

## РАЗРАБОТКА ИНДУКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Рахманов А.Т.*

*Ташкентский государственный  
технический университет*

*им. И. Каримова*

**Аннотация.** В работе рассмотрены конструкция и основные элементы разработанного измерительного преобразователя линейных перемещений, применяемых в энергетике и энергетических системах для контроля и управления энергетическими параметрами. Изучены выходные статические характеристики и установлены, что с применением метода кусочно-линейной аппроксимаций и алгоритма линеаризации существенно расширить линейный диапазон измерений, т.е. довести до  $-80 \div +60$  мм.

**Ключевые слова:** индуктивный преобразователь, коррекция, аппроксимация, энергетика, линеаризация, индуктивная катушка, якорь.

При автоматическом управлении технологическими процессами в сетевых и генерирующих компаниях, а также на промышленных предприятиях с развитой системой электроснабжения широко применяются информационно-измерительные системы, осуществляющие сбор, обработку, хранение, передачу и представление в удобной форме измерительной информации. Получение информации от контролируемого объекта и ее первичную обработку осуществляют измерительные преобразователи. По виду измеряемого и преобразуемого входного сигнала к самым распространенным и массово применяемым измерительным преобразователям в энергетике и у производителей шкафового оборудования относятся преобразователи:

- переменного тока и напряжения;
- постоянного тока и напряжения;
- активной и реактивной мощности переменного тока.

В настоящий момент все производимые преобразователи по форме обработки входного сигнала можно разделить на две большие группы [1, 2]:

- преобразование входного сигнала в аналоговый выходной сигнал;
- преобразование входного сигнала в цифровой сигнал.

Аналоговые измерительные преобразователи широко применялись раньше и применяются до сих пор во многих областях промышленности. Большинство энергообъектов было введено в строй в 70-80-х годах прошлого века. Энергетические системы в то время строились на приеме и обработке аналоговых сигналов. Измерительные преобразователи в таких системах преобразуют входной сигнал в унифицированный выходной сигнал постоянного тока и обеспечивают возможность дистанционной передачи выходного сигнала или подключения щитового прибора для визуальной индикации результата преобразования. Время установления выходного аналогового сигнала этих преобразователей составляет до 1 секунды [3, 4].

Измерительные приборы с индуктивными преобразователями заняли доминирующее положение среди электронных приборов для линейных измерений, благодаря целому ряду несомненных преимуществ по сравнению с другими типами механических устройств, приборов и электрических измерительных преобразователей физических величин. Индуктивные измерительные преобразователи оснащают многочисленные цеховые контрольные приборы и приспособления, приборы контроля активной и реактивной мощности переменного тока в автоматических и энергетических производствах, а также лабораторные поверочные приборы и устройства, в том числе для аттестации и поверки индикаторов и концевых мер длины [5].

Измерительные преобразователи выгодно отличаются относительная простота конструкции, достаточно высокая мощность выходного сигнала, малые размеры, высокая точность и надежность, пониженная чувствительность к изменению условий окружающей среды и помехам, сочетание хороших динамических свойств с возможностью передачи сигнала на сравнительно

большое расстояние с минимальными искажениями и потерями, низкая цена [6, 7]. .

На рис.1 представлены конструкция и основные элементы преобразователя линейных перемещений с индуктивным преобразователем.

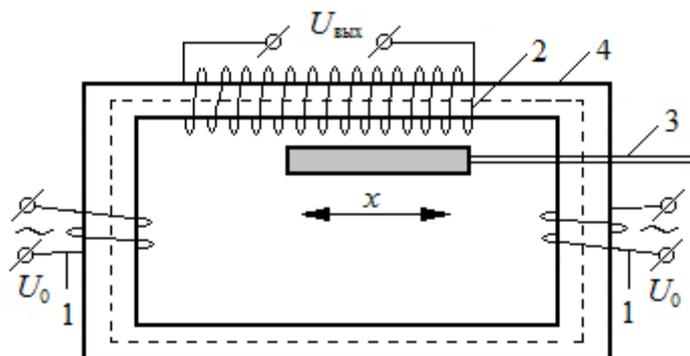


Рис.1. Конструкция и основные элементы индуктивного преобразователя линейных перемещений

Индуктивный преобразователь линейных перемещений состоит из двух индуктивных катушек 1 и 2, расположенных на одном каркасе 4. При этом индуктивная катушка 2 является измерительным элементом индуктивного преобразователя линейных перемещений. Внутри каркаса находится якорь 3 из ферромагнитного материала, который может перемещаться по оси  $x$ . Если якорь находится точно в середине каркаса, то полные сопротивления  $Z_1$  и  $Z_2$  обеих обмоток являются равными. В случае изменения положения якоря полное сопротивление одной обмотки становится больше  $Z_{16}=Z_1+\Delta Z$ , а другой меньше  $Z_{1м}=Z_1-\Delta Z$ . Принцип работы индуктивного преобразователя линейных перемещений заключается в том, что при перемещении якоря изменяется перераспределение магнитного потока вокруг измерительной катушки 4, что приводит к формированию выходного измерительного сигнала в зависимости от перемещений элемента объекта.

