



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **62860** (13) **U**
(51) МПК (2011.01)
H01Q 19/00
H01P 1/10 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ СТВОРЕННЯ ДІАГРАМ СПРЯМОВАНOSTІ СМУГОВОЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СТАНЦІЇ ІЗ СИНТЕЗОВАНОЮ АПЕРТУРОЮ

1

2

(21) u201006596

(22) 31.05.2010

(24) 26.09.2011

(46) 26.09.2011, Бюл.№ 18, 2011 р.

(72) ФЕДОТОВ БОРИС МИКИТОВИЧ

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ОБОРОНИ
УКРАЇНИ

(57) 1. Спосіб створення діаграм спрямованості смугової радіолокаційної станції із синтезуванням апертури, яка містить визначену кількість антенних елементів, при цьому 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 спеціально-го рефлектора, розміщують антенні елементи у фокальній площині рефлектора в рядок, при цьому антенні елементи менших груп є антенними елементами більших груп, розділяють енергію високочастотних сигналів передавача між антенними елементами, що активуються, підсумовують прийняті активованими антенними елементами сигналами, поєднуючи їх на елементах фідерної мережі в один канал.

ли, поєднуючи їх на елементах фідерної мережі в один канал.

2. Спосіб за пунктом 1, який відрізняється тим, що антенні елементи розміщують по горизонтальній лінії у фокальній площині рефлектора на такій відстані один від одного, щоб діаграма спрямованості, що формується кожною групою, була наближена до П-подібної в горизонтальній площині.

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

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

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

6. Спосіб за пунктом 1, який відрізняється тим, що створюють всі діаграми спрямованості за допомогою дзеркала у формі параболоїда обертання.

Корисна модель належить до галузі антен, зокрема до антенно-фідерних пристроїв радіолокаційних засобів огляду земної поверхні, у яких використовується рух носія радіолокаційного датчика для підвищення розрізняльної здатності за напрямком руху. Він може бути використаний при створенні смугової радіолокаційної станції із синтезованою апертурою (РСА) надвисокої розрізняльності та підвищеною дальністю дії.

В сучасних РСА у смуговому режимі синтезування використовуються антени, що мають однопелюсткові діаграми спрямованості. Ширина діаграм спрямованості (ДС) у горизонтальній площині визначає потенційну розрізняльну здатність по шляховій дальності, а ширина діаграм спрямованості у вертикальній площині в сукупності

з висотою польоту носія та кутом нахилу променя до поверхні землі - можливу смугу огляду.

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

Загальновідомий спосіб підвищення розрізняльної здатності смугової РСА за шляховою дальністю полягає в збільшенні ширини ДС у горизонтальній площині зменшенням горизонтального розміру приймально-передавальної антени $d_{\text{г}} [1-4]$.

Недоліком цього способу є те, що при поліпшенні розрізняльної здатності зменшується да-

(13) **U**
(11) **62860**
(19) **UA**

льність дії РСА. Дальність дії станції в цьому випадку дорівнює [5]:

$$R \leq 3 \sqrt{\frac{P_{\text{CP}} d_{\text{B}}^2 \sigma_{\text{уд}}}{4\pi \lambda W k_{\text{ш}} k T \eta}}, \quad (1)$$

де P_{CP} - середня потужність випромінювання передавача РСА;

λ - довжина хвилі зондувального сигналу;

d_{B} - вертикальний розкриття антени;

$d_{\text{Г}}$ - горизонтальний розкриття антени;

W - шляхова швидкість носія РСА;

$k_{\text{ш}}$ - коефіцієнт шуму приймача;

k - стала Больцмана;

T - температура, градуси Кельвіна;

η - необхідне значення коефіцієнта розрізнення приймального пристрою;

$\sigma_{\text{уд}}$ - питома відбивна здатність поверхні;

$\delta_{\text{Г}}$ - розрізнявальна здатність РСА за похилою дальністю;

$\delta_{\text{х}}$ - розрізнявальна здатність РСА за шляховою дальністю.

