



САМОНАМАГНИЧЕННАЯ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

**Роман В. Петров, Олег В. Соколов, Виктор С. Леонтьев, Геннадий А. Семёнов,
Сергей Н. Иванов, Алёна Р. Петрова, Мирза И. Бичурин**
roman.petrov@novsu.ru

*Институт электронных и информационных систем, Новгородский
государственный университет, 173003 Великий Новгород,
РОССИЯ*

Славчо Т. Божков, Иван К. Миленов
stbozhkov@vtu.bg, milenov55@abv.bg

*Факультет “Техника и строительные технологии на транспорте”
Факультет “Коммуникации и электрооборудование на транспорте”
Университет транспорта имени Тодора Каблешкова, ул. Гео Милев 158, София
БОЛГАРИЯ*

Ключевые слова: самонамагниченная магнитоэлектрическая структура, автомобильные датчики

Абстракт: Статья посвящена исследованию магнитоэлектрического эффекта в асимметричных и симметричных МЭ градиентных структурах на основе Метглас/Ni/ЦТС предназначенных для применения в автомобилестроении. В результате проведённых исследований подтверждено, что на частотах вблизи изгибного резонанса наблюдаются значительно лучшие характеристики магнитоэлектрического коэффициента у асимметричных структур. Полученные значения для структуры Метглас/Ni/ЦТС достигают 90 В/(см·Э). В исследованных градиентных магнитоэлектрических структурах удалось снизить величину подмагничивающего поля с 55 Гс до 0 Гс. Исследованные структуры могут быть применены для разработки автомобильных датчиков положения коленчатого вала, либо любых других датчиков положения. Самонамагниченный или градиентный материал является двухфазной композицией магнитоотрицательного материала с градиентом намагниченности и сегнетоэлектрического материала с градиентом поляризации, скрепленных между собой. Самонамагниченные магнитоэлектрические датчики имеют ряд преимуществ перед традиционными, в частности имеют более высокую чувствительность, меньшие габариты и массу, обеспечивают работу без дополнительных источников энергии. Конструктивно магнитоэлектрический датчик положения коленчатого вала представляет собой магнитоэлектрический элемент с электронной схемой обработки сигнала, размещённый в непосредственной близости от шкива коленчатого вала, либо диска с закреплёнными на нём магнитами.

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование транспортных средств — это актуальная проблематика большого числа учёных и инженеров, которой они занимаются в целях улучшения потребительских свойств машин и увеличения их надёжности и безопасности. Исследуются всё новые компоненты, обеспечивающие лучшие характеристики и меньшую стоимость. Одним из важных составляющих современного автомобиля являются датчики. Датчики должны давать точную и своевременную информацию для компьютерной бортовой системы и исполнительных устройств. Датчики применяются практически во всех системах автомобиля. В двигателе они измеряют температуру и давление воздуха, топлива, масла, охлаждающей жидкости. Ко многим движущимся частям автомобиля (коленчатый вал, распределительный вал, дроссельная заслонка, валы в коробке передач, колеса, клапан рециркуляции отработавших газов) подключены датчики положения и скорости. Большое количество датчиков используется в системах активной безопасности. Одним из таких датчиков является датчик положения. В частности, он используется в системе зажигания в качестве датчика положения коленчатого вала (ДПКВ). В современных автомобилях такие датчики работают на индукционном эффекте, либо эффекте Холла. Также были предложены датчики, работающие на магнитоэлектрическом эффекте (МЭ) [1]. Существенным улучшением такого рода датчиков будет являться новая МЭ структура, не требующая подмагничивания для своей работы. На основе такой структуры возможно построение датчиков, не содержащих в своём составе постоянных магнитов или соленоидов для подмагничивания [2].

Конструктивно МЭ датчик ДПКВ представляет собой МЭ элемент с электронной схемой обработки сигнала, размещённый в непосредственной близости от шкива коленчатого вала, либо диска с закреплёнными на нём магнитами. Вращение вала приводит к созданию в непосредственной близости от датчика переменного магнитного поля. Датчик обрабатывает полученный переменный сигнал и передаёт его на бортовой компьютер автомобиля для дальнейшего анализа. Применение МЭ датчиков положения также возможно для анализа других процессов, где есть движение механических частей, либо имеется постоянное или переменное магнитное поле. Улучшение характеристик МЭ датчика ДПКВ – актуальная и востребованная задача для исследований.

