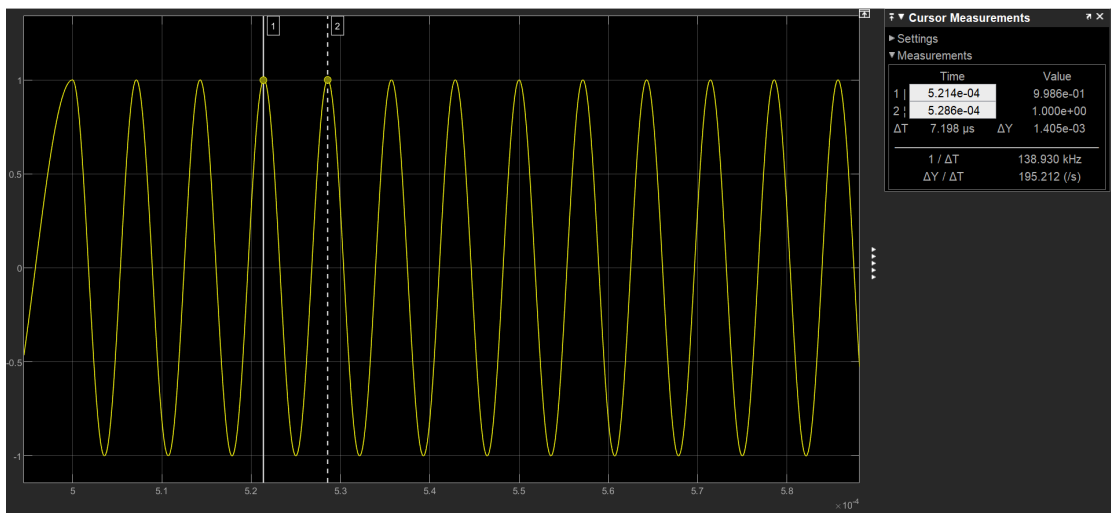
Sinal no tempo da modulação com Portadora Cossenoidal e Modulante Quadrada



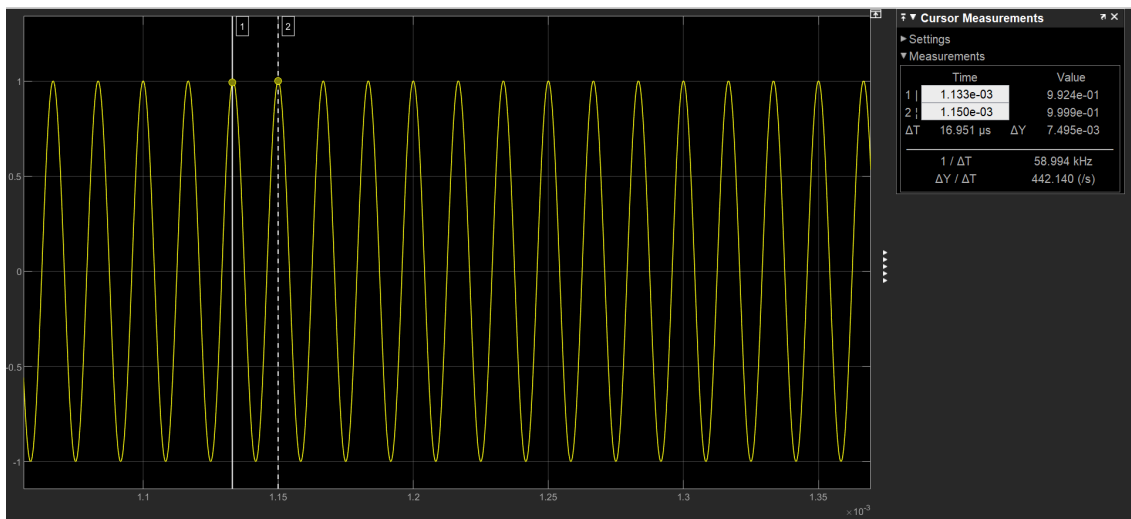
Espectro da modulação com Portadora Cossenoidal e Modulante Quadrada



