

УДК 621.391.8

И.Б. Широков, доцент, канд. техн. наук**Е.А. Редькина, ст. преподаватель, канд. техн. наук****М.А. Дурманов***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: igor.b.shirokov@gmail.com***ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕРДЕЧНИКА МАГНИТНОЙ АНТЕННЫ ПРИ РАЗДЕЛЬНОМ ПРИЕМЕ ТРЕХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОЛЯ**

Исследовано влияние крестообразного ферромагнитного сердечника на перераспределение поля вблизи трехкатушечной магнитной антенны, которое приводит к ошибочному приему катушками антенны ортогональных составляющих ближнего магнитного поля. Показано, что наибольшее влияние сердечника имеет место в центральной области антенны.

Ключевые слова: *трехкатушечная магнитная антенна, магнитное поле, ферромагнитный крестообразный сердечник, ненаправленная антенна, поиск людей под завалами в шахтах.*

Задача поиска людей под завалами состоит в определении расстояния до объекта поиска, которое определяется по уровню принимаемого сигнала поисковым устройством. Сигнал, наводимый в антенне поискового устройства, является результатом действия внешнего переменного магнитного поля. Источником этого поля является радиомаяк, который находится у человека, застигнутого аварией [1]. Для определения местоположения объекта поиска необходимо измерять сразу три составляющие напряженности переменного магнитного поля: H_x , H_y и H_z . Для этого антенна приемного устройства должна иметь три катушки, оси которых взаимно перпендикулярны и направлены вдоль трех координатных осей декартовой системы координат x , y и z . При этом в приемных катушках поискового устройства будут наводиться ЭДС, соответствующие напряженностям трех составляющих магнитного поля внешнего источника.

В этом случае расстояние может быть определено амплитудным методом путем вычисления геометрической суммы напряжений сигналов, наводимых в каждой катушке [2]

$$U_{\max} = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2}.$$

По полученным трем максимальным сигналам осуществляют триангуляцию объекта поиска. Целесообразность использования такого метода объясняется тем, что катушка с ферритовым сердечником радиомаяка имеет произвольную ориентацию (невозможно предугадать, какое положение в пространстве будет занимать радиомаяк у человека, находящегося под/за завалом). Поэтому использование одной катушки в поисковом устройстве не может быть достаточным, так как в этом случае для точного поиска следует знать направление осей передающей и принимающей катушек.

Для точного определения расстояния до источника приемные катушки должны быть идентичными, а составляющая поля по одной координатной оси не должна приниматься катушками, расположенными вдоль других координатных осей.

Однако само наличие ферритовых сердечников в магнитной антенне приводит к перераспределению поля вблизи антенны так, что ортогональные катушки будут принимать не только требуемую составляющую внешнего магнитного поля, но и ортогональные составляющие в ближней зоне.

Таким образом, целью работы является исследование влияния ферромагнитных сердечников на перераспределение поля вблизи антенны для раздельного приема трех составляющих напряженности магнитного поля.

Идентичность катушек и точное их ортогональное расположение позволит обеспечить раздельный

прием и определить вклад каждой составляющей принимаемого магнитного поля в результирующую напряженность магнитного поля $\vec{H}$. Также для калибровки приемной трехкатушечной антенны (с целью добиться одинаковых параметров каждой катушки) важно учитывать влияние ферромагнитных сердечников на прием каждой составляющей магнитного поля.

В качестве ненаправленной трехкатушечной магнитной антенны может использоваться конструкция, показанная на рисунке 1.

