

EE882 Experimento 2

Alunos:

- Marcos Gabriel Barboza Dure Diaz RA: 221525 TURMA A

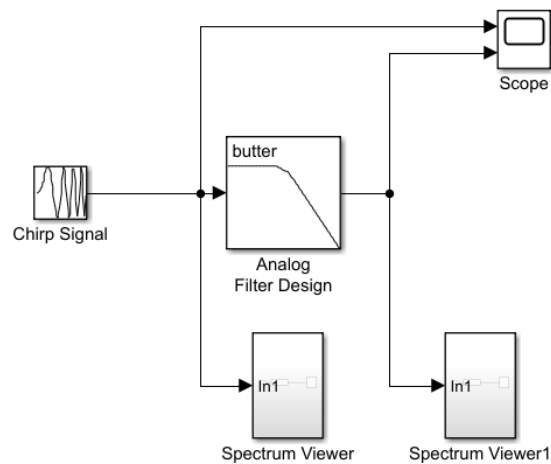
OBS: A minha dupla do experimento anterior trancou a matéria e ainda não consegui encontrar outra

Questão 1 - Filtro Passa-Baixa

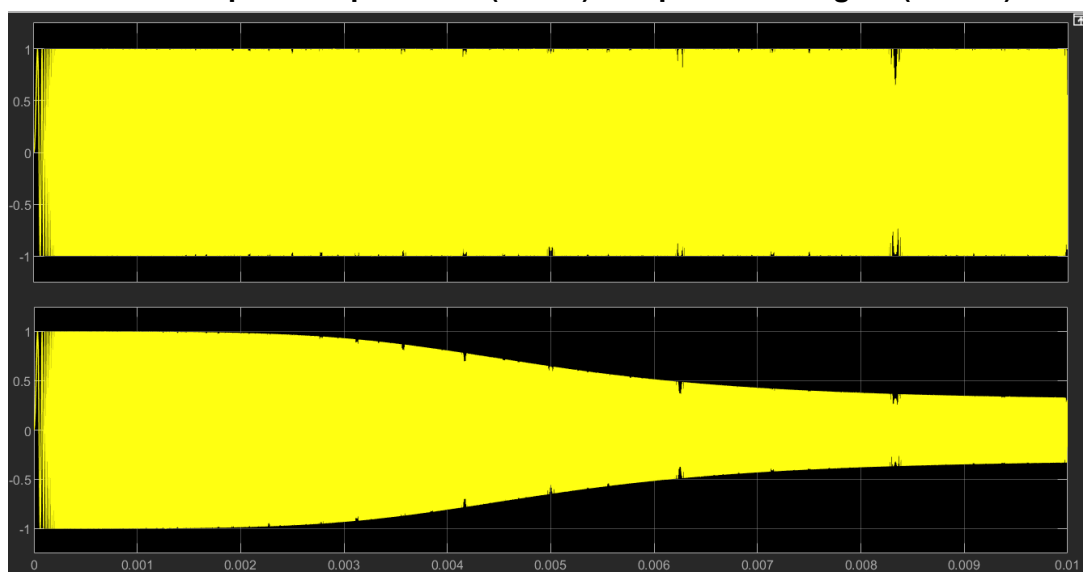
Questão 1.1

Iniciamos o experimento 1 analisando um filtro passa-baixa. O bloco utilizado tem ordem 3 e frequência de corte 2 MHz. Como sinal de entrada foi utilizada uma onda chirp, onda na qual a frequência aumenta linearmente com o tempo.

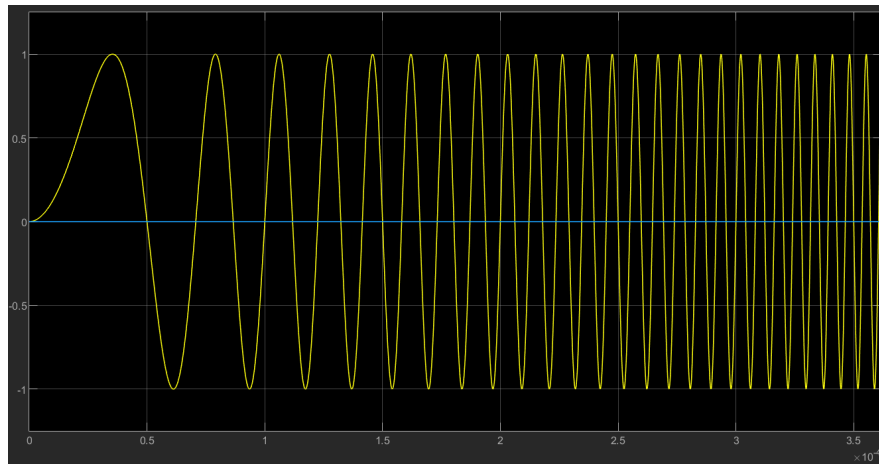
Modelo simulink para o FPB



Onda Chirp no tempo: antes (acima) e depois da filtragem (abaixo)



Onda Chirp no tempo (zoom no início)

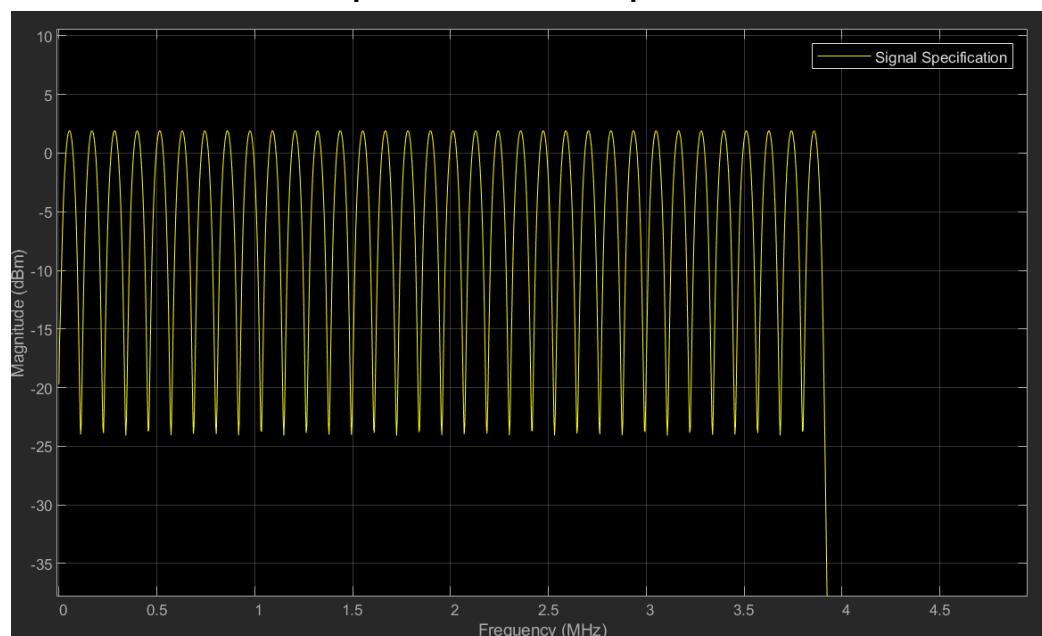


A função de transferência do FPB utilizado é $G(f) = (1 + \frac{f}{2 \cdot 10^6})^{-3}$, com frequência de corte de 2 MHz.

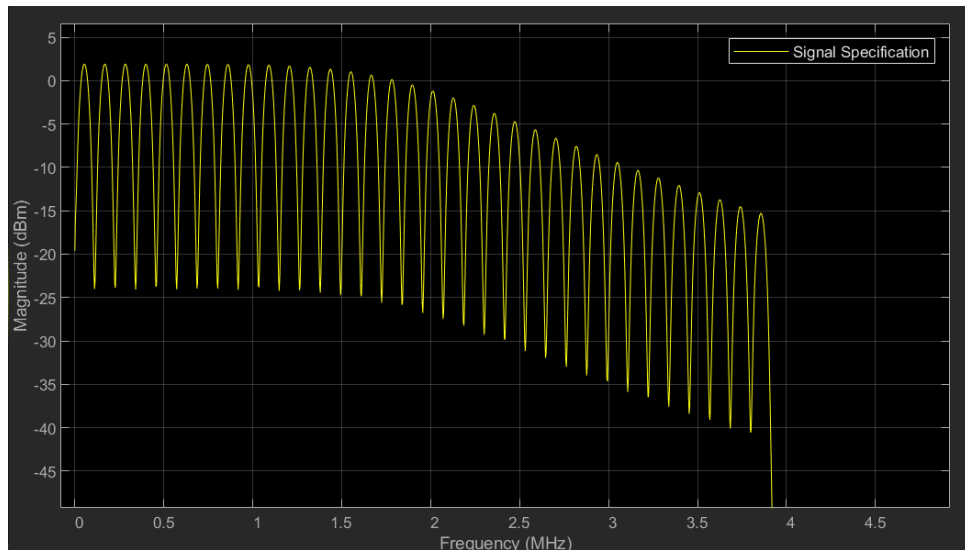
Com o osciloscópio é possível observar a forma da onda no tempo: as frequências da onda são muito altas para se perceber a forma dela no intervalo de 0,01s, por isso foi capturado um período menor que mostra as frequências aumentando. A forma de onda após a filtragem sofre decréscimos de amplitude com o tempo, resultado da atenuação das frequências maiores que a frequência de corte do filtro.

