**3. Защита информации от утечки за счет побочных электромагнитных излучений и наводок**

Рассмотрим процесс экранирования электромагнитного поля при падении плоской волны на бесконечно протяженную металлическую пластину толщиной *d*, находящуюся в воздухе (рисунок 3.19).

|  |
| --- |
| 34  Рисунок 3.19. Схематичное изображение процесса взаимодействия электромагнитной волны с металлическим экраном |

В этом случае на границе раздела двух сред с различными электрофизическими характеристиками (воздух–металл и металл–воздух) волна претерпевает отражение и преломление, а в толще экрана ввиду его проводящих свойств происходит частичное поглощение энергии электромагнитного поля. Таким образом, электромагнитная волна при взаимодействии с экраном отражается от его поверхности, частично проникает в стенку экрана, претерпевает поглощение в материале экрана, многократно отражается от стенок экрана и, в конечном счете, частично проникает в экранируемую область.

В результате общая эффективность экранирования (величина потерь энергии электромагнитной волны) металлической пластиной определяется суммой потерь за счет поглощения (затухания) энергии в толще материала *Апогл*, отражения энергии от границ раздела внешняя среда–металл и металл–экранируемая область *Аотр* и многократных внутренних отражений в стенках экрана *Амотр*:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.2) |

Потери на поглощение связаны с поверхностным эффектом в проводниках, приводящим к экспоненциальному уменьшению амплитуды проникающих в металлический экран электрических и магнитных полей.

Это обусловлено тем, что токи, индуцируемые в металле, вызывают омические потери и, следовательно, нагрев экрана.

Глубина проникновения δ определяется как величина, обратная коэффициенту затухания, и зависит от частоты: чем больше частота, тем меньше глубина проникновения. В СВЧ–диапазоне глубина проникновения δ в металлах имеет малую величину и тем меньше, чем больше проводимость металла и его магнитная проницаемость.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.3) |

где *μ* – абсолютная магнитная проницаемость материала экрана;

*f* – частота электромагнитного поля;

σ – удельная проводимость материала экрана.

Выражение для определения потерь на поглощение экраном толщиной *d* может быть представлено в следующем виде:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.4) |

Таким образом, потери на поглощение растут пропорционально толщине экрана, магнитной проницаемости и удельной проводимости его материала, а также частоте электромагнитного поля.

Потери на отражение на границе раздела двух сред связаны с различными значениями полных характеристических сопротивлений этих сред. При прохождении волны через экран она встречает на своем пути две границы раздела: воздух–металл и металл–воздух.

Хотя электрическое и магнитное поля отражаются от каждой границы по-разному, суммарный эффект после прохождения обеих границ одинаков для обеих составляющих поля. При этом наибольшее отражение при входе волны в экран (на первой границе раздела) испытывает электрическая составляющая поля, а при выходе из экрана (на второй границе раздела) наибольшее отражение испытывает магнитная составляющая поля. Для металлических экранов потери на отражение определяются выражением

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.5) |

Откуда следует, что потери на отражение велики у экрана, изготовленного из материала с высокой проводимостью и малой магнитной проницаемостью.

Потери на многократные отражения в стенках экрана связаны с волновыми процессами в толще экрана и в основном определяются отражением от его границ. Для электрических полей почти вся энергия падающей волны отражается от первой границы (воздух–металл) и только небольшая ее часть проникает в экран. Поэтому многократными отражениями внутри экрана для электрических полей можно пренебречь.

Для магнитных полей большая часть падающей волны проходит в экран, в основном отражаясь только на второй границе (металл–воздух), тем самым создавая предпосылки к многократным отражениям между стенками экрана. Корректирующий коэффициент *Амотр* многократного отражения для магнитных полей в экране с толщиной стенки d при глубине проникновения δ равен

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.6) |

Величина *Амотр* имеет отрицательное значение, т. е. многократные отражения в толще экрана ухудшают эффективность экранирования. С уменьшением эффективности можно не считаться в случаях, когда на данной частоте выполняется условие *d*>δ, но им нельзя пренебрегать при применении тонких экранов, когда толщина экрана меньше глубины проникновения.

Защита информации от утечки по электромагнитному каналу может быть обеспечена за счет снижения уровней ПЭМИ средств обработки информации при размещении их в экранированных помещениях, а также экранировании непосредственно таких средств.

