

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУН Институт сильноточной
электроники Сибирского отделения Российской
академии наук (ИСЭ СО РАН)



академик

Н.А. Ратахин

«02» сентября 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу **Ле Нху Тхай** «Сверхдиапазонные фазированные антенные решетки», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

К настоящему времени исследованы сверхдиапазонные (отношение граничных частот 10:1 и более по полосе согласования на уровне -10 дБ) одиночные излучатели и одномерно-периодические (линейные и кольцевые) фазированные антенные решетки (ФАР). Однако усиление таких антенных систем относительно небольшое. Для повышения усиления можно использовать двумерно-периодические (плоские и цилиндрические) ФАР. Полосы частот таких ФАР, как правило, не превышают 10:1. Исследование плоских ФАР ТЕМ-рупоров с металлизацией межрупорного пространства без экрана показали возможность реализации сверхдиапазонного режима работы, однако при очень большом заднем излучении.

Таким образом, задача исследования сверхдиапазонных двумерно-периодических ФАР с экраном является **актуальной**.

В первой главе с использованием приближенной численно-аналитической модели на основе интегрального уравнения и метода Бубнова-Галеркина, а также строгой электродинамической модели на основе метода конечных элементов

(МКЭ) исследованы характеристики бесконечной плоской решетки ТЕМ-рупоров с металлизацией части межрупорного пространства и металлическим экраном. Показано, что оптимизация расстояния между экраном и входами элементов решетки позволяет обеспечить диапазон рабочих частот 10:1.

Во второй главе с использованием метода конечных разностей во временной области (МКРВО), МКЭ и физического эксперимента проведено исследование характеристик плоской двумерно - периодической антенной решетки из 64 ТЕМ-рупоров с металлизацией межрупорного пространства и системой питания.

В третьей главе предложена и исследована плоская двумерно – периодическая двухполяризационная антенная решетка в виде неоднородной многопроводниковой линии из проводников квадратного сечения. С использованием приближенной теории исследованы характеристики согласования двухпроводной линии с линейным, параболическим и экспоненциальным законами изменения импеданса. В результате показано, что наименьшую нижнюю частоту согласования имеет линия с экспоненциальным законом. Далее проведено исследование характеристик бесконечной и конечных двухполяризационных ФАР с геометрией, соответствующей экспоненциальному закону.

В четвертой главе рассмотрены цилиндрические антенные решетки (ЦАР) из биконусов и ТЕМ-рупоров. В первом разделе построены электродинамические модели ЦАР вырезок из биконусов и показано, что максимальная полоса согласования 66-элементной ЦАР составляет 45:1. Во втором разделе исследовано полотно сверхдиапазонной ЦАР ТЕМ-рупоров с металлизацией межрупорного пространства и экраном. Проведено исследование зависимости полосы согласования и диаграммы направленности ЦАР от числа возбужденных линейных антенных решеток (ЛАР).

В пятой главе проведено исследование характеристик рассеяния одно- и двухполяризационных сверхдиапазонных антенных решеток и решетки прямоугольных волноводов с близкими размерами апертуры.

В процессе проведенного в диссертации исследования автором получены следующие **новые научные результаты**:

- Разработана и с использованием численного эксперимента исследована сверхдиапазонная однополяризационная ФАР с системой питания.

- Изготовлен и исследован экспериментальный образец плоской однополяризационной синфазной сверхдиапазонной антенной решетки с рабочей полосой более 18:1.

- Разработано и с использованием численного эксперимента исследовано полотно плоской сверхдиапазонной двухполяризационной ФАР.

- Разработано и с использованием численного эксперимента исследовано полотно цилиндрической сверхдиапазонной ФАР.

- Исследованы характеристики рассеяния однополяризационных и двухполяризационных плоских сверхдиапазонных ФАР. Показано, что максимум ЭПР двухполяризационной ФАР меньше максимума ЭПР волноводной решетки на 10-30 дБ в полосе частот более 10:1.

В результате работы получены следующие, имеющие **практическую значимость результаты**:

- Разработана конструкция и изготовлен экспериментальный образец сверхдиапазонного многоканального делителя мощности.

- Разработана конструкция и изготовлен экспериментальный образец плоской сверхдиапазонной антенной решетки из 32 ТЕМ-рупоров с полосой рабочих частот 0.35-6.6 ГГц.

