

# КОМПЛЕКС СРЕДСТВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ

Е.Д.Баран<sup>1</sup>, А.В.Кухто<sup>1</sup>, А.Ю.Любенко<sup>1</sup>, И.Е.Наумкин<sup>2</sup>

1. Новосибирский государственный технический университет, 630092, Новосибирск-92, пр. К.Маркса, 20, тел. 3832-3460855, [baran@tiger.cs.nstu.ru](mailto:baran@tiger.cs.nstu.ru), [andy@tiger.cs.nstu.ru](mailto:andy@tiger.cs.nstu.ru), [lyubenco@ngs.ru](mailto:lyubenco@ngs.ru)

2. ОАО "Сибирский научно-исследовательский институт энергетики", 630112, Новосибирск, ул. Кленовая, 10/1, тел. 3832-290-45-04, [naumkinie@online.nsk.su](mailto:naumkinie@online.nsk.su)

## 1. Введение

При экспериментальных исследованиях и обслуживании объектов электроэнергетики применяются как комплекты из автономных контрольно-измерительных приборов – вольтметры, осциллографы, фазометры, ваттметры и др., так и специализированные устройства релейной защиты, и многофункциональные портативные тестеры [1-3]. С помощью этих приборов производится измерение текущих значений параметров, регистрация параметров при возникновении определенных событий, например, аварии, разнообразная обработка и визуализация полученной информации в различных форматах. Для удовлетворения достаточно жестких требований к быстродействию, точности, надежности и другим характеристикам приборов при их производстве проводят специальные исследования и испытания как в натуральных условиях, так и в условиях, воспроизводящих реальные процессы в системах и сетях электроэнергетики.

В работе рассматриваются вопросы создания многофункционального комплекса средств функциональной диагностики устройств релейной защиты и автоматики (МКФД РЗА) с использованием технологии виртуальных инструментов.

## 2. Результаты работы

Разработан макет МКФД РЗА, в состав которого входят:

1. Осциллограф для измерения и наблюдения аналоговых и дискретных сигналов
2. Быстродействующий регистратор аналоговых и дискретных сигналов
3. Анализатор векторных диаграмм
4. Анализатор спектра
5. Генератор аналоговых и цифровых сигналов для исследования и тестирования устройств РЗА
6. Мультиметр с функциями измерения действующих значений фазных напряжений и токов, полной, активной и реактивной мощности, сдвига фаз, косинуса  $\phi$ , частоты, периода, интервалов времени.

Все функции перечисленных приборов могут быть реализованы путем прямого измерения некоторых базовых величин с последующей обработкой результатов измерений. Трехфазная промышленная сеть переменного тока достаточно полно характеризуется такими базовыми величинами, как значения фазных/линейных напряжений и токов, а также напряжений и токов нулевой последовательности. При исследованиях и испытаниях устройств РЗА, кроме параметров электрической сети, необходимо контролировать ряд дискретных выходов и подавать тестовые воздействия на аналоговые и дискретные входы РЗА.

Для корректной оценки величин, определяемых косвенным способом, например, сдвига фаз, спектра и других, а также для обеспечения возможности сопоставления результатов измерений в разных фазах сети измерения необходимо проводить синхронно по всем каналам. Аналогичные требования предъявляются к устройству генерации тестовых сигналов.

С учетом изложенного техническая часть комплекса выполнена на основе встраиваемых в компьютер модулей ввода-вывода (рис. 1).

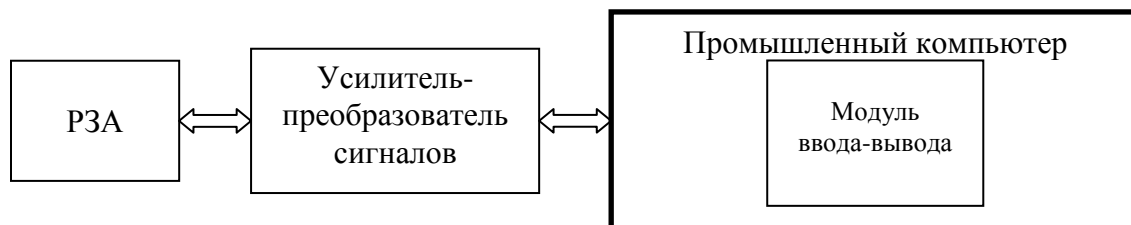


Рис.1. Структурная схема МКФД РЗА

Объект – устройство РЗА – подключается к входам и выходам приборов через блок усилителя-преобразователя, осуществляющего согласование сигналов по уровням и мощности, предварительную фильтрацию сигналов и гальваническую развязку каналов.

