

Д.А. Гринюк, канд. техн. наук,  
Н.М. Олиферович, ассист.,  
И.О. Оробей, канд. техн. наук;  
(БГТУ, г. Минск)

### **АЛГОРИТМ ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИКИ КРУГОВОЙ ПРОПИТКИ**

Решение задач построения систем водоподготовки невозможно без информационного обеспечения. С этой целью строят развернутые системы, которые состоят из десятков датчиков на каждой стадии обработки. При поиске оптимальных режимов используют как информацию непрерывных датчиков, так и результаты периодического лабораторного анализа. Этот комплекс параметров вместе с наработками информационных систем позволяет оптимальный режим работы оборудования. Одним из параметров экспресс-контроля является время капиллярного впитывания [1].

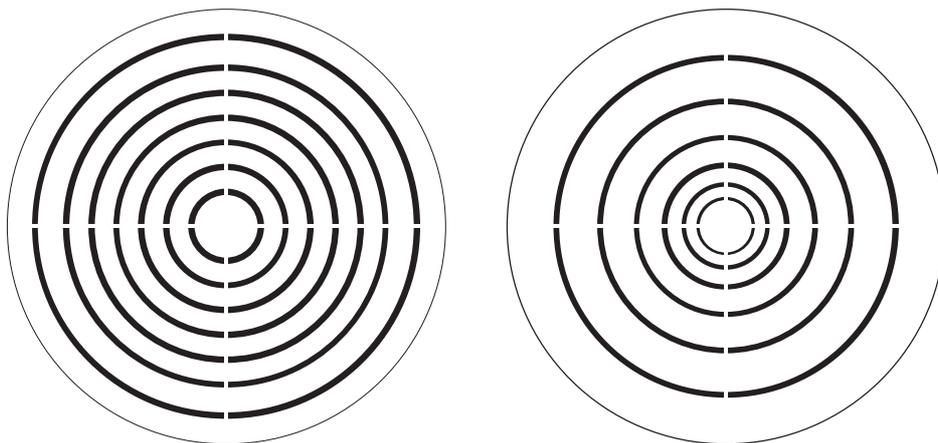
Результаты измерений [2] динамики пропитки показали, что в используемой бумаге могут наблюдаться паразитивные процессы гидратации, которые, в свою очередь, способны исказить результаты даже точного измерения величин емкости и полученные путем пересчета значений координат.

Одним из решений по компенсации изменения свойств бумаги при взаимодействии с водой может быть использование геометрически неоднородного конденсатора, который способен по резким изменениям скорости идентифицировать координату. Применение различных критериев нестационарности трендов является одним из методов идентификации. На рис. 1 приведено несколько вариантов геометрии неоднородного конденсатора, где белые полосы соответствуют слою металлизации, а черные – его отсутствию. Кольца могут отличаться размерами как линейно с различной толщиной полос без металлизации, так и по нелинейному закону, обратному динамике пропитке.

Толщина как металлизированных, так и неметаллизированных полос зависит от неоднородности пропитки и точности измерения емкости конденсатора во время пропитки и может быть точно подобрана в процессе отладки прибора.

Наиболее простые варианты построения измерительного преобразователя параметра времени капиллярного впитывания на мультивибраторной и резонансной схемах показали неустойчивую работу из-за изменения соотношения емкости и сопротивления схемы замещения в процессе динамики пропитки. Дальнейшие исследования по

получению схемы замещения позволили определить, что желательные значения частот измерительного преобразователя находятся в диапазоне от  $10^5$  Гц и выше. Кроме того, измерительная схема должна быть способна перенастраивать измерительный канал ввиду падения полного сопротивления с начала измерения от нескольких МОм до сотни Ом.



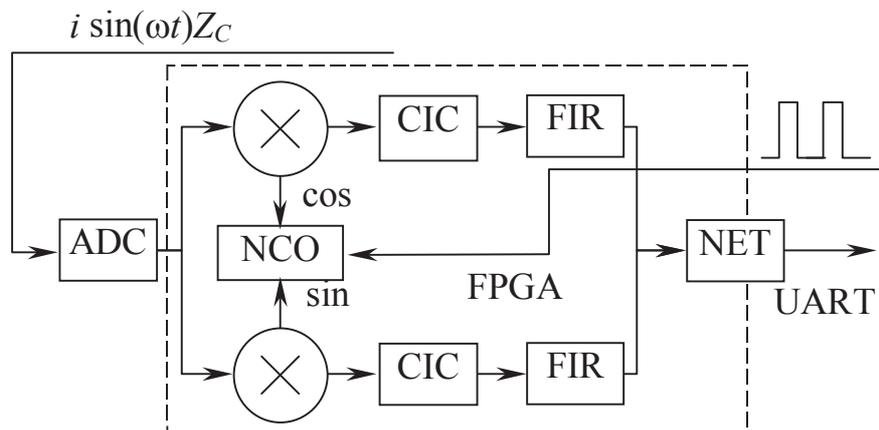
**Рисунок 1 – Различные решения по построению геометрически неоднородного конденсатора**

С учетом полученных выводов гарантированным вариантом является использование принципа построения измерительного преобразователя с определением полного сопротивления на квадратурном демодуляторе [4]. Адаптивная схема преобразователя должна быть построена на достаточно быстродействующем и мощном микроконтроллере. С учетом данного требования выбран STM32F407 [5]. Его особенностью является наличие встроенных аналогово-цифровых (ADC) и цифроаналоговых преобразователей (DAC) и работа на частоте 168 МГц.

