1. Цели работы

Настоящая работа преследует следующие две основные цели.

1. 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.
2. Теоретический расчет экранирующих свойств металлических оболочек на простой модели и сопоставление экспериментальных и теоретических данных.

2. Элементы теории

2.1. Основные понятия

Под электромагнитным экранированием понимается изоляция некоторой области пространства от проникновения электромагнитных полей, существующих в соседних областях. В статических или переменных квазистационарных нолях (которым соответствуют длины волн, много большие 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, складывающееся из нолей внешних и наведенных источников, уменьшается.

2.2. 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

*жене\*'\*\*.*\*' r

слои. Поскольку высота и дшметр^ис1 юльзусмых в работе экранирующих цилиндров одинаковы и весьма малы по сравнению с длиной волны в свободном пространстве Ао, наиболее адекватной моделью, по-видимому, следует считать сферический слой, который имеет тот же объем внутренней полости и внешний радиус а Ао- Последнее условие означает, что вне металла (т.е. как во внешней, так и в экранируемоей областях) поле можно рассматривать как к ваз и стати чес кое. 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

Для приближенных оценок величины т)т (с точностью ~ 10%) выражения (2)—(5) можно использовать и в промежуточном случае (б ~ d), разграничивая области применимости формул (2), (3), с одной стороны, и (4), (5), с другой стороны, точкой 6 = d.

Заметим, что приведенные результаты расчета позволяют описать также экранирующее действие сферической металлической оболочки по отношению к переменному электрическому полю. В частности, при 6 » а выражение для комплексного коэффициента ослабления электрического поля г/, легко получается на основании принципа перестановочной двойственности из выражения (4) путем замены в нем магнитной проницаемости ц на диэлектрическую проницаемость проводника е = Атга/ш. В диапазоне радиочастот величина |е| для хороших проводников и определяемая ею величина фе| принимают чрезвычайно высокие значения, недоступные для измерений в условиях настоящей работы даже при весьма малой толщине экранов. Например, при d/а ~ 10\_3, а ~ 1017с-1, w ~ 104с-1, пренебрегая в. (4) малыми членами и заменяя ц на е, получаем:

г)с = 2ed/3a = —iSnad/^a ~ -г - 10й. (6)

В полном соответствии с законами электростатики при и) —у 0 величина т]е —> оо, т.е. электрическое поле внутрь экрана не проникает.

помещена в квазистатическое внешнее поле с комплексным вектором напряженности Ное™, которое в ее отсутствие является однородным, то поле в ограничиваемой ею области Н е'-' также однородно. Эффективность экранирования удобно характеризовать величиной отношения комплексных амплитуд этих полей:

Vm = Н*0*/Hi.

(1)

Величина \т]т\ 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 S = с/(27г<тдф)1^[[1]](#footnote-1) (с - скорость света в вакууме, <т

проводимость, /г - магнитная проницаемость экрана). В двух предельных случаях (S < d и S » d) выражение для /^(в общем случае довольно громоздкое) существенно упрощается и при выполнении дополнительного условия d <$: а принимает следующий вид.

1. S <С d (сильный скин-эффект):

Vrn = I (1-\*)—+ 3 + (1+г)Л ехр (1+\*)Л • (2)

C:\Users\esyun\AppData\Local\Temp\FineReader12.00\media\image1.jpegG а *ад* д

При */1=1*

(3)

*C:\Users\esyun\AppData\Local\Temp\FineReader12.00\media\image2.jpeg*

б

C:\Users\esyun\AppData\Local\Temp\FineReader12.00\media\image3.jpeg

3. Описание экспериментальной установки

Лабораторная установка предусматривает проведение измерений коэффициентов ослабления для трех латунных и трех стальных экранов цилиндрической формы. Внутренние размеры всех цилиндров одинаковы (высота h = 50мм, диаметр основания D = 50мм), а толщина стенок различна (2мм, 5мм, 10мм). Значения проводимости а и магнитной проницаемости ц латуни и стали приведены ниже (в гауссовой системе единиц).

Латунь: а \* 1.5 • KFc"1, \i = 1.

Сталь: о = 0.7 • 1017с~\ д ~ ДО2 4-103 (при Н ~ Юэрстед).

Схема измерения коэффициента ослабления магнитного ноля изображена на рисунке 1. Переменное магнитное поле создается внутри соленоида, подключенного к выходу звукового генератора. В качестве индикатора ноля используется второй соленоид (меньших размеров), с выхода которого переменное напряжение может подаваться на усилитель вольтметра. Надевая больший (генераторный) соленоид сначала на открытый (неэкранированный) индикатор, а затем на индикатор, закрываемый экраном, и измеряя, как изменяются при этом показания вольтметра, мы могли бы (при неизменности амплитуды тока в цепи внешнего соленоида) определить тем самым коэффициент ослабления |rym|. Поскольку, однако, внесение металлического экрана внутрь внешнего соленоида, вообще говоря, изменяет его коэффициент самоиндукции (объясните почему), а следовательно, и его импеданс, сила тока в цепи внешнего соленоида и создаваемое этим током магнитное поле #0 при наличии экрана и в его отсутствие могут быть различными. Это необходимо учитывать при определении величины \т)т\. В используемой схеме предусмотрено измерение относительных изменений токов как во внутреннем, так и во внешнем соленоидах. С этой целью в цепь внешнего соленоида введено сопротивление /?. напряжение с которого подается на

1. 6 » d (скин-эффект отсутствует): [↑](#footnote-ref-1)