

УДК. 531.7

В.Ю. Ларин

Национальный авиационный университет

**ПОСТРОЕНИЕ ФЕРРОМАГНИТНЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТИПА Ф₀МП****Abstract**

Larin V.Yu. Construction of ferromagnetic transformers of type of FOMP. In the article pulled out and well-proven hypothesis about the conduct of vectors of spin magnetic moments of atoms of domains in ferromagnetic material. Formulation of hypothesis: «change of vector of mechanical moments of atoms, constituents domains of material of ferromagnetic transformer, caused external mechanical tensions, the proportional causes a gyromagnetic relation change of vectors of spin magnetic moments of these atoms». Principle of action of ferromagnetic transformer is grounded.

Keywords: ferromagnetic transformer, theory of construction, hypothesis, mechanical moments of atoms, spin magnetic moments, gyromagnetic relation, vectogram.

Анотація

Ларін В.Ю. Побудова ферромагнітних перетворювачів типу Ф₀МП. В статті поставлена і доказана гіпотеза про поведінку векторів спінових магнітних моментів атомів доменів в ферромагнітному матеріалі для нульового навантаження і при дії сили. Формулювання гіпотези: «зміна вектора механічних моментів атомів, як складових доменів матеріалу ферромагнітного перетворювача, що виникає внаслідок зовнішніх механічних навантажень, викликає пропорційну гіромагнітному відношенню зміну векторів спінових магнітних моментів цих атомів». Обґрунтовано принцип дії ферромагнітного перетворювача.

Ключові слова: ферромагнітний перетворювач, теорія побудови, гіпотеза, механічні моменти атомів, магнітні моменти спинів, гіромагнітне відношення, векторна діаграма.

Аннотация

Ларин В.Ю. Построение ферромагнитных преобразователей типа Ф₀МП. В статье выдвинута и доказана гипотеза о поведении векторов спиновых магнитных моментов атомов доменов в ферромагнитном материале для нулевой нагрузки при воздействии силы. Формулировка гипотезы: «изменение вектора механических моментов атомов, составляющих домены материала ферромагнитного преобразователя, вызываемое внешними механическими напряжениями, вызывает пропорциональное гиромагнитному отношению изменение векторов спиновых магнитных моментов этих атомов». Обоснован принцип действия ферромагнитного преобразователя.

Ключевые слова: ферромагнитный преобразователь, теория построения, гипотеза, механические моменты атомов, спиновые магнитные моменты, гиромагнитное отношение, векторная диаграмма.

Анализ известных решений. Спиновая природа ферромагнетизма выявлена в магнито-механических (гиромагнитных) опытах Барнетта (1909) и Эйнштейна - де Гааза (1915), и была обнаружена связь между механическими и магнитными моментами атома. Определенное гиромагнитное отношение в единицах $\frac{e}{2m}$ оказалось близким 2, что противоречит полученному ранее Резерфордом выводу, согласно которому отношение орбитального магнитного момента к орбитальному механическому моменту равно 1. Это несоответствие носит название гиромаг-

нитной аномалии [1]. Одновременно с развитием квантовой теории и применением её для объяснения явлений магнетизма сделано открытие, связанное с понятием спина. Концепция спина предложена в 1925г. Дж. Уленбеком, С. Гаудсмитом. На основе анализа спектроскопических данных они высказали предположение о том, что электрон помимо заряда и массы обладает собственным моментом количества движения (спином) и соответствующим ему спиновым магнитным моментом m_s [2]. Наличие спинового магнитного момента объясняет отклонение пучка атомов в магнитном поле, выявленное в опыте Штерна-Герлаха, где исследовались элементы первой группы, у которых атомы не обладают орбитальными магнитными моментами. Также стало ясно, что пучок атомов разбивается на два, так как этому соответствуют возможные ориентации спина относительно оси z : $2s+1=2$. Откуда следует, что $s = 1/2$, то есть, спиновое квантовое число в отличие от орбитальных квантовых чисел является не целым, а полуцелым. На основании выражений собственного механического момента p_s , через спиновое квантовое число s :

$$|p_s| = \sqrt{s(s+1)}\hbar,$$

где — постоянная Планка спинового магнитного момента μ_s

$$|\mu_s| = 2\sqrt{s(s+1)}\mu_B$$

и значения магнетона Бора

$$\mu_B = \hbar \cdot \frac{e}{2m} = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$$

