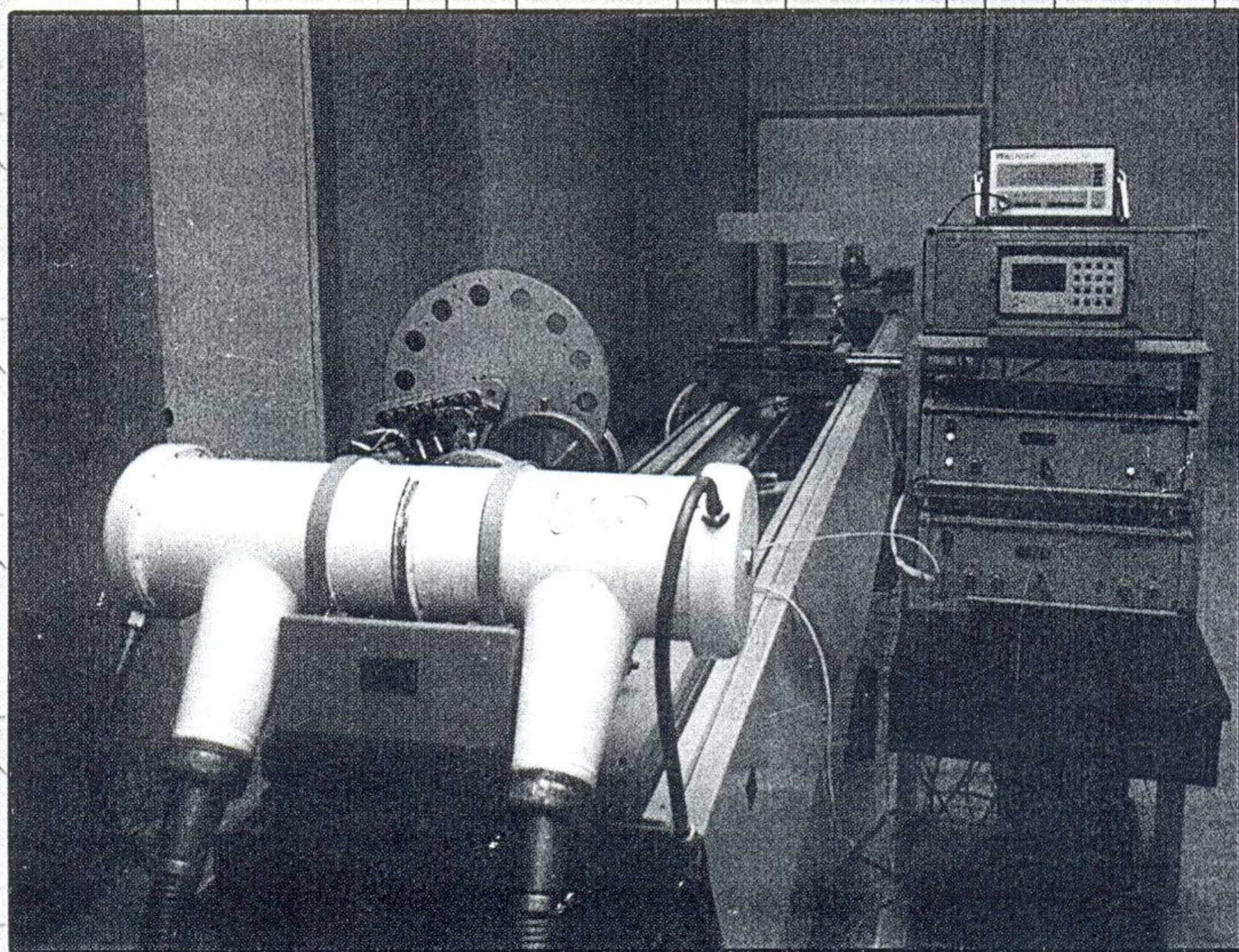


УКРАЇНСЬКИЙ МЕТРОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ



ВИПУСК 1

2003



УКРАЇНСЬКИЙ МЕТРОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

Науково-
технічне
видання



ВИПУСК 1 2003

ЗМІСТ

Звернення до авторів та читачів "Українського метрологічного журналу"	5
Творці національної сталонної бази – лауреати Державної премії України в галузі науки і техніки 2002 року	6

Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції "Метрологія-2002"

О.С.Клейман, В.С.Соловйов, О.О.Ткачук, В.М.Романько	Концепція розвитку базового координатно-часового забезпечення України	7✓
В.Н.Чинков, С.В.Герасимов	Комплексная методика оптимизации контролируемых параметров сложных технических объектов	11
✓ В.Я.Гальченко, М.А.Воробьев	Структурный синтез мер магнитной индукции с заданными свойствами	16
В.П.Середний, Ю.А.Шевелес	Сличение ваттметров СВЧ с помощью устройств на основе коаксиальных резистивных делителей	21
Ю.О.Скрипник, О.П.Яненко, В.О.Іващенко, Г.В.Юрчик	Калориметричний вимірювач НВЧ-потужності з напівпровідниковим термоперетворювачем	26

Загальна та законодавча метрологія

Я.С.Довженко, О.В.Прусихин	Связь технологии производства с уровнем развития измерений	29 ✓
----------------------------	--	------

Вимірювання часу та частоти

О.С.Клейман, О.В.Романько, В.М.Романько	Використання комп'ютера для визначення частотних характеристик прецизійних мір частоти	31
--	--	----

Вимірювання електричних та магнітних величин

✓ В.П.Себко, Г.М.Сучков	✓ Электромагнитно-акустический способ неразрушающего контроля. Часть I. Эффект электромагнитно-акустического преобразования	35 ✓
В.В.Дегтярьов, А.В.Дегтярьов	Основні метрологічні характеристики засобів просторового гармонічного аналізу	38
✓ А.А.Марусенков	Возможности повышения экономичности феррозондовых магнитометров	42

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ МЕР МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ С ЗАДАННЫМИ СВОЙСТВАМИ

В.Я.Гальченко, М.А.Воробьев

Описан подход к синтезу мер магнитной индукции с заданными свойствами, который основан на использовании структурного синтеза при проектировании и осуществляется путем выбора оптимальной структуры и ее параметров с помощью генетических алгоритмов. Приведены результаты синтеза мер магнитной индукции с рабочей зоной, располагающейся на оси устройства.

