

# Автомобильные датчики положения. Современные технологии и новые перспективы

Часть 10. Передовые технологические решения ведущих производителей индуктивных преобразователей

Светлана СЫСОВЕВА  
S.Sysoeva@mail.ru

Данная публикация продолжает обзор актуальных технологических решений автомобильных индуктивных датчиков и предлагает вниманию читателей освещение особенностей технологий различных фирм-производителей.

## Технологии датчиков от Schaevitz Sensors

Технологические решения, разработанные компанией *Schaevitz Sensors* (подразделение корпорации *Measurement Specialities*), должны были сделать надежные индуктивные технологии доступными по цене, главным образом, благодаря использованию в качестве сенсорного элемента обмоток, напечатанных на плате [121].

Для всех технологий характерны: бесконтактный дизайн, фактически бесконечный срок службы (число циклов вращения), выход, обрабатываемый электроникой (преимущественно цифровые схемы), бесконечное разрешение, механический угловой диапазон 360°.

Новые технологии Schaevitz Sensors в области индуктивных преобразователей на основе принципа вихревых токов известны под следующими названиями:

- RVIT/LVIT (Rotary/Linear Variable Inductance Transducers) — работающие на постоянном токе индуктивные преобразователи и трансформаторы углового и линейного типа;
- LCIT (Low Cost Inductive Transducer) — индуктивные преобразователи, характеризующиеся низкой ценой.

Бесконтактные угловые преобразователи RVIT представляют собой работающие на постоянном токе устройства с планарными обмотками, чувствительными к угловому перемещению проводящего спойлера, который в процессе вращения вала изменяет магнитное поле, генерируемое обмотками (один из примеров — датчик положения дросселя R60D — показан на рис. 2к в первой части статьи, другие примеры — гибко настраиваемые для эксплуатации в составе OEM-систем RVIT-15-60/ RVIT-15-120I и RVIT-Z — на рис. 59а, б).

Разбаланс измеряется прецизионной схемой Autoplexing Circuit, сигнал преобразуется в линейный выход, пропорциональный углу поворота вала.

Датчик R60D, откалиброванный на угловой диапазон  $\pm 60^\circ$ , обеспечивает линейность выходного сигнала 0,5% и абсолютно бесконечное разрешение с чувствительностью порядка 0,125 В/° (напряжение питания датчика  $\pm 15$  В, выходное напряжение  $\pm 7,5$  В). Повторяемость и гистерезис при этом не превышают 0,1%. Рабочий частотный диапазон ограничен частотой среза на 3 дБ в 200 Гц.

R60D является более компактной версией RVDT R30D, работающего на постоянном токе (рис. 53л в восьмой части статьи) при той же чувствительности и других рабочих характеристиках в рабочем диапазоне  $\pm 60^\circ$ .

Преимущественно для использования в автоэлектронике компания Schaevitz Sensors раз-

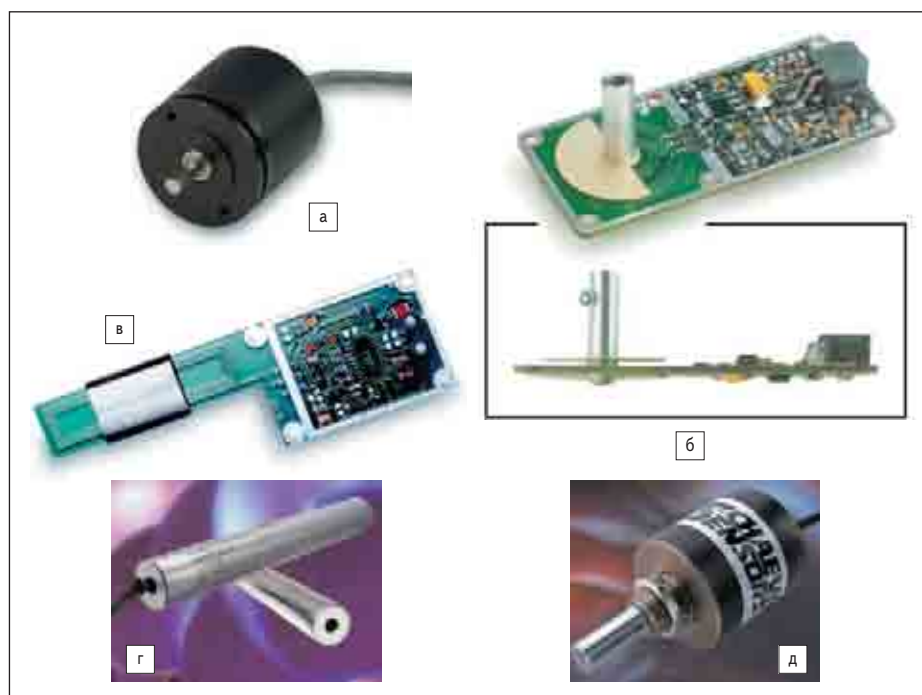


Рис. 59. Датчики Schaevitz Sensors на основе принципа вихревых токов:

а — угловые преобразователи RVIT-15-60/ RVIT-15-120I для работы в составе OEM-систем;

б, в — планарные индуктивные преобразователи для автоэлектроники;

б — угловые датчики RVIT-Z;

в — датчики линейного положения LVIT-Z;

г — недорогие индуктивные преобразователи линейного положения LCIT;

д — недорогой угловой преобразователь RVIT R120LC

<sup>1</sup> Откалиброванный диапазон R30D с линейностью  $\pm 0,25\%$  полной шкалы составляет фактически только  $\pm 30^\circ$ .

