

УДК 389.629

Ю.О. Скрипник, К.Л. Шевченко, О.А. Ваганов, В.П. Куценко
Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ
Казенне науково-виробниче підприємство «Кварсит», м. Костянтинівка
Державний університет інформатики і штучного інтелекту, м. Донецьк
КП «Клініка квантової медицини», м. Костянтинівка
E-mail: donetsk50@mail.ru

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ НЕТЕПЛОВОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ

Анотація

Скрипник Ю.О., Шевченко К.Л., Ваганов О.А., Куценко В.П. Методи вимірювання електромагнітних випромінювань нетеплової інтенсивності. Проаналізовані складнощі вимірювання слабких та надслабких електромагнітних випромінювань в діапазоні міліметрових і субміліметрових довжин хвиль. Обґрунтована можливість використання в якості перетворювача частоти надвисокочастотних сигналів водоелектричного датчика, заповненого очищеною від домішок водою. В якості перетвореного по частоті сигналу використовуються теплові шуми опроміненої води. Показано механізм збільшення електропровідності очищеної води при її опроміненні і, як наслідок, зменшення шумової напруги на електродах датчика в порівнянні з опорним датчиком.

Ключові слова: радіометр, радіохвильовий аналіз, властивості, вимірювання, електромагнітне випромінювання.

Вступ.

При вимірюванні слабких ЕМВ, інтенсивність яких менше 1 мВт/см^2 , виникають складнощі у виявленні випромінювань та вимірюванні їх потужностей, особливо в діапазоні міліметрових і субміліметрових довжин хвиль. За наявності теплового ефекту від ЕМВ з більшою інтенсивністю як детектуючі елементи використовуються балометри, термопари і терморезистори (рівень більше $5\text{-}10 \text{ мВт/см}^2$). При нетепловій інтенсивності ЕМВ (менше 1 мВт/см^2) НВЧ сигнал, що приймається антеною, зазвичай заздалегідь підсилюють, а потім детектують. У міліметровому діапазоні, через складнощі в прямому підсиленні НВЧ сигналів, використовують супергетеродинне перетворення частоти сигналів, що приймаються антеною, з подальшим підсиленням на проміжній, більш низькій частоті. Проте, на надзвичайно високих частотах (більше $100\text{-}150 \text{ ГГц}$) можливості пониження частоти НВЧ сигналів обмежені частотними властивостями елементної бази, зокрема, балансних змішувачів. Тому треба шукати нові шляхи перенесення інформації про інтенсивність НВЧ випромінювань із НВЧ сигналів на сигнали більш низької частоти, на яких можливі такі вимірювання.

В даний час вимірювання електромагнітних випромінювань нетеплової інтенсивності базується на модуляції ширококутового (шумового) НВЧ сигналу, що приймається антеною, і подальшому перетворенні частоти в більш низьку частоту шляхом балансного змішування з монохроматичним НВЧ сигналом та виділенні вузькосмугового шумового сигналу проміжної частоти [1]. Проте здійснити таке частотне перетворення в короткохвильовій частині міліметрових хвиль, а тим паче в діапазоні субміліметрових хвиль, важко через відсутність ширококутових перемножуючих пристроїв.

Дослідження останніх років показали, що для оцінки інтенсивності ЕМВ можна використовувати взаємодію електромагнітних хвиль з високоомною водою, що отримується

після глибокого очищення від яких-небудь домішок (дистильована, деіонізована і т.п.). Дія високочастотного електромагнітного поля на воду призводить, як показали експерименти, до зменшення її опору не лише за рахунок нагрівання, але й внаслідок структурних змін в розташуванні як окремих (незалежних) молекул, так і об'єднаних різними зв'язками кінетичних утворень (кластерів) [2]. При вимірюванні ЕМВ нетеплової інтенсивності використовують саме утворення у воді вільних іонів H^+ або OH^- із-за виникнення і зростання нових кластерів, що призводить до збільшення електропровідності води без її нагрівання. Але виявити і виміряти малі зміни електропровідності води на початковому високоомному фоні вельми важко.

