

УДК 621.391.26

В.А. Таршин, О.В. Очкурєнко, О.Л. Кузнєцов, Д.В. Бойко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ЗАХИСТУ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ДЧМ СИГНАЛОМ ВІД ПАСИВНИХ ПЕРЕШКОД

На основі аналізу існуючих пристроїв захисту радіолокаційних систем від пасивних маскувальних перешкод пропонується застосувати відомі алгоритми захисту до систем сигналів з псевдохаотичною частотною маніпуляцією. Розглядаються можливі варіанти побудови та функціонування пристроїв захисту від пасивних перешкод РЛС з ДЧМ сигналом.

Ключові слова: ДЧМ сигнал, перешкодозахист, режим випромінювання РЛС, пасивна маскувальна перешкода, система сигналів.

Вступ

Постановка проблеми. Сучасні радіолокаційні системи повинні вирішувати різноманітні задачі в режимі реального часу. На даному етапі, ці задачі часто вирішуються з використанням різних за функціональним призначенням радіолокаційних засобів. Такий спосіб отримання радіолокаційної інформації має ряд недоліків, зокрема, основним є неефективне використання енергетичних ресурсів РЛС. Це пов'язано з необхідністю зондування простору кожним засобом радіолокації, що є не тільки неефективною тратою енергії, а й тягне за собою проблеми пов'язані з електромагнітною сумісністю.

Останні є досить важливим питанням, адже кожного року, з розвитком бездротових інформаційних мереж та засобів мобільного зв'язку, вимоги

щодо використовуваних частотних діапазонів військовою технікою постійно підвищуються. Тобто існує необхідність електромагнітної сумісності не лише серед військових засобів радіолокації, а також і забезпечення стабільної спільної роботи військових систем із цивільними, кількість яких інтенсивно зростає.

З огляду на сучасні тенденції розвитку радіолокації, однією з перспектив є застосування сигналів з псевдохаотичною структурою.

Використання дискретних частотномодульованих (ДЧМ) сигналів в РЛС потребує вивчення особливостей побудови всіх складових приймально-передавального тракту.

У тандемні режимів функціонування РЛС, які забезпечують застосування ДЧМ сигналів, активно розробляються пристрої узгодженої обробки. Однак,

при вивченні особливостей узгодженої обробки сигналів та конструктивних рішень в кожному режимі роботи, особлива увага повинна приділятися функціонуванню РЛС в умовах впливу маскувальних перешкод. Тому окремого дослідження потребують пристрої захисту від різного роду перешкод РЛС з ДЧМ сигналом.

Доцільно розпочати з захисту РЛС від впливу пасивних маскувальних перешкод, поступово вивчаючи особливості їх впливу на РЛС з ДЧМ сигналом та захисту від них.

Усі сучасні РЛС у своєму складі мають систему селекції рухомих цілей (СРЦ). У статті, для визначення можливостей захисту РЛС з ДЧМ сигналом від впливу пасивних маскувальних перешкод пропонується оцінити ефективність існуючих алгоритмів компенсації перешкод системою СРЦ, для запропонованих у [9] режимів функціонування РЛС з ДЧМ сигналом.

На етапі розробки, забезпечення багатофункціональності РЛС вимагає достатньо складної системи управління режимами випромінювання та обробки ДЧМ сигналів. Виникає необхідність адаптації алгоритмів захисту від перешкод відповідно до кожного режиму випромінювання та обробки.

Аналіз літератури. Перспективність застосування ДЧМ сигналів у радіоелектронних системах різного призначення, підтверджується публікаціями вітчизняних та закордонних авторів. [1 – 7 та ін.].

Завдяки своїм перевагам ДЧМ сигнали знайшли широке застосування у системах зв'язку [4 – 6]. У [7] показані переваги, які забезпечує використання ДЧМ сигналів у радіолокаційних системах. Ефективність використання сигналів різної тривалості для розширення функціональних можливостей, була доведена в останні роки модернізованими засобами радіолокації з фазоманіпульованими сигналами (ФМ) [7, 10]. ДЧМ сигнали мають кращі властивості стиснення, розділення та електромагнітної сумісності у порівнянні з ФМ сигналами.

Для повноцінної реалізації переваг, від використання ДЧМ сигналів в існуючих зразках озброєння та забезпечення максимальної ефективності застосування пристроїв СРЦ в РЛС з ДЧМ сигналом, необхідно провести більш детальні дослідження. Насамперед, потрібно адаптувати пристрої захисту від пасивних маскувальних перешкод відповідно до кожного режиму випромінювання та обробки РЛС.

