

Е. В. Войцеховская, к. т. н.; Н. А. Филинюк, д. т. н., проф.; Д. В. Кудряшов

ИНДУКТИВНЫЙ НЕГАСЕНСОР МОСТОВОГО ТИПА НА L-НЕГАТРОНЕ

Рассматривается индуктивный негасенсор мостового типа на L-негатроне, в котором повышены коэффициент преобразования и относительная чувствительность за счет введения в схему индуктивного сенсора-прототипа схмотехнического аналога L-негатрона, подключенного параллельно переменной индуктивности первичного измерительного преобразователя.

Ключевые слова: индуктивный сенсор, L-негатрон, негасенсор, чувствительность, выходное напряжение, коэффициент преобразования, первичный измерительный преобразователь.

Введение

В состав любой автоматизированной информационно-измерительной или управляющей системы входят сенсоры, которые должны обеспечивать высокую точность преобразования различных воздействий в электрические сигналы, сохранять работоспособность в широком диапазоне температур и иметь высокую степень защиты от воздействия внешних факторов [1]. По принципу преобразования входной величины сенсоры делятся на параметрические, генераторные, оптические и другие. Особенно большую группу занимают параметрические сенсоры, которые преобразуют определенную физическую величину в электрический параметр [2, 3].

В наше время высокий спрос имеют малогабаритные индуктивные сенсоры, основное назначение которых – создавать электрический сигнал, когда металлический предмет приближается к сенсору на определенное расстояние. Такие индуктивные сенсоры являются доступным, простым, надежным и дешевым элементом систем управления приводами, станков, автоматических линий, систем измерения физических величин.

Постановка задачи исследования

Существует несколько схем реализации индуктивных сенсоров: последовательная, трансформаторная, мостовая, частотная, схема на делителе напряжения. Поскольку в настоящее время самой надежной реализацией является мостовая схема, то целесообразно провести исследование индуктивного мостового сенсора [4].

Основным параметром параметрических сенсоров является точность измерения физической величины, т. е. чувствительность. Повысить чувствительность можно путем использования таких элементов функциональной электроники, как негатроны или их схмотехнические аналоги [5]. Поскольку в индуктивных сенсорах физическая величина преобразуется в индуктивность, то целесообразно использовать L-негатрон – прибор, который имеет отрицательное значение дифференциальной индуктивности. Реактивное сопротивление такого негатрона также имеет отрицательное значение $X_L^{(-)} = \omega L^{(-)} < 0$, и его модуль увеличивается с увеличением частоты [6]. Следовательно, в работе поставлена задача повышения чувствительности индуктивного сенсора мостового типа путем использования в нем L-негатрона. При этом подключение L-негатрона может быть параллельным, последовательным к индуктивности первичного измерительного преобразователя L_X или вместо нее.

Целью работы является разработка индуктивного негасенсора мостового типа на L-негатроне с повышенной чувствительностью к изменению входной физической величины.

Математическое моделирование сенсора-прототипа и негасенсора

Рассмотрим схему индуктивного сенсора мостового типа (прототипа), принципиальная схема которого показана на рис. 1.

Первичный измерительный преобразователь такого сенсора состоит из измерительного моста, выполненного на двух балластных резисторах одинакового номинала и двух катушек индуктивности – постоянной L и переменной L_x , при этом значения индуктивностей катушек также одинаковы. При внесении в поле переменной катушки металлического предмета будет изменяться значение ее индуктивности, которое вызывает изменение значения выходного напряжения сенсора:

$$U_{\text{вых1}} = \frac{U_{\Gamma} \cdot R \cdot \omega \cdot (L_x - L)}{(R + \omega \cdot L) \cdot (R + \omega \cdot L_x)} \quad (1)$$

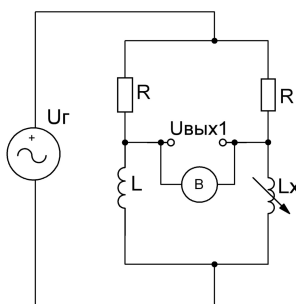


Рис. 1. Схема индуктивного мостового сенсора-прототипа

Абсолютная чувствительность такого сенсора, т. е. его коэффициент преобразования, определяется выражением:

$$K_{np1} = \frac{U_{\Gamma} \cdot R \cdot \omega}{(R + \omega \cdot L_x)^2} \quad (2)$$

Относительная чувствительность имеет вид:

$$S_1 = \frac{L_x \cdot (R + \omega \cdot L)}{(R + \omega \cdot L_x) \cdot (L_x - L)} \quad (3)$$

Для повышения чувствительности такого сенсора-прототипа подключим параллельно к индуктивности первичного измерительного преобразователя схемотехнический аналог L -негатрона, реализованный на конвертере иммитанса, и получим негасенсор [7], схема которого представлена на рис. 2. На схеме L -негатрон обозначен как $L^{(-)}$.

