

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНДУКТИВНОГО ДАТЧИКА ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

А. В. Минченя, С. В. Лукьянец

Кафедра систем управления,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: alex_minch@mail.ru

Предлагается математическая модель индуктивного датчика линейных перемещений на основе его электромагнитных, электрических и геометрических параметров.

ВВЕДЕНИЕ

LVDT (Linear Variable Differential Transformer - дифференциальный трансформатор для измерения линейных перемещений, LVDT-датчик) - это индуктивный датчик, используемый для измерения линейных перемещений, который находит своё применение в различных отраслях. Основные достоинства таких датчиков: простота конструкции первичного и электронного преобразователей, хорошее разрешение, линейность и воспроизводимость, широкий диапазон рабочих температур, отсутствие движущихся электрических контактов и, как следствие, долговечность.

I. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДАТЧИКА

Аббревиатура LVDT образована от словосочетания Linear Variable Differential Transformer - линейный дифференциальный трансформатор с переменным коэффициентом передачи. Это электромеханический прибор, преобразующий прямолинейное перемещение объекта, с которым он связан механически, в электрический сигнал. Полученный сигнал подается на аналого-цифровой преобразователь микроконтроллера, встроенного непосредственно в корпус, где происходит цифровая обработка сигнала и его передача на блок преобразования.

На рис.1 схематично представлена конструкция LVDT-датчика, основными составляющими которого являются первичная и две вторичные обмотки, расположенные на неподвижном сердечнике, и подвижное ядро.

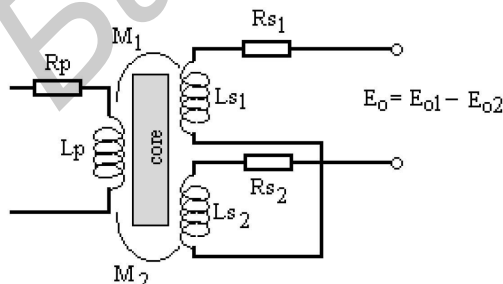


Рис. 1 - Конструкция датчика

Первичная обмотка размещена симметрично между двумя идентичными вторичными об-

мотками. Катушки расположены на пельном термостабильном армированном полимере и заключены в герметичную оболочку, защищающую их от попадания влаги и агрессивных сред. Подвижное ядро, выполненное из высокопроницаемого магнитного материала (феррит), имеет цилиндрическую форму и свободно перемещается по внутренней полости датчика. На рисунке обозначены: R_p - сопротивление первичной обмотки; R_{s1} и R_{s2} - сопротивления вторичных обмоток; L_p - индуктивность первичной обмотки; L_{s1} и L_{s2} - индуктивности вторичных обмоток; M_1 и M_2 - взаимная индуктивность между первичной и вторичными обмотками; R_L - сопротивление нагрузки; $R_s = R_{s1} + R_{s2} + R_L$ - общее сопротивление цепи вторичной обмотки. Исходя из [1], передаточная функция датчика имеет вид:

$$W(s) = \frac{s(M_1 + M_2)R_L}{s^2X + sY + R_pR_s}, \quad (1)$$

$$X = L_p(L_{s1} + L_{s2}) - (M_1 - M_2)^2,$$

$$Y = L_pR_s + R_p(L_{s1} + L_{s2}).$$

Это система второго порядка, которая регистрирует смену фазы от +90 до -90 градусов на высоких частотах. Когда ядро находится в центральном положении, $M_1 = M_2$ и, следовательно, $W(s) = 0$.

Общая схема, иллюстрирующая геометрические параметры LVDT-датчика, приведена на рис.2 [2].

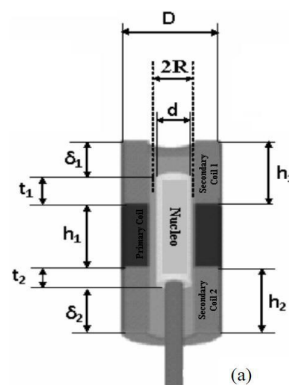


Рис. 2 - Геометрические параметры датчика

На рисунке обозначены: h_1 - длина первичной обмотки; h_2 - длина вторичной обмотки; D

– внешний диаметр цилиндра, сформированного катушками; d – диаметр ядра; t_1 – длина ядра, находящаяся во вторичной обмотке 1; t_2 – длина ядра, находящаяся во вторичной обмотке 2; δ_1 и δ_2 – воздушные зазоры между ядром и вторичными обмотками; R – эффективный радиус магнитного потока.

