



УКРАЇНА

(19) UA (11) 43723 (13) U  
(51) МПК (2009)  
G01N 25/00  
G01R 13/00  
A61B 1/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) ДВОАНТЕННА РАДІОМЕТРИЧНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ГРАДІЄНТІВ ТЕМПЕРАТУР

1

(21) u200903682

(22) 15.04.2009

(24) 25.08.2009

(46) 25.08.2009, Бюл.№ 16, 2009 р.

(72) КУЦЕНКО ВОЛОДИМИР ПЕТРОВИЧ

(73) ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Двоантенна радіометрична система для вимірювання градієнтів температур, що містить опорну антену-аплікатор, з'єднану з одним входом першого НВЧ-перемикача, інший вхід якого з'єднаний з еквівалентним навантаженням, вимірювальну антену-аплікатор, з'єднану з одним входом другого НВЧ-перемикача, інший вхід якого з'єднаний з іншим еквівалентним навантаженням, третім НВЧ-перемикачем, входи якого з'єднані з виходами першого і другого НВЧ-перемикачів, а вихід - з послідовно з'єднаними НВЧ-підсилювачем, квадратичним детектором, фільтром нижніх частот, вибіркового підсилювачем низької частоти, синхронним детектором і інтегратором, аналоговим входом аналого-цифрового перетворювача, цифровий вихід якого з'єднаний з першим цифровим входом-виходом персонального комп'ютера з мікропроцесорним контролером, другий цифровий вхід-вихід якого з'єднаний із цифровим генератором низької частоти, перший логічний вихід комп'ютера з'єднаний з керуючим входом першого НВЧ-перемикача, другий логічний вихід з'єднаний з керуючим входом другого НВЧ-перемикача, вихід цифрового генератора низької частоти з'єднаний з керуючими входами комутаційного модулятора й синхронного детектора, яка відрізняється тим, що додатково введено керований атенюатор,

2

включений між вимірювальною антеною-аплікатором і НВЧ-перемикачем, послідовно з'єднані змішувач із гетеродином і підсилювач проміжної частоти, а також автоматичний перемикач, послідовно з'єднані вибіркового підсилювач низької частоти і синхронний детектор, аналого-цифровий перетворювач, два цифро-аналогові перетворювачі, підсилювач потужності, напівпровідниковий елемент Пельтьє і два датчики температури, один із яких знаходиться в тепловому контакті з вимірювальною антеною-аплікатором, другий - з опорною антеною-аплікатором, виходи датчиків температури з'єднані з входами введеного автоматичного перемикача, до виходу якого підключені другі вибіркового підсилювач низької частоти і синхронний детектор, до виходу якого підключено аналого-цифровий перетворювач, кодовий вихід якого з'єднаний з третім цифровим входом-виходом комп'ютера, четвертий цифровий вхід-вихід комп'ютера з'єднаний із входом цифро-аналогового перетворювача, до аналогового виходу якого підключений керований вхід атенюатора, що включений між вимірювальною антеною і НВЧ-перемикачем, п'ятий цифровий вхід-вихід комп'ютера з'єднаний із входом другого цифро-аналогового перетворювача, до аналогового виходу якого підключені послідовно з'єднані підсилювач потужності і напівпровідниковий елемент Пельтьє, який знаходиться в тепловому контакті з вимірювальною антеною-аплікатором, керуючий вхід автоматичного перемикача і синхронного детектора підключені до виходу цифрового генератора низької частоти.

Корисна модель відноситься до радіовимірювальної техніки і може бути використана для оцінки стану людини за рахунок дослідження градієнтів електромагнітного випромінювання (ЕМВ) організму у діапазоні надвисоких частот (НВЧ).

Тіло людини відповідно до його температури випромінює за законом Планка електромагнітну енергію в широкому діапазоні частот, у тому числі й у діапазоні НВЧ, у якому можливо глибинне до-

слідження внутрішніх органів. Джерелом цього випромінювання є теплові і метаболічні процеси в клітинах живих організмів і залежно від стану здоров'я температура в тканинах може відрізнятися від норми на кілька градусів. Відомо, що при онкологічних захворюваннях чи при запальних процесах, рівень НВЧ випромінювання істотно зростає, виснаження організму, різного роду патології та ін. дають знижений рівень ЕМВ. Тому, оцінивши по-

(19) UA (11) 43723 (13) U

тужність випромінювання за допомогою НВЧ радіометричної системи із антеною-аплікатором (АА), прикладеної до поверхні шкіри, можна судити як про температуру глибоких шарів, так і про інтенсивність фізіологічних процесів, що протікають в органах і тканинах.

