

УДК 621.38.029.6.01

ОСОБЛИВОСТІ ДІЕЛЕКТРОМЕТРІЇ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Глухі М.А.

e-mail: mykyta.hlukhi@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПІ,
м. Харків, Україна

The features of the dielectricometry of biological objects in the field of dispersion dependences of dielectric components of free water are considered. The use of the microwave frequency range opens up significant opportunities for the study of many processes in biological environments. Methods and directions for creating metrological support for experimental research are proposed.

Діелектрометрія в області дисперсії вільної води дозволяє отримувати інформацію про стан води в біологічних об'єктах в умовах, що виключають їхнє руйнування. На сучасному рівні розвитку методу й методології вона не тільки дає можливість кількісного визначення параметрів гідратного оточення біополімерів і їхніх компонентів. У цей час цим методом проводяться дослідження процесів функціонування біополімерів на різних рівнях організації живого від макромолекул до клітини. Є можливість вивчати зміни конформації макромолекул при різних факторах впливу (фізіологічно активних домішках, температури), ідентифікувати функціонально значні зміни конформації при взаємодіях макромолекул у модельних системах (наприклад, при фермент-субстратном зв'язуванні), досліджувати зміни конформації компонент клітин у функціонально-активному їхньому стані (наприклад, при ліганд-рецепторних взаємодіях), виявляти роль їхньої просторової структури в досліджуваному біологічному процесі, знаходити специфічні внутрімолекулярні взаємодії, що приводять до конкретних конформаційних перебудов.

Дослідження діелектричних характеристик в НВЧ діапазоні довжин хвиль дозволяє одержувати унікальну інформацію про стан водної компоненти біосистем. Фізичною основою цього є велика різниця діелектричної проникності біополімерів, зв'язаної та вільної води, тому що в цьому діапазоні знаходиться область дисперсії діелектричної проникності вільної води. НВЧ діелектрометрія в області дисперсії вільної води (близько 10 ГГц) є прямим методом вивчення стану води в біооб'єктах [1].

Молекула води являє собою диполь (рис.1), що обумовлює її високу діелектричну проникність: $\epsilon = 81$ на постійному струмі.

У НВЧ діапазоні в змінному електромагнітному полі (ЕМП) ці молекули не встигають обертатися і слідувати за його змінами. Ця здатність характеризується комплексною діелектричною проникністю $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$, де ϵ' – показник поляризації, а ϵ'' – діелектричні втрати.

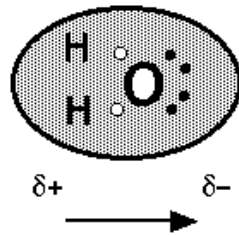


Рисунок 1. Диполь молекули води

На рис. 2 наведено графіки дисперсійних залежностей діелектричних складових вільної води.

