



УКРАЇНА

(19) UA (11) 67633 (13) U

(51) МПК

G01S 17/42 (2006.01)

G01S 17/66 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту**(54) КАНАЛ АВТОМАТИЧНОГО СУПРОВОДЖЕННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЗА НАПРЯМКОМ ДЛЯ ЛІВС З РОЗШИРЕНИМ НАБОРОМ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИХ ОЗНАК РОЗПІЗНАВАННЯ ЛА**

1

2

**(21)** u201112041**(22)** 13.10.2011**(24)** 27.02.2012**(46)** 27.02.2012, Бюл.№ 4, 2012 р.**(72)** КОЛОМІЙЦЕВ ОЛЕКСІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ, АЛЬОШИН ГЕННАДІЙ ВАСИЛЬОВИЧ, ВАСИЛЬЄВ ДМИТРО ГЕННАДІЙОВИЧ, ВОРОБІЙОВ РУСЛАН ВОЛОДИМИРОВИЧ, НАКОНЕЧНИЙ ОЛЕКСАНДР АНАТОЛІЙОВИЧ, РУБАН ІГОР ВІКТОРОВИЧ, РЯБУХА ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ, САЧУК ІГОР ІВАНОВИЧ, ХРАПЧИНСЬКИЙ ВАСИЛЬ ОЛЕГОВИЧ, ХУДАРКОВСЬКИЙ КОСТЯНТИН ІГОРОВИЧ**(73)** ХАРКІВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ІМЕНІ ІВАНА КОЖЕДУБА**(57)** Канал автоматичного супроводження літальних апаратів за напрямком для ЛІВС з розширеним набором поляризаційних ознак розпізнавання ЛА, який містить керуючий елемент, блок керування дефлекторами, лазер з накачкою, селектор

подовжніх мод, блок дефлекторів, передавальну оптику, приймальну оптику, фотодетектор, ширококутний підсилювач (ШП), резонансні підсилювачі, настроєні на відповідні частоти міжмодових биттів, детектори, фільтри, формувачі імпульсів, тригери ("1"|"0"), схеми І, лінії затримки, лічильники, цифро-аналогові перетворювачі, фільтри нижніх частот, підсилювачі (фільтри) сигналу похибки, виконавчі механізми, електронно-цифрову обчислювальну машину та а-введення опорного сигналу з частотою  $\Delta\nu_m$  передавального лазера, б-введення сигналу від каналу оцінки тангенціальної складової швидкості (кутових швидкостей) літального апарата для уточнення похибки збігу по кутах, який відрізняється тим, що після ШП замість модифікованого інформаційного блока введено інформаційний блок з розширеними можливостями із введенням б.

Запропонована корисна модель відноситься до галузі електров'язку і може бути використана для побудови передавальної частки лазерної інформаційно-вимірювальної системи (ЛІВС) з частотно-часовим методом (ЧЧМ) пошуку, розпізнавання та вимірювання параметрів руху літального апарату (ЛА).

Відомий «Канал автоматичного супроводження літальних апаратів за напрямком для лазерної інформаційно-вимірювальної системи» [1], який містить керуючий елемент (КЕ), блок керування дефлекторами (БКД), лазер з накачкою (Лн), селектор подовжніх мод (СПМ), блок дефлекторів (БД), передавальну оптику (ПРДО), приймальну оптику (ПРМО), фотодетектор (ФТД), ширококутний підсилювач (ШП), інформаційний блок (ІБ) для інформаційного взаємозв'язку з ЛА, резонансні підсилювачі (РП), настроєні на відповідні частоти міжмодових биттів, детектори (Дет), фільтри (Ф), формувачі імпульсів (ФІ), тригери ("1"|"0"), схеми І («І»), лінії затримки (ЛЗ), лічильники (Лч), цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП), фільтри нижніх частот (ФНЧ), підсилювачі (фільтри) сигналу похибки (ПСП), виконуючі механізми (ВМ), електронно-

цифрову обчислювальну машину (ЕЦОМ) та а - введення опорного сигналу з частотою  $\Delta\nu_m$  передавального лазера, б - введення сигналу від каналу оцінки тангенціальної складової швидкості (кутових швидкостей) літального апарату (ЛА) для уточнення похибки збігу по кутах.