Однак, приймати і вимірювати такі випромінювання важко, тому що рівні власних шумів антени і радіометричного приймача часто перевищують прийняте ЕМВ, а за спектром вони подібні і мало відрізняються. Тому для вимірювання слабких широкосмугових сигналів застосовують різні способи виділення прийнятого інформативного сигналу на тлі інтенсивних апаратних шумів і перешкод. Крім того, при використанні антен-аплікаторів для прийому ЕМВ від глибоких шарів існує неминуча похибка вимірювання, що виникає через відбиття випромінювання на межі антена-об'єкт. Коефіцієнти відбиття можуть істотно відрізнятися за рахунок розходження діелектричних властивостей об'єкта (див. С.М.Сакало, В.В.Семенець, О.Ю.Азархов Надвисокі частоти у медицині (терапія і діагностика) - Харків: Колегіум, 2005, С.103-111). Вплив цього коефіцієнта можна уникнути при використанні двоантенних модуляційних радіометричних систем, коли реєструється різниця температур у симетричних точках об'єкта. Однак, найчастіше цій апаратурі властива невисока чутливість і точність. Крім того, такі радіометри повинні вимірювати різницю рівнів малих ЕМВ, значення яких порівнянні не тільки із шумами, але і з похибками модуляційного тракту порівняння.

Існує модуляційна радіометрична система (див. Скрипник Ю.О., Манойлов В.П., Яненко О.П. Модуляційні радіометричні пристрої та системи НВЧ діапазону - Житомир: ЖІТІ, 2001, С 164-165), що має дві антени, сигнали з яких подаються по черзі через автоматичний перемикач на високочастотний вхід радіоприймального тракту радіометра з наступним перетворенням і виділенням обвідної сигналу. Однак специфічні погрешності, що вносяться антеною-аплікатором і які важко врахувати і виключити, нестабільність посилення приймача, паразитна модуляція власних шумів приймача від переключення НВЧ сигналів на виході антен викликають появу інструментальних похибок від зміни функції перетворення радіометричного приймача щодо нормованого номінального значення.

Відома двоантенна радіометрична система (див. Ю.А.Скрипник., А.Ф.Яненко, В.Ф.Манойлов., В.П.Куценко, Ю.Б.Гимпелевич Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов. - Житомир: «Волынь». - 2003. - С.220-223) утримує два хвильоводних датчика, НВЧ ключ-модулятор, циркулятор, змішувач із гетеродином, підсилювач проміжної частоти, квадратичний детектор, блок віднімання, джерело постійної напруги, логарифматор, підсилювач низької частоти, синхронний детектор, фільтр нижніх частот, генератор низької частоти і цифровий вольтметр. Однак наявність циркулятора і вузькосмугового підсилювача проміжної частоти обмежують смугу прийнятих частот порівнюваних широкосмугових випромінювань від об'єктів дослідження, що знижує чутливість радіометричної системи. Через

похибки перетворення сигналів, що виникають у результаті часової і температурної нестабільності параметрів блоків радіоканалу, знижується точність вимірювання.

Як прототип приймають (див. Патент №35567 (Україна), GO1R29/08, Диференціальний модуляційний радіометр /Скрипник Ю.О., Ваганов О.А. - Опубл. 25.09.2008р., Бюл. №18.), що містить дві антени, три НВЧ перемикачі, два еквівалентні навантаження, підсилювач високої частоти, квадратичний детектор, фільтр нижніх частот, вибіркового підсилювач низької частоти, синхронний детектор, інтегратор, аналого-цифровий перетворювач, цифровий генератор низької частоти, персональний комп'ютер і мікропроцесорний контролер. Однак, при вимірюванні градієнтів ЕМВ одна антена встановлюється постійно на обраній ділянці тіла, а друга переміщується по його поверхні в пошуку аномалій. При переміщенні антени-аплікатора по поверхні тіла людини змінюється її температура і, відповідно, рівень власних шумів, а еквівалентне навантаження знаходиться при постійній температурі. Тому власні шуми антени не в повному обсязі компенсуються шумами еквівалентного навантаження при її переміщенні. Крім того, через зміну температури антени міняється її опір і порушується рівність з опором еквівалента антени, що викликає паразитну модуляцію власних шумів НВЧ підсилювача, що знижує точність вимірювання. Наявність каналу прямого посилення обмежує також її чутливість за рахунок проходження високого рівня паразитних флуктуацій на вихід системи.

