

# ХМР-микросистемы — альтернатива датчикам Холла в системах контроля движения и тока

В статье рассмотрены обновления компонентной базы датчиков на основе коммерческих технологий так называемых ХМР-эффектов, где первая буква в аббревиатуре после подстановки служит расшифровкой типа используемого магниторезистивного эффекта (AMR, GMR и др.). Общими для них также являются более высокая, чем у датчиков Холла, магнитная чувствительность и ряд других преимущественных признаков, но и более высокая системная цена. От эффекта Холла все ХМР-эффекты отличает нелинейность, применение специальных материалов и сложных компоновок сенсорных структур, осложняющих их системную интеграцию с ASIC в корпусе, модуле, на кристалле.

В настоящее время ситуация меняется: новые АМР и ГМР компоненты представляют собой микросистемы уровня интеграции, сравнимого с достигнутым для датчиков Холла. В статье на примерах показано, как новые компоненты позволяют более эффективно решать классические задачи датчиков Холла — контроль движения и тока.

Светлана Сысоева  
Dr.Gold@Syssoeva.com

## Введение

Для контроля положения и скорости подвижных объектов и тока, а также в качестве магнитных компасов широко используются датчики магнитного поля. По данным MarketsandMarkets (M&M), спрос на датчики магнитного поля в 2010 году составил 3,67 млрд единиц. Ожидается, что он составит 7,14 млрд единиц в 2016 году (с CAGR в 10,3%). В денежном выражении это эквивалентно \$1,1 млрд в 2010-м и приблизительно \$2 млрд в 2016 году (с CAGR 8,7%).

В этом сегменте рынка доминируют датчики Холла, рыночная доля которых составляет около 70% от общего объема датчиков магнитного поля, объединяющих и другие физические эффекты.

Датчики Холла нашли широкое применение как датчики скорости и положения различных роторов и переключатели электрических бесколлекторных двигателей. Автомобильный сегмент с самого начала был и остался ключевым для внедрения технологических инноваций интегральных датчиков магнитного поля [1–19]. На долю автомобильных датчиков приходится примерно 40% от объема рынка датчиков магнитного поля. Помимо ставших привычными датчиков скорости колес, положения педали газа, дроссельной заслонки и угла поворота руля, посредством магнитных сенсорных техно-

логий в автомобиле осуществляется регулировка фар, контроль стеклоочистителей и положения сидений, а также коммутация электродвигателя рулевого управления (EPS) (рис. 1).

Список автомобильных применений включает:

1. Датчики положения коленчатого вала, распределительного вала, скорости двигателя/тахометра.
2. Датчик положения дроссельной заслонки.
3. Датчик положения педали газа.
4. Датчик положения клапана системы рециркуляции отработавших газов (EGR).

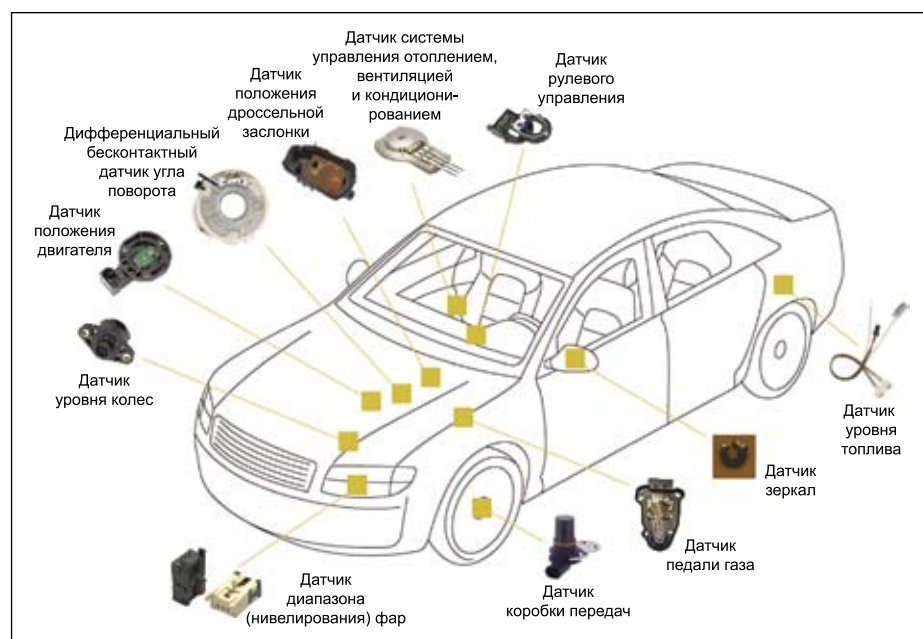


Рис. 1. Применение сенсорных технологий в автомобиле (источник: Bourns)

5. Датчик угла поворота и крутящего момента руля.
6. Датчики положения коробки передач/переключателя PRNDL.
7. Датчик коробки передач (скорости выходного вала).
8. Датчики скорости колес.
9. Датчики положения сидений.
10. Датчики присутствия ремня безопасности.
11. Датчики положения стеклоочистителей.
12. Датчики положения боковых зеркал заднего вида.
13. Датчики переключения бесколлекторных двигателей постоянного тока (EPS).
14. Датчики тока батарей.
15. Датчики положения дверей/ручек открытия дверей багажника и салона, крышки люка.
16. Датчики положения окон.
17. Датчики уровня масла двигателя, топлива, тормозной жидкости, охладителя.
18. Датчики положения клапанов систем обогрева, вентиляции и кондиционирования (HVAC).
19. Датчики положения педалей сцепления, тормоза.
20. Датчики переключения вентиляторов.
21. Компасы.

Для этих применений доступно множество специализированных ИС Холла компаний Allegro, austriamicrosystems, Infineon, Micronas и Melexis [1]. Большинство из перечисленных производителей ориентировано прежде всего на автомобильный рынок, что находит отражение в спецификациях и листах данных предлагаемых ими микросхем.

Те же самые технологии могут быть рекомендованы для промышленности, медицинской, компьютерной и робототехники, потребительской электроники. Здесь находят применение те же самые микросхемы Холла, адаптированные к рабочим условиям. Типичные применения ранжированы от камер до жестких дисков, от сотовых телефонов до стиральных машин. Компания austriamicrosystems выделяется из общего числа тем, что выпускает специализированные 3D ИС Холла для джойстиков портативных потребительских устройств. АКМ доминирует на потребительском рынке сбыта простых и недорогих датчиков Холла, в функции которых входят включение/выключение портативных устройств, выбор и контроль функций, осуществление пользовательского интерфейса и др. АКМ также производит магнитные компасы на основе эффекта Холла, интегрируемые в устройства с функциональностью GPS-локации и МЭМС системами инерциальной навигации.

Возможно и то, что те же самые измерительные сенсорные структуры датчиков Холла и компоновки магнитных систем могут быть преобразованы для измерений на основе других физических эффектов — АМР (анизотропный магниторезистивный эффект), ГМР (гигантский магниторезистив-

ный эффект) и других так называемых МР (магниторезистивных) эффектов. Понятие МР-эффектов объединяет эффект Гаусса в полупроводниках и еще пять магниторезистивных эффектов в различных материалах, с которыми связаны значительные коммерческие перспективы [2, 11–13, 15, 16].

Эти эффекты обобщает название ХМР, где первая буква после подстановки служит расшифровкой типа используемого эффекта:

- АМР (АМР) — анизотропный магниторезистивный эффект в пермаллое;
- ГМР (ГМР) — гигантский магниторезистивный эффект;
- ТМР (ТМР) — туннельный магниторезистивный эффект;
- СМР — колоссальный магниторезистивный эффект;
- ЭМР — экстраординарный магниторезистивный эффект.

Первые три эффекта уже достигли стадии коммерциализации, а следующие два еще исследуются. Практическое применение эффекта в тонких пленках пермаллоя стартовало примерно 30 лет тому назад, и с того времени ХМР-датчики непрерывно находят новые применения в измерениях магнитных полей: в электронных компасах, для измерения угла, линейного перемещения, тока — все те же самые, что имеются для эффекта Холла.

ХМР-эффекты позволяют создавать более чувствительные и надежные датчики с большими высокими рабочими температурами и большими допусками смещений, чем это возможно для эффекта Холла. Но компонентная база столь же высокого, как у датчиков Холла, уровня интеграции, интеллектуальности и миниатюрности одновременно стала коммерчески доступной только в последнее время.

Коммерческими технологиями АМР-датчиков располагают компании NXP, Sensitec, Honeywell, HLPlanarTechnik, iC-Haus и другие, ГМР-датчики разрабатывают и производят NVE Corp., Hitachi, Infineon и Sensitec.

