

8.ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ПЛОСКОГО ЭКРАНА

Цель работы: исследовать влияние материала экрана на эффективность экранирования.

Краткие сведения

Экранирование служит для ослабления электрических, магнитных и электромагнитных полей, а именно для того, чтобы исключить проникновение и воздействие таких полей на элементы, блоки, приборы, кабели, помещения, здания, а также для того, чтобы подавить исходящие из электрических и электронных промышленных средств и устройств помехи, обусловленные полями. Экран устанавливается между источником и приемником помех и снижает напряженности E_0 и H_0 , воздействующего поля до значений E_1 , H_1 за экраном (рис.1).

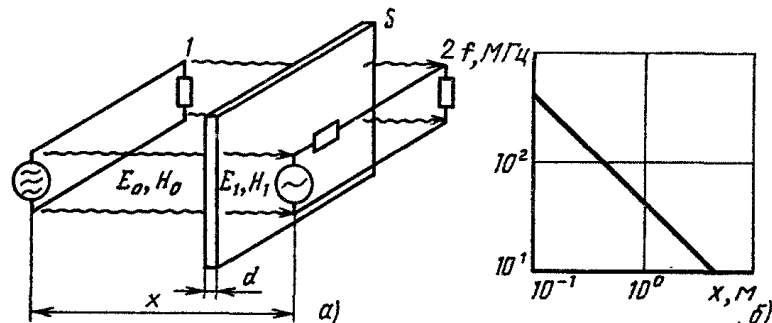


Рисунок 1. Рис. 1. Экранирование контуров от внешних электромагнитных полей:
а – принципиальное расположение контуров 1, 2 и экрана S; б – граница между условиями ближнего (нижняя левая часть) и дальнего (верхняя правая часть) полей

Результирующий коэффициент экранирования K , дБ можно определить как

$$K_E = 20 \lg(E_0/E_1) \text{ или } K_H = 20 \lg(H_0/H_1) \quad (1)$$

Физическая сущность электромагнитного экранирования сводится к тому, что под действием источника электромагнитной энергии на стороне экрана, обращенной к источнику, возникают заряды, а в его стенках – токи, поля которых во внешнем пространстве по интенсивности близки к полю источника, а по направлению противоположны ему, в результате чего происходит взаимная компенсация полей. С позиции волновых представлений эффект экранирования возникает вследствие многократного отражения электромагнитных волн от поверхности экрана и затухания энергии в металлической толще экрана (рис.2). Такое рассмотрение является упрощенным, природа же электромагнитного экранирования гораздо сложнее.

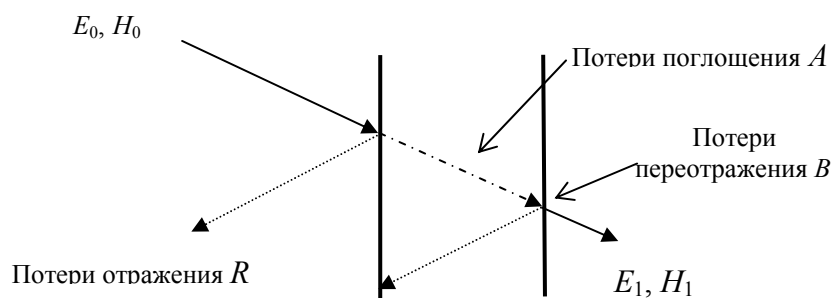


Рисунок 2. Экранирование с точки зрения волновых представлений

С точки зрения волновых представлений эффект экранирования проявляется из-за многократного отражения электромагнитных волн от поверхности экрана и затухания энергии волн в его металлической толще. Отражение электромагнитной энергии обусловлено несоответствием волновых характеристик диэлектрика, в котором расположен экран, и материала экрана. Чем больше это несоответствие, тем больше отличаются волновые сопротивления экрана и диэлектрика, тем интенсивнее частичный эффект экранирования, определяемый отражением электромагнитных волн.

Эффективность экранирования сплошного проводящего барьера также может быть записана как сумма потерь отражения, переотражения и поглощения:

$$K = R + A + B, \text{ дБ} \quad (2)$$

где R – ослабление энергии падающей волн за счет отражения на границе сред;

A – ослабление энергии вследствие затухания энергии в толще экрана;

B – ослабление из-за внутренних отражений в самом экране. Значение B всегда имеет отрицательное значение, поскольку многократные повторные отражения ухудшают эффективность экранирования.

