

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ЦИФРОВОГО КАНАЛА СВЯЗИ  
С BFSK В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ LABVIEW

А. Е. КУРОЧКИН, НЕЙ ЛИН У

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
(г. Минск, Республика Беларусь)

E-mail: [kurochkin@bsuir.by](mailto:kurochkin@bsuir.by)

**Аннотация.** Представлены результаты разработки компьютерной модели цифрового канала связи с BFSK в LabVIEW.

**Annotation.** The results of developing a computer model of a digital communication channel with BFSK in LabVIEW are presented.

**Введение**

Цель разработки – создать компьютерную модель цифрового канала связи с бинарной частотной манипуляцией (BFSK) для передачи текстовой информации, не применяя штатные средства LabVIEW [1]. Последовательность бинарных импульсов, соответствующих “1” и “0” может быть представлена различными способами. Самым простым способом является однополярный NRZ (Non Return to Zero) - без возврата к нулю. Частотная манипуляция основана на изменении частоты несущего колебания в соответствии с модулирующей последовательностью [2]. На рисунке 1, представлен процесс формирования модулированного колебания в соответствии с передаваемыми текстовыми символами.

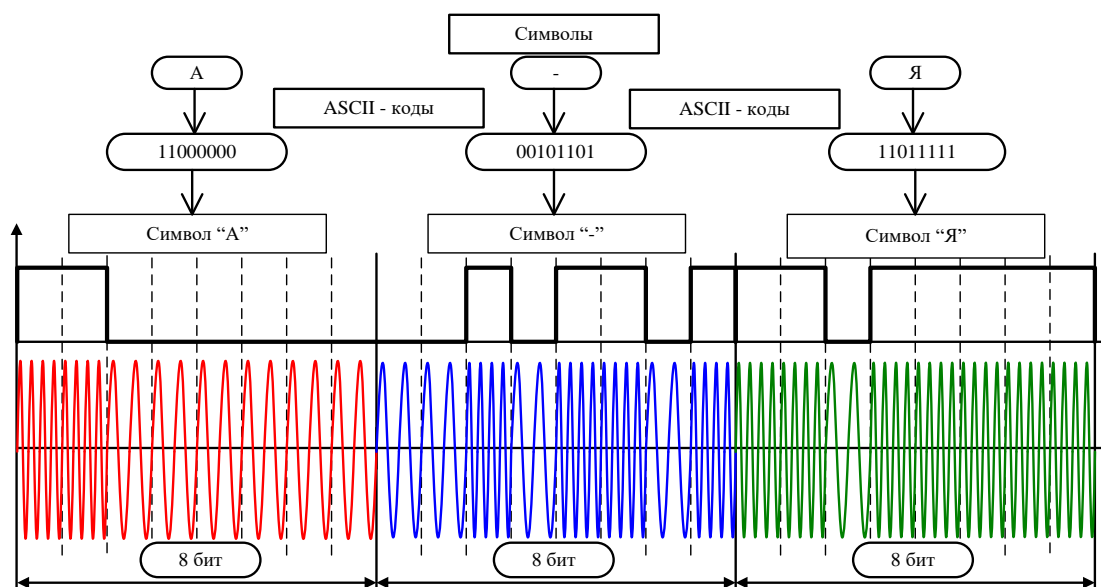


Рис. 1. Формирование частотно-манипулированного сигнала

**Разработка интерфейса модуля в LabVIEW**

Интерфейс программного модуля содержит четыре субпанели: зона структуры канала связи (рисунок 2), зона передатчика, зона приёмника и зона глазковой диаграммы. На рисунке 3 представлена субпанель передатчика, на которой размещены: элемент “String Control” палитры “String&Path” для ввода передаваемого текста (не более 15 символов), четыре элемента “Waveform Graph” палитры Graph для отображения одиночного импульса Гаусса (Single pulse), первичной последовательности импульсов запуска (Triggering pulses Sequence), сформированной последовательности гауссовых импульсов (Transmitted signals), импульсов на входе линии связи, импульсов на выходе линии связи (Signals in the communication channel), светодиодный массив на основе элемента “Round LED” палитры Boolean для отображения цифрового потока и строковый элемент “String Indicator” палитры “String&Path” для отображения последовательности передаваемых ASCII кодов элементов цифрового потока (Sequence of

