

последствия естественного монополизма. Должны совершенствоваться законодательная база, развиваться подготовка методического, технического и организационного обеспечения СОЭБ.

Литература:

1. Панченко В.Н. Механізм відтворення та підвищення віддачі основного капіталу авіапідприємств.-К.: Фенікс, 2002.-364с.
2. Лукинов І. Інвестиційна активність в економічному оновленні та зростанні // Економіка України, 1999.-№8 –С.4-8.
3. Перепелюк А.В. Эффективное управление транспортом в условиях рынка.-М.: Транспорт, 1997.- 186 с.
4. Экономика переходного периода. Уч. пособие / Под. Ред.В.В. Радаева,
5. А.В. Бузгалина.- М.: Изд-во МГУ, 1996.- 410 с.
6. Програма “Україна-2010” (стратегія політичного, соціального та економічного розвитку) // Економіст.- 1998.-№12. – С.5-21.
7. Кулаев Ю.Ф. Экономическая оценка технических решений и инвестиционных проектов на воздушном транспорте.-К.:КМУГА,1999.-20 с.

Поступила 20.03.2003

После доработки 4.06.2003

УДК 621.372

Т.Л. Куртсеитов

СИНТЕЗ СЛОИСТЫХ СРЕД СО СТУПЕНЧАТОЙ НЕРЕГУЛЯРНОСТЬЮ

В настоящее время для решения проблемы уменьшения радиолокационной заметности объектов используются различные поглощающие покрытия [1-5], важной составной частью которых являются диэлектрические среды со ступенчатой нерегулярностью по толщине [5-7]. При этом задача расчета покрытия решается как задача анализа [1-7]. То есть, перед расчетом, исходя из каких-либо физических соображений, выбирается количество слоёв и их распределённые параметры. Полученная структура анализируется, и если электрические характеристики не удовлетворяют исходным требованиям, то осуществляется изменение распределённых параметров и расчёт вновь повторяется.

Задача расчёта поглощающего покрытия, как правило, сводится к определению распределённых параметров диэлектрического слоя по известному поверхностному сопротивлению [1,2,4]. Данная задача для слоёв с непрерывным изменением волнового сопротивления приближённо решена в работах [5,8]. Для диэлектрических слоёв, состоящих из слоистых сред со ступенчатой нерегулярностью, задача определения волнового сопротивления, то есть распределённых параметров, по поверхностному сопротивлению в настоящее время не решена. Из вышеизложенного следует, что недостатком существующих методов расчёта диэлектрических слоёв является отсутствие общего подхода к выбору диэлектрической структуры, что не позволяет реализовать потенциальные характеристики поглощающих покрытий.

Целью данной статьи является обобщение теории цепей Ричардса [9-11] на синтез диэлектрических слоёв. Решение данной задачи позволит рассчитывать слои со ступенчатой нерегулярностью, которые обладают потенциально возможными свойствами. Решению данного вопроса и посвящена данная статья.

Будем считать, что диэлектрический слой покрытия состоит из набора диэлектрических слоёв с постоянными, но различными волновыми сопротивлениями $Z_{bi}, i = 1, 2, 3, \dots, n$, где n - количество диэлектрических слоёв. Времена задержек слоёв полагаем одинаковыми и равными t . Схема диэлектрического слоя показана на рис. 1.

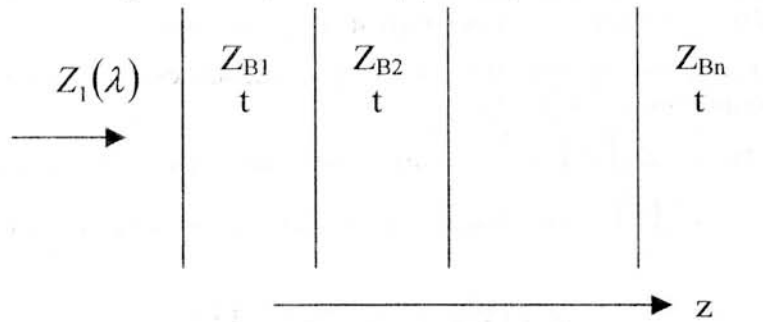


Рис.1 Слоистая среда со ступенчатой нерегулярностью

В общем случае гармонические во времени процессы в слоистой среде описываются уравнениями Максвелла:

$$\text{rot}\bar{H} = j\omega\epsilon\bar{E}; \quad \text{rot}\bar{E} = j\omega\mu\bar{H}. \quad (1)$$

Полагая, что на среду нормально падает плоская однородная волна, из уравнений (1) получаем:

$$-\frac{dE}{dz} = j\omega\mu H; \quad -\frac{dH}{dz} = j\omega\epsilon E, \quad (2)$$

где $E = E_x, H = H_y$.

