

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Батрак Євгеній Олександрович

УДК 621.396.69

МЕТОДИКА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ВУЗЬКОСПРЯМОВАНОЇ ТРАНСЛЯЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ
В РУХОМИХ СИСТЕМАХ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Спеціальність 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій

Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Київ – 2017

Дисертація на правах рукопису.

Робота виконана в Державному університеті телекомунікацій Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Гаврилко Євген Володимирович,
Державний університет телекомунікацій,
професор кафедри телекомунікаційних
систем та мереж

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Бойко Юлій Миколайович,
Хмельницький Національний університет,
професор кафедри телекомунікацій та радіотехніки;

кандидат технічних наук,
Кільменінов Олексій Анатолійович,
Національний університет оборони України
імені Івана Черняхівського,
начальник науково-дослідної лабораторії
розробки моделей операцій науково-дослідного відділу
розробки моделей операцій та бойових дій
центру імітаційного моделювання
інституту інформаційних технологій

Захист відбудеться « 21 » грудня 2017 р. о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д26.861.01 в Державному університеті телекомунікацій за адресою: 03110, м. Київ, вул. Солом'янська, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у Державному університеті телекомунікацій за адресою: 03110, м. Київ, вул. Солом'янська, 7.

Автореферат розісланий « 13 » листопада 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д 26.861.01
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник.

М.П. Трембовецький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Однією із основних задач, що ставить перед нами сьогодення, є подальший розвиток теорії і практики проектування антенних решіток (АР) пов'язаний із зростанням їх ролі в радіотехнічних системах різного призначення. У таких областях радіоелектроніки, як радіолокація, радіонавігація, радіозв'язок характеристики АР визначають основні параметри і граничні можливості радіосистем в цілому.

Відмова від традиційних методів проектування антен, що виконують, як правило, функцію прийому або передачі електромагнітних хвиль, обумовлена рядом чинників, зокрема, це пов'язано із загальним напрямом мікромініатюризації радіоелектронної апаратури і комплексно виконуваних нею функцій. В той же час сучасні радіосистеми повинні функціонувати в швидкозмінній сигнально-завадовій обстановці. Тому функціональні можливості радіоапаратури повинні передбачати гнучку зміну характеристик і параметрів при одночасному задоволенні вимог до електромагнітної сумісності пристроїв різного призначення.

Аналіз технічних характеристик сучасних антен і досвід їх використання в різних радіосистемах показують, що найповніше вимогам до антенних систем радіоапаратури багатофункціонального призначення відповідають активні фазовані антенні решітки (АФАР). Данні антенні системи набули широкого використання не лише у складі бортових і наземних радіолокаційних станцій, а і у якості антен радіосистем зв'язку. Застосування АФАР в мобільних і космічних радіокомплексах дозволяє істотно підвищити дальність радіозв'язку, якість, оперативність і об'єми передаваної інформації. Оскільки енергоресурси рухомих систем радіозв'язку, як правило, обмежені, підтримка високого потенціалу АФАР в секторі сканування пов'язана з мінімізацією всіх втрат як в тракці АФАР, так і на ділянці радіолінії. Виконання перерахованих вимог можливе лише шляхом оптимізації параметрів АФАР з урахуванням всіх чинників, що впливають на її роботу.

При проектуванні до антенної системи транслятора пред'являється ряд специфічних вимог: забезпечення високого коефіцієнта підсилення антени; точність установки променя ретранслятора; реалізація заданих законів амплітудно-фазового розподілу при скануванні, при цьому вона повинна формувати ДС спеціальної форми, які дозволяють опромінювати одні райони земної кулі, не допускаючи опромінювання інших, а також забезпечувати стійкість до навмисних завад.

Таким чином, аналіз побудови та особливостей застосування АФАР показав, що у ряді важливих практичних випадків даний клас антенних пристроїв є єдиноможливим для забезпечення комплексу вимог, а питання дослідження процесів системи автоматичного керування (САК) параметрами та характеристиками АФАР з метою підвищення їх ефективності є досить актуальним.

Тому науковою задачею дослідження дисертаційної роботи є розробка методики підвищення ефективності трансляції інформації в рухомих системах радіозв'язку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в Державному університеті телекомунікацій (ДУТ) у межах виконання науково-дослідної роботи «Розробка теоретичних основ й методів

побудови перспективних вимірювальних радіосистем ракетно-космічних комплексів з використанням шумоподібних просторово-часових сигналів» № 0116U006099 від 03 січня 2017 р. Також теоретичні і практичні положення дисертаційної роботи були використанні та реалізовані в науково-дослідних та дослідно-конструкторських роботах на замовлення Національного космічного агентства України шифри «Впровадження-КС», «Обґрунтування-КС», «Перспектива-КА», головним виконавцем якої є Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є зменшення помилок визначення напрямку – апаратна-ретранслятор в системах рухомого зв'язку шляхом використання вузькоспрямованих рухомих активних фазованих антенних решіток за рахунок автоматичного керування параметрами діаграмою спрямованості АФАР.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі основні задачі:

Провести аналіз існуючих методів підвищення радіозахищеності радіозасобів в умовах швидкоплинності та динамічної зміни сигнально-завадової обстановки;

Розробити математичну модель системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР;

Розробити методику оцінки показників якості системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР;

Розробити методику підвищення швидкодії та динамічної точності системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР;

Розробити імітаційну модель системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР при випадкових задаючих і збурюючих діях;

Розробити рекомендації щодо технічної реалізації системи керування діаграмою спрямованості АФАР;

Розробити методику адаптивного керування АФАР в умовах інформаційної невизначеності.

Об'єкт дослідження – процеси реакції системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР на випадкові задаючі та збурюючі дії.

Предмет дослідження – параметри системи автоматичного керування діаграмою спрямованості активної фазованої антенної решітки.

Методи дослідження. Дослідження виконані з використанням теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії завадостійкості радіо електричних засобів, методів радіоавтоматики, математичного апарату інтерактивної системи Matlab.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що в дисертації:

Вперше розроблена методика оцінки показників якості системи керування діаграмою спрямованості (СК ДС) активних фазованих антенних решіток за випадкових збуджуючих впливів, яка дозволяє визначити момент входження в зв'язок в динаміці руху апаратною та ретранслятором.

Удосконалена методика підвищення швидкодії та динамічної точності системи автоматичного керування діаграмою спрямованості активних фазованих антенних решіток, яка на відміну від існуючих суттєво скорочує реакцію системи управління на основі отриманих коефіцієнтів підсилення системи керування діаграмою спрямованості активних фазованих антенних решіток, що підвищить енергетичну

ефективність при випадкових збурюючих діях на 7-12%.

Удосконалена методика адаптивного керування активною фазованою антенною решіткою в умовах інформаційної невизначеності, яка на відміну від існуючих відрізняється можливістю максимізації приросту імовірності налаштування на ретранслятор.

Практична цінність отриманих результатів.

Удосконалена методика підвищення швидкодії та динамічної точності системи автоматичного керування діаграмою спрямованості активних фазованих антенних решіток дозволяє підвищити енергетичну ефективність АФАР при випадкових збурюючих діях на 7-12%.

Розроблена методика оцінки показників якості системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР за випадкових збуджуючих впливів, яка дозволяє підвищити точність відтворення випадкової задаючої дії, зменшити вплив збурюючої перешкоди, та покращити якість перехідних функцій, що викликаються задаючою і збурюючою діями.

Удосконалена методика адаптивного керування АФАР в умовах інформаційної невизначеності, яка забезпечить приріст імовірності налаштування на ретранслятор за умови короткотермінової відсутності інформації про положення ретранслятора.

Така практична реалізація дозволить використовувати рухомі АФАР в якості:

антенної системи для керування дистанційно пілотованих літальних апаратах (ДПЛА) для збору інформації;

використання ДПЛА як ретранслятор для збільшення дальності та прихованості зв'язку, завдяки побудові високоточної системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР встановленої на рухомому об'єкті;

використання АФАР для організації зв'язку через транслятори на літаках та супутниках, завдяки побудові високоточної системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР встановленої на рухомому об'єкті. Запропонована методика, для такої системи, передбачає зміну параметрів диференційного зв'язку (сталих часу) системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР відповідно до вимог щодо безпомилкового прийому, та рівня сигналу на вході приймача ретранслятору.