работала серию вращательных датчиков положения RVIT-Z (рис. 59б) для педалей, дросселей, подвески и т. п. Устройства представляют собой уникальную комбинацию планарных обмоток с ультратонким профилем, предполагающим модульное использование датчика в составе OEM-систем. В устройствах практически полностью исключаются статическое трение, гистерезис и электрические шумы.

Линейный диапазон RVIT-Z составляет  $\pm 60^\circ$  с линейностью менее 0,5%. Постоянное входное напряжение может быть униполярным (5, 10–28 В) или биполярным ( $\pm 15$  В), с заводской калибровкой поддерживаются различные конфигурации выхода — униполярный или биполярный аналоговый, либо ШИМ.

Линейные датчики Schaevitz LVIT-Z (рис. 59в) со многими идентичными характеристиками обеспечивают линейный диапазон до 8,8 мм и могут быть использованы для работы от одной (5 В) или двух шин питания (15 В) с возможностью получения различных типов выходов — униполярного или биполярного.

Благодаря нечувствительности устройств к радиальным смещениям линейные преобразователи переменной индуктивности LVIT могут измерять как линейные, так и нелинейные перемещения (с помощью тех же LVIT-датчиков) и подходят для встраивания во многие автомобильные системы — положения педали тормоза, положения подвески.

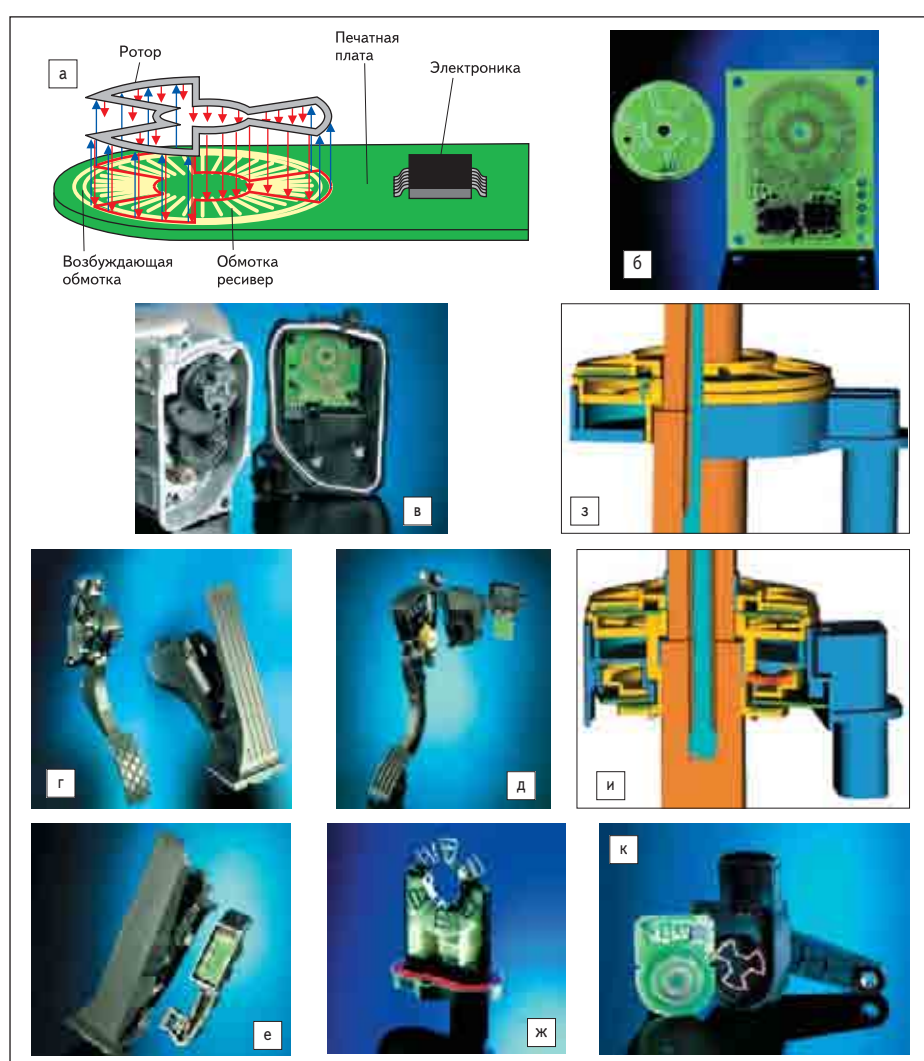
Специально для получения конкурентоспособного в отношении цены замещения линейных потенциометров, измеряющих небольшие<sup>2</sup> перемещения, разработана технология LCIT (Low Cost Inductive Transducer) Schaevitz Sensors (рис. 59г), обладающая всеми признаками технологий LVDT и LVIT — бесконтактностью, высоким разрешением, высокой частотой срабатывания без увеличения выходных шумов, линейностью, повторяемостью и др., но доступная по значительно более низкой цене.

В этой новой линии обычный ферромагнитный сердечник LVDT замещается недорогим проводящим спойлером, что совмещается с применением недорогого дизайна обмоток, состоящих только из нескольких витков.

