

Исследование влияния отверстий на эффективность экранирования корпуса с помощью МКЭ

Кечиев Л.Н., Сафонов А.А.

Любой корпус электронной аппаратуры практически всегда содержит одну или несколько неоднородностей, в том числе отверстия. Значительные теоретические усилия были предприняты для определения эффекта, который производят неоднородности на эффективность экранирования. Кроме некоторых особых случаев сферических экранов, получение простых аналитических выражения, которые базируются на фундаментальной теории, практически недоступно. Поэтому для частных случаев используются программные средства на основе численного моделирование или различные эмпирические формулы общего вида. Трудности вызваны наличием большого числа значимых переменных:

- Относительное местоположение и расстояние между полем источника, экранирующим барьером и отверстиями в нем, и рецептором;
- Частота и волновое сопротивление источника поля;
- Форма, размер, положение и число отверстий;
- Геометрия экранирующего корпуса.

Все эти параметры имеют значение при моделировании, даже без учета различных свойств экранирующих материалов.

Многочисленные аналитические подходы не обеспечивают должной точности, а во многом дают противоречивые результаты. Поэтому для расчета экранов, особенно для расчета экранов сложной конфигурации, особенно эффективен метод конечных элементов (МКЭ). Благодаря универсальности метода, решения можно получать для экранов сложной формы, многослойных, экранов с отверстиями. Главный недостаток метода конечных элементов заключается в необходимости составления вычислительных программ и применения вычислительной техники.

На сегодняшний день на рынке программных средств можно обнаружить большое число расчётных комплексов работающих на МКЭ. Российской разработкой в этой области является ELCUT – программа моделирования двумерных полей методом конечных элементов, разработанная и представленная на рынке петербургской фирмой TOP с 1991 года.

ELCUT позволяет решать двумерные краевые задачи математической физики, описываемые эллиптическими дифференциальными уравнениями в частных производных относительно скалярной или однокомпонентной векторной функции (потенциала). С точки зрения физики (электрическое и магнитное поле), программа предлагает на выбор следующие варианты решаемых задач: магнитостатика, нестационарное магнитное поле, магнитное поле переменных токов, электростатика, электрическое поле постоянных токов, электрическое поле переменных токов [4-7].

Согласно руководству ELCUT, при расчёте экранов в ближней зоне необходимо выбрать режим «Электростатическое поле» или «Магнитостатическое поле». Дальней зоне будет соответствовать режим «Магнитное поле переменных токов».

Существует три основных класса двумерных задач: плоские, плоско-параллельные и осесимметричные. Расчёт экрана поводят в плоскопараллельной или осесимметричной постановке.

Плоскопараллельные постановки используют декартову систему координат x, y, z , причем предполагается, что геометрия расчетных областей, свойства сред и параметры, характеризующие источники поля, неизменны в направлении оси z . Вследствие этого описание геометрии, задание свойств, граничных условий и источников, а также обработку результатов можно проводить в плоскости xy , называемой плоскостью модели. Принято, что ось x направлена слева направо, а ось y - снизу вверх.

Осесимметричные задачи решаются в цилиндрической системе координат z, r, θ . Порядок следования осей выбран для общности с плоскопараллельными задачами. Физические свойства и источники поля предполагаются не зависящими от угловой координаты. Работа с моделью проводится в плоскости zr (точнее в полуплоскости $r \geq 0$). Ось вращения z направлена слева направо, ось r - снизу вверх [4-7].

Отсюда следует, что при расчёте реальных экранов появляется серьёзное ограничение из-за двумерной постановки задачи. Существует целый класс задач, для которых приемлемо лишь

трёхмерное моделирование. Примером может служить экран с периодически расположенными отверстиями (Рис. 1).

