УДК 621.396.96

Д.В. Фоменко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ОСНОВНІ НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕТОДИКИ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗНЕСЕННЯ НЕСУЧИХ ЧАСТОТ СИГНАЛІВ ПРИ ПОВНОМУ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОМУ ЗОНДУВАННІ ПРОСТОРУ НА ДВОХ ЧАСТОТАХ

Розробляються основні науково-методичні положення методики вибору оптимального рознесення несучих частот сигналів для забезпечення одночасного випромінювання ортогональних сигналів при повному поляризаційному зондуванні простору на двох частотах, яка заснована на аналізі кореляційно-матричних функцій поляризаційних матриць розсіювання. Показано, що рознесення частот, вибране з використанням даної методики, дозволить забезпечити показники виявлення цілі на фоні перешкод не гірше, ніж при використанні повного поляризаційного зондування простору з моноімпульсним способом вимірювання елементів поляризаційної матриці розсіювання, але з меншими апаратурними витратами.

Ключові слова: *повне поляризаційне зондування простору на двох частотах, поляризація, рознесення несучих частот.*

Вступ

Постановка завдання. В умовах дії на радіолокаційні станції (РЛС) активних шумових перешкод (АШП) за відсутністю частотних, часових, просторових відмінностей сигналів і перешкод виявлення цілей значно ускладнюється.

У цих умовах можливо використовувати поляризаційні відмінності, які описуються за допомогою поляризаційних матриць розсіювання (ПМР), отриманих в результаті повного поляризаційного зондування простору (ППЗП) простими сигналами на різних частотах. Доцільність використання простих сигналів при ППЗП обумовлена, в першу чергу, простотою їх генерування і обробки, а значить і вартістю РЛС в цілому. З іншого боку, прості сигнали можуть бути прийнятніше при виявленні цілей на фоні АШП.

На теперішній часі відсутній апарат, що дозволяє визначити оптимальну величину рознесення несучих частот зондуючи сигналів при ППЗП на двох частотах.

Таким чином, необхідно обґрунтувати вимоги до рознесення частот зондуючих сигналів для забезпечення достатньої ефективності виявлення цілей на фоні перешкод в радіолокаційніq станції з ППЗП на двох частотах.

Аналіз літератури. Питанням поляризаційної обробки сигналів присвячена досить велика кількість робіт [1 – 4]. У більшій частині робіт дослідження присвячені послідовному і моноімпульсному способу вимірювання елементів ПМР. З [1, 2] витікає, що найкращими можливостями по виявленню цілей на фоні активних перешкод має моноімпульсний спосіб вимірювання елементів ПМР, але його реалізація вимагає великих апаратурних витрат. Можливості інших способів, зокрема різночастотного способу, який припускає одночасне випромінювання ортогональних по поляризації вузькополосних зондуючих сигналів, несучі частоти яких рознесені на деяку величину, при якому ортогональність сигналів досягається по частоті, досліджені в недостатній мірі.

Тому значний інтерес представляє дослідження різночастотного способу вимірювання елементів ПМР, який за критерієм ефективність - вартість може бути прийнятніше за моноімпульсний спосіб, зокрема обґрунтування оптимальної величини рознесення несучих частот зондуючих сигналів.

Актуальною, у зв'язку з цим, стає завдання розробки методики вибору оптимального рознесення несучих частот зондуючих сигналів при ППЗП на двох частотах.

Мета статті. Розробка основних науково-методичних положень методики вибору оптимального рознесення частот сигналів при ППЗП на двох частотах.

Основна частина

Методика вибору оптимального рознесення несучих частот сигналів при ППЗП на двох частотах заснована на переході від аналізу кореляційної функції кута опромінення до аналізу коефіцієнта рознесення двох частот зондуючих сигналів.

Характерною особливістю діаграми зворотного вторинного випромінювання цілі є те, що мінімальна ширина діаграми ($\Delta\beta$) може бути приблизно оцінена за формулою:

$$\Delta\beta = \frac{\lambda}{L} = \frac{c}{f_0 \cdot L}, \qquad (1)$$

де λ – довжина хвилі;

L – максимальний поперечний або видимий розмір цілі;

c – швидкість світла;

f_0 – середня частота зондуючого сигналу.

