

ПРИБОРЫ



10/2013

А.И. Юрин, Е.А. Карцев, А.Ю. Неборский

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКТИВНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Аннотация

Рассмотрены особенности работы индуктивных измерительных преобразователей. Предложена методика оптимизации метрологических характеристик индуктивных измерительных преобразователей. Проведены экспериментальные исследования и оптимизация метрологических характеристик дифференциального индуктивного измерительного преобразователя линейных перемещений.

Ключевые слова: измерительный преобразователь, датчик, метрологические характеристики, функция желательности, погрешность, чувствительность.

Индуктивные измерительные преобразователи (ИП) широко используются в датчиках для измерения линейных и угловых перемещений, а также других физических величин, которые могут быть преобразованы в перемещение. Принцип действия индуктивных ИП основан на использовании зависимости индуктивности или взаимной индуктивности обмоток, расположенных на магнитопроводе, от положения, геометрических размеров и магнитного состояния элементов магнитной цепи. Как правило, обмотки входят в состав мостовой или трансформаторной измерительной схемы. Достоинствами индуктивных ИП являются высокая мощность выходного сигнала, хорошая чувствительность, относительная простота конструкции и высокая надежность [1].

Особенностями индуктивных преобразователей являются работа на переменном токе (обычно частотой 50...5000 Гц) и влияние частоты питания на выходное напряжение измерительной схемы, поскольку индуктивность обмоток и потери в магнитной цепи сильно зависят от частоты.

В качестве объекта исследования использовался дифференциальный индуктивный преобразователь линейных перемещений, имеющий две соосно расположенные обмотки и подвижный сердечник. Обмотки катушек включены в качестве плеч мостовой измерительной схемы. При среднем положении сердечника мост сбалансирован, а при его перемещении в любую сторону равен-

ство сопротивлений плеч нарушается и в измерительной диагонали появляется напряжение, пропорциональное перемещению сердечника. На рис. 1 представлена схема установки для экспериментального исследования и разработки методики оптимизации метрологических характеристик (МХ) индуктивного преобразователя линейных перемещений.

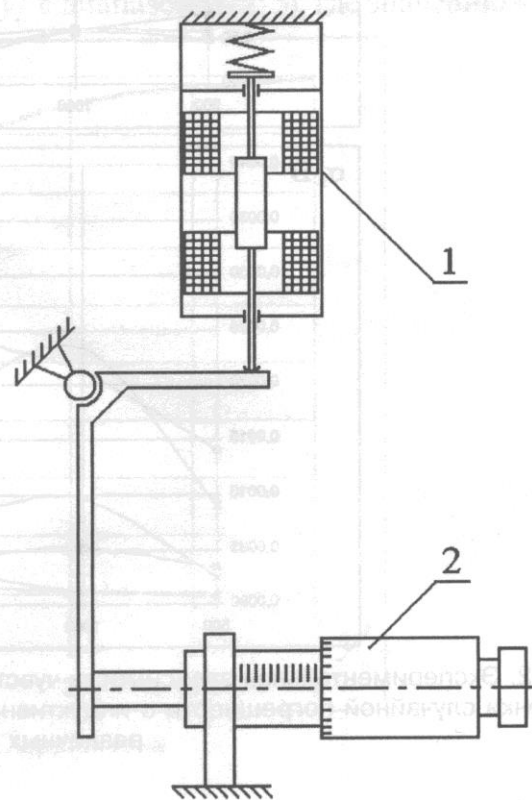


Рис. 1. Схема установки для исследования МХ:
1 – дифференциальный индуктивный ИП;
2 – микрометрический винт

