

Вовк О.І., к.техн.н., Щепцов О.В., к.техн.н., Курдюк С.В.

МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ НРЛС ПРИ ВИЯВЛЕННІ МАЛОПОМІТНИХ ЦІЛЕЙ В УМОВАХ ЗАВАД

*Інститут Військово-Морських Сил Національного університету
“Одеська морська академія”*

Ключові слова: навігаційні РЛС, схемотехнічне моделювання НРЛС, малопомітні цілі.

Виявлення малопомітних цілей РЛС є актуальною та важливою для практики експлуатації радіотехнічних систем задачею; в роботі розглядається моделювання функціонування навігаційних РЛС [1–4] при виявленні малопомітних цілей у схемотехнічному середовищі Micro-Cap [5]. Моделювання проводилось для сигналів підсилювачів проміжних частот.

На рис. 1 зображена модель приймального тракту НРЛС, що складається з: генератору відеоімпульсів, що імітує сигнали НРЛС різної довжини в залежності від дальності до цілі; імітує інтенсивність відбитих від цілей сигналів; генератору гармонічного коливання, що дозволяє створити сигнал частоти роботи підсилювача проміжної частоти НРЛС; модулятору, що виконує операцію добутку сигналу відеоімпульсу та сигналу генератору гармонічного коливання, тобто формує радіоімпульс; селективного кола приймального тракту, що фільтрує корисні сигнали від цілей. Значення параметрів моделі та сигналів, що наводяться на рис. 1–6 вибрані такими, щоб ілюстративно показати можливості радіотехнічного моделювання і можуть відрізнятися від точних характеристик НРЛС. Наприклад, довжина імпульсу в моделі має значення більше ніж за ТТХ радарів; відрізняється і значення проміжної частоти, що не є принциповим у даному контексті.

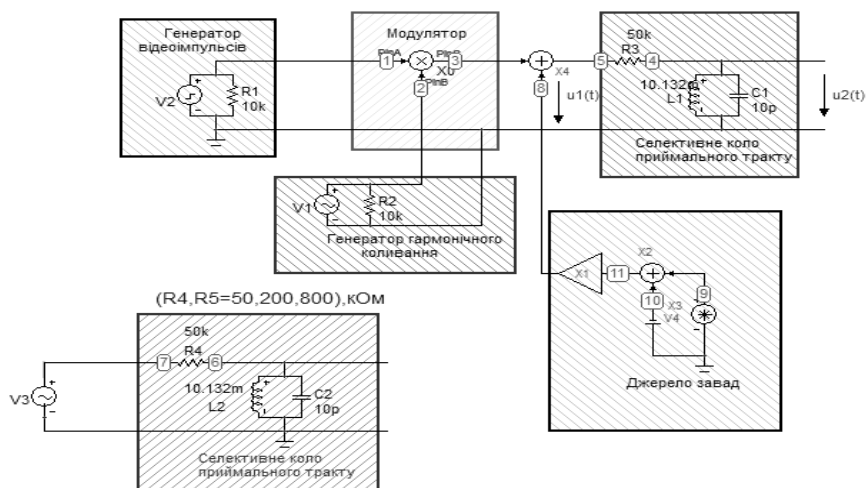


Рисунок 1 – Модель приймального тракту НРЛС в умовах завад

Селективне коло приймального тракту – паралельний коливальний контур, що складається з активного опору, конденсатору та котушки індуктивності. Модель, рис. 1, дозволяє змінювати параметри вказаних генераторів відповідно до конкретної НРЛС, узгоджувати їх роботу з селективним колом, нарощувати схемотехнічний тракт у відповідності до принципів схем реальних НРЛС. Модель дозволяє враховувати: форму зондуєчих радіоімпульсів НРЛС, частоту їх слідування та довжину, потужність радіоімпульсів, літерні частоти генеруючих магнетронів, значення проміжних частот приймальних трактів, коефіцієнтів підсилення приймачів НРЛС, добротність, селективність схем фільтрації.