Выбор модулей ввода-вывода не составляет труда - продукция корпорации National Instruments предоставляет возможность решения задачи с использованием модулей разных классов и конструктивного исполнения. В наибольшей степени сформулированным требованиям удовлетворяют модули с частотой преобразования не ниже 100 кГц серии S (Simultaneous Sampling) и серии RIO (Reconfigurable Input/Output). Поскольку в перспективе необходимо создать на базе ядра МКФД комплекс программно-аппаратного моделирования электроэнергетических систем с функциями имитации функционирования устройств РЗА в режиме реального времени, в первом варианте макета МКФД применен модуль семейства RIO – PCI-7831R.

Основные технические характеристики макета (без учета характеристик усилителя-преобразователя сигналов):

- |  |                   |
|--|-------------------|
| 1. Аналоговых каналов, входных/выходных                                | - 8 / 8           |
| 2. Диапазон изменения напряжений по аналоговым входам/выходам          | - $\pm 10$ В      |
| 3. Разрешающая способность по аналоговым входам/выходам                | - 16 бит          |
| 4. Минимальный интервал дискретизации аналоговых сигналов во времени   | - 50 мкс          |
| 5. Дискретных каналов, входных/выходных                                | - 8 / 8           |
| 6. Диапазон измерения сдвига фаз                                       | - $\pm 180^\circ$ |
| 7. Разрешающая способность при измерении сдвига фаз (на частоте 50 Гц) | - $1^\circ$       |
| 8. Разрешающая способность при измерении периода и интервалов времени  | - 50 мкс          |

Программное обеспечение спроектировано в среде LabVIEW в соответствии с блок-схемой (рис. 2). Модули сбора и генерации данных предназначены для непосредственного взаимодействия с техническими средствами, остальные модули являются аппаратно-независимыми и выполняют функции обработки, визуализации и регистрации данных.

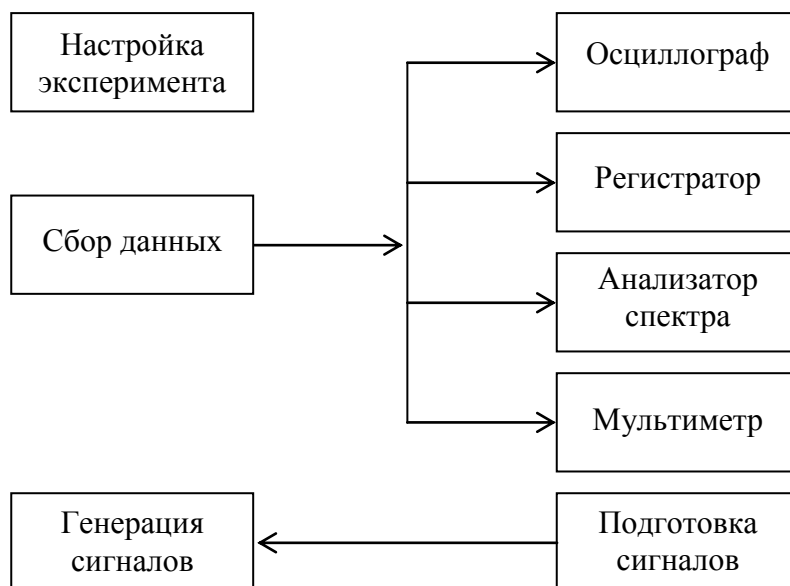


Рис. 2. Блок-схема алгоритма программного обеспечения

Сбор и генерация данных выполняются под управлением спроектированной средствами LabVIEW FPGA программируемой логической интегральной схемы, фрагмент блок-диаграммы сбора данных изображен на рис. 3.

