



УКРАЇНА

(19) UA (11) 35394 (13) A

(51) B 601R27/06

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ВИМІРНИК ЯКОСТІ УЗГОДЖЕННЯ ОПОРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ТРАКТІВ З РОЗПОДІЛЬНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

(21) 99105445

(22) 05.10.1999

(24) 15.03.2001

(46) 15.03.2001, Бюл. № 2, 2001 р.

(72) Мегедь Сергій Олександрович, Скрипник Юрій Олександрович

(73) КИЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(57) Вимірник якості узгодження опорів елементів трактів з розподільними параметрами, який містить послідовно з'єднані генератор НВЧ сигналів, амплітудний модулятор, до другого входу якого підключений генератор радіочастоти, НВЧ атенюатор та направлений відгалужувач відбитої хвилі, до виходу якого підключений вимірюваний елемент, до відгалуженого виходу направленого відгалужувача відбитої хвилі підключені послідовно з'єднані НВЧ детектор та резонансний підсилювач, з'єднаний з блоком АРП, який містить диференційний підсилювач, джерело опорної напруги, з'єднане з одним із входів диференційного підсилювача, і інтегратор, підключений між виходом диференційного підсилювача та керуючим входом резонансного підсилювача, та два індикатори, який відрізняється тим, що в нього введені діль-

ник частоти з двома парафазними виходами, вхід якого з'єднаний з виходом генератора радіочастоти, послідовно з'єднані перший синхронний детектор, другий вхід якого з'єднаний з виходом генератора радіочастоти, перший фільтр нижніх частот, підсилювач низької частоти, другий синхронний детектор, другі входи якого з'єднані з парафазними виходами дільника частоти, та другий фільтр нижніх частот, до виходу якого підключений перший індикатор, вихід першого фільтра нижніх частот через введені перший автоматичний ключ та третій фільтр нижніх частот з'єднаний з другим входом диференційного підсилювача, а через введені другий автоматичний ключ та четвертий фільтр нижніх частот з'єднаний з другим індикатором, і другий амплітудний модулятор, підключений між виходом направленого відгалужувача відбитої хвилі та входом вимірюваного елемента, другий вхід другого амплітудного модулятора з'єднаний з одним із виходів дільника частоти та керуючим входом першого автоматичного ключа, керуючий вхід другого автоматичного ключа з'єднаний з другим парафазним виходом дільника частоти, а вхід першого синхронного детектора з'єднаний з виходом резонансного підсилювача.

Винахід відноситься до радіовимірювальної техніки та може бути використаний для вимірювання якості узгодження опорів елементів височастотних та надвисочастотних трактів передачі інформації та енергії

Для характеристики якості узгодження опорів елементів трактів з розподільними параметрами користуються такими поняттями як коефіцієнт відбиття та коефіцієнт переломлення. Під коефіцієнтом відбиття розуміють відношення амплітуди відбитої хвилі до амплітуди хвилі, що падає, а коефіцієнт переломлення - відношення амплітуди хвилі, що пройшла, до хвилі, що падає

При хорошій якості узгодження опорів коефіцієнт відбиття близький до нуля, а коефіцієнт переломлення - до одиниці. Вимірники якості узгодження опорів виконуються на основі вимірювальної лінії з пересуваним зондом, а також трійника, в одне з плечей якого включається смісве на-

вантаження, чи двонаправлений відгалужувач, що розділяє падаючу та відбиту хвилі. Найбільш широко використовуються вимірники з направленими відгалужувачами падаючої та відбитої хвилі (див. Абубаниров Б.А., Гудков К.Г., Нечаев Э.В. Измерение параметров радиотехнических цепей / Под ред. В.Г. Андрущенко, Б.П. Фатеева - М.: Радио и связь, 1984, с. 116-118)

Відомий вимірник якості узгодження опорів елементів трактів з розподільними параметрами (див. Измерения в электронике: справочник / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.Н. Коневских и др. / Под ред. В.А. Кузнецова. - М.: Энергоатомиздат, 1987, с. 220), який містить генератор сигналів, двонаправлений відгалужувач, включений між генератором сигналів та вимірюваним елементом, і вимірник відношення амплітуд сигналів, входи якого з'єднані з виходами двонаправленого відгалужувача.