Практичні положення дисертаційної роботи були використані та реалізовані в науково-дослідних та дослідно-конструкторських роботах на замовлення Національного космічного агентства України шифри «Впровадження-КС», «Обґрунтування-КС», «Перспектива-КА», головним виконавцем якої є Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, а також у навчальному процесі Державного університету телекомунікацій що підтверджується актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційне дослідження є самостійно виконаною роботою, в якій відображено особистий авторський підхід та особисто отримані теоретичні та практичні результати, які відносяться до вирішення задачі реалізації вузькоспрямованої ретрансляції інформації в рухомих системах зв'язку. Основні наукові результати дисертації отримані здобувачем особисто, опубліковано в [1] – представлена розробка алгоритму виміру кутових координат; [2] – проведений аналіз динамічних характеристик системи керування, запропонована

функціональна схема системи. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, особисто дисертанту належать: [3] – запропоновані окремі підходи до побудови багатопозиційних систем моніторингу об'єктів спостереження; [4] – проведений аналіз з забезпеченням енерго-інформаційної сумісності зі змінною просторовою конфігурацією; [5] – проведено аналіз впливу параметрів антен на ефективність вирішення задач радіомоніторингу; [6] – запропоновані можливості застосування резонансно-фазової обробки інформації в системах зв'язку.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи були представлені на п'яти науково-технічних конференціях та форумах: Науково-технічна конференція студентів, аспірантів, викладачів та науковців, «Актуальні проблеми забезпечення інформаційної безпеки держави», 18 грудня 2014 р. (Київ, Україна); I Міжнародна науково-технічна конференція «Актуальні проблеми розвитку науки і техніки», 22 жовтня 2015 р. (Київ, Україна); Міжнародна науково-технічної конференції «Сучасні інформаційно-телекомунікаційні технології». Актуальні питання побудови сучасних телекомунікаційних систем і мереж. 17-20 листопада 2015 р. (Київ, Україна); VIII Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми інформатизації». 11-12 квітня 2017 р. (Київ, Україна); Науково-технічна конференція студентства Навчально-наукового інституту Телекомунікацій та Інформатизації факультету Телекомунікацій «Актуальні питання розвитку телекомунікацій в Україні» 10 травня 2017 р. (Київ, Україна).

Публікації. Основні положення та зміст дисертації відображено в 11 наукових публікаціях: 1 монографії, 5 наукових статтях (2 з яких одноосібні) в фахових журналах ДАК України та в 5 тезах і матеріалах доповідей на конференціях.

Структура дисертації. Дисертація складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел та додатків: актів впровадження. Загальний обсяг роботи складає 142 сторінок друкованого тексту, у тому числі містить 33 рисунків та 6 таблиць. Список використаних джерел на 10 сторінках містить 115 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет, методи дослідження та вирішення задач, визначено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану та перспективи розвитку існуючих систем радіозв'язку. Досліджено існуючі методи підвищення ефективності функціонування систем автоматичного керування АФАР.

Проведений аналіз показав, що найбільш простими і прозорими є безпосередні методи, серед яких частотний метод, коефіцієнтів помилок, квадратичних інтегральних оцінок. Але використання безпосередніх методів не завжди доцільно для випадків, коли не можливо з максимальною точністю визначити в якому саме елементі структурної схеми змодельованої системи надходить збурюючі дія, тобто має випадковий характер. Вирішення даного завдання має два шляхи, а саме:

використання прямих методів; побудова еквівалентної системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР за збурюючою дією. Таким чином завчасно змодельована система дозволить не лише оцінити, а й керувати параметрами АФАР в реальному часі.

Тому метою дисертаційної роботи є зменшення помилок визначення напрямку – апаратна-ретранслятор в системах рухомого зв'язку шляхом використання вузькоспрямованих рухомих активних фазованих антенних решіток за рахунок автоматичного керування параметрами діаграмою спрямованості АФАР. Для досягнення мети дисертаційної роботи необхідно розв'язати наукову задачу, що полягає в розробці методики підвищення швидкодії та динамічної точності систем автоматичного керування діаграмою спрямованості активних фазованих антенних решіток.

У другому розділі вперше розроблена методика оцінки показників якості системи керування діаграмою спрямованості активної фазованої антенної решітки за випадкових збуджуючих впливів.

Для визначення показників якості системи необхідно заздалегідь знайти передаточні функції системи з похибкою. Складові похибки, що викликаються задаючою β_p і збурюючою X_c діями описуються наступними рівняннями:

$$\theta_\beta(p) = \frac{1}{1 + K_{РСКД}(p)} \beta_p(p), \quad (1)$$

$$\theta_x(p) = \frac{K_7(p) \times K_5(p) \times K_6(p)}{1 + K_{РСКД}(p)} X_c(p), \quad (2)$$

Згідно (1) і (2) передаточні функції, що пов'язують $\theta_\beta(t)$ з $\beta_p(t)$ і $\theta_x(t)$ з $X_c(t)$ після підстановки значень передаточних функцій вихідної математичної моделі рівні:

$$\begin{aligned} K_{\theta\beta}(p) &= \frac{\theta_\beta(p)}{\beta_p(p)} = \frac{1}{1 + \frac{k_{ПОВ}}{(T_{\phi Д} p + 1)} \times \frac{(\tau p + 1)(T_M p + 1)k_{ППС} \times k_{ЕМП}}{(T p + 1)(T p + 1) \times (T_q p + 1)} \times \frac{k_{ВД} \times k_{ред}}{(T_M p + 1)(T_K p + 1)}} = \\ &= \frac{(T_{\phi Д} p + 1)(T p + 1)(T p + 1) \times (T_q p + 1)(T_E p + 1) \times p}{(T_{\phi Д} p + 1)(T p + 1)(T p + 1) \times (T_q p + 1)(T_E p + 1) \times p + k_{ПОВ} \times (\tau p + 1) \times k_{ППС} \times k_{ЕМП} \times k_{ВД} \times k_{ред}} = \\ &= \frac{a_0 p^6 + a_1 p^5 + a_2 p^4 + a_3 p^3 + a_4 p^2 + a_5 p}{b_0 p^6 + b_1 p^5 + b_2 p^4 + b_3 p^3 + b_4 p^2 + b_5 p + b_6} = \frac{D_{\theta\beta}(p)}{F_{\theta\beta}(p)} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{\hat{a}_0 p^4 + \hat{a}_1 p^3 + \hat{a}_2 p^2 + \hat{a}_3 p + \hat{a}_4}{\hat{b}_0 p^7 + \hat{b}_1 p^6 + \hat{b}_2 p^5 + \hat{b}_3 p^4 + \hat{b}_4 p^3 + \hat{b}_5 p^2 + \hat{b}_6 p + \hat{b}_7} = \frac{D_{\theta M}(p)}{F_{\theta M}(p)} \quad (4)$$

З (3) і (4) видно, що система по відношенню до задаючої дії $\beta_p(t)$ є астатичною з астатизмом першого порядку, а до збурюючої дії X_c - статичною.

Також було визначено допустимі середньоквадратичні відхилення (СКВ) системи керування, що не повинні перевищувати значення в кутomisній та азимутальній площині:

$$\varepsilon_{\beta} = \sqrt{\theta_{\beta}^2} = \sqrt{0,029} = 0,17^{\circ}. \quad (5)$$

$$\varepsilon_X = \sqrt{\theta_X^2} = \sqrt{2,286 \times 10^{-9}} = 4,781 \times 10^{-5} \text{ рад} = 0,00274 \text{ град}. \quad (6)$$

Окрім СКВ при оцінці точності системи автоматичного керування ДС АФАР бажано визначити її динамічні похибки.