В современной технике и прикладной физике необходимо создавать и измерять магнитные поля в достаточно широком диапазоне индукций. В связи с увеличением числа средств магнитных измерений особенно актуальной становится задача обеспечения единства и достоверности измерений, осуществляемых этими средствами. Для воспроизведения значений магнитных величин с заданной точностью используются меры магнитной индукции, градиента магнитной индукции, магнитного потока, магнитного момента и др. [1 – 3]. Вследствие этого возникла необходимость систематизировать и автоматизировать процесс проектирования мер магнитных величин с заданными свойствами с целью улучшения их технических и метрологических характеристик. Под свойствами меры понимаются ее геометрические размеры, пространственная конфигурация генерируемого ею магнитного поля, геометрические размеры рабочей зоны, расположение рабочей зоны относительно системы, генерирующей магнитное поле, и др. Проблема создания меры с заданными свойствами предполагает решение двух задач: теоретической, в которой решается задача синтеза магнитного устройства, и практической, целью которой является определение допустимых диапазонов изменений параметров изготавливаемого изделия, обеспечивающих в пределах заданной точности соответствие генерируемого магнитного поля полученному теоретически. В данной работе предлагается решение теоретической части проблемы. Судя по материалам соответствующей технической литературы, для разработки источников, генерирующих заданное магнитное поле, довольно успешно применяются некоторые методы параметрического синтеза. Однако все они имеют существенный недостаток [4 – 9]: любой из методов параметрического синтеза осуществляет поиск оптимального решения только в рамках заданной (конкретной) структуры проектируемого объекта, что приводит к полной несостоятельности какого-либо утверждения об оптимальности найден-

ного решения на всем пространстве допустимых структур и, следовательно, к зависимости качества решения от квалификации и интуиции разработчика. В приведенных ниже исследованиях предлагается применение при проектировании мер магнитной индукции (ММИ) оптимизации более высокого уровня, так называемого структурного синтеза, который является расширением параметрического синтеза и включает его в себя [10]. Целесообразность использования методов структурного синтеза очевидна, поскольку в них, в отличие от методов параметрического синтеза, наряду с варьированием параметров внутри заданной структуры происходит варьирование самими структурами, что значительно повышает эффективность проектирования за счет увеличения пространства поиска. Предлагаемый в статье структурный синтез ММИ осуществлен в рамках интегрального подхода к синтезу источников магнитных полей [1, 11, 12].

С математической точки зрения задачи структурного синтеза (или структурной оптимизации) в общем виде относятся к классу многопараметрических многоэкстремальных многокритериальных смешанных задач нелинейного программирования с многосвязной областью поиска переменной размерности [10]. Целью структурного синтеза является определение оптимальной структуры проектируемого объекта – перечня типов элементов, составляющих объект, и способа связи элементов между собой в составе объекта.

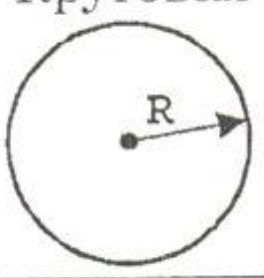
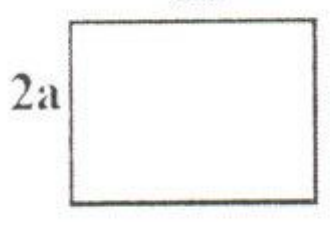
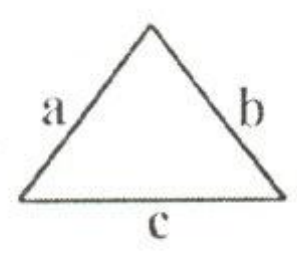
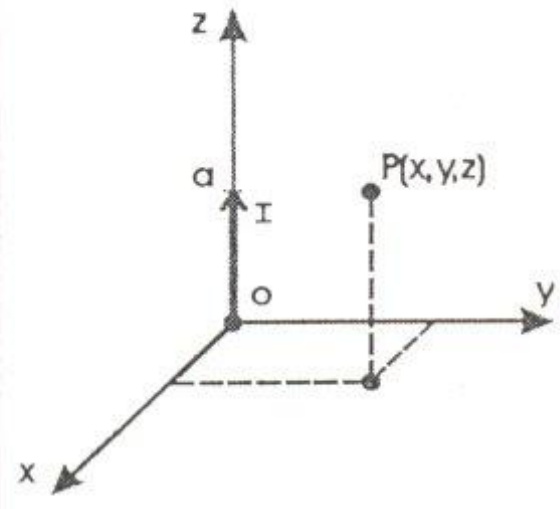
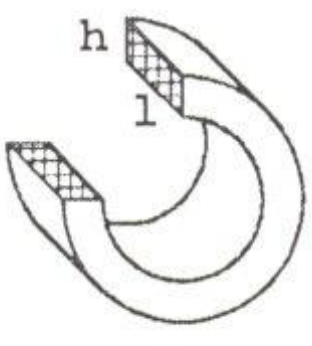
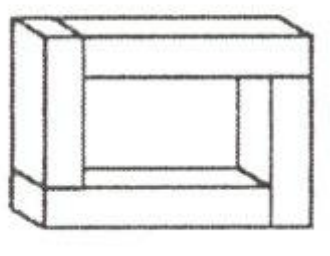
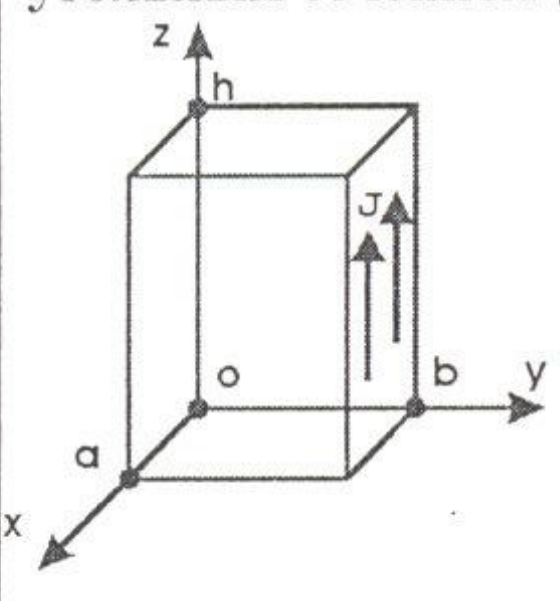
В данной статье в качестве ММИ рассматриваются системы соосно расположенных соленоидальных контуров, и под структурой меры понимается совокупность контуров, создающих результирующее магнитное поле, которая характеризуется их числом, формой, магнитодвижущей силой (м.д.с.), расположением в пространстве, направлением намотки и геометрическими размерами [13].

