

Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка

Борохов Іван Валерійович

УДК 621.317

**ЗБУДНИКИ РЕФЛЕКТОМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОЇ
ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Таврійському державному агротехнологічному університеті Міністерства аграрної політики та продовольства України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор Федюшко Юрій Михайлович, Таврійський державний агротехнологічний університет, професор кафедри «Електрифіковані технології агропромислового комплексу».

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор Піротті Євген Леонідович, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Комп'ютерна математика та математичне моделювання»;

кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Поєдинчук Анатолій Єфимович, Харківський інститут радіофізики та електроніки НАН України імені О. Я. Усікова, старший науковий співробітник.

Захист відбудеться «12» квітня 2012 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.832.01 у Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Артема, 44.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Артема, 44.

Автореферат розісланий «1» березня 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О. Д. Черенков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

При використанні електромагнітної енергії для діагностики і лікування захворювань у медицині, для дослідження молекулярних процесів в інформаційної біології і медицині, утворюючої основу генетики і селекції, в сільському господарстві для сушки насіння і плодів, передпосівної обробки насіння, обеззаражування ґрунту, пастеризації соків і молока, діагностики і лікування тварин в теперішній час є необхідними технічні засоби для дистанційного вимірювання діелектричної проникності (ДП) біологічних об'єктів в широкому частотному діапазоні.

В свою чергу, спектроскопія ДП біологічних речовин і матеріалів для потреб медицині, біології і сільського господарства потребує підвищення точності і чутливості вимірювань. Створення технічних засобів діелектричної спектроскопії біологічних речовин і матеріалів, відповідаючи сучасним вимогам по точності і чутливості вимірювань в широкому частотному діапазоні є доволно складною задачею. Рішення даної задачі можливе на основі методу дистанційної рефлектометрії зі створенням в якості збуджувача цифрового синтезатору частоти (СЧ) з високою стабільністю частоти і спектральною чистотою вихідного сигналу.

Актуальність теми. Діелектрична спектроскопія біологічних речовин і матеріалів необхідна для рішення різних практичних задач: фізики, біології, біофізики, медицини і сільського господарства. В більшості випадків для діагностики і лікування людини і тварин за допомогою електромагнітних випромінювань, контролю технологічних процесів в сільському господарстві і фармакології, дослідження біологічних тканин в режимі *in-vivo*, необхідно виміряти ДП біологічних систем в умовах, які не допускають спеціальної підготовки і розміщення зразків в хвилеводний тракт і замкнуті порожнини.

В теперішній час для вимірювання ДП речовин і матеріалів існують численні методи і пристрої, які передбачають розташування вимірюваних зразків в резонаторах, хвилеводні і коаксіальні тракти і вимагають спеціальної підготовки зразків. Аналіз існуючих методів і засобів виміру ДП речовин і матеріалів показує, що їм властиві істотні недоліки: складність апаратурної реалізації; вузькосмужність; велика похибка вимірів ($3\pm 5\%$); складність вимірів: відсутність універсальності; висока вартість вживаного устаткування (десятки тис. дол. США), неможливість дистанційного вимірювання.

Усунути вказані недоліки дозволяє рефлектометричний метод відкритого кінця коаксіальної лінії із застосуванням в якості збудника цифрового синтезатора частоти, що дозволяє здійснити необхідну перебудову в широкому частотному діапазоні, високу стабільність частоти і спектральну чистоту вихідного сигналу, що може забезпечити високу точність при дистанційному вимірі ДП біологічних об'єктів. Проте синтезу частот для застосування в областях медицини, сільського господарства біофізиці в опублікованій літературі приділяється ще мало уваги, у зв'язку з чим завдання дослідження і розробки таких пристроїв не є тривіальними. Аналіз показує, що задоволення вимог по частоті спектру і стабільності частоти синтезатора може бути виконане на основі фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ). Тому створення цифрових СЧ для рефлектометричних систем дистанційної спектроскопії біологічних об'єктів не можливо без теоретичного точного аналізу нелінійних процесів в СЧ на основі ФАПЧ і розробки конкретних і ефективних рекомендацій по зниженню їх впливу на чистоту спектру вихідних коливань СЧ.

У світлі відміченого зрозуміла актуальність теми дисертаційної роботи, в якій вирішується важливе завдання для сільського господарства, медицини і біології, пов'язаної зі створенням технічних систем для дистанційного виміру діелектричних характеристик біологічних об'єктів на різних рівнях їх розвитку (клітини, тканин, організму) рефлектометричними системами, в яких як збудники використовуються цифрові синтезатори частоти.

Отримані результати дозволять створити нові речовини і технології в сільському господарстві, медицині, біології і отримати пріоритетні для України нові відомості про фізико-хімічні процеси у біологічних системах

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи пов'язана із загальними Українськими програмами: державною науково-технічною програмою ГНІП-12 «Енерго- та ресурсозберігаючі технології у сільськогосподарському виробництві», постанова Кабінету Міністрів України від 24.12.2001г., №1716 «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі на 2002-2006 рр.», постановою Президії Національної академії наук України від 25.02.09 №55 «Основні наукові напрямки, найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природничих і гуманітарних наук на 2009-2013 роки».

