

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата физико-математических наук Бойко Сергея Николаевича на диссертацию Клионовски Кирилла Константиновича «Излучение слабонаправленных осесимметричных антенн с круглыми экранами», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – Радиофизика, 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Актуальность темы диссертации

В представленной диссертационной работе решается задача уменьшения уровня обратного излучения слабонаправленных антенн с экранами круглой формы. Данная задача приобрела особую актуальность в последнее время с развитием средств связи, навигации, в особенности спутниковой, индивидуальных средств коммуникации.

В средствах связи данные требования предъявляются для обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, улучшения их помехозащищенности, для уменьшения эффекта многолучевого распространения радиосигнала, вызванного отражением сигнала от земли или различных объектов, находящихся вблизи антенны, развязки элементов в антенных решётках.

В индивидуальных средствах коммуникации (радио и сотовые телефоны, смартфоны, индивидуальные средства поиска, опознавания и спасения и т.п.) данные требования приобретают также медицинский аспект, а именно актуальной становится задача уменьшения влияния высокочастотного излучения на организм человека. В особенности данная проблема актуальна при применении так называемых нательных антенн в устройствах с повышенной мощностью излучения, например в радиомаяках КОСПАС/САРСАТ излучаемая антенной мощность на частоте 406 МГц может достигать 5 Вт.

Крайне важно избавиться от приема отраженных сигналов (эффекта многолучевости) и в аппаратуре глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), предназначенной для высокоточных измерений (геодезическая, угломерная аппаратура, аппаратура мониторинга сложных объектов). Наличие отражений в данном случае приводит к возникновению дополнительных фазовых шумов и увеличению погрешности определения координат навигационной аппаратурой, т.к. отраженный сигнал принимается антенной с фазой, отличной от фазы прямого сигнала. Как правило, отраженные сигналы приходят с нижней полусферы антенны. Для отсечки этих сигналов и используются специальные экраны.

Наиболее часто для подавления отраженных сигналов применяются так называемые «чоук-ринги» (choke ring). Конструкция «чоук-рингов» включает кольцевые дроссели глубиной в четверть рабочей длины волны, которые работают по принципу волноводного дроссельно-фланцевого соединения. Существенными недостатками «чоук-рингов» являются

большие габариты и вес. Более лёгкую и зачастую компактную конструкцию экрана для подавления многолучевости позволяют создавать высокоимпедансные структуры на основе частотно-селективных, или полосно-запирающих структур.

Однако, все упомянутые выше конструкции экранов отсеки многолучевости, будучи по сути своей полосно-запирающими структурами в радиальном направлении и излучающими в ортогональном направлении, имеют общий недостаток – они сужают диаграмму направленности в верхней полусфере и портят стабильность фазового центра установленного на этом экране антенного элемента.

В качестве широкополосных экранов отсеки используются также экраны на основе материалов с омическими потерями, однако при их использовании происходит падение коэффициента усиления (КУ) и увеличение шумовой температуры антенны вследствие возникающих потерь энергии.

Влияние недостатков вышеупомянутых экранов можно уменьшить путем использования полупрозрачных экранов, для которых не равны нулю одновременно как коэффициент отражения, так и коэффициент прохождения падающей электромагнитной волны. В литературе ранее рассматривались вопросы подавления обратного излучения полупрозрачными экранами, реализованными на основе композитных материалов. Однако, такие экраны нетехнологичны в изготовлении и, в общем-то, громоздки. Полупрозрачные импедансные экраны, реализованные на сосредоточенных резистивных и реактивных элементах по определённому закону распределения импеданса, являются более выигрышными.

Несмотря на большое количество публикаций, посвященных исследованию слабонаправленных антенн с импедансными и полупрозрачными экранами, задача оптимизации параметров этих антенн в литературе до конца не решена. Во многом это связано с отсутствием простой и эффективной асимптотической теории анализа и синтеза таких структур.

В этой связи поставленная задача построения асимптотической теории излучения слабонаправленных осесимметричных антенн и применения её для оптимизации характеристик антенн с импедансными и полупрозрачными экранами несомненно является **актуальной** для разработки качественной аппаратуры связи, навигации и спасения. Её решение позволяет значительно усовершенствовать параметры разрабатываемых приборов и систем.

Диссертация полностью соответствует заявленным специальностям 01.04.03 – Радиофизика, 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Оценка содержания диссертации, её новизны, практической значимости и достоверности

Текст диссертации содержит введение, четыре раздела и заключение, изложен на 96 страницах и включает 72 рисунка, список цитируемых источников из 124 наименований, в том числе монографии и статьи на английском языке.

Основные научные результаты изложены в разделах, посвящённых получению равномерных асимптотических разложений для диаграмм рассеяния тороидальной векторной волны общего вида на идеально проводящем и на полупрозрачном дисках для области «вблизи от оси» и области «вдали от оси», получению асимптотических разложений для диаграмм направленности во всём пространстве различных типов слабонаправленных осесимметричных антенн с круглыми экранами: рамочной и микрополосковой антенн, открытого конца круглого волновода и монополя, получению асимптотических формул для коэффициента обратного излучения рамочной и микрополосковой антенн с идеально проводящим экраном, нахождению изотропного резистивного и анизотропного индуктивного импедансов на поверхности полупрозрачного экрана, обеспечивающего существенное увеличение коэффициента обратного излучения микрополосковой антенны по сравнению с известными результатами.

Новыми научными результатами диссертационной работы являются:

- Получение двух асимптотических разложений для диаграммы рассеяния векторной тороидальной волны общего вида на идеально проводящем диске, определяющих решение во всем пространстве.
- Получение двух асимптотических разложений для диаграммы рассеяния векторной тороидальной волны общего вида на полупрозрачном диске, определяющих решение во всем пространстве.
- Получение двух асимптотических разложений для ДН различных типов слабонаправленных осесимметричных антенн с круглыми экранами: рамочной антенны, микрополосковой антенны, открытого конца круглого волновода и монополя, определяющих решение во всем пространстве.
- Получение асимптотических формул для коэффициента обратного излучения рамочной и микрополосковой антенн с идеально проводящим экраном.
- Нахождение распределений изотропного резистивного и анизотропного индуктивного импедансов на поверхности полупрозрачного экрана, обеспечивающих существенное увеличение коэффициента обратного излучения микрополосковой антенны по сравнению с известными результатами.

К наиболее практически значимым результатам диссертации можно отнести то, что найдено распределение изотропного резистивного

импеданса экрана, которое обеспечивает при радиусе диска $0,8$ длины волны коэффициент обратного излучения микрополосковой антенны, равный -35 дБ, а также распределение анизотропного индуктивного импеданса, при котором обеспечивается для того же экрана коэффициент обратного излучения микрополосковой антенны, равный -33 дБ. При этом в последнем случае ДН микрополосковой антенны не только не обузилась, а даже несколько расширилась: коэффициент усиления по горизонту вырос на $1-2$ дБ по отношению к металлическому экрану. В случае применения такого экрана в навигационной аппаратуре ГНСС уверенный приём сигналов пригоризонтных спутников позволит повысить точность решения навигационной задачи.

Достоверность результатов работы базируется на корректном применении апробированных асимптотических методов: физической оптики и физической теории дифракции, а также путем сопоставления результатов, полученных асимптотическими и численными методами моментов и конечных элементов. Достоверность результатов работы также подтверждается совпадением результатов численного моделирования и физического эксперимента.

Работа логически правильно выстроена, грамотно написана и аккуратно оформлена. По каждой главе и по работе в целом сделаны аргументированные выводы.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 7 статьях в периодических изданиях, в том числе на английском языке в двух ведущих зарубежных периодических изданиях, в 2 текстах докладов на Всероссийских и 2 текстах докладов на Международных конференциях (на английском языке), получено два патента: один РФ и один зарубежный. Результаты диссертационной работы апробированы автором в докладах на 5 научных конференциях. Автореферат соответствует основным идеям и выводам диссертации, в нём отражён личный вклад автора в проведённое исследование, степень новизны и практическая значимость результатов исследований.

Замечания по диссертационной работе

1) В подразделе 1.3 в качестве источников рассмотрены ненаправленная нить магнитного тока и направленные нити электрического и магнитного токов, в то время как, по сути, все они являются направленными, на что указывает присутствие единичных векторов в формулах (1.20), (1.21), (1.22).

2) В подразделе 1.4 проведено исследование рассеяния цилиндрической векторной волны на идеально проводящей ленте численным и асимптотическими методами РАТД, РГТД и приближения Кирхгофа только для случая ширины ленты, равной длине волны ($T=\lambda$) и на основании этого сделан вывод об эквивалентности методов ФТД, РАТД и РГТД. В дальнейшем весь материал диссертации строится на этом

утверждении, а из всех перечисленных методов выбираются метод ФТД и интеграла Кирхгофа как наиболее удобные в применении. Другие случаи ширины ленты не рассмотрены, что снижает общность полученных теоретических результатов. Вместе с тем, в литературе были рассмотрены и другие случаи рассеяния цилиндрической волны на идеально проводящей ленте: например, в книге «А.В. Вейцель, В.А. Вейцель, Д.В. Татарников. Аппаратура высокоточного позиционирования по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем: высокоточные антенны. Специальные методы повышения точности позиционирования. М., Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010» в подразделе 4.2.2 приведены диаграммы направленности (ДН) ненаправленного источника для ленты шириной от $0,4\lambda$ до 10λ , рассчитанные для полученного авторами замкнутого аппроксимационного выражения для тока по методу ФТД и по методу ФО (приближения Кирхгофа). Ссылки на данный источник, несомненно важный, в тексте диссертации нет.

3) В подразделе 3.2 известное выражение для электрического тока монополя (формула (3.4)) заменяется конечной суммой осевых азимутальных(?) токов (формула (3.5)). Данная замена требует более тщательного обоснования, т.к. чисто математически такую замену, по моему мнению, выполнить нельзя. Кроме того, наблюдается явная путаница в терминологии: ток в первом абзаце вначале именуется осевым (протекающим вдоль оси монополя), затем осевым азимутальным (набор), затем кольцевым, а затем вообще кольцевым осевым.

4) В подразделе 3.5 при проведении оптимизации прозрачности диска с установленной на нём микрополосковой антенной не берутся во внимание параметры диэлектрической платы, на которой может быть реализовано данное распределение импеданса (путём установки сосредоточенных элементов). Вместе с тем, по чисто конструктивным соображениям, эта плата может иметь толщину в несколько миллиметров, что скажется на значениях коэффициентов отражения и прохождения падающей волны.

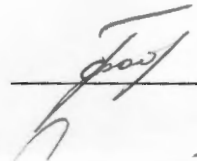
Заключение

Диссертация К.К. Клионовски представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, выполненную автором самостоятельно на высоком научном уровне, в которой на основании разработанных теоретических положений предложены технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад прежде всего в развитие теории и техники антенн аппаратуры высокоточного позиционирования по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем, а также систем связи, поиска и спасения. Полученные автором результаты являются новыми, обоснованными и достоверными. Автореферат хорошо изложен и полностью соответствует содержанию диссертации. Диссертационная работа отвечает требованиям Положения ВАК РФ о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Клионовски Кирилл Константинович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-

математических наук по специальностям 01.04.03 – Радиоп физика, 05.12.07
– Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Официальный оппонент,
Директор НПК-6 филиала
ОАО «ОРКК» - «НИИ КП»,
кандидат физико-математических наук,

специальность 01.04.03 – Радиоп физика


_____/С.Н. Бойко/
03.06.2015