Компонентная база компаний NXP, Sensitec, HLPlanarTechnik, Infineon и Sensitec, ставшая с недавнего времени доступной для новых разработок, отличается более высоким уровнем интеграции и интеллектуальности в миниатюрном исполнении, позволяет упростить системный дизайн и дает большую свободу разработчикам.

В последние годы развитие получили технологии, которые могут предоставить большой воздушный зазор и низкий шум (джиттер), чем это достижимо с традиционными датчиками Холла. Монолитная интеграция ХМР-резисторов как сенсорных элементов с электроникой обработки сигнала дает интеллектуальное сенсорное решение, соответствующее современным автомобильным требованиям в отношении надежности и рабочих характеристик.

Цифровые АМР и ГМР датчики скорости высокого уровня интеграции выпускаются

уже много лет — компаниями NXP и NVE соответственно. NXP за последние 20 лет продала приблизительно 250 млн датчиков, в числе которых АМР-датчики, работающие, например, в составе систем, которые выпускают фирмы Continental и SSI Technologies.

Технологии угловых датчиков АМР и ГМР также достигли уровня модульной или однокристалльной интеграции с ASIC.

Угловые датчики NXP — это теперь полностью интегральные сенсорные модули, не требующие даже внешних конденсаторов.

Infineon — компания, которая продала уже 2 млн своих датчиков, — выделяется в технологическом плане тем, что является пионером в производстве интегрированного сенсорного элемента на основе гигантского магниторезистивного эффекта (ГМР) и ASIC с более высоким пространственным разрешением, чем у датчиков Холла, рекомендованных для прецизионных применений, например определения угла рулевого колеса.

Датчики скорости широко используются в современных автомобилях, например, как датчики систем АБС и контроля курсовой устойчивости (ESC/ESP), выполняющие индивидуальный мониторинг скорости колес. Infineon разработала первые высокоинтегрированные ГМР-датчики скорости для этих применений, используя для этого свои разработки в области датчиков Холла.

Ключевой сферой применения инноваций на основе магниторезистивных эффектов остается автомобильный сегмент, в котором востребованы такие преимущества магнитных сенсорных технологий, как бесконтактность, нечувствительность к загрязнениям, темноте, возможность работы при высоких температурах и в условиях вибрации. ХМР-эффекты допускают большие рабочие температуры, более высокие разрешения и большие допуски механического дизайна, чем это достижимо с датчиками Холла. Вместе с повышенным уровнем интеграции это расширяет границы применимости ХМР-датчиков в автомобильных системах и даже за пределами автоэлектроники, как это наглядно демонстрируют разработки старт-ап компании Sensitec.

## Сущность магниторезистивных эффектов

Термин МР (ХМР) обобщает датчики, основанные на разных физических принципах, эффектах в различных материалах, но имеющих в своей основе то общее, что электрическое сопротивление датчика способно изменяться вследствие влияния магнитного поля, что может быть использовано в сенсорной структуре для определения величины, угла направления или градиента магнитного поля [11, 12].

Анизотропный магниторезистивный эффект (АМР) был открыт в 1856 году Уильямом Томсоном (лордом Кельвином). АМР-эффект имеет место в ферромагнитных материалах,

сопротивление которых изменяется с направлением приложенного поля. Изменение сопротивления составляет порядка нескольких процентов. С помощью этого эффекта можно детектировать слабые магнитные поля, и на этом построено действие АМР-компасов и угловых детекторов [11].

Гигантский магниторезистивный эффект (GMR) был открыт в 1988 А. Фертом и П. Грюнбергом — независимо работавшими учеными. Впоследствии (в 2007 году) они были удостоены за это открытие Нобелевской премии. ГМР-эффект наблюдается в многослойных системах. В простом случае эта система представляет собой два ферромагнитных слоя (например, железа), разделенных немагнитным слоем (например, хромом) [12]. В отсутствие поля намагничивание в слоях антипараллельно, и сопротивление больше, чем с параллельным намагничиванием под действием приложенного поля. Разница составляет порядка 10% при комнатной температуре и может достигать 50% и выше, отсюда и название “giant” (гигант). Изменение в сопротивлении не зависит от направления тока. Характеристики ГМР-датчиков могут быть модифицированы посредством стекирования разных слоев с различными свойствами и намагничиванием.

Туннельный магниторезистивный эффект (ТМР), который является расширением ГМР-эффекта в так называемых спин-клапанных структурах, был открыт раньше, в 1975 году, М. Жюльером (M. Julliere). Этот эффект имеет место в системах на основе по крайней мере двух ферромагнитных слоев со слоем изолятора между ними вместо неферромагнитного материала. Изолирующий слой служит туннельным барьером: под действием поля электроны туннелируют от одного слоя к другому. Эффект ТМР широко используется в компьютерной индустрии — считывающих головках жестких дисков и памяти MRAM. Этот эффект был также положен в основу магнитных компасов Freescale.

Туннельное сопротивление между двумя слоями зависит от угла направления намагничивания обоих слоев, что используется для угловых измерений [12, 16]. Первый ТМР-датчик углового положения был выпущен компанией NVE [16]. Но GMR и ТМР датчики не линейны, и этот недостаток ограничивает их применение вместо датчиков Холла в тех системах, где чувствительность и разрешение не важны.

Новые материалы на основе так называемого спин-зависимого туннелирования (spin-dependent tunneling, SDT) обещают более высокую чувствительность, чем обычные спин-клапанные датчики, а также более плотное корпусирование при стандартных методах производства.

Колоссальный магниторезистивный эффект (КМР, CMR) был открыт в 1993 году фон Гельмгольтом (von Helmholtz). Этот эффект наблюдается в редкоземельных ман-

ганитах со структурами типа перовскита (редкий минерал с химической формулой  $\text{CaTiO}_3$  (титанат кальция) и другие с общей формулой  $\text{RE}_1-x\text{AExMnO}_3$  ( $\text{RE} = \text{rare earth}$  (La, Pr, Nd),  $\text{AE} = \text{Ca, Sr, Ba}$  и Pb)).

При определенных условиях смешанные оксиды в фазе перехода от парагнетика к ферромагнетика (полупроводника к металлу) в присутствии магнитного поля в несколько мТл показывают значительное изменение сопротивления. Оно оценивается в несколько сотен % при температуре фазового перехода (ниже 100 К), но эффект наблюдался в некоторых материалах и при комнатной температуре. Гельмгольт наблюдал изменение порядка 60% в тонких магнитных пленках La-Ba-Mn-O при комнатной температуре. CMR-технология на основе этих и других материалов сейчас находится в исследовательской стадии.

В 2000 году в лаборатории NEC был открыт так называемый эффект экстраординарного магнитосопротивления (extraordinary magnetoresistance, EMR) при комнатной температуре (S. Solin и др.). Это геометрический эффект, при котором магнитное поле предотвращает течение тока от полупроводника к металлу. Этот эффект был отмечен в дисках ван дер Пау (van der Pauw) на основе антимонида индия с золотом в середине. При нулевом поле электроны под действием тока перетекают в золото, но с приложенным полем движение электронов прекращается. В отличие от эффектов GMR и CMR эффект EMR положительный, то есть сопротивление увеличивается под действием поля — и значительно (750 000% с полем в 4 Тл и 100% с полем 0,05 Т). В сравнении с GMR и CMR EMR-датчики отличаются также более высокой температурной стабильностью и низкой ценой производства.

На фоне известных физических эффектов, позволяющих детектировать магнитное поле магнитов (прежде всего эффекта Холла), XMR-технологии допускают детектирование более слабых магнитных полей и дают наиболее высокое соотношение сигнал/шум.

Развернутый список преимуществ XMR-датчиков включает следующие:

- высокая магнитная чувствительность;
- высокий уровень первичного сигнала, высокий SNR (signal-to-noise ratio, соотношение сигнал/шум);
- высокое разрешение;
- высокая точность;
- большие механические допуски;
- бесконтактность;
- работа в жестких условиях;
- гальваническая изоляция;
- широкая частотная полоса;
- надежность;
- малое потребление мощности, работа от батареи;
- возможность системной интеграции;
- миниатюрные корпуса;
- приемлемая цена.

## Обзор компонентной базы XMR-датчиков ведущих производителей

### TLE 5012 Infineon — ГМР-датчик угла до 360° со множественными интерфейсами

Infineon с 2009 года предлагает для систем углового детектирования ГМР-энкодеры серии TLE501x. Топ-моделью в текущей линейке является TLE5012B — датчик угла в диапазоне 0–360° с функциональностью обработки данных и множественными интерфейсами на выбор на основе интегрированной технологии GMR (iGMR) (рис. 2) [2, 15, 16].

