

Розділ IV

“Експлуатація і ремонт радіоелектронного обладнання літаків, вертольотів та авіаційних ракет”

Тема 13. “Радіолокаційна система розпізнавання “

**Доцент кафедри
кандидат технічних наук, доцент Войчук В. А.**

Київ 2012

Навчальна та виховна мета

1. Ознайомити з призначенням, різновидами, принципами побудови, особливостями технічної експлуатації та бойового застосування радіолокаційних систем розпізнавання.
2. Виховувати у студентів – майбутніх фахівців авіації Повітряних Сил ЗСУ самостійність, творчу ініціативу, наполегливість та високу відповідальність за якісну організацію технічної експлуатації та вміле бойове застосування радіоелектронного обладнання літаків, вертольотів та авіаційних ракет.

Навчальні питання

1. Загальні відомості про радіолокаційні системи розпізнавання.
2. Автономна система розпізнавання.
3. Розпізнавання державної приналежності цілей.
4. Особливості системи розпізнавання.

Контрольні завдання (РЛСР)

1. Співставте індивідуальне розпізнавання по принципам “де” і “хто” (1 бал).
2. Поясніть на прикладі застосування пріоритету (1 бал).
3. Яким способом можна передати інформацію пріоритетності (1 бал)?
4. Оцініть доцільність застосування в системах розпізнавання міліметрового, сантиметрового та метрового діапазонів хвиль (1 бал).
5. Оцініть можливість побудови системи розпізнавання в ІЧ діапазоні (1 бал).
6. Обґрунтуйте потрібне положення імпульсу запуску запитувача Mk-10 SIF відносно зондуючого сигналу в режимі I (1 бал).
7. Обґрунтуйте потрібне положення імпульсу запуску запитувача Mk-12 відносно зондуючого сигналу в режимі IV (1 бал).
8. При гарантованому державному розпізнаванні в послідовних циклах запит-відповідь з дешифратора коду відповіді в блок оцінки відповідей видаються тільки сигнали x_1 . Скільки потрібно обробити запитів, щоб ймовірність імітації не перевищувала 10^{-4} (1 бал)?
9. При умовах попереднього завдання в блок оцінки видаються тільки сигнали x_2 . Скільки потрібно обробити запитів, щоб ймовірність імітації не перевищувала 10^{-4} (1 бал)?
10. Чому при однакових пріоритетах має перевагу більш потужний сигнал (1 бал)?

Примітка. Мінімальна сума балів по цій темі для отримання позитивної оцінки – 3.0.
Максимальна сума зарахованих балів по темі – 5.0.

1. Загальні відомості про РЛ системи розпізнавання

Призначення, склад та принципи побудови

Призначення РЛСР.

Основне – визначення приналежності або неприналежності повітряних, надводних та *рухомих* наземних цілей до своїх збройних сил (державне розпізнавання).

Додаткове:

- індивідуальне розпізнавання своїх об'єктів;
- передача по запиті додаткової інформації;
- передача сигналів аварійної ситуації.

Склад РЛСР

1. Запитувачі – наземні, літакові та корабельні.
2. Відповідачі – наземні, літакові та корабельні.

Основні вимоги до систем розпізнавання

1. Дальність дії – не менше дальності виявлення цілі спряженими технічними засобами.
2. Незалежність розпізнавання від умов спостереження.
3. Можливість селекції цілей при розпізнаванні.
4. Уніфікація, сумісність систем розпізнавання і можливість їх спряження з технічними засобами виявлення.
5. Максимальна автоматизація процесів розпізнавання.
6. Імітостійкість і надійність розпізнавання державної приналежності.
7. Перешкодостійкість.

Способи розпізнавання

1. *Візуально* – по типу об'єкту, по нанесеним розпізнавальним знакам, по спеціально обумовленим маневрам, по комбінаціям сигнальних ракет, тощо.
2. *Технічними засобами загального призначення* – по дотриманню обумовленого графіку, маршруту і профілю польоту.
3. *Спеціальними технічними засобами* обміну інформацією.

Організація розпізнавання державної приналежності

Основним засобом розпізнавання державної приналежності являється радіолокаційна система розпізнавання (РЛСР). *Інші способи і засоби розпізнавання застосовуються як додаткові та при неможливості застосування РЛСР.*

Розпізнавання державної приналежності цілі обов'язково здійснюється **після** її виявлення, **після** вибору цілі для атаки та **перед** застосуванням зброї. При необхідності розпізнавання здійснюється в будь-який інший момент часу.

При *учбових* польотах розпізнавання здійснюється в *неімітостійких* режимах, а при виконанні *бойових* завдань – в *імітостійких* режимах.

На літаках 4-го і наступних поколінь *управління* засобами розпізнавання здійснюється відповідними *алгоритмами ЕОМ систем управління озброєнням* (СУО), результати розпізнавання враховуються в алгоритмах управління озброєнням. На літаках попередніх поколінь управління ручне.

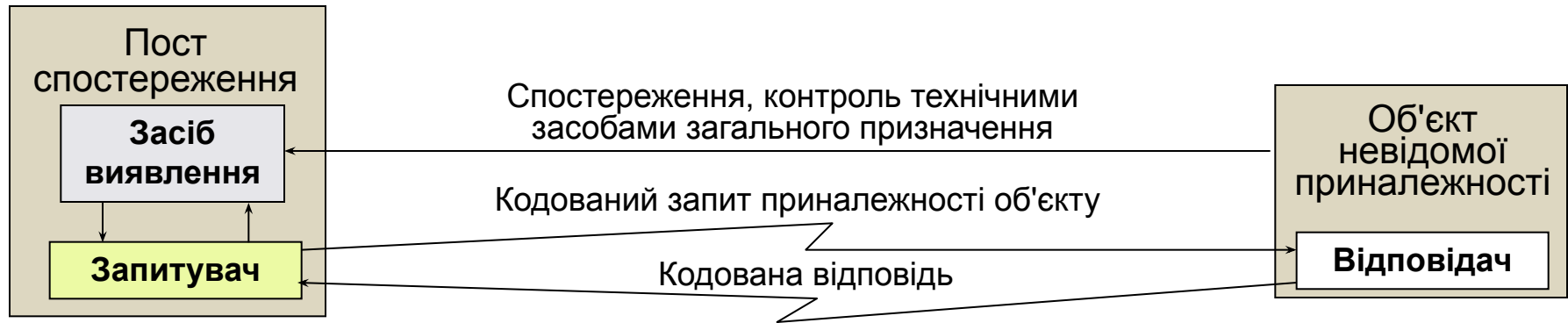
В алгоритмах управління озброєнням реалізована *заборона застосування зброї по своїм об'єктам*, проте передбачається можливість блокування цих алгоритмів вручну.

Інформація про результати розпізнавання кожної з цілей запам'ятовуються і відображаються системою індикації.

Об'єкт, який не відповідає на запит або неправильно кодує відповідь, вважається **ЧУЖИМ.**

Радіолокаційна система державного розпізнавання (РСДР)

В РЛСР реалізовано метод радіолокації з *активною відповіддю*. Система складається із *запитувача* і *відповідача*, якими оснащені два рознесені у просторі об'єкта. Запитувачі розміщуються тільки на об'єктах, які оснащені радіолокаційними засобами виявлення цілей, а відповідачі – на всіх об'єктах повітряного і морського базування та на *рухомих* об'єктах наземного базування. Запитувачі спряжені з РЛС, їх робота узгоджена у просторі, часі та по етапам виконання бойового завдання.



Узгодження у просторі забезпечується відповідним спряженням ДСА запитувача та РЛС, стробуванням сигналів відповіді. Узгодження у часі здійснюється видачею з РЛС в запитувач синхронізуючих імпульсів (СІ), упереджуючих її зондуючі сигнали на час $t_y = t_{кз} + t_{кв}$, ($t_{кз}$ і $t_{кв}$ – тривалість кодів запиту і відповіді), щоб компенсувати втрати часу на розкодування сигналів запиту у відповідачі і відповіді в запитувачі. Узгодження по етапам виконання бойового завдання забезпечується видачею команд запиту, переключенням режимів запиту, вибором групи цілей, до якої відноситься виявлена ціль, та ін..

Для надійного розпізнавання сигнали запиту і відповіді кодуються, а імітостійкість розпізнавання забезпечується застосуванням криптографічних методів закриття інформації. Дія конкретного коду та ключа шифрування обмежена у часі спеціальним розкладом. По результатам обробки сигналів відповіді запитувач видає імпульс розпізнавання (ІР). Рішення **СВІИ** приймається: 1) коли кодування сигналів відповіді відповідає діючому розкладу кодування та ключу шифрування і 2) коли ймовірність імітації правильного кодування відповіді не перевищує припустимий рівень.

