



УКРАЇНА

(19) UA (11) 64696 (13) U
(51) МПК (2011.01)
G01S 3/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ФАЗОВА РАДІОСИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ

1

2

(21) u201106317

(22) 19.05.2011

(24) 10.11.2011

(46) 10.11.2011, Бюл.№ 21, 2011 р.

(72) АВДЄЄНКО ГЛІБ ЛЕОНІДОВИЧ, ІЛЬЧЕНКО МИХАЙЛО ЮХИМОВИЧ, МАНЮГІНА ДАРІЯ ВЯЧЕСЛАВІВНА, ПОТАПЕНКО ВОЛОДИМИР ВОЛОДИМИРОВИЧ, ЯКОРНОВ ЄВГЕНІЙ АРКАДІЙОВИЧ
(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

(57) Фазова радіосистема визначення координат, що містить п'ять антен, які розміщені в одній площині по прямій лінії на базах, мінімальна довжина яких обмежена допустимим рівнем взаємного впливу антен, та з різницею довжин баз між першою і другою, другою і третьою парами антен,

рівною $\Delta b = \frac{\lambda_0}{4 \sin \alpha_0}$, де λ_0 - середня довжина

хвилі робочого діапазону системи, α_0 - задана границя сектора однозначності визначення пеленга, а також містить п'ять ідентичних приймачів, два фазометри, кожний з яких складається з фазового детектора і фазообертача на 90° , третій, четвертий, п'ятий та шостий фазові детектори, шість аналого-цифрових перетворювачів та мікропроцесор, причому виходи антен підключені до входів відповідних приймачів, виходи першого і третього приймачів з'єднані з першими входами фазометрів та з першими входами третього і четвертого фазових детекторів, вихід другого приймача з'єднаний з другими входами фазометрів, другими входами третього та четвертого фазових детекторів, виходи четвертого і п'ятого приймачів з'єднані з першими входами п'ятого і шостого фазових детекторів, виходи фазових детекторів з'єднані з вхо-

дами аналого-цифрових перетворювачів, виходи яких - з вхідною шиною мікропроцесора, вихід якого є виходом системи, яка **відрізняється** тим, що додатково містить шосту та сьому антени, що розташовані на одній лінії з першими п'ятьма антенами, восьму, дев'яту, десятую й одинадцяту антени, які також розташовані на одній лінії, але ортогонально відносно центральної (другої) антени, шість ідентичних приймачів, третій та четвертий фазометри, сьомий, восьмий і дев'ятий фазові детектори та сьомий, восьмий і дев'ятий аналого-цифрові перетворювачі, причому бази між четвертою й п'ятою, шостою й сьомою, десятою й одинадцятою антенами є однозначними, а центри їхніх баз знаходяться посередині відповідно між першою та другою, другою й третьою, другою й дев'ятою антенами, при цьому виходи антен, що введені, з'єднані з входами введених приймачів, входи третього фазометра з'єднані з виходами першого й третього приймачів, входи четвертого фазометра з'єднані з виходами восьмого й дев'ятого приймачів, виходи третього і четвертого фазометрів з'єднані відповідно з другим та третім входами мікропроцесора, виходи шостого й сьомого приймачів з'єднані з другими входами п'ятого і шостого фазових детекторів, входи сьомого фазового детектора з'єднані з виходами другого і восьмого приймачів, входи дев'ятого фазового детектора з'єднані з виходами десятого й одинадцятого приймачів, а виходи сьомого, восьмого і дев'ятого фазових детекторів з'єднані з відповідними входами сьомого, восьмого і дев'ятого аналого-цифрових перетворювачів, виходи яких з'єднані з вхідною шиною мікропроцесора.

Корисна модель належить до радіотехніки та може бути використана для визначення координат джерела неперервного гармонічного радіосигналу.

Відома фазова радіосистема (фазовий радіопеленгатор), що розглянута у (1, с. 300,301), яка включає три антени, три приймачі і два фазомет-

ри, причому кожен з фазометрів виконаний на основі фазового детектора (ФД) і фазообертача на 90° . При цьому одна з відстаней між фазовими центрами антен (база) для розширення сектора однозначності пеленга виконується зменшеною, з розміром бази, що не перевищує половини робо-

(19) UA (11) 64696 (13) U

чої довжини хвилі, що забезпечує однозначність виміру фазових зсувів. Тобто в пеленгаторі створюються дві шкали: груба, побудована на основі даних, отриманих при використанні однозначної бази, і точна, відповідна більш протяжній неоднозначній базі. У такому варіанті входами відповідного фазометра є перший вхід ФД і вхід фазообертача, а вихід фазообертача приєднаний до другого входу ФД.

Такий же спосіб усунення неоднозначності застосований у фазовій системі, функціональна схема якої зображена на стор. 150 в [2]. Ця система має чотири антенно-приймальні канали і три фазометри. Фазові детектори, виконуючи роль фазометрів, повинні містити фазообертачі на 90° .

Груба однозначна шкала в розглянутих системах з декількома базами отримується завдяки використанню декількох близько розташованих антен і при цьому розмір бази стає порівняним з довжиною хвилі. Тому у вказаних пеленгаторах зростає взаємний вплив антен, характеристики яких погіршуються, зокрема спотворюються діаграми направленості і зменшуються вхідні опори антен.

