

АНИЗОТРОПНЫЙ МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫЙ ДАТЧИК — ДЕТЕКТОР ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

ANISOTROPIC MAGNETORESISTIVE SENSOR — THE DETECTOR OF CONSTANT MAGNETIC FIELD

**V. Bondarenko
I. Markina**

Summary. This article describes the detector of constant magnetic field on the basis of anisotropic magnetoresistive (AMR) sensor. Features of design and characteristics of the chosen detector are resulted. The block diagram apparatus for measuring the main parameters of detector is presented. The measurements of the output voltage for 16 AMR sensors are resulted.

Keywords: monitoring, hypomagnetic field, calibration, magnetoresistive sensor, sensitivity of the detector, offset voltage.

Бондаренко Валерий Гаврилович

К.ф.-м.н., в.н.с., ГИЦ РФ — Институт медико-биологических проблем Российской академии наук
vbmephi@indox.ru

Маркина Ирина Сергеевна

В.и., Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
ir.mark.45@mail.ru

Аннотация. В работе описан детектор постоянного магнитного поля на основе анизотропного магниторезистивного (АМР) датчика. Приведены особенности конструкции и характеристик выбранного детектора. Представлена структурная схема установки для измерения основных параметров датчика. Приводятся результаты измерений выходных напряжений для 16 экземпляров АМР датчиков магнитного поля.

Ключевые слова: индукция магнитного поля, гипомангнитное поле, анизотропный магниторезистивный датчик, чувствительность датчика, инструментальный усилитель.

Введение

Рассматриваемая в настоящее время перспектива долговременных пилотируемых полетов в межпланетном пространстве выдвигает новые аспекты обеспечения безопасности экипажа. Так, становится актуальным вопрос защиты от влияния пониженных, гипомангнитных полей, отрицательно сказывающихся на жизнедеятельности человека [2]. Отсюда возникает необходимость в создании прибора, который можно использовать как в наземных условиях в экспериментах при пониженной величине магнитной индукции, так и для мониторинга гипомангнитных полей за пределами Земной магнитосферы. Такой детектор постоянного магнитного поля должен иметь малые вес и габариты, низкое энергопотребление и широкий динамический диапазон измерения величин магнитной индукции от гипомангнитных уровней межпланетного пространства до геомагнитного поля Земли.

АМР датчик

Представляет несомненный интерес применение анизотропного магниторезистивного датчика [3] в качестве магниточувствительного элемента детектора постоянного магнитного поля. Упрощенная схема АМР датчика приведена на рис. 1.

Принцип работы датчиков этого типа основан на эффекте изменения ориентации внутренних доменов пер-

маллоевой (NiFe) пленки под воздействием внешнего магнитного поля. Внешнее магнитное поле, приложенное перпендикулярно пермаллоевой пленке заставляет вектор намагничивания домена вращаться [1]. Ось подмагничивающего поля (Easy Axis) устанавливается при изготовлении вдоль длины пленки в направлении протекания тока. Ось максимальной чувствительности (Sensitive Axis) перпендикулярна направлению тока датчика. Датчик состоит из четырех пермаллоевых слоев, включенных в мостовую схему таким образом, что исходная ориентация магнитных доменов пленок, подключенных к вершинам моста, имеет противоположное направление. Поэтому разность выходных напряжений противоположных вершин моста пропорциональна индукции магнитного поля, вызывающего относительное изменение сопротивлений пермаллоевых пленок.

Кроме мостовой схемы плата датчика содержит две вспомогательные плоские катушки SET/RESET и OFFSET. Назначение катушки SET/RESET (установка/сброс) — восстановление чувствительности датчика или переход на другую ветвь его характеристики. В исходном состоянии после изготовления или в процессе эксплуатации в результате воздействия магнитного поля большой напряженности (> 3 Гаусс), магнитная структура моста не определена, что объясняется хаотичной ориентацией магнитных доменов. В таком состоянии датчик непригоден для измерений магнитного поля. Чтобы установить чувствительность датчика, следует на короткое время приложить к мосту сильное магнитное поле. Подача корот-

Таблица 1. Основные характеристики датчика НМС1001.