Переваги засобів радіолокації з активною відповіддю:

- велика дальність дії незалежно від типу об'єкту;
- слабка залежність від умов спостереження;
- нечутливість до пасивних перешкод;
- нечутливість до радіолокаційних характеристик об'єкту;
- можливість автоматизованого розпізнавання і обміну додатковою інформацією;
- можливість вибіркового розпізнавання;
- мінімальні витрати часу;
- висока імітостійкість.

Переваги дециметрового діапазону радіохвиль:

- стабільні умови розповсюдження, мале затухання;
- можливість сполучення достатньої просторової селекції із всеспрямованістю;
- можливість суміщення антенних систем запитувачів і РЛС управління зброєю.

Основні типи систем розпізнавання

Тип	Переваги	Недоліки
<p><u>Суміщена</u></p> 	<p>Простота. Малі габарити, маса. Висока селективність по напрямку.</p>	<p>Низька імітостійкість та перешкодостійкість. Неуніверсальність. Можливість запиту будь-якою РЛС.</p>
<p><u>Автономна</u></p> 	<p>Уніфікованість. Імітостійкість. Перешкодостійкість.</p>	<p>Складність. Низька просторова селекція.</p>
<p><u>Комбінована</u></p> 	<p>Імітостійкість. Перешкодостійкість. Висока просторова селекція.</p>	<p>Складність відповідача.</p>

В *суміщеній* системі сигналом запиту являється зондуючий сигнал спряженої РЛС. Конструкція відповідача (В-ч) повинна забезпечити всенаправлений прийом зондуючих сигналів РЛС 23-см, 10-см, 6-см, 3-см і 2-см діапазонів хвиль, що дуже ускладнює конструкцію антенної системи. Завдяки високому рівню поля зондуючих сигналів в районі цілі, прийомний канал відповідача спрощений. В багатьох випадках достатньо мати тільки амплітудний детектор і підсилювач відеосигналів. Частота сигналу відповіді f_B у всіх відповідачів однакова і відрізняється від частоти сигналів запиту $f_3=f_0$. РЛС додатково комплектуються стандартним приймачем сигналів відповіді.

В *автономній* системі РЛС додатково комплектуються стандартними, запитувачами (З-ч), які формують стандартні сигнали запиту на частоті f_3 і приймають стандартні сигнали відповіді на частоті $f_B \neq f_3 \neq f_0$. Робота запитувача узгоджена з роботою РЛС у просторі (спільна антена) і в часі (синхроімпульсами СІ від РЛС). Відповідачі теж стандартні і відрізняються від відповідачів суміщеної системи тим, що приймають сигнали запиту тільки на частоті $f_3 \neq f_0$ і мають одноканальний, але більш складний прийомний тракт, тому що потужність сигналів запиту значно менша потужності зондуючих сигналів РЛС.

В *комбінованій* системі додатковою складовою сигналів запиту являється зондуєчий сигнал спряженої РЛС, тому прийомний тракт відповідача складний і включає приймачі сигналів запиту і зондуєчих сигналів різнотипних РЛС.

Суміщені системи зараз не застосовуються. Найчастіше застосовуються автономні системи.

В ЗС України на озброєнні стоїть автономна радіолокаційна система розпізнавання “Пароль”. Вона також була прийнята у ЗС більшості країн зі складу бувшого СРСР. У ЗС деяких держав, які отримували бойову техніку від СРСР, застосовується автономна система “Пароль” (експортний варіант) або комбінована система “Кремній 2” (експортний варіант), яка була попередником системи “Пароль”.

Розпізнавання своїх об'єктів в РЛСР здійснюється шляхом співставлення кодів (ключів шифрування) сигналів відповіді з діючими кодами (ключами) на момент запиту. Співставлення виконується перевіркою відповідності коду прийнятого сигналу відповіді розкладу кодів розпізнавання або відповідності результатів обробки сигналу запиту ключами шифрування запитувача і відповідача.

2. Автономна система розпізнавання



Задачі, склад, режими роботи і ТТХ

Задачі

1. Розпізнавання приналежності виявлених цілей до своїх Збройних Сил (держави) – *загальне розпізнавання*.
2. *Індивідуальне розпізнавання* груп своїх цілей або окремих цілей.
3. Автоматизований обмін інформацією.
4. Запобігання застосування зброї по своїм об'єктам.
5. Повідомлення про аварійну ситуацію.

Склад

1. *Запитувачі* наземні, літакові та корабельні.
2. *Відповідачі* літакові, корабельні та наземні (обмежено).
3. Спеціальна апаратура.

Режими роботи

1. Державне розпізнавання (режими I – неімітостійке, II - імітостійке).
2. Індивідуальне розпізнавання (режими III - “де”, IV - “хто”).
3. Забезпечення управлінням повітряним рухом (режим VI).
4. Лихо-тривога (режим Б-Т **рос.: бедствие-тревога**) .

Неімітостійке розпізнавання (режим I) зводиться до перевірки відповідності кодів прийнятих сигналів відповіді кодам, діючим на даний відрізок часу. На цьому відрізку часу *всі свої об'єкти* повинні застосовувати *однаковий код відповіді*. Тому діючий код легко виявляється сучасними засобами розвідки і може застосовуватись противником для маскуванню своїх об'єктів.

Імітостійке розпізнавання (режим II) базується на *криптографічних методах* закриття інформації. Запитувачі генерують і включають в код запити *різні реалізації багаторозрядного випадкового числа (ВЧ)*. На певний відрізок часу для *всіх об'єктів* задається *однаковий ключ шифрування*, тобто алгоритм обробки реалізації ВЧ у запитувачі і відповідачі. Результат обробки у запитувачі запам'ятовується, а у відповідачі включається в код відповіді. У запитувачі *порівнюються запам'ятований і прийнятий результати обробки однієї і тієї ж реалізації ВЧ*. При їх співпадінні робиться висновок, що в запитувачі і в відповідачі застосовувались *однакові ключі шифрування, тобто об'єкт з відповідачем свій*.

Для підвищення надійності розпізнавання аналізуються результати кількох циклів запит-відповідь. В наступних циклах розпізнавання застосовуються інші реалізації ВЧ, тому розвідка попередніх комбінацій “реалізація випадкового числа - код відповіді” не дозволяє прогнозувати аналогічну комбінацію для наступних циклів.

Кожен запитувач генерує свій варіант ВЧ. В один і той же момент часу кожна пара запитувач-відповідач використовує свою комбінацію “реалізація випадкового числа – код відповіді”.

Індивідуальне розпізнавання по принципу “де” (режим III) реалізується шляхом додаткового маркування відміток цілей в РЛС. Для ідентифікації конкретної цілі або групи цілей застосовуються індивідуальні для них коди запиту і відповіді. Сигналом з конкретним кодом запиту активізуються відповідачі потрібної групи цілей. Цю групу можна розділити на підгрупи різним кодуванням сигналів відповіді.

Індивідуальне розпізнавання по принципу “хто” (режим IV) реалізується шляхом присвоєння кожному об'єкту свого ідентифікаційного коду, який включається в код сигналу відповіді.

В режимі інформаційної підтримки управління повітряним рухом (режим VI) в коди запиту включаються додаткові елементи щодо змісту відповіді. В код відповіді включається інформація на отриманий запит.

*Режим *лихо-тривога* забезпечує автоматичну передачу на кожен запит сигналу ТРИВОГА, а при відсутності запитів - періодичну видачу сигнали ЛИХО, які приймаються наземними (корабельними) запитувачами, що знаходяться у режимі чергового прийому.*

Діапазони частот та пріоритети

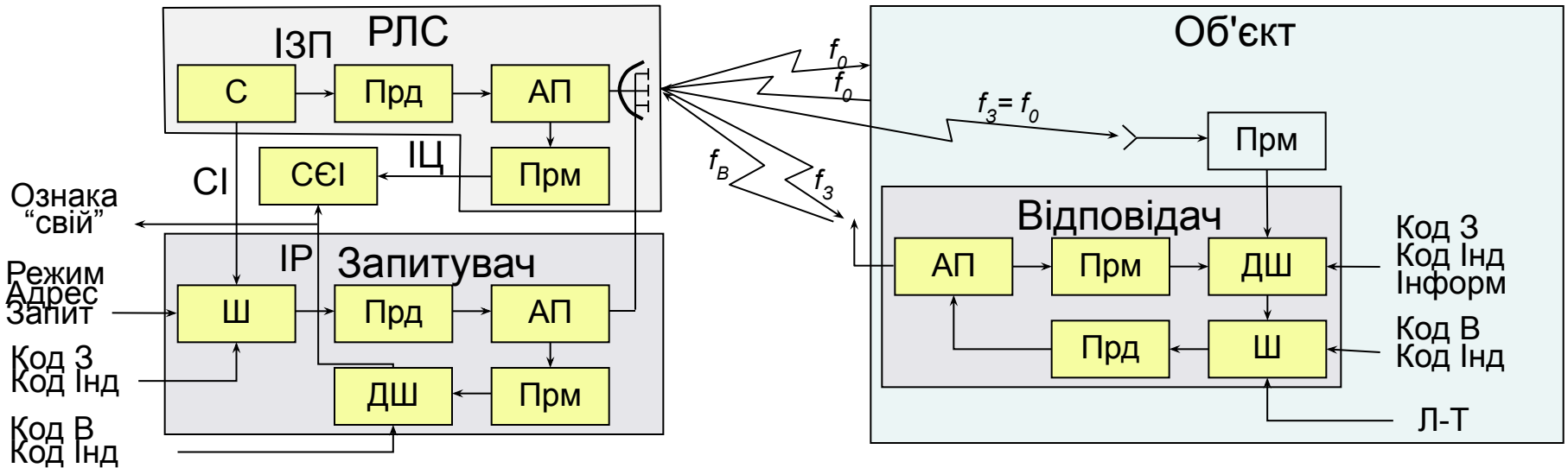
Режим	Запит	Відповідь
I	II-а	VII
	VII	VII
II	II-а	VII
	VII	VII
III	VII	VII
IV	VII	VII
VI	VII	VII
Тривога	VII	VII
Лихо	-	VII

Пріоритети

1. Режим II діапазону II-а.
2. Режим I діапазону II-а.
3. Режим II діапазону VII
4. Решта режимів.