Цікавий водорезистивний метод вимірювання електромагнітних випромінювань нетеплової інтенсивності [3], оснований на електромагнітній дії на водоелектричний датчик, заповнений очищеною від всяких домішок водою, вимірюванні електричного опору води між електродами водоелектричного датчика та визначенні інтенсивності електромагнітного випромінювання по зміні опору води. Крім того, відомий спосіб включає пропускання через високоомну воду змінного струму низької частоти (1 кГц), детектування струму, що пройшов, піковим детектором і аналого-цифрове перетворення постійного струму.

Проте цьому методу вимірювання електромагнітних випромінювань нетеплової інтенсивності властиве руйнування кластерних структур електричним струмом, який протікає через воду, що знижує ефективність електромагнітного опромінення високоомної води, і, отже, погіршується чутливість і точність вимірювання ЕМВ. Протікання струму через високоомну воду призводить також до її помітного нагрівання, що спотворює результати вимірювання слабких ЕМВ.

Постановка задачі.

Необхідно розробити ефективніший метод вимірювання електромагнітних випромінювань нетеплової інтенсивності, в якому за рахунок нових операцій і послідовності їх виконання виключилася б необхідність в зовнішній електричній напрузі і струмі, і, як наслідок, руйнування структури високоомної води, що забезпечить підвищення чутливості і точності вимірювання слабких і надслабких ЕМВ по зміні опору води.

Викладення основного матеріалу.

Для цього у водорезистивному методі вимірювання електромагнітних випромінювань нетеплової інтенсивності, основаному на електромагнітній дії на водоелектричний датчик, заповнений очищеною від всяких домішок водою, вимірюванні електричного опору води між електродами водоелектричного датчика і визначенні інтенсивності електромагнітного випромінювання по зміні опору води, пропонується вимірювання опору води проводити за допомогою зняття з електродів водоелектричного датчика напруги теплового шуму і порівняння отриманої напруги теплового шуму з напругою теплового шуму на електродах екранованого водоелектричного датчика. Подальше виділення різницевої напруги теплових шумів, підсилення його в заданій смузі частот, квадратичне перетворення, усереднювання квадратованої напруги дозволяє виміряти постійну складову усередненої напруги, за значенням якої можна судити про інтенсивність електромагнітного опромінення.

Введення у водорезистивний метод вимірювання електромагнітних випромінювань нетеплової інтенсивності вказаних операцій дозволяє здійснювати вимірювання електричного опору води без пропускання струму через водне середовище від зовнішнього джерела напруги, а використовувати внутрішні флюктууючі струми від хаотичного руху додатніх та від'ємних іонів в рідкому середовищі (рис. 1).

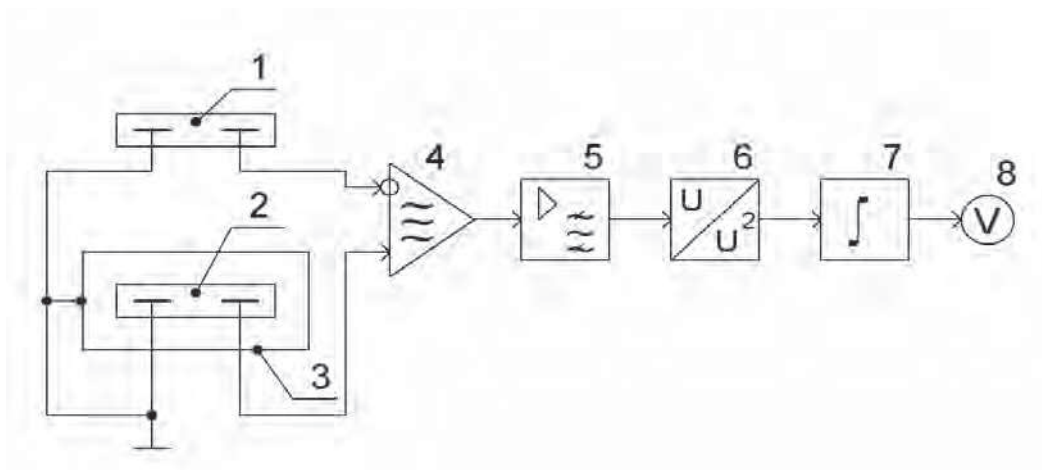


Рисунок 1 – Функціональна схема водозумового методу вимірювання електромагнітного випромінювання нетеплової інтенсивності:

1 і 2 – водоелектричні датчики; 3 – екран; 4 – диференціальний підсилювач;
5 – вибіркового підсилювач; 6 – квадратичний перетворювач; 7 – інтегратор;
8 – вольтметр

Виділення напруги теплового шуму з опромінюваної води і порівняння її з напругою теплового шуму води, екранованої від зовнішнього випромінювання, забезпечує здобуття різницевої шумової напруги, пропорційної зміні опору води від електромагнітного опромінення. Вибіркове підсилення різницевої шумової напруги в заданій смузі частот, подальше її квадратування й усереднення формує постійну напругу, значення якої пропорційне зміні опору опроміненої води, а, отже, і інтенсивності ЕМВ. Використання в якості чутливого елемента очищеної високоомної води забезпечує високу чутливість до електромагнітної дії без її нагрівання, що пов'язане із структурною перебудовою опроміненої води і зменшенням її опору за рахунок жорсткішого каркаса з водневих зв'язків молекул. Як буде показано нижче, вказані операції забезпечують підвищення чутливості і точності вимірювання слабких і надслабких ЕМВ.

Два ідентичні водоелектричні датчики 1 і 2 розміщують в однакових температурних умовах. Водоелектричний датчик 1 опромінюють ЕМВ, яке необхідно виміряти. Водоелектричний датчик 2 використовують як опорний і захищають від зовнішніх дій екраном 3. Як чутливі елементи водоелектричних датчиків 1 і 2 використовують дистильовану воду з малою початковою електропровідністю ($1/R = (3,6 - 4,0) \cdot 10^{-4} \text{ См/м}$) або воду, очищену із застосуванням зворотнього осмосу і іонного обміну ($1/R = (1,1 - 1,2) \cdot 10^{-4} \text{ См/м}$). Очищену від домішок воду до заливки у водоелектричні датчики 1 і 2 зберігають в герметично закритих поліетиленових бутлях.

Встановлено, що ступінь збільшення електропровідності води залежить від її початкового значення. Чим нижче електропровідність очищеної води, тим більшою мірою вона зростає при дії ЕМВ. Закономірно виникає питання, чи досить в процесі опромінення поглиненої електромагнітної енергії для здійснення структурних перебудов води, кластери яких безперервно руйнуються із-за хаотичного теплового руху молекул. Приведемо деякі розрахунки.

При частоті електромагнітного поля $\nu = 10$ ГГц енергія кванта $h\nu = 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 10^{10} = 6,62 \cdot 10^{-24} \text{ Дж}$ (або $4,1 \cdot 10^{-5} \text{ эВ}$), або з розрахунку на один моль приблизно 0,04 Дж. Це значно менше енергії теплового руху молекул води

$$kT = 4,1 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} = 2,2 \cdot 10^{-2} \text{ эВ}, \quad (1)$$

де k - постійна Больцмана; T - термодинамічна температура.

На один моль доводиться енергія $2,4 \text{ кДж/моль}$ при температурі $T = 298 \text{ К}$. Для того, аби в помітній мірі здолати теплове руйнування структури, необхідно накопити енергію, порівнянну з kT . Тому помітна зміна електропровідності води відбувається не миттєво, а вимагає певного часу для накопичення енергії. Час виходу на стаціонарний режим залежить від інтенсивності ЕМВ (Вт/см^2). Він складає декілька хвилин і навіть десятків хвилин для слабких ЕМВ ($0,05\text{-}0,50 \text{ мВт/см}^2$) і доходить до 1-2 години при вимірюванні надслабких ЕМВ (менше 10 мкВт/см^2).

