

СРАВНЕНИЕ ОСЕВОЙ КОМПОНЕНТЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СПЛОШНОГО И КОЛЬЦЕВОГО МАГНИТА

СЛЕСАРЕВ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

Кафедра прикладной и бизнес-информатики ФГБОУ ВО «Пензенский казачий институт технологий (филиал) ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет)», ул. Кирова 2а кв.42, 440026, Пенза, Российская Федерация, e-mail:slesarevun@gmail.com, телефон: +79050169845

Аннотация.

В работе приводится сравнение осевых компонент магнитного поля сплошного и кольцевого постоянного магнита, намагниченного перпендикулярно плоскости, дается объяснение эффекту изменения направления магнитного поля магнита кольцевой формы. Объектом исследования является поведение составляющей магнитного поля вдоль оси магнита. Было впервые получено объяснение изменению знака напряженности магнитного поля кольцевого постоянного магнита при изменении вдоль оси ординат, совмещенной с его центром. Было обнаружено, что с увеличением расстояния вдоль оси ординат на расстоянии над поверхностью оснований постоянного магнита преобладает магнитное поле от магнита с меньшим радиусом, которое постепенно уменьшается за счет влияния магнита с большим радиусом. Полученные результаты могут быть использованы при конструировании магнитных систем многочисленных датчиков и приборов.

Ключевые слова: математическое моделирование, кольцевой магнит, осевая компонента магнитного поля, вычислительный эксперимент, магнитное поле, напряженность магнитного поля, сравнение, численное значение.

Введение

Интуитивно понятно, что с увеличением расстояния от поверхности сплошного постоянного магнита величина напряженности магнитного поля должна монотонно уменьшаться. Очевидно, что и для магнита кольцевой формы подобное поведение напряженности магнитного поля должно выполняться. Качественный эксперимент показывает, что это не так [1]. Для устранения этого противоречия теоретически исследуем поведение перпендикулярной компоненты магнитного поля двух типов магнитов на его оси намагниченного перпендикулярно его плоскости.

Основная часть

Известно [2-5], что напряженность магнитного поля, создаваемого фиктивными поверхностными зарядами с плотностью $\sigma_M' = M$, дается выражением

$$\vec{H} = \int \frac{dp_m}{R_1^2} \cdot \vec{R}_0, \quad (1)$$

где $dp_m = \vec{n} \cdot \vec{M} \cdot ds$;

$\vec{R}_0$ – единичный вектор в направлении $\vec{R}_1$;

$\vec{M}$ – вектор намагниченности.

Перпендикулярная к поверхности магнита составляющая поля выразится из (1):

$$H_z = \vec{H} \cdot \vec{n}.$$

где $\vec{n}$ - единичная нормаль к плоскости магнита.

Интегрируя (1) по поверхностям расположения магнитных зарядов для магнита кольцевой формы получим компоненту напряженности магнитного поля, перпендикулярной плоскости магнита

$$H_{mz}(r, z) = \frac{1}{4\pi} [H_{z2}(r, z) - H_{z1}(r, z)] \quad (1)$$

где

$$H_{z2}(r, z) = 4 \cdot \int_{R1}^{R2} M \cdot \rho \cdot z \cdot E2(k2) \cdot \frac{1}{[(r - \rho)^2 + z^2] \cdot \sqrt{(r + \rho)^2 + z^2}} d\rho,$$

$$H_{z1}(r, z) = 4 \cdot \int_{R1}^{R2} M \cdot \rho \cdot (z - h) \cdot E2(k1) \cdot \frac{1}{[(r - \rho)^2 + (z - h)^2] \cdot \sqrt{(r + \rho)^2 + (z - h)^2}} d\rho,$$

$E2(k) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2(\varphi)} \cdot d\varphi$ – полный эллиптический интеграл второго рода [8-12],

$$k1 = \frac{4 \cdot r \cdot \rho}{(r + \rho)^2 + (z - h)^2}, \quad k2 = \frac{4 \cdot r \cdot \rho}{(r + \rho)^2 + z^2},$$

r – расстояние от центра постоянного магнита до точки наблюдения, $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$,

z – координата в направлении, перпендикулярном плоскости магнита,

ρ – полярный радиус, определяемый расстоянием от центра постоянного магнита до точки, лежащей на его верхней или нижней поверхности, $\rho = \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}$ [13-18].

$H_{mz}(r, z)$ – осевая составляющая поля кольцевого магнита с намагниченностью M и радиусами $R11$ и $R22$.

