

РАДІОМЕТРИЧНА СИСТЕМА РЕЄСТРАЦІЇ МІКРОХВИЛЬОВИХ ПОЛІВ І ВИПРОМІНЮВАНЬ БІООб'ЄКТІВ

Скрипник Ю.О., Куценко В.П., Яненко О.П.

Київський національний університет технології та дизайну, м. Київ, Україна

Асоціація "Темп", м. Донецьк, Україна

Науково-дослідний центр квантової медицини "Відгук" МОЗ України, м. Київ, Україна

Abstract

Skripnik Y.O., Kutsenko V.P., Yanenko O.P. Radiometric system for the microwaves fields' and biological objects emanation registration. The proposed radiometric system and the measurement algorithm ensure the biological objects weak signals measurement accuracy increasing. The radiometric system can be used for the human body state diagnosis.

Розгляд проблеми радіометричного вимірювання

Частоти власних коливань мембран клітин живих систем знаходяться в діапазоні $10^{10} \dots 10^{11}$ Гц. Наявність зарядів на мембранах при їх коливаннях перетворює їх в джерела електромагнітних хвиль міліметрового діапазону (30-300 ГГц), а тотожність геному всіх клітин даного організму перетворює їх в активні центри, які забезпечують виникнення та функціонування власного когерентного поля організму в міліметровому діапазоні електромагнітних хвиль ("електромагнітного каркасу"). Через це поле і реалізується спадкова інформація цілісного організму [1].

Потужність випромінювання від біологічних об'єктів надзвичайно мала ($10^{-13} \dots 10^{-16}$ Вт/см²), що значно менше потужності власних шумів електронної вимірювальної апаратури.

Спосіб вимірювання потужності електромагнітного випромінювання (ЕМВ) надзвичайно високих частот забезпечує вимірювання такої потужності [2].

Однак модуляційним радіометром надзвичайно високих частот властиві великі похибки через модуляцію власних шумів в процесі переривання сигналу антени і неідентичності коефіцієнтів передач двох ключів, що утворює перемикач-модулятор радіометра. Похибка виникає також через незадовільну розв'язку відкритого і закритого ключів в діапазоні надзвичайно високих частот [3].

Відомий також спосіб вимірювання потужності електромагнітного випромінювання надзвичайно високих частот [4].

Відбиття від двох ключів, що утворюють перемикач, та паразитні зв'язки між каналами перемикача, який виконує роль модулятора, призводить до виникнення великої похибки вимірювання потужності прийнятого випромінювання. Нестабільність рівня власних шумів антени та нестійність параметрів радіометра також обумовлюють додаткові похибки вимірювання потужності.

Постановка завдання дослідження

Завданням даного дослідження є підвищення точності вимірювання потужності слабких електромагнітних випромінювань, яка порівнювана або менша за потужність шумів вимірювальної апаратури.

За рахунок введення нових операцій та алгоритму обробки сигналів в радіометричному каналі, які виключають вплив як шумів антени, так і шумів самого радіометра на значення приймаючого сигналу.

Основна частина

Алгоритм вимірювання потужності електромагнітного випромінювання надзвичайно високих частот, що забезпечує підвищення точності вимірювання слабких ЕМВ реалізується структурною схемою рис. 1.

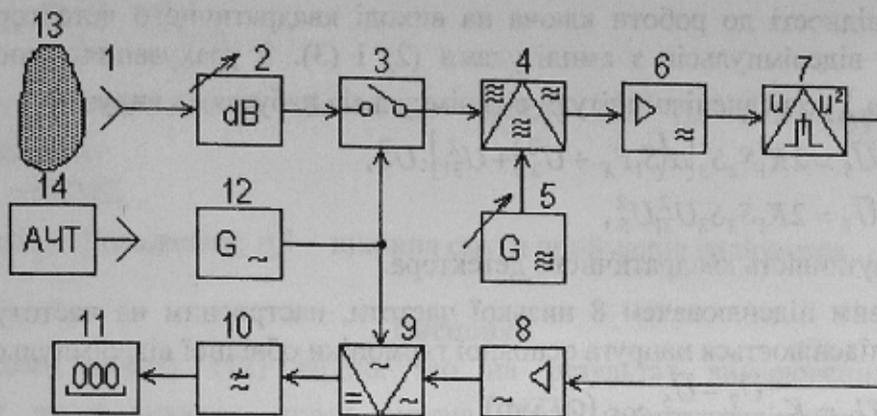


Рис. 1.