(19) UA (11) 35394 (13) A

Виділені напрямленими відгалужувачами сигнали детектуються високочастотними чи надвисокочастотними детекторами головками, які вмонтовані в другорядні тракти напрямлених відгалужувачів. Сигнал на виході детекторної головки хвилі, що падає, підтримується сталою системою автоматичного регулювання потужності генератора. Сигнал на виході детекторної головки відбитої хвилі в цьому випадку пропорційний коефіцієнту відбиття чи коефіцієнту переломлення (послаблення), якщо напрямлений відгалужувач підключений на виході вимірювального елемента

Проте неминуча неідентичність параметрів двох напрямлених відгалужувачів, двох детекторних головок, нестабільність та дрейф нуля підсилювачів постійної напруги на виході детекторів обумовлює великі похибки вимірювання в оцінці ступеня узгодження, особливо при малих значеннях коефіцієнта відбиття.

Відомий також вимірник якості узгодження опорів елементів трактів з розподільними параметрами (див. Чернушенко А.М., Майбородин А.В. Измерения параметров электронных приборов дециметрового и сантиметрового диапазонов волн. Под ред. А.М.Чернушенко - М.: Радио и связь, 1986, с. 106-107), який містить послідовно з'єднані генератор НВЧ сигналів, амплітудний модулятор, до другого входу якого підключений генератор радіочастоти, НВЧ атенуатор та напрямлений відгалужувач відбитої хвилі, до виходу якого підключений вимірюваний елемент, до відгалуженого виходу направлено відгалужувача відбитої хвилі підключені послідовно з'єднані НВЧ детектор та резонансний підсилювач, з'єднаний з блоком АРП, який містить диференційний підсилювач, джерело опорної напруги, з'єднане з одним із входів диференційного підсилювача, інтегратор, підключений між виходом диференційного підсилювача та керуючим входом резонансного підсилювача, та два індикатори.

Крім того, відомий вимірник містить напрямлений відгалужувач падаючої хвилі, підключений до виходу НВЧ атенуатора, до відгалуженого вихода якого підключені другий НВЧ детектор та другий резонансний підсилювач, керуючий вхід якого з'єднаний з керуючим входом першого резонансного підсилювача, другий вхід диференційного підсилювача через випрямляч з'єднаний з виходом другого резонансного підсилювача, а індикатор через випрямляч підключений до виходу першого резонансного підсилювача.

Завдяки автоматичному регулюванню підсилення (АРП) резонансних підсилювачів на рівні потужності падаючої хвилі показання індикатора пропорційні коефіцієнту відбиття вимірюваного елемента. Проте неминуче розстроювання двох резонансних підсилювачів викликає значну нерівність їх коефіцієнтів підсилення при одному й тому ж керуючому сигналі, що викликає велику похибку в значенні коефіцієнта відбиття. Крім того, два НВЧ детектора, навіть при цілком ідентичних конструкціях детекторних секцій та однакових вольтамперних характеристиках діодів до постійного струму, в діапазоні НВЧ можуть сильно відрізнятися по своєму повному опору, і як наслідок, по чутливості. Тому точність двоканальних вимі-

рників якості узгодження опорів по коефіцієнту відбиття залишається низькою.

В основу винаходу покладена задача створення такого вимірника якості узгодження опорів елементів трактів з розподільними параметрами, в якому введення нових елементів та зв'язків дозволило б виключити вплив нестабільності параметрів НВЧ елементів і розстройки резонансного підсилювача на результат вимірювання коефіцієнта відбиття, і забезпечити можливість одночасного вимірювання коефіцієнта переломлення, завдяки чому підвищиться точність вимірювання і розширяться функціональні можливості вимірника

Поставлена задача вирішується тим, що в вимірник якості узгодження опорів елементів трактів з розподільними параметрами, який містить послідовно з'єднані генератор НВЧ сигналів, амплітудний модулятор, до другого входу якого підключений генератор радіочастоти, НВЧ атенуатор та напрямлений відгалужувач відбитої хвилі, до виходу якого підключений вимірюваний елемент, до відгалуженого виходу направлено відгалужувача відбитої хвилі підключені послідовно з'єднані НВЧ детектор та резонансний підсилювач, з'єднаний з блоком АРП, який містить диференційний підсилювач, джерело опорної напруги, з'єднане з одним із входів диференційного підсилювача, і інтегратор, підключений між виходом диференційного підсилювача та керуючим входом резонансного підсилювача, та два індикатори, згідно винаходу, введені дільник частоти з двома парафазними виходами, вхід якого з'єднаний з виходом генератора радіочастоти, послідовно з'єднані перший синхронний детектор, другий вхід якого з'єднаний з виходом генератора радіочастоти, перший фільтр нижніх частот, підсилювач низької частоти, другий синхронний детектор, другі входи якого з'єднані з парафазними виходами дільника частоти, та другий фільтр нижніх частот, до виходу якого підключений перший індикатор, вихід першого фільтра нижніх частот через введені перший автоматичний ключ та третій фільтр нижніх частот з'єднаний з другим входом диференційного підсилювача, а через введені другий автоматичний ключ та четвертий фільтр нижніх частот з'єднаний з другим індикатором, другий амплітудний модулятор, підключений між виходом направлено відгалужувача відбитої хвилі та входом вимірюваного елемента, другий вхід другого амплітудного модулятора з'єднаний з одним із виходів дільника частоти та керуючим входом першого автоматичного ключа, керуючий вхід другого автоматичного ключа з'єднаний з другим парафазним виходом дільника частоти, а вхід першого синхронного детектора з'єднаний з виходом резонансного підсилювача.

