

Винахід відноситься до області аналізу електромагнітних властивостей біологічних об'єктів і може бути використаний для вимірювання нерівноважної складової електромагнітного випромінювання живих організмів в діапазоні вкрай високих частот (міліметровому діапазоні довжин хвиль) для потреб біології, медицини та сільського господарства.

Як відомо, всі тіла є джерелом електромагнітного випромінювання, спектральна потужність якого в основному визначаються температурою. В цьому відношенні біологічні об'єкти не відрізняються від об'єктів неживої природи. Випромінювальна здатність В нагрітих тіл в діапазоні надзвичайно високих частот (НВЧ) визначається законом Релея-Джинса:

$$B = \frac{2f^2 k T \beta}{C^2},$$

де f - частота електромагнітного випромінювання;

k - постійна Больцмана;

T - температура тіла за термодинамічною шкалою;

β - коефіцієнт випромінювальної здатності (сірості);

C - швидкість світла у вакуумі.

Як стверджує фізика живого, в живих організмах поряд з цими рівноважними процесами протікають і нерівноважні процеси, які йдуть за рахунок метаболічних та інших фізіологічних перетворень в клітинах організму, забезпечуючи його квантово-механічну цілісність [див. Ситько С. П., Мкртчян Л.Н. Введение в квантовую медицину. - К.: «Паттерн». - 1994. - 146с).

Радіотеплове випромінювання, що формується рівноважними тепловими процесами, має випадковий (шумовий) характер, а його інтенсивність у відповідності до закону Релея-Джинса пропорційна абсолютній температурі T .

При температурі біологічних об'єктів 308-315K (35-42°C) інтенсивність радіотеплового випромінювання мала і знаходиться в межах $10^{-13} \dots 10^{-14}$ Вт. Біоінформаційне (нетеплове) випромінювання, яке визначається нерівноважними процесами в тілі, є детермінованим (когерентним), а його інтенсивність відбиває енергетичний потенціал клітин і всього організму в цілому. У відповідності з розмірами та складом клітин та їх мембран і у відповідності з процесами життєдіяльності її та її ядра частота біоінформаційного випромінювання лежить в діапазоні вкрай високих частот 30-300 ГГц (міліметровий діапазон довжин хвиль).

За рівнем інтенсивності біоінформаційне випромінювання поза об'єктом значно слабше радіотеплового ($10^{-14} \dots 10^{-16}$ Вт) і тому його важко знайти та виміряти на фоні теплового випромінювання [див. Ситько С.П., Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф. Экспериментальное исследование излучения некоторых объектов в мм-диапазоне // Физика живого. - 1998. - Т. 6, №1. - С.15-18].

Інтенсивність шумів сучасної приймальної радіоелектронної апаратури знаходиться на рівні $10^{-12} \dots 10^{-13}$ Вт. Тому виміряти біоінформаційну складову випромінювання біологічних об'єктів на фоні власних шумів апаратури і переважаючого радіотеплового випромінювання важко.

Відомо пристрій для вимірювання біоінформаційної складової електромагнітного випромінювання живих організмів [див. Дубовская И.Г., Житник Н.Е., Миронов А.В. и др. Принципы моделирования и схемотехнической реализации низкоинтенсивной КВЧ диагностической и терапевтической аппаратуры // Вестник новых медицинских технологий. - 1996. - Т. 3, №2. - С.85-90], який містить генератор НВЧ-діапазону, циркулятор, входом з'єднаний з виходом НВЧ-генератора, антену НВЧ-діапазону, підключену до першого виходу циркулятора і напрямлену на біооб'єкт, смуговий фільтр, детектор та реєстратор, підключені до другого виходу циркулятора, а також елементи зворотного зв'язку, які забезпечують передачу частини прийнятого сигналу на нелінійний елемент ланцюга збудження НВЧ-генератора. Вихідне монохроматичне випромінювання НВЧ-генератора впливає на біологічно активні точки (БАТ) шкіри людини або тварини. В результаті нелінійних властивостей БАТ відбувається змішування коливач опромінюючого сигналу і гармонік біоритмів опромінюючого біооб'єкту. Частина відбитого від біооб'єкта сигналу з розширеним спектром за рахунок комбінаційних частот поступає назад на нелінійний елемент НВЧ-генератора по ланцюгу зворотного зв'язку, що розширює спектр опромінюючого сигналу і робить його полічастотним.