Недоліком відомого каналу автоматичного супроводження ЛА за напрямком (АН) є те, що він не може формувати та обробляти зображення ЛА.

Найбільш близьким до запропонованого технічним рішенням, обраним як прототип є «Канал автоматичного супроводження літальних апаратів за напрямком для ШВС з можливістю формування та обробки зображення ЛА» [2], який містить керуючий елемент, блок керування дефлекторами, лазер з накачкою, селектор подовжніх мод, блок дефлекторів, передавальну оптику, приймальну оптику, фотодетектор, ширококутний підсилювач, модифікований інформаційний блок (МІБ) для інформаційного взаємозв'язку з ЛА та, в разі необхідності, формування і обробки його зображення, резонансні підсилювачі, настроєні на відповідні частоти міжмодових биттів, детектори, фільтри, формувачі імпульсів, тригери ("1"|"0"), схеми І, лінії

(13) U

(11) 67633

(19) UA

затримки, лічильники, цифро-аналогові перетворювачі, фільтри нижніх частот, підсилювачі (фільтри) сигналу похибки, виконуючі механізми, електронно-цифрову обчислювальну машину та а - введення опорного сигналу з частотою  $\Delta v_m$  передавального лазера, б - введення сигналу від каналу оцінки тангенціальної складової швидкості (кутових швидкостей) літального апарату для уточнення похибки збігу по кутах.

Недоліком каналу-прототипу є те, що він не використовує прямі виміри тангенціальної швидкості (кутових швидкостей) для детального розпізнавання ЛА.

В основу корисної моделі поставлена задача створити канал автоматичного супроводження літальних апаратів за напрямком для ЛІВС з розширеним набором поляризаційних ознак розпізнавання ЛА, який дозволить здійснювати інформаційний взаємозв'язок з ЛА, одночасно при стійкому його кутівому автосупроводженні з високою точністю вимірювати кути азимута  $\alpha$  і міста  $\beta$  у широкому діапазоні дальностей, починаючи з початкового моменту його польоту та, завдяки використанню його поляризаційних ознак, що отримуються, детально розпізнавати ЛА за короткий час.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що у відомий канал-прототип, який містить керуючий елемент, блок керування дефлекторами, лазер з накачкою, селектор подовжніх мод, блок дефлекторів, передавальну оптику, приймальну оптику, фотодетектор, ширококутний підсилювач, модифікований інформаційний блок для інформаційного взаємозв'язку з ЛА та, в разі необхідності, формування і обробки його зображення, резонансні підсилювачі, настроєні на відповідні частоти міжмодових биттів, детектори, фільтри, формувачі імпульсів, тригери ("1"|"0"), схеми І, лінії затримки, лічильники, цифро-аналогові перетворювачі, фільтри нижніх частот, підсилювачі (фільтри) сигналу похибки, виконуючі механізми, електронно-цифрову обчислювальну машину та а - введення опорного сигналу з частотою  $\Delta v_m$  передавального лазера, б - введення сигналу від каналу оцінки тангенціальної складової швидкості (кутових швидкостей) ЛА для уточнення похибки збігу по кутах, після ШП замість МІБ введено інформаційний блок з розширеними можливостями (ІБРМ) із введенням б.

Побудова каналу автоматичного супроводження літальних апаратів за напрямком для ЛІВС з розширеним набором поляризаційних ознак розпізнавання ЛА пов'язана з використанням синхронізованого одномодового багаточастотного випромінювання єдиного лазера-передавача та ЧЧМ [3].

Технічний результат, який може бути отриманий при здійсненні корисної моделі полягає в інформаційному взаємозв'язку з ЛА, стійкому кутівому автосупроводженні при одночасному високоточному вимірюванні кутів азимута і міста у широкому діапазоні дальностей, починаючи з початкового моменту його польоту та розширенні набору поляризаційних ознак розпізнавання ЛА, що отримуються, підвищенні ефективності і скороченні часу на його розпізнавання.

На фіг. 1 приведена узагальнена структурна схема каналу АСН, де: а - введення опорного сигналу з частотою  $\Delta v_m$  ( $3\Delta v$ ) лазера-передавача; б - введення сигналу від каналу оцінки тангенціальної складової швидкості (кутових швидкостей  $\alpha'$  і  $\beta'$ ) ЛА для уточнення похибки збігу по кутах каналів; І - для визначення вимірювальної інформації; ІІ - для обробки інформації, що отримується та визначення детального зображення ЛА.

