

н ф



К. В. Скульський, О. І. Малюк

**УСТАТКУВАННЯ ЛТАКА,
ПРИЗНАЧЕНЕ ДЛЯ БОРОТЬБИ
З РАДІОЕЛЕКТРОННИМИ
ЗАСОБАМИ ПРОТИВНИКА**

Частина I

1998

629.73
С46

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ

Державний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"

К.В. Скульський, О.І. Малюк

**УСТАТКУВАННЯ ЛІТАКА, ПРИЗНАЧЕНЕ
ДЛЯ БОРОТЬБИ З РАДІОЕЛЕКТРОННИМИ ЗАСОБАМИ ПРОТИВНИКА**
Частина I
Навчальний посібник



mt0056709

Научно-техническая
библиотека
"ХАИ"



НАУКОВО

БІБЛІО

Национального а
университета
Харківського
«Харківський авіаційний інститут»

Харків "ХАІ" 1998

623.6 (045.8)

УДК 629.735.33.089 + 465.479

Устаткування літака, призначене для боротьби з радіоелектронними засобами противника. Ч. I / К. В. Скульська, О. І. Малюк. - Навч. посібник. - Харків: Держ. аерокосмічний ун-т "Харк. авіац. ін-т", 1998. - 34 с.

У першому розділі посібника розглянуто задачі радіотехнічної розвідки та принципи керування перехоплювальними станціями, а в другому - питання визначення частоти радіотехнічних засобів та встановлення напрямку на них.

Для студентів, що проходять військову підготовку за профілем ВЕ.

Іл. 19. Бібліогр.: 4 назви

Рецензенти: канд. техн. наук, доц. А.С. Васильченко, канд. техн. наук А.Ф. Величко

©

Державний аерокосмічний університет
ім. М.С. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут", 1998

ВСТУП

Радіоелектронні засоби (РЕЗ) складають основу систем керування зброєю. Водночас вони є найуразливішими ланками протиповітряної оборони (ППО), тому що можуть бути знайдені за випромінюванням та їх роботі може бути спричинена радіопротидія (РПД).

Радіотехнічна розвідка (РТР) як засіб одержання інформації про радіотехнічні засоби противника - найважливіша складова частина РПД. Без радіотехнічного розвідування неможливо організувати ефективну радіопротидію. Знання засобів визначення параметрів розведувальних РЕЗ дозволяє успішно вирішувати задачі радіотехнічної розвідки, а звідси - і радіопротидії.

I. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ЗАДАЧІ РАДІОТЕХНІЧНОЇ РОЗВІДКИ

I.1. Параметри сигналів, призначених для розвідки

Радіоелектронні засоби складають основу систем керування військами та зброєю у всіх видах озброєних сил сучасних держав. У найхарактернішій формі це проявляється у протиповітряній та протиракетній обороні (ПРО). Розвиток радіоелектроніки зробив можливим надходження на озброєння ППО керованих засобів ураження - авіаційної та зенітної керованої ракетної зброї, що значною мірою підвищило можливість ураження літальних апаратів противника однією ракетой.

Якщо у другу світову війну для ураження одного літака треба було витратити в середньому до 500-600 снарядів ствольної зенітної артилерії, то зараз для враження літака достатньо однієї-двох зенітних керованих ракет (ЗКР).

Водночас РЕЗ є і однією з найуразливіших ланок системи ППО, тому що вони виявляються за випромінюванням і на їх роботу може вплинути радіопротидія, тобто протидія радіотехнічними засобами.

Радіопротидія - один з найважливіших видів забезпечення бойових дій авіації по подоланні засобів ППО противника.

Радіотехнічна розвідка як засіб одержання інформації про радіолокаційні засоби противника є важливою складовою частиною радіопротидії. Без РТР неможливо організувати ефективну радіопротидію. Крім того, РТР має самостійне значення, є складовою частиною повітряної або загальновійськової розвідки.

Як зазначалося раніше, РТР є складовою частиною військової розвідки. На відміну від усіх видів військової розвідки, інформацію про противника у випадку РТР одержують шляхом аналізу сигналів його РЕЗ. Призначенням РТР є виявлення:

- системи радіоелектронного забезпечення противника;
- параметрів радіоелектронних засобів;
- місцеположення та складу військ противника.

Крім РТР існують інші види розвідки з використанням радіоелектронних засобів, наприклад:

- радіолокаційна розвідка за допомогою літальних РЛС з метою виявлення та впізнання об'єктів противника;
- телевізійна розвідка за допомогою літальних телевізійних пристроїв шляхом перегляду визначених районів території противника та передачі телевізійної інформації, яку цікавить штаб;
- радіорозвідка з метою розкриття засобів радіо та радіорелейного зв'язку;
- теплова розвідка теплоконтрастних об'єктів за допомогою тепловиделювачів;
- радіотехнічна розвідка для виявлення радіоактивних об'єктів;
- радіометрична розвідка для визначення рівня радіації;
- магнітометрична розвідка з метою виявлення магнітних аномалій (наприклад, підводних човнів у зануреному положенні).

РТР є одним з основних засобів одержання інформації про параметри та дислокацію РЕЗ противника та їх координат.

РТР проводиться у процесі польотів літаків розвідувальної авіації над своєю територією або територією противника. При сильній протидії засобів ППО противника вона може виконуватися короткочасно, з обходом найнасичченіших засобами ППО районів. РТР широко використовують і в мирні часи. РТР підрозділяють на попередню (ПРТР) та безпосередню (БРТР). Мета ПРТР - спостереження за збройними силами противника в цілому в інтересах стратегічного планування. Вона здійснюється у період підготовки авіаційних і ракетних об'єднань до бойових дій та забезпечує розвідувальною інформацією штаби. Крім того, мета ПРТР - одержання достовірних даних про об'єкти ППО та ППО противника, визначення місцеположення та параметрів його РЕЗ. БРТР (виконавча) ведеться з метою

безпосереднього забезпечення наступних бойових дій. Вона виявляє розташування та параметри РЕЗ противника. На основі інформації, одержаної протягом безпосередньої розвідки, приймається рішення про вибори та застосування засобів протидії. За допомогою БРТР виконуються такі завдання:

- знаходиться несуча частота;
 - вимірюється напрямок надходження хвилі (місцеположення РЕЗ);
 - впізнається образ розвідувального РЕЗ (РЕЗ знаходження, радіолінія і т.п.);
 - проводиться вимірювання (оцінка) параметрів розвідувальних РЕЗ (частота повторення, довжина імпульсів, структура бокових пелюстків антени, поляризація, вид модуляції і т.п.);
 - записуються дані розвідки в запам'ятовуючий пристрій.
- Результати БРТР негайно застосовуються екіпажами літаків для прийняття рішення про вибір тактики радіопротидії, що склалася у бойовій обстановці, тобто:
- встановлюється необхідність подолання виявленого РЕЗ;
 - вибирається оптимальний режим роботи передавачів перешкод (вид перешкод, вид перешкодової модуляції, момент включення та виключення передавачів перешкод);

- визначається склад сил та засобів радіопротидії.

У процесі подолання ППО тактика радіопротидії може змінюватися у зв'язку з конкретною обстановкою. В кожному конкретному випадку знаходиться найоптимальніший режим роботи засобів радіопротидії, що забезпечує найбільшу можливість подолання ППО противника.

1.2. Принципи керування перешкодовими станціями

Кінцевою метою РТР є визначення :

- найнебезпечніших РЕЗ ППО противника, подолання яких необхідно здійснити негайно;
- раціонального виду перешкодового сигналу та режиму роботи передавача перешкод.

При визначенні виду перешкодового сигналу та режиму роботи передавача перешкод необхідно враховувати, що РПД не тільки завдає противнику інформаційний збиток, але й дає йому деякі

нові можливості для дій. Наприклад, встановлення смуги дипольних перешкод знижує ймовірність ураження цілей, що укриваються, але водночас підвищує ймовірність виявлення всієї групи літаків у цілому.

