

**А.М. Голиков**

**ТЕСТИРОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА В  
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

**Сборник лабораторных работ по курсу: «Тестирование и  
диагностика в инфокоммуникационных системах»**

**Томск**

Министерство образования и науки РФ  
Томский государственный университет систем управления  
и радиоэлектроники

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой РТС

\_\_\_\_\_ Г.С.Шарыгин

**ТЕСТИРОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА В  
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Сборник лабораторных работ по курсу: «Тестирование и диагностика в  
инфокоммуникационных системах»  
специальности 210601-2.65 – Радиоэлектронные системы передачи информации

Разработчик  
доцент кафедры РТС

\_\_\_\_\_ А.М.Голиков

2012

**Голиков А.М. Тестирование и диагностика в инфокоммуникационных системах: Сборник лабораторных работ. – Томск: Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 147 с.**

Сборник содержит описания лабораторных работ по курсу «Кодирование и шифрование информации в системах связи» специальности 210601-2.65 – Радиоэлектронные системы передачи информации. Представлены описания аппаратно-программных комплексов и методики выполнения лабораторных работ. В разработке аппаратно-программных комплексов принимали участие студенты ТУСУР.

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

### **Лабораторная работа 1. Исследование методов создания виртуальной измерительной лаборатории на базе программного обеспечения LABVIEW**

1. Цель работы
2. Краткие теоретические сведения
3. Порядок выполнения работы
4. Рекомендуемая литература

### **Лабораторная работа 2. Исследование методов цифровой обработки сигналов в инфокоммуникационных системах на базе программной среды LabVIEW**

1. Цель работы
2. Краткие теоретические сведения
3. Порядок выполнения работы
4. Рекомендуемая литература

### **Лабораторная работа 3. Система измерения и обработки результатов на базе виртуальных приборов (генератор, осциллограф – анализатор спектра)**

1. Цель работы
2. Краткие теоретические сведения
3. Порядок выполнения работы
4. Рекомендуемая литература

### **4. Лабораторная работа 4. Комплекс для измерения характеристик испытываемого устройства на основе АСК-4106**

1. Цель работы
2. Краткие теоретические сведения
3. Порядок выполнения работы
4. Рекомендуемая литература

# **Лабораторная работа 1. Исследование методов создания виртуальной измерительной лаборатории на базе программного обеспечения LABVIEW**

## **1. Цель работы**

Исследование LabVIEW и методов создания на ее основе виртуальных приборов. LabVIEW — язык графического программирования выпущенный компанией National Instruments, в котором для создания приложений используются графические образы (иконки) вместо традиционного текстового кода. От пользователя пакета не требуется знаний языков программирования, но понятие об алгоритме, цикле, выходе по условию и т.п. конечно иметь нужно. Все действия сводятся к простому построению структурной схемы приложения в интерактивной графической системе с набором всех необходимых библиотечных образов, из которых собираются объекты, называемые Виртуальными Инструментами (VI) или Виртуальными Приборами (ВП). Программная среда LabVIEW постоянно расширяется новыми средствами обработки сигналов на основе вейвлет-анализа, алгоритмов нечеткой логики, сетевых технологий и т.д.

Особенности среды LabVIEW состоят в следующем:

- функционально полный язык графического программирования, позволяющий создавать программу в форме наглядной графической блок-схемы, которая традиционно используется радиоинженерами;
- встроенные программные средства для сбора данных, управления приборами и оборудованием, обработки сигналов и экспериментальных данных, генерации отчетов, передачи и приема данных и т.д.;
- мощное математическое обеспечение, возможность интеграции программ, написанных в среде математического пакета MatLab;

- наличие большого количества шаблонов приложений, а также свыше 1000 примеров, позволяющих быстро создавать собственные программы, внося в них небольшие коррективы;
- высокая скорость выполнения откомпилированных программ;
- возможность работы LabVIEW под управлением операционных систем Windows, Mac OS, Linux и Solaris [1].

## 2. Краткие теоретические сведения

### Программная среда LabVIEW. Краткий обзор модулей и библиотек LabVIEW

National Instruments предлагает широчайший набор инструментов для разрешения узких задач на производстве, позволяющих значительно ускорить и улучшить процесс разработки устройств.

#### LabVIEW Real-Time Module (модуль реального времени)

- Интерактивная среда для разработки программного обеспечения управления и сбора данных, функционирующих в условиях жесткого реального времени;  
Автоматическое написание кода;  
Работа со встроенными, автономными и распределенными устройствами управления;  
Встроенная ОС реального времени;  
Выделенные платформы для повышения надежности разработки;  
Встроенные средства нечеткой логики и ПИД-управления.

#### LabVIEW FPGA Module (модуль для программирования ПЛИС).

Создание приложений LabVIEW для ПЛИС, функционирующих на настраиваемых устройствах ввода/вывода сигналов National Instruments;

Параллельное выполнение нескольких задач;

Производительное и детерминированное исполнение блок-диаграмм с периодом циклов до 25 нс на основе аппаратного обеспечения.

### **LabVIEW Embedded Development Module (модуль для программирования встраиваемых микропроцессоров)**

- Автоматическое написание C кодов для более тесной интеграции с инструментами разработки приложений изготовителей микропроцессоров;
- Интерактивные графические инструменты отладки программного обеспечения;
- Более 400 функций анализа и обработки сигналов;
- Высокоуровневое классифицируемое графическое программирование;
- Поддержка ONDI - on-chip debug interface.

### **LabVIEW DSP Module (программирование сигнальных процессоров NI SPEEDY-33 и TI DSK)**

- Экспресс ВП для увеличения производительности процесса разработки программного обеспечения;
- Поддержка фильтров, в том числе и цифровых;
- Более 100 функций для решения задач с сигнальными процессорами;
- Разработка независимых приложений;
- Работа с 3 основными видами сигнальных процессоров.

### **LabVIEW PDA Module (модуль для программирования КПК)**

- Создание приложений для карманных персональных компьютеров, работающих под управлением мобильной операционной системы Pocket PC 2003 и Palm OS с использованием среды LabVIEW;
- Передача данных по протоколам Wi-Fi, IrDA, RS232, Bluetooth;
- Поддержка карт PCMCIA и CompactFlash для оборудования сбора данных, устройств CAN и цифровых мультиметров.

## **LabVIEW Vision Development Module (модуль технического зрения)**

- Автоматическое определение углов и расстояния;  
Потоковая запись на оптический диск с поддержкой универсального и высококачественного формата AVI;  
Обработка цветных, бинарных и черно-белых изображений;  
Высокопроизводительный и точный поиск по определенным шаблонам;  
Мощный функционал машинного зрения и видеоизображения;

## **LabVIEW Datalogging and Supervisory Control Module (модуль АСУТП)**

- OPC соединения;  
Встроенные инструменты безопасности;  
Обработка всех тревог и регистрация событий в журнал;  
Регистрация входящих данных;

## **Библиотеки и тулкиты для анализа и обработки данных**

- Digital Filter Design Toolkit  
- предназначен для создания цифровых фильтров;
- LabVIEW Sound and Vibration Toolkit  
- обладает функциями дробного актанового анализа в соответствии с установленными стандартами IEC и ANSI, средствами анализа виброакустических сигналов и функцией измерения уровней, калибровки и весовыми коэффициентами A, B, C;
- LabVIEW Order Analysis Toolkit  
- осуществление порядкового анализа;
- LabVIEW Signal Processing Toolset  
- обладает современными алгоритмами анализа и выявления параметров реальных сигналов, и имеет встроенные компоненты для спектрального анализа высокого разрешения и разработки цифровых фильтров.



- **Modulation Toolkit**  
-демодуляция и модуляция цифровых и аналоговых сигналов (фазовая, частотная и амплитудная);
- **Spectral Measurement Toolkit**  
-осуществляет анализ сигналов в различных полосах частот и спектральный анализ сигналов;
- **Vision and Image Processing**  
-занимается обработкой изображений, поиск объектов, распознавание образов и текста.
- *Lab VIEW Report Generation Toolkit for Microsoft Office* - создание и форматирование отчетов для Microsoft Word и Excel;
- *Lab VIEW Internet Developers Toolkit* — разработка Интернет-приложений
- *LabVIEW Enterprise Connectivity Toolset* - взаимодействие Lab VIEW с локальными и удаленными базами данных, расширение Интернет-возможностей для LabVIEW;
- *LabVIEW Simulation Interface Toolkit* - создание прототипов контроллеров и систем аппаратно-программного тестирования на базе моделей The MathWorks Simulink;
- *LabVIEW TI DSP Integration Toolkit* - работа с сигнальными процессорами Texas Instruments;
- *LabVIEW Order Analysis Toolkit* - порядковый анализ;
- *LabVIEW PID Control Toolset* - библиотека ПИД-регулирующих [1,5].

### **Создание виртуального прибора**

Программу, написанную в среде LabVIEW, принято называть виртуальным прибором (ВП) или Виртуальным инструментом (ВИ). Следует это из этого, что любая программа, созданная в LabVIEW, представляется в виде некоторого

прибора, основными составляющими которого являются *лицевая панель, блок-схема, иконка и соединительная панель.*

На *лицевой панели (Front Panel)* располагаются элементы управления, *иконка и соединительная панель* служат для того, чтобы другие ВП могли передавать данные на входы ВП. Иконка является изображением ВП. *Соединительная панель* – графическое изображение полей ввода и вывода данных в ВП.

### **Запуск LabVIEW и открытие нового ВП**

После запуска LabVIEW, первое диалоговое окно предложит вам создать новую программу (New VI) открыть уже существующий проект (Open VI), загрузить примеры (Find Examples), запустить интерактивную утилиту для конфигурирования устройств сбора данных и их связи с VI (DAQ Solutions) или вызвать обучающую систему базовым приемам программирования.

Выбирайте опцию меню по созданию нового VI перед вами раскрываются 2 окна: и *лицевая панель (Front Panel)* и окно редактирования диаграмм (*Block Diagram*), которое по своей сути является программой в графическом виде.

### **Создание лицевой панели виртуального прибора**

*Лицевая панель* - это интерфейс пользователя. Вы устанавливаете на интерфейсную панель графические элементы управления и всевозможные индикаторные приборы, которые являются соответственно элементами ввода и вывода. Элементы управления это ручки, регуляторы, ползунковые устройства, кнопки и другие устройства ввода. Индикаторы – это элементы для вывода/построения графиков, сигнализирующие устройства такие как лампочки и т.д

Установленные на переднюю панель элементы управления и индикаторы, отображаются соответствующими иконками (терминалами) во втором окне - окне редактирования диаграмм. Т.е. каждому установленному

элементу на интерфейсной панели соответствует иконка в окне редактирования. В этом окне и "пишется" программа - создается графический код VI. Удалив, например, управляющий элемент в интерфейсном окне, исчезнет и соответствующая иконка (терминал) в окне редактирования диаграмм.

*Иконки или терминалы* показывают тип данных элементов управления или индикаторов. Например, DBL- терминал, показывает, что элемент управления или индикатор представлен числом с плавающей точкой двойной точности. Терминалы осуществляют связь между интерфейсной панелью и диаграммой.

*Функции* – объекты окна редактирования диаграмм, которую могут иметь один и/или несколько входов и/или выходов. Функции LabVIEW аналогичны выражениям, операторам, процедурам и функция текстовых языков программирования.

*Связи* – соединительные линии между иконками(терминалами). Они являются аналогами переменных в обычных языках программирования.

*Структуры* – это графическое представление циклов и операторов выбора в тексториентированных языках программирования.

### **Пример создания ВП - анализатора спектра.**

Создадим анализатор спектра генератора прямоугольного импульса. Для этого:

- Откроем новый ВП. Откроем блок схему.
- Сделаем видимой панель инструментов
- Из подменю **Graph** палитры **Controls** выберем графический индикатор (*Waveform Graph*) для отображения сигнала и перенесем его на лицевую панель. Назовем индикатор “Сигнал”.
- Повторим последний предыдущий пункт, но назовем индикатор “Спектр”, заменим его метку время на метку частота.

- Перейдем к лицевой панели из подменю **numeric** палитры **controls** выберем три вертикальных ползунковых регулятора (Vertical Pointer Slide) для регуляторов “Амплитуда”, “Длительность” и “Задержка”
- Перейдем к блочной диаграмме. Из подменю **Numeric** палитры **Functions** выберем числовую константу (Numeric Constant), и установим на ней значение 800.
- Из подменю **Functions** выберем подменю **Analyze**, потом подменю **Signal Processing**, а из нее **Signal Generation**. Из него выбираем генератор прямоугольного импульса(*Pulse Pattern.vi*).
- Из подменю **Signal Processing** выберем подменю **Frequency Domain** из него выберем вычислитель спектра мощности *Power Spectrum.vi*
- При помощи катушки подсоединим:
  - Числовую константу к терминалу “Samples” генератора прямоугольного импульса;
  - Терминал регулятора “Амплитуда” к терминалу генератора “amplitude”;
  - Терминал регулятора “Задержка” к терминалу генератора “delay”;
  - Терминал регулятора “Длительность” к терминалу генератора “width”;
  - Выходной терминал генератора прямоугольного импульса “Pulse Pattern” к входному терминалу вычислителя спектра мощности “X”;
  - Выходной терминал вычислителя спектра мощности “Power Spectrum” к терминалу индикатора “Спектр”;
  - Терминал индикатора “Сигнал” к проводу, соединяющему выходной терминал генератора и выходной терминал вычислителя спектра мощности. Теперь можно сохранить программу и попробовать ее запустить. Если все выполнено верно то программа должна иметь вид

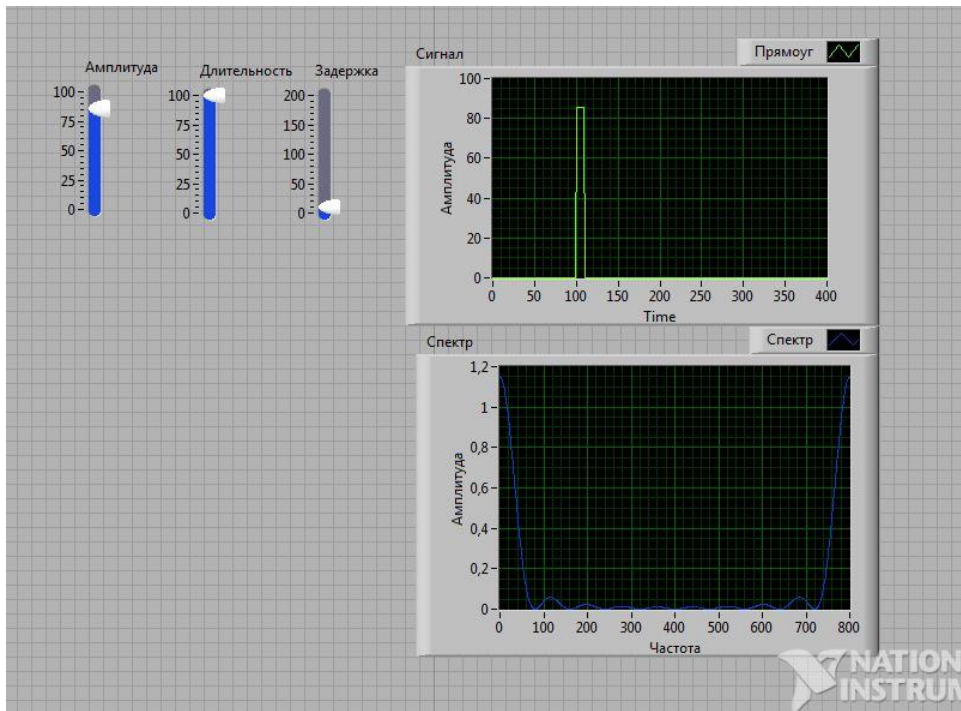


Рис. 1.1. Вид лицевой панели анализатора спектра прямоугольного импульса

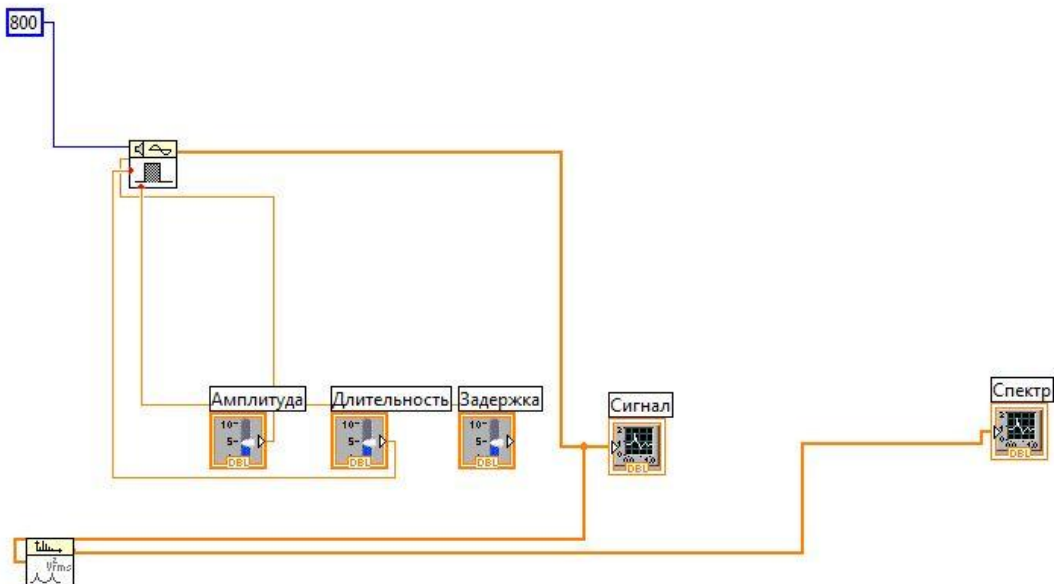


Рис. 1.2. Блок схема программы

## Структуры и управления циклическими операциями

Для организации циклических процессов, осуществляемых в традиционных текстовых программах *операторами цикла*, в LabVIEW введены соответствующие графические эквиваленты, названные *Структурами(Structures)*. Структуры используются в блок-схеме для выполнения повторяющихся операций с заданными условиями на их выполнение.

Структуры распложены в подпалитре палитры Functions: Functions-Structures. Основными являются следующие структуры:

- **While Loop** (Цикл если) – цикл по условию;
- **For Loop** (Цикл для) – цикл для заданного числа итераций;
- **Case structure** (Вариант);
- **Sequence Structure** (Последовательность);
- **Formula Node** (узел Формулы).

Графически структуры в LabVIEW представляются в виде прямоугольников.

При необходимости размеры прямоугольников можно увеличить. Структуры выполняют операции, помещенные внутри границ прямоугольников.

Цикл **For** выполняется заданное число раз. Используется для выполнения N раз повторяющихся операций над потоком данных.

Цикл **While** выполняется до тех пор, пока не выполнится логическое условие выхода из цикла. Цикл заканчивается при поступлении логического значения Ложь на терминал условия выхода.

Структура **Case** имеет несколько поддиаграмм соответствующих вариантам. Визуально в данный момент времени видна только одна из поддиаграмм. Селектор структуры определяет какой вариант будет выбираться.

Структура **Sequence** состоит из одной или более поддиаграмм, которые выполняются последовательно. Есть 2 типа структуры *Стековая (Staced Sequence Structure)* и *Открытая (Flat Sequence Structure)*.

**Formula Node** используется для математических вычислений по формулам, написанным в текстовой форме.

### Создание ВП с использованием структур и узла формул

- Из палитры **Controls** => **Graph** выберем двухкоординатный индикатор (XY Graph)
- Переименуем график в “Графики функций”, и назовем оси графики X и Y
- Из палитры **Controls** => **Numeric** выберем горизонтальный регулятор (Horizontal Pointer Slide) и назовем его “Максимум X” и активируем его цифровой дисплей
- Из палитры **Controls** => **Ring&Enum Ring** выберем текстовый переключатель (Text Ring) и назовем его “Вид Функции”
- При помощи **Edit Items** добавим в него 4 формулы  $Y=X^2$ ;  $Y=X^3$ ;  $Y=\exp(X)$ ;  $Y=\text{sinc}(X)$
- Добавим на лицевую панель кнопку Stop, которая находится **Controls** => **Boolean**
- Добавим генератор синусоиды (Sine pattern.vi), **Functions** => **Analyze** => **Signal Generator**
- Соединим выход “amplitude” с “входом максимум X” на блок-схеме. Создадим 3 числовые константы и присоединим их к трем входам: “Samples”(укажем 1000 в константе), “phase” (0), “cycles” (1).
- Из палитры **Functions** => **Structure** выберем **For Loop**, а также структуру **Case** и поместим ее внутри предыдущей.
- В **Case** поместим **Formula Node**. Добавим еще 3 окна и во всех них поместим окна формул. Добавим входы и выходы в каждом окне (вход  $-X$ , выход  $-Y$ ). В окна введем формулы:  $Y=X^{**2}$ ;  $Y=X^{**3}$ ;  $Y=\exp(X)$ ;  $Y=\text{sinc}(X)$ .

- Добавим **Function** => **Cluster** => **Bundle**, а также **Function** => **Application Control** => **Stop**.
- Соединим в итоге все как показано на следующем рисунке:

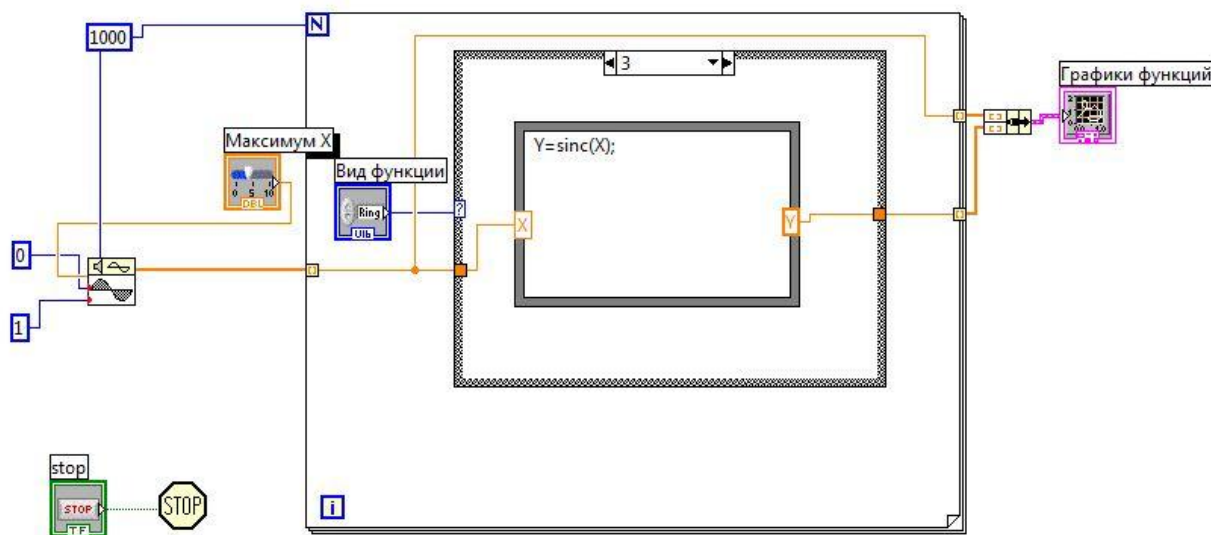


Рис. 1.3. Вид блок-схемы программы

Ниже приведены несколько видов лицевой панели программы для различных реализаций.

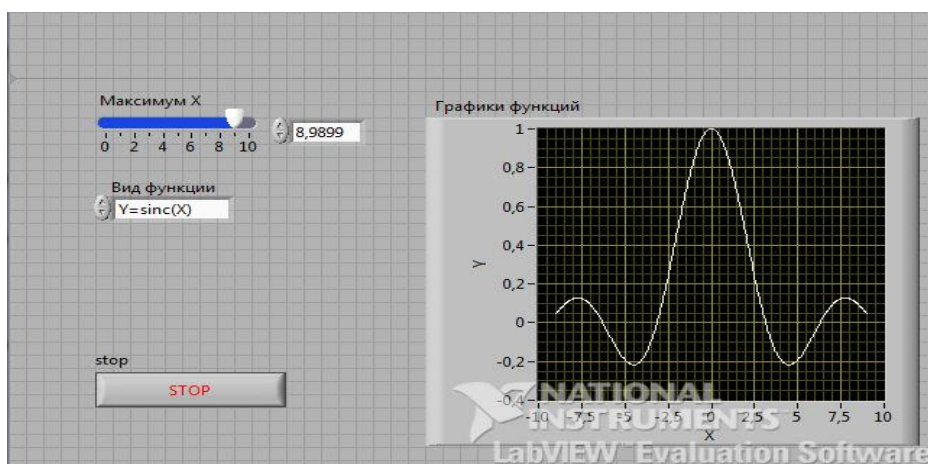


Рис. 1.4. Вид программы для функции  $Y=\text{sinc}(X)$



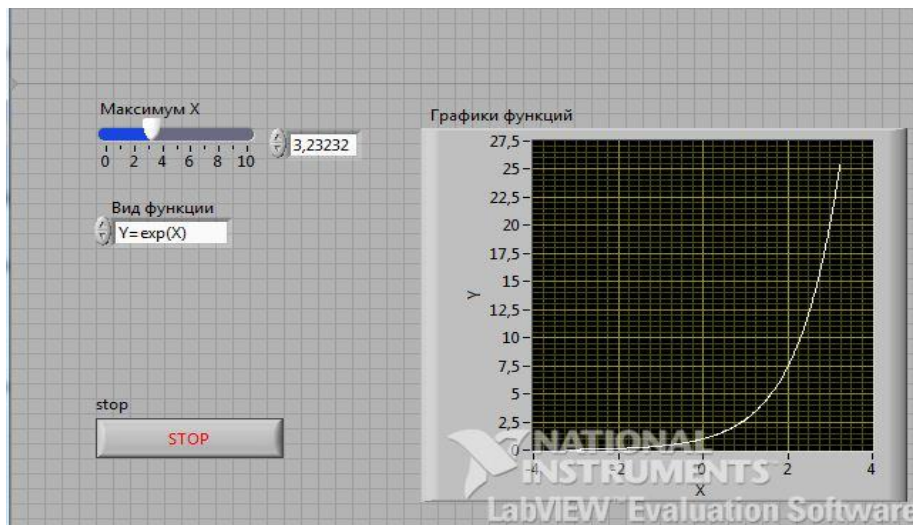


Рис. 1.5. Вид программы для функции  $Y=\exp(X)$

### Универсальные константы

Универсальные константы имеют два типа: *универсальные числовые константы* и *универсальные строковые константы*.

**Универсальные числовые константы** – набор часто используемых математических и физических величин высокой точности, например число  $\pi$  и скорость света  $c$ .






К универсальным числовым константам обращаются из подпалитры **Additional Numeric Constants** в правой нижней части палитры **Numeric**.

Таблица 1.1. Универсальные числовые константы

| Иконка    | Математическое обозначение и размерность                 | Числовое значение   |
|-----------|--|---------------------|
| $\pi$     | Число $\pi$ ( $\rho i$ )                                 | 3.14159265358979320 |
| $2\pi$    | $2\pi$   | 6.28318530717958650 |
| $\pi/2$   | $\pi/2$  | 1.57079632679489660 |
| $1/\pi$   | $1/\pi$  | 0.31830988618379067 |
| $\ln\pi$  | $\ln\pi$   | 1.14472988584940020 |
| $-\infty$ | $-\infty$  | $-\infty$           |
| $+\infty$ | $+\infty$  | $+\infty$           |
| $e$       | Основание натурального логарифма                         | 2.71828182845904520 |
| $1/e$     | $1/e$  | 0.36787944117144232 |
| $\ln_2 e$ | $\ln_2 e$  | 0.43429448190325183 |
| $\ln 10$  | $\ln 10$   | 2.30234095236904570 |
| $\ln 2$   | $\ln 2$  | 0.69314718055994531 |
| $h$       | Постоянная Планка (Дж с)                                 | $6.6262e-34$        |
| $e$       | Элементарный заряд (Кл)                                  | $1.6021892e-19$     |
| $c$       | Скорость света (м/с)                                     | 299792458           |
| $G$       | Гравитационная постоянная ( $\text{Н м}^2/\text{кг}^2$ ) | $6.6720e-11$        |
| $N_A$     | Число Авогадро (1/моль)                                  | $6.0220e23$         |
| $R$       | Постоянная Ридберга (1/м)                                | $1.097373177e7$     |
| $R$       | Универсальная газовая постоянная (Дж/моль К)             | 8.31441             |

**Универсальные строковые константы** включают пять часто используемых не выводимых на дисплей строковых выражений. Эти константы размещены в нижнем ряду подпалитры **String** палитры **Functions**. Таблица универсальных строковых констант показывает символы и имена для этих констант.

Таблица 1.2. Таблица универсальных строковых констант

| Пиктограмма   | Название        |
|---|-----------------|
|  | Возврат каретки |
|  | Перевод строки  |
|  | Табуляция       |
|  | Пустая строка   |
|  | Конец строки    |

## Массивы и кластеры

В LabVIEW совокупность элементов представляется двух формах – *массива* и *кластера*.

*Массив (array)* – форма представления упорядоченной совокупности элементов одного типа.








*Кластер (cluster)* – форма представления упорядоченной совокупности элементов разных типов.

Элементом массива может быть любой тип данных, кроме массива, таблицы и графики.

Адресация элементов массива осуществляется с помощью *индексов (index)*.

Нумерация индексов начинается всегда с 0 и продолжается до N-1, где N общее кол-во элементов в массиве. Для формирования и управления массивами используются функции, расположенные в палитре **Functions-Array**.






Таблица 1.3. Основные функции для работы с массивами

| Функция   | Название<br>Входы и выходы   | Назначение  |
|---|--|---|
|    | <b>Array Size</b><br>(Размер массива)<br>Вход ( <b>Array</b> ): $n$ -мерный массив любого типа.<br>Выход ( <b>Sizes</b> ): вектор, элементы которого соответствуют размеру массива | Определяет вектор размеров массива. Например, для одномерного массива состоящего из 7 элементов функция <b>Array Size</b> выдаст 7. Для двумерного массива $7 \times 10$ и трехмерного массива $7 \times 10 \times 6$ соответственно функция <b>Array Size</b> выдаст вектор из двух элементов 7, 10 и вектор из трех элементов 7, 10, 6                  |
|    | <b>Initialize Array</b> (Инициализировать массив)<br>Входы: <b>element</b> , <b>dimension size</b> .<br>Выход: <b>array</b>  | Создает $n$ -мерный массив, каждому элементу которого присваивается значение, заданное на входе <b>element</b> . Например, если на вход <b>element</b> подано одно значение 7, а на вход <b>dimension size</b> – 3, то функция создает на выходе массив 7,7,7. Для увеличения размерности выходного массива следует растянуть по вертикали иконку функции |
|    | <b>Index Array</b><br>(Индексировать массив)<br>Входы: <b>array</b> , <b>index</b> .<br>Выход: <b>element</b>  | Выдает элемент входного массива, соответствующего значению индекса, поданного на вход <b>index</b> . Например, для входного массива 5,9,7 при подаче вход <b>index</b> значения 1 выдастся значение 9. Для выделения элементов двумерных массивов необходимо иметь два поля <b>index</b> . При этом верхнее поле указывает строку, а нижнее – столбец     |
|  | <b>Replace Array Subset</b><br>(Заменить подмассив)<br>Входы: <b>array</b> , <b>index</b> , <b>new element subarray</b> .<br>Выход: <b>output array</b>                            | Заменяет элемент или подмассив входного массива новыми элементами или подмассивом, поданных на вход <b>new element subarray</b> по значению индекса поступающего на вход <b>index</b>   |
|  | <b>Insert Into Array</b><br>(Вставить в массив).<br>Входы: <b>array</b> , <b>index</b> , <b>new element subarray</b> .<br>Выход: <b>output array</b>                               | Вставляет элемент или подмассив во входной массив, начиная с элемента с индексом, заданным на входе <b>index</b> . Выходной массив представляет собой массив с вставленным элементом, строкой, столбцом или $n$ -мерным массивом  |
|  | <b>Build Array</b><br>(Сформировать массив)<br>Вход: <b>array</b> или <b>element</b> .<br>Выход: <b>appended array</b>   | Объединяет несколько массивов или добавляет элемент к $n$ -мерному массиву. Количество входов можно увеличить, растягивая входное поле в вертикальном направлении   |
|  | <b>Array Subset</b> (Сформировать подмассив)<br>Вход: <b>array</b> , <b>index</b> , <b>length</b> .<br>Выход: <b>subarray</b>  | Формирует подмассив из части входного массива. Подмассив начинается с заданного индекса ( <b>index</b> ) и содержит количество элементов, заданное на входе <b>length</b>   |

*Кластеры* предназначены для группирования различных типов данных. Кластеры помогают упростить блок-схему избавив ее от многих проводников.

Основными операциями при формировании кластера являются функции Сборка(Bundle) и Разделение (Unbundle), которые позволяют объединять или разъединять соответственно входные в выходные компоненты кластера. Эти функции играют роль своеобразного многоконтактного разъема с пронумерованными контактами.

Таблица 1.4. Основные функции для работы с кластерами.

| Функция   | Название<br>Входы и выходы  | Назначение   |
|---|---|--|
|    | <b>Bundle</b> ( <i>Сборка кластера</i> )<br>Входы: элементы кластера, кластер.<br>Выход: <b>output cluster</b>                  | Собирает новый кластер из элементов или изменяет элементы поданного на вход существующего кластера. Количество входов можно увеличить вертикальной растяжкой входного терминала          |
|   | <b>Unbundle</b> ( <i>Разделение кластера</i> )<br>Вход: <b>cluster</b> .<br>Выходы: элементы кластера                           | Разделяет кластер на отдельные элементы. Выходы элементов создаются в том же порядке, в каком они расположены в кластере. Количество выходов соответствует количеству элементов кластера |
|  | <b>Bundle by Name</b> ( <i>Сборка кластера по имени</i> )<br>Входы: элементы кластера, кластер.<br>Выход: <b>output cluster</b> | Заменяет элемент в существующем кластере по его имени или идентификатору (метке)   |
|  | <b>Unbundle by Name</b> ( <i>Разделение кластера по имени</i> )<br>Входы: <b>cluster</b> .<br>Выход: элементы кластера          | Разделяет кластер на элементы по их именам   |
|  | <b>Build Cluster Array</b> ( <i>Создание массива кластеров</i> )<br>Входы: <b>array</b><br>Выход: <b>array of clusters</b>      | Осуществляет преобразование каждого массива в кластер и собирает все кластеры в массив кластеров   |








## Отображение и графика

Для отображения и графического представления даны в LabVIEW имеется множество возможностей. В палитре **Control-Graph** расположены графические индикаторы:

- индикатор диаграмм (Waveform Chart);
- индикатор осциллограмм (Waveform Graph);
- двухкоординатный индикатор (XY Graph);
- индикатор интенсивности (Intensity Graph);
- индикатор трехмерной поверхности (3D Surface Graph);
- индикатор трехмерный параметрический (3D Parametric Graph);
- индикатор трехмерной кривой (3D Curve Graph).

Таблица 1.5. Пиктограммы графических индикаторов и их функциональное

назначение

| Функция   | Название  | Назначение   |
|---|---|--|
|  | <b>Waveform Chart</b><br>(Диаграмма).<br>Вход: Y-последовательность данных                                  | Индикатор является графическим эквивалентом регистратора (самописца) на бумажной ленте. Отображает всю последовательность поступивших данных. По оси X последовательность нумеруется целыми числами. Индикатор может быть многолучевым и многоэкранным. Для отображения одновременно нескольких сигналов необходимо объединение их в кластер с помощью функции <b>Bundle</b> |
|  | <b>Waveform Graph</b><br>Вход: Y<br>(Осциллограмма)   | Индикатор является графическим эквивалентом осциллографа. Входные данные отображаются с заданным равномерным шагом ( $\Delta X$ ) и с заданной начальной точки $X_0$ . Для развертки в реальном масштабе времени шаг $\Delta X$ можно задавать с помощью таймера (палитра Functions $\Rightarrow$ Time & Dialog)   |
|  | <b>XY Graph</b><br>Вход 1: X<br>Вход 2: Y (Двухкоординатный график).  | Отображает функциональные зависимости. Например, если на входы подать сигналы $X = \sin \omega t$ , $Y = \cos \omega t$ , то на индикаторе отобразится фигура Лиссажу в виде окружности единичного радиуса   |
|  | <b>Intensity Graph</b><br>(График интенсивности)  | Отображает двумерный массив данных интенсивностью цвета на двумерной плоскости по шкале интенсивности (Ramp)   |
|  | <b>3D Surface Graph</b> (График трехмерной поверхности).<br>Входы: вектор X, вектор Y, матрица Z            | Отображает функцию двух переменных $Z = f(X, Y)$ в виде поверхности  |
|  | <b>3D Parametric Graph</b><br>(Параметрический трехмерный график)<br>Входы: матрица X, матрица Y, матрица Z | Отображает данные трех двумерных массивов. Например, график для трех переменных заданных параметрическим способом:<br>$X = \sin \omega t$ , $Y = \cos \omega t$ , $Z = \omega t$   |
|  | <b>3D Curve Graph</b> (График кривой в пространстве)<br>Входы: вектор X, вектор Y, вектор Z                 | Отображает данные в виде пространственной кривой   |

### 3. Порядок выполнения работы

#### Создание средств генерации сигнала и его спектральной обработки

Для создания виртуального прибора был использован стандартный пакет LabVIEW 10.0.

#### Создание генератора сигналов и осциллографа.

Запускаем программу LabVIEW 10.0 и выбираем создание нового виртуального инструмента(VI).

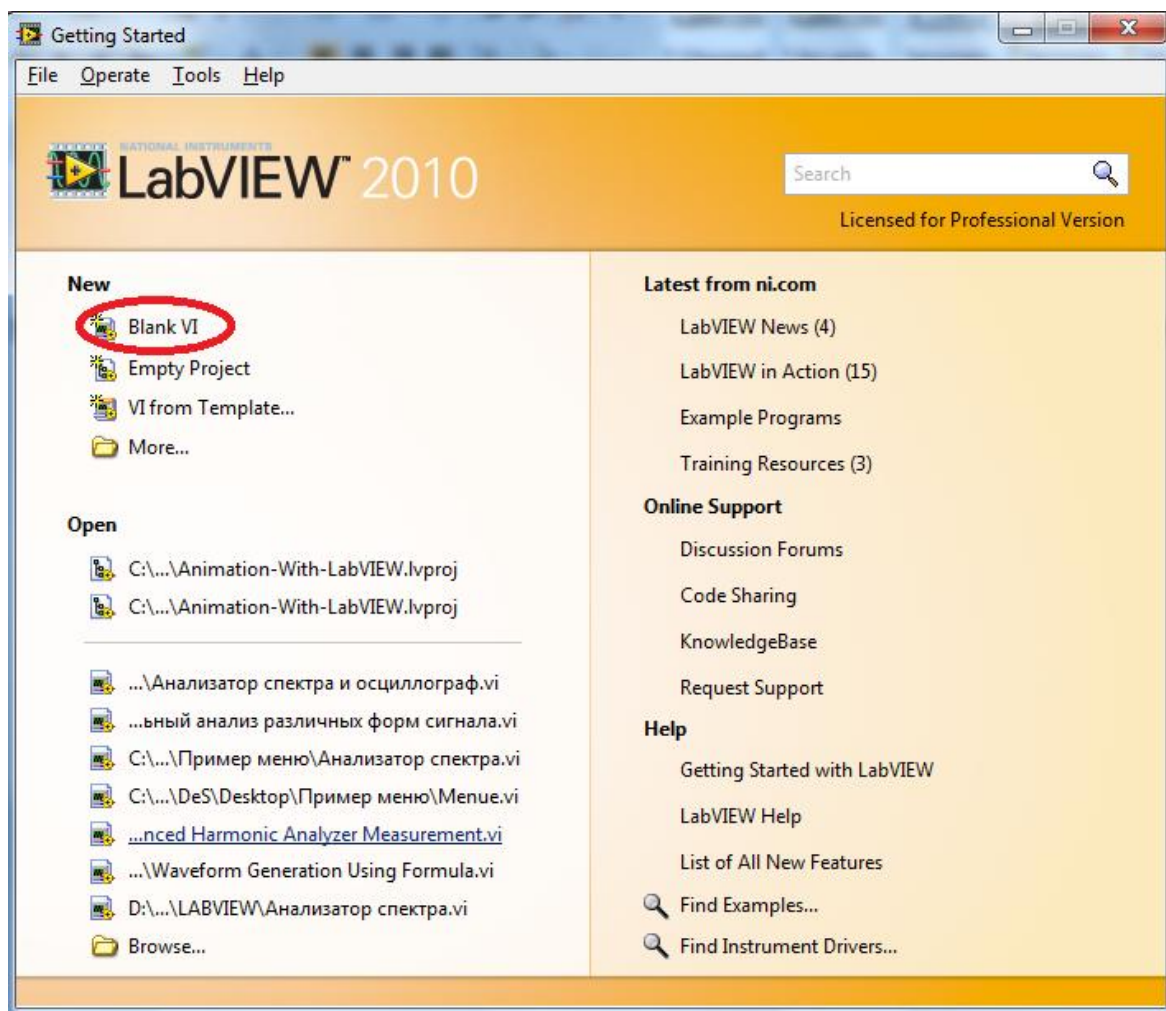


Рис. 6. Создание нового виртуального прибора.

На лицевой панели нажимаем правой кнопкой мыши и выбираем две штуки контролеров. (Num ctrls->Dial).

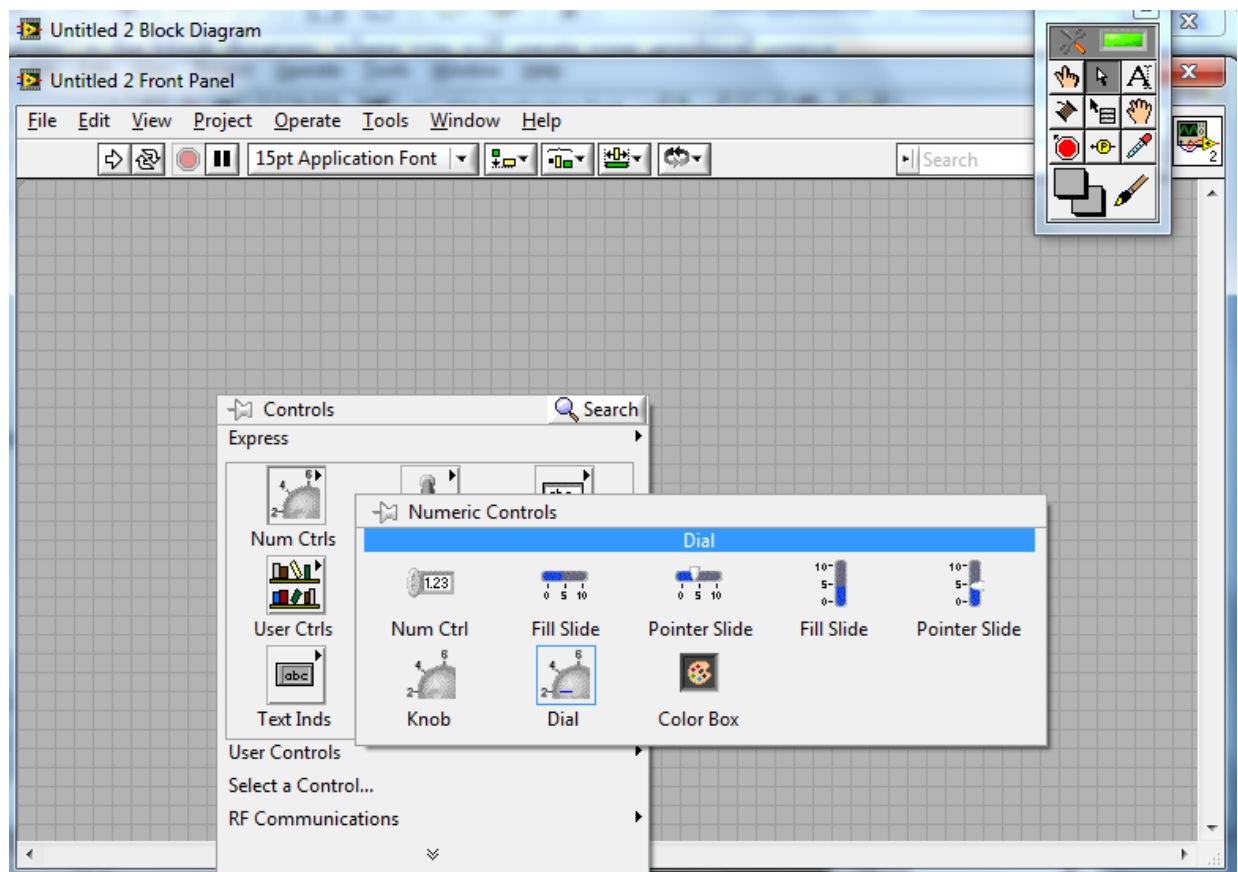


Рис. 7. Выбор контроллеров

Сразу задаем одному контролеру значение “Амплитуда”, а другому “Частота(Гц)”. Границы задаем как 100 и 500 соответственно.