Серия линейных датчиков LCIT питается от 7–36 В постоянного напряжения, обеспечивает выход постоянного напряжения 0,5–4,5 В, используя встроенные регуляторы напряжения питания автомобильного качества — для защиты от импульсных помех и перенапряжения. Стандартные измерительные диапазоны 6,35 мм (до 152,4 мм). Линейность выхода  $< 0,25\%$ .

Угловой датчик R120-LC (рис. 59д) рассчитан на работу при стандартном входном постоянном напряжении 5 В и выходе 0,5–4,5 В в диапазоне  $\pm 60^\circ$ . Развитие технологий ASIC

<sup>2</sup> Большинство задач, в которых требуется измерение значительных рабочих расстояний (порядка 150–1250 мм), к которым относится, например, контроль гидравлических цилиндров, решается с помощью магнитостриктивных датчиков.



**Рис. 60.** Технология индуктивных датчиков Hella:

а — измерительный индуктивный принцип угловых датчиков;  
б, в — датчик положения дроссельного клапана:  
б — плата с планарными обмотками и ротор, выполненный по MID-технологии;  
в — монтаж датчика в рабочих условиях;  
г — е — датчики положения педали акселератора:  
г — внешний вид датчиков в сборке модулей педалей;  
д — подвесной датчик углового положения;

е — датчик педали, монтируемый на полу;  
ж, з, и — датчики рулевого колеса:  
ж — датчик угла поворота рулевого колеса;  
з — 3D-CAD — модель датчика крутящего момента рулевого колеса;  
и — 3D-CAD — модель комбинации датчиков рулевого колеса, установленных на одном валу;  
к — датчики уровня транспортного средства (угла наклона для контроля положения фар и подвески)

для цифровых коммуникаций делает возможной поддержку протоколов CANbus или SPIbus в качестве недорогого дополнения.

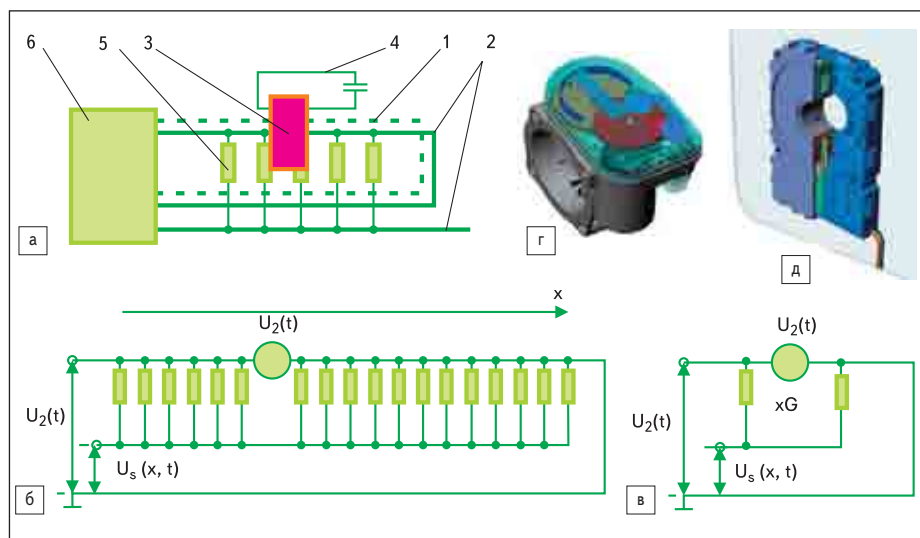
Потенциальные угловые задачи, которые отведены для R120-LC в автоэлектронике — обратная связь с рулевым управлением (steer-by-wire) и контроль подъема, смещения и наклона в электрических и гидравлических системах.

LVIT/RVIT с планарными витками и LCIT успешно замещают потенциометры, LVDT/RVDT и стандартные линейные магнитоуправляемые датчики (в первую очередь, дискретные генераторы Холла и магниторезистивные элементы). Эти датчики имеют увеличенную надежность и менее подвержены температурным вариациям чувствительности, в сравнении, например, со стандартными датчиками Холла.

## Технологии датчиков от Hella

Компания Hella разработала собственный индуктивный измерительный метод, введенный в серийное производство автомобильных датчиков в 1999 году. В датчиках Hella используются множественные обмотки ресиверов и специальная конструкция ротора, а также в них интегрирована обрабатывающая электроника [122–128].

Общая структура датчика представляет собой сенсорный статорный элемент рефлективного типа (рис. 57г), объединяющий возбуждающую обмотку (трансмисмиттер) и обмотку, принимающую сигнал (ресивер), которые выполнены с использованием планарной технологии и размещены вместе с оценочной электроникой и ASIC на стандартной печатной плате (рис. 60а).



