

Окончание. Начало в № 7'2004

Датчики скорости автомобиля.

Анализ конструкций и перспективы развития

Светлана Сысоева

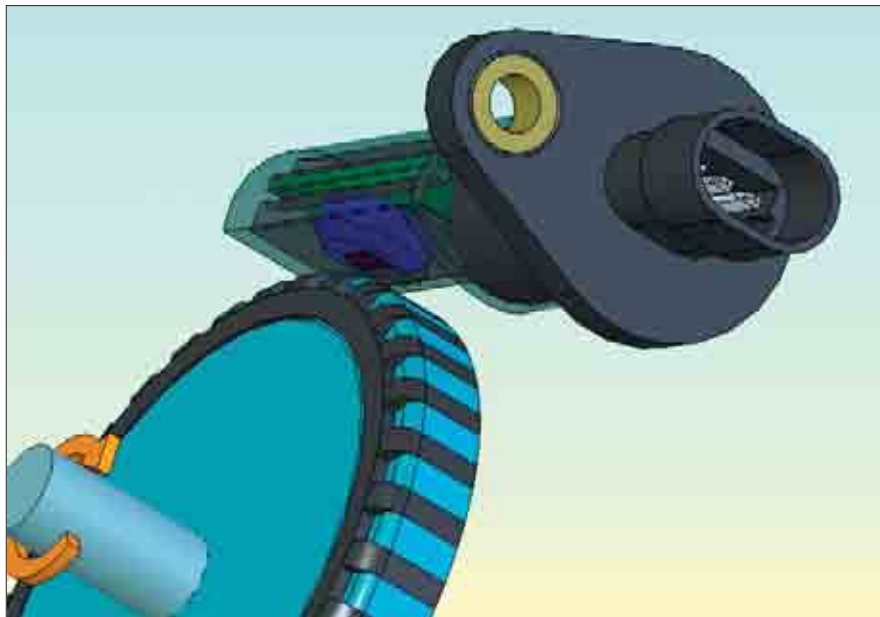
Sysoeva_Svetlana@mail.ru

Дифференциальные датчики Холла

Дифференциальные датчики Холла сконструированы специально для измерения угловой скорости зубчатого ротора [1]. В дифференциальной ИС Холла содержатся два интегрированных элемента Холла, физически разнесенных на расстояние порядка 2–2,5 мм (2,5 мм у TLE4921-5U Infineon, 2,25 мм у HAL320 Micronas Intermetall), каждый из которых переходит в смещенное состояние в присутствии магнитного поля любой полярности от обратносмещающего магнита. Сигналы от двух элементов Холла алгебраически вычитаются в интегрированном дифференциальном усилителе, за счет чего достигается удвоение амплитуды (и увеличение крутизны) сигнала. При модуляции поля ферромагнитным зубчатым ротором, когда на оба элемента действует одинаковое магнитное поле (напротив каждого элемента либо зуб, либо впадина ротора), разница напряжений равна нулю. При появлении градиента (один элемент видит зуб, а другой впадину — или наоборот), образуется аналоговый дифференциальный сигнал, пиковое значение которого приходится на край зуба. В дифференциальных ИС используется та же схема сопряжения аналоговых и цифровых цепей (триггер Шмитта), что и в стандартных ключах.

Дифференциальные ИС, многие из которых известны как «zero speed», имеют повышенную чувствительность и обеспечивают больший воздушный зазор, теоретически и практически спо-

собны детектировать нулевую скорость (в отличие от униполярных датчиков Холла, имеющих проблемы измерения нулевой скорости на практике), хотя некоторое начальное движение, например для локализации края зуба, дифференциальной ИС все же требуется. В то же время, как и в одноэлементной конфигурации, амплитуда дифференциального сигнала все еще относительно невысока и требует усиления и фильтрации.



