

УДК 537.876, 621.315.55

## Частотно-селективні метаматеріали для STEALTH технології

Леоненко О.М., проф., д.т.н., Кузьмичев А.І.

### Вступ.

Частотно-селективні матеріали - це широкий клас пристроїв, що використовуються як в Stealth технології, так і при вирішенні задач електромагнітної сумісності.

В даний час Stealth-технологія широко використовується для створення малопомітних об'єктів (кораблів, літаків, наземної техніки і т. п.). Кількість публікацій на цю тему щорічно перевищує 1000 найменувань, і кожна з них посвячена окремим випадкам цієї технології.

У даній роботі буде зроблено огляд частотно-селективних метаматеріалів у виді металевих сіток, нанесених на прозорі (для радіохвиль) плоскі тонкі листи.

### Частотно-селективні поверхні.

Металева сітка наноситься на лист, як правило, способом друкованого монтажу, хоча можливі й інші варіанти. Прикладом найпростішої частотно-селективного поверхні є плоска решітка, що складається з однаково орієнтованих дипольних відбивачів (див. Рис. 1, а).

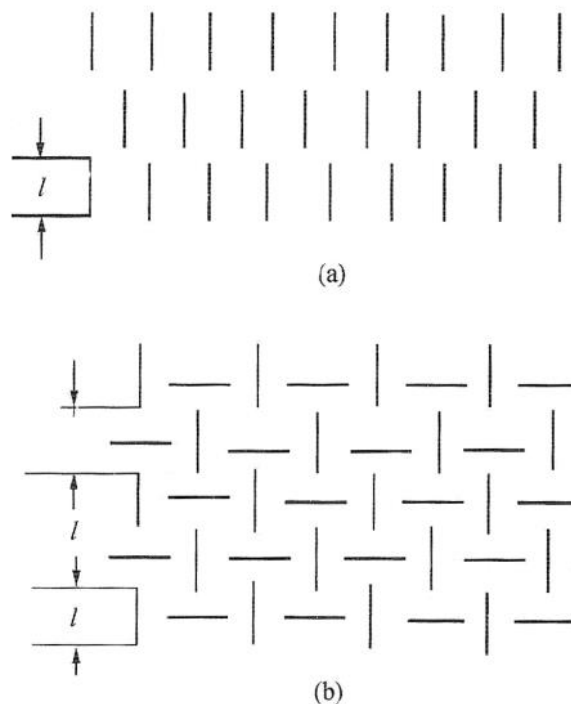


Рис 1. Типи частотно-селективних поверхонь. [2]

Крім решіток з непересічних диполів в частотно-селективних поверхнях використовуються решітки з диполів, розташованих по нормалі один до одного (рис. 1, б), решітки з замкнутих або розімкнутих кілець і Омега-структур.

Розглянемо більш докладно процес відображення радіохвиль від частотно-селективного поверхні, зображеної на рис. 1, а. Коефіцієнт

відбиття від такої решітки при узгодженій поляризації матиме вигляд [3, 4]:

$$\rho \approx \frac{60\lambda l \sin(kl)}{(kl)|z|} \left[ \frac{\sin(kl)}{kl} - \cos(kl) \right] \quad (1)$$

де  $z$  - повний імпеданс на випромінювання симетричною дипольної антени; інші позначення зрозумілі з рис. 1.

Формула (1) показує, що частотно-селективна поверхня має максимальну відбивну здатність при мінімальних значеннях імпедансу. Недоліком розглянутої частотно-селективного поверхні є сильна залежність відбивної здатності поверхні від поляризації. Якщо при узгодженій поляризації коефіцієнт відбиття визначається формулою (1), то на кросовій поляризації коефіцієнт відображення близький до нуля.

Інший тип частотно-селективного поверхні, рис. 1, б не залежить від вибору напрямку поляризації, залишаючись як і раніше резонансною структурою. Точне рішення задачі в даному випадку пов'язане з рішенням інтегрального рівняння і призводить до дуже громіздким рядкам по спеціальних функцій.

Тому аналіз характеристик відбиваючих такої поверхні виконаємо шляхом розрахунків коефіцієнта відбиття, варіюючи параметрами решітки. Розрахунки за програмою [5] призводять до результатів, зображених на рис. 2.

