

ОБ УПРОЩЕНИИ КОНСТРУКЦИИ ВЫСОКОТОЧНЫХ СТАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО МОМЕНТА

Пилюгина О.Ю. к.т.н., Пелевин Д.Е., Ерисов А.В.
 Отделение магнетизма Института электродинамики НАН Украины
 Украина, 61106, Харьков, ул. Индустриальная, 19
 тел./факс (0572) 99-21-62, e-mail: magnetizm@kharkov.com

Розглянуті питання спрощення конструкції високоточних статичних вимірювальних пристроїв, які використовуються для визначення магнітного моменту технічних об'єктів, при збереженні високих показників їх методичної погрешності.

Рассмотрены вопросы упрощения конструкции высокоточных статических устройств для определения магнитного момента технических объектов при сохранении высоких показателей их методической погрешности.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящей статье рассмотрены вопросы совершенствования статических устройств [1] для определения магнитных моментов объектов техники. Это совершенствование предполагается проводить в направлении упрощения конструкции статических устройств при обеспечении высоких показателей их методической погрешности.

В основу идеологии построения таких устройств положено измерение магнитных потоков, создаваемых испытуемым объектом. На рис. 1 в качестве иллюстрирующего примера, приведено статическое устройство с первичным преобразователем магнитного потока, выполненным в виде двух последовательно включенных систем катушек Гельмгольца [2]. Первая система катушек (с меньшим габаритным размером) – измерительная, а вторая – компенсационная. Такое выполнение первичного преобразователя из двух систем катушек присуще всем типам статических устройств. При этом числа витков измерительной (W_u) и компенсационной (W_k) систем катушек выбирается исходя из равенства нулю магнитного потока в преобразователе при воздействии на него внешнего магнитного поля, в том числе и магнитного поля Земли:

$$W_u \cdot a^2 = W_k \cdot A^2 \quad (1)$$

Центр рабочего объема устройства (рис.1), в котором располагается испытуемый объект, совпадает с центром катушек преобразователя.

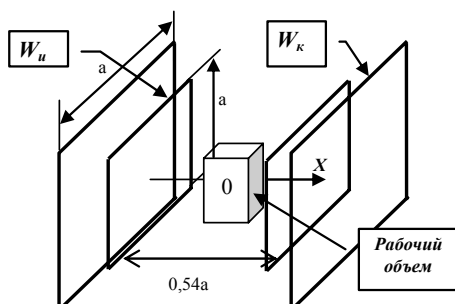


Рис. 1. Первичный преобразователь статической установки для измерения магнитного момента

Основой для определения магнитного момента испытуемого объекта является измеренная преобразо-

вателем величина его магнитного потока, Φ_x . Этот поток можно представить как сумму магнитных потоков от N точечных источников магнитного момента, в виде совокупности которых описывается магнитное поле любого, в том числе и испытуемого, объекта:

$$\Phi = \sum_{n=1}^N L_n^i \cdot M_n^i, \quad (2)$$

где: L_n^i – взаимная индуктивность между катушками первичного преобразователя и n -тым точечным источником магнитного момента \vec{M}_n^i , расположенным в i -той точке рабочего объема.

Это соотношение указывает на то, что коэффициент пропорциональности (L_n^i) между магнитным потоком в первичном преобразователе и величиной магнитного момента, который этот поток создает, зависит от места расположения источника в рабочем объеме устройства. Именно степень этого различия в упомянутых коэффициентах и устанавливает методическую погрешность Δ^i определения магнитного момента каждого точечного источника испытуемого объекта:

$$\bar{\Delta}^i = \frac{L_n^i - L_n^0}{|L_n^0|}, \quad (3)$$

где: L_n^0 – взаимная индуктивность при размещении точечного источника в геометрическом центре устройства.