Длина якоря  $S_1$  оказывается тем геометрическим параметром преобразователя, который определяет линейность рабочей статической

характеристики. Излишне большая длина якоря (более 75% от длины катушки) также, как и короткий якорь вызывают появление большой линейности. Толщина стенки  $\delta$  титанового каркаса выбирается на основе анализа результатов экспериментальных исследований выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$  преобразователя для титановых каркасов с различной толщиной стенок. Основным воздействующим фактором, влияющим на преобразователь, температура окружающей среды (рис.2).

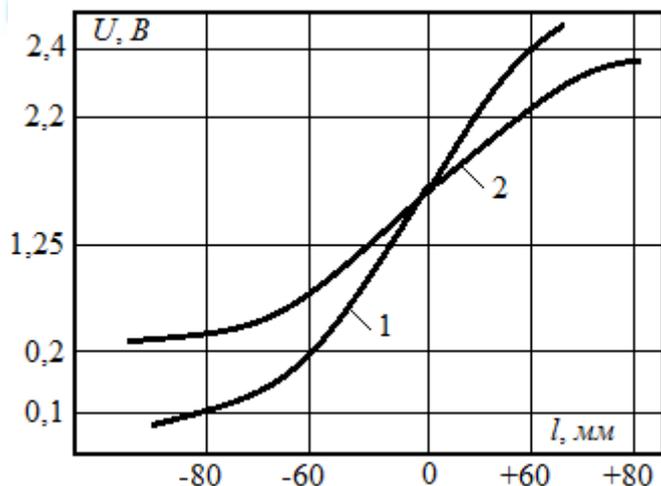


Рис.2. Изменение угла наклона линейной части характеристики при изменении температуры

1-реальная статическая характеристика; 2- статическая характеристика при изменении температуры.

Чем она больше, тем меньше чувствительность индуктивного преобразователя линейных перемещений. Поэтому расширение температурного диапазона-это приоритетная задача индуктивного преобразователя. Кроме того, диапазон измерения сильно зависит от геометрических параметров преобразователя, поэтому расширение диапазона измерения с сохранением размеров является не менее важной задачей. Для реализации этих двух задач предлагается применить следующий подход к конструкции и обработке сигнала [7, 9, 11].

Повышенный температурный диапазон работы преобразователя обуславливает применение специального обмоточного провода, а также применение каркаса для намотки, выполненного не из диэлектрика, а из металла, например, титана или латуни, с продольной прорезью, залитой высокотемпературным компаундом, для устранения влияния вихревых токов. Расширение температурного диапазона работы до  $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$  можно достигнуть, используя высокотемпературный намоточный провод с соответствующей рабочей температурой.

Компенсация нелинейности выходной статической характеристики индуктивного преобразователя осуществляется микроконтроллером с использованием кусочно-линейной аппроксимации, при которой весь диапазон измерения разбивается точками на  $N$  участков, каждый из которых считается линейным. Выходной сигнал очень близок в основном к линейному от  $-60$  до  $+60$  мм (в пределах 0,5%), однако, имеет нелинейные участки  $-80\div-60$  и  $-60$  до  $+60$  мм. Применяя алгоритм линеаризации можно увеличить линейный участок (вместо  $-60\div+60$  получить  $-80\div+60$ ), что расширит диапазон измерений более чем на 30%. В качестве метода линеаризации выбираем метод кусочно-линейной аппроксимации, так как это наиболее надежный, простой и понятный метод [6, 8].

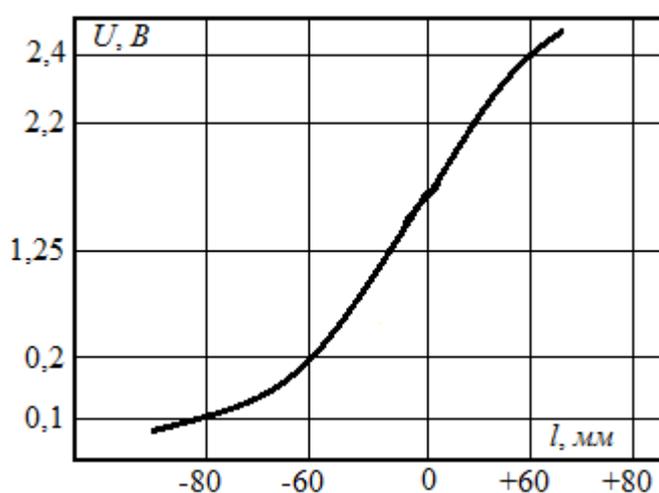


Рис.3. Реальная статическая характеристика измерительного канала

Линеаризованная статическая характеристика индуктивного преобразователя линейных перемещений определяется выражением в виде

$$l_x = \frac{(U_x - U_i)(l_{i+1} - l_i)}{U_{i+1} - U_i},$$

где  $l_x$  - искомое перемещение объекта;  $l_{i+1} - l_i$  - шаг квантования (границы рассматриваемого участка характеристики);  $U_x$  - значение напряжения с аналого-цифрового преобразователя;  $U_{i+1} - U_i$  - значения выходного напряжения, соответствующие  $l_{i+1} - l_i$  перемещениям.