По планах НДР і ДКР Таврійського державного агротехнологічного університету були виконані наступні науково-дослідні роботи: «Розробка

наукових систем, технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки південного регіону України», номер державної реєстрації 0102U000678;

«Практичні аспекти застосування низькоенергетичного ЕМІ в медицині і сільському господарстві», номер державної реєстрації 0104U003720.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є створення цифрового синтезатора частоти з високою спектральною частотою вихідного сигналу в якості збудника рефлектометричної системи для дослідження діелектричної спектроскопії біологічних об'єктів, що знаходяться у вільному просторі.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- провести аналіз методів і рефлектометричних систем по виміру ДП біологічних об'єктів;
- досліджувати створення збудника рефлектометричної системи на основі цифрового синтезатора частоти для дистанційного виміру ДП біологічних об'єктів в широкій смузі частот;
- теоретично досліджувати спектральні характеристики вихідного сигналу синтезатора частоти з урахуванням нелінійності системи ФАПЧ;
- обґрунтувати застосування адаптивних компенсаторів перешкод для боротьби з частотою порівняння і її гармонік в спектрі вихідного сигналу рефлектометра;
- провести експериментальні дослідження характеристик елементів рефлектометра і діелектричної спектроскопії біологічних систем рослинного і тваринного походження дистанційним методом.

Об'єкт дослідження. Процес дослідження діелектричної спектроскопії біологічних об'єктів рефлектометричними системами дистанційного типу.

Предмет дослідження. Збудники рефлектометричних систем на основі цифрового синтезатора частоти для дистанційного дослідження діелектричної спектроскопії біологічних об'єктів.

Методи дослідження. Для вирішення поставленого завдання використані методи: функціональний - на основі рядів Вольтерра; метрологічного калібрування і атестації; аналітичні; теоретичної фізики і електродинаміки.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- уперше на основі функціонального методу обґрунтовані параметри цифрового синтезатора частоти в якості збудника рефлектометричних систем для дистанційного дослідження діелектричної спектроскопії

біологічних об'єктів;

- уперше розроблена методика дослідження нелінійних процесів в синтезаторах частоти на основі ФАПЧ, що дозволило здійснити перебудову частоти в широкому діапазоні і отримати сигнал на виході синтезатора з високою стабільністю частоти і чистотою спектру;

- отримали подальший розвиток теоретичні дослідження, які відрізняються від відомих тим, що визначають ефективність функціонування адаптивного компенсатора побічних складових з урахуванням внутрішніх шумів і нелінійності параметрів його елементів.

Практична значущість отриманих результатів. Застосування рефлектометричної системи, з розробленим збудником на основі синтезатора частоти з підвищеною спектральною частотою вихідного сигналу, для дистанційного виміру ДП біологічних об'єктів сільського господарства і медицини дозволить: досліджувати молекулярну структуру біологічних речовин і їх міжмолекулярні взаємодії; створити ефективну електромагнітну технологію для відтворення і лікування тварин; використати інформаційні електромагнітні випромінювання для підвищення врожайності зернових культур; провести контроль за станом біологічних об'єктів, що перебувають під впливом фізичних чинників різної природи; підвищити достовірність діагностики в медицині і ветеринарії; провести якісний аналіз біофізичних явищ на різних рівнях організації біологічних систем: створити базу даних діелектричної проникності біологічних об'єктів сільського господарства і медицини в широкому діапазоні частот. Впровадження рефлектометричної системи дистанційного виміру діелектричної проникності мікробіологічних об'єктів тваринництва (спермії, ембріони) в технологічний цикл відтворення тварин (господарство Запорізької обл.) дозволило отримати прибуток 27 тис. грн.

Особистий вклад здобувача. У наукових роботах, написаних в співавторстві, вклад претендента полягає в наступному:

- у роботах [4, 5] автор провів аналіз методів, технічних систем, характеристик рефлекторів і обґрунтував неможливість їх застосування для дистанційного виміру діелектричної проникності біологічних об'єктів ;

- у роботі [3] автор на основі функціонального методу обґрунтував і провів аналіз синтезатора частоти в якості збудника рефлектометра для дистанційного виміру діелектричних параметрів біологічних об'єктів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи докладалися на міжнародних науково-технічних конференціях (м. Мелітополь, ТАТУ, 2008 - 2011 рр.);

Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми енергозбереження в АПК України» (м. Харків, ХНТУСГ, 2008 - 2011 рр.);

Науково-технічній конференції «Вплив фізичних факторів на біологічні об'єкти» (м. Харків, ХНУРЕ, 2008 р.);

Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я» (м. Харків НТУ «ХП», 2009 - 2010 рр.);

Міжнародній науково-практичній конференції «Науково-інноваційна діяльність і підприємництво в АПК» (м. Мінськ, 2009 р.);

8-ї міжнародній науковій конференції «Живі системи і біологічна безпека населення» (м. Москва, ГУПБ, 2009 р.)

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 2-х статтях науково-технічних збірників і 3-х статтях науково-технічних журналів.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, 4 розділів та 4 додатків. Повний обсяг дисертації - стор., з них ілюстрацій по тексту, ілюстрацій на сторінках, табл. на стор., додатки на стор., найменувань використаних літературних джерел на стор.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність теми дисертації; формулюється наукова проблема, що розв'язується; розкривається сутність і стан цієї проблеми; висвітлюється зв'язок робіт з програмами, планами та темами НДР: формулюється мета і наукові задачі дослідження, розв'язок яких забезпечує досягнення поставленої мети; визначається наукова новизна та практичне значення отриманих результатів; визначається особистий вклад здобувача в надрукованих роботах; подана інформація щодо апробації дисертаційних досліджень; наводиться перелік робіт, що надруковані з теми дисертації.

