

ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ АВТОМОБИЛЕЙ

Виктор Киселев¹, Роман Петров¹

r.krik@list.ru, roman.petrov@novsu.ru

Славчо Божков², Иван Миленов²

stbozhkov@vtu.bg, milenov55@abv.bg

*¹Institute of Electronic and Information Systems, Yaroslav-the-Wise Novgorod State
University, 173003 Veliky Novgorod
RUSSIA*

*²Висше транспортно училище “Тодор Каблешков” – София
ул. “Гео Милев” №158, 1574 София
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

Ключевые слова: магнитоэлектрический эффект, датчики, датчики магнитного поля, гибридные автомобили, электромобили, устройства сбора энергии.

Резюме: В настоящее время все большей популярностью пользуются автомобили в которых применяются электрические и гибридные двигатели, но данные двигатели требуют надежной и точной технологии определения положения двигающих механизмов для лучшего функционирования автомобиля. Электрические и гибридные транспортные средства требуют точного управления двигателем и позиционирования для оптимальной работы и экономии расхода потребления топлива, что является ключевым фактором для потребителя при выборе транспортного средства для покупки. Одним из возможных решений этих проблем может быть применение устройств на основе магнитоэлектрического эффекта, которые способны дать владельцу транспортного средства детальную информацию о состоянии всех модулей автомобиля. В данной статье рассматривается возможность применения датчиков, основанных на магнитоэлектрическом эффекте для диагностики состояния электрических и гибридных автомобилей – состоящих из мультиферроидных магнитоэлектрических слоистых структур. Такие мультиферроидные структуры, обладают одновременно магнитными, электрическими и упругими свойствами, а взаимосвязь этих свойств приводит к тому, что в них возможны перекрестные эффекты, связывающие между собой магнитные и электрические характеристики материала. Мультиферроидные слоистые структуры с магнитоэлектрическим эффектом могут быть эффективно использованы для разработки новых типов датчиков чувствительных к изменению магнитных полей, а также устройств сбора энергии.

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы автомобильная промышленность совершила огромный скачок в развитии и популяризации гибридных и электрических автомобилей. Данные автомобили оснащены большим количеством датчиков для диагностики функционирования и выявления неисправностей в автомобиле, а также для точного определения работы двигателя, для уменьшения расхода потребления энергоресурсов, что является одним из ключевых факторов при выборе автомобилей данного типа. Предлагаемые нами датчики на основе магнитоэлектрического (МЭ) эффекта смогут закрыть потребность, в точном и стабильном определении неполадок при функционировании транспортного средства. В предлагаемых нами датчиках использован материал в виде слоистой структуры, состоящей из пьезоэлектрического слоя и слоя аморфного магнитомягкого сплава Metglas [1-2]. Такие структуры позволяют усовершенствовать датчики магнитного поля и добиться высокой чувствительности к величине магнитного поля. Высокая чувствительность датчиков магнитного поля на основе мультиферроидной структуры позволяет моделировать и разрабатывать на этой основе датчики положения, в частности, датчик положения коленчатого вала для автомобилей [3-4]. Общим преимуществом разработанных МЭ датчиков перед существующими датчиками тока является их более высокая чувствительность. В случае датчиков на эффекте Холла преимуществом МЭ датчиков является более низкое энергопотребление. Отличие от магниторезистивных датчиков заключается в низком энергопотреблении и более широком динамическом диапазоне выходного напряжения. Отличие от трансформаторов тока заключается в большей линейности выходной характеристики. Датчики тока, основанные на МЭ эффекте, обладают значительно лучшими характеристиками по сравнению с датчиками тока, основанными на эффекте Холла. Бесконтактный МЭ датчик тока также устраняет недостаток контактного датчика типа CS: необходимость включения датчика непосредственно в силовую цепь. Это универсальное решение позволяет интегрировать МЭ датчик в существующие системы управления [5-6].

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА И ДАТЧИКИ

Элементы, на МЭ эффекте составляющие основу МЭ датчика, конструктивно представляют собой простую структуру, состоящую из тонкой пластины пьезокерамики ЦТС-19 и двух металлических обкладок из Метгласа. Такая композитная структура обладает отличными показателями чувствительности приближающимся к сверхчувствительным и гораздо более дорогим СКВИД системам и значительно превосходит по показателям чувствительности и радиационной стойкости датчики использующие в основе своей работы эффект Холла.

