

**ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ПРОВЕДЕННЯ НАЛАГОДЖЕННЯ ТА
ВИПРОБУВАНЬ СКЛАДНИХ АНТЕННИХ СИСТЕМ**

*Волошин О. П., Ліпатов В. П.; Марков В. І., к.т.н.; Остапенко Д. А.
ДП "НДІ радіолокаційних систем «Квант-радіолокація», Київ, Україна*

Практично одночасно з появою антен з'явилася потреба їх налаштування і проведення випробувань на спеціально обладнаних місцях [1, 2].

Підвищення вимог до технічних характеристик радарів зумовило розвиток і використання в якості антенних систем (АС) фазованих антенних решіток (ФАР), та активних ФАР (АФАР), а необхідність забезпечення більш жорстких вимог до точності та достовірності отриманих результатів відповідно ускладнило комплекс випробувань. З розвитком теорії і техніки антенних вимірювань, вимірювальної апаратури та обчислювальної техніки основний обсяг робіт по налагодженню та іспитам АС став виконуватися ампліфазометричними (АФМ) та комутаційними (КМ) методами на робочих місцях, що розташовані безпосередньо на підприємствах [3, 4].

Визначення параметрів, діагностика та контроль технічного стану (КТС), автоматична підтримка амплітудно-фазового розподілу (АФР) на апертурі у заданих межах та налаштування різноманітних АС розглянуті у літературі, де наведені варіанти автоматизованих систем вбудованого контролю, їх методичного та програмного забезпечення а також апаратурної реалізації автоматизованих вимірювальних комплексів (АВК) [2-6].

Невирішені питання. На основі досвіду роботи та аналізу публікацій останніх років за тематикою доповіді можна визначити основні невирішені питання, а саме відсутність можливості проведення налагодження, визначення та аналізу параметрів ФАР або АФАР в повному обсязі, бо для таких АС кількість можливих реалізацій діаграм спрямованості (ДС) залежить від кількості каналів (сумарних, різницевих, компенсаційних, фонових), виду променів (вузький, широкий, косеканс та ін.), можливих положень променів у просторі (визначається сектором огляду та параметрами променів), числа робочих частот, режимів роботи, здатністю адаптації до власного технічного стану і заводській обстановці, може бути порядку $10^5 \div 10^{10}$. Можливість проведення вимірювань такої кількості АФР, обчислення та аналізу такого обсягу ДС фізично відсутня навіть за допомогою сучасних АВК та програмного забезпечення [4, 5].

Саме тому питання розробки технології налаштування та проведення прийнятно-здавальних випробувань (ПЗВ) АС потребують особливої уваги та використання статистичного підходу. Оскільки інтегральні параметри антен однозначно пов'язані з реалізацією АФР на апертурі, для достовірної оцінки параметрів АС були розроблені та апробовані методики, що дозволили радикально скоротити час і обсяг ПЗВ за рахунок отримання максимально повної оцінки технічного стану каналів ППМ (всіх елементів, що

входять до каналу: атенюаторів та фазообертачів); визначення величин загасання та фазових зсувів, що вносяться кожним фазообертачем (ФВ) всіх ППМ при включенні кожної i -ї комбінації дискретів ФВ, їх математичного очікування та дисперсії; визначення величин загасання та фазових зсувів, що вносяться при включенні кожної з усіх комбінацій дискретів атенюатора, їх математичне очікування та дисперсію як правило тільки для в режиму ПРИЙОМ.

Після складання АС проводився контроль технічного стану (КТС) для виявлення несправностей та технологічних дефектів. Результати КТС АС порівнювались з результатами КТС ППМ на етапах їх виготовлення. Використовуючи дані отримані при проведенні КТС в режимах ПЕРЕДАЧА і ПРИЙОМ, за допомогою математичного моделювання проводилась первинна настройка АФАР, вираховувалися фазові добавки для налагодження АС, оцінювався необхідний обсяг репрезентативної кількості ДС, розрахованих за вимірними АФР, для проведення ПЗВ та забезпечення необхідної статистичної достовірності результатів.

Для скорочення часу проведення ПЗВ вимірювання АФР для груп каналів, положень променя у просторі та різних робочих частот проводились у мультиплексному режимі вимірювань методом зміщених матриць. Забезпечувалась автоматична конфігурація при зміні структури АВК [5].