У першому розділі «Аналіз методів і рефлектометричних систем для дистанційного вимірювання діелектричних параметрів біологічних об'єктів» встановлено, що теперішній час для створення перспективних інформаційних електромагнітних технологій в медицині і сільському господарстві потрібне створення бази даних про діелектричну проникність біологічних об'єктів на різних рівнях їх організації: мікро-, макро- і нано рівнях.

У медицині накопичений великий матеріал, пов'язаний із застосуванням електромагнітних технологій лікування, які вимагають інформації про діелектричну проникність органів людини в широкому

частотному діапазоні.

Застосування електромагнітної терапії в медицині потребує знань про діелектричні властивості тканин і речовин при комплексному лікуванні виразкової хвороби шлунку, при лікуванні серцево-судинних захворювань, при порушеннях церебрального кровообігу, зниження або зняття больових синдромів.

Дані численних досліджень дозволяють припустити, що вибором робочих частот, щільності потоку потужності, модуляційних параметрів ЕМП і значення діелектричної проникності органів і тканин можна добитися сприятливого впливу на хід лікування багатьох хвороб.

Дія ЕМП посилює і прискорює боротьбу із захворюваннями, мобілізуючи власні можливості організму. Проникаючи в організм, електромагнітні сигнали на певних (резонансних) частотах трансформуються в інформаційні сигнали, що здійснюють управління і регулювання відновними процесами в нім. Причому відновні процеси в значній мірі залежатимуть від діелектричної проникності органів і тканин.

Показано, що зміна і аналіз динаміки діелектричної проникності біологічних тканин набуває нині великого значення в практичній медицині для експрес-діагностики захворювань.

За величиною діелектричної проникності, вимірюваної дистанційно радіохвильовим методом, можна виявити злоякісні утворення усередині біологічних тканин. Цей метод діагностики може бути використаний у багатьох практичних застосуваннях, що вимагають прецизійного визначення внутрішніх вертикальних профілів діелектричної проникності.

Питання оптимального застосування електромагнітної енергії в сільськогосподарському виробництві пов'язані, передусім, з вивченням діелектричних властивостей біологічних об'єктів. Вивчення діелектричних властивостей насіння і ґрунту залежно від температури, вологості, при дії електромагнітної енергії, дозволить визначити режими обробки ґрунту, глибину закладення насіння, оптимальні параметри ЕМП при обробці насіння.

У дослідях з тваринами було встановлено, що ЕМП можуть бути використані при лікуванні бронхопневмонії, серйозних і гнійних плевритів у овець і корів. Дослідження, що проводяться на конях, великій рогатій худобі і дрібних домашніх тваринах показали, що електромагнітні випромінювання можуть бути використані для лікування міозитів, артритів, ентероколітів, емфіземи і перевтоми, а також сприяти швидкому загоєнню ран без застосування антибіотиків.

Останнім часом, у зв'язку з дефіцитом продовольчих запасів у світовій економіці, велика увага приділяється проблемі контролю якості

сільськогосподарської продукції на усіх етапах життєвого циклу: - виробництва, зберігання, переробки, споживання. Наприклад, НВЧ контроль параметрів молока, гідратаційна - здатність кріоконсервантів, оцінка морозостійкості рослин.

З проведеного аналізу виходить, що для ефективного застосування ЕМП в сільському господарстві, харчовій і переробній промисловості, а так само для контролю якості і збереження сільськогосподарської продукції актуальним є створення інформаційно-вимірювальних систем дистанційного типу відтворення, зберігання і передачі розмірів одиниць комплексної діелектричної проникності біоб'єктів в широкому частотному діапазоні ЕМІ.

Вимірюванню діелектричних параметрів матеріалів та речовин в різних агрегатних станах присвячено багато робіт. Суттєвий вклад в розвиток методів і технологічних систем дієлькометрії внесли багато вітчизняних та іноземних вчених: Брандт А. А., Харвей А. Ф., Берлінер М. А., Бенуар В. К., Ахадов Я. Ю., Потапов А. А., Kumar A., Grissom D., Кучин Л. Ф., Черенков О. Д., Федюшко Ю. М.

Виходячи із структурної організації речовини і задач, що пред'явлені науковими дослідженнями в медицині, біології, сільському господарстві, методи вимірювання діелектричних параметрів можна розділити на методи вимірювання в лінії передач, у вільному просторі і в об'ємному резонаторі.

Для наукових досліджень і практичних робіт у біології, медицині і сільському господарстві особливу цінність представляють виміри діелектричної проникності біоб'єктів у вільному просторі, в виду відсутності фізичного збурення, що вноситься в досліджуваний об'єкт при підготовці зразка до проведення вимірювань.