Магнитоэлектрики — это вещества, обладающие одновременно и магнитным, и электрическим упорядочиванием [3]. Взаимосвязь магнитных, электрических и упругих свойств мультиферроиков приводит к тому, что в них возможны перекрестные эффекты, связывающие между собой магнитные и электрические характеристики материала. При приложении внешнего электрического поля к такой структуре происходит изменение намагниченности, и наоборот, при приложении внешнего магнитного поля происходит изменение поляризации. Этот эффект, называется магнитоэлектрическим (МЭ). МЭ датчики имеют ряд преимуществ перед традиционными, в частности имеют более высокую чувствительность, меньшие габариты и массу, обеспечивают работу без дополнительных источников энергии [4,5].

Самонамагниченный или градиентный материал является двухфазной композицией магнитоэлектрического материала с градиентом намагниченности и сегнетоэлектрического материала с градиентом поляризации, скрепленных между собой. Техническим результатом такой структуры является упрощение конструкции устройств на основе МЭ материала в связи с возможностью исключения элементов, создающих внешнее подмагничивающее поле, и упрощение технологического процесса получения материала в связи с возможностью исключения предварительной поляризации образца материала [6].

Принцип действия самонамагничивающейся структуры основан на применении физических свойств магнитных материалов с градиентом намагниченности и сегнетоэлектрических материалов с градиентом поляризации. Самонамагниченный МЭ материал представляет собой двухфазную слоистую или объемную мелкодисперсную композицию магнитоэлектрического материала с градиентом намагниченности и (или) сегнетоэлектрического материала с градиентом поляризации, скрепленных между собой.

Целью этой работы является исследование композиционных магнитоэлектрично-пьезоэлектрических материалов, величина МЭ эффекта в которых оптимизирована их структурными параметрами и при этом нет необходимости использования предварительной поляризации образца и подмагничивания внешним постоянным магнитным полем подходящих для применения в автомобильной электронике.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ СТЕНД

Измерения проводились с помощью на измерительном стенде, рис. 1а. Стенд включает в себя источник питания Nameg НМР404, генератор сигналов Nameg НМ F2550, постоянный магнит, катушку индуктивности, осциллограф Nameg НМО722 и магнитометр.

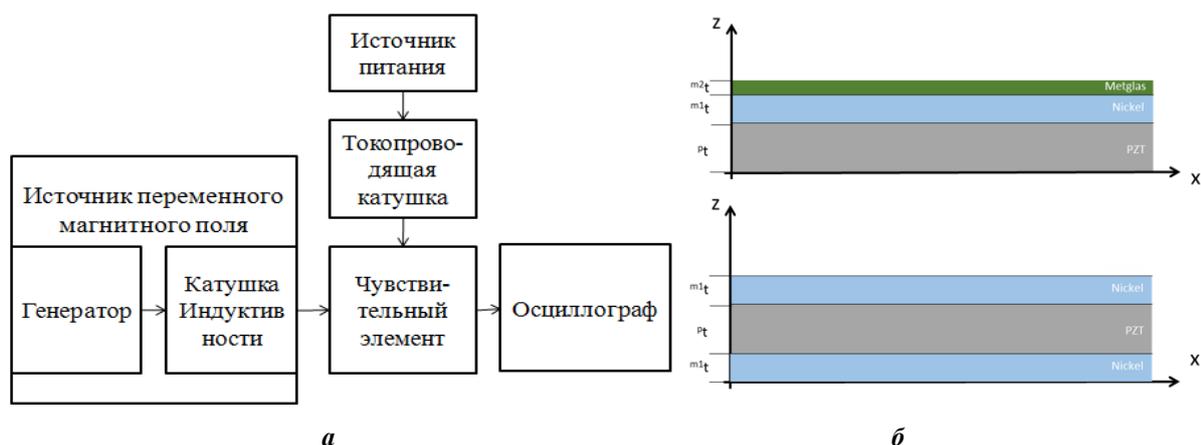


Рис. 1 Структурная схема: а - измерительного стенда, б - МЭ элемента.

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Асимметричные магнитоэлектрические структуры обладают более высоким магнитоэлектрическим эффектом по сравнению с симметричными магнитоэлектрическими структурами на низких частотах и в области электромеханического резонанса изгибной моды колебаний [7]. Также, сильное влияние оказывает технология изготовления МЭ структур и используемые материалы.