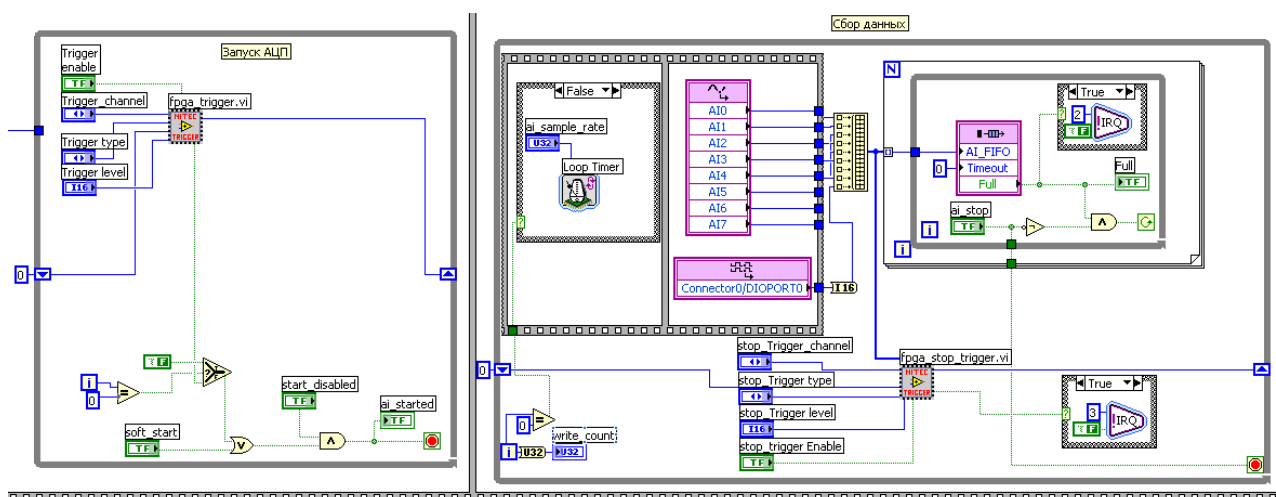


Рис. 3. Блок-диаграмма FPGA VI

В FPGA VI аппаратно реализован высокоскоростной непрерывный буферизированный сбор данных с условным запуском или остановом и программируемым интервалом дискретизации. Условием запуска/останова являются задаваемый оператором уровень и направление изменения напряжения на любом аналоговом или дискретном входе. Функция запуска по заданному событию выполнена аппаратно, при выборе режима с остановом сбора данных по заданному событию генерируется прерывание №3. В FPGA создан буфер FIFO емкостью 1К отсчетов на каждый входной канал, контроль за переполнением FIFO осуществляется узлом формирования запроса на прерывание №2.

Для непрерывной генерации сигналов используется буферная память емкостью 2К на каждый аналоговый и 16К на каждый дискретный канал.

Передача результатов измерений в программы верхнего уровня организована с использованием функций LabVIEW Real Time.

Рассмотрим функциональные возможности комплекса.

**Генератор** формирует до 8-ми аналоговых и до 8-ми дискретных тестовых сигналов, вид и параметры которых задаются с помощью встроенных редакторов. Фронтальная панель генератора изображена на рис. 4.

