

КОРРЕКЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СПЛАЙН – АППРОКСИМАЦИИ СИГНАЛА

© 2003 П.К. Ланге

Самарский государственный технический университет

Рассмотрен метод коррекции динамической погрешности инерционных измерительных преобразователей с передаточной функцией 1-го порядка с использованием параболической сплайн – аппроксимации дискретных значений сигнала, а также его первой производной.

Динамическая погрешность, присутствующая при измерениях ряда параметров в динамическом режиме, существенно искажает получаемую с первичных измерительных преобразователей (ИП) информацию. Особое значение эта проблема имеет в тепловых измерениях, где используются инерционные преобразователи.

Динамическая погрешность зависит от постоянной времени ИП, а также скорости изменения измеряемой величины и может быть скорректирована с использованием аппаратных и программных методов.

Применение аппаратных методов сопряжено с решением ряда проблем. Снижение динамической погрешности путем уменьшения постоянной времени ИП, как правило, снижает его надежность и долговременную стабильность. Кроме того, уменьшение тепловой инерционности ИП связано со значительными технологическими трудностями.

В связи с этим все большее распространение получает коррекция динамических погрешностей с использованием программных методов.

В ряде случаев коррекция динамической погрешности представляет собой об-

ратную задачу [1], то есть задачу восстановления входного сигнала по известной информации об операторе A (аппаратной функции) ИП.

Рассмотрим задачу измерения мгновенных значений параметра $x(t)$, который преобразуется ИП в сигнал $y(t)$, формируемый на его выходе (рис.1).

При динамических измерениях, как правило, интерес представляет не выходной сигнал ИП $y(t)$, а параметр $x(t)$. Поэтому задачей обработки результатов измерений является определение значений параметра $x(t)$ по выходному сигналу $y(t)$ и оператору A , описывающему динамические свойства ИП, что представляет собой решение задачи коррекции его аппаратной функции. Наиболее просто такая задача решается реализацией оператора A^{-1} , обратного оператору A , с использованием корректирующего звена КЗ (рис.1) в аппаратном или программном виде, который обрабатывает сигнал $y(t)$. Однако по сути своей такая задача является некорректной, поскольку обратный оператор должен реализовывать функцию предсказания сигнала, что физически реализовать невозможно [1].

В связи с этим корректное решение

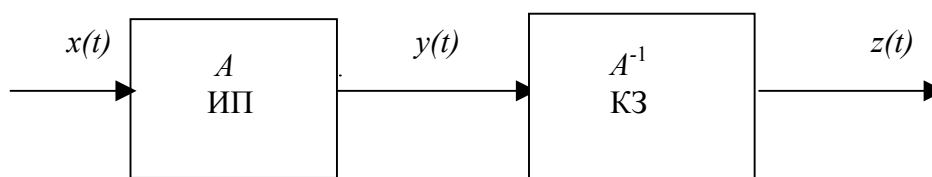


Рис.1. Структурная схема тракта прохождения сигнала

обратной задачи при измерениях динамических параметров может быть выполнено, если предусмотреть определенное запаздывание в формировании значений сигнала $z(t)$ на выходе корректирующего звена, что не требует реализации функции предсказания.

В наиболее распространенном случае инерционный ИП имеет передаточную функцию, соответствующую передаточной функции апериодического звена первого порядка

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{K}{Tp+1},$$

где T – постоянная времени ИП.

При $K=1$ передаточная функция корректирующего звена принимает вид

$$W^{-1}(p) = \frac{z(p)}{y(p)} = Tp+1,$$

что соответствует реализуемому им дифференциальному уравнению

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = z(t).$$

Таким образом, это звено должно реализовать функцию дифференцирования сигнала $y(t)$ и сложения его производной с самим сигналом (рис.2).

Для решения такой задачи предлагается использовать цифровой фильтр, реализующий сплайн-аппроксимацию дискретных значений сигнала $y(t)$, а также его производной.

При использовании параболической сплайн – аппроксимации на n -м дискретном участке сигнал описывается параболической функцией (рис.3)

$$y_n(t) = a_2[n]t^2 + a_1[n]t + a_0[n], \quad (1)$$

где a_2, a_1, a_0 – коэффициенты аппроксимации.

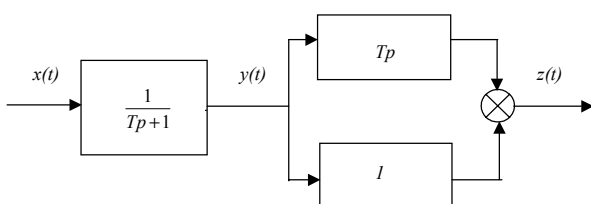


Рис.2. Структурная схема корректирующей цепи

мации.

