

**В.С. ГРИНЧЕНКО**, аспирант, Научно-технический центр магнетизма технических объектов НАН Украины, Харьков

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ  
РАЗМЕРОВ ЯЧЕЕК НЕСПЛОШНЫХ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ НА ВЕЛИЧИНУ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ  
ДВУХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ**

В роботі представлені результати експериментальних досліджень залежності екрануючих властивостей одношарового ґратчастого екрану від розмірів його комірок. Показано, що ефективність екранування ґратчастих екранів приблизно дорівнює ефективності екранування суцільних екранів такої самої маси.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований зависимости экранирующих свойств однослойного решетчатого экрана от размеров его ячеек. Показано, что эффективность экранирования решетчатых экранов приблизительно равна эффективности экранирования сплошных экранов той же массы.

**Постановка проблемы.** Снижение уровня переменных магнитных полей (МП) является актуальной задачей. Это объясняется как существующими ограничениями по уровням МП, в которых может стабильно работать электронная аппаратура, так и отрицательным их влиянием на здоровье человека. Эффективным средством уменьшения индукции переменного МП являются электромагнитные экраны [1, 2].

**Анализ публикаций по данной проблеме.** В литературе рассмотрены экранирующие свойства сплошных [3, 4] и сетчатых [5, 6] электромагнитных экранов. Аналитическое описание электромагнитных процессов в ленточных экранах затруднительно. В работе [7] исследовались экранирующие свойства ленточных экранов в предположении  $L_1 \gg L_2$  (рис. 1), и было показано, что в некоторых случаях ленточные электромагнитные экраны обеспечивают большую эффективность экранирования, нежели сплошные.

Принцип действия электромагнитного экрана возможно описать следующим образом [1]: под действием первичного поля (поля источника) в экране индуцируются токи проводимости; эти токи создают вторичное поле; от сложения первичного поля со вторичным образуется результирующее поле. Дополнительные пути для циркуляции токов

проводимости могли бы обеспечить поперечные перегородки (рис. 2); с другой стороны, последние увеличивают массу экрана.

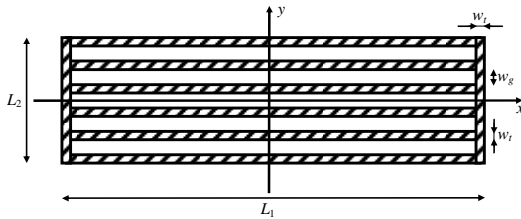


Рис. 1.

**Цель работы** – экспериментальное исследование влияния размеров ячеек и ширины поперечных перегородок электромагнитного несплошного экрана на его экранирующие свойства.

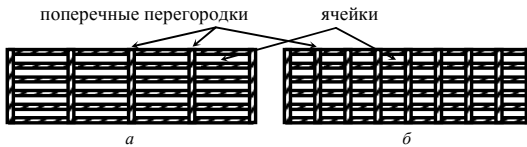


Рис. 2.

Для описания качества экранирования МП воспользуемся понятием эффективности экранирования [1, 8]:

$$k = \frac{|\vec{B}_0|}{|\vec{B}|},$$

где  $|\vec{B}_0|$  – величина модуля индукции МП в отсутствии экрана,  $|\vec{B}|$  – величина модуля индукции МП в присутствии экрана.

**Задачи** – нахождение распределения эффективности экранирования двухпроводной линии ленточными экранами с различным числом поперечных перегородок.

**Постановка эксперимента.** Экспериментальный стенд (рис. 3) схематически состоял из следующих элементов: ГС – генератор сигналов, У – усилитель, А – амперметр, ИП – источник поля, ИС – измерительная система, АГ – анализатор гармоник, КУ – координатное устройство, С – самописец.

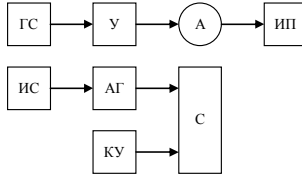


Рис. 3.

Источником поля (ИП) являлся контур, имеющий форму вытянутого прямоугольника со сторонами  $a_1 = 10$  см и  $a_2 = 300$  см. Через генератор сигналов и усилитель на контур подавался синусоидальный ток.

Измерение МП системы "ИП – электромагнитный экран" проводилось при помощи точечного датчика. Через измерительную систему и анализатор гармоник величина МП в точке измерения выводилась на ось ординат самописца. Через координатное устройство на ось абсцисс самописца выводилась координата точки измерения (датчика). Координатное устройство (рис. 4) состояло из проводящей проволоки, натянутой между точками  $A$  и  $B$ , источника постоянного тока  $I_0$  и вольтметра, измеряющего разность потенциалов между точкой  $A$  и точкой измерения  $C$ . Следует отметить, что сопротивление проводов, соединяющих источник тока и вольтметр, пренебрежительно мало по сравнению с сопротивлением проволоки  $AB$ .

