



УКРАЇНА

(19) UA (11) 61339 (13) U
(51) МПК
G01S 17/42 (2006.01)
G01S 17/66 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) КАНАЛ АВТОМАТИЧНОГО СУПРОВОДЖЕННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЗА НАПРЯМКОМ З ДОДАТКОВИМ СКАНУВАННЯМ ТА РОЗШИРЕНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ

1

2

(21) u201103394

(22) 22.03.2011

(24) 11.07.2011

(46) 11.07.2011, Бюл.№ 13, 2011 р.

(72) КОЛОМІЙЦЕВ ОЛЕКСІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ, БОЛЮБАШ ОЛЕКСІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, ВАСИЛЬЄВ ДМИТРО ГЕННАДІЙОВИЧ, ДОРОШЕНКО ЮРІЙ ІВАНОВИЧ, КОЗИНА ОЛЬГА АНДРІЙВНА, ПОДОРОЖНЯК АНДРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, РУБАН ІГОР ВІКТОРОВИЧ, САДОВИЙ КОСТЯНТИН ВІТАЛІЙОВИЧ, САЧУК ІГОР ІВАНОВИЧ, ШОСТАК АНАТОЛІЙ ВАСИЛЬОВИЧ

(73) ХАРКІВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ІМЕНІ ІВАНА КОЖЕДУБА

(57) Канал автоматичного супроводження літальних апаратів за напрямком з додатковим скануванням та розширеними можливостями, який містить керуючий елемент, блок керування дефлекторами, лазер з накачкою, багатоканаль-

ний селектор подовжніх мод, модифікований блок дефлекторів, передавальну оптику, приймальну оптику, фотодетектор, ширококутовий 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 інформаційного блока введено інформаційний блок з розширеними можливостями із введенням б

Запропонована корисна модель належить до галузі електров'язку і може бути використана для побудови передаючої 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), ширококутовий підсилювач (ШП), резонансні підсилювачі (РП), настроєні на відповідні частоти міжмодових биттів, інформаційний блок (ІБ) для інформаційного взаємозв'язку з ЛА, 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 похи-

бки (ПСП), виконавчі 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) ЛА для уточнення похибки збігу по кутах.

Недоліком відомого каналу є те, що він не здійснює інформаційного взаємозв'язку з ЛА на несучих частотах ν_n та не виконує додаткового сканування сумарною діаграмою спрямованості (ДС) лазерного випромінювання.

Найбільш близьким до запропонованого технічним рішенням, обраним як прототип є «Канал автоматичного супроводження літальних апаратів за напрямком з додатковим скануванням» [2], який містить керуючий елемент, блок керування дефлекторами, лазер з накачкою, багатоканальний селектор подовжніх мод (БСПМ), модифікований блок дефлекторів (МБД), передавальну оптику, приймальну оптику, фотодетектор, ширококутовий підсилювач, резонансні підсилювачі, настроєні на відповідні частоти міжмодових биттів, інформацій-

(13) U

(11) 61339

(19) UA

ний блок для інформаційного взаємозв'язку з ЛА, 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) ЛА для уточнення похибки збігу по кутах.

Недоліком каналу-прототипу є те, що він не використовує лазерний сигнал із просторовою модуляцією поляризації на несучих частотах ν_{n1} та ν_{n2} для детального розпізнавання ЛА.

В основу корисної моделі поставлена задача створити канал автоматичного супроводження літальних апаратів за напрямком з додатковим скануванням та розширеними можливостями, який дозволить здійснити сканування сумарною ДС лазерного випромінювання у заданій частці простору із заданим законом сканування для виявлення ЛА, багатоканальний (N) інформаційний взаємозв'язок з ним на несучих частотах ν_n і частоті міжмодових биттів, точне і стійке кутове автосупроводження при одночасному вимірюванні кутів азимута α і міста β у широкому діапазоні дальностей, починаючи з початкового моменту його польоту та, завдяки використанню поляризаційних ознак ЛА, що отримуються, детально розпізнавати його за короткий час.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що у відомий канал-прототип, який містить керуючий елемент, блок керування дефлекторами, лазер з накачкою, багатоканальний селектор подовжніх мод, модифікований блок дефлекторів, передавальну оптику, приймальну оптику, фотодетектор, широкопasmовий підсилювач, 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, а - введення опорного сигналу з частотою $\Delta\nu_m$ передавального лазера, б - введення сигналу від каналу оцінки тангенціальної складової швидкості (кутових швидкостей) ЛА для уточнення похибки збігу по кутах та інформаційний блок для інформаційного взаємозв'язку з ЛА додатково після ШП замість ІБ введено інформаційний блок з розширеними можливостями (ІБРМ) із введенням б.