binary "1" and "0" for transmission into the communication channel). Для изменения временных параметров передаваемой последовательности импульсов, уровня помех в линии связи, временного диапазона анализа, параметров импульса Гаусса на субпанели размещены четыре элемента "Vertical Pointer Slide" палитры Numeric и светодиод основе элемента "Round LED" палитры Boolean для контроля параметров шаблона импульса Гаусса ("Is the distance between pulses greater than the pulse width?")

На рисунке 4 представлена субпанель приёмника, на которой размещены: элемент "String Indicator" палитры "String&Path" для отображения последовательности передаваемых ASCII кодов элементов цифрового

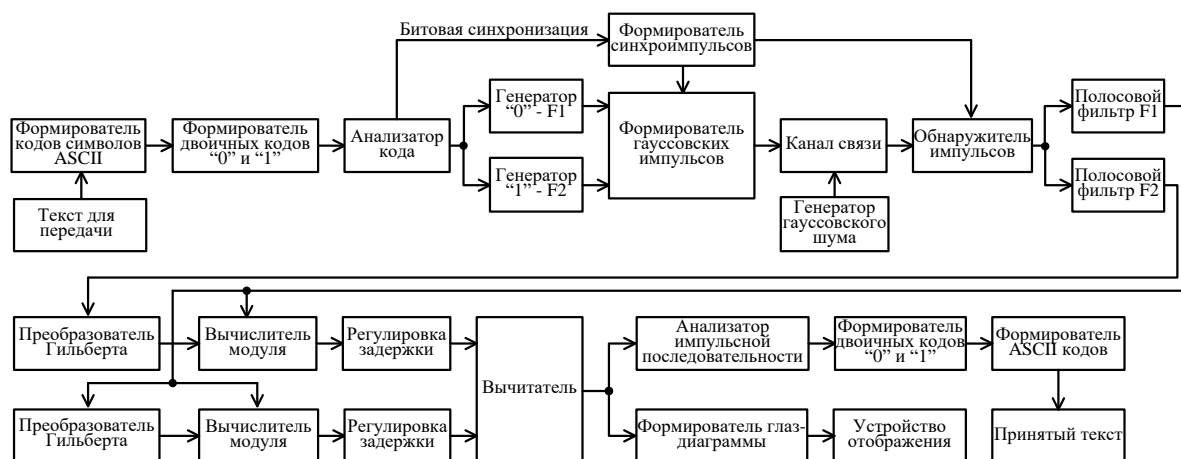


Рис. 2. Канал связи с BFSK для передачи текстовой информации

потока на входе линии связи (Sequence of binary "1" and "0" for transmission into the communication channel), восемь элементов "Waveform Graph" палитры Graph для отображения временной последовательности импульсов на входе в диапазоне анализа (Received signals), обнаруженной последовательности импульсов с сообщением (Discovered sequence), спектра обнаруженного сигнала с частотами соответствующими состояниям "1" и "0" ("Discovered spectrum"), сигнала на выходе полосового фильтра F1 (Signal - "1"), сигнала на выходе полосового фильтра F0 (Signal - "0"), огибающей сигнала на выходе полосового фильтра F1 после детектирования (Signal - "1"), огибающей сигнала на выходе полосового фильтра F0 после детектирования (Signal - "0"), разностного сигнала демодулятора "Demodulate signals".

На рисунке 5 представлена субпанель глазковой диаграммы, на которой размещены: три индикатора соответствующих массивов на основе элемента "Numeric Indicator" палитры Numeric для отображения ASCII кодов на входе и выходе линии связи ("Transmitted to the communication channel", "Received from the communication channel"), а также декодированных символов ("All letters"), элемент "Waveform Graph" палитры Graph для отображения глазковой диаграммы, элементы управления горизонтальными и вертикальными курсорами, два элемента синхронизации цифрового потока "Vertical Pointer Slide" (Shift "0" и Shift "1") и один элемент синхронизации Dial (Sync point shift) палитры Numeric, элемент "String Indicator" палитры "String&Path" для отображения последовательности передаваемых ASCII кодов элементов цифрового потока на входе линии связи (Sequence of binary "1" and "0" for transmission into the communication channel).