Саме введення в схему вимірника якості узгодження опорів елементів трактів з розподільними параметрами другого амплітудного модулятора на виході направлено відгалужувача відбитої хвилі, який керується сигналами генератора радіочастоти через дільник частоти, та двох синхронних детекторів, перший із яких керується сигналом генератора радіочастоти безпосередньо, а другий через дільник частоти, двох автоматичних ключів з фільтрами нижніх частот, при чому перший та другий ключі керуються від протифазних виходів дільника частоти, а другий амплітудний модулятор

працює синхронно з першим автоматичним ключем, підключення входу диференційного підсилювача блока АРП через перший автоматичний ключ та третій фільтр нижніх частот до виходу першого фільтра нижніх частот, який підключений до виходу першого синхронного детектора, та підключення індикаторів до виходів другого і четвертого фільтрів нижніх частот забезпечує одноканальність перетворення падаючої та відбитої хвилі, що виключає вплив нестабільності параметрів НВЧ елементів, і розстройки резонансного підсилювача на результат вимірювання коефіцієнта відбиття, а також розширює функціональні можливості вимірника за рахунок одночасного вимірювання коефіцієнта переломлення, що забезпечує комплексну оцінку якості узгодження опорів елементів в трактах з розподільними параметрами з високою точністю.

На кресленні (фіг.) представлена функціональна схема вимірника якості узгодження опорів елементів трактів з розподільними параметрами.

Вимірник містить послідовно з'єднані генератор 1 НВЧ сигналів, перший амплітудний модулятор 2, до другого входу якого підключений генератор 3 радіочастоти, НВЧ атенюатор 4, направлений відгалужувач відбитої хвилі 5, другий амплітудний модулятор 6, другий вхід якого з'єднаний з одним із парафазних виходів дільника 7 частоти. До виходу амплітудного модулятора 6 підключений вимірюваний елемент 8, якість узгодження з яким перевіряється. До відгалуженого виходу направленного відгалужувача 5 підключені послідовно з'єднані НВЧ детектор 9, що керує резонансним підсилювачем 10, перший синхронний детектор 11, перший фільтр 12 нижніх частот, підсилювач 13 низької частоти, другий синхронний детектор 14, другий фільтр 15 нижніх частот та перший індикатор 16. Вихід фільтра 12 нижніх частот через перший автоматичний ключ 17 та третій фільтр 18 нижніх частот з'єднаний з одним входом диференційного підсилювача 19, другий вхід якого з'єднаний з джерелом 20 опорної напруги. Вихід диференційного підсилювача з'єднаний через інтегратор 21 з керуючим входом резонансного підсилювача 10. Вихід фільтра 12 нижніх частот також підключений через другий автоматичний ключ 22 та четвертий фільтр 23 нижніх частот до другого індикатора 24. Вхід дільника 7 частоти та другий вхід синхронного детектора 11 з'єднані з виходом генератора 3 радіочастоти. Керуючий вхід першого автоматичного ключа 17 з'єднаний з другим входом амплітудного модулятора 6 та одним із парафазних виходів дільника 7 частоти. Другі виходи синхронного детектора 14 підключені до парафазних виходів дільника 7 частоти.

Вимірник якості узгодження опорів елементів трактів з розподільними параметрами працює слідує чиним.