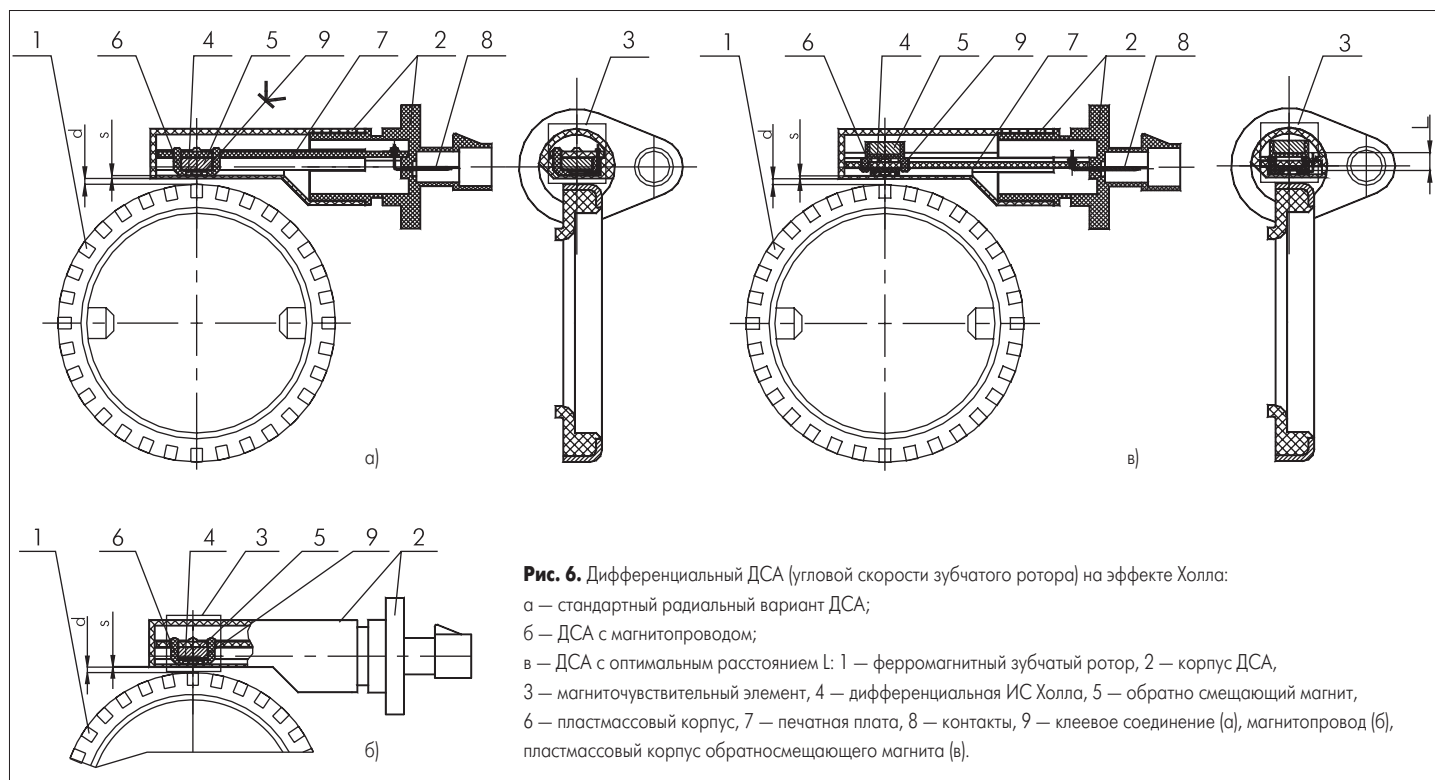


Рис. 6. Дифференциальный ДСА (угловой скорости зубчатого ротора) на эффекте Холла:

а — стандартный радиальный вариант ДСА;

б — ДСА с магнитопроводом;

в — ДСА с оптимальным расстоянием L: 1 — ферромагнитный зубчатый ротор, 2 — корпус ДСА,

3 — магниточувствительный элемент, 4 — дифференциальная ИС Холла, 5 — обратно смещающий магнит,

6 — пластмассовый корпус, 7 — печатная плата, 8 — контакты, 9 — клеевое соединение (а), магнитопровод (б),

пластмассовый корпус обратносмещающего магнита (в).

Для отслеживания магнитного сигнала также может применяться интегрированный ФВЧ с внешним конденсатором, задающим частотную характеристику ФВЧ (например, нижняя частота среза составит 10 Гц при 470 нФ для TLE4921-5U). В динамическом режиме устанавливается небольшой фиксированный гистерезис переключения, что позволяет увеличить воздушный зазор до 3–4 мм.

За счет увеличения и амплитуды, и крутизны сигнала дифференциальные ИС также обеспечивают лучшие динамические показатели таймирования по сравнению с униполярными датчиками, при условии синхронизации их абсолютной фазовой погрешности (точности). Это особенно полезно, если сигнал скорости извлекается из системы с таймированием углового положения (коленчатого вала).

Качество импульсного сигнала характеризуется его скважностью (в статике) и повторяемостью (в динамике). Чтобы получить высококачественный сигнал скорости, требуется хорошее согласование чувствительностей и магнитных сдвигов между отдельными элементами Холла.

По определению, любая дифференциальная конфигурация исключает влияние величины смещающего поля, так как постоянные составляющие сигнала на выходе элементов взаимно вычитаются. Для измерения скорости автомобиля обычной дифференциальной ИС с фиксированными порогами вполне достаточно. В стандартной конструкции ДСА (рис. 6а) на эффекте Холла обратносмещающий редкоземельный магнит 5 с намагниченностью полюсов 120–500 мТл (NdFeB или SmCo) просто клеится к обратной стороне дифференциальной ИС 4 (северным или южным полюсом). Для фиксации магниточувствительной подборки 3 предназначен пластмассовый корпус 6.

Снова, пусть и в меньшей степени, ключевой проблемой этого типа датчиков является

согласование порогов ИС с фактическим уровнем нулевого пересечения биполярного сигнала, который может быть существенно смещен вследствие неточного выравнивания ИС, допусков конструкции, магнитных неоднородностей, вибрации и температуры. Разработано множество схем обработки сигнала, ранжированных от обычных фиксированных порогов до различных пикоопределяющих алгоритмов и техник самокалибровки, включая также алгоритмы обновления [1], многие из которых помогают в решении этой проблемы.