Разом із вторинним випромінюванням біооб'єкту з розширеним спектром, яке є наслідком взаємодії вихідного монохроматичного випромінювання з біоінформаційною складовою випромінювання біооб'єкта, приймається також і частина широкосмугового радіотеплового випромінювання, яке попадає у смугу приймання комбінаційних складових відбитого сигналу. Тому такий пристрій не забезпечує вимірювання інтенсивності тільки біоінформаційної складової вимірювання живого організму.

Відомо також пристрій для вимірювання біоінформаційної складової електромагнітного випромінювання живих організмів за патентом України №28128, Кл. G01N 33/483, 1998 (Бюл. №5, 2000р.), який містить в собі антену НВЧ-діапазону, імпульсний модулятор, генератор НВЧ-діапазону, що перестроюється за частотою, генератор низької фіксованої частоти та змішувач, до виходу якого підключені послідовно з'єднані підсилювач проміжної частоти, квадратурний детектор, перший фільтр нижніх частот, підсилювач низької частоти, синхронний детектор, другий фільтр нижніх частот та індикатор. Крім того пристрій містить циркулятор, вхід якого з'єднаний з виходом імпульсного модулятора, перший вихід циркулятора з'єднаний з антеною НВЧ-діапазону, другий вихід з'єднаний з одним входом змішувача, а також напрямлений відгалужувач і атенуатор, увімкнені між виходом НВЧ-генератора і входом імпульсного модулятора, а вихід напрямленого відгалужувача з'єднаний з другим входом змішувача.

Робота відомого пристрою основана на ефекті змішування коливач опромінюючого сигналу з гармоніками біоритмів живого організму та виділенні сигналу комбінаційних частот на виході змішувача. Так як інтенсивність вищих гармонік біоритмів дуже мала, то потрібна більша інтенсивність опромінюючого сигналу ($10^{-2} \dots 10^{-3}$ Вт). Однак вже за інтенсивності опромінюючого сигналу більше 5-8мВт починає проявлятися тепловий вплив НВЧ випромінювання на БАТ і прилеглі до них тканини. Це може викликати дискомфортні відчуття у людини і тварин та викликати негативні наслідки для організму в цілому. Тому доцільно відмовитись

від зовнішнього опромінювання живих організмів при вимірюванні їх власного біоінформаційного випромінювання.

В основу винаходу покладене завдання створення такого пристрою для вимірювання біоінформаційної складової електромагнітного випромінювання живих організмів, в якому шляхом введення нових елементів і зв'язків між ними виключалася б необхідність в зовнішньому електромагнітному опромінюванні біологічних об'єктів, що позбавило б також живі організми від променевого навантаження та підвищило б достовірність вимірювання інтенсивності його власного випромінювання.

Поставлене завдання вирішується тим, що в пристрій для вимірювання біоінформаційної складової електромагнітного випромінювання живих організмів, який містить антену НВЧ-діапазону, імпульсний модулятор, генератор НВЧ-діапазону, що перестроюється за частотою, генератор низької фіксованої частоти та змішувач, до виходу якого підключені послідовно з'єднані підсилювач проміжної частоти, квадратичний детектор, перший фільтр нижніх частот, підсилювач низької частоти, синхронний детектор, другий фільтр нижніх частот та індикатор, згідно винаходу в нього введений опорний канал у складі другої антени НВЧ-діапазону з екранованим входом, другого імпульсного модулятора і хвилеводного трійника, один вхід якого з'єднаний через перший імпульсний модулятор з виходом першої антени НВЧ-діапазону, другий вхід з'єднаний через другий імпульсний модулятор з виходом другої антени НВЧ-діапазону, вихід хвилеводного трійника з одним входом змішувача, другий вхід якого з'єднаний з виходом генератора НВЧ-діапазону, що перестроюється за частотою, керуючий вхід кожного імпульсного модулятора з'єднаний з одним із протифазних виходів генератора низької фіксованої частоти, до яких підключені також керуючі входи синхронного детектора.

