

УДК 53.087.92

ЧЁТНОГАРМОНИЧЕСКИЙ ПАССИВНЫЙ ИНДУКЦИОННЫЙ ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ С ДИСТАНЦИОННЫМ СЧИТЫВАНИЕМ

М.С. Кустов¹, С.С. Сошин¹, С.С. Рясенский², Д.С. Юленков¹, Д.А. Быков¹

Тверской государственной университет,

¹кафедра прикладной физики, ²кафедра неорганической химии

Предложен новый тип датчика температуры, основанного на изменении спектра эдс магнитной индукции аморфной магнитомягкой ленты под воздействием температурно-зависимого магнитотвёрдого задающего элемента.

Введение. Пассивные датчики с дистанционным считыванием измерительной информации находят в последние годы всё большее применение в различных отраслях техники, а также в химии, медицине, биологии [1–5]. Успехи в разработке нанокристаллических аморфных магнитомягких материалов с прямоугольной петлёй гистерезиса и предельно малыми значениями коэрцитивной силы обусловили появление новых разновидностей датчиков, работа которых основана на изменении спектра магнитной индукции под воздействием измеряемой величины [1–4; 6]. По принципу действия подобные датчики относятся к пассивным чётногармоническим индукционным преобразователям с ферромагнитным сердечником [7]. Чётные гармоники в спектре эдс индукции таких преобразователей появляются при одновременном воздействии внешнего переменного и постоянного поля.

В работе [2] этот принцип был использован для дистанционного измерения температуры с помощью индукционного преобразователя с комбинированным сердечником, состоящим из трёх элементов – магнитомягкой ленты, постоянного магнита и магнитного шунта из железоникелевого сплава. Изменение температуры вызывает изменение магнитной проницаемости шунта, что, в свою очередь, приводит к изменению подмагничивающего поля и спектра эдс магнитной индукции в измерительной катушке.

В настоящей работе предлагается модификация этого преобразователя, позволяющая упростить его конструкцию при одновременном улучшении передаточной характеристики.

Описание преобразователя. Функциональная схема макета преобразователя представлена на рис. 1. Возбуждающая катушка L_1 имеет форму тонкого кольца диаметром около 20 см; внутри этой катушки расположена дифференциальная измерительная катушка L_2 в форме восьмёрки. Спектр выходного сигнала регистрируется с помощью цифрового осциллографа с встроенным Фурье-анализатором. Чувствительный элемент (сердечник) располагается вне катушек L_1 и L_2 на удалении от них порядка 20...30 см. Лента AM из нанокристаллического сплава $Fe_{81}B_{13.5}Si_{3.5}C_2$ (индукция

насыщения $B_s = 1,61$ Т, коэрцитивная сила $\mu_0 H_c = 5$ мкТ, относительная начальная магнитная проницаемость 50000) имеет толщину около 20 мкм, длину 40 мм и ширину 5 мм. Лента получена методом быстрой заправки расплава на медном вращающемся диске. После заправки лента отжигалась при температуре 300°C в течение 5 минут.

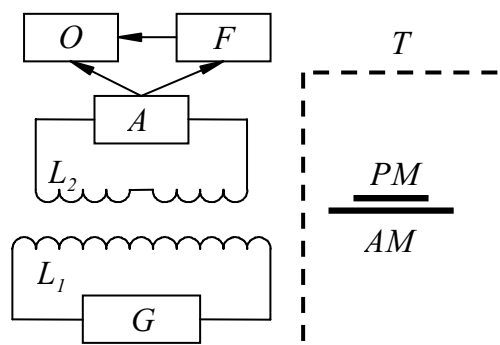


Рис. 1. Функциональная схема макета преобразователя: G – генератор гармонического сигнала; L_1 – возбуждающая катушка; L_2 – дифференциальная измерительная катушка; A – усилитель; F – полосовой фильтр; O – осциллограф с встроенным Фурье-анализатором; AM – лента из нанокристаллического магнитомягкого материала; PM – терморевверсивный постоянный магнит; T – термокамера

Постоянное подмагничивающее поле создаётся с помощью терморевверсивного постоянного магнита PM , изготовленного из сплава GdCo_3Cu_2 с ферромагнитным типом магнитного упорядочения. Магнитные свойства интерметаллических соединений $\text{GdCo}_{5-x}\text{Cu}_x$ изучались в работах [8; 9], в которых было показано, что сплавы этой группы имеют высокую одноосную магнитную анизотропию. Коэрцитивная сила сплавов с частичным замещением атомов кобальта медью ($x \sim 1...2$) после термообработки имеет в зависимости от состава значения от $\sim 0,3$ до 3 Т.