Ограничиваясь для определенности только случаем синтеза магнитного поля на оси ММИ, предлагается использовать контуры форм, представленных в табл. 1.

В ММИ контуры располагаются на одной оси, и, следовательно, под расположением в пространстве понимается расстояние от начала координат до плоскости контура (координата контура).

Примеры различных структур с учетом введенных в рассмотрение признаков и возможных вариантов геометрического расположения рабочей зоны ММИ представлены на рис. 1.

Предлагаемые типы компонент структуры ММИ

№	Форма контура	Аксиальная составляющая напряженности поля на оси ММИ
a)	Круговая 	$H(z) = \frac{Iw}{2} \frac{R^2}{(R^2 + (z - Z_K)^2)^{3/2}},$ где Iw, R, Z_K – соответственно м.д.с., радиус и координата контура [2, 3].
b)	Прямоугольная 	$H(z) = \frac{Iwab}{\pi \sqrt{a^2 + b^2 + (z - Z_K)^2}} \left(\frac{1}{a^2 + (z - Z_K)^2} + \frac{1}{b^2 + (z - Z_K)^2} \right),$ где Iw, a, b, Z_K – соответственно м.д.с., половина высоты, половина ширины и координата контура [2, 3].
c)	Треугольная 	Значение составляющей напряженности вычисляется методом суперпозиций с использованием модели прямолинейной нити тока конечной длины [14]: $\vec{H} = H_x \vec{i}_x + H_y \vec{i}_y;$ $H_x = -\frac{I}{4\pi} \left(\frac{y}{x^2 + y^2} \right) \left(\frac{a-z}{(x^2 + y^2 + (a-z)^2)^{1/2}} + \frac{z}{(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}} \right);$ $H_y = \frac{I}{4\pi} \left(\frac{x}{x^2 + y^2} \right) \left(\frac{a-z}{(x^2 + y^2 + (a-z)^2)^{1/2}} + \frac{z}{(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}} \right),$ где H – магнитное поле, создаваемое в точке $P(x, y, z)$ нитью тока длиной a с током I . 
d)	Круговая с учетом сечения контура 	$H(z) = \frac{J}{2} \left[(0,5l - z + Z_K) \ln \frac{R_H + \sqrt{R_H^2 + (0,5l - z + Z_K)^2}}{R_B + \sqrt{R_B^2 + (0,5l - z + Z_K)^2}} + (0,5l + z - Z_K) \ln \frac{R_H + \sqrt{R_H^2 + (0,5l + z - Z_K)^2}}{R_B + \sqrt{R_B^2 + (0,5l + z - Z_K)^2}} \right],$ где R_B, R_H, l, h, Z_K – соответственно внутренний и наружный радиусы, длина, высота сечения, координата контура; J – плотность тока по сечению контура [2].
e)	Прямоугольная с учетом сечения контура 	Значение составляющей напряженности вычисляется методом суперпозиций с использованием модели токонесущего модуля конечной длины с прямоугольным сечением [14]: $\vec{H} = H_x \vec{i}_x + H_y \vec{i}_y;$ $H_x = -\frac{J}{4\pi} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 (-1)^{i+j+k} \left(x_i \ln(z_k + (x_i^2 + y_j^2 + z_k^2)^{1/2}) + \right.$ $\left. + z_k \ln(x_i + (x_i^2 + y_j^2 + z_k^2)^{1/2}) - y_j \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{x_i z_k}{y_j (x_i^2 + y_j^2 + z_k^2)^{1/2}} \right) \right);$ $H_y = -\frac{J}{4\pi} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 (-1)^{i+j+k} \left(y_j \ln(z_k + (x_i^2 + y_j^2 + z_k^2)^{1/2}) + \right.$ $\left. + z_k \ln(y_j + (x_i^2 + y_j^2 + z_k^2)^{1/2}) - x_i \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{y_j z_k}{x_i (x_i^2 + y_j^2 + z_k^2)^{1/2}} \right) \right);$ $x_1 = x; \quad y_1 = y; \quad z_1 = z; \quad x_2 = x - a; \quad y_2 = y - b; \quad z_2 = z - h,$ где h – длина модуля; a, b – размеры сечения модуля; J – плотность тока. 

Задача структурного синтеза ММИ может быть сформулирована следующим образом.