Поставлене завдання вирішується також тим, що обидві антени НВЧ-діапазону виконані у формі одного конічного рупору, поділеного металевою перегородкою пополам, в одну половину якого у вигляді вставки введено метало діелектричний перетворювач спектру вхідного випромінювання, який складається з тонкої металевої пластини товщиною 0,1...0,01мм, та пластини із органічного діелектрика товщиною 0,8...1мм, наприклад, кістки, вставлених в теплоізолюючу оболонку, який розташовують в приймальному кінці конічного рупору металевою пластиною назовні врівень з торцем антени, а пластини металодіелектричного перетворювача з'єднані між собою способом, який забезпечує максимальну теплопровідність.

Введення в схему пристрою другої антени НВЧ-діапазону з екранованим входом, другого імпульсного модулятора та хвилеводного трійника увімкнених вказаним чином, виконання другої антени в формі конічного рупору, в якому на його вході розташований металево діелектричний перетворювач, який складається з металевої і діелектричної пластини дозволяють в опорному каналі сформувати вторинне випромінювання, інтенсивність якого пропорційна тільки радіотепловому випромінюванню живого організму, а почергове відкривання імпульсних модуляторів та об'єднання пакетів вихідних сигналів антен в один модульований за амплітудою сигнал хвилеводним трійником дозволяє виділити на виході квадратичного детектора низькочастотний сигнал, пропорційний тільки біоінформаційній складовій електромагнітного випромінювання живих організмів без їх опромінювання зовнішнім електромагнітним полем НВЧ-діапазону, що підвищує достовірність та безпечність знаходження і вимірювання інтенсивності біоінформаційного випромінювання.

На Фіг.1 наведена функціональна схема пристрою для вимірювання біоінформаційної складової електромагнітного випромінювання живих організмів. На Фіг.2 наведена конструкція екранованої антени опорного каналу.

Пристрій (Фіг.1) містить в собі контактну комбіновану антену 1 НВЧ-діапазону, яка має в своєму складі відкриту 2 та закриту 3 секції вимірювального каналу, імпульсний модулятор 4 вимірювального каналу, імпульсний модулятор 5 опорного каналу, хвилеводний трійник 6, змішувач 7, генератор 8 НВЧ-діапазону, що перестроюється за частотою, підсилювач 9 проміжної частоти, квадратичний детектор 10, перший фільтр 11 нижніх частот, підсилювач 12 низької частоти, синхронний детектор 13, генератор 14 низької фіксованої частоти, другий фільтр 15 нижніх частот, індикатор 16.

Позицією 17 позначена ділянка поверхні (шкіри) живого організму.

Екранована антена 3 опорного каналу (Фіг.2) виконана у вигляді конічного рупору 18, в якому розташований зі сторони приймального кінця металево діелектричного перетворювача 19 спектру приймаючого випромінювання, у вигляді вкладки, який складається із металевої пластини 20 і діелектричної пластини 21, а також термостат 22 та вихідні хвилеводи 23 і 24.

Приймальна антена 2 вимірювального каналу через імпульсний модулятор 4 та приймальна антена 3, закрита екраном 20 опорного каналу через імпульсний модулятор 5 з'єднані з входами хвилеводного трійника 6, вихід якого з'єднаний з одним входом змішувача 7, другий вхід якого з'єднаний з генератором 8 НВЧ-діапазону, що перестроюється за частотою. До виходу змішувача підключені послідовно з'єднані підсилювач 9 проміжної частоти, квадратичний детектор 10, перший фільтр 11 нижніх частот, підсилювач 12 низької частоти і синхронний детектор 13, керуючі входи якого підключені до протифазних виходів генератора 14 низької фіксованої частоти. До виходу синхронного детектора через другий фільтр 15 нижніх частот підключений індикатор 16.

