



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA (11) 97075 (13) C2
(51) МПК
G01S 3/02 (2006.01)

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ФАЗОВА РАДІОСИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ

1

2

(21) а201105120

(22) 21.04.2011

(24) 26.12.2011

(46) 26.12.2011, Бюл. № 24, 2011 р.

(72) АВДЄЄНКО ГЛІБ ЛЕОНІДОВИЧ, ГОСТЄВ ВОЛОДИМИР ВОЛОДИМИРОВИЧ, КАРПЕНКО БОРИС ОЛЕКСІЙОВИЧ, МАЗУРЕНКО ОЛЕКСАНДР ВІКТОРОВИЧ, ЯКОРНОВ ЄВГЕНІЙ АРКАДІЙОВИЧ
(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

(56) UA 56430 U, 10.01.2011.

RU 2138061 C1, 20.09.1999.

UA 57200 U, 10.02.2011.

RU 2169377 C1, 20.06.2001.

RU 2208808 C2, 20.07.2003.

RU 2126978 C1, 27.03.1999.

(57) Фазова радіосистема визначення координат, що містить три антени, розташовані в одній площині по прямій лінії на відстанях (базах), мінімальна довжина яких обмежена допустимим рівнем взаємного впливу антен, і з різницею довжин баз між ними рівною $\Delta b = \frac{\lambda}{4 \sin \alpha_0}$, де λ - середня

довжина хвилі робочого діапазону системи, α_0 - задана межа сектора однозначності, а також містить три ідентичні приймачі, два фазометри, кожен з яких складається з фазового детектора і фазообертача на 90° , третій, четвертий, п'ятий і шостий фазові детектори, регульований фазообертач, три подільники частоти, шість аналого-цифрових перетворювачів і мікропроцесор, причому виходи антен підключені до входів відповідних приймачів, виходи першого і третього приймачів з'єднані з першими входами фазометрів і з першими входами третього і четвертого фазових детекторів, вихід другого приймача з'єднаний зі входом регульованого фазообертача, вихід якого з'єднаний з другими входами фазометрів і другими входами третього і четвертого фазових детекторів, а також входом третього подільника частоти, вхід першого подільника частоти з'єднаний з першим входом

третього фазового детектора, вхід другого подільника частоти з'єднаний з входом першого фазового детектора, вихід першого подільника частоти з'єднаний з другим входом п'ятого фазового детектора, вихід другого подільника - з другим входом шостого фазового детектора, а вихід третього подільника - з першими входами п'ятого і шостого фазових детекторів, виходи всіх шістьох фазових детекторів з'єднані відповідно з входами шести аналого-цифрових перетворювачів, а їх виходи з відповідними шістьма входами мікропроцесора, перший вихід якого з'єднаний зі входом керування регульованого фазообертача, а його другий вихід є виходом системи, яка відрізняється тим, що в неї введені четверта антена, розташована ортогонально базам перших трьох антен і на одній лінії з другою антеною, четвертий приймач, ідентичний першим трьом, четвертий і п'ятий подільники частоти, третій, четвертий, п'ятий, шостий і сьомий фазометри, розгалужувач та два роздвоювачі з неоднаковою різницею довжин їхніх вихідних плечей, причому вихід четвертої антени з'єднаний з входом четвертого приймача, вихід першого приймача з'єднаний з першим входом сьомого фазометра і входом розгалужувача, два виходи якого з'єднані з відповідними входами роздвоювачів, виходи яких з'єднані з входами третього і четвертого фазометрів, виходи яких з'єднані з сьомим і восьмим входами мікропроцесора, вихід другого приймача з'єднаний з першим входом п'ятого фазометра і входом четвертого подільника частоти, вихід якого з'єднаний з першим входом шостого фазометра, вихід третього приймача з'єднаний з другим входом сьомого фазометра, вихід якого з'єднаний з дев'ятим входом мікропроцесора, вихід четвертого приймача з'єднаний з другим входом п'ятого фазометра і входом п'ятого подільника частоти, вихід якого з'єднаний з другим входом шостого фазометра, а виходи п'ятого і шостого фазометрів - з десятим і одинадцятим входами мікропроцесора.

(13) C2

(11) 97075

(19) UA

Винахід належить до радіотехніки і може бути використаний для визначення координат джерела неперервного гармонійного радіосигналу.

Відома фазова система [1] має чотири антенних приймальних канали і три фазометри. Фазові детектори (ФД), що показані на рис.13 і виконують роль фазометрів, повинні містити фазообертачі на 90° . Груба однозначна шкала в розглянутих фазових радіопеленгаторах з декількома базами забезпечується завдяки використанню декількох близько розташованих антен, при цьому розмір бази стає порівняним з довжиною хвилі.