Розраховані допустимі динамічні похибки СК ДС АФАР:

$$\theta_{\beta}(t) = \lim_{p \rightarrow 0} [pK_{\theta\beta}(p)\beta_p(p)], \quad (7)$$

$$\theta_p(t) = 0,09 \text{ град},$$

$$\theta_X(t) = \frac{a_4 M_0}{b_7}, \quad (8)$$

де $a_4 = k_{DM} \times k_{ред} = 1,17 \times 10^{-3}$; $b_7 = 55,3$.

Визначено умови допустимого перехідного процесу СК ДС АФАР. Перехідна складова похибки визначається за виразом:

$$\theta_{\Pi\beta}(t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t} + A_3 e^{p_3 t} + A_4 e^{p_4 t} + A_5 e^{p_5 t} + A_6 e^{p_6 t}, \quad (9)$$

На рис. 1. Зображено графіки перехідної функції $\theta_{\Pi\beta}(t)$ що викликаються одиничною ступінчастою зміною азимута ретранслятора зв'язку (а) і дійсна частотна характеристика (ДЧХ) системи $P_{\Pi\beta}(\omega)$ (б).

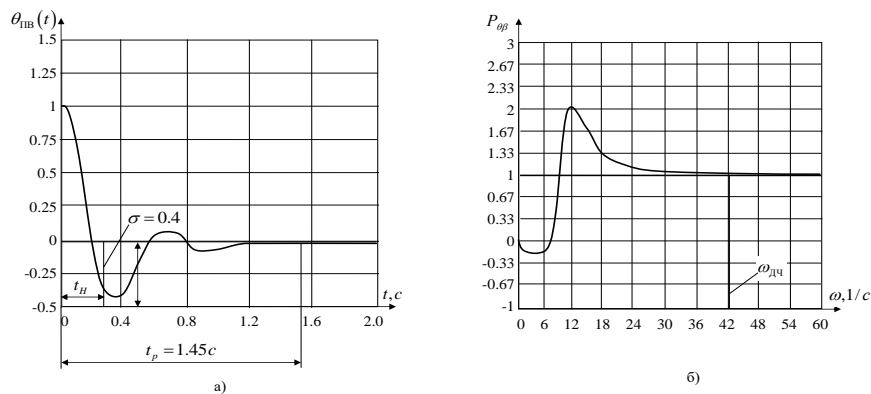


Рис. 1. Графіки перехідної функції $\theta_{\Pi\beta}(t)$ що викликаються одиничною ступінчастою зміною азимута ретранслятора зв'язку (а) і дійсна частотна характеристика (ДЧХ) системи $P_{\Pi\beta}(\omega)$ (б)

Перехідна функція системи автоматичного керування діаграмою спрямованості, що викликається ступінчастою зміною інерційного моменту поворотного механізму антени $X(t)$ визначається за наступною формулою:

$$\theta_{\Pi X}(t) = \frac{2}{\pi} \int_{\omega_{\min}}^{\omega_{\text{ДЧ}}} \frac{P_{\theta X}(\omega)}{\omega} \sin(\omega t) d\omega, \quad (10)$$

де $P_{\theta D}(\omega) = \text{Re}[K_{\theta X}(j\omega)]$ дійсна частотна характеристика (ДЧХ) системи із похибкою, що викликається зміною $X(t)$.

ДЧХ $P_{\theta D}(\omega)$ розрахована за допомогою системи Mathcad зображена на рисунку 2.

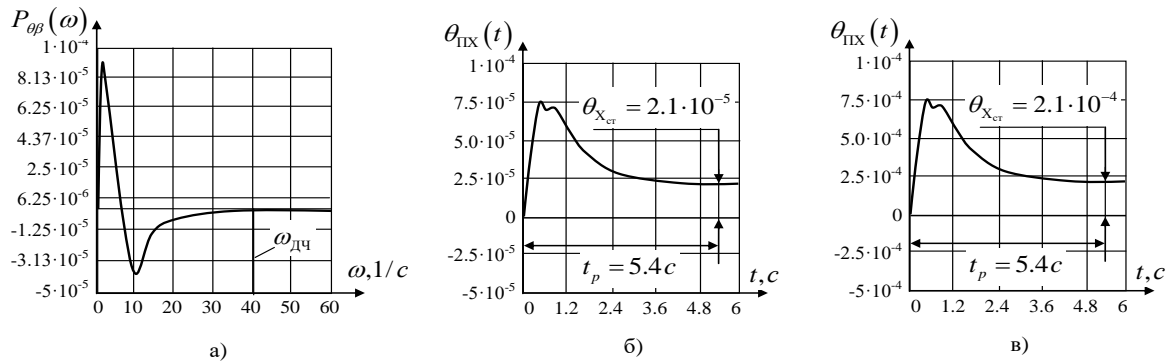


Рис. 2. Графіки перехідних процесів САК ДС, що викликані збуджуючою дією $X(t)$

Крива перехідної функції $\theta_{PIK}(t)$ при одиничній ступінчастій дії $X_0 = 1H \times m$ зображена на рис. 2 б. Згідно графіку часу перехідного процесу $t_p = 5,4c$ статична похибка $X_{xcm} = 2,1 \times 10^{-5}$ рад.

Для випадку $X_0 = 10H \times m$ крива перехідного процесу $\theta_{PIK}(t)$ зображена на рис. 2 в. З графіка випливає, що при цьому статистична похибка $\theta_{xcm} = 2,1 \times 10^{-4}$ рад, викликана інерційним впливом на поворотній механізмі антени $X_0 = 10H \times m$

Структурна схема (математична модель) системи автоматичного керування, в яку ввели один диференціальний зв'язок для непрямого вимірювання $\alpha(t)$ і $X(t)$ зображена на рисунку 3

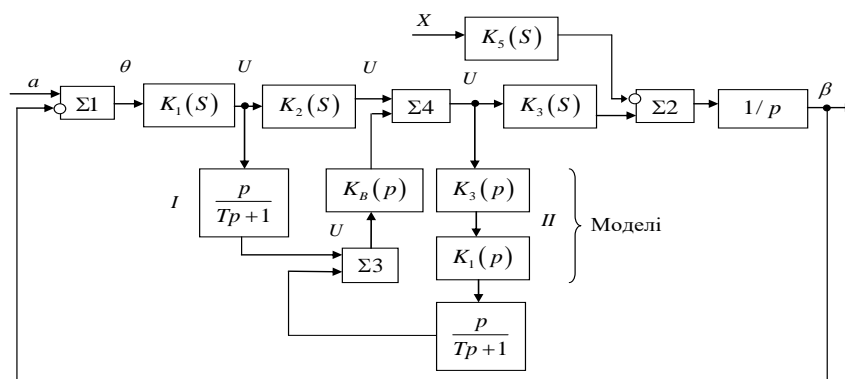


Рис. 3. Структурна схема системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР з диференціальним зв'язком для непрямого вимірювання задаючої $\alpha(t)$ і збуджуючої дії $X(t)$

Диференціальний зв'язок побудований відповідно і складається з ділянки I (прямий ланцюг з передаточною функцією $p/T_p + 1$ і ділянки II (позитивний

зворотний зв'язок, що містить моделі ланок $K_1(p)$ і $K_3(p)$ ланка з передаточною функцією $1/Tp+1$, суматора $\Sigma 3$ і загального елемента з передаточною функцією $K_B(p)$. Сигнал $U_3(t)$ з виходу суматора $\Sigma 3$ через загальну коректуючу ланку $K_B(p)$ поступає на суматор $\Sigma 4$ де складається з перетвореною напругою $U_2(t)$ сигналу похибки $\theta(t)$.

Структурна схема комбінованої САК ДС АФАР з розімкненими зв'язками по задаючій і збурюючій дії еквівалентної САК з диференціальним зв'язком зображено на рисунку 4.