Керуючий вхід кожного з модуляторів 4 і 5 підключений до одного із протифазних виходів генератора 14 низької частоти.

Пристрій працює наступним чином.

Антени 2 і 3 вимірювального і опорного каналів розташовують на поверхні (шкірі) досліджуваного організму 17, який генерує рівноважне (радіотеплове) випромінювання і нерівноважне (біоінформаційне) випромінювання. Біоінформаційна складова електромагнітного випромінювання генерується клітинами живого організму внаслідок метаболічних та інших фізіологічних процесів і регулює діяльність клітин, органів і всього організму в цілому. Радіотеплова складова випромінювання пропорційна абсолютній температурі організму і коефіцієнту випромінювальної здатності шкіри. В НВЧ-діапазоні присутні обидві складові електромагнітного випромінювання.

Потужність вихідного сигналу антени 2 НВЧ-діапазону пропорційна сумарній інтенсивності обох

випромінювань

$$P_1 = S_1(I_T + I_\omega) \quad (1)$$

де I_T - інтенсивність радіотеплового випромінювання;

I_ω - інтенсивність біоінформаційного випромінювання ($I_\omega < I_T$);

S_1 - чутливість антени.

Вхід антени 3 закритий екраном 20 і тому прямий прийом електромагнітного випромінювання об'єкту неможливий. Однак, внаслідок теплового контакту екрану антени зі шкірою організму відбувається його нагрівання до температури досліджуваної ділянки шкіри. Антена 3 опорного каналу починає приймати вторинне радіотеплове випромінювання із внутрішньої поверхні діелектричної пластини екрану 21. Вважаючи, що випромінювальна здатність екрану при відповідному виборі та обробці його поверхні близька до випромінювальної поверхні шкіри 17 організму, потужність вихідного сигналу антени 3 пропорційна тільки інтенсивності радіотеплового випромінювання

$$P_2 = S_1 I_T \quad (2)$$

Імпульсні модулятори 4 і 5 працюють в ключовому режимі (відкритий-закритий) і керуються протифазними напругами генератора 14 низької частоти. Коли модулятор 4, виконаний на р-/п-діодах відкритий, то аналогічний модулятор 5 закритий, і навпаки. Тому в один напівперіод низькочастотної напруги на вхід змішувача 7 через трійник 6 впливає сигнал з потужністю

$$P_3 = K_1 S_1 (I_T + I_\omega + I'_R), \quad (3)$$

де I'_R - сумарна інтенсивність власних шумів змішувача 1, генератора 8 та підсилювача 9 проміжної частоти, приведена до входу змішувача при відкритому модуляторі 4;

K_1 - коефіцієнт передачі трійника 6.

Відповідно в наступний напівперіод низькочастотної напруги на вхід змішувача 7 через трійник 6 впливає сигнал з потужністю

$$P_4 = K_1 S (I_T + I''_R), \quad (4)$$

де I''_R - інтенсивність власних шумів при відкритому модуляторі 5 опорного каналу.

Оскільки приймальні антени 2 і 3 працюють при однаковій температурі і мають однакові вихідні опори, то можна вважати, що інтенсивності власних шумів однакові $I'_R = I''_R = I_R$.

В результаті змішування коливань прийнятих сигналів із суцільним спектром з коливаннями монохроматичного сигналу генератора 8 НВЧ-діапазону відбувається створення ансамблю коливань різницевої частоти. Якщо частота генератора 8, який виконує роль гетеродину, дорівнює f_1 , то різниці частоти утворюються з коливань складових НВЧ-спектру прийнятих випромінювань в області частот

$$f_2 = f_1 + f_4, \quad (5)$$

де f_4 - центральна частота вузькосмугового підсилювача 9 проміжної частоти.

При смузі пропускання Δf_4 підсилювача 9 проміжної частоти різниці частоти f_{5i} будуть знаходитись в межах

$$\sum_{i=1}^n f_{5i} = f_4 \pm \frac{\Delta f_4}{2}, \quad (6)$$

де число n визначається шириною смуги пропускання підсилювача проміжної частоти.