Характеристики	Условия	Типичные значения	Единицы
Число осей		1	
Диапазон		± 2	Гаусс
Чувствительность		3,2	мВ/В /Гаусс
Упитания		$+5 \div +12$	В
R моста	$I=10\text{мА}$	850	Ом
Разрешение	$V_m=5\text{В}, f=10\text{Гц}$	27	мкГаусс
Полоса частот		5	МГц
Длительность S/R		2	мкс
Импульс тока S/R		$3 \div 5$	А
R S/R		$1,5 \div 1,9$	Ом
R OFFSET		$2,5 \div 3,5$	Ом
Коэффициент I/H OFFSET		50	мА/Гаусс
Нелинейность характеристики	± 1 Гаусс	0,1	% полной шкалы
	± 2 Гаусс	1	% полной шкалы
Плотность шума	$V_b=5\text{В}, f=10\text{Гц}$	29	нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$
1/f шум (0,1–10) Гц		64	нВ
ТКД		0,25	%/°С
Размеры корпуса		$10,5 \times 7,1 \times 1,5$	мм

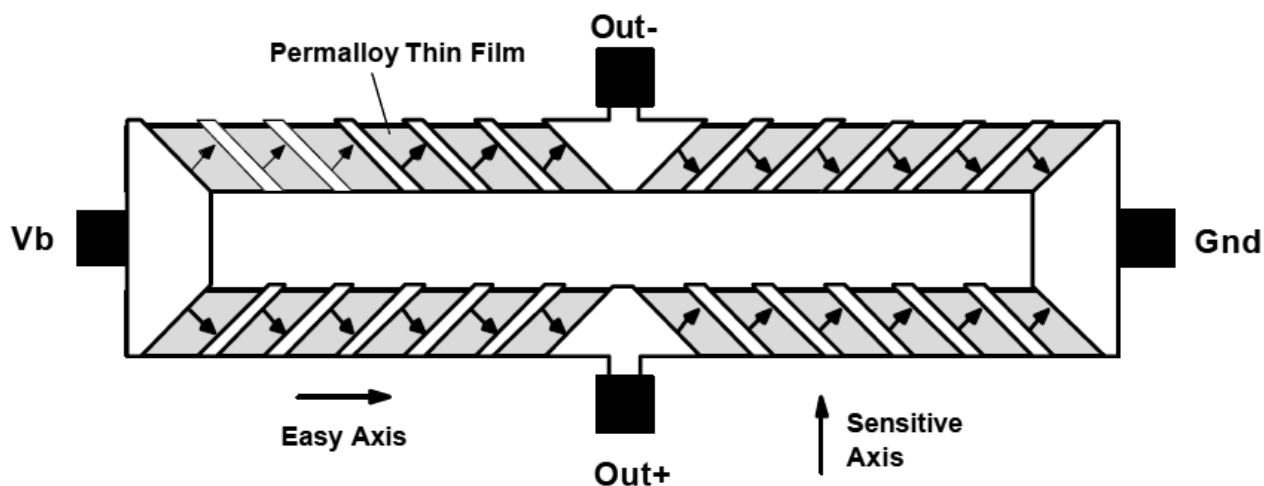


Рис. 1. Упрощенная схема АМР датчика НМС1001.

кого импульса тока через катушку SET/RESET генерирует это поле. В результате магнитные домены ориентируются в одном направлении, устанавливая режим максимальной чувствительности прибора. При этом направление ориентации доменов (исходное или повернутое на 180°) зависит от полярности импульса размагничивания (режим SET — положительный или RESET — отрицательный импульсы). Соответственно, датчик переходит или на положительную ветвь характеристики, на которой при увеличении напряженности магнитного поля выходное напряжение возрастает, либо на отрицательную ветвь, являющуюся зеркальным отражением первой.

Основное назначение второй катушки OFFSET (смещение) — компенсация воздействия техногенных магнитных полей. Наличие вблизи датчика металлических предметов, искажающих действующее магнитное поле, может вызвать сдвиг его характеристик. Катушку OFFSET также можно использовать для измерения чувствительности данного датчика. Катушка, располагаясь рядом с мостом, имеет строго определенную геометрию. Протекающий через нее постоянный ток, генерирует дополнительное магнитное поле, направление и величина которого зависят от полярности и величины этого тока. Поле, регистрируемое датчиком, является алге-

Таблица 2. Результаты измерений выходных напряжений АМР датчиков.