Исследуемые слоистые градиентные структуры состоят из ЦТС/Никель/Метгласа. Схематичное изображение градиентной асимметричной МЭ структуры представлено на рис. 1б (верх). Данная структура была получена методом клеевой технологии. Пластины Метгласа $m^2t = 29 \mu\text{m}$ и Никеля различной толщины соединялись путем клеевой прослойки (клей эпоксидный), при температуре 50°C в течении 3 часов под приложенным вертикальным давлением 100 kPa с помощью поршневого цилиндра. Были подготовлены следующие экспериментальные градиентные МЭ структуры с геометрическими параметрами: длина $l=10 \text{ mm}$, толщина $^pt = 0.5 \text{ mm}$ и ширина $s=5 \text{ mm}$. В статье также рассматриваются симметричные МЭ структуры Никель-ЦТС-Никель, полученные по аналогичной

клеевой технологии и такими же геометрическими размерами составных частей, рис. 1б (низ).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Ниже на рис. 2-4 показаны экспериментальные и теоретические зависимости МЭ коэффициента по напряжению от частоты переменного магнитного поля $f, \text{кГц}$ для структур Ni/ЦТС и Метглас/Ni/ЦТС.

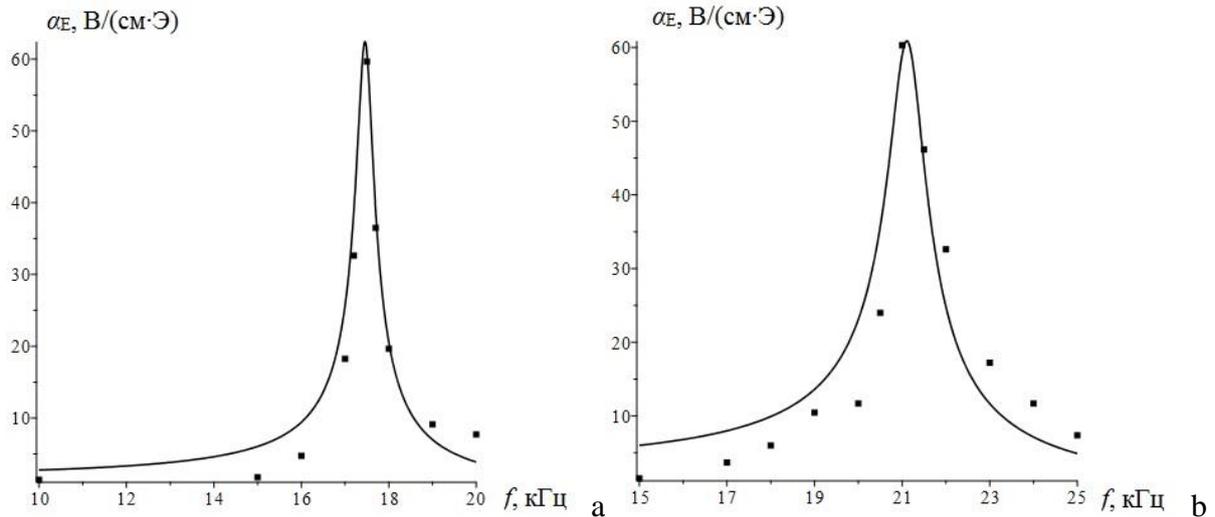


Рис. 2 Зависимость МЭ-коэффициента по напряжению от частоты переменного магнитного поля для образца с толщиной никеля: а - 0,07 мм, б - 0,15 мм. Подмагничивающее поле 55 Гс. Точки – экспериментальные данные, сплошная линия – теоретическая зависимость.

