



УКРАЇНА

(19) UA (11) 39444 (13) A

(51) 7 G01R29/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) КОРЕЛЯЦІЙНИЙ ВИМІРЮВАЧ ІНТЕНСИВНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

(21) 2000084740

(22) 08.08.2000

(24) 15.06.2001

(33) UA

(46) 15.06.2001, Бюл. № 5, 2001 р.

(72) Скрипник Юрій Олексійович, Шевченко Константин Леонідович, Санніков Володимир Юрійович, Лісовський Олександр Анатолійович

(73) Київський державний університет технологій та дизайну

(57) 1. Кореляційний вимірювач інтенсивності електромагнітного випромінювання, що містить антену, еквівалент антени і подвійний хвильоводний трійник, входи якого сполучені з виходом антени й еквівалентом антени, два підсилювачі високої частоти, що підключені до виходів подвійного хвильоводного трійника, перемножувач сигналів, один із входів якого з'єднаний із виходом першого підсилювача високої частоти, фільтр нижніх частот і ресстратор, вхід якого з'єднаний із виходом фільтра нижніх частот, який відрізняється тим, що в нього введені генератор низької частоти, хвильоводний комутатор, послідовно з'єднані вибіркового підсилювач низької частоти і синхронний детектор, вхід якого з'єднаний із виходом фільтра нижніх частот, вхід вибіркового підсилювача низьких частот

з'єднаний із виходом перемножувача сигналів, входи хвильоводного комутатора сполучені з парафазними виходами другого підсилювача високої частоти, вихід хвильоводного комутатора з'єднаний із другим входом перемножувача сигналів, а керуючі входи хвильоводного комутатора і синхронного детектора під'єднані до виходу генератора низької частоти.

2. Кореляційний вимірювач за п. 1, який відрізняється тим, що в нього додатково введений генератор шуму, атенуатор, хвильоводний трійник, хвильоводний перемикач і три спрямованих відгалужувача, перший із яких включений між виходом першого підсилювача високої частоти і першим входом перемножувача сигналів, другий і третій включені між парафазними виходами другого підсилювача високої частоти і входами хвильоводного комутатора, при цьому вхід першого спрямованого відгалужувача з'єднаний з одним виходом хвильоводного трійника, другий вихід якого з'єднаний із входом хвильоводного перемикача, входи якого з'єднані з входами другого і третього спрямованих відгалужувачів, а вхід хвильоводного трійника через атенуатор під'єднаний до виходу генератора шуму.

Винахід відноситься до області радіотехніки і може бути використаний для виміру інтенсивності електромагнітного випромінювання від фізичних і біологічних об'єктів у діапазоні високих і надвисоких частот (НВЧ).

Від будь-якого фізичного або біологічного об'єкта, нагрітого або охолодженого до деякої температури щодо навколишнього середовища, випромінюється широкий спектр електромагнітного випромінювання (ЕМВ). За своїм характером НВЧ випромінювання є шумовим, що має суцільний спектр, і принципово не відрізняється від власних шумів НВЧ підсилювачів та інших елементів хвильоводного тракту. За інтенсивністю прийняті від об'єктів НВЧ сигнали малі ( $10^{-16}$  ...  $10^{-18}$  Вт/Гц\*см) і значно менше рівня власних шумів, тобто відношення сигнал/шум на вході вимірювача інтенсивності значно менше одиниці. Тому виділення корисного шумового сигналу, прийнятого

антенною, на фоні більш інтенсивних власних шумів, являє собою складну технічну задачу.

Одним із рішень цієї задачі є використання кореляційного прийому (див. Харкевич А.А. Борьба с помехами. - М.: Наука, 1965, с. 86-88), при якому вхідний сигнал перемножується з опорним сигналом, що має аналогічний спектр, а результат перетворення інтегрується. Проте, для кількісної оцінки інтенсивності прийнятого сигналу використовуються спеціальні вимірювальні схеми.