Для изготовления экранов ЭМИ применяются различные материалы, объединяемые в единую конструкцию (рисунок 4.2).

Выбор материала экрана проводится исходя из обеспечения требуемой эффективности экранирования в заданном диапазоне частот при определенных ограничениях. Эти ограничения связаны с массогабаритными характерными экрана, его влиянием на экранируемый объект, с механической прочностью и устойчивостью экрана против коррозии, с технологичностью его конструкции и т. д.

Под эффективностью экранирования будем понимать отношение действующих значений напряженности электрического поля *Е1* (магнитного поля *Н1*) в данной точке при отсутствии экрана к напряженности электрического поля *Е2* (магнитного поля *H2*) в той же точке при наличии экрана:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.7) |

|  |
| --- |
| Рис 1  Рисунок 3.20. Классификация конструкций экранов электромагнитного излучения |

Здесь эффективность выражается в относительных единицах (разах). На практике обычно данную величину представляют в логарифмических единицах – децибелах (дБ):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.8) |

Однослойные конструкции экранов ЭМИ листовой формы и в виде сеток выполняются из разнообразных материалов (сталь, медь, алюминий, цинк, латунь), в том числе металлических. Металлические материалы удовлетворяют требованию устойчивости против коррозии при использовании соответствующих защитных покрытий.

Наиболее технологичными являются конструкции экранов из стали, так как при их изготовлении и монтаже можно широко использовать сварку. Толщина стали выбирается исходя из назначения конструкции экрана и условий его сборки, а также из возможности обеспечения сплошных сварных швов при изготовлении.

Использование сетчатых экранов ЭМИ обеспечивает снижение их материалоемкости. В случае когда расстояние между микропроводом сетчатого экрана соответствует λ/2, он по своим экранирующим свойствам эквивалентен сплошному металлическому листу.

Сетчатые экраны ЭМИ могут изготавливаться путем машинной вязки полотна, в процессе которой совместно с ассистирующей нитью (рисунок 3.21) в вязальное оборудование поступает микропровод, диаметр (рисунок 3.22) и материал (рисунок 3.23) которого влияет на экранирующие свойства формируемой таким образом конструкции. Эффективность экранирования данных материалов уменьшается с ростом частоты. Подобные конструкции характеризуются высоким коэффициентом отражения и обладают значительной стоимостью, вследствие использования металлов и их сплавов, что в значительной степени ограничивает их практическое использование.

|  |  |
| --- | --- |
| Петля  а) | 3  б) |
| Рисунок 3.21. Схема расположения ассистирующей нити и микропровода (а) и внешний вид сетчатого экрана ЭМИ (б) | |

|  |
| --- |
| Рисунок 3.22. Частотная зависимость эффективности экранирования для сетчатых экранов ЭМИ с различным диаметром микропровода |

|  |
| --- |
| Рисунок 3.23. Частотная зависимость эффективности экранирования для сетчатых экранов ЭМИ с микропроводом из различных материалов |

Пониженным значением коэффициента отражения обладают экраны ЭМИ, конструктивно выполненные в виде четвертьволнового поглотителя, в котором радиопоглощающий материал (РПМ) находится на некотором расстоянии от отражающей ЭМВ поверхности. Поглощение достигает максимального значения на частоте, соответствующей длине волны, четверть которой равна расстоянию между верхней поверхностью поглощающего материала и отражающей поверхностью, а также на всех ее высших нечетных гармониках (рисунок 3.24).

|  |
| --- |
| Рис 4  Рисунок 3.25. Схема взаимодействия с ЭМИ четвертьволнового экрана |

В настоящее время находят широкое применение четвертьволновые РПМ различного типа: резонансные, содержащие дипольные решетки, РПМ с плавно‑неоднородным изменением параметров с толщиной покрытия, например, диэлектрической проницаемости (рисунок 3.26).

|  |
| --- |
| 1  Рисунок 3.26. Схематичное изображение градиентного экрана ЭМИ |

Конструкции четвертьволновых экранов ЭМИ широко используются в технике. Они являются высокоэффективными с точки зрения подавления ЭМВ, но в узкой полосе частот, что обусловлено конструктивными их особенностями и представляется главным их недостатком.

