

## МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ МАГНИТНЫЕ ДАТЧИКИ РЕГИСТРАЦИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ

канд. техн. наук, проф. В.П. Мельников<sup>1</sup>,  
студент гр.113323 С.С. Иванов<sup>2</sup>, студент гр.113323 Ю.П. Ивлев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт электроники НАН Беларуси

<sup>2</sup> Белорусский национальный технический университет

В результате синтеза микроэлектроники и интегральных магниточувствительных элементов – преобразователей магнитного поля (ПМП) возникло новое научно-техническое направление – микромагнитоэлектроника. Развитие микромагнитоэлектроники позволяет разрабатывать и производить современные магнитоэлектронные устройства и приборы, среди которых – магнитные датчики регистрации перемещений и скорости вращения.

*Датчики скорости вращения (ДСВ)* представляют собой частотные датчики. Принцип действия таких датчиков состоит в преобразовании скорости вращения (углового перемещения) в частоту изменений потока энергии (электрического тока или напряжения). Выходной сигнал ДСВ может быть представлен в виде синусоидального изменения величины (напряжения), постоянной величины, модулированной по периодическому (синусоидальному) закону, или в виде последовательности коротких импульсов. Для использования в цифровых системах контроля последний вид сигнала более предпочтителен.

*Магнитные датчики перемещений (МДП)* контролируемых объектов относятся к так называемым функционально-ориентированным датчикам, которые составляют основную группу магнитоэлектронных приборов. Функционально-ориентированный магнитный датчик – это специально сконструированное магнитоэлектронное устройство, предназначенное для решения узкого круга задач: регистрации перемещений или контроля скорости вращения контролируемого объекта, угла наклона и т.п. Магнитные датчики перемещения являются наиболее универсальными магнитоэлектронными устройствами, поскольку они используются и как самостоятельные датчики, и как составные элементы многих других, более сложных датчиков.

## Принцип действия и конструкции магнитных датчиков перемещения

Принцип действия магнитных датчиков перемещения основан на изменении электрического сигнала на выходе МДП при изменении положения контролируемого объекта. Так как чувствительным элементом датчика перемещения является преобразователь магнитного поля, то изменение выходного сигнала фиксирует изменение величины индукции магнитного поля, воздействующего на магниточувствительный элемент МДП.

Основные характеристики магнитных датчиков определяются параметрами используемых ПМП и магнитной системы. Несмотря на существенные различия, все они могут быть разделены на две группы:

- датчики с разомкнутой магнитной системой;
- датчики с замкнутой магнитной системой.

При проектировании датчиков линейного перемещения используют зависимости  $B = F(D)$ , приведенные на рис.1. В качестве магниточувствительных элементов применяются различные дискретные ПМП (элементы Холла, магниторезисторы, магнитодиоды, магнитотранзисторы) или магниточувствительные микросхемы на их основе.

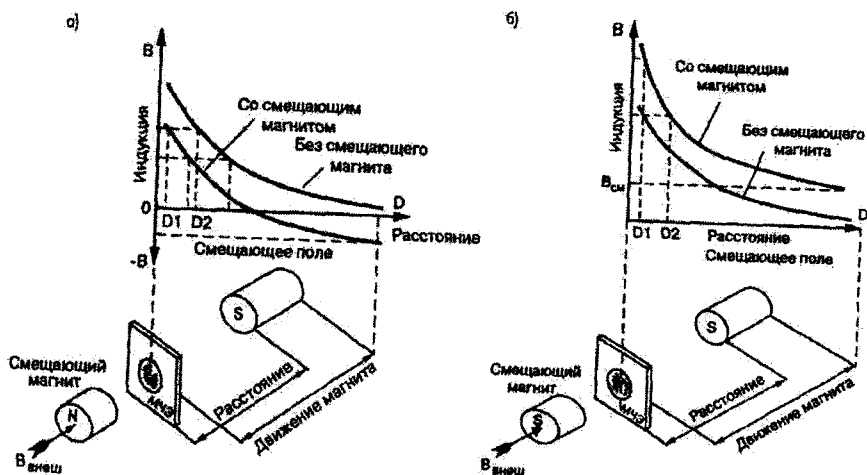


Рис.1. Зависимость индукции постоянных магнитов от расстояния до МЧЭ при использовании смещающих магнитов разной полярности

