



УКРАЇНА

(19) UA (11) 24676 (13) A

(51) G 01 S 3/54

ДЕРЖАВНЕ  
ПАТЕНТНЕ  
ВІДОМСТВООПИС ДО ПАТЕНТУ  
НА ВІНАХІДбез проведення експертизи по суті  
на підставі Постанови Верховної Ради України  
№ 3769-XII від 23 XII. 1993 рПублікується  
в редакції заявника

(54) ДОПЛЕРОВСЬКИЙ ПЕЛЕНГАТОР

1

(21) 97073536

(22) 05.01.98

(24) 04.08.98

(46) 30.10.98. Бюл. № 5

(47) 04.08.98

(72) Беліков Євген Миколайович, Гудзюк Василь Петрович, Лігінюв Сергій Михайлович, Літвіненко Валентин Іванович, Медведєв Сергій Леонідович, Муратов Олександр Олексійович, Сирма Олексій Олексійович

(73) Беліков Євген Миколайович, Гудзюк Василь Петрович, Лігінюв Сергій Михайлович, Літвіненко Валентин Іванович, Медведєв Сергій Леонідович, Муратов Олександр Олексійович, Сирма Олексій Олексійович

(57) Доплеровський пеленгатор, що містить N пеленгаційних антен, еквідистантно розташованих по колу, що включають N симетричних вібраторів і N симетруючих пристроїв, причому N більше чи рівно 3, N-канальний комутатор, генератор імпульсів

2

комутації, малошумлячий підсилювач, центральну антену та комплект апаратури пеленгування і керування, причому виходи симетруючих пристроїв підключені до входів N-канального комутатора, вихід якого підключений до входу малошумлячого підсилювача, вихід якого підключений до першого входу комплекта апаратури пеленгування і керування, другий вхід якого підключений до виходу центральної антени, а керуючий вихід підключений до входу генератора імпульсів комутації, виходи якого підключені до керуючих входів N-канального комутатора, який відрізняється тим, що між кожним симетричним вібратором і відповідним йому симетруючим пристроєм введено пару ключів, сигнальні входи яких підключені до виходів симетричного вібратора, виходи підключені до входів симетруючого пристрою, а керуючі входи об'єднані з відповідним управляючим входом N-канального комутатора.

(19) UA (11) 24676 (13) A

Винахід відноситься до радіотехніки, зокрема, до пасивної радіолокації та радіонавігації, і може бути використаний в системах визначення місцеположення джерел радіовипромінювання.

Відомий пеленгатор доплеровського типу, що містить кільцеву антенну решітку, центральну антену, електронний комутатор, генератор імпульсів комутації і відліку північного напрямку та комплект апаратури

пеленгування і керування [Патент США № 4246581, кл. G 01 S 3/12, 1981].

Відомий доплеровський пеленгатор, вибраний в якості прототипу, що містить 16 (32) пеленгаційних антен, еквідистантно розміщених по колу, що включають 16 (32) симетричних вібраторів та симетруючих пристроїв, 32-х канальний комутатор, генератор імпульсів комутації, малошумлячий підсилювач, центральну антену та комплект

апаратури пеленгування і керування, причому два виходи кожного симетричного вібратора підключені до двох входів відповідних симетруючих пристроїв, виходи яких підключені до входів 32-х канального комутатора, вихід якого підключений до входу малошумлячого підсилювача, вихід якого підключений до першого входу комплексу апаратури пеленгування та керування, другий вхід якого підключений до виходу центральної антени, а керуючий вихід підключений до входу генератора імпульсів комутації, виходи якого підключені до керуючих входів 32-х канального комутатора [VHF-UHF Direction Finder PA 055. – Defense Electronics, 1986, V. 18, № 3].

Основним недоліком відомих пеленгаторів є знижена чутливість і точність пеленгування із-за ефекту віддзеркалення в антенній системі, що викликає глибокі провали в її амплітудній діаграмі напрямленості, які обумовлюють погіршення енергетичних показників на вході вимірювального радіоприймального тракту, а також значні спотворення фазочастотної характеристики антенної системи і, як наслідок, збільшення похибки вимірювання пеленгу на джерело радіовипромінювання.

