



УКРАЇНА

(19) UA (11) 40132 (13) A

(51) 7 G01S3/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) РАДІОЛОКАЦІЙНИЙ ДАЛЕКОМІР БЕЗУПИННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

(21) 2000063670

(22) 23.06.2000

(24) 16.07.2001

(33) UA

(46) 16.07.2001, Бюл. № 6, 2001 р.

(72) Порошин Сергій Михайлович, Бахвалов Валентин Борисович

(73) Харківський державний політехнічний університет, UA

(57) Радіолокаційний далекомір безупинного випромінювання, що містить антену, що передає, передавач із генератора безупинного сигналу високої частоти, генератора сигналу, що модулює, і амплітудного модулятора, приймальну антену, приймач і фазовимірювач, що **відрізняється** тим, що генератор сигналу передавача, що модулює, виконаний у виді двох генераторів синусоїдальних сигналів двох низьких частот, що модулюють, F_1 і F_2 на виході амплітудного детектора приймача додатково встановлені два низькочастотних вузько-смужкових фільтри, один із яких настроєний на першу частоту, що модулює F_1 , а інший - на другу частоту F_2 , виходи цих фільтрів пов'язані відповідно з першим і другим фазовимірювачами зсувів фаз напруг передавача, що модулюють, щодо напруг луна-сигналів цілей, виходи фазовимірювачів і фільтрів пов'язані з обчислювачем дальностей двох цілей із такої системи двох трансцендентних рівнянь

$$\frac{\operatorname{tg}\varphi_2 \cos \frac{4\pi F_2 r_1}{c} - \sin \frac{4\pi F_2 r_1}{c}}{\sin \frac{4\pi F_2 r_2}{c} - \operatorname{tg}\varphi_2 \cos \frac{4\pi F_2 r_2}{c}} - p = 0,$$

$$p^2 + \frac{2p}{1 - \frac{U_{F1}^2}{U_{F2}^2}} \left[\cos \frac{4\pi F_1 (r_2 - r_1)}{c} - \frac{U_{F1}^2}{U_{F2}^2} \cos \frac{4\pi F_2 (r_2 - r_1)}{c} \right] + 1 = 0,$$

де: p - відношення потужностей луна-сигналів другої і першої цілей, рівне

$$p = \frac{\operatorname{tg}\varphi_1 \cos \frac{4\pi F_1 r_1}{c} - \sin \frac{4\pi F_1 r_1}{c}}{\sin \frac{4\pi F_1 r_2}{c} - \operatorname{tg}\varphi_1 \cos \frac{4\pi F_1 r_2}{c}},$$

F_1, F_2 - низькі частоти перших і другого сигналів передавача, що модулюють,
 r_1, r_2 - дальності першої і другої цілей,
 U_{F1}, U_{F2} - амплітуди напруг на виходах фільтрів перших і других частот, що модулюють,
 φ_1, φ_2 - зсув фаз напруг передавача, що модулюють, щодо напруг луна-сигналів, що модулюють, цілей,
 c - швидкість світла.

Винахід відноситься до області радіолокації і може бути використаний у фазових радіолокаторах із безупинним випромінюванням мікрохвильового діапазону для одночасного виміру дальностей двох цілей.

Відомий радіолокаційний імпульсний далекомір [1, с. 13, рис. 1.1]. Аналог містить імпульсний передавач і одну антену з антенним перемикачем. Дальність цілі визначають за часом запізнювання імпульсу луна-сигналу щодо імпульсу, що зондує.

Хибою аналога є те, що він не дозволяє вимірювати малі дальності менше добутку швидкості світла на половину тривалості імпульсу.

Інша хибя аналога полягає в тому, що в ньому не можна використовувати безупинний сигнал, то-

му що одну антену не вдається використовувати для одночасного прийому і передавання сигналу.

Як прототип обраний фазовий радіолокатор із безупинним випромінюванням [1].

