

УДК 621.3:621.4:537.8

**ОДНОКАНАЛЬНИЙ ВИМІРЮВАЧ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ РЕЄСТРАЦІЇ МІЛІМЕТРОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ЛЮДИНИ**

*Савенко Я.В., к.т.н., доцент; Сичов О.В., магістрант  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

**SINGLE-CHANNEL POWER METER FOR REGISTRATION OF HUMAN MILLIMETER RADIATION**

*Savenko Y., Cand. Of Sci (Technics), associate professor,  
Sychov O., undergraduate student  
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*

**Вступ.**

Сучасний розвиток методів неінвазивної діагностики ставить вимоги забезпечення повної безпеки обстеження, його комфортності, оперативності, всебічності при збереженні високої достовірності кількісних результатів.

Існуючі методи неінвазивної діагностики, такі як рентгенівська на магнітно-резонансна томографія дозволяють виявити порушення функціонування організму на етапі вже наявних патологічних змін [1], тобто коли патологія прогресує. У зв'язку з цим розробка і практична апробація нових підходів до побудови діагностичної апаратури при оперативному аналізі функціонального стану різних органів і систем людини є важливою і актуальною задачею. Один із перспективних напрямів створення такої апаратури заснований на ідеї використання інформаційних властивостей надмалопотужного випромінювання міліметрового діапазону, джерелом якого організм людини або інші біооб'єкти.

**Постановка задачі.**

Основна складність в реєстрації такого випромінювання пов'язана з виключно малою потужністю електромагнітного поля, що генеруються організмом і, що ще істотніше, з відсутністю впевненості в принциповій можливості ефективного їх прийому за допомогою приймачів випромінювання, традиційно використовуваних в радіофізиці і технічних застосуваннях.

Відомо, що навіть якщо обмежитися тільки одиничної клітиною, не розглядаючи також надскладні їх сукупності як організм, то її поведінка (реакції, прояви) все одно виявляється надзвичайно різноманітною, що залежить від багатьох зовнішніх і внутрішніх зв'язків, факторів і впливів. Така різноманітність побічно характеризує і складність відповідної системи управління. При цьому істотним стає питання про фізичні носії відповід-

них інформаційних сигналів, які забезпечують ефективні процеси в організмі.

Мета статті — розгляд можливостей вимірювання потужності міліметрового випромінювання людини.

### Шляхи вирішення проблеми.

Відсутність необхідного обладнання для реєстрації електромагнітного випромінювання міліметрового діапазону надмалої потужності до останнього часу не давала можливості проводити діагностику в цьому діапазоні. Поява високочутливих радіометричних систем для роботи в міліметровому діапазоні дала розвиток дослідженням властивостей біологічних об'єктів в надвисокочастотному діапазоні. Сучасний розвиток техніки міліметрового діапазону дає можливість використовувати напівпровідникові прилади для реєстрації і обробки сигналів надзвичайно малої потужності. Це відкриває нові можливості для розробки нової апаратури неінвазивної діагностики. Вимірювачі потужності на основі напівпровідникових сенсорів дозволяють підвищити компактність апаратури, зручність її використання та оперативність в проведенні діагностики.

Згідно сучасним уявленням механізм генерації електромагнітного поля

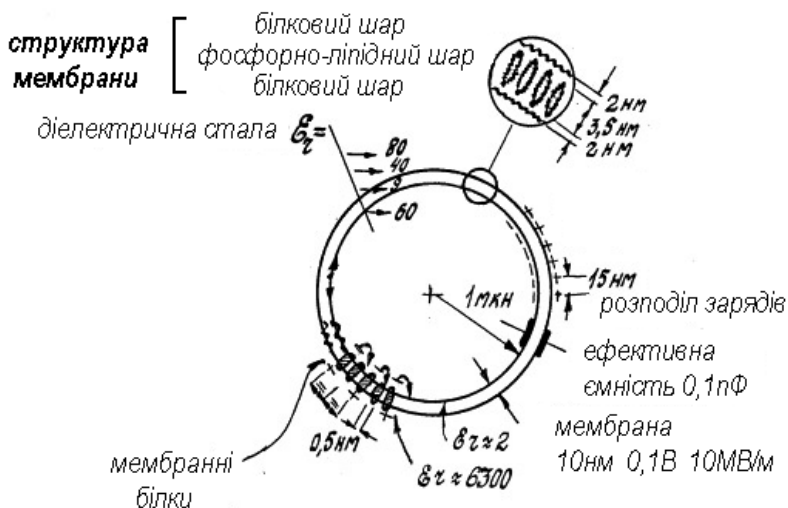


Рис.1. Перетин мембрани клітини.

