Hands-on 4

Loopback transmissão e recepção BPSK utilizando o GNURadio

Introdução Teórica

Modulação PSK

A modulação PSK (*Phase Shift Keying*) é um esquema de modulação digital que tem por finalidade transmitir dados através da alteração da fase de uma onda portadora. Por ser um esquema de modulação com implementação simples e robusta, é muito utilizado em sistemas de comunicações sem fio. Neste esquema de modulação associa-se cada fase a um determinado conjunto de bits, ou seja, cada conjunto de bits representará um símbolo, como mostrado na figura 1. O caso mais simples de modulação PSK é o BPSK (*Binary Phase Shift Keying*), que transmite um bit (0 ou 1) por símbolo através da mudança de fase da portadora em dois valores, 0°e 180º. A figura 2 ilustra a representação em diagrama de constelação de um sinal BPSK. Embora seja uma modulação robusta ao ruído aditivo, a taxa de transmissão obtida com esse esquema de modulação não é alta, já que associa-se apenas 1 bit por símbolo.

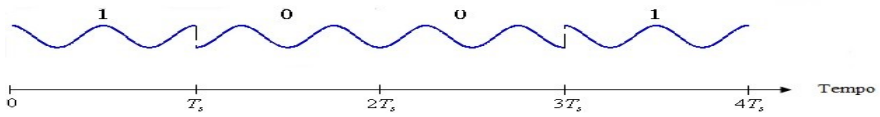


Figura 1: Bits e suas representações no sistema BPSK.

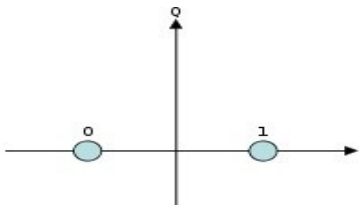


Figura 2: Representação em Diagrama de Constelação do BPSK.

Decisão e erro

Como na modulação BPSK a informação binária é atribuída às mudanças de fase da portadora, na recepção, a decisão é feita observando-se a fase do sinal recebido. Diz-se que ocorreu erro de transmissão, quando no envio de um bit “0”, o receptor decide pelo bit “1”, e vice-versa. Tal equívoco na decisão é ocasionado por interferências de diversas origens (e.g. ruído AWGN).Assim, os sistemas de transmissão digitais têm como um dos principais parâmetros para análise de desempenho a taxa de erro (BER), pois um serviço de transmissão digital precisa de um certo patamar de BER para garantir a qualidade de serviço apropriada.

De forma a se obter uma estimativa do comportamento do sistema são utilizados modelos matemáticos para o cálculo da probabilidade de erro, a qual é dependente do tipo de canal. Tomando como base um canal sob influência de ruído branco gaussiano (canal AWGN), podemos calcular a probabilidade de erro ao utilizar a modulação BPSK como:

$$P_e = 0.5\ erfc\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right)$$

sendoE_b a energia de bit; e N_0 a densidade espectral de potência do ruído.

Referências

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying#Binary_phase-shift_keying_.28BPSK.29 – Acesso em 20/01/2014

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Raised-cosine_filter#Roll-off_factor – Acesso em 20/01/2014

[3] Proakis, Salehi, Bauch; Modern Communication Systems Using Matlab®; 3ªedição; Cengage Learning.

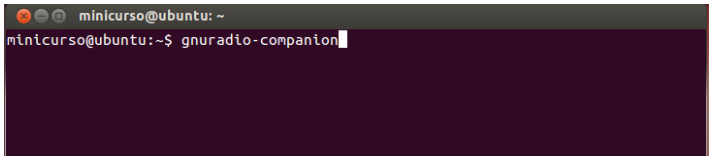
[4] Dayan, Rausley; Transmissão Digital, Princípios e Aplicações; 1ª edição; Editora Érica.

