

2. Лурье, М. С. Компенсаторы пульсаций для мощных выпрямителей / М. С. Лурье, О. М. Лурье // Оптимизация режимов работы электроприводов : сб. / Сибир. Федерал. ун-т. – Красноярск, 2008. – С. 5–9.
3. Лурье, М. С. Активные компенсаторы мощных выпрямителей / М. С. Лурье, О. М. Лурье, Ю. С. Баранов // Вестн. Краснояр. гос. аграр. ун-та. – 2010. – № 6 (45). – С. 149–154.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИХРЕВЫХ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИХ РАСХОДОМЕРОВ

С. Г. Алимасов

*Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация*

Научный руководитель М. С. Лурье

Проанализированы особенности применения вихревых расходомеров, выявленных при исследовании спектров выходных сигналов, снимаемых с приемников-преобразователей вихревых колебаний, применяемых в вихревых кондуктометрических расходомерах.

Ключевые слова: погружные расходомеры, преобразователя вихревых колебаний, при эксплуатации расходомеров, спектральный состав, Фурье-анализ.

Погружные расходомеры для систем теплоэнергетики работают в условиях воздействия целого ряда помех. Выявить эти помехи и сформировать требования к измерительному тракту расходомера можно при исследовании спектра выходного сигнала с приемника-преобразователя вихревых колебаний.

Выходные сигналы вихревых генераторов в самом общем виде можно определить как периодические полигармонические процессы, для исследования которых можно использовать обычные методы спектрального Фурье-анализа. Изучение их важно по многим причинам, в том числе и для выработки методики оценки дополнительной систематической погрешности, возникающей из-за отличия характеристик трубопровода и условий течения жидкости в месте установки прибора от паспортных значений. Это особенно актуально для погружных приборов, где измерительным отрезком (корпусом расходомера) служит сам рабочий трубопровод.

В процессе работы расходомера выходной сигнал, снимаемый с приемника вихревых колебаний, изменяется как по частоте, так и по величине. Вариации амплитуды сигнала также велики: не менее 40 дБ. Кроме полезной составляющей, несущей информацию о расходе, сигнал содержит помехи. Они вызваны низкочастотными колебаниями массы воды в трубопроводе, пульсациями скорости потока и давления от местных сопротивлений, механическими вибрациями трубопровода, вибрацией от работы насосов, распространяющихся вдоль потока, паразитными колебаниями гибкого электрода с частотой собственных колебаний как на изгиб, так и на кручение электрическими наводками от работы аппаратуры и силовых сетей. Кроме того, ввиду нелинейности электрических свойств межэлектродного промежутка и детектора, в выходном сигнале присутствуют продукты преобразования указанных выше составляющих. Данные причины вызывают необходимость тщательного анализа выходного сигнала, снимаемого с преобразователя, для правильного проектирования электронной схемы измерительного тракта прибора.

Для исследования спектра сигнала использовалась схема, изображенная на рис. 1. В ней применялся 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), встроенный в микропроцессор фирмы ATMEL. Частота квантования была выбрана равной

256 Гц. Она близка к удвоенному значению максимальной частоты вихреобразования (160 Гц). Исследования проводились на вихревом водосчетчике «Фотон» типоразмером 80 мм во всем диапазоне паспортных расходов от 1 до 80 м³/ч.

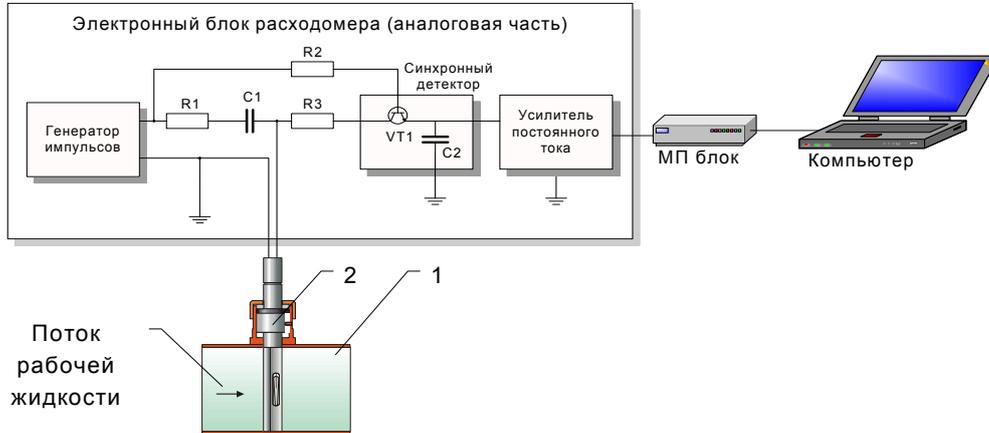


Рис. 1. Запись сигнала с выхода вихревого кондуктометрического расходомера:
1 – трубопровод проливной установки; 2 – испытываемый прибор

Поступавшие с АЦП отсчеты, следующие с частотой квантования, записывались в файл. Последовательность N отсчетов обозначим $x(k)$, где k – номер отсчета.

