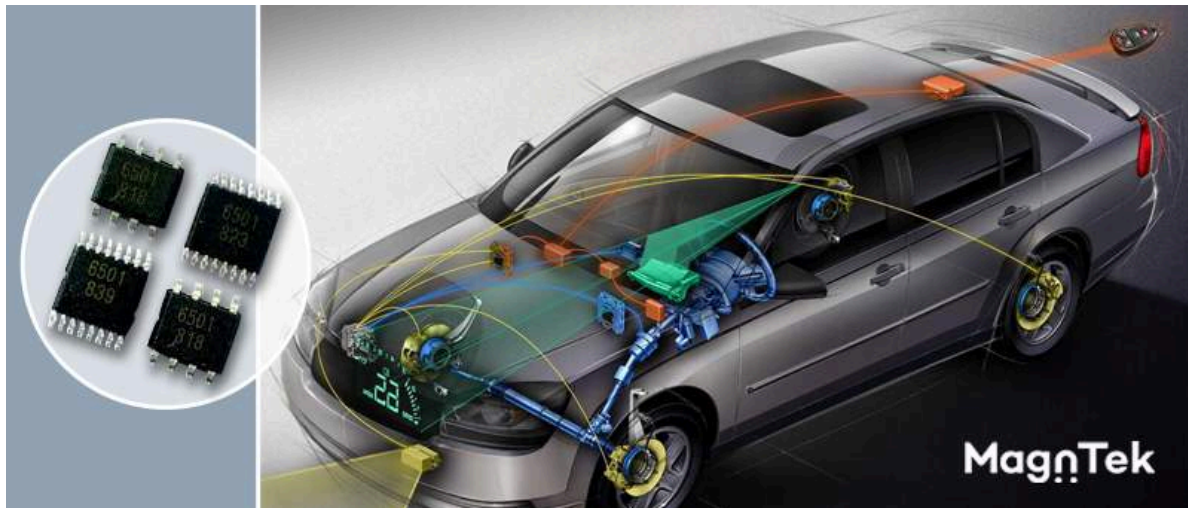


Энкодеры MagnTek для определения углов поворота

11 марта



автомобильная электроника | управление двигателем | лабораторные приборы | MagnTek | статья | датчики | Датчики Холла | Датчик магнитного поля | Энкодер

Сергей Попов, Алексей Попов (г. Воронеж)

Интегральные схемы **MagnTek** для построения магнитных энкодеров отличаются высоким уровнем функциональных, эксплуатационных и экономических характеристик. Они созданы по собственным разработкам компании и являются достойной заменой, а по многим параметрам и превосходят продукцию недоступных брендов. Со склада **КОМПЭЛ** доступны микросхемы этого производителя для магнитных энкодеров автомобильного (**MT6501CT-ADD**) и промышленного (**MT6701CT-STD**, **MT6813CT-LAC**) классов.

Магистральный путь развития современных технических систем – всеобъемлющая комплексная автоматизация на основе микроконтроллеров и микропроцессоров (устройств обработки информации), все более совершенных разнообразных датчиков (первичных источников информации об окружающей среде и техническом состоянии объектов) и каналов связи с высокой пропускной способностью и помехозащищенностью.

Среди различных вариантов современных сенсоров важное место занимают датчики углового положения различных валов, осей, роторов, заслонок, поворотных переключателей, рычагов, манипуляторов относительно соответствующих неподвижных деталей. В частных случаях они могут называться датчиками положения ротора (ДПР), входящими в состав вентильных электродвигателей, BLDC, БДПТ, PMSM, энкодерами, резольверами. Актуальность и масштабы применения датчиков угла поворота можно наглядно оценить на примере современного автомобиля (рисунок 1). Аналогичная картина наблюдается и в других областях техники.

