

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВВЕДЕННЯ У РЛС П-18 "МАЛАХІТ" РЕЖИМУ ВИКОРИСТАННЯ СИГНАЛУ З НЕЛІНІЙНОЮ ЧАСТОТНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Анотація

Надано пропозиції, щодо введення режиму використання сигналів з нелінійною частотною модуляцією у радіолокаційну станцію П-18 "Малахит". Показано, що у разі використання запропонованих сигналів можна покращити показники якості виявлення відбитих від цілей сигналів на фоні нестаціонарних пасивних перешкод.

Ключові слова: виявлення сигналів, нелінійна частотна модуляція, пасивна перешкода, радіолокаційна станція, автокореляційна функція.

Abstract

Proposals for implementing the mode of using signals with nonlinear frequency modulation in the P-18 "Malachite" radar station have been presented. It has been shown that the use of the proposed signals has the potential to improve the quality of detecting signals reflected from targets against the background of non-stationary passive interference.

Keywords: signal detection, nonlinear frequency modulation, passive interference, radar, autocorrelation function.

Вступ

Аналіз використання противником засобів повітряного нападу у ході російсько-української війни, зокрема тактичних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) різного призначення, свідчить, що більшість із них діє на малих та гранично малих висотах. Такі об'єкти є складними для виявлення радіолокаційними станціями (РЛС) радіотехнічних військ, оскільки їх виявлення ускладнюється малою ефективною площею розсіювання, низькою висотою та швидкістю польоту [1, 2]. Для виявлення маловисотних БПЛА необхідно застосовувати системи селекції рухомих цілей, що дозволяє придушувати віддзеркалення від пасивних перешкод (ПП), на фоні яких вони зазвичай спостерігаються.

В сучасних радіолокаційних системах активно застосовують твердотільні генераторні пристрої, що накладає певні обмеження на пікову потужність зондувальних сигналів. Для усунення цього обмеження використовують сигнали збільшеної тривалості з внутрішньо-імпульсною модуляцією. Якість виявлення таких сигналів в умовах впливу нестаціонарних ПП значною мірою залежить від рівня бічних пелюсток (РБП) їхніх автокореляційних функцій (АКФ). Так, у поширеній РЛС П-18 "Малахит" [3] використовується лінійно-частотно модульований (ЛЧМ) зондувальний сигнал, суттєвим недоліком якого є відносно високий РБП АКФ.

Разом з тим існує клас радіолокаційних сигналів з нелінійною частотною модуляцією (НЛЧМ) у складі декількох фрагментів з різними законами модуляції, що забезпечує суттєво нижчий РБП АКФ [3 – 6].

Результати дослідження

У роботі розглянуто особливості виявлення складних сигналів на фоні нестаціонарних ПП. Показано, що за рахунок накладання бічних пелюсток стиснутих сигналів, які відбиті від різних ділянок дальності, відбувається збільшення рівня фону, зниження ступеню його нестаціонарності та розтягування зони ПП за дальністю, що призводить до появи ПП у областях, раніше вільних від них. Для подолання цього явища необхідно знижувати максимальний РБП (МРБП) АКФ складних

сигналів, які використовуються в РЛС РТВ [7]. Привабливим виглядає проведення модернізації РЛС П-18 "Малахит" з метою введення режиму використання НЛЧМ сигналів.

Показано, що існуючі математичні моделі (ММ) НЛЧМ сигналів мають суттєві недоліки, а саме – наявність стрибків частоти та фази сигналу при переході до наступного фрагменту. З урахуванням виявлених ефектів розроблено нові ММ таких сигналів, які складаються з двох (ЛЧМ-ЛЧМ, ЛЧМ-НЛЧМ) та трьох ЛЧМ фрагментів та мають знижений РБП АКФ. Зниження РБП АКФ відбувається за рахунок того, що в розроблених ММ НЛЧМ сигналів компенсуються стрибки миттєвої частоти та фази, які виникають у моменти зміни швидкості частотної модуляції при переході від одного фрагменту сигналу до іншого [3 – 6]. Використання розроблених моделей забезпечує одно- чи двостороннє округлення спектрів результуючих сигналів без спотворення їхньої форми, що обумовлює зниження МРБП АКФ.