До складу прототипу входять такі основні елементи:

антена, що передає;

передавач із генератора високочастотного безупинного сигналу, генератора низькочастотної напруги, що модулює, і модулятора (наприклад, амплітудного модулятора);

приймальна антенна;

приймач (наприклад, супергетеродинний приймач з амплітудним детектором);

фазовимірювач зсуву фаз вихідної низькочастотної напруги приймача щодо напруги генератора передавача, що модулює.

Вимір дальності цілі в прототипі засновано на вимірі зсуву фаз φ вихідної низькочастотної напруги приймача щодо напруги передавача, що модулює. При цьому дальність цілі визначають за співвідношенням:

$$D = \frac{c\varphi}{4\pi F}, \quad (1)$$

де: D - дальність цілі;

c - швидкість світла;

φ - зсув фаз вихідної напруги приймача щодо напруги низькочастотного генератора напруги передавача, що модулює;

F - частота напруги, що модулює. Антени прототипу рознесені в просторі й мають екран розв'язки.

Недоліком прототипу є те, що він не може вимірювати одночасно дальності двох цілей, луна-сигнали яких приймаються одночасно. Задача одночасного виміру дальностей двох цілей має практичне значення і її необхідно вирішувати, наприклад, при наведенні ракети на літак-порушник, коли потрібно знати відстань між ракетою і літаком при наведенні з землі.

В основу винаходу поставлена задача удосконалення радіолокаційного далекоміра безупинного випромінювання, у якому за рахунок виконання генератору сигналу передавача, що модулює, у вигляді двочастотного генератора двох низьких частот, що модулюють, F_1 і F_2 , і використання на виході амплітудного детектора приймача двох фільтрів, настроєних на ці частоти, і двох фазовимірювачів зсувів фаз сигналів цих частот щодо напруг передавача, що модулюють, забезпечується визначення за допомогою обчислювача дальностей двох цілей по цих зсувах фаз і відношенню амплітуд вихідних напруг фільтрів.

Поставлена задача вирішується тим, що в радіолокаційному далекомірі безупинного випромінювання, що містить антену, що передає, передавач із генератора безупинного сигналу високої частоти, генератора сигналу, що модулює, і амплітудного модулятора, приймальну антену, приймач і фазовимірювач, відповідно до винаходу:

генератор сигналу передавача, що модулює, виконаний у вигляді двох генераторів синусоїдальних сигналів двох низьких частот, що модулюють, F_1 і F_2 ;

на виході амплітудного детектора приймача додатково встановлені два низькочастотні вузько-смугові фільтри, один з яких настроєний на першу частоту, що модулює F_1 , а інший - на другу частоту F_2 ;

виходи цих фільтрів пов'язані, відповідно, з першим і другим фазовимірювачами зсувів фаз напруг передавача, що модулюють, щодо напруг луна-сигналів, що модулюють, цілей;

виходи фазовимірювачів і фільтрів пов'язані з обчислювачем дальностей двох цілей за такою системою двох трансцендентних рівнянь

$$\frac{\operatorname{tg}\varphi_2 \cos \frac{4\pi F_2 r_1}{c} - \sin \frac{4\pi F_2 r_1}{c}}{\sin \frac{4\pi F_2 r_2}{c} - \operatorname{tg}\varphi_2 \cos \frac{4\pi F_2 r_2}{c}} - p = 0, \quad (2)$$

$$p^2 + \frac{2p}{1 - \frac{U_{F1}^2}{U_{F2}^2}} \left[\cos \frac{4\pi F_1 (r_2 - r_1)}{c} - \frac{U_{F1}^2}{U_{F2}^2} \cos \frac{4\pi F_2 (r_2 - r_1)}{c} \right] + 1 = 0, \quad (3)$$

де: p - відношення потужностей луна-сигналів другої і першої цілей, яке дорівнює

$$p = \frac{\operatorname{tg}\varphi_1 \cos \frac{4\pi F_1 r_1}{c} - \sin \frac{4\pi F_1 r_1}{c}}{\sin \frac{4\pi F_1 r_2}{c} - \operatorname{tg}\varphi_1 \cos \frac{4\pi F_1 r_2}{c}}, \quad (4)$$

F_1, F_2 - низькі частоти першого і другого сигналів передавача, що модулюють;

r_1, r_2 - дальності першої і другої цілей;

U_{F1}, U_{F2} - амплітуди напруг на виходах фільтрів першої і другої частот, що модулюють;

φ_1, φ_2 - зсуви фаз напруг передавача, що модулюють, щодо напруг луна-сигналів, що модулюють, цілей;

c - швидкість світла.

