

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.31  
DOI: 10.25206/1813-8225-2020-169-45-48

**В. А. ЗАХАРЕНКО**  
**А. Г. ШАХОВА**  
**А. Г. ШКАЕВ**

Омский государственный  
технический университет,  
г. Омск

## ДВУХКООРДИНАТНЫЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ДАТЧИК

Разработан двухкоординатный бесконтактный датчик обнаружения повышенной чувствительности, работающий на принципе электромагнитного насыщения сердечника трансформатора под действием внешнего магнитного поля. Описана работа датчика, его конструктивное исполнение, приведены функциональная и электрическая схемы. Представлены результаты внедрения опытных образцов датчиков в технологическом процессе производства технического углерода для контроля за вращением сушильных барабанов. Датчики сохраняют обнаружительную способность при удалении объекта контроля, вызванного температурным расширением материала конструкции барабана на 150–200 мм.

**Ключевые слова:** бесконтактный датчик обнаружения, насыщение сердечника, магнитопровод, постоянный магнит, ферритовый сердечник, сушильный барабан.

**Введение.** Практически во всех технологических процессах промышленных предприятий и на транспорте бесконтактные датчики положения заменили контактные концевые выключатели [1]. Производственная потребность в таких датчиках достаточно широкая — это металлургическая, машиностроительная, обрабатывающая, горнорудная промышленности [2], железнодорожный транспорт (контроль перевода автоматических стрелок на железнодорожных путях, контроль подъема и опускания металлических плит, заграждающих проезд на железнодорожных переездах, управление платформами поднятия и опускания инвалидных колясок, контроль положения движущихся объектов) [3], механизмы и машины строительно-дорожной техники и др.

**Постановка задачи.** Основной проблемой применения таких датчиков является обеспечение работоспособности в тяжёлых условиях эксплуатации: пыли, воздействия загрязнений горюче-смазочными материалами и агрессивными жидкостями, влаги, вибраций, электромагнитных помех и перепадов температур в широком диапазоне, люфтов между подвижными и неподвижными частями контролируемого оборудования в процессе его эксплуатации.

Технические требования к таким датчикам сформулированы в ГОСТ Р 50030.5.299 [4], которые соответствуют стандарту МЭК 60947-5-2: 1999 4.5. Раздел 2. Бесконтактные датчики.

Согласно классификации, приведённой в этих действующих стандартах, в основе работы бес-

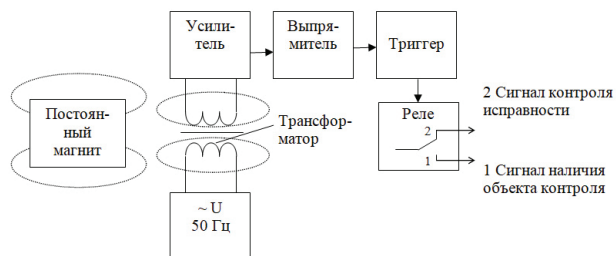


Рис. 1. Функциональная схема электромагнитного датчика

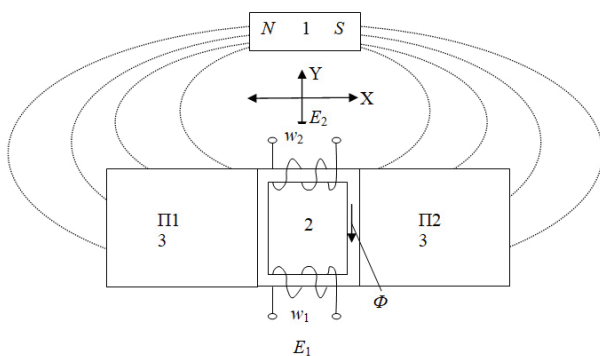


Рис. 2. Принцип работы датчика:  
1 — постоянный магнит; 2 — сердечник трансформатора;  
3 — фокусирующие приставки

контактных датчиков обнаружения могут лежать индуктивный, ёмкостный, ультразвуковой, фотоэлектрический принципы с полупроводниковым коммутационным исполнительным элементом.

Наиболее важным параметром для таких датчиков является диапазон расстояний, с которых бесконтактно осуществляется контроль за положением объектов контроля. Для типовых промышленных датчиков отечественного и зарубежного производства этот диапазон составляет от долей до 60–100 миллиметров [5, 6], в то же время ряд технологических задач контроля за работой промышленного оборудования требует надёжного бесконтакт-

ного контроля на расстояниях до 150–200 мм [7]. На достижение этих значений направлена разработка, представленная в данной работе. При этом по принципу работы в датчик заложены функции обнаружения во взаимно перпендикулярных координатах (двухкоординатность).

