Hands-on 3

Transmissão e recepção da modulação AM utilizando o GNURadio (loopback)

Introdução Teórica

Modular significa preparar o sinal a ser transmitido de forma que ele se propague pelo meio de transmissão. Geralmente, a mensagem é impressa sobre uma **portadora**, a qual, no caso de modulações de onda contínua, é um sinal senoidal da seguinte forma:

$$c(t) = A_c(t)\cos\left[2\pi f_c t + \phi(t)\right]$$

sendo

- $A_c(t)$ = Amplitude
- $\omega_c(t) = 2\pi f_c(t)$ = frequência
- $\phi(t)$ = Fase

O processo de modulação por portadora senoidal explora os três parâmetros acima, gerando três tipos de modulação:

Modulação em Amplitude (AM)

- $A_c(t) \sim k_a m(t)$ - carrega a informação (varia linearmente de acordo com a mensagem)
- $\omega_c(t)$ e $\phi(t)$ são constantes

Modulação em Frequência (FM)

- $\omega_c(t) \sim k_f m(t)$ - carrega a informação (varia linearmente de acordo com a mensagem)
- $A_c(t)$ e $\phi(t)$ são constantes

Modulação em Fase (PM)

- $\phi(t) \sim k_p m(t)$ - carrega a informação (varia linearmente de acordo com a mensagem)
- $A_c(t)$ e $\omega_c(t)$ são constantes

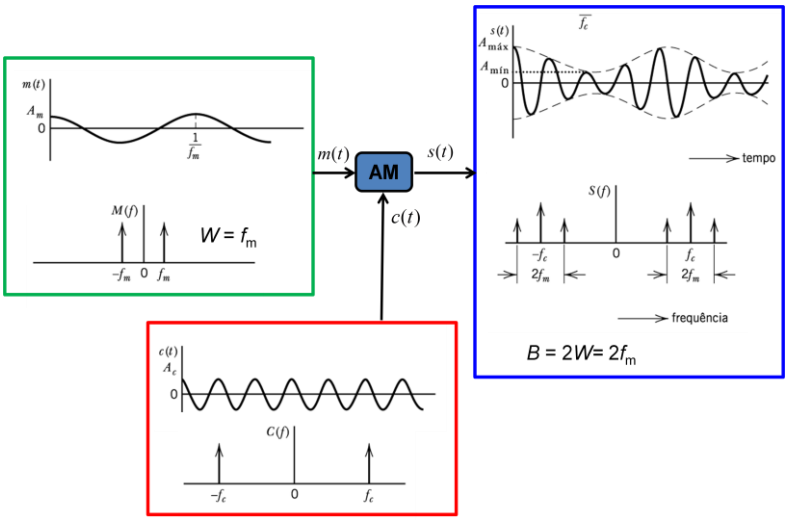
A figura a seguir ilustra de forma genérica o que deve ser entendido de um modulador de onda contínua. Considerando que $m(t)$ é o sinal a ser transmitido (e.g. um sinal de voz) e $c(t)$ é a onda portadora, a modulação é uma função de $m(t)$ e $c(t)$, a qual gera um sinal $s(t)$ apropriado a transmissão sem fio.

$$c(t) = A_c(t)\cos\left[2\pi f_c t + \phi(t)\right]$$

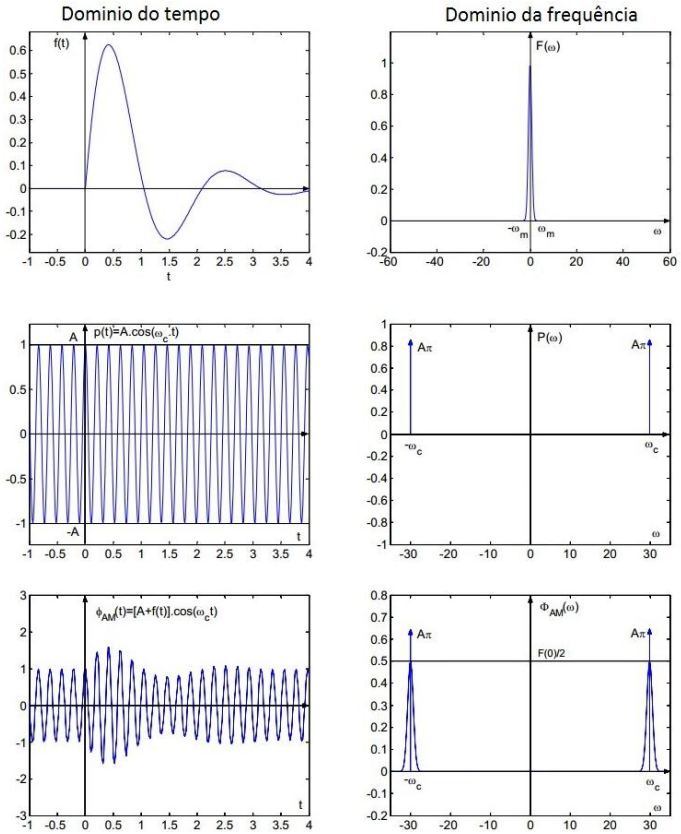
Na modulação AM-DSB (AM comercial),o sinal modulado tem a seguinte forma:

$$s(t) = \left[m(t) + A_c\right]\cos(2\pi f_c t)$$

Note que a amplitude de *s*(*t*) varia de acordo com o sinal *m*(*t*). Se considerarmos uma entrada *m*(*t*) senoidal (i.e. um tom), o processo de modulação pode ser sumarizado na figura a seguir. Note que *s*(*t*) tem o formatos temporal e espectral bem peculiares.



Para um sinal de entrada qualquer, podemos ilustrar o AM-DSB como similar a figura a seguir[1].

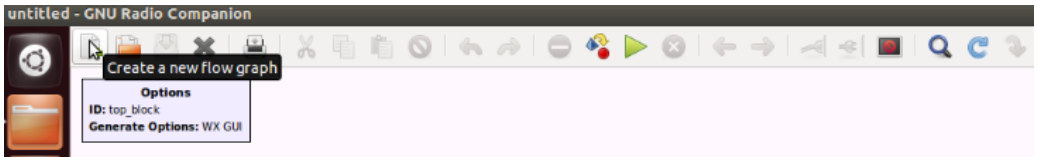


[1]**Fonte**: http://www.cic.unb.br/~lamar/te060/Apostila/Capitulo2.pdf

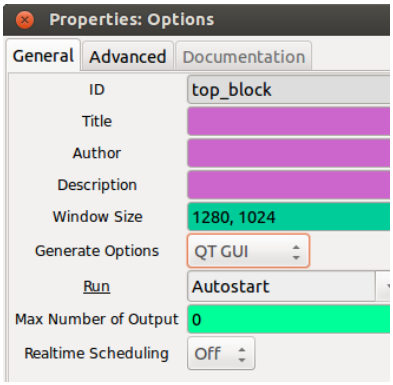
Exercício

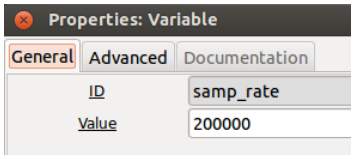
OBJETIVO: Usar conceitos básicos de manipulação de sinais e algumas dicas aprendidas em exercícios passados para, com o uso do conhecimento teórico, possamos construir um “loop-back” da transmissão e recepção de sinais AM-DSB (AM comercial).

1. Abra o GNU Radio Companion digitando ***gnuradio-companion*** em um terminal (para abrir um terminal, use ***Ctrl+Alt+T***).



2. Será aberto uma janela com dois blocos já colocados: ***Options e Variables.*** Podemos visualizar e modificar as configurações de um bloco clicando duas vezes sobre ele. Modifique o campo *Generate Options* do bloco ***Options*** para a opção QT GUI. Abra o bloco ***Variable*** e modifique o *Sample Rate para 200000*.