При использовании всего диапазона положительных и отрицательных значений плотности магнитного потока в процессе двухполюсного аксиального приближения, рис.2, а и б, получается линейная кривая плотности магнитного потока. В этом случае два связанных между собой одноименных магнита, расположенных на некотором расстоянии друг от друга, аксиально движутся к поверхности датчика.

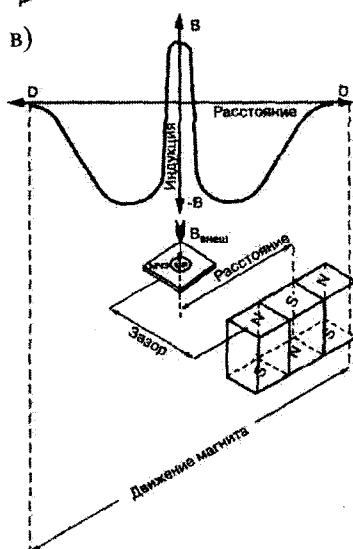
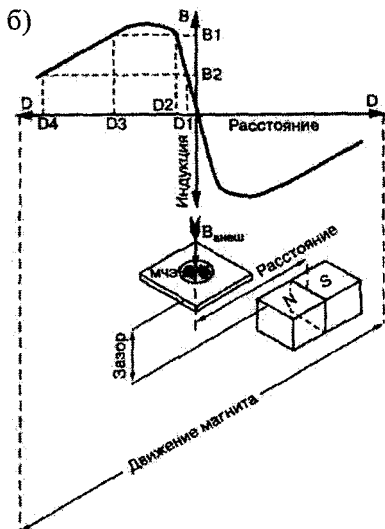
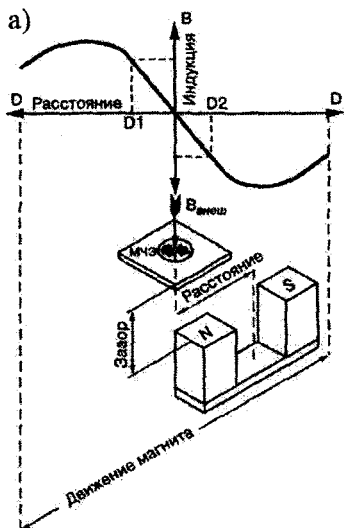


Рис.2. Зависимость магнитной индукции при параллельном перемещении:

- а) двухполюсного магнита с зазором (1 из 3);
- б) двухполюсного магнита (2 из 3);
- в) трехполюсного магнита (3 из 3)

Датчик линейного перемещения может располагаться в воздушном зазоре и в среднем положении не подвергаться воздействию магнитного поля (плотность магнитного поля равна нулю), так как два противоположно направленных магнитных поля взаимно уничтожаются. При сдвиге магнита в одну из сторон начинает преобладать положительная или отрицательная составляющая магнитного поля.

### *Датчики скорости вращения, основанные на считывании магнитного поля полюсов многополюсных магнитов*

В датчиках в качестве модулятора используются диски с набором постоянных магнитов, расположенных на окружности, магнитные диски с отверстиями и немагнитные диски с магнитными вставками. Модулятор закрепляется на оси контролируемого объекта.

Выходной сигнал подается в программируемый счетчик, который регистрирует величину угла или пройденного пути. Для измерения числа оборотов используют счетчик частоты, который показывает число оборотов в минуту. Например, кольцевые магниты с 30 парами полюсов при каждом обороте обеспечивают получение 60 импульсов, что дает возможность измерять даже очень малые числа оборотов.