Com o bloco Spectrum Viewer observamos os espectros da onda antes e depois do filtro: antes do filtro, observamos uma repetição de parábolas equidistante ao longo das frequências (o esperado seria um trem de impulsos) até a frequência máxima de 4 MHz; depois do filtro observamos que, aproximadamente a partir da frequência de corte (2 MHz), as frequências são subtraídas por uma reta de coeficiente linear negativo, gerando uma aparência de “escada descendente”.

Espectro da onda Chirp

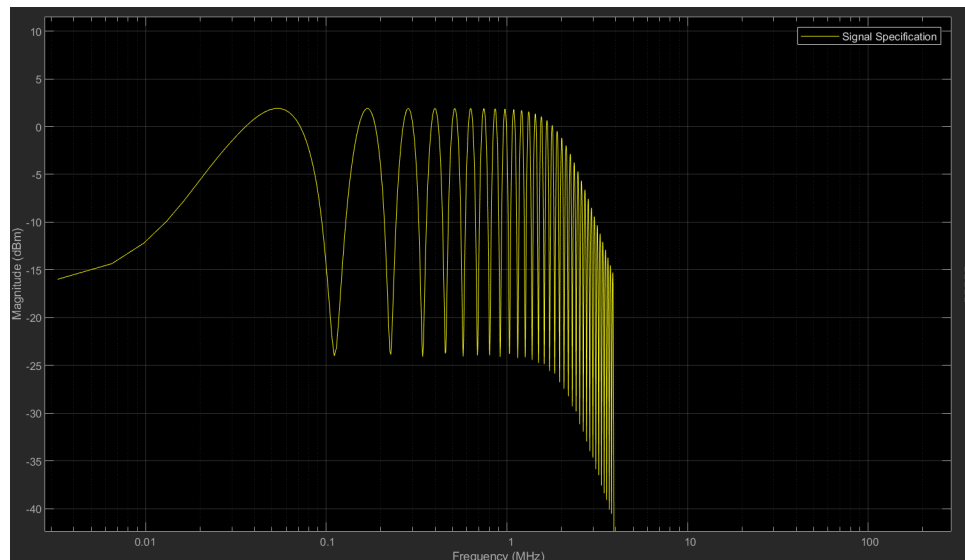


Espectro da onda Chirp após a filtragem

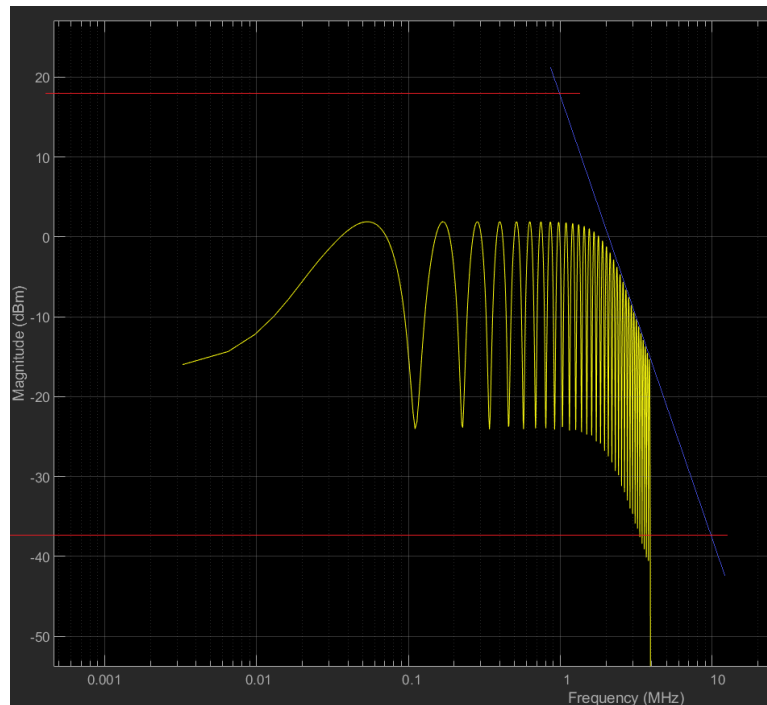


Estimamos visualmente o roll-off do filtro, observando que a declinação no espectro após a filtragem é decorrência da reta decrescente na função de transferência do filtro. O roll-off é o coeficiente angular dessa reta decrescente em dB/década. Estendendo a reta tangente aos picos das curvas, observamos que ela tem uma inclinação de aproximadamente -55 dB/década, muito próximos dos -60 dB/década previstos pela teoria. Essa diferença também é esperada pois a aproximação do cálculo teórico é para $f \gg f_c$, o que não é respeitado no gráfico da simulação.

Espectro da onda Chirp após a filtragem em escala log



Reta de roll-off (em azul)



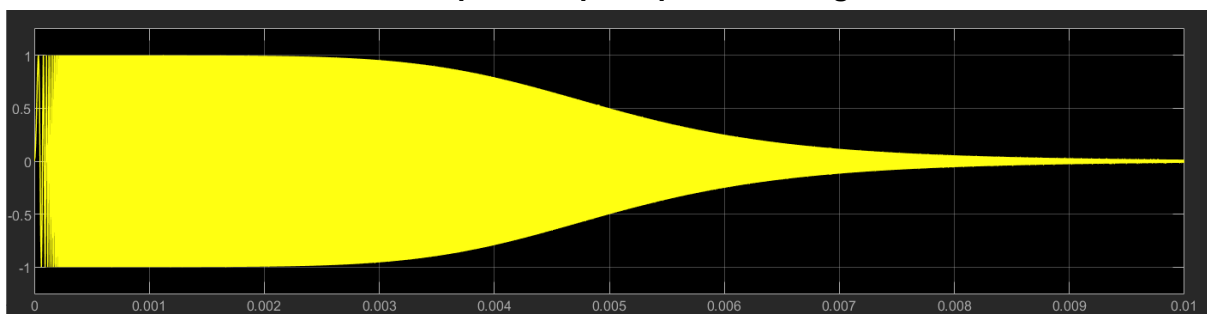
Questão 1.2

Em seguida utilizamos dois FPB em série com a mesma frequência de corte. Como no nosso diagrama de blocos a associação em série implica em multiplicação (convolução no tempo), o equivalente da associação dos filtros de ordem 3 é um filtro de ordem 6.

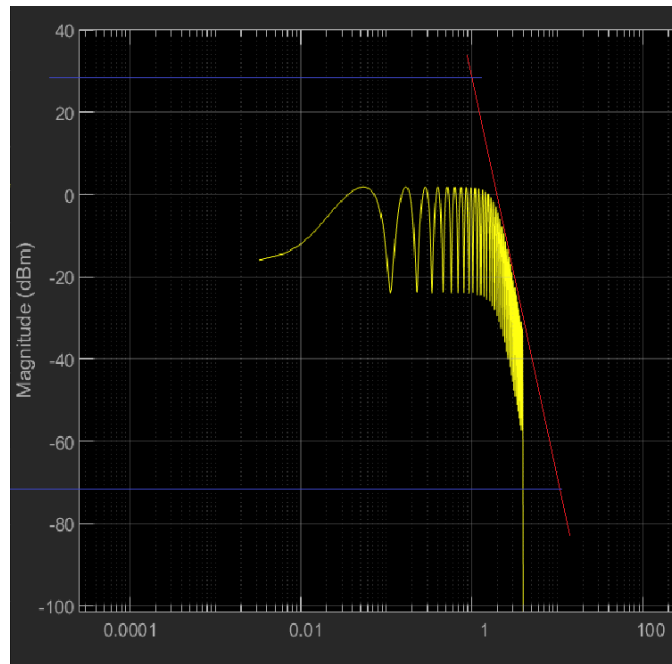
A onda no tempo sofre maior atenuação das altas frequências, apresentando formato mais afilado que o item 1.1.

O roll-off esperado para o filtro de ordem 6 é de -120 dB/década e o encontrado foi em torno de -100 dB/década.