получаем следующее выражение для гиромагнитного отношения γ_s :

$$\gamma_s = \frac{\mu_s}{p_s} = \frac{2\sqrt{s(s+1)}\mu_B}{\sqrt{s(s+1)}\hbar} = \frac{2\mu_B}{\hbar} = \frac{2\hbar e}{2m\hbar} = \frac{e}{m}.$$

В данном опыте (а также другими методами) получены следующие гиромагнитные отношения (в единицах $e/2m$): 1) железо — 1,93; 2) никель — 1,84 ÷ 1,92; 3) кобальт — 1,85. Это подтверждает основную роль спиновых моментов в образовании магнитных моментов атомов для ферромагнетиков (g ближе к 2, чем к 1), хотя некоторое влияние оказывают орбитальные моменты ($g < 2$) [3].

Нерешенные проблемы. Анализ гиромагнитного отношения и роли спиновых моментов в образовании магнитных моментов атомов для ферромагнетиков показал, что для построения ферромагнитных первичных преобразователей (ФoМП) с требуемой чувствительностью, идентичными характеристиками преобразования и высокими метрологическими характеристиками необходимы глубокие знания процессов, протекающих в материалах, из которых они построены. ФoМП носит свое название от латинского слова «ferrum» (железо), которое входит в состав любого из подобных преобразователей. Эти преобразователи являются элементами магнитной техники, их свойства не полностью исследованы.

Постановка задачи исследований. На основании выражения гиромагнитного отношения [1], а также на основании данных о влиянии упругих растяжений (сжатий) на поведение кривой намагничивания монометаллических магнитных материалов [2], в частности поликристаллического никеля, можно выдвинуть гипотезу о поведении векторов спиновых магнитных моментов атомов доменов в ферромагнитном материале [3]. Формулировка гипотезы: «изменение вектора механических моментов атомов, составляющих домены материала ферромагнитного преобразователя, вызываемое внешними механическими напряжениями, вызывает пропорциональное гиромагнитному отношению изменение векторов спиновых магнитных моментов этих атомов».

Изложение основного материала. Наличие внешних сжимающих усилий приводит согласно выражению (1) к увеличению общей энергии ферромагнетика.

$$E_\sigma = -\frac{3}{2}\sigma[\lambda_{100}(\alpha_1^2\gamma_1^2 + \alpha_2^2\gamma_2^2 + \alpha_3^2\gamma_3^2) + 2\lambda_{111}(\alpha_1\alpha_2\gamma_1\gamma_2 + \alpha_2\alpha_3\gamma_2\gamma_3 + \alpha_1\alpha_3\gamma_1\gamma_3)], \quad (1)$$

где $E_{\sigma} = E_k + E_{\lambda}$ — общая энергия магнитной анизотропии, равная сумме энергий кристаллографической магнитной анизотропии и магнитоупругой в результате магнитоупругости (действия внешних напряжений — однородного сжатия или растяжения);

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ — направляющие косинусы оси, вдоль которой действует внешняя сила. В случае изотропной магнитоупругости $\lambda_{100} \approx \lambda_{111} = \lambda_s$, и формулу (1) можно представить в виде

$$E_{\sigma} = -\frac{3}{2} \lambda_s \cdot \sigma \cdot \cos^2 \varphi, \text{ где } \cos \varphi = \alpha_1 \gamma_1 + \alpha_2 \gamma_2 + \alpha_3 \gamma_3.$$

В выражении магнитоупругой энергии E_{σ} переменной величиной является только величина внешнего сжимающего напряжения σ .

