

Окончание. Начало в № 1`2014

Датчики магнитного поля. Ключевые технологии и новые перспективы. Часть 3. XMR (AMP /ГМР /ТМР) — конкуренты датчиков Холла

В заключительной части статьи рассказывается об инновационных датчиках магнитного поля на основе передовых магниторезистивных (XMR) AMP /ГМР /ТМР-технологий. Инновационные XMR-датчики активно входят в данный рыночный сегмент и стремятся заполнить нишу, занятую датчиками Холла. XMR-датчики ориентированы на базу стандартов де-факто, созданную датчиками Холла, используют те же измерительные конфигурации, но показывают более высокие характеристики и имеют достаточно высокий уровень развития технологий, чтобы составить конкуренцию датчикам Холла. Впрочем, датчики Холла не торопятся уступить свои позиции, а ведущие производители непрерывно выводят на рынок новые предложения компонентов с улучшенными характеристиками и расширенными функциями. В связи с этим полный спектр современных инноваций в области датчиков магнитного поля охватывает датчики скорости, ключи, магнитометры и любые прежде существовавшие и возникающие применения на основе самых различных технологий.

Светлана СЫСОЕВА
Dr.Gold@sysoeva.com

Новые рыночные тенденции и технологии

По общему уровню развития измерительных технологий датчики Холла превосходят все остальные интегральные и неинтегральные датчики — в особенности в плане интеграции и благодаря наличию обширного набора коммерческих автомобильных CMOS ASIC-решений типичных автомобильных задач. Датчики Холла доминируют в автоэлектронике и во всех остальных сферах применения измерительных технологий датчиков магнитного поля — промышленной, потребительской/мобильной, медицинской [1–3].

Автомобильная электроника — ведущая сфера для датчиков магнитного поля как с точки зрения объемов выпуска (свыше 50% от общего объема рынка), так и в технологическом плане [1–9, 11–17]. Требования более высокой точности и надежности работы электронных систем в автомобильных условиях являются неизменными вызовами для усовершенствований датчиков с сохранением того же или более низкого уровня стоимости порядка нескольких долларов или даже центов. Недостатки датчиков Холла включают присутствие им смещение, ограниченную чувствительность и температурную стабильность, вслед-

ствие чего для стандартных датчиков ограничены разрешение, механические и магнитные допуски в системе, линейность и в конечном итоге точность. Кроме того, датчики Холла имеют сравнительно высокое энергопотребление, что немаловажно для батарейных систем и потребительской электроники — второго по величине (примерно 37%) сегмента рынка датчиков магнитного поля. Достижение высоких измерительных характеристик ASIC Холла производится путем улучшений как сенсорных микросистем, так и схем обработки сигнала и обуславливает непрерывный выпуск новых, более совершенных версий датчиков.

В настоящее время современные технологии датчиков Холла полностью перекрывают все свои нативные недостатки. Смещение, например, эффективно устраняется на уровне элемента и в усилительной части схемотехническими методами переключаемой стабилизации (chopper-stabilization) и spinning current.

Для повышения чувствительности стандартного элемента Холла приложенное магнитное поле обычно усиливается с помощью концентратора магнитного поля, хотя это также увеличивает общий размер и вес датчика.

В свою очередь данный недостаток устраняется тем, что разработаны версии датчиков

с интегрированными магнитными концентраторами (ИМК) датчиков положения и компасов [1, 12, 14, 32]. Датчики с вертикальными элементами Холла также позволяют обеспечивать более высокую чувствительность именно к рабочим компонентам магнитного поля, преобладающим в системах детектирования положения магнита [1, 12, 25, 32].

Нелинейность компенсируется при программировании в энергонезависимой памяти передаточной характеристики с множественными точками уставок (на сегодняшний день максимально известное значение — до 33). Стандартные линейные датчики Холла имеют узкий угловой диапазон линейности менее 90° (70–80°), но современные дифференциальные или дважды синусно-косинусные энкодеры позволили расширить линейный диапазон до полных 360° [1, 12].

Широкие магнитные и механические допуски в системе обеспечиваются посредством дифференциальных схем, а высокая измерительная точность достигается благодаря возможности записания в перепрограммируемой памяти различных корректирующих коэффициентов [1, 3, 11, 12, 32]. Производители выпускают широкий набор микросхем с различными типами готового, избирательного или программируемого вы-

ходного интерфейса с функциями калибровки и диагностики, со всеми необходимыми схемами защиты от помех, короткого замыкания и обрывов по цепи питания и выхода — часто с интегрированными конденсаторами фильтров и выходными резисторами. Микросхемы датчиков Холла имеют высокий динамический диапазон измерений магнитных полей, широкий рабочий температурный диапазон, а также обладают высокой устойчивостью к электростатическому разряду и электромагнитной совместимостью.

Для соответствия новым автомобильным требованиям надежности и функциональной безопасности разработаны двухкристалльные версии датчиков Холла в избыточных конфигурациях.

На данный момент датчики Холла создали обширную базу стандартов де-факто в плане уровня исполнения, интеграции сенсорной части с ASIC, доступным опциям интерфейса, избыточности и избытию предложений, которые требуют соответствия любых новых предложений — как самих вновь выпускаемых версий датчиков Холла, так и альтернативных компонентов.

Тем не менее такие недостатки датчиков Холла, как ограниченная чувствительность, низкий уровень первичного сигнала и, как следствие, малый SNR (соотношение «сигнал-шум»), ограниченные разрешение, точность, воздушные зазоры и механические допуски в системах автоэлектроники вместе с малым энергопотреблением, актуальным для мобильных и носимых устройств, вынуждают рассматривать альтернативные способы достижения более высоких измерительных характеристик датчиков на основе других технологий датчиков магнитного поля. В последнее время разработчики автомобильной, потребительской и прочей электроники обратились к поиску решений на основе других технологий, объединенных общим названием XMR, где сочетание MR указывает на принадлежность к магниторезистивному типу датчиков, а X после подстановки уточняет тип магниторезистивного эффекта [9–12, 32, 33].

Коммерческие XMR-технологии включают анизотропные магниторезистивные (AMR/AMP), гигантские магниторезистивные (GMR/ГМР) и датчики на основе туннельного магниторезистивного (TMR/ТМР) эффекта. Для обозначения ТМР-чувствительного элемента также используется термин «магнитный туннельный переход» — Magnetic Tunnel Junction (MTJ).

AMP-элементы имеют гораздо более высокую чувствительность, чем элемент Холла, но в узком линейном диапазоне до 45°. Перекрыть этот недостаток позволяет размещение нескольких AMP-элементов с угловым смещением относительно друг друга, что еще больше осложняет их интеграцию с ASIC, так как даже для одного пермаллового AMP-элемента интеграция со CMOS-схемой обра-

Таблица. Сравнение характеристик датчиков Холла и XMR

Технология	Ток, мА	Размер, мм	Чувствительность, мВ/В/мТл	Динамический диапазон, мТл	Разрешение, мТл	Рабочая температура, °С
ИС Холла	5–20	1×1	0,05	1–100	50	до +150...160
AMP	1–10	1×1	1	0,0001–1	0,01	до +160
ГМР	1–10	0,6×0,6	3	0,01–3	0,2	до +150
ТМР	0,001–0,01	0,5×0,5	20	0,0001–20	0,01	до +200

ботки и формирования сигнала в одном корпусе или на кристалле затруднена. Сенсорные элементы AMP-датчиков магнитного поля нуждаются в использовании катушки настройки/сброса, чтобы задать постоянную магнитную ориентацию доменов — например, скорректировать смещение вследствие фоновых шумов. Это приводит к увеличению сложности производственного процесса, а также размера датчика и потребления мощности.

Чувствительность ГМР-магнитных сенсорных элементов выше, чем AMP, соответственно, выше и разрешение, и SNR, и магнитные и механические допуски, но линейный и динамический диапазон ниже, чем у датчиков Холла. Проблема CMOS-интеграции изначально не была столь значительна, как для AMP, и в настоящем полностью решена.

ТМР (туннельные магниторезистивные) чувствительные элементы показывают еще более высокие изменения в удельном сопротивлении в зависимости от индукции приложенного магнитного поля, чем разработанные ранее технологии AMP и ГМР, более высокую чувствительность, разрешение, отсутствие потребности в усилителях сигнала, в том числе в структурах концентраторов магнитного потока и в катушке пресета/сброса, лучшую температурную стабильность, меньшее потребление энергии, лучшую линейность, широкий диапазон линейности [10, 33].

В таблице сравниваются основные технические характеристики датчиков Холла, AMP, ГМР и ТМР, последовательно формирующих несколько поколений магнитной сенсорной технологии.

Раннее поколение датчиков магнитного поля было основано на эффектах Холла и AMP, позднее — представлены аналогичные микросхемы на основе эффектов ГМР, а затем и ТМР, имеющие более высокие характеристики и достигшие необходимого уровня интеграции и коммерциализации. Современное поколение коммерческих датчиков магнитного поля включает полный спектр ИС Холла и менее обширный набор высокоинтегрированных AMP- и ГМР-компонентов [32]. ТМР-датчики — устройства самого последнего поколения, разработка которых сегодня только начинается [33].

Системная интеграция сенсорных структур на основе XMR-эффектов со CMOS ASIC, подобных тем, которые созданы для датчиков Холла, вплоть до интеграции в одном корпусе или на кристалле, расширяет существующие горизонты достижимых измери-

тельных характеристик, потребления мощности, размера и собственно границы применимости магнитной сенсорной технологии.

В первую очередь инновационные XMR-технологии датчиков охватывают нишу автомобильных датчиков положения и скорости. Компания NXP известна своими передовыми разработками модульных AMP-датчиков скорости и энкодеров [9, 11, 12, 34], а Infineon — ГМР-датчиков скорости и положения высокого уровня интеграции для ряда применений, в числе которых автомобильные являются ведущими [6, 9, 11–12, 24]. Альтернативные линейные и угловые AMP-энкодеры предлагают компании Measurement Specialities и Diodes [35–37], а также Infineon [6].

Компания Sensitac имеет в своем портфолио и разрабатывает полный пакет модульных XMR-технологических решений [9]. Компании Honeywell и Murata предлагают использовать преимущества AMP-технологии в потребительской электронике и в качестве ключей — ввиду малого потребления мощности [38–40]. Компания NVE представила первый ТМР-датчик угла поворота [41], компания Freescale — ТМР-магнитные компасы [42], а самую широкую линейку ТМР-датчиков для любых прежде известных применений в настоящее время предлагает китайская компания MDT [10].

Это общий, но далеко не полный обзор предложений XMR-компонентов для рынка датчиков магнитного поля, пока что насыщенного ИС Холла. XMR-эффекты более чувствительны к магнитным полям, чем эффект Холла, и имеют ряд других преимуществ, например, в плане потребления мощности. Именно это стремятся использовать многие производители, располагающие возможностями для создания высокотехнологичных конкурирующих XMR-решений.

Уже представлено достаточно много разработок специализированных XMR-датчиков для автомобильных систем, мобильных телефонов, промышленных применений. Лидирующие поставщики XMR-датчиков демонстрируют все более высокий уровень характеристик и интеграции и более низкие системные размеры, потребление мощности, цену, что действительно необходимо для успешной конкуренции с датчиками Холла. ИС Холла не уступают свои позиции и представляют собой даже более щедро пополняемую ведущими производителями компонентную и технологическую базу [42] для альтернативных инноваций на основе XMR-эффектов, обзор которых представлен далее в статье.