Мета статті полягає у створенні та дослідженні особливостей функціонування імітаційної моделі тракту захисту РЛС з ДЧМ сигналом від пасивних маскувальних перешкод.

На початковому етапі доцільно розпочати з розгляду найпростішого не адаптивного гребінчастого фільтра подавлення, а саме пристрою однократного черезперіодного віднімання (ЧПВ); дослідження

доцільності та ефективності запропонованих пристроїв СРЦ для РЛС з ДЧМ сигналом і надання рекомендацій щодо їх практичної реалізації з урахуванням режимів роботи РЛС.

Основний матеріал

При проведенні досліджень основна увага звертається на особливості функціонування схеми СРЦ в РЛС з ДЧМ сигналом. Такі особливості виникають у результаті зміни тривалості та закону модуляції сигналу.

У якості найпростішого пристрою для досліджень обрано схему однократного ЧПВ, підключеного до виходу узгодженого фільтра (рис. 1).

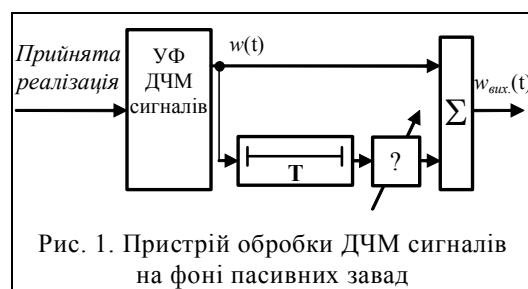


Рис. 1. Пристрій обробки ДЧМ сигналів на фоні пасивних завад

УФ забезпечує когерентне накопичення сигналу з заданим законом зміни частоти та потрібною тривалістю. Структурна схема УФ наведена на рис. 2.

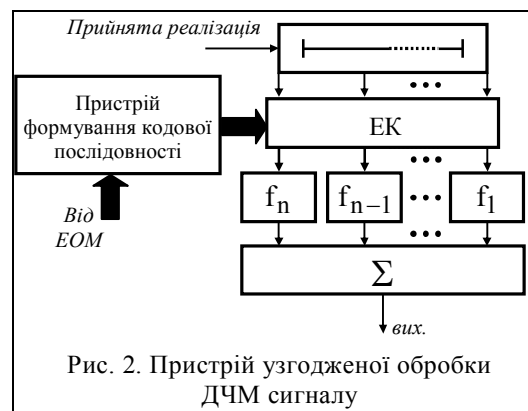


Рис. 2. Пристрій узгодженої обробки ДЧМ сигналу

Дослідження пристроїв узгодженої обробки ДЧМ сигналів різної тривалості на фоні внутрішніх шумів приймача вже було детально проведено в [9]. Тому очевидно, що наступним кроком є розробка гнучкої системи СРЦ, що враховує особливості використовуваних ДЧМ сигналів.

При проведенні досліджень вважалося, що пасивна перешкода утворюється у результаті відбиття ДЧМ сигналів РЛС від місцевих предметів та рухомих пасивних відбивачів. Захист від пасивних перешкод реалізується за рахунок використання частотних відмін сигналів та перешкод.

Подавлення пасивних маскувальних перешкод можливе лише при використанні у якості зондувального сигналу (ЗС) послідовності ДЧМ сигналів. Тому на початковому етапі приймаємо ЗС як послі-

довність когерентних ДЧМ сигналів однакової тривалості та з однаковим законом модуляції частоти.

При неоптимальній обробці сигналів на фоні корельованих пасивних перешкод, умови узгодженої обробки реалізуються послідовним включенням: гребінчастого фільтра накопичення (ГФН) та гребінчастого фільтра подавлення (ГФП) [1]. В даному випадку у якості ГФН використовується пристрій узгодженої фільтрації ДЧМ сигналів, котрий здійснює когерентне накопичення сигналів. ГФП є схемою однократного черезперіодного віднімання (ЧПВ).