Побудова каналу автоматичного супроводження літальних апаратів за напрямком з додатковим скануванням та розширеними можливостями пов'язана з використанням ЧЧМ [3] та синхронізованого одномодового багаточастотного випромінювання єдиного лазера-передавача.

Технічний результат, який може бути отриманий при здійсненні корисної моделі полягає у виявленні, стійкому кутовому автосупроводженні ЛА при одночасному високоточному вимірюванні кутів азимута і міста у широкому діапазоні дальностей, починаючи з початкового моменту його польоту,

багатоканальному (N) інформаційному взаємозв'язку з ЛА на несучих частотах ν_n і частоті міжмодових биттів та розширенні набору поляризаційних ознак розпізнавання, що отримуються, підвищенні ефективності і скороченні часу на його розпізнавання.

На фіг. 1 приведена узагальнена структурна схема запропонованого каналу АСН, де: І - вимірювальний сигнал; ІІ - інформаційний сигнал та сигнал із просторовою модуляцією поляризації; а - введення опорного сигналу з частотою $\Delta\nu_m$ (3 $\Delta\nu_m$) лазера-передавача; б - введення сигналу від каналу оцінки тангенціальної складової швидкості (кутових швидкостей α' і β') ЛА для уточнення похибки збігу по кутах каналів.

На фіг. 2 приведено створення рівносигнального напрямку (РСН) та сканування сумарною ДС лазерного випромінювання у невеликому куті і окремо 4-ма діаграмами спрямованості 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 з додатковим скануванням та розширеними можливостями містить керуючий елемент, блок керування дефлекторами, лазер з накачкою, багатоканальний селектор подовжніх мод, модифікований блок дефлекторів, передавальну оптику, приймальну оптику, фотодетектор, широкопasmовий 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, 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) ЛА для уточнення похибки збігу по кутах.

Робота запропонованого каналу автоматичного супроводження літальних апаратів за напрямком з додатковим скануванням та розширеними можливостями полягає в наступному. Із синхронізованого одномодового багато-частотного спектра випромінювання YAG:Nd³⁺ - лазера (або лазера з найбільш кращими показниками) (Лн) за допомогою БСПМ [4] виділяються необхідні пари частот для створення:

- багатоканального (N) інформаційного зв'язку, за умови використання сигналу комбінації подовжніх мод (на різницевої частоті міжмодових биттів $\Delta\nu_{101}=\nu_{10}-\nu_1=9\Delta\nu_m$), а також подовжніх мод (несучих частот ν_n);

- лазерного сигналу із просторовою модуляцією поляризації, за умови використання сигналу з двох подовжніх мод (несучих частот ν_{n1} , ν_{n2});

- рівносигнального напрямку на основі формування сумарної ДС лазерного випромінювання, завдяки частково перетинаючихся 4-х парціальних ДС, за умови використання різницевих частот міжмодових биттів

$$\Delta\nu_{54}=\nu_5-\nu_4=\Delta\nu_m, \Delta\nu_{97}=\nu_9-\nu_7=2\Delta\nu_m,$$

$$\Delta\nu_{63}=\nu_6-\nu_3=3\Delta\nu_m, \Delta\nu_{82}=\nu_8-\nu_2=6\Delta\nu_m.$$

Груповий сигнал, який складений із частоти міжмодових биттів $9\Delta\nu_m$ і несучих частот ν_n , минаючи МБД, потрапляє на ПРДО, де змішується (модулюється) з інформаційним сигналом від ІБРМ та формує багатоканальний (N) інформаційний сигнал, що передається для ЛА (взаємозв'язок) (фіг. 1, 2).

Також, за допомогою БСПМ та ІБРМ створюється лазерний сигнал із просторовою модуляцією поляризації шляхом створення лазерного випромінювання із двох несучих частот (ν_{n1} та ν_{n2}) у вигляді двох променів з вертикальною (ν_{n1}) та горизонтальною (ν_{n2}) поляризацією (фіг. 3). При цьому випромінювання апертури першого і другого поляризаційних каналів в апертурній площині VOU рознесені на відомій відстані $\Delta\nu_q$. Різниця ходу пучків до картинної площини ЛА ХОУ змінюється вдовж осі X від точки до точки. Обумовлена цією різницею фаз (амплітуд) між поляризованими компонентами, що ортогональні, поля у картинній площині також змінюється від точки до точки. В залежності від різниці фаз (амплітуд) у картинній площині змінюється вигляд поляризації сумарного поля сигналу, що зондує від лінійної через еліптичну і циркулюючу до лінійної, ортогональної к початкової і т.д. Період зміни вигляду поляризації визначається базою між випромінювачами $\Delta\nu_q$ 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 МБД, 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 БКД, який разом з Лн живляться від КЕ. Проходячи через ПРДО, 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 сканувальні точки простору, оскільки здійснюється зустрічне сканування двома парами ДС лазерного випромінювання у кожній із двох ортогональних площин α і β або X і Y. При цьому частоти ν_n , інформаційний сигнал $\nu_{10}, \nu_1=9\Delta\nu_m$ та сигнал із просторовою модуляцією поляризації на несучих частотах ν_{n1} , ν_{n2} проходять вдовж РСН (фіг. 2, 3).

