

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

**МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ,
ИЗДЕЛИЙ, ВЕЩЕСТВ И ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**
**METHODS AND DEVICES FOR MONITORING AND DIAGNOSTICS OF
MATERIALS, PRODUCTS, SUBSTANCES AND THE NATURAL ENVIRONMENT**

Научная статья

УДК 620.179.143.5

DOI: 10.26730/1999-4125-2026-2-28-35

**ТРЕХОСЕВОЙ ФЕРРОЗОНДОВЫЙ МАГНИТОМЕТР С ИМПУЛЬСНОЙ
КОМПЕНСАЦИЕЙ**

**Ильинский Дмитрий Игоревич, Безкоровайный Владимир Сергеевич,
Гостищев Дмитрий Александрович, Кучер Василий Павлович**

Луганский государственный университет имени В. Даля

* e-mail: gostdi@yandex.ru

**Информация о статье**

Поступила:

14 октября 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 мая 2026 г.

Принята к публикации:

11 июня 2026 г.

Опубликована:

29 июня 2026 г.

Ключевые слова:

феррозонд, магнитометр,
компенсационная обратная
связь, катушка
подмагничивания, магнитное
поле

Аннотация.

В статье рассматривается разработка трехосевого феррозондового магнитометра, в котором применен метод импульсной компенсации с поочередным включением измерительных каналов. Целью работы является устранение взаимного магнитного влияния между осями, возникающего в классических схемах с постоянной компенсацией, и расширение динамического диапазона измерений. Основная идея заключается в том, что каналы, соответствующие трем пространственным осям, активируются строго по очереди. В активной фазе каждого канала в его катушку компенсационного подмагничивания подается синхронизированный импульс тока, который заранее устанавливает необходимое компенсирующее поле в сердечнике ферромодуляционного датчика. Это позволяет удерживать рабочую точку датчика в центре условно-линейного участка его функции преобразования, что минимизирует нелинейность преобразования при измерении внешнего поля. Такой подход полностью исключает взаимное подмагничивание соседних датчиков, характерное для систем с постоянным током компенсации. Кроме того, импульсный режим работы компенсационной катушки подмагничивания существенно снижает общее энергопотребление и нагрев устройства. В работе представлены описание принципа действия системы, анализ временных параметров цикла измерения на основе электрических характеристик катушек и структура аппаратной реализации с микроконтроллерным управлением. Натурные исследования подтвердили высокую эффективность предложенной схемы. Были достигнуты значительное расширение рабочего диапазона измеряемых полей, сохранение высокой линейности преобразования и существенное повышение частоты обновления полного вектора магнитной индукции. Полученные результаты демонстрируют перспективность данного метода для создания высокоточных и быстродействующих трехосевых магнитометров, применяемых в геофизике, неразрушающем контроле и системах диагностики.

Для цитирования: Ильинский Д.И., Безкоровайный В.С., Гостищев Д.А., Кучер В.П. Трехосевой феррозондовый магнитометр с импульсной компенсацией // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2026. № 2 (174). С. 28-35. DOI: 10.26730/1999-4125-2026-2-28-35, EDN: ORLVFC

Введение

Снижение погрешности в широком динамическом диапазоне измерения магнитных полей трехосевым магнитометром остается критической задачей для современных технологий, охватывающих области от геофизической разведки до медицинской диагностики. В геофизике существует потребность в выявлении слабых аномалий на фоне сильных полей рудных тел, в энергетике – в отслеживании токов в высоковольтных шинах и т. д. [1–3]. Магнитный датчик выступает ключевым компонентом любого магнитометра и служит для преобразования магнитной индукции в электрический сигнал. При разработке магнитных датчиков применяются различные физические эффекты, такие как эффекты Холла, Гаусса, Суля и другие. Тем не менее, фундаментальные ограничения современных магнитных датчиков – такие как узкий рабочий

температурная нестабильность и дрейф нуля – затрудняют создание универсальных измерительных систем, способных обеспечивать высокоточные измерения в широком диапазоне напряженностей магнитных полей [4–6].