### Разработка блок-схемы модуля

На рисунке 6 представлена разработанная в LabVIEW блок-схема модуля. Выполняются следующие основные ниже действия:

1. Формирование исходной последовательности нулей (0) и единиц (1):
  - используя функцию "String To Byte Array Function", преобразуем строку в массив беззнаковых байтов, где каждый байт в массиве имеет ASCII-код соответствующего символа в строке;
  - с помощью цикла "For Loop", используя функции "Number To Boolean Array Function" и "Reverse 1D Array Function" формируем реверсивный массив логических переменных;
  - с помощью функций "Array Size Function", которая возвращает количество элементов в каждом измерении массива, "Multiply Array Elements Function", возвращающую произведение всех элементов числового массива, и "Reshape Array Function" формируем последовательность логических переменных;
  - функцией "Boolean To (0,1) Function" формируем последовательность нулей (0) и единиц (1).

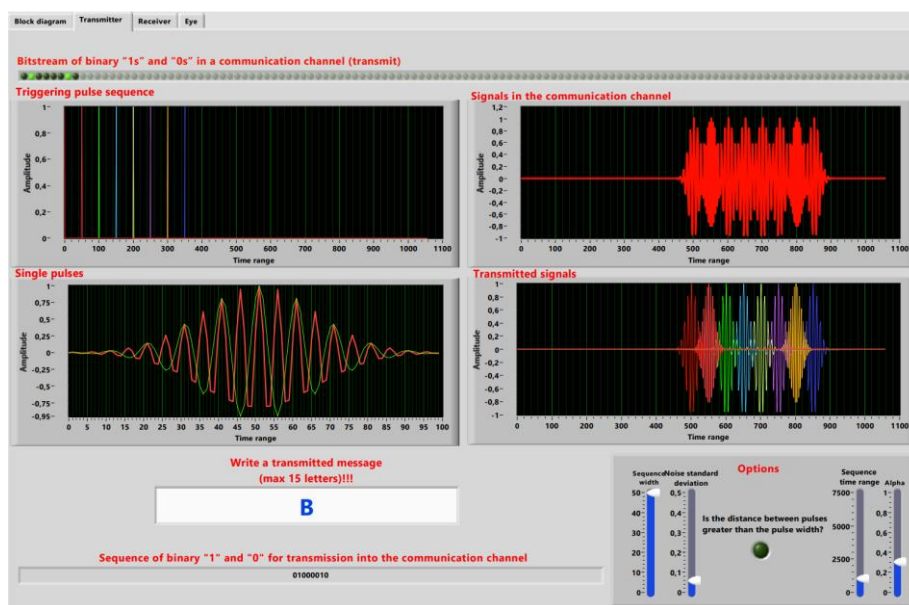
2. Формирование передаваемой последовательности нулей (0) и единиц (1) в виде кодов ASCII и символов для их отображения на индикаторах:

- с помощью функции “String Length Function” определяем длину передаваемого текста;
- с помощью циклов “For Loop” и функций “Multiply Function”, “Add Function”, “Index Array Function”, “Boolean To (0,1) Function”, “Index Array Function”, “Number To Decimal String Function”, “Concatenate Strings Function” разбираем строку символов на октеты и формируем символьные образы кодов ASCII;

