

АППРОКСИМАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКТИВНЫХ ДАТЧИКОВ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ФУНКЦИИ ГАУССА С РАЗНОСТНЫМ АРГУМЕНТОМ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

© 2011 В. С. Тиньгаев¹, С. А. Матюнин², В. А. Медников²

¹ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»

²Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Рассматривается аппроксимация позиционной характеристики первичных преобразователей с помощью модифицированной функции Гаусса. Для уменьшения погрешности находим коэффициенты аппроксимирующей функции отдельно для каждого интересующего участка.

Математическая модель, аппроксимация, преобразователи линейных перемещений, погрешность, аппроксимирующая функция, коэффициенты аппроксимирующей функции, позиционная характеристика датчика линейных перемещений.

Преобразователи линейных перемещений (ПЛП) являются одним из важных измерительных элементов высокоточных систем управления и контроля, в том числе в авиационной и ракетно-космической технике. Разработкой и выпуском точных и компактных преобразователей перемещения занимаются достаточно многие фирмы, но только очень немногие из них могут выпускать преобразователи для жестких условий эксплуатации (Heidenhain, Германия; Sony и Mitutoyo, Япония; Harley Precision Instrument, США и некоторые др.). В связи с работами по модернизации и созданию новых типов ракетных, авиационных и наземных боевых комплексов наблюдается рост числа исследований по созданию первичных преобразователей с высокими стабильными метрологическими показателями, в том числе устойчивыми к особо жестким внешним дестабилизирующим факторам: виброударным воздействиям, перепадам температуры.

Для отработки конструкции и ее оптимизации необходима математическая модель, которая достаточно точно описывала бы или которая могла бы аппроксимировать экспериментальные данные по возможности более точно с использованием небольшого количества коэффициентов, характеризующих модель. Анализ характера экспериментально

полученных позиционных характеристик U_j показал, что функция

$$Y(x) = a + b \cdot (x_0 - x) \cdot e^{-c \cdot (x_0 - x)^2} \quad (1)$$

имеет подобный вид.

Для определения коэффициентов a , b , c и x_0 предложенной зависимости применима функция regress пакета Mathcad.

Оценку погрешности аппроксимации W , замены набора экспериментально полученных значений отсчетов j позиционной характеристики аппроксимирующей функцией $Y(x)$ произведем по формуле

$$W(a, b, c, x_0) = \frac{1}{Nn - 1} \times \sum_{j=0}^{N-1} (U_j - Y(x_j, a, b, c, x_0))^2, \quad (2)$$

где N_n – количество экспериментальных точек.

Коэффициенты a , b , c и x_0 можно найти методом наименьших квадратов, минимизируя функцию погрешности W :

$$W_{\min} = \text{Minimize}(W, a, b, c, x_0). \quad (3)$$

Для всего массива экспериментально полученных данных найдены оптимальные значения коэффициентов:

$$a=0,12; b=2,037 \cdot 10^{-3}; c=0,218; x_0=12,591.$$

На рис. 1 графически представлена аппроксимирующая функция $Y(x)$ и исходный набор данных $U_j(x_j)$.

Так, для всего диапазона аппроксимации экспериментальной характеристики минимальная погрешность была получена из формулы среднеквадратической ошибки:

$$\gamma = \frac{1}{U_{\max} - U_{\min}} \cdot \sqrt{W(a, b, c, x_0)} = 0,021. \quad (4)$$

Таким образом, ошибка аппроксимации экспериментальной характеристики всего диапазона измерений составляет 2,1 %.

Полученная аппроксимирующая функция достаточно хорошо приближает рабочий (средний) участок характеристики (с погрешностью 1%) и качественно описывает на-

чальный (с погрешностью 4,6%) и конечный участки (с погрешностью 2,7%).

Для уменьшения погрешности можно находить коэффициенты аппроксимирующей функции отдельно для каждого интересующего участка. Так для начального участка

$$W(a, b, c, x_0) = \frac{1}{144 - 1} \times \sum_{j=0}^{144-1} (U_j - Y(x_j, a, b, c, x_0))^2 \quad (5)$$

оптимальными являются коэффициенты: $a=0,12$, $b=3,345 \cdot 10^{-3}$, $c=0,281$ и $x_0=-19,351$.

На рис. 2 представлена функция, аппроксимирующая начальный участок позиционной характеристики.