Датчик поставляет на выходе 16-битное представление магнитного поля магнита в виде синусно-косинусных значений и 15-битное значение угла, вычисленного как функция арктангенса, с высокой скоростью обновления (43 мкс или 23 кГц).

Ключевые признаки устройства:

- GMR-принцип.
  - Интегрированная сенсорная схема для вычисления угла.
  - Полностью калиброванные угловые измерения со счетчиком вращений и измерения угловой скорости.
  - Два отдельных высокоточных однобитных сигма-дельта АЦП.
  - 15-битное представление абсолютного углового значения на выходе (разрешение 0,01°).
  - 16-битное представление синусно-косинусных значений на интерфейсе.
  - Высокая скорость обновления — 43 мкс (23 кГц).
  - Максимальная угловая ошибка — 1° в течение срока службы и в температурном диапазоне с активированной автокалибровкой.
  - Двухнаправленный интерфейс SSC со скоростью до 8 Мбит/с.
  - Поддержка уровня безопасности SIL (Safety Integrity Level) с диагностическими функциями и статусной информацией.
  - Интерфейсы: SSC, ШИМ (PWM), инкрементальный интерфейс (IF), режим переключателей Холла для двигателей Hall Switch Mode (HSM), короткий ШИМ-код (Short PWM Code, SPC).
  - CMOS-процесс 0,25 мкм.
  - Автомобильная квалификация от –40 до 150 °C (соединительная температура).
  - Стойкость к электростатическому разряду (ESD) >4 кВ (HBM).
  - RoHS-совместимость (бессвинцовый корпус).
- ГМР-датчик угла TLE5012B разработан для автомобильных применений углового детектирования, включая:
- электрически коммутируемый двигатель, используемый в электрическом рулевом управлении (Electric Power Steering, EPS);
  - угловые переключатели;

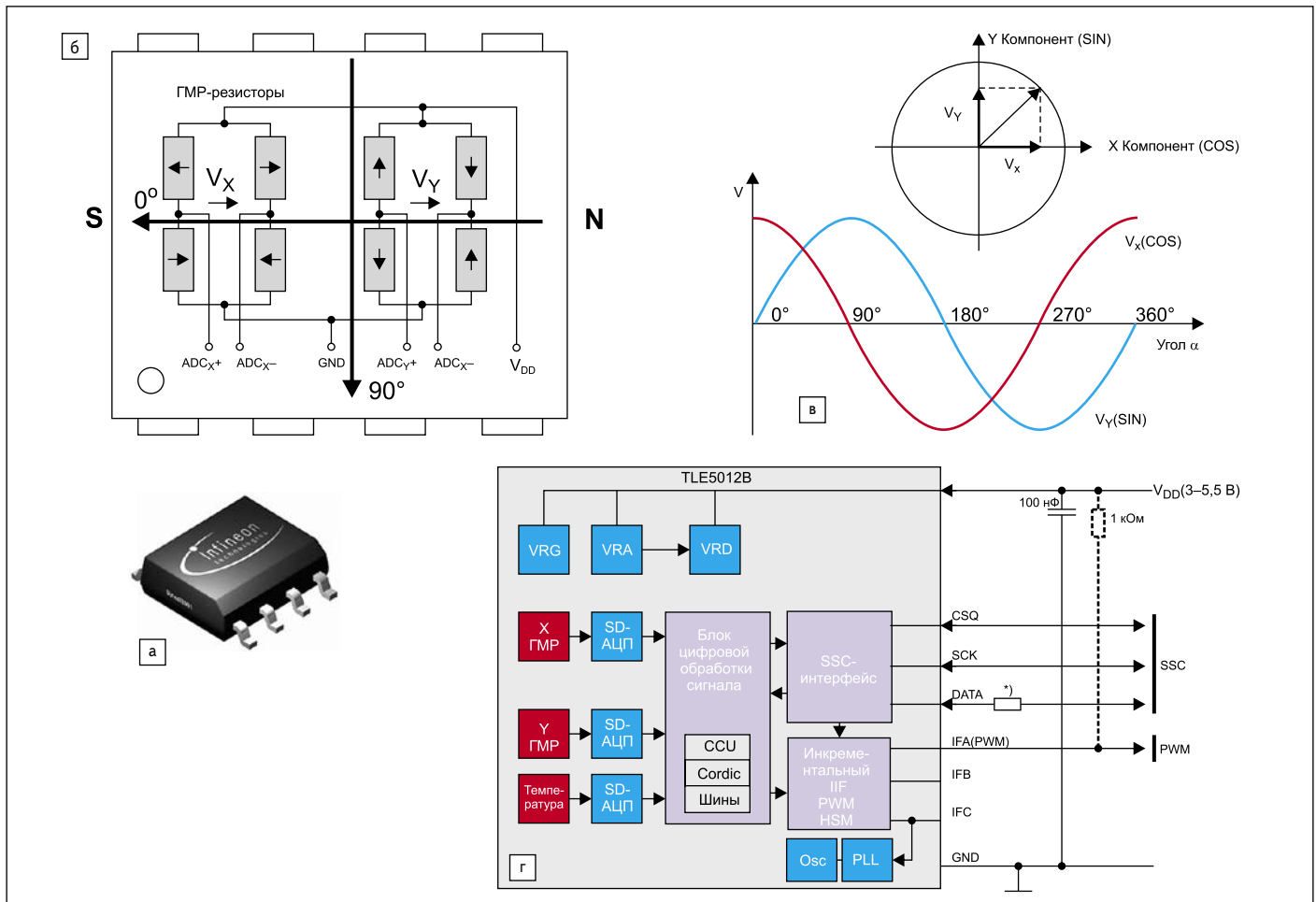


Рис. 2. ГМР-энкодер TLE5012B Infineon — микросхема с множественными выходными интерфейсами:  
 а) внешний вид устройства; б) ортогональные сенсорные мосты ГМР-резисторов;  
 в) выход ГМР-мостов; г) функциональная блок-диаграмма и схема применения датчика с SSC и ШИМ-интерфейсом

- измерения угла рулевого колеса;
- измерения угла общего назначения.

Применения с дипольным магнитом для классических автомобильных систем угловых измерений представлены на рис. 3–5. Согласно рекомендациям производителя напряженность поля магнита можно выбирать в цветной области (рис. 3). Более высокая плотность магнитного потока может быть приложена, но это будет соответствовать ограничению соединительной температуры. При  $T_j = 100\text{ }^\circ\text{C}$  можно применять магнит с плотностью магнитного потока до 60 мТл при  $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ .

Как видно на рис. 3, применение углового ГМР-энкодера Infineon вместо энкодера Холла позволяет повысить зазор между микросхемой и магнитом, поэтому разработчики могут изменить механический дизайн датчиков. На рис. 4 и 5 показаны два исполнения торцевых датчиков угла поворота дипольного магнитного ротора на основе высокоинтегрированной ГМР-микросхемы, которая может поставлять на выходном интерфейсе вычисленное угловое значение. Исполнение на рис. 4 представляет собой еще более упрощенную конструкцию датчика положения

дроссельной заслонки, чем те, которые были разработаны с расчетом на применение энкодеров Холла. Для датчиков Холла с крестообразным массивом элементов Холла строго

регламентированы величина зазора между магнитом и микросхемой, точность осевого центрирования центра чувствительного массива микросхемы с осью вращения маг-

