

# Разработка и применение специализированных датчиков с использованием миниатюрных преобразователей Холла и малогабаритных магнитных систем

Игорь Буслов, Валерий Бауткин, Александр Драпезо, Вячеслав Яромлович (Минск – Москва)

В статье описаны современные датчики, работа которых основана на применении эффекта Холла.

С использованием эффекта Холла разработано и широко используется большое число датчиков, технических устройств и систем. Преимуществом таких датчиков является отсутствие механического контакта между контролируемым объектом и преобразователем, что значительно повышает надёжность измерений и обеспечивает функционирование датчиков в жёстких условиях эксплуатации. Применение миниатюрных преобразователей Холла в сочетании с малогабаритными магнитными системами особенно перспективно для создания специализированных датчиков различных физических величин [1].

Физический принцип построения рассматриваемых датчиков основан на бесконтактном преобразовании индукции магнитного поля в унифицированный выходной сигнал. Реализованные на современном этапе технологические решения включают: групповое изготовление микроминиатюрных тонкоплёночных элементов Холла стандартными методами микроэлектроники (фотолитография, скрайбирование, приварка контактов золотым микропроводом, герметизация), взаимозаменяемые группы

миниатюрных источников магнитных полей (обычно с использованием редкоземельных постоянных магнитов  $\text{SmCo}_5$ ), малогабаритные корпуса, унифицированные платы обработки сигнала и др.

Магниточувствительные элементы, разработанные ООО «Вист групп сенсор», изготавливаются из гетероэпитаксиальных структур антимоноида индия на полуизолирующем арсениде галлия с высокой подвижностью носителей заряда n-типа. Размер магниточувствительной области не превышает  $50 \times 50 \times 6$  мкм, а самого элемента Холла –  $0,5 \times 0,5$  мм. Отличительной особенностью реализуемых элементов Холла является высокая стабильность метрологических характеристик.

Единство принципов преобразования воздействующих величин и использование принципов блочного построения позволило реализовать широкую номенклатуру датчиков, которые на протяжении ряда лет надёжно функционируют в различных областях применения – от машиностроения до космических аппаратов. Далее описаны некоторые типы устройств, работа которых основана на применении эффекта Холла.

## БЕСКОНТАКТНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Бесконтактные выключатели (БКВ, см. рис. 1) предназначены для определения положения подвижных частей механизмов с точностью до 0,05 мм в зазорах от 1,0 до 5,0 мм (определяется заказчиком). В зависимости от размеров

и формы магнитной системы, БКВ фиксируют положение при радиальных или тангенциальных перемещениях.

Принцип действия датчиков основан на измерении магнитного поля в зазоре между концентратором, размещённым в торце БКВ, и подвижной магнитной системой, установленной на контролируемом подвижном объекте. При превышении индукции в зазоре происходит срабатывание компаратора с последующим переключением мощного транзистора выходного каскада в открытое состояние.

Конструктивно каждый датчик выполнен в виде цилиндра из немагнитного материала со встроенным внутри концентратором с преобразователем Холла и микроплатой, на которой размещены магниточувствительная микросхема, стабилизатор напряжения, компаратор, защитный диод и др. Основные технические характеристики БКВ приведены в таблице 1.

## ДАТЧИКИ ЧАСТОТЫ

Принцип действия датчиков частоты (ДЧХ) основан на измерении частоты изменения индукции магнитного поля, создаваемого перемещающимися периодическими ферромагнитными элементами – шестернями, зубчатыми рейками и др. Конструктивно каждый датчик выполнен в виде цилиндра из немагнитного материала со встроенной магнитной системой из сплава ЮНДК или КС-37 и микроплатой, на которой размещены магниточувствительный элемент, усилитель, формирователь импульсов и стабилизатор напряжения.