Таким образом, исходя из [3] и [4], для исследуемого датчика передаточная функция имеет следующий вид:

1. для положения сердечника, смещенного относительно центра на +1мм:

$$W(s) = \frac{s * 0,0027 * 40000}{1,12 * 10^{-5} s^2 + 116,96s + 2,88 * 10^6}$$

2. для положения сердечника, смещенного относительно центра на -1мм:

$$W(s) = \frac{s * (-0,0027) * 40000}{2,1 * 10^{-6} s^2 + 59,9s + 2,88 * 10^6}$$

Когда ядро находится в точке физического центра датчика, взаимные индуктивности M_1 и M_2 равны, в этом случае $W(s) = 0$.

На рис.3-6 приведены переходные процессы, ЛАЧХ и ЛФЧХ датчика для случаев смещения на +1мм и -1мм соответственно.

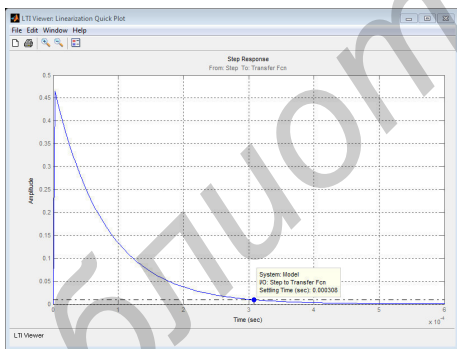


Рис. 3 – Переходная характеристика +(1мм)

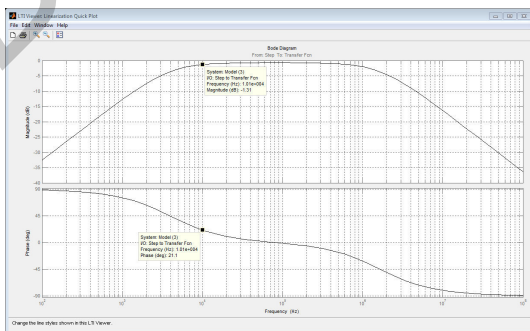


Рис. 4 – ЛАЧХ и ЛФЧХ (+1мм)

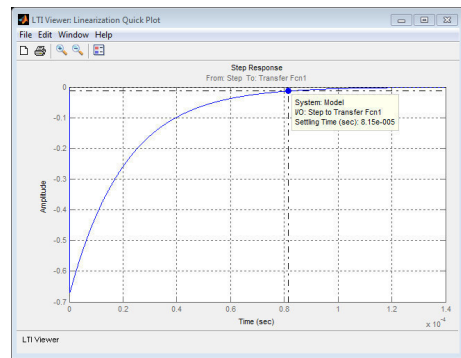


Рис. 5 – Переходная характеристика (-1мм)

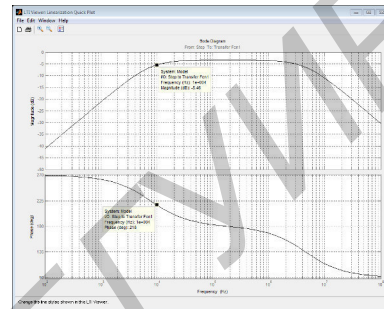


Рис. 6 – ЛАЧХ и ЛФЧХ (-1мм)

Как видно из приведенных графиков, переходной процесс входит в 5% трубку менее, чем за 0,0005 секунды, что является приемлемым в случае, когда сигнал генерируется с частотой 10 кГц. Из графиков ЛАЧХ и ЛФЧХ следует, что на частоте 10кГц наблюдается небольшое ослабление выходного сигнала (приблизительно на -5,5дБ). Это соответствует амплитуде выходного сигнала, равной 0,56 входного. Также на частоте 10кГц наблюдается смещение фазы (около 60 градусов). Система является устойчивой на всём диапазоне частот, однако, вследствие ослабления сигнала и сдвига фазы, её целесообразно использовать в частотном диапазоне от 5кГц до 30кГц.

Выводы

Полученная математическая модель LVDT-датчика позволяет оценивать его работоспособность на различных частотах, а также определять его параметры (индуктивность обмоток, величину сопротивлений и т.п.) для обеспечения оптимальной работоспособности в требуемом диапазоне частот.

1. Salapaka, S. et al. A self compensated smart LVDT transducer. Proceeding of American Control Conference, May 2002.
2. Tian, G. et al. Computational algorithms for Linear Variable Differential Transformers (LVDTs). IEE Proceedings Science, Measurement Technology, July 1997
3. Antonelli, K. et al. Displacement Measurement, Linear and Angular. The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook. CRC Press, Boca Raton, 1999.
4. Преобразователь линейных перемещений с микроконтроллером ПЛП-2 (ПЛП-2П). Руководство пользователя. - Минск : Прикладные решения, 2013.