Перспективной технологией для создания магнитометра являются ферромодуляционные чувствительные сенсоры (ФМЧС) [7, 8]. Принцип действия ФМЧС основан на изменении магнитной проницаемости ферромагнитного сердечника под действием внешнего магнитного поля. Этот фундаментальный отличительный признак от датчиков Холла, реагирующих на статическое поле [9], позволяет ФМЧС фиксировать динамические изменения магнитного поля. Благодаря данному свойству сенсоры могут обнаруживать не только положение, но и деформации объектов. Основным элементом ФМЧС является сердечник из магнитомягкого материала с высокой

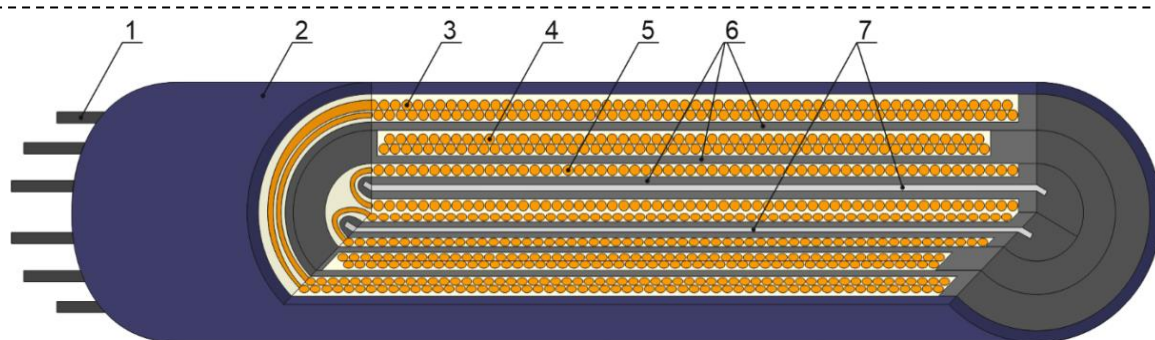


Рис. 1. Схема ферромодуляционного чувствительного сенсора

1 – выводные контакты; 2 – внешний каркас; 3 – ККП; 4 – измерительная катушка; 5 – обмотка возбуждения; 6 – внутренние каркасы; 7 – ферромагнитные сердечники

Fig. 1. Diagram of a ferromodulation sensitive sensor

1 – output contacts; 2 – external frame; 3 – compensation magnetization coil; 4 – measuring coil; 5 – excitation winding; 6 – internal frames; 7 – ferromagnetic cores



Рис. 2. Функция преобразования ФМЧС без ККП

U – выходной сигнал ФМЧС; H – напряженность магнитного поля

Fig. 2. Conversion function of a ferromodulation sensor without a compensation magnetization coil

U – the output signal of the ferromodulation sensitive sensor; H – the strength of the magnetic field

диапазон, нелинейность преобразования, магнитной проницаемостью, такого как

пермаллой, аморфное железо или нанокристаллические сплавы [10–12].

Среди важных эксплуатационных преимуществ ФМЧС выделяются:

- нечувствительность к немагнитным загрязнениям: присутствие слоев масла, грязи, краски или пыли не влияет на результаты измерений, поскольку магнитное поле проникает сквозь такие среды;

- расширенный температурный диапазон: возможность работы при температурах от -100°C до $+175^{\circ}\text{C}$ [13] позволяет применять ФМЧС в экстремальных условиях.

Конструктивно ФМЧС включает обмотку возбуждения и измерительную катушку, сигнал которой пропорционален напряженности магнитного поля. Однако линейность этой зависимости наблюдается лишь в узком

этого ограничения добавляется третья обмотка – катушка компенсационного подмагничивания (ККП) (Рис. 1).

Принцип компенсации и проблема взаимного влияния

Система компенсации основана на поддержании постоянного результирующего поля в сердечнике, находящегося в центре условно-линейного участка функции преобразования [14]. На Рис. 2 изображена функция преобразования ФМЧС без применения ККП, снятая с помощью амплитудного детектора.