Процес вимірювання інтенсивності слабких сигналів реалізується наступним чином. Рупорну антену 1 мм-діапазону спрямовують на джерело випромінювання, потужність якого порівнювана або менша за потужність шумів самої антени. Дисперсію вихідного сигналу антени можна представити у вигляді

$$U_1^2 = S_1 P_X + U_2^2,$$

де S_1 – чутливість антени, P_X – потужність прийнятого випромінювання, U_2^2 – дисперсія шумів антени.

Вихідний сигнал антени 1 через змінний атенюатор 2, ключ-модулятор 3 поступає на один вхід балансного змішувача 4, на другий вхід якого впливає сигнал гетеродина 5, що перестроюється за частотою. В замкнутому стані ключа-модулятора 3 дисперсія вхідного сигналу балансного змішувача 4 з урахуванням його вхідного шуму становить

$$U_4^2 = \alpha(S_1 P_X + U_2^2) + U_{31}^2, \tag{1}$$

де α – коефіцієнт передачі атенюатора 2 за потужністю, U_{31}^2 – дисперсія вхідних шумів балансного змішувача з урахуванням шумів гетеродина при замкнутому ключі-модуляторі.

В смугу пропускання $\Delta\omega_p$ підсилювача 6 проміжної частоти з центральною частотою ω_p попадають усі перетворені за частотою складові сигналу (1), які зміщені відносно частоти гетеродина ω_r на значення проміжної частоти ω_p . Сума різниці частот поступає на підсилювач 6, а потім на квадратичний детектор 7, на виході якого формується напруга

$$\bar{U}_5 = \frac{2K_1 S_2}{\Delta\omega_p} \int_0^{\Delta\omega_p} U_4^2(\omega_i) U_5^2 d\omega, \tag{2}$$

де K_1 – коефіцієнт підсилення підсилювача проміжної частоти за потужністю, S_2 – крутизна перетворення балансного змішувача, U_5^2 – потужність сигналу гетеродина.

При розімкнутому ключі-модуляторі 3 дисперсія сигналу на вході балансного змішувача визначається тільки власними шумами.

$$U_6^2 = U_{32}^2,$$

де U_{32}^2 – дисперсія вхідного шуму балансного змішувача з урахуванням шумів гетеродина при розімкненому ключі-модуляторі.

Відповідно вихідна напруга квадратичного детектора

$$\bar{U}_7 = \frac{2K_1 S_2}{\Delta\omega_p} \int_0^{\Delta\omega_p} U_6^2(\omega_i) U_5^2 d\omega. \quad (3)$$

У відповідності до роботи ключа на виході квадратичного детектора 7 формується послідовність відеоімпульсів з амплітудами (2) і (3). З урахуванням дисперсій сигналів $U_4^2(\omega_i)$ і $U_6^2(\omega_i)$ усереднені амплітуди відеоімпульсів набувають виду:

$$\bar{U}_5 = 2K_1 S_2 S_3 [\alpha(S_1 P_X + U_2^2) + U_{31}^2] \cdot U_5^2, \quad (4)$$

$$\bar{U}_7 = 2K_1 S_2 S_3 U_{31}^2 U_5^2, \quad (5)$$

де S_3 – чутливість квадратичного детектора.

Вибірковим підсилювачем 8 низької частоти, настроєним на частоту генератора 12, виділяється і підсилюється напруга основної гармоніки обвідної відеоімпульсів

$$U_8 = K_2 \frac{\bar{U}_7 - \bar{U}_5}{2} \cos(\Omega t + \Phi), \quad (6)$$

де K_2 – коефіцієнт підсилення вибіркового підсилювача низької частоти; Ω – кругова частота перемикачання ключа-модулятора; Φ – початкова фаза напруги обвідної відеоімпульсів.

Підсилена напруга (6) спрямовується синхронним детектором 9, який керується напругою частоти Ω генератора 12 низької частоти.

Випрямлена напруга з урахуванням виразів (4) і (5)

$$U_9 = K_1 S_2 S_3 K_2 K_3 [\bar{U}_{32}^2 - \bar{U}_{31}^2 - \alpha(\bar{U}_2^2 + S_1 P_X)] \cdot U_5^2, \quad (7)$$

де K_3 – коефіцієнт випрямлення синхронного детектора.

Випрямлена напруга (7) згладжується фільтром 10 нижніх частот і поступає на індикатор 11

$$U_{10} = S_0 [\bar{U}_{32}^2 - \bar{U}_{31}^2 - \alpha(\bar{U}_2^2 + S_1 P_X)] \cdot U_5^2,$$

де $S_0 = K_1 S_2 S_3 K_2 K_3 K_4$ – чутливість модуляційного радіометра; K_4 – коефіцієнт передачі фільтра нижніх частот.