В основу корисної моделі покладене завдання створити двоантенну радіометричну систему для вимірювання градієнтів температур, у якій введення нових елементів і зв'язків забезпечило б підвищення точності вимірювання потужності ЕМВ з глибини тіла людини при різній температурі його шкіри.

Поставлене завдання вирішується за рахунок того, що у двоантенну радіометричну систему для вимірювання градієнтів температур, що містить опорну АА з'єднану з одним входом першого НВЧ перемикача, інший вхід якого з'єднаний з еквівалентним навантаженням, вимірювальну АА, з'єднану з одним входом другого НВЧ перемикача, інший вхід якого з'єднаний з іншим еквівалентним навантаженням, третім НВЧ перемикачем, входи якого з'єднані з виходами першого і другого НВЧ перемикачів, а вихід - з послідовно з'єднаними НВЧ підсилювачем, квадратичним детектором, фільтром нижніх частот, вибіркового підсилювачем низької частоти, синхронним детектором і інтегратором, аналоговим входом аналого-цифрового перетворювача (АЦП), цифровий вихід якого з'єднаний з першим цифровим входом-виходом персонального комп'ютера (ери) з мікропроцесорним контролером, другий цифровий вхід-вихід якого з'єднаний із цифровим генератором низької частоти, перший логічний вихід комп'ютера з'єднаний з керуючим входом першого НВЧ перемикача, другий логічний вихід з'єднаний з керуючим входом другого НВЧ перемикача, вихід цифрового генератора низької частоти з'єднаний з керуючими вхо-

дами комутаційного модулятора й синхронного детектора, згідно корисної моделі, додатково введені керований атенюатор, включений між вимірювальною антеною і НВЧ перемикачем, послідовно з'єднані змішувач із гетеродином і підсилювач проміжної частоти, а також автоматичний перемикач, послідовно з'єднані вибіркового підсилювач низької частоти і синхронний детектор, аналого-цифровий перетворювач, два цифро-аналогових перетворювача (ЦАП), підсилювач потужності, напівпровідниковий елемент Пельтьє і два датчики температури, один із яких знаходиться в тепловому контакті з вимірювальною АА, другий - з опорної АА, виходи датчиків температури з'єднані з входами введенного автоматичного перемикача, до виходу якого підключені другі вибіркового підсилювач низької частоти і синхронний детектор, до виходу якого підключене АЦП, кодовий вихід якого з'єднаний з третім цифровим входом-виходом комп'ютера, четвертий цифровий вхід-вихід комп'ютера з'єднаний із входом ЦАП, до аналогового виходу якого підключений керований вхід атенюатора, що включений між вимірювальною антеною і НВЧ перемикачем, п'ятий цифровий вхід-вихід комп'ютера з'єднаний із входом другого ЦАП, до аналогового виходу якого підключені послідовно з'єднані підсилювач потужності і напівпровідниковий елемент Пельтьє, який знаходиться в тепловому контакті з вимірювальною АА, керуючий вхід автоматичного перемикача і синхронного детектора підключені до виходу цифрового генератора низької частоти.

Введення на вході двоантенної радіометричної системи для вимірювання градієнтів температур замість першого і другого НВЧ перемикачів, першого і другого еквівалентних навантажень і НВЧ підсилювача - НВЧ змішувача із гетеродином і підсилювача проміжної частоти, що послідовно з'єднані, дозволяє значно знизити флуктуаційний поріг чутливості системи за рахунок великого коефіцієнта підсилення підсилювача проміжної частоти та забезпечити можливість діапазонної роботи на надвисоких частотах шляхом перестроювання частоти гетеродина, введення керованого НВЧ атенюатора, автоматичного перемикача, вибіркового підсилювача низької частоти і синхронного детектора, АЦП, двох ЦАП і двох датчиків температури, включених зазначеним образом, підсилювача потужності і напівпровідникового елемента Пельтьє дозволяє автоматично урахувати різницю температур опорної і вимірювальної антен, при переміщенні другої по поверхні тіла людини і незалежно від її положення забезпечувати компенсацію змін рівня власних шумів вимірювальної антени при будь-якій температурі об'єкту дослідження, що забезпечує постійність власних шумів вхідних ланцюгів радіометричної системи при комутації АА, завдяки чому компенсуються їх власні шуми і виключається паразитна модуляція власного шуму вхідних ланцюгів. Усе це дозволяє підвищити точність вимірювання потужності ЕМВ, а отже і температури від внутрішніх органів і новотворів людини при різній температурі шкіри.

На Фіг. представлена електрична функціональна схема двоантенної радіометричної системи для вимірювання градієнтів температур.

