



УКРАЇНА

(19) UA (11) 41531 (13) A

(51) B G01S11/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) РАДІОЛОКАЦІЙНИЙ ВИМІРНИК РАДІАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ ЦІЛІ

1

2

(21) 99042377
(22) 27.04.1999
(24) 17.09.2001
(46) 17.09.2001, Бюл. № 8, 2001 р.
(72) Порошин Сергій Михайлович
(73) Харківський державний політехнічний університет
(57) Радіолокаційний вимірник радіальної швидкості цілі, що містить приймально-передаючу антену, передавач у вигляді генератора високої частоти f_0 , приймач з амплітудним детектором, підсилювач частот Допплера та індикатор, який відрізняється тим, що до складу передавача додатково включений генератор високої частоти

$f_0 + \Delta f$, що періодично перестроюється, девіація частоти якого Δf має величину у межах від 0 до подвоєного значення максимально можливої доплеровської частоти $2F_{DM}$, на виході підсилювача частот Допплера додатково включений фільтр-пробка, що перестроюється на частоту Δf , на виході якого встановлений фільтр, що перестроюється на частоту $\Delta f/2$, зв'язаний з індикатором, індикатор виконаний у вигляді електронно-променевої трубки, горизонтальна розгортка якої пропорційна девіації частоти Δf , а вертикальна розгортка пропорційна амплітуді сигналу з виходу фільтру, що перестроюється.

Вінахід відноситься до галузі радіолокації і може бути використаний у наземних імпульсних радіолокаціях мікрохвильового діапазону або у радіолокаціях безперервного випромінювання для виміру радіальних швидкостей повітряних цілей та забезпечення розв'язання по радіальній швидкості.

Відомий радіолокаційний вимірник радіальних швидкостей цілей по частоті Допплера [1], в якому для розв'язання доплерівських частот цілей використаний набір вузькополосних доплерівських фільтрів. Радіальну швидкість цілі визначають по частоті Допплера за допомогою відомого співвідношення, а частоту Допплера визначають по резонансній частоті того фільтру, на виході якого з'явиться сигнал цілі [1].

Недоліком такого аналогу є те, що для розв'язання доплерівських частот декількох цілей використовують великий набір вузькополосних доплерівських фільтрів та великий набір індикаторів на виході кожного фільтру, тобто конструкція приймальної системи радіолокатора складна і її важко реалізувати.

Другий недолік аналогу полягає у тому, що при обмеженій (прийнятій для реалізації) кількості доплерівських фільтрів точність виміру радіальної швидкості буде низькою.

Як прототип вибраний доплерівський радіолокатор безперервного випромінювання [1]. Про-

тотип містить приймально-передаючу антену, передавач безперервних вагань високої частоти f_0 , приймач з амплітудним детектором, підсилювач доплерівської частоти та індикатор (наприклад, у вигляді вимірника частоти Допплера). Радіальну швидкість цілі у прототипі визначають по зміряній частоті Допплера з допомогою відомого співвідношення. Частоту Допплера цілі виділяють на виході детектора приймача, що приймає водночас як луна-сигнали рухомої цілі, так і прямий безперервний зондуєчий сигнал передавача [1].

Недоліком прототипу є те, що такий радіолокатор не володіє розв'язанням по радіальній швидкості і не може водночас вимірювати радіальні швидкості декількох цілей.

Інший недолік прототипу полягає в тому, що він не може вимірювати дальність цілі.

В основу винаходу поставлена задача вдосконалення радіолокаційного вимірника радіальної швидкості цілі, в якому за рахунок включення до складу приладу генератора високої частоти, що періодично перестроюється із девіацією частоти Δf , фільтру-пробки, що перестроюється на частоту Δf та фільтру, що перестроюється на частоту $\Delta f/2$, забезпечується розв'язання цілей по радіальній швидкості на загальному амплітудному індикаторі, розгортка якого пропорційна девіації частоти Δf .