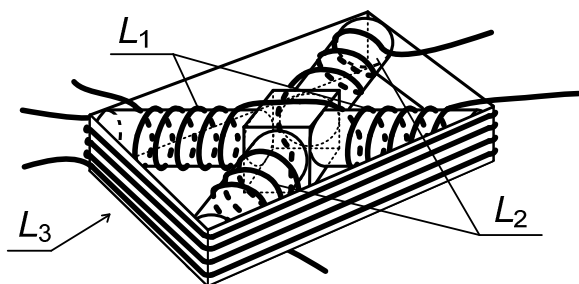


Рисунок 1 — Внешний вид ненаправленной трехкатушечной магнитной антенны

Антенна представляє собою три катушки, розположені в ортогональних площинах. Перші дві катушки L_1 і L_2 , розположені перпендикулярно друг відносно друга, намотані послідовно непрямо на ферритові сердечники, виконані в формі двох соосних циліндрів, розділених центральним ферритовим кубом. Третя катушка L_3 намотана навколо конструкції двох катушок на прямокутний діелектричний каркас. Для використання даної антени в якості ненаправленої антени пошукового пристрою необхідно вирішити наступні задачі: во-перших, визначити вплив ферритових сердечників на прийом магнітного поля третьою прямокутною катушкою, і во-других, дослідити вплив на точність пошукового методу значення складової зовнішнього магнітного поля, перпендикулярної до площини сердечника, яка помилково приймається катушками з крестообразним сердечником.

В статті приведені результати дослідження проблеми помилкового прийому ортогональної до катушки складової зовнішнього поля, виникаючої з-за перерозподілу поля в ближній зоні внаслідок наявності крестообразного ферромагнітного сердечника.

Припустимо, що антенна поміщена в зовнішнє однорідне магнітне поле низької частоти напруженістю H_x так, що силові лінії поля пересікають сечення катушки L_3 (лінії паралельні осі катушки, Ox). Дві інші катушки L_1 і L_2 з ферритовими сердечниками розположені вздовж осей Oy і Oz , перпендикулярних силовим лініям зовнішнього магнітного поля (рисунок 2).

Наявність ферритових сердечників в цих катушках призводить до перерозподілу магнітного поля поблизу магнітної антени таким чином, що ці катушки будуть приймати складові H_y і H_z ближнього поля антени.

Визначимо, який внесок вносить складові зовнішнього поля H_x в складові ближнього поля H_z в декількох сеченнях, поперечних осі z (см. рисунок 2). Для цього знайдемо ближнє поле магнітної антени, використавши відомий метод інтегральних рівнянь [3].

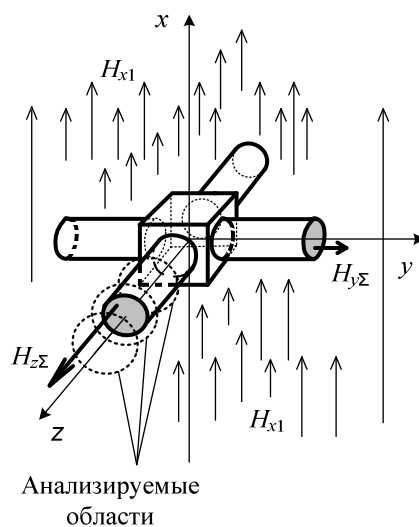


Рисунок 2 — Крестообразный сердечник во внешнем магнитном поле

Згідно методу інтегральних рівнянь, неоднорідне простір, в якому визначається поле (повітря і крестообразний ферромагнітний сердечник), приводиться до умовно однорідного простору з деякою магнітною проникністю (в нашому випадку це магнітна проникність повітря μ_e). При цьому для задоволення умов на межі серед повітря-ферромагнетик, сердечник був замінений сукупністю гіпотетических магнітних зарядів, яка розподілена по поверхні сердечника (в його об'ємі зарядів немає, оскільки досліджуване простір поблизу антени кусочно-неоднорідне, і магнітна проникність всередині сердечника не змінюється).

Гіпотетическі магнітні заряди, породжувані магнітним полем поблизу антени, створюють в досліджуваному однорідному просторі «вторичне» поле, яке в свою чергу вносить внесок в магнітне поле поблизу антени. Таким чином, розподіл магнітних зарядів по поверхні сердечника можна визначити з інтегрального рівняння

$$\sigma_m - \frac{\lambda}{2\pi} \oint_S \frac{\sigma_m \cos(\mathbf{r}, \mathbf{n})}{r^2} ds = 2\mu_e \lambda H_{0n},$$

где H_{0n} — нормальная (к поверхности стержня) составляющая напряженности первичного магнитного поля; σ_m — функция плотности гипотетического магнитного заряда на поверхности сердечника; $\lambda = \frac{\mu_i - \mu_e}{\mu_i + \mu_e}$ — коэффициент преобразования сред, полученный из условия равенства напряженностей на

границе сред; μ_e — магнитная проницаемость воздуха; $\mathbf{r}$ — вектор расстояние между исследуемой точкой и точками, участвующими в формировании вторичного поля в исследуемой точке, $\mathbf{n}$ — вектор нормали к поверхности крестообразного сердечника s .