Для імітації роботи НРЛС в умовах завод в моделі, рис. 1, введено джерело завод, що дозволяє створювати заводи природного та штучного походження, загороджувальні, прицільні та імітаційні [6]. Джерело завод складається з генератора постійної напруги, суматора, операційного підсилювача та генератора шуму визначеного спектрального діапазону. Функції вказаних підсилювача та генератора шуму:

- операційний підсилювач – імітує енергію заводи, виходячи з ТТХ станцій РЕБ, відстані до них, впливу підстильної поверхні, метеоумов та розташування НРЛС;
- генератор шуму – імітує спектр заводи заданого закону розподілу випадкової величини з урахуванням математичних очікувань та дисперсій заводових сигналів [7–8]; значення частот відповідають ТТХ станцій РЕБ чи спектрам відбиттів від реальних підстильних поверхонь (хвилювань моря різної інтенсивності), шумам приймачів.

Для створення імітаційних завод в якості джерела завод використовується схема аналогічна схемі на базі генератора відеоімпульсів, генератора гармонічного колювання та модулятора.

В даній роботі розглядалися випадки адитивних завод, що відображено суматором на схемі моделі приймального тракту, рис. 1.

На рис. 2–6 зображені спектри та осцилограми сигналів приймального тракту НРЛС. При цьому перша крива – сигнал з підсилювача проміжної частоти, що подається на вхід селективного кола, сигнал складається з корисного сигналу від цілі та шумової компоненти; друга крива – сигнал виходу селективного кола приймального тракту НРЛС, окремо на тому ж рисунку зображений сигнал заводи (третья крива). На кожному рис. 2–6 зображені спектри вказаних сигналів: спектр заводового сигналу, спектр сигналу з підсилювача проміжної частоти, спектр сигналу виходу селективного кола приймального тракту.

Подібний підхід щодо аналізу сигналів та їх спектрів можна побачити у [9–12], для випадкових сигналів завод у [7–8].

Вікно моделювання у середовищі Micro-Cap зображено на рис. 2, як і спектри та осцилограми сигналів приймального тракту НРЛС; на рис. 2 завада відсутня. Спектри та осцилограми сигналів приймального тракту НРЛС при різних рівнях завод, що попадають у смугу пропускання приймального тракту зображені на рис. 3.

На рис. 4 демонструються спектри та осцилограми сигналів приймального тракту НРЛС для випадку позасмугової заводи при різних рівнях її інтенсивності. В даному випадку завада має два рівня потужності: низький на рис. 4,а та високий на рис. 4,б. З рис. 4 видно, що навіть при значній потужності завада майже не спотворює корисні спектри та сигнали тракту підсилювача проміжної частоти, ефективність використання такої заводи залишається досить низькою.

На рис. 5 зображені сигнали від кораблів без стелс-технологій. На рис. 6 зображуються сигнали та спектри приймального тракту НРЛС для випадку зондування цілей зі стелс-технологіями: рис. 6,а – реальна стелс; рис. 6,б – ідеальна стелс-технологія. З

рис. 6 видно, що використання стелс-технологій призводить до значного зменшення потужності вхідних сигналів від цілей і при деяких їх рівнях завада повністю руйнує структуру корисних сигналів і виявлення цілей реальними НРЛС стає неможливим. При цьому дане моделювання дозволяє створити накладення двох реальних ситуацій практики: виявлення малопомітних цілей з елементами стелс-технологій та роботи НРЛС в умовах завод природного та штучного походження.