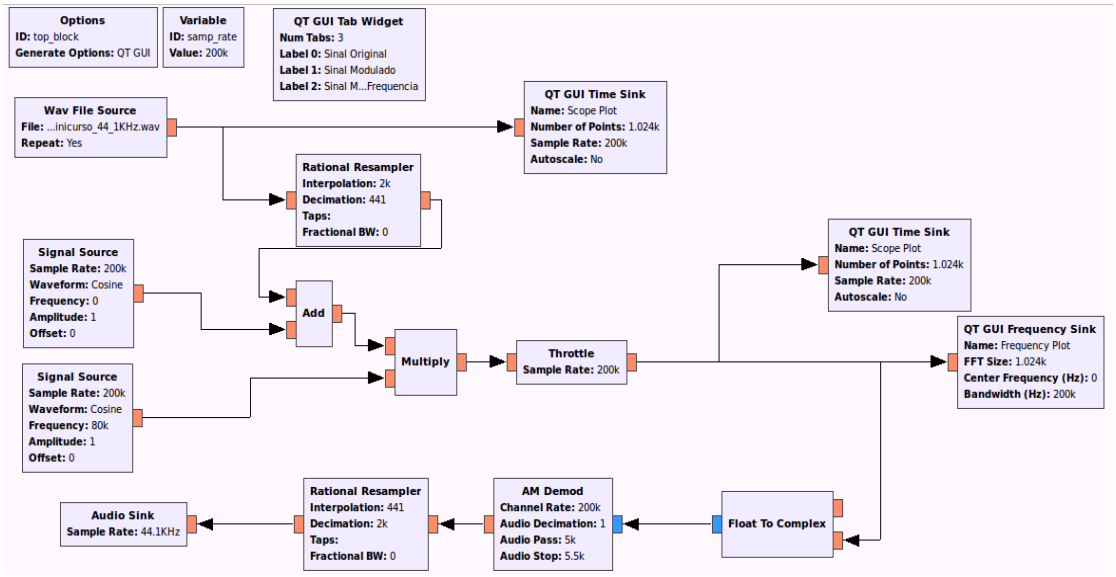




3. Agora vamos adicionar novos blocos. Para isso, clique no ícone de Lupa no canto direito da barra de ferramentas, e digite o nome do bloco necessário na janela de busca.

Construa um projeto utilizando os blocos ***Wav File Source***, dois blocos ***Rational Resampler***,dois blocos ***Signal Source*****,** um ***Add***, um ***Multiply***, um ***Throttle***, um ***Float to Complex*****,** um ***QT GUI Frequency Sink***, dois ***QT GUI Time Sink***, um ***QT GUI Tab Widget***, um ***AM Demod*** e um ***AudioSink***.

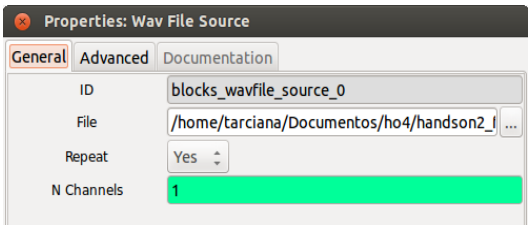
Altere o campo *Type* de todos os blocos para *Float* (cor laranja), a não ser os conectados a saída do bloco ***Float to Complex*** e a entrada do bloco ***AM Demod***. Conecte os elementos de forma que sua área de trabalho fique similar à figura a seguir. Também é possível alterar o parâmetro *Type* clicando uma vez no bloco e apertando as setas para cima e para baixo do teclado.



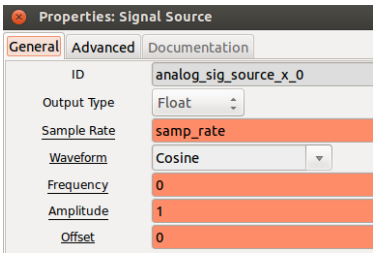
4. Como geradores de sinais, existem dois blocos ***Signal Source*** e um bloco ***Wav File Source***. Lembre que a forma da onda AM-DSB é: $s(t) = [m(t) + A_c]\cos(2\pi f_c t)$.

   O bloco ***Wav File Source*** modela o sinal $m(t)$. Quanto aos dois blocos ***Signal Source***, um modela a portadora **$\cos(2\pi f_c t)$** e o outro uma constante DC, representando A_c. O restante dos blocos servem para demodular o sinal e tocar a saída na placa de som do computador. Os próximos passos orientam a configuração de todos os blocos.

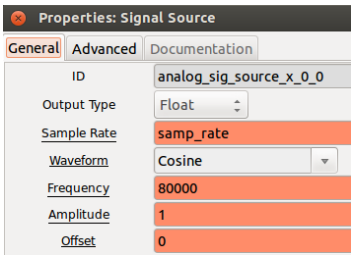
5. Clique duas vezes no bloco ***Wav File Source***. Clique nos "três pontinhos". Localize a pasta ***music_files*** onde existe algum arquivo .**wav**. O caminho para o arquivo será mostrado no campo *File*. Modifique a opção *Repeat* para *Yes*. Isso fará com que o sinal do arquivo seja tocando continuamente. A sua configuração deve ficar similar à da figura a seguir. Escolha um arquivo com taxa de amostragem de 44,1 kHz.



6. Clique duas vezes no bloco ***Signal Source*** que entra no bloco ***Add***. Ele será configurado com a constante A_c. O bloco deve ser configurado com amplitude 1 e frequência 0. A configuração deve ficar similar ao mostrado na figura a seguir.

