

УДК 621.317

КОРРЕКЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

© 2022 Б.В. Цыпин¹, С.А. Здобнов², К.Э. Уткин²¹ Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия² Научно-исследовательский институт физических измерений, г. Пенза, Россия

Статья поступила в редакцию 16.06.2022

Приведены методы коррекции нелинейности и температурной зависимости функции преобразования первичных измерительных преобразователей. На примере датчиков давления рассмотрены достоинства и недостатки коррекции элементов первичного преобразователя, регулировки только в отдельных звеньях и коррекции, вводимой в последующие элементы измерительной цепи. Показаны варианты введения автоматической коррекции. Приведена классификация методов коррекции нелинейности функции преобразования и методов коррекции температурной погрешности.

Ключевые слова: первичный измерительный преобразователь, датчик давления, функция преобразования, измерительная цепь, погрешность нелинейности, температурная погрешность, коррекция.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-4-148-154

ВВЕДЕНИЕ

Развитие техники предъявляет все более высокие требования к средствам измерений, эксплуатирующихся в условиях воздействия внешних дестабилизирующих факторов. В то же время развитие микро- и нано электроники позволяет создавать миниатюрные электронные схемы с низким энергопотреблением, работоспособные в условиях воздействия внешних факторов (например, повышенных температур, космического излучения и т.д.). Появляются новые возможности по увеличению точности измерительных устройств (ИУ) за счет схемотехнических методов коррекции функции преобразования (ФП), аппаратно-программная реализация которых позволяет разместить промежуточный преобразователь непосредственно в месте измерения.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ КОРРЕКЦИИ ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Любое ИУ состоит из некоторого числа измерительных преобразователей (ИП), характеризующихся функцией преобразования, отражающей зависимость его выходной величины ИП от входной. Обобщенная ФП может быть представлена в виде [1 - 4]

Цыпин Борис Вульфович, доктор технических наук, профессор, заместитель заведующего кафедрой «Ракетно-космическое и авиационное приборостроение» на базе АО «НИИ-ФИ». E-mail: niifi@sura.ru

Здобнов Сергей Александрович, главный инженер. E-mail: niifi@sura.ru

Уткин Кирилл Эдуардович, начальник отдела. E-mail: niifi@sura.ru

$$y = f(x, a_1, a_2, \dots, a_n), \quad (1)$$

где x – измеряемая величина;

y – выходная величина ИУ;

a_1, a_2, \dots, a_n – параметры ФП.

Для группы однотипных ИУ при многократном экспериментальном определении ФП в общем случае получается ряд несопадающих зависимостей. В связи с этим для описания ИУ вводится понятие номинальной ФП, которая приписывается группе ИУ, указывается в паспорте и используется при проведении измерений посредством данных устройств.

Реальные параметры ФП предполагаются постоянными и равными своим номинальным значениям $a_{1н}, a_{2н}, \dots, a_{nн}$ а выражение для номинальной ФП записывается в виде

$$y = f_n(x, a_{1н}, a_{2н}, \dots, a_{nн}). \quad (2)$$

Однако в реальных ИУ в процессе изготовления и функционирования параметры ФП могут не соответствовать номинальным, поэтому реальная ФП записывается в виде

$$y = f_p(x, a_{1p}, a_{2p}, \dots, a_{np}). \quad (3)$$

Отличие параметров $a_{1p}, a_{2p}, \dots, a_{np}$ от своих номинальных значений вызывает погрешность, абсолютное значение которой, приведенное к выходу ИУ, определяется соотношением

$$\Delta_{вых} = f_p(x, a_{1p}, a_{2p}, \dots, a_{np}) - f_n(x, a_{1н}, a_{2н}, \dots, a_{нн}). \quad (4)$$

Реальная ФП ИУ должна входить в область, ограниченную относительно номинальной ФП нормированным значением предела допустимой погрешности.

Приведение реальной ФП к нормируемому виду, определяемому номинальной ФП и нормируемыми погрешностями преобразования, назовем коррекцией ФП ИУ. Понятие коррекции может быть применимо и к отдельно взятому параметру ФП.