Medição da frequência instantânea correspondente ao nível alto da onda quadrada

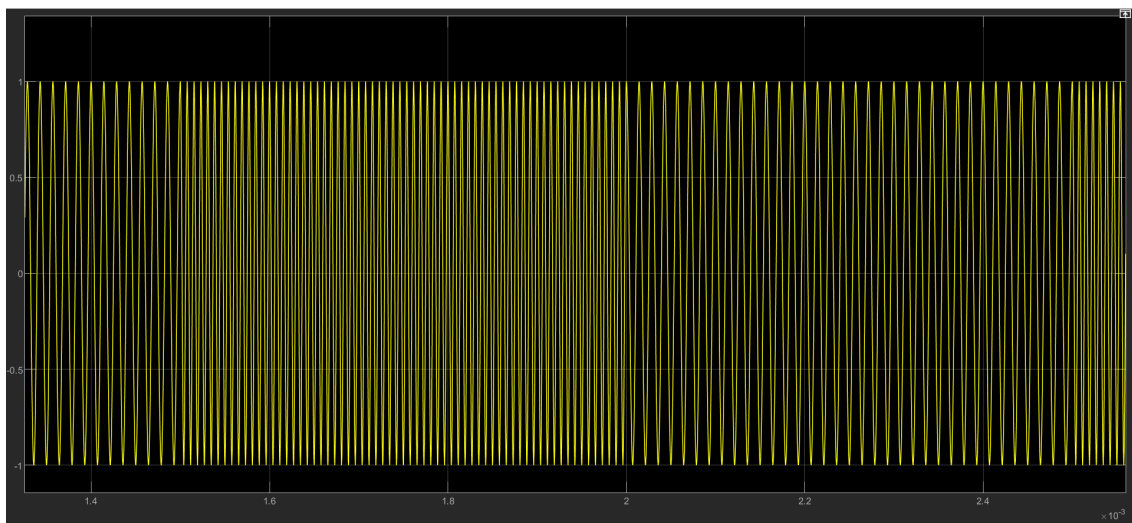


Medição da frequência instantânea correspondente ao nível baixo da onda quadrada

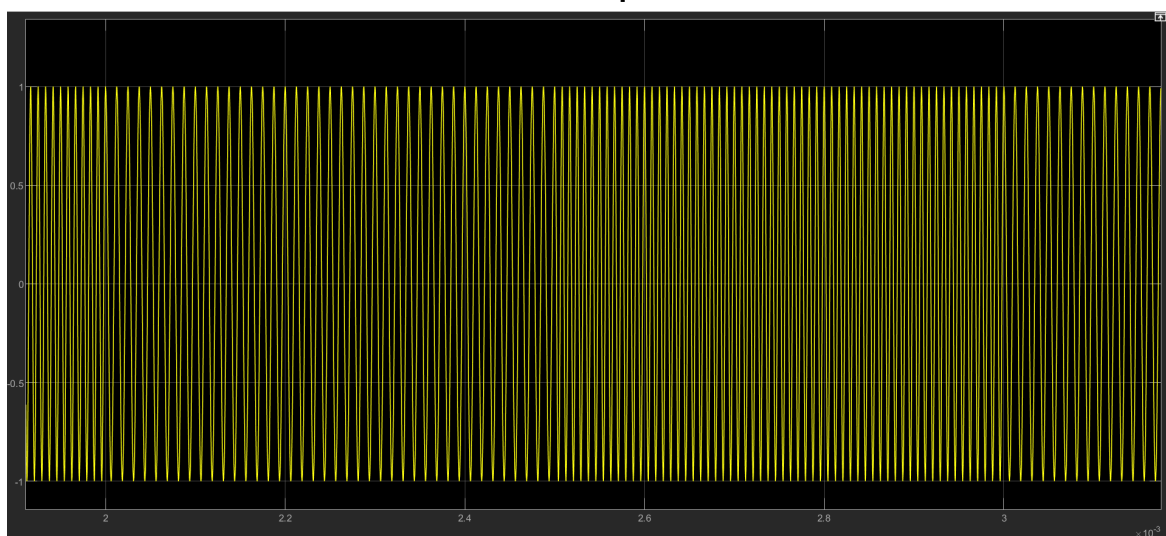


Reduzimos progressivamente o desvio de frequência para 30, 20 e 10 kHz e observamos que as frequências que distinguem nível alto e baixo se tornam cada vez mais próximas. No espectro isso é percebido pela aproximação das duas raias. Tal efeito, ao mesmo tempo que reduz a banda que ocupa a onda modulada, pode aumentar a taxa de erro de bit, já que o ruído do canal se torna mais significativo e dificulta a demodulação e subsequente detecção da onda de informação. A taxa de bit aumenta com a redução do desvio de frequência pois a menor frequência da banda resultante diminui.

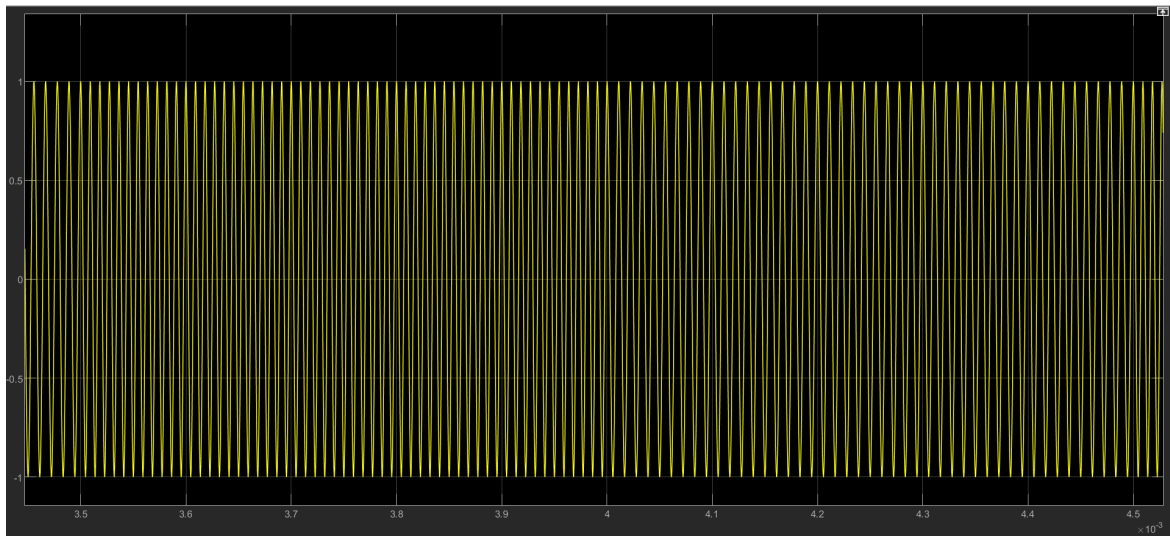
Sinal no tempo da modulação com Portadora Cossenoidal e Modulante Quadrada com desvio de frequência 30 kHz



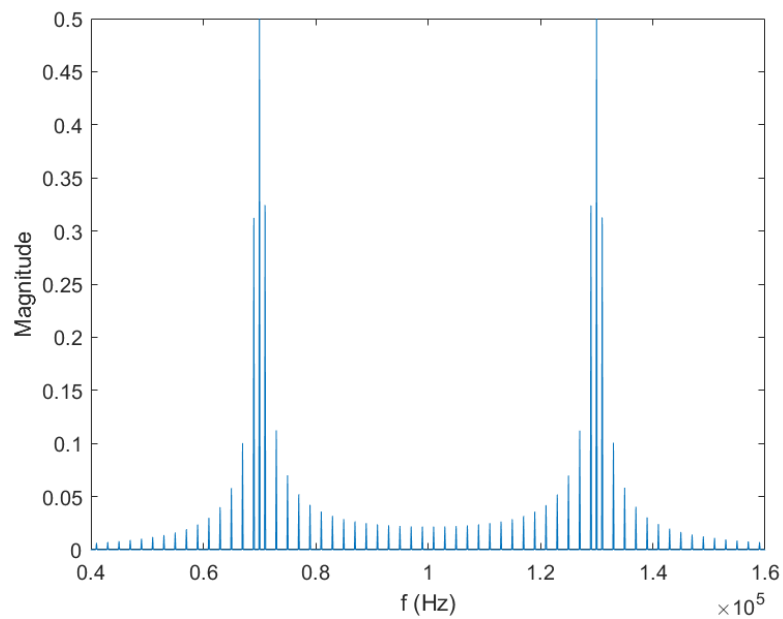
Sinal no tempo da modulação com Portadora Cossenoidal e Modulante Quadrada com desvio de frequência 20 kHz



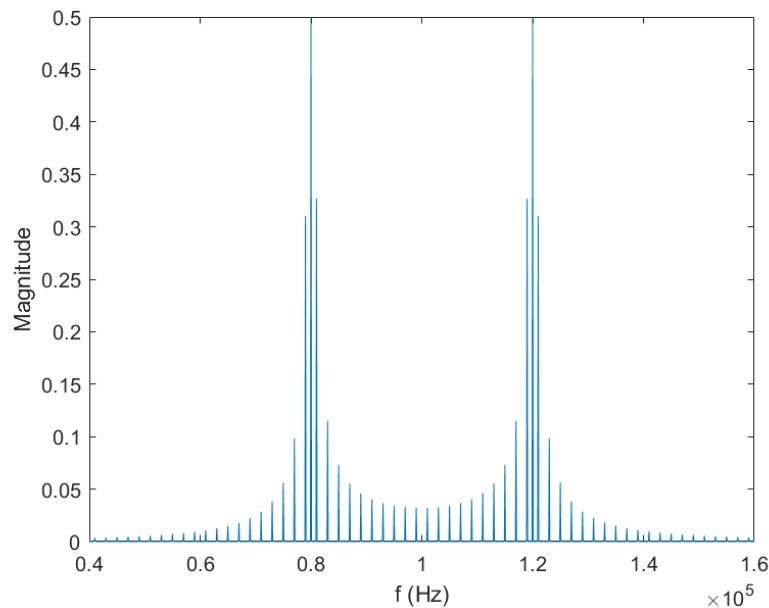
Sinal no tempo da modulação com Portadora Cossenoidal e Modulante Quadrada com desvio de frequência 10 kHz