© Д.В. Фоменко

Слід зазначити, що $\Delta\beta$ може бути граничним параметром кореляції елементів ПМР по рівню 0,1 розробленій моделі. Спрощений вид кореляційної функції кута опромінення $\rho(\sigma\beta)$ може бути записаний у вигляді [3]:

$$\rho(\sigma\beta) = \exp\left(-\frac{\sigma\beta}{\pi\Delta\beta}\right), \qquad (2)$$

де $\sigma\beta$ – кутова нев'язка.

Розглянемо особливості математичної моделі ПМР при вимірюванні її елементів різночастотним способом.

Нехай зондування простору здійснюється двома ортогональними по поляризації зондуючими сигналами, несучі частоти яких рознесені на деяку величину Δf.

ПМР об'єкту у власному базисі, елементи якої залежать від частот залежно від кута опромінення об'єкту β, має наступний вигляд:

$$\dot{S}(f_0, \Delta f, \beta) = \begin{pmatrix} \dot{S}_{11} \cdot e^{-j\phi_{11}} & 0 \\ 0 & \dot{S}_{22} \cdot e^{-j\phi_{22}} \end{pmatrix}, \qquad (3)$$

де $\dot{S}_{11} = \left|\dot{S}_{11}(f_0 \pm \Delta f/2, \beta)\right|$; $\dot{S}_{22} = \left|\dot{S}_{22}(f_0 \mp \Delta f/2, \beta)\right|$ – модулі (амплітуди);

$\phi_{11} = \phi_{11}(f_0 \pm \Delta f/2\beta)$; $\phi_{22} = \phi_{22}(f_0 \mp \Delta f/2\beta)$ – фази відповідних елементів ПМР;

Δf – рознесення частот зондуючих сигналів ортогональних поляризацій;

β – кут опромінення цілі (кут між лінією візування і подовжньою віссю об'єкту).

Для опису поляризаційних властивостей відбитих від цілі довільної форми сигналів можна використовувати двохвібраторну модель стабільної радіолокаційної цілі [1]. Розрахунок параметрів відбитої хвилі заснований на розрахунку електрорушійних сил, що наводяться в диполях падаючою хвилею [1]. Взаємний вплив диполів не враховується. Вибір розмірів, взаємного положення і орієнтації диполів може дозволити отримати відбитий сигнал із заданого напряму з довільними параметрами еліпса поляризації. Для розширення сфери застосування відомої моделі розроблена трьохвібраторна модель, яка зважає на специфіку залежності автокореляційної функції поляризаційних параметрів відбитих сигналів від кутів опромінення і довжини хвилі (рис. 1).

Трьохвібраторна модель є сукупністю диполів, розташованих таким чином: диполі 1 і 2 розташовані в картинній площині і утворюють кути, наприклад, 30 град. і 45 град., відповідно, відносно опорного орта; диполь 3 орієнтований уздовж лінії візування, електричні з'єднання між диполями відсутні. У цій моделі диполь 3 приблизно враховує вплив віддзеркалення від фюзеляжу літального апарату, диполі 1 і 2 відповідно приблизно враховують перевипромінювання від носової і хвостової частин.

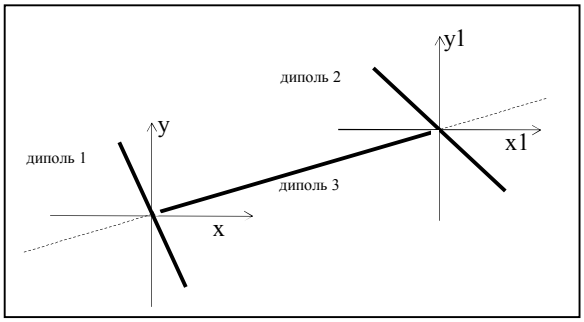

Рис. 1. Порядок розташування елементів трьохвібраторної моделі

Порядок розрахунків параметрів відбитої хвилі трьохвібраторної моделі такий саме, як і в [1]. При цьому вторинними ефектами перевипромінювання нехтуємо. За допомогою розробленої спрощеної моделі є можливість моделювати кореляційні властивості елементів ПМР на різних частотах і аналізувати кореляційно-матричні функції ПМР, подібно до моделі автокореляційної функції (АКФ) сигналу з фіксованою поляризацією [4].