Можна підрахувати, що за час опромінення протягом 2-х годин (7200 с) електромагнітна енергія, що поступає у водоелектричний датчик, складе

$$W = 7200 \cdot 0,04 / 10^{-10} \approx 3 \cdot 10^{12} \text{ Дж / моль}. \quad (2)$$

Якщо передбачити, що вода у водоелектричному датчику поглинає хоч би $0,1\%$ енергії, що поступає, то за вказаний час ця величина складе $3 \cdot 10^5 \text{ Дж / моль} = 300 \text{ кДж / моль}$, тобто вона значно перевершує енергію теплового руху.

Структурні зміни, що відбуваються у воді, призводять до утворення з окремих молекул кластерних структур з числом молекул від декількох одиниць до десятків тисяч. Із-за структурної перебудови каркаса водневих зв'язків збільшується міра делокалізації заряду на ОН-зв'язки (від водню до кисню), що полегшує відрив протона і зменшення енергії його перескоку з одного положення в сусіднє. Річ у тому, що протон може переходити від однієї молекули води до іншої, сусідньої. Ці переходи пов'язані з деякою енергією активації. У відсутності зовнішнього електромагнітного поля (ЕМП) перескоки протона рівноймовірні в будь-якому напрямі. При накладенні поля вірогідність перескоку у напрямі поля підвищується (оскільки енергія активації в цьому напрямі знижується), а процес пересування протона здійснюватиметься по ланцюжку, у відповідності з так званим «естафетним» механізмом. Отже, зміна орієнтації молекул води в результаті зовнішньої дії може істотно понизити енергію активації перескоку протона з одного положення в сусіднє, підвищивши тим самим його рухливість. А збільшення рухливості іонів призводить до збільшення електропровідності води.

Збільшення електропровідності води є не лише наслідком збільшення рухливості іонів водню H^+ і іонів гідроксила OH^- , але й наслідком збільшення числа носіїв заряду із-за виникнення і укрупнення кластерів [4]. Можна передбачити, що опромінення водної системи ЕМВ не лише змінює її структуру, але і викликає хімічні перетворення за участю розчиненого кисню, що призводять до утворення від'ємних OH^- -іонів.

Таким чином, зміни електропровідності (опору) високоомної води, що спостерігаються, обумовлені як структурною перебудовою водних кластерів, так і хімічними перетвореннями за участю розчиненого кисню.

Для вимірювання опору водоелектричного датчика (рис. 2) небажано, як вказувалося вище, пропускати через водне середовище ні постійний, ні змінний струм, які дезагрегують структуровану воду. Але можна використовувати електричні флюктуації носіїв заряду (іонів), які є наслідком теплового хаотичного (броунівського) руху іонів. Хаотичний рух іонів викликає флюктуації рівномірного розподілу їх в об'ємі опромінюваної води і появу незбалансованих зарядів. Останні створюють різницю потенціалів і струм, що вирівнює цю різницю. Різниця потенціалів і цей струм флюктуюють біля своїх середніх значень, рівних нулю. Це призводить до того, що у водному середовищі в окремі моменти часу

протікатимуть флюктууючі струми, а на електродах водоелектричних датчиків 1 і 2 виникатиме відповідна шумова напруга теплового характеру [5].

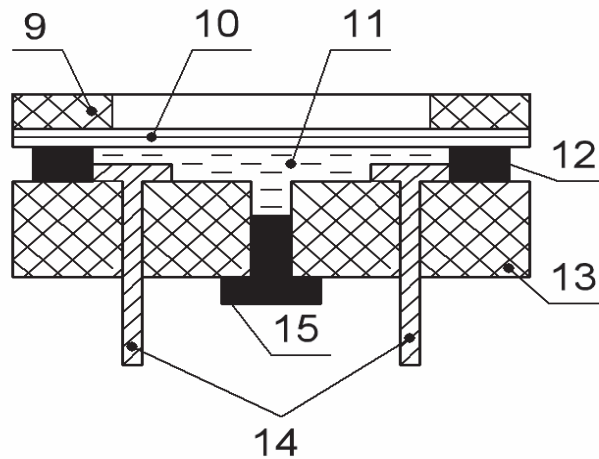


Рисунок 2 – Конструкція герметичного водоелектричного датчика:

- 9 – кришка водоелектричного датчика; 10 – радіопрозора пластина;
- 11 – високоомна вода; 12 – силіконова прокладка; 13 – корпус водоелектричного датчика; 14 – електроди з провідних матеріалів; 15 – силіконова заглушка

Структування води супроводжується підсиленням водневих зв'язків між її молекулами, а це, у свою чергу, як вказувалося вище, збільшує електропровідність водного середовища, тобто веде до зменшення опору водоелектричного датчика. Із-за зменшення опору водного середовища зменшується падіння напруги на електродах водоелектричного датчика від флюктууючих струмів. Це положення не суперечить формулі Найквіста, відповідно до якої середній квадрат напруги теплового шуму

$$\overline{U^2} = 4kTR\Delta f, \tag{3}$$

де k - постійна Больцмана; T - термодинамічна температура; Δf - смуга частот, в якій вимірюється шумова напруга; R - опір середовища, що шумить.

З формули випливає, що навіть при постійності температури ($T = const$) шумова напруга неминуче зменшується при зниженні опору середовища. Водоелектричний датчик 2 закритий екраном 3. Тому за наявності ЕМВ зменшується опір лише водоелектричного датчика 1. Різницева шумова напруга формується диференціальним підсилювачем 4 і підсилюється вибірковим підсилювачем 5 із смугою пропускання Δf . Миттєві напруги підсиленої шумової напруги квадратовуються квадратичним перетворювачем 6. В результаті квадратичного перетворення напруги, амплітуда якої змінюється випадковим чином, виникає постійна складова напруги і спектр змінних складових напруги. Усереднювання отриманої напруги інтегратором 7 дозволяє виділити постійну складову напруги, яку вимірюють вольтметром 8. Завдяки квадратичному перетворенню шумової напруги і подальшому усередненню значення вимірюваної постійної напруги пропорційне зменшенню опору водоелектричного датчика, а, отже, і інтенсивності опромінюючого ЕМВ.

Кришка 9 і корпус 13 водоелектричного датчика виконані з діелектричного матеріалу, наприклад, тefлону. Вимірюване ЕМВ проникає у високоомну воду 11 через радіопрозору пластину 10, виконану, наприклад, із слюди, целофану або ацетату целюлози. У порожнину водоелектричного датчика заливалася деіонізована вода, що піддавалася кип'ятінню, об'ємом 10 мл. Кип'ячена вода з найменш впорядкованою структурою більшою мірою реагує на електромагнітну дію. Так, при збільшенні інтенсивності ЕМВ від 5 мкВт/см² до 100 мкВт/см² опір дистильованої води зменшувався в 9,8 разів, а для деіонізованої води це зменшення склало 11,2 рази на частоті 50 ГГц. Проте, зміна опору останньої і встановлення стаціонарного показу вольметра 8 відбувалося набагато повільніше. Якщо в разі дистильованої води сталий показ вольметра 8 досягався за 5-7 хвилин, то для деіонізованої води час встановлення збільшувався до 10-12 хвилин. Вочевидь, що вода, яка пройшла через очисні мембрани, має більш впорядковану структуру, що і є причиною повільнішої зміни її властивостей. Крім того встановлено, що дія ЕМВ на талу воду з найменш порушеною структурою виявляється в набагато меншій мірі. Тому у водоелектричному датчику необхідно періодично змінювати структуровану воду на очищену кип'ячену воду за допомогою заглушки 15 для заливки і заміни високоомної води. Напругу теплових шумів води знімають з електродів 14 з неіржавіючої сталі або платини. Забруднення води в процесі вимірювань виключається силіконовою прокладкою 12.

Висновки.

