

МЕТОД ИМПУЛЬСНОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БИООБЪЕКТОВ

Черенков А. Д., Косулина Н. Г.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

В работе предлагается метод импульсной рефлектометрии для определения электрофизических свойств облучаемых материалов

Постановка проблемы. При создании перспективных электромагнитных технологий в биологии, медицине, фармакологии, направленных на управление происходящими физико-химическими процессами, на воздействие на микроорганизмы, на контроль качества и соответствия продукции установленным стандартам, в настоящее время востребованными являются технические средства диэлектрической спектроскопии биологических объектов с разными уровнями организации: микро-, макро- и наноуровней.

Анализ последних достижений. Диэлектрическая спектроскопия биологических веществ в зависимости от температуры, параметров электромагнитных и акустических полей, влажности, давления газовой среды и т.д. дает информацию о структуре вещества, типах поляризации, видах потерь, размерах молекул и атомов, о резонансных частотах собственных колебаний. С изучением диэлектрической проницаемости (ДП) связаны физико-химические исследования частоты непроводящих жидкостей, анализ бинарных и многокомпонентных смесей [1].

Однако, до настоящего времени отсутствуют результаты применения этого метода для измерения электрофизических параметров материалов и биологических веществ, находящихся под воздействием различных физических факторов. Это объясняется отсутствием адекватных моделей и сложностью алгоритмов определения электрофизических параметров биологических веществ, трудностью создания прецизионных сверхвысокочастотных трактов формирования и распространения электромагнитных импульсов.

Цель статьи. Обоснование метода импульсной рефлектометрии для исследования электрофизических параметров объектов медицины и фармакологии

Основные материалы исследования. Сформулируем задачу исследования диэлектрических свойств биологических объектов, как задачу определения функции диэлектрической релаксации по результатам реакции исследуемого вещества на зондирующие воздействия аппаратной функции рефлектометра.

Если на вход линейной инвариантной во времени системы с импульсной характеристикой $h(t)$ подать сигнал $x(t)$, то отклик системы $y(t)$, обусловленный этим сигналом возбуждения будет определяться сверткой:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau)h(t-\tau)d\tau = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t-\tau)h(\tau)d\tau. \quad (1)$$

Процедура определения $h(t)$ по известным $x(t)$ и

$y(t)$ представляет собой процесс идентификации системы, с помощью которого находится импульсная характеристика системы.

При переходе из временной области в частотную свертка трансформируется в операцию умножения, и если для обозначения частотных форм функции $x(t)$, $h(t)$ и $y(t)$ использовать соответственно $X(j\omega)$, $H(j\omega)$ и $Y(j\omega)$, уравнение (1) переходит в:

$$Y(j\omega) = X(j\omega) \cdot H(j\omega), \quad (2)$$

откуда получаем обращение свертки в частотной области в виде:

$$H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)}. \quad (3)$$

Диэлектрическая проницаемость объектов определяется по результатам импульсных измерений параметров исследуемого вещества, помещенного в коаксиальный контейнер коаксиальной линии рефлектометра [2].

Исследуемые четырехполюсники могут характеризоваться различными системами параметров, различными матрицами. Для распределенных импульсных рефлектометрических систем в сверхвысокочастотном диапазоне, исследующих биологические объекты, наиболее удобной при измерениях оказывается система S – параметров [3, 4]. Тогда (3) можно записать в виде:

$$S_{ik}(j\omega) = \frac{F[y(t)]}{F[x(t)]}, \quad (4)$$

где F – преобразование Фурье временного сигнала;

$x(t)$ – зондирующий сигнал;

$y(t)$ – отраженный или прошедший сигнал.

Элементы матрицы рассеяния S интерпретированы как коэффициенты отражения от входа и выхода четырехполюсника:

$$S_{ik} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}; \quad i, k = 1, 2, \quad (5)$$

где S_{11} и S_{22} – комплексные коэффициенты отражения входа и выхода;

S_{21} и S_{12} – комплексные коэффициенты передачи

соответственно в прямом и обратном направлениях.

Считая контейнер с исследуемым диэлектриком симметричным четырехполосником, получим:

$$S_{11}(j\omega) = S_{22}(j\omega); S_{12}(j\omega) = S_{21}(j\omega). \quad (6)$$

Чтобы по параметрам матриц рассеяния и волнового сопротивления симметричного четырехполосника вычислить комплексную ДП исследуемого вещества, воспользуемся схемой рефлектометра (рис. 1).

