УДК 621.315.61

Б.О. Дем'янчук
Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова

МЕТОД ОЦІНКИ РІВНЯ ВІДБИТТЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІХ ХВИЛЬ ВІД БАГАТОШАРОВОГО ПОКРИТТЯ НА МЕТАЛЕВІЙ ПІДЛОЖЦІ

© Дем'янчук Б.О., 2007

B.A. Demyanchuk

ESTIMATION METHOD OF ELECTROMAGNETIC FLUCTUATIONS REFLECTIONS FROM MULTILAYERED COVERING ON METAL SUBSTRATE

© Demyanchuk B.A., 2007

Запропоновано метод і одержано формулу для песимістичної оцінки очікуваної величини коефіцієнта відбиття електромагнітної енергії мікрохвильового діапазону від синтезованого кусково-однорідного середовища композиційного матеріалу на металевій підложці за значеннями коефіцієнтів відбиття та коефіцієнтів проходження шарів середовища, які попередньо експериментально вимірюють. Метод дає змогу проектувати покриття з потрібними властивостями та визначати потрібну кількість шарів для досягнення необхідного результату.

The suggested method provides experimental – calculating definition of pessimistic estimation of the expected size of electromagnetic energy reflection factor of microwave range from the synthesized piecewise-homogeneous environment -covering of composite material on the metal substrate on factors values of reflection and factors of covering layers passage preliminary measured experimentally.

Фізико-математичні та технологічні труднощі виготовлення матеріалів для екранування апаратури [1], для радіозахисту об'єктів [2], матеріалів для узгодження навантажень у хвилеводах [3] чи то покрить для поглинання баластної енергії у мікрохвильових пічах [4] – добре відомі [[5,6].

У статті [7] теоретично обґрунтовані умови узгодження хвильових опорів на межі розділу повітря–покриття (одношарове). Реалізація цих умов є складнішою, ніж умов узгодження хвильових опорів повітря і багатошарового покриття. Однак сьогодні немає рекомендацій, спрямованих на розв'язання задач оцінки інтегральних параметрів багатошарового кусково-однорідного середовища за значеннями параметрів шарів цього середовища. Через обчислювальні труднощі відсутні методи визначення потрібної кількості шарів середовища за заданим значенням його коефіцієнта відбиття, коли параметри шарів відомі. Тому вирішення наукового завдання розрахованої оцінки рівня відбиття електромагнітних хвиль від такого середовища є актуальним. Без цих попередніх розрахунків практична реалізація феромагнітних багатошарових середовищ з градієнтом коефіцієнта проходження коливань мікрохвильового діапазону також супроводжується технологічними труднощами, які характеризуються трудомісткістю та незадовільною передбачуваністю властивостей виготовлених зразків матеріалів [5]. Це особливо проявляється у випадку виготовлення кусково-однорідних покриттів, які нанесені на металеву підложку и призначені для перетворення електромагнітної енергії в теплову в мікрохвильових пристроях нового типу [4]. Величина

коефіцієнта відбиття в цьому випадку залежить, як відомо, від багатьох факторів: коефіцієнтів відбиття та коефіцієнтів проходження кожного шару, кількості шарів, градієнта електромагнітних втрат покриття від шару до шару та від електропровідності металевої підложки з окисовим шаром випадкової величини, а, отже, і його провідністю.

Запропонована стаття спрямована на заповнення вказаного пробілу в розв'язанні цієї задачі шляхом визначення песимістичної оцінки коефіцієнта відбиття електромагнітних коливань.