Недоліками даного пеленгатора є зростання взаємного впливу антен, обумовленого малими розмірами бази, внаслідок чого характеристики антен погіршуються, зокрема спотворюються їх діаграми направленості і зменшуються вхідні опори.

Відомий фазовий радіопеленгатор [2], в якому при рознесенні антен на відстані, що суттєво перевищують робочу довжину хвилі, область однозначного виміру кута приходу плоскої електромагнітної хвилі (ЕМХ) знаходиться в межах $-\pi/2 \dots +\pi/2$ за рахунок використання не довжин баз, а різниці їх довжин. Для цього у фазовий радіопеленгатор, що містить три антени, три ідентичні приймачі, два фазометри, кожний з яких складається з ФД і фазообертача на 90° , введені два додаткові ФД і блок логічної обробки сигналів. Проте, 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 близьким по технічній суті до запропонованої фазової радіосистеми є фазовий радіопеленгатор [3], який містить три антени, які розташовані в одній площині по прямій лінії на відстанях (базах), мінімальна довжина яких обмежена допустимим рівнем взаємного впливу антен і з різницею довжин баз між ними рівною $\Delta b = \frac{\lambda}{4 \sin \alpha_0}$, де

λ - середня довжина хвилі робочого діапазону пеленгатора, α_0 - задана межа сектора однозначності, а також три ідентичних приймачі, два фазометри, кожен з яких складається з ФД і фазообертача на 90° , третій, четвертий, п'ятий і шостий ФД, регульований фазообертач, три подільники частоти, шість аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) і мікропроцесор, причому виходи антен підключені до входів відповідних приймачів, виходи першого і третього приймачів з'єднані з першими входами фазометрів і з першими входами третього і четвертого ФД, вихід другого приймача з'єднаний зі входом регульованого фазообертача, вихід якого з'єднаний з другими входами фазометрів і другими входами третього і четвертого ФД, а також входом третього подільника частоти, вхід першого подільника частоти з'єднаний з першим входом третього ФД, вхід другого подільника частоти з'єднаний з входом першого ФД, вихід першого подільника частоти з'єднаний з другим входом п'ятого ФД, вихід другого подільника - з другим входом шостого ФД, а вихід третього подільника - з першим входами п'ятого і шостого ФД, виходи всіх шести ФД з'єднані відповідно зі входами шести АЦП, а їх виходи з відповідними шістьма входами мікропроцесора, перший вихід якого з'єднаний зі входом керування регульованого фазообертача, а його другий вихід є виходом системи, введені: четверта антена, розташована ортогонально базам перших трьох антен і на одній лінії з другою антеною, четвертий приймач, ідентичний першим трьом, четвертий і п'ятий подільники частоти, третій, четвертий, п'ятий, шостий і сьомий фазометри, розгалужувач та

п'ятого ФД, вихід другого подільника - з другим входом шостого ФД, а вихід третього подільника - з першими входами п'ятого і шостого ФД, виходи всіх шістьох ФД з'єднані відповідно з входами шести АЦП, а їх виходи з відповідними шістьма входами мікропроцесора, перший вихід якого з'єднаний зі входом керування регульованого фазообертача, а його другий вихід є виходом пеленгатора.

Основними недоліками прототипу є помилки вимірювання пеленга, пов'язані з відсутністю контролю частоти прийнятих сигналів, а також невикористані можливості фазової радіосистеми щодо визначення додаткових координат, зокрема кута місця ДРВ, а також при знаходженні джерела в зоні Френеля пеленгатора дальності до нього і нормальної складової його миттєвого вектора швидкості при його русі.

Задачею, на рішення якої спрямований винахід, є підвищення точності визначення пеленга при невідомій частоті радіосигналу, визначення кута місця, а також дальності і нормальної складової миттєвого вектора швидкості ДРВ за наявності кривизни фронту ЕМХ.

