

МОДУЛЬНЫЕ И КОМПОНЕНТНЫЕ МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫЕ ДАТЧИКИ И КОМПАСЫ HONEYWELL. ЧАСТЬ I



Магниторезистивный эффект в наши дни нашел широчайшее применение практически во всех электронных системах, так или иначе связанных с задачами магнитометрии, определения курса объекта по магнитному полю Земли, позиционированию и распознаванию образа ферромагнитных объектов, измерению угла поворота и перемещения, а также бесконтактном измерении электрического тока.

В статье рассказано об основных принципах работы магниторезистивных датчиков и начато рассмотрение датчиков такого типа производства компании Honeywell. Тема будет продолжена в одном из следующих номеров журнала.

Функциональная организация и принцип действия компонентных (базовых) датчиков Honeywell

В основе принципа действия датчиков лежит анизотропный магниторезистивный эффект (АМР), который заключается в способности пермаллоевой пленки изменять свое сопротивление в зависимости от взаимной ориентации протекающего через нее тока и направления ее вектора намагниченности (рис. 1). Внешнее магнитное поле поворачивает вектор намагниченности пленки M на угол θ . Величина θ зависит от направления и величины этого поля. При этом сопротивление пленки $R \sim \cos 2\theta$.

Для построения датчика четыре идентичных пермаллоевых пленки соединяются по мостовой схеме и образуют плечи моста (рис. 2). На практике, для увеличения чувствительности датчика каждое плечо моста формируют из нескольких пленок, параллельно ориентированных на подложке, последовательно между собой соединенных

при помощи алюминиевых перемычек и защищенных сверху слоем нитрида тантала (рис. 3).

После подачи питания (1,8...12 В) датчик начинает измерять внешнее магнитное поле, действующее вдоль его чувствительной оси. Это поле вызывает изменение сопротивления плеч моста, при этом выходное напряжение моста получает приращение. Типовая передаточная характеристика простейшего одноосевого магниторезистивного датчика Honeywell приведена на рис. 4.

Мостовой магниторезистивный датчик имеет ось предпочтительного намагничивания или так называемую легкую ось, которая принудительно формируется специальной встроенной плоской катушкой SET/RESET (рис. 2 и 3). Направление легкой оси всегда указывается в технической документации на прибор (рис. 5). Датчик наиболее чувствителен к полям, направленным перпендикулярно к этой оси.

В исходном состоянии, сразу после включения питания или в результате воздействия «разрушающего» магнитного поля величиной более 15...20 Гаусс, магнитная структура пленок моста хаотична (рис. 6а). Такое состояние датчика не件годно для измерения ввиду нулевой чувствительности. Подача же короткого импульса тока 2...5 А длительностью 1...2 мкс через катушку SET/RESET формирует поле, ориентирующее магнитные домены всех пленок в одном направлении, которое и называется легкой осью (рис. 6б, 6в). Эта процедура возвращает прибор в режим максимальной чувствительности, восстанавливая все его характеристики, которые сохраняются до очередного попадания датчика в сильное магнитное поле.

Катушка SET/RESET выполняет еще одну важную функцию — это инвертирование передаточной характеристики датчика путем ее зеркального отображения относительно двух смещений (рис. 7).

Обратимся к рисунку 7. Смещение по оси Y порядка 25 мВ вызвано исключительно омическим рассогласованием магниторезистивных пленок моста в процессе изготовления и устраняется добавлением шунтирующего резистора к одному из плеч моста. Второе смещение создано извне вероятно из-за того, что вблизи сенсора находится крупный металлический

