

частицами загрязнений. Генератор испытательных импульсов имитирует сигнал первичного преобразователя и предназначен для контроля блока электроники анализатора.

Для решения этой задачи разрабатывается программно-аппаратный комплекс, состоящий из аппаратной платформы на базе микроконвертера ADUC812 фирмы Analog Devices и программы для персонального компьютера (ПК), обеспечивающей интерфейс с пользователем.

В ходе работы разработана программа на языке ассемблера для микроконтроллеров семейства ADUC8xx, формирующая импульсы с заданными параметрами на выходах микроконвертера.

Прием необходимых параметров выходного сигнала осуществляется от ПК по последовательному каналу стандарта RS-232 или через интерфейс USB.

Разрабатываемый генератор обеспечивает формирование импульсов с амплитудой до 2,5 В по двум каналам. Форма импульса произвольная, задается выборками, записанными в ЗУ МК. Режим работы - периодическая непрерывная генерация или однократное формирование пакета из заданного числа импульсов. Возможна также генерация импульсов со случайной амплитудой, распределенной по нормальному закону с задаваемыми значениями математического ожидания и дисперсии.

Генератор обеспечивает до 65535 выборок в испытательном сигнале. Временной интервал между выборками лежит в диапазоне от 8 до 256 мкс. Для повышения амплитуды импульсов до 13В на выходе планируется использовать ОУ по схеме неинвертирующего усилителя.

В докладе также рассматриваются метрологические характеристики разработанного генератора и их связь с параметрами АЦП, ЦАП и аналоговых компонентов.

ВЫБОР МОДЕЛИ ПОЗИЦИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНДУКТИВНОГО ДАТЧИКА ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

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

¹ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»

²Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Преобразователи линейных перемещений (ПЛП) являются одним из важных измерительных элементов высокоточных систем управления и контроля, особенно в авиационной и ракетно-космической технике. Разработкой и выпуском точных и компактных преобразователей перемещения занима-

ются 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 возникает необходимость в расширении исследований по созданию первичных преобразователей с высокими стабильными метрологическими показателями, в том числе устойчивыми к особо жестким внешним дестабилизирующим факторам: виброударным воздействиям, глубоким перепадам температуры вплоть до криогенных температур.

Для отработки конструкции преобразователей перемещений и их оптимизации необходима математическая модель, которая могла бы аппроксимировать экспериментальные данные по возможности более точно с использованием небольшого количества коэффициентов, характеризующих модель. Анализ характера экспериментально полученных позиционных характеристик U , показал, что функции:

$$Y1(x) = a + b \cdot (x_0 - x) \cdot e^{-c \cdot (x_0 - x)^2}, \quad (1)$$

$$Y2(x) = a + b \cdot (x_0 - x) \cdot e^{-c \cdot |x_0 - x|}, \quad (2)$$

$$Y3(x) = a + b \cdot (x_0 - x) \cdot e^{-c \cdot |x_0 - x|^n}, \quad (3)$$

$$Y4(x) = a + b \cdot \sin g(x_0 - x) \cdot |x_0 - x|^n \cdot e^{-c \cdot |x_0 - x|^p}. \quad (4)$$

имеют вид, характерный для позиционных характеристик индуктивных преобразователей перемещения (ИПП).

В качестве критериев оптимизации при поиске неизвестных коэффициентов a, b, c, x_0, n, z функций (1...4) были выбраны минимальные значения среднеквадратического отклонения $W1$, среднемодульного отклонения $W2$ и наибольшего отклонения $W3$ во всем диапазоне перемещений X подвижного (элемента) ИПП:

$$W1(a, b, c, x_0, z, n) = \sqrt{\frac{1}{Nn-1} \sum_{j=0}^{Nn-1} (U_j - Y1(a, x_j, b, c, x_0, z, n))^2}, \quad (5)$$

$$W2(a, b, c, x_0, z, n) = \frac{1}{Nn-1} \sum_{j=0}^{Nn-1} (U_j - Y1(a, x_j, b, c, x_0, z, n)), \quad (6)$$

$$W3(a, b, c, x_0, z, n) = \text{Max}(U_j - Y(x_j)), \quad (7)$$

где Nn – количество экспериментальных точек.

