

# Применение датчиков Холла во внутритрубных диагностических снарядах магистральных нефтепроводов

**Игорь Буслов, Валерий Бауткин, Александр Драпезо, Вячеслав Ярмолович (г. Минск, Беларусь)**

**В статье описан оригинальный датчик серии ДУПХ, предназначенный для построения инклинометров, одометров и других дефектоскопов, в основе которого лежит использование датчиков угла поворота на эффекте Холла.**

Уровень разработки и использования внутритрубных инспекционных снарядов-дефектоскопов (ВИС) во многом зависит от их оснащённости современными контрольно-измерительными датчиками и устройствами. Уникальную возможность конструирования различного рода миниатюрных датчиков повышенной надёжности предоставляет использование эффекта Холла, который не требует механического контакта между объектом контроля или измерения и органом преобразования.

Государственная организация «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению» (г. Минск) последние 15 лет специализируется на выпуске разного рода электронных датчиков и устройств на эффекте Холла. С участием авторов настоящей публикации и других специалистов, в рамках договора о сотрудничестве с фирмой LIN SCAN (Объединённые Арабские Эмираты, г. Дубай) в период 2002–2003 гг. был спроектирован, изготовлен и введён в опытную эксплуатацию типоряд датчиков для внутритрубных диагностических снарядов: профиломеры (каллиперы) на диаметр труб 8...40", магнитные дефектоскопы типа

MFL на диаметр труб 12...40" и типа TFI на 30". Диагностические снаряды успешно прошли испытания в Индии и ОАЭ, обеспечив диагностику около 3000 км труб только за 2003 г.

Уникальные магниточувствительные элементы Холла изготавливаются из разработанных авторами гетероэпитаксиальных структур антимоноида индия на полуизолирующем арсениде галлия с высокой подвижностью носителей заряда n-типа. На рисунке 1 показана пластина, содержащая миниатюрные магниточувствительные элементы, выполненные методами фотогравировки, которые широко используются в микроэлектронике. Эти миниатюрные элементы имеют различные варианты компоновки: они могут объединяться в двухкомпонентные или трёхкомпонентные магниточувствительные зонды, собираться в виде матриц и др. Для использования магниточувствительных зондов в узких щелях и отверстиях предусмотрено планарное или торцевое крепление элементов Холла. Основные технические параметры миниатюрных элементов Холла приведены в таблице 1.

При изготовлении двухкомпонентных зондов миниатюрные элементы Холла располагаются в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, а в трёхкомпонентных зондах – в трёх взаимно перпендикулярных плоскостях. Двух- и трёхкомпонентные зонды могут использоваться в устройствах контроля в автоматике, автомобильном транспорте, медицине, а также в магнитных дефектоскопах ВИС.

В основе функционирования ряда устройств, используемых в ВИС, таких как инклинометры, одометры и др., лежит использование датчиков угла пово-

рота на эффекте Холла серии ДУПХ, основные технические характеристики которых приведены в таблице 2 [1]. Датчик ДУПХ предназначен для преобразования угла поворота вала в аналоговый электрический выходной сигнал. Он может быть как полнооборотным, так и секторным. Датчик выполнен в виде цилиндрического корпуса с фланцем и вращающимся валом. Он имеет шлицевое самоцентрирующееся крепление, обеспечивающее точную фиксацию. Преобразование угла поворота вала в электрический сигнал производится бесконтактным способом за счёт изменения индукции магнитного поля в области расположения чувствительного зонда при повороте вала.

Датчики ДУПХ изготавливаются в различных вариантах, в том числе возможен вариант, когда магнитные системы создают квазиоднородное магнитное поле, вращающееся относительно двух взаимноперпендикулярных элементов Холла. Для секторного датчика используется однокомпонентный зонд, для полнооборотного – двухкомпонентный зонд. Сигнал с магниточувствительного элемента подаётся на встроенный усилитель, выполненный в виде интегральной схемы.