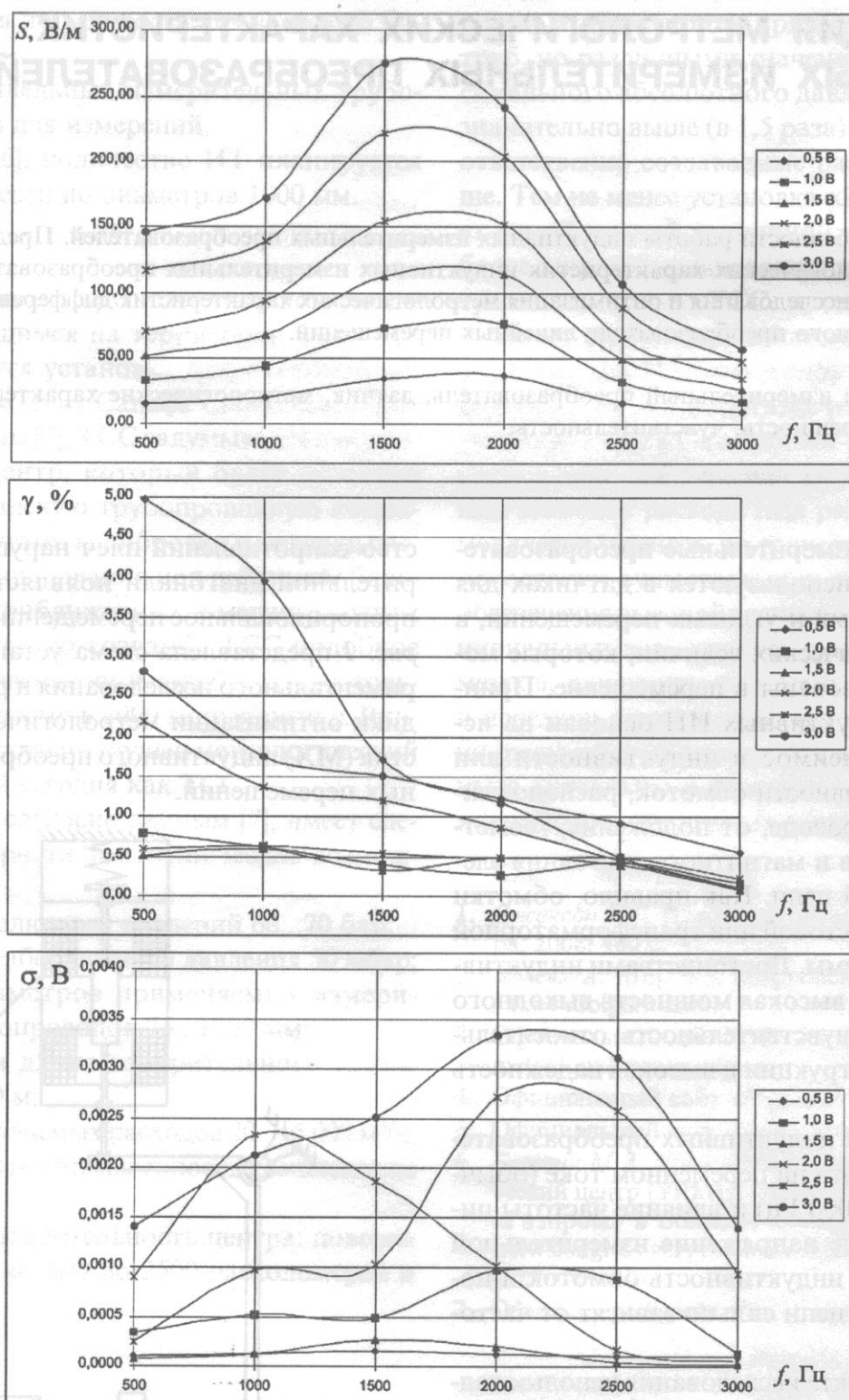


Рис. 2. Экспериментальная зависимость чувствительности S , приведенной систематической погрешности γ и оценки случайной погрешности σ индуктивного преобразователя от частоты питающего напряжения f при различных уровнях напряжения питания

Основным содержанием работы было варьирование частоты и напряжения питания измерительной схемы преобразователя (факторов) с целью получения наилучшего соотношения метрологических характеристик (откликов), таких как чувствительность, случайная и систематическая погрешности.