В основу винаходу поставлена задача створення доплеровського пеленгатора шляхом порушення резонансних властивостей всіх непрацюючих пеленгаційних антен на час роботи однієї антени, підключеної до входу вимірювального радіоприймального тракту, та значного послаблення таким чином ефекту віддзеркалення, що дозволяє забезпечити підвищення чутливості та точності пеленгування.

Це досягається тим, що в доплеровський пеленгатор, що містить  $N$  пеленгаційних антен, еквідистантно розміщених по колу, що включають  $N$  симетричних вібраторів і  $N$  симетруючих пристроїв, причому  $N$  більше чи рівно 3,  $N$ -канальний комутатор, генератор імпульсів комутації, малошумлячий підсилювач, центральну антену та комплект апаратури пеленгування і керування, причому виходи симетруючих пристроїв підключені до входів  $N$ -канального комутатора, вихід якого підключений до входу малошумлячого підсилювача, вихід якого підключений до першого входу комплексу апаратури пеленгування і керування, другий вхід якого підключений до виходу центральної антени, а керуючий вихід підключений до входу генератора імпульсів комутації, виходи якого підключені до керуючих входів  $N$ -канального комутатора, між кожним симетричним вібратором та відповідним йому симетруючим пристроєм введена пара

ключів, сигнальні входи яких підключені до виходів симетричного вібратора, виходи підключені до входів симетруючого пристрою, а керуючі входи об'єднані з відповідним управляючим входом  $N$ -канального комутатора.

Порівняльний аналіз з прототипом показує, що запропонований доплеровський пеленгатор відрізняється присутністю нових блоків і нових зв'язків між введеними блоками і рештою блоків доплеровського пеленгатора. В зв'язку з цим, запропонований доплеровський пеленгатор відповідає критерію винаходу "новизна".

При вивченні других відомих технічних рішень в даній галузі техніки сукупність признаков, що відрізняє винахід від прототипу, не була виявлена, що забезпечує відповідність критерію "винахідницький рівень".

Підвищення чутливості та точності пеленгування в заявлюваному доплеровському пеленгаторі, що відноситься до класу фазометричних систем, забезпечується внаслідок збільшення співвідношення сигнал/шум на вході вимірювального приймального тракту та вирівнювання фазочастотної характеристики антенної системи за рахунок знищення глибоких провалів в її амплітудній діаграмі напрямленості.

Із теорії антен відомо [Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. М., Энергия, 1975, 528 с.], що будь-яка кількість ідентичних антенних елементів (випромінювачів), розташованих у просторі упорядкованим чином, може бути узагальнено в антенну систему (антенну решітку) з визначеними властивостями напрямленості. В нашому випадку, наприклад, при використанні в якості антенного елемента вертикально розміщеного симетричного вібратора, пеленгаційна антенна система доплеровського пеленгатора буде являти собою один активний вібратор і  $N-1$  пасивних вібраторів. Активний та пасивний вібратори, що знаходяться в одній площині, при  $d/\lambda=0,15-0,25$ , де  $d$  – відстань між вібраторами,  $\lambda$  – довжина хвилі, утворюють систему зв'язаних вібраторів, в якій пасивний вібратор може працювати, в залежності від характеру його настройки – ємкісного чи індуктивного, відповідно в режимі директора чи рефлектора. В антенній системі доплеровського пеленгатора відстань між двома сусідніми антенами  $d$  вибирається із співвідношення  $d$  менше чи рівно  $\lambda/2$ , отже  $d/\lambda$  менше чи рівно 0,5. Але, так як антени пеленгатора є одночасно і широкодіапазонними, і резонансними, то, поперше, відстань  $d$  буде визначатися

