



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **97702** (13) **C2**  
(51) МПК (2012.01)  
**H01Q 19/00**  
**H01Q 21/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки:	<b>a 2010 06598</b>	(72) Винахідник(и): <b>Федотов Борис Микитович (UA), Хомік Микола Миколайович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки:	<b>31.05.2010</b>	(73) Власник(и): <b>Федотов Борис Микитович, Проспект Перемоги, 122, кв. 2, м. Київ, 03115 (UA), Хомік Микола Миколайович, вул. Антонова, 2/32, кв. корп. 4-а, кв. 12, м. Київ, 03049 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	<b>12.03.2012</b>	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: DE 10319063 A1, 25.11.2004. US 6175326 B1, 16.01.2001. JP 2007329717 A, 20.12.2007. EP 0638956 A1, 15.02.1995. US 2010001915 A1, 07.01.2010.
(41) Публікація відомостей про заявку:	<b>12.12.2011, Бюл.№ 23</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	<b>12.03.2012, Бюл.№ 5</b>	

## (54) СПОСІБ СТВОРЕННЯ ДІАГРАМ СПРЯМОВАНOSTІ СМУГОВОЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СТАНЦІЇ ІЗ СИНТЕЗОВАНОЮ АПЕРТУРОЮ Й ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

### (57) Реферат:

Винахід належить до антенно-фідерних пристроїв радіолокаційних засобів огляду земної поверхні, у яких використовується рух носія радіолокаційного датчика для підвищення розрізняювальної здатності за напрямком руху. Він може бути використаний при створенні смугової радіолокаційної станції із синтезованою апертурою (РСА) надвисокої розрізненості з підвищеною дальністю дії. Спосіб створення діаграм спрямованості смугової радіолокаційної станції із синтезуванням апертури, що містить визначену кількість антенних елементів, полягає в тому, що визначають для створення кожної діаграми спрямованості групу антенних елементів, формують вибрану діаграму спрямованості, активуючи відповідну їй групу антенних елементів, орієнтують сформовану діаграму спрямованості в напрямку на смугу розвідки й стабілізують її щодо опорної траєкторії синтезування. Всі діаграми спрямованості створюють за допомогою рефлектора з антенними елементами у його фокальній площині, причому антенні елементи менших груп є антенними елементами більших груп, розділяють енергію високочастотних сигналів передавача між антенними елементами, що активуються, підсумовують прийняті активованими антенними елементами сигнали, поєднуючи їх на елементах фідерної мережі в один канал. Пропонується пристрій для здійснення способу. Винахід дозволяє, не зменшуючи горизонтального розміру приймально-передавальної антени, підвищити розрізняювальну здатність за шляховою дальністю і збільшити енергетичний потенціал смугової РСА таким чином, що він компенсує зменшення енергії відбиття від елемента розрізнення при його зменшенні.

UA 97702 C2

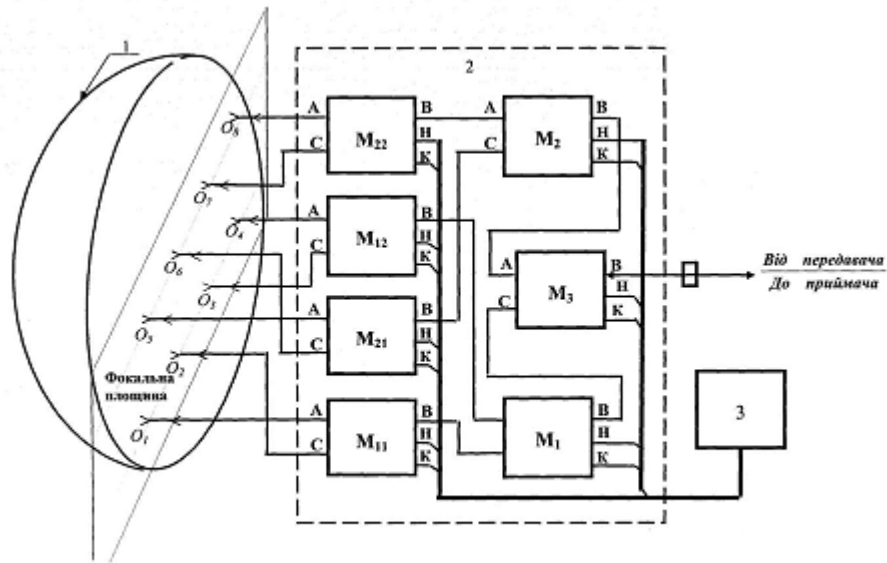


Fig. 2

Винахід належить до галузі антенної техніки, зокрема до антенно-фідерних пристроїв радіолокаційних засобів огляду земної поверхні, у яких використовується рух носія радіолокаційного датчика для підвищення розрізнявальної здатності за напрямком руху. Він може бути використаний при створенні смужової радіолокаційної станції із синтезованою

5 апертурою (РСА) надвисокої розрізненості з підвищеною дальністю дії.

У сучасних РСА у смужовому режимі синтезування використовуються антени з однопелюстковими діаграмами спрямованості. Ширина діаграми спрямованості (ДС) у горизонтальній площині визначає потенційну розрізнявальну здатність за шляховою дальністю, а ширина діаграми спрямованості у вертикальній площині в сукупності з висотою польоту носія

10 й кутом нахилу променя до поверхні землі - можливу смугу огляду.

Відомі способи формування діаграм спрямованості не дозволяють підвищувати розрізнявальну здатність смужової РСА без істотного зменшення дальності дії при заданій якості радіолокаційного зображення.

15 Загальновідомий спосіб підвищення розрізнявальної здатності смужової РСА за шляховою дальністю полягає в збільшенні ширини ДС у горизонтальній площині шляхом зменшення горизонтального розміру приймально-передавальної антени  $d_r$  [1-4].

Недоліком цього способу є те, що при поліпшенні розрізнявальної здатності зменшується дальність дії РСА. Дальність дії станції в цьому випадку зменшується за законом ступеня 2/3, тобто [5]

$$R \leq 3 \sqrt{\frac{P_{cp} d_B^2 \sigma_{vd}}{4\pi \lambda W \kappa_{ш} k T \eta}} d_r \delta x \delta r, \quad (1)$$

20 де:  $P_{cp}$  - середня потужність випромінювання передавача РСА;

$\lambda$  - довжина хвилі зондувального сигналу;

$d_B$  - вертикальний розкрив антени;

$d_r$  - горизонтальний розкрив антени;

$W$  - шляхова швидкість носія РСА;

25  $\kappa_{ш}$  - коефіцієнт шуму приймача;

$k$  - стала Больцмана;

$T$  - температура, градуси Кельвіна;

$\eta$  - необхідне значення коефіцієнта розрізнення приймального пристрою;

$\sigma_{vd}$  - питома відбивна здатність поверхні;

30  $\delta r$  - розрізнявальна здатність РСА за похилою дальністю;

$\delta x$  - розрізнявальна здатність РСА за шляховою дальністю.

А якщо врахувати, що бажано, щоб зображення мало однакову розрізнявальну здатність за шляховою і похилою дальностями, то дальність дії РСА пропорційна горизонтальному розміру її антени  $d_r$ .

35 Найбільш близьким технічним рішенням, вибраним за прототип, є "Метод генерації множини передавальних променів РСА й антенна система РСА" [6-8].