Добавляем два элемента Waveform Graf, которые будут служить нам дисплеем осциллографа и анализатора спектра. На оси ординат одному из них прописываем “Амплитуда(dB)”(анализатор спектра), на другом же просто “Амплитуда”. На осях абсцисс задаем “Частота”(для анализатора спектра) и “Время” для осциллографа.



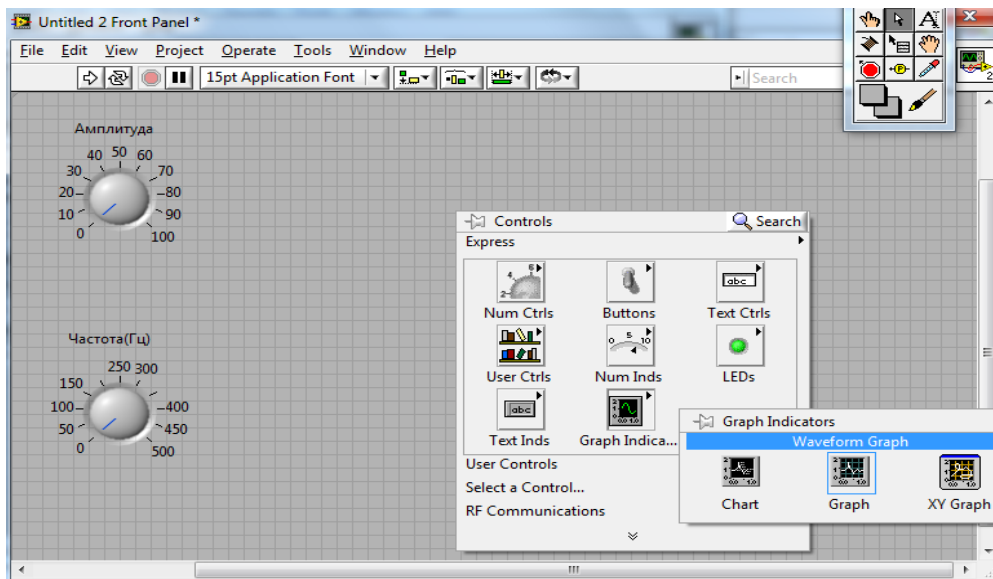


Рис. 8. Добавление элементов Waveform Graf

В итоге лицевая панель должна принять вид, показанный на рис. 9.

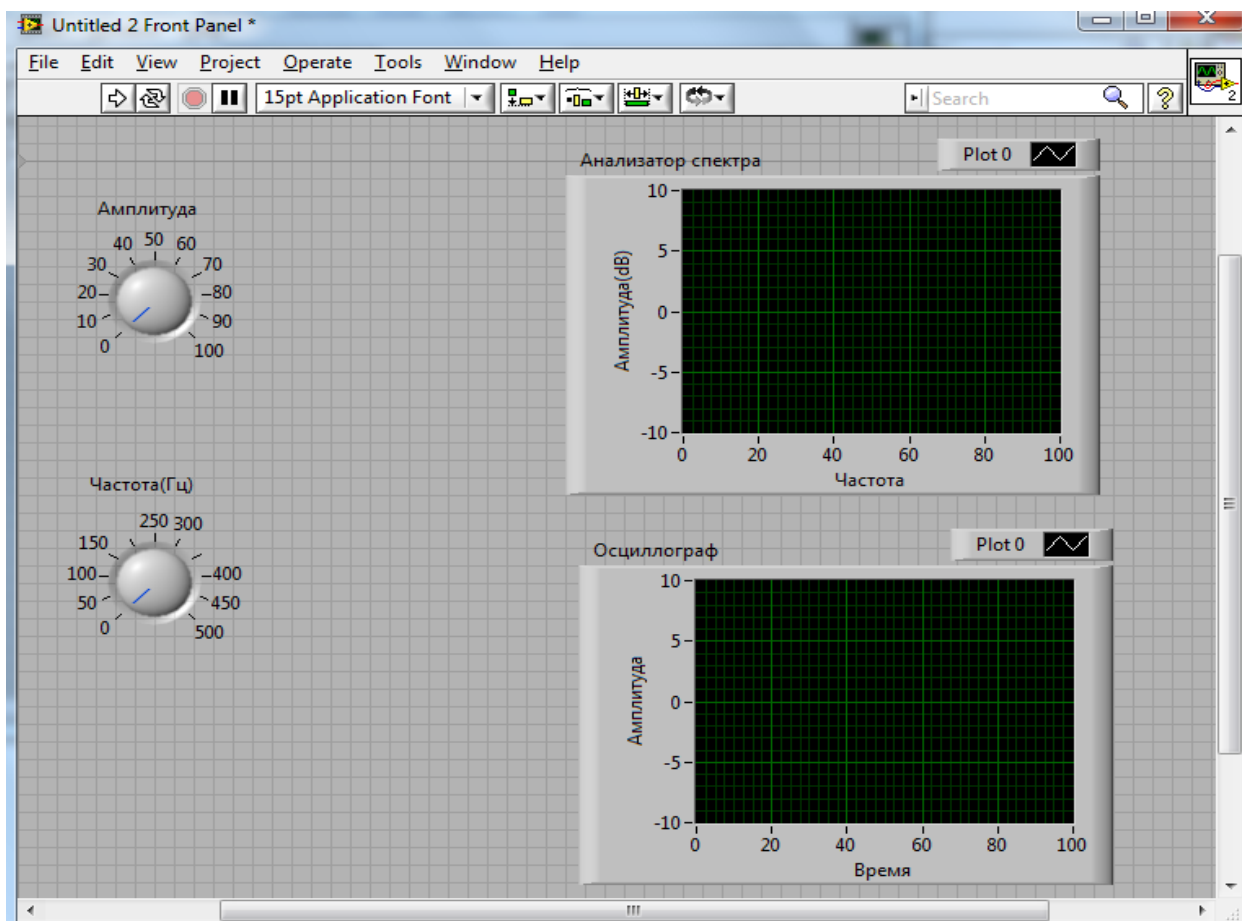


Рис. 9. Вид лицевой панели

Переходим к блок диаграмме. На ней добавляем три элемента: сумматор(Add), генератор гауссовского шума(Gaussian wfm), генератор основных функций(Basic FuncGen). Выбор этих элементов отображен на рис.10 и 11.

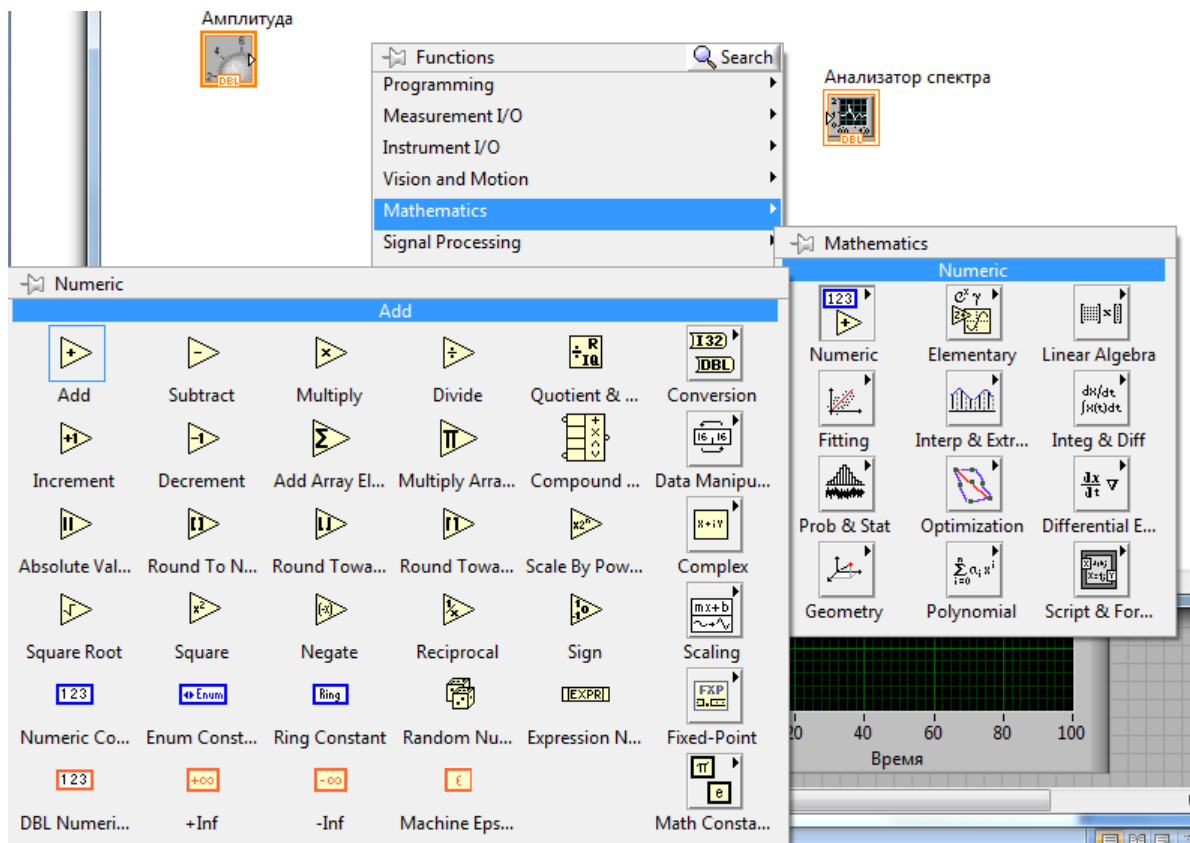


Рис. 10.Выбор сумматора

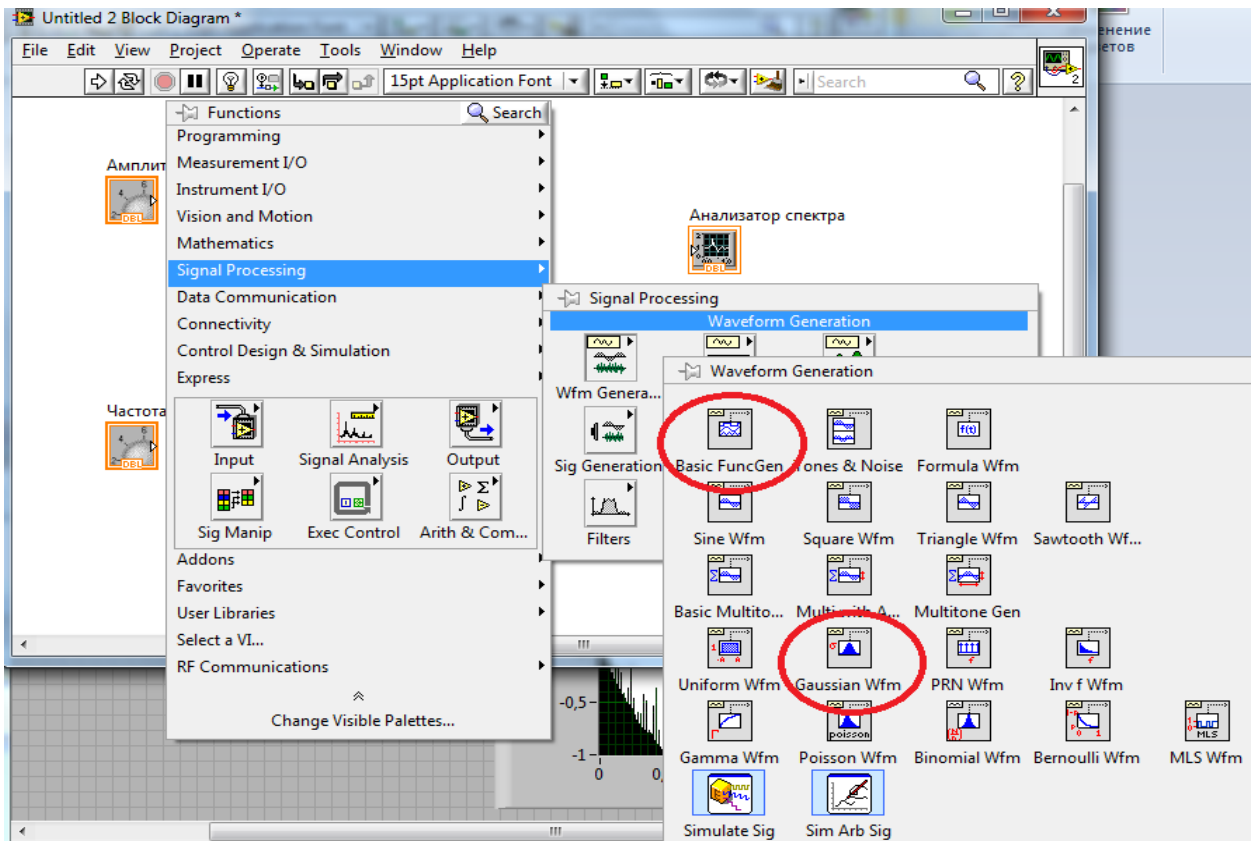


Рис. 11. Выбор генераторов

Соединяем элементы и добавляем константу, как показано на рис. 12.

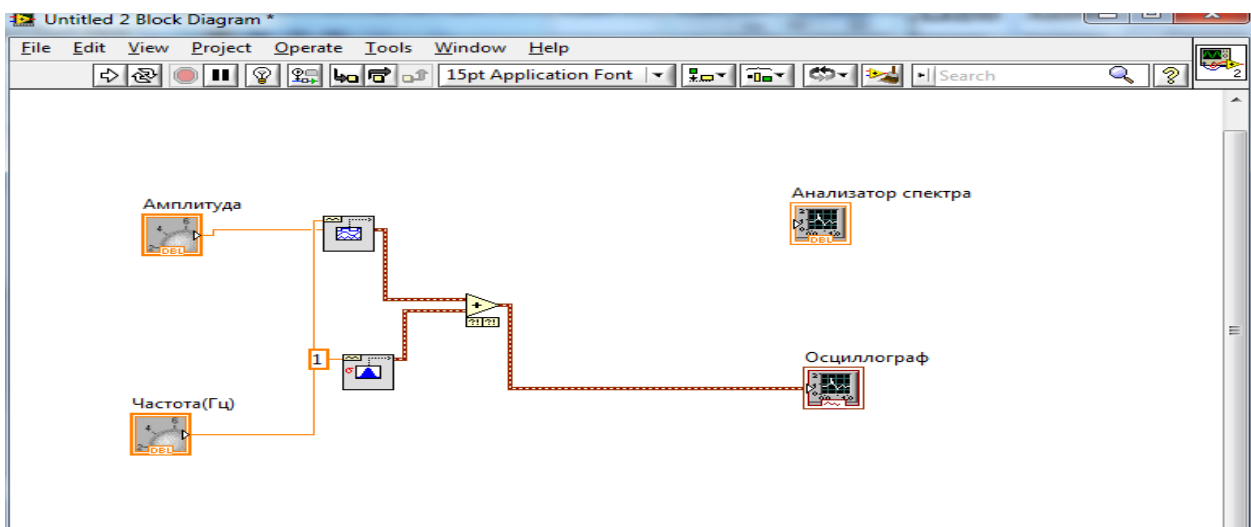


Рис. 12. Соединения на схеме

Запускаем программу. На программе должен быть следующий вид.

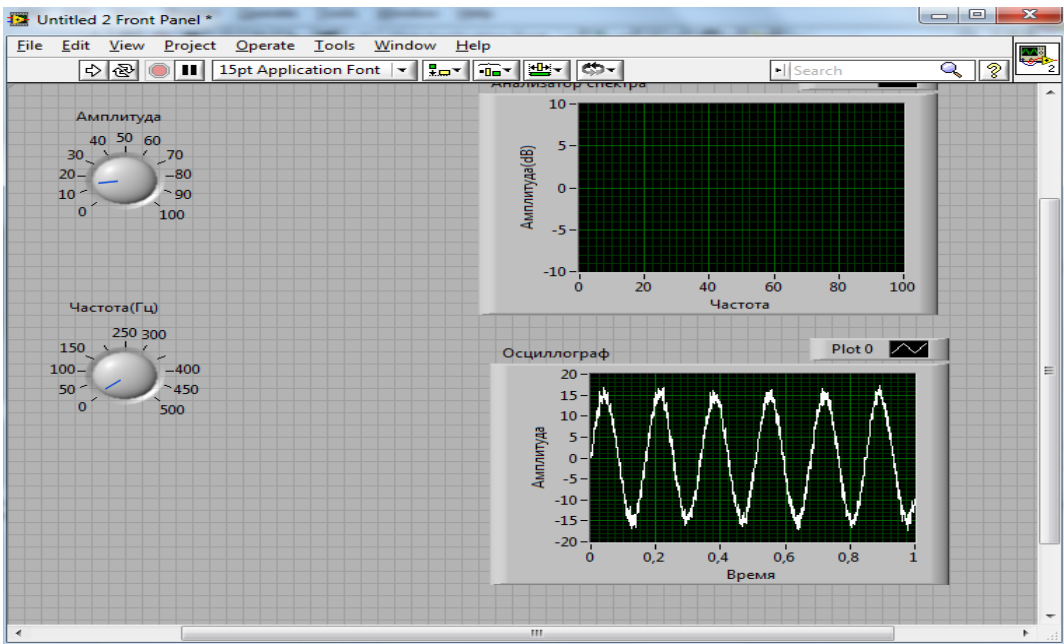


Рис. 13. Вид работающей программы

По умолчанию на генераторе базовых функций задан синус.

### Создание анализатора спектра

Добавим блок быстрого преобразования Фурье(FFT Power Spectrum), для того чтобы получать на выходе спектр мощности.

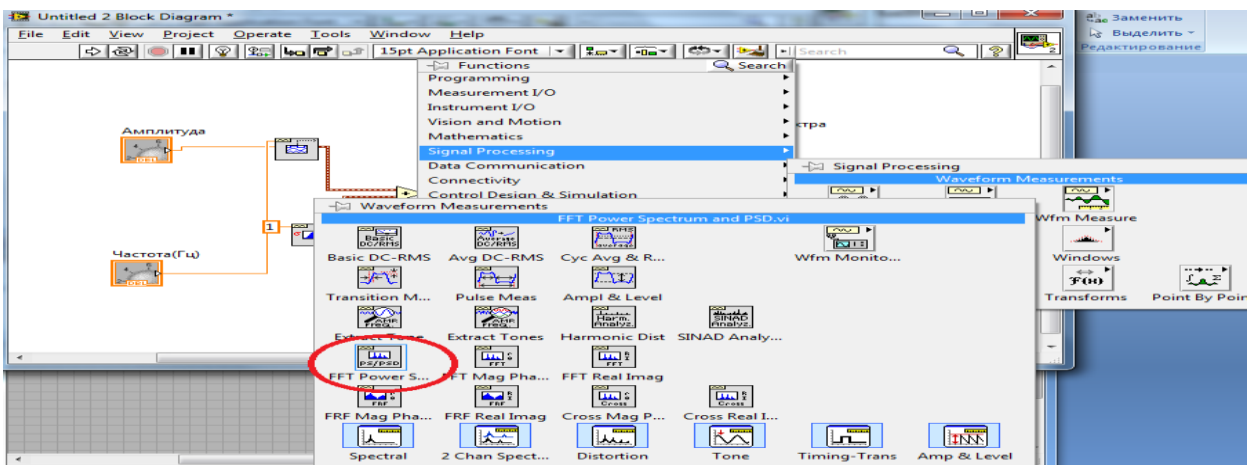


Рис. 14. Добавление блока быстрого преобразования Фурье

Пересоединим блоки таким образом чтобы получилось как показано на рис. 15.

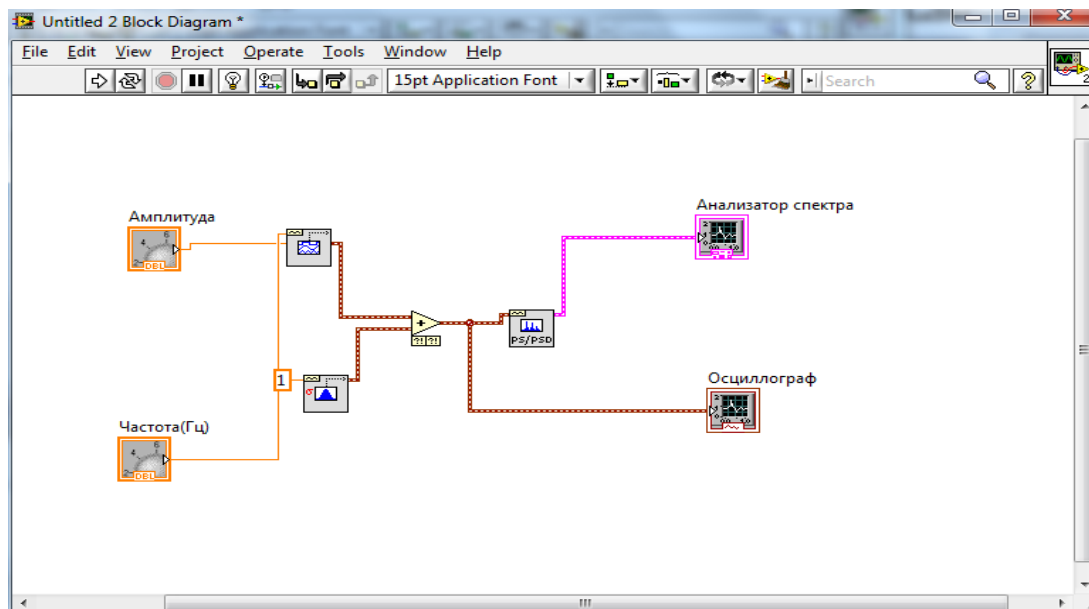


Рис. 15. Блок схема анализатора спектра

### Усложнение схемы

Усложним нашу схему, что позволит добавить дополнительные возможности нашему прибору.

Для этого нужно на соответствующих выходах блоков создать регуляторы(Control). И к одному и тому же регулятору провести “провода” от нескольких блоков. Для чего это нужно: для того чтобы не нагромождать схему и для того чтобы функции которые суммируются, имели одинаковые параметры.

Также включим нашу схему в цикл до остановки(For Loop).

Итоговый вид схемы можно увидеть на рис. 16 и 17, а лицевой панели на рис. 18.

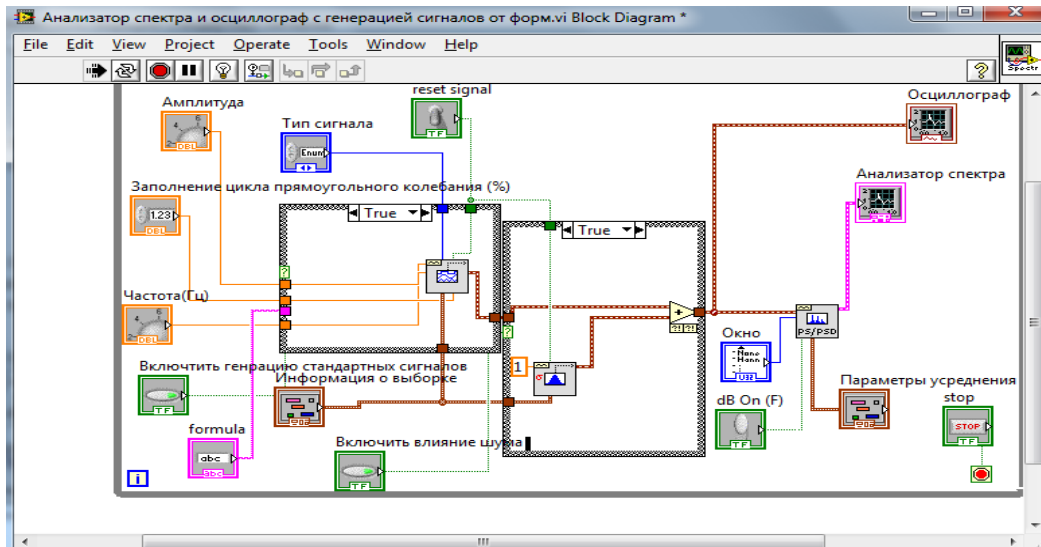


Рис.16. Итоговый вид блок-схемы при положении переключателей  
В ПОЛОЖЕНИИ ИСТИННО

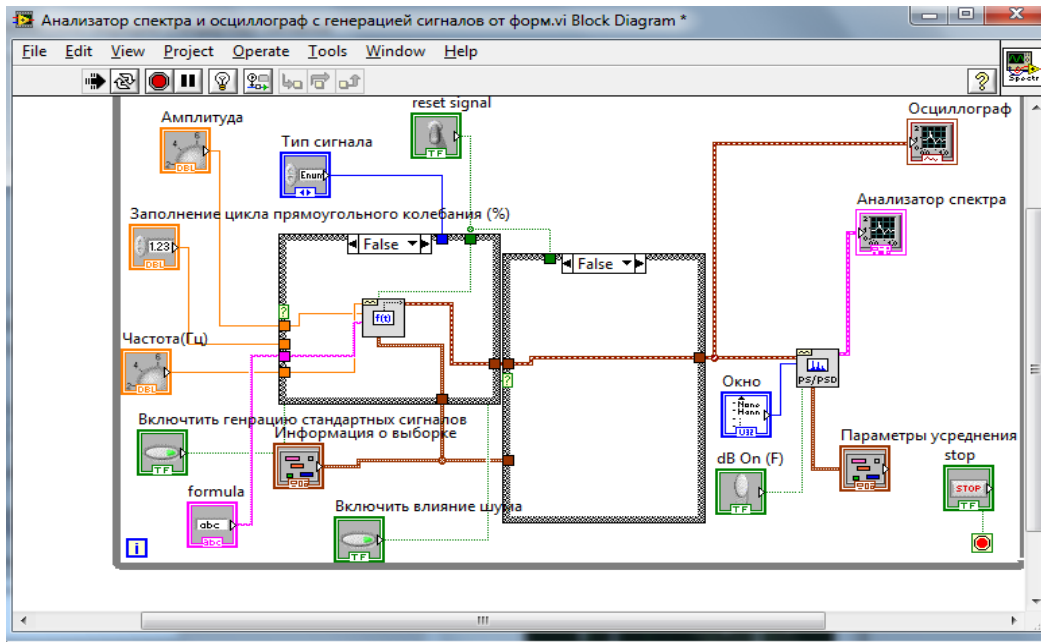


Рис.17. Итоговый вид блок схемы при положении переключателей  
В ПОЛОЖЕНИИ ИСТИННО

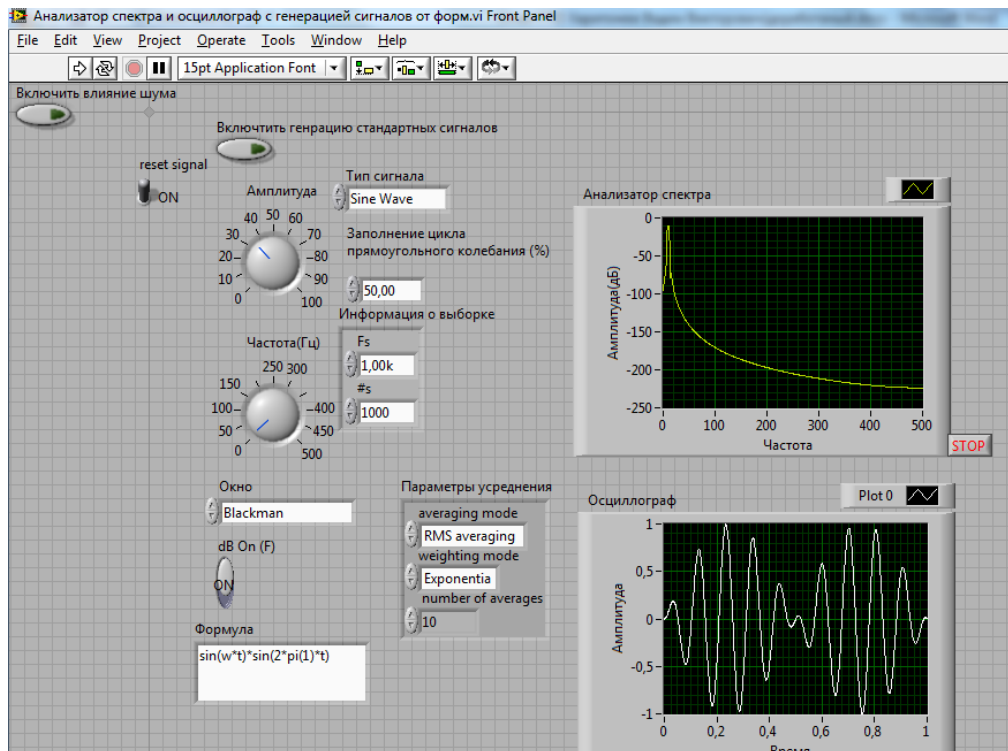


Рис.18. Вид лицевой панели

### Назначение регуляторов и переключателей.

*Reset signal* – Сигнал сброса.

*Амплитуда* – Регулятор амплитуды.

*Частота* – Регулятор частоты.

*dB On(F)* – Включает режим отображения амплитуды сигнала на анализаторе спектра в децибелах.

*Окно* – Выбор одного из оконных преобразований Фурье. Доступные окна приведены на Рис.18.



Рис.19. Доступные окна

*Тип сигнала* – Выбор типа генерируемого сигнала. Доступны следующие сигналы:

- Синус(Sine Wave)
- Пила(Sawtooth)
- Треугольной формы(Triangle wave)
- Меандр(Square Wave)

*Заполнение цикла прямоугольного сигнала(%)* – Показывает насколько велика длительность импульса по отношению к периоду повторения.

*Информация о выборке* – Имеет два поля:

- *F<sub>s</sub> - Samples/sec*(Количество значений на секунду).
- *#s - Number of samples*(Количество значений)



**Примечание:** Изменяя размер выборки можно добиться отображений больших частот. Следует отметить, что частота задаваемая генератором напрямую зависит от числа выборки. По теореме Котельникова  $F = \frac{N}{2d}$ .

Где d-длительность (для удобства принята 1); N-число выборки.

*Параметры усреднения* - Параметры, по которым усредняются показания на анализаторе спектра.

- Weighting mode – Режим аппроксимации
  - Linear – Линейный
  - Exponential – Экспоненциальный
- Averaging mode – Режим усреднения
  - No averaging – Без усреднения
  - Peak hold – По максимумам
  - Vector – По вектору
  - RMS averaging – Усреднение по среднеквадратическому значению
- Number of averages – Количество значений для усреднения

*Stop* – Остановка программы

*Включить влияние шума* – Позволяет выбирать, будет ли оказывать гауссовский шум влияние на сигнал или нет.

*Включить генерацию стандартных сигналов* – Позволяет выбирать между генерацией стандартных сигналов (меанд, синус, пила) и генерацией сигналов произвольной формы.

*Формула* – Позволяет задавать в математическом виде сигнал произвольной формы.

## **Заключение**

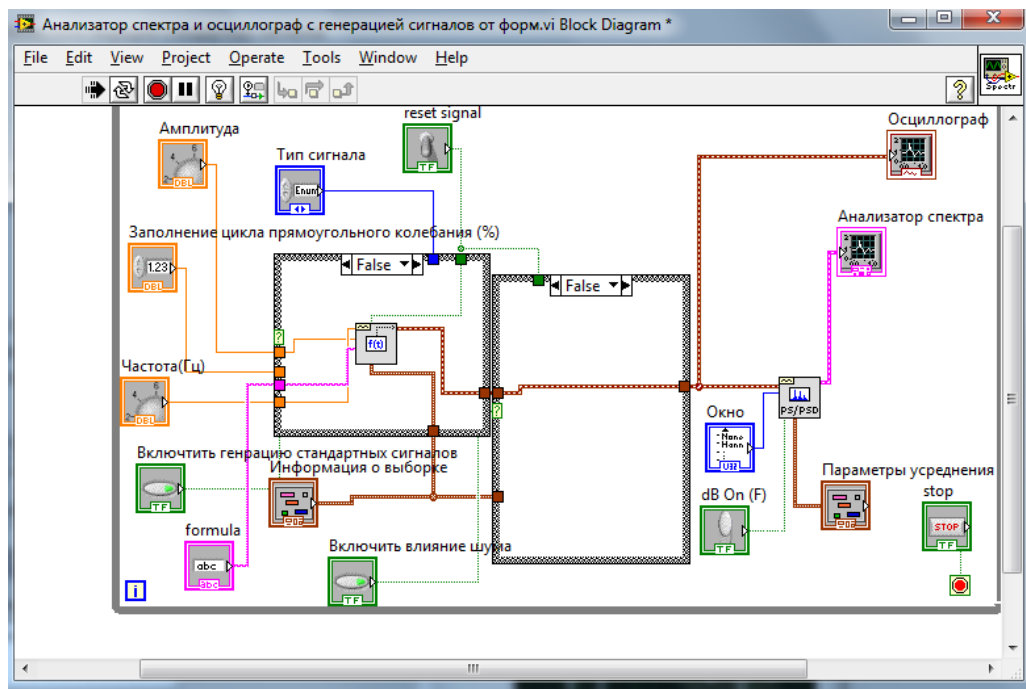
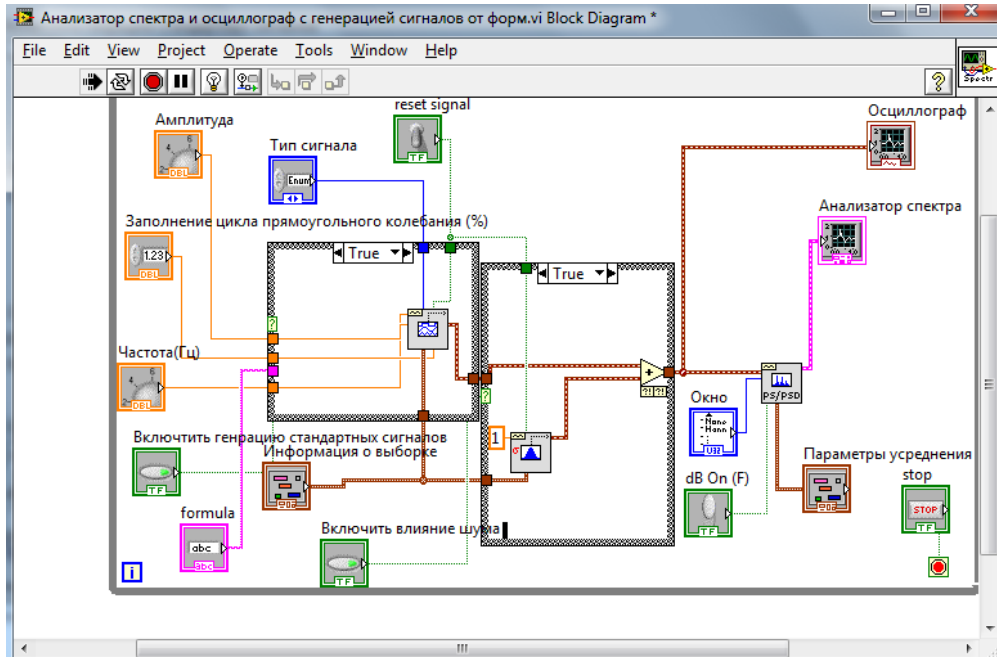
При используя программно обеспечения LabVIEW, создается виртуальная измерительная лаборатория, которая включает в себя генератор сигналов, осциллограф, анализатор спектра.

В данной лаборатории проводятся исследования характеристик сигналов различной формы и их спектров.

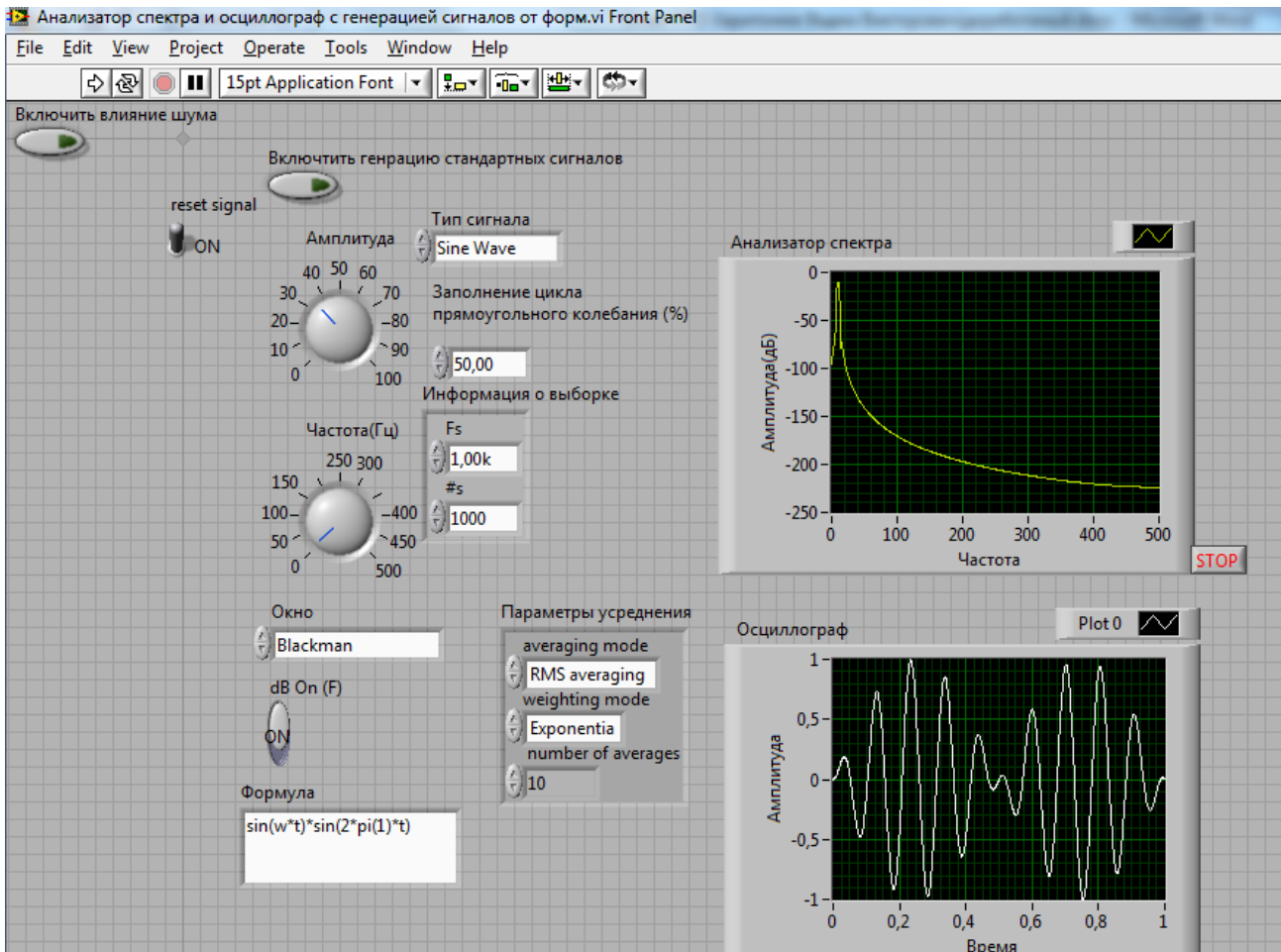
#### **4. Список рекомендованных источников**

1. Сайт компании National Instruments - [digital.ni.com](http://digital.ni.com)»Russia;
2. Обучающие пособие National Instruments – Вводный курс LabVIEW 8.5;
3. Батоврин В. К., Бессонов А. С, Мошкин В. В., Папуловский В. Ф. LabVIEW: практикум по основам измерительных технологий: Учебное пособие для вузов. - М.: ДМК Пресс, 2005. - 208 с.
4. Пеич Л.И. , Точилин Д.А., Поллак Б.П. LabVIEW для новичков и специалистов-М: Горячая линия-Телеком, 2004 -384 с.
5. Евдокимов Ю.К., Линдваль А.Р., Щербаков Г.И. LabVIEW для радиоинженера. От виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW. – М.: Изд-во «Пресс», 2007. – 400 с.

А. БЛОК СХЕМА ПРОГРАММЫ



## Б. ЛИЦЕВАЯ ПАНЕЛЬ ПРОГРАММЫ



## **Лабораторная работа 2. Исследование методов цифровой обработки сигналов в инфокоммуникационных системах на базе программной среды LabVIEW**

### **1. Цель работы**

Программа LabVIEW представляет собой среду высокоэффективного графического программирования, разработанную специально для инженеров и научных работников.

LabVIEW сочетает гибкость традиционного языка программирования с интерактивной технологией Экспресс виртуальные приборы (ВП), которые включает в себя автоматическое создание кода, использование помощников, шаблоны различных приложений и настраиваемые Экспресс ВП. Благодаря этим особенностям эксперты и новички могут быстро, без всяких усилий разрабатывать приложения.

Легкий к восприятию процесс программирования, позволяет уделять больше внимания проблемам, связанным с измерениями и управлением, а не написанию программы.

#### **LabVIEW:**

- интуитивно понятный процесс графического программирования;
- встроенные средства для сбора данных, управления приборами, обработки результатов, генерации отчетов, передачи данных и т.д.;
- совместимость с разнообразным оборудованием, в библиотеке более 1400 драйверов;
- шаблоны приложений, более тысячи примеров;
- более 400 математических функций;
- высокая скорость откомпилированных программ;
- работа под операционными системами Windows 2000/NT/XP, Mac OS X, Linux и Solaris.

## Обучение и техническая поддержка

LabVIEW позволяет автоматизировать процедуры исследования переходных и установившихся режимов в системах различной физической природы. При этом может выполняться решение систем дифференциальных уравнений. Описание систем также может быть выполнено с помощью структурных блок-схем. Каждый блок соответствует определённой зависимости между входом и выходом, которая может быть выражена в виде алгебраического, дифференциального или интегрального уравнения, а также импульсной (весовой) или частотной характеристики. Кроме того, эти блоки могут быть представлены в виде принципиальных электрических, гидравлических, пневматических и т. п. схем. Предусмотрена генерация детерминированных и случайных возмущений.

Важной функциональной особенностью LabVIEW является возможность виртуального формирования измерительных систем для различных физических величин: электрических сигналов, деформаций, перемещений, вибраций, шумов, температур, давлений, расходов, частот и т. п., а также сбора и обработки видеоинформации. Эти системы сопрягаются с реальными измерительными устройствами фирмы National Instruments и предусматривают различные процедуры обработки сигналов, получаемых от стандартных датчиков. В состав этих процедур входят подпрограммы амплитудного, фазового и частотного анализа детерминированных и случайных сигналов.

LabVIEW имеет полностью открытую архитектуру. Пользователь может встраивать собственные процедуры обработки непосредственно в среду LabVIEW (эти процедуры могут быть описаны как стандартными средствами LabVIEW, так и внедрены в LabVIEW из других языков и систем программирования).

LabVIEW с успехом используется во всем мире на всех этапах: от исследований и разработок до производственных циклов в различных отраслях, от сельскохозяйственной до аэрокосмической.

## 2. Краткие теоретические сведения

### LabVIEW

История развития технологии виртуальных приборов (ВП) насчитывает уже около двух десятилетий и связана в основном с компанией National Instruments, которая выпускает оборудование и ряд программных пакетов, поддерживающих технологию ВП, среди которых ключевую роль играет среда графического программирования LabVIEW.

Что же представляет собой среда LabVIEW и разрабатываемые с ее помощью виртуальные приборы?

Слово «виртуальные» в этом словосочетании означает не «эфемерность» приборов, а кардинальное отличие принципов построения их интерфейсных частей и системы обработки информации. Базой для такого прибора служит универсальный или специализированный компьютер.

Большая часть логики обработки измерительной информации реализуется на компьютере программно. При этом сама программа в соответствии с парадигмой графического программирования выглядит как набор функциональных узлов, соединенных проводниками для передачи данных. Источниками данных для программы могут служить узлы (nodes) подпрограмм (подприборов) сбора данных встроенных плат или терминалы (terminals) элементов управления на лицевой панели, а приемниками – терминалы индикаторов, подприборы (SubVI) вывода данных или их сохранения в файлах. Такая структура программы позволяет реализовать модель потока данных (dataflow model) для обработки данных, когда данные «втекают» в программу через перечисленные узлы, обрабатываются и «вытекают» из нее на узлы индикации, записи в файл или передачи по сети. При этом потоки, не связанные между собой общими данными, обрабатываются параллельно. Эта модель в корне отличается от модели потока управления (control flow model), реализуемой в большинстве текстовых языков программирования.