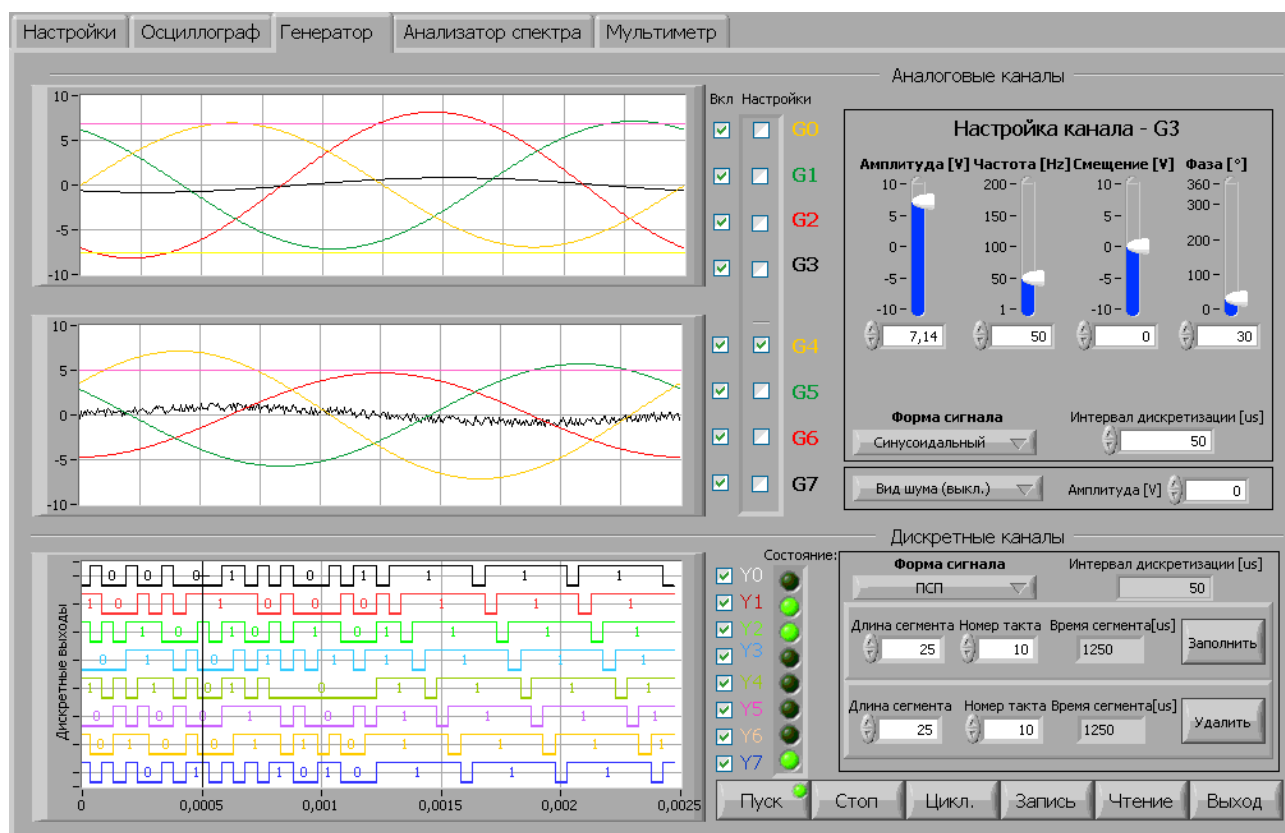


Рис. 4. Фронтальная панель генератора

В редакторе аналоговых тестовых сигналов реализованы возможности:

- автоматической генерации массива значений типовых форм сигналов – синусоидальной, прямоугольной, треугольной, пилообразной, а также сигналов, заданных некоторым аналитическим выражением
- задания требуемых параметров сигналов – амплитуды, частоты, фазы и т.п.
- задания интервала дискретизации сигналов во времени
- наложения на основной сигнал шума заданного вида и амплитуды

Редактор дискретных тестовых воздействий позволяет:

- автоматически генерировать сегменты типовых последовательностей дискретных сигналов - «Бегущий 0», «Бегущая 1», «Инкремент», «Декремент», «Псевдослучайная последовательность» и др.
- компоновать последовательности тестовых воздействий из сегментов типовых последовательностей заданной длительности
- корректировать вектора на любом такте

Подготовленные массивы значений тестовых сигналов могут быть сохранены в файлах и считаны из файлов для загрузки в память модуля ввода-вывода. Максимальная длина массива составляет 2К значений для каждого аналогового и 16К значений для каждого дискретного сигнала в соответствии с объемом буферной памяти FPGA.

Форму создаваемых тестовых сигналов оператор может контролировать на двух экранах аналоговых сигналов и одном экране дискретных сигналов.

Предусмотрена возможность отключения любой комбинации каналов.

**Осциллограф** измеряет и визуализирует значения напряжений по 8-ми аналоговым и 8-ми дискретным входам. Фронтальная панель осциллографа с открытой закладкой "Настройки графиков" показана на рис. 5.