На фіг. 2 приведено створення рівносигнального напрямку (РСН) та сканування 4-ма діаграмами спрямованості (ДС) лазерного випромінювання в ортогональних площинах.

На фіг. 3 приведено створення лазерного сигналу із просторовою модуляцією поляризації.

На фіг. 4 приведені епюри напруг з виходів блоків каналу АСН.

На фіг. 5 приведені епюри напруг з виходів блоків каналу АСН, які визначають полярність, де: а) - для визначення знаку «+»; б) - для визначення знаку «-».

На фіг. 6 приведено кут відхилення ЛА від РСН відносно ШВС.

Запропонований канал автоматичного супроводження літальних апаратів за напрямком для ЛІВС з розширеним набором поляризаційних ознак розпізнавання ЛА містить керуючий елемент, блок керування дефлекторами, лазер з накачкою, селектор подовжніх мод, блок дефлекторів, передавальну оптику, приймальну оптику, фотодетектор, ширококутний підсилювач, інформаційний блок з розширеними можливостями із введенням б, резонансні підсилювачі, настроєні на відповідні частоти міжмодових биттів, детектори, фільтри, формувачі імпульсів, тригери ("1"|"0"), схеми І, лінії затримки, лічильники, цифро-аналогові перетворювачі, фільтри нижніх частот, підсилювачі (фільтри) сигналу похибки, виконуючі механізми, електронно-цифрову обчислювальну машину та а - введення опорного сигналу з частотою  $\Delta v_m$  передавального лазера, б - введення сигналу від каналу оцінки тангенціальної складової швидкості (кутових швидкостей) ЛА для уточнення похибки збігу по кутах.

Робота запропонованого каналу автоматичного супроводження літальних апаратів за напрямком для ЛІВС з розширеним набором поляризаційних ознак розпізнавання ЛА полягає в наступному. Із синхронізованого одномодового багаточастотного спектра випромінювання лазера (Лн) за допомогою СГМ [4] виділяються необхідні пари частот і окремі частоти для створення:

- рівносигнального напрямку на основі формування сумарної ДС лазерного випромінювання, завдяки 4-х парціальних діаграм спрямованості, що частково перетинаються, за умови використання комбінацій подовжніх мод («підфарбованих» різницею частотами міжмодових биттів)

$$\Delta v_{54} = v_5 - v_4 = \Delta v_m, \quad \Delta v_{97} = v_9 - v_7 = 2\Delta v_m,$$

$$\Delta v_{63} = v_6 - v_3 = 3\Delta v_m, \quad \Delta v_{82} = v_8 - v_2 = 6\Delta v_m;$$

- інформаційного каналу зв'язку, за умови використання сигналу на несучій частоті  $v_1$ ;

- лазерного сигналу із просторовою модуляцією поляризації, за умови використання сигналу з подовжньої моди (несучої частоти  $v_{10}$ ).

Сигнал несучої частоти  $\nu_1$ , минаючи БД, потрапляє на ПРДО, де змішується (модулюється) з інформаційним сигналом від ІБРМ та формує інформаційний сигнал, що передається на ЛА (взаємозв'язок) (фіг. 1, 2). Також, за допомогою СПМ та інформаційного блоку з розширеними можливостями створюється лазерний сигнал із просторовою модуляцією поляризації шляхом розведення лазерного випромінювання (несучої частоти  $\nu_{10}$ ) на два променя ( $\nu_{10(1)}$  та  $\nu_{10(2)}$ ) з поворотом площини поляризації на кут  $90^\circ$  в одному з них (фіг. 3). При цьому випромінювання апертури першого і другого каналів в апертурній площині  $UOV$  рознесені на відстані  $\rho$ . Різниця ходу пучків до картинної площини ЛА  $XOY$  змінюється вдовж осі  $X$  від точки до точки. Обумовлена цією різницею фаз між поляризованими компонентами, що ортогональні, поля у картинній площині також змінюється від точки до точки. В залежності від різниці фаз у картинній площині змінюється вигляд поляризації сумарного поля сигналу, що зондує від лінійної через еліптичну і циркулюючу до лінійної, ортогональної до початкової і т.д. Період зміни вигляду поляризації визначається базою між випромінювачами  $\rho$  та відстанню до картинної площини  $R$ . Розподіл інтенсивності в реєстрованому зображенні ЛА промодульовано по гармонійному закону з коефіцієнтом модуляції, дорівнює значенню ступеня поляризації випромінювання, що відбито, в даній ділянці поверхні ЛА.