Поставлена задача вирішується тим, що у фазову радіосистему, яка містить три антени, які розташовані в одній площині по прямій лінії на відстанях (базах), мінімальна довжина яких обмежена допустимим рівнем взаємного впливу антен, і з різницею довжин баз між ними, рівною

$$\Delta b = \frac{\lambda}{4 \sin \alpha_0}, \text{ де } \lambda - \text{середня довжина хвилі ро-}$$

бочого діапазону системи, α_0 - задана межа сектора однозначності, а також три ідентичні приймачі, два фазометри, кожен з яких складається з ФД і фазообертача на 90° , третій, четвертий, п'ятий і шостий ФД, регульований фазообертач, три подільники частоти, шість АЦП і мікропроцесор, причому виходи антен підключені до входів відповідних приймачів, виходи першого і третього приймачів з'єднані з першими входами фазометрів і з першими входами третього і четвертого ФД, вихід другого приймача з'єднаний зі входом регульованого фазообертача, вихід якого з'єднаний з другими входами фазометрів і другими входами третього і четвертого ФД, а також входом третього подільника частоти, вхід першого подільника частоти з'єднаний з першим входом третього ФД, вхід другого подільника частоти з'єднаний зі входом першого ФД, вихід першого подільника частоти з'єднаний з другим входом п'ятого ФД, вихід другого подільника - з другим входом шостого ФД, а вихід третього подільника - з першими входами п'ятого і шостого ФД, виходи всіх шести ФД з'єднані відповідно зі входами шести АЦП, а їх виходи з відповідними шістьма входами мікропроцесора, перший вихід якого з'єднаний зі входом керування регульованого фазообертача, а його другий вихід є виходом системи, введені: четверта антена, розташована ортогонально базам перших трьох антен і на одній лінії з другою антеною, четвертий приймач, ідентичний першим трьом, четвертий і п'ятий подільники частоти, третій, четвертий, п'ятий, шостий і сьомий фазометри, розгалужувач та

два роздвоювачі з неоднаковою різницею довжин їхніх вихідних плечей. Причому вихід четвертої антени сполучений зі входом четвертого приймача, вихід першого приймача сполучений з першим входом сьомого фазометра і входом розгалужувача, два виходи якого сполучені з відповідними входами роздвоювачів, виходи яких сполучені зі входами третього і четвертого фазометрів, виходи яких сполучені з сьомим і восьмим входами мікропроцесора, вихід другого приймача сполучений з першим входом п'ятого фазометра і входом четвертого подільника частоти, вихід якого сполучений з першим входом шостого фазометра, вихід третього приймача сполучений з другим входом сьомого фазометра, вихід якого сполучений з дев'ятим входом мікропроцесора, вихід четвертого приймача сполучений з другим входом п'ятого фазометра і входом п'ятого подільника частоти, вихід якого сполучений з другим входом шостого фазометра, а виходи п'ятого і шостого фазометрів - з десятим і одинадцятим входами мікропроцесора.

На фіг.1 наведена структурна схема фазової радіосистеми визначення координат, а на фіг.2 - залежності, що пояснюють принцип вимірювання частоти за фазовими зсувами сигналів.

Система містить (фіг.1): три антени А1, А2, А3, які встановлені на одній лінії, перпендикулярній осям симетрії їх характеристик направленості, і на відстанях b_1 і b_2 (базах), що відрізняються на величину $\Delta b = \frac{\lambda}{4 \sin \alpha_0}$, де λ - середня довжина

хвилі робочого діапазону системи, α_0 - задана межа сектора однозначності, з мінімальними довжинами баз, обмеженими допустимим рівнем взаємного впливу антен, і четверту антену А4, розташовану ортогонально базам перших трьох антен і на одній лінії з другою антеною А2; чотири ідентичні приймачі 5-8; регульований фазообертач 9; перші два фазометри 10, 11 у складі ФД 12, 13 і фазообертачів на 90° 14, 15; третій і четвертий ФД 16, 17; п'ять подільників частоти 18-1-18-5; розгалужувач 19; роздвоювачі 20-1 і 20-2 з неоднаковою різницею довжин їхніх вихідних плечей; п'ятий і шостий ФД 21, 22; фазометри 23-27; шість АЦП 28-1-28-6 і мікропроцесор 29. Причому виходи антен А1, А2, А3, А4 підключені до входів відповідних приймачів 5-8, виходи першого 5 і третього 7 приймачів з'єднані з першими входами фазометрів 10, 11 і з першими входами третього і четвертого ФД 16, 17, а також з входами фазометра 27; вихід першого приймача 5 з'єднаний з входом розгалужувача 19 і входом першого подільника частоти 18-1; вихід другого приймача 6 з'єднаний з першим входом фазометра 25, входом подільника частоти 18-4 і з входом регульованого фазообертача 9, вихід якого з'єднаний з другими входами фазометрів 10, 11 і другими входами третього і четвертого ФД 16, 17, а також входом третього подільника частоти 18-3; вихід четвертого приймача 8 з'єднаний з другим входом фазометра 25 і входом подільника частоти 18-5; вхід другого подільника частоти 18-2 з'єднаний з входом першого ФД 12, вихід першого подільника частоти 18-1 з'єднаний з дру-