в мм-діапазоні пов'язаний з коливаннями заряджених клітинних мембран (рис.1), підтримуваними за рахунок енергії метаболізму, в результаті чого клітини набувають властивості електромеханічних генераторів, свого роду «клітинних випромінювачів».

Щільність потужності випромінювання

біологічних клітин складає величину порядку  $p = 10^{-21} \frac{\text{Вт}}{\text{Гц} \cdot \text{см}^2}$  [2,3].

Виходячи з середніх розмірів еукаріотичних клітини організму людини  $a = 50 \mu\text{м}$  [4] та верхньої межі частотного діапазону випромінювання клітин, що може нести діагностичну інформацію, в  $f = 60 \text{ ГГц}$  [3] можна отримати значення потужності випромінювання однієї клітини:

$$P_{\text{кл}} = p \cdot f \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{a^2}{4} \quad (1)$$

Підставивши значення величин в (1), отримаємо:

$$P_{кл} = 10^{-21} \cdot 60 \cdot 10^9 \cdot \pi \cdot \frac{0,005^2}{4} = 1,18 \cdot 10^{-15} \text{ Вт.}$$

Отримане значення є середнім рівнем випромінювання однієї клітини.

Таке надзвичайно мале значення випромінювання не може бути зареєстрованим, тому необхідно збільшити розміри приймальної антени для того, щоб реєструвати випромінювання від агрегацій клітин. Поля клітин в агрегації взаємодіють один з одним в моделях клітинних осциляторів, безліч яких і породжує сумарне електромагнітне поле від певної агрегації, деякої частини органу або органу в цілому. При зніманні випромінювання патч-антенною розміром, рівним довжині хвилі, тобто  $5 \times 5$  мм, потужність випромінювання складає

$$P_{кл} = p \cdot f \cdot S,$$

де  $S = 0,25 \text{ см}^2$  — площа приймальної антени, маємо:

$$P_{кл} = 10^{-21} \cdot 60 \cdot 10^9 \cdot \pi \cdot 0,25 = 1,5 \cdot 10^{-11} \text{ Вт.}$$

Отримана величина становить  $-78$  дБм у відносних одиницях.

#### **Опис моделі та реалізації досліду**

За допомогою приймачів, розташованих на поверхні шкіри, можна прийняти сигнал від клітин організму, розташованих на глибині до  $0,3$  мм від поверхні шкіри. На такій глибині розташований шар епідермісу, випромінювання тканин якого практично не несе діагностично цінної інформації. Але на думку деяких дослідників [5], існує інформаційний (нетепловий) зв'язок між клітинами організму, інформація про стан клітин в глибоких шарах організму передається до поверхневих клітин і є модулюючим фактором для генерованого міліметрового випромінювання.

Існує декілька можливих трактувань механізму такого зв'язку, маючи на увазі, що сам факт наявності інформації про стан внутрішніх органів у випромінюванні мм-діапазону, що знімається з поверхні тіла, є досить переконливо доведеним. Вважається, що є три ймовірних канали поширення електромагнітного випромінювання в живих організмах [3,6]:

- по мембранам нервових волокон або по мікротрубчатим структурам, розташованим вздовж аксоплазми або через гліальні клітини, що оточують мембрани нервів;

- за допомогою клітин кровоносної і лімфатичних систем; хоча поширення когерентних хвиль через середовища, що циркулюють по елементах гуморальної регуляції неможливо, клітини, які генерують такі коливання, завдяки явищу взаємної синхронізації коливань, можуть встановлювати зв'язок між різними частинами організму по цьому каналу;

- через систему точок акупунктури.

У процесі життєдіяльності важливу інформаційну роль відіграють низькочастотні модулюючі коливання. Якщо вважати, що ці коливання також

мають електромагнітну природу, то відповідні хвилі, що виникають у внутрішньому середовищі організму, будуть затухати відносно слабо, досить вільно поширюючись від внутрішніх шарів організму до поверхневих.