верхньою граничною частотою робочого діапазону частот пеленгатора і прийнятими при цьому геометричними розмірами антенної системи, що означає виконувальність умови  $d/\lambda = 0,15-0,25$ , причому при співвідношенні верхньої та нижньої межі робочого діапазону, що дорівнює, наприклад, 5:1 виконувальність цієї умови буде характерною в верхній половині робочого діапазону частот для близько розташованих вібраторів, а в нижній половині робочого діапазону для віддалених розташованих вібраторів і, по-друге, на частотах вищих за резонансну, яка знаходиться в низькочастотній частині робочого діапазону, пасивний вібратор буде працювати в режимі рефлектора, бо підвищення частоти відносно резонансної еквівалентно подовженню вібратора, що відповідає індуктивному характеру його настройки. При розповсюдженні фронту хвилі з боку пасивного вібратора цей режим і обумовлює глибокі провали в амплітудній діаграмі напрямленості активного вібратора і, як наслідок, в пеленгаційній антенній системі у цілому, які, з одного боку, знижуючи співвідношення сигнал/шум на вході вимірювального приймального тракту, викликають різке зменшення точності пеленгування, а з другого боку, приводять до значного відхилення фазочастотної характеристики антенної системи від лінійної, що викликає появу додаткової систематичної похибки пеленгування окрім систематичної похибки, що спричиняється ефектами перевіддзеркалення і перевипромінювання в антенній системі пеленгатора та компенсується в відомих доплеровських пеленгаторах шляхом введення калібрувальних поправок в вимірені значення пеленгів. Однак цей метод компенсації не є ефективним для даної додаткової похибки, зважаючи на значні відхилення фазочастотної характеристики антенної системи від лінійної.

Таким чином, резонансні властивості непрацюючих симетричних вібраторів антенної системи доплеровського пеленгатора є основною причиною зниженої чутливості і підвищеної похибки пеленгування при доплеровському способі з електронною комутацією антен. В запропонованому винаході порушення резонансних властивостей пасивного вібратора на час роботи активного вібратора реалізується відключенням плечей кожного непрацюючого вібратора від симетруючого пристрою за допомогою двох ключових схем. Запропоноване технічне рішення дозволяє позбавитися від глибоких провалів в амплітудній діаграмі напрямленості, послабити вплив ефекту перевипро-

мінювання, наблизити фазочастотну характеристику антенної системи до лінійної, підвищити ефективність введення калібрувальних поправок і внаслідок цього значно збільшити чутливість та точність пеленгування в усьому робочому діапазоні частот доплеровського пеленгатора.

На фіг. 1 наведена структурна електрична схема доплеровського пеленгатора; на фіг. 2 – структурна електрична схема комплексу апаратури пеленгування і керування; на фіг. 3 – принципова електрична схема пеленгаційної антени; на фіг. 4 – графік чутливості пеленгатора (фіг. 4а – до введення ключів в антени, фіг. 4б – після введення ключів); на фіг. 5 – графік амплітудної нерівномірності антенної системи (фіг. 5а – до введення ключів в антени, фіг. 5б – після введення ключів).

Доплеровський пеленгатор (фіг. 1) містить N симетричних вібраторів (СВ) 1.і (і = 1, 2, ..., N), 2N ключів (Кл) 2.і (і = 1, 2, 3, 4, ..., 2N-1, 2N), N симетруючих пристроїв (СП) 3.к (к = 1, 2, ..., N), N-канальний комутатор (К) 4, генератор імпульсів комутації (ГІК) 5, малошумлячий підсилювач (МШП) 6, центральну антену (ЦА) 7 та комплект апаратури пеленгування і керування (КАПІК) 8.

Комплект апаратури пеленгування і керування (фіг. 2) містить перший та другий радіоприймальний блоки (РПБ) 9 і 10, блок цифрової обробки (БЦО) 11, блок вимірювання пеленга (БВП) 12, блок керування (БК) 13 та блок індикації (БІ) 14.

Доплеровський пеленгатор працює таким чином.