Например, специально для устранения влияния начального смещения сконструированы ИС с периодом начальной калибровки сигнала после включения питания, то есть с определением среднего арифметического пиков и расчетом величины смещения сигнала относительно нуля. В калиброванном режиме переключение будет происходить на нулевом пересечении (TLE4925, TLE494x-x) или на адаптивных порогах с учетом коррекции сигнала относительно нуля (ATS645, ATS643). В 2004 году TLE4942, разработанная Infineon совместно с Robert Bosch GmbH, предлагается этими компаниями для определения скорости и направления в антиблокировочных системах (системах контроля сцепления).

Особенный интерес представляют динамические дифференциальные ИС с переключением на нулевом пересечении сигнала, активно разрабатываемые в последние два года для определения скорости коробки передач и коленчатого вала (2003 — Infineon TLE4925, май 2004 — Melexis MLX90254, июнь 2004 — Allegro Microsystems A1421/2/3/5). Техника нулевого пересечения независима от воздушного зазора, обеспечивает наибольшую точность таймирования (так как сигнал на уровне его нулевого пересечения наиболее крутой), но и наименее виброустойчива. В этом случае особенно полезна динамическая

фильтрация, а также минимизация возможных статических смещений.

Применение схемотехнических методов, в том числе самокалибровки, несколько отражается на цене ДСА, кроме того, когда проблеме не удастся решить схемотехнически, на помощь приходят проверенные механические средства. (Очевидно, что совместное применение механических и схемотехнических способов расширяет динамический диапазон.) Например, в настоящее время предложены две альтернативные конструкции ДСА (рис. 6б-в), применяющие механические способы устранения неоднородностей поверхности магнита.

В устройстве [5] (рис. 6б) между ИС 4 и магнитом 6 вводится фронтальный магнитопровод 7 (например, плоский из магнитомягкого материала, имеющий толщину, достаточную для минимизации неоднородностей, и определяемую усредненно для конкретной партии магнитов. В этом случае обеспечивается скважность выходного сигнала ДСА порядка 2–2,25. По предварительной оценке, введение магнитопровода допускает использование магнитов с неоднородным намагничиванием поверхности до 5% на каждые 2,5 мм (расстояние между элементами в дифференциальной ИС).

Из соображений механической целесообразности, а также с целью повышения виброустойчивости магнитная система 3 ДСА размещается в пластмассовом корпусе 6, жестко устанавливаемом с одной стороны платы 7, расположенной в пазах пластмассового корпуса 2 ДСА.

Основным недостатком устройства [5] является необходимость компромисса между помехоустойчивостью и точностью выходного сигнала (скважностью) и величиной максимального рабочего воздушного зазора, связанная с использованием эффекта Холла (в частности, с применением магнитопровода и дифференциальной ИС).

Таблица 2. Некоторые технические данные двух примеров ДСА без магнитопровода (рис. 6в)

Технические данные		Пример 1	Пример 2
Интегральная схема 4			
Магнит 5	Геометрические размеры	Цилиндр Ø8×3	Цилиндр Ø13×6
	Материал	Сплав неодима с железом и бором	
	Максимальная намагниченность полюсов, мТл	$B_S=466, B_N=-450$	$B_S=436, B_N=-430$
Ротор 1	Материал, конструкция	Обод из стали 10	
	Диаметр ротора, мм	72	58
	Число зубьев	32	12
	Модуль	2,25	4,83
	Глубина зуба, мм	—	5
Ротор 2	Ширина зуба, мм	3,5	7
	Толщина зуба, мм	2	—
	Эффективная высота зубьев, мм	8	17
Геометрия пластмассового корпуса 6, мм		Параллелепипед 7,2×10,2×2	
Геометрия пластмассового корпуса 9, мм		Цилиндр Ø10×5,5, с пазом под магнит Ø8×3	
Рабочий диапазон L, не вызывающий снижения максимального воздушного зазора, мм		0÷8	0÷6,5
Измеряемый диапазон частот вращения ротора, Гц		0,3÷100	1÷100
Рабочий воздушный зазор d, без учета толщины стенки корпуса 2, мм	При L = 1,5÷5 мм	0,1÷2,4	0,3÷4,2
	При L = 0 мм	0,2÷2,3	0,8÷4,2
Сквозность Q	При L = 1,5÷5 мм	2÷2,25	2÷2,25
	При L = 0 мм	2÷3	2÷2,75

