

РІШЕННЯ РІВНЯННЯ КОЛИВАНЬ У ВИПАДКУ РЕЗОНАНСУ ОПРОМІНЮЮЧОГО РАДІОСИГНАЛУ І КРИСТАЛІЧНОЇ СТРУКТУРИ РАДІОПОГЛИНАЮЧОЇ КОМПОЗИТНОЇ РЕЧОВИНИ

Анотація: Запропоновані в статті підходи можуть бути реалізовані на етапах отримання інформації і автоматичного супроводження РЛС сучасних літальних апаратів.

Ключові слова: радіолокаційна інформація, методи локації, опромінення, резонансна взаємодія, кратність частот.

Вступ

У якості аналізу слід зазначити, що сучасна техніка створюється з використанням неметалічних матеріалів у своїй конструкції [1]. Це зрозуміло за рядом причин, основною з яких є кращі характеристики речовин, що використовуються. Існуючі підходи [1] щодо отримання радіолокаційної інформації про такі об'єкти є невідповідними оскільки вони засновані на використанні ефектів, що протікають в металах під час їх опромінення електромагнітним НВЧ полем.

Проблемою є створення умов щодо дистанційної тимчасової зміни провідних властивостей для використання викликаних ефектів у існуючих способах радіолокації.

Тенденція розвитку сучасних літальних засобів полягає у використанні неметалічних композитних матеріалів у конструкції планеру. Цей напрямок суттєво знижує можливості існуючих радіолокаційних засобів по виявленню та супроводженню таких літальних апаратів. Основний недолік існуючих методів локації літальних апаратів полягає у використанні принципу „потужного сигналу”, тобто збільшенні потужності випроміненого зондуємого сигналу для підвищення рівня віддзеркаленого від повітряного об'єкту радіолокаційного сигналу і покращення прийомних характеристик РЛС виявлення.

Метою дослідження є відсутність теоретично обґрунтованих методів локації повітряних цілей зі штучно зниженою площею віддзеркалення за допомогою спеціальних (резонансних) сигналів.

Основна частина

Для теоретичного обґрунтування можливості локації повітряних апаратів зі штучно зниженою площею віддзеркалення розглядається випадок, коли частота випроміненого зондуємого сигналу дорівнює (або кратна) частоті власних коливань елементарних частинок речовин, з яких виготовляється композитний матеріал конструкції літального апарату.

Цей випадок характеризується тим, що механічні коливання кристалічної структури речовини, що розглядається, не мають внутрішнього опору, тобто відсутня амортизація. Електричні властивості еквівалентних коливальних контурів кристалічної решітки відповідають тому, що опір $R = 0$, що означає відсутність внутрішнього опору ланок. Рівняння взаємодії сигналу опромінення з коливальною структурою радіо поглинаючого композитного матеріалу прийме наступний вигляд (1):

$$\frac{d^2x}{dt^2} + K^2x = A \sin \omega t, \quad (1)$$

де x – лінійне відхилення атома від позиції в кристалічній решітці;

t – час;

K – частота власних коливань кристалічної решітки;

A – амплітуда сигналу опромінення;

ω – частота сигналу опромінення.

Для результуючого значення резонансного сигналу взаємодії [2] рішення рівняння (1), що задовольняє початковим умовам: $t = 0, x = x_0 = 0$, буде мати вигляд

$$x_{\text{рез}}(t) = \frac{A}{(K^2 - \omega^2)K} (-\omega \sin Kt + K \sin \omega t). \quad (2)$$

Вираз у скобках рівняння (2) представляє собою суму двох гармонійних коливань: власних, з частотою K

$$x_C(t) = -\frac{A}{K^2 - \omega^2} \frac{\omega}{K} \sin Kt, \quad (3)$$

та вимушених, з частотою ω

$$x_B(t) = \frac{A}{K^2 - \omega^2} \sin \omega t. \quad (4)$$

Під час короткотермінової резонансної взаємодії процес буде характеризуватися залежністю e^{-nt} (n – число кратності частот взаємодіючих коливань) і буде являти собою затухаючі коливання. Це характерно для опромінення імпульсними сигналами. За умови достатньо великого часу взаємодії, наприклад, при опроміненні квазібезперервним НВЧ-сигналом, характер резонансної взаємодії буде описуватися виразом

$$x(t) = \frac{A}{(K^2 - \omega^2)^2 + 4n^2\omega^2} ((K^2 - \omega^2)^2 \sin \omega t - 2n\omega K \cos \omega t) \quad (5)$$