Датчики серии ДУПХ предназначены для работы в условиях повышенных температурных воздействий и агрессивных сред (соляной туман, кислотные и щелочные воздействия и др.). Датчики устойчивы к радиации, имеют пожаро- и взрывобезопасное исполнение и большую износостойкость (количество рабочих циклов более 106). Благодаря характеристикам точности и надёжности они могут работать в составе сложных микропроцессорных систем. Также датчик может применяться в военной и космической технике, авиационных и автотракторных системах управления и контроля, станкостроении и др.

В отличие от существующих аналогов на других принципах функционирования (потенциометрических, индукционных), датчик имеет меньшие



**Рис. 1. Пластина, содержащая миниатюрные магниточувствительные элементы, выполненные стандартными методами фотогравировки**

габариты, на порядок более высокую надёжность, простоту конструкции и современную элементную базу.

Применительно к ВИС также разработаны линейные первичные преобразователи микроперемещений, прецизионные схемы усилителей, технология герметизации и кабельные соединения, а также высокоточные датчики углового перемещения ДУПХ для контроля рельефа внутренних стенок трубопровода диаметром от 6" до 60" (см. рис. 2).

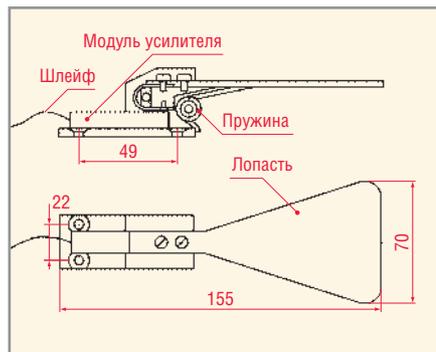
Принцип работы последних заключается в измерении углового положения рычагов, равномерно распределённых по окружности ВИС и имеющих непосредственный контакт с внутренней стенкой трубопровода. Каждый из рычагов имеет возможность изменять своё угловое положение в диапазоне 0...85° независимо от других рычагов. Усилие прижатия лопатки к трубе при угле поворота рычага 30° находится в диапазоне от 2,0 до 5,0 Н. Датчики ДУПХ выполнены в герметичном исполнении, предназначены для работы в агрессивной среде перекачиваемого продукта (нефть и нефтепродукты, вода, морская вода, растворённый в жидкост-

**Таблица 1. Основные технические параметры миниатюрных элементов Холла**

Температурный коэффициент ЭДС Холла, 0,02%/К, не более	0,02
Температурный коэффициент электрического сопротивления, %/К, не более	0,03
Коэффициент нелинейности по магнитной индукции, %, не более	0,3
Входное (выходное) сопротивление элемента Холла, Ом, не более	8
Магнитная чувствительность, мВ/мТл, не менее	300
Напряжение неэквипотенциальности, мкВ, не более	30
Номинальный ток питания элементов Холла, мА	30
Габариты элемента Холла в сборе (по электрическим выводам), мм, не более	0,15 × 1,2 × 70
Габариты магниточувствительной области, мм	0,5 × 0,5 × 0,006
Концентрация носителей заряда (электронов), см <sup>-3</sup>	1,4 × 10 <sup>17</sup>
Подвижность носителей заряда, м <sup>2</sup> В <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup>	2,0

**Таблица 2. Основные технические характеристики датчиков серии ДУПХ**

Габариты, мм, не более	∅45 × 60 (∅45 × 90)
Напряжение питания, В	+12 <sup>+5</sup> (4,8 <sup>+1,5</sup> )
Диапазон угла поворота, град	-15...0...+15 (0...360)
Разрешающая способность, угл. мин	5
Рабочий температурный диапазон, °С	-60...120
Выходной сигнал, В	2...6
Ток питания, мА	20...40
Основная погрешность, %, не более	0,5
Дополнительная погрешность в диапазоне температур: -40...80°С, %, не более -60...120°С, %, не более	0,25 1,8
Изменение выходного сигнала от угла поворота, функция вида	$Y_1 = k_1 \sin x$ $Y_2 = k_2 \cos x$



**Рис. 2. Высокочастотный датчик углового перемещения для контроля рельефа внутренних стенок трубопровода**



**Рис. 3. Датчик магнитного поля в раскрытом состоянии**

ти сероводород) при давлении до 80 атмосфер и при температуре до 70°C.

Двухкоординатный инклинометр на эффекте Холла размещается в герметичном отсеке внутритрубного дефектоскопа и вырабатывает электрические сигналы об угле наклона снаряда в горизонтальной плоскости. При этом ВИС может вращаться относительно продольной оси трубопровода. В основе функционирования лежит преобразование углов отклонения двух маятников, имеющих по одной степени свободы от вертикали. Относительная погрешность измерения не превышает 1%.

Одометры на эффекте Холла реализованы при помощи покрытого износостойкой оболочкой подпружиненного колеса, которое прилегает к внутренней стороне трубопровода и приводится во вращение при движении ВИС. На оси одометра закреплена миниатюрная магнитная система, состоящая из двух редкоземельных магнитов и создающая плоскопараллельное магнитное поле, которое вращается относительно двух неподвижных магниточувствительных элементов Холла, установленных в двух взаимноперпендикулярных плоскостях. Аналоговые сигналы угла поворота оси вида  $\cos\beta$  и  $\sin\beta$  поступают в блок

обработки информации. Высокая точность одометров такого типа обеспечивается отсутствием ложных срабатываний, которые характерны для одометров, построенных на дискретных методах подсчёта угла поворота, когда проявляется эффект дребезга источника информации относительно чувствительного элемента. Использование не менее трёх одометров на снаряде позволяет алгоритмически устранить эффект проскальзывания колеса.

Для разбраковки дефектов трубопровода на внутренние приповерхностные и другие разработаны высокочувствительные селективные датчики типа ID/OD. Такого рода датчик содержит цилиндрический магнит из сплава альнико, на торце которого размещён однокомпонентный или двухкомпонентный датчик Холла.

Датчик остаточной намагниченности стенок трубопровода содержит элемент Холла с магнитомягким концентратором магнитного потока. В качестве концентраторов используются миниатюрные заточенные стержни из магнитомягкого феррита. В плоскостном исполнении роль концентратора выполняют тонкие пермаллоевые пластинки. В зависимости от геометрических размеров датчика, коэффициент усиления магнитного потока может варьироваться в широком диапазоне (10...400). Используя явление концентрации магнитного потока магнитомягкими ферромагнитными телами определённых геометрических форм, можно на два-три порядка увеличить магнитную чувствительность без ухудшения шумовых характеристик и временной стабильности.

Например, в ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению» изготовлен трёхкоординатный датчик слабых магнитных полей на эффекте Холла для применения в малых космических аппаратах (в рамках программного мероприятия № 2.5 научно-технической программы Союзного государства «Космос-НТ»). На рисунке 3 приведена фотография датчика магнитного поля в раскрытом состоянии. Величина зазоров  $d$ , в каждом из которых размещалась по микроминиатюрному преобразователю Холла, не превышала 0,15 мм.

Датчики Холла с концентраторами магнитного потока можно эффективно использовать для контроля изоляции трубопровода путём измерения магнитного поля, вызванного токами катодной защиты.

Именно миниатюрность размеров датчиков Холла позволяет эффективно использовать их для измерения пространственного распределения компонент индукции магнитного поля в зоне расположения неоднородностей в ферромагнитных конструкциях магистральных трубопроводов при прохождении внутритрубного инспекционного снаряда типа MFL, который намагничивает трубопровод в продольном направлении практически до насыщения. При удалённости двухкомпонентных преобразователей Холла на 3...4 мм от внутренней поверхности трубы разрешающая способность (минимальные размеры) обнаружения датчиками Холла дефектов на внутренней поверхности трубопровода  $h$  составляет не менее чем  $0,1t$  где  $t$  - толщина трубы трубопровода для следующих видов дефектов: общая коррозия, питтинг, поперечный задира. Обнаружение раковин, пор, непроваров, шлаковых включений возможно от 0,15t и обнаружение поперечных трещин - от 0,2t. При этом дефекты стресс-коррозийного типа могут быть обнаружены инспекционными снарядами типа MFL только случайным образом.

При прохождении внутритрубного инспекционного снаряда типа TFI, который намагничивает трубопровод в поперечном направлении, разрешающая способность идентификации магниточувствительными сенсорами неоднородностей ферромагнитных конструкций трубопровода как функция удалённости магнитных сенсоров от поверхности трубы следующая. При расположении двухкомпонентных элементов Холла на расстоянии 3...4 мм от внутренней поверхности трубы разрешающая способность обнаружения дефекта при глубине  $h$  не менее чем  $0,1t$  где  $t$  - толщина трубы трубопровода для следующих видов дефектов: продольные стресс-коррозийные дефекты, питтинг, задира продольный. Обнаружение раковин, пор, непроваров, шлаковых включений от 0,15t и обнаружение продольных трещин - от 0,2 t.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дратезо А.П., Ярмолович В.А. Применение миниатюрных преобразователей Холла и малогабаритных магнитных систем в специализированных датчиках для машиностроения. Машиностроение: Сб. научных трудов. Вып.18. Технопринт, 2002. С. 370–375.

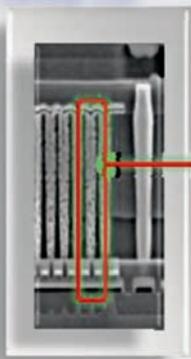


# Новости мира News of the World Новости мира

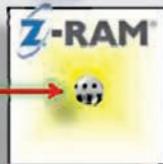
## Z-RAM готова заменить DRAM?

Компания Innovative Silicon (ISi) заявила о двух существенных прорывах своей технологии памяти Z-RAM (zero-capacitor RAM). Напомним: Z-RAM отличается от традиционной памяти отсутствием конденсаторов для хранения информации. Запись и хранение данных в этой технологии основаны на так называемом эффекте «плавающего тела» (FB, floating body).

Conventional DRAM cell

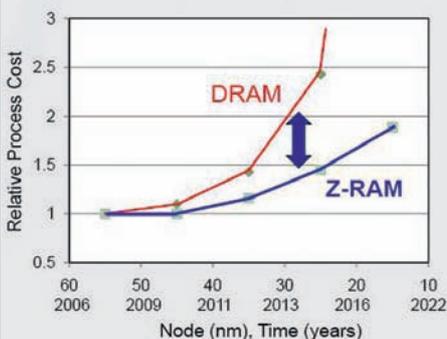


Single Transistor cell



Инженерам ISi удалось снизить напряжение питания Z-RAM до уровня ниже 1 В. Это самое низкое значение среди других технологий памяти с «плавающим телом». Новое достижение позволило впервые сравнить по этому показателю FB-память с традиционной DRAM-памятью. Второй прорыв состоит в реализации Z-RAM на основе объёмного кремния с использованием структур трёхмерных (неплоских) транзисторов, широко применяемых производителями DRAM-памяти. Это позволяет отказаться от использования субстратов SOI (кремний на изоляторе), которые являются более дорогими.

Обновлённая технология Z-RAM была реализована в тестовой микросхеме компанией Hynix Semiconductor. Как от-



мечает ISi, этот чип наглядно продемонстрировал, что Z-RAM имеет все шансы заменить традиционную память и обладает более низкой себестоимостью по сравнению с любой DRAM-технологией при использовании техпроцесса с проектными нормами 40 нм и ниже. Z-RAM сравнима с DRAM по энергопотреблению и быстродействию.

Как отметил президент и CEO Innovative Silicon Марк-Эрик Джонс (Mark-Eric Jones), DRAM была основной технологией памяти на протяжении сорока лет, но ей пришлось время уступить место передовой «бесконденсаторной» Z-RAM. Представитель Hynix Semiconductor считает, что ISi удалось устранить недостатки и преодолеть ключевые барьеры, стоящие на пути всех технологий памяти с «плавающим телом».

Более подробно о достоинствах обновлённой технологии Z-RAM написано в материале Remarkable Low Voltage Operation of Z-RAM, который будет представлен на крупнейшей отраслевой конференции 2010 VLSI Technology Symposium.

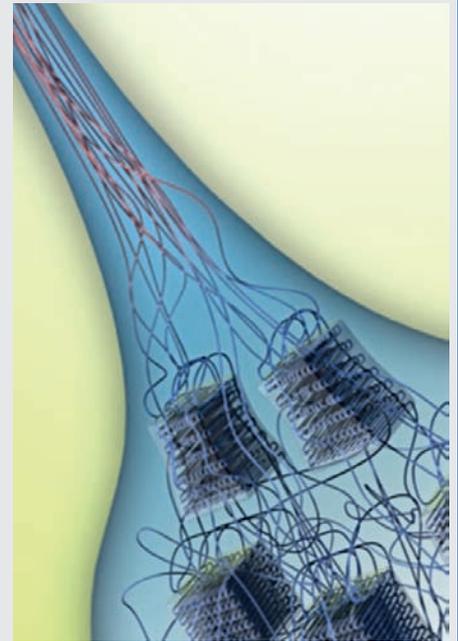
Innovative Silicon

## Полимеры – новое слово в охлаждении процессоров

Подавляющее большинство полимеров – отличные изоляторы, не проводящие ни электрический ток, ни тепловую энергию. Вот почему крайне удивительным оказалось сообщение сотрудников Массачусетского технологического университета (MIT), которые заявили о возможности использования полимеров в качестве эффективного теплопроводящего материала. Как мы знаем, отличные проводники тепла являются и отличными проводниками электрического тока (например, такими свойствами обладают все металлы), но другое дело – полимеры. Согласно сообщению учёных, будучи отличными проводниками тепла, полимерные материалы являются при этом отличным электрическим изолятором.

Ещё одним многообещающим свойством полимеров является их анизотропия – они отлично передают тепло только в одном направлении. Это означает, что можно добиться направленной передачи тепла от нагретого объекта к «холодильнику» – идеальный подход для организации нового поколения систем охлаждения для интегральных микросхем, в том числе и центрального процессора.

Впрочем, для того чтобы полимерные материалы «научились» эффективно про-



водить тепло, необходимо провести определённую процедуру обработки. Если обычно полимерные материалы представляют собой хаотичную структуру из длинных молекул, то в случае теплопроводящего полимера молекулы должны быть ориентированы в едином направлении. Добиваются этого медленным «вытягиванием» полимерного волокна из раствора. До сих пор исследователи пытались увеличить теплопроводность полимеров путём добавления к ним иных материалов, например углеродных нанотрубок. Но такое направление разработок приводило только к незначительному росту теплопроводности по той причине, что соединение двух материалов обычно приводит к росту термосопротивления конечного «гибрида».

В результате полимерные волокна проводят тепло в триста раз лучше, нежели обычные полимерные материалы – полимеры лучше проводят тепло, нежели некоторые чистые металлы, например, железо и платина. Этого вполне достаточно для замены металлических материалов, используемых сегодня в системах передачи/отвода тепла самых различных типов: систем охлаждения для электронных устройств, солнечных систем горячего водоснабжения, теплообменниках и пр.

Как всегда, перед исследователями ещё остался целый ряд вопросов, на которые только предстоит дать ответы. Возможно ли наладить изготовление теплопроводящих полимерных волокон в промышленных масштабах и по невысокой стоимости? Каким образом применить полимерные волокна в реальных приложениях?

3dnews