Використання на виході амплітудного детектора приймача двох фільтрів для виділення двох низьких частот луна-сигналів, що модулюють, цілей і двох фазовимірювачів зсувів фаз сигналів на цих частотах щодо сигналів передавача, що модулюють, забезпечує визначення за допомогою обчислювача дальностей двох цілей по цих зсувах фаз і відношенню амплітуд вихідних напруг фільтрів. При цьому припускається, що амплітудний детектор приймача має квадратичну вольт-амперну характеристику, а доплерівські частоти цілей значно перевищують частоти F_1, F_2 сигналів, що модулюють, і не потрапляють у смугу пропускання вузько-смугових фільтрів.

Технічна сутність і принцип дії запропонованого пристрою пояснюються фіг. 1, 2. На фіг. 1 наведено спрощену структурну схему радіолокаційного далекоміра безупинного випромінювання, а на фіг. 2 надані приклади залежностей між дальностями двох цілей, визначених трансцендентними рівняннями (2), (3). Остання фігура свідчить, що система рівнянь (2), (3) має рішення, і це рішення єдине.

До складу запропонованого пристрою на схемі (фіг. 1) входять такі основні елементи:

антена, що передає 1;

приймальна антена 2;

передавач, що складається з генератора безупинного сигналу 3 високої частоти f , генератора 4 першої низької частоти, що модулює F_1 , генератора 5 другої низької частоти, що модулює F_2 , і амплітудного модулятора 6;

приймач 7 луна-сигналів, наприклад, супергеродинний приймач із змішувачем і амплітудним детектором;

фільтр 8 першої частоти, що модулює F_1 , луна-сигналів;

фільтр 9 другої частоти, що модулює, F_2 луна-сигналів;

перший фазовимірювач 10 зсуву фаз φ_1 вихідної напруги U_{F1} фільтра 8 щодо напруги U_{F10} із виходу низького рівня генератора 4 першої частоти, що модулює F_1 , передавача;

другий фазовимірювач 11 зсуву фаз φ_2 вихідної напруги U_{F2} фільтра 9 щодо напруги U_{F20} із виходу низького рівня генератора 5 другої частоти, що модулює F_2 , передавача;

обчислювач 12 дальностей двох цілей r_1, r_2 за обмірюваними зсувами фаз φ_1, φ_2 і відношенням амплітуд напруг U_{F1}/U_{F2} шляхом рішення системи двох трансцендентних рівнянь (2), (3).

Принцип дії запропонованого пристрою пояснюють таким чином. Приймальна антена приймає одночасно безупинні луна-сигнали двох цілей, що знаходяться на різних дальностях r_1, r_2 . Ці луна-сигнали модульовані по амплітуді низькочастотними сигналами на двох частотах F_1, F_2 , а фази низькочастотних напруг луна-сигналів, що модулюють, містять інформацію про дальності цілей. Вимір тільки зсувів фаз φ_1, φ_2 сумарного луна-сигналу від двох цілей щодо сигналів передавача, що модулюють, не дозволяє визначити дальності двох цілей у випадках, коли не вдається відокремити один від одного луна-сигнали двох цілей. Для визначення дальностей двох цілей пропонується вимірювати не тільки зсуви фаз, але і відношення амплітуд U_{F1}/U_{F2} низькочастотних напруг із виходів фільтрів 8, 9. Цих вимірів достатньо для однозначного визначення дальностей r_1, r_2 двох цілей (наприклад, літака і ракети, що наводиться на нього).