Примітка. При однакових пріоритетах перевагу має більш потужний сигнал.

Принципи побудови і застосування



В автономній та комбінованій системах запитувач спряжено з відповідною РЛС (синхронний запит, узгоджена просторова селекція). РЛС і РЛСР працюють в імпульсному режимі. Частота запитів обмежена допустимою середньою потужністю передавача запитувача. Якщо частота повторення зондуючих сигналів РЛС перевищує припустиму частоту запитів, то синхроімпульси (СІ) від РЛС перед запуском запитувача “проріджуються”.

Антенa запитувача спряжена з антеною РЛС і при розпізнаванні забезпечує просторову селекцію тої цілі, яку спостерігає РЛС.

Антенна система відповідача забезпечує всенаправлений прийом сигналів запиту, а в комбінованих РЛСР – і зондуючих сигналів РЛС (радіоканал прийому зондуючих сигналів виділено пунктиром) і випромінювання сигналів відповіді.

Запит і відповідь здійснюються на фіксованих стабільних частотах f_3 і f_B (в комбінованих РЛСР – і на частоті $f_3 = f_0$) для забезпечення безошукового і безпідстоєчного зв'язку.

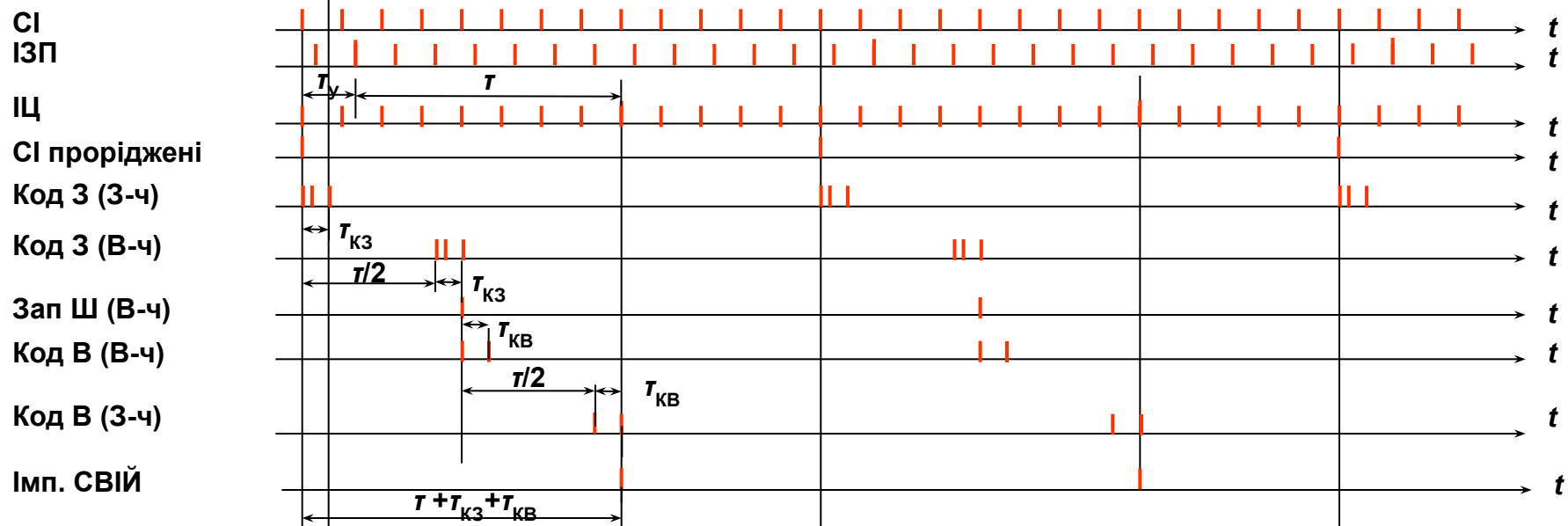
Обмін інформацією між запитувачем і відповідачем автоматизовано.

У випадку одночасного запиту відповідача декількома запитувачами відповідь формується запитувачу з найвищим пріоритетом.

Органами управління запитувачем попередньо визначаються лінія (адрес), режим та діючі коди запиту і відповіді державного та індивідуального розпізнавання.

По команді ЗАПИТ запитувач переходить в активний режим формування і випромінювання сигналів запиту на частоті f_3 .

РЛС видає в запитувач синхроімпульси (СІ) запуску шифратора (Ш) з упередженням $t_y = t_{K3} + t_{KB}$ (t_{K3} і t_{KB} – тривалість кодів запиту і відповіді) відносно імпульсів запуску її передавача (ІЗП), щоб компенсувати втрати часу на розкодування сигналів запиту і відповіді у відповідачі і запитувачі відповідно. На малюнку ІЗП та затримані на t імпульси цілі (ІЦ), які відповідають прорідженим СІ, виділені суцільними лініями, решта ІЗП та ІЦ РЛС показані пунктиром.



Синхроімпульси, що залишилися після “проріджування”, запускають шифратор імпульсно-часових кодів запиту тривалістю T_{K3} , якими запускається передавач (Прд) запитувача.

Передавач запитувача формує і через антенний перемикач (АП) видає в антену кодований сигнал запиту. Узгодження просторових характеристик (тобто ДСА) запитувача і РЛС найчастіше досягається застосуванням єдиного дзеркала для опромінювачів РЛС і запитувача.

Виділений в приймачі відповідача код запиту аналізується дешифратором (ДШ) – визначаються лінія та режим розпізнавання. Відповідно до цього шифратором (Ш) формується код відповіді, в який при необхідності вводиться інформація із зовнішніх джерел.

Кодом відповіді модулюється сигнал передавача на фіксованій частоті відповіді f_B . Сигнал відповіді випромінюється всенаправленою антеною.

В РЛСР комбінованого типу складова коду запиту (зондуючий сигнал РЛС частоти f_0) виділяється спеціальним приймачем (показано пунктиром). При цьому завдяки вузькій ДСА спряженої РЛС реалізується ефективна просторова селекція сигналів запиту.

В приймачі запитувача з сигналів відповіді частоти f_B виділяється код відповіді, який аналізується дешифратором: визначається відповідність прийнятого коду відповіді діючому за розкладом коду або діючому ключу шифрування, аналізується можливість імітації правильного коду відповіді.

В режимах державного та індивідуального розпізнавання при правильному кодуванні відповіді і допустимій ймовірності імітації по результатам кожного запиту або після накопичення за декілька запитів формується і видається в систему єдиної індикації (СЄІ) та іншим споживачам імпульс розпізнавання (ІР). В інших режимах код прийнятої інформації видається її споживачам.

Для розділення потоків інформації між об'єктами наземного, надводного та повітряного базування здійснюється додаткове кодування сигналів запиту – розпізнавання ведеться по одній з ліній “літак-літак”, “земля-літак”, “корабель-літак”, “літак-земля”, “літак-корабель”, “корабель-корабель”, “земля (берег)-корабель” (перший об'єкт – запитувач, другий – відповідач).

Надійність розпізнавання визначається його імітостійкістю, тобто захищеністю від можливої імітації правильних відповідей чужим об'єктом. Надійність зростає при ускладненні кодування сигналів, застосуванні методів криптографії і при накопиченні інформації.

В мирний час застосовується спрощений неімітостійкий режим розпізнавання, в воєнний час – імітостійкий.

Канал автоматизованого обміну інформацією РЛСР застосовується також для передачі додаткової інформації – польотних даних, залишку боєкомплекту, впізнавання конкретних своїх об'єктів, тощо.

На розкодування сигналів запиту і відповіді витрачається додатковий час. Щоб забезпечити формування ознаки “свій” одночасно з приходом чергового відбитого сигналу, випромінювання сигналів запиту повинне випереджати випромінювання зондуючих сигналів.