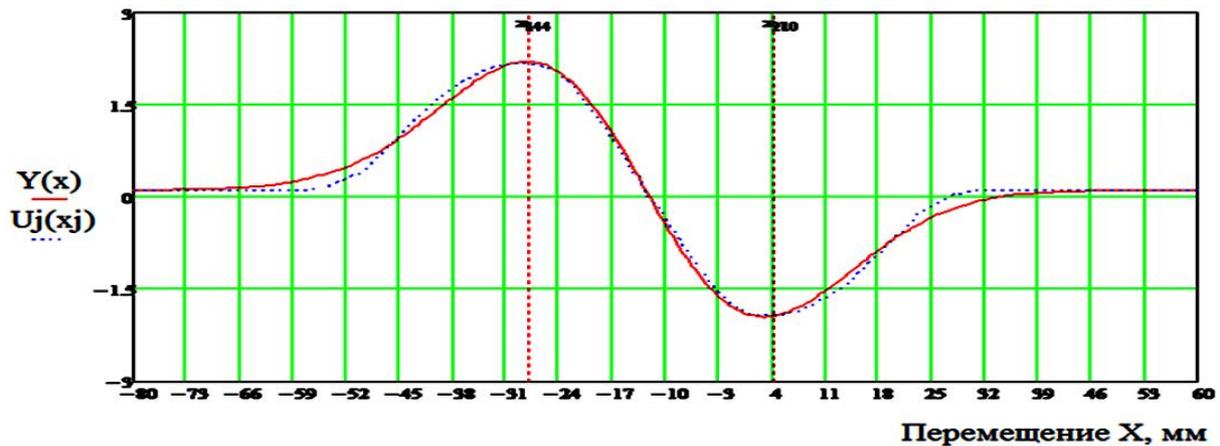


Рис. 1. Позиционные характеристики экспериментальной U_j и аппроксимирующей $W(a, b, c, x_0)$ функции при $a=0,12$, $b=2,037 \cdot 10^{-3}$, $c=0,218$, $x_0=-12,591$

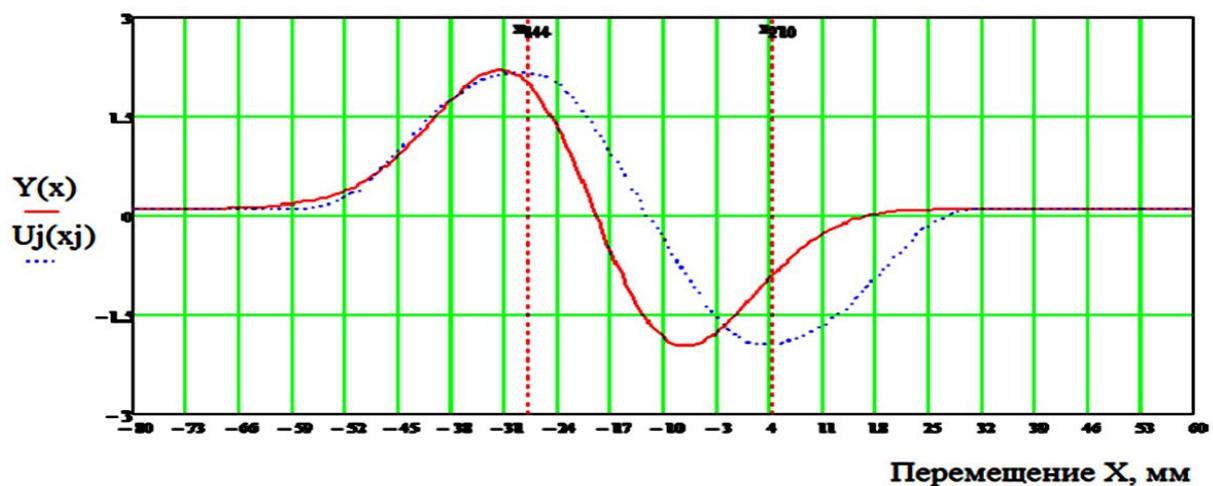


Рис. 2. Позиционные характеристики экспериментальной U_j и аппроксимирующей $W(a, b, c, x_0)$ функции при $a=0,12$, $b=3,345 \cdot 10^{-3}$, $c=0,28$, $x_0=-19,351$, начальный участок аппроксимации в точках отсчётов 0...144

Погрешность аппроксимации, рассчитанная по формуле

$$\gamma = \frac{1}{U_{\max} - U_{\min}} \cdot \sqrt{W(a, b, c, x_0)}, \quad (6)$$

уменьшилась с 4,6% до 2,5%.