У відповідності до заданих умов було розроблено імітаційну математичну модель, яка реалізує узгоджену обробку послідовності ДЧМ сигналів [7] та однократну черезперіодну компенсацію пасивних маскувальних перешкод (рис. 1). В даному пристрої УФ ДЧМ сигналів здійснює накопичення ДЧМ імпульсів і не потребує зміни своєї структури при варіаціях тривалістю ЗС чи зміні законів модуляції частоти. Це пояснюється наявністю в його складі електронного комутатора, який здатен в режимі реального часу адаптувати УФ до визначеного виду зондувального сигналу (рис. 2). Робота пристрою детально розглянута в [9]. Пристрій однократного черезперіодного віднімання (ЧПВ) представлений у вигляді лінії затримки на період слідування ДЧМ імпульсів T та суматора, для віднімання затриманої на період слідування та не затриманої прийнятих реалізацій. Також до складу пристрою включено фазообертач котрий враховує набіг фази пасивних відбивачів, внаслідок їх руху під дією вітру.

Особливістю застосування ДЧМ сигналів є те, що сигнал на вході пристрою ЧПВ являє собою пачку стиснутих імпульсів (рис.3, б), хоча вхідний сигнал УФ є квазібезперервним, тривалості $4 \cdot \tau_i$.

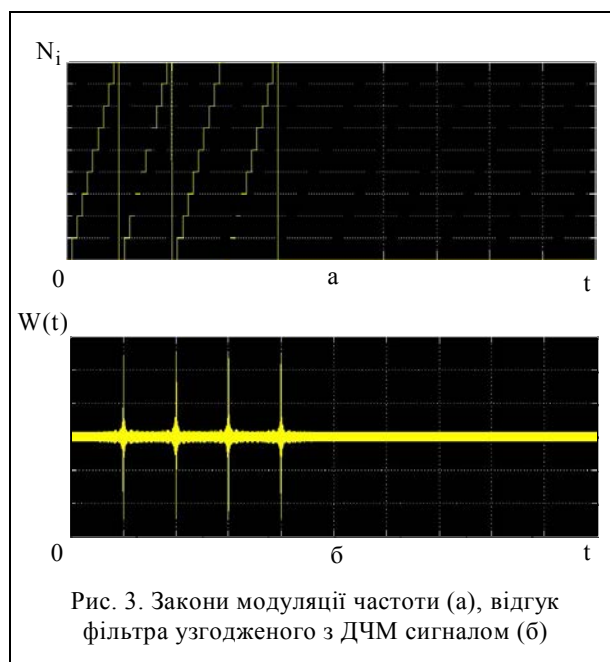


Рис. 3. Закони модуляції частоти (а), відгук фільтра узгодженого з ДЧМ сигналом (б)

Всі чотири ДЧМ-імпульси мають однакову тривалість та ступінчатий закон зміни частоти (рис.3, а). При такому режимі випромінювання та обробки сигналів забезпечується найменший період слідування та найкращі кореляційні властивості імпульсів, що відрізняються на тривалість одного стандартного імпульсу $T = \tau_i$. Оскільки коефіцієнт подавлення прямопропорційний коефіцієнту кореляції пасивної перешкоди в основному та компенсаційному каналах.

Результат обробки описаного ЗС створеної математичної моделі зображений на рис.4.

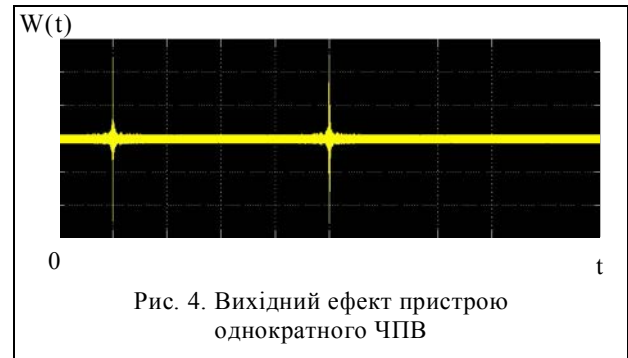


Рис. 4. Вихідний ефект пристрою однократного ЧПВ

Всі дослідження проведені з урахуванням внутрішніх шумів приймача, та відомої частоти корисних ехо-сигналів. У цьому випадку труднощів в обробці не виникає.

На основі аналізу результатів імітаційного моделювання встановлено, що пристрій однократного ЧПВ дозволяє ефективно скомпенсувати пасивну маскувальну перешкоду, однак потребує вирішення проблема неоднозначності, пов'язана з малим періодом повторення ДЧМ радіоімпульсів. Така проблема може бути вирішена шляхом зміни періоду повторення радіоімпульсів у сусідніх циклах зондування.

Дослідження показали, що при використанні ДЧМ сигналів в інтересах селекції рухомих цілей недоцільно у кожному наступному періоді зондування простору змінювати закон модуляції частоти, оскільки система СРЦ стає чутливою до зміни структури стиснутого імпульсу.