Вказані недоліки усунені в патентах [3,4], в яких при рознесенні антен на відстані, істотно перевищуючі робочу довжину хвилі, область однозначного виміру кута приходу плоскої електромагнітної хвилі (ЕМХ) знаходиться в межах від $-\pi/2$ до $\pi/2$ за рахунок використання не довжин баз, а різниці їх довжин. Ці системи містять три (п'ять) антени, три (п'ять) ідентичних приймачів, два фазометри, що складаються кожен з ФД і фазообертача на 90° , два додаткових ФД і блок логічної обробки сигналів (мікропроцесор). Крім того у [4] враховано, що при збільшенні розмірів баз зростають помилки виміру пеленга, оскільки при певних співвідношеннях між базою, робочою довжиною хвилі і дальністю до джерела радіовипромінювання (ДРВ) фронт ЕМХ не можна вважати локально плоским і необхідно враховувати його кривизну (сферичність).

Найбільш близькою по технічній суті до запропонованої фазової радіосистеми є патент [4]. Відомий фазовий радіопеленгатор, обраний в якості найближчого аналога, містить: п'ять антен, які розміщені в одній площині по прямій лінії на базах, мінімальна довжина яких обмежена допустимим рівнем взаємного впливу антен, та з різницею довжин баз між першою і другою, другою і третьою парами антен рівною $\Delta b = \frac{\lambda_0}{4 \sin \alpha_0}$, де λ_0 - серед-

ня довжина хвилі робочого діапазону системи, α_0 - задана границя сектора однозначності визначення пеленга; п'ять ідентичних приймачів; два фазометри, кожний з яких складається з ФД і фазообертача на 90° , третій, четвертий, п'ятий та шостий ФД; шість аналого-цифрових перетворювачів (АЦП); та мікропроцесор, причому виходи антен підключені до входів відповідних приймачів; виходи першого і третього приймачів з'єднані з першими входами фазометрів та з першими входами третього та четвертого ФД; вихід другого приймача з'єднаний з другими входами фазометрів, дру-

гими входами третього і четвертого ФД, виходи четвертого і п'ятого приймачів з'єднані з першими входами п'ятого і шостого ФД, виходи ФД з'єднані з входами АЦП, виходи яких - з вхідною шиною мікропроцесора, вихід якого є виходом системи.

Основним недоліком найближчого аналога попередше є помилки виміру повної різниці фаз між базовими елементами антенної системи (АС), які майже не впливаючи на точність визначення пеленгу ДРВ, призводять до дуже значних помилок вимірювання дальності до ДРВ в проміжній зоні (ПЗ), зоні Френеля, що обумовлено неоптимальним розташуванням однозначних баз, а по-друге - не повне використання всіх можливостей системи, зокрема визначення третьої координати - кута місця, а також швидкості руху ДРВ при наявності кривизни фронту ЕМХ.

Задачею, на вирішення якої спрямована корисна модель, є вимірювання поряд з пеленгом і, за наявності кривизни фронту ЕМХ, дальності до ДРВ та його швидкості руху, третьої координати - кута місця, а також підвищення точності вимірювання координат (в першу чергу дальності) в зоні Френеля.

Поставлена задача вирішується наступним чином: в фазову радіосистему що містить п'ять антен, які розміщені в одній площині по прямій лінії на базах, мінімальна довжина яких обмежена допустимим рівнем взаємного впливу антен, та з різницею довжин баз між першою і другою, другою і третьою парами антен рівною Δb ; п'ять ідентичних приймачів; два фазометри, кожний з яких складається з ФД і фазообертача на 90° , третій, четвертий, п'ятий та шостий ФД; шість АЦП та мікропроцесор, причому виходи антен підключені до входів відповідних приймачів; виходи першого і третього приймачів з'єднані з першими входами фазометрів та з першими входами третього та четвертого ФД; вихід другого приймача з'єднаний з другими входами фазометрів, другими входами третього й четвертого ФД, виходи четвертого і п'ятого приймачів з'єднані з першими входами п'ятого і шостого ФД, виходи ФД з'єднані з входами АЦП, виходи яких - з вхідною шиною мікропроцесора, вихід якого є виходом системи, введені шоста та сьома антени, що розташовані на одній лінії з першими п'ятьма антенами, восьма, дев'ята, десята й одинадцята антени, які також розташовані на одній лінії, але ортогонально відносно центральної (другої) антени, шість ідентичних приймачів, третій і четвертий фазометри, сьомий, восьмий і дев'ятий ФД та сьомий, восьмий і дев'ятий АЦП.

Причому бази між четвертою й п'ятою, шостою й сьомаю, десятою й одинадцятою антенами є однозначними, а центри їхніх баз знаходяться по середині відповідно між першою й другою, другою й третьою, другою й дев'ятою антенами; виходи антен, що введено, з'єднані з входами введених приймачів; входи третього фазометра з'єднані з входами першого й третього приймачів, а входи четвертого фазометра з'єднані з входами восьмого й дев'ятого приймачів; виходи третього й четвертого фазометрів з'єднані відповідно з другим й третім входами мікропроцесора; виходи шостого й

сьомого приймачів з'єднані з другими входами п'ятого і шостого фазових детекторів; входи сьомого фазового детектора з'єднані з виходами другого й восьмого приймачів; входи восьмого фазового детектора з'єднані з виходами другого й дев'ятого приймачів; входи дев'ятого фазового детектора з'єднані з виходами десятого та одинадцятого приймачів, а входи сьомого, восьмого і дев'ятого фазових детекторів з'єднані з відповідними входами сьомого, восьмого і дев'ятого аналого-цифрових перетворювачів, виходи яких з'єднані з вхідною шиною мікропроцесора.