При $R11=0$ магнит из кольцевого становится сплошным [19-20].

Модели для анализа величин магнитных полей для сплошного и кольцевого магнита приведены соответственно на рис.1 и 2.

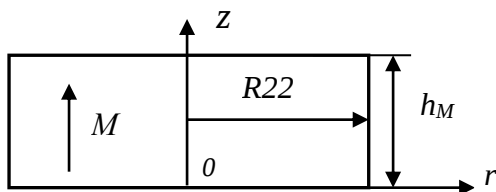


Рис. 1. Модель для анализа магнитного поля сплошного магнита

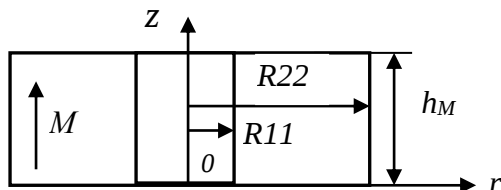


Рис. 2. Модель для анализа магнитного поля кольцевого магнита

Результат численного анализа выражения (1) для сплошного кольцевого магнита приведен на рисунке 3.

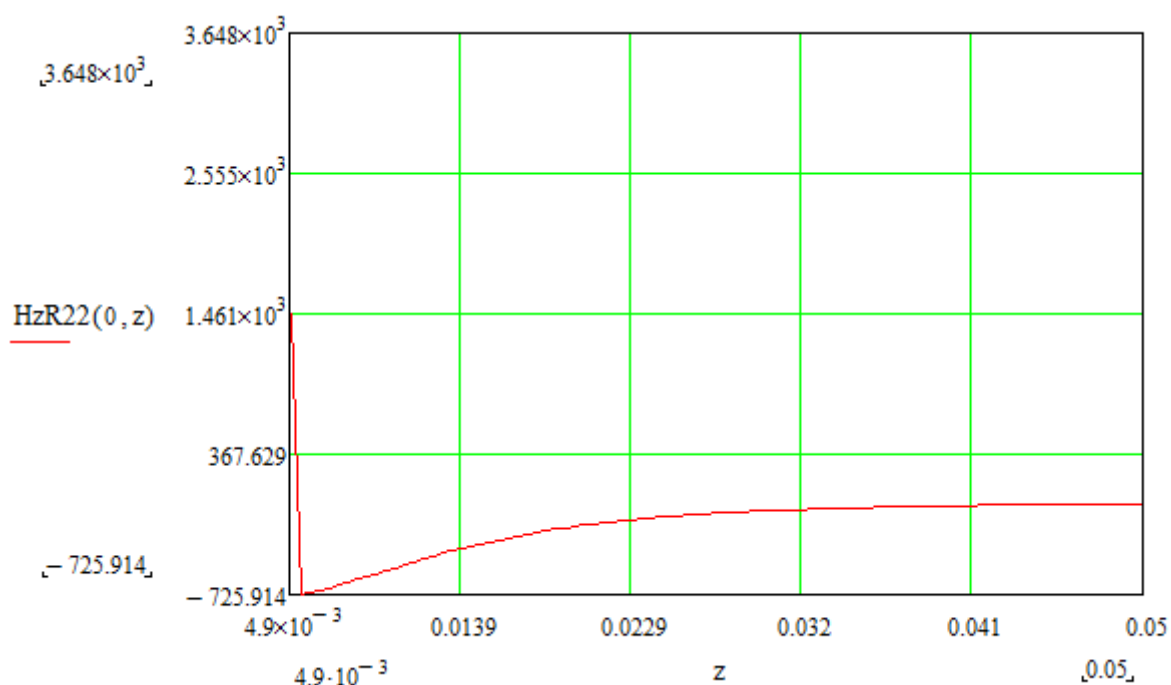


Рис. 3. Результаты численного анализа величины напряженности магнитного поля сплошного магнита в Э при $R22=14$ мм, $h_M=5$ мм, $B=0.22$ Тл. Координата z измеряется в м. Координата $z=5 \times 10^{-3}$ м соответствует верхней кромке магнита, модель которого изображена на рис.1.

Из рисунка хорошо видно, что перпендикулярная компонента напряженности магнитного поля в центре сплошного магнита на расстоянии, равном толщине магнита $h_M=5$ мм резко меняет знак, достигая отрицательного значения и затем монотонно уменьшается с увеличением расстояния вдоль координаты z , стремясь к нулю. Такое поведение перпендикулярной компоненты напряженности магнитного поля сплошного магнита качественно вполне ожидаемо.