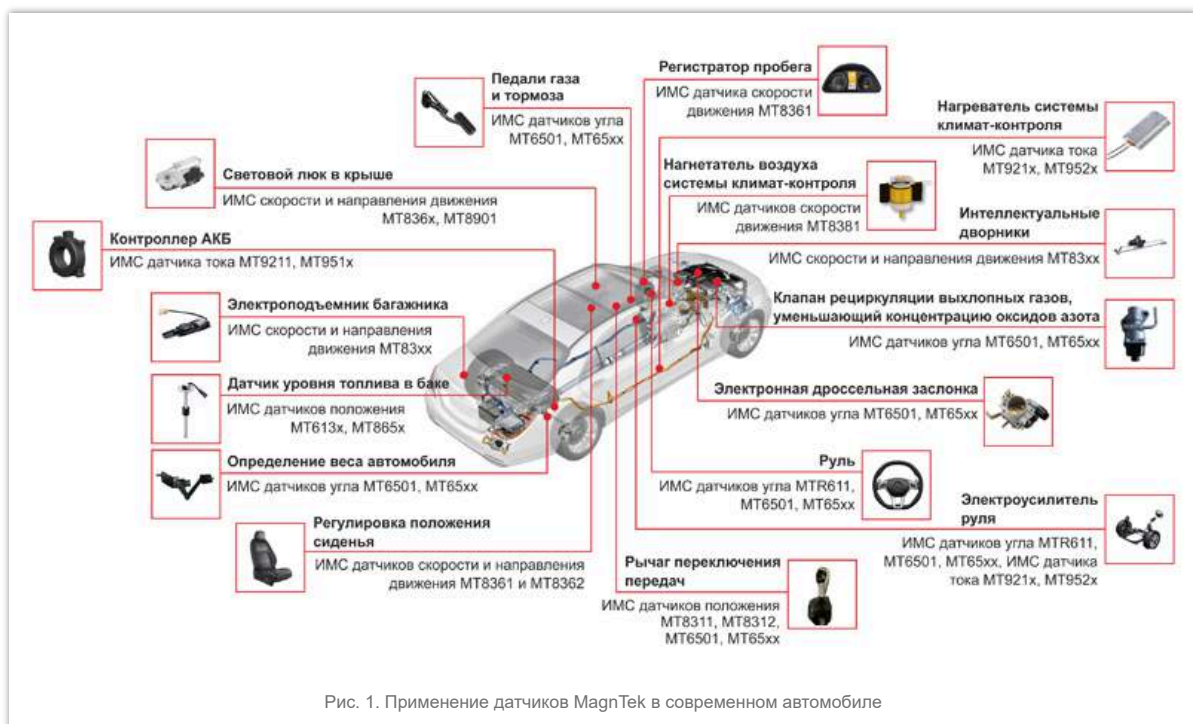


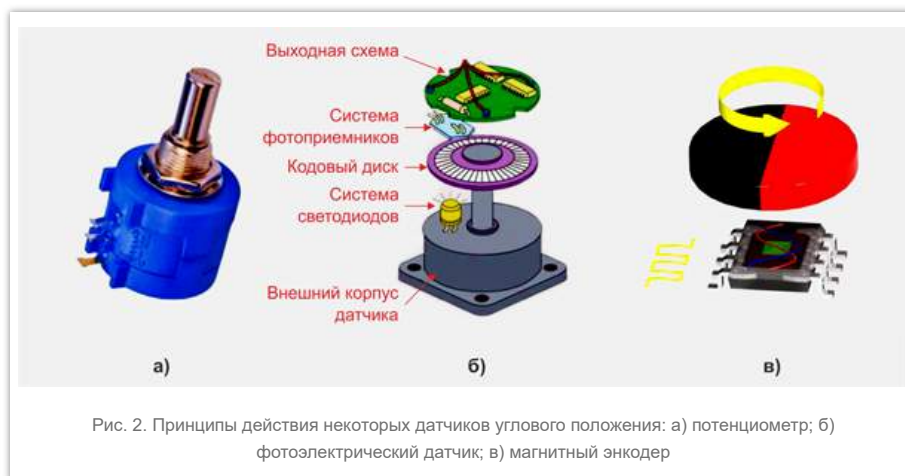
Рис. 1. Применение датчиков MagnTek в современном автомобиле

К современным датчикам предъявляется довольно много требований:

- точное воспроизведение контролируемой величины в выходном сигнале сенсора;
- статическая точность характеризуется интегральной ошибкой (нелинейностью), то есть отклонением фактической передаточной характеристики от номинальной, и шумами измерений;
- динамическая точность характеризуется полосой пропускания датчика и задержкой получения результата.
- устойчивость ко внешним воздействующим факторам (климатическим и механическим), в том числе сохранение исправности после экстремальных воздействий и приемлемо небольшая деградация точности при умеренных воздействиях в пределах рабочих диапазонов;
- малая чувствительность к мешающим факторам, например, датчики углового положения не должны, насколько возможно, реагировать на перекосы или радиальные и осевые смещения между контролируемым валом и валом самого датчика;
- габаритные размеры и/или масса датчика (предпочтение отдается сенсорам, которые можно интегрировать в контролируемое устройство);
- приемлемо малое энергопотребление хотя бы для обеспечения допустимого температурного режима датчика;
- продолжительный ресурс работы, небольшая интенсивность отказов. В автомобилестроении и некоторых других областях техники может требоваться безусловная безотказность, что достигается резервированием датчиков;
- невысокая стоимость;
- доступность в требуемых количествах.

С учетом конкретных особенностей того или иного применения в разных сегментах индустрии востребованы сенсоры с различными сочетаниями свойств. Приоритетными могут быть статическая точность, быстродействие, высокая надежность, габариты, устойчивость ко внешним воздействиям, минимальная цена и другие параметры. Поэтому в промышленности востребованы датчики с разными сочетаниями характеристик, но наиболее широко применяются приборы с наилучшим компромиссом всех вышеуказанных свойств, не имеющие «слабых мест».