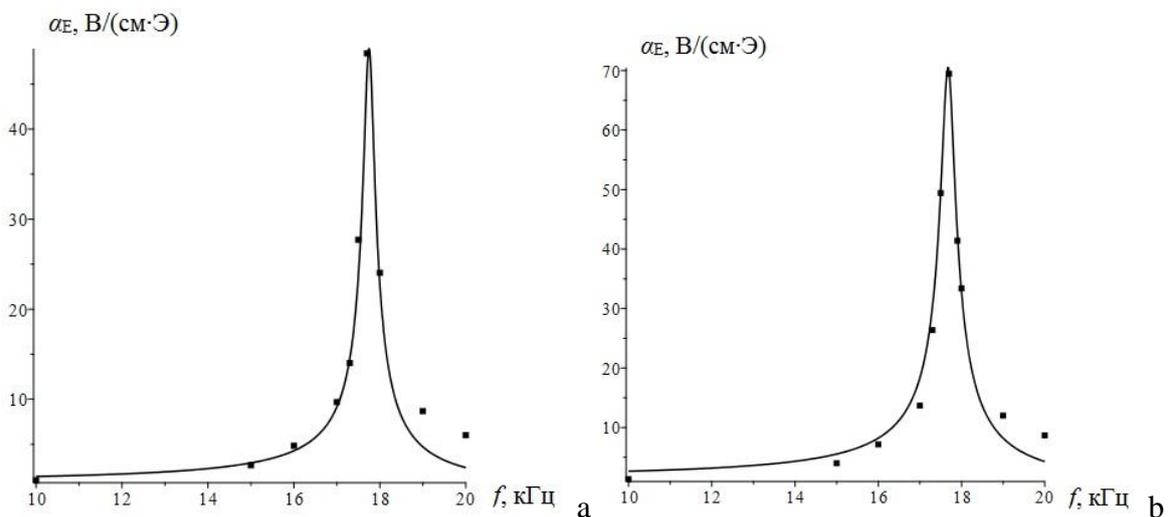


Рис. 3 Зависимость МЭ-коэффициента по напряжению от частоты переменного магнитного поля для асимметричного образца с метгласом и толщиной никеля 0,07 мм: а - без внешнего подмагничивающего поля, б - с внешним подмагничивающим полем 55 Гс. Точки – экспериментальные данные, сплошная линия – теоретическая зависимость.

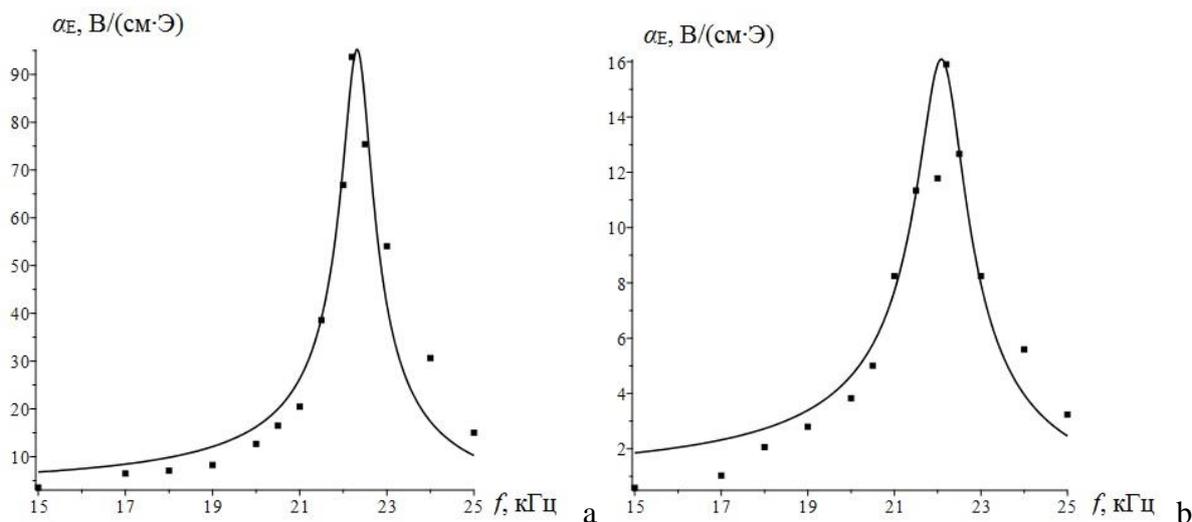


Рис. 4 Зависимость МЭ-коэффициента по напряжению от частоты переменного магнитного поля для образца с метгласом и толщиной никеля 0,15 мм: а - без внешнего подмагничивающего поля, б - с внешним подмагничивающим полем 55 Э. Точки – экспериментальные данные, сплошная линия – теоретическая зависимость.