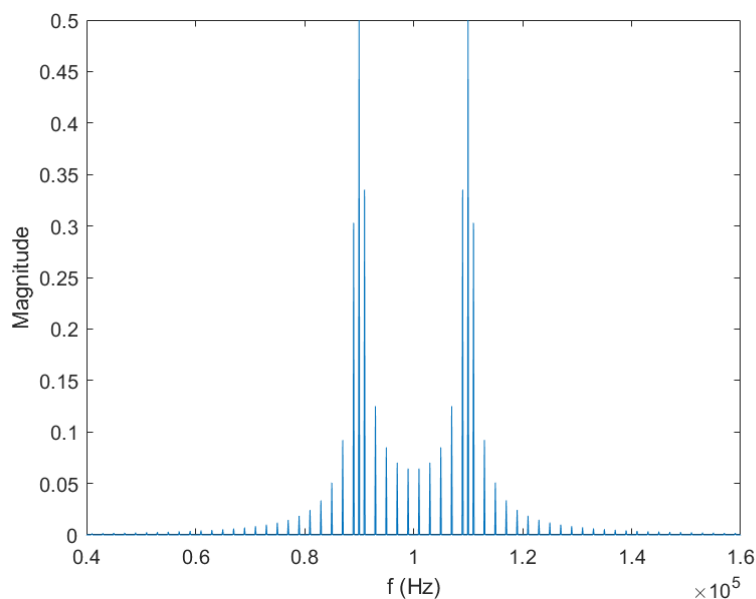
Espectro da modulação com Portadora Cossenoidal e Modulante Quadrada com desvio de frequência 30 kHz



Espectro da modulação com Portadora Cossenoidal e Modulante Quadrada com desvio de frequência 20 kHz



Espectro da modulação com Portadora Cossenoidal e Modulante Quadrada com desvio de frequência 10 kHz



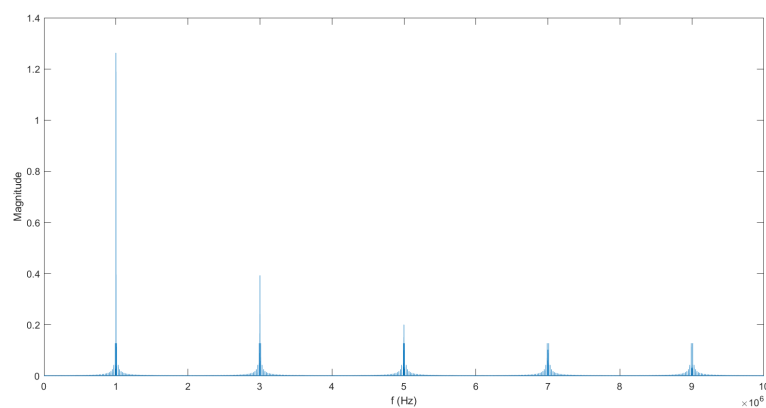
Questão 1.3

Nessa questão utilizamos uma onda quadrada como moduladora e uma onda senoidal como informação. Observamos o sinal no tempo e na frequência. No tempo observamos uma onda quadrada com frequência 1 MHz e, de modo análogo à questão 1.1, não é possível observar a modulação na frequência.

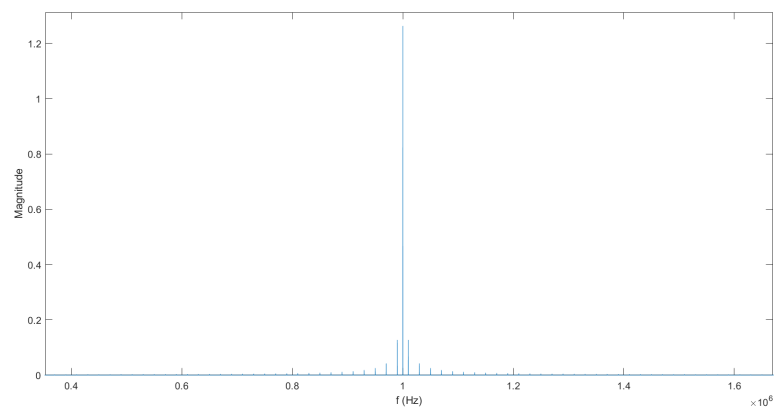
Na frequência, observamos componentes centradas em 5 harmônicas a partir de uma frequência fundamental igual à frequência da portadora quadrada. A banda em torno da primeira harmônica é estreita, ou seja, cabe dentro da faixa de $2 \cdot f_m = 20 \text{ kHz}$ centrada em 1 MHz, mas as outras harmônicas apresentam bandas progressivamente mais largas. Essas bandas são resultantes do espectro da onda quadrada, que apresenta picos em harmônicas da frequência fundamental da onda.

Se considerarmos que a modulação por onda quadrada é uma superposição de modulações tonais com portadora senoidal de frequência igual às harmônicas da onda quadrada, e considerando que quanto maior a frequência da harmônica menor sua amplitude, o índice de modulação se torna relativamente maior que a amplitude, resultando numa banda maior em torno da harmônica.

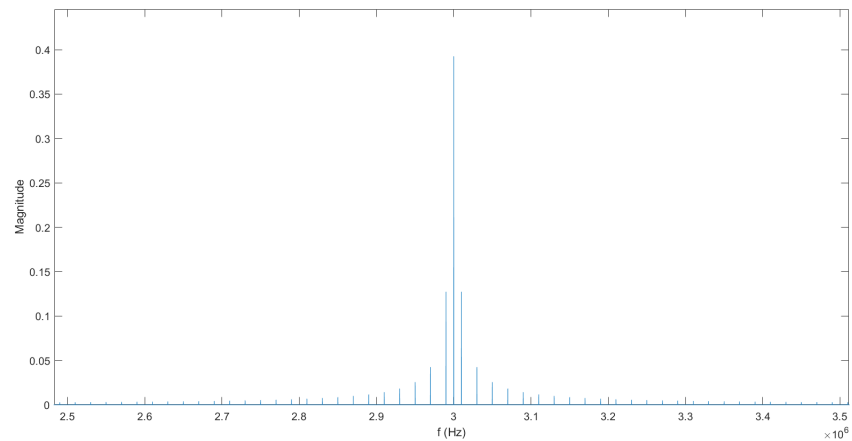
Espectro da modulação com Portadora Quadrada e Modulante Cossenoidal



