

УДК 533.088.7.543.4.062

В. М. КАНТЕРЕ, М. А. КАРАБЕГОВ
(Москва — Тбилиси)

АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ ПОКАЗАНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ АНАЛИЗАТОРОВ

В статье рассмотрен метод автоматической коррекции показаний промышленного анализатора и показаны условия компенсации погрешностей при применении этого метода. Реализация и эффективность рассмотренного метода иллюстрируются на примере автоматического фотометрического анализатора.

Современные промышленные автоматические аналитические приборы, используемые при контроле и управлении производственными процессами, представляют собой комплекс разнообразных устройств, основанных на достижениях физики, химии, измерительной техники, радиоэлектроники и механики.

Аналитические приборы контролируют, как правило, наиболее ответственные параметры технологических процессов, в связи с чем к ним предъявляются жесткие, постоянно повышающиеся требования в отношении точности измерений.

На преобразовательные звенья приборов в процессе их эксплуатации на производстве влияют различные возмущающие воздействия, связанные с состоянием измеряемой и окружающей среды (изменения температуры, давления, расхода, напряжения питания; вибрации, магнитные поля, ударные сотрясения и т. п.) и вызывающие погрешности измерения.

Эффективным методом уменьшения погрешности прибора является стабилизация статической характеристики каждого звена за счет термокомпенсации, стабилизации источников питания, применения бездрейфовых усилителей и т. п.

Однако при построении сложных измерительных цепей может оказаться целесообразным использовать узлы со сравнительно невысокими метрологическими параметрами, но простые и надежные, а для повышения точности измерения предусмотреть автоматическое устройство для периодической поверки и коррекции показаний прибора, т. е. предусмотреть «автоподстройку» параметров схемы [1—3].

Автоматическая коррекция показаний прибора заключается в периодической подаче на вход чувствительного элемента (или одного из преобразовательных звеньев прибора) известного значения контролируемого параметра, в выявлении при этом накопившейся погрешности и компенсации последней.

Рассмотрим способ автоматической коррекции показаний на упрощенной блок-схеме промышленного анализатора с передаточным коэффициентом K , снабженного специальным блоком Z , осуществляющим автоматическую коррекцию показаний прибора (рис. 1, а и б).

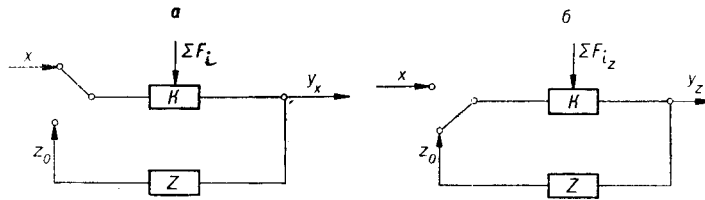


Рис. 1.

При анализе погрешностей будем различать основную погрешность, проявляющуюся при нормальных для данного прибора условиях, дополнительные погрешности, проявляющиеся при отклонении условий от нормальных, а также, согласно [4], погрешности первого рода, возникающие за счет дрейфа нуля, наличия зоны нечувствительности и т. п., и погрешности второго рода, возникающие вследствие изменения значений передаточных коэффициентов.

До проведения коррекции показаний выходная величина прибора y_x при измерении величины x может быть представлена следующим образом:

$$y_x = x(K + \Delta K) + \delta + \sum \Delta(F_i) = xK + x\Delta K + \delta + \sum \Delta(F_i), \quad (1)$$

где ΔK — изменение величины передаточного коэффициента;
 δ — основная погрешность первого рода;
 $\sum \Delta(F_i)$ — результирующее значение дополнительной погрешности первого и второго рода, возникающей в результате воздействия на прибор влияющих величин F_i ;
 $x\Delta K$ — основная погрешность второго рода.

Во время коррекции на вход прибора подается известное значение контролируемого параметра z_0 ; подача измеряемого параметра временно прекращается.

