

АВТОМАТИЗАЦИЯ ГРАДУИРОВКИ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДАВЛЕНИЯ

С.А. Голь (ООО "Конструкторское бюро микропроцессорной техники")

Описывается способ коррекции погрешностей интеллектуальных приборов измерения давления, основанный на адаптивно-идентифицируемой функции коррекции; рассматривается АСУ градуировкой и поверкой этих средств измерения.

В современном мире усложнение технологических циклов автоматизация процессов управления, контроля, диагностирования, обеспечение высочайшей надежности и эффективного применения сложных технических систем требует получения точной, достоверной и своевременной информации.

В [1, 2, 3] представлен исчерпывающий анализ состояния и основных тенденций развития датчиковых систем, основывающихся на требованиях к их метрологическим, техническим и эксплуатационным характеристикам, предъявляемых современной и особенно перспективной техникой. Основными параметрами, требующими совершенствования в существующих датчиковых системах являются: точность измерения, динамический диапазон, диапазоны влияющих величин, надежность, срок службы, массогабаритные размеры.

В частности, современные измерительные преобразователи (ИП) давления, используемые в системах автоматического контроля, регулирования и управления ТП взрывобезопасных и взрывоопасных производств нефтегазовой, химической, металлургической, энергетической и других отраслях промышленности, а также на объектах атомной энергетики имеют погрешность преобразования до 0,1% от диапазона измеряемого давления, эта погрешность остается постоянной при изменении температуры окружающей среды $-40...80^{\circ}\text{C}$.

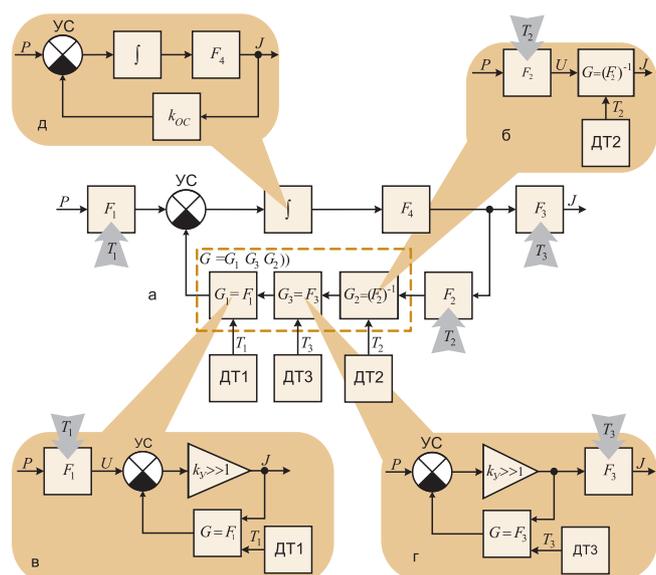


Рис. 1. Синтез способа коррекции погрешностей ИП, а) обобщенная структурная схема способа коррекции погрешностей ИП; б) метод линеаризации РСФП ИП на основе образцового обратного преобразования; в, г) варианты метода линеаризации РСФП ИП на основе образцового прямого преобразования; д) компенсационный преобразователь с полным уравновешиванием

Возможность создания таких устройств открылась с развитием микропроцессорной техники, применение которой позволило не только расширить сервисные функции ИП, такими как автокалибровка, автоматический выбор необходимого диапазона измерений, представление результатов измерений в различных размерных единицах, но и увеличить точность и обеспечить инвариантность к влияющим величинам благодаря новым способам автоматической коррекции погрешностей преобразования. Такие приборы в профессиональной литературе все чаще называют "интеллектуальными", подчеркивая их достоинства.

Анализ отечественных чувствительных элементов (ЧЭ), основанных на использовании тензорезистивного эффекта в гетероэпитаксиальной пленке кремния, выращенной на поверхности монокристаллической пластины из искусственного сапфира, показал высокую нелинейность преобразования, чувствительность к влияющим факторам (особенно к изменению температуры окружающей среды), а также большой разброс параметров от датчика к датчику по сравнению с аналогичными ЧЭ ведущих зарубежных производителей. Однако проведенные исследования на ОАО "Теплоприбор" (г. Рязань) выявили достаточную стабильность характеристик каждого отдельного ЧЭ для автоматической компенсации погрешностей развитыми методами, использующими структурно-алгоритмическую и временную избыточность.