Аналіз технічного стану існуючих рефлектометричних систем для дистанційного зондування показав, що існуючі спеціалізовані рефлектометри не можуть бути використані для діелектричної спектроскопії біологічних об'єктів, так як для їх досліджень необхідні широкодіапазонні збуджувані рефлектометри з високою спектральною частотою і стабільністю сигналу зондування. Це пов'язане, в першу чергу, з тим, що точність рефлектометричних систем діелектричної спектроскопії визначається точністю установки частоти джерел сигналу зондування рефлектометра. Висока точність установки частоти в широкому діапазоні і її стабільність може бути забезпечена за допомогою синтезаторів частоти, побудованих на основі систем фазової автопідстройки частоти.

Аналіз рефлектометричних систем показує, що для отримання високої роздільної здатності рефлектометра $\leq 1\%$ необхідно, щоб дискретні компоненти в спектрі вихідного сигналу синтезатора були пригнічені до

рівня власних фазових шумів синтезатора, тобто до - 160 дБ.

Аналіз стану питання по синтезаторах частоти дозволяє зробити висновок про те, що хоча у відомій літературі розглядається питання про фільтруючі властивості ФАПЧ, але стосовно синтезаторів-збудників не було вказано шляхів вирішення цього питання зі збереженням необхідної швидкодії.

Крім того, літературний аналіз стану рефлектометричних систем різного призначення показав:

- в теперішній час відсутні спеціалізовані рефлектометри, призначені для виміру діелектричної проникності біологічних об'єктів у вільному просторі;
- для дистанційного виміру діелектричної проникності біологічних об'єктів рефлектометричними системами в широкому частотному діапазоні необхідно використати радіоімпульси нано- і субнаносекундної тривалості і методи оброблення, які дозволяють отримувати достатньо високі показники точності виміру і
- для виміру характеристик елементів синтезатора, збуджувача, вихідного сигналу збуджувача, об'єкта виміру і об'єкта аналізу необхідно вибрати основну структуру збуджувача рефлектометра і методику аналізу його стабільності частоти.

В якості основного пристрою синтезатору в НВЧ діапазоні хвиль, як показав аналіз вітчизняних та зарубіжних публікацій, служить петля ФАПЧ, в зворотньому колі якої розміщений розподільвач частоти зі змінним коефіцієнтом розподілу (ДПКД), рис. 1.

Рис. 1. Еквівалентна схема петлі цифрової ФАПЧ

Така система ФАПЧ описується таким нелінійним диференціальним рівнянням:

(1)

де β - нормована характеристика фазового детектора; β
 β - смуга утримання; β - коефіцієнт розподільника зі змінним
 коефіцієнтом розподілу (ДПКД); β - коефіцієнт передачі

фільтра нижніх частот (ФНЧ); β - оператор
 диференціювання; β - початкова розстройка; ГУН –
 генератор, який керується напругою.

З урахуванням того, що вплив ДПКД розповсюджується на інші
 елементи схеми синтезатора частоти, рівняння для аналізу стабільності
 частоти синтезатора може бути записане в такому вигляді:

(2)

де $\Delta\varphi$ - різниця фаз сигналів кварцового і ГУН генераторів;

β - зведена характеристика фазового детектора;
 β - обурення, що діє на систему ФАПЧ, обумовлене
 внутрішніми шумами схеми.

Рішення рівняння (2) будемо шукати у вигляді усіченого ряду
 Вольтерра.

Враховуючи характеристику фазового детектора
 синусоїдальною і розкладаючи її у ряд Тейлора, була отримана
 система рівнянь:

(3)

Застосовуючи багатомірні перетворення Лапласа до обох частин рівнянь (3), був отриманий вираз для ядер Вольтерра в операторній формі:

(4)

З урахуванням ядер Вольтерра був отриманий вираз для спектральної міцності потужності флуктуацій фази синтезатора у такому вигляді:

.3

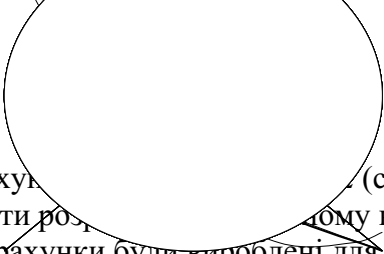
(5)

де $b^2[1/\text{Гц}]$ - відношення шум-сигнал за потужністю у смузі сигналу;

.3 - коефіцієнт пропорційно-інтегруючого ФНЧ;

T – постійна часу ФПЧ; .3

Для розрахунку нестабільності частоти синтезатора був використаний вираз:



Результати розрахунку частоти синтезатора (суцільна лінія). Тут же показані результати розрахунку частоти синтезатора з урахуванням наближенні (штрихова лінія). Розрахунки були вироблені для конкретного синтезатора частоти з параметрами $b_2=10^{-3}$ Гц-1; $\Omega_y=40$ мГц; $N=20$; $m=0,5$; $T=1,6 \cdot 10^{-2}$ с; $f_0=1,15$ ГГц.

На рис. 2 приведена також експериментально знята характеристика стабільності частоти даного СЧ (штрихпунктирна лінія).

Рис. 2. Характеристики нестабільності частоти синтезатора

Врахування нелінійної природи системи ФАПЧ^с дозволяє отримати результати, більш точно співпадаючі з експериментальними у порівнянні з лінійною теорією, що свідчить про необхідність врахування нелінійних властивостей ФАПЧ при дослідженні і проектуванні СЧ з нестабільністю частоти $10^{-7} \dots 10^{-9}$, що актуальне для побудови збуджувачів рефлектометричних систем дистанційного дослідження біооб'єктів.