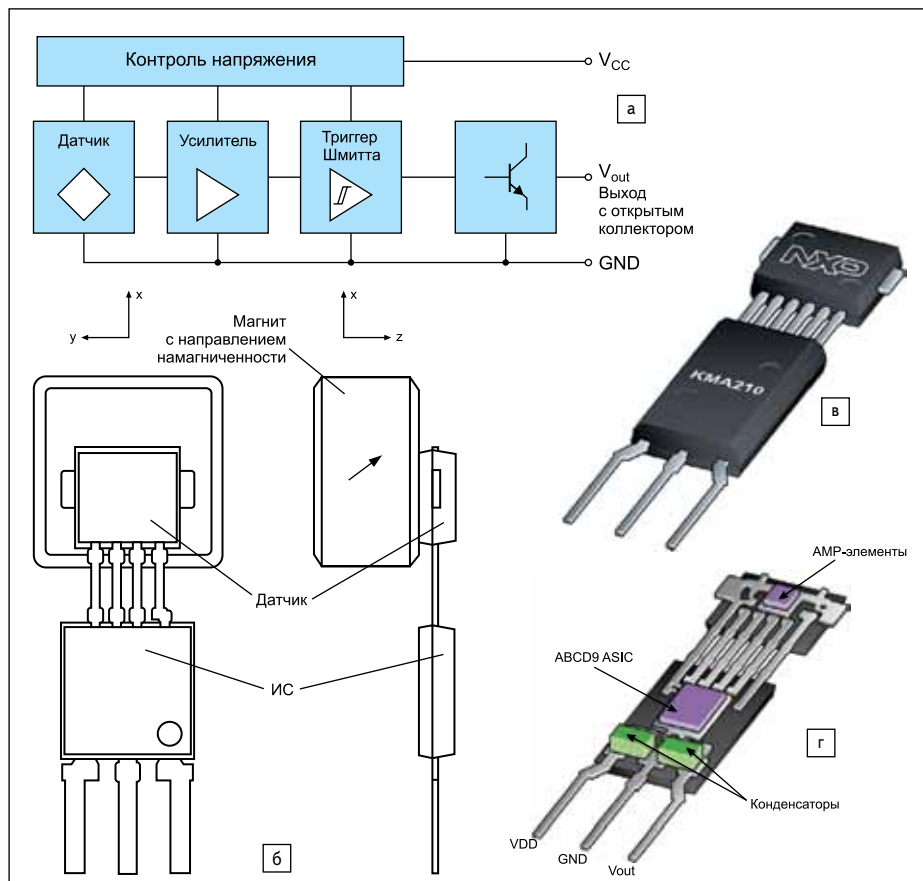


Рис. 20. Модульные AMP-датчики угловой скорости и положения уровня система в корпусе от NXP:
 а, б) KMI16/1 — датчик угловой скорости ферромагнитного зубчатого ротора в модульном исполнении с обратномещающим магнитом: а) функциональная схема; б) конструкция корпуса;
 в, г) KMA210 — ранний представитель семейства магнитных угловых энкодеров уровня «система-в-корпусе»:
 в) внешний вид; г) конструкция корпуса

KMI16/1 (рис. 20а, б) присутствует на рынке не меньше десяти лет [11], а KMI17/4 — сравнительно новое предложение для автомобильного рынка [34]. Оба прибора представляют собой датчики скорости ферромагнитного зубчатого ротора уровня «система-в-корпусе», которые определяют скорость вращения ферромагнитного зубчатого ротора и опорные отметки. Оба состоят из МР-сенсорного элемента, ASIC и ферритового магнита, а KMI 17/4 также имеет конденсатор. Интерфейс датчика KMI16/1 — трехпроводной с открытым коллекторным выходом, частота цифрового выходного сигнала пропорциональна скорости вращения ротора. Интерфейс датчика KMI17/4 — двухпроводной ШИМ-токовый выход, имеющий низкий джиттер. Датчик обеспечен высокой электростатической защитой и совместим со стандартом AEC-Q100 REV-G (Grade 0).

Линейка угловых датчиков:

- KMA200 — программируемый датчик угла;
- KMA210 — программируемый датчик угла;
- KMA215 — программируемый датчик угла с интерфейсом SAE J2716 SENT;
- KMA220 — двухканальный программируемый датчик угла;
- KMA221 — программируемый датчик угла;
- KMZ41 — датчик магнитного поля;
- KMZ49 — датчик магнитного поля;
- KMZ60 — датчик угла с интегрированным усилителем;
- X3G-ОН047; X3Т-ОН047; X3G-ОН048; X3Т-ОН048 — датчики магнитного поля.

Метод истинно угловых измерений на основе технологии AMP, осуществленный NXP, предполагает высокую точность и надежность. AMP-датчики функционируют практически независимо от магнитных смещений, допусков и дрейфов, рабочих зазоров в течение всего срока службы, а также в присутствии температурных или механических воздействий, отличаются высокой линейностью и устойчивостью к температурным дрейфам.

AMP-датчики положения NXP имеют преимущества, среди которых:

- Расширенный температурный диапазон.
- Точность и надежность.
- Независимость точности от температурных, магнитных дрейфов, механических допусков или срока службы/старения.
- Низкая системная цена.

Основные применения:

- Электронный контроль дросселя (ETC) или рециркуляции отработавших газов (EGR).
- Переменная синхронизация клапанов Variable Valve Timing (VVT).
- Системы электрического рулевого управления (EPS) — для определения крутящего момента и положения ротора серводвигателя.
- Датчики угла поворота, положения и крутящего момента рулевой колонки.
- Контроль стеклоочистителей.

KMA200 и KMA210 (рис. 20в, г) — первые программируемые модульные датчики уровня «система-в-корпусе», состоящие из сенсорного

AMP-датчики компании NXP

Компания NXP известна инновациями в области AMP-датчиков, представляющих собой решения в виде высокоинтегрированных модулей уровня «система-в-корпусе», готовые к встраиванию в клиентскую систему с минимальным набором внешних компонентов [11, 12, 34]. Среди первых подобных предложений компании NXP были импульсные (цифровые) датчики скорости ферромагнитных и магнитных роторов в виде готовых интегральных модулей, объединяющих в запатентованной модульной конструкции отдельно закорпусированные, но соединенные общим проводным фреймом сенсорный элемент и ASIC, а также входящий в модуль обратно смещающий магнит со стабилизирующим подмагничиванием (для датчиков ферромагнитного зубчатого ротора) либо меньший по размеру стабилизирующий магнит (для магнитных роторов) [11].

Позднее, но первой в числе других производителей NXP представила двухкорпусные интегральные AMP-модули для измерения угла поворота дипольного магнитного ротора, представляющие собой индивидуально закорпусированные сенсорный элемент

и ASIC, связанные общим проводным фреймом. Самым последним достижением NXP стали полностью интегрированные в одном корпусе датчики угла поворота [9].

На данный момент полная линейка AMP-датчиков NXP включает только две актуальные версии автомобильных датчиков угловой скорости (ранее были известны многие другие) и 12 датчиков углового положения.

Актуальные предложения датчиков скорости:

- KMI 16 — интегрированный датчик скорости;
 - KMI 17 — датчик скорости колеса.
- Ключевые преимущества датчиков:
- Измерение нулевой скорости.
 - Широкий воздушный зазор между датчиком и целью — порядка 2,9 мм.
 - Широкий частотный диапазон — 0–25 кГц.
 - Готовый выходной формат: выбор из выхода с ОК или двухпроводного ШИМ.
 - Гибкость монтажа.
 - Низкая системная цена.

Основные применения — АБС (антиблокировочная система); управление двигателем (датчики коленчатого и распределительного вала); датчики трансмиссии/скорости автомобиля.

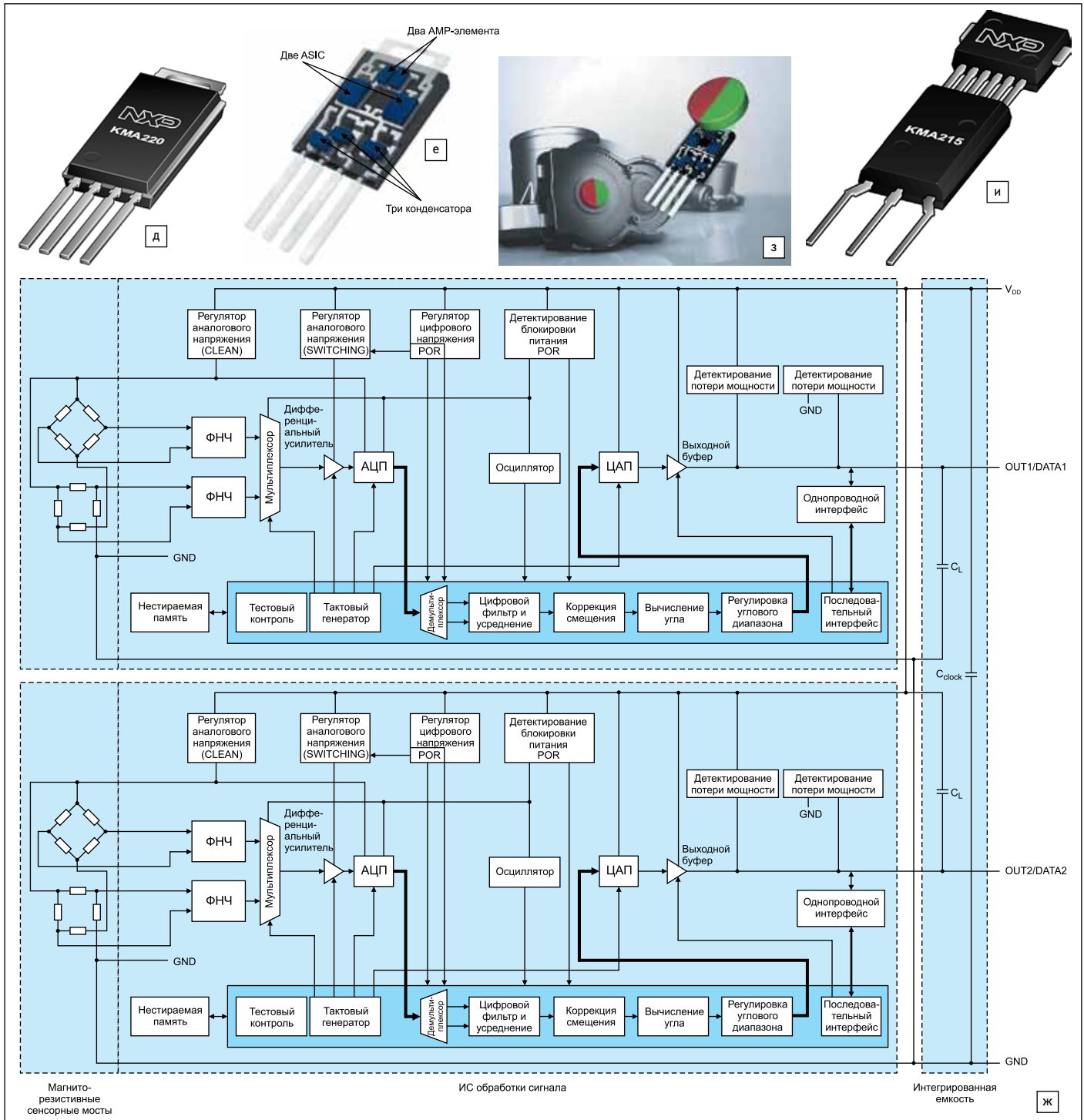


Рис. 20. Модульные AMP-датчики угловой скорости и положения уровня система-в-корпусе от NXP:

д-з) KMA220 — избыточный (с двумя сенсорными структурами и двумя ASIC) однокорпусной магнитный угловой энкодер в диапазоне до 180°:

д) внешний вид; е) конструкция корпуса; ж) функциональная диаграмма; з) иллюстрация применения;

и) KMA215 — модульный датчик с цифровым интерфейсом SENT (внешний вид; схема практически идентична одной сенсорной структуре с ASIC KMA 220)

элемента и ASIC с EEPROM, связанных между собой проводным фреймом. Ранее AMP-датчики NXP были рассчитаны на применение отдельных ASIC, которые также предлагались данным производителем [12, 32].

