

УДК 621. 396

ФЕДОТОВ Б. М., старший науковий співробітник, кандидат технічних наук, доцент

ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИКИ РСА З БАГАТОКАНАЛЬНОЮ ПРИЙОМОПЕРЕДАЧЕЮ СИГНАЛІВ

В статті запропоновано варіант структури багатоканального когерентного прийомопередавача радіолокаційної станції з синтезованою апертурою надвисокого розрізнення. Проведено оцінку можливостей підвищення її енергетичного потенціалу та дальності дії

Ключові слова: радіолокаційна станція з синтезованою апертурою, надвисоке розрізнення, когерентність, багатоканальний приймач

Для багатьох практичних застосувань радіолокаційних засобів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) бажано мати надвисоке розрізнення (НВР) функції радіолокаційного відбиття ділянок, що зондуються, у реальному масштабі часу на максимально можливій дальності.

Відомо, що істотне зменшення часу обробки відбитих сигналів при синтезуванні апертури досягається шляхом використання методу гармонійного аналізу (ГА) [1]. Розв'язання проблеми структурного обмеження дальності дії радіолокаційної станції з синтезованою апертурою (РСА) при НВР, яке обумовлено сферичністю фронту хвилі зондувального сигналу, наведене в [2]. Структура РСА НВР підвищеної дальності дії, побудована по методу ГА, розглянута в [3]. У той же час розглянутий в [3] удосконалений метод ГА не розглядає енергетичну сторону питання.

Метою даної статті є оцінка можливостей підвищення енергетичного потенціалу РСА НВР.

Відомим методом підвищення енергетичного потенціалу є збільшення тривалості зондувального імпульсу з наступним прийманням і стиском відбитих сигналів [4]. Іншим напрямком збільшення енергетичного потенціалу РСА є використання антенної системи максимально можливого розміру. При цьому для формування діаграми спрямованості (ДС) використовується кілька випромінювачів, які формують багатопрорізову ДС. У процесі приймання сигнали окремих ДС складаються на високій частоті [5]. Така антенна система збільшує енергетичний потенціал станції в число раз, рівне кількості окремих сформованих променів.

Ще більш істотне збільшення енергетичного потенціалу РСА, а отже, і дальності дії можна добитися, використовуючи випромінювання й приймання сигналів за допомогою окремих антен багатоканального прийомопередавача, та здійснюючи об'єднання сигналів, прийнятих окремими антенами, у процесі приймання й обробки у вже оцифрованому вигляді на просторовій частоті.

Варіант структури n -канального когерентного прийомопередавача РСА наведений на рис. 1.