Датчики углового положения могут быть реализованы на различных физических принципах. Некоторые варианты показаны на рисунке 2.



Наиболее простым решением является потенциометр – резистивный делитель напряжения с подвижным контактом, управляемый контролируемым валом. Сам по себе потенциометр (рисунок 2а) экономичен и пригоден для массового производства. Однако у такого датчика немало недостатков, таких как:

- ограниченный ресурс работы (даже у специальных типов потенциометров с износостойким пластиковым резистивным элементом – не более нескольких десятков миллионов оборотов);
- относительно высокий уровень шума;
- применение только для низких частот вращения;
- большой момент трения (сопротивления вращению);
- немалые размеры (для обеспечения надежности);
- внешнее сопряжение с контролируемым валом (неинтегральная конструкция);
- сравнительно большие погрешности преобразования (нелинейность и нестабильность).

Значительные дополнительные затраты на оборудование, обеспечивающее питание потенциометра, обработку его выходного напряжения и интерфейс датчика, обесценивают простоту принципа действия. Практически потенциометры находят ограниченное применение для контроля углового положения тихоходных валов при невысоких требованиях к точности.

Фотоэлектрические датчики углового положения (рисунок 2б) содержат системы светоизлучающих и фотоприемных элементов, кодовые маски – неподвижную на статоре и подвижную на роторе, которые совместно реализуют нониусный принцип получения высокого разрешения измеряемого углового положения, декодирующую схему и интерфейс. Такие датчики потенциально обеспечивают наиболее высокую точность и разрешающую способность. Они бесконтактные, имеют малый момент сопротивления

вращению и большой ресурс работы. Принципиально достижима достаточно высокая скорость обновления информации об угловом положении вала, а также допустима его высокая частота вращения.

Однако у фотоэлектрических датчиков имеются и значительные проблемы. Высокие точностные характеристики достигаются только при значительной стоимости (за счет дорогих прецизионных комплектующих и весьма тщательной сборки и юстировки), низких частотах вращения и малых погрешностях механического сопряжения контролируемого вала с валом датчика. У фотоэлектрических датчиков имеется принципиальная уязвимость к таким эксплуатационным и климатическим факторам, как выпадение инея, росы и запыленность воздуха.

Магнитный датчик углового положения (рисунок 2в) содержит постоянный магнит на вращающемся валу и одну или несколько магниточувствительных микросхем на статоре. При необходимости он может быть интегрирован в контролируемое устройство (постоянный магнит датчика устанавливается непосредственно на вал устройства). У датчика такого типа самая высокая устойчивость к различным механическим и климатическим воздействующим факторам. Это бесконтактный сенсор с малым моментом сопротивления вращению и большим ресурсом работы. Принципиально достижима достаточно высокая скорость обновления информации об угловом положении вала, а также допустима его высокая частота вращения. Магнитный датчик может иметь невысокую стоимость (по крайней мере он обеспечивает наилучший компромисс между точностью, устойчивостью, надежностью и стоимостью, по сравнению с другими датчиками угла) и пригоден для массового производства и применения. Магнитные энкодеры уступают фотоэлектрическим по предельно достижимой точности, однако их неуклонный прогресс в повышении точности сокращает нишу применения фотоэлектрических энкодеров.

До появления специализированных больших интегральных микросхем, обеспечивших впечатляющий прогресс фотоэлектрических, особенно магнитных энкодеров, в качестве датчиков углового положения широко применялись информационные электрические машины: вращающиеся трансформаторы, сельсины, индуктосины, редуктосины, емкостные датчики, нередко объединяемые наименованием «резольверы» (рисунок 3б). Они отличаются надежностью и устойчивостью к воздействующим факторам, в том числе к ионизирующей радиации. Однако высокая стоимость и малые объемы производства определяют их ограниченное применение в таких областях, как военная и аэрокосмическая техника, частично автомобилестроение и промышленное оборудование.

Для реализации магниточувствительных микросхем, используемых в магнитных энкодерах, задействуют постоянный магнит в качестве модулятора (источника магнитного поля) и различные физические эффекты (рисунок 3):

- эффект Холла, при котором постоянный магнит задействован в качестве модулятора (рисунок 3а);
- индукционный эффект, когда в датчике применяется ВЧ-несущая электромагнитного поля с модуляцией магнитной проводимости кодовым диском на роторе (рисунок 3б);
- магниторезистивный эффект (рисунок 3в):
- AMR-анизотропный;
- TMR-туннельный;
- GMR-гигантский (спинтроника).



Эффект Холла, открытый в 1879 году, хорошо интегрируется на кремниевый чип. При этом обеспечивается чувствительность к составляющей магнитного поля, перпендикулярной поверхности чипа, как показано на рисунке 3а. Такой датчик – недорогое решение, однако его низкая чувствительность ведет к невысокой точности. В настоящее время магниточувствительные ИМС на эффекте Холла занимают около 65% рынка.