В рамках совместного проекта ООО "КБМТ" и ОАО "Теплоприбор" (г. Рязань), кафедры ИИБМТ РГРТУ, опытно-конструкторской разработки и внедрения в серийное производство комплекса прецизионных интеллектуальных ИП давления жидкостных и газообразных сред "Сапфир-22МР" создан и исследован способ компенсации погрешности ИП, применение которого позволяет уменьшить как коррелированную, так и некоррелированную ее составляющие. На рис. 1а представлена обобщенная структурная схема способа, который синтезирован на основе следующих методов.

На рис. 1б представлена структурная схема метода линеаризации реальной статической функции преобразования (РСФП) ИП на основе образцового обратного преобразования. Суть метода состоит в следующем. Для коррекции нелинейности преобразователя нужно включить последовательно дополнительный нелинейный преобразователь с функцией преобразования, обратной функции основного преобразователя. При этом измеряемая физическая величина P преобразуется нелинейным ИП F_2 в выходную величину U , которая поступает на вход дополнительного

корректирующего преобразователя (структурная избыточность). Если функция преобразования корректирующего преобразователя является в точности обратной к F_2 , то есть $G=F_2^{-1}$, то его выходная величина J будет линейной функцией входной величины P .

Помимо погрешности нелинейности в результат измерительного преобразования входит также погрешность от воздействия влияющих величин, например температуры окружающей среды. Если существует принципиальная возможность организации второго измерительного канала для влияющей величины датчика температуры (ДТ2), то погрешность от ее воздействия на ИП можно устранить методом вспомогательных измерений. Для реализации принципа инвариантности к влияющей величине T_2 необходимо в корректирующем преобразователе реализовать функцию двух переменных: входной величины ИП P и влияющей величины T_2 , которая компенсировала бы не только погрешность нелинейности ИП от входной величины, но и погрешность от негативного воздействия влияющей величины.

В современных ИП давления этот способ имеет самое широкое распространение [4, 5] благодаря тому, что с развитием вычислительной техники, а также с появлением высокоточных АЦП и ЦАП стала возможной реализация цифровых функциональных преобразователей (ЦФП), осуществляющих практически любые нелинейные корректирующие функции, необходимые для практики.

Корректирующую функцию $G=F_2^{-1}$ определяют на основе результатов градуировочного эксперимента, заключающегося в том, что измеряют значения выходной величины ИП U при различных комбинациях его входной величины P . Полученные координаты (P_j, U_j) , где $j=1,2,\dots,M$ симметрично отображают относительно номинальной функции преобразования $F_H=k_{ИП}P$, где $k_{ИП}$ – коэффициент преобразования скорректированного ИП. По полученным данным восстанавливают тем или иным способом аппроксимации (чаще степенным полиномом) корректирующую функцию G . В результате уравнение преобразования скорректированного ИП будет иметь вид $J=k_{ИП}P$. Но при изменении влияющей величины T_2 будет возникать дополнительная погрешность преобразования. Для ее исключения градуировочный эксперимент проводят для нескольких известных значений влияющей величины. Полученные координаты (T_{2i}, P_j, U_{ij}) , где $i=1,2,\dots,N, j=1,2,\dots,M$ симметрично отображают относительно плоскости $F_H=k_{ИП}P$ в координатах (T_2, P, U) . По отображенным данным восстанавливают корректирующую функцию $G(U, T_2)$.

От числа узловых точек M входной и N влияющей величин, на которых проводится градуировочный эксперимент, зависит погрешность, с которой корректирующая функция G приближается к РСФП ИП.

Линеаризацию и инвариантность ИП к влияющей величине можно реализовать на основе образцового прямого преобразования. Для этого используется ме-