KMA200 может быть запрограммирован для работы в режиме с аналоговым выходом либо в цифровом выходном режиме (SPI). Разрешение — лучше 0,05°. Но рабочий угло-

вой диапазон составляет только 180°, а не 360°, как у 2D/3D-энкодеров Холла, что ограничивает применение данного устройства.

Рабочий температурный диапазон от -40 до +160 °С. Устройство включает необходимые схемы защиты и диагностики.

KMA210 имеет многие признаки, общие с KMA200, но отличается пропорциональным аналоговым выходом вместо SPI.

KMZ41 и KMZ49, а также X3G-ОН047, X3G-ОН048, X3T-ОН047 и X3T-ОН048 представляют собой сенсорные мосты с угловым фазовым смещением в 45° между ними для недорогих автомобильных применений. Датчики отличаются друг от друга рабочей напряженностью поля (свыше 40 кА/м для KMZ41 и свыше 25 кА/м для KMZ49 и семейства X3G-ОН047–X3T-ОН048), а также

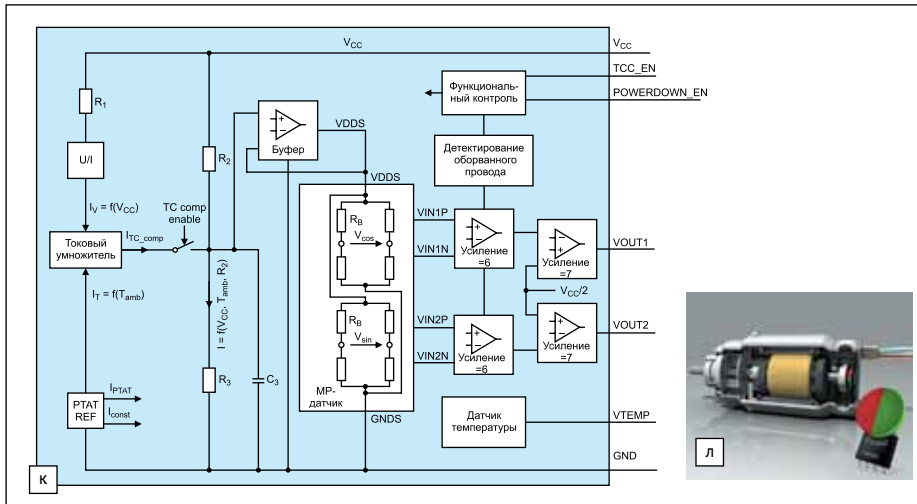


Рис. 20. Модульные АМР-датчики угловой скорости и положения уровня система-в-корпусе от NXP: к, л) KMA220 NXP — аналоговый АМР-датчик угла поворота, интегрированный с усилителем, для переключения бесколлекторных двигателей постоянного тока; к) функциональная диаграмма; л) иллюстрация применения

Линейные и угловые АМР-энкодеры Measurement Specialties

Компания Measurement Specialties объединила технологию АМР-датчиков HL Planartechник и в настоящее время является одним из лидирующих поставщиков передовых АМР-энкодеров.

В 2014 году MEAS расширила ассортимент своей продукции магниторезистивных (АМР) датчиков двумя новыми предложениями компонентов [35–36]. Один из них представляет собой цифровой датчик уровня «система-на-кристалле» для угловых или линейных измерений КМА36-SPI, а второе дополнение к линейке — новая серия линейных энкодеров КМХР (рис. 21).

КМА36 (рис. 21а, б) — это универсальный магнитный энкодер для точных угловых или линейных измерений. Цифровые датчики положения характеризуются технологией «система-на-кристалле», сочетающей магниторезистивный элемент вместе с аналого-цифровым преобразователем и схемой обработки сигналов в небольшом стандартном корпусе.

Выпуск коммерческой версии КМА36 с аналоговым выходным и коммуникационным интерфейсом I²C состоялся еще в 2012 году. В 2014-м MEAS представила SPI-версию датчика. На основе анизотропной магниторезистивной (АМР) технологии КМА36 в состоянии бесконтактно определить абсолютный магнитный угол внешнего магнита в диапазоне 360 градусов, а также выполнять инкрементальное детектирование магнитной полюсной полосы с длиной полюсов в 5 мм. Режимы сна и пониженного энергопотребления, а также автоматическое пробуждение через SPI делают КМА36 подходящим для различных батарейных применений. Данные передаются посредством цифровой SPI четырехпроводной (DI, DO, CLK, CS) коммуникационной шины. Программирование параметров этого цифрового датчика положения предоставляет пользователю доступ к широкому спектру конфигураций, чтобы обеспечить максимум свободы и функциональности.

Используемые в качестве линейных датчиков положения или как угловые датчики положения, магниторезистивные датчики КМА36 MEAS нечувствительны к магнитным дрейфам из-за механических допусков, изменений температуры или тепловых воздействий. Безремонтная эксплуатация и высокая пропускная способность этого универсального магнитного энкодера и датчика положения делает его хорошим выбором для динамических приложений в жестких условиях окружающей среды. MEAS разработала универсальный магнитный энкодер КМА36 для замены менее точных датчиков положения на основе эффекта Холла, которые часто подвержены внешним шумам. Как надежные

типом корпусирования (КМЗ41 и КМЗ49 поставляются в SMD-корпусах, а ХЗГ-ОН047, ХЗГ-ОН048, ХЗТ-ОН047 и ХЗТ-ОН048 рассчитаны на клиентское корпусирование).

Технологическую «верхушку» линейки АМР-датчиков положения NXP составляют интегральные датчики в одном корпусе КМА220 (рис. 20д–з), КМА221, а полный спектр инноваций включает и модульный датчик КМА215 с интерфейсом SENT (рис. 20и), представленный в самое последнее время [9, 34], и КМЗ 60 (рис. 20к, л), объединяющий два кристалла в корпусе, второй из которых представляет собой ИС с усилителем. Типовое применение семейства КМА2ху — контроль положения дроссельной заслонки (рис. 20з), а датчик КМЗ 60 рассчитан на применения в системах EPS для контроля BLDC-двигателей (рис. 20л) и многие другие.

КМА220 — избыточная система в одном интегральном корпусе

КМА220 (рис. 20д–з) был представлен в июне 2012 года — это угловой магнитный датчик от NXP, разработанный для автомобильных применений и интегрирующий две сенсорные системы в один корпус. Данное предложение нацелено на удовлетворения требований систем функциональной безопасности, например, дроссельного контроля, для которых нужна избыточная система в одном корпусе. КМА220 — уникальное решение для конфигурации малого дипольного магнита, которое также характеризуется отсутствием необходимости в печатной плате или внешних компонентах.

Датчик КМА220 представляет собой полностью откалиброванное, высокоточное и готовое к использованию устройство, которое в дополнение к двум сенсорным кристаллам и двум ASIC для обработки сигнала объ-

единяет в одном корпусе три конденсатора. Все вместе позволяет клиентам снизить цену и упростить процесс сборки. Для достижения избыточности в системах контроля дроссельной заслонки производители автомобилей прежде устанавливали два отдельных датчика на фрейм или печатную плату, сгибая выводы, — обычно для этого требовалась магнитная система, имеющая высокую стоимость. Избыточный датчик КМА220 устанавливается значительно проще и способен полностью решить проблему надежного контроля работы автомобильных систем.

КМА221 — обычная система в одном интегральном корпусе

КМА221 — следующий за КМА220 представитель семейства датчиков угла, объединяющий в одном корпусе МР-сенсорные мосты, ASIC со смешиванием сигнала и конденсаторы. В отличие от предшественника, это обычная, не избыточная, но столь же высокоточная система углового детектирования в корпусе с аналоговым выходом.

КМА215 — модульный датчик магнитного поля с цифровым выходом SAE J2716

КМА215 — датчик магнитного поля в модульном корпусе (рис. 20и), таком же, как и у КМА200 и КМА210, отличающийся от них прежде всего цифровым выходом SAE J2716 JAN2010 Single Edge Nibble Transmission (SENT), согласующимся с новыми требованиями автомобильной функциональной безопасности [19].

АМР-мосты, ASIC и конденсаторы интегрированы в модуль КМА215, представляющий собой программируемый, откалиброванный и готовый к использованию датчик с SENT-интерфейсом, настройки которого запасаются в энергонезависимой памяти.

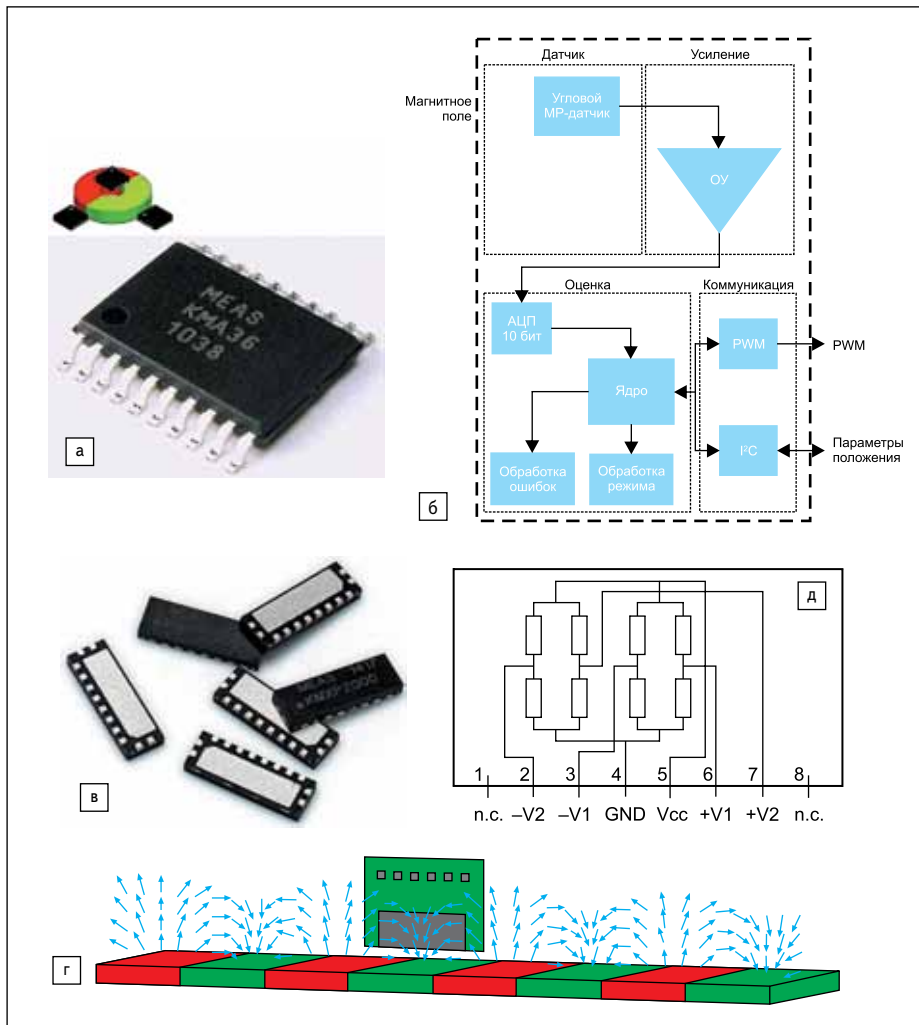


Рис. 21. Новые линейные и угловые АМР-энкодеры Measurement Specialties:
 а, б) КМА36-SPI — цифровой датчик уровня система на кристалле для угловых или линейных измерений:
 а) внешний вид и возможные конфигурации; б) функциональная диаграмма;
 в-д) новая серия линейных энкодеров КМХР:
 в) внешний вид; г) измерительная конфигурация; д) функциональная диаграмма

датчики положения, Measurement Specialties КМА36 также способны заменить более хрупкие оптические энкодеры, подшипники которых подвержены сбоям.