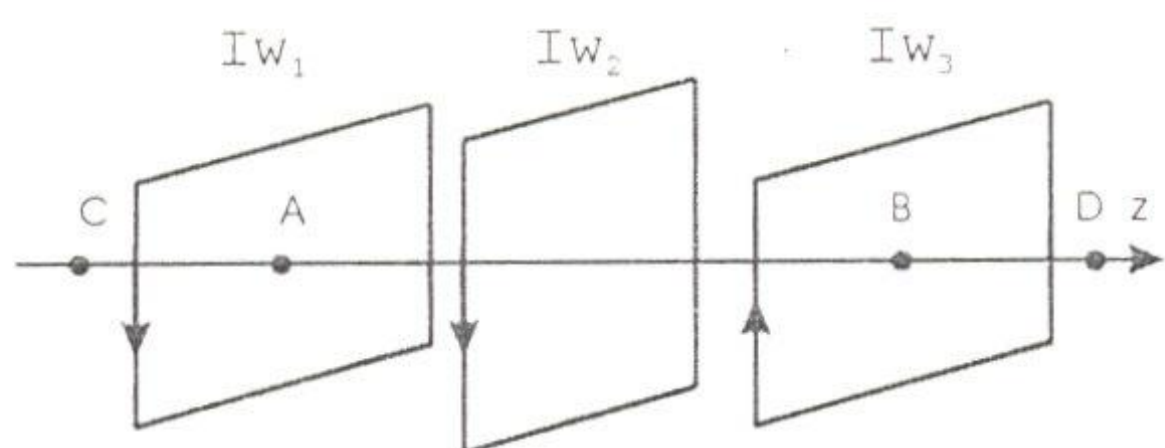
Пространство переменных параметров, в котором можно описать множество возможных структур ММИ, записывается в виде вектора

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_N),$$

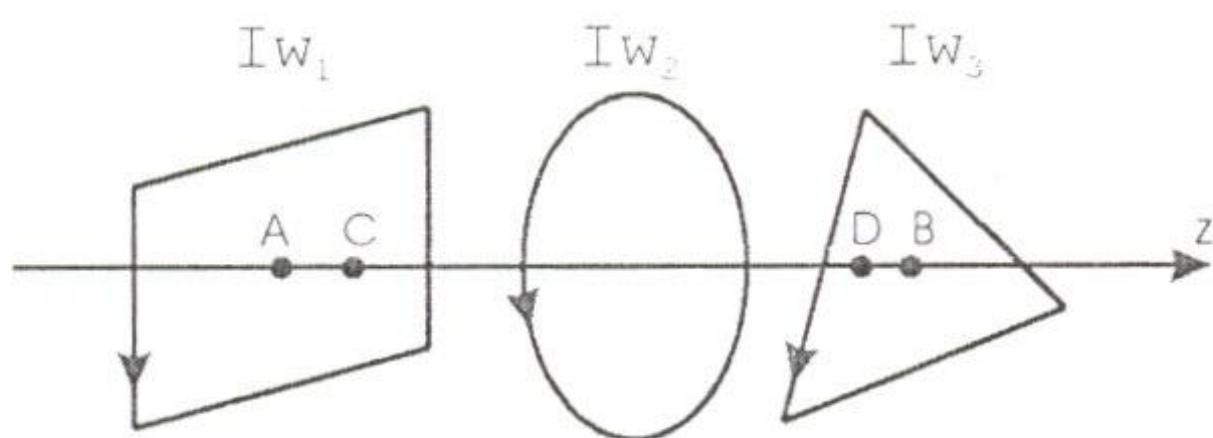
где N – число контуров, из которых состоит источник; X_i – вектор параметров i -го контура (см. табл. 1),

$$X_i = \begin{cases} (D_i, S_i, M_i, Z_i, R_i) & \text{для модели а),} \\ (D_i, S_i, M_i, Z_i, a_i, b_i) & \text{для модели б),} \\ (D_i, S_i, M_i, Z_i, a_i, b_i, c_i) & \text{для модели в),} \\ (D_i, S_i, M_i, Z_i, R_i, l_i, h_i) & \text{для модели д),} \\ (D_i, S_i, M_i, Z_i, a_i, b_i, l_i, h_i) & \text{для модели е),} \end{cases} \quad (i = \overline{1, N}),$$

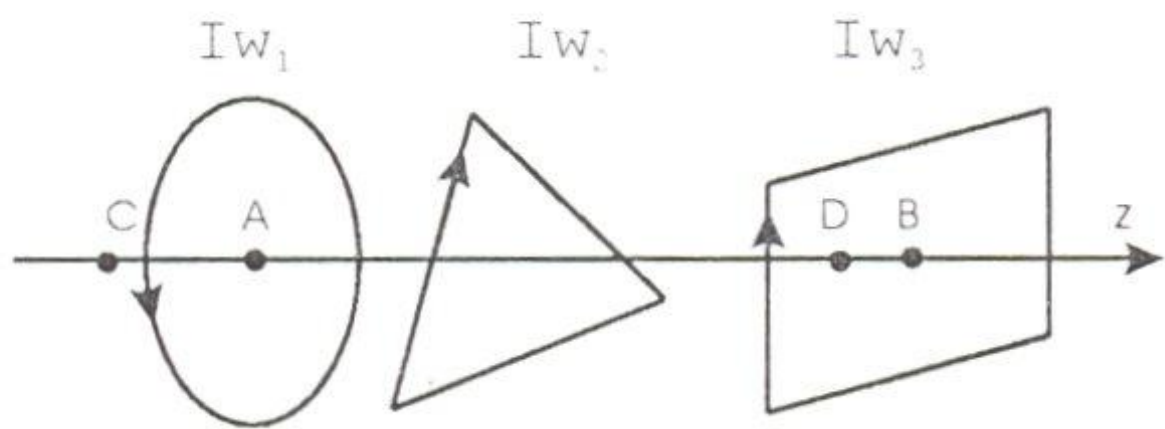
где $D_i, S_i, M_i, Z_i, R_i, a_i, b_i, c_i$ – соответственно направление намотки, форма, м.д.с., координата и геометрические размеры i -го контура; l_i, h_i – геометрические размеры сечения i -го контура.