Режиму безпосереднього пеленгування передують режим виявлення джерел радіовипромінювання (ДРВ). В цьому режимі прийнятий центральною антеною 7 на частоті  $f_c$ , радіосигнал ДРВ надходить на вхід другого радіоприймального блоку 10 (із комплексу апаратури пеленгування і керування 8), з виходу якого на проміжній частоті  $f_{пр}$  цей сигнал надходить на другий сигнальний вхід блоку цифрової обробки 11, з другого виходу якого дані про виявлене ДРВ надходять на другий вхід блоку керування 13, з третього виходу якого ці дані надходять на вхід блоку індикації 14 для відображення. Після прийняття рішення про пеленгування виявленого ДРВ по команді, що надходить з першого виходу БК 13 на керуючі входи першого РПБ 9 та БЦО 11, перший РПБ 9 настраюється на частоту  $f_c$ , а БЦО 11 переводиться із режиму виявлення до режиму пеленгування. З другого виходу БК 13 на керуючий вхід генератора імпульсів комутації 5 подають команду ввімкнення, за якою ГІК 5 починає формувати послідовність

Імпульсів комутації пеленгаційних антен з тривалістю імпульсу  $\tau_k$  та частотою  $\Omega_k$ . Так як  $N$  виходів ГІК 5 підключені до  $N$  керуючих входів  $N$ -канального комутатора 4, кожний із яких об'єднаний з керуючими входами відповідної пари ключів 2.1 і 2.2, 2.3 і 2.4, ..., 2.2N-1 і 2.2N, то при появі, наприклад, імпульсу комутації на першому виході ГІК 5 відкриваються КЛ 2.1 і 2.2, вмикаючи тим самим виходи симетричного вібратора 1.1 до входів симетруючого пристрою 3.1, вихід якого через К 4 підключається до входу малошумлячого підсилювача 6. Радіосигнал, що пеленгується, від наведеної в СВ 1.1 електромагнітним полем ДРВ електро-рушійної сили, підсилюють в МШП 6 і з його виходу подають на вхід першого РПБ 9. При цьому пари КЛ 2.3 і 2.4, ..., 2.2N-1 і 2.2N залишку СВ 1.2, 1.3, ..., 1.N знаходяться в закритому стані. Таким чином, кожний СВ 1.2, 1.3, ..., 1.N по чергові з частотою  $\Omega_k$  підключається до відповідного СП 3.1, 3.2, ..., 3.N, а радіосигнал, що ними приймається, підключається з тою самою частотою  $\Omega_k$  через К 4 на вхід МШП 6, з виходу якого в результаті цього на вхід першого РПБ 9 надходить промодульований по фазі сигнал ви-

$$U_{па} = U_{па} \sin[(\omega_c t + \varphi_n) + \frac{2\pi}{\lambda} R \cos(\Omega_k t - \lambda_n)],$$

де  $U_{па}$  – амплітуда сигналу, що приймається пеленгаційною антеною;

$\omega_c$  – частота сигналу;

$\varphi_n$  – початкова фаза сигналу;

$\lambda$  – довжина хвилі сигналу;

$R$  – радіус кола антенної системи;

$\Omega_k$  – частота комутації пеленгаційних

антен;

$\lambda_n$  – пеленг на джерело радіовипромінювання.

На вхід другого РПБ 10 з виходу ЦА 7 в цей же час надходить прямий сигнал виду:

$$U_{ца} = U_{ца} \sin(\omega_c t + \varphi_n),$$

де  $U_{ца}$  – амплітуда сигналу, що приймається центральною антеною.

В режимі пеленгування цей канал прийому використовують для виключення компонент частотної модуляції радіосигнала методом компенсації з наступною його обробкою в БЦО 11. З виходів першого і другого РПБ 9 і 10 промодульований по фазі та прямий радіосигнали на проміжній частоті  $f_{пр}$  надходять на сигнальні входи БЦО 11. В блоці цифрової обробки 11 з цих двох сигналів формують відповідно дві сигнальні

вибірки, кожна з яких відтворює із прийнятого реального сигналу  $S(t)$  аналітичний комплексний сигнал виду:

$$Z(t) = S(t) + jS_1(t),$$

де  $S(t) \rightarrow \text{Re } S_1(t) \rightarrow \text{Im}$  – дійсна та уявна частини квадратурних компонент сигналу.