Исключение изменения направляющих косинусов осей, вдоль которых эта сила действует, достигается за счет применения точечного силового воздействия, что решено в [4], где на основании анализа материалов, применяемых для построения магнитоупругих преобразователей типа МУП, была предложена методика конструирования чувствительного элемента (ЧЭ).

Если собрать пакет пластин ФоМП так, чтобы оси легкого намагничивания пластин шли параллельно друг другу, то мы получим анизотропную конструкцию. А если каждый раз чередовать расположение пластин, поворачивая каждую четную пластину на 90° , то мы получим конструкцию изотропной структуры, в которой суммарный вектор оси легкого намагничивания (ОЛН) нечетных пластин будет располагаться вертикально, а четных — горизонтально. Перпендикулярно ОЛН располагаются оси отверстий измерительных обмоток. Располагая ось отверстий обмотки питания преобразователя под углом 45° к любой ОЛН (четных и нечетных пластин) мы обеспечиваем равновероятную возможность изменения суммарного вектора магнитной индукции при воздействии на ФоМП внешних напряжений.

Рассмотрим поведение векторов магнитной индукции доменных структур в электротехнической стали. При отсутствии внешнего поля ферромагнитный образец, как известно, находится в размагниченном состоянии и соответственно имеет место равновероятное расположение магнитных моментов доменов намагниченных в направлении ОЛН (по ребрам куба). Упрощенно это поведение магнитных моментов можно показать следующим образом (рис. 1). При появлении внешнего поля ферромагнитный образец переводится в зону линейного участка кривой намагничивания. Вектор индукции $B_{\text{внеш}}$ этого поля направлен под углом 45° по отношению к ОЛН, и картина расположения магнитных моментов резко меняется (рис. 2).

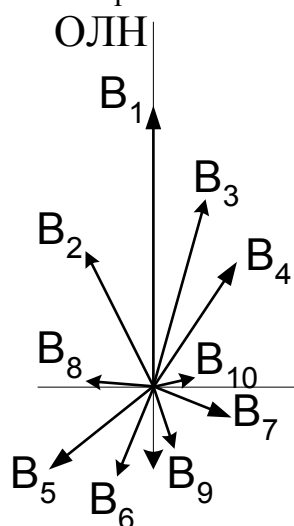


Рисунок 1 — Векторы магнитных моментов ферромагнитного образца при отсутствии внешнего поля

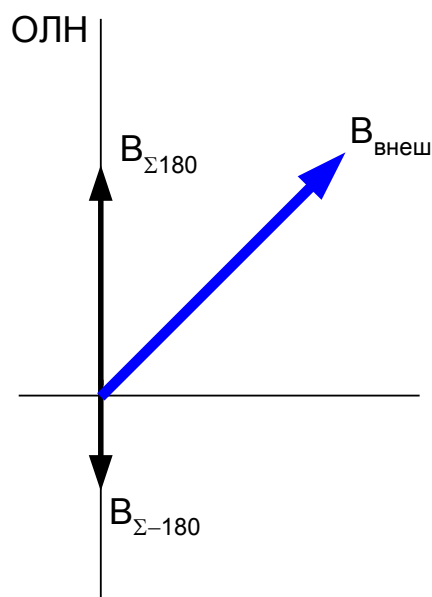


Рисунок 2 — Изменение расположения магнитных моментов при появлении внешнего поля