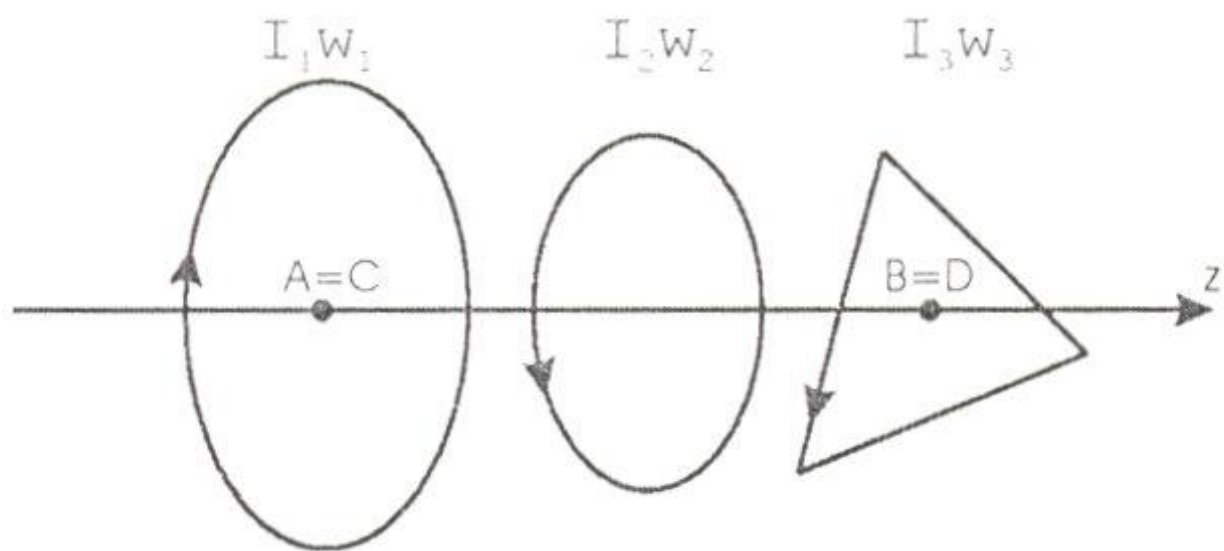
а) двусторонний выход рабочей зоны за пределы границ ММИ



б) рабочая зона внутри границ ММИ



в) односторонний выход рабочей зоны за пределы границ ММИ



г) рабочая зона совпадает с границами ММИ

Рис. 1. Возможные структуры ММИ (на примере трехконтурных систем): [A; B] – длина ММИ; [C; D] – длина рабочей зоны ММИ

Задаются ограничения, накладываемые на м.д.с., расположение в пространстве и геометрические размеры контуров и определяющие физическую реализуемость структуры ММИ:

$$\begin{aligned} M_i &\leq M_{\max}, \\ Z_{\min} &\leq Z_i \leq Z_{\max}, \\ R_{\min} &\leq R_i \leq R_{\max}, \\ a_{\min} &\leq a_i \leq a_{\max}, \\ b_{\min} &\leq b_i \leq b_{\max}, \\ c_{\min} &\leq c_i \leq c_{\max}, \\ h_{\min} &\leq h_i \leq h_{\max}, \\ l_{\min} &\leq l_i \leq l_{\max}, \end{aligned} \quad (i = \overline{1, N})$$

Задается вектор критериев оптимальности (качества):

$$F(X) = (f_1(X), f_2(X), f_3(X), \dots, f_L(X)).$$

Это могут быть, например, количество контуров в системе $f_1(X) = N$, максимальное относительное отклонение напряженности поля в контрольных точках $f_2(X) = \max(|H_j^{\Pi} - H_j^3| / H_j^3), j = \overline{1, K}$, где H_j^{Π} – напряженность полученного поля, генерируемого структурой X , в j -й контрольной точке; H_j^3 – напряженность заданного поля в j -й контрольной точке; K – число контрольных точек. Требуемое распределение магнитного поля в контрольных точках может быть задано в табличном виде или вычисляться с помощью заданной функциональной зависимости. Изменяя координаты контрольных точек и ограничения на расположение контуров (то есть на координаты контуров), можно задавать требуемое распределение рабочей зоны ММИ относительно границ меры.

Задаются критериальные ограничения, например, вида

$$\begin{aligned} 0 &< f_1(X) < N_{\max}; \\ f_2(X) &< \varepsilon \text{ и т.д.}, \end{aligned}$$

где ε – требуемая относительная погрешность синтеза магнитного поля в контрольных точках.

Требуется определить такую структуру $X^* = (X_1^*, X_2^*, \dots, X_N^*)$, которая бы удовлетворяла ограничениям и оптимизировала вектор критериев оптимальности $F(X^*) = F_{\text{opt}}$, например, минимизировала количество контуров и максимальное относительное отклонение напряженности поля в контрольных точках и т.д.

Известен ряд методов, применимых для решения подобных задач структурного синтеза, таких как: логико-комбинаторный подход, основанный на использовании аппарата булевых функций и многомерных грамматик; алгоритмы поиска глобально-оптимальных решений, в основе которых лежит идея конкуренции решений [10]; методы самоорганизации (МГУА); генетические алгоритмы [15], основанные на моделировании некоторых механизмов популяционной генетики, применительно к решению технических задач проектирования.

В основе предлагаемого подхода к решению задачи структурного синтеза ММИ с заданными свойствами лежит генетический алгоритм поиска экстремальных значений, что обусловлено все более возрастающей популярностью этого метода при решении подобных задач и проявляемым к нему интересом зарубежных и отечественных исследователей.

Генетические алгоритмы являются одними из эволюционных алгоритмов, применяемых для поиска глобального экстремума функции многих переменных. Принцип работы генетических алгоритмов основан на моделировании некоторых механизмов популяционной генетики: манипулирования хромосомным набором при формировании генотипа новой "биологической" особи путем наследования участков хромосомных наборов родителей (кроссинговер), случайного изменения генотипа, известного в природе как мутация. В нашем случае под хромосомным набором понимается совокупность кодированных параметров, описывающая структуру конкретной ММИ. Другим важным механизмом, заимствованным у природы, является процедура естественного отбора, направленная на улучшение от поколения к поколению приспособленности членов популяции путем большей способности к "выживанию" особей, обладающих определенными признаками. Мерой приспособленности в данной задаче является вектор критериев оптимальности, то есть одна особь (структура) лучше приспособлена, чем другая, если у нее, например, минимальное число контуров и наименьшее максимальное относительное отклонение напряженности поля в контрольных точках и т.д.