Двоантенна радіометрична система для вимірювання градієнтів температур включає наступні елементи: опорну АА 1 з'єднану з одним входом НВЧ перемикача 3, інший вхід якого з'єднаний з виходом керованого НВЧ атенюатора 18, до сигнального входу якого підключена вимірювальна АА 2, вихід НВЧ перемикача 3 з'єднаний з послідовно підключеними змішувачем 6 із гетеродином 5 і підсилювачем 7 проміжної частоти, квадратичним детектором 8, вибіркового підсилювачем низької частоти 9, синхронним детектором 10 і інтегратором 11, аналоговим входом АЦП 12, цифровий вихід якого з'єднаний з першим цифровим входом-виходом комп'ютера 24 з мікропроцесорним контролером, другий цифровий вхід-вихід якого з'єднаний із цифровим генератором низької частоти 14, вихід цифрового генератора низької частоти 14 з'єднаний з керуючими входами НВЧ перемикача 3 і автоматичного перемикача 4, синхронного детектора 10 і синхронного детектора 15. Датчик температури 23, який знаходиться в тепловому контакті з опорної АА 1 і датчик температури 22, який знаходиться в тепловому контакті з вимірювальною АА 2 з'єднані з входами введенного автоматичного перемикача 4, до виходу якого підключені другі вибіркового підсилювач 16 низької частоти і синхронний детектор 15, до виходу якого підключені АЦП 13, кодовий вихід якого з'єднаний з третім цифровим входом-виходом комп'ютера 24, четвертий цифровий вхід-вихід комп'ютера 24 з'єднаний із входом ЦАП 17, до аналогового виходу якого підключене керуючий вхід керованого НВЧ атенюатора 18, п'ятий цифровий вхід-вихід комп'ютера 24 з'єднаний із входом ЦАП 19, до аналогового виходу якого підключені послідовно з'єднані підсилювач потужності 20 і напівпровідниковий елемент Пельтьє 21, який знаходиться в тепловому контакті з вимірювальною АА 2.

Двоантенна радіометрична система для вимірювання градієнтів температур працює наступним чином.

Випромінювання від людини приймаються опорної 1 і вимірювальної 2 АА, що знаходяться в безпосередньому контакті з шкірою людини. На виході антен 1 і 2 формуються ширококутові НВЧ сигнали, значення яких визначається інтенсивністю фізіологічних процесів, температурою досліджуваних ділянок тіла, випромінювальною здатністю поверхні і параметрами антен. Дисперсії вихідних сигналів АА 1 і 2 з урахуванням їх власних шумів, які некорельовані зі складовими прийнятих сигналів, можна представити відповідно у виді суми:

$$\bar{U}_1^2 = P_1 + \bar{U}_{ш1}^2 \quad (1)$$

$$\bar{U}_2^2 = K_{18}(P_2 + \bar{U}_{ш2}^2) \quad (2)$$

де  $P_1, P_2$  - потужності ЕМВ, що надходять на входи відповідно опорної 1 і вимірювальної 2 АА;  $\bar{U}_{ш1}^2 = 4kT_1R_1\Delta f$ ,  $\bar{U}_{ш2}^2 = 4kT_2R_2\Delta f$  - дисперсія власних шумів відповідно опорної 1 і вимірювальної 2 АА;  $k$  - постійна Больцмана ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К);  $T_1, T_2$  і  $R_1, R_2$  - температура і опір відповідно опорної 1 і вимірювальної 2 АА у зонах вимірювання

на шкірі людини;  $\Delta f$  - смуга НВЧ частот радіометричної системи;  $K_{18}$  - коефіцієнт передачі кодованого НВЧ атенюатору 18 за потужністю.

Відповідно до встановленої програми ери посилає керуючі сигнали на цифровий генератор 14 низької частоти, що формує знакозмінну напругу, яка управляє НВЧ перемикачем 3. У результаті перемикання НВЧ перемикача 3 обоє сигнали (1) і (2), пропорційні можностям  $P_1$  і  $P_2$  спільно із власними шумами відповідно опорної 1 і вимірювальної 2 АА надходять на вхід змішувача 6

У зазначеному на кресленні положенні автоматичного перемикача 3 на вхід НВЧ змішувача 6 надходить сигнал від опорної АА 1 з її шумами (1). З урахуванням власних шумів НВЧ змішувача 6 спільно із гетеродином 5, рівень яких залежить від вхідного опору АА 1 і які не корельовані із її шумами, дисперсію перетвореного сигналу представимо також у виді суми:

$$\overline{U}_{61}^2 = K_6^2(P_1 + \overline{U}_{\text{ш1}}^2 + \overline{U}_{\text{ш61}}^2) \quad (3)$$

