

## МЕТОДИКА ВЫБОРА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Ю.Н. Самоквасова, М.А. Ромащенко

В настоящий момент проблема электромагнитной совместимости играет значимую роль в развитии радиоэлектронной аппаратуры. Большая насыщенность источниками электромагнитных помех, особенно в городах, ставит на приоритетное место при определении конкурентоспособности изделия именно защиту от этих помех. Рассмотрим основные параметры, определяющие выбор конструкции и материала экрана

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, экранирование, материал, конструкция экрана

Современные радиоэлектронные устройства имеют сложную структуру и состоят из большого количества элементов. Взаимодействие между такими устройствами должно происходить по определенным схемам. В случае возникновения других взаимодействий нарушается нормальное функционирование такого устройства.

Одним из важных способов устранения непредусмотренных схемой взаимодействий является экранирование. Конструирование электромагнитных экранов имеет следующие особенности.

1. Заключается в разработке самостоятельных конструкций экранов. То есть экран обычно является внешним кожухом устройства и должен обеспечить защиту от внешних воздействующих факторов и определенный тепловой режим внутри устройства.

2. Заключается в разработке конструкции экрана для отдельных узлов радиоэлектронного устройства, а также для отдельных его элементов. В этом случае размеры, а иногда и форма экрана определяются экранируемым объектом. При этом экран должен вписываться в общее устройство, а также быть ремонтпригодным.

3. Заключается в разработке экрана, входящего в состав сооружения. Обычно применяется для защиты от электромагнитных помех радиоэлектронного комплекса в целом или для сборки и наладки аппаратуры, а также для проведения специальных измерений.

В зависимости от особенностей конструирования экранов имеет свою последовательность действий для решения поставленных задач и свой объем работ. Например, если экран является внешним кожухом аппаратуры, то от него зависит внешний вид, условия эксплуатации и общая компоновка радиоэлектронного устройства. Соответственно проектирование ведется с учетом особенностей изготавливаемого типа устройства. В общих случаях должна быть обеспечена простота конструкции, компактность, удобство

обслуживания и ремонта, повышение эксплуатационных качеств, а также обеспечение требований дизайнера и эргономики. В таком случае требования к экрану обуславливаются требованиями к устройству в целом.

При экранировании отдельного элемента или узла радиоаппаратуры требования к экрану обусловлены этими объектами. В данном случае необходимо обеспечить требуемую эффективность экранирования.

При экранировании помещений требования сводятся к выбору материала для экрана, крепления его к элементам конструкций, а так же прокладка и разводка электросетей, экранирование вводов и выводов различных коммуникаций, а также вариант размещения экранируемой аппаратуры.

В настоящее время часто технические требования к радиоэлектронной аппаратуре не содержат конкретных требований по защите от излучений и электромагнитных помех. Это затрудняет проектирование, а недостаточный учет таких обстоятельств зачастую существенно снижает эффективность устройства в целом.

Решение общей или частной технической задачи по ЭМС обычно начинается с изучения радиоустройства, в результате чего выявляются источники и намечаются наиболее экономичные способы ослабления радиопомех. Эти способы могут предусматривать:

1. Введение в схемы, конструкцию и размещение узлов аппаратуры дополнительных элементов и изменений, обеспечивающих уменьшение уровней помех до минимальных значений, за счет влияния, как на источник помех, так и на пути их распространения.

2. Защиту наиболее чувствительных элементов РЭС от влияния помех путем частичного или полного экранирования.

3. Локализацию помех в местах их генерации или в объемах, из которых эти наиболее чувствительные элементы РЭС или сама аппаратура исключаются.

При всей кажущейся простоте устройства электромагнитных экранов их техническая реализация часто вызывает определенные трудности. Это вызвано значительным расхождением расчетных данных по сравнению с экспериментальными данными при отсутствии

---

Самоквасова Юлия Николаевна – ВГТУ, соискатель, тел. (473) 243-77-06, e-mail: kopr@vorstu.ru  
Ромащенко Михаил Александрович – ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, тел. (473) 243-77-06, e-mail: kopr@vorstu.ru

достаточно обоснованных методов испытания экранов в широком диапазоне частот. Поскольку во многих случаях система экранирования и фильтрации представляет собой сложный комплекс замкнутых и открытых плоских экранов, волноводных фильтров, электрических фильтров и других элементов, окончательную доработку конструкции приходится производить на макете. Однако при рациональном размещении деталей и элементов системы экранирования в соответствии с расчетными данными коррективы, вносимые в конструкцию, обычно незначительны. [1]

Теоретическое решение задачи экранирования, определение значений напряженности полей в общем случае чрезвычайно затруднительно, поэтому в зависимости от типа решаемой задачи представляется удобным рассматривать отдельные виды экранирования: электрическое, магнитоэлектрическое и электромагнитное. Последнее является наиболее общим и часто применяемым, так как в большинстве случаев при экранировании приходится иметь дело либо с переменными, либо с нерегулярно изменяющимися и реже — действительно со статическими полями.

Теоретические и экспериментальные исследования ряда авторов показали, что форма экрана незначительно влияет на его эффективность. Главным фактором, определяющим качество экрана, являются радиофизические свойства материала и конструктивные особенности. Это позволяет при расчете эффективности экрана в реальных условиях пользоваться наиболее простым его представлением: сфера, цилиндр, плоскопараллельный лист и т. п. Такая замена реальной конструкции не приводит к сколько-нибудь значительным отклонениям реальной эффективности от расчетной, так как основной причиной ограничивающей достижение высоких значений эффективности экранирования является наличие в экране технологических отверстий (устройства ввода-вывода, вентиляции), а в экранированных помещениях — устройств жизнеобеспечения, связывающих помещение с внешней средой. [2]

Экранное затухание (эффективность экранирования) остается неизменной независимо от расположения помехоносителя внутри или вне экрана (принцип обратимости экрана). Это позволяет при расчетах менять местами рецептор и источник электромагнитного поля.

Если рассмотреть эффективность экранирования различных полей с помощью уравнений Максвелла (аналитический метод расчета), то можно получить следующие соотношения [3]:

для электростатического экранирования  $S = 20 \lg(1 + \sigma t / 2\omega \epsilon_0 r)$  ;

для электромагнитного экранирования  $S = 20 \lg(1 + \mu_r t / 2r)$  ;

для магнитного экранирования в области низких

частот  $S = 10 \lg \left[ 1 + (\omega \mu \sigma r t / m)^2 \right]$ , в области высоких частот  $S = 8,68 t / \delta + 20 \lg \left[ r / (\sqrt{2} \mu \sigma m) \right]$ ,

где  $t$  - толщина экрана,  $r$  - расстояние от источника до экрана,  $\sigma$  - удельная проводимость материала экрана,  $\epsilon_0$  - диэлектрическая постоянная,  $\omega$  - частота воздействия поля,  $\delta$  - глубина проникновения поля внутрь материала,  $\mu_r$  - относительная магнитная проницаемость материала экрана,  $\mu$  - магнитная проницаемость материала экрана,  $m$  - коэффициент, используемый для отображения формы экрана (плоский экран  $m = 1$ , цилиндрический  $m = 2$ , сферический  $m = 3$ ).

Для экранирования электростатического поля, а также магнитного в области низких частот нужно выбирать материалы с большей удельной проводимостью, а так же увеличивать толщину экрана. Если рассмотреть удельную проводимость некоторых металлов, то можно увидеть, что наибольшей эффективности можно добиться, применяя медь и алюминий, так как золото и серебро являются дорогостоящими материалами.

Для электромагнитного и магнитного поля в области низких частот важным параметром является магнитная проницаемость материала. Серебро, медь, золото, свинец, а также цинк являются диамагнетиками. Они имеют магнитную проницаемость чуть меньше единицы и пользуются наименьшим приоритетом при выборе материала. Алюминий, магний, вольфрам, молибден, являются парамагнетиками, это значит что их магнитная проницаемость несколько больше единицы. Намного больше единицы магнитная проницаемость у ферромагнетиков.

Ферромагнитные материалы делятся на две большие группы – на магнитомягкие и магнитожесткие материалы. Магнитомягкие ферромагнитные материалы почти полностью размагничиваются, когда внешнее магнитное поле становится равным нулю. К магнитомягким материалам относится, например, чистое железо, электротехническая сталь и некоторые сплавы. Эти материалы применяются в приборах переменного тока, в которых происходит непрерывное перемагничивание, то есть изменение направления магнитного поля (трансформаторы, электродвигатели и т. п.). Магнитожесткие материалы сохраняют в значительной мере свою намагниченность и после удаления их из магнитного поля. Примерами магнитожестких материалов могут служить углеродистая сталь и ряд специальных сплавов.

Для электростатического поля эффективность экранирования не зависит от магнитной проницаемости.

Электромагнитное поле имеет две составляющие, его труднее экранировать, так как подобрать материал с высокой магнитной

проницаемостью и удельной проводимостью практически не возможно.

Для магнитного поля эффективность экранирования зависит от разных величин в зависимости от частоты. На низких частотах поверхностный эффект (ослабление переменного магнитного поля при проникновении в толщу металла за счет экранирования внутренних слоев вихревыми токами, циркулирующими на поверхности материала) отсутствует. В данном случае эффективность экранирования зависит от магнитной проницаемости и удельной проводимости материала. На высоких частотах глубина проникновения поля становится меньше, чем толщина экрана, что увеличивает вихревые токи в поверхностном слое, а значит, они создают большее магнитное поле обратное действующему на экран, таким образом, помехонесущее магнитное поле вытесняется из экранируемой области. Для магнитных экранов в области высоких частот играет большую роль удельная проводимость материала (для уменьшения сопротивления вихревым токам). Рекомендуется изготавливать их из меди и алюминия.

Экран без стыков, разрезов и швов изготовить достаточно сложно и трудоемко. Поэтому для обеспечения эффекта экранирования нужно, чтобы вихревые токи получали как можно меньшее сопротивление, т.е. стыки, разрезы и швы должны располагаться в направлении вихревых токов, перпендикулярно помехонесущему полю.

Следует отметить, что при экранировании электростатического поля при повышении частоты увеличивается роль вихревых токов, что переводит режим экрана в электромагнитный и происходит временное снижение эффективности экранирования. При повышении частоты вихревые токи выходят на поверхность материала и вытесняют помехонесущее поле эффективней.

Заземление для экранирования электрического поля играет большую роль на низких частотах. Эффективность экранирования зависит от качества заземления экрана и слабо от материала и толщины экрана, т.к. задача экранирования электрического поля – снизить емкость связи между экранируемыми элементами. Т.е. заряды, индуцированные на экране, стекают на землю и замыкают электрическую цепь источника помех. На высоких частотах добавляется толщина

экрана, магнитная проницаемость и удельная проводимость материала.

Есть несколько основных конструктивных вариантов исполнения экранов:

- сетчатый,
- однослойный сплошной,
- многослойный сплошной.

Действие сетчатого и однослойного сплошного экрана основано на возбуждении вихревых токов на поверхности материала. Но в сетчатом экране проволоки, расположенные параллельно помехонесущему полю не оказывают влияния на эффективность экранирования. В области высоких частот экран из редкой сетки не эффективен, при уменьшении шага сетки внешняя межвитковая индуктивность уменьшается, что приводит к улучшению характеристик экрана. В области низких частот, чем реже сетка, тем больше ее активное сопротивление, тем лучше эффективность экранирования.

Многослойные сплошные экраны представляют собой ряд чередующихся слоев магнитных и немагнитных металлов. Учитывая все вышесказанное, такие экраны наиболее эффективны для электромагнитного экранирования в широком диапазоне частот. Основной проблемой однослойных экранов является режим насыщения материала, при котором эффективность экранирования уменьшается. При использовании чередующихся слоев, один материал не дает перейти в насыщение другому. Внутренний слой желательно выполнять из немагнитного материала, который имеет большую поглощательную способность, а внешние – отражательную. Однако такие экраны часто имеют большие габариты и сложны в изготовлении.

#### Литература

1. Кечиев Л.Н., Акбашев Б.Б., Степанов П.В. Экранирование технических средств и экранирующие системы. Издательский Дом "Технологии", 2010. – 472с.
2. Т. Уилльямс, ЭМС для разработчиков продукции. Издательский Дом "Технологии", 2003. – 544с.
3. Н. В. Балюк, Л. Н. Кечиев, П. В. Степанов. Мощный электромагнитный импульс. Воздействие на электронные средства и методы защиты. Группа ИДТ, 2007. – 480с.

Воронежский государственный технический университет

## THE PROCEDURE CHOICE CONSTRUCTION MATERIALS FOR PROBLEMS SHIELDING OF ELECTRONIC DEVICES

**Y.N. Samokvasova, M.A. Romashchenko**

The problem of electromagnetic compatibility plays an important role in the development of electronic equipment at the moment. Most of the saturation of the sources of electromagnetic interference, especially in urban areas, puts on a high priority in determining the competitiveness of the product is protected from the interference. Consider the basic parameters that determine the choice of design and material of screen

Key words: electromagnetic compatibility, shielding, material, design of shield