Оскільки потенційна розрізнявальна здатність за шляховою дальністю дорівнює $\delta_{\text{х}} = \frac{d_{\text{Г}}}{2}$, то максимальна дальність дії РСА зменшується за законом ступеня 2/3. А якщо врахувати, що бажано мати однакову розрізнявальну здатність за шляховою і похилою дальністю, то дальність дії РСА буде пропорційна горизонтальному розміру її антени $d_{\text{Г}}$.

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

У способі створюється декілька діаграм спрямованості антенною системою РСА. Для цього використовуються певна кількість антенних елементів (елементарних випромінювачів), які розділені на кілька груп суміжних антенних елементів, причому передавальні й приймальні промені створюються завдяки активізації для кожної діаграми спрямованості певної групи антенних елементів.

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

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 кутами місця діаграмми 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 рахунок зменшення ширини діаграми спрямованості в кутомісцевій площині й використання для перегляду смуги зондування декількох вузьких у кутомісцевій площині діаграм спрямованості.

Недоліком розглянутого способу формування діаграми спрямованості смугової РСА є те, що в ньому не передбачене керування шириною діаграм

спрямованості у горизонтальній площині й зі збільшенням кута синтезування дальність дії РСА зменшується.

Корисна модель вирішує завдання підвищення розрізнявальної здатності за шляховою дальністю без зменшення дальності дії смугової РСА.

Суть способу створення діаграм спрямованості смугової радіолокаційної станції із синтезованою апертурою, яка містить визначену кількість антенних елементів, полягає в визначенні для створення кожної діаграми спрямованості групи антенних елементів, формують обрану діаграму спрямованості, активуючи відповідну їй групу антенних елементів, орієнтують сформовану діаграму спрямованості в напрямку на смугу розвідки й стабілізують її щодо опорної траєкторії синтезування. Технічний результат досягається наступним чином. Діаграма спрямованості антенної системи смугової РСА формується на базі спеціального рефлектора - дзеркала у вигляді параболоїда обертання. Кілька антенних елементів (опромінювачів) розташовуються в рядок у фокальній площині рефлектора. При цьому опромінювачі можуть утворювати кілька груп. Ширина ДС, що формується за допомогою одного антенного елемента (опромінювача), визначається відношенням довжини хвилі до ефективного розміру рефлектора у відповідній площині. Для збільшення розрізнявальної здатності за шляховою дальністю опромінювачі розташовують горизонтально у фокальній площині рефлектора таким чином, щоб їх сумарна ДС мала один головний пелюсток. Іншими словами опромінювачі розташовують на такій відстані $A_{\text{х}}$, щоб їх ДС перекривалися на рівні, рівному половині максимальної напруженості поля. Кількість груп визначає кількість ДС різної ширини і відповідно різну розрізнявальну здатність за шляховою дальністю.

Ширина ДС в кутомісцевій площині формується за допомогою декількох антенних елементів (опромінювачів) розташованих у рядок і вертикального розміру рефлектора.

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

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

$$\Delta \theta_{\text{Г}} = \frac{\lambda}{l_{\text{ГГ}}}, \quad (2)$$

де λ - довжина хвилі;

$l_{\text{ГГ}}$ - горизонтальний розмір рефлектора;

k - коефіцієнт використання горизонтального розкриву рефлектора.

Кут відхилення діаграми спрямованості, сформованої за допомогою опромінювача (антенного елемента), що зміщений у фокальній площині на відстань Δx щодо фокуса рефлектора, дорівнює [10]

$$\theta = \frac{2\Delta x}{l_{\text{РГ}}} \cdot \sin \psi_0, \quad (3)$$

де ψ_0 - кут розкриву дзеркальної антени.