Задачей коррекции ФПИУ является приведение выходного сигнала устройства к нормированному виду, при этом минимизируются систематические инструментальные погрешности преобразования ИУ. Задача коррекции решается индивидуально для каждого ИУ применительно к его реальной ФП. Коррекция ФП ИУ может осуществляться в процессе его настройки, перед проведением измерения, в процессе измерения, перед проведением периодической поверки и калибровки [5 - 6].

Поскольку к основным нормируемым метрологическим характеристикам ИУ, помимо различных составляющих погрешности средства измерения (СИ), относится и диапазон измерений [1], то одной из задач коррекции ФП ИУ является задача выбора диапазона преобразования.

Другой задачей коррекции ФП ИУ следует считать коррекцию дополнительных температурных погрешностей, которую можно классифицировать как задачу коррекции ФП ИУ в условиях эксплуатации.

Теоретически для выполнения коррекции реальной ФП, определяемой выражением (3), необходимо обеспечить соответствие отдельных параметров этой ФП и аналогичных параметров номинальной ФП, определяемой выражением (2) с точностью до нормируемых значений погрешностей этих параметров $\Delta a_{1н}, \Delta a_{2н}, \dots, \Delta a_{nн}$.

При выполнении коррекции ФП ИУ с полиномиальным представлением необходимо выполнить условия $a_{1р} \cong a_{1н}$ с точностью до величин нормируемых погрешностей коэффициентов ФП.

Реальная и номинальная ФП линейной ИЦ определяются выражениями

$$y_p = a_{0р} + a_{1р}x \text{ и } y_n = a_{0н} + a_{1н}x, \quad (5)$$

где $a_{0р}$ и $a_{0н}$ – аддитивные смещения реальной и номинальной ФП;

$a_{1р}$ и $a_{1н}$ – коэффициенты преобразования реальной и номинальной ФП.

Очевидно, что коррекция реальной ФП будет осуществлена после такой регулировки, при которой будут выполнены соответствия $a_{0р} \cong a_{0н}$ и $a_{1р} \cong a_{1н}$ с точностью до нормируемых аддитивной Δa_0 и мультипликативной Δa_1 погрешностей линейной измерительной цепи (ИЦ).

В соответствии с этим, можно представить процесс коррекции ФП ИУ по аддитивной составляющей как коррекцию нулевого порядка, по мультипликативной составляющей как коррекцию первого порядка.

Обычно стремятся к тому, чтобы ФП ИУ имела линейный вид. В случае нелинейного харак-

тера ФП ее стремятся скорректировать и привести к линейному виду. Процесс регулировки ФП нелинейного ИУ можно представить как нелинейную коррекцию. Для выполнения нелинейной коррекции необходимо выполнить условие

$$\sum_{i=2}^n |a_{ip}| < \delta_{\text{ндоп}}, \text{ где } \delta_{\text{ндоп}} - \text{нормированное допу-}$$

стимое значение погрешности от нелинейности ФП ИУ.

В отдельных случаях, при выполнении коррекции нелинейного вида используют метод линейно-ломаной аппроксимации ФП [1]. Однако при использовании этого метода необходимо вводить дополнительную информационную связь, позволяющую получить информацию о номере участка аппроксимации, и коммутирующие элементы, с помощью которых вводятся корректирующие поправки. Поэтому при нелинейной коррекции часто используют более эффективный метод – метод введения отрицательной обратной связи с выхода ИУ на его вход.

Скорректировать ФП всей линейной ИЦ можно двумя способами. Во-первых, путем коррекции индивидуальных ФП всех элементарных ИП, определяемых выражением

$$y_i = K_i(1 + \delta K_i)(y_{i-1} + a_i), \quad (6)$$

где i – номер элементарного звена.

В этом случае должна быть определена номинальная ФП каждого элементарного звена $y_{in} = K_{in}(1 + \delta K_{in})(y_{(i-1)n} + a_{in})$ и скорректированы мультипликативная δK_{in} и аддитивная a_{in} погрешности каждого элементарного преобразователя.

Такой подход оправдывается в тех случаях, когда необходимо согласовать диапазоны преобразования сопрягающихся звеньев, чтобы исключить потерю информации при ее прохождении по всей ИЦ.

Во-вторых, путем регулировок в одном звене. В этом случае операция коррекции выполняется применительно к ФП всего ИУ, определяющей согласно выражением

$$y_n = a_0 \prod_{i=1}^n K_i(1 + \delta K_i) + \sum_{g=1}^n a_g \prod_{i=g}^n K_i(1 + \delta K_i) \quad (7)$$

Номинальная ФП может быть представлена выражением

$$y_n = a_0(K_n + \delta K_n) + a_n, \quad (8)$$

а нормированные значения мультипликативной и аддитивной погрешностей должны соответствовать условиям

$$\sum_{i=1}^n \delta K_i < \delta K_n, \quad (9)$$

$$\sum_{g=1}^n a_g \prod_{i=g}^n K_i(1 + \delta K_i) < a_n.$$

В некоторых случаях коррекция нулевого, первого и более высокого порядка может быть выполнена в разных звеньях и разными способами. Однако, во всех случаях единым классификационным признаком является то, что коррекция ФП всего ИУ любого типа будет выполняться только в одном из элементарных звеньев. В отдельных случаях, коррекция одного порядка может осуществляться дважды в разных функциональных звеньях (например, грубая и точная регулировка коэффициента преобразования). В некоторых случаях для минимизации суммарной погрешности коррекция дополнительно проводится в наиболее ответственных звеньях. Второй способ коррекции значительно проще осуществим, экономически оправдан, поэтому на практике используется чаще. Однако при его использовании необходимо учитывать возможность потери измерительной информации [1].

Другим классификационным признаком проведения коррекции ФП ИУ является степень автоматизации проведения регулировочных операций. Следует различать ручную и автоматическую коррекцию.

Ручная коррекция ФП ИУ обычно проводится при наиболее простых ее видах: нулевого и первого порядка. Установка начального выходного уровня производится путем его смещения. При этом, измеряемая величина на входе ИУ отсутствует или равна нулю, а контроль смещения

на выходе устройства производится по показаниям контрольного образцового прибора.

На рисунке 1 приведены схемы ручной коррекции ФП первого порядка, используемые при калибровке ИУ. На рисунке 1а) показана схема коррекции с помощью меры, на рисунке 1б) – с помощью образцового устройства (ОУ), на рисунке 1в) – с помощью образцового обратного преобразователя (ООП) и устройства сравнения. Во всех случаях корректирующее воздействие (КВ) вводится непосредственно в ИУ.

В схеме с мерой калибровка осуществляется при подаче на вход прибора известной по значению величины x_0 . Во время калибровки оператор изменяет коэффициент преобразования корректируемого ИУ до тех пор, пока выходной сигнал не войдет в область нормированной мультипликативной погрешности. При наличии у ИУ большой аддитивной погрешности, перед коррекцией первого порядка нужно провести коррекцию нулевого порядка. Калибровку в схеме с образцовым прибором целесообразно проводить при значении измеряемой величины x близком к x_n . При калибровке коэффициент преобразования изменяется до тех пор, пока показания корректируемого и образцового ИУ не совпадут с точностью до нормированной мультипликативной погрешности.