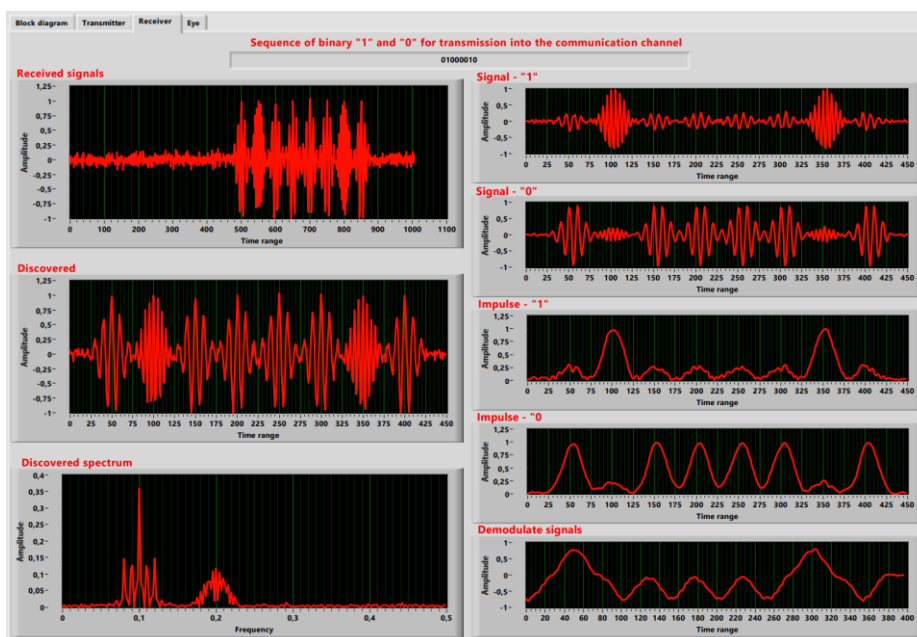
- с помощью дополнительного цикла “For Loop”, константы “format string” и функций “Format Into String”, “Concatenate Strings” форматируем и отображаем передаваемое сообщение на индикаторе строки String.

3. Формирование последовательности первичных импульсов с помощью цикла “For Loop”, используя элемент “Impulse Pattern VI” палитры “Signal Generation”.

4. Формирование двух шаблонов гауссовых радиоимпульсов с различными частотами несущего колебания F1 и F2 с помощью структуры “Formula Node” и кода на языке программирования C.