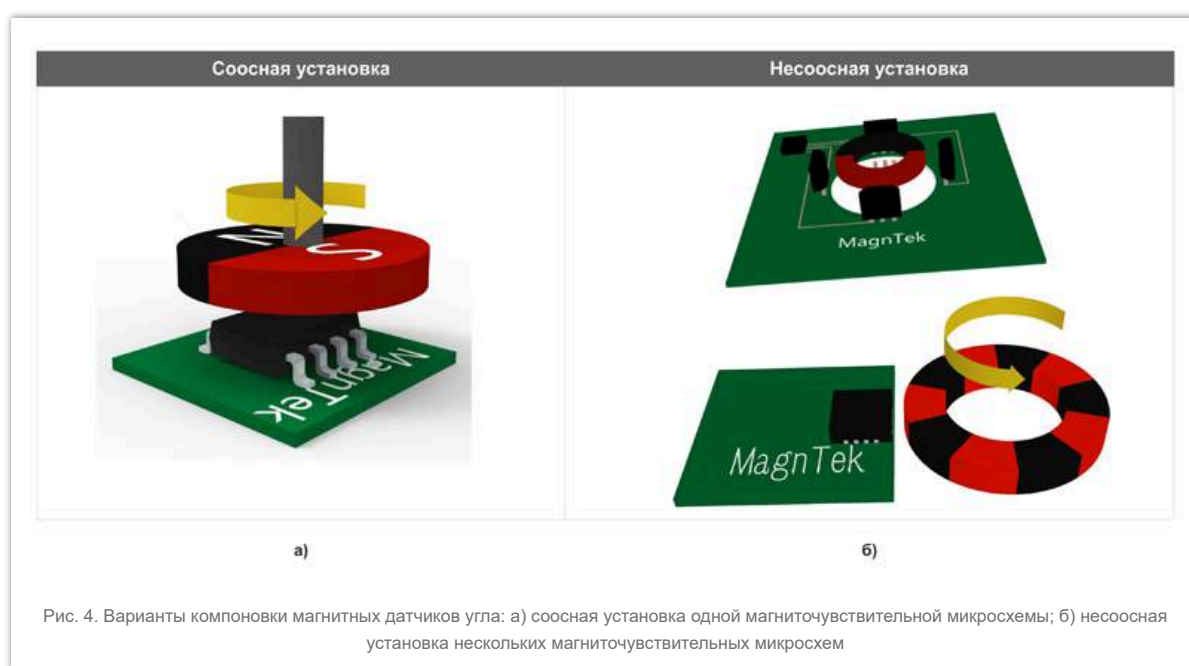
Магниторезистивные датчики чувствительны к касательной составляющей (поверхности ИМС) магнитного поля. Благодаря дифференциальному/мостовому включению магниторезистивных элементов достигается высокая чувствительность. Такие сенсоры выгодно отличаются хорошим быстродействием и малым потреблением. В настоящее время магниточувствительные магниторезистивные ИМС занимают около 35% рынка с тенденцией к увеличению.

Важное преимущество магнитных датчиков угла – возможность их интеграции непосредственно в контролируемое устройство. На вал устанавливается малогабаритный постоянный магнит, а магниточувствительные микросхемы распаиваются на неподвижной печатной плате. При этом возможны 2 варианта компоновки датчика:

- микросхемы смещены относительно оси вращения вала (как правило, комплекты из 2, 3 или 4 магниточувствительных микросхем устанавливаются симметрично оси, хотя есть вариант и с одной микросхемой);
- одна магниточувствительная микросхема устанавливается соосно контролируемому валу (рисунок 4).

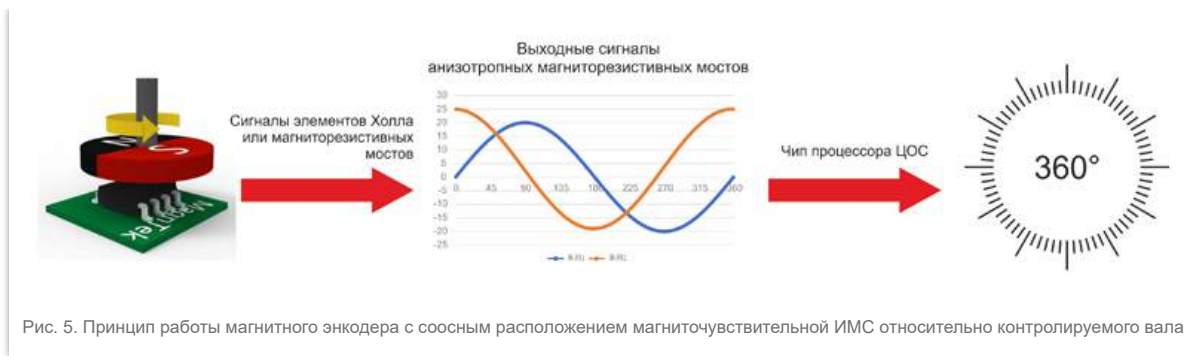
Изначально магнитные датчики были реализованы по первому варианту исполнения (с симметричной установкой нескольких магниточувствительных элементов). Такой способ привлекателен возможностью установки магниточувствительных элементов с радиальным зазором относительно цилиндрического постоянного магнита предельно близко к его полюсам (радиальный зазор можно выдерживать существенно точнее и стабильнее, чем осевой). Это улучшает точность работы датчика при нечувствительности к осевым перемещениям контролируемого вала. Кроме того, важно, что такой датчик может быть установлен в разных местах вала, а не только на консольном вылете, как сенсор со вторым вариантом реализации). Однако необходимость использовать несколько магниточувствительных микросхем, которые к тому же требуется установить на плате с довольно высокой геометрической точностью (не забываем также о погрешностях расположения магниточувствительных элементов внутри корпусов микросхем) заметно усложняет и удорожает такой датчик, а также ухудшает его характеристики.