Обоснованность и достоверность результатов и выводов

Результаты диссертации являются достоверными в связи с использованием для численного моделирования апробированных методов (МКЭ, МКРВО и метода интегральных уравнений), а также сопоставления результатов расчетов различными методами и с результатами измерений экспериментального образца в безэховой камере с использованием современной приборной базы. Выводы, сформулированные в диссертации, получили квалифицированную апробацию на международных и российских научных конференциях и семинарах.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались на VI Всероссийской Микроволновой конференции, г. Москва, ноябрь 2018;

Международной конференции «2019 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW)», Divnomorskoe, Krasnodar Region, Russia, июнь 2019; Московском семинаре по электродинамике и антеннам им. Я.Н. Фельда, июнь 2019.

Основные результаты диссертации опубликованы в 8 научных работах, в том числе 6 – в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, из них 4 - в журналах, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, 2 - в трудах Международной и Всероссийской конференций, из них 1 - входящих в базу данных Scopus.

Рекомендуется использовать результаты диссертации на предприятиях, занятых разработкой радиосвязных сверхширокополосных, широкодиапазонных или многодиапазонных информационных систем (Созвездие, г. Воронеж, МНИИРС, РНИИРС) и учебном процессе таких ВУЗов, как МАИ, МФТИ, МИРЭА, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЮФУ по соответствующей специальности.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Тематика проведенного исследования соответствует паспорту специальности 05.12.07 – "Антенны, СВЧ – устройства и их технологии".

К недостаткам работы можно отнести следующее:

1. В диссертации отсутствует обзорная глава, нет анализа современного состояния интенсивно развиваемых исследований в области многоэлементных антенных решеток и, соответственно, обоснования выбранных типов антенн (ТЕМ-рупор и биконус) для ФАР.
2. В сведениях, касающихся апробации работы, не отражена степень достоверности результатов.
3. Работа направлена на обоснование возможности создания сверхдиапазонных ФАР для практического применения. При этом отсутствуют оценки максимальной мощности излучения отдельных антенн и решеток, которые определяются электрической прочностью (пробоем) входа антенн и делителей мощности.
4. Для расширения полосы согласования ФАР был выбран известный подход, а именно, увеличение числа элементов в решетке. При этом в работе отсутствуют

характеристики одиночных антенн и критерий на число элементов двумерной решетки с отражателем, при которых исследованные ФАР являются сверхдиапазонными, при условии, что излучение элемента решетки имеет отношение крайних частот менее 10:1.

5. Увеличение числа элементов решетки приводит к расширению полосы согласования за счет сдвига нижней граничной частоты. В работе неявно полагается, что частотный диапазон сканирования равен частотной полосе согласования. Однако имеющиеся результаты (рис. 2.15 а) показывают, что сканирование 64-элементной решетки ТЕМ-рупоров в Е-плоскости уже на частоте 2 ГГц отсутствует для заданного угла 45 градусов (максимумы диаграммы направленности при заданных углах сканирования 30 и 45 градусов практически не сдвигаются) при нижней границе полосы согласования 0.35 ГГц. Результаты расчетов по сканированию вблизи нижней граничной частоты полосы согласования в диссертации не приведены. К сожалению, эксперименты по сканированию также отсутствуют. Это не позволяет корректно оценить различие частотных полос согласования и сканирования, что может быть обусловлено расширением диаграммы направленности в области низких частот.

Отмеченные недостатки не снижают ценность выполненных научных исследований и полученных результатов. Диссертационная работа отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор работы Ле Нху Тхай заслуживает присуждения ему ученой степени кандидат физико-математических наук по специальности – 05.12.07 – «Антенны, СВЧ – устройства и их технологии».

Доктор физ.-мат. наук, профессор



Кошелев Владимир Ильич

Главный научный сотрудник, ФБГУН Институт сильноточной электроники СО РАН, 634055 Томск, просп. Академический, 2/3, тел.: 8 (3822) 491-915, koshelev@lhfe.hcei.tsc.ru

Отзыв обсужден на научно-квалификационном семинаре лаборатории высокочастотной электроники ИСЭ СО РАН 02.09.2020 г.