



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по НРИИ ТУСУР

д.т.н., профессор

Куксенко С.П.

«5» октября 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР)

Диссертация «Сверхширокополосные коммутационные монолитные интегральные схемы для контрольно-измерительной аппаратуры» выполнена в ТУСУРе на кафедре сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники (СВЧиКР).

Соискатель Хмара Иоанн Владимирович в 2020 г. окончил бакалавриат ТУСУРа по направлению «Радиотехника», профиль 11.03.01 – «Микроволновая техника и антенны».

В 2022 г. окончил магистратуру ТУСУРа по направлению «Радиотехника», профиль 11.04.01 – «Микроволновая техника и антенны».

В 2026 г. окончил очную аспирантуру ТУСУРа по направлению «Электроника, фотоника, приборостроение и связь», специальность 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2026 г. ТУСУРом.

Научный руководитель – Шарангович Сергей Николаевич, к.ф.-м.н., ст. науч. сотр., профессор кафедры СВЧиКР ТУСУРа.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация Хмара Иоанна Владимировича является научно-квалифицированной работой, в которой содержатся результаты разработки сверхширокополосных коммутационных монолитных интегральных схем (МИС) для использования в контрольно-измерительной аппаратуре СВЧ.

Личный вклад автора в полученные результаты

Диссертация является итогом исследований и разработок, проводившихся автором совместно с соавторами опубликованных работ. Основные научные и практические результаты, выносимые на защиту, получены соискателем лично. Постановка целей исследования, определение путей их достижения и обсуждение результатов проводились совместно с научным руководителем. Личный вклад автора заключается в разработке схмотехнических и топологических решений, выборе методик исследований, проведении нелинейного и электродинамического моделирования в САПР, выполнении экспериментальных измерений опытных образцов, а также в обработке данных и подготовке материалов к публикации.

Степень достоверности результатов

Достоверность результатов проектирования и моделирования СВЧ-устройств подтверждается совпадением расчетных данных САПР с результатами экспериментальных исследований изготовленных опытных образцов в пределах инструментальных погрешностей и технологического разброса. Дополнительным подтверждением достоверности разработанных топологических решений на подложках арсенида галлия служит получение 7 свидетельств о государственной регистрации топологий интегральных микросхем (ТИМС).

Научная новизна диссертации

1. Разработаны схемотехнические и топологические решения для переключателей миллиметрового диапазона на базе технологии GaAs pHEMT, отличающиеся применением группы переходных отверстий для снижения паразитной индуктивности заземления, а также компенсацией индуктивности сигнальных линий за счет емкости копланарного зазора.

2. Разработано топологическое решение диплексерного переключателя на основе PIN-диодов, отличающееся интеграцией четвертьволнового шлейфа в единую структуру топологического конденсатора, обеспечивающего фильтрацию и развязку по постоянному току, а также введением цепи запирающего смещения для повышения линейности.

3. Разработана сосредоточенная структура диплексерного переключателя на основе полевых транзисторов, обеспечивающая снятие ограничений на октавную полосу пропускания высокочастотного канала и отличающаяся интеграцией LC-фильтров повышенного порядка с дополнительными коммутационными элементами для компенсации паразитных реактивностей СВЧ-топологии в диапазоне до 50 ГГц.

Практическая значимость

1. Разработана МИС поглощающего переключателя с рабочим диапазоном частот 10 МГц – 26,5 ГГц с вносимыми потерями менее 2 дБ, возвратными потерями в открытом состоянии более 12 дБ, в закрытом – более 7 дБ и межканальной развязкой более 27 дБ.

2. Предложена методика проектирования сверхширокополосных МИС SPDT-коммутаторов, послужившая основой для разработки двух переключателей: поглощающего типа до 50 ГГц и отражающего до 67 ГГц с общим уровнем вносимых потерь менее 3,4 дБ и межканальной развязкой более 32 дБ.

3. На базе предложенных топологических решений создана линейка из трех МИС диплексерных переключателей на основе PIN-диодов, обеспечивающих функционирование от постоянного тока до 26, 50 и 67 ГГц соответственно.

4. Разработан диплексерный переключатель на основе полевых транзисторов с рабочими диапазонами низкочастотного канала от постоянного тока до 4 ГГц и многооктавного высокочастотного канала 4–50 ГГц, обеспечивающий уровень межканальной развязки более 21 дБ.

