



УКРАЇНА

(19) UA (11) 76110 (13) C2  
(51) МПК (2006)  
G01R 29/08МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

## (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ

1

2

(21) 2003010059

(22) 02.01.2003

(24) 17.07.2006

(46) 17.07.2006, Бюл. № 7, 2006 р.

(72) Широков Ігор Борисович

(73) Севастопольський державний технічний університет

(56) SU 1718149 A1, 07.03.1992

SU 1277024 A1, 15.12.1986

RU 93047478 A, 10.03.1996

RU 94018110 A1, 27.02.1996

RU 94009017 A1, 20.03.1996

RU 2076333 C1, 27.03.1997

RU 2141674 C1, 20.11.1999

RU 2184980 C1, 10.07.2001

JP 2001044904, 16.02.2001

JP 2000278204, 06.10.2000

JP 2000106696, 11.04.2000

JP 7123075, 12.05.1995

GB 1179410, 28.01.1970

(57) Спосіб визначення механізму поширення радіохвиль, що включає випромінювання і прийом неперервних високочастотних коливань, який **відрізняється** тим, що спочатку в чотирьох незалежних каналах генерують неперервні високочастотні коливання з чотирма різними, що мало відрізняються одна від одної, частотами  $f_1, f_2, f_3, f_4$  і через чотири рознесені в просторі антени ці неперервні високочастотні коливання первинно випромінюють у напрямку п'ятої антени, причому перші три антени розташовують в одній площині, перпендикулярній напрямку поширення радіохвиль, четвертий антену розташовують на деякій відомій відстані від площини розташування перших трьох антен уздовж осі поширення радіохвиль, при цьому неперервні високочастотні коливання з частотами  $f_1, f_2, f_3, f_4$  п'ятою антенною первинно приймають і вводять у них монотонно наростаюче фазове зрушення, причому трансформовані в такий спосіб по частоті неперервні високочастотні коливання з частотами  $f'_1 = f_1 + F, f'_2 = f_2 + F, f'_3 = f_3 + F, f'_4 = f_4 + F$  перевипромінюють у напрямку рознесених у просторі антен первинного випромінювання, де всі чотири ці удруге випромінені коливання антенами первинного випромінювання вторинно приймають, змішують з вихідними неперервними високочастотними коливаннями і виділяють комбінаційні низь-

кочастотні складові різниці вихідних неперервних високочастотних коливань і вторинно прийнятих трансформованих по частоті неперервних високочастотних коливань, причому у тому каналі, де генерують високочастотні коливання з частотою  $f_1$ , виділяють комбінаційну низькочастотну складову з частотою  $F = f'_1 - f_1$ , у тому каналі, де генерують високочастотні коливання з частотою  $f_2$ , виділяють комбінаційну низькочастотну складову з частотою  $F = f'_2 - f_2$ , у тому каналі, де генерують високочастотні коливання з частотою  $f_3$ , виділяють комбінаційну низькочастотну складову з частотою  $F = f'_3 - f_3$ , у тому каналі, де генерують високочастотні коливання з частотою  $f_4$ , виділяють комбінаційну низькочастотну складову з частотою  $F = f'_4 - f_4$ , після чого вимірюють різниці фаз між комбінаційними низькочастотними коливаннями, одержуваними на виході першого каналу, і комбінаційними низькочастотними коливаннями на виходах інших трьох каналів вторинного прийому, при цьому в кожному каналі вимірюють амплітуду комбінаційних низькочастотних складових, при цьому за отриманим амплітудно-фазовим розподілом в площині розташування перших трьох антен первинного випромінювання і вторинного прийому визначають положення передбачуваної з фронту прийнятих радіохвиль і при відомій відстані між площиною розташування перших трьох антен і четвертою антенною первинного випромінювання і вторинного прийому розраховують значення амплітуди і набігу фази прийнятої радіохвилі в місці розташування четвертої антени первинного випромінювання і вторинного прийому, після чого порівнюють розраховані значення амплітуди і набігу фази в місці розташування четвертої антени первинного випромінювання і вторинного прийому з обмірюваними, при цьому, якщо кореляція між розрахованими і вимірюваними значеннями амплітуди і набігу фази висока, то роблять висновок про те, що переважає хвильоводний характер поширення радіохвиль, якщо кореляція низька, то роблять висновок про те, що переважає багатопроменевий характер поширення радіохвиль, причому просторове рознесення між антенами первинного випромінювання вільно змінюють залежно від вимірів, що проводять.

