Интегральные схемы магниторезистивных датчиков серии Nanopower компании Honeywell

Татьяна КОЛЕСНИКОВА
beluikluk@gmail.com

В статье рассматриваются новые интегральные схемы магниторезистивных датчиков SM351LT и SM353LT серии Nanopower компании Honeywell, обеспечивающие самый высокий по сравнению с датчиками Холла уровень магнитной чувствительности (от 0,7 мТл) с энергопотреблением в диапазоне нанотока (360 нА).

Введение

Из известных эффектов магнитосопротивления (гигантский магниторезистивный эффект — GMR-эффект, магниторезистивный эффект спин-зависимого туннелирования — SDT-эффект, магниторезистивный эффект — AMR-эффект) в настоящее время наибольшее распространение в области построения прецизионных магнитных датчиков получил AMR-эффект. Такая ситуация в первую очередь связана со следующими, присущими этим датчикам свойствами:

- высокая разрешающая способность (ΔB = 2,7 нТл);
- высокий показатель чувствительности (γ = 4 мВ/В/Тл×10^{-4});
- относительно широкий частотный диапазон (f = 0–1000 Гц);
- широкий диапазон рабочих температур (–55…+200 °C);
- низкий средний потребляемый ток и напряжение питания ниже 1,65 В, что способствует повышению энергоэффективности.

Хотя анизотропный магниторезистивный эффект известен достаточно давно, серийное производство датчиков на его основе (AMR-датчиков), с заявленными выше характеристиками, освоено промышленностью чуть более десяти лет назад.

Конкурентами AMR-датчиков в задачах измерений скорости, положения и тока являются датчики Холла. Если сравнивать эти датчики, окажется, что магниторезистивные имеют ряд основных преимуществ:

- действует направление поля вместо величины поля, как в эффекте Холла, — широкий выбор магнитов для измерений, независимо от их остаточной намагниченности (но в пределах насыщающих значений поля);
- действие в зоне насыщенности напряженности поля датчика означает независимость от магнитного дрейфа во времени и под действием температуры, независимость от механических допусков (расстояния между магнитом и датчиком), независимость от температурных эффектов за счет вычисления функции арктангенса в угловых измерениях;
- малое смещение мостовых магниторезисторов;
- магниторезистивные мостовые датчики после компенсации температурно стабильны и имеют расширенный температурный диапазон;
- AMR-элементы имеют более высокую чувствительность, чем элемент Холла.

Анизотропные магниторезистивные датчики обеспечивают высокие уровни первичного сигнала, широкий рабочий температурный диапазон, точность работы и прочность. Кроме того, они отличаются малым смещением, которое можно убрать калибровкой, и значительной нечувствительностью к магнитным и механическим допускам, что используется при создании разнообразных датчиков для различных сфер применения, в частности для автоэлектроники, промышленности и навигационных систем.

Все перечисленное выгодно отличает этот тип магнитных датчиков от аналогичных устройств и значительно расширяет области и перспективы их применения.

Анизотропные магниторезистивные датчики предназначены для бесконтактного измерения скорости и направления зубчатых колес и многополюсных магнитных роторов энкодеров, определения угла поворота или величины линейного перемещения, бесконтактного измерения тока (мощности), а также для определения курса объекта по магнитному полю Земли в магнитометрии.

Принцип действия анизотропных магниторезистивных датчиков основан на применении анизотропного магнитного эффекта, то есть на способности магниторезистивного материала, например пермаллоевой пленки, измерять сопротивление в зависимости от взаимной ориентации протекающего тока и вектора преимущественной намагниченности магнитных доменов пленки.

Самую широкую номенклатуру на рынке магниторезистивных датчиков, включая датчики угла поворота и омниполярные датчики для различных применений, представляет компания Honeywell International — мировой лидер в области технологий и промышленного производства, крупная американская корпорация, производящая электронные системы управления и автоматизации. Компания известна во всем мире своими разработками в области аэрокосмического оборудования, технологий для эксплуатации зданий и промышленных сооружений, автомобильного оборудования, турбокомпрессоров и специализированных товаров, систем автоматизации и управления.

В 1997 году Honeywell одной из первых среди западных и российских компаний получила сертификат ISO 9001 для деятельности в России.

Компания включает 25 заводов, которые занимаются выпуском таких электронных компонентов сенсорного контроля, как электромеханические реле, датчики (магниточувствительные, уровня, температуры, давления, влажности, веса, положения, тока, акселерометры, энкодеры, расходомеры), модульные преобразователи питания (DC/DC модульные преобразователи), автоматические выключатели.