Системе дифференциальных уравнений (2) согласно теории цепей Ричардса [9-11] (к цепям данного класса относятся цепи, состоящие из отрезков однородных линий передач, имеющих различные волновые сопротивления и одинаковые времена задержек) соответствует линия передачи (единичный элемент (ЕЭ)) с волновым сопротивлением

$$Z_{\hat{a}} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}. \quad (3)$$

При этом матрицы сопротивлений и проводимостей имеют соответственно следующий вид [11]:

$$[Z] = \frac{Z_{\hat{a}}}{\lambda} \begin{bmatrix} 1 & (1-\lambda^2)^{1/2} \\ (1-\lambda^2)^{1/2} & 1 \end{bmatrix}; \quad (4)$$

$$[Y] = \frac{Z_{a1}}{\lambda} \begin{bmatrix} 1 & -(1-\lambda^2)^{1/2} \\ -(1-\lambda^2)^{1/2} & 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $\lambda = thpt$, p - комплексная частотная переменная.

Для цепей Ричардса применительно к рассматриваемой слоистой среде (рис.1) справедливы следующие теоремы [9-11].

Теорема 1. Если $Z_1(\lambda)$ - положительная вещественная функция, то волновое сопротивление $Z_{a1} = Z_1(1)$ и поверхностное сопротивление со стороны второго слоя

$$Z_2(\lambda) = \frac{Z_1(1)[Z_1(\lambda) - \lambda Z_1(1)]}{Z_1(1) - \lambda Z_1(\lambda)} \quad (6)$$

также положительная вещественная функция, имеющая ту же степень, что и $Z_1(\lambda)$, за исключением случая

$$Z_1(1) + Z_1(-1) = 0. \quad (7)$$

Тогда функция $Z_2(\lambda)$ имеет степень на единицу меньше, чем $Z_1(\lambda)$.

Теорема 2. Реактансную функцию степени n можно реализовать как сопротивление n каскадно включённых ЕЭ, короткозамкнутых или разомкнутых на дальнем конце.

Каскадное соединение ЕЭ по принятой классификации [11], образует цепь стержневой структуры.

Единичный элемент представляет собой объект, описываемый соотношениями (2,4,5). Поэтому в качестве ЕЭ можно принять однородный диэлектрический слой конечной протяжённости.

Применительно к синтезу слоёв теорема 2 утверждает, что если $Z_1(\lambda)$ реактансная функция степени n , то её можно реализовать в виде слоистой среды, изображённой на рис.1. Причём границей последнего слоя является электрический или магнитный экран (на электрическом экране касательная составляющая электрического поля равна нулю, а на магнитном экране обращается в нуль касательная составляющая магнитного поля).

Из указанных теорем следует, что синтез неоднородного слоя рис.1 осуществляется в следующей последовательности.

1. По поверхностному сопротивлению $Z_1(\lambda)$ находим волновое сопротивление первого слоя $Z_{a1} = Z_1(1)$.

2. В соответствии с выражением (6) определяем поверхностное сопротивление со стороны второго слоя $Z_2(\lambda)$.

3. Числитель и знаменатель $Z_2(\lambda)$ сокращаем на $1 - \lambda^2$ и по полученному сопротивлению $Z_2(\lambda)$ определяем волновое сопротивление второго слоя $Z_{a2} = Z_2(1)$. Далее по формуле (6) находим $Z_3(\lambda)$ и т.д. Процесс повторяется до тех пор, пока не будут выделены все слои. После сокращения на $1 - \lambda^2$ порядок последующего сопротивления будет уменьшен на единицу.

Если $Z_1(\lambda)$ не является реактансной функцией, то в п.3 следует осуществить деление на $1 - \lambda$. В случае произвольной положительной вещественной функции $Z_1(\lambda)$ процесс выделения слоёв может оказаться бесконечным.

В качестве примера рассмотрим нерегулярный слой с поверхностным сопротивлением

$$Z_1(\lambda) = a_1 \left(1 + \frac{a_1}{\lambda} \right). \quad (8)$$

В соответствии с процедурой Ричардса находим волновые и поверхностные сопротивления слоистой среды:

$$Z_{bi} = a_1 [1 + (i-1)a_1] (1 + ia_1), \quad i = 1, 2, \dots, \quad (9)$$

$$Z_i = a_1 [1 + (i-1)a_1]^2 \left(1 + \frac{a_1 \lambda^{-1}}{1 + (i-1)a_1} \right). \quad (10)$$