Генетические алгоритмы работают с совокупностью "особей" – популяцией, каждая из которых представляет возможное решение данной проблемы. Каждая особь оценивается мерой ее "приспособленности" согласно тому, насколько "хорошо" соответствующее ей решение задачи. Наиболее приспособленные особи получают возможность "воспроизводить" потомство с помощью "перекрестного скрещивания" с другими особями популяции. Это приводит к появлению новых особей, которые сочетают в себе некоторые характеристики, наследуемые ими от родителей. Наименее приспособленные особи с меньшей вероятностью смогут воспроизвести потомков, так что те свойства, которыми они обладали, будут постепенно исчезать из популяции в процессе эволюции. Скрещивание наиболее приспособленных особей приводит к тому, что исследуются наиболее перспективные участки пространства поиска. В конечном итоге популяция будет сходиться к оптимальному решению задачи.

На основе этого подхода разработан программный комплекс на Microsoft Visual C++ 6.0,

позволяющий решать задачи структурного синтеза ММИ.

В качестве примера рассмотрим задачу синтеза ММИ с рабочей зоной, расположенной на оси и внутри границ ММИ. Генерирование структур ММИ осуществляется с использованием моделей а) и б) (см. табл. 1). Требуемое распределение магнитного поля задается значениями напряженности поля в контрольных точках:

$$Z_j^3 = 0,0005 \cdot (j - 1) \text{ м}; \quad H_j^3 = 200 \text{ А/м}, \quad (j = \overline{1,51}),$$

где Z_j^3 – координата j -й контрольной точки.

Ограничения имеют вид

$$\begin{aligned} &(M_i \leq 100) \text{ А} \cdot \text{витков}, \\ &(-0,005 \leq Z_i \leq 0,03) \text{ м}, \\ &(0,001 \leq R_i \leq 0,05) \text{ м}, \quad (i = \overline{1, N}) \\ &(0,001 \leq a_i \leq 0,05) \text{ м}, \\ &(0,001 \leq b_i \leq 0,05) \text{ м}. \end{aligned}$$

В качестве критериев оптимальности используются количество контуров $f_1(X) = N$ и максимальное относительное отклонение напряженности поля в контрольных точках $f_2(X) = \max_j |H_j^1 - H_j^3| / H_j^3$, $j = \overline{1,51}$. Вектор критериев оптимальности имеет вид $F(X) = (f_1(X), f_2(X))$.

Ограничение максимального относительного отклонения напряженности поля в контрольных точках $f_2(X) < 0,5\%$.

В результате синтеза ММИ была получена следующая структура, содержащая четыре контура прямоугольной и круговой форм (см. табл. 2).

М.д.с., найденная в результате численного эксперимента, для всех контуров составила 12,9361 А·витка, так как в данном численном эксперименте варьирование числами витков в контурах не производилось. Максимальное абсолютное отклонение поля в контрольных точках составило 0,4969 А/м, максимальное относительное отклонение – 0,25 %, что является вполне приемлемым результатом.

Рассмотрим задачу синтеза ММИ с рабочей зоной, расположенной на оси и выходящей с двух сторон за границы ММИ ($CD/AB > 1$). Все входные данные данного численного эксперимента такие же, как и в предыдущем примере, кроме ограничений на расположение контуров:

$$(0,001 \leq Z_i \leq 0,024) \text{ м}, \quad (i = \overline{1, N}).$$

Таблица 2

Результат синтеза ММИ (пример 1)

№ контура	Направление обмотки	Форма	Координата, м	Размеры, м
1	По часовой стрелке	Прямоугольная	0,0183	0,0470 0,0485
2	По часовой стрелке	Прямоугольная	0,0275	0,0379 0,0448
3	По часовой стрелке	Прямоугольная	– 0,0042	0,0425 0,0389
4	Против часовой стрелки	Круговая	0,0147	0,0405

$$[A; B] = [-0,0042; 0,0275], \text{ м}; \quad [C; D] = [0; 0,025], \text{ м}.$$

Результат синтеза ММИ (пример 2)

№ контура	Направление обмотки	Форма	Координата, м	Размеры, м
1	По часовой стрелке	Прямоугольная	0,0122	0,0384 0,0381
2	Против часовой стрелки	Прямоугольная	0,0210	0,0452 0,0464
3	Против часовой стрелки	Прямоугольная	0,0038	0,0434 0,0470

$[A;B]=[0,0038; 0,0210]$, м; $[C;D]=[0; 0,025]$, м.

В результате синтеза ММИ была получена структура с меньшим, чем в предыдущем примере, числом контуров (см. табл. 3).

М.д.с., найденная в результате численного эксперимента, одинакова для всех контуров и составила 27,77 А-витка, так как и в данном случае варьирование числами витков в контурах не производилось. Максимальное абсолютное отклонение синтезированного поля составило 0,3605 А/м, максимальное относительное отклонение – 0,18 %. В данном случае достигнута меньшая погрешность синтеза магнитного поля даже при упрощении структуры ММИ в результате уменьшения числа контуров.

Для оценки полученных результатов сравним их с известной системой Гельмгольца [1, 3, 16, 17], контуры которой расположены на границах рабочей зоны, указанной в примерах: $Z_1=0$ м, $Z_2=0,025$ м. Соответственно радиусы контуров равны длине системы: $R_1=R_2=0,025$ м. На рис. 2 для каждой рассматриваемой системы контуров представлено распределение относительных отклонений напряженности магнитного поля. Координаты контрольных точек, расположенных с шагом 0,5 мм на оси z , приведены на графике в безразмерных относительных единицах, получаемых отношением координаты точки к длине рабочей зоны.

