

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу **Коноваленко Максима Олеговича** «Гибридная система питания антенных решёток для малогабаритных радиолокационных станций», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Актуальность темы работы. Развитие современных радиолокационных систем обнаружения, слежения и сопровождения целей требует совершенствования антенно-фидерного тракта. Для увеличения углового разрешения и повышения вероятности распознавания объектов требуются антенны с узкой диаграммой направленности (ДН). Использование плоских антенных решёток позволяет уменьшить габариты устройства в отличие от зеркальных антенн, а также управлять формой ДН и положением максимума. Широкое распространение получили микрополосковые излучающие структуры с последовательным питанием благодаря простоте диаграммообразующей схемы, однако они имеют узкую полосу рабочих частот и высокие потери СВЧ энергии в диэлектрической подложке. Переход на сочетание массива антенных элементов в микрополосковом исполнении с волноводными элементами тракта позволит значительно уменьшить потери в антенно-фидерном устройстве, а также расширить полосу пропускания и повысить энергетический потенциал антенной решётки.

Традиционно в синфазных антенных решётках с последовательным питанием используются отрезки линий, которые можно трактовать как дипольные излучатели. За счет множителя решётки ДН в E -плоскости сужается, однако в H -плоскости ДН остается почти круговой. Для сужения ДН в обеих плоскостях излучатели можно выполнить в виде щелей с последовательным питанием: а в H -плоскости ДН сузится за счет множителя решётки, а в E -плоскости ДН имеет вид «восьмерки». Использование

щелевых излучателей позволит увеличить направленность антенной решётки при неизменных габаритных размерах.

Поставленная в диссертационной работе М. О. Коноваленко задача разработки гибридной волноводно-полосковой схемы питания и применение массива щелевых излучателей является безусловно актуальной и открывает перспективы в проектировании узконаправленных антенных систем малогабаритных радаров, использующих широкополосные зондирующие сигналы.

Общая характеристика работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 133 наименований и четырех приложений, в которых представлены акты внедрения результатов диссертационной работы М. О. Коноваленко и документы, подтверждающие право на интеллектуальную собственность. Основной текст диссертации изложен на 142 страницах и содержит 82 рисунка и 3 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 существующих способов питания элементов антенных решёток, сравнительный анализ волноводно-щелевых и печатных антенн. Проведено сравнение плоских антенных решёток с зеркальными антеннами. По результатам обзора сформулирована задача диссертационного исследования – объединить преимущества волноводных и печатных антенн в гибридную схему.

Во второй главе определен математический аппарат, лежащий в основе разработанной методики проектирования решётки с последовательным питанием. Предложена новая коллинеарная щелевая решётка и методика расчета её характеристик с использованием эквивалентного магнитного тока. Обоснован выбор максимального количества последовательно включенных элементов, а также вид амплитудного распределения. Проведено численное электродинамическое моделирование щелевой антенной решётки с учетом влияния конструктивных элементов.

Третья глава посвящена делителю мощности на основе набора волноводных направленных ответвителей с заданным весовым распределением на выходах. Проведен анализ возможных конструктивных решений, обоснован выбор оптимального технического решения с учетом возможностей современного производства. Делитель выполнен в виде фрезерованных канавок в алюминиевой пластине. Предложены оригинальные технические решения при реализации критически важных элементов: коаксиально-волноводных переходов, концевых нагрузок. Выполнено моделирование и проведены измерения характеристик разработанного восьмиканального делителя.

В четвертой главе приведены результаты измерений антенной решётки с разработанной гибридной схемой питания. Измерения выполнены как в ближней зоне с использованием сканера в безэховой камере, так и в реальных условиях на открытом полигоне. Показано соответствие результатов измерения ДН антенной решётки с результатами расчетов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и результатов. Научные положения, выводы и результаты, представленные в работе, основаны на использовании классической теории излучения дипольных и щелевых антенн, 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 электродинамической теории печатных коллинеарных излучателей со стоячей волной на щелевые излучатели с последовательным питанием, позволившем предложить методику проектирования печатно-волноводных антенных решёток.

Теоретическая значимость работы. Предложенная в диссертационной работе М. О. Коноваленко гибридная система питания с совмещением печатной технологии и волноводных элементов позволяет существенно снизить энергетические потери по сравнению с системой

питания на диэлектрической подложке, что особенно важно для многоэлементных решёток больших электрических размеров.

Практическая значимость работы. Несомненным достоинством является предложенная коллинеарная щелевая топология излучающей антенной решётки, которая дает выигрыш в коэффициенте усиления до 3 дБ по сравнению с аналогичной решёткой дипольных излучателей. Следует отметить, что результаты диссертационной работы М. О. Коноваленко внедрены в производство новых радиолокаторов «Hunter», серийно выпускаемых АО «НПФ Микран».

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. В п. 1.4 показан разработанный автором диссертационной работы двухполяризационный облучатель и приведены данные о поляризационной развязке его каналов. Однако для антенной решётки с гибридным питанием сведений о поляризации излучения, коэффициенте эллиптичности не приведено.

2. Приведенное на стр. 78 выражение $\left| \sin\left(\frac{\gamma - 2\pi d}{k}\right) \right| < \frac{51}{2} \frac{\lambda}{N_{mn} d} d\theta$, на котором строятся дальнейшие рассуждения о предельном числе последовательно включенных излучающих элементов, содержит величины разной размерности в левой части неравенства.

3. При анализе энергетической эффективности антенной решётки предложено КПД оценивать как «отношение суммарной мощности потерь к подводимой мощности» (с. 125), что требует дополнительного пояснения.

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

Заключение

Диссертационная работа М. О. Коноваленко «Гибридная система питания антенных решёток для малогабаритных радиолокационных станций» является законченной научно-квалификационной работой, в которой предложен и обоснован способ улучшения диапазонных и направленных свойств печатных антенных решеток с высокой эффективностью излучения.

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

Официальный оппонент,
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник лаборатории высокочастотной
электроники Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт сильноточной
электроники Сибирского отделения
Российской академии наук (ИСЭ СО РАН),

2 декабря 2019 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