Відомий кореляційний вимірювач інтенсивності електромагнітного випромінювання (див. Batchelor R.A., Brooks I.W., Cooper B.F., IEEE Trans, AP-16, №2, March 1968, p. 73-75), що складається з приймальної антени, еквівалента антени, двох п'єзодіодних з'єднань, двох підсилювачів високої частоти, двох квадратичних детекторів, двох фільтрів нижніх частот і навантаження, що включене між виходами фільтрів. При цьому підсилювачі й інші елементи кореляційного вимірювача

(13) A

(11) 39444

(19) UA

включені так, що постійні складові струмів, обумовлених власними шумами, на вихідному навантаженні віднімаються, а корисних сигналів від антени - складаються. Для розподілу постійних складових шумів і сигналу використовується та обставина, що власні шуми підсилювачів і детекторів некогерентні, а сигнал від антени, що подається на обидва канали, цілком когерентний.

Проте, подавлення шумів можливо тільки при повній ідентичності характеристик двох каналів, кожний із яких складається з високочастотного підсилювача, квадратичного детектора і фільтра.

На практиці через невідомі різниці в параметрах перетворювальних ланок має місце перешкода, яка не подавлена, що викликає велику похибку виміру інтенсивності прийнятого сигналу.

Відомий також кореляційний вимірювач інтенсивності електромагнітного випромінювання (див. Есепкин Н.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н. Радиотелескопы и радиометры. - М.: Наука, 1973, с. 259-260), що містить антену, еквівалент антени і подвійний хвилеводний трійник, входи якого з'єднані з виходом антени й еквівалентом антени, два підсилювачі високої частоти, що підключені до виходів подвійного хвилеводного трійника, перемножувач сигналів, один із входів якого з'єднаний із виходом першого підсилювача високої частоти, фільтр нижніх частот і реєстратор, вхід якого з'єднаний із виходом фільтра нижніх частот.

У відомому кореляційному вимірювачі виходи підсилювачів високої частоти під'єднані безпосередньо до входів перемножувача сигналів, а його вихід з'єднаний із фільтром нижніх частот. Перемножувач сигналів (корелятор) вимірює, по суті, ступінь когерентності сигналів на виходах підсилювальних каналів. У якості перемножувача сигналів високих і надвисоких частот використовують балансний змішувач.

У реальному балансному змішувачі присутня у вихідному сигналі незбалансована постійна складова. Тому виділення постійної складової фільтром нижніх частот від корельованої частини шумових сигналів, що також дають постійну складову, ускладнено і потребує ретельного балансування перемножувача. Практичний поріг чутливості кореляційного вимірювача обмежений саме мінливістю (дрейфом нуля) вихідного сигналу перемножувача. Крім того, наявність дрейфу нуля в перемножувачі обумовлює і велику адитивну складову похибки виміру інтенсивності прийнятого сигналу. Крім того, спектральна щільність низькочастотного шуму на виході перемножувача максимальна поблизу нульової частоти, і це утворює додаткові труднощі для виділення корисної постійної складової. Зокрема, потрібна велика постійна часу фільтра нижніх частот, що збільшує час виміру і знижує швидкодію.

Задачею винаходу є створення такого кореляційного вимірювача інтенсивності електромагнітного випромінювання, у якому введення нових елементів і зв'язків дозволило б забезпечити підвищення точності і швидкодії вимірів інтенсивності електромагнітних випромінювань.

Поставлена задача вирішується тим, що в кореляційний вимірювач інтенсивності електромагнітного випромінювання, що містить антену, еквівалент антени і подвійний хвилеводний трійник,

входи якого з'єднані з виходом антени й еквівалентом антени, два підсилювачі високої частоти, що підключені до виходів подвійного хвилеводного трійника, перемножувач сигналів, один із входів якого з'єднаний із виходом першого підсилювача високої частоти, фільтр нижніх частот і реєстратор, вхід якого з'єднаний із виходом фільтра нижніх частот, відповідно до винаходу уведено генератор низької частоти, хвилеводний комутатор, послідовно з'єднані вибіркового підсилювач низької частоти і синхронний детектор, вихід якого з'єднаний із входом фільтра нижніх частот, вхід вибіркового підсилювача низьких частот з'єднаний із виходом перемножувача сигналів, входи хвилеводного комутатора підключені до парафазних виходів другого підсилювача високої частоти, вихід хвилеводного комутатора з'єднаний із другим входом перемножувача сигналу, а керуючі входи хвилеводного комутатора і синхронного детектора підключені до виходу генератора низької частоти.