Надвисокочастотний (НВЧ) сигнал генератора 1 модулюється по амплітуді в модуляторі 2 радіочастотним сигналом генератора 3. Модульований НВЧ сигнал через НВЧ атенюатор 4 та направлений відгалужувач 5 поступає на другий амплітудний модулятор 6. Модулятор 6, виконаний на ріп-діодах, працює в режимі переривання та відбиття перерваного сигналу, коли на його другий вхід надходить керуючий сигнал F з виходу дільни-

ка 7 частоти. Керуючі сигнали низької частоти формуються дільником 7 частоти із сигналу радіочастоти f генератора 3. Частота модуляції НВЧ сигналу вибирається в межах $f = 200 \dots 100$ кГц, а частоту переривання при коефіцієнті ділення $n = 16 \dots 32$ одержимо в межах $F = 1200 \dots 600$ Гц.

Під впливом керуючого сигналу на другий вхід амплітудного модулятора 6 модульований НВЧ сигнал відбивається від модулятора та через направлений відгалужувач 5 надходить до НВЧ детектора 9. В результаті квадратичного детектування слабого сигналу на його виході в інтервалі $0 < t < \pi/\Omega$ виділяється радіоімпульс частоти модуляції

$$U_1(t) = K_1 K_2 S_1 m^2 P_1 \cos(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

де K_1 - коефіцієнт передачі по потужності атенюатора 4;

K_2 - коефіцієнт передачі по потужності направленного відгалужувача 5;

S_1 - чутливість НВЧ детектора 9;

m - коефіцієнт глибини амплітудної модуляції;

P_1 - потужність НВЧ сигналу генератора 1;

$\omega = 2\pi f$ - кругова частота заповнення радіоімпульсів.

При відсутності керуючого сигналу амплітудний модулятор 5 відкритий. Модульований НВЧ сигнал надходить на вимірюваний елемент 8. В залежності від якості узгодження опорів тракту передачі та елемента 8 частина НВЧ сигналу надходить через елемент, а частина відбивається. Відбитий НВЧ сигнал приходить через відкритий модулятор 6 та через направлений відгалужувач 5 на детектор 9. В сусідньому інтервалі $\pi/\Omega < t < 2\pi/\Omega$ на виході НВЧ детектора виділяється радіоімпульс частоти модуляції

$$U_2(t) = K_1 K_2 S_1 m^2 \Gamma^2 P_1 \cos(\omega t + \varphi), \quad (2)$$

де Γ - коефіцієнт відбиття елемента 8.

Так як імпульси переривання надходять непереривно з низькою частотою Ω , то на виході НВЧ детектора 9 формується непереривна напруга частоти ω , яка складається із радіоімпульсів (1) та (2), які слідує з частотою ω .

Радіочастотні напруги частоти ω виділяються та підсилюються резонансним підсилювачем 10, настроєним на частоту генератора 3. Підсилена напруга детектується синхронним детектором 12, який керується безпосередньо сигналом генератора 3. В результаті синхронного детектування на виході фільтра 12 низьких частот виділяються відеоімпульси з амплітудами:

$$U_3 = K_1 K_2 S_1 K_3 S_2 K_4 m^2 P_1, \quad (3)$$

$$U_4 = K_1 K_2 S_1 K_3 S_2 K_4 m^2 \Gamma^2 P_1, \quad (4)$$

де K_3 - коефіцієнт підсилювання резонансного підсилювача 10;

S_2 - чутливість синхронного детектора;

K_4 - коефіцієнт передачі фільтра 12 нижніх частот.

З послідовності відеоімпульсів (3) і (4) підсилювачем 13 низької частоти виділяється та підси-

люється змінна складова напруга частоти переривання

$$U_5(t) = K_5 \frac{U_2 - U_4}{2} \cos(\Omega t + \varphi) = 0,5 K_1 K_2 \times \\ \times S_1 K_3 S_2 K_4 K_5 m^2 (1 - \Gamma^2) P_1 \cos(\Omega t + \varphi), \quad (5)$$

де K_5 - коефіцієнт підсилення підсилювача 13 низької частоти.

Підсилена напруга вирівнюється синхронним детектором 14 та згладжується фільтром 15 нижніх частот. Синхронний детектор виконаний по двотактній схемі, керується протифазними сигналами дільника 7 частоти. Постійна напруга на виході фільтра 15 нижніх частот з урахування виразу (5) має вигляд:

$$U_6 = 0,5 K_1 K_2 S_1 K_3 S_2 K_4 K_5 S_3 K_6 m^2 (1 - \Gamma^2) P_1, \quad (6)$$

де S_3 - чутливість синхронного детектора 14;

K_6 - коефіцієнт передачі фільтра 15 нижніх частот.

Вихідний сигнал фільтра 12 нижніх частот через автоматичний ключ 17 та фільтр 18 нижніх частот поступає на один вхід диференційного підсилювача 19, на другий вхід якого діє опорна напруга джерела 20. Автоматичний ключ 17 працює синхронно з низькочастотним модулятором 6. Коли керуючий сигнал від дільника 7 частоти перериває НВЧ сигнал, і перерваний сигнал поступає через направлений відгалужувач 5 в одноканальний тракт, то ключ 17 замикається. Відеоімпульси (3) з амплітудою U_3 поступають на фільтр 18 нижніх частот. Коли керуючий сигнал відсутній, через модулятор 6 проходять одночасно зондуєчий НВЧ сигнал на елемент 8 та відбитий від нього НВЧ сигнал. При цьому ключ 17 розмикається, відеоімпульси (4) з амплітудою U_4 на фільтр 18 нижніх частот не проходять. Тому з послідовності відеоімпульсів (3) фільтром 18 нижніх частот виділяється постійна складова напруги:

$$U_7 = 0,5 K_1 K_2 S_1 K_3 S_2 K_4 K_7 m^2 P_1, \quad (7)$$

де K_7 - коефіцієнт передачі фільтра 18 нижніх частот.

Диференційним підсилювачем 19 встановлюється різниця напруга вигляду:

$$U_8 = K_8 (U_7 - U_6) = \\ = K_8 (0,5 K_1 K_2 S_1 K_3 S_2 K_4 K_7 m^2 P_1 - U_6), \quad (8)$$

де K_8 - коефіцієнт підсилення диференційного підсилювача 19;

U_0 - опорна напруга джерела 20.

Напруга 8 заряджає інтегратор 21, вихідна напруга якого керує коефіцієнтом підсилення резонансного підсилювача 10. Процес автоматичного регулювання коефіцієнта підсилення триває до тих пір, поки вхідні напруги диференційного підсилювача U_7 та U_6 не зрівняються. При досягненні зазначеної рівності ($U_8=0$) маємо

$$U_0 = 0,5 K_1 K_2 S_1 K_3 S_2 K_4 K_7 m^2 P_1. \quad (9)$$

З виразу (9) визначаємо установлене значення коефіцієнта підсилення підсилювача 10:

$$K_3 = \frac{2U_0}{K_1 K_2 S_1 S_2 K_4 K_7 m^2 P_1}.$$

Вихідний сигнал фільтра 12 нижніх частот через автоматичний ключ 22 поступає також на фільтр 23 нижніх частот. Ключ 22 працює синхронно з ключем 17, але в протифазі. Тому при замиканні автоматичного ключа 22 на фільтр 23 нижніх частот проходять тільки відеоімпульси (4) з амплітудою U_4 . На виході фільтра 23 нижніх частот виділяється постійна складова напруги послідовності відеоімпульсів (4)

$$U_9 = 0,5 K_1 K_2 S_1 K_3 S_2 K_4 K_8 m^2 \Gamma^2 P_1, \quad (11)$$

де K_8 - коефіцієнт передачі фільтра 23 нижніх частот.

Підставив значення коефіцієнта підсилення K_3 резонансного підсилювача 10 з виразу (10) в (11). Після перетворень одержимо

$$U_9 = \frac{K_5 U_6 \Gamma^2}{K_7}. \quad (12)$$

Якщо виконати фільтри 18 та 23 нижніх частот однаковими ($K_7=K_8$), то остаточно одержимо

$$U_9 = U_6 \Gamma^2. \quad (13)$$

Напруга U_9 з виразу (13) вимірюється індикатором 24, шкала якого градується в значеннях коефіцієнта відбиття Γ .

Підставляючи значення коефіцієнта підсилення K_3 з виразу (10) в вираз (6), одержимо

$$U_6 = \frac{K_5 S_2 K_4 U_0}{K_7} (1 - \Gamma^2). \quad (14)$$

Якщо виконати умову

$$S_2 K_6 = K_7, \quad (15)$$

то остаточно одержуємо

$$U_9 = K_5 U_0 (1 - \Gamma^2) = K_5 U_0 \Pi^2, \quad (16)$$

де $\Pi^2 = 1 - \Gamma^2$ - коефіцієнт переломлення вимірюваного елемента 8 по потужності.

Напруга U_9 з виразу (16) вимірюється індикатором 16, шкала якого градується в значеннях коефіцієнта переломлення Π .