**Рис. 61.** Иллюстрации принципа действия индуктивно-резистивных (IndRes) датчиков Novotechnik:  
а — структурная схема датчика: 1 — первичный контур; 2 — вторичный контур; 3 — подвижный сердечник;  
4 — резонансный контур; 5 — резистивный блок делителей напряжения; 6 — электронный блок обработки сигнала;  
б, в — получение выходного сигнала  $U_s(x, t)$  посредством деления напряжения  $U_2(t)$  в резисторной цепи;  
б — иллюстрация схемы трансмиттера (вторичной схемы) датчика;  
в — упрощенная эквивалентная схема устройства:  $G$  — проводимость;  $x$  — путь феррита или число резисторов;  
г, д — технология Indres в автомобильных датчиках:  
г — датчик положения дроссельной заслонки;  
д — датчик с отверстием под вал (рулевого колеса)

Ротор датчика состоит из одного или более проводящих контуров, выполненных с использованием определенного геометрического соотношения. Предусмотрены различные варианты конструкции ротора [123], нарушающего индуктивную связь обмоток по линейному закону:

- непроводящий ротор, включающий, по крайней мере, один замкнутый наштампованный проводящий контур;
- металлический ротор, облитый пластмассой;
- ротор с нанесенной проводящей пастой;
- ротор — перфорированный элемент из нержавеющей стали;
- ротор с размещенной на нем дорожкой печатной платы (компонентом MID или любым другим элементом печатной платы).

Варианты конструкций датчиков Hella показаны на рис. 60 (еще два примера — датчики углового положения педали акселератора и линейного положения педали тормоза показаны соответственно на рис. 2ж и 2з в первой части статьи), варианты конструкций роторов — на рис. 60б, в, ж, а также на рис. 58з.

Переменный ток в возбуждающей обмотке создает электромагнитное поле, которое влияет на проводящие контуры ротора и наводит напряжения в обмотках-ресиверах, зависящие от положения ротора, которые затем оцениваются электроникой (рис. 60а).

Помимо высокой надежности, пропорциональный индуктивный измерительный принцип обеспечивает независимость от температуры и значительную нечувствительность к механическим допускам.

Благодаря простой общей структуре датчик легко интегрируется в мехатронные модули

и отличается невысокой ценой. Размещение двух сенсорных структур на одной печатной плате вместе с ASIC при соблюдении всех требований автомобильной электромагнитной совместимости позволяет экономить значительное пространство и получать при этом выходные сигналы любых типов (аналоговые или ШИМ) с возможностью программирования чувствительности и других характеристик.

Датчики Hella поддерживают различные рабочие диапазоны углов (например, 120° для датчика положения дросселя или углы более 360° для датчиков угла поворота руля) и линейного хода (например, стандартный рабочий ход датчика тормоза, показанного на рис. 2з, 20–50 мм), при этом обеспечивая точность <1% в процентах от полной шкалы и стандартное разрешение в 10 бит (сравнимое с разрешением новых угловых энкодеров Холла — см. части 5–7 данной статьи).

### Технология Indres от Novotechnik

Компания Novotechnik разработала уникальную технологию Indres (Inductive-Resistive) бесконтактных датчиков на основе сочетания индуктивного и резистивного принципов [129].

Первичная и вторичная катушки индуктивности, состоящие из одной обмотки (контура) каждая, размещаются на поддерживающей плате и подвергаются воздействию подвижного ферритового сердечника (феррита) при наличии воздушного зазора.

Ток в первичной обмотке генерирует напряжение на вторичной обмотке, которое уве-

личивается по мере концентрации магнитного потока в воздушном зазоре относительно феррита (рис. 61а) [129].

Считывание потенциала обмотки и его преобразование в выходной сигнал выполняется посредством резисторной сети, например, резистивных делителей напряжения во вторичной цепи, которые регистрируют изменение в положении феррита и позволяют линейно проследить путь или угол перемещения по изменению напряжения.

Выходное напряжение датчика, работающего подобно делителю напряжения (рис. 61б, в), пропорционально изменению электропроводности (активного сопротивления).

Поскольку используется только один первичный контур, для получения сигнала высокого уровня, устойчивого к шумам, он должен активироваться большим током. Если феррит сконструирован как резонансный контур, первичный ток должен только компенсировать омические потери колебательного контура.

Технология Indres позволяет получить очень низкие коэффициенты влияния температуры и влажности (менее 30 мВ/°К или <1 мВ/% соответственно [129]) без дополнительной компенсации. Поскольку относительная магнитная проницаемость независима от влажности, датчик может использоваться в присутствии масла и других агрессивных сред.

Измерительная технология Indres нечувствительна к вибрациям, допускает значительные аксиальные допуски, отличается высокой электромагнитной совместимостью, не подвержена влиянию статических магнитных полей или динамических и статических электрических полей. Достигаются значения линейности  $\pm 0,1\%$  (без линеаризации), неограниченное разрешение (но на практике до 16 бит), рабочий диапазон окружающей температуры — от -40 до +150 °С.

Другие достоинства технологии — возможность калибровки датчиков, малое энергопотребление.

Компания Novotechnik выпускает датчики с аналоговым или ШИМ-выходом.

Линейные датчики положения работают в диапазоне 1–1000 мм и более; поддерживается электрический угол в диапазоне 0–360° как в конструкциях с твердотельным валом, так и в конструкциях с отверстием под вал (рис. 61г, д).

### Индуктивные технологии датчиков компании Gill

Компания Gill использует собственную инновационную индуктивную технологию, получившую название Blade.

Сенсорная система датчика, изготавливаемого по технологии Blade, включает две части — сенсор и металлический активатор (из стали, сплавов железа и никеля или никеля и меди), который может являться частью



детектируемой мехатронной системы для упрощения инсталляции датчика.

Движение активатора может быть линейным или угловым (в диапазоне до 360°), различные выходные характеристики могут быть получены за счет формы активатора.