При калибровке в схеме с ООП и устройством сравнения коэффициент преобразования

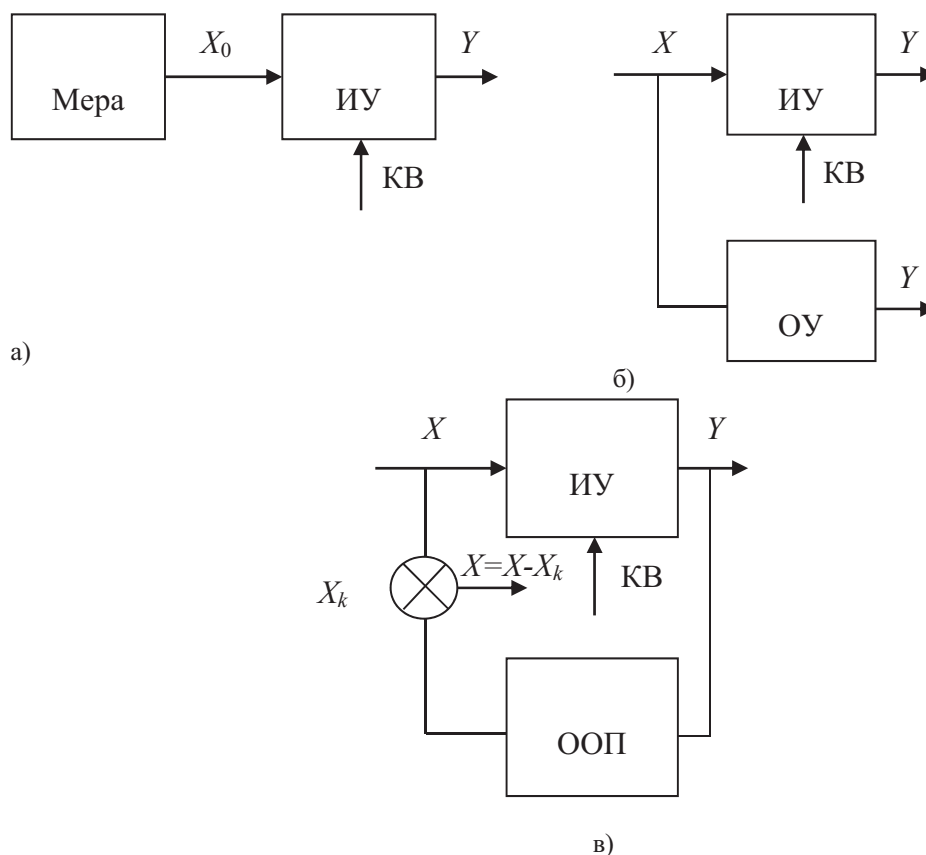


Рис. 1. Схемы ручной коррекции ФП первого порядка

изменяется до тех пор, пока сигнал Δx на выходе устройства сравнения не станет равным нулю.

При автоматической коррекции необходимо использовать сигнал, с помощью которого можно было бы реализовать корректирующее воздействие. Этот сигнал может быть пропорционален влияющей величине или погрешности ИУ. Методы автоматической коррекции являются структурными. Их можно разделить на методы с использованием замкнутых и разомкнутых структур [8 - 12].

В методе с использованием замкнутых структур (рисунок 2а) КВ создается величиной z , пропорциональной погрешности Δx . В методе с использованием разомкнутых структур (рисунок 2б) КВ создается влияющей величиной P или информативным параметром входного сигнала.

Автоматическая коррекция ФП ИУ осуществляется по аддитивной и мультипликативной составляющим погрешности преобразования. Коррекция нулевого порядка осуществляется с помощью суммирующего устройства, а коррекция первого порядка осуществляется с помощью множительного или делительного устройства.

Способы введения КВ различаются в зависимости от того, прикладывается ли оно на входе или на выходе корректируемого преобразователя. Коррекция нулевого порядка производится в случае преобладания аддитивной погрешности, а коррекция первого порядка - в случае преобладания мультипликативной погрешности.

Коррекции может быть подвергнута вся ИЦ или какая-то ее часть вплоть до одного звена. Наиболее выгодно решать задачу коррекции применительно ко всей цепи. Однако, во мно-

гих случаях, коррекция всей ИЦ является очень сложной задачей и с целью повышения точности отдельных узлов коррекцию проводят локально.