Результаты численного анализа выражения (1) для кольцевого магнита, изображенного на рисунке 2 и приведены на рисунке 4.

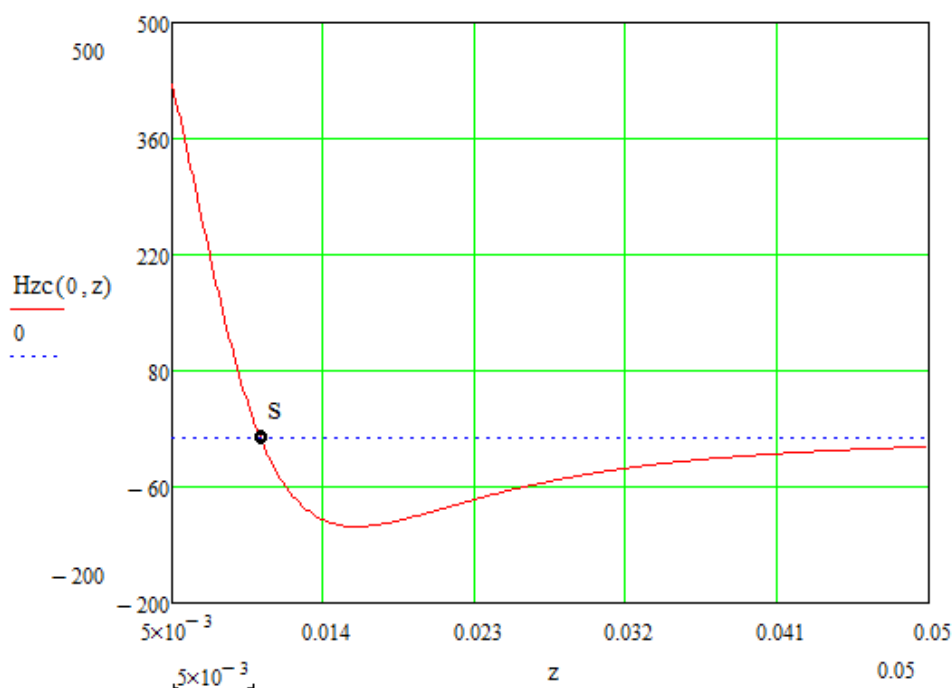


Рис. 4. Результаты численного анализа величины напряженности магнитного поля сплошного магнита в Э при $R11=8$ мм, $R22=14$ мм, $h_M=5$ мм, $B=0.22$ Тл. Координата $z=5 \times 10^{-3}$ м соответствует верхней кромке кольцевого магнита, модель которого изображена на рис.2.

Из рисунка видно, что перпендикулярная компонента напряженности магнитного поля в центре кольцевого магнита с увеличением координаты z меняется монотонно, но в точке s , расположенной на расстоянии, значительно превышающем толщину магнита h_M меняет знак, достигая отрицательного значения, проходит отрицательный максимум и затем монотонно приближается к нулю. Такое поведение компоненты напряженности магнитного поля можно объяснить представлением кольцевого магнита, состоящим из двух сплошных магнитов разных радиусов и намагниченных в противоположные стороны, как изображено на рис.5.