Потужність сигналу проміжних частот (7), який складається з коливань різницевої частоти (7), буде визначатися станом модуляторів 4 і 5.

В один напівперіод роботи модуляторів потужність сигналу

$$P_6 = K_1 K_2 S_1 S_2 (I_T + I_\omega + I_R) P_5, \quad (8)$$

в другий напівперіод потужність сигналу

$$P_7 = K_1 K_2 S_1 S_2 (I_T + I_R) P_5, \quad (9)$$

де K_2 - коефіцієнт підсилення за потужністю підсилювача 9;

S_2 - крутизна перетворення змішувача 7;

P_5 - потужність генератора 8.

На виході квадратичного детектора 10 в сусідні напівперіоди перемикавання модуляторів відповідно будуть утворюватися відеоімпульси напругами

$$U_1 = S_3 P_6 = K_1 K_2 S_1 S_2 S_3 (I_T + I_\omega + I_R) P_5, \quad (10)$$

$$U_2 = S_3 P_7 = K_1 K_2 S_1 S_2 S_3 (I_T + I_R) P_5, \quad (11)$$

де S_3 - чутливість квадратичного детектора 10.

Із послідовності відеоімпульсів з напругами U_1 і U_2 підсилювачем 12 низької частоти виділяється та підсилюється змінна складова, амплітуда якої пропорційна напіврізниці напруг відеоімпульсів

$$U_3(t) = K_3 \frac{U_1 - U_2}{2} \sin \omega t, \quad (12)$$

де K_3 - коефіцієнт підсилення підсилювача 12 низької частоти;

ω - кругова частота генератора 14 низької частоти.

Змінна напруга $U_3(t)$ випрямляється синхронним детектором 13 та згладжується фільтром 15 нижніх частот. В якості опорної напруги синхронного детектора 13 використовуються протифазні напруги генератора 14 низької частоти, кожна з яких керує модуляторами 4 і 5.

Вихідна напруга фільтра 15 нижніх частот з урахуванням (10) і (11) має вигляд

$$U_4 = \frac{1}{2} K_1 K_2 K_3 S_1 S_2 S_3 P_5 I_\omega. \quad (13)$$

Враховуючи, що коефіцієнти перетворення ланцюгів вимірювальної схеми постійні, в результаті маємо

$$U_4 = S_0 I_\omega, \quad (14)$$

де $S_0 = \frac{1}{2} K_1 K_2 K_3 S_1 S_2 S_3 P_5$ - чутливість пристрою до біоінформаційної складової електромагнітного випромінювання.

Таким чином, введення опорного каналу з джерелом вторинного радіотеплового випромінювання дозволяє безпосередньо вимірювати біоінформаційну складову випромінювання незалежно від інтенсивності I_T , теплового випромінювання досліджуваної ділянки шкіри об'єкту та рівня власних шумів I_R приймальної апаратури.

Перестроюючи частоту генератора 8 в НВЧ-діапазоні, вимірюють інтенсивність біоінформаційної складової на різних ділянках спектру міліметрового випромінювання.

Деяку похибку в результаті вимірювання вносить відмінність коефіцієнту випромінювальної здатності шкіри людини або тварини від коефіцієнту випромінювання внутрішньої поверхні металевого екрану 20 антени 3. Для виключення цієї похибки та підвищення достовірності вимірювань біоінформаційної складової комбінована антена 3 виконана у формі конічного рупору 18 (Фіг.2), в середині якого з боку опорного входу розташований металево діелектричний перетворювач 19 спектру приймаючого випромінювання. Перетворювач представляє собою двохшаровий вкладиш із металевої пластини 20 та пластини із органічного діелектрика 21, з'єднаних між собою теплопровідним клеєм.