Из приведённых выше данных представленных на рисунке 2-4 видно, что симметричная структура значительно уступает по величине МЭ эффекта. Также из двух исследованных самомагнитных структур первая имеет больший МЭ коэффициент, что важно для дальнейшего применения подобного материала в автомобильных датчиках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены исследования МЭ эффекта в асимметричных и симметричных МЭ градиентных структурах на основе Метглас/Ni/ЦТС. В результате проведённых исследований подтверждено, что на частотах вблизи изгибного резонанса наблюдаются значительно лучшие характеристики МЭ коэффициента у асимметричных структур. Полученные значения для структуры Метглас/Ni/ЦТС достигают 90 $\text{B}/(\text{cm}\cdot\text{Oe})$ без подмагничивающего поля. В исследованных градиентных МЭ структурах удалось снизить величину подмагничивающего поля с 55 Гс до 0 Гс. Исследованные структуры могут быть применены для разработки автомобильных датчиков ДПКВ, либо любых других датчиков положения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Национального научного фонда Болгарии в рамках научного проекта № 19-58-18001.

REFERENCES:

- [1] R.V. Petrov, M.I. Bichurin, V.S. Leontiev, N.A. Kolesnikov, S.T. Bozhkov, L.G. Stanev, V.T. Pacheliev, I.K. Milenov, P.T. Bozhkov., The crankshaft position sensor based on magnetoelectric materials. Proceedings of IEEE-PEMC 2016, 978-1-5090-1797-3/16 IEEE.
- [2] Oleg Sokolov, Mirza Bichurin, Roman Petrov, Su-Chul Yang., Magnetoelectric Effect in Self-bias Gradient Structure $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Ni}/\text{BaTiO}_3$ with 0-3 Connectivity, 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 441 012037.
- [3] M. Bichurin and V. Petrov, “Modeling of Magnetoelectric Effects in Composites”.

Springer Series in Materials Science 201, 2014, 108 p.

[4] Бичурин М.И., Килиба Ю.В. Петров Р.В., Датчики электромагнитного поля, Сборник трудов VIII Всероссийской научно-технической конференции, Н. Новгород, НГТУ. Т. 2, 1996. С. 324.

[5] И.Н. Соловьев, А.Н. Соловьев, Р.В. Петров, Д.В. Коваленко, М.И. Бичурин, Датчики электромагнитного поля, Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции Микроэлектроника СВЧ, Санкт-Петербург 4–7 июня 2012 г.

[6] Bichurin M. I., Petrov V. M., Semenov G. A., Magnetolectric material for components of radioelectric devices, 2009, Patent RU2363074C1.

[7] Petrov V.M., Bichurin M.I., Magnitoelektricheskiy effekt v simmetrichnykh i asimmetrichnykh magnitostriksionno-piezoelektricheskikh sloistykh strukturakh, Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2013. – № 4; URL: www.science-education.ru/110-9602

SELF-BIASED MAGNETOELECTRIC STRUCTURE FOR AUTOMOTIVE SENSORS

Roman V. Petrov, Oleg V. Sokolov, Viktor S. Leontiev, Gennadiy A. Semenov, Sergey N. Ivanov, Alena R. Petrova, Mirza I. Bichurin
roman.petrov@novsu.ru

*Institute of Electronic and Information Systems, Novgorod State University, 173003 Veliky
Novgorod, Russia
RUSSIA*

Slavcho T. Bozhkov, Ivan K. Milenov
stbozhkov@vtu.bg, milenov55@abv.bg

*Department of Transport Equipment, Department of Electrical Equipment in Railway
Transport, Todor Kableshkov University of Transport, Geo Milev str. 158, 1574 Sofia
BULGARIA*

Key words: *self-biased magnetolectric structure, automotive sensors*

Abstract: *The paper is devoted to the study of the magnetolectric effect in asymmetric and symmetric magnetolectric gradient structures based on Metglas / Ni / PZT designed for use in the automotive industry. The asymmetric gradient structures have a higher value of the magnetolectric coefficient at the bending resonance mode, which is confirmed by the conducted studies. The obtained values of the magnetolectric coefficient for Metglas / Ni / PZT structure reaches 90 V/(cm·Oe). The magnitude of the bias field in the studied gradient magnetolectric structures was reduced from 55 Gs to 0 Gs. The studied structures can be applied to the development of automotive crankshaft position sensors, or any other position sensors. Self-biased or gradient material is a two-phase composition of magnetostrictive material with a gradient of magnetization, and ferroelectric material with a gradient of polarization, which connected to each other. Self-biased magnetolectric sensors have a number of advantages over traditional ones, in particular they have higher sensitivity, smaller dimensions and weight, provide operation without additional energy sources. The magnetolectric crankshaft position sensor is structurally a magnetolectric element with an electronic signal processing circuit located in the immediate vicinity of the crankshaft pulley or a disk with magnets attached to it.*