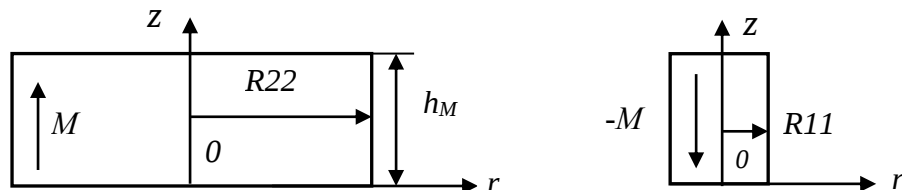


Рис. 5. Модель кольцевого магнита

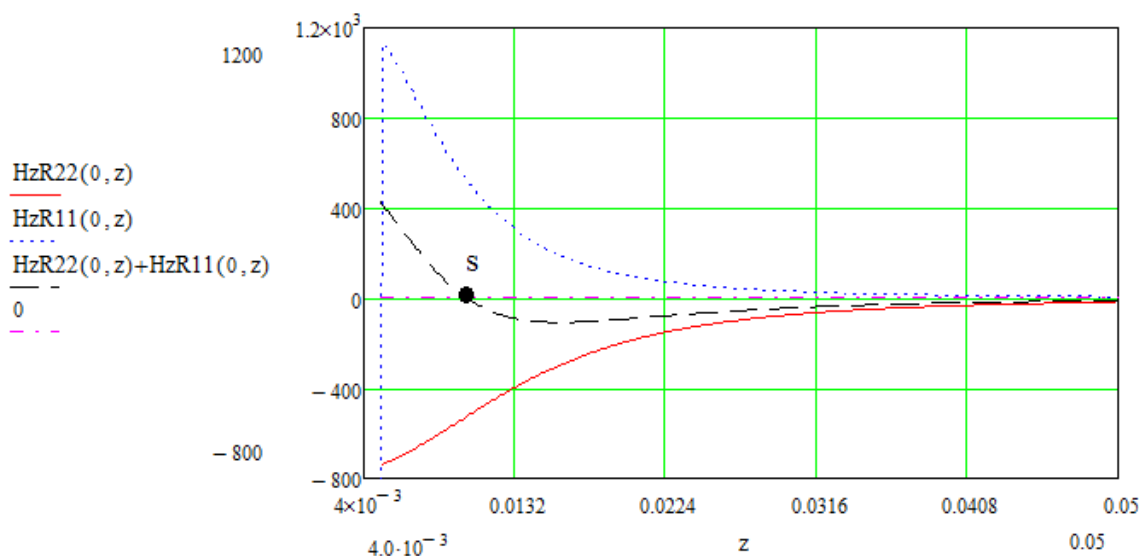


Рис. 6. Результаты моделирования представления кольцевого магнита суммированием полей сплошных магнитов. $R11=8$ мм, $R22=14$ мм, $h_M=5$ мм

Из рисунка 6 хорошо видно, что с увеличением расстояния вдоль оси OZ при $z > h_M$ преобладает магнитное поле от магнита с меньшим радиусом $R11$, которое постепенно уменьшается за счет влияния магнита с большим радиусом $R22$. В точке смены знака (пунктирная кривая) поля равны и направлены в противоположные стороны. При удалении от точки смены знака также преобладает поле от сплошного магнита с радиусом $R22$.

На положение точки s влияют геометрические размеры магнитов. Количественно ее положение можно рассчитать, полагая равным нулю выражение (1).

Закключение

Результаты натурального эксперимента приведены в [6]. Они качественно и количественно согласуются с предложенной моделью и результатами численного моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- [1] Остриков М. Ф. Новые проявления магнетизма. Санкт-Петербург, 1994.
- [2] Brown W.F. Magnetostatic principles in ferromagnetism. - N.Y.: North Holland Publishing Company, 1962. – 202 p.
- [3] Воронцов А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных наклонеров, 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.

- [4] Слесарев Ю.Н. Реверсивные методы записи для оптических дисковых накопителей: Дис....д-ра техн. наук. – Пенза, 2004. – 342 с
- [5] Расчет электрических цепей и электромагнитных полей на ЭВМ/ М.Г. Александрова, А.Н. Белянин, В Брюкнер и др.: Под ред. Л.В. Данилова и Е.С. Филиппова. – М.: Радио и связь, 1983. – 344 с.
- [6] Слесарев Ю.Н., Воронцов А.А. Исследование осевой компоненты магнитного поля кольцевого магнита XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего *плюс*-Пенза,2018.- Т. 7. №4 (44), С.92-96

COMPARISON OF THE AXIAL COMPONENTS OF A MAGNETIC FIELD COMPOSITE AND RING MAGNET

SLESAREV YURY NIKOLAEVICH

Department of Applied and Business Informatics FSBEI HE "Penza Cossack Institute of Technology (branch) FSBEI HE «Moscow State University of Technology and Management. KG Razumovsky (First Cossack University)» ul. Kirova 2a kv.42, 440026, Penza, Russian Federation, e-mail: slesarevun@gmail.com, phone: +79050169845

Annotation.

This paper compares the axial components of the magnetic field of a continuous and an annular permanent magnet magnetized perpendicular to the plane, and explains the effect of changing the direction of the magnetic field of a magnet of an annular shape. The object of the research is the behavior of the magnetic field component along the magnet axis. The explanation for the change in the sign of the intensity of the magnetic field of a ring permanent magnet when changing along the ordinate axis aligned with its center was first obtained. It was found that with increasing distance along the ordinate axis at a distance above the base surface of the permanent magnet, the magnetic field from the magnet with a smaller radius prevails, which gradually decreases due to the influence of a magnet with a larger radius. The results obtained can be used in the design of magnetic systems of numerous sensors and instruments.

Keywords: mathematical modeling, ring magnet, axial component of the magnetic field, computational experiment, magnetic field, magnetic field strength, comparison, numerical value.