У третьому розділі «Розробка і дослідження синтезатора частоти збуджувача рефлектометра з покращеною частотою спектра вихідного сигналу» була досліджена можливість досягнення необхідних показників якості СЧ за рахунок методів адаптивної компенсації побічних складових (АКПС). Встановлено, що застосування фільтрів з постійними параметрами для зменшення побічних складових в спектрі вихідного сигналу синтезатора в більшості випадків не застосовується із-за нестабільності їх параметрів. Одним з найбільш перспективних напрямків рішення цієї задачі є розробка пристроїв адаптивної компенсації на основі адаптивного режекторного фільтра.

Для рішення даної задачі була розроблена структура збуджувача рефлектометра на основі синтезатора частоти з АКПС в тракті

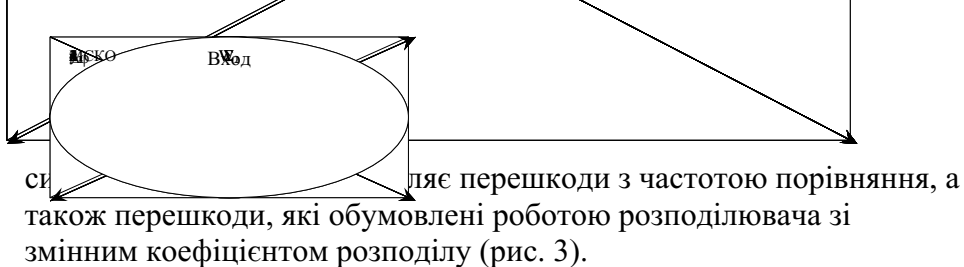


Рис. 3. Структурна схема синтезатора з двохканальним адаптивним компенсатором

ОГ - опорний генератор; ДФКД и ДПКД - розподільвачі з фіксованим і змінним коефіцієнтами розподілу відповідно; ГУН - генератор, який керується напругою; ФД - фазовий детектор; ПМ - перемножувач; ИН - синтезатор; УОС - пристрій зворотнього зв'язку.

Алгоритм роботи розробленої схеми (рис. 3) відповідає роботі одно частотного адаптивного ежекторного фільтра з двома ваговими коефіцієнтами (рис. 4).

Рис. 4. Схема одночастотного режекторного фільтра з двома ваговими коефіцієнтами

У даній схемі на вхід 1 поступає сума сигналу і перешкоди:

$$.3, \quad (7)$$

де - сигнал довільної форми;

- синусоїдальний сигнал перешкоди з частотою ω_0 .

На еталонному вході 2 діє синусоїдальний сигнал:

$$. \quad (8)$$

Алгоритм роботи адаптивного фільтру був записаний у такому вигляді:

$$, \quad (9)$$

де - затриманий на 900 еталонний сигнал; - сигнал адаптивного фільтру на виході 4; - сигнал АКПС на виході 3.

Використовуючи Z-перетворення, були отримані передаточні функції фільтра між точками 1-3 і точками 4-1 схемою (рис. 4):

.3

.3

$$, \quad (10)$$

де $Z=e^{i\omega}$; $D(Z)$ і $E(Z)$ – Z-перетворення сигналів d і ε ; .3 - коефіцієнт зворотнього зв'язку підсилювача.

На рис. 5 наведені амплітудно-частотні характеристики одночастотного фільтра.

Рис. 5. Амплітудно-частотні характеристики одночастотного фільтра

З рис. 5 отримуємо, що для періодичної перешкоди адаптивний компенсатор є вузькосмужним режекторним фільтром з практично необмеженим коефіцієнтом зменшення, який точно відстежує частоту перешкоди. Компенсатор, в цьому випадку, веде собі як лінійна, інваріантна в часі динамічна система з адаптивним фільтром.

У четвертому розділі «Експериментальне дослідження елементів синтезатора частоти рефлектометра і діелектричної спектроскопії біологічних об'єктів» проведена перевірка теоретичних даних і висновків

щодо розробки синтезатора частоти збуджувача рефлектометра НВЧ діапазону, обґрунтована методика атестації дистанційного рефлектометра і методика вимірювання на ньому ДП біологічних об'єктів, проведені дослідження діелектричної спектроскопії біологічних об'єктів в широкому частотному діапазоні дистанційним методом.

На основі теоретичних і експериментальних досліджень був розроблений синтезатор частоти, який відповідає таким параметрам:

- діапазон частот, ГГц 0,5-18,0;
- крок сітки частот, кГц 100;
- рівень пригнічення побічних складових, дБ не менш - 120;
- фазові шуми, дБ не вище - 90 в будь-якому діапазоні;
- час перемикання, мс менш 40 при зміні частоти на 100 МГц;
- потужність вихідного сигналу, МВт 50 при зміні частоти на 1 ГГц; більш 60.

Використовуючи отримані в роботі результати щодо побудови синтезатора частоти в якості збуджувача рефлектометра був створений рефлектометр для дистанційного вимірювання діелектричних характеристик біоб'єктів з характеристиками:

- смуга пропускання – 18,0 ГГц;
- вхідний опір $50 \pm 1,5$ Ом;
- середньоквадратичне значення власних шумів – 5 мВ;
- похибка вимірювання напруги - $\pm 0,3$ %;
- похибка вимірювання інтервалів часу - $\pm 0,2$ %;
- коефіцієнт розгортання - 10 пс/под.;
- похибка вимірювання ДП об'єктів – 1,5...2 %.