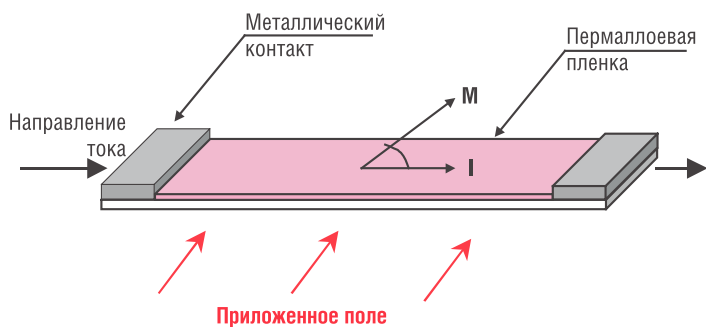


Рис. 1. Пермаллоевая магниторезистивная пленка

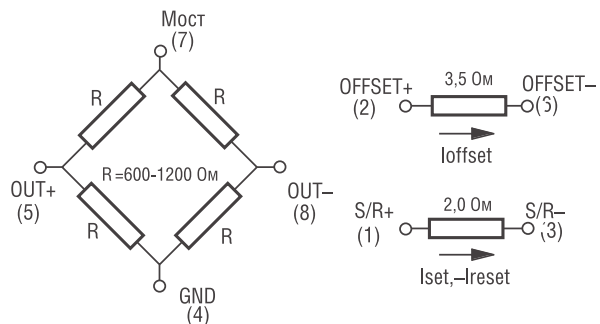


Рис. 2. Упрощенная схема магниторезистивного датчика

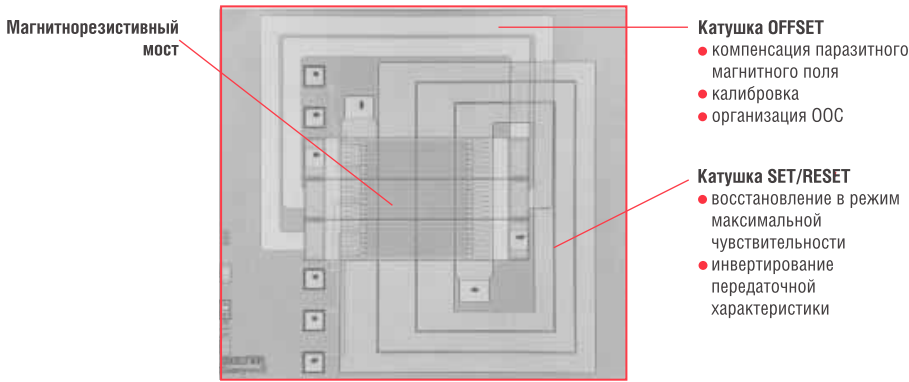


Рис. 3. Реальная топология магниторезистивного датчика

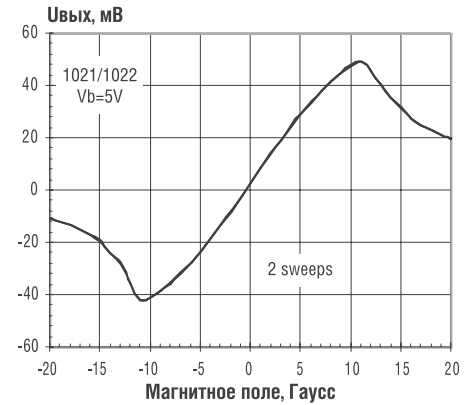


Рис. 4. Типовая передаточная характеристика магниторезистивного датчика Honeywell

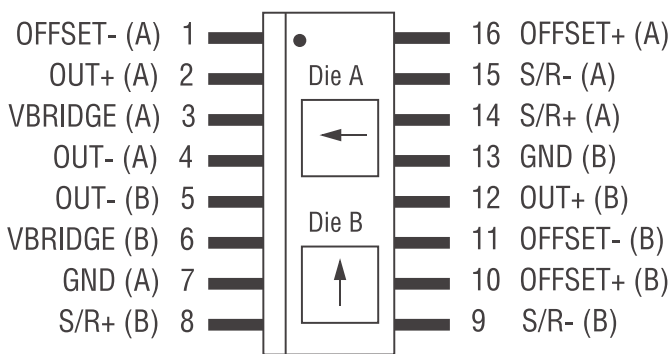


Рис. 5. Обозначение легкой оси на примере модели HMC1002

объект. Это поле компенсируется с помощью второй встроенной в сенсор катушки OFFSET (рис. 2 и 3), свойства которой мы рассмотрим позже.