[5] http://www-ee.uta.edu/dip/Courses/EE4330/comparison%20of%20modulation%20methods.pdf

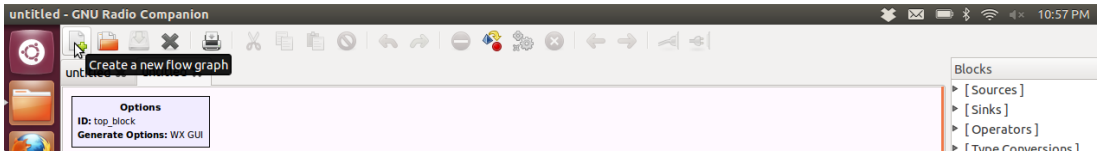
Exercício

OBJETIVO: Utilizando os conhecimentos adquiridos nos exercícios passados e por meio de uma breve introdução sobre modulação digital, vamos projetar um *loopback* de um sistema de transmissão BPSK, bem como analisar algumas características do sinal modulado (sinal transmitido) e recebido.

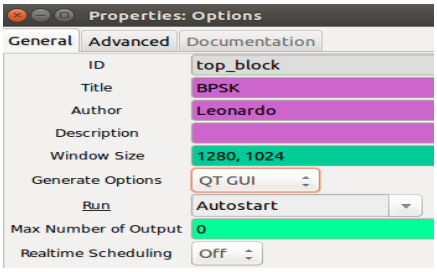
1. Caso ainda não esteja aberto, inicialize o GNU Radio Companion.
    a. Abra um terminal digitando CRTL+ALT+t
    b. Digite: gnuradio-companion e pressione ENTER



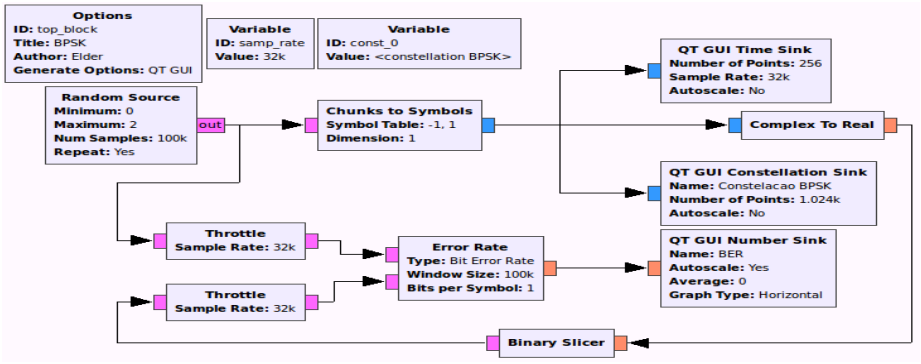
2. Com o GNU RADIO COMPANION aberto, crie um novo projeto



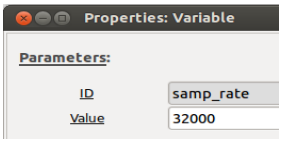
3. Clique duas vezes no Bloco ***Options***, esse bloco configura alguns parâmetros gerais do flowgraph. Mantenha o ID como top_block. Se desejar, digite um título para o projeto e um autor. Selecione *Generate Options* como *QT GUI*, *Run* para *Autostart* e *Real time Scheduling* para *Off*. Então, feche a janela de propriedades. A figura a seguir mostra um exemplo dessa janela de configuração.

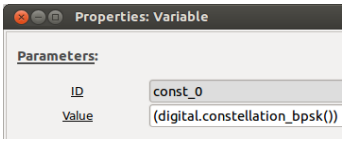


4. Construa um projeto utilizando os seguintes blocos*:* dois blocos***Variable***, dois blocos ***Throttle***, um bloco ***Random Source***, um bloco ***Chunk to Symbols***, um bloco ***QT GUI Time Sink***, um bloco ***QT GUI Constellation Sink***, um bloco ***QT GUI NumberSink***, um bloco ***Error Rate***, um bloco ***Complexto Real***, um bloco ***Binary Slicer***. Conecte os blocos de forma similar ao da figura a seguir.

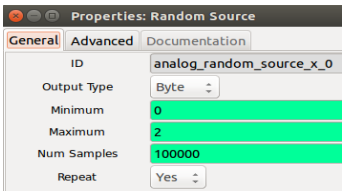


5. Feita as conexões vamos iniciar a configuração dos parâmetros de cada bloco, começando pelos blocos ***variable***. Clique duas vezes no bloco cujo *ID* é *samp_rate* e altere o campo *Value* para 32000. Agora abra outro bloco ***Variable*** e edite seu *ID* para *const_0* e o campo *Value* para *(digital.constellation_bpsk())*. Essa última configuração nos faz perceber a utilização de funções de um módulo do GNU Radio (aqui, um módulo específico para BPSK). Você pode conferir como ficará cada bloco nas figuras a seguir.