Крім того, доцільно додатково введений генератор шуму, атенуатор, хвилеводний трійник, хвилеводний перемикач і три спрямованих відгалужувача, перший із яких включений між виходом першого підсилювача і першим входом перемножувача сигналів, другий і третій включені між парафазними виходами другого підсилювача високої частоти і входами хвилеводного комутатора, при цьому вхід першого спрямованого відгалужувача з'єднаний з одним виходом хвилеводного трійника, другий вихід якого з'єднаний із входом хвилеводного перемикача, виходи якого сполучені з входами другого і третього спрямованих відгалужувачів, а вхід хвилеводного трійника через атенуатор сполучений з виходом генератора шуму.

Саме введення в схему кореляційного вимірювача інтенсивності електромагнітного випромінювання генератора низької частоти, комутатора, послідовно з'єднаних вибіркового підсилювача частоти комутації і синхронного детектора, які включені зазначеним чином, забезпечує підвищення точності та швидкодії вимірів інтенсивності електромагнітних випромінювань, що зумовлюється формуванням корисного сигналу на виході перемножувача у вигляді низькочастотної напруги, яка змінюється з частотою комутації, що легко відокремити від дрейфу перемножувача, який змінюється повільно, і низькочастотних шумів із високою спектральною щільністю.

А введення в схему генератора шуму, атенуатора, хвилеводного трійника, хвилеводного перемикача і трьох спрямованих відгалужувачів, що включені зазначеним чином дає можливість компенсувати вплив корельованої частини шумів схеми на результат виміру, що додатково, крім підвищення точності і швидкодії вимірювача інтенсивності електромагнітного випромінювання, підвищує його чутливість.

На кресленні подана двоканальна схема кореляційного вимірювача інтенсивності електромагнітного випромінювання.

Вимірювач включає антену 1, що під'єднана до одного з входів подвійного хвилеводного трійника 2, до другого входу якого підключений еквівалент антени 3, підсилювачі високої частоти 4 і 5, входами з'єднані з виходами подвійного хвилеводного трійника, хвилеводний комутатор 6, з'єднаний вхо-

дами з парафазними виходами підсилювача 5, вихід комутатора з'єднаний з одним входом перемножувача 7, другий вхід якого з'єднаний із виходом підсилювача 4, генератор 8 низької частоти, з'єднаний із керуючим входом комутатора, до виходу перемножувача 7 підключені послідовно з'єднані вибіркоковий підсилювач 9 низької частоти, синхронний детектор 10, фільтр 11 нижніх частот і реєстратор 12. Генератор шуму 13 через атенуюатор 14 з'єднаний із хвилеводним трійником 15, один вихід котрого з'єднаний із входом спрямованого відгалужувача 16, що включений між виходом підсилювача 4 і одним із входів перемножувача 7, другий вихід з'єднаний із входами хвилеводного перемикача 17. Один вихід хвилеводного перемикача з'єднаний із входом спрямованого відгалужувача 18, другий вихід з'єднаний із входом спрямованого відгалужувача 19, при цьому спрямовані відгалужувачі 18 і 19 включені між парафазними виходами підсилювача 5 і входами комутатора 6. Керуючий вхід синхронного детектора 10 та хвилеводного комутатора 6 підключені до виходу генератора 8 низької частоти.

Кореляційний вимірювач працює таким чином.

Електромагнітне випромінювання, що приймається антеною 1, надходить в одне плече подвійного хвилеводного трійника 2, до другого плеча якого підключене хвилеводне навантаження 3, яке еквівалентне антені 1. Прийнятий шумовий сигнал  $U_1(t)$  має інтенсивність, пропорційну температурі досліджуваного об'єкта,

$$\bar{U}_1^2 = S_1 K_1 T_u \Delta f, \quad (1)$$

де  $S_1$  - чутливість антени 1;

$K_1$  - коефіцієнт, що залежить від випромінювальної здатності об'єкта;

$T_u$  - температура об'єкта ЕМВ;

$\Delta f$  - смуга частот, що приймаються антеною.

На виході подвійного хвилеводного трійника 2 із прийнятого сигналу формуються два рівних протифазних сигнали. Якщо вхідний сигнал трійника представити в комплексному вигляді  $\dot{U}_1$ , то його вихідні сигнали  $\dot{U}_2$  і  $\dot{U}_3$  запишемо так:

$$\dot{U}_2 = \frac{1}{2}\dot{U}_1, \quad \dot{U}_3 = -\frac{1}{2}\dot{U}_1. \quad (2)$$

Сигнали  $\dot{U}_2$  і  $\dot{U}_3$  надходять на входи підсилювачів високої частоти (ПВЧ) 4 і 5 відповідно.