Продукция компании Honeywell ориентирована на производителей, стремящихся уменьшить стоимость конечных изделий, но в то же время сохранить высокие технические показатели и высокую надежность.

Магниторезистивные датчики SM351LT и SM353LT серии Nanopower

Компания Honeywell представила первые в отрасли интегральные схемы (ИС) анизотропных магниторезистивных датчиков Nanopower, обеспечивающие самый высокий уровень магнитной чувствительности (типовое значение от 0,7 мТл) с энергопотреблением в диапазоне нанотока (360 нА). По сравнению с другими широко используемыми магнитными технологиями интегральные схемы магниторезистивных датчиков серии Nanopower имеют следующие преимущества:

- сверхвысокую чувствительность, позволяющую расширить диапазон обнаружения;
- применение датчиков в работающем от аккумуляторов оборудовании с чрезвычайно низкими требованиями к потреблению энергии;
- очень низкое энергопотребление (360 нА при 1,65 В, +25 °С), увеличивающее срок службы батареи;
- омниполярность обеспечивает активацию как северным, так и южным полюсом, исключая необходимость определения полярности магнита;
- двухтактный выход (КМОП) не требует внешних резисторов, что упрощает эксплуатацию и повышает ее рентабельность по сравнению с устройствами, использующими выход с открытым стоком;
- твердотельная бесконтактная конструкция обеспечивает надежную долговечную альтернативу герконовым реле.

Новые ИС магниторезистивных датчиков серии Nanopower меньше герконовых реле по размерам, но превосходят их по долговечности и надежности, обладая такой же чувствительностью и практически такой же стоимостью. Поэтому продукты серии Nanopower идеальны для устройств с питанием от батарей, в которых раньше было возможно использовать только герконовые реле благодаря очень низкому энергопотреблению и необходимости в больших воздушных зазорах. ИС магниторезистивного датчика серии Nanopower и ее габаритный чертеж представлены на рис. 1. На рис. 2 показана структурная схема этого датчика.

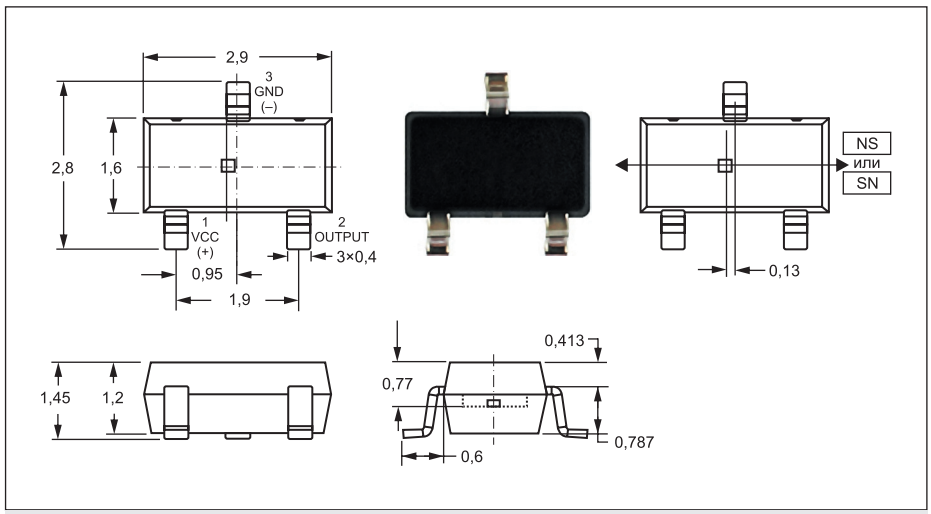

Рис. 1. ИС магниторезистивного датчика серии Nanopower и ее габаритный чертеж

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 позволяет добиться существенного снижения стоимости устройств благодаря использованию более слабых или меньших по размерам магнитов.

Устройства серии Nanopower срабатывают и от северного, и от южного полюса, прикладываемого параллельно датчику. Они не требуют определения полярности магнита, что упрощает установку и потенциально сокращает стоимость системы.