Таблица 3. Сравнительные технические данные магнитоуправляемых эффектов

Рабочие параметры датчиков	Дифференциальные ИС Холла типа TLE4921-5U Infineon, HAL320A Micronas Intermetall и др.	Интегральный магниторезистивный модуль KMI16/1 Philips	Дифференциальная ИС гигантского магниторезистора серии AKL00x-12 Nonvolatile Electronics
Чувствительность S, мВ/В/кА/м	0,4÷0,7	20	45÷60 (и выше)
Максимальный рабочий воздушный зазор магниточувствительного элемента d _{max} без учета толщины стенки корпуса ДСА, мм	2÷3,1 (на примере ротора 1 со средним шагом T=7 мм и модулем m=2,25)	3,1 (на примере ротора 1 с модулем m=2,25)	3,5 для AKL001-12 (в паре с роторами со средним шагом T = 2,5÷6 мм), 2,5 для AKL002-12 (роторы с T = 1÷2,5 мм)
Гарантированный рабочий воздушный зазор d, между корпусом ДСА 2 и ротором 1 (рис. 6–8), типичные значения на примере ротора 1 с модулем m = 2,25, с учетом толщины s = 0,8 мм стенки корпуса 2 ДСА, мм	0,2÷2,0	0,1÷2,2*	0,2÷2,5 (на примере AKL001-12)
Диапазон измеряемых частот следования зубьев, кГц	0÷10 (HAL320A), 0,010÷20 (TLE4921-5U)	0÷25	0÷10
Сквозность Q	2÷3	2÷3	2÷2,5
Рекомендуемые типы магнитов, из материала	NdFeB, SmCo	Интегральный ферритовый магнит	Ферритовые (Ceramic 8) или Аликно (Alnico 8)
Рабочий температурный диапазон ДСА	(-40 °C ÷ +150 °C), несколько лучшие свойства высокотемпературной стабильности (и больший рабочий зазор) обеспечиваются с магнитами из материала SmCo	(-40 °C ÷ +150 °C) для всех интегральных компонентов, в области чувствительного пермаллового элемента (20% Fe, 80% Ni), допускаются температуры до 190 °C	(-40 °C ÷ +150 °C), в перспективе материал на основе сплавов никеля, железа, кобальта и меди допускает температуры до +225 °C; для лучших свойств высокотемпературной стабильности магниточувствительного элемента рекомендуется материал магнита Alnico (типа Alnico 8)
Коэффициент заполнения магнито-чувствительным элементом рабочей высоты корпуса ДСА, подобно показанному на рис. 6 и 9.	0,5÷1	1÷1,1	0,4÷0,5
Рекомендуемые типы роторов	Роторы, имеющие средний шаг T, устанавливаемый относительно оптимального шага T _{опт} : для TLE4921-5U T _{опт} = 5(4,5÷8) мм, для HAL320A T _{опт} = 4,5 мм, для A3046 T _{опт} = 3 мм	Роторы с модулем m=1,5 мм	Роторы, имеющие средний шаг T: для AKL001-12 T = 2,5÷6 мм, для AKL002-12 T = 1÷2,5 мм, для AKL003-12 T = 0,6÷1,5 мм
Цена	Низкая или средняя	Высокая	Низкая или средняя

* Еще большие значения рабочих зазоров можно получить с KMI20/1 (0–3,9 мм без учета толщины стенки корпуса) и KMI20/4 (0...4,1 мм). В этих датчиках применяется схема компенсации магнитных сдвигов и используется магнит уменьшенных размеров, но коммерчески они доступны только в варианте рабочих температур до +85 °C, при этом также имеют несколько меньший диапазон рабочих частот (0...2,5 кГц).

С целью устранения указанного недостатка, увеличения диапазона рабочего воздушного зазора с одновременной оптимизацией сквозности, а также для упрощения конструкции устройства, предложен бесконтактный ДСА [6] (рис. 6в), применяющий вариант размещения печатной платы 7 в пазах корпуса 2 ДСА между дифференциальной ИС Холла 4 и магнитом

5 обратного смещения, образующими магнито-чувствительный элемент 3 (без магнитопровода), причем ИС Холла 4 и постоянный магнит 5 заключены в два отдельных пластмассовых корпуса 6 и 9, жестко устанавливаемых (оплавляемых) с разных сторон платы 7.

В таблице 2 приведены некоторые технические данные двух примеров ДСА [6].

Конструктивное введение расстояния L в корпусе ДСА также допускает использование магнитов с неоднородным намагничиванием поверхности до 5% на каждые 2,5 мм и способствует миниатюризации геометрических размеров ДСА, упрощению монтажа ИС на плате, простоте обеспечения процесса сборки корпуса ДСА и допусков монтажа ДСА, например, в коробке передач.

Какой именно способ оптимизации использовать, и использовать ли его вообще, зависит, прежде всего, от задачи, но еще — от производителя ДСА (от его собственных научных и технических ресурсов, наличия прикладной математической и испытательной базы).

Например, многие разработчики ИС стремятся снизить наукоемкость операций сборки и выпускают готовые под сборки — модули для решения определенной задачи. (Внутренние механические допуски взаиморасположения ИС и магнита в измерительной системе, как правило, легче всего обеспечиваются в процессе их первичного корпусирования). Примерами являются модули ATS6xx Allegro Microsystems, включающие самокалибрующуюся ИС, SmCo — магнит и магнитопровод в специально оптимизированном корпусе (\$10–4 и менее в зависимости от объема). Эксплуатация такого модуля ограничивается только его ценой, а также некоторым снижением рабочего зазора из-за вторичной обливки.

Ярким примером является фирма Honeywell, которая одновременно является производителем и электронных компонентов, и широкой номенклатуры готовых датчиков. Заслуживает внимания также новый датчик углового положения с воздушным зазором до 3,18 мм (\$4 в больших объемах), анонсированный в июне 2004 года известным производителем интегральных датчиков Холла Optek Technology.