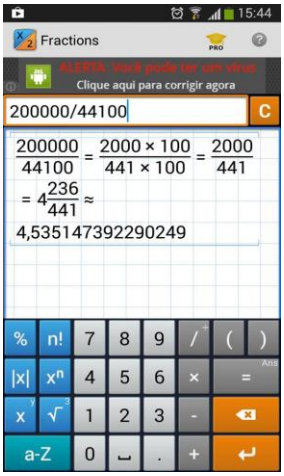


7. Configure agora o segundo bloco ***Signal Source***, o qual terá o papel da portadora. Como a portadora precisa ter uma frequência relativamente mais alta, você irá precisar de uma taxa de amostragem maior para formar o sinal, lembrando da regra da amostragem de Nyquist. Por isso escolhemos 200 kHz como a taxa de amostragem de todo o experimento (configurada no Bloco ***Variable***, campo *Sample Rate*), pois iremos configurar a portadora para 80 kHz. Assim, configure o bloco com frequência de 80 kHz e taxa de amostragem igual a *sample_rate***.** A configuração deve ficar similar ao mostrado na figura a seguir.

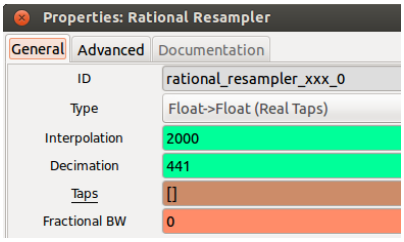


8. Não se esqueça de configurar o campo *Sample Rate* do bloco ***Audio Sink*** para 44100. Como usamos uma taxa de amostragem de 200 kHz no nosso projeto para sintetizar a portadora e vários outros blocos, precisamos adequar a taxa de amostragem dos blocos ***Wav File Source*** e do ***Audio Sink****, que operam a 44,1 kHz,* com a do resto do projeto. Para isso que serve o bloco ***Rational Resampler***. Operá-lo é simples. Tudo o que precisamos é a taxa que queremos que o sinal esteja e sua taxa atual. Colocamos em uma divisão, na qual a taxa que queremos é o numerador e a taxa atual é o divisor. Simplificamos essa operação a ponto de se ter os menores valores inteiros possíveis dessa divisão. Uma boa dica para quem usa *smartphones* com OS Android (ou IOS) é fazer o download gratuito da calculadora "*Fraction Calculator*". Com os valores obtidos, o numerador passa a ser o valor do ***Interpolation*** e o divisor passa a ser o valor do ***Decimation***. A figura a seguir mostra a saída do "*Fraction Calulator*" para o que precisamos.

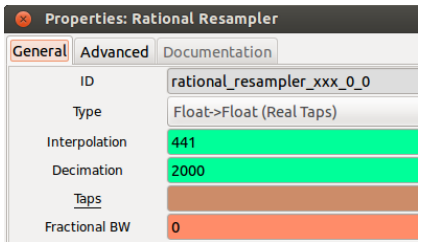
$$\frac{200000}{44100} = \frac{2000}{441}$$



9. De posse desses números, configure o ***Rational Resampler*** conectado ao bloco **Wav File Source** como na figura a seguir.



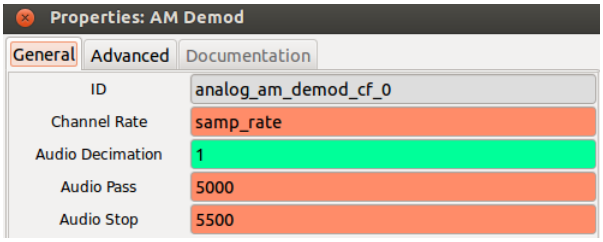
10. Agora podemos entender com certa facilidade que o bloco ***Rational Resampler*** ligado ao bloco ***Audio Sink*** será igual ao bloco que acabamos de configurar, mas com uma inversão de valores, já que queremos sair de 200 kHz para 44,1 kHz (exatamente o inverso). Assim, só precisamos trocar os valores de *interpolation* e *decimation*, como mostra a figura a seguir.



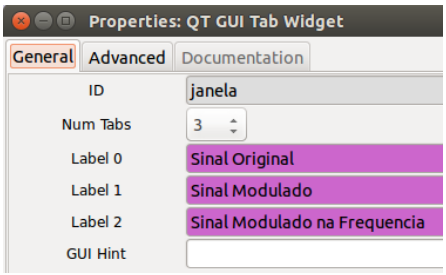
11. Os blocos ***Add***, ***Multiply***, ***Throttle***, ***Audio Sink*** e ***Float To Complex*** não necessitam de configurações extras. Basta certificar-se que eles estão com o tipo correto.