Следует отметить, что в данном случае имеет место совместное воздействие факторов, поэтому традиционный метод поиска оптимума, при котором варьируют один из факторов, находят оптимум, затем варьируют следующий фактор и т. д., не позволяет добиться наилучшего результата (см. рис. 2).

Поэтому для достижения поставленной цели был проведен полный факторный эксперимент [2], в котором в качестве факторов выступали частота x_1 и напряжение питания x_2 , а в качестве откликов – чувствительность y_1 , случайная погрешность y_2 , систематическая погрешность y_3 .

Сущность использованной методики заключалась в экспериментальном определении зависимости выходного напряжения измерительной схемы преобразователя от входного перемещения (градуировочных характеристик) в диапазоне 0...5 мм на частотах 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 Гц для различных уровней напряжения питания схемы, а именно 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 В.

Таким образом, было получено 36 различных градуировочных характеристик (ГХ). Для каждой ГХ рассчитывались такие отклики, как чувствительность, максимальная погрешность от нелинейности и максимальное среднеквадратическое отклонение результатов.

Каждый отклик имеет свою размерность, поэтому для возможности оптимизации необходимо было их объединить в единый количественный признак.

Для определения единого параметра оптимизации использовалась обобщенная функция желательности Харрингтона (рис. 3), которая позволяет перевести значения откликов в безразмерную шкалу желательности, или предпочтительности, имеющую диапазон от 0 до 1, и получить универсальный количественный показатель желательности D [3]. Обобщенная функция желательности является универсальным количественным показателем качества исследуемого объекта и обладает такими свойствами, как адекватность, эффективность и статистическая чувствительность [3].

Для возможности использования функции желательности полученные экспериментальные значения частных откликов y_i кодировались с помощью уравнения прямой в безразмерные значения y'_i в диапазоне $[-2; 5]$, где значению «5» со-

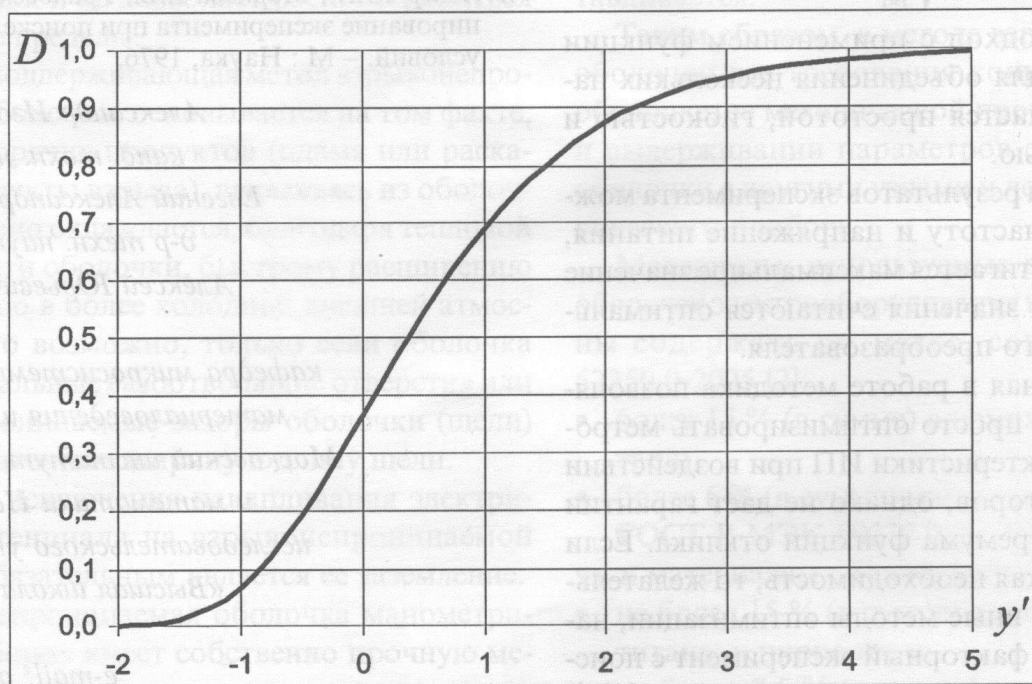


Рис. 3. Функция желательности Харрингтона

Результаты экспериментального исследования дифференциального индуктивного преобразователя линейных перемещений