Соотношение (3) можно также записать через неравномерность распределения индукции магнитного поля, которое потенциально может быть создано в рабочем объеме системой катушек преобразователя при протекании по ним тока:

$$\bar{\Delta}^i = \frac{\vec{B}^i - \vec{B}}{|\vec{B}|}, \quad (4)$$

где: $\vec{B}^i - \vec{B}$ – разность между величинами индукции магнитного поля в i -той точке рабочего объема и в геометрическом центре установки.

Такое представление методической погрешности позволяет задачу ее снижения свести к оптимизации параметров обмоток преобразователя по критерию

неравномерности индукции магнитного поля в рабочем объеме устройства.

Основой для оптимального выбора первичного преобразователя статической установки являются в первую очередь классические катушечные системы для создания равномерного магнитного поля в локальных объемах. К ним относятся упомянутые выше катушечные системы Гельмгольца, а также системы Максвелла, Рубенса, Браунбека и т.д. [3]. Что же касается конкретизации, как геометрии, так и самих размеров первичного преобразователя статической установки, то она производится исходя из габаритных размеров испытуемого оборудования, предельно допустимой методической погрешности в рабочем объеме, а также других требований инженерного характера, связанных с конструктивным и технологическим воплощением устройства. По существу, каждое статическое устройство представляет собой самостоятельное инженерное сооружение адаптированное, как правило, под один размер испытуемого оборудования и под одни и те же требования по методической погрешности определения его магнитного момента. При этом, чем жестче требования по величине методической погрешности, тем больше катушек будет содержать первичный преобразователь устройства и тем сложнее будет его конструктивное исполнение.

Разрешение конструктивных сложностей при создании высокоточных статических устройств и является целью настоящей статьи.

СИНТЕЗ МНОГООБОМОТОЧНЫХ СТАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Для разрешения конструктивных сложностей при создании статических устройств предлагается метод синтеза многообмоточных статических устройств с помощью простого универсального измерительного устройства.

Этот универсальный преобразователь (рис. 2), наряду с одной измерительной квадратной обмоткой, содержит и компенсационную обмотку с числом витков, определенных по соотношению (1). Статическое устройство с таким первичным преобразователем по своему прямому назначению не используется, ввиду существенных значений его методической погрешности при определении магнитного момента. Действительно, такая конфигурация обмоток преобразователя практически исключает наличие локальных (рабочих) объемов, с приблизительно равномерным распределением индукции магнитного поля. Предлагается такой преобразователь использовать как средство, с помощью которого в процессе определения магнитного момента представляется возможным сымитировать многообмоточные преобразователи с весьма низкой неравномерностью индукции магнитного поля в рабочем объеме устройства. Такая имитация основана, во-первых, на увеличении количества измерений магнитного потока от испытуемого изделия при его различных взаимных положениях относительно первичного преобразователя и, во-вторых, в соответствующей трактовке полученных результатов измерений. На рис. 2а проиллюстрирован пример имитации преобразователя (рис. 1) на основе катушек Гельмгольца.

Суть ее состоит в измерении двух магнитных потоков Φ_1 и Φ_2 от испытуемого объекта. Измерение магнитного потока Φ_1 , проводится при положении 1 испытуемого объекта, а второе измерение Φ_2 – при положении 2. На рис. 2а указаны также основные требования по взаимному расположению испытуемого объекта и первичного преобразователя при проведении измерений магнитных потоков Φ_1 и Φ_2 .