**Рис. 3.** Субпанель передатчика



**Рис. 4.** Субпанель приёмника

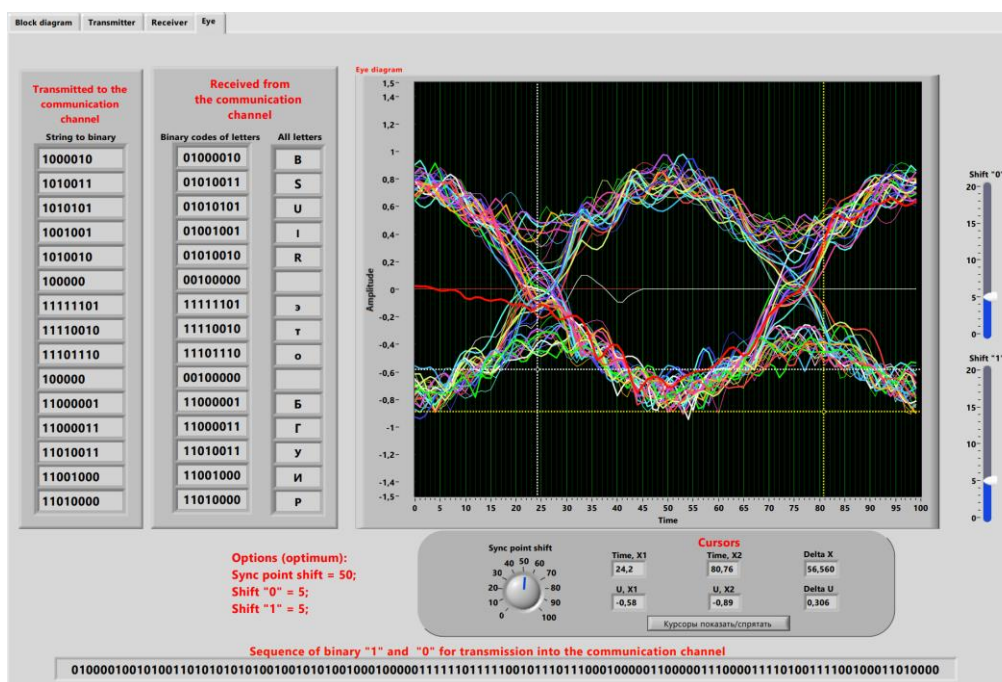


Рис. 5. Субпанель глазковой диаграммы

5. Формирование последовательности гауссовых радиоимпульсов с помощью цикла "For Loop" и элемента "FIR Filter VI" палитры Filters. Входная последовательность первичных импульсов с помощью КИХ-фильтра, заданного КИХ-коэффициентами гауссовых импульсов, на выходе приобретает форму последовательности одиночных гауссовых импульсов в соответствии с передаваемой информацией: 0 – радиоимпульс с частотой заполнения F1, 1 – радиоимпульс с частотой заполнения F2.

6. Формирование временной последовательности гауссовых импульсов с помощью функции "Initialize Array" и цикла "For Loop", используя суммирование одиночных гауссовых радиоимпульсов по амплитуде с учётом времени появления импульсов в последовательности.

7. Формирование модели реального канала связи с помощью функции "Add Function" и элемента "Gaussian White Noise VI" палитры "Signal Generation". Выходной процесс – сумма последовательности гауссовых радиоимпульсов и псевдослучайного белого шума с распределением по Гауссу.

8. Формирование глаз-диаграммы с помощью функций "Array Subset Function", "Divide Function" и "Reshape Array Function".

9. Реализация демодулятора и декодера:

- с помощью элементов "Spectral Measurements" и "Waveform Graph" отображаем спектр принятого с выхода линии связи сигнала;

- с помощью полосовых фильтров на основе элемента "Butterworth Filter.vi" палитры "Signal Processing" выделяем сигналы с частотами F1 и F2;

- с помощью элементов "Fast Hilbert Transform.vi", "Re/Im To Polar", "Array Subset", "Vertical Pointer Slide" и функции "Subtract Function" реализуем амплитудные детекторы огибающих на выходах фильтров с возможностью временного сдвига и формирование разностного сигнала;

- с помощью элементов Dial ("Sync point shift") и "Array Subset" обеспечиваем возможность временного сдвига результата демодуляции по отношению к переданному сигналу передатчика;

- с помощью цикла "For Loop" реализуем анализ всех принятых октетов видеоимпульсов, содержащих коды ASCII;

- с помощью дополнительного цикла "For Loop" на каждой итерации предыдущего цикла анализируем каждый положительный и отрицательный видеоимпульс текущего октета с помощью функций "Index Array Function", "Greater? Function", "Less? Function" и "Select Function" на предмет превышения порога 0,5 или -0,5;

- с помощью функций "Boolean To (0,1) Function", "Equal? Function", "Build Array Function", "Boolean Array To Number Function" и структуры "Case Structure" на каждой итерации декодируем амплитуды последовательности видеоимпульсов и формируем соответствующие логические уровни 0 и 1;

- из каждого полученного октета с помощью функций “Index Array Function”, “Number To Decimal String Function”, “Concatenate Strings Function” формируем бинарные коды символов и отображаем результат на индикаторе массива октетов String в виде ASCII кодов;
- с помощью цикла “For Loop” каждый числовой октет нулей и единиц с помощью функции “Equal? Function” преобразуем в октет логических констант True и False;
- с помощью функций “Reverse 1D Array”, “Boolean Array To Number”, “To Unsigned Byte Integer” формируем символы, соответствующие принятым ASCII кодам, и отображаем на индикаторе массива символов String.