Домены, магнитные моменты которых до появления поля были расположены не по ОЛН, а под некоторым углом, изменяют свое направление и выстраиваются по оси, таким образом, образуя два суммарных антипараллельных вектора со 180° соседством — $B_{\Sigma 180}$ и $B_{\Sigma -180}$. Антипараллельность векторов магнитных моментов достаточно исследована [5]. Количественно эти векторы не будут равны друг другу, поскольку количество доменов, вектор индукции которых направлен по направлению внешнего поля будет иным, чем доменов, вектор индукции которых направлен противоположно полю. Очевидно, что будут присутствовать пара результирующих векторов между собственным магнитным вектором доменов $B_{\Sigma 180}$ и вектором вызванным внешним полем $B_{\text{внеш}}$ — обозначим его $B_{V_{rez1}}$, а также магнитным вектором составляющим антипараллельные домены $B_{\Sigma -180}$ и тем же вектором внешнего поля $B_{\text{внеш}}$ — обозначим его $B_{V_{rez2}}$ (рис. 3). Также очевидно, что суммарные векторы $B_{V_{rez1}}$ и $B_{V_{rez2}}$ находятся под определенным углом по отношению друг к другу — φ . Поскольку присутствуют два вектора, то в наведенном выходном сигнале также будут присутствовать две составляющие, которые будут искажать его синусоидальную форму.

Под воздействием силы происходит определенная деформация структуры кристаллической решетки ферромагнитного материала и, следовательно, изменение механического момента. Это силовое воздействие также смещает и ось намагничивания. Естественно, под воздействием силы происходит и деформация доменов — расположенные перпендикулярно воздействию вектора силы домены сжимаются в поперечном направлении и домен удлиняется, таким образом, увеличивается их механический момент. Согласно известному факту связи механического и магнитного моментов при воздействии внешнего усилия на ферромагнитный материал происходит изменение и магнитного момента. Если механический момент увеличивается то и магнитный момент также увеличивается. пропорциональная силе деформация образца, его кристаллической решетки. Это касается как доменов, индукцию которых характеризует вектор. Таким образом, вектор $B_{V_{\Sigma 180}}$ увеличится на величину $B_1(F)$ а вектор $B_{V_{\Sigma -180}}$ увеличится на величину $B_2(F)$, причем $B_1(F) \neq B_2(F)$. Это естественно вызовет увеличение и суммарных векторов B_{rez1} и B_{rez2} .

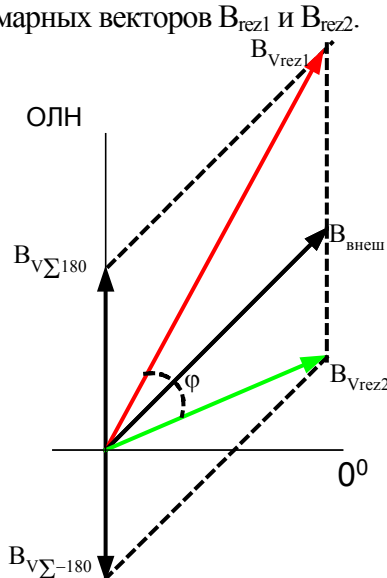


Рисунок 3 — Диаграмма антипараллельности векторов магнитных моментов для горизонтальных пластин ФоМП при нулевой силовой нагрузке

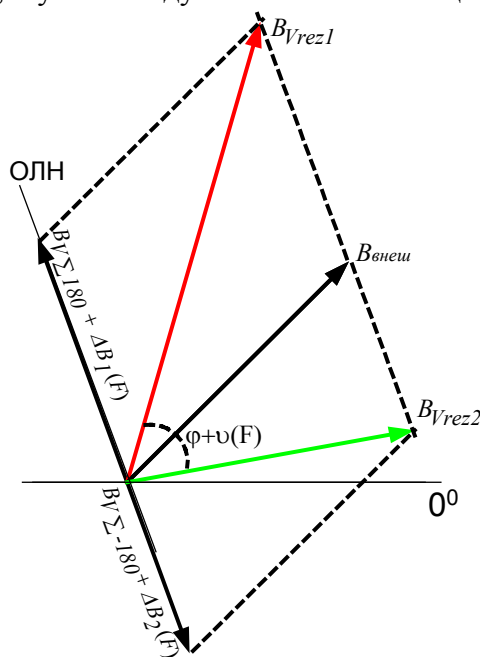
А поскольку смещается ось намагничивания, по которой ориентированы векторы $B_{V_{\Sigma 180}}$ и $B_{V_{\Sigma -180}}$, а направление вектора внешнего поля остается постоянным и по уровню и по направлению, то изменится угол между суммарными векторами на некоторую величину ν (рис. 4).