гим входом п'ятого ФД 21; вихід другого подільника частоти 18-2-3 другим входом шостого ФД 22; вихід третього подільника частоти 18-3 - з першими входами п'ятого і шостого ФД 21, 22, а виходи подільників частоти 18-4 і 18-5 з'єднані відповідно з входами фазометра 26; виходи розгалужувача 19 з'єднані зі входами роздвоювачів 20-1 і 20-2, а їхні нерівноплечі виходи - з входами фазометрів 23 і 24; виходи всіх шістьох ФД з'єднані відповідно з входами АЦП 28-1-28-6, а їх виходи - з відповідними першими шістьма входами мікропроцесора 29, сьомий, восьмий, дев'ятий, десятий і одинадцятий входи якого з'єднані відповідно з виходами фазометрів 23, 24, 27, 25, 26; перший вихід мікропроцесора 29 з'єднаний з входом регульованого фазообертача 9, а його другий вихід є виходом системи.

Фазова радіосистема визначення координат працює у різних режимах таким чином. В першому режимі (при відомій середній частоті ДРВ) можливе вимірювання пеленга (α) і для зони Френеля дальності (d) (див. фіг.1) за умови, коли [4]

$$d < (2B^2 \cos^2 \alpha) / \lambda, \quad (1)$$

де B - максимальний габарит між антенами А1 і А3, а λ - середня довжина хвилі.

В цьому режимі сигнали з антени А4 в мікропроцесорі 29 не задіяні і тому, як і в системі - прототипі, при дії фронту ЕМХ на виходах антен А1-А3 утворюються сигнали, які посилюються приймачами 5-7 та перетворюються за допомогою фазометрів 10, 11 і ФД 16, 17 в напруги, що несуть інформацію про пеленг на ДРВ, по яких в мікропроцесорі 29 в цифровому вигляді алгоритмічно формуються наступні пеленгаційні характеристики (ПХ):

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

де

$$F(\alpha) = F_1(\alpha) = \frac{U_{13} - U_{12}}{U_{16} + U_{17}} \quad \text{при}$$

$$|U_{16} + U_{17}| \geq |U_{12} + U_{13}|;$$

або

$$F(\alpha) = F_2(\alpha) = \frac{U_{16} - U_{17}}{U_{12} + U_{13}} \quad \text{при}$$

$$|U_{16} + U_{17}| < |U_{12} + U_{13}|;$$

$$U_{12} = U \sin \left[\frac{2\pi b_1}{\lambda} \sin \alpha \right];$$

$$U_{13} = U \sin \left[\frac{2\pi b_2}{\lambda} \sin \alpha \right]$$

$$U_{16} = U \cos \left[\frac{2\pi b_1}{\lambda} \sin \alpha \right];$$

$$U_{17} = U \cos \left[\frac{2\pi b_2}{\lambda} \sin \alpha \right];$$

$U_{12}, U_{13}, U_{16}, U_{17}$ - напруги на виходах ФД 12, 13, 16, 17;

U - напруги на виходах ідентичних приймачів 5, 6, 7;

b_1, b_2 - неоднозначні бази (фіг.1), для усунення яких береться різниця баз, яка визначається величиною $\Delta b = \frac{\lambda}{4 \sin \alpha_0}$ сектора вимірюваних кутів (при $\Delta b = \lambda/4$ шкала пеленгатора однозначна в межах $-\pi/2 < \alpha < \pi/2$).

Також у мікропроцесорі 29 здійснюється процедура постійної перевірки відсутності або наявності кривизни фронту ЕМХ, яка має місце при знаходженні ДРВ на певних відстанях від фазового центра антенної системи за допомогою співвідношення

$$\alpha = \arcsin \frac{\lambda [\alpha \operatorname{rctg} F(\alpha)]}{\pi(b_2 - b_1)} = \arcsin \frac{4\alpha \operatorname{rctg} F(\alpha)}{\pi} \Big|_{\text{при } \Delta b = \lambda/4} \quad (4)$$

шляхом затримки фази гармонійного сигналу середньої антени А2 регульованим фазообертачем 9 на таку величину, щоб різниці фаз $\Delta\varphi_{21}$ і $\Delta\varphi_{32}$ задовольняли нульовому значенню нев'язки (3).