Застосування послідовності ДЧМ сигналів зі змінними законами модуляції частоти в сусідніх ДЧМ сигналах ефективно захищають РЛС від імітувальних перешкод. Саме тому було проведено ряд досліджень в області застосування однократного ЧПВ саме до ДЧМ сигналів з різними законами модуляції частоти.

Для одночасного забезпечення захисту від впливу імітувальних та пасивних маскувальних перешкод доцільно використовувати сигнал, який являє собою послідовність попарно однакових зімкнутих радіоімпульсів.

Закон модуляції частоти такого сигналу показаний на рис.5, а. для розглянутої ситуації складений ДЧМ сигнал має два імпульси з псевдохаотичним законом модуляції частоти та два імпульси з регулярним законом модуляції.

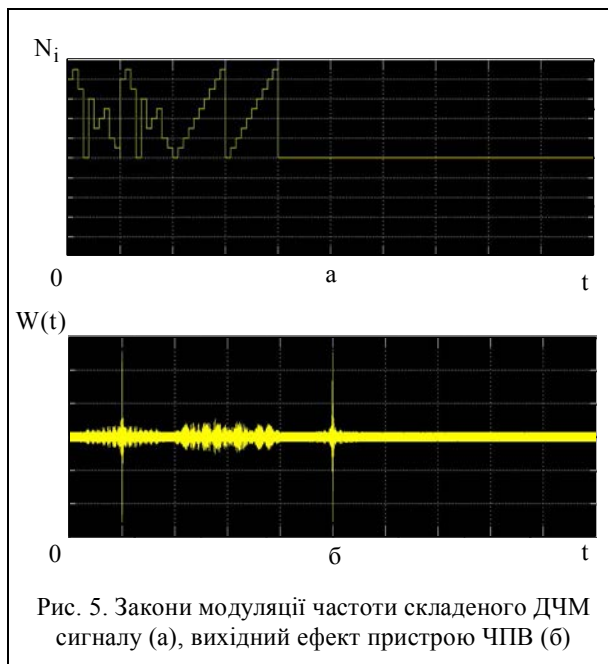


Рис. 5. Закони модуляції частоти складеного ДЧМ сигналу (а), вихідний ефект пристрою ЧПВ (б)

При застосуванні такого ДЧМ сигналу на виході пристрою СРЦ забезпечується компенсація пасивної перешкоди, однак спостерігається збільшення залишків перешкоди (рис. 5, б), яке обумовлене зміною закону модуляції частоти.

При використанні послідовностей ДЧМ імпульсів зондувальних сигналів слід приділити увагу вибору виду законів зміни частоти пар сигналів у залежності від перешкодової обстановки, рівня залишків сигналів (взаємної кореляційної функції), забезпечення потрібних енергії прийнятого сигналу та однозначності вимірювання параметрів. Псевдохаотичні закони зміни частоти дуже чутливі до величини доплерівської добавки частоти. У разі збільшення або зменшення несучої частоти більше як на 5-10 відсотків, ДЧМ імпульси з псевдохаотичним законом «розсіпаються» на етапі узгодженої фільтрації. Це в свою чергу значно впливає на загальну ефективність вирішуваних РЛС інформаційних задач.

Для покращення ефективності компенсації ПМЗ однократним ЧПВ, необхідно при значних доплерівських зсувах частоти та використанні більше як одного закону модуляції частоти, включити до складу розробленої моделі додатковий комутатор. Який виконує функцію ключа і в визначені моменти часу blankує залишки некомпенсованої ПМЗ.

Дане ускладнення математичної моделі досліджуваного пристрою дозволяє зберігати високу ефективність подавлення ПМЗ у складній перешкодовій обстановці.

Слід зауважити, що застосування ДЧМ та ФМ сигналів з урахуванням усіх особливостей роботи пристроїв генерування, обробки та перешкодозахисту РЛС, окрім вказаних переваг щодо забезпечення захищеності від різного роду перешкод, функціональності та електромагнітної сумісності, може служити основою сигнального забезпечення автономної навігаційної системи Збройних Сил України у рамках єдиної інформаційно-навігаційної системи України, яка необхідна для розробки сучасних систем високоточної зброї.

