

А.П. Цепя

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН. АЛГОРИТМЫ КОМПЕНСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

В работе исследуются признаки интеллектуальности датчиков физических величин и алгоритмы компенсации температурных погрешностей по данным отечественных и зарубежных публикаций.

Ситуация, в которой сегодня работает любая приборостроительная компания, характеризуется динамичным совершенствованием функциональных и метрологических характеристик приборов. Широкое развитие и постоянное совершенствование электронных компонентов (в частности, микропроцессоров) привело к их активному применению в различных отраслях промышленности, особенно в области создания контрольно-измерительной техники.

Источниками информации в системах технической диагностики и контроля технологических процессов являются измерительные преобразователи (датчики) физических величин. Между собой они отличаются принципом действия, функциональным назначением, способом преобразования измеряемой величины в электрический сигнал и так далее. Технические характеристики датчиков, в частности быстродействие, чувствительность и точность, во многом определяют функциональные возможности измерительных устройств, в состав которых они входят.

Современные датчики представляют собой сложный измерительный комплекс, сочетающий конструктивный, программный, производственно-технологический, метрологический, информационный, законодательный и другие аспекты.

Рассмотрим различные алгоритмы минимизации дополнительных погрешностей датчиков при изменении температуры.

Проблема обработки монотонно изменяющейся информации состоит в том, что она содержит как аддитивную, так и мультипликативную составляющую. В наиболее общем виде функцию преобразования датчика можно представить в следующем виде:

$$Y=K(F_i)*X+A(F_i),$$

где Y – выходной параметр;

K – коэффициент преобразования как функция от температуры (окружающей, рабочей или иной фактор внешнего воздействия);

X – входной параметр (давление, температура, расход и т.д.);

A – аддитивная составляющая как функция, характеризующая начальное смещение выходного параметра.

F_i – некоторая функция от температуры, времени и других факторов.

На рис.1 в общем виде представлена функция преобразования первичного преобразователя (ПП), а на рис. 2 по данным производителей ПП (НИИ «Теплоприбор», г. Москва, фирмы SIEMENS и MOTOROLA) – зависимости изменения коэффициента преобразования и начального смещения

выходной характеристики ПП от температуры. Проблема их учета состоит в нелинейности изменения этих параметров от температуры, и сложности их нормирования.

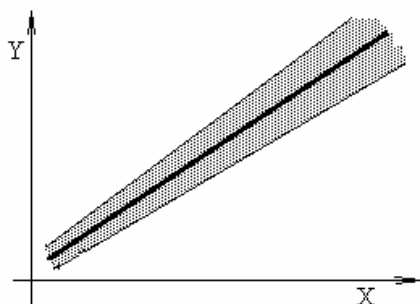


Рис. 1

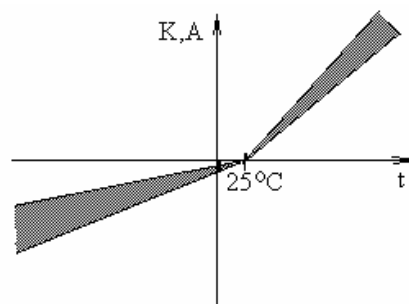


Рис. 2

Из сложившейся практики создание датчиков класса точности 0,25% возможно при использовании аналоговой базы (на базе электроники типа К140УД1208). Однако для обеспечения более высокого класса приборов необходимо применение процессорной базы с привлечением развитого математического аппарата для учета дополнительных влияющих факторов, таких как температура и др.

Возможны несколько вариантов описания характеристики датчика:

Система из трех уравнений вида:

$$\begin{aligned} Y &= K * X + A, \\ K &= K_1 * t + K_2, \\ A &= A_1 * t + A_2, \end{aligned} \quad (1)$$

где X – основной входной сигнал датчика (давление, сила, расход, температура и т.д.);

t – дополнительный входной сигнал, относительно которого происходит корректировка основного (в частности, температура);

Y – выходной скорректированный сигнал датчика;

K, K_1, K_2, A, A_1, A_2 – коэффициенты преобразования основного и дополнительного входных сигналов.

Характеристика реального датчика, который можно описать данной системой уравнений, приведена на рис. 3.

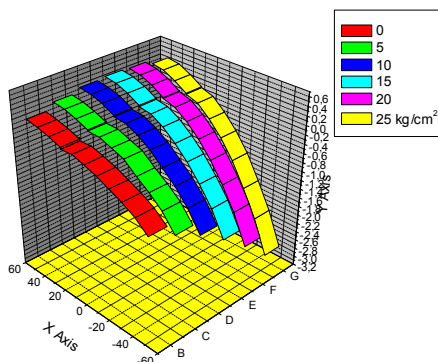


Рис. 3

Здесь по оси X приведена температура окружающей среды, по оси Y – отклонение выходного сигнала датчика в процентах от расчетных значений при нормальных условиях.

Несмотря на то, что датчик имеет значительные уходы, его можно компенсировать аналоговыми температурно-зависимыми элементами ввиду небольшой нелинейности этих уходов.