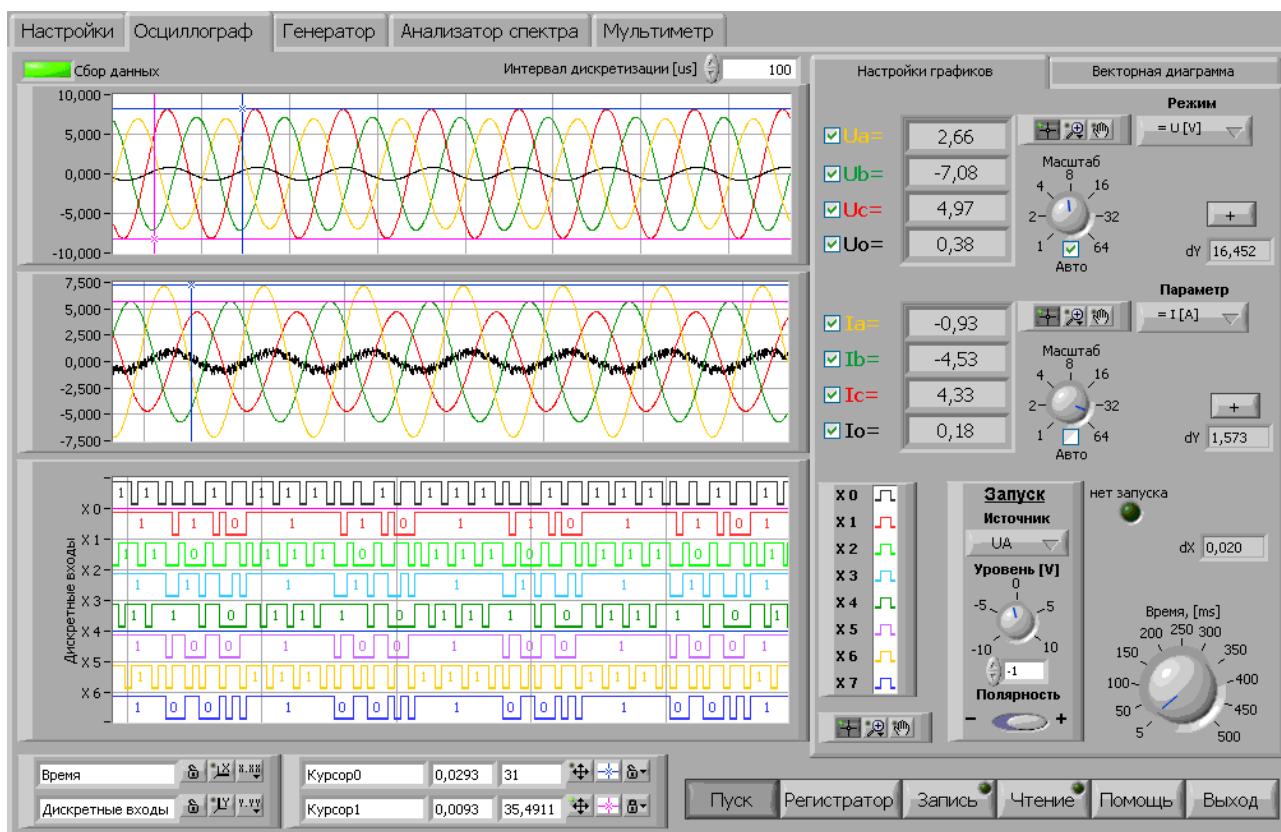


Рис. 5. Фронтальная панель осциллографа

На 2-х экранах отображаются по 4-е аналоговые величины, ассоциируемые - на первом экране - с мгновенными или действующими значениями фазных напряжений и напряжения нулевой последовательности, на втором экране - с мгновенными или действующими значениями соответствующих токов. Кроме того, на втором экране визуализируются тренды активной, реактивной и полной мощностей.

Третий экран предназначен для отображения дискретных сигналов.

Для всех каналов предусмотрен общий блок выбора источника, уровня и активного фронта сигнала запуска. Источником сигнала запуска может служить любой из входных каналов.

С помощью двух курсоров производится оценка значений сигналов в характерных точках графиков, эти значения отображаются на цифровых индикаторах. Курсоры на всех экранах - аналоговых и цифровом перемещаются синхронно с помощью общих инструментов управления курсорами.

По результатам обработки собранных данных строятся: **гистограмма** первых 6-и спектральных составляющих сигналов и суммы всех остальных и **векторная диаграмма**

(рис. 6). Векторная диаграмма строится по положению курсоров для одного периода основной гармонике сигналов.

Предусмотрены возможности сохранения собранных данных в файле, а также визуализации данных, прочитанных из ранее сохраненных файлов.

Из осциллографа может быть вызван специальный программный модуль "**Регистратор**". С целью достижения максимальной частоты измерений при запуске этого модуля отключаются все функции обработки и визуализации. Полученные данные отображаются на экранах осциллографа после прекращения регистрации по команде оператора или при выполнении заранее заданного условия.

