

Н. Е. ЖИТНИК, д. ф.-м. н. С. В. ПЛАКСИН, Л. М. ПОГОРЕЛАЯ,
к. ф.-м. н. И. И. СОКОЛОВСКИЙ, д. т. н. А. А. ЯШИН

Украина, г. Днепропетровск, Институт транспортных систем
и технологий «Трансмаг»
E-mail: plm@westa-inter.com

Дата поступления в редакцию
06.06 2008 г.

Оппонент д. ф.-м. н. В. Я. БРАТУСЬ
(ИФП им. В. Е. Лашкарёва, г. Киев)

ИСТОЧНИК МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СЛОЖНОЙ ЭНЕРГОЧАСТОТНОЙ И ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ

Обсуждается метод конструкторско-го синтеза магнитоформирующей системы с изменяющимся направлением вращения магнитного поля, которое позволяет учесть хиральную дисимметрию молекул веществ, подлежащих обработке магнитным полем.

В современном производстве широко применяются аппараты и аппаратные комплексы, в которых энергия физических полей — магнитных, электрических, электромагнитных, акустических и их комбинаций — эффективно используется для реализации и ускорения различных технологических процессов. Широкое применение получили магнитные поля [1—5]. Например, при производстве радиоэлектронной аппаратуры и ее компонентов в процессах травления пластин полупроводниковых материалов, корпусов конструкций и очистки после травления, при производстве автономных источников питания радиоэлектронных устройств, очистке промышленных стоков, когда возникают задачи изменения химических и физических свойств веществ, в частности активации соответствующих реагентов, в качестве модификатора указанных свойств используется магнитное поле.

В [6, 7] показана возможность создания переменного вращающегося магнитного поля сложной поляризационной структуры путем комбинации подвижных и неподвижных постоянных высококоэрцитивных магнитов (преимущественно систем самарий—кобальт и неодим—железо—бор), позволяющего учитывать при обработке веществ пространственную и зарядовую асимметрию молекул и их агрегаций и таким образом существенно изменять физические характеристики материала или ход технологических процессов.

Результатом развития таких исследований должно стать 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.

Целью данной работы является разработка метода синтеза вращающихся магнитных полей, создаваемых комбинацией трех взаимно ортогональных соленоидальных контуров, запитываемых переменным током.

Синтез магнитоформирующей системы. Исходя из априорных представлений о необходимой структуре магнитного поля, магнитоформирующая система была построена с использованием трех катушек, плоскости обмоток которых перпендикулярны друг другу. Каждая из обмоток создает магнитное поле с индукцией, соответственно, B_1, B_2, B_3 , представленными на рис. 1 в виде векторов, при этом их длина и направление зависят от фазы и величины протекающего в соответствующей катушке 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).

При питании катушек переменным током, величина и частота которого может программироваться, нетрудно обеспечить такой режим, когда конец суммарного вектора будет двигаться по определенной пространственной кривой, программируемой путем за-

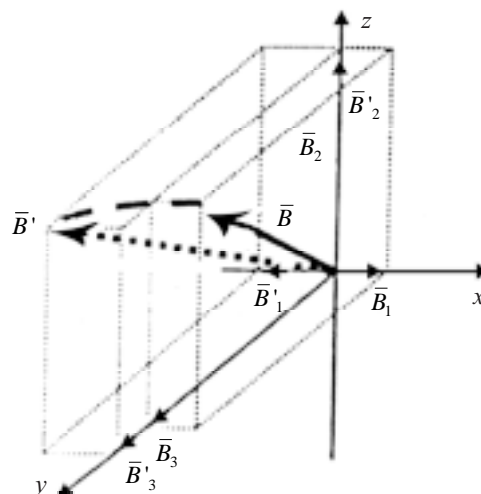


Рис. 1. Геометрическая сумма трех взаимно перпендикулярных векторов индукции

Авторы выражают благодарность С. П. Куротченко за помощь в проведении исследований.