Загальний вигляд рефлектометричної системи наведений на рис. 6.

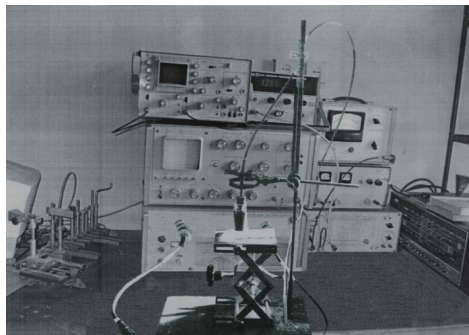


Рис. 6. Загальний вигляд рефлектометричної системи

Установка складається з синтезатора частоти, стробоскопічного змішувача, осцилографа, персонального комп'ютера.

На розробленому рефлектометрі експериментально були проведені дистанційні вимірювання ДП пшениці, еритроцитів крові, м'яса. Виміряні діелектричні характеристики наведені на рис.7 - рис.10 відповідно.

Вимірювання ДП для зерна пшениці сорту «Ахтирчанка» (урожай 2010 р.) проводились при вологості 14,6 %, температурі $+25^{\circ}\text{C}$ і міцності 800 кг/м^3 . Як показує аналіз проведених вимірювань, залежність ϵ' від частоти характерна для твердих діелектриків.

На рис. 8 наведені характеристики ДП суспензії еритроцитів крові людини при температурі $+25^{\circ}\text{C}$. Дослідження виворотки здорових і хворих людей і тварин суспензії еритроцитів і лейкоцитів дозволяє створити моделі частотної залежності цих біооб'єктів, які можуть бути використані в діагностичній практиці для лікування ряду захворювань.

Рис. 7. ДП озимої пшениці сорту «Ахтирчанка»

Рис. 8. ДП еритроцитів крові людини

На рис. 9 наведені характеристики ДП м'яса яловичини (плечова частина) при температурі $+20^{\circ}\text{C}$, міцності 1015 кг/м^3 , вологості $76,2\%$, жирності 2% . На рис. 10 наведені характеристики ДП м'яса птиці (внутрішня жирова тканина курей) при температурі $+20^{\circ}\text{C}$, міцності 900 кг/м^3 , вологості $9,1\%$, жирності $88,7\%$.

Рис. 9. ДП яловичини (плечова частина)

Рис. 10. ДП жирової тканини м'яса птиці

Аналізуючи і співставляючи графіки цих рисунків, можна відмітити, що ДП м'яса в значній мірі залежить від його жирності. При збільшенні жирності м'яса значення ϵ' і ϵ'' знижуються. Так, значення ϵ' жирової тканини в 10...15 разів, а ϵ'' в 30...60 разів менш, ніж м'язової, що пов'язане в першу чергу з низкою вологістю жиру.

Ця закономірність відноситься до усіх видів м'яса і м'ясопродуктів.

Проведений аналіз діелектричних параметрів біологічних об'єктів показав, що підвищення продуктивності рослин, здатних використовувати високий фон агротехніки, дослідження нових методів селекції, підбір і оптимальне розміщення сільськогосподарських культур стосовно різних ґрунтово-кліматичних зон, поліпшення якості рослин, розробка систем добрив і зрошування, пошук ЕМ заходів боротьби з бур'янами, підвищення імунітету рослин до хвороб і шкідників, розробка ЕМ методів боротьби з ними, підвищення продуктивності тварин і ряд інших завдань нерозривно пов'язані зі створенням бази даних діелектричних характеристик біологічних систем.

Впровадження систем дистанційної рефлектометрії в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва дозволило отримати прибуток у розмірі 27 тис. грн.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розроблені науково-технічні основи щодо створення збуджувачів рефлектометричних систем діелектричної спектроскопії біологічних об'єктів сільського господарства, медицини і біології. Отримані результати дозволяють розробляти ефективні інформаційні ЕМ технології в медицині, сільському господарстві і біології, створити базу даних про ДП біологічних об'єктів в широкому частотному діапазоні.

1. З аналізу літературних джерел слідує, що для підвищення продуктивності рослин і тварин, а також для контролю якості і збереження сільськогосподарської продукції актуальним є створення рефлектометричних систем дистанційного вимірювання діелектричної проникності біологічних об'єктів, для відтворення, зберігання і передачі комплексної діелектричної проникності в діапазоні частот 0...300 ГГц з похибкою вимірювання 1,5...1,7 %.

2. Для дистанційного вимірювання ДП біологічних об'єктів рефлектометричними системами необхідно в якості збуджувачів рефлектометрів використовувати цифровий синтезатор частоти з пригніченням дискретних складових в спектрі вихідного сигналу до рівня 160...200 дБ на основі непрямого методу синтезу з ДКПД у колі зворотнього зв'язку.

3. Для забезпечення точності дистанційного вимірювання ДП біологічних об'єктів в межах 1,5...1,7 %, аналіз характеристик синтезатора необхідно проводити з урахуванням нелінійного характеру петлі ФАПЧ на основі функціонального методу з використанням рядів Вольєрра.

4. Числові оцінки стабільності частоти синтезатора на основі функціонального методу показують можливість створення синтезаторів з нестабільністю частоти в межах 10^{-7} ... 10^{-9} .

5. Застосування схеми адаптивного компенсатора з перспективним коефіцієнтом передачі кола зворотнього зв'язку дозволить збільшити ступінь пригнічення побічних складових в спектрі вихідного сигналу синтезатора в 2 рази у порівнянні з фільтрами з постійними параметрами, а також може забезпечити необхідний рівень захисту збуджувача рефлектометричної системи як від внутрішніх, так і зовнішніх перешкод.

6. Для дистанційного дослідження діелектричних параметрів біологічних об'єктів в широкому частотному діапазоні необхідно використовувати рефлектометричні системи з параметрами:

- вхідний опір $50 \pm 1,5$ Ом;
- середньоквадратичне значення власних шумів – 5 мВ;
- похибка вимірювання напруги - $\pm 0,3$ %;
- похибка вимірювання інтервалів часу - $\pm 0,2$ %;
- коефіцієнт відхилення – 5 мВ/под.;
- коефіцієнт розгортання – 10 пс/под.;
- похибка вимірювання ДП біологічних об'єктів – 1,5 %;
- потужність, яка споживається – 400 Вт;
- вага комплексу – 62 кг.

7. В рефлектометричних системах дистанційного вимірювання діелектричних характеристик біологічних об'єктів в якості збуджувача слідє застосовувати синтезатори частоти з параметрами:

- крок сітки частот, кГц 100;
- рівень пригнічення побічних складових, дБ не менш – 120;
- фазові шуми, дБ не вище – 90 в будь-якому діапазоні;
- час перемикання, мс менш 40 при зміні частоти на 100 МГц;
50 при зміні частоти на 1 ГГц;
- потужність вихідного сигналу, МВт більш 60.

8. Дистанційні вимірювання ДП біологічних об'єктів необхідно проводити за допомогою метода відкритого кінця коаксіальної або хвильоводної лінії.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Борохов И. В. Анализ стабильности частоты цифрового синтезатора частоты в качестве возбудителя рефлектометра. / И. В. Борохов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. - Харків. - 2011. - Вип. 116. - С.140-142.

2. Борохов И. В. Анализ параметров синтезатора с адаптивным компенсатором побочных составляющих спектра выходного сигнала / И. В. Борохов // Общегосударственный научно-производственный и информационный журнал. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2011. - №10 (92). - С. 73-76.

3. Борохов И. В. Обоснование и анализ структурной схемы синтезатора частоты в качестве возбудителя рефлектометра / И. В. Борохов, А. Н. Мороз // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2011. - №4/9 (52). – С. 44-46.

4. Борохов И. В. Анализ методов и технических систем для дистанционного измерения диэлектрических параметров биологических объектов. / И. В. Борохов, Ю. М. Федюшко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - 2011. - Вип. 11, т. 4. –С. 351-357.

5. Борохов И. В. Аналіз характеристик рефлектометричних систем для дистанційного вимірювання діелектричних параметрів біоб'єктів. / И. В . Борохов, Ю. М. Федюшко // Вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім.. С.З.Гжицького.- 2011- Т.2,№4(50)- С. 139-143.

6. Борохов И. В. Технічні параметри і конструктивні особливості імпульсного рефлектометра для діелектричної спектроскопії біологічних об'єктів/И. В. Борохов, Ю.М. Федюшко// Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.- Мелітополь,ТДАТУ.- 2009. -Вип.9,т.2.-С.126-131.

Мова і стиль дисертації

Дисертацію написано російською мовою.

1. Борохов И. В. Анализ стабильности частоты цифрового синтезатора частоты в качестве возбудителя рефлектометра. / И. В. Борохов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. - Харків. - 2011. - **Вип. - с.**

2. Борохов И. В. Анализ параметров синтезатора с адаптивным компенсатором побочных составляющих спектра выходного сигнала / И. В. Борохов // Общегосударственный научно-производственный и информационный журнал. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2011. - №10 (32). - **с.**

3. Борохов И. В. Обоснование и анализ структурной схемы синтезатора частоты в качестве возбудителя рефлектометра / И. В. Борохов, А. Н. Мороз // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2011. - №4/9 (52). - 44-46 с.

4. Борохов И. В. Анализ методов и технических систем для дистанционного измерения диэлектрических параметров биологических объектов. / И. В. Борохов, Ю. М. Федюшко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - 2011. - Вип. 11, т. 4. - 351-357 с.

5. Борохов И. В. Аналіз характеристик рефлектометричних систем для дистанційного вимірювання діелектричних параметрів біооб'єктів. / И. В. Борохов, Ю. М. Федюшко // Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження. - 2008. - **№ , т.**

Аннотация

Борохов И. В. Возбудители рефлектометричных систем дистанционной диэлектрической спектроскопии биологических объектов. – Рукопись.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук за специальностью 05.11.17 - биологические и медицинские приборы и системы. - Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, Харьков, **2011.**

Диссертационная работа посвящена решению теоретических и экспериментальных задач из разработки цифровых синтезаторов частоты в качестве возбудителей рефлектометричных систем для дистанционного измерения диэлектрической проницаемости биологических объектов сельского хозяйства, медицины и биологии с разными уровнями организации : микро-, макро- и наноуровнями.