12. Iremos agora configurar o bloco ***AM Demod***. Este bloco tem a função de demodular o sinal AM gerado pelo projeto. Ele faz operações de modo a extrair o sinal em banda base $m(t)$ do sinal em banda passante $s(t)$. Em seguida, já com o sinal em banda base, ele usa um filtro passa-baixa para demodular por completo o sinal. Por causa desse filtro passa-baixa, iremos alterar uma configuração no bloco ***AM Demod***. Como nas rádios comerciais, nosso projeto irá apenas demodular até 5 kHz do sinal. Por isso precisamos configurar a variável *Audio Pass* como 5 kHz,

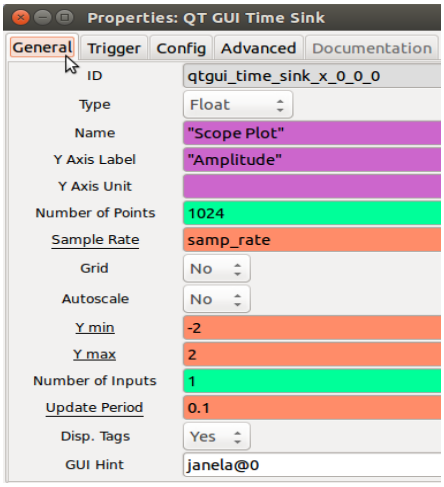
para deixar o receptor similar ao rádios AM comerciais. E o *Audio Stop* será exatamente o final do corte do filtro passa-baixa. Nessa variável, iremos deixar em 5,5 kHz. O bloco deve ficar similar a figura a seguir.



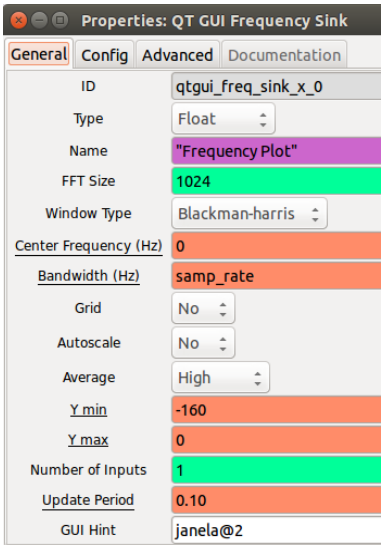
13. Vamos agora configurar os blocos da família ***QT GUI***. Primeiramente, abra as propriedades do bloco ***QT GUI Tab Widget***, que é responsável por organizarem janelas e abas as saídas dos blocos ***QT*** e preencha os campos como na figura a seguir.

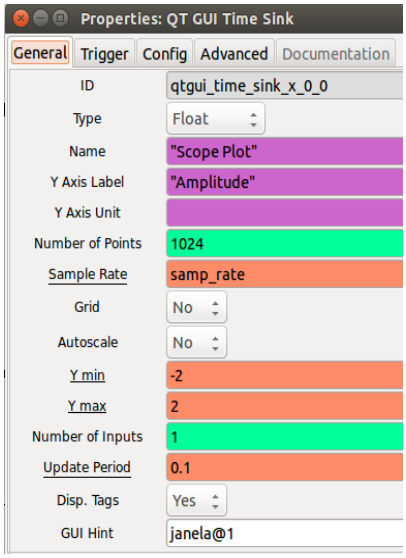


14. Depois, abra o ***QT GUI Time Sink*** conectado ao bloco ***WAV File Source***. Certifique-se de que seus parâmetros ficarão como na figura a seguir. Observe que no campo *GUI Hint* é necessário colocar o ID da janela, previamente definido, e o *index* da aba, no formato: id_janela@index_aba. Como só teremos um gráfico por aba, não será preciso especificar a posição de cada gráfico. Os demais parâmetros foram definidos apenas para facilitar a visualização.

