Беляев М.М., Попов А.И.
Повышение чувствительности расходомеров

*ФГБУН Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова
Российской академии наук
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/lj-12-2018-169

idsp: ljjournal-12-2018-169

Аннотация

В статье рассматривается возможность понижения порога чувствительности расходомера за счет искусственного усиления расхода потока, проходящего через расходомер. Для этого исследовалась работа расходомера во встречно-параллельной схеме с отрицательной обратной связью.

Ключевые слова: расходомер, объемный расход газа, поток реверса, диапазон измерения.

Введение

Расходомеры текучих сред, например на базе струйного генератора [1] обладают рядом преимуществ (частотный выход, нет подвижных частей, не создает в зоне измерения взрыво-пожароопасность...), но уступает не струйным по порогу срабатывания [2] в силу того, что колебания струи генератора не возбуждаются при малой скорости измеряемого потока. Поэтому в статье рассмотрено снижение порога чувствительности на примере струйного расходомера.

Постановка задачи.

Рассматривается возможность понижения порога чувствительности струйного расходомера за счет искусственного усиления расхода потока, проходящего через генератор. Для этого исследовалась работа струйного расходомера во встречно-параллельной схеме с отрицательной обратной связью. При этом часть потока, проходящего через генератор, возвращалась в магистраль измеряемого потока.

Ранее было исследовано подобное решение измерения с возвратом части потока по обратному каналу назад в магистраль (до расходомера) и расходомерами в прямом и обратном каналах [3]. Это исследование показало, что положительный результат измерения малых расходов с приемлемыми погрешностями измерения достигается в узкой зоне.

Рис. 1- Схема измерения расхода с циркуляцией обратного потока

Решение

Решение, которое представлено в статье, позволяет за счет снижения порога чувствительности заметно расширить диапазон измерения.

Схема такого измерителя расхода текучих сред показана на рис. 1.

Измеряемый поток $Q_{изм}$ проходит по прямому каналу 1 через струйный генератор 2 к выходу 3 расходомера. По обратному каналу 4 циркулирует поток $Q_{цир}$, создаваемый побудителем потока циркуляции 5. Отрицательная обратная связь 6 соединяет пневмоэлектрический преобразователь 7 генератора 2 с управляемым источником частотного питания 8 побудителя потока 5. Источник питания 8 содержит задатчик начального расхода $Q_{цир}$ при измеряемом расходе $Q_{изм}$ равном нулю. Поток циркуляции, проходящий через струйный генератор активизирует (обеспечивает колебания его струи) и позволяет измерять расход практически от нуля. При возрастании расхода измеряемого потока $Q_{изм}$ поток циркуляции $Q_{цир}$ уменьшается на ту же величину уменьшением производительности побудителя потока 5, из-за уменьшения частоты его питания в соответствии с изменением величины сигнала обратной связи 6. При достижении измеряемым потоком $Q_{изм}$ естественного порога чувствительности самого струйного генератора 2 источник питания 8 побудителя потока 5 отключается и обратная связь 6 перестает действовать, после чего измерение расхода продолжается генератором 2 самостоятельно.

На рис.2 показана структурная схема управляемого отрицательной обратной связью источника питания побудителя потока, обеспечивающая работу такого расходомера.

Рис. 2 - Структурная схема расходомера с переменным расходом потока циркуляции

Следящая система управления активизируется при включении крана 14 подачи текучей среды сигналом разблокировки побудителя потока 5. Сигнал отрицательной обратной связи 6 проходит от пневмоэлектрического преобразователя 7 по электрическим цепям через блок сравнения 10 и интегратор 11 к побудителю потока 5 и далее по каналу 4 ко входу генератора 2. В блоке сравнения 10 вычисляется разность Δf_1 выходной частоты генератора $f_{ген}$ и изменяющейся частоты источника питания 8 с уставкой $f_{зад}$ начальной частоты 9 ($\Delta f_1 = f_{ген} - f_{зад}$). В интеграторе 11 вырабатывается частотное питание побудителя потока 5 циркуляции $Q_{цир}$ величиной обратно пропорционально величине $Q_{изм}$. При достижении потоком $Q_{изм}$ расхода, равного естественному порогу чувствительности $Q_{епч}$ генератора 3 величина частотного питания побудителя потока из интегратора 11 с инвертором знака 12 приходит к нулю и побудитель потока останавливается, блокируется и не работает во второй основной части диапазона измерения. Таким образом, разность частот из блока сравнения 10 следящей системы поддерживает постоянство расходов измеряемого и циркуляционного потоков ($Q_{изм} + Q_{цир}$), проходящих через генератор 3 и подает сигнал в интегратор при отклонении разности $f \pm \Delta f = f_{ген} - f_{зад}$ от нуля.

Измеренный поток $Q_{изм}$ подается на выход 3 расходомера к потребителю и отображается по частоте $f_{изм}$ индикатором 13.