Из исходного интегрального уравнения была сформирована система интегральных уравнений для определения плотности магнитных зарядов в точках на поверхности:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_M(\rho_1, \alpha_1, z_1) - \frac{\lambda}{2\pi} \oint_s \frac{\sigma_M(\rho, \alpha, z) \cos(\mathbf{r}, \mathbf{n})}{r^2(\rho_1, \alpha_1, z_1, \rho, \alpha, z)} ds = 2\mu_e \lambda H_{0n}(\rho_1, \alpha_1, z_1); \\ \sigma_M(\rho_1, \alpha_1, z_2) - \frac{\lambda}{2\pi} \oint_s \frac{\sigma_M(\rho, \alpha, z) \cos(\mathbf{r}, \mathbf{n})}{r^2(\rho_1, \alpha_1, z_2, \rho, \alpha, z)} ds = 2\mu_e \lambda H_{0n}(\rho_1, \alpha_1, z_2); \\ \dots \\ \sigma_M(\rho_N, \alpha_N, z_M) - \frac{\lambda}{2\pi} \oint_s \frac{\sigma_M(\rho, \alpha, z) \cos(\mathbf{r}, \mathbf{n})}{r^2(\rho_N, \alpha_N, z_M, \rho, \alpha, z)} ds = 2\mu_e \lambda H_{0n}(\rho_N, \alpha_N, z_M). \end{array} \right.$$

Значения нормальной к поверхности сердечника составляющей внешнего магнитного поля (без учета сердечника) $H_{0n}(\rho_i, \alpha_j, z_k)$ определялись с учетом расположения соответствующих участков сложной поверхности крестообразного сердечника относительно силовых линий внешнего поля (см. рисунок 3).

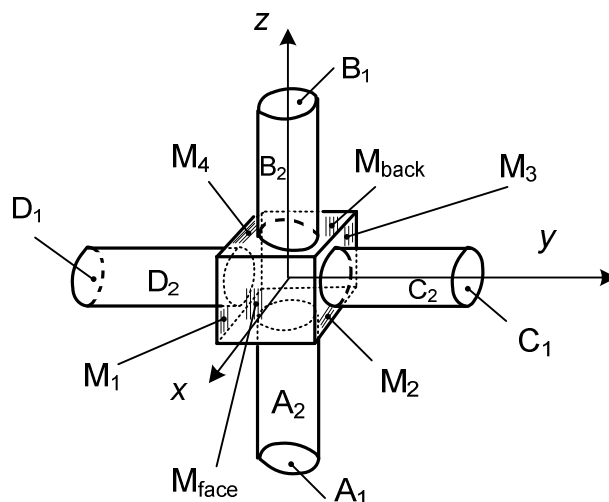


Рисунок 3 — Участки поверхности крестообразного сердечника, на которых магнитные заряды присутствуют (M_{face} , M_{back} , A_2 , B_2 , C_2 , D_2) и на которых они отсутствуют (A_1 , B_1 , C_1 , D_1 , M_1 , M_2 , M_3 , M_4) при воздействии однородного магнитного поля, направленного вдоль оси OX

Полученная система уравнений представлялась в виде матричного уравнения (интегралы были заменены суммами)

$$\mathbf{M}_{koef} \cdot \mathbf{M}_{\sigma_{mag}} = \mathbf{M}_{B_{0n}},$$

где $\mathbf{M}_{koef}$ — матрица коэффициентов при искомом распределении заряда в точках на поверхности сердечника, определяется только пространственной конфигурацией сердечника; $\mathbf{M}_{\sigma_{mag}}$ — матрица искомых значений распределения магнитных зарядов в точках на поверхности сердечника; $\mathbf{M}_{B_{0n}}$ — матрица значений нормальной составляющей напряженности магнитного поля вблизи антенны, которая определяется как внешним однородным полем, так и пространственной конфигурацией сердечника.