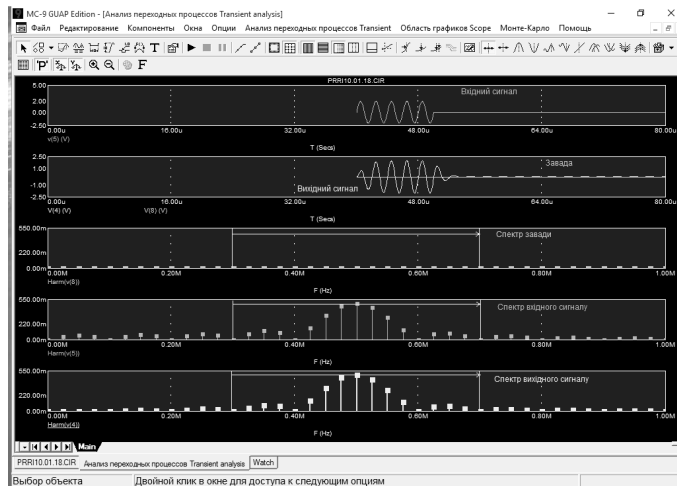


Рисунок 2 – Вікно моделювання у середовищі Мікро-Сар; спектри та осцилограми сигналів приймального тракту НРЛС

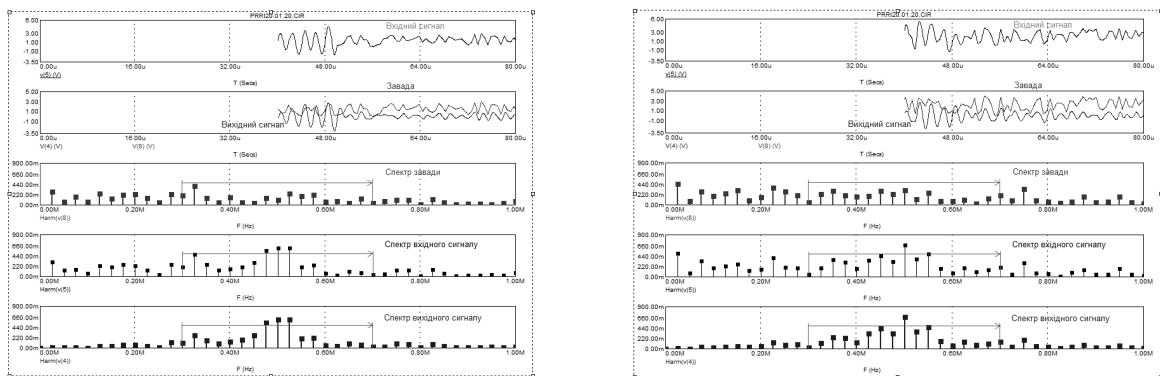


Рисунок 3 – Спектри та осцилограми сигналів приймального тракту НРЛС при різних рівнях завод: а – завада малої інтенсивності, б – завада середньої інтенсивності

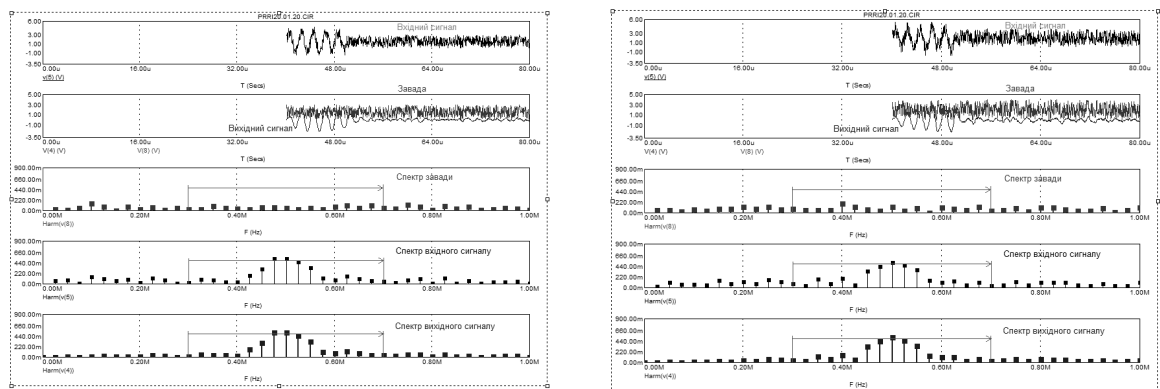


Рисунок 4 – Спектри та осцилограми сигналів приймального тракту НРЛС для випадку поза-смугової завади при різних рівнях її інтенсивності

