

# АЛГОРИТМ ДЕТЕКТОРА ДИНАМИКИ ПРОПИТКИ

Д. А. Гринюк, Н. М. Олиферович, И. О. Оробей

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: hryniuk@tut.by

*Рассмотрены вопросы повышения точности измерений детектора динамики пропитки. Для прибора предложены альтернативы замены конденсатора первичного преобразователя с полностью металлизированной поверхностью пластин на конструкцию с использованием геометрически неоднородного конденсатора, которая позволит обеспечить компенсацию изменения свойств фильтровальной бумаги при взаимодействии с водой (нивелировать паразитивные процессы гидратации). Проведенный анализ предложенных схем измерительного преобразователя выявил ряд проблем при выборе как аналогового, так и цифрового демодулятора. Необходимость проведения измерений в высокочастотном диапазоне существенно затрудняется наличием обязательной адаптивной регулировки коэффициента усиления.*

## ВВЕДЕНИЕ

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.

### I. СИНТЕЗ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ

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. Для формирования конденсатора предлагается использовать конденсатор с регулярной неоднородной геометрией. 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 ем-

кости 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 105 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.

С учетом полученных выводов гарантированным вариантом является использование принципа построения измерительного преобразователя с определением полного сопротивления на квадратурном демодуляторе [4]. Адаптивная схема преобразователя предлагается строить STM32F407 [5]. Его особенностью является наличие встроенных аналогово-цифровых (ADC) и цифро-аналоговых 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 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, несмотря на высокую частоту процессора 168 МГц, нет гарантий реализации алгоритма, 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.

Узким местом является и быстроедействие встроенных ADC и DAC (диапазон частот до

500 кГц). Построение квадратурного модулятора 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  $\pi/2$ . Все это будет приводить к появлению зеркальных частот в спектре сигнала на выходе. Однако следует учесть, что в нашем случае нас интересуют не абсолютные значения результатов измерений, а непосредственно зависимость параметра от времени, что нивелирует некоторые из вышеперечисленных недостатков аналогового решения.

При использовании FPGA для реализации алгоритма придется использовать внешнее ADC и FPGA матрицу, что значительно удорожает построение измерительной схемы. К матрице FPGA предъявляются достаточно высокие требования, так как в этом случае возникает необходимость в большом количестве структурных умножителей 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. В качестве основного элемента для этого может выступать инструментальный усилитель, коэффициент которого программируется дискретно тремя цифровыми входами. Поскольку полоса пропускания усилителя в зависимости от коэффициента сужается, для измерителя возможно использовать усиление сигнала только на 10, а в некоторых случаях на 100. При коэффициенте 100 полоса усиления сужается до 514 кГц. Исходя из диапазона изменяющегося сопротивления первичного преобразователя, на частоте 1 МГц потребуются четыре каскада усиления, на 500 кГц мож-

но обойтись двумя. Поскольку в начале измерений сопротивление максимально, то коэффициенты должны быть минимальны. После старта пропитки необходимо постоянно просчитывать в контроллере общую амплитуду напряжения, которое формируется на измерительных клеммах, и по мере падения напряжения производить дискретно увеличение общего коэффициента усиления. Непосредственно на измерительные клеммы следует формировать сигнал источника тока и лучше всего на высокочастотном усилителе. С помощью аналоговых решений на операционных усилителях решается преобразование однополярного выхода с выходов DAC в двухполярный сигнал без постоянной составляющей на измерительные клеммы и на умножители.

## II. ВЫВОДЫ

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.

1. CST Equipment [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tritonel.com/> – Дата доступа: 25.09.2015.
2. Олиферович, Н. М. Анализ динамических характеристик и динамических погрешностей преобразователя измерения параметров впитывания / Н. М. Олиферович, Д. А. Гринюк, И. О. Оробей // Труды БГТУ. – 2014. – № 6: Физ.-мат. науки и информатика. – С. 96–99. Чреспищеводная электрокардиография и электрокардиостимуляция / Л. В. Чирейкин [и др.]. – СПб.: Инкарт, 1999. – 150 с.
3. Богослав, Н. М. Экспериментальное исследование динамики круговой пропитки / Н. М. Богослав, Д. А. Гринюк, И. О. Оробей // Труды БГТУ. – 2013. – № 6: Физ.-мат. науки и информатика. – С.99–103.
4. Макс, Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. / Ж. Макс. В 2-х т. Том. 2. – М.: Мир, – 1983. – 256 с.
5. STMicroelectronics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.st.com/web/en/home.html>. – Дата доступа: 25.01.2015).