де  $K_6$  - коефіцієнт перетворення НВЧ змішувача 6;  $\overline{U}_{\text{ш61}}^2 = R_1(F_6 - 1)T_0\Delta f$  - дисперсія власних шумів НВЧ змішувача 6 спільно із гетеродином 5 при підключенні до його входу опорної 1 АА із опором  $R_1$ ;  $F_6$  - коефіцієнт шуму НВЧ змішувача 6;  $T_0 = 273\text{K}$  - температура, що відповідає нулю градусів за Цельсієм.

У протилежному положенні перемикача 3 на вхід НВЧ змішувача 6 надходить шумовий сигнал з вимірювальної 2 АА. Шуми вимірювальної 2 АА не корельовані із шумами змішувача 6 спільно із гетеродином 5, тому дисперсія перетвореного сигналу:

$$\overline{U}_{62}^2 = K_6^2(K_{18}P_2 + K_{18}\overline{U}_{\text{ш2}}^2 + \overline{U}_{\text{ш62}}^2) \quad (4)$$

де  $\overline{U}_{\text{ш2}}^2$  - дисперсія шумів вимірювальної 2 АА;  $\overline{U}_{\text{ш62}}^2 = R_2(F_6 - 1)T_0\Delta f$  - дисперсія власних шумів НВЧ змішувача 6 спільно із гетеродином 5 при підключенні до його входу вимірювальної 2 АА із опором  $R_2$ .

Біологічним об'єктам властиво як радіотеплове рівноважне випромінювання, так і нерівноважне НВЧ випромінювання, що викликається метаболічними процесами в його клітинах. Потужності радіотеплового випромінювання, що надходять на вхід відповідно опорної 1 і вимірювальної 2 АА можна оцінити за формулами:

$$P_{O1} = \beta k T_1 \Delta f \quad (5)$$

$$P_{B2} = \beta k T_2 \Delta f \quad (6)$$

де  $\beta$  - випромінювальна здатність поверхні шкіри людини відповідно у зонах вимірювання опорної 1 і вимірювальної 2 АА;  $T_1, T_2$  - інтегральна внутрішня температура людини відповідно у зонах вимірювання опорної 1 і вимірювальної 2 АА;  $\Delta f$  - смуга НВЧ частот радіометричної системи.

При смузі частот  $\Delta f = 100\text{ МГц}$  і температурі  $T_1 = 310\text{ K}$  ця потужність складає приблизно

$4 \cdot 10^{-13}\text{ Вт}$ . На цьому тлі необхідно вимірювати зміни температури в  $0,1\text{ K}$ , тобто зміну потужності приблизно на  $10^{-16}\text{ Вт}$ . Нерівноважні випромінювання з потужностями  $P'_{B2}, P'_{O1}$  еквівалентні додатковим змінам температури біологічного об'єкта на рівні  $(0,01 \dots 0,1)\text{ K}$ . В такому разі сумарні випромінювані потужності, що надходять на входи відповідно опорної 1 і вимірювальної 2 АА, можна представити як:

$$P_1 = P_{O1} + P'_{O1} = \chi P_{O1} \quad (7)$$

$$P_2 = P_{B2} + P'_{B2} = \chi P_{B2} \quad (8)$$

де  $\chi$  - коефіцієнт фізіологічної активності, що характеризує перевищення сумарного випромінювання над радіотепловим.

Потужність власних шумів АА 1 і 2 відповідно до формули Найквісту при опорі  $R_A = 50\text{ Ом}$  і температурі  $T_A = 293\text{ K}$  відповідає приблизно  $10^{-12}\text{ Вт}$ . Таким чином, вимірюваний сигнал з потужністю  $P_1$  або  $P_2$  набагато менше рівня шумів АА. Рівень власних шумів НВЧ змішувача, як активного елемента, ще більше в порівнянні із шумами АА і визначається його коефіцієнтом шуму  $F_6$ .