Поставлена задача вирішується тим, що у радіолокаційному вимірникові радіальної швидкості

(13) A

(11) 41531

(19) UA

цілі, що містить приймально-передаючу антену, передавач у вигляді генератора високої частоти f_0 , приймач з амплітудним детектором, підсилювач частот Доплера та індикатор, згідно винаходу

у склад передавача додатково включений генератор високої частоти $f_0 + \Delta f$, що періодично перестроюється, девіація частоти якого Δf має величину у межах від 0 до подвоєного значення максимально можливої доплерівської частоти $2F_{Dm}$;

на виході підсилювача частот Доплера додатково включений фільтр-пробка, що перестроюється на частоту Δf , на виході якого встановлений фільтр, що перестроюється на частоту $\Delta f/2$, зв'язаний з індикатором;

індикатор виконаний у вигляді електронно-променевої трубки, горизонтальна розгортка якої пропорційна девіації частоти Δf , а вертикальна розгортка пропорційна амплітуді сигналу з виходу фільтру, що перестроюється.

Частоти Доплера (або радіальні швидкості цілей) визначають по максимумам сигналів на амплітудному індикаторі, при цьому частота Доплера вдвічі менш значення девіації частоти Δf , відповідного максимуму сигналу.

Запропоноване виконання передавача та амплітудного індикатора радіолокатора, а також додаткове включення до складу приладу фільтру-пробки і фільтру, що перестроюється, забезпечують розв'язання цілей по радіальній швидкості на одному загальному індикаторі, що значно розширює можливості приладу у порівнянні з прототипом. У порівнянні із зазначеним вище аналогом запропонований прилад спрощує конструкцію приймальної системи, не вимагає великої кількості доплерівських фільтрів та підвищує точність виміру радіальної швидкості цілей. Крім того, слідує відзначити, що запропонований прилад може бути використаний також в імпульсних радіолокаторах, для виміру як радіальних швидкостей, так і дальності цілей. При цьому період зміни частоти генератора передавача, що перестроюється може бути значно більше періоду проходження імпульсів/

Технічна суттєвість та принцип дії запропонованого приладу пояснюються фіг.1, 2. На фіг.1 представлена спрощена структурна схема запропонованого радіолокатора, а на фіг.2 представлений розрахунковий графік залежності амплітуди сигналу на вході індикатора від нормованого значення $x = \Delta f/2F_D$ девіації частоти генератора передавача, що перестроюється.

До складу запропонованого приладу на схемі фіг.1 входять такі основні елементи:

- приймально-передаюча антена 1;
- генератор високої частоти f_0 передавача 2;
- генератор, що перестроюється 3 високої частоти $f_0 + \Delta f$ передавача, девіація частоти якого Δf періодично змінюється у межах від 0 до подвоєної максимально можливої доплерівської частоти сигналу цілі $2F_{Dm}$;
- приймач 4 (наприклад, приймач прямого підсилення);
- амплітудний детектор приймача 5;
- підсилювач частот Доплера 6;
- фільтр-пробка, що перестроюється 7? частота придушення якого рівна девіації частоти Δf пере-

давача і перестроюється у відповідності з поточним значенням цієї девіації;

фільтр, що перестроюється 8, резонансна частота якого рівна $\Delta f/2$ і перестроюється у відповідності з поточним значенням девіації частоти передавача;

амплітудний індикатор радіальної швидкості 9 у вигляді електронно-променевої трубки, горизонтальна розгортка якої пропорційна девіації частоти Δf передавача.

Принцип дії запропонованого приладу пояснюється наступним. Передавач радіолокатора виконаний з двочастотним сигналом із двох генераторів: генератора високої частоти f_0 і генератора високої частоти $f_0 + \Delta f$, що періодично перестроюється девіація частоти якого Δf плавно змінюється у межах від 0 до $2F_{Dm}$, тобто у порівняно невеликих межах. Приймач радіолокатора водночас приймає як луна-сигнали цілей, так і дві несучих частоти передавача f_0 та $f_0 + \Delta f$. На виході амплітудного детектора приймача будуть виділені доплерівські частоти, рівні різницям частот луна-сигналів цілей і зондуючих сигналів передавача. Фільтр-пробка 7 не пропускає на вихід різничну частоту Δf зондуючих сигналів передавача, а фільтр, що перестроюється виділяє сигнал на частоті $\Delta f/2$. Розрахунки показали, що сигнал від відповідної цілі на вході фільтру, що перестроюється 8 буде максимальний, коли девіація частоти Δf передавача буде вдвічі більше доплерівської частоти F_D цієї цілі, тобто за умови

$$\Delta f = 2F_D, \quad (1)$$

де Δf - поточне значення девіації частоти передавача;

F_D - доплерівська частота відповідної цілі.