Очевидно, что виртуальный прибор, управляющий работой платы и получающий от нее данные, более чем реален, поскольку позволяет получать реальные результаты измерений с заданными метрологическими характеристиками. Алгоритмы сбора и обработки данных, так же как и вид лицевой панели, могут быть изменены в любой момент, в том числе и в процессе измерений. Таким образом, имея, например, плату сбора данных и среду LabVIEW, можно реализовать на компьютере самые разнообразные измерительные приборы: осциллографы, вольтметры, частотомеры, измерители частотных характеристик или нелинейных искажений.

Вторая особенность – высокая производительность разработки виртуальных приборов.

Для настройки параметров установленных узлов или элементов широко применяются их контекстные меню (pull\_down menu), вызываемые щелчком правой кнопки мыши (ПКМ) по изображению узла или элемента.

Каждый функциональный узел, выбираемый из палитры и устанавливаемый на блок-диаграмме, может представлять собой элементарную функцию, подприбор, Экспресс\_ВП, Структуру, Узел свойств, Узел методов, Узел вызова по ссылке или Узел вызова библиотечной функции.

Иконка элементарной функции, подприбора или иконка самого ВП, выполняет две функции. С одной стороны, ее изображение помогает опознать и выбрать необходимый функциональный узел, с другой стороны, соединительная панель (connector pane) иконки несет информацию о конфигурации входов/выходов этого узла.

Подприборы служат мощным средством разработки иерархических ВП. Встроенные подприборы реализуют функции высокого уровня. LabVIEW предоставляет удобные средства для оперативного создания собственных подприборов.

Call By Reference Node (Узел вызова по ссылке) служит для динамического вызова локального или удаленного ВП по его ссылке (reference). При этом



ссылка ВП должна быть строгого типа (Strictly Typed). Строгость ссылки означает однозначное соответствие соединительных панелей вызываемого ВП и используемого при создании ссылки.

Call Library Function Node (Узел вызова библиотечной функции) применяется для вызова процедур, написанных на других языках и оформленных в виде внешних динамически подключаемых библиотек (DLL).

В LabVIEW массивы могут быть созданы как вручную на лицевой панели или на панели блок-диаграммы, так и программно.

Если с функциональной диаграммы перенести внимание на лицевую панель, а точнее – на палитру элементов управления и индикаторов, то можно отметить, что наиболее сложными для освоения и настройки являются графические индикаторы из подпалитры Graph. Они служат для отображения больших наборов данных, являющихся, как правило, сигналами или изображениями.

Графические индикаторы имеют в меню настройки более обширный раздел Visible Items (Видимые элементы) и дополнительные пункты, связанные с настройкой осей.

### **Меню**

Видимые элементы графического индикатора Развертка сигнала отличается тем, что на месте строки Панель редактирования курсора находится строка Цифровой индикатор.

Панель редактирования графика может перестраиваться по размеру в вертикальном направлении для настройки параметров набора графиков. Панель редактирования графика имеет свое контекстное меню, которое позволяет настраивать тип графиков, их цвет, ширину и тип линии, тип точек и вид их соединения.

Панель редактирования шкалы позволяет фиксировать или сбрасывать в исходное состояние масштаб по осям, установленный пользователем с помощью одного из инструментов, входящих в состав палитры элементов управления графиком. Помимо этого, она позволяет настраивать параметры осей: формат,

точность, характер расположения меток, видимость оси и подписи, цвет сетки. Эти и ряд других параметров могут быть также установлены и из контекстного меню осей индикатора.

В состав палитры Графики входят также трехмерные графики. Установка таких графиков на лицевой панели сопровождается появлением на блок-диаграмме связи из ссылки (Refnum) на элемент управления ActiveX CWGraph3D и соответствующего ВП.

Настройка графиков производится с помощью диалогового окна Свойства: CWGraph3D Control, вызываемого с помощью строки CWGraph3D ⇒ □ Свойства... контекстного меню графика.

Особым графическим элементом для ввода и вывода растровых изображений служит Рисунок (Picture). Для подготовки таких изображений используются многочисленные функции из подпалитр Picture Plots VIs (ВП рисунков графиков), Picture Functions VIs (ВП функций рисунков) и Graphics Formats VIs (ВП графических форматов), находящихся, в свою очередь, в подпалитре Graphics & Sound (Графики и звук).

Новые возможности, введенные в LabVIEW 8, связаны с поддержкой программирования распределенных систем на базе разнородных платформ: настольных компьютеров, систем реального времени, ПЛИС, КПК, встроенных микропроцессоров и сигнальных процессоров. Программирование перечисленных устройств обеспечивается с помощью соответствующих обновленных модулей: LabVIEW Real-Time Module, LabVIEW FPGA Module, LabVIEW PDA Module.

Для упрощения передачи данных между различными вычислительными платформами служит Переменная общего доступа LabVIEW 8 (LabVIEW Shared Variable), предоставляющая единый, гибкий и открытый коммуникационный протокол.

Переменная общего доступа объединяет функциональность существующих технологий передачи данных, таких как DataSocket, и позволяет передавать

текущие данные между различными ВП проекта или по сети, при этом источниками или приемниками данных могут быть элементы лицевой панели или блок-диаграммы.

Таким образом, все богатство функциональных возможностей и рабочего инструментария среды LabVIEW позволяет успешно решать практически любую задачу научных исследований, проектирования новых устройств или автоматизации их производства.

## **Программная среда LabView**

Программа, написанная в среде LabVIEW, называется виртуальным прибором (ВП). ВП симулирует физические приборы, например, осциллограф или мультиметр. LabVIEW содержит полный набор инструментов для сбора, анализа, представления и хранения данных.

В LabVIEW интерфейс пользователя – лицевая панель создается с помощью элементов управления (кнопки, переключатели и др.) и отображения (графики, светодиоды и др.). После этого на блок-диаграмме ВП осуществляется программирование с использованием графических представлений функций для управления объектами на лицевой панели.

LabVIEW используется для программирования различных DAQ-устройств, систем контроля изображения и движения, аппаратных средств, имеющих интерфейсы типа GPIB, VXI, PXI, RS-232 и RS-485. LabVIEW имеет встроенные возможности для работы в компьютерных сетях Интернет, используя LabVIEW Web Server и программные стандарты TCP/IP и Active X.

С помощью программной среды LabVIEW можно разрабатывать программно-аппаратные комплексы для тестирования, измерения, ввода данных, анализа и управления внешним оборудованием. LabVIEW – это 32-х разрядный компилятор, который создает как автономные модули (.EXE), так и совместно используемые динамические библиотеки (.DDL).

ВП состоит из четырех основных компонентов – лицевой панели, блок-диаграммы, иконки и соединительной панели. Лицевая панель – это интерфейс пользователя ВП. Пример лицевой панели представлен на рисунке 1.

Лицевая панель создается с использованием палитры Элементов (Controls). Эти элементы могут быть либо средствами ввода данных – элементы Управления, либо средствами отображения данных – элементы Отображения. Элементы Управления – кнопки, переключатели, ползунки и другие элементы ввода. Элементы Отображения – графики, цифровые табло, светодиоды и т.д. Данные, вводимые на лицевой панели ВП, поступают на блок-диаграмму, где ВП производит с ними необходимые операции. Результат вычислений передается на элементы отображения информации на лицевой панели ВП.

После помещения элементов Управления или Отображения данных на Лицевую панель, они получают свое графическое отображение на блок-диаграмме. Объекты блок-диаграммы включают графическое отображение элементов лицевой панели, операторов, функций, подпрограмм ВП, констант, структур и проводников данных, по которым производится передача данных между объектами блок-диаграммы. Пример блок-диаграммы рисунок 2.

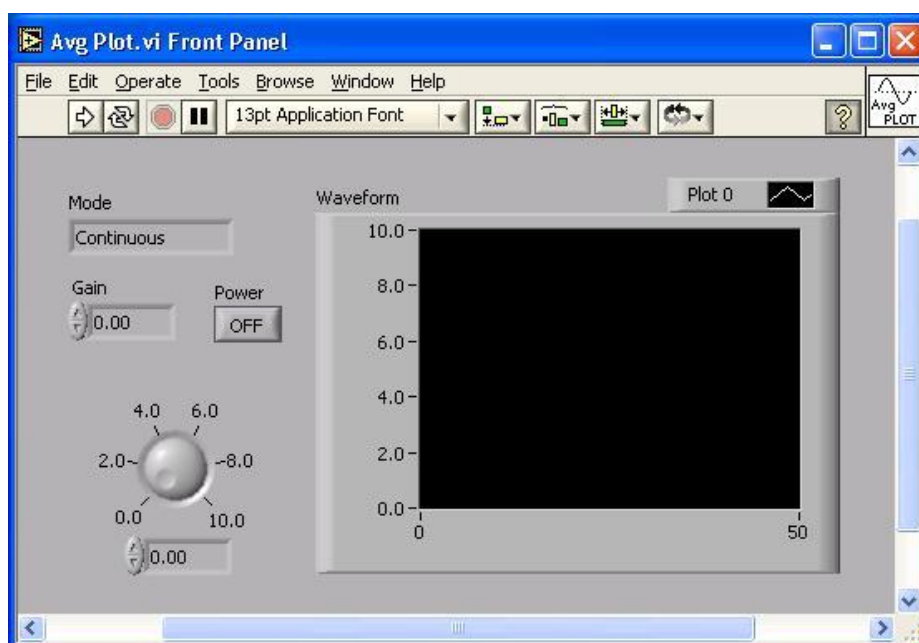


Рис.1. Лицевая панель.

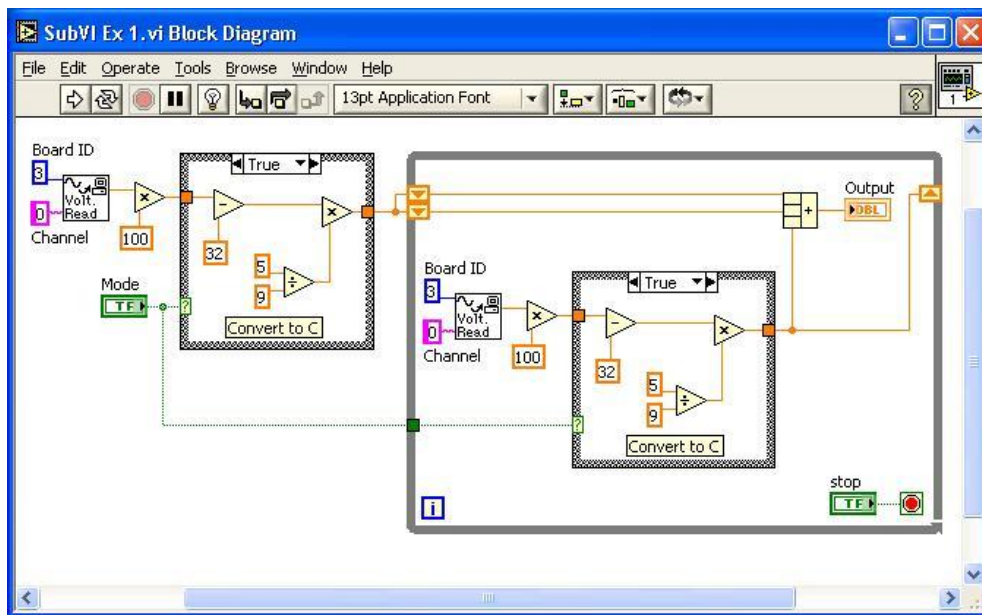


Рис. 2. Блок-диаграмма.

Для использования созданного виртуального прибора внутри другого ВП в качестве подпрограммы, после создания лицевой панели и блок- диаграммы, необходимо оформить иконку и настроить соединительную панель (область полей ввода/вывода данных). Подпрограмма ВП соответствует подпрограмме в текстовых языках программирования. Каждый ВП имеет показанную слева иконку в верхнем правом углу лицевой панели и блок-диаграммы. Иконка – графическое представление ВП. Она может содержать текст и/или рисунок. Если ВП используется в качестве подпрограммы, иконка идентифицирует его на блок- диаграмме другого ВП. Необходимо также настроить показанную слева соединительную панель (область полей ввода/вывода данных), чтобы использовать ВП в качестве подпрограммы. Соединительная панель – это набор полей, соответствующий элементам ввода/вывода данных этого ВП. Поля ввода/вывода аналогичны списку параметров вызываемой функции в текстовых языках программирования. Область полей ввода/вывода данных позволяет использовать ВП в качестве подпрограммы. ВП получает данные через поля ввода данных и передает их на блок-диаграмму через элементы

Управления лицевой панели. Результаты отображаются в его полях вывода данных посредством элементов Отображения лицевой панели.

Преимущество LabVIEW заключается в иерархической структуре ВП. Созданный виртуальный прибор можно использовать в качестве подпрограммы на блок-диаграмме ВП более высокого уровня. Количество Уровней в иерархии не ограничено. Использование подпрограммы ВП помогает быстро изменять и отлаживать блок-диаграмму. При создании ВП следует обратить внимание на то, что некоторые операции многократно повторяются. Для выполнения таких операций необходимо использовать подпрограммы ВП или циклы. Многократные Повторения и циклы содержит дополнительную информацию об использовании циклов. Например, приведенная блок-диаграмма (рисунок 1.3) содержит две идентичные операции.

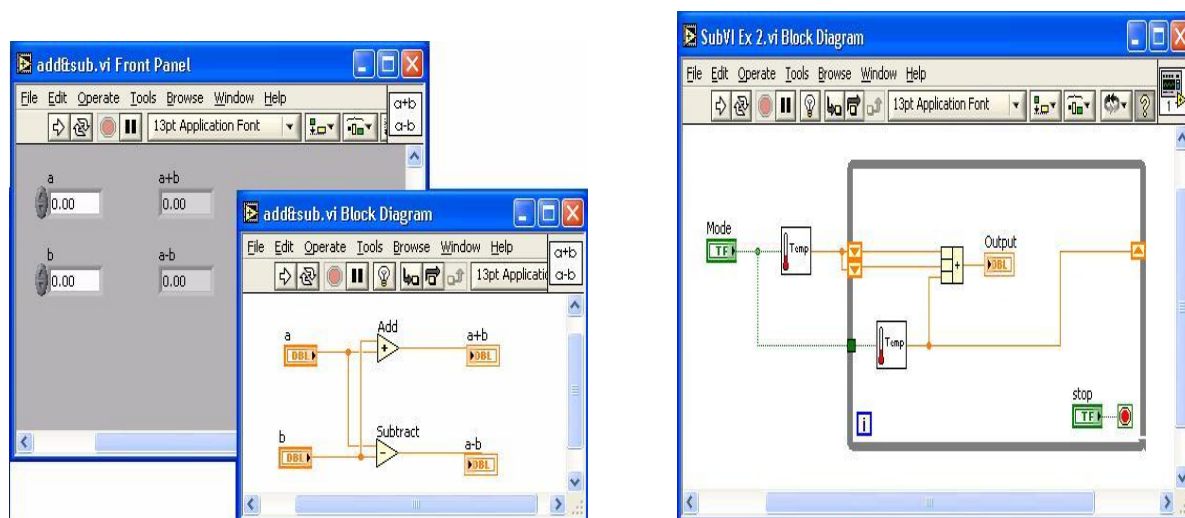


Рис. 3. Блок-диаграмма

Можно создать подпрограмму ВП, которая выполнит эту операцию, и можно вызвать эту подпрограмму дважды. Возможно многократное использование подпрограммы ВП в другом виртуальном приборе.

### Создание ВП

Для создания ВП откройте новый ВП или шаблон и сохраните его. После этого можно конструировать лицевую панель и блок-диаграмму.

## Открытие ВП и Шаблоны

Диалоговое окно *New* используется для создания различных компонентов в среде *LabVIEW* при построении приложений. Можно начинать с пустого ВП или с шаблона для упрощения программирования. Диалоговое окно *New* содержит следующие компоненты:

- **Create New** — отображает шаблоны, с помощью которых можно создавать ВП или другие документы *LabVIEW*. Для этого достаточно выбрать шаблон и нажать кнопку **ОК**.

- **VI** — содержит различные ВП.

- **Blank VI** — открывает пустые лицевую панель и блок- диаграмму.

- **VI from Template** — открывает лицевую панель и блок-диаграмму, содержащие компоненты для построения различных видов ВП.

- **Frameworks** — открывает лицевую панель и блок-диаграмму, содержащие компоненты для построения ВП, включающих специальные виды выполняемых функций

- **Instrument I/O** — открывает лицевую панель и блок-диаграмму, содержащие компоненты, необходимые для связи с внешними устройствами, подсоединенными к компьютеру

- **Simulated** — открывает лицевую панель и блок-диаграмму, содержащие компоненты, необходимые для моделирования получения данных с устройства

- **Tutorial (Getting Started)** — открывает лицевую панель и блок-диаграмму, содержащие компоненты, необходимые для построения ВП, предназначенных для выполнения упражнений руководства *Getting Started*.

- **User** – открывает лицевую панель и блок-диаграмму ВП, созданного ранее.

- **Project** — открывает окно проекта в *LabVIEW*.

- **Other Files** – позволяют создать классы, глобальные переменные, библиотеки и т.д.

◦ Description — отображает блок-диаграмму и описание выбранного из списка Create New шаблона ВП, в случае если шаблон имеет описание.

ВП состоит из четырех основных компонентов – лицевой панели, блок-диаграммы, иконки и соединительной панели.

### **3. Порядок выполнения работы**

#### **Лицевая панель**

На лицевой панели создаются элементы управления и отображения, которые являются интерактивными средствами ввода и вывода данных этого ВП. Элементы Управления – кнопки, переключатели и другие устройства ввода данных. Элементы Отображения – графики, светодиоды и другие индикаторы. Элементы Управления моделируют устройства ввода данных и передают данные на блок-диаграмму ВП. Элементы отображения моделируют устройства вывода и отображения данных, которые получает или генерирует блок-диаграмма.

Для размещения элементов Управления и Отображения данных на лицевой панели используется палитра Controls (Элементов). Палитра Controls (Элементов) доступна только с лицевой панели. Для вывода на экран палитры Controls (Элементов) следует выбрать пункты главного меню Window»Show Controls Palette или щелкнуть правой кнопкой мыши в рабочем пространстве лицевой панели.

#### **Числовые элементы управления и отображения данных**

Чаще других используют два числовых объекта – это числовой элемент управления и числовой элемент отображения данных:

Ввод или изменение значения элемента управления осуществляется либо с помощью кнопок приращения значений, либо нужное значение просто вводится в элемент с помощью инструмента ВВОД ТЕКСТА, после чего следует нажать кнопку <Enter>. (MacOS and Sun) Нажать кнопку <Return>.



## Логические элементы управления и отображения данных

Логические элементы управления и отображения используются для ввода и отображения значения логической переменной (TRUE/FALSE — ИСТИНА/ЛОЖЬ). Логические объекты моделируют выключатели, кнопки и светодиоды. Вертикальный переключатель и круглый светодиод показаны ниже:



Рис. 4. Логические элементы управления

## Цифровая обработка сигналов в программной среде LabView

### Генератор сигналов

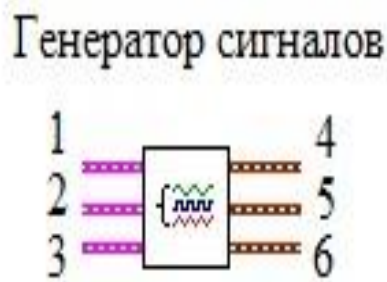


Рис. 5. Генератор сигналов.

Входы генератора 1,2,3:

- 1 – Настройка сигнала A;
- 2 – Настройка сигнала B;
- 3 – Настройка шума.

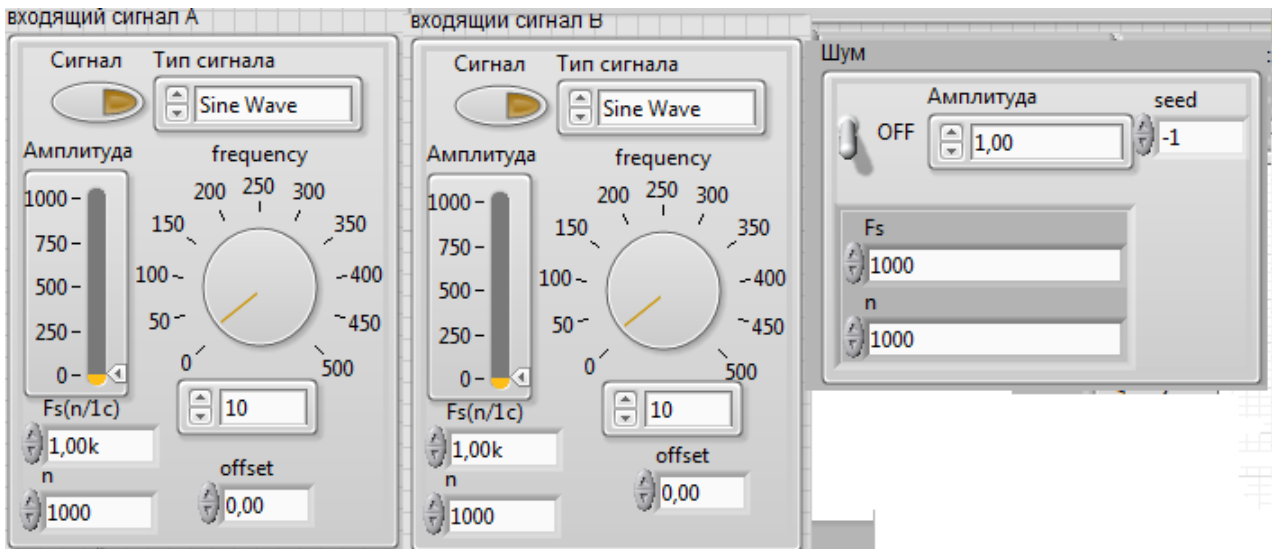


Рис. 6. Лицевая панель настройки сигналов.

Выходы генератора сигналов:

- 4 – Выход сигнала А;
- 5 – Выход сигнала В;
- 6 – Выход шума.

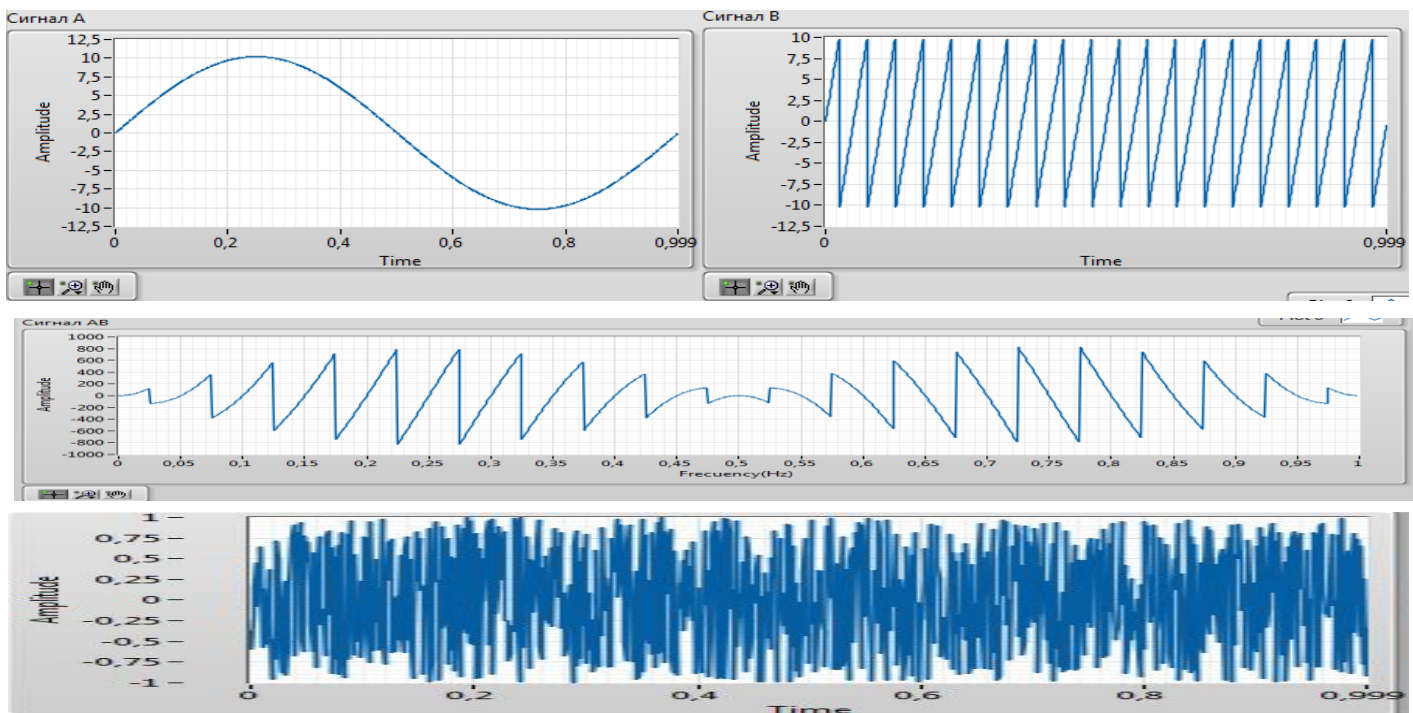


Рис. 7. Сигналы А, В, А\*В и шум.

Структурная схема генератора:

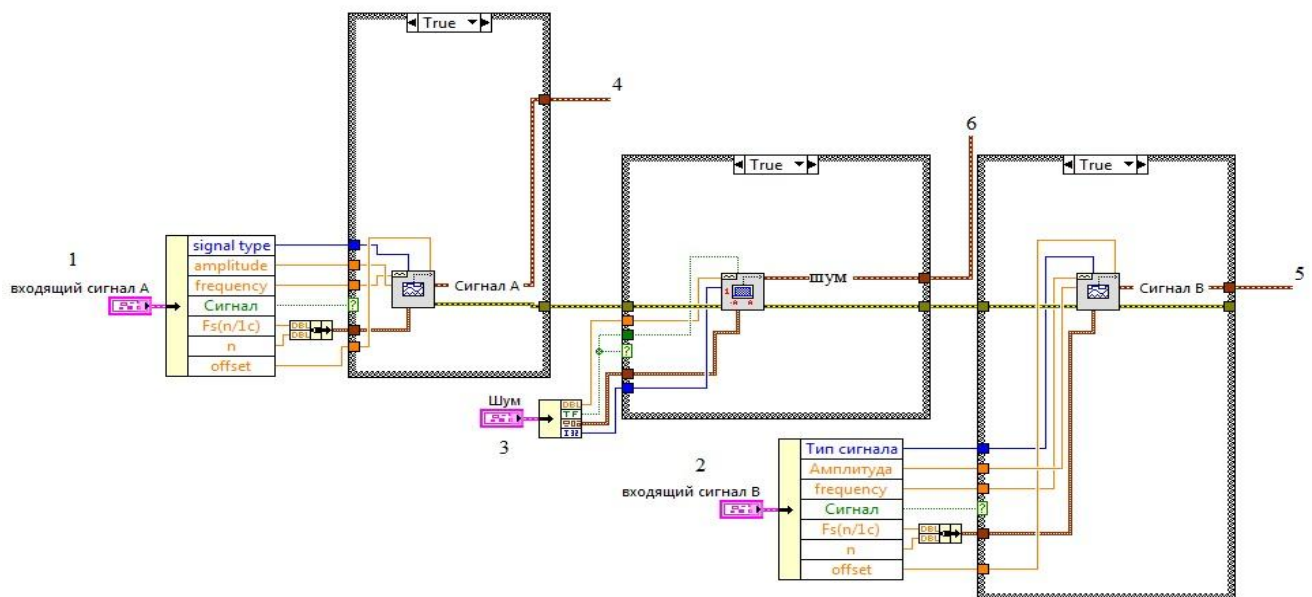


Рис. 8. Блок-диаграмма генератора сигналов.

### Арифметические действия над сигналами

Здесь сигналы с генератора попадают в блок «In Place Element Structure» в котором происходит перемножение  $A$  с  $B$ , суммирование  $A$  с шумом, а также сумма  $AB + \text{шум}$ . Эти сигналы в итоге и будем обрабатывать в дальнейшем.

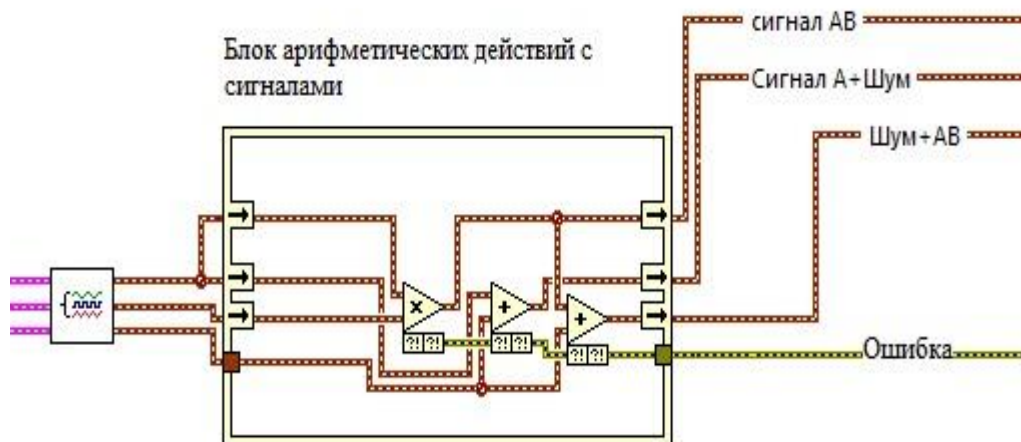


Рис. 9. Блок-диаграмма арифметических действий над сигналами.

Здесь сигналы с генератора попадают в блок «In Place Element Structure» в котором происходит перемножение  $A$  с  $B$ , суммирование  $A$  с шумом, а также сумма  $AB$ +шум. Эти сигналы в итоге и будем обрабатывать в дальнейшем.

Далее сигналы попадаю в блок «Case Structure» в котором и происходит дальнейшая обработка:

1. Статистическая обработка;
2. Фильтрация сигнала;
3. Преобразования Фурье;
4. Спектральный анализ;
5. Дискретизация.

## Статистическая обработка сигнала.

В данном блоке происходит нахождение:

1. Среднее арифметическое;
2. СреднеКвадратичнаяОшибка(RMS);
3. Стандартное отклонение значений в сигнале(Standart DEV);
4. Сумма значений сигнала;
5. Дисперия(Variance);
6. Нахождение частоты сигналов(в Гц).
7. Построение гистограммы.

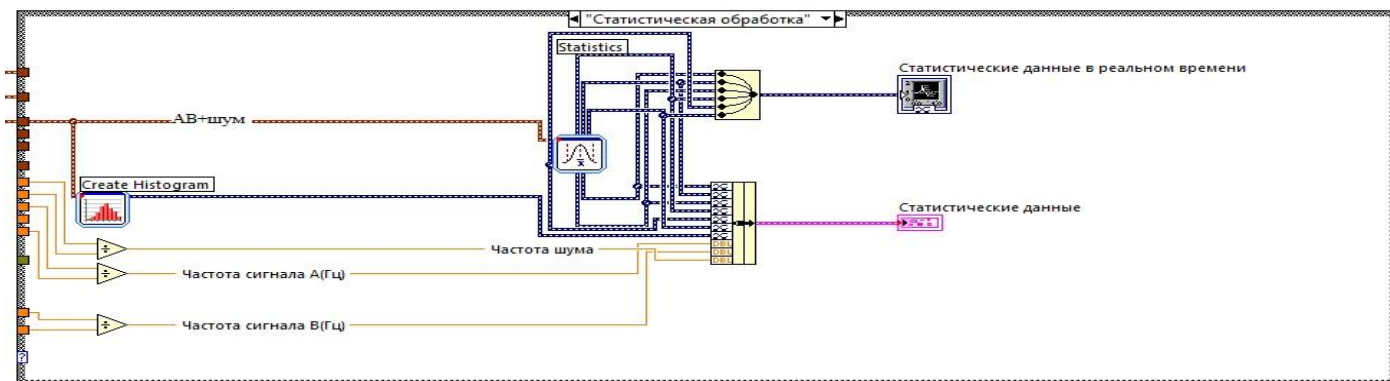


Рис. 10. Блок-диаграмма Статистической обработки сигналов

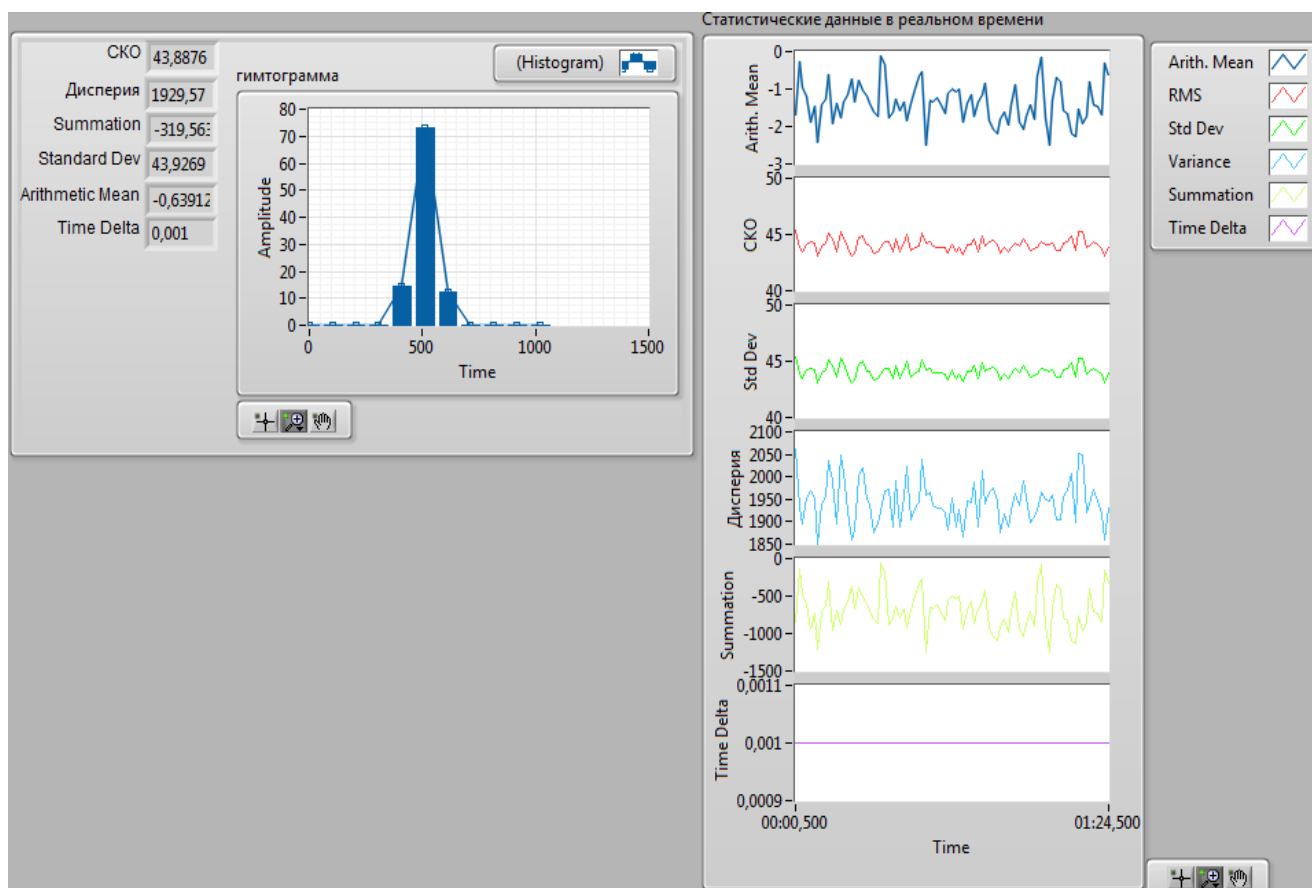


Рис. 11. Лицевая панель статистической обработки сигналов.

## Фильтрация сигнала

Фильтрация сигналов выполняется с помощью фильтра с бесконечной импульсной характеристикой или ИИР-фильтр (ИИР сокр. от infinite impulse response — бесконечная импульсная характеристика) — линейный электронный фильтр, использующий один или более своих выходов в качестве входа, то есть образует обратную связь. Основным свойством таких фильтров является то, что их импульсная переходная характеристика имеет бесконечную длину во временной области, а передаточная функция имеет дробно-рациональный вид.

## Топология типа фильтра.

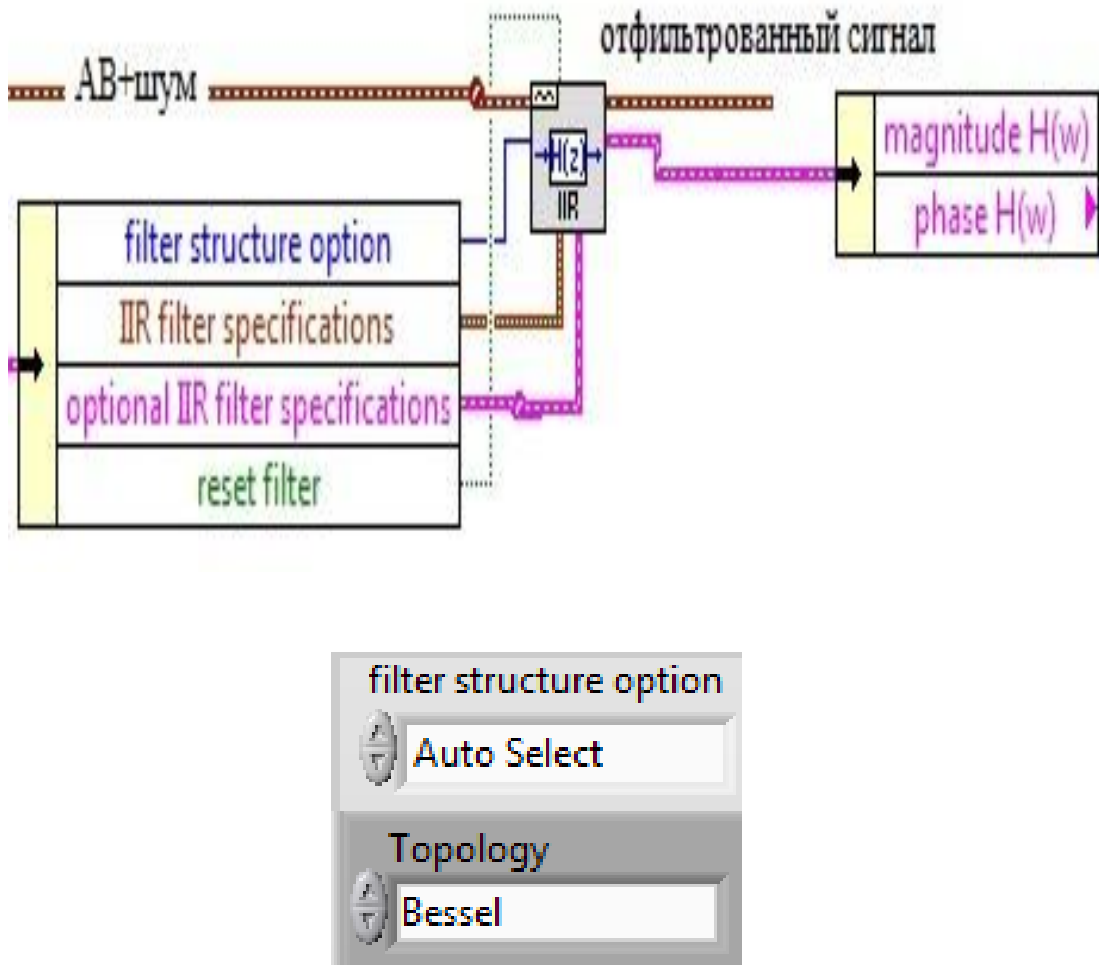


Рис.12 Лицевая панель Топологии фильтра и его порядка.

*filter structure option* Определяет порядок каскадного фильтра IIR

0. IIR 2nd Order—Возвращает IIR фильтру второй порядок.
1. IIR 4th Order—Присваивает IIR фильтру четвертый порядок.
2. Auto Select (*default*)—Автоматически присваивает фильтру 2-ой или 4-ый порядок согласно типу выбранного фильтра.

Если выбран фильтр нижних частот (ФНЧ) или фильтр верхних частот(ФВЧ) то IIR присваивается 2-ой порядок, если выбран полосно-пропускающий

фильтр(Bandpass) или полосно-заграждающий фильтр (Bandstop или режекторный фильтр) то ПР присваивается 4-ый порядок.

*IIR filter specifications* – здесь выполняется настройка параметров ПР фильтра.

0. *Off* - выкл

1. *Butterworth* - Фильтр Баттерворта — один из типов [электронных фильтров](#). Фильтры этого класса отличаются от других методом проектирования. Фильтр Баттерворта проектируется так, чтобы его [амплитудно-частотная характеристика](#) была максимально гладкой на частотах [полосы пропускания](#).

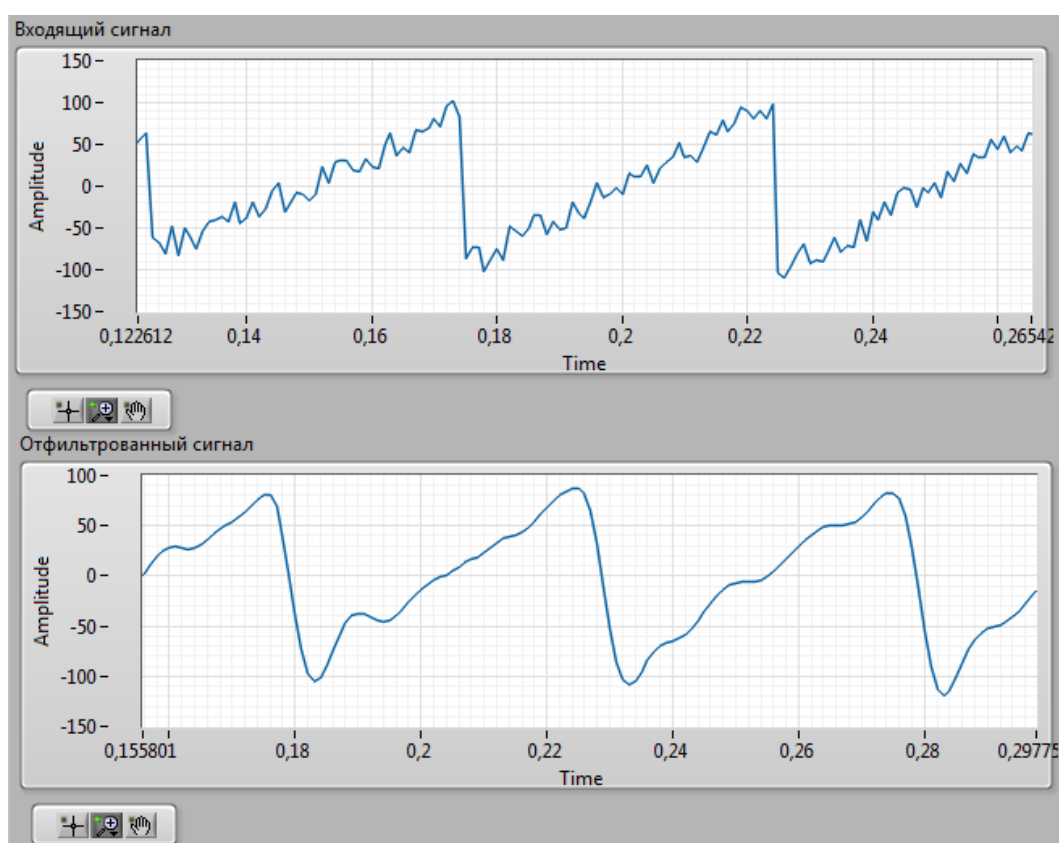


Рис. 13.Фильтрация сигнала с помощью фильтра Баттерворта

2,3. *Chebyshev, Inverse Chebyshev* - Фильтр Чебышева — один из типов линейных [аналоговых](#) или [цифровых фильтров](#), отличительной особенностью которого является более крутой спад [амплитудно-частотной характеристики](#) (АЧХ) и существенные пульсации амплитудно-частотной характеристики на

частотах полос пропускания (фильтр Чебышева I рода) и подавления (фильтр Чебышева II рода), чем у фильтров других типов. Фильтры Чебышева обычно используются там, где требуется с помощью фильтра небольшого порядка обеспечить требуемые характеристики АЧХ, в частности, хорошее подавление частот из полосы подавления, и при этом гладкость АЧХ на частотах полос пропускания и подавления не столь важна.