С появлением возможности реализации высокоинтегрированного магниточувствительного решения (комплекта магниточувствительных элементов, усилителей, АЦП и процессора цифровой обработки сигналов в одном корпусе ИМС) стал актуален второй вариант компоновки датчика (рисунок 4а). Специальные алгоритмы обработки сигналов комплекта магниточувствительных элементов обеспечивают малое влияние вариации осевого зазора между микросхемой и магнитом на точность определения углового положения и необременительные требования к характеристикам постоянного магнита. В настоящее время второй вариант компоновки (соосное расположение микросхемы) стал основным и интенсивно совершенствуется.



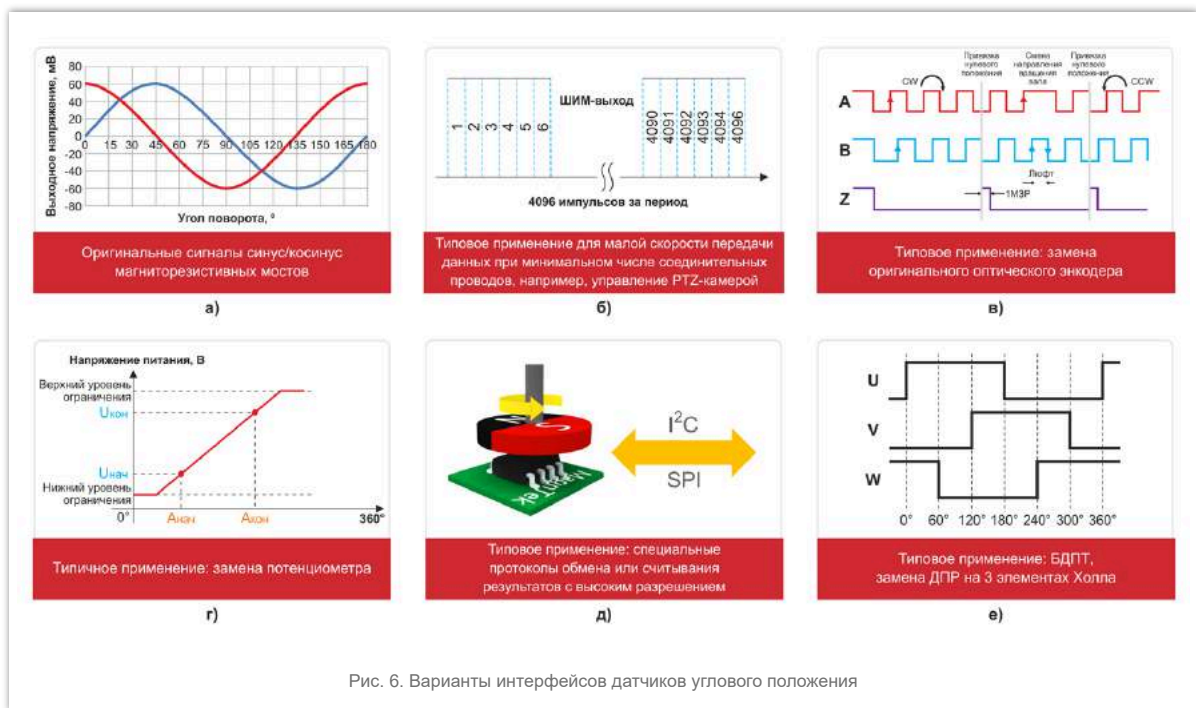
Рассмотрим принцип работы магнитного энкодера с соосным расположением магниточувствительной ИМС относительно вала. Магнитное поле малогабаритного двухполюсного постоянного магнита с радиальным направлением намагничивания, который закреплен на консольном вылете контролируемого вала (ротора), считывается массивом элементов Холла или магниторезистивными мостами, компактно размещенными в микросхеме около пересечения с осью вращения вала и по возможности симметрично относительно нее.

