

$$(E + E') \cos \alpha = E'' \cos \beta; \quad (9)$$

$$(H - H')^2 = (H'')^2 + 2j_e^2, \quad (10)$$

где напряженности без штрихов относятся к амплитуде падающей волны, с одним штрихом – к отраженной, с двумя – к преломленным волнам. Введя амплитудный коэффициент отражения: $r_{||} = \frac{E'}{E}$, и используя связь между E, H в электромагнитной волне, из уравнений (9), (10) получили

$$r_{||} = \frac{-c_2 \pm \sqrt{c_2^2 - c_1(c_1 + 2j_e^2)}}{c_1},$$

где

$$c_1 = \frac{\varepsilon_0}{\mu_0} \left\{ \frac{\varepsilon_2}{\mu_2} * \frac{\cos^2 \alpha}{1 - \frac{\varepsilon_1 \mu_1}{\varepsilon_2 \mu_2} \sin^2 \alpha} - \frac{\varepsilon_1}{\mu_1} \right\};$$

$$c_2 = \frac{\varepsilon_0}{\mu_0} \left\{ \frac{\varepsilon_2}{\mu_2} * \frac{\cos^2 \alpha}{1 - \frac{\varepsilon_1 \mu_1}{\varepsilon_2 \mu_2} \sin^2 \alpha} + \frac{\varepsilon_1}{\mu_1} \right\}; \quad j_e = \frac{j_p}{E}.$$

Коэффициент отражения R интенсивности излучения равен: $R_{||} = r_{||}^2$.

Результаты расчетов коэффициентов отражения R_{\perp} и $R_{||}$ от угла падения α при различных значениях эффективной поверхностной плотности тока j_e на границе воздух-вода, представлены на рисунках 3 и 4. Они показывают, что коэффициент отражения для s -поляризованной волны R_{\perp} с увеличением j_e возрастает при всех углах падения. Коэффициент отражения для p -поляризованной волны $R_{||}$ с увеличением j_e возрастает при углах падения меньших угла Брюстера, и уменьшается при углах падения больших угла Брюстера.

УДК 537.874

ГИБКИЕ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЕ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ФОЛЬГИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Бойправ О.В., Богущ Н.В., Лыньков Л.М.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Предложена методика изготовления структур, содержащих в своем составе фольгированные материалы и характеризующихся гибкостью и низкой массой на единицу площади. Выполнены измерения значений коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7–17,0 ГГц структур, изготовленных в соответствии с предложенной методикой. С использованием результатов выполненных измерений рассчитаны значения коэффициента поглощения электромагнитного излучения таких структур. На основании анализа рассчитанных значений установлено, что структуры, изготовленные в соответствии с предложенной методикой, характеризуются радиопоглощающими свойствами. Эти структуры рекомендованы для использования в целях изготовления перегородок типа «занавес», предназначенных для функционального зонирования помещений, направленного на электромагнитную развязку расположенных внутри этих помещений радиоэлектронных приборов.

Ключевые слова: воздухопроницаемость, гибкость, радиопоглощающая структура, фольгированный материал.

FLEXIBLE RADIO-ABSORBING STRUCTURES BASED ON FOILED MATERIALS

Boiprav O., Bogush N., Lynkou L.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Belarus*

Abstract. The technique for the making of structures containing foiled materials and characterized by flexibility and low mass per unit area has been proposed. The measurements of the electromagnetic radiation reflection and transmission coefficients values in the frequency range 0.7–17.0 GHz of the structures made in accordance with the proposed method have been performed. Using the measurements results, the electromagnetic radiation absorption coefficient values of such structures have been calculated. Based on the analysis of the calculated values, it was found that the structures made in accordance with the proposed technique are characterized by radio-absorbing properties. These structures are recommended for use in the manufacture of partitions of the “curtain” type, intended for functional zoning of premises, aimed at the electromagnetic decoupling of the electronic devices located inside these premises.

Key words: air permeability, flexibility, radio-absorbing structure, foiled material.