Інтенсивність власних шумів ПВЧ на його входах визначається вираженням:

$$\bar{U}_{4BX}^2 \approx \bar{U}_{5BX}^2 = K_2(F-1)T_0\Delta f, \quad (3)$$

де  $K_2$  - розмірний коефіцієнт, що залежить від вхідного опору підсилювачів;

$F$  - коефіцієнт шуму ПВЧ;

$T_0=273K$  - температура відповідному нулю градусів Цельсія;

$\Delta f$  - смуга частот, що підсилюються.

Інтенсивність прийнятого сигналу значно менше інтенсивності власних шумів ПВЧ ( $\bar{U}_1^2 \ll \bar{U}_4^2$ ). Тому ПВЧ 4 і 5 підсилюють суміш шумових сигналів:

$$\dot{U}_4 = K_4(\dot{U}_{4BX} - 0,5\dot{U}_1), \quad (4)$$

$$\dot{U}_5 = K_5(\dot{U}_{5BX} + 0,5\dot{U}_1), \quad (5)$$

де  $K_4$  - коефіцієнт підсилення однотипних ПВЧ 4 і 5 ( $K_4 \approx K_5$ ).

Підсилювач 5 має два парафазних виходи. Тому на його виході формуються посилені сигнали:

$$\dot{U}_5' = K_5(\dot{U}_{5BX} + 0,5\dot{U}_1), \quad (6)$$

$$\dot{U}_5'' = K_5(-\dot{U}_{5BX} - 0,5\dot{U}_1), \quad (7)$$

Сигнали (6) і (7) надходять на входи хвилеводного комутатора 6, що керується прямокутною напругою генератора 8 низької частоти  $\Omega$ . На вихід комутатора по чергово проходять пакети сигналів (6) і (7) тривалістю в напівперіод комутації  $(\pi/\Omega)$ :

$$\dot{U}_6' = K_5(\dot{U}_{5BX} - 0,5\dot{U}_1), \quad 0 < t < \frac{\pi}{\Omega}, \quad (8)$$

$$\dot{U}_6'' = K_5(-\dot{U}_{5BX} - 0,5\dot{U}_1), \quad \frac{\pi}{\Omega} < t < \frac{2\pi}{\Omega}, \quad (9)$$

Пакети сигналів (8) і (9) надходять на другий вхід перемножувача 7, на перший вхід якого безупинно надходить сигнал  $\dot{U}_5$  із виходу ПВЧ 5. У результаті перемножування шумових сигналів на виході перемножувача в один такт комутації ( $0 < t < \pi/\Omega$ ) з урахуванням ( $K_4 \approx K_5$ ), утворюється вихідна напруга

$$\dot{U}_7' = K_4^2 S_7 (\dot{U}_{4BX} - 0,5\dot{U}_1)(\dot{U}_{5BX} + 0,5\dot{U}_1), \quad (10)$$

а в другий такт комутації  $\frac{\pi}{\Omega} < t < \frac{2\pi}{\Omega}$

$$\dot{U}_7'' = K_4^2 S_7 (\dot{U}_{4BX} - 0,5\dot{U}_1)(-\dot{U}_{5BX} - 0,5\dot{U}_1), \quad (11)$$

де  $S_7$  - крутизна перетворення перемножувача сигналів.

Для однотипних ПВЧ можна прийняти, що  $\dot{U}_4 \approx \dot{U}_5$ . Тоді, зневажаючи членами другого порядку малості, одержуємо:

$$\dot{U}_7' = K_4^2 S_7 (\dot{U}_{4BX}\dot{U}_{5BX} - 0,25\dot{U}_1^2) + U_{7ДР}, \quad (12)$$

$$\dot{U}_7'' = K_4^2 S_7 (-\dot{U}_{4BX}\dot{U}_{5BX} + 0,25\dot{U}_1^2) + U_{7ДР} \quad (13)$$

де  $U_{7ДР}$  - напруга дрейфу нуля перемножувача 7.

Низькочастотна частина спектра шумів на виході перемножувача 7 визначається функцією кореляції шумів  $U_4(t)$  і  $U_5(t)$ , модульованих випадковими варіаціями коефіцієнтів підсилення ПВЧ. Тому що шуми ПВЧ 4 і 5 між собою не корельовані, то знаки «+» і «-» у їхніх добутках не означають зміни їхньої інтенсивності з частотою комутації  $\Omega$ . При цьому їхня спектральна щільність максимальна поблизу нульової частини і спадає з ростом частоти.

Другий член виражень (12) і (13) відображає інтенсивність добутку складових корельованого шуму, прийнятого антеною 1. При цьому зміна знака корельованої складової означає появу в спектрі вихідного сигналу перемножувача знакозмінної складової напруги, що змінюється з частотою комутації:

$$U_7(\Omega) = \frac{1}{4} K_4^2 S_7 \bar{U}_1^2 \sin \Omega t, \quad (14)$$

де функція  $\sin \Omega t$  відбиває прямокутну форму змінної напруги частоти комутації на виході перемножувача.

Напруга (14) із частотою комутації посилюється вибірконим підсилювачем 9, настроєним на частоту генератора 8. Посилена напруга випрямляється синхронним детектором 10, що управляється напругою генератора 8, згладжується фільтром 11 нижніх частот. Згладжена фільтром напруга надходить на реєстратор 12.

У смугу пропускання вибіркового підсилювача 9 разом із корисним сигналом (14) частоти комутації надходить і частота низькочастотної шумової напруги, інтенсивність якої визначається округами частоти комутації. Тому що спектральна щільність шумів зменшується з ростом частоти, то при достатньо високій частоті комутації ( $F = 2\pi\Omega > 100 \dots 1000$  Гц) вплив шумів істотно зменшується. Тому вихідна напруга синхронного детектора 10 з урахуванням (1) можна представити у вигляді:

$$U_{10} = \frac{1}{4} K_4^2 S_7 K_9 S_{10} \bar{U}_1^2 + K_9 \bar{U}_7^2(\Delta\Omega) \quad (15)$$

де  $K_9$  - коефіцієнт підсилення вибіркового підсилювача 9;

$S_{10}$  - чутливість синхронного детектора 10;

$\bar{U}_7^2(\Delta\Omega)$  - інтенсивність низькочастотного шуму в округах частоти комутації;

$\Delta\Omega$  - смуга пропускання вибіркового підсилювача.

Через малість спектральної щільності шумів на частоті комутації, низькочастотний шум на виході синхронного детектора малий і його можна усереднити фільтром 11 низьких частот відносно невеликої постійної часу.

Проте середнє значення напруги на виході фільтра 11 нижніх частот навіть у відсутність корисного сигналу ( $\bar{U}_1^2 = 0$ ) не дорівнює нулю і дає паразитний сигнал. Останній обумовлений наявністю корельованого шуму в каналах вимірювача через нерівність температури антени й еквівалента, а також паразитним зв'язком між каналами посилення через кінцеве значення розв'язки вхідного подвійного хвильового трійника.

Для компенсації паразитного сигналу кореляційного вимірювача шумовий сигнал генератора 13 через хвильовий шумовий трійник 15, що виконує функцію подільника потужності, і спрямовані відгалужувачі 16 і 18 надходить на входи ПВЧ 4 і 5. Корельовані для перемножувача 7 шуми перемножуються тільки при одному положенні комутатора 6. Тому вихідні напруги перемножувача 7 з урахуванням виражень (12) і (13) і додаткових корельованих шумів при одному положенні хвильового перемикача 17 матимуть вигляд:

$$\dot{U}_7 = K_4^2 S_7 (\dot{U}_{4BX} \dot{U}_{5BX} - 0,25 \dot{U}_1^2) + 0,25 S_7 K_{14}^2 \bar{U}_{13}^2 + U_{7DP}, \quad (16)$$

$$\dot{U}_7'' = K_4^2 S_7 (-\dot{U}_{4BX} \dot{U}_{5BX} + 0,25 \dot{U}_1^2) + U_{7DP}, \quad (17)$$

де  $K_{14}$  - коефіцієнт передачі атенюатора 14;

$\bar{U}_{13}^2$  - інтенсивність сигналу генератора 13.

При протилежному положенні хвильового перемикача 17 відповідно маємо:

$$\dot{U}_7' = K_4^2 S_7 (\dot{U}_{4BX} \dot{U}_{5BX} - 0,25 \dot{U}_1^2) + U_{7DP}, \quad (18)$$

$$\dot{U}_7'' = K_4^2 S_7 (-\dot{U}_{4BX} \dot{U}_{5BX} + 0,25 \dot{U}_1^2) + 0,25 S_7 K_{14}^2 \bar{U}_{13}^2 + U_{7DP} \quad (19)$$

Тому що додаткові імпульси напруги  $0,25 S_7 K_{14}^2 \bar{U}_{13}^2$  в залежності від положення хвильового перемикача 17 на виході перемножувача

7 зміщені в часі на напівперіод комутації  $\left(\frac{\pi}{\Omega}\right)$ , то

фаза додаткової змінної складової частоти  $\Omega$  змінюється на  $180^\circ$  при зміні положення перемикача 17. Тому напругу на виході синхронного детектора 10 у відсутність корисного сигналу ( $\bar{U}_1^2 = 0$ ) можна представити за аналогією з вираженням (15) у такому вигляді:

$$U_{11} = \frac{1}{4} K_4^2 S_7 K_9 S_{10} \bar{U}_X^2 \pm \frac{1}{4} S_7 K_9 S_{10} K_{14}^2 \bar{U}_{13}^2, \quad (20)$$

де  $\bar{U}_X^2$  - інтенсивність корельованих шумів на вході ПВЧ 4 і 5 від паразитних міжканальних зв'язків.

Компенсацію паразитного сигналу здійснюють при екранованій антені і регулюючи атенюатор 14. При досягненні нульового показу реєстратора 12 маємо:

$$U_{11} = 0,$$

звідки умова компенсації

$$K_4^2 \bar{U}_X^2 = K_{14}^2 \bar{U}_{13}^2. \quad (21)$$

З рівності (21) видно, що на умову компенсації не впливає нестабільність параметрів перемножувача 7 ( $S_7$ ) і мінливість коефіцієнта підсилення вибіркового підсилювача 9 ( $K_9$ ), чутливості синхронного детектора 10 ( $S_{10}$ ). При цьому хвильовий перемикач встановлюється в положення, при якому можлива компенсація паразитного сигналу.

При наявності компенсації паразитного сигналу напруга, що реєструється з урахуванням вираження (1), приймає вигляд:

$$U_{12} = 0,25 K_1 S_1 K_4^2 S_7 K_9 S_{10} \Delta f T_{II} = S_0 T_{II}, \quad (22)$$

де  $S_0 = 0,25 K_1 S_1 K_4^2 S_7 K_9 S_{10} \Delta f$  - результуюча крутизна перетворення температури об'єкта ЕМВ в напругу, що реєструється пристроєм 12.

З отриманого вираження (22) видно, що на результат виміру інтенсивності електромагнітного випромінювання, а отже, і температури джерела ЕМВ не впливає дрейф нуля перемножувача сигналів ( $U_{7DP}$ ), що дозволяє значно підвищити чутливість і точність кореляційного вимірювача за рахунок вибіркового посилення ( $K_9$ ) низькочастотного сигналу частоти комутації і його синхронного детектування ( $S_{10}$ ). Зменшення інтенсивності низькочастотних шумів в округах частоти комутації в порівнянні з інтенсивністю шумів поблизу нульового значення частоти дозволяє знизити постійну часу фільтра, що усереднюється фільтром нижніх частот 11, що підвищує швидкодію кореляційного вимірювача.

Приклад. Досліджувався кореляційний вимірювач інтенсивності електромагнітного випромінювання, виконаний за схемою прототипу, який працює в діапазоні довжин хвиль 3... 12 см, із параболічною антеною і двома напівпровідниковими підсилювачами типу MGA-72543 і балансним змішувачем типу IAM-82028-BLK, у якості перемножувача сигналів. При цьому, фільтр нижніх частот виконаний у вигляді одноланкового інтегруючого ланцюга - RC-фільтра з постійною часу  $\tau = 1$  с. Поріг чутливості склав  $10^{-17}$  Вт/Гц\*см<sup>2</sup> шумового сигналу, а приведена похибка виміру досягала 5%.

Введення в схему хвильового комутатора на р-п діодах, керованого прямокутною напругою частоти 1 кГц, вибіркового підсилювача зі смугою пропускання 20 Гц і синхронного детектора із тим самим фільтром нижніх частот, дозволив знизити поріг чутливості до  $10^{-19}$  Вт/Гц\*см<sup>2</sup> і зменшити приведену похибку за рахунок компенсації паразитних корельованих шумів до 1%. Використання додаткового генератора шуму з атенюатором і хвильовим перемикачем дозволили знизити похибку до 0,2%, а поріг чутливості зменшити до  $10^{-21}$  Вт/Гц\*см<sup>2</sup>.