дания во времени трех питающих токов, при этом начало этого вектора «закреплено» в геометрическом центре сферы, образованной указанными тремя катушками.

Если в полости сферы как магнитоформирующей системы аппарата разместить обрабатываемое вещество, последнее будет подвержено влиянию синтезированного магнитного поля, интенсивность и частота которого могут быть изменены в широком интервале.

Из известных соотношений

$$B_{r,0} = \frac{\mu\mu_0 NI}{2r}; \quad I = \frac{U}{Z}; \quad Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}; \quad X_L = 2\pi fL, \quad (1)$$

где $B_{r,0}$ — 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 катушки;

R — активное сопротивление обмотки;

L — индуктивность катушки;

Z — полное сопротивление обмотки;

X_L — индуктивное сопротивление;

f — частота электрического сигнала;

U — напряжение на концах обмотки,

получим

$$B_{r,0} = \frac{\mu\mu_0 N}{2r\sqrt{R^2 + 4\pi^2 f^2 L^2}} U. \quad (2)$$

При фиксированном значении частоты $f_{\text{фикс}}$ из (2) следует линейная зависимость индукции $B_{r,0}$ от напряжения $U(t)$:

$$B_{r,0} = \frac{\mu\mu_0 N}{2r\sqrt{R^2 + 4\pi^2 f_{\text{фикс}}^2 L^2}} U(t); \quad (3)$$

а при изменении частоты во времени результирующее значение индукции будет изменяться соответственно по закону

$$B_{r,0} = \frac{\mu\mu_0 N}{2r\sqrt{R^2 + 4\pi^2 f^2(t) L^2}} U(t). \quad (4)$$

Как видно из (4), при непостоянной частоте сигнала зависимость индукции магнитного поля от напряжения на концах обмоток имеет существенно нелинейный вид и отличается от вида функции магнитного поля на каждой из катушек. То есть $B_{r,0}$ — сложная функция, зависящая и от напряжения, и от характера изменения частоты сигнала.

Рассмотрим наиболее типичную траекторию движения конца вектора индукции — плоскую круговую траекторию, и ее формирование с помощью трех катушек, схематично изображенные на рис. 2. Здесь вращающееся магнитное поле представлено в виде суммы двух ортогональных ориентированных переменных магнитных полей. Значения $t_0 \dots t_{15}$ — это те моменты времени, которым соответствуют изображенные на рисунке положения суммарного вектора магнитной индукции, создаваемого скрещенными магнитными полями с индукциями B_1 и B_2 .

Для получения вращающегося в плоскости катушки 3 магнитного поля необходимо, чтобы в катушке 1 создавалось магнитное поле с изменяющейся по закону косинуса индукцией