На рис. 4 показан принцип действия ФоМП. При увеличении нагрузки увеличиваются собственные векторы доменов, и они меняют свою главную ось ОЛН, т.е. смещается ось легкого намагничивания. В результате чего увеличиваются и суммарные векторы — $B_{V_{rez1}}$ и

B_{Vrez2} (при постоянном векторе внешнего поля) и угол между ними. Это хорошо подтверждается экспериментом [6]. На рис. 5 показано, что происходило бы под воздействием силы по вертикальной оси, если бы вектора доменов не изменяли свой угол. При увеличении силы видно, что вектор B_{Vrez1} растет, угол также растет, а вектор B_{Vrez2} уменьшается.

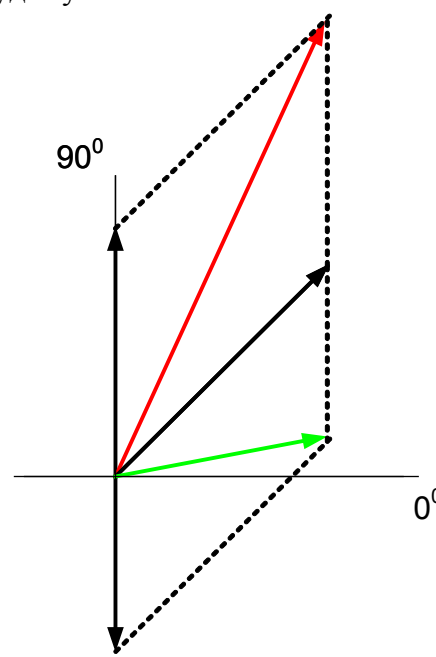
Из вышесказанного можно сделать следующие выводы:

Выходной сигнал горизонтальных пластин, который является наведенной э.д.с. будет сниматься с вертикальной обмотки, поскольку векторы индукции и напряжения расположены под углом 90° друг к другу. Поскольку изменение наведенной э.д.с. повторяет закон изменения индукции, то можно сказать, что выходной сигнал будет содержать две составляющие, неравные по величине и сдвинутые по отношению одна к другой на определенный угол. При увеличении нагрузки на преобразователь, обе составляющие будут увеличиваться, поскольку их начальные значения не были равны, то и скорость их изменения по нагрузке также будет неодинаковой, и угол между этими составляющими также будет увеличиваться.



при некоторой силовой нагрузке

Рисунок 4 — Диаграмма векторов магнитных моментов, поясняющая принцип действия ФоМП



при некоторой силовой нагрузке

Рисунок 5 — К уточнению принципа действия ФоМП

Рассмотрим поведение векторов для вертикальных пластин. Их ОЛН располагается по горизонтали. Тогда для нулевой нагрузки векторная диаграмма будет выглядеть следующим образом (рис. 6). При воздействии же силы на горизонтальные пластины уменьшаются и суммарные векторы, и угол между ними, что так же подтверждается экспериментом (рис. 7) [7].