У способі створюється кілька діаграм спрямованості антенною системою РСА. Для цього використовується певна кількість антенних елементів (елементарних випромінювачів), які розділені на кілька груп суміжних антенних елементів, причому передавальні й приймальні

40 промені створюються завдяки активації для кожної діаграми спрямованості певної групи антенних елементів.

Групи можуть мати різну кількість антенних елементів і відповідно різну ширину променя в кутомісцевій площині.

45 Сусідні групи антенних елементів мають щонайменше один загальний елемент, завдяки чому їх діаграми спрямованості мають певний ступінь перекриття.

Смуга спостереження в процесі синтезування проглядається суміжними за кутом місця діаграмами спрямованості, причому зондування смуги здійснюється щонайменше одним передавальним променем, який просторово стабілізує і орієнтують у напрямку смуги перегляду. Отже, спосіб дозволяє регулювати смугу перегляду й підвищує енергетику РСА за

50 рахунок зменшення ширини діаграми спрямованості в кутомісцевій площині й використання для перегляду смуги зондування кількох вузьких у кутомісцевій площині діаграм спрямованості.

Недоліком розглянутого способу формування діаграм спрямованості смужової РСА є те, що в ньому не передбачене керування шириною діаграми спрямованості у горизонтальній площині, й зі збільшенням кута синтезування дальність дії РСА зменшується.

55 Винаходом вирішується завдання підвищення розрізнявальної здатності за шляховою дальністю без зменшення дальності дії смужової РСА.

Суть винаходу способу створення діаграм спрямованості антенної системи смугової радіолокаційної станції із синтезуванням апертури, що містить визначену кількість антенних елементів, з яких визначають групи антенних елементів для створення діаграм спрямованості, при якій формують вибрану діаграму спрямованості, активуючи відповідну їй групу антенних елементів, орієнтують сформовану діаграму спрямованості в напрямку на смугу розвідки й стабілізують її щодо опорної траєкторії синтезування, досягається наступним чином.

Усі діаграми спрямованості смугової РСА формуються на базі рефлектора. Антенні елементи розташовуються у фокальній площині рефлектора. Мінімальна ширина діаграми спрямованості формується за допомогою одного антенного елемента (опромінювача) і визначається відношенням довжини хвилі до ефективного розміру рефлектора у відповідній площині. Для збільшення розрізняювальної здатності за шляховою дальністю опромінювачі поєднують у групи й розташовують горизонтально у фокальній площині рефлектора таким чином, щоб сумарна діаграма спрямованості кожної групи мала одну головну пелюстку. При цьому антенні елементи (опромінювачі) менших груп є антенними елементами більших груп. Іншими словами, опромінювачі розташовують на такій відстані  $\Delta x$ , щоб їх діаграми спрямованості перекривалися на рівні, який дорівнює половині максимальної напруженості поля. Кількість груп буде визначати кількість діаграм спрямованості різної ширини й відповідно різну розрізняювальну здатність за шляховою дальністю.

Ширина діаграми спрямованості в кутомісцевій площині визначається вертикальним розміром рефлектора, кількістю рядків матриці опромінювачів і вибором відстані  $\Delta y$  між рядками активованих опромінювачів.

Високочастотні сигнали когерентного передавача розділяють на кілька каналів, кількість яких дорівнює кількості антенних елементів активованої групи. При цьому канали, що живлять антенні елементи (опромінювачі), калібрують таким чином, щоб форма й фаза сигналів, випромінюваних кожним активованим елементом (опромінювачем), була однакова.

Під час приймання антенними елементами відбитих сигналів сигнали активованих антенних елементів об'єднуються, тобто здійснюється підсумовування комплексних високочастотних сигналів.

Ширина діаграми спрямованості у горизонтальній площині, що створюється кожним опромінювачем (антенним елементом), визначається за формулою

$$\Delta\theta_1 = \frac{\lambda}{kl_{pr}}, \quad (2)$$

де  $\lambda$  - довжина хвилі;

$l_{pr}$  - горизонтальний розмір рефлектора;

$k$  - коефіцієнт використання горизонтального розкриття рефлектора.

Кут відхилення діаграми спрямованості, сформованої за допомогою опромінювача (антенного елемента), що зміщений у фокальній площині на відстань  $\Delta x$  щодо фокуса рефлектора, дорівнює [9]

$$\theta = \frac{2\Delta x}{l_{pr}} \cdot \sin \Psi_0, \quad (3)$$

де  $\Psi_0$  - кут розкриття дзеркальної антени.

Для формування однопелюсткової діаграми спрямованості шляхом відповідного розташування окремих опромінювачів у фокальній площині рефлектора кут між напрямками максимумів сусідніх діаграм спрямованості, які створюються сусідніми опромінювачами, повинен дорівнювати ширині діаграми спрямованості на рівні 0,5 від максимального значення напруженості поля.

Перетворюючи співвідношення (3), з урахуванням формули (2) одержимо значення  $\Delta x$  між сусідніми опромінювачами для формування однопелюсткової діаграми спрямованості

$$\Delta x = \frac{\mu\lambda}{2k \cdot \sin \Psi_0}, \quad (4)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт розширення діаграми спрямованості при її відліку на рівні  $0,5E_m$  напруженості від максимального значення діаграми спрямованості в порівнянні з її відліком на рівні  $0,7E_m$ . Тобто  $\mu = \frac{\theta_{0,5} - \theta_{0,7}}{\theta_{0,7}}$ .

Ширина діаграми спрямованості (кут синтезування  $\beta$ ) антенної системи, що містить  $n$  опромінювачів, дорівнює

$$\beta = \frac{\lambda}{kl_{pr}} [\mu(n-1) + 1]. \quad (5)$$

Потенційна розрізняльна здатність смугової РСА із пропонованою антенною системою дорівнює

$$\delta x = \frac{\lambda}{2\beta} = \frac{l_{\text{рГ}}}{2[\mu(n-1)+1]}. \quad (6)$$

Порівняння технічного рішення, що заявляється, із прототипом дозволяє зробити висновок, що спосіб створення діаграм спрямованості смугової радіолокаційної станції із синтезованою апертурою, який заявляється, відрізняється тим, що створюють всі діаграми спрямованості за допомогою спеціального рефлектора, розміщують антенні елементи у фокальній площині рефлектора, антенні елементи менших груп є антенними елементами більших груп, розділяють енергію високочастотних сигналів передавача між антенними елементами, що активуються, підсумовують прийняті активованими антенними елементами сигнали, поєднуючи їх на елементах фідерної мережі в один канал.

Принципові відмінності запропонованого способу такі:

1. Групи опромінювачів розташовуються не вертикально в стовпець, а горизонтально в рядок або у вигляді матриці.

2. Групи антенних елементів не є суміжними з одним або з кількома антенними елементами, які є загальними для сусідніх груп, а менші за розміром групи є частиною більших груп.

3. Усі діаграми спрямованості формуються за допомогою одного рефлектора.

4. Зондування смуг перегляду різної ширини здійснюється одним або кількома променями, які перекриваються на рівні половини напруженості одночасно.

Послідовність операцій, які виконують при створенні діаграм спрямованості при запропонованому способі, наведена на фіг. 1.