Для обґрунтування можливості реалізації запропонованого технічного рішення і його істотних відмінних ознак нижче наводяться необхідні математичні співвідношення.

Напруги амплітудно-модульованих сигналів двох цілей на вході амплітудного детектора приймача визначаються за такими співвідношеннями:

$$u_1 = U_{m1} \left\{ 1 + M \cos \left[2\pi F_1 \left(t - \frac{2r_1}{c} \right) + \varphi_{01} \right] + M \cos \left[2\pi F_2 \left(t - \frac{2r_1}{c} \right) + \varphi_{02} \right] \right\} \times \cos \left[2\pi (f - F_{D1}) \left(t - \frac{2r_1}{c} \right) \right]; \quad (5)$$

$$u_2 = U_{m2} \left\{ 1 + M \cos \left[2\pi F_1 \left(t - \frac{2r_2}{c} \right) + \varphi_{01} \right] + M \cos \left[2\pi F_2 \left(t - \frac{2r_2}{c} \right) + \varphi_{02} \right] \right\} \times \cos \left[2\pi (f - F_{D2}) \left(t - \frac{2r_2}{c} \right) \right]; \quad (6)$$

де: u_1, u_2 - миттєві значення напруг луна-сигналів першої і другої цілі, відповідно, на вході амплітудного детектора приймача;

U_{m1}, U_{m2} - амплітуди напруги луна-сигналів першої і другої цілі на вході амплітудного детектора приймача;

M - коефіцієнт модуляції сигналу, що зондує;

f - несуча частота сигналу (або проміжна частота при використанні супергетеродинного приймача);

r_1, r_2 - дальності першої і другої цілі, відповідно;

t - час;

F_1, F_2 - низькі частоти першого і другого сигналів передавача, що модулюють;

$\varphi_{01}, \varphi_{02}$ - початкові фази сигналів, що модулюють, на частотах F_1, F_2 ;

F_{D1}, F_{D2} - доплерівські частоти першої і другої цілі;

c - швидкість світла.

Умовно припускається, що амплітудний детектор приймача має приблизно квадратичну вольт-амперну характеристику, тобто струм на виході детектора пропорційний квадрату вхідної напруги

$$i(t) = A[u_1(t) + u_2(t)]^2, \quad (7)$$

де: A - коефіцієнт вольт-амперної характеристики детектора.

Підставляючи (5), (6) у (7), одержимо такі вирази для складових сигналів на низьких частотах, що модулюють F_1, F_2 , на виході амплітудного детектора

$$u_{F1}(t) = 2AMR_H U_{m1}^2 \cos \left[2\pi F_1 \left(t - \frac{2r_1}{c} \right) + \varphi_{01} \right] + 2AMR_H U_{m2}^2 \cos \left[2\pi F_1 \left(t - \frac{2r_2}{c} \right) + \varphi_{01} \right]; \quad (8)$$

$$u_{F2}(t) = 2AMR_H U_{m1}^2 \cos \left[2\pi F_2 \left(t - \frac{2r_1}{c} \right) + \varphi_{02} \right] + 2AMR_H U_{m2}^2 \cos \left[2\pi F_2 \left(t - \frac{2r_2}{c} \right) + \varphi_{02} \right]; \quad (9)$$

де: $u_{F1}(t), u_{F2}(t)$ - миттєві значення синусоїдальних напруг на низьких частотах F_1 і F_2 , відповідно, на виході амплітудного детектора приймача;

R_H - опір навантаження.

Низькочастотні складові сигналу $u_{F1}(t), u_{F2}(t)$ будуть виділені вузькосмуговими фільтрами 8, 9, а інші складові сигналу, що є на виході детектора, будуть придушені цими фільтрами.