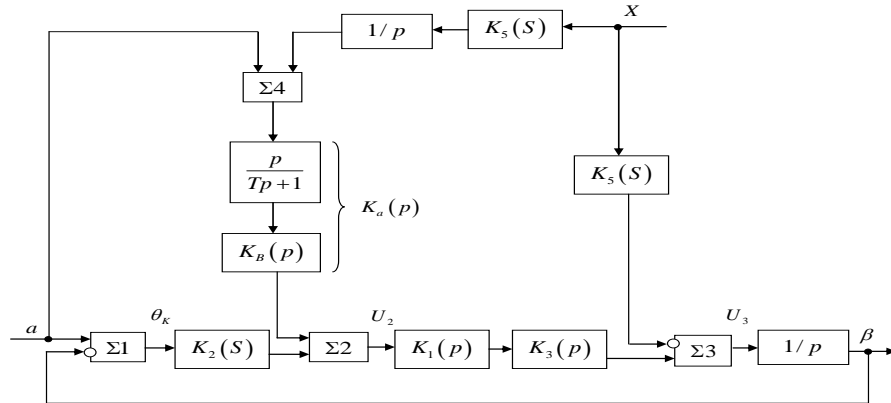


Рис. 4. Структурна схема комбінованої системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР з розімкнутими зв'язками по задаючій $\alpha(t)$ і збурюючій $X(t)$ дії

Таким чином отримано аналітичний опис:

$$\theta_{kX}(p) = \frac{1 - K_1(p)K_3(p)\frac{1}{Tp+1}K_B(p)K_5(p)\frac{1}{p}}{1 + K_1(p)K_2(p)K_3(p)\frac{1}{p}} X(p) \quad (11)$$

Вважаючи, що система з диференціальним зв'язком (рис. 3.) еквівалентна комбінованій системі (рис. 4), проведемо синтез диференційного зв'язку САК ДС АФАР зважаючи на відсутність впливу на стійкість замкнутої частини САК ДС.

Одночасна мінімізація середньоквадратичних і квадратичних інтегральних відхилень перехідних процесів, що викликаються задаючою $\alpha(t)$ і збурюючою $X(t)$ діями проводиться у відповідності із методом мінімізації середньоквадратичних відхилень і квадратичних інтегральних оцінок.

Зменшення СКВ ε_α і ε_X здійснюється за рахунок підвищення порядку астатизму системи щодо задаючої дії $\alpha(t)$ з першого до другого і перетворення статичної системи щодо збурюючої дії $X(t)$ в астатичну з астатизмом першого порядку. Для підвищення порядку астатизма з першого до другого відносно $\alpha(t)$ необхідно ввести в систему першу похідну задаючої дії, а для перетворення статичною в астатичну відносно $X(t)$ слід ввести в систему сигнал, пропорційний

збурюючій дії. Більш наглядним підходом для вирішення задачі оцінки показників якості перехідного процесу системи є розрахунок квадратичної інтегральної оцінки системи автоматичного керування ДС АФАР.

У третьому розділі удосконалена методика підвищення швидкодії та динамічної точності системи автоматичного керування діаграмою спрямованості активних фазованих антенних решіток.

На відміну від існуючих дана методика суттєво скорочує реакцію системи управління на основі отриманих коефіцієнтів підсилення системи керування діаграмою спрямованості активних фазованих антенних решіток. Методика представлена у вигляді алгоритму та наведена на рисунку 5 і складається з наступних етапів.

1) Введення вихідних даних. Вводяться параметри $K_i(p)$ передаточні функції за помилкою САК ДС АФАР i -го елемента структурної схеми САК АФАР; введення постійних часу для ланок САК T_i, c , $G = G_{II}$;

2) Розрахунок показників якості САК ДС АФАР по напрямку на ретранслятор зв'язку;

3) Побудова САК ДС АФАР з диференціальним зв'язком у відповідності із методики оцінки показників якості САК ДС АФАР.

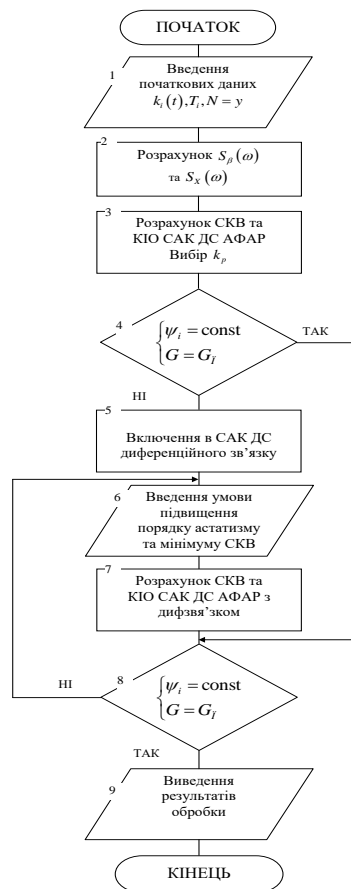


Рис. 5. Алгоритм застосування методики підвищення швидкодії та динамічної точності САК ДС АФАР

На рис.6 зображені графіки залежності $\varepsilon_a = f(k_p)$ побудованій на підставі середньоквадратичного відхилення та квадратично інтегральної оцінки вихідної системи автоматичного керування діаграмою спрямованості по задаючій дії від коефіцієнта підсилення.

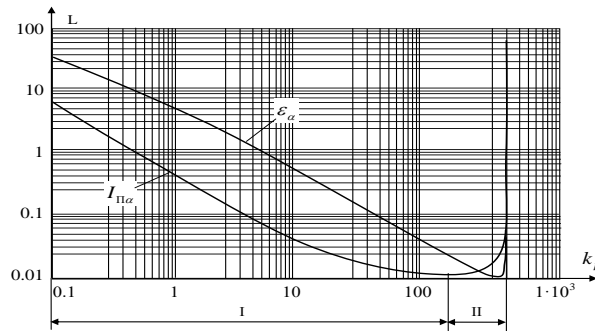


Рис. 6. Графіки залежності середньоквадратичного відхилення та квадратично інтегральної оцінки вихідної САК ДС по задаючій дії від коефіцієнта підсилення

Згідно графіку (рис. 6), як і передбачалося, СКВ ε_a зменшується із збільшення k_p . Мінімальне значення СКВ ε_a досягається при $k_{opt} = 421$ тобто на межі стійкості системи. Графік $I_{\Pi a} = f(k_p)$ має екстремальний характер. Мінімальне значення $I_{\Pi a}$ набуває при $k_{opt} = 134$.

Згідно графіку на рисунку 6 виходить, що на ділянці II для зменшення СКВ ε_a необхідно збільшувати коефіцієнт посилення системи k_p . Проте при цьому зростає квадратична інтегральна оцінка $I_{\Pi a}$ прохідних процесів, тобто має місце суперечність між умовами мінімізації СКВ і квадратичної інтегральної оцінки, що є перешкодою на шляху підвищення показників якості системи.

На рисунку 7 зображено графіки залежності СКВ та квадратично інтегральної оцінки вихідної системи автоматичного керування діаграмою спрямованості по збурюючій дії від коефіцієнта підсилення. З графіка видно, що в системі з принципом керування по відхиленню при збільшенні k_p зменшується як СКВ ε_x так і квадратична інтегральна оцінка $I_{\Pi x}$.

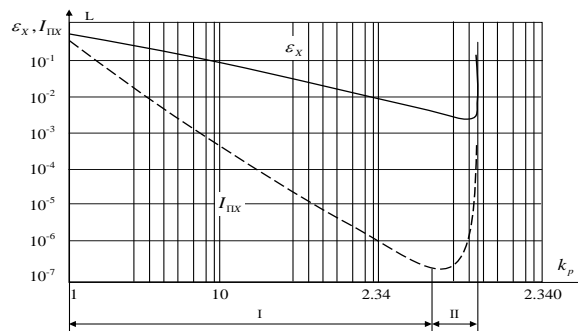


Рис. 7. Графіки залежності середньоквадратичного відхилення та квадратично інтегральної оцінки по збурюючій дії САК ДС по збурюючій дії від коефіцієнта підсилення

Проте, як і при розгляді залежності ε_a і $I_{Па}$ (рис. 6) ділянка II (рис. 7) присутня суперечність між умовами мінімізації СКВ ε_x і КІО $I_{ПХ}$. Порівнюючи рис. 6 і рис. 7 виходить, що ділянка II на рис. 7 є вузкою. Звідси можна зробити висновок, що при компромісному виборі коефіцієнта k_p слід виходити із вимог, що пред'являються до СКВ ε_a і КІО $I_{Па}$ що викликаються задаючою дією $a(t)$, тобто при цьому виходити з рис. 6.

