

УДК 519.711.3

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КОЛЬЦЕВЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЛИНЕЙНЫХ ИЛИ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Ю.Н. Слесарев¹, А.Н. Саламатин²

¹ профессор кафедры "Автоматизация и управление", д.т.н., Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: SlesarevUN@gmail.com

² аспирант гр.19ТИ, Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: salamatin1994@yandex.ru

Аннотация. в статье подробно рассмотрен анализ основных факторов, влияющих на формирование магнитных полей магнитоstrictionных преобразователей линейных или угловых перемещений при использовании в них кольцевого постоянного магнита. Выполнен анализ влияния каждого фактора. Выведены расчетные формулы по расчету напряженностей магнитных полей, созданных кольцевым постоянным магнитом.

Ключевые слова: моделирование, магнитоstrictionция, магнитоstrictionный преобразователь, преобразователь угловых перемещений, магнитное поле, математическое моделирование магнитных полей.

STUDY OF THE MAGNETIC FIELD STRENGTH OF THE RING PERMANENT MAGNETS OF MAGNETOSTRICTION CONVERTERS OF LINEAR OR ANGULAR MOVEMENTS

Yu.N. Slesarev¹, A.N. Salamatin²

¹ Ph.D., Professor, Department of Automation and Control, Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: SlesarevUN@gmail.com

² postgraduate, Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: salamatin1994@yandex.ru

Abstract. The article discusses in detail the analysis of the main factors affecting the formation of magnetic fields of magnetostrictive converters of linear or angular displacements when using an annular permanent magnet in them. The analysis of the influence of each factor is carried out. Calculation formulas are derived for calculating the magnetic field strengths created by a ring permanent magnet.

Keywords: modeling, magnetostriction, magnetostrictive transducer, angular displacement transducer, magnetic field, mathematical modeling of magnetic fields.

Введение. Бурное развитие науки и техники невозможно без разработок, исследований и внедрения новых приборов и устройств, предназначенных для контроля и диагностики механизмов и сооружений во всех видах

производственной деятельности. К таким приборам относятся преобразователи угловых перемещений, предназначенные для определения углов наклона объекта. Преобразователи угловых перемещений используются для определения положения различных высотных сооружений, плотин, для определения величины прогибов и деформаций различного рода опор и балок, контроля углов наклона автомобильных и железных дорог при их строительстве, ремонте и эксплуатации, определения угла наклона дорожных грейдеров, асфальтоукладчиков, подъемников, кранов и экскаваторов и т.д.

Для этих целей в последнее время все чаще находят применение магнитострикционные преобразователи угловых перемещений [1-6]. Их отличительными особенностями являются высокая точность, быстродействие, широкий диапазон преобразования, относительно невысокая себестоимость и простота реализации.

Цель работы.

Целью работы является исследование напряженности магнитного поля кольцевых постоянных магнитов магнитострикционных преобразователей линейных или угловых перемещений.

Материал и результаты исследований.

Магнитострикционные преобразователи угловых перемещений можно условно разделить на две основные группы – однокоординатные (ОМПУП) и двухкоординатные (ДМПУП). ДМПУП позволяют проводить одновременное измерение двух углов наклона объекта во взаимноперпендикулярных плоскостях относительно вертикали или горизонтали.

Следует отметить, что результирующее магнитное поле, формируемое ДМПУП, состоит из двух составляющих – созданной токовым импульсом при протекании им в среде волновода (ВЛ) и созданной постоянным магнитом (ПМ). Последняя составляющая представляет наибольший интерес, так как она зависит от множества факторов, основными из которых являются форма и размеры ПМ, а также значение остаточной намагниченности B_r и коэрцитивной силы H_C .

Задачей данной статьи является оценка влияния каждого из основных факторов, влияющих на формирование магнитного поля созданных кольцевым (КПМ) ПМ, используемых в ДМПУП методом математического моделирования. Это позволит улучшить характеристики ДМПУП и снизить его себестоимость.

Одним из способов аналитического преобразования уравнений магнитного поля является их предварительное сведение к уравнению относи-

тельно скалярного магнитного потенциала [4]. Данный метод расчета является наиболее эффективным, так как скалярными здесь являются не только рассчитываемая величина, но и решаемое уравнение в целом.

