

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕХАТРОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Е.В. Юрасова, И.В. Нюнюк

В работе представлен обзор новейших информационных технологий управления мехатронных систем и преобразователей, в электромеханической подсистеме которых агрегатированы, в роли преобразователя энергии, бесконтактная электрическая машина с постоянными магнитами, а первичным измерительным преобразователем единого информационного обеспечения процесса управления движением рабочего механизма является – синусно-косинусный сенсор. Современные открытия в области генераторных синусно-косинусные магнитных энкодеров позволят повысить эффективность безредукторных электромехатронных преобразователей.

Ключевые слова: мехатроника, мехатронные преобразователи, единое информационное обеспечение, эффект Холла, магниторезистивные эффекты.

Введение. Линейные и угловые перемещения в пространстве являются частью большинства производственных процессов. Примером важности средств автоматического управления перемещением являются промышленные роботы и гибкие производственные системы. Более того, обрабатывающие центры, манипуляционные роботы, автоматизированные произ-

водственные и сборочные линии, станки с программным управлением, автоматизированное и роботизированное испытательное оборудование и стенды для натурального и полунатурного моделирования представляют далеко не полный перечень комплексов, где необходимо преобразование информации микропроцессорной системы в перемещение. Компьютерное управление механическим перемещением является основной областью применения мехатронных систем и преобразователей, в структуре которых информационная подсистема является базовой.

К сожалению, до сих пор существует заблуждение в том, что кодовые датчики вытеснят аналоговые первичные преобразователи и построенные на их основе мехатронные преобразователи. Но, открытые в последнее десятилетие эффекты магнитных резонансов и успехи микроэлектроники в области создания цифровых и линейных интегральных микросхем вновь стимулировали исследования и разработки в области исследования преобразователей «угол-параметр-код».

Первичные измерительные преобразователи мехатронных модулей. Магнитные и магниторезистивные энкодеры с высокой точностью реагируют на прохождение магнитных полюсов вращающегося магнитного элемента непосредственно вблизи чувствительного элемента, преобразуя эти данные в соответствующий цифровой код. По принципу действия распространение получили магнитные сенсоры, основанные на эффекте Холла, и магниторезистивные энкодеры, основанные на эффектах магнитных резонансов: анизотропного (АМР), гигантского (ГМР), туннельного (ТМР).

В 1879 г. в университете Д. Гопкинса (США) Э. Холл впервые наблюдал эффект, носящий его имя, – появление поперечного напряжения в проводнике с током при воздействии на него магнитного поля, причиной которого является отклонение заряженных частиц, движущихся в магнитном поле под действием силы Лоренца. Физический смысл этого эффекта состоит в том, что в материалах с электронной проводимостью на движущиеся электроны (образующие ток) воздействует сила Лоренца, возникающая под влиянием магнитного поля, направленного перпендикулярно к плоскости пластинки.

Бесконтактные, магнитоуправляемые сенсоры Холла, снабженные интегрированными средствами компенсации, обладают высокой точностью и прецизионностью, отличаются низкой ценой компонентов и материалов, технологичностью монтажа, функционируют при температурах от -40 до 150 °С и выше и требуют минимум обрабатывающей электроники без установленного на плате микроконтроллера, который в настоящее время интегрируется непосредственно в измерительную систему.

Система измерения угла будет представлять собой датчик Холла и расположенный над ним диаметрально поляризованный магнит [1]. При вращении вала с магнитом, датчик генерирует первичное синусоидальное на-

пряжение пропорционально изменению углового положения ротора. Дискретные варианты датчиков Холла в середине 20 века стали широко применяться в приводах бытовой техники в качестве сенсоров, образующих датчик положения ротора вентильного электродвигателя, магнитное поле которого управляло контуром местной обратной связи по положению ротора.

Эффект значительного изменения электрического сопротивления от 10 до 70 %, открытый в 1988 году, наблюдается под действием магнитного поля в тонкопленочных (толщиной менее 10 нм) стековых металлических слоях ферромагнитных материалов, равно разделенных тонкими неферромагнитными слоями [2]. Совокупность этих слоев была названа гигантскими магниторезисторами [3, 4]. Этот эффект объясняется зависимостью рассеяния электронов от их спина и поляризацией спинов электронов электропроводности в ферромагнитных металлах.

