

УДК 519.246

Г.В. Гейко, С.И. Червонный

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

## О ПРИМЕНЕНИИ СИСТЕМЫ ФАПЧ В ВИХРЕВЫХ ПОТОКОИЗМЕРИТЕЛЯХ

*Предложен новый алгоритм автоподстройки частоты для уточнения показаний вихревого потокоизмерителя. Показано, что для обработки сигналов в вихревом потокоизмерителе может быть использован алгоритм, основанный на применении системы ФАПЧ, который позволит избавиться от таких недостатков системы ФАПЧ, как режим отслеживания кратной частоты или не вхождение в режим отслеживания вообще. Доказано, что недостатком ФАПЧ-системы можно также считать наличие колебаний при отсутствии колебаний на входе, что потребует дополнительных устройств отключения потока импульсов при исчезновении потока газа (исчезновение вихрей).*

**Ключевые слова:** автоподстройка частоты, микроконтроллер, математическое ожидание.

### Введение

**Постановка проблемы.** При прохождении жидкости по трубе в момент достижения жидкостью критической скорости  $V_{кр}$ , которая убывает с ростом радиуса трубы и с уменьшением вязкости, происходит превращение «прямого» (ламинарного) движения в «извилистое» (турбулентное). Для оценки турбулентности пользуются критерием Рейнольдса. Если на пути движения жидкости стоит препятствие, то за этим телом обтекания образуются вихри. И при больших значениях числа Рейнольдса (от 100 до нескольких сотен) число вихрей за цилиндром увеличивается, они отрываются, сносятся потоком и образуют цепочку чередующихся, закрученных по и против часовой стрелки вихрей. Эта цепочка называется дорожкой Кармана. Устройства, которые предназначены для измерения расхода, которые используют выше описанный эффект, называются вихревыми потокоизмерителями.

Эти измерители обладают рядом достоинств, одним из которых является простота и дешевизна, благодаря чему они нашли широкое применение в области измерений. Так как частота вихреобразования пропорциональна скорости потока, то в таких потокоизмерителях величину расхода определяют по частоте сигнала. Однако, пределы измерений таким способом конечны, так как в вихревых потокоизмерителях частота вихрей при снижении скорости уменьшается вместе с более существенным уменьшением амплитуды сигнала датчика [1]. И при низких частотах и малых уровнях сигнала шумы находятся в области верхних измеряемых частот, и фильтрация шумов может вредить полезным сигналам в области верхних частот диапазона измерений. Таким образом, в области малых чисел Рейнольдса (когда поток становится ламинарным) наблюдается накопление лишних импульсов (ложные измерения вследствие преобладания шумов над полезным сигналом). При высоких частотах, при частоте сигнала большей частоты шума, может возникнуть ситуация, когда амплитуда шума будет больше ампли-

туды сигнала.

В этом случае также будут ложные измерения. Обычным решением является отказ от накопления импульсов, если амплитуда их не превосходит определенного порогового уровня, то есть, задание величины уже не измеряемого потока ("мертвого хода" счетчика).

Однако еще одним решением является применение в данном устройстве системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), которая может выполнять роль следящего фильтра, который отслеживает требуемый параметр входного сигнала. Это должно исключить влияние внешних источников кратковременных или нестационарных помех на показания прибора.

Есть у системы ФАПЧ и существенные недостатки, например, возможно отслеживание кратной частоты. Для реализации системы ФАПЧ со свойствами, отличными от свойств и недостатков аналоговой системы ФАПЧ, в целях более гибкого управления его свойствами и снижения энергопотребления целесообразно использовать недорогой микроконтроллер. Однако после проведенных исследований стали видны недостатки подобной реализации: недорогие микроконтроллеры из-за малого быстродействия не могут покрыть необходимый диапазон частот.