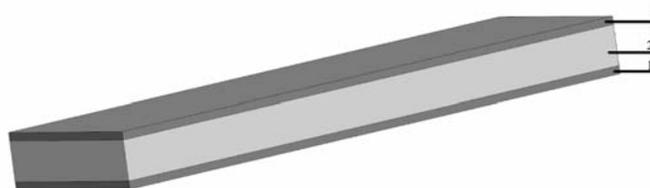


Рис. 1. Структура МЭ элемента. 1 – Metglas; 2 – ЦТС-19

МЭ материалы – это материалы, в которых одновременно сосуществуют два или более типа упорядочения, в частности, ферромагнитные и сегнетоэлектрические. Природные МЭ однофазные соединения встречаются редко, и их МЭ характеристики либо относительно слабы, либо возникают при температурах, слишком низких для

практического применения. Напротив, мультиферроидные композиты, которые содержат как сегнетоэлектрическую, так и ферри/ферромагнитную фазы, как правило, обеспечивают высокую чувствительность МЭ взаимодействия при температуре выше комнатной, что делает их пригодными для технологического применения. В таких композитах МЭ эффект происходит благодаря взаимодействию магнитоэлектрической и пьезоэлектрической фазы вещества. Электрическая поляризация индуцируется слабым переменным магнитным полем, колеблющимся в присутствии поля смещения постоянного тока, или поляризация намагничивания возникает при приложении электрического поля. Взаимодействие упругой связи между магнитоэлектрической фазой и пьезоэлектрической фазой приводит к гигантскому МЭ отклику этих МЭ композитов. В качестве альтернативы и обладая большей гибкостью конструкции, мультиферроидные МЭ композиты, изготовленные путем сочетания пьезоэлектрических и магнитных материалов, в последние годы привлекли значительный интерес благодаря своей многофункциональности, при которой взаимодействие между пьезоэлектрическими и магнитными веществами может привести к значительному МЭ отклику (например, на несколько порядков выше, чем в тех однофазных МЭ материалах, которые доступны на сегодняшний день) при комнатной температуре. Эти композитные МЭ материалы открывают возможности для потенциального применения в качестве многофункциональных устройств, таких как устройства сбора энергии, преобразователи, приводы и датчики для применения в сенсорной технике.

Для примера приведём принцип действия одного из датчиков. МЭ датчик приближения конструктивно представляет собой МЭ элемент со схемой электронной обработки сигнала, расположенный в непосредственной близости от детали с прикрепленным к ней магнитом, расстояние до которой необходимо определить. Устройство с установленным на нем постоянным магнитом создает постоянное магнитное поле различной напряженности в непосредственной близости от датчика приближения при движении. Датчик обрабатывает полученный сигнал с помощью электронной схемы и формирует выходной сигнал требуемого протокола связи. Выходной сигнал датчика магнитного поля может быть линейным, при этом его выходное напряжение линейно зависит от силы магнитного поля, действующего на измерительный элемент. Выходной сигнал датчика может быть двоичным, при котором выходной сигнал находится в одном состоянии, когда измеренная напряженность магнитного поля превышает определенный порог, и в другом состоянии, когда измеренная напряженность магнитного поля меньше порогового значения. Бинарные бесконтактные датчики используются для замены простых механических переключателей определения положения, поскольку у них нет движущихся частей, которые могут изнашиваться или заклинивать, и поэтому они более надежны, чем их механические аналоги. МЭ датчики приближения также могут использоваться для анализа любых других процессов, в которых механические детали движутся или присутствует постоянное магнитное поле. При наличии такого датчика приближающаяся деталь будет вовремя распознана, и устройство автоматизации выдаст ограничительную команду.

Особенность датчика приближения заключается в том, что он может обнаруживать магнитные объекты через пластик, дерево и любые немагнитные вещества. Датчик приближения состоит из следующих компонентов: МЭ элемент, усилитель, АЦП, микропроцессор. МЭ элемент определяет величину постоянного магнитного поля и генерирует переменный электрический сигнал, пропорциональный этой величине. Затем этот сигнал усиливается до уровня, необходимого для работы АЦП. Далее АЦП преобразует сигнал в цифровую форму. Затем микропроцессор

обрабатывает полученные данные, сравнивает их с табличными соответствиями и преобразует данные о магнитном поле в данные о расстоянии. Схема датчика приближения показана на рис. 2.

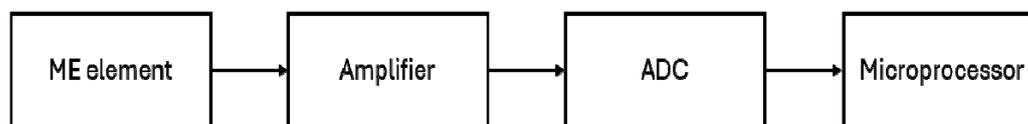


Рис. 2. Схема измерительной системы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проводимые в последнее время исследования демонстрирует значительный потенциал МЭ материалов в разработке МЭ датчиков таких как датчики магнитного поля, датчики тока и датчики положения. Уникальные свойства МЭ элементов, которые сочетают в себе ферромагнитное и сегнетоэлектрическое упорядочение, делают их очень подходящими для применений, требующих точного определения перемещения объекта или расстояния до него. МЭ датчики магнитного поля, разработанные на базе микроконтроллера, демонстрирует практичность интеграции МЭ материалов с современной электроникой. Низкое энергопотребление этого микроконтроллера и широкий диапазон напряжений расширяют возможности применения датчика в системах с батарейным питанием, что делает его идеальным для использования в промышленной автоматизации, робототехнике, системах безопасности, медицинском оборудовании и автомобильной промышленности.

