

УДК.621.396

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭКРАНА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КАК МНОГОПОЛЮСНИКА СВЧ

В.Е. ЧЕМБРОВИЧ

*Военная академия Республики Беларусь**Минск, 220057, Беларусь**Поступила в редакцию 17 мая 2003*

Приведен пример расчета многослойного экрана электромагнитного излучения на основе представления экрана и маскируемого объекта в виде четырехполюсника СВЧ. Предложенная методика позволяет предъявить требования к экрану в зависимости от конкретных условий работы, исследовать влияние параметров отдельного слоя многослойной конструкции на свойства экрана, сформировать оптимальную конструкцию экрана. Предложенная модель не учитывает особенностей формы, конструкции объекта и физические параметры экрана.

Ключевые слова: многослойный экран электромагнитного излучения, матрица рассеяния четырехполюсника СВЧ, коэффициент отражения.

Введение

Одним из способов уменьшения радиолокационной заметности объектов является применение поглощающих экранов электромагнитного излучения. Маскирующее действие таких экранов основано преимущественно на поглощении как падающей на объект, так и отраженной от объекта электромагнитной энергии. Конструктивно они могут быть выполнены в виде комбинации нескольких слоев экранирующих материалов с одинаковыми или различающимися параметрами. Практический интерес представляет разработка методик формального анализа многослойных экранов и поиск оптимальной конструкции.

Теоретический анализ

Экран или объект можно представить в виде многополюсников СВЧ. Взаимодействие экрана или объекта с электромагнитной волной осуществляется через два плеча — входящее и выходящее. В каждом из плеч наблюдается падающая и отраженная волны. В теории СВЧ принято считать, что число полюсов многополюсника равно удвоенному числу плеч, поэтому мы имеем дело с четырехполюсниками СВЧ (рис. 1).

На рис. 1 a_1, a_2 — волны, падающие в плечи 1 и 2, b_1, b_2 — волны, отраженные от плеч 1 и 2. Руководствуясь общими принципами теории многополюсников для выходящих волн b_1 и b_2 , можно записать следующую систему уравнений:

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2,$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2.$$

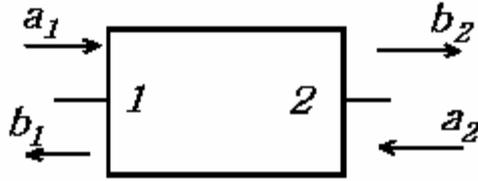


Рис. 1. Схема четырехполюсника СВЧ

В матричной форме записи

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}, \text{ или } b = Sa.$$

Матрица S называется матрицей рассеяния четырехполюсника. Элементы матрицы имеют следующий физический смысл: S_{11} — коэффициент отражения от плеча 1; S_{12} — коэффициент передачи из плеча 2 в плечо 1; S_{21} — коэффициент передачи из плеча 1 в плечо 2; S_{22} — коэффициент отражения от плеча 2.

Применение экрана перед маскируемым объектом эквивалентно каскадному включению двух четырехполюсников СВЧ (рис.2). Маскируемый объект для четырехполюсника экрана представляет собой нагрузку с коэффициентом отражения Γ_H . В случае металлического объекта $\tilde{A}_f = 1$.

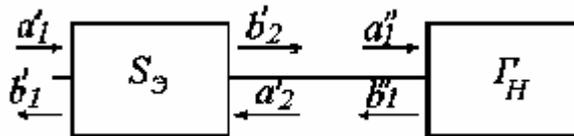


Рис. 2. Схема каскадного соединения четырехполюсников экрана и объекта

В рамках выбранной модели задача снижения радиолокационной заметности объекта сводится к обеспечению того, чтобы коэффициент отражения от каскадного соединения четырехполюсников экрана и объекта был равным коэффициенту отражения от окружающей местности

Подключение к четырехполюснику экрана четырехполюсника нагрузки приводит к увеличению результирующего коэффициента отражения. Выражение для него можно получить с помощью методов теории направленных графов [1]:

$$K_{OTP} = S_{11Э} + \frac{S_{21Э} S_{12Э} \Gamma_H}{1 - S_{22Э} \Gamma_H}. \quad (1)$$

Для уменьшения коэффициента отражения необходимо уменьшать коэффициенты передачи $S_{21Э}$ и $S_{12Э}$, увеличивать коэффициент отражения $S_{22Э}$ при малом значении коэффициента отражения $S_{11Э}$.