Инвертирование же характеристики выполняется подачей отрицательного импульса тока (-2...- 5 А) длительностью 1...2 мкс через катушку SET/RESET. Инвертирование необходимо для реализации двухступенчатой методики измерения величины внешнего магнитного поля, которая исключает влияние температурного дрейфа элементов моста и схемы обработки сигнала, ошибку, вызванную нелинейностью характеристики преобразования, межосевой эффект, а также потерю слабого сигнала на фоне сильных паразитных полей. Эта методика включает три шага:

- Формируется установочный импульс тока I_{set} , что обеспечивает SET условие. При этом измеряется и запоминается выходное напряжение моста $U_{вых}(set)$;
- Формируется установочный импульс тока $I_{reset} = -I_{set}$, что инвертирует характеристику дат-

чика. При этом измеряется и запоминается выходное напряжение моста $U_{вых}(reset)$;

- Вычисляется по формуле $U_{вых} = (U_{вых}(set) - U_{вых}(reset))/2$, исключая начальное смещение и температурные эффекты как самого моста, так и внешней схемы усиления.

Существует множество способов построения схемы управления катушкой SET/RESET. Для примера на рисунке 8 предложена простая схема формирования чередующихся импульсов установки SET и RESET.

Величина тока установки влияет на чувствительность датчика, которая ограничена шумами. Для примера: если минимально обнаруживаемое поле для данного случая должно быть 500 мкГаусс и

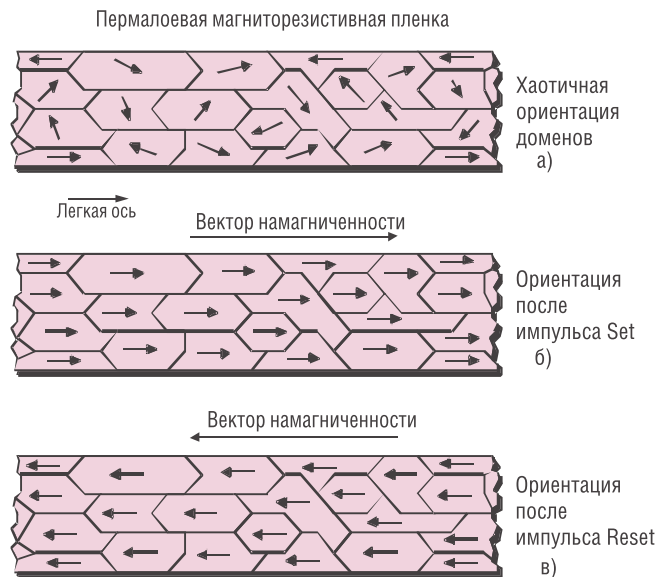


Рис. 6 а,б,в. Магнитная структура пермалоевой пленки

используется датчик HMC1001, то импульс установки должен быть размахом не менее 3 А. Если же минимальное поле 100 мкГаусс, то требуется 4 А импульс.

Основное назначение ранее упоминавшейся катушки OFFSET (рис. 2 и 3) – компенсация при необходимости любого внешнего магнитного поля. Эта процедура очень полезна, когда необходимо устранить искажения измеряемого магнитного поля крупными металлическими предметами. Например в бортовом электронном компасе необходимо снизить (учесть) влияние корпуса автомобиля на магнитное поле Земли. Функционально катушка OFFSET представляет собой резистор с сопротивлением 3...4 Ом. Катушка размещена рядом с магниторезистивным мостом и имеет строго определенную геометрию. Она спо-

Таблица 1. Основные технические характеристики компонентных магниторезистивных датчиков Honeywell

