

УДК 621.187.12: 628.16.08

**МЕТОД СОЗДАНИЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ
СОЛЕНОИДАЛЬНОГО ТИПА С ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ НАПРАВЛЕНИЕМ
ВРАЩЕНИЯ**

*Житник Н.Е., н.с., Плаксин С.В., д.ф.-м.н., Погорелая Л.М., м.н.с., Соколовский И.И., к.ф.-м.н.
Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг»
49005, г. Днепрпетровск, ул. Писаржевского, 5*

E-mail: plm@westa-inter.com

Яшин А.А., д.т.н., проф.

Тульский государственный университет

300600, г. Тула, пр. Болдина, 126

E-mail: ninmt@mednet.com

Обговорується метод синтезу обертових магнітних полів, які створюються комбінацією трьох взаємно ортогональних соленоїдальних контурів, що живляться змінним струмом. Показана можливість побудови магнітоформуючої системи зі змінним напрямом обертання магнітного поля, що дозволяє в практичних реалізаціях врахувати хіральну дисиметричність молекул речовин, які підлягають обробці магнітним полем.

Ключові слова: обертове магнітне поле, соленоїдальні контури, обмотки.

The method of synthesis of the revolved magnetic fields, created by combination the three is mutual ortogonalnih solenoidalnih contours zapitivaemih by an alternating current, comes into question. Possibility of construction of the magnitoformiruyushey system with changing direction of rotation of the magnetic field, allowing in practical realization to take into account hiralnuyu disimmetrichnost molecules of matters, subject to treatment by the magnetic field, is shown.

Key words: revolved magnetic field, solenoidalnie contour, puttees.

Введение. В современных производствах широко используются аппараты и аппаратурные комплексы, в которых энергия физических полей – магнитных, электрических, электромагнитных, акустических и их комбинаций – обеспечивает перемешивание жидкостей и газов, сухое измельчение твердых веществ, перемешивание твердых сыпучих материалов, измельчение твердых веществ в жидких дисперсионных средах, активацию поверхности частиц твердых веществ, изменение темпа физических и химических реакций, флотации, электролиза, микробиологического синтеза, интенсификацию тепла и массообмена и т.д., то есть указанные поля могут эффективно участвовать в реализации и ускорении ряда технологических процессов, используемых, в частности, при создании транспортных и энергетических систем.

Анализ предыдущих исследований. В современных технологических процессах широко используются магнитные поля [1-9]. В [10, 11] показана возможность эффективного использования в ряде технологических процессов переменных магнитных полей сложной поляризационной структуры на базе комбинации подвижных и неподвижных постоянных высококоэрцитивных магнитов (магнитоидов), преимущественно систем самарий-кобальт и неодим-железо-бор, позволяющих учитывать для обрабатываемых веществ пространственную и зарядо-

вую асимметрию молекул и их агрегаций и таким образом изменять физические характеристики материала или ход технологических процессов.

Дальнейшим развитием таких исследований является создание аппаратов, в которых модификация параметров вращающегося магнитного поля – амплитуды, частоты, направления вращения – могла бы осуществляться в динамическом режиме, в том числе и программируемым способом. Такие возможности могут быть обеспечены аппаратами с соленоидальной магнитоформирующей системой, в которой управление режимами работы реализуется вариацией параметров питающих токов.

Цель работы – разработка метода синтеза вращающихся магнитных полей, создаваемых комбинацией трех взаимно ортогональных соленоидальных контуров, запитываемых переменным током.

Материал и результаты исследования. Синтез магнитоформирующей системы. Исходя из априорных представлений о необходимой структуре магнитного поля, подходящая магнитоформирующая система была построена с использованием трех катушек, плоскости обмоток которых расположены перпендикулярно друг другу (рис. 1), и каждая из обмоток создает свое магнитное поле с индукциями, представленными на рис. 1 в виде векторов V_1, V_2, V_3 , при этом длина и направление каждого из векторов зависит от фазы и силы, протекающего

по токопроводу соответствующей катушки, тока. Векторы индукции направлены вдоль осей x, y, z декартовой системы координат, образуя стороны прямоугольного параллелепипеда. В каждый последующий интервал времени парциальные векторы меняют свою длину и направление (на рис. 1 – это векторы со штрихом (')).

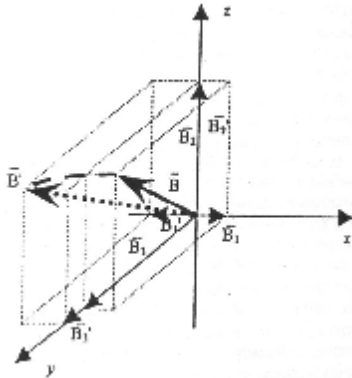


Рисунок 1 – Геометрическая сумма трех взаимно перпендикулярных векторов индукции

При питании катушек переменными токами, величина и частота которых может программироваться, нетрудно обеспечить режим, при котором конец вектора B_{Σ} будет двигаться по определенной пространственной кривой, программируемой путем задания во времени трех питающих токов, при этом начало этого вектора «закреплено» в геометрическом центре сферы, образованной указанными тремя катушками.

