



УКРАЇНА

(19) UA (11) 61341 (13) U

(51) МПК

G01S 17/42 (2006.01)

G01S 17/66 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту**(54) КАНАЛ ВИМІРЮВАННЯ ПОХИЛОЇ ДАЛЬНОСТІ ДО ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ З ДОДАТКОВИМ СКАНУВАННЯМ ТА РОЗШИРЕНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ**

1

2

(21) u201103402

(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, РЯБО-  
КОНЬ ЄВГЕН ОЛЕКСАНДРОВИЧ, РУБАН ІГОР  
ВІКТОРОВИЧ, САДОВИЙ КОСТЯНТИН ВІТАЛІ-  
ЙОВИЧ, САЧУК ІГОР ІВАНОВИЧ, ШОСТАК АНА-  
ТОЛІЙ ВАСИЛЬОВИЧ(73) ХАРКІВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПОВІТРЯНИХ  
СИЛ ІМЕНІ ІВАНА КОЖЕДУБА(57) Канал вимірювання похилої дальності до лі-  
тальних апаратів з додатковим скануванням та  
розширеними можливостями, який містить керую-  
чий елемент, блок керування дефлекторами, лаз-  
ер з накачкою, багатоканальний селектор по-

довжніх мод, призми для частоти міжмодових биттів  $\Delta v_m$ , модифікований блок дефлекторів, перемикач для частот міжмодових биттів  $\Delta v_m$  і  $2\Delta v_m$ , передавальну оптику, приймальну оптику, фотодетектори, широкосмуговий підсилювач (ШП), резонансні підсилювачі, настроєні на відповідні частоти міжмодових биттів, формувач імпульсів, тригер "1"|"0", схему "i", лічильники, фільтр із заданою смугою пропускання, детектор, диференційовну оптику, підсилювач, фільтр, диференційовні ланцюжки, випрямлячі, електронно-цифрову обчислювальну машину та блок відображення вимірювальної інформації про похилу дальність R до літального апарата, який **відрізняється** тим, що після ШП замість інформаційного блока введено інформаційний блок з розширеними можливостями із б-введенням сигналу тангенціальної складової швидкості (кутових швидкостей) літального апарата, що виміряна.

Запропонована корисна модель належить до галузі електрозв'язку і може бути використана для синтезу лазерної інформаційно-вимірювальної системи (ЛІВС) з частотно-часовим методом (ЧЧМ) пошуку, розпізнавання та вимірювання параметрів руху літального апарата (ЛА).

Відомий «Канал вимірювання похилої дальності до літальних апаратів для лазерної інформаційно-вимірювальної системи» [1], який містить керуючий елемент (КЕ), блок керування дефлекторами (БКД), лазер з накачкою (Лн), селектор подовжніх мод (СПМ), призми для частоти міжмодових биттів  $\Delta v_m$ , блок дефлекторів (БД), перемикач для частот міжмодових биттів  $\Delta v_m$  і  $2\Delta v_m$ , передавальну оптику (ПРДО), приймальну оптику (ПРМО), фотодетектори (ФТД), широкосмуговий підсилювач (ПІП), інформаційний блок (ІБ), резонансні підсилювачі (РП), настроєні на відповідні частоти міжмодових биттів, формувач імпульсів (ФІ), тригер "1"|"0", схему "i" («i»), лічильники (Лч), фільтр із заданою смугою пропускання (Фп), детектор (Дет), диференційовну оптику (ДО), підсилювач (П), фільтр (Ф), диференційовні ланцюжки (ДЛ), випрямлячі (Вип), електронно-цифрову обчи-

слувальну машину (ЕЦОМ) та блок відображення вимірювальної інформації (БВІ) про похилу дальність R до ЛА.

Недоліком відомого каналу є те, що він не здійснює інформаційний взаємозв'язок з ЛА на несучих частотах  $\nu_n$  та додаткового сканування сумарною діаграмою спрямованості (ДС) лазерного випромінювання.