Квадратурный демодулятор можно построить на аналоговом принципе, используя цифровые преобразования на Field-Programmable Gate Array (FPGA) матрице (рис. 2) или быстрое преобразование Фурье непосредственно в микроконтроллере.

Предлагаемые в литературе решения предусматривают формирование контроллером тестового сигнала с преобразованием его в источник тока, измерение напряжения исследуемого участка цепи, преобразование его величины с помощью ADC в цифровую форму и дальнейшее осуществление быстрого преобразования Фурье. Однако для нашего случая препятствием для построения измерителя на таком принципе является требование высокой частоты, на которой необходимо производить измерения. И, несмотря на высокую частоту

ту процессора 168 МГц, нет гарантий реализации преобразователя, поскольку контроллер должен обрабатывать одновременно сигналы с ADC и формировать сигнал через DAC на первичный преобразователь, осуществлять перенастройку усилительных схем и выполнять быстрое преобразование Фурье. По предварительным расчетам рабочую частоту измерения не удастся поднять до 150 кГц.



**Рисунок 2 – Общая структура цифрового квадратурного демодулятора на FPGA: CIC (cascaded integrator-comb) и FIR (finite impulse response) – компоненты программирования для создания фильтров; NCO (numerically controlled oscillators) – цифровой управляемый генератор**

Узким местом является и быстродействие встроенных ADC и DAC. Их характеристики не позволят поднять сигнал измерения выше 500 кГц.

Использование преобразования по схеме рис. 2 в аналоговом виде тоже не является идеальным вариантом. Несмотря на возможность использования для формирования функций  $\cos$  и  $\sin$  двух встроенных DAC, абсолютную идентичность получить невозможно по причине того, что формируются сигналы от 0 до 3,6 В и возникает необходимость убирать постоянную составляющую сигналов с применением схем на основе аналоговых элементов и конденсаторов. Аналогично не существует идеальных операционных усилителей. Будет присутствовать разница в амплитудах и отличие в фазе  $90^\circ$ . Можно добавить неидентичность аналоговых перемножителей, амплитудно-частотной и фазовой характеристик аналоговых фильтров на выходе перемножителей. Все это будет приводить к появлению зеркальных частот в спектре сигнала на выходе.

При использовании FPGA матрицы возможны проблемы от встроенных ADC и DAC. Для реализации метода придется использовать внешнее ADC и FPGA матрицу, что значительно удорожает построение измерительной схемы. К матрице FPGA предъявляются до-

статочны высокие требования, так как в этом случае возникает необходимость в большом количестве структурных перемножителей для реализации фильтров FIR.

Анализ уже снятых переходных процессов [3] позволяет говорить, что фильтры ФНЧ с постоянной времени 0,01–0,02 с не будут вносить существенных искажений в динамику снимаемых кривых.

Аналоговая часть преобразования от DAC до ADC независимо от выбранной схемы квадратурного демодулятора должна предусматривать адаптивную схему регулирования уровня сигналов в зависимости от изменения сопротивления первичного преобразователя.

Использование пространственно неоднородного преобразователя позволяет производить коррекцию результатов измерения динамики пропитки. Предложенные и проанализированные схемы преобразователя сопряжены с рядом проблем при выборе как аналогового, так и цифрового демодулятора. Необходимость проведения измерений в высокочастотном диапазоне существенно затрудняется наличием обязательной адаптивной регулировки коэффициента усиления на несколько порядков в аналоговой части схемы. Наиболее рациональным выбором может быть построение измерительной схемы на частотах, близких к 500 кГц.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. CST Equipment [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.tritonel.com/> (дата обращения: 25.01.2015).

2. Олиферович Н. М., Гринюк Д. А., Оробей И. О. Анализ динамических характеристик и динамических погрешностей преобразователя измерения параметров впитывания // Труды БГТУ. 2014. № 6: Физ.-мат. науки и информатика. С. 96–99.

3. Богослав Н. М., Гринюк Д. А., Оробей И. О. Экспериментальное исследование динамики круговой пропитки // Труды БГТУ. - 2013. № 6: Физ.-мат. науки и информатика. С.99–103.

4. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. В 2-х т. Том. 2. – М.: Мир, 1983. 256 с.

5. STMicroelectronics [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.st.com/web/en/home.html> (дата обращения: 25.01.2015).