З співвідношень (8), (9) були отримані вирази для амплітуд і фаз низькочастотних сигналів, виділених фільтрами 8, 9. Амплітуди цих сигналів U_{F1}, U_{F2} дорівнюють, відповідно:

$$U_{F1} = 2AMR_H U_{m1}^2 \times \sqrt{1 + \frac{U_{m2}^4}{U_{m1}^4} + 2 \frac{U_{m2}^2}{U_{m1}^2} \cos \left[\frac{4\pi F_1}{c} (r_2 - r_1) \right]}; \quad (10)$$

$$U_{F2} = 2AMR_H U_{m1}^2 \times \sqrt{1 + \frac{U_{m2}^4}{U_{m1}^4} + 2 \frac{U_{m2}^2}{U_{m1}^2} \cos \left[\frac{4\pi F_2}{c} (r_2 - r_1) \right]}. \quad (11)$$

Зсуви фаз φ_1, φ_2 низькочастотних сигналів на виходах фільтрів 8, 9 щодо відповідних сигналів передавача, що модулюють, будуть

$$\varphi_1 = \arctg \frac{\sin \frac{4\pi F_1 r_1}{c} + \frac{U_{m2}^2}{U_{m1}^2} \sin \frac{4\pi F_1 r_2}{c}}{\cos \frac{4\pi F_1 r_1}{c} + \frac{U_{m2}^2}{U_{m1}^2} \cos \frac{4\pi F_1 r_2}{c}}; \quad (12)$$

$$\varphi_2 = \arctg \frac{\sin \frac{4\pi F_2 r_1}{c} + \frac{U_{m2}^2}{U_{m1}^2} \sin \frac{4\pi F_2 r_2}{c}}{\cos \frac{4\pi F_2 r_1}{c} + \frac{U_{m2}^2}{U_{m1}^2} \cos \frac{4\pi F_2 r_2}{c}}. \quad (13)$$

У співвідношеннях (10-13) відношення $p = \frac{U_{m2}^2}{U_{m1}^2}$ дорівнює невідомому відношенню потужностей луна-сигналів другої і першої цілі на виході приймача. Визначаючи це відношення з (12) і (13), прирівнюючи результати і підставляючи результат у відношення (10) до (11), одержимо співвідношення (4) і систему двох трансцендентних рівнянь (2), (3), що рекомендується використовувати для визначення дальностей двох цілей (наприклад, літака і ракети, що наводиться на нього) за результатами виміру зсувів фаз φ_1 , φ_2 і відношенням амплітуд U_{F1}/U_{F2} низькочастотних напруг на виходах фільтрів 8, 9.

Система рівнянь (2), (3) має єдине рішення в області реальних значень дальностей наведення ракети на літак з землі. Це підтверджується розрахунками, результати яких наведені на фіг. 2. На цій фігурі показані розрахункові графіки залежностей між дальностями двох цілей r_1 , r_2 при заданих значеннях зсувів фаз φ_1 , φ_2 і відношення амплітуд напруг U_{F1}/U_{F2} . Один з цих графіків визначений трансцендентним рівнянням (2) (крива 1), а інший - трансцендентним рівнянням (3) (крива 2). Розрахунки проведені для окремого випадку, коли відношення $p = \frac{U_{m2}^2}{U_{m1}^2}$ було прийнято рівним $p=1$, а

відповідні значення φ_1 , φ_2 і U_{F1}/U_{F2} були розраховані за співвідношеннями (12), (13), (10), (11) при таких значеннях параметрів: $F_1=300$ Гц; $F_2=400$ Гц; $r_1=50$ км; $r_2=60$ км. Розрахунки показали, що в зазначеній на фіг. 2 області дальностей система трансцендентних рівнянь (2), (3) має єдине рішення ($r_1=50$ км; $r_2=60$ км), якщо відповідає розрахунковим значенням параметрів φ_1 , φ_2 і U_{F1}/U_{F2} .

