

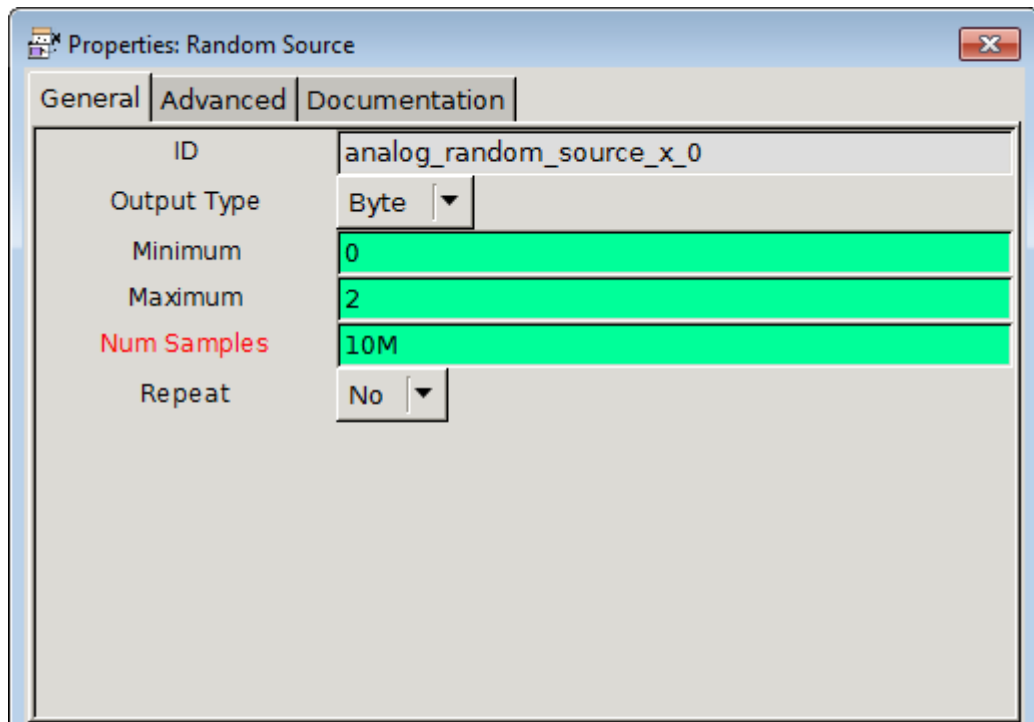
Занятие № 5. «Измерение коэффициента ошибок в цифровом тракте»

В данной работе при помощи программно-определяемой радиосистемы HackRF и среды программирования GNU Radio производится экспериментальная оценка надежности цифровых методов модуляции: двухпозиционная амплитудная манипуляция (AM), 4-AM, квадратурно-фазовая модуляция (КФМ), 8-ФМ и квадратурно-амплитудная модуляция 16-QAM.

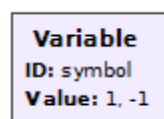
Оценка надежности производится путем измерения коэффициента битовой ошибки (BER) в зависимости от отношения сигнал-шум ОСШ and E_b/N_0 , соответственно $OSШ = (E_b \cdot \text{бит/символ}) / (N_0 \cdot BW) = E_b/N_0 \cdot (\text{бит/символ}) / BW$

Порядок выполнения работы:

1. В правой панели из группы *Источники* - «*Waveform Generators*», выберите блок *Источник случайного сигнала* - «*Random Source*». Переместите выбранный блок в рабочее поле. Дважды кликните на блоке «*Random Source*» и установите тип выходных данных в значение *байт* - «*Byte*», для AM максимально значение должно быть равно 2, количество отсчетов 10 000 000 (можно записать, как 10M), и повторение в положение *выкл.* - «*No*». Пример настройки блока *Источник случайного сигнала* изображен на следующем снимке экрана.