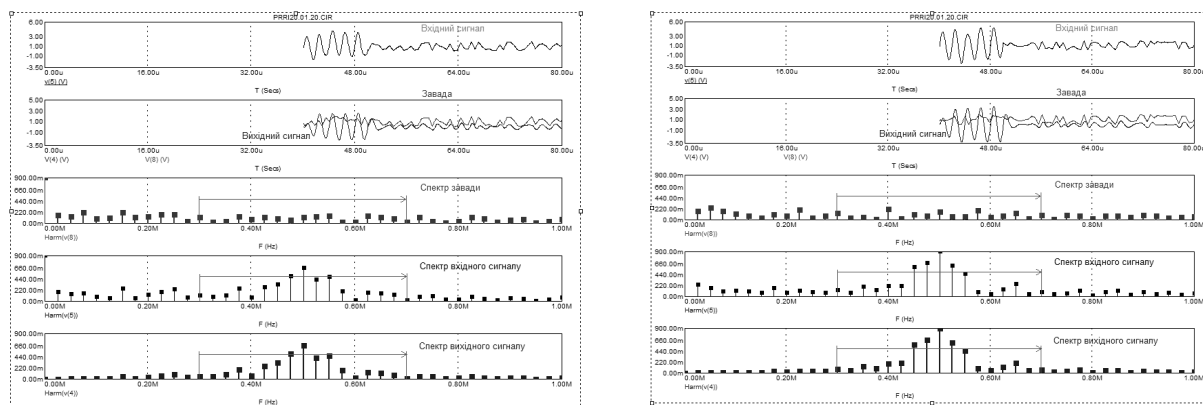


Рисунок 5 – Спектри та осцилограми сигналів приймального тракту НРЛС для випадку зондування кораблів звичайної форми: а – середня ЕПР; б – велика ЕПР

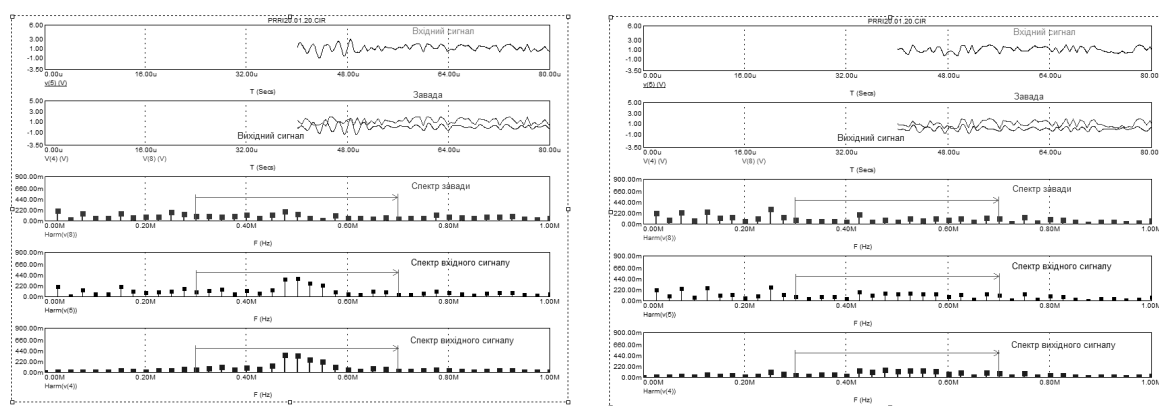


Рисунок 6 – Спектри та осцилограми сигналів приймального тракту НРЛС для випадку зондування цілей зі стелс-технологіями: а – реальна стелс; б – ідеальна