При наявності кривизни фронту ЕМХ у мікропроцесорі 29 фіксується початкове значення параметра нев'язки згідно з виразом (3), величина якого проградуїрована в шкалі дальності згідно з (1) від d_{\max} (плоский фронт ЕМХ) до деякого d_{\min} , і тим самим визначається дальність до ДРВ. Анало-

$$U_{17} = U_{16}U_{19} - U_{12}U_{20}, \quad (3)$$

$$\text{де} \quad U_{19} = \frac{U_{19}}{K_\partial K_{\partial 4} U} = \cos(k_1 \Delta\varphi_{21}),$$

$$U_{20} = \frac{U_{20}}{K_\partial K_{\partial 4} U} = \sin(k_1 \Delta\varphi_{21}),$$

$\Delta\varphi_{21}$ - різниця фаз сигналів на виході першої А1 і другої А2 антен, k_1 - коефіцієнт ділення подільників частоти 18-1-18-3, $K_{\partial 4}$ - їх коефіцієнти передачі, а K_∂ - коефіцієнти передачі ФД.

Далі, в разі виявлення кривизни фронту ЕМХ у мікропроцесорі 29, мінімізується помилка визначення по ПХ (2) пеленга

гічно нульове значення шкали регульованого фазообертача 9 відповідає плоскому фронту ЕМХ а отже d_{\max} , а його положення після регулювання, коли встановлюється нульова нев'язка, буде відповідати поточній дальності. Це впливає з результатів роботи [5], в якій показана методика визначення дальності для сферичного фронту ЕМХ і яка в даному випадку без урахування кута місця при $d \gg b_i$, $i = 1, 2$, описується як

$$d \approx \frac{\pi(b_1^2 + b_2^2)(\cos \alpha)^2}{\lambda \Delta\varphi_B - 2\pi(b_2 - b_1) \sin \alpha} = \frac{\pi(b_1^2 + b_2^2)(\cos \alpha)^2}{2[\lambda \alpha \operatorname{rctg} F(\alpha) - \pi(\Delta b) \sin \alpha]}, \quad (5)$$

де $\Delta\varphi_B = \Delta\varphi_{12} - \Delta\varphi_{23}$ - зв'язаний з дальністю інформаційний параметр - різниця різниць фаз $\Delta\varphi_{12}$ і $\Delta\varphi_{23}$ сигналів на виходах першої пари антен А1 і А2 та другої пари антен А2 і А3 відповідно, що визначається в даному випадку з ПХ (2) як $\Delta\varphi_B = 2\alpha \operatorname{rctg} F(\alpha)$.

В другому режимі - вимірювання пеленга і для зони Френеля дальності та нормальної складової миттєвого вектора швидкості для рухомого ДРВ при його невідомій частоті для зменшення помилок визначення α і d , що обумовлені відміною частоти f реального ДРВ від середньої в системі, спочатку проводиться уточнення частоти джерела також без урахування сигналів з А4. Для цього в мікропроцесорі 29 використовується інформація про фазові зсуви в нерівноплечих роздвоювачах 20-1 і 20-2, що надходить від фазометрів 23 і 24 та пов'язує різниці ходу ЕМХ з різницями набігів фаз відомими лінійними співвідношеннями наступного виду

$$\Delta\varphi_i = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta l_i = \frac{2\pi f}{V_\Phi} \Delta l_i, \quad (6)$$

де V_Φ - фазова швидкість ЕМХ у лінії передачі.

Тоді невідома частота згідно з (6) у мікропроцесорі 29 розраховується за співвідношенням

$$f_x = \frac{\Delta\varphi_i V_\Phi}{2\pi \Delta l_i}, \quad (7)$$

З виразу (6) видно, що фазовий зсув тим більший, чим більша різниця довжин плечей на виходах роздвоювачів 20, але при збільшенні Δl_i разом із зростанням крутизни характеристики (збільшення точності вимірювання (фіг.2) з'являється неоднозначність виміру частоти (фіг.2.б). Її усунення в системі, що заявляється, здійснюється шляхом введення в мікропроцесорі 29 алгоритму обробки, еквівалентного введенню грубої і точної шкал (фіг.2) визначення частоти за допомогою виразу (7). Для грубої, але однозначної шкали використовується різниця довжин плечей $\Delta l_{гр}$ на виходах роздвоювачів 20-1, що проградуїрована в діапазоні роботи фазометра 23 для інтервалу частот $f_{1..f_2}$ (фіг.2.а). При цьому груба оцінка частоти проводиться за співвідношенням

$$f_{хгр} = \frac{\Delta\varphi_{хгр} V_{\Phi}}{2\pi\Delta I_{гр}}, \quad (7.а)$$

де $\Delta\varphi_{хгр}$ - однозначна ($0...2\pi$) оцінка фазового зсуву, вимірювана фазометром 23.

Аналогічно для точного визначення частоти (фіг.2.б) використовується різниця ΔI_T із співвідношення

$$f_{хТ} = \frac{\Delta\varphi_{хТ} V_{\Phi}}{2\pi\Delta I_T}, \quad (7.б)$$

де $\Delta\varphi_{хТ}$ - фазовий зсув з фазометра 24.