### *Датчики счета полюсов с применением магниторезисторов*

Наибольшей геометрической разрешающей способностью обладают ДСВ, в которых в качестве магниточувствительных элементов используются тонкопленочные магниторезисторы (ТМР). При помощи таких датчиков по взаимному расположению постоянного магнита и МЧЭ можно фиксировать изменение состояния вращения, начиная с движения из состояния покоя и вплоть до вращения на очень высоких скоростях.

Для ТМР магнитная цепь упрощается, поскольку магнитное смещение можно налагать перпендикулярно поверхности элемента. В таких случаях, как правило, применяют многополюсный постоянный магнит (МПМ) цилиндрической формы, закрепляемый на оси объекта, частота вращения которого измеряется. Дифференциальный магниторезистор располагают вблизи боковой поверхности магнита-модулятора.

При вращении этого магнита и прохождения вблизи МЧЭ двух соседних магнитных элементов с разноименными полюсами воздействующее на элемент магнитное поле изменяется от  $+H$  до  $0$  и от  $0$  до  $-H$ . При этом наблюдается пиковое изменение сопротивления магниточувствительного элемента.

Наиболее известны три варианта расположения МЧЭ относительно рабочей поверхности магнита-модулятора. Рассмотрим три возможные схемы построения такого преобразователя частоты вращения, показанные на рис.3.

Анализ данных вариантов расположения МЧЭ относительно рабочей поверхности МПМ показал, что наиболее оптимальным является третий вариант (рис.3-3). Преимущества этого варианта перед двумя другими заключаются в возможности использования минимальных зазоров между элементами многополюсного магнита и МЧЭ, в высокой однородности магнитного поля по длине элемента, в высокой точности регистрации положения МПМ и связанной с ним оси.

### *Магниточувствительные элементы датчиков*

*Магниторезисторы* – это электронные компоненты, действие которых основано на изменении электрического сопротивления полупроводника (или металла) при воздействии на него магнитного поля.

Существуют «монокристаллические» и «пленочные» магниторезисторы.

Действие «монокристаллических» магниторезисторов основано на эффекте Гаусса, который характеризуется возрастанием сопротивления проводника (или полупроводника) при помещении его в магнитное поле.

Магниторезистор представляет собой подложку с размещенным на ней МЧЭ. Подложка обеспечивает механическую прочность прибора. Элемент приклеен к подложке и защищен снаружи слоем лака. МЧЭ может размещаться в оригинальном или стандартном корпусе и снабжаться ферритовым концентратором магнитного поля или «сдвигающим» постоянным микромагнитом.

«Монокристаллические» магниточувствительные элементы изготавливаются из полупроводниковых материалов, обладающих высокой подвижностью носителей заряда. К таким материалам относятся антимонид индия ( $InSb$ ) и его соединения, арсенид индия ( $InAs$ ) и др. Наибольшее распространение для изготовления МЧЭ получил

эвтектический сплав InSb-NiSb, легированный теллурием. В России этот сплав известен под названием СКИН.