Справа в тому, що шкіра людини і тварини за випромінювальною здатністю відрізняється від абсолютно чорного тіла, у якого коефіцієнт випромінювальної здатності $\beta = 1$. Шкіра за своїми властивостями відноситься до класу сірих тіл, у яких $\beta < 1$, але випромінювальна здатність значно більша аналогічного показника металів. Дослідження показали, що найближчими до шкіри за коефіцієнтом β є діелектрики з органічних матеріалів. Підбір матеріалів за допомогою тепловізора показав, що слонова кістка в діапазоні міліметрових довжин хвиль має випромінювальну здатність близьку до випромінювальної здатності шкіри (розходження не більше 8-10%). Тому в наведеному пристрої використана пластина 21 зі слонової кістки.

За рахунок відбиваючих властивостей та прояву скін-ефекту в металевій пластині 20 обидві складові електромагнітного випромінювання (I_T і I_w) відбиваються та поглинаються. Для цього товщина металевої пластини вибирається в межах 0,1-0,01мм. Для отримання доброго теплового контакту зі шкірою об'єкту перетворювач 19 розміщують в приймальному кінці конічного рупора металевої пластини 20 зовні з торцем антени. Товщина діелектричної пластини 21 вибирається товщиною 0,8-1мм, що забезпечує її міцність та швидкий нагрів від металевої пластини 20. Нагріта діелектрична пластина починає випромінювати міліметрові хвилі радіотеплового випромінювання тієї ж інтенсивності, що і живий організм. З другого боку слонова кістка є "мертвим" об'єктом і біоінформаційним випромінювання не володіє.

Приклад. Досліджувалось електромагнітне випромінювання долоні людини в діапазоні частот 55-65ГГц. Загальна інтенсивність випромінювання, яка виміряна радіометром складала $0,3 \cdot 0,7 \cdot 10^{-14}$ Вт залежно від індивідуальних властивостей людини. Біоінформаційна складова випромінювання може бути як меншою так і більшою від теплової складової, причому інтенсивність біоінформаційного випромінювання суттєво залежить від стану здоров'я та способу життя людини, яку досліджують. Так, куріння і стреси помітно (в 1,5...2 рази) зменшують інтенсивність саме біоінформаційної складової.

Поріг чутливості наведеного пристрою суттєво залежить від частоти модуляції приймаючого випромінювання та часу упосереднення вихідного сигналу після синхронного детектування. За частоти 60ГГц генератора НВЧ-діапазону, центральній частоті підсилювача проміжної частоти 200МГц, смузі пропускання цього підсилювача порядку 15МГц, частоті модуляції в 1кГц та постійній часу вихідного фільтра нижніх частот 3 сек отриманий поріг чутливості в $0,5 \cdot 10^{-14}$ Вт. Це дозволяє достовірно контролювати рівень біоінформаційного випромінювання та використовувати його як діагностичний параметр в медицині, а в сільськогосподарській практиці як показник біологічної активності рослин та насіння.

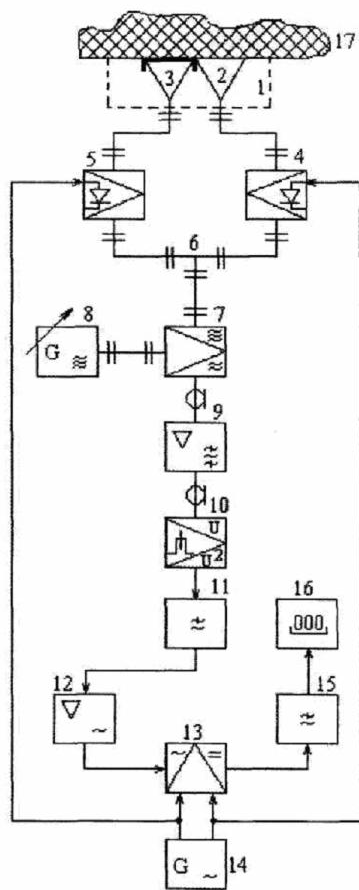


Fig. 1

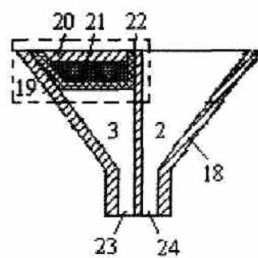


Fig. 2