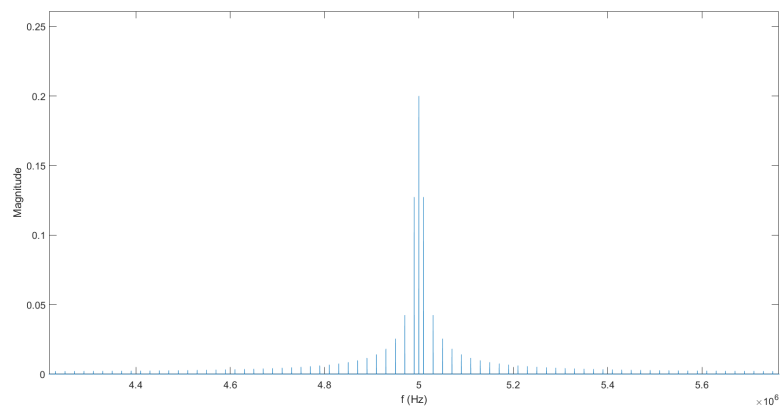
Espectro da modulação com Portadora Quadrada e Modulante Cossenoidal com zoom na primeira harmônica (1 MHz)



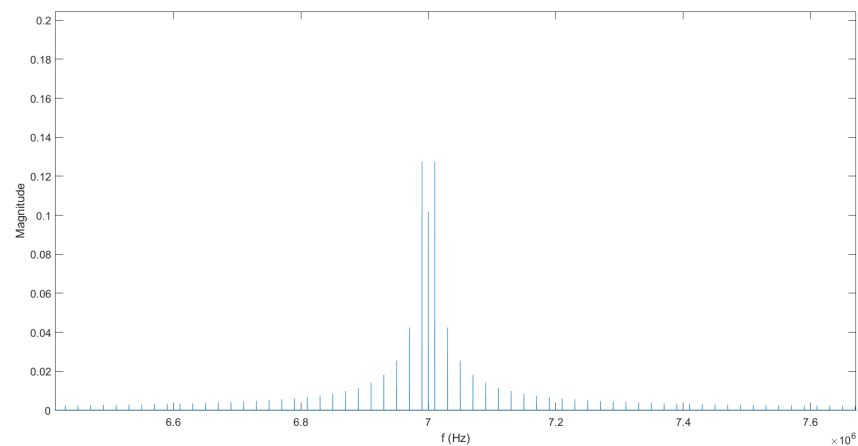
**Espectro da modulação com Portadora Quadrada e Modulante Cossenoidal
com zoom na segunda harmônica (3 MHz)**



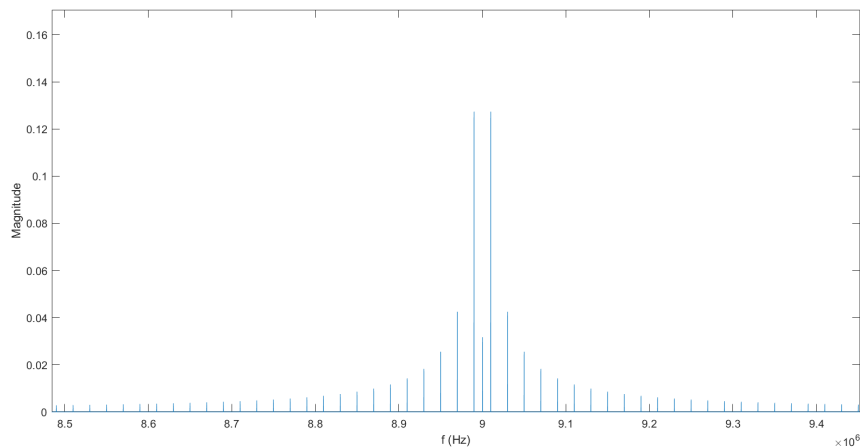
**Espectro da modulação com Portadora Quadrada e Modulante Cossenoidal
com zoom na terceira harmônica (5 MHz)**



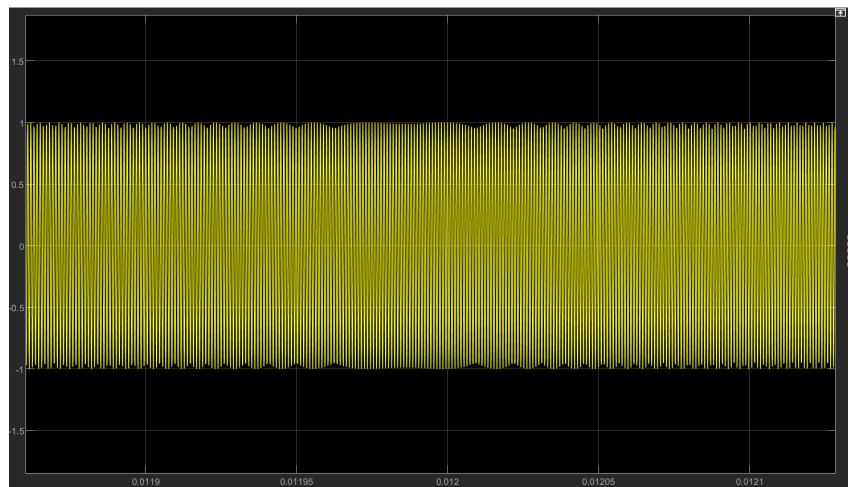
**Espectro da modulação com Portadora Quadrada e Modulante Cossenoidal
com zoom na quarta harmônica (7 MHz)**



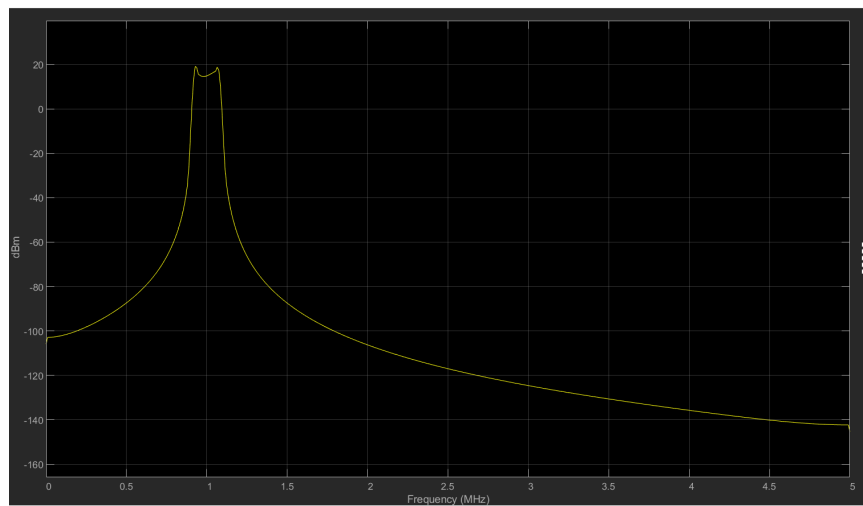
Espectro da modulação com Portadora Quadrada e Modulante Cossenoidal com zoom na quinta harmônica (9 MHz)