Прийняті ПРМО від ЛА інформаційні та лазерні імпульсні сигнали і огиначуючі сигнали ДС лазерного випромінювання, відбиті в процесі сканування чотирьох ДС, за допомогою фотодетектора перетворюються в електричні імпульсні сигнали на не-

сучих частотах і різницевих частотах міжмодових биттів. Підсилені ШП вони розподіляються:

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

- по ПП, що настроєні на відповідні частоти міжмодових биттів: $\Delta\nu_m$ від, $2\Delta\nu_m$ від, $3\Delta\nu_m$ від, $6\Delta\nu_m$ від.

При цьому, імпульсні сигнали радіочастоти, що надходять з РПД ν_m і РП2 $\Delta\nu_m$ формують сигнал похибки по куту α , а РП3 $\Delta\nu_m$ і РП6 $\Delta\nu_m$ - по куту β .

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, що відображається у ЕЦОМ. Тому у ІБРМ також здійснюється поляризаційна обробка поля, що приймається.

Формування сигналу похибки по куту α 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 РПД ν_m від частоти міжмодових биттів $\Delta\nu_m$ від (фіг. 4, 5) детектується Дет у виді огиначуючої 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), надходить на тригер «1», перекидуючи його. У цей же час, виділений і посилений РП12 $\Delta\nu_m$ імпульсний сигнал частоти міжмодових биттів $2\Delta\nu_m$ від детектується, виділяючи огиначуючий сигнал, 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 із заданою точністю в схемі «І», 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 імпульс-

ним сигналом від каналу кутових швидкостей ЛА (б) для уточнення похибки збігу по кутах. Завдяки обліку вимірювальної інформації від каналу кутових швидкостей (б) у ФНЧ усуваються динамічна і флуктуаційна похибки фільтрації. Відфільтрований у ФНЧ і посилений підсилювачем сигналу похибки отриманий сигнал відпрацьовується за допомогою виконавчого механізму (α), надходить від ПСП $_{\alpha}$ на вхід ЕЦОМ та виділяється в ній у вигляді числа, пропорційного вимірюваному куту азимута α .

Якщо ЛА знаходиться вище РСН, то на схему «І» першим надходить імпульс з $\Phi I2$ міжмодової частоти Δv_m від, а на тригер надходить другим імпульс з $\Phi I2$ міжмодової частоти $2\Delta v_m$ від (фіг. 1, 4-б). На схему «І» від тригера подається строб, тривалість якого пропорційна відхиленню ЛА від РСН. Цей часовий інтервал вимірюється методом рахунка імпульсів частоти міжмодових биттів Δv_m . 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 $\Phi I2$ з каналу $2\Delta v_m$ від, а другим - з каналу Δv_m від.

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

Якщо ЛА знаходиться вище РСН, то імпульс 1 (фіг. 1, 5 а) від каналу Δv_m від випереджає імпульс 2 каналу $2\Delta v_m$ від. Оскільки строб від тригера затримується на час, що перевищує тривалість імпульсу 1 (або 2), то схема збігів «І» не спрацьовує, тому що імпульс 1 не збігається в часі з даним стробом. Знак сигналу похибки по куту α 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 «І» спрацьовує і змінює знак («-» або полярність) напруги сигналу похибки по куту α . Імпульс зі схеми «І» подається на знаковий розряд лічильника імпульсів з частотою Δv_m . Число імпульсів у лічильнику пропорційно куту відхилення α від РСН.

Форматування сигналу похибки по куту β відбувається таким же чином, як для сигналу похибки по куту α .

Виконавчі механізми $ВМ_{\alpha}$ і $ВМ_{\beta}$ розвертають приймально-передавальну платформу таким чином, щоб ЛА знаходився на РСН каналу АСН, тобто на РСН сумарної ДС лазерного випромінювання (фіг. 2, б).

Відображення інформації, що приймається (передається) від ЛА та обробка (вимірювання) кутів азимута α і міста β відбувається в ЕЦОМ.