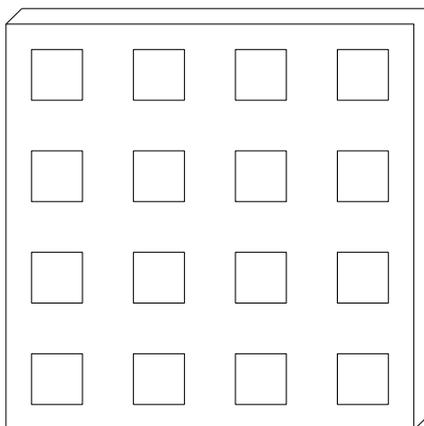


Рис. 1 Экран с периодически расположенными отверстиями

Решение задачи состоит из следующих этапов:

1. Идентификация задачи, присвоение ей имени; создание чертежа конструкции расчётного узла;
2. Создание геометрии модели, пригодной для МКЭ;
3. Разбиение модели на сетку конечных элементов;
4. Приложение к модели граничных условий;
5. Численное решение системы уравнений (выполняется автоматически ELCUT);
6. Анализ результатов.

Этапы 1, 2, 3, 4 относятся к препроцессорной стадии, этап 5 — к процессорной стадии, этап 6 — к постпроцессорной стадии.

Наиболее трудоемкий этап решения задач с помощью МКЭ — это создание конечно-элементной модели на стадии препроцессорной подготовки, т. к. автоматическое построение сетки элементов не гарантирует от появления ошибок. Правильное задание физических свойств, данных о материалах и граничных условий также представляет определенные трудности.

Пятый из перечисленных выше этапов (численное решение системы уравнений) выполняется автоматически и, как правило, особых трудностей не вызывает.

Шестой этап (анализ результатов) существенно облегчается имеющимися мощными инструментальными средствами визуализации результатов.

Возьмём сплошной стальной цилиндрический экран в переменном электромагнитном поле $f = 50$ Гц, $B = 139$ мТл. При этом коэффициент экранирования равен 413.69. Картина поля представлена на Рис. 2.

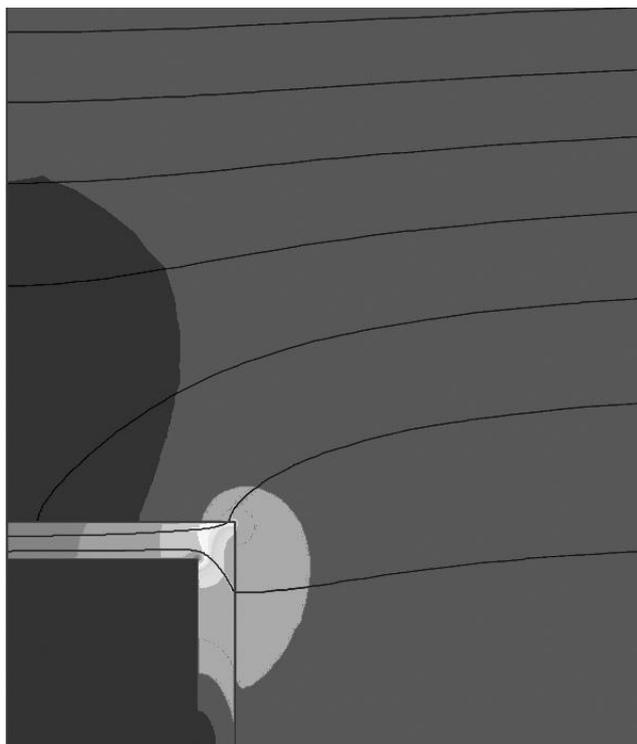


Рис. 2 Картина поля сплошного экрана

Изменим геометрическую модель, добавив щель шириной 2 мм.

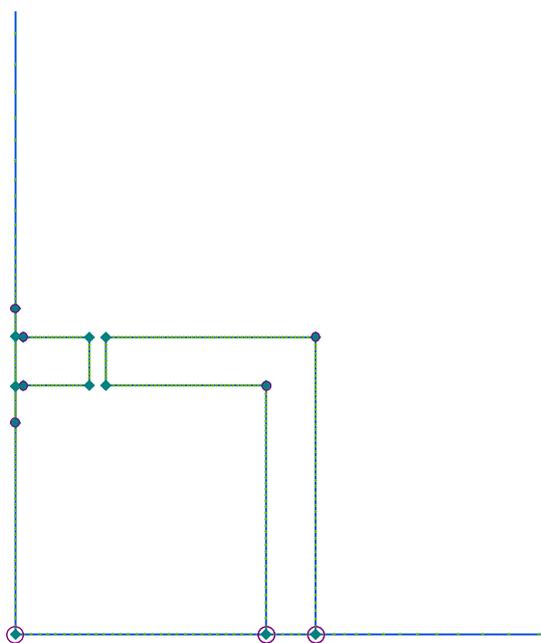


Рис. 3 Экран с отверстием

Картина поля представлена на Рис. 4. Расчёт показал, что индукция B внутри экрана равна 9.19 мТл. Коэффициент экранирования равен 15.

