

МУЛЬТИСЛОЙНЫЙ СВЧ ПОГЛОТИТЕЛЬ

Островский О. С.^{*}, Одаренко Е. Н.^{**}, Шматько А. А.^{**}

^{*} Украинская инженерно-педагогическая академия, ул. Университетская, 16, Харьков – 61003, Украина, Тел.: (0572) 206313; e-mail: oos@ukr.net

^{**} Харьковский национальный университет, пл. Свободы, 4, Харьков-61077, Украина Тел.: (0572) 7075424; e-mail: evgeniy.n.odarenko@univer.kharkov.ua

Аннотация – Представлены результаты численного решения задачи определения влияния поглощающих сред на параметры монохроматических и импульсных сигналов. Установлены закономерности взаимодействия сигналов с границами поглощающих сред, отдельными слоями и многослойными поглотителями. Приведены результаты численной оптимизации характеристик многослойного широкополосного поглотителя.

I. Введение

Созданию эффективных поглотителей СВЧ энергии, определению электродинамических характеристик слабо отражающих материалов традиционно уделяется большое внимание в радиофизике. Этот интерес связан с разработкой широкополосных поглощающих экранов, отражающих и просветляющих покрытий и др. на основе многослойных структур [1, 2]. При разработке слоистых поглотителей актуальна задача получения наименьшего отражения гармонических и несинусоидальных сигналов при минимальной толщине материала.

II. Основная часть

При разработке сверхширокополосных (СШП) поглощающих покрытий определяющим является согласование поглощающей структуры с окружающим пространством, при котором интегральный эффект отражения минимален.

У непоглощающих материалов, имеющих $\epsilon = \mu$, волновые сопротивления свободного пространства и магнетодиэлектрика совпадают. При этом отражение от границы материала стремится к нулю для углов падения волны близких к нормальному. Следует отметить, что коэффициент отражения не зависит от абсолютных значений диэлектрической (ϵ) и магнитной (μ) проницаемостей, а определяется их отношением: $q = (\mu/\epsilon)^{1/2}$.

Нормальное падение электромагнитных волн на границу раздела поглощающих сред достаточно подробно рассмотрено в работе [1]. На рис.1 приведены графики зависимости от приведенной частоты $\Omega = \omega\epsilon/\sigma = 1/\text{tg}\delta$ модуля коэффициента отражения E -поляризованной электромагнитной волны поглощающим полупространством при различных значениях параметра q . Волна падает из свободного пространства на границу проводящей среды под углом $\alpha = 60^\circ$ (относительно нормали к границе раздела сред).

Минимум коэффициента отражения наблюдается при $q=2$. В случае отсутствия потерь коэффициент отражения равен нулю, а при увеличении σ значение модуля коэффициента отражения увеличивается. Следует отметить, что при замене $q \rightarrow 1/q$ характеристики для H - и E -поляризованного поля совпадают.

Временные зависимости напряженностей полей, отраженных от оптимизированного поглотителя сигналов различной длительности T_s приведены на рис. 2. Кривая 1 соответствует $T_s = 10^{-8}$ с, 2- $T_s = 10^{-9}$ с, 3- огибающие импульсов. Спектры рассматриваемых сигналов находятся в рабочей полосе частот поглотителя,

углом падения близок к нормальному, несущая частота $f_0 = 0.45$ ГГц.

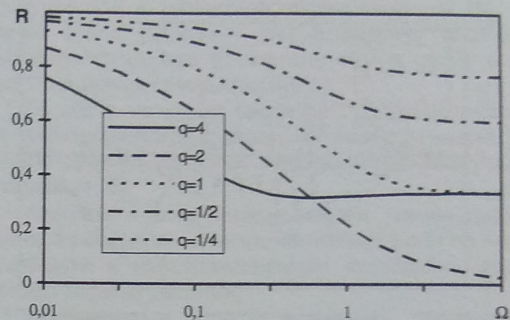


Рис. 1. Частотные зависимости модуля коэффициента отражения от границы раздела сред.

Fig. 1. Frequency relations of a coefficient module for reflection from a medium boundary surface

В качестве широкополосного поглотителя рассматривается трехслойная металлизированная магнетодиэлектрическая структура, оптимизированная по уровню отражения электромагнитных волн. Ее общая толщина составляет 21 мм.

Исходной точкой для оптимизации были выбраны характеристики слоев магнетодиэлектриков, близкие к приведенным в [1]. Процесс оптимизации проводился методом Хука-Дживса [3]. При этом использовались естественные границы для параметров оптимизации. Минимизируемая функция задавалась как алгебраическая сумма модулей коэффициентов отражения электромагнитных волн в N точках заданного частотного диапазона.

Для рассматриваемой структуры в интервале углов падения $\pm 30^\circ$ уровень энергии отраженного сигнала не превышает 1% от энергии падающей волны в полосе частот до 0.2 ГГц. Поглощение в структуре практически не зависит от поляризации падающей волны [6]. При отклонении значений параметров слоев от оптимальных на 5%, максимальное приращение усредненного в диапазоне длин волн модуля коэффициента отражения не больше 0,02.

В исследуемых структурах не рассматривались нелинейные эффекты и полученные решения в частотном представлении использовались для исследования поглощения импульсов в структуре. Для перехода от пространственно-частотного представления к пространственно-временному было применено обратное преобразование Фурье [2].

Для длительных импульсных сигналов со сравнительно узкой полосой частотного спектра (рис.2, кривая 1) поглощение сигнала практически равномерно в полосе частот. Суммарная отраженная энергия составляет в данном случае 0.28% от энергии падающего поля, а пиковая амплитуда - около 5% от амплитуды падающего сигнала.