Такая задача (эмулирование аналоговой системы ФАПЧ) больше подходит для цифровых сигнальных процессоров (DSP), которые, в свою очередь, стоят дороже и требуют значительного усложнения схемы прибора. Существует и другая, более важная проблема: аналоговая система ФАПЧ в силу своей природы не всегда сможет адекватно среагировать на скачкообразное изменение скорости потока (и, соответственно, прибор учтет неверный объем учетного вещества).

**Анализ литературы.** В настоящее время хорошо себя зарекомендовали расходомеры марки YOKOGAWA. В этих расходомерах используется SSP-фильтр, который непрерывно анализирует вибрацию и состояние среды внутри расходомера и автоматически подстраивает режимы обработки сигнала.

ла [2]. В работе [3] делается акцент на то что, так как связь частоты со скоростью потока вихревого потокоизмерителя не совсем линейная [1], то традиционный метод калибровки дает дополнительную ошибку, что сказывается на снижении точности измерений.

Чтобы избежать этой ошибки, авторы предлагают использовать новый метод калибровки, основанный на интеллектуальной оптимизации алгоритмов. В работе [4] предлагается для обработки сигналов в вихревом потокоизмерителе использовать спектральный анализ. В своей статье [5] авторами предложен вихреобразователь нового типа, который способен создавать различные виды устойчивых вихрей при низкой скорости потока. Результаты экспериментов, приведенные в статье [6], показывают, что метод обработки сигнала в вихревом потокоизмерителе, базирующийся на использовании нейронной сети, может значительно уменьшить влияние шума, и, таким образом, понизить погрешность измерения. В работе [7] предлагается использовать цифровую обработку сигнала, основанную на объединении метода элементарной волны и статистического метода. В работе [8] представлены результаты применения оптического метода получения информации в вихревых расходомерах. Задачей исследований работы [8] является оценка влияния двух геометрических параметров оптической части расходомера на отношение сигнал/шум и выбор их оптимальных значений.

**Целью статьи** является разработка алгоритма автоподстройки частоты, который позволит избавиться от таких недостатков системы ФАПЧ, как режим отслеживания кратной частоты или не вхождение в режим отслеживания вообще.

### Основная часть

При проектировании устройств с применением средств ФАПЧ, еще возникают проблемы, которые заключаются в обеспечении допустимого времени вхождения в режим автоподстройки, а также в обеспечении нужного уровня инерционности и ширины диапазона рабочих частот (то есть области удержания частоты). Без соответствующего регулирования перечисленных параметров системы достижение всех качественных показателей одновременно почти невозможно. Таким образом, подстраивая эту систему, можно в различных диапазонах частот получить требуемую точность измерения. Это даст возможность повысить точность измерения и удешевить аппаратные средства обработки сигналов.

Поэтому микроконтроллер в предлагаемой системе будет управлять такими параметрами системы ФАПЧ, как инерционность и область удержания частоты. Структурная схема такой системы, которая моделирует работу измерителя, приведена на рис. 1.

В результате проведения измерений и последующей обработки данных, в принципе, можно полностью доверять показаниям счетчика, подключенного к выходу ФАПЧ, но может оказаться полезным иметь вторую подсистему, которая также произво-

дит аналогичные измерения. Сравнение результатов работы таких подсистем, работающих параллельно, позволит повысить точность измерений.

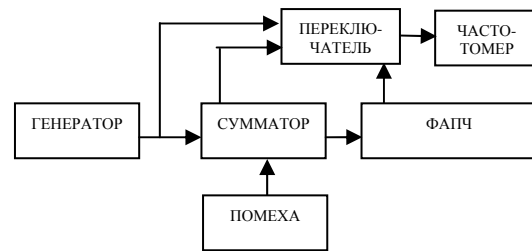


Рис. 1. Структурная схема

Переход на новую частоту, в зависимости от инерционности ФАПЧ, может благополучно закончиться и система не потеряет ни одного импульса. Но возможен и такой вариант, когда произойдет срыв отслеживания частоты. В этом случае вступает в действие процедура подстройки положения области захвата (которая всегда действует при включении системы) и система снова входит в режим отслеживания частоты. Погрешность, возникающая в результате подобных процессов, может быть скомпенсирована вычитанием поправки.