Для виділення слабких НВЧ сигналів з потужностями  $P_2$  і  $P_1$ , що знаходяться в адитивній суміші із шумами, їх по черзі підсилюють підсилювачем 7 проміжної частоти, детектують квадратичним детектором 8. При одному положенні перемикача 3 на виході квадратичного детектора формується відеоімпульс з амплітудою:

$$U_{81} = S_8 K_7^2 K_6^2 (P_1 + \overline{U}_{\text{ш1}}^2 + \overline{U}_{\text{ш61}}^2) \quad (9)$$

а при іншому положенні перемикача:

$$U_{82} = S_8 K_7^2 K_6^2 (K_{18}P_2 + K_{18}\overline{U}_{\text{ш2}}^2 + \overline{U}_{\text{ш62}}^2) \quad (10)$$

де  $K_7$  - коефіцієнт підсилення підсилювача 7 проміжної частоти;  $S_8$  - крутість перетворення квадратичного детектора 8.

НВЧ перемикач 3 керується прямокутною напругою низької частоти, що формується з генератора 14. При періодичних переключеннях НВЧ перемикача 3, перетворення у квадратичному детекторі 8 і підсиленні вибіркоким підсилювачем 9 низької частоти, набувають частоту комутації сигналів, на його виході виділяється змінна напруга низької частоти з амплітудою:

$$U_9 = K_9 \frac{U_{81} - U_{82}}{2} = 0,5 K_9 S_8 K_7^2 K_6^2 \left( P_1 - K_{18}P_2 + \overline{U}_{\text{ш1}}^2 - K_{18}\overline{U}_{\text{ш2}}^2 + \overline{U}_{\text{ш61}}^2 - \overline{U}_{\text{ш62}}^2 \right) \quad (11)$$

Низькочастотна напруга з амплітудою (11) спрямляється синхронним детектором 10, що керується тією ж напругою, що й НВЧ перемикач 3. Випрямлена напруга крім корисного різнищового сигналу (11) містить і шумову напругу від флуктуації коефіцієнта підсилення НВЧ змішувача 6 і низькочастотних шумів підсилювача 7 проміжної частоти і квадратичного детектора 8, що попадають у

смугу пропущення вибіркового підсилювача 9. Випрямлену напругу можна представити у виді:

$$U_{10} = K_{10}U_9 + U_{10}(t) \quad (12)$$

де  $K_{10}$  - коефіцієнт випрямлення синхронного детектора 10;  $U_{10}(t)$  - низькочастотний шум на виході синхронного детектора 10.

Для придушення впливу шумів випрямлену напругу подають на інтегратор 11 з усередненням порядку 3 с, а потім на АЦП 12, вихідний код якого вводиться в комп'ютера 24:

$$N_1 = \frac{K_{\Sigma 1}(P_1 - K_{18}P_2 + \bar{U}_{\Sigma 1}^2 - K_{18}\bar{U}_{\Sigma 2}^2 + \bar{U}_{\Sigma 61}^2 - \bar{U}_{\Sigma 62}^2)}{q_1} \quad (13)$$

де  $K_{\Sigma 1} = 0,5K_{10}K_9S_8K_7K_6^2$  - результуючий коефіцієнт перетворення різничевої напруги в код;  $q_1$  - крок квантування АЦП 12.

В процесі виявлення термонеоднорідностей опорна і вимірювальна АА 1 і 2 будуть перебувати в різних температурних умовах, відмінність яких може досягати декількох градусів. Для виключення впливу їх власних шумів, а також НВЧ змішувача 6 радіометричну систему потрібно адаптувати під ці умови. Для цього АА 1 і 2 екранують, АА 1 установлюють на опорну зону тіла людини, а АА 2 проводять у тепловий контакт із елементом Пельтьє 21, використовуваним для її нагрівання у режимі калібровці. Температура АА 1 буде рівнятися температурі опорної зони тіла людини, температура АА 2 буде змінюватися комп'ютера 24 за рахунок подачі і підсилення постійної напруги підсилювачем 20 з наступним нагріванням її елементом Пельтьє 21 із кроком 0,05 °С від температури опорної зони тіла людини (треба думати 36,6 °С) до 38,6 °С. Низькочастотна напруга з амплітудою (11) на виході вибіркового підсилювача 9 у цьому випадку буде:

$$U_9 = \frac{1}{2}K_9S_8K_7K_6^2(\bar{U}_{\Sigma 1}^2 - K_{18}\bar{U}_{\Sigma 2}^2 + \bar{U}_{\Sigma 61}^2 - \bar{U}_{\Sigma 62}^2) = \frac{1}{2}K_9S_8K_7K_6^2(4kT_1R_1\Delta f - K_{18}4kT_2R_2\Delta f + \bar{U}_{\Sigma 61}^2 - \bar{U}_{\Sigma 62}^2) \quad (14)$$

Коефіцієнт передачі кодокерованого НВЧ атенюатора вибирається рівним одиниці. Оскільки обидві АА виготовлені ідентичні, то при рівних температурних умовах  $T_2 = T_1$ , вони забезпечують рівність внутрішніх опорів  $R_2 = R_1$  і рівність рівнів власних шумів  $\bar{U}_{\Sigma 2}^2 = \bar{U}_{\Sigma 1}^2$ , а, отже, і рівність власних шумів змішувача разом з гетеродином  $\bar{U}_{\Sigma 62}^2 = \bar{U}_{\Sigma 61}^2$ . При цих умовах значення низькочастотної напруги  $U_9$  буде дорівнювати нулю.