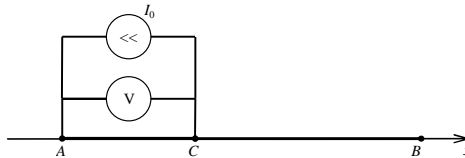


Рис. 4.

В силу закона Ома длина отрезка  $AC$  прямо пропорциональна падению напряжения на этом участке, а координата точки  $C$  легко находится из выражения:

$$x_C = \frac{V_{AC}}{V_{AB}} \cdot x_B,$$

где  $x_B, x_C$  – координаты точек  $B$  и  $C$  (точка  $A$  – начало координат);  $V_{AB}, V_{AC}$  – падение напряжения на соответствующих участках.

**Методика экспериментальных исследований.** Несплошной

электромагнитный экран и ИП располагались так, как показано на рис. 5. Расстояние от экрана до ИП не менялось и равнялось  $b = 16$  см.

Датчик (на рис. 5 обозначен через "Д") располагался в плоскости  $y = 0$ , проходящей через середину ИП и середину экрана. Эта плоскость расположения датчика была выбрана по той причине, что в точках области  $\left\{ |x| \ll \frac{L_1}{2}, y = 0 \right\}$  величины  $x$ - и  $y$ -проекций индукции

МП пренебрежительно малы по сравнению с величиной  $z$ -составляющей вектора индукции МП.

На контур подавался синусоидальный ток: сила тока  $I = 6,4$  А, частота  $f = 4$  кГц.

В силу линейной зависимости индукции МП от силы тока ИП для рассматриваемых экранирующих систем эффективность экранирования не зависит от величины  $I$ .

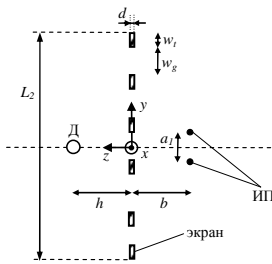


Рис. 5.

где  $\alpha$  – постоянная величина, характеризующая вещество, из которого изготовлен электромагнитный экран. Для меди, использованной для изготовления экранов при постановки экспериментов,  $\alpha = 6.6 \cdot 10^{-2}$  м·Гц<sup>1/2</sup>. Так как толщина электромагнитных экранов равнялась 0,1 мм, то исследование экранирующих свойств электромагнитных экранов проводилось на частоте 4 кГц.

Экспериментально находились зависимости  $B_x(x)$  и  $B_z(x)$  на расстоянии  $h = 26$  см, т.е. изменение компонент индукции МП вдоль экрана. Компонента  $B_y$  намного меньше  $B_x$ , и тем более намного меньше  $B_z$ , потому рассматривать  $y$ -составляющую МП не будем.

Измерения поочередно проводились:

- для ИП без электромагнитного экрана;
- для электромагнитного экрана без поперечных перегородок (рис. 1); назовем его экраном №1; экран №1 являлся базовым и имел следующие параметры: материал – Cu, длина  $L_1 = 125$  см, высота

С увеличением частоты уменьшается толщина поверхностного слоя  $\delta$ . Нас интересует случай, когда  $\delta$  меньше или порядка толщины экрана. Толщина поверхностного слоя обратно пропорциональна частоте тока, и может быть вычислена следующим образом [1]:

$$\delta = \frac{\alpha}{\sqrt{f}},$$

$L_2 = 40$  см, толщина  $d = 0,1$  мм, количество продольных лент – 6, толщина лент  $w_l = 2,5$  см, ленты экрана равноудалены друг от друга и величина зазора между ними  $w_g = 5$  см;

– для электромагнитных экранов, представляющих собой экран №1 с тремя поперечными перегородками (рис. 2, а) ширины  $w_l = 2,5$  см и  $w_l/2$ ; назовем их соответственно экран № 2 и экран № 2\*;

– для электромагнитных экранов с семью поперечными перегородками (рис. 2,б) ширины  $w_l = 2,5$  см и  $w_l/2$ ; назовем их соответственно экран № 3 и экран № 3\*;

– для электромагнитного экрана с пятнадцатью поперечными перегородками ширины  $w_l/2$ ; назовем его экран № 4\*.

**Результаты эксперимента.** На рис. 6 представлена зависимость компонент МП (сплошная кривая –  $B_z(x)|_{y=0, z=h}$ , пунктирная кривая –  $B_x(x)|_{y=0, z=h}$ ) для случая экранирования ИП экраном № 2 (рис. 2,б).