тод отрицательной обратной связи (рис. 1в). К выходу основного преобразователя F_1 подключается так называемый компенсационный преобразователь, состоящий из устройства сравнения (УС), усилителя с коэффициентом усиления k_y и обратного преобразователя G . ИП преобразует входную величину P в промежуточную $U=F_1(P)$, которая подается на неинвертирующий вход УС, а на инвертирующий вход УС приходит величина U_p с выхода обратного преобразователя G . На выходе УС формируется разность $\Delta U=U-U_p$, после чего ΔU усиливается в k_y раз. Полученная величина $J=k_y \Delta U$ преобразуется обратным преобразователем в $U_p=G(J)$. Исходя из этого, можно вывести уравнение преобразования входной величины P в выходную J :

$$J=k_y F_1(P) - k_y G(P). \quad (1)$$

Желая, чтобы величина J была линейной функцией величины P , необходимо выполнить условие $J=k_{ИП}P$, где $k_{ИП}$ – общий коэффициент преобразования. Накладывая это условие на (1), получаем условие линеаризации:

$$G=F_1(P) - (k_{ИП}/k_y)P. \quad (2)$$

Задавая значения $k_{ИП}$ так, чтобы $k_{ИП}P < F_1(P)$, и применяя усилитель с большим коэффициентом усиления ($k_y \gg 1$), получим, что величиной $(k_{ИП}/k_y)P$ в (2) можно пренебречь по сравнению с $F_1(P)$ и тогда $G(J) \approx F_1(P)$, то есть для линеаризации всей цепи преобразования нужно, чтобы функция преобразования цепи обратной связи имела такой же вид, как функция основного нелинейного преобразователя.

Если есть принципиальная возможность организации второго измерительного канала для влияющей величины ДТ1, то, как и в предыдущем случае, можно обеспечить инвариантность ИП к влияющей величине T_1 .

На рис. 1г приведена структурная схема модификации описанного метода образцового прямого преобразования, отличающаяся тем, что компенсационный преобразователь подключается перед корректируемым ИП.

Из (2) видно, что с увеличением k_y уменьшается погрешность приближения корректирующей функции G к F_1 . Бесконечного коэффициента усиления в прямой цепи компенсационного преобразователя в статическом режиме можно добиться, заменив усилитель k_y на интегратор, то есть перейти к астатической системе первого порядка (рис. 1д). В отличие от предыдущей схемы это уже система неоднократного действия, которая восстанавливает РСФП до номинальной характеристики преобразования, а следящая система, которая сообщает РСФП определенное конечное приращение, функционально связанное с предварительно вычисленным значением погрешности ИП с целью сведения последней к нулю.

Основной проблемой при использовании синтезированного способа коррекции погрешностей ИП является выбор математической модели в общем слу-