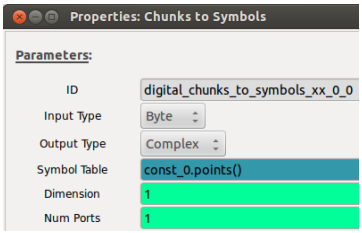




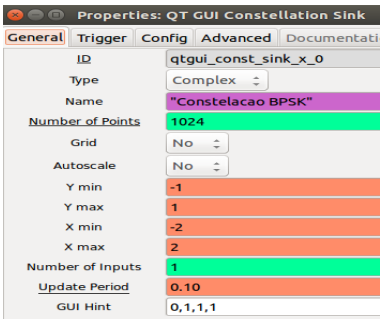
6. Agora no bloco ***Random Source***, edite os campos: *Output Type* para *Byte; Minimum* para *0, Maximum* para 2, *Num Samples* para *100000* e a opção *Repeat* para *Yes.* Esse bloco gera uma fonte de informação aleatória para análise. Observe a figura abaixo.



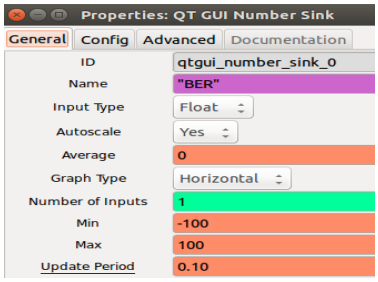
7. Agora passemos a configuração do bloco ***Chunk to Symbols***. Para tanto, abra o bloco e edite os campos *Input Type* para *Byte*; *Output Type* para *Complex*; *Symbol Table* para *const_0.points()*; *Dimension* para 1; *Num ports* para 1. Essa alteração utiliza o modulo digital do GNU Radio definido anteriormente no bloco *variable* cujo *ID* é *const_0*, a função *.points()* retorna o mapeamento bit/símbolo da modulação BPSK. A configuração deve estar igual à figura a seguir.



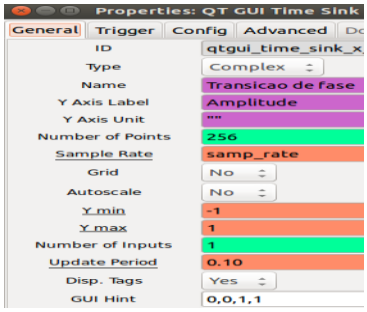
8. Agora clique no bloco ***QT GUI Constellation Sink***, configure o parâmetro *Name* para *Constelacao BPSK* e *Number of Points* para 1024 e *GUI Hint* como 0,1,1,1.



9. A atividade atual irá realizar uma análise de erros de bits que será visualizada durante a simulação através do bloco ***QT GUI Number Sink***, o qual retorna uma saída numérica. Tal bloco pode ser configurado da seguinte forma: *Type* como *Float*; *Name* definido como *BER(%)*; *Min* como *-100*; *Max Value* como *100*. Defina *Number of Inputs* igual a 1 e *Update Period* para 0.10. O bloco deverá ficar similar a figura a seguir.

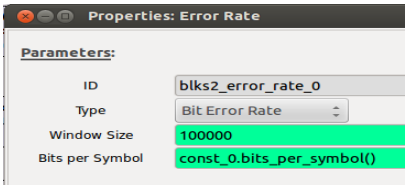


10. Agora vamos editar o bloco ***QT GUI Time Sink***, no campo *Name* edite "*Transicao de fase*", altere o parâmetro *Number of Points* para 256 e *GUI Hint* para 0,0,1,1.