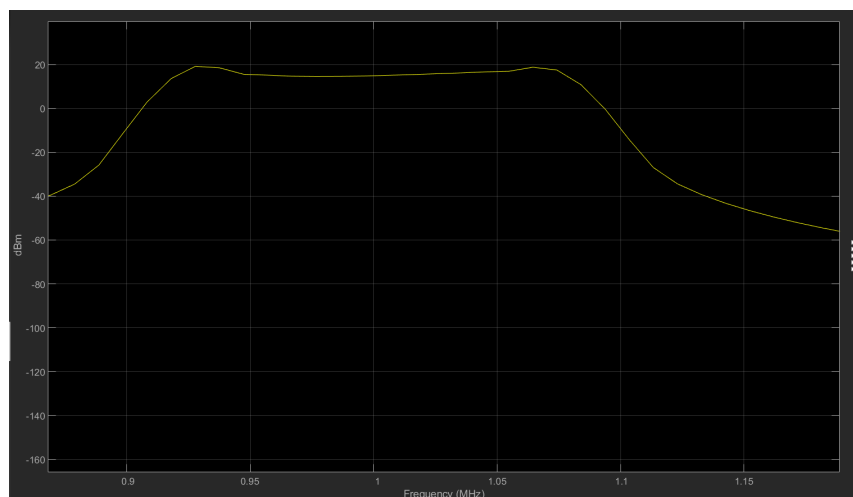
Sinal no tempo da modulação com Portadora Cossenoidal e Modulante Chirp



Espectro da modulação com Portadora Cossenoidal e Modulante Chirp



Zoom no espectro da modulação com Portadora Cossenoidal e Modulante Chirp



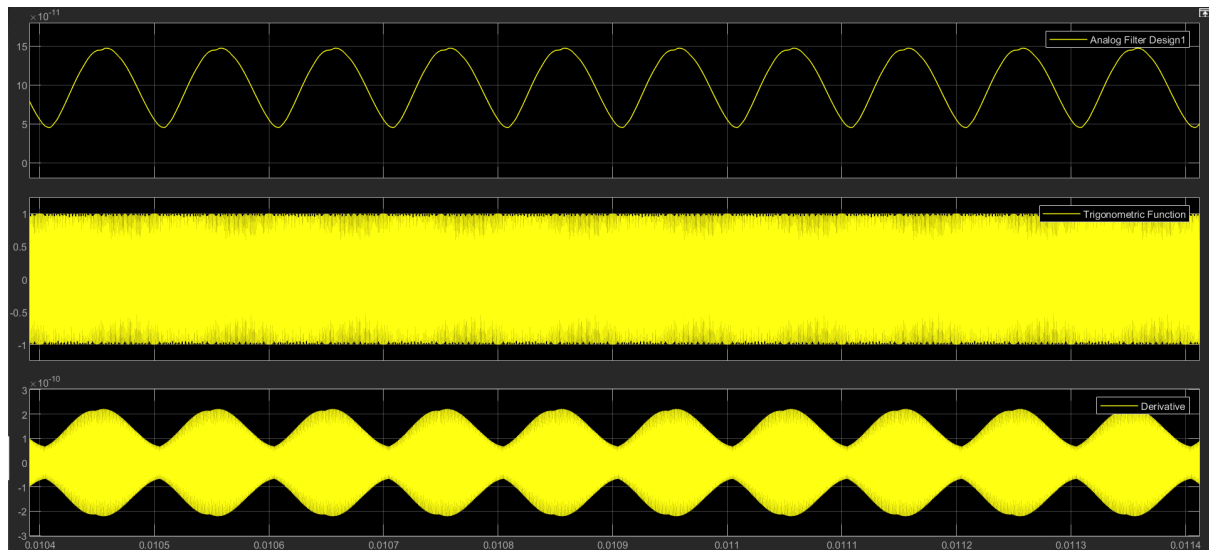
Questão 2 - Demodulação FM

Questão 2.1

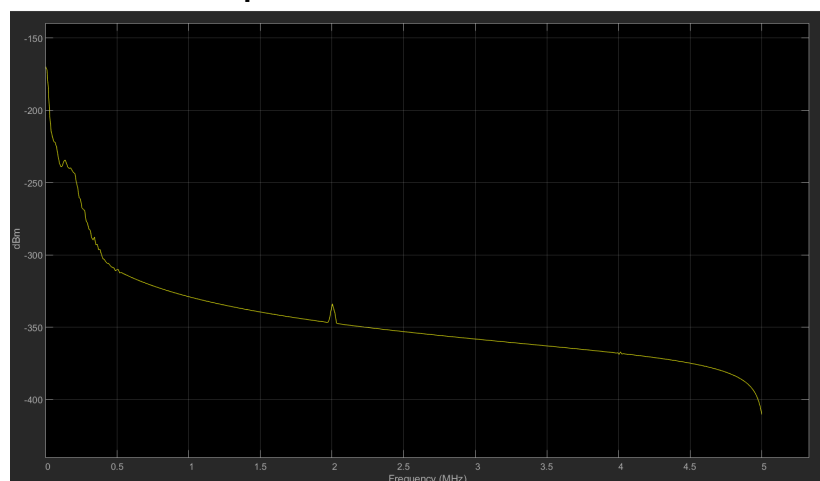
Associamos à saída da modulação de uma onda senoidal blocos de demodulação FM, a fim de recuperar a onda modulante original. Na recepção, utilizamos um FPF na banda de 990 kHz a 1010 kHz, um bloco de derivada para transformar o sinal FM em AM e o detector de envoltória do Experimento 3, com um diodo simulado pelo bloco módulo e um filtro passa baixa com frequência 200 kHz, valor muito menor que a frequência da portadora 1 MHz e muito maior que a frequência da modulante 10 kHz.

Foi possível resgatar o formato da onda senoidal, ainda que seu espectro apresente outras componentes significativas.