Таким чином, на даному етапі застосування запропонованої методики виконується перевірка можливості застосування вихідної системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР, виходячи із компромісного вибору коефіцієнта підсилення, при якому забезпечується вимога по коефіцієнту помилок на прийомі.

Наступним етапом є перевірка відповідності вимогам по критерію максимуму стабільності дискрету зміні фази сигналу ППМ АФАР $\gamma \rightarrow \text{const}$ по результуючій КІО та задаючому впливу ($I_{\theta\beta} \rightarrow \text{min}$) САК ДС АФАР, і перевірка його відповідності вимогам по $G = G_{П}$ (блок4).

У випадку, коли компромісного вибору параметрів САК ДС АФАР не достатньо для реалізації $\psi_i \rightarrow \text{const}$, $G = G_{П}$ в систему автоматичного керування вводиться диференційний зв'язок побудований відповідно до методики оцінки показників якості САК ДС АФАР і мінімізації СКВ, I (прямий ланцюг з передаточною функцією $p/(Tp+1)$) II (позитивний зворотній зв'язок, що містить моделі ланок $K_1(p)$ і $K_3(p)$ ланка з передаточною функції $1/(Tp+1)$), суматора $\Sigma 3$ і загального елемента з передаточною функцією $K_B(p)$. Сигнал $U_3(t)$ з виходу суматора $\Sigma 3$ через загальну коректуючу ланку $K_B(p)$ надходить на суматор $\Sigma 4$ де складається з перетвореною напругою $U_2(t)$ сигналу помилки $\theta(t)$. Система рівнянь що описує запропоновану структурну схему має наступний вигляд:

$$\begin{cases} \theta(p) = a(p) - \beta(p); \\ U_4(p) = K_1(p)K_2(p)\theta(p) + K_1(p)\frac{p}{Tp+1}K_B(p)\theta(p) + K_3(p)K_1(p)\frac{p}{Tp+1}K_B(p)U_4(p); \\ \beta(p) = K_3(p)\frac{1}{p}U_4(p) - K_5(p)\frac{1}{p}X(p). \end{cases} \quad (12)$$

Новизна розробленої методики полягає в тому, що мінімізація СКВ та КІО систем автоматичного керування ДС АФАР здійснюється завдяки принципу побудови системи автоматичного керування з диференційним зворотнім зв'язком по критерію стабільності фазових зсувів на кожному з модулів АФАР.

Для порівняння до табл. 1 зведено розраховані значення параметрів САК та їх співвідношення відносно вихідної системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР.

Із отриманих значень зведених до табл. 1 можна зробити висновок про суттєве підвищення динамічної точності за допомогою системи автоматичного керування

діаграмою спрямованості АФАР з диференційним зв'язком відносно вихідної системи по задаючій дії ($\varepsilon_a / \varepsilon_{aД}$), по збурюючій дії ($\varepsilon_x / \varepsilon_{xД}$), та підвищення швидкодії по задаючій дії ($I_{Па} / I_{ПаД}$), та по збурюючій ($I_{Пх} / I_{ПхД}$).

Таблиця 1

Значення параметрів вихідної та отриманої САК ДС АФАР та їх основні співвідношення

k_p	2	6	12	60	134	200	300	420
$\varepsilon_{aД}$	$1,367 \cdot 10^{-3}$	$1,367 \cdot 10^{-3}$	$1,366 \cdot 10^{-3}$	$1,371 \cdot 10^{-3}$	$1,423 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,801 \cdot 10^{-3}$	$4,031 \cdot 10^{-3}$
$\varepsilon_a / \varepsilon_{aД}$	1515	513,5	257,9	51,6	22,434	14,183	7,224	1,32
$I_{ПаД}$	$42,27 \cdot 10^{-3}$	$5,069 \cdot 10^{-3}$	$5,264 \cdot 10^{-3}$	$6,224 \cdot 10^{-3}$	$9,229 \cdot 10^{-3}$	0,014	0,025	0,161
$I_{Па} / I_{ПаД}$	51,837	17,641	9,087	2,212	1,238	0,231	0,79	0,686
$\varepsilon_{xД}$	$7,747 \cdot 10^{-4}$	$7,425 \cdot 10^{-4}$	$7,347 \cdot 10^{-4}$	$6,802 \cdot 10^{-4}$	$6,222 \cdot 10^{-4}$	$6,137 \cdot 10^{-4}$	$6,584 \cdot 10^{-4}$	$1,312 \cdot 10^{-4}$
$\varepsilon_x / \varepsilon_{xД}$	465,80	177,26	22,69	20,769	10,253	6,232	4,385	1,361
$I_{ПхД}$	$5,62 \cdot 10^{-7}$	$5,53 \cdot 10^{-7}$	$5,4 \cdot 10^{-7}$	$4,62 \cdot 10^{-7}$	$3,22 \cdot 10^{-7}$	$3,75 \cdot 10^{-7}$	$4,307 \cdot 10^{-7}$	$1,701 \cdot 10^{-7}$
$I_{Пх} / I_{ПхД}$	1,621	6,25	1,22	8,30	2,068	1,156	0,72	0,68

Ефективність застосування розробленої методики оцінюється за формулою

$$\Delta P_E = \frac{P_E^* - P_E}{P_E} \times 100\%, \quad (13)$$

де P_E^* - коефіцієнт використання потужності сигналу із застосуванням запропонованої методики; P_E - коефіцієнт використання потужності сигналу без адаптивної зміни параметрів АФАР.

На рисунку 8 наведено графік залежності потужності сигналу із застосуванням запропонованої методики.

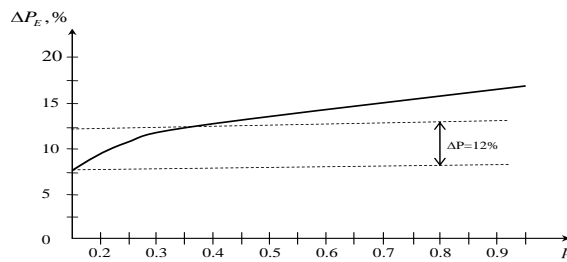


Рис. 8. Графік залежності потужності сигналу із застосуванням запропонованої методики

На рисунку 8 коефіцієнт $p = \psi_i / \Delta\varphi$, де ψ_i - показник фазової корекції i -го елементу АФАР; $\Delta\varphi$ - дискрет встановлення фази сигналу АФАР. Результати моделювання показують, що застосування методики дозволяє підвищити енергетичну ефективність АФАР при випадкових збурюючих діях $X(t)$ на 7-12%.

На рисунку 9 зображена вихідна змодельована САК ДС АФАР, що містить

структурні схеми вихідної системи з принципом керування по відхиленню і системи диференційним зв'язком, на входи яких поступає паралельно задаюча дія $\beta_p(t)$.