Розглянемо антенно-фідерну систему для формування діаграм спрямованості смугової РСА, що зв'язана єдиним винахідницьким задумом з вищеописаним способом створення діаграм спрямованості смугової РСА.

Відома антенна система смугової РСА "Штик" літака Су-24МР складається з високочастотного тракту й системи керування [10]. Високочастотний тракт антени містить полотна хвилевідно-щільного типу, що формують діаграми спрямованості у горизонтальній площині  $1,7^\circ$ , у вертикальній площині -  $24^\circ$ , і хвилевідний тракт. Положення діаграм спрямованості антени стабілізується у просторі в трьох площинах. Зміна діаграм спрямованості антени при її стабілізації й керуванні в кутомісцевій площині здійснюється електричним шляхом за допомогою систем фазообертачів, керованих спеціальними електродвигунами.

Потенційна розрізняльна здатність за шляховою дальністю обмежена шириною діаграм спрямованості у горизонтальній площині й дорівнює  $\frac{d_r}{2}$ .

Недоліком антенної системи смугової РСА "Штик" літака Су-24МР є те, що при збільшенні розрізняльної здатності відносна зміна потенційної дальності дії дорівнює

$$\frac{R}{R'} = 3 \sqrt[3]{\left(\frac{d_r}{d'_r}\right)^2}. \quad (7)$$

У співвідношенні (7)  $R'$  і  $d'_r$  - дальність дії і горизонтальний розмір антени РСА при збільшенні розрізнення за шляховою дальністю, тобто дальність дії зменшується за законом степеня  $2/3$ .

В антенній системі РСА надвисокого розрізнення "Lynx" [11] гранично досяжна розрізняльна здатність за шляховою дальністю також обмежена горизонтальним розміром приймально-передавальної антени, при зменшенні якого за інших рівних умов зменшення відносної дальності дії також підкоряється закону степеня  $2/3$ .

Найбільш близькою за своєю технічною суттю до пристрою, що пропонується, є антенна система РСА в режимі смугового огляду [6], яка містить певну кількість антенних елементів (опромінювачів), з'єднаних за схемою. Сусідні елементи можуть бути об'єднані в кілька груп для формування (створення) діаграм спрямованості, причому за допомогою пристрою вмикання можна вибірково активізувати одну групу, що формує відповідну їй діаграму спрямованості. Схемно можуть об'єднуватися групи з різною кількістю антенних елементів. Схемне з'єднання антенних елементів сусідніх груп один з одним виконане таким чином, що вони мають щонайменше один загальний елемент. Антенна система виконана на базі рефлектора. Антенні елементи розставлені у вертикальний ряд у фокальній площині рефлектора. Антенна система має загальну високочастотну антенно-фідерну мережу для передавальних і приймальних сигналів.

Отже, розглянута, як прототип, антенна система дає можливість формувати набір діаграм спрямованості, що мають різну ширину променя в кутомісцевій площині, й керувати шириною смуги радіолокаційного спостереження залежно від висоти польоту носія PCA й дальності до смуги зондування, підтримуючи тим самим у певному діапазоні точність виміру відбитого сигналу.

Недоліком відомого пристрою антенної системи PCA в режимі смугового огляду згідно з патентом DE 1031 9063 (A1), вибраного як прототип, є те, що підвищення розрізнявальної здатності за шляховою дальністю в такій системі за інших рівних умов теж зменшує максимальну дальність дії, тому що потребує зменшення горизонтального розміру рефлектора, що також зменшує максимальну відносну дальність за законом степеня 2/3.

Задачею запропонованого винаходу є розробка антенної системи смугової PCA, яка дозволяє підвищувати розрізнявальну здатність за шляховою дальністю без зменшення дальності дії й водночас формувати набір діаграм спрямованості різної ширини в азимутальній або азимутальній і кутомісцевій площині. Це дозволить конструювати PCA з розширеними функціональними можливостями щодо ведення розвідки.

Вирішення поставленої задачі досягається тим, що антенна система включає: матрицю антенних елементів (опромінювачів), розміщену у фокальній площині рефлектора; фідерну мережу, що складається з відрізків високочастотних ліній передачі й елементів (модулів) розділення-об'єднання, за допомогою яких здійснюється активація тієї або іншої групи опромінювачів і формується та або інша діаграма спрямованості смугової PCA; пристрій керування, що активує ту або іншу діаграму спрямованості PCA шляхом зміни режиму розподілу сигналу.

Суть винаходу в антенній системі PCA в режимі смугового огляду, яка містить рефлектор, визначену кількість антенних елементів, які розміщені в фокальній площині рефлектора, високочастотну фідерну мережу передавальних та приймальних каналів, до якої підключені антенні елементи і за допомогою якої вони поєднуються в групи різної величини, пристрій керування фідерною мережею, за допомогою якого вибирається діаграма спрямованості й активується відповідна їй група опромінювачів, полягає в тому, що антенні елементи менших груп є антенними елементами більших груп, антенні елементи розміщують у рядок або кілька рядків у фокальній площині рефлектора, сусідні антенні елементи розташовують на такій відстані один від одного, щоб їхні діаграми спрямованості перекривалися й створювалися однопелюсткові сумарні діаграми спрямованості антенної системи.

Порівняння пристрою, який заявляється, із прототипом дозволяє зробити висновок, що пристрій - антенна система смугової радіолокаційної станції із синтезуванням апертури, що заявляється, відрізняється тим, що антенні елементи розміщують у рядок або кілька рядків у фокальній площині рефлектора, антенні елементи менших груп є антенними елементами більших груп, сусідні антенні елементи розташовують на такій відстані один від одного, щоб їхні діаграми спрямованості перекривалися й створювалися однопелюсткові сумарні діаграми спрямованості антенної системи.

Суть винаходу пояснюється за допомогою креслень. На фіг. 2 наведено приклад структури антенної системи смугової радіолокаційної станції із синтезуванням апертури для формування 6-ти діаграм спрямованості. На фіг. 3 наведена принципова схема комутаційного модуля. На основі цих модулів можна будувати високочастотну фідерну мережу, що комутується, для передавання чи приймання сигналів в залежності від вибраної ДС. На фіг. 4 наведена еквівалентна схема 4-плечового керованого фазового циркулятора, який є ключовим конструктивним елементом комутаційного модуля. На фіг. 5 наведено принципову схему блока керування комутацією високочастотної фідерної мережі антенної системи смугової PCA.

Суть винаходу розглянемо на конкретному прикладі формування 6-ти діаграм спрямованості. Структура такої антенної системи наведена на фіг. 2.

Пристрій - антенна система смугової PCA - включає дзеркальний параболічний рефлектор 1, у фокальній площині якого розміщені горизонтально у два рядки вісім опромінювачів  $O_1, O_2, \dots, O_8$ , високочастотну мережу комутації випромінюваних й прийнятих сигналів 2, пристрій керування мережею комутації 3.

Кожний активований опромінювач створює пелюсткову діаграму спрямованості, форма якої визначається опромінювачем і рефлектором.

Фідерна мережа, що комутується, будується на базі однотипних модулів підключення зондувального сигналу до двох або до одного опромінювача в режимі передачі та передавання відбитого сигналу від одного опромінювача або об'єднання й передавання сигналів від двох опромінювачів при прийомі сигналів.