Решение матричного уравнения имело вид

$$\mathbf{M}_{\sigma_{mag}} = \mathbf{M}_{koef}^{-1} \cdot \mathbf{M}_{B_{0n}}.$$

Из полученного распределения плотности магнитного заряда на поверхности сердечника было рассчитано «вторичное» поле, и, используя принцип суперпозиции, было рассчитано суммарное магнитное поле вблизи антенны.

Результаты расчета распределения модуля составляющей H_z напряженности ближнего магнитного поля в анализируемых областях (см. рисунок 2) показаны на рисунках 4, 5 и 6. Диаметр рассматриваемых круговых областей положим в 2 раза больше диаметра плеча крестообразного сердечника.

Из рисунков следует, что в анализируемых областях наблюдается составляющая H_z достаточно больших значений, которая возникает вследствие перераспределения внешнего магнитного поля вблизи ферромагнитного сердечника. Так, влияние сердечника катушки, расположенной вдоль оси ОУ, на возникновение составляющей H_z выражается появлением двух максимумов, расположенных по краям сердечника катушки, расположенной вдоль оси ОХ (см. рисунок 4). В случае, если рассматриваемая область располагается на некотором удалении от центра крестообразного сердечника, эти максимумы «расплываются», тогда как в сечениях, близких к центру антенны (ферромагнитному кубу), области максимума имеют два выраженных пика. Появление пиков (см. рисунки 5, 6) с большой вероятностью обусловлено влиянием центрального куба крестообразного сердечника на перераспределение поля вблизи антенны.

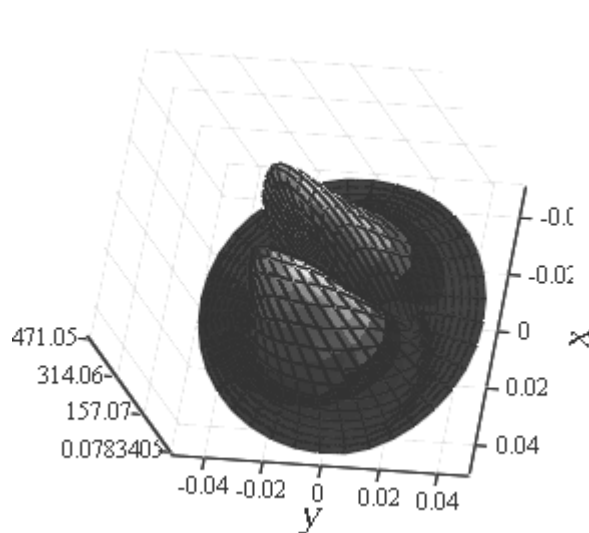


Рисунок 4 — Составляющая H_z ближнего магнитного поля приемной антенны в области ($z=const$) на некотором расстоянии от торца крестообразного сердечника

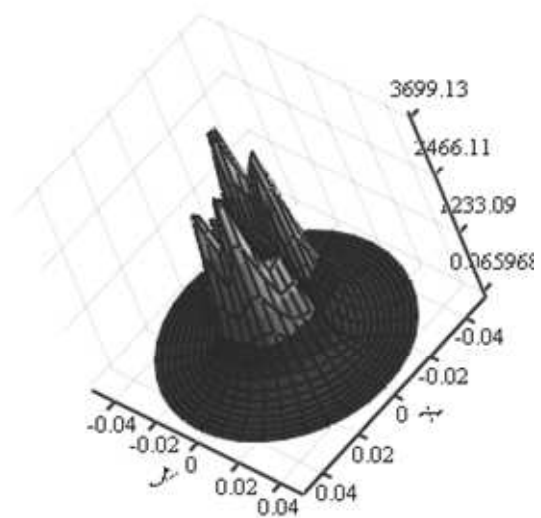


Рисунок 5 — Составляющая H_z ближнего магнитного поля приемной антенны в области ($z=const$), расположенной в непосредственной близости к торцу крестообразного сердечника