Активна перешкода при визначених обставинах може полегшити противнику виявлення цілі та наведення на неї засобів ураження.

У процесі подолання ППО противника велике значення має вибір моменту початку роботи засобів РПД (момент включення передавача перешкод, автоматів скидання відбивачів, пуск пасток та ін.).

Якщо засоби РПД включаються дуже рано, то це збільшує дальність, на якій ППО противника знаходить ціль і може, з переходом до роботи по даній перешкоді, організувати протидію засобам РПД. Таким чином, існують оптимальний час включення засобів РПД та оптимальна тривалість їх роботи.

Якісну залежність ефективності ППО об'єкта (контуру перерозташування) від дальності включення засобів РПД показано на рис. I.I.

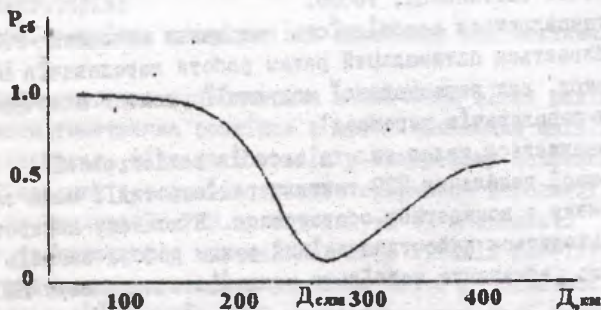


Рис. I.I

Різні контури ППО мають різну чутливість їх ефективності відносно моменту включення засобів РПД та тривалості їх роботи.

На рис. I.I показано якісну залежність ефективності контуру перерозташування від дальності включення засобів РПД. Під ефективністю контуру перерозташування розуміють кількість успішних атак, кількість залів по літаках, що атакуються, та ін. У цьому випадку по осі ординат відкладається можливість ураження цілі $P_{сб}$. Протидія РЕЗ контурів перерозташування може здійснюватися

різними засобами РДЦ. Моменти включення та тривалість їх роботи повинні визначатися заздалегідь на підставі даних, одержаних за допомогою завчасної РТР, і далі уточнюватися в процесі подолання засобів ППО.

Перешкоди РЕЗ контурів наведення і самонаведення виробляються в основному індивідуальними засобами РДЦ.

Оптимальний час включення перешкод радіоелектронним засобом контурів наведення та самонаведення можна знайти за моментом пуску ракети або переходом бортових радіолокаційних станцій (РЛС) винищувачів, РЛС супроводження цілі, зенітнокерованих ракет і головок самонаведення керованих ракет у режим автоматичного супроводження.

У найпростішому випадку цей момент визначається за допомогою станцій сповіщення про опромінювання типу "Сирена". Однак точність визначення моменту включення засобів РДЦ на підставі даних, які надходять від станції попередження про опромінювання, у ряді випадків явно недостатня. Тому правильніше буде застосовувати спеціальні засоби розвідки та сповіщення, які дозволять знаходити момент включення з більшою точністю.

Якщо на прикриваючому літаку є необхідний комплекс розвідувальної апаратури, що дозволяє знаходити та вимірювати параметри опромінювальних сигналів, то з його допомогою можна встановити:

- наявність автоматичного безперервного супроводження літака РЛС, підсвічування цілі або бортової РЛЗ винищувача (ракети);
- напрямок атаки, а також інші необхідні дані (приблизна точність кутового супроводження, момент пуску ракети).

Момент пуску ракети можна визначити за швидким підвищенням потужності теплових або інфрачервоних випромінювань внаслідок запуску стартового або маршового двигуна.

На рис. 1.2 зображено блок-схему пристрою, що визначає момент включення засобів протидії при здійсненні перешкод контуру наведення та самонаведення.

Пристрій складається з приймальної антени А, ширококутового приймача та чотирьох паралельно ввімкнених аналізаторів.

Сигнали бортової РЛС головки самонаведення або наземної РЛС підсвічування приймаються антенною системою А, підсилюються у ширококутовому приймачі ПРМ, далі надходять на аналізатори,

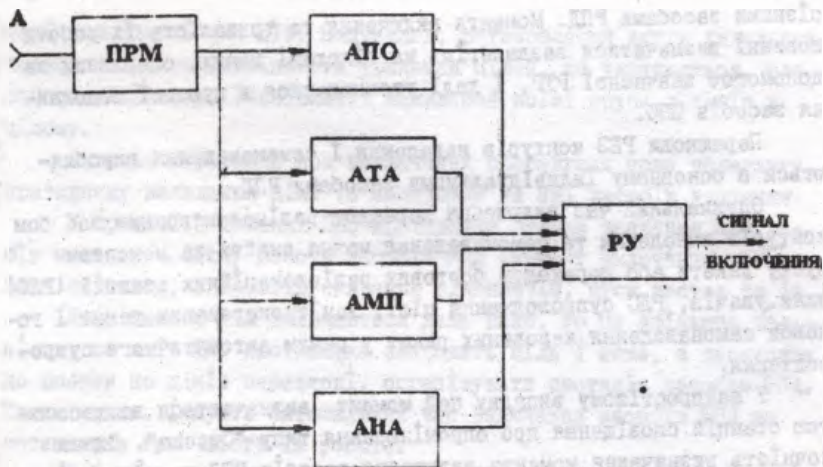


Рис. 1.2

підключені паралельно ходу приймача та служать для аналізу параметрів приймальних сигналів. Аналізатори виконують такі функції:

- аналізатор початку опромінювання (АПО) реєструє факт автоматичного супроводження цілі, видає сигнал при переході РДС з режиму пошуків у режим автосупроводження;

- аналізатор точності автосупроводження (АТА) вимірює помилку супроводження (наприклад, по глибині амплітудної модуляції у випадку активного кінцевого сканування) та коли помилка супроводження стає менше наперед заданої;

- аналізатор моменту пуску (АМП) визначає момент пуску ракети;

- аналізатор на рямку атаки (АНА) визначає напрямок, з якого здійснюється атака.

Сигнали зі входів аналізаторів надходять до розв'язувального пристрою (РП), який на підставі одночасного аналізу сигналів, що надходять, визначає момент включення апаратури перехоплення. У найпростішому випадку розв'язувальний пристрій являє собою релейну схему. Для апостеріорного формування векторів огляд РЕЗ

можуть використовуватися БЦОМ. Зазначимо, що, базуючись на сучасному рівні розвитку БЦОМ у бортовому комплексі радіотехнічної розвідки та керування перешкодовими сигналами, слід орієнтуватися на них значною мірою як на засоби обробки та узагальнення розвідувальної інформації.

Відповідальне рішення стосовно боротьби з РЕЗ противника навіть на борту літака мусить приймати людина, відповідним чином підготовлена до цього.

Отже, ефективність засобів боротьби з РЕЗ противника, так само як і будь-якого засобу озброєної боротьби, залежить від технічних показників і (особливо) тактичної досконалості його використання. Тому кваліфіковане наукове обґрунтоване відпрацювання тактики використання таких засобів боротьби має певне значення.

2. ПЕЛЕНГАЦІЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ В ІНТЕРЕСАХ РАДІОТЕХНІЧНОЇ РОЗВІДКИ

2.1. Структурна схема типової станції радіотехнічної розвідки

Типова станція радіотехнічної розвідки складається з антенного пристрою пеленгаційної частини, пристрою, що запам'ятовує та обробляє одержану інформацію, телеметричного пристрою, апаратури контролю, блоків живлення.

Блок-схему станції РТР зображено на рис. 2.1.