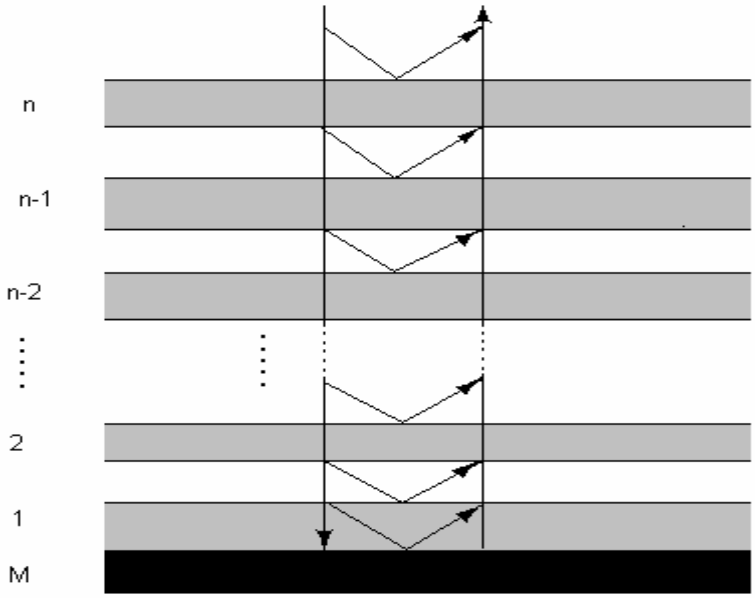
Метою статті є дослідження кількісної залежності загального коефіцієнта відбиття покриття від кількості шарів і відбиваючих властивостей металевої підложки та багатошарового середовища. Для досягнення цієї мети було виведено формулу для цього коефіцієнта для випадкової кількості шарів кусково-однорідного середовища з електромагнітними втратами.

Запропонований метод містить: виготовлення зразків кожного з шарів; експериментальне визначення коефіцієнтів проходження і коефіцієнтів відбиття кожного з цих шарів за допомогою відповідних панорамних вимірювачів, наприклад, типу Р2–56, Р2–61, Р2–67; розрахунок значення коефіцієнта відбиття електромагнітних колівань за формулами, наведеними нижче; порівняння отриманого результату з заданим; корекцію кількості шарів з нарощуванням втрат від шару до шару, їх товщини або градієнта електромагнітних втрат в шарах, якщо кінцевий результат не збігається із заданим.

Задачу розрахунку значень коефіцієнта відбиття за експериментальними даними про параметри кожного з шарів розв'язують з урахуванням обмежень, наведених нижче, які відображають специфіку покриття того типу, що розглядається.

Через малі розбіжності у величинах коефіцієнтів відбиття сусідніх шарів, а також малі значення коефіцієнтів відбиття верхніх шарів та малих значень коефіцієнтів проходження нижніх шарів доцільно вважати:

- у n-шаровій кусково-однорідній системі існує лише двонапрямлене поширення електромагнітного поля, а саме: прямі сигнали поширюються лише донизу (повторювальних перетворень сигналів в шарах не виникає), а відбиті сигнали поширюються лише догори (не перевідбиваються донизу);
- з сигналом, відбитим від металевої підложки М (див. рисунок), складаються сигнали, відбиті від усіх шарів середовища, яке синтезується;
- з метою спрощення розрахункових співвідношень та у зв'язку із достатністю визначення найбільшого значення коефіцієнта відбиття фазові розбіжності сигналів, які складаються – як прямих, так і перевідбитих від кожного шару – не враховуються.



Модель поширення сигналів у кусково-однорідному середовищі з градієнтом втрат на металевої підложці у прямому та оберненому напрямках

З урахуванням вказаних припущень, згідно з рисунком, визначимо максимальні (які складаються за потужністю) значення сигналів: сигналу А, який падає на металеву підложку; сигналу В, який є відбитим від металевої підложки та пройшов після цього усі n шарів; складового сигналу С, відбитого від усіх n шарів (без урахування відбиттів від металевої підложки).

Запропонуємо позначення:

P_o – потужність сигналу, який падає на зовнішній шар;

K_{oi} – коефіцієнт відбиття сигналу (за потужністю) від і-го шару, $K_{o\,(i+1)} < K_{oi}$; $\forall$ i= $\overline{1,(n-1)}$;

$K_{пi}$ – коефіцієнт проходження і-го шару, $K_{п\,(i+1)} > K_{пi}$; $\forall$ i= $\overline{1,(n-1)}$;

$K_{ом}$ – коефіцієнт відбиття сигналу від металевої підложки.