(19) UA (11) 76110 (13) C2

Винахід відноситься до області техніки електричних вимірів і може бути використаний при випромінюванні поширення радіохвиль на відкритих трасах.

Відомі способи і засоби дослідження процесів поширення радіохвиль, засновані на вимірі флуктуацій амплітуди прийнятих сигналів [див., наприклад, кн. Б.А.Введенский. Распространение ультракоротких волн. - М.: Наука, 1973.- 408с]. Однак проведені експериментальні дослідження не дають повного представлення про процеси, що відбуваються при поширенні радіохвиль.

Найбільш близькими по технічній суті до передбачуваного винаходу є спосіб визначення кута приходу радіохвиль, заснований на вимірі різниці фаз між сигналами в двох рознесених точках простору [А.С. №1718149 (СРСР), од. у БВ №9 07.03.1992 G01R29/08].

По цьому способі визначення кута приходу радіохвиль спочатку в двох незалежних каналах генерують неперервні високочастотні коливання з двома різними частотами  $f_1$  і  $f_2$ , що мало відрізняються одна від одної. Через дві рознесені в просторі антени ці неперервні високочастотні коливання первинно випромінюють у напрямку третьої антени, де обоє ці неперервні високочастотні коливання первинно приймають і вводять у них монотонно наростаюче фазове зрушення. Трансформовані таким чином по частоті неперервні високочастотні коливання з частотами  $f_1' = f_1 + F$  і  $f_2' = f_2 + F$  перевипромінюють у напрямку рознесених у просторі антен первинного випромінювання, де обоє ці удруге випромінюють антенами первинною випромінювання вторинне приймають, змішують з вихідними неперервними високочастотними коливаннями і виділяють комбінаційні низькочастотні складові різниці вихідних неперервних високочастотних коливань і повторно прийнятих трансформованих по частоті неперервних високочастотних коливань. У тім каналі, де генерують високочастотні коливання з частотою  $f_1$ .

виділяють комбінаційну низькочастотну складову з частотою  $F = f_1' - f_1$ , а в тім каналі, де генерують високочастотні коливання з частотою  $f_2$ , виділяють комбінаційну низькочастотну складову з частотою  $F = f_2' - f_2$ , після чого вимірюють різницю фаз між цими двома комбінаційними низькочастотними складовими. На основі виміру різниці фаз і відомої відстані між антенами розраховують кут приходу радіохвиль по формулі:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{\Delta\varphi \cdot \lambda}{2 \cdot \pi \cdot d}\right),$$

де  $\Delta\varphi$  - вимірювана різниця фаз;  $\lambda$  - довжина хвилі випромінювання;  $d$  - відстань між прийомними антенами (база інтерферометра). На практиці кути приходу радіохвиль малі, тому для збільшення точності визначення кута приходу необхідно збільшувати базу інтерферометра. Просторове рознесення між первинно випромінюючими антенами можна вільно змінювати в залежності від проведених вимірів, тому що антени первинного

випромінювання і вторинного прийому не зв'язані між собою фазостабільними фідерами.

Однак приведений спосіб виміру кутів приходу радіохвиль не дає повного представлення про процеси, що відбуваються в каналі зв'язку. Зокрема, при зміні показника переломлення середовища, флуктуації набігу фаз і амплітуд прийнятих сигналів при поширенні радіохвиль від однієї точки вимірювальної траси до іншої можуть досягати значних величин. У будь-якому випадку, вимірювана різниця фаз не дає можливості визначити яким був механізм поширення радіохвиль - хвилевідний чи багатопроменевий.