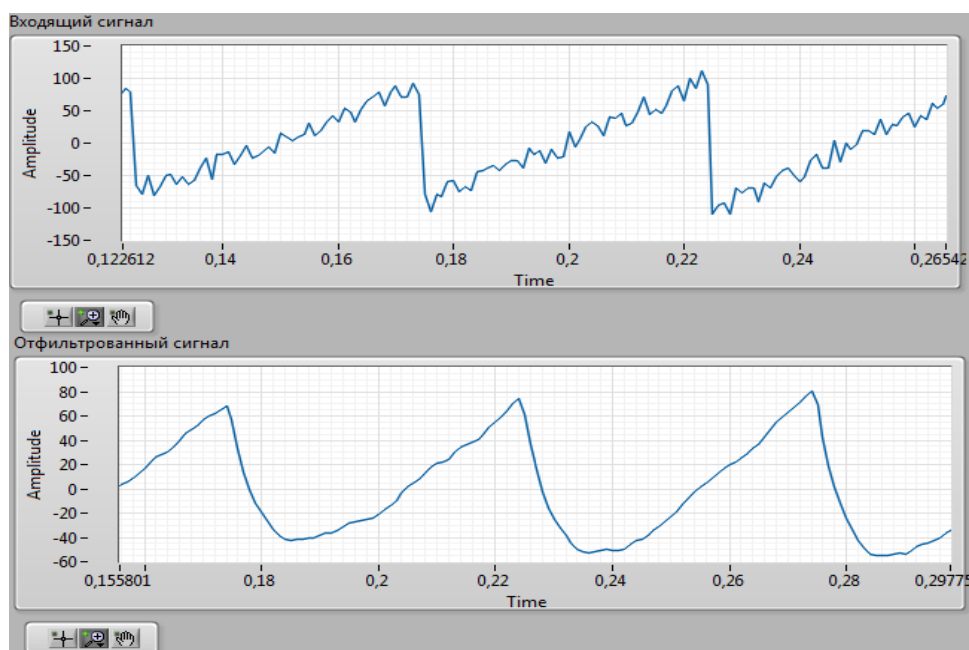


Рис. 14. Фильтрация с помощью фильтра Чебышева



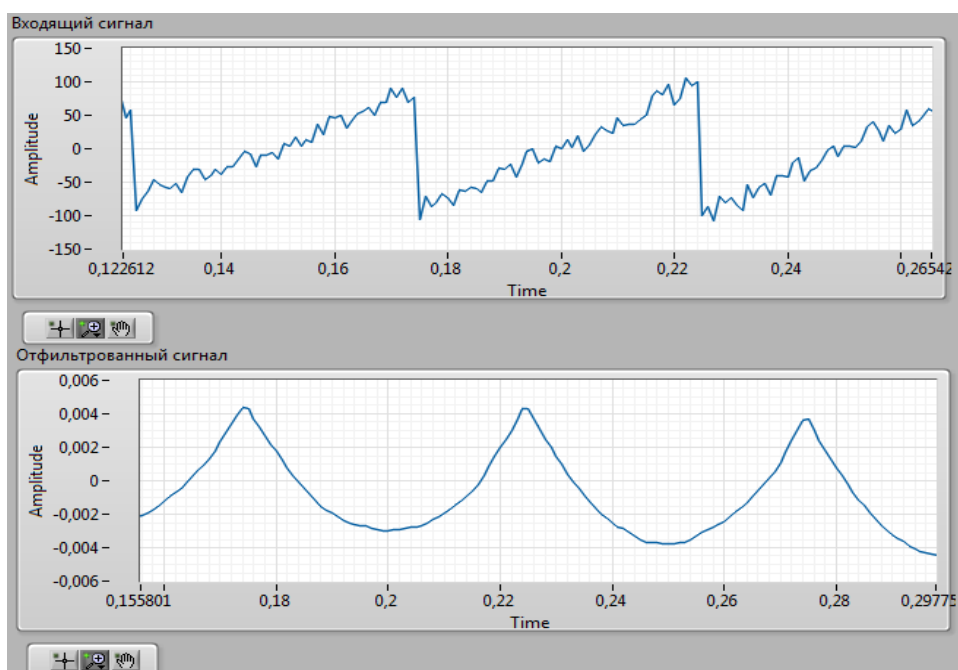


Рис. 15. Фильтрация с помощью обратного фильтра Чебышева.

4. *Elliptic* - Эллиптический фильтр (Фильтр Кауэра) — [электронный фильтр](#), характерной особенностью которого является пульсации [амплитудно-частотной характеристики](#) как в [полосе пропускания](#), так и [полосе подавления](#). Величина пульсаций в каждой из полос независима друг от друга. Другой отличительной особенностью такого фильтра является очень крутой спад амплитудной характеристики, поэтому с помощью этого фильтра можно достигать более эффективного разделения частот, чем с помощью других линейных фильтров.

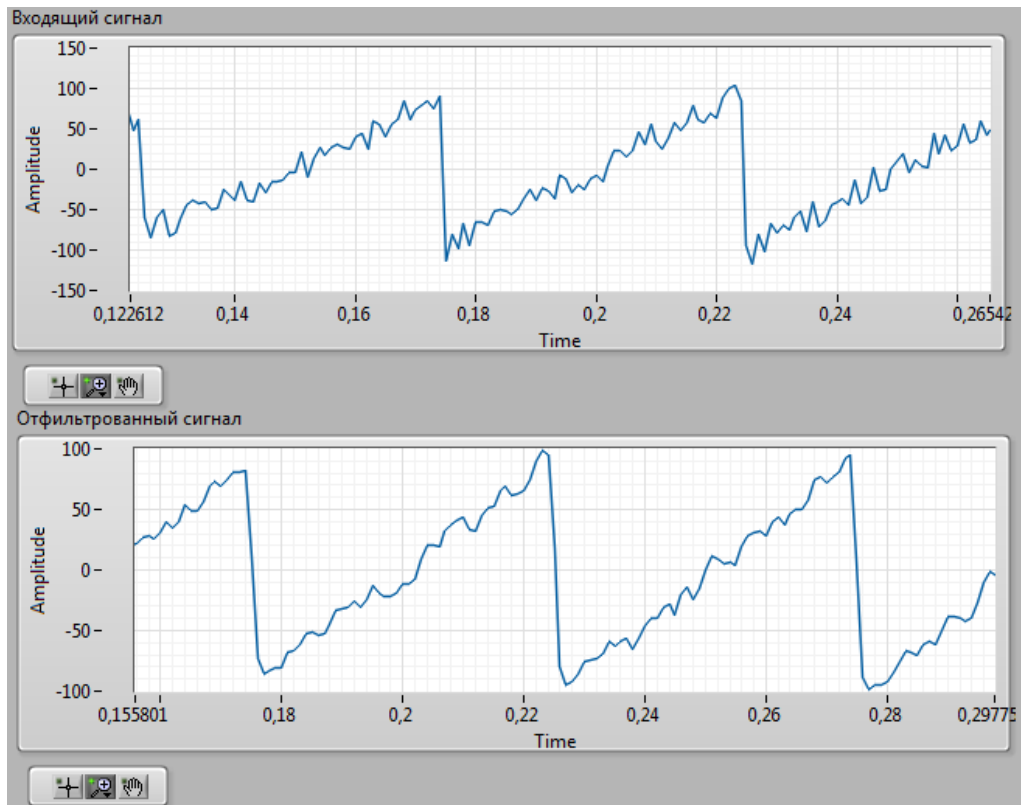


Рис. 16. Фильтрация с помощью фильтра Кауэра.

6. *Bessel* - Фильтр Бесселя — в [электронике](#) и [обработке сигналов](#) один из наиболее распространённых типов [линейных фильтров](#), отличительной особенностью которого является максимально гладкая [групповая задержка](#) (линейная [фаза-частотная характеристика](#)). Фильтры Бесселя чаще всего используют для аудио-[кроссоверов](#). Их групповая задержка практически не

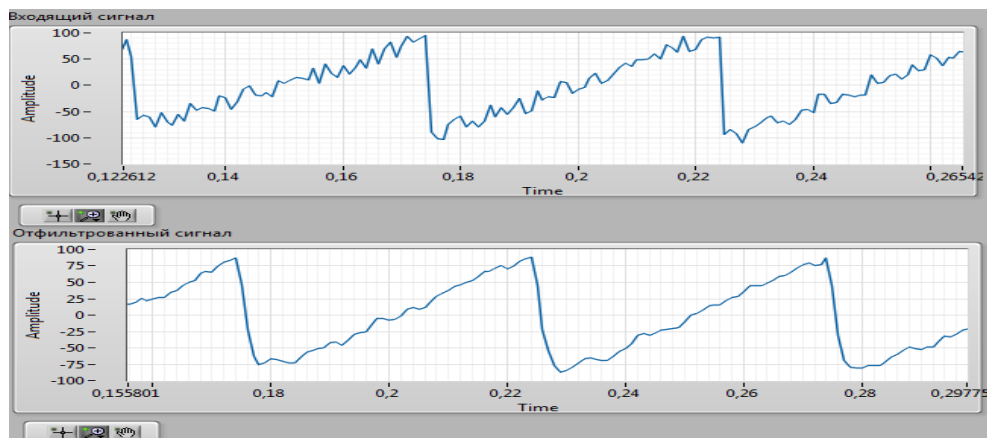


Рис. 17. Фильтрация с помощью фильтра Бесселя.

7. изменяется по частотам полосы пропускания, вследствие чего форма фильтруемого сигнала на выходе такого фильтра в полосе пропускания сохраняется практически неизменной.

**Тип полосы пропускания определяется согласно выбранным параметрам приведенным ниже.**

0. *Lowpass* – ФНЧ.
1. *Highpass* – ФВЧ.
2. *Bandpass* – Полосно-пропускающий фильтр.
3. *Bandstop* – Полосно-заграждающий фильтр.

*Order* - выбирается порядок фильтра. Если порядок =0, то фильтр использует дополнительные спецификацию фильтра *IIR(optional IIR filter specification)* для вычисления порядка.

*Lower Fc* – Это нижняя критическая частота при которо должен наблюдаться критерий Найквиста. Критерий Найквиста  $0 < f_l < 0.5f_s$ , где  $f_l$  – это критическая частота, и  $f_s$  – это частота дискретизации. Если *Lower Fc* меньше 0 или больше чем половина от частоты дискретизации, то программа выводит ошибку - 100.

*Upper Fc* – Это верхняя критическая частота. Этот параметр игнорируется если выбран ФНЧ или ФВЧ.

*PB Ripple* – должна быть больше 0, и написана в дБ. Если *PB Ripple* меньше или равен 0 то программа сбрасывает сигнал и выдает ошибку. По умолчанию стоит 1.0.

*SB Attenuation* - определяет затухание в полосе задержки. ***SB Attenuation***

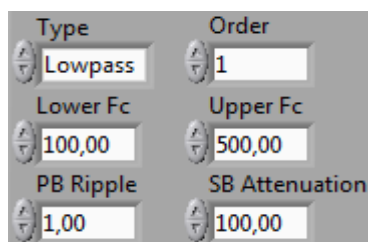


Рис. 18. Лицевая панель настройки полосы пропускания.

должно быть больше, чем нуль и выражено в дБ. По умолчанию стоит 60.0.

*optional IIR filter specifications* – в этом кластере содержится информация необходимая для вычисления порядка фильтра, а также для определения полосы пропускания.

*Lower PB* - нижняя из 2-ух частот ПП(Полоса Пропускания). По умолчанию 100 Hz.

*Upper PB* – более высокая из 2-ух частот ПП. По умолчанию 0.

*Lower SB* – нижняя из 2-ух частот полосы задержки. По умолчанию 200 Hz.

*Upper SB* – более высокая из 2-ух частот полосы задержки. По умолчанию 0.

*PB Gain* – Усиление в ПП. По умолчанию –3dB.

*SB Gain* – усиление в полосе задержки. По умолчанию –60dB.

Масштаб определяется в зависимости от интерпретации выбранных параметров полосы пропускания и задержки.

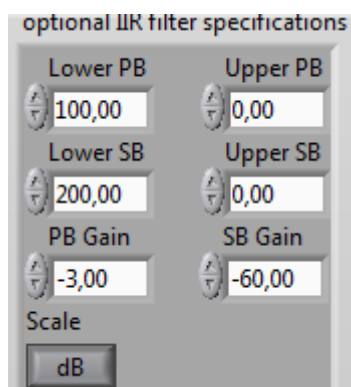


Рис. 19. Лицевая панель параметров полосы пропускания.

*signal out* - выход фильтра.

*filter information* – содержит информацию о величине и фазе фильтра, а также о порядке фильтра.

*magnitude  $H(w)$*  – это график величины фильтра.

$f_0$  - начальная частота фильтра.

$df$  - интервал между отчетами фильтра.

$Mag H(w)$  – это массив в котором содержатся величины фильтра.

*phase  $H(w)$*  – фаза фильтра.

$f_0$  - начальная частота фильтра.

$df$  - интервал между отчетами фильтра.

Phase  $H(w)$  – *это массив в котором содержатся фаза фильтра.*

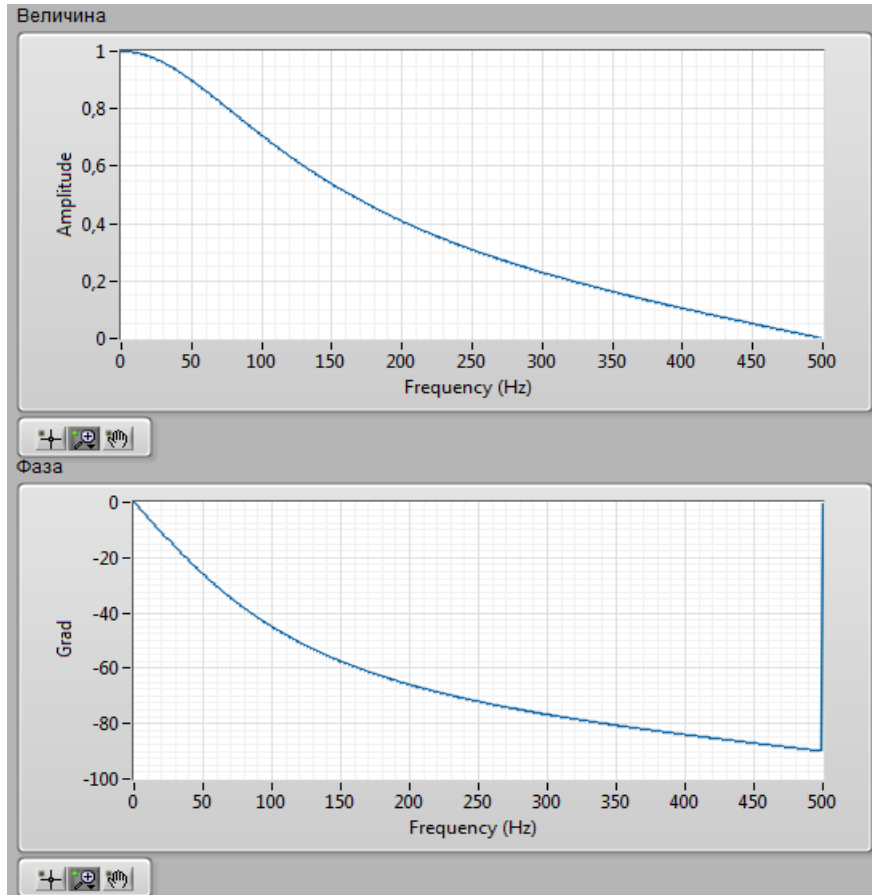


Рис. 20. Фаза и амплитуда фильтра Бесселя.

### Преобразование Фурье

В это блоке программы выполняется прямое и обратное быстрое преобразование Фурье входной последовательности  $X$  (в данной программе сигнала  $AV$ +шум).

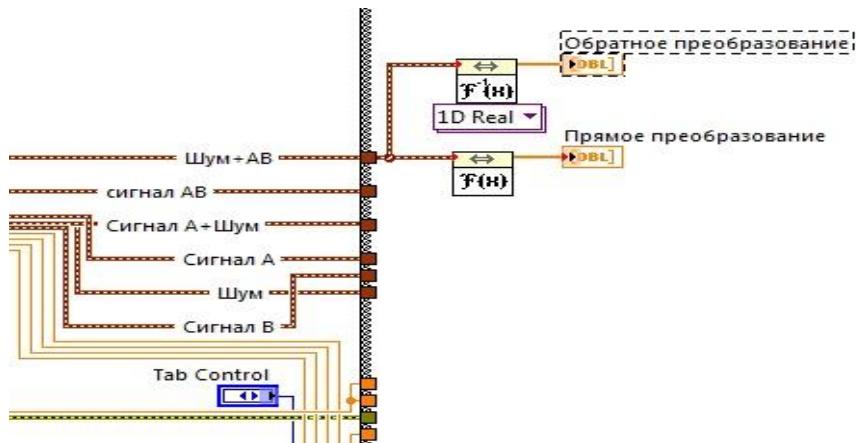


Рис. 21. Блок-диаграмма преобразования Фурье.

### Обратное Преобразование Фурье

Использование Обратного действительного одномерного и двумерного преобразования Фурье, возможно, только если преобразование Фурье  $\{X\}$  является преобразованием Фурье реального сигнала во временном интервале. Иначе используется Обратное комплексное одномерное и двумерное преобразование Фурье(FFT). Когда FFT  $\{X\}$  является преобразованием Фурье реального сигнала во временном интервале, FFT  $\{X\}$  становится центросимметричным, и Обратное 1D и 2D Реальное FFT, используют только предшествующую часть FFT  $\{X\}$ .

Следующие формулы показывают сопрягаемое центросимметричное свойство FFT  $\{X\}$ , когда FFT  $\{X\}$  является преобразованием Фурье реального сигнала во временном интервале и shift? ВЫКЛ.

Когда FFT  $\{X\}$  является преобразованием Фурье 1D реального сигнала с длиной  $N$ , следующая половина части FFT  $\{X\}$  может быть создана первой половиной. Центросимметричное отношение между предшествующей и следующей половиной части может быть записано в виде:

$$f_{N-i} = f_i^*, \quad i = 1, 2, \dots, \left\lfloor \frac{N}{2} \right\rfloor,$$

где  $f_i$  – элемент в FFT  $\{X\}$ .

Обратное преобразование FFT используется только первая половина, от  $f_0$  до  $f_{\lfloor \frac{M}{2} \rfloor}$  для выполнения обратного реального FFT, где  $\lfloor \cdot \rfloor$  является конечной операцией.

Когда FFT  $\{X\}$  это преобразование Фурье 2D реального временного сигнала с  $M$  строками и  $N$  столбцами, то нижняя часть FFT  $\{X\}$  может быть сделана из его верхней части. Центросимметричное отношение между верхней и нижней части FFT  $\{X\}$  может быть записано в виде:

$$\begin{cases} f_{M-i,j} = f_{i,N-j}^* & i = 1, 2, \dots, \lfloor \frac{M}{2} \rfloor, \quad j = 1, 2, \dots, N-1 \\ f_{M-i,j} = f_{i,j}^* & i = 1, 2, \dots, \lfloor \frac{M}{2} \rfloor, \quad j = 0 \end{cases}$$

где  $f_{i,j}$  – это элемент в FFT  $\{X\}$ .

Двух мерное обратное FFT использует только верхнюю часть, от  $f_{0,0}$  до  $f_{\lfloor \frac{M}{2} \rfloor, N-1}$  для выполнения 2D обратного реального FFT, где  $\lfloor \cdot \rfloor$  является конечной операцией.

Эта программа вычисляет обратное дискретное преобразование Фурье (IDFT) векторного или матричного FFT  $\{X\}$  с помощью быстрого преобразования Фурье. shift? Определяет является ли FFT  $\{X\}$  DC-центрируемым FFT.

Для 1D,  $N$ -выбора, последовательной частотной области  $Y$ , IDFT определен как:

$$X_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} Y_k e^{j2\pi kn/N}$$

для  $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$ .

для 2D,  $M, N$  массивом частотной области  $Y$ , IDFT определен как:

$$x(m,n) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} Y(u,v) e^{j2\pi mu/M} e^{j2\pi nv/N}$$

для  $m = 0, 1, \dots, M-1, n=0, 1, \dots, N-1$ .

## Прямое Преобразование Фурье

### 1D FFT

Для 1D сигнала, FFT вычисляется дискретное преобразование Фурье (DFT) для входной последовательности с помощью быстрого преобразования Фурье. 1D DFT определен как:

$$Y_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j2\pi kn/N}$$

для  $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$ ,

где  $x$  это входная последовательность,  $N$  – число элементов  $x$ , и  $Y$  результат преобразования.

Разрешающая способность по частоте, или разнесение по частоте между компонентами  $Y$ , это:

$$\Delta f = \frac{f_s}{N}$$

где  $f_s$  - частота дискретизации.

Следующая таблица показывает образец элементов  $FFT \{X\}$  для  $FFT$  **различных размеров и значений сдвига**, где  $Y$  это  $FFT \{X\}$  и  $n$  это размер  $FFT$ :



|                                   | $n$ is even ( $k = n/2$ ) |                               | $n$ is odd ( $k = (n-1)/2$ ) |                         |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------|
|                                   | Array Element             | Corresponding Frequency       | Array Element                | Corresponding Frequency |
| <b>shift = FALSE</b><br>(default) | $Y_0$                     | DC component                  | $Y_0$                        | DC component            |
|                                   | $Y_1$                     | $\Delta f$                    | $Y_1$                        | $\Delta f$              |
|                                   | $Y_2$                     | $2\Delta f$                   | $Y_2$                        | $2\Delta f$             |
|                                   | $Y_3$                     | $3\Delta f$                   | $Y_3$                        | $3\Delta f$             |
|                                   | .                         | .                             | .                            | .                       |
|                                   | .                         | .                             | .                            | .                       |
|                                   | .                         | .                             | .                            | .                       |
|                                   | $Y_{k-2}$                 | $(k-2)\Delta f$               | $Y_{k-2}$                    | $(k-2)\Delta f$         |
|                                   | $Y_{k-1}$                 | $(k-1)\Delta f$               | $Y_{k-1}$                    | $(k-1)\Delta f$         |
|                                   | $Y_k$                     | Nyquist Frequency             | $Y_k$                        | $k\Delta f$             |
|                                   | $Y_{k+1}$                 | $-(k-1)\Delta f$              | $Y_{k+1}$                    | $-k\Delta f$            |
|                                   | $Y_{k+2}$                 | $-(k-2)\Delta f$              | $Y_{k+2}$                    | $-(k-1)\Delta f$        |
|                                   | .                         | .                             | .                            | .                       |
|                                   | .                         | .                             | .                            | .                       |
| $Y_{n-3}$                         | $-3\Delta f$              | $Y_{n-3}$                     | $-3\Delta f$                 |                         |
| $Y_{n-2}$                         | $-2\Delta f$              | $Y_{n-2}$                     | $-2\Delta f$                 |                         |
| $Y_{n-1}$                         | $-\Delta f$               | $Y_{n-1}$                     | $-\Delta f$                  |                         |
| <b>shift = TRUE</b>               | Array Element             | Corresponding Frequency       | Array Element                | Corresponding Frequency |
|                                   | $Y_0$                     | $-(\text{Nyquist Frequency})$ | $Y_0$                        | $-k\Delta f$            |
|                                   | $Y_1$                     | $-(k-1)\Delta f$              | $Y_1$                        | $-(k-1)\Delta f$        |
|                                   | $Y_2$                     | $-(k-2)\Delta f$              | $Y_2$                        | $-(k-2)\Delta f$        |
|                                   | $Y_3$                     | $-(k-3)\Delta f$              | $Y_3$                        | $-(k-3)\Delta f$        |
|                                   | .                         | .                             | .                            | .                       |
|                                   | .                         | .                             | .                            | .                       |
|                                   | .                         | .                             | .                            | .                       |
|                                   | $Y_{k-2}$                 | $-2\Delta f$                  | $Y_{k-2}$                    | $-2\Delta f$            |
|                                   | $Y_{k-1}$                 | $-\Delta f$                   | $Y_{k-1}$                    | $-\Delta f$             |
|                                   | $Y_k$                     | DC component                  | $Y_k$                        | DC component            |
|                                   | $Y_{k+1}$                 | $\Delta f$                    | $Y_{k+1}$                    | $\Delta f$              |
|                                   | $Y_{k+2}$                 | $2\Delta f$                   | $Y_{k+2}$                    | $2\Delta f$             |
|                                   | .                         | .                             | .                            | .                       |
| .                                 | .                         | .                             | .                            |                         |
| $Y_{n-3}$                         | $(k-3)\Delta f$           | $Y_{n-3}$                     | $(k-2)\Delta f$              |                         |
| $Y_{n-2}$                         | $(k-2)\Delta f$           | $Y_{n-2}$                     | $(k-1)\Delta f$              |                         |
| $Y_{n-1}$                         | $(k-1)\Delta f$           | $Y_{n-1}$                     | $k\Delta f$                  |                         |

## 2D FFT

Для 2D сигналов, FFT вычисляется дискретное преобразование Фурье (DFT) входной матрицы. Эта программа выполняет 1D FFT сначала на строках входной матрицы, затем на столбцах вывода предыдущей операции. DFT  $M, N$  матрицы определен как:

$$Y(u,v) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} x(m,n) e^{-j2\pi mu/M} e^{-j2\pi nv/N}$$

для  $u = 0, 1, \dots, M-1, v=0, 1, \dots, N-1$

где  $x$  – входная матрица и  $Y$  – результат преобразования.

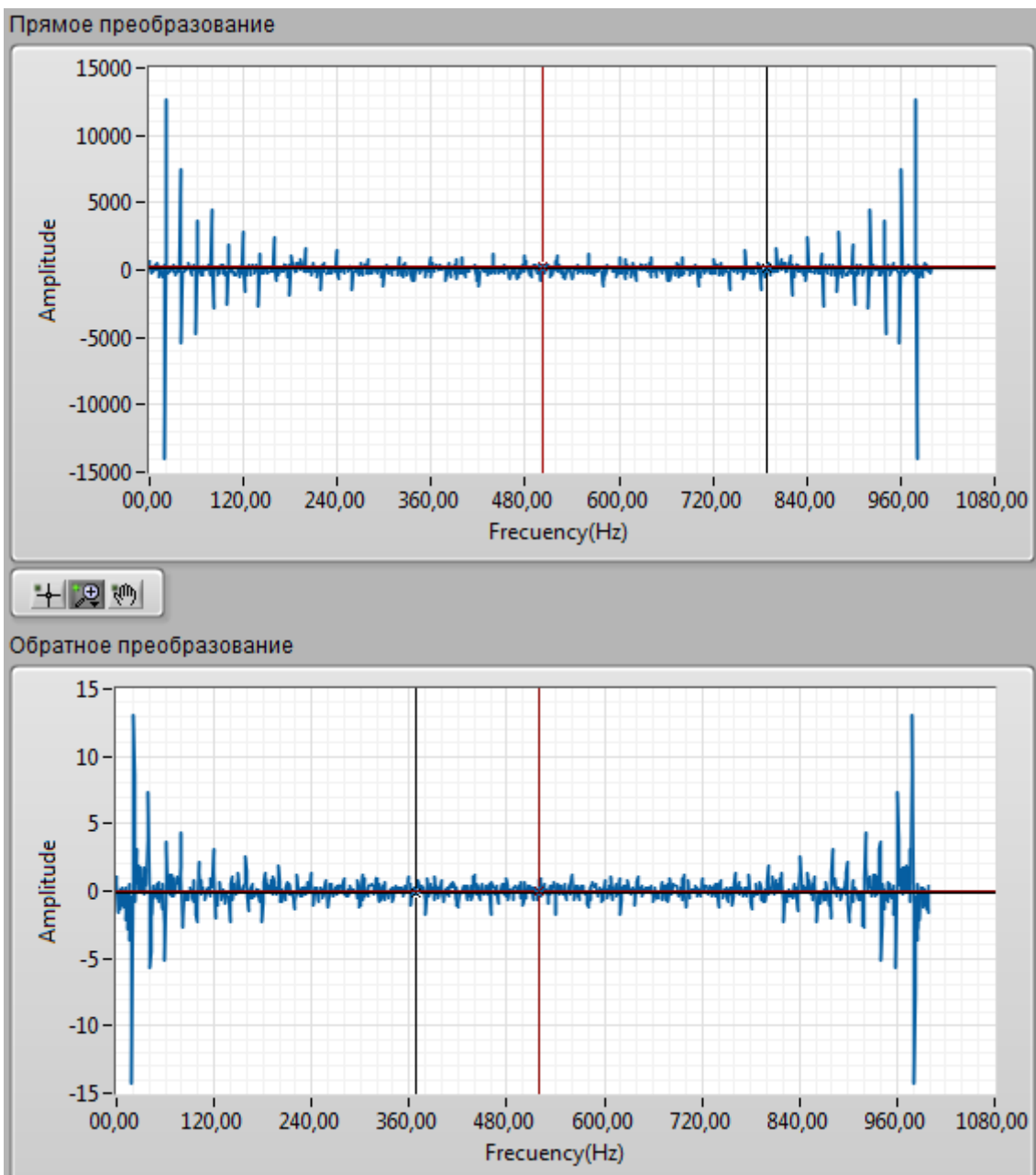


Рис. 22. Прямое и обратное преобразование Фурье(shift? – FALSE(выкл))

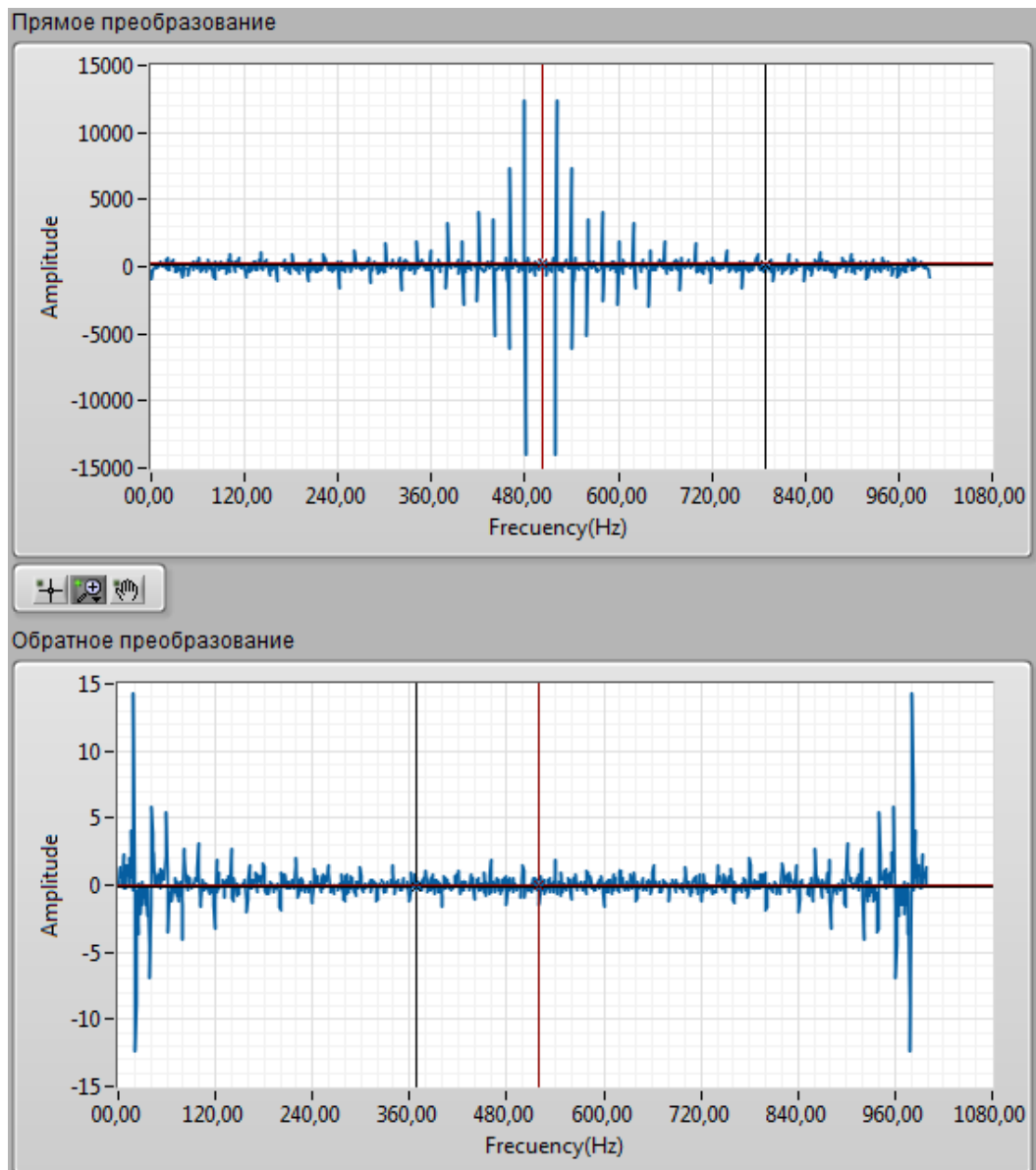


Рис. 23. Прямое и обратное преобразование Фурье(shift? – TRUE(вкл))

## Спектральный анализ и корреляция

В этом блоке находится корреляция и спектральный анализ входящего сигнала.

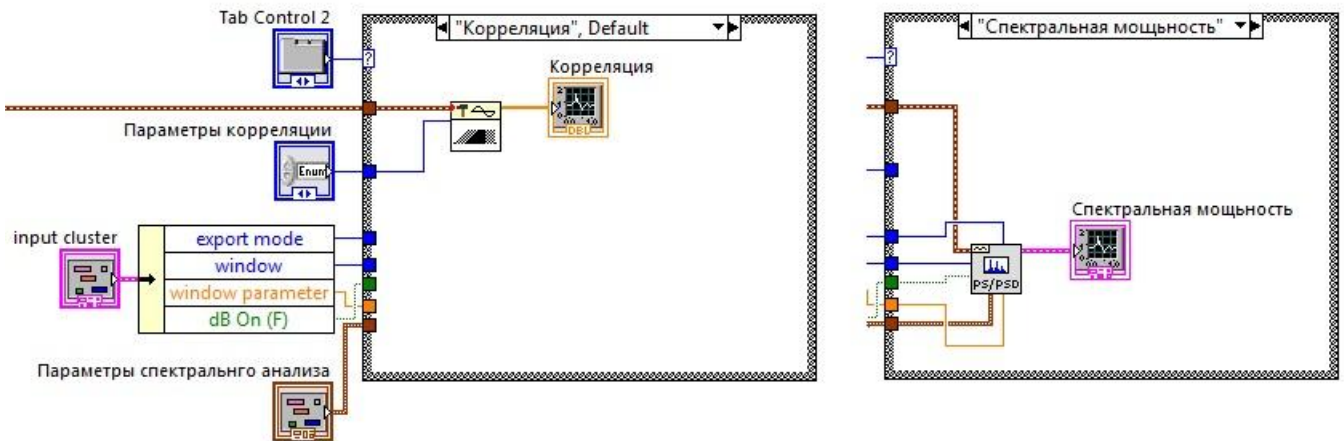


Рис. 24. Блок-диаграмма корреляции и спектрального анализа

### Спектральный анализ

*export mode* здесь выбирается тип спектрального анализа *Power Spectrum / PSD*.

0. Power Spectrum – спектральная мощность входящего сигнала.

1. Power Spectral Density(PSD) – спектральная плотность входящего сигнала.

*restart averaging* - определяет перезапуск программы. *restart averaging* ВКЛ, то программа перезапускает выбранный процесс усреднения. Если *restart averaging* ВЫКЛ, то программа не будет перезапускать этот процесс. По умолчанию - ВЫКЛ.

*time signal* – это временной интервал входящего сигнала.

*window* – в этом окне временного интервала применимое к времени сигнала. По умолчанию - Hanning.

0. *Rectangle*

1. *Hanning (default)*

2. *Hamming*

3. *Blackman-Harris*
4. *Exact Blackman*
5. *Blackman*
6. *Flat Top*
7. *4 Term B-Harris*
8. *7 Term B-Harris*
9. *Low Sidelobe*
10. *Blackman Nutall*
11. *Triangle*
12. *Bartlett-Hanning*
13. *Bohman*
14. *Parzen*
15. *Welch*
16. *Kaiser*
17. *Dolph-Chebyshev*
18. *Gaussian*

*dB On* отображение результата измерения в дБ. По умолчанию - ВЫКЛ.

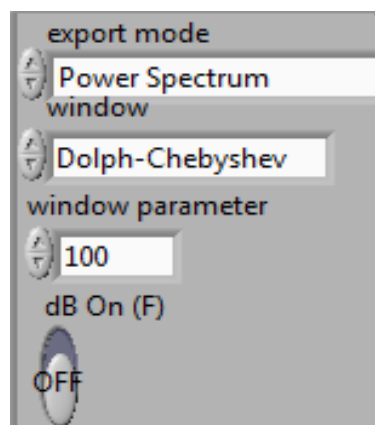


Рис. 25. Лицевая панель параметров спектрального анализа

*averaging parameters* – **это кластер** в котором определяется как программа вычисляет усреднение. В спецификацию параметров входят: тип усреднения, тип взвешивания, число средних чисел.

*averaging mode* спецификация типа усреднения(Усреднение обычно улучшает точность измерения. Усреднение обычно выполняется над полученными результатами или на индивидуальных спектрах, но не непосредственно на времени.)

0. *No averaging (default)* – без усреднения(по умолчанию)

1. *Vector averaging* – векторное усреднение - Вектор, состоящий из среднего, устраняет шум из синхронных сигналов. Вычисляет среднее число сложных значений. Действительная часть усреднена отдельно от мнимой части. Усреднение действительной части отдельно от мнимой части может уменьшить минимальный уровень шума для случайных сигналов, потому что случайные сигналы не когерентны фазе от одной записи времени до следующей.

2. *RMS averaging* – усреднение по корню среднего квадрата. - RMS составляющая в уменьшает сигнальные колебания, но не минимальный уровень шума. Минимальный уровень шума не уменьшается, потому что усреднение по RMS составляет энергию или питание, сигнала. RMS также, присваивает усредненным значениям RMS одноканальных измерений нулевую фазу. RMS для двухканальных измерений, сохраняет важную фазовую информацию.

3. *Peak hold* – хранение пиковых значений - Пиковое хранение, сохраняет пиковые уровни усредненных значений, выполняется в каждой строке частоты отдельно, сохраняя пиковые уровни от одной записи FFT до следующего.

*weighting mode* – определяет режим взвешивания для RMS и линейного усреднения.

0. *Linear* – линейное взвешивание - Линейное взвешивание комбинирует спектральные записи N с равным взвешиванием.

1. *Exponential (default)* – экспоненциальное взвешивание - Экспоненциальное взвешивание выделяет новые спектральные составляющие больше, чем старые данные, это непрерывный процесс.

*number of averages* определяет число средних, используемых для RMS и векторного усреднения. Если *weighting mode* - экспоненциальный, то процесс

усреднения бесконечный. Если *weighting mode* - *линейный*, то процесс усреднения останавливается и программа выбирает число средних.

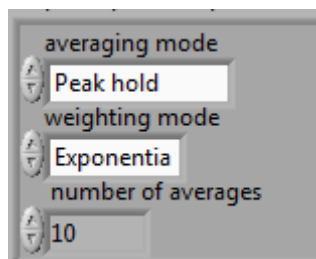


Рис. 26. Лицевая панель параметров усреднения

*window parameter* определяет бета параметр для окна Kaiser, стандартное отклонение для окна Gaussian и отношение, *s*, основного лепестка, к лепестку стороны для окна Dolph-Chebyshev. Если стоит, какое либо другое значение то программа игнорирует этот параметр.

По умолчанию стоит NaN, когда выбрано окно Kaiser то бета параметр становится равным 0, если выбрано окно Gaussian то параметр стандартного отклонения становится равным 0.2, и для окна Dolph-Chebyshev отношение  $s = 60$ .

*Power Spectrum /PSD* - возвращает усредненную кривую спектральной мощности или спектральную плотность мощности и шкалу частот, согласно режиму экспорта .

*f0* - возврат начальной частоты(в Гц).

*df* - возврат частоты разрешения спектра(в Гц).

*Magnitude* - величина усредненной кривой спектральной мощности или спектральной плотности мощности. Если входной сигнал в вольтах (*V*), то величина следующих значений измеряется в: вольт в квадрате ( $V_{rms}^2$ ) для энергетического спектра и RMS, вольт в квадрате на герц ( $V_{rms}^2/Hz$ ) для спектральной плотности мощности. Если входной сигнал не в вольтах, то величины это есть модули RMS, в квадрате для энергетического спектра , в квадрате на герц для спектральной плотности мощности.

## Детали спектральной мощности FFT и PSD

Для нахождения спектральной мощности FFT или спектральной плотности мощности программа выполняет следующие шаги:

вычисление FFT времени сигнала.

Формирование кривой спектральной мощности или спектральной плотности мощности времени сигнала.

Составление текущего спектра мощности/спектральной плотности мощности с предыдущим спектром мощности/спектральной плотности мощности вычисленных в предыдущий раз(когда процесс был перезапущен).

Получение средней спектральной мощности или спектральной плотности в *Power Spectrum/PSD*.

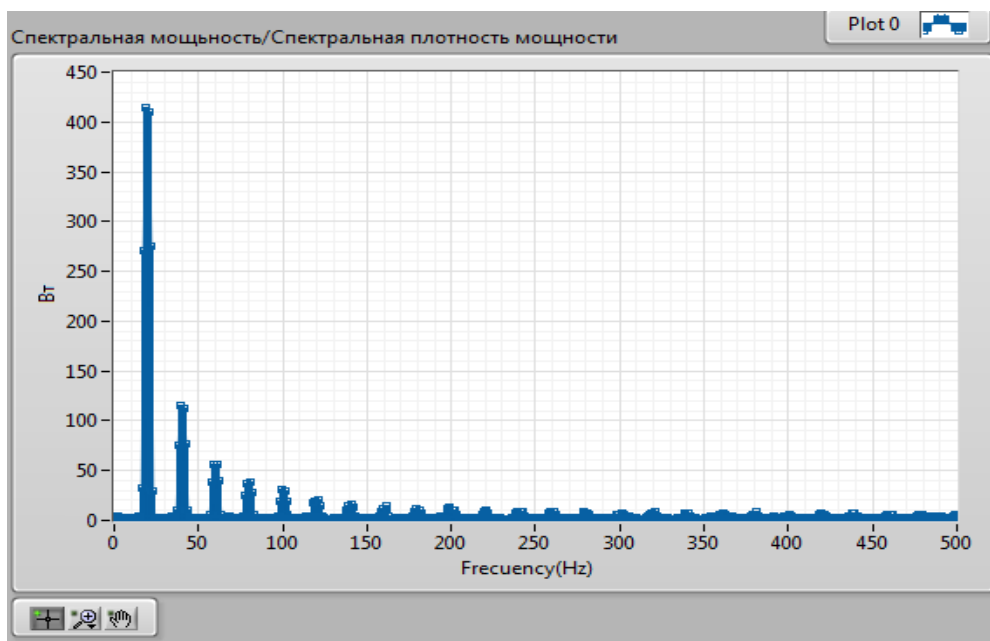


Рис. 27. Энергетический спектр



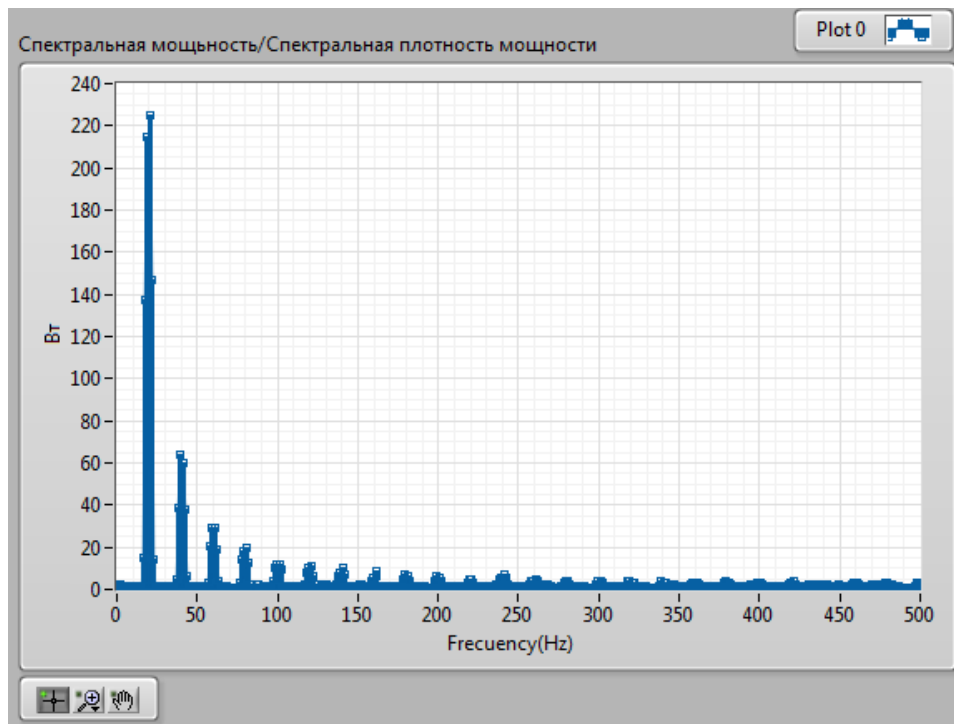


Рис. 28. Энергетический спектр

## Корреляция

Вычисляет автокорреляцию входной последовательности X.