Вимірювальна інформація про тангенціальну складову швидкості (кутові швидкості) ЛА від каналу 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.

В разі необхідності виявлення ЛА у заданій точці простору груповий сигнал, який складений із частот міжмодових биттів і несучих частот v_n , сканується у вигляді сумарної ДС за допомогою модифікованого блоку дефлекторів, де кут та напрямок відхилення сумарної ДС задається БКД (фіг. 1, 2).

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. Кількість інформаційних каналів (N) залежить від кількості мод (несучих частот v_n), які мають необхідні вихідні характеристики для використання.

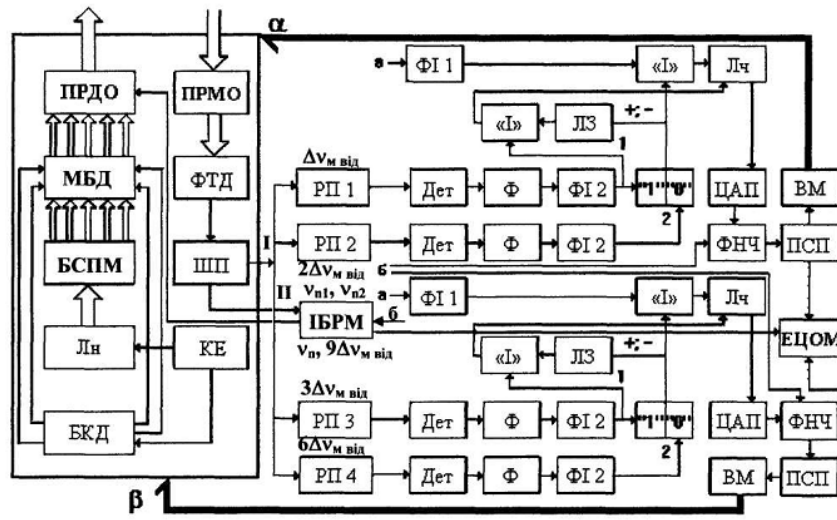
Джерела інформації:

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 - 8 с.

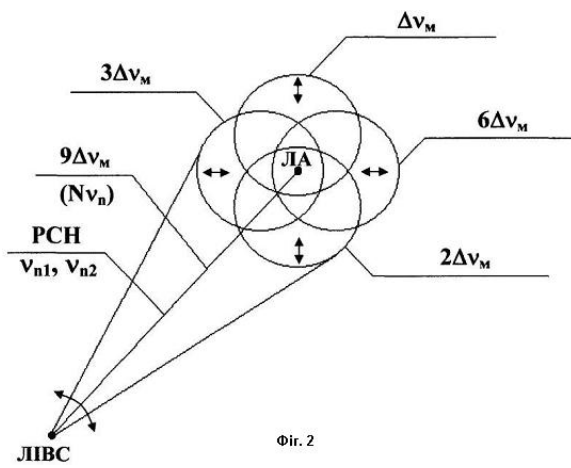
2. Патент на корисну модель № 43787, Україна, МПК G01S 17/42, G01S 17/66. Канал автоматичного супроводження літальних апаратів за напрямком з додатковим скануванням. / О.В. Коломійцев, Г.В. Альошин, В.В. Белімов та ін. - № u200904601; заяв. 08.05.2009; опубл. 25.08.2009; Бюл. № 16. - 10 с.

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.

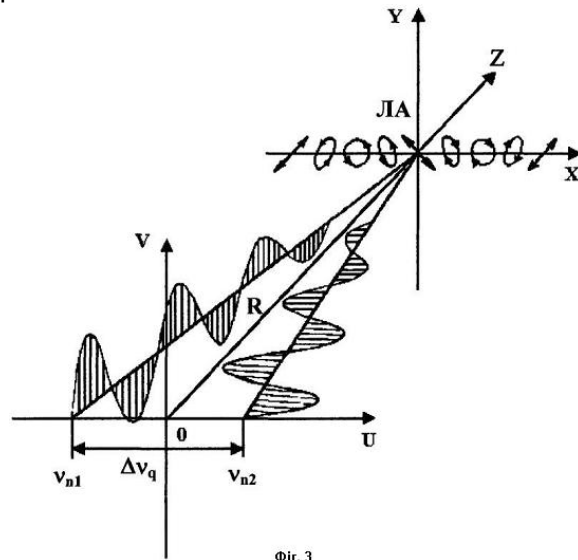
4. Патент на корисну модель № 35476, Україна, МПК H04Q 1/453. Багатофункціональний селектор подовжніх мод. / О.В. Коломійцев, Г.В. Альошин, В.В. Баранник та ін. - № u200803489; заяв. 18.03.2008; опубл. 25.09.2008; Бюл. № 18 - 8 с.