Недавно компания Measurement Specialties расширила ассортимент своей продукции магниторезистивных датчиков следующей серией КМХР (рис. 21 в-д), представляющей собой датчики положения для точного измерения линейных перемещений магнитных линеек. Инновационное корпусирование датчика упрощает сборку печатных плат.

Кристаллы датчиков MEAS MLS1000, MLS2000 и MLS5000 хорошо известны и имеют наилучшие возможности для использования магнитных линеек. Серия КМХР обладает новым признаком: теперь датчик заключен в корпус DFN с футпринтом (2×6 мм и 0,75 мм в высоту). DFN-корпус припаивается посредством стандартных процессов сборки на носителе, например, печатной плате, что существенно упрощает процессы сборки для клиентов MEAS. Сейчас до-

ступны модели КМХР2000 и КМХР5000 для полюсных шагов 2 и 5 мм соответственно. Позже в этом году предполагается выпуск КМХР1000 для полюсного шага в 1 мм. Все три компонента будут повыводно совместимы, что облегчит клиентские разработки.

Бесконтактный принцип измерения магнитного поля может быть применен как для инкрементального, так и для абсолютного измерения положения. Кристаллы MLS-датчиков КМХР обнаруживают распределение магнитного поля намагниченной линейки с чередующимися северным и южным полюсами с возможным воздушным зазором до 4 мм между линейкой и энкодером. Специальное градиентное расположение чувствительных АМР-элементов позволяет достигать разрешения в диапазоне порядка нескольких микрометров, причем на высоких скоростях до нескольких м/с. Весьма примечательным является достижение датчиками общего уровня точности такого же порядка до нескольких микрометров.

Поскольку датчики должны быть позиционированы сравнительно недалеко от магнитной линейки, в прошлом для сборки использовался метод chip-on-board («кристалл-на-плате»). Для многих клиентов это был нестандартный монтажный процесс, достаточно трудоемкий и требовавший аутсорсинга технологических операций, что увеличивало затраты на создание продукта. Улучшения, способствовавшие переходу от COB к стандартному процессу пайки, значительно сократили расходы. Кроме того, данный корпус позволяет работать при температурах до +150 °С. Разработчики датчика надеются, что эта сенсорная технология найдет новые интересные применения.

Другие примеры АМР-датчиков — энкодеры в диапазоне до 180°

Еще в 2008 году компания Diodes приобрела компанию Zetex — известного производителя АМР-датчиков, и в настоящее время предлагает линейку датчиков для линейных и угловых измерений. В портфолио представлен датчик ZMT32 в диапазоне до 180° угла поворота дипольного магнита, функционирующий в расширенном температурном диапазоне до +160 °С.

ZMT32 объединяет два гальванически развязанных моста Уитстона с угловым смещением в 45°, каждый из которых по отдельности покрывает угол поворота вектора магнитного поля до 45°, а благодаря известным вычислительным алгоритмам — до 180°. Вращающееся магнитное поле является источником двух синусоидальных сигналов ($\sin 2\phi$ и $\cos 2\phi$, где ϕ — угол поворота), для которых требуется внешняя обработка с применением функции арктангенса для вычисления относительного угла ϕ между сенсорной осью и направлением поля. Датчик ZMT32 функционирует в условиях слабых магнитных полей $H_{rot} = 8-25$ кА/м. Типичные области применения — измерения углов и угловой скорости в автоэлектронике и других областях.

Новый аналоговый iAMR-энкодер угла TLE5109

В 2013 году Infineon добавила в свое портфолио еще одну свою инновационную разработку — аналоговый АМР-датчик с синусно-косинусными выходами TLE5109, открывающий новое семейство iAMR-энкодеров угла в диапазоне до 180°.

Заявленные ключевые признаки устройства:

- Постоянная амплитуда вне зависимости от температуры.
- Встроенная температурная компенсация смещения.
- Временная задержка — около 9 мкс.
- Угловая ошибка $\leq 1,2^\circ$.
- Скорость до 30,000 об/мин.
- Автомобильная квалификация в диапазоне до +125 °С.

Общие характеристики:

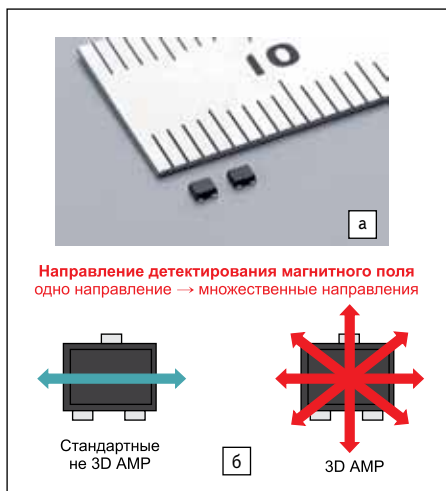
- Однозначное детектирование в угловом диапазоне до 180°.
- Предусиленные сигналы, отсутствие необходимости в дополнительном усилителе.
- Температурно-скомпенсированные амплитуды, использование полного диапазона АЦП в температурном диапазоне.
- Одноконечный и дифференциальные выходы, независимость от используемого МК.
- Диагностические функции — повышенный уровень безопасности.

AMP-датчики Murata.

Чувствительность в 3D

В ответ на потребности клиентов в AMP-датчиках, Murata представила в 2013 году первый в мире AMP-датчик с омнонаправленной чувствительностью к магнитному полю параллельно поверхности корпуса в диапазоне 360° с использованием магнитной сенсорной технологии NEC Corp [38] (рис. 22). Результатом разработки стал AMP-датчик, чувствительный во всех направлениях в диапазоне 360° и способный выполнять функции нескольких обычных приборов. Новый продукт MRMS591A имеет более доступную цену и допускает детектирование магнитного поля посредством одного компактного устройства. Размеры компактного корпуса составляют 1,45×1,45×0,55 мм.

Производитель заявляет о 3D-способности данного датчика к обнаружению магнитного поля, для чего прежде требовались несколько (3–6) датчиков магнитного поля. AMP-датчик представляет собой тип устройства, которое использует свойство изменения магнитосопротивления под действием магнитного поля, приложенного в определенном направлении. Подобные типы датчиков применяются, например, в сотовых телефонах или ноутбуках, для контроля открытия/закрытия дверей, рефрижераторов, а также для детектирования вращения в интеллектуальных расходомерах.



Направление детектирования магнитного поля
одно направление → множественные направления

Стандартные
не 3D AMP

3D AMP

Рис. 22. AMP-датчик Murata: а) внешний вид; б) сравнение чувствительности обычного AMP-датчика с чувствительностью датчика Murata

Эти датчики рекомендованы для установки в таких приборах, как расходомеры электроэнергии, газа и воды, устройства охранной безопасности, игровые машины, переключение при обнаружении мобильного телефона в устройствах помощи слуху.

Высокочувствительные AMP-датчики Honeywell с энергопотреблением в диапазоне нанотока

Компания Honeywell представила первые в отрасли интегральные схемы анизотропных магниторезистивных датчиков серии Nanopower — SM353LT и SM351LT в миниатюрных корпусах SOT-23 для поверхностного монтажа на плату [39–40].

Одна из причин, по которой компания Honeywell предпочитает AMP-технологии датчикам Холла (у компании ранее уже имелась аналогичная версия ИС Холла), — существенное повышение цен на редкоземельные магниты, вторая — максимизация срока работы устройств от батарей. Новые ИС магниторезистивных датчиков Honeywell серии Nanopower предназначены для батарейных устройств благодаря нанопотреблению тока и высокой чувствительности в расчете на работу со слабыми магнитными материалами и большими воздушными зазорами.

Датчики срабатывают на любой, северный или южный полюс магнита, создающего магнитное поле, параллельное поверхности корпуса микросхемы, и не требуют pull-up-резистора. Сверхминиатюрный корпус SOT-23 рассчитан на автоматический монтаж (рис. 23а–в).

Ключевые признаки серии — два высоких уровня магнитной чувствительности, осуществленные в двух версиях датчиков:

- ультравысокая чувствительность (SM351LT): типичные значения составляют от 0,7 мТл до 1,1 мТл максимум;
- очень высокая чувствительность (SM353LT): типичные значения — от 1,4 мТл до 2 мТл. Энергопотребление датчиков находится в диапазоне нанотока — 360 нА для SM351LT и 310 нА для SM353LT.

По сравнению с другими широко используемыми магнитными технологиями AMP-датчики предлагают ряд преимуществ. Так, если сопоставить эти приборы с герконовыми реле, то ИС AMP-датчиков Nanopower меньше по размерам, но превосходят их по долговечности и надежности, обладают аналогичной чувствительностью, почти такой же стоимостью и низким энергопотреблением. AMP-датчики Nanopower предназначены для батарейных систем и работы при больших воздушных зазорах.

По сравнению с датчиками Холла чувствительность новых ИС магниторезистивных датчиков серии Nanopower выше: они могут работать при воздушных зазорах, в два раза превышающих зазоры для датчиков Холла. Более высокая чувствительность увеличивает гибкость проектирования и помогает добиться существенного снижения стоимости благодаря использованию более слабых или меньших по размерам магнитов. Независимость от полярности позволяет задействовать датчик как южным, так и северным полюсом, исключая необходимость определения полярности магнита, что упрощает установку и предоставляет возможность снизить системную стоимость.