Вводиться атенуатор до положення α_1 , що відповідає виконанню умови

$$\alpha_1 (\bar{U}_2^2 + S_1 P_X) = \bar{U}_{32}^2 - \bar{U}_{31}^2, \quad (8)$$

Показання модуляційного радіометра в цьому випадку набуває значення

$$U_{11} = S_0 [\bar{U}_{32}^2 - \bar{U}_{31}^2 - \alpha_1 (\bar{U}_2^2 + S_1 P_0)] U_5^2,$$

де P_0 – потужність випромінювання абсолютно чорного тіла при відомій температурі T_0 .

Вводиться атенуатор до положення α_2 . При цьому виконується умова:

$$\alpha_2 (\bar{U}_2^2 + S_1 P_0) = \bar{U}_{32}^2 - \bar{U}_{31}^2, \quad (9)$$

Надалі екранують антену 1 від зовнішніх випромінювань, після чого показання модуляційного радіометра стає рівним

$$U_{12} = S_0 (\bar{U}_{32}^2 - \bar{U}_{31}^2 - \alpha_2 \bar{U}_2^2) \cdot U_5^2.$$

Вводиться атенуатор до положення α_3 . Це відповідає умові

$$\alpha_3 \bar{U}_2^2 = \bar{U}_{32}^2 - \bar{U}_{31}^2. \quad (10)$$

Прирівнюючи ліві частини рівнянь (9) і (10), отримуємо дисперсію шумів антени

$$\bar{U}_2^2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_3 - \alpha_2} S_1 P_0. \quad (11)$$

Прирівнявши ліві частини рівнянь (8) і (9), та підставивши отримане рівняння значення дисперсії шумів антени (11), кінцево отримаємо значення потужності випромінювання, що вимірюється

$$P_X = \frac{\alpha_2(\alpha_3 - \alpha_1)}{\alpha_1(\alpha_3 - \alpha_2)} P_0. \quad (12)$$

Потужність випромінювання абсолютно чорного тіла P_0 температурою T_0 легко розрахувати за відомою:

$$P_0 = 4K\Delta f T_0,$$

де K – постійна Больцмана; Δf – ширина смуги приймання радіометра.

Висновки

Із отриманого виразу (12) видно, що на результат вимірювання потужності випромінювання не впливають шуми антени (\bar{U}_2^2), шуми радіометра (\bar{U}_{31}^2 , \bar{U}_{32}^2), нестабільність параметрів радіометра (K_1 , K_2 , K_3 , K_4 , S_2 , S_3), непостійність чутливості антени (S_1), а також варіації потужності гетеродина при його перестройці (U_5^2). Похибка вимірювання залежить тільки від похибки градування атенюатора, яка для вимірювальних атенюаторів НВЧ-діапазону (ДЗ-37, ДЗ-38) не перевищує $\pm 0,1$ дБ в діапазоні до 10 дБ та $\pm 0,018$ А до 50 дБ.

Дослідження та обрахування потужності за допомогою радіометра показали, що тіло людини випромінює електромагнітні хвилі міліметрового діапазону різної інтенсивності від різних ділянок тіла. Так, найбільша потужність випромінювання властива долоням, ділянками грудей та живота людини. По відношенню до випромінювання абсолютно чорного тіла з температурою долоней тіла людини $(P_X/P_0) = 6 - 8$ дБ, а в області лоба тільки 3-5 дБ. Рівень випромінювання суттєво залежить від стану людини. Так стресові стани істотно знижують рівень випромінювання (на 2-3 дБ), а запальні процеси підвищують рівень випромінювання (на 4-5 дБ). Наприклад, при порушеннях в шлунково-кишковому тракті це послаблення становить 7-8 дБ. Таким чином, рівень підвищення випромінювання людини $[lg(P_X/P_0)]$ може бути використаний в якості діагностичного параметра в медицині.

Література

1. Ситько С. П. Фундаментальные проблемы биологии с позиции квантовой физики живого // Физика живого. – 2001, Т. 9, № 2. – С. 5-17.
2. Скрипник Ю. А., Перегудов С. Н., Яненко А. Ф. Радиометрическая система для исследования излучений биологических объектов // Физика живого. – 1988. – Т. 6, № 1. – С. 19-22.
3. Скрипник Ю. О., Яненко О. П. Оцінка похибки модуляційного перетворювача в режимі перемикача // Вісник національного університету "Львівська політехніка" (Автоматика, вимірювання та керування). – 2002. – № 445. – С. 42-45.
4. Головка Д. Б., Скрипник Ю. О., Яненко О. П. Модуляційні НВЧ-вимірювачі електричних та неелектричних величин. – К.: "МП Леся". – 2001. – С. 65-67.