Автокорреляция  $R_{xx}(t)$  функции  $x(t)$  определяется как:

$$R_{xx}(t) = x(t) \otimes x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x^*(\tau) x(t + \tau) d\tau$$

символ  $\otimes$  обозначает корреляцию.

Для дискретной реализации автокорреляции, Y представляется в виде последовательности, индексация которой может быть отрицательной, N является числом элементов на входе упорядочивают X и предполагаются, что индексированные элементы X, которые лежат вне его диапазона, равны нулю, как показано в следующем отношении:

$$x_j = 0, j < 0 \text{ or } j \geq N$$

Когда автокорреляция получает элементы Y полученные по следующей формуле:

$$y_j = \sum_{k=0}^{N-1} x_k^* \cdot x_{j+k}$$

для  $j = -(N-1), -(N-2), \dots, -1, 0, 1, \dots, (N-2), (N-1)$

Элементы входной последовательности  $R_{xx}$  связаны с элементами  $Y$  по :

$$R_{xx_i} = y_{i-(N-1)}$$

для  $i = 0, 1, 2, \dots, 2N-2$

Причем, число элементов в выходной последовательности  $R_{xx}$  является  $2N-1$ . Поскольку не можете использовать отрицательные числа, чтобы индексировать массивы LabVIEW, соответствующее значение корреляции в  $t = 0$  является  $n$ -ым элементом выходной последовательности  $R_{xx}$ . Поэтому,  $R_{xx}$  представляет значения корреляции как сдвиги индекса  $N$  во времени.

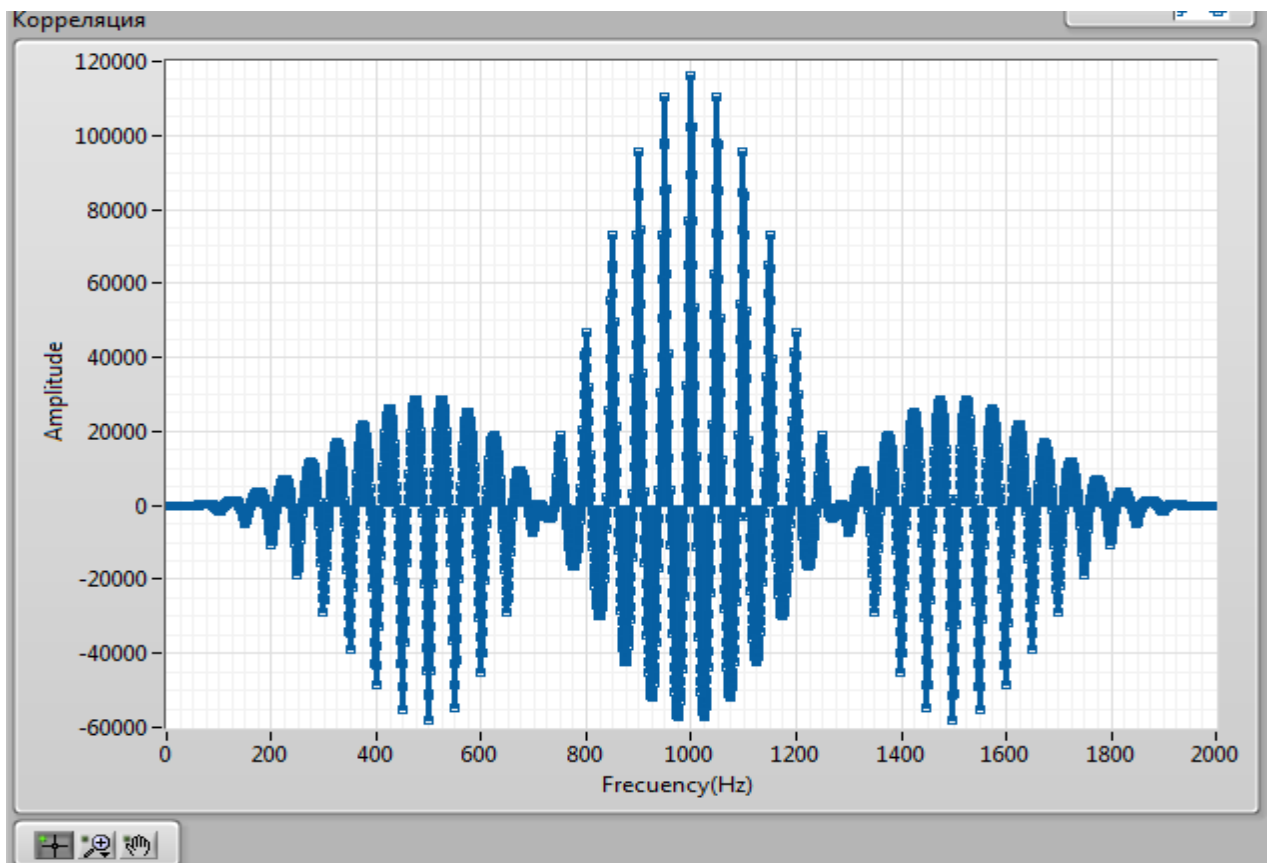
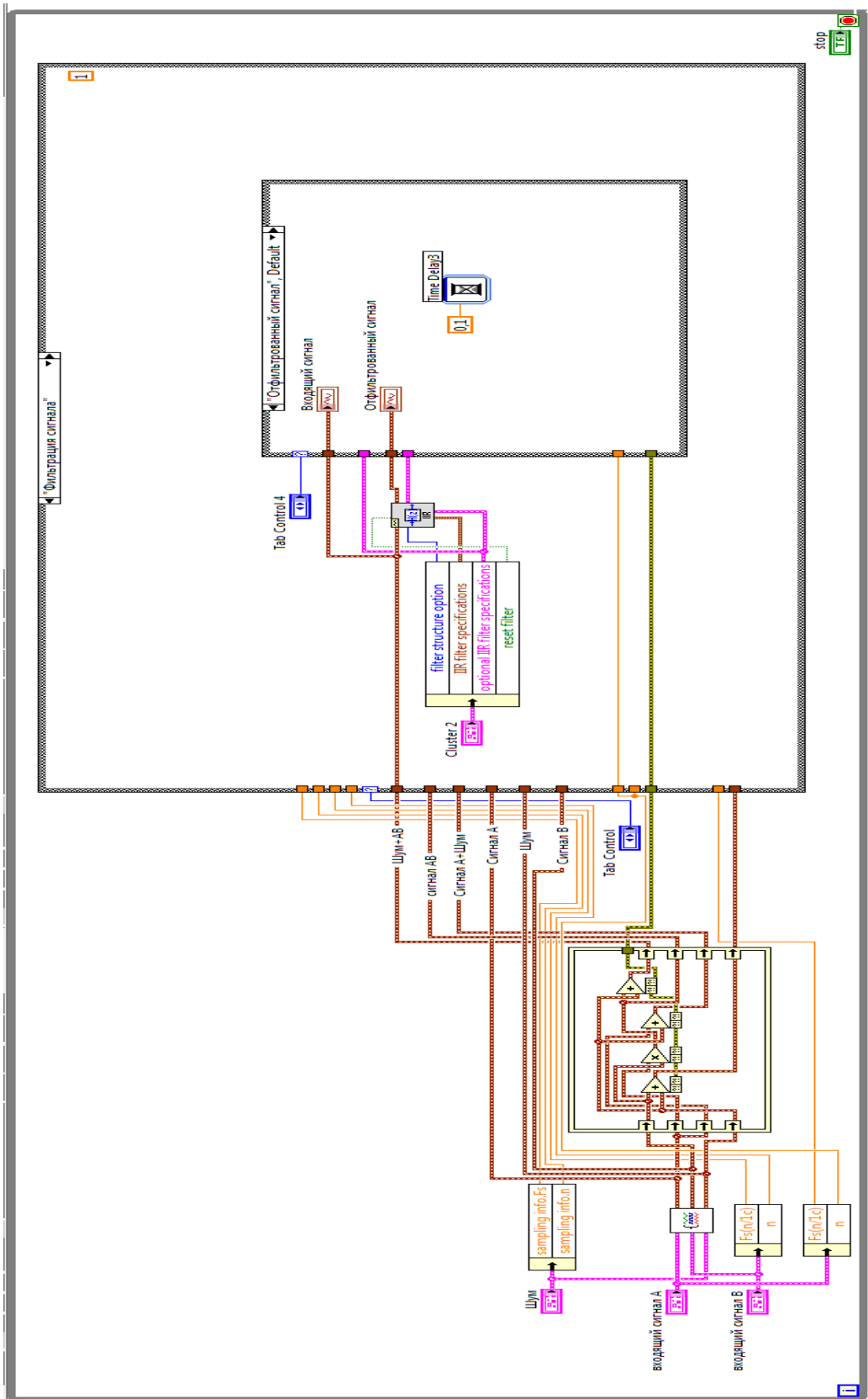


Рис. 29.Автокорреляция сигнала АВ+шум

#### **4.Рекомендуемая литература**

1. Евдокимов Ю.К., Линдваль А.Р., Щербаков Г.И. LabVIEW для радиоинженера. От виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW. – М.: ДМК «Пресс», 2007. – 400 с.
2. Федосов В. П., Нестеренко А. К. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW: учеб. пособие / под ред. В. П. Федосова. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 456 с.
3. <http://Labview.ru>

# ПРИЛОЖЕНИЕ А (Блок-диаграмма программы)



# ПРИЛОЖЕНИЕ Б (Лицевая панель макета)

**STOP**

Входящий сигнал

Фильтрация сигнала

Преобразование Фурье

Спектральный анализ

Дискретизация

Статистическая обработка

Входящий сигнал А

Тип сигнала: Sine Wave

Амплитуда: 1000

frequency: 350

Fs(n/1c): 1.00k

n: 1000

offset: 0.00

Входящий сигнал В

Тип сигнала: Sawtooth

Амплитуда: 1000

frequency: 350

Fs(n/1c): 1.00k

n: 1000

offset: 0.00

Сигнал А

Amplitude

Time

Сигнал В

Amplitude

Time

Сигнал АВ

Amplitude

Frequency(Hz)

Plot 0

## **Лабораторная работа 3. Система измерения и обработки результатов на базе виртуальных приборов (генератор, осциллограф – анализатор спектра)**

### **1. Цель работы**

Система обработки построена на основе комбинированного прибора АСК-4106 который может использоваться в качестве универсального измерительного комплекса. Совмещая под единым управлением компьютерной программы источник испытательных сигналов и прибор для их измерения, АСК-4106 позволяет в автоматическом режиме измерять амплитудно-частотные, амплитудные, фазо-частотные и переходные характеристики испытываемого устройства. Что позволяет нам создать аппаратно - программное средство защиты информации в сетях и системах радиосвязи дающего возможность заниматься обработкой результатов измерения характеристик радиочастотных модулей на базе виртуального прибора.

### **2. Краткие теоретические сведения**



Прибор комбинированный АСК-4106 (далее — прибор) сочетает возможности осциллографа двухканального цифрового запоминающего и генератора сигналов произвольной формы двухканального цифрового. Прибор работает совместно с компьютером по интерфейсам USB 1.1 или LPT в режиме EPP.

## **Назначение.**

Прибор состоит из двух функциональных модулей: модуля двухканального цифрового запоминающего осциллографа и модуля генератора сигналов произвольной формы. Модуль двухканального цифрового запоминающего осциллографа предназначен для изучения сигналов от внешних устройств, их отображения на мониторе компьютера, измерения параметров сигналов и математической обработки с помощью программного обеспечения.

Модуль генератора предназначен для выдачи сигналов произвольной формы, включая стандартные, а также задаваемые пользователем с помощью математических выражений или графически.

Модули могут работать как независимо друг от друга, так и совместно под управлением соответствующего программного обеспечения.

Прибор применяется для наладки, ремонта, лабораторных исследований и испытаний приборов и систем, используемых в радиоэлектронике, связи, автоматике, вычислительной и измерительной технике, приборостроении.

## **Технические характеристики.**

### **Осциллограф.**

|   |                          |
|---|--------------------------|
| Количество каналов с независимым АЦП                                  | 2 (все каналы идентичны) |
| Максимальная эквивалентная частота выборок в стробоскопическом режиме | 10 ГГц                   |
| Максимальная частота дискретизации                                    | 100 МГц                  |
| Максимальное число выборок на канал                                   | 131072                   |
| Число разрядов АЦП  | 8                        |
| Режимы каналов  | А, В, А и В              |
| Выбор режима работы осциллографа                                      | одно-,                   |

|                                    |               |
|------------------------------------|---------------|
|                                    | двухканальный |
| Число отображаемых точек на экране | 100...131072  |
| Тип интерфейса ПЭВМ                | LPT, USB 1.1  |
| Тип входных разъемов               | BNC (CP-50)   |
| Ширина линии графика               | 1 пиксель     |

### Система вертикального отклонения.

|  |   |
|--|---|
| <p>Диапазон частот входных сигналов по уровню <math>-3</math> дБ на пределах:<br/> 20 мВ/дел. ... 1 В/дел.<br/> 2 В/дел. ... 10 В/дел.</p> | <p>не менее 100 МГц<br/> не менее 70 МГц</p>  |
| <p>Диапазон значений коэффициента отклонения при сопротивлении входа:<br/> 1 МОм<br/> 50 Ом</p>  | <p>от 20 мВ/дел. до 10 В/дел. с шагом 1–2–5<br/> от 20 мВ/дел. до 1 В/дел.</p>                  |
| <p>Пределы допускаемой основной относительной погрешности коэффициентов отклонения</p>   | <p><math>\pm 2,5\%</math></p>   |
| <p>Дополнительные значения коэффициента отклонения</p>   | <p>2 мВ/дел., 5 мВ/дел., 10 мВ/дел.</p>   |
| <p>Разрешение</p>  | <p>8 бит (256 точек на шкалу)</p>   |
| <p>Коэффициент развязки между каналами</p>   | <p>не менее <math>-40</math> дБ во всем частотном диапазоне</p>                                 |
| <p>Входной импеданс</p>  | <p>1 МОм <math>\pm 5\%</math>, 20 пФ <math>\pm 5</math> пФ;<br/> 50 Ом <math>\pm 2\%</math></p> |



## Синхронизация.

|   |  |
|---|--|
| Источник синхронизации  | каналы А, В, внешний вход  |
| Выбор фронта синхронизирующего сигнала  | передний или задний фронт  |
| Максимальная частота  | не меньше верхней границы полосы пропускания   |
| <b>Внутренняя синхронизация:</b>  |  |
| Минимальный размах синусоидального сигнала  | не более 1 клетки масштабной сетки в диапазоне частот до 40 МГц  |
| Параметры сигнала для запуска внешних устройств (разъём «СИНХРОНИЗАЦИЯ ВХОД/ВЫХОД») | Перепад от 0 В до 3 В в момент запуска синхронизации. В конце регистрации перепад от 3 В до 0 В на нагрузке не менее 1 кОм |
| <b>Внешняя синхронизация:</b>   |  |
| Минимальный период повторения синхронизирующего импульса                            | 20 нс  |
| Минимальная длительность синхронизирующего импульса                                 | 10 нс  |
| Уровень напряжения на входе внешней синхронизации                                   | TTL-уровень  |
| Предельные значения напряжения на входе   | от -1 В до +6 В  |
| Активное входное сопротивление  | не менее 50 кОм  |
| Входная емкость   | не более 20 пФ   |

### Система горизонтального отклонения.

|   |  |
|---|--|
| Диапазон значений коэффициента развертки<br>(при установке 1000 выборок на экран) | 10 нс/дел. ... 0,1 с/дел.  |
| Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности коэффициентов развертки       | $\pm(0,001 \cdot T + 10^{-9} \text{ с})$ , где $T$ — длительность развертки, $T = K_{\text{разв}} \cdot 10 \text{ дел.}$ , $K_{\text{разв}}$ — коэффициент развертки |
| Дополнительные значения коэффициента развертки в режиме самописца                 | от 1 мс/дел. до 100 ч/дел.   |

### Калибратор.

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Выходной сигнал           | прямоугольный, со скважностью 2               |
| Частота выходного сигнала | 1 кГц   |
| Выходное напряжение       | 3 В от пика до пика                           |
| Выходное сопротивление    | $(150 \pm 50) \text{ Ом}$                     |
| Выходной разъем           | BNC, совмещен со входом внешней синхронизации |

### Генератор.

Количество выходных каналов: 2

Диапазон частот выходного сигнала: от 0,1 Гц до 10 МГц.

Частота сигнала, воспроизводимая генератором, определяется его тактовой частотой и длиной сигнала по формуле:

$f = f_T / N$ , где:  $f$  — частота сигнала;  $f_T$  — тактовая частота генератора, может быть установлена в одно из 16 значений: максимальное — 80 МГц, каждое

последующее — в 2 раза меньше — 40 МГц, 20 МГц, 10 МГц и т. д. до 2,441 кГц; N — длина сигнала: любое четное целое число выборок в диапазоне от 8 до 131000.

Основная относительная погрешность воспроизведения частоты не превышает  $\pm 0,05\%$ .

Дополнительная погрешность воспроизведения частоты, вызванная изменением температуры в пределах рабочей области температур не превышает 0,05% на каждые 10°C изменения температуры.

Максимальный размах выходного напряжения:

на нагрузке 1 МОм  $\pm 2,5$  В

на нагрузке 50 Ом  $\pm 1,25$  В

Шаг дискретной установки выходного напряжения:

на нагрузке 1 МОм не более 1,5 мВ

на нагрузке 50 Ом не более 1,0 мВ

Неравномерность уровня выходного синусоидального напряжения в диапазоне частот относительно уровня на частоте 1 кГц не превышает  $\pm 1$  дБ.

Длительность фронта и среза (каждого в отдельности) прямоугольного сигнала не превышает 20 нс.

### **Общие характеристики.**

Прибор предназначен для работы с компьютером по интерфейсам USB 1.1 или LPT в режиме EPP.

Питание: 220 В  $\pm 10\%$ , 50 Гц

Потребляемая мощность: не более 20 Вт

Время непрерывной работы: не менее 8 ч

Время установления рабочего режима: не более 15 мин

Срок службы прибора: не менее 6 лет

Электрическая прочность изоляции между входом сетевого разъема и корпусом прибора выдерживает без пробоя испытательное напряжение частотой 50 Гц и эффективным значением 1,5 кВ в нормальных условиях, в течение не менее 2 с.

Электрическое сопротивление изоляции цепи питания относительно корпуса прибора не менее 50 МОм при испытательном напряжении 1000 В.

Электрическое сопротивление защитного заземления между зажимом защитного заземления и всеми доступными токопроводящими частями, соединенными с зажимом защитного заземления, не более 0,5 Ом.

Рабочие условия эксплуатации:

температура +5...+40 °С

относительная влажность воздуха не более 80 % при 25 °С

атмосферное давление от 630 до 800 мм рт. ст.

Условия хранения:

температура –30...+50 °С

относительная влажность воздуха 30...80 %

Габаритные размеры (ширина x высота x глубина) 260x70x210 мм

Масса не более 2,0 кг

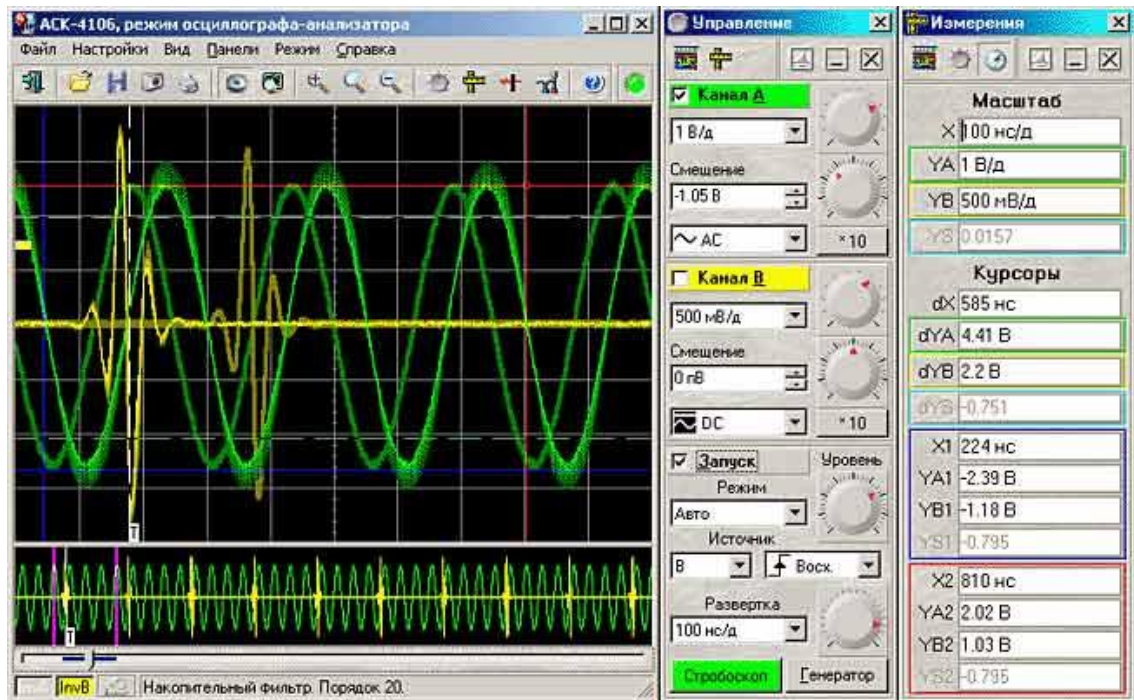
### **Модуль осциллографа.**

Главная панель:

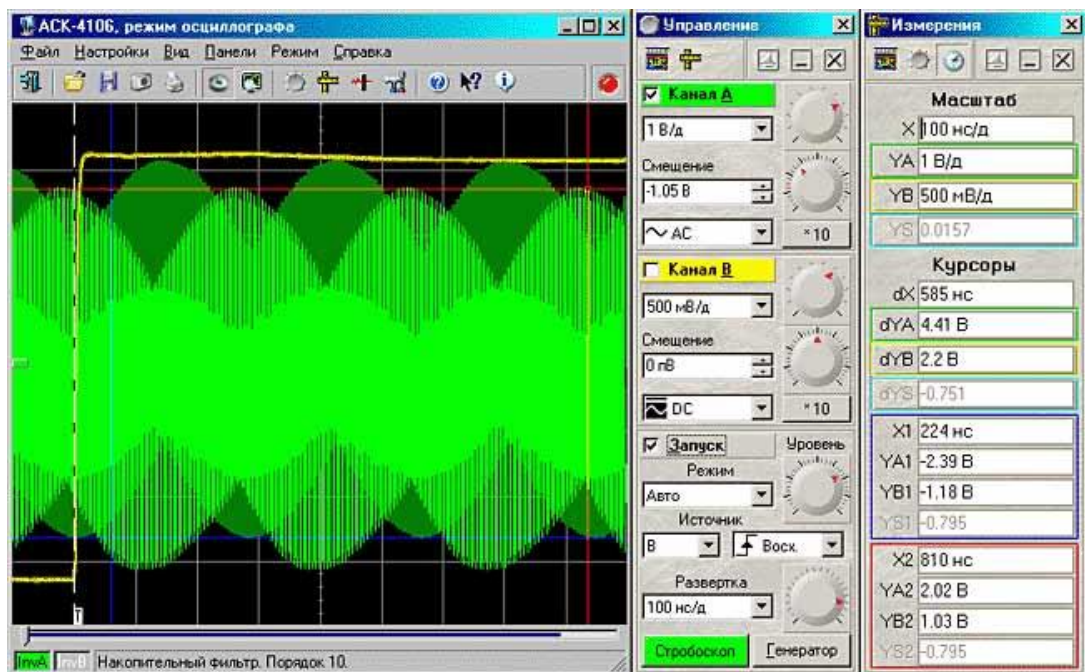
Комбинированный прибор АСК-4106 имеет понятный и удобный интерфейс, который может настраиваться пользователем. Например, пользователь может выбрать внешний вид и цветовое оформление панелей прибора, цветовую схему для осциллограмм, язык панелей (русский или английский), включить и записать свой вариант звукового сопровождения событий и др.

К услугам пользователя — всплывающие подсказки, «прилипающие» панели (прилипшие панели располагаются вплотную друг к другу и перемещаются совместно, как одно окно).

Каждый режим работы комбинированного прибора выполнен в виде отдельного окна, которые пользователь может располагать в удобном для себя участке экрана монитора.



Для стандартной программы:



### Основной график.

Является главным средством отображения результатов измерений. Содержит изображения измеренных сигналов, дополнительных кривых, меток, курсоров и т. д. Подробное описание элементов графика и операций с ним см. в разделе «Индикация принятых сигналов».

По левому краю основного графика может перемещаться ползунок, обозначающий уровень запуска канала А или В.

Если включен режим цифрового вольтметра (см. «Цифровой вольтметр»), то поверх графика отображается панель, отображающая результаты измерения среднеквадратической, амплитудной и средней величин сигналов по обоим каналам. Аналогично, если включен режим определения фазового сдвига (см. «Вычисление фазового сдвига»), то поверх графика отображается панель с результатом определения фазового сдвига. Вы можете свободно передвигать эти панели мышью в любое место главной панели или даже совсем вынести их за пределы родительской панели: в этом случае они будут отображаться как отдельное окно.

### **Обзорный график**

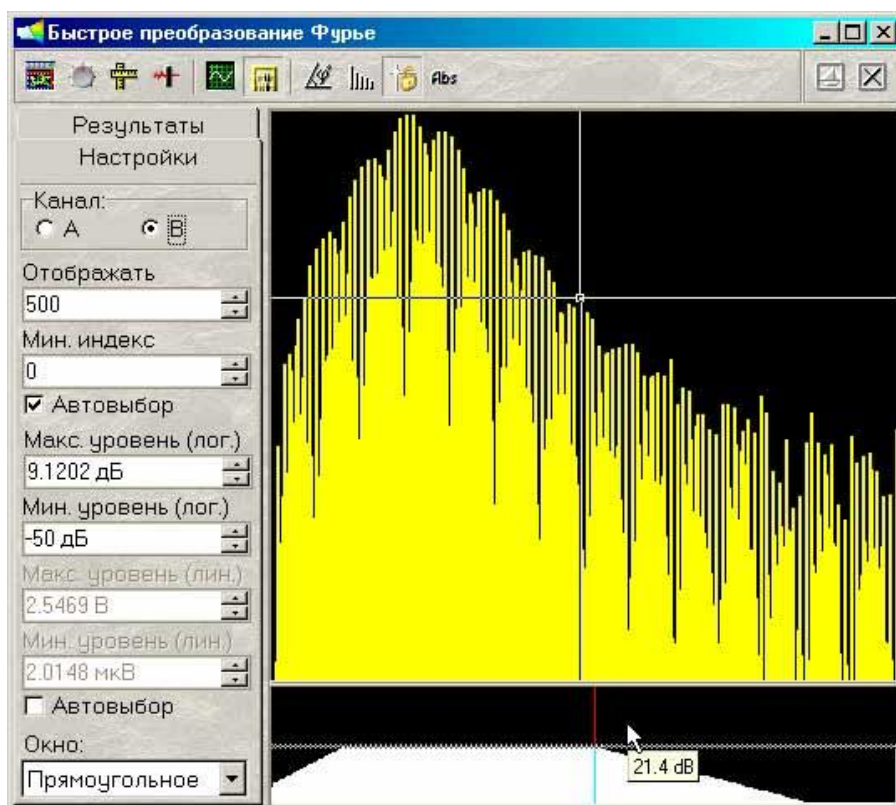
Запоминающий осциллограф оснащен аппаратным буфером на 128 килобайт по каждому каналу. График длиной более чем в 130000 точек, изображенный даже на полном экране монитора с разрешением по горизонтали в 800 точек, будет весьма приблизительным. Поэтому на основной график обычно выводится только небольшая часть записанного сигнала. Для того, чтобы оператор мог иметь общее представление о характере информации полного буфера и выбрать нужную часть для подробного отображения, служит обзорный график в нижней части панели. Вы можете изменить размер или совсем убрать обзорный график, передвигая мышью вверх или вниз границу между основным и обзорным графиками.

Как с помощью курсоров обзорного графика и элемента прокрутки выбирать нужную часть сигнала для подробного просмотра, Вы можете прочесть в разделе «Индикация принятых сигналов».

## Автоматическая настройка на сигнал

По этой команде программа будет пытаться автоматически подобрать оптимальные для поданного сигнала настройки прибора — горизонтальную и вертикальную развертку и уровень синхронизации.

## Спектральный анализ (Быстрое преобразование Фурье):



Программа позволяет провести спектральный анализ выделенного участка сигнала. Для этого используются алгоритмы прямого и обратного быстрого преобразования Фурье (БПФ).

В режиме БПФ пользователь может видеть:

Число точек дискретизации сигнала, по которым проводится преобразование.

Число точек для преобразования после передискретизации (ближайшее сверху число — степень двойки).

Передискретизация необходима для использования алгоритма быстрого преобразования.

Осн. частота — основная частота сигнала. Определяется по максимальному модулю коэффициентов разложения.

Коэфф. н. и. (%) — коэффициент нелинейных искажений в процентном выражении.

Частота — частота, соответствующая точке спектра, отмеченной курсором.

Уровень — уровень в точке спектра, отмеченной курсором, относительно максимума (принимается за 0 дБ).

Мощ. фильтра (%) — мощность фильтра в процентном выражении. Отношение мощности пропускаемых фильтром гармоник к полной мощности сигнала. Пользователь может установить число первых коэффициентов разложения, отображаемых на графике спектра. Это число не может быть больше половины базы.

График БПФ отображает спектр выбранного сигнала в логарифмической шкале «частота-амплитуда». По желанию пользователя может также отображаться фазо-частотная зависимость. Для измерений используется вертикальный курсор.

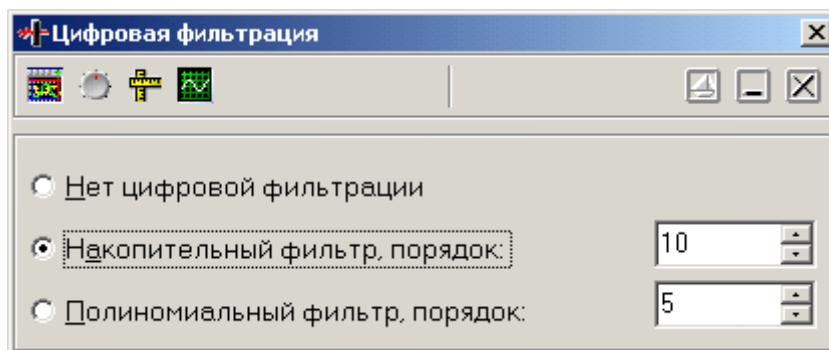
При включенном режиме преобразования Фурье Вы можете использовать возможность спектральной фильтрации сигнала. Суть его в том, что перед обратным преобразованием анализируемого сигнала Вы можете оставить в нем только те частоты, которые Вам нужны, и подавить нежелательные.

По желанию пользователя на графике может отображаться фазо-частотная зависимость.



## Цифровая фильтрация.

Для стандартной программы



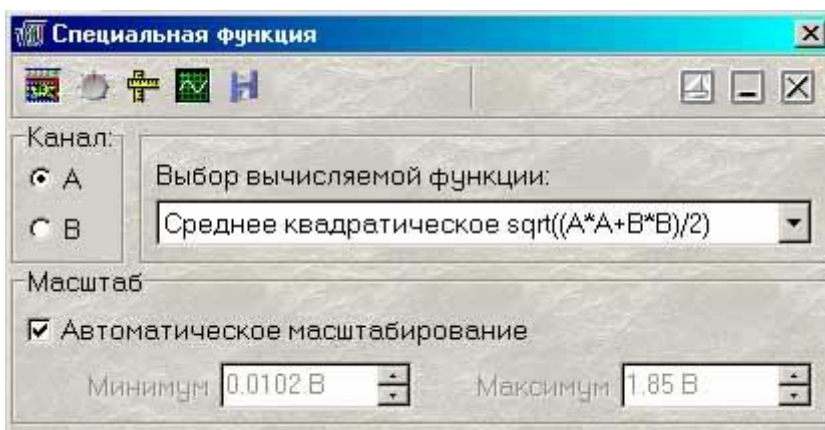
Кроме аппаратной фильтрации сигнала в цепях запуска, не влияющей на результаты оцифровки сигнала, система обладает возможностями цифровой фильтрации измеренного сигнала. Эти функции реализованы на программном уровне и действуют только на отображение уже собранных данных. Включить и выключить фильтрацию можно с помощью панели цифровой фильтрации.

Простейшую фильтрацию обеспечивает алгоритм накопительного фильтра. Для каждой точки времени отображается среднее за указанное количество сборов значение сигнала. Таким образом, подавляются случайные шумовые составляющие сигнала. Для каждой точки времени отображается среднее за указанное количество сборов значение сигнала. Количество точек для усреднения задается пользователем в диапазоне от 0 до 50.

Полиномиальный фильтр не требует повторных измерений. Используется быстрый алгоритм многопроходного биномиального сглаживания. Количество проходов задается пользователем в диапазоне от 0 до 50. Резкие броски сигнала «размазываются» по ближним точкам, тем самым подавляются высокочастотные шумы. Может сильно исказить сигнал, имеющий «угловатую» форму. Включенный накопительный или полиномиальный фильтр действует на оба канала в выделенном временном диапазоне.

Большие возможности представляет использование спектрального фильтра. Для использования этой функции необходимо включить режим преобразования Фурье (см. раздел «Спектральный анализ»). В результате этого преобразования исследуемый сигнал представляется как суперпозиция гармонических колебаний с различными частотами, амплитудами и фазами. С помощью графических элементов панели Фурье-анализа пользователь может указать программе проводить обратное преобразование, предварительно усилив или ослабив указанные компоненты сигнала. Спектральный фильтр будет действовать только на тот канал, для которого проводится быстрое преобразование Фурье. Для того, чтобы указать программе участок сигнала, который необходимо подвергнуть обработке, обозначьте его начало и конец по временной шкале курсорами основного графика главной панели (о курсорах см. «Использование курсоров основного графического окна для измерений»). Как правило, для спектральной фильтрации периодического сигнала удобнее использовать участок, содержащий целое число периодов основной частоты. Программа позволяет сделать это автоматически простым двойным левым щелчком мыши на основной график (см. раздел «Определение импульсных параметров»).

### Математическая функция (Специальная обработка).



АСК-4106 имеет мощные математические средства для обработки собранных данных «на лету».

На основной график главной панели, помимо осциллограмм по обоим каналам можно выводить математические функции от них:

Сумма (разность, отношение, произведение) каналов А и В — Для каждой точки времени вычисляется указанная арифметическая операция между соответствующими значениями каналов А и В.

Среднее геометрическое каналов А и В — Для каждой точки времени вычисляется квадратный корень из произведения соответствующих значений каналов А и В.

Производная выбранного канала — Отображаются результаты дискретного дифференцирования выбранного канала.

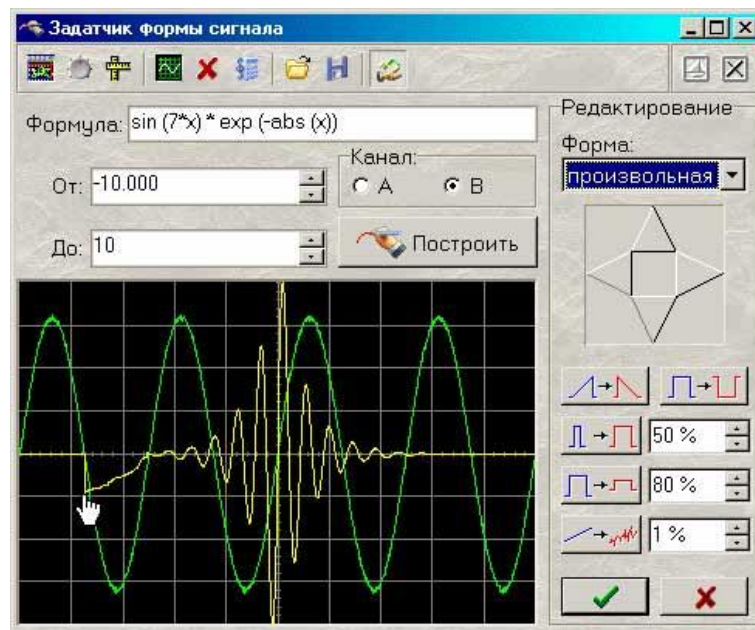
Интеграл выбранного канала — Вычисляется определенный интеграл для выбранного канала. В качестве аддитивной постоянной выбирается среднее значение сигнала в отображаемой области.

Интеграл произведения каналов — Вычисляется определенный интеграл для произведения каналов. В качестве аддитивной постоянной выбирается среднее значение произведения сигналов в отображаемой области.

Корреляция каналов А и В — Находит корреляцию массивов данных каналов А и В.

Передаточная функция канала А к В — Передаточная функция — отношение лапласовских изображений двух функций. В программе для вычисления передаточной функции используется преобразование Фурье, как частный случай преобразования Лапласа, т. к. результаты этих преобразований, в общем случае, являются комплексными, для отображения на графике используются модули результатов. Вывод осуществляется в логарифмической шкале.

## Эмуляция сигналов.



Для работы программы в отсутствии реального прибора (с тестовыми или учебными целями) можно воспользоваться функцией эмулятора сигналов. Программа будет работать так, как будто к ней подключен реальный осциллограф, на входы которого подается периодически повторяющийся заданный Вами сигнал.

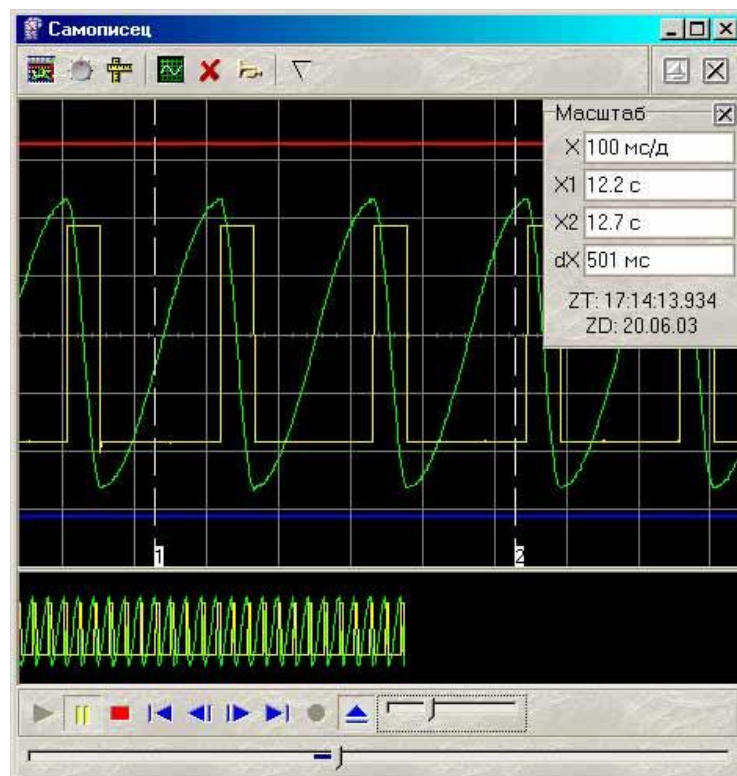
Пользователь может:

Выбрать один из стандартных сигналов из выпадающего списка «Предопределенные формы».

Задать сигнал в виде математической формулы в строке «Функция».

Просто нарисовать нужную форму мышкой на графике.

## Режим самописца



Режим самописца качественно отличается от обычных режимов осциллографа тем, что чтение данных из прибора и их отображение производится в реальном времени, без остановки процесса измерений. Чтобы при этом не терялись возможности обработки данных на основном графике главной панели, введена отдельная панель самописца с «лентопротяжными» графиками. Данные в эти графики выводятся непрерывно по мере поступления новых данных.

Основной график самописца — немасштабируемый графический элемент «лентопротяжного» типа. Отображает десятую часть полного буфера данных прибора (т. е. 6553 выборки) с частотой 1 из 10 точек. Обзорный график самописца — немасштабируемый графический элемент «лентопротяжного» типа. Отображает полный буфер данных прибора (т. е. 131071 выборки) с частотой 1 из 100 точек.

При этом можно скопировать накопленные в полном буфере данные для обработки в основной и обзорный графики главной панели. После копирования данных самописца их обработка ничем не отличается от измерений в обычных режимах.

В режиме самописца пользователь может:

Загрузить записанный ранее файл данных (восстанавливаются также сохраненные настройки прибора — диапазоны, развертка и т. д.).

Сохранить данные и текущие настройки прибора в файл. Во всех режимах, кроме режима самописца, сохраняется текстовый файл в формате «CSV», в который записываются последние снятые данные. В режиме самописца создается двоичный файл, в который производится постоянное дописывание новых данных.

Запустить /остановить просмотра загруженного файла данных самописца.

С помощью ползункового регулятора перемещаться по загруженному файлу данных самописца.

С помощью ползункового регулятора изменять скорость прокрутки загруженного файла данных самописца.

Использование 2-х меток времени по системным часам ПК. На специальной панели отображаются следующие величины: X — масштаб горизонтальной оси основного графика самописца, X1 — положение первой метки времени, X2 — положение второй метки времени, dX — разница между метками времени, ZT — начало шкалы времени по системным часам ПК, ZD — начало шкалы времени (дата по календарю ПК).

С помощью регулятора верхнего (нижнего) аварийного предела задавать предел, при выходе сигнала за который срабатывает аварийная сигнализация, при этом на экране появляется индикация «Тревога» — мигающий индикатор-«лампочка» и выполняется заранее заданная пользователем команда операционной системы (отражающая реакцию пользователя на аварийную ситуацию). Для выбора скорости развертки воспользуйтесь переключателем

«Развертка (Выборки)» в панели управления. Вы можете выбрать скорость развертки прибора (т. е. частоту дискретизации оцифровки входных сигналов) от 100 МГц до 1 кГц (при фиксированном экране в 500 выборок это будет соответствовать времени развертки от 500 нс/деление до 50 мс/деление). На заполнение полного (128 килобайт) буфера данных при этих развертках понадобится соответственно от 1,3 мс до 131 с.

Система поддерживает также несколько более быстрых разверток (эффективная частота дискретизации — до 10 ГГц). Задействование этих разверток предполагает использование стробоскопического эффекта, и поэтому может применяться только к периодическим сигналам при наличии устойчивой синхронизации.

### **Время развертки и частота дискретизации.**

Особенностью цифрового осциллографа, как и любого другого цифрового прибора, является дискретность получаемых измерений. Фактически, вместо непрерывной линии осциллограммы в результате измерений получается ряд отдельных измерений мгновенной величины сигнала, называемых выборками. Частота съема этих измерений называется частотой дискретизации или частотой выборок. Эта характеристика цифрового осциллографа, измеряемая в герцах, соответствует времени развертки аналогового осциллографа, измеряемой в секундах на деление. Для того, чтобы установить между этими параметрами строгое соответствие, необходимо знать используемый в цифровом осциллографе масштаб отображения: сколько выборок изображается на деление. Однако, это не всегда возможно — программа ЦЗО за один сеанс связи с прибором может считывать данные с большим запасом, позволяя в дальнейшем отображать с необходимой степенью подробности только часть собранного сигнала. Количество отображаемых выборок на осциллограмме при этом может быть как фиксированным, так и динамически изменяться пользователем в любое время просмотра сигнала (см. описание программной опции «Фиксировать

растяжку»). Из-за этого регулятор скорости измерений в панели управления имеет два режима: для фиксированной растяжки задается время развертки (десятая часть заданного количества выборок на экран, деленная на частоту дискретизации), для переменной — непосредственно частота дискретизации.