Водночас, сигнал частот міжмодових биттів  $\Delta\nu_m$ ,  $2\Delta\nu_m$ ,  $3\Delta\nu_m$  та  $6\Delta\nu_m$  потрапляє на БД, який створений з 4-х п'єзоелектричних дефлекторів. Парціальні ДС лазерного випромінювання попарно зустрічно сканують БД у кожній із двох ортогональних площин (фіг. 1, 2). Період сканування задається блоком керування дефлекторів, який разом з Лн живляться від КЕ. Проходячи через передавальну оптику, груповий лазерний імпульсний сигнал пар частот:  $\nu_5, \nu_4 = \Delta\nu_m, \nu_9$ ,  $\nu_7 = 2\Delta\nu_m$ ,  $\nu_6, \nu_3 = 3\Delta\nu_m$  та  $\nu_8, \nu_2 = 6\Delta\nu_m$  фокусується в скануємі точки простору, оскільки здійснюється зустрічне сканування двома парами ДС лазерного випромінювання у кожній із двох ортогональних площин  $\alpha$  і  $\beta$  або  $X$  і  $Y$ . При цьому несуча частота  $\nu_1$  та лазерний сигнал із просторовою модуляцією поляризації ( $\nu_{10(1)}$  та  $\nu_{10(2)}$ ) проходять вдовж РСН (фіг. 2).

При відбитті лазерного сигналу із просторовою модуляцією поляризації, що зондує, від поверхні ЛА змінюються амплітудні і фазові співвідношення між ортогонально поляризаційними компонентами, параметри їх поляризаційні і, відповідно, комплексні коефіцієнти когерентності відбитого поля. Просторовий розподіл поляризаційних характеристик такого відбитого сигналу по зміні контрасту модуляційної структури зображення несе також інформацію про типи матеріалів у складі поверхні ЛА, їх характеристики і тощо. Тому у ІБРМ здійснюється поляризаційна обробка поля, що приймається.

Прийняті прийомною оптикою від ЛА інформаційні та, відбиті в процесі сканування чотирьох ДС, лазерні імпульсні сигнали і огинаючі сигнали ДС лазерного випромінювання за допомогою ФТД перетворюються в електричні імпульсні сигнали на

несучій частоті і різницевих частотах міжмодових биттів. Підсилені широкопasmовим підсилювачем вони розподіляються:

- в ІБРМ для обробки інформації, що приймається від ЛА та відбитого лазерного сигналу із просторовою модуляцією поляризації, що зондує, від його поверхні для детального розпізнавання ЛА;

- по РП, які настроєні на відповідні частоти:  $\Delta\nu_m$ ,  $2\Delta\nu_m$ ,  $3\Delta\nu_m$ ,  $6\Delta\nu_m$ .

При цьому імпульсні сигнали радіочастоти, що надходять з РП  $\Delta\nu_m$  від і РП  $2\Delta\nu_m$  від формують сигнал похибки по куту  $\alpha$ , а РП  $3\Delta\nu_m$  від і РП  $6\Delta\nu_m$  від - по куту  $\beta$ .

Формування сигналу похибки по куту  $\alpha$  полягає в наступному.

Введення імпульсного сигналу (а) з опорного каналу  $\Delta\nu_m$ , перетвореного ФІ1 у «пачки» опорних імпульсів на частоті  $\Delta\nu_m$  оп, надходить на схему І. Виділений і посилений імпульсний сигнал з РП  $\Delta\nu_m$  від частоти міжмодових биттів  $\Delta\nu_m$  від (фіг. 4, 5) детектується Дет у виді огинаючої сигналу, що змінюється за законом руху ДС лазерного випромінювання і, після проходження Ф, перетворюється у ФІ2 у точках переходів періодів сканування в імпульси (один імпульс за період сканування) та надходить на тригер «1», перекидаючи його. У цей же час, виділений і посилений РП  $2\Delta\nu_m$  від імпульсний сигнал частоти міжмодових биттів  $2\Delta\nu_m$  від детектується, виділяючи огинаючу сигналу, що змінюється за таким же законом і, проходячи Ф, перетворюється у ФІ2 у точках переходів періодів коливань в імпульси (один імпульс за період сканування) та надходить на тригер «0», встановлюючи його у вихідний стан.