Для определения поправки измеренного значения потока предлагается процедура, состоящая в следующем: мы заранее знаем время, в течение которого должна закончиться подстройка, и расчетом определяем количество импульсов, которое могло бы быть накоплено за этот промежуток времени. А затем компенсируем, делая в показания потока соответствующие добавления. Для максимальной разгрузки микроконтроллера с него снята задача непосредственно счета импульсов от датчика и переложена на отдельный счетчик.

Один раз за некоторый промежуток времени микроконтроллер считывает значение со счетчика (которое есть ни что иное, как средняя скорость потока вещества за единицу времени). В дальнейшем это значение участвует в вычислении оценки математического ожидания и дисперсии потока.

Стабильность потока (отсутствие помех) определяется по оценке дисперсии потока. В предложенном варианте дисперсия вычисляется по двум ( $D_1$ ) и десяти ( $D_2$ ) последним значениям. Решение о нестабильности потока принимается, если  $D_1$  превышает некоторый допустимый предел. Решение о стабильности – если  $D_1$  и  $D_2$  не превышают данный предел.

Оценка математического ожидания скорости потока ( $M[x]$ ) вычисляется только в том случае, если поток стабилен. Для ускорения реакции прибора на изменение скорости потока  $M[x]$  после каждой стабилизации начинает вычисляться заново. Для вычисления оценки  $M$  используется следующая формула:

$$M[x] = \frac{M_{ст}[x] \cdot N + X}{N + 1}, \quad (1)$$

где  $M_{ст}[x]$  – ранее вычисленная оценка;  $X$  – вновь поступившее значение от счетчика;  $N$  – количество

значений, по которым вычислено  $M_{CT}[x]$ .

Объем вещества, измеренного датчиком, вычисляется по формуле:

$$V = V_0 + s \int_t^{\Delta t} M[x] dt, \quad (2)$$

где  $s$  – площадь поперечного сечения трубы;  $\Delta t$  – период времени, за который происходит снятие данных со счетчика.

Использование оценки  $M[x]$  позволяет вычислить данный интеграл с достаточной точностью даже с помощью аппроксимации прямоугольниками, что также имеет большое значение для разгрузки микроконтроллера.

В случае принятия решения о нестабильности потока вычисление математического ожидания скорости потока прекращается и для вычисления  $V$  используется старая оценка.

Вместо этого ведется подсчет количества тактов, на протяжении которых поток был не стабилен.

До выхода на стабильный режим ведется подсчет объема по формуле (2), а после выхода, если стабилизация произошла на скорости  $M_{НОВ}[x]$ , отличной от  $M_{СТ}[x]$ , вычисленный объем корректируется по формуле:

$$V = V_0 + s \int_0^{\Delta t} (M_{НОВ}[x] - M_{СТ}[x]) t dt, \quad (3)$$

которая является ничем иным как линейной интерполяцией изменяющейся скорости потока.

Графически работу устройства можно описать так, как представлено на рис. 2, 3. На рис. 2 показан график изменения скорости потока ( $V[t]$ ). На рис. 3 представлен график функции ( $\Phi[t]$ ), отображающий реакцию алгоритма на изменение входного потока.