Далі в мікропроцесорі 29 визначається номер і піддіапазону

$$i = (f_{хгр} - f_1) / \Delta f_T, \quad (7.в)$$

де $\Delta f_T = (f_2 - f_1) / n$ - ширина смуги частот точного піддіапазону, n - число піддіапазонів, відоме наперед; i кінцева частота (виходячи з фіг.2.б),

$$f_{хточн} = \begin{cases} f_{іср} + |f_{хгр} - f_{іср}|, & \text{если } \Delta\varphi_{хТ} > \pi \\ f_{іср} - |f_{хгр} - f_{іср}|, & \text{если } \Delta\varphi_{хТ} \leq \pi \end{cases}, \quad (7.г)$$

де $f_{іср}$ - середня частота i -го піддіапазону, що вводиться в пам'ять мікропроцесора 29 на етапі калібрування для усіх n піддіапазонів.

Далі розраховується довжина хвилі й за допомогою співвідношень (2)-(4), так само як і у першому режимі, визначається пеленг і для зони Френеля дальність по величині параметра нев'язки.

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

$$|V_{нВ}| = \frac{\Delta\varphi_{13} B \cos \alpha}{2\Delta\Delta\varphi_B}, \quad (8)$$

де $\Delta\varphi_{13}$ - похідна різниці фаз між сигналами першої А1 і третьої А3 антен, отримана в мікропроцесорі 29 від φ_{13} , яка надходить з фазометра 27.

В третьому режимі для плоского фронту ЕМХ система разом із пеленгом (α) визначає кут місця (β). Для цього в мікропроцесорі 29 починається використання сигналів з антен А4 і А2, оброблених фазометром 25 і подільниками частоти 18-4 і 18-5. Оскільки залучення А4 призводить до перетворення лінійної розрізженої антенної решітки А1-А3 в систему в плоску А1 - А4, то співвідношення (4) для визначення пеленга у відповідності з методологією роботи [6] приводиться до виду

$$\alpha = \arccos\left(\frac{\lambda}{\pi\Delta b} \sqrt{\arctg^2 F_1(\alpha, \beta) + \arctg^2 F_2(\alpha, \beta)}\right), \quad (9)$$

а кут місця визначається виразом

$$\beta = \arctg\left(\frac{\arctg F_1(\alpha, \beta)}{\arctg F_2(\alpha, \beta)}\right), \quad (10)$$

Тут

$$F_1(\alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{U_{13} - U_{12}}{U_{16} + U_{17}} & \text{при } |U_{16} + U_{17}| \geq |U_{12} + U_{13}| \\ \frac{U_{16} - U_{17}}{U_{12} + U_{13}} & \text{при } |U_{16} + U_{17}| < |U_{12} + U_{13}| \end{cases},$$

тобто використовуються ті ж напруги на виходах ФД, що і в (2), але з урахуванням того, що ПХ стає функцією двох координат, а саме:

$$F_1(\alpha, \beta) = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi(b_2 - b_1) \sin \alpha \cos \beta}{\lambda}\right), \quad (11)$$

$$F_2(\alpha, \beta) = \operatorname{tg}\left(\frac{1}{2}\left(\frac{b_4 - b_3}{b_3}\right)\Delta\varphi_{42}\right), \quad (12)$$

В ПХ (11) $\Delta\varphi_{42}$ - фазовий зсув між сигналами на виходах антен А4 і А2 визначається як

$$\Delta\varphi_{42} = \Delta\varphi_{42\text{изм}} + 2\pi k_2, \quad (13)$$

де $\Delta\varphi_{42\text{изм}}$ - фазовий зсув сигналів, вимірюваний фазометром 25, k_2 - число повних періодів у різниці фаз, утрачених при вимірюванні, яке рівне

$$k_2 = \frac{1}{2\pi} \left\langle \frac{b_3}{b_{42}} \Delta\varphi_{42\text{гр}} - \Delta\varphi_{42\text{изм}} \right\rangle, \quad (14)$$

b_{42} - "віртуальна" груба, але однозначна база між А4 і А2, що отримана шляхом зменшення в $2b_3/\lambda$ разів електричним способом бази b_3 (фіг.1) подільниками частоти 18-4, 18-5; $\Delta\varphi_{42\text{гр}}$ - однозначний фазовий зсув між сигналами на виходах подільників частоти в каналах А4 і А2, вимірюваний фазометром 26; b_4 - "віртуальна база", яка рівна сумі $b_3 + \Delta b$, що при $\Delta b = \lambda/4$ забезпечує базі b_3 , як і для ортогональної по відношенню до неї бази $B = b_1 + b_2$ однозначне значення ПХ в межах від -1 до +1.