Задача виміру часового інтервалу в схемі І із заданою точністю полягає у встановленні критерію початку і кінця відліку часового інтервалу по визначених характеристиках значення імпульсних сигналів, що надходять на входи схеми І. У зв'язку з тим, що передній фронт імпульсу досить малий у порівнянні з дозволом, що вимагається за часом, характерними значеннями сигналу, що визначають начало і кінець відліку часового інтервалу є граничне значення  $U_n$  (порогове значення напруги) (фіг. 5).

Завдяки періодичному за цикл сканування відкриттю і закриттю тригером схеми І, регулюється проходження імпульсів у схемі І від ФІ1, тобто відбувається виділення «пачок» імпульсів, число яких пропорційно куту відхилення ЛА від РСН (фіг. 5, 6). Підраховані лічильником імпульси перетворюються ЦАП в аналоговий сигнал похибки з необхідним знаком, що змішується у ФНЧ з імпульсним сигналом від каналу кутових швидкостей ЛА (б) для уточнення похибки збігу по кутах. Завдяки обліку виміральної інформації від каналу кутових швидкостей (б) у ФНЧ усуваються динамічна і флуктуаційна похибки фільтрації. Отриманий сигнал, відфільтрований у ФНЧ і посилений підсилювачем сигналу похибки, відпрацьовується за допомогою виконавчого механізму ( $\alpha$ ), надходить від ПСП $\alpha$  на вхід ЕЦОМ та виділяється в ній у вигляді числа пропорційного вимірюваному куту азимута  $\alpha$ .

Якщо ЛА знаходиться вище РСН, то на схему I першим надходить імпульс з ФІ2 міжмодової частоти  $\Delta v_{m \text{ від}}$ , а на тригер надходить другим імпульс з ФІ2 міжмодової частоти  $2\Delta v_{m \text{ від}}$  (фіг. 1, 4 - 6). На схему I від тригера подається строб, тривалість якого пропорційна відхиленню ЛА від РСН. Цей часовий інтервал вимірюється методом рахунка імпульсів частоти міжмодових биттів  $\Delta v_{m \text{ від}}$ .

Оскільки тривалість строба залежить лише від величини відхилення ЛА від РСН, а не від сторони відхилення, маємо схему визначення полярності сигналу похибки («+» або «-»).

Якщо ЛА буде розташований нижче РСН, то першим надійде імпульс від ФІ2 з каналу  $2\Delta v_{m \text{ від}}$ , а другим - з каналу  $\Delta v_{m \text{ від}}$ .

Визначення знаку «+» або «-», або сторони відхилення ЛА від РСН (фіг. 1; 5 а, б) полягає в наступному.

Якщо ЛА знаходиться вище РСН, то імпульс 1 (фіг. 1, 5 а) від каналу  $\Delta v_{m \text{ від}}$  випереджає імпульс 2 каналу  $2\Delta v_{m \text{ від}}$ . Оскільки строб від тригера затримується на час, що перевищує тривалість імпульсу 1 (або 2), то схема збігів I не спрацьовує, тому що імпульс 1 не збігається в часі з даним стробом. Знак сигналу похибки по куту  $\alpha$  залишається позитивним («+»).

Якщо ЛА знаходиться нижче РСН (фіг. 5, б), то імпульс 1 відстає від імпульсу 2, тому він збігається в часі зі стробом. Схема I спрацьовує і змінює знак («-» або полярність) напруги сигналу похибки по куту  $\alpha$ . Імпульс зі схеми I подається на знаковий розряд лічильника імпульсів з частотою  $\Delta v_{m \text{ від}}$ . Число імпульсів у лічильнику пропорційно куту відхилення  $\alpha$  від РСН.

Форматування сигналу похибки по куту  $\beta$  відбувається таким же чином, як для сигналу похибки по куту  $\alpha$ . Виконавчі механізми  $ВМ_{\alpha}$  і  $ВМ_{\beta}$  розвертають приймально-передаючу платформу таким чином, щоб ЛА знаходився на РСН каналу АСН, тобто на РСН сумарної ДС лазерного випромінювання.