На рис. 1 схематично наведений характер коливань для випадку, коли $K > \omega$:

Якщо ввести позначення

$$\frac{A(K^2 - \omega^2)}{(K^2 - \omega^2)^2 + 4n^2\omega^2} = M \cos \delta, \quad -\frac{A2n\omega}{(K^2 - \omega^2)^2 + 4n^2\omega^2} = M \sin \delta, \quad (6)$$

де $M = \frac{A}{\sqrt{(K^2 - \omega^2)^2 + 4n^2\omega^2}}$, то рішення рівняння (5) можна записати як

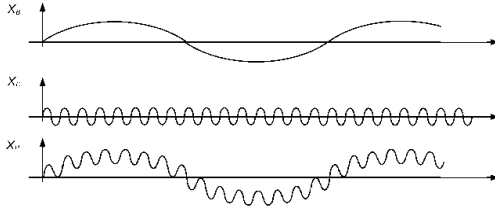


Рис. 1 – Модуляція власних коливань кристаличної решітки вимушеними електромагнітними коливаннями

$$x(t) = \frac{A}{K^2 \sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{K^2}\right)^2 + 4n^2 \frac{\omega^2}{K^4}}} \sin(\omega t + \delta). \quad (7)$$

Для випадку резонансної взаємодії як по частоті так і по фазі вираз (1) в операторному вигляді можна записати як

$$x(p)(p^2 + K^2) = A \frac{K}{p^2 + K^2}, \quad (8)$$

де $x(p) = \frac{AK}{(p^2 + K^2)^2}$,

p – оператор Лапласа.

Зображення (8) є правильна раціональна дріб, початкова функція якої має вигляд

$$\frac{K}{p^2 + K^2} = \int_0^{\infty} e^{-pt} \sin Kt \, dt. \quad (9)$$

Після проведення диференціювання обох частин рівняння (9) за K , представивши інтеграл правої частини рівняння у вигляді суми двох інтегралів дійсної змінної, кожна з яких залежить від параметра K :

$$\frac{1}{p^2 + K^2} - \frac{2K^2}{(p^2 + K^2)^2} = \int_0^{\infty} e^{-pt} t \cos Kt \, dt. \quad (10)$$

Використовуючи рівняння (9), вираз (10) можна записати у вигляді

$$-\frac{2K^2}{(p^2 + K^2)^2} = \int_0^{\infty} e^{-pt} \left(t \cos Kt - \frac{1}{K} \sin Kt \right) dt. \quad (11)$$

З (11) витікає, що

$$\frac{AK}{(p^2 + K^2)^2} \div \frac{A}{2K} \left(\frac{1}{K} \sin Kt - t \cos Kt \right). \quad (12)$$

Виходячи з цього, сигнал резонансної взаємодії опромінюючого і власного електромагнітного коливання буде описуватися виразом

$$x_{рез}(t) = \frac{A}{2K} \left(\frac{1}{K} \sin Kt - t \cos Kt \right), \quad (13)$$

який може використовуватись в перспективних радіолокаційних станціях для виявлення та супроводження повітряних цілей зі штучно зниженою площею віддзеркалення.

Висновки

Слід зазначити, що при кратності частот опромінюючого сигналу і частоти внутрішніх коливань кристалічної структури радіопоглинаючої речовини амплітуда результуючого резонансного сигналу самовипромінювання буде збільшуватися в $4A^2$ рази, а внутрішній опір радіопоглинаючого діелектрика $R \rightarrow 0$;

під час збільшення часу резонансного опромінювання ($t \rightarrow \infty$) амплітуда результуючого резонансного сигналу самовипромінювання необмежено зростає ($A_{рез} \rightarrow \infty$) за умови не тільки частотного, але і фазового резонансу.

Література

1. Несветей Э.А. Специальные вопросы радиоэлектроники. – К.: Киев, Изд-во ВА ПВО, 1990 г. – 416с.
2. Пискунов И.В. Операционное исчисление и некоторые вопросы его приложения. – М.: Москва, Изд-во “Высшая школа”, 1986г. – 850с.

Отримано 12.03.2011 р.