Отже, потужність сигналу А, який падає на металеву підложку, дорівнює добутку потужності сигналу, який падає на зовнішній шар покриття, на добуток коефіцієнтів падіння на кожний з шарів та коефіцієнтів проходження усіх n шарів у вигляді

$$A = Po \prod_{i=1}^{n}(1 - Koi)K\Pi i . \qquad (1)$$

Під час розрахунку сигналу В, який відбився від металевої підложки та пройшов після цього усі n шарів, не враховується сигнал, відбитий від нижнього кордону першого шару, який збігається з верхнім кордоном металевої підложки, але враховується коефіцієнт відбиття $K_{o\,(n+1)}$ від верхнього кордону n-го шару, фактично, від шару повітря на межі покриття. Згідно з (1), сигнал В дорівнює

$$B = Po \prod_{i=2}^{n-1}(1 - Koi)^2 K_{\Pi i}^2 Kом(1 - K_{01})K_{\Pi 1}^2(1 - K_{0(n-1)}) . \qquad (2)$$

Під час визначення сумарного сигналу С, відбитого від усіх n шарів, ураховується те, що сигнал, відбитий від верхнього шару, який є найбільшою складовою величини С, складається із сумою добутків сигналів, які падають на кожний подальший шар з урахуванням коефіцієнтів проходження і відбиття шарів без урахування коефіцієнта проходження шару, який лежить на межі металевої підложки. Сигнал С має вигляд

$$C = P_o \cdot (1 - K_{o(n+1)}) \cdot \sum_{j=1}^{n-1} K_{oj} \cdot K_{\Pi(j=1)}^2 \cdot (1 - K_{o(j+1)}) \cdot \prod_{i=j+2}^{n}(1 - Koi)^2 K_{\Pi i}^2 + Po \cdot K_{o\Pi} . \qquad (3)$$

Згідно з (2, 3) коефіцієнт відбиття електромагнітних коливань від кусково-однорідного середовища з градієнтом втрат (на металевій підложці) визначимо у вигляді відносної суми, яка дорівнює

$$\gamma = \frac{(B + C)}{Po} . \qquad (4)$$

У результаті, згідно з (2,3,4) отримуємо песимістичну оцінку коефіцієнта відбиття електромагнітної енергії від кусково-однорідного середовища (на металевій підложці) залежно від параметрів шарів у вигляді

$$\gamma = \prod_{i=2}^{n}(1 - Koi)^2 \cdot K_{\Pi i}^2 \cdot (1 - K_{o1}) \cdot K_{ом} \cdot K_{\Pi 1}^2(1 - K_{o(n+1)}) +$$

$$+ (1 - K_{o(n+1)}) \cdot \sum_{j=1}^{n-1} K_{oj} \cdot K_{\Pi(j=1)}^2 \cdot (1 - K_{o(j+1)}) \cdot \prod_{i=j+2}^{n}(1 - Koi)^2 K_{\Pi i}^2 + K_{on} . \qquad (5)$$

Звичайно, застосування цієї залежності з метою прогнозування очікуваного коефіцієнта відбиття γ є доцільним лише за наявності експериментально виміряних (попередньо) параметрів зразків кожного шару K_{oi} та $K_{пi}$; i=$\overline{1,n}$, а саме: значень коефіцієнтів відбиття та проходження шарів на заданій частоті або в заданому діапазоні частот.

Залежність (5) може бути корисною і для розв'язання зворотної задачі: визначення необхідної кількості шарів n, які б гарантували досягнення заданого, наприклад, максимально припустимого коефіцієнта відбиття електромагнітної енергії у заданому діапазоні частот.

У випадку, коли виміряні експериментально коефіцієнти у складі (5) є функціями частоти, для розрахунку вказаного коефіцієнта відбиття γ необхідно обрати значення параметрів шарів за критерієм:

$$Koi = \max Koi(f), \qquad K\Pi i = \max K\Pi i(f), \qquad \forall i = \overline{1,n} .$$

Розрахуємо значення коефіцієнта відбиття від n- шарового (при $n = \overline{1,10}$) покриття з реальними параметрами, які отримані для зразків, що досліджуються, на основі зв'язуючого матеріалу у вигляді термоеластопласту типу ДСТ-30, який був наповнений дисперсною феромагнітною складною окисною сполукою зворотного типу $NiCo_2O_4$ з напівпровідниковим рівнем питомої електропровідності. Попередньо виміряні параметри шарів наведено в таблиці.