Формула, определяющая оптимальное значение, выглядит следующим образом:

$$H_{\text{ц}} = H_{\text{ст}} + H_{\text{ккп}}$$

где $H_{\text{ц}} = 100$ А/м – оптимальное значение,

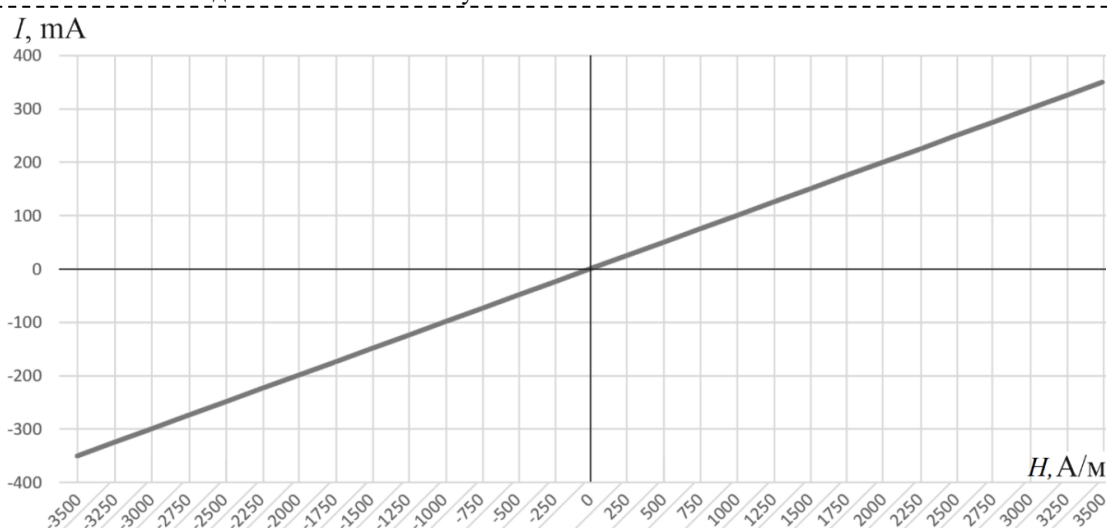


Рис. 3. Функция преобразования ФМЧС с ККП

I – ток в ККП; H – напряженность магнитного поля

Fig. 3. The function of converting a ferromodulation sensing sensor from a compensation magnetization coil
 I – current in the compensation magnetization coil; H – the strength of the magnetic field

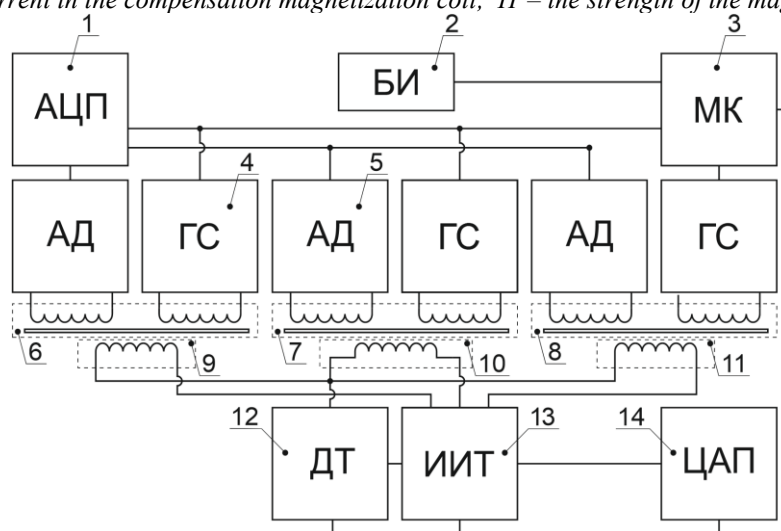


Рис. 4. Схема магнитометра

Fig. 4. Magnetometer circuit

диапазоне, после достижения которого сердечник входит в насыщение. Для преодоления

соответствующее центру условно-линейного участка функции преобразования;

$H_{ст}$ – измеряемое стороннее магнитное поле;
 $H_{ккп}$ – прикладываемое противодействующее магнитное поле ККП.