Наименование	Кол-во чувствительных осей	Рабочий диапазон, Гаусс	Чувствительность, мВ/Гаусс	Разрешающая способность, мкГаусс	Типовое сопротивление моста, Ом	Полоса частот, МГц	Траб, °С	Внешний вид
HMC1001	1	±2,0	3,20	27,0	850	0...5,0	-55...150	
HMC1002	2	±2,0	3,21	27,0	850	0...5,0	-55...150	
HMC1021S	1	±6,0	1,00	85,0	1100	0...5,0	-55...150	
HMC1021Z	1	±6,0	1,00	85,0	1100	0...5,0	-55...150	
HMC1021D	1	±6,0	1,00	85,0	1100	0...5,0	-55...300	
HMC1022	2	±6,0	1,00	85,0	1100	0...5,0	-55...150	
HMC1041Z	1	±6,0	1,00	85,0	1100	0...5,0	-55...150	
HMC1051Z	1	±6,0	1,00	85,0	1100	0...5,0	-55...150	
HMC1051ZL	1	±6,0	1,00	85,0	1100	0...5,0	-55...150	
HMC1052	2	±6,0	1,00	85,0	1100	0...5,0	-55...150	
HMC1052L	2	±6,0	1,00	85,0	1100	0...5,0	-55...150	
HMC1053	3	±6,0	1,00	85,0	1100	0...5,0	-55...150	

Датчики для измерения угла поворота и перемещения

Наименование	Кол-во чувствительных осей	Рабочий диапазон, °	Чувствительность, мВ/°	Разрешающая способность, °	Типовое сопротивление моста, Ом	Полоса частот, МГц	Траб, °С	Внешний вид
HMC1501	1	±45	2,1	0,07	5000	0...5,0	-55...150	
HMC1512	2	±90	2,1	0,05	2100	0...5,0	-55...150	

Интегральные компасы
HMC1055 Компасный набор

HMC6052 Интегральный компас

HMC6352 Цифровой интегральный компас


Набор включает 1-но осевой магниторезистивный датчик HMC1051Z, 2-х осевой магниторезистивный датчик HMC1052 и 2-х осевой акселерометр MXS3334UL. Набор предназначен для OEM производителей, занятых разработкой и производством электронных компасов. Наличие акселерометра дает возможность ввести в систему компенсацию крена объекта, на котором будет расположен прибор. В документации на набор даны электрические и эксплуатационные характеристики всех входящих в него компонентов, вариант готового схемотехнического решения.

HMC6052 – это ядро для построения компасных систем и градиентометров. Изделие интегрирует на кристалле 2-х осевой магниторезистивный датчик HMC1052 и схему усиления и нормализации выходного сигнала. Датчик выполнен в сверхминиатюрном 14-ти выводном корпусе LCC размером 3,5х3,5мм. Два канала усиления сигнала с функцией переключения позволяют разработчику компасных систем иметь компактное и простое в использовании решение, требующее только два внешних конденсатора. В технической документации приведено схемотехническое решение для сопряжения датчика с микроконтроллером.

HMC6352 – это полностью интегрированный цифровой компасный модуль, включающий 2-х осевой магниторезистивный датчик со всеми необходимыми аналоговыми и цифровыми схемами поддержки, работающими по определенному алгоритму. Объединение чувствительного элемента и схемы обработки сигнала с зашитым программным обеспечением в миниатюрном корпусе LCC размером 6,5х6,5х1,5 мм, позволяет разработчикам быстро проектировать конкурентоспособные приборы для потребительской электроники, автомобильной навигации и устройств позиционирования антенн.