Массивы результатов измерений и обработки доступны также и для модуля "**Анализатор спектра**" (рис. 7). Из исходных данных, которые отображаются на первом экране анализатора, с помощью курсоров вырезается интересующий оператора фрагмент, для которого может быть построен амплитудный, фазовый или энергетический спектр Фурье с наложением окон различного вида.

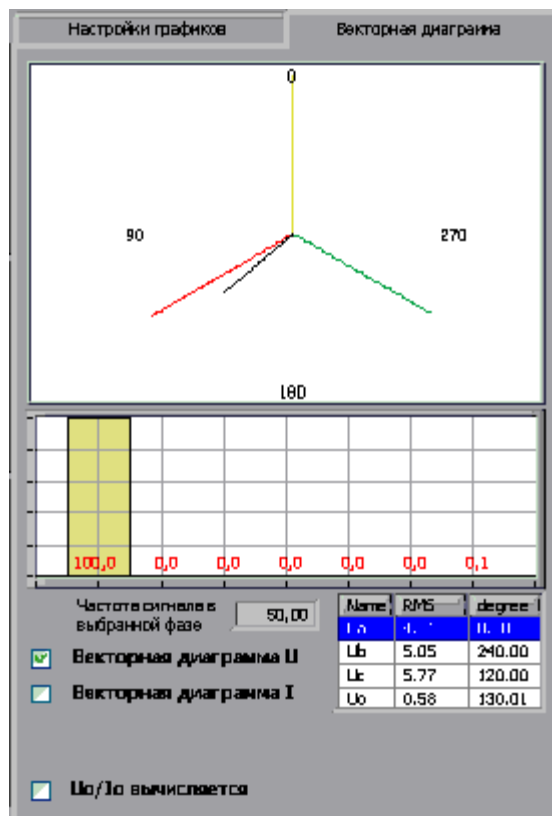


Рис. 6. Векторная диаграмма

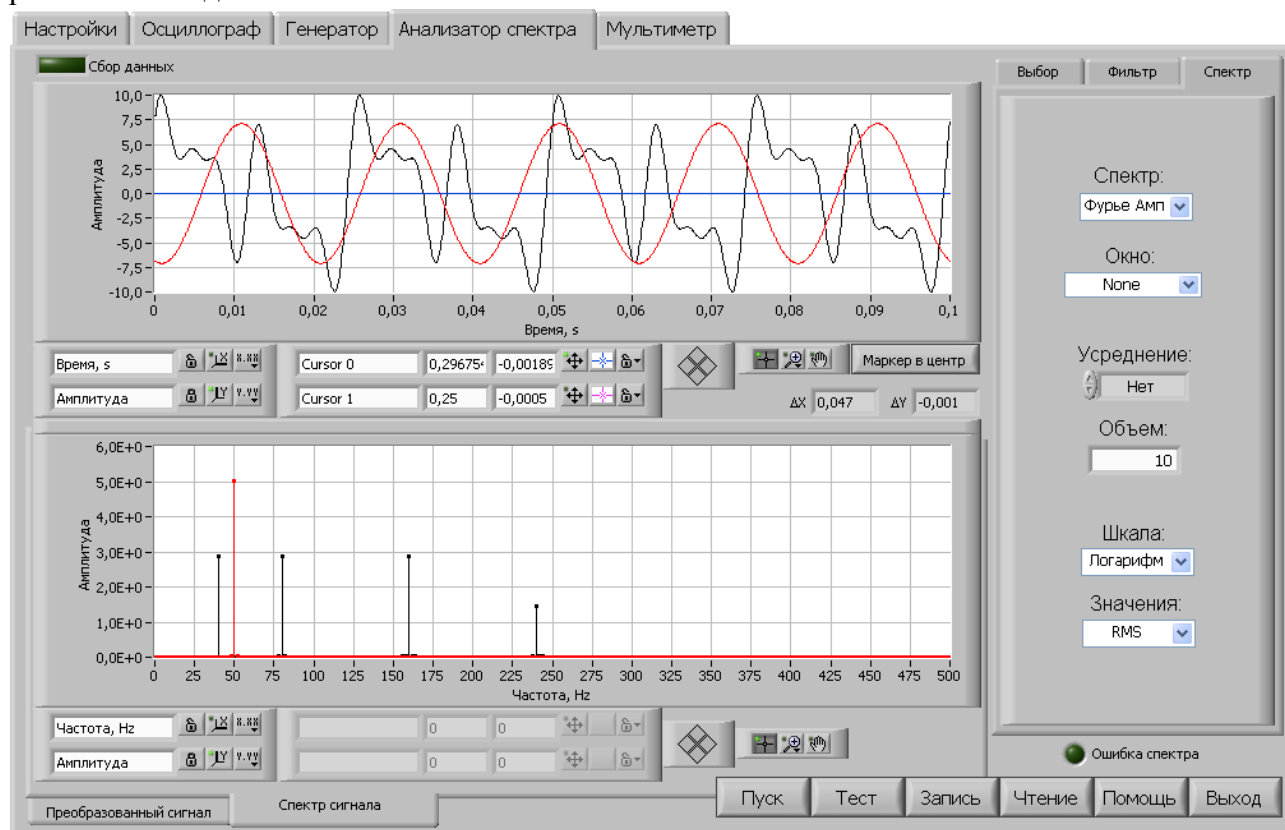


Рис. 7. Фронтальная панель анализатора спектра

Реализована также возможность фильтрации сигналов. После включения этой опции задаются топология и характеристики фильтров, отфильтрованный сигнал выводится на экран, доступный на закладке, открываемой вместо закладки "Спектр сигнала".

На панели "**Мультиметр**" в численном формате отображаются текущие значения всех измеренных и вычисленных величин: действующие значения напряжений и силы тока, активная, реактивная и полная мощность для каждой из фаз и суммарные, сдвиги фаз между фазными напряжениями, между напряжением и током для каждой из фаз, косинус фи, частота и период основных гармоник, интервал времени между перепадами напряжений на дискретных входах и др.

Таким образом, разработанный комплекс предоставляет экспериментатору или испытателю возможность получить исчерпывающую информацию обо всех основных параметрах тестируемого устройства РЗА или иного объекта электроэнергетики.

Принятая структура программного обеспечения позволяет сравнительно просто компоновать программные модули для создания автономных специализированных приборов, реализующих сокращенный набор функций, например, осциллографа или анализатора спектра и т.п., модифицировать набор реализуемых виртуальной лабораторией функций, использовать различные технические средства, заменяя только модули, ответственные за взаимодействие с аппаратурой, не изменяя при этом модули обработки и визуализации. Так, например, для увеличения частоты измерений в режиме регистрации, разрабатывается вариант МКФД на основе модулей серии S.