При размещении во внутренней полости сферы, как магнитоформирующей системы аппарата, обрабатываемого вещества, последнее будет подвержено влиянию таким образом синтезированного магнитного поля, параметры которого могут быть изменены в значительном интервале интенсивностей и частот.

Воспользуемся известными соотношениями зависимости величины индукции магнитного поля от приложенного к концам обмотки катушки, напряжения заданной частоты, именно:

$$B_{r0} = \frac{\mu\mu_0 NI}{2r}; I = \frac{U}{Z}; Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}; X_L = 2\pi fL \quad (1)$$

или

$$B_{r0} = \frac{\mu\mu_0 N}{2r\sqrt{R^2 + 4\pi^2 f^2 L^2}} U, \quad (2)$$

где B_{r0} – значение магнитной индукции в геометрическом центре катушки; I – ток, протекающий через катушку; N – число витков; μ_0 – магнитная постоянная; μ – относительная магнитная проницаемость среды; r – средний радиус намотки; R – активное сопротивление обмотки; L – индуктивность катушки; Z – полное сопротивление обмотки; X_L – индуктивное сопротивление; f – частота электриче-

ского сигнала; U – напряжение на концах обмотки.

При фиксированном значении частоты $f (f = f_{\text{фикс}})$, из (2) следует линейная зависимость индукции $B_{r0}(t)$ от напряжения $u(t)$:

$$B_{r0}(t) = \frac{\mu\mu_0 N}{2r\sqrt{R^2 + 4\pi^2 f_{\text{фикс}}^2 L^2}} u(t); \quad (3)$$

а изменение результирующего значения поля будет соответствующим образом варьироваться:

$$B_{r0}(t) = \frac{\mu\mu_0 N}{2r\sqrt{R^2 + 4\pi^2 (f(t))^2 L^2}} u(t). \quad (4)$$

То есть, если частота сигнала непостоянна, то зависимость индукции магнитного поля от напряжения на концах обмоток существенно нелинейная и вид функции электрического сигнала должен отличаться от вида функции магнитного поля на каждой из катушек (4); здесь $B_{r0}(t)$ – сложная функция, зависящая и от напряжения и от характера изменения частоты сигнала.

Рассмотрим наиболее типичную траекторию движения конца вектора индукции, именно – плоскую круговую траекторию и ее формирование с помощью трех катушек, схематично изображенных на рис. 2. Как видно из этого рисунка, вращающееся магнитное поле может быть представлено в виде суммы двух ортогонально ориентированных переменных магнитных полей. Значения $t_0 - t_{15}$ соответствуют временному расположению суммарного вектора магнитной индукции, создаваемого скрещенными магнитными полями векторов магнитной индукции B_1 и B_2 .

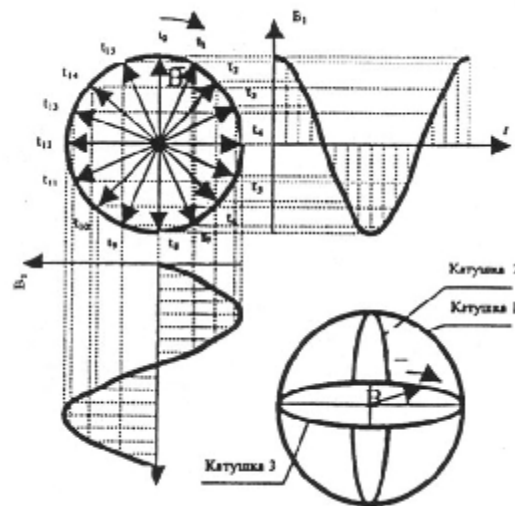


Рисунок 2 – Магнитное поле как сумма двух ортогональных переменных магнитных полей

Для получения вращающегося в плоскости катушки 3 магнитного поля необходимо, чтобы в катушке 1 создавалось магнитное поле, изменяющееся по закону косинуса, то есть:

$$B_1(t) = B_1 \cos(\omega t), \quad (5)$$

а в катушке 2 – магнитное поле той же амплитуды и частоты, изменяющееся по синусоидальному закону:

$$B_2(t) = -B_1 \sin(\omega t) = B_1 \cos(\omega t + 90^\circ). \quad (6)$$

То есть, для получения круговой траектории движения конца вектора магнитной индукции, лежащего в плоскости одной из катушек, на концы двух других катушек необходимо подать сигналы одинаковой частоты и амплитуды, изменяющиеся по гармоническому закону со сдвигом фаз $+90^\circ$ или -90° , причем сдвиг фаз $+90^\circ$ или -90° отвечает за направление вращения поля, частота – за угловую скорость вращения поля, амплитуда сигналов – за модуль вектора магнитной индукции.