Технічні і організаційні заходи захисту від дискредитації (часткового або повного розкриття інформації, потрібної для імітації правильних відповідей об'єктами противника) гарантують надійність розпізнавання.

Кодування інформації

Неімітостійке кодування

Способи кодування сигналів запиту:

- зондуєчий сигнал спряженої РЛС;
- окремий сигнал запиту, співпадаючий або зміщений на кодовий інтервал відносно зондуєчого сигналу РЛС;
- імпульсно-часове кодування сигналів запиту шляхом відповідної розстановки групи імпульсів коду на фіксованих позиціях осі часу.

Інформація в кодах запиту:

- режим розпізнавання;
- адрес (лінія розпізнавання);
- спеціальний додаток до діючого коду запиту, який забороняє своєму відповідачу видавати сигнал відповіді з метою виявлення імітації противником сигналів розпізнавання “я свій” (режим мовчання).

Способи кодування сигналів відповіді:

- імпульсно-часове кодування;
- частотно-часове кодування, яке відрізняється від простого імпульсно-часового тим, що імпульси коду додатково розподіляються між двома частотами сигналів відповіді.

Інформація в кодах відповіді:

- діюча за розкладом ознака “я свій”;
- ознака групи або індивідуальна ознака;
- польотна або інша інформація.

Імітостійке кодування

Способи кодування сигналів запиту:

- імпульсно-часове кодування.

Інформація в кодах запиту:

- режим розпізнавання;
- адрес (лінія розпізнавання);
- випадкове число;
- результат обробки випадкового числа частиною діючого ключа шифрування запитувача.

Способи кодування сигналів відповіді:

- імпульсно-часове кодування;
- частотно-часове кодування.

Інформація в кодах відповіді:

- результат обробки випадкового числа діючим ключем шифрування відповідача.

Принцип державного розпізнавання

Неімітостійке розпізнавання

Коди запиту і відповіді або мовчання використовуються згідно встановленому і невідомому противнику розкладу.

Рішення про те, що об'єкт свій, приймається при правильному кодуванні сигналів відповіді без накопичення або з накопиченням інформації за декілька циклів запит-відповідь.

Неімітостійкість обумовлена тим, що діючий код розпізнавання впродовж встановленого інтервалу часу однаковий для всіх своїх об'єктів і тому легко виявляється технічними засобами розвідки і може імітуватись об'єктами противника.

Обмежена кількість кодів відповіді дозволяє противнику застосовувати універсальний код – суму всіх можливих кодів відповіді.

Захист від універсального коду – виявленням надлишкових елементів коду.

Імітостійке розпізнавання

Код кожного запиту одного й того ж запитувача включає випадковий елемент (реалізацію випадкового числа великої розрядності), ймовірність застосування якого іншим запитувачем або своїм запитувачем при наступних запитах мізерна. Коди запиту різних запитувачів формуються незалежно. Тому один і той же відповідач різним запитувачам формує різні коди відповіді.

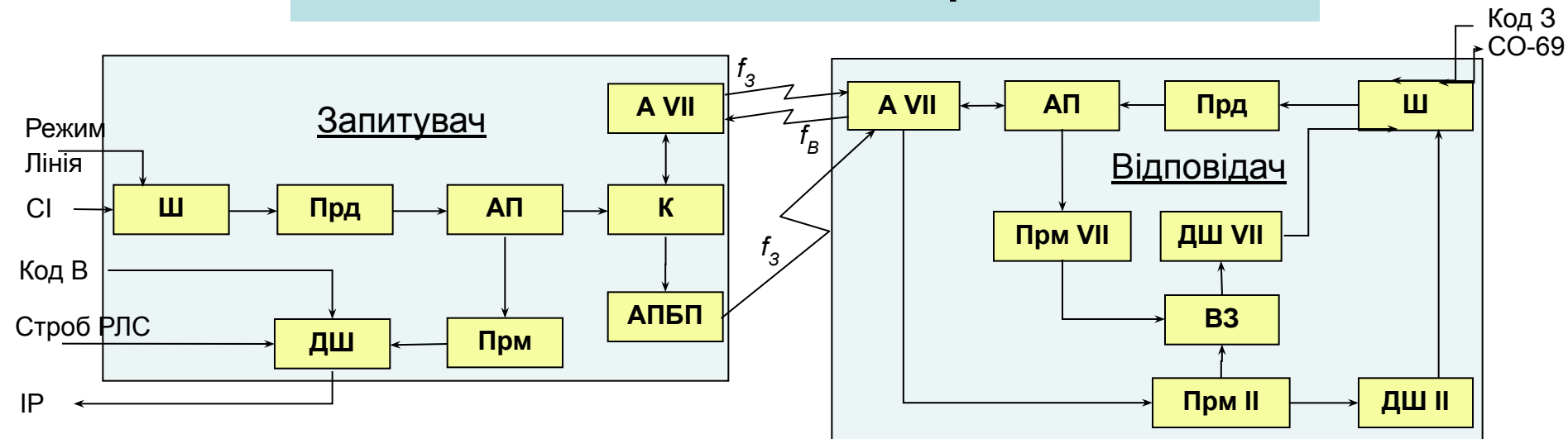
У відповідачі інформація про потрібний код відповіді виділяється обробкою прийнятої реалізації випадкового числа сигналу запиту спеціальним алгоритмом – ключем шифрування, невідомим противнику. Ключі шифрування для всіх своїх об'єктів однакові і діють тільки впродовж обмеженого інтервалу часу. За час експлуатації системи розпізнавання ключі не повторюються. Діючий ключ не містить інформації про наступні.

Кожен з можливих кодів відповіді для противника рівноймовірний.

У запитувачі при формуванні кожного запиту реалізація випадкового числа обробляється діючим ключем шифрування, визначається і запам'ятовується правильний код відповіді на цей запит. Код прийнятої відповіді порівнюється з очікуємим. Шляхом накопичення і аналізу правильних і неправильних відповідей на послідовність запитів приймається остаточне рішення про державну приналежність цілі.

3. Розпізнавання державної приналежності цілей

Неімітостійкий режим



- АП – антенний перемикач
- А II, А VII – антени II-а і VII діапазонів
- АПБП – антена подавлення бокових пелюстків
- ВЗ – вузол захисту
- ДШ – дешифратор
- К – комутатор
- Прд – передавач
- Прм - приймач
- Ш – шифратор

- Код 3, Код В – коди запиту і відповіді
- ІР – імпульс розпізнавання
- Лінія, Режим – команди з ПУ
- СІ – синхронізуючі імпульси РЛС
- Строб РЛС – стробуючий імпульс РЛС
- СО-69 – літаковий відповідач

Всі запитувачі працюють на фіксованих частотах запиту f_3 і відповіді f_B VII-го діапазону хвиль. Комутатор (К) підключає передавач до основної антени (А VII) або до антени подавлення бокових пелюстків (АПБП), ДСА якої (синя) перекриває бокові пелюстки основної ДСА (червона).

Імпульсно-часовий код запиту на одній з часових позицій містить так званий *імпульс подавлення* запитів по боковим пелюсткам (ПБП), який випромінюється антеною АПБП. Амплітуди всіх імпульсів коду запиту однакові. Якщо напрямок на відповідач відповідає червоній стрілці, то у відповідачі імпульс ПБП має меншу амплітуду, ніж решта імпульсів коду. Якщо ж напрямок на відповідач відповідає синій стрілці, то у відповідачі імпульс ПБП має більшу амплітуду, ніж решта імпульсів коду. Це являється ознакою для селекції у відповідачі тільки сигналів запиту, які випромінюються по головному пелюстку ДСА запитувача.

Приймач відповідача має прийомні канали для сигналів запиту діапазонів II-а і VII. Сигнали відповіді випромінюються на частоті f_B діапазону VII, тому сигнали запиту діапазону VII поступають у приймач через антенний перемикач, а діапазону II-а – безпосередньо.