Порівняльний аналіз з найближчим аналогом показує, що запропонована фазова радіосистема відрізняється наявністю нових блоків і нових зв'язків. У зв'язку з цим, запропонована фазова радіосистема визначення координат відповідає критерію корисної моделі "новизна".

На фіг.1 наведена структурна схема фазової радіосистеми для визначення координат, на фіг.2 - графіки помилки виміру повної різниці фаз $\Delta\phi$ між базовими елементами АС в залежності від пеленга (α) на ДРВ та дальності (d) (на фіг.2.а між першою та другою антенами $\Delta\phi_{12}(\alpha, d)$, а на фіг.2.б - між другою та третьою $\Delta\phi_{23}(\alpha, d)$), а на фіг.3 - графіки помилок вимірювання дальності $\Delta d_2(\alpha, d)$ до ДРВ в зоні Френеля.

Фазова радіосистема визначення координат (фіг.1) містить: сім антен А1-А7, які розміщені в одній площині на прямій лінії на базах b_1 - b_4 , мінімальна довжина яких обмежена допустимим рівнем взаємного впливу антен, та з різницею довжин баз між першою і другою А1, А2 (b_1), другою і третьою А2, А3 (b_2) парами антен рівною Δb , і з базами антен b_3, b_4 між фазовими центрами А4, А5 і А6, А7 для забезпечення однозначності, довжина яких не перевищує вимірів половини довжини хвилі та розміщенням центрів їхніх баз посередині відповідно між А1, А2 і А2, А3 (оптимально розташування однозначних баз з метою мінімізації помилки виміру повної різниці фаз (фіг.2) та вимірювання дальності до ДРВ в зоні Френеля (фіг.3)) та чотирьох антен А8-А11, розташованих також на прямій лінії, що ортогональна відносно центральної антени А2 з однозначною базою b_5 і неоднозначною базою b_6 відповідно між А2, А8 та А2, А9 та однозначної бази b_7 між А10, А11, що розташована по центру між антенами А2 і А9; одинадцять ідентичних приймачів 12-22; чотири фазометри 23-26, причому фазометри 23, 24 у складі фазообертачів на 90° 27, 28 і ФД 29, 30; третій і четвертий ФД 31, 32; п'ятий і шостий ФД 33, 34 та сьомий, восьмий і дев'ятий ФД 35, 37; дев'ять АЦП 38.1-38.9; шина 39, в яку об'єднані виходи АЦП, і мікропроцесор 40.

Причому виходи антен А1-А11 підключені до входів відповідних приймачів 12-22, виходи першого 12 і третього 14 приймачів сполучені з першими входами фазометрів 23, 24 і з першими входами третього і четвертого ФД 31, 32; вихід другого приймача 13 сполучений з другими входами фазометрів 23, 24 і другими входами ФД 31-32; входи третього фазометра 25 з'єднані з виходами першого 12 і третього 14 приймачів, а входи четвертого фазометра 26 з'єднані з виходами восьмого 19 і

дев'ятого 20 приймачів; виходи третього 25 і четвертого фазометрів 26 з'єднані відповідно з другим та третім входами мікропроцесора 40; виходи приймачів 15, 16 сполучені з входами п'ятого ФД 33; виходи приймачів 17, 18 сполучені з входами шостого ФД 34; входи сьомого ФД 35 з'єднані з виходами другого 13 та восьмого 19 приймачів; входи восьмого ФД 36 з'єднані з виходами другого 13 та дев'ятого 20 приймачів; входи дев'ятого ФД 37 з'єднані з виходами десятого 21 та одинадцятого 22 приймачів; виходи всіх дев'яти ФД 29-37 сполучені відповідно з входами дев'яти АЦП 38.1-38.9, а їх виходи сполучені шиною 39 з відповідними першими входами мікропроцесора 40, вихід якого є виходом системи.

Фазова радіосистема визначення координат працює наступним чином. При дії фронту ЕМХ на виходах антен А1-А11 утворюються сигнали, які підсилюються приймачами 12-22, перетворюються за допомогою ФД 29-37 в напругу, що несе інформацію про пеленг і кут місця (β) на ДРВ, а також дальності (за наявності кривизни (сферичності) фронту ЕМХ) і надходять після АЦП 38.1-38.9 в цифровому вигляді по шині 39 в мікропроцесор 40. У мікропроцесорі 40 на першому етапі як і у найближчого аналога, введена процедура перевірки на кривизну фронту ЕМХ, оскільки при знаходженні ДРВ ПЗ на відстанях від фазового центру АС $d < (2B^2 \cos^2 \alpha) / \lambda$, де $B_1 = b_1 + b_2$ - максимальний розмір лінійного розкриву АС (фіг.1), в площині якої розглядається ПЗ. В ПЗ за рахунок наявності кривизни фронту виникає помилка визначення пеленга тим більша, чим ближче ДРВ до фазової радіосистеми (див. фіг.2 у [4], де 1, 2 - пеленгаційна характеристика (ПХ) прототипу для дальньої зони (ДЗ), а 3-6 для ПЗ).