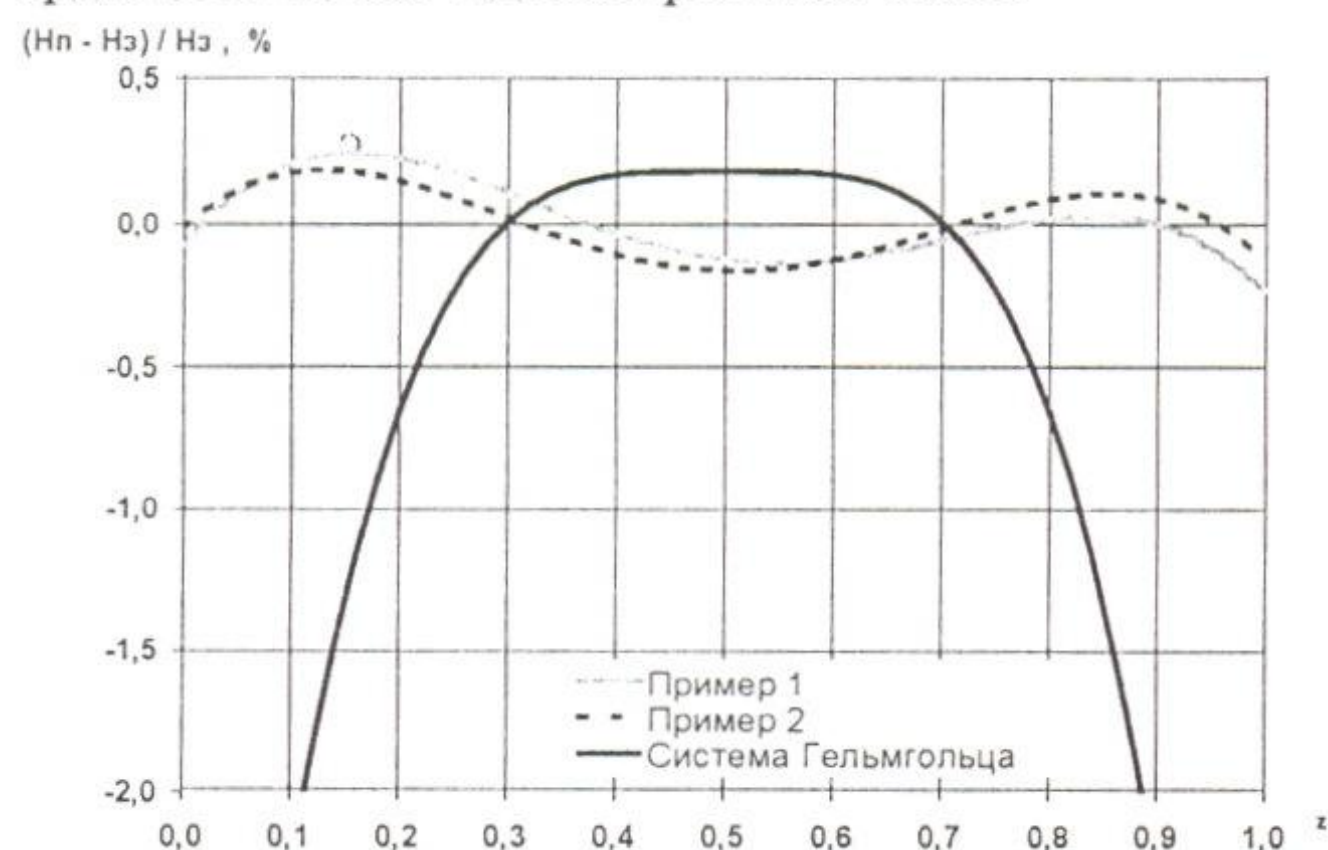


Рис. 2. Распределения относительных отклонений напряженности магнитного поля вдоль длины рабочей зоны

Как показано в работе [3], система Гельмгольца обладает рабочей зоной с нормированной неоднородностью поля порядка 1 %, протяженность которой приблизительно равна половине длины системы $CD/AB \approx 0,5$. Системы контуров, получен-

ные в результате численных экспериментов по предлагаемой методике при таких же требованиях к неоднородности поля, обладают значительно лучшими показателями: $CD/AB \approx 0,8$ (пример 1) и $CD/AB \approx 1,4$ (пример 2).

Численные эксперименты свидетельствуют о достаточно высокой эффективности предложенного алгоритмического и программного обеспечения, а также широких возможностях выбранного подхода к улучшению технических и метрологических характеристик мер магнитных величин.

С помощью указанного программного комплекса проектировались поверочные соленоиды, входящие в состав оборудования для контроля качества намагничивания и размагничивания изделий с постоянными магнитами [18], а также применяющиеся для проверки цифровых измерителей индукции, предназначенных для измерения остаточной индукции деталей самолетов [19].

Список литературы

1. Средства измерений параметров магнитного поля / Ю.В. Афанасьев, Н.В. Студенцов, В.Н. Хорев и др. -Л.: Энергия, 1979. -320 с.
2. Алиевский Б.Л., Орлов В.Л. Расчет параметров магнитных полей осесимметричных катушек. -М.: Энергоатомиздат, 1983. -112 с.
3. Штамбергер Г.А. Устройства для создания слабых постоянных магнитных полей. -Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1972. -176 с.
4. Павлов А.К., Гальченко В.Я., Велигура А.В. //Вісник Східноукраїнського національного університету. -2001. -№ 9 (43). -С. 270 - 277.
5. Павлов А.К., Гальченко В.Я. // Вісник Сумського державного університету. -2002. -№ 1 (34). -С. 50 - 56.
6. Павлов А.К., Гальченко В.Я. // Електричний журнал. -2001. -№ 1. -С. 19 - 23.
7. Гальченко В.Я., Павлов О.К., Воробйов М.О. //Методи і прилади контролю якості. -2002. -№ 8. -С. 3 - 5.
8. Гальченко В.Я., Павлов А.К. // Український метрологічний журнал. -2002. -Вип.1. -С. 25-30.
9. Павлов А.К., Гальченко В.Я. // Інформаційні технології. -2002. -№ 7. -С. 47-53.
10. Автоматизация поискового конструирования (искусственный интеллект в машинном проектировании) / А.И. Половинкин, Н.К. Бобков,