В діагностичну систему доцільно включити три основні апаратні частини, які становлять його технічне забезпечення:

- антенно-вимірювальний блок;
- інтерфейсний вузол;
- блок обробки, накопичення та представлення інформації.

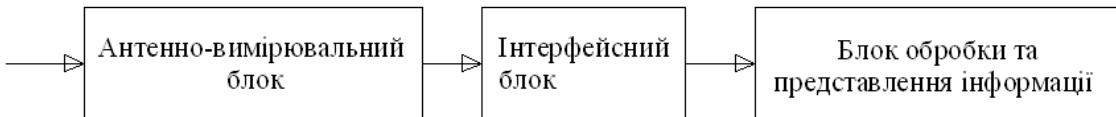


Рис. 2. Типовий склад системи реєстрації випромінювання.

Радіосигнали можуть сприйматися приймальною антеною, що входить до складу аналізатора, при чому антена розташовувалася над тією чи іншою біологічно активною точкою, обраної на розсуд лікаря і пов'язаної, як передбачається, з досліджуваним органом або певною системою організму.

Для виділення модулюючого сигналу доцільно використати гетеродинний приймач з потрібним перетворенням частоти. Структурна схема такого приймача наведена на рис. 3. Після вхідного фільтра  $\Phi_1$  сигнал поступає на підсилювач з малим рівнем власних шумів  $A_1$  для попереднього підсилення. Перше перетворення частоти виконується в змішувачі ПЧ<sub>1</sub> з виділенням різницевої частоти ПЧ<sub>1</sub> на виході фільтра  $\Phi_2$ , що поступає на вхід проміжного підсилювача  $A_2$ . Аналогічно працюють другий і третій гетеродини.

Перевагами такого вимірювача потужності є більш висока чутливість за рахунок додаткового підсилення на проміжних частотах та висока чутливість, що забезпечується фільтрацією в каналах проміжної частоти.

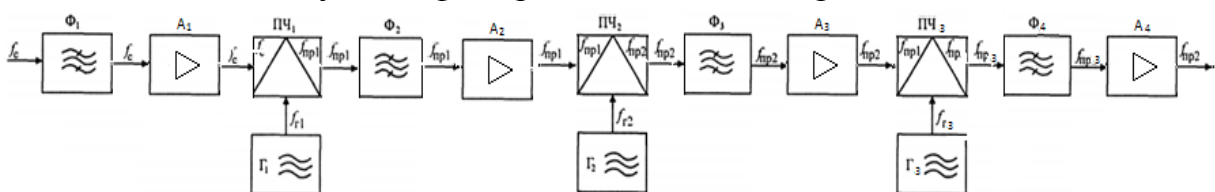


Рис.3. Структурна схема гетеродинного приймача з потрібним перетворенням частоти.

Частота всіх гетеродинів однакова і дорівнює  $f_{\Gamma} = f_{\Gamma_1} = f_{\Gamma_2} = f_{\Gamma_3} = f_{\Gamma_4} = 16\text{ГГц}$ . Тобто вважаючи, що вхідний сигнал має частотний діапазон від нижньої частоти  $f_{B\text{Xн}} = 50\text{ГГц}$  до верхньої частоти  $f_{B\text{Xв}} = 70\text{ГГц}$ , можемо визначити частотний діапазон вихідного сигналу:

$$f_{B\text{ВХн}} = f_{B\text{Xн}} - 3 \cdot f_{\Gamma} = 50 - 3 \cdot 16 = 2\text{ГГц}$$

$$f_{B\text{ВХв}} = f_{B\text{Xв}} - 3 \cdot f_{\Gamma} = 70 - 3 \cdot 16 = 22\text{ГГц}$$

Запропонований вимірювач потужності міліметрового випромінювання дозволяє підсилити вхідний сигнал на  $K = K_1 = K_2 = K_3 = K_4$  дБ, де

$K_1$  - коефіцієнт підсилення вхідного підсилювача А1, дБ;

$K_2$  - коефіцієнт підсилення проміжного підсилювача А2, дБ;

$K_3$  - коефіцієнт підсилення проміжного підсилювача А3, дБ;

$K_4$  - коефіцієнт підсилення вихідного підсилювача А4, дБ.