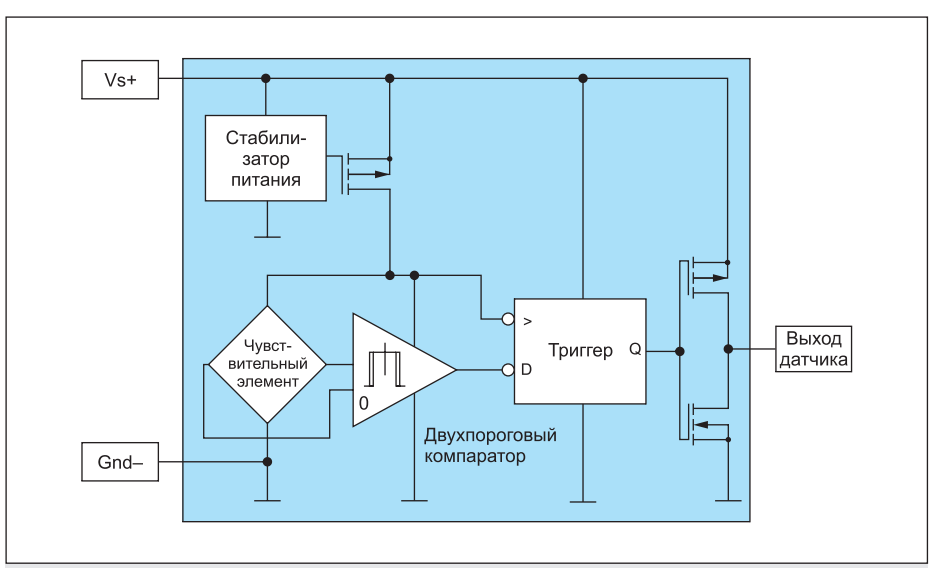

Рис. 2. Структурная схема магниторезистивного датчика серии Nanopower

Технические характеристики ИС магниторезистивных датчиков серии Nanopower

ИС магниторезистивных датчиков серии Nanopower доступны с двумя уровнями магнитной чувствительности:

- SM351LT — датчик сверхвысокой чувствительности:
  - типовое рабочее значение — 0,7 мТл,
  - наибольшее рабочее значение — 1,1 мТл,
  - очень низкий потребляемый ток (типичный — 360 нА).

  График зависимости потребления тока от температуры датчика SM351LT представлен на рис. 3а.
- SM353LT — датчик очень высокой чувствительности:
  - типовое рабочее значение — 1,4 мТл,
  - наибольшее рабочее значение — 2 мТл,
  - очень низкий потребляемый ток (типичный — 310 нА).

  График зависимости потребления тока от температуры датчика SM353LT представлен на рис. 3б.

Датчики серии Nanopower предназначены для массового коммерческого применения и имеют следующие особенности:

- диапазон напряжения питания: 1,65–5,5 В (1,65 В — минимальное, 1,8 В — типичное, 5,5 В — максимальное значения);
- омниполярное считывание — активируется любым полюсом магнита;
- диапазон температур: –40…+85 °С;
- двухтактный выход — не требует использования внешнего нагрузочного резистора;
- конструкция со стабилизацией без инвертора;
- материалы, соответствующие RoHS — соответствие требованиям директивы 2002/95/EC;
- корпус: SOT-23.

Электрические характеристики интегральных схем SM351LT и SM353LT представлены в таблицах 1 и 2. В таблице 3 показаны магнитные характеристики этих датчиков.