В отличие от индукционных преобразователей, ДЧХ (см. рис. 2) формируют выходной сигнал, амплитуда которого постоянна во всём рабочем диапазоне, а частотная характеристика –



Рис. 1. Бесконтактные выключатели БКВ

линейна. Максимальный зазор между торцом датчика и ферромагнитным объектом в два-три раза больше, чем у индукционных аналогов. Кроме того, датчик имеет более высокую пространственную разрешающую способность. Основные технические характеристики ДЧХ приведены в таблице 2.

### Датчик угла поворота

Датчик угла поворота (см. рис. 3) (полнооборотный или секторный) предназначен для преобразования угла поворота вала в аналоговый электрический сигнал.

Датчик (ДУПХ) выполнен в виде цилиндрического корпуса с фланцем для точной фиксации и вращающимся валом, имеющим шлицевое самоцентрирующееся крепление. Преобразование угла поворота вала в электрический сигнал производится бесконтактным способом, за счёт изменения индукции магнитного поля в области расположения чувствительного элемента при повороте вала. Сигнал с преобразователя подаётся на усилитель, выполненный в виде интегральной схемы.

Датчик предназначен для работы в условиях повышенных температур, агрессивных сред (соляной туман, кислотные и щелочные воздействия и др.), спецвоздействий; имеет пожаро- и взрывобезопасное исполнение и высокую износостойкость (количество рабочих циклов более  $10^6$ ).

По своим точностным и надёжностным характеристикам ДУПХ может быть использован в составе сложных микропроцессорных систем; он оптимально подходит для эксплуатации в составе изделий специального и двойного назначения (военная и космическая техника, авиационные и автотракторные системы управления и контроля, станкостроение и др.).

В отличие от существующих аналогов (потенциометрических, индукционных), датчик имеет меньшие габариты, на порядок более высокую надёжность, простую конструкцию и современную элементную базу. Технологический процесс сборки основных элементов датчика автоматизирован. Основные технические характеристики ДУПХ приведены в таблице 3.

Датчики изготавливаются в различных вариантах исполнения, в том числе с магнитными системами, создающими квазиоднородное магнитное поле, вращающееся относительно двух взаимноперпендикулярных преобразо-



Рис. 2. Датчики частоты ДЧХ

зователей Холла, и сложными магнитными системами со специфическим расположением преобразователей Холла [2, 3].

### Бесконтактные датчики электрического тока

Бесконтактные датчики электрического тока серии (ДПХ, см. рис. 4)



Рис. 3. Датчик угла поворота ДУПХ

предназначены для измерения величины постоянного, переменного или импульсного тока, осциллографирования (снятия эюр) токовых сигналов, обеспечения гальванической развязки измерительных электрических цепей. Принцип действия датчиков основан на измерении с помощью преобразователя Холла величины и на-

Таблица 1. Основные технические характеристики датчика БКВ

Наименование параметра	Значение параметра
Ток выхода, мА	250
Напряжение питания, В	14,0...28,0
Потребляемый ток, мА	10,0
Диапазон рабочих температур, °С	-60...125
Сопrotивление нагрузки, не менее, кОм	0,5
Зазор между торцом датчика и магнитной системой, мм	3...6
Точность позиционирования, мм	0,05
Выходной сигнал	Открытый коллектор
Габариты, мм	БКВ-10 (M10 × 0,5) × 50 БКВ-14 (M14 × 1,0) × 70

Таблица 2. Основные технические характеристики датчиков ДЧХ

Наименование параметра	Значение параметра		
	ДЧХ-0,2	ДЧХ-8	ДЧХ-8М
Диапазон измеряемой частоты, кГц	0,001...2,0	0...8	0,05...15,0
Величина рабочего зазора, мм	0...5	0...5	0...7
Напряжения питания, В	9...15	9...18	18...32
Потребляемый ток, мА	Не более 70	Не более 20	Не более 20
Выходной каскад	Открытый коллектор (п-р-п)		
Сопrotивление нагрузки, кОм, не менее	1,0		
Диапазон рабочих температур, °С	-40...120		
Исполнение	Герметичное, пыли-, влаго-, маслозащищенное		