Таким чином, суть водошумового методу вимірювання електромагнітних випромінювань нетеплової інтенсивності полягає в перетворенні НВЧ випромінювання, яке, в більшості випадків, має шумовий характер, в шумову напругу радіочастотного діапазону (5-10 МГц). При цьому роль перетворювача частоти виконує очищена високоомна вода з найменш впорядкованою структурою. Можливість вибіркового підсилення різницевої напруги теплових шумів дозволяє істотно підвищити чутливість до малих та надмалих ЕМВ, а відсутність стаціонарного струму від зовнішнього джерела напруги виключає руйнування кластерів води, які додатково утворюються при опроміненні води ЕМВ, що підвищує точність вимірювання інтенсивності ЕМВ.

Розглянутий метод може бути використаний для виявлення і вимірювання ЕМВ нетеплової інтенсивності як техногенного походження, так і природних джерел, зокрема, біологічних об'єктів. Використання мініатюрних водоелектричних датчиків і високочутливих вимірників теплових шумів забезпечує, наприклад, об'єктивізацію електромагнітного каркаса людини і тварин. Корисний він також для реєстрації різних аномалій, що супроводжуються різного роду надтепловими випромінюваннями [6].

Література

- 1 Скрипник Ю.О. Модуляційні радіометричні пристрої та системи НВЧ-діапазону: навч. посібник / Ю.О. Скрипник, В.П. Манойлов, О.П. Яненко. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 374 с.
- 2 Бессонова А.П. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства воды и ее спектральные характеристики / А.П. Бессонова, И.Е. Стась // Ползуновский вестник. – 2008. - №3. - С. 305-309
- 3 Аномальное поведение электропроводности воды при различного рода слабых воздействиях / Шишкин Г.Г., Агеев И.М., Еськин С.М. и др. // Сборник избранных трудов V Международного конгресса "Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине". - С-Пб., 2009. - С. 155-161
- 4 Зенин С.В. Гидрофобная модель структуры ассоциативов молекул воды / С.В. Зенин, Б.В. Тятлов // ЖФХ. - 1994. - Т.68. - №4. – С. 636-641.
- 5 Ван-дер-Зил А. Шум. Источники, описание, измерение: перев. с англ. / Ван-дер-Зил А. – М.: Советское радио, 1973. – 178 с.

6 Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов / Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф., Манойлов В.Ф. и др.; под ред. Ю.А. Скрипника. – Житомир: изд-во «Волянь», 2003. – 408 с.

Надійшла до редакції:
19.02.2011

Рекомендовано до друку:
д-р техн. наук, проф., Зорі А.А.

Abstract

Skripnik Yu.A., Shevchenko K.L., Vaganov A.A., Kutsenko V.P. Methods of measuring of electromagnetic radiations of non-thermal intensity. Complications of measuring of weak and superweak electromagnetic radiations are analysed in the range of millimetric and submillimeter lengths of waves. Possibility is grounded of the use as a transformer of frequency of super-high-frequency signals of water-electric sensor, filled by the water cleared from admixtures. As a regenerate on frequency signal thermal noises of the radiation-exposed water are used. The mechanism of increase of conductivity of the cleared water at its irradiation and, as a result, diminishing of noise tension is rotined on the electrodes of sensor as compared to a supporting sensor.

Keywords: *radiometr, the radio wave analysis, measurement, properties, electromagnetic radiation.*

Аннотация

Скрипник Ю.А., Шевченко К.Л., Ваганов А.А., Куценко В.П. Методы измерения электромагнитных излучений нетепловой интенсивности. Проанализированы сложности измерения слабых и сверхслабых электромагнитных излучений в диапазоне миллиметровых и субмиллиметровых длин волн. Обоснована возможность использования в качестве преобразователя частоты сверхвысокочастотных сигналов водоелектрического датчика, заполненного очищенной от примесей водой. В качестве преобразованного по частоте сигнала используются тепловые шумы облученной воды. Показан механизм увеличения электропроводности очищенной воды при ее облучении и, как следствие, уменьшение шумового напряжения на электродах датчика по сравнению с опорным датчиком.

Ключевые слова: *радиометр, радиоволновой анализ, свойства, измерение, электромагнитное излучение.*

© Скрипник Ю.О., Шевченко К.Л., Ваганов О.А., Куценко В.П., 2011