Для более коротких импульсов в пределах основной части спектра сигнала зависимости амплитуды и фазы отраженного сигнала неравномерны. Это приводит к существенным искажениям формы и расплыванию импульсов [5]. В данном случае суммарная энергия отраженного поля составляет 0,75% от энергии падающего, а пиковая амплитуда – 8,5% от амплитуды возбуждающего импульса (рис. 2, кривая 2). Т.е., по сравнению с характеристиками узкополосного сигнала, отношение пиковая амплитуда/суммарная отраженная мощность широкополосного сигнала уменьшается [6].

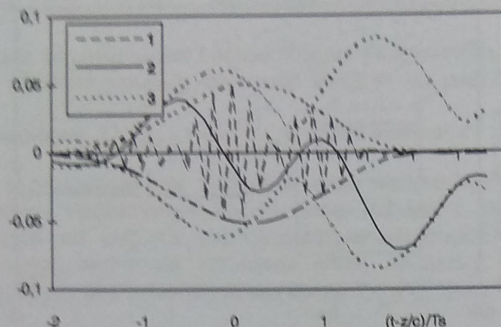


Рис. 2. Отражение импульсных сигналов.

Fig. 2. Reflection of impulse signals

III. Заключение

Одним из перспективных направлений создания СШП поглощающих покрытий является использование магнитодиэлектрических материалов, материальные константы которых близки – $\epsilon = \mu$.

Численный анализ характеристик рассеянных полей и оптимизационные алгоритмы позволяют определить параметры слоистых поглотителей и практически полностью отказаться от сложной процедуры экспериментального подбора параметров слоев.

На основе характеристик слоистой структуры, полученных в частотном представлении, рассчитаны ее импульсные характеристики рассеяния. Суммарная энергия отраженного импульсного сигнала определяется уровнем отражения от структуры (амплитудно-частотными характеристиками), а форма сигнала – резонансными характеристиками структуры (амплитудно и фазо-частотными характеристиками) в пределах полосы частот сигнала.

IV. Список литературы

- [1] Hamuth H. F. Antennas and Waveguides for Nonsinusoidal Waves. Orlando e. a.: Acad. Press, 1984.
- [2] Островский О. С., Одаренко Е. Н., Шмат'ко А. А. Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн// Физическая инженерия поверхности.- 2003.- Т.1, № 2.- С. 160-172.
- [3] Вайнштейн Л. А., Вакман Д. Е. Разделение частот в теории колебаний и волн. М., 1983.
- [4] Банди Б. Методы оптимизации. М.: Радио и связь, 1988.
- [5] Ostrovskiy O., Soroka A., Shmat'ko A. Pulse transformation by waveguide and grating with inner dielectric layer// Proc. ISA'93. Nanjing, China, 1993.- P. 424-427.
- [6] Островский О. С. Неотражающие стратификации// Вісник Харківського університету. Радіофізика та електроніка.- 1999.- Вип. 1, № 427.- С. 42-45.

MULTILAYER MICROWAVE ABSORBER

Ostrovskiy O.* , Odarenko E.** , Shmat'ko A.**
 * Ukrainian Engineering-Pedagogical Academy
 16, Universitetskaya St., Kharkov, 61003, Ukraine
 Phone: (0572) 206313, e-mail: ooooc@ukr.net
 ** Kharkov National University
 Svobody Sq.4, Kharkov - 61077, Ukraine
 Phone: (0572) 7075424
 E-mail: evgeniy.n.odarenko@univer.kharkov.ua

Abstract - The problem of the microwave signal reflection and absorption by the multilayer loss media is solved. The optimum structure of an absorber is developed for the minimum number of layers. Space-time structure of electromagnetic field reflected by the multilayer structure is investigated by the Fourier method.

I. Introduction

The big attention in radiophysics is paid to creation of effective microwave absorbers. At development of stratified absorbers the obtaining of the signal least reflection is actual at minimum width of a material.

II. Main part

It is well known that electromagnetic wave reflected by the non-conducting media boundary is defined by the ratio of its wave impedance $q = (\mu/\epsilon)^{1/2}$. If the constants μ and ϵ are the same, the layer is like the free space. The reflection of normally falling electromagnetic waves by the boundary of two absorbing media is considered in detail in [1].

For the falling angles which differ from normal, the reflected field nature is quite another. Fig.1 shows the dependence of reflection coefficient module R on frequency parameter $\Omega = \omega\epsilon/\sigma = 1/\tan\delta$ for the different values of q in the case of E- polarization. One can notice that characteristics of reflected E- and H-polarized waves are the same, then $q \rightarrow 1/q$. The angle between the wave vector and the normal to the boundary is $\alpha = 60^\circ$. The figure shows that the conductance greater the reflectance higher. The minimum of R is achieved, when $\sigma = 0$.

The largest absorption takes place in layers with resonant thickness. Three layers on the metal surface are considered as an absorber. This structure has been optimized for the sake of largest absorption in the frequency band. The value of R in the case of $\alpha = 0$ is not more than 0,1. The total optimum thickness is 0.21 mm.

Fig. 2 shows time dependence of pulse sharpening reflected from the absorber. Curve 1 corresponds to the initial pulse duration of $T_s = 10^{-8}$ s, 2- $T_s = 10^{-9}$ s. The carrier frequency is equal to $\omega = 0.45$ GHz. In the case 1 the total reflected energy equal to 0.28 comparatively to the incidence energy and peak amplitude near 5 % comparatively to the incidence pulse amplitude. For the more shorter pulses one can observe considerable pulse distortion and widening.

III. Conclusion

The optimum structure of an absorber is developed for the minimum number of layers. In the angle interval $\pm 30^\circ$, the energy reflection does not exceed 1% for the E- or H-polarized waves. The absorber quality is restricted with reference to the definite pulse duration.