

АВТОМАТИЧЕСКИЙ СЧЕТЧИК ЧАСТИЦ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ЖИДКОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛА

2007 Д. В. Корнилин, И. А. Кудрявцев, Л. М. Логвинов

Самарский государственный аэрокосмический университет

Описан принцип работы автоматического счетчика частиц с цифровой обработкой сигнала, использующего канал обнаружения частиц. Определены аналитическое выражение для выбора частоты дискретизации и шаг квантования аналого-цифрового преобразователя (АЦП), исходя из заданной погрешности определения амплитуды импульса от частицы при его аппроксимации частью синусоиды.

Ресурс и надежность жидкостных систем гидрофицированного оборудования в существенной степени зависят от качественной диагностики их состояния. Одним из эффективных методов является диагностика трибомеханических узлов гидросистем по параметрам частиц износа, генерируемых гидроагрегатами [1]. Регистрация частиц, как правило, производится при помощи фотоэлектрических преобразователей (ФЭП). Частицы загрязнений, проходящие через измерительный объем ФЭП, создают на его выходе импульсы, амплитуда которых пропорциональна квадрату размера частиц. Число, размер и интенсивность генерации частиц свидетельствуют о техническом состоянии диагностируемых объектов.

ГОСТ 17216-2001 регламентирует дисперсный состав загрязнений жидкости в шести размерных диапазонах от 0,5 до 200 мкм. Реальная чувствительность существующих измерительных приборов (типа «АЗЖ», «ФОТОН» и др.) ограничена из-за шумов, имеющих различную физическую природу [2]: 1) шумы рассеяния света на частицах, более мелких по сравнению с регистрируемыми; 2) собственные шумы фотоприемника; 3) шумы электронного тракта усиления. В этом случае не удастся реализовать потенциальную чувствительность автоматического счетчика частиц (АСЧ). Для повышения чувствительности АСЧ предлагается использовать цифровую обработку сигнала, поступающего с ФЭП, с использованием дополнительного канала обнаружения наличия частиц. Информация о наличии частиц из этого

канала используется амплитудным анализатором (АА), который определяет амплитуду импульса только в случае, если имеет место фиксация частиц каналом обнаружения. Кроме этого, применение цифровой обработки сигналов позволит оптимизировать алгоритм работы обнаружителя, а использование микропроцессора позволит автоматизировать ряд операций по настройке и поддержанию работоспособности всего АСЧ.

Функциональная схема предлагаемого АСЧ с цифровой обработкой сигнала фотоэлектрического преобразователя представлена на рис. 1.

Сигнал измерительной информации с двухканального фотоусилителя (ФУ1 и ФУ2) сигнала ФЭП поступает на коммутатор каналов (КК) АЦП. Использование двух каналов усиления объясняется величиной динамического диапазона выходного напряжения U ФЭП, определяемого по формуле [1]:

$$U = k \cdot d^2,$$

где k – коэффициент пропорциональности, величина которого зависит от параметров светодиода и фотодиода, В/мкм²; d – диаметр частицы, мкм.

Выбор соответствующего канала осуществляется программно: сначала используется напряжение с выхода канала фотоусилителя с большим усилением (ФУ1), а при его насыщении (определяемом программно) используется сигнал второго канала (ФУ2). Далее сигнал преобразуется в цифровую форму с помощью АЦП. Подавление импульсных помеховых сигналов осуществляется медиан-