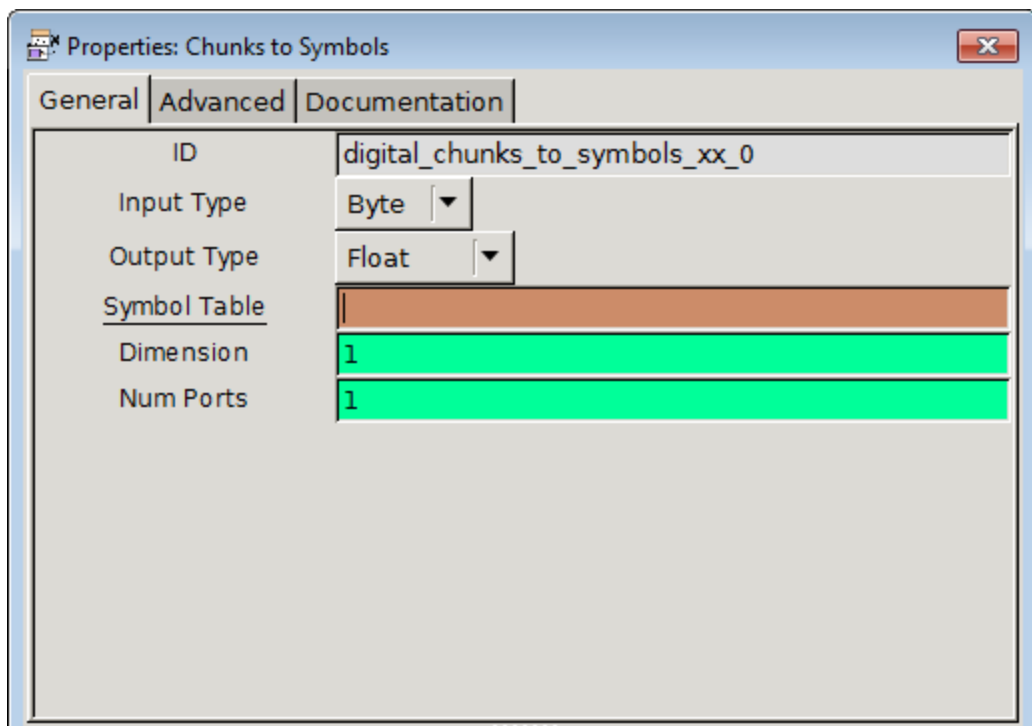
2. Выберите блок *Переменная* - «*Variable*» из группы *Переменные* - «*Variables*» переместите блок в рабочую область и присвойте идентификатор переменной ID равным «*symbol*», а значение «1, -1» (для двухпозиционной AM). Блок *Переменная* не требует соединения с другими блоками, после настройки блок примет вид:



Подсказка:

- среднеквадратическое значение амплитуды сигнала $\sigma = \sqrt{\frac{1^2 + 1^2}{2}} = 1$, а амплитуда шума = $\sqrt{N_0/2}$;
- для обеспечения $ОСШ = 10 \cdot \log_{10}(1/N_0) = 0$ дБ, $N_0 = 1$ амплитуда шума = 0.707;
- для обеспечения $ОСШ = 1$ дБ, $N_0 = 0,7938$ амплитуда шума = 0.63.

3. Добавьте вторую *Переменную* из группы блоков *Переменные* определите идентификатор переменной равным «value» и присвойте значение «0, 1» (для двухпозиционной АМ).
4. Добавьте блок *Преобразователя* «Chunks to Symbols» из группы разные преобразования «Misc Conversions» и измените тип данных на «Byte», таблицу символов на «symbol», и размерность *Dimension* = 1.
- 5.