При этом выходная величина прибора будет равна

$$\begin{aligned} y_z &= z_0(K + \Delta K) + \delta_z + \sum \Delta(F_i)_z + \Delta_z = \\ &= z_0K + z_0\Delta K + \delta_z + \sum \Delta(F_i)_z + \Delta_z, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\delta_z + z_0\Delta K$ — основная погрешность прибора первого и второго рода в момент измерения z_0 ;
 $\sum \Delta(F_i)_z$ — дополнительная погрешность прибора первого и второго рода в момент измерения z_0 ;
 Δ_z — погрешность воспроизведения известного значения параметра.

Значение параметра z_0 и номинальное значение передаточного коэффициента K известны, поэтому можно определить величину погрешности e :

$$e = y_z - z_0K = z_0K + \delta_z + \sum \Delta(F_i)_z + \Delta_z. \quad (3)$$

Вычитая величину погрешности e из выходной величины прибора,

Если соблюдаются условия

$$\delta = \delta_z, \quad \sum \Delta(F_i) = \sum \Delta(F_i)_z, \quad (5)$$

то компенсация δ_z , ΔK и $\sum \Delta(F_i)_z$ повысит точность измерения контролируемого параметра.

Условия (5) могут быть реализованы, если известное значение контролируемого параметра будет подаваться настолько кратковременно, что за это время ни передаточный коэффициент, ни воздействия влияющих величин не успеют сколько-нибудь существенно измениться.

Для компенсации величин δ_z , ΔK и $\sum \Delta(F_i)_z$ на вход прибора, очевидно, необходимо подавать последовательно два известных значения контролируемого параметра $z'_0 = 0$ и $z''_0 = z_p^*$.

Техническим средством осуществления автоподстройки является автоматическое устройство с отрицательной обратной связью, обладающее свойством «запоминания» параметра.

После автоподстройки и подачи на вход прибора измеряемой величины x выходная величина прибора будет иметь вид

$$y = xK + \Delta_z. \quad (6)$$

Если известное значение контролируемого параметра воспроизводится с высокой степенью точности, то можно считать, что $\Delta_z \rightarrow 0$ и ошибка в измерении практически отсутствует. Инвариантность показаний прибора до величины допустимой погрешности измерения ϵ (или в ряде случаев до технически осуществимой величины) будет иметь место при выполнении условия

$$(x - z_0) \Delta K + (\delta - \delta_z) + [\sum \Delta(F_i) - \sum \Delta(F_i)_z] + \Delta_z \leq |\epsilon|. \quad (7)$$

Уравнение (7) можно оценить качественно и количественно, когда в результате изучения условий эксплуатации и технических характеристик прибора определены функции: $\Delta K(t)$, $\delta(t)$, $\delta_z(t)$, $F_i(t)$, $F_{iz}(t)$ и $\Delta_z(t)$. При этом задача выполнения условия инвариантности показаний прибора до величины ϵ сводится к определению максимальных значений интервалов времени, необходимых для проведения автоподстройки, и интервалов времени, в течение которых производятся измерения.

Рассмотрим метод автоматической периодической коррекции показаний применительно к фотометрическому анализатору, построенному по двухканальной схеме с оптической компенсацией.

Общая погрешность такой схемы включает погрешности первого и второго рода звеньев цепи обратной связи и погрешности первого рода

* Имеется в виду нулевое ($z'_0=0$) и некоторое промежуточное «реперное» ($z''_0=z_p$) значения параметра. Можно использовать и значение параметра, не равное нулю.

В компенсационных схемах достаточно проводить автоподстройку по одному известному значению контролируемого параметра, так как наличие интегрирующего звена создает условия: $K \rightarrow \infty$ и $\Delta K \rightarrow 0$.

звеньев анализатора, размещенных до звена с передаточным коэффициентом $K = \infty$ включительно.

Применяя стабильные оптические компенсаторы (оптические клинья) и градуируя шкалу анализатора, можно практически исключить погрешности первого и второго рода звеньев цепи обратной связи.

В процессе промышленной эксплуатации фотометрических анализаторов, кроме указанных, возникает существенная погрешность из-за загрязнения или окрашивания стекол кюветы. Она является функцией свойств контролируемых сред и особенно проявляется при измерении грязных растворов.

Эта погрешность и погрешности первого рода звеньев прибора до звена с $K = \infty$ включительно определяют метрологические свойства фотометрического анализатора. При анализе погрешностей, естественно, не учитываются методические погрешности физико-химического характера, обусловленные индивидуальностью химических систем и параметров связи состав-свойство.

Для периодической автоматической коррекции показаний фотометрического анализатора в системе прибора предусмотрено устройство для автоматической подачи в кювету раствора, соответствующего по оптической плотности нулевой отметке на шкале прибора, а в измерительном световом потоке установлен подстроечный оптический компенсатор, связанный с автоматической системой компенсации.

Упрощенная опико-электрическая схема подобного фотометрического анализатора приведена на рис. 2. Свет от источника I оптической системой разделяется по двум каналам — измерительному и сравнительному (пунктир). В измерительном канале свет проходит через измерительный оптический клин 2, кювету 3, подстроечный оптический клин 4 и попадает на измерительный фоторезистор в первичном преобразователе ПП. В сравнительном канале свет попадает непосредственно на второй (сравнительный) фоторезистор, минуя элементы, расположенные в измерительном канале.

Фоторезисторы включены дифференциально в смежные плечи измерительного равновесного моста переменного тока. Изменение оптической плотности контролируемого раствора вызывает небаланс измерительного моста. Напряжение небаланса усиливается фазочувствительным усилителем и затем поступает на управляющую обмотку реверсивного двигателя РД, вращающего оптический клин 2 до тех пор, пока не восстановится прежняя освещенность фоторезистора в измерительном канале, при которой измерительный мост окажется уравновешенным. Оптический клин 4 находится в положении, установленном в предыдущем цикле измерения.

В режиме автоподстройки устройство 5 отключает двигатель РД₁ от выхода усилителя У и подключает к нему двигатель РД₂. Оптический клин 2 устанавливается в нулевое положение. Одновременно с этим гидросистема прибора и кювета промываются водой, конденсатом или иным специальным составом, растворяющим получающиеся в процессе эксплуатации отложения. Затем кювета заполняется раствором, выполняющим функцию эталона нулевого показания шкалы.

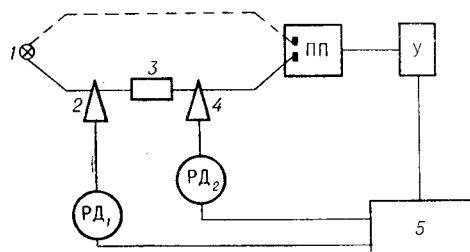


Рис. 2.

К этому времени в приборе накапливаются некоторые погрешности из-за дрейфа нуля, загрязнения стекол кюветы и т. д. Они вызывают соответствующий небаланс моста, являющийся функцией только погрешности измерения, так как в схеме прибора созданы условия, при которых напряжение небаланса должно равняться нулю (фиксация клина 2 в нулевом положении и заполнение кюветы 3 нулевым раствором).

Напряжение небаланса, усиленное усилителем, вращает подстроечный клин 4 до наступления равновесия, производя компенсацию накопившихся погрешностей и обеспечивая тем самым постоянство чувствительности прибора, так как при любых (в пределах возможностей подстроечного клина) потерях света из-за загрязнения стекол кюветы освещенность фоторезистора всегда приводится к одной и той же заранее выбранной оптимальной величине. Затем устройство 5 отключает от выхода усилителя двигатель РД₂ и подключает к нему двигатель РД₁, после чего начинается очередной цикл измерения.

Все операции в приборе производятся автоматически. Если подстроечный клин доходит до своего крайнего положения, то прибор отключается и включается лампа, сигнализирующая о необходимости проведения соответствующих наладочных работ.

Преимущества разработанной схемы:

проверка и корректировка показаний только по одному — нулевому сигналу,

постоянство чувствительности прибора во всем диапазоне шкалы при любых загрязнениях стекол кюветы;

полное воспроизведение градуировочной зависимости и всех метрологических свойств прибора после автоподстройки;

конструктивная однородность измерительных и подстроечных оптических клиньев;

отсутствие жестких требований к функциональным характеристикам и взаимозаменяемости подстроечных оптических клиньев, а также необходимости проведения каких-либо настроек прибора в процессе эксплуатации.

