

УДК 537.868

В.А. Крамарь, д-р техн. наук, профессор

А.И. Харланов, канд. техн. наук, доцент

Д.В. Кузнецов, адъюнкт

Академия военно-морских сил имени П.С. Нахимова,

Ул. Дыбенко, 1а, г. Севастополь, 299028

ОСОБЕННОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ СМОТРОВЫХ ОКОН И ШКАЛЬНЫХ СИСТЕМ СУДОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Рассмотрены устройства смотровых окон, шкальных систем, а также индикаторов измерительных приборов РЭС в аспекте влияния помех, создаваемых мощными электромагнитными излучениями

Ключевые слова: *смотровые окна, шкальные системы, индикаторы измерительных приборов.*

Постановка проблемы. Актуальность устойчивой работы судовой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) в условиях воздействия мощных электромагнитных излучений (МЭМИ) на современном этапе, объясняется, прежде всего, постоянным ростом плотности и мощности ЭМИ. Это обуславливает постоянное усложнение электромагнитной обстановки, в которой действуют радиоэлектронные средства (РЭС), т.е. растет вероятность неблагоприятного воздействия на их работу непреднамеренных излучений естественного и искусственного происхождения, источником которых, являются гроззовые разряды и мощные радиопередающие средства самих судов [1].

При решении задач организации безопасности судоходства, необходимо учитывать степень воздействия электромагнитных (ЭМ) полей, в том числе и на приборы систем навигации, которыми оборудованы суда.

Анализ последних достижений и публикаций.

В существующих публикациях о возможностях воздействия ЭМ полей радиочастотного диапазона на радиоэлектронную аппаратуру был проведен анализ и даны предложения по ослаблению этих воздействий. Предложены меры снижающие уровни наводимых напряжений в приборах радиоэлектронных средств (РЭС) путем применения конструкционных, схмотехнических и структурно-функциональных методов защиты [2 – 4].

Выделение нерешенных частей общей проблемы. Одной из частей проблемы ослабления влияний МЭМИ является проникновение МЭМИ через смотровые и шкальные окна РЭС в сами приборы и воздействие ЭМ полей на компоненты приборов и внутриблочные линии связи.

Цель статьи. Целью данной статьи является анализ особенностей экранирования таких окон.

Изложение основного материала. Из приведенных в [1, 2, 4, 5] исследований и расчетов выяснено, что кроме наиболее вероятного пути проникновения разного рода МЭМИ в радиоэлектронную аппаратуру – «прямого», существует путь через отверстия в приборах, служащие для вентиляции, доступа света и наблюдения за происходящим внутри. Для экранирования смотровых окон, шкальных систем, а также индикаторов измерительных приборов РЭС применяются стекла с токопроводящим покрытием.

Такие стекла должны обеспечивать необходимую эффективность экранирования не ниже установленных граничных значений. Электрические и оптические свойства стекол с токопроводящим покрытием зависят от природы окислов, составляющих проводящую пленку, условий и методов ее нанесения и свойств самого стекла [6]. Для экранирования могут применяться пленки из окислов одного металла или смеси металлов. При условиях сохранения прозрачности стекол с потерями не более 10 % и обеспечения достаточной электропроводности толщина пленки покрытия может колебаться в широких пределах: от $0,5 \cdot 10^{-8}$ до $(2...3) \cdot 10^{-6}$ м.

Наибольшее распространение получили пленки из окиси олова, так как они обеспечивают наибольшую механическую прочность, химически устойчивы и плотно соединяются со стеклянной подложкой [6].