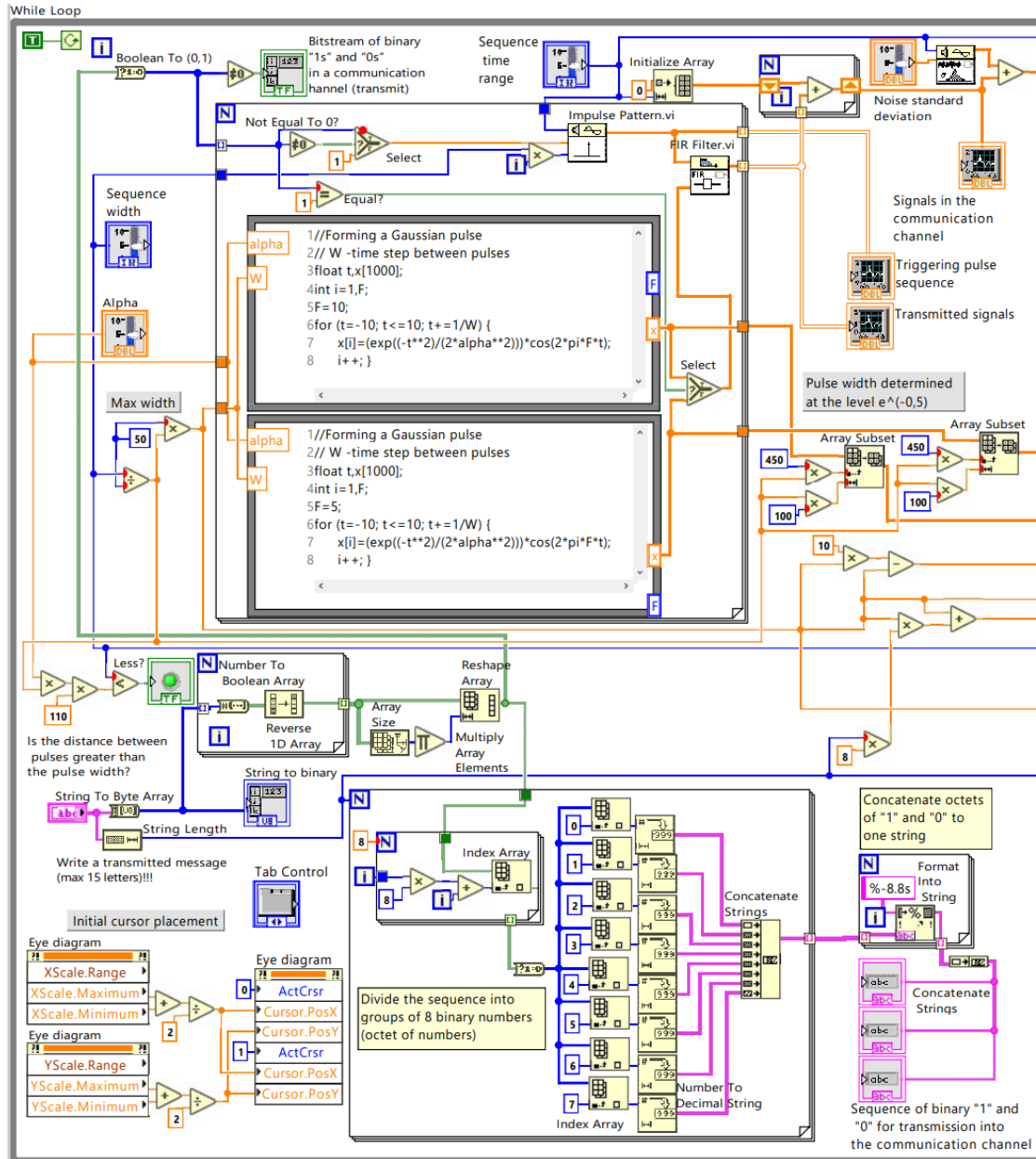
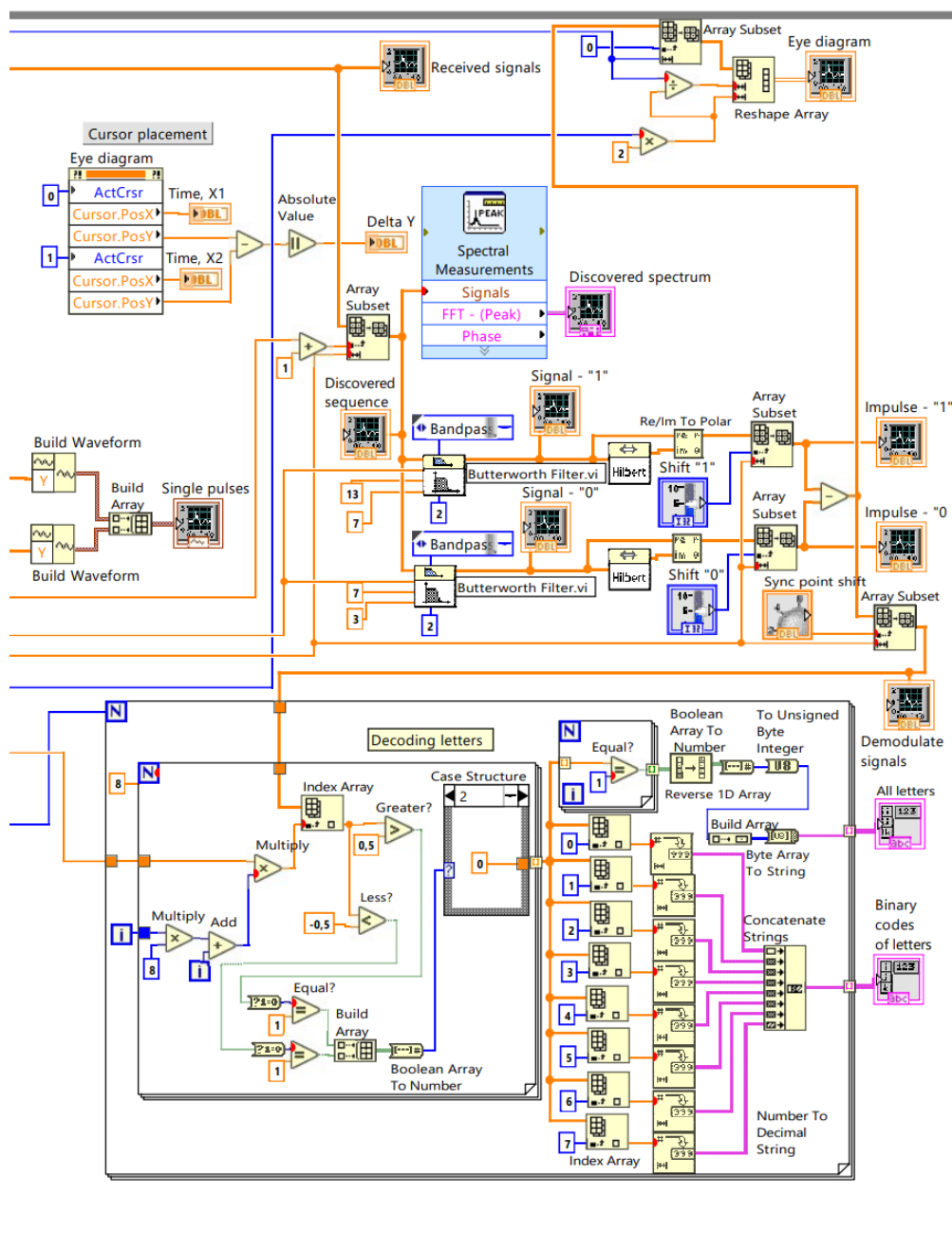


Рис. 6. Блок-схема модуля





Продолжение рис. 6

### Заключение

В результате разработки получена учебная версия модели канала связи с BPSK без применения элементов, имеющихся на палитрах Modulation и Demodulation пакета Modulation Toolkit.

### Список использованных источников

1. Евдокимов, Ю.К. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора / Ю. Евдокимов, В.Р. Линдваль, Г.И. Щербаков. - Москва : ДМК Пресс, 2009. - 400 с.
2. Сорока, Н.И. Модуляция и кодирование информации : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1 / Н.И. Сорока, Г.А. Кривинченко. – Минск : БГУИР, 2020. – 184 с.