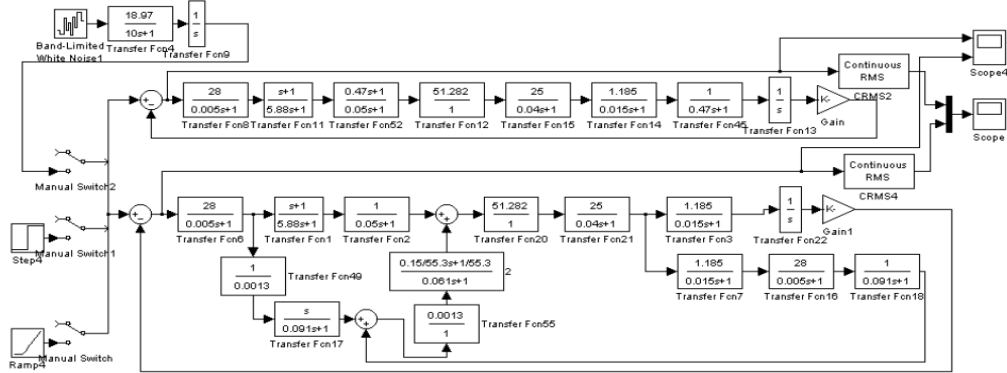


Рис. 9. Імітаційна модель вихідної САК ДС АФАР та системи з диференційним зв'язком, без каналів по збурюючій дії $X(t)$

Оцінка статистичних показників реалізації запропонованої методики наведені на рисунках 10, 11 та 12.

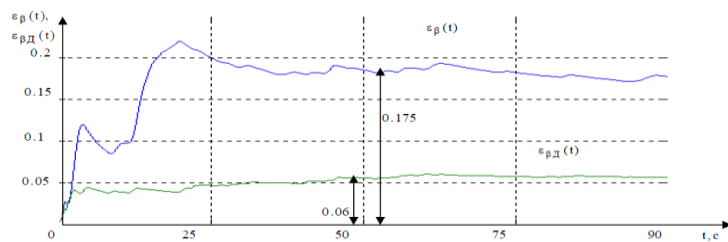


Рис. 10. Графіки середньоквадратичних відхилень САК: а - $\varepsilon_{\beta}(t)$ вихідної системи, б - $\varepsilon_{\beta Д}$ з диференційним зв'язком

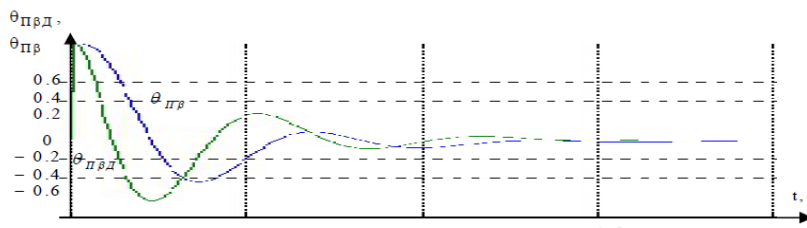


Рис. 11. Графіки зображень перехідних процесів при одиничній ступінчастій задаючій дії $\beta_p(t)$

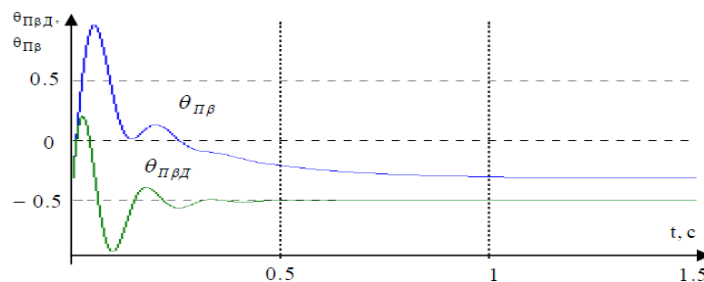


Рис. 12. Графіки зображень перехідних процесів при задаючій дії $\beta_p(t) = \beta_1 t$: а - $\theta_{\beta}(t)$ вихідної системи, б - $\theta_{\beta Д}(t)$ з диференційним зв'язком

У четвертому розділі удосконалена методика адаптивного керування активною фазованою антенною решіткою в умовах інформаційної невизначеності. На відміну від існуючих дана методика відрізняється можливістю максимізації приросту імовірності налаштування на ретранслятор за умови короткотермінової відсутності інформації про просторове положення ретранслятора.

На рисунку 13 зображено бажаний закон зміни вихідної величини, який вибирається з урахуванням вимог, що ставляться до САК, де обмеження на впливи управління, зумовлені енергетичними можливостями системи. Для визначення початкових умов системи, за яких її траєкторія проходить через задані точки в певні моменти часу t_m , $m=0, r$, де $r \leq n-1$, складемо систему рівнянь

$$x_{\text{вих}}(t_m, \xi) = \sum_{v=0}^{n-1} A_v^*(t_m, \xi) \times x_v(\xi), \quad (14)$$

де $x_{\text{вих}}(t_m, \xi)$ – значення вихідної величини системи в моменті часу $t = t_m$, які відповідають бажаній траєкторії руху. При $r = n-1$, вирішення системи рівнянь дозволяє визначити значення складових $x_v(\xi)$.

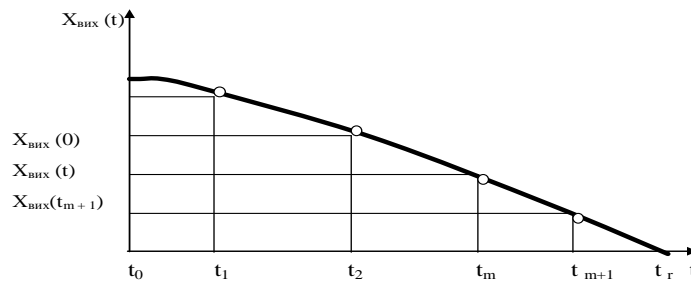


Рис. 13. Бажана траєкторія руху САК

Перетворивши рівняння 14 в систему диференціальних рівнянь та розв'язавши її відносно адаптивних коефіцієнтів отримаємо адаптивні коефіцієнти керування, що наведені в Таблиці 2.

Таблиця 2

Адаптивні коефіцієнти керування

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	4.5	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003
3	9	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005
4	13.5	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008
5	18	-0.011	-0.011	-0.011	-0.011	-0.011
6	22.5	-0.014	-0.014	-0.014	-0.014	-0.014
7	27	-0.016	-0.016	-0.016	-0.016	-0.016
8	31.5	-0.019	-0.019	-0.019	-0.019	-0.019
9	36	-0.022	-0.022	-0.022	-0.022	-0.022
10	40.5	-0.024	-0.024	-0.024	-0.024	-0.024
11	45	-0.027	-0.027	-0.027	-0.027	-0.027

Z=

На рисунку 14 представлений розрахований перехідний процес СК в умовах інформаційної невизначеності.

Тобто отримане рішення системи диференціальних рівнянь дозволяє теоретично обґрунтувати, що введення адаптивних коефіцієнтів у закони управління складною системою спеціального призначення створить умови її вписування в бажану траєкторію супроводження, а це є важливим для компенсації великої кількості збурень, які діють на реальну СКА в процесі керування АФАР. Таким чином, урахування реальних умов функціонування автоматичної системи дає змогу визначити оптимальну побудову алгоритмів керування нею з точки зору стійкості, точності та швидкодії.

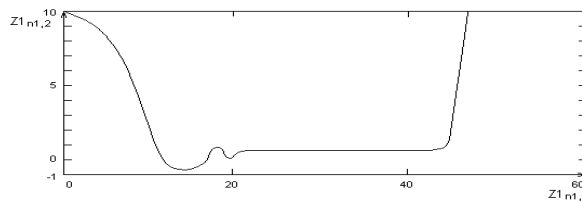


Рис. 14. Розрахований перехідний процес системи керування в умовах інформаційної невизначеності

Аналітична інтерпретація адаптивного методу функціонування СКА під час супроводження ретранслятора зі штучно зниженою ефективною площею віддзеркалення буде мати наступний вигляд:

$$\phi_p = K_1 \phi_u + (N \pm K_2) \dot{\phi}_u t + K_3 \ddot{\phi}_u \frac{t^2}{2}, \quad (15)$$

де ϕ_p - ретранслятор; ϕ_u - кутова швидкість; N - коефіцієнт пропорційності; t - час супроводження; K_n - адаптивний коефіцієнт.

СКА АФАР працює в умовах інформаційної невизначеності, а отже, може бути оптимізована з використанням теорії адаптивних алгоритмів, що реалізуються нечіткими логічними регуляторами і використовують евристичні правила прийняття рішень. Узагальнена структура СКА з нечітким логічним регулятором (НЛР) приведена на рисунку 15.