Датчики предназначены для работы в жестких условиях эксплуатации (загрязненность, влажность, температура и вибрация).

Помимо надежности, простоты конструкции и малых размеров, датчики имеют преимущество обеспечения гибкости конфигурации за счет размещения на плате устройства электронной схемы, выполняющей обработку сигнала и предоставляющей диагностическую информацию для обеспечения помехоустойчивой функциональности системы.

Питание датчиков осуществляется от постоянного тока 5–32 В, стандартный тип выхода — аналоговый, последовательный или ШИМ.

Сенсорная система Blade, состоящая из сенсора и металлического роторного активатора, реализована, например, в плоском датчике углового положения педали (рис. 62г). Типичное расстояние между сенсором и активатором — 2 мм, разрешение 0,05°, точность  $\pm 0,5^\circ$  в измерительном диапазоне 100°.

Датчик, показанный на рис. 62е, сконструирован специально для измерения положения переключателя коробки передач, что эквивалентно комбинации двух или трех датчиков, детектирующих выбор до пяти передач в альтернативных сенсорных системах.

Линейные датчики (рис. 62ж–к) применяются для замещения потенциометров, LVDT и могут быть сконфигурированы на значительные диапазоны работы (100–200 мм) в составе OEM-систем, где другие известные типы датчиков (например, магнитоуправляемые) не предоставят удовлетворительные результаты.

## Технология NCAPS BEI-Duncan

Бесконтактные датчики углового положения BEI-Duncan NCAPS (Non Contact Angular Position Sensor) работают по принципу многоканального трансивера (приемопередатчика) и отличаются наличием вращающегося индуктивного аттенюатора, ослабляющего передаваемый сигнал, а также измерением фазового смещения каналов вместо амплитуды передаваемого сигнала [130].

Датчик состоит из передатчика, ресивера и индуктивно связывающего их аттенюатора. Передатчик и ресивер размещены в корпусе датчика неподвижно с постоянным воздушным зазором между ними, а аттенюатор, размещенный в зазоре и механически связанный с детектируемым объектом, выполняет угловое перемещение в корпусе датчика (рис. 57а–в, рис. 63б, в).

Рамочная антенна передатчика посылает высокочастотный (в диапазоне от килогерц



**Рис. 62.** Индуктивные датчики Gill Sensors:

а, б — датчики углового положения для широкого круга автомобильных задач (положения дросселя, акселератора, руля, амортизаторов);

а — с интегрированным активатором и валом;

б — датчик, рассчитанный на работу с внешним активатором;

в, г — недорогие плоские прецизионные датчики углового положения общего назначения;

в — 3D-CAD — модели стандартных конфигураций;

г — пример использования плоского датчика углового положения педали акселератора;

д — датчики общего и специального назначения, работающие с одним или двумя активаторами (пример монтажа);

е — датчик положения передачи;

ж — датчик линейного перемещения стержня стойки крыла для мониторинга аэродинамики спортивных автомобилей (вид с отверстием под стержень);

з — недорогие линейные автомобильные прецизионные датчики общего назначения с рабочим ходом 50 мм;

и, к — недорогие линейные автомобильные прецизионные датчики общего назначения с рабочим ходом 200 мм;

и — внешний вид;

к — пример использования линейного датчика с активатором — частью сиденья или амортизатора

до мегагерц) сигнал к соответствующей рамочной антенне ресивера. В отсутствие аттенюатора (объекта, вызывающего ослабление амплитуды или затухание колебаний) амплитуда сигнала, полученного ресивером, будет максимальной. Если подвижный аттенюатор вызывает интерференцию сигнала, идущего от передатчика к ресиверу, амплитуда сигнала ресивера будет ослабляться пропорционально положению аттенюатора в трансивере.

Поскольку детектируемая амплитуда зависит от расстояния между передатчиком и ресивером и от уровня мощности передаваемого сигнала, в датчиках NCAPS сформирована многоканальная система, осуществляющая преобразование амплитудной информации в фазовую.

В многоканальной системе диск передатчика состоит из N спиральных участков рамочной антенны, соединенных последовательно. Диск ресивера состоит из тех же



**Рис. 63.** Примеры датчиков, созданных на основе технологии NCAPS BEI-Duncan:

а, б — тонкопрофильный (порядка 8 мм толщиной) датчик рулевого колеса серии 7000 с программируемыми выходами:

а — внешний вид;

б — механическая конструкция в разобранном виде;

в — внешний вид антенн многоканального передатчика (иллюстрация из [4])

самых N спиральных участков рамочной антенны, но каждый ресивер подсоединяется к схеме преобразователя сигналов отдельно. Механический дизайн дисков основан на технологии печатных плат. Для достижения низкой цены и технологичности компаний BEI-Duncan выбран планарный спиральный индуктор, вытравленный на многослойной печатной плате. Атенуатор представляет собой диск со скошенным участком в форме полумесяца в виде круговых образцов различного диаметра, выполненных из меди (рис. 63в).

Фиксированная фазовая разница между смежными каналами определяется выражением:

$$\Delta\Theta = \frac{2\pi}{N}, \tag{27}$$

где N — число каналов.

Число каналов на каждом диске непосредственно влияет на линейность датчика и точность. Компания BEI-Duncan для производства датчиков использует 6 каналов, при этом достижимы значения линейности в 1%.