Таблица 3. Основные технические характеристики датчика ДУПХ

Наименование параметра	Значение параметра
Габариты, не более, мм	∅45 × 60 (∅45 × 90)
Напряжение питания, В	+12 <sup>+5</sup> (4,8 <sup>+1,5</sup> )
Диапазон угла поворота, град.	-15...0...+15 (0...360)
Разрешающая способность, угл. минут	5
Рабочий температурный диапазон, °С	-60...120
Выходной сигнал, В	2...6
Ток питания, мА	20...40
Основная погрешность, %, не более	0,5
Дополнительная погрешность в диапазоне температур, %	
-40...80°С, не более	0,25
-60...120°С, не более	1,8
Изменение выходного сигнала от угла поворота, функция вида	Y = k sinx



Рис. 4. Датчики электрического тока бесконтактные ДТПХ



Рис. 5. Датчик загрузки ДЗ-20



Рис. 6. Датчик уровня топлива



Рис. 7. Электронная педаль

правления магнитного поля, создаваемого контролируемым электрическим током в зазоре ферромагнитной систе-

мы. В зависимости от величины измеряемого электрического тока используются три конструктивных исполне-

Таблица 4. Основные параметры датчиков ДТПХ

Наименование параметра	Значение параметра					
	ДТПХ-0,1	ДТПХ-1	ДТПХ-5	ДТПХ-20	ДТПХ-300	ДТПХ-600
Диапазон измеряемых токов, А	0,1	1,0	5,0	20,0	300,0	600,0
Погрешность измерения в диапазоне рабочих температур, %, не более	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	2,5
Сопротивление входной цепи, Ом, не более	1,0	0,1	–	–	–	–
Индуктивность входной цепи, мкГн, не более	150	10	–	–	–	–
Сопротивление между измеряемыми и силовыми цепями, МОм, не менее	20	20	200	200	200	200
Частотный диапазон, кГц вариант А	0...–	0...10	0...12	0...12	0...12	0...12
вариант Б	–	–	–	0...300	0...300	0...300
Выходной сигнал*, В	±10					
Ток потребления**, мА	5...65					
Диапазон рабочих температур***, °С	–60...85					
Габариты, мм	20 × 15 × 7		20 × 15 × 9		30 × 15 × 9	
Масса, г	7	7	10	10	40	50

\* Может изменяться в зависимости от напряжения питания

\*\* Зависит от точности измерения

\*\*\* Возможно расширение температурного диапазона до +125°С

Таблица 5. Основные параметры датчика ДЗ-20

Наименование параметра	Значение параметра
Измеряемая нагрузка, кг	500...20000
Номинальное напряжение питания, В	24
Допускаемое напряжение, В	18...30
Ток потребления, мА, не более	100
Уровень выходного сигнала, мА	4...20
Частотный диапазон, Гц	0...10
Погрешность измерения, %, не более	1,0
Разрешающая способность, кг, не менее	10
Климатическое исполнение	УХЛ1
Температурный диапазон, °С	–40...75

ния датчиков. Основные параметры ДТПХ приведены в таблице 4.

Для систем релейной защиты и автоматизации энергосистем разработаны бесконтактные датчики тока порогового типа (ДТП). В статье [4] приведены характеристики серии пороговых датчиков постоянного тока с уровнем срабатывания 10, 20, 50, 100, 300, 500, 1000, 4000 мА. В основе конструкции ДТП лежит использование ферритового кольца с узким зазором, в котором находится миниатюрный элемент Холла. Выходной сигнал датчика снимается с открытого коллектора p–p–n-транзистора. При фиксации порогового тока транзистор открывается.

Эксплуатация ДТПХ и ДТП на городском электротранспорте показала их высокую надёжность.

### Датчик загрузки

Серия датчиков загрузки ДЗ-20 (см. рис. 5) предназначена для измерения вертикальной составляющей усилия, возникающего под воздействием приложенной нагрузки. Конструкция датчика загрузки использует узел крепления кронштейна подвески (стальной палец), в который встроены миниатюрный механоэлектрический преобразователь силы на эффекте Холла. Наличие блока обработки позволяет преобразовывать выходной сигнал в вес поднимаемого груза и в реальном времени регистрировать данные на персональном компьютере.