Вращение поля удастся визуализировать, подав на катушки 1 и 2 сигналы малой частоты (доли герца) и поместив в сферическую магнитоформирующую систему компас. Стрелка компаса, ориентированная вдоль силовых линий поля, совершает вращательные движения: вправо – при одном сдвиге фаз питающих токов в катушках 1 и 2 ($+90^\circ$) и влево – при ином сдвиге фаз (-90°).

Очевидно, что суммарный вектор магнитной индукции будет совершать пространственное перемещение, если запитать и катушку 1.

На рис. 3 представлен вид питающих напряжений $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$, подача которых на концы обмоток катушек 1, 2 и 3 обеспечит получение вращающегося магнитного поля, плоскость вращения которого также будет поворачиваться относительно оси катушки 1.

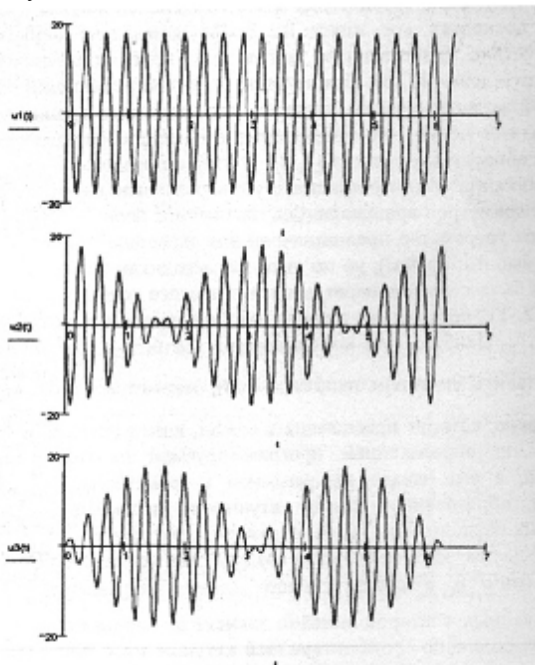


Рисунок 3 – Временная структура питающих напряжений на обмотках магнитоформирующей системы с вращающимся в пространстве магнитным полем

Выражения для питающих напряжений будут иметь вид:

$$u_1(t) = U_0 \cdot \cos(\omega \cdot t); \quad (7)$$

$$u_2(t) = -U_0 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot t); \quad (8)$$

$$u_3(t) = U_0 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (9)$$

где ω – круговая частота напряжения питания, она же угловая скорость вращения вектора индукции; ω_1 – круговая частота модулирующего напряжения, она же угловая скорость вращения в плоскости катушки 1; U_0 – амплитуда питающих напряжений на катушках магнитоформирующей системы.

Таким образом, для получения вращающегося магнитного поля, плоскость вращения которого также поворачивается относительно оси третьей катушки, необходимо, чтобы:

- напряжение питания $u_1(t)$, подаваемого на обмотку катушки, осью которой является ось вращения плоскости, в которой происходит вращение магнитного поля, не менялось по амплитуде и было гармоническим;
- в любой момент времени было справедливо выражение:

$$(U_2)^2 + (U_3)^2 = \text{const}, \quad (10)$$

то есть мы имеем дело с двумя модулированными по амплитуде напряжениями, причем огибающая каждого из них изменяется по гармоническому закону;

- при приближении плоскости катушки 3 к плоскости одной из остальных катушек, напряжение на этой катушке уменьшается до нуля, а после момента совпадения плоскостей фаза напряжения на данной катушке изменяется на 180° .

- в любой момент времени справедливо выражение:

$$(U_1)^2 + (U_2)^2 + (U_3)^2 = \text{const}. \quad (11)$$

Потребность изменять направление вращения магнитного поля вытекает из пространственной и зарядовой несимметрии (дисимметрии) молекул подавляющего числа веществ, так что изменив воздействующим вращающимся электромагнитным полем пространственную ориентацию атомов в молекуле, можно изменить и свойства вещества, в том числе изменить и их оптическую активность – свойство, заключающееся в том, что если линейно поляризованный свет пропустить через раствор хирально (от греч. *хирос* – рука) дисимметричных молекул, происходит поворот плоскости его поляризации: по часовой стрелке, если молекулы в растворе правые (D-молекулы), и против – если левые (L- молекулы). Указанное свойство можно использовать как тест для определения эффективности электромагнитной обработки веществ и сред, а также и в направлении изменения химической активности веществ в протекании технологических процессов. В частности, возможность изменять скорость протекания химических реакций, с помощью вращающихся влево-вправо магнитных полей, позволяет изменять по-

следние хиральными катализаторами.