Сумма полученных сигналов преобразуется через суммирующий усилитель в одиночную синусоидальную волну, изменения фазового сдвига которой пропорциональны степени интерференции и, следовательно, угловому положению аттенуатора.

Вариации в амплитуде переданного сигнала при этом не будут влиять на конечную информацию о фазе. Это означает, что может быть принят любой воздушный зазор между аттенуатором, трансмиттером и ресивером от 0,1 до 1–2 мм — значение зазора нечувствительно к аксиальным допускам.

Вслед за этапами фильтрации ФНЧ и усиления через компаратор сигнал преобразуется в сигнал квадратной формы с 50-процентным рабочим циклом, который подается в схему ШИМ-генератора (фазовый компаратор, сравнивающий фазу суммированного сигнала и сигнала цифрового сигнального генератора, возбуждающего трансмиттер; он вырабатывает ШИМ-сигнал, рабочий цикл которого варьируется в диапазоне 5–95%).

Преобразователь ШИМ-сигнала в аналоговый на терминалах ШИМ-схемы позволяет обеспечивать аналоговое выходное напряжение 0,05–4,9 В.

Размещение различных ASIC на печатных платах трансивера позволяет получить любой желаемый интерфейс — CAN или RS-232. Компания также программирует пилотный или дуальный триангуляционный выходной интерфейс датчиков.

NCAPS работает в диапазоне углов 360° и подходит для работы в составе систем, осуществляющих как менее чем один полный оборот, так и один или более полных оборотов ротора.

Теоретически, трансивер работает в широком диапазоне частот, но на практике диапазон ограничен материалом и структурой рамочной антенны. Частота срабатывания датчика позволяет использовать его со скоростями валов до 16 тыс. об/мин.

Конструктивной особенностью, которая должна быть учтена, является базовый размер диаметра сенсорного элемента — более 25 мм. В условиях коррозионных или вредных сред (газов, паров или жидкостей) может потребоваться дополнительное уплотнение вала. Рабочий температурный диапазон –40...+125 °С.

Датчики NCAPS чувствительны к электромагнитным помехам и к сильным электромагнитным полям, которые будут насыщать ресиверные каналы. Это необходимо учитывать при эксплуатации. Поскольку для предотвращения интерференции со смежным устройством рабочая частота датчика может выбираться из любых желаемых значений в диапазоне от килогерц до мегагерц, устойчивость к электромагнитным и излучаемым помехам NCAPS в итоге будет высокой.

Базовый принцип углового датчика может быть реализован и в дифференциальной конфигурации (рис. 57б, в), с возможностью размещения двух или трех смежных устройств NCAPS с различными рабочими частотами в тонком корпусе, или преобразован в линейную версию, модель которой эквивалентна развороту окружности пути в пределах 360° в прямую линию. (В [130] описано применение линейного датчика NCAPS в конструкции звуковой катушки — динамика).

Дифференциальная конфигурация двух датчиков NCAPS, один из которых закреплен на верхнем роторе, а другой — на нижнем, по разнице напряжений аналоговых выходов или путем сравнения фазового сдвига ШИМ-сигналов позволяет определить дифференциальный угол в пределах ±8° (с номинальным выходом 2,5 В ±2 В на ±8°) и получить таким образом информацию о величине крутящего момента, приложенного водителем, и направлении вращения (для стабилизации рулевого управления при помощи электрического двигателя и согласования с действиями водителя).

Для детектирования абсолютного положения руля в диапазоне 0°...±180° (2,25 оборота) концепция BEI-Duncan предполагает объединение дифференциальной системы с третьим NCAPS с механизмом редуктора [130, 131]. При этом второй датчик дифференциальной системы, установленный на этом же роторе, предоставляет точную информацию об абсолютном положении в диапазоне 0°...±180°.

«Слоистую» структуру датчика рулевого колеса<sup>3</sup> от BEI-Duncan отличает тонкий профиль, что делает датчик подходящим для монтажа в ограниченном пространстве. Другие полезные признаки, реализованные в конструкциях датчиков NCAPS:

- быстрое обнаружение абсолютного положения при включении;
- минимальные излучаемые сигналы;
- низкий акустический шум;
- низкий момент трения;
- большие радиальные и аксиальные смещения вращающихся и статических компонентов, работа при наклонах ротора;
- способность работы при биениях (эксцентриситете) рулевой колонки;
- низкая цена компонентов и материалов: датчик серии 7000 (рис. 63а, б) продается по цене от \$87 при количестве более 1000 шт.;
- технологичность.

### Датчики Autopad TT Electronics Optek Technology

TT Electronics Optek Technology разработала технологию индуктивных датчиков для автомобильных задач, получившую название Autopad. Датчики, изготавливаемые по этой технологии, состоят из подвижного элемента — шайбы, которая взаимодействует с зафиксированной панелью, содержащей последовательность передающих и принимающих обмоток — трансмиттеров и ресиверов, которые генерируют рабочее магнитное поле.

Обмотки трансмиттера интегрированы в печатную плату или представляют собой либо печатные проводники, либо намотанные катушки. Обмотки ресивера обычно представляют собой рамочные антенны по периметру панели.

Подвижная часть датчика — шайба — представляет собой малый диск, который, взаимодействуя с обмотками трансивера, изменяет фазу магнитного поля, сгенерированного панелью, за счет чего детектируется абсолютное положение. Могут быть использованы как множественные диски, так и одиночный.