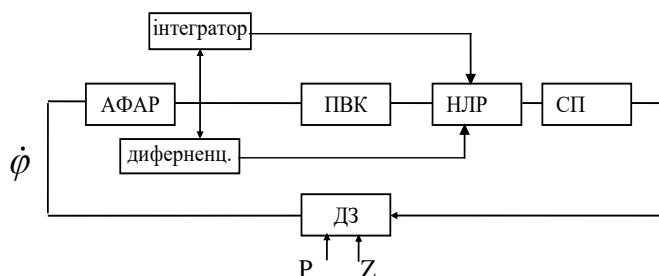


Рис. 15. Структурна схема СКА АФАР з нечітким логічним регулятором

Принцип формування команд керування на виконавчій пристрій СКА полягає у тому, що промінь АФАР утримується в області допустимої динамічної помилки за рахунок гасіння флуктуаційних викидів під час переривання надходження інформації про об'єкт.

Задача реалізації запропонованої методики покладається на НЛР, який структурно може бути включений до СКА і складається з блоку оцінки стану, блоку прийняття рішення і блоку вироблення управляючих впливів (рис. 16).

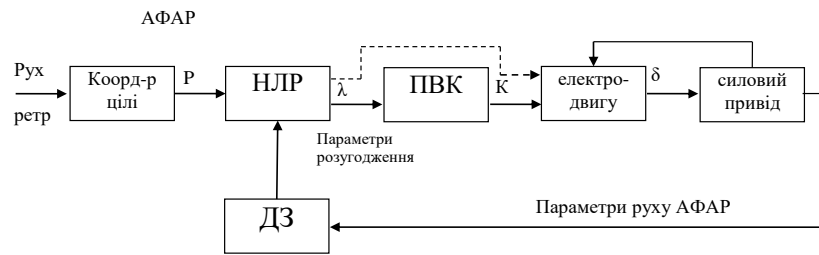


Рис. 16. Структурна схема СКА АФАР яка реалізує адаптивне управління

ВИСНОВКИ

Сукупність наукових положень, сформульованих і обґрунтованих у дисертаційній роботі, складає вирішення наукової задачі в розробці методики підвищення ефективності трансляції інформації в рухомих системах радіозв'язку.

Основними науковими результатами, які отримані дисертантом особисто і виносяться на захист дисертації є:

Вперше розроблена методика оцінки показників якості системи автоматичного керування діаграмою спрямованості активної фазованої антенної решітки при випадковій задаючій та збурюючій діях. Новизна полягає у побудові системи автоматичного керування з диференційним зв'язком еквівалентній комбінованій за рахунок введення похідних випадкової задаючої дії за допомогою розімкненого компенсаційного зв'язку.

Використання запропонованої методики дозволяє здійснити оцінку динамічних характеристик системи автоматичного керування діаграмою спрямованості активної фазованої антенної решітки, та покращити показники якості системи в цілому.

Отримано умови підвищення порядку астатизму для побудованої системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР з диференційним зв'язком для задаючої дії ($\tau_2 = \tau_{2aopt} = 0,00303$) та для випадкової збурюючої дії ($\tau_2 = \tau_{2Xopt} = 0,003451$), а їх наближена рівність свідчить про еквівалентність даної системи комбінувань.

Удосконалена методика підвищення швидкодії та динамічної точності систем автоматичного керування діаграмою спрямованості активних фазованих антенних решіток, яка може бути використана для проектування систем автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР на рухомих мобільних станціях зв'язку (комплексних апаратних зв'язку).

Запропонована методика базується на методах мінімізації середньоквадратичних відхилень систем автоматичного керування, методики оцінки показників якості систем автоматичного керування діаграмою спрямованості активних фазованих антенних решіток. Відображено нові можливості істотного підвищення точності системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР по азимуту на ретранслятор

шляхом введення в систему диференціального зв'язку. За допомогою останньої здійснюється непряме вимірювання задаючої і збурюючої дій.

Завдяки синтезу диференціального зв'язку, виконаному відповідно до умов мінімізації середньоквадратичних відхилень ε_a та ε_x і умовами мінімізації квадратичних інтегральних оцінок перехідних процесів $I_{Па}$ та $I_{ПХ}$, що викликаються задаючою і збурюючою діями по критерію точності встановлення фази сигналу ψ_i вдалося:

усунути суперечність між умовами мінімізації ε_a та $I_{Па}$ а також ε_x і $I_{ПХ}$, істотно підвищити точність відтворення випадкової задаючої дії (при $k_p = 134 \varepsilon_a / \varepsilon_{ад} = 22.434$);

зменшити вплив перешкоди $X(t)$ (при $k_p = 134 \varepsilon_x / \varepsilon_{хд} = 10.253$);

покращити якість перехідних функцій, що викликаються задаючою β_p і збурюючою $X(t)$ діями (при $k_p = 134 I_{Па} / I_{Пад} = 1.238$, $I_{ПХ} / I_{ПХд} = 2.068$).

Показано алгоритм роботи методики по критерію точності встановлення фази сигналу. Згідно алгоритму вихідна система автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР може задовольняти вимогам по коефіцієнту помилок, що виключає необхідність використання системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР з диференційним зв'язком. Що обумовлює універсальність даної методики. Таким чином, запропонована методика підвищення швидкодії та динамічної точності системи автоматичного керування діаграмою направленості АФАР дозволяє здійснювати поетапне керування параметрами системи в залежності від ступеню задоволення потреб по максимуму відношення сигнал/шум на ретрансляторі.

Проведено моделювання вихідної системи САК ДС АФАР з принципом керування по відхиленню та системи з диференційним зв'язком, на входи яких подається паралельно задаюча дія, а також системи з диференційним зв'язком, на який паралельно подається збурююча дія викликана випадковим положенням апертури АФАР.

Результати моделювання на ПЕОМ системи керування з високою достовірністю підтвердили справедливість отриманих теоретичних розрахунків і переконали в можливості суттєвого підвищення показників якості системи автоматичного керування діаграмою спрямованості активних фазованих антенних решіток за допомогою введення в систему диференційного зв'язку. Результати моделювання показали, що застосування запропонованої методики дозволяє підвищити енергетичну ефективність активної фазованої антенної решітки при випадкових збурюючих діях $X(t)$ на 7-12%.

Обґрунтовані адаптивні коефіцієнти керування АФАР в умовах інформаційної невизначеності, які забезпечують компенсацію початкової помилки налаштування на ретранслятор та плавні умови функціонування системи АФАР ретранслятора під час сеансу зв'язку.