Структура модуля, наведена на фіг. 3, містить два керованих фазових циркулятори (КФЦ) 1, 2 і Y-подібний роздільник енергії сигналу на дві рівні частини 3. Перший вхід КФЦ-1 з'єднаний з фідером живлення, другий вхід - із входом b Y-подібного роздільника 3. Плече c роздільника підключене до одного опромінювача, а плече d - до першого входу КФЦ-2. Друге плече КФЦ-2 з'єднане з іншим опромінювачем, а третє плече з четвертим плечем КФЦ-1.

У керованих циркуляторах енергія електромагнітної хвилі поширюється з одного каналу в інший тільки в певній послідовності. Еквівалентна схема чотириплевого циркулятора наведена на фіг. 4а. Стрілками показаний напрямок передачі енергії. Якщо електромагнітна енергія подається в плече 1, то вона пройде в плече 2 і не пройде в інші плечі. При прямому проходженні циркуляція відбувається в такій послідовності:

1→2→3→4→1.

При зміні напрямку керуючого магнітного поля фіг. 4б циркуляція відбуватиметься у зворотній послідовності

1→4→3→2→1.

Наведений на фіг. 3 перемикальний модуль працює таким чином. При випромінюванні сигналу використовують пряме проходження. Зондувальний сигнал подається в плече 1 КФЦ-1. Сигнал проходить у плече 2, передається на роздільник 3 (плече b), де його потужність поділяється порівну на два канали (плечі c і d). Із плеча c роздільника сигнал подають на перший опромінювач, а із плеча d - на плече 1 КФЦ-2. З плеча 1 КФЦ-2 сигнал проходить у плече 2 і надходить на антенний опромінювач 2. Таким чином, при прямому проходженні сигналу через КФЦ-1 та КФЦ-2 перемикальний модуль у режимі передачі забезпечує поділ енергії зондувального вхідного сигналу на рівні частини й активацію двох опромінювачів.

Для прийому сигналу напрямок проходження сигналу через КФЦ-1 та КФЦ-2 перемикального модуля змінюють на зворотний. При цьому вхідні сигнали двох опромінювачів підсумовуються в роздільнику-об'єднувачі 3 (сигнал від опромінювача 2 надходить у плече d роздільника-об'єднувача 3 через плече 1 КФЦ-2). Із плеча b роздільника-об'єднувача 3 сигнал через плечі 2 → 1 КФЦ-1 подається у фідерну лінію когерентного приймача.

Інший варіант роботи перемикального модуля полягає в передачі й прийомі сигналу до одного й від одного з опромінювачів. У цьому випадку КФЦ-1 і КФЦ-2 перемикального модуля при зондуванні працюють у зворотному режимі, тобто сигнал із плеча 1 КФЦ-1 проходить у плече 4, звідки його подають на плече 3 КФЦ-2 і далі через плече 2 на опромінювач, що живиться від плеча 2 КФЦ-2.

У режимі прийому КФЦ-1 і КФЦ-2 переводяться в прямий режим передачі сигналу. При цьому сигнал від опромінювача, підключеного до плеча 2 КФЦ-2, надходить у плече 3 далі через плече 4 КФЦ-1 у його плече 1 і далі у фідерну лінію приймача. Сигнал від опромінювача, підключеного до плеча 2 КФЦ-1, надходить через його плече 3 на погоджене навантаження, де поглинається.

Структурна схема прикладу антенної системи смугової РСА (фіг. 2) включає: дзеркальний рефлектор у формі параболоїда обертання 1; комутовану фідерну мережу 2 (набір керованих комутуючих модулів і відрізки високочастотних ліній передачі); пристрій керування перемикальними модулями 3. Комутована фідерна мережа 2 складається з семи однакових, описаних вище, модулів перемикання. Два модулі  $M_{11}$  і  $M_{12}$  здійснюють живлення першого горизонтального рядка опромінювачів, їхні виходи А і С підключені до опромінювачів  $O_1$ ,  $O_2$  і  $O_4$ ,  $O_3$  відповідно, які утворюють перший горизонтальний рядок опромінювачів, розташованих у фокальній площині. Два перемикальні модулі  $M_{21}$  і  $M_{22}$  живлять другий горизонтальний рядок опромінювачів, розташованих також у фокальній площині рефлектора, їхні виходи А, С підключені до опромінювачів  $O_5$ ,  $O_6$  і  $O_8$ ,  $O_7$  відповідно. Перемикальні модулі  $M_1$  і  $M_2$  призначені для вмикання/вимикання модулів  $M_{11}$  і  $M_{21}$  від тракту приймача-передавача РСА. Перемикальний модуль  $M_3$  підключає канал приймача-передавача РСА до першого або першого і другого рядків опромінювачів.

Пристрій керування комутацією здійснює вибір прямого або зворотного підключення КФЦ модулів  $M_{11}$ ,  $M_{12}$ ,  $M_{21}$ ,  $M_{22}$ ,  $M_1$ ,  $M_2$  і  $M_3$ .

Комутатор забезпечує такі комбінації живлення опромінювачів:

1. Усі КФЦ перемикальних модулів переведені в прямий режим. Формується передавальний

промінь шириною  $5,32 \frac{\lambda}{K_{PG}}$  в горизонтальній площині й  $2,44 \frac{\lambda}{K_{PB}}$  у вертикальній площині. Енергія передавача рівномірно розподіляється на вісім опромінювачів.

При переведенні КФЦ модулів у зворотний режим формується такий самий приймальний промінь РСА.

2. КФЦ модуля  $M_3$  переведено у зворотний режим, а КФЦ перемикальних модулів  $M_{11}$ ,  $M_{12}$  і  $M_1$  - у прямий режим. Формується передавальний промінь шириною  $5,32 \frac{\lambda}{k_{PG}}$  в горизонтальній

площині й  $\frac{\lambda}{k_{PB}}$  у вертикальній площині. Енергія передавача рівномірно розподіляється на чотири опромінювачі першого рядка.

5 При переведенні КФЦ модуля  $M_3$  у прямий режим, а КФЦ перемикальних модулів  $M_{11}$ ,  $M_{12}$  і  $M_1$  у зворотний формується такий самий приймальний промінь РСА.

3. КФЦ перемикальних модулів  $M_{11}$ ,  $M_{12}$ ,  $M_{21}$ ,  $M_{21}$ ,  $M_{22}$  переведено у зворотний режим, а КФЦ модулів  $M_1$ ,  $M_2$  і  $M_3$  - у прямий режим. Формується передавальна ДС РСА шириною  $2,44 \frac{\lambda}{k_{PG}}$  в горизонтальній площині й  $2,44 \frac{\lambda}{k_{PB}}$  у вертикальній площині. Енергія передавача рівномірно

10 розподіляється на чотири опромінювачі - два центральні першого рядка й два центральні другого рядка.

При переведенні КФЦ перемикальних модулів  $M_{11}$ ,  $M_{12}$ ,  $M_{21}$ ,  $M_{21}$ ,  $M_{22}$  у прямий режим, а КФЦ модулів  $M_1$ ,  $M_2$  і  $M_3$  у зворотний режим формується такий самий приймальний промінь РСА.