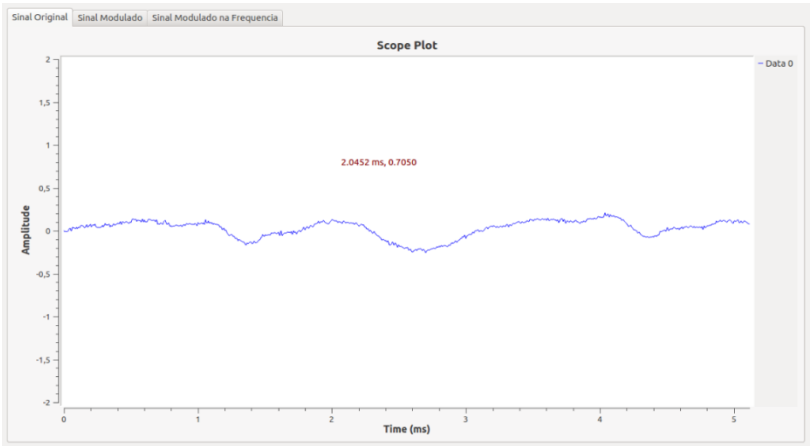


15. Da mesma maneira, preencha as demais janelas QT GUI como será indicado abaixo.

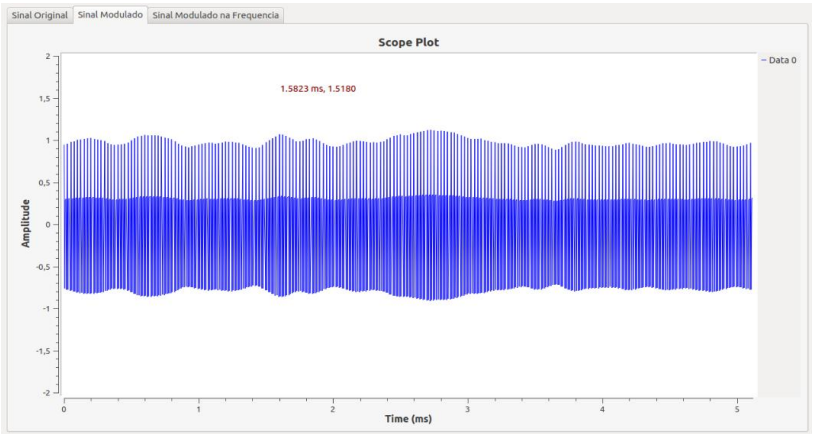




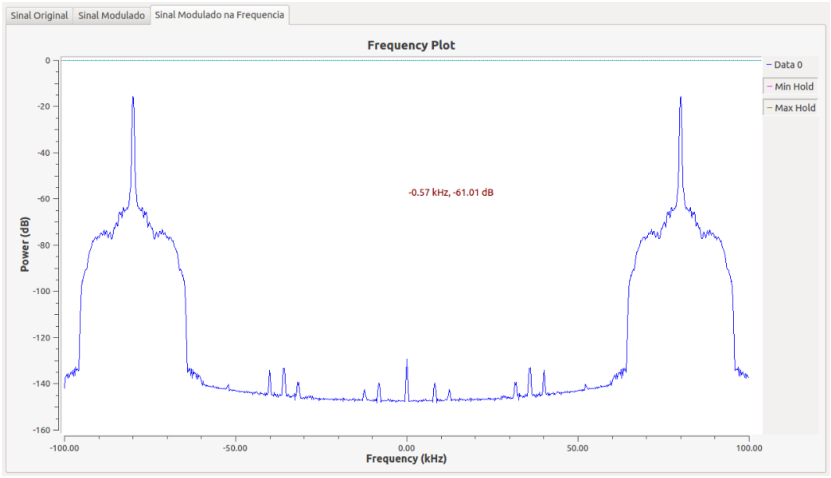
16. Agora com todos os blocos ligados e configurados, certifique-se que os blocos ***QT GUI Frequency Sink*** e o ***QT GUI Time Sink*** estejam operando no modo “Float”. Depois de feito isso, podemos executar o projeto. Clique no As saídas do projeto serão similares as da figuras a seguir.