Однако более перспективным, особенно для портативного исполнения, представляется применение новой версии модуля FPGA, поддерживающего режим DMA, в сочетании контроллером реального времени.

### **3. Оборудование**

В разработанном макете комплекса использован модуль PCI-7831R в шасси промышленного компьютера IPC-602P3-30ZB компании Advantech с процессором Pentium 4, 3,2 GHz. Во втором варианте макета применены модули PCI-6143 и PCI-6733.

### **4. Преимущества технологий National Instruments**

Высококачественные технические средства и мощная среда проектирования LabVIEW корпорации National Instruments позволили в кратчайшие сроки разработать многофункциональный комплекс для исследований, производства и эксплуатационного обслуживания объектов электроэнергетики, который может быть легко адаптирован для применения в других отраслях техники.

### **Литература**

1. С.Н. Глезеров. ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА «НЕВА». "Релейная защита и автоматика энергосистем 2004". Электронный сборник докладов. [http://www.so-cdu.ru/RZA/list\\_rza-2004.htm](http://www.so-cdu.ru/RZA/list_rza-2004.htm).
2. А.Н. Бирг, В.Н. Дмитриев, А.П. Малый. Современное испытательное оборудование серии РЕТОМ. "Релейная защита и автоматика энергосистем 2004". Электронный сборник докладов. [http://www.so-cdu.ru/RZA/list\\_rza-2004.htm](http://www.so-cdu.ru/RZA/list_rza-2004.htm).
3. А.В. Мокеев, А.В. Миклашевич. "Разработка систем сбора данных с цифровых измерительных преобразователей и микропроцессорных устройств релейной защиты". Электронный сборник докладов. [http://www.so-cdu.ru/RZA/list\\_rza-2004.htm](http://www.so-cdu.ru/RZA/list_rza-2004.htm).