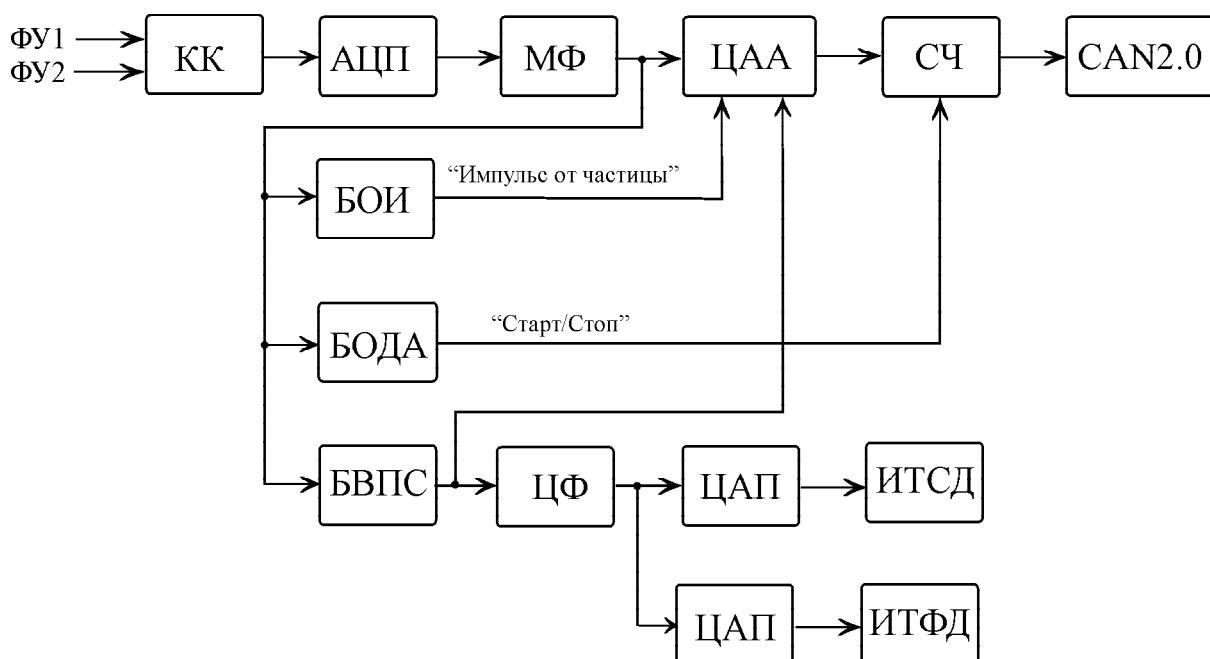


Рис. 1. Функциональная схема АСЧ с каналом обнаружения

ным фильтром (МФ). В цифровом амплитудном анализаторе (ЦАА) происходит определение амплитуды импульса при наличии сигнала «Импульс от частицы», поступающего с блока обнаружения импульса (БОИ). Сигнал о величине постоянной составляющей, поступающий с блока выделения постоянной составляющей (БВПС), используется для вычисления амплитуды импульса как разности между абсолютным значением и величиной постоянного уровня с БВПС.

Такой вариант обработки сигнала позволяет избавиться от необходимости поддерживать нулевой уровень по постоянной составляющей с помощью системы автоматического регулирования и избежать проблем, возникающих при потере устойчивости этой системы [2].

Информация об амплитуде импульса, соответствующей размеру частицы, поступает на счетчик частиц (СЧ), который осуществляет подсчет числа частиц соответствующей размерной группы и выдает результат в блок формирования сигналов для его передачи с использованием интерфейса CAN 2.0. Этот интерфейс обеспечивает надежную и помехоустойчивую передачу данных потребителям, а также позволяет встраивать устройство в современные системы автоматичес-

кого управления технологическими процессами. Блок определения длительности анализа (БОДА) служит для задания времени измерения, соответствующего моменту прохождения через измерительный канал жидкости объемом 100 мл (в соответствии с ГОСТ 17216-2001).

Цифровой фильтр (ЦФ), цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП), источники тока светодиода и фотодиода (ИТСД, ИТФД) служат для поддержания уровня освещенности в измерительном объеме (с помощью светодиода) и стабилизации рабочей точки фотодиода в заданных пределах. Предел определяется величиной, которая не выходит из диапазона измерения постоянной составляющей БВПС. При выходе постоянной составляющей из допустимых границ происходит корректировка тока светодиода и положения рабочей точки фотодиода путем выдачи управляющих сигналов с помощью ЦАП и ИТСД, ИТФД.

Реализацию предложенной функциональной схемы АСЧ удобнее всего осуществить с применением сигнального процессора со встроенным АЦП. При выборе быстродействия и разрядности АЦП необходимо учитывать, что суммарная относительная погрешность определения амплитуды им-

пульса (за счет дискретизации и квантования), как показывает практика, для наилучшего случая не должна превышать 1 % [2].