(a) Sinal Original no Tempo

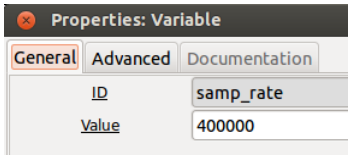


(b) Sinal Modulado no Tempo

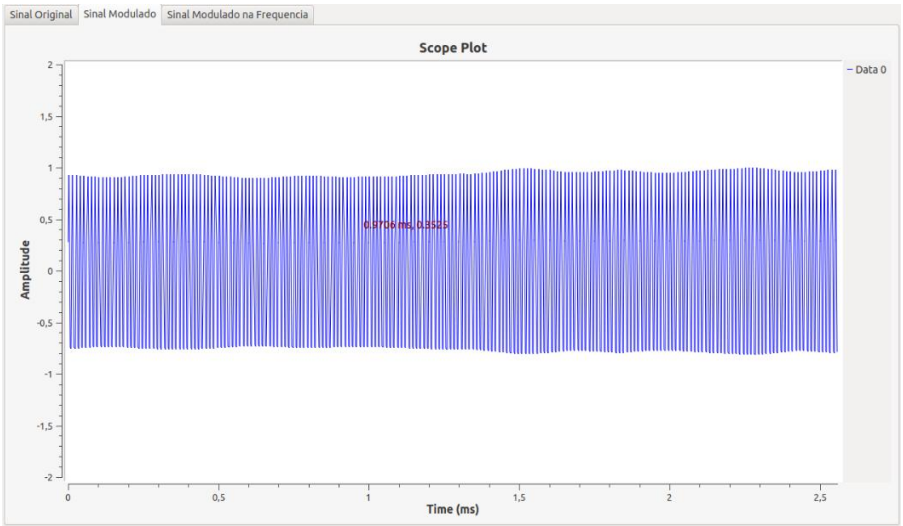


(c) Sinal Modulado na Frequência

17. Observe que o sinal modulado no tempo, apresenta as mesmas variações de amplitude que o sinal original, como é característica das modulações AM. Podemos perceber também que o sinal modulado no tempo está apresentando falhas em sua apresentação, apesar de a taxa de amostragem ser superior a de Nyquist por uma boa margem. Isso se dá provavelmente devido a um método bastante fraco de recuperação do sinal. Aumente o *samp_rate* para 400 KHz (5 vezes a frequência da portadora) e veja como a exibição do sinal modulado melhora consideravelmente. **OBS:** Não se esqueça de alterar o *interpolation* do primeiro ***Rational Resampler*** e o *decimation* do segundo para 4000, pelas razões já expostas acima.



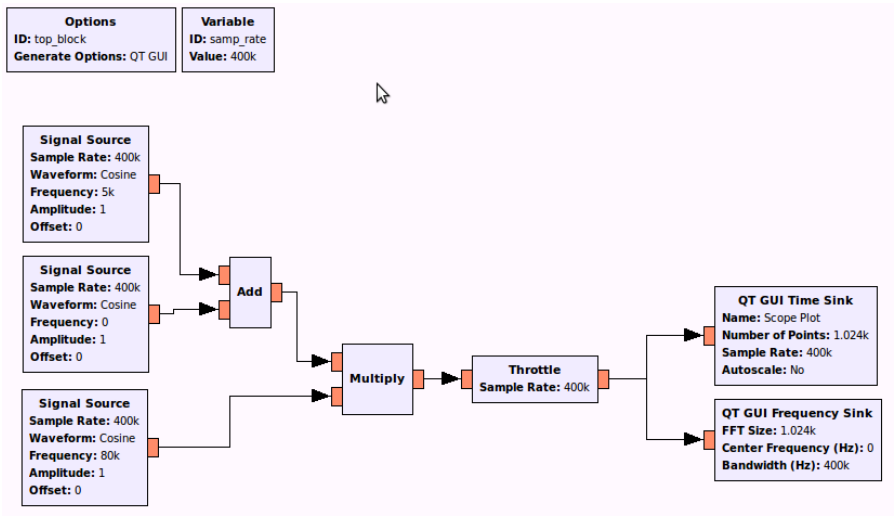
18. Feito isso, o resultado do seu gráfico deve ficar semelhante à figura abaixo.



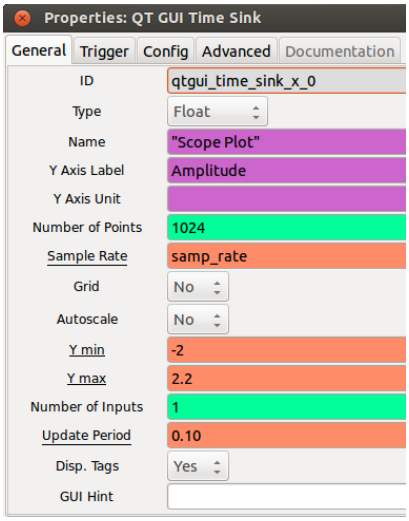
19. Tendo feito todos os passos o programa deve funcionar e deve-se ouvir o áudio demodulado, mas com uma qualidade inferior, já que ele é demodulado limitado a 5KHz do áudio original. Se tiver curiosidade altere o campo *Audio Stop* do ***AM Demod*** e veja como isso altera a qualidade do áudio. Quanto maior a diferença entre o *Audio Pass* e o *Audio Stop,* menor será a ordem do filtro aplicado, exigindo, portanto, menos processamento do computador.

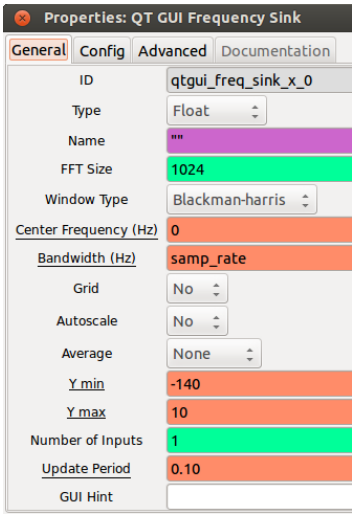
20. Para melhor visualizarmos o sinal modulado, vamos trocar o bloco ***Wav File Source*** por um novo bloco ***Signal Source.*** Assim poderemos ver as duas bandas laterais perfeitamente, pois estaremos transmitindo um tom em vez de um sinal de áudio complexo (música do arquivo .wav).