4. КФЦ перемикальних модулів  $M_{11}$ ,  $M_{12}$  і  $M_3$  переведено у зворотний режим, а КФЦ модуля  $M_1$  - у прямий режим. Формується передавальна ДС РСА шириною  $2,44 \frac{\lambda}{k_{PG}}$  в горизонтальній

15 площині й  $\frac{\lambda}{k_{PB}}$  у вертикальній площині. Енергія передавача рівномірно розподіляється на два центральні опромінювачі першого рядка.

При переведенні КФЦ перемикальних модулів  $M_{11}$ ,  $M_{12}$ ,  $M_3$  у прямий режим, а КФЦ модуля  $M_1$  у зворотний режим формується такий самий приймальний промінь РСА.

20 5. КФЦ перемикальних модулів  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_{12}$ ,  $M_{22}$  переведено у зворотний режим, а КФЦ перемикального модуля  $M_3$  - у прямий. Формується передавальна діаграма спрямованості РСА шириною  $\frac{\lambda}{k_{PG}}$  в горизонтальній площині й  $2,44 \frac{\lambda}{k_{PB}}$  у вертикальній площині. Енергія передавача рівномірно розподіляється на два опромінювачі - один центральний першого рядка й один центральний другого рядка.

25 При переведенні КФЦ перемикальних модулів  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_{12}$ ,  $M_{22}$  у прямий режим, а КФЦ перемикального модуля  $M_3$  у зворотний режим формується такий самий приймальний промінь РСА.

6. КФЦ перемикальних модулів  $M_1$ ,  $M_3$ ,  $M_{12}$  переведено у зворотний режим. Формується передавальна діаграма спрямованості РСА шириною  $\frac{\lambda}{k_{PG}}$  в горизонтальній площині й  $\frac{\lambda}{k_{PB}}$  у

30 вертикальній площині. Уся енергія передавача подається на центральний опромінювач першого рядка.

При переведенні КФЦ перемикальних модулів  $M_1$ ,  $M_3$ ,  $M_{12}$  у прямий режим формується такий самий приймальний промінь РСА.

35 Необхідні режими роботи керованих фазових циркуляторів модулів комутації  $M_{11}$ ,  $M_{12}$ ,  $M_{21}$ ,  $M_{22}$ ,  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  для формування всіх діаграм спрямованості розглянутого прикладу антенної системи смугової РСА наведено в табл. 1.

Таблица 1

Ширина променя: $\frac{\text{верт.пл.}}{\text{гориз.пл.}}$	Режим роботи: $\frac{\text{передача}}{\text{приём}}$							Номер режиму
	$M_{11}$	$M_{12}$	$M_{21}$	$M_{22}$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	
$\frac{2,44\alpha_{\text{од.оп}}}{5,32\Delta\beta_{\text{од.оп}}}$	$\frac{\text{П}}{\text{Звр}}$	$\frac{\text{П}}{\text{Звр}}$	$\frac{\text{П}}{\text{Звр}}$	$\frac{\text{П}}{\text{Звр}}$	$\frac{\text{П}}{\text{Звр}}$	$\frac{\text{П}}{\text{Звр}}$	$\frac{\text{П}}{\text{Звр}}$	1
$\frac{\Delta\alpha_{\text{од.оп}}}{5,32\Delta\beta_{\text{од.оп}}}$	$\frac{\text{П}}{\text{Звр}}$	$\frac{\text{П}}{\text{Звр}}$	$\frac{\text{Відкл}}{\text{Відкл}}$	$\frac{\text{Відкл}}{\text{Відкл}}$	$\frac{\text{П}}{\text{Звр}}$	$\frac{\text{Відкл}}{\text{Відкл}}$	$\frac{\text{П}}{\text{Звр}}$	2



Продовження таблиці 1

Ширина променя: $\frac{\text{верт.пл.}}{\text{гориз.пл.}}$	Режим роботи: $\frac{\text{передача}}{\text{прийом}}$							Номер режиму
	$M_{11}$	$M_{12}$	$M_{21}$	$M_{22}$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	
$\frac{2,44\Delta\alpha_{\text{од.оп}}}{2,44\Delta\beta_{\text{од.оп}}}$	$\frac{\text{Звр}}{\text{П}}$	$\frac{\text{Звр}}{\text{П}}$	$\frac{\text{Звр}}{\text{П}}$	$\frac{\text{Звр}}{\text{П}}$	$\frac{\text{П}}{\text{Звр}}$	$\frac{\text{П}}{\text{Звр}}$	$\frac{\text{П}}{\text{Звр}}$	3
$\frac{\Delta\alpha_{\text{од.оп}}}{2,44\Delta\beta_{\text{од.оп}}}$	$\frac{\text{Звр}}{\text{П}}$	$\frac{\text{Звр}}{\text{П}}$	$\frac{\text{Відкл}}{\text{Відкл}}$	$\frac{\text{Відкл}}{\text{Відкл}}$	$\frac{\text{П}}{\text{Звр}}$	$\frac{\text{Відкл}}{\text{Відкл}}$	$\frac{\text{Звр}}{\text{П}}$	4
$\frac{2,44\Delta\alpha_{\text{од.оп}}}{\Delta\beta_{\text{од.оп}}}$	$\frac{\text{Відкл}}{\text{Відкл}}$	$\frac{\text{Звр}}{\text{П}}$	$\frac{\text{Відкл}}{\text{Відкл}}$	$\frac{\text{Звр}}{\text{П}}$	$\frac{\text{Звр}}{\text{П}}$	$\frac{\text{Звр}}{\text{П}}$	$\frac{\text{П}}{\text{Звр}}$	5
$\frac{\Delta\alpha_{\text{од.оп}}}{\Delta\beta_{\text{од.оп}}}$	$\frac{\text{Відкл}}{\text{Відкл}}$	$\frac{\text{Звр}}{\text{П}}$	$\frac{\text{Відкл}}{\text{Відкл}}$	$\frac{\text{Відкл}}{\text{Відкл}}$	$\frac{\text{Звр}}{\text{П}}$	$\frac{\text{Відкл}}{\text{Відкл}}$	$\frac{\text{Звр}}{\text{П}}$	6

У таблиці використані такі позначення й скорочення:

$\Delta\alpha_{\text{од.оп}}, \Delta\beta_{\text{од.оп}}$  - ширина діаграми спрямованості, створювана поодиноким опромінювачем, у

5 вертикальній і горизонтальній площині;

П - включений прямий режим керованих фазових циркуляторів модуля;

Звр - включений зворотний режим керованих фазових циркуляторів модуля;

Відкл - напрямку струму в обмотках намагнічування циркуляторів модуля не має значення.

10 Пристрій керування 3 (фіг. 5) призначений для вибору ДС і перемикання височастотних фідерних ліній на передачу або прийом радіолокаційних сигналів. Пристрій включає: джерело струму 57; перемикач типу діаграм спрямованості 29; тригери, що керують режимами передачі і прийому, Т1, Т2; ключі 1÷28 для перемикання напрямку струму в обмотках керованих фазових циркуляторів модулів  $M_{11}$ ,  $M_{12}$ ,  $M_{21}$ ,  $M_{22}$ ,  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ; тригер Т3, який керує підключенням сигналів другого рядка; логіку керування тригером перемикання Т1, яка включає дво- і чотиривхідні логічні схеми "АБО" 39, 40, чотири двовхідні схеми "І" 41, 42, 43, 44 і дві двовходові схеми "АБО" 45, 46; логіку керування тригером Т3 перемикання режиму передачі-прийому модуля  $M_3$ , що включає дві тривхідні логічні схеми „АБО" 30, 31, чотири двовхідні схеми "І" 32, 33, 34, 35 і дві двовхідні схеми "АБО" 36, 37; логіку керування тригером Т2 перемикання режиму передачі-прийому модулів  $M_1$  і  $M_2$ , що включає чотири- і двовхідні логічні схеми "АБО" 48, 49, чотири двовхідні схеми "І" 50, 51, 52, 53 і дві двовхідні схеми "АБО" 54, 55.