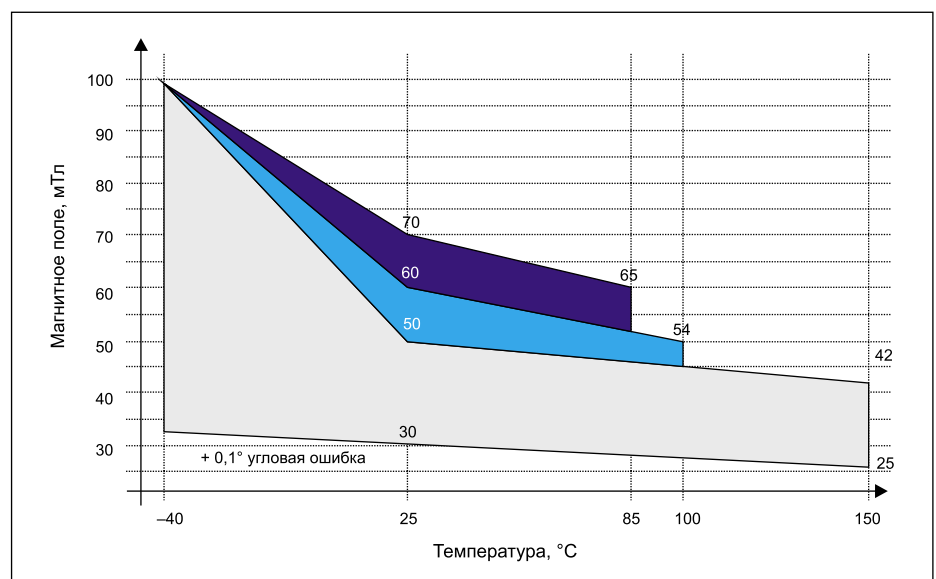
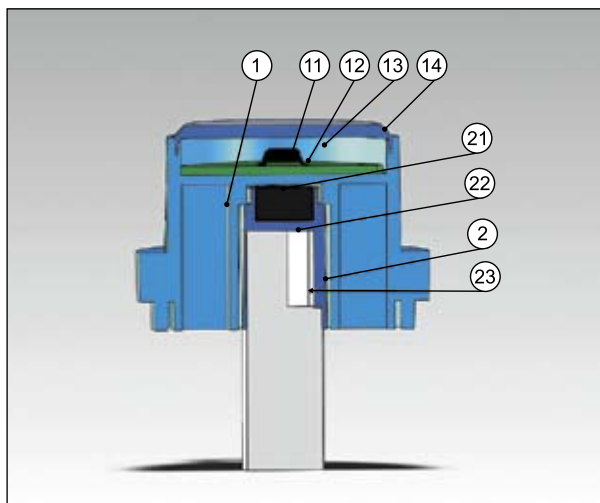
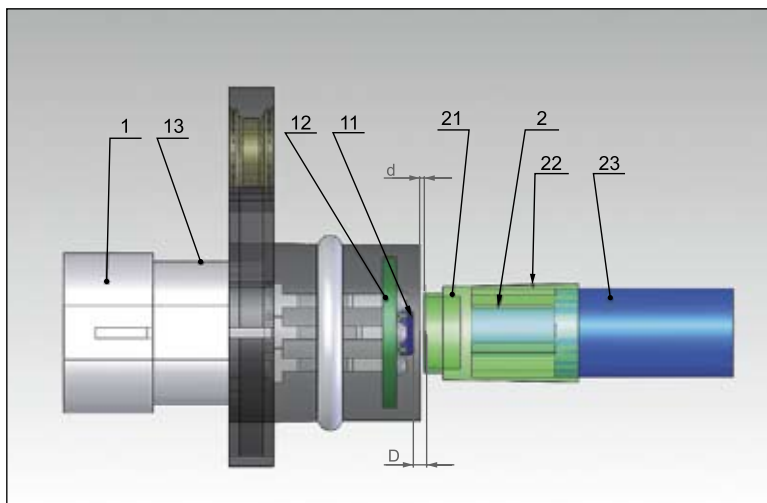


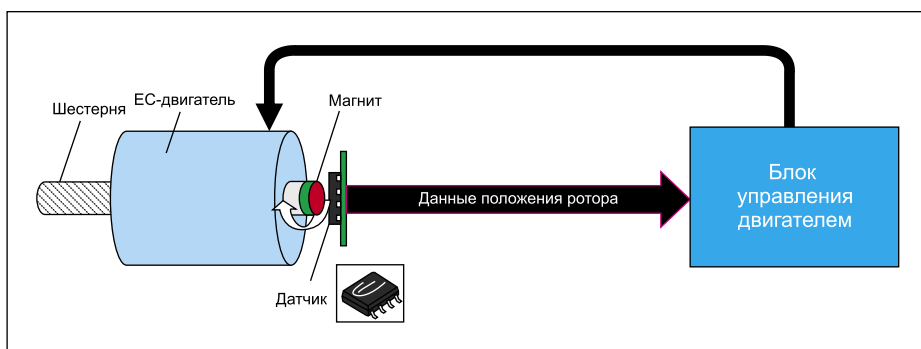
Рис. 3. Характеристики магнита, рекомендованные Infineon — производителем ГМР-энкодера TLE5012B



**Рис. 4.** Датчик положения дроссельной заслонки на основе ГМР-энкодера TLE5012B Infineon:  
1 — датчик-статор; 2 — ротор; 11 — интегральный ГМР-энкодер TLE5012B;  
12 — печатная плата; 13 — корпус датчика; 14 — крышка корпуса датчика;  
21 — дипольный диаметрально намагниченный постоянный магнит;  
22 — втулка под магнит, жестко установленная на вал дросселя;  
23 — вал дросселя



**Рис. 5.** Абсолютно бесконтактный аксиальный датчик общецелевого назначения на основе высокоинтегрированного ГМР-энкодера углового положения ротора:  
1 — датчик-статор; 2 — ротор;  
11 — интегральный ГМР-энкодер TLE5012B;  
12 — печатная плата; 13 — корпус датчика;  
21 — дипольный диаметрально намагниченный постоянный магнит;  
22 — втулка под магнит, жестко установленная на вал; 23 — вал



**Рис. 6.** Применение TLE5012B для переключения бесколлекторных двигателей постоянного тока

востребованы в существующих и будущих системах powertrain.

TLE5027 также детектирует направление вращения ротора-цели, эта информация передается посредством трехпроводного интерфейса напряжения (ШИМ).

Ключевые признаки микросхемы:

- ГМР-принцип.
- Однокристалльное решение.
- Большие рабочие воздушные зазоры (зависят от магнитной системы).
- Высокая чувствительность (минимальная индукция  $B_{\min} < 1$  мТл).
- Трехпроводный ШИМ-интерфейс напряжения.
- Обнаружение скорости и направления вращения.
- Динамическая самокалибровка:
  - с первого импульса — корректная информация о направлении;
  - со второго импульса — высокая точность.
- Сниженный джиттер.
- Широкий частотный диапазон.
- Автомобильная квалификация с температурным диапазоном порядка  $T_j = -40... +175$  °C.
- Корпус модульного типа с двумя интегрированными конденсаторами (необходимы для стабильного питания):
  - 4,7 нФ между Q и GND;
  - 47 нФ между  $V_S$  и GND;
- Экологичный бессвинцовый корпус.

Данные по датчикам TLE5025 и TLE5027 сейчас находятся в стадии проработки и подготовки. Ожидаются очередные улучшения в классических системах цифрового углового детектирования (скорости зубчатого ротора, уникальных отметок) — достигнутые посредством применения новых устройств вместо цифровых датчиков NVE (рис. 7) [6, 18].

нита и геометрические параметры магнита. Это накладывало существенные ограничения на механическое размещение энкодера Холла только с той стороны платы, которая обеспечивала позиционирование микросхемы лицевой стороной по отношению к магниту. ГМР-энкодеры допускают больший рабочий воздушный зазор между микросхемой и магнитом, поэтому ГМР-датчик можно запаивать с любой стороны платы, что показано на рис. 4 и 5.

В отличие от энкодеров Холла и программируемых АМР-энкодеров ГМР-энкодеры Infineon не допускают их программирование в памяти EEPROM для адаптации к рабочим условиям. Но разработчики датчиков получают большую свободу механического дизайна, включая вариативность геометрических параметров магнита и расширенные допуски точности позиционирования ГМР-энкодера благодаря функциональности автокалибровки.