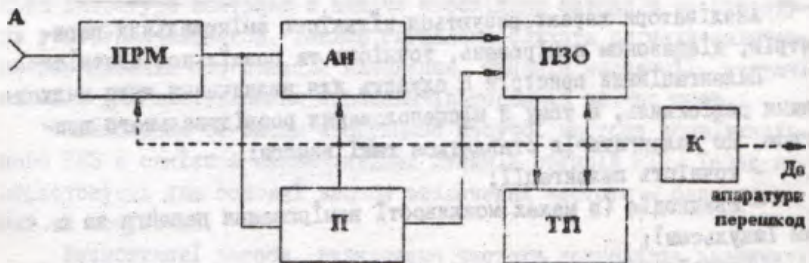


Рис. 2.1

Антенний пристрій А мусить бути широкопasmовим, мати високу пропускну спроможність і забезпечувати пеленгацію джерела з необхідною точністю. Крім того, антенний пристрій станції РТР

повинен мати мінімальні бокові пелюстки та добру розв'язку по високій частоті від полів, породжених передавальними апаратами, встановленими на літаку. Задовольнити всі потреби за допомогою однієї антени часто буває неможливо, і тому завжди використовують кілька антен, які перекривають увесь розвідувальний частотний діапазон. За розвідувачі пристрої іноді править спеціальна гостронаправлена антена.

Приймальні станції РТР характеризуються такими основними параметрами:

- перекривним частотним діапазоном;
- часом перестроювання (пропускною спроможністю);
- точністю визначення параметрів сигналів, що приймаються;
- роздільною спроможністю.

Аналізатор Ан параметрів приймального сигналу служить для оцінки параметрів і впізнання образу розвідувального пристрою. З його допомогою визначають часові, спектральні та енергетичні параметри приймальних сигналів, а також поляризація випромінювання розвідувального пристрою. До часових параметрів сигналів відносяться:

- тривалість сигналів і часові інтервали між ними;
- вид модулюючої функції.

До спектральних параметрів сигналів належать: високочастотний спектр оригінальної сигналу. Енергетичною характеристикою приймального сигналу є його потужність і функції спектральної густини.

Аналізатори характеризуються кількістю змінювальних параметрів, діапазоном вимірювань, точністю та роздільною здатністю.

Пеленгаційний пристрій П служить для визначення кута надходження радіохвиль, а тому й місцеположення розвідувального пристрою. До пеленгаторів ставляться такі вимоги:

- точність пеленгації;
- швидкодія (в межах можливості вимірювання пеленга за с. - ним імпульсом);
- роздільна здатність.

Пристрій, що запам'ятовує та обробляє одержану інформацію (ІЗО), забезпечує автоматичне запам'ятовування параметрів приймальних сигналів: частоти, довжини імпульсів періоду слідування

та ін. Цей пристрій на підставі даних, що видаються аналізатором, мусить впізнавати образ розвідувального РЕЗ. Тепер впізнавання образу здійснюється оператором станції розвідки, однак ведуться роботи по автоматичному впізнаванню образу за допомогою ЕЦМ.

Найважливішою характеристикою ПЗО є точність і тривалість запам'ятовування несучої частоти. Для цієї мети розроблено дуже багато різних пристроїв, частину з яких розглянемо далі. Інші параметри приймальних сигналів запам'ятовуються шляхом їх запису на широкопasmову магнітну стрічку за допомогою відеомагнітофонів або шляхом фотографування екранів індикаторів. Результати радіотехнічної розвідки можуть бути також зареєстровані у пам'яті ЕЦМ.

Телеметричні пристрої (ТП) служать для передачі розвідувальної інформації на Землю. Особливе значення мають телеметричні пристрої при введенні попередньої РТР за допомогою штучних супутників Землі та безпілотних літаків-розвідувальників. У станціях попередньої радіотехнічної розвідки телеметричні пристрої можуть бути відсутні, тому що розвідувальна інформація використовується безпосередньо в процесі подолання ПЗО противника для організації радіопротидії.

Апаратура контролю К забезпечує автоматичний або напівавтоматичний контроль за роботою окремих блоків. За її допомогою повністю здійснюється керування станцією розвідки. Важливою функцією апаратури контролю є видача необхідних сигналів на апаратуру утворення перешкод. Такими сигналами служать сигнали вклучення передавачів або станцій виявлення, функція модуляції, керуючі сигнали для настроювання передавачів перешкод за частотою.

Визначення та запам'ятовування несучої частоти розвідувального РЕЗ є однією з найважливіших функцій станції РТР. Тепер використовують два основні засоби визначення частоти — безпошуковий та пошуковий.

Безпошукові засоби визначення частоти дозволяють визначати несучу частоту практично миттєво, а пошукові — потребують деякого часу у зв'язку з необхідністю перестроювання приймача.

Безпошукові засоби при значному часі розвідки спроможні вимірювати несучу частоту більш точно та забезпечують високу роздільну здатність.

Пеленгація РЕЗ дозволяє визначити їх місцезположення і наводити на них антени передавачі перетход. Пеленгаційні пристрої станції РТР мусять задовольняти такі основні вимоги:

- забезпечити вимірювання пеленгатора за можливо короткий час;
- мати досить високу точність та роздільну здатність за кутівими координатами.

У РТР використовуються безпошукові та пошукові засоби пеленгації джерел випромінювання. Безпошукові засоби пеленгації дозволяють визначити напрямок на джерело випромінювання миттєво при будь-якому розміщенні джерела відносно антени пеленгатора (в межах дальності радіотехнічної розвідки).

Пошукові засоби пеленгації дають можливість визначати напрямок на джерело шляхом послідовного огляду розвідувального простору. При цьому не визначення пеленга джерела випромінювання потребується деякий час. При використанні обох засобів визначення напрямку можуть застосовуватися всі види радіопеленгації: амплітудний; фазовий; частотний.

Найпоширенішими радіопеленгаторами є амплітудні та фазові.

2.2. Безпошукові засоби пеленгації

У найпростішому випадку безпошукове визначення напрямку на джерело можна здійснити за допомогою багатоканального просторово-вибірчого устаткування. Блок-схему такого устаткування, призначеного для визначення напрямку однієї площості, зображено на рис. 2.2, а.

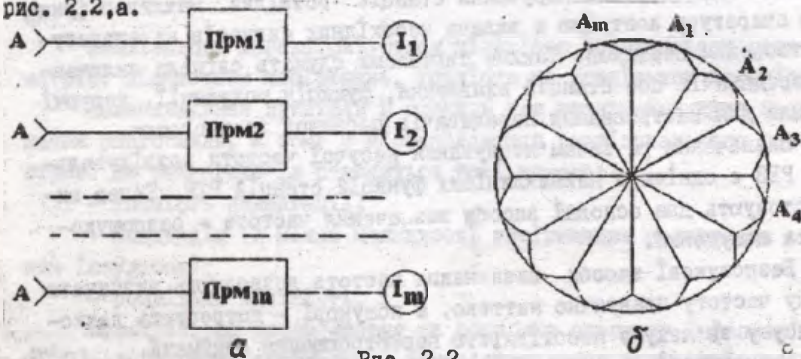


Рис. 2.2

Приймання сигналів здійснюється антенами (A_1, A_2, \dots, A_m) з всіх напрямків.

Діаграми направленості (ДН) зображено на рис. 2.2,б. Точність визначення напрямку та роздільна здатність при цьому встановлюються половинною ширини ДН на рівні 0,1...0,05.

Висока точність визначення пеленга забезпечується за допомогою великої кількості антен (приймальних каналів). Це є істотним недоліком описаної схеми. Хороші характеристики має так званий функціональний пеленгаторний пристрій, принцип роботи якого базується на функціональній залежності вихідної сумарної напруги двох або кількох антен від напрямку надходження радіохвиль.

Прикладом функціональних пеленгаторних пристроїв можуть бути відомі з радіонавігації з Н-образною антенною системою, а також автоматичні радіоскомпаси, в яких для визначення напрямку використовується рамковий радіопеленгатор.

Функціональні пеленгатори мають високу точність визначення напрямку і дозволяють визначити два радіопередавачі, які працюють на одній частоті. Їх успішно використовують у діапазоні метрових хвиль в різних наземних радіотехнічних пристроях. При використанні їх на літаках у метровому діапазоні хвиль виявляються серйозні труднощі, пов'язані з габаритними розмірами антен і особливо з неоднаковим впливом корпусу літака на діаграму направленості за частотним діапазоном.