Використання двох генераторів напруг передавача, що модулюють, на низьких частотах F_1 , F_2 , двох вузькосмугових фільтрів на виході амплітудного детектора приймача, настроєних на ці частоти, і двох фазовимірювачів принципово необхідне для забезпечення можливості одночасного виміру дальностей двох цілей за допомогою радіолокатора безупинного випромінювання. Слід зазначити, що використання на виході приймача вузькосмугових фільтрів також підвищує перешкодозахищеність радіолокатора від перешкод, що змінюють форму амплітудно-модульованих луна-сигналів цілей.

Таким чином, запропонований пристрій може бути практично реалізований, а зазначені вище його відмінні ознаки є істотними і принципово необхідними для реалізації цього пристрою.

Основні елементи запропонованого пристрою на схемі (фіг. 1) виконані в такий спосіб. Передавач радіолокатора виконаний із генератора 3 безупинного синусоїдального сигналу високої частоти мікрохвильового діапазону, двох генераторів 4, 5 двочастотного сигналу, що модулює, на низьких частотах F_1 , F_2 і амплітудного модулятора 6. Високочастотний сигнал передавача, модульований по амплітуді сумою двох низькочастотних напруг однакової амплітуди на низьких частотах F_1 , F_2 . Ці частоти повинні бути достатньо низькими для того, щоб забезпечувалася однозначність виміру дальностей фазовим радіолокатором, і зсуви фаз φ_1 , φ_2 не перевищували 2π . Генератор 4, 5 напруг передавача, що модулюють, має по два виходи, один з яких (вихід високого рівня) пов'язаний із модулятором 6, а інший (низького рівня) - з відповідним фазовимірювачем. Антена, що передає 1, повинна бути екранована від приймальної антени 2 (наприклад, за допомогою плоского металевого екрана, розташованого між антенами) для того, щоб прямі сигнали передавача не потрапляли в приймальну антену і не заважали приймати луна-сигнали цілей.