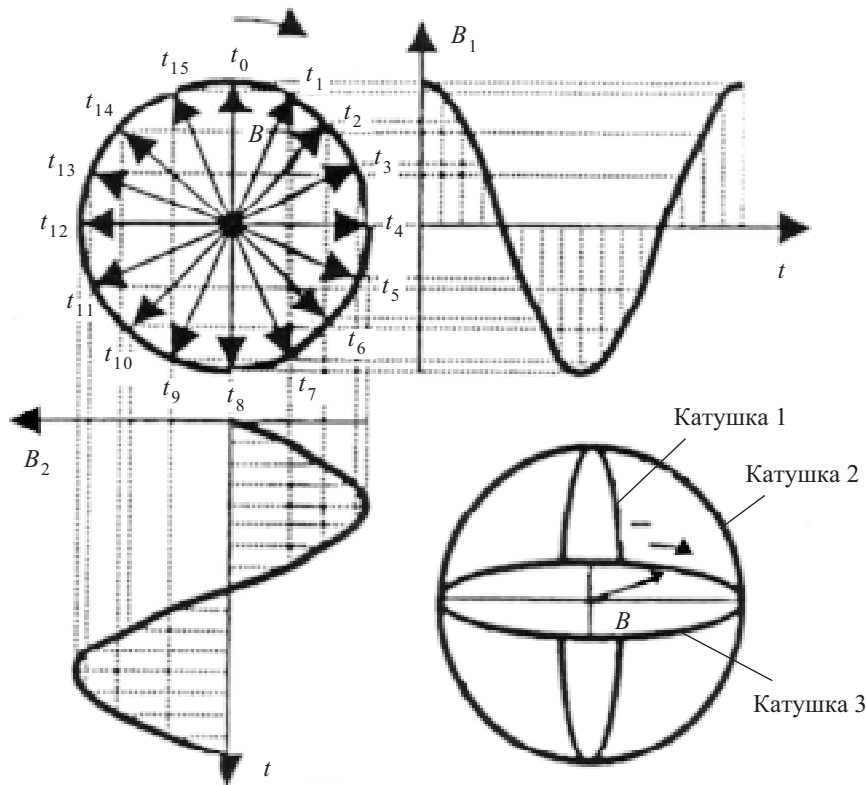


Рис. 2. Магнитное поле как сумма двух ортогональных переменных магнитных полей

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

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

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

где ω — круговая частота напряжения питания (она же — угловая скорость вращения вектора индукции).

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

Вращение поля можно 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, будет вращаться вправо или влево в зависимости от знака сдвига фаз питающих токов в катушках.

Очевидно, что суммарный вектор магнитной индукции будет совершать пространственное перемещение, если запитать и катушку 3.

Для получения с помощью трех катушек вращающегося магнитного поля, плоскость вращения которого поворачивается относительно оси катушки 1, необходимо, чтобы выполнялись следующие условия:

— напряжение питания U_1 , подаваемое на обмотку катушки 1, не должно меняться по амплитуде и должно быть гармоническим;

— в любой момент времени для подаваемых на катушки 2 и 3 напряжений должно быть справедливым соотношение

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

т. е. на катушки 2 и 3 необходимо подавать модулированные по амплитуде напряжения, огибающая каждого из которых изменяется по гармоническому закону;

— при приближении плоскости катушки 3 к плоскости одной из двух других, напряжение на ней должно уменьшаться до нуля, а после момента совпадения плоскостей фаза напряжения на данной катушке должна изменяться на 180° ;

— в любой момент времени должно быть справедливым выражение

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

Этим условиям удовлетворяют представленные на рис. 3 зависимости $U_1(t)$, $U_2(t)$, $U_3(t)$, описываемые выражениями

$$U_1(t) = U_0 \cos \omega t; \quad (7)$$

$$U_2(t) = -U_0 \cos \omega_1 t \sin \omega t; \quad (8)$$

$$U_3(t) = -U_0 \sin \omega_1 t \sin \omega t, \quad (9)$$

где ω_1 — круговая частота модулирующего напряжения (она же угловая скорость вращения в плоскости катушки 1);

U_0 — амплитуда питающих напряжений на катушках магнитоформирующей системы.