Відображення інформації, що приймається (передається) від ЛА та обробка (вимірювання) кутів азимута  $\alpha$  і міста  $\beta$  відбувається в ЕЦОМ.

Вимірювальна інформація про тангенціальну складову швидкості (кутові швидкості) ЛА від кана-

лу кутових швидкостей використовується в ІБРМ, де завдяки додатковій обробці елементів поляризаційної матриці розсіяння ЛА від отриманого поляризаційного поля (суми сигналів різної поляризації) забезпечується точне значення кутових швидкостей ЛА, розширюється набір ознак його розпізнавання, підвищується ефективність та скорочується час на розпізнавання ЛА, що супроводжується.

Формування сумарної ДС лазерного випромінювання, створення РСН, інформаційного каналу для каналу, що пропонується, пов'язано із задоволенням жорстких вимог, що пред'являються до спектру випромінювання одномодового багаточастотного лазера-передавача, тобто високоточної синхронізації подовжніх мод і стабілізації частот міжмодових биттів.

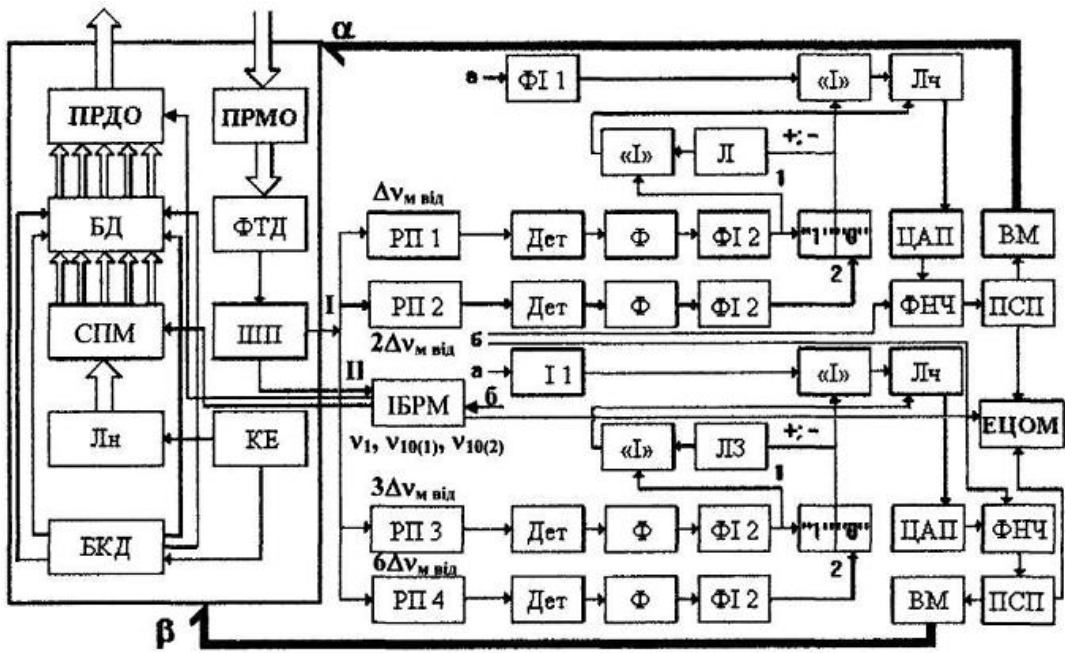
Джерела інформації:

1. Патент на корисну модель, № 23213, Україна, МПК G01S 17/42, G01S 17/66. Канал автоматичного супроводження літальних апаратів за напрямком для лазерної інформаційно-вимірювальної системи. /О.В. Коломійцев, Г.В. Альошин, В.В. Баранник та ін. - № u200700012; заяв. 02.01.2007; опубл. 10.05.2007; Бюл. № 6 - 8с.