Система из четырех уравнений вида:

$$\begin{aligned} Y &= K * X^2 + B * X + A, \\ K &= K_1 * t^2 + K_2 * t + K_3, \\ B &= K_1 * t^2 + B_2 * t + B_3, \\ A &= A_1 * t^2 + A_2 * t + A_3. \end{aligned} \quad (2)$$

Характеристика реального датчика, описываемого данной системой уравнений, приведена на рис. 4.

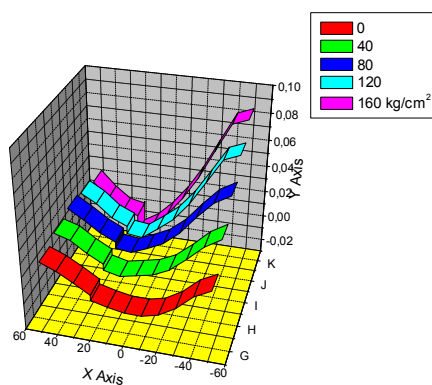


Рис. 4

Здесь по оси X приведена температура окружающей среды, по оси Y – отклонение выходного сигнала датчика в относительных единицах от расчетных значений при нормальных условиях.

Данный датчик возможно скомпенсировать только применив математический аппаратный комплекс, реализованный на микропроцессорной технике.

Первый вариант наиболее прост в реализации с точки зрения объема вычислений, но в полной мере не описывает реальную выходную характеристику ПП. Второй вариант более предпочтителен, но очень сложен со стороны математического аппарата при применении процессоров малой мощности. Возможно, применение вариантов в сочетании полиномов первого и второго порядков, в частности ПП, в подавляющем большинстве имеют хорошую линейность, но это незначительно упрощает задачу.

Возможный путь решения состоит в применении первого варианта в сочетании с кусочно-линейным разбиением выходной характеристики ПП, что приводит к следующему варианту.

Кусочно-линейная аппроксимация:

$$\begin{aligned}
 Y &= K * X + A \\
 K &= K_1 * t + K_2 \\
 A &= A_1 * t + A_2
 \end{aligned}
 \quad \begin{array}{l} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{array}
 \quad (3)$$

Эта система уравнений предпочтительней ввиду того, что производители ПП зачастую нормируют характеристики ПП при нормальных температурах (t_2). При необходимости можно увеличить количество участков аппроксимации. Задание участков можно ограничить шестью точками, характеризующими выходную характеристику ПП, при начальном и конечном значении измеряемого параметра, при температурах t_1, t_2 и t_3 .

Пусть мы имеем совокупность измеренных данных, представленную на рис. 5. Точки, лежащие в заштрихованной области, можно описать уравнениями (3).

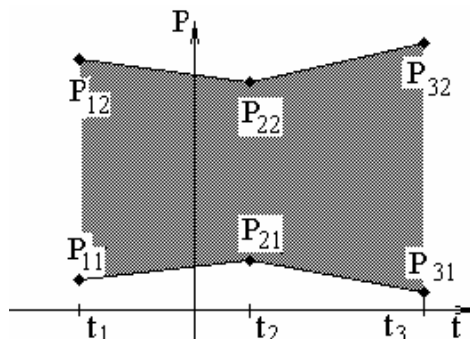


Рис. 5

Коэффициенты уравнений можно посчитать:

$$\begin{array}{l}
 A_{12}=P_{11} \\
 A_{11}=(P_{21}-P_{11})/(t_2-t_1) \\
 K_{12}=P_{12}-P_{11} \\
 K_{11}=(P_{11}+P_{21}-P_{12}-P_{22})/(t_2-t_1) \\
 A_{22}=P_{21} \\
 A_{21}=(P_{31}-P_{21})/(t_3-t_2) \\
 K_{22}=P_{22}-P_{21} \\
 K_{21}=(P_{21}+P_{31}-P_{22}-P_{32})/(t_3-t_2)
 \end{array}
 \left.
 \begin{array}{l}
 t_1 \\
 \\
 \\
 t_2 \\
 t_2 \\
 \\
 t_3
 \end{array}
 \right\}
 \quad (4)$$

где P_i – выходной сигнал ПП при фиксированных (однозначных) значениях входного измеряемого параметра;

t_i – параметр, фиксируемый и вычисляемый самим процессором.

Как видно, коэффициенты легко вычисляются и могут быть занесены в энергонезависимую память процессора при аттестации датчика. Достаточно каждой точке присвоить свое унитарное имя и этот алгоритм настройки датчика можно будет реализовать программно на одном кристалле совместно с программой обработки выходного параметра. Саму аттестацию можно будет проводить как на предприятии изготовителя, так и потребителем. Для этого достаточно упорядочить ввод измеряемых точек. Первоначально измеряются точки P_{21} и P_{22} . Одновременно можно занести и остальные точки, температурной компенсации при этом не будет, так как не будет разницы температур (блокируется процессором автоматически). В последующем заносятся остальные точки при соответствующих температурах. Алгоритм измерения сигнала с ПП должен предусматривать автокомпенсацию нуля.