21. Salve seu projeto, usando o recurso "*save as*" (***Ctrl+Shift+S)***, com o nome ***am_loopback_step_2.grc.*** Adicione mais um bloco ***Signal Source*** e o substitua no lugar dos blocos **Wav File Source** e ***Rational Resampler***. Delete os blocos responsáveis pela demodulação, o primeiro ***QT GUI Time Sink***, e o ***QT GUI Tab Widget***. O projeto ficará como na figura a seguir.

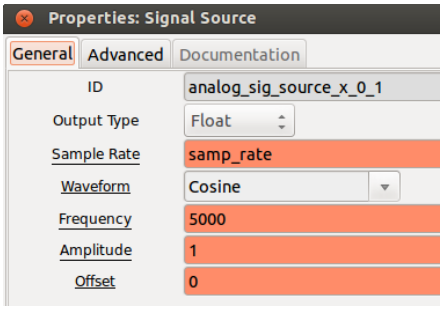


22. Configure o ***QT GUI Time Sink*** e o ***QT GUI Frequency Sink*** como indicado nas figuras abaixo para facilitar a visualização e remover as configurações de janela.

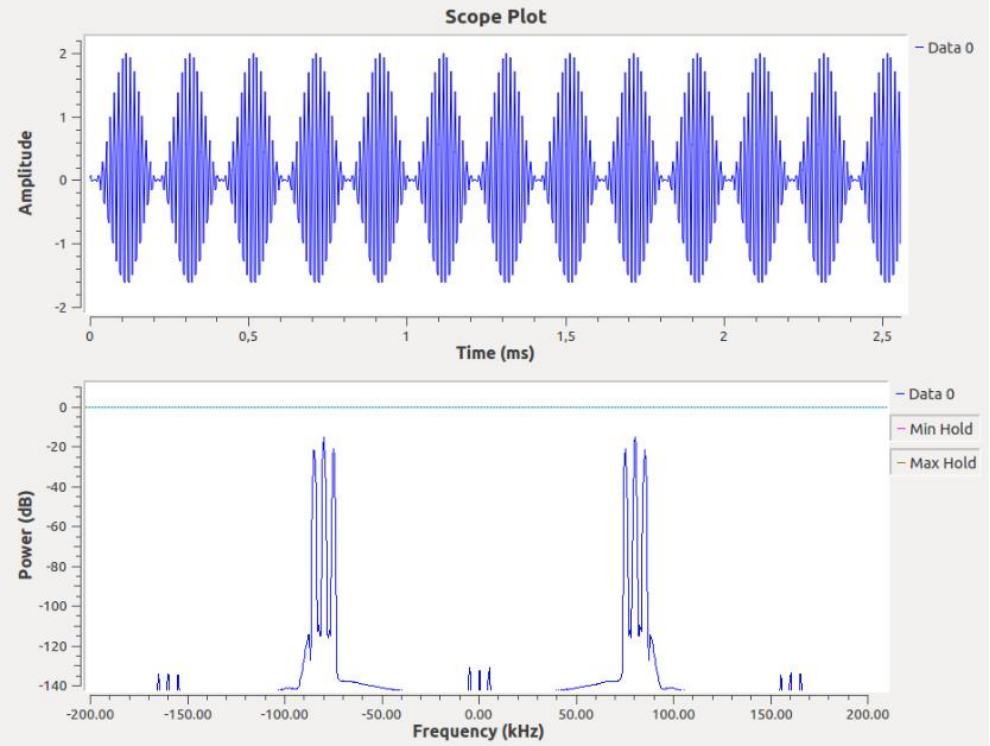




23. Configure o novo ***Signal Source*** para gerar um sinal de 5 kHz. O bloco deve ficar com a configuração similar ao da figura a seguir.



24. Agora compile e execute o projeto. Dado que a entrada do sistema é apenas um sinal senoidal, podemos ver claramente o sinal modulado, com sua portadora e bandas laterais.



25. Agora mude a amplitude do sinal para avaliar os casos de sobremodulação e a supermodulação AM. Faça um relatório incluindo como você gerou cada caso. Mostre e disserte sobre os gráficos de amplitude no tempo e potência na frequência.