

УДК 621.3.013.22

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ СОЗДАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ, ОДНОРОДНОГО В ОБЪЕМЕ ШАРА

Милюков В.В.

Для создания однородного магнитного поля в технике научного эксперимента обычно используют катушки Гельмгольца, в простейшем случае представляющие собой два круглых витка с однонаправленными токами, расположенными соосно и на строго определенном расстоянии, равном радиусу витка.

В работе [1] приведены компьютерные расчеты области, в которой степень неоднородности поля не превышает заданную величину. Результаты работы представлены в удобной для инженерного пользователя безразмерной форме, позволяющей быстро оценивать размеры этой области для реальных катушек конечного сечения с витками круглой, квадратной и прямоугольной формы.

В данной работе оптимизировано устройство, позволяющее повысить степень однородности поля по сравнению с катушками Гельмгольца, по крайней мере, на порядок. Идея такого устройства не является новой, и разрабатывалась ранее И.П. Стадником, Л.А. Цейтлиным. Суть заключается в эквивалентности магнитного поля однородно намагниченного тела и поля, наведенного витками с токами, распределенными по поверхности этого тела с плотностью  $\vec{j}_{нов} = [\vec{M}, \vec{n}]$ . Здесь  $\vec{M}$  - вектор намагниченности,  $\vec{n}$  - внешняя нормаль к поверхности.

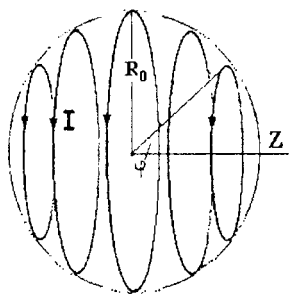


Рис.1. Устройство для создания однородного поля

Если учесть, что однородно намагниченный шар создает внутри себя однородное поле, то становится ясным, что для создания однородного поля достаточно на поверхности сферы разместить, например, через равные угловые интервалы витки и пропустить по ним токи, величина которых должна уменьшаться при приближении к оси симметрии поля по закону  $\sin\varphi$ , где  $\varphi$  - угол между радиус-вектором точки и осью симметрии Z, Рис.1.

Задача, решаемая в данной работе, заключается в расчете максимально достижимой степени однородности поля, при использовании небольшого фиксированного количества витков с токами оптимальной величины.

Выражения для индукции магнитного поля, наведенного круглым витком с током, имеют вид [2]:

$$B_r = 2 \mu_0 I \frac{z}{r \sqrt{z^2 + (r + R)^2}} \left[ \frac{z^2 + r^2 + R^2}{z^2 + (r - R)^2} E(k) - K(k) \right],$$

$$B_z = 2\mu_0 I \frac{1}{\sqrt{z^2 + (r+R)^2}} \left[ \frac{R^2 - z^2 - r^2}{z^2 + (r-R)^2} E(k) + K(k) \right], \quad k^2 = \frac{4 \cdot \rho \cdot R}{(\rho+R)^2 + z^2},$$

где  $r, z$  - цилиндрические координаты точки наблюдения,  $\mu_0$  - магнитная постоянная,  $I$  - величина тока,  $K(k), E(k)$  - полные эллиптические интегралы, для вычисления которых использовалось полиномиальное разложение [3].

Для анализа однородности поля использовалось максимальное относительное отклонение величины поля от его среднего значения в исследуемой области.

В качестве такой области выбран шар переменного радиуса  $a$ .

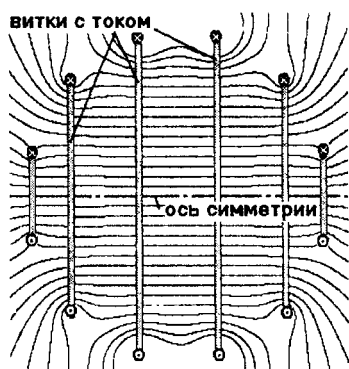


Рис.2. Пример компьютерной реализации

Например, для графика, соответствующего 20 виткам видно, что область, в которой неоднородность поля не превышает 0,1%, ( $\lg(err) = -4.0$ ), составляет  $a < 0.7 R$ , при этом размер устройства примерно в 7 раз меньше соответствующих катушек Гельмгольца.

Оптимизированная сферическая катушка может быть использована вместо катушек Гельмгольца либо для увеличения однородности поля, либо для уменьшения размеров системы, создающей поле.

На Рис.2 изображена картина магнитного поля, наведенного шестью витками с оптимальными токами. На Рис.3 представлены графики десятичного логарифма максимального отклонения поля от его среднего значения в зависимости от относительного размера области, в которой оценивается поле.

На основании этих графиков можно сделать вывод, что использование шести витков позволяет повысить степень однородности поля на порядок, а десяти витков на два порядка по сравнению с катушками Гельмгольца. Обращаем внимание на представление результатов на Рис.3 в безразмерной форме. Инженеру, проектирующему устройство, в котором необходимо обеспечить однородное поле в заданном объеме и с заданной погрешностью полностью достаточно информации, содержащейся на этих графиках.

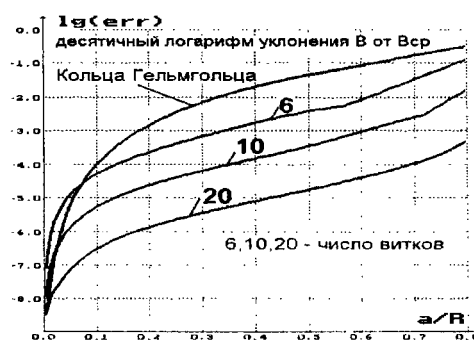


Рис.3. Графики неоднородности поля

### Список литературы

1. В.В. Милюков, М.А. Солдатов. Вычисление области однородного поля для реальных намагничивающих систем // Ученые записки Симферопольского госуниверситета №2 (41). 1999.
2. Батыгин В.В., Топтыгин И.Н. Сборник задач по электродинамике М.: Наука, 1970, 504 с.
3. Справочник по специальным функциям / Под ред. М. Абрамовица, И. Стиган. - М.: Наука, 1979, 943 с.

Поступила в редакцию 11.11.2002 г.