**Разработка датчика.** Функциональная схема датчика приведена на рис. 1.

Датчик работает на принципе насыщения магнитопровода трансформатора внешним магнитным полем и состоит из постоянного магнита, установленного на подвижную часть контролируемого объекта, насыщающегося трансформатора, усилителя переменного напряжения, снимаемого со вторичной обмотки трансформатора, выпрямителя, триггера и выходного коммутирующего элемента (ключа).

Физический принцип работы датчика поясняет при помощи рис. 2. Чувствительным элементом такого датчика служит трансформатор 2 с ферритовым сердечником из материала с прямоугольной петлей гистерезиса и малой индукцией насыщения.

Первичная обмотка трансформатора  $w_1$  подключается к источнику переменного синусоидального напряжения, а вторичная обмотка  $w_2$  — к усилителю переменного напряжения. Приложенное к первичной обмотке трансформатора напряжение  $U_1$  приводит к протеканию через обмотку трансформатора переменного тока  $I(t) = I_{\max} \sin(\omega t)$ , который, в свою очередь, создаёт переменный магнитный поток  $\Phi$  в сердечнике трансформатора, вследствие чего в соответствии с законом электромагнитной индукции во вторичной обмотке трансформатора индуцируется ЭДС  $E_2$  [8]

$$E_2 = -w \cdot \frac{d\Phi}{dt}, \quad (1)$$

где  $w$  — число витков вторичной обмотки;  $\Phi$  — значение магнитного потока в сердечнике трансформатора.

При отсутствии внешнего магнитного поля перемещение сердечника происходит по петле

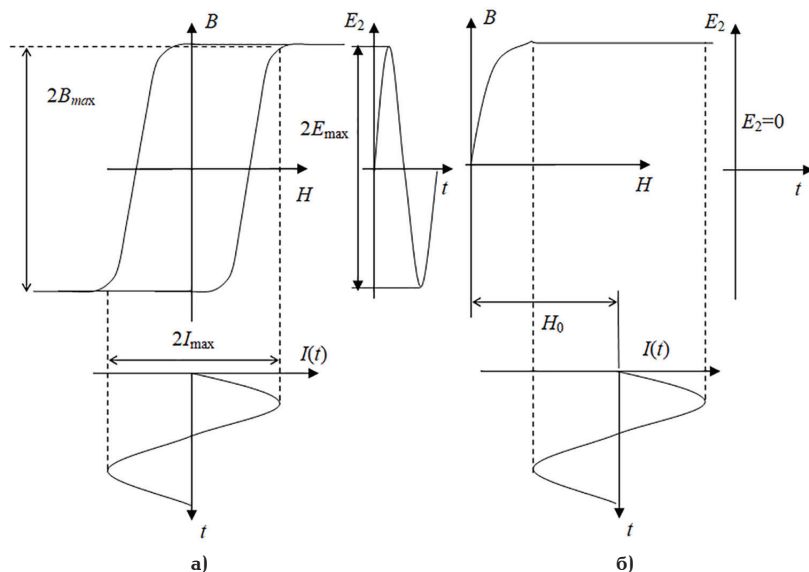


Рис. 3. Динамические кривые перемещения при различных значениях напряженности постоянного магнитного поля

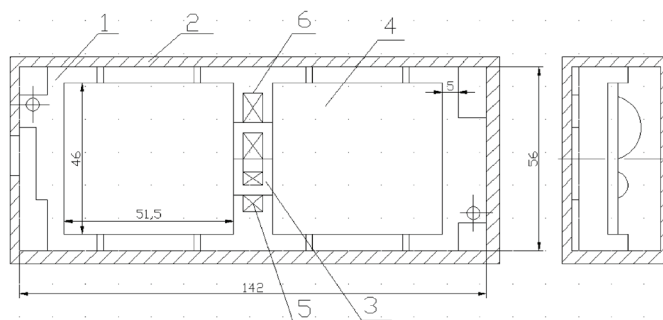


Рис. 4. Конструктивная схема чувствительного элемента

гистерезиса, как показано на рис. 3а). Из рис. 3а видно, что переменный ток, протекающий по первичной обмотке трансформатора с амплитудой  $I_{\max}$ , будет создавать в сердечнике переменный магнитный поток с амплитудой  $\Phi_{\max}$ , пропорциональный  $V_{\max}$  и, следовательно, во вторичной обмотке будет наводиться ЭДС  $E_2$  с амплитудой  $E_{\max}$ .

При приближении к сердечнику трансформатора постоянного магнита в нем создаётся напряженность  $H_0$ , наведённая магнитным потоком постоянного магнита, которая приводит к смещению петли гистерезиса по основной кривой намагничивания (рис. 3б)), что вызовет насыщение магнитопровода трансформатора. В связи с этим сердечник перестаёт перемагничиваться, следовательно, в соответствии с выражением (1) ЭДС  $E_2$  становится равной 0. Расчёт магнитной индукции и магнитного потока постоянного магнита проводился на основе рекомендаций, приведённых в [9].