В основу винаходу поставлена задача визначення механізму поширення радіохвиль. Вона вирішується завдяки тому, що спочатку в чотирьох незалежних каналах генерують неперервні високочастотні коливання з чотирма різними частотами  $f_1, f_2, f_3$  і  $f_4$ , що мало відрізняються одна від одної, і через чотири рознесені в просторі антени ці неперервні високочастотні коливання первинно випромінюють у напрямку п'ятої антени, причому перші три антени розташовують в одній площині, перпендикулярно напрямку поширення радіохвиль, четверту антену розташовують на деякій відомій відстані від площини розташування перших трьох антен уздовж осі поширення радіохвиль, при цьому неперервні високочастотні коливання з частотами  $f_1, f_2, f_3$  і  $f_4$  п'ятою антеною первинно приймають і вводять у них монотонно наростаюче фазове зрушення, причому трансформовані в такий спосіб по частоті неперервні високочастотні коливання з частотами  $f_1' = f_1 + F, f_2' = f_2 + F, f_3' = f_3 + F$  і  $f_4' = f_4 + F$  перевипромінюють у напрямку рознесених у просторі антен первинного випромінювання, де всі чотири ці удруге випромінюють антенами первинною випромінювання вторинне приймають, змішують з вихідними неперервними високочастотними коливаннями і виділяють комбінаційні низькочастотні складові різниці вихідних неперервних високочастотних коливань і вторинне прийнятих трансформованих по частоті неперервних високочастотних коливань, причому в тім каналі, де генерують високочастотні коливання з частотою  $f_1$  виділяють комбінаційну низькочастотну складову з частотою  $F = f_1' - f_1$ , у тім каналі, де генерують високочастотні коливання з частотою  $f_2$  виділяють комбінаційну низькочастотну складову з частотою  $F = f_2' - f_2$ , у тім каналі, де генерують високочастотні коливання з частотою  $f_3$  виділяють комбінаційну низькочастотну складову з частотою  $F = f_3' - f_3$ , у тім каналі, де генерують високочастотні коливання з частотою  $f_4$  виділяють комбінаційну низькочастотну складову з частотою  $F = f_4' - f_4$ , після чого вимірюють різницю фаз між комбінаційними низькочастотними коливаннями, одержуваними на виході першого каналу, і комбінаційними низькочастотними коливаннями на виходах інших трьох каналів вторинного прийому, при цьому в кожному каналі вимірюють амплітуду комбінаційних низькочастотних складових, при цьому по отриманому амплітудно-фазовому розподілі в площині розташування

перших трьох антен первинного випромінювання і вторинного прийому визначають положення передбачуваного фронту прийнятих радіохвиль і при відомій відстані між площиною розташування перших трьох антен і четвертою антеною первинного випромінювання і вторинною прийому розраховують значення амплітуди і набігу фази прийнятої радіохвилі в місці розташування четвертої антени первинного випромінювання і вторинного прийому, після чого порівнюють розраховані значення амплітуди і набігу фази в місці розташування четвертої антени первинного випромінювання і вторинного прийому з вимірюваними, при цьому якщо кореляція між розрахованими і вимірюваними значеннями амплітуди і набігу фази висока, то роблять вивід про те, що переважає хвильоводний характер поширення радіохвиль, якщо кореляція низька, то роблять вивід про те, що переважає багатопроменевий характер поширення радіохвиль, причому просторове рознесення між антенами первинного випромінювання вільно змінюють у залежності від вимірів, що проводять.

Порівняння передбачуваного винаходу з уже відомими способами і прототипом показує, що спосіб, що заявляється, виявляє нові технічні властивості, що полягають у можливості крім визначення кута приходу радіохвиль визначати механізм поширення радіохвиль.