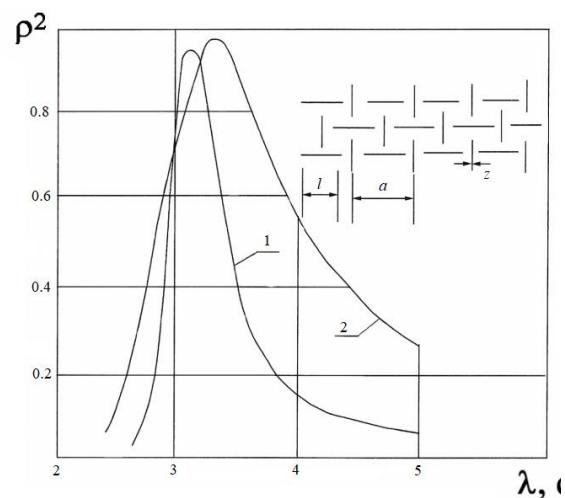


Рис. 2. Залежності коефіцієнта відбиття частотно-селективної поверхні від довжини хвилі поля.

Крива 1 для зразка з параметрами:

$l = 13, a = 26, r = 2$ ; крива 2 для зразка з параметрами:  $l = 16, a = 22, r = 2$ .

У правому верхньому куті рис. 2 зображена структура поверхні і її параметри. Ми бачимо, що зрушення робочої частоти частотно-селективної поверхні відбувається за рахунок зміни довжини диполів, а ширина резонансної кривої в більшій мірі залежить від кроку решітки. Обидва цих параметра взаємопов'язані і обидва вони впливають на робочу частоту і ширину резонансної кривої.

Інші типи решіток, зображені на рис. 1, мають подібні властивості. Як і в випадку (рис. 1, а) визначальний вплив на робочу частоту надає вибір довжини диполів або периметра кілець, а ширина резонансної кривої і раніше визначається кроком решітки.

До сих пір ми цікавилися одношаровими частотно-селективними поверхнями. Однак здобули популярність і багат шарові решітки, зокрема подвійні ґрати. Такі решітки мають ще один параметр - відстань між площинами решіток; вибираючи його кратним довжині хвилі поля, можна створювати частотно селективні поверхні на дві робочі довжини хвилі.

Одношарові і багат шарові частотно-селективні поверхні знаходять застосування при конструюванні Stealth антен, і при вирішенні задач електро-магнітної сумісності.

Зокрема електромагнітна «розв'язка» двох близько розташованих антен може здійснюватися за рахунок постановки між ними екрану з двошаровою частотно селективною поверхню, що відбиває робочі частоти цих антен.

### Висновки.

У роботі було розглянуто конструкцію і принцип роботи частотно-селективної поверхні на основі металеві решітки, що складається з дипольних відбивачів. Така поверхня дозволяє приховувати розташування об'єктів на деяких частотах.

Частотно-селективні метаматеріальні поверхні перш за все мають важливість у військових розробках для відбивання хвиль від радіолокаційних об'єктів.

Забезпечення ідеальної невидимості це складне завдання. Успішне її рішення багато в чому залежить від правильного поєднання теоритичних моделей з конструкціями, які будуються по законам будівельної механіки. Подальші дослідження спрямовані на порівняння різних конструкцій і розробки найоптимальнішої частотно-селективної поверхні.

### Література

1. Алексеев А. Физические основы технологии STEALTH. — СПб.: ВВМ, 2007. — 284 с.
2. Casta and ath. “The electromagnetic propagation in multilayer dielectric periodic array structures”. IEEE Trans. 1993, AP-41 No. 10, pp. 1432–1438.
3. Aviation Week and Space Technologies, 1999, 150, с. 60.
4. Г. А. Гуменюк, В. А. Евдокимов, Ю. М. Кравченко. Танковый комплекс оптико-электронного противодействия. Защита и безопасность, 1999, № 3, с. 47–48.
5. B. Sh. Lande and E. A. Shtager. “Microwave Radar characteristics, including a Databank of sea vessels and surfaces”. 1995, Stafford, Virginia USA, Rekenthaler Technology Associates Corporation, 197 pp.