Коэффициенты a, b, c, x_0, z, n можно найти минимизируя функцию погрешности W , используя компьютерный математический пакет Mathcad компании MathSoft [2] с помощью функции:

$$\text{Minimize}(W, a, b, c, x_0, z, n). \quad (8)$$

В табл. 1 даны результаты расчетов оптимальных коэффициентов a, b, c, x_0, z, n , обеспечивающих минимальные погрешности аппроксимации функций $Y1(x), Y2(x), Y3(x), Y4(x)$ для каждого критерия $W_{\text{сво}}, W_{\text{смо}}, W_{\text{мно}}$.

На рис. 1 графически представлена аппроксимирующая функция $Y1(x)$ оптимизации по среднеквадратическому отклонению $W1$ и исходный набор данных $U_j(x_j)$.

Относительные погрешности среднеквадратического отклонения $\gamma1_{\text{сво}}^1$, среднемодульного отклонения $\gamma1_{\text{смо}}^1$ и наибольшего отклонения $\gamma1_{\text{мно}}^1$ для всего диапазона аппроксимации для функции $Y1(x)$ (формула 1), оптимизированной на минимум среднеквадратического отклонения определяются как:

$$\gamma1_{\text{сво}}^1 = \frac{100}{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}} \cdot W1_{\text{сво}}^1(a, b, c, x_0) = 0,79 \% \quad (9)$$

$$\gamma1_{\text{смо}}^1 = \frac{100}{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}} \cdot W1_{\text{смо}}^1(a, b, c, x_0) = 0,62 \% \quad (10)$$

$$\gamma1_{\text{мно}}^1 = \frac{100}{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}} \cdot W1_{\text{мно}}^1(a, b, c, x_0) = 1,71 \% \quad (11)$$

Относительные погрешности среднеквадратического отклонения $\gamma1_{\text{сво}}^2$, среднемодульного отклонения $\gamma1_{\text{смо}}^2$ и наибольшего отклонения $\gamma1_{\text{мно}}^2$ для всего диапазона аппроксимации для функции $Y1(x)$ (формула 1), оптимизированной на минимум среднемодульного отклонения определяются как:

$$\gamma1_{\text{сво}}^2 = \frac{100}{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}} \cdot W1_{\text{сво}}^2(a, b, c, x_0) = 0,82 \% \quad (12)$$

$$\gamma1_{\text{смо}}^2 = \frac{100}{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}} \cdot W1_{\text{смо}}^2(a, b, c, x_0) = 0,57 \% \quad (13)$$

$$\gamma1_{\text{мно}}^2 = \frac{100}{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}} \cdot W1_{\text{мно}}^2(a, b, c, x_0) = 2,02 \% \quad (14)$$

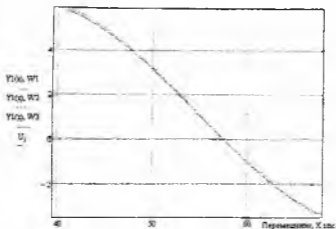


Рис. 1. Позиционные характеристики экспериментальной U_j и аппроксимирующей функции $Y1(x)$

Относительные погрешности среднеквадратического отклонения $\gamma_{\text{ср.кв.}}$, среднемодульного отклонения $\gamma_{\text{ср.м.}}$ и наибольшего отклонения $\gamma_{\text{н.м.}}$ для всего диапазона аппроксимации для функции $Y1(x)$ (формула 1), оптимизированной на минимум максимального отклонения определяются как:

$$\gamma_{\text{ср.кв.}}^{\text{н.м.}} = \frac{100}{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}} \cdot W1_{\text{ср.кв.}}^{\text{н.м.}}(a, b, c, x_0) = 0,92 \% \quad (15)$$

$$\gamma_{\text{ср.м.}}^{\text{н.м.}} = \frac{100}{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}} \cdot W1_{\text{ср.м.}}^{\text{н.м.}}(a, b, c, x_0) = 0,81 \% \quad (16)$$

$$\gamma_{\text{н.м.}}^{\text{н.м.}} = \frac{100}{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}} \cdot W1_{\text{н.м.}}^{\text{н.м.}}(a, b, c, x_0) = 1,58 \% \quad (17)$$

Аналогично была проведена оптимизация функций $Y2(x)$, $Y3(x)$, $Y4(x)$ результаты которой помещены в сводную табл. 1.