Ці властивості передбачуваного винаходу є новими, тому що в способі-прототипі через недоліки, що полягають в організації тільки двох каналів інтерферометра, не утримуючих детекторів амплітуди, можливий вимір тільки різниці фаз між комбінаційними низькочастотними складовими в обох каналах інтерферометра одночасно і, відповідно, визначення тільки кута приходу радіохвиль. У пропонуваному способі визначення механізму поширення радіохвиль, у первинно прийнятті неперервні високочастотні коливання з частотами  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  і  $f_4$  від чотирьох незалежних високочастотних генераторів, випромнені через чотири незалежні, рознесені в просторі антени первинного випромінювання, уводять монотонно наростаюче фазове зрушення, уводячи тим самим у вихідні неперервні високочастотні коливання однаковий доплерівський зсув частоти  $f_1' = f_1 + F$ ,  $f_2' = f_2 + F$ ,  $f_3' = f_3 + F$  і  $f_4' = f_4 + F$  з однаковою початковою фазою. На іншому кінці траси вторинне прийняті, трансформовані по частоті, неперервні високочастотні коливання змішують з вихідними і виділяють у всіх чотирьох каналах комбінаційні низькочастотні складові з однаковими частотами Доплера, причому в тім каналі, де генерують коливання з частотою  $f_1$ , виділяють складову  $f_1' + F - f_1 = F$ , а в тім каналі, де генерують коливання з частотою  $f_2$  виділяють складову  $f_2' + F - f_2 = F$ , у тім каналі, де генерують коливання з частотою  $f_3$  виділяють складову  $F = f_3' - f_3$ , у тім каналі, де генерують коливання з частотою  $f_4$  виділяють складову  $F = f_4' - f_4$ . Після цього вимірюють різниці фаз між комбінаційними низькочастотними коливаннями частотою  $F$  на виході першого каналу і трьома іншими комбінаційними низькочастотними складовими з однаковими частотами  $F$ , вимірюючи тим самим флуктуації різниці фаз високочастотних коливань у всіх точках прийому. Окремо вимірюють амплітуди комбінаційних скла-

дових у всіх чотирьох каналах. По вимірюваним даним перших трьох каналів визначають положення передбачуваного плоского фронту приходу радіохвиль і його флуктуації і розраховують амплітуду і фазу електромагнітної хвилі в місці розташування четвертої антени. Проводячи виміру амплітуди і різниці фаз низькочастотних коливань на виході четвертого каналу, порівнюють обмірювані дані з розрахованими. Якщо ступінь кореляції між розрахованими даними й вимірюваними на виході четвертого каналу висока, то фронт приходу радіохвилі дійсно плоский і переважає, таким чином, хвильоводний характер поширення радіохвиль. Якщо обмірювані і розраховані дані відрізняються в значній мірі, то в місці розташування кожної антени первинного випромінювання і вторинного прийому має місце інтерференція декількох променів, тобто переважає багатопроменевий характер поширення радіохвиль.

У способі визначення механізму поширення радіохвиль, що заявляється, немає необхідності генерувати коливання окремого гетеродина і підводити їх по фазостабільним фідерам до змішувачів усіх чотирьох каналів. Це виключає відповідну складову погрішності і, крім того, робить канали вимірювальної установки зовсім незалежними один від одного, тобто не зв'язаними твердим фазостабільним фідером, що дозволяє вільно в процесі вимірів змінювати просторове рознесення між антенами первинного випромінювання і вторинного прийому.

Зазначений спосіб визначення механізму поширення радіохвиль можна реалізувати за допомогою пристрою приведенного на Фіг.1.

Пристрій для визначення механізму поширення радіохвиль містить генератори високочастотних коливань 1, 2, 3 і 4, Y-циркулятори 5, 6, 7 і 8, антени первинного випромінювання і вторинного прийому 9, 10, 11 і 12, змішувачі 13, 14, 15 і 16, фазометри 17, 18 і 19, амплітудні детектори 20, 21, 22 і 23, антену первинного прийому і вторинного випромінювання 24, керований фазообертач 25, низькочастотний генератор 26.