Для опису відмінностей випадкових процесів, які виникають при випромінюванні сигналу на одній поляризації, але на різних частотах, використана матриця АКФ і взаємних кореляційних функцій (ВКФ) [5].

АКФ визначається виразом:

$$\dot{\rho}_{ii}(\delta f, \delta\beta) = \frac{\left|\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty} \overset{\circ}{\dot{S}}_i \cdot \overset{\circ}{\dot{S}}_i^{*T}(f \pm \delta f, \beta \pm \delta\beta)\,df\,d\beta\right|}{\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty} \overset{\circ}{\dot{S}}_i \cdot \overset{\circ}{\dot{S}}_i^{*}\,df\,d\beta}. \qquad (4)$$

$$i = \overline{1, 2},$$

де $\overset{\circ}{\dot{S}}_i = \overset{\circ}{\dot{S}}_i(f_i, \beta)$ – центрована випадкова величина, що описує зміну величини коефіцієнта віддзеркалення залежно від несучої частоти зондуючого сигналу і кута опромінення об'єкту.

ВКФ ПВР, отриманих моноімпульсним $\left(\overset{\circ}{\dot{S}}_1\right)$ і різночастотним $\left(\overset{\circ}{\dot{S}}_2\right)$ способами визначаються співвідношенням:

$$r(\delta f, \delta\beta) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty} \overset{\circ}{\dot{S}}_1(f, \beta) \cdot \overset{\circ}{\dot{S}}_2\left(f \pm \delta f, \beta \pm \delta\beta\right) df\,d\beta}{\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty} \overset{\circ}{\dot{S}}_1 \cdot \overset{\circ}{\dot{S}}_2^{*}\,df\,d\beta}. \qquad (5)$$

На рис. 2 представлені залежності значень модулів АКФ і ВКФ ПВР від рознесення несучих частот.

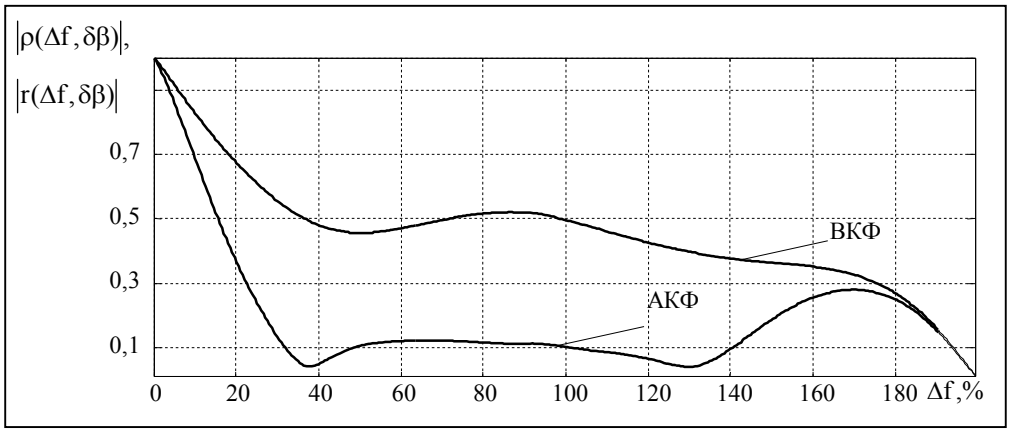

Рис. 2. Залежності модулів АКФ і ВКФ ПВР від рознесення несучих частот

При розрахунку значень АКФ і ВКФ проводилося усереднювання по куту опромінення в межах одного пелюстка (18 град. – 20 град.).