Розроблені рекомендації щодо технічної системи керування АФАР з НЛР при послідовному та паралельному включенні.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Батрак Є.О. Алгоритм керування випромінюванням електромагнітної енергії в активних антенних системах / Є.О. Батрак // Сучасний захист інформації – 2016. - № 1 – С. 14-23.
2. Батрак Є.О. Аналіз динамічних характеристик системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР на ретранслятор / Є.О. Батрак // Зв'язок. - 2016. - №2(120). - С. 31-33.
3. Батрак Є.О. Методи та алгоритми обробки радіолокаційної інформації в багатопозиційних системах зі змінною просторовою конфігурацією / С.В. Толюпа, В.А. Дружинін, В.С. Наконечний, Н.В. Цьопа, Є.О. Батрак. – К.: Логос, 2014. - 251 с.
4. Батрак Є.О. Забезпечення енергоінформаційної сумісності радіотехнічних систем зі змінною просторовою конфігурацією / Є.О. Батрак, І.Р. Пархомей // Сучасний захист інформації – 2015. - № 3 – С. 81-84.
5. Батрак Є.О. Обґрунтування параметрів антен систем автоматичного радіомоніторингу / Є.О. Батрак, І.Р. Пархомей, Н.В. Цьопа // Адаптивні системи автоматичного управління. 2016. - № (1) 28. - С. 90-95.
6. Батрак Є.О. Резонансно-фазова обробка інформації / Є.О. Батрак, І.Р. Пархомей, Н.В. Цьопа // Зв'язок. - 2016. - №3(121). - С. 18-22.
7. Батрак Є.О. Сучасний стан та тенденції розвитку багатопозиційних систем радіолокації із змінною просторовою конфігурацією / Є.О. Батрак // Збірник матеріалів науково-технічної конференції студентів, аспірантів, викладачів та науковців, «Актуальні проблеми забезпечення інформаційної безпеки держави», 18 грудня 2014 р., ДУТ м. Київ – К.: 2014. - С. 79.
8. Батрак Є.О. Перспективи застосування вузьконаправлених антенних систем у складі комплексу зв'язку / Є.О. Батрак // Міжнародна науково-технічна конференція «Актуальні проблеми розвитку науки і техніки», 22 жовтня 2015 р., ДУТ, м. Київ. – ДУТ, 2015. – С. 109-110.
9. Батрак Є.О. Обґрунтування економічної доцільності застосування вузько направлених антенних систем у складі комплексу зв'язку для побудови сучасних телекомунікаційних систем та мереж / Є.О. Батрак // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні інформаційно-телекомунікаційні технології». Т2. Актуальні питання побудови сучасних телекомунікаційних систем і мереж. 17-20 листопада 2015 р., ДУТ, м. Київ. - 2015. - С. 8-9.
10. Батрак Є.О. Перспективи застосування смарт-антен в системах рухомого зв'язку / Є.О. Батрак // VIII Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми інформатизації». 11-12 квітня 2017 р., ДУТ, м. Київ. – 2017. – С. 45.
11. Батрак Є.О. Застосування смарт-антен в системах рухомого зв'язку / Є.О. Батрак // Збірник матеріалів Науково-технічна конференція студентства Навчально-наукового інституту Телекомунікацій та Інформатизації факультету Телекомунікацій «Актуальні питання розвитку телекомунікацій в Україні» 10 травня 2017 р., ДУТ, м. Київ. – 2017. – С. 95-97.

АНОТАЦІЯ

Батрак Є.О. Методика підвищення ефективності вузькоспрямованої трансляції інформації в рухомих системах радіозв'язку – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій. – Державний університет телекомунікацій, Київ, 2017.

У дисертаційній роботі проведено аналіз системи автоматичного керування діаграмою спрямованості рухомої АФАР із обмеженою кількістю приймально-передавальних модулів, при їх використанні у складі рухомих комплексних апаратних зв'язку. Аналіз показав ряд недоліків, які приводять до значного збільшення середньоквадратичних відхилень, квадратичних інтегральних оцінок; збільшення часу перехідних процесів, що призводить до зниження коефіцієнта корисної дії антенної системи; зростання коефіцієнту похибок на прийомі; відсутність можливості реакції системи на збурюючі дії, що прикладені до будь-якої точки системи у разі невідповідності заданому рівню сигнал/шум.

З метою усунення виявлених недоліків та підвищення швидкодії і динамічної точності системи автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР в роботі були отримані наступні наукові результати.

Розроблена методика оцінки показників якості системи керування діаграмою спрямованості активної фазованої антенної решітки за випадкових збуджуючих впливів, методика відрізняється від існуючих можливістю визначення моменту входження в зв'язок в динаміці руху апаратною та ретранслятором.

Удосконалена методика підвищення швидкості та динамічної точності систем автоматичного керування діаграмою спрямованості активних фазованих антенних решіток, яка може бути використана для проектування систем автоматичного керування діаграмою спрямованості АФАР на рухомих мобільних станціях зв'язку (комплексних апаратних зв'язку). Запропонована методика суттєво скорочує реакцію системи управління на основі отриманих коефіцієнтів підсилення системи керування.

Удосконалена методика адаптивного керування активною фазованою антенною решіткою в умовах інформаційної невизначеності. Можливість даної методики полягає у максимізації приросту імовірності налаштування на ретранслятор за умови короткотермінової відсутності інформації про просторове положення ретранслятора.

Ключові слова: діаграма спрямованості, активна фазована антенна решітка, система керування, інформаційна невизначеність, нечіткий логічний регулятор, диференційний зв'язок, середньоквадратичне відхилення, ретранслятор.

АННОТАЦИЯ

Батрак Е.А. Методика повышения эффективности узконаправленного трансляции информации в подвижных системах радиосвязи – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – радиотехнические устройства и средства телекоммуникаций. - Государственный университет телекоммуникаций, Киев, 2017.

В диссертационной работе проведен анализ системы автоматического управления диаграммой направленности подвижной АФАР с ограниченным количеством приемо-передающих модулей, при их использовании в составе подвижных комплексных аппаратных связи. Анализ показал ряд недостатков, которые приводят к значительному увеличению среднеквадратических отклонений, квадратичных интегральных оценок; увеличение времени переходных процессов, что приводит к снижению коэффициента полезного действия антенной системы; рост коэффициента ошибок на приеме; отсутствие возможности реакции системы на возмущающие действия, приложенные к любой точки системы в случае несоответствия заданному уровню сигнал / шум.

С целью устранения выявленных недостатков и повышения быстродействия и динамической точности системы автоматического управления диаграммой направленности АФАР в работе были получены следующие научные результаты.

Разработана методика оценки показателей качества системы управления диаграммой направленности активной фазированной антенной решетки по случайных возбуждающих воздействий, методика отличается от существующих возможностью определения момента вхождения в связь в динамике движения аппаратной и ретранслятором.

Усовершенствованная методика повышения скорости и динамической точности систем автоматического управления диаграммой направленности активных фазированных антенных решеток, которая может быть использована для проектирования систем автоматического управления диаграммой направленности АФАР на подвижных мобильных станциях связи (комплексных аппаратных связи). Предложенная методика существенно сокращает реакцию системы управления на основе полученных коэффициентов усиления системы управления.

Усовершенствованная методика адаптивного управления активной фазированной антенной решеткой в условиях информационной неопределенности. Возможность данной методики заключается в максимизации прироста вероятности настройки на ретранслятор при краткосрочной отсутствии информации о пространственном положении ретранслятора.

Ключевые слова: диаграмма направленности, активная фазированная антенная решетка, система управления, информационная неопределенность, нечеткий логический регулятор, дифференциальная связь, среднее отклонение, ретранслятор.

ANNOTATION

Batrak E. Method of increasing the efficiency of narrow-line information transmission in mobile radio systems - Manuscript.

A thesis submitted in fulfillment of PhD in technical sciences in specialty 05.12.13 - radioengineering devices and telecommunications means. - State University of Telecommunications, Kyiv, 2017.

In the thesis the analysis of the automatic control system of the directional pattern of a mobile AFAR with a limited number of transceiver modules is carried out, with their use in the mobile complex hardware communications. The analysis showed a number of shortcomings that lead to a significant increase in standard deviations, quadratic integral estimates. The main disadvantages are: increasing the time of transient processes, which leads to a decrease in the efficiency of the antenna system; an increase in the error rate at reception; the absence of the possibility of the system reaction to disturbing actions applied to any point of the system in case of a mismatch with the given level of signal / noise. In order to eliminate the identified shortcomings and improve the speed and dynamic accuracy of the AFAR automatic control system, the following scientific results were obtained.

The technique for estimating the quality indicators of the directivity control system of the active phased array antenna by random exciting influences is developed, the technique differs from the existing ones in the ability to determine the moment of connection in the dynamics of the movement of the hardware and the repeater.

For the first time, a technique has been developed for increasing the speed and dynamic accuracy of automatic beam pattern control systems for active phased array antennas, which can be used to design AFAR automatic control systems on mobile mobile communication stations (complex hardware communications). The proposed methodology significantly reduces the response of the control system based on the obtained gain factors of the control system.

An advanced technique for adaptive control of an active phased array antenna under conditions of information uncertainty. The possibility of this technique is to maximize the increase in the probability of tuning to the repeater in the short-term absence of information on the spatial position of the repeater.

Key words: directional pattern, active phased array, control system, information uncertainty, fuzzy logic controller, differential coupling, average deviation, repeater.