

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ НА ПАРАМЕТРЫ ПРОХОДНЫХ ДАТЧИКОВ

И. Г. ЛЕЩЕНКО, В. А. КОЖУХОВ

(Представлена научно-техническим семинаром кафедры информационно-измерительной техники)

В настоящее время в электромагнитной дефектоскопии все шире применяются электромагнитные экраны, выполненные в виде массивных медных дисков разной толщины или короткозамкнутых катушек, располагаемых в непосредственной близости от намагничивающей катушки датчика [1, 2]. Основное назначение подобных экранов в вышеупомянутых работах состоит в расширении зоны контроля вблизи концов ферромагнитных изделий, когда из-за возрастающего действия размагничивающего фактора, вызванного приближением конца изделия к датчику, происходит уменьшение полезного сигнала.

Экранирующее действие экрана из немагнитного металла в переменном поле определяется наведенными в толще стенок экрана или в его витках токами и возбужденным этими токами магнитным полем.

Наличие экранирующей области не вносит никаких изменений в уравнение поля, но приводит только к новой формулировке граничных условий [3]. При наличии экрана напряженность поля на поверхности продольно намагниченного изделия меньше на величину поля, создаваемого током в экране:

$$\bar{H} = \bar{H}_0 - \sigma_{\text{ЭК}} k \bar{E}_0, \quad (1)$$

где \bar{H} — напряженность магнитного поля на поверхности изделия при наличии экрана;

\bar{E}_0 — напряженность электрического поля экрана.

\bar{H}_0 — напряженность магнитного поля без экрана;

k — коэффициент, имеющий размерность длины и зависящий от размеров экрана;

$\sigma_{\text{ЭК}}$ — электропроводность экрана.

Ввиду того, что датчик работает в совокупности с другими электрическими и электронными цепями, целесообразно анализ влияния электромагнитных экранов проводить с позиции теории электрических цепей.

Для электромагнитной системы датчик — экран, изображенной на рис. 1, справедливы уравнения

$$\dot{U} = \dot{I}_1 R_1 + \dot{I}_1 j \omega L_1 - \dot{I}_2 j \omega M, \quad (2)$$

$$0 = -\dot{I}_1 j \omega M + \dot{I}_2 j \omega L_2 + \dot{I}_2 R_2. \quad (3)$$

Из последнего уравнения находим

$$i_2 = i_1 \frac{M j \omega}{L_2 j \omega + R_2}$$

и, подставляя в уравнение (2), получим

$$\dot{U} = i_1 \left(R_1 + j \omega L_1 + \frac{M^2 \omega^2 R_2 - L_2 M^2 \omega^3 j}{R_2^2 + (L_2 \omega)^2} \right). \quad (4)$$

Таким образом, датчик в совокупности с электромагнитным экраном имеет эквивалентное полное сопротивление:

$$Z_{\text{экв}} = R_1 + \frac{M^2 \omega^2 R_2}{|Z_2^2|} + j \left(L_1 \omega - \frac{M^2 L_2 \omega^3}{|Z_2^2|} \right). \quad (5)$$

Эквивалентное активное сопротивление датчика возрастает при экранировании на

$$R_{\text{экв}} = R_1 + \frac{M^2 \omega^2 R_2}{|Z_2^2|}. \quad (6)$$

Эквивалентная индуктивность датчика при экранировании уменьшается на величину

$$\frac{M^2 L_2 \omega^2}{|Z_2^2|}, \quad L_{\text{экв}} = L_1 - \frac{M^2 L_2 \omega^2}{|Z_2^2|}. \quad (7)$$

Для датчика абсолютного значения с сопротивлением $Z = R + j\omega L$ основным изменяющимся параметром является индуктивность L , значение которой соответствует различным значениям магнитной проницаемости, твердости ферромагнитного изделия и другим контролируемым параметрам, функционально связанным с ней.

Относительное изменение полного сопротивления датчика, соответствующее его чувствительности к внесенной индуктивности ΔL , равно

$$\varepsilon = \frac{\Delta Z}{Z} = \frac{j \omega \Delta L}{R + j \omega L} = \frac{\sigma}{1 - \frac{j}{Q}}, \quad (8)$$

где $\sigma = \frac{\Delta L}{L}$ — относительное изменение индуктивности датчика;

$Q = \frac{L}{R}$ — добротность датчика.

Согласно (8), уменьшение добротности датчика, обусловленное электромагнитным экраном, приводит к уменьшению вариации полного сопротивления, к уменьшению чувствительности. Экспериментальные исследования чувствительности датчика к внесенной индуктивности ΔL подтверждают это. На рис. 2 приведены графические зависимости чувствительности датчика от коэффициента экранирования экрана, величина которого равна

$$\theta = \frac{\dot{\Phi}_{\text{с/э}}}{\dot{\Phi}_{\text{б/э}}}, \quad (9)$$

где $\dot{\Phi}_{\text{с/э}}$ — магнитный поток с экраном;
 $\dot{\Phi}_{\text{б/э}}$ — магнитный поток без экрана.