Перший каскад забезпечує максимально можливе підсилення з малим рівнем власних шумів. Наступні каскади мають більший рівень власних шумів, тому необхідно обмежувати їх коефіцієнти підсилення для забезпечення необхідного відношення сигнал/шум, за умови отримання необхідного загального коефіцієнта підсилення.

Отримані сигнали можуть бути детектовані і оброблятися за допомогою комп'ютера. В якості інформативних характеристик можна використати амплітудно-частотні спектри (спектри інформаційних сигналів), що є, по всій видимості, оцінками спектральних характеристик низькочастотної обвідної прийнятого сигналу.

### **Застосування**

Вважається, що існує певна кореляція між порушеннями тих чи інших функцій організму, дефектами в роботі окремих органів і патологічними змінами їх клітин. При цьому такі зміни на початкових стадіях захворювання можуть не проявляти себе яким-небудь помітним чином у зовнішній симптоматиці. Будь-яке захворювання організму змінює перебіг метаболічних процесів в клітинах, ініціюючи тим самим процеси їх функціональної перебудови та пов'язані з ними варіації спектрів випромінювання власних електромагнітних хвиль. По суті образ внутрішньоклітинного порушення кодується в частоті збуджуваних в мембранах хвиль, амплітуді цих коливань, їх просторовому поширенні, а також у вигляді зміни ритміки (частотних складових) самих фізіологічних (біохімічних) процесів і супутніх їм низькочастотних електромагнітних коливань. Можна припускати, що спектр електромагнітних коливань у всьому можливому частотному діапазоні буде змінюватися в залежності від функціонального стану контрольованого об'єкта. При цьому патологічно змінені клітини, тканини або органи будуть продукувати дисгармонійні електромагнітні коливання.

### **Висновки**

Функціонування здорової клітини супроводжується акустомеханічними коливаннями в плазматичній мембрані. Реєстрація цих коливань і аналіз їх змін дозволяє виявити порушення у функціонуванні організму на безсимптомному етапі розвитку патології.

Отримане значення напруженості електричного поля в області можливого розташування матриці антен ставить задачу з проектування багатоканального приймача міліметрового випромінювання з як можна меншим рівнем власних шумів та високою чутливістю.

**Література**

1. Hounsfield G.N. Computed Medical Imaging // Nobel Lectures in Physiology or Medicine 1971—1980. — World Scientific Publishing Co., 1992. — p. 568—586
2. Измерение малых значений СВЧ-мощности излучений биообъектов / Ю. А. Скрипник [та ін.] // Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology”. — 2003. — №13. — С. 85—87.
3. Девятков Н. Д. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности / Н. Д. Девятков, М. Б. Голант, О. В. Бецкий — М. : Радио и связь, 1991. — 168с.
4. Албертс Б. Молекулярная биология клетки: В 3-х т. — 2-ое, переработанное. / Б. Албертс, Д. Брей, Дж. Льюис, М. Рэфф, К. Робертс, Дж. Уотсон — М. : «Мир», 1993. — 539 с.
5. Khurgin Yu.I., Kudryashova V.A., Zavizion V.A., Betskii O.V. Millimeter Absorption Spectroscopy of Agues Systems. 2008, — 253с.
6. An Electrical Model of the Cell-Electrode Interface for High-density Microelectrode Arrays / Neil Joye [at al.] // International IEEE EMBS Conference. — 2008. — №30. — С. 559—562.

**References**

1. Hounsfield G.N. Computed Medical Imaging // Nobel Lectures in Physiology or Medicine 1971—1980. — World Scientific Publishing Co., 1992. — p. 568—586
2. Izmerenie malyh znachenij SVCh-moshhnosti izluchenij bioob'ektov / Ju.A. Skripnik [ta in.] // Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology”. – 2003. - №13. – S. 85-87.
3. Devjatkov N.D., Golant M.B., Beckij O.V. Millimetrovye volny i ih rol' v processah zhiznedejatel'nosti. – M.: Radio i svjaz', 1991. – 168s.
4. Alberts B., Brej D., L'juis Dzh., Rjeff M., Roberts K., Uotson Dzh. Molekuljarnaja biologija kletki: V 3-h t. — 2-oe, pererabotannoe. — M.: «Mir», 1993. — 539 s.
5. Khurgin Yu.I., Kudryashova V.A., Zavizion V.A., Betskii O.V. Millimeter Absorption Spectroscopy of Agues Systems. 2008, 253с.
6. An Electrical Model of the Cell-Electrode Interface for High-density Microelectrode Arrays / Neil Joye [at al.] // International IEEE EMBS Conference. – 2008. - №30. – С. 559-562.