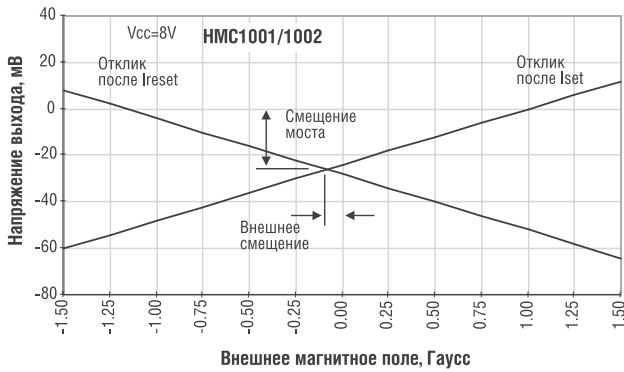


Рис. 7. Влияние катушки SET/RESET на передаточную характеристику датчика

собна сгенерировать магнитное поле в том же направлении, что и измеряемое поле. Для этого необходимо пропустить через нее ток определенной величины и полярности. Для примера, катушка формирует поле в 1 Гаусс при постоянном токе через нее 50 мА для моделей HMC1001 и HMC1002, и такое же поле, но при токе 5 мА для моделей HMC1021 и HMC1022. Иными словами, если через катушку HMC1001 протекает ток 25 мА, то к действующему внешнему магнитному полю прибавится поле величиной в 0,5 Гаусс. Если изменить направление тока, то из этого же поля произойдет вычитание 0,5 Гаусс.

Помимо компенсации смещения и устранения паразитных полей, при помощи OFFSET можно производить автокалибровку усиления моста в процессе работы. Эта процедура необходима, когда датчик работает в условиях постоянно меняющейся окружающей температуры. Принцип измерения коэффициента усиления моста заключается в определении наклона характеристики преобразования построенной по двум точкам. Сначала измеряется и запоминается величина внешнего поля H1. Далее через OFFSET пропускается известный ток, снова измеряется и запоминается показание моста как H2. В итоге коэффициент усиления моста определяется как $K_g = (H2-H1)/\Delta H$.

Еще одним из важных назначений OFFSET катушки является организация цепи обратной связи в системах измерения магнитного поля компенсационного типа (*closed loop circuit*). В упрощенном виде схема выглядит следующим образом: выход магниторезистив-

ного моста соединяется с усилителем, нагрузкой которого служит катушка OFFSET, включенная таким образом, чтобы реализовать отрицательную обратную связь. Такая система при любом измеряемом поле будет стремиться свести напряжение на выходе моста к нулю. Величина же поля оценивается по значению компенсирующего тока через катушку OFFSET. Данная измерительная схема характеризуется очень высокой линейностью и температурной стабильностью.

Существует еще множество других применений OFFSET, помимо тех, что были описаны. Необходимо лишь помнить ее главное свойство: внешнее поле и поле формируемое катушкой OFFSET, просто добавляются (с учетом знака) друг к другу и воспринимаются мостом датчика как единое целое.

Характеристики, режимы работы и назначение компонентных магниторезистивных датчиков Honeywell

Большинство этих датчиков предназначено для работы в линейном режиме. Одноосевые (одноостовые) линейные датчики чаще всего применяются для определения присутствия магнитного поля и величины. Вместе с этим на основе одноосевых датчиков строятся современные высокоточные датчики электрического тока с гальванической развязкой (рис. 9). Их принцип действия основан на измерении величины магнитного поля проводника с током, значение которого прямо пропорционально величине протекающего через проводник тока. Например в датчике тока компенсационного типа,

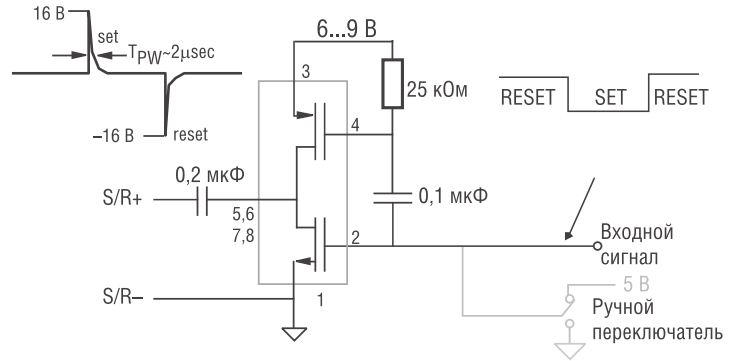


Рис. 8. Пример схемы формирования установочных импульсов

что на рисунке 10, действует отрицательная обратная связь по току через компенсационную катушку. Любое поле, создаваемое в ферритовом сердечнике (магнитопроводе) проводником с током, компенсируется полем катушки так, что результирующее поле всегда равно нулю. Поэтому ток в цепи ООС прямо пропорционален току в контролируемом проводнике.