Поставленный в соответствии с этой последовательностью отсчетов сигнал из смещенных во времени дельта-функций будет таким [1]:

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)\delta(t - kT). \quad (1)$$

В среднем файлы содержали от $1 \cdot 10^5$ до $4 \cdot 10^5$ отсчетов. Затем этот файл конвертировался в программу Matlab с пересчетом в напряжение и время. После обработки файла записей программой получался его спектр и строился временной график. Следует отметить, что в данном случае мы анализировали дискретный по времени сигнал, поэтому его спектр получается периодическим с периодом $2\pi/T$. Так как исследуемый сигнал является также и периодическим, то его спектр получается дискретным с расстоянием между гармониками равным $2\pi/(NT)$.

Процедура вычисления спектра дискретного сигнала такова [2]:

$$\begin{aligned} \dot{X}(n) &= \frac{1}{NT} \int_0^{NT} s(t) e^{-j\omega_n t} dt = \frac{1}{NT} \int_0^{NT} \sum_{k=0}^{N-1} x(k)\delta(t - kT) e^{-j\omega_n t} dt = \\ &= \frac{1}{NT} \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \int_0^{NT} \delta(t - kT) e^{-j\omega_n t} dt = \frac{1}{NT} \sum_{k=0}^{N-1} x(k) e^{-j\omega_n kT} = \\ &= \frac{1}{NT} \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \exp\left(-j \frac{2\pi nk}{N}\right). \end{aligned} \quad (2)$$

По выражению (2) можно определить комплексные амплитуды гармоник исследуемого дискретного периодического сигнала. Для получения спектра процедурами программы Matlab необходимо после их расчета произвести перестановку первой и второй половины полученного вектора. Отбросив левую зеркальную половину спектра от частоты $-1/2T$ до 0 и увеличив вдвое амплитуды правой половины мы получим спектр в привычном виде, принятом для анализа электрических сигналов.

Ниже приведены кривые выходного напряжения для нескольких режимов работы расходомера.

Данные на рис. 2, а, б соответствуют минимальному значению расхода Q_{\min} .

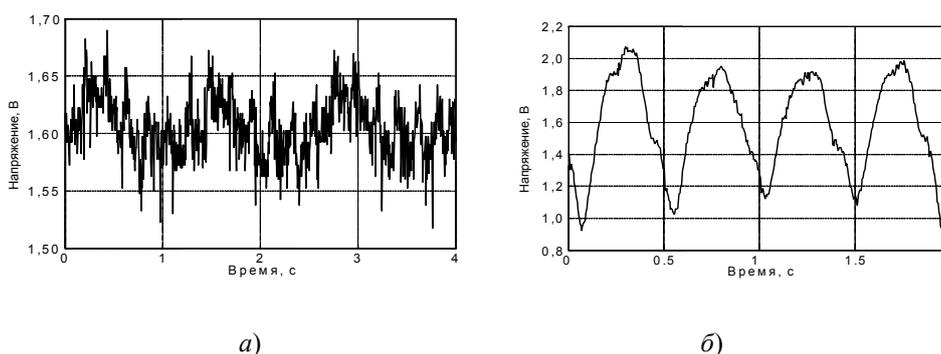


Рис. 2. Выходное напряжение приемников вихревых колебаний:
а – на минимальном расходе; б – на переходном расходе

Как видим, на минимальном расходе полезный сигнал лишь незначительно превосходит помехи. Здесь приемник вихревых колебаний работает в режиме А без касания электродов друг о друга [3]. Поэтому без применения фильтра полезный сигнал выделен быть не может.

Для расходов, превышающих переходный, полезный сигнал имеет значительный размах. Здесь приемник вихревых колебаний работает в режиме Б, который предполагает соударения электродов между собой при каждом колебании. Полезный сигнал имеет значительную величину, и выделить его из спектра несложно.

Расчет спектров полученных сигналов по приведенным выше выражениям дает картину, показанную на рис. 3, 4. На них приведены типичные спектры выходных сигналов расходомера для режимов А и Б. Анализ спектров показал, что они существенно различны для режимов А и Б.

