

Комплекс для измерения электрофизических параметров диэлектрических сверхвысокочастотных изделий

Е.Д. Партолин, М.В. Артюх, Н.А. Лощёнин, В.О. Калмыков

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Обоснование. Производители сверхвысокочастотных материалов сталкиваются с потребностью измерения таких электрофизических параметров, как диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь. Решается проблема получения удобного в использовании и наиболее компактного измерительного комплекса, а также автоматизированного и интуитивно понятного для пользователя программного обеспечения, что приведет к сокращению времени испытаний и снижению рисков при производстве СВЧ-изделий.

Цель — разработка макета программно-аппаратного комплекса по измерению электрофизических параметров ферритовых и диэлектрических изделий.

Методы. Разработка аппаратной части комплекса основана на методиках измерений электрофизических параметров (тангенса угла диэлектрических потерь, диэлектрической проницаемости), приведенных в ГОСТ 8.623-2015 [1] и ГОСТ Р 71432-2024 [2]. Предложенная в структурной схеме ГОСТ схема аппаратной части комплекса содержит большое количество составных элементов, что существенно усложняет процесс измерений. Предложенный вариант реализации заменяет большую часть оборудования на векторный анализатор цепей, функционально равносильный отдельным составным элементам. Для реализации измерений по всем методам на основе государственного стандарта необходимо было рассчитать оптимальные соотношения габаритных размеров и разработать конструкции измерительных резонаторов. Для оценки характеристик рассчитанных резонаторов произведено моделирование электромагнитных процессов (распространение электромагнитных волн и результаты S -параметра) в резонаторе с помощью программного обеспечения Ansys Electronics HFSS.

Результаты. На основе рассчитанных и смоделированных моделей были изготовлены опытные образцы объемных резонаторов, показывающие близкие к результатам моделирования характеристики. Собран аппаратно-программный комплекс для измерения параметров диэлектрических и ферритовых СВЧ-изделий. В основную часть аппаратного комплекса входят: векторный анализатор цепей (или заменяющие его по функциональности векторные рефлектометры), спроектированные по требованиям ГОСТ измерительные резонаторы, соединительные элементы, а также устройство управления и отображения информации. Разработано программное обеспечение, включающее в себя следующий функционал: возможность создания исследований для различных образцов по четырем методам измерений, сохранение всех вводных данных и S -параметров каждого образца, расчет диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь, создание отчетов по проведенному исследованию.

Общий алгоритм работы программного обеспечения включает в себя следующие этапы: конфигурация параметров исследования (выбор метода исследования и ввод первоначальных данных), автоматический процесс сбора данных с внешнего устройства — векторного анализатора цепей без исследуемых образцов материалов и с ними, расчет электрофизических параметров на основе полученных данных с использованием математической модели, полученной из методик, приведенных в стандарте. После расчета данных пользователю предоставляется отчет, включающий в себя графическое представление S -параметра по каждому образцу, а также выходная таблица с результатами исследования [3].

Выводы. На основе государственных стандартов был разработан программно-аппаратный комплекс, функционально равносильный всем частям, представленным в ГОСТ, имеющий при этом меньший масса-габаритный объем и автоматизированное программное обеспечение для упрощения проведения измерений.

Ключевые слова: сверхвысокие частоты; измерение электрофизических параметров; тангенс угла потерь; диэлектрическая проницаемость; ферритовые изделия.

Список литературы

1. ГОСТ 8.623-2015. Государственная система обеспечения единства измерений. Относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь твердых диэлектриков. Методики измерений в диапазоне сверхвысоких частот. Введ. 2016-10-01. Москва: Стандартинформ, 2016. 30 с.
2. ГОСТ Р 71432-2024. Ферриты сверхвысокочастотного диапазона и изделия из них. Методы измерения комплексной относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь. Введ. 2025-03-01. Москва: Стандартинформ, 2024. 22 с.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 90003-2014. Разработка программных продуктов. Руководящие указания по применению ИСО 9001:2008 при разработке программных продуктов. Введ. 2016-01-01. Москва: Стандартинформ, 2015. 56 с.

Сведения об авторах:

Егор Дмитриевич Партолин — студент, группа 4-ИТФ-104, инженерно-технологический факультет; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: mail@partolin.ru

Марина Владимировна Артюх — студентка, группа 4-ИТФ-104, инженерно-технологический факультет; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: akka_marina6@mail.ru

Никита Андреевич Лощёнин — студент, группа 4-ИТФ-104, инженерно-технологический факультет; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: nikitawolf03@gmail.com

Владислав Олегович Калмыков — студент, группа 4-ИТФ-104, инженерно-технологический факультет; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: vlad.k.o.262@yandex.ru

Сведения о научном руководителе:

Александр Сергеевич Нечаев — кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиотехнические устройства»; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: nechaev-as@mail.ru