Например, два полных моста магниторезистивных элементов, ортогонально расположенных между собой, выдают при вращении вала два сигнала, изменяющихся приблизительно как синус и косинус угла поворота (рисунок 5). Амплитуды этих сигналов пропорциональны намагниченности постоянного магнита, а также зависят от осевого зазора между его торцом и микросхемой. Но эти факторы одинаково влияют на оба сигнала (синусный и косинусный) и поэтому могут быть эффективно компенсированы при их обработке цифровым сигнальным процессором, который вычисляет оценку текущего углового положения вала относительно микросхемы. Это позволяет использовать недорогие малогабаритные постоянные магниты и не требует установки и поддержания точного значения осевого зазора между торцом магнита и микросхемой. Специальные алгоритмы цифровой обработки обеспечивают ослабление влияния несоосности расположения микросхемы и внешних магнитных полей на точность определения угла. Все это позволяет создать недорогой, надежный, неприхотливый в эксплуатации и малогабаритный датчик углового положения встроенный конструкции.



С развитием технологий сформировались различные варианты интерфейсов датчиков углового положения для передачи результатов измерений потребителю (рисунок 6). Среди них:

- аналоговые сигналы двух полных мостов анизотропных магниторезистивных элементов, ортогонально расположенных между собой (рисунок 6а);
- ШИМ (рисунок 6б);
- интерфейс инкрементального энкодера (рисунок 6в);
- линейный аналоговый сигнал как у потенциометра (рисунок 6г);
- стандартные цифровые протоколы I²C и SPI (рисунок 6д);
- сигнал ДПП в трехфазном BLDC, когда используются 3 цифровых меандра со взаимным сдвигом на 120° (рисунок 6е).



В значительной мере выбор интерфейса определяется областью применения (назначением) датчика положения, поэтому для универсальных микросхем предпочтительно иметь максимально широкий набор различных интерфейсов, предоставляя пользователю возможность выбора наиболее удобного варианта.

Аналоговые сигналы «синус/косинус» с выходов магниторезистивных мостов применялись в микросхемах предыдущих поколений. В современных ИС эти сигналы обрабатываются «внутри», получая оценку углового положения в более удобном виде.

ШИМ сигнал (обычно 4096 импульсов за период), кодирующий значение угла коэффициентом заполнения, привлекателен возможностью передачи по однопроводной линии. Однако он применим только для медленного обмена данными (до 2000 значений угла в секунду).

Интерфейс инкрементальных энкодеров широко применяется в фотоэлектрических датчиках угла. Два импульсных сигнала «А» и «В» с заполнением примерно 0,5 периода и со сдвигом между ними примерно 0,25 периода кодируют относительные перемещения вала на определенный небольшой угол (микрошаг). В зависимости от того, какой из сигналов — «А» или «В» — опережает другой, определяется текущее направление вращения: по или против часовой стрелки (на рисунке 6в показан интервал смены направления вращения и поведение сигналов «А» и «В»). Для привязки информации инкрементальных сигналов к абсолютному положению используется дополнительный сигнал «Z», который формирует узкий импульс (на величину сдвига между «А» и «В») при вполне определенном положении вала.

Аналоговый сигнал напряжения, пропорциональный углу поворота вала и напряжению питания в некотором диапазоне углов, типичен для потенциометрического датчика. Если магнитный энкодер заменяет потенциометр, возможен усовершенствованный интерфейс: программируемые верхний и нижний уровни ограничения напряжения и программируемая кусочно-линейная аппроксимация передаточной характеристики датчика.

Для построения проприетарных оригинальных протоколов обмена данных с датчиком угла, а также для считывания результатов оценок угла с наиболее высоким разрешением удобно применять стандартные протоколы последовательного обмена I²C и SPI.

Для использования энкодеров в качестве ДПР бесконтактных двигателей постоянного тока необходима эмуляция стандартного протокола таких ДПР. Наиболее распространены трехфазные БДПТ. Соответствующие ДПР должны генерировать 3 импульсных сигнала, обозначаемых «U», «V» и «W», с заполнением 0,5 (180 электрических градусов) и со взаимным сдвигом 0,333 (120 электрических градусов). Они задают 6 интервалов коммутации обмоток двигателя на пару полюсов. Последовательность чередования сигналов связана с направлением вращения. В зависимости от числа пар полюсов БДПТ за один механический оборот ротора формируются несколько периодов сигналов «U», «V» и «W». Очень удобно, когда магнитный энкодер (универсальное решение с двухполюсным магнитом) может программироваться для эмуляции ДПР БДПТ с различным числом полюсов, то есть применяться в самых разных двигателях.

Качественные и надежные микросхемы для построения магнитных датчиков угла выпускают ведущие мировые производители. Один из них – китайская компания **Shanghai MagnTek Microelectronics Inc. (MagnTek)**, основанная в 2009 году и специализирующаяся на разработке, производстве и продажах микросхем, работающих на магнитных эффектах (Холла и магниторезистивном). За 5 лет работы (с 2016 по 2021 гг.) инженеры MagnTek последовательно разработали 4 поколения микросхем для построения магнитных энкодеров промышленного применения (таблица 1).