### **Установка длины послезаписи.**

Пользователь может установить величину длины послезаписи в диапазоне от 0 до 131071 выборок. Указанное количество выборок будет собрано прибором после возникновения события запуска. Для установки величины длины послезаписи воспользуйтесь регулятором «Длина послезаписи» в панели настроек. Этот регулятор позволяет задавать длину послезаписи как в виде количества выборок, так и в виде временного интервала в секундах.

**Примечание:** Для исключения потери части данных сумма значений задержки запуска и длины послезаписи не должна превышать 131072. Не допускается одновременная установка нулевых значений указанных параметров.

### **Использование курсоров основного графического окна для измерений.**

#### **Панель измерений.**

Для точного определения абсолютного или относительного положения точки на графике используются курсоры. Поместите курсор на точку графика, абсолютные координаты которой Вы хотите измерить. Для перемещения курсоров перетаскивайте их левой кнопкой мыши. Затем прочитайте положение курсора на панели измерений. Для определения относительных координат точки, т. е. расстояний между двумя выбранными точками, используйте два курсора. Первый наведите на базовую точку, относительно которой Вы хотите проводить отсчет, второй на измеряемую точку. Разность положений курсоров прочитайте на панели измерений.



Проще всего отличить первый курсор от второго по цвету (цвета курсоров можно задать в панели настроек), но можно воспользоваться и тем менее заметным фактом, что метка первого курсора — квадрат, а второго — ромб. Это может оказаться особенно полезным при изучении черно-белых распечаток графика.

Вы можете перемещать курсоры по графику как с помощью мыши, так и с помощью клавиатуры, используя клавиши-стрелки. Одно нажатие клавиши вызывает перемещение курсора на единицу промежуточного деления шкалы в соответствующем направлении. Если при этом удерживать нажатой клавишу  $\rightarrow$ , производится перемещение на единицу основного деления шкалы, а если удерживать нажатой клавишу  $\leftarrow$ , производится перемещение на единицу масштаба шкалы.

### **Вычисление фазового сдвига.**

В программе существует возможность автоматического вычисления фазового сдвига сигнала канала В относительно канала А. Для ее использования обратитесь к командам «Фазовый сдвиг» меню «Вид». Выберите один из методов определения сдвига, и вычисленное значение фазового сдвига будет выводиться на специальную панель поверх основного графика. Диапазон выводимого значения угла сдвига: от  $-180^\circ$  до  $+180^\circ$ . Для определения величины фазового сдвига в данной программе применяются следующие методы.

### **Геометрический метод.**

На основном графике определяются моменты переходов через среднее значение для обоих каналов, среднее по всем найденным периодам отношение разности между моментами начала периода канала В и А к средней длительности периода по обоим каналам дает искомый сдвиг фаз. Недостатком этого простейшего метода является то, что он дает корректный

результат только для сигналов идентичной формы (и, конечно, одинакового периода).

### **Метод косинуса потерь.**

Основан на формуле косинуса угла потерь:

$$\cos \varphi = \frac{\int_0^T U_A \cdot U_B dt}{T \cdot (U_{ARMS} \cdot U_{BRMS})}$$

где:  $U_A$ ,  $U_B$  — мгновенное значение сигнала по каналу А, В;  $U_{ARMS}$ ,  $U_{BRMS}$  — среднеквадратическое значение сигнала по каналу А, В.

Использование этого интегрального метода позволяет избежать грубых ошибок геометрических методов, возникающих из-за случайных помех, искажающих форму сигнала. Мало того, в этом случае возможно определение сдвига фаз между сигналами абсолютно различной формы.

Недостатком метода является невозможность определения знака угла сдвига фаз, поскольку измерения по разным каналам входят в формулу симметрично. Метод дает лишь абсолютное значение (модуль) угла.


### **Спектральный метод.**

Этот метод использует алгоритм быстрого преобразования Фурье для перевода сигналов из временной области в фазо-частотную. Далее, для обоих каналов определяется основная гармоника (по максимальной амплитуде), и сравниваются значения соответствующих фаз. Все остальные составляющие сигнала игнорируются.

Недостатком этого метода можно считать неизбежную погрешность дискретного преобразования Фурье, ограничивающую точность определения фазового сдвига.

### **Цифровой вольтметр.**

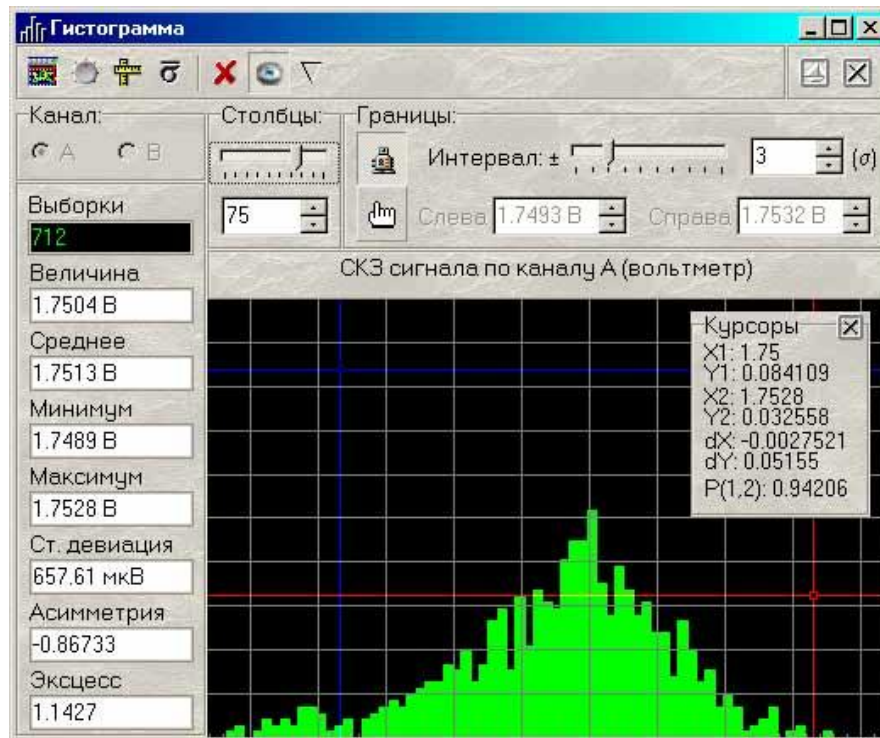
В программе предусмотрен режим цифрового вольтметра. Для использования обратитесь к команде «Цифровой вольтметр» меню «Вид». Вычисленные среднеквадратическое, амплитудное и среднее значения уровня сигнала по обоим каналам будут выводиться на специальную панель поверх основного графика.

Вычисления проводятся для участка осциллограммы, ограниченного курсорами на основном графике, при выводе новой осциллограммы. Для того чтобы вновь провести вычисления показаний вольтметра по старой осциллограмме (например, для другого ее участка), вызовите команду « Перерисовать осциллограммы в главной панели».

Для удобства пользователя добавлена возможность усреднения показаний цифрового вольтметра по 5, 10, 25 или 50 последним измерениям. Напомним, что для полной статистической обработки этих показаний Вы можете также воспользоваться панелью статистики.

### **Гистограмма распределения вероятности**

В программе предусмотрена возможность графического отображения распределения вероятности одного из обрабатываемых статистических параметров принимать определенные значения. Кроме того, можно рассмотреть распределение измеренного значения сигнала в каждом дискрете по всему собранному буферу. Для этого Вы можете воспользоваться панелью гистограммы, изображенной на рисунке ниже.



Гистограмма может работать в двух режимах. В первом — отображается распределение измеренной величины амплитуды сигнала в той части буфера собранных данных, который в настоящий момент выводится на основном графике главной панели. Во втором — распределение строится по одному из параметров, обрабатываемых в панели статистики. В этом режиме для обрабатываемого параметра отводится дополнительный буфер для хранения последней 1000 измерений, при этом возникает возможность определения моментов распределения высоких порядков, что позволяет определять такие статистические характеристики, как асимметрия и эксцесс. Кроме того, значение девиации также может быть вычислено точнее, чем приведено в панели статистики. Режим работы гистограммы зависит от положения кнопок «Подробнее...». Параметр, по которому строится распределение вероятности, указывается в заголовке гистограммы.

В панели «Курсоры» гистограммы выводятся:

**X1(2)** — X-координата (измеренные величины) по первому (второму) курсору.

**Y1(2)** — Y-координата (количество найденных величин в распределении) по первому (второму) курсору.

**dX** — разность между 2 и 1 курсорами по оси X.

**dY** — разность между 2 и 1 курсорами по оси Y

**P** — вероятность попадания измеряемой величины в границы значений, обозначенные курсорами (по горизонтали).

В числовых полях панели гистограммы выводятся те же величины, что и в панели статистики, плюс дополнительные:

**Выборки** — объем выборки распределения.

**Величина** — текущее (последнее измеренное) значение выбранной величины.

**Среднее** — среднее значение в распределении  $\left( \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \right)$

**Минимум** — минимальное значение в распределении.

**Максимум** — максимальное значение в распределении.

**Ст. девиация** — стандартная девиация распределения (корень квадратный из

дисперсии:  $\frac{N \cdot M_2}{N-1}$  )

**Асимметрия** — асимметрия распределения  $\left( \frac{M_3}{\sqrt{M_2^3}} \right)$

**Эксцесс** — эксцесс распределения  $\left( \frac{M_4}{M_2^2} - 3 \right)$

В формулах обозначено:

N — размер обрабатываемой выборки;

$x_i$  — значение i-ого элемента выборки;

$M_n = \frac{\sum_{i=1}^N \left( x_i - \frac{\sum_{j=1}^N x_j}{N} \right)^n}{N}$  — центральный момент n-го порядка.

**Интервал** — выбор множителя для автоматической установки границ гистограммы по значению стандартной девиации (сигме). Центр горизонтальной шкалы гистограммы устанавливается равным среднему значению распределения, левая и правая ее границы отодвигаются от центра на указанное число сигм.

**Слева** — ручная установка левой (нижней) границы отображения гистограммы.

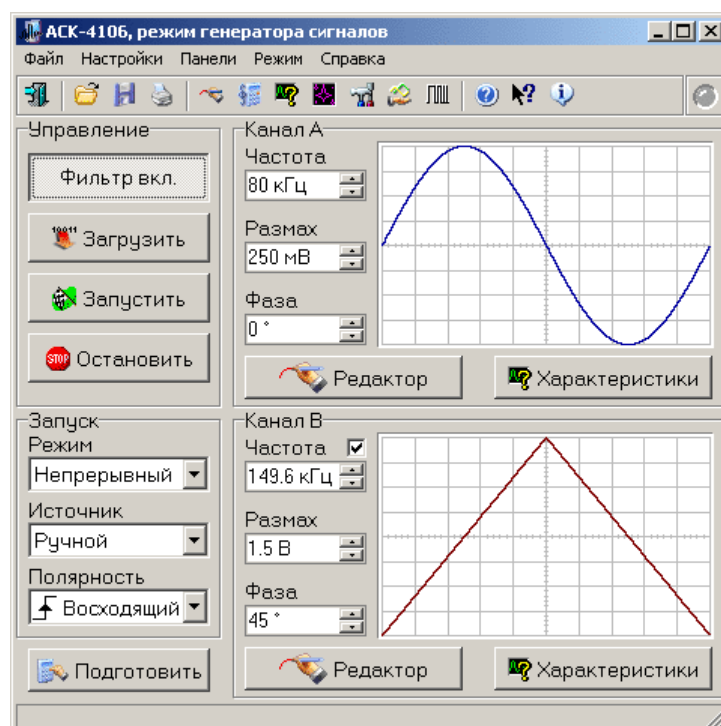
**Справа** — ручная установка правой (верхней) границы отображения гистограммы.

**Столбцы** — установка количества столбцов гистограммы.

### **Модуль генератора.**

Двухканальный виртуальный цифровой генератор сигналов произвольной формы представляет собой 12-разрядный цифровой прибор в стандартном конструктиве приборов серии «USB-лаборатория АКТАКОМ», и выдает сигнал произвольной формы или сигнал одной из стандартных форм (синусоидальная, прямоугольная, треугольная и некоторые другие) по двум каналам одновременно. Задание формы и параметров сигналов производится пользователем с помощью компьютера независимо для каждого из каналов. Прибор имеет общий для обоих каналов вход внешней синхронизации для запуска генерации по внешнему событию. Прибор также вырабатывает выходной сигнал для синхронизации запуска других приборов.

## Главная панель



### Управление параметрами выходного сигнала.

**Выходной частотой:** Вы можете изменять частоту выходного сигнала с помощью регуляторов «Частота» в главной панели в пределах от 0,1 Гц до 10 МГц. Частота может быть установлена отдельно для каждого канала или же Вы можете изменять частоты по обоим каналам одновременно, заблокировав регулятор частоты канала В.

**Амплитудой:** Регулятор амплитуды выходного сигнала по каналу А (В) может быть установлена в пределах от 0,1 мВ до 2,5 В.

**Фазой:** Регулятор фазы выходного сигнала по каналу А (В) может быть установлена в пределах от  $-360^\circ$  до  $+360^\circ$ .

### Выбор формы сигнала

Для выбора формы можно использовать следующие способы:

Выбрать один из стандартных сигналов из выпадающего списка.

Задать сигнал в виде математической формулы.

Просто нарисовать нужную форму мышкой на графике.

Загрузить форму сигнала из ранее подготовленного файла данных, возможно, обработанного внешним приложением.

Для одновременного задания формы сигнала по обоим каналам для генерации определенной фигуры Лиссажу, воспользуйтесь функцией «лазерное шоу».

### **Задача сигналов в виде математической формулы**

Для записи формул Вы можете использовать символ переменной  $x$ , численные константы в формате с плавающей точкой или в экспоненциальном (123.456 или эквивалентное  $1.23456E+2$ ), разрешаются знаки операций: «+» (сложение), «-» (вычитание), «/» (деление), «\*» (умножение), «^» (возведение в степень). Для изменения приоритета вычислений можно использовать круглые скобки ( ). Распознаются следующие стандартные функции:

|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| $\sin(x)$         | синус $x$ ;                           |
| $\cos(x)$         | косинус $x$ ;                         |
| $\tan(x)$         | тангенс $x$ ;                         |
| $\text{asin}(x)$  | арксинус $x$ ;                        |
| $\text{acos}(x)$  | арккосинус $x$ ;                      |
| $\text{atan}(x)$  | арктангенс $x$ ;                      |
| $\sinh(x)$        | гиперболический синус $x$ ;           |
| $\cosh(x)$        | гиперболический косинус $x$ ;         |
| $\tanh(x)$        | гиперболический тангенс $x$ ;         |
| $\exp(x)$         | число $e$ в степени $x$ ;             |
| $\ln(x)$          | натуральный логарифм $x$ ;            |
| $\lg(x)$          | десятичный логарифм $x$ ;             |
| $\text{sqrt}(x)$  | квадратный корень из $x$ ;            |
| $\text{floor}(x)$ | наибольшее целое не превышающее $x$ ; |
| $\text{ceil}(x)$  | наименьшее целое не ниже $x$ ;        |
| $\text{abs}(x)$   | абсолютная величина (модуль) $x$ ;    |



|          |   |
|----------|---|
| deg (x)  | преобразует радианы в градусы;                                    |
| rad (x)  | преобразует градусы в радианы;                                    |
| sgn (x)  | знак x, если x — отрицательное число, возвращает (–1), иначе (1); |
| rand (x) | случайное число от 0 до заданного значения x;                     |

Для задания сигнала в виде таблицы используется функция filetab (file, x) — вычисляется интерполированное значение функции f(x), заданной таблицей в текстовом файле file (см. прим. ниже). Аргумент функции должен заключаться в круглые скобки.

**Примечание.** Функция filetab использует для определения узлов интерполяции текстовый файл, имя которого должно быть указано в качестве первого аргумента, без кавычек, запятая в имени файла не допускается. Узлы интерполяции указываются в файле построчно, в формате: x,y. В первых двух строчках файла записывается постоянная служебная информация — идентификаторы типа файла, должны быть 31323133 и 434E5546. Например, файл со следующим содержимым:

```

31323133
434E5546
20.0,0.241
21.0,0.253
22.0,0.266
23.0,0.278
24.0,0.291
25.0,0.303
30.0,0.367
40.0,0.497
50.0,0.630
60.0,0.766

```

70.0,0.905  
75.0,0.975  
80.0,1.047  
90.0,1.191  
100.,1.337  
120.,1.637  
150.,2.100  
170.,2.417  
200.,2.901  
220.,3.229  
250.,3.728

задает функцию зависимости напряжения (в милливольтках) на концах термопары ВР(А)-2 от градиента температуры в диапазоне от 20°C до 250°C с переменным шагом.

Вы можете также использовать в формулах обозначения констант:

$\pi = 3.1415926535897932384626433832795$

$e = 2.7182818284590452353602874713527$

Для разделения элементов формулы допустимо использовать пробелы (но не в именах функций).

### **Панель свойств сигнала**

После задания сигнала у пользователя есть возможность определить его основные параметры: амплитуду, частоту, спектр.

### **Управление синхронизацией**

Для выбора режима запуска воспользуйтесь переключателем <Режим> в главной панели. Доступные режимы:

**Однократный** — генерация сигнала начинается по возникновению события синхронизации и заканчивается после однократной генерации заданного буфера данных;

**Непрерывный** — генерация сигнала начинается по возникновению события

синхронизации, после генерации заданного буфера данных происходит автоматический перезапуск генерации с начального адреса. Если во время генерации вновь происходит событие синхронизации, также вызывается немедленный перезапуск. Источник запуска устанавливается с помощью расположенного ниже переключателя «Источник»:



**Ручной** — событие запуска вырабатывается по команде пользователя (кнопка <Запустить>);

**Внешний** — событие запуска определяется по сигналу на входе внешней синхронизации. Для внешнего запуска можно выбрать полярность запускающего импульса:

**Восходящий** — событие запуска вырабатывается по обнаружению восходящего (переднего) фронта запускающего импульса;



**Спадающий** — событие запуска вырабатывается по обнаружению спадающего (заднего) фронта запускающего импульса.

### **Управление выходной частотой**

Вы можете изменять частоту выходного сигнала с помощью регуляторов <Частота> в главной панели в пределах от 0,1 Гц до 10 МГц. Частота может быть установлена отдельно для каждого канала или же Вы можете изменять частоты по обоим каналам одновременно, заблокировав регулятор частоты канала В (чекбокс рядом с регулятором в главной панели). Выставив желаемую частоту, нажмите кнопку « Пересчитать» для расчета новых данных и затем кнопку « Загрузить» для загрузки данных в прибор.

Следует иметь в виду, что поскольку для генерации сигналов по обоим каналам используется один сигнал опорной частоты дискретизации, возможности независимого управления частотой по каналам ограничены. После пересчета данных программа выставит на регуляторах реальные значения генерируемых частот, по возможности близких к требуемым.

## **Управление размахом выходных сигналов.**

Вы можете изменять размах выходного сигнала с помощью регуляторов <Размах> в главной панели. Выставив желаемые величины размаха, нажмите кнопку  <Подготовить> для расчета новых данных и затем кнопку  <Загрузить> для загрузки данных в прибор.

Замечание. Здесь и везде далее используется размах сигнала произвольной формы. Под размахом сигнала произвольной формы понимается разница между максимальным и минимальным его уровнями. При этом, если Вы зададите генерацию синусоидального сигнала с амплитудой 5 В, измеренное вольтметром среднеквадратическое значение на выходе генератора будет составлять  $\sim 1,77$  В.

## **Схема синхронизации выходного сигнала.**

В приборе предусмотрены режимы внешней и внутренней синхронизации.

В режиме внешней синхронизации по команде запуска генерации, поступившей из компьютера, прибор переходит в состояние ожидания запускающего события по входу внешней синхронизации. Генерация сигналов начинается только по обнаружению на этом входе фронта указанной полярности. Далее, если установлен непрерывный режим генерации сигналов, то по каждому новому обнаруженному событию запуска генерация перезапускается с начала буфера данных.

В режиме внутренней синхронизации (для его включения в программе следует установить ручной режим запуска) генерация начинается немедленно по команде запуска генерации, поступившей из компьютера. При этом также вырабатывается импульс внутренней синхронизации, который выдается на выход синхронизации прибора. В непрерывном режиме генерации импульс внутренней синхронизации будет вырабатываться далее при каждом перезапуске. В однократном режиме будет выдано два синхроимпульса: один — в начале, другой — в конце генерации буфера данных.

### **Фильтрация и усиление выходного сигнала.**

Генератор оснащен аналоговым фильтром низких частот 5-го порядка с частотой среза около 15 МГц. Вы можете его включить или выключить с помощью кнопки «Фильтр вкл./выкл.» в главной панели или в панели ручного управления.

### **Модуляция сигнала.**

Хотя прибор не имеет аппаратных средств реализации модулированных сигналов, Вы можете использовать возможности задания сигнала математическим выражением (см. <Панель редактора сигнала>) для решения этой задачи:

$A(x) \cdot \sin(w_0x + j_0)$  — амплитудная модуляция,  $A(x)$  — модулирующий сигнал;

$A \cdot \sin(w_0x + j(t))$  — фазовая модуляция,  $j(t)$  — модулирующий сигнал;

$A \cdot \sin(w(t)x + j_0)$  — частотная модуляция,  $w(t)$  — модулирующий сигнал;

Например:

filetab (func.csv,  $x$ ) \* sin (10 \*  $x$ ). Данная формула задает амплитудную модуляцию с несущей частотой в 10 раз большей частоты модулирующего сигнала. Модулирующая функция описывается таблицей, считываемой из файла.

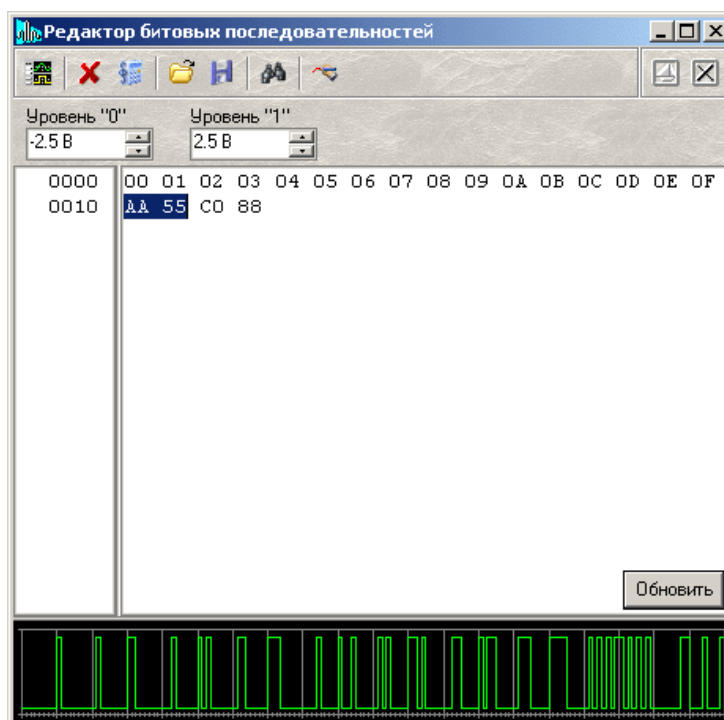
### **Прямоугольный сигнал с заданной скважностью.**

Хотя прибор не имеет аппаратных средств реализации импульсных сигналов с заданной скважностью, Вы можете использовать возможности задания сигнала математическим выражением для решения этой задачи. Например, задайте следующую формулу:  $\text{sgn}(x)$ . Если при этом указать диапазон изменения переменной от  $-1$  до  $2$ , результатом вычислений будет прямоугольный импульс со скважностью 3, или, иначе, с коэффициентом заполнения  $1/3$ .

### **Редактор битовых последовательностей.**

Панель служит для создания, просмотра и редактирования небольших битовых файлов, используемых в качестве аргумента функции `binfile (file, x)`. Программа имеет средства имитации цифровых (битовых) последовательностей. Цифровой бинарный сигнал является последовательностью прямоугольных

импульсов, базовый и верхний уровень этих импульсов соответствуют уровням логических нуля и единицы. Для удобства представления таких сигналов в список функций интерпретатора математических выражений редактора сигналов введена функция `binfile (file, x)`, которая возвращает логическое значение (0 или 1), соответствующее значению бита `x` в указанном битовом файле (описание функций см. в разделе <Описание панелей>. Панель калькулятора формул). Для создания и редактирования битовых файлов Вы можете воспользоваться входящим в программу редактором битовых последовательностей.



Уровень <0> — напряжение, соответствующее уровню логического нуля.

Уровень <1> — напряжение, соответствующее уровню логической единицы.

Ниже расположены два текстовых поля. Правое содержит текстовое представление редактируемой битовой последовательности в виде последовательности байтов, каждый байт изображается двумя шестнадцатеричными цифрами, байты отделяются друг от друга пробелами. Левое поле показывает шестнадцатеричный адрес (номер по порядку байта в файле) первого байта в соответствующей строке правого поля. Для того, чтобы задать нужную битовую последовательность, впишите последовательно нужные

байты в правое текстовое поле и нажмите внизу кнопку <Обновить> или просто нажмите Enter на клавиатуре — введенный текст будет распознан, переведен в битовую форму и отображен на графике внизу панели.

### **Запись и чтение конфигурации программы**

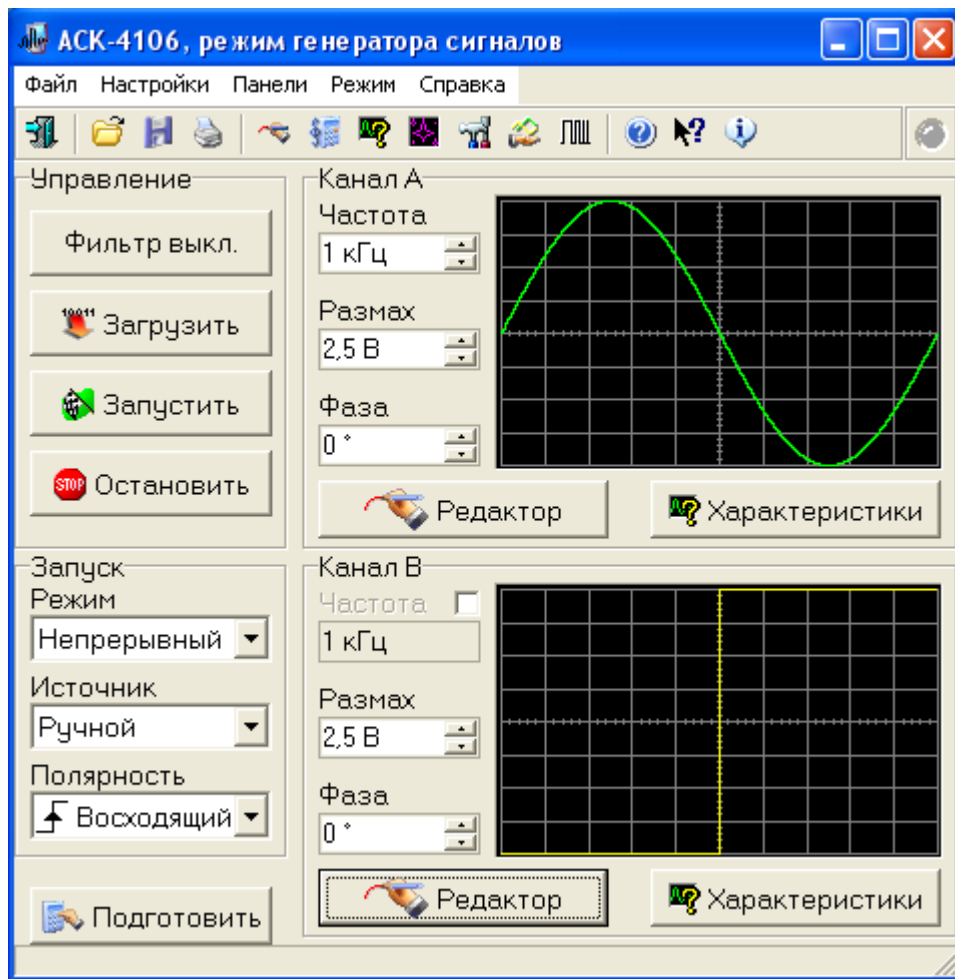
Для того чтобы пользователю не приходилось при каждом запуске программы заново выставлять настройки системы, реализованы несколько функций сохранения и загрузки конфигурации системы. При каждом выходе из программы настройки системы сохраняются в файле default.cfg в рабочем каталоге. При следующем запуске программа читает этот файл и восстанавливает настройки. Кроме автоматического сохранения и загрузки настроек можно использовать команды «Записать» конфигурацию и «Прочитать конфигурацию» меню «Файл». Эти команды позволяют пользователю записывать и читать вручную различные варианты конфигурации системы для стандартных вариантов работы.

## **3. Порядок выполнения работы**



### **Методика проведения работы с виртуальными приборами**

#### **Работа с генератором сигналов АСК-4106**

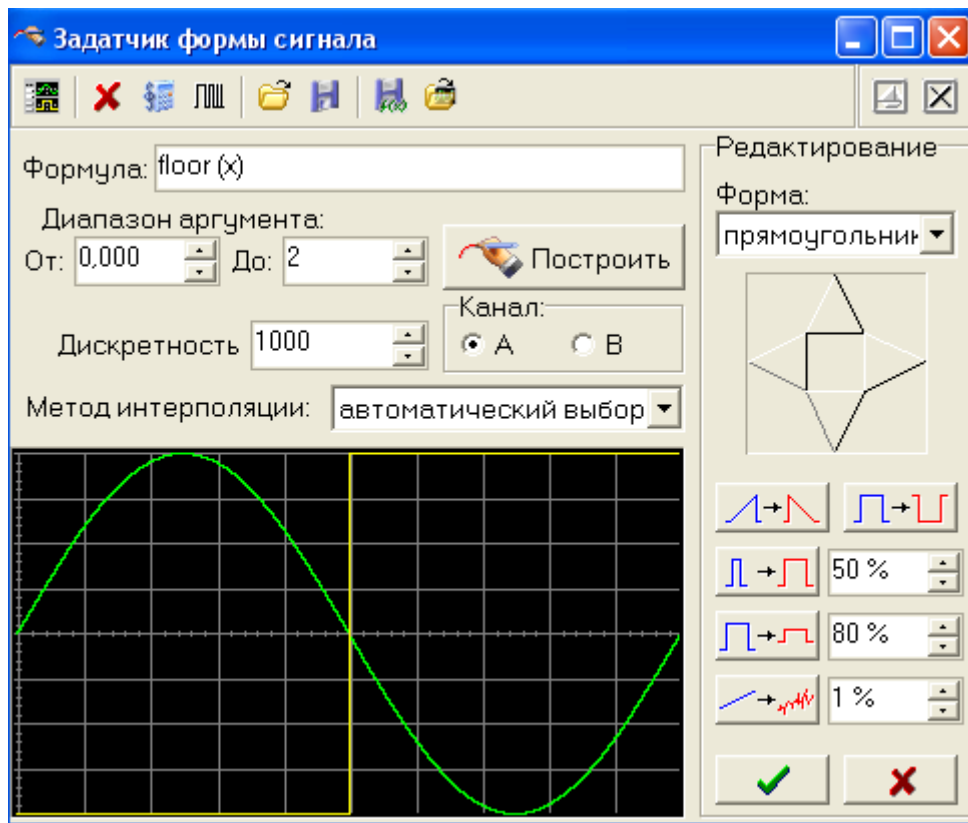
Чтобы начать работу с режима генератора, откройте меню «Пуск→Программы→АКТАКОМ→АСК-4106» и запустите программу «АСК-4106 Генератор сигналов». На экране появится главная панель программы генератора.



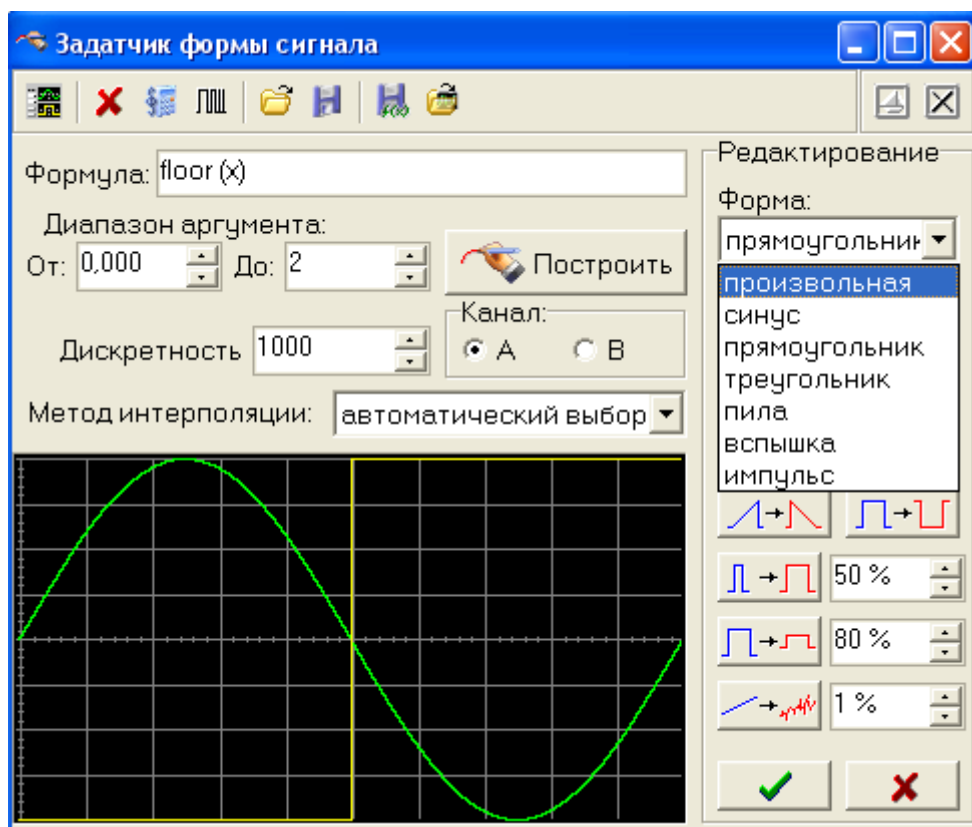
Чтобы задать сигнал требуемой формы:

1. Вызовете панель редактора сигнала, нажав кнопку  или  Редактор на главной панели;
2. На панели редактора сигнала выберите канал, форму сигнала которого требуется задать;

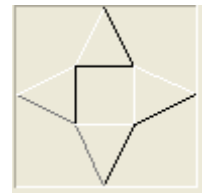




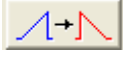
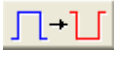
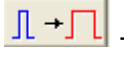
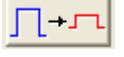
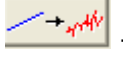
3. Если требуется стандартная форма сигнала (синус, прямоугольник, треугольник и т.п.), задайте её в окне «Форма»;




4. Если требуется нестандартная форма сигнала, то задайте ее (формулу) в окне формула, установите диапазон значений аргумента в окнах «От» и «До» графы «Диапазон аргумента», установите количество точек на период сигнала в графе «Дискретность» и выберите нужный метод интерполяции в окне «Метод интерполяции»;




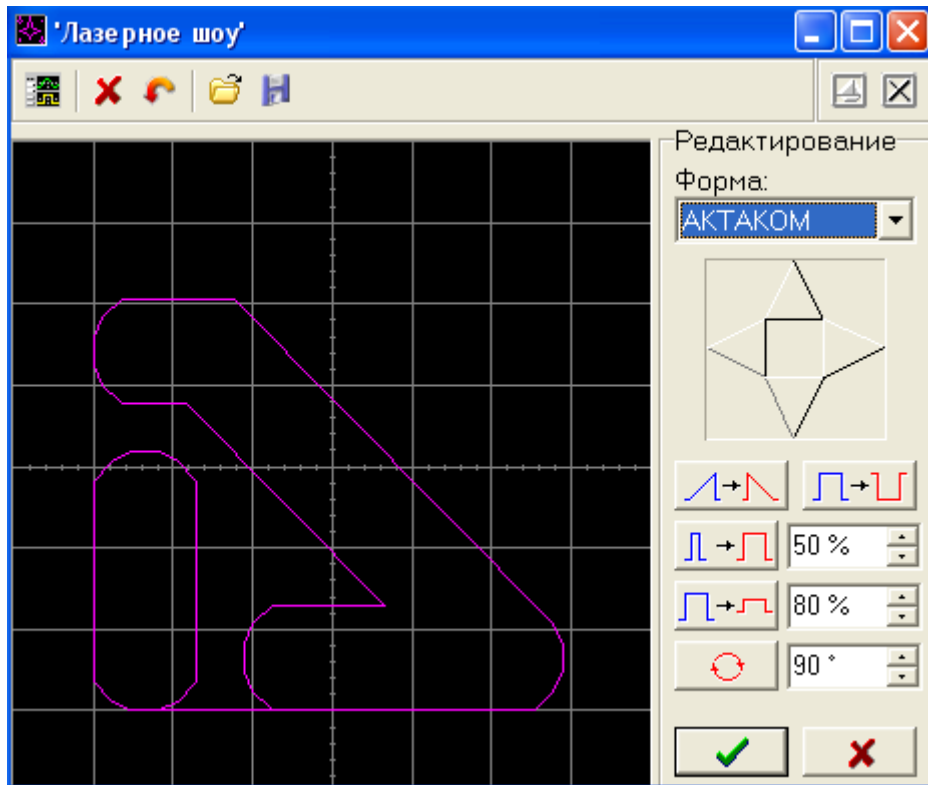
5. Также с помощью дополнительных кнопок можно произвести:



- сдвиг сигнала,  - горизонтальную инверсию,  - вертикальную инверсию,  - горизонтальное масштабирование,  - вертикальное масштабирование,  - добавить случайный шум.

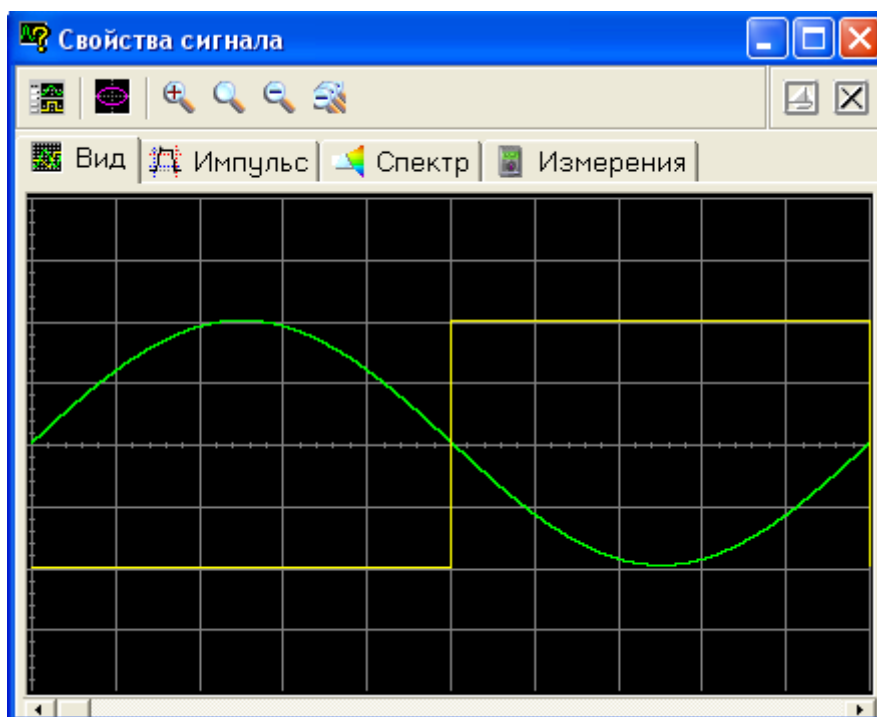
6. Нажмите кнопку ;

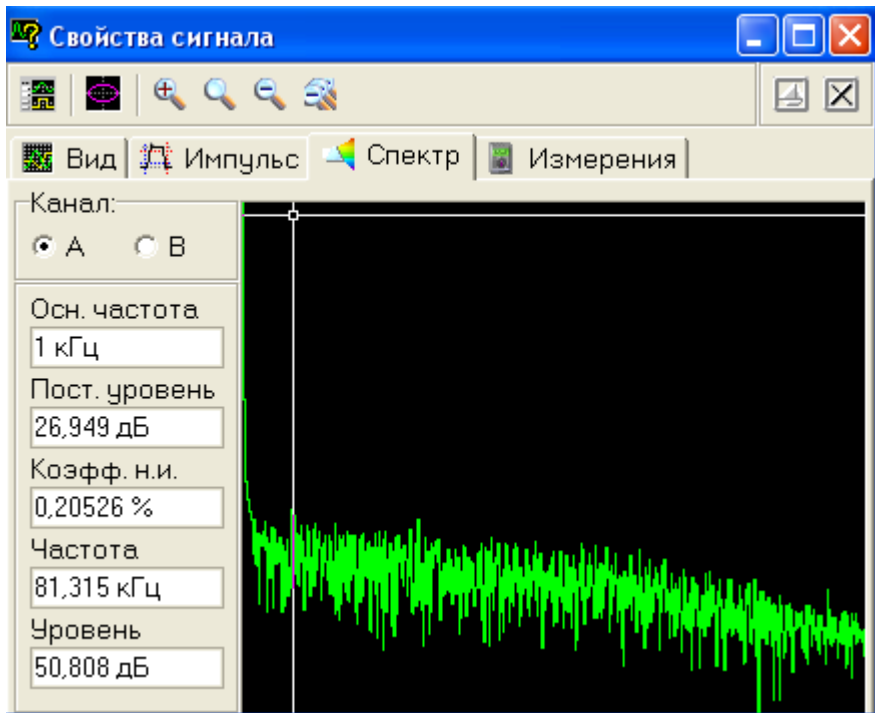
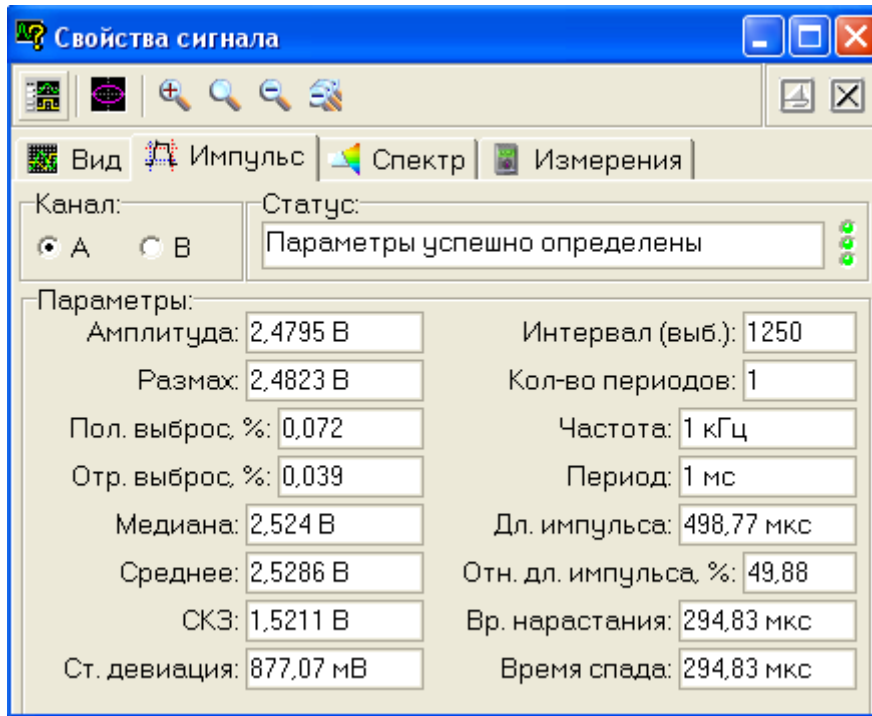
7. После того как выбраны требуемые сигналы или сигнал, необходимо нажать на кнопку , чтобы запомнить полученный сигнал. При этом в основном окне главной панели и в окне редактора отобразится заданная форма сигнала для каждого канала;

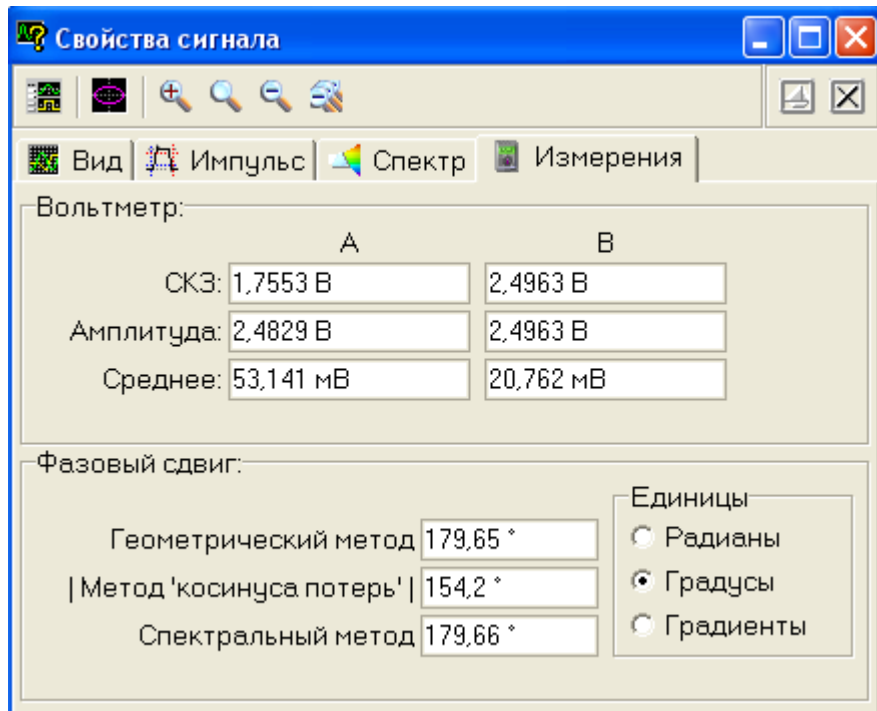
8. Аналогично можно задать форму сигнала типа «фигура Лиссажу» произвольного вида а, для этого необходимо включить панель «Лазерное шоу», нажав на кнопку  на главной панели.