*Савенко Я. В., Сичов О. В. Одноканальний вимірювач потужності для реєстрації міліметрового випромінювання людини. У статті розглянуто результати дослідження одноканального вимірювача потужності для реєстрації міліметрового випромінювання людини. Проаналізовано механізм взаємодії міліметрових хвиль з клітинами організму людини. Визначено структурні та функціональні особливості клітин при взаємодії з міліметровими хвилями. Запропоновано вимірювач потужності для реєстрації випромінювання низької інтенсивності у міліметровому діапазоні. Розглянуто можливі застосування вимірювача для діагностичних систем міліметрового діапазону.*

**Ключові слова:** *вимірювальна система, міліметрове випромінювання, низькоінтенсивне випромінювання, біологічна клітина, медична діагностика.*

*Савенко Я. В., Сычев А. В. Одноканальный измеритель мощности для регистрации миллиметрового излучения человека. В статье рассмотрены результаты исследования одноканального измерителя мощности для регистрации миллиметрового излучения человека. Проанализирован механизм взаимодействия миллиметровых волн с клетками организма человека. Определены структурные и функциональные особенности клеток при взаимодействии с миллиметровыми волнами. Предложен измеритель*

мощности для регистрации излучения низкой интенсивности в миллиметровом диапазоне. Рассмотрены возможные применения измерителя для диагностических систем миллиметрового диапазона.

**Ключевые слова:** измерительная система, миллиметровое излучение, низкоинтенсивное излучение, биологическая клетка, медицинская диагностика.

Savenko Y., Sychov O. *Single-channel power meter for registration of human millimeter radiation.*

Introduction. The development of modern techniques for noninvasive diagnostic sets requirements to ensure complete diagnostic safety, efficiency, comprehensiveness while maintaining high reliability of quantitative results. One of the promising directions for creating such devices is based on the idea of using information properties of the extra low millimeter-wave radiation from the human body or other biological objects.

Problem definition. The main difficulty in registration of such radiation is associated with exceptionally low power electromagnetic field generated by the body and the absence lack of opportunities for effective their reception by the radiation sensitive receivers. This is a significant issue of physical media relevant information signals that ensure effective processes in the body.

Solutions to the problem. The absence of a necessary equipment for electromagnetic radiation registration of millimeter range extra low radiation until now makes impossible the diagnostics in this range. Power meter based on semiconductor sensors can improve the compactness of equipment, ease of use and efficiency in diagnostics.

Description of the model and experiment. The receiver located on the surface of the skin can get a signal from the cell body. The information status of cells in the deeper layers of the body is transferred to the surface of cells and is a modulating factor for the generated millimeter radiation. Three basic hardware portions that make up its technical support should be included in the diagnostic system. There are antenna measuring unit and interface process unit, storage and presentation of information. These signals can be detected and processed by a computer. The range of information signals estimated spectral characteristics of low-frequency envelope of the received signal can be used as informative features.

Application. Any disease of the body changes metabolic processes in cells, thereby initiating the process of functional reorganization and related variations in their radiation spectra of electromagnetic waves. Spectra electromagnetic waves in all possible frequency range will vary depending on the functional state of the controlled object. This pathologically altered cells, tissues or organs will produce disharmonious electromagnetic waves.

Conclusions. The functioning of healthy cells is accompanied oscillated fluctuations in the plasma membrane. Registration of these oscillations and their analysis reveals changes in disturbance in the functioning of the organism to asymptomatic stage of the disease. Millimeter waves generated by biological objects give the task of designing a multichannel radiation receiver with the level of self noise as lower as possible and high sensitivity.

**Keywords:** measuring system, millimeter radiation, low-intensity radiation, biological cell, medical diagnostics.