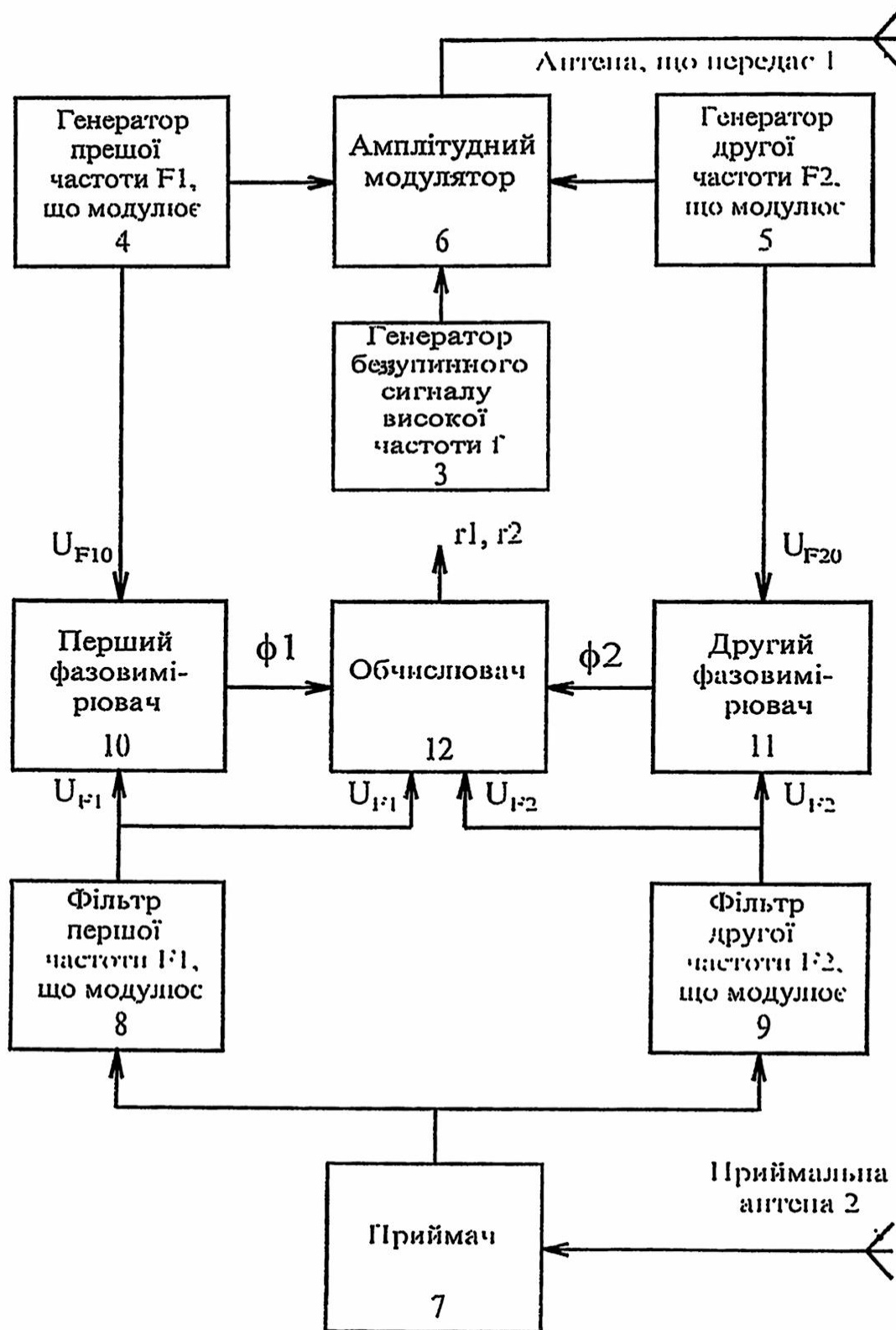
Приймач 7 виконаний у вигляді звичайного супергетеродинного приймача з амплітудним детектором, що повинен мати приблизно квадратичну вольт-амперну характеристику. Фільтри 8, 9 настроєні на частоти F_1 , F_2 , відповідно, і повинні бути вузькосмуговими. Ці фільтри можуть бути виконані, наприклад, у вигляді відомих активних фільтрів на транзисторах і R-C елементах. Фазовимірювачі 10, 11 не відрізняються від фазовимірювача прототипу. Обчислювач 12, виконаний у вигляді мікроЕОМ для рішення системи двох трансцендентних рівнянь (2), (3) за результатами вимірів φ_1 , φ_2 і U_{F1}/U_{F2} .

Динаміка роботи запропонованого пристрою здійснюється в такому чином. Передавач формує, а антена, що передає, 1 випромінює безупинний високочастотний сигнал, що зондує, модульований по амплітуді двома низькочастотними напругами на частотах F_1 , F_2 . Приймальна антена 2 приймає амплітудно-модульовані луна-сигнали двох цілей одночасно. Приймач 7 посилює луна-сигнали цілей. Вузькосмугові фільтри 8, 9 виділяють із вихідної напруги приймача синусоїдальні сигнали на низьких частотах F_1 , F_2 . Фазовимірювачі 10, 11 вимірюють зсуви фаз φ_1 , φ_2 цих сигналів щодо напруг передавача, що модулюють. Обчислювач 12 обчислює дальності двох цілей за результатами виміру зсувів фаз φ_1 , φ_2 і відношенню амплітуд U_{F1}/U_{F2} вихідних напруг фільтрів 8, 9 шляхом рішення системи двох рівнянь (2), (3).