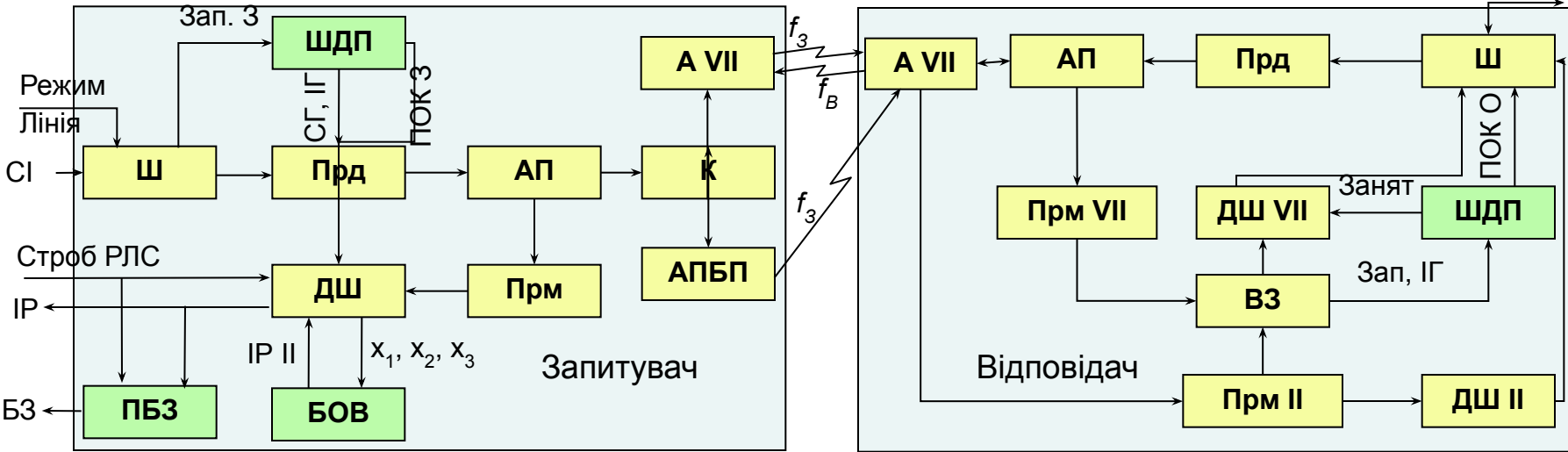
Вузел захисту (ВЗ) забезпечує нормальну роботу відповідача.

Більш пріоритетний дешифрований сигнал запиту запускає шифратор сигналів відповіді, в який при необхідності вводиться інформація зі спряжених систем (СО-69). Сигнал відповіді випромінюється в діапазоні VII. В режимі неімітостійкого державного розпізнавання використовується один з 6 частотно-часових кодів.

Приймач запитувача дешифрує код прийнятого сигналу відповіді і видає споживачам імпульс розпізнавання (ІР). Додаткова просторова селекція забезпечується стробом дальності спряженої РЛС.

Імітостійкий режим

СО-69



- АП – антенний перемикач
- А II, А VII – антени II і VII діапазонів
- АПБП – антена подавлення бокових пелюстків
- БОВ – блок обробки відповідей
- ВЗ – вузол захисту
- ДШ – дешифратор
- К – комутатор
- Прд – передавач
- Прм - приймач
- ПБЗ – пристрій блокування зброї
- Ш – шифратор
- ШДП – шифруючо-дешифруючий пристрій

- БЗ – команда блокування зброї
- IP – імпульс розпізнавання
- Занят – ознака зайнятості ШДП
- Зап 3 – запуск ШДП у режимі запиту
- Зап, ІГ – запуск ШДП для відповіді та інформаційна група
- Лінія, Режим – команди з ПУ
- ПОК 3, ПОК 0 – коди запиту і відповіді з ШДП
- СІ – синхронізуючі імпульси РЛС
- Строб РЛС – стробуючий імпульс РЛС
- СО-69 – літаковий відповідач
- x_1, x_2, x_3 – проміжні результати аналізу відповідей

На структурній схемі додаткові елементи, необхідні для розпізнавання державної приналежності в імітостійкому режимі, мають зелену заливку.

Роботу запитувача і відповідача в імітостійкому режимі забезпечує шифруючо-дешифруючий пристрій (ШДП). Шляхом обробки генеруємого в ШДП запитувача та прийнятим відповідачем випадкового числа (ВЧ) введеним ключем шифрування (алгоритмом обробки випадкового числа) при кожному запуску запитувача та відповідача вибирається один з можливих кодів відповіді.

В літаковому запитувачі код сигналу запиту імітостійкого режиму на частоті f_3 VII-го діапазону хвиль включає синхрогрупу (СГ) та інформаційну групу (ІГ), до якої входить реалізація багаторозрядного ВЧ. В ШДП запитувача шляхом обробки ВЧ ключем шифрування визначається і запам'ятовується правильний код відповіді у вигляді сигналу ПОК 3 (рос.: **признак ответного кода запросчика**).

В наземних та корабельних запитувачах запит може здійснюватись у діапазоні II-а.

У літаковому відповідачі вузол захисту (ВЗ) по синхрогрупі виділеного з прийнятого сигналу коду запиту впізнає імітостійкий режим, виробляє команду ЗАПУСК, яка разом з прийнятою реалізацією ВЧ надходить в ШДП і обробляється його ключем шифрування – формується сигнал ПОК О (рос.: **признак ответного кода ответчика**). В шифраторі відповідно до виробленого ПОК О вибирається потрібний код відповіді, яким модулюється сигнал відповіді на частоті f_B VII-го діапазону хвиль.

В режимі імітостійкого державного розпізнавання використовується один з 16 частотно-часових кодів відповіді.

В *запитувачі* шляхом співставлення інформації про *очікуємиий* правильний код відповіді (ПОК З) з *прийнятим* кодом відповіді в залежності від наявності правильного коду відповіді і ймовірності його імітації виробляється один з сигналів x_1 (у сигналі відповіді тільки правильна кодова комбінація, імітуючих імпульсів нема), x_2 (у сигналі відповіді є правильна кодова комбінація і один імітуючий імпульс) або x_3 (у сигналі відповіді правильна кодова комбінація відсутня або крім правильної кодової комбінації є ще два і більше імітуючих імпульсів). Блок оцінки відповідей (БОВ) шляхом аналізу цих сигналів за декілька циклів запит-відповідь накопичує інформацію про наявність і ймовірність імітації правильних відповідей і при досягненні заданого рівня достовірності розпізнавання видає сигнал IP II (імпульс гарантованого розпізнавання свого об'єкту у режимі II).

Сигнал гарантованого розпізнавання використовується в пристрої блокування зброї (ПБЗ) для заборони її застосування по своїм об'єктам.

Якщо на літаку є відповідач і запитувач, то їх обслуговує один ШДП.

Система розпізнавання Mk-12

У багатьох країнах застосовується радіолокаційна система державного розпізнавання РСДР Mk-12. Одночасно використовується і попередня модернізована система Mk-10 SIF, основні характеристики якої відповідають системі Mk-12.

В обох системах запит здійснюється на частоті 1030 МГц, а відповідь видається на частоті 1090 МГц. Необхідна інформація в обох сигналах передається шляхом кодоімпульсної модуляції. Для цього в кожному з режимів на осі часу виділені фіксовані позиції, на яких повинні або можуть розміщуватись радіоімпульси однакової тривалості.

Режими роботи Mk-12

Режим 1 загального (державного) *неімітостійкого* розпізнавання.

Ознакою “свій” являється один з 32 можливих *кодів відповіді*, діючий в даний момент за спеціальним розкладом для всіх своїх об’єктів.

Неімітостійкість визначається тим, що такий код противник може розвідати і використовувати на своїх об’єктах.

Режим 2 *індивідуального* розпізнавання цілей (по принципу *хто*).

Ознакою цілі являється один з 4096 кодів, виділених для неї.

Режим 3/А (3 – для військових об’єктів, А – для цивільних) позначення *мети, етапу та характеру польоту*, передачі іншої інформації. При цьому система кодування відповідей в режимах 3 і А різна.

Режим 4 загального (державного) *імітостійкого* розпізнавання з використанням криптографічних методів закриття інформації. В сигнали запиту введено елемент випадковості у вигляді 32-розрядного випадкового двійкового числа. В запитувачі і у відповідачі кожна реалізація цього випадкового числа обробляється однаковими алгоритмами (*ключами шифрування*) – визначається один з 12 кодів відповіді. В запитувачі *очікуємий* код відповіді *порівнюється з прийнятим* кодом відповіді і встановлюється ідентичність або неідентичність ключів шифрування запитувача і відповідача.

Для всіх своїх об'єктів на певний відрізок часу встановлюється однаковий ключ шифрування. Тому однаковість кодів відповіді в запитувачі і відповідачі є ознакою того, що відповідач встановлено на своєму об'єкті. Для підвищення достовірності розпізнавання проводиться накопичення інформації по результатам обробки кількох запитів-відповідей.

Режим А призначений для визначення *мети польоту* і спілкування в зоні відповідальності УПР ІКАО.

Режим С призначений для визначення *висоти* польоту.

Режим D зарезервовано.

Режим “Маяк” літакових радіолокаційних запитувачів передбачено для забезпечення *розпізнавання по лінії “літак-літак”*. На відміну від попередніх режимів, в цьому режимі запит здійснюється на частоті роботи бортової РЛС, тобто в діапазонах хвиль 2 або 3 см.

Режим S використовується і в інших системах контролю та управління повітряним рухом, які побудовані на принципах радіолокації з активною відповіддю. Структура сигналів запиту і відповіді в режимі S кардинально відрізняється від структури сигналів раніше розглянутих режимів.

