ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Невежина Виталия Николаевича

«Влияние водных растворов на электрические характеристики линий передачи в широких диапазонах частот и температур»,

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа Невежина В.Н. посвящена актуальной проблеме повышения надежности радиоэлектронных средств (РЭС), вследствие дестабилизирующего воздействия температуры и влаги. Разработка и совершенствование новых методов и методик по учету влияния климатических факторов на РЭС является важной задачей, поскольку это влияет на их стабильную работу в сложных условиях эксплуатации. Кроме того, многие РЭС проектируются без учета воздействия температуры и влажности, поскольку эта защита может значительно усложнить РЭС. В результате на этапе проектирования перед специалистом возникает множество задач, решение которых может существенно увеличить стоимость, массу или сложность конечного РЭС. Таким образом, разработка новых методик по учету влияния температуры и влажности потенциально позволяет снизить возможные затраты при проектировании и эксплуатации частей РЭС.

Анализ содержания диссертационной работы

В состав диссертации входят введение, 3 раздела, заключение, список сокращений, список источников из 117 наименований и 2 приложения, содержащие копии актов о внедрении результатов работы и индивидуальных достижений. Объем диссертации с приложениями составляет 130 страниц, включая 62 рисунка и 4 таблицы. Работа целостная и структурированная.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, отражена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В 1 разделе обоснована необходимость учета влияния температуры и влаги на элементы и устройства РЭС, а также представлены устройства по его оценке.

Во 2 разделе представлены модель и алгоритм для вычисления электропроводности водного раствора в коаксиальной камере по измеренным *S*-параметрам при разной температуре. Показано применение методик по оценки вносимых потерь водных растворов без органических материалов и с ними учитывая температуру. Наглядно продемонстрировано влияние температуры на значения *S*-параметров коаксиальной камеры с разными водными растворами.

В 3 разделе предложена методика для оценки влияния температуры и влажности на электрические характеристики линии передачи. Приведены результаты моделирования *S*-параметров линии передачи с разными моделями

воды и льда, что как утверждает диссертант, может имитировать влияние температуры и влаги в разных климатических зонах на электрические характеристики узлов РЭС. Выполнено моделирование и экспериментальное подтверждение полученных результатов.

В заключении подведены итоги работы, сформулированы её научные и практические результаты, а также представлены рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Научная новизна

Научная новизна диссертации заключается в разработке:

1. Создание модель для оценки электропроводности воды, отличающейся учетом положительных и отрицательных температур коаксиальной камеры с водой в контейнере и без нее на основе измеренных частотных зависимостей матриц коэффициентов рассеяния.

2. Разработанной методики для оценки влияния зависимости химического состава коаксиальной камеры с водными растворами при разной температуре окружающей среды, отличающейся использованием измеренных матриц рассеяния коаксиальной камеры с образцами в контейнере и без, с наглядной визуализацией измеренных значений.

3. Разработанной методики для оценки влияния температуры и влажности на электрические характеристики микрополосковой и копланарной линий передачи, отличающейся использованием модели однородной пленки воды и слоя льда для имитации влияния климатического воздействия на РЭС.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость определяется следующим:

1. Исследовано влияние температуры и химического состава на частотно-зависимые матрицы рассеяния водных растворов.

2. Предложен нетрадиционный подход к оценке климатического воздействия на электрические характеристики линий передачи, основанный на электрических и геометрических параметрах конденсата.

3. Доказано наличие связи между химическим составом раствора и температурой с использованием матриц рассеяния и метода главных компонент.

4. Проведена модернизация существующей методики вычисления вносимых потерь материалов при температурном воздействии.

Практическая значимость определяется следующим:

1. Разработаны практические рекомендации для измерения матриц рассеяния коаксиальной камеры при изменении температуры.

2. Показаны перспективы использования водных растворов для имитации климатического воздействия на линии передачи печатные платы (ПП) РЭС.

3. Разработаны практические рекомендации для оценки влияния влаги и температуры на электрические характеристики микрополосковых и копланарных линий передачи.

4. Представлены рекомендации по дальнейшему совершенствованию существующих методик для оценки климатического воздействия.

5. Результаты использованы в 4 НИР и учебном процессе ТУСУРа (три акта внедрения).

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные результаты, положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертации Невежина В.Н., обоснованы и достоверны. Это подтверждается согласованностью результатов аналитического и численного вычислений с результатами измерений лабораторных макетов. Также полученные результаты были апробированы на научных конференциях.