N	y_1 , В/м	y_2 , %	y_3 , мВ	y_1'	y_2'	y_3'	d_1	d_2	d_3	D
1	15,13	4,97	0,105	-1,61	-12,40	4,79	0,007	0,000	0,992	0,000
2	33,59	0,80	0,341	-1,14	2,21	4,32	0,043	0,896	0,987	0,038
3	51,69	0,51	0,075	-0,68	3,20	4,85	0,138	0,960	0,992	0,131
4	70,73	0,60	0,899	-0,20	2,91	3,20	0,295	0,947	0,960	0,268
...
20	76,31	0,27	0,962	-0,06	4,06	3,08	0,347	0,983	0,955	0,325
21	114,40	0,49	0,203	0,91	3,29	4,59	0,669	0,963	0,990	0,638
22	151,81	0,48	1,006	1,86	3,33	2,99	0,856	0,965	0,951	0,786
23	203,63	0,86	2,713	3,18	1,99	-0,43	0,959	0,872	0,216	0,181
...
35	47,43	0,09	0,935	-0,79	4,68	3,13	0,110	0,991	0,957	0,104
36	57,23	0,12	1,403	-0,54	4,60	2,19	0,179	0,990	0,895	0,158

ответствует оптимальное значение отклика, а значению «-2» – наихудшее, и рассчитывалась частная желательность d_i по формуле

$$d_i = \exp[-\exp(-y_i')].$$

Затем на основе полученных значений d_i вычисляли обобщенный показатель желательности D:

$$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i}.$$

Подобный подход с применением функции желательности для объединения нескольких параметров отличается простотой, гибкостью и универсальностью.

На основании результатов эксперимента можно определить частоту и напряжение питания, при которых достигается максимальное значение D (табл. 1). Эти значения считаются оптимальными для данного преобразователя.

Использованная в работе методика позволяет относительно просто оптимизировать метрологические характеристики ИП при воздействии нескольких факторов, однако не дает гарантии достижения экстремума функции отклика. Если же возникает такая необходимость, то желательно использовать иные методы оптимизации, например, полный факторный эксперимент с поиском оптимума при движении по градиенту [4].

Список литературы:

1. Карцев Е.А. Измерительные преобразователи. (Основы расчета и конструирования). Уч. пособие. – М.: Изд-во МИЭМ, 1986. 160 с.
2. Рогов В.А., Позняк Г.Г. Методика и практика технических экспериментов. Уч. пособие для студ. высших учебных заведений. – М.: Академия, 2005.
3. Пичкалев А.В. Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств // Исследования наукограда. 2012. № 1.
4. Адлер Ю.А., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976.

Александр Игоревич Юрин,
канд. техн. наук, доцент,
Евгений Александрович Карцев,
д-р техн. наук, профессор,
Алексей Юрьевич Неборский,
аспирант,
кафедра микросистемной техники,
материаловедения и технологий,
Московский институт электроники
и математики Национального
исследовательского университета
«Высшая школа экономики»,
г. Москва,
e-mail: ayurin@hse.ru

Союз общественных объединений
«Международное научно-техническое
общество приборостроителей и метрологов»

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ

Министерства промышленности
и торговли РФ,

Федерального агентства по техническому
регулированию и метрологии,
Московского государственного
университета приборостроения
и информатики