Використання удосконалених ММ забезпечує для випадку двофрагментного НЛЧМ сигналу зниження МРБП на 4 – 5 дБ, для трифрагментного НЛЧМ сигналу зниження МРБП більш суттєве та становить 8 – 9 дБ, це приблизно на 65% нижче у порівнянні з класичним ЛЧМ сигналом, який застосовується в РЛС П-18 "Малахит", при цьому швидкість спадання рівня бічних пелюсток АКФ збільшується на 7% [8, 9].

У роботі розроблено пропозиції щодо введення режиму використання НЛЧМ сигналу до апаратури РЛС П-18 "Малахит". Показано, що особливістю функціонування РЛС П-18 "Малахит" є застосування цифрового методу формування зондувальних сигналів та цифрових методів оброблення відбитих від повітряних цілей луна-сигналів. Апаратна реалізація пристроїв синтезу та обробки радіолокаційних сигналів передбачає можливість їх удосконалення (модернізації) без внесення суттєвих змін до наявного складу апаратури. Проведений аналіз принципів побудови формувача зондувального сигналу РЛС П-18 "Малахит" свідчить про те, що є потенційна можливість забезпечити формування НЛЧМ сигналу шляхом модифікації тільки програмно-апаратного пристрою формування зондувального сигналу, що не потребує суттєвих схемних змін.

Показано, що в приймальній системі режим використання запропонованих НЛЧМ сигналів також може бути введено у програмний спосіб шляхом модифікації програмного забезпечення відповідних програмно-апаратних пристроїв. У разі заміни існуючого ЛЧМ сигналу на НЛЧМ однакової тривалості та девіації частоти зазначених дій цілком достатньо. За умов введення режиму використання НЛЧМ сигналу як додаткового до реалізованого ЛЧМ сигналу необхідно передбачити подання до пристроїв формування та обробки відповідної ознаки, що потребує додаткових схемних змін.

Розроблені НЛЧМ сигнали доцільно використовувати для виявлення цілей у зоні дії нестационарних ПП поза зоною використання простого імпульсного сигналу, тобто починаючи з 20 км та до 60 км. Поза дальністю 60 км також можна використовувати розроблені сигнали, але доцільно збільшити їх тривалість задля надання необхідної потужності для покращення виявлення слабких сигналів на великих дальностях. Можливо на цій ділянці дальності використовувати і існуючий ЛЧМ сигнал, бо за відсутності ПП його недоліки нівелюються, а на перший план виходить забезпечення потрібної розрізняльної здатності з дальності.

Запропоновано методику оцінки показників якості виявлення луна-сигналів на перешкодовому фоні з різним ступенем нестационарності, яка ґрунтується на використанні узагальненого гамма-розподілу потужності ПП.

Аналіз отриманих оцінок показників якості виявлення показав, що при високому рівні нестационарності початкового процесу для розглянутих моделей сигналів потенційний виграш майже однаковий та складає 9 дБ, форма АКФ та її МРБП не грає великої ролі, бо за суттєвого рівня нестационарності фактично уся потужність ПП концентрується у декількох ділянках дальності, інші ділянки вільні від її впливу. Різниця у ході кривих складає не більше 0,3 дБ.

Зі зниженням рівня нестационарності вплив форми АКФ та її МРБП проявляється більш суттєво, ділянки, заняті ПП, починають зустрічатися частіше, ефект накладання бічних пелюсток стиснутих сигналів, відбитих з різних ділянок дальності, стає більш вагомим. Для запропонованих моделей НЛЧМ сигналів виграш становить 5 – 6 дБ для середнього рівня нестационарності та 2 – 3 дБ для нижчого. Зменшення виграшу для нижчого рівня нестационарності фону пояснюється його наближенням до стаціонарного. У порівнянні з традиційним ЛЧМ сигналом виграш при виявленні цілей на нестационарному перешкодовому фоні складає 1 – 2 дБ.