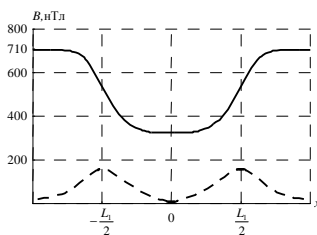


Рис. 6.

Экран расположен в области  $|x| \leq L_1/2$ . В точке, лежащей напротив центра экрана ( $x = 0$ ), эффективность экранирования максимальна и равна

$$k_h = \frac{B_0}{B_z|_{x=0, y=0, z=h}} = 2.2,$$

где  $B_0 = 710$  нТл – величина действующего значения индукции МП, создаваемого источником в отсутствии экрана.

По мере отдаления от середины экраны в сторону его краев индукция МП растет, а эффективность экранирования падает. В точках с координатами  $\left(|x| = \pm \frac{L_1}{2}, y = 0, z = h\right)$ , лежащих напротив краев экра-

на, эффективность экранирования равна 1,3. В области  $|x| > \frac{3}{4}L_1$  обе

кривые ведут себя асимптотически, т.к. вторичное поле становится малым сравнительно с полем источника: значение  $B_x$  стремится к нулю, а  $B_z$  стремится к значению  $B_0 = 710$  нТл. Это значение с точностью до погрешности измерений совпадает со значением индукции МП, создаваемом двухпроводной линией в отсутствии экрана.

Поведение зависимостей  $B_x(x)$  и  $B_z(x)$  для остальных экранов аналогично.

Как видно из рис. 6, в области центра экрана ( $|x| < L_1/4$  для индукции МП выполняется сильное неравенство  $B_x \ll B_z$ . Следовательно, при экранировании бесконечной двухпроводной линии бесконечным ленточным экраном с периодически расположенными поперечными перегородками эффективность экранирования МП (на расстоянии  $h$ ) будет

$$\text{равна } k_h = \frac{B_0}{B_z \Big|_{x=0, y=0, z=h}} .$$

В табл. 1 для исследованных экранов приведены значения экспериментально найденной эффективности экранирования  $k_h$ ,  $\mu$  (масса экрана, отнесенного к массе экрана № 1) и отношение  $k_h$  к  $\mu$ .

Таблица 1

№ экрана	1	2	3	2*	3*	4*
$k_h$	1,75	2,12	2,40	1,94	2,16	2,43
$\mu$	1	1,14	1,34	1,07	1,17	1,36
$k_h / \mu$	1,75	1,86	1,79	1,81	1,85	1,81

Как видно из табл. 1, для всех рассмотренных конфигураций экранов отношение  $k_h / \mu \approx \text{const}$ . Т.е., эффективность экранирования пропорциональна массе экрана.

**Выводы.** Добавление поперечных перегородок к ленточному экрану увеличило его эффективность. С одной стороны, добавление перегородок уменьшает активное сопротивление, с другой – изменяет индуктивность экрана. Измерения показали, что в рассмотренной зоне (расстояние от экрана до зоны экранирования  $b \approx 6 \cdot w$ ) эффективность экранирования пропорциональна массе экрана.

**Список литературы:** 1. *Шаниро Д.Н.* Основы теории электромагнитного экранирования. – Л.: Энергия, 1975. – 112 с. 2. *Каден Г.* Электромагнитные экраны в высокочастотной технике и технике электросвязи. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957. – 327 с. 3. *Аптонский С.М.* Комплексная задача экранирования

электромагнитных полей электроэнергетических установок: Автореф...докт. техн. наук.: 05.09.05. – Л., 1980. – 21 с. **4. Ерофееко В.Т., Козловская И.С., Шушкевич Г.Ч.** Экранирование низкочастотного МП тонкостенной сферической оболочкой // ЖТФ. – 2010. – Т. 80. – Вып. 9. – С. 8-15. **5. Конторович М.И., Петрунькин В.Ю., Есепкина Н.А., Астрахан М.И.** Коэффициент отражения плоской электромагнитной волны от плоской проволочной сетки // Радиотехника и электроника. – 1962. – № 2. – С. 239-249. **6. Конторович М.И.** Об усредненных граничных условиях на поверхности сетки с квадратными ячейками // Радиотехника и электроника. – 1963. – № 9. – С. 1506-1515. **7. Резинкина М.М., Гринченко В.С.** Исследование электромагнитных процессов в проводящих многослойных ленточных экранах // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Зб. наук. праць. Тем. випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 36. – С. 99-104. **8. Ронинсон А.Д.** О решении магнитостатических и электростатических задач для поляризованных оболочек // Электричество. – 1994. – № 7. – С. 49-60.

*Поступила в редколлегию 31.01.2011  
Рецензент д.т.н., проф. Болух В.Ф.*