Индуктивные датчики Optek устойчивы к влиянию температуры и вибрации, а также к осевым биениям и допускам.

Сигналы с измененной фазой обрабатываются внешним электронным блоком, который измеряет положение диска относительно панели вдоль осей x, y или z, детектируется угловой диапазон 360° и линейное положение — по прямой и кривой траектории, в зависимости от геометрии панели.

Электронная сборка осуществляется с дискретными компонентами; в 2006 году ожидается доступность ASIC-решения. Выход датчика — аналоговый или ШИМ; планируются другие стандартные автомобильные протоколы и шинные интерфейсы.

Технология Autopad позволяет достичь линейности менее 1% с разрешением 0,1% (при 10 бит), поддерживается входная и выходная рабочая частота до 1 кГц.

На основе технологии Autopad компания Optek планирует производство многочисленных автомобильных датчиков: высоты колеса, уровня фар, высоты кузова и контроля подвески, положения педали и дросселя, рулево-

<sup>3</sup> Аналогичное угловое устройство, но с ферритовым экранирующим элементом, описано в одном из патентов компании Texas Instruments [132].

го управления, коробки передач и блока переключения передач для стандартной и автоматической коробок, систем водительского интерфейса, включая задачи контроля панели, положения переключателей, зеркал и сиденья.

## Магнитоиндуктивные датчики (с магнитным насыщением)

Этот тип датчиков представляет собой еще одну возможность для бесконтактного, свободного от износа и прецизионного измерения положения подвижных неферромагнитных автомобильных объектов. Для данных устройств характерным является использование неподвижного сердечника, а изменение индуктивности обмотки наводится подвижным магнитом.

Магнитоиндуктивный датчик представляет собой обмотку на тонкой подложке, расположенную между слоями  $\mu$ -металла — магнитного сплава с высокой магнитной проницаемостью, как, например, феррит или сталь (рис. 64). Такой  $\mu$ -металл увеличивает индуктивность  $L$ , что может быть измерено непосредственно на терминалах обмотки [133]. При движении постоянного магнита относительно листа  $\mu$ -металла создаваемое им магнитное поле насыщает  $\mu$ -металл в локальной области, что вызывает резкое снижение магнитной проницаемости насыщенной поверхности. Результатом является уменьшение индуктивности  $L$ , пропорциональное изменению области обмотки, покрытой насыщенным  $\mu$ -металлом (рис. 64б, в).

Воздушный зазор  $d$  в зоне бесконтактного взаимодействия превышает толщину сенсорной композиции и постоянного магнита (рис. 64а), что позволяет уменьшать высоту датчика или другие размеры в конструкции, а также размещать в освободженном пространстве другие элементы датчика.

Непрерывное измерение  $L$  на выводах обмотки обеспечивает аналоговую оценку насыщенности области; для получения переключаемой оценки может быть установлен предопределенный уровень электрического сигнала.

SiemensVDO Automotive использует патентованный принцип IMS (Inductive Magnetic Saturation) для создания широкой номенклатуры датчиков близости (переключателей), перемещения и линейного положения (в том числе и двухосевых измерений). Примерами являются датчики рулевой колонки, переключатели освещения, переключатели стеклоочистителей и т. п., датчик относительного углового перемещения двух коаксиальных валов [134]. Магнитоиндуктивные датчики SiemensVDO измеряют линейные перемещения до 300 мм в амортизаторах контроля активной подвески, тормозных цилиндрах и цилиндрах сцепления. Одновременно, для производства многих других стандартных автомобильных датчиков углового положения SiemensVDO широко использует нарабо-

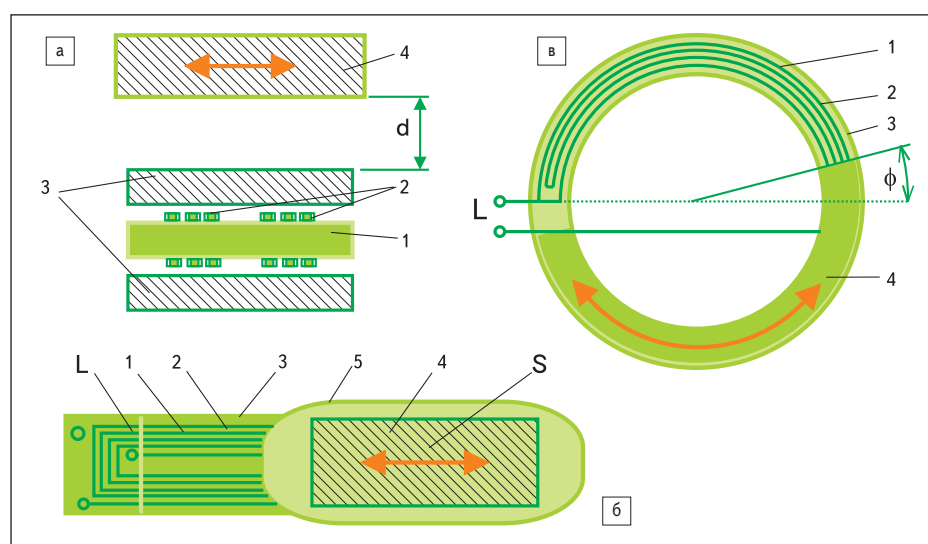


Рис. 64. Магнитоиндуктивные датчики положения:

а — принцип действия;  
б — линейный датчик (положения  $s$ );  
в — датчик угла  $\phi$ : 1 — подложка (плата датчика); 2 — витки обмоток; 3 — магнитопроницаемые слои (сердечник); 4 — подвижный магнит; 5 — насыщаемая область; d — рабочий зазор; L — индуктивность

танные технологии гальваномангнитных эффектов (Холла или магниторезистивного).