Процедуру перевірки фронту ЕМХ на кривизну зручніше провести, проаналізувавши рівність або відмінність повних різниць фаз між першою А1 і другою А2 ($\Delta\phi_{12\text{повн}}$), другою А2 і третьою А3 ($\Delta\phi_{23\text{повн}}$), парами антен з врахуванням різниці довжин неоднозначних баз $\Delta b = b_2 - b_1$.

$$\Delta\phi_{12\text{повн}} = \Delta\phi_{23\text{повн}} \frac{b_1}{b_2}, \quad (1)$$

Повні різниці фаз в рівнянні (1) у свою чергу можна записати

$$\Delta\phi_{12\text{повн}} = \Delta\phi_{12\text{вим}} + 2\pi k_{12}, \quad (2.а)$$

$$\Delta\phi_{23\text{повн}} = \Delta\phi_{23\text{вим}} + 2\pi k_{23}, \quad (2.б)$$

$$\Delta\phi_{92\text{повн}} = \Delta\phi_{92\text{вим}} + 2\pi k_{92}, \quad (2.в)$$

де $\Delta\phi_{12\text{вим}}$, $\Delta\phi_{23\text{вим}}$, $\Delta\phi_{92\text{вим}}$ - фазові зсуви, що виміряні за допомогою фазометрів 23, 24 і ФД 36 на точних, але неоднозначних базах b_1 , b_2 , b_6 (фіг.1); k_{12} , k_{23} , k_{92} - ціла кількість періодів, що втрачена при вимірюваннях.

Враховуючи, що

$$\Delta\phi_{12\text{повн}} = \frac{b_1}{b_3} \Delta\phi_{45\text{вим}}, \quad (2.г)$$

$$\Delta\phi_{23\text{повн}} = \frac{b_2}{b_4} \Delta\phi_{67\text{вим}}, \quad (2.д)$$

$$\Delta\varphi_{92\text{повн}} = \frac{b_6}{b_7} \Delta\varphi_{101\text{вим}}, \quad (2.е)$$

на основі виразів (2.а)-(2.е) можна записати, що

$$k_{12} = \left\langle \frac{1}{2\pi} \left(\frac{b_1}{b_3} \Delta\varphi_{45\text{вим}} - \Delta\varphi_{12\text{вим}} \right) \right\rangle, \quad (3.а)$$

$$k_{23} = \left\langle \frac{1}{2\pi} \left(\frac{b_2}{b_4} \Delta\varphi_{67\text{вим}} - \Delta\varphi_{23\text{вим}} \right) \right\rangle, \quad (3.б)$$

$$k_{92} = \left\langle \frac{1}{2\pi} \left(\frac{b_6}{b_7} \Delta\varphi_{1110\text{вим}} - \Delta\varphi_{92\text{вим}} \right) \right\rangle, \quad (3.в)$$

де <> - операція округлення до найближчого цілого, $b_3=b_4=b_7=\lambda/2$ - однозначні бази АС.

Тут і далі різниці $\Delta\varphi_{45\text{вим}}$, $\Delta\varphi_{67\text{вим}}$, і $\Delta\varphi_{101\text{вим}}$, виміряні за відповідними однозначними шкалами між четвертою А4 і п'ятою А5, шостою А6 і сьомою А7 та десятою А10 й одинадцятою А11 антенами, визначаються в мікропроцесорі 40 з напруг U_{33} , U_{34} і U_{37} на виходах ФД 33, 34 і 37 із співвідношень

$$U_{33} = U \cos(\Delta\varphi_{45\text{вим}}), \quad (4.а)$$

$$U_{34} = U \cos(\Delta\varphi_{67\text{вим}}), \quad (4.б)$$

$$U_{37} = U \cos(\Delta\varphi_{101\text{вим}}), \quad (4.в)$$

де U - напруги на виходах ідентичних приймачів 15-18, 21, 22.

При виконанні умови (1) ПХ з врахуванням перетворення лінійної АС в плоску для ДЗ визначається на відміну від найближчого аналогу за співвідношенням

$$F_{1,2}(\alpha, \beta) = F(\alpha, \beta) = \operatorname{tg} \left[\frac{\pi(b_2 - b_1)}{\lambda} \cos \beta \sin \alpha \right], \quad (5)$$

$$\Delta\varphi_{92\text{повн}} = \frac{2\pi(d_9 - d)}{\lambda} \approx \frac{2\pi}{\lambda} \left(b_6 \cos \beta \cos \alpha + \frac{b_6^2 (1 - \cos^2 \beta \cos^2 \alpha)}{2d} \right), \quad (7)$$

Для дальньої зони вираз (7) перетворюється в наступний вид

$$\Delta\varphi_{92\text{повн}} = \frac{2\pi}{\lambda} b_6 \cos \beta \cos \alpha, \quad (8)$$