2.3. Пошукові засоби пеленга ІІ

Ці засоби знайшли широке використання в літакових станціях радіотехнічної розвідки.

Напрямок на джерело випромінювання визначається за допомогою готронаправленої антени, яка обертається, суміжно з електронно-випромінюваним індикатором, в якому смуга розгортки переміщується синхронно з обертанням антени, утворюючи координатну шкалу. Відмітка прийнятого сигналу може бути амплітудною або локсказісною.

Звичайно пеленгація здійснюється методом максимуму. Пеленг на радіопередавач у цьому випадку визначається кутовим положенням готронаправленої антени, при якому сигнал розвідувального РЕЗ на вході пеленгатора досягає максимального значення.

Розглянемо особливості визначення пеленга на РЛС, що працює у режимі огляду (рис. 2.3).

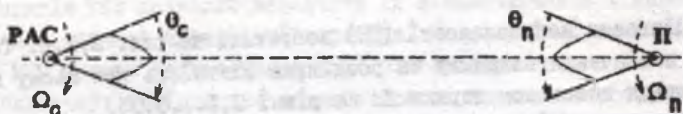


Рис. 2.3

При обертанні антени РЛС з кутовою частотою Ω_c у точці приймання II одержуємо серію імпульсів, що прямують з частотою $F_c = \Omega_c / 2\pi$.

Тривалість серії τ_c характеризується шириною ДН (на рис. θ_c), тобто $\tau_c = \theta_c / 2\pi F_c = \theta_c / \Omega_c$.

На рис. 2.4 зображено азимутально-часову діаграму пошуків, побудовану в прямокутних координатах. Часові відрізки, під час яких можливе приймання сигналів РЛС, позначено червоними лініями. Відно (рис. 2.4), що у загальному випадку напрямок на РЕЗ знаходиться з деякою ймовірністю, яка залежить від ширини променів антени РЛС (θ_c) і станції РТР (θ_n).

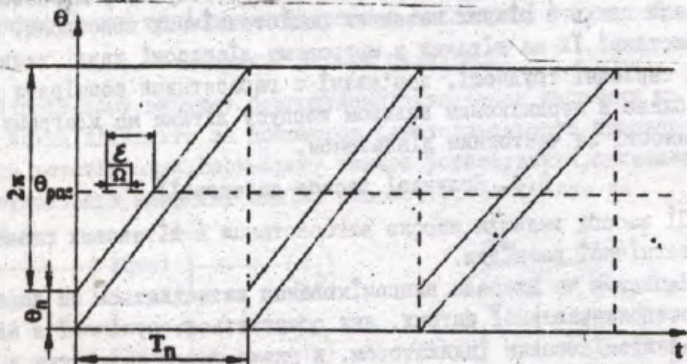


Рис. 2.4

Для заданої системи РТР ймовірність визначення напрямку можна знайти на основі викладеної вище теорії масового обслуговування або теорії збійності. Розглянемо спрощений метод оцінки ймовірності визначення напрямку, корисний для приблизних розрахунків.

Якщо кутова швидкість обертання розшукової гостронаправле-

ної антени пеленгатора висока відносно кутової швидкості обертання розшукової антени РЛС ($\Omega_c \gg \Omega_n$), то ймовірність перехвату сигналу за час одного оберту антени РЛС дорівнює часу опромінювання РЛС даного напрямку за один період обертання антени та тривалості одного періоду обертання антени пеленгатора T_n :

$$\theta_c / \Omega_c = \theta_c T_c / 2\pi ; \quad P_1 = \theta_c T_c / T_n 2\pi.$$

Ймовірність перехвату сигналу за два оберти антени пеленгатора

$$P_2 = P_1 + (1 - P_1) P_1,$$

а за n обертів

$$P = P_1 + (1 - P_1) P_1 + (1 - P_1)^2 P_1 + \dots + (1 - P_1)^{n-1} P_1.$$

Підсумовуючи цю геометричну прогресію, одержуємо

$$P = 1 - (1 - P_1)^n.$$

Останній вираз можна переписати таким чином:

$$P_n = \left[1 - (1 - P_1)^{1/P_1} \right]^{-nP_1}.$$

Якщо ймовірність перехвату сигналу P_1 за один оберт антени пеленгатора мала, то, враховуючи, що

$$\lim (1 - P_1)^{-1/P_1} = e,$$

одержуємо для результативної ймовірності визначення сигналу РЛС за n циклів огляду гостронаправленої антени пеленгатора таку формулу:

$$P_n = 1 - e^{-nP_1}.$$

Оскільки число циклів огляду n дорівнює загальному часу огляду t_p , розділеному на період огляду T_c

$$n = t_p / T_c.$$

то остаточний вираз для ймовірності визначення сигналу за час t_p має вигляд

$$P_n = 1 - e^{-\frac{\theta_c t_p}{2\pi T_n}} \quad (2.1)$$

Залежність (2.1) показує, що ймовірність визначення сигналу наближається до одиниці при збільшенні загального часу розвідки і зменшенні періоду пошуків T .

Швидкість обертання антени пеленгатора не може бути нескінченно великою. Вона обмежується часом, необхідним для приймання хоча б одного імпульсу РЛС, тобто час, протягом якого антена пеленгатора може приймати сигнали даного напрямку, мусить бути не менше періоду слідування імпульсів розвідувальної РЛС:

$$\frac{T_n \theta_n}{2\pi} \geq T_n = \frac{1}{F_n}$$

Звідси випливає, що розшукова антена повинна мати якомога ширшу ДН. Однак збільшення θ_n обмежується вимогами точності і роздільної здатності.

Як і при визначенні частоти, можливі повільний та швидкий пошук сигналу за напрямком.

При повільних пошуках швидкість обертання антени пеленгатора вибирається такою, щоб за час ΔT_c проходження антеною РЛС кута, що дорівнює ширині основної пелюстки ДН, антена пеленгатора зробила хоча б один оберт, тобто

$$\Delta T_c \leq T_n = \frac{2\pi}{\Omega_n}$$

На практиці цю вимогу далеко не завжди можливо здійснити. Найчастіше пошук за напрямком забезпечується з деякою середньою швидкістю. В загальному випадку необхідну швидкість пошуків знаходять методами масового обслуговування та теорії збіжності імпульсних потоків на основі допустимого значення ймовірності РТР.

2.4. Пошукові засоби визначення частоти

Пошуковий засіб визначення частоти реалізується у так званому панорамному приймачі, блок-схему якого зображено на рис. 2.5.

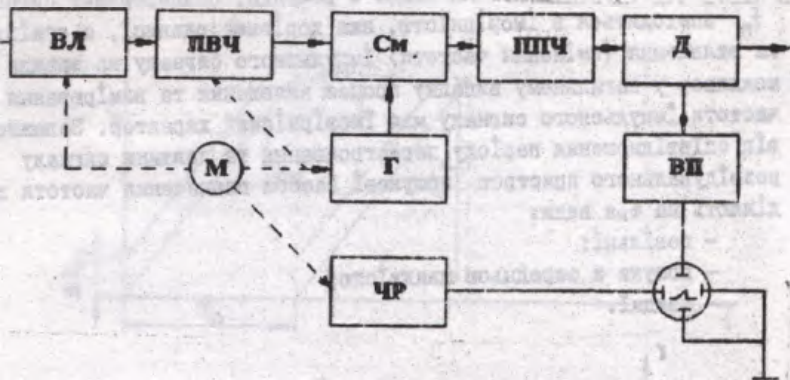


Рис. 2.5

Панорамний приймач у найпростішому випадку являє собою супергетеродин, що перестроюється автоматично або вручну в смугі розвідувальних частот.