Найбільш близьким до запропонованого технічним рішенням, обраним як прототип є «Канал вимірювання похилої дальності до літальних апаратів з додатковим скануванням» [2], який містить керуючий елемент, блок керування дефлекторами, лазер з накачкою, багатоканальний селектор подовжніх мод (БСПМ), призми для частоти міжмодових биттів  $\Delta v_m$ , модифікований блок дефлекторів (МБД), перемикач для частот міжмодових биттів  $\Delta v_m$  і  $2\Delta v_m$ , передавальну оптику, приймальну оптику, фотодетектори, широкосмуговий підсилювач, інформаційний блок, резонансні підсилювачі, настроєні на відповідні частоти міжмодових биттів, формувач імпульсів, тригер "1"|"0", схему "i", лічильники, фільтр із заданою смугою пропускання, детектор, диференційовну

(13) U

(11) 61341

(19) UA

оптику, підсилювач, фільтр, диференційовні ланцюжки, випрямлячі, електронно-цифрову обчислювальну машину та блок відображення виміральної інформації про похилу дальність R до ЛА.

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

В основу корисної моделі поставлена задача створити канал вимірювання похилої дальності до літальних апаратів 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  $\nu_n$  і частоті міжмодових биттів, високоточне вимірювання похилої дальності до ЛА 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, призми для частоти міжмодових биттів  $\Delta\nu_M$ , модифікований блок дефлекторів, перемикач для частот міжмодових биттів  $\Delta\nu_M$  і  $2\Delta\nu_M$ , передавальну оптику, приймальну оптику, фотодетектори, ширококутовий підсилювач, інформаційний блок, резонансні підсилювачі, настроєні на відповідні частоти міжмодових биттів, формувач імпульсів, тригер "1"|"0", схему "i", лічильники, фільтр із заданою смугою пропускання, детектор, диференційовну оптику, підсилювач, фільтр, диференційовні ланцюжки, випрямлячі, електронно-цифрову обчислювальну машину та блок відображення виміральної інформації про похилу дальність R до ЛА додатково після ШП замість інформаційного блока введено інформаційний блок з розширеними можливостями (ІБРМ) із б - введенням сигналу тангенціальної складової швидкості (кутових швидкостей) ЛА, що виміряна.

Побудова каналу вимірювання похилої дальності до літальних апаратів з додатковим скануванням та розширеними можливостями 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 у виявленні, високоточному вимірюванні похилої дальності до ЛА у широкому діапазоні дальностей, починаючи з початкового моменту його польоту, стійкому багатоканальному (N) інформаційному взаємозв'язку з ЛА на несучих частотах  $\nu_n$  і частоті міжмодових биттів та розширенні набору поляризаційних ознак розпізнавання ЛА, що отримуються, підвищенні ефективності і скороченні часу на його розпізнавання.

На фіг. 1 приведено передаючий бік узагальненої структурної схеми запропонованого каналу, де: 1 - вимірвальний сигнал; 2 - інформаційний

сигнал та сигнал із просторовою модуляцією поляризації.

На фіг. 2 приведена узагальнена структурна схема запропонованого каналу.

На фіг. 3 приведено створення рівносигнального напрямку (РСН) та сканування сумарною діаграмою спрямованості (ДС) лазерного випромінювання у невеликому куті і окремо 4-ма ДС в ортогональних площинах.

На фіг. 4 приведено створення лазерного сигналу із просторовою модуляцією поляризації.

На фіг. 5 приведені епюри напруг з виходів блоків вимірювання похилої дальності до ЛА, де: а) від блока опорного сигналу; б) від блока відбитого сигналу.

Запропонований канал вимірювання похилої дальності до літальних апаратів з додатковим скануванням та розширеними можливостями містить керуючий елемент, блок керування дефлекторами, лазер з накачкою, багатоканальний селектор подовжніх мод, призми для частоти міжмодових биттів  $\Delta\nu_M$ , модифікований блок дефлекторів, перемикач для частот міжмодових биттів  $\Delta\nu_M$  і  $2\Delta\nu_M$ , передавальну оптику, приймальну оптику, фотодетектори, ширококутовий підсилювач, інформаційний блок з розширеними можливостями із б - введенням сигналу тангенціальної складової швидкості (кутових швидкостей) ЛА, що виміряна, резонансні підсилювачі, настроєні на відповідні частоти міжмодових биттів, формувач імпульсів, тригер "1"|"0", схему "i", лічильники, фільтр із заданою смугою пропускання, детектор, диференційовну оптику, підсилювач, фільтр, диференційовні ланцюжки, випрямлячі, електронно-цифрову обчислювальну машину та блок відображення виміральної інформації про похилу дальність R до ЛА.