Двух- и трехосевые сенсоры главным образом предназначены для построения датчиков курса (азимута) по магнитному полю Земли в навигационных системах автомобильных, морских и авиационных приложениях, а также ориентации антенн и лабораторного оборудования для магнитометрии. Принцип действия электронного компаса (датчика азимута) основан на измерении горизонтальных составляющих поля Земли и определении угла наклона транспортного (рис. 10). Имея двухосевой сенсор и датчик крена (как правило, сегодня применяются МЭМС акселерометры), можно построить высокоточный твердотельный датчик азимута. Для подобных применений Honeywell предлагает как готовые наборы, например HMC1055, включающий базовые магниторезистивные датчики и датчик наклона, так и готовые интегральные компасы в сверхминиатюрном исполнении HMC6052 и HMC6352.

Линейка датчиков Honeywell включает и приборы (например HMC1501 и HMC1512), которые предназначены для работы в сильном магнитном поле (до 80 Гаусс) в режиме насыщения без деградации характеристики. Только в

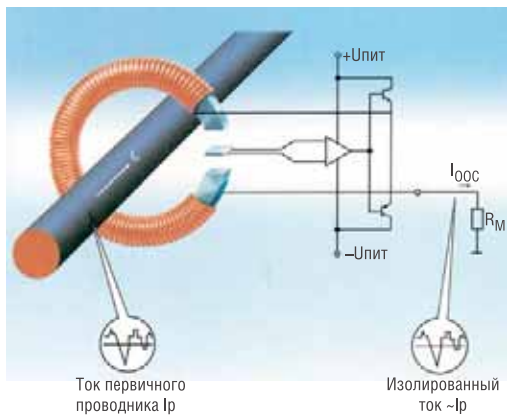


Рис. 9. Датчик тока на основе магниторезистивного датчика

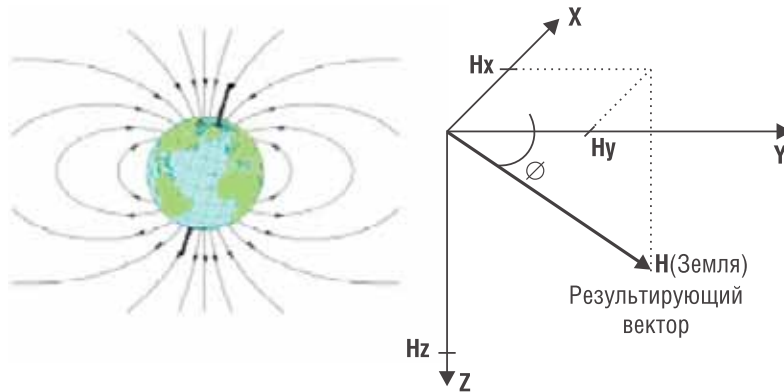


Рис. 10. Магнитное поле Земли и его составляющие

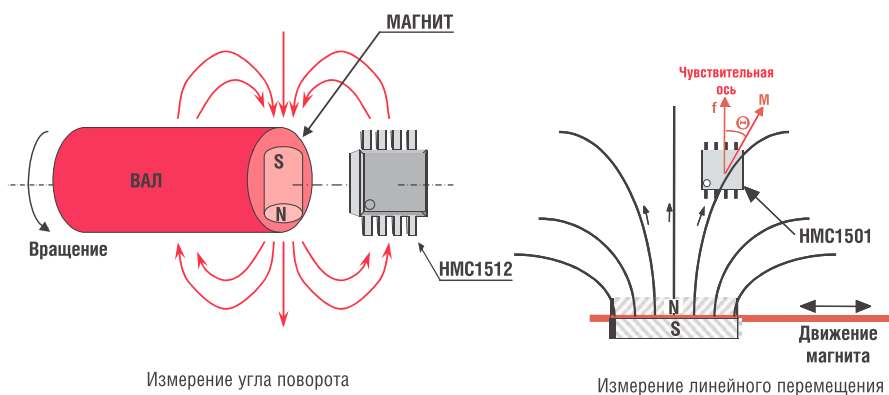


Рис. 11. Применение магниторезистивных датчиков для определения угла поворота и линейного перемещения