Полученные экспериментальные данные функции преобразования ФМЧС после

Таким образом, ККП позволяет значительно расширить диапазон измеряемых магнитных полей, однако применение постоянного тока компенсации в многокоординатной системе неизбежно приводит к подмагничиванию соседних ФМЧС, что приводит к большим

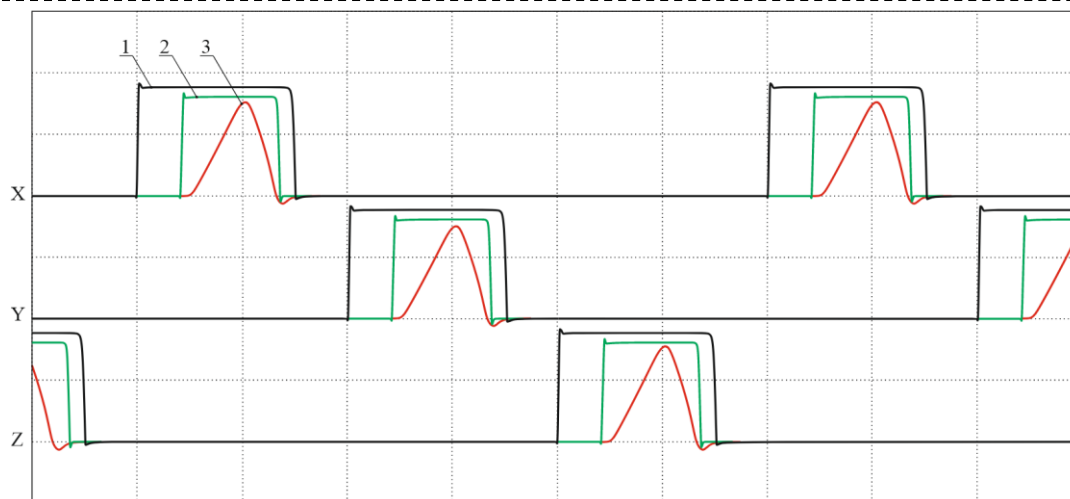


Рис. 5. Схема поочередной активации каналов
 1 – входной сигнал ККП в ФМЧС расположенного по оси X;
 2 – импульс возбуждения ФМЧС расположенного на оси X;
 3 – выходной сигнал с ФМЧС расположенного на оси X.

Аналогично для осей Y и Z

Fig. 5. Scheme of alternate channel activation

1 – the input signal of the compensation magnetization coil in a ferromodulation sensor located along the X axis.;

2 – the excitation pulse of a ferromodulating sensing sensor located on the X-axis;

3 – the output signal from a ferromodulating sensor located on the X-axis.

Similarly for the Y and Z axes

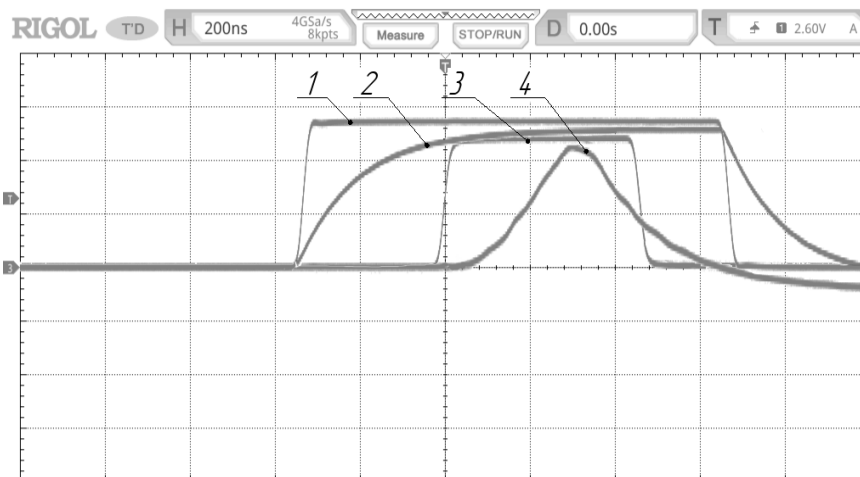


Рис. 6. Осциллограмма одного канала магнитомера

1 – импульс сигнала на ККП; 2 – ток в ККП; 3 – импульс сигнала на ФМЧС; 4 – выходной сигнал ФМЧС

Fig. 6. Oscillogram of one channel of the magnetometer

1 – the signal pulse on the compensation magnetization coil; 2 – the current in the compensation magnetization coil;

3 – the signal pulse on the ferromodulation sensor; 4 – the output signal of the ferromodulation sensing sensor

внедрения ККП, снятые при помощи датчика тока, изображены на Рис. 3.