20 Пристрій забезпечує необхідний напрямку струму в обмотках КФЦ для одержання необхідного напрямку вектора магнітної індукції під час перемикання режиму циркуляторів згідно з табл. 1.

25 Зазначимо, що у використовуваних однотипних перемикальних модулях режими 1-го і 2-го циркуляторів завжди однакові і перемикання з прямого режиму на зворотний і навпаки виконується синхронно. Тому обмотки котушок циркуляторів модуля з'єднані паралельно, і зміна напрямку струму в них здійснюється одночасно.

30 Перемикання циркуляторів модулів у прямий і зворотний режим здійснюється за алгоритмом (табл. 1), який реалізований за допомогою перемикача діаграм спрямованості 29 та тригерів Т1, Т2 та Т3.

35 Перемикання напрямку струму в обмотках котушок циркуляторів окремого модуля здійснюють за допомогою чотирьох ключів. Наприклад, зміна напрямку струму в обмотках котушок циркуляторів модуля  $M_{11}$  здійснюється тригером Т1 і ключами 1÷4. При одиничному стані тригера напруга з його "1"-го виходу відкриває ключі 1 і 3. Позитивна напруга джерела струму через ключ 1 підключається до початку котушок (клеми "Н"), а земля (мінусова клема джерела струму) через ключ 3 - до кінця обмоток котушок керування циркуляторами (клеми "К") модуля  $M_{11}$ .

40 При нульовому стані Т1 на нульовому виході Т1 "1". Напруга з нульового виходу відкриває ключі 2 і 4. При цьому позитивна напруга джерела струму через ключ 4 підключається до клем "К" котушок модуля  $M_{11}$ , а земля через ключ 2 - до клем "Н".

Аналогічно змінюється напрямку струму в обмотках котушок керуючих перемиканням прямого і зворотного режимів циркуляторів інших модулів.

Переваги запропонованого способу формування ДС порівняно з відомими полягає в тому, що він дозволяє підвищувати розрізняльну здатність смугової РСА за шляховою дальністю без зменшення її дальності дії.

Дійсно, одна з форм запису дальності дії для смугової РСА має такий вигляд [5]:

$$R \leq \sqrt[3]{\frac{P_{\text{ср}} \lambda^2 G^2 \beta}{64 \pi^3 W \kappa_{\text{ш}} k T \eta} \sigma_{\text{уд}} \delta x \delta r}, \quad (8)$$

- де:  $P_{\text{ср}}$  - середня потужність випромінювання передавача РСА;  
 $\lambda$  - довжина хвилі зондувального сигналу;  
 $G$  - коефіцієнт спрямованої дії;  
 $W$  - шляхова швидкість носія РСА;  
 $\kappa_{\text{ш}}$  - коефіцієнт шуму приймача;  
 $k$  - стала Больцмана;  
 $\beta$  - ширина діаграми спрямованості антени в горизонтальній площині;  
 $T$  - температура, градуси Кельвіна;  
 $\eta$  - необхідне значення коефіцієнта розрізнення приймального пристрою;  
 $\sigma_{\text{уд}}$  - питома відбивна здатність поверхні;  
 $\delta r$  - розрізнявальна здатність РСА за похилою дальністю;  
 $\delta x$  - розрізнявальна здатність РСА за шляховою дальністю.  
Перетворюючи співвідношення (8) з урахуванням значення

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} I_{\text{РВ}} I_{\text{РГ}}, \quad (9)$$

де  $I_{\text{РВ}}$  - вертикальний розмір рефлектора антенної системи, і співвідношень (5), (6), одержимо

$$R \leq \sqrt[3]{\frac{P_{\text{ср}} I_{\text{РВ}}^2 I_{\text{РГ}}^2 \sigma_{\text{уд}}}{8 \pi \lambda W \kappa_{\text{ш}} k T \eta} \delta r}. \quad (10)$$

- Пропонований спосіб розширення ДС смугової РСА в горизонтальній площині, не зменшуючи горизонтального розміру приймально-передавальної антени, дозволяє підвищити розрізняльну здатність за шляховою дальністю і збільшити енергетичний потенціал смугової РСА таким чином, що він компенсує зменшення енергії відбиття від елемента розрізнення при його зменшенні.
- Порівняльний аналіз основних тактико-технічних характеристик смугової РСА, у якій використана антенна система, розглянута як приклад реалізації запропонованого способу формування ДС, із прототипом і кращим аналогом, наведений у табл. 2 і 3.

Таблиця 2

Об'єкт	Антенна	$I_{\text{РВ}}, \text{м}$	$I_{\text{РГ}}, \text{м}$	$\delta x, \text{м}$	$\frac{\delta x'}{\delta x}$	$\frac{R'}{R}$	$\frac{\Delta R'}{\Delta R}$
Прототип патент DE № 10319063	Параболоїд і 2 вертикальні опромінювані	0,8	1,2	0,6	0,18	1	1
РСА з запропонованою антенною системою	Параболоїд з матрицею $4 \times 2$ опромінювача	0,8	1,2	0,11	5,45	1	1

Таблиця 3

Об'єкт	Антенна	$I_{\text{РВ}}, \text{м}$	$I_{\text{РГ}}, \text{м}$	$\delta x, \text{м}$	$\frac{\delta x'}{\delta x}$	$\frac{R'}{R}$	$\left(\frac{\Delta R'}{\Delta R}\right)^*$
Аналог РСА "Lynx"	Параболоїд з одним опромінювачем	0,4	0,6	0,3	0,31	0,4	0,85
РСА з запропонованою антенною системою	Параболоїд з матрицею $4 \times 2$ опромінювачі	0,8	1,2	0,11	2,73	2,52	1,17

У таб. 2, 3  $\frac{\delta x'}{\delta x}$ ,  $\frac{R'}{R}$  і  $\frac{\Delta R'}{\Delta R}$  - відношення розрізняювальної здатності, дальності дії, смуг

розвідки порівнюваних об'єктів.  $\left(\frac{\Delta R'}{\Delta R}\right)^*$  - оцінка відношення порівнюваних смуг розвідки.

Джерела інформації:

1. Реутов А. П., Михайлов Б. А., Кондратенков Г. С., Бойко Б. В., Радиолокационные станции бокового обзора /под ред. А. П. Реутова- М.: Сов. радио, 1970. - 360 с. - С. - 81.

2. Справочник по радиолокации /под ред. М. Скольникова. - Т. 2. Радиолокационные антенные устройства /под ред. П. И. Дудника. - М.: Сов. радио, 1977.- 408 с. - С. 360.

3. Радиолокационные станции обзора Земли /Г. С. Кондратенков, В. А. Потехин, А. П. Реутов, Ю. А. Феоктистов; Под ред. Г. С. Кондратенкова. - М.: Радио и связь, 1983. - 272 с., ил. с. 23.

4. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны /В. Н. Антипов, В. Т. Горяинов, А. Н. Кулин и др. - М.: Радио и связь, 1988. - 304 с.; ил. с. 20.

5. Федотов Б. М. Оцінка обмежень "дальність дії - роздільна здатність" радіолокаційних станцій з синтезованою апертурою. - Праці академії. - К.: НАОУ, 2004, № 52. - С. 153-161.

6. Патент DE 1031 9063 (A1).

7. Патент EP 147 1600 (A1).

8. Патент ES 2315584 (T3).

9. Драбкин А. Л., Зузенко В. Л., Кислов А. Г. Антенно-фидерные устройства. - М.: Сов. радио, 1974. - 536 с. - С. 366.

10. Базовый комплекс воздушной разведки БКР-1 самолёта СУ-24МР. -М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1985. - 251 с. - С. 90.

11. Федотов Б. М., Станкевич С. А. Сучасний стан авіаційних радіолокаційних станцій з синтезованою апертурою та напрямки їх удосконалення. - Праці академії. - К.: НАОУ, 2006. № 70. - С. 96-107.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб створення діаграм спрямованості смугової радіолокаційної станції із синтезуванням апертури, що містить визначену кількість антенних елементів, при якому визначають для створення кожної діаграми спрямованості групу антенних елементів, формують вибрану діаграму спрямованості, активуючи відповідну їй групу антенних елементів, орієнтують сформовану діаграму спрямованості в напрямку на смугу розвідки й стабілізують її щодо опорної траєкторії синтезування, який **відрізняється** тим, що створюють всі діаграми спрямованості за допомогою рефлектора з антенними елементами у його фокальній площині, причому антенні елементи менших груп є антенними елементами більших груп, розділяють енергію високочастотних сигналів передавача між антенними елементами, що активуються, підсумовують прийняті активізованими антенними елементами сигнали, поєднуючи їх на елементах фідерної мережі в один канал.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що розташовують і орієнтують антенні елементи у фокальній площині рефлектора так, щоб формована кожною групою сумарна діаграма спрямованості була однопелюстковою та максимально наближеною до П-подібної в горизонтальній площині.

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що активізують антенні елементи вибраної групи відповідною комутацією елементів високочастотної фідерної мережі антенної системи радіолокаційної станції із синтезуванням апертури.

4. Спосіб за пп. 1, 3, який **відрізняється** тим, що калібрують фідерні канали, які живлять антенні елементи таким чином, щоб фаза і форма сигналу, який випромінюється активованими антенними елементами, були однакові.

5. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що здійснюють підсумовування сигналів, прийнятих активованими антенними елементами, при об'єднанні їх в один канал.

6. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що створюють усі діаграми спрямованості за допомогою дзеркала у формі параболоїда обертання.

7. Антенна система смугової радіолокаційної станції із синтезуванням апертури, що містить рефлектор, визначену кількість антенних елементів, які розміщені в фокальній площині рефлектора, високочастотну фідерну мережу передавальних та приймальних каналів, до якої підключені антенні елементи і за допомогою якої вони поєднуються в групи різної величини, пристрій керування фідерною мережею, за допомогою якого вибирається діаграма спрямованості й активізується відповідна їй група опромінювачів, яка **відрізняється** тим, що

5

антенні елементи менших груп є антенними елементами більших груп, при цьому антенні елементи розміщують у рядок або кілька рядків у фокальній площині рефлектора, сусідні антенні елементи розташовують на такій відстані один від одного, щоб їхні діаграми спрямованості перекривалися й створювалися однопелюсткові сумарні діаграми спрямованості антенної системи.

8. Пристрій за п. 7, який **відрізняється** тим, що рефлектор - це дзеркало, яке виконане у вигляді вирізки з параболоїда обертавання.



Fig. 1

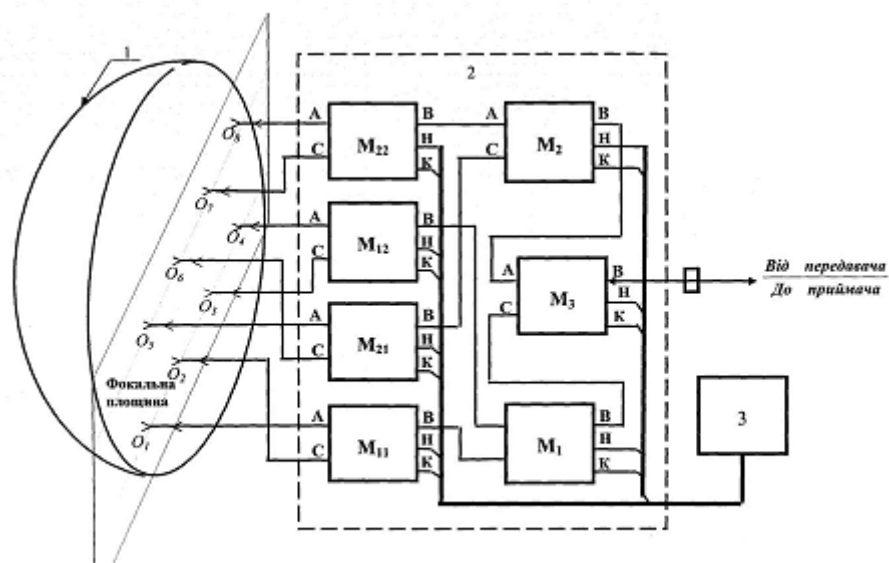
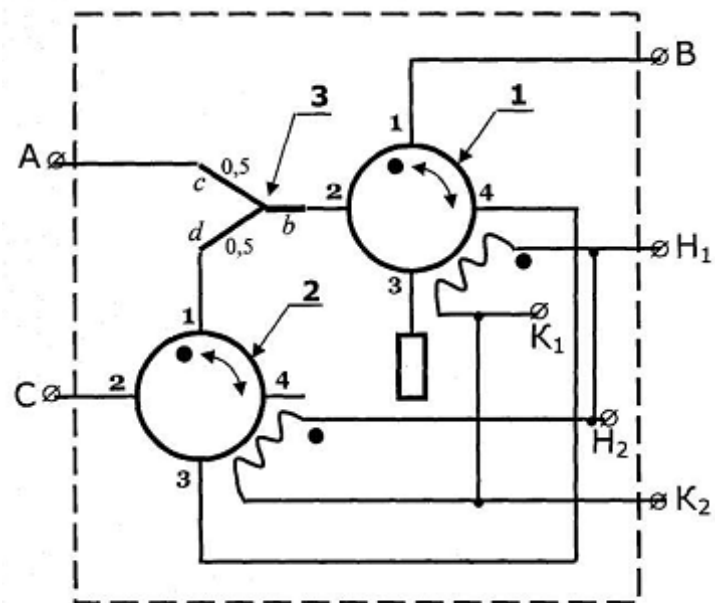
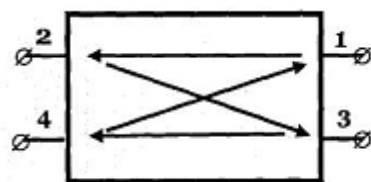