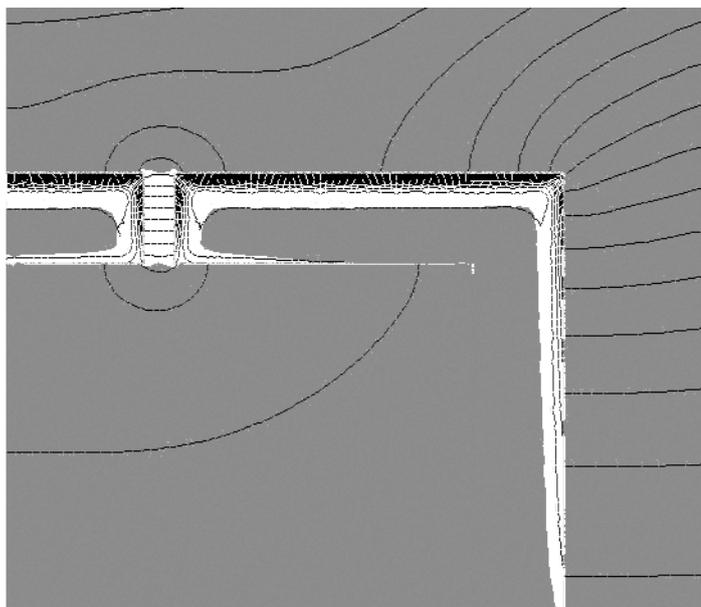


Рис. 4 Картина поля вблизи цилиндрического экрана с щелью

Рассмотрим вариант конструкции экрана с двумя щелями, общая площадь которых, такая же, как площадь щели в предыдущем примере (Рис. 5). Остальные параметры экрана и внешнего поля такие же, как в предыдущем примере.

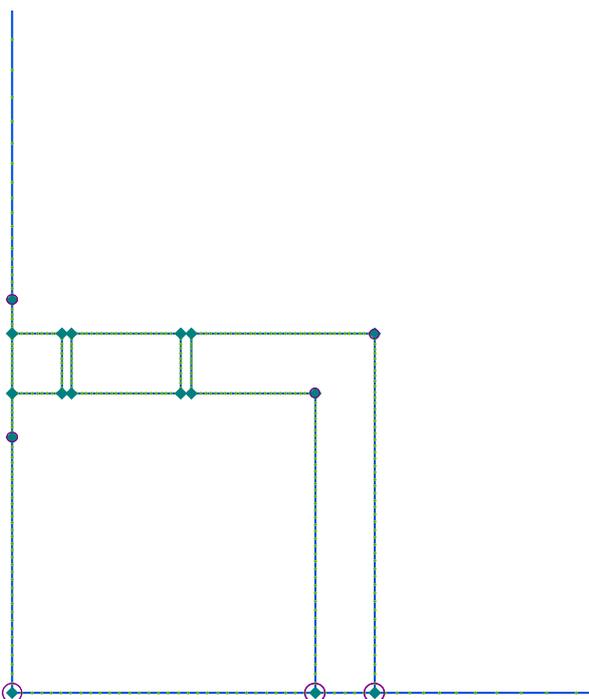


Рис. 5 Экран с двумя щелями

Картина поля представлена на Рис. 6.

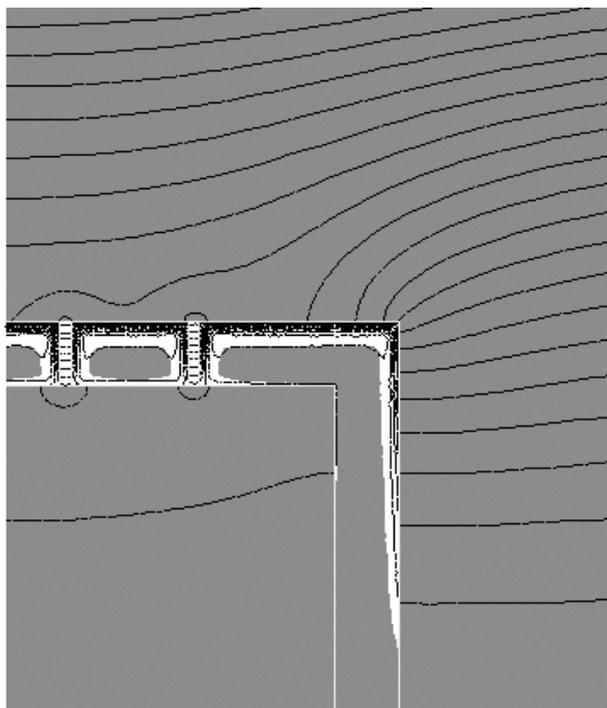


Рис. 6 Картина поля вблизи цилиндрического экрана с двумя щелями

Полученное значение магнитной индукции $B = 6.17$ мТл. Коэффициент экранирования 22.52.
Рассмотрим экран с щелью шириной 2 мм и волноводом (Рис. 7).

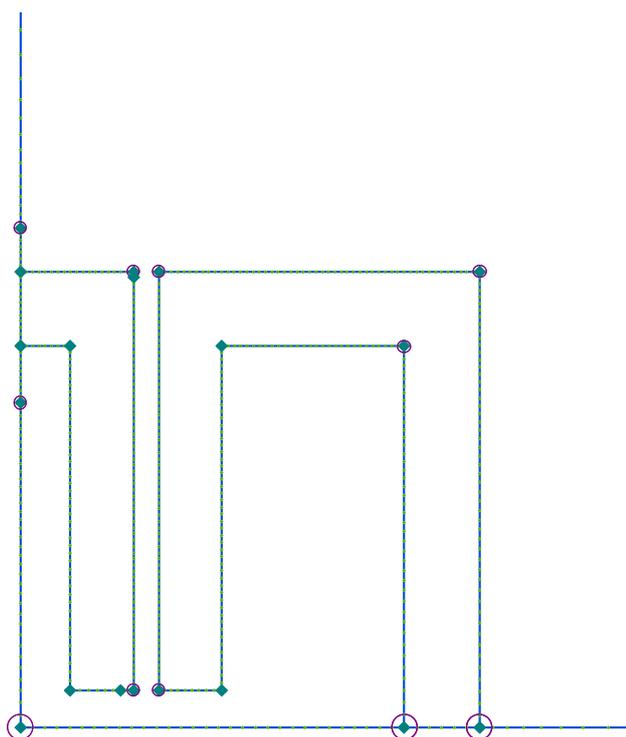


Рис. 7 Экран с щелью и волноводом

Картина поля представлена на Рис. 8.