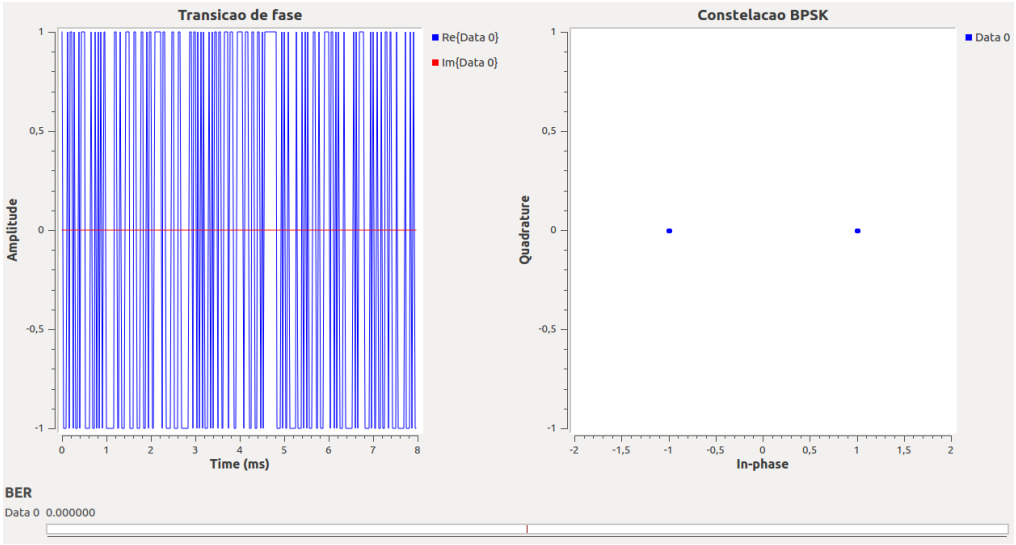


11. Para a “demodulação” usaremos o bloco ***Binary Slicer***. Ele não precisa de configuração. Se a entrada for *x*, a saída será 0, se x < 0; ou será 1, se x >= 0.

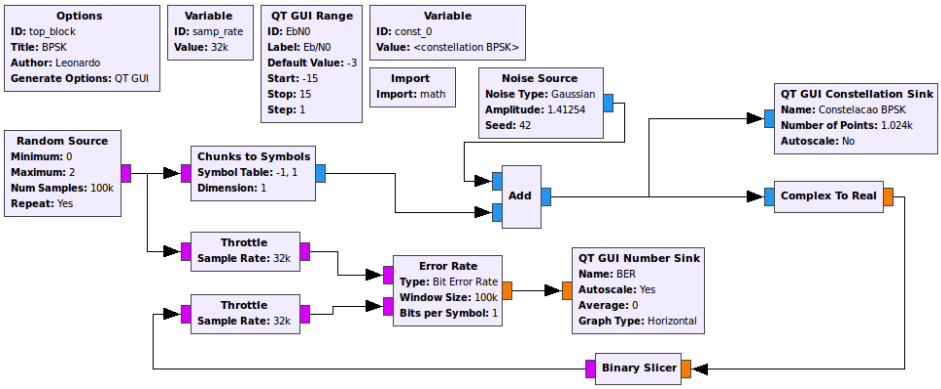
12. Para visualizarmos a variação da Taxa de Erro de Bits (BER) durante a simulação, é preciso comparar os bits gerados com os bits “demodulados”. Isso é feito através do bloco ***Error Rate***. Sua configuração é simples. Defina o campo *Type* como *Bit Error Rate*, *Window Size* como *1000000*, e o campo *Bits per Symbol* com o valor *const_0.bits_per_symbol()*. Confira com a figura a seguir como deverá ficar o bloco. Lembre-se de conectar o bloco ***Error Rate*** através de blocos ***Throttle***, que precisam ter o campo *Type* configurado para *Byte*.



13. Finalizado esses procedimentos salve e execute o projeto. A figura abaixo apresenta as duas saídas dos blocos ***QT GUI Time Sink*** e ***QT GUI Number Sink*** em um mesmo gráfico. É possível notar ainda que os pontos no diagrama de constelação são quase imperceptíveis, mas estão centrados em -1 e 1. Esse resultado deve-se à ausência de ruído no processamento do sinal. Logo, não há dispersão dos pontos no diagrama.Note também que observamos claramente a transição de fase durante o tempo.



