

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Комарова Вячеслава Вячеславовича
на диссертационную работу Уварова Антона Владимировича
«Сверхширокополосные печатные ненаправленные интегральные антенны для устройств беспроводной радиосвязи», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.14 - «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Печатные антенны микроволнового диапазона, выполненные по планарным технологиям, широко применяются в самых различных радиоэлектронных системах мобильной связи, а их разнообразие весьма велико. Для некоторых применений, например, в многдиапазонных системах, оказываются полезными так называемые сверхширокополосные ненаправленные печатные антенны, требования, к электродинамическим характеристикам которых постоянно возрастают. В частности, некоторые из этих требований, связанные с получением наилучших эксплуатационных параметров таких антенн и одновременным снижением их размеров, являются противоречивыми, что напрямую затрагивает вопрос о физических ограничениях для антенных систем в целом и сверхширокополосных антенн в частности. При этом если для узкополосных антенн такие ограничения в терминах добротности и резонансной частоты уже были сформулированы, то для сверхширокополосных антенн эти аспекты их реализации остаются пока малоизученными. Диссертационная работа Уварова А.В. направлена на поиск наиболее приемлемой топологии и размеров печатных антенн, обладающих сверхширокой полосой рабочих частот по заданным требованиям к их электродинамическим характеристикам исходя из анализа теоретических ограничений характеристик таких антенн.

Тема диссертации Уварова А.В. представляется весьма **актуальной**, а поставленная в работе цель по изучению фундаментальных физических ограничений на характеристики сверхширокополосных печатных интегральных антенн - значимой для науки и техники.

Основное содержание работы изложено в пяти главах. **Первая глава** является обзорной и посвящена анализу физических ограничений на характеристики антенн, включая некоторые аспекты развития данного научного направления, а также анализу технических решений различных сверхширокополосных ненаправленных антенн, в том числе печатных монополюсных антенн СВЧ-диапазона. Здесь же приведены аналитические выражения для оценки предельных характеристик антенн, подробно рассмотрены введенные при этом допущения и приближения, включая соотношение для фундаментального ограничения с учетом конфигурации излучателя, базирующееся на теории рассеяния. **Во второй главе** автором впервые получено предельное соотношение, связывающее характеристики сверхширокополосных антенн с их топологией и размерами в терминах нижней частоты и отношения крайних частот рабочего диапазона, которое позволяет давать оценки предельного геометрического размера для любых печатных антенн с заданными характеристиками. **Третья глава** посвящена исследованию мод, возбуждаемых в структуре антенны типа «печатный монополь» и показано, что нижняя частота рабочего диапазона такой антенны определяется основной (дипольной) модой. Кроме того, установлено, что сверхширокополосные свойства печатной монополюсной антенны могут быть объяснены возбуждением мод разных типов, что в совокупности может обеспечить рабочий диапазон с отношением граничных частот 20:1 и более. Здесь же автором даны рекомендации по проектированию антенн разных диапазонов и характеристик. По моему мнению, эта часть диссертационной работы является примером одного из наиболее детальных исследований по данному вопросу. **В четвертой главе** представлены основные принципы проектирования интегральных печатных антенных структур на всех этапах разработки антенны. Печатные антенны, выполненные на одной подложке и в одном технологическом процессе вместе с СВЧ приемно-передающими цепями, стали популярны в последнее время благодаря своей технологичности, воспроизводимости характеристик, а также более высокой надежности работы

устройства вследствие отсутствия соединительных элементов. Как было установлено в диссертации для устройств с антеннами, близкими к минимальному размеру, определяемому фундаментальным пределом, дальнейшая миниатюризация возможна за счет более компактного расположения антенной и радиоэлектронной частей, что представляет несомненный интерес. Наконец, **в пятой главе** приведены результаты проектирования и измерений целого ряда самых разнообразных печатных антенн микроволнового диапазона, полученные с привлечением теоретических подходов, описанные автором в предыдущих главах диссертации.

Перечисленные выше основные результаты диссертации хорошо **обоснованы**, являются оригинальными и обладают **научной новизной**.

Практическая значимость работы обусловлена многочисленными практическими приложениями сверхширокополосных антенн, некоторые из которых были спроектированы автором. Кроме того, полученное в работе численное выражение для нижней частоты рабочего диапазона может быть использовано для оценки предельных характеристик проектируемых антенн различных типов и выбора их оптимальной конфигурации.

Достоверность результатов диссертации подтверждается сравнением результатов проведенного численного анализа с данными экспериментов и результатами других авторов.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы опубликованы в 7 статьях в научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ и индексируемых в международных базах данных WoS и Scopus, а также ряде других изданий (всего 22 публикации). Материалы диссертации докладывались на различных отечественных и зарубежных конференциях и семинарах.

Таким образом, результаты диссертационного исследования были опубликованы в объеме, достаточном для представления работы в доступных и хорошо известных специалистам источниках информации.

По содержанию диссертации и автореферата можно отметить следующие **замечания:**

1. Обзор литературы по теме диссертации, сделанные в первой главе, на мой взгляд, несколько перегружен и слишком подробно освещает историю развития вопроса фундаментальных физических ограничений антенн. Часть промежуточных исследований практически не используются в основном тексте диссертации.
2. Формулировка цели работы фактически включает в себя и задачи диссертационного исследования, хотя обычно эти аспекты формулируются каждый отдельно.
3. В диссертации очень широко используются численные методы моделирования электромагнитных полей в интегральных антеннах, но при этом никак не обосновывается выбор конкретных методов моделирования и не ясно, как исследовалась сходимость этих методов.
4. В пятой главе в качестве одной из антенн для ячейки приемника радиосвета представлена проволочная одновитковая спиральная антенна, хотя объектами исследования в диссертации заявлены печатные антенны совсем другого типа. При этом автор никак не поясняет необходимость рассмотрения такой антенны.
5. Также есть ряд замечания по оформлению текста диссертации. Так, например, рисунки 3.1 и 5.10 и их подрисуночные подписи на стр.89 и 127 полностью совпадают, а в некоторых ссылках на литературу, например [38-42], не указаны номера страниц.

Отмеченные недостатки не оказывают влияния на общую позитивную оценку работы и не снижают значимости полученных результатов и положений, выносимых на защиту.

Заключение. Диссертация Уварова А.В. является законченным научно-исследовательским трудом, самостоятельно выполненным автором на высоком научном уровне, имеющим практическую значимость и научную новизну. Содержание работы соответствует специальности 2.2.14 - «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии». Автореферат диссертации полно и правильно отражает ее содержание.

Диссертация «Сверхширокополосные печатные ненаправленные интегральные антенны для устройств беспроводной радиосвязи» отвечает требованиям пп. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям. Считаю, что автор работы, Уваров Антон Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.14 - «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Официальный оппонент, профессор
кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации»
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Саратовский государственный
технический университет имени Гагарина Ю.А.»,
доктор технических наук по специальности
2.2.14 - «Антенны, СВЧ-устройства
и их технологии», доцент



В.В. Комаров

«20» августа 2022 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.».

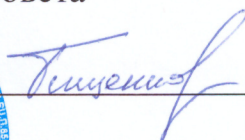
Адрес: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77.

Тел.: +7 (8452) 998827.

e-mail: vyacheslav.komarov@gmail.com.

Подпись профессора Комарова Вячеслава Вячеславовича
заверяю:

Ученый секретарь Ученого совета
СГТУ имени Гагарина Ю.А.
доктор культурологии



Тищенко Наталья Викторовна

«20» августа 2022 г.