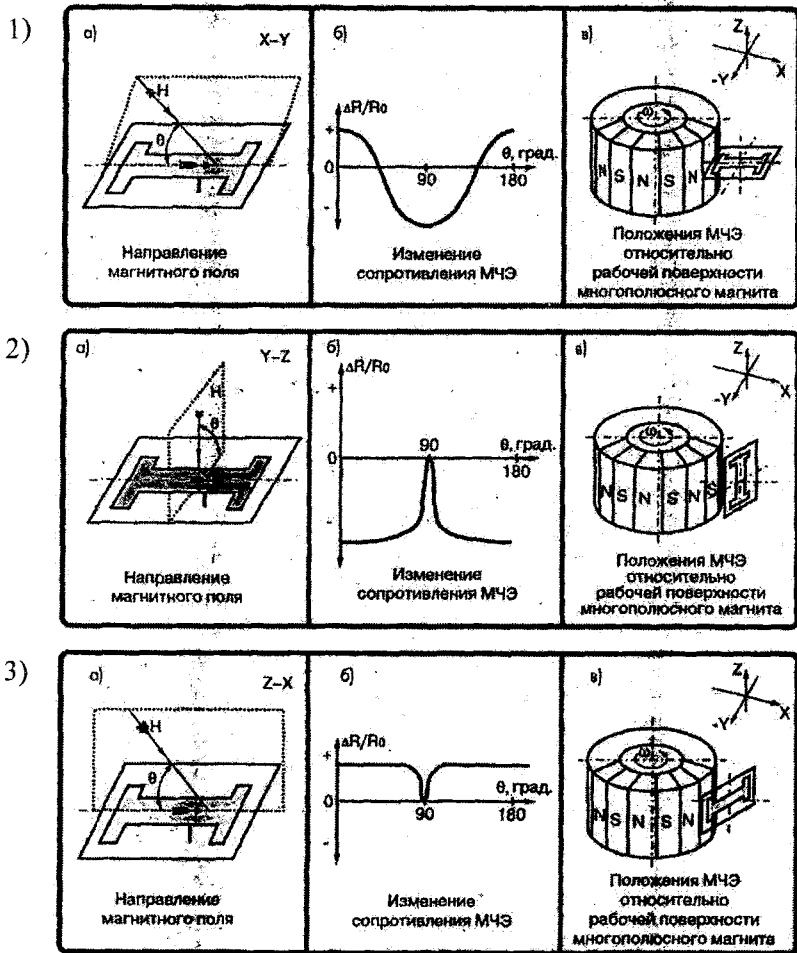


Рис. 3. Вариант построения узла преобразователя скорости вращения с применением ТМР, расположенного осью X-Y (рис. 3-1), X-Z (рис. 3-2), Z-X (рис. 3-3) перпендикулярно образующей плоскости МПМ

«Пленочные» магниторезисторы получили распространение лишь в последние годы. Магниточувствительный элемент таких приборов изготовлен из ферромагнитных пленок (ФМП), исполь-

зующих *анизотропный магниторезистивный эффект*. Максимальное значение магнитосопротивления «тонкопленочных» магниторезисторов соответствует нулевому внешнему магнитному полю, то есть *при воздействии магнитного поля сопротивление такого МЧЭ уменьшается*. Конструкция магниторезисторов из ФМП не отличается от конструкций других разновидностей магниторезисторов, за исключением того, что МЧЭ изготовлен по специальной тонкопленочной технологии.

Для создания МЧЭ используют тонкие одно- и многослойные пленки никель-кобальтовых (NiCo), никель-железных (NiFe) и других сплавов. В качестве подложек применяют стекло, ситалл или кремний, обладающие большой теплопроводностью, коэффициент термического расширения которых близок по величине к ТКР используемых пленок.

*Магниточувствительные и магнитоуправляемые интегральные схемы (МЧМС)* представляют собой особый класс современных изделий микромагнитоэлектроники. МЧМС относятся к аналоговым (линейным) интегральным микросхемам и являются преобразователями магнитного поля в выходной сигнал (напряжение, ток), пропорциональный величине индукции воздействующего магнитного поля. Эти схемы в одном полупроводниковом кристалле содержат интегральный преобразователь магнитного поля (элемент Холла, магнитотранзистор или магниторезистор и т.п.) и электронную схему усиления и обработки сигнала.

#### **Использованные источники**

1. Бейлина, Р.А., Грозберг, Ю.Г., Довгяло, Д.А. Микроэлектронные датчики: учебное пособие. – Новополоцк: ПТУ, 2001. – 308 с.
2. Клаассен, К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. – М.: Постмаркет, 2002. – 352 с.
3. Бараночников, М.Л. Микромагнитоэлектроника // Серия Учебник. Т.1. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 544 с.