погрешностям в измерениях.

Предлагаемая схема трехосевого магнитометра

Для лишения недостатка в применении постоянного тока компенсации предлагается независимая трехканальная система (Рис. 4), возбуждаемая с помощью генератора однополярных импульсных сигналов [15], который служит для создания рабочего переменного магнитного поля. Поскольку ФМЧС реагируют на динамические изменения магнитного потока, его выходной сигнал может изменяться быстро. Для его точного оцифровывания применяется амплитудный детектор, который преобразовывает высокочастотный модулирующий сигнал в низкочастотный, необходимый для минимизации помех и работы АЦП.

В состав аппаратной части магнитометра входят: аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 1, блок индикации (БИ) 2, микроконтроллер (МК) 3, генератор однополярных импульсных сигналов (ГС) 4, амплитудный детектор 5, ферромодуляционные чувствительные сенсоры 6–8, катушки компенсационного подмагничивания 9–11, датчик тока (ДТ) 12, источник импульсного тока (ИИТ) 13, цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) 14.

Каждый канал состоит из ФМЧС, ориентированных вдоль соответствующей оси. Каналы активируются строго поочередно, в неперекрывающиеся временные интервалы. В каждый момент времени работает только один ФМЧС определенной оси, а два других канала полностью отключены (Рис. 5).

Алгоритм работы

Цикл работы канала начинается с подачи прямоугольного импульса на ККП с помощью источника тока. Рассмотрим осциллограмму работы цикла одного канала (Рис. 6).

Алгоритм микроконтроллера производит непрерывный мониторинг сигналов рассогласования $\Delta U = U_{\text{вых}} - U_{\text{к}}$, где $U_{\text{к}}$ соответствует калиброванному напряжению. На основе этого сигнала микроконтроллер рассчитывает управляющее воздействие для ЦАП, осуществляя тем самым коррекцию работы источника тока. С целью более точного определения генерируемого магнитного поля ККП микроконтроллер отслеживает фактический ток с помощью датчика тока.

Критическим параметром для работы системы является время нарастания тока I в ККП до значения $I_{\text{ккп}}$. Время нарастания тока в ККП определяется RL-характеристиками:

$$\tau = L_{\text{ккп}} / R_{\text{ккп}},$$

где: $L_{\text{ккп}}$ – индуктивность катушки, Гн;

$R_{\text{ккп}}$ – сопротивление цепи, Ом.

Ток в цепи в момент времени t :

$$I_t = I_{\text{max}} \cdot (1 - e^{-t/\tau});$$

$$I_{\text{max}} = U / R_{\text{ккп}},$$

где: U – приложенное напряжение, В;

I_{max} – установившийся ток, А.

Тогда время достижения заданного тока:

$$t_1 = -\tau \cdot \ln 0,001$$

После установки $I_{\text{ккп}}$ в ККП однополярный импульс возбуждения подается в обмотку возбуждения ФМЧС (Рис. 6, 3), оптимальная длительность которого определяется по ширине выходного импульса $t_{\text{в}} \approx t_{\text{н}}$.

Длительность цикла для одного канала:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{в}} + t_1 = 1 \text{ мкс}$$

Следовательно, максимально возможная частота измерения магнитного поля при работе трех каналов:

$$f = \frac{1}{3 \cdot t_{\text{ц}}} \approx 333 \text{ кГц}$$

Испытания прототипа устройства подтвердили эффективность предложенного способа. Динамический диапазон каждого канала составил ± 3500 А/м при сохранении нелинейности преобразования менее 2%. Реализованная частота обновления вектора магнитного поля достигает 333 кГц, что является достаточным для большинства задач.

Заключение

Разработан и описан трехосевой магнитометр на основе ферромодуляционных чувствительных сенсоров. Предложенный способ компенсации с поочередной активацией каналов подтвердил эффективность в широком динамическом диапазоне измеряемых магнитных полей при сохранении нелинейности преобразования менее 2%, а также значительно снизил температурный нагрев всего устройства. Дальнейшие исследования могут быть направлены на модернизацию катушки компенсационного подмагничивания для увеличения частоты измерения магнитного поля магнитометром.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Szyrowski T., Sharma S. K., Sutton R., Kennedy G. A. Developments in subsea power and telecommunication cables detection: Part 2. Electromagnetic detection // Underw. Technol. 2013. Vol. 31. № 3. Pp. 133–143. DOI: 10.3723/ut.31.133.
2. Ripka P. Magnetic Sensors and Magnetometers, Second Edition. Boston, MA : Artech House, 2021. 479 P.
3. Клюев В. В. Неразрушающий контроль и диагностика. М. : Машиностроение, 1995. 488 с.
4. Баранчиков М. Л. Микромагнитоэлектроника. М. : ДМК Пресс, 2002. Т. 2. 691 с.
5. Grim V., Pek J., Ripka P., Chirtsov A. Magnetometric Localization and Measurement of

Hidden AC Currents // IEEE SENSORS. Montreal. 2019. Pp. 1–4. DOI: 10.1109/SENSORS43011.2019.8956513.

6. Баранова В. Е. Измерение слабого магнитного поля на основе феррозондового датчика : автореферат диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск, 2015. 18 с.

7. Bruno Ando, Salvatore Baglio, Adi R. Bulsara, Vincenzo Sacco Residence Times Difference Fluxgate Magnetometers // IEEE Sensors journal. 2005. Vol. 5. № 5. P. 895–904.

8. Moldovanu C., Brauer P., Nielsen O. V., Petersen J. R. The noise of the Vacquier type sensors referred to changes of the sensor geometrical dimensions // Sensors and Actuators A: Physical. 2000. Vol. 81. № 1–3. Ph. 197–199.

9. Муратов Р. Ф. Обзор подкатегории датчиков на эффекте Холла: униполярный датчик на эффекте Холла // Технологическая кооперация науки и производства: новые идеи и перспективы развития : сборник статей Международной научно-практической конференции: Воронеж, Уфа : ООО «Аэтерна», 2021. С. 28–29.

10. Афанасьев Ю. В. Феррозондовые приборы. Л. : Энергоатомиздат, 1986. 186 с.

11. Матюк В. Ф. Приборы магнитной структуроскопии на основе локального

однополярного импульсного намагничивания // Неразрушающий контроль и диагностика. 2012. № 2. С. 29–64.

12. Власкин К. И. Разработка электромагнитных систем малогабаритных первичных преобразователей феррозондового типа : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ин-т механики УрО РАН, 2016. 155 с.

13. Nishio Y., Tohyama F., Onishi N. The sensor temperature characteristics of a fluxgate magnetometer by a wide-range temperature test for a Mercury exploration satellite // Meas. Sci. Technol. 2007. Vol. 18. Pp. 2721–2730.

14. Безкоровайный В. С., Ливцов Ю. В., Яковенко В. В., Шатова Н. А. Разработка математической модели образования выходного сигнала феррозонда при однополярном импульсном возбуждении // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2019. № 70. С. 190–197. DOI: 10.21667/1995-4565-2019-70-190-197.

15. Безкоровайный В. С., Яковенко В. В., Тарасенко О. В., Ивженко А. А. Функция преобразования феррозонда с однополярным импульсным возбуждением // Вестник ЛНУ им. Даля. 2018. № 4(10). С. 159–166.

© 2026 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Ильинский Дмитрий Игоревич, младший научный сотрудник молодежной научно-исследовательской лаборатории «Прогресс» ФГБОУ ВО «ЛГУ имени В. Даля», Россия, Луганская Народная Республика, город Луганск, квартал Молодежный, дом 20А, 291034, ORCID: <http://orcid.org/0009-0006-9215-3582>, e-mail: Sultanus.Ilinskiy@yandex.ru.

Безкоровайный Владимир Сергеевич, к.т.н., доцент кафедры электромеханика, ведущий научный сотрудник молодежной научно-исследовательской лаборатории «Прогресс» ФГБОУ ВО «ЛГУ имени В. Даля», Россия, Луганская Народная Республика, город Луганск, квартал Молодежный, дом 20А, 291034, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8337-7318>, e-mail: bezkorvs@mail.ru.