Принципові відмінності запропонованої фазової радіосистеми визначення координат полягають в удосконаленні обробки сигналів, завдяки чому підвищується точність вимірювання пеленга за рахунок введення процедури уточнення частоти, визначення кута місця, а також для зони Френеля нормальної складової миттєвого вектора швидкості руху джерела і дальності до нього.

Розглянемо варіанти схемної реалізації основних елементів запропонованої фазової радіосистеми.

Як антени А1 - А4 можна використовувати гостронаправлені антени, наприклад, параболічні 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.

Приймачі 5-8 - стандартні підсилювачі високої частоти.

Регульований фазообертач 9 може бути виконаний залежно від використовуваного діапазону довжин хвиль на тому або іншому типі електрично керованих фазообертачів, наприклад, фірми "MITEQ" [7], а рішення оптимізаційної задачі (налаштування регульованого фазообертача на мінімальну нев'язку) і її технічна реалізація досить

добре описані в науково-технічній літературі, у тому числі і в [8].

як ФД 12, 13, 16, 17, 21 і 22, як і в пеленгаторі-прототипі [3], можуть бути використані перемножувачі напруги.

Фазообертачі 14 і 15 на 90° можуть бути виконані на широкосмугових квадратурних мостах.

Подільники частоти 18-1-18-5 можуть бути реалізовані за схемами, наведеними в [8].

Як фазометри 23-27 можуть бути застосовані будь-які фазометри використовуваного діапазону хвиль, у тому числі і фазометри авторів [9, 10].

АЦП 28-1-28-6 і мікропроцесор 29 зі спеціальним програмним забезпеченням є стандартними цифровими пристроями і підбираються окремо під параметри фазової радіосистеми визначення координат.

Проведений аналіз відомих технічних рішень у даній галузі техніки показав, що сукупність ознак, яка відрізняє винахід від прототипу, не була виявлена, отже фазова радіосистема визначення координат, що заявляється, має істотні відмінності, тобто має "новизну" та не випливає з рівня техніки, тобто має "винахідницький рівень".

Джерела інформації:

1. Справочник по радиолокации. Под. ред. М. Сколника. - М.: Сов. радио, 1978, Т.4. - С. 150.

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

3. Патент на корисну модель № 56430 (Україна). Фазовий радіопеленгатор. МПК G01S3/02. G01S3/00 // Сторубльов О.І., Карпенко Б.О., Якорнов Є.А. та інш. Пром. власність, 2011 р., № 1 - прототип.

4. Кремер И.Я., Кремер А.И., Петров В.М.; под. ред.: И.Я. Кремер. Пространственно-временная обработка сигналов. - М.: Радио и связь, 1984.- 223 с.

5. Карпенко Б.О., Авдєєнко Г.Л., Федоров В.І., Якорнов С.А. Визначення координат точкового джерела радіовипромінювання по кривизні його хвильового фронту Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки, 2009, № 21. - С. 74-79.

6. Денисов В.П., Дубинин Д.В. Фазовые радиопеленгаторы: Монография. - Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2002.-251 с.

7. <http://www.miteq.com/datasheets/MITEQ-DPS.PDF>

8. Ліпатов А.О. Пристрої НВЧ телекомунікаційних систем. - К.: Політехніка, 2003.-440 с.

9. Авт. свид. № 206038 (СССР). Фазометр, МПК G01R25/00 // Серегин В.С., Федоров В.И., Якорнов Е.А. и др.

10. Авт. свид. № 1817037 (СССР). Фазометр, МПК G01R25/00 // Карпенко Б.А., Поляков И.Ф., Якорнов Е.А. и др. Открытия, изобретения, ВНИИПИ, 1992, № 11.