14. Agora vamos adicionar um canal com ruído. Utilizaremos basicamente o projeto anterior com algumas modificações. Salve o projeto com outro nome, exclua o bloco ***QT GUI Time Sink*** e adicione os blocos ***Add***, ***import***, ***Noise source*** e ***QT GUI Range***. Conecte-os de forma similar ao da figura a seguir.



15. Abra o bloco ***Noise Source*** e mude o campo *Amplitude* para *1.0 / math.sqrt(10**(float(EbN0)/10))*. Esse é o valor da amplitude do ruído para um dado valor de E_b/N_0. O valor de E_b/N_0 será controlado dinamicamente no bloco ***QT GUI Range***, o qual será configurado posteriormente. Para melhor compreender o valor da amplitudedo ruído será feita sua dedução a seguir e logo depois terminaremos a configuração do bloco ***Noise Source***.

A E_b/N_0 linear (γ_{linear}) pode ser calculada a partir da E_b/N_0 em dB(γ_{dB}) por:

$$\gamma_{linear} = 10^{\left(\frac{\gamma_{dB}}{10}\right)} \tag{1}$$

Sabemos que a potência do ruído branco (de média zero) é igual a sua variância

$$\sigma^2 = \frac{N_0}{2} \Rightarrow N_0 = 2\sigma^2 \tag{2}$$

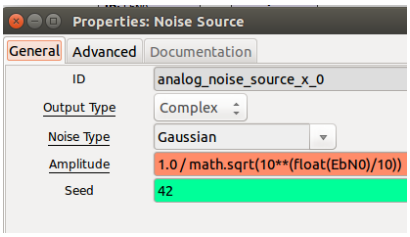
Geralmente, normalizamos a energia do bit E_b para 1 e mudamos a potência do ruído (σ^2) para variar o valor da E_b/N_0. Assim, a amplitude do ruído (seu desvio padrão) pode ser calculada em função da E_b/N_0 como a seguir.

$$\frac{E_b}{N_0} = \gamma_{linear} = \frac{1}{N_0} = \frac{1}{2\sigma^2} \Rightarrow \sigma = \sqrt{\frac{1}{2\gamma_{linear}}} \tag{3}$$

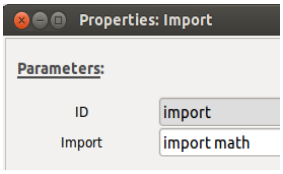
Escrevendo (3) em função da E_b/N_0 em dB (γ_{dB}), temos

$$\sigma = \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times 10^{\frac{\gamma_{dB}}{10}}}} \right)$$

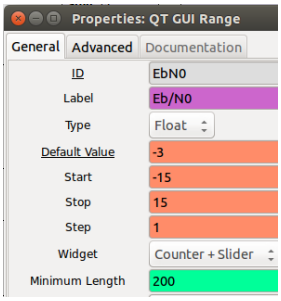
Por isso colocamos o valor *1.0 / math.sqrt(10**(float(EbN0)/10))* no campo *Amplitude* do bloco ***Noise Source*****,** pois ele é complexo e o bloco divide o valor de amplitude por dois. O bloco deve ficar como na figura a seguir.



16. O bloco ***Noise Source*** ainda ficará vermelho e acusando que não consegue executar o cálculo digitado. Isso devido a falta da biblioteca *math*. Para importá-la precisamos do bloco ***import***. Configure o bloco digitando *import math* no campo *Import*. O bloco deverá ficar como na figura a seguir.



17. Agora vamos configurar o bloco ***QT GUI Range***. Altere o campo *ID* para EbN0 e o *Label* para E_b/N_0 *(dB)*. Altere o valor do campo *Default Value* para -3; *Start* para -15; *Stop* para 15, *Step* para 1 e *Widget* para Counter + Slider. O bloco deve ficar como na figura a seguir.