Onda Chirp no tempo depois da filtragem



Reta de roll-off (em vermelho)



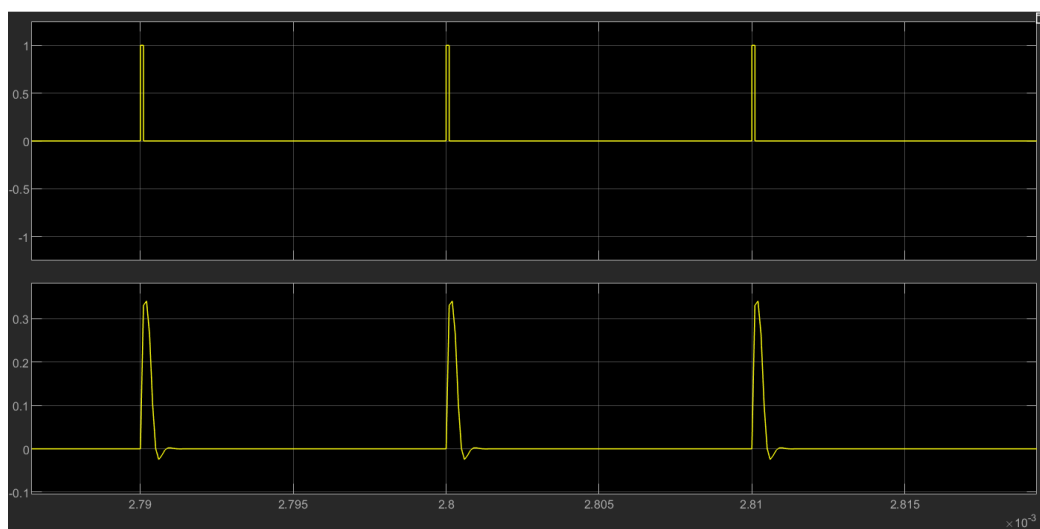
Questão 1.3

Com uma onda PWM de frequência 100 kHz e duty cycle de 1% na entrada aproximamos um trem de impulsos. O trem de impulsos tem como Transformada de Fourier outro trem de impulsos. Podemos pensar que nossa onda PWM é uma aproximação periódica de um impulso, de modo que o espectro constante do impulso é aproximado por um trem de impulsos.

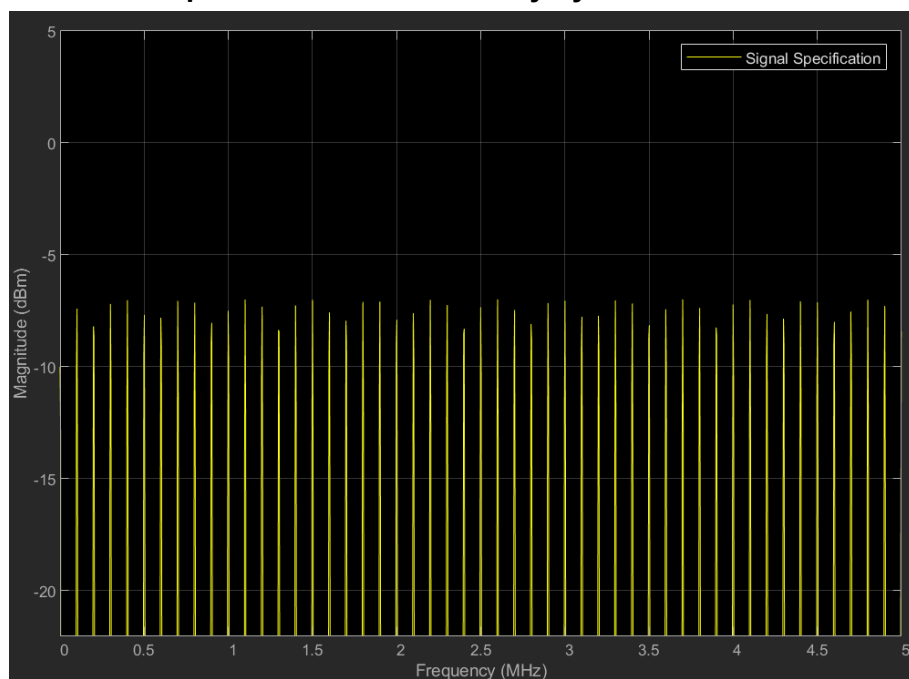
Observando o espectro da onda filtrada, é possível ver a forma da resposta ao impulso do filtro passa-baixa: um trecho constante e, aproximadamente na frequência de corte, uma reta com coeficiente angular negativo.

No tempo é possível perceber que a filtragem deu origem a uma distorção semelhante ao fenômeno de Gibbs nas bordas das transições.

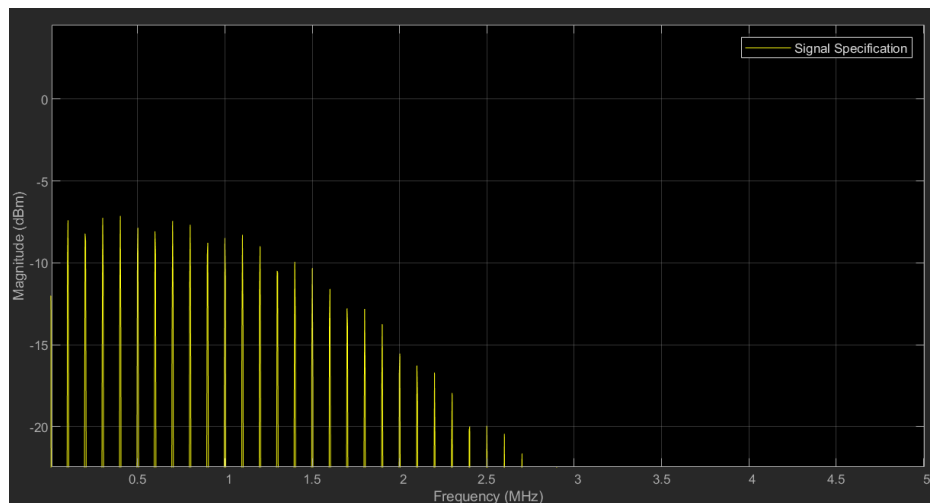
Detalhe da onda PWM no tempo: antes (acima) e depois da filtragem (abaixo)



Espectro da onda PWM duty-cycle 1%



Espectro da onda PWM duty-cycle 1% após filtragem



Questão 1.4

Neste item utilizamos uma onda quadrada periódica de 100 kHz e pico de 200 mV como entrada. No tempo, observamos que a atenuação das altas frequências gera uma distorção semelhante ao fenômeno de Gibbs.

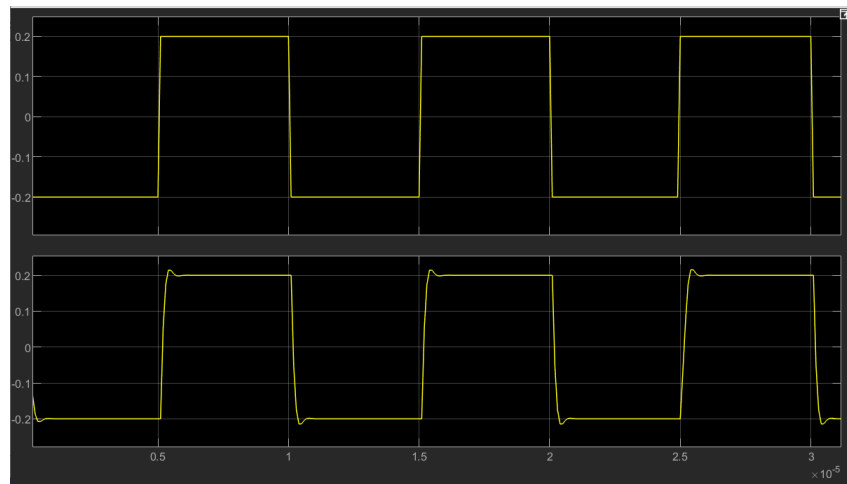
Observamos o espectro na saída do filtro: as frequências após a frequência de corte do filtro são atenuadas.

Para calcular o DTH, primeiro tentamos utilizar a função do próprio bloco Spectrum Analyzer, encontrando -6,98 para o sinal filtrado e -6.59 para o original.

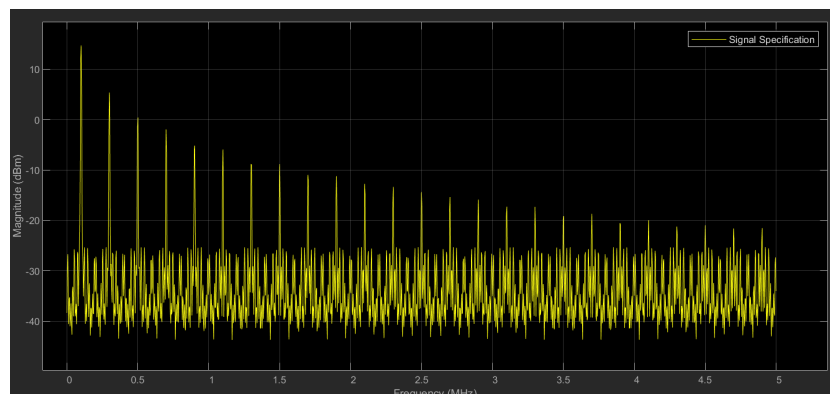
Em seguida tentamos calcular o DTH por meio da coleta das harmônicas ímpares (harmônicas de pico) da frequência de 100 KHz (frequência da onda quadrada) com $n=6$, encontramos 10,26.

Nenhum dos dois cálculos foi parecido com o valor teórico (0,48).