Вихід генератора високочастотних коливань 1 з'єднаний з першим виводом Y-циркулятора 5, другий вивід якого з'єднаний з антеною первинного випромінювання і вторинного прийому 9, а третій вивід Y-циркулятора 5 з'єднаний із входом змішувача 13, вихід якого з'єднаний із входом амплітудного детектора 20 і першими входами фазометрів 17, 18 і 19, причому вихід генератора високочастотних коливань 2 з'єднаний з першим виводом Y-циркулятора 6, другий вивід якого з'єднаний з антеною первинного випромінювання і вторинного прийому 10, а третій вивід Y-циркулятора 6 з'єднаний із входом змішувача 14, вихід якого з'єднаний із входом амплітудного детектора 21 і другим входом фазометра 17, причому вихід генератора високочастотних коливань 3 з'єднаний з першим виводом Y-циркулятора 7, другий вивід якого з'єднаний з антеною первинного випромінювання і вторинного прийому 11, а третій вивід Y-циркулятора 7 з'єднаний і з входом змішувача 15, вихід якого з'єднаний із входом амплітудного детектора 22 і другим входом фазометра 18, причому вихід генератора високочастотних

коливань 4 з'єднаний з першим виводом Y-циркулятора 8, другий вивід якого з'єднаний з антеною первинного випромінювання і вторинного прийому 12, а третій вивід Y-циркулятора 8 з'єднаний із входом амплітудного детектора 23 і другим входом фазометра 19, при цьому антена первинного прийому і вторинного випромінювання 24 з'єднана із сигнальним виводом керованого фазообертача 25, вхід керування якого з'єднаний з виходом генератора низької частоти 26.

Працює пристрій, що реалізує спосіб визначення механізму поширення радіохвиль у такий спосіб. Високочастотні коливання з початковою амплітудою  $U_{01}$ , частотою  $f_1$  і початковою фазою  $\varphi_1$

$$U_1 = U_{01} \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t + \varphi_1}$$

з виходу генератора високочастотних коливань 1 через циркулятор 5 надходять в антену первинного випромінювання і вторинного прийому 9. При цьому в напрямку антени первинного прийому 24 випромінюють електромагнітну хвилю.

Паралельно високочастотні коливання з початковою амплітудою  $U_{02}$ , частотою  $f_2$  і початковою фазою  $\varphi_2$

$$U_2 = U_{02} \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot t + \varphi_2}$$

з виходу генератора високочастотних коливань 2 через циркулятор 6 надходять в антену первинного випромінювання і вторинного прийому 10. При цьому також у напрямку антени первинного прийому 24 випромінюють електромагнітну хвилю.

Паралельно високочастотні коливання з початковою амплітудою  $U_{03}$ , частотою  $f_3$  і початковою фазою  $\varphi_3$

$$U_3 = U_{03} \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_3 \cdot t + \varphi_3}$$

з виходу генератора високочастотних коливань 3 через циркулятор 7 надходять в антену первинного випромінювання і вторинного прийому 11. При цьому також у напрямку антени первинного прийому 24 випромінюють електромагнітну хвилю.

Паралельно високочастотні коливання з початковою амплітудою  $U_{04}$ , частотою  $f_4$  і початковою фазою  $\varphi_4$

$$U_4 = U_{04} \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_4 \cdot t + \varphi_4}$$

з виходу генератора високочастотних коливань 4 через циркулятор 8 надходять в антену первинного випромінювання і вторинного прийому 12. При цьому також у напрямку антени первинного прийому 24 випромінюють електромагнітну хвилю.

Антеною первинного прийому 24 усі чотири високочастотні електромагнітні хвилі уловлюють і далі високочастотні коливання з частотами  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  і  $f_4$ , подають на керований фазообертач 25. Керований фазообертач 25 являє собою фазообертач відбивного типу, що реалізує монотонну зміну фази високочастотних коливань. При цьому, якщо за період  $T$  низькочастотного керуючого сигналу, що надходить з виходу генератора низької частоти 26, реалізується в керованому фазообертачі 25 зрушення фаз від 0 до  $2\pi$ , те можна говорити про зсув спектра усіх високочастотних коливань на так звану частоту Доплера.

$$\Omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot F$$

Трансформовані по частоті високочастотні коливання, що надходять на антену вторинного випромінювання 24 мають вид

$$U'_1 = U'_{01} \cdot e^{j[2 \cdot \pi \cdot (f_1 + F) \cdot t + k_1 \cdot x_1 + \varphi_0 + \varphi_1]}$$

$$U'_2 = U'_{02} \cdot e^{j[2 \cdot \pi \cdot (f_2 + F) \cdot t + k_2 \cdot x_2 + \varphi_0 + \varphi_2]}$$

$$U'_3 = U'_{03} \cdot e^{j[2 \cdot \pi \cdot (f_3 + F) \cdot t + k_3 \cdot x_3 + \varphi_0 + \varphi_3]}$$

$$U'_4 = U'_{04} \cdot e^{j[2 \cdot \pi \cdot (f_4 + F) \cdot t + k_4 \cdot x_4 + \varphi_0 + \varphi_4]}$$