6. Кликните левой кнопкой мыши сначала на выход блока *Источник случайного сигнала* - «Random Source», а затем на вход блока *Преобразователь* - «Chunks to Symbols» для объединения блоков.
7. Добавьте блок *Источник шума* - «Noise Source» из группы *Источники* - «Sources» и установите значения амплитуды шума на 0.707 (меняя амплитуду шума подбирается значение ОСШ).
8. Добавьте блок *Сумматора* - «Add» из группы *Математические операторы* «Operators» и соедините блоки «Chunks to Symbols» и «Add», с блоками «Noise Source» и «Add» соответственно.
9. Добавьте блок *Групповой декодер* - «Constellation Decoder» из группы *Модуляторы* - «Modulators» и установите значения поля символ равное переменной «symbol», а значения символа равным «value», и подсоедините блок к сумматору «Add».
10. Добавьте блок *Импорт* - «Import» из группы *Разное* - «Misc» и подключите библиотеку *Математика* изменив параметр *import* равным «import math». Параметр *ID* оставьте без изменений.
11. Добавьте блок *Коэффициент ошибок* - «Error Rate» из группы *Разное* - «Misc» и установите размер окна 10М (десять миллионов), а количество бит на символ определите выражением

$\lceil \log_2(\text{len}(\text{symbol})) \rceil$). Выражение является интерпретируемой командой на языке Python2.7 и использует функцию из ранее импортированной в пункте 10 библиотеки Математика - `math.log()`.

12. Соедините блоки *Источник случайного сигнала* - «Random Source» и *Коэффициент ошибок* - «Error Rate», а затем блок *Групповой декодер* - «Constellation Decoder» с блоком «Error Rate» blocks.
13. Добавьте блок «Number Sink» из группы «Graphical Sinks» и измените тип данных на «Float», заголовок на «BER», минимальное значение = 0, максимальное значение = 1, делитель (*factor*) = 1, поле decimal places = 20, average = «On», параметр show gauge = «Hide».
14. Соедините блок «Error Rate» и «Number Sink».
15. Добавьте блок *Виртуальный осциллограф* - «Scope Sink» из группы *графические приемники сигнала* - «Graphical Sinks» и включите режим работы виртуального осциллографа XY mode = «On».
16. Соедините блоки *Сумматора* «Add» и *Осциллографа* - «Scope Sink».
17. Save the grc file and Click «Generate the flow graph» icon. Notice that there is a warning message at the bottom of the window. Solve this problem by adding «Throttle» block properly
18. На панели инструментов в верхнем углу нажмите кнопку *запустить схему* «Execute the flow graph» (или нажмите клавишу F6) для выполнения собранной блок-схемы.
19. Вычислите BER для двоичной AM при различных значениях амплитуды помехи

Na=	0,707	0,630	0,562	0,501	0,446	0,398	0,354	0,316
0,282	0,251	0,224	0,199	0,177	0,158	0,141	0,125	0,112

при ОСШ = 0 дБ, 1 дБ, ..., 16 дБ, соответственно постройте графическую зависимость *respectively*, BER от ОСШ (в логарифмическом масштабе) и опишите полученные результаты.

20. Чтобы графически отобразить эффект воздействия шума добавьте блок «Scope Sink» к выходу блока *Сумматора* - «Add» и второй блок «Scope Sink» к выходу блока *Преобразователя* - «Chunks to Symbols».
21. Повторите эксперимент для 4-AM изменив в блоке *Переменная* - «Variable» («ID: symbol») значения «1.342, 0.447, -0.447, -1.342», и для *Переменной* - «Variable» («ID: value») значения «0, 1, 2, 3», а в блоке *Источник случайного сигнала* - «Random Source» необходимо увеличить максимальное значение = 4. Подсказка) СКО сигнала
$$\text{СКО} = \sqrt{1,342^2 + 0,447^2 + 0,447^2 + 1,342^2 / 4} = 1.$$
22. Повторите эксперимент для КФМ после изменения переменной «Variable» («ID: symbol») значениями = «0.707+0.707j, 0.707-0.707j, -0.707+0.707j, -0.707 0.707j» Подсказка) $a + aj, a - aj, -a + aj, -a - aj$
23. Повторите эксперимент для 8-ФМ и для 16-КАМ.