ДСА на основе эффекта анизотропного магнитосопротивления

Магниторезистивные тонкопленочные датчики, часто называемые тангенциальными (пик сигнала приходится на край зуба ротора — так же, как у дифференциальных датчиков), используют анизотропный магниторезистивный эффект, который проявляется в пермалловых полосах. Электрическое сопротивление пленки АМР изменяется как функция угла внешнего магнитного поля (уменьшается с увеличением магнитного поля).

Принцип действия датчиков основан на создании разбалансировки сенсорной структуры¹, резистивные элементы в которой содержат имплантированные проводящие (алюминиевые) полосы, расположенные под углами +45° и -45° к заданному направлению тока.

В конфигурации моста Уитстона разбалансировка моста создает удвоенный дифференциальный сигнал напряжения (пик которого приходится на край зуба), который является линейной функцией амплитуды внешнего магнитного поля H_н, параллельного плоскости пермалловых полос (нормального к оси полосы — направлению тока). Увеличение

¹ Делителя напряжения, моста Уитстона, или схемы псевдоэффекта Холла. Мостовая схема также применяется в дискретных INSb-магниторезистивных элементах.

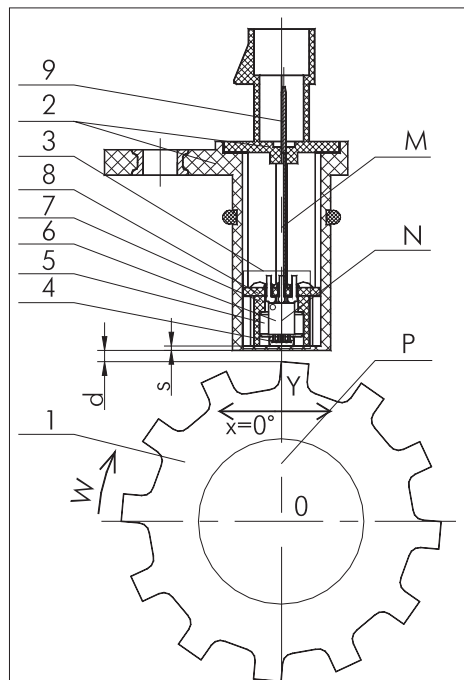
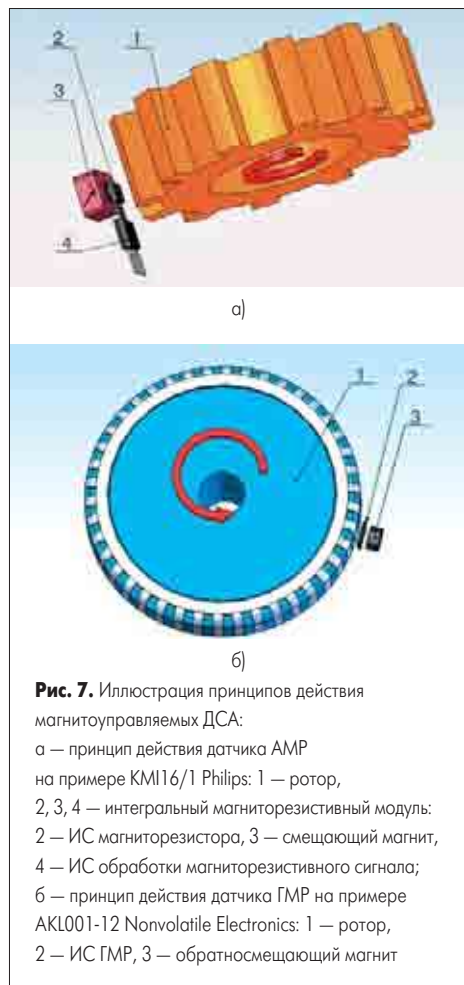


Рис. 8. Конструкция ДСА на основе технологии АМР (КМ116/1 Philips):
 1 — ферромагнитный зубчатый ротор, 2 — корпус ДСА, 3 — магниточувствительный элемент, 4 — ИС АМР, 5 — обратно смещающий магнит, 6 — ИС обработки магниторезистивного сигнала, 7 — фиксирующий корпус, 8 — печатная плата, 9 — контакты