звідки

$$\cos \beta \cos \alpha = \frac{\lambda \Delta\varphi_{92\text{повн}}}{2\pi b_6}, \quad (9)$$

Тоді пеленг та кут місця ДРВ визначаються за формулами

$$\alpha = \arctg \left(\frac{2b_6 \arctg(F(\alpha, \beta))}{(b_1 - b_2) \Delta\varphi_{92\text{повн}}} \right), \quad (10)$$

$$\alpha = \arctg \left(\frac{(b_5 b_6^2 + b_5^2 b_6) (b_2^2 \Delta\varphi_{12\text{повн}} + b_1^2 \Delta\varphi_{23\text{повн}})}{(b_1 b_2^2 + b_1^2 b_2) (b_5^2 \Delta\varphi_{92\text{повн}} + b_6^2 \Delta\varphi_{28\text{вим}})} \right), \quad (12)$$

$$F(\alpha, \beta) = F_1(\alpha, \beta) \text{ при } |U_{31} + U_{32}| \geq |U_{28} + U_{29}|;$$

$$F_1(\alpha, \beta) = \frac{U_{28} - U_{29}}{U_{31} + U_{32}};$$

або

$$F(\alpha, \beta) = F_2(\alpha, \beta) \text{ при } |U_{31} + U_{32}| < |U_{28} + U_{29}|;$$

$$F_2(\alpha, \beta) = \frac{U_{31} - U_{32}}{U_{28} + U_{29}};$$

$$U_{29} = U \sin \left[\frac{2\pi b_1}{\lambda} \cos \beta \sin \alpha \right];$$

$$U_{28} = U \sin \left[\frac{2\pi b_2}{\lambda} \cos \beta \sin \alpha \right];$$

$$U_{31} = U \cos \left[\frac{2\pi b_1}{\lambda} \cos \beta \sin \alpha \right];$$

$$U_{32} = U \cos \left[\frac{2\pi b_2}{\lambda} \cos \beta \sin \alpha \right];$$

U_{28} , U_{29} , U_{31} , U_{32} - напруга на виходах ФД 29-32;

U - напруги на виходах ідентичних приймачів 12, 13, 14;

b_1 , b_2 - неоднозначні бази (фіг.1) для усунення яких береться різниця баз, що визначається різницею довжин неоднозначних баз $\Delta b = \frac{\lambda}{4 \sin \alpha_0}$ (при

$\Delta b = \lambda/4$ границя сектора однозначності виміру пеленга в межах $-\pi/2 < \alpha_0 < \pi/2$).

З виразу (5) виходить, що

$$\cos \beta \sin \alpha = \frac{\lambda}{\pi(b_1 - b_2)} \arctg(F(\alpha, \beta)), \quad (6)$$

В свою чергу, справедливе наближення

$$\beta = \arccos \sqrt{\left(\frac{\lambda \arctg(F(\alpha, \beta))}{\pi(b_1 - b_2)} \right)^2 + \left(\frac{\lambda \Delta\varphi_{92\text{повн}}}{2\pi b_6} \right)^2}, \quad (11)$$

де $\Delta\varphi_{92\text{повн}}$ визначається відповідно виразу (2.в).

При невиконанні умови (1) має місце кривизна фронту ЕМХ, тому пеленг та кут місця ДРВ визначаються за формулами, отриманими на основі методології робіт [5-7]

$$\beta = \arccos \left[\sqrt{\left(\frac{\lambda (b_2^2 \Delta\varphi_{12\text{повн}} + b_1^2 \Delta\varphi_{23\text{повн}})}{2\pi (b_1 b_2^2 + b_1^2 b_2)} \right)^2} + \sqrt{\left(\frac{\lambda (b_5^2 \Delta\varphi_{92\text{повн}} + b_6^2 \Delta\varphi_{28\text{вим}})}{2\pi (b_5 b_6^2 + b_5^2 b_6)} \right)^2} \right], \quad (13)$$

де $\Delta\varphi_{28\text{вим}}$ поступає до мікропроцесора 40 від ФД 35.

Дальність до ДРВ в цій самій зоні на відміну від прототипу можна розрахувати за однією з нижче наведених формул:

$$d \approx \frac{\pi b_1^2 (1 - \cos^2 \beta \sin^2 \alpha)}{\lambda \Delta\varphi_{12\text{повн}} - 2\pi b_1 \cos \beta \sin \alpha}, \quad (14.a)$$

$$d \approx \frac{\pi b_2^2 (1 - \cos^2 \beta \sin^2 \alpha)}{2\pi b_2 \cos \beta \sin \alpha - \lambda \Delta\varphi_{23\text{повн}}}, \quad (14.б)$$

$$d \approx \frac{\pi b_6^2 (1 - \cos^2 \beta \cos^2 \alpha)}{\lambda \Delta\varphi_{92\text{повн}} - 2\pi b_6 \cos \beta \cos \alpha}, \quad (14.в)$$

Причому, також на відміну від прототипу в виразах (14.а)-(14.в) автоматично мінімізована помилка визначення дальності до ДРВ в зоні Френеля завдяки центральному розташуванню однозначних баз b_3 , b_4 і b_7 (фіг.1) відносно пар антен A1-A2, A2-A3 та A2-A9.