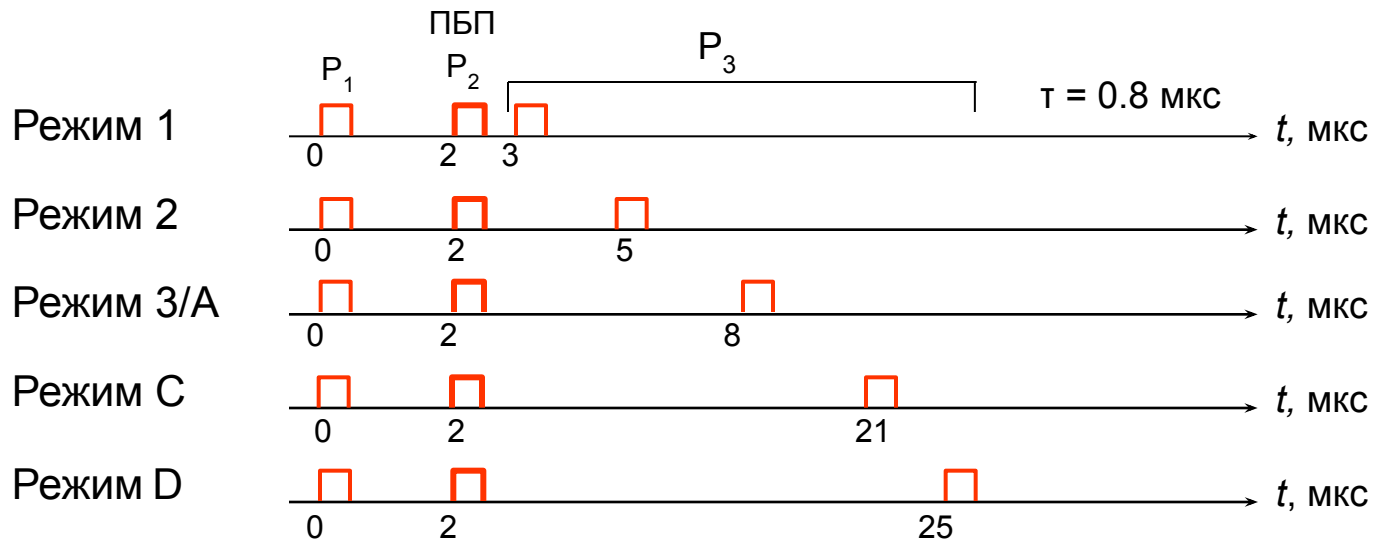
Наземні радіолокаційні запитувачі можуть працювати:

- в якомусь одному режимі,
- по черзі в двох з режимів 1 ... 3,
- по черзі в кожному з режимів 1 ... 3.

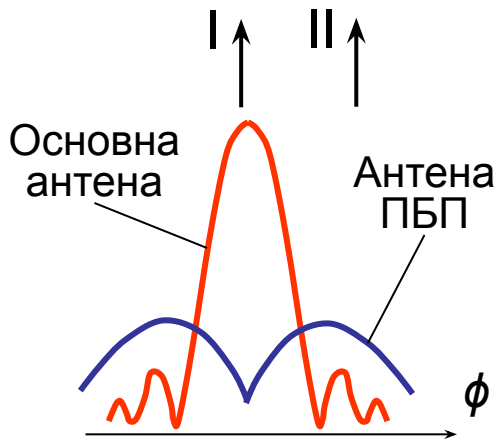
При цьому частота запитів в кожному з режимів знижується в 2 або 3 рази відповідно.

Структура сигналів запиту

Перша частина сигналу запиту (синхрогрупа) забезпечує синхронізацію роботи запитувача і відповідача; для кожного з режимів, крім режиму 4, вона складається з імпульсів P1, P2 і P3 на фіксованих позиціях. Тривалість імпульсів у всіх режимах, крім режиму 4, становить 0.8 мкс, а в режимі 4 – 0.5 мкс.



При цьому імпульси P1 і P3 формуються завжди, а інтервал часу між ними являється кодом режиму запиту. Імпульс P2 призначений для подавлення сигналів запиту по боковим пелюсткам (ПБП) діаграми спрямованості антени запитувача і випромінюється спеціальною антеною в тих напрямках, в яких розташовані бокові пелюстки основної ДСА.

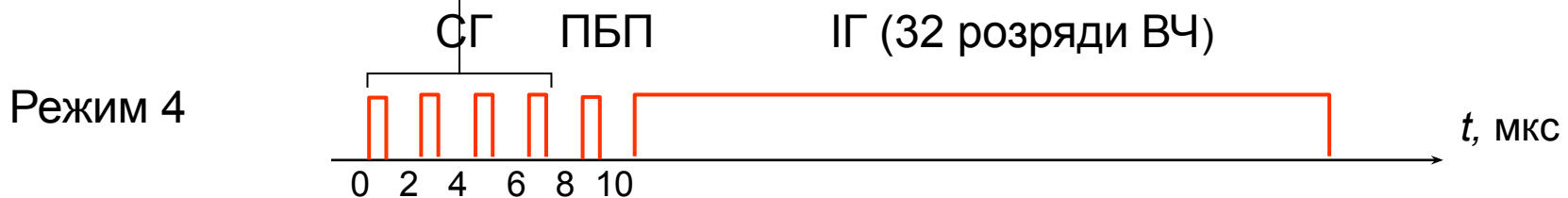


Робота каналу ПБП основана на порівнянні амплітуд імпульсів Р1 і Р3 з амплітудою імпульсів Р2. В залежності від результатів у відповідачі продовжується обробка сигналу запиту (напрямок I) або припиняється (напрямок II). Таким способом забезпечується прийом сигналів запиту, які випромінюються тільки головним пелюстком ДСА запитувача.

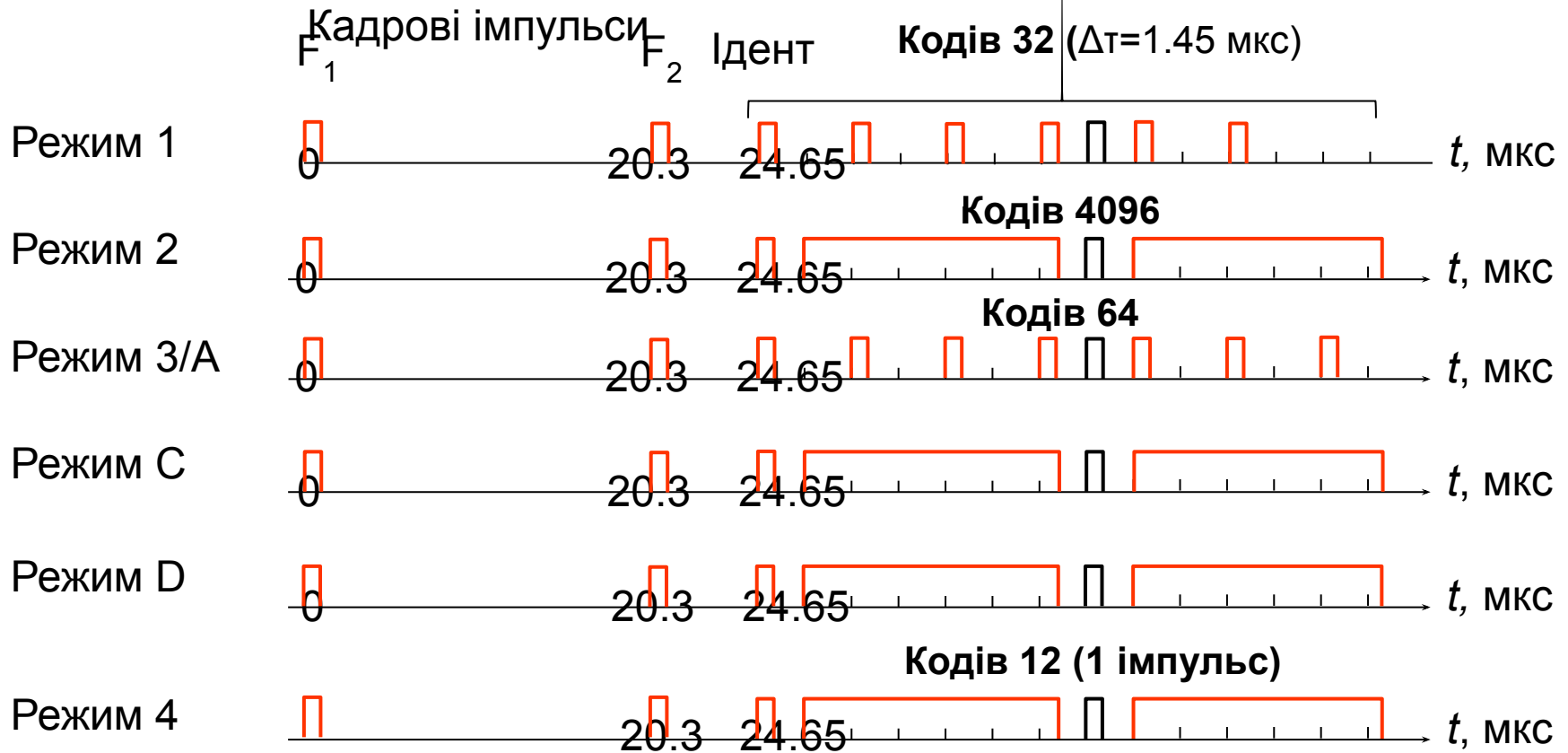
В режимі "Маяк" синхрогрупа складається з двох радіоімпульсів тривалістю 0.5 мкс кожний.