Потребность использования магнитных полей с пространственной (объемной) вариацией направления вектора магнитной индукции (при запитке трех катушек) возникает при обработке веществ со сложной хиральной структурой, обладающих суперхиральностью (модель Дж. Дугунджи, Д. Маркуардинга и И. Уги), типа π -олефиновых комплексов металлов.

В реальной конструкции несущей основой магнитоформирующей системы является каркас из диамагнитного (не являющегося ферромагнетиком) с хорошей теплопроводностью материала – алюминия, выполненный в виде трех пересекающихся колец со щечками для укладки обмоток, концы которых выведены наружу, при этом оси колец взаимно перпендикулярны друг другу, так же, как и плоскости обмоток. Обмотки укладываются виток к витку по слоям, чередуя намотки каждой из 3 катушек. Для обеспечения симметрии полей катушек необходимо обеспечить равное количество витков в слоях катушки и в целом во всех катушках. В центральной части катушек имеется полость, в которую помещается обрабатываемый материал, при этом, расположенная в нижней части сферической камеры, имеется подставка, выполненная так, чтобы точка пересечения осей катушек находилась внутри объекта воздействия.

Выводы. Разработанная магнитоформирующая система является многофункциональной, в том смысле, что, используя компьютерную программу она позволяет устанавливать многочисленные параметры вращающегося магнитного поля – широкий спектр частот, набор изменяющихся амплитуд, вариаций поляризации. Потенциально это предполагает возможность изменять параметры широкого класса материалов и технологических процессов. Экспериментальные исследования по влиянию вращающегося магнитного поля на свойства цементно-песчаных бетонов показали возможность ускорения процесса затвердевания и повышения механической прочности сформированных бетонов без использования пластификаторов и уплотняющих манипуляций при разных отношениях цемента к песку (1:1 и 1:3) и воды к цементу (от 0,3 до 0,8 и от 0,4 до 0,9 соответственно для указанного отношения цемента и песка). Результаты этих исследований станут предметом отдельного сообщения; здесь лишь укажем, что проблема повышения механической прочности бетонов актуальна при строительстве эстакад

высокоскоростных магнитолевитирующих транспортных систем [12].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кукоз Ф.И., Скалазубов М.Ф., Чернов Б.К. Об одной закономерности магнитной обработки водных растворов // Акустическая и магнитная обработка веществ. – Новочеркасск: НПИ, 1966. – С. 29-30.
2. Кульский Л.А., Душкин С.С. Магнитные поля и процессы водообработки. – К.: Наукова думка, 1987. – 111с.
3. Миненко В.И. Электромагнитная обработка воды в теплоэнергетике. – Харьков: Изд-во Харьковского ун-та, 1981. – 96 с.
4. Тебенихин Е.Ф. Безреагентные методы обработки воды в энергоустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1985. –144 с.
5. Сокольский Ю.М. Омагниченная вода: правда и вымысел. – Л.: Химия, 1990. – 144 с.
6. Белый В.А., Снежков В.В., Безруков С.В. О структурной упорядоченности расплавов полиэтилена в магнитном поле // Докл. АН СССР, 1988. – Т. 302, № 2. – С. 355-357.
7. Патент України № 57995А, МПК 7 С08 J 3/34, 7 С08 J 3/28. Спосіб підвищення оптичної прозорості полімерних матеріалів // Дзензерський В.О., Житник М.Я., Соколовський І.І. 15.07.2003, Бюл. № 7.
8. А.с. 1537647 СССР МКИ5 С02F 1/48, В ОЗС 1/00. Способ магнитной обработки жидкости // А.В. Пугачев. Опубл. 23.01.1990, Бюл. № 3.
9. А.с. 929586 СССР МКИЗ С02F 1/48. Способ магнитной обработки жидкости // В.С. Островский, В.А. Непсилов. Опубл. 23.05.1982, Бюл. № 19.
10. Дзензерский В. А., Житник Н. Е., Плаксин С.В., Погорелая Л. М., Скосарь Ю. И., Соколовский И. И. Моделирование электромагнитных полей сложной поляризационной структуры на основе вращающихся сосредоточенных постоянных магнитов // Технічна електродинаміка, 2007. – Тематичний випуск „Силова електроніка та енергоефективність”, Ч 3. – С. 107-112.
11. Патент України № 47831, МПК 7 С02F 1/48 Спосіб магнітної обробки рідин / В.О Дзензерський., І.І.Соколовський, М.Я.Житник, Є.В. Анікєєв, С.В. Плаксін.– Бюл. № 7, 15.07.2005.
12. Дзензерский В.А., Омеляненко В.И., Васильев С.В. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией. – К.: Наукова думка, 2001.– 479 с.

Стаття надійшла 9.05.2008 р.