

ANALYSIS OF RADIO WAVE METHODS FOR MEASURING DIELECTRIC PARAMETERS

Quziyev Zokir Jumanazar o'g'li,

Yarmuxamedov Alisher Agbarovich

Tashkent State Technical University named after Islam Karimov,
Universitet street, 2, Tashkent 100095, Uzbekistan

Abstract.

The article deals with the analysis of radio wave methods for measuring the parameters of dielectrics. The simulation of the external channel in radio wave methods for measuring the parameters of dielectrics is carried out. Methods of research and control of parameters of dielectric materials are presented. An analysis of the methodological error of measurements carried out in the Fresnel zone of measuring antennas is proposed.

Key words:

Dielectric, modeling, dielectric constant, antenna, aperture, Fresnel zone.

Параметры диэлектрических материалов во многом определяют функциональность современных радиосистем. Исследование и контроль параметров диэлектрических материалов являются важными задачами, решение которых позволит разработать новые радиотехнические материалы с заданными свойствами.

Особое внимание следует уделить изучению поведения диэлектриков при внешних воздействиях. Агрессивное внешнее воздействие на диэлектрические материалы может существенно изменить важнейшие характеристики радиосистемы, вплоть до ее выхода из строя.

Параметры диэлектрических материалов можно измерять резонаторным, волноводным или радиоволновым методом. Резонаторный и волноводный методы имеют более высокую точность измерения характеристик материалов по сравнению с радиоволновым. В то же время, радиоволновой метод позволяет исследовать параметры диэлектрического материала при динамическом воздействии внешних факторов на него. Также исследуемый материал в радиоволновом методе не требует дополнительной специальной обработки. Прибор для измерения параметров материала радиоволновым методом, в отличие от резонаторного и волноводного методов, может легко совмещаться с объектом.

Результаты моделирования внешнего измерительного канала показали, что при расположении образца в зоне Френеля измерительных антенн возникает методическая погрешность, проявляющаяся как колебание амплитуды и фазы выходного сигнала приёмной антенны при перемещении исследуемого листового диэлектрического образца вдоль оси антенн.

Полная модель, таким образом, определяется интегральным выражением вида:

$$U_{dem} = C \cdot \iint_R E_1(x, y, z) \cdot E_2(x, y, z) \cdot dR, \quad (1)$$

где

$$E_1(x, y, z) = \iint_{x_0, y_0} \left[\iint_{\theta, \varphi} \left\{ A(x_0, y_0, 0) \cdot T(\varphi, \theta, 0, x, y, z) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times e^{j(k_x x + k_y y + k_z z)} \sin \theta d\varphi d\theta \right\} \right] dx_0 dy_0 -$$

поле источников сферической волны, расположенных в апертуре (x_0, y_0) , преломленное плоским диэлектрическим слоем; $dR = dx dy$ - элемент апертуры приёмной антенны; C - постоянный коэффициент; T - коэффициент преломления плоской волны для плоского диэлектрического слоя; φ, θ - углы, определяемые точками излучения $(x_0, y_0, 0)$ на передающей апертуре и приёма (x, y, z) на приёмной апертуре; $A(x_0, y_0, 0)$ - распределение поля в апертуре передающей антенны; $E_2(x, y, z)$ - распределение поля в апертуре приёмной антенны.

Для машинных расчётов математическая модель должна быть записана с конкретными законами распределения $A(x_0, y_0, 0)$ и $E_2(x, y, z)$ поля в апертурах измерительных антенн.

На рис.1 показана типовая выходная характеристика фазы сигнала на детекторе приёмной антенны в зависимости от положения образца.

Моделирование проведено для разных диэлектрических материалов и антенных систем. Характер выходного сигнала приёмной антенны во всех случаях оставался одинаковым.