Коррекцию ФП ИУ можно классифицировать по положению корректирующих звеньев в линейном тракте преобразования. Например, ФП ИУ с первым звеном, воспринимающим КВ, согласно выражения (1) определяется как

$$y_n = a_0 \prod_{i=1}^n K_i(1 + \delta K_i) + a_1 \prod_{i=2}^n K_i(1 + \delta K_i) + \sum_{j=2}^n a_j \prod_{i=j+1}^n K_i(1 + \delta K_i) \quad (10)$$

КВ по мультипликативной составляющей погрешности определяется выражением

$$\delta K_i < - \sum_{i=2}^n \delta K_i, \quad (11)$$

а по аддитивной составляющей погрешности

$$a_1 = - \frac{\sum_{j=2}^n a_j \prod_{i=j+1}^n K_i(1 + \delta K_i)}{a_1 \prod_{i=2}^n K_i(1 + \delta K_i)} \quad (12)$$

В общем случае ФП ИУ для произвольного r -го звена, воспринимающего КВ, определяется выражением

$$y_n = a_0 \prod_{i=1}^n K_i(1 + \delta K_i) + \sum_{j=1}^{p-1} a_j \prod_{i=j+1}^n K_i(1 + \delta K_i) + a_p \prod_{i=p+1}^n K_i(1 + \delta K_i) + \sum_{j=p+1}^{p-1} a_j \prod_{i=j+1}^n K_i(1 + \delta K_i) \quad (13)$$

КВ по мультипликативной составляющей погрешности определяется выражением

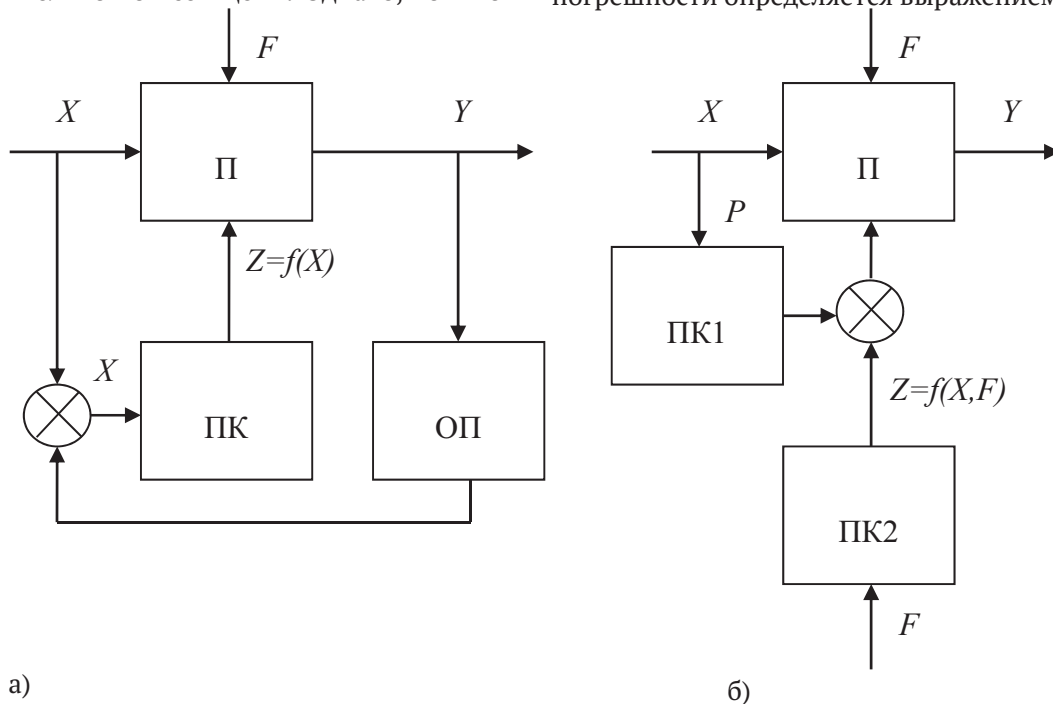


Рис. 2. Структурные схемы автоматической коррекции ИУ (П - преобразователь, ПК - преобразователь корректирующий, ОП - обратный преобразователь)

$$\delta K_p = - \left(\sum_{j=0}^{p-1} \delta K_j + \sum_{j=p+1}^n \delta K_j \right), \quad (14)$$

