

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ БЛОК ПЕРЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НА ПЛИС

Молков Н.П., Соколов М.А.

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

В настоящее время можно выделить два основных пути развития измерительных технологий. Первый путь связан с разработкой специализированных приборов (осциллограф, анализатор спектра), ориентированных на выполнение двух-трех специфических задач. Основной недостаток подобных устройств: функциональность их жестко задана. Отсюда невозможность переконфигурирования системы для выполнения определенной измерительной задачи. Плюсами подобных устройств являются: возможность анализировать сигналы в широкой полосе (сотни МГц), точность вычислений, высокая скорость обработки, позволяющая работать в режиме реального времени.

Второй путь развития связан со средствами измерений, построенными на базе персональных компьютеров (ПК). Такие системы включают в себя программные оболочки, предназначенные для сбора, обработки и визуального представления информации, и такие типы аппаратного обеспечения, как встраиваемые АЦП-ЦАП платы сбора данных либо внешние программно-управляемые модули предварительной обработки сигналов, осуществляющих обмен данными с ПК. Несомненным достоинством этих систем является то, что функциональность прибора полностью определяется пользователем. В его распоряжении находится набор реализованных программно вычислительных методов, оперируя которыми, он может создать необходимую ему измерительную схему. Однако гибкость и многофункциональность подобных систем снижает их быстродействие и делает зависимыми от вычислительной мощности ПК.

Настоящий проект направлен на создание универсального измерительного прибора изначально позиционируемого как гибкое, многофункциональное измерительное средство, работающее в режиме реального времени. Такие характеристики обеспечиваются за счет аппаратной цифровой обработки сигналов на кристалле с изменяемой архитектурой. Роль ПК при этом ограничивается первоначальным конфигурированием устройства, а также сбором и отображением результатов обработки информации.

Прибор представляет собой внешнее устройство, подключаемое к ПК по USB шине (рис.1). За счет возможности перекоммутации реализованных аппаратно функциональных блоков, пользователь получает возможность создать прибор, предназначенный для индивидуальной измерительной задачи. В функциональные возможности прибора входит: корреляционно-спектральный анализ, фильтрация, статистическая обработка данных, вычисление Вейвлет-преобразования, кепстра, биспектра и т.д.

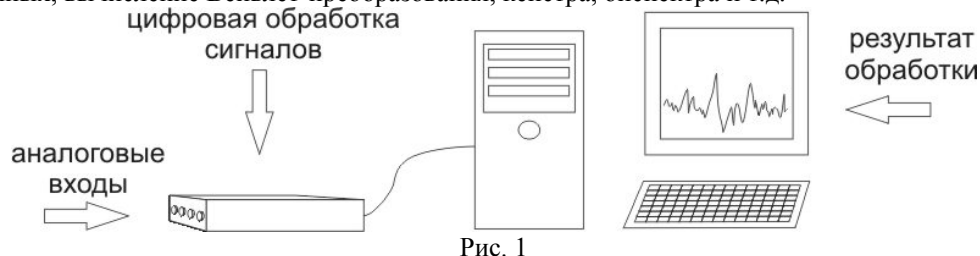


Рис. 1

Структуру измерительной системы можно условно представить в виде трех частей: измерительные модули, коммуникационная плата и программное обеспечение (рис.2).

Измерительные модули содержат преобразователи АЦП, с сопутствующими аналоговыми цепями и устройствами развязки. Сопряжение с коммуникационной платой производится через информационный 40-жильный шлейф с разъемом IDC-40.

Коммуникационная плата осуществляет сбор данных с нескольких измерительных модулей, хранение, обработку и отправку результатов обработки в ПК по интерфейсу USB. В качестве устройства, по сбору и обработке данных, решено использовать программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС). На базе логических элементов можно построить конечные автоматы, реализующие алгоритмы цифровой обработки сигналов и, оптимизируя их структуру, добиться более высоких скоростей вычисления, чем в случае вычисления на процессоре ПК или специализированных процессорах обработки сигналов.

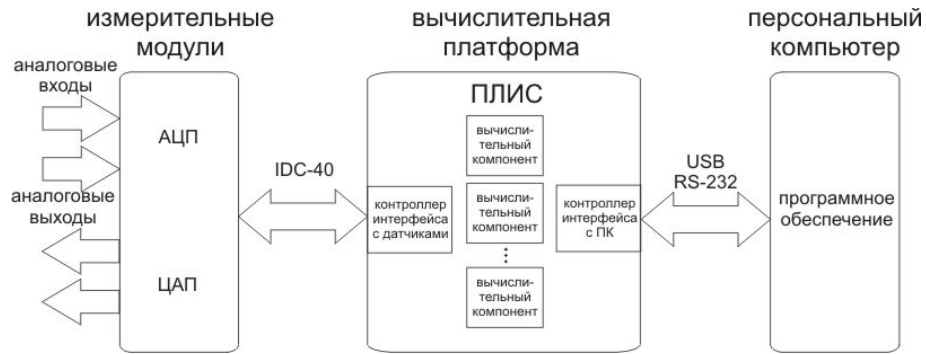


Рис. 2

Прошивка ПЛИС хранится в съемном флэш-ПЗУ и после включения питания автоматически перепишивается в программирующий сдвиговый регистр ПЛИС. Такой подход обеспечивает дополнительную гибкость системы, поскольку при появлении новых разработок пользователю не нужно приобретать новое специализированное устройство, а достаточно заменить съемный прошивочный модуль и добавить библиотеку в программное обеспечение. Кроме того, возможно выполнение приборов по индивидуальному заказу потребителя с учетом тех функций, которые нужно будет включить в прошивочный модуль.

Специальное программное обеспечение, установленное на ПК с подключенным к нему измерительным прибором, в процессе работы прибора выполняет только сбор и отображение результатов обработки информации, проведенной аппаратно. В процессе настройки прибора потребитель имеет возможность использовать для создания необходимой ему системы все блоки обработки, размещенные на кристалле, в любой конфигурации. У каждого блока имеются собственные настройки, такие, например, как частота дискретизации децимирующего фильтра, количество точек дискретного преобразования Фурье и т.д. Набор инструментов визуального интерфейса, доступных пользователю, полностью соответствует аппаратному набору настраиваемых функциональных блоков.

Операции, производимые системой обработки, разделены на потоковые и блочные. Примером потоковой операции является цифровая фильтрация или некоторые арифметические действия над сигналом: сложение с сигналом, сложение с константой и т.д. Примерами блочных операций являются: дискретное преобразование Фурье, оценка вероятностного распределения сигнала и т.д. Такое разделение необходимо для того, чтобы была возможность на базе потоковых операций организовать цепочку обработки в реальном времени: АЦП, набор потоковых операций, ЦАП.

Некоторые параметры вычислений: порядок, состав, некоторые настройки – должны быть программно доступными. Таким образом, чтобы программист, используя стандартную среду разработки windows-приложений, имел возможность обратиться к ним через интерфейс ввода-вывода ПК (например, RS-232, USB). И в тоже время вычисления должны быть оптимизированы по скорости. Известно, что крупные процессорные системы, реализованные на ПЛИС не оптимальны с точки зрения скорости вычислений [4]. В то время как конечные автоматы не обладают той гибкостью, которая необходима для построения переконфигурируемой системы обработки информации. Поэтому решено было строить гибридную систему, в которой вычислительное ядро, реализующее сам алгоритм цифровой обработки информации, является конечным автоматом, а управляет им некоторая процессорная архитектура, которая и является программно доступной.

Предлагаемая система обработки состоит из множества компонентов, число которых будет увеличиваться с усложнением прибора. Ситуацию усложняет еще тот факт, что, несмотря на различные принципы обработки данных, компоненты должны взаимодействовать, не мешая друг другу. При этом взаимодействия также предполагаются различными: взаимодействие между компонентами, взаимодействие компонента и персонального компьютера. Для облегчения взаимопонимания разработчиков и для лучшего понимания системы в целом, введены различные уровни описания компонентов – многоуровневая система абстракции.

Алгоритмический уровень заключается в описании компонента наиболее детально – на уровне конечных автоматов, вычислительных и других ресурсах кристалла, задействованных в данном компоненте. Он описывает компонент с точки зрения вычислительного элемента. На данном уровне описания не затрагиваются вопросы коммуникации с другими компонентами. Не затрагиваются также вопросы управления и конфигурирования устройства. Описывается вычислительный элемент, либо их набор, либо механизм распределения вычислений.

Следующий уровень описывает механизм управления компонентом, в каком виде в него поступают данные, служебные, сопутствующие сигналы, сигналы синхронизации, а также линии, отвечающие за начальную конфигурацию узла, механизм управления им. В связи с оптимизацией работы системы в целом, есть необходимость грамотного расходования ресурсов кристалла ПЛИС, а это значит, что вычислители, имеющие на алгоритмическом уровне одно описание, могут использоваться в разных задачах. Особенно это замечание относится к операции свертки. Использование вычислителей в различных приложениях - задача, решаемая системой управления.

Уровень межкомпонентного взаимодействия. Этот уровень описания сводится к выработке протокола взаимодействия компонентов между собой. Описывается вид компонента со стороны другого. Он должен быть одинаковым для всех компонентов одного ранга. Например, вычислители. На этом уровне они должны выглядеть одинаково, будь то цифровой фильтр либо быстрое преобразование Фурье. Исключение составляют некоторые управляющие элементы, либо элементы согласования.

Уровень взаимодействия с ПК. Уровень специфицирует протокол сообщения между компонентом, реализованным на ПЛИС и видимым пользователем образом этого компонента в интерфейсе. Протокол в общем случае должен быть двухсторонний, поскольку необходимо не только передавать обработанные данные в ПК для отображения, но и конфигурировать компонент перед началом работы. Разработка на этом уровне включает в себя как часть, связанную с проектированием ПЛИС, так и программную часть на выбранном языке разработки высокого уровня. На уровне аппаратного проектирования разработка сводится к реализации модулятора-демодулятора, который обеспечивает передачу данных по выбранному интерфейсу, разработке протокола передачи, согласно которому можно на стороне ПК идентифицировать данные, какой компонент их отправил и в каком формате. Также, на этом уровне решается задача коммутации права на передачу данных от всех компонентов, сконфигурированных для этого. На стороне ПК решаются следующие задачи: выработка протокола общения образа на интерфейсе и компонента, реализованного на ПЛИС, реализация модулятора-демодулятора. Модулятор преобразует, согласно протоколу, конфигурационные данные, а демодулятор, имея информацию о том, от какого компонента пришли данные и в каком формате, размещает их на плоскости отображения в соответствующем окне.

Пользовательский уровень описывает компонент так, как он будет выглядеть со стороны пользователя, какими настройками обладать и с какими компонентами пользовательского же уровня может взаимодействовать.

#### Литература

- [1] <http://www.ni.com>
- [2] <http://www.tec.com>
- [3] <http://www.lecroy.com>
- [4] Тарасов И.Е., Разработка цифровых устройств на основе ПЛИС Xilinx с применением языка VHDL. – М: Горячая линия-Телеком, 2005. – 252 с.

---

### CALCULATION BLOCK OF UNIVERSAL RECONFIGURABLE MEASURING DEVICE BASED ON EPLD

Molkov N., Sokolov M.

Nizhny Novgorod State University named after N.I.Lobachevsky

The goal of universal measuring device development project is to create a system positioned as flexible, multi-purpose construction, working in real time. A distinctive feature of offered development is the width of the processable waveband up to hundreds of megahertz in a combination with flexibility which provide an opportunity to construct the device for an individual measuring task. Such characteristics can be provided by hardware digital signal processing on a chip with changeable architecture. Correlation-spectral analysis, digital filtration, statistical data processing, some arithmetic functions, finite state machine, wavelet transform, cepstrum and bispectrum estimation – these are the main device functionality.

The structure of the measuring device basically can be presented by three parts: measuring modules, processing system and software. The measuring modules include a set of analog-to-digital converters with programmable gain amplifiers, and digital-to-analog converters. The processing system is based on EPLD, because we need, first of all, a flexible construction. And programmable logic meets these requirements. The device will be connected to the personal computer through USB or RS-232. The personal computer will not calculate anything. All the calculations will be done in the processing system, on the EPLD. The computer only represents the results of these calculations. The conception of universal measuring device on the part of user is like the conception of software product of National Instruments – LabView. Improving the productivity in comparison with LabView is achieved owing to hardware digital signal processing. The offered development has the advantage of the same class productivity oscilloscopes [1], [2] at the expense of flexible architecture.

All the operations in the processing system are separated into two parts: real-time operations and pulse gate operations. This division is useful when you want to construct such network: ADC, the set of real-time operations, DAC.

To interacting user interface with processing system, some calculation blocks should be program-accessible. Also all the calculations should be optimized to achieve high computation speed. It's well-known that if we realize some signal processor on EPLD, it wouldn't have higher productivity, than DSP [3]. Also the finite state machine has not such flexibility as we need. So we decided to construct hybrid system. It has several kinds of blocks: com-

puting cores and control units. Control units are the processors with specific set of commands. Computing blocks are not program-accessible for user, only for control units.

The combination of computing blocks and control unit was named the component. For example, convolution component. Computing block realizes some digital signal processing algorithm. There is a multilevel description of each component. Algorithmic level describes the finite state machine which produces some computing operation. For example, convolution, Fast Fourier Transform. Control level specifies data stream protocols, synchronization, control signals. Also it accounts for start configuration of component. Because of system activity optimization in general, there is a necessity in economical expenditure of EPLD calculation abilities, thus, the calculation blocks of one description at the algorithmic level may be applied for different tasks. The uniform interface has been elaborated at the intercomponent interaction level. According to it, all the components may be reconfigured in any order.

#### References

- [5] <http://www.tec.com>
- [6] <http://www.lecroy.com>
- [7] Tarasov I.E., Razrabotka tsifrovih ustroystv na osnove PLIS Xilinx s primeneniem iazika VHDL. – M: Goriachaia linia-Telekom, 2005. – 252 p.