де  $k_1$ ,  $k_2$  - хвильові числа

$$k_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{c}, k_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_2}{c}, k_3 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_3}{c}, k_4 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_4}{c},$$

$x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_4$  - відстані між антенами 9-24, 10-24, 11-24, 12-24 відповідно;  $\varphi_0$  - початкова фаза коливань на виході генератора низької частоти 26;  $U'_{01}$ ,  $U'_{02}$ ,  $U'_{03}$ ,  $U'_{04}$  - амплітуди високочастотних коливань з урахуванням загасання на трасі поширення радіохвиль.

Антеною вторинного випромінювання 24 (вона ж антена первинного прийому) ці трансформовані високочастотні коливання випромінюють у напрямку антен вторинного прийому 9, 10, 11 і 12 (вони ж антени первинного випромінювання). При цьому прийняті трансформовані високочастотні коливання через треті виводи Y-циркуляторів 5, 6, 7 і 8 надходять у змішувачі 13, 14, 15 і 16, де виділяють комбінаційні низькочастотні складові різниці вихідних неперервних високочастотних коливань і трансформованих по частоті неперервних високочастотних коливань. При цьому в тім каналі, де були генеровані високочастотні коливання з частотою  $f_1$ , виділяють комбінаційну низькочастотну складову різниці трансформованих по частоті неперервних високочастотних коливань з частотою  $f'_1 = f_1 + F$  і вихідних з частотою  $f_1$

$$f'_1 - f_1 = f_1 + F - f_1 = F.$$

В іншому каналі також виділяють комбінаційну низькочастотну складову різниці трансформованих по частоті неперервних високочастотних коливань з частотою  $f'_2 = f_2 + F$  і вихідних, с частотою  $f_2$

$$f'_2 - f_2 = f_2 + F - f_2 = F.$$

У третьому каналі також виділяють комбінаційну низькочастотну складову різниці трансформованих по частоті неперервних високочастотних коливань з частотою  $f'_3 = f_3 + F$  і вихідних, с частотою  $f_3$

$$f'_3 - f_3 = f_3 + F - f_3 = F.$$

У четвертому каналі також виділяють комбінаційну низькочастотну складову різниці трансформованих по частоті неперервних високочастотних коливань з частотою  $f'_4 = f_4 + F$  і вихідних, с частотою  $f_4$

$$f'_4 - f_4 = f_4 + F - f_4 = F.$$

Таким чином, на виході змішувачів 13, 14, 15 і 16 будемо мати чотири низькочастотні коливання з однаковими частотами  $F$  і повними фазами, обумовленими наступними співвідношеннями

$$\varphi_{11} = 2 \cdot \pi \cdot F \cdot t + k_1 \cdot x_1 + \varphi_0 + k'_1 \cdot x_1$$

$$\varphi_{22} = 2 \cdot \pi \cdot F \cdot t + k_2 \cdot x_2 + \varphi_0 + k'_2 \cdot x_2$$

$$\varphi_{33} = 2 \cdot \pi \cdot F \cdot t + k_3 \cdot x_3 + \varphi_0 + k'_3 \cdot x_3$$

$$\varphi_{44} = 2 \cdot \pi \cdot F \cdot t + k_4 \cdot x_4 + \varphi_0 + k'_4 \cdot x_4$$

де  $k'_1$ ,  $k'_2$ ,  $k'_3$ ,  $k'_4$  - хвильові числа

$$k_1' = \frac{2 \cdot \pi \cdot (f_1 + F)}{c}, k_2' = \frac{2 \cdot \pi \cdot (f_2 + F)}{c},$$

$$k_3' = \frac{2 \cdot \pi \cdot (f_3 + F)}{c}, k_4' = \frac{2 \cdot \pi \cdot (f_4 + F)}{c}.$$

Як видно з приведених формул, у вираженнях для повної фази виділених комбінаційних низько-частотних складових відсутні значення початкової фази височастотних коливань, оскільки вони віднімаються. Частоти вихідних височастотних коливань  $f_1, f_2, f_3$  і  $f_4$  мало відрізняються одна від одної. При цьому  $k_1 \approx k_2 \approx k_3 \approx k_4$ .