*Адрес для переписки: Бойправ О.В., ул. П. Бровки, 6, г. Минск 220013, Республика Беларусь
e-mail: smu@bsuir.by*

Обеспечение электромагнитной развязки радиоэлектронных приборов – одна из ключевых

задач, которую необходимо решать в целях создания условий для корректной работы этих

приборов. Как правило, решение этой задачи связано с использованием изделий на основе материалов или структур, обеспечивающих ослабление мощности электромагнитного излучения [1]. В случае, если радиоэлектронные приборы, электромагнитную развязку которых необходимо обеспечивать, не являются стационарными, то планируемые к применению в указанной цели изделия должны характеризоваться гибкостью и низкой массой на единицу площади. Это связано с тем, что представленные свойства обуславливают высокую степень транспортабельности изделий, для которых они характерны.

Авторами предложена методика изготовления структур, обеспечивающих ослабление энергии электромагнитного излучения и характеризующихся представленными свойствами. Предложенная методика включает в себя следующие шаги.

1. Откраивание от нетканого полиэфирного полотна фрагмента прямоугольной формы, длина и ширина которого не менее габаритных размеров, которыми должна характеризоваться изготавливаемая структура.

2. Откраивание от рулона фольгированной самоклеящейся пленки полос, ширина которых равна $0,5 \pm 0,1$ см, а длина – длине диагонали фрагмента нетканого полиэфирного полотна, откраенного в рамках шага 1. Для определения количества откраиваемых полос необходимо использовать совокупность следующих условий:

- откраенные полосы должны быть размещены под углом 45° по отношению к двум смежным сторонам фрагмента нетканого полиэфирного полотна;

- откраенные полосы должны быть размещены на обеих поверхностях фрагмента нетканого полиэфирного полотна с шагом, значение которого сопоставимо со значением четверти длины электромагнитной волны в рабочем диапазоне частот изготавливаемой структуры.

3. Закрепление полос, откраенных в рамках шага 2, на обеих поверхностях фрагмента нетканого полиэфирного полотна, откраенного в рамках шага 1, в соответствии с условиями, использованными в рамках шага 2.

4. Придание полученной структуре требуемой формы с использованием станка для фигурной резки поролона.

Для установления типа структур, получаемых с помощью предложенной методики (радиоэкранирующие или радиопоглощающие), выполнено следующее.

1. В соответствии с предложенной методикой изготовлены образцы структур.

2. Выполнены измерения значений коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7–17,0 ГГц изготовленных образцов. Для этого были ис-

пользованы панорамный измеритель коэффициентов отражения и передачи SNA 0,01–18 [2] и методика [3].

3. Выполнен расчет коэффициента поглощения электромагнитного излучения изготовленных образцов с использованием формулы

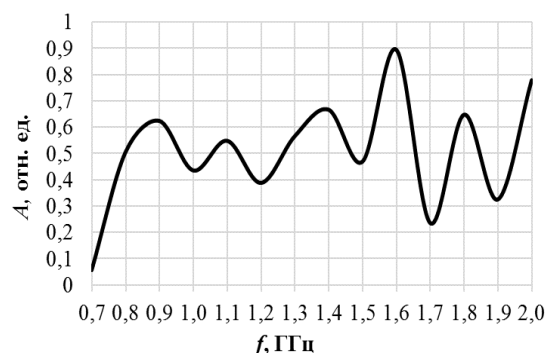
$$A = 1 - R - T,$$

где R и T – соответственно значения коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения, выражаемые в разгах и вычисляемые на основе следующих формул:

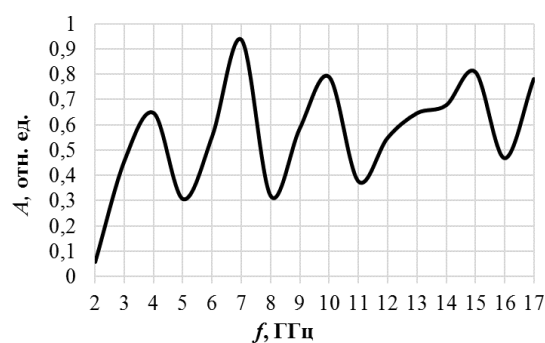
$$R = 10^{\frac{S_{11}}{10}}, T = 10^{\frac{S_{21}}{10}},$$

где S_{11} и S_{21} – соответственно измеренные значения коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения, выраженные в децибелах.