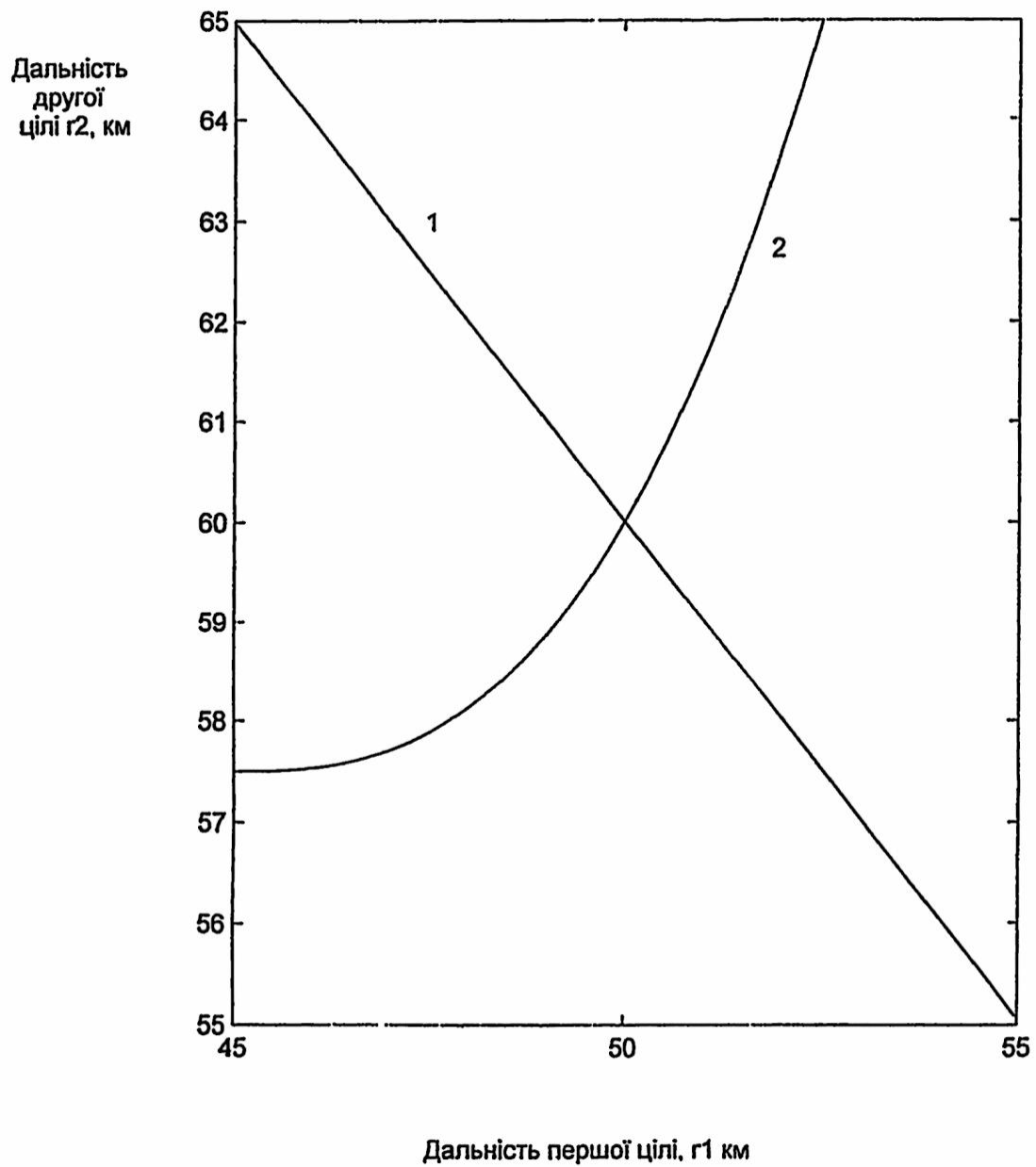
Таким чином, запропонований пристрій вирішує поставлену задачу, усуває відзначену хибу прототипу і забезпечує одночасний вимір дальності двох цілей за допомогою фазового радіолокатора безупинного випромінювання.

Джерела інформації:

1. Педак А.М., Баклашов П.И. и др. Справочник по основам радиолокационной техники / Под ред. В.В. Дружинина. - М.: Военное издательство, 1967. - С. 23, 24, рис. 1.13 (прототип).



Фіг. 1



Фіг. 2

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
 Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
 (044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60x84 1/8.
 Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
 (044) 268-25-22
