

**В.Й. Климченко, В.О. Тютюнник, М.Р. Арасланов, К.А. Тах'ян**

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ТИПУ ПЕРЕДАВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ТА ПАРАМЕТРІВ ЗОНДУВАЛЬНОГО СИГНАЛУ В СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ РЛС ВІЯВЛЕННЯ ГІПЕРЗВУКОВИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

**Анотація.** Обґрунтовано вибір типу передавального пристрою та визначені доцільні значення параметрів зондувальних сигналів в радіолокаційній станції виявлення гіперзвукових літальних апаратів.

**Ключові слова:** радіолокаційна станція, гіперзвукові літальні апарати, передавальний пристрій, зондувальний сигнал.

**Abstract.** The choice of the type of transmission device is substantiated and the appropriate values of the parameters of sounding signals in the radar station for the detection of hypersonic aircraft are determined.

**Keywords:** radar, hypersonic aircraft, transmitting device, sounding signal.

В сучасних потужних радіолокаційних станціях (РЛС) огляду повітряного простору передавальні пристрої будуються за схемою "збудник – підсилювач потужності". Така схема дозволяє формувати зондувальні сигнали з істиною внутрішньою когерентністю, що зводить до мінімуму втрати при когерентному накопиченні сигналів і підвищує ефективність фільтрації сигналів на тлі пасивних перешкод. Формування малопотужної напруги збудження доцільно здійснювати цифровим способом або на проміжній частоті, або безпосередньо на робочій частоті РЛС, в залежності від використовуваної розробниками елементної бази. Швидкодії сучасної елементної бази достатньо для цифрового формування високостабільних коливань на частотах в кілька ГГц [1].

Роль підсилювачів потужності зондувальних сигналів в оглядових РЛС тривалий час виконували вакуумні підсилювачі надвисокочастотних (НВЧ) сигналів, незважаючи на низку властивих їм [2] недоліків.

Поява в середині ХХ століття напівпровідникових пристроїв, відкрило нову еру радіоелектроніки. Проте до початку ХХІ століття не існувало передавальних пристроїв в повністю твердотільному виконанні, навіть не дивлячись на істотні їх переваги перед вакуумними пристроями.

Недоліком твердотільних передавальних пристроїв часто вважають неможливість отримання від одного каскаду необхідної потужності. Але в поєднанні з технологіями фазованих антенних решіток (ФАР) означений недолік обертається черговою перевагою. Замість того, щоб доводити за допомогою фідерних ліній високочастотну енергію потужного передавального пристрою до випромінювачів ФАР (з неминучими при цьому значними втратами), достатньо розташувати малогабаритні та малопотужні підсилювальні модулі безпосередньо біля випромінювачів і досягати необхідної потужності через когерентне складання сигналів у просторі. Поєднання технологій твердотільних передавальних пристроїв і ФАР призвело до виникнення технологій активних фазованих антенних решіток (АФАР).

Використання технологій АФАР не тільки зменшує в рази ваго-габаритні характеристики передавальних пристроїв та усуває втрати високочастотної енергії в протяжних фідерних трактах, а й підвищує надійність всього пристрою в цілому, оскільки відмова навіть кількох підсилювальних модулів приводить лише до певного погіршення характеристик АФАР, а не до відмови всієї системи випромінювання сигналів. Крім того, низькі пікові потужності дозволяють використовувати малопотужні перемикачі передача-прийом в АФАР, в разі використання їх одночасно для роботи і на випромінювання, і на прийом.

Отже, серед усіх типів передавальних пристроїв, що використовуються в оглядових РЛС розвідки повітряного простору, в РЛС виявлення та супроводження гіперзвукових літальних апаратів (ГЗЛА) доцільним є використання твердотільних передавальних пристроїв, побудованих в сукупності з фазованими антенними решітками за єдиною технологією АФАР.

Побудова передавального пристрою за принципом просторового складання сигналів, сформованих уніфікованими твердотільними підсилювачами, фактично диктує необхідний тип зондувального сигналу. Оскільки твердотільні підсилювачі не можуть генерувати високі

імпульсні потужності, то необхідна середня потужність досягається через використання якомога триваліших модулюючих імпульсів. А для забезпечення необхідної точності та розрізняювальної здатності по дальності потрібно використовувати внутрішньоімпульсну частотну, фазову, чи комбіновану модуляцію.

Отже, в РЛС виявлення ГЗЛА можуть використовуватись лише так звані складні зондувальні сигнали з певною внутрішньоімпульсною модуляцією, для яких  $\Pi \cdot \tau_i \ll 1$ , де  $\Pi$  – ширина спектра зондувального сигналу, а  $\tau_i$  – тривалість зондувального сигналу. Добуток  $\Pi \cdot \tau_i$  називають також базою сигналів. Іноді такі сигнали в технічній літературі називають широкосмуговими радіолокаційними сигналами [3].

Тип внутрішньоімпульсної модуляції зондувального сигналу принципового значення не має. І частотна, і фазова модуляції мають свої переваги і недоліки, які в сукупності урівноважують їхні можливості. Вибір ширини спектра сигналів здійснюють з міркувань забезпечення необхідної точності та розрізняювальної здатності по дальності. Для забезпечення вимог щодо означених тактико-технічних характеристик достатньою буде ширина спектра приблизно 150...200 кГц.