Параметри шарів, $К_{oi}$ та $К_{пi}$ (i=1,…,10), виміряні експериментально

$К_{01}$	$К_{02}$	$К_{03}$	$К_{04}$	$К_{05}$	$К_{06}$	$К_{07}$	$К_{08}$	$К_{09}$	$К_{010}$
0,55	0,50	0,40	0,30	0,20	0,15	0,10	0,05	0,02	0,01
1-$К_{01}$	1-$К_{02}$	1-$К_{03}$	1-$К_{04}$	1-$К_{05}$	1-$К_{06}$	1-$К_{07}$	1-$К_{08}$	1-$К_{09}$	1-$К_{010}$
0,45	0,50	0,60	0,70	0.80	0,85	0,90	0,95	0,98	0,99
$Кп_1$	$Кп_2$	$Кп_3$	$Кп_4$	$Кп_5$	$Кп_6$	$Кп_7$	$Кп_8$	$Кп_9$	$Кп_{10}$
0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,65	0,70	0,75
$K_{П1}^2$	$K_{П2}^2$	$K_{П3}^2$	$K_{П4}^2$	$K_{П5}^2$	$K_{П6}^2$	$K_{П7}^2$	$K_{П8}^2$	$K_{П9}^2$	$K_{П10}^2$
0,04	0,06	0,09	0,12	0,16	0,20	0,25	0,42	0,49	0,56

Розгорнуті значення отриманих коефіцієнтів відбиття зі збільшенням кількості шарів покриття є досить громіздкими. Для кількісті шарів n = 1,…, 10 одержимо коефіцієнти:

$$\gamma(1) = \left[K_{ом} \cdot (1 - K_{02}) \cdot (1 - K_{01}) \cdot K_{П1}^2 + K_{01}\right];$$

$$\gamma(2) = \left\{(1-K_{03}) \cdot \left[(1-K_{02})^2 \cdot K_{П2}^2 \cdot K_{П1}^2 \cdot K_{ОМ} \cdot (1-K_{01}) + K_{01} \cdot K_{П2}^2 \cdot (1-K_{02}) \cdot K_{П2}\right] + K_{02}\right\};$$

$$\gamma(3) = \{(1-К_{04}) \cdot [(1-К_{02})^2 К_{П2}^2 \cdot (1-К_{03})^2 К_{П3}^2 \cdot К_{П1}^2 \cdot (1-К_{01}) К_{ом} + К_{01} \cdot К_{П2}^2 \cdot (1-К_{02}) \cdot$$
$$\cdot (1-К_{03})^2 \cdot К_{П3}^2 + К_{02} \cdot К_{П3}^2 \cdot (1-К_{03})] + К_{03}\} \qquad (6)$$

і так далі.

Практичні розрахунки здійснимо, вважаючи, що існує приблизна дорівненість $К_{o(n+1)} \approx К_{on}$, а як металеву підложку використано або алюміній, або нержавіючу сталь (коефіцієнт відбиття електромагнітних коливань від нержавіючої сталі приблизно у 1,5 рази менший, ніж від алюмінієвої підложки).

Згідно з даними таблиці, а також (5,6), в результаті отримуємо різні рівні коефіцієнтов відбиття як функції кількісті n шарів покриття;

1) для алюмінієвої підложки:

γ(1)=0,837; γ(2)=0,765; γ(3)=0,630; γ(4)=0,495; γ(5)=0,361;
γ(6)=0,294; γ(7)=0,228; γ(8)=0,183; γ(9)=0,142; γ(10)=0,115.

2) для сталевої підложки:

γ(1)=0,552; γ(2)=0,507; γ(3)=0,419; γ(4)=0,330; γ(5)=0,241;
γ(6)=0,196; γ(7)=0,152; γ(8)=0,122; γ(9)=0,095; γ(10)=0,077.