ИС AMP-датчиков серии Nanopower рекомендованы для применения в широком

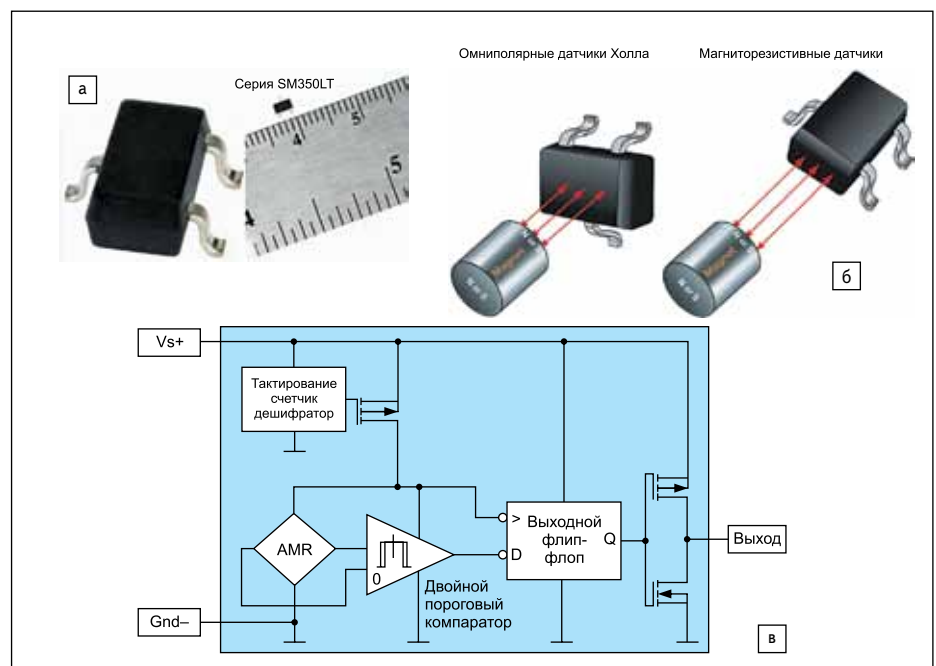


Рис. 23. Новая серия AMP-датчиков Honeywell Nanopower (SM351LT и SM353LT):

а) внешний вид; б) сравнение чувствительности омниполярных датчиков Холла и AMP в тех же корпусах; в) функциональная диаграмма SM351LT

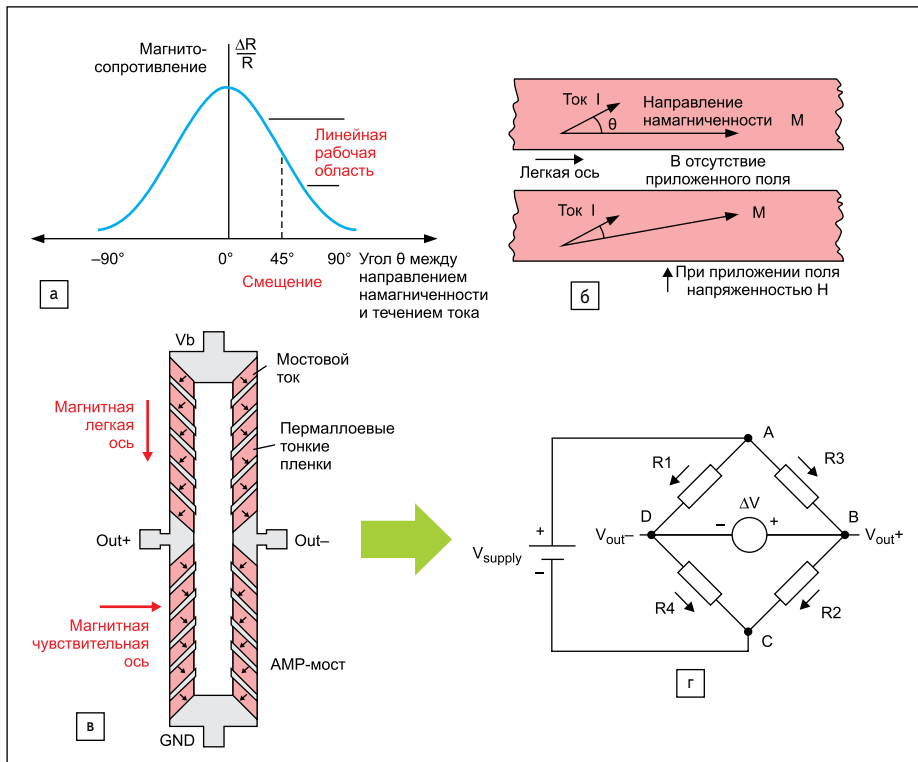


Рис. 24. Применение технологии AMP Honeywell в компасах STMicroelectronics: а) передаточная характеристика AMP-элемента в зависимости от приложенного поля; б) изменение угла намагниченности AMP-элемента в приложенном поле; в, г) структура AMP-элементов моста Уитстона (в) с эквивалентной схемой (г)

ской электроники компании STMicroelectronics используют технологию AMP-магнитометров Honeywell.

Данная технология основана на тех же принципах, что и, например, у датчиков положения компании NXP (рис. 24а–г). В AMP-датчиках сопротивление ферромагнитных материалов представляет собой функцию угла между током и направлением намагниченности. Barber-структуры в сенсорных резисторах включают диагональные закорачивающие полосы, которые вызывают вращение тока на 45° , таким образом смещая датчик в линейный диапазон и повышая его чувствительность. AMP-датчики ST/Honeywell (например, компас LSM303DLHC) представляют собой объединение резисторов в полностью дифференциальный мост Уитстона с диагональными элементами, идентичными друг другу, но имеющими различную полярность, то есть при приложении поля сопротивление одних резисторов увеличивается, а других — уменьшается. При приложении поля изменение сопротивления каждого резистора на выходе моста формирует дифференциальное напряжение, пропорциональное измерению сопротивления под действием приложенного поля. Резисторы чувствительны к температурным изменениям, которые наводят на напряжение смещения на выходе моста, но этот эффект может удаляться методом настройки и сброса (рис. 24д, е).

AMP-магнитометры ST/Honeywell используют технологию set/reset (настройки и сброса) AMP-элементов, что позволяет достигать высокой точности и повторяемости результатов измерений магнитного поля, полностью удаляя смещение посредством вычитания результатов ST/Honeywell и смещая данный метод и с отлаженной технологией производства и контроля депонирования пермаллоевых пленок.

диапазоне устройств с батарейным питанием, включая счетчики воды и газа, электричества, промышленные сигнализаторы дыма, тренировочное оборудование, системы безопасности, карманные компьютеры, сканеры, бытовую технику, в том числе посудомоечные машины, микроволновые печи, стиральные машины, холодильники и кофемашины, медицинское оборудование, например больничные кровати, устройства дозирования

лекарств, инфузионные насосы, а также потребительские электронные устройства — ноутбуки, планшеты и переносные громкоговорители.

Технология AMP Honeywell в компасах и магнитометрах ST

Как известно, высокотехнологичные МЭМС-магнитометры, компасы и мультиосевые сенсорные решения для потребитель-

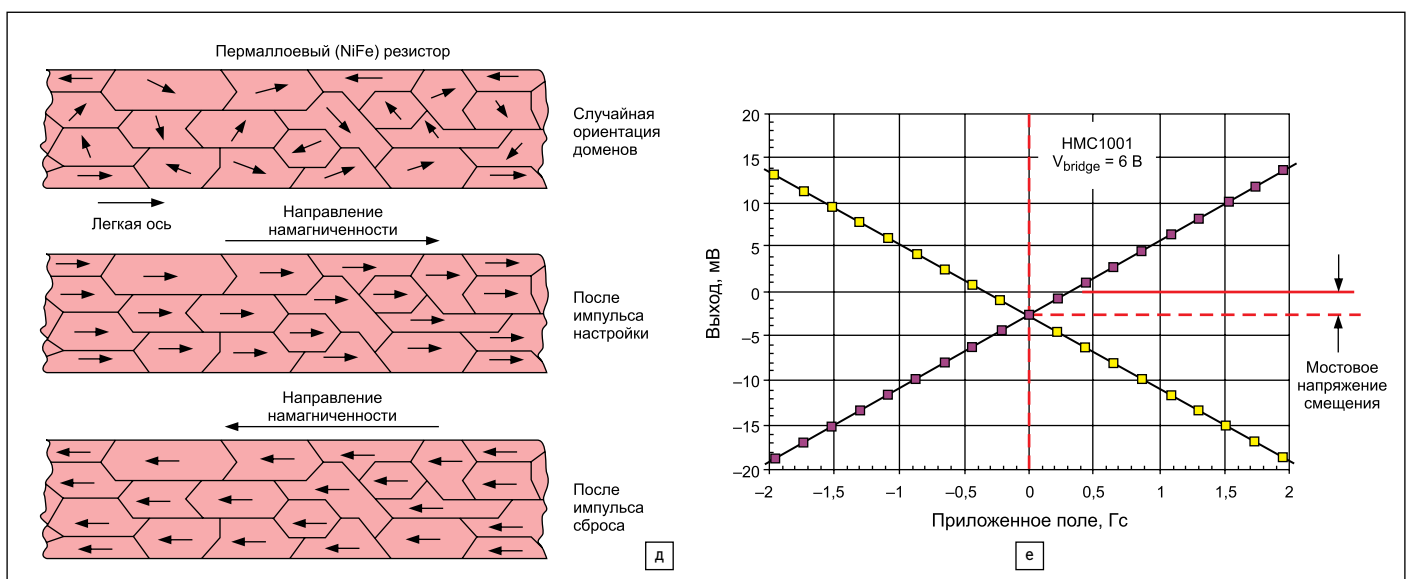


Рис. 24. Применение технологии AMP Honeywell в компасах STMicroelectronics: д, е) сущность операций настройки и сброса (д) и результат (е) удаления смещения

Магнитометры ST/Honeywell имеют встроенную функцию самотестирования и обеспечивают весьма конкурентоспособные измерительные характеристики (магнитное разрешение до 0,2 мТл в диапазоне от $\pm 0,13$ до $\pm 1,6$ мТл, заявленная высокая точность и т.п.) вместе с неуклонным снижением размеров корпусов и достижением более плотной кристалльной интеграции. В портфолио датчиков магнитного поля ST имеются как комби-датчики, так и автономные устройства. Пример автономного магнитометра — LIS3MDL — ультрамаломощный датчик с высокими характеристиками (рис. 24з-к).

Компасы ST отличаются весьма низким потреблением мощности (ток потребления компаса в обычном режиме порядка 110 мкА). В режиме power-down оба датчика используют всего 1 мкА, в маломощном магнитометре — 40 мкА, в высокоразрешающем — 270 мкА.

Магнитометры ST рекомендованы как однокристалльное решение для компасов со скомпенсированным наклоном, определения курса в магнитном поле Земли или компенсации дрейфа гироскопа в 9-осевых мультисенсорных решениях.

Спектр ГМР-датчиков от компании NVE

Компания NVE предлагает широчайший спектр ГМР-датчиков для многих других применений в автоэлектронике, промышленности, основные группы которых включают аналоговые, цифровые и датчики зубчатого ротора [11, 12, 32].

Ключевые преимущества этих датчиков состоят в высокой чувствительности, высоком уровне первичного сигнала, отсутствии необходимости усиления, больших рабочих диапазонах (угловой диапазон — до 360°), зазорах и широких механических допусках, а недостатки — только в отсутствии интегрированной схемотехники того же уровня, что и у датчиков Холла, поэтому измерительная точность будет в большей степени зависеть от разработчика устройства верхнего уровня интеграции, чем от поставщика компонентов. Многие решения, например датчики скорости семейства AKL, являются достаточно высокоинтегрированными устройствами с готовым импульсным выходом [11].

У компании NVE также сравнительно недавно появилась серия ГМР-датчиков, разработанная для медицинских применений и характеризующаяся энергопотреблением в диапазоне нановатт (рис. 25).