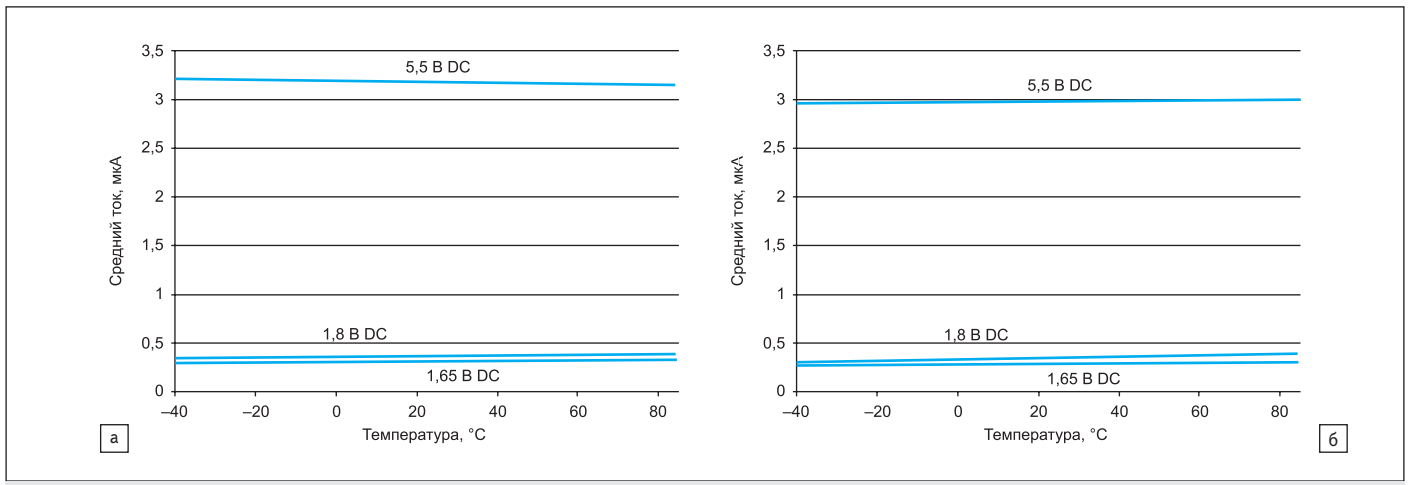

Рис. 3. График зависимости потребления тока от температуры датчиков: а) SM351LT; б) SM353LT

Таблица 1. Электрические характеристики интегральных схем SM351LT и SM353LT ($U_{пит}$ = 1,65–5,5 В; $T_{раб}$: –40...+85 °C; типовые при 1,8 В, +25 °C, если не указано иное)

Характеристика	Состояние	тип.
Напряжение питания, В	$U_{пит}$ относительно заземления	1,8
Ток пробуждения, мА: SM351LT SM353LT	–	 1 0,8
Время пробуждения, мкс	–	15
Ток перехода в спящее состояние, мкА	– $U_{пит}$ = 1,65 В $U_{пит}$ = 1,8 В $U_{пит}$ = 5,5 В DC	0,2 0,16 0,2 2,6
Время перехода в спящее состояние, мс	–	100
Средний ток, нА: SM351LT SM353LT	0,015% рабочего цикла, тип.	 360 310
Выходное напряжение, В: нижнее ($U_{вых.н.}$) верхнее ($U_{вых.в.}$)	Ток нагрузки = 100 мкА	0,03 $U_{пит}$ — 0,03

Таблица 2. Электрические характеристики интегральных схем SM351LT и SM353LT ($U_{пит}$ = 1,8 В; $T_{раб}$ = +25 °C)

Характеристика	Состояние	тип.
Ток пробуждения, мА: SM351LT SM353LT	–	 1 0,8
Время пробуждения, мкс	–	15
Ток перехода в спящее состояние, мкА	–	0,2
Время перехода в спящее состояние, мс	–	100
Средний ток, нА: SM351LT SM353LT	0,015% рабочего цикла, тип.	 350 350

Таблица 3. Магнитные характеристики интегральных схем SM351LT и SM353LT ($U_{пит}$ = 1,65–5,5 В; $T_{раб}$: –40...+85 °C)

Характеристика	тип.
SM351LT, Гс: срабатывание (положительное) отпускание (положительное) гистерезис	 7 5 2
SM353LT, Гс: срабатывание (положительное) отпускание (положительное) гистерезис	 14 10 4

Примечание. При $U_{пит}$ = 1,65 В и T = –40 °C гистерезис может достигать 0,1 Гс.

ИС магниторезистивных датчиков серии Nanopower используют очень низкий средний потребляемый ток и работают при минимальном напряжении питания 1,65 В, что способствует повышению энергоэффективности. Омниполярность позволяет задействовать датчик как южным, так и северным полюсом, исключая необходимость определения полярности магнита, что упрощает установку и дает возможность сократить системную стоимость. Двухтактный выход (КМОП) не требует внешних резисторов, что делает его эксплуатацию более легкой и рентабельной. Конструкция со стабилизацией без инвертора исключает генерацию электрических помех датчиком. ИС SM351LT и SM353LT имеют сверхминиатюрный корпус SOT-23 для поверхностного монтажа, поставляются в ленте на катушке (3000 единиц на катушке) и компактнее большинства герконовых реле. Это позволяет использовать автоматизированные манипуляторы для установки и может сократить производственные затраты.

Применение ИС магниторезистивных датчиков серии Nanopower

ИС магниторезистивных датчиков серии Nanopower разработаны для широкого диапазона устройств с питанием от батарей — среди них счетчики воды и газа, электричества, промышленные сигнализаторы дыма, тренировочное оборудование, системы безопасности, карманные компьютеры, сканеры, бытовые приборы (посудомоечные и стиральные машины, микроволновые печи, холодильники и кофемашины), а также медицинское оборудование (больничные кровати, устройства дозирования лекарств, инфузионные насосы) и потребительская электроника (ноутбуки, планшеты и переносные громкоговорители).