Висновки

Отримані результати, а саме ММ НЛЧМ сигналів та пропозиції щодо їх втілення в РЛС П-18 "Малахит", мають наукове та практичне значення і можуть бути використані у розробці нових та модернізації існуючих РЛС РТВ. Основні переваги запропонованих ММ НЛЧМ сигналів проявляються при виявленні повітряних цілей на фоні нестаціонарних ПП.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Трофимов, І. М., Худов, Г. В., Білецький, С. С., Гризо, А. А., Гладіщук, О. В. (2024). Особливості бойового застосування радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України в ході російсько-української війни. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, (2 (55)), 76-85. <https://doi.org/10.30748/nitps.2024.55.08>.
2. Dudush, A., Tyutyunnik, V., Trofymov, I., Bortnovs'kiy, S., Bondarenko, S. (2018). State of the Art and Problems of Defeat of Low, Slow and Small Unmanned Aerial Vehicles. Advances in Military Technology, 13(2), 157-171. <https://doi.org/10.3849/aimt.01233>.
3. Климченко, В. Й., Тютюнник, В. О., Тах'ян, К. А., Рибалка, Г. В. (2023). Порівняльний аналіз радіолокаційних станцій огляду повітряного простору наземного базування. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил, (3 (77)), 43-50. <https://doi.org/10.30748/zhups.2023.77.06>.
4. Mathematical model of shifted time of combined signal as part of fragments with linear and quadratic frequency modulation. / [O. O. Kostyria, A. A. Hryzo, Yu. S. Solomonenko et al.] // Visnyk NTUU KPI Seriiia – Radiotekhnika Radioaparato-buduvannia. – 2024. – Vol. 97. – P. 5–11. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2024.97.5-11>
5. Kostyria O.O., Hryzo A.A., Dodukh O.M., Nariezhnii O.P. (2023). Mathematical model of the current time for three-fragment radar signal with non-linear frequency modulation Radio Electronics, Computer Science, Control. – № 3(63), pp. 17-26. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2023-3-2>.
6. Kostyria O.O., Hryzo A.A., Dodukh O.M., Nariezhnii O.P. (2023) Method of minimization sidelobes level autocorrelation functions of signals with non-linear frequency modulation. Radio Electronics, Computer Science, Control. – № 4(67), pp. 39-48. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2023-4-4>.
7. Климченко, В. Й., Тютюнник, В. О., Арасланов, М. Р., Тах'ян, К. А. (2024). Можливі напрямки модернізації радіолокаційних станцій радіотехнічних військ з метою підвищення ефективності виявлення малорозмірних безпілотних літальних апаратів. Системи озброєння і військова техніка, (1 (77)), 16-21. <https://doi.org/10.30748/soivt.2024.77.02>.
8. Kostyria, O. O., Hryzo, A. A., Khizhnyak, I. A., Fedorov A. V., Lukianchykov A.A. (2024). Implementation of method of minimizing the side lobe level of autocorrelation functions of signals with nonlinear frequency modulation. Visnyk NTUU KPI Seriiia – Radiotekhnika Radioaparato-buduvannia, 95, 16-22. <https://radap.kpi.ua/radiotechnique/article/view/1976>, <https://doi.org/10.20535/RADAP.2024.95.16-22/>.
9. Kostyria, O. O., Hryzo, A. A., Khudov, H. V., Dodukh, O. M., & Solomonenko, Y. S. (2024). Mathematical model of current time of signal from serial combination linear-frequency and quadratically modulated fragments. Radio Electronics, Computer Science, Control, (2), 24. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-2-3>.

Гризо Андрій Аркадійович — канд. техн. наук, доцент, начальник науково-дослідної лабораторії, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: 166gaa@gmail.com

Костиря Олександр Олексійович — докт. техн. наук, с.н.с, провідний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків

Хижняк Ірина Анатоліївна — канд. техн. наук, начальник науково - методичного відділу, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків

Ляшенко Олександр Іванович — науковий співробітник науково-дослідної лабораторії, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків

Hryzo Andrii A. — Cand. Sc. (Eng), Associate Professor, Head of research laboratory, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 166gaa@gmail.com

Kostyria Oleksandr O. — Dr. Sc. (Eng.), Senior Researcher, Leading Researcher of the Research Laboratory, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv.

Khizhnyak Irina A. — Cand. Sc. (Eng), Head of the scientific and methodological department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv

Liashenko Oleksandr I. — Researcher of the Research Laboratory, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv