

УДК 621.317:004.315

## ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ НА SOC XILINX ZYNQ7010

Ясько Н.С., Тявловский А.К., Париза И.А., Микитевич В.А., Борисенок С.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Использование цифровых методов измерения контактной разности потенциалов приводит к формированию дополнительного шума дискретизации, а также, вследствие отсутствия у цифрового зонда Кельвина эффекта интеграции сигнала, повышает чувствительность измерительной системы к внешним электромагнитным наводкам. Для борьбы с такого рода шумами и помехами предлагается использовать методы цифровой фильтрации сигналов на основе фильтра с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтра). Рассмотрена реализация такого фильтра с использованием процессорной системы Zynq.

**Ключевые слова:** сканирующий зонд Кельвина, цифровая фильтрация, БИХ-фильтр, КИХ-фильтр, IP-ядро.

## SOFTWARE REALIZATION OF DIGITAL FILTERS ON A SOC XILINX ZYNQ7010

Yasko N.S., Tyavlovsky A.K., Parisa I.A., Mikitevich V.A., Borisenok S.V.

Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The use of digital methods for measuring contact potential difference leads to the formation of additional sampling noise, and also, due to the lack of a signal integration effect in a digital Kelvin probe, the sensitivity of the measuring system to external electromagnetic interference increases. To reduce these noise and interference a digital filtering approach based on finite impulse response (FIR) filter is proposed. Practical implementation of such filter is based on Zynq processor system.

**Key words:** scanning Kelvin probe, digital filtering, IIR filter, FIR filter, IP core.

*Адрес для переписки:* Тявловский А.К., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь  
e-mail: tyavlovsky@bntu.by

Скорость и точность измерения относятся к числу основных требований, предъявляемым к сканирующим системам неразрушающего контроля, в частности, к системам зондовой электротометрии. При использовании метода сканирующих зондов Кельвина (СКП) повышение быстродействия с одновременным улучшением отношения сигнал/шум за счет работы в режиме большого сигнала может быть достигнуто переходом к цифровым методам обработки сигнала – так называемому цифровому зонду Кельвина [1]. В то же время, использование таких методов приводит к формированию дополнительного шума дискретизации, а также, вследствие отсутствия у цифрового зонда эффекта интеграции сигнала, повышает чувствительность измерительной системы к внешним электромагнитным наводкам. Для борьбы с такого рода шумами и помехами целесообразно использовать методы цифровой фильтрации сигналов.

При анализе целесообразности использования в составе цифрового зонда Кельвина цифровых фильтров с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтров) и с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтров) учитывалось следующее:

1. Фазовая характеристика КИХ-фильтров полностью линейна, тогда как фазовая характеристика БИХ-фильтров нелинейна на краях частотных полос.

2. Поскольку БИХ-фильтры используют рекурсивные обратные связи, их устойчивость в общем случае не может быть гарантирована.

3. БИХ-фильтр может быть преобразован в эквивалентный аналоговый фильтр и наоборот, для КИХ-фильтра такое преобразование невозможно. В то же время, с использованием КИХ-фильтра может быть реализована произвольная частотная характеристика, невозможная для аналогового фильтра.

4. Синтез КИХ-фильтров алгебраически сложнее, чем БИХ-фильтров, что требует использования компьютерных средств при их разработке, однако для своей работы КИХ-фильтр требует меньшей вычислительной мощности.

5. Вследствие рекуррентности БИХ-фильтры анизотропны по времени, вследствие чего пропускание отсчетов одного и того же сигнала через БИХ-фильтр в прямом и обратном порядке даст в общем случае различные результаты несмотря на то, что спектр входного сигнала останется неизменным.

Исходя из этого, критерии использования КИХ- и БИХ-фильтров были определены следующим образом:

– использование БИХ-фильтров целесообразно в тех случаях, когда единственными важными требованиями являются характеристика с резкими срезами и высокая пропускная способность, поскольку БИХ-фильтры (особенно те, в

которых использованы эллиптические характеристики) потребуют определения меньшего числа коэффициентов, чем КИХ-фильтры;

– использование КИХ-фильтров целесообразно, если число коэффициентов фильтров не очень велико и, в частности, если нужно, чтобы фазовое искажение отсутствовало или было малым.

Решаемая задача борьбы с шумами и помехами сканирующего цифрового зонда Кельвина в реальном масштабе времени относится ко второму случаю. При этом скорость обработки сигнала программным КИХ-фильтром можно повы-

сить, воспользовавшись быстрым преобразованием Фурье (БПФ) с обработкой данных на разных скоростях.

Программная реализация КИХ-фильтра выполнена в среде разработки *Vivado 2021.1* с использованием стандартных *IP*-ядер («*Intellectual Property*»). При описании фильтра использовался структурный язык программирования высокого уровня *VHDL*.

Разработанная структурная схема программной реализации КИХ-фильтра приведена на рисунке 1.

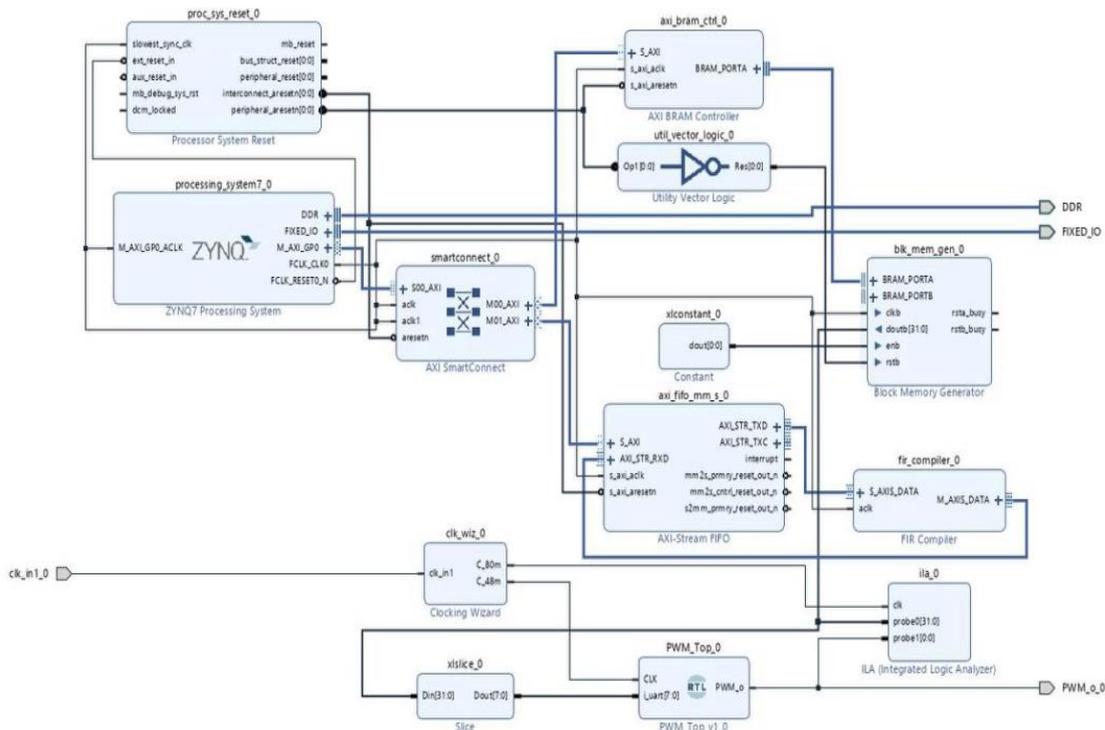


Рисунок 1 – Схема программной реализации КИХ-фильтра

В основу приведенной программной реализации положено использование процессорной системы *Zynq*. Данная система позволяет использовать уже готовые периферийные устройства (в частности, интерфейсные модули *UART*, *Ethernet*), а также обращаться к оперативному запоминающему устройству (ОЗУ), в том числе с использованием прямого доступа к памяти (ПДП). Сопряжение блоков, участвующих в обработке сигнала, осуществляется по 32-разрядной *AXI* шине. Исходя из этого, разрядность цифровых данных на входе фильтра также определена в 32 бита, что обеспечивает их обработку в реальном масштабе времени. Следует отметить, что используемый в составе цифрового зонда Кельвина аналого-цифровой преобразователь обеспечивает получение отсчетов с разрядностью до 48 бит, однако отображение таких данных существующими программными средствами не обеспечивается, вследствие чего увеличение разрядности свыше 32 бит не имеет практического смысла.

В качестве буфера данных в разработанном КИХ-фильтре используется *BRAM* память. Это двухпортовая память, обеспечивающая одновременное считывание и запись данных. Особенностью разработанного цифрового фильтра является использование буфера *BRAM* как для исходных необработанных отсчетов, поступающих через порт *UART*, так и для обработанных цифровым фильтром данных, подлежащих отправке на компьютер.

Для внутрисхемной отладки разработанного фильтра используется блок *ILA* (правый нижний край схемы). Этот блок представляет собой логический анализатор, который позволяет отслеживать состояния сигналов в реальном времени.

#### Литература

1. Цифровой измеритель контактной разности потенциалов / К.В. Пантелеев [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2016. – Т. 7, № 2. – С. 136–144.