Одновременно с этим шла разработка микросхем автомобильного класса с повышенными гарантиями безотказной работы. За 4 года напряженной работы было создано первое поколение таких микросхем – **MT6501**, и к 2022 г. поставлено более 5 млн штук производителям автомобильного оборудования. В конце 2021 г. MagnTek представил усовершенствованную микросхему второго поколения – **MT6511**. Ее поставки начались во втором квартале 2022 г. (таблица 2).

Таблица 1. Микросхемы MagnTek для построения магнитных энкодеров промышленного класса

Наименование	Корпус
MT6813CT, MT6815CT	SOP-8
MT6813QT	QFN3×3
MT6701CT	SOP-8
MT6701QT	QFN3×3
MT6816CT	SOP-8
MT6825GT	TSSOP-16
MT6835GT	TSSOP-16
MT6828JT	QFN4×4

Таблица 2. Микросхемы MagnTek для построения магнитных энкодеров автомобильного класса

Наименование	Корпус
MT6501CT MT6501GT	SOP-8 TSSOP-16
MT6511CT MT6511GT	SOP-8 TSSOP-16

Микросхемы MagnTek функционально аналогичны продукции конкурентов, но по существу являются оригинальными разработками с использованием собственных конструктивных и технологических решений компании. Микросхема четвертого поколения по комплексу параметров превосходит основных конкурентов.

В таблице 3 представлен прогресс основных характеристик интегральных схем MagnTek для построения магнитных энкодеров промышленного класса. Последовательно представлены 4 поколения: **MT6804** → **MT6815** → **MT6825** → **MT6835**.

Таблица 3. Четыре поколения микросхем MagnTek для построения магнитных энкодеров промышленного класса

Характеристики/ Наименование	MT6804	MT6815	MT6825	MT6835
Типовая погрешность, °	<±1,25	<±1	<±0,5	<±0,05
Задержка получения результата, мкс	20	100...400	2	2

Разрешение в составе инкрементального энкодера (A, B, Z)	8...11 бит	7...12 бит	Программируемое число микрошагов на оборот из диапазона 1...4096	Программируемое число микрошагов на оборот из диапазона 1...16384
Возможные варианты эмуляции ДПР БДПТ (U, V, W)	2/4/6/16 пар полюсов	1... 8/10/12/14/16 пар полюсов	1...16 пар полюсов	1...16 пар полюсов
Разрешение внутренней оценки углового положения, бит	14	14	18	21
Максимально возможная частота вращения вала, об/мин	6000	8000	25000	120000
Целевые области применения	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Рулевое управление ▪ Замыкание шаговых приводов по положению ▪ Коммутация обмоток БДПТ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Рулевое управление ▪ Управление БДПТ ▪ Привод дверей ▪ Управление RTZ-камерами 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Замыкание шаговых приводов по положению на 500 микрошагов ▪ Высококачественное сценическое оборудование 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Замена 17-битных абсолютных фотоэлектрических энкодеров

Новейшие разработки микросхем MagnTek для построения магнитных энкодеров промышленного класса полностью конкурентоспособны, а по некоторым параметрам превосходят продукцию конкурентов (таблица 4). Интегральная схема MT6835 заинтересовала ведущих мировых поставщиков сервоприводов. Микросхемы [MT6701CT-STD](#) и [MT6813CT-LAC](#) доступны для заказа со склада КОМПЭЛ.

Таблица 4. Сравнение лучших микросхем для построения магнитных энкодеров промышленного класса

Характеристики/ Наименование	MagnTek		Продукция конкурирующих компаний		
	MT6835	MT6825	TLExxx	TADxxx	AK7xxx
Магниточувствительные элементы	Анизотропный магниторезистивный эффект	Анизотропный магниторезистивный эффект	Гигантский магниторезистивный эффект	Туннельный магниторезистивный эффект	Эффект Холла
Требуемая индукция поля постоянного магнита, мТ	>30	>30	30...60	20...80	>40
Абсолютная погрешность измерения угла, °	±0,02	±0,5	±1	±0,1	±0,5
Диапазон измерения угла, °	0...360	0...360	0...360	0...360	0...360
Шум измерения угла (эффективное значение), °	0,002	0,002	0,05	0,004	0,007
Ток питания, мА	20	10	14	10	20
Задержка получения результата, мкс	<2	<2	>50	10	1,8
Программирование режима инкрементального энкодера, микрошагов на оборот	1...16384	1...4096	Не более 1024	1...4096	1...4096
Количество пар полюсов при эмуляции ДПР БДПТ	Любое из диапазона 1...16	Любое из диапазона 1...16	Любое из диапазона 1...16	Любое из диапазона 1...16	Любое из диапазона 1...32
Поддержка ШИМ-выхода	Да	Да	Да	Да	Нет
Поддержка SPI	4-проводной SPI	4- или 3-проводной SPI	3-проводной SPI	4-проводной SPI	4-проводной SPI
Разрешение внутреннего представления оценки	21	18	15	16	14