Робота запропонованого каналу полягає у наступному. Із синхронізованого одномодового багаточастотного спектра випромінювання  $YAG:Nd^{3+}$  - лазера (або лазера з більш кращими характеристиками) (Лн) за допомогою БСПМ [4] виділяються необхідні пари частот для створення:

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

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

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

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

$$\Delta\nu_{63} = \nu_6 - \nu_3 = 3\Delta\nu_M, \Delta\nu_{84} = \nu_8 - \nu_2 = 6\Delta\nu_M.$$

Груповий сигнал, який складений із частоти міжмодових биттів  $9\Delta\nu_M$  і несучих частот  $\nu_n$ , минаючи МБД, потрапляє на ПРДО, де змішується (модулюється) з інформаційним сигналом від МБ 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 ( $\nu_{n1}$  та  $\nu_{n2}$ ) у вигляді двох променів з вертикальною ( $\nu_{n1}$ ) та горизонтальною ( $\nu_{n2}$ ) поляризацією (фіг. 4). 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 до 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 МБД 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:  $\nu_5$ ,  $\nu_4 = \Delta\nu_M$ ,  $\nu_3$ ,  $\nu_2 = 2\Delta\nu_M$ ,  $\nu_6$ ,  $\nu_3 = 3\Delta\nu_M$  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 частоти  $\nu_n$ , інформаційний сигнал  $\nu_{10}$ ,  $\nu_1 = 9\Delta\nu_M$  та сигнал із просторовою модуляцією поляризації на несучих частотах  $\nu_{n1}$ ,  $\nu_{n2}$  проходять вдовж РСН (фіг. 3).

Принцип роботи грубої шкали каналу вимірювання похилої дальності  $R$  до ЛА полягає в наступному (фіг. 2, 5).

На боці, який передає.

Виділена БСПМ із спектру випромінювання лазера перша пара частот  $\nu_{54}$  розщеплюється під дією розщепителя (призми) на два оптичні сигнали:

1) основний - сканований МБД під певним кутом (з часом  $T_{пр}$ , що задається від БКД), який проходить через перемикач (П) для виділення «бланкуючого» імпульсу (бланк - нуль) і розщепитель, де відбувається виділення додаткового сигналу (2) та надходить на ПРДО і далі на ЛА;

2) додатковий (1) - перетворюваний ФТД в електричний імпульсний сигнал різницевої частоти міжмодового биття  $\Delta\nu_M$  та надходить на Ф11, де відбувається виділення «пачок» імпульсів, прийнятих схемою «І».

Прийняті ПРМО від ЛА інформаційні та лазерні імпульсні сигнали і огинаючі сигнали ДС лазерного випромінювання, відбиті в процесі сканування

чотирьох ДС, за допомогою фотодетектора перетворюються в електричні імпульсні сигнали на несучих 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 РП, 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 РП1 (РП $\Delta\nu_M$ ) формують сигнал про  $R$  до ЛА, а РП 4 (РП $6\Delta\nu_M$ ), РП2 (РП $2\Delta\nu_M$ ) і РП3 (РП $3\Delta\nu_M$ ) - сигнали для інших вимірювальних каналів ЛІВС.

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.

Отриманий від ФТД додатковий оптичний сигнал частоти  $\nu_{5,4}$  з «бланкуючими» імпульсами, перетворений в сигнал  $\Delta\nu_M$  здобуває чіткі границі «бланкуючого» імпульсу, проходячи ДО, підсилюється. Фільтр  $P=1/\tau_i$  (де  $\tau_i$  - тривалість імпульсу) виділяє з загального сигналу «бланкуючі» імпульси - в імпульси сигнали, які, проходячи ДЛ і Вип ( $\Phi = \text{ДЛ} + \text{Вип}$ ), виділяються у вигляді одного короткого імпульсу за початок «бланкуючого» імпульсу та надходять на тригер з індексом «1», включаючи його.

На боці, який приймає.

Відбитий від ЛА основний сигнал частот  $\nu_{5,4}$  у сумі з груповим, минаючи ПРМО, перетворюється ФТД в електричний імпульсний сигнал  $\Delta\nu_M$ , підсилюється ШП та виділяється в РП, як сигнал міжмодової частоти  $\Delta\nu_M$  від. Проходячи через Дет, перетворюється точно також, як і додатковий електричний сигнал (2) частоти  $\Delta\nu_M$ , надходить тільки на тригер з індексом «0», «перекидаючи» його. Сигнал, що надходить з тригера на схему «І» здійснює періодичне «відкриття» і «закриття» проходу для «пачок» імпульсів з Ф11, які підраховуються Лч і відпрацьовуються у вигляді числа, котре відповідає  $R$ , через ЕЦОМ на БВІ.

