

Кафедра электродинамики
Отчет по лабораторной работе №1
Электромагнитное экранирование

Выполнили студенты 440 группы
Войтович Д.А., Понур К.А.

Нижний Новгород, 2019

Содержание

1	Элементы теории	2
1.1	Основные понятия	2
1.2	Расчет экранирующего действия металлических оболочек	2
2	Практическая часть	4

Цели работы

Настоящая работа преследует две основные цели.

- Экспериментальное наблюдение явления экранирования переменного магнитного поля металлическими оболочками и выяснение роли основных физических факторов, определяющих степень проникновения поля через экран; к числу таких факторов относятся: свойства материала экрана (проводимость и магнитная проницаемость), толщина его стенок, частота поля.
- Теоретический расчет экранирующих свойств металлических оболочек на простой модели и сопоставление экспериментальных и теоретических данных.

1. Элементы теории

1.1. Основные понятия

Под электромагнитным экранированием понимается изоляция некоторой области пространства от проникновения электромагнитных полей, существующих в соседних областях. В статических или переменных квазистационарных полях (которым соответствуют длины волн, много больше характерных размеров используемых приборов и устройств) такая изоляция осуществляется обычно с помощью замкнутых металлических оболочек – экранов. Явление экранирования поля проводящими оболочками имеет большое практическое значение. В частности, оно широко используется в электро- и радиотехнике для уменьшения паразитных связей между различными элементами приборов. В некоторых случаях, напротив, может возникнуть необходимость принимать специальные меры для борьбы с этим явлением.

Общей физической причиной ослабления поля внутри экрана является то обстоятельство, что наведенные в нем внешним полем токи (или заряды) создают во внутренней области поле, противоположное внешнему. В результате суммарное поле в этой области, складывающиеся из полей внешних и наведенных источников, уменьшается.

1.2. Расчет экранирующего действия металлических оболочек

В качестве экранов в работе используются оболочки цилиндрической формы. Строгий расчет их экранирующего действия представлял бы собой весьма сложную задачу, требующую использования численных методов. Однако, для получения качественных оценок ослабления поля в экранированной области и установления общего характера его зависимости от параметров можно ограничиться изучением более простых моделей, допускающих точное решение задачи в известных аналитических функциях. Моделями такого рода

являются, например, плоский, цилиндрический и сферический слои. Поскольку высота и диаметр внутренней полости используемых в работе экранирующих цилиндров одинаковы и весьма малы по сравнению с длиной волны в свободном пространстве λ_0 , наиболее адекватной моделью, по-видимому, следует считать сферический слой, который имеет тот же объем внутренней полости и внешний радиус $a \ll \lambda_0$. Последнее условие означает, что вне металла, т.е. как во внешней, так и в экранируемой областях) поле можно рассматривать как квазистатическое. Подробное решение задачи об экранирующих свойствах сферического слоя по отношению к переменному магнитному полю дано в Приложении, помещенном в конце данного описания. Ниже приведены основные результаты этого решения.

Если замкнутая однородная сферическая оболочка помещена в квазистатическое внешнее поле с комплексным вектором напряженности $\vec{H}_0 e^{i\omega t}$, которое в её отсутствие является однородным, то поле в ограничиваемой ею области $\vec{H}_1 e^{i\omega t}$ также однородно. Эффективности экранирования удобно характеризовать величиной отношения комплексных амплитуд этих полей:

$$\eta_m = \frac{H_0}{H_1}. \quad (1)$$

Величина $|\eta_m|$ показывает, в какое число раз ослабляется поле в экранированной области, и может быть названа коэффициентом ослабления. Она, естественно, сильно зависит от соотношения между толщиной экрана d и толщиной скин-слоя $\delta = \frac{c}{\sqrt{2\pi\sigma\mu\omega}}$ (c – скорость света в вакууме, σ – проводимость, μ – магнитная проницаемость экрана). В двух предельных случаях ($\delta \ll d$ и $\delta \gg d$) выражение для η_m (в общем случае довольно громоздкое) сильно упрощается и при выполнении дополнительного условия $d \ll a$ принимает следующий вид

$\delta \ll d$ (сильный скин-эффект)

$$\eta_m = \frac{1}{6} \left[(1-i) \frac{\mu\delta}{a} + 3 + (1+i) \frac{a}{\mu\delta} \right] \exp \left[(1+i) \frac{d}{\delta} \right]. \quad (2)$$

При $\mu = 1$

$$\eta_m = \frac{1}{6} (1+i) \frac{a}{\delta} \exp \left[(1+i) \frac{d}{\delta} \right]. \quad (3)$$

$\delta \gg d$ (скин-эффект отсутствует)

$$\eta_m = 1 + \frac{2}{3} \frac{d(\mu-1)^2}{a\mu} + i \frac{2}{3} \frac{ad}{\mu\delta^2}. \quad (4)$$

При $\mu = 1$

$$\eta_m = 1 + i \frac{2ad}{3\delta^2}. \quad (5)$$

Для приближенных оценок величины η_m (с точностью $\sim 10\%$ выражения (2)–(5) можно использовать и в промежуточном случае ($\delta \simeq d$), разграничивая области применимости формул (2), (3), с одной стороны, и (4), (5), с другой стороны, точкой $\delta = d$.

Заметим, что приведенные результаты расчета позволяют описать также экранирующее действие металлической оболочки по отношению к переменному электрическому полю. В частности, при $\delta \gg a$ выражение для комплексного коэффициента ослабления электрического поля η_e легко получается на основании принципа перестановочной двойственности из выражения (4) путем замены в нем магнитной проницаемости μ на диэлектрическую проницаемость проводника $\epsilon = \frac{4\pi\sigma}{i\omega}$. В диапазоне радиочастот величина $|\epsilon|$ для хороших проводников и определяемая ею величина $|\eta_e|$ принимают чрезвычайно высокие значения, недоступные для измерений в условиях настоящей работы даже при весьма малой толщине экранов. Например, при $\frac{d}{a} \simeq 10^{-3}$, $\sigma \simeq 10^{17} \text{ с}^{-1}$, $\omega \simeq 10^4 \text{ с}^{-1}$, пренебрегая в (4) малыми членами и заменяя μ на ϵ , получаем:

$$\eta_e = \frac{2\epsilon d}{3a} = \frac{-i8\pi\sigma d}{3\omega a} \simeq -i \cdot 10^{11}. \quad (6)$$

В полном соответствии с законами электростатики при $\omega \rightarrow 0$ величина $\eta_e \rightarrow \infty$, т.е. электрическое поле внутрь экрана не проникает.

2. Практическая часть

Список литературы

- [1] Сарафанов Ф.Г. Блог «[Physics & other](#)». Н.Новгород: РФФ ННГУ, 2019.
- [2] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред – М.: Физматлиц, 2005. – §§56-61, задачи №1 к §59 и №5 к §86.
- [3] Нейман Л.Р., Димирчан К.С., Юринов В.М. Руководство к лаборатории электромагнитного поля. – М.: Высшая школа, 1966. – Работа №11.
- [4] Каден Г. Электромагнитные экраны в высокочастотной технике и электросвязи. – М.:Госэнергоиздат, 1957. –327 с.