Гостищев Дмитрий Александрович, лаборант молодежной научно-исследовательской лаборатории «Прогресс» ФГБОУ ВО «ЛГУ имени В. Даля», Россия, Луганская Народная Республика, город Луганск, квартал Молодежный, дом 20А, 291034, ORCID: <http://orcid.org/0009-0004-6407-2051>, e-mail: Gostdi@yandex.ru.

Кучер Василий Павлович, старший преподаватель кафедры автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий, младший научный сотрудник молодежной научно-исследовательской лаборатории «Прогресс» ФГБОУ ВО «ЛГУ имени В. Даля», Россия, Луганская Народная Республика, город Луганск, квартал Молодежный, дом 20А, 291034, e-mail: vkucher86@mail.ru.

Заявленный вклад авторов:

Ильинский Дмитрий Игоревич – концептуализация исследования, сбор и анализ данных, написание текста, выводы.

Безкоровайный Владимир Сергеевич – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент.

Гостищев Дмитрий Александрович – сбор и анализ данных, написание текста, обзор соответствующей литературы.

Кучер Василий Павлович – сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

THREE-AXIS FERROPROBE MAGNETOMETER WITH PULSE COMPENSATION

Dmitry I. Ilinsky, Vladimir S. Bezkorovainyi,
Dmitry A. Gostishchev, Vasily P. Kucher

Lugansk State University named after V. Dahl

* for correspondence: gostdi@yandex.ru



Article info

Received:

14 October 2025

Accepted for publication:

15 May 2026

Accepted:

11 June 2026

Published:

29 June 2026

Keywords: ferroprobe,
magnetometer, compensation
feedback, magnetization coil,
magnetic field

Abstract.

The article discusses the development of a three-axis ferroprobe magnetometer, which uses a pulse compensation method with alternating switching on of measuring channels. The aim of the work is to eliminate the mutual magnetic influence between the axes, which occurs in classical circuits with constant compensation, and to expand the dynamic measurement range. The basic idea is that the channels corresponding to the three spatial axes are activated strictly in turn. In the active phase of each channel, a synchronized current pulse is applied to its compensation magnetization coil, which sets in advance the necessary compensating field in the core of the ferromodulation sensor. This allows you to keep the sensor's operating point in the center of the conditionally linear section of its transformation function, which minimizes the nonlinearity of the transformation when measuring the external field. This approach completely eliminates the mutual magnetization of neighboring sensors, which is typical for systems with direct current compensation. In addition, the pulse mode of operation of the compensation magnetization coil significantly reduces the overall power consumption and heating of the device. The paper presents a description of the operating principle of the system, an analysis of the time parameters of the measurement cycle based on the electrical characteristics of the coils, and the structure of the hardware implementation with microcontroller control. Field studies have confirmed the high efficiency of the proposed scheme. A significant expansion of the operating range of the measured fields, the preservation of high linearity of the conversion and a significant increase in the refresh rate of the full magnetic induction vector were achieved. The results obtained demonstrate the prospects of this method for creating high-precision and high-speed three-axis magnetometers used in geophysics, non-destructive testing and diagnostic systems.

For citation: Ilinsky D.I., Bezkorovainyi V.S., Gostishchev D.A., Kucher V.P. Three-axis ferroprobe magnetometer with pulse compensation. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2026; 2(174):28-35. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2026-2-28-35, EDN: ORLVFC

REFERENCES

1. Szyrowski T., Sharma S.K., Sutton R., Kennedy G.A. Developments in subsea power and telecommunication cables detection: Part 2—Electromagnetic detection. *Underw. Technol.* 2013; 31(3):133–143. (In Eng.) DOI: 10.3723/ut.31.133.
2. Ripka P. Magnetic Sensors and Magnetometers, Second Edition. Boston, MA: Artech House; 2021. 479 P. (In Eng.)
3. Klyuev V.V. Non-destructive testing and diagnostics. Moscow: Mashinostroenie; 1995. 488 p. (In Russ.)