а по аддитивной составляющей погрешности как

$$a_p = - \frac{\sum_{j=1}^{p-1} a_j \prod_{i=j+1}^n K_i (1 + \delta K_i) + \sum_{j=p+1}^n a_j \prod_{i=j+1}^n K_i (1 + \delta K_i)}{\prod_{i=p+1}^n K_i (1 + \delta K_i)}. \quad (15)$$

Коррекцию ФП ИУ можно классифицировать по методу выделения информации о размере отклонения реальной ФП от номинальной. Наиболее часто применяют коррекцию с использованием образцового или тестового сигналов, обратного преобразователя и прямого преобразования влияющей величины. Структурные схемы, отражающие процесс коррекции с помощью образцового и тестового сигналов приведены на рисунках 3а, с помощью обратного преобразования – на рисунке 3б.

Обобщая и систематизируя приведенные ранее положения, можно составить классификацию видов коррекции по следующим классификационным признакам, в наиболее общем виде отражающим свойства коррекции ФП ИУ. Классификация видов коррекции ИУ приведена в таблице 1.

Для измерения различных физических величин широкое применение нашли датчики давления, выходной сигнал которых в условиях воздействия повышенных температур характеризуется дополнительной погрешностью, имеющей, в общем случае, аддитивную и мультипликативную составляющие. Для коррекции температурных погрешностей в составе ИУ необходим измерительный канал для температуры. Он может быть реализован тремя способами. Первый способ - используется временное разделение каналов по одному тракту передачи. Второй способ - используется преобразование температуры по двум измерительным каналам одновременно с измеряемой величиной. Третий

способ - используется дополнительный канал только для преобразования температуры.

Задачу коррекции дополнительных температурных погрешностей ТП следует разделить на две самостоятельные задачи: разработку методов выделения информации о температурном воздействии и разработку методов введения корректирующей поправки.

Недостатком всех указанных способов коррекции температурных погрешностей является невозможность скорректировать мультипликативную погрешность. В этой связи, особый интерес представляет логометрический метод коррекции температурной погрешности. В измерительную цепь вводится делитель напряжения и методом деления вводится корректирующая поправка в измерительный сигнал. Логометрический метод позволяет скорректировать с помощью одного термозависимого сигнала, снимаемого с дополнительного канала, и аддитивную и мультипликативную дополнительные погрешности. Логометрический метод позволяет добиться лучших результатов, в области коррекции температурных погрешностей датчиков давления, и его возможности далеко не исчерпаны.

При работе датчиков давления в условиях высоких температур снижение погрешностей преобразования входной измеряемой величины достигается как конструктивными методами, так и применением специальных измерительных цепей (ИЦ).

ИЦ, используемые для коррекции температурных погрешностей, можно разделить на три группы:

1. ИЦ с естественной коррекцией;
2. ИЦ с включением дополнительных термозависимых элементов коррекции;
3. ИЦ с обработкой дополнительных сигналов.

Особенностью представленного деления является то, что эти группы не являются взаимоисключающими, а, напротив, по мере повышения требований к точности измерения ИЦ с есте-

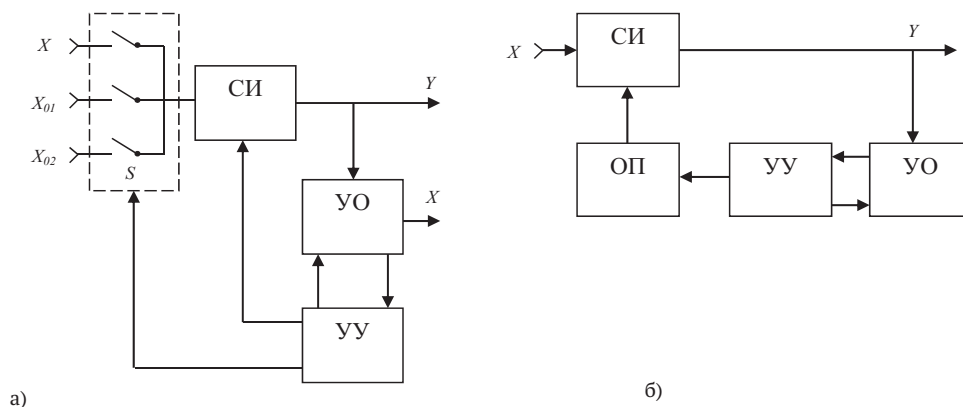


Рис. 3. Структурные схемы коррекции ФП при различных методах выделения информации о размере отклонения реальной ФП от номинальной (СИ – средство измерения; УО – устройство обработки; УУ – устройство управления; ОП – обратный преобразователь).