Температура компенсации магнитных моментов подрешёток гадолиния и кобальта использованного в данной работе сплава GdCo_3Cu_2 $T_k \approx 90^\circ\text{C}$; при этой температуре спонтанная намагниченность достигает нулевого значения и при дальнейшем нагреве меняет знак на противоположный. Коэрцитивная сила при подходе к температуре компенсации T_k резко возрастает, достигая максимума при $T \approx T_k$. Точные измерения значения H_c в точке компенсации весьма затруднительны, т.к. при T_k спонтанная намагниченность проходит через нулевое значение. Результаты измерений при многократном повторении температурных циклов нагрева от комнатной температуры до $T = 120^\circ\text{C} > T_k$

показывают, что процесс реверсирования остаточной намагниченности при нулевом внешнем поле является полностью обратимым.

Результаты. На рис. 2, *a* показан спектр эдс индукции собранного преобразователя при комнатной температуре в исходном состоянии без подмагничивания (без постоянного магнита). Из графика видно, что в спектре присутствуют 1-я и 3-я гармоники; 2-я чётная гармоника отсутствует. При установке задающего элемента – постоянного магнита появляется 2-я гармоника, амплитуда которой больше, чем амплитуда 3-й гармоники, при этом амплитуда 1-й гармоники уменьшается (рис. 2, *б*).

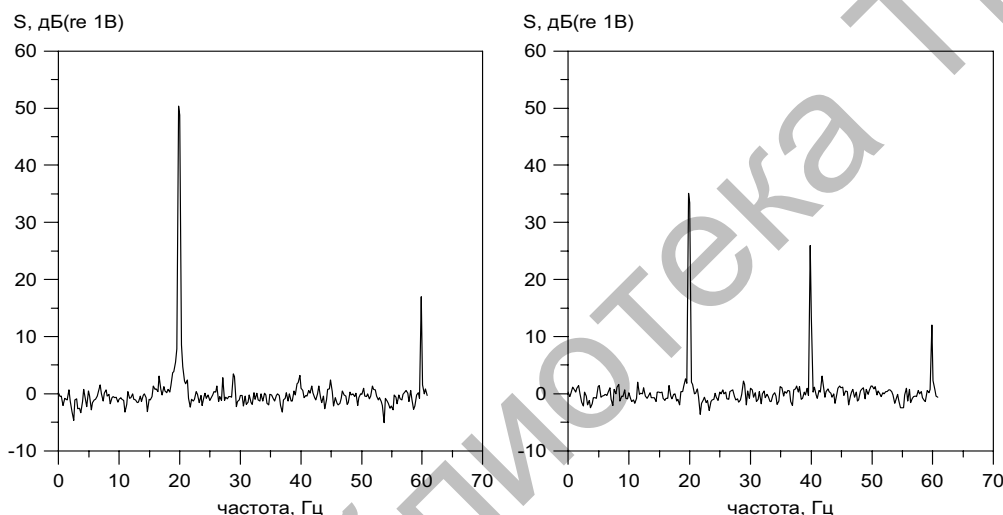


Рис. 2. Спектр эдс индукции сердечника при комнатной температуре. *a* – исходное состояние без подмагничивания (1-я и 3-я гармоники); *б* – возникновение чётной второй гармоники при воздействии задающего элемента (постоянного магнита). Частота гармонического поля возбуждения 20040 Гц

На рис. 3 представлена температурная зависимость амплитуды второй гармоники эдс индукции преобразователя, помещённого в регулируемую термокамеру. Из графика видно, что полученная зависимость близка к линейной с чётко выраженным нулём при температуре компенсации T_k .