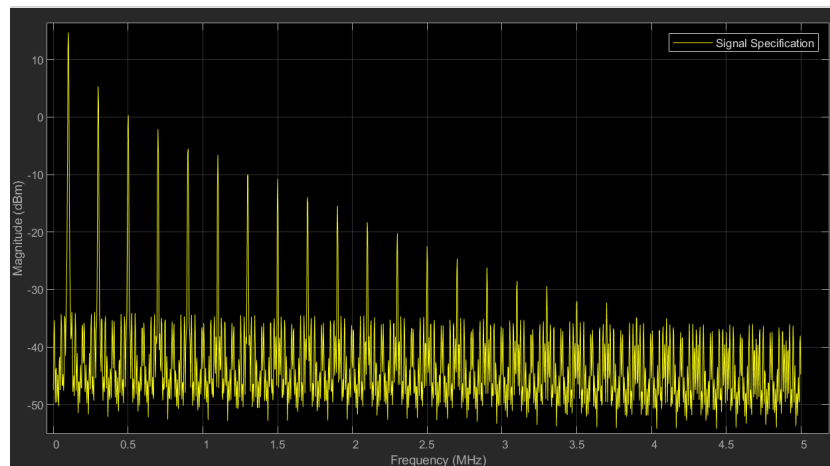
Onda quadrada periódica no tempo: antes (acima) e depois da filtragem (abaixo)



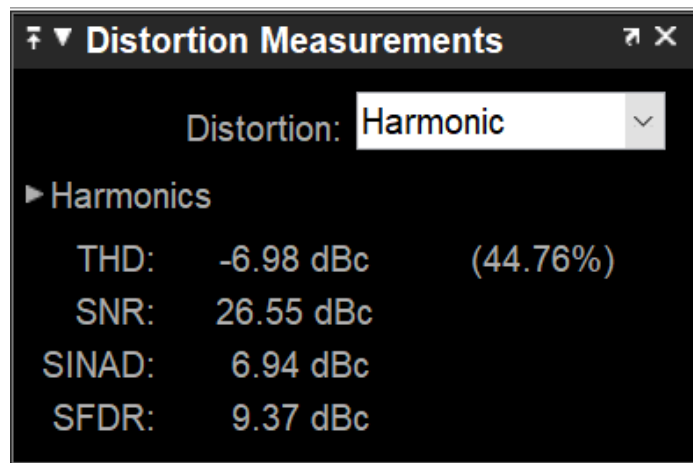
Espectro da onda quadrada 100 kHz



Espectro da onda quadrada 100 kHz após filtragem



Medida do DHT do sinal filtrado pelo bloco Spectrum Analyzer



Medida do DHT do sinal original pelo bloco Spectrum Analyzer

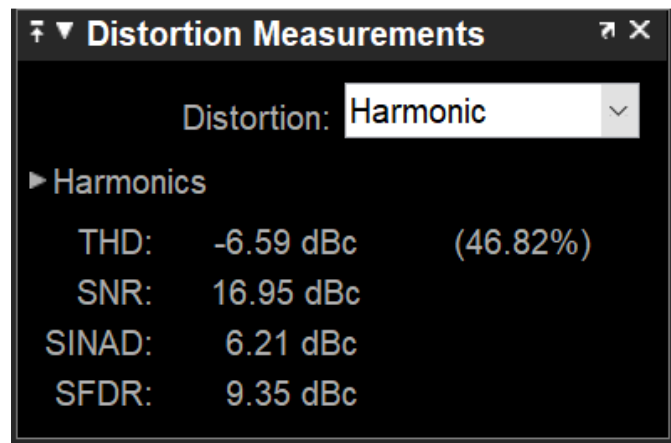


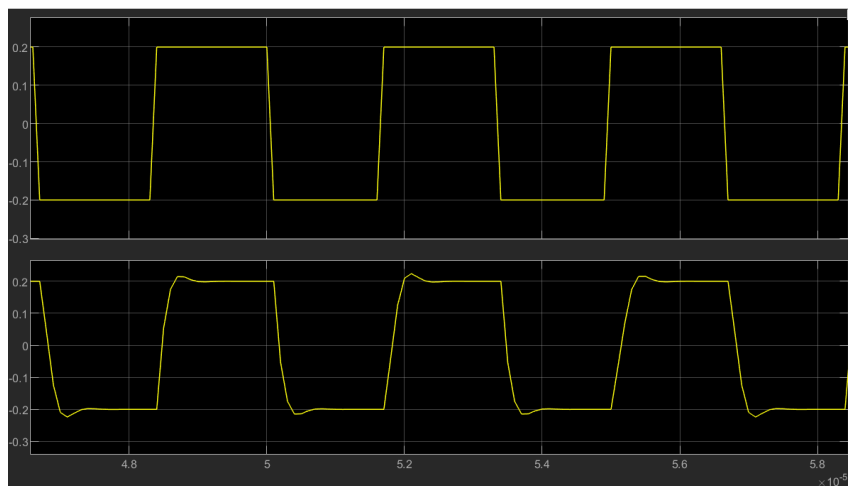
Tabela de picos utilizados para o segundo cálculo do DHT

▼ Peaks		
<input checked="" type="checkbox"/>	Value ▼	Freq. (MHz) ▼
<input checked="" type="checkbox"/>	14.6942	0.101
<input checked="" type="checkbox"/>	5.32884	0.299
<input checked="" type="checkbox"/>	0.331333	0.501
<input checked="" type="checkbox"/>	-2.1014	0.700
<input checked="" type="checkbox"/>	-5.50187	0.901
<input checked="" type="checkbox"/>	-6.59491	1.100
<input checked="" type="checkbox"/>	-10.0226	1.298
<input checked="" type="checkbox"/>	-10.7962	1.500
<input checked="" type="checkbox"/>	-13.9701	1.699
<input checked="" type="checkbox"/>	-15.4353	1.900

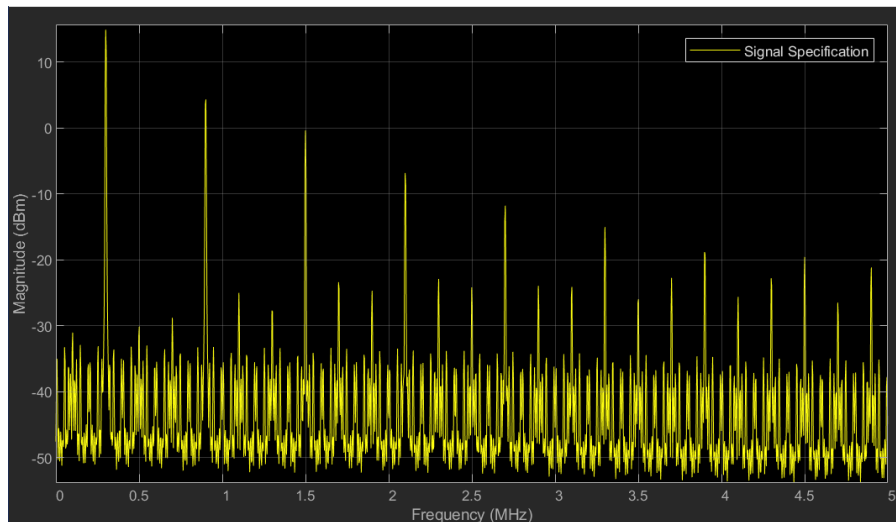
Questão 1.5

Repetimos a análise anterior para uma onda quadrada de frequência 300 kHz. As análises de tempo e espectro são muito similares ao item anterior. A DHT calculada, -8,9, foi maior em módulo comparado ao item anterior, esperado pois a frequência fundamental da onda é maior, de modo que ele é mais atenuada pelo filtro.

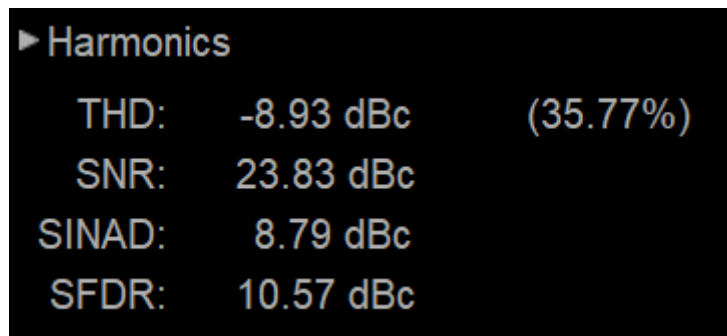
Onda quadrada periódica no tempo: antes (acima) e depois da filtragem (abaixo)



Espectro da onda quadrada 100 kHz após filtragem



Medida do DHT do sinal filtrado pelo bloco Spectrum Analyzer



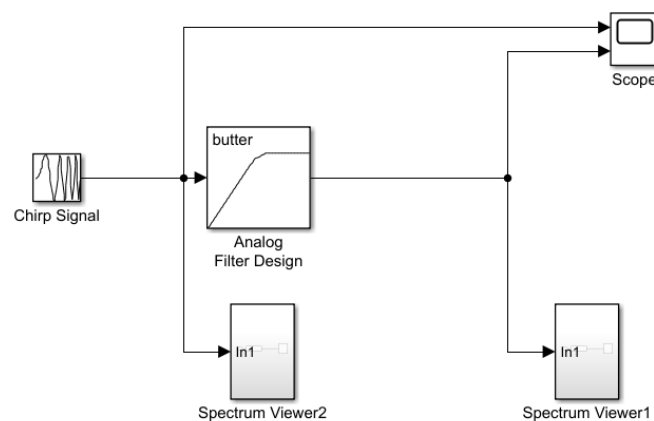
Questão 2 - Filtro Passa-Alta

Questão 2.1

Modificamos o filtro da questão para que ele seja um filtro passa-baixa com

frequência de corte 1 MHz. A função de transferência do filtro é $G(f) = (1 + \frac{10^6}{f})^{-3}$.