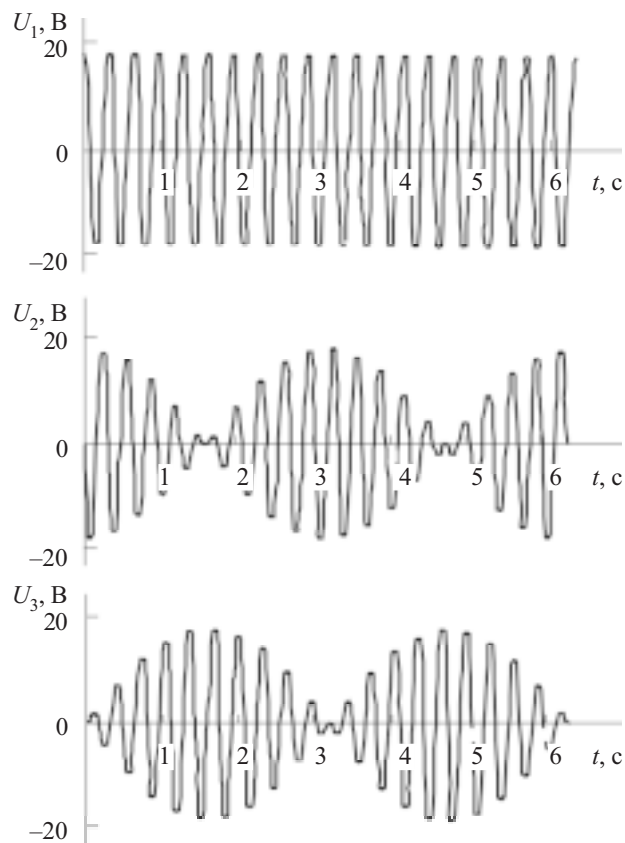


Рис. 3. Временные диаграммы напряжений на обмотках катушек магнитоформирующей системы с вращающимся в пространстве магнитным полем

Потребность изменять направление вращения магнитного поля вытекает из пространственной и зарядовой несимметричности молекул подавляющего числа веществ — изменив вращающимся электромагнитным полем пространственную ориентацию атомов в молекуле, можно изменить и свойства вещества, в том числе его оптическую активность. Это свойство заключается в том, что если линейно поляризованный свет пропустить через раствор хирально дисимметричных молекул, произойдет поворот плоскости его поляризации: по часовой стрелке, если молекулы в растворе «правые» (*D*-молекулы), и против — если «левые» (*L*-молекулы). Поэтому указанное свойство можно использовать как тест для определения эффективности электромагнитной обработки веществ и сред, а также для выявления изменения направления химической активности веществ при реализации технологических процессов. Возможность изменять скорость протекания химических реакций с помощью вращающихся влево/вправо магнитных полей позволяет именовать последние хиральными катализаторами.

Потребность в использовании 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 [8, с. 47—52]), например π -олефиновых комплексов металлов.

Конструкция. В реальной конструкции несущей основой магнитоформирующей системы является каркас из алюминия — диамагнитного материала с хорошей теплопроводностью. Каркас выполнен в виде трех пересекающихся колец со щечками для укладки обмоток, концы которых выведены наружу, при этом оси колец взаимно перпендикулярны, так же как и плоскости обмоток. Обмотки укладывают виток к витку по слоям, чередуя намотки каждой из трех 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 будет помещаться обрабатываемый материал, при этом расположенная в нижней части сферической камеры подставка выполнена так, чтобы точка пересечения осей катушек находилась внутри объекта воздействия. Изменением величины питающих токов достигается создание магнитных полей в диапазоне от 0 до 100 мТл при частоте питающих токов 50 Гц. Магнитные поля с индукцией 50—100 мТл были эффективны для целого ряда обрабатываемых сред.

Апробация и выводы. Разработанная магнитоформирующая система, благодаря использованию компьютерной программы, позволяет устанавливать параметры вращающегося магнитного поля в широком спектре частот и амплитуд, а также направление вращения вектора индукции. Потенциально это предполагает возможность изменять параметры широкого класса материалов и технологических процессов.

Так, путем активации вращающимся магнитным полем деионизованной воды, используемой для изготовления активных масс электродов свинцово-кислотных аккумуляторов, ее физико-химические свойства были существенно изменены: магнитная восприимчивость изменилась более чем на 5%, диэлектрическая проницаемость на 8%, электропроводимость на 2,48%. Магнитная обработка электролита (водного раствора серной кислоты) стандартной плотности существенно изменяла смачиваемость, причем результаты зависели от направления вращения вектора магнитного поля. Эти изменения отразились на свойствах компонентов и самих свинцово-кислотных аккумуляторов, а именно, происходило предотвращение или снижение накопления крупнокристаллического сульфата свинца вдоль поверхности жилок решетки положительного электрода в процессе саморазряда. При разряде током нагрузки снижался темп абсорбции ингибитора на кристаллах сульфата свинца, что снижало скорость коррозии положительного токоотвода.