У процесі пошуків частоти перестроювання приймач здійснюється за допомогою електричного мотора M , який за визначеним законом узгоджено змінює настроювання вхідного ланцюга ВЛ, підсилювача високої частоти ПВЧ і гетеродина Г. Одночасно мотор керує пристроєм формування частотної розгортки ЧР на екрані електронно-променевої трубки (ЕПТ).

Приймальний сигнал після підсилення в ПЧ, детектування в детекторі Д і додаткового підсилення у відеопідсилювачі ВП подається на вертикально відхилені пластини індикатора, в результаті чого на екрані утворюється імпульс, положення якого на частотній розгортці визначає несучу частоту розвідувального пристрою.

Важливою характеристикою панорамного приймача є час пошуків несучої частоти (час розвідки).

Розгляд усього частотного діапазону проводиться періодично з періодом T за пилкоподібним законом (рис. 2.5). Тому при розвідці несучої частоти безперервного сигналу максимальний час пошуків не перевищує T_n . Більш складним є визначення несучої частоти короткочасно діючих сигналів.

Наочну свідомість про це дає частотно-часова діаграма пошу-

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНА
БІБЛІОТЕКА**

Національного аерокосмічного
університету ім. М.Є.Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

56 709 ш.

ків частоти (рис. 2.6). Як видно з рисунка, безперервний сигнал f_n знаходиться з імовірністю, яка дорівнює одиниці, а оскільки виявлення (змінення частоти) імпульсного сигналу не завжди можливо, у загальному випадку процес виявлення та вимірювання частоти імпульсного сигналу має імовірнісний характер. Залежно від співвідношення періоду перестроювання та довжини сигналу розвідувального пристрою пошукові засоби визначення частоти поділяють на три види:

- повільні;
- пошуки з середньою швидкістю;
- швидкі.

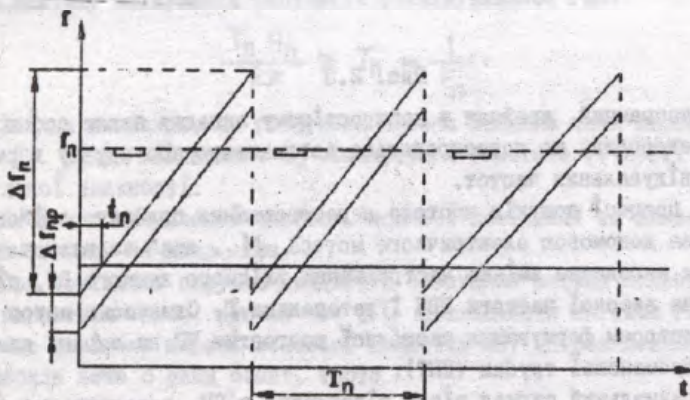


Рис. 2.6

2.4.1. Повільні пошуки

При повільних пошуках час перестроювання приймача $T_{пр}$ на ширину його смуги пропускання більше від періоду слідування імпульсів T_n (рис. 2.7), тобто $T_{пр} > T_n$.

Якщо визначення частоти можна провести за одним імпульсом, то повільні пошуки забезпечують імовірність виявлення періодичного імпульсного сигналу $P = I$ за час перестроювання $T_{пр}$. Важливими недоліками повільних пошуків є тривалий час обслуговування, мала пропускна спроможність і мала імовірність розвідки короткочасно працюючих РЕЗ.

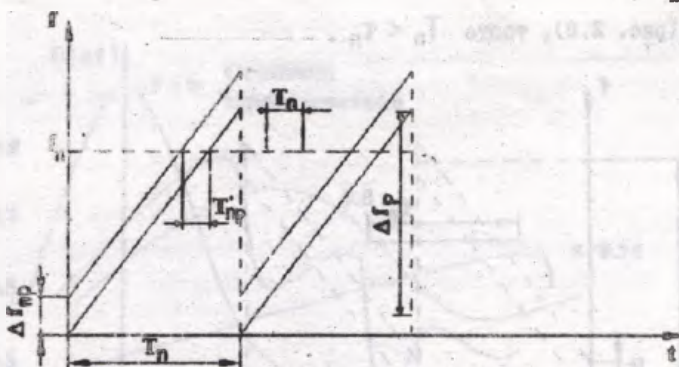


Рис. 2.7

Для зменшення часу розвідки при заданих діапазоні і швидкості перестроювання необхідно розширити смугу пропускання приймача. Тому панорамні приймачі з повільними пошуками, як правило, є широкосмуговими. Ширина смуги таких приймачів

$$\Delta f_{np} = (0,1 \dots 0,01) \Delta f_p,$$

де Δf_p - діапазон перестроювання (діапазон розвідувальних частот).

Точність знаходження несучої частоти за допомогою таких приймачів невелика. Вона складе половину смуги пропускання приймача, тобто

$$(\delta f)_{\max} = 0,5 \Delta f_{np} = (0,05 \dots 0,005) \Delta f_p.$$

Чутливість приймання пристроїв з повільними пошуками внаслідок значної смуги пропускання не може бути високою. Часто такі приймачі виконуються за схемою прямого підсилення з перестроюваними вхідними ланцюгами.

Час гарантованого виявлення при повільних пошуках знаходять за періодом перестроювання $t \approx T_n$.

2.4.2. Швидкі пошуки

При швидких пошуках час перестроювання приймача в усьому робочому діапазоні Δf_p менше від довжини сигналу, що прийма-

ється (рис. 2.8), тобто $T_n < \tau_n$.

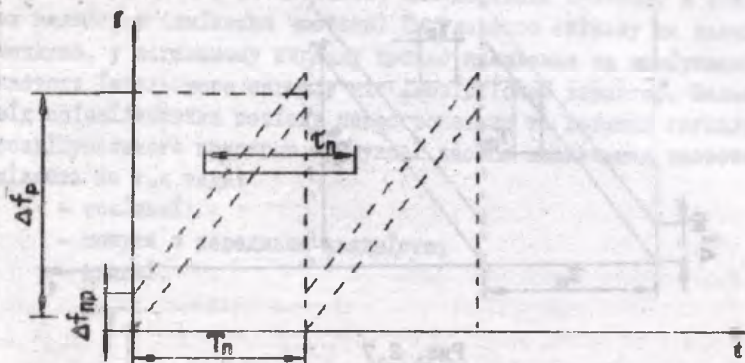


Рис. 2.8

Швидкість перестроювання в цьому випадку більша (100... 1000 МГц/мкс). Такі швидкості можна забезпечити тільки електронними засобами. Швидкість перестроювання не може бути нескінченно великою. Вона обмежується допустимими межами зниження чутливості, точності та роздільної здатності при величезній частоті внаслідок інерційності резонансних пристроїв.

Резонансні пристрої, які знаходяться під дією сигналів з існуючих частот, мають динамічну частотну характеристику, під якою розуміють залежність відношення вихідної напруги до вхідної від розстроювання відносно власної резонансової частоти системи при фіксованій швидкості змінення частоти зовнішнього сигналу.

На рис. 2.9 зображено сім'ю частотних характеристик одиночного коливального контура. Параметром сім'ї є коефіцієнт

$$\xi = \sqrt{\Delta f_{np} \frac{\pi}{\gamma}}$$

де $\gamma = \frac{df}{dt}$ - швидкість змінення частоти цівочої напруги

(швидкість перестроювання); Δf_{np} - ширина статичної характеристики коливального контура на рівні 0,707.

