



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 58814

(13) A

(51) 7 G01R29/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ
ВЛАСНИКА
ПАТЕНТУ

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ФЛУКТУАЦІЙ НАБІГАННЯ ФАЗИ І КУТІВ ПРИХОДУ РАДІОХВИЛЬ

1

2

(21) 2002108629

(22) 30 10 2002

(24) 15 08 2003

(46) 15 08 2003, Бюл. № 8, 2003 р.

(72) Широков Ігор Борисович, Шабан Станіслав
Анатолійович(73) СЕВАСТОПОЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Спосіб вимірювання флуктуацій набігання фази і визначення кута приходу радіохвиль, що включає випромінювання неперервних високочастотних коливань і двоканальний прийом високочастотних коливань на дві рознесені в просторі антени, який відрізняється тим, що у кожному каналі інтерферометра окремо, спочатку в двох незалежних каналах, генерують неперервні високочастотні коливання з двома різними частотами f_1 і f_2 , які мало відрізняються один від одного, і через дві рознесені в просторі антени ці неперервні високочастотні коливання первинно випромінюють у напрямку третьої антени, при цьому в місці розташування антен первинного випромінювання генерують окремі опорні низькочастотні коливання з частотою F і початковою фазою φ_0 , які подають на модулятор передавача і на частоті передавача f_3 через його антену випромінюють у напрямку третьої антени, причому в місці розташування третьої антени модульовані сигнали частотою f_3 через антену приймача приймають і демодулюють, одержуючи тим самим місцеві опорні низькочастотні коливання з частотою F і початковою фазою φ_0 , при цьому неперервні високочастотні коливання з частотами f_1 і f_2 , третьою антеною первинно приймають і вводять у них монотонно наростаюче фазове зрушення, причому сам процес

зміни фази високочастотних коливань синхронізують з місцевими опорними низькочастотними коливаннями з частотою F і початковою фазою φ_0 , причому трансформовані таким чином по частоті неперервні високочастотні коливання з частотами $f_1' = f_1 + F$ і $f_2' = f_2 + F$ переви-промінюють у напрямку рознесених у просторі антен первинного випромінювання, де обидві вторинно випромінюють коливання антенами первинного випромінювання повторно приймають, змішують з вихідними неперервними високочастотними коливаннями і виділяють комбінаційні низькочастотні складові різниці вихідних неперервних високочастотних коливань і вторинно прийнятих трансформованих по частоті неперервних високочастотних коливань в тому каналі, де генерують високочастотні коливання з частотою f_1 , виділяють комбінаційну низькочастотну складову з частотою $F = f_1' - f_1$, а в тому каналі, де генерують високочастотні коливання з частотою f_2 виділяють комбінаційну низькочастотну складову з частотою $F = f_2' - f_2$, після чого вимірюють різниці фаз між генерованими опорними низькочастотними коливаннями і комбінаційними низькочастотними коливаннями в обох каналах вторинного прийому окремо, оцінюючи тим самим флуктуації набігу фази в обох каналах інтерферометра окремо при поширенні радіохвиль від однієї точки вимірювальної траси в іншу, а кут приходу радіохвиль визначають відомою формулою, обчислюючи різницю фаз від обмірюваних різниць фаз низькочастотних коливань в обох каналах інтерферометра

Винахід відноситься до області техніки електричних вимірів і може бути використаний при вивченні поширення радіохвиль на відкритих тра-сах

Відомі способи виміру флуктуацій амплітуди радіохвиль (див., наприклад, кн. Б. А. Введенський. Поширення ультракоротких хвиль. - М. Наука,

1973. - 408с.) Однак вимір флуктуацій набігу фази також має особливий інтерес при вивченні поширення радіохвиль

Найбільш близькими по технічній суті до передбачуваного винаходу є способи визначення кута приходу радіохвиль, заснований на вимірі різниці фаз між сигналами в двох рознесених точках про-

(19) UA (11) 58814 (13) A

сторю (А С №1718149 (СРСР), од у БВ №9 07 03 1992 G01R 29/08)

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 один від одного. 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 ці удруге випромінюються антенами первинного випромінювання повторно 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, λ - 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 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 при поширенні радіохвиль від однієї точки вимірювальної траси до іншої можуть досягати значних величин, у той час, як кут приходу радіохвиль може змінюватися незначно, а при визначенні орієнтації бази інтерферометра фазометр узагалі може не показати зміни різниці фаз.

В основу винаходу поставлена задача досягнення вимірів флуктуацій набігу фаз у кожному каналі інтерферометра окремо при поширенні радіохвиль від однієї точки вимірювальної траси до

іншої. Вона вирішується завдяки тому, що спочатку в двох незалежних каналах генерують неперервні високочастотні коливання з двома різними частотами f_1 і f_2 , що мало відрізняються один від одного і через дві рознесені в просторі антени ці неперервні високочастотні коливання первинно випромінюють у напрямку третьої антени, при цьому в місці розташування антен первинного випромінювання генерують окремі опорні низькочастотні коливання з частотою F і початковою фазою φ_0 , що подають на модулятор передавача і на частоті передавача f_3 через його антену випромінюють у напрямку третьої антени, причому в місці розташування третьої антени, модульовані сигнали частотою f_3 через антену приймача приймають і демодулюють, одержуючи тим самим місцеві опорні низькочастотні коливання з частотою F і початковою фазою φ_0 , при цьому неперервні високочастотні коливання з частотами f_1 і f_2 третьою антеною первинно приймають і вводять у них монотонно наростаюче фазове зрушення, причому сам процес зміни фази високочастотних коливань синхронізують з місцевими опорними низькочастотними коливаннями з частотою F і початковою фазою φ_0 , причому 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 вторинно випромінюються антенами первинного випромінювання вторинно приймають, змішують з вихідними неперервними високочастотними коливаннями і виділяють комбінаційні низькочастотні складові різниці вихідних неперервних високочастотних коливань і вторинно 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

$F = f_1' - f_1$, 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 генерованими опорними низькочастотними коливаннями, і комбінаційними низькочастотними коливаннями в обох каналах вторинного прийому окремо, оцінюючи тим самим флуктуації набігу фази в обох каналах інтерферометра окремо при поширенні радіохвиль від однієї точки вимірювальної траси в іншу, кут приходу радіохвиль визначають при цьому відомою формулою, обчислюючи різницю фаз від обмірюваних різниць фаз низькочастотних коливань в обох каналах інтерферометра.

Порівняння передбачуваного винаходу з уже відомими способами і прототипом показує, що спосіб, який заявляється, виявляє нові технічні властивості, що полягають у можливості крім визначення кута приходу радіохвиль вимірювати флуктуації набігу фази радіохвиль у кожному каналі інтерферометра окремо.

Ці властивості передбачуваного винаходу є новими, тому що в способі-прототипі через недоліки, що полягають у несинхронізованому процесі

керування фазою первинне прийнятих високочастотних коливань, можливий тільки вимір різниці фаз між комбінаційними низькочастотними складовими в обох каналах інтерферометра одночасно і, відповідно визначення тільки кута приходу радіохвиль. У запропонованому способі виміру флуктуацій набігу фаз і визначення кута приходу радіохвиль, у первинно прийнятті неперервні високочастотні коливання з частотами f_1 і f_2 від двох незалежних високочастотних генераторів, випромнені через дві незалежні, рознесені в просторі антени первинного випромінювання, уводять синхронізоване з первинно генерованими низькочастотними коливаннями частотою F і початковою фазою φ_0 монотонно наростаюче фазове зрушення, уводячи тим самим у вихідні неперервні високочастотні коливання однаковий доплеровський зсув частоти $f_1' = f_1 + F$ і $f_2' = f_2 + F$ з однаковою початковою фазою φ_0 . На іншому кінці траси вторинно прийняті, трансформовані по частоті, неперервні високочастотні коливання змішують з вихідними і виділяють в обох 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 $f_2' + F - f_2 = F$. Після цього вимірюють різниці фаз між первинно генерованими низькочастотними коливаннями частотою F , і цими двома комбінаційними складовими з однаковими частотами F , вимірюючи тим самим флуктуації набігу фази при поширенні радіохвиль. Додатково обчислюють при цьому кут приходу радіохвиль.

Зазначений спосіб виміру флуктуацій набігу фази і визначення кута приходу радіохвиль можна реалізувати за допомогою пристрою приведенного на фіг 1

Пристрій для виміру флуктуацій набігу фази і визначення кута приходу радіохвиль містить генератори високочастотних коливань 1 і 2, Y-циркулятори 3 і 4, антени первинного випромінювання і вторинного прийому 5 і 6, змішувачі 7 і 8, фазометри 9 і 10, генератор низькочастотних коливань 11, передавач 12, антену первинного прийому і вторинною випромінювання 13, керований фазообертач 14, приймач 15

Вихід генератора високочастотних коливань 1 з'єднаний з першим виводом Y-циркулятора 3, другий вивід якого з'єднаний з антеною первинного випромінювання і вторинного прийому 5, а третій вивід Y-циркулятора 3 з'єднаний із входом змішувача 7, вихід якого з'єднаний з одним із входів першого фазометра 9, інший вхід першого фазометра 9 з'єднаний з виходом генератора низькочастотних коливань 11, причому вихід генератора високочастотних коливань 2 з'єднаний і першим виводом Y-циркулятора 4, другий вивід якого з'єднаний з антеною первинного випромінювання і вторинного прийому 6, а третій вивід Y-циркулятора 4 з'єднаний із входом змішувача 8, вихід якого з'єднаний з одним входом другого фазометра 10, інший вхід другого фазометра 10 з'єднаний з виходом генератора низькочастотних ко-

ливань 11, при цьому вихід низькочастотного генератора з'єднаний із входом передавача, при цьому антена первинного прийому і вторинного випромінювання 13 з'єднана із сигнальним виводом керованого фазообертача 14, вхід керування якого з'єднаний з виходом приймача 15

Працює пристрій, що реалізує спосіб виміру флуктуацій набігу фази і визначення кута приходу радіохвиль, у такий спосіб. Високочастотні коливання з початковою амплітудою U_{01} , частотою f_1 і початковою фазою φ_1

$$U_1 = U_{01} \cdot e^{j2\pi f_1 t + \varphi_1}$$

з виходу генератора високочастотних коливань 1 через Y-циркулятор 3 надходять в антену первинного випромінювання 5. При цьому в напрямку антени первинного прийому 13 випромінюють електромагнітну хвилю. Паралельно високочастотні коливання з початковою амплітудою U_{02} , частотою f_2 і початковою фазою φ_2

$$U_2 = U_{02} \cdot e^{j2\pi f_2 t + \varphi_2}$$

з виходу генератора високочастотних коливань 2 через Y-циркулятор 4 надходять в антену первинного випромінювання 6. При цьому також у напрямку антени первинного прийому 13 випромінюють електромагнітну хвилю.

Паралельно з цим процесом у місці розташування антен первинного випромінювання 5 і 6 генерують генератором 11 окремі опорні низькочастотні коливання з частотою F і початковою фазою φ_0 , що подають на модулятор передавача 12 і на частоті передавача f_3 через його антену випромінюють у напрямку антени первинного прийому 13, причому в місці розташування антени первинного прийому 13, модульовані сигнали частотою f_3 через антену приймача 15 приймають і демодують, одержуючи тим самим місцеві опорні низькочастотні коливання з частотою F і початковою фазою φ_0 . Частота коливань f_3 вибирається невисокою в порівнянні з частотами f_1 і f_2 , тому фазова нестабільність каналу не позначається на частоті коливань f_3 . До того ж коливання частотою f_3 використовуються в якості несучої, котра при демодуляції зникає. Реально необхідно оцінювати фазову нестабільність вимірювальної траси для низькочастотних коливань частотою F . Для частот в одиниці кілогерців і довжині траси біля кілометра, говорити про фазову нестабільність каналу зв'язку взагалі не має змісту.

Антеною первинного прийому 13 обидві високочастотні електромагнітні хвилі уловлюють і далі високочастотні коливання з частотами f_1 і f_2 подають на керований фазообертач 14. Керований фазообертач 14 являє собою фазообертач відбивного типу, який реалізує монотонну зміну фази високочастотних коливань. При цьому, якщо за період T низькочастотного керуючого сигналу, що надходить із приймача 15, реалізується в керованому фазообертачі 14 зрушення фаз від 0 до 2π , то можна говорити про зсув спектра обох 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 випро-

мінювання 13 мають вид

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

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

де k_1, k_2 - хвильові числа

$$k_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{c}, \quad k_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_2}{c},$$

x_1, x_2 - відстані між антенами 5-13, 6-13 відповідно, φ_0 - початкова фаза опорних коливань на виході низькочастотного генератора 11 і на виході приймача 15, U'_{01} і U'_{02} - амплітуди високочастотних коливань з урахуванням загасання на трасі поширення радіохвиль

Антенною вторинного випромінювання 13 (вона ж антена первинного прийому) ці трансформовані високочастотні коливання випромінюють у напрямку антен вторинного прийому 5 і 6 (вони ж антени первинного випромінювання). При цьому прийняті трансформовані високочастотні коливання через треті виводи Y-циркуляторів 3 і 4 надходять у змішувачі 7 і 8 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, з частотою f_2

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

Таким чином, на виході змішувачів 7 і 8 будемо мати два низькочастотних коливання з однаковими частотами F і повними фазами, обумовленими наступними співвідношеннями

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

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

де k'_1 і k'_2 - хвильові числа

$$k'_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot (f_1 + F)}{c}, \quad k'_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot (f_2 + F)}{c},$$

Як видно з приведених формул, у вираженнях для повної фази виділених комбінаційних складових відсутні значення початкової фази високочастотних коливань, оскільки вони віднімаються. Частоти вихідних високочастотних коливань f_1 і f_2 вибирають такими, що мало відрізняються один від одного. При цьому $k_1 \approx k_2$

Крім цього, частоту Доплера F вибирають багато менше частоти вихідних високочастотних коливань f_1 і f_2 . З цієї причини $k'_1 \approx k_1$ і $k'_2 \approx k_2$. У цьому випадку для різниці фаз низькочастотних коливань між опорними низькочастотними коливаннями і комбінаційними низькочастотними коливаннями на виході змішувачів 7 і 8 можна записати

$$\Delta\varphi_1 = 2 \cdot k \cdot x_1$$

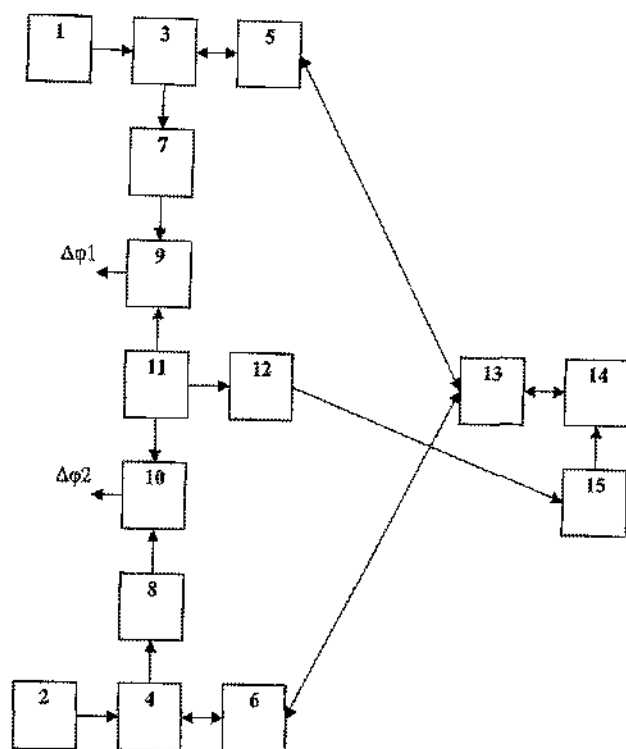
$$\Delta\varphi_2 = 2 \cdot k \cdot x_2$$

де $k \approx k_1 \approx k_2 \approx k'_1 \approx k'_2$

Таким чином, на виході фазометра 9 будемо мати сигнал, пропорційний відстані і обернено пропорційний довжині хвилі в середовищі поширення радіохвиль між антеною первинного випромінювання і вторинного прийому 5 і антеною первинного прийому і вторинного випромінювання 13, на виході фазометра 10 будемо мати сигнал, пропорційний відстані і обернено пропорційний довжині хвилі в середовищі поширення радіохвиль між антеною первинного випромінювання і вторинного прийому 6 і антеною первинного прийому і вторинного випромінювання 13.

Народногосподарський ефект від використання передбачуваного винаходу зв'язаний з появою можливості крім визначення кута приходу радіохвиль проводити прямі виміри набігу фаз радіохвиль при їхньому поширенні на 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 флуктуацій кутів приходу і набігу фази радіохвиль. Це дає можливість вирішувати задачі не тільки радіотехнічних вимірів, але і метеорології, екології і т.п.



Фиг. 1