Для моделирования магнитных полей, созданных кольцевым ПМ, воспользуемся формулой проекции вектора напряженности магнитного поля на ось Z, созданного ПМ радиусом R_M и высотой h_M для КПМ:

$$H_z(r) = 4h_M \cdot M \int_{R_M}^{\infty} \frac{E(k_2) \rho \cdot d\rho}{[(r - \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}] \cdot [(r + \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}]^{\frac{1}{2}}}, \quad (1)$$

где $E(k_2) = \int_0^{\pi} \sqrt{1 - k_2^2 (\sin \varphi)^2} d\varphi$ - полный эллиптический интеграл

второго рода, $k_2^2 = \frac{4 \cdot r \cdot \rho}{(r + \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}}$.

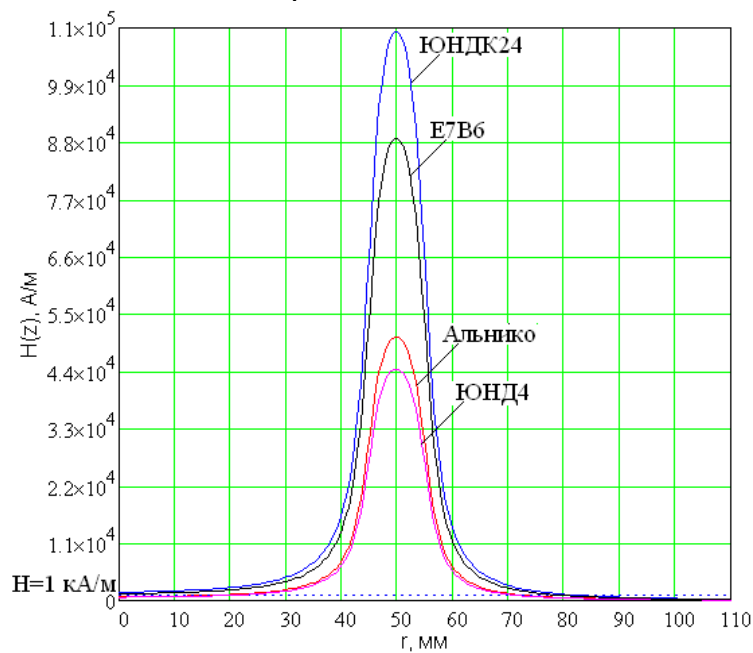


Рисунок 1 – Зависимость напряженности магнитного поля от высоты КПМ

На основании формулы (1) можно сделать вывод, что напряженность магнитного поля, созданная ПМ в разной степени зависит от его размеров и величины остаточной намагниченности.

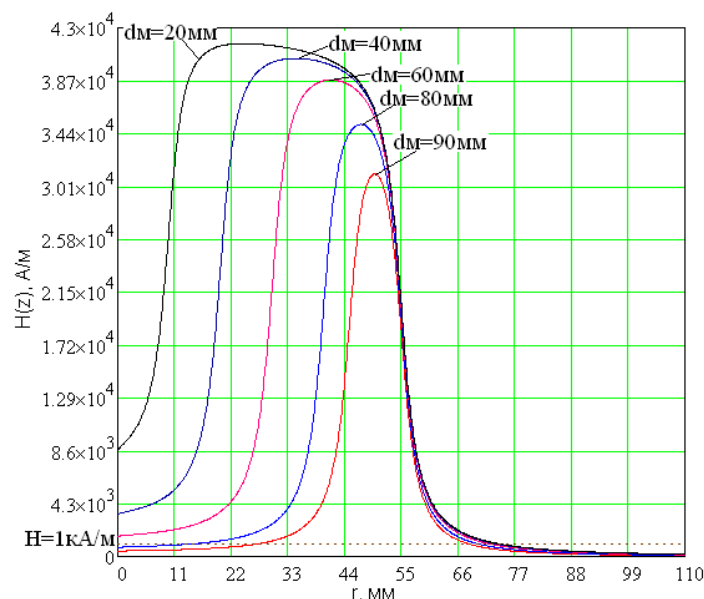


Рисунок 2 – Зависимость напряженности магнитного поля от внутреннего диаметра КПМ