При использовании диэлектрических слоёв в поглощающих покрытиях для удовлетворения требованиям поглощения энергии часто достаточно, чтобы диэлектрический слой обладал поверхностным сопротивлением, являющимся отношением двух полиномов второй степени. В этом случае

$$Z_1(\lambda) = \frac{a_2 \lambda^2 + a_1 \lambda + a_0}{b_2 \lambda^2 + b_1 \lambda + b_0}. \quad (11)$$

Тогда в соответствии с процедурой Ричардса находим

$$Z_{a1} = Z_1(1) = \frac{a_2 + a_1 + a_0}{b_2 + b_1 + b_0}; \quad (12)$$

$$Z_2(\lambda) = \frac{a'_2 \lambda^2 + a'_1 \lambda + a'_0}{b'_2 \lambda^2 + b'_1 \lambda + b'_0}; \quad (13)$$

$$Z_{b_2} = Z_{b_1} \frac{Z_{b_1}(b_1 + 2b_2) - a_2 + a_0}{2a_2 + a_1 + Z_{b_1}(b_0 - b_2)}; \quad (14)$$

$$a'_2 = Z^2_{b_1} b_2, a'_1 = Z_{b_1}(Z_{b_1} b_1 + Z_{b_1} b_2 - a_2), a'_0 = a_0 Z_{b_1}; \quad (15)$$

$$b'_2 = a_2, b'_1 = a_1 + a_2 - Z_{b_1} b_2, b'_0 = Z_{b_1} b_0. \quad (16)$$

Выражение для $Z_2(\lambda)$ имеет такой же вид, как и $Z_1(\lambda)$ в формуле (11). Поэтому использование рекуррентных формул (14) – (16) позволяет найти все $Z_{\hat{a}i}$ и $Z_i(\lambda)$. Из процедуры Ричардса следует, что если поверхностное сопротивление умножить на число Λ , то и все волновые сопротивления также следует помножить на число Λ .

На рис.2 показаны рассчитанные по формулам (14) – (16) зависимости волновых сопротивлений диэлектрического слоя от номера i . Зависимостям 1, 2 соответствуют поверхностные сопротивления слоёв:

$$Z'_1(\lambda) = 1 + \frac{2\lambda}{\lambda^2 + 2}, \quad Z''_1(\lambda) = 1 + \frac{\lambda}{\lambda^2 + 1}. \quad (17)$$

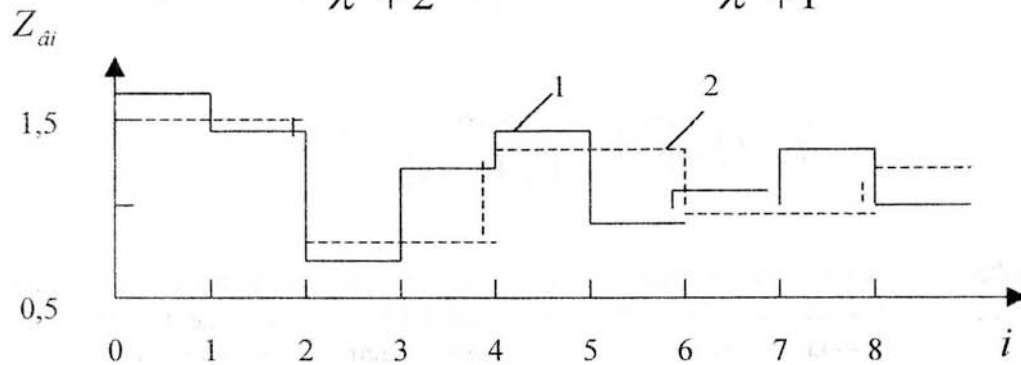


Рис.2 Зависимости волнового сопротивления от номера слоя
(1- $Z'(\lambda)$, 2- $Z''(\lambda)$)

Нетрудно видеть, что теоремы 1,2 можно использовать и для приближённого синтеза слоёв по поверхностному сопротивлению, заданному в виде функции комплексной частотной переменной p . Действительно при $|p|t \ll 1$ имеем $\lambda = thpt \approx pt$, откуда

$$p = \frac{\lambda}{t}. \quad (18)$$

Из выражения (18) следует, что если поверхностное сопротивление слоя $Z(p)$ соответствует физически реализуемой цепи, то есть является положительной вещественной функцией p , то и функция $Z(\lambda/t)$ является положительной вещественной функцией относительно переменной λ . Следовательно, данную функцию можно реализовать как цепь Ричардса. Очевидно, что чем меньше время задержки t единичного элемента, тем точнее реализация волновых сопротивлений диэлектрического слоя.