Modelo simulink para o FPA

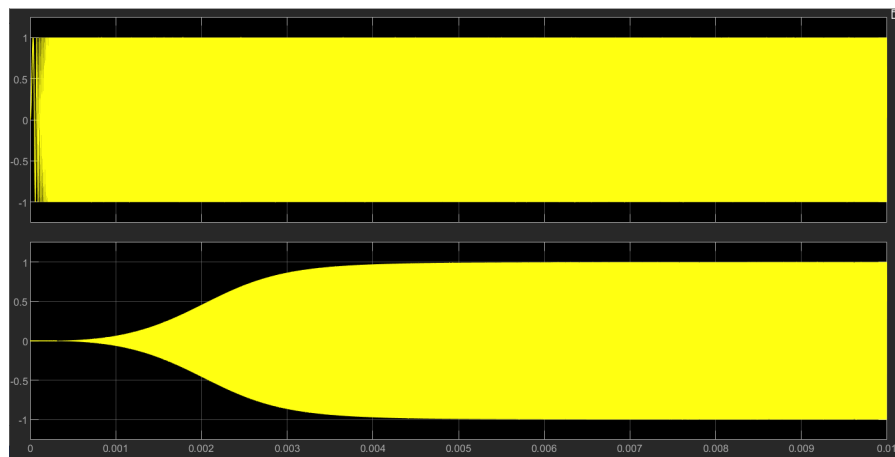


O sinal filtrado no tempo tem uma redução de amplitude nos instantes iniciais, consequência da atenuação das baixas frequências (os instantes iniciais da onda chirp apresentam as menores frequências).

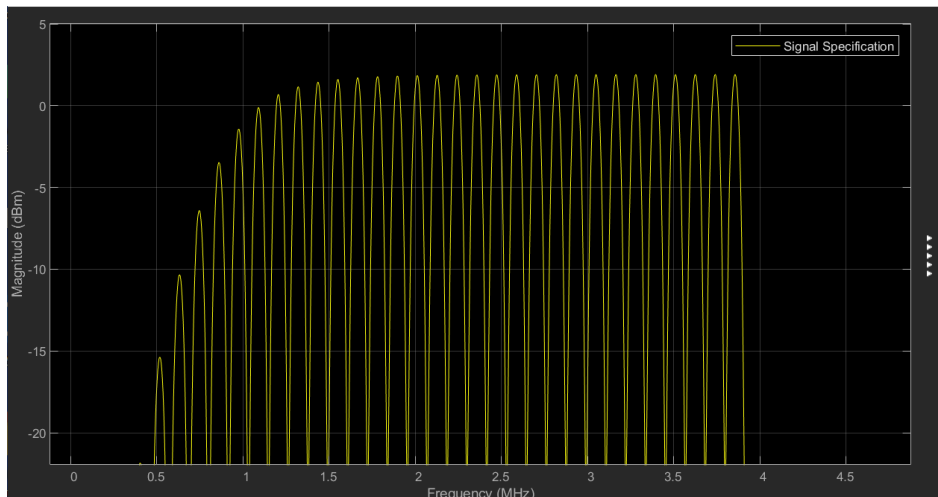
No espectro do sinal filtrado, verificamos que as frequências iniciais (até 1 MHz) são subtraídas por uma reta de coeficiente linear negativo, gerando uma aparência de “escada ascendente”, coerente com o filtro projetado.

Para encontrar o valor teórico de roll-off, analisamos a função de transferência para $f \ll f_c$, de modo que, em escala logarítmica, a função de transferência é $20n \log\left(\frac{f}{f_c}\right)$. Assim, para o filtro de ordem 3, esperamos um roll-off de 60db/década, que é aproximadamente o observado no espectro capturado.

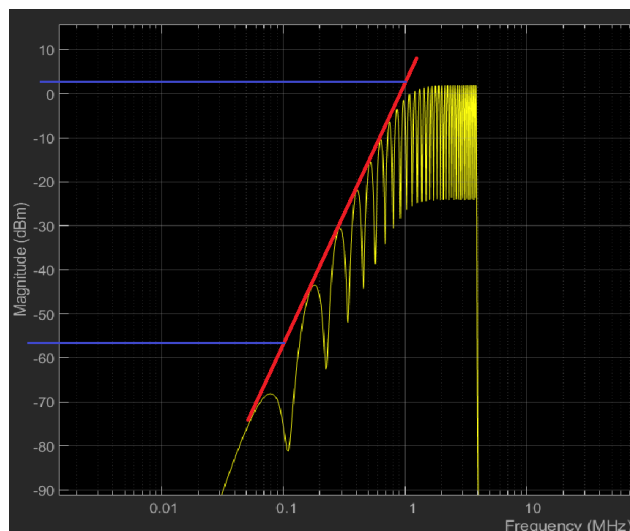
Onda Chirp no tempo: antes (acima) e depois da filtragem (abaixo)



Espectro da onda Chirp após a filtragem



Reta de roll-off (em vermelho)



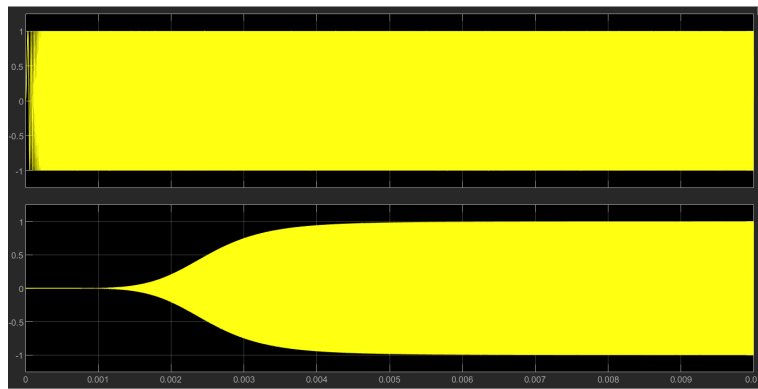
Questão 2.2

Em seguida utilizamos dois FPA em série com a mesma frequência de corte. Como no nosso diagrama de blocos a associação em série implica em multiplicação (convolução no tempo), o equivalente da associação dos filtros de ordem 3 é um filtro de ordem 6.

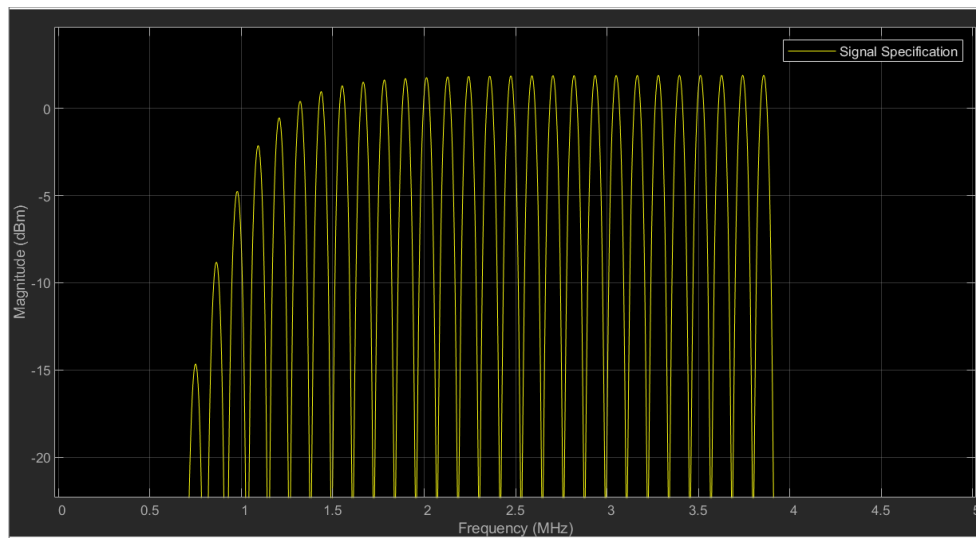
A onda no tempo sofre maior atenuação nas baixas frequências, apresentando formato mais afilado que o item 2.1.

O roll-off esperado para o filtro de ordem 6 é de 120 dB/década, aproximadamente o encontrado.