Тривалість сигналів  $\tau_i$  вибирають зазвичай якомога більшою, але з урахуванням певних обмежень. По-перше, твердотільні передавачі мають обмеження щодо шпаруватості їхньої роботи  $Q = \frac{T_{\Pi}}{\tau_i}$ , де  $T_{\Pi}$  – період повторення зондувальних сигналів. Величина  $Q$  зазвичай не може бути менше 10. Отже має бути  $\tau_i \leq 0,1 \cdot T_{\Pi}$ . По-друге, велика тривалість зондувального сигналу (ЗС) призводить до виникнення ефекту "сліпої дальності", коли приймальні пристрої не можуть обробляти прийняті сигнали через дію потужного зондувального сигналу.

Для боротьби з ефектом "сліпої дальності" використовують складені зондувальні сигнали (рис. 1). В кожному такті зондування спочатку випромінюють зазвичай "гладкий" (без внутрішньоімпульсної модуляції) імпульс, тривалість якого визначається, як зворотна величина спектру основного зондувального сигналу і в РЛС виявлення ГЗЛА має становити 5...6 мкс. Цим імпульсом здійснюється зондування зони "сліпої дальності", після чого випромінюється основний зондувальний сигнал, яким здійснюється зондування простору поза "сліпою дальністю".



Рисунок 6.11 – Використання складених зондувальних сигналів для усунення ефекту "сліпих дальностей"

Якщо енергії "гладкого" імпульсу не вистачає для перекриття "сліпої дальності", то вводять ще один допоміжний імпульс, але уже з внутрішньоімпульсною модуляцією. Базу такого імпульсу вибирають значно меншою, ніж база основного сигналу, і такою, щоб енергії цього допоміжного імпульсу вистачило для перекриття "сліпої дальності" основного зондувального сигналу. А "сліпа дальність", яку створює цей допоміжний імпульс, перекривається "гладким" імпульсом.

В РЛС виявлення ГЗЛА період повторення зондувальних сигналів має бути не менше 6 мс для однозначного виявлення цілей на дальностях до 700...800 км і максимально припустима тривалість основного зондувального сигналу  $\tau_i$  буде становити 600 мкс. Отже, "сліпа дальність" протягнеться до 90 км. База цього сигналу при ширині його спектру 150...200 кГц буде становити  $\Pi \cdot \tau_i = 90 \dots 120$ . А це значить, що енергія "гладкого" імпульсу є в стільки ж разів меншою, ніж енергія основного зондувального сигналу. Максимальна дальність виявлення цілей з використанням такого "гладкого" імпульсу буде в  $\sqrt[4]{90 \dots 120} \approx (3 \dots 3,5)$  раз менше, ніж максимальна дальність виявлення цілей з використанням основного ЗС, і буде становити приблизно 200...250 км, що значно перебиває зону "сліпої дальності".

Отже, в РЛС виявлення ГЗЛА прийнятним буде складений зондувальний сигнал з одним допоміжним немодульованим ("гладким") сигналом тривалістю 5...6 мкс і основним складномодульованим зондувальним сигналом з шириною спектра  $\Pi = (150 \dots 200)$  кГц і тривалістю 600 мкс, тобто з базою  $\Pi \cdot \tau_i = 90 \dots 120$ .

#### **Список використаних джерел**

1. Шмаков С. Б. Энциклопедия радиолобителя. Современная элементная база / С. Б. Шмаков. М.: Наука и техника. 2012.– 383 с.
2. Ремезов А. От магнетронов до твердотельных передатчиков. Бюро военно-политического анализа. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://bvpa.ru/от-магнетронов-до-твердотельных-пере/> Опубликовано 22.08.2017.
3. Ширман Я.Д. Использование широкополосных зондирующих сигналов в задаче наведения зенитных управляемых ракет / Я.Д. Ширман, П.В. Потелешенко, И.И. Сачук, В.М. Орленко / Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, 2008, випуск 2(17). С. 55–60.

***Климченко Василь Йонович***, кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, [vasklim@i.ua](mailto:vasklim@i.ua).

***Тютюнник Владислав Олександрович***, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного відділу Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, [tvlad1970@gmail.com](mailto:tvlad1970@gmail.com).

***Арасланов Михайло Рімович***, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, [armiri@ukr.net](mailto:armiri@ukr.net).

***Тах'ян Кристина Альбертівна***, старший науковий співробітник Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, [madi27@ukr.net](mailto:madi27@ukr.net).

***Vasyl Klimchenko***, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine, [vasklim@i.ua](mailto:vasklim@i.ua).

***Vladyslav Tiutiunnyk***, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of Scientific Research Department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine, [tvlad1970@gmail.com](mailto:tvlad1970@gmail.com).

***Mikhail Araslanov***, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine, [armiri@ukr.net](mailto:armiri@ukr.net).

***Kristina Tahyan***, Senior Researcher of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine, [madi27@ukr.net](mailto:madi27@ukr.net).