Отримані залежності γ(n) мають ілюстративне призначення, але вони чітко вказують на однозначну залежність загального рівня відбиття покриття від кількості його шарів та вказують на залежність від типу металевої підложки. Але ця залежність послаблюється зі збільшенням кількості шарів.

Висновки

1. Значення коефіцієнтів відбиття електромагнітних коливань істотно залежить від кількості шарів композитного середовища. При цьому для одержання загального відбиття на рівні декількох відсотків у реальних умовах потрібні десять і більше шарів.

2. Залежність коефіцієнта відбиття від параметрів першого шару, тобто від його відбиття, є найістотнішою. Тому треба враховувати, що зв'язуюча основа композита повинна бути радіопрозорою. Досвід показує, що, наприклад, термоеластопластова зв'язуюча основа значно більш радіопрозора, ніж епоксидна чи керамічна.

3. Розглянутий метод (на відміну від методу спроб і помилок) забезпечує можливість оперативно прогнозувати очікуваний песимістичний результуючий коефіцієнт відбиття всього композиту за параметрами його шарів, а також визначати максимальну кількість шарів, необхідну для одержання припустимого результуючого відбиття, коли параметри шарів відомі.

4. Практично реалізовувати розрахунки за цим методом, у випадку многошарового покриття більш доцільно за допомогою комп'ютера.

1. Суржко А.И. Защити свой сервер // Служба безопасности. – 1999. – №11–12. – С.17. 2. ОСТ 4ГО.054.102 "Поглотители высокочастотной энергии". 3. Саусворт Дж.К. Принципы и применения волноводной передачи. Пер. с англ. Под ред. Сушкевича В.И. М.: Сов. Радио, 1955. – 700 с. 4. Демьянчук Б.А. Принципы и применения микроволнового нагрева. Одесса: Черноморье. 2004. – 520 с. 5. Мицмахер М.Ю.,Торгованов В.А. Безэховые камеры СВЧ. – М.: Радио и связь, 1982. – 128с. 6. Машуня Е.П. и др. Электропроводность термопластических композиций, содержащих дисперсный токопроводящий наполнитель // Композиционные полимерные материалы. – 1989. – № 43. – С.24–38. 7. Демьянчук Б.А. Основы технологии согласования волновых сопротивлений на границе раздела воздуха и ферромагнитной среды // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2004. – №5. – С. 19–22.

УДК 535.417

О.М. Мокрий
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра фотоніки

ЧАСТОТНА ЗАЛЕЖНІСТЬ ЧУТЛИВОСТІ ІНТЕРФЕРОМЕТРА МАЙКЕЛЬСОНА ПРИ РЕЄСТРАЦІЇ ПОВЕРХНЕВИХ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЬ

© Мокрий О.М., 2007

O.M. Mokryy

FREQUENCY DEPENDENCE OF SENSITIVITY OF THE MICHELSON INTERFEROMETER AT DETECTION OF THE SURFACE ACOUSTIC WAVES

© Mokryy O.M., 2007

Розглянуто метод реєстрації поверхневих акустичних хвиль (ПАХ) за допомогою інтерферометра Майкельсона у випадку, коли оптичні промені, що інтерферують, утворюють деякий кут між собою. Створено числову модель, яка описує процес реєстрації ПАХ. Проаналізовано залежність чутливості вимірювальної схеми від частоти ПАХ і параметрів оптичного променя. За допомогою числового моделювання доведено, що чутливість цієї схеми залежить від частоти ПАХ.

The method of detection of surface acoustic waves (SAW) using Michelson interferometer in the case when interferential optical beams consist certain angle between each other has been considered. The numerical modelling of detection process of SAW was described out. The dependence of sensitivity of measurement setup from frequency of the SAW and parameters of optical ray has been analysed. The numerical simulation has showed that the sensitivity of this scheme is dependent on frequency of SAW.

Вступ

Поверхневі акустичні хвилі використовуються в акустоелектроніці, сенсорній техніці, неруйнівному контролі поверхні. Також такі хвилі широко застосовуються для обробки сигналів. Важливим елементом технології застосування ПАХ є методика їхнього детектування. Найпоширеніші способи детектування ПАХ грунтуються на використанні п'єзоелектричних перетворювачів. Часто