

УДК 620.179.14

Б. М. ГОРКУНОВ, д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ",
Н. Н. СИРЕНКО, канд.техн.наук, проф. НТУ "ХПИ",
И. В. ТЮПА, канд.техн.наук, доц. НТУ "ХПИ",
А. А. ТИЩЕНКО, канд.техн.наук, доц. НТУ "ХПИ"

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ПРОСТРАНСТВЕННО-ПЕРИОДИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

В работе рассмотрены вопросы теории электромагнитных преобразователей для многопараметровых измерений с полями, которые имеют пространственно-периодическую структуру. Показано, как с помощью зависимостей амплитудных пространственных гармоник можно расположить секции измерительных обмоток с тем, чтобы выделить из сигнала преобразователя необходимые гармоники. Приведены графики зависимостей нормированных амплитуд и фаз. Описан алгоритм определения электромагнитных и геометрических параметров цилиндрических изделий. Сделан вывод о том, что электромагнитные преобразователи позволяют осуществлять многопараметровый контроль за счет использования определенного числа отдельных пространственных гармоник зондирующего поля.

Ключевые слова: электромагнитный преобразователь, пространственно-периодическое поле, многопараметровые измерения, электромагнитные параметры.

Постановка проблемы. В настоящее время достаточно актуальным является вопрос развития многопараметровых методов измерений, которые позволяют получить наиболее полную информацию о состоянии объектов. Для одновременного определения двух параметров изделия наиболее удобным является использование электромагнитных преобразователей (ЭМП), работающих на одной, фиксированной частоте. В этом случае измеряют два признака выходного сигнала ЭМП, а затем решают систему из двух уравнений, связывающих измерительные признаки сигнала с параметрами изделия. При одновременном определении трех и более информативных параметров исследуемого объекта необходимо использовать большее число независимых уравнений. Эти параметры можно определять с помощью ЭМП, работающем на нескольких частотах. Суть такого метода состоит в том, что изделие зондируется полями двух и более частот, а затем в выходных сигналах выделяют по два признака (амплитуду и фазу), соответствующих фиксированным частотам. Однако, использование этого метода на практике осложняется трудностями фазовой синхронизации во времени зондирующих полей и выделением выходных электрических параметров (и их признаков) из результирующего сигнала ЭМП [1-3].

Как указано в работе [4], одновременные многопараметровые измерения можно упростить, если использовать пространственно-периодические магнитные поля, изменяющиеся во времени по синусоидальному закону на одной фиксированной частоте.

Цель статьи. Цель данной работы заключается в рассмотрении вопросов теории ЭМП для многопараметровых измерений с полями, имеющими пространственно-периодическую структуру.

Основная часть. При создании устройств с пространственно-периодическими полями целесообразно использовать трансформаторные преобразователи, у которых измерительные обмотки размещаются на радиусах меньших, чем радиусы возбуждающих полюсов. Это позволяет выделить несколько первых преобладающих гармоник, поскольку остальные затухают.

На рис. 2 показано, как с помощью зависимостей амплитудных значений 1-й и 2-й (а), а также 1-й и 3-й (б) пространственных гармоник H_r – составляющих поля от величины φ можно расположить секции измерительных обмоток с тем, чтобы выделить из сигнала преобразователя гармоник с указанными номерами [5].

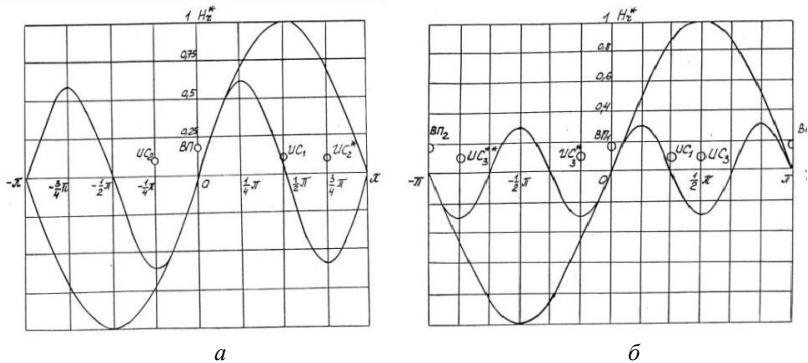


Рис. 1 – Зависимости пространственных гармоник поля от величины ϕ и расположения секций измерительной обмотки : а – 1-й и 2-й пространственных гармоник; б – 1-й и 3-й пространственных гармоник