Однако расчет электромагнитных экранов с достаточной точностью пока возможен только некоторых в идеализированных случаях:

- бесконечно плоский экран на пути распространения плоской волны;
- размещение точечного источника в центре герметичного идеального проводящего экрана сферической формы;
- бесконечно длинный идеально проводящий цилиндр с излучателем в виде бесконечной нити, расположенной на оси этого цилиндра.

Все эти случаи не отражают реальных условий работы экрана, поскольку не учитывают соотношений между длиной волны и линейными размерами экрана, характером источника, неравномерностью распределения поля внутри экрана, неоднородностью материала и конструкции самого экрана и главным образом возможностью проникновения поля через щели и отверстия, имеющиеся в реальном экране.

На эффективность экранирования оказывают существенное влияние частота поля, электропроводность и магнитная проницаемость материала экрана, конфигурация, размеры и толщина экрана. Принципиально следует иметь в виду, что эффективность экранирования зависит от наличия дефектов

и отверстий в стенке экрана (трещин, дверных, вентиляционных и оконных проемов, кабельных вводов и отверстий для элементов обслуживания и сигнализации), а также то, что внутри экранированных объемов могут возникать резонансные эффекты.

Эффективность экранирующих устройств ориентировочно может быть оценена следующим образом:

- $K < 10$ дБ – недостаточное экранирование,
- $10 < K < 30$ дБ – минимальные требования по экранированию,
- $30 < K < 60$ дБ – достаточное экранирование,
- $60 < K < 90$ дБ – хорошее экранирование,
- $90 < K < 120$ дБ – предельно хорошее экранирование.

На эффективность экранирования оказывают существенное влияние частота поля, электропроводность и магнитная проницаемость материала экрана, конфигурация, размеры и толщина экрана. Принципиально следует иметь в виду, что эффективность экранирования зависит от наличия дефектов и отверстий в стенке экрана (трещин, дверных, вентиляционных и оконных проемов, кабельных вводов и отверстий для элементов обслуживания и сигнализации), а также то, что внутри экранированных объемов могут возникать резонансные эффекты.

Материалы для экранов

1. Металлические материалы:

Металлические материалы выбирают из условия:

- достижения заданной величины ослабления электромагнитного поля и его составляющих в рабочем диапазоне частот при соответствующих ограничениях размеров экранов и его влияния на экранируемый объект;
- устойчивости против коррозии и механической прочности;
- технологичности конструкции экрана и получения требуемых его конфигурации и высоко габаритных характеристик.

Первому требованию удовлетворяют практически все применяемые в настоящее время листовые материалы (сталь, медь, алюминий, латунь), так как при соответствующей их толщине обеспечивают достаточно высокую эффективность экранирования.

Для экранирования используются как немагнитные материалы, так и ферромагнитные материалы. Экранирующее действие немагнитных материалов ($\mu_r=1$, $\sigma_r=0,6-1$) происходит из-за магнитных полей, созданных вихревыми токами. При этом постоянное магнитное поле совсем не экранируется, а низкочастотное переменное ослабляется незначительно. Напротив, электрические поля такими экранами демпфируются очень хорошо.

Экраны из магнитных материалов ($\mu_r \gg 1$, $\sigma_r < 1$) ослабляют электрические поля в области низких частот хуже, чем экраны из немагнитных, однако они вызывают определенное ослабление постоянных магнитных полей. С повышением частоты демпфирующее действие в отношении электрических и магнитных полей возрастает.

Однако в реальных экранах указанные свойства магнитных и немагнитных материалов проявляются слабо. Ввиду экономических и конструктивных соображений предпочтение отдается стальной конструкции экранов. Преимущества стали, теряются только при экранировании токонесущих элементов, критичных к вносимым в них потерям, (т.е. применение стальных экранов ограничено из-за больших потерь, вносимых ими).

Применение стали для экранов обусловлено еще тем, что при монтаже такого экрана можно широко использовать сварку.

Толщина стали, выбирается исходя из вида и назначения конструкции, условий ее монтажа и из возможности осуществления сплошных сварных швов. При сварке на переменном токе толщину берут примерно 1,5-2 мм, на постоянном токе – около 1 мм, при газовой сварке – 0,8 мм.