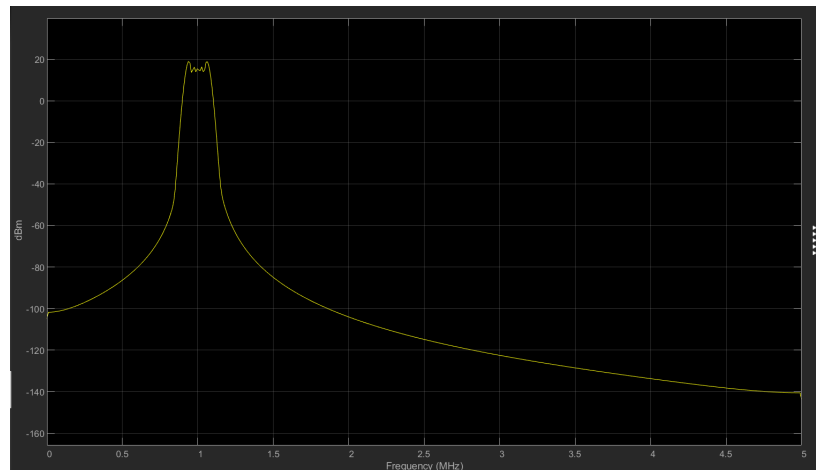
Sinal no tempo da onda demodulada (saída final), da onda modulada FM (saída do modulador FM) e da onda modulada AM (saída do derivador)



Espectro da onda demodulada

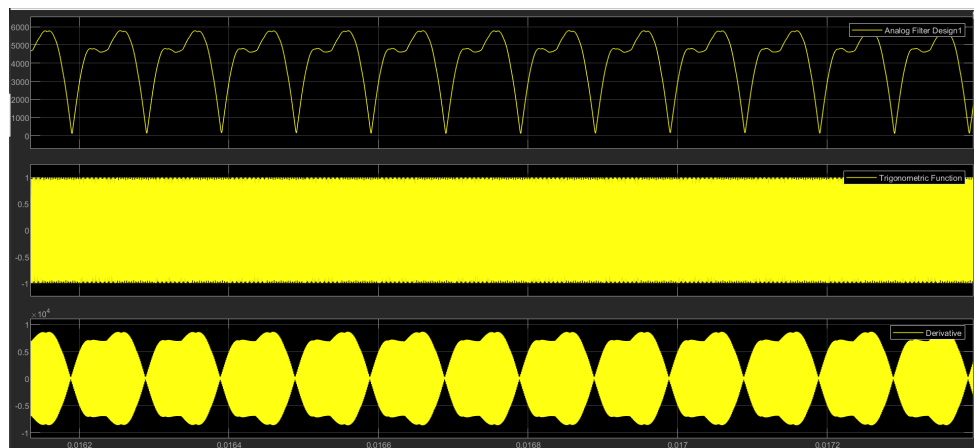


Espectro da onda modulada FM

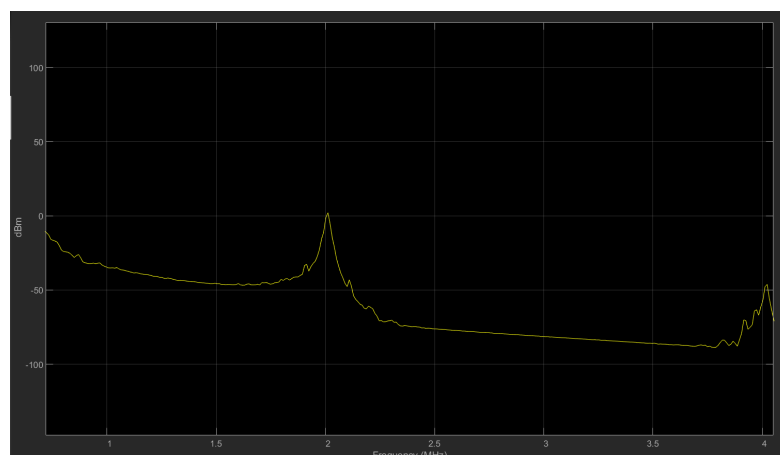


Repetimos o experimento para uma entrada quadrada de mesma frequência. Não foi possível resgatar o formato da onda quadrada na demodulação.

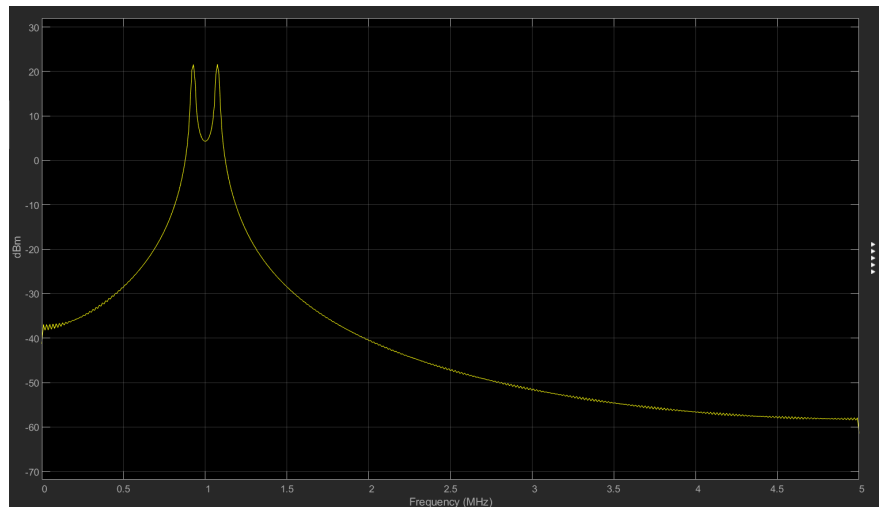
Sinal no tempo da onda demodulada (saída final), da onda modulada FM (saída do modulador FM) e da onda modulada AM (saída do derivador)