При контроле параметров исследуемых изделий одним из главных вопросов является определение способов и средств выделения требуемых гармоник из результирующих сигналов преобразователя и ослабления влияния на результаты контроля гармоник с более высокими номерами. Отметим основные пути подавления амплитуд мешающих пространственных гармоник: размещение секций измерительных обмоток на радиусах, меньших радиусов намагничивающих полюсов; рациональный выбор числа полюсов с однонаправленными токами в них и числа пар полюсов с противоположно направленными токами; увеличение угловой ширины возбуждающих полюсов; размещение секций измерительных обмоток на определенных лучах $\phi = \text{const}$; соответствующее включение таких секций; выбор угловой ширины секций измерительной обмотки.

Необходимо отметить, что каждая пространственная гармоника электромагнитного поля по-разному проникает в проводящий цилиндр, а, следовательно, и реакция изделия на каждую зондирующую пространственную гармонику будет различна. Такое различие проявляется в изменении характерных, признаков гармоник, т. е. их амплитуд и временных фаз. Это дает возможность использовать и выбрать тип преобразователя с пространственно-периодическими полями для многопараметровых измерений.

Практический интерес представляет решение обратной задачи, т.е. определение косвенными методами электромагнитных и геометрических параметров цилиндрических изделий, а также связанных с ними механической нагрузки и температуры. Для

определения этих параметров нужно иметь рассчитанные значения зависимостей нормированных амплитуд и фаз первой и третьей гармоник в виде таблиц или графических зависимостей $A_3/A_1^3=f(\text{tg}\Phi_1)$, $\text{tg}\Phi_1=f(x)$, $A_1d/a=K=f(x)$, которые приведены на рис. 2, 3.

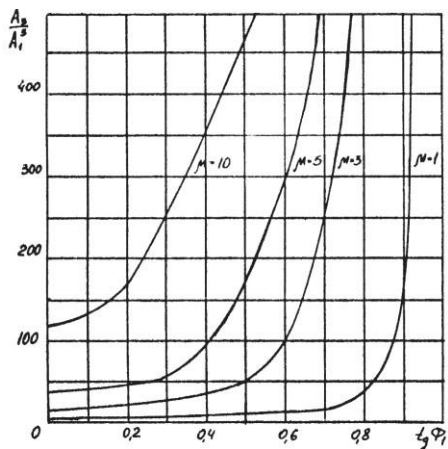


Рис. 2 – Универсальные зависимости нормированных амплитуд от фазы сигнала первой гармоники

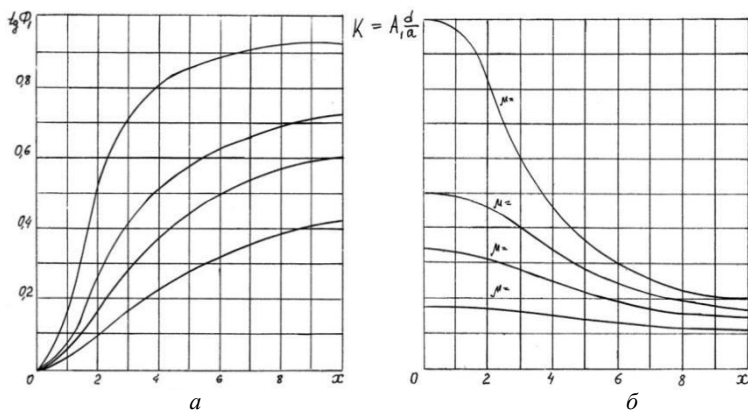


Рис. 3 – Графические зависимости: а – зависимость фазы первой гармоники от обобщенного параметра x ; б – зависимость нормированного параметра K от обобщенного параметра x