Для среднего участка позиционной характеристики датчика линейных перемещений (7) оптимальными являются коэффициенты:

$$a=0,12, \quad b=1,665 \cdot 10^{-3}, \quad c=0,2, \quad x_0=-12,517.$$

На рис. 3 представлена функция, аппроксимирующая средний участок позиционной характеристики датчика линейных перемещений:

$$W(a, b, c, x_0) = \frac{1}{210 - 144} \times \sum_{j=144}^{210} (U_j - Y(x_j, a, b, c, x_0))^2. \quad (7)$$

Погрешность аппроксимации для этого случая составляет

$$\gamma = \frac{1}{U_{\max} - U_{\min}} \cdot \sqrt{W(a, b, c, x_0)} = 0,008. \quad (8)$$

Таким образом, аппроксимируя только средних (как правило, рабочий) участок, погрешность аппроксимации можно уменьшить с 1% до 0,8%.

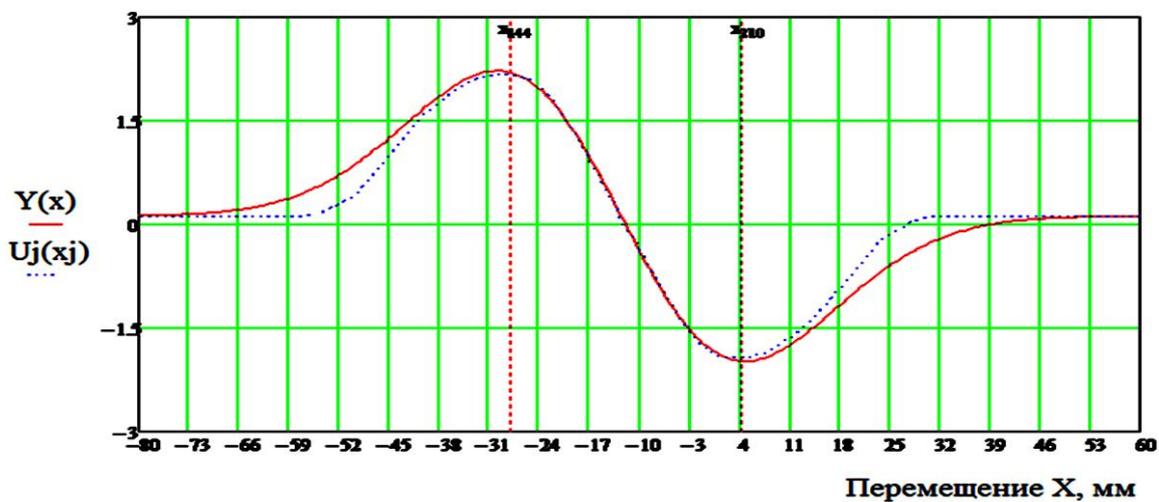


Рис. 3. Позиционные характеристики экспериментальной U_j и аппроксимирующей $W(a, b, c, x_0)$ функции при $a=0,12$, $b=1,665 \cdot 10^{-3}$, $c=0,2$, $x_0=-12,517$, средний участок аппроксимации в точках 144...210

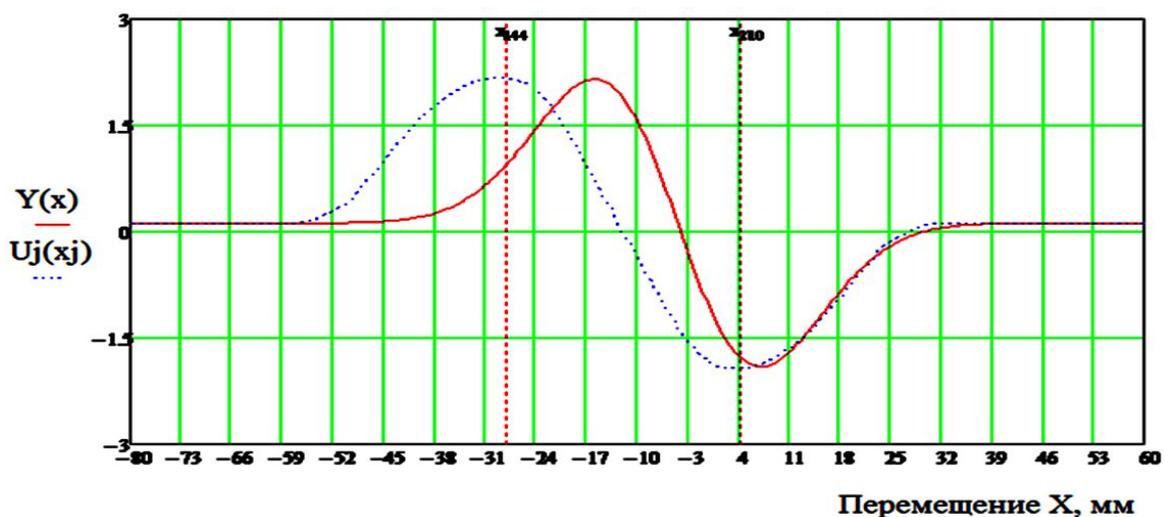


Рис. 4. Позиционные характеристики экспериментальной U_j и аппроксимирующей $W(a, b, c, x_0)$ функции при $a=0,12$, $b=3,792 \cdot 10^{-3}$, $c=0,291$, $x_0=-4,372$, конечный участок аппроксимации в точках 210...320