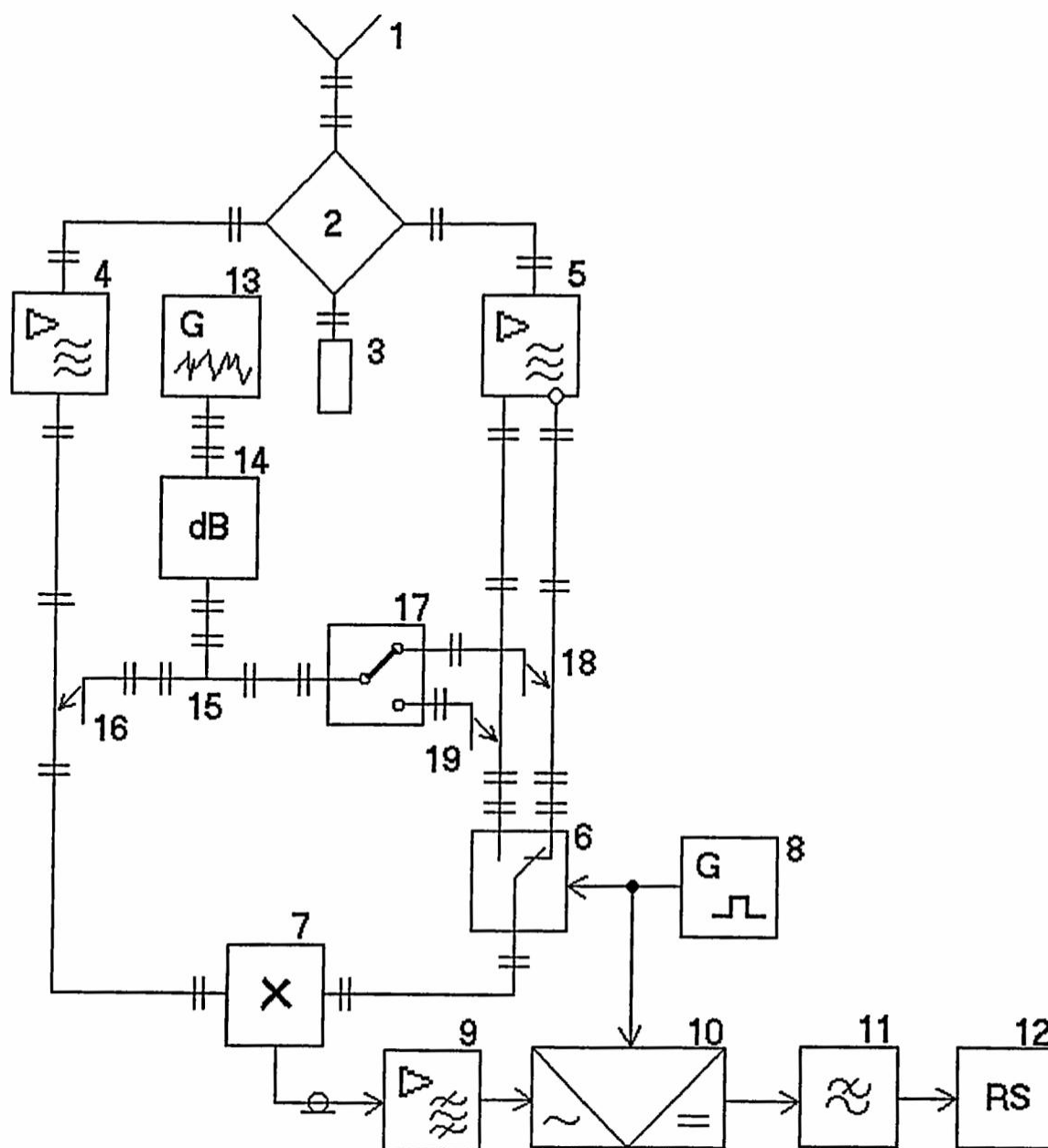


Fig.

---

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 60х84 1/8.  
Обсяг \_\_\_\_\_ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. \_\_\_\_\_

---

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

---