Линейка медицинских ГМР-датчиков BDX27 с нанопотреблением мощности

Низковольтные ГМР-датчики магнитного поля с нанопотреблением мощности предназначены для имплантируемых медицинских приборов, работающих на батарейках. Датчики способны работать при напряжениях питания от 0,9 до 2,4 В и закорпусированы

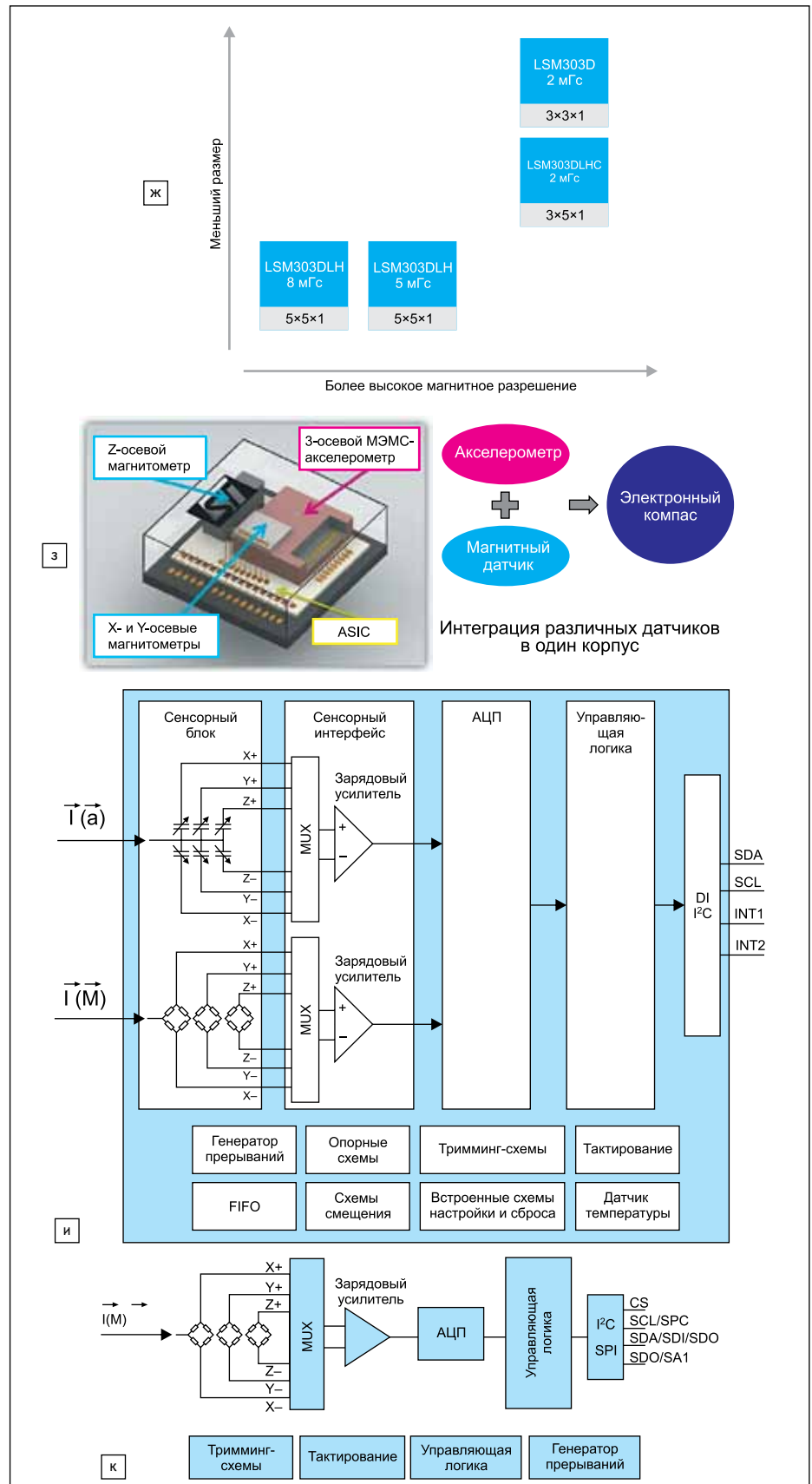


Рис. 24. Применение технологии AMP Honeywell в компасах STMicroelectronics: ж) эволюция размеров корпусов компасных модулей ST; з) и) LSM303D — компасы последнего поколения в ультракомпактных корпусах; з) устройство компаса; и) функциональная блок-диаграмма LSM303DLHC; к) функциональная блок-диаграмма магнитометра LIS3MDL

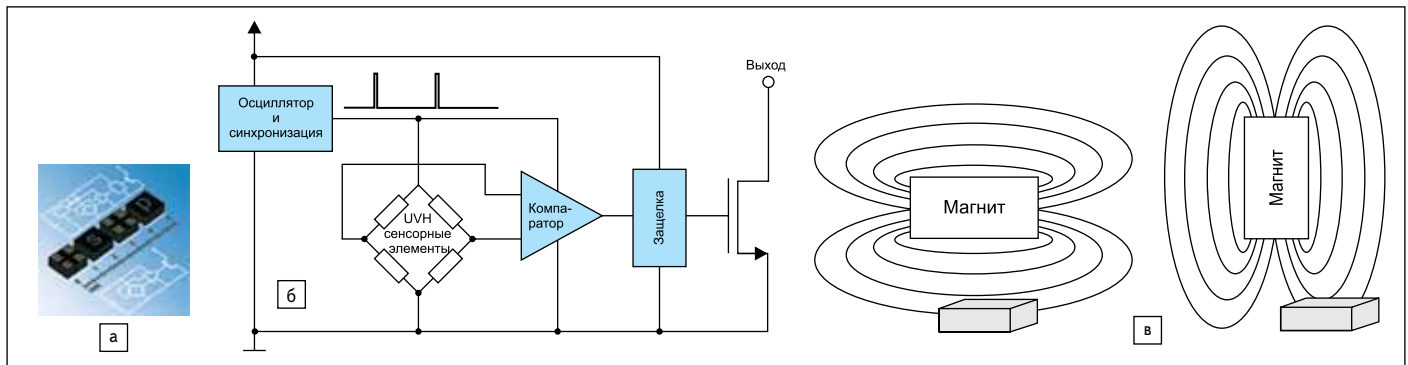


Рис. 25. Медицинский ГМР-ключ NVE BD027-14E: а) внешний вид; б) блок-диаграмма; в) иллюстрация применения

в миниатюрных 4-выводных ULLGA бесвинцовых корпусах размерами (1,1×1,1×0,4 мм), а также предлагаются в виде незакорпированных кристаллов bare-die размерами 0,625×0,625 мм для сборки посредством проводного соединения. Семейство BDx27 функционирует как магнитный ключ — датчик, выход которого включается, когда магнитное поле прикладывается, и отключается при удалении поля. Стандартная магнитная точка срабатывания является стабильной в полном диапазоне рабочих условий напряжения питания и температуры и составляет 1,5 мТл. Интегральные схемы датчиков состоят из ГМР-элементов датчика, схемы обработки сигнала для преобразования аналогового выхода сенсорных элементов в цифровой выход, и, опционально, осциллятора и схемы синхронизации для управления рабочим циклом питания. Датчик, как правило, потребляет 45 нВт максимум на 0,9 В. Другие устройства потребляют несколько больше мощности.

Так, BD020 — другой пример ключей с напотреблением мощности порядка 72 нВт на 2,4 В (рабочее напряжение 2,4–3,6 В). BD927-14E потребляют порядка 20 мкВт на 0,9 В.

ГМР-датчики скорости и угла Infineon

На данный момент Infineon производит два высокоинтегрированных ГМР-датчика скорости — TLE5025C и TLE5041plusC [6].

Колесный датчик скорости TLE5041plusC (рис. 26а) разработан для автомобильных систем ABS, ESP (Electronic Stability Control) и систем косвенного мониторинга давления шин (iTTPMS). TLE5041plusC представляет собой монолитную микросхему со смешиванием сигнала, которая включает интегрированные гигантские магниторезистивные (iGMR) элементы с 2-мм шагом, способные детектировать направление магнитного поля, обеспечивая высокую чувствительность, высокий уровень характеристик и отличающиеся максимальной стойкостью в отношении электростатического разрушения и высокой ЭМС. Микросхема имеет двухпроводной токовый интерфейс, поставляется в корпусе PG-SSO-2 и практически не требует внешних компонентов.

Список преимуществ включает низкий джиттер, высокую чувствительность, большой воздушный зазор, устойчивость к возмущающим полям и механическим напряжениям, рабочий температурный диапазон –40...+150 °С.

Целевые применения:

- ESP (электронная система динамической стабилизации автомобиля).
- ABS или ESP с косвенным мониторингом давления шин indirect TPM (iTTPMS).
- Контроль частоты вращения колес в ABS.
- Контроль давления по окружности шин Circumference-based tire pressure monitoring (TPMC).
- Частотный контроль давления в шинах Frequency-based tire pressure monitoring (TPMF).

ГМР-энкодеры для измерений угла и контроля BLDC-двигателей

Infineon — единственная фирма, которая предлагает для автомобильного сегмента коммерческие версии высокоинтегрированных ГМР-энкодеров и связывает большое будущее с применением ГМР-технологии для автомобильных датчиков положения и контроля бесколлекторных двигателей постоянного тока [6].

Вновь представленные датчики угла TLE5009 и TLE5012B (рис. 26б–е) измеряют ориентацию магнитного поля параллельно их поверхности корпуса в пределах диапазона от 0° до 360°. Основанные на инновационной ГМР-технологии iGMR (integrated Giant Magnetic Resistive), новые датчики

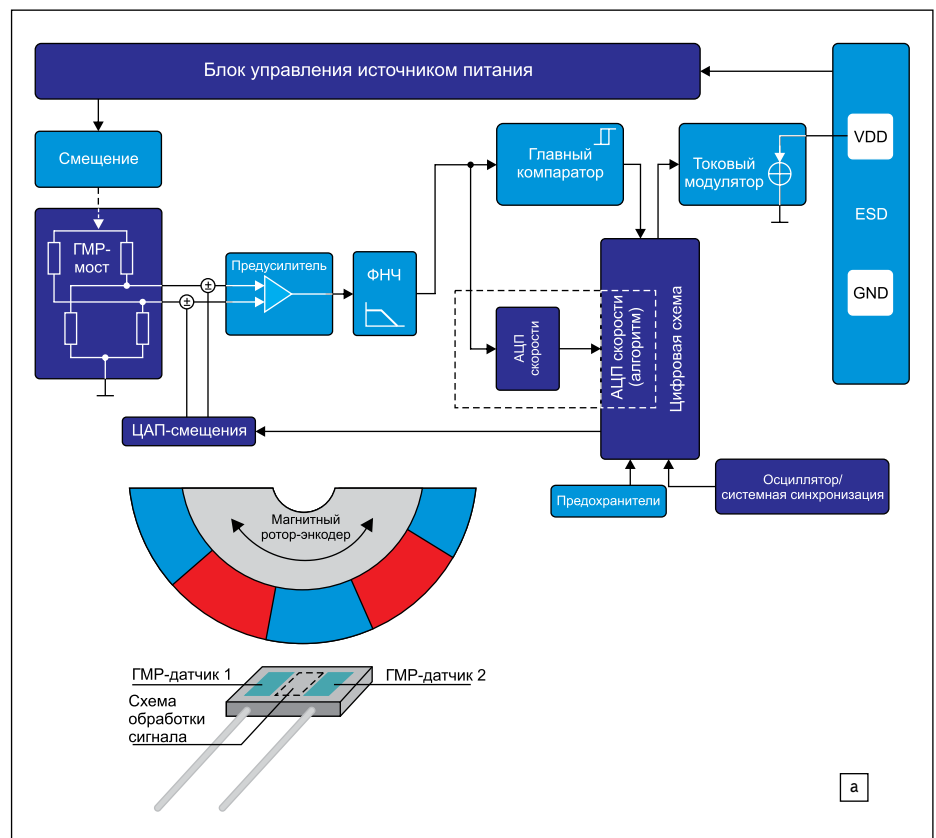


Рис. 26. ГМР-датчики скорости и положения Infineon: а) TLE5041plusC — дифференциальный iGMR-датчик скорости колеса для систем indirect TPMS (iTTPMS)