Висновок. В роботі показана можливість створення за допомогою сучасних схематехнічних програм типу Місго-Сар моделей функціонування НРЛС в умовах завад та при виявленні малопомітних цілей. Створена модель дозволяє: миттєво перевіряти всі практичні випадки зондування цілей, змінювати ситуації з урахуванням тактики застосування подібних радіотехнічних систем, враховувати відомі дані щодо зондування цілей з елементами стелс-технологій, закладати у якості параметрів в розроблену модель ТТХ НРЛС, станцій РЕБ, тип підстильної поверхні та метеоумови, розраховані потужності прийнятих сигналів. При цьому для розрахунку потужностей можна використовувати як основне рівняння радіолокації, так і враховувати вплив середовища поширення хвиль, діаграм спрямованості антен НРЛС, діаграм зворотного повторного розсіювання цілей. На базі розробленої моделі продемонстрований вплив на приймачі НРЛС завад, що попадають в смугу пропускання приймальних трактів та тих завад, які є позадіапазонними. Зображений вплив потужності сигналів завад, їх спектрів частот на якість вихідних сигналів приймальних трактів. Інтенсивна завада має значний вплив лише при попаданні в смугу пропускання приймального тракту. В роботі показані осцилограми та спектри сигналів відбитих від цілей з елементами стелс-технологій. В деяких ситуаціях сигнал від цілі з елементами стелс-технологій виділяється на фоні шумів і НРЛС виявляє такі цілі, в інших ситуаціях навіть при значних коефіцієнтах підсилення приймачів рівень сигналу стає рівним рівню завади і структура корисної сигнальної інформації повністю руйнується, а виявлення цілей стає неможливим. Останній

факт є свідченням необхідності створення кораблів зі стелс-технологіями, що відмічається протягом останніх десятиліть.

Література

1. Демиденко П.П. Судовые радиолокационные и радионавигационные системы: Учебное пособие. Одесса, 2008. – 334 с.
2. Галаган С.М., Вовк А.И., Попова В.С. Обнаружение и селекция морских целей РЛС военно-морских сил корабельного и наземного базирования на основе спектральных разложений / Системи озброєння і військова техніка. – Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2015. – № 3(43). – С. 27–34.
3. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации. / Ширман Я.Д. – М.: Сов.радио, 1970. – 560 с.
4. Радиотехнические системы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» / Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов и др. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.
5. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 464 с.
6. Палий А.И. Радиоэлектронная борьба.– М.: Военное издательство, 1989.– 350 с.
7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
8. Херхагер М., Партолль Х. Mathcad 2000: полное руководство. – К.: Издательская группа BHV, 2000. – 416 с.
9. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. пос. / С.И. Баскаков. – М.: Высш. шк., 2000. – 462 с.
10. Детерміновані сигнали та їх перетворення у радіотехнічних колах: навч. пос. / Е.А. Горюшкін, Б.Д. Деріпалов, В.Д.Карлов та ін. – Х.: ХВУ, 2003. – 232 с.
11. Сигнали та процеси в радіотехніці: Керівництво до лаб. р-т / Б. Д. Деріпалов, В. Д. Карлов, Є. О. Мількевич, В. А. Степаненко. – Харків: ХУПС, 2007. – 76 с.
12. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці. Т. 1-3. – Х.: Компанія СМІТ, 2003.