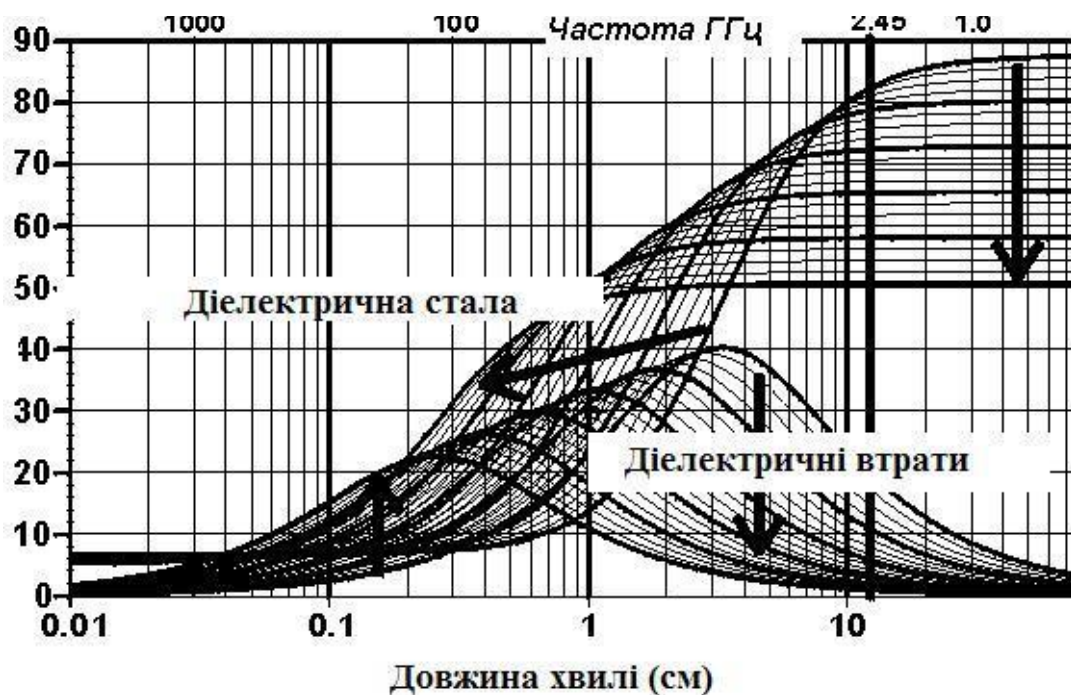


Рисунок 2. Дисперсійні залежності діелектричних складових вільної води

Для води, зв'язаної в біооб'єктах, ступінь вкладу в релаксаційний процес залежить від того, наскільки молекули води зв'язані з макромолекулами, які мають значно більшу масу і не встигають обертатися в електромагнітному полі, з тією ж швидкістю, що і молекули вільної води.

Якщо вимірювання проводяться на фіксованій частоті, відповідній області дисперсії вільної води, то єдиним елементом біосистеми, що вносить вклад в релаксаційний процес є вільна вода, яка і є своєрідним маркером. Отже, будь-які зміни діелектричних параметрів клітинної суспензії відображають зміни в результаті перерозподілу кількості вільної та зв'язаної води в міжклітинному і внутрішньоклітинному просторі. Подібні перерозподіли можна викликати штучно в умовах експерименту при

дослідженнях впливу різних факторів – температури, тиску, світла, змін іонної концентрації розчину зі зразком, або специфічною дією фармакологічних засобів, і т.д. Останнє покладено в основу метода реєстрації різних функціональних станів біооб'єктів за їх діелектричними характеристиками.

В роботі [2] було проведено обґрунтування технічних вимог до системи вимірювання, а в роботі [3] – запропоновано вимірювальні комірки та структури для дослідження вологовмісних матеріалів.

Зазвичай вимірювання проводяться на якісь визначених частотах в обмеженому діапазоні частот. Це пов'язане, по-перше з можливостями вимірювальних НВЧ генераторів, а, по-друге, з властивостями вимірювальних комірок та структур.

Однак запропоновані в [3] коаксіально-контейнерні вимірювальні структури завдяки використанню типів хвиль, притаманних коаксіальним лініям дозволяють проводити вимірювання майже у всьому діапазоні дисперсійних залежностей. Це можна робити як з допомогою набору вимірювальних генераторів, так і з використанням імпульсних сигналів малої тривалості с послідовним використанням та аналізом результатів перетворень Фур'є.

В той же час реалізація вказаних потенційних можливостей вимагає дуже ретельного попереднього моделювання можливих варіантів вимірювань, а також відповідних матеріальних експериментальних досліджень.

Список використаних джерел:

1. Бондаренко, І.М., Гордієнко, Ю.О., & Панченко, О.Ю. (2019). Напрями та проблеми мікрохвильових досліджень вологовмісних матеріалів та структур. Харків: ФОП Панов А.М. 2019. 320 с.

2. Глухі М.А. Обґрунтування технічних вимог до системи вимірювання вмісту та розподілу вільної і зв'язаної води в біологічних тканинах / М. А. Глухі // Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті: матеріали 27-го Міжнар. молодіж. форуму, 10–12 травня 2023 р. – Харків: ХНУРЕ, 2023. – Т. 1. – С. 17–18.

3. Глухі М.А. Вимірювальні комірки та структури для дослідження вологовмісних матеріалів / М. А. Глухі // Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті: матеріали 28-го Міжнар. молодіж. форуму, 16-18 квітня 2024 р. – Харків: ХНУРЕ, 2024. – Т. 1. – с. 37-38.