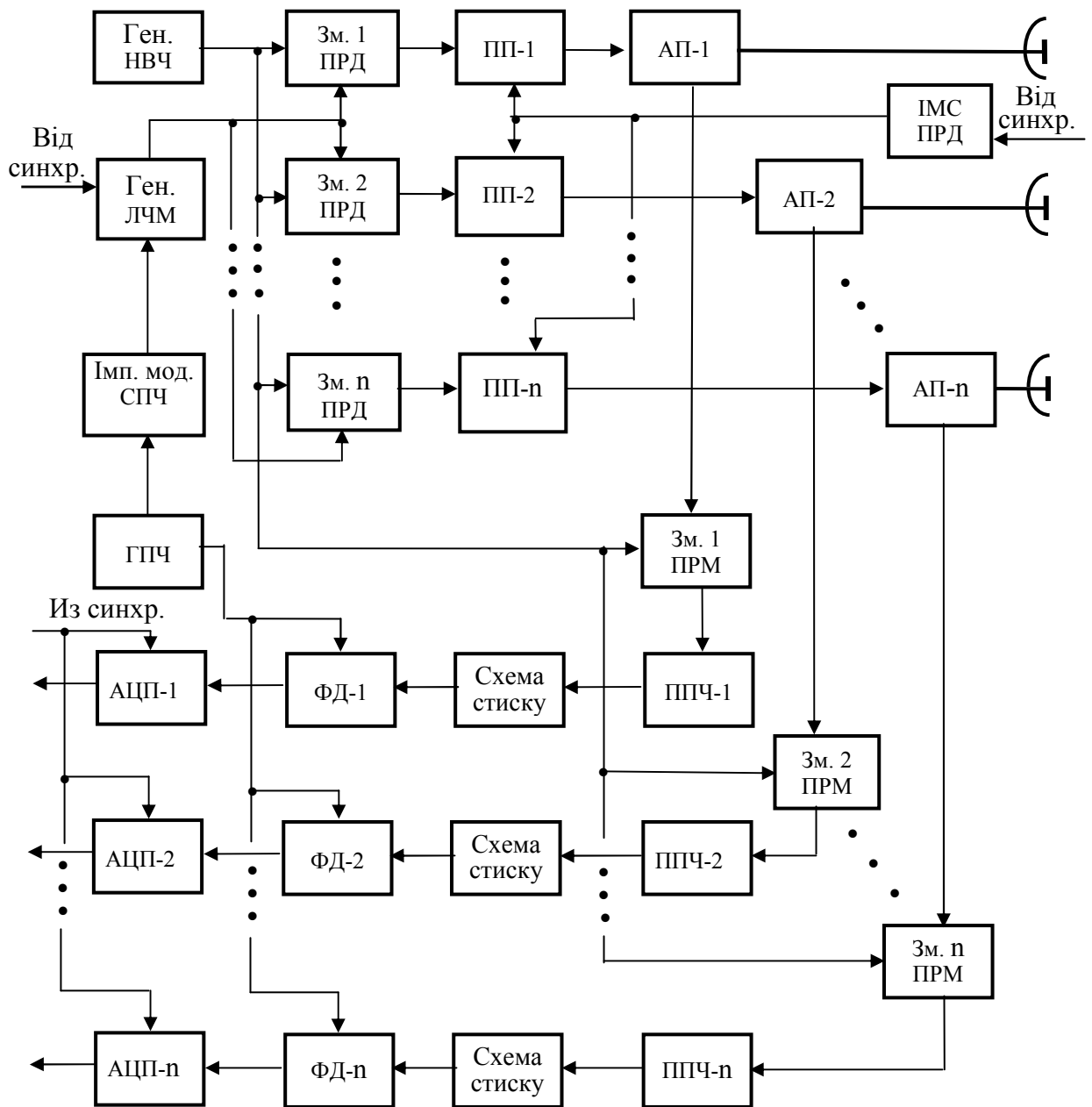


Рис. 1. Структура n -канального когерентного прийомопередавача

Передавач включає: стабілізований генератор проміжної частоти (ГПЧ) сигнал з його виходу подається, по-перше, через імпульсний модулятор, керований синхронізатором, на вхід генератора лінійно-частотно-модульованого (ЛЧМ) сигналу. По-друге - на фазові детектори приймачів окремих антен РСА. Вихідні імпульси генератора ЛЧМ-сигналу подаються на перші входи змішувачів передавача окремих антен. Вихід високостабільного генератора високої (надвисокої) частоти підключається до другого входу змішувачів передавача окремих каналів формування зондувальних сигналів і до змішувачів окремих каналів приймання.

Підсилювачі потужності зондувального сигналу підключаються через антенні перемикачі (АП) до входів антен.

Приймач РСА включає змішувачі антен, один із входів яких з'єднується з виходом відповідного антенного перемикача, а інший - з виходом генератора високої частоти. Виходи змішувачів каналів приймання підключається до широкосмугових підсилювачів проміжної частоти (ППЧ) відповідних каналів. Далі сигнали поступають до схем стиску ЛЧМ-сигналу, прийнятого окремими каналами, а потім – до входів фазових детекторів (ФД) каналів приймання відбитих сигналів окремих антен. Виходи окремих каналів приймання подаються на входи аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) для оцифрування.

Основною технічною складністю при розробці багатоканального прийомопередавача смугової РСА надвисокого розрізнення є забезпечення її когерентності. Тобто ключовою конструктивною особливістю прийомопередавача є необхідність ідентичності всіх однотипних пристроїв окремих каналів передачі й приймання, а також фідерних з'єднань і, що особливо важливо, їх лінійних розмірів. Крім того, у процесі виготовлення й налаштування необхідне калібрування каналів.