Выводы

1. Проведенный анализ теоретических и экспериментальных исследований свойств ферромагнетиков позволил выявить связь между механическим и магнитным моментом частиц и значение спина в возникновении магнетизма.
2. Доказана гипотеза, что изменение вектора механических моментов атомов, составляющих домены материала ферромагнитного преобразователя, вызываемое внешними механическими напряжениями, вызывает пропорциональное гиромагнитному отношению изменение векторов спиновых магнитных моментов этих атомов. Последнее обстоятельство обуславливает принцип действия ферромагнитных первичных преобразователей.
3. Выходной сигнал ферромагнитного преобразователя будет содержать две составляющие, неравные по величине и сдвинутые по отношению одна к другой на определенный

угол. При увеличении нагрузки на преобразователь, обе составляющие будут увеличиваться, поскольку их начальные значения не были равны, то и скорость их изменения по нагрузке также будет неодинаковой, и угол между этими составляющими также будет увеличиваться.

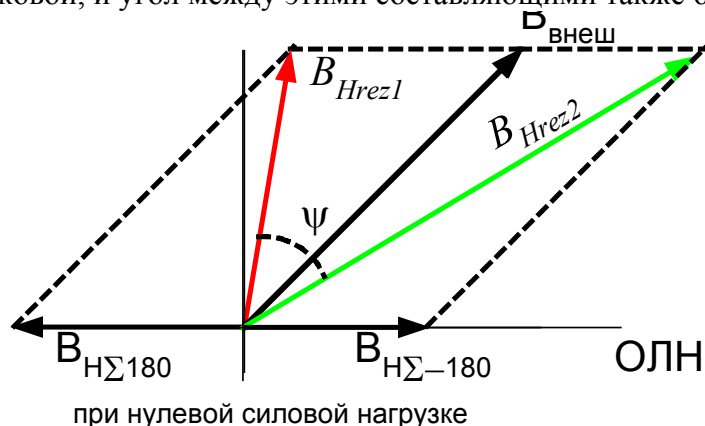


Рисунок 6 — Диаграмма векторов магнитных моментов вертикальных пластин

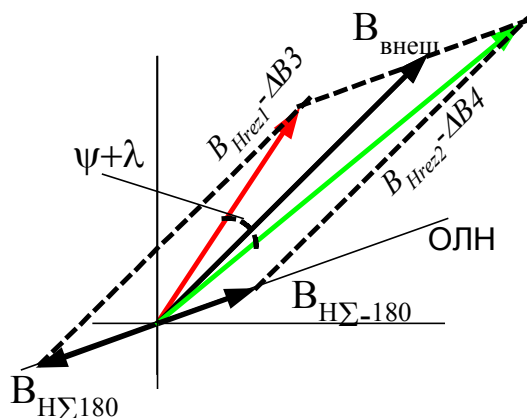


Рисунок 7 — Диаграмма векторов магнитных моментов горизонтальных пластин при воздействии силы

Литература

1. Вонсовский С.В. Магнетизм. Магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро- и ферримагнетиков. — М.: Наука, 1971. — 1032 с.
2. Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма. — М.: Наука, 1987. — 287 с.
3. Киренский Л.В. Магнетизм. — М.: Наука, 1967. — 435 с.
4. Пилипенко А.Т., Починок С.В., Серeda Г.Н. Справочник по элементарной химии. — К.: Наукова думка, 1985. — 560 с.
5. Бауман Э. Измерение сил электрическими методами. М.: Мир, 1978. — 430 с.
6. Чичикало Н.И. Структурно-алгоритмические принципы построения ИИС напряженно-деформированных объектов. — Донецк: РИА ДонГТУ, 1998. — 178 с.
7. Ларин В.Ю. Математический анализ результатов экспериментальных исследований формы выходного сигнала ферромагнитного преобразователя//Радиоелектронні і комп'ютерні системи, вип. 1 (2008). Харьков: изд. «ХАИ», 2008р. — С. 36–40.
8. Ларин В.Ю., Квасников В.П.. Исследование сигналов ферромагнитного преобразователя с помощью программной лаборатории NI LabView//Вісник НАУ. №1(32). К.: вид. НАУ, 2008р. — С. 42–48.

Здано в редакцію:
19.03.2009р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н, проф. Чичикало Н.І.