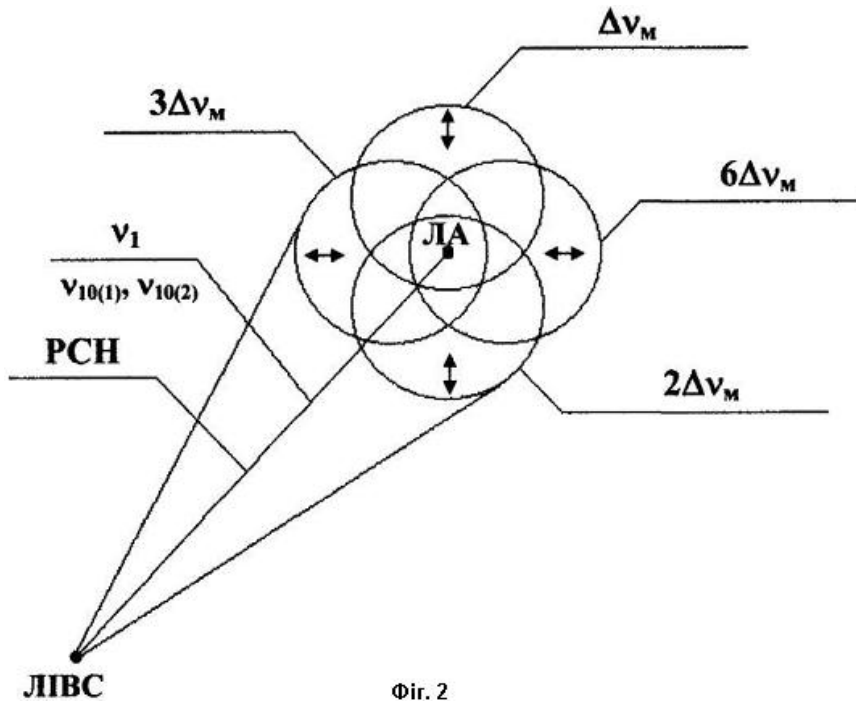
2. Патент на корисну модель № 56912, Україна, МПК G01S 17/42, G01S 17/66. Канал автоматичного супроводження літальних апаратів за напрямком для ЛІВС з можливістю формування та обробки зображення ЛА. /О.В. Коломійцев, В.В. Белімов, Д.Г. Васильєв та ін. - № u201011812; заяв. 05.10.2010; опубл. 25.01.2011; Бюл. № 2. - 12 с.

3. Патент на корисну модель № 55645, Україна, МПК G01S 17/42, G01S 17/66. Частотно-часовий метод пошуку, розпізнавання та вимірювання параметрів руху літального апарату. /О.В. Коломійцев - № u201005225; заяв. 29.04.2010; опубл. 27.12.2010; Бюл. № 24.-14 с.

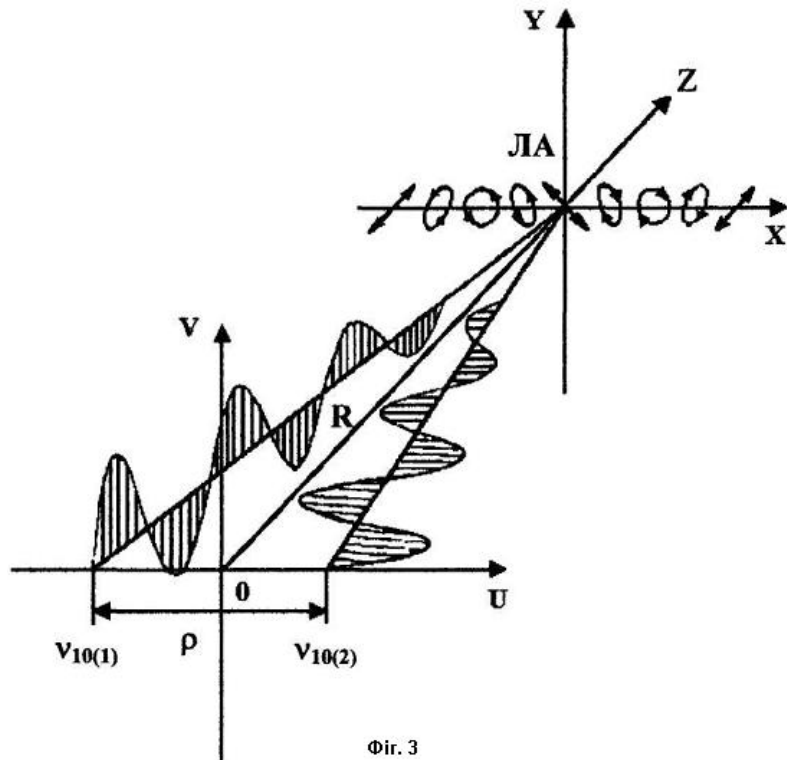
4. Патент на корисну модель, № 23215, Україна, МПК H04Q 1/453. Селектор подовжніх мод для лазерної інформаційно-вимірювальної системи. /О.В. Коломійцев, Г.В. Альошин, В.В. Баранник та ін. - № u200700070; Заяв. 02.01.2007; опубл. 10.05.2007; Бюл. № 6 - 6 с.