№№ датчиков	Vout, мВ	№№ датчиков	Vout, мВ
1	880,4	10	530,9
2	381,2	11	-724,3
4	420,4	12	-200,4
5	1360,1	13	979,1
6	-434,0	14	-906,1
7	921,0	15	-1169,1
8	-433,3	16	1673,1
9	807,7	17	786,7

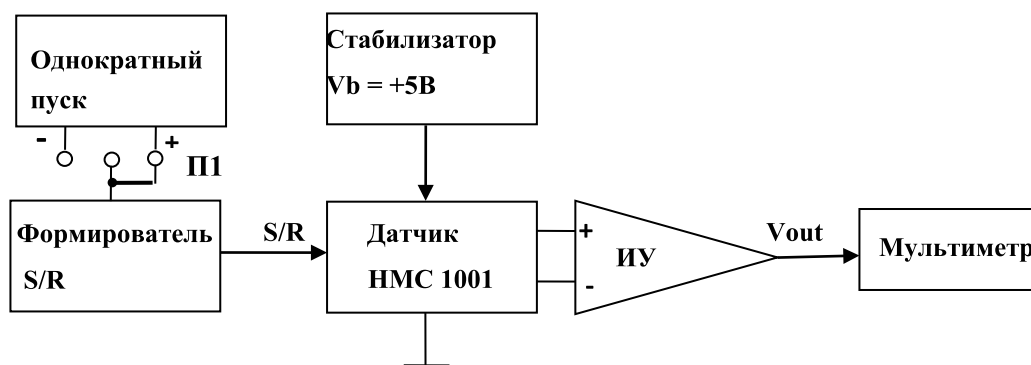


Рис. 2. Структурная схема установки для измерения выходных напряжений АМР датчиков.

браической суммой внешнего и дополнительного магнитных полей. Меняя ток через катушку I_{OFF} , и измеряя выходные напряжения, можно получить зависимости $V_{out}(I_{OFF})$. Основные характеристики АМР датчика представлены в таблице 1 [3].

Из приведенного материала следует отметить такие характеристики АМР датчика НМС1001 как:

- ◆ небольшие габариты;
- ◆ высокую чувствительность, позволяющую измерять слабые магнитные поля (3,2мВ/В/Гаусс);
- ◆ наличие катушек, обеспечивающих возможность контроля и восстановления чувствительности датчика в процессе измерений;
- ◆ низкий уровень собственных шумов датчика (29 нВ/√Гц);
- ◆ низкую погрешность отклонения от линейности (0,1%).

Были измерены значения выходных напряжений АМР датчиков №№ 1–17 в отсутствии токов I_{OFF} . Измере-

ния проводились в одной и той же точке пространства при одинаковой ориентации датчиков относительно оси максимальной чувствительности. Структурная схема установки представлена на рис. 2.

Схема включает датчик НМС1001, стабилизатор напряжения питания V_b (+5В) и инструментальный усилитель ИУ, смонтированный в непосредственной близости от выходов датчика. Перед измерением напряжения каждого из датчиков, на его вход S/R подается однократный короткий импульс мощного тока (2мкс; 4А), устанавливающий исходную ориентацию магнитных доменов, соответствующую положительной ветви характеристики датчика (сигнал SET). Это делается потому, что после изготовления датчика магнитная структура моста не определена и ориентация магнитных доменов имеет хаотический характер. Инструментальный усилитель ИУ преобразует разность напряжений с выходов моста V^{+out} и V^{-out} в однополярный сигнал с последующим усилением. Коэффициент усиления ИУ $K_{ус}=100$ был выбран из соображений предполагаемого динамического диапазона (от 5нТл до 50мкТл)