У зв'язку із суттєвою залежністю АФР на апертурі від температури АС бажано проводити вимірювання при номінальному режимі роботи (передача/прийом, всі ППМ включені, робочі тривалості випромінюваних імпульсів, шпаруватість тощо), в одному циклі вимірювань, та короткий контрольний цикл вимірювань для коригування залежності отриманих АФР від зміни температури за час випробувань. У цьому випадку підвищується реальна точність отриманих результатів.

Досвід роботи показав, що ефективність мультиплексування залежить не тільки від швидкодії вимірювача [7], а значною мірою від власних характеристик АС, таких як: час запису формуляра задачі; час встановлення заданого у формулярі АФР; час затримки імпульсу запуску вимірювача для забезпечення синхронізації та ін.

Різке збільшення кількості АФР, що вимірюються в одному циклі, виявило неефективність традиційного підходу до обробки даних вимірювання (розпакування прийнятого масиву, послідовна обробка кожного АФР та аналіз отриманих даних персоналом на дисплеї або роздруківках). Видається доцільним перейти до повністю автоматичної пакетної обробки масиву, автоматичної перевірки отриманих даних за заданими статистичними критеріями та вироблення рішення про відповідність реальних технічних даних, наведеним у технічних умовах. Повинна виводитися інформація про відмови елементів ППМ, невідповідність конкретних АФР та ДС технічним вимогам, існувати можливості індивідуального перегляду даних вимірювань

та обробки даних у ручному режимі.

Висновки

Необхідна швидкість та якість налаштування АС забезпечується комплексним підходом, що включає вхідний контроль елементів, облік їх характеристик при виготовленні та складанні ППМ, відповідною апаратурою, методиками виконання вимірювань та комплексної обробки результатів КТС та отриманих у мультиплексному режимі АФР.

Використання мультиплексного режиму вимірювань та статистичного підходу до результатів КТС дозволяє зменшити загальний час проведення налаштування та визначення параметрів АФАР та підвищити реальну точність та достовірність результатів ПЗВ.

Доцільно використовувати автоматичну пакетну обробку АФР та статистичний аналіз результатів вимірювання та розрахунків параметрів АС.

Перелік посилань

1. Методы измерения характеристик антен СВЧ / Под ред. Н.М. Цейтлина, — М.: Радио и связь, —1985.
2. Evans, Gary E. Antenna measurement techniques / Gary E. Evans. Boston: Artech House, 1990 — 229 p.
3. Clive Parini, Stuart Gregson, John McCormick, Daniël Janse van Rensburg and Thomas Eibert Theory and Practice of Modern Antenna Range Measurements, 2nd Exp. Ed. In two volumes, IET; London, 2020 — Vol. 1 – pp. 487, Vol. 2 – pp. 709.
4. Гузь В. И. Технология проведения контроля технического состояния, настройки и калибровки АФАР / В. И. Гузь, В. И. Марков, А. А. Зайцев, А. Б. Филоненко // Радиотехника. — 2012. — Т. 55, № 1. — С. 41—47.
5. Касапов Е.В.; Ліпатов В. П.; Марков В.І., Остапенко Д.А. Налагодження та проведення випробувань складних антенних систем // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ 2020. —с.39—41.
6. 5968-6759 Keysight /Тестирование антенн – Руководство по выбору – 2017.—pp. 82.
7. Reducing Measurement Times and Improving Economic Competitiveness in Antenna and RCS Applications. — Application Note, Keysight, —2014.

Анотація

Розглянуті питання технології налаштування складних антенних систем з урахуванням технічних особливостей виробів пов'язаних з їх апаратурною реалізацією і вбудованими системами контролю та калібрування.

Ключові слова: АФАР, амплітудно-фазовий розподіл на апертурі, вбудована система контролю та калібрування, технологія налагодження та випробувань.

Abstract

Questions of production engineering of active phased array antennas, its factory alignment and conducting of adjustment of the built-in monitoring and calibration system, taking into account the particularities connected with hardware implementation and measurements conditions, are considered. The main attention is paid to the problems and procedures of diagnostics and measurements of amplitude and phase distribution on aperture, to adjustment and calibrations of phased array antennas.

Keywords: active phased array antenna, amplitude and phase alignment, built-in monitoring system, mutual interactions, adjustment and test technologies.