

Корисна модель належить до вимірювальної техніки і призначена для оцінки радіояскравих температур різних об'єктів у завданнях дистанційного зондування Землі, радіоастрономії, радіофізиці та медицині.

Відома схема двоантенного кореляційного радіометра (Патент на корисну модель, Україна № UA 78879, МПК G01R 29/08 (2006.01); Заявл. 06.07.2012; Опубл. 10.04.2013, Бюл. № 7), що містить дві антени, виходи яких послідовно підключені до першого та другого підсилювачів, першого та другого фазообертачів і двох змішувачів, опорний гетеродин, вихід якого з'єднаний з входами третього та четвертого фазообертачів, виходи яких поєднані з другими входам першого та другого змішувача та декорелюючі фільтри першого та другого каналів сполучені з першим суматором, вихід якого послідовно зв'язані з квадратичним детектором, інтегратором, третім підсилювачем та входом другого суматора, при цьому його інший вхід об'єднаний з виходом запам'ятовуючого пристрою, вихід другого суматора зв'язаний з індикатором та декорелюючими фільтрами.

Відомий інтерферометричний радіометр (Теоретические основы радиолокации [Текст] / А.А. Коростылев, Н.Ф. Ключев, Ю.А. Мельник и др.; Под ред. В.Е. Дулевича - 2-е изд., перераб. и доп. - М., "Сов. радио", 1987. - С. 549-550), що містить дві антени, виходи яких підключені до лінійних трактів, які можуть бути виконані по будь-якій з класичних схем приймальних пристроїв прямого підсилення чи супергетеродинного типу. Виходи лінійних трактів з'єднані з входами перемножувача, вихід якого зв'язаний з інтегратором.

Недоліком відомих пристроїв є низька точність, внаслідок негативного впливу просторово-корельованих перешкод (ПКП), які приймаються боковими пелюстками антен інтерферометричних радіометрів.

Найбільш близьким по технічній суті і результату, що досягається, є інтерферометричний радіометр (Патент Сполучених Штатів № US 7,460,063 B2, МПК G01S 3/02 (2006/01); Заявл. 15.06.2007; Опубл. 10.01.2008, Бюл. № 11/812,103), що містить дві антени, виходи яких послідовно підключені до двох підсилювачів, двох фазообертачів та двох змішувачів та опорний гетеродин, вихід якого з'єднаний з входами третього та четвертого фазообертачів, виходи третього та четвертого фазообертачів поєднані до змішувачів, виходи змішувачів зв'язані з перемножувачем, вихід якого сполучено з інтегратором.

Недоліком відомого пристрою є низька точність, внаслідок негативного впливу ПКП, які приймаються боковими пелюстками антен інтерферометричного радіометра.

В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення інтерферометричного радіометра шляхом введення нового складу елементів та новою організацією взаємозв'язків між ними, для забезпечення підвищення точності, внаслідок віднімання ПКП, які приймаються боковими пелюстками антен інтерферометричного радіометра, з його вихідного сигналу.

Поставлена задача вирішується тим, що в інтерферометричний радіометр, що містить першу та другу антени, виходи яких послідовно підключені до першого та другого підсилювачів, першого та другого змішувачів та опорний гетеродин, згідно з корисною моделлю, введено третю та четверту антени, виходи яких послідовно з'єднані з третім та четвертим підсилювачем, третім та четвертим змішувачами та опорний гетеродин сполучений: з другим входом першого змішувача через перший та другий вентиля; з другим входом другого змішувача через третій та четвертий вентиля; з другим входом третього змішувача через перший та п'ятий вентиля; з другим входом четвертого змішувача через третій та шостий вентиля; при цьому вихід першого змішувача зв'язаний з першим входом першого суматора, вихід третього змішувача поєднано через перший модулятор на другий вхід першого суматора, другий вхід першого модулятора об'єднано з виходом першого генератора імпульсів, вихід другого змішувача з'єднано з першим входом другого суматора, вихід четвертого змішувача зв'язано з другим входом другого суматора через другий модулятор, другий вхід другого модулятора сполучено з виходом другого генератора імпульсів, а також вихід першого суматора поєднано з першою лінією затримки, яка має відведення, на виході відведень послідовно підключені перші входи першого та другого перемножувачів, першого та другого фільтрів низької частоти, третього та четвертого перемножувачів, виходи яких об'єднані з третім суматором, вихід якого послідовно з'єднаний з першим пристроєм, який обчислює корінь квадратний, та віднімачем, при цьому вихід другого суматора поєднано з другою лінією затримки, вихід другою лінією затримки сполучено з другим входом першого перемножувача та через фазообертач на $\pi/2$ з другим входом другого перемножувача, виходи яких послідовно з'єднані з першим та другим фільтрів високої частоти, п'ятого та шостого перемножувачів, четвертого суматора та другого пристрою, який обчислює корінь квадратний, вихід якого об'єднано з другим входом віднімача, вихід віднімача є виходом на фіксованій різниці ходу.

Заявлена система має новий склад елементів та нову організацією взаємозв'язків між ними, тобто містить нову сукупність ознак, які забезпечують нові технічні властивості системи. Технічний результат, як наслідок цих властивостей - підвищення точності, внаслідок віднімання ПКП, які приймаються боковими пелюстками антен інтерферометричного радіометра, з його вихідного сигналу,

за рахунок використання нового складу елементів та нової організації взаємозв'язків між ними, які отримані на основі результатів математичного моделювання роботи інтерферометричного радіометра при вимірюванні радіояскравих температур різноманітних об'єктів.

На кресленні представлена функціональна схема інтерферометричного радіометра.

Інтерферометричний радіометр містить першу 1₁ та другу 1₂ антени, виходи яких послідовно підключені до першого 2₁ та другого 2₂ підсилювачів, першого 3₁ та другого 3₂ змішувачів, третю 1₃ та четверту 1₄ антени, виходи яких послідовно з'єднані з третім 2₃ та четвертим 2₄ підсилювачем, третім 3₃ та четвертим 3₄ змішувачами, та опорний гетеродин 4, сполучений: з другим входом першого змішувача 3₁ через перший 5₁ та другий 5₂ вентиля; з другим входом другого змішувача 3₂ через третій 5₃ та четвертий 5₄ вентиля; з другим входом третього змішувача 3₃ через перший 5₁ та п'ятий 5₅ вентиля; з другим входом четвертого змішувача 3₄ через третій 5₃ та шостий 5₆ вентиля; при цьому вихід першого змішувача 3₁ зв'язаний з першим входом першого суматора 6₁, вихід третього змішувача 3₃ поєднано через перший модулятор 7₁ на другий вхід першого суматора 6₁, другий вхід першого модулятора 7₁ об'єднано з виходом першого генератора імпульсів 8₁, вихід другого змішувача 3₂ з'єднано з першим входом другого суматора 6₂, вихід четвертого змішувача 3₄ зв'язано з другим входом другого суматора 6₂ через другий модулятор 7₂, другий вхід другого модулятора 7₂ сполучено з виходом другого генератора імпульсів 8₂, а також вихід першого суматора 6₁ поєднано з першою лінією затримки 9₁, яка має відведення, на виході відведень послідовно підключені перші входи першого 10₁ та другого 10₂ перемножувачів, першого 11₁ та другого 11₂ фільтрів низької частоти, третього 10₃ та четвертого 10₄ перемножувачів, виходи яких об'єднані з третім суматором 6₃, вихід якого послідовно з'єднаний з першим пристроєм, який обчислює корінь квадратний 12₁, та віднімачем 13₁, при цьому вихід другого суматора 6₂ поєднано з другою лінією затримки 9₂, вихід другою лінією затримки 9₂ сполучено з другим входом першого перемножувача 10₁ та через фазообертач на $\pi/2$ 14 з другим входом другого перемножувача 10₂, виходи яких послідовно з'єднані з першим 15₁ та другим 15₂ фільтрами високої частоти, п'ятого 10₅ та шостого 10₆ перемножувачів, четвертого суматора 6₄ та другого пристрою, який обчислює корінь квадратний 12₂, вихід якого об'єднано з другим входом віднімача 13₁, вихід віднімача 13₁ є виходом інтерферометричного радіометра на фіксованій різниці ходу.

Працює інтерферометричний радіометр у такий спосіб.

1. Ланцюг корисних сигналів інтерферометричного радіометра.

Сигнали з виходу антен 1₁, 1₂ підсилюються на підсилювачах 2₁, 2₂ та потрапляють на змішувачі 3₁ та 3₂. У ланцюгу опорного гетеродина 4 вентиля 5₁, 5₂, необхідні для пригнічення проходження корисних сигналів зі змішувача 3₁ на змішувач 3₂. Вентилі 5₃, 5₄ також заважають потраплянню корисних сигналів зі змішувача 3₂ на змішувач 3₁. Вентилі 5₁, 5₂ та 5₃, 5₄ запобігають накопиченню несприятливих коливань, у вигляді автокореляційної функції на виході інтерферометричного радіометра. Розв'язка за ланцюгом опорного гетеродина 4 повинна бути не менше коефіцієнта стискання корисних сигналів. Коефіцієнт стискання дорівнює добутку вхідної смуги $P_{\text{вх}}$ інтерферометричного радіометра на час накопичення корисних сигналів.