Це забезпечує розв'язання цілей по радіальній швидкості і дозволяє визначити доплерівські частоти (і радіальні швидкості) цілей по максимумам сигналів на екрані загального амплітудного індикатора, горизонтальна розгортка якого пропорційна значенню поточної девіації частоти Δf передавача.

Для обґрунтування можливості практичної реалізації запропонованого технічного рішення та його істотних відмінних ознак нижче приводяться необхідні математичні співвідношення. При цьому для спрощення аналізу проводиться для однієї з цілей і наближено вважається, що амплітудний детектор приймача має приблизно квадратичну вольт-амперну характеристику. Приймач прямого підсилення 4 водночас приймає луна-сигнали цілей та зондуючі сигнали передавача на двох близьких частотах, напруга сигналу на виході амплітудного детектора 5 буде

$$U_0 = aR_H \{ U_{m1} \cos(2\pi f_0 t + \varphi_1) + U_{m2} \cos[2\pi(f_0 - \Delta f)t + \varphi_2] + U_{c1} \cos[2\pi(f_0 - F_D)t + \varphi_3] + U_{c2} \cos[2\pi(f_0 - \Delta f - F_D)t + \varphi_4] \}^2, \quad (2)$$

де U_0 - напруга на виході амплітудного детектора приймача;

a - коефіцієнт вольт-амперної характеристики детектора;

R_H - опір навантаження амплітудного детектора;

U_{m1}, U_{m2} - амплітуди напруг сигналів передавача на виході приймача;

$\varphi_{0\varphi_1}$ - початкові фази сигналів передавача на виході приймача;

f_0 - несуча частота генератора передавача;
 Δf - поточне значення девіації частоти генератора передавача, що перестроюється;
 t - час;

U_{c1}, U_{c2} - амплітуди напруг луна-сигналів цілі на першій та другій частотах передавача;

φ_2, φ_3 - початкові фази луна-сигналів цілі на виході приймача;

F_D - частота Допплера сигналу цілі.

З виразу (2) видно, що напруга на виході амплітудного детектора містить складові на сумарних частотах, постійну складову, складову на частоті Δf , складову на частотах $\Delta f + F_D$ та $\Delta f - F_D$ і складову на частоті Допплера F_D . Постійна складова та складова на частоті Δf будуть подавлені фільтром-пробкою 7. Фільтри 7, 8 подавлять також складову на сумарних частотах. Тому для напруги на вході індикатора 9 можна приблизно записати наступне вираження

$$U = aK_p K_r K_n K_e \{ U_{m1} U_{c1} \cos(2\pi F_D t + \varphi_2 - \varphi_1) + U_{m1} U_{c1} \cos(2\pi F_D t + \varphi_1 - \varphi_2) + U_{m1} U_{c1} \cos[2\pi(\Delta f - F_D)t + \varphi_1 - \varphi_2] + U_{m1} U_{c1} \cos[2\pi(\Delta f + F_D)t + \varphi_2 - \varphi_1] \}, \quad (3)$$

де K_p - коефіцієнт підсилення підсилювача частот Допплера;

K_n - коефіцієнт передачі фільтру-пробки 7;

K_e - коефіцієнт передачі фільтру, що перестроюється 8, а інші позначки були пояснені вище.

Розрахунки по формулі (3) показали, що амплітуда напруги U на вході індикатора залежить від девіації частоти Δf і буде максимальна при виконанні умови (1). Це справедливо майже при будь-яких співвідношеннях початкових фаз сигналів (за рідким винятком). Це можна бачити з розрахункового графіка на фіг.2, де представлена залежність нормірованої амплітуди сигналу на вході індикатора від нормірованої девіації частоти $x = \Delta f / 2F_D$. Цей приватний випадок розрахунку проведений для нульового значення початкової фази сигналу. З фіг.2 видно, що при $\Delta f = 2F_D$ сигнал має різко виражений максимум і по цьому максимуму можна визначити відповідне значення девіації частоти Δf , частоту Допплера відповідної цілі $F_D = \Delta f / 2$ та радіальну швидкість цілі. Для іншої цілі частота Допплера буде другою і максимум сигналу буде при іншому значенні девіації частоти Δf . Тобто запропонований прилад володіє розподілом по радіальній швидкості і дозволяє визначити її з допомогою загального амплітудного індикатора, горизонтальна розгортка якого пропорційна поточній девіації частоти Δf генератора передавача, що перестроюється.