Bibliography (transliterated)

1. Demydenko P.P. Sudovye radyolokatsyonnye y radyonavyhatsyonnye systemy: Uchebnoe posobyue. Odessa, 2008. – 334 p.
2. S.M. Halahan, A.Y. Vovk, V.S. Popova Obnaruzhenye y selektsiya morskykh tselei RLS voenno-morskykh syl korabelnoho y nazemnoho bazyrovanyia na osnove spektralnykh rozlozheniy / Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika. – Kharkiv: KhUPS im. I. Kozheduba, 2015. – № 3(43). – P. 27–34.
3. Shyrman Ya.D. Teoretycheskye osnovy radyolokatsyy. / Shyrman Ya.D. – M.: Sov.radyo, 1970. – 560 p.
4. Radyotekhnicheskye systemy: Ucheb. dlia vuzov po spets. «Radyotekhnika» / Yu.P. Gryshyn, V.P. Ypatov, Yu.M. Kazarynov y dr. – M.: Vyssh. shk., 1990. – 496 p.
5. Amelyna M.A., Amelyn S.A. Prohramma skhemotekhnicheskoho modelyrovanyia Micro-Cap 8. – M.: Horiachaia lynia – Telekom, 2007. – 464 p.
6. Palyi A.Y. Radyoelektronnaia borba. – M.: Voennoe yzdatelstvo, 1989. – 350 p.
7. Venttsel E.S. Teoryia veroiatnostei. – M.: Nauka, 1969. – 576 p.
8. Kherkhaher M., Partoll Kh. Mathcad 2000: polnoe rukovodstvo. - K.: Yzdatelskaia hruppa BHV, 2000. – 416 p.
9. Baskakov S.Y. Radyotekhnicheskye tsepy y syhnały: Ucheb. pos. / S.Y. Baskakov. – M.: Vyssh. shk., 2000. – 462 p.

10. Determinovani syhnaly ta yikh peretvorennia u radiotekhnichnykh kolakh: navch. pos. / E.A. Horiushkin, B.D. Deripalov, V.D. Karlov ta in. – Kh.: KhVU, 2003. – 232 p.
11. Syhnaly ta protsesy v radiotekhnitsi: Kerivnytstvo do lab. r-t / B. D. Deri-palov, V. D. Karlov, Ye. O. Milkevych, V. A. Stepanenko. – Kharkiv: KhUPS, 2007. – 76 p.
12. Voloshchuk Yu.I. Syhnaly ta protsesy u radiotekhnitsi. T. 1-3. – Kh.: Kompaniia SMIT, 2003.

УДК 621.396.96

Вовк О.І., к.техн.н., Щепцов О.В., к.техн.н., Курдюк С.В.

МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ НРЛС ПРИ ВИЯВЛЕННІ МАЛОПОМІТНИХ ЦІЛЕЙ В УМОВАХ ЗАВАД

Ефективність виявлення навігаційними РЛС цілей, особливо малопомітних остається відкритим та важливим питанням, від якого залежить виконання бойових завдань Військово-Морськими Силами ЗСУ. При цьому широке використання противником станцій завад вимагає від виробників РЛС впровадження останніх досягнень в області радіотехнічних систем для зменшення та компенсації їх дії.

В роботі наводиться можливість схмотехнічного моделювання функціонування навігаційних РЛС в умовах завад при виявленні малопомітних цілей. Моделювання проведено у середовищі Micro-Cap. Програма відноситься до SPICE-подібних програм аналогового і цифрового моделювання електричних та електронних схем з інтегрованим візуальним редактором, результати проведених за її допомогою досліджень вважаються достовірними.

При моделюванні дії завад в роботі використовувалась система комп'ютерної математики Mathcad. За її допомогою здійснювалась імітація спектру завади заданого закону розподілу випадкової величини з урахуванням математичних очікувань та дисперсій завадових сигналів; значення частот відповідали ТТХ станцій РЕБ чи спектрам відбиттів від реальних підстильних поверхонь, хвилюванням моря різної інтенсивності, шумам приймачів.

В статті зображені спектри та осцилограми сигналів приймального тракту навігаційних РЛС: при різних рівнях завад; для випадку позасмугової завади різної інтенсивності; для випадку зондування кораблів звичайної форми; для зондування цілей зі стелс-технологіями. Моделювання може стати корисним для оцінки впливу засобів РЕБ на корабельне радіотехнічне озброєння, для вироблення пропозицій щодо захисту навігаційних РЛС від завад природного та штучного походження, загороджувальних, прицільних та імітаційних.