Распределение погрешности ϵ_j аппроксимации функцией $Y1(x)$ в каждой j -той экспериментальной точке вычислялось по формуле:

$$\epsilon_j = \frac{U_j - Y1(x_j, a, b, c, x_0)}{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}} \cdot 100 \% \quad (18)$$

Таблица 1. Оптимизация и оценка погрешности $W1, W2, W3$ аппроксимирующими функциями $Y1(x), Y2(x), Y3(x), Y4(x)$

Оптимизация погрешности	Относительная погрешность для функций $Y1(x), Y2(x), Y3(x), Y4(x)$					
	Среднеквадратическая, %		Средне модульная, %		Максимальная, %	
Среднеквадратического	$Y1(x)$ 0,79	$Y2(x)$ 0,96	$Y1(x)$ 0,62	$Y2(x)$ 0,77	$Y1(x)$ 1,71	$Y2(x)$ 3,23

отклонения (СКО)	Y3(x) 0,77	Y4(x) 0,6	Y3(x) 0,6	Y4(x) 0,51	Y3(x) 1,93	Y4(x) 1,28						
Среднемодульного отклонения (СМО)	Y1(x) 0,82	Y2(x) 1,05	Y1(x) 0,57	Y2(x) 0,73	Y1(x) 2,02	Y2(x) 4,1						
	Y3(x) 0,78	Y4(x) 0,61	Y3(x) 0,56	Y4(x) 0,49	Y3(x) 1,96	Y4(x) 1,28						
Минимизации максимального отклонения (ММО)	Y1(x) 0,92	Y2(x) 1,22	Y1(x) 0,81	Y2(x) 1,06	Y1(x) 1,58	Y2(x) 2,04						
	Y3(x) 0,95	Y4(x) 0,61	Y3(x) 0,84	Y4(x) 0,5	Y3(x) 1,57	Y4(x) 1,21						
Коэффициенты аппроксимирующих функций												
Оптимизация погрешности	a		b		c		x ₀		z		n	
Среднеквадратического отклонения (СКО)	1,13	1,15	0,43	0,48	0,036	0,025	54,86	54,78	---	---	---	---
	1,13	1,18	0,42	0,49	0,041	0,051	54,86	54,7	2,6	6,7	---	0,89
Среднемодульного отклонения (СМО)	1,13	1,2	0,44	0,49	0,036	0,025	54,88	54,59	---	---	---	---
	1,12	1,17	0,42	0,49	0,04	0,05	54,86	54,76	2,6	6,5	---	0,89
Минимизации максимального отклонения (ММО)	1,13	1,15	0,47	0,21	0,036	0,025	54,82	54,74	---	---	---	---
	1,12	1,17	0,43	0,49	0,036	0,05	54,81	54,75	1,9	6,5	---	0,89

Список использованных источников

1. Тильгаев, В.С., Матюнин, С.А., Медников, В.А. Аппроксимация характеристик индуктивных датчиков линейных перемещений с помощью модифицированной функции Гаусса с разностным аргументом первого порядка. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. №7.- С.77-81.
2. Матюнин, С.А., Медников, В.А., Тильгаев, В.С. Аппроксимация экспериментальных позиционных характеристик электромагнитных датчиков линейного перемещения.// Актуальные проблемы радиоэлектроники и теле-коммуникаций: материалы Всероссийской научно-технической конференции 10-12 мая 2011, г. Самара/ под редакцией М.Н. Пиганова. – Самара: Изд-во СГАУ, 2011. – 258 с.
3. Кирьянов Д.В. Самоучитель Mathcad 11.-СПб.: БХВ-Петербург, 2003. - 560 с: ил..
4. В.И. Карпов. Проектирование датчиков для измерения механических величин. – М.: Машиностроение, 1979.
5. Аш Ж. Датчики измерительных систем. Кн. 1. – М.: Мир, 1992.
6. Дж. Фрайден. Современные датчики. Справочник. – М.: Техносфера, 2005.
7. Baumer (Швейцария). Индуктивные датчики с пропорциональным (аналоговым) выходом [http:// www.promsvstex.ru/catalog](http://www.promsvstex.ru/catalog)
8. Baumer (Швейцария). Магнитные датчики, датчики линейных перемещений [http:// www.promsvstex.ru/catalog](http://www.promsvstex.ru/catalog)