Використання різних робочих частот РЛС, часових параметрів зондувальних сигналів, можливість створення великої кількості законів псевдохаотичної дискретної модуляції частоти та фази дозволяє забезпечити індивідуальну систему сигналів для кожного радіолокатора. Створення мережі РЛС з індивідуальними системами сигналів дозволяє вести мову про систему радіомаяків, по яким може бути визначене місцеположення повітряного об'єкта в автономному режимі.

Висновки

1. Застосування ДЧМ сигналів різної тривалості є перспективним напрямком покращення ефективності радіолокаційного озброєння під час глибокої модернізації і одним з основних кроків до створення багатофункціональних РЛС.

2. Застосування пристрою однократного ЧПВ для компенсації пасивних маскувальних перешкод є ефективним при використанні послідовностей зімкнутих ДЧМ сигналів однакової тривалості та з однаковими законами зміни частоти, однак необхідно вжити спеціальних заходів щодо усунення неоднозначності вимірювання параметрів корисних сигналів.

3. При використанні у ЗС декількох законів зміни частоти, пристрій однократного ЧПВ дозволяє ефективно подавляти ПМЗ при виконанні ряду обмежень та включенні до складу пристрою додаткових елементів.

Список літератури

1. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник, изд. 2-е, перераб. и доп. / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.
2. Багдасарян С.Т. Радиолокаційна системотехніка / С.Т. Багдасарян, Ю.В. Кулявець, С.І. Шипіцин. – Х.: ХВУ, 2002. – 243 с.
3. Radar signals, by Nadav Levanon and Eli Mozeson. – John Wiley & Sons, Inc. – 2004. – 427 с.
4. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л.Е. Варакин. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
5. Варакин Л.Е. Теория систем сигналов / Л.Е. Варакин. – М.: Сов. радио, 1978. – 304 с.
6. Глазов Б.И. Спектры и корреляционные функции частотноманипулированных шумоподобных сигналов / Б.И. Глазов // Радиотехника. – 1970. – Т. 25, № 9. – С. 55-59.

7. Таршин В.А. Аналіз можливостей ДЧМ сигналів щодо підвищення функціональності радіолокаційних систем / В.А. Таршин, О.В. Очкурєнко, О.Л. Кузнєцов // Збірник наукових праць ХУПС. – Х: ХУПС, 2011. – Вип. 1 (27) – С. 107–111.

8. Пат. 64170 Україна, МПК G01S 13/26 (2006.01). Пристрій узгодженої обробки сигналів з псевдохаотичною частотною маніпуляцією / Таршин В.А., Васильєв В.А., Яценко О.В., Дорошко І.М., власник Харківський університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба. - № и 2011 06056 ; заявл. 16.05.11 ; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20.

9. Таршин В.А. Варіанти режимів випромінювання та узгодженої обробки ДЧМ сигналів / В.А. Таршин, О.В. Яценко // Збірник наукових праць ЦНДІ. – К. ЦНДІ, 2012. – Вип. 1 (21)р. – С. 50 – 53.

10. Аеротехніка [Електронний ресурс].– Режим доступу до ресурсу: <http://www.aerotechnica.ua>.

Надійшла до редколегії 18.12.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ЗАЩИТЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ДИСКРЕТНЫМ ЧАСТОТНОМАНИПУЛИРОВАННЫМ СИГНАЛОМ ОТ ПАСИВНЫХ ПОМЕХ

В.А. Таршин, А.В. Очкурєнко, А.Л. Кузнєцов, Д.В. Бойко

На основе анализа существующих устройств защиты радиолокационных систем от пассивных помех предлагается применить существующие алгоритмы защиты для систем сигналов с псевдохаотической частотной модуляцией. Рассматриваются возможные варианты построения и функционирования устройств защиты от пассивных помех РЛС с ДЧМ сигналом.

Ключевые слова: ДЧМ сигнал, помехозащита, режим излучения РЛС, пассивная маскирующая помеха.

PROTECTION OF RADAR SYSTEMS WITH A DISCRETE FREQUENCY MANIPULATION SIGNAL AGAINST PASSIVE INTERFERENCES

V.A. Tarshyn, A.V. Ochkurenko, A.L. Kuznetsov, D.V. Boyko

The analysis' protection devices fundamental of radar systems against passive interferences it is offered existent protection's algorithms with pseudo-chaotic frequency manipulation signals. Examine the construction variants and functioning of the devices' protection of radar with DFM signal against passive interferences are considered.

Keywords: a DFM signal, a interference protection, a radars mode of radiation, a passive masking interference, signal system.