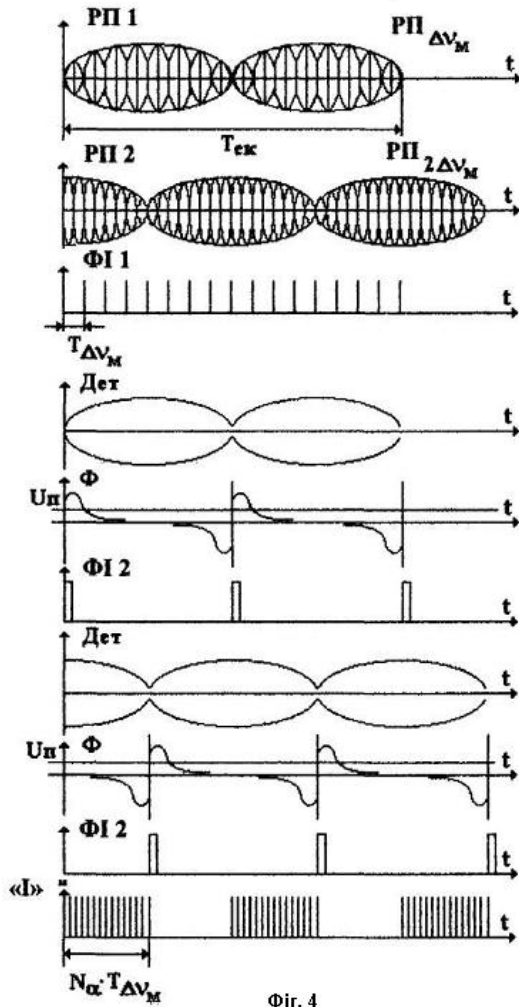
Фиг. 1



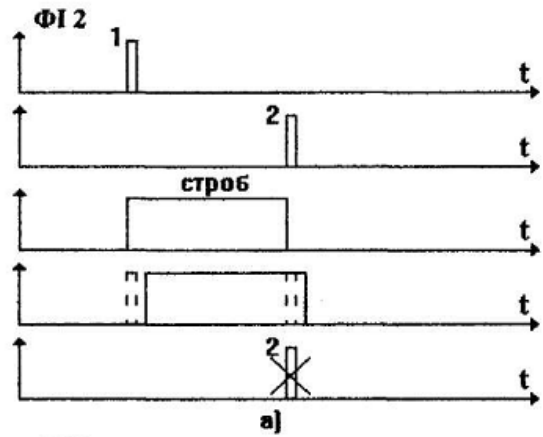
Фиг. 2



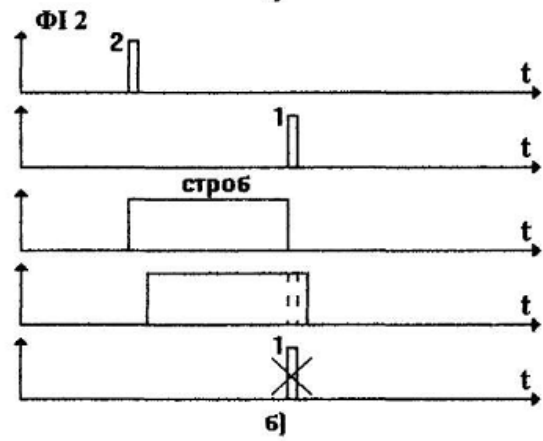
Фиг. 3



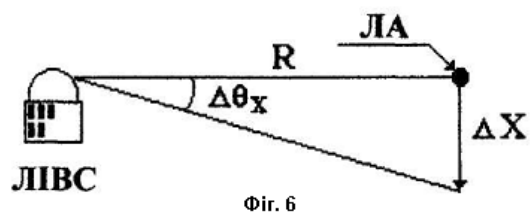
Фиг. 4



а)



б)



Фиг. 6