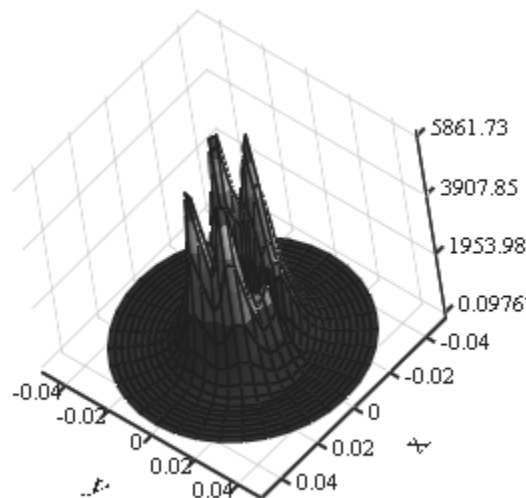


Рисунок 6 — Составляющая H_z ближнего магнитного поля приемной антенны в области ($z=const$), расположенной вблизи центрального куба крестообразного сердечника

Минимум составляющей H_z напряженности магнитного поля вблизи антенны в плоскости YOZ ($x=0$) объясняется тем, что силовые линии внешнего поля проходят в этой плоскости по касательной к поверхности сердечника. Поэтому отклонение силовых линий внешнего поля в этой плоскости минимально.

Таким образом, ферромагнитный сердечник приводит к перераспределению внешнего поля вблизи магнитной антенны. Максимальное влияние имеет место в центральной области антенны, где расположен ферромагнитный куб крестообразного сердечника и где расстояние между боковыми поверхностями плеч сердечника минимально.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что для уменьшения вносимой погрешности при намотке катушек на плечи сердечника следует пропускать центральную область, создавая защитный интервал между ортогональными катушками.

Направлением дальнейших исследований является определение влияния крестообразного сердечника на прием ортогональных составляющих магнитного поля в случае приема двух других составляющих внешнего магнитного поля — H_z и H_y .

Бібліографічний список використаної літератури

1. Широков И.Б. Система поиска людей под завалами / И.Б. Широков, М.А. Дурманов, А.М. Сербин // Збірник наукових праць. — Севастополь: Севастопольський військово-морський інститут ім. П.С. Нахімова, 2007. — Вип. 1 (11). — С. 152–160.
2. Shirokov I.B. The Approach to a Problem of Search of People under Avalanches / I.B. Shirokov, M.A. Durmanov, A.I. Yaufman // XXIXth URSI General Assembly to be Held in Chicago, IL, USA, August 7-16, 2008. — С. 1–5.
3. Теоретические основы электротехники / К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. — СПб.: Питер, 2003. — Т. 3. — 360 с.

Поступила в редакцию 19.03.2012 г.

Широков І.Б., Редькіна О.О., Дурманов М.А. Дослідження впливу феромагнітного сердечника магнітної антени в задачі окремого прийому трьох складових напруженості магнітного поля

Досліджено вплив хрестоподібного феромагнітного сердечника на перерозподіл поля поблизу трикотушечної магнітної антени, яке призводить до помилкового прийому котушками антени ортогональних складових ближнього магнітного поля. Показано, що найбільший вплив сердечника має місце в центральній частині антени.

Ключові слова: трикотушечна магнітна антена, феромагнітний хрестоподібний сердечник, неспрямована антена, напруженість магнітного поля, пошук людей під завалами в шахтах.

Shirokov I.B., Redkina E.A., Durmanov M.A. Investigation of the ferromagnetic core's influence of a H-field antenna in the case of separate receiving of three components of the magnetic field for searching peoples under avalanches

The effect of cross-shaped ferromagnetic core in the redistribution of the magnetic field near the antenna with three coils, which leads to mistaken receiving of a orthogonal components of the magnetic field in the near field zone, was investigated. It is shown that the place with the greatest influence of the core is a central region of the antenna.

Keywords: omnidirectional triple coils antenna, magnetic field, cross-shaped ferrite core, searching peoples under avalanches in mines.