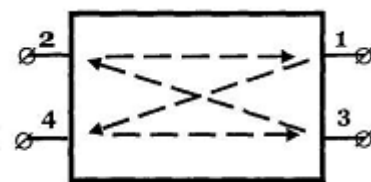
Fig. 2



Фиг. 3

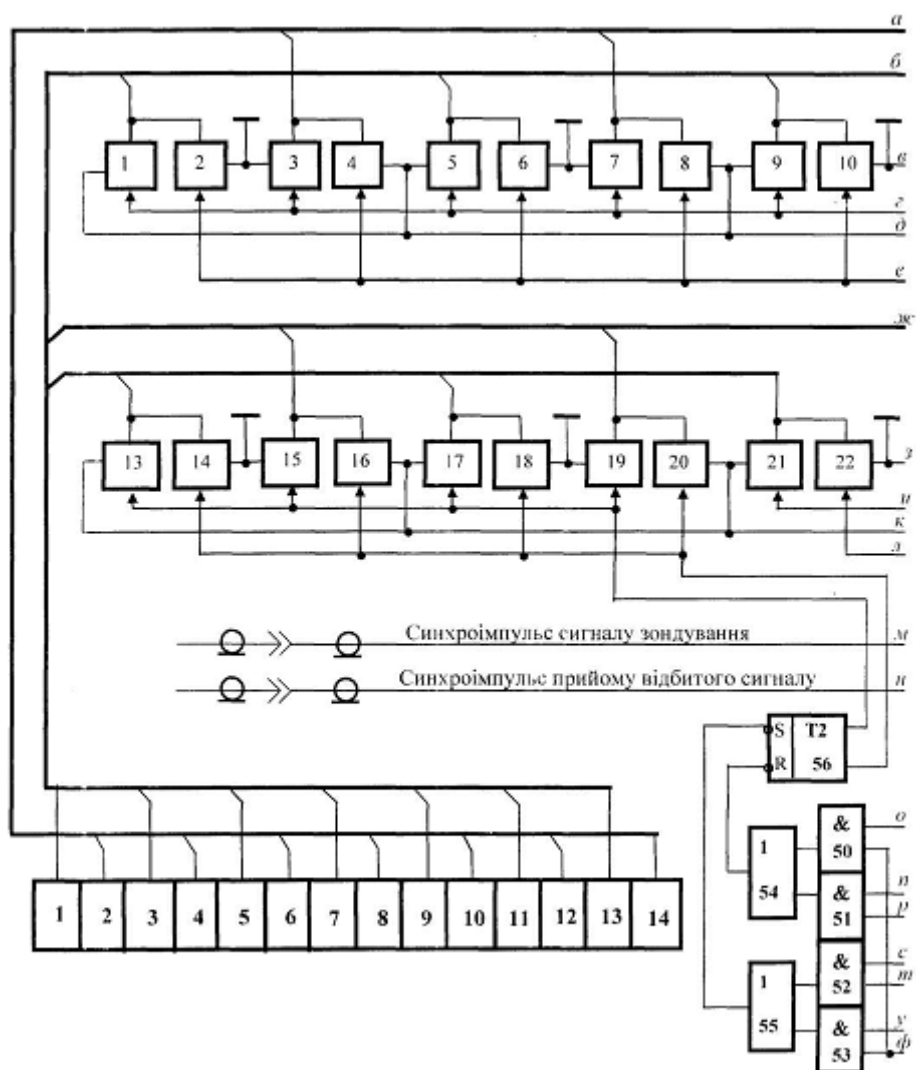


a)

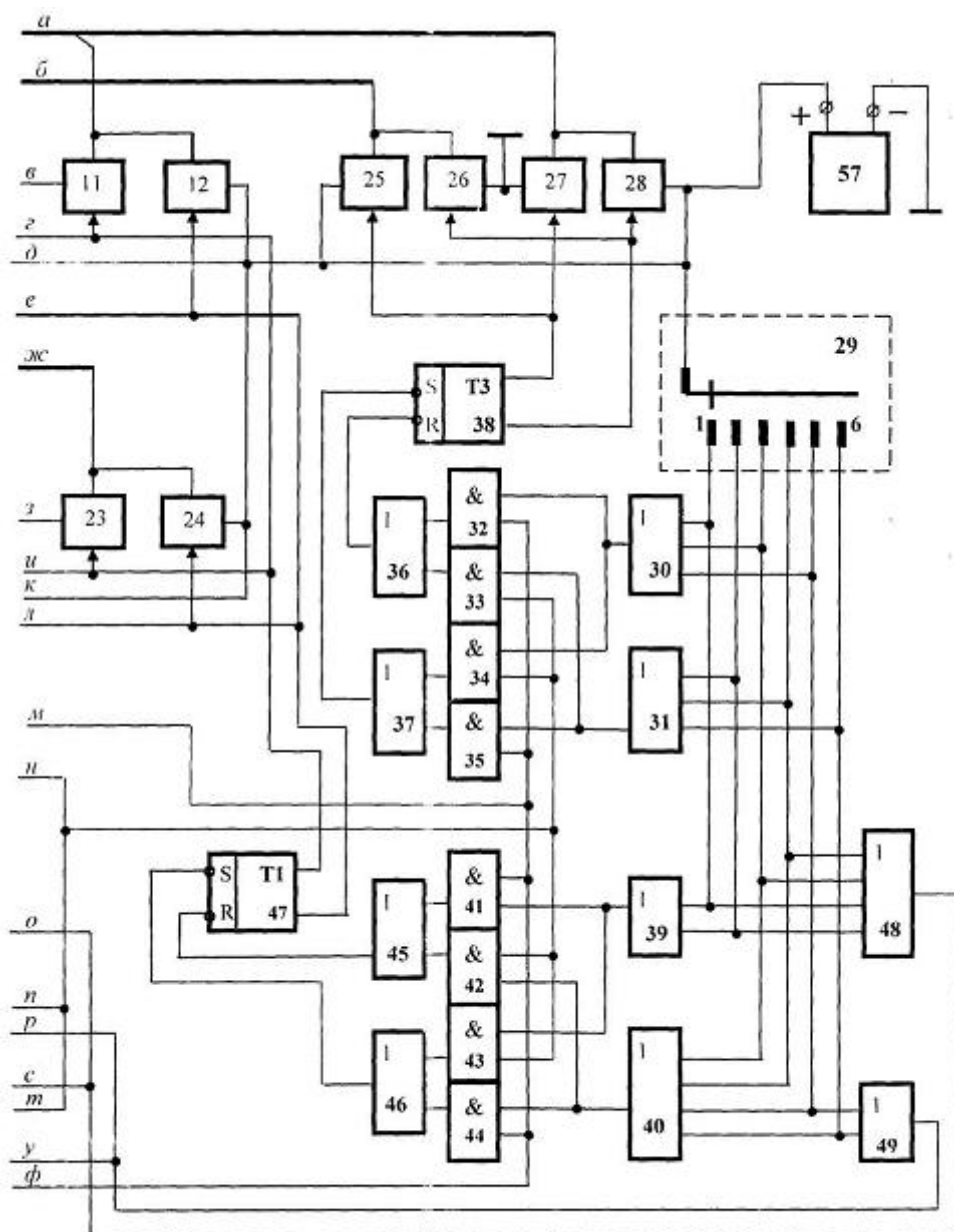


б)

Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 5

Комп'ютерна верстка Л.Литвиненко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601