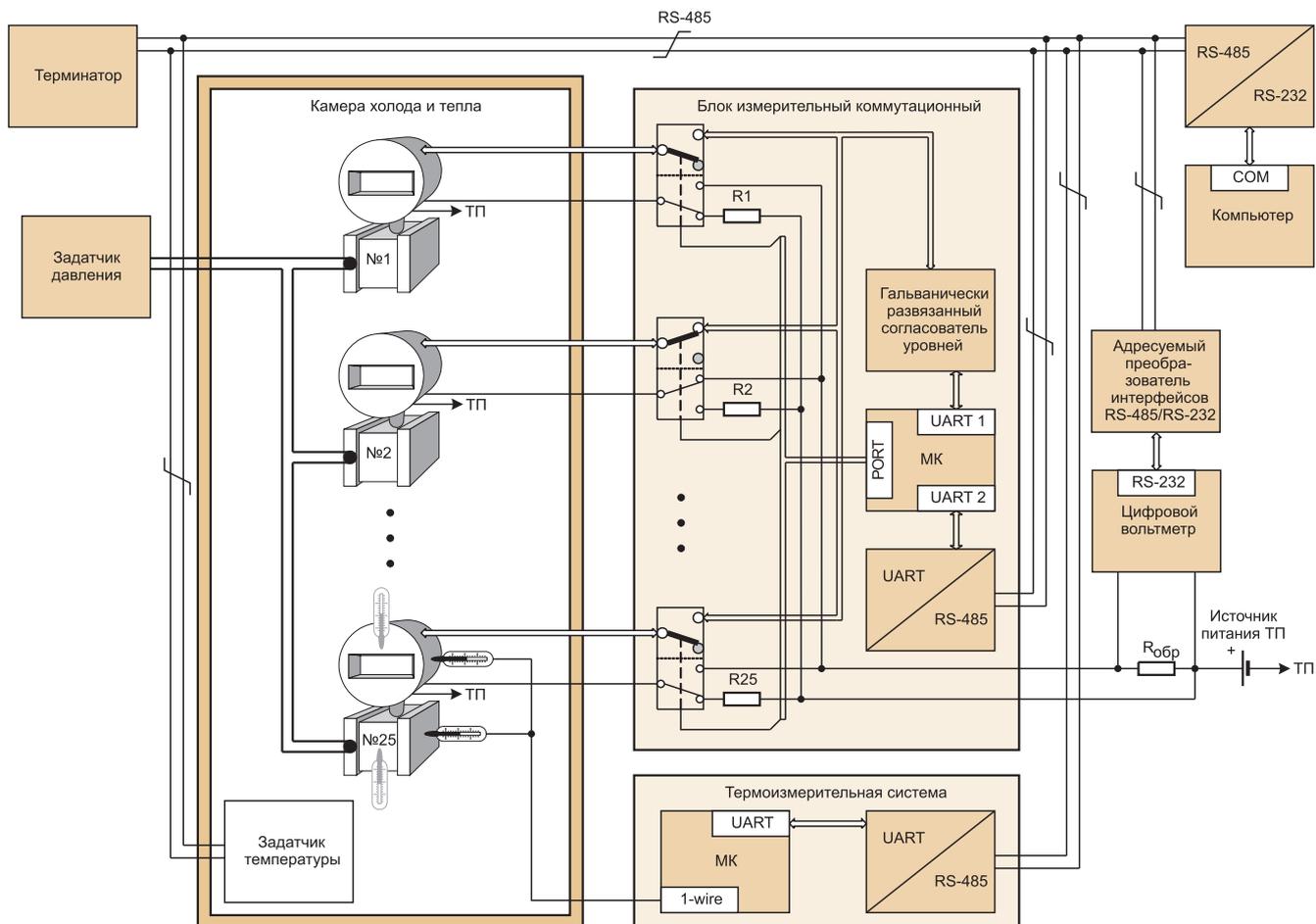


Рис. 3. Структурная схема АСУ "АСГ-01"

Структурная схема АСУ "АСГ-01" градуировкой и поверкой преобразователей давления "Сапфир-22МР" показана на рис. 3.

Блок измерительный коммутационный предназначен для подключения определенного ИП из установленных в КХТ для цифровой коммуникации с ПК по интерфейсу RS-485 и переключения этого ИП с соответствующего технологического нагрузочного сопротивления R на образцовое $R_{обр}$. На поверхности ИБ и ЭБ одного из ИП установлены датчики температуры DS18B20. На основе их показаний, а также значений температур, снимаемых с диагонали питания тензомоста (расположенного в центре ИБ) и с датчика температуры микроконтроллера ADuC816 (расположенного в центре ЭБ), блок управления температурой осуществляет оптимальное управление нагревателем и компрессором КХТ с целью минимизации времени выхода на термоустановившийся режим градуируемой партии ИП. Этот блок позволяет сократить время переходного процесса с 3 ч при стандартном управлении КХТ ее штатным датчиком температуры до 2 ч 20 мин.

Управление АСУ "АСГ-01" осуществляет ПК, где установлено специализированное ПО "ПРОКОНТ-Сапфир", выполняющее функции:

1. обеспечения устойчивого процесса адаптивной идентификации параметров функции коррекции теку-

щего ИП на основе решения нелинейного разностного уравнения с переменными параметрами, учитывая отношение интервалов дискретности взаимодействующих подсистем;

2. графической визуализации изменения параметров, характеризующих состояние функционирования подсистем в РВ;

3. сигнализации предупредительных и аварийных отклонений параметров;

4. документирования всех операций, производимых над партией ИП как автоматически, так и по требованию регулировщика радиоэлектронной аппаратуры;

5. считывания и записи карт памяти, содержащих значения параметров корректирующих функций, в энергонезависимую память микроконтроллера ИП, а также их просмотр и редактирование;

6. генерации отчетов по проведенной градуировке или поверке на основе результатов соответствующих запросов к БД.

В результате описанных технических решений разработанный комплекс интеллектуальных ИП абсолютного и избыточного давления, разряжения, давления-разряжения, разности давлений, гидростатического давления в стандартный аналоговый сигнал постоянного тока 4...20 мА имеет основную погрешность измерения 0,1% от диапазона. Внешний вид ИП "Сапфир-22МР" представлен на рис. 4.



Рис. 4. Измерительный преобразователь "Сапфир-22МР"

Дальнейшие исследования по совершенствованию ИП давления на ОАО "Теплоприбор" направлены на повышение их точности за счет отдельной коррекции температурных составляющих погрешности от ИБ и ЭБ.