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Кавалеров Г.И., д.т.н., проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Алексеев В.В., д.т.н., проф.;
Богомолов Ю.А., к.т.н. (зам. гл. редактора);
Кондратенко В.С., д.т.н., проф. (зам. гл.
редактора);
Софиев А.Э., д.т.н., проф.;
Голубятников И.В., д.т.н., проф.;
Еремин Е.В., к.т.н.; Ивченко В.Д., д.т.н., проф.;
Клюев В.В., академик РАН; Кононогов С.А., д.т.н.;
Кривов А.С., д.т.н., проф.; Лахов В.М., к.ф.-м.н.;
Масановец В.В., д.т.н., проф.;
Назаров В.Н., к.т.н.;
Прохоров Н.Л., д.т.н., проф.;
Сенянский М.В.; к.т.н.;
Слепцов В.В., д.т.н., проф.;
Суминов В.М., д.т.н., проф.;
Черкасова А.Г.;
Шатерников В.Е., д.т.н., проф.;
Шкабардня М.С., д.т.н., проф.;
Яшин Я.И., д.хим.н., проф.

РЕДАКЦИЯ

Кавалерова Г.А. (зам. гл. редактора)
Воронкова А.С. (отв. секретарь)
Никулин А.А. (выпускающий редактор)

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ
по делам печати, телерадиовещания и средств
массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-1459

Журнал «Приборы» зарегистрирован
в ВАК РФ как научное издание

Сдано в набор 20.09.2013. Подписано в печать 20.10.2013.

Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 8. Зак. 697

Цена журнала – договорная

Подписной индекс

в каталоге Агентства «Роспечать» – 79727

Адрес редакции:

119034, г. Москва, Остоженка ул., д. 1/9, оф. 12

Телефон: (495) 695-10-70, 695-10-71 (факс)

E-mail: kavalеров@mail.ru http://www.pribory-smi.ru

Отпечатано в ООО «Подольская Периодика»

142110, г. Подольск, ул. Кирова, д. 25

ПРИБОРЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

- Даев Ж.А. Эталонные установки расхода природного газа ... 1
Юрин А.И., Карцев Е.А., Неборский А.Ю. Оптимизация
метрологических характеристик индуктивных измерительных
преобразователей 5
Мулев Ю.В., Епихина Г.Е., Мулев М.Ю. Электроконтактные
(сигнализирующие) манометрические приборы
взрывозащищенного исполнения. Взрывобезопасная оболочка ... 9

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

- Капранов В.В., Тугаенко В.Ю. Маркерные системы в
техническом зрении для задач обнаружения объектов в
атмосфере на расстояниях до 1 км 16
Карлов Ю.К., Кулешов В.К. Комплексный контроль дефектов
внешнего вида твэлов ВВЭР-1000 21
Карлов Ю.К., Кулешов В.К. Неразрушающий контроль
давления гелия в твэлах для реактора типа ВВЭР 26

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ
И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Подвигалкин В.Я. Межслойные переходы вакуумных
интегральных сверхвысокочастотных схем 33
Богущ М.В., Богущ О.М., Пикалев Э.М. Анализ
температурных напряжений в элементах гидроакустических
антенн 38
Фоминых А.М., Егоров А.В. Реализация метода бестормозных
испытаний двигателей внутреннего сгорания без демонтажа
с установки 43
Челпанов И.Б., Кочетков А.В., Янковский Л.В.
Определение составляющих линейных ускорений рабочих
органов машин 48
Кулябина Е.В. Тестовая смесь как средство
метрологического обеспечения высокоэффективных
жидкостных хроматографов 52

ОБЗОР СОСТОЯНИЯ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ
НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ
И СИСТЕМОТЕХНИКЕ

- Аронов И.З., Версан В.Г., Чайка И.И. Стандартизация: по
закону или по понятиям? 55

© Предупреждаем о правовой защите наименования, товарного знака и авторских
прав на публикуемые материалы.

За достоверность сведений в рекламных материалах ответственность несут
рекламодатели.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

Перепечатка материалов допускается только с разрешения редакции и с
обязательной ссылкой на журнал «ПРИБОРЫ».