Вихідні сигнали датчиків температури 23 і 22 надходять на автоматичний перемикач 4, вихідну напругу якого можна представити у виді тимчасової послідовності відрізків вихідних напруг датчиків. Якщо амплітуди цих напруг не рівні, то в цій послідовності присутня змінна складова частоти переключення з амплітудою:

$$U_4 = \frac{U_{22} - U_{23}}{2} = 0,5S_2(T_2' - T_1') \quad (15)$$

де  $S_2$  - чутливість датчиків температури.

Змінна напруга з амплітудою (15) підсилюється вибіркоким підсилювачем 16 низької частоти і випрямляється синхронним детектором 15, що керується тією ж низькочастотною напругою, що й автоматичний перемикач 4. Випрямлена напруга надходить на інтегруючий АЦП 13, на виході якого формується цифровий код:

$$N_2 = \frac{K_{\Sigma 2}(T_2' - T_1')}{q_2} \quad (16)$$

де  $K_{\Sigma 2}$  - результуючий коефіцієнт перетворення різниці температур у код;  $q_2$  крок квантування АЦП 13.

Код  $N_2$  вводиться в комп'ютера 24, запам'ятовується і перетворюється в пропорційну напругу постійного струму:

$$U_{15} = q_3N_2 = K_{\Sigma 2}(T_2' - T_1')\frac{q_3}{q_2} \quad (17)$$

де  $q_3$  - крок квантування ЦАП 17.

При рівності температур обох АА напруга постійного струму (17) буде дорівнювати нулю і, отже, коефіцієнт передачі атенюатора 18 залишиться рівним одиниці. У процесі калібрування радіометричної системи температура вимірювальної АА 2 буде збільшуватися, а отже будуть зростати її власні шуми, що приведе до порушення рівності на вхідних плечах НВЧ перемикача 3. Зміниться і величина пропорційної напруги постійного струму (17) на вході атенюатора 18. Процес автоматичного регулювання значення керованого атенюатора 18 здійснюється по записаному в пам'ять комп'ютера 24 співвідношенню (17), що відповідає обмеженню сумарного сигналу з вимірювальної АА 2 на величину рівня її власних шумів, що змінилися, щодо власних шумів опорної АА 1. При цьому вхідний опір плеча НВЧ перемикача 3 з боку вимірювальної АА 2 стане рівним опорі плеча з боку опорної АА 1. При цих умовах зрівнюються дисперсії власних шумів НВЧ змішувача 6  $\bar{U}_{\Sigma 62}^2 = \bar{U}_{\Sigma 61}^2$ , що відповідають двом положенням НВЧ перемикача 3  $K_{18}\bar{U}_{\Sigma 2}^2 = \bar{U}_{\Sigma 1}^2$ .

У результаті досягнення рівностей (14) і (15) код, формований АЦП 12, приймає значення нуля. У такому разі при калібруванні записуються в пам'ять комп'ютера 24 всі значення кодів  $N_2$  при температурах досліджуваного діапазону, при яких код  $N_1 = 0$ . Далі віддаляються екрани з АА 1 і 2, відключається елемент Пельтьє 21 разом з ланцюгом керування, вимірювальна АА 2 установлюється на досліджувану ділянку тіла людини. Починається режим вимірювання. При наявності термонеоднорідностей вимірювальна АА 2 нагріється до значення температури тіла досліджуваної ділянки, що приведе до збільшення її власних шумів і, відповідно, до порушення рівності на вхідних плечах НВЧ перемикача 3. Датчик температури 22 передасть на автоматичний перемикач 4 сигнал відмінний від сигналу датчика 23. У ре-

