

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Быковского Сергея Васильевича
«Циклотронные защитные устройства
приемников радиолокационных систем сверхвысокочастотного
диапазона», представленной на соискание учёной степени доктора
технических наук
по специальности 2.2.1 - «Вакуумная и плазменная электроника»

На основании рассмотрения автореферата можно сделать вывод, что диссертационная работа Быковского С.В. представляет собой научно-квалификационную работу, обобщающую результаты исследований вопросов создания циклотронных защитных устройств (ЦЗУ), разработки новых технологических процессов их конструирования, оценки эффективности предложенных научно – технических решений и внедрения разработок в серийное производство.

Новизна работы

Анализ материалов автореферата обуславливает правомерность выводов, что представленные в работе исследования и теоретические положения в совокупности можно квалифицировать как научную работу по систематизации известных и дополнительно синтезированных сведений о новом и мало исследованном представителе класса электронно-лучевых маломощных СВЧ приборов О-типа с возбуждением быстрой циклотронной волны (БЦВ) – как об объекте исследования в настоящей работе.

При этом представленные сведения структурированы в цельное изложение, соответствующее внутреннему единству и логике изложения нового материала относительно предметной области диссертационных исследований: физических принципов работы ЦЗУ, их оптимальных по заданным параметрам конструктивно-технологических решениях,

зависимости электрических параметров ЦЗУ от воздействующих факторов и специфике применения устройства в аппаратуре приемников РЛС.

В частности показаны физико – технические особенности процессов в структуре разработанных конструкций циклотронных защитных устройств, а также описаны отличительные особенности их свойств относительно известных. Выявлены новые зависимости характерных показателей от влияющих факторов в исследуемых конструкциях ЦЗУ.

Представленные результаты отражают новаторский характер проведенных исследований по результатам которых обоснованы новые конструктивно – технические решения обеспечения защиты высокочувствительных усилительных каскадов приёмных трактов РЛС от воздействия сверхвысокочастотных сигналов высокого уровня мощности.

Обосновано, что разработанные ЦЗУ отличаются от известных совокупностью новых по качеству свойств. Ими обеспечивается практически мгновенный переход из режима приёма входных сигналов в режим их блокирования при неприемлемых уровнях амплитуд и обратно без управляющих сигналов, с гарантированной защитой высокочувствительных каскадов РЛС и быстрым восстановлением их работы по завершению перегрузочных воздействий. Их применение характеризуется сохранением приемлемого теплового баланса конструктивных элементов даже при высоких перегрузках по входу, а также защитой последующих каскадов с требуемым качеством даже без электропитания его активных конструктивных элементов.

Теоретическая значимость работы

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что результаты, полученные автором в ходе исследований, дополняют имеющиеся теоретические представления о физике процессов в приборах О-типа с возбуждением БЦВ по ряду направлений.

Например, представлен сравнительный анализ свойств ЦЗУ с газоразрядными и полупроводниковыми типами автономных защитных устройств.

Проанализированы особенности совместного проявления свойств быстрых и медленных циклических волн в конструкции ЦЗУ.

Обосновано предельное значение максимальной мощности на выходе ЦЗУ при переходе устройства в режим защиты, которое в соответствии с реализуемой физикой процессов определяется энергетической емкостью электронного луча, формируемого в пространстве взаимодействия в виде БЦВ.

Актуализировано важное качество ЦЗУ - способность защищать последующие каскады аппаратуры в выключенном состоянии, т.е. при отсутствии питающих напряжений.

Показана взаимосвязь физических явлений от подводящих в ЦЗУ энергию элементов до элементов съёма энергии в выходном резонаторе ЦЗУ. На основе выявленных закономерностей сформулированы концептуальные требования к конструктивным решениям каждого элемента тракта прохождения сигналов в ЦЗУ. При этом теоретически обоснована оригинальная конструкция элементов сопряжения вакуумного блока ЦЗУ с входным волноводом для работы с увеличенным уровнем предельной входной СВЧ мощности. Также обоснована необходимость введения в конструкцию ЦЗУ составных магнитов и целесообразность непрерывного поворота плоскости зазора пространства взаимодействия с ленточным электронным лучом на всей его протяжённости – от начала зазора между ламелями во входном резонаторе до окончания зазора между ламелями в выходном резонаторе. Это нашло практическое воплощение в оригинальном конструктивно - технологическом решении монолитного исполнения тракта электронного взаимодействия в резонаторах ЦЗУ с плавным вращением осей его поперечной плоскости в соответствии с трансформацией электронного луча в пространстве взаимодействия.