Такой датчик не требует специальных технических решений по контролю его исправности, т.к. в датчике по предложенной функциональной схеме осуществляется постоянный автоматический контроль исправности в связи с тем, что в отсутствии объекта контроля всегда будет присутствовать ЭДС  $E_2$ , свидетельствующая об исправности всех элементов электрической схемы датчика (выходной релейный ключ будет находиться в положении 2 (рис. 2)).

Для увеличения чувствительности датчика к ферритовому магнитопроводу сердечника добавлены две фокусирующие внешний магнитный поток приставки П1 и П2, изготовленные из электротехнической трансформаторной стали (рис. 2), что позволяет увеличивать магнитный поток в сердечнике трансформатора от магнитного поля, создаваемого подносимым к датчику постоянным магнитом.

**Конструкция.** Конструктивная схема чувствительного элемента датчика представлена на рис. 4.

Датчик состоит из платы 1, на которой закреплен сердечник трансформатора 3, фокусирующие магнитный поток пластины 4, первичной обмотки трансформатора 5, вторичная обмотка 6 и корпуса 2. Корпус чувствительного элемента датчика выполнен из алюминиевого сплава BS1490 LM24. Габаритные размеры корпуса: (150×60×30) мм. Трансформатор датчика выполнен из ферритового сердечника марки 1500НМ1 с габаритами: 12×20×3 мм [10]. Число витков трансформатора:  $w_1 = 900$  витков,  $w_2 = 2500$  витков.

Постоянный магнит из феррита стронция марки 28СА250 размерами 80×60×15 мм устанавливается на подвижной части объекта контроля.

Основные характеристики  
разработанного датчика

По ГОСТ Р 50030.5.299 датчик соответствует классификации I3D150х60CU4.

Расстояние дальности действия:

Номинальное расстояние  $S_n = 150$  мм

Максимальное расстояние  $S_{\max} = 200$  мм

Минимальное расстояние  $S_{\min} = 0$

Номинальное рабочее напряжение  $U_e = 36$  В

Номинальный рабочий ток  $I_e = 100$  мА.

Диапазон рабочих температур — 40...+80 °С.

Степень защиты IP68.

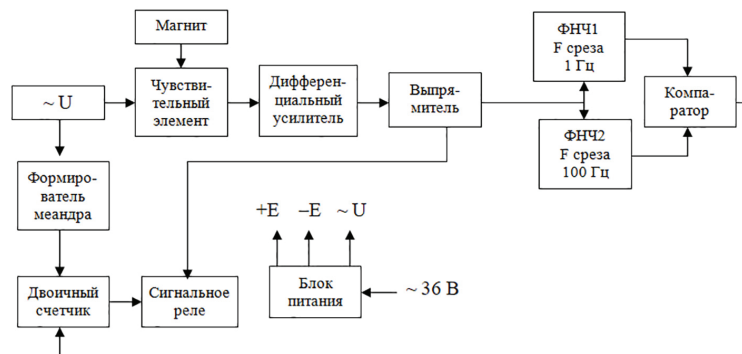
Как видно из описания, такой датчик является двухкоординатным, т.к. позволяет контролировать перемещения как по оси «Х», так и по оси «У» (рис. 2), кроме того, на его работу не влияет наличие между подвижным и неподвижным элементами объекта контроля других предметов из неферромагнитных материалов.

**Внедрение.** Опытные образцы датчиков установлены на 12 сушильных барабанах производства углерода на Омском заводе технического углерода для контроля за наличием вращения барабанов. Фотография корпуса чувствительного элемента датчика представлена на рис. 5. Корпуса чувствительных элементов датчиков закреплены на специальных кронштейнах на расстояниях около 150 мм от торцевых стенок цилиндрических корпусов вращающихся барабанов. Датчики позволяют бесконтактно не только выявлять аварийные остановки барабанов, но и контролировать скорости их вращения. Скорость вращения барабанов составляет 2 оборота в минуту, при этом смещение осей вращения барабанов в процессе эксплуатации по горизонтали за счёт линейных перемещений его корпуса при изменениях температурных режимов в барабане может достигать 100 мм [11].

Функциональная схема датчика представлена на рис. 6. Работа датчика в соответствии с функциональной схемой. Переменное напряжение от источника питания подаётся на первичную обмотку



Рис. 5. Корпус чувствительного элемента датчика



6. Функциональная схема датчика остановки сушильного барабана

трансформатора чувствительного элемента и формирователь меандра на входе двоичного счетчика. На вторичной обмотке чувствительного элемента в процессе работы наводится переменное напряжение, которое после усиления и выпрямления поступает на два фильтра низкой частоты с разными постоянными времени  $\tau$ . При вращении сушильного барабана закрепленный на его корпусе магнит периодически насыщает сердечник трансформатора при прохождении мимо него постоянного магнита, при этом сигнал на вторичной обмотке трансформатора будет периодически исчезать. Напряжение на выходе выпрямителя становится равным 0.