К недостаткам листовых металлических экранов можно отнести:

- высокую стоимость (бронза, серебро и т.д.);
- значительный вес и габариты;
- сложность пространственного решения конструкции;
- низкую эффективность самого металла, реализуемую лишь на 10-20% из-за несовершенства конструкции.

2. Сеточные материалы:

Сеточные материалы нашли широкое применение в экранировании из-за своих преимуществ перед листовыми. Металлические сетки значительно легче листовых материалов, проще в изготовлении, удобны в сборке и эксплуатации, обеспечивают достаточный обмен воздуха, светопроницаемы, они обладают достаточной эффективностью экранирования во всем диапазоне радиочастот. Однако сетки имеют не высокую механическую прочность, быстро теряют эффективность экранирования из-за старения (эта потеря происходит за счет коррозии сеток, поэтому сетки специально покрывают антикоррозийным лаком).

Экранирующие свойства металлических сеток проявляются главным образом в результате отражения электромагнитных волн от их поверхности. Параметрами сетки, определяющими ее экранирующие свойства, являются шаг сетки S , равный расстоянию между соседними центрами проволоки, радиус проволоки r и удельная проводимость материала сетки.

Различают густые и редкие сетки. К первым относятся сетки, для которых: $S/d < 4$. При $S/d > 4$ – редкие сетки.

3. Фольговые материалы:

К ним относятся электрически тонкие материалы толщиной 0,01...0,05 мм. В сортамент фольговых материалов входят в основном диамагнитные материалы – алюминий, латунь, цинк. Стальные фольговые материалы промышленность не выпускает.

Монтаж фольговых экранов несложен, т.к. крепление фольги к основе экрана проводится приклепыванием. Выбор клея должен производиться с учетом условий эксплуатации экрана, к которым относятся температура, влажность, вибрационные нагрузки и др. Выбор толщины материала должен производиться с учетом возможностей возникновения резонансных явлений.

Существуют графики для различных материалов, где указывается для самой низшей резонансной частоте экрана зависимость толщины от частоты при различной эффективности экранирования.

Эффективность экранирования фольговыми материалами достаточно высока для электромагнитного поля и электрической составляющей. Магнитную составляющую такие материалы ослабляют сравнительно мало и тем меньше, чем больше длина волны.

4. Токопроводящие краски:

Использование токопроводящих красок для электромагнитного экранирования является весьма перспективным направлением, т.к. их применение исключает необходимость проведения сложных и трудоемких работ по монтажу экрана, соединению его листов и элементов между собой.

Токопроводящие краски создаются на основе диэлектрического пленкообразующего материала с добавлением в него проводящих составляющих, пластификатора и отвердителя. В качестве токопроводящих пигментов используют коллоидное серебро, графит, сажу, оксиды металлов, порошковую медь, алюминий. Токопроводящая краска обычно устойчива и сохраняет свои начальные свойства в условиях резких климатических изменений и механических нагрузок.

5. Металлизация поверхностей:

Металлизация различных материалов для электромагнитного экранирования получает все большее распространение благодаря большой производительности и универсальности методов нанесения покрытий. Из существующих методов нанесения покрытий наиболее удобным является метод распыления расплавленного металла струей сжатого воздуха. Нанести металлический слой можно на любую поверхность таких материалов, как плотная бумага, картон, ткань, дерево, текстолит, пластмасса, сухая штукатурка, цементированные поверхности и др.

Металлизационные слои могут быть различной толщины. Толщина слоя не зависит от вида металла – покрытия, а зависит от свойств подложки (основания). Количество наносимого слоя металла должно соответствовать физико-химическим свойствам материала подложки, его прочным и деформационным характеристикам. Например, для плотной бумаги слой металла должен быть не более $0,28 \text{ кг/м}^2$, для ткани – до $0,3 \text{ кг/м}^2$. Для жесткой подложки количество наносимого металла существенно не ограничивается, т.к. более существенные ограничения обуславливаются высоко габаритными характеристиками экрана.

Наиболее распространенным покрытием является цинк. Это покрытие технологично, обеспечивает сравнительно высокую эффективность экранирования, достаточную для многих экранов механическую прочность. Алюминиевые покрытия имеют эффективность на 20 дБ выше, чем цинковые, но они менее технологичны.

Следует заметить, что при прочих равных условиях эффективность экранирования металлизированным слоем ниже, чем сплошным листом той же

толщины. Это объясняется тем, что проводимость нанесенного слоя меньше, чем проводимость исходного материала (металла).

Металлизация поверхностей может успешно применяться для экранирования помещений и кабин, в условиях деления РЭС на отдельные экранированные отсеки при неметаллической общей несущей конструкции, для отдельных устройств, монтируемых в пластмассовых корпусах.

Металлические поверхности наносят и на стеклянные поверхности. Стекла с токопроводящими покрытиями в основном используются в смотровых окнах и искальных системах РЭС, в экранированных системах РЭС и камерах с целью обеспечения доступа в них света. Замкнутый экран из стекол с токопроводящим покрытием используют и тогда, когда требуется наблюдать за происходящим внутри экрана процессами.

В настоящее время имеется номенклатура стекол с токопроводящими покрытиями, имеющих поверхностное сопротивление не менее 6 Ом при ухудшении прозрачности не более чем на 20%. Эффективность экранирования у таких стекол составляет примерно 30 дБ.

Наибольшее распространение получили пленки из оксида олова, так как они обеспечивают наибольшую механическую прочность, химически устойчивы и плотно соединяются со стеклянной поверхностью (подложкой).

б. Материалы, применяемые для защиты от СВЧ – колебаний:

а). Специальные ткани (типа РТ и артикула 4381).

Ткань РТ изготавливается из капроновых нитей, скрученных с расплющенной и посеребренной медной проволокой диаметром 35...50 мм.

У ткани артикула 4381 нитка свита с эмалированным микропроводом ПЭЛ-0,06. Число металлических ниток может быть 30х30, 20х20, 10х10 и 6х6 в 1 см. поскольку провод изолирован, то поверхностное сопротивление этой ткани велико.

Из таких тканей обычно изготавливают специальные костюмы для индивидуальной биологической защиты.

б). Радиопоглощающие материалы (РПМ):

Эти материалы не относят к экранирующим материалам, хотя некоторые из них выпускаются на металлической основе, которая при тщательном соединении ее отдельных частей и элементов может служить экраном. Однако монтаж таких экранов очень сложен, поэтому поглощающим материалом экран покрывают внутри с целью уменьшения отражения радиоволн.

в). Электропроводные клеи (ЭПК):

Целесообразно этот клей использовать вместо пайки, болтовых соединений там, где нужно электромагнитное экранирование. Шовное соединение, крепление контактных систем и различных элементов экранов, заполнение щелей и малых отверстий, установка экран на несущей конструкции – эти и другие операции успешно могут быть осуществлены с помощью ЭПК при высокой эффективности экранирования и сокращения объема работ.

Состав ЭПК – это эпоксидная смола, заполненная тонкодисперсными порошками (железо, кобальт, никель). Клей очень быстро отверждается (5 мин.), если процесс проводить с помощью токов высокой частоты.

Аппаратура для измерений

Источником синусоидального сигнала является генератор ГЗ-33. Он генерирует синусоидальное напряжение амплитудой частотой от 20 Гц до 200 кГц. Регистрация импульсов осуществляется цифровым осциллографом PSC500A, совмещенным с компьютером.

Порядок работы

1. Собрать электрическую схему экспериментальной установки. Внутреннее сопротивление генератора ГЗ-33 установить 5 Ом
2. Для 5–8 значений частоты сигнала измерить величину напряжения на антенне без экрана $U_{\text{вх}}$. Результаты занести в табл.1.
3. Установить экран и измерить величину напряжения на антенне без экрана $U_{\text{вых}}$.
4. Установить экран из другого металла и повторить измерения по п.3.
5. Рассчитать коэффициент экранирования K , по формуле: $K=20\lg(U_{\text{вх}}/U_{\text{вых}})$.
6. Построить зависимости $K=f(\lg(f))$. Проанализировать полученные результаты.
7. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 4.2

f, Гц	$U_{\text{вх}}$, В	$U_{\text{вых}}$, В	K , дБ	Материал экрана

Контрольные вопросы

1. Для чего применяются экраны?
2. В чем заключается физическая сущность электромагнитного экранирования?
3. От каких факторов зависит эффективность экранирования?
4. Перечислить области применения экранов из различных материалов.