Для формування однопелюсткової діаграми спрямованості відповідним розташуванням 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 Δx між сусідніми опромінювачами для формування однопелюсткової діаграми спрямованості

$$\Delta x = \frac{\mu \lambda}{2k \cdot \sin \psi_0}. \quad (4)$$

де μ - 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 $0,7E_T$. Тобто

$$\mu = \frac{\theta_{0,5} - \theta_{0,7}}{\theta_{0,7}}.$$

Ширина діаграми спрямованості (кут синтезування β) антенної системи, що містить n опромінювачів, дорівнює

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

Потенційна розрізняльна здатність смугової РСА із запропонованою антеною 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;

2. Групи антенних елементів не є суміжними з одним або з декількома антенними елементами, які є загальними для сусідніх груп, а менші по розміру групи є частиною більших груп;

3. Усі діаграми спрямованості формуються за допомогою одного рефлектора;

Суть корисної моделі пояснюється за допомогою креслень. На фіг. 1 наведена послідовність операцій, які виконують при створенні діаграм спрямованості при запропонованому способі. На фіг. 2 наведено конкретний приклад структури антенної системи за запропонованим способом.

Прикладом побудови антенної системи смугової РСА згідно запропонованого способу може служити антенна система, що включає:

спеціальний рефлектор у вигляді дзеркала, що має профіль параболоїда обертання;

три опромінювачі, що з'єднані за допомогою роздільно-об'єднавчого пристрою з фідером когерентного приймача-передавача.

Опромінювачі розміщені у фокальній площині рефлектора по горизонтальній осі, що проходить через фокус.

Будемо використовувати для побудови антенної системи типові для РСА: розрахункову довжину хвилі $\lambda=3$ см; висоту і ширину дзеркала рефлектора $l_B=0,5$ м, $l_T=1$ м; коефіцієнт використання площі дзеркала $k=0,7$ і кут розкриву дзеркальної антени $2\psi_0=120^\circ=2\pi/3$.

Коефіцієнт розширення ДС μ з урахуванням нерівномірного розподілу напруженості поля по розкриву рефлектора прийемо рівним 1,34. Відстань між опромінювачами дорівнює

$$\Delta x = \frac{\mu \lambda}{2k \sin \psi_0} = \frac{1,34 \cdot 3 \cdot 10^{-2} \cdot 2}{2 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{3}} = 3,33 \text{ см.} \quad (7)$$

Стандартний прямокутний хвильовід для обраної довжини хвилі має розміри $2,3 \times 1$ см. У антенній системі, що розглядається, в якості опромінювачів використовується відкритий кінець стандартного прямокутного хвильоводу з внутрішнім перетином $2,3 \times 1$ см.

Структура антенної системи наведена на фіг. 2. Вона включає: дзеркальний рефлектор 6; подільники потужності 4, 5 і опромінювачі 1, 2, 3. Вхід (плече В) поподільника потужності 4 з коефіцієнтом розподілу 0,33:0,66 з'єднаний із вхідним-вихідним фідером приймача-передавача. 1-й вихід поподільника 4 з'єднаний з 1-м опромінювачем, а другий - із входом В поподільника потужності 5. 1-й вихід поподільника 5 з'єднаний з 2-м опромінювачем, 2-й вихід - з 3-м опромінювачем. Опромінювачі розташовані у фокальній площині й утворюють горизонтальний рядок. 2-й опромінювач розміщують у фокусі, а 1-й і 3-й - на відстані 33 мм вправо і вліво від фокуса.

Реалізація способу створення ДС смугової РСА за допомогою антенної системи, що наведена на фіг. 2, здійснюється наступним чином. Зондувальний сигнал передавача по хвильоводу надходить на вхід подільника потужності 4, в якому його енергія розділяється на два канали у співвідношенні 1:2. Далі сигнал з виходу 1 підводиться до опромінювача 1 антенної системи, а сигнал з виходу 2 надходить на вхід подільника потужності 5, якій розділяє енергію сигналу на дві рівні частини. З виходів 1 і 2 подільника потужності 5 сигнали передавача подаються на опромінювачі 2 і 3. За допомогою рефлектора 6 формуються три одна-

кові ДС, форма яких визначається розмірами рефлектора і ДС опромінювача. При цьому ширину ДС у вертикальній площині визначає вертикальний розмір рефлектора, а в горизонтальній площині - горизонтальний розмір рефлектора, та частота зондувального сигналу.