Обмотка магнитоиндуктивного устройства может быть также выполнена из двух частей, например, одной первичной (питаемой переменным током) и одной вторичной обмотки, объединенных на одной подложке. В этом случае устройство представляет собой трансформатор с внешним сердечником, в котором насыщение  $\mu$ -металла магнитным полем снижает коэффициент передачи между обмотками [135].

Очевидно, определенный интерес к магнитоиндуктивным датчикам проявляет глобальный мировой лидер в производстве автомобильных датчиков Delphi Technologies, более известный по номенклатуре датчиков Холла. Например, в патенте [135] описывается трансформатор переменной индуктивности Magnetically Variable Differential Transformer (MVDT), включающий первичную обмотку и две вторичные обмотки. Устройство включает неподвижный сердечник с высокой магнитной проницаемостью, расположенный в пределах первичной и вторичной обмоток, и подвижный магнит, ориентированный на перемещение в пределах обмоток трансформатора. Перемещение подвижного магнита вызывает магнитное насыщение частей неподвижного сердечника, изменяя коэффициент трансформации датчика.

Существенные недостатки LVDT — значительная длина и требование изоляции сердечника и обмотки — в данном устройстве полностью устраняются.

## Заключение

Развитые индуктивные технологии позволяют использовать различные типы существ-

ующих датчиков и разрабатывать на их основе новые устройства для решения широкого круга задач детектирования положения и перемещения в автоэлектронике и промышленности. Бесконтактность, высокая надежность, значительные линейные измерительные диапазоны и электрический угол в пределах, соотнесенных с угловым диапазоном в  $360^\circ$ , температурная стабильность, виброустойчивость, нечувствительность к загрязнениям, наличие встраиваемых цифровых схем и технологичность обеспечивают их

конкурентоспособность в сравнении даже с новейшими интегральными датчиками.

Благодаря компактности и сравнительно низкой стоимости новых технологических решений индуктивные устройства подходят для эксплуатации в составе многих OEM-систем.

Совместимость с цифровыми схемами обработки сигналов, поддерживающих различные типы выходных интерфейсов, обеспечивает в итоге высокую разрешающую способность и точность устройств, использующих в качестве чувствительных элементов нелинейные преобразователи, которые позволяют с высокой линейностью выполнять прецизионные измерения линейного положения, перемещения или детектирование углов поворота. ■

## Литература

121. The Body Electric. iVT International 2002.
122. Electronics — Contactless Sensors for X-By-Wire Systems. Technical Information. [hella.com/produktion/.../AutoIndustry/Electronics/ELO\\_X\\_By\\_Wire.pdf](http://hella.com/produktion/.../AutoIndustry/Electronics/ELO_X_By_Wire.pdf).
123. Inductive angle sensor. United States Patent 6,236,199. Оpubл. 22.05. 2001. (Hella KG Hueck & Co)
124. Inductive angle sensor having coupled oscillators with similar inductive response. United States Patent 6,255,810. Оpubл. 3.07.2001. (Hella KG Hueck & Co)

125. Inductive angle sensor with a plurality of receiving coils and an evaluation circuit. United States Patent 6,366,078. Оpubл. 2.04.2002 (Hella KG Hueck & Co)
126. Inductive position sensor having multiple receiving geometries. United States Patent 6,384,598. Оpubл. 7.05.2002 (Hella KG Hueck & Co)
127. Inductive linear sensor. United States Patent 6,384,597. Оpubл. 7.05.2002. (Hella KG Hueck & Co)
128. Inductive linear position sensor including exciting and receiving coils and a movable induction coupling element. United States Patent 6,483,295. Оpubл. 19.11.2002. (Hella KG Hueck & Co)
129. The Indres Technology. [http://www.novotechnik.de/fileadmin/user\\_upload/novotechnik/pdfs/englisch/Indres\\_GB.pdf](http://www.novotechnik.de/fileadmin/user_upload/novotechnik/pdfs/englisch/Indres_GB.pdf).
130. Madni Asad M., Vuong Jim B., Wells Roger F. The Next Generation of Position Sensing Technology. Part 2 // Sensors Magazine. April 2001. <http://www.sensorsmag.com/articles/0401/61/main.shtml>
131. Madni Asad M., Wells Roger F. An Advanced Steering Wheel Sensor // Sensors Magazine. Feb 2000. <http://www.sensorsmag.com/articles/0200/28/main.shtml>
132. Position sensor and system. United States Patent 4,401,986. Оpubл. 30.08.1983. (Texas Instruments Inc.)
133. Inductive magnetic saturation displacement sensor. United States Patent 6,605,939. Оpubл. 12.08.2003. (Siemens VDO Automotive Inc.)

134. Analog sensor for contact-free angular offset sensing. United States Patent 6,653,828. Оpubл. 25.11.2003. (Siemens VDO Automotive Inc.)
135. Non-contact magnetically variable differential transformer. United States Patent 6,803,758. Оpubл. 12.10.2004. (Delphi Technologies, Inc.)