Для нанесения пленки диоксида олова чаще всего используют раствор хлората олова, который наносят на предварительно нагретую поверхность стекла. Такие пленки обладают высокой удельной электропроводностью. Удельное поверхностное сопротивление пленки линейно зависит от ее толщины. Варьируя толщину пленки, можно получать покрытия с различной электропроводностью и соответственно степенью экранирования. Токопроводящая пленка диоксида олова термически достаточно устойчива: в интервале температур $0...270$ °С. На воздухе электропроводность пленки практически не изменяется во времени. При нагревании на воздухе до более высоких температур электропроводность пленки постепенно снижается. Пленки устойчивы к воздействию электрического

тока: выдерживают напряжение до 5 кв/см, плотность тока до 50 А/мм². При наибольшей толщине пленки прозрачность стекла снижается всего на 5...10 %, что практически не сказывается на работе с изделиями, имеющими стекла с токопроводящими покрытиями.

Такие стекла в основном используются в смотровых окнах и шкальных системах РЭА, в экранированных камерах с целью обеспечения доступа в них света. Замкнутый экран из стекол с токопроводящим покрытием используется и тогда, когда требуется наблюдать за происходящими внутри экрана процессами [6].

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 в радиотехническом диапазоне волн. Но не только поверхностное сопротивление зависит от толщины токопроводящей пленки, также толщина пленки определяет, в свою очередь, величину потери прозрачности. Поэтому при изготовлении и использовании стекол с токопроводящей поверхностью необходимо определить оптимальную толщину пленки [6]:

$$d = 0,053\rho \mathcal{E}_o, \quad (1)$$

где ρ – удельное сопротивление материала пленки, Ом·м; $\mathcal{E}_o$ – эффективность экранирования в относительных единицах; d – толщина покрытия, м.

Однако из последнего выражения непосредственно найти толщину тонкой пленки нельзя, поскольку значение ρ , определяемое из таблиц, нелинейно уменьшается с толщиной d , а сама зависимость между d и ρ точно неизвестна. Для каждого вида материала она может быть установлена экспериментально. Так, например, в результате обработки экспериментальных данных для алюминия при толщинах до $6 \cdot 10^{-8}$ м получена приближенная формула [6]:

$$R \approx \exp(10,1 - 4,7 \cdot 10^8 d) \quad (2)$$

где R – поверхностное сопротивление, Ом; d – толщина пленки, м.

Погрешность вычисления по этой формуле не превышает 20 %. Так как стекла с эффективностью ниже 20 дБ практического применения не имеют, то в соответствии с [6] для экранирования в диапазоне частот до 10 ГГц необходимо получить поверхностное сопротивление не менее 19 Ом, поэтому толщина покрытия должна быть более или равна:

$$d \geq \frac{4,1 - \lg R}{2 \cdot 10^8} \approx 0,65 \cdot 10^{-8} \text{ м}, \quad (3)$$

Как показывают исследования, эффективность в 20 дБ для рассматриваемого случая может быть получена только при незначительном переходном сопротивлении между поверхностью пленки и экраном, что возможно при соответствующем обеспечении надежного и тщательного соединения стекла с каркасом [6].

По мере улучшения контакта, эффективность экранирования приближается к расчетной, хотя получение надежного контакта по всему периметру токопроводящего слоя стекла с экраном представляет трудную техническую задачу. Область применения металлизированных стекол в целях экранирования может быть расширена при решении задачи обеспечения надежного контакта между поверхностью стекла и экрана, хотя бы за счет уменьшения поверхностного сопротивления на краях стекла, в местах контактирования с экраном, что может быть достигнуто увеличением толщины токопроводящей пленки.

Кроме стекол с токопроводящим покрытием в различного рода индикаторах и измерительных приборах могут применяться либо окна с проводящим слоем, либо оптически прозрачные подложки.

Например, между двумя слоями стекла может находиться тонкая проволоочная сетка из металлической проволоки диаметром 0,05 мм и размером ячейки $1,27 \times 1,08$ мм.