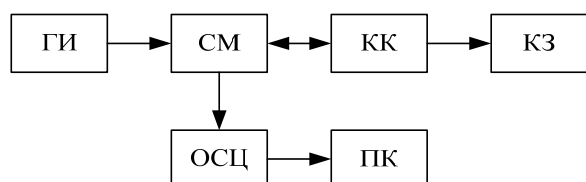


Рисунок 1 – Структурная схема рефлектометра:

ГИ – генератор импульсов; СМ – стробоскопический смеситель; КК – коаксиальный контейнер; КЗ – короткозамкнутая нагрузка; ОСЦ – стробоскопический осциллограф; ПК – компьютер.

Зондирующий сигнал генератора импульсов через широкополосный смеситель поступает на коаксиальный контейнер с исследуемым веществом, где возникает отраженный сигнал. Прошедший через исследуемый биообъект сигнал поступает на короткозамкнутую нагрузку и после отражения от неё вновь проходит через контейнер с биообъектом. Прошедший сигнал вместе с другими сигналами поступает на стробоскопическое регистрирующее устройство осциллографа. Схема позволяет за счет разделения сигналов во времени наблюдать на одном индикаторе отраженный от исследуемого вещества сигнал и сигнал дважды прошедший через образец.

Таким образом, в результате проведенных исследований спектров ДП биологических объектов методом импульсной рефлектометрии разработана методика, основанная на калибровке рефлектометра в режиме холостого хода, короткого замыкания и волнового сопротивления, с помощью которой можно вычислить комплексную диэлектрическую проницаемость исследуемого вещества в широком диапазоне частот 0...300 ГГц. Этот диапазон определяется аппаратной функцией рефлектометра.

Полученные соотношения удобно применять тогда, когда длительность фронта зондирующего перепада $t_\phi \ll \tau$, $t_\phi \ll \sqrt{\epsilon_0} t_0$ и когда мешающие отражения от разъемов, нагрузок и других неоднородностей не накладываются на отраженный сигнал и площадь под ним может быть подсчитана достаточно точно. Погрешность измерений ДП биологических объектов в этом случае может составлять (1...2)%.

Разработанная методика может быть использована в процессе измерений ДП биологических объектов в импульсных рефлектометрических системах пикосекундного диапазона.

Выводы. На основе функционального метода, установлено, что для исследования электрофизических

параметров биообъектов следует использовать в качестве аппаратной функции рефлектометра импульсы напряжения с длительностью фронта 3...15 пс, которые позволяют расширить в ряде случаев частотный диапазон на 50% больше по сравнению с другими сигналами.

Для исследования диэлектрических характеристик нелинейных биологических систем в диапазоне 0...300 ГГц необходимо использовать метод расчета по дискретным значениям зондирующего сигнала и отклика биообъекта с погрешностью до 1%.

Измерение диэлектрических параметров биообъектов импульсными рефлектометрами необходимо проводить с использованием разработанной методики, основанной на калибровке рефлектометра в режиме холостого хода, короткого замыкания и величины волнового сопротивления в широком диапазоне частот 0...300 ГГц с погрешностью 1 – 2%.

Список использованных источников

1. Власов М. М., Петров В. П. Состояние и перспективы развития ЧМ рефлектометрии / Власов М. М., Петров В. П. В кн.: Радиотехнические излучения в диапазонах высоких и сверхвысоких частот: тезисы докл. Всесоюз. конф. – Новосибирск, 1980. – 223 с.
2. Глебович Г. В. Исследование объектов с помощью пикосекундных импульсов / Г. В. Глебович, А. В. Андриянов, Ю. В. Введенский. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.
3. Андриянов А. В. Радиопульсный рефлектометр наносекундного диапазона / Андриянов А. В., Булатов Е. И., Введенский Ю. В. // Приборы и техника эксперимента. – 1977. – № 2. – С. 141 – 154.
4. Rantala K. Narrowband time-domain reflectometer in waveguide maintenance: theory, instrument and operating experience / Rantala K. // Of the fifth colloquium on microwave. Budapest. – 1974. – P. 18 – 32.

Анотація

МЕТОД ІМПУЛЬСНОЇ РЕФЛЕКТОМЕТРІЇ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БІОБ'ЄКТІВ

Черенков О. Д., Косуліна Н. Г.

У роботі пропонується метод імпульсної рефлектометрії для визначення електрофізичних властивостей опромінюваних матеріалів.

Abstract

METHOD OF IMPULSIVE REFLECTOMETRY FOR RESEARCH OF ELECTROPHYSICS PARAMETERS OF BIOOBJECTS

A. Cherenkov, N. Kosulina

The method of impulsive reflectometry in-process offered for determination of electrophysics properties of the exposed to rays materials.