Таким чином відбувається вимір похилої дальності до ЛА на грубій шкалі. Перехід на точну шкалу (генерація пікосекундних імпульсів) здійснюється одразу після припинення вмикання ключа (для формування «бланкуючого» імпульсу).

Так як канал вимірювання похилої дальності до ЛА пропонується ввести до складу структури ЛІВС з ЧЧМ, то вмикання та вимикання перемика-

ча (П) відбувається одночасно для 2-ох пар частот  $V_{5,4}$  і  $V_{9,7}$

Апаратурні помилки виміру R до ЛА в запропонованому каналі - це помилки визначення початку і кінця відліку часового інтервалу, помилки за рахунок дискретності і нестабільності частоти проходження тактових (рахункових) імпульсів. Точність оцінки інтервалу визначається крутістю огинаючої при заданому граничному значенні напруги  $U_n$  та залежить від форми скануючої ДС лазерного випромінювання і відносини сигнал/шум.

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 блока дефлекторів, де кут та напрямок відхилення сумарної ДС задається БКД (фіг. 1-3).

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) в каналі, що пропонується, залежить від кількості мод (несучих частот  $v_n$ ), які мають необхідні вихідні характеристики для використання.

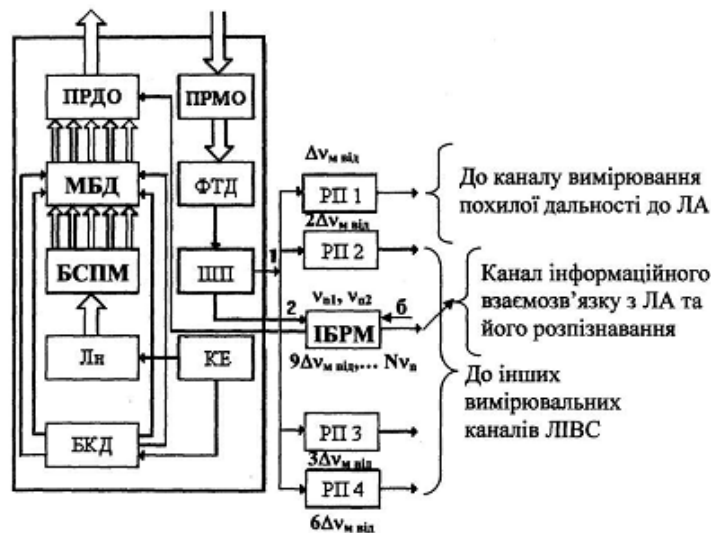
Джерела інформації

1. Патент на корисну модель №25803, Україна, МПК G01S17/42, G01S17/66. Канал вимірювання похилої дальності до літальних апаратів для лазерної інформаційно-вимірювальної системи. /О.В. Коломійцев, Г.В. Альошин, В.В. Баранник та ін. - № u200703185; заяв. 26.03.2007; опубл. 27.08.2007; Бюл. № 13 - 8 с.

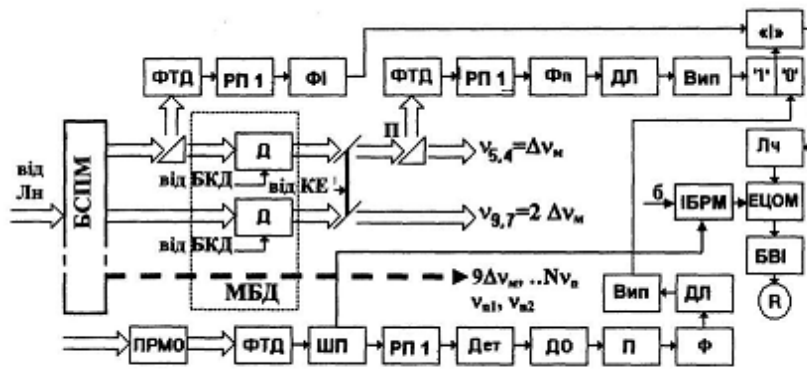
2. Патент на корисну модель № 47087, Україна, МПК G01S17/42. Канал вимірювання похилої дальності до літальних апаратів з додатковим скануванням. /О.В. Коломійцев, В.В. Белімов, Д.Г. Васильєв та ін. - № u200909368; заяв. 11.09.2009; опубл. 11.01.2010; Бюл. № 1. - 10 с.

3. Патент на корисну модель №55645 Україна, МПК G01S 7/42, G01S17/66. Частотно-часовий метод пошуку, розпізнавання та вимірювання параметрів руху літального апарата. /О.В. Коломійцев - № u201005225; заяв. 29.04.2010; опубл. 27.12.2010; Бюл. № 24. -14 с.