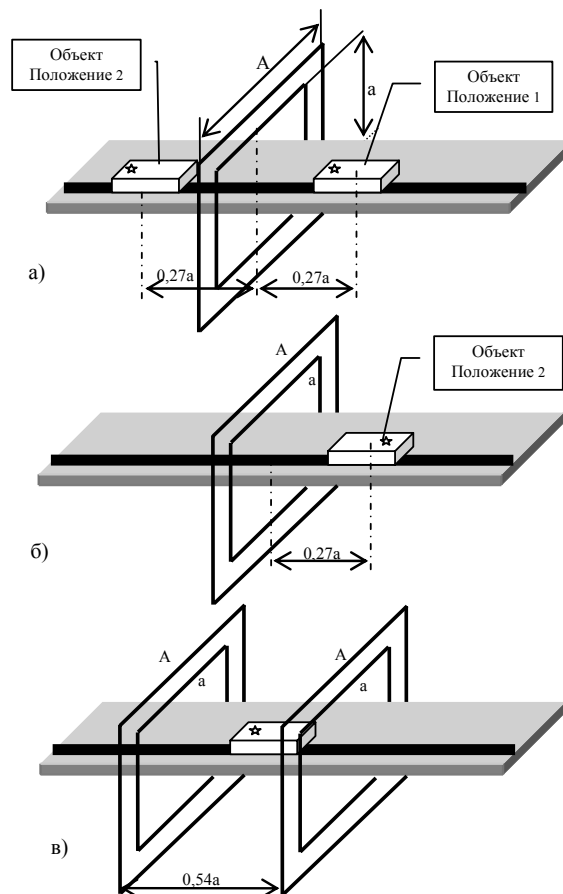


Рис. 2. Имитация (а), (б) первичного преобразователя (в)

Еще один вариант, адекватный положению 2, установки объекта по отношению к преобразователю приведен на рис. 2б. Фактически схема измерения объекта представленная на рис. 2а, 2б имитирует первичный преобразователь, приведенный на рис. 2в. В этом преобразователе измерительная система обмоток представляет собой систему катушек Гельмгольца (рис. 1), а компенсационная система выполнена с некоторым отклонением от этой системы. Это отклонение в компенсационной системе обмоток в незначительной степени ухудшает показатели неравномерности индукции магнитного поля, в сравнении с преобразователем, приведенным на рис. 1. Количественная величина этого ухудшения неравномерности магнитного поля во многом определяется размерами компенсационной обмотки – чем больше ее размер, тем меньше ее влияние на неравномерность индукции магнитного поля в рабочем объеме устройства.

Таким образом, сумма магнитных потоков $\Phi_1 + \Phi_2$ будет равна потоку Φ , который был бы измерен первичным преобразователем, приведенным на рис. 2в:

$$\Phi_1 + \Phi_2 = \Phi \quad (5)$$

Естественно, что и методическая погрешность определения магнитного момента при измерении по способу рис. 2 (а, б), будет определяться неравномерностью магнитного поля в рабочем объеме установки 2в. Как уже упоминалось выше, степень этой неравномерности будет очень близка к аналогичным показателям преобразователя построенного на системе катушек Гельмгольца (рис. 1). Приведенный пример, наглядно иллюстрирует возможности простого первичного преобразователя как средства обеспечивающего низкий уровень методической погрешности при определении магнитного момента объектов техники.

Рассмотрим один из возможных вариантов имитации катушечной системы Рубенса (рис. 3), которая характеризуется весьма высокой степенью равномерности распределения индукции магнитного поля. Система компенсационных обмоток на этом рис. 3 не показана, с целью его упрощения.

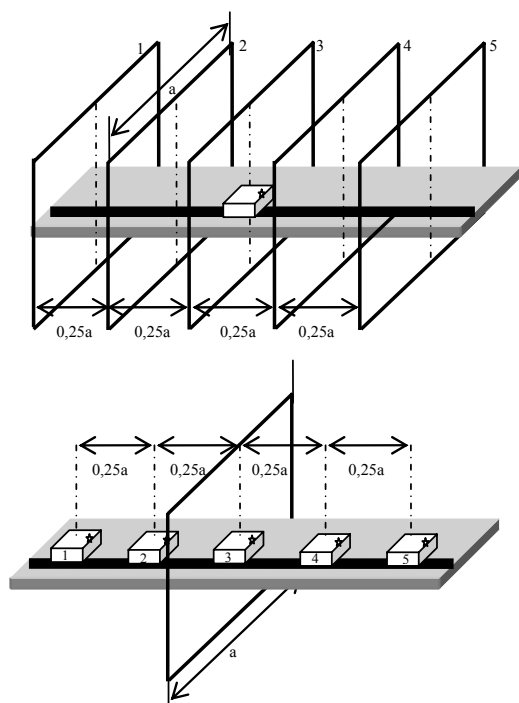


Рис. 3. Система обмоток Рубенса (а) и особенности ее имитации (б)