Коэффициенты пятиточечной параболической сплайн-функции, аппроксимирующей сигнал $y(t)$ по его дискретным значениям, определяются следующими выражениями [2]:

$$\begin{aligned} a_0[n] &= \frac{1}{16} \left(-x[n-2] + 4x[n-1] + 10x[n] + 4x[n+1] - x[n+2] \right), \\ a_1[n] &= \frac{1}{8} \left(x[n-2] - 6x[n-1] + 6x[n+1] - x[n+2] \right), \\ a_2[n] &= \frac{1}{16} \left(-x[n-2] + 7x[n-1] - 6x[n] - 6x[n+1] + 7x[n+2] - x[n+3] \right). \end{aligned} \quad (2)$$

Коэффициенты пятиточечной параболической сплайн-функции, аппроксимирующей производную сигнала $y(t)$, определяются выражениями [2]:

$$\begin{aligned} b_0[n] &= \frac{1}{12} (x[n-2] - 8x[n-1] + 8x[n+1] - x[n+2]), \\ b_1[n] &= \frac{1}{6} (-x[n-2] + 10x[n-1] - 18x[n] + 10x[n+1] - x[n+2]), \\ b_2[n] &= \frac{1}{12} (x[n-2] - 9x[n-1] + 22x[n] - 22x[n+1] + 9x[n+2] - x[n+3]). \end{aligned} \quad (3)$$

Таким образом, сигнал на выходе корректирующего звена должен иметь вид

$$z(t) = c_2[n]t^2 + c_1[n]t + c_0[n], \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} c_0[n] &= a_0[n] + T \cdot b_0[n], \\ c_1[n] &= a_1[n] + T \cdot b_1[n], \end{aligned} \quad (5)$$

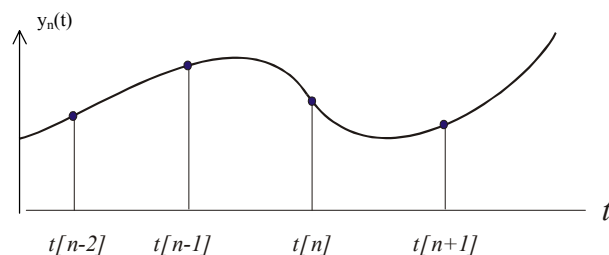


Рис.3. Аппроксимация выходного сигнала измерительного преобразователя параболической сплайн – функцией

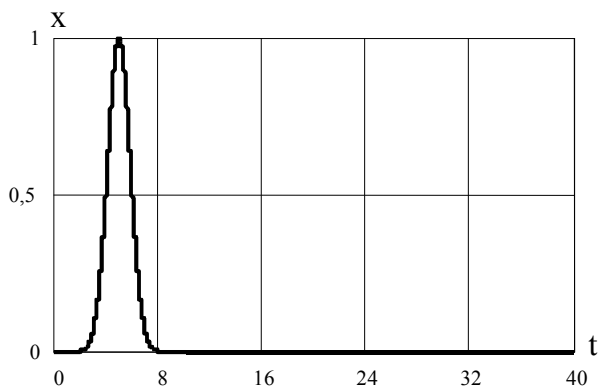


Рис.4. Сигнал на входе ИП

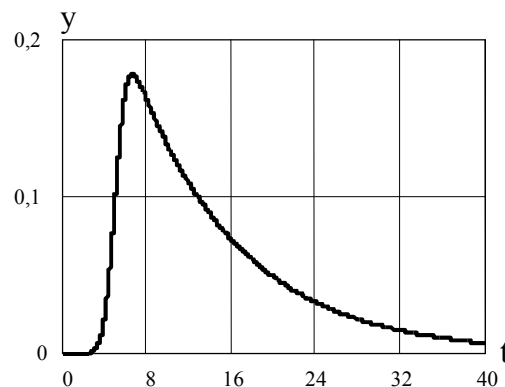


Рис.5. Сигнал на выходе ИП

$$c_2[n] = a_2[n] + T \cdot b_2[n].$$

При $t=0$ из (8) следует:

$$z(n) = c_0[n] = a_0[n] + T \cdot b_0[n]. \quad (6)$$

Как видно из (3), сигнал $z(t)$ на выходе корректирующего звена формируется с задержкой в 3 дискретных интервала.

Выражение (4) определяет сигнал на выходе корректирующего звена, который в идеальном случае (при отсутствии погрешностей) должен повторять по форме сигнал $x(t)$.

Использование сплайн-аппроксимации позволяет определить значения сигналов $y(t)$, $z(t)$ внутри интервалов дискретизации, что является достоинством рассмат-

риваемого метода.

Рассмотрим в качестве примера прохождение через описанную корректирующую цепь, изображенную на рис.1, единичного сигнала Гауссовой формы (рис.4)

$$x(t) = \exp\left[-\frac{(t-5)^2}{1.5}\right].$$

При передаточной функции ИП

$$W(p) = \frac{1}{Tp+1},$$

его переходная характеристика определяется выражением $h(t) = (1 - e^{-\frac{t}{T}})$.

Выражение для сигнала $y(t)$ на выходе

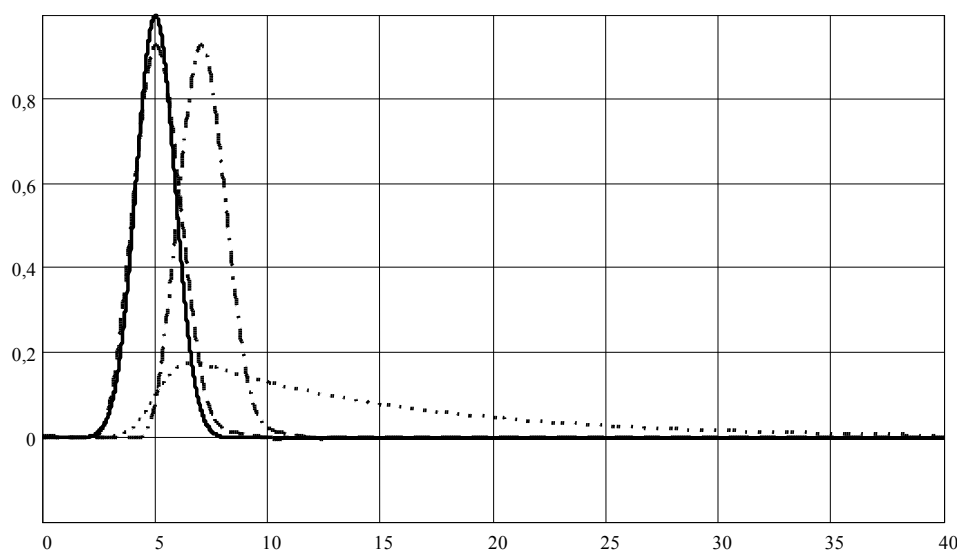


Рис.6. Диаграммы сигналов

- сигнал $x(t)$ на входе первичного преобразователя
- ... сигнал $y(t)$ на выходе первичного преобразователя
- - сигнал $z(t)$ на выходе корректирующего фильтра
- · - сигнал $z(t-2)$

де ИП может быть получено с использованием интеграла Дюамеля:

$$y(t) = \frac{1}{T} \int_0^t \left[\exp\left(-\frac{(t-\tau-5)^2}{1.5}\right) \right] \exp\left(-\frac{\tau}{T}\right) d\tau.$$

Для конкретного значения постоянной времени $T=10$ с передаточной функции ИП график этой функции изображен на рис.5.

При аппроксимации сигнала $y(t)$ сплайн – функцией с использованием выражений (2) – (3) для коэффициентов аппроксимации, а также выражений (4) – (5) определяется функция сигнала $z(t)$ на выходе корректирующего звена.

Эти функции изображены на рис.6, при рассмотрении которого видно, что рассмотренное корректирующее звено доста-

точно эффективно восстанавливает по форме сигнал $x(t)$, действующий на входе инерционного ИП, с запаздыванием в 3 интервала дискретизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Солопченко Г.Н.* Обратные задачи в измерительных процедурах. Измерение, контроль, автоматизация//ЦНИИТЭИ приборостроения. 1983. Вып.2(46).
2. *Ланге П.К., Васильчук А.В.* Сжатие данных в информационных сетях диагностических комплексов//Сборник трудов ученых Поволжья «Информатика. Радиотехника. Связь». Вып.4. Самара, 1999.

CORRECTION OF A DYNAMIC ERROR OF MEASURING CONVERTERS ON A BASE OF SIGNAL SPLINE APPROXIMATION

© 2003 P.K. Lange

Samara State Technical University

The method of correction of a dynamic error of inertial measuring converters those have 1-st order transfer function by using parabolic spline - approximation of discrete signal sampling and also by its first derivative is considered.