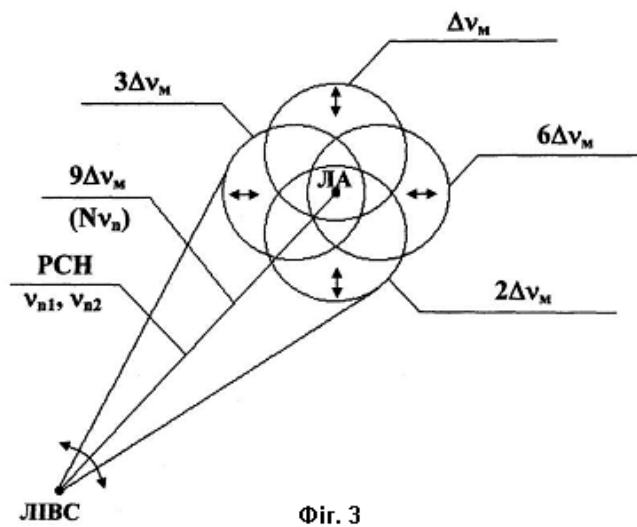
4. Патент на корисну модель № 35476, Україна, H04Q1/453. Багатофункціональний селектор подовжніх мод /О.В. Коломійцев, Г.В. Альошин, В.В. Баранник та ін. - № u200803489; заяв. 18.03.2008; опубл. 25.09.2008; Бюл. №18-8с.



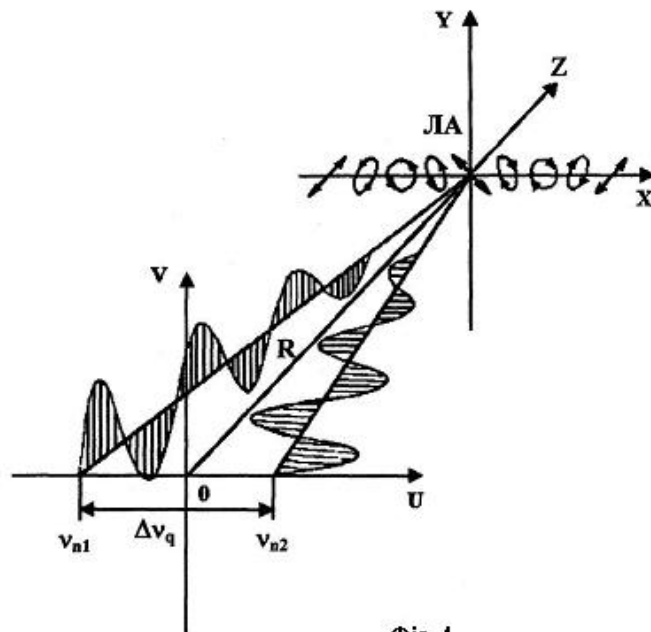
Фіг. 1



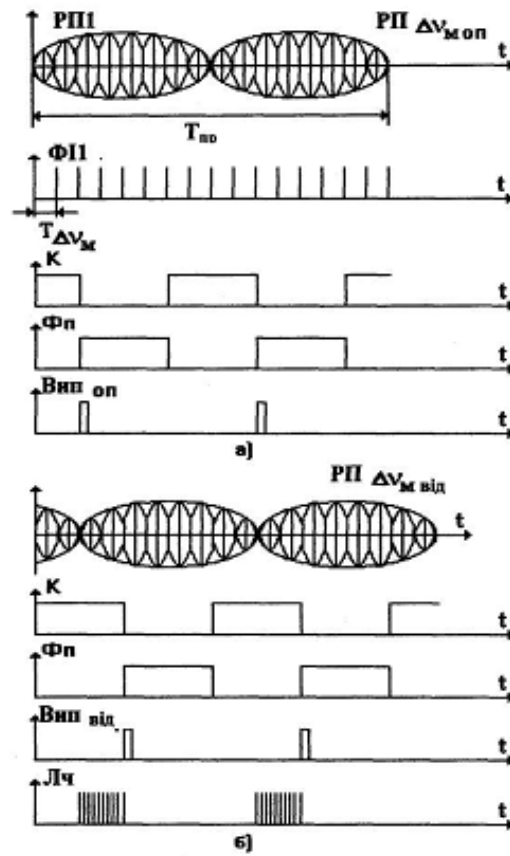
Фіг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4



Фиг. 5