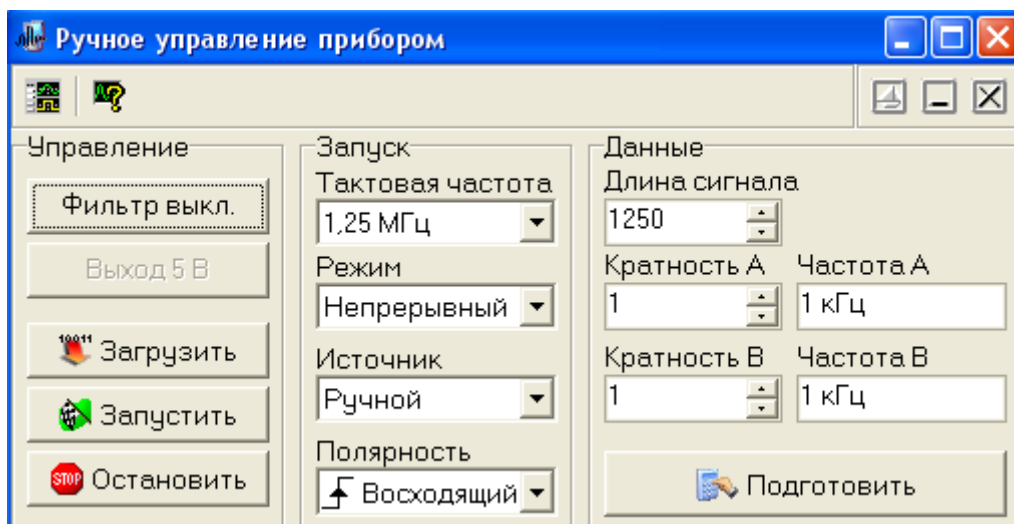
9. Для того чтобы посмотреть свойства заданных сигналов нажмите кнопку  Характеристики или  главной панели. При этом на ПК появится панель «Свойства сигнала», в этом окне пользователь может посмотреть результаты подготовки данных для загрузки в буфер прибора.



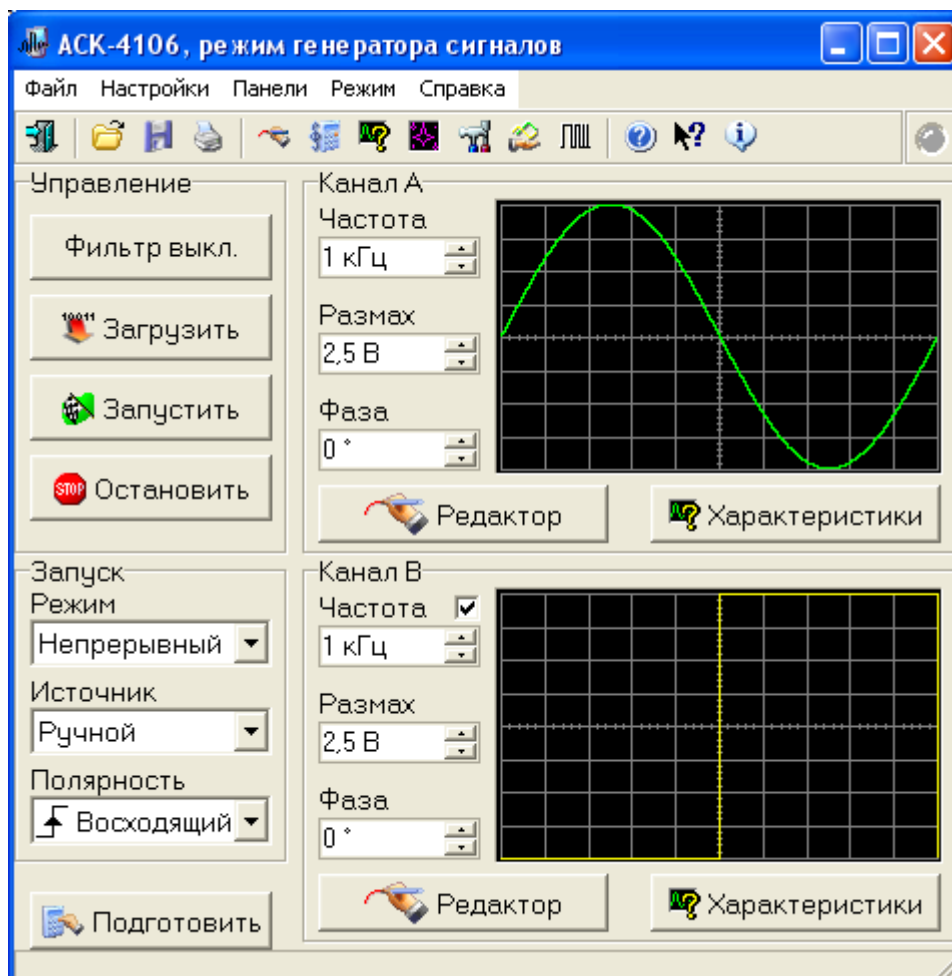




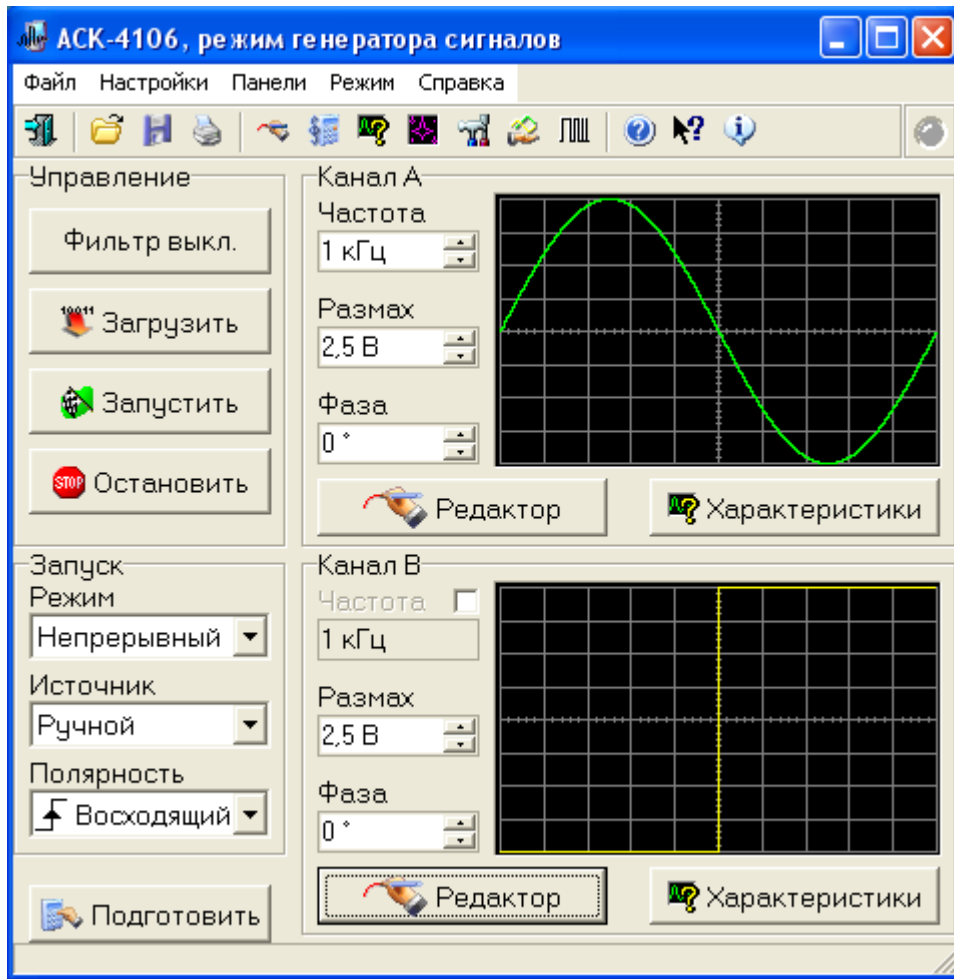
10. Чтобы избежать автоматической корректировки данных, необходимо воспользоваться возможностью ручного управления. Можно вручную выставить все, включая скрытые, параметры сигналов в явном виде, не полагаясь на работу автоматики. Для этого используется панель ручного управления прибором, которая открывается при помощи кнопки  на панели управления.

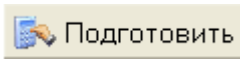
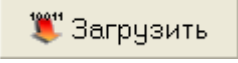



11. После выбора и сохранения шаблона формы сигнала на главной панели нужно установить частоту сигнала (от 100 мГц до 10 МГц), величину размаха (в вольтах), фазу (в градусах).



12. Для получения на обоих каналах сигналов одинаковой частоты (при этом формы сигналов могут быть различными) необходимо убрать галочку в окне «Частота» канала «В»



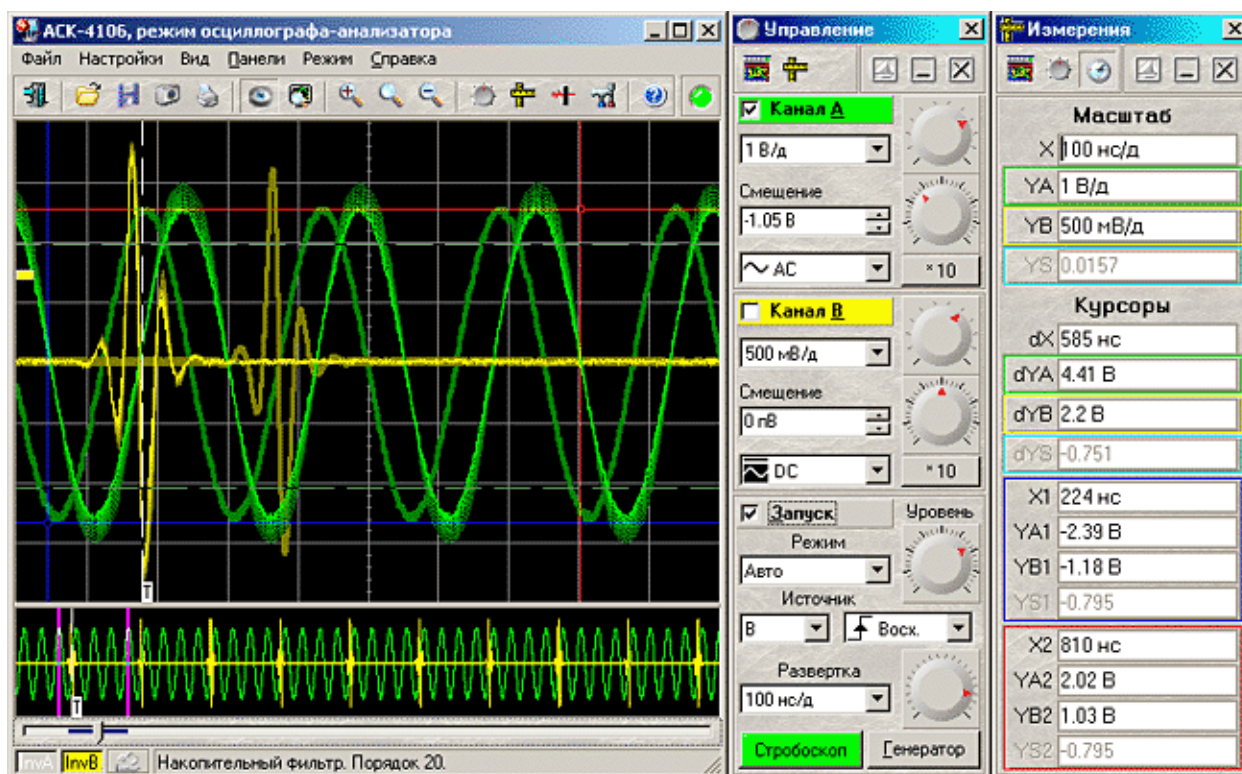
13. После того как все необходимые параметры были выставлены, последовательно нажмите кнопки   для подготовки и загрузки данных.

14. Для запуска генерации сигнала нажать кнопку . В результате на выходе соответствующего канала появится сигнал с заданными параметрами, который можно наблюдать, подключив выходы генератора к входам осциллографа.

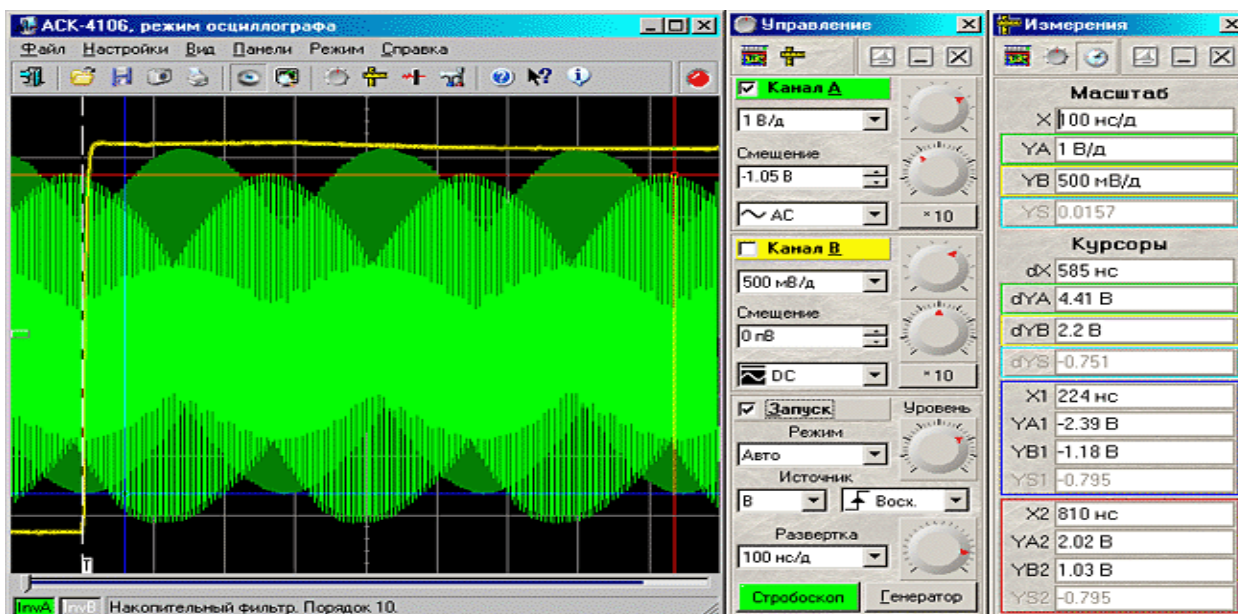
## Работа с осциллографом АСК-4106

Чтобы начать работу с режима осциллографа, откройте меню «Пуск→Программы→АКТАКОМ→АСК-4106» и запустите программу «АСК-4106 Осциллограф» или «АСК-4106 Осциллограф-анализатор». На экране появится главная панель программы.

Для осциллографа-анализатора




Для осциллографа



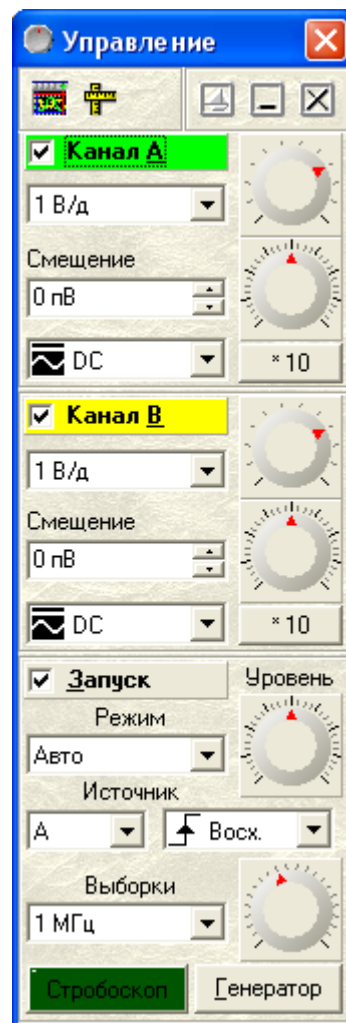


Примечание: При отсутствии ключа активации осциллограф-анализатор будет работать только в режиме эмуляции.

**Для того чтобы наблюдать сигналы:**

1. На панели управления, которая появляется справа при запуски программы (по умолчанию), либо с помощью кнопки  на главной панели.

- Выберите канал(ы) для наблюдения сигнала, установив галочку в окне «Канал А» и/или «Канал В»;
- Выберите вид связи с источником сигнала: «DC», «AC» или «50 Ом» ;
- Установите желаемый источник запуска в окне «Источник»;
- Убедитесь в том, что установлена галочка в окне «Запуск»;
- Выберите режим запуска «Авто» в окне «Режим»;
- Установите нарастающий или спадающий фронт сигнала;



2. На главной панели нажмите кнопку  автонастройки на сигнал.

После этого на экране главной панели будет отображаться входной сигнал, а в окнах панели управления - основные установки прибора: коэффициент чувствительности и развертки. Вы можете изменить их по своему усмотрению.

#### **4.Рекомендованная литература**

1. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В.И. Нефедов, А.С. Сигов, В.К. Битюков и др.; Под редакцией В.И. Нефедова и А.С. Сигова. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Высшая школа, 2005. – 599 с.
2. <http://www.aktakom.ru/>
3. Колинко Т.А. Измерения в цифровых системах связи. Практическое руководство. – К.: ВЕК+, К.: НТИ 2002. - 320 с.
4. Иванов А.В. Контроль соответствия в телекоммуникациях и связи. Часть 1. – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001. – 375 с.
5. Бакланов И.Г. Тестирование и диагностика систем связи. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 264 с.
6. Бакланов И.Г. Технологии измерений в первичной сети. Часть 1. Системы E1, PDH, SDH. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 142 с.
7. Бакланов И.Г. Технологии измерений в первичной сети. Часть 2. Системы синхронизации, В-ISDN, АТМ. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 149 с.
- Шмалько А.В. Цифровые сети связи: планирование и построение. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 282 с.
8. Кузьнецов В.И. Радиосвязь в условиях радиоэлектронной борьбы. – Воронеж.: ВНИИС, 2002. – 403 с.
9. <http://www.kip.tomsk.ru/devices/>

## **4.Лабораторная работа 4. Комплекс для измерения характеристик испытываемого устройства на основе АСК-4106**

### **1. Цель работы**

Система обработки построена на основе комбинированного прибора АСК-4106 который может использоваться в качестве универсального измерительного комплекса. Совмещая под единым управлением компьютерной программы источник испытательных сигналов и прибор для их измерения, АСК-4106 позволяет в автоматическом режиме измерять амплитудно-частотные, амплитудные, фазо-частотные и переходные характеристики испытываемого устройства. Что позволяет нам создать аппаратно - программное средство защиты информации в сетях и системах радиосвязи дающего возможность заниматься обработкой результатов измерения характеристик радиочастотных модулей на базе виртуального прибора.

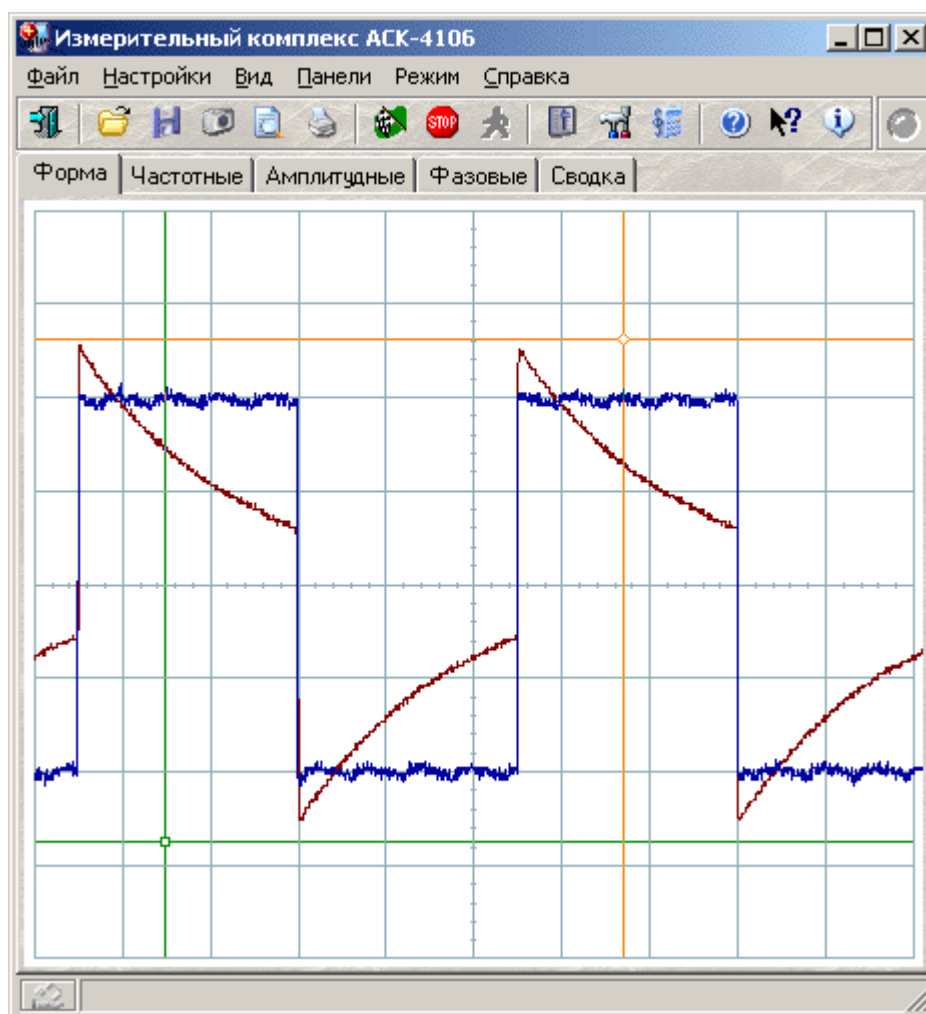
### **2.Краткие теоретические сведения**



Прибор комбинированный АСК-4106 (далее — прибор) сочетает возможности осциллографа двухканального цифрового запоминающего и генератора сигналов произвольной формы двухканального цифрового. Прибор работает совместно с компьютером по интерфейсам USB 1.1 или LPT в режиме ЕРР.

## Работа с измерительным комплексом АСК-4106

Чтобы начать работу с режима измерительного комплекса, откройте меню «Пуск→Программы→АКТАКОМ→АСК-4106» и запустите программу «АСК-4106 Измерительный комплекс». На экране появится главная панель программы измерительного комплекса.



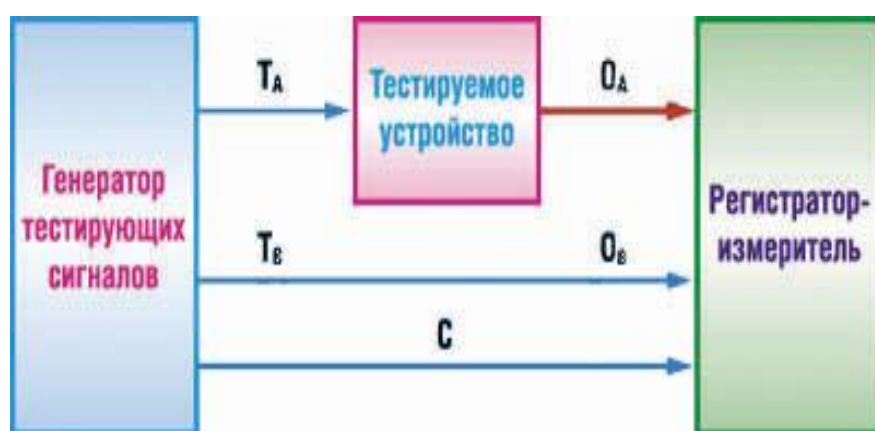
### Назначение

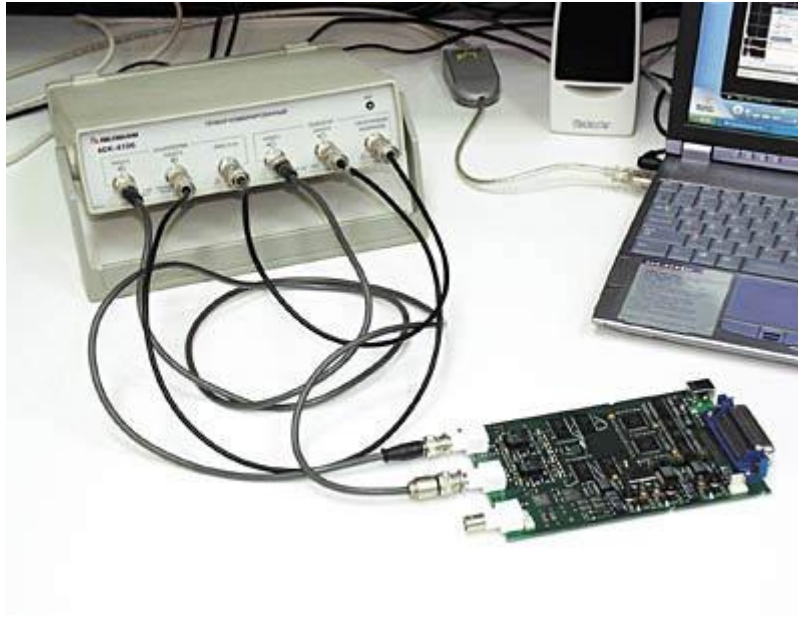
Программа «Измерительный комплекс АСК-4106» предназначена для автоматического измерения комплекса характеристик различных радиоэлектронных устройств. Программа позволяет снимать амплитудные,

амплитудно-частотные, фазо-частотные и переходные характеристики тестируемого устройства. Для формирования входных тестовых сигналов используется модуль генератора АСК-4106, для измерения выходных сигналов — модуль осциллографа АСК-4106. Программа осуществляет одновременное управление обоими модулями в автоматическом режиме.

### Общие принципы работы прибора

На вход исследуемого устройства (ИУ) с выхода соответствующего генератора подается воздействие в виде тестирующего сигнала с необходимыми параметрами ( $T_A$ ). С выхода ИУ с помощью соответствующего регистратора (измерителя) снимается результат такого воздействия — отклик ( $O_A$ ) и анализируются числовые значения выбранного параметра или характеристики. Для того чтобы скомпенсировать собственные искажения прибора (например, неравномерность АЧХ осциллографа), идентичный испытательный сигнал ( $T_B$ ) подается также с канала В генератора напрямую на канал В осциллографа. Теперь, сравнивая измеренные сигналы по обоим каналам ( $O_A$  и  $O_B$ ), обнаружим только влияние ИУ (пренебрегая тонкими различиями между каналами прибора). Регистратор синхронизируется с генератором с помощью канала С (см. ниже).





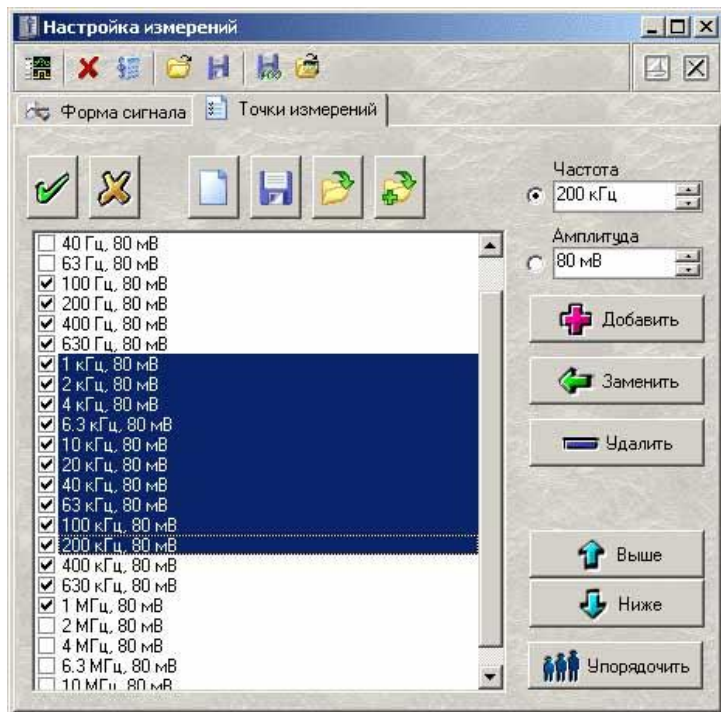
Для проведения измерений необходимо подключить, к прибору четыре соединительных радиокабеля используя все его измерительные разъемы.

- 1) Выход синхронизации модуля генератора (СИНХРОНИЗАЦИЯ ВХОД/ВЫХОД) напрямую соедините с входом синхронизации модуля осциллографа (ВНЕСН. А и В).
- 2) Выход канала В модуля генератора напрямую соедините с входом канала В модуля осциллографа.
- 3) Выход канала А модуля генератора соедините со входом исследуемого устройства.
- 4) Выход исследуемого устройства соедините со входом канала А модуля осциллографа.

### **Траектории измерений**

Для получения достаточно полной картины свойств испытываемого устройства, необходимо провести большое количество измерений при различных параметрах тестового сигнала. Соответственно, программа измерительного комплекса должна обеспечивать пользователя средствами описания такой последовательности сигналов для проведения всего комплекса

испытаний <списком>. В программе АСК-4106 для этой цели вводится понятие траектории измерений, в свою очередь представляющей собой последовательность точек измерений. Каждая точка измерений – это совокупность нескольких величин: частоты повторения испытательного сигнала, размаха напряжения, шаблона формы и флага использования этой точки при измерениях. Шаблон формы задает характер испытательного сигнала: синус, прямоугольник, дельта-импульс или любая произвольная форма. Флаг использования позволяет исключать данную точку из текущей серии измерений, не удаляя ее из траектории. Программа содержит удобные средства для работы с траекториями измерений. Пользователь может создавать новые траектории, сохранять их в файлы, загружать сохраненные, составлять новые траектории, соединяя несколько существующих траекторий, сортировать точки в составе траектории, вносить изменения в отдельные точки или в группы точек измерений и т. д.

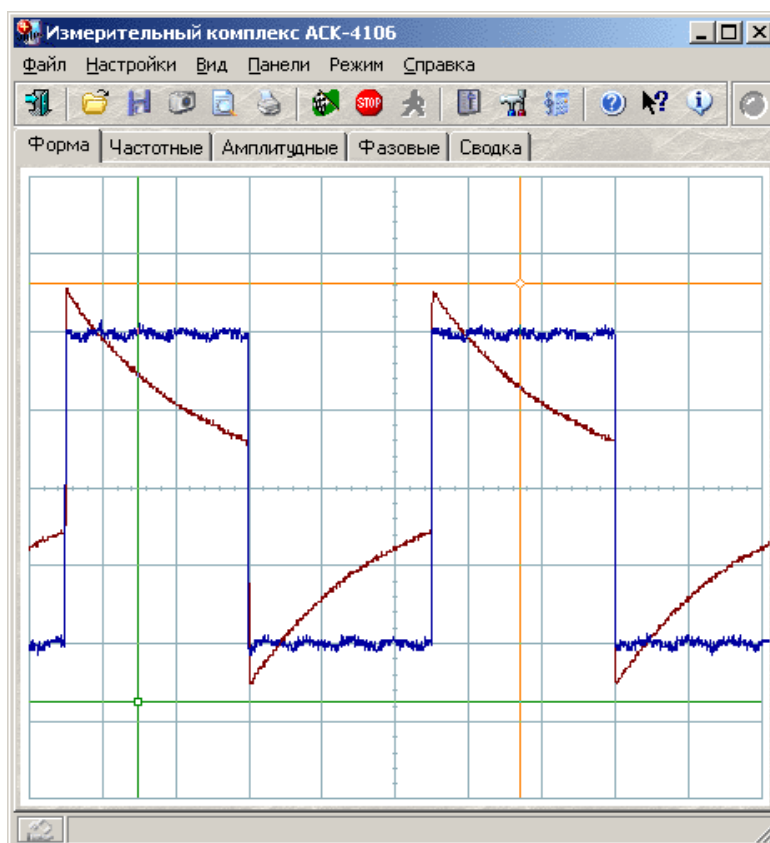


## **Автоматические измерения и определяемые параметры сигналов**

Подключив тестируемое устройство к прибору, и задав требуемую траекторию измерений, можно переходить непосредственно к процессу испытаний. Программа позволяет запустить измерения в автоматическом или пошаговом (полуавтоматическом) режиме. В обоих режимах программа последовательно генерирует испытательные сигналы (ИС), задаваемые очередной точкой траектории измерений (шаг измерений). На каждом шаге измерений программа автоматически устанавливает длину буфера данных и скорость развертки осциллографа в соответствии с периодом повторения ИС в текущей точке измерений, так, чтобы оказались захваченными несколько периодов ИС с достаточным временным разрешением. Далее автоматически подбираются оптимальные величины усиления и смещений по обоим измеряемым каналам, проводя несколько настроечных захватов сигнала. После настройки осциллографа производится результативный захват осциллограмм, по которым далее будут проводиться вычисления. Все осциллограммы, получаемые и для настройки, и для результативных измерений, отображаются по мере захвата на вкладке <Форма> главного окна программы (рис. см. ниже). Изображения осциллограмм нужны только для визуального контроля оператора за качеством настройки прибора на сигнал, определение численных параметров измеренных сигналов проводится автоматически: программа сама выделяет в собранных данных целое число периодов повторения ИС. По каждому найденному периоду вычисляет размах сигнала, его среднеквадратическое значение, частоту и фазу, затем полученные величины усредняются по всем периодам. Результаты измерений сохраняются в таблице данных и отображаются в главном окне программы. Автоматический и полуавтоматический режимы отличаются только тем, что в пошаговом режиме программа после каждого шага измерений и вывода результатов останавливается, дает возможность, не спеша ознакомиться с полученными



измерениями, и ожидает команды пользователя для начала следующего шага измерений, а в автоматическом — переход к следующему шагу производится сразу, без дополнительного подтверждения.



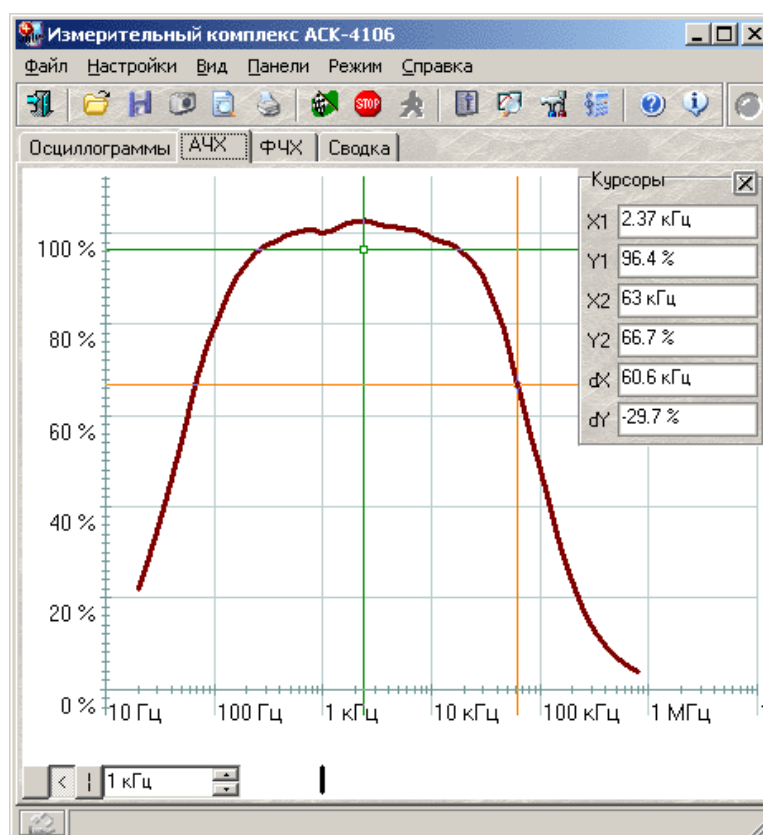
## Представление результатов измерений

После определения параметров в очередной точке измерений, результаты заносятся в массив данных траектории и выводятся в графическом виде как амплитудно-частотная, амплитудная и фазо-частотная характеристики, а также в текстовом виде в таблице <Сводка измерений>.

## Графики характеристик

Зависимость среднеквадратического значения амплитуды выходного сигнала от частоты входного сигнала (амплитудно-частотная характеристика, АЧХ) изображается на вкладке <Частотные>. Ось значений этого графика может работать в двух различных режимах. В первом режиме по этой оси откладывается измеренная величина коэффициента усиления (отношение СКЗ выходного сигнала к СКЗ входного сигнала), в линейном или логарифмическом масштабе. Во втором — дополнительно включается возможность использования опорного уровня: выводится отношение измеренного в данной точке коэффициента усиления к некоторому фиксированному уровню, либо определенному на указанной частоте, либо введенному в явном виде.

### Вкладка амплитудно-частотные характеристики



Кроме обычных настроек (см. раздел <Настройка вида графиков>) этот график позволяет переключать различные режимы оси значений:

**Коэффициент усиления** — на шкале значений откладывается безразмерная величина отношения измеренных действующих значений напряжения сигнала реакции тестируемого устройства и сигнала тестового воздействия.

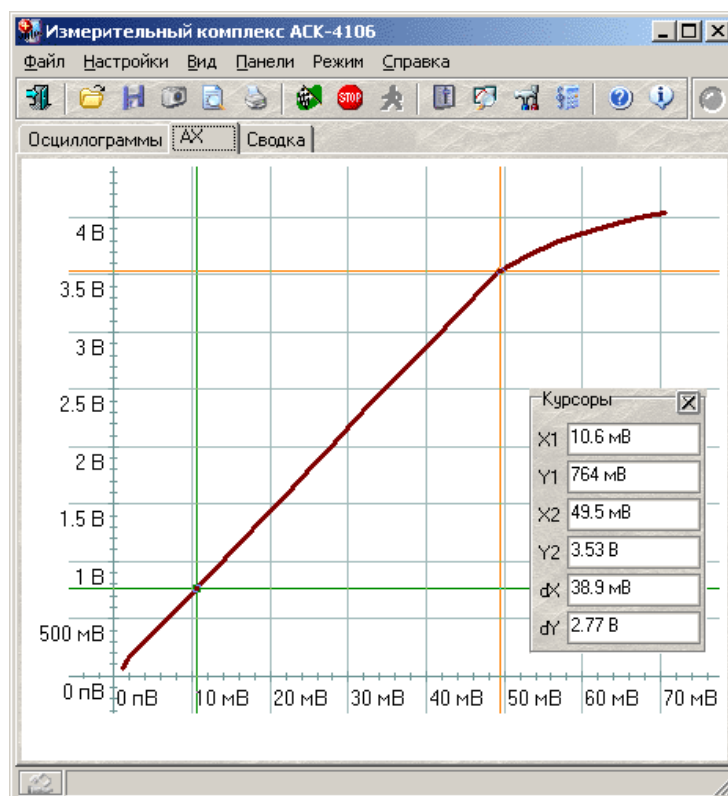
**Логарифмическая шкала (дБ)** — вместо коэффициента усиления откладывается его десятичных логарифм.

**Нормировка по опорному уровню (%)** — откладывается отношение величины коэффициента усиления в данной точке к другой фиксированной величине коэффициента усиления (заданной либо явно, либо измеренной на заданной частоте), выраженной в процентах.

Для выбора желаемого режима для шкалы значений графика АЧХ воспользуйтесь командой соответствующей командой меню <Вид> главной панели.

### **Вкладка амплитудные характеристики**

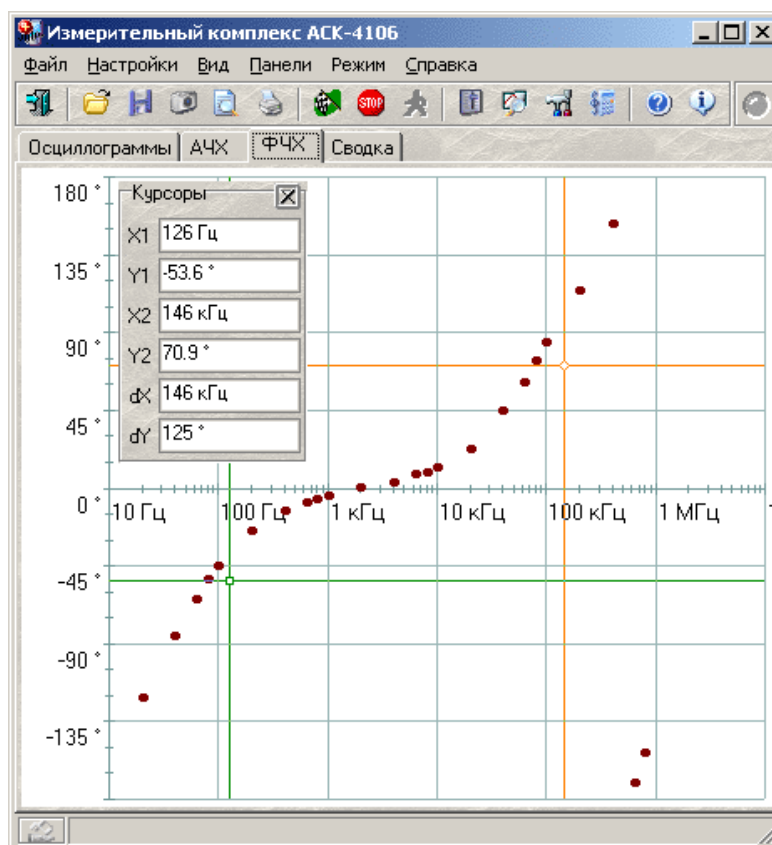
На вкладке «Амплитудные» отображается зависимость среднеквадратического значения амплитуды выходного сигнала от среднеквадратического значения амплитуды входного сигнала (амплитудная характеристика). Если текущая траектория измерений служит для измерения АЧХ и амплитуда входного сигнала поддерживается постоянной во всех измеряемых точках, этот график будет не слишком наглядным, представляя собой вертикальную линию. В этом случае пользователь может запретить программе, строить не нужный график. Это же относится и к графикам АЧХ и ФЧХ (см. ниже) при измерении амплитудной характеристики (когда измерения проводятся при фиксированной частоте ИС).



По оси ординат откладывается измеренное действующее значение напряжения сигнала тестового воздействия, по оси значений — измеренное действующее значение напряжения сигнала реакции тестируемого устройства.