Поглощающие экраны чаще всего представляют из себя комбинацию нескольких слоев экранирующих материалов с одинаковыми или различными электрофизическими свойствами. Многослойная конструкция моделируется каскадным включением матриц рассеяния отдельных слоев.

Элементы результирующей матрицы рассеяния двухслойного экрана

$$S_{Э} = S' \oplus S'' = \begin{bmatrix} S_{11Э} & S_{12Э} \\ S_{21Э} & S_{22Э} \end{bmatrix}$$

вычисляются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} S_{11\bar{y}} &= S'_{11} + \frac{S'_{12}S''_{11}S_{21}}{1 - S'_{22}S''_{11}}, \quad S_{12\bar{y}} = \frac{S'_{12}S'_{12}}{1 - S'_{22}S''_{11}}, \\ S_{21\bar{y}} &= \frac{S''_{21}S'_{21}}{1 - S'_{22}S''_{11}}, \quad S_{22\bar{y}} = S''_{22} + \frac{S''_{21}S'_{22}S''_{12}}{1 - S'_{22}S''_{11}}. \end{aligned} \quad (2)$$

Используя эти формулы, можно рассчитать конструкцию многослойного экрана при известных параметрах каждого слоя или предъявить требования к параметрам каждого слоя, зная необходимые экранирующие, весовые объемные параметры экрана.

Результаты моделирования

Если не учитывать неровности поверхности земли и неоднородность поверхностного слоя, то отражение от окружающей местности определяется только комплексной диэлектрической проницаемостью земной поверхности $\hat{\epsilon}$ (диэлектрической проницаемостью и удельной проводимостью).

Например, сухая почва для длины волны 3 см имеет относительную диэлектрическую проницаемость $\epsilon=2...5$ и удельную проводимость $\gamma=0,1-0,2$ См/м [2]. Модуль коэффициента отражения при указанных параметрах среды и нормальном падении волны на границу раздела находится в диапазоне от 0,14 до 0,37.

Используя выражение (1), можно определить элементы матрицы рассеяния экрана, обеспечивающие требуемое значение коэффициента отражения от системы экран+объект. Решить задачу можно способом подстановки значений некоторых элементов и вычисления остальных с помощью уравнения (1). При выборе модуля коэффициента отражения экрана $|S_{11\bar{y}}|$ должно соблюдаться условие $|S_{11\bar{y}}| < K_{OTP}$.

Остановимся на более простом случае, когда матрица экрана является взаимной, т.е. $|S_{11\bar{y}}| = |S_{22\bar{y}}|$, $|S_{12\bar{y}}| = |S_{21\bar{y}}|$. Выражение (1) запишется в следующем виде:

$$K_{OTP} = |S_{11\bar{y}}| + \frac{|S_{21\bar{y}}|^2 \cdot |\Gamma_H|}{1 - |S_{11\bar{y}}| \cdot |\Gamma_H|},$$

откуда получим

$$|S_{21\bar{y}}| = \sqrt{(K_{OTP} - |S_{11\bar{y}}|)(1 - |S_{11\bar{y}}|)}.$$

Выполним расчет по приведенным формулам для случая, когда значение модуля коэффициента отражения от сухой почвы равно 0,33. Выберем $|S_{11\bar{y}}|=0,3$, тогда модуль коэффициента передачи экрана $|S_{21\bar{y}}|=0,15$ (коэффициент отражения от нагрузки принят равным 1). Получили довольно низкое значение требуемого коэффициента передачи.

График зависимости требуемого значения $S_{21\bar{y}}(S_{12\bar{y}})$ от выбранного значения $S_{11\bar{y}}(S_{22\bar{y}})$ представлен на рис. 3. Чем больше значение коэффициента отражения экрана, тем меньшим коэффициентом передачи он должен обладать, чтобы выполнялось условие $K_{OTP}=0,33$.