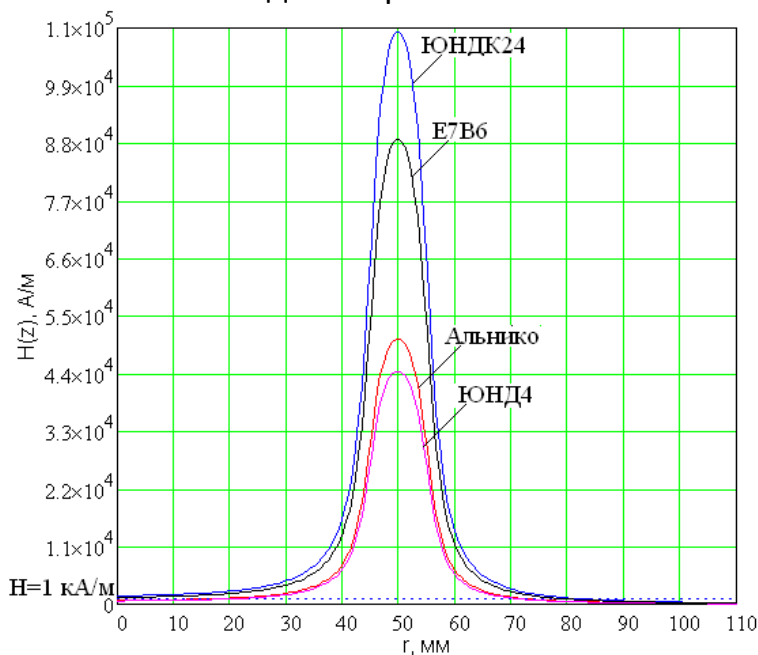


Рисунок 3 – Зависимость напряженности магнитного поля от марки КПМ

Это также наглядно демонстрируют результаты моделирования зависимостей напряженности магнитного поля, созданные кольцевым ПМ от высоты h_M (рисунок 1), внутреннего диаметра d_M КПМ (рисунок 2) а также марки ПМ (рисунок 3). Для моделирования в качестве основного был выбран СПМ с размерами $D_M \times d_M \times h_M = 110 \times 90 \times 5$ мм соответственно со значением остаточной индукции $B_r = 0,35$ Тл. Моделируемое значение напряженности определялось вдоль оси абсцисс, совмещенной с центром ПМ.

Анализ результатов моделирования, приведенных на рисунках 1–3, позволяет сделать вывод, что наиболее эффективным способом изменения

напряженности магнитного поля вне ПМ является изменение значения остаточной индукции, определяемой маркой ПМ и высоты.

Изменение диаметра ПМ при значениях $D_M - d_M > 5\text{мм}$ сопровождается незначительным изменением значения напряженности магнитного поля вне ПМ. Поэтому дальнейшее увеличение этого значения является необоснованным.

Также необходимо отметить, что максимальное значение напряженности магнитного поля было зафиксировано на расстояниях от центра ПМ вдоль оси абсцисс $r = \frac{d_M + D_M}{4}$.

Вывод. Таким образом, полученные в результате теоретического исследования математические формулы позволяют найти оптимальное значение параметров конструкции, что позволяет подобрать оптимальное значение массы и габаритов ДМН, уменьшая при этом его себестоимость изготовления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов А.А. Исследование изменения быстродействия при удаленном подключении по сети интернет к рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 3 (31). С. 173-178.
2. Мартышкин А.И., Бикташев Р.А., Воронцов А.А. Численный метод для определения пропускной способности приоритетного потока заявок в многопроцессорной системе с общим диспетчером задач по каждому конкретному типу приоритета. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ. - 2014. № 3 (19). С. 137-145.
3. Прошкин В.Н. Конструкторско-технологические способы совершенствования магнитоотрицательных преобразователей линейных перемещений для специальных условий эксплуатации: Дис....канд. техн. наук. – Астрахань, 2007. – 229 с.
4. Воронцов, А.А. Двумерная модель формирования сигнала воспроизведения магнитоотрицательного наклономера / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. – С. 462–466.
5. Воронцов, А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитоотрицательных наклономеров, содержащих кольцевой или сплошной постоянный магнит / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Э.В. Карпунин // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. С. 467–472.
6. Прецизионные сплавы. Справочник /Под ред. Молотилова Б.В. -М.: Metallurgy, 1983.-439 с.