

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 удается 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-

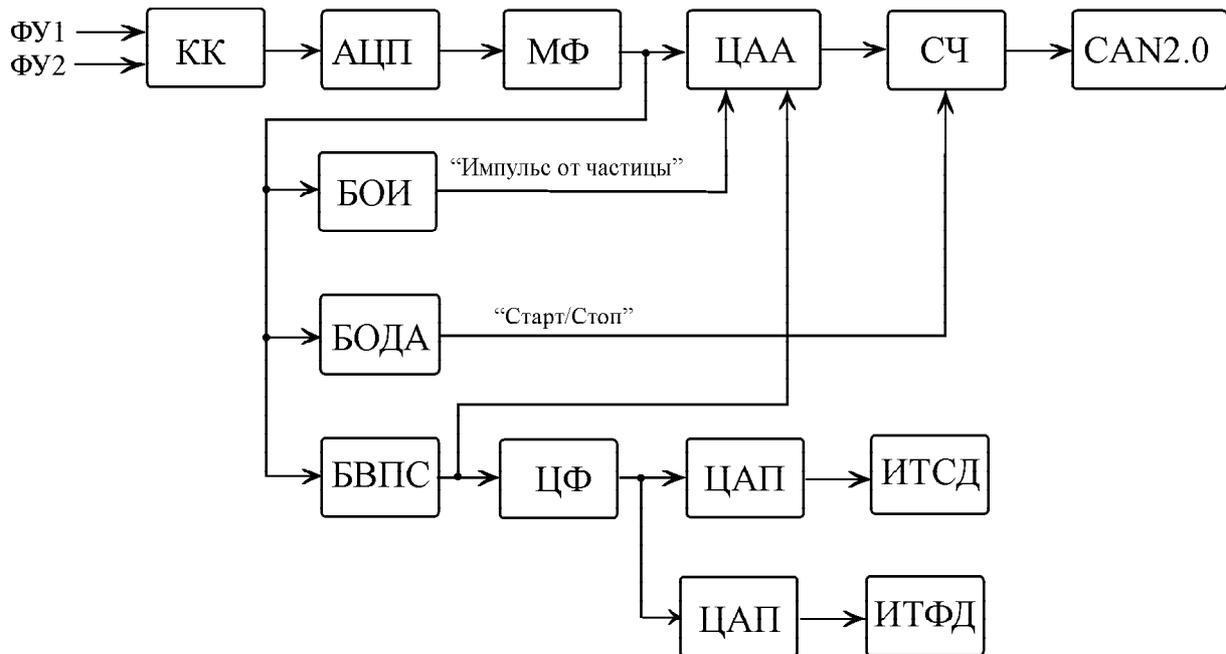


Рис. 1. Функциональная схема АСЧ с каналом обнаружения

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 наихудшего 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 наихудшим случаем будет смещение выборки U_0 относительно максимума непрерывного сигнала U_m на интервал дискретизации ΔT_0 (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_0 определения максимума вычисляется по формуле

$$\delta_0 = \frac{\Delta U}{U_m}. \quad (2)$$

Абсолютную погрешность ΔU определим по формуле

$$\Delta U = U_m - U_m \cdot \sin\left(\frac{p}{t} \cdot \left(\frac{t}{2} - \Delta T_0\right)\right). \quad (3)$$

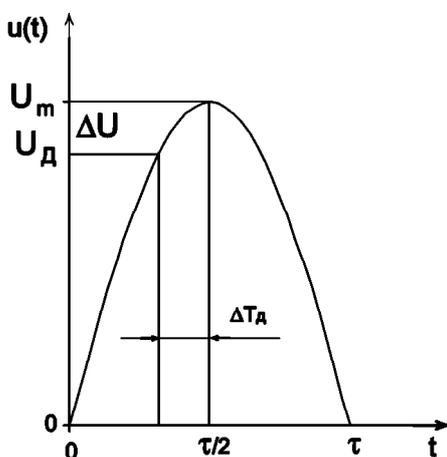


Рис. 2. Аппроксимация выходного импульса ФЭП

Определим необходимую величину интервала дискретизации ΔT_0 с учетом (1) – (3) и окончательно получим

$$\Delta T_0 = \frac{\tau}{\pi} \cdot \arccos(1 - \delta_0). \quad (4)$$

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.

**AUTOMATIC COUNTER OF HYDRAULIC EQUIPMENT LIQUID
CONTAMINATION PARTICLES WITH DIGITAL SIGNAL PROCESSING**

© 2007 D. V. Kornilin, I. A. Kudryavtsev, L. M. Logvinov

Samara State Aerospace University

The paper describes the principle of operation of an automatic particle counter with digital signal processes using the channel of particle detection. An analytical expression for choosing discretization frequency and the quantization step of an analogue-to-digital converter (ADC) are defined based on the predetermined error of pulse amplitude determination, the pulse being approximated by a part of a sinusoid.