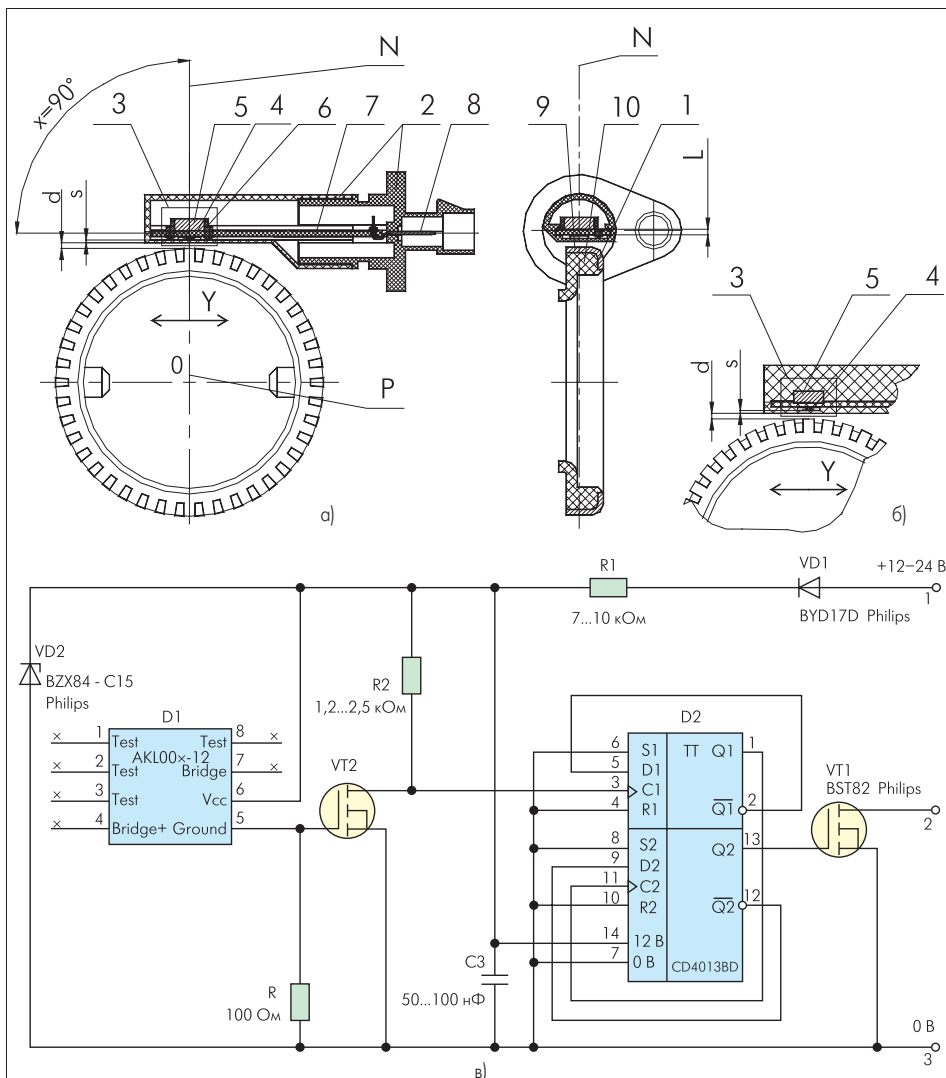


Рис. 9. Пример реализации ДСА на основе новых технологий ГМР (AKL001-12 NVE):
 а, б — варианты конструкции: 1 — ферромагнитный зубчатый ротор, 2 — корпус ДСА, 3 — магниточувствительный элемент, 4 — ИС ГМР, 5 — обратно смещающий магнит, 6 — фиксирующий корпус, 7 — печатная плата, 8 — контакты, 9 — зуб ротора, 10 — несущая часть ротора;
 в — принципиальная схема ДСА с $K_d = 4$

сопротивления одной пары элементов под воздействием внешнего магнитного поля соответствует равному уменьшению сопротивления второй пары.

Обычные тангенциальные АМР-датчики не требуют адаптации к шагу ротора, в отличие от градиентных дифференциальных датчиков с двумя физически разнесенными сенсорными элементами².

Технологию АМР, например, использует фирма Bosch в датчиках скорости двигателя (коленчатого вала), датчиках положения (для детектирования углов до 360°), а также фирма Honeywell.

Среди примеров элементной базы для разработки новых автомобильных датчиков угловой скорости ферромагнитного зубчатого ротора выделяются интегрированные модули КМ115/1, КМ115/4, КМ116/1 фирмы Philips (для детектирования многополюсного кольцевого магнита предназначены под сборки КМ115/2, КМ116/2). Модули состоят из магниторезистивного сенсорного элемента, адапти-

рованного постоянного магнита и интегрированной схемы обработки сигнала (рис. 7а).

Аксиальный вариант конструкции ДСА показан на рис. 8. Магниторезистивный принцип обеспечивает такие характеристики датчика, как увеличенная чувствительность, увеличенный уровень первичного сигнала, расширенный частотный диапазон с возможностью детектирования от нулевой скорости до 25 кГц. АМР-датчики особенно чувствительны к смещениям относительно своей рабочей оси Y, что важно предотвратить конструктивно (обеспечить коаксиальность КМ116/1 с диаметральной осью ротора).

Дифференциальные градиометры ГМР и ДСА на их основе

Первые и единственные коммерчески доступные интегральные датчики на базе технологии ГМР выпущены корпорацией NVE (Nonvolatile Electronics). Кроме того, существует серия переключающих датчиков близости

² Известны дифференциальные (градиентные) ИС с двумя физически разнесенными элементами Холла (TLE4921-5U), аналоговая ИС с двумя разнесенными резисторными мостами АМР (ZMX40M Zetex), дифференциальные градиометры и аналоговые ИС с двумя разнесенными мостами ГМР (AKL Nonvolatile Electronics — см. далее).