Ключові слова: навігаційні РЛС, схмотехнічне моделювання НРЛС, малопомітні цілі

Вовк А.И., к.техн.н., Щепцов А.В., к.техн.н., Курдюк С.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НРЛС ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ МАЛОЗАМЕТНЫХ ЦЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ

Эффективность обнаружения навигационными РЛС целей, особенно малозаметных остается открытым и важным вопросом, от которого зависит выполнение боевых задач Военно-Морскими Силами ВСУ. При этом широкое использование противником станций помех требует от производителей РЛС внедрения последних достижений в области радиотехнических систем для уменьшения и компенсации их действия.

В работе приводятся возможности схемотехнического моделирования функционирования навигационных РЛС в условиях помех при обнаружении малозаметных целей. Моделирование проведено в среде Micro-Cap. Программа относится к SPICE-подобным программам аналогового и цифрового моделирования электрических и электронных схем с интегрированным визуальным редактором, результаты проведенных с ее помощью исследований считаются достоверными.

При моделировании действия помех в работе использовалась система компьютерной математики Mathcad. С ее помощью осуществлялась имитация спектра помехи заданного закона распределения случайной величины с учетом математических ожиданий и дисперсий помеховых сигналов; значения частот отвечали ТТХ станций РЭБ или спектрам отражений от реальных подстилающих поверхностей, волнениям моря различной интенсивности, шумам приемников.

В статье показаны спектры и осциллограммы сигналов приемного тракта навигационных РЛС: при различных уровнях помех; для случая внеполосных помех различной интенсивности; для случая зондирования кораблей обычной формы; для зондирования целей со стелс-технологиями. Моделирование может стать полезным для оценки влияния средств РЭБ на корабельное радиотехническое вооружение, для выработки предложений по защите навигационных РЛС от помех естественного и искусственного происхождения, заградительных, прицельных и имитационных.

Ключевые слова: навигационные РЛС, схемотехническое моделирование НРЛС, малозаметные цели

Vovk O.I., Shcheptsov O.V., Kurdiy S.V.

MODELING THE FUNCTIONING OF NAVIGATION RADARS WHEN DETECTING STEALTH TARGETS IN THE CONDITIONS OF NOISE

The effectiveness of the detection by navigation radars of targets, especially stealth targets, remains an open and important issue from which the fulfillment of combat missions of the Navy. Moreover, the widespread use of electronic warfare requires radar manufacturers to introduce the latest advances in the field of radio systems to reduce and compensate for their effects.

The possibilities of circuit simulation of the functioning of navigation radars in the conditions of noise when detecting stealth targets are given. The simulation was carried out in a Micro-Cap environment. The program belongs to SPICE-like programs of analog and digital modeling of electrical and electronic circuits with an integrated visual editor, the results of studies conducted with its help are considered reliable.

When modeling the action of noise in the work, the computer mathematics system Mathcad was used. She usedused to simulate the noise spectrum of a given distribution law of a random variable taking into account the mathematical expectations and variances of the noise signals; frequency values corresponded to the performance characteristics of electronic warfare stations or to the reflection spectra from real underlying surfaces, reflections from sea waves of various intensities, and receiver noises.

The depicted spectra and waveforms of the signals of the receiving path of the navigation radar: at different levels of noise; for out-of-band noise of varying intensity; for the case of ships of the usual form; for sensing targets with stealth technology. Modeling may be useful for assessing the impact of electronic warfare on naval radio-technical weapons, to develop proposals for the protection of navigational radars from noise of natural and artificial origin, barrage, aiming and imitation noises.

Keywords: navigation radar, circuitry modeling of radar, stealth targets.