Таким образом, быстродействие АЦП должно быть таким, чтобы относительная погрешность (за счет дискретизации) определения амплитуды импульса минимальной длительности не превышала 0,5% от максимального значения. Поскольку алгоритм определения амплитуды импульса предполагает последовательное сравнение выборок из сигнала и выбор наибольшей, то наилучшим случаем будет смещение выборки U_δ относительно максимума непрерывного сигнала U_m на интервал дискретизации ΔT_δ (рис. 2). Как показывают результаты работы [2], с достаточной для практических расчетов точностью выходной импульс напряжения ФЭП $u(t)$ на интервале длительности от 0 до t можно аппроксимировать функцией

$$u(t) = U_m \cdot \sin\left(\frac{p}{t} \cdot t\right), \quad (1)$$

где U_m – амплитуда импульса.

Относительная погрешность δ_δ определения максимума вычисляется по формуле

$$\delta_\delta = \frac{\Delta U}{U_m}. \quad (2)$$

Абсолютную погрешность ΔU определим по формуле

$$\Delta U = U_m - U_m \cdot \sin\left(\frac{p}{t} \cdot \left(\frac{t}{2} - \Delta T_\delta\right)\right). \quad (3)$$

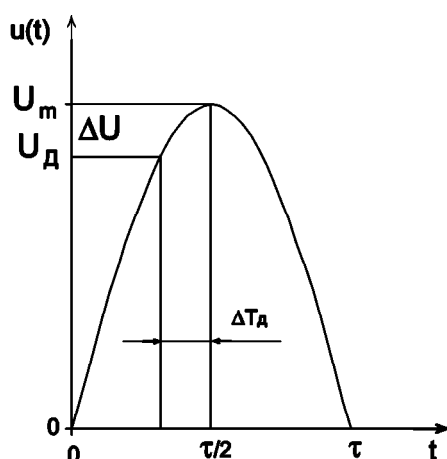


Рис. 2. Аппроксимация выходного импульса ФЭП

Определим необходимую величину интервала дискретизации ΔT_δ с учетом (1) – (3) и окончательно получим

$$\Delta T_\delta = \frac{\tau}{\pi} \cdot \arccos(1 - \delta_\delta). \quad (4)$$

Минимальная длительность импульса равна 100 мкс [2], и тогда интервал дискретизации, вычисленный по формуле (4), составит 3,2 мкс.

Следует отметить, что за время между выборками процессор должен выполнить определенные команды по обработке сигнала, и поэтому быстродействие АЦП и микропроцессора необходимо выбирать с запасом.

Шаг квантования вычислим, исходя из требуемой точности определения амплитуды импульса, определяющей чувствительность. Динамический диапазон амплитуд импульсов разбит на два поддиапазона таким образом, что амплитуда импульса от частицы 5 мкм, поступающая с усилителя первого канала, составляет 50 мВ. Для ее определения с погрешностью в 0,5 % необходимо выбрать шаг квантования менее 0,25 мВ. При напряжении полной шкалы, равном 3,3 В (напряжение питания), получаем необходимую разрядность АЦП, равную 14.

Для реализации предложенного алгоритма на практике используется процессор цифровой обработки сигналов типа *ADSP-21992* фирмы «Analog Devices», который имеет встроенный 14-разрядный АЦП с быстродействием 20 MSpS . Производительность самого процессора составляет 160 MIPS , что с запасом удовлетворяет требованиям реализации предложенного алгоритма цифровой обработки сигнала.

Список литературы

1. Логвинов Л. М. Техническая диагностика жидкостных систем технологического оборудования по параметрам рабочей жидкости. - М.: ЦНТИ "Поиск", 1992. – 91 с.
2. Кудрявцев И. А. Повышение разрешающей способности и чувствительности фотоэлектрических преобразователей встроенного контроля дисперсной фазы для систем управления: Дис. на соиск. учен. ст. канд. тех. наук. - Самара, 1999. –140 с.