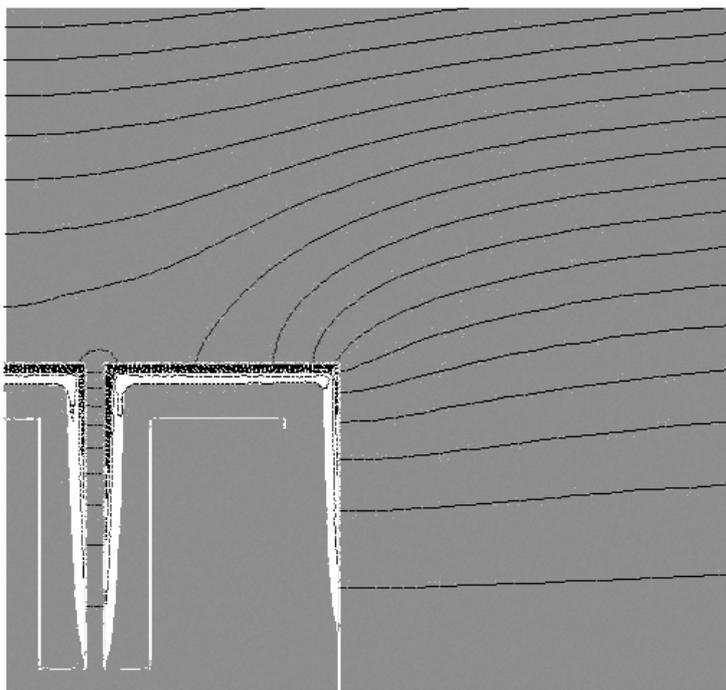


Рис. 8 Картина поля вблизи цилиндрического экрана с щелью и волноводом

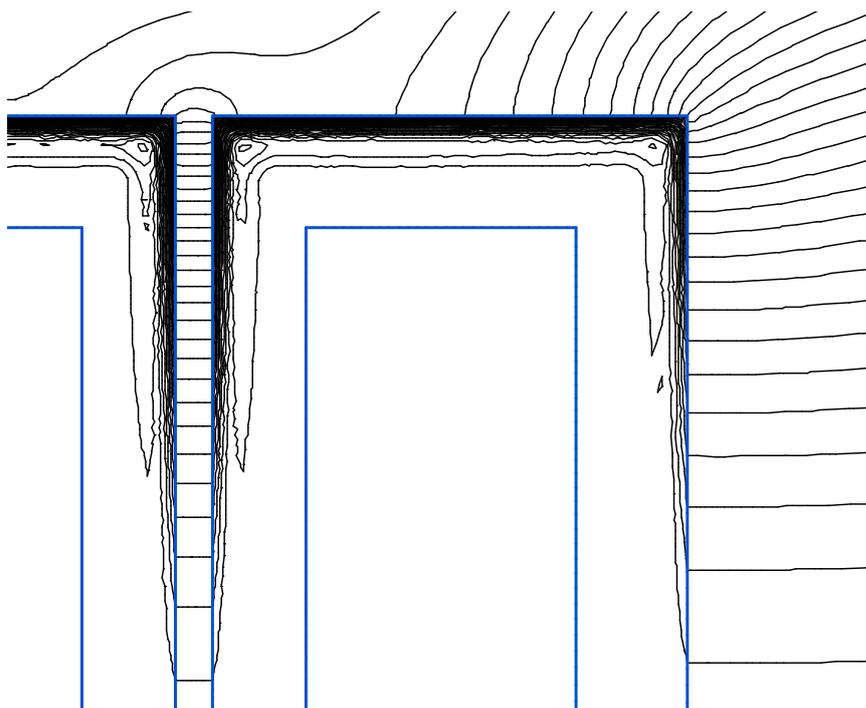


Рис. 9 Картина поля вблизи цилиндрического экрана с щелью и волноводом

Из опытов видно, что наличие щелей резко снижает эффективность экранирования. Их наличие позволяет достичь некоторого эффективности экранирования, но редко это значение достигает теоретического уровня. Потери в эффективности экранирования можно уменьшить разбивая большие отверстия и щели на ряд меньших или используя волноводы. При этом приступая к конечно-элементному анализу, инженер должен понять:

- к какой области анализа относится данная задача;
- какая часть всей конструкции должна исследоваться подробнее;
- какие упрощения можно допустить в данной задаче.

Естественно, это требует определенной квалификации исследователя.

Литература

1. Кечиев Л.Н., Сергеев А.А., Сафонов А.А. Применение МКЭ для расчета электромагнитного экрана, Проектирование телекоммуникационных и информационных средств и систем/Под ред. Л.Н. Кечиева. – М.: МИЭМ, 2006. – 135-142 с.
2. Уильямс Т. ЭМС для разработчиков продукции. - М.: Издательский Дом «Технологии», 2003г. – 540с.
3. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов, - М.: Издательство «Мир», 1979. – 392с.
4. Ansys в руках инженера: Практическое руководство. Изд. 2-е, испр. М.: Едиториал УРСС, 2004. – 272с.
5. ELCUT. Руководство пользователя. – Производственный кооператив ТОР, Санкт-Петербург, 2005. - 257 с.
6. Дубицкий С.Д., Поднос В. Г., ELCUT – инженерная система моделирования двумерных физических полей. – CADMaster. – 2001. – 1. – с. 17-21
7. Дубицкий С.Д. ELCUT – Конечно-элементный анализ низкочастотного электромагнитного поля. – EDA Express, 12 октября 2005. - с. 24-29