Диэлектрическая спектроскопия биологических жидкостей и материалов необходима для решения разнообразных практических задач:

сельского хозяйства, медицины, биофизики и биологии. В большинстве случаев, для лечения и диагностики людей и животных с помощью электромагнитных излучений, контроля технологических процессов в сельском хозяйстве и фармакологии биологических тканей в режиме *in-vivo*, необходимы технические средства для дистанционного измерения диэлектрической проницаемости биологических объектов в широком частотном диапазоне.

Для дистанционного измерения диэлектрических параметров биологических объектов в работе были проведены исследования по созданию цифрового синтезатора частоты в качестве возбудителя рефлектометрической системы на основе фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

Применение в синтезаторе системы ФАПЧ потребовало проведения теоретических исследований стабильности частоты синтезатора на основе рядов Вольтерра, с учетом нелинейных процессов в системе ФАПЧ.

В работе также было показано, что компенсационные методы подавления побочных составляющих в спектре выходного сигнала возбудителя рефлектометра являются наиболее эффективными в случае предельно высоких требований к чистоте спектра выходного сигнала рефлектометра.

Теоретически обоснована и разработана базовая структура возбудителя рефлектометра с компенсационной частью, в полной мере удовлетворяющая всем требованиям к возбудителям рефлектометра для дистанционного зондирования объектов.

Осуществлено макетирование возбудителя рефлектометра применительно к требованиям дистанционной рефлектометрической системы для исследования биообъектов. На основе результатов макетирования проведены экспериментальные результаты спектральных и динамических характеристик такой структуры и осуществлено их сравнение с результатами теоретических оценок.

Используя полученные в работе результаты по построению возбудителя рефлектометра с высокими спектральными характеристиками, был создан рефлектометр для дистанционного зондирования биообъектов. На разработанном рефлектометре были проведены измерения диэлектрических параметров биообъектов в свободном пространстве. Внедрение систем дистанционной рефлектометрии в технологические процессы сельскохозяйственного производства позволило получить прибыль в размере 87 тыс. грн.

Ключевые слова: биологические объекты, диэлектрическая спектроскопия, рефлектометр для дистанционного измерения.

Анотація

Борохов І. В. Збудники рефлектометричних систем дистанційної діелектричної спектроскопії біологічних об'єктів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи. – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Харків, 2011.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню теоретичних і експериментальних задач з розробки цифрових синтезаторів частоти у якості збудників рефлектометричних систем для дистанційного виміру діелектричної проникності біологічних об'єктів сільського господарства, медицини і біології з різними рівнями організації: мікро-, макро- і нанорівнями.

Діелектрична спектроскопія біологічних рідин і матеріалів необхідна для вирішення різноманітних практичних задач: сільського господарства, медицини, біофізики і біології. В більшості випадків, для лікування та діагностики людей і тварин за допомогою електромагнітних випромінювань, контролю технологічних процесів в сільському господарстві і фармакології біологічних тканин в режимі in-Vivo, необхідні технічні засоби для дистанційного виміру діелектричної проникності біологічних об'єктів в широкому частотному діапазоні.

Для вирішення зазначеної задачі в роботі було створено цифровий синтезатор частоти на основі фазової автопідстройки, у якості збудника рефлектометричної системи, для дистанційного випромінювання діелектричної проникності біологічних об'єктів методом відкритого кінця коаксіальної лінії.

Ключові слова: біологічні об'єкти, діелектрична спектроскопія, рефлектометр для дистанційного виміру.

Summary

Borohov I. V. Pathogens of reflectometer systems for remote dielectric spectroscopy of biological objects. – Manuscript.

Thesis for the degree of Ph.D. in the specialty 05.11.17 - Biological and medical devices and systems. - National Technical University of Agriculture Petro Vasilenko Kharkiv, 2011.

This work is devoted to the solution of theoretical and experimental problems in developing digital frequency synthesizer as agents for reflectometer systems for remote measurement of dielectric constants of

biological objects in agriculture, medicine and biology, with different levels of organization on: micro, macro and nano levels.

Dielectric spectroscopy of biological fluids and materials necessary for solving practical problems of agriculture, medicine, biophysics and biology. In most cases, like for diagnosis and treatment of humans and animals by using electromagnetic radiation, control of technological processes in agriculture and pharmacology of biological tissues in-Vivo mode, are necessary hardware for remote measurement of dielectric constants of biological objects in a wide frequency range.

To solve this problem a digital frequency synthesizer based on phase autoadjustment was created, as an agent of reflectometer system for remote radiation permittivity of biological objects by the open end of coaxial line.

Keywords: biological objects, dielectric spectroscopy, reflectometer for remote scanning.

Відповідальний за випуск А. В. Левкін

Підписано до друку 10.02.12.

Комп'ютерний набір та верстка Н. В. Полянова.

Формат 60х84 1/16. Папір офсетний. Умовн. арк. 1,2.

Тираж 100 пр. Замовлення № 12

Різограф TR 1510 №80654645.

Навчально-методичний відділ Харківського національного технічного
університету сільського господарства ім. П. Василенка.

Адреса редакції та поліграфпідприємства: 61002, м. Харків,
вул. Артема, 44, кімн. 101