Так как выходной сигнал после первичной обработки является линейным, то в общем виде его можно записать как  $y = kx + b$ , то есть как линейную функцию. Геометрический смысл коэффициента  $k$  - угол наклона прямой к положительному направлению оси  $Ox$ , считается против часовой стрелки. А, как говорилось ранее, при воздействии температуры выходная статическая характеристика меняет угол наклона. Следовательно, зная температуру окружающей среды, можно компенсировать этот наклон, опираясь на модель линейной функции.

Для того, чтобы узнать температуру рабочей среды, в индуктивный преобразователь монтируется термометр, который передает данные непосредственно в микроконтроллер. Применяя вышеперечисленные меры, возможно, расширить диапазон измерения более, чем на 30% с сохранением геометрических размеров, а также расширить диапазон до +300 °С.

Возможность объединения преобразователей в единую сеть с другими средствами измерения и передачи информации посредством интерфейса RS-485, а также наличие выходных унифицированных сигналов постоянного тока позволяет использовать преобразователи на объектах энергетики и в автоматизированных системах различного назначения.

**Заключение.** Таким образом, разработана конструкция и изучены основные элементы измерительного преобразователя линейных перемещений, применяемых в энергетике и энергетических системах для контроля и управления энергетических параметров. Изучены выходные статические

характеристики и установлены, что с применением метода кусочно-линейной аппроксимаций и алгоритма линеаризации существенно расширить линейный диапазон измерений, т.е. довести до  $-80 \div +60$  мм. Применяя вышеперечисленные меры, возможно, расширить диапазон измерения более, чем на 30% с сохранением геометрических размеров, а также расширить рабочий температурный диапазон до  $+300$  °С. Расширение температурного диапазона работы до  $+300$  °С можно достигнуть, используя высокотемпературный намоточный провод с соответствующей рабочей температурой.

### Список литературы

1. Интеллектуальная измерительная система с индуктивной головкой отклонения/Компанейц Д.А., Компанейц А.Н., Федотов А.В. -Динамика систем, механизмов и машин: Матер.VI Междунар. науч.-техн. конф. -Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. -Кн.2. - С. 220-224.
2. Уточнение аналитического описания градуировочной характеристики индуктивного измерительного преобразователя перемещений / Федотов А.В., Компанейц Д.А. - Омский научный вестник. -2006. Вып. 2. -С. 154-155.
3. Срибнер Л.А. Точность индуктивных преобразователей перемещений. -М.: Машиностроение, 2005.- 105 с.
4. Строганов Д.А., Щепетов А.Г. Структурно-математические модели индуктивных измерительных устройств. Журнал «Приборы». М.: 05.2011. -с. 4-10.
5. Васильев С.В., Щепетов А.Г. Исследование методов алгоритмической коррекции статических характеристик измерительных устройств. Приборостроение. Сборник научных трудов. М.: МГУПИ, 2007. - 219 с.
6. Носач В.В. Решение задач аппроксимации с помощью персональных компьютеров. М.: МИКАП, 2014. - 382 с.
7. Интеллектуальная измерительная система с индуктивной головкой отклонения/Компанейц Д.А., Компанейц А.Н., Федотов А.В. -Динамика систем,

механизмов и машин: Матер. VI Междунар. науч.-техн. конф. -Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. -Кн.2. - С. 220-224.

8. Уточнение аналитического описания градуировочной характеристики индуктивного измерительного преобразователя перемещений/ Федотов А.В., Компанейц Д.А. - Омский научный вестник. -2006. Вып. 2. – С.154-155.

9. Лавров А.Ю., Меркулов А.И. Компоновка кластеров экранированных вихретоковых преобразователей// Материалы Международной научно-практической конференции аспирантов и научных работников. Астрахань: АГУ, 2007.

10. Лавров А.Ю., Меркулов А.И. Линейный матричный электромагнитный преобразователь перемещений с односторонним доступом к объекту контроля. Известия Самарского научного центра РАН. Том 10, №2, 2008. – С. 823-829.

11. Щепетов А.Г. Теория, расчет и проектирование измерительных устройств. Часть 1. Теория измерительных устройств. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2006. - 326 с.

12. Щепетов А.Г. Теория, расчет и проектирование измерительных устройств. Часть 2. Расчет измерительных устройств. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2007. - 344 с.