Таблица 4. Сравнительная характеристика схем измерения скорости автомобиля

Схема	Технология	Преимущества	Недостатки
Вращающийся лопастный прерыватель	Эффекта Холла (униполярные ключи)	<ul style="list-style-type: none"> Функциональная простота Низкая стоимость Таймированная точность 	<ul style="list-style-type: none"> Конструктивная сложность, требуется расчет, настройка и регулировка Только роторы — крыльчатки специальной геометрии Необходим высокий крутящий момент ротора Малая разрешающая способность
Активный ротор — многополюсный кольцевой магнит	Эффекта Холла (защелки, дифференциальные датчики), АМР, ГМР	<ul style="list-style-type: none"> Функциональная простота Относительно низкая стоимость Большой воздушный зазор (5...25 мм) Нулевой крутящий момент (нулевая скорость) Высокая разрешающая способность (с датчиками ГМР — удвоенная) Функция направления 	<ul style="list-style-type: none"> Необходим специальный магнитный ротор Ограничения многополюсных кольцевых магнитов в точности и разрешающей способности, компромисс с воздушным зазором Высокая цена более плотного магнита
Ферромагнитный зубчатый ротор — модулятор магнитного потока	Общие особенности	<ul style="list-style-type: none"> Дешевый ротор; могут быть использованы существующие шестерни Подходит для работы с большим числом роторов Простота встраивания в систему и унификация Большое разнообразие форм и размеров датчика Самая высокая степень бесконтактности Высокая надежность 	<ul style="list-style-type: none"> Более сложный и дорогой датчик Лучшие результаты дает некоторый крутящий момент на роторе; не все технологии измеряют нулевую скорость Некоторые типы роторов не могут быть использованы Меньшие значения рабочего воздушного зазора по сравнению с активным ротором
	Индуктивные датчики	<ul style="list-style-type: none"> Простая установка Отсутствие внешнего питания Отсутствие проблем выравнивания Самый большой рабочий температурный диапазон (-40...+425 °C) 	<ul style="list-style-type: none"> Технология не измеряет нулевую скорость Требуется специальная электроника для обработки аналогового сигнала Выходное напряжение датчика зависит от поверхностной скорости ротора, воздушного зазора, сложных геометрических взаимосочетаний ротора и магнитопровода, импеданса нагрузки Самое малое число подходящих роторов (с крупным шагом) Требуется расчет, индивидуальная намотка, настройка и регулировка
	Эффекта Холла: униполярные датчики	<ul style="list-style-type: none"> Повышенная миниатюрность конструкции Повышенная надежность (долгий срок службы) Работа с крупномодульными и нерегулярными структурами роторов Преимущества в таймировании, так как пороги сигнала соответствуют краям ротора Малое потребление мощности Новые датчики имеют более высокую плотность точек переключения; разработана концепция «интеллектуальных» униполярных датчиков — самокалибрующихся пикоопределяющих датчиков, с возможностью самоизмерения магнитного поля, и программируемых с возможностью хранения индивидуальных коэффициентов коррекции порогов в программируемой памяти датчика 	<ul style="list-style-type: none"> Малые значения и узкие допуски рабочего воздушного зазора Компромисс между помехоустойчивостью и частотными свойствами вследствие необходимости сильных магнитов Требуется расчет и индивидуальная настройка Малая чувствительность и слабый первичный сигнал, малая помехоустойчивость Проблемы при измерении нулевой скорости Ограниченная разрешающая способность Повышенная пьезочувствительность Проблемы динамического регулирования (плохая повторяемость фазы переключения — джиттер)
	Эффекта Холла: дифференциальные датчики	<ul style="list-style-type: none"> Высокая миниатюрность (магнит может быть приклеен к обратной стороне ИС) Надежность Повышенная чувствительность (большой рабочий зазор порядка 0,1...3,5 мм; конкретные цифры зависят от ротора); рассчитаны на работу с высокоплотными и регулярными структурами роторов (увеличенная разрешающая способность, равномерный и стабильный рабочий цикл) Способность измерять скорости, близкие к нулевой Динамически устойчивые пороги (высокая точность таймирования) Самая развитая технологическая база, ранжированная от обычных фиксированных порогов до различных пикоопределяющих алгоритмов и техник самокалибровки, включая также алгоритмы обновления Функция направления в 3-элементной конфигурации 	<ul style="list-style-type: none"> Необходимость сильных магнитов (предпочтение дорогим материалам SmCo) Динамические дифференциальные датчики не измеряют нулевую скорость Роторы с неоптимальным шагом вызывают рассогласование рабочего цикла Требуется механическое выравнивание чувствительных элементов Необходимость согласования порогов с уровнем нулевого пересечения сигнала (минимизация смещений между ними) Применение схемотехнических алгоритмов, программный расчет и настройка несколько отражается на стоимости датчика
	АМР (тангенциальные датчики)	<ul style="list-style-type: none"> Высокая чувствительность — (более чем в 10 раз больше, чем у эффекта Холла) Большие величины рабочего воздушного зазора (0,3...2,9 мм с КМ116/1 и КМ115/1, 0-2,4 мм с КМ115/4, в паре с ротором, имеющим модуль 2 мм) Сильный первичный сигнал повышает помехоустойчивость датчика и обеспечивает преимущества в таймировании; Температурный диапазон — -40...150 °C; в области чувствительного элемента — до 190 °C Расширенный диапазон измеряемых частот следования зубьев (0...25 кГц), с возможностью детектирования нулевой скорости Малая пьезочувствительность Отсутствует флиппинг Большое число подходящих роторов; могут использоваться дешевые ферритовые магниты 	<ul style="list-style-type: none"> Повышенная чувствительность к смещениям вдоль своей рабочей оси Y Самый сложный и дорогостоящий датчик Только расчетные и конструктивные способы статической и динамической оптимизации скважности, без возможности индивидуальной коррекции Ограничения разрешающей способности, так как не все высокоплотные роторы могут быть детектированы Большее потребление мощности по сравнению с эффектом Холла и ГМР
	ГМР (градиометры)	<ul style="list-style-type: none"> Очень высокая чувствительность (в 3-5 раз выше, чем АМР) Высокая точность точек переключения (преимущества в таймировании) Высокая помехоустойчивость Высокая температурная стабильность Большие воздушные зазоры с высокоплотными роторами Большие допуски рабочего воздушного зазора Детектирование нулевой скорости Доступна функция направления (серия АВL) Слабые ферритовые магниты или Алнико Самые высокие показатели миниатюрности Малое потребление мощности Низкая стоимость технологии; не требуются схемотехнические алгоритмы Материалы NVE не разрушаются сильными магнитными полями 	<ul style="list-style-type: none"> Предпочтительны именно высокоплотные роторы Требуется механическое выравнивание чувствительных элементов Необходимость механического регулирования сигнала (минимизация смещений между левым и правым чувствительным элементом)