- Г.Я. Буш и др.; Под ред. А.И. Половинкина. - М.: Радио и связь, 1981. -344 с.
11. Яковенко В.В., Гальченко В.Я., Донская Л.В. //Изв. вузов. Электромеханика. -1990. -№ 6. -С. 75-78.
 12. Яковенко В.В., Гальченко В.Я., Бондаренко В.Е. //Там же. -1991. -№ 8. -С. 16.
 13. Воробьев М.А., Гальченко В.Я. //Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія – 2002): Наук. праці III Міжнар. наук.-техн. конф. у 2-х томах. Т. 1. -Харків: ХДНДІМ, 2002. -С. 195-197.
 14. Том Р., Тарр Дж. Магнитные системы мдг-генераторов и термоядерных установок. -М.: Энергоатомиздат, 1985. -272 с.
 15. Батищев Д.И. Генетические алгоритмы решения экстремальных задач /Под ред. Я.Е.Львовича. -Воронеж, 1995.
 16. Чечерников В.И. Магнитные измерения. -М.: Изд-во МГУ, 1969. -387 с.

17. Магнитные измерения /Е.Т.Чернышев, Е.Н.Чечурина, Н.Г. Чернышева и др. -М.: Изд-во стандартов, 1969. -248 с.
18. Гальченко В.Я., Павлов А.К. //Український метрологічний журнал. -2002. -Вип. 2. -С. 65-66.
19. Гальченко В.Я., Яковенко В.В., Шагров Г.И., Лойко А.В. //Приборы и техника эксперимента. -1992. - № 1. -С. 239.

THE STRUCTURAL SYNTHESIS OF MAGNETIC INDUCTION MEASURES HAVING THE SPECIFIED PROPERTIES

V.Y.Galchenko, M.A.Vorobyov

An approach to the synthesis of measures of magnetic induction with the given characteristics is described. The approach is based on using structural synthesis when designing and is realized by selection of optimal structure and its parameters by means of genetic algorithms. The results of the synthesis of measures of magnetic induction with the working area arranged on the axis of device are presented.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Гальченко Володимир Якович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Луганського державного медичного університету

Воробйов Михайло Олександрович – аспірант Луганського державного медичного університету

УДК 621.317.784.029.6

СЛИЧЕНИЕ ВАТТМЕТРОВ СВЧ С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ КОАКСИАЛЬНЫХ РЕЗИСТИВНЫХ ДЕЛИТЕЛЕЙ

В.П.Середний, Ю.А.Шевелев

Описаны особенности применения устройств на основе резистивных делителей для сличения ваттметров СВЧ при поверке и калибровке, рассмотрены методы измерения эффективного коэффициента отражения резистивных делителей и некоторые методы уменьшения погрешности рассогласования при выполнении сличений.

Для сличений ваттметров СВЧ при поверке или калибровке применяются методы и устройства с использованием направленных ответвителей, 12-полюсных и многополюсных рефлектометров. При построении перечисленных устройств для коаксиальных трактов обеспечить высокую направленность в широкополосных ответвителях достаточно сложно. Наряду с использованием ответвителей в устройствах для сличений применяются резистивные делители мощности. Их преимуществами являются более широкий рабочий диапазон частот (от постоянного тока до СВЧ) и сравнительная простота изготовления.

Ниже приведен краткий обзор публикаций, посвященных работам по исследованию характеристик и применению резистивных делителей в измерительных системах для поверки и калибровки ваттметров СВЧ.

Упрощенная схема устройства для сличения ваттметров на основе делителя приведена на рис. 1. В состав устройства входят генератор сигналов Г, резистивный делитель, опорный $B_{оп}$, эталонный $B_{э}$ и поверяемый $B_{п}$ ваттметры СВЧ.

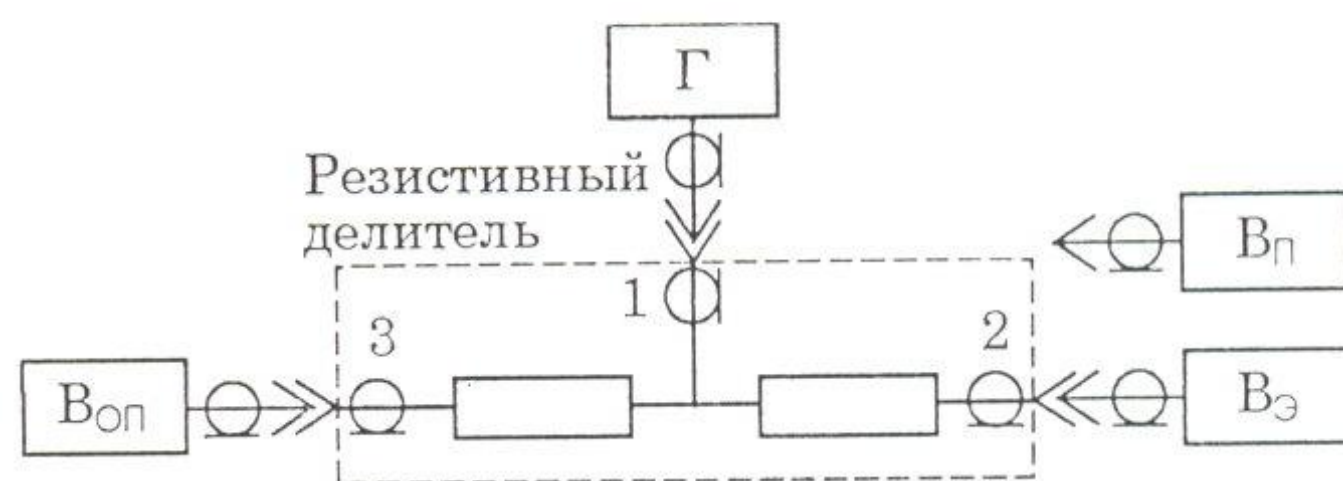


Рис. 1. Схема устройства для сличения ваттметров СВЧ