Расчет степени экранирования здесь проводят по формуле для расчета эффективности экранирования сетчатыми материалами, учитывая эквивалентную толщину сетки и ее шаг [4]:

$$A_{E(H)} = \sqrt{\frac{\pi d_s^2}{4S\rho}} Z_{E(H)} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{R_e}} e^{\frac{\pi d_s}{S-d_s}}, \quad (4)$$

где ρ – удельное сопротивление материала экрана, Ом/м; $Z_{E(H)}$ – волновое сопротивление электрического (магнитного) поля, Ом; R_e – эквивалентный радиус экрана, м; d_s – диаметр сетки, м; S – шаг, м.

В настоящее время для экранирования панелей применяют окна, изготовленные осаждением металла в вакууме на оптически прозрачную подложку, в качестве которой используют стекло либо некоторые пластмассы того или иного цвета [2].

Окна с проводящими слоями или оптически прозрачные подложки крепят к панелям корпусов экранов РЭС с помощью прижимных устройств и уплотняющих электромагнитных проводящих

прокладок, которые обеспечивают необходимый электрический контакт окон с корпусом РЭС или его панелью.

Выводы. В ходе рассмотрения примеров устройства смотровых окон и шкальных систем современных РЭС, выявлено следующее:

- существующие на данный момент номенклатура стекол с токопроводящим покрытием позволяет достигать эффективности экранирования до 30 дБ;
- возможно увеличение степени экранирования за счет увеличения толщины металлического слоя покрытия, которое должно проводиться без значительного ухудшения оптических свойств стекла;
- кроме стекол с токопроводящим покрытием, достичь хорошего экранирования представляется возможным путем введения металлической сетки между двумя стеклами;
- эффективность экранирования приближается к расчетной, при получении надежного контакта по всему периметру токопроводящего слоя стекла с экраном.

Библиографический список использованной литературы

1. Кучер Д.Б. Мощные электромагнитные излучения и сверхпроводящие защитные устройства / Д.Б. Кучер. — Севастополь: Изд-во «Ахтиар», 1997. — 188 с.
2. Кравченко В.И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи / В.И. Кравченко, Е.А. Болотов, Н.И. Летунова. — М.: Радио и связь, 1987. — 256 с.
3. Рикетс Л.У. Электромагнитный импульс и методы защиты / Л.У. Рикетс, Дж.Э. Бриджес, Дж. Майлетта: Пер. с англ. / Под ред. Н.А. Ухина. — М.: Атомиздат, 1979. — 328 с.
4. Винников В.В. Основы проектирования РЭС. Электромагнитная совместимость и конструирование экранов / В.В. Винников. — С-Пб: Изд-во Северо-западный техн. ун-т, 2006. — 174 с.
5. Харланов А.И. Моделирование влияний некоторых электромагнитных помех на входные цепи судовых радиоэлектронных средств / А.И. Харланов, Д.В. Кузнецов // Сб. науч. тр. Академии ВМС. — Севастополь, 2013 — Вып. 1 (13). — С. 86–94.
6. Полонский Н.Б. Конструирование электромагнитных экранов для радиоэлектронной аппаратуры / Н.Б. Полонский. — М.: Сов. радио, 1979. — 216 с.

Поступила в редакцию 14.10.2014 г.

Крамарь В.О., Харланов А.І., Кузнецов Д.В. Особливості екранування оглядових вікон і шкальної систем суднових радіоелектронних засобів

Розглянуто пристрої оглядових вікон, шкальних систем, а також індикаторів вимірювальних приладів РЕЗ в аспекті впливу перешкод, створюваних потужними електромагнітними випромінюваннями

Ключові слова: оглядові вікна, шкальних систем, індикаторів вимірювальних приладів.

Kramar V.A., Harlanov A.I., Kuznetsov D.V. Shielding features of viewing windows and scaling systems ship radio-electronic equipment

Viewing windows device, readout systems, as well as indicators of measuring instruments REE in terms of the interference impact caused by powerful electromagnetic radiation are considered.

Keywords: viewing windows, readout systems, indicators of measuring instruments.