Одной из важнейших задач, решаемых при создании РПМ, является уменьшение массы конструкции, что достигается путем использования порошкообразных материалов, в том числе магнитных.

Размер частиц и магнитная проницаемость порошкообразных материалов применяемых в конструкциях экранов ЭМИ, определяют их рабочий диапазон частот. Недостатком таких материалов, как и четвертьволновых РПМ, является их узкодиапазонность, а при использовании магнитных порошкообразных материалов – высокая стоимость.

Использование магнитных материалов в виде порошков, в том числе специальной формы, позволяет создавать эффективные экраны ЭМИ с граничной частотой до 10 ГГц, однако массовое практическое использование сдерживается их высокой стоимостью, обусловленной сложным технологическим процессом изготовления и дорогостоящим сырьем. Такие материалы, как правило, имеют значительную толщину, что является их недостатком.

Снижение толщины рабочего слоя РПМ достигается при совместном использовании проводящих и диэлектрических материалов, что приводит, как правило, к уменьшению механической прочности таких конструкций экранов ЭМИ. Устранение данного недостатка выполняется за счет применения композиционных материалов, получаемых путем закрепления вышеуказанных компонент (А) в связующем веществе (В) (рисунок 3.27). Однако данные материалы, как правило, узкополосные и обладают значительной стоимостью.

|  |
| --- |
| Рис 4  Рисунок 3.27 – Схематичное изображение экрана ЭМИ, выполненного на основе композиционного материала |

Для создания оптически прозрачных конструкций экранов ЭМИ используются стекла с токопроводящим покрытием. Такие экраны должны обеспечивать требуемую эффективность экранирования при ухудшении их оптических характеристик не ниже заданных граничных значений. Электрические и оптические свойства стекол с токопроводящим покрытием зависят от природы окислов, составляющих пленку, условий и методов ее нанесения и свойств самого стекла. Наибольшее распространение получили пленки на основе оксида олова, оксида индия – олова и золота, так как они обеспечивают наибольшую механическую прочность, химически устойчивы и плотно соединяются со стеклянной подложкой. Такие конструкции экранов используются для уменьшения уровня ЭМИ видеодисплейных терминалов (мониторов) (рисунок 3.28), которое распространяется в сторону пользователя. Такие материалы могут использоваться для экранирования оконных проемов защищаемых помещений.

|  |
| --- |
| Рис 4  Рисунок 3.28. Внешний вид экрана ЭМИ «Русский щит» для видеодисплейного терминала |

Создание широкодиапазонных экранов ЭМИ может быть также реализовано за счет выполнения их в виде многослойной конструкции, где каждый из слоев обладает определенным, отличным друг от друга комплексом свойств. Создание таких экранов ЭМИ в первую очередь приводит к увеличению толщины и веса конструкции, что не всегда оправдывается их эффективностью.

Формирование геометрических неоднородностей на поверхности экрана ЭМИ (пирамидальной, клиновидной формы) (рисунок 3.29) позволяет обеспечить широкодиапазонность характеристик отражения. Взаимодействие с ЭМВ в подобных конструкциях обусловлено не только параметрами материала, из которого она изготовлена, но и сложной формой волноведущей поверхности (рисунок 3.30). В таких конструкциях падающая ЭМВ преобразуется в поверхностную волну и по мере ее переотражения от неоднородностей поверхности ее энергия уменьшается.

|  |  |
| --- | --- |
| Рис 4  а) | Рис 4  б) |
| Рисунок 3.29. Внешний вид фрагментов конструкций экранов ЭМИ с геометрическими неоднородностями поверхности пирамидальной (а) и клиновидной (б) формы | |

|  |  |
| --- | --- |
| Рис 4 | Рис 4 |
| Рисунок 3.30. Внешний вид фрагментов конструкций экранов ЭМИ со сложной формой волноведущей поверхности | |

Комбинированные конструкции экранов ЭМИ имеют, как правило, многослойную структуру, выполняемую с учетом принципов построения выше рассмотренных конструкций.

**Электромагнитная маскировка** - основана на создании активных маскирующих помех (как правило, шумовых) в заданном диапазоне частот и реализуется с помощью систем активной защиты. Такие системы подразделяются на системы линейного и пространственного зашумления.

**Системы линейного зашумления** применяются для маскировки опасных сигналов в проводах, кабелях, различных токоведущих линиях и конструкциях, выходящих за пределы контролируемой территории. Объектами линейного зашумления являются, например, провода, цепи и устройства технических средств, подверженные воздействию низкочастотных электромагнитных полей, возникающих при работе ТСОИ, а также элементы и устройства, обладающие свойствами электроакустических преобразователей.

В простейшем случае система линейного зашумления представляет собой генератор шумового сигнала, формирующий шумовое маскирующее напряжение с заданными спектральными, временными и энергетическими характеристиками, который подключается в зашумляемую токоведущую линию (рисунок 3.31).

|  |
| --- |
| 37  Рисунок 3.31. Схема включения системы генератора шумового сигнала |

|  |
| --- |
| Рис 5  Рисунок 3.32. Внешний вид устройства линейного зашумления «SEL SP-44» |

**Системы пространственного зашумления** применяют для создания маскирующих помех в окружающем пространстве (рисунок 3.33). В состав системы входят:

– генераторы шумового сигнала;

– усилители, обеспечивающие необходимую мощность шумового сигнала в заданном диапазоне частот;

– антенны;

– устройства коммутации и контроля.

Цель зашумления считается достигнутой в том случае, когда отношение опасный сигнал/шум на границе контролируемой территории в окружающем пространстве или в токоведущей линии уменьшается до требуемого уровня, не позволяющего средствам перехвата качественно решать задачи обнаружения и анализа опасного сигнала. Способы размещения и подключения систем линейного и пространственного зашумления определяются особенностями схемного решения, расположения и монтажа защищаемых объектов и средств зашумления.

|  |
| --- |
| Рис 5  Рисунок 3.33. Внешний вид устройства пространственного зашумления «ПАЗК‑01» |

При применении систем активной зашиты необходимо учитывать их возможное влияние на качество работы защищаемых и других технических средств, расположенных в зоне действия электромагнитных полей, создаваемых ими.

Одним из методов локализации опасных сигналов, циркулирующих в технических средствах и системах обработки информации, является фильтрация. В источниках электромагнитных полей и наводок фильтрация осуществляется с целью предотвращения распространения нежелательных электромагнитных колебаний за пределы устройства – источника опасного сигнала. Фильтрация в устройствах – рецепторах электромагнитных полей и наводок – должна исключить их воздействие на рецептор.

В системах и средствах информатизации и связи фильтрация может осуществляться в:

– высокочастотных трактах передающих и приемных устройств для подавления нежелательных излучений – носителей опасных сигналов – и исключения возможности их нежелательного приема;

– различных сигнальных цепях технических средств для устранения нежелательных связей между устройствами и исключения прохождения сигналов, отличающихся по спектральному составу от полезных сигналов;

– цепях электропитания, управления, контроля, коммутации технических средств для исключения прохождения опасных сигналов по этим цепям;

– проводных и кабельных соединительных линиях для защиты от наводок;

– цепях пожарной и охранной сигнализации для исключения прохождения опасных сигналов и воздействия навязываемых высокочастотных колебаний.

Одна из возможных схем фильтрации опасных сигналов, создаваемых или воспринимаемых техническим средством по различным цепям, представлена на рисунок 3.34.

|  |
| --- |
| 35  Рисунок 3.34. Обобщенная схема фильтрации |

Фильтрация в различных цепях осуществляется с помощью фильтров, дросселей и трансформаторов.

В целях фильтрации в технических средствах систем информатизации и связи широко используют различные фильтры (нижних и верхних частот, полосовые, заграждающие и т. д.). Основное назначение фильтра – пропускать без значительного ослабления сигналы с частотами, лежащими в рабочей полосе, и подавлять сигналы с частотами, лежащими за пределами этой полосы.

Количественно эффективность ослабления (фильтрации) нежелательных (в том числе и опасных) сигналов защитным фильтром оценивается в соответствии с выражением

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.9) |

где *U1(P2)* – напряжение (мощность) опасного сигнала на входе фильтра;

*U2(P2)* – напряжение (мощность) опасного сигнала на выходе фильтра при включенной нагрузке.

Основные требования, предъявляемые к защитным фильтрам, заключаются в следующем:

– величины рабочих напряжения и тока фильтра должны соответствовать величинам напряжения и тока цепи, в которой фильтр установлен;

– эффективность ослабления нежелательных сигналов должна быть не меньше заданной в защищаемом диапазоне частот;

– ослабление полезного сигнала в полосе прозрачности фильтра должно быть незначительным, не влияющим на качество функционирования системы;

– габариты и масса фильтров должны быть, по возможности, минимальными;

– фильтры должны обеспечивать функционирование при определенных условиях эксплуатации (температура, влажность, давление, удары, вибрация и т. д.);

– конструкции фильтров должны соответствовать требованиям техники безопасности.

К фильтрам цепей питания наряду с общими предъявляются следующие дополнительные требования:

– затухание, вносимое такими фильтрами в цепи постоянного тока или переменного тока основной частоты, должно быть незначительным (например 0,2 дБ и менее) и иметь большое значение (более 60 дБ) в полосе подавления, которая в зависимости от конкретных условий может быть достаточно широкой (до 1010 Гц);

– сетевые фильтры должны эффективно работать при больших проходящих токах, высоких напряжениях и высоких уровнях мощности рабочих и подавляемых электромагнитных колебаний;

– ограничения, накладываемые на допустимые уровни нелинейных искажений формы напряжения питания при максимальной нагрузке, должны быть достаточно жесткими (например уровни гармонических составляющих напряжения питания с частотами выше 10 кГц должны быть на 80 дБ ниже уровня основной гармоники).

**Фильтры нижних частот.** Фильтр, у которого полоса прозрачности находится в пределах от ω=0 (постоянный ток) до некоторой граничной частоты ω*n*, называется фильтром нижних частот (ФНЧ) (рисунок 3.35, а).

**Полоса прозрачности (пропускания) фильтра** – полоса частот, в которой ослабление сигнала фильтром составляет не более 3 дБ.

**Фильтры верхних частот.** Фильтр, у которого полоса прозрачности занимает все частоты выше некоторой определенной граничной частоты ω*n*, называется фильтром верхних частот (ФВЧ). В таком фильтре постоянный ток и все колебания с частотами ниже определенной граничной частоты должны задерживаться, а колебания частот ω>ωn – пропускаться (рисунок 3.35, б).

**Полосовые фильтры.** Полосовые фильтры (ПФ) характеризуются тем, что обе частоты ω*n*1, и ω*n*2 ограничивающие полосу прозрачности, конечны и ни одна из них не равна нулю (рисунок 3.35, в).

В ряде случаев ставится задача задержания определенной полосы частот и в то же время пропускания всех остальных частот. Такая задача решается **заграждающим фильтром (ЗФ)** (рисунок 3.35, г).

С точки зрения конструктивного исполнения фильтры могут быть выполнены на элементах с сосредоточенными параметрами (фильтры, предназначенные для работы на частотах до 300 МГц) и на элементах с распределенными параметрами (коаксиальные, волноводные, полосковые, применяемые на частотах выше 1 ГГц). В диапазоне частот 300 МГц…1 ГГц могут использоваться фильтры, включающие элементы как с сосредоточенными, так и с распределенными параметрами.

**Разделительные трансформаторы.** Должны обеспечивать развязку первичной и вторичной цепей по сигналам наводки. Это означает, что во вторичную цепь трансформатора не должны проникать наводки, появляющиеся в цепи первичной обмотки. Проникновение наводок во вторичную обмотку объясняется наличием нежелательных резистивных и емкостных цепей связи между обмотками.

|  |  |
| --- | --- |
| Безымянный  а) | Безымянный  б) |
| Безымянный  в) | Безымянный  г) |
| Рисунок 3.35. Амплитудно-частотные характеристики ФНЧ (а), ФВЧ (б), ПФ (в), ЗФ (г) | |

Для уменьшения связи обмоток по сигналам наводок часто применяется внутренний экран, выполняемый в виде заземленной фольги, укладываемой между первичной и вторичной обмотками. С помощью этого экрана наводка, действующая в первичной обмотке, замыкается на землю.

Разделительные трансформаторы используются с целью решения ряда задач, в том числе для:

– разделения по цепям питания источников и рецепторов наводки, если они подключаются к одним и тем же шинам переменного тока;

– устранения асимметричных наводок;

– ослабления симметричных наводок в цепи вторичной обмотки, обусловленных наличием асимметричных наводок в цепи первичной обмотки.