У випадку, коли ДРВ рухається в зоні Френеля, значення нормальної складової його миттєвого вектора швидкості на базі B_1 визначається за допомогою наступного співвідношення [7]

$$|V_{nB_1}| = \frac{\Delta\varphi_{13} B_1 \cos \beta \cos \alpha}{2\Delta\varphi_{B_1}}, \quad (15)$$

де $\Delta\varphi_{13}$ - похідна різниці фаз між сигналами першої A1 і третьої A3 антен, отримана в мікропроцесорі 40 при оцінці зміни параметру $\Delta\varphi_{13}$, який надходить від фазометра 25 за малий проміжок часу; $\Delta\varphi_{B_1} = \Delta\varphi_{12\text{повн}} - \Delta\varphi_{23\text{повн}}$ - зв'язаний з дальністю інформаційний параметр - різниця різниць фаз $\Delta\varphi_{12\text{повн}}$ і $\Delta\varphi_{23\text{повн}}$ сигналів на виходах першої пари антен A1 і A2 та другої пари антен A2 і A3, відповідно, що визначається в даному випадку з ПХ (5), як $\Delta\varphi_{B_1} = 2\arctg F(\alpha, \beta)$.

Аналогічно друга нормальна складова його миттєвого вектора швидкості на базі $B_2 = b_5 + b_6$ буде дорівнювати

$$|V_{nB_2}| = \frac{\Delta\varphi_{89} B_2 \cos \beta \sin \alpha}{2\Delta\varphi_{B_2}}, \quad (15.a)$$

де $\Delta\varphi_{89}$ - похідна різниці фаз між сигналами антен A8 і A9 отримана в мікропроцесорі 40 при оцінці зміни параметру $\Delta\varphi_{89}$, який надходить від фазометра 26 за малий проміжок часу; $\Delta\varphi_{B_2} = \Delta\varphi_{92\text{повн}} - \Delta\varphi_{28\text{вим}}$ за допомогою ФД 35, 36.

Векторне складання обох швидкостей в мікропроцесорі 40 дає істинне значення швидкості V .

Принципові відмінності запропонованої фазової радіосистеми визначення координат полягають в удосконалюванні обробки сигналів при більш високих характеристиках щодо точності визначення дальності до ДРВ при наявності сферичності фронту ЕМХ, а також визначення кута місця та швидкості ДРВ.

Розглянемо варіанти схемної реалізації основних елементів запропонованої радіосистеми.

У якості антен A1-A3, A8, A9 можливо використовувати направлені антени, розташовані в одній площині по прямій лінії на відстанях, мінімальна довжина яких обмежена допустимим рівнем взаємного впливу антен і може складати одиниці або десятки довжин хвиль, а антен A4-A7, A10-A11 - не направлені, з умов мінімізації взаємного впливу антен, а саме: спотворення їх діаграм направленості і зменшення вхідних опорів.

Приймачі 12-20 - стандартні підсилювачі високої частоти.

У якості ФД 29-37, як і в найближчого аналога [4], можуть бути використані помножувачі напруги.

Фазообертачі на 90° 27 і 28 можуть бути виконані на $\lambda/4$ відрізках ліній передачі.

У якості фазометрів 25-26 можуть бути застосовані будь-які фазометри використовуваного діапазону хвиль, у тому числі і фазометри авторів [8,9].

АЦП 38.1-38.9 та мікропроцесор 40 зі спеціальним програмним забезпеченням є стандартними цифровими пристроями і підбираються окремо під параметри радіосистеми.

Джерела інформації:

1. Теоретические основы радиолокации. Под ред. Ширмана Я.Д. Учеб. пособие для вузов. - М.: Сов. Радио, 1970. - аналог.

2. Справочник по радиолокации. Под. ред. М. Скопника. - М.: Сов. радио, 1978. - аналог.

3. Патент № 2138061 (Россия) Фазовый радиопеленгатор. М. кл. G01S3/48, // Беспалов Е.С., Кургин В.В. - аналог.

4. Декларативный патент на полезную модель № 57200 (Украина). Фазовый радиопеленгатор. М. кл. G01S3/00 // Авдеенко Г.Л., Ильченко М.Ю., Якорнов Е.А. та інш. Пром. власність, 2011 р., №3. - прототип.

5. Авдеенко Г.Л., Федоров В.И., Якорнов Е.А. Определение местоположения источника радиоизлучения по кривизне фронта электромагнитной волны - Известия ВУЗов. Радиоэлектроника - 2008. - Т. 51. - № 3. - С. 3-11.

6. Карпенко Б.О., Авдеенко Г.Л., Федоров В.И., Якорнов Е.А. Визначення координат точкового джерела радіовипромінювання по кривизні його хвильового фронту / Вісник Київського національ-

ного університету ім. Тараса Шевченка. Військово спеціальні науки. - 2009. - № 21. - С. 74-79.

7. Авдеенко Г.Л., Липчевская И.Л., Якорнов Е.А. Определение пеленга и дальности до источника радиоизлучения гармонического сигнала в зоне Френеля. / Матеріали 20-ої Міжнародної Кримської конференції (Крымико 2010) "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". - 2010. - Т. 1, С. 337-338.