Сигнали з змішувача 3₁ через суматор 6₁ надходять на лінію затримки з відведеннями 9₁. Кількість відведень визначає точність вимірювання різниці ходу корисних сигналів. На основі алгоритму оптимального багатоканального виявлення когерентних сигналів з випадковими амплітудою та початковою початковою фазою схема повинна містити квадратурну обробку на кожному відведенні 9₁. На кресленні приведено схему лише з одним відведенням лінії затримки 9₁. На виході кожного відведення послідовно з'єднані перемножувачі 10₁, 10₂, фільтри низької частоти 11₁, 11₂, перемножувачі 10₃, 10₄, які зводять у квадрат вхідний сигнал та суматор 6₃. Відповідно до алгоритму оптимального виявлення на виході суматора 6₃ підключено до пристрою, який обчислює корінь квадратний 12₁. Вихід пристрою 12₁ поєднаний з входом віднімача коливань просторово-корельованих перешкод 13₁. У той же час корисні сигнали з виходу змішувача 3₂ через суматор 6₂ зв'язані на лінію затримки 9₂. Лінія затримки має один вихід, який поділений на кількість розрізнявальних елементів N за різницею ходу у зоні огляду інтерферометричного радіометра. При цьому:

$$N=2BP_{\text{вх}}/c,$$

де B - відстань між антенами 1₁ та 1₂;

$P_{\text{вх}}$ - вхідна смуга пропускання інтерферометричного радіометра;

c - швидкість світла.

Для однозначного оцінювання радіояскравих температур затримка у лінії затримки 9₂ τ_{92} повинна дорівнювати:

$$\tau_{92}=N/P_{\text{вх}}.$$

Для вимірювання взаємної кореляційної функції корисних сигналів вихід з лінії затримки 9₂ сполучений з другими входами перемножувача 10₁, та через фазообертач на $\pi/2$ 14 з перемножувачем 10₂.

2. Ланцюг пригнічення ПКП, які приймаються боковими пелюстками антен інтерферометричного

радіометра.

Діаграми спрямованості антен 1₃, 1₄ повинні на 2 (3) дБ перевищувати рівень бокових пелюсток антен 1₁, 1₂. Посилення та перетворення коливань з антен 1₃, 1₄ забезпечується підсилювачами 2₃, 2₄ та змішувачами 3₃, 3₄. Розв'язка за ланцюгом гетеродина 4 здійснюється вентилями 5₁, 5₅ та 5₃, 5₆. Вентилі 5₁, 5₅ та 5₃, 5₆ не дозволяють накопичуватись несприятливих автокореляційних функцій коливань, прийнятих з антен 1₃, 1₄. Модулятори "фарбують" коливання за допомогою імпульсних генераторів 8₁, 8₂. Частота імпульсних генераторів 8₁, 8₂ може бути наприклад 11 кГц та 19 кГц відповідно. "Фарбування" коливання з антен 1₃, 1₄ введено заради обробки корисних сигналів та просторово-корельованих перешкод в єдиній схемі. Коливання з модулятора 7₁ через суматор 6₁ сполучені з лінією затримки 9₁.

Надалі з одного з відведень лінією затримки 9₁ коливання просторово-корельованих перешкод надходять на послідовно з'єднані перемножувачі 10₁, 10₂, фільтри високої частоти 15₁, 15₂, які налаштовані на сумарну частоту імпульсних генераторів 8₁, 8₂, тобто, наприклад, на 30 кГц. Далі перемножувачі 10₅, 10₆ зводять у квадрат коливання перешкод та виходи їх підсумовуються у суматорі 6₄. Коливання з модулятора 7₂ через суматор 6₂ пов'язані з лінією затримки 9₂, на виході якої поділяються на кількість відведень лінії затримки 9₁ N. У той же час з лінії затримки 9₂ коливання перешкод зв'язані з другими входами перемножувача 10₁ та через фазообертач на $\pi/2$ 14 з перемножувачем 10₂. Вихід суматора 6₄, відповідно до алгоритму оптимальної обробки, підключено до пристрою, який обчислює корінь квадратний 12₂. На виході пристрою 12₂ отримали рівень просторово-корельованих перешкод. У підсумку, у віднімачі 13₁ здійснюється віднімання коливань ПКП на виході інтерферометричного радіометра на фіксованій різниці ходу.

При математичному моделюванні роботи інтерферометричного радіометра розглядалися малорозмірні та великорозмірні об'єкти типу "трава-бетон", "трава-вода" та "вода-трава". Для одного з варіантів побудови радіометра рівень перших трьох бокових пелюсток дзеркальних антен 1₁, 1₂ складав: -18 дБ, -23 дБ та -27 дБ відповідно. Отримано перевищення рівня ПКП над рівнем порогу інтерферометричного радіометра, за різноманітними поверхнями, від ~7,8 разів до ~286 разів. Настільки значний вплив ПКП не дозволяє якісно проводити вимір радіояскравих температур об'єктів картографування.

Таким чином, на основі результатів математичного моделювання роботи інтерферометричного радіометра заявлена нова схема. Побудова інтерферометричного радіометра за даною схемою має підвищену точність вимірювання радіояскравих температур об'єктів, внаслідок віднімання коливань просторово-корельованих перешкод з корисних сигналів.

Інтерферометричний радіометр