Фільтр-пробка 7 необхіден для того, щоб не пропустити на вихід інтенсивну складову на різничній частоті генераторів передавача.

Таким чином, запропонований прилад може бути практично реалізовано, а відзначені вище відмінні признаки є вагомими і принципово необхідні для реалізації приладу.

Основні елементи запропонованого приладу на схемі фіг.1 виконані наступним чином. Антена 1, генератор 2 високої частоти f_0 , приймач 4, амплітудний детектор 5 та підсилювач частот Допплера 6 не відрізняються від відповідних елементів прототипу. Приймач 4 може бути виконаний у вигляді приймача прямого підсилення, або у вигляді супергетеродинного приймача. Структурна схема побудови приймача для останнього випадку також

приведена у літературі [1]. Амплітудний детектор 5 має приблизно квадратичну вольт-амперну характеристику. Генератор 3 високої частоти $f_0 + \Delta f$, що перестроюється може бути виконаний, наприклад, у вигляді відомого генератора, що управляється напругою. Управляюча напруга цього генератора має пилообразну форму з порівняно великим періодом повторення пили. Межі зміни девіації частоти Δf генератора 3 порівняно малі і знаходяться в інтервалі від 0 до F_{DM} . Фільтр-пробка 7, що перестроюється на частоту подавлення Δf може бути виконано у вигляді аналогового фільтру з конденсаторами, ємність яких змінюється електричне за допомогою пилообразно управляючої напруги генератора 3 передавача. Можливо також виконання цього фільтру у вигляді цифрового фільтру, що управляється. Фільтр, що перестроюється 8 на частоту $\Delta f / 2$ також перестроюється управляючою пилообразною напругою генератора 3 передавача і також може бути виконаний або в аналоговій, або у цифровій формі. Амплітудний індикатор радіальної швидкості 9 виконаний у вигляді електронно-променевої трубки, горизонтальна розгортка якої пропорційна поточній девіації частоти Δf передавача. Як напругу розгортки можна використати управляючу пилообразну напругу генератора 3. Горизонтальну шкалу екрану індикатора 9 можна проградувати у значеннях радіальної швидкості, а радіальні швидкості цілей зчитувати по цій шкалі по максимумам напруги на індикаторі.

Слідє відзначити, що запропонований прилад (з невеликими змінами) можна також використовувати в імпульсних радіолокаторах. Для цього до складу радіолокатора слідє включити антенний перемикач антени з передачі на прийом, а генератори 2, 3 повинні мати імпульсні модулятори. Невелика частина енергії генераторів 2, 3 (до модуляторів) повинна надходити у канал прийому, бо для роботи приймача принципово необхідні напруги на частотах f_0 та $f_0 + \Delta f$. При виявленні цілей в області зворотного завадового відбиття від землі в якості цих напруг можна використати також пасивні завади від земної поверхні, тоді зв'язок приймача з генераторами 2, 3 не обов'язковий. При цьому період зміни частоти генератора 3 (період управляючої пилообразної напруги) повинен бути значно більше періоду проходження зондуєчих імпульсів передавача. Крім того, на виході підсилювача частот Допплера 6 слідє додатково включити фільтр-пробку на частоту проходження зондуєчих імпульсів передавача. Використання запропонованого приладу в імпульсному радіолокаторі забезпечує одночасний вимір радіальних швидкостей і дальностей, при цьому для виміру дальностей слідє використати додатковий індикатор дальності.

Динаміка роботи запропонованого приладу здійснюється наступним чином. Генератори 2, 3 передавача генерують безперервні синусоїдальні напруги на частотах f_0 та $f_0 + \Delta f$, а антена 1 випромінює двохчастотний зондуєчий сигнал на цих частотах.