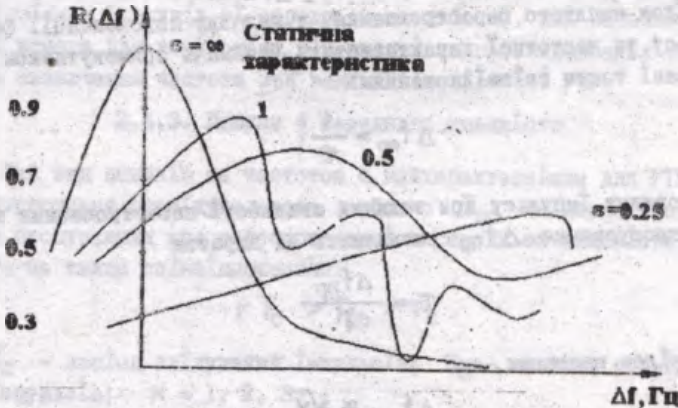


Рис. 2.9

З аналізу наведеному частотних характеристик можна зробити такі висновки:

- із збільшенням швидкості перестроювання максимум характеристики зсувається в бік збільшення частоти (у даному випадку - в бік збільшення), величина вихідної напруги зменшується;

- ширина смуги пропускання на рівні 0,707 також збільшується з підвищенням швидкості перестроювання;

- з'являється побічні максимуми частотних характеристик.

Перелічені особливості є причиною погіршення характеристик розвідувального приймача розглядуваного класу, що призводить до таких недоліків:

- зменшення чутливості приймача;
- погіршення точності та роздільної здатності;
- обмеження швидкості перестроювання та часу розвідки;
- спотворення параметрів розвідувального сигналу (форми, довжини).

У панорамних приймачів з швидким перестроюванням існує взаємозв'язок смуги пропускання резонансної системи та швидкості перестроювання; збільшення швидкості перестроювання призводить до втрати точності вимірювання несучої частоти і зникнення чутливості. Дійсно, оптимальна смуга пропускання $\Delta f_{\text{оп}}$ радіоприймача та довжина імпульсу τ , що утворюється на виході

внаслідок швидкого перестроювання, у випадку апроксимації форми імпульсу та частотної характеристики приймача прямокутником пов'язані такими співвідношеннями:

$$\Delta f_{\text{пр}} = \frac{1}{\tau}.$$

Довжину імпульсу при заданій швидкості перестроювання та смузі пропускання $\Delta f_{\text{пр}}$ визначають за виразом

$$\tau = \frac{\Delta f_{\text{пр}}}{\gamma}.$$

Звідси випливає, що

$$\Delta f_{\text{пр}} \approx \sqrt{\gamma}.$$

Більш точні дослідження показують, що у випадку дзвоноподібної частотної характеристики

$$\Delta f_{\text{пр}} \approx \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\gamma}.$$

Таким чином, кожній швидкості перестроювання відповідає своя оптимальна смуга. Зменшення часу пошуків спричиняє зменшення точності визначення частоти.

Для зменшення динамічного ефекту необхідно при постійній швидкості перестроювання γ збільшувати смугу пропускання резонансної системи, але це, в свою чергу, веде до зменшення чутливості приймача і точності вимірювання.

Втрату чутливості, дБ, залежно від швидкості пошуків за частотом, можна оцінити за виразом

$$a = \left[1 + 0,195 \left(\frac{\Delta f_{\text{пр}}}{T \Delta f_{\text{пр}}^2} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{4}} = \left[1 + 0,195 \left(\frac{\gamma}{\Delta f_{\text{пр}}^2} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{4}}$$

де Δf - діапазон розвідувальних частот; T - період пошуків частоти; $\gamma = \Delta f_{\text{пр}} / T$ - швидкість пошуків, $\Delta f_{\text{пр}}$ - смуга пропускання приймача.

Однотимчасне забезпечення значної швидкості перестроювання та високої роздільної здатності за частотом успішно може бути досягнуто в приймачі зі стисненням імпульсів.

Крім повільних і швидких пошуків можливе застосування й імовірнісних (пошуків зі середньою швидкістю), які забезпечують кращі вимоги для компромісу між швидкістю перестроювання та точністю визначення частоти при заданій імовірності РТР.

2.4.3. Пошуки з середньою швидкістю

Цей вид пошуків за частотою є найхарактернішим для РТР. Час перестроювання розвідувального приймача $T_{пр}$ на ширину його смуги пропускання при перестроюванні з середньою швидкістю знаходять за таким співвідношенням:

$$r T_c > T_{пр} > \tau_c,$$

де T_c - період слідування імпульсів; τ_c - довжина розвідувальних імпульсів; $k = 1, 2, 3$.

Особливістю пошуків зі середньою швидкістю є відсутність гарантованого виявлення роботи імпульсної РЛС протягом одного періоду перестроювання розвідувального приймача, тобто в даному випадку імовірність виявлення розвідувального сигналу дорівнює

$$P_{вияв} < 1.$$

З цієї причини пошуки з середньою швидкістю іноді називають імовірнісними.

Імовірність виявлення сигналу за час $t_p > T_c$ можна описати виразом

$$P = 1 - e^{-\frac{\Delta f_{пр} T_{пр}}{\Delta f_p T_c}}$$

У розглянутому випадку є два потоки імпульсів (рис. 2.10): перший характеризує потік імпульсів розвідувального пристрою з тривалістю τ_c і періодом слідування T_c , другий - готовність розвідувального приймача знайти потік сигналів, параметрами якого є період перестроювання $T_{пр}$ і час перестроювання приймача $T_{пр}$ на величину, яка дорівнює смузі пропускання.

Виявлення здійснюється в моменти "зачеплення" потоків. Якщо довжина "зачеплення" достатня для надійної роботи розвідувального приймача, то водночас може бути знайдена і частота, по розвідується пристроєм.

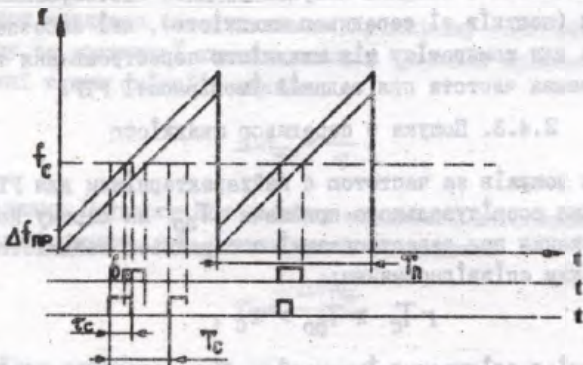


Рис. 2.10

2.5. Безпошукові засоби визначення частоти

Суть безпошукового способу визначення частоти – ведення розвідки водночас на всіх ланках робочого діапазону частот.

Приймальні пристрої, в яких застосовуються безпошукові засоби визначення частоти, забезпечують одночасне приймання в широкому діапазоні робочих частот без перестроювання або фільтрів. Час розвідки частоти при безпошукових засобах може бути дуже малим, тому що всі складові спектра приймального сигналу виявляються одночасно і практично миттєво.

Відомі такі безпошукові засоби визначення частоти:

- розвідка з застосуванням частотних розрізнявачів;
- функціональні (інтерфераційні) засоби;
- розвідка за допомогою багатоканальних приймачів.

2.5.1. Розвідка частоти за допомогою частотних розрізнявачів

Визначення частоти за допомогою частот їх розрізнявачів зумовлена властивістю останніх перетворювати відхилення частоти від заданого значення у напрямку, пропорційному цьому відхиленню. Найпростішими пристроями визначення частоти можуть служити частотні дискримінатори. Однак для ланок розвідки краще застосовувати інші схеми частотних дискримінаторів. Це пов'язано з особливостями зчленування їх з приймачами та індикаторними пристроями розвідувальної станції.

На рис. 2.II зображено блок-схему розвідувального приймача з частотним детектором. Прийнятий сигнал після підсилення у широкопasmовому підсилювачі ІШП подається на дискримінатор, частотний сигнал якого після підсилення у підсилювачах П подається на горизонтальні та вертикальні відхиляючі пластини ЕПГ.