В режимі 4 синхрогрупа займає чотири фіксованих позиції і не включає імпульс ПБП, який займає наступну п'яту позицію.

Друга частина сигнал запиту (так звана *інформаційна група ІГ*) є тільки в режимі 4 і займає наступні 32 позиції, на яких розміщується 32-розрядне двійкове випадкове число (ВЧ). При кожному запиті використовується інша реалізація цього випадкового числа, тобто в послідовності запитів режиму 4 синхрогрупа повторюється, а інформаційна група кожен раз поновлюється.



Структура сигналів відповіді



Перша частина включає два *кадрових імпульси* F_1 і F_2 з інтервалом 20.3 мкс і призначена для впізнавання сигналів відповідей системи Мк-12 і для узгодження в часі системи розкодування відповідей в приймачі запитувача, тобто вона виконує роль синхрогрупи.

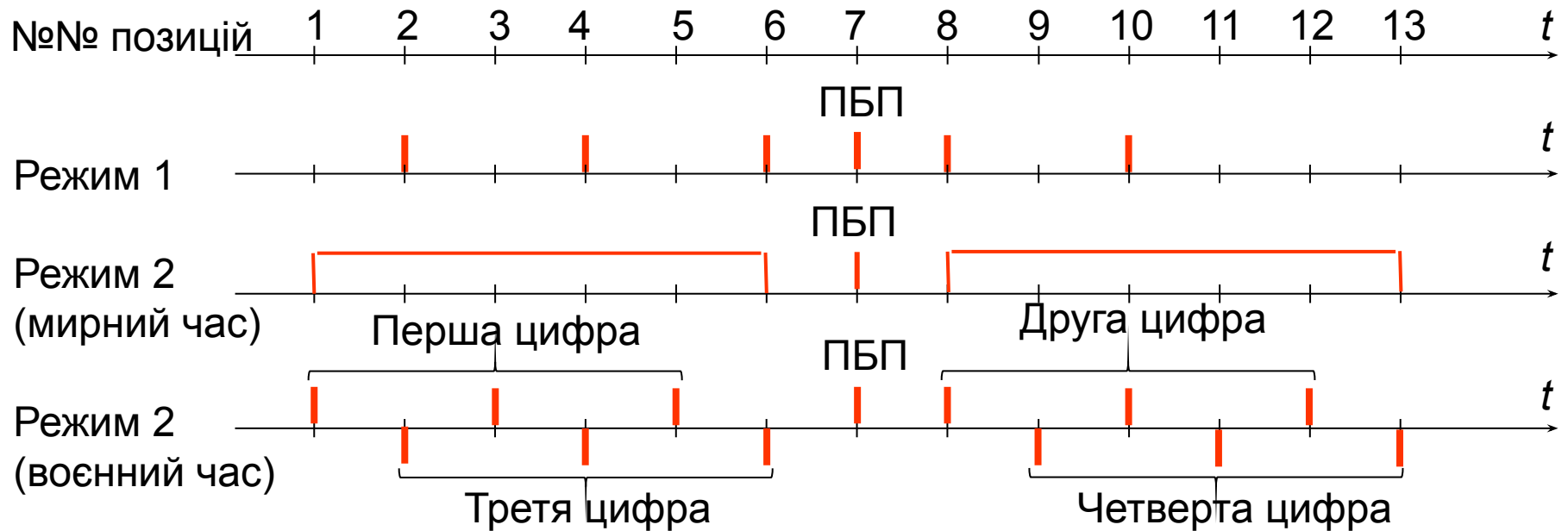
Через 4.35 мкс формується друга частина відповіді, імпульси якої можуть займати фіксовані позиції з інтервалом 1.45 мкс і яка несе всю потрібну інформацію, тобто складає *інформаційну групу*.

Зразу ж після кадрового імпульсу F2, тобто на позиції 24.65 мкс по команді оператора (пілота, штурмана) може формуватись спеціальний імпульс *ідентифікації* (Ідент).

В приймачі запитувача цей елемент сигналу відповіді виділяється із всього сигналу і видається в систему індикації РЛС, з якою спряжено запитувач. По команді оператора РЛС екіпажу об'єкта, який треба виділити (ідентифікувати) серед усіх своїх об'єктів, в сигнал відповіді включається цей імпульс. По його наявності в системі індикації РЛС поруч з відміткою цього об'єкту і виконується його виділення серед інших своїх об'єктів: здійснюється індивідуальне розпізнавання по принципу "де".

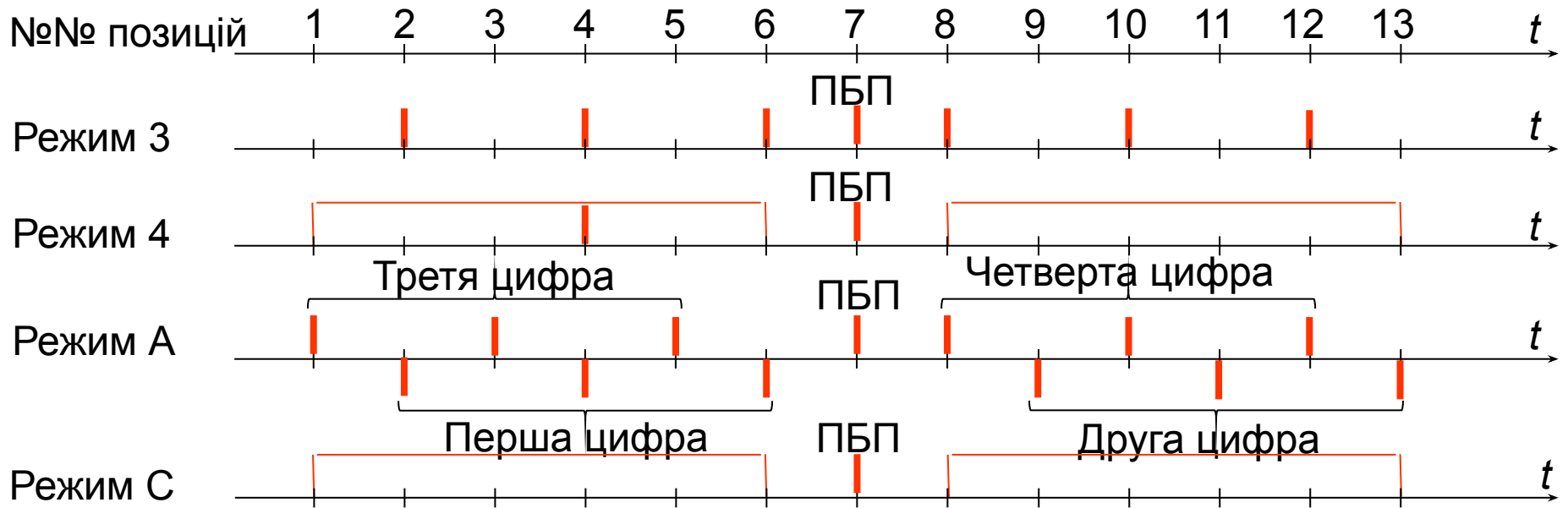
Наступні 13 позицій можуть займати три групи імпульсів. На 7-й позиції випромінюється імпульс ПБП (синього кольору), якщо запит здійснено з напрямку бокових пелюстків ДСА запитувача. Інші дві групи по 6 позицій використовуються для кодування відповіді в залежності від декодованого режиму запиту.

Інформаційна група сигналів відповіді



В режимі 1 для кодування сигналів загального неімітостійкого розпізнавання використовуються перші 5 парних позицій (2, 4, 6, 8 і 10), що дозволяє створити 32 коди відповіді.

В режимі 2 для кодування сигналів індивідуального розпізнавання використовуються всі 12 можливих позицій. Передбачено два варіанти кодування: для мирного часу і для воєнного часу. В варіанті мирного часу вся кодова комбінація включає дві частини, в кожній по 3 імпульси. Перша частина комбінації розміщується на позиціях 1 ... 6, а друга – на позиціях 8 ... 13. В варіанті воєнного часу комбінація складається з чотирьох груп імпульсів, які можуть займати 1, 3 і 5 позиції (перша цифра коду), 8, 10, і 12 позиції (друга цифра коду), 2, 4 і 6 позиції (третя цифра коду) і 8, 11 та 13 позиції (четверта цифра коду). Загальна кількість кодів – 4096.