Крім цього, частоту Доплера  $F$  вибирають багато менше частоти вихідних височастотних коливань  $f_1, f_2, f_3$  і  $f_4$ . З цієї причини  $k_1' \approx k_1, k_2' \approx k_2, k_3' \approx k_3$  і  $k_4' \approx k_4$ . У цьому випадку для різниці фаз комбінаційних низько-частотних коливань на виходах змішувачів 13, 14, 15 і 16 можна записати

$$\Delta\varphi_{12} = 2 \cdot k \cdot (x_1 - x_2),$$

$$\Delta\varphi_{13} = 2 \cdot k \cdot (x_1 - x_3),$$

$$\Delta\varphi_{14} = 2 \cdot k \cdot (x_1 - x_4),$$

$$\text{де } k \approx k_1 \approx k_2 \approx k_3 \approx k_4 \approx k_1' \approx k_2' \approx k_3' \approx k_4'.$$

Таким чином, на виходах фазометрів 17, 18 і 19 будемо мати сигнали, пропорційні різній відстаней і назад пропорційні довжині хвилі в середовищі поширення радіохвиль між антенами первин-

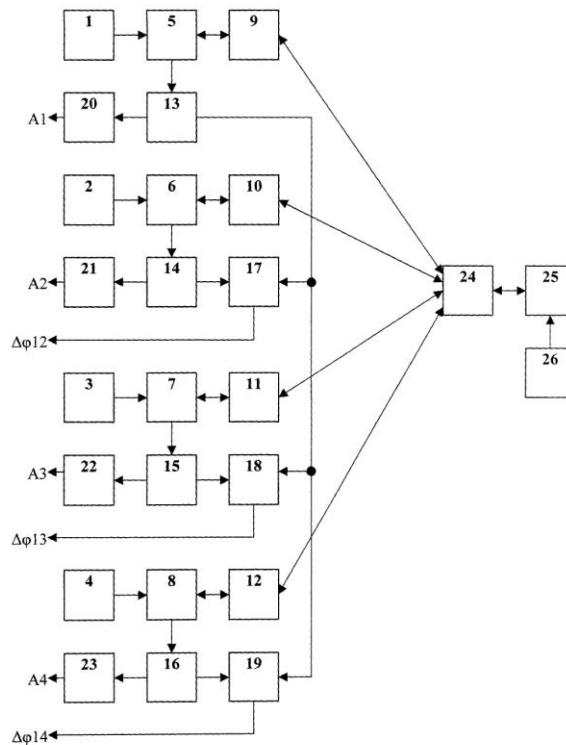
ного випромінювання (вторинного прийому) 9, 10, 11 і 12 і первинного прийому (вторинного випромінювання) 24.

Додатково на виходах амплітудних детекторів 20, 21, 22 і 23 будемо мати сигнали пропорційні амплітудам прийнятих антенами вторинного прийому електромагнітних хвиль.

Таким чином, одержують амплітудно-фазовий розподіл полючи приходящої хвилі в місці розташування антен вторинного прийому.

Народногосподарський ефект від використання передбачуваного винаходу зв'язаний появою можливості крім визначення кута приходу визначати механізм поширення радіохвиль в відкритих трасах.

Інший аспект підвищення ефективності від використання передбачуваного винаходу зв'язаний з можливістю рішення протилежної задачі - аналізувати властивості середовища поширення радіохвиль за результатами вимірів амплітудно-фазового розподілу полючи приходящої радіохвилі. Це дає можливість вирішувати задачі не тільки радіотехнічних вимірів, але метеорології, екології і т.п.



Фиг.1