

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.

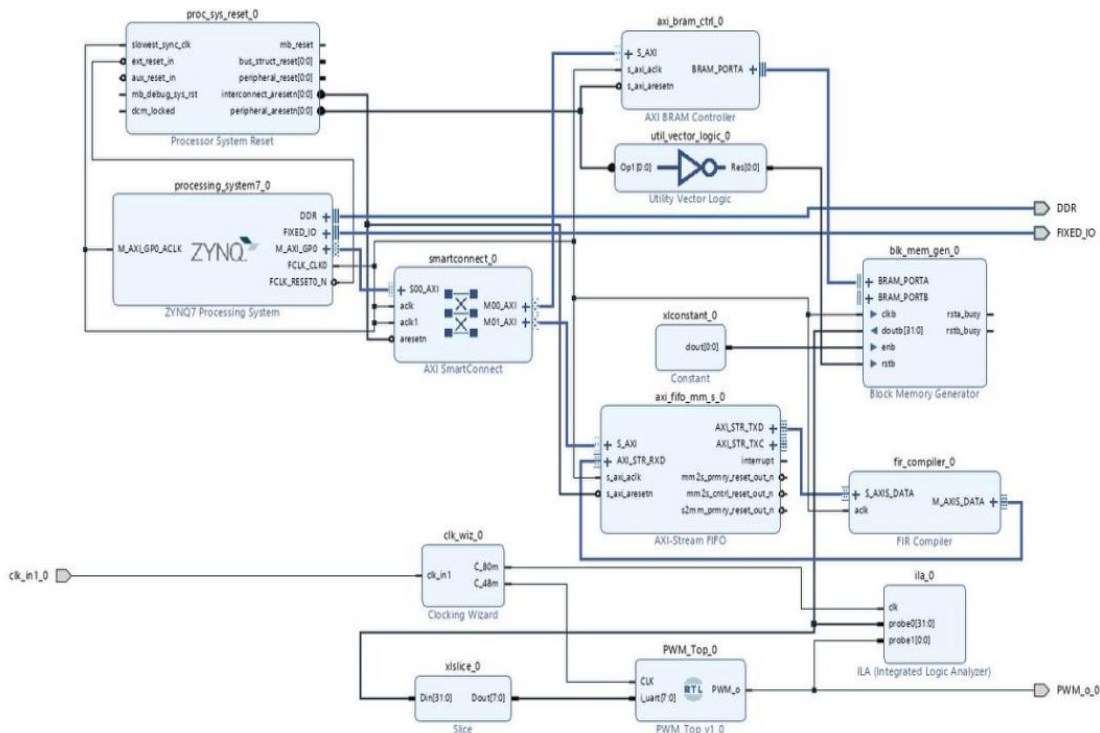


Рисунок 1 – Схема программной реализации КИХ-фильтра

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.