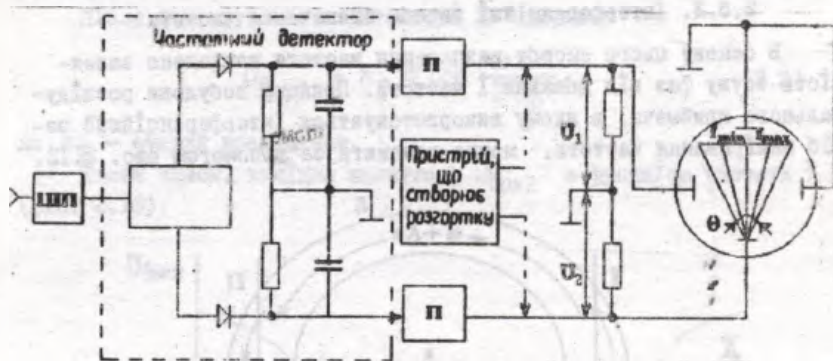


Рис. 2.II

Напруга U_1 підводиться до горизонтально-відхиляючих пластин, а U_2 - до вертикально-відхиляючих пластин індикатора.

Світна точка на екрані індикатора відхилятиметься при зміні частоти f вхідного сигналу. Якщо сигнал на частоті f_{\min} здійснює відхилення (рис. 2.II), то сигнал з $f_{\max} = 2f_{\min}$ створить на екрані пляму, відхилену відносно вихідної на кут θ .

За допомогою напруг U_1 і U_2 можна побудувати частотну розгортку. За частотою приймального сигналу визначають величину кутового відхилення θ - сліду електронної плями (лінії розгортки) відносно початку відліку.

Немодульоване гармонічне коливання маємо на екрані індикатора у вигляді однієї лінії, частотно-модульований сигнал - у вигляді двох ліній, кутова відстань між якими залежить від дев'яної частоти.

Розглядуваний приймач забезпечує визначення частоти більшого числа розвідувальних ЕЗ за вимсти, що сигнали, що приймаються від них, не збігаються за часом.

Сигнали, які збігаються за часом, виключуть на екрані лінії, положення якої визначатиметься векторною сумою приймальних сигналів. Однак за допомогою просторової селекції у ряді випадків можна забезпечити одночасному прийманню двох або декількох сигналів з різною частотою.

2.5.2. Інтерференційні засоби визначення частоти

В основу цього способу визначення частоти покладено залежність зсуву фаз від довжини і частоти. Принцип побудови розвідувального приймача, в якому використовується інтерференційний засіб вимірювання частоти, можна пояснити за допомогою рис. 2.12.

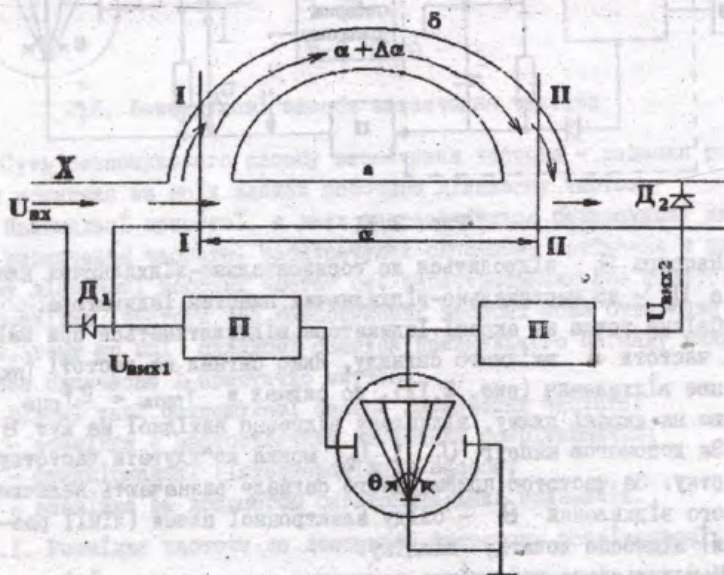


Рис. 2.12

Прийняті коливання поширюються у загальному хвильоводі X . У перерізі $I-I$ хвильовод розгадується і сигнал поширюється по різних хвильоводах α і β . Довжина хвильоводу β більша за довжину хвильоводу α на деяку величину $\Delta\alpha$. У перерізі $II-II$ поля, що надходять з хвильоводів α і β , геометрично склада-

ються. Фази полів, що підсумовуються, відрізняються на величину

$$\Delta\varphi = \frac{\omega \Delta\alpha}{v_{\varphi}},$$

де v_{φ} - фазова швидкість поширення електромагнітної хвилі в хвилеводі.

Після детектування в детекторі Д2 одержимо

$$U_{\text{вих2}} = K_d v \cos \frac{\omega \Delta\alpha}{2v_{\varphi}}, \quad (2.2)$$

де K_d - сталий коефіцієнт.

Таким чином, вихідна напруга $U_{\text{вих2}}$ є функцією частоти f (рис. 2.13).

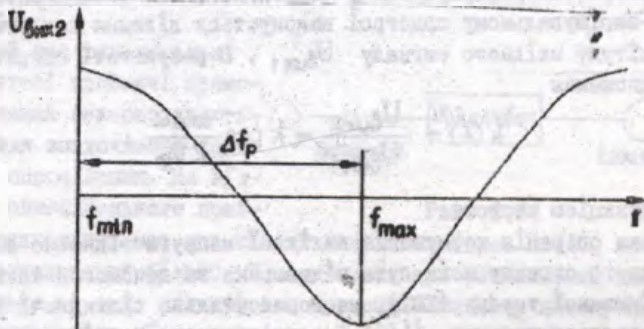


Рис. 2.13

Діапазон частот Δf_p , в межах якого може бути однозначне вимірювання, визначається різницею $\Delta\alpha$ довжин хвилеводів α і β . З виразу (2.2) випливає, що це буде в межах будь-якої півхвилі косинусоїди, коли її аргумент набуває значення від $n\pi$ до $(n+1)\pi$. Звідси мінімум і максимум розвідувальної частоти визначають за допомогою рівнянь

$$f_{\text{min}} = \frac{n v_{\varphi}}{\Delta\alpha}, \quad (2.3)$$

$$f_{\text{max}} = \frac{(n+1) v_{\varphi}}{\Delta\alpha}, \quad (2.4)$$

де $n = 1, 2, 3, \dots$

Сумісне розв'язання рівнянь (2.3) і (2.4) приводить до рівняння

$$f_{\max} = f_{\min} \frac{n+1}{n}.$$

Якщо $n = 1$, то однозначне визначення частоти можливе в межах

$$f_{\min} \leq f \leq 2f_{\max}.$$

Вихідна напруга $U_{\text{вих}2}$ не може бути використана безпосередньо для вимірювання частоти, тому що її величина залежить від інтенсивності приймального сигналу. Вхідний сигнал детектується в детекторі (до розгалуження у хвилеводі), а в спеціальному лічильно-вимірювальному пристрої виконується ділення напруги $U_{\text{вих}2}$ на амплітуду вхідного сигналу $U_{\text{вих}1}$. В результаті одержимо співвідношення

$$k(f) = \frac{U_{\text{вих}2}}{U_{\text{вих}1}} = k \cos \frac{\omega \Delta \alpha}{2 \nu \varphi},$$

яке є функцією частоти.

Така операція нормування вихідної напруги відносно амплітуди вхідного сигналу може бути відтворена за допомогою електронно-випромінюваної трубки (ЕВТ), на горизонтально відхиляючі пластини якої подається напруга $U_{\text{вих}1}$, а на вертикально відхиляючі - $U_{\text{вих}2}$.

Світна точка на екрані ЕВТ відхилитиметься зі зміною частоти вхідного сигналу.

Перевагами цього засобу визначення частоти є: дуже малий час розвідки частоти; порівняно широкий розвідувальний діапазон частот; малий об'єм апаратури, а недоліками - відносно низька чутливість приймальних пристроїв; зниження точності і роздільної здатності при розширенні діапазону розвідки в одному пристрої; необхідність ускладнення апаратури для визначення частоти кількох одночасно діючих сигналів.

Мала чутливість пояснюється тим, що смуга пропуску розвідувального приймача з функціональним вимірювачем дуже широка. Вона дорівнює усьому розвідувальному діапазону частот.

Збільшення чутливості можна досягнути за рахунок використання широкосмугових ВЧ-підсилювачів.

