

В.В. МУЛЯРОВ, аспирант НТУ «ХПИ»

БЕЗДЕМОНТАЖНЫЙ КОНТРОЛЬ НАРУШЕНИЙ ЛИНЕЙНОСТИ ФУНКЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Представлено математичну модель статистичного контролю точності перетворювачів ІВС контролю та діагностики. Доведено, що моніторинг числових характеристик залишкового шуму перетворювачів дозволяє статистично виявляти порушення їх метрологічних характеристик.

The mathematical model of statistical control of accuracy of converters IMS of control and diagnostics is presented. It is proved that monitoring of numerical characteristics of residual noise of converters allows to find out infringements of their metrological characteristics statistically.

Постановка проблемы. Параметрические изменения точностных характеристик первичных преобразователей ИИС контроля и диагностики, при длительной эксплуатации системы, влияют на достоверность принятия решений. Актуальной проблемой, в этом случае, является проблема бездемонтажного контроля линейности функции измерительного преобразования. Любые изменения этой функции увеличивают ширину полосы погрешности преобразователя, вызывая появления мультипликативных погрешностей как по входу так и по выходу преобразователей.

Анализ литературы. Известные в настоящее время методы алгоритмической и структурной коррекции погрешностей преобразователей связана с использованием физически реализуемых образцов измеряемых величин и функций их преобразования при условии, что последние являются линейными или хотя бы линеаризованными [1, 2]. Такие методы базируются на создание структурной избыточности при контроле точности преобразователей. При отсутствии образцов такие методы – неэффективны. В этом случае стараются создавать информационную избыточность, применяя «интеллектуальные» методы вторичных измерительных преобразований, использующих логические процедуры принятия решений [3,4]. Однако и такие методы требуют применения поверочных метрологических операций на базе стандартных образцов входных величин.

Цель статьи – показать возможности статистического контроля точности преобразователей на основе их анализа остаточного случайного шума, с последующим контролем числовых характеристик этого шума, при любых динамических входных сигналах и отсутствии образцов измеряемых входных величин.

Математическая модель нарушение линейности преобразования

Рассмотрим преобразователь с номинальной линейной функцией преобразования вида:

$$y = c + dx + \Delta y,$$

где c и d – параметры модели;

Δy – случайная погрешность преобразования;

$$\Delta y \sim \text{NORM}(0, \sigma_{\Delta y}^2).$$

Введем нелинейность в модель действительной функции первичного измерительного преобразования:

$$y = c + dx + f \cdot X + \Delta y, \quad (1)$$

где $f = 0$ при строгой линейности функции преобразования.

Реализация выходного сигнала будет представлена теперь моделью

$$y_{ji} = (c + da_j + fa_j^2) + b_j(d + 2fa_j)t_{ji} + fb_j^2t_{ji}^2 + \\ + (d + 2fa_j + 2fb_jt_{ji})e_{ji} + fe_{ji}^2 + \Delta y_{ji}, \quad (2)$$

где e_{ji} – случайное отклонение выходной величины преобразователя от математического ожидания функции измерительного преобразования, когда отсчет этой величины производят в фиксированные моменты времени с погрешностью Δt_{ji} .

$$e_{ji} = \Delta x_{ji} - b_{ji} \cdot \Delta t_{ji}.$$

Так как номинальная функция измерительного преобразования предполагается линейной, то выражение (2) может быть представлена в виде линейной функции времени с нестационарным случайным шумом $\varepsilon(t_{ji})$

$$y_{ji} = (c + da_j + fa_j^2) + b_j(d + 2fa_j)t_{ji} + \varepsilon(t_{ji}). \quad (3)$$

Здесь случайный остаток $\varepsilon(t_{ji})$ содержит еще и систематическую составляющую, зависящую от времени наблюдения:

$$\varepsilon(t_{ji}) = fb_j^2t_{ji}^2 + (d + 2fa_j + 2fb_jt_{ji})e_{ji} + fe_{ji}^2 + \Delta y_{ji}. \quad (4)$$

Дисперсия случайного остатка определяется выражением

$$\sigma_{\varepsilon}^2(t) = f^2\beta_c^4t^4 + (d + 2f\alpha_c + 2fb_{\beta c}t)^2\sigma_e^2 + f^2\sigma_e^4 + \sigma_{\Delta y}^2, \quad (5)$$

Анализ последнего выражения показывает, что дисперсия остатка $\sigma^2(t)$ является нелинейной функцией времени наблюдения входной динамической величины, что приводит к появлению нестационарности выходного сигнала преобразователя по его остаточной дисперсии.

Обнаружить появление такой не стационарности можно используя параметрические тесты, например, дисперсионного отношения [5] или

тестируя выходной сигнал на отсутствие корреляции случайного остатка с временем наблюдения [6].

Модель структурной коррекции погрешности нелинейности.

Рассмотрим метод пространственной коррекции, который достигается структурной избыточностью. Согласно этому методу, коррекция функции измерительного преобразования осуществляется за счет усреднения выходных сигналов нескольких однотипных преобразователей, на вход которых подается одна и та же измеряемая величина. С точки зрения надежности, этот метод постоянного общего (по отношению к преобразователю) резервирования. Метод эффективен для коррекции случайных погрешностей, но хотя погрешность от нелинейности – систематическая, надо учитывать случайный характер остаточных отклонений e_{ji} в результатах y_{ji} измерений динамической величины $X = F(t)$.

При разработке информационной модели структурной коррекции возможно использование одного из двух вариантов обработки выходных сигналов для n параллельно работающих первичных преобразователей.

а) использование, отдельно, выходных сигналов каждого из n преобразователей для вычисления их остаточных дисперсий σ^2 и последующего их усреднения;

б) усреднение выходных сигналов $y_{ji}^{(1)}, \dots, y_{ji}^{(n)}$ преобразователей с последующим вычислением остаточной дисперсии усредненного сигнала.

На рис. 1 представлены структурные схемы (соответственно а) и б) для этих вариантов усреднения по группе преобразователей $\Pi_1, \dots, \Pi_v, \dots, \Pi_n$.

Если σ^2 и ρ^2 - полная дисперсия выходного сигнала и нормированный коэффициент парной его корреляции с временем t (точка заменяет любой из индексов а или б), то остаточные дисперсии выходных сигналов схем а) и б) имеют вид

$$\left\{ \begin{array}{l} D_a = \frac{1}{n} \left\{ \sum_{v=1}^n \sigma_v^2 \rho_v^2 \right\} \\ D_b = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n \sigma_v^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{v=1}^n \sigma_v^2 \right) \left(\frac{1}{n} \sum_{v=1}^n \rho_v^2 \right) \end{array} \right\}.$$

Поскольку количество получаемой информации зависит от соотношения полной и остаточной дисперсии

$$I = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{\sigma^2}{D} \right), \tag{6}$$

то при одинаковой исходной неопределенности выходного сигнала вариантов а) и б) ($\sigma_a^2 = \sigma_b^2$), более информативным является преобразование, имеющее меньшую остаточную дисперсию. Для сравнения этих дисперсий найдем их разность, например, $D_b - D_a = \Delta D$, и определим ее знак

$$\Delta D = \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sigma^2 \rho^2 \right) - \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sigma^2 \right) \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \rho^2 \right). \quad (7)$$

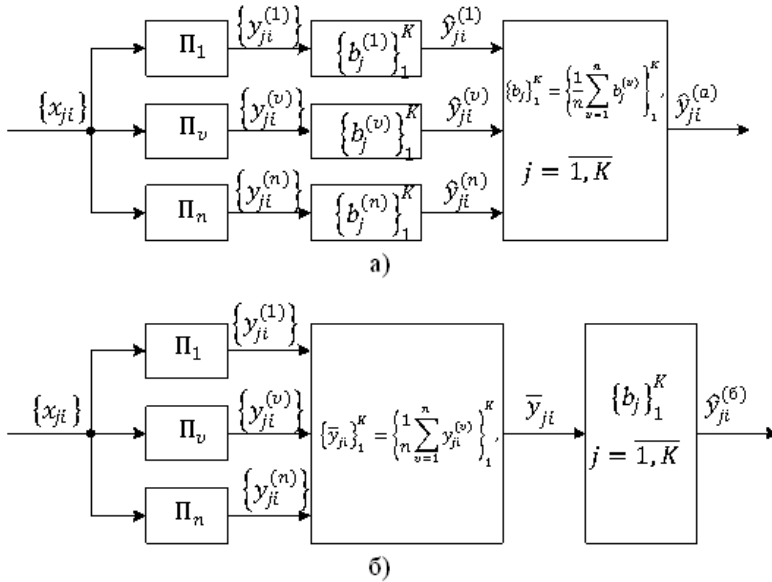


Рисунок 1 – Структурные схемы вариантов а), б) информационного преобразования при коррекции погрешности нелинейности

Правая часть условия (7) – это ковариация (смешанный центральный момент второго порядка) между σ_v^2 и ρ_v^2 , $\rho = \overline{1, n}$:

$$D_b - D_a = cov(\sigma_v^2, \rho_v^2). \quad (8)$$

Если, например, $n = 2$, то

$$cov(\sigma^2, \rho^2) = \frac{S_0}{(N-1)} \left[-\frac{(\rho_1^2 - \rho_2^2)^2}{4\rho_1^2\rho_2^2} \right] < 0, \quad (9)$$

структура варианта б) более информативна.

Практические результаты. Используемая рассмотренная схема коррекции погрешностей первичных преобразователей была практически применена для повышения метрологической надежности термопреобразователей, используемых в системе управления работой технологических агрегатов Эж1200\75, предназначенных для производства растительных масел. Это позволило увеличить более чем в 5 раз технический ресурс системы измерительного контроля (с 0,5 года до 2,5 лет).

Выводы.

1. Разработанная математическая модель контроля метрологических нарушений позволила выявлять нарушения точности первичных преобразователей и осуществлять их бездемонтажный контроль для любых рабочих режимов технологического агрегата

2. Наряду с контролем систематических погрешностей преобразователя разработанный метод позволяет выявлять нарушения линейности функции измерительного преобразования на любых участках диапазона измерения контролируемых величин.

Список литературы: 1. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навч. посіб. / [Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б.]. – Вінниця: Велес, 2001. – 219 с. 2. Кондрашов С.І. Методи підвищення точності систем тестових випробувань електричних вимірювальних перетворювачів у робочих режимах: Монографія / С.І. Кондрашов. – Х.: НТУ „ХПІ”, 2004. – 224 с. 3. Малайчук В.П. Інформаційно-вимірювальні технології неруйнівного контролю: [навч. посіб.] / В.П. Малайчук, О.В. Мозговой, О.М. Петренко – Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 2001. – 240 с. 4. Володарський Є.Т. Статистична обробка даних: [навч. посібник] / Є.Т. Володарський, Л.О. Кошева. – К.: НАУ, 2008. – 308с. 5. Pollard J.H. A handbook of numerical and statistical techniques / J.H. Pollard – Cambridge University Press: London – New York – Melbourne, 1976. – 344 p. 6. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов / Т. Андерсон – М.: Мир, 1975. – 756 с.

Поступила в редакцию 08.02.2011