Сигнальні вибірки модульованого по фазі та прямого радіосигналів оцифровують і далі виконують обробку квадратурних компонент сигналів по алгоритму, що реалізує оптимальний виявлювач кореляційного типу. В результаті цієї обробки визначають взаємкореляційну функцію сигналу пеленгованого ДРВ і сигнала-образу, який зберігається в постійному запам'ятовуючому пристрої БЦО 11, дані якої з першого виходу БЦО 11 подають на вхід блока вимірювання пеленга 12, де по її максимуму вираховують пеленг на ДРВ. Значення пеленга з виходу БВП 12 подають на другий вхід БК 13, і далі, після коректування його на калібрувальну поправку, з третього виходу БК 13 – на вхід БІ 14 для відображення.

Пеленгаційна антена, що містить симетричний вібратор 1, пару ключів 2.1 і 2.2 та симетруючий пристрій 3, може бути виконана, наприклад, як це показано на фіг. 3. Для знімання високочастотного сигналу та подачі керуючого сигналу на ключі в схемі використана одна й та сама клемма.

Для підтвердження можливості підвищення точності пеленгування на сучасній елементній базі і купованих комплектуючих виробів, що випускаються серійно, розроблено, виготовлено та випробовано дослідний зразок доплеровського пеленгатора, який є складовою частиною системи визначення місцеположення джерел радіовипромінювання.

Антенна система, що складається з восьми пеленгаційних антен, екайдистантно розташованих по колу, що включають вісім вертикально розташованих симетричних вібраторів 1.1 – 1.8, шістнадцять ключів 2.1 – 2.16 і вісім симетруючих пристроїв 3.1 – 3.8, комутатор 4, генератор імпульсів комутації 5, малошумлячий підсилювач 6, центральну антену 7, радіоприймальні блоки 9 і 10 є виробами власної розробки. Блок цифрової обробки 11 є також виробом власної розробки і виконаний в вигляді спеціалізованого обчислювача на базі впа-ратно-програмного комплексу вводу-виводу аналогових сигналів на платі стандарту IBM PC 286/386/486/586. Блок вимірювання пеленга 12, блок керування 13 та блок індикації 14 виконані на базі комплекта ПЕОМ типу

IBM 486 DX. Програмне забезпечення реалізовано в середовищі Windows.

В результаті експериментальних досліджень одержані наступні основні характеристики пеленгатора, наприклад, в діапазоні частот 100–500 МГц при  $N = 8$  та діаметрі кола антенної системи 1,2 м:

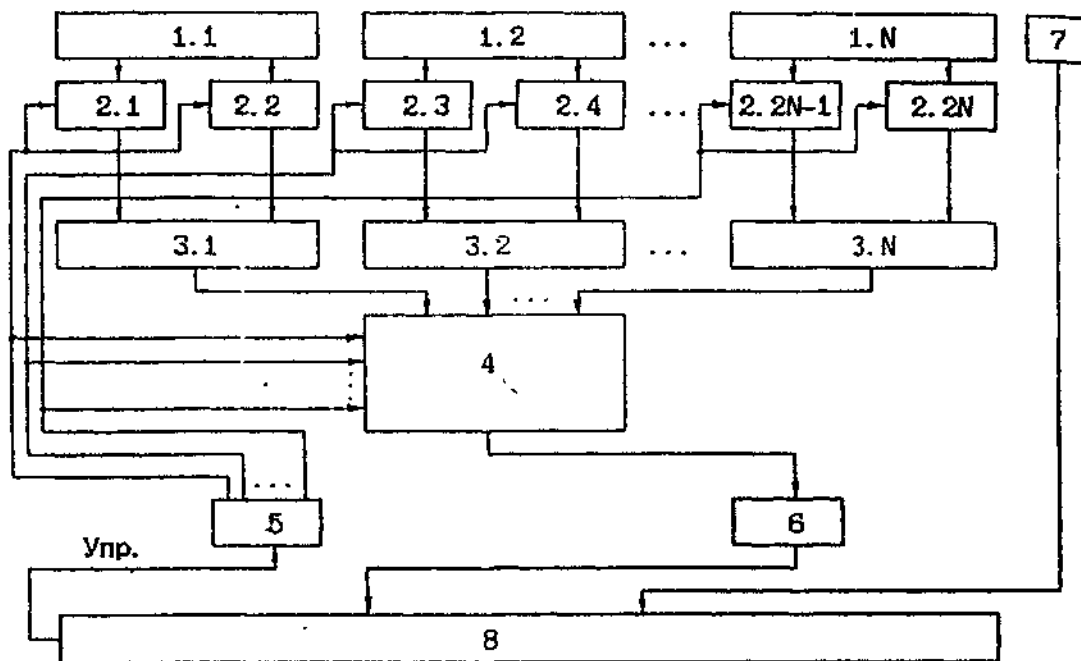
Середня чутливість пеленгатора	0,5 мкВ/м	5
Середньоквадратична похибка вимірювання пеленга	0,5	10