Аналіз АКФ і ВКФ дозволяє визначити рознесення частот, при якому модуль відповідної функції свідчитиме про наявність істотної для практики кореляції. Наприклад, якщо вважати за можливе зниження модуля АКФ до рівня 0,9, то відповідне рознесення частот можна визначити величиною 5% від несучої частоти. Для ВКФ рознесення частот можна визначити величиною 7%.

Для вирішення завдання оптимізації параметрів зондуючих сигналів на користь використання різночастотного способу вимірювання елементів ПМР необхідно використовувати ділянку сильної кореляції ПВР, отриманих при використанні різних способів вимірювання елементів ПМР.

Залежності значень модулів АКФ і ВКФ ПВР від рознесення несучих частот в межах від 0% до 10% представлені на рис. 3.

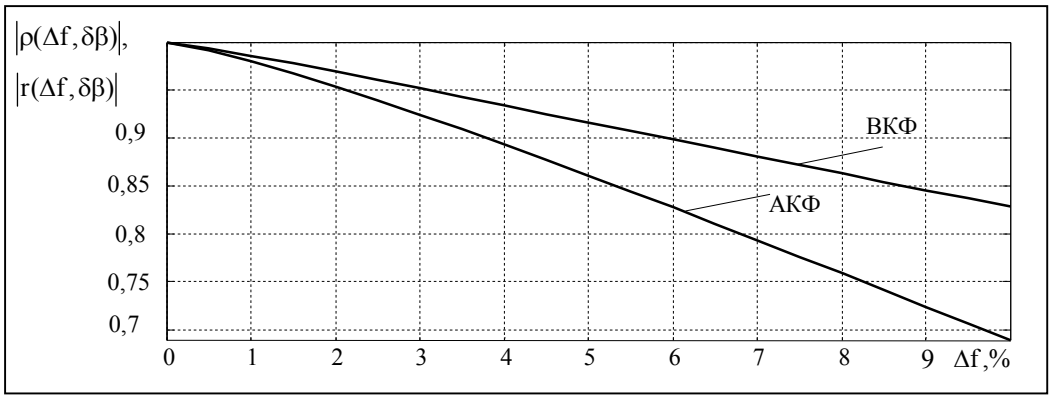

Рис. 3. Залежності модулів АКФ і ВКФ при $\Delta f_{max} = 10\%$

З аналізу залежностей АКФ і ВКФ можна зробити наступні висновки.

1. Кореляція між ПВР спостерігається в межах кутів, істотно менших ширини однієї пелюстки діаграми зворотного вторинного випромінювання.

2. Значення модуля коефіцієнта взаємної кореляції пропорційно значенню різниці частот зондуючих сигналів на різних поляризаціях.

3. Ступінь взаємної кореляції ПВР залежить від частоти зондуючих сигналів і кута опромінення, що може бути використано для вибору оптимального рознесення зондуючих сигналів по частоті.

4. Оптимальне рознесення по частоті зондуючих сигналів визначається по рівню сильної кореляції (0,9) ПВР і для даної моделі складає 5,5% від несучої частоти сигналу.

5. При виборі рознесення по частоті слід враховувати, що при вибраному рознесенні не повинен збільшитися час кореляції по куту опромінення в порівнянні з середньою частотою зондування.

Таким чином, до основних науково-методичних положень методики вибору оптимального рознесення несучих частот сигналів при ППЗП на двох частотах відносяться:

– проведення аналізу залежності елементів ПМР цілі від кутів опромінення при різній її орієнтації відносно РЛС на різних несучих частотах на основі результатів імітаційного моделювання, фізичного моделювання або експерименту в натурних умовах;

– проведення аналізу залежності елементів ПМР перешкоди на різних несучих частотах також

на основі результатів імітаційного моделювання, фізичного моделювання або експерименту в натурних умовах;

– отримання АКФ і ВКФ корисних сигналів і перешкод з аргументом у вигляді різниці (рознесення) частот;

– вибір допустимих величин зниження модулів авто і взаємних кореляційних функцій для вирішення часткових заданих завдань виявлення цілей на фоні перешкод або завдань придушення перешкод;

– вибір припустимої величини рознесення частот зондуючих сигналів, відповідній вибраній величині модулів авто і взаємно кореляційних функцій.