Эффект основывается на увеличении сопротивления проводящих слоев меди под действием магнитного поля, если их толщина уменьшается до нескольких атомных слоев. Электроны электропроводности в меди имеют большой средний свободный путь до своего рассеяния или изменения направления вследствие столкновения с другой частицей. При минимальной толщине медного слоя длина свободного пробега электронов уменьшается, а сопротивление увеличивается.

Датчики, построенные на эффектах магниторезонансов в настоящее время представляют значительный интерес для мехатронных систем. Благодаря высокой чувствительности и температурной стабильности ГМР-датчиков, превышающей метрологические характеристики датчиков на эффекте Холла, внимание мировых лидеров рынка направлено на их применение в автомобильных системах ABS, ESP, системах управления двигателем, коробкой передач и динамикой автомобиля. ГМР-датчики обладают улучшенной функциональностью и помехоустойчивостью [5]. Из-за их разумной стоимости и высокого уровня выходного сигнала, что упрощает его постобработку, спрос на ГМР-датчики увеличивается. Текущие разработки показывают значительные функциональные преимущества в реализации стандартных измерительных принципов [3]. В то время как изменение в сопротивлении АМР не превышает 3 %, ГМР-материалы достигают изменения от 10 до 20 %.

Анизотропные магниторезистивные датчики широко используются как для сканирования малых ферромагнитных объектов типа зубьев шестерен, так и для детектирования перемещений крупных объектов в магнитном поле Земли, а также измерения электрического тока. Они удачно решают многие задачи определения углового и линейного положения благодаря их высокой чувствительности, низкой цене, помехоустойчивости и малым размерам. Доступные сегодня в интегральном исполнении АМР-датчики

обеспечивают простое применение в корпусе устройства при соблюдении практических рекомендаций и правил, вытекающих из их измерительного принципа [6].

На рис. 1а показана функциональная схема микросхемы датчика на основе эффекта Холла производства компании Austriamicrosystems [1].

В состав микросхемы входят: массив сенсоров Холла и предварительный усилитель; управляемое питание; следящий АЦП и угловой декодер; программируемый пользовательский регистр, одна из функций которого заключается в программной установке положения нуля; ШИМ-декодер; SSI – Синхронный последовательный интерфейс; АРУ – Автоматическая регулировка усиления.

Компания Austriamicrosystems производит синусно-косинусные магнитные энкодеры (рис. 1) со вторичными микроэлектронными преобразователями серии AS5000 в вариантах с цилиндрическим однополюсным магнитом (рис. 1д), с секционированной магнитной линейкой (рис. 1б) и кольцевые многополюсные первичные измерительные преобразователи с горизонтальным (рис. 1в) и вертикальным (рис. 1г) размещением магнитов. Они изготавливаются из редкоземельных сплавов AlNiCo, SmCo и NeFeB, которые используются и при изготовлении ротора бесконтактной электромашины с постоянными магнитами, что способствует дальнейшей электронизации МС в части агрегатирования сенсора с электромашиной. Серия энкодеров AS5000 изначально разрабатывалась для работы в расширенном диапазоне температур окружающей среды, влияние которого позволяет устранить синусно-косинусный принцип измерения угла, но т.к. в составе микросхемы имеются аналоговые цепи, нельзя полностью игнорировать влияние температуры. Тестовые испытания показали, что такие энкодеры обеспечивает высокую точность во всем диапазоне рабочих температур от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$, и только вблизи экстремальных температурных точек (особенно вблизи $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$), дополнительная погрешность измерения угла может составить $\pm 0,4^{\circ}$ [7].