Для конечного участка позиционной характеристики датчика линейных перемещений

$$W(a, b, c, x_0) = \frac{1}{Nn - 209} \times \sum_{j=210}^{Nn-1} (U_j - Y(x_j, a, b, c, x_0))^2 \quad (9)$$

оптимальными являются коэффициенты: $a=0,12$, $b=3,792 \cdot 10^3$, $c=0,291$, $x_0=-4,372$.

На рис. 4 представлена функция, аппроксимирующая конечный участок позиционной характеристики датчика линейных перемещений. Погрешность аппроксимации, определённая для этого случая:

$$\gamma = \frac{1}{U_{\max} - U_{\min}} \cdot \sqrt{W(a, b, c, x_0)} = 0,018. \quad (10)$$

При этом погрешность аппроксимации уменьшается с 2,7% до 1,8%.

Выводы

При разбиении аппроксимации экспериментальной характеристики на три участка значительно уменьшалась ошибка аппроксимации, а именно:

1. На начальном участке ошибка стала 2,5%, была 4,6%.

2. На среднем участке ошибка стала 0,8%, была 1%.

3. На конечном участке ошибка стала 1,8%, была 2,7%.

При раздельном аппроксимировании участков экспериментальной характеристики датчиков линейных перемещений ошибка аппроксимации существенно уменьшается.

Библиографический список

1. Карпов, В. И. Проектирование датчиков для измерения механических величин [Текст] / В. И. Карпов. – М.: Машиностроение 1979.

2. Аш, Ж. Датчики измерительных систем Кн. 1 [Текст] / Ж. Аш. – М.: Мир 1992.

3. Фрайден, Дж. Современные датчики. Справочник [Текст] / Дж. Фрайден. – М.: Техносфера 2005.

4. Baumer (Швейцария) Индуктивные датчики с пропорциональным (аналоговым) выходом [http:// www.promsystem.ru/catalog](http://www.promsystem.ru/catalog)

5. Baumer (Швейцария) Магнитные датчики, датчики линейных перемещений [http:// www.promsystem.ru/catalog](http://www.promsystem.ru/catalog)

APPROXIMATION OF CHARACTERISTICS OF LINEAR DISPLACEMENT INDUCTIVE SENSORS USING MODIFIED GAUSSIAN FUNCTION WITH A FIRST ORDER DIFFERENCE ARGUMENT

© 2011 V. S. Tingaev¹, S. A. Matyunin², V. A. Mednikov²

¹FSUE SRPSRC "TsSKB-Progress"

²Samara state aerospace university named after S. P. Korolyov
(National research university)

The paper deals with approximation of positional characteristic of sensor using modified Gaussian function. In order to decrease the error, approximation function coefficients are calculated separately at every interval of interest.

Computational model, approximation, linear displacement sensors, error, approximation function, approximation function coefficients, positional characteristic of linear displacement sensor.

Информация об авторах

Тингаев Владимир Сергеевич, аспирант, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), начальник сектора отдела 1507 ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс». E-mail: tingaev

@inbox.ru. Область научных интересов: информационно-измерительные системы и приборы, электромагнитные элементы и устройства вычислительной техники систем управления.

Матюнин Сергей Александрович, заведующий кафедрой электронных систем и устройств, д.т.н., профессор, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: mitrea.sgau@rambler.ru. Область научных интересов: информационно-измерительные системы и приборы, элементы и устройства вычислительной техники систем управления.

Медников Валерий Александрович, доцент кафедры электронных систем и устройств, к.т.н., Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: wamednikov@gmail.com. Область научных интересов: информационно-измерительные системы и приборы, элементы и устройства вычислительной техники систем управления.

Tingaev Vladimir Sergeevich, post-graduate student, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (National Research University), leader of sector FSUE SRPSRC “TsSKB-Progress”. Scientific interests: information and measurement systems and devices, electromagnetic elements of control systems computers. E-mail: tingaev@inbox.ru.

Matyunin Sergey Alexandrovitch, head of department of electronic systems and devices, professor, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (National Research University). E-mail: mitrea.sgau@rambler.ru. Scientific interests: information and measurement systems and devices, electromagnetic elements of control systems computers.

Mednikov Valeriy Alexandrovitch, associate professor of electronic systems and devices, Ph.D., Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (National Research University). E-mail: wamednikov@gmail.com. Scientific interests: information and measurement systems and devices, electromagnetic elements of control systems computers.