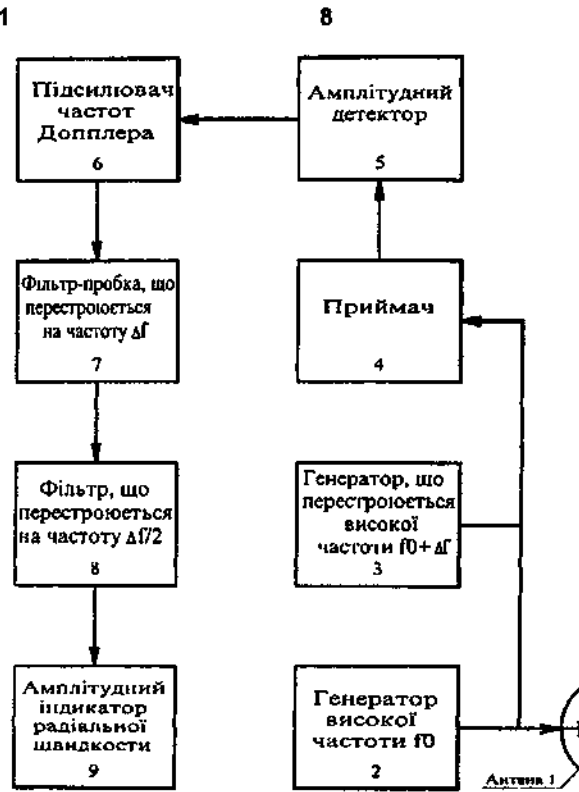
Девіація частоти Δf генератора 3 періодично змінюється по лінійному закону у межах від 0 до $2F_{DM}$. Приймач 4 з амплітудним детектором 5 приймає, посилює і детектує луну-сигнали цілей і

прямі сигнали передавача. На виході амплітудного детектора 5 виділяються сигнали на частотах F_D та $\Delta f \pm F_D$, а також складові на сумарних частотах і на частоті Δf . Останні складові придушуються фільтрами 7, 8, а складові на частотах F_D та $\Delta f \pm F_D$ проходять на вхід індикатора 9. Амплітуда сигналу на вході індикатора 9 буде максимальна при $\Delta f = 2F_D$. Горизонтальна розгортка індикатора 9 пропорційна поточному значенню девіації частоти Δf , що дозволяє розв'язувати цілі по радіальній швидкості по максимумам сигналів на екрані індикатора 9 і визначити доплерівські частоти та радіальні швидкості цілей по цьому індикатору.

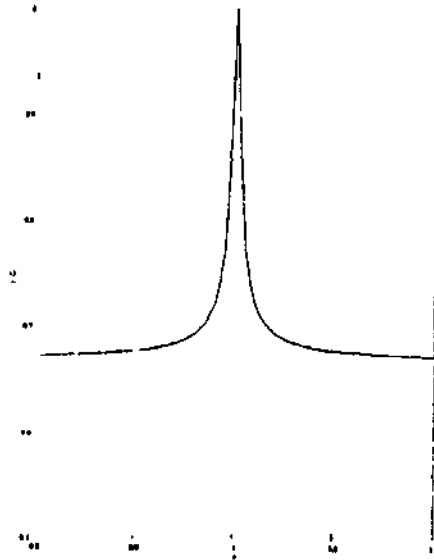
Таким чином, запропонований прилад вирішує поставлену задачу, усуває відзначені недоліки аналогу і прототипу та забезпечує можливість розв'язування цілей по радіальній швидкості за допомогою одного загального амплітудного індикатора у радіолокаторі безперервного випромінювання. Для розподілу частот Допплера не має потреби використовувати великий набір вузькополосних доплерівських фільтрів, що істотно спрощує технічні засоби реалізації і підвищує точність виміру радіальної швидкості. Запропонований прилад можна також використовувати в імпульсних радіолокаторах.

Джерела інформації

1. Сколник М. Введение в технику радиолокационных систем. Пер. с англ. под ред. К. Н. Трофимова. - М.: «Мир», 1965, С. 94, 95, фиг.3.2, (прототип)



Фиг.1



Фиг.2

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)

вул. Сім'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна

(044) 456 - 20 - 90