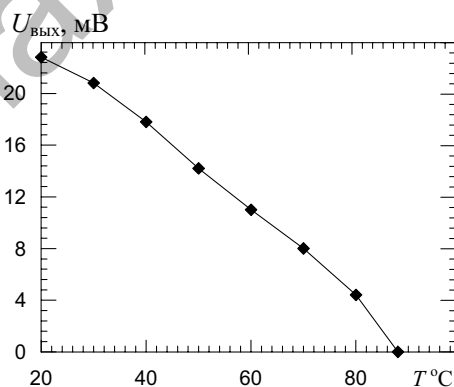


Рис. 3. Температурная зависимость амплитуды второй гармоники эдс индукции преобразователя

Заключение. Представленные данные демонстрируют работоспособность двухэлементного преобразователя с терморевверсируемым постоянным магнитом и ряд его преимуществ по сравнению с трёхэлементной системой [2]. К их числу относятся упрощение конструкции, повышение линейности функции преобразования и уменьшение погрешности измерений. Эти преимущества достигаются за счёт устранения сложного в управлении и настройке магнитного шунта из магнитомягкого железоникелевого сплава. Поведение магнитного шунта зависит от целого ряда трудно контролируемых факторов – температурного хода магнитной проницаемости, конфигурации системы, расстояний между чувствительным элементом, постоянным магнитом и шунтом и др. В противовес этому работа предложенного преобразователя опирается на однозначную хорошо воспроизводимую температурную зависимость остаточной намагниченности терморевверсируемого постоянного магнита. Эта особенность также может быть использована для усовершенствования других типов магнитных преобразователей с дистанционным считыванием, в частности, резонансных датчиков [5] для определения состава газов, механических напряжений, влажности, контроля химических реакций и проведения биофизических исследований.

Работа выполнена по тематике проекта "Фундаментальное и теоретическое исследование нелинейных свойств полупроводниковых, магнито- и сегнетоэлектрических материалов для микро- и нанoeлектроники", поддержанного Федеральным агентством по образованию.

Список литературы

1. Ong K.C., Grimes C.A. Magnetically soft higher order harmonic stress and temperature sensors //IEEE Trans. Magn. 2003. V. 39. P. 3414–3416.
2. Fletcher R., Gerschenfeld N.A. Remotely interrogated temperature sensors based on magnetic materials //IEEE Trans. Magn. 2000. V. 36. P. 2794–2795
3. Ong K.C., Grimes C.A. Tracking the harmonic response of magnetically-soft sensors for wireless temperature, stress, and corrosive monitoring //Sensors and Actuators. 2002. V. A 101. P. 49–61.
4. Ong K.C., Paulose M., Jain M.K., Gong D., Varghese O.K., Mungle C., Grimes C.A. Magnetism-based remote query glucose sensors //Sensors. 2001. V. 1. P. 138–147.
5. Ong K.C., Grimes C.A., Robbins C.L., Singh R.S. Design and application of a wireless, passive, resonant-circuit environmental monitoring sensor //Sensors and Actuators. 2001. V. A93. P. 33–43.
6. Herzer G. Magnetic materials for electronic article surveillance //J. Magn. Magn. Mater. 2003. V. 254–255, P. 598–602.
7. Афанасьев Ю.В., Студенцов Н.В., Хорев В.Н., Чечурина Е.Н., Щелкин А.П. Средства измерений параметров магнитного поля. Л.: Энергия, 1979.
8. Гречишкин Р.М., Бирюков В.С., Ашметков А.С. Гигантские скачки Баркгаузена в кристаллах $Gd(Co,Cu)_5$ //Изв. АН СССР. Сер. физ. 1981. Т. 45, № 9. С. 1683–1686.
9. Grechishkin R.M. Domain structure studies of magnetization reversal in high-performance permanent magnets //Wissen. Zeitschrift Hochschule fur Verkehrswesen Friedrich List - Dresden. 1989. Sonderheft 50. P. 51–62.