В таблице приведены некоторые данные испытаний разработанного автоматического фотометрического анализатора с автоподстройкой. Шкала прибора была разделена на 100 равномерных делений.

Оптическая плотность светофильтра № 1	Показание прибора при светофильтре № 1	Оптическая плотность светофильтра № 2	Показание прибора при светофильтрах № 1 и 2	Погрешность прибора из-за загрязнения кюветы, в единицах шкалы	Показание прибора при светофильтре № 1 после автоподстройки	Погрешность показаний, %
0,13	25	0,10	45	20	26	+1,0
0,13	25	0,10	45	20	26	+1,0
0,13	25	0,13	50	25	25,5	+0,5
0,25	50	0,10	70	20	50	0
0,25	50	0,13	75	25	50	0
0,355	71	0,13	96	25	71	0
0,355	71	0,23	100	(46)	71	0
0,48	96	0,13	100	(25)	95,5	-0,5
0,48	96	0,23	100	(46)	95	-1,0

Методика испытаний заключалась в следующем. Проводилась автоподстройка измерительной системы при кювете, заполненной водой. В измерительный канал вводился нейтральный светофильтр № 1, имитировавший оптическую плотность контролируемого раствора, и снимался отсчет по шкале прибора. Далее вставлялся светофильтр № 2,

имитировавший загрязнение кюветы, и снимался новый отсчет. Затем светофильтр № 1 извлекался; при этом показание прибора характеризовало погрешность из-за загрязнения кюветы, обусловленную светофильтром № 2.

После автоподстройки вставлялся светофильтр № 1 и снимался новый отсчет. За погрешность принималась разность показаний прибора при одном и том же светофильтре до и после автоподстройки, отнесенная к диапазону шкалы (100) в процентах. При испытаниях все операции осуществлялись автоматически.

Из таблицы видно, что автоматическая подстройка обеспечивала компенсацию загрязнения стекол кюветы в пределах, доходящих до половины диапазона измерения, с погрешностью не более $\pm 1,0\%$ и воспроизведением градуировки шкалы.

Полученная величина погрешности после автоподстройки ($\pm 1,0\%$) состоит из

погрешности, вызванной неточностью установки измерительного клина в нулевое положение;

погрешности, вызванной неточностью приготовления «нулевого» раствора;

погрешности, вызванной различием зон нечувствительности у $РД_1$ и $РД_2$.

В промышленной аналитической практике используются два типа автоматических фотометрических анализаторов. Первые производят непосредственный контроль технологических растворов, вторые контролируют технологический раствор, который до измерения подвергается химической обработке в блоке подготовки пробы (например, фотометрические анализаторы, основанные на действии селективной цветной реакции). Такие анализаторы обычно являются приборами непрерывноциклического действия. В них практически без усложнения системы и увеличения времени цикла измерения можно применять автоподстройку перед каждым циклом измерения, что значительно повышает точность контроля.

В настоящее время фотометрические анализаторы, построенные по рассмотренной схеме и предназначенные для контроля различных технологических растворов, разработаны и внедрены в промышленность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Шумиловский, Б. С. Синицын, В. Ю. Кнеллер. Некоторые задачи техники автоматических измерений в связи с комплексной автоматизацией производства.— Измерительная техника, 1957, № 1.
2. Н. Н. Шумиловский. Основные пути развития методов автоматических измерений.— Труды конференции по электрическим измерениям и приборостроению. Киев, Изд-во АН УССР, 1959.
3. Н. Н. Шумиловский, Р. И. Стаховский. Автоматические газоанализаторы масс-спектрометрического типа.— Труды сессии АН СССР по научным проблемам автоматизации производства. М., Изд-во АН СССР, 1957.
4. В. И. Соболев. Структурный анализ статических погрешностей приборов с компенсационным преобразованием.— Приборостроение, 1964, № 11.

*Поступила в редакцию
11 мая 1965 г.,
окончательный вариант —
18 августа 1965 г.*