Таблица 1. Классификация видов коррекции ИУ

Классификационный признак	Разновидность видов коррекции		
	во время настройки	в процессе эксплуатации	во время периодической проверки
Время проведения в процессе жизни ИУ	перед измерением	в процессе измерения	
Момент проведения в процессе эксплуатации	линейная	нелинейная	
Линейность корректируемой характеристики	нулевого порядка	первого порядка	высшего (>2) порядка
По степени параметра при регулируемом коэффициенте в ФП	локальная одного звена	локальная нескольких звеньев	общая всей цепи
По степени охвата коррекцией ИЦ	1	2-3	в каждом
По количеству звеньев, в которых проводится коррекция всей цепи	в начале	в конце	между начальным и конечным звеньями
По положению звеньев для коррекции ФП устройства в линейном тракте преобразования	ручная	автоматизированная	автоматическая
По степени автоматизации операций	с использованием образцового или тестового сигнала	с использованием обратного преобразователя	с использованием прямого преобразования влияющей величины

ственной коррекцией дополняются включением термозависимых элементов (пассивная коррекция) или в дальнейшем усложняются до ИЦ с обработкой дополнительных сигналов (активная коррекция). Эффективность ИЦ с естественной коррекцией зависит от величины разброса температурных коэффициентов чувствительного элемента датчика давления, включенных в ИЦ. Примером ИЦ с естественной коррекцией может служить мостовая ИЦ ТП.

Эффективность использования ИЦ с включенными дополнительными элементами преобразования снижается тем, что функциональные температурные зависимости у компенсирующих элементов в широком диапазоне температур не совпадают с требуемыми. Настройка является трудоемкой операцией из-за необходимости осуществлять подгонку характеристик компенсирующих элементов. ИЦ с обработкой дополнительных сигналов имеют в настоящее время наибольшую перспективу применения, что связано с возможностями современной микроэлектроники и, в частности, с использованием микропроцессоров для реализации алгоритмов обработки дополнительных сигналов.

При построении ИЦ с обработкой сигналов для устранения температурной погрешности используют или метод сложения – аддитивная коррекция, или метод умножения (деления) – мультипликативная коррекция. Методы осо-

бенно эффективны, если аддитивная и мультипликативная температурные погрешности существенно различаются по величине [9, 13, 14]. При одновременном устранении аддитивной и мультипликативной погрешности чрезвычайно затруднительной оказывается процедура настройки ИЦ, что особенно важно при массовом производстве. Это связано с тем, что при коррекции мультипликативной составляющей регулировка коэффициента передачи множительного устройства влияет на компенсацию аддитивной погрешности. Если сначала устраняется аддитивная с последующим умножением на корректирующий сигнал, то наличие хотя бы небольшого постоянного смещения корректируемого сигнала приводит к возникновению мультипликативной погрешности. Другой порядок устранения погрешностей, сначала мультипликативной, а затем аддитивной, ведет к изменению уровня аддитивной погрешности и, таким образом, процесс настройки ИЦ имеет итерационный характер, как в первом, так и во втором случае. Практически это подтверждает то положение, что мультипликативная коррекция эффективна при малой аддитивной погрешности, а аддитивная коррекция при малой мультипликативной погрешности. Применение для снижения мультипликативной погрешности только метода умножения, а для снижения аддитивной – только метода сложения ограничи-

вает возможности ИЦ для коррекции температурных погрешностей.