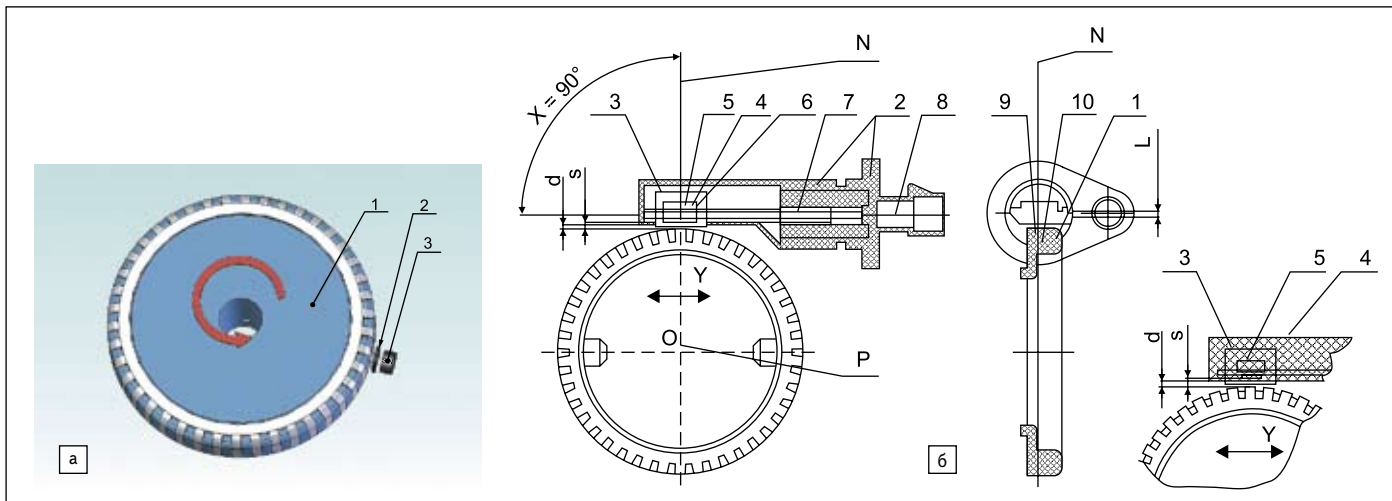
Режим Hall Switch Mode (HSM) TLE5012B допускает эмуляцию трех переключателей Холла для бесколлекторных двигателей по-

стоянного тока. Такое применение приведено на рис. 6. Другие детали по применению ГМР-энкодеров в автомобильных системах можно найти на сайте производителя компонентов ([www.infineon.com](http://www.infineon.com)). Новые разработки, видимо, будут основаны на высокоинтегрированных ГМР-энкодерах для бесконтактного детектирования магнитного поля, создаваемого током в проводнике, детектирования движения многополюсных магнитов, в датчиках с отверстием под вал (through shaft).

#### Первые ГМР датчики скорости Infineon

TLE5027C представляет собой первый столь высоко интегрированный SoC (система на кристалле) датчик скорости, основанный на технологии ГМР. За счет ГМР-эффекта однокристалльная микросхема обеспечивает более высокий воздушный зазор и значительно сниженный джиттер во всем диапазоне рабочих частот и температур.

В сравнении с другими технологиями датчиков магнитного поля ГМР-эффект дает больше преимуществ, которые могут быть



**Рис. 7.** Применение ГМР-датчиков скорости в классических системах цифрового углового детектирования (скорости зубчатого ротора, уникальных отметок): а) применение цифровой ГМР-микросхемы для контроля угловой скорости ферромагнитного зубчатого ротора: 1 — цифровой зубчатый ротор; 2 — микросхема; 3 — магнит; б) ГМР датчик скорости коробки передач [18]: 1 — ротор; 2 — корпус датчика; 3 — магниточувствительный элемент; 4 — ГМР-микросхема; 5 — обратнотсмещающий магнит; 6 — корпус для фиксации магниточувствительного элемента на плате; 7 — печатная плата; 8 — контакты разъема; 9 — обод ротора; 10 — тело ротора

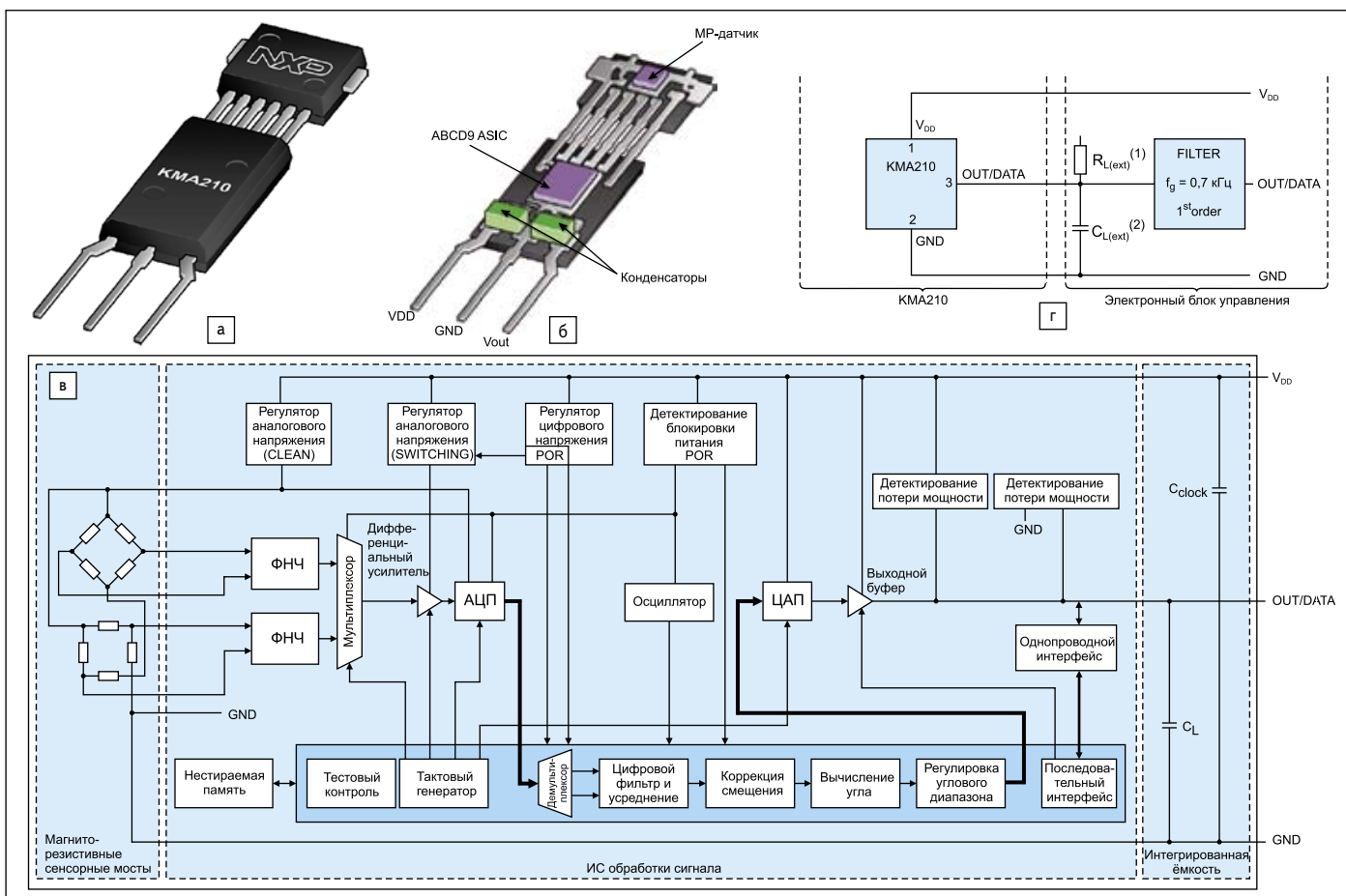
### Пополнение линеек AMP-датчиков (NXP и HL PlanarTechnik)

Компания NXP Semiconductors N.V. не так давно выпустила новое поколение модульных программируемых автомобильных датчиков угла KMA210. Угловой модуль KMA210 — пер-

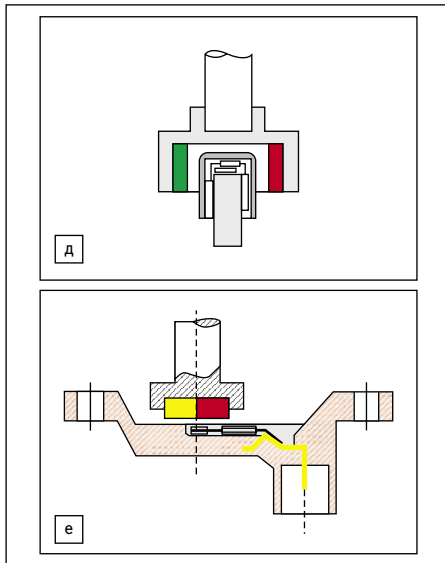
вый в семействе магнитных датчиков уровня SiP (система в корпусе). Модули этого семейства отличаются от предшествующих тем, что в одном корпусе интегрированы не только магниторезистивные сенсорные мосты и ASIC со смешиванием сигнала, но и требуемые ем-

кости (рис. 8). Дополнительные внешние компоненты для подключения KMA210 к ECU не нужны (рис. 8г).

