

## ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

УДК 538.956 + 53.082.7

DOI: 10.17223/00213411/65/7/137

ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ  
ПРОВОДЯЩИХ СРЕД ШИРОКОПОЛОСНЫМ МЕТОДОМ\*П.П. Бобров<sup>1,2</sup>, О.В. Родионова<sup>2</sup><sup>1</sup> Омский научный центр СО РАН (Институт радиофизики и физической электроники), г. Омск, Россия<sup>2</sup> Омский государственный педагогический университет, г. Омск, Россия

Проведено измерение комплексной диэлектрической проницаемости девяти калибровочных жидкостей со статической диэлектрической проницаемостью от 2.38 (толуол) до 78.5 (вода). Обосновано решение по выбору размеров коаксиальной ячейки, используемой при измерении комплексной диэлектрической проницаемости (КДП) проводящих сред широкополосным методом в частотном диапазоне от сотен герц до 8 ГГц. Показано, что использование ячейки с размерами внешнего и внутреннего проводников 16 и 6.97 мм соответственно в сравнении с ячейкой с размерами 7 и 3.02 мм позволяет снизить частоту, на которой сказывается влияние электродной поляризации. Найдены связи погрешности измерения действительной части КДП в низкочастотном диапазоне с тангенсом угла диэлектрических потерь для жидкостей с разной удельной электропроводностью.

**Ключевые слова:** комплексная диэлектрическая проницаемость, удельная электропроводность, калибровочные жидкости, проводящие среды, погрешность диэлектрических измерений.

## Введение

Диэлектрическая спектроскопия может выявить процессы, представленные широким диапазоном физических явлений. Знание диэлектрических характеристик почв и пород в диапазоне частот от сотен килогерц до единиц гигагерц необходимо при разработке электромагнитных методов георазведки и геонавигации, для подповерхностного зондирования, при разработке методов диэлектрического каротажа, при исследовании поверхности Земли дистанционными микроволновыми методами [1]. В ряде случаев объекты исследования обладают высокой проводимостью (глубинные осадочные породы, биоматериалы и др.).

Для перекрытия широкого диапазона частот от долей герца до единиц и первых десятков гигагерц используются разные методы измерений. Достаточно полный обзор таких методов приведен в [2]. На частотах ниже 1–100 кГц используют пятиэлектродный метод, позволяющий устранить влияние электродной поляризации, искажающей результаты измерений. На более высоких частотах (до 1–5 МГц) используют конденсаторные ячейки, заполняемые исследуемым веществом, импеданс которых измеряется анализаторами импеданса. На частотах выше 50–100 МГц в качестве измерительных ячеек используют отрезки коаксиальных линий. Диэлектрические характеристики определяются через комплексные коэффициенты передачи и/или отражения (параметры матрицы рассеяния  $S_{21}$  и  $S_{11}$ ) [3]. В промежуточном частотном диапазоне от 5 до 50–100 МГц эти методы неприменимы из-за высокой погрешности измерений.

При использовании разных методов для перекрытия широкого диапазона частот применяются разные ячейки. При заполнении их исследуемыми почвами не удается сохранять неизменными структуру порового пространства, плотность и влажность, что не дает возможности получить непрерывный широкополосный диэлектрический спектр. Нами был разработан метод, позволяющий измерять комплексную диэлектрическую проницаемость (КДП) сыпучих и жидких сред в одной и той же ячейке в диапазоне частот от десятков герц до 18 ГГц [4]. Встает вопрос, какими характеристиками должна обладать ячейка для измерения образцов, обладающих умеренной электропроводностью.

Характеристики ячейки (сосредоточенная емкость или длина отрезка линии передачи), требуемые для достижения минимальной погрешности, зависят как от свойств образца, так и от частоты измерений. В работе [5] утверждается, что для достижения минимальной погрешности измерения КДП в гигагерцовом диапазоне длина ячейки не должна превышать четверти длины волны в

\* Работа выполнена по государственному заданию Омского научного центра СО РАН (номер госрегистрации проекта 122011200349-3).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>