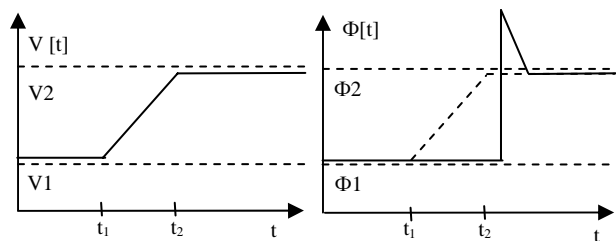


Рис. 2. График изменения скорости потока  $V[t]$

Рис. 3. График  $\Phi[t]$

#### ПРО ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ ФАПЧ У ВИХРОВИХ ПОТОКОВИМІРЮВАЧАХ

Г.В. Гейко, С.Й. Червонний

Запропонований новий алгоритм автоністроювання частоти для уточнення свідчень вихрового потоковимірювача. Показано, що для обробки сигналів у вихровому потоковимірювачі може бути використаний алгоритм, заснований на застосуванні системи ФАПЧ, який дозволить позбавитися від таких недоліків системи ФАПЧ, як режим відстежування кратної частоти або не входження в режим відстежування взагалі. Доведено, що недоліком ФАПЧ-системи можна також вважати наявність коливань за відсутності коливань на вході, що зажадає додаткових пристроїв відключення потоку імпульсів при зникненні потоку газу (зникнення вихорів).

**Ключові слова:** автоністроювання частоти, мікроконтролер, математичне очікування.

#### ABOUT USING THE SYSTEM OF PLL IN VORTEX FLOWMETER

G.V. Geyko, S.I. Chervonnyi

The new algorithm of self-tuning of frequency is offered for clarification of testimonies of vortex flowmeter. It is shown that for treatment of signals an algorithm, based on application of the system of FAPCH, can be utilized in vortex flowmeter, which will allow to be delivered from such lacks of the system of FAPCH, as a mode of watching of multiple frequency or not included in the mode of watching in general. It is proved that it is possible also to consider the presence of vibrations the lack of the ФАПЧ-системи in default of vibrations on an entrance, that will demand the additional devices of disconnecting of stream of impulses at disappearance of gas stream (disappearance of whirlwinds).

**Keywords:** self-tuning of frequency, microcontroller, expected value.

#### Выводы

Обязательным является перестройка параметров ФАПЧ-системы. Для обработки сигналов в вихревом потокоизмерителе может быть использован алгоритм, основанный на применении системы ФАПЧ, который позволит избавиться от таких недостатков системы ФАПЧ, как режим отслеживания кратной частоты или не входение в режим отслеживания вообще.

Также недостатком ФАПЧ-системы можно считать наличие колебаний при отсутствии колебаний на входе, что потребует дополнительных устройств отключения потока импульсов при исчезновении потока газа (исчезновение вихрей).

Результаты двух подсистем можно сличить и в дальнейшем выработать единый результат или иметь основание для выявления расхождений.

#### Список литературы

1. Бакай А.С., Сигов Ю.С. Многоликая турбулентность. – М.: Знание, 1989. – С. 3-12.
2. Technical Information, Model DY Vortex Flowmeter, Yokogawa Electric Corporation, Copyright May 2001 (<http://www.yokogawa.com>).
3. Yi Yan, Huifeng, Wu An Improved Intelligent Calibration Method for Vortex Flowmeter // American Control Conference. – 2007. – ACC'07 – P. 2927-2931.
4. Ke-Jun Xu, Yun-Zhi Huang, Xun-Hong Lv Power-spectrum-analysis-based signal processing system of vortex flowmeters // IEEE. – 2006. – Vol. 55. – P. 1006-1011.
5. Zhu Xul, Lin Hui Design and Numerical Simulation of a Novel Vortex Generator // Electronic Measurement and Instruments. – 2007. – ICEMI'07. – P. 2396-2399.
6. Liying Zheng, Kai Tian A Vortex Signal Processing Method Based on Wavelet Neural Network // Computer and Computational Sciences. – 2006. – IMSCCS'06. – P. 288-289.
7. Hong-Jun Sun, Tao Zhang Digital signal processing based on wavelet and statistics method for vortex flowmeters // Machine Learning and Cybernetics, 2004. – Vol. 5. – P. 3160-3163.
8. Baszak J., Jablonski R. Optimization of laser vortex flowmeter parameters // Avtometriya. – 2004. – N 5, Vol. 40. – P. 12-20.

Поступила в редколлегию 22.09.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.И. Обод, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.