Ценность научных работ соискателя

Научные работы соискателя имеют высокую ценность. Они подтверждаются многочисленными публикациями их результатов в рецензируемых журналах и материалах конференций, а также полученными патентом и свидетельствами ТИМС. Разработанные коммутационные МИС применяются в СВЧ-модулях контрольно-измерительной аппаратуры АО «НПФ «Микран».

Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа Хмара Иоанна Владимировича по своему содержанию соответствует специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии», п. 2. Исследование характеристик антенн и микроволновых устройств для их оптимизации и модернизации, что позволяет осваивать новые частотные диапазоны, обеспечивать электромагнитную совместимость, создавать высокоэффективную технологию и т. д.; п. 3. Исследование и разработка новых антенных систем, активных и пассивных микроволновых устройств, в том числе управляющих, фазирующих, экранирующих и других, с существенно улучшенными параметрами; п. 4. Исследование и разработка микроволновых интегрированных схем новых поколений.

Ценность научных работ соискателя, полнота изложенных материалов диссертации в печатных работах

По результатам проведенных исследований опубликовано 15 работ, в том числе 4 статьи в журналах из перечня ВАК, 3 публикации в сборниках международных и всероссийских конференций, получен 1 патент на изобретение и 7 свидетельств о государственной регистрации ТИМС.

Диссертация «Сверхширокополосные коммутационные монолитные интегральные схемы для контрольно-измерительной аппаратуры» Хмара Иоанна Владимировича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидат технических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Заключение принято на заседании кафедры СВЧиКР.

Присутствовало на заседании 8 чел. Результаты голосования: «за» – 8 чел., «против» 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 7, от «03» октября 2026 г.

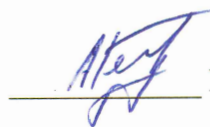
Председатель

д-р техн. наук, и.о. зав. каф. СВЧиКР

Секретарь

к.т.н., доцент каф. СВЧиКР

 Комнатнов М.Е.

 Безпальный А.Д.

Список публикаций соискателя Хмара Иоанна Владимировича

Публикации в журналах из перечня ВАК по специальности 2.2.14

1. **Хмара И.В.** Сверхширокополосный pin-диодный диплексерный переключатель на GaAs / **И.В. Хмара**, Д.С. Данилов, В.Н. Гребенюк, А.С. Загородний, С.Н. Шарангович // Доклады ТУСУР. – 2023. – Т. 26, № 3. – С. 27–31. DOI: 10.21293/1818-0442-2023-26-3-27-31.
2. **Хмара И.В.** SPDT-переключатели отражающего и поглощающего типа диапазона частот от 10 МГц до 67 ГГц на технологии 0,1 мкм GaAs-pHEMT / **И.В. Хмара**, Д.С. Данилов, А.С. Загородний, С.Н. Шарангович // Доклады ТУСУР. – 2025. – Т. 28, № 3. – С. 7–13. DOI: 10.21293/1818-0442-2025-28-3-7-13.
3. **Хмара И.В.** Сверхширокополосный диплексерный переключатель диапазона 0–50 ГГц для контрольно-измерительной аппаратуры / **И.В. Хмара**, Д.С. Данилов, А.С. Загородний, С.Н. Шарангович // Доклады ТУСУР. – 2026. – Т. 29, № 1. – С. 75–81. DOI: 10.21293/1818-0442-2026-29-1-75-81.
4. Данилов Д.С. GaAs pHEMT усилитель распределенного усиления с диапазоном рабочих частот от 10 МГц до 35 ГГц / Д.С. Данилов, Ц.М. Батоев, Ю.А. Ламанов, **И.В. Хмара**, А.С. Загородний // Успехи современной радиоэлектроники. – 2026. – Т. 80, № 4. – С. 98–107. – DOI 10.18127/j20700784-202604-10.

Доклады в трудах международных конференций

5. **Хмара И.В.** Оценка параметров электронного калибратора для векторного анализатора цепей / **И.В. Хмара**, В.Г. Нечаев, Д.С. Данилов, А.С. Загородний, О.В. Кравченко // Научная сессия ТУСУР-2022: Материалы межд. науч.-тех. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск – 2022.: в 3 ч. – Ч. 1. – С. 74–78.
6. **Хмара И.В.** Схемное решение для сверхширокополосных переключаемых GaAs pin-диодных диплексеров // Научная сессия ТУСУР-2023: Сб. избр. статей межд. науч.-тех. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 ч. – Ч. 1. – Томск: ТУСУР; В-Спектр, 2