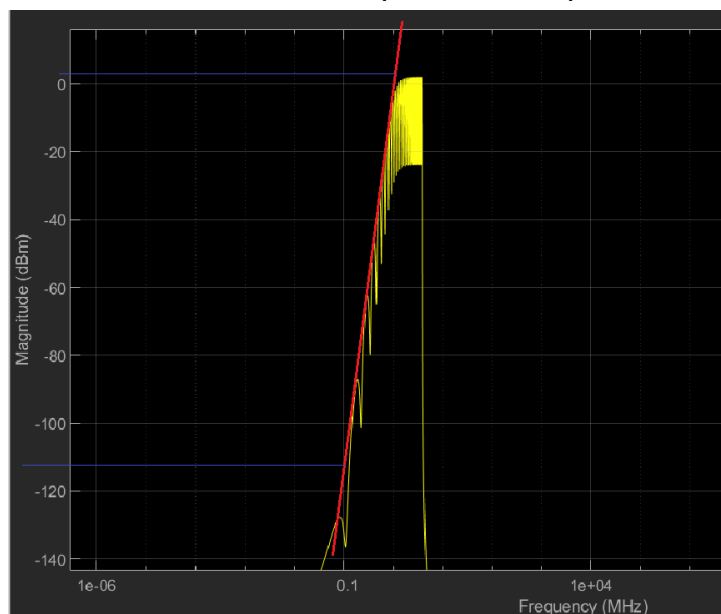
Onda Chirp no tempo: antes (acima) e depois da filtragem (abaixo)



Espectro da onda Chirp após a filtragem



Reta de roll-off (em vermelho)

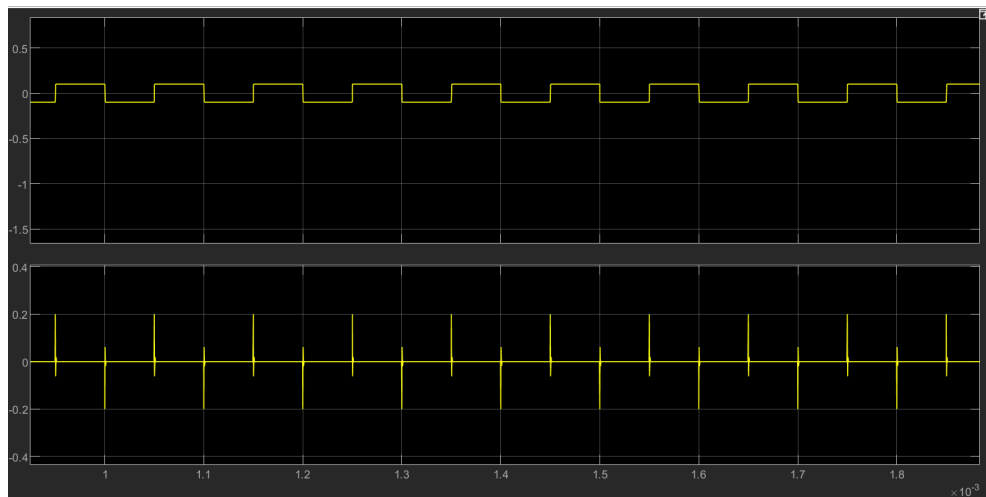


Questão 2.3

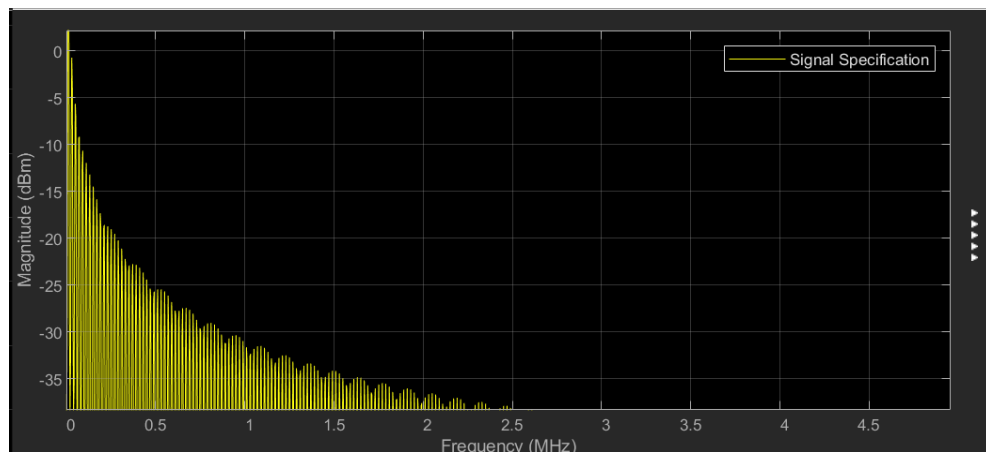
Neste item, a entrada foi uma onda quadrada de frequência 10 kHz, frequência muito abaixo da de corte. Observamos que no tempo o filtro modificou muito a forma de onda, de modo que só restaram as componentes de alta frequência das transições de nível da onda quadrada.

Na frequência, como esperado, os sinais abaixo da frequência de corte foram atenuados. Como os sinais de baixa frequência eram os de maior amplitude, a onda perdeu muito de sua potência após a filtragem.

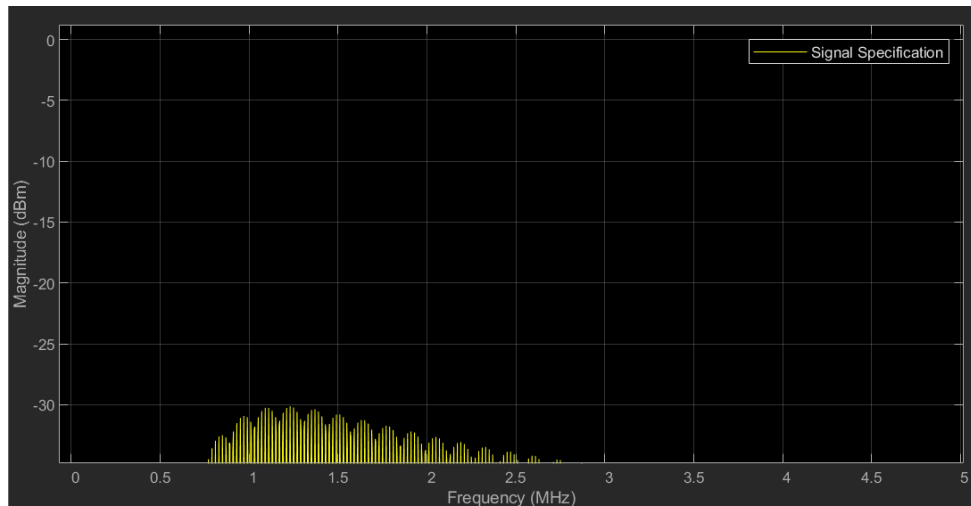
Onda quadrada no tempo: antes (acima) e depois da filtragem (abaixo)



Espectro da onda quadrada de 10 kHz

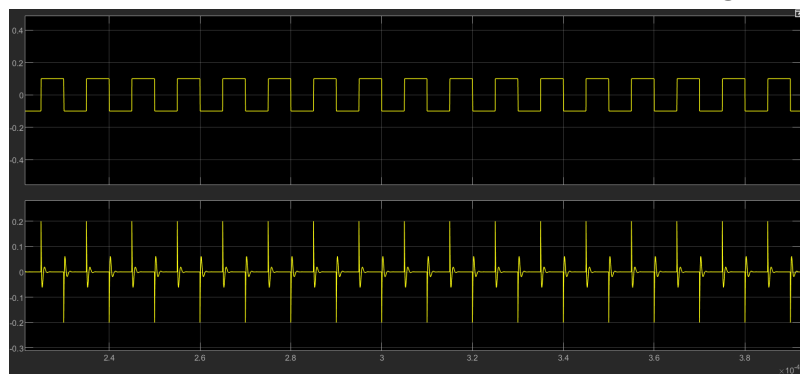


Espectro da onda quadrada de 10 kHz após a filtragem

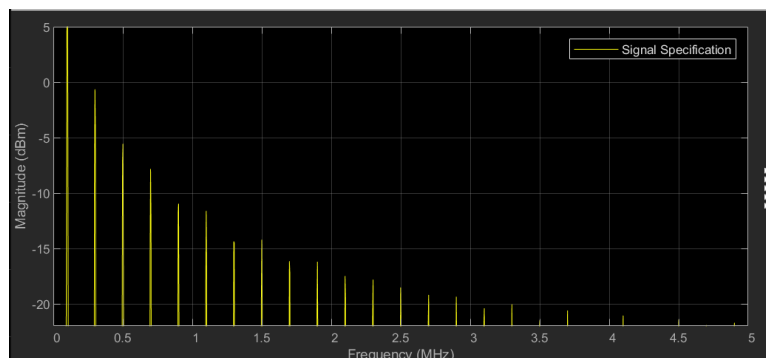


Em seguida repetimos o experimento para uma onda de 100 kHz. O comportamento é muito próximo do apresentado pela onda de 10 kHz, porém com uma atenuação menor.

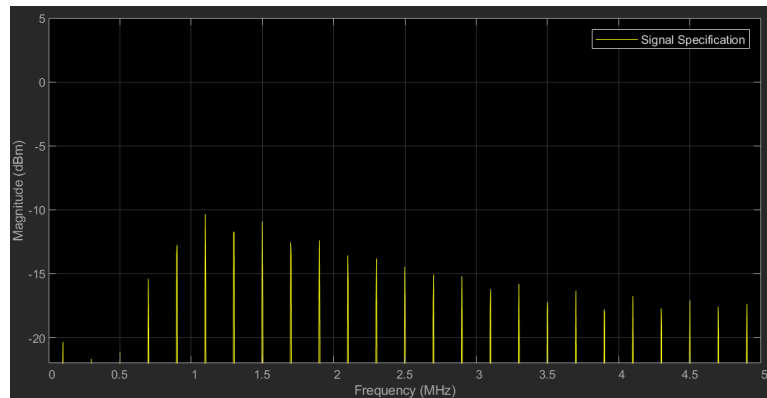
Onda quadrada no tempo: antes (acima) e depois da filtragem (abaixo)



Espectro da onda quadrada de 100 kHz



Espectro da onda quadrada de 100 kHz após a filtragem



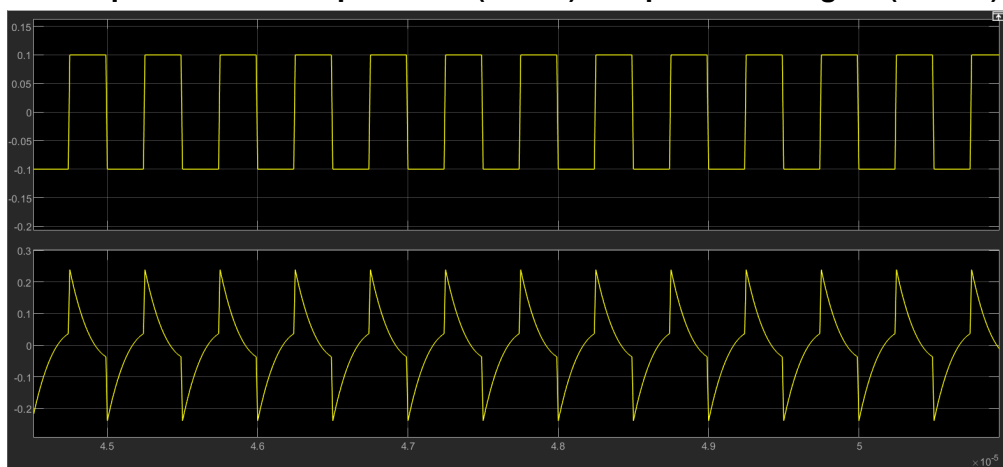
Questão 2.4

Em seguida a entrada foi uma onda quadrada de frequência 2 MHz, frequência muito acima da de corte.

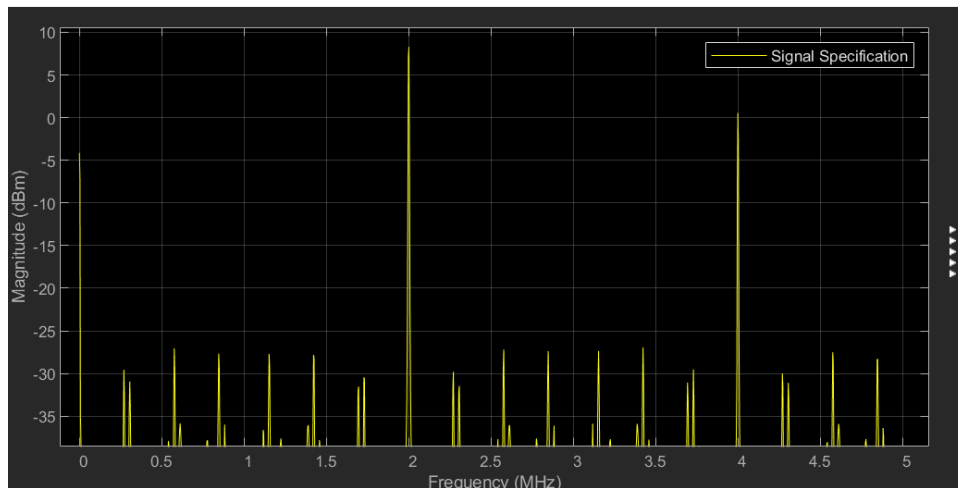
Observamos que no tempo o filtro modificou a forma de onda, mas a onda filtrada apresenta potência mais próxima da original quando comparada à onda filtrada pelo filtro passa baixas. o filtro passa-alta conservou melhor a informação da onda.

Na frequência, como esperado, os dois espectros são muito similares, compostos principalmente de picos nas frequências 0, 2 MHz e 4 MHz.

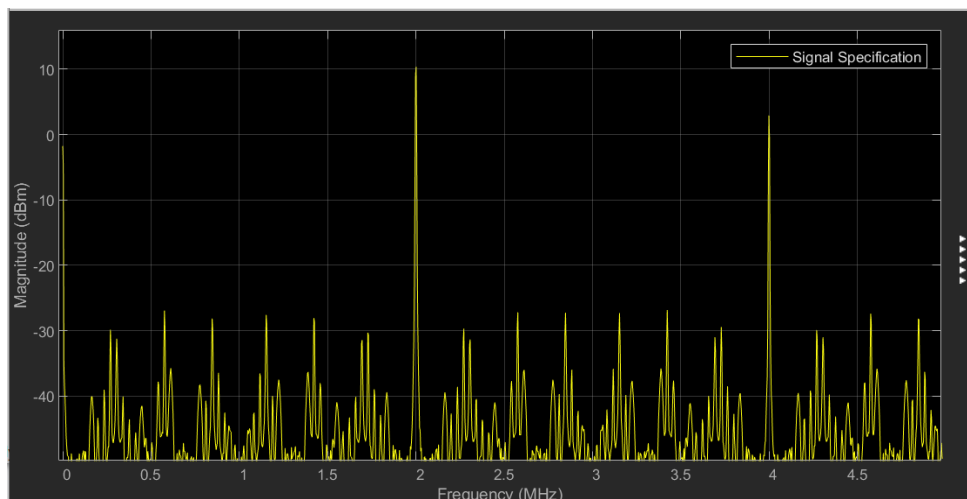
Onda quadrada no tempo: antes (acima) e depois da filtragem (abaixo)



Espectro da onda quadrada de 2 MHz



Espectro da onda quadrada de 2 MHz após o filtro



Questão 3 - Filtro Passa-Faixa

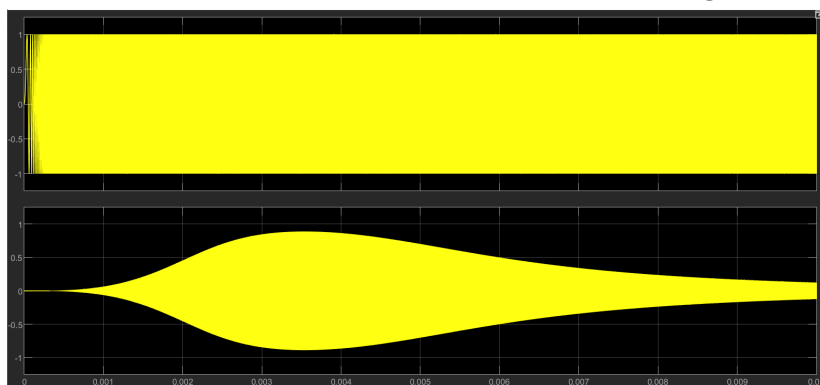
Questão 3.1

Associamos em série o filtro passa-baixa da questão 1 e o passa-alta da questão 2, criando um filtro passa-faixa com frequências de corte 1 MHz e 2 MHz, cuja função de

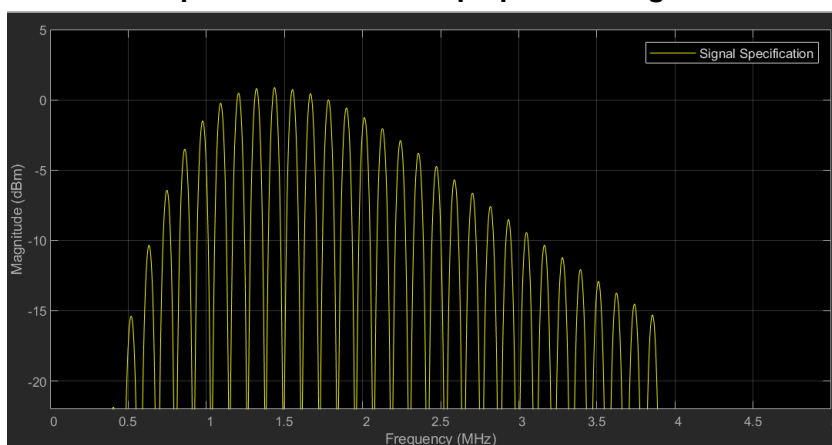
transferência é
$$G(f) = \left(1 + \frac{10^6}{f}\right)^{-3} \cdot \left(1 + \frac{f}{2 \cdot 10^6}\right)^{-3}.$$

O filtro passa faixas age exatamente como uma composição dos dois filtros: ele conserva as frequências na faixa de 1 MHz a 2 MHz. Esperamos que o espectro apresente ambos os roll-offs, tanto o crescente quanto o decrescente, característica confirmada ao traçarmos as retas de roll-off, uma com coeficiente de 60db/década e a outra com -60db/década.

Onda Chirp no tempo: antes (acima) e depois da filtragem (abaixo)



Espectro da onda Chirp após a filtragem



Retas de roll-off (em vermelho)



Questão 4 - Filtro Rejeita-Faixa

Questão 4.1

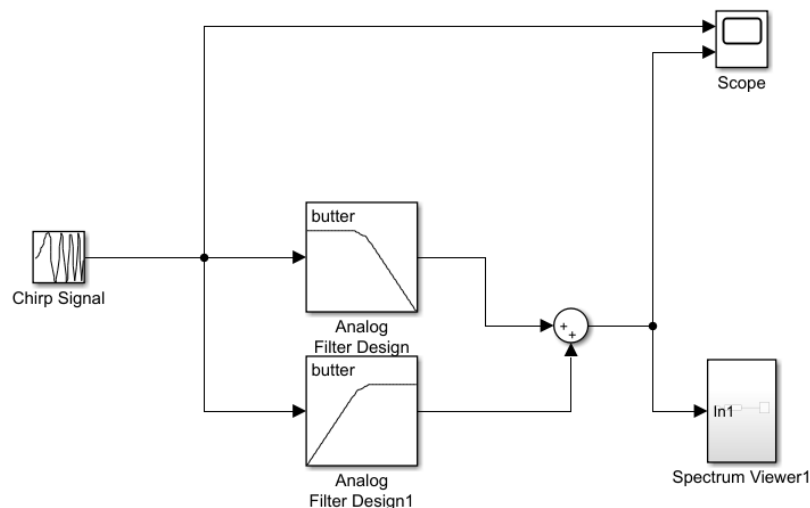
Montamos um filtro rejeita-faixa, que rejeita sinais entre 1 MHz e 2 MHz, associando os filtros passa-alta ($f_c = 2$ MHz) e passa baixa ($f_c = 1$ MHz) em paralelo, ou seja, conectando a entrada dos dois à entrada e somando as saídas. Como os blocos dos filtros são LIT, a propriedade distributiva nos permite escrever a função de transferência como:

$$G(f) = \left(1 + \frac{10^6}{f}\right)^{-3} + \left(1 + \frac{f}{2 \cdot 10^6}\right)^{-3}$$

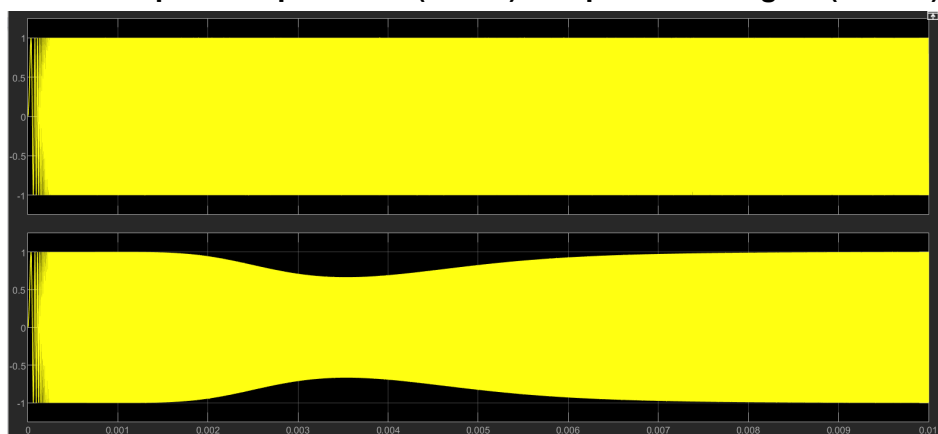
No domínio do tempo, observamos que o sinal é atenuado em uma faixa correspondente às frequências rejeitadas pelo filtro.

Na frequência é observado que as frequências entre 1 MHz e 2 MHz são atenuadas, como esperado. As inclinações de roll-off foram novamente estimadas visualmente em valores próximos de -20 dB/década e 20 dB/década, resultado da soma das retas crescente e decrescente.

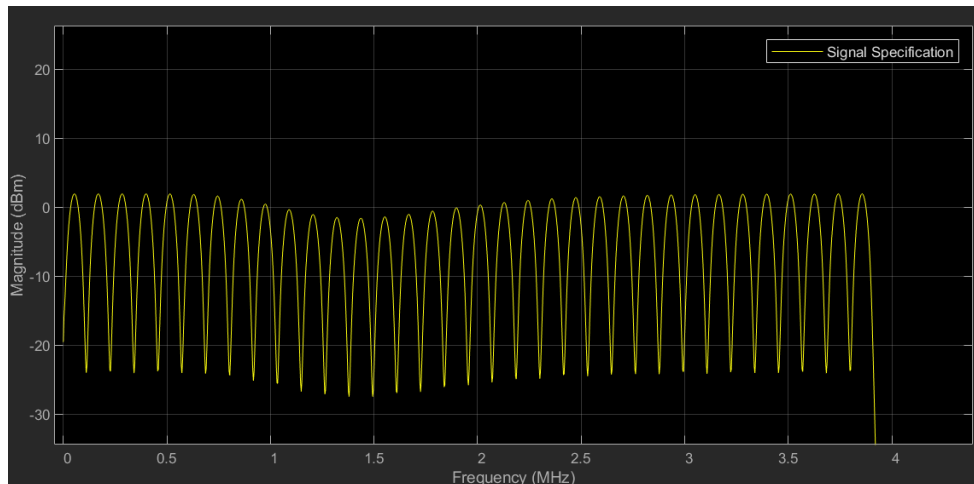
Modelo simulink para o FRF



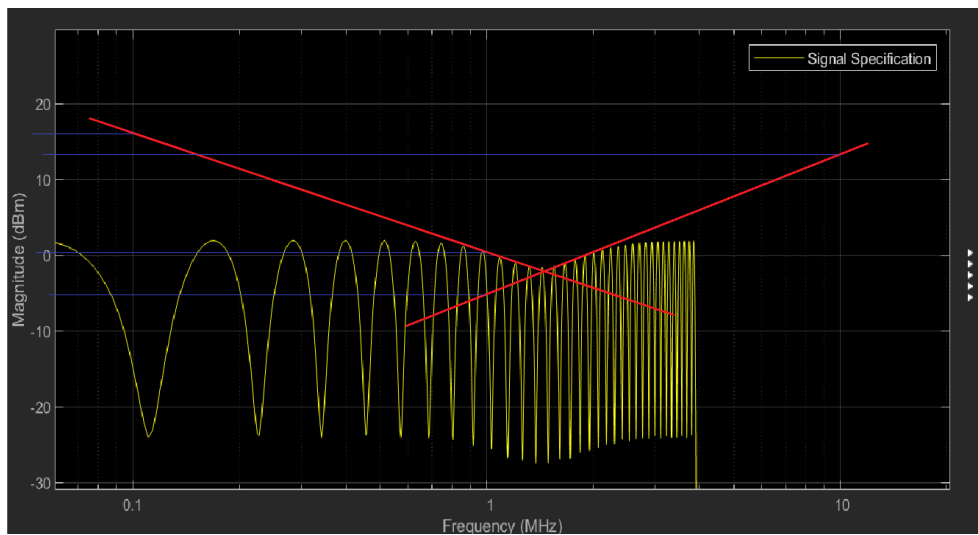
Onda Chirp no tempo: antes (acima) e depois da filtragem (abaixo)



Espectro da onda Chirp após a filtragem



Retas de roll-off (em vermelho)



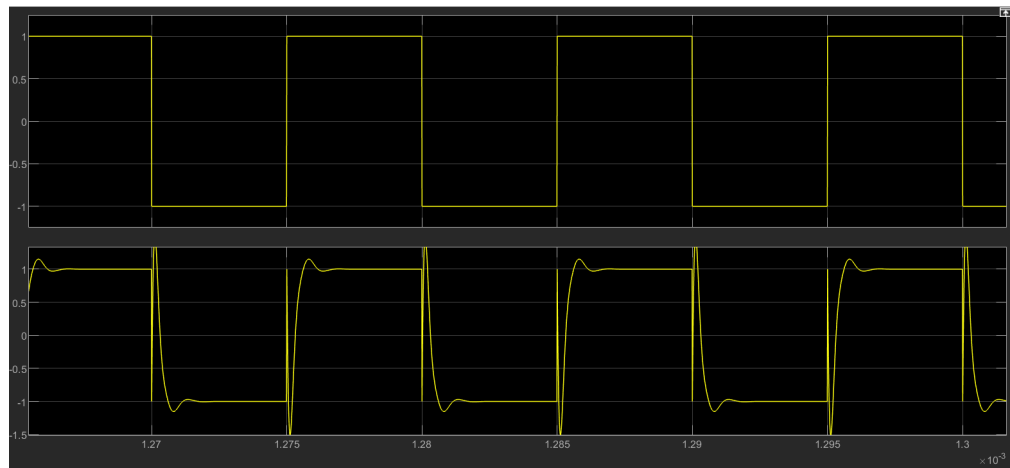
Questão 4.2

Em seguida utilizamos como entrada uma onda quadrada de frequência 100 kHz.

No tempo verificamos que a filtragem removeu algumas altas frequências importantes para garantir a forma quadrada das transições, mas ainda é possível ver um esboço da forma original do sinal.

No espectro após o filtro observa-se uma pequena depressão nos picos entre 1 MHz e 2 MHz, quando comparado ao espectro original. Essa depressão é justamente a faixa filtrada.

Onda quadrada no tempo: antes (acima) e depois da filtragem (abaixo)



Espectro da onda quadrada após a filtragem