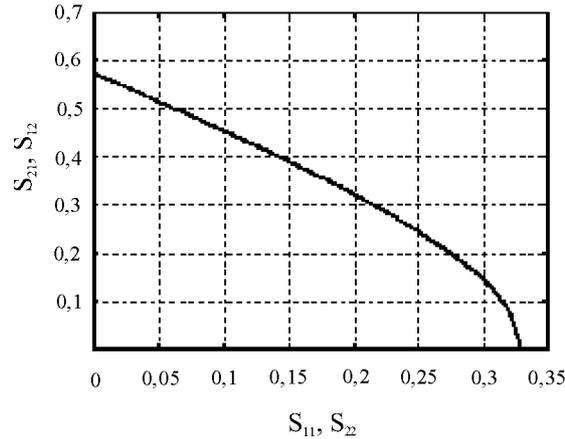


Рис. 3. Значения модулей коэффициентов передачи и отражения взаимной матрицы экрана, обеспечивающие коэффициент отражения от объекта 0,33

Используя выражения (2), рассчитаем конструкцию многослойного экрана обеспечивающего коэффициент отражения от системы экран+объект равным 0,33, если все слои имеют одинаковую матрицу рассеяния [3]

$$S = \begin{bmatrix} .24 & .36 \\ .62 & .50 \end{bmatrix}.$$

В графическом виде результаты моделирования представлены на рис. 4.

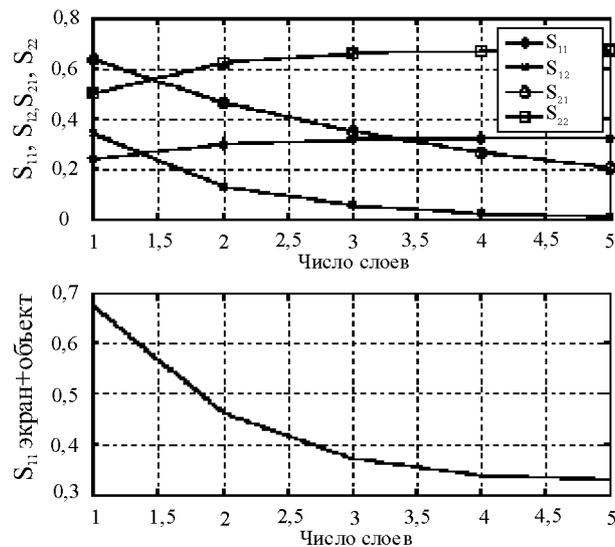


Рис.4. Значения элементов матрицы рассеяния многослойного экрана и коэффициента отражения от замаскированного объекта в зависимости от числа слоев

По мере увеличения числа слоев коэффициенты передачи $S_{21Э}(S_{12Э})$ экрана уменьшаются, а коэффициенты отражения $S_{11Э}(S_{22Э})$ увеличиваются. За счет уменьшения коэффициентов передачи экрана коэффициент отражения от системы экран+объект уменьшается. Для того чтобы обеспечить отражение от объекта на уровне значения 0,33, потребуется конструкция из пяти слоев.

Анализ результатов моделирования показывает, что коэффициент отражения внешнего слоя должен быть довольно низким. Одним из способов выполнения этого является создание условий для рассеянного отражения от границы за счет формирования неровностей на поверхности слоя.

Заключение

Таким образом, представление поглощающего экрана и маскируемого объекта в виде четырехполюсников СВЧ позволяет в самом общем виде предъявить требования к экрану в зависимости от характера местности и маскируемого объекта, исследовать влияние параметров отдельного слоя многослойной конструкции на свойства экрана, сформировать оптимальную конструкцию экрана.

DESIGN PROCEDURE OF THE ELECTROMAGNETIC RADIATION SHIELD AS MULTITERMINAL NETWORK OF MICROWAVE FREQUENCIES

V.E. CHEMBROVICH

Abstract

The example of calculation of the multilayered screen of electromagnetic radiation is resulted on the basis of representation of the screen and maskable object as the two-port network of the microwave. The offered technique allows demanding to the screen depending on concrete operating conditions, to investigate influence of parameters of a separate layer of a multilayered design on properties of the screen, to generate an optimum design of the screen. The offered model does not take into account features of the form, a design of object and physical parameters of the screen.

Литература

1. *Силаев М.А., Брянцев С.Ф.* Приложение матриц и графов к анализу СВЧ-устройств. М., 1970.
2. *Зубкович С.Г.* Статистические характеристики радиосигналов, отраженных от земной поверхности. М., 1968.
3. *Чембрович В.Е.* //Сборник научных статей ВА РБ. Мн., 2001. № 6.