Система обмоток Рубенса состоит из пяти катушек (рис. 3а). Каждая катушка имеет квадратную форму со стороной квадрата a и отстоит от следующей катушки на расстоянии $0,25 a$. Соотношение витков крайних (№1, №5) и средних (№2, №4) катушек к виткам катушки (№3), соответственно равно 19/10 и 4/10. В такой системе катушек Δ^i равномерность индукции магнитного поля в рабочем объеме цилиндрической формы длиной $0,5a$ и диаметром $0,5a$ не будет превышать 1%. Этот показатель характеризуют выгоды данного преобразователя не только в методическом, но и конструктивном плане. Так, например, при габаритном размере первичного преобразователя $2m \times 2m \times 2m$, т.е. при $a = 2m$, момент точечного источника будет определяться с методической погрешностью менее 1% в рабочем объеме приблизительно $1m \times 1m \times 1m$.

Для имитации первичного преобразователя (рис.3а) предлагается провести пять измерений значений магнитного потока ($\Phi_1 - \Phi_5$) при различных взаимных положениях (рис. 3б) испытуемого объекта и простого преобразователя выполненного на базе одной катушки. Индекс магнитного потока $\Phi_1 - \Phi_5$ соответствует номеру позиции испытуемого объекта относительно первичного преобразователя. Этот номер на рис. 3б проставлен на испытуемом объекте.

Величина магнитного потока Φ , которая послужит основой для определения магнитного момента определяется как:

$$\Phi = \Phi_3 + \frac{19}{10}(\Phi_2 + \Phi_4) + \frac{4}{10}(\Phi_1 + \Phi_5) \quad (6)$$

Рассчитанная таким образом величина магнитного потока Φ будет равна магнитному потоку измеренному первичным преобразователем на основе системы катушек Рубенса (рис. 3а). Следовательно, что по полученному результату (6) величина магнитного момента испытуемого объекта будет определена с той же погрешностью что и в системе катушек Рубенса.

ВЫВОДЫ

Предложен подход упрощения конструкции статических устройств для определения магнитного момента технических объектов, при сохранении высоких показателей их методической погрешности. Упрощение конструкции осуществляется за счет имитации обмоток статических устройств одной обмоткой. Посредством такого простого преобразователя представляется возможным симитировать преобразователи более и более сложной конфигурации.

Выгоды такого подхода к реализации статических устройств заключается в относительной простоте исполнения первичного преобразователя, возможностям его трансформации под тот или иной габаритный размер испытуемого оборудования и под заданную методическую погрешность определения его магнитного момента.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Волохов С.А., Ивлева Л.Ф. Методическая погрешность измерений магнитного момента. Техн. электродинамика, 1996, №4, С. 72-74.
- [2] A.V. Kildishev, J.A. Nyenhuis, P.N. Dobrodeyev, S.A. Volokhov, and D.L. Boyko, "Application of magnetic signature processing to magnetic center pinpointing in marine vehicles", OCEANS '99 MTS/ IEEE Conference CD-ROM Proceedings (ISBN: 0-933857-25-4), Seattle 13-16 September 1999.
- [3] Пилюгина О.Ю., Пелевин Д.Е., Ерисов А.В. О расчете методической погрешности средств определения магнитного момента//Вісник НТУ "ХПИ" Зб.наук.праць. тематичний випуск: проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків.-2005. №48. – С. 127-136.

Поступила 22.11.2005