Висновки

Таким чином, розроблені основні науково-методичні положення методики вибору оптимального рознесення несучих частот сигналів при повному ППЗП на двох частотах, яка заснована на аналізі АКФ та ВКФ сигналів та АШП. Дана методика дозволяє визначити величину оптимального рознесення несучих частот зондуючих сигналів при використанні різночастотного способу вимірювання елементів ПМР залежно від вибраної припустимої величини модулів АКФ та ВКФ.

Дану методику доцільно використовувати на етапі проектування нових РЛС або модернізації існуючих для впровадження в них ППЗП на двох частотах, яке передбачає вибір адаптивного рознесення несучих частот зондуючих сигналів в залежності від результатів попереднього зондування простору та обраного алгоритму виявлення цілей.

Список літератури

1. *Канарейкин Д.Б. Поляризация радиолокационных сигналов / Канарейкин Д.Б., Павлов Н.Ф., Потехин В.А.; под ред. Дулевича В.Е. – М.: Сов. радио, 1966. – 440 с.*
2. *Казаков Е.Л. Радиолокационное распознавание космических объектов по поляризационным признакам / Казаков Е.Л. – Х.: Издание ОИУМ, 2003. – 230 с.*
3. *Козлов А.И. Поляризация радиоволн. Кн. 2. Радиолокационная поляриметрия / А.И. Козлов, А.Ио́гвин, В.А. Сарычев. – М.: Радиотехника, 2007. – 640 с.*
4. *Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: справочник / [Я.Д. Ширман, С.Т. Багдасарян, А.С. Маляренко и др.]; под ред. Я.Д. Ширмана; [2-е изд.]. - М.: Радиотехника, 2007. - 512 с.*
5. *Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев; 13-е изд. – М.: Наука, Гл. изд. физ.-мат. лит., 1986. – 544 с.*

Надійшла до редколегії 2.11.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.М. Ланецький, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО РАЗНОСА НЕСУЩИХ ЧАСТОТ СИГНАЛОВ ПРИ ПОЛНОМ ПОЛЯРИЗАЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ ПРОСТРАНСТВА НА ДВУХ ЧАСТОТАХ

Д.В. Фоменко

Разрабатываются основные научно-методические положения методики выбора оптимального разноса несущих частот зондирующих сигналов для обеспечения одновременного излучения ортогональных сигналов при полном поляризационном зондировании пространства на двух частотах, основанная на анализе корреляционно-матричных функций поляризационных матриц рассеяния. Показано, что разнос частот, выбранный с использованием данной методики, позволит обеспечить показатели обнаружения цели на фоне помех не хуже, чем при использовании полного поляризационного зондирования пространства с моноимпульсным способом измерения элементов поляризационной матрицы рассеяния, но с меньшими аппаратурными затратами.

Ключевые слова: *полное поляризационное зондирование пространства на двух частотах, поляризация, разнос несущих частот.*

GENERAL SCIENTIFIC AND METHODICAL MATERIAL OF THE METHOD OF SELECTION OF OPTIMAL CARRIER FREQUENCY SEPARATION OF SIGNALS AT COMPLETE POLARIZATION RADAR PROBING AT TWO FREQUENCIES

D.V. Fomenko

General scientific and methodical material of the method of selection of optimal carrier frequency separation of signals for providing simultaneous illumination of orthogonal signals in the case of complete polarization radar probing. Method is based on analysis of the correlated matrix functions of scattering polarization matrices. It was shown that the frequency separation selected by using given method will permit to provide target detection quality factor against background of jamming not less then in the case of using the complete polarization probing in combination with single-pulse method of scattering polarization matrix element measuring but demands less equipment expense.

Keywords: *complete polarization probing at two frequencies, polarization, carrier frequency separation.*