

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу **Александрина Антона Михайловича** «Широкополосные антенные решётки с применением структур из искусственного неоднородного диэлектрика», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Актуальность темы работы. Развитие современных систем связи и ближней радиолокации связано с переходом в миллиметровый диапазон длин волн с целью повышения пропускной способности каналов передачи информации и увеличения разрешающей способности. Одним из способов создания узконаправленного излучения является использование антенных решеток, содержащих диэлектрические фокусирующие элементы. Этот тип антенн позволяет создавать плоские антенные решетки с расширенной полосой пропускания, обладающие низкой стоимостью.

Несмотря на то, что линзовые антенны известны давно, возможность применения их в широкополосных антенных решетках требует изучения потенциально достижимых характеристик линзовых антенн как элементов решетки. Технически сложная задача создания диэлектрических линз с заданным распределением диэлектрической проницаемости может быть решена с использованием неоднородного слоистого диэлектрика, однако необходимо выявить факторы, влияющие на амплитудно-фазовое распределение в раскрыве решетки, а также на сопряжение линз с антеннами-возбудителями.

Поставленная в диссертационной работе А. М. Александрина задача исследования характеристик линз из неоднородного диэлектрика и способов построения широкополосных антенных решеток на их основе является безусловно актуальной и открывает перспективы для создания широкополосных узконаправленных антенных систем миллиметрового диапазона.

Общая характеристика работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 72 наименований и двух приложений, в которых представлены акты внедрения результатов диссертационной работы А. М. Александрина и документы, подтверждающие право на интеллектуальную собственность. Основной текст диссертации изложен на 146 страницах и содержит 155 рисунков и 2 таблицы.

Во введении определена цель исследования, сформулированы научные положения, отмечены новизна, научная ценность, практическая значимость проведённых исследований, отражены вопросы достоверности и апробации полученных результатов, их внедрение.

В первой главе проведен обзор принципов построения линз из неоднородного диэлектрика, приведены существующие методы анализа неоднородных сред и методы реализации неоднородных диэлектриков. Проведено сравнение антенн с однородными и неоднородными линзами. Обоснован выбор линзы Микаэляна для применения в антенной решетке.

Во второй главе определен математический аппарат, лежащий в основе разработанной методики расчета радиально-неоднородной среды. Проведено сравнение характеристик идеальной линзы Микаэляна и линзы, набранной из слоёв. Рассмотрены вопросы согласования линзы со свободным пространством и критерии выбора антенны-возбудителя.

Третья глава посвящена изучению влияния диэлектрического цилиндра, окружающего линзу Микаэляна, выполняющего роль оправы. Исследовано влияние ширины и диэлектрической проницаемости оправы на направленные свойства линзовой антенны. Выявлено, что оправка проявляет свойства диэлектрического волновода, а коэффициент направленного действия линзовой антенны имеет периодическую зависимость от толщины оправы.

В четвертой главе проведен анализ излучателей различных типов для использования в качестве антенны-возбудителя диэлектрической линзы, особое внимание уделено схемам питания излучателей для работы в широкой полосе частот. Приведены результаты измерений характеристик

экспериментального макета широкополосного излучателя с линзой Микаэляна, которые подтверждают теоретические выкладки.

Пятая главе посвящена вопросам реализации антенной решетки. Описаны оригинальные конструкции диэлектрического заполнения и диаграммо-образующих схем. Приведены результаты исследования образцов антенных решёток с линзам из неоднородного диэлектрика: линейная решетка, двумерная 8x8 элементов и антенная решетка с квазислучайным расположением элементов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и результатов. Научные положения, выводы и результаты, представленные в работе, основаны на использовании классической теории линзовых антенн, а также теории слоистых сред. Достоверность полученных результатов подкреплена согласованностью результатов аналитических расчетов, компьютерного моделирования и экспериментальных исследований.

Научная новизна работы: обнаружен эффект периодической зависимости направленных свойств линзовой антенны из неоднородного диэлектрика от ширины и диэлектрической оправы, в которой размещена линза; установлена гиперболическая зависимость положения максимума КИП от диэлектрической проницаемости материала оправы ЛНД.

Теоретическая значимость работы. Предложенная в диссертационной работе А. М. Александрина методика расчета эквивалентной диэлектрической проницаемости неоднородной линзы дает возможность сквозного проектирования линзовых антенн в системах электродинамического моделирования.

Практическая значимость работы. Несомненным достоинством является предложенный способ построения апертурных антенн и решеток с гибридной диаграммообразующей схемой, обладающих высокой направленностью, компактностью и широкополосностью, что может быть использовано в антеннах для широкополосных систем связи и радиомониторинга.

Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, научные положения и выводы достаточно обоснованы. Полученные оригинальные

результаты имеют научную и практическую значимость в области проектирования СВЧ антенных решёток. Материал диссертации изложен грамотно, автореферат отражает существо диссертации. Содержание, основные выводы и практические рекомендации представленной работы соответствуют паспорту специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии».

Замечания по работе

1. При анализе диэлектрической линзы использован аппарат геометрической оптики, однако линза находится в непосредственной близости от облучателя и её размеры не превышают нескольких дли волн. Вопросу корректности применения аппарата геометрической оптики в работе не уделено должного внимания.

2. В тексте диссертации трудно найти подтверждение 3-го защищаемого положения, так как: а) в приведенных примерах нет октавной (отношение верхней частоты к нижней в 2 раза) полосы частот; б) в ДН плоской и двумерной решеток присутствуют дифракционные максимумы которых нет в обычных решетках с плотным заполнением (расстояние между элементами менее половины длины волны).

3. В тексте диссертации, в отличие от автореферата, отсутствуют ссылки на публикации автора, А. М. Александрина.

4. При анализе прошедшей мощности через линзу Микаэляна использовано выражение (22, стр. 56) со ссылкой на источник, однако в источнике оно определяет распределение в раскрыве другой линзы – линзы Максвелла. Вдобавок, по сравнению с источником в выражении (22) исчез множитель – квадрат косинуса.

5. Рисунки со 116 по 126 приведены непрерывно друг за другом без описания и ссылок на них в тексте. Рисунки с 137 по 155 также приведены без описания.

Тем не менее, отмеченные недостатки не снижают ценности диссертационного исследования А. М. Александрина и не снижают общего положительного впечатления о диссертационной работе.

Заключение

Диссертационная работа А. М. Александрина «Широкополосные антенные решётки с применением структур из искусственного неоднородного диэлектрика» является законченной научно-квалификационной работой, в которой предложен и обоснован способ улучшения диапазонных и направленных свойств антенных решеток с высокой эффективностью излучения.

Считаю, что диссертационная работа А. М. Александрина полностью соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением №842 от 24.09.2013 Правительства Российской Федерации, а её автор, Александрин Антон Михайлович, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Кандидат физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник,
заведующий лабораторией высокочастотной электроники
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт
сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии
наук (ИСЭ СО РАН),

11 сентября 2020 г.

Балзовский Евгений Владимирович

634055, г. Томск, пр. Академический, д. 2/3, ИСЭ СО РАН
тел. (3822) 49-19-00, +79069486174, e-mail: tduty5@mail.ru

Подпись Балзовского Е.В. удостоверяю,
ученый секретарь ИСЭ СО РАН, д.ф.-м.н.



Пегель Игорь Валериевич