8. А. с. № 206038 (СССР). Фазометр, М. кл. G01R25/00 // Серегин В.С., Федоров В.И., Якорнов Е.А. и др.

9. А. с. № 1817037 (СССР). Фазометр, М. кл. G01R25/00 // Карпенко Б.А., Поляков И.Ф., Якорнов Е.А. и др. Открытия, изобретения, ВНИИПИ, 1992, № 11.

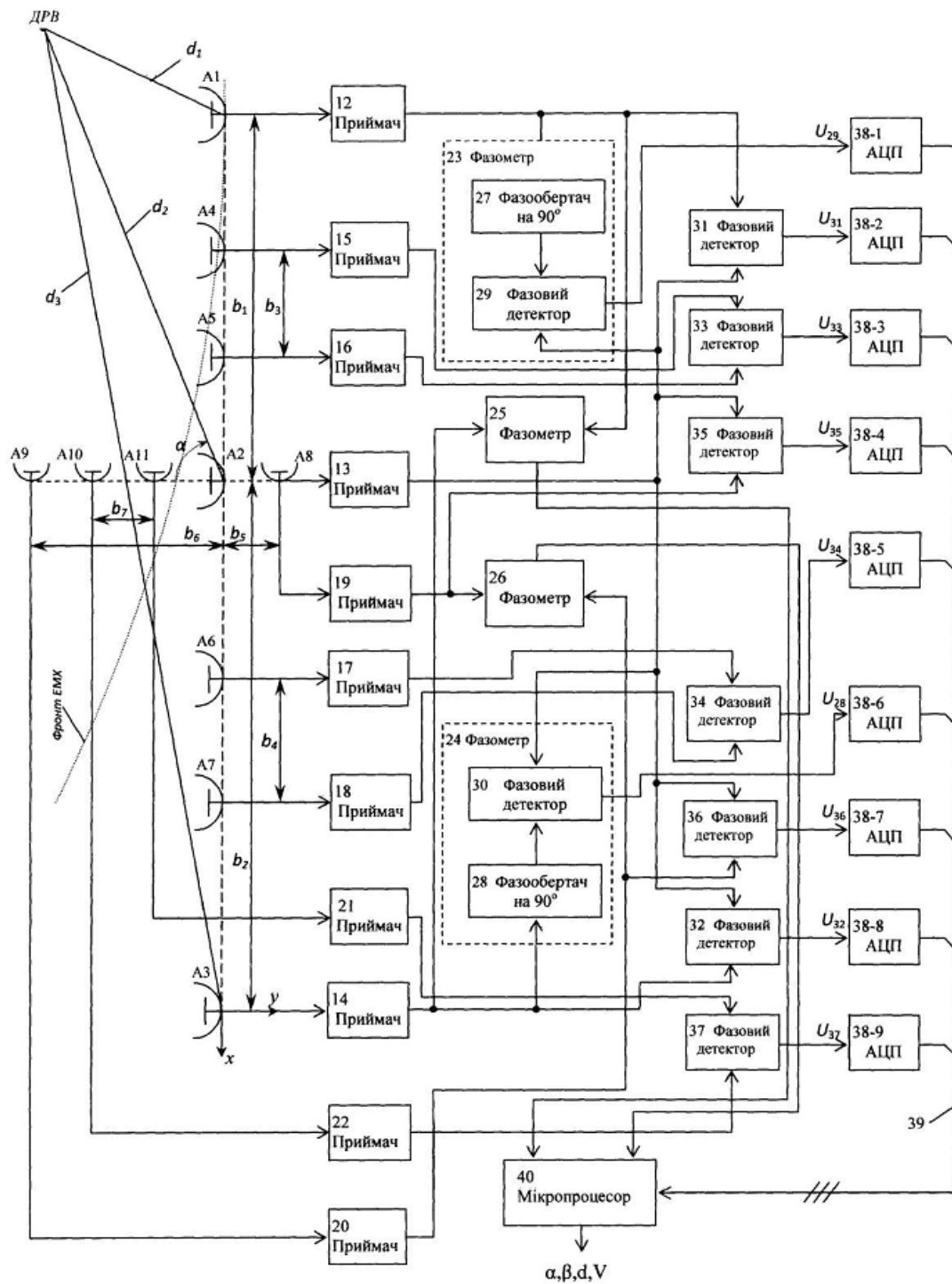
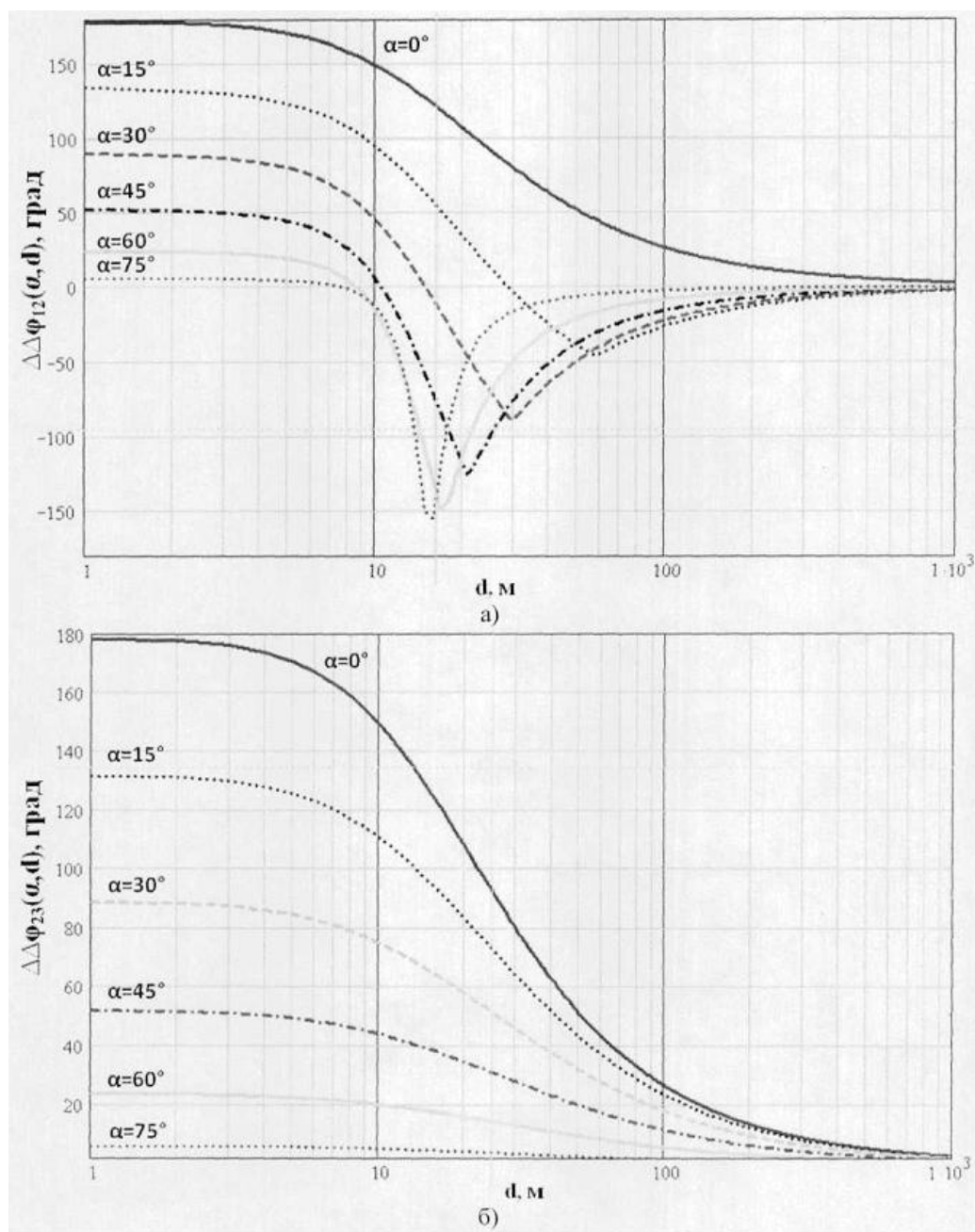
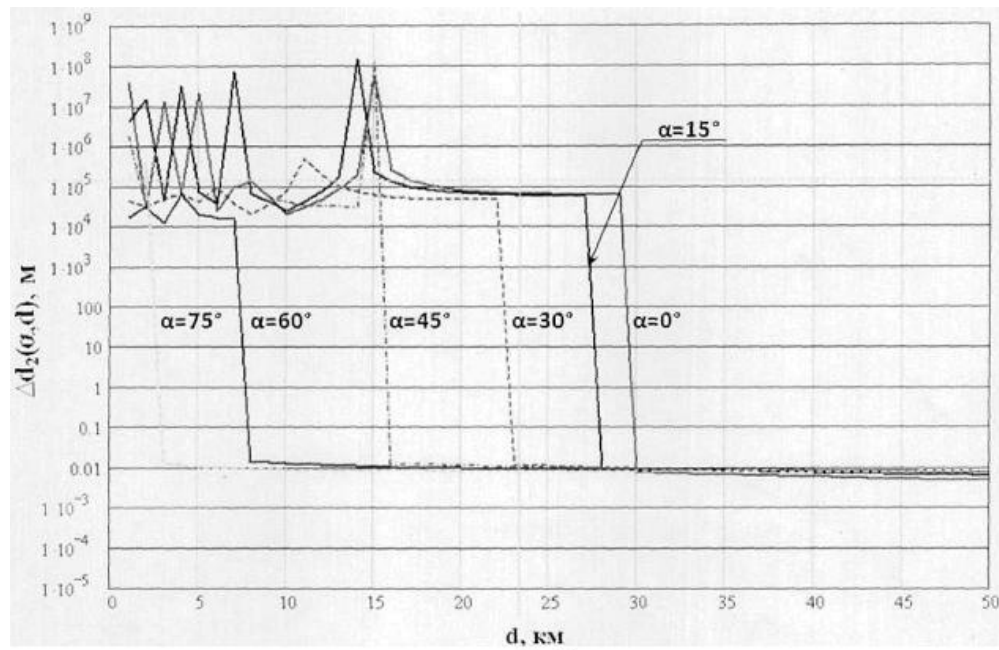


Fig. 1



Фиг. 2



Фіг. 3