Мінімальна тривалість сигналу для пеленгації  
Вид модуляції пеленгованих сигналів

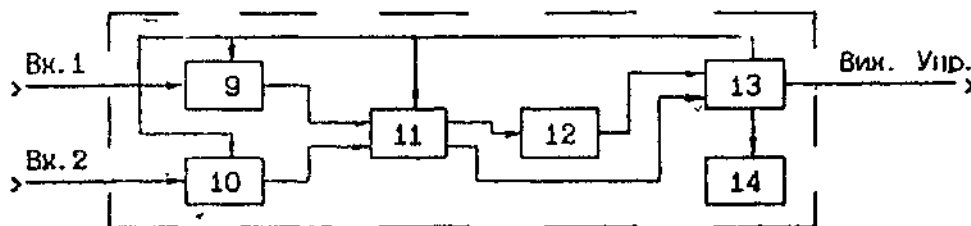
10 мс

Любі

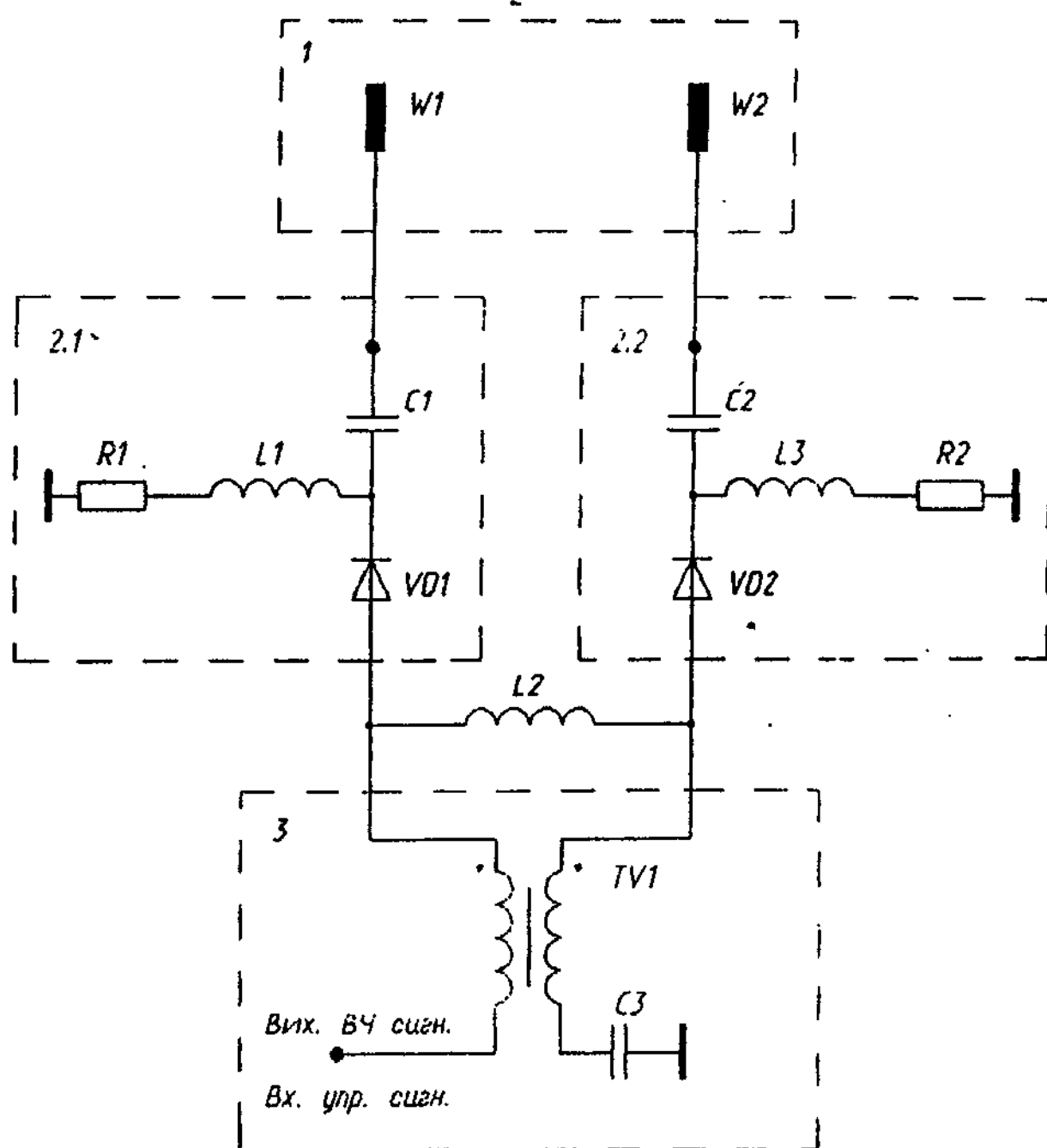
Таким чином, запропоноване технічне рішення в заявленому доплерівському пеленгаторі дозволило вирішити поставлену в основу винаходу задачу, і, в порівнянні з прототипом, а також іншими відомими технічними рішеннями в даній галузі, підвищити чутливість та точність пеленгування в усьому робочому діапазоні частот.