По сравнению с тензометрическими датчиками, преимуществами ДЗ-20 являются высокая точность показаний, виброустойчивость, надёжность, постоянство сигнала при изменении температуры, линейная характеристика преобразования, отсутствие изнашиваемых деталей, лёгкий монтаж и демонтаж, простота привязки к существующим деталям машин, высокая помехозащищённость за счёт цифровой передачи данных.

Данная серия датчиков прошла испытания на самосвалах марки «БелАЗ» грузоподъёмностью 45 т, где подтвердила свои высокие характеристики. Основные параметры ДЗ-20 приведены в таблице 5.

### Датчик уровня топлива

Электронный датчик уровня топлива УТ-90 (см. рис. 6) применяется для высокоточного измерения уровня топлива в топливных баках автомобильного транспорта. Датчик также

может измерять уровень жидкости в резервуарах высотой от 0,2 до 3 м. Разрабатываются также модификации датчиков, предназначенных для измерений уровня агрессивных жидкостей и в резервуарах под давлением до 2,0 МПа. Степень защиты датчиков – IP54 по ГОСТ 14254-96, вид климатического исполнения У1 по ГОСТ 15150-69. Основные параметры УТ-90 приведены в таблице 6.

Датчик состоит из корпуса, закреплённого на фланце, магнитной системы с осью, штанги с поплавком и электронного блока. Электронный блок крепится на корпус и закрывается крышкой с разъёмом. Корпус соединён с осью, в которой размещен держатель с полупроводниковым элементом Холла.

При перемещении штанги с поплавком изменяется индукция магнитного поля в зазоре между магнитами и элементом, что вызывает изменение выходного сигнала. Выходной сигнал элемента Холла через соединительные провода подаётся на вход платы электронного блока, который усиливает его до значений, необходимых для работы микропроцессорной системы.

Таблица 6. Основные параметры датчика уровня топлива УТ-90

Наименование параметра	Значение параметра
Напряжение питания датчика от бортовой сети, В	24 ± 6
Выходной ток, мА	4...20
Основная приведённая погрешность (в динамике), %	±0,4
Максимально допустимое напряжение питания при воздействии в течение 5 мин	34 ± 0,5
Минимально допустимое напряжение питания, В	12 ± 0,5
Диапазон рабочих температур, °С	-40...85

### ЭЛЕКТРОННАЯ ПЕДАЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ

Электронная педаль (см. рис. 7) включает двухканальный датчик угловых перемещений, двухканальный АЦП с микропроцессором, обеспечивающим обработку и передачу данных в формате шины CAN на центральный процессор.

Наличие бесконтактных датчиков начального и конечного положения платформы педали обеспечивает лёгкую настройку и программирование выходных сигналов. Для обеспечения высокой надёжности функционирования педали используется «горячее» резервирование (дублирование) сигналов от элементов Холла и микропроцессоров. Угол поворота платформы педали составляет 30 градусов. Усилие активации педали на расстоянии 200 мм от оси

вращения равно 55 Н, напряжение питания 18...32 В, выходной сигнал 0...6 В, потребляемый ток не более 50 мА.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Прокошин В.И., Шепелевич В.Г., Ярмолович В.А. Устройства автоматики и робототехники на эффекте Холла. Минск: РМ ИПК, 1981.
2. Анищук В.М., Ярмолович В.А. Устройство определения угла поворота на эффекте Холла. Патент РБ №3713, кл. G01B 7/30, 15.08.2000.
3. Анищук В.М., Ярмолович В.А. Устройство определения углового положения вращающегося объекта. Патент РБ №3712, кл. G01B 7/30, 15.08.2000.
4. Дранезо А.П., Радюк В.Л., Ярмолович В.А., Шалин А.Я., Царев Б.П. Датчик тока пороговый (ДПТ) для фиксации действий релейной защиты и автоматики энергосистем. Энергоэффективность. 2001. № 10. С. 16–17. ©