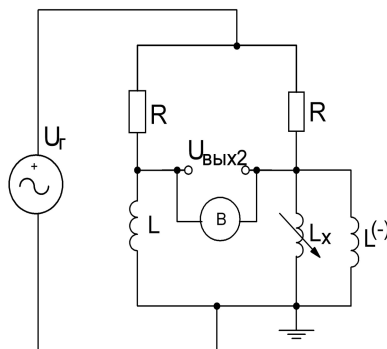


Рис. 2. Схема индуктивного мостового негасенсора на схемотехническом L -негатроне, подключенном параллельно к индуктивности первичного измерительного преобразователя L_x

Значение выходного напряжения такого негасенсора определяется соотношением:

$$U_{\text{вых}} = - \frac{(L \cdot L^{(-)} + L \cdot L_X - L^{(-)} \cdot L_X) \cdot R \cdot U_{\Gamma} \cdot \omega}{(R + \omega \cdot L) \cdot (L_X \cdot R + L^{(-)} \cdot R + \omega \cdot L^{(-)} \cdot L_X)} \quad (4)$$

Коэффициент преобразования негасенсора определяется выражением:

$$K_{np2} = \frac{L^{(-)2} \cdot U_{\Gamma} \cdot \omega \cdot R}{(L_X \cdot R + L^{(-)} \cdot R + \omega \cdot L^{(-)} \cdot L_X)^2} \quad (5)$$

Выражение для определения относительной чувствительности имеет вид:

$$S_2 = - \frac{L^{(-)2} \cdot L_X \cdot (R + \omega \cdot L)}{(-L^{(-)} \cdot L_X + L \cdot L^{(-)} + L \cdot L_X) \cdot (L_X \cdot R + L^{(-)} \cdot R + \omega \cdot L^{(-)} \cdot L_X)} \quad (6)$$