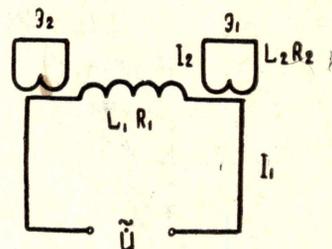


Рис. 1. Электрическая схема датчика с электромагнитными экранами

Чувствительность датчика можно повысить, если в цепь экрана включить конденсатор.

Для схемы, изображенной на рис. 3, справедливы следующие уравнения:

$$\dot{U} = \dot{I}_1 R_1 + \dot{I}_1 j \omega L_1 - \dot{I}_2 j \omega M; \quad (10)$$

$$0 = -\dot{I}_1 j \omega M + \dot{I}_2 j \omega L_2 = -\dot{I}_2 j \frac{1}{\omega C} + \dot{I}_2 R_2. \quad (11)$$

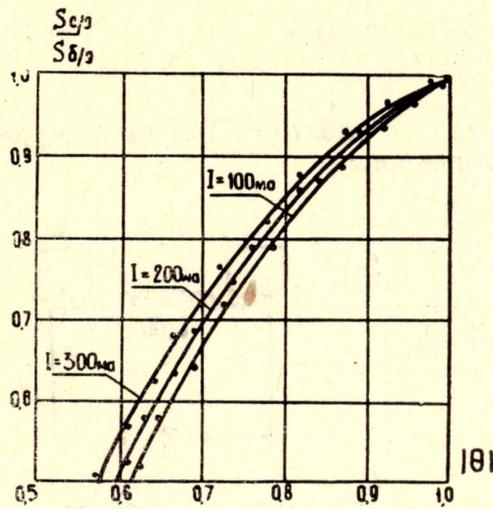


Рис. 2. Изменение относительной чувствительности датчика от коэффициента экранирования

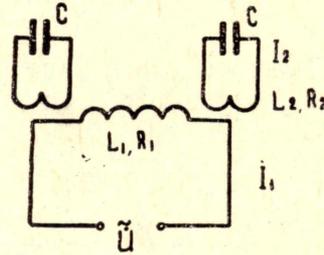


Рис. 3. Электрическая схема датчика с включенными в цепь экранирующих катушек конденсаторами

После преобразований, подобных случаю без конденсатора, получим

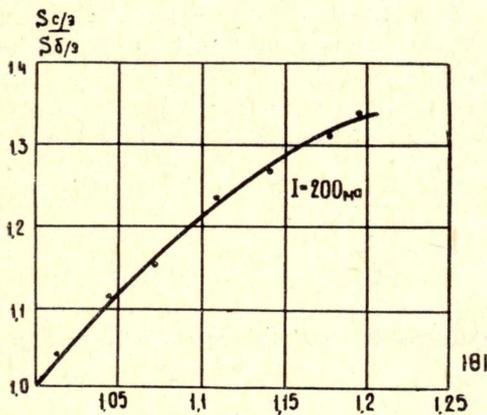


Рис. 4. Изменение относительной чувствительности датчика от коэффициента экранирования при наличии в цепи экрана конденсаторов

$$R_{\text{экв}} = R_1 + \frac{M^2 \omega^2 R_2}{|Z_2^2|}; \quad (12)$$

$$L_{\text{экв}} = L_1 - \frac{M^2 \omega^2 L_2 - \frac{1}{\omega C}}{|Z_2^2|}. \quad (13)$$

Анализ формул (12) и (13) позволяет сделать вывод, что включение в цепь экрана конденсатора способствует увеличению эквивалентной индуктивности датчика и приводит к повышению его чувствительности, что подтверждается экспериментальными кривыми на рис. 4.

Выводы

Применение электромагнитных экранов приводит к возрастанию эквивалентного активного сопротивления датчика и к уменьшению его индуктивности — основных параметров, от которых зависит чувствительность и добротность датчика.

Включение конденсаторов в цепь экрана приводит к увеличению эквивалентной индуктивности датчика, добротности и чувствительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Г. Лещенко, Н. М. Малышенко. Исследование влияния концевых эффектов на спектральный состав э. д. с. проходных датчиков. Доклады 2-го Всесоюзного семинара «Неразрушающий контроль ферромагнитных материалов и изделий методом высших гармоник». Томск, 1971, стр. 33.

2. А. В. Пузанчиков, В. П. Марков. Об электромагнитном экранировании датчиков индукционных приборов. Труды Рязанского радиотехнического института. Информационно-измерительная техника. Вып. 39. Рязань, 1972, стр. 24.

3. К. М. Поливанов. Ферромагнетики. М.—Л., ГЭИ, 1957, стр. 208.