этом режиме вектор намагниченности датчика способен ориентироваться строго по направлению внешнего магнитного поля, которое создается, как правило, внешним двухполюсным магнитом. Эти датчики предназначены для точного и недорогого бесконтактного метода измерения угла поворота в пределах $\pm 45^\circ$ и $\pm 90^\circ$, а также небольшого перемещения (рис. 11), что сегодня очень актуально в автомобильной промышленности (датчики положения дроссельной заслонки, электромагнитный усилитель руля, электронная педаль газа и т.д.). Вместе с этим такие датчики применяются при измерении положения, направления и скорости вращения зубчатых колес (например в автомобильных системах АБС, датчиках положения коленчатого и распределительного валов, рис. 12).

В таблице 1 приведен перечень всех доступных на данный момент компонентных магниторезистивных датчиков Honeywell. Именно на основе этих приборов Honeywell выпускает широкий спектр уже законченных универсальных модулей для навигации и магнитометрии, имеющих в комплекте полный комплект программного обеспечения. Мы познакомимся с этими изделиями в следующем номере.

По вопросам получения технической информации о датчиках влажности Honeywell и их поставки обращайтесь в компанию КОМПЭЛ.
E-mail: sensors.vesti@compel.ru.

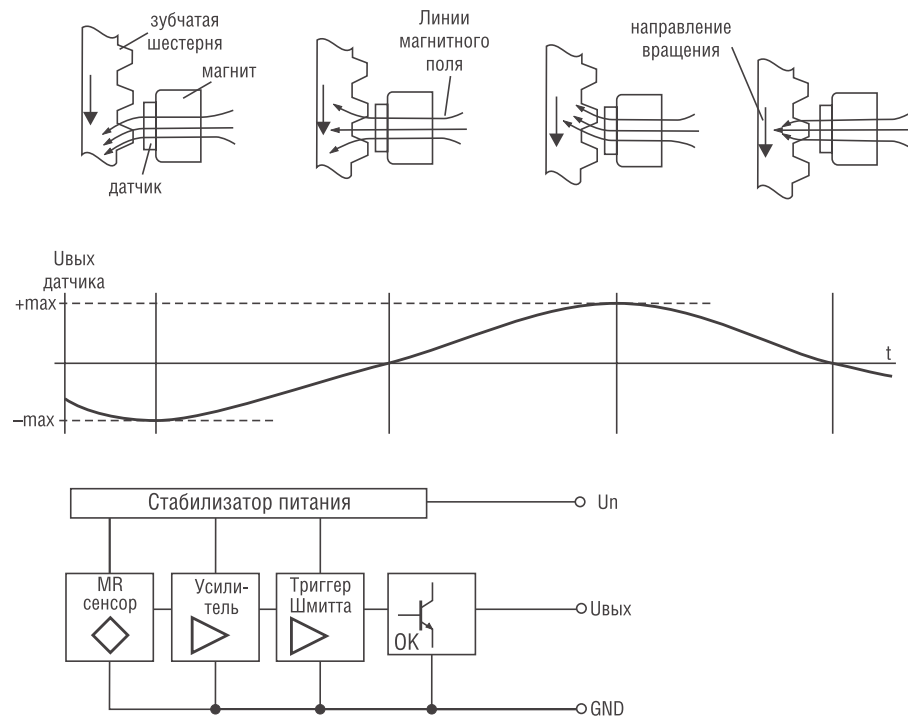


Рис. 12. Упрощенная схема и принцип действия датчика скорости вращения на основе магниторезистивного датчика