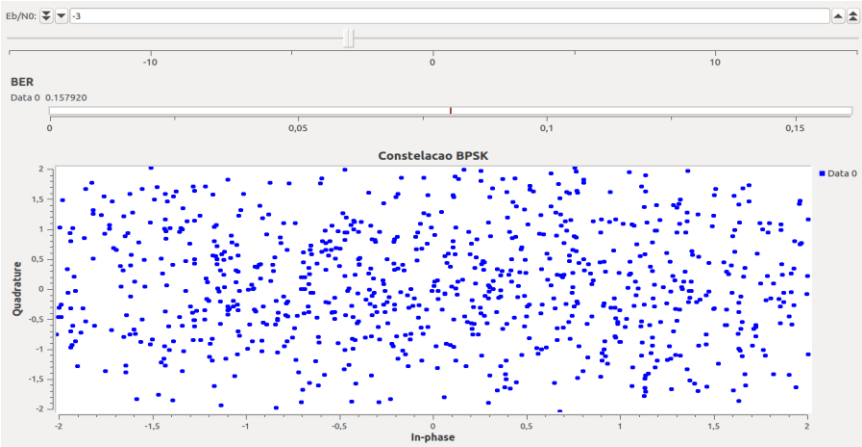


18. Salve e execute o projeto. Altere o valor do ruído e observe como ficará a constelação. Você perceberá que ao diminuirmos o nível da relação sinal ruído a constelação tende a se espalhar. É necessário aumentar o número de divisões do eixo vertical para visualizarmos o espalhamento de uma forma mais clara. Abaixo será mostrada uma tabela contendo valores teóricos da probabilidade de erro para valores específicos de E_b/N_0. Para um número grande de amostras, se espera que o valor da BER convirja para o valor da P_e. Utilize um dos valores de E_b/N_0 da tabela, aguarde um momento e compare o valor da P_e da tabela com o valor obtido na simulação. Você

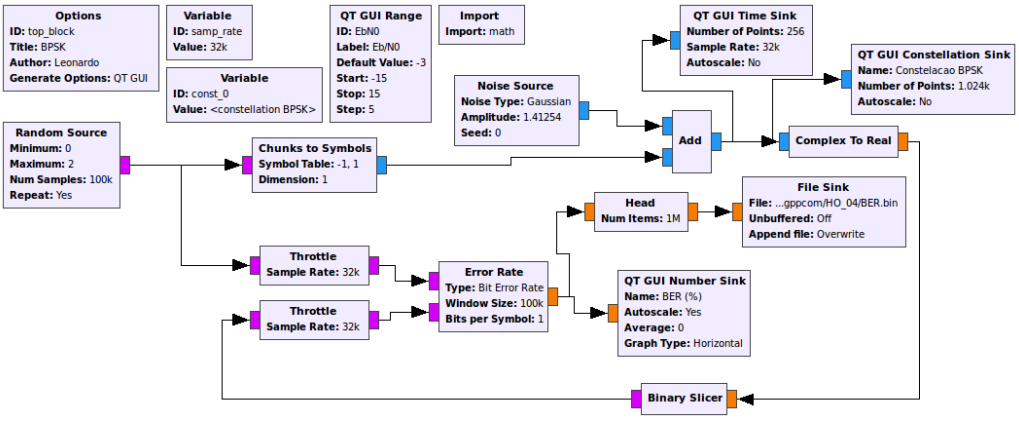
pode conferir um saída para EB/N0 de - 3dB na figura a seguir.

Eb/N0 (dB)	BER
-5	0.2132280183576
-3	0.1583683188096
-1	0.1037590959534
1	0.0562819519765
3	0.0228784075611
5	0.0059538671478
7	0.0007726748154
9	0.0000336272284
11	0.0000002613068
13	0.0000000001333

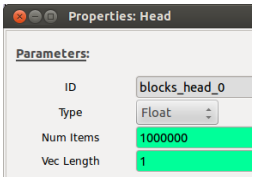
Tabela 1- Alguns valores de BER teórica para valores de E_b/N_0 (dB).



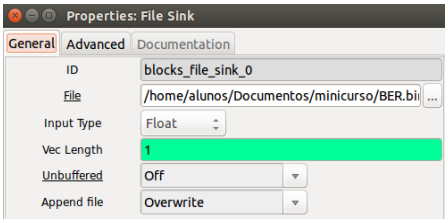
19. Como último exercício, objetivando coletar os valores de BER obtidos pela simulação do GNU Radio, iremos fazer uso de um procedimento para salvar saídas desejadas. Para tal, vamos utilizar o último projeto realizado e fazer algumas alterações. Inicialmente adicione os blocos ***Head*** e ***File Sink*** à sua área de trabalho. Eles devem ser conectados de acordo com a figura a seguir (na saída do bloco ***Error rate***).