MP1001 Cherry (MP1001 06), также созданная на основе эффекта ГМР. Технология ГМР активно изучается Bosch, так как обещает значительные перспективы.

Датчики, работающие на основе этой технологии, также определяют углы и скорости вращения ферромагнитного зубчатого ротора, включая таймирование, но благодаря собственной высокой чувствительности с образованием сильного первичного сигнала мо-

гут иметь немного меньшие размеры и решать большие воздушные зазоры до детектируемого объекта, обеспечивая необходимые функциональные и эксплуатационные параметры.

Для разработки новых конструкций ДСА (рис. 7б; 9а-б) представляют интерес двухпроводные градиометры серии АКЛ, оптимизированные под роторы с небольшим шагом (АКЛ001-12 разработаны для зубчатых

роторов с шагом 2,5-6 мм, АКЛ002-12 — для шага 1-2,5 мм; в 2003 году в каталоге также был представлен АКЛ003-12 — для шага 0,6-1,5 мм), что прекрасно согласуется с требованием увеличения разрешающей способности датчика. Повышенная чувствительность и большая амплитуда первичного сигнала позволяют использовать большие воздушные зазоры (порядка 3,5 мм для ротора, имеющего модуль 2 мм, что на 10-30%

выше по сравнению с ИС Холла и магнито-резистивным модулем КМ16/1 Philips), с возможностью детектирования нулевой скорости.

Для обратного смещения могут быть использованы слабые аксиально намагниченные магниты (рис. 7б), например, из материалов Ceramtec 8 (ферритовые) или АЛНИКО, что позволяет сократить их геометрические размеры и значительно уменьшить расстояние L, которое также может быть введено для минимизации неоднородностей их поверхности; кроме того, исключается применение магнитопровода.

В конечном итоге обеспечивается целый ряд преимуществ, в том числе улучшение показателей простоты и миниатюрности конструкции, сокращение числа операций и количества механических компонентов, необходимых для сборки изделия: поверхностный монтаж ультратонкой ИС непосредственно на плате ДСА исключает необходимость специального фиксирующего корпуса и дополнительно способствует улучшенному тепловому рассеянию ИС; магнит перед обливкой может быть установлен в специальный паз на плате.

Для совместимости с существующими схемами обработки сигнала может быть использована трехпроводная схема, показанная на рис. 9б; в том случае, если поддерживается двухпроводной интерфейс, внешние интерфейсные компоненты в этой схеме могут быть исключены.

Заключение

Сравнительная характеристика типовых схем измерения скорости автомобиля, магнитоуправляемых ДСА в схеме зубчатого ротора и основные технические данные некоторых известных ДСА приведены в таблицах 1, 2, 3, и 4. Безразлично по отношению к выбранной технологии (Холла, АМР, ГМР), твердотельные магнитоуправляемые датчики с ASIC-интерфейсом в ближайшем будущем обещают выполнить замещение практически всех автомобильных систем детектирования угловой скорости и углового положения. Для их эффективного внедрения требуется, во-первых, понимание основных рабочих принципов доступной технологии, а во-вторых, знание системы, в которой она будет использоваться. ■

Литература

5. И. С. Захаров, С. Ф. Яцун, С. С. Сысоева. Бесконтактный датчик скорости автомобиля. Патент РФ №35441 на полезную модель по заявке №2003127267 от 08.09.2003, МПК G 01 P3/488, зарегистрировано в Гос. реестре полезных моделей РФ 10.01.2004.
6. И. С. Захаров, С. Ф. Яцун, С. С. Сысоева. Бесконтактный датчик скорости автомобиля, встраиваемый в коробку передач. Патент РФ №36894 на полезную модель по заявке №2003132947 от 11.11.2003, МПК G 01 P3/488, зарегистрировано в Гос. реестре ПМ РФ 27.03.2004.