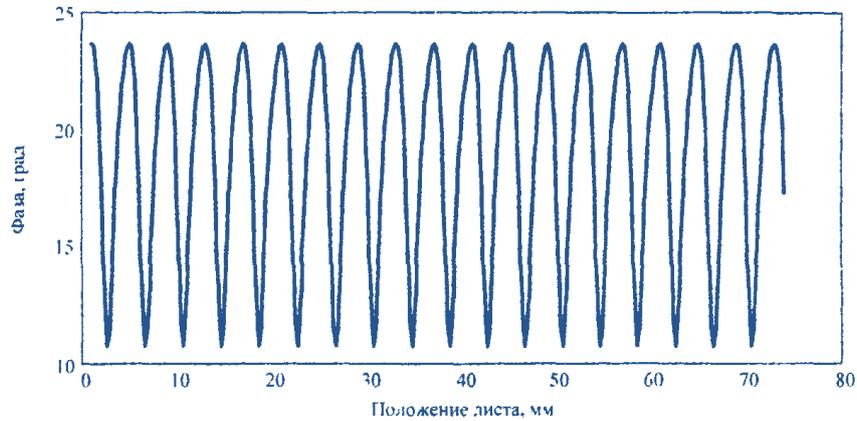


Рис. 1. Фазовая характеристика

При вычислении диэлектрической проницаемости использовалось среднеинтегральное значение фазы выходного сигнала.

Среднеарифметическое и среднеквадратическое значения фазы приводили к более высоким значениям методической погрешности. В результате сравнения вычисленных значений диэлектрической проницаемости и заданных значений при моделировании были получены методические погрешности измерений, не превышающие 1% (рис.2).

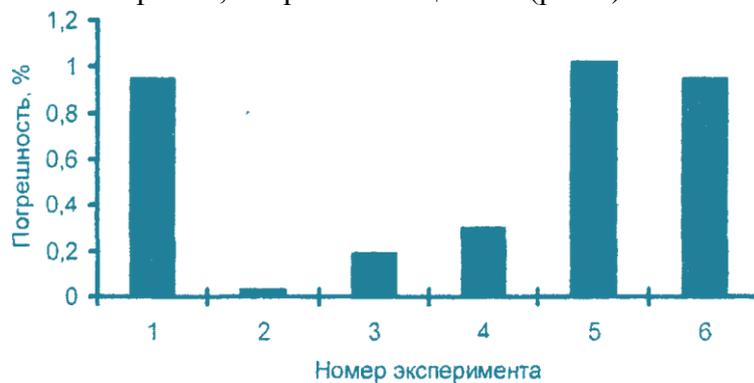


Рис. 2. Методическая погрешность при моделировании внешнего измерительного канала

Рассмотрены принципы работы и построения сконструированных экспериментальных установок радиоволнового метода. Эксперименты проводились в двух диапазонах: 3-см и 8-мм. Структурная схема установки для 8-мм диапазона изображена на рис.3. Здесь приняты следующие обозначения: ГСВЧ - генератор СВЧ колебаний, ФВ - ферритовый вентиль, НО - направленный ответвитель, М - модулятор, ГНЧ - генератор низкой частоты. См - смеситель, А - антенна, Инд. - индикатор. Обр. - исследуемый образец.

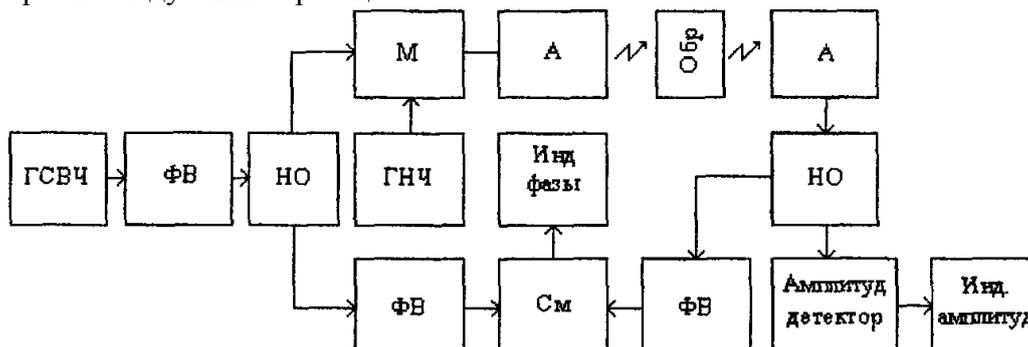


Рис. 3. Структурная схема экспериментальной установки радиоволнового метода

Особенность установки 8-мм диапазона заключается в возможности исследования зависимости амплитуды и фазы выходного сигнала приёмной антенны от расстояния между антеннами и взаимным положением листа исследуемого образца диэлектрического материала.