Когерентність і синфазність випромінюваних і прийнятих сигналів в окремих каналах забезпечується використанням одного задаючого генератора високої частоти й загального генератора проміжних частот для усіх каналів формування зондувального сигналу й приймання відбитого сигналу, а також калібруванням каналів у процесі виготовлення і налаштування прийомопередавача.

Двигуни сучасних літальних апаратів у змозі забезпечити енергетичні потреби джерел живлення підсилювачів потужності РСА.

Енергетичний потенціал Π у наведеній на рис. 1 структурі РСА дорівнює

$$\Pi = \sum_{i=1}^n P_{\text{изл. ср. } i} \cdot G_{\text{нр. } i} \cdot G_{\text{нрм. } i} \quad (1)$$

де $P_{\text{вип. ср. } i}$ – середня потужність випромінювання i -го каналу; $G_{\text{нр. } i}$, $G_{\text{нрм. } i}$ – коефіцієнти спрямованої дії (КСД) антен окремих каналів станції, n – кількість каналів.

Теоретично потенційно можлива середня потужність випромінювання в РСА дорівнює половині імпульсної потужності (час випромінювання дорівнює часу приймання). Однак відомі технології стиску імпульсів забезпечують коефіцієнт стиску не більш 1...2 тисяч разів [4]. Тобто практично при розрізненні від 0,1 до 1 метра тривалість розтягнутого імпульсу лежить у межах 0,67...6,7 мкс. Реальна шпаруватість зондувального сигналу при НВР має значення від 100 до 1000.

Таким чином середня потужність зондувального сигналу, як мінімум, на два порядки менше максимально можливої імпульсної потужності випромінювання.

У відомих РСА використовується одна приймально-передавальна антенна система, тобто $G_{\text{нр.}} = G_{\text{нрм.}}$.

Крім того, КСД пропорційний горизонтальному розміру антени d_r .

При використанні багатопроменевої антенної системи в РСА та перекритті ДС окремих антен на половинному рівні напруженості електричного поля E_m сумарна ширина ДС θ_Σ антенної системи в горизонтальній площині при складанні сигналів від окремих антен дорівнює [5]:

$$\theta_\Sigma = \frac{\lambda}{l_{\text{PT}}} [\mu(n-1)+1], \quad (2)$$

де λ – довжина хвилі зондувального сигналу; l_{pg} – горизонтальний розмір рефлектора n -променевої антенної системи; n – число окремих променів; μ – коефіцієнт перекриття ДС сусідніх антен, який при перекритті по напруженості поля на рівні $0,5E_m$ рівний:

$$\mu = 1 + \frac{\theta_{0,5} - \theta_{0,7}}{\theta_{0,7}}, \quad (3)$$

де $\theta_{0,7}$, $\theta_{0,5}$ – ширина ДС окремого променя антенної системи при її відліку на рівнях $0,7E_m$ і $0,5E_m$, відповідно.

При однаковому розрізненні за шляховою дальністю однопроменевої та багатопроменевої антенних систем РСА відношення їх КСД рівне:

$$\frac{G_{мл}}{G_{ол}} = \frac{d_{г\ мл}}{d_{г\ ол}} = \frac{\lambda[\mu(n-1)+1]\beta}{\beta\lambda} = \mu(n-1)+1 \quad (4)$$

Таким чином, за рахунок використання багатопроменевої антенної системи енергетичний потенціал РСА може бути збільшений у $[\mu(n-1)+1]^2$ разів. Це можливо в тому випадку, коли використовується багатоканальний приймач-передавач, підсумовування відбитих сигналів від окремих антен виконується на просторовій частоті й потужність випромінювання кожного окремого променя багатопроменевої антенної системи дорівнює потужності випромінювання однопроменевої антенної системи. Діаграма росту енергетичного потенціалу багатопроменевої РСА в порівнянні з однопроменевою при однаковому розрізненні та однакої потужності випромінювання кожного променя наведена на рис. 2 а, а діаграма відносного збільшення дальності дії – на рис. 2 б.