В качестве иллюстрации данного метода синтеза найдём волновые сопротивления слоя по следующему поверхностному сопротивлению:

$$Z(p) = a + \frac{b}{p}. \quad (19)$$

В соответствии с формулой (18) преобразуем (19) к виду

$$Z(p) = a + \frac{b}{p} = a \left(1 + \frac{bt}{a\lambda} \right). \quad (20)$$

Воспользовавшись выражениями (9) и (10) находим волновые и поверхностные сопротивления слоистой среды:

$$Z_{bi} = a \left[1 + (i-1) \frac{bt}{a} \right] \left(1 + \frac{ibt}{a} \right), \quad i = 1, 2, \dots, \quad (21)$$

$$Z_i = a \left[1 + (i-1) \frac{bt}{a} \right]^2 \left(1 + \frac{\frac{bt}{a} \lambda^{-1}}{1 + (i-1) \frac{bt}{a}} \right) \quad (22)$$

Очевидно, что с уменьшением времени задержки t точность реализации волнового сопротивления будет возрастать и при $t \rightarrow 0$ слоистая среда перейдёт в плавно-нерегулярный слой. При осуществлении синтеза плавно нерегулярного слоя время задержки ЕЭ следует выбирать в зависимости от точности воспроизведения поверхностного сопротивления в заданной области частот.

Таким образом, использование теории цепей Ричардса позволяет осуществлять синтез слоистых диэлектрических слоёв как со ступенчатой так и с плавной нерегулярностью. Поскольку при этом на поверхностное сопротивление накладываются только ограничения теорем 1, 2, то отсюда следует, что изложенным методом можно реализовать теоретически предельные характеристики диэлектрических слоёв.

Литература:

1. Соколовский И.И., Покровский Ю.Л. Прикладная радиооптика.-К.:Наукова думка, 1986.-220с.

2. Радиотехнические системы в ракетной технике /Под ред. В.И.Галкина.-М.:МО СССР,1974-340с.
3. Монин М.А., Ягудина И.М. Радиолокационная заметность самолётов (по материалам открытой иностранной печати).-ОНТИ.-1986.-№665.-С.75-87.
4. Вакин С.А., Шустов Л.Н. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки.-М.:Сов. радио,1968.-322с.
5. Алимин Б.Ф. Современные разработки поглотителей электромагнитных волн и радиопоглощающих материалов //Зарубежная радиоэлектроника.-1989.-№2.-С.75-82.
6. Шнейдерман Я.А. Радиопоглощающие материалы //Зарубежная радиоэлектроника.-1975.-№3.-С.71-92.
7. Мировицкий Д.И., Будагян И.Ф., Дубровин В.Ф. Микроволноводная оптика и голография.-М.:Наука,1983.-318с.
8. Куртсеитов Т.Л. Определение распределённых параметров радиомаскировочных покрытий по поверхностному сопротивлению //Захист інформації.-2001.-№4.-С.35-45.
9. Richards P.I. Resistor-transmission-line circuits //Proc.,1948,v.36,p.217-220.
10. Young L. Until real functions in transmission-line circuit theory //IRE Trans. Circuit Theory, 1960, v.СТ-7,p.247-250.
11. Microwave filters and circuits /Ed. By A. Matsumoto. Research institute of applied Electricity Hokkaido University, Japan, 1976.-248p.

Поступила 26.02.2003

После доработки 20.05.2003

УДК 629.7.072.1

Блохин Л.Н., Кошечая Л.А.

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОЙ ВИНЕРОВСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ И ОЦЕНИВАНИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Задачи оптимальной фильтрации, как правило, решаются при использовании некоторых гипотетических моделей динамики заданной части системы (измерительного устройства), входных воздействий и помех.

При решении таких ответственных задач как динамическая аттестация бортовых измерительных систем летательных аппаратов в наземных условиях [1], ряда задач преобразования навигационной информации может быть полезно применение моделей динамики измеряемого вектора сигналов, которые не выбираются по литературным источникам, как делается в настоящее время, а формируются с использованием более точных экспериментальных оценок измеряемого вектора сигналов. В этом случае качество процессов оптимальной фильтрации измеряемой информации оказывается существенно более высоким.

Как модель входных воздействий (измеряемых сигналов) в ответственных трактах измерений можно использовать результаты измерений, получаемые согласно предложенному [2] ниже алгоритму оценивания. Представленный алгоритм оценивания полезен в задачах прямого и обратного преобразований навигационной информации, поскольку в них предполагается оптимальное оценивание первичной информации для ее дальнейшего наиболее эффективного использования в преобразующих и управляющих системах летательного аппарата.

Рассмотрим типовую задачу [3] винеровской многомерной фильтрации (рис.1). Здесь введены следующие обозначения: первый блок - измерительная система с матрицей