углового положения,
бит

Микросхемы **MT6501CT** и **MT6501GT** первого поколения для построения магнитных энкодеров автомобильного класса показаны на рисунке 7 (корпусированные и перед опрессовкой). Как видно из рисунка, интегральная схема MT6501CT имеет стандартный корпус SOP-8, но внутри у нее гибридная двухчиповая конструкция: чип с двумя ортогональными магниторезистивными мостами и кремниевый чип-обработчик. Микросхема MT6501GT, выполненная в стандартном корпусе TSSOP-16 и обеспечивающая дублированное исполнение датчика, содержит 4 чипа.



Рис. 7. Внешний вид и внутреннее устройство микросхем MT6501CT и MT6501GT первого поколения для построения магнитных энкодеров автомобильного класса

Микросхема MT6501 подходит для замены MLXxxx. Она является оригинальной разработкой MagnTek, ни в чем не уступает, а по некоторым характеристикам превосходит конкурента (таблица 5).

Таблица 5. Сравнение микросхем для построения магнитных энкодеров автомобильного класса

Характеристики/Наименование	MT6501	MLXxxx
Магниточувствительные элементы	Анизотропные магниторезисторы	Элементы Холла
Максимально допустимое перенапряжение по питанию, В	24	24
Максимально допустимое напряжение питания при обратной полярности, В	-24	-12
Максимально допустимое напряжение на выходе, В	24	18
Уровень шума на выходе	$0,0002 \times U_{\text{пит}}$	$0,0005 \times U_{\text{пит}}$
Варианты режимов программирования	Однопроводное программирование или SPI	Однопроводное программирование
Диапазон рабочих температур, °C	-40...150	-40...150
Возможности кусочно-линейного программирования передаточной характеристики	Разбиение передаточной характеристики в любых 4 точках	Разбиение в любых 4 точках или 17 точек с равным шагом по углу
Диапазон измеряемых углов, °	0...360	0...360
Поддержка ШИМ-выхода	Да	Да
Погрешность измерения угла, °	± 1	± 1
Соответствие стандартам АЕСQ-100 на автомобильное электронное оборудование	Соответствует	Соответствует

Микросхема второго поколения **MT6511** заменяет как MLXxxx, так и HALxxx (таблица 6). По ряду параметров оригинальная разработка MagnTek превосходит конкурентов. На складе КОМПЭЛ для заказа доступна модель [MT6501CT-ADD](#).

Таблица 6. Сравнение микросхем для построения магнитных энкодеров автомобильного класса

Характеристики/Наименование	MT6511	MLXxxx	HALxxx
-----------------------------	--------	--------	--------

Магниточувствительные элементы	Горизонтальные элементы Холла в дифференциальном включении	Горизонтальные элементы Холла с концентраторами магнитного потока	Горизонтальные элементы Холла в дифференциальном включении
Максимально допустимое перенапряжение по питанию, В	30	24	28
Максимально допустимое напряжение питания при обратной полярности, В	-18	-14	-18
Максимально допустимое напряжение на выходе, В	30	24	Нет данных
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+150	-40...160	-40...160
Рабочий диапазон поля постоянного магнита, мТ	10...90	10...67	10...130
Размерность магнитного поля	2D	3D	3D
Варианты режимов программирования	OWI, SPI	OWI	SPI
Поддержка эмуляции потенциометра	Да	Да	Нет
Возможности кусочно-линейного программирования передаточной характеристики	Разбиение в любых 8 точках или 17 точек с равным шагом по углу	Разбиение в любых 8 точках или 17/32 точек с равным шагом по углу	Нет данных
Поддержка SPI	Да	Нет	Да
Поддержка ШИМ-выхода	Да, с возможностью выбора частоты считывания в диапазоне 125...2000 Гц	Да	Поддерживается в некоторых моделях
Поддержка SWO-выхода	Да	Нет	Нет
Соответствие стандартам АЕСQ-100 на автомобильное электронное оборудование	Соответствует	Соответствует	Соответствует
Реализация резервирования	2 чипа, 2 земли, 2 шины питания	2 чипа, 2 земли, 2 шины питания	Резервирование на одном чипе
Уровни соответствия стандарту ISO26262	ASIL-B и ASIL-D, в зависимости от способа подключения	ASIL-B (ASIL-C для некоторых моделей)	ASIL-B

Компания MagnTek разработала и наладила массовое производство разнообразных микросхем для построения магнитных энкодеров с соосным расположением интегральной схемы относительно контролируемого вала – наиболее современного решения для построения датчиков угла. Эти микросхемы отличаются с оптимальным соотношением функциональных, эксплуатационных и экономических характеристик и представляют собой оригинальные разработки компании и с успехом заменяют продукцию недоступных брендов.