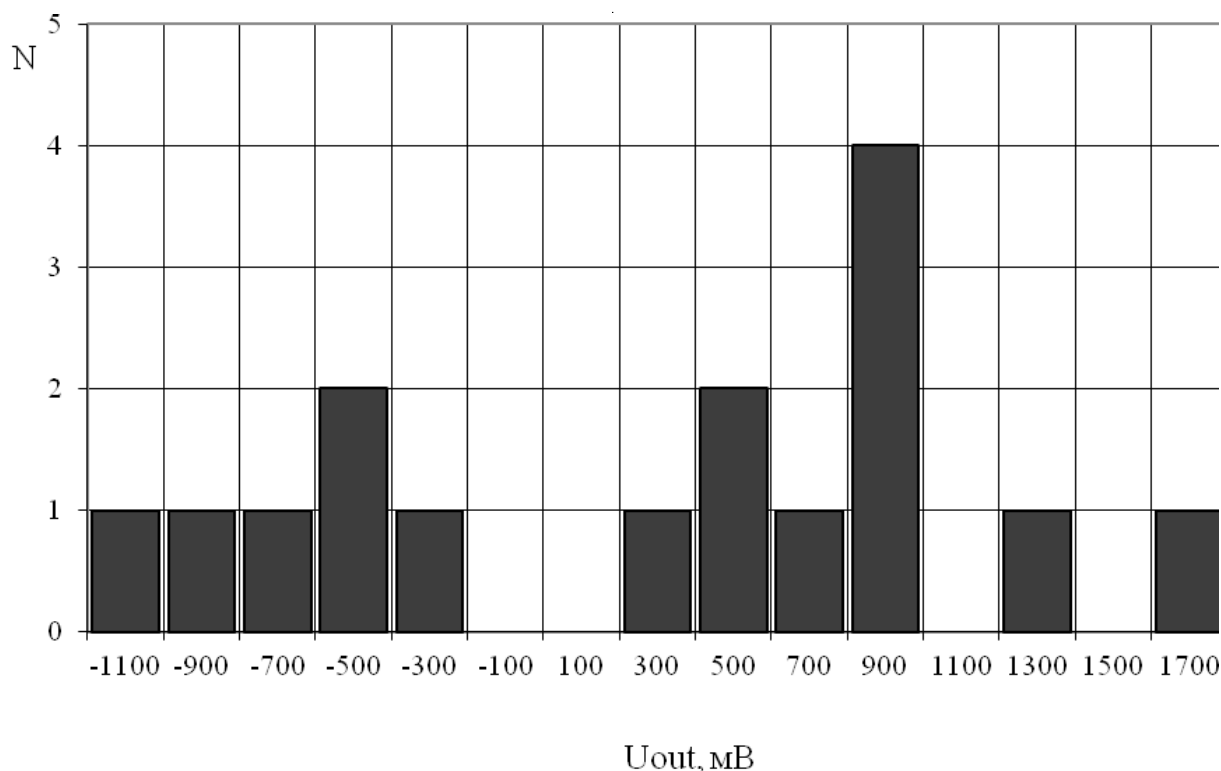


Рис. 3. Распределение числа датчиков N от величин выходного напряжения U_{out} .

и паспортного значения чувствительности НМС1001. Чувствительность НМС1001 согласно паспортным данным равна $3,2\text{ мВ/В/Гаусс}$. При $V_b=5\text{ В}$ в геомагнитном поле $U_{out}(50\text{ мкТл}) = 8\text{ мВ}$. Тогда $U_{out}(5\text{ нТл}) = 0,8\text{ мкВ}$. Усиление ИУ $K_{ус}=100$ обеспечит диапазон выходных напряжений от 80 мкВ до 800 мВ , т.е. четыре порядка измеряемых величин магнитной индукции. Выходное напряжение ИУ V_{out} подается на цифровой мультиметр АВМ-4205 с базовой точностью $\pm 0,01\%$. Результаты измерений представлены в таблице 2 (числовые значения) и на рис. 3 (гистограмма распределения полученных величин).

Наблюдается значительный разброс выходных напряжений АМР датчиков от экземпляра к экземпляру от $-1169,1$ до $1673,1\text{ мВ}$ или непосредственно (без усиления) на выходе датчика разброс напряжений составит от -12 до $+17\text{ мВ}$. Этот разброс величины сдвига выходных напряжений датчиков объясняется погрешностью исходных сопротивлений магниторезистивных пленок моста в процессе изготовления. Рекомендуется устранить этот эффект [3] добавлением шунтирующих сопротивлений к плечам моста в отсутствии внешнего магнитного поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев А. В. Математическая модель анизотропного магниторезистивного датчика для инженерных расчетов. Вестник УГАТУ, УФА, 2012, Т. 16, № 1 (46), с. 161–166.
2. Труханов К. А., Лебедев В. М., Луганский Л. Б., Спасский А. В. Гипомагнитные условия дальнего космоса и пилотируемые полеты к Луне и Марсу// Авиакосмическая и экологическая медицина. 2016, Т. 50, № 5, с. 232–233.
3. НМС1001/1002/1021/1022/ Data_sheet.pdf; www.honeywell.com/magnetsensors