Магнитная обработка раствора серной кислоты приводит к улучшению структуры активной массы: в отключенном состоянии аккумуляторной батареи поры активной массы в жилках решеток практически не закупориваются и свободно сообщаются с основным объемом электролита, что препятствует возникновению градиента концентрации по толщине электродных пластин и, соответственно, предотвращает анодную

поляризацию жилок решетки. Предотвращается образование пассивного сульфата свинца на поверхности жилок токоотвода, существенно замедляется скорость коррозии токоотводов положительных электродов, что повышает эксплуатационную надежность свинцово-кислотных аккумуляторов.

Омагничивание молярных растворов сульфата кобальта, меди, цинка, натрия, магния, никеля, приводит к изменению их магнитной восприимчивости, причем результат зависит от концентрации раствора. Так, магнитная восприимчивость раствора сульфата никеля после омагничивания тем выше, чем больше его концентрация. Растворы низкой концентрации имеют диамагнитные свойства, т. е. их магнитная восприимчивость меньше нуля, и магнитная обработка усиливает диамагнитный эффект. Концентрированные растворы имеют парамагнитные свойства, которые усиливаются в результате магнитной обработки.

Следует отметить, что предлагаемый способ магнитной обработки жидкостей имеет высокую эффективность независимо от гидравлического режима движения жидкости — она может быть и неподвижной, а потому позволяет легко адаптировать предлагаемый способ к условиям уже сформированных технологических процессов. Также представленный метод синтеза магнитных полей со сложной энергочастотной и поляризационной структурой может оказаться более эффективным при решении медико-биологических проблем по сравнению с техническими решениями, в которых используются вращающиеся сосредоточенные постоянные высококоэрцитивные магниты [9, 10].

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Кульский Л. А., Душкин С. С. Магнитные поля и процессы водопереработки. — Киев: Наукова думка, 1987.
2. Соколовский Ю. М. Омагничиванная вода: правда и вымысел. — Л.: Химия, 1990.
3. Белый В. А., Снежков В. В., Безруков С. В. и др. О структурной упорядоченности расплавов полиэтилена в магнитном поле // Докл. АН СССР. — 1988. — Т. 302, № 2. — С. 355—357.
4. Пат. 57995А України. Спосіб підвищення оптичної прозорості полімерних матеріалів / В. О. Дзензерський, М. Я. Житник, І. І. Соколовський. — 2003. — Бюл. № 7.
5. А. с. 1537647 СССР. Способ магнитной обработки жидкости / А. В. Пугачев. — 1990. — Бюл. № 3.
6. Дзензерский В. А., Житник Н. Е., Плаксин С. В. и др. Моделирование электромагнитных полей сложной поляризационной структуры на основе вращающихся сосредоточенных постоянных магнитов // Технічна електродинаміка. — 2007. — Тем. вип. «Силовая електроніка та енергоефективність», ч. 3. — С. 107—112.
7. Пат. 47831 України. Спосіб магнітної обробки рідин / В. О. Дзензерський, І. І. Соколовський, М. Я. Житник та інш. — 2005. — Бюл. № 7.
8. Кинг Р. Химические приложения топологии теории графов. — М.: Мир, 1987.
9. Пат. 79897 України. Магнітотерапевтичний пристрій / М. Я. Житник, С. В. Плаксін, І. І. Соколовський та інш. — 2007. — Бюл. № 11.
10. Заявка на патент України № а 2008 05483 від 25.04 2008. Спосіб модифікації властивостей біологічних структур / І. І. Соколовський, І. Ф. Аршава, М. Я. Житник та ін.