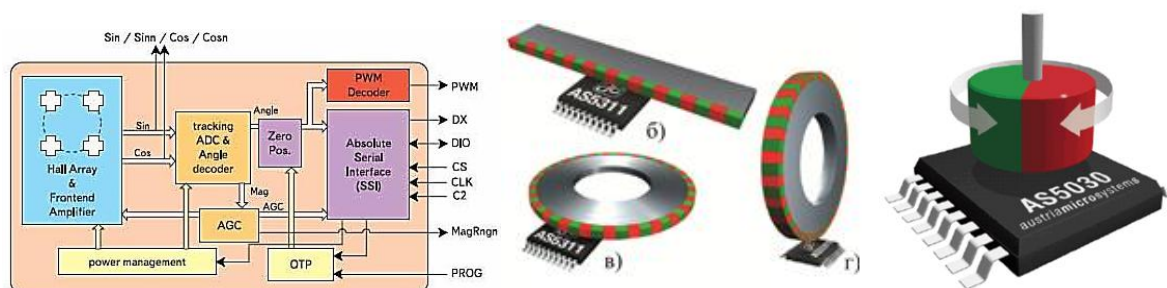


Рис. 1. Синусно-косинусные магнитные энкодеры на основе эффекта Холла

Применение современных синусно-косинусных магнитных энкодеров (СКМЭ) в прецизионных мехатронных системах ограничивается повышенным, по сравнению со вращающимся трансформатором, уровнем суммарной погрешности как в статике, так и в динамике. Если первую удастся снизить путем калибровки, то для коррекции второй необходимо формировать внешний тахометрический канал, что ведет к усложнению электронной части схемы мехатронных преобразователей [8]. В качестве примера уместно привести следящий RDC AD2S1210 компании Analog Devices, обеспечивающий с электромашинными синусно-косинусным сенсором цифровые выходы значения и скорости перемещения с разрешением до 15 бит. Необходимо учесть, что и этот вариант RDC не формирует составляющую ускорения, необходимую для реализации самоорганизующегося преобразователя «угол-параметр-код».

Компания Infineon Technologies производит СКМЭ типа TLE5012B (рис. 2), определяющий угол в диапазоне 360° по изменению направления магнитного поля. Измерение производится на основе встроенных ГМР элементов, соединенных в мостовую схему, сопротивление которых меняется в зависимости от направления магнитного поля. Микросхема содержит встроенные АЦП и ЦАП для тригонометрических преобразований. Предусмотрена возможность измерения угловой скорости магнита, что позволит компенсировать динамическую составляющую погрешности измерения. Цифровые выходы ортогональных составляющих перемещения имеют разрядность 16 бит.

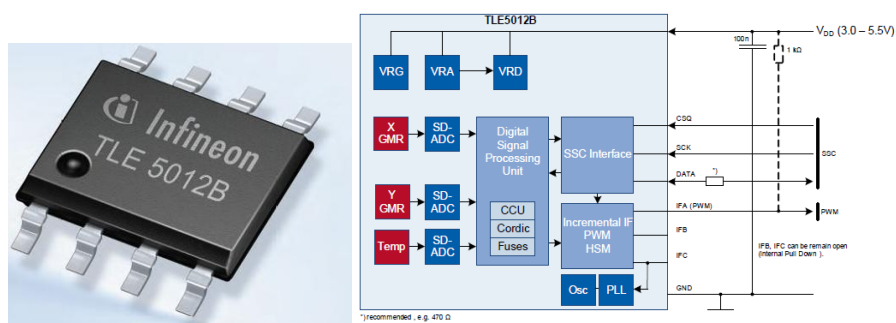


Рис. 2. Синусно-косинусный магнитный энкодер на основе эффекта ГМР

Высокая разрядность выходов обеспечивает формирование контура положительной местной обратной связи, обеспечивающей его дискретное управление с высоким качеством движения безредукторного мехатронного преобразователя в режиме самокоммутации за счет изменения как угла коммутации, так и широтно-импульсной модуляции независимо от числа пар полюсов. К существенным достоинствам варианта СКМЭ на основе

Таким образом, формируется сигнал рассогласования U_p , дальнейшее преобразование которого производится линейным фильтром ($ЛФ$). Фильтрация обеспечивает подавление низкочастотных помех в сигнале рассогласования ЭСС с астатизмом второго порядка и ограниченной полосой пропускания [10]. На выходе линейного фильтра $ЛФ$ формируется напряжение U_ε , представляющее аналоговый эквивалент, близкий по своей величине к ускорению ε входного воздействия (рис. 3). Аналоговый интегратор $АИ$ позволяет конвертировать напряжение U_ε в напряжение U_Ω представляющее аналоговый эквивалент, близкий по своей величине к скорости Ω входного воздействия (рис. 3).