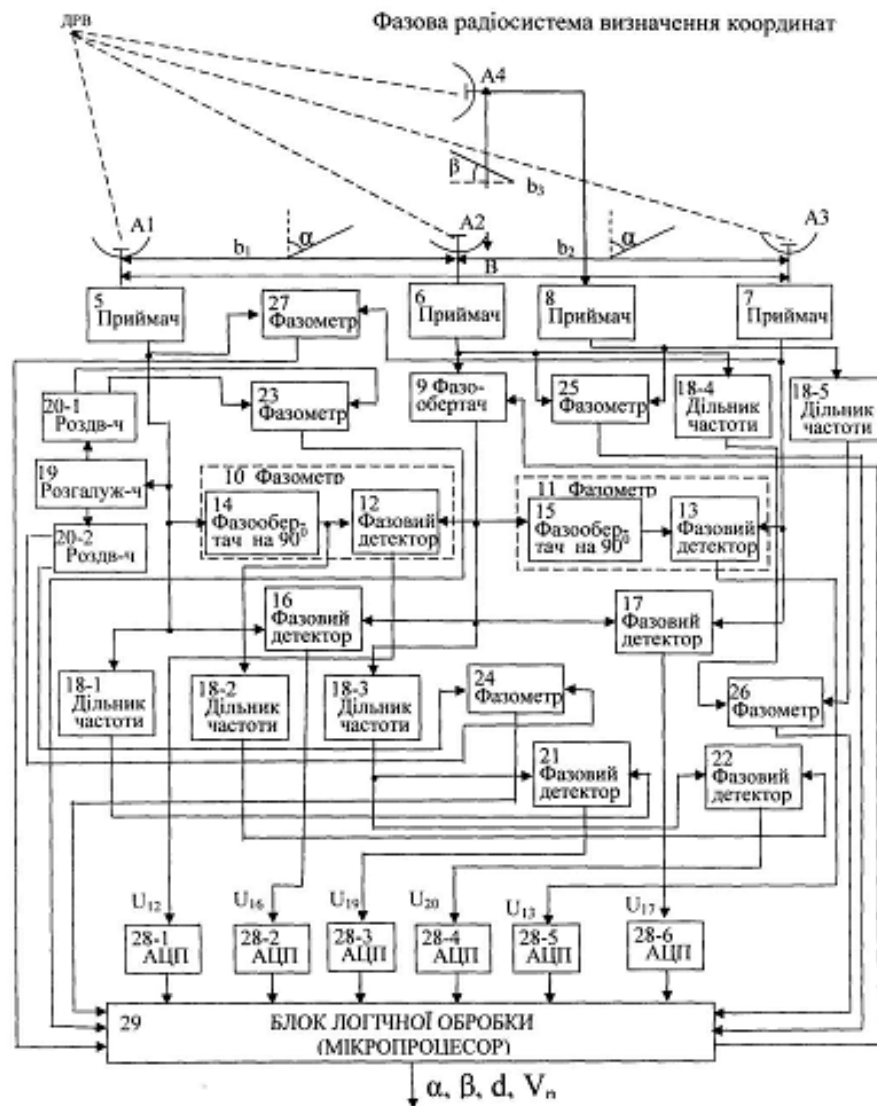
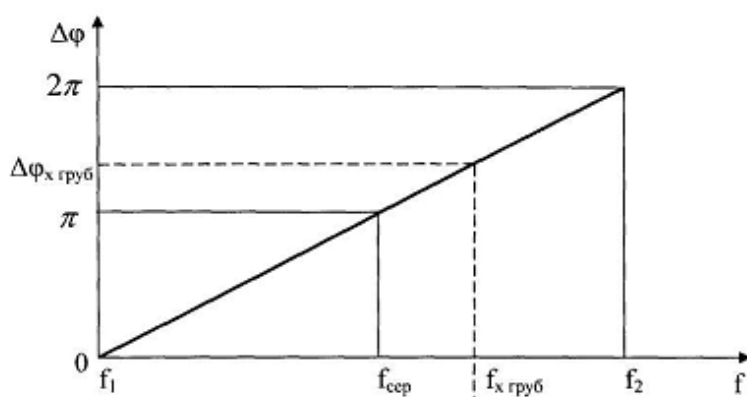
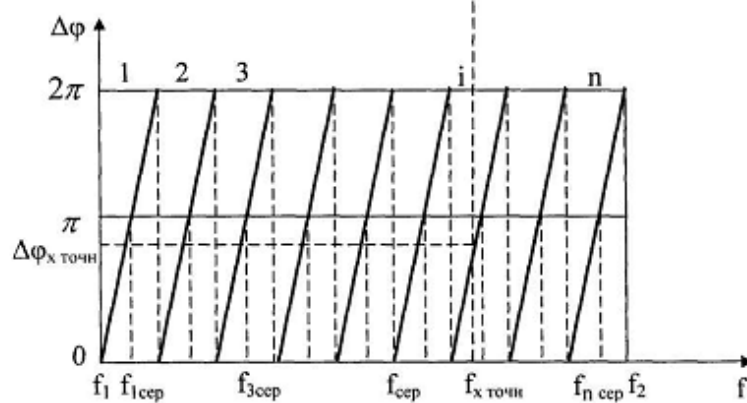


Fig. 1



а)



б)

Фиг. 2