Алгоритм определения параметров цилиндрического изделия следующий: по измеренным значениям амплитуд первой и третьей гармоники и фазы первой гармоники, пользуясь графиком $A_3/A_1^3 = f(\text{tg}\Phi_1)$ (рис. 2), определяем по пересечению измеренных значений величину относительной магнитной проницаемости μ_r , затем, пользуясь графиком $\text{tg}\Phi_1 = f(x)$ (см. рис.3, а), по кривой соответствующего значения μ_r и измеренному значению $\text{tg}\Phi_1$ определяем обобщенный параметр x .

В дальнейшем по полученным значениям μ_r и x из графической зависимости $A_1 d/a = K = f(x)$ (рис. 3, б) находим значение K с последующим вычислением радиуса изделия a из формулы:

$$a = \frac{A_1 d}{K}, \quad (1)$$

где d – расстояние от центра ферромагнитного изделия до проводника с током; A_1 – безразмерный параметр [6].

Затем определяем удельную электропроводимость изделия σ :

$$\sigma = \frac{x^2}{a^2 \mu_r \mu_0 \omega}, \quad (2)$$

где μ_0 – магнитная постоянная ($4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м); ω – циклическая частота.

Вывод. Достоинство электромагнитных преобразователей с пространственно-периодическими полями состоит в том, что при работе на одной фиксированной временной частоте они позволяют осуществлять многопараметровый контроль за счет использования определенного числа отдельных пространственных гармоник зондирующего поля. Таким образом, данные преобразователи могут найти широкое применение в системах мониторинга электросетей, системах контроля гололедообразования и системах мониторинга динамических параметров магистральных высоковольтных линий.

Список литературы: 1. Клюев В.В и др. Измерения, контроль, испытания и диагностика / В.В. Клюев, Ф.Р. Сосниц, В.Н. Филинов.- М.: Машиностроение, 1996.- 464 с. 2. Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль. -М.: Высшая школа, 1992.- 312 с. 3. Клюев В.В. Неразрушающий контроль: Справочник: В7т. – М.: Машиностроение, 2003.- 588 с. 4. Б.М. Горкунов, А.А. Тищенко, И.Б. Горкунова. Многопараметровый электромагнитный контроль токопроводов в пространственно-периодических полях // Актуальні проблеми автоматики і приладобудування. – Х: НТУ "ХПІ". – 2014. – С. 39-40. 5. Янке М., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции. – М.: Наука, 1977. – 340 с. 6. А. С. 1287067 (СССР) Способ бесконтактного измерения

параметров цилиндрических проводящих изделий. / Б. М. Горкунов, С. С. Романов. В. П. Себко. – Оpubл. в Б.И., 1987, № 4.

Bibliography (transliterated):1.Klyuev, V. V., F. R. Sosnin and V.N. Filinov. *Izmereniya, kontrol, ispytaniya i diagnostika*. Moscow: Mashinostroenie, 1996. Print. **2.** Suhorukov, V.V. *Nerazrushayuschiy control. Elektromagnitnyiy control*. Moscow: Vysshaya shkola, 1992. Print. **3.** Klyuev, V. V. *Nerazrushayuschiy control*. Moscow: Mashinostroenie, 2003. Print. **4.** Gorkunov, B. M., A. A. Tyshchenko and I. B. Gorkunova. "Mnogoparametrovyy elektromagnitnyiy kontrol tokoprovodov v prostranstvenno-periodicheskikh polyah." *VISNYK NTU «KhPI»*. No. 9. 2014. 39–40. Print. **5.** Yanke, M., F. Emde and F. Lesh. *Spetsialnyie funktsii*. Moscow: Nauka, 1997. Print. **6.** Gorkunov, B. M., S. S. Romanov and V. P. Sebko. "Sposob beskontaktnogo izmereniya parametrov tsilindricheskikh provodyaschih izdeliy." *A.S. 1287067*. No. 4. 1987. Print.

Поступила (received) 27.04.2015