Аналого-цифровой интегратор $АЦИ$ формирует позиционный двоичный код младших по весу разрядов МВР цифрового эквивалента Φ_θ , который в МК путем совмещения с СВР кода октанта образует цифровой эквивалент перемещения в диапазоне от 0° до 360° .

В электромеханическую компоненту ЭМК поступают сформированные в МК цифровые эквиваленты: величины Φ_θ , скорости Φ_Ω и ускорения Φ_ε перемещения и ортогональные сигналы $\Phi_{SЭ}$ и $\Phi_{CЭ}$. Первые используются в качестве цифровых обратных связей для формирования соответствующих законов управления ЭМТП [12], а вторые – в качестве местной обратной связи управления электродвигателем в режиме самокоммутации [13].

Заключение. Повышение эффективности мехатронных преобразователей связано с совершенствованием информационного обеспечения процесса преобразования выходных сигналов синусно-косинусных сенсоров в эквиваленты перемещения с целью формирования рекомендуемых для большинства технологических процессов временных диаграмм составляющих перемещения [13].

Библиографический список

1. Щерба, А. Магнитный датчик угла поворота AS5030 / А. Щерба // Компоненты и технологии. – 2005. – № 4. – С. 28–32.
2. Сысоева, С. Автомобильные датчики положения. Современные технологии и новые перспективы. Ч. 3. Физические основы и коммерческие перспективы технологий полупроводниковых и пермалловых магниторезистивных датчиков / С. Сысоева // Компоненты и технологии. – 2005. – № 4.
3. Smith C. H., Schneider R. W. Low Magnetic Field Sensing with GMR Sensors. Part I: The Theory of Solid-State Magnetic Sensing. Nonvolatile Electronics, Inc. – URL: <http://www.sensormag.com/articles/0999/76/index.htm/>.
4. Voltage proportional replication device using magnetoresistive sensing elements. US Patent 5 512 818. 30.04.1996. (AT&T Corp.).
5. Сысоева, С. Автомобильные датчики положения. Современные технологии и новые перспективы. Ч. 4. Новые перспективы автомобильных датчиков - технологии магниторезисторов ГМР и КМР / С. Сысоева // Компоненты и технологии. – 2005. – № 4.

6. Linear position sensing using magnetoresistive sensors. – URL: <http://www.ssec.honeywell.com/magnetic/datasheets/linearpositionsensing.pdf>.
7. Смирнов, Ю.С. Аналого-цифровые преобразователи составляющих перемещения с применением микроэлектронных синусно-косинусных магнитных энкодеров / Ю.С. Смирнов, Т.А. Козина, Е.В. Юрасова, А.В. Соколов // Измерительная техника. – № 1. – 2014. – С. 28–31.
8. Домрачев, В.Г. Схемотехника цифровых преобразователей перемещений / В.Г. Домрачев, В.Р. Матвеевский, Ю.С. Смирнов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 392 с.
9. Балковой, А.П. Прецизионный электропривод с вентильными двигателями / А.П. Балковой, В.К. Цаценкин. – М.: ИД МЭИ, 2010. – 328 с.
10. Сысоева, С. Разработка нового поколения датчиков магнитного поля / С. Сысоева // Компоненты и технологии. – 2014. – № 1. – с. 40–46.
11. Смирнов, Ю.С. Информационные технологии в электромехатронике / Ю.С. Смирнов, Е.В. Юрасова, И.С. Никитин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2015. – Т. 15, № 1. – С. 47–54.
12. Подураев, Ю.С. Мехатроника: основы, методы, применение: учебное пособие / Ю.С. Подураев. – М.: Машиностроение, 2006. – 256 с.
13. Y. Smirnov, E. Yurasova and T. Funk, Energoinformatics of a gearless mechatronic systems, International Conference on Industrial Engineering, Procedia Engineering, 2015, Vol. 129, pp. 992–996.

[К содержанию](#)