Espectro da onda demodulada



Espectro da onda modulada FM

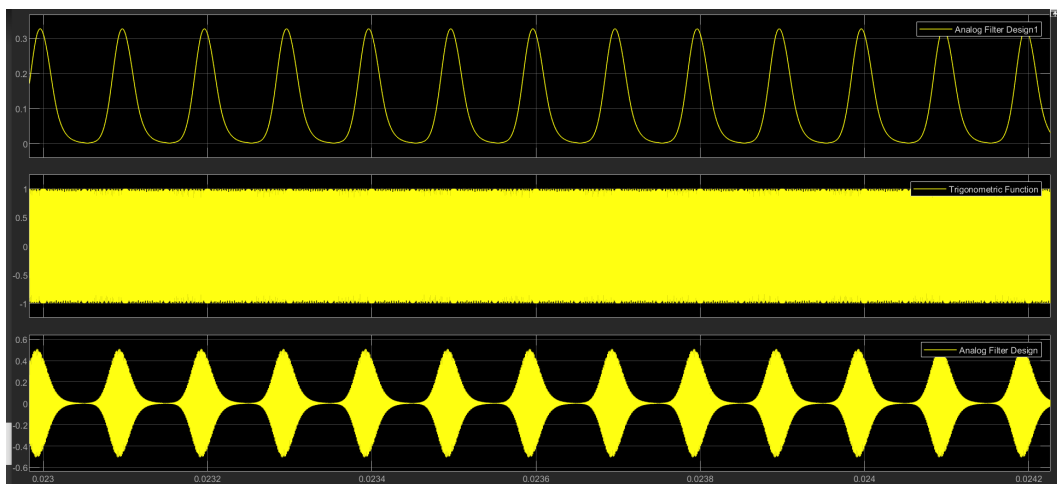


Questão 2.2

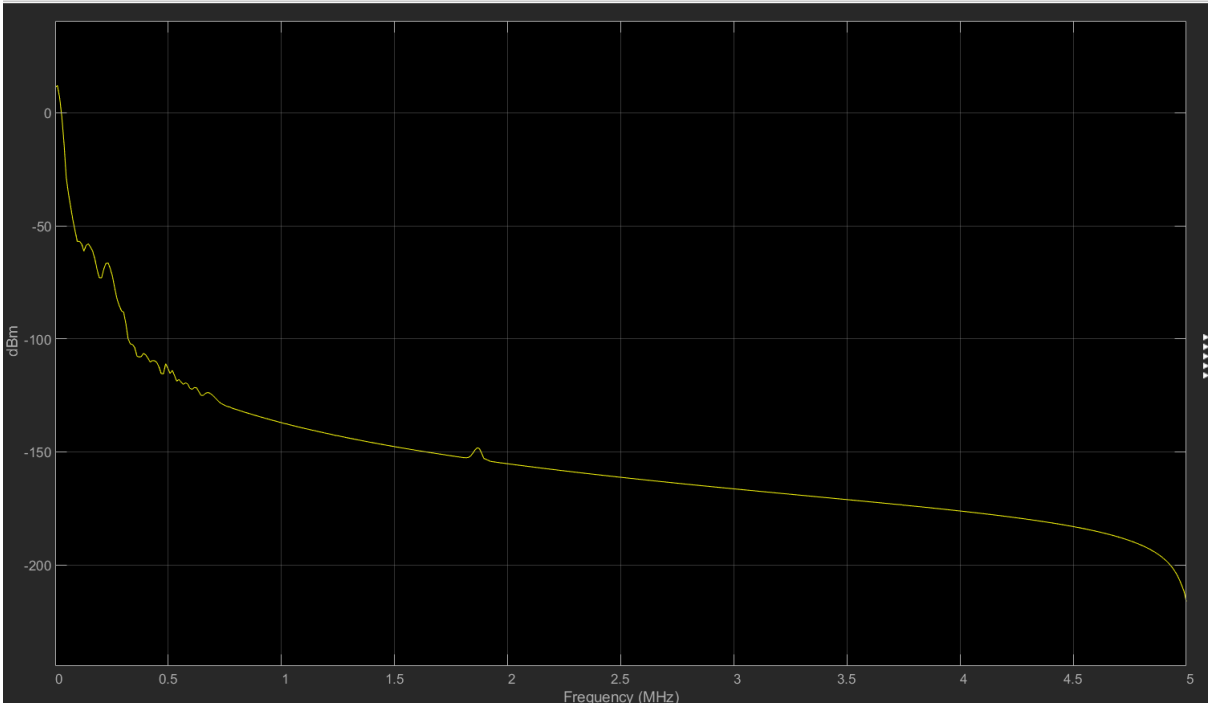
Nesse item repetimos a Questão anterior utilizando a detecção por inclinação para demodular o sinal FM, com sinal modulante senoidal e quadrado. O formato da onda senoidal recuperada foi pior que o anterior, mas o da onda quadrada foi melhor.

Para a onda senoidal:

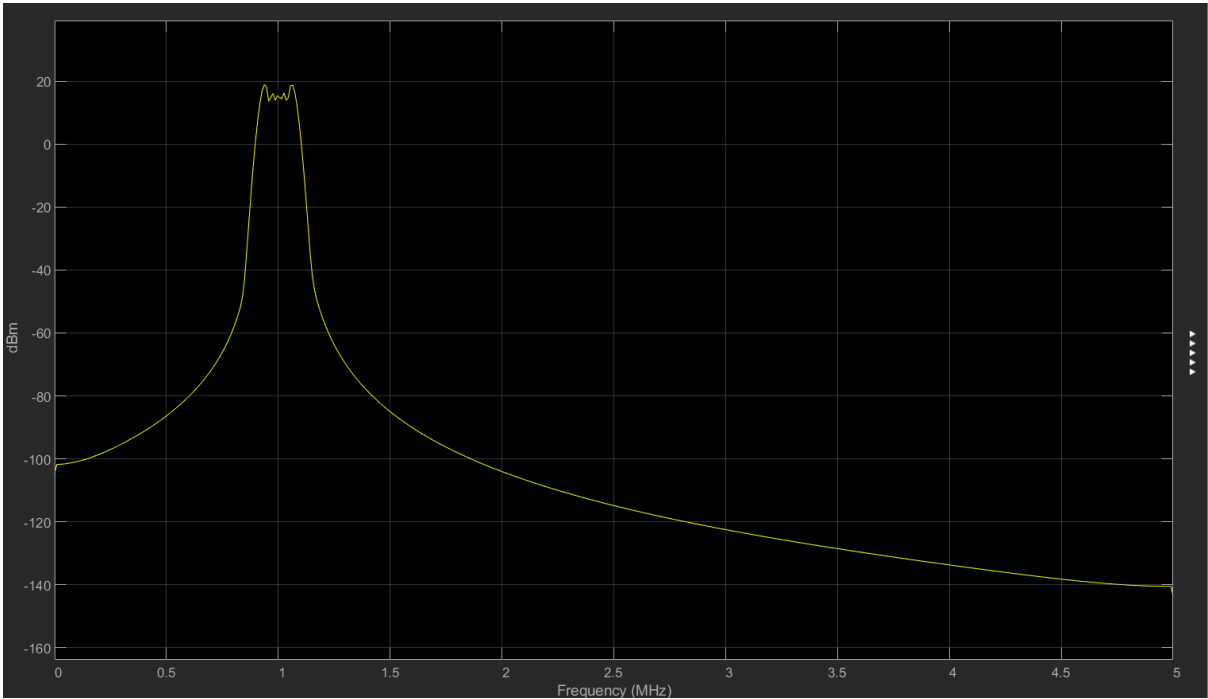
Sinal no tempo da onda demodulada (saída final), da onda modulada FM (saída do modulador FM) e da onda modulada AM (saída do derivador)