2.5.3. Розвідка несучої частоти

за допомогою селективних приймачів прямого підсилювання

Розрізняють два типи приймачів прямого підсилювання:

- одноканальні широкосмугові;
- багатоканальні.

Найпростіший одноканальний широкосмуговий приймач прямого підсилення (аперіодичний) складається з антени, кристалного детектора, відеоусилювача та індикатора (рис. 2.14). Він дозволяє повністю відтворити інформацію, яка знаходиться в одержаному сигналі, але має недоліки: низьку точність вимірювання (визначається десь півсмуги пропускання антени або вхідного фільтра).

На цей час одноканальні широкосмугові приймачі прямого підсилення використовуються лише для знаходження самого факту опромінення. На відміну від одноканального прий-

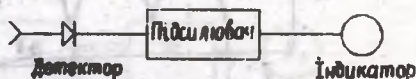


Рис. 2.14

мача, двоканальний має два канали одержання (рис. 2.15), кожен канал - резонансний фільтр. У першому каналі резонансний контур настроюється на саму низьку, а в другому - на саму високу частоту розвідувального діапазону (рис. 2.16).

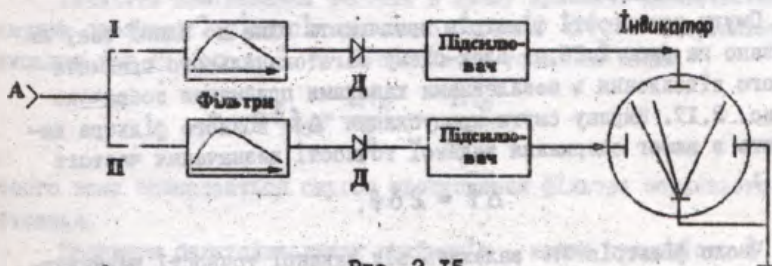


Рис. 2.15

Сигнали з виходів обох каналів надходять до різних груп відхляючих пластин осцилографа. Кут відхилення лінії розсертки

на екрані індикатора є однозначною функцією вимірюваної частоти. Точність вимірювання частоти у цьому випадку зменшується при збільшенні діапазону розвідки.

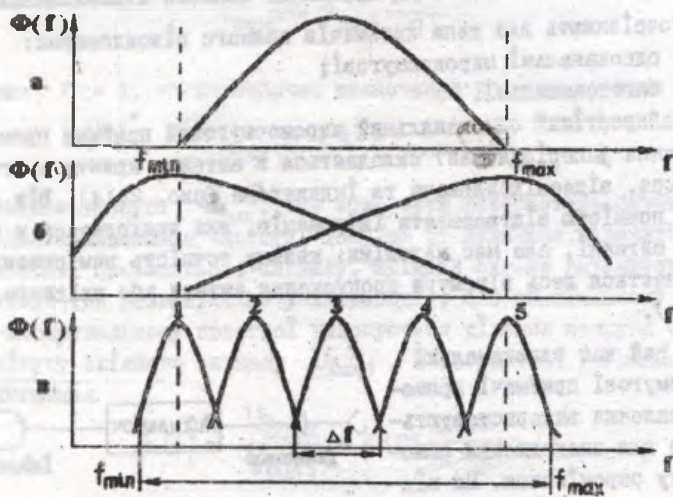


Рис. 2.16

Високу точність і роздільну здатність можна одержати за допомогою багатоканального приймання. У цьому випадку увесь діапазон розвідувальних частот розподіляється системою фільтрів на ряд піддіапазонів.

Смуги прозорості фільтрів прилягають одна до одної так, як показано на рис. 2.16, а. Блок-схему багатоканального приймача прямого підсилення з незалежними каналами приймання зображено на рис. 2.17. Ширину смуги пропускання Δf кожного фільтра вибирають з вимог одержання заданої точності визначення частоти

δf :

$$\Delta f = 2\delta f.$$

Число фільтрів m залежить від заданої точності визначення частоти f і діапазону розвідувальних частот Δf_p . При ідентичних каналах приймача

$$m = \frac{\Delta f_p}{2\delta f}$$

Багатоканальні приймачі використовуються в станціях попередньої розвідки для приблизного визначення частоти і впізнання образу РЕС. Число каналів у них досягає кількох десятків.

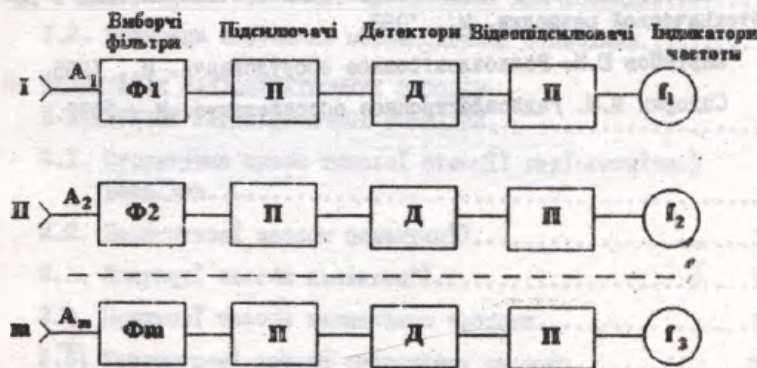


Рис. 2.17

У станціях безпосередньої РТР застосовується багатоканальний приймач, який забезпечує велику точність при меншому числі фільтрів. Умовно цей приймач називають матричним.

Точність вимірювання частоти в цьому приймачі визначається смугою прозорості фільтрів третього стовпця Δf_3 . У загальному випадку для m строк і n стовпців ця точність така:

$$\delta f_{\max} = \frac{\Delta f_n}{2} = \frac{\Delta f_p}{2m^n},$$

тобто вона визначається смугою пропускання фільтра останнього стовпця.

Переваги багатоканальних приймачів - краща чутливість і роздільна здатність за частотою, а недолік - великий термін розвідки.

У зв'язку з розвитком елементної бази (використанням мікроелектроніки) великий інтерес являє широкое використання бага-

токанальних приймачів для успішного ведення РТР.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Векли С.А., Шустов Л.Н. Радиопротиводействие и радиотехническая разведка. М., 1966.

Векли С.А., Шустов Л.Н. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки. М., 1968.

Мартынов П.М. Радиоэлектронное оборудование. М., 1985.

Садорин В.М. Радиоэлектронное оборудование. М., 1990.



Рис. 11.17

З М І С Т

ВСТУП.....	3
1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ЗАДАЧІ РАДІОТЕХНІЧНОЇ РОЗВІДКИ.....	3
1.1. Параметри сигналів, призначених для розвідки.....	3
1.2. Принципи керування мережковими станціями.....	5
2. ПЕЛЕНГАЦІЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ В ІНТЕРЕСАХ РАДІОТЕХНІЧНОЇ РОЗВІДКИ.....	9
2.1. Структурна схема типової станції радіотехнічної розвідки.....	9
2.2. Безпомуківі засоби пеленгації.....	12
2.3. Пошукові засоби пеленгації.....	13
2.4. Пошукові засоби визначення частоти.....	16
2.5. Безпомуківі засоби визначення частоти.....	24
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	32

Костянтин Володимирович Скульський
Александр Іванович Малюк

УСТАТУВАННЯ ЛІТАКА, ПРИЗНАЧЕНЕ
ДЛЯ БОРОТЬБИ З РАДІОЕЛЕКТРОННИМИ ЗАСОБАМИ ПРОТИВНИКА

Частина I

Редактори: К.М. Скульська, Л.О. Кузьменко

Зв. план, 1998

Підписано до друку 05.10.98

Формат 60x84 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк.

Умовн.-друк. арк. 1,9. Облік.-вид. арк. 2,12. Т. 50 прим.

Замовлення 174. Ціна вільна

Державний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"

310070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

Ротапринт друкарні "ХАІ"

310070, Харків-70, вул. Чкалова, 17