Рассмотрены конструкции применённой в установке антенной измерительной системы внешнего канала. На измерительных установках проведено физическое моделирование внешнего канала с системой рупорных и фокусирующих измерительных антенн. Измерения проведены с использованием ряда материалов, в том числе эталонного материала - фторопласта. Типовая характеристика выходного сигнала детектора приёмной антенны показана на рис.4.



Рис.4. Типовые амплитудная и фазовая характеристики при физическом моделировании

Выводы

В результате анализа проведённого математического моделирования в работе установлена возможность снижения методической погрешности радиоволнового метода. Получены следующие основные результаты. В работе проведён анализ и оценка методов и аппаратуры для измерения диэлектрической проницаемости материалов. Полученные результаты анализа позволяют сделать вывод, что при производстве новых материалов в современных условиях необходим точный метод измерения параметров диэлектриков при различных внешних воздействиях на них.

Разработана методика снижения погрешности измерения диэлектрической проницаемости радиоволновым методом. В данной методике диэлектрическая проницаемость материала вычисляется по предложенному алгоритму расчета после измерения комплексного коэффициента передачи зондирующего сигнала между антеннами. По результатам имитационного анализа разработана структурная схема измерительной радиоволновой установки. Расчет электрической проницаемости в схеме осуществляется по предложенной методике в динамическом режиме.

Список литературы

1. Марченко М.В., Трефилов Н.А. Вычисление ошибки радиоволнового метода //Тезисы всероссийской конференции «Современные проблемы радиоэлектроники», посвященной 107-й годовщине Дня радио.- Красноярск: изд-во КГТУ, 2002, с.79-81.
2. Марченко М.В. Математическая модель для определения методической ошибки радиоволнового метода измерения диэлектрической проницаемости листовых материалов //Электронная техника: Сборник научных трудов. /Под ред. Д.В. Андреева. -Ульяновск: изд-во УлГТУ, 2002, с.74-80.
3. Ермолов И.Н.,Останин Ю.А. «Методы и средства неразрушающего контроля», Высш.школа. 1988.
4. Неразрушающий контроль. Том 6. Справочник. Под общ. ред. В.В. Клюева, Москва, 2006.
5. Chen H.Y. Chaos weak signal detecting algorithm and its application in the ultrasonic Doppler bloodstream speed measuring // J. Phys. Conf. Ser.13., London : IOP Publishing. – 2005. – P. 320–324.
6. Каневский, И.Н. Неразрушающие методы контроля: учеб. пособие / И.Н. Каневский, Е.Н. Сальникова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. 243 с.

References

1. Marchenko M. V., Trefilov N. A. Calculation of the error of the radio wave method //Abstracts of the All-Russian conference "Modern Problems of Radio Electronics", dedicated to the 107th anniversary of the Radio Day. Krasnoyarsk: KSTU Publishing House, 2002, pp. 79-81.
2. Marchenko M. V. Mathematical model for determining the methodological error of the radio-wave method for measuring the dielectric permittivity of sheet materials //Electronic equipment: Collection of scientific papers. /Edited by D. V. Andreev. - Ulyanovsk: Publishing house of UISTU, 2002, p. 74-80.
3. Ermolov I. N., Ostanin Yu. A. "Methods and means of non-destructive testing", Higher.school. 1988.
4. Non-destructive testing. Volume 6. Reference book. Under the general editorship of V. V. Klyuev, Moscow, 2006.
5. Chen, H.Y. Chaos weak signal detecting algorithm and its application in the ultrasonic Doppler bloodstream speed measuring, J. Phys. Conf. Ser.13., London : IOP Publishing, 2005, pp. 320–324.
6. Kanevsky, I. N. Nondestructive methods of control: textbook. manual / I. N. Kanevsky, E. N. Salnikova. - Vladivostok: Publishing house of DVSTU, 2007. p.243.