4. Baranochnikov M. L. Micromagnetelectronics. Moscow: DMK Press; 2002. Vol. 2. 691 p. (In Russ.)
5. Grim V., Pek J., Ripka P., Chirtsov A. Magnetometric Localization and Measurement of Hidden AC Currents. *IEEE SENSORS*. Montreal. 2019. Pp. 1–4. (In Eng.) DOI: 10.1109/SENSORS43011.2019.8956513.
6. Baranova V.E. Measurement of a weak magnetic field based on a ferrosende sensor : abstract dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Tomsk, 2015. 18 p. (In Russ.)
7. Bruno Ando, Salvatore Baglio, Adi R. Bulsara, Vincenzo Sacco Residence Times Difference Fluxgate

Magnetometers. *IEEE Sensors journal*. 2005; 5(5):895–904. (In Eng.)

8. Moldovanu C., Brauer P., Nielsen O.V., Petersen J.R. The noise of the Vacquier type sensors referred to changes of the sensor geometrical dimensions. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2000; 81:1–3:197–199. (In Eng.)

9. Muratov R.F. Overview of the subcategory of Hall effect sensors: a unipolar Hall effect sensor. *Technological cooperation of science and production: new ideas and development prospects : collection of articles of the International Scientific and Practical Conference*. Voronezh, Ufa: Aeterna LLC; 2021. Pp. 28–29. (In Russ.)

10. Afanasyev Yu.V. Ferrosonde devices. L.: Energoatomizdat; 1986. 186 p. (In Russ.)

11. Matyuk V.F. Magnetic structroscopy devices based on local unipolar pulsed magnetization. *Non-destructive testing and diagnostics*. 2012; 2:29–64. (In Russ.)

12. Vlaskin K.I. Development of electromagnetic systems of small-sized primary ferrosonde type

converters : dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Institute of Mechanics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2016. 155 p. (In Russ.)

13. Nishio Y., Tohyama F., Onishi N. The sensor temperature characteristics of a fluxgate magnetometer by a wide-range temperature test for a Mercury exploration satellite. *Meas. Sci. Technol*. 2007; 18:2721–2730. (In Eng.)

14. Bezkorovainiy V.S., Livtsov Yu.V., Yakovenko V.V., Shatova N.A. Development of a mathematical model for the formation of a ferrosonde output signal under unipolar pulsed excitation. *Bulletin of the Ryazan State Radio Engineering University*. 2019; 70:190–197. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.21667/1995-4565-2019-70-190-197.

15. Bezkorovainiy V.S., Tarasenko O.V., Yakovenko V.V., Ivzhenko A.A. The conversion function of the ferroprobe with unipolar pulse excitation. *Bulletin of the LNU named after V. Dahl*. 2018; 4(10):159–166. (In Russ., abstract in Eng.)

© 2026 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).
The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Dmitry I. Ilinsky, Research Assistant at the «Progress» Youth Research Laboratory of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl», Russia, Lugansk People's Republic, Lugansk city, Molodezhny quarter, house 20A, 291034, ORCID: <http://orcid.org/0009-0006-9215-3582>, e-mail: Sultanus.Ilinskiy@yandex.ru.

Vladimir S. Bezkorovainiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electromechanics, Leading Researcher at the «Progress» Youth Research Laboratory, of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl», Russia, Lugansk People's Republic, Lugansk city, Molodezhny quarter, house 20A, 291034, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8337-7318>, e-mail: bezkorvs@mail.ru.

Dmitry A. Gostishchev, Laboratory assistant at the «Progress» Youth Research Laboratory of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl», Russia, Lugansk People's Republic, Lugansk city, Molodezhny quarter, house 20A, 291034, ORCID: <http://orcid.org/0009-0004-6407-2051>, e-mail: Gostidi@yandex.ru.

Vasily P. Kucher, Senior Lecturer at the Department of Automation and Computer Integrated Technologies, Research Assistant at the «Progress» Youth Research Laboratory of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl», Russia, Lugansk People's Republic, Lugansk city, Molodezhny quarter, house 20A, 291034, ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-7251-6131>, e-mail: vkucher86@mail.ru.

Contribution of the authors:

Ilinsky Dmitry Igorevich – conceptualisation of research, data collection and analysis, writing the text, drawing the conclusions.

Bezkorovainiy Vladimir Sergeevich – research problem statement, scientific management.

Gostishchev Dmitry Alexandrovich – data collection and analysis, writing the text, reviewing the relevant literature.

Kucher Vasily Pavlovich – data collection and analysis, reviewing the relevant literature.

All authors have read and approved the final manuscript.