Угловой модуль KMA210 предварительно запрограммирован, откалиброван и полностью готов к использованию. KMA210 допу-



**Рис. 8.** Программируемый SiP-модуль NXP KMA210 — первый представитель нового семейства KMA2xx: а) внешний вид; б) устройство; в) функциональная блок-диаграмма; г) рекомендованная схема применения



**Рис. 8.** Программируемый SiP-модуль NXP KMA210 — первый представитель нового семейства KMA2xx: д, е) рекомендованный для применений механический дизайн: д) сенсорная конфигурация на основе двух датчиков; е) сенсорная конфигурация на основе одного устройства

скает пользовательскую регулировку углового диапазона, нулевого угла и ограничивающих уровней, эти настройки сохраняются в перепрограммируемой памяти.

Ключевые признаки KMA210:

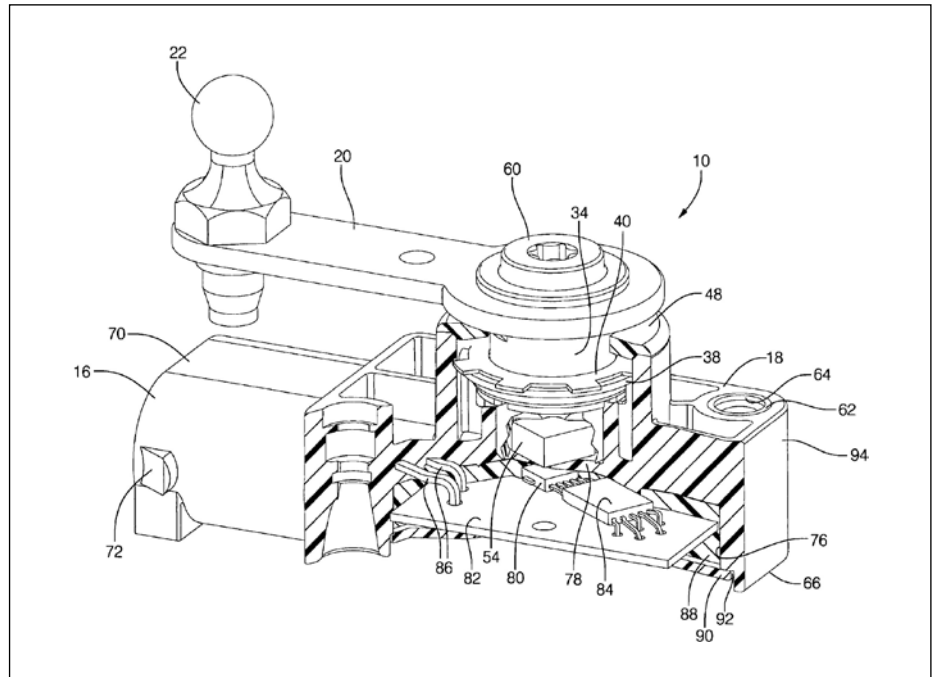
- Бесконтактные угловые измерения до 180°.
- Высокий температурный диапазон — до 160 °С.
- Автомобильная квалификация AEC Q100.
- Отсутствие внешних конденсаторов.
- Защита от перенапряжения.
- Высокая ЭМС и электростатическая стойкость.
- Возможность автоматической пайки оплавлением.

Модуль KMA210 разработан для улучшения характеристик и увеличения прочности в автомобильных применениях, включающих детектирование положения дросселя, педали, активной подвески и электрического рулевого управления.

Применение модуля в автомобильных системах показано на рис. 9.

В ближайшее время ожидается выпуск еще двух устройств в этом семействе — полностью интегрированного двухканального углового датчика KMA220 и модуля KMA215 с выходным интерфейсом SENT.

KMZ60 — датчик с интегрированным усилителем, разработанный для систем углового контроля на основе бесколлекторных двигателей постоянного тока (рис. 10). Устройство поставляет синусные и косинусные сигналы для вычисления угла поворота магнитного поля и включает два микрочипа в пределах одного корпуса — датчик угла и ИС усилителя. Датчик ратиметричный, что означает



**Рис. 9.** Применение АМР-датчика углового положения [19]:

- 10 — датчик; 16 — электрический соединитель; 18 — корпус; 20 — плечо кривошипа коленчатого вала; 22 — шариковый сокет; 34 — цилиндрический роторный элемент; 38 — упорная шайба; 40 — участок с большим диаметром; 48 — защитная крышка; 54 — постоянный магнит; 60 — резьбовой фиксатор; 62, 64 — стальные втулки с расширениями; 66 — донная поверхность корпуса; 70 — изолирующий корпус соединителя; 72 — удерживающий элемент; 76 — третья полость; 78 — ребро; 80 — гальваномагнитный компонент; 82 — плата; 84 — ассоциированные с 80 компоненты; 86 — проводники; 88 — материал для герметизации; 90 — донная плата; 92 — выемка

пропорциональность выходного напряжения напряжению питания, кроме того, выход линейен по отношению к рабочей температуре, так как температурный коэффициент компенсируется. В устройстве также реализован режим Power-down, позволяющий включать или отключать устройство.

Ключевые признаки KMZ60:

- Высокоточный датчик для измерения магнитного поля.
- Одноконечные синусные и косинусные выходы.
- Ратиметричные выходные напряжения.
- Окружающая температура  $T_{amb} = -40...+150$  °С.
- Температурно-скомпенсированная амплитуда выходного сигнала.
- Температурно-связанное опорное ратиметричное напряжение.
- Режим Power-down для включения/отключения.
- Датчик угла в одном корпусе с интегрированным инструментальным усилителем.
- RoHS-совместимость, Dark Green совместимость.

Датчик угла KMZ60 разрабатывался для контроля углового положения магнитного ротора BLDC двигателей. KMZ60 предназначен для систем электрического рулевого управления EPS, угла рулевого колеса, положения оконного стеклоочистителя и других устройств углового контроля (дросселя, актюаторов) — в автомобильных (датчик

имеет автомобильную квалификацию), промышленных и других применениях.

KMZ49 представляет собой еще один новый датчик компании NXP на основе АМР-эффекта в тонкопленочном пермалло, чувствительный к магнитному полю. Датчик содержит два гальванически разделенных моста Уитстона, смещенных относительно друг друга на 45°.

Вращающееся магнитное поле в X-Y плане микросхемы переводится в два независимых сенсорных выхода —  $\cos(2\alpha)$  и  $\sin(2\alpha)$ , где  $\alpha$  — угол между осью датчика и направлением поля. KMZ49 подходит для высокоточных угловых измерений в условиях низкого поля (с напряженностью насыщающего поля 25 кА/м). Но обработка сигналов датчика будет производиться в ECU.

Датчик может работать на любой частоте в диапазоне 0–1 МГц.

Рекомендованные применения KMZ49:

- Угол и крутящий момент руля.
  - Регулировка фар.
  - Положение двигателя.
  - Положение оконных стеклоочистителей.
  - Уровень топлива.
  - Положение зеркал.
- X3G-ОН047, X3G-ОН048, ХЗТ-ОН047 и ХЗТ-ОН048 — датчики магнитного поля компании NXP, также рассчитанные на то, что обработка сигналов будет производиться извне. Устройства представляют собой высокочувствительные к слабым магнитным полям (работающие в поле насыщения 25 кА/м)