Список литературы

1. Кузин А.Ю., Маринко С.В., Храпов Ф.И. Состояние и перспективы развития датчиковых систем специального назначения // Датчики и системы "ДиС-2005": Сборник докладов Международной научно-технической конференции под ред. Мокрова Е.А., - Пенза: ФГУП "НИИ физических измерений". 2005.
2. Шеленин Н.А. Проблемы разработки и освоения производства перспективных датчиков и преобразователей физических величин // Датчики и системы "ДиС-2005": Сборник докладов Международной научно-технической конференции под ред. Мокрова Е.А. Пенза: ФГУП "НИИ физических измерений". 2005.
3. Виноградов А.Л., Румянцев С.В., Устинов К.С. Перспективы развития комплекса интеллектуальных приборов для измерения давления и расхода. //Перспективные проекты и технологии. №1, 2006. Рязань: Издательство "РИНФО".
4. Почивалин О.П., Пох А.В. Применение микроконтроллеров MSP430 в датчике разности давлений // Датчики и Системы. 2003. № 11.
5. Christian Wohlgenuth, Peter Lotz, Roland Werhschitzky. Fehlerkorrektur piezoresistiver Drucksensoren mit optimierter Kalibrierung des Signalwandlers //Technisches Messen. 2005. № 2. (Oldenbourg Verlag).

Голь Станислав Артурович – ведущий инженер

ООО "Конструкторское бюро микропроцессорной техники" (г. Рязань).

Контактный телефон (4912) 92-03-48.

ВЫШЛА В СВЕТ НОВАЯ КНИГА

Т.Б. Потапова "Большая автоматизация. Информационно-управляющие системы в непрерывных производствах"
Издательство "Гриф и К" (г. Тула). 2006 г. Формат 60x90/16. Объем 294 стр., ил.

В книге приведены результаты аналитических исследований (технико-экономических, социальных и психологических) промышленных систем автоматизации. Этот анализ не академический, он выполнен в живой практике разработки и эксплуатации комплексных систем автоматизации на крупных промышленных предприятиях.

Главные направления научных и практических работ Т.Б. Потаповой:

- автоматизация технологических процессов и производств,
- сложные информационные и управляющие системы,
- психология, философия и экономика промышленной автоматизации,
- моделирование объектов и систем управления,
- пределы и пути рациональной автоматизации в промышленности.

Приводятся варианты структуры информационно-управляющих систем (ИУС), классифицированные с учетом их функциональной зависимости от количества и качества требуемых ресурсов разного рода (интеллектуальных, материальных, эволюционных), типов используемых ПТК и особенностей рассматриваемого непрерывного производства.

В книге формулируются научные закономерности создания современных ИУС в рамках постклассических наук управления, приводятся примеры их реализации.

Материалы книги изложены в форме, понятной не только специалистам по автоматизации, но и руководителям предприятий и специалистам их функциональных отделов.

Основное содержание книги - материалы, опубликованные Т.Б. Потаповой в периодической печати за последние 5-7 лет. С незначительными изменениями сюда вошли статьи из журналов: "Автоматизация в промышленности", "Мир компьютерной автоматизации", "Приборы и системы управления", "Промышленные АСУ и контроллеры", "Цветные металлы", "Цветная металлургия".

Особенно ценными для проектировщиков больших промышленных систем автоматизации являются материалы, изложенные в разделах "Опыт разработки ТЗ на модернизацию общезаводской ИУС" и "Объективные закономерности сложной автоматизации в промышленности", а также обзорная статья "Актуальная унифицированная модель прагматики информационно-управляющей системы".

Контактный телефон по вопросу приобретения книги (495) 540-97-04. E-mail:svf@toxsoft.ru

Науцилус стал дистрибьютором Matrikon

В сентябре 2006 г. было завершено подписание дистрибуторского соглашения между Научным центром "НАУЦИЛУС" и канадской компанией Matrikon – мировым лидером в области разработки ПО для промышленной автоматизации и систем интеграции.

Науцилус, представляя продукты Matrikon на российском рынке, главным направлением считает поставку коммуникационных драйверов для широкого спектра аппаратных средств, сетевых протоколов и программных систем, имеющих совместимость с OPC серверами и клиентами.

<http://www.nautsilus.ru/mtk/matrikon.htm>