Полнота опубликования результатов работы, соответствие автореферата содержанию диссертации

По тематике диссертационной работы опубликованы 10 статей, в т. ч. 2 статьи в журналах из перечня ВАК; 5 докладов в трудах конференций, индексируемых базами WoS и Scopus; 3 доклада в трудах отечественных конференций. Материалы диссертации достаточно полно изложены в опубликованных работах. Автореферат диссертации соответствует содержанию работы, и содержит цель и задачи, методы исследования, научную новизну, теоретическую и практическую значимость, а также основные выводы и рекомендации. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Замечания по диссертации

Можно отметить следующие замечания:

1. В работе в качестве измерительной ячейки для определения потерь, вносимых исследуемыми объектами, используется коаксиальная линия переменного сечения с волновым сопротивлением 50 Ом и воздушным заполнением, в которой сами объекты размещаются в герметичном фторопластовом резервуаре. Таким образом, поперечное сечение линии в месте расположения объекта становится кусочно-однородным, включающее как слой исследуемого материала, так и стенки диэлектрического резервуара. В линиях с неоднородным поперечным сечением неизбежно возникают продольные составляющие электрического и магнитного поля, что может способствовать изменению характера электромагнитного поля основного типа волны. Желательно было привести сравнение имеющегося случая с варианом полного заполнения поперечного сечения линии исследуемым материалом, хотя бы методами компьютерного моделирования.

2. При измерении проводимости воды и растворов солей и других веществ следует говорить об эффективной проводимости, характеризующей как потери за счет свободных носителей заряда, так и вследствие релаксации дипольных молекул. Для таких веществ формула (2.1) описывает именно эффективную проводимость.

3. Используемая в диссертации формула (1.6) для вносимых потерь имеет ограниченную применимость, насколько корректно ее применение в условиях решаемых задач?

4. В диссертации предлагается метод вносимых потерь в коаксиальной измерительной ячейке, позволяющий получить частотную зависимость проводимости, но не позволяющий получить аналогичную зависимость для вещественной части комплексной диэлектрической проницаемости, что существенно ограничивает возможности метода. Возможно, следовало рассмотреть дополнительные измерения с помощью других методов, например, с хорошо зарекомендовавшим себя для решения аналогичных задач методом открытого коаксиального пробника.

5. В диссертации говорится исключительно о влиянии внешней среды на затухание сигнала и не уделяется внимание изменению фазы, хотя в устройствах СВЧ и высокоскоростных цепях влияние на фазовые характеристики может иметь даже большее значение, чем изменение амплитуды.

6. В тексте диссертации не указаны каким способом производилось возбуждение МПЛП и КЛП в электродинамических моделях.

7. Работа изобилует полученными в ходе исследования результатами воздействия различных сред и внешних факторов на электрические характеристики линий передачи, что безусловно, является достоинством работы, но не делается попытка физического объяснения выявленных зависимостей. Например, не объясняется причина возникновения частотной зависимости в форме фильтра нижних частот для случая микрополосковой линии с тонким слоем воды.

8. В тексте встречаются некорректные определения, такие как «частотные зависимости S-параметров жидкости», «частотнозависимая модель воды», «модель чистого льда».

Заключение

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы. Как следует, из изложенного выше, диссертационная работа Невежина Виталия Николаевича «Влияние водных растворов на электрические характеристики линий передачи в широких диапазонах частот и температур» является законченным исследованием, в котором представлены новые научные результаты, имеющие важное прикладное значение. Диссертационная работа удовлетворяет п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор, Невежин Виталий Николаевич, заслуживает

присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Официальный оппонент _____ А.Р. Насыбуллин

«1» 12 2025 г.

Сведения об официальном оппоненте

Насыбуллин Айдар Ревкатович, доктор технических наук по специальности 2.2.8. «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды» (диплом ДОК №005212), доцент по специальности «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» (аттестат ДОЦ №007270), и.о. зав. кафедрой, профессор кафедры конструирования и технологии производства электронных средств, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ. 420111 г. Казань, ул. К. Маркса, 10 Телефон: +7 (843) 231-59-36. E-mail: arnasybullin@kai.ru

Верно
Ученый секретарь КНИТУ-КАИ _____ Ф.А. Жестовская

МП