Espectro da onda demodulada

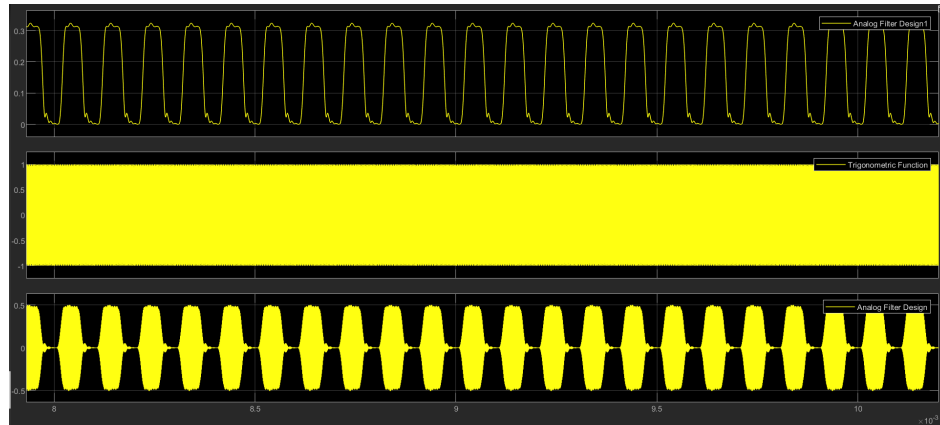


Espectro da onda modulada FM

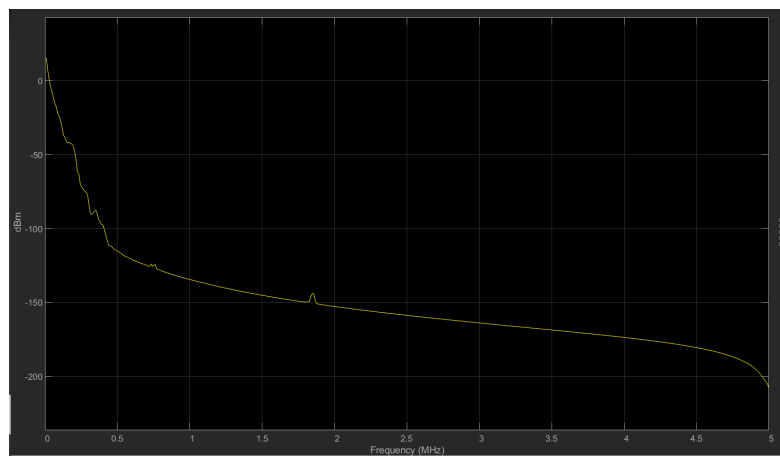


Para a onda quadrada:

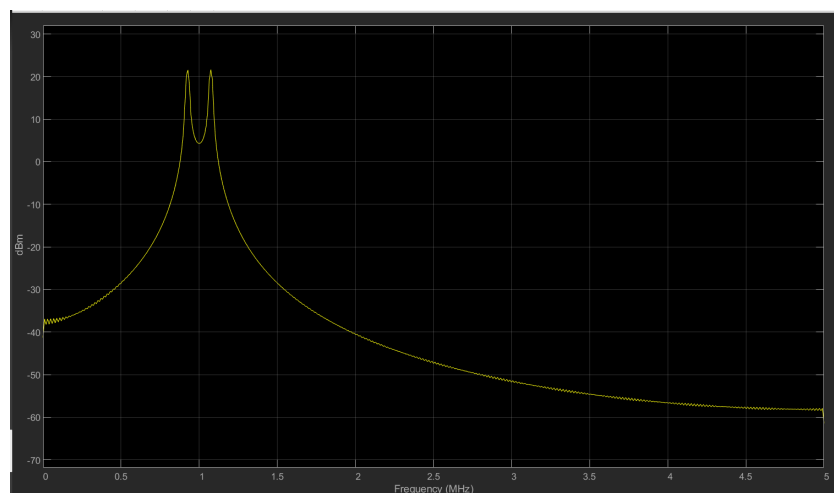
Sinal no tempo da onda demodulada (saída final), da onda modulada FM (saída do modulador FM) e da onda modulada AM (saída do derivador)



Espectro da onda demodulada



Espectro da onda modulada FM



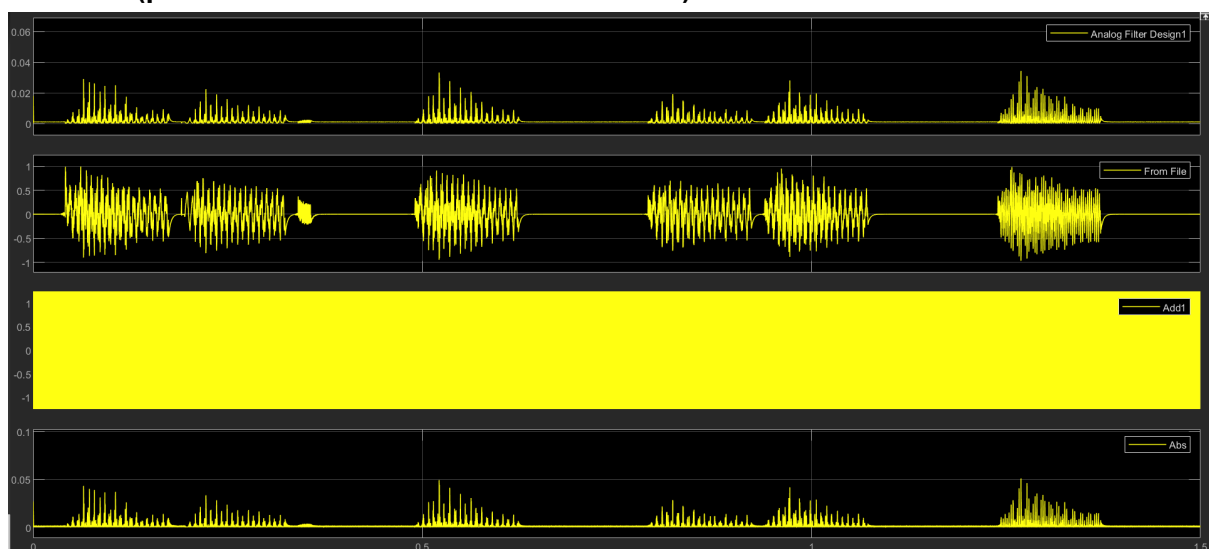
Questão 3 - Emissoras FM

Montamos um diagrama com duas emissoras FM, cada uma transmitindo uma música diferente. Utilizamos o Detector por Inclinação para a demodulação. Sintonizamos na transmissão de 950 kHz com um FPF que deixa passar a faixa entre 750 e 850 kHz, e na transmissão de 1050 kHz com um FPF que deixa passar a faixa entre 1100 e 1200 kHz. O FPF do detector de envoltória

Foi possível ouvir as duas músicas claramente após a demodulação, claro com volume menor devido à perda de energia (amplitude).

Analisando pelo osciloscópio, verificamos que a demodulação só captura a parte positiva das amplitudes, e não as amplitudes negativas do sinal de entrada (imagino que a parte negativa seja consequência da normalização do sinal de entrada).

Sinal na saída do demodulador; Sinal original; Sinal modulado em FM; Sinal de saída do diodo (para a música de transmissão 950 kHz)



Sinal na saída do demodulador; Sinal original; Sinal modulado em FM; Sinal de saída do diodo (para a música de transmissão 1050 kHz)