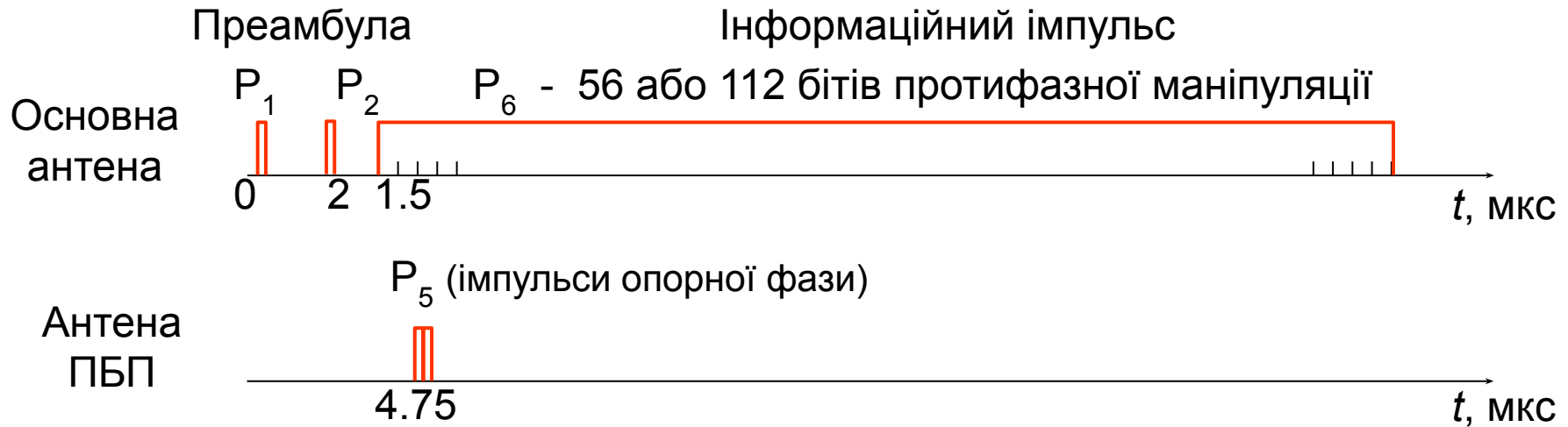
В режимі 3 для кодування інформації на відміну від режиму 1 використовуються всі 6 парних номерів позицій, що дозволяє використовувати 64 різних двійкових числа для кодування відповідей.

В режимі 4 для забезпечення імітостійкого державного розпізнавання в залежності від прийнятої реалізації 32-розрядного випадкового числа і ключа шифрування код сигналу відповіді з одного імпульсу розміщується на одній з 12 позицій. Кількість кодів відповіді – 12.

В режимі А кодування інформації виконується таким же чином, як і в режимі 2, тільки чотири цифри коду відповіді формуються групами імпульсів на інших позиціях.

В режимі С для кодування інформації про висоту польоту використовуються /на осі часу.

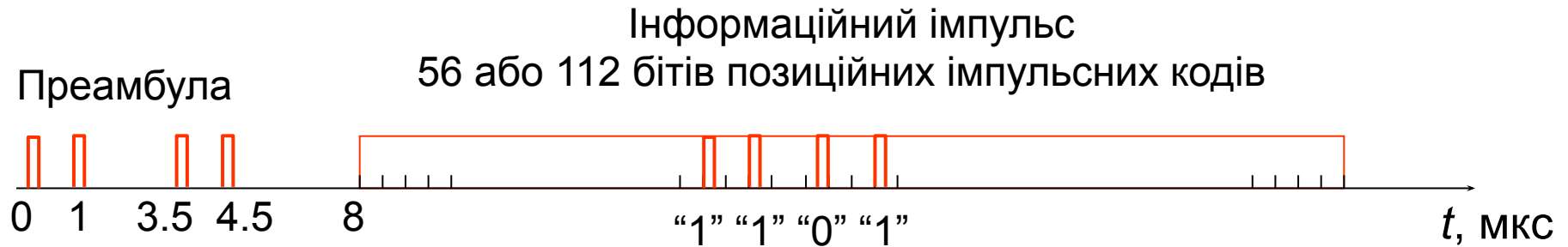
Режим S



Сигнал запиту на частоті 1030 МГц включає *преамбулу* з двох радіоімпульсів Р1 і Р2, *інформаційний імпульс* Р6 і *імпульс ПБП* Р5.

Преамбула, тобто синхрогрупа, являється ознакою режиму S. Імпульс Р2 займає позицію, на якій в усіх інших режимах розташовується імпульс ПБП, **але випромінюється основною антеною**. Імпульс ПБП Р5 випромінюється антеною ПБП пізніше і складається з двох фазуємих імпульсів опорної фази.

Інформаційний імпульс Р6 має тривалість 16.25 мкс або 30.25 мкс. Інформація в ньому кодується шляхом *протифазної маніпуляції* дискретів. В залежності від тривалості імпульсу Р6 в ньому може передаватись 56 або 112 бітів інформації.



Сигнал відповіді на частоті 1090 МГц включає *преамбулу* з 4-х імпульсів на фіксованих позиціях і *інформаційну частину*, в якій *позиційним кодом* (в межах дискретів часу 1 мкс) розміщуються імпульси тривалістю 0.5 мкс: їх розташування на початку дискрету часу відповідає “1”, а в кінці – “0”. В одному сигналі відповіді може передаватись 56 або 112 бітів інформації.

Дискретно-адресний запит дозволяє передавати інформацію в одному або в обох напрямках, а в процесі такого обміну інформацією можуть приймати участь один або декілька запитувачів, один конкретний або всі відповідачі, що знаходяться в зоні дії запитувачів.

4. Особливості систем розпізнавання

Додаткові режими роботи системи розпізнавання

Синхрогрупи кодів запиту режимів I, III і IV однакові і визначається вибраною лінією розпізнавання.

Синхрогрупа коду запиту режиму II відрізняється від синхрогрупи режимів I, III і IV і визначається вибраною лінією розпізнавання.

Інформаційна група кодів запиту режимів I, IV і VI режимів визначається обраним режимом і наявністю чи відсутністю антени ПБП.

Інформаційна група коду запиту режиму II визначається наявністю чи відсутністю антени ПБП, астрономічним часом і реалізацією випадкової складової.

Інформаційна група коду запиту режиму III визначається положенням перемикача кодів і наявністю чи відсутністю антени ПБП.

Код запиту режиму Б-Т незмінний і формується при відсутності запиту у будь-якому режимі з моменту переходу до режиму Б-Т.

Коди відповіді режимів I і III визначається положенням перемикачів кодів.

Код відповіді режиму II визначається прийнятою реалізацією сигналу запиту і алгоритмом його обробки у відповідачі.

Коди відповіді режимів IV і VI визначається інформацією від спряжених систем.

Код відповіді режиму Б-Т визначається режимом запиту державного розпізнавання.

Особливості експлуатації систем розпізнавання

Строк дії ключа значно менший за можливий час його розшифрування. Ключі не повторюються.

По ключовій карті при невідомих алгоритмах обробки введеної з карти інформації у пристрій вводу та у ШДП неможливо відтворити алгоритм обробки випадкового числа.

Використані ключові карти знищуються.

У випадку дискредитації діючих ключів здійснюється перехід на запасні ключі. Алгоритми формування запасних і основних ключів різні.

Інформація автоматично знищується (стирається) при спробі доступу до неї (вскриття блоків, несанкціоноване підключення).

Інформація автоматично знищується при відключенні (знятті, руйнуванні) акумулятора.

Введена інформація на літаку вручну знищується кнопкою СТИРАНИЕ.

Інформація у блоці введення вручну знищується кнопкою СТИРАНИЕ.

Забороняється:

1. Вводити інформацію з карт будь-де, крім визначених приміщень.
2. Двічі вводити інформацію з однієї карти.
3. Включати на випромінювання передавачі під час вводу інформації.
4. Відкривати кришку роз'йому на літаку після введення інформації.
5. Порувувати пломби та відкривати блоки ШДП.

Питання для самоконтролю

1. Призначення, склад і завдання РЛСР.
2. Особливості основних типів систем розпізнавання.
3. Особливості побудови Мк-12.
4. Неімітостійкий режим розпізнавання.
5. Імітостійкий режим розпізнавання.
6. Додаткові режими роботи РЛСР.
7. Особливості експлуатації РЛСР.

Завдання на самостійну роботу

1. Конспект по темі заняття доповнити матеріалом з навчального посібника і рекомендованих підручників.
2. Презентації АК ППЦ.ppt та РЛСР.ppt.
3. О.В.Власов, И.В.Смокин. Радиооборудование летательных аппаратов. – М.: Воениздат, 1971, с. 216-222.
4. П.И.Дудник. Авиационные радиолокационные устройства. – М.: ВВИА им. Н.Е.Жуковского, 1976, с. 492-502.
5. В.А.Войчук, В.І.Романенко, Д.В.Васягін. Експлуатація й ремонт радіоелектронного обладнання літаків, вертольотів та авіаційних ракет. (Електронний підручник). – К.: НАУ, 2011, тема 13.