ВЫВОДЫ

Коррекция ФП ИУ является гибким инструментом, пригодным для уменьшения систематических инструментальных погрешностей ИЦ за счет воздействий как на отдельные элементы, так и на все ИУ в целом. При этом в зависимости от структуры погрешности ИУ коррекция может проводиться отдельно как по аддитивной, так и по мультипликативной составляющей. Коррекция может проводиться в ручном или автоматическом режимах. Современный уровень развития электронной компонентной базы позволяет встраивать корректирующие устройства непосредственно в конструкцию ИП. Наиболее перспективным методом коррекции дополнительной температурной погрешности представляется логотрический метод, позволяющий скорректировать как аддитивную, так и мультипликативную составляющую погрешности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туз, Ю.М. Структурные методы повышения точности измерительных устройств / Ю.М. Туз. – Киев: Высшая школа, 1976. – С. 255.
2. Fraden J. Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications. – Springer Science & Business Media, 2004.
3. Pallas-Areny R., Webster J. G. Sensors and signal conditioning. – John Wiley & Sons, 2012.
4. Bluvshstein I.G., «On-line calibrated measuring systems and their characteristics», ISA Transactions, Volume 36, Issue 3, 1997, Pages 167-181.
5. Huang J.M., Zhang M.D. (2017). Research on temperature compensation technology of pressure transmitter, Foreign electronic measurement technology, 36(06), 50-52, 66.
6. Nadi M. et al. Embedded system design and implementation of standard auto-calibrated measurement chain //International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems. – 2008. – Т. 1. – № 1. – С. 21-33.
7. Melvås P., Kälvesten E., Stemme G. A temperature compensated dual beam pressure sensor //Sensors and Actuators A: Physical. – 2002. – Т. 100. – №. С. 46-53.
8. Kouider M., Nadi M., Kourtiche D., «Sensors Auto-calibration Method Using Programmable Interface Circuit Front-end», Sensors, Volume 36, Issue 3, 2003, Pages 490-497.
9. Šaponjić D., Žigic A. Correction of a piezoresistive pressure sensor using a microcontroller // Instruments and Experimental techniques. – 2001. – Т. 44. – №. 1. – С. 38-44.
10. Yunus M. System and method for precision compensation for the nonlinear offset and sensitivity variation of a sensor with temperature : пат. 5848383 США. – 1998.
11. Yurish S.Y. A simple and universal resistive-bridge sensors interface //Sensors & Transducers. – 2011. – Т. 10. – С. 46.
12. Aubinet M., Vesala T., Papale D. (ed.). Eddy covariance: a practical guide to measurement and data analysis. – Springer Science & Business Media, 2012.
13. Cao Q.W. (2017). Normalized sensitivity temperature compensation algorithm for diffused silicon pressure sensor, Instrumentation users, 24(05), 1-4.
14. Huang J.M., Zhang M.D. (2017). Research on temperature compensation technology of pressure transmitter, Foreign electronic measurement technology, 36(06), 50-52, 66.

CORRECTION OF CHARACTERISTICS OF SENSITIVE ELEMENTS PRESSURE SENSORS

© 2022 B.V. Tsypin, S.A. Zdobnov, K.E. Utkin

¹ Penza State University, Penza, Russia

² Scientific-Research Institute of Physical Measurement, Penza, Russia

Methods for correcting the nonlinearity and temperature dependence of the conversion function of primary measuring transducers are given. On the example of pressure sensors, the advantages and disadvantages of correcting in the elements of the primary transducer, adjusting only in individual links, and correcting introduced into subsequent elements of the measuring circuit are considered. Options for introducing automatic correction are shown. A classification of methods for correcting the nonlinearity of the transformation function and methods for correcting the temperature error is given. Keywords: primary measuring transducer, pressure sensor, conversion function, measuring circuit, non-linearity error, temperature error, correction.

Keywords: primary measuring transducer, pressure sensor, conversion function, measuring circuit, non-linearity error, temperature error, correction.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-4-148-154

Boris Tsypin, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Rocket-Space and Aviation Instrument Engineering. E-mail: niifi@sura.ru

Sergey Zdobnov, Chief Engineer. E-mail: niifi@sura.ru

Kirill Utkin, Head of Department. E-mail: niifi@sura.ru