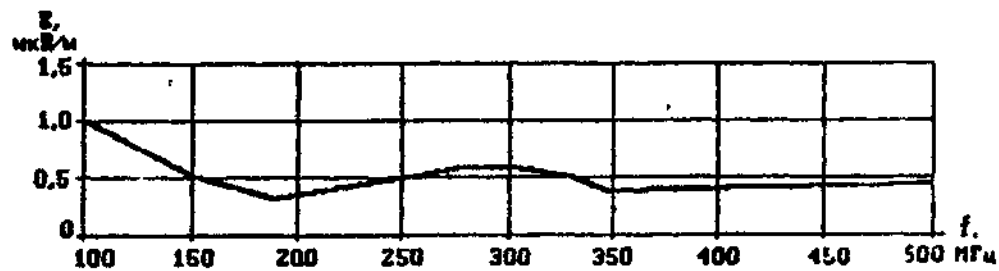
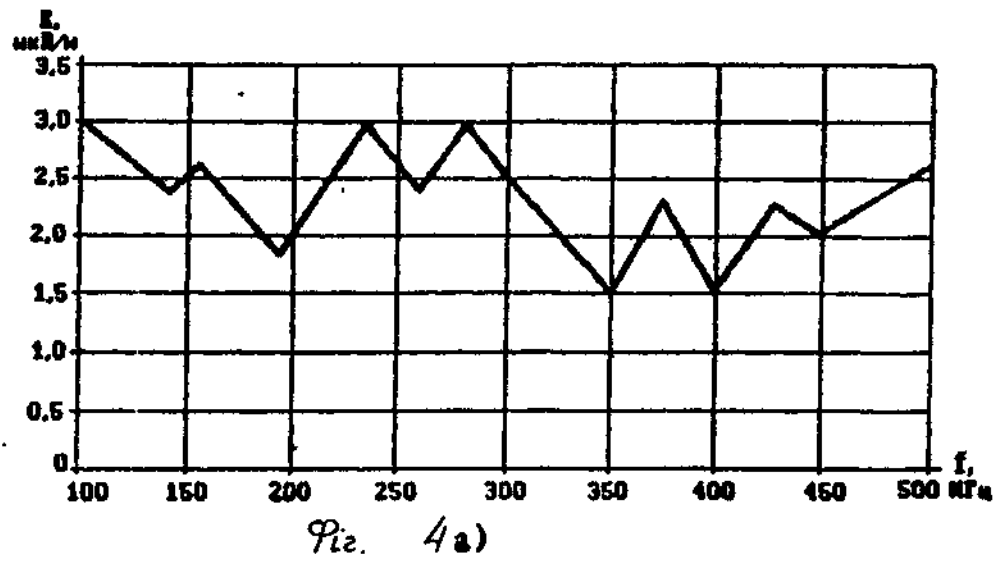
Фіг. 1