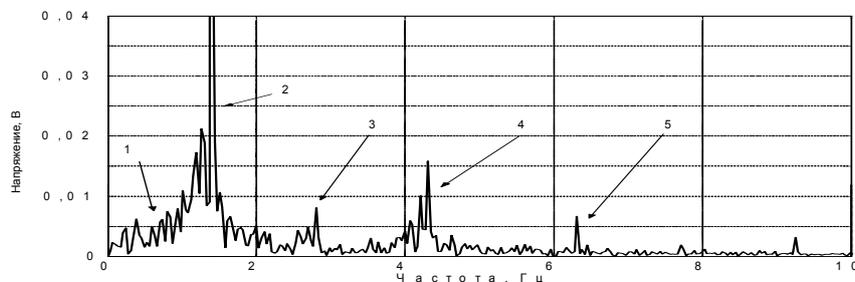


Рис. 3. Типичный спектр сигнала расходомера в режиме А:
1 – пульсации потока, вызванные местными сопротивлениями;
2 – основной сигнал; 3, 4 – вторая и третья гармоники основного сигнала;
5 – механические колебания трубопровода

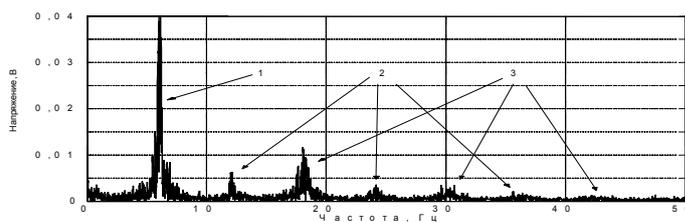


Рис. 4. Типичный спектр сигнала расходомера в режиме Б:
1 – основная гармоника; 2 – четные гармоники;
3 – нечетные гармоники основного сигнала

Видим, что спектральный состав сигнала существенно зависит от режима работы приемника вихревых колебаний. Действительно, при эксплуатации расходомеров на тех расходах, где приемник работает в режиме А, спектр сигнала, снимаемого с него, весьма загрязнен. Здесь присутствуют, кроме основной, полезной гармоники, гармоники напряжения, вызванные колебаниями электрода под действием механических вибраций трубопровода, которые весьма значительны. Имеет место и колебания электрода с собственной частотой, амплитуда которых достигает 10 % от основной гармоники. Поскольку уровень основного сигнала невелик, то существенны и наводки в виде, например, сетевой помехи частотой 50 Гц.

На тех расходах, где приемник работает в режиме Б, присутствуют только основная частота и ее гармоники, другие помехи весьма малы.

Режим А составляет незначительный участок спектра (около 5 %), но отбрасывать его нельзя. Он обеспечивает измерение малых расходов, увеличивая тем самым динамический диапазон прибора. Данный участок можно сокращать по диапазону частот путем правильного проектирования приемника вихревых колебаний, но, вероятнее всего, совсем устранить его не удастся. Поэтому необходимо выработать такую структуру измерительного тракта, которая бы могла как работать с относительно чистым сигналом режима Б, так и отфильтровывать все помехи в режиме А.

Таким образом, можно сформулировать требования, которые можно положить в основу проектирования измерительных трактов таких расходомеров:

- на малых расходах (для режима А) необходимо обеспечить достаточно узкополосную фильтрацию основного сигнала тем или иным способом;
- на больших расходах (для режима Б) фильтрация сигнала необязательна, но необходимо обеспечить ликвидацию возможных пропаданий сигнала.

Проектирование тракта обработки сигнала расходомера с учетом полученных данных позволит повысить научный уровень и достоверность принимаемых конструктивных решений, повысить точность измерений и снизить затраты на разработку новых образцов кондуктометрических вихревых расходомеров для теплоэнергетики.

Литература

1. Марпл-мл., С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / С. Л. Марпл-мл. – М. : Мир, 1990. – 883 с.
2. Сергиенко, А. В. Цифровая обработка сигналов / А. В. Сергиенко. – СПб. : Питер, 2003. – 603 с.
3. Лурье, М. С. Вихревые расходомеры и счетчики количества жидкости с контактно-кондуктометрическим приемником-преобразователем вихревых колебаний / М. С. Лурье. – Красноярск : СибГТУ, 1999. – 196 с.
4. Лурье, М. С. Кондуктометрические вихревые расходомеры / М. С. Лурье, М. Ю. Елизарьева // Датчики и системы. – 2004. – № 11. – С. 27–29.