зультаті, зміниться величина пропорційної напруги постійного струму (17), що подається на керуючий вхід атенюатора 18 відповідно до записаних при калібруванні в пам'ять комп'ютера 24 різницях температур  $T_2 - T_1$ . Встановлений коефіцієнт передачі по потужності  $K_{18}$  атенюатора 18 забезпечить зрівнювання дисперсії власних шумів НВЧ змішувача 6  $\bar{U}_{\Sigma 62}^2 = \bar{U}_{\Sigma 61}^2$ , що відповідають двом положенням НВЧ перемикача 3  $K_{18} \bar{U}_{\Sigma 12}^2 = \bar{U}_{\Sigma 11}^2$ . У результаті досягнення рівностей код, формований АЦП 12, приймає значення:

$$N_1' = \frac{K_{\Sigma 1}(P_1 - K_{18}P_2)}{q_1} = \frac{K_{\Sigma 1}\beta\chi k\Delta f(T_1 - K_{18}T_2)}{q_1} \quad (18)$$

Як впливає з отриманого виразу (18), результат вимірювання градієнту рівня потужностей  $P_1 - K_{18}P_2$  НВЧ сигналів, прийнятих АА 1 і 2, або градієнту температур  $T_1 - K_{18}T_2$  не залежить від рівня власних шумів самих АА і власних шумів НВЧ змішувача 6. При цьому прийнятий сигнал може бути набагато менше рівня власних шумів модуляційної радіометричної системи. Значення коефіцієнта передачі по потужності  $K_{18}$  атенюатора 18 ураховуються автоматично відповідно до записаної при калібруванні в пам'ять комп'ютера 24 інформації (17). Зміна температури навколишнього середовища не впливає на точність вимірювань, оскільки АА 1 і 2 знаходяться в безпосередньому контакті зі шкірою людини. Це дозволяє використовувати радіометричну систему для точних вимірювань, як при змінах температури об'єкту дослідження, так і температури навколишнього середовища.

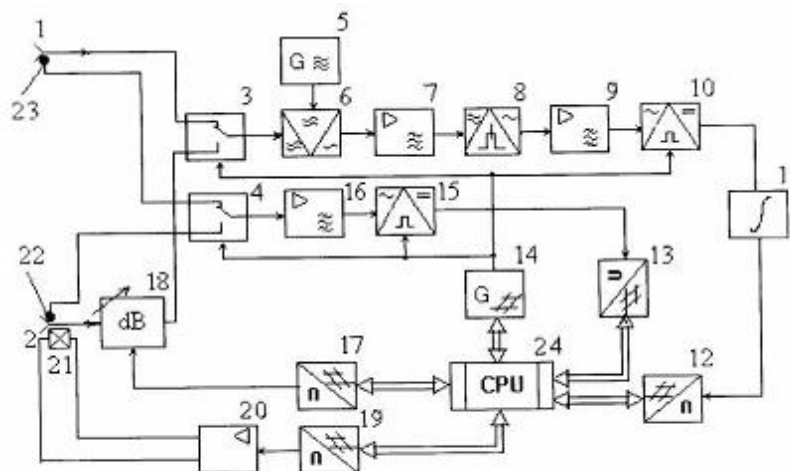
У розробленої двоантенної радіометричної системи датчиком температури є здвоєний мікроініаторний транзистор, електроди якого включені за мостовою схемою. На його виході формується різницевая напруга:

$$\Delta U = \frac{KT'}{e} \ln \frac{I_1}{I_2} \quad (19)$$

де  $e$  - заряд електрона ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл);  $I_1$  і  $I_2$  - струми транзисторів, що задаються резисторами мостової схеми.

Напруга на виході датчика при співвідношенні струмів  $I_1/I_2 = 3,2$  буде  $10^{-4}$  В/К. Вибірковий підсилювач 16 з коефіцієнтом підсилення порядку 80 дБ забезпечує рівень напруги, яка детектується в синхронному детекторі 15, порядку 0,6...0,9 В. Антени-аплікатори 1 і 2 виконані шляхом фотолітографії на пластині із кераміки з хвильоводним опором 50 Ом, і погоджені з входом НВЧ змішувача 6. Автоматичний перемикач 4 побудований на р-і-п діодах переключається низькочастотною прямокутною напругою з амплітудою 5...10 В і струмом керування 50...60 мА. В АЦП 12 здійснюється квантування усередненої випрямленої напруги, пропорційної потужності прийнятого різницевого НВЧ сигналу, значення якої відображається на цифровому індикаторі комп'ютера 24.

Технічний результат: За рахунок введення нових елементів і зв'язків забезпечена можливість діапазонної роботи на надвисоких частотах, значно знижений флуктуаційний поріг чутливості системи, підвищена точність вимірювання потужності ЕМВ, а отже і температури від внутрішніх органів і новотворів людини при різній температурі шкіри.



Фиг.