Благодаря разным постоянным времени ФНЧ1 и ФНЧ2 на выходе фильтра с большей постоянной времени напряжение остается неизменным, а на выходе фильтра с малой постоянной времени напряжение падает. Этому соответствует высокий уровень напряжения компаратора, что соответствует логической единице, которая поступает на вход сброса счетчика, и он начинает отсчет заново до прихода следующего сигнала сброса. Счетчик отсчитывает количество импульсов, соответствующих одному периоду оборота сушильного барабана. При исчезновении воздействия на чувствительный элемент магнитного потока постоянного магнита на счетчик перестает поступать сигнал сброса, и счетчик, досчитав определенное количество импульсов, соответствующее одному обороту барабана, выдает сигнал тревоги об исчезновении вращения на сигнальное электромагнитное реле, срабатывание которого приводит к включению аварийной световой и звуковой сигнализаций. Выход реле, реализованный в виде нормально разомкнутого и нормально замкнутого контактов, позволяет осуществлять сигнализацию как об остановке барабана, так и самоконтроль об исправности датчика в соответствии с функциональной схемой, приведенной на рис. 2.

Следует отметить, что представленная реализация схемы контроля позволяет обнаруживать аварийное замедление скорости вращения, связанное с вращением барабана по инерции после появления неисправности в электроприводе.

#### Библиографический список

1. Криворучко А. Бесконтактные датчики положения. Проблемы выбора и практика применения // Компоненты и технологии. 2007. № 1. С. 32–35.
2. Агейкин А. Д., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н. Датчики контроля и регулирования. М.: Машиностроение, 1965. 928 с.
3. Захаренко В. А., Шахова А. Г., Шкаев А. Г. Двухкоординатный электромагнитный датчик положения // Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в про-

мышленности и на транспорте: материалы III Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. Омск: Изд-во ОмГУПС, 2018. С. 8–13. ISBN 978-5-949-41213-8.

4. ГОСТ Р 50030.5.2-99. Аппаратура распределения и управления низковольтная. Ч. 5-2. Аппараты и коммутационные элементы цепей управления. Бесконтактные датчики. Введ. 2002–01–01. М.: Изд-во стандартов, 2000. 62 с.

5. Бесконтактные выключатели // Сайт СКБ «Индукция». URL: [http://skbind.ru/beskontaktnye\\_vyklyuchateli](http://skbind.ru/beskontaktnye_vyklyuchateli) (дата обращения: 12.05.2019).

6. Simatic: Системы высокотехнологических решений. Компоненты для комплексной автоматизации: каталог / Siemens. М., 2017. 134 с.

7. Сокол-Кутыловский О. Л. Измерение слабого магнитного поля магнито-модуляционным преобразователем с аморфным ферромагнитным сердечником // Датчики и системы. 2018. № 10. С. 39–44.

8. Хныков А. В. Теория и расчет трансформаторов источников вторичного электропитания. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 128 с.

9. Герасимов С. И., Зубанков А. В., Кикеев В. А. Анализ работы индукционных датчиков на ракетном треке при скоростях более 6М // Датчики и системы. 2018. № 10. С. 27–33.

10. Основные характеристики магнитомягких ферритов. URL: <http://lib.chipdip.ru/245/doc000245902.pdf> (дата обращения: 16.05.2019).

11. Ивановский В. И. Технический углерод. Процессы и аппараты. Омск: Изд-во ОАО Техуглерод, 2004. 228 с.

**ЗАХАРЕНКО Владимир Андреевич**, доктор технических наук, доцент (Россия), заведующий кафедрой «Электроника».

SPIN-код: 2501-4655

ResearcherID: E-5359-2014

Адрес для переписки: Zaha\_vl@mail.ru

**ШАХОВА Анастасия Геннадьевна**, магистрант гр. ЭНМ-181 факультета элитного образования и магистратуры.

Адрес для переписки: anastasia.shakhova@mail.ru

**ШКАЕВ Александр Геннадьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроника».

SPIN-код: 5947-5090

ResearcherID: E-5276-2014

Адрес для переписки: Shkayev@mail.ru

#### Для цитирования

Захаренко В. А., Шахова А. Г., Шкаев А. Г. Двухкоординатный электромагнитный датчик // Омский научный вестник. 2020. № 1 (169). С. 45–48. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-169-45-48.

Статья поступила в редакцию 30.12.2019 г.

© В. А. Захаренко, А. Г. Шахова, А. Г. Шкаев