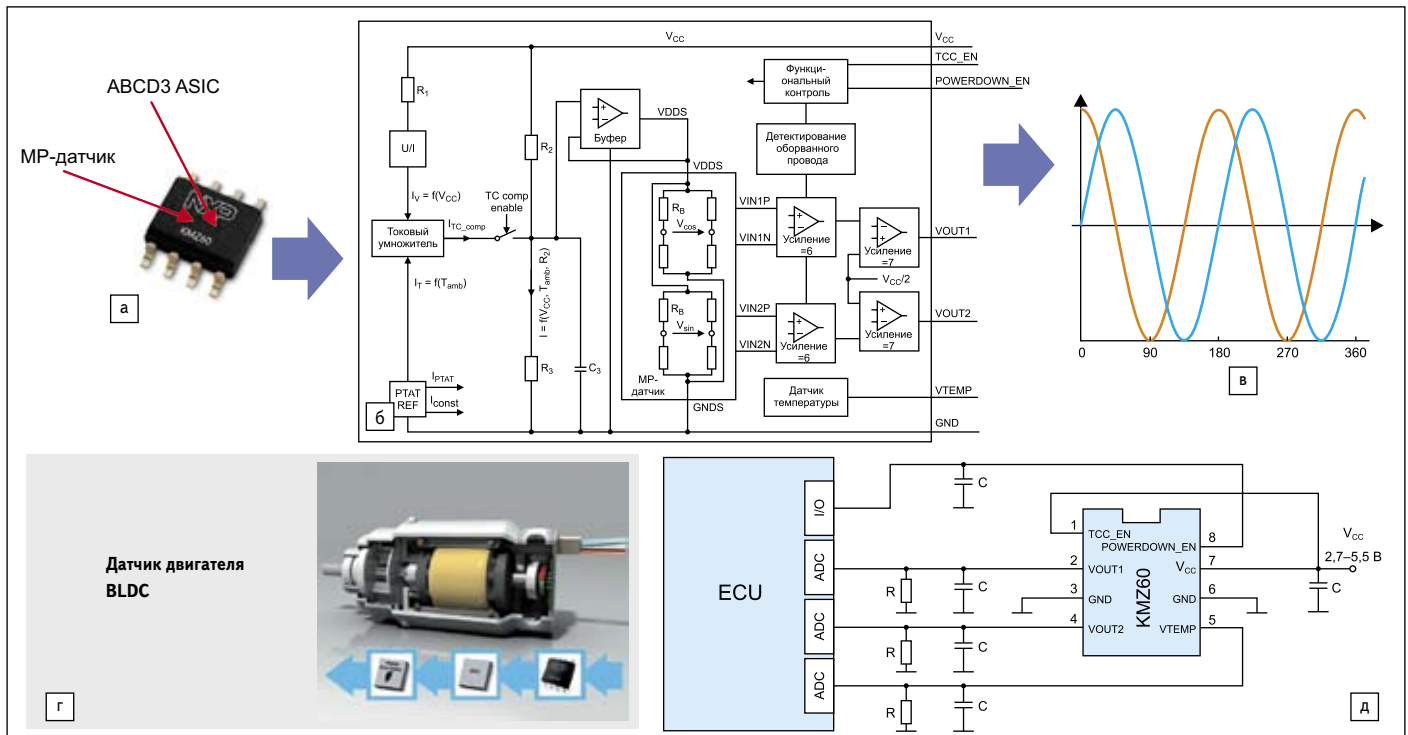


Рис. 10. KMZ60 NXP — датчик с интегрированным усилителем для переключения бесколлекторных двигателей постоянного тока: а) внешний вид; б) блок-диаграмма; в) выходные сигналы; г) пример механического дизайна; д) рекомендуемая схема применения

и высокоточные датчики, которые работают в частотном диапазоне 0–1 МГц. Они основаны на мостах Уитстона, смещенных в плоскости XY под углом 45° относительно друг друга на одном кристалле. Двухкристальные включают по два подобных магнитных датчика на каждом кристалле.

Датчики Х3G-ОН047, Х3G-ОН048, Х3Т-ОН047 и Х3Т-ОН048 рекомендованы для следующих применений:

- Определение угла и крутящего момента руля.
- Стеклоочистители.
- Регулировка фар.
- Уровень топлива.
- Положение двигателя.
- Положение зеркал.

#### КМА36 HL PlanarTechnik

КМА36 компании HL PlanarTechnik GmbH (сейчас — подразделение Measurement Specialities) представляет собой так называемый универсальный магнитный энкодер для прецизионного измерения углового (360°) или линейного (с магнитной линейкой с полюсной длиной 5 мм) движения (рис. 11). Эта система на кристалле в малом корпусе объединяет АМР магниторезистивный элемент с АЦП и схемой обработки сигнала. КМА36 подходит для батарейных применений — благодаря наличию признаков режимов sleep (спящего), малого потребления мощности (low power), автоматического пробуждения (wake-up) через интерфейс I<sup>2</sup>C. Данные о положении могут передаваться через ШИМ или двухпроводную шину

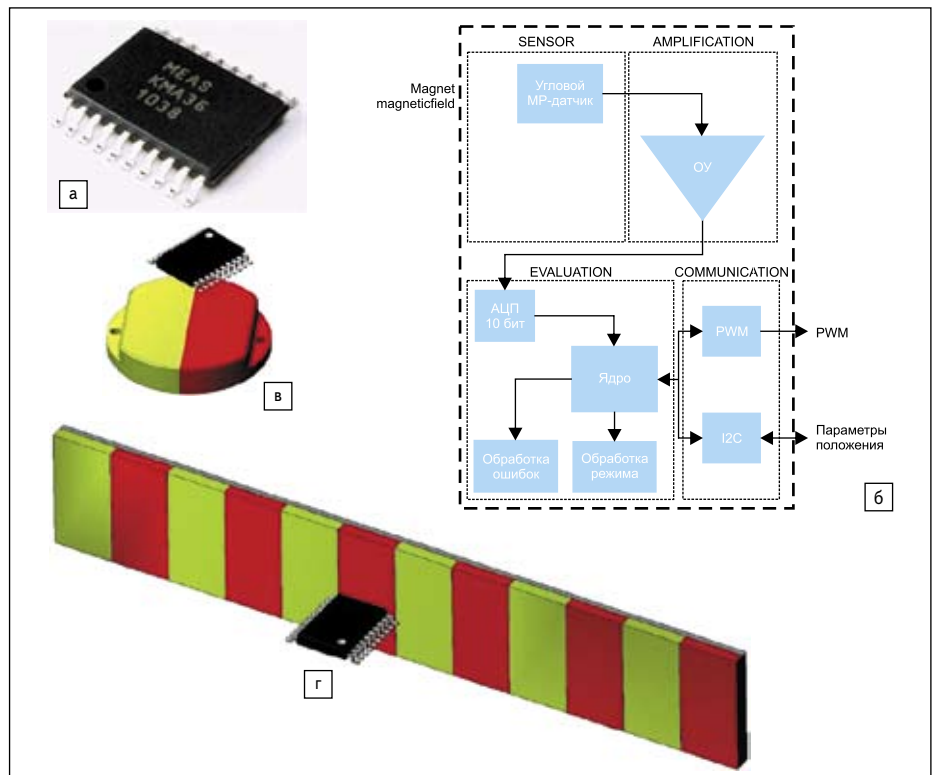


Рис. 11. Универсальный магнитный энкодер КМА36 HL PlanarTechnik для угловых и линейных измерений: а) внешний вид; б) устройство; в, г) рекомендуемые применения: в) угловые измерения; г) линейный дизайн

(SDA, SCL). С помощью программируемых параметров пользователь может иметь доступ к широкому диапазону конфигураций, для того чтобы гарантировать максимум свободы и функциональности устройства.

#### АМР/ГМР датчику Sensitac

АМР-датчики Sensitac (рис. 12) включают следующие серии:

- FREEPITCH;
- FIXPITCH;



- PUREPITCH;
- PERFECTWAVE;
- SMARTFIT.

Датчики FREEPITCH можно использовать с полюсными колесами или магнитными линейками, которые характеризуются практически любым расстоянием полюсов, а также с дипольными магнитами (рис. 12а). Два моста Уитстона ориентированы с углом 45° относительно друг друга так, что это позволяет получить синусно-косинусные сигналы. Сопротивления моста оптимизированы таким образом, чтобы достигался малый размер кристалла. Датчики FREEPITCH оптимизированы для достижения независимости от полюсного шага (расстояния между полюсами) измерительной линейки. Поэтому датчики компактны и приближены к идеальному точечному сенсорному решению (pointsensor). Устройства рекомендованы для выбора в том случае, когда решение измерительной задачи должно быть эффективным в стоимостном выражении.

В отличие от FREEPITCH, датчики FIXPITCH геометрически согласованы с полюсным шагом измерительной линейки (рис. 12б). Синусные и косинусные сигналы генерируются посредством распределения сопротивлений моста Уитстона вдоль длины одного полюса. Это геометрическое размещение также служит для того, чтобы подавлять высшие гармоники и снижать чувствительность датчика к интерференционным полям, оптимизировать линейность датчика.

Дизайн PUREPITCH является расширением принципа FIXPITCH: сопротивления распределены над различными полюсами (рис. 12в). Это дает эффект усреднения ошибок в измерительной шкале без задержки сигнала. Усреднение через северный и южный полюс позволяет подавлять влияние однородных интерференционных полей. Эти улучшения дают более высокие характеристики в контрольной системе.

Дизайн PERFECTWAVE еще более повышает качество датчиков FREEPITCH (рис. 12г). Магниторезистивные полосы используются как сопротивления криволинейной формы, служащей для фильтрации высоких гармоник при преобразовании направления магнитного поля в электрический сигнал. Такая функциональность фильтра достигается посредством специальной геометрии и размещения МР-полос и не дает задержки сигнала. Дизайн PERFECTWAVE эффективен для малых магнитных полей и дает улучшенную линейность, более высокую точность и лучшее качество сигнала.