Стоит учесть, что в процессе формирования модели градуировочной характеристики интеллектуального датчика необходимо обеспечивать компромисс между требованиями к точности измерений, рабочему температурному диапазону и требованием к допустимому уровню сложности вычислений, выполняемых цифровой частью датчика.

Итак, датчики с цифровой обработкой сигнала измеряемого параметра превосходят датчики с аналоговой электроникой по метрологическим характеристикам, стабильности, функциональным возможностям, по удобству обслуживания в условиях эксплуатации и по праву являются «интеллектуальными» устройствами.

Определим, что же такое «интеллектуальный» датчик и в чем заключается эта «интеллектуальность».

Основные преимущества, которые обеспечивает интеллектуальный микропроцессорный датчик – это улучшенная работа, постоянная компенсация воздействий окружающей среды, дистанционная связь, возможность конфигурирования и изменения диапазона измерения, получение диагностической информации, быстрая окупаемость затрат за счет очевидных эксплуатационных преимуществ.

По данным [1], для российских производителей характерна следующая классификация признаков интеллектуальности датчика:

- реализация широкого набора функций настройки и калибровки;
- повышение точности настройки и снижение суммарной погрешности измерений при работе датчика в реальных условиях эксплуатации;
- расширение диапазона возможных перестроек;
- обеспечение непрерывной самодиагностики [5];
- использование цифровых коммуникационных протоколов [5];
- осуществление тестирования и управления параметрами датчика на расстоянии;
- выведение цифровых значений сигнала датчика на дисплей цифрового индикатора, встроенного в корпус электронного блока;
- осуществление управления с помощью встроенной кнопочной панели:
 - контроль текущего значения измеряемого давления;
 - контроль настройки параметров датчика;
 - установка «нуля»;
 - настройка единиц измерения;
 - настройка времени усреднения выходного сигнала;
 - перенастройка диапазона измерений;
 - настройка на «смещенный» диапазон измерений;
 - выбор прямой, инверсной или корнеизвлекающей характеристики выходного сигнала [6];
 - калибровка датчика;
- автоматическая компенсация температурных и временных погрешностей [5];
- адаптивность – автоматическое переключение диапазона измерений датчика;
- расширение возможностей обработки данных измерений, архивации, выполнение функций обнаружения заданных событий и осуществление различных законов регулирования и логического управления;
- фильтрация электромагнитных шумов;
- компенсация погрешностей датирования.

По данным [2], также признаками интеллектуальности датчика являются:

- контроль чувствительного элемента датчика на внезапный отказ;
- предсказуемое поведение чувствительного элемента и мониторинг степени его эксплуатационной пригодности;
- электронная адаптация чувствительного элемента к условиям эксплуатации.

По данным [3], для зарубежных публикаций характерна следующая классификация признаков интеллектуальности датчика:

- снижение времени простоя;

- повышение отказоустойчивости;
- адаптируемость для самопроверки и компенсации;
- повышение надежности;
- компенсация нелинейности, позволяющая линеаризовать функцию преобразования датчика;
- компенсация неблагоприятной чувствительности [6];
- компенсация изменений во времени или длительного дрейфа, вызванного деградацией элементов датчика [4];
- обработка данных (способность подавать на интерфейс связи наиболее значимую информацию в удобном представлении);
- возможности связи (осуществление обмена информацией между датчиком и пользователем и обеспечение пользователя возможностью перепрограммирования на другие серии измерений);
- валидация данных (оценка достоверности собранных данных во избежание любых пагубных последствий распространения ошибочных данных);
- возможность интеграции (объединение чувствительного элемента со средствами обработки и передачи данных в одну микросхему в целях устранения необходимости в кабельных соединениях компонентов, уменьшения общих размеров датчика, оптимального использования энергии и снижения затрат) [6];
- обеспечение функции слияния данных (курсирование между датчиками лишь наиболее значимой информации);
- интерфейс с внешним миром (TCP/IP, Ethernet, Bluetooth, WiFi и т.д.);
- способность изменения местоположения ведущего/ведомого датчика;
- меньший вес;
- меньшая стоимость;
- меньший объем техобслуживания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пьявченко О.Н., Удод Е.В.* Погрешности интеллектуальных датчиков давления. – Таганрог: Известия ТРТУ, №3, 2007. – 131 с.
2. *Лопатин С.С., Панич А.Е.* Интеллектуальные пьезоэлектрические датчики в системах управления технологическими процессами. – Таганрог: Известия ТРТУ, №2, 2007. – 169 с.
3. *Мекид С.* Повышение структурного интеллекта кластеров датчиков в промышленном производстве. – М.: Датчики и системы. №4. 2007. – 53–54 с.
4. *Tian G.Y., Zhao Z.X., Baines R.W.* A fieldbus-based intelligent sensor. – М.: Mechatronics. №10, 2000. – 835–849 с.
5. *Поздняк В.А.* Интеллектуальная революция: вчера, сегодня, завтра. – М.: Нефтегаз. № 4, 2004.
6. *Honeywell International Inc.* – «ST3000 интеллектуальный датчик давления» – М.: Спецификация и руководство по выбору модели, №10, 2002. – 2 с.