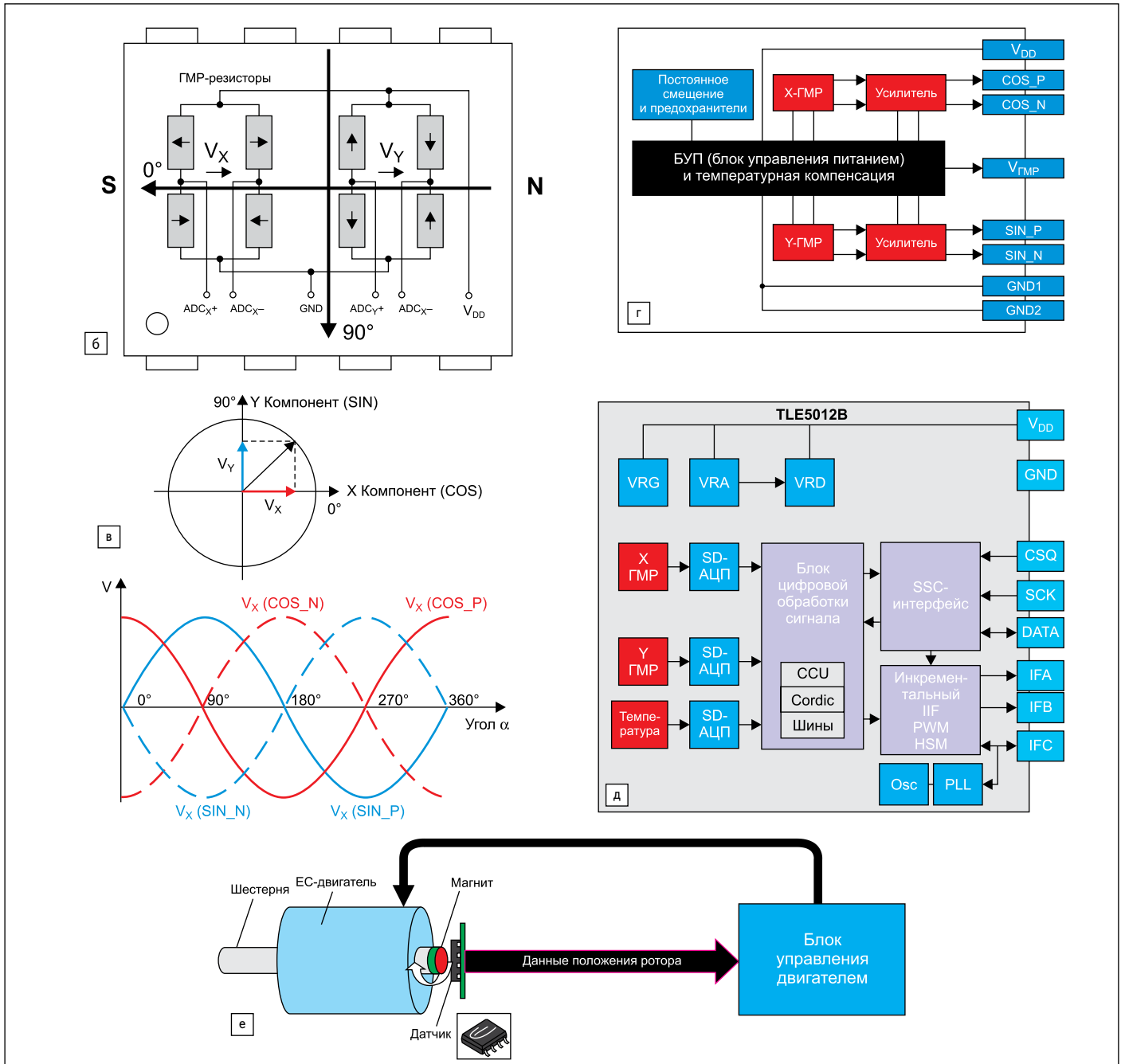


Рис. 26. ГМП-датчики скорости и положения Infineon:

б–е) ГМП-энкодеры Infineon для измерений угла и контроля BLDC-двигателей:

б) чувствительные мосты ГМП-резисторов; в) выходные сигналы; г) TLE5009 — ГМП-энкодеры угла в диапазоне 360 °C синусно-косинусными выходами (функциональная диаграмма);

д) TLE5012 — высокоинтегрированные цифровые ГМП-энкодеры в диапазоне 360° (функциональная диаграмма); е) применение для контроля BLDC-двигателей

угла TLE5009 и TLE5012B прокладывают путь к более комфортным и энергосберегающим концепциям контроля двигателей. Непосредственное измерение угла ротора может еще больше повышать уровни эффективности и минимизирует вибрации, что, в свою очередь, снижает уровни шумов и гарантирует плавное переключение.

TLE5009 — энкодер с синусно-косинусными выходами, который характеризуется встроенной температурной компенсацией смещения, временем задержки угловых измерений порядка 9 мкс, что подходит для вы-

сокоскоростной работы (до 30000 об/мин), и угловой ошибкой $\leq 3^\circ$.

TLE5012B — высокоточный и высокоинтегрированный цифровой энкодер с различными опциями интерфейса.

Частные ключевые признаки датчика TLE5012B включают:

- 15-битное абсолютное разрешение;
- Время обновления вычислений угла — 42 мкс;
- Интерфейсы: HSM, IIF, SPI, PWM, SPC;
- SPI — 8 Мбит/с;
- угловая ошибка — $\leq 1^\circ$.

Угловые датчики серий TLE5009 и TLE5012B характеризуются быстрым обновлением и малой латентностью — короткими периодами задержки сигнала порядка 9 мкс для TLE5009 и 42 мкс для TLE5012B. Таким образом достигается высокая эффективность переключения даже при быстрых скоростях вращения и изменениях нагрузки. Кроме того, интегрированная обработка сигнала TLE5012B снижает нагрузку на микроконтроллер, выполняя точные вычисления угла и калибровочные алгоритмы: угловое значение от TLE5012B может быть непосред-

ственно использовано в цикле управления двигателем.

TLE5009 представляет собой решение с аналоговым интерфейсом, эффективное в стоимостном плане и легкое в осуществлении, а гибко настраиваемые и высокоинтегрированные датчики TLE5012B имеют расширенные функции обработки данных и различные избирательные пользовательские интерфейсы. Со скоростью обновления порядка 42 мкс устройства TLE5012B устанавливает новые стандарты де-факто в отношении комбинирования малого времени задержки с высоким разрешением сигнала. Датчики обеспечивают высокую угловую точность в 1 °С 15-битным разрешением с полным сохранением функциональности. Это позволило производителю рекомендовать TLE5012B для точной регистрации положений ротора в высокочастотных системах — робототехнике или электрического рулевого управления. Для достижения высокой степени функциональной надежности датчик TLE5012B обладает передовыми функциями самотестирования и мониторинга статуса, а также специальными признаками в архитектуре, например, имеет отдельные пути данных для каждого из двух интегрированных сенсорных мостов Уитстона. Оба датчика TLE5009 и TLE5012B работают при напряжении питания 3,3 или 5 В и поставляются в корпусе DSO-8.

В производстве также находится ГМР-энкодер TLE5011 — аналоговый датчик в диапазоне до 360°. TLE5011 характеризуется 16-битным цифровым синусно-косинусным выходом и интерфейсом SSC (SPI) до 2 Мбит/с с внутренней диагностикой.

Общие ключевые признаки датчиков TLE5009, TLE5012B и TLE5011 включают:

- Разработки для систем — 3,3 и 5 В.
- Угловой диапазон 360°.
- Автомобильная квалификация в диапазоне (-40...+150 °С).

Применения, помимо переключения BLDC-двигателей (рис. 26е), предусматривают контроль рулевого управления и различные датчики углового положения.

ТМР-датчики MDT

Китайская компания MultiDimension Technology Co., Ltd. в настоящее время известна как инновационная компания, специализирующаяся на разработке и массовом производстве датчиков на основе туннельного магниторезистивного (ТМР) эффекта и предлагающая своим клиентам возможность использования полного портфолио готовых продуктов — от ключей до датчиков зубчатого ротора и даже магнитных датчиков изображения. Список преимуществ ТМР включает ультранизкое потребление мощности, высокую чувствительность, низкий гистерезис, низкий шум, высокий динамический диапазон и превосходную темпера-

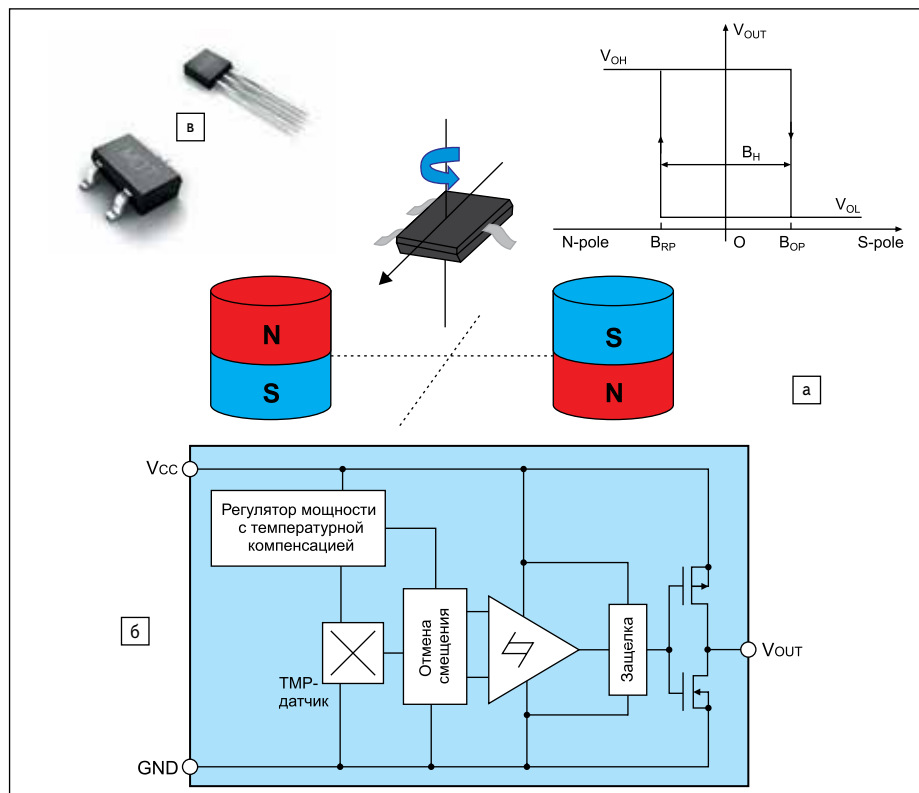


Рис. 27. Примеры ТМР-датчиков MDT Technologies:

а–в) ключи: а) измерительная конфигурация и принцип работы;

б, в) MMS2X1H — цифровой омниполлярный магнитный ключ, который интегрирует технологии ТМР и CMOS;

б) блок-диаграмма; в) внешний вид

турную стабильность. ТМР-датчики MDT, разработанные для медицинских, автомобильных, промышленных, потребительских и других применений, составляют основу последнего поколения магнитной сенсорной технологии, в чем компания MDT отдает предпочтение датчикам Холла.

