

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу **Алексейцева Сергея Александровича** «Печатные двухдиапазонные директорные антенны с концевым питанием возбуждителя дипольного вида», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Актуальность темы работы. Директорные антенны традиционно применяются для приема телевидения и в КВ-связи. Несмотря на значительный теоретический задел и разнообразие конструкций таких антенн, сохраняется интерес к дипольным директорным антеннам применительно к разработке перспективных систем связи и ближней радиолокации в диапазоне сантиметровых и миллиметровых длин волн. Миниатюризация антенн при малых длинах волн наталкивается на технологические сложности подведения фидера к диполь-возбудителю.

Обычно диполь-возбудитель директорной антенны питается симметричной линией, присоединенной к ближайшим точкам плеч в середине диполя, однако этот способ не единственный. Возможно питание диполя-возбудителя с дальних концов плеч. Несмотря на простоту подхода, в доступной литературе такому способу питания диполя уделено мало внимания. Тщательный поиск в специализированной литературе (IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Microwave and Optical Technology Letters, IEEE Microwave Theory and Techniques и других) показал, что пионерами в области исследования и применения дипольных антенн с концевым питанием является группа исследователей под руководством профессора А. П. Горбачева (НГТУ, г. Новосибирск).

Ближайшим аналогом концевого питания диполя может служить петлевой вибратор Пистолькорса, однако он имеет сплошной металлический шлейф. Петлевой вибратор со шлейфом, разомкнутым в центре или нагруженным на высокое сопротивление описан в патенте Ф. Картера (US 2.283.914), однако в нем не предложено какого-либо теоретического обоснования. Разновидность петлевого вибратора со смещенной точкой питания описана в публикации В. Josephson, The quarter-wave dipole // WESCON-57 Conf. Record. – 1957. – P. 77-90, где предложена лишь приближенная модель такой антенны. Подробное исследование и теоретическое описание дипольных антенн с концевым питанием на

современном уровне представляет собой новую перспективную область исследований в антенной технике.

В связи с этим выбранная тема исследования возможностей проектирования дипольных излучателей с концевым питанием применительно к антеннам, способным работать в двух изолированных диапазонах частот, безусловно, является актуальной.

Общая характеристика работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 130 наименований и приложений, в которых представлены тексты разработанных автором компьютерных программ, акты внедрения результатов диссертационной работы и документы, подтверждающие право на интеллектуальную собственность. Основной текст диссертации изложен на 187 страницах и содержит 138 рисунков и 17 таблиц.

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 существующих типов директорных антенн и способов их питания, проведен критический анализ их конструкций и характеристик. По результатам обзора сформулированы задачи диссертационного исследования.

Во второй главе определен математический аппарат, лежащий в основе разработанной методики проектирования директорных антенн, в приближении бесконечно тонких плеч диполя.

В третьей главе сформулирована методика параметрического синтеза двухдиапазонных директорных антенн, состоящая из расчета основных электродинамических характеристик возбуждителя и последующей корректировки резонансных длин диполей и расстояния между ними.

В четвертой главе предложено решение задачи уточнения параметров эскизной модели антенны, составленной на предыдущем этапе, с помощью коммерческого программного продукта, использующего специализированный алгоритм оптимизации. Определены критерии оптимизации входного и взаимного импеданса диполей, найдены границы применимости метода. Также в этой главе предложен способ учета омических потерь в диполе в рамках использованной модели.

В пятой главе проводится критический обзор и обоснование конструкций симметрирующих устройств, пригодных для возбуждения диполей по дальним торцам, и приведены результаты электродинамического моделирования и оптимизации печатных антенн с концевым типом возбуждения при использовании трех типов согласующе-симметрирующих устройств в программном продукте CST Studio Suite.

Шестая глава посвящена экспериментальному исследованию конкретных образцов директорных антенн в печатном исполнении, геометрические размеры которых были определены по предложенной автором методике. Верификация проведена сравнением аналитических расчетов, результатов численного моделирования, а также результатов измерения параметров изготовленных образцов антенн.

Степень обоснованности научных положений, выводов и результатов. Научные положения, выводы и результаты, представленные в работе, основаны на использовании классической теории излучения тонкопроволочных антенн, взаимодействии связанных вибраторов, а также корректным применением аппарата анализа многополюсных цепей СВЧ с распределенными параметрами. Достоверность полученных результатов подкреплена согласованностью результатов аналитических расчетов, компьютерного моделирования и экспериментальных исследований.

Научная новизна работы заключается в обобщении классической электродинамической теории дипольных директорных антенн на директорные антенны с концевым питанием, позволившем предложить методику проектирования новых типов печатных двухдиапазонных директорных антенн.

Теоретическая значимость работы. Предложенная в диссертационной работе С. А. Алексеичева методика синтеза антенн с несколькими директорами позволяет с единых позиций проектировать как антенны с классическим симметричным диполем в качестве возбудителя, так и с диполем, питание которого осуществляется с противоположных концов.

Практическая значимость работы. Несомненным достоинством является предложенная конструкция дипольных антенн с нестандартным питанием, открывающая новые возможности в проектировании антенной техники. Отличительной особенностью применения диполей с концевым питанием является освобождение области в центральной части диполя, что

открывает новые возможности в проектировании микроминиатюрных антенн для миллиметрового диапазона волн.

Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, научные положения и выводы достаточно обоснованы. Полученные оригинальные результаты имеют научную и практическую значимость в области синтеза СВЧ устройств. 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. Математический аппарат основан на тонкопроволочной модели диполя, но разработанные антенны имеют диполи заметной толщины. Как учитывается толщина плеч, влияние емкостей торцов и центрального зазора?

2. Во второй главе получено решение внутренней задачи вида $I_0 \sin(kz)$, и дальнейшие выкладки проведены с учетом синусоидального распределения тока вдоль плеч диполей, однако такое приближение слишком грубое: известны более точные подходы, например, на основе сведения уравнения Поклингтона для электрического вибратора к сингулярному интегральному уравнению (работы В. А. Неганова, Самарский государственный университет). Кроме того, на рисунках 5.2 и 5.31(а) диссертации показано далеко не синусоидальное расчетное распределение тока.

3. Использованное распределение тока вида $I_0 \sin(kz)$ не учитывает потери энергии на излучение, которые обычно описываются в терминах теории длинных линий введением комплексной постоянной распространения волны вдоль плеча диполя. Являются ли результаты расчета собственного и взаимного импедансов связанных диполей адекватными реальности без учета потерь на излучение?

4. Как в предложенной математической модели учитывается амплитудно-фазовое распределение токов, текущих по земляной пластине (рисунки 5.25 (а, б), 5.42 (г), 5.45)?

5. Из текста работы осталось непонятным, как предложенная модель расчета токов вдоль плеча диполя, излученного поля и взаимных импедансов может быть применена для диполя с плечами в виде меандра.

6. В тексте излишне использован профессиональный жаргон: «ДН в форме восьмерки», «апертура антенны смотрит в сторону» и тому подобное.

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

Заклучение

Диссертационная работа С. А. Алексеичева «Печатные двухдиапазонные директорные антенны с концевым питанием возбудителя дипольного вида» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена задача разработки и проектирования директорных дипольных антенн с возбудителем в виде диполя с концевым питанием.

Считаю, что диссертационная работа С. А. Алексеичева полностью соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением №842 от 24.09.2013 Правительства Российской Федерации, а её автор, Алексеичев Сергей Александрович, 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 июня 2021 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, к.т.н.



Крысина Ольга Васильевна