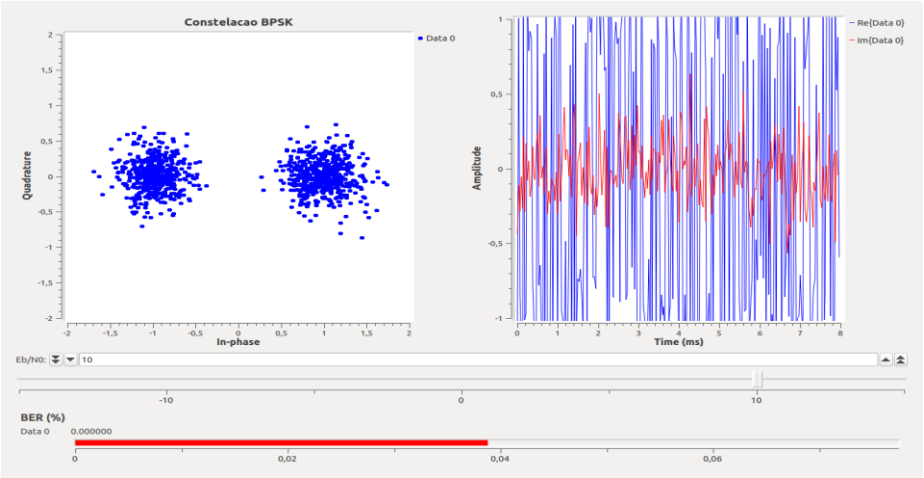
20. O bloco ***Head*** serve para limitar certa quantidade de amostras na saída. No nosso caso, a quantidade de amostras que passará ao bloco ***File Sink***. Agora altere os parâmetros do bloco ***Head*** com os seguintes valores: *Type* para *Float*; *Num items* para *1000000*; *Vec Length* para *1*. Sua configuração deve estar similar a figura a seguir.



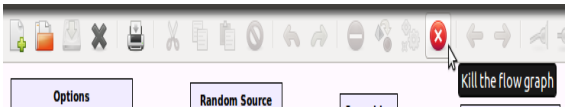
21. No bloco ***File Sink*** selecione o caminho para o salvamento (e.g. ***/home/alunos/Documentos/)*** e nomeie o arquivo como ***BER.bin*** (se essa pasta não existir, por favor, a crie). Feito isso, abra o bloco ***Error rate*** e altere o campo *Window Size* para *100000.* Sua configuração deve estar similar a figura a seguir.



22. Salve e execute o projeto. Escolha um valor de EB/N0 de acordo com a tabela 1 e espere a estabilização da BER. O resultado deve ser semelhante similar a figura a seguir.



23. Aguarde um momento após a estabilização e finalize seu projeto fechando a janela aberta ou clicando no “X” na barra de ações, observe a figura a seguir.



24. Com o arquivo de dados salvo, podemos abri-lo e observar os dados da simulação. Demonstraremos como abrir este arquivo no ***Python***. Em um terminal (CRTL+ALT+t para abrir), digite os comandos a seguir.

~$ python
>>>filefile=open('/home/gppcom/HO_04/BER.bin', 'r')
>>>import numpy as np
>>>Arquivo_final=np.fromfile(file,dtype=np.float32)

```
alunos@LI-TELECOM-05:~$ python
Python 2.7.6 (default, Mar 22 2014, 22:59:56)
[GCC 4.8.2] on linux2
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
>>> file=open('/home/alunos/Documentos/minicurso/BER.bin','r')
>>> import numpy as np
>>> Arquivo_final= np.fromfile(file,dtype=np.float32)
>>> Arquivo_final
array([ 0.        ,  0.5       ,  0.33333334, ...,  0.06606   ,
        0.06606   ,  0.06606   ], dtype=float32)
>>> len(Arquivo_final)
841172
```