Фіг. 2

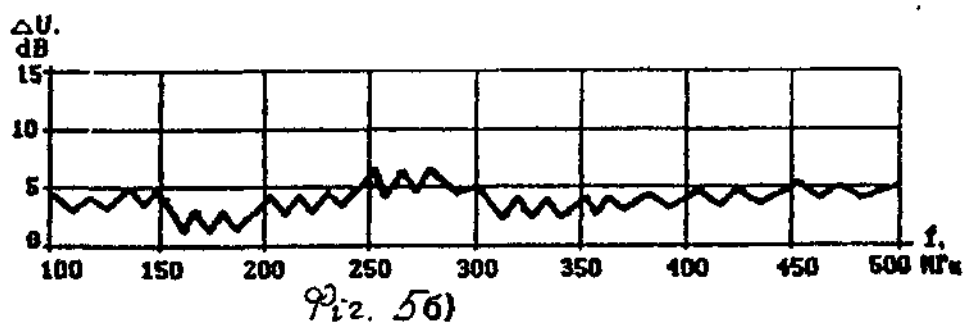
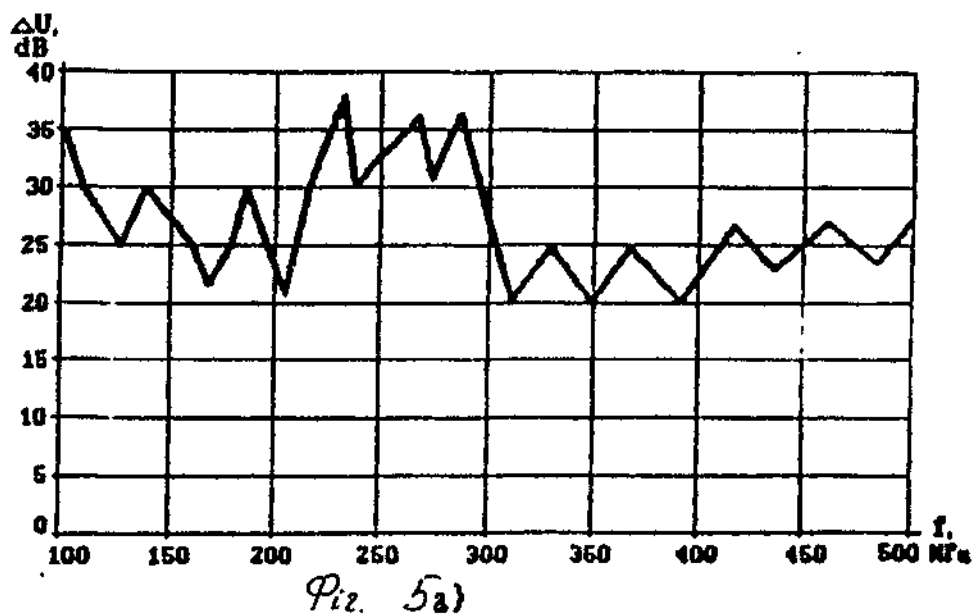


Фиг. 3



а) - до введення ключів в антени;  
 б) - після введення ключів в антени;  
 Кількість антен в системі - 8;  
 діаметр кола антенної системи - 1,2 м;  
 довжина вібратора - 900 мм ( $\lambda/2$  на резонансній частоті).

Fig. 4 б)



а) - до введення ключів в антени;  
 б) - після введення ключів в антени;  
 Кількість антен в системі - 8;  
 діаметр кола антенної системи - 1,2 м;  
 довжина вібратора - 900 мм ( $\lambda/2$  на резонансній частоті).

Упорядник

Техред М.Келемеш

Коректор О. Обручар

Замовлення 4602

Тираж

Підписне

Державне патентне відомство України,  
 254655, ГСП, Київ-53, Львівська пл., 8

Відкрите акціонерне товариство "Патент", м. Ужгород, вул.Гагаріна, 101