Відстань опромінювача від фокуса визначає кут відхилення його ДС відносно осі параболоїда обертання, який використовується у якості рефлектора. Для прикладу, що розглядається, 1 і 3 опромінювачі створюють ДС, які перекриваються в горизонтальній площині з ДС 2-го опромінювача на рівні 0,5 від її максимального значення.

При прийомі опромінювачами відбитих сигналів вони когерентно сумуються за допомогою роздільників/об'єднувачів 5, 4. При цьому штучно створюється відбитий сигнал від сумарної однопелюсткової ДС, яка формується трьома випромінювачами.

Відмітимо, що квантування (усереднення) сигналу по розкритті відбувається окремо від кожної з 3-х ДС, що створюються, і його вплив на розширення синтезованої ДС буде незначним [10].

Переваги запропонованого способу формування ДС у порівнянні 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 смугової РСА має вигляд [5]:

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

де $P_{\text{ср}}$ - середня потужність випромінювання передавача РСА;

λ - довжина хвилі зондувального сигналу;

G - коефіцієнт спрямованості дії;

W - шляхова швидкість носія РСА;

$k_{\text{ш}}$ - коефіцієнт шуму приймача;

k - стала Больцмана;

β - ширина діаграми спрямованості антени в горизонтальній площині;

T - температура, градуси Кельвіна;

η - необхідне значення коефіцієнта розрізнення приймального пристрою;

$\sigma_{\text{уд}}$ - питома відбивна здатність поверхні;

δr - розрізняльна здатність РСА за похилою дальністю;

δx - розрізняльна здатність РСА за шляховою дальністю.

Перетворюючи співвідношення (8) з урахуванням значення

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

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

$$R \leq \sqrt{\frac{P_{\text{ср}} l_{\text{РВ}}^2 l_{\text{РГ}}^2 \sigma_{\text{уд}}}{8 \pi \lambda W_{\text{кш}} k T \eta}} \delta r. \quad (10)$$

Запропонований спосіб розширення ДС антенної системи смугової РСА в горизонтальній площині, не зменшуючи горизонтального розміру приймально-передавальної антени, дозволяє підвищувати розрізняльну здатність за шляховою дальністю і збільшувати енергетичний потенціал смугової РСА таким чином, що він компенсує зменшення енергії відбиття від елемента розрізнення при його зменшенні.

Запропонований спосіб дозволяє одержати розрізняльну здатність за шляховою дальністю вище теоретичного граничного значення, яке дорівнює половині горизонтального розміру антени смугової РСА. При цьому з точки зору підвищення енергетичного потенціалу станції доцільно вибрати максимально прийнятний для носія РСА розмір антени, а за рахунок кількості опромінювачів домогтися необхідного розрізнення за шляховою дальністю.

Дальність дії смугової РСА із запропонованою антеною системою за інших рівних умов пропорційна ступені 2/3 від площі дзеркального рефлектора і не залежить від розрізняльної здатності за шляховою дальністю.

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. 1 і 2.

Таблиця 1

Об'єкт	Антенна	$l_{\text{РВ}}, \text{ м}$	$l_{\text{РГ}}, \text{ м}$	$\delta x, \text{ м}$	$\frac{\delta x'}{\delta x}$	$\frac{R'}{R}$	$\left(\frac{\Delta R'}{\Delta R}\right)^*$
Прототип патент DEN № 10319063	Параболоїд і 3 вертикальних опромінювача	1	0,6	0,30	0,33	1	2
РСА із запропонованою антенною системою	Параболоїд і 3 горизонтальних опромінювача	0,6	1	0,1	3	1	0,5