Сенсорные модули на основе технологии SMARTFIT обеспечивают дополнительные функции в электрической обработке сигнала. В одном случае возможна параметризация посредством сигнальной линии. Это допускает повторную параметризацию встроенного параметризованного модуля (для изменения измерительного разрешения или

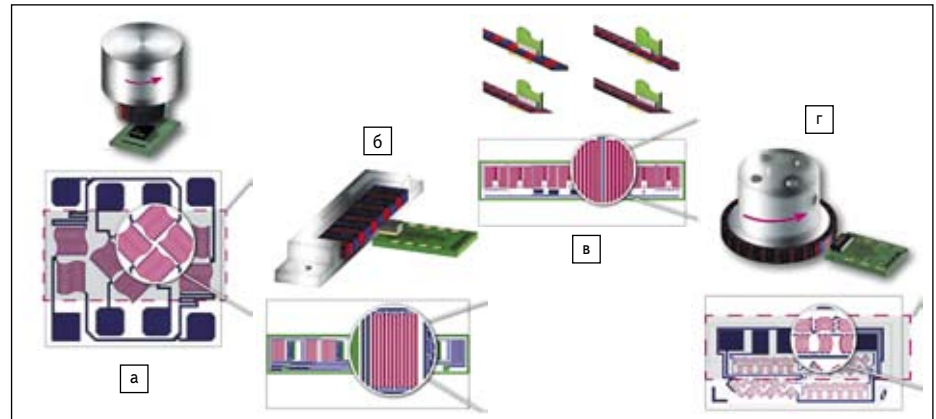


Рис. 12. Технологии XMR-датчиков Sensitec:

- а) датчики со свободным шагом FREEPITCH; б) датчики с согласованным шагом FIXPITCH; в) датчики с сопротивлениями, распределенными над полюсами, — PUREPITCH; г) дизайн PERFECTWAVE: МР-полосы выполнены в криволинейной форме для лучшей фильтрации сигнала

других параметров) без необходимости дополнительного проводного подключения. Альтернативно рабочий статус можно индицировать дистанционно, что позволяет информировать пользователя о корректном функционировании или о возмущениях. Это помогает пользователю в процессе сборки и регулировки и допускает быстрый и легкий мониторинг статуса в течение работы. Обе функции предлагаются индивидуально или в комбинации с модулями SMARTFIT.

Компания Sensitec предлагает различные решения для четырех базовых применений МР-датчиков: это угловые измерения, измерение длины/пути, тока и магнитного поля. Для них предлагаются также четыре уровня сенсорных решений: компоненты, модули, демоплаты и системные решения.

Угловым и линейным измерениям соответствуют следующие линейки продуктов: компоненты GLM700, AL600, AA700, полюсные кольца и магнитные линейки, модули EBx7900 и EBx7800, оценочный комплект. Для измерений тока разработаны специальный модуль CFS1000 с демоплатой и сенсорные модули уровня системного решения CDS4000, CMS3000, CMS2000. Для измерений магнитного поля предлагаются сенсорные компоненты GF700 и AFF700.

Ключевые преимущества датчиков Sensitec — это высокое разрешение, высокая надежность и прочность. Применения включают сборочные машины, промышленные роботы, инверторы солнечных генераторов, штангенциркули, энкодеры двигателей, регулировку объективов камер, двери пассажирских лифтов и другие.

Типичные автомобильные применения включают:

- Датчик угла рулевого колеса.
- Датчик крутящего момента руля.
- Датчик положения педали.
- Датчик тока для гибридных систем.
- Измерение положения клапанов для тестовых стендов двигателя.

Датчики подходят для прецизионных измерений слабых магнитных полей (50 А/м, 62,5 мкТл) и могут применяться в компасах.

Датчики Sensitec, которые находятся в серийном производстве, основаны на АМР- и ГМР-эффектах. Какой эффект применен в том или ином компоненте, отмечено первой буквой (G или A). Дополнительную информацию о продуктах можно получить на сайте компании [www.sensitec.com](http://www.sensitec.com).

В 2010 году Sensitec получила награду “Global Product Innovation Award” от Frost & Sullivan, которой консалтинговая фирма отметила выдающийся стартап, позиционированный на МР-рынке.

## Заключение

Уровень интеграции компонентной базы АМР- и ГМР-датчиков для контроля положения и скорости в последнее время заметно повысился. Магниторезистивные компоненты уровня интеграции система в корпусе (SiP) или на кристалле (SoC), на первичном уровне обеспечивающие возможность достижения более высоких рабочих характеристик, чем у датчиков Холла, теперь предлагаются с тем же набором преимуществ — простоты и гибкости использования благодаря интеграции с ASIC, возможности калибровки, сниженной цены. Подобные решения снижают системную цену и упрощают дизайн.

Новые XMR-датчики представляют собой системные решения высокого уровня интеграции, позволяющие применять в отдельных случаях только один компонент или модуль вместо датчика с ASIC и типичным набором дискретных компонентов. (Наиболее перспективные решения обязательно будут подробнее рассмотрены в одной из последующих публикаций.) Теперь разработчик при выборе, какому эффекту отдать предпочтение — датчикам Холла или одному из новых XMR-датчиков, не зависит от этих ограничений и основывается только на индивидуальных предпочтениях. ■

## Литература

1. Сысоева С. Датчики магнитного поля. Спектр высокообъемной продукции от ведущих поставщиков // Компоненты и технологии. 2012. № 1.
2. Сысоева С. Датчики магнитного поля. Новые применения и технологии измерения движения и тока // Компоненты и технологии. 2011. № 3.
3. Сысоева С. Новые сенсорные решения. Выход на новый уровень измерений // Компоненты и технологии. 2011. № 8.
4. Сысоева С. Мир МЭМС. Дальнейшая конвергенция датчиков движения и смежных технологий на массовых рынках // Компоненты и технологии. 2011. № 6.
5. Сысоева С. Датчики скорости автомобиля. Анализ конструкций и перспективы развития // Компоненты и технологии. 2004. № 7.
6. Сысоева С. Датчики скорости автомобиля. Анализ конструкций и перспективы развития // Компоненты и технологии. 2004. № 8.
7. Сысоева С. Новые интегральные датчики Холла специального назначения // Компоненты и технологии. 2004. № 9.
8. Сысоева С. Автомобильные датчики положения. Современные технологии и новые перспективы. Ч. 1. Потенциометры и датчики Холла — лидеры современного рынка // Компоненты и технологии. 2005. № 2.
9. Сысоева С. Автомобильные датчики положения. Современные технологии и новые перспективы. Ч. 2. Технологии, схемотехника, программирование и монтаж интегральных датчиков Холла // Компоненты и технологии. 2005. № 3.
10. Сысоева С. Автомобильные датчики положения. Современные технологии и новые перспективы. Ч. 5. Новые перспективы бесконтактных угловых измерений в диапазоне угла 360°: снова датчики Холла — угловые магнитные энкодеры // Компоненты и технологии. 2005. № 6.
11. Сысоева С. Автомобильные датчики положения. Современные технологии и новые перспективы. Ч. 3. Физические основы и коммерческие перспективы технологий полупроводниковых и пермаллоевых магниторезистивных датчиков // Компоненты и технологии. 2005. № 4.
12. Сысоева С. Автомобильные датчики положения. Современные технологии и новые перспективы. Ч. 4. Новые перспективы автомобильных датчиков — технологии магниторезисторов ГМР и КМР // Компоненты и технологии. 2005. № 5.
13. Сысоева С. Автомобильные датчики положения. Современные технологии и новые перспективы. Ч. 14. Итоговый сравнительный анализ. Выводы и обновление // Компоненты и технологии. 2006. № 7.
14. Сысоева С. Датчики близости/положения/расстояния. Важные обновления и дальнейшие перспективы // Компоненты и технологии. 2008. № 3.
15. Сысоева С. Автомобильные датчики положения. Актуализация надежных и недорогих компонентов // Компоненты и технологии. 2009. № 3.
16. Сысоева С. Магнитоуправляемые, MEMS и мультисенсорные датчики движения 2009 года — функциональнее, точнее, миниатюрнее предшественников // Компоненты и технологии. 2009. № 8.
17. Сысоева С. Новые горизонты функциональной и системной интеграции датчиков механического движения // Компоненты и технологии. 2011. № 1.
18. Бесконтактный датчик скорости автомобиля. Патент РФ № 2270452. Сысоева С. С. и другие. Оpubл. 20.02.2006. Заявка: 2004102306/28, 26.01.2004.
19. Rotary position sensor. US Patent 7230419. Godoy, et al. Delphi Technologies, Inc. Оpubл. June 12, 2007.