На характеристике струйного расходомера с расширенным диапазоном измерения, за счет понижение его порога чувствительности (рис.3), показано, что до естественного порога чувствительности самого струйного генератора $Q_{епч}$ через генератор проходит поток, состоящий из двух частей: возрастающего потока $Q_{изм}$ и обратно-пропорционального ему падающего по расходу потока $Q_{цир}$, сумма которых,

выраженная в частоте $f_{изм} + f_{цир}$ неизменна и задается в соответствии с уровнем естественного порога чувствительности самого генератора (горизонтальная линия на рис. 3).

Рис.3– Характеристика струйного расходомера с расширенным диапазоном измерения

После достижения $Q_{спч}$ генератор продолжает самостоятельное измерение на всей второй части диапазона вплоть до $\max Q_{изм}$. В нижней первой части диапазона погрешности ограничиваются, поскольку структура встречно-параллельной схемы с отрицательной обратной связью уменьшает ошибки измерения по определению [4].

Работа побудителя потока поясняется рис.4, где показаны те моменты подключения побудителя потока (II), когда расход измеряемого потока (I) ниже естественного порога чувствительности самого струйного генератора. За счет этого индикатор практически полностью отображает величину измеренного расхода (III).

Рис.4 - Диаграмма работы побудителя потока, снижающая порог чувствительности. Показано: график I – расход на входе в расходомер, график II- моменты подключения и выключения побудителя, график III- измерение расхода расходомером при совместной работе струйного генератора и побудителя

Схема управления расходомера может быть построена без обратной связи с более простым алгоритмом действия, основанным на питании побудителя потока постоянной частотой. Это позволяет повысить надежность функционирования и сокращение функциональных блоков, но при этом снижается точность измерения в нижней части диапазона, в которой к тому же через струйный генератор необходимо пропускать повышающий суммарный расход. На рис. 5 представлена такая схема, в

системе управления находятся следующие блоки: источник частотного питания 8 побудителя потока 5; задатчик 9 частотного сигнала, по которому от индикатора 12 отключается источник питания 8 побудителя потока 5; блок сравнения 10 частоты источника частотного питания 8 и частоты струйного генератора 2.

Рис.5 - Структурная схема расходомера с постоянным расходом потока циркуляции

Побудитель потока 5 создаёт в начальной части диапазона поток циркуляции с постоянным расходом $Q_{\text{цир}}$. При появлении измеряемого расхода $Q_{\text{изм}}$ (рис.6), он присоединяется к циркулирующему потоку и совместно с ним проходит через струйный генератор 2, пока измеряемый расход потока $Q_{\text{изм}}$ не достигнет собственного порога чувствительности $Q_{\text{спч}}$ самого генератора 2. Величина частоты $f_{\text{зад}}$ задатчика 9 устанавливается в соответствии с величиной расхода $Q_{\text{спч}}$. далее генератор 2 расходомера генерирует частоту самостоятельно во всей части диапазона измерения.

Рис.6 - Характеристика струйного расходомера с постоянным расходом потока циркуляции

На рис. 7 показана конструктивная схема струйного расходомера в продольном и поперечном сечениях А-А и Б-Б с использованием стандартных струйного генератора 4 типа СГ-1 фирмы Релеро (Россия, г. Омск) и в качестве побудителя потока пьезогенератор 8 типа MZBX001 фирмы Murata (Япония). Пневмоэлектрический преобразователь в струйном генераторе 4 также пьезокристаллический. Таким образом, в этой конструктивной схеме струйного расходомера нет подвижных частей. На рис. 8

и 9 показаны экспериментальные характеристики этих звеньев, соответственно струйного генератора СГ-1 и пьезогенератора MZBX001.

Заключение

В статье рассмотрена возможность создания струйного расходомера с максимально расширенным диапазоном измерения текучих сред при низком пороге чувствительности.

Рис.7 – Конструктивная схема струйного расходомера в продольном и поперечном сечениях А-А и Б-Б

Фиг.8. Экспериментальная характеристика P - Q струйного генератора счетчика СГ-1 в диапазоне $Q = 40 \dots 1600$ л/ч.

Фиг.9. Характеристика P - Q пьезонасоса ПН $\mu Rata$ в диапазоне $Q = 0 \dots 40$ л/ч

1. Лебедев И.В., Трескунов С.Л., Яковенко В.С. Элементы струйной ав-томатики\ Москва. Машиностроение 1973г.\360 с.
 2. Золотаревский С.А. К вопросу о расширении диапазона измерения расхода применительно к приборам коммерческого учета природного га-за\Периодический сборник научно-технических статей\выпуск 12,2013 г.\ г. Арзамас: ООО «Эльстер Газэлектроника,2013\ с.037- 043.
 3. Беляев М.М., Хитрово А.А. Оценивание погрешности при измерении малых расходов дифференциальным методом\ ж. Д и С №1(44) 2003 г.с. 28-29.
 4. Браславский Д.А., Петров В.В. Точность измерительных устройств\ Машиностроение. М. 1976. с.47-51.
-