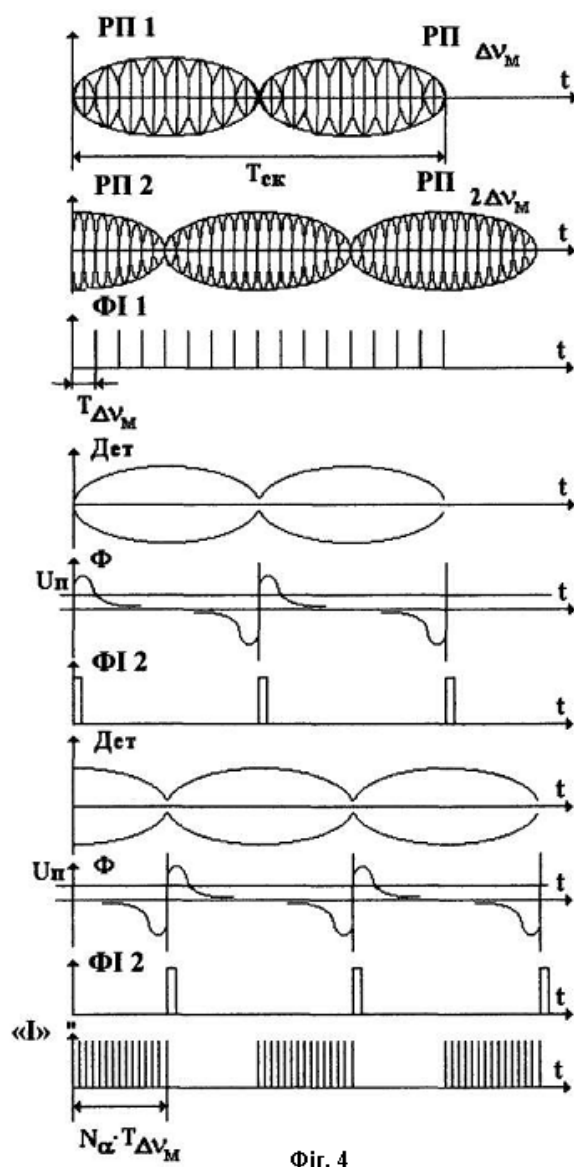
Фиг. 1



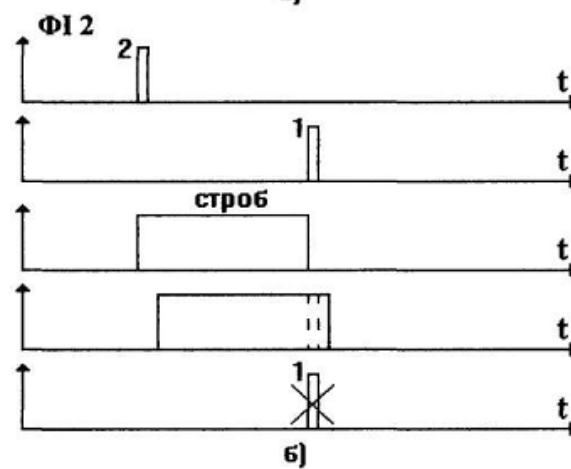
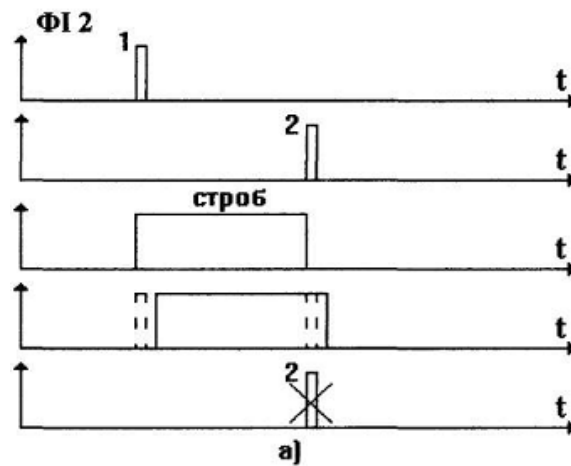
Фиг. 2



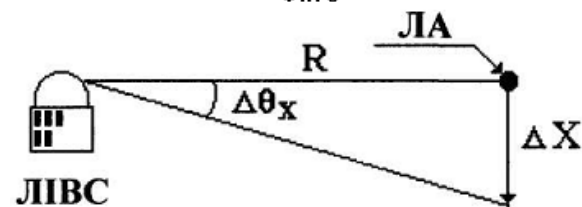
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6