На данный момент MDT — лидирующий поставщик ТМР-датчиков магнитного поля. Сегодня у компании MDT имеется полное портфолио готовых к использованию недорогих датчиков на основе магнитного туннельного перехода, в том числе интегрированных с ASIC. Первое поколение продуктов уже объединяет ключи, линейные и угловые датчики положения и датчики зубчатого ротора (градиометры). Полная линейка также предлагает магнитные датчики изображения и демонстрационные платы. MDT непрерывно создает новые продукты, основанные на разработанной ею магниторезистивной технологии, для удовлетворения клиентских требований.

Продуктовая линейка стандартных ТМР-датчиков MDT

В настоящее время у компании MDT имеются коммерческие версии датчиков с чувствительными ТМР-элементами практически всех известных типов (рис. 27), в том числе разработанных прежде для технологий эффектов Холла и XMR [10]:

- ТМР-ключи — характеризуются ультранизким потреблением мощности порядка 1 мкА при высокоскоростной работе, рекомендуются для различных расходомеров.
- ТМР-датчики зубчатого ротора способны детектировать роторы с малым шагом, подходят для обнаружения линейного и углового положения и в качестве датчиков скорости.
- ТМР линейные датчики — это датчики для измерения линейного положения/перемещений с высокими рабочими характеристиками, включая высокую чувствительность, низкие шумы, высокий динамический диапазон, низкий гистерезис, которые разработаны для использования в качестве датчиков магнитного поля и тока.
- ТМР-датчики угла — разработаны для бесконтактных измерений угла в 360° диапазоне с высокоамплитудным выходом напряжения и применения в качестве угловых датчиков положения и энкодеров.
- ТМР магнитные датчики изображений — высокочувствительные 1/6/18-канальные модули для магнитного считывания банкнот и карт, обладающие способностью извлечения магнитных изображений для применений с целью контроля финансов и против контрафакции.
- ТМР электронные компасы — новые Z-осевые компоненты для применений в потребительской электронике.

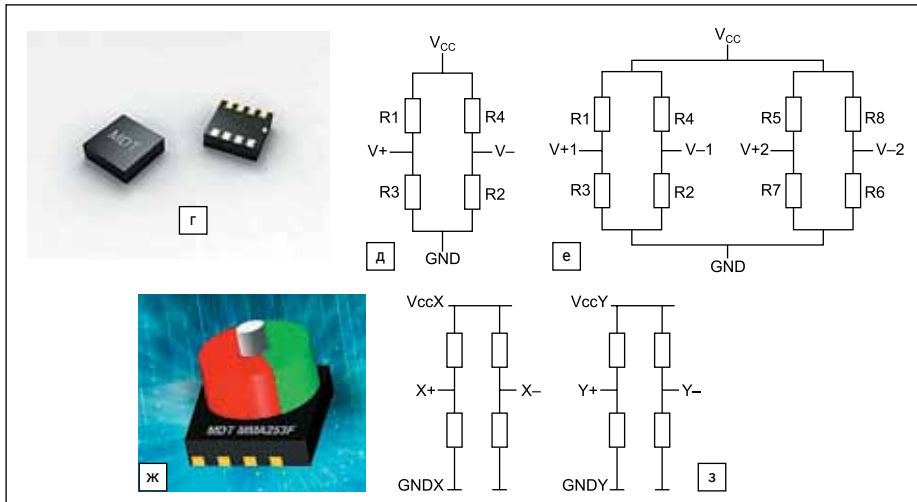


Рис. 27. Примеры ТМР-датчиков MDT Technologies:
 г–е) MMGX45 — первый ТМР магнитный датчик зубчатого ротора от MDT:
 г) внешний вид; д, е) блок-диаграммы: д) одноэстовой конфигурации; е) двухэстовой конфигурации;
 ж, з) датчики угла поворота дипольного магнита:
 ж) измерительная конфигурация и внешний вид двухэстового первого ТМР-датчика угла MMA253F; з) мостовая схема

влияние нестабильности электрического интерфейса, перепадов температур и электромагнитных помех. Для датчиков магнитного поля характерно отсутствие хрупких частей, твердость, высокая степень интеграции и миниатюризации датчиков, способных работать в паре с малым постоянным магнитом или широким набором подходящих и недорогих роторов. Существует обширная и активно развиваемая компонентная база интегральных датчиков Холла и альтернативных ХМР-решений для интеграции в стандартные измерительные конфигурации или МЭМС.

Лидирующие поставщики стремятся охватить все существующие и предлагают новые применения датчиков магнитного поля, оптимизируя свои новые предложения компонентов в плане обеспечения функциональности, уровня характеристик, энергосбережения, размеров корпусов. Параллельно лидеры в данной сфере демонстрируют новые уровни системной интеграции, функциональной безопасности, предлагают новые архитектуры, интегральные и неинтегральные технологии и решения, и даже новые комбинации датчиков магнитного поля с другими устройствами в микромасштабном измерении, например, с энергособирателями или МЭМС.

Рынок датчиков магнитного поля пребывает в ожидании следующей волны инноваций в связи с очевидными преимуществами ТМР-эффекта с точки зрения уровня обеспечиваемых ими характеристик. В качестве базы для инноваций могут использоваться те же хорошо известные измерительные конфигурации и принципы, положенные в основу функционирования ключей, датчиков скорости, положения, энкодеров или джойстиков, а собственно инновации ожидаются в виде итогового результата разработки ТМР-материалов, ASIC-решений, новых применений и продуктов на данной основе. Предстоит довольно интересная игра, в которую автор находит необходимым включаться уже сейчас.

Литература

32. <http://www.innovationsinsightmag.com/content/avtomobilnye-datchiki-polozheniya-i-skorosti-datchiki-magnitnogo-polya-razvyornuty-spisok>
33. Сысоева С. С. Разработка нового поколения автомобильных датчиков скорости и положения // Компоненты и технологии. 2014. № 4.
34. АМР-датчики магнитного поля компании NXP. Спектр актуальных решений различного уровня интеграции. <http://www.innovationsinsightmag.com/articles/amr-datchiki-magnitnogo-polya-kompanii-nxp-spektr-aktualnyh-resheniy-razlichnogo-urovnya>
35. KMA36-SPI MEAS — новая версия углового и линейного энкодера KMA36 с цифровым выходом. <http://www.innovationsinsightmag.com/news/kma36-spi-meas-novaya-versiya-uglovogo-i-lineynogo-enkodera-kma36-s-cifrovym-vyehodom>

Особенности ТМР-эффекта, обусловившие столь широкий круг его применений, состоят в уникальном наборе признаков — возможности детектирования слабых магнитных полей, высокой чувствительности, высокому SNR, широким допуском воздушного зазора, отсутствии подверженности воздействию наклонов и вибраций в вертикальном направлении. Стандартные ТМР-датчики чувствительны к параллельному поверхности корпуса полю, устойчивы к электромагнитной интерференции и обеспечивают компактный и недорогой дизайн в различных применениях. Впрочем, у MDT уже есть инновационные разработки Z-осевых ТМР-датчиков, чувствительных к полю, перпендикулярному поверхности корпуса, что компания планирует использовать для создания электронных компасов и замещения датчиков Холла в стандартных для них конфигурациях измерения тока и линейного положения. ТМР-датчики показывают малые шумы, температурную стабильность, высокий динамический диапазон и достигают ультрамалого потребления мощности. Датчики Холла не могут обеспечивать все эти преимущества на том же уровне.

За исключением ключей, все остальные стандартные предложения ТМР-датчиков MDT представляют собой только датчики без ASIC — с выходом напряжения, пропорциональным приложенному полю, без дополнительных схем обработки сигналов. Вопрос интеграции с ASIC в одном интегральном корпусе датчика как готового и полного, а также недорогого системного решения — это лишь вопрос времени. На данный момент MDT не только имеет в списке своих предложений компоненты в стандартных корпусах, но и ориентирована на совместную разработку клиентских модульных решений. Самостоятельно достигнутая фирмой MDT

степень интеграции продемонстрирована, в частности, ТМР-ключами, интегрирующими технологии ТМР и CMOS, и ТМР-датчиками изображения или магнитных паттернов, объединяющими в одном модульном корпусе ТМР-элементы, смещающий магнит и плату и формирующими на выходе многоканальный сигнал напряжения. Вопрос о скорейшем замещении датчиками MDT высокоинтегрированных ASIC Холла в большинстве коммерческих применениях пока поднимать нет смысла. Тем не менее интеграция с ASIC и/или другими внешними компонентами в отсутствие жестких ограничений со стороны факторов цены и времени разработки — это реально решаемая задача и работа на сегодняшний день для компаний, которым интересно повышение уровня измерительных характеристик, уникальное позиционирование собственной продукции и установление конкурентного превосходства в данном рыночном сегменте.

Заключение

Бесконтактность, высокая надежность, нечувствительность к грязи и влаге, отсутствию освещения, воздействию ускорения или гравитации — это основные преимущества магнитных систем. Бесконтактная магнитная сенсорная технология датчиков положения более надежна от природы, чем контактные и оптические технологии датчиков, высокочувствительные к загрязнениям пылью, грязью, инородными объектами, освещению или повышенным температурам.

Уровень развития технологии датчиков магнитного поля перекрывает любые виды чувствительности к температурным, механическим и электрическим воздействиям, включая косвенную чувствительность измерительных систем к ударам и вибрации,

36. Новая серия АМР-датчиков КХМР Measurement Specialties. Линейные энкодеры в DFN-корпусах. <http://www.innovationsinsightmag.com/news/novaya-seriya-amr-datchikov-kxmp-measurement-specialties-lineynye-enskodery-v-dfn-korpusah>
37. http://diodes.com/catalog/angle_sensors_109/zmt32.html
38. Первый в мире АМР-датчик Murata с 3D сенсорными функциями. <http://www.innovationsinsightmag.com/news/pervyy-v-mire-amr-datchik-murata-s-3d-sensornymi-funkciyami>
39. Новая серия Nanopower АМР-датчиков Honeywell — SM351LT и SM353LT. <http://www.innovationsinsightmag.com/news/novaya-seriya-nanopower-amr-datchikov-honeywell-sm351lt-i-sm353lt>
40. Switch Your Switch. Joshua Edberg, Honeywell Sensing & Control. <http://www.sensorsmag.com/sensors-products/switch-your-switch-14429>
41. Сысоева С. С. Магнитоуправляемые, MEMS- и мультисенсорные датчики движения 2009 года // Компоненты и технологии. 2009. № 8.
42. Сысоева С. С. Мир МЭМС. Дальнейшая конвергенция датчиков движения и смежных технологий на массовых рынках // Компоненты и технологии. 2011. № 6.
43. Micronas HAL 37ху — второе поколение угловых энкодеров на основе технологии 3D HAL. <http://www.innovationsinsightmag.com/news/micronas-hal-37xy-vtoroe-pokolenie-uglovyh-enskoderov-na-osnove-tehnologii-3d-hal>