Актуальность работы

Аргументированно, на основе полученных количественных оценок и выявленных физико – технических закономерностей, показано, что внедрение разработанных ЦЗУ вносит значительный вклад в развитие радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) радиолокационных систем и техники связи, так как наделяют их новым качеством практически мгновенной защищённости от входных перегрузок.

В связи с тем, что такие приборы значимо востребованы в настоящее время практически во всех направлениях развития РЭА радиолокации и связи, рассчитанных на применение, в том числе, в условиях целенаправленного и/или непреднамеренного высокоэнергетического воздействия по входу без нарушения работоспособности, подтверждается актуальность проведенных диссертационных исследований и полученных результатов.

Достоверность результатов исследований

Достоверность результатов проведенных исследований можно констатировать с учётом представленного автором применения известных подходов к математическому описанию явлений, сопутствующих физико - технологическим процессам в ЦЗУ, а также логической закономерности полученных зависимостей и сформулированных выводов.

Важным аргументом является наглядность полученных теоретических и экспериментальных результатов, их согласованность в соответствующих случаях с известными функциональными зависимостями. При этом отсутствуют противоречия между положениями, разработанными автором, логично сформулированным и непротиворечивым описанием выявленных закономерностей, а также существующими закономерными представлениями о явлениях и процессах в электродинамике и технике СВЧ.

Достоверность демонстрируемых результатов исследований обуславливается возможностью их объективного анализа и подтверждения

при использовании применённых автором актуальных средств и методов проведения соответствующих экспериментов (измерений) на метрологически аттестованном комплексе оборудования, а также соответствующих требованиям нормативно – технической документации методик проведения экспериментов и обработки полученных данных.

Важный фактор подтверждения достоверности полученных результатов - практический опыт их проверки и подтверждения в ходе многочисленных экспертиз характерных параметров ЦЗУ независимыми специалистами при приёмке разработанных образцов в рамках ОКР и при входных контролях в качестве комплектующих в разрабатываемую РЭА, а также результаты многолетней эксплуатации в составе различной аппаратуры в области радиолокации и связи.

Широкая апробация исследований перед специализированной и с высоким уровнем профессиональной подготовки научной аудиторией также является подтверждением достоверности результатов исследований.

Практическая значимость работы

На основании изложенного в автореферате материала можно сделать вывод, что полученные в ходе диссертационных исследований научные результаты нашли практическое применение в серийном производстве и широком внедрении разработанных защитных устройств в ряде современных радиолокационных и связных систем наземного, морского, авиационного, а также космического базирования, а также в разработках по трём экспортным контрактам. При этом в ходе исследований создано 4 типа ЦЗУ и 20 типов циклотронно-защищенных комплексированных усилителей (ЦЗКУ) на их основе, из которых 18 типов устройств в настоящее время производятся серийно.

Подтверждением практической значимости и востребованности результатов проделанной автором работы являются более чем внушительные объёмы внедрения разработок в серийное производство за 20 лет: более 3,5 тысяч экземпляров ЦЗУ, а также 5 тысяч ЦЗКУ, которые

применены двенадцатью отечественными предприятиями – разработчиками радиотехнических и радиолокационных изделий.

Личный вклад автора

Автором широко изложены результаты исследований и проведенных разработок по теме диссертации в работах, опубликованных в доступных для специалистов журналах и сборниках различных научных изданий.

При этом рассмотрение перечня отражённых в перечисленных в автореферате публикациях вопросов позволяет констатировать, что они перекрывают все разделы исследований и полученных результатов соискателя.

Проведенное исследование публикаций в открытых источниках по тематике ЦЗУ и технике СВЧ выявило практически полное отсутствие среди них в анализируемый период освещения рассматриваемых в диссертации вопросов без участия соискателя. Данное обстоятельство напрямую свидетельствует о значимом личном вкладе автора диссертации в новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты.

Апробация результатов работы

Основные научные результаты диссертации широко опубликованы в рецензируемых научных изданиях, публично докладывались и обсуждались на Всероссийских и Международных научных конференциях среди специалистов по вакуумной и плазменной электронике. Данный факт является серьёзной апробацией декларируемых научных достижений в оценках специалистов данной и смежных областей знаний.

Значимую апробацию результаты работы прошли в процессе различных этапов приёмки в ходе разработки и последующего внедрения в структуру более сложных устройств, а также по результатам опыта практической эксплуатации серийной продукции, изготовленной на основе проведенных научных исследований.

Соответствие требованиям ВАК РФ к публикациям

Количество публикаций в рецензируемых изданиях, в которых излагаются основные научные результаты диссертации, значительно превышает требования ВАК РФ.

По теме диссертационной работы автором опубликовано 10 статей в изданиях, индексируемых в международных базах данных, и 17 - в журналах из перечня ВАК. 13 работ опубликовано в ведомственных научно – технических изданиях, доступных специалистам по электродинамике и технике СВЧ. Получено 8 патентов на изобретения.

Замечания по автореферату диссертации.

1. По тексту автореферата встречается стиль изложения, не вполне характерный для практики освещения результатов исследований в диссертационных работах, например (дословно по тексту автореферата): «В главе 1 представлен обзор СВЧ защитных устройств...» (стр. 6), «В главе 2 изложены основные принципы работы циклотронного защитного устройства (ЦЗУ)...» (стр. 8), «В § 2.1 поясняется, что ЦЗУ – это вакуумный электронно-лучевой СВЧ прибор...» (стр. 8), «В § 2.2 рассматриваются 4 типа поперечных волн...» (стр. 9), «В § 2.3 аналитически рассмотрены частотные параметры...» (стр. 11), «В п. 2.3.1 ... Приведены выражения для активной и реактивной проводимостей... » (стр. 11), «В п. 2.3.2 отмечается, что частотная характеристика ЦЗУ в широкой полосе частот носит резонансный характер» (стр. 11), «В п. 2.3.3 указывается...» (стр. 12), «В § 2.4 изложены основные требования...» (стр. 13), «В главе 3 рассматриваются вопросы...» (стр. 13) и т.п.

Применённая терминология придаёт описываемой в автореферате работе оттенок учебного пособия. Хотя по существу понятно, что в каждом перечисленном случае речь идёт о формулировке существа вопросов, сопутствующих проведению сравнительного анализа по соответствующим признакам.

2. Встречаются «технические» погрешности в описании результатов исследований, например:

- при описании в § 3.3 результатов экспериментального исследования характерных граничных мощностей, со значений которых начинается оседание краевых электронов луча для типичных характеристик стандартного ЦЗУ диапазона частот $f_c = 9$ ГГц, на графическом представлении резонатора ЦЗУ и на рисунке с поперечным сечением ленточного электронного луча в зазоре резонатора (рис. 8) представлено расположение осей, не соответствующее расположению осей на изображении разреза резонатора (рис. 3), представленного в § 2.2 при описании результатов аналитических исследований данных параметров. Это обстоятельство препятствует «бесшовному» восприятию структурированной на разных координатных осях информации;

- при описании результатов исследований в п.2.3.1 (стр. 11) использовано словосочетание «определяющим критерием рабочей полосы частот является...», хотя по смыслу и практике представления подобного материала понятно, что изложение относится к описанию определяющего влияния на величину рабочей полосы частот анализируемого фактора. Полоса частот не характеризуется критерием. Она характеризуется по крайней мере шириной, интервалом частот, ... Аналогично (при описании § 3.3 на стр. 15) констатируется, что «...анализируется амплитудная линейность ЦЗУ...». Более корректно в данном случае было бы изложить, что «...анализируется линейность амплитудной характеристики ЦЗУ ...». По этой же причине в фразах: «Энергетическая емкость луча определяет границу линейности ЦЗУ...» (стр.9) и «Граница амплитудной линейности определяется началом оседания электронов луча на стенках пролетного канала...» (стр. 18) также целесообразно ввести соответствующее уточнение;

3. В автореферате некоторые формулировки и выводы описаны не достаточно завершённо или не в связанном с основной идеей диссертации контексте, например:

- на стр. 5 отмечено, что «Линейность амплитудной характеристики ЦЗУ в режиме передачи сигнала нарушается лишь за счет оседания электронов луча на стенках пролетного канала ...», при этом не уточнено на каком участке: начальном или конечном;

- на стр. 6 при характеристике основного содержания работы констатируется, что во введении «рассмотрено в историческом аспекте создание и исследование малошумящих усилителей на быстрой циклотронной волне (БЦВ) электронного луча: электронно-лучевых параметрических усилителей (ЭПУ) и электростатических усилителей (ЭСУ)», при этом не вполне обозначена значимость приведенного материала в свете того, что диссертация посвящена защитным устройствам, а не усилительным;

- на стр. 17 при описании характерных изгибов в средней области переходного участка амплитудных характеристик (рис. 10, § 3.3) не приведено логичного обоснования причин их появления в связи с конфигурацией и расположением электронного луча в пространстве между ламелями резонаторов, а также их трансформацией при повышении входной мощности;

- на стр. 18 отмечено «Граница амплитудной линейности определяется началом оседания электронов луча на стенках пролетного канала, зависит от рабочей частоты, тока электронного луча, геометрических размеров электронного зазора и поперечного сечения электронного луча...», вместе с тем количественные оценки и функциональные зависимости, подтверждающие данные утверждения не приведены;

- на стр. 20 констатируется «отраженная мощность должна быть направлена в нагрузку циркулятора или поглощена вентилем и не должна многократно переотражаться во входном тракте перед ЦЗУ. При этом циркулятор или вентиль должны иметь минимальный КСВН со стороны ЦЗУ и должны быть расположены по возможности ближе к защитному устройству», однако не описано: насколько минимально близко и в каком

соотношении кратности с длинами волн входных сигналов это расстояние конструктивно выбирается;

- аналогично при описании результатов по §3.7 (стр.23), §4.1 (стр.23), §4.4 (стр.24), §4.5 (стр.24) не приведены данные, соответственно: в каком соотношении зависят амплитудные и фазовые шумы ЦЗУ от пульсаций питающих напряжений; как зависит уровень и продольное распределение магнитного поля от взаимного положения и характеристик составных магнитов в магнитной системе ЦЗУ; как размеры электронного луча, которые имеют определяющее влияние на основные электрические параметры устройства, зависят от характеристик концентраторов магнитного поля на электронных пушках для различных диапазонов рабочих частот; как зависит сдвиг фазы сигнала, проходящего через ЦЗУ от управляющего напряжения и параметров управляемой фазосдвигающей секции, расположенной между входным и выходным резонаторами, для различных частот в конструкции ЦЗУ, которая выполняет функции регулировки скорости дрейфа луча в области данного электрода и, соответственно, электрической длины ЦЗУ;

- на стр. 25 при описании построения комплексированного усилителя на базе ЦЗУ (§ 5.2) не представлены преимущества его практического использования в связи с отсутствием необходимости подстройки (регулировки) его коэффициента шума в «полевых» условиях, по причине высокоточного согласования выходного тракта ЦЗУ с входным трактом конструктивно сопряжённого с ним малошумящего усилителя в заводских условиях и конструктивного обеспечения стабильности внутренних регулировок в монолитном циклотронно-защищенном комплексированном усилителе;

- при описании положений, выносимых на защиту констатируется первым пунктом (стр. 5): «Разработана и реализована концепция циклотронных защитных устройств приемников РЛС СВЧ диапазона... Содержание концепции изложено в виде основных выводов по работе, приведенных в Заключении». Вместе с тем при отражении в автореферате