Рассматриваемые ИС магниторезистивных датчиков могут использоваться в следующих сферах:

- В промышленности:
  - для определения состояния крышки устройств, работающих от батарей, — открыта крышка или закрыта (мобильное оборудование, например переносное компьютерное оборудование, сканеры);
  - для обнаружения магнитного поля, прикладываемого к коммунальному счетчику с помощью мощного внешнего магнита для искажения показаний, замедления или остановки процесса измерения (водяные, электрические и газовые коммунальные счетчики);
  - в водяных и газовых счетчиках для измерения объема использования воды или газа. Сегодня для этих целей часто применяют герконовые реле. Новые интегральные схемы Honeywell (SM351LT и SM353LT) являются единственными доступными в настоящее время датчиками, которые можно использовать в таком оборудовании вместо герконового реле. А низкое энергопотребление (менее 500 нА) позволит выполнить требования к сроку службы батареи счетчиков (водяные и газовые коммунальные счетчики);
  - для определения состояния двери или окна (открыто или закрыто) в системах контроля доступа в здания. Сигнал передается на беспроводной модуль, а оттуда — в центральный блок управления для обработки. ИС SM351LT и SM353LT заменяют герконовые реле в системах безопасности, работающих от батареи;
  - в качестве датчиков для проверки аварийного сигнала детектора дыма (промышленные детекторы дыма).
- В здравоохранении:
  - для удаленной блокировки и разблокировки шкафов с медикаментами в качестве датчика положения ящика, что позволяет повысить безопасность и минимизировать ошибки при выдаче медикаментов;

– в качестве выключателей аварийной остановки, а также для измерения числа оборотов в минуту и угла наклона (спортивное оборудование);
– как датчики положения ампулы для инфузии (инфузионные насосы);
– для определения минимального и максимального положения больничных кроватей, настраиваемого с помощью электропривода.

- В бытовой технике:
  – в качестве счетчика расхода жидкости в кофеварках класса премиум;
  – в посудомоечных машинах, микроволновых печах, стиральных машинах, холодильниках и т. д. в качестве датчика позиции люка, дверцы, ящика.
- В бытовой электронике средних размеров:
  – для обнаружения магнита, чтобы отключать бытовую электронику (например, ноутбуки, планшеты, беспроводные колонки и т. п.), а также для максимизации срока службы батареи (бытовая электроника средних размеров).

Заключение

На протяжении многих лет магниторезистивный (МР) эффект в ферромагнитных пленках используется при разработке датчиков магнитного поля и считывающих головок, однако внедрение тонкопленочной технологии открыло новые возможности перед разработчиками таких устройств и резко расширило круг их применений. Применение МР-эффекта в тонких пленках и современной интегральной технологии позволяет создавать датчики предельно малых размеров с высокой чувствительностью. В настоящее время разработкой тонкопленочных МР-датчиков и применений на их основе занимаются практически во всех промышленно развитых странах мира, в том числе и в России. Интегральные схемы АМР-датчиков серии Nanopower рекомендованы для применения в широком диапазоне устройств с батарейным питанием, в работающем от аккумуляторов оборудовании с чрезвычайно низкими требованиями к потреблению энергии. Высокая чувствительность позволяет использовать АМР-датчики и для измерения слабых полей в навигационных системах, где эффект Холла обычно не применяется. Кроме того, эти датчики могут быть полезны в автомобильных применениях, в условиях жесткой эксплуатации, которая характеризуется повышенной загрязненностью, перепадами температур, повышенными механическими вибрациями.

Литература

1. www.honeywell.com
2. www.compel.ru
3. Воробьев А. В. Математическая модель анизотропного магниторезистивного датчика для инженерных расчетов // Вестник УГАТУ. 2012. № 1.
4. Honeywell представляет первые в отрасли интегральные схемы анизотропных магниторезистивных датчиков Nanopower. Пресс-релиз. Компания Honeywell, 2014.
5. Борисов А. Современные АМР-датчики для детектирования скорости, положения и слабых магнитных полей // Компоненты и технологии. 2006. № 7.
6. Указания по применению ИС магниторезистивных датчиков. Серия Nanopower. Honeywell International Inc., 2014.
7. Инструкции по установке для ИС магниторезистивных датчиков. Серия Nanopower. Вып. 1. Honeywell International Inc., 2014.
8. ИС магниторезистивных датчиков. Серия Nanopower. Спецификация. Honeywell International Inc., 2014.
9. Амеличев В. В., Гамарц И. А., Прокофьев И. В., Суханов В. С. Серия тонкопленочных магниторезистивных датчиков магнитного поля. НПК Технологический центр МИЭТ. Москва, 2011.