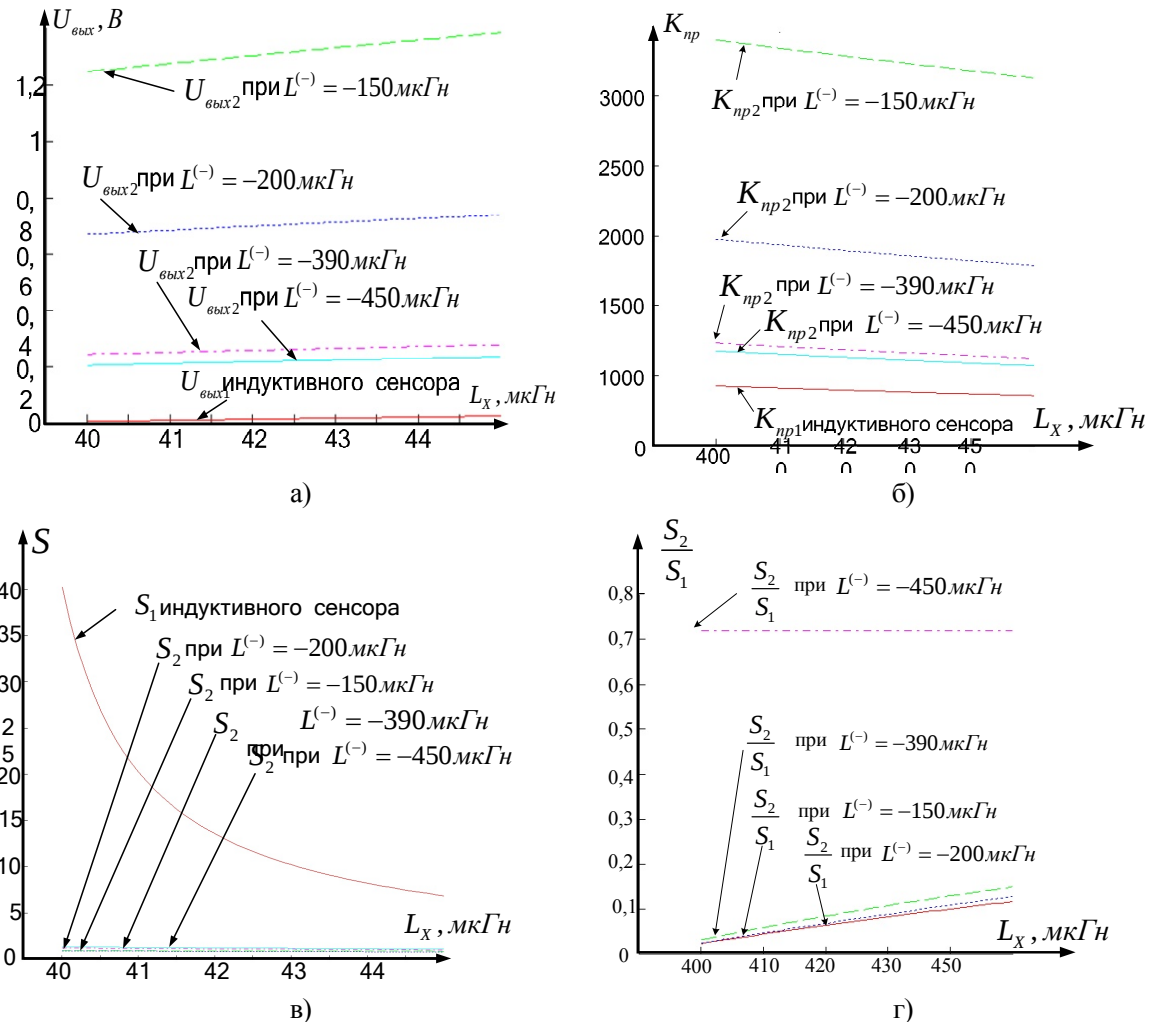


Рис. 3. Зависимости выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ (а), коэффициента преобразования K_{np} (б), относительной чувствительности S (в) и отношение чувствительностей S_2/S_1 (г) от индуктивности L_X для различных значений отрицательной индуктивности $L^{(-)}$

На рис. 3 представлены графические зависимости выходного напряжения $U_{\text{вых}}$, коэффициента преобразования K_{np} , относительной чувствительности S , а также отношение чувствительностей негасенсора и сенсора-прототипа S_2/S_1 от индуктивности L_x при параллельном подключении L -негатрона для различных значений отрицательной индуктивности (-390 мкГн, -450 мкГн, -250 мкГн и -200 мкГн).

Анализ зависимостей показывает, что абсолютная чувствительность негасенсора почти в восемь раз больше чувствительности сенсора-прототипа, а выходное напряжение в несколько десятков раз больше выходного напряжения сенсора-прототипа (в зависимости от значения отрицательной индуктивности $L^{(-)}$).

Экспериментальные исследования

Для подтверждения полученных теоретических положений при проведении экспериментальных исследований разработан макет, в котором реализован одновременно сенсор-прототип и негасенсор. На рис. 4 показана принципиальная схема негасенсора на схемотехническом L -негатроне в виде конвертора иммитанса (а) и фотоснимок экспериментального макета (б).

Конструктивно макет представляет собой собранный на одной плате сенсор-прототип и схемотехнический аналог L -негатрона, который подключается к сенсору с помощью переключателя для реализации негасенсора. Индуктивный сенсор состоит из индуктивности первичного измерительного преобразователя L_x (1), постоянной катушки индуктивности (2), двух балластных резисторов R . Катушки L и L_x конструктивно идентичны и представляют собой намотанные 50 витков провода ПЭЛ-0,8 на оправу диаметром 10 см; в качестве балластных резисторов использованы резисторы МЛТ номиналом 30 Ом, мощностью 0,125 Вт.