Полученная в результате реализации представленных действий частотная зависимость коэффициента поглощения электромагнитного излучения в диапазоне 0,7–17,0 ГГц структур, изготовленных в соответствии с предложенной методикой, приведена на рис. 1.



а



б

Рисунок 1 – Частотная зависимость коэффициента поглощения электромагнитного излучения в диапазоне 0,7–2,0 ГГц (а) и 2,0–17,0 ГГц (б) структур, изготовленных в соответствии с предложенной методикой

Из рис. 1 следует, что структуры, изготовленные в соответствии с предложенной методикой обеспечивают поглощение в среднем более 50 % мощности взаимодействующего с ними электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7–17,0 ГГц. Таким образом, указанные структуры являются радиопоглощающими. Они представляются перспективными для использования в изготовлении изделий, предназначенных для функционального зонирования помещений, в которых располагаются радиоэлектронные приборы, чувствительные к воздействию электромагнитных помех. Такие изделия должны представлять собой занавесы, размещаемые между указанными приборами и закрепляемые на направляющих, зафиксированных либо на потолке помещения, либо на специальном подвижном каркасе.

Благодарности. Работа выполнена в рамках НИР «Эластичные и воздухопроницаемые электромагнитные экраны на основе фольгированных материалов для обеспечения информационной

и экологической безопасности» по заданию № 1.5 «Разработка новых материалов и технологий для систем электромагнитной защиты радиоэлектронного и информационного оборудования, биологических объектов от воздействия широкого спектра электромагнитных излучений, обеспечения электромагнитной безопасности населения и электромагнитной совместимости электро- и радиотехнических средств и оборудования» ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии» на 2021–2025 гг.

Литература

1. EMI shielding: methods and materials – a review / S. Geetha [et al.] // Journal of Applied Polymer Science, 2009. – Vol. 112, № 4. – P. 2073–2086.
2. Скалярные анализаторы цепей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mwmlab.com/oborudovanie/izmeritelnoe-svch-oborudovanie/skalyarnye-analizatory-cepей>. – Дата доступа: 21.09.2021.
3. Изделия электронные СВЧ. Методы измерения электрических параметров : ГОСТ 20271.1-91.

УДК 004.056:061.68

ПОДАВЛЕНИЕ ПОМЕХ В БЕСПРОВОДНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Бокуть Л.В.¹, Деев Н.А.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается один из компенсационных методов подавления интенсивных узкополосных помех в системе передачи дискретно-непрерывных сообщений. Исследуется помехоустойчивость устройств обработки двоичных сигналов с межсимвольной псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ).

Ключевые слова: обработка сигналов, дискретно-непрерывные сообщения, подавление помех, перестройка рабочей частоты.

SUPPRESSION OF HINDRANCES IN WIRELESS INFORMATION SYSTEMS

Bokut L.¹, Deev N.²

¹Belarusian National Technical University

²The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus

Minsk, Belarus

Abstract. In the work one of compensation methods of suppression of intensive narrow-band hindrances in the system of transfer of discrete and continuous messages is considered. The noise stability of processing devices of binary signals with the intersymbolical pseudorandom reorganization of operating frequency (PROF) is investigated.

Key words: processing of signals, discrete and continuous messages, suppression of hindrances, reorganization of operating frequency.

Адрес для переписки: Бокуть Л.В., ул. Якуба Коласа, 22, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: lvbokut@bntu.by

В настоящее время одной из важных проблем при функционировании беспроводных информационных систем передачи данных является обеспечение защищенности и повышение стойкости к воздействию аддитивных, мультипликативных помех и межсимвольной интерференции [1].

Для снижения вероятности ошибки на бит при действии интенсивных узкополосных помех целесообразно применение адаптивных компенсаторов помех (АКП). С этой целью в каждый из частотных каналов включается АКП, обеспечивающий обнаружение помехи и оценку ее уровня