

## **ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЛАГОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

Буренко А.В., Краснощок В.И.

Научный руководитель – д.ф.-м.н., проф. Бондаренко И.Н.  
Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
61166, Харьков, пр. Науки, 14, каф. микроэлектроники, электронных  
приборов и устройств, тел. (057) 702-13-62,  
E-mail: d\_meda@nure.ua

The content and distribution of free and bound water in moisture-containing materials of different kind can give almost unlimited information about their properties. In this regard, there is the need to create a broadband measuring sensors for measurements in a wide frequency range. Conducted modeling analysis of the possible use of segments of coaxial and strip lines as sensors of changes in the electrophysical parameters of samples of moisture-containing materials. The revealed dependences of wave impedance, transmission coefficient, phase shift and attenuation in the considered devices depending on changes in the values of  $\epsilon$  and  $\tan \delta$  in the frequency range up to 40 GHz.

Из многочисленных литературных данных известно, что содержание и распределение свободной и связанной воды во влагосодержащих материалах разного рода может давать почти неисчерпаемую информацию об их свойствах. Одним из методов определения и контроля состояния и распределения воды является использование взаимодействия электромагнитных излучений различных диапазонов длин волн с объектами, которые исследуются.

Фактором, осложняющим такие исследования, является наличие процессов активного взаимодействия в различных диапазонах частотного спектра, в большинстве случаев значительно удаленных друг от друга. К тому же, эти частотные диапазоны существенно зависят от структуры влагосодержимого материала.

В связи с этим возникает необходимость создания широкополосных измерительных сенсоров для предварительного выявления таких критических диапазонов частот для различных видов материалов с целью дальнейшего более тщательного их изучения.

Влагосодержащий диэлектрический материал более сложный по сравнению с обезвоженным аналогом в связи с присутствием воды и воздушных микрообъемов, заполняемых ею. Поэтому чтобы понять физические основы сверхвысокочастотной влагометрии необходимо учитывать диэлектрические свойства воды и сухих материалов в микроволновом диапазоне.

Молекула воды имеет форму тетраэдра с кислородным атомом в центре и с вершинами, занятыми попарно атомами водорода. Было доказано, что два атома водорода не могут полностью нейтрализовать атом кислорода, что способствует появлению вторичной водородной связи с энергией порядка 5-8 ккал/моль (первичная химическая связь имеет энергию 20 ... 200 ккал/моль). Это приводит к тому, что молекулы воды в растворе стремятся сорбировать друг друга, образуя сложную структуру жидкости.

Высокая диэлектрическая проницаемость воды обусловлена тем, что атомы О и Н в молекуле имеют угол, близкий к  $105^\circ$ . Эта особенность приводит к тому, что даже в отсутствие внешнего электрического поля молекулы воды обладают собственным дипольным моментом. При дипольной поляризации молекула возвращается как единое целое, поэтому на процесс поляризации влияют энергия связи воды со скелетом и температура. А при внесении ее в переменное электромагнитное поле молекула воды начинает колебаться, разворачиваясь вдоль силовых линий, приводит к ослаблению (поглощению) электромагнитного импульса. Для большинства диэлектриков имеет место только электронная или атомная поляризация, не вызывая заметного ослабления. При совпадении частоты внешнего поля с собственной частотой диполей (область дисперсии) возрастают потери, и диэлектрическая проницаемость начинает зависеть от частоты.

Методы СВЧ измерений характеристик локализованных объектов можно разделить на две группы: волноводные и резонаторные. Волноводные методы базируются на изучении изменений характеристик электромагнитных волн, прошедших через объект исследования, или отраженных от него. Резонаторные методы основаны на измерении изменений (сдвигов) резонансной частоты и добротности, которые происходят при взаимодействии резонансного измерительного преобразователя (РИП) с соответствующим объектом.

Указанные группы методов не обеспечивают необходимой широкополосности измерений, однако волноводный метод может послужить основой для создания широкополосных измерителей при использовании в качестве основы отрезков широкополосных линий передачи с коаксиальной или полосковой структурой.

При выполнении данной работы был проведен модельный анализ возможностей использования отрезков коаксиальных и полосковых линий в качестве сенсоров изменений электрофизических параметров образцов влагосодержащих материалов, размещаемых в них.

В результате проведенных исследований выявлены зависимости волнового сопротивления, коэффициента передачи, фазового сдвига и затухания в рассмотренных устройствах в зависимости от изменений величин  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$  в диапазоне частот до 40 ГГц.