Кроме того, изучение новых композитных материалов и передовых технологий изготовления может привести к созданию еще более эффективных и сверхчувствительных МЭ датчиков, таких как датчики биологических магнитных полей человека. Такие композиты также успешно могут быть применены для разработки устройств сбора энергии на основе мультиферроидных материалов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-20045, <https://rscf.ru/project/24-19-20045/>. Авторы тоже выражает благодарности для финансирования исследования из болгарской стороне от Высшего транспортного училище имени Тодора Каблешкова договор №69/09.04.2024.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Evgeniy Kuzmin; Roman Petrov; Viktor Kiselev; Vasily Misilin; Slavcho Bozhkov; Ivan Milenov; Penko Bozhkov "Research of Asymmetric Magnetoelectric Structures on Substrates," 2023 18th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 2023, doi:10.1109/ELMA58392.2023.10202494.
- [2] S. Sai Harsha, P. Kondaiah, K. Deepak "Study of Geometry Modulated Magnetoelectric Composite Structure," 2023, Proceedings of the International Conference on Metallurgical Engineering and Centenary Celebration (pp.208-223), DOI:10.1007/978-981-99-6863-3_21.
- [3] Roman Petrov, Viktor Leontiev, Artem Solovev, Viktor Kiselev, Mirza Bichurin, Slavcho Bozhkov, Ivan Milenov, Penko Bozhkov "Modeling and Development of Position Sensors Based on Multiferroic Layered Structures," 2020 21st International Symposium on Electrical Apparatus & Technologies (SIELA), Bourgas, Bulgaria, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/SIELA49118.2020.9167112.

- [4] L. Thormählen, P. Hayes, E. Elzenheimer, E. Spetzler, J. McCord, G. Schmidt, M. Höft, D. Meyner, E. Quandt "Low Noise Inverse Magnetoelectric Magnetic Field Sensor", April 2024 Applied Physics Letters 124(17), DOI:10.1063/5.0196637.
- [5] A I Soloviev, V A Kiselev, R V Petrov, V S Leontiev and M I Bichurin Schematic modeling of functional units of a magnetoelectric current sensor // Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1658(1), 012056 doi:10.1088/1742-6596/1658/1/012056J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [6] Long Zhang, Siu Wing Or, Chung Ming Leung. Voltage-mode direct-current magnetoelectric sensor based on piezoelectric– Voltage-mode direct-current magnetoelectric sensor based on piezoelectric–magnetostrictive heterostructure, J. Appl. Phys. 117, 17A748 (2015) <https://doi.org/10.1063/1.4919047>

APPLICATIONS OF DEVICES BASED ON MAGNETOELECTRIC EFFECT FOR VEHICLE DIAGNOSTICS

Victor Kiselev¹, Roman Petrov¹
r.krik@list.ru, roman.petrov@novsu.ru
Slavcho Bozhkov², Ivan Milenov²
stbozhkov@vtu.bg, milenov55@abv.bg

¹*Institute of Electronic and Information Systems, Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, 173003 Veliky Novgorod
RUSSIA*

²*Todor Kableshkov University of Transport
Geo Milev str. 158, 1574 Sofia
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

Key words: magnetoelectric effect, sensors, magnetic field sensors, hybrid vehicles, electric vehicles, energy harvester.

Abstract: Currently, vehicles equipped with electric and hybrid engines are becoming increasingly popular, but these engines require reliable and precise technology for determining the position of moving mechanisms to enhance the vehicle's performance. Electric and hybrid vehicles require precise engine control and positioning for optimal performance and fuel consumption savings, which is a key factor for consumers when choosing a vehicle to purchase. One possible solution to these problems could be achieved through the use of devices based on the magneto-electric effect (ME), which could provide vehicle owners with detailed information about the condition of all car modules. This article discusses the possibility of using sensors based on the magnetoelectric effect for diagnosing the condition of electric and hybrid vehicles - consisting of multiferroic magneto-electric layered structures. Such multiferroic structures possess magnetic, electric, and elastic properties simultaneously, and the interplay of these properties leads to cross-effects, linking the magnetic and electric characteristics of the material. Multiferroic layered structures with magneto-electric effect can be effectively utilized for developing new types of sensors sensitive to changes in magnetic fields.