### Вкладка фазо-частотная характеристика

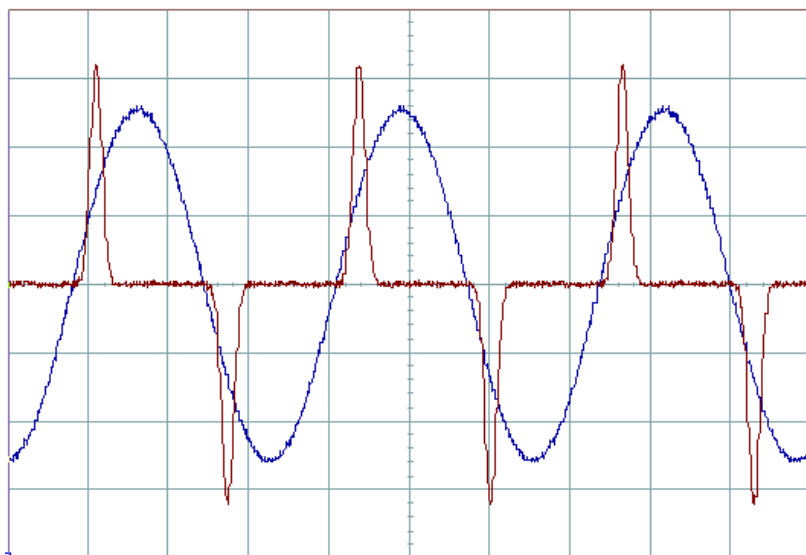
ФЧХ, фазо-частотная характеристика, изображается на последней графической вкладке: <Фазовые>. Здесь выводится зависимость величины угла сдвига фаз выходного сигнала относительно входного от частоты входного ИС. Величины углов могут по выбору пользователя отображаться в градусах, радианах, градиентах или в долях полного круга.



Диапазон определения угла сдвига фаз: от  $-180^\circ$  до  $+180^\circ$ .

Программа позволяет выбрать один из трех методов определения фазового сдвига: геометрический, метод <косинуса потерь> и спектральный. Геометрический метод для определения фазы сигнала просто находит моменты перехода величины сигнала через ее среднюю линию, поэтому, если, например, на вход тестируемого устройства подается синусоидальный сигнал, а на выходе наблюдается тот же синус, но ограниченный сверху или снизу, величина сдвига фаз окажется, искажена за счет смещения средней линии. В этом случае стоит использовать спектральный метод. При его использовании программа с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье раскладывает исследуемые сигналы в спектр, определяет главные гармоники (по условию максимума амплитуды) и показывает разность фаз между ними. Наконец, если тестируемое устройство кардинально изменяет форму ИС, можно попытаться определить величину сдвига фаз на основе формулы мощности потерь. Здесь слово <определить> надо понимать не только как <найти>, но и как <дать

определение>. Действительно, что считать сдвигом фаз для сигналов, изображенных на рисунке ниже? А между тем этот рисунок – иллюстрация к реальной задаче определения сдвига фаз между сигналами напряжения и тока при измерении параметров петли гистерезиса магнитопроводов.



Итак, пусть по одному каналу измеряется напряжение некоторого сигнала, по второму — ток этого же сигнала (в виде напряжения с шунта). Так как мощность этого сигнала можно выразить и как произведение действующих значений напряжения и тока и косинуса угла сдвига фаз между ними, и как интеграл произведения мгновенных значений напряжения и тока, можем записать:

$$\cos \varphi = \frac{\int_0^T U_A \cdot U_B dt}{T \cdot (U_{ARMS} \cdot U_{BRMS})},$$

где

$U_A, U_B$  — мгновенное значение сигнала по каналу А, В;

$U_{ARMS}, U_{BRMS}$  — среднеквадратическое значение сигнала по каналу А, В;

$T$  — длительность периода измеряемого сигнала.

Недостатком метода является невозможность определения знака угла сдвига фаз, поскольку измерения по разным каналам входят в формулу симметрично. Метод дает лишь абсолютное значение (модуль) угла.

### **Настройка пользовательского интерфейса**

Все графики имеют возможность курсорных измерений. Для каждого графика в программе пользователь может выбрать наиболее удобные настройки с помощью специального диалогового окна. Здесь можно выбрать как удобные цвета для всех элементов графика, так и настроить стиль графиков, установить параметры осей (масштаб, шаг сетки, линейная или логарифмическая). Каждый график настраивается независимо.

### **Сводная таблица результатов**

Просмотреть в числовом виде исходные данные для построения графических характеристик можно в таблице на вкладке "Сводка". Для каждой точки измерений в эту таблицу построчно заносятся: "N>" - номер точки измерений, "Частота ->" - заданная частота ИС, "Амплитуда ->" - заданная пиковая амплитуда ИС, "СКЗ ->" - измеренная среднеквадратическая амплитуда входного сигнала, "Частота <-" - измеренная частота выходного сигнала, "Фаза <-" - угол сдвига фазы выходного сигнала относительно входного, "СКЗ <-" - измеренная среднеквадратическая амплитуда выходного сигнала.

The screenshot shows the 'Измерительный комплекс АСК-4106' software window. The 'Сводка' (Summary) tab is active, displaying a table with 7 columns: N, Частота -> (Frequency ->), Амплитуда -> (Amplitude ->), СКЗ -> (Kurtosis ->), Частота <- (Frequency <-), Фаза <- (Phase <-), and СКЗ <- (Kurtosis <-). The table contains 24 rows of data, with the last row (N=24) highlighted in blue.

| N  | Частота -> | Амплитуда -> | СКЗ ->    | Частота <- | Фаза <- | СКЗ <-    |
|----|------------|--------------|-----------|------------|---------|-----------|
| 1  | 20 Гц      | 100 мВ       | 35.355 мВ | 20.011 Гц  | -122 °  | 555.48 мВ |
| 2  | 40 Гц      | 100 мВ       | 35.355 мВ | 40.041 Гц  | -85.2 ° | 1.172 В   |
| 3  | 63 Гц      | 100 мВ       | 35.355 мВ | 62.985 Гц  | -63.8 ° | 1.6174 В  |
| 4  | 80 Гц      | 100 мВ       | 35.355 мВ | 80.017 Гц  | -53 °   | 1.843 В   |
| 5  | 100 Гц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 100.03 Гц  | -44.9 ° | 2.0203 В  |
| 6  | 200 Гц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 200.07 Гц  | -25 °   | 2.3653 В  |
| 7  | 400 Гц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 400.09 Гц  | -13.4 ° | 2.5069 В  |
| 8  | 630 Гц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 630.15 Гц  | -8.2 °  | 2.5515 В  |
| 9  | 800 Гц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 799.95 Гц  | -5.95 ° | 2.5657 В  |
| 10 | 1 кГц      | 100 мВ       | 35.355 мВ | 999.49 Гц  | -4.47 ° | 2.5755 В  |
| 11 | 2 кГц      | 100 мВ       | 35.355 мВ | 2.0004 кГц | 0.569 ° | 2.5936 В  |
| 12 | 4 кГц      | 100 мВ       | 35.355 мВ | 3.9997 кГц | 3.86 °  | 2.5986 В  |
| 13 | 6.3 кГц    | 100 мВ       | 35.355 мВ | 6.304 кГц  | 7.97 °  | 2.5869 В  |
| 14 | 8 кГц      | 100 мВ       | 35.355 мВ | 8.0007 кГц | 9.63 °  | 2.5763 В  |
| 15 | 10 кГц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 9.9974 кГц | 12.2 °  | 2.5568 В  |
| 16 | 20 кГц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 20.001 кГц | 23.2 °  | 2.4384 В  |
| 17 | 40 кГц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 39.988 кГц | 45.1 °  | 2.1216 В  |
| 18 | 63 кГц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 63.094 кГц | 61.6 °  | 1.6913 В  |
| 19 | 80 кГц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 79.964 кГц | 73.5 °  | 1.4409 В  |
| 20 | 100 кГц    | 100 мВ       | 35.355 мВ | 99.983 кГц | 84.1 °  | 1.2088 В  |
| 21 | 200 кГц    | 100 мВ       | 35.355 мВ | 199.98 кГц | 114 °   | 600.41 мВ |
| 22 | 400 кГц    | 100 мВ       | 35.355 мВ | 400.26 кГц | 153 °   | 245.14 мВ |
| 23 | 630 кГц    | 100 мВ       | 35.361 мВ | 634.99 кГц | -171 °  | 128.94 мВ |
| 24 | 800 кГц    | 100 мВ       | 35.355 мВ | 800.37 кГц | -153 °  | 99.251 мВ |

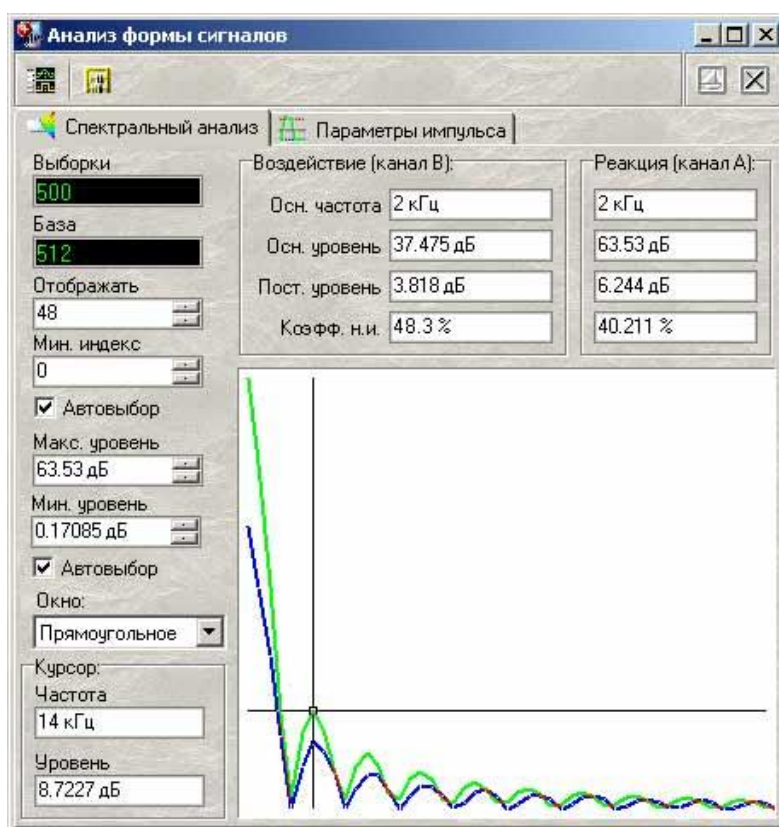
Все результаты измерений, в том числе и содержимое этой таблицы, могут быть сохранены в текстовый файл в формате <CSV>. Этот файл может быть, затем либо вновь открыт самой программой измерительного комплекса, либо использован для дальнейшей обработки данных внешними приложениями, такими, как Microsoft Excel или подобными. Кроме того, все графики программы также можно сохранить в файлы в виде изображений в растровой или в векторной форме. Наконец, содержимое любой вкладки результатов измерений пользователь может снабдить собственным комментарием и вместе с ним отправить на печать.

## Модуль анализа формы

Для изучения переходных характеристик испытываемых устройств пользователь может либо просто воспользоваться курсорными измерениями на графике формы сигналов либо дополнительно использовать возможности автоматических измерений модуля анализа формы сигнала. Этот модуль

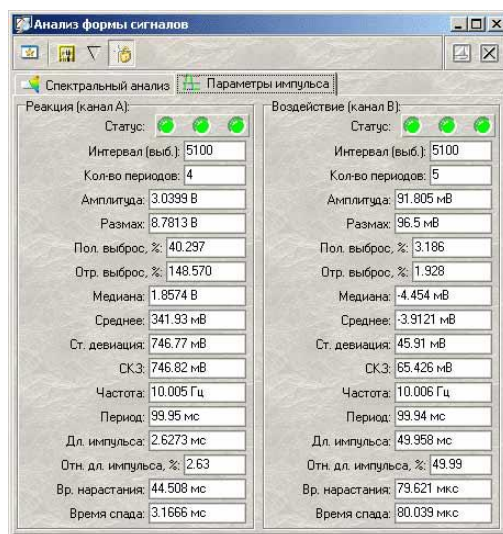


объединяет возможности спектрального анализа (разложение сигналов в гармонические ряды, изображение спектров сигналов и их параметров: частот и амплитуд гармоник, коэффициента нелинейных искажений) и алгоритмов автоматического определения параметров импульса (частоты, длины импульса, времен нарастания и спада, величин выброса и т. д.).



Программа имеет возможность автоматического определения стандартных параметров импульсных сигналов. Программа будет пытаться обнаружить в собранных осциллографом данных импульсный сигнал. В случае отсутствия подходящего сигнала с помощью светодиодов статуса на вкладке Параметры импульса панели анализа формы сигнала будет выведено сообщение о том, что параметры не определены, либо определены частично. В противном случае новые результаты вычислений будут выведены в соответствующие числовые поля панели. Поля, соответствующие неопределенным параметрам, будут

отображаться «недоступными». Ниже приведено описание определяемых параметров.

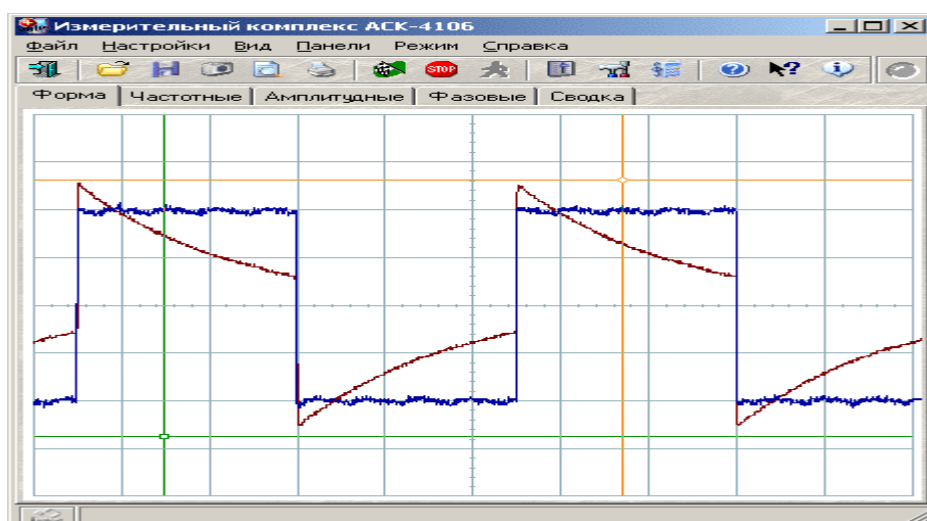


### 3. Порядок проведения работы

#### Методика проведения работы с виртуальным приборам

#### Работа с измерительным комплексом АСК-4106

Чтобы начать работу с режима измерительного комплекса, откройте меню «Пуск→Программы→АКТАКОМ→АСК-4106» и запустите программу «АСК-4106 Измерительный комплекс». На экране появится главная панель программы измерительного комплекса.

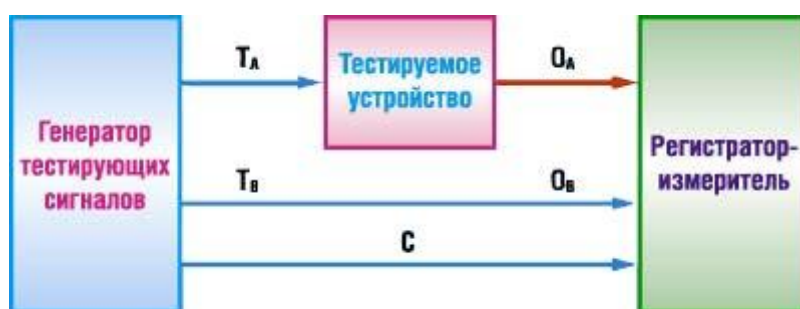


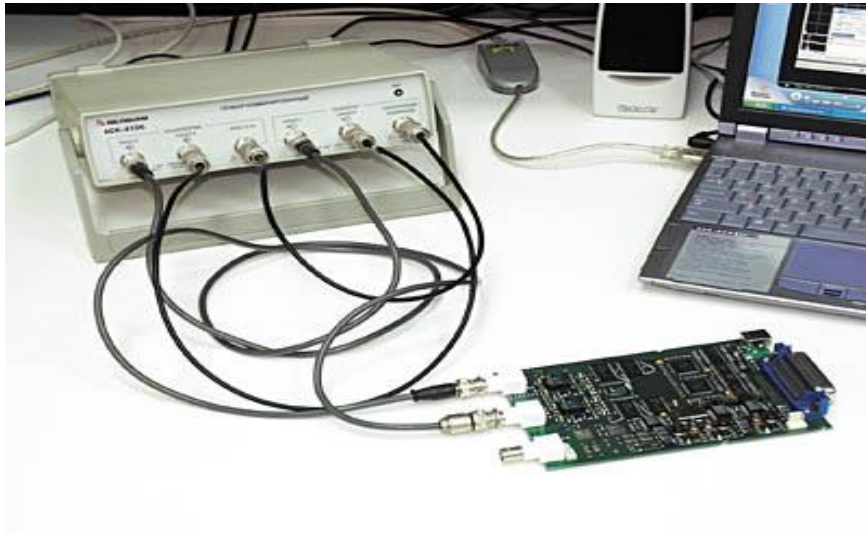
## Назначение

Программа «Измерительный комплекс АСК-4106» предназначена для автоматического измерения комплекса характеристик различных радиоэлектронных устройств. Программа позволяет снимать амплитудные, амплитудно-частотные, фазо-частотные и переходные характеристики тестируемого устройства. Для формирования входных тестовых сигналов используется модуль генератора АСК-4106, для измерения выходных сигналов — модуль осциллографа АСК-4106. Программа осуществляет одновременное управление обоими модулями в автоматическом режиме.

## Общие принципы работы прибора

На вход исследуемого устройства (ИУ) с выхода соответствующего генератора подается воздействие в виде тестирующего сигнала с необходимыми параметрами ( $T_A$ ). С выхода ИУ с помощью соответствующего регистратора (измерителя) снимается результат такого воздействия — отклик ( $O_A$ ) и анализируются числовые значения выбранного параметра или характеристики. Для того чтобы скомпенсировать собственные искажения прибора (например, неравномерность АЧХ осциллографа), идентичный испытательный сигнал ( $T_B$ ) подается также с канала В генератора напрямую на канал В осциллографа. Теперь, сравнивая измеренные сигналы по обоим каналам ( $O_A$  и  $O_B$ ), обнаружим только влияние ИУ (пренебрегая тонкими различиями между каналами прибора). Регистратор синхронизируется с генератором с помощью канала С (см. ниже).






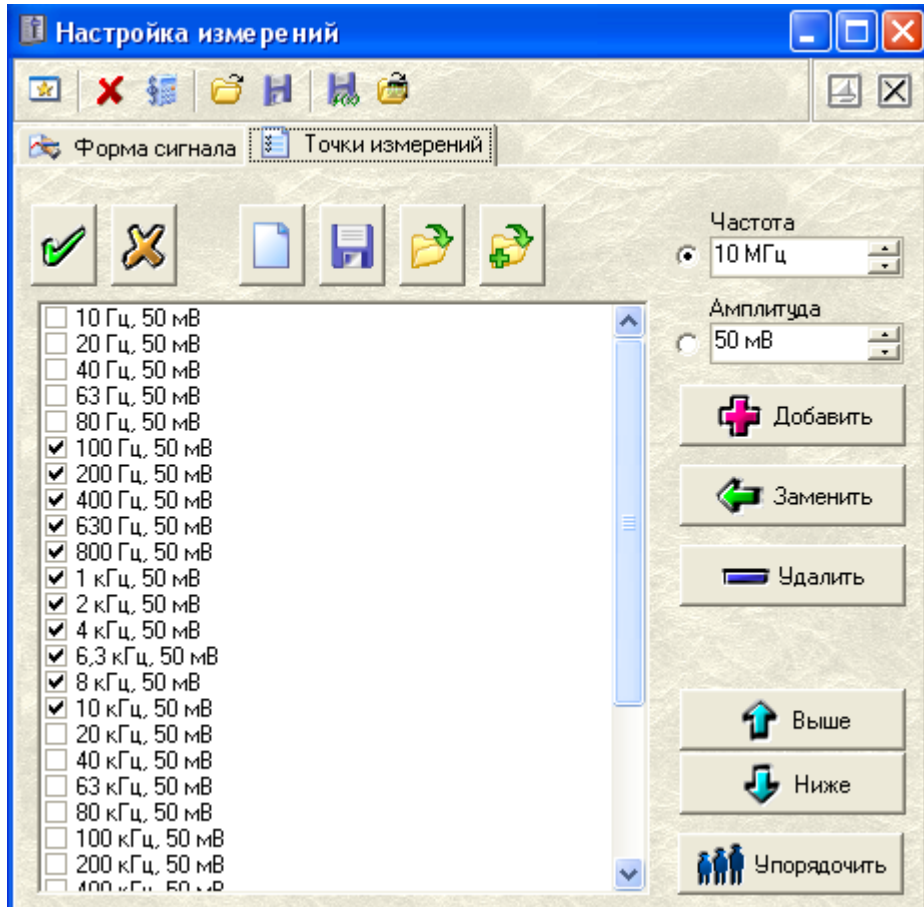
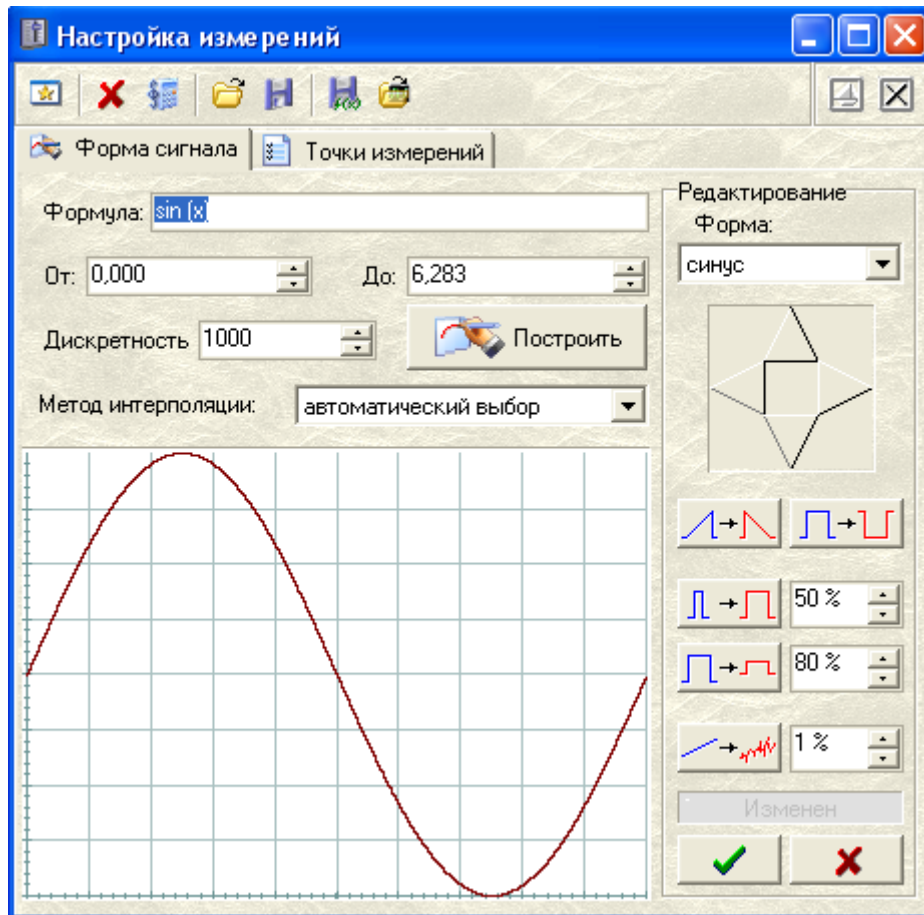
### **Подключение прибора**


Для проведения измерений необходимо подключить, к прибору четыре соединительных радиокабеля используя все его измерительные разъемы.

- 1) Выход синхронизации модуля генератора (СИНХРОНИЗАЦИЯ ВХОД/ВЫХОД) напрямую соедините с входом синхронизации модуля осциллографа (ВНЕС. А и В).
- 2) Выход канала В модуля генератора напрямую соедините с входом канала В модуля осциллографа.
- 3) Выход канала А модуля генератора соедините со входом исследуемого устройства.
- 4) Выход исследуемого устройства соедините со входом канала А модуля осциллографа.

### **Задание сигнала**

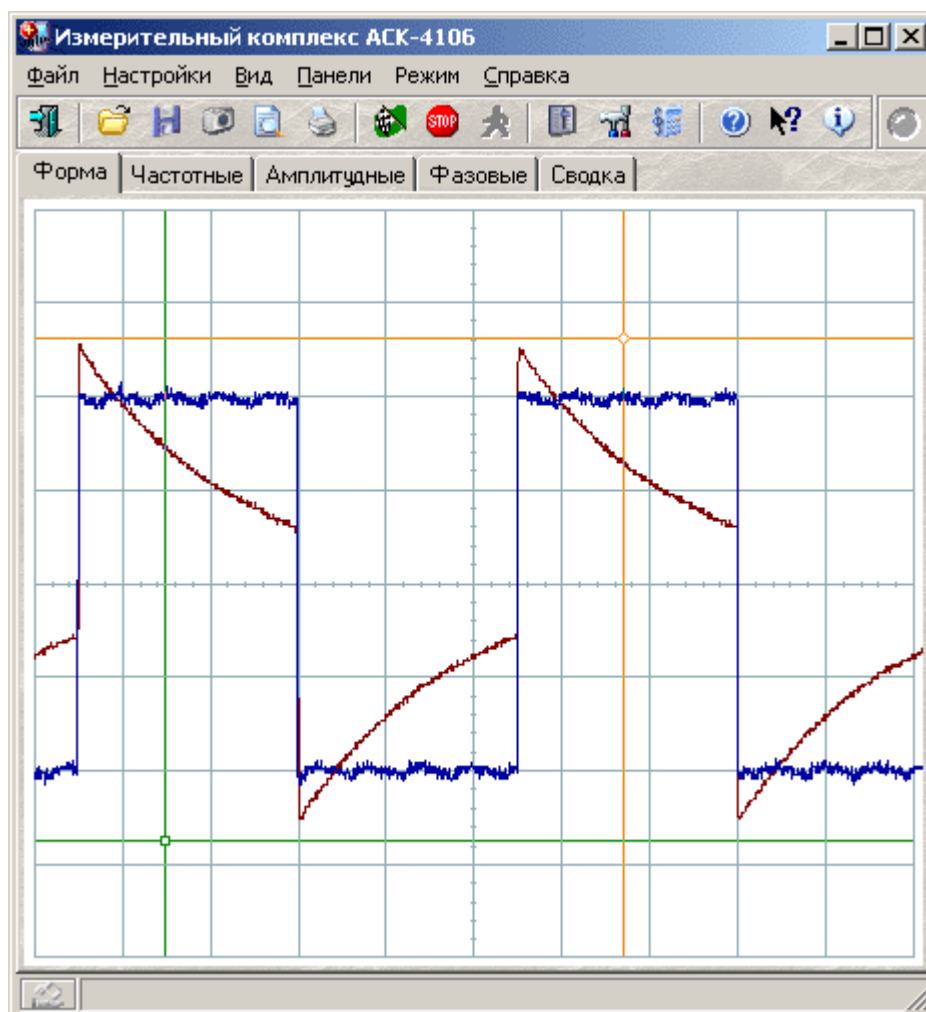
Затем с помощью нажатия кнопки  открываем панель настройки измерений. Где задается форма сигнала и траектория измерений.



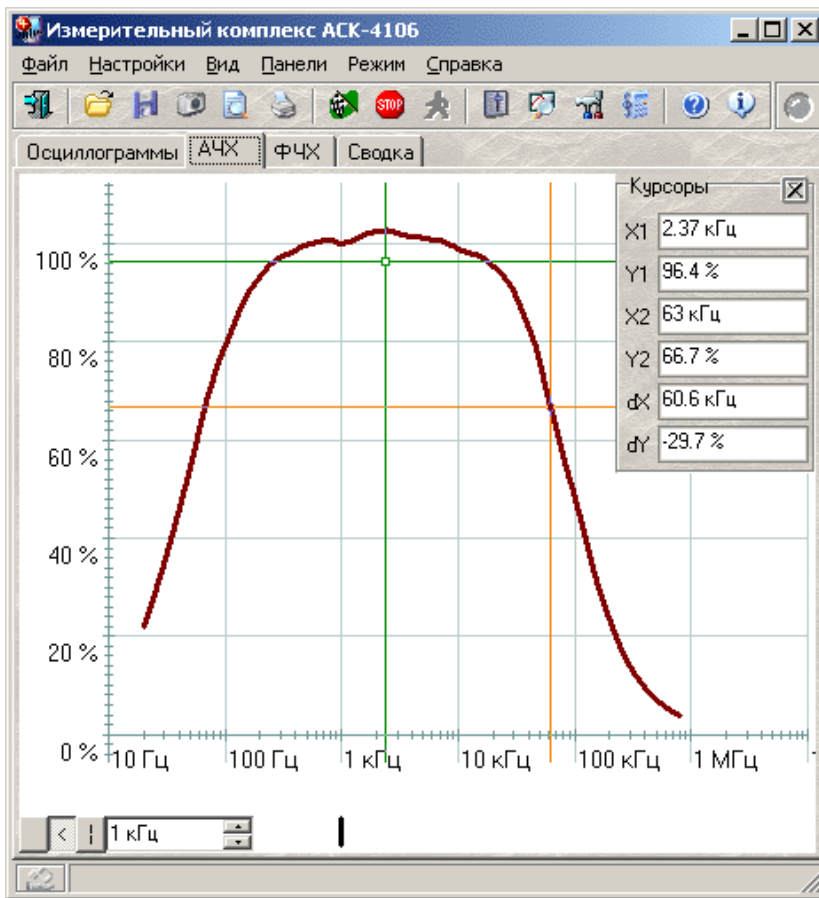
Задав нужные параметры необходимо обязательно с помощью кнопки  подтвердить изменения.

После этого мы можем наблюдать следующие характеристики тестируемого устройства:

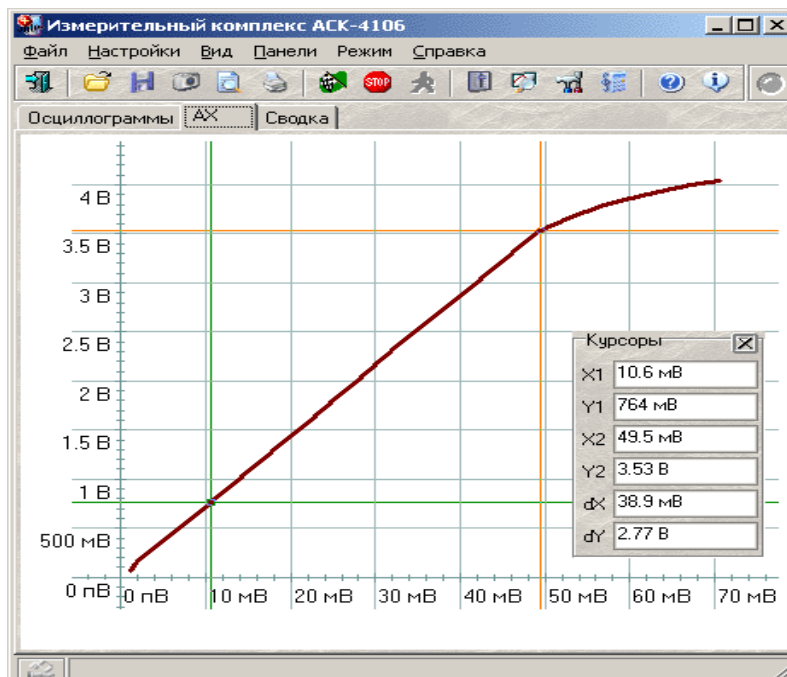
Осциллограммы



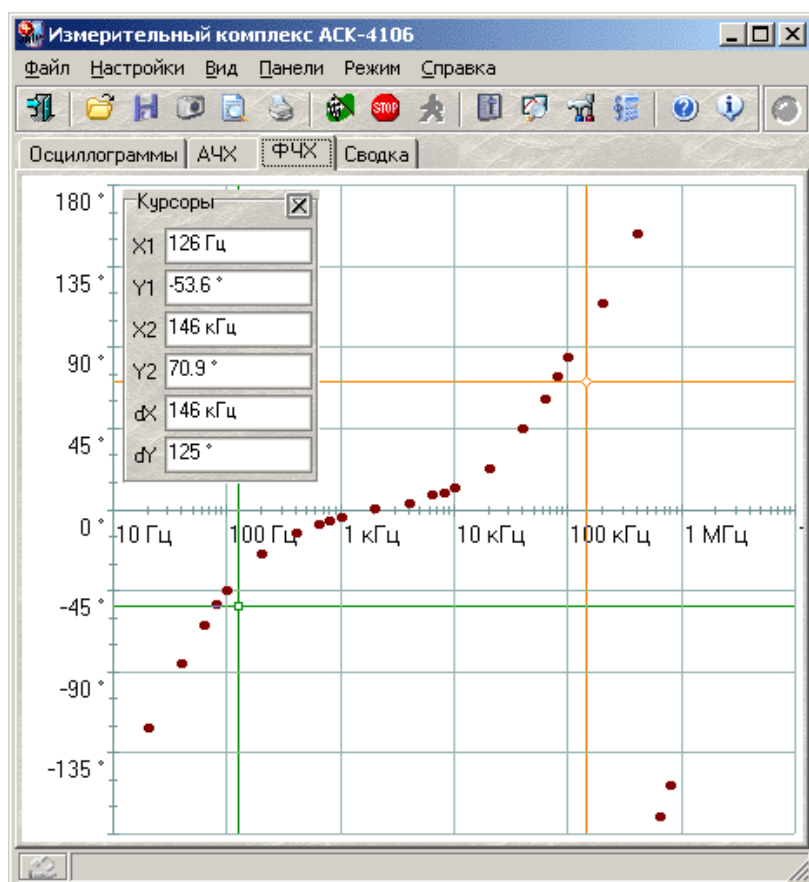
## Амплитудно-частотную характеристики



## Амплитудную характеристики



## Фаза – частотную характеристику



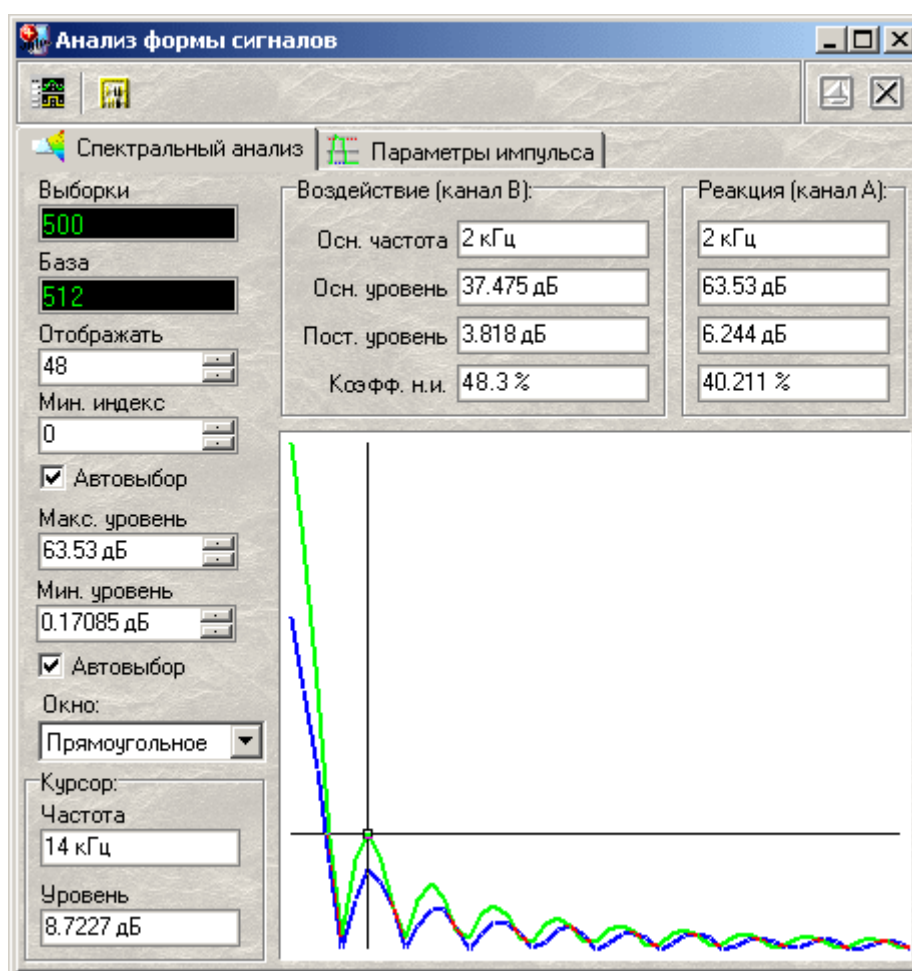
## Сводную таблицу

| N  | Частота -> | Амплитуда -> | СКЗ ->    | Частота <- | Фаза <- | СКЗ <-    |
|----|------------|--------------|-----------|------------|---------|-----------|
| 1  | 20 Гц      | 100 мВ       | 35.355 мВ | 20.011 Гц  | -122 °  | 555.48 мВ |
| 2  | 40 Гц      | 100 мВ       | 35.355 мВ | 40.041 Гц  | -85.2 ° | 1.172 В   |
| 3  | 63 Гц      | 100 мВ       | 35.355 мВ | 62.985 Гц  | -63.8 ° | 1.6174 В  |
| 4  | 80 Гц      | 100 мВ       | 35.355 мВ | 80.017 Гц  | -53 °   | 1.843 В   |
| 5  | 100 Гц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 100.03 Гц  | -44.9 ° | 2.0203 В  |
| 6  | 200 Гц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 200.07 Гц  | -25 °   | 2.3653 В  |
| 7  | 400 Гц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 400.09 Гц  | -13.4 ° | 2.5069 В  |
| 8  | 630 Гц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 630.15 Гц  | -8.2 °  | 2.5515 В  |
| 9  | 800 Гц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 799.95 Гц  | -5.95 ° | 2.5657 В  |
| 10 | 1 кГц      | 100 мВ       | 35.355 мВ | 999.49 Гц  | -4.47 ° | 2.5755 В  |
| 11 | 2 кГц      | 100 мВ       | 35.355 мВ | 2.0004 кГц | 0.569 ° | 2.5936 В  |
| 12 | 4 кГц      | 100 мВ       | 35.355 мВ | 3.9997 кГц | 3.86 °  | 2.5986 В  |
| 13 | 6.3 кГц    | 100 мВ       | 35.355 мВ | 6.304 кГц  | 7.97 °  | 2.5869 В  |
| 14 | 8 кГц      | 100 мВ       | 35.355 мВ | 8.0007 кГц | 9.63 °  | 2.5763 В  |
| 15 | 10 кГц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 9.9974 кГц | 12.2 °  | 2.5568 В  |
| 16 | 20 кГц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 20.001 кГц | 23.2 °  | 2.4384 В  |
| 17 | 40 кГц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 39.988 кГц | 45.1 °  | 2.1216 В  |
| 18 | 63 кГц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 63.094 кГц | 61.6 °  | 1.6913 В  |
| 19 | 80 кГц     | 100 мВ       | 35.355 мВ | 79.964 кГц | 73.5 °  | 1.4409 В  |
| 20 | 100 кГц    | 100 мВ       | 35.355 мВ | 99.983 кГц | 84.1 °  | 1.2088 В  |
| 21 | 200 кГц    | 100 мВ       | 35.355 мВ | 199.98 кГц | 114 °   | 600.41 мВ |
| 22 | 400 кГц    | 100 мВ       | 35.355 мВ | 400.26 кГц | 153 °   | 245.14 мВ |
| 23 | 630 кГц    | 100 мВ       | 35.361 мВ | 634.99 кГц | -171 °  | 128.94 мВ |
| 24 | 800 кГц    | 100 мВ       | 35.355 мВ | 800.37 кГц | -153 °  | 99.251 мВ |



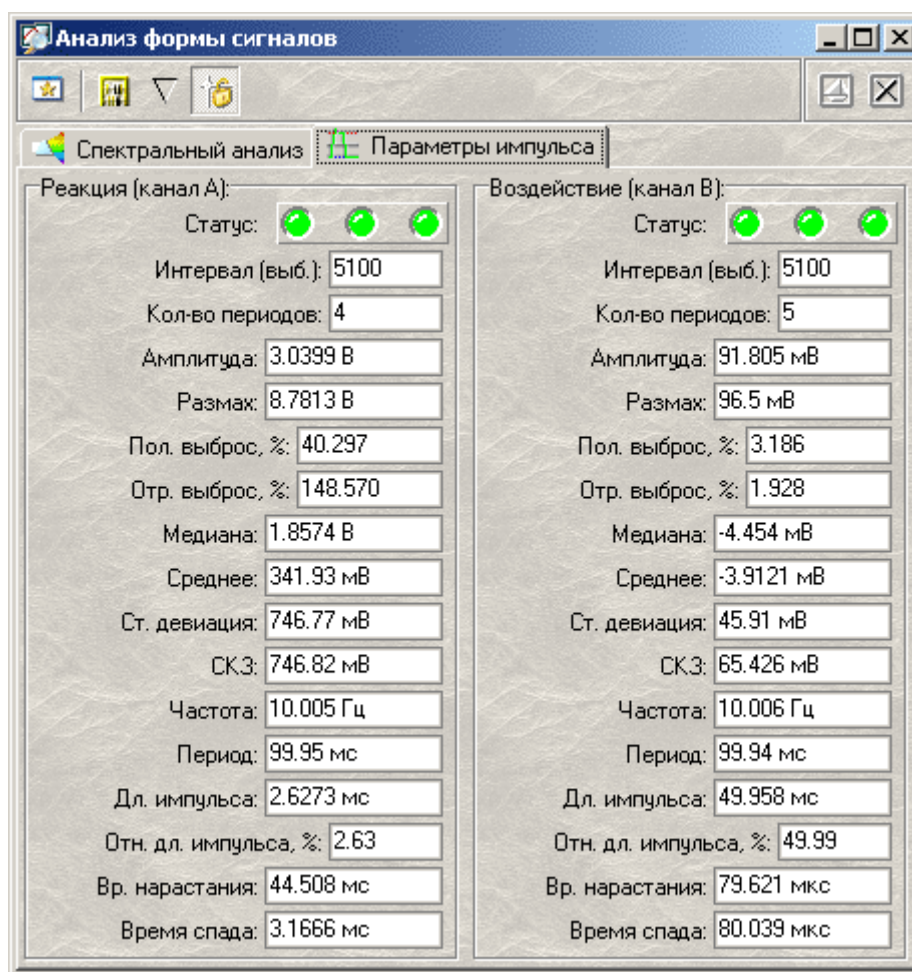
## Модуль анализа формы

Для изучения переходных характеристик испытываемых устройств пользователь может либо просто воспользоваться курсорными измерениями на графике формы сигналов либо дополнительно использовать возможности автоматических измерений модуля анализа формы сигнала. Этот модуль объединяет возможности спектрального анализа (разложение сигналов в гармонические ряды, изображение спектров сигналов и их параметров: частот и амплитуд гармоник, коэффициента нелинейных искажений) и алгоритмов автоматического определения параметров импульса (частоты, длины импульса, времен нарастания и спада, величин выброса и т. д.).



Программа имеет возможность автоматического определения стандартных параметров импульсных сигналов. Программа будет пытаться обнаружить в собранных осциллографом данных импульсный сигнал. В случае отсутствия

подходящего сигнала с помощью светодиодов статуса на вкладке Параметры импульса панели анализа формы сигнала будет выведено сообщение о том, что параметры не определены, либо определены частично. В противном случае новые результаты вычислений будут выведены в соответствующие числовые поля панели. Поля, соответствующие неопределенным параметрам, будут отображаться «недоступными». Ниже приведено описание определяемых параметров.



#### 4.Рекомендованная литература

1. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В.И. Нефедов, А.С. Сигов, В.К. Битюков и др.; Под редакцией В.И. Нефедова и А.С. Сигова. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Высшая школа, 2005. – 599 с.

2. <http://www.aktakom.ru/>
3. Колинко Т.А. Измерения в цифровых системах связи. Практическое руководство. – К.: ВЕК+, К.: НТИ 2002. - 320 с.
4. Иванов А.В. Контроль соответствия в телекоммуникациях и связи. Часть 1. – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001. – 375 с.
5. Бакланов И.Г. Тестирование и диагностика систем связи. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 264 с.
6. Бакланов И.Г. Технологии измерений в первичной сети. Часть 1. Системы E1, PDH, SDH. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 142 с.
7. Бакланов И.Г. Технологии измерений в первичной сети. Часть 2. Системы синхронизации, В-ISDN, АТМ. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 149 с.
- Шмалько А.В. Цифровые сети связи: планирование и построение. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 282 с.
8. Кузьнецов В.И. Радиосвязь в условиях радиоэлектронной борьбы. – Воронеж.: ВНИИС, 2002. – 403 с.
9. <http://www.kip.tomsk.ru/devices/>