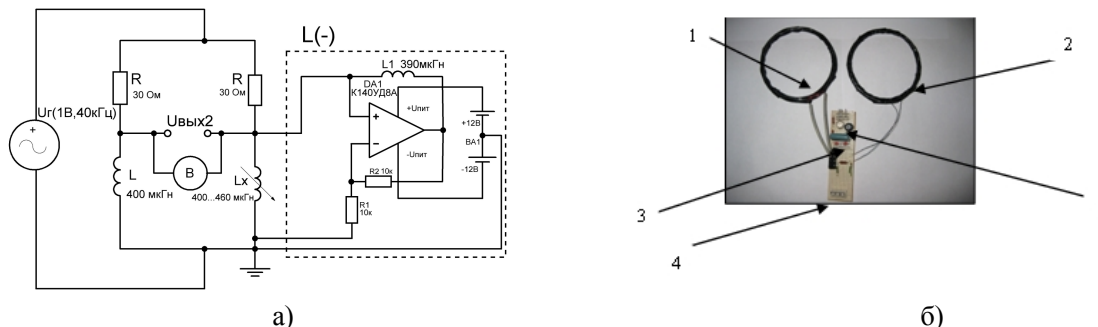


Рис. 4. Принципиальная схема негасенсора на схемотехническом L -негатроне в виде конвертора иммитанса (а) и фотоснимок экспериментального макета (б)

Схемотехнический аналог L -негатрона реализован на операционном усилителе DA1 типа К140УД8А с положительной обратной связью в виде дросселя L1 по неинвертирующему входу и делителем напряжения (R1, R2), который определяет коэффициент усиления операционного усилителя. Питание DA1 обеспечивается двуполярным источником питания BA1 – $\pm 12В$. На плате установлены разъемы для подключения генератора, осциллографа (4) и источника питания (5). В качестве измерительного оборудования был использован генератор низкочастотный ГЗ-118 и осциллограф С1-93. С генератора на вход сенсора подавался синусоидальный сигнал частотой 40 кГц и амплитудой 1 В, а на выходе с помощью осциллографа контролировалось изменение напряжения. В качестве предмета, на который реагировал сенсор, использована железная пластина диаметром около 12 см.

Макет выполнен так, что можно проводить исследование как сенсора-прототипа, так и негасенсора отдельно, что обеспечивается переключением перемычек (3).

На рис. 5а представлены фото осциллограммы выходного напряжения индуктивного сенсора-прототипа при максимальном отдалении металлического предмета от L_x . Амплитуда выходного сигнала в этом случае составила 40 мВ.

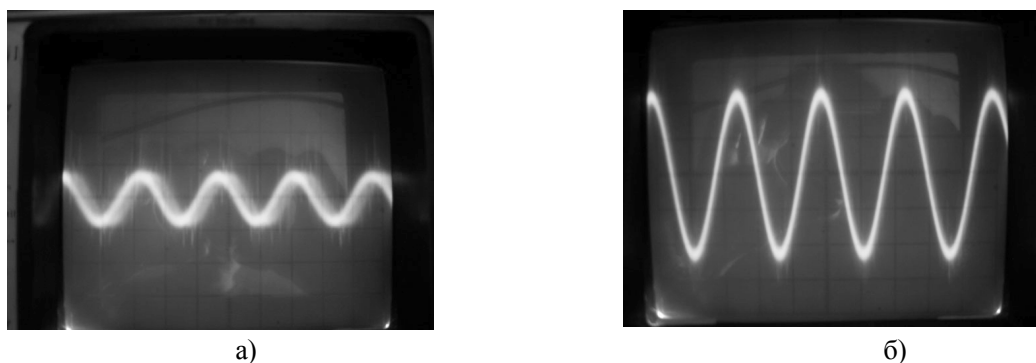


Рис. 5. Осциллограммы выходного напряжения при максимальном отдалении металлического предмета от сенсора-прототипа а) и при максимальном приближении предмета к сенсору-прототипу б). Цена деления 0,05 В

При внесении в поле L_x металлического предмета напряжение на выходе увеличивается, при этом максимальное расстояние, на котором индуктивный сенсор реагирует на предмет, – 4,5 см, а изменение напряжения на этом расстоянии – 1 – 5 мВ. При максимальном приближении предмета к катушке (когда металлическая пластина лежит на катушке) изменение напряжения составляет 50 мВ. Фотоснимок осциллограммы выходного напряжения в этом случае представлен на рис. 5б.

При внесении в поле L_x металлического предмета максимальное расстояние, на котором негасенсор реагирует на предмет, составило уже 8 – 9 см, а изменение напряжения на этом расстоянии – 1 – 5 мВ (рис. 6а), что в два раза больше, чем у индуктивного сенсора-прототипа. Максимальное изменение выходного напряжения негасенсора при максимальном приближении металлического предмета к L_x составляет 400 мВ, что в восемь раз больше, чем у индуктивного сенсора-прототипа. Осциллограмму выходного напряжения негасенсора при максимальном приближении металлического предмета к L_x представлено на рис. 6б.