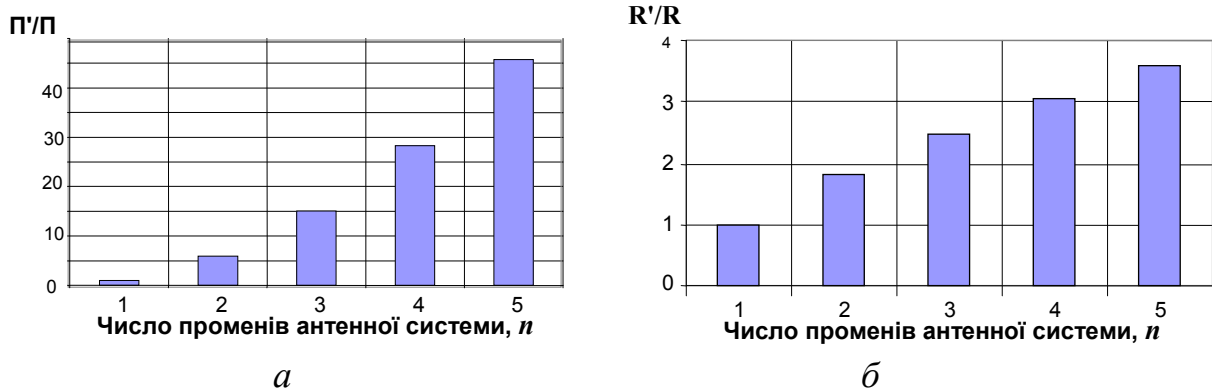


Рис. 2. Діаграми росту енергетичного потенціалу (а) та відносного збільшення дальності дії (б) багатопроменевої РСА

Слід зазначити, що наведене порівняння структур РСА з однопроменевою і багатопроменевою антенними системами з окремими каналами передачі і приймання є коректним для варіанта побудови, коли імпульсна потужність у каналі (хвилеводі) обмежена, наприклад, напругою пробою хвилеводу.

Таким чином, використання роздільного випромінювання і приймання сигналів у РСА від декількох окремих антен і прийомопередавачів з наступним формуванням сумарної ДС приймальної антени на просторовій частоті дозволяє збільшити дальність дії в 2...3 рази в порівнянні із класичною однопелюстковою антеною. А, в порівнянні з багатопелюстковою антеною системою, РСА з

формуванням сумарної ДС приймальної антени на частоті прийнятого сигналу – на 45...70 %. Цей шлях підвищення дальності дії РСА НВР слід вважати перспективним, оскільки, по-перше, можливості підвищення енергетичного потенціалу за рахунок збільшення імпульсної потужності випромінювання практично вичерпані. По-друге, підвищення енергії опромінення цілі за рахунок збільшення тривалості зондувального імпульсу при НВР обмежене величиною коефіцієнта стиску імпульсів у практично використовуваних технологіях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / В. Н. Антипов, В. Т. Горяинов, А. Н. Кулин и др. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.; ил.
2. Федотов Б.М. Спосіб синтезування апертури РЛС бокового огляду і пристрій для його здійснення / Федотов Б.М., Станкевич С.А., Пономаренко С.А. Патент UA №92116 від 27.09.2010р.
3. Федотов Б.М. Цифрова система обробки сигналів радіолокатора з покадровим синтезуванням апертури та вирівнюванням фронту хвилі зондувального сигналу / Федотов Б.М., Слюсарчук О.О. ДНДІА, Збірник наукових праць. Вип. № 7(14), 2011. С. 100-108.
4. Справочник по радиолокации / под ред. М. Скольника.– Том. 3. Радиолокационные устройства и системы., перевод под ред. А.С. Веницкого.– М.: Сов. Радио, 1979. – 528 с.
5. Федотов Б.М. Спосіб створення діаграм спрямованості смугової радіолокаційної станції із синтезованою апертурою й пристрій для його здійснення. // Федотов Б.М., Хомік М.М. Патент UA №97702 від 12.03.2012р.

Надійшла до редакції 10.10.2013