содержания Заключения отмечается (далее приведены дословные выдержки по тексту Заключения, стр.26 - 30): «В Заключении ... Приведены основные выводы по работе: 1) В ЦЗУ отсутствуют пики...», «2) Принцип действия и конструкция ЦЗУ определяют еще два важных качества...», «3) Рабочая полоса частот ЦЗУ определяется частотным диапазоном...», «4) Частотная избирательность ЦЗУ связана с...», «5) Нули активной проводимости электронного луча ... обусловлены тем, что...», «6) Уровень продольного магнитного поля ... превышает уровень Бриллюэновского магнитного поля...», «7) Вследствие влияния поля пространственного заряда электронного луча колебания рассеянных электронов луча происходят на частоте ...», «8) Диаметр циклотронного вращения рассеянных электронов, определяемый циклотронной частотой и энергией дрейфа луча, влияет на коэффициент шума ...», «9) При неоптимальной работе коллектора ЦЗУ вторичные электроны, попадающие в зазор выходного резонатора из области коллектора, совершают шумовые колебания ...», «10) Для ЦЗУ разных типов ... параметры линейности и перехода в режим защиты в зависимости от диапазона частот имеют следующие значения ...», «11) Режим защиты реализуется в ЦЗУ автономно ...», «12) Тепловая нагрузка ЦЗУ в режиме защиты составляет ...», «13) Время восстановления параметров ЦЗУ определяется временем затухания колебаний ВЧ энергии ...», «14) Время восстановления ЦЗУ диапазона частот 10 ГГц составляет ...», «15) Отраженная от входа ЦЗУ в режиме защиты импульсная мощность может многократно переотражаться ...», «16) В ЦЗУ стандартных конструкций входная предельно-допустимая импульсная мощность достигает 10 кВт ...», «17) Увеличение электронной нагрузки резонаторов ЦЗУ и, соответственно, расширение рабочей полосы частот устройства может быть достигнуто ...», «18) ЦЗУ обладает достаточно привлекательными параметрами электромагнитной совместимости ...», «19) Циклотронно-защищенный комплексированный усилитель – это в значительной степени оптимальная по составу система ...»,

«20) Разработанные ЦЗУ имеют следующие основные электрические параметры ...».

Очевидно, что приведенные формулировки выводов по работе в виде представленной констатации фактов не могут характеризовать Концепцию ЦЗУ. К тому же при описании цели диссертационной работы и основных задач (стр. 3) не акцентировалось внимание на разработке концепции.

4. Неоправданно ограничено в автореферате представление об области диссертационных исследований следующими обстоятельствами:

- введенным автором замечанием: «В настоящей работе не рассматриваются ЗУ для случая РЛС с использованием активных фазированных антенных решеток»;

- отсутствием результатов сравнительного анализа ЦЗУ с их современными аналогами – мультипакторами, а также гибридными ЗУ;

5. В материалах автореферата наглядно не отмечено, где соискатель учёной степени ссылается в диссертации на результаты исследований соавторов многочисленно приведенных совместных публикаций. К тому же не видно чёткого разделения результатов защищаемой работы от результатов защищённой в 90-тых годах кандидатской диссертации автора. Данное обстоятельство не позволяет корректно охарактеризовать степень разработанности темы представляемой диссертации лично соискателем в сравнении с другими исследователями в совместных работах, а также не предоставляет возможности вычлнить результаты, полученные самим автором на предыдущем этапе работы над кандидатской диссертацией от декларируемых в представляемой к защите работе.

Отмеченные недостатки вероятнее всего обусловлены ограниченным объёмом автореферата. Данное обстоятельство позволяет констатировать, что они могут не снижать уровня научной и практической значимости представляемой к защите диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук.

Общая оценка работы

В целом автореферат позволяет согласиться с выводами, что полученные результаты исследований имеют большую теоретическую и практическую ценность, диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Быковский Сергей Васильевич заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по научной специальности 2.2.1 - «Вакуумная и плазменная электроника».

Научный руководитель

кандидат технических наук,

старший научный сотрудник



В.А. Усачёв
(подпись, инициалы, фамилия)

« 28 » 03 2022 г.

Главный научный сотрудник

доктор технических наук,

профессор

Г.В. Харламов
(подпись, инициалы, фамилия)

« 28 » 03 2022 г.

Сведения в соответствии с требованиями
п.28 «Положения о присуждении ученых степеней»:

Адрес организации: 141002, Россия, г. Мытищи, ул. Колпакова, дом 2А

Наименование организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ФГБУ «ВНИИР»)

Должность авторов отзыва:

ФИО (полностью):

Научный руководитель

Усачёв Валерий Александрович

Главный научный сотрудник

Харламов Геннадий Юрьевич

Телефон: 8(495) 586-17-21, доб. 1360

Адрес электронной почты: usachev@vniir-m.ru, gukh61@mail.ru