З одержаних виразів (13) та (16) видно, що результати вимірювань коефіцієнтів відбиття Γ та переломлення Π не залежать від нестабільності параметрів елементів НВЧ тракту (K_1 , K_2 і S_1), а також параметрів елементів високочастотного (ВЧ) тракту (S_2 і K_4). На результат вимірювання не впливає нестабільність потужності НВЧ генератора 1 (P_1) та розстройка резонансного керованого підсилювача (K_3). Чутливість вимірника до коефіцієнту переломлення Π легко змінювати регулюванням коефіцієнта підсилення K_5 підсилювача 13 низької частоти.

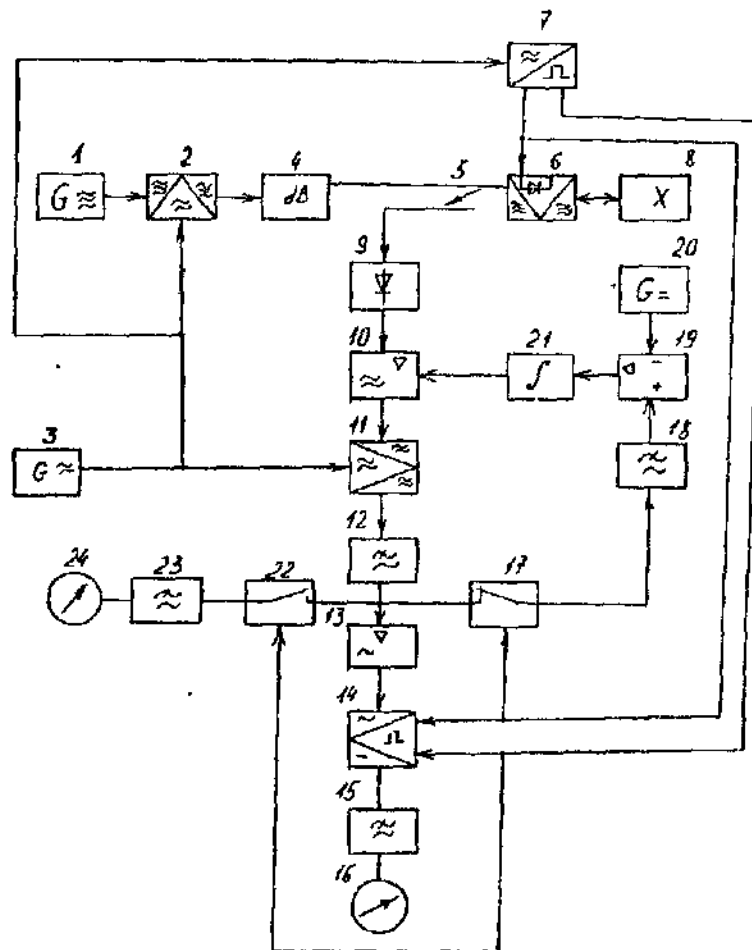
Слід відзначити, що фазові зсуви, що вносяться розстроєним резонансним підсилювачем 10 (φ), однакові для радіоімпульсів (1) та (2). Тому во-

ни в однаковій мірі знижують чутливість синхронного детектора 11 при детектуванні радіоімпульсів. Але непостійність чутливості синхронного детектора (S_2) на результат вимірювання не впливає. Тому і розстроювання резонансного підсилювача, яке приводить до зменшення коефіцієнта підсилення (K_3) та чутливості (S_2) із-за фазових зсувів, в одноканальним перетворювальним тракті не викликає похибки вимірювання. В двоканальних вимірювальних схемах фазові зсуви розстроєних підсилювачів практично виключають можливість використання двох синхронних детекторів.

Оцінка якості узгодження опорів елементів по двом параметрам (Γ і Π) являється більш

повною, так як дозволяє коректувати випадкові похибки та помилки. Так, при оцінці високочастотних узгоджень, важко виміряти коефіцієнт відбиття менше 0,01-0,005. В той же час коефіцієнт переломлення близький до одиниці, і його можна виміряти з високою чутливістю та точністю за рахунок великого значення коефіцієнта підсилення низькочастотного підсилювача.

Розглянутий вимірник може працювати в широкому діапазоні частот (50 МГц - 10 ГГц) з відносною похибкою не більше 0,2 % при коефіцієнті пропускання до 0,998.



Тираж 50 экз

Відкрите акціонерне товариство «Патент»

Україна 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101

(03122) 3-72-89 (03122) 2-57-03