Таблиця 2

Об'єкт	Антенна	$l_{\text{РВ}}, \text{ м}$	$l_{\text{РГ}}, \text{ м}$	$\delta x, \text{ м}$	$\frac{\delta x'}{\delta x}$	$\frac{R'}{R}$	$\left(\frac{\Delta R'}{\Delta R}\right)^*$
Аналог РСА „Lynx”	Параболоїд з одним опромінювачем	0,3	0,6	0,3	0,33	0,5	1,7
РСА із запропонованою антенною системою	Параболоїд і 3 горизонтальних опромінювача	0,5	1,0	0,1	3	1,98	0,6

У табл. 1, 2: $\frac{\delta x'}{\delta x}$, $\frac{R'}{R}$ і $\frac{\Delta R'}{\Delta R}$ - відношення розрізняювальної здатності, дальності дії, смуг розвідки порівнювальних 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. - аналог.
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. - аналог.
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. - аналог.

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. - аналог.

5. Федотов Б.М. Оцінка обмежень „дальність дії - роздільна здатність” радіолокаційних станцій з синтезованою апертурою. - Труды академії. - К.: НАОУ, 2004. № 52. - с. 153-161.

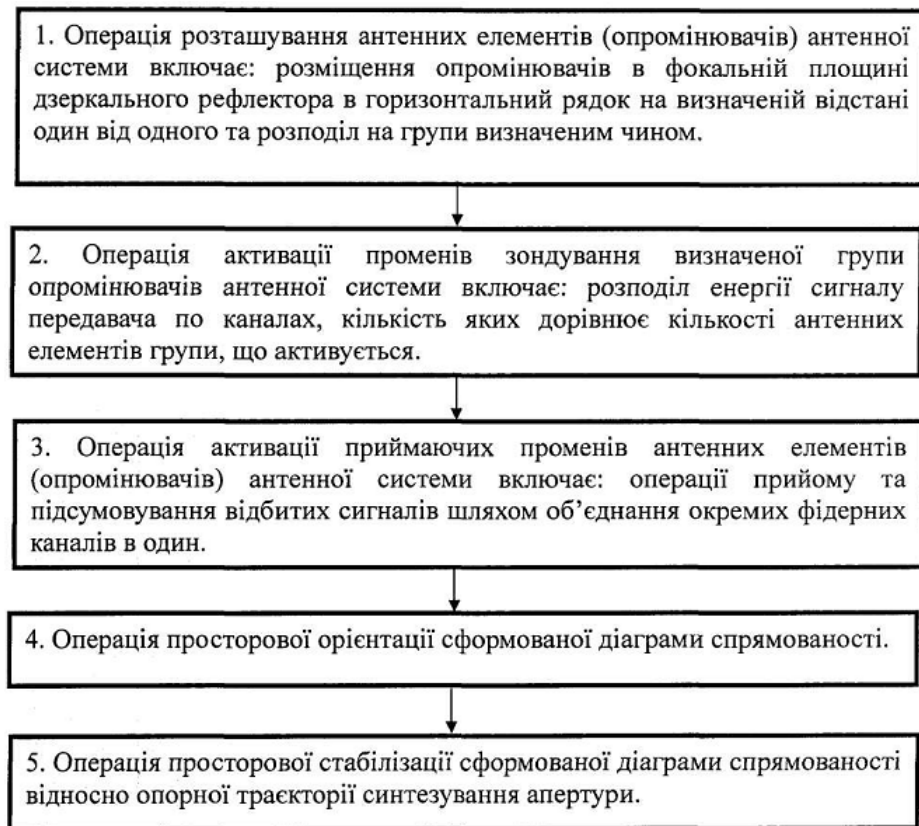
6. Патент DE 1031 9063 (A1). - прототип.

7. Патент EP 147 1600 (A1). - прототип.

8. Патент ES 2315584 (T3). - прототип.

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

10. Федотов Б.М. Вплив квантування сигналу приймальної антени радіолокаційної станції бокового огляду на її розрізнення. - Труды університету. - К.: НУОУ, 2009. № 3 (93). - с. 171-177.



Фіг. 1