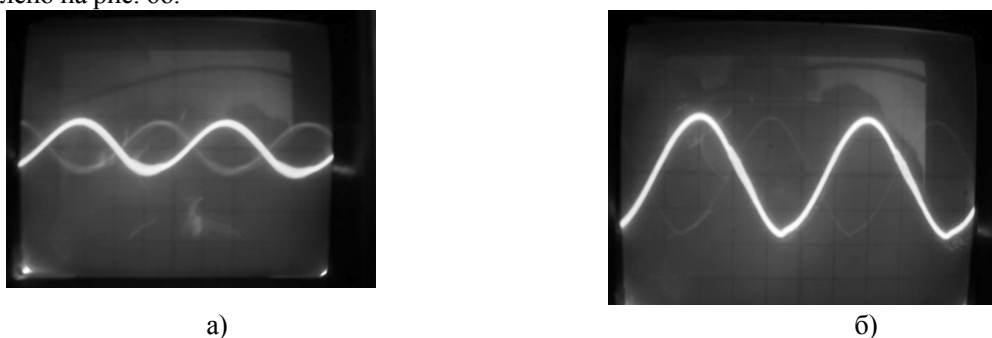


Рис. 6. Осциллограммы выходного напряжения при отсутствии воздействия металлического предмета на негасенсор а) и при максимальном приближении предмета к негасенсору б). Цена деления 0,5 В

Таким образом, полученный негасенсор мостового типа имеет в два раза большую абсолютную и относительную чувствительности и в восемь раз большее максимальное выходное напряжение, чем индуктивный сенсор-прототип.

Выводы

Полученные математические зависимости для индуктивного мостового негасенсора показали, что за счет дополнительного введения L -негатрона в схему индуктивного сенсора-прототипа можно достичь повышения чувствительности в несколько раз при выполнении определенных соотношений между параметрами элементов схемы.

Полученный индуктивный негасенсор мостового типа на L -негатроне имеет в два раза большие абсолютную и относительную чувствительности к изменению входной физической величины, по сравнению со схемой сенсора-прототипа без L -негатрона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джексон Р. Г. Новейшие датчики / Р. Г. Джексон. – М.: – Техносфера, 2007. – 384 с.
2. Фрайден Дж. Современные датчики: справочник / Дж. Фрайден; пер. с англ. Е. Л. Свинцова. – М.: Техносфера, 2005. – 588 с.
3. Аш Ж. Датчики измерительных систем: у 2 т. Т 1. / Ж. Аш; пер. с фр. А. С. Обухова. – М.: Мир, 1992. – 480 с.
4. Ступель Ф. А. Электромеханические датчики и преобразователи неэлектрических величин: принцип действия, схемы, расчет / Ф. А. Ступель. – М.: Мир, 1965. – 116 с.
5. Войцеховська О. В. Дослідження індуктивних негасенсорів на L-негатронах / О. В. Войцеховська, О. О. Лазарев, М. А. Філінюк. – Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» Вінниця, 8 – 10 жовтня 2009. – С. 12.
6. Філінюк М. А. Основи негатроніки: у 2 т. / М. А. Філінюк. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – Т. 1: Теоретичні і фізичні основи негатроніки. – 456 с.
7. Філінюк М. А. Аналіз чутливості електронних кіл з L-, C-негатронами / М. А. Філінюк, О. О. Лазарев. – Вісник ЖІТІ. – 2003. – № 2. – С. 92 – 98.

Войцеховская Елена Валериевна – к. т. н., старший преподаватель кафедры проектирования компьютерной и телекоммуникационной аппаратуры. 21021, г. Винница, Хмельницкое шоссе, 95. Тел. 59-80-75, pktavntu@mail.ru.

Филинюк Николай Антонович – д. т. н., профессор, заведующий кафедры проектирования компьютерной и телекоммуникационной аппаратуры. 21021, г. Винница, Хмельницкое шоссе, 95. Тел. 59-80-75, e-mail: N_Fil45@mail.ru.

Кудряшов Дмитрий Валериевич – студент кафедры проектирования компьютерной и телекоммуникационной аппаратуры. 21021, г. Винница, Хмельницкое шоссе, 95. Тел. 59-80-75, diamond-audio@inbox.ru.

Винницкий национальный технический университет.