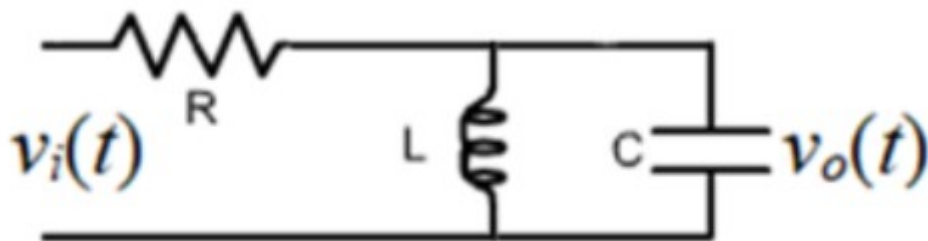


Sendo obtido o sinal PWM com base no sinal modulado BPSK é necessário realizar a conversão das amostras do PWM para o sinal analógico correspondente ao sinal modulado BPSK original e para isso realiza-se a filtragem utilizando um filtro passa baixa. A aplicação do filtro passa-faixa no sinal PWM retorna ao sinal modulado. Esta recuperação do sinal analógico teve como princípio o teorema da amostragem passa faixa que foi usada para determinar a frequência de amostragem do sinal modulado. Isso foi feito pois se estava tratando de um sinal modulado, ou seja, com uma banda de passagem que não partia do zero, mas sim que estava centrada na frequência da portadora.

O filtro passa-faixa pode ser realizado com o circuito abaixo:



Cuja função de transferência é dada por:

$$H(j\omega) = \frac{\frac{j\omega}{RC}}{(j\omega)^2 + \frac{1}{RC}(j\omega) + \frac{1}{LC}}$$

Onde $\frac{1}{RC}$ corresponde à banda de passagem do filtro passa-faixa, $\Delta\omega$ e $\frac{1}{LC}$ diz respeito à frequência central ao quadrado, isto é, ω^2 .

Através da análise do espectro de magnitude do sinal modulado, foram determinados os dois parâmetros na etapa anterior no momento de calcular a frequência de amostragem para o sinal modulado utilizando o teorema de amostragem passa-faixa, obtendo uma banda de passagem de 1MHz e frequência central de 10 MHz. Logo, tem-se que:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{RC} = B = 2\pi * 1 * 10^6 \\ \frac{1}{LC} = \omega^2 = (2\pi * 10 * 10^6)^2 \end{array} \right.$$

Onde converteram-se os valores dos parâmetros de Hz para rad/s, pois é nesta unidade pelo qual é projetado o filtro.

Para a determinação dos valores escolhidos para os componentes, observa-se que há no total 3 incógnitas e 2 equações no sistema. Desta forma, é necessário determinar uma componente e então calcular os valores das demais.

Escolhendo C igual a 1 nF, tem-se que:

$$\frac{1}{RC} = 2\pi * 1 * 10^6 \rightarrow \frac{1}{(2\pi * 1 * 10^6 * 1 * 10^{-9})} = 159,15\Omega$$

O valor comercial de resistor mais próximo ao calculado é de $R = 160\Omega$.

$$\frac{1}{LC} = (2\pi * 1 * 10^6)^2 \rightarrow \frac{1}{((2\pi * 1 * 10^6)^2 * 1 * 10^{-9})} = 253,30\text{nH}$$

O valor comercial de indutor mais próximo ao calculado é de $L = 240 \text{ nH}$.

Os valores tabelados comerciais para os resistores e comerciais foram abstraídos das seguintes tabelas:

Resistores Comerciais

1.0ohm	1.1ohm	1.2ohm	1.3ohm
1.5ohm	1.6ohm	1.8ohm	2.0ohm
2.2ohm	2.4ohm	2.7ohm	3.0ohm
3.3ohm	3.6ohm	3.9ohm	4.3ohm
4.7ohm	5.1ohm	5.6ohm	6.2ohm
6.8ohm	7.5ohm	8.2ohm	9.1ohm

Capacitores Comerciais

1.0F	1.1F	1.2F	1.3F
1.5F	1.6F	1.8F	2.0F
2.2F	2.4F	2.7F	3.0F
3.3F	3.6F	3.9F	4.3F
4.7F	5.1F	5.6F	6.2F
6.8F	7.5F	8.2F	9.1F

Indutores Comerciais

1.0H	1.1H	1.2H	1.3H
1.5H	1.6H	1.8H	2.0H
2.2H	2.4H	2.7H	3.0H
3.3H	3.6H	3.9H	4.3H
4.7H	5.1H	5.6H	6.2H
6.8H	7.5H	8.2H	9.1H

Do site:

<http://www3.eletronica.org/dicas-e-hacks/valores-comerciais-de-resistores-capacitoresindutores-e-fusiveis>

Desta forma, os valores resultantes de $\frac{1}{RC}$ e $\frac{1}{LC}$ são de:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{RC} = \frac{1}{160 * 1 * 10^{-9}} = 6250000 \\ \frac{1}{LC} = \frac{1}{240 * 10^{-9} * 1 * 10^{-9}} = 4166666666666666,66 \end{array} \right.$$

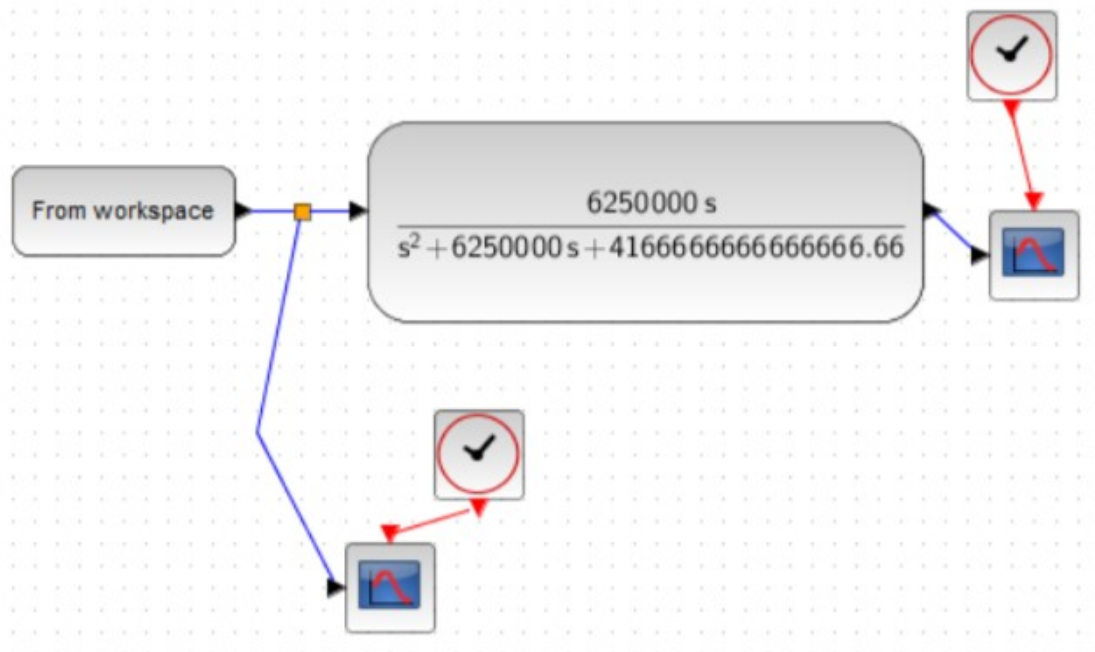
E com isso, a função de transferência do filtro passa-faixa será dada por:

$$H(s) = \frac{\frac{1}{RC}s}{s^2 + \frac{1}{RC}s + \frac{1}{LC}} = \frac{6250000s}{s^2 + 6250000s + 4166666666666666,66}$$

Após o desenvolvimento da função, é possível realizar a simulação no Xcos, onde os valores das amostras PWM e do vetor de tempo do PWM, obtidos na etapa anterior, são passadas do console para o Xcos através do comando struct:

```
> V = struct('time',t,'values',PWM);
```

O diagrama de blocos no Xcos fica da seguinte forma:



No qual foi definido o período do clock como: 1×10^{-10} , valor inferior ao período do PWM, igual a:

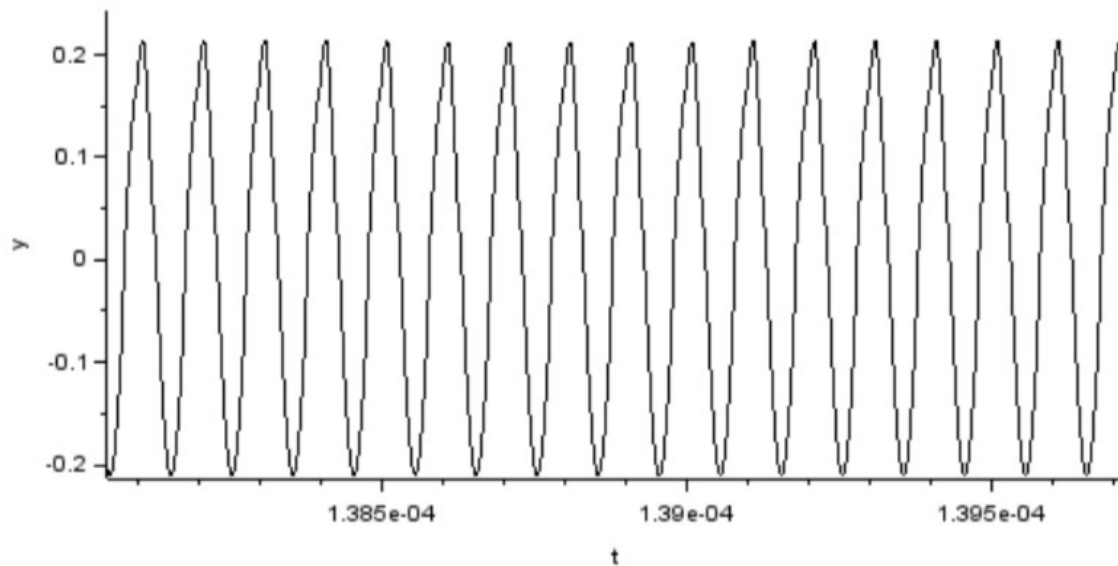
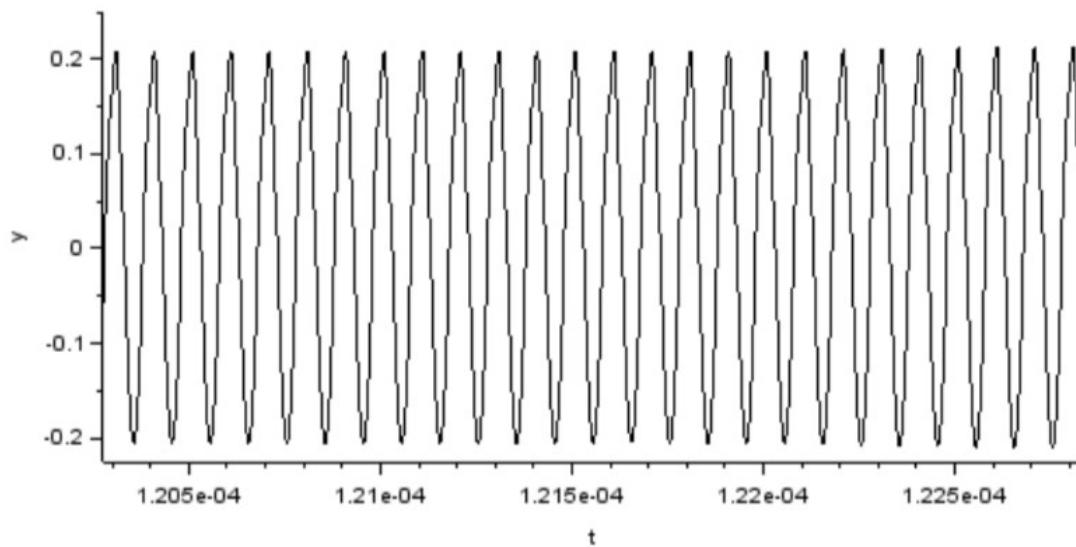
$$\frac{1}{f_{clk}} = \frac{1}{(40 * 10^6 * 550)} = 4,54 * 10^{-10}$$

Com isso, teremos uma representação mais correta da onda resultante, cuja simulação terá um tempo total de 0,0025s (tempo completo da sequência binária total que possui 8 bits, cujo período de cada um é:

$$\frac{1}{400 * 8} = 0,0003125s$$

O resultado da simulação para os valores da onda PWM já foram mostrados na etapa anterior. Já o resultado da onda obtida após a aplicação do filtro passa-faixa projetado nas amostras do PWM original em relação com o tempo total de simulação é impreciso, visto a alta frequência da onda portadora.

Pode-se ver então o comportamento geral da onda resultante, onde um zoom mais aprofundado revela o seguinte:



A recuperação da portadora, com a mesma forma de onda e frequência e de forma contínua, foi realizada com sucesso. Verificou-se que a frequência do sinal resultante é igual à da portadora pegando dois pontos com o mesmo valor consecutivo. Por exemplo, nas menores amplitudes do sinal em volta do instante $1,385 \times 10^{-4}$, que acontecem aproximadamente em $1,3855 \times 10^{-4}s$ e $1,3845 \times 10^{-4}$.

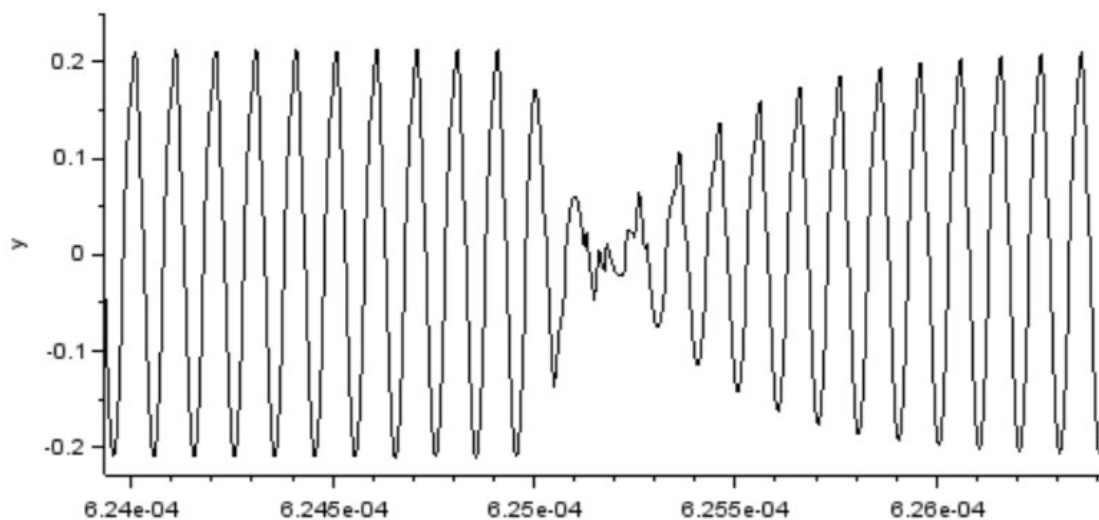
Logo a frequência da onda resultante é:

$$\frac{1}{(1,3855 * 10^{-4} - 1,3845 * 10^{-4})} = 10MHz$$

que é exatamente a frequência da onda portadora.

É possível perceber também que a onda resultante possui uma amplitude menor se comparada com a onda portadora original, decorrente do processo realizado pelo PWM. Portanto, conseguiu-se recuperar o sinal modulado BPSK com sucesso. O motivo para não se ter uma onda cossenoidal exatamente perfeita pode ser indicado como sendo o período de amostragem do clock, que foi escolhido como aproximadamente 0,25 vezes o período da onda PWM. O ideal seria pegar um valor 10 vezes menor ao menos. Entretanto, uma escolha menor para este período de amostragem resultaria em um custo computacional muito alto, que levaria a um tempo de processamento e finalização da simulação muito alto.

Pode-se observar corretamente o processo de modulação BPSK, no instante da transição entre o bit 1 e o bit 0. O primeiro instante que ocorre essa transição já foi determinado na etapa anterior e é em 0,000625s visto que a sequência binária é dada por [1 1 0 0 1 0 1 0] e o período do bit é igual a 0,0003125s. Vendo este instante na onda recuperada, percebe-se que:



Nota-se claramente que neste instante de transição de bits com estado lógico diferentes há a inversão da onda cossenoidal, exatamente o que deveria acontecer em uma onda modulada BPSK, provando assim a eficácia tanto do filtro projetado como da escolha de frequência de amostragem da onda modulada utilizando o teorema da amostragem passa-faixa.

Depois da aplicação do filtro e a obtenção da onda modulada BPSK, para se obter a sequência binária completa seria necessário aplicar por exemplo a demodulação coerente, que consiste basicamente em um modulador de produto, onde multiplica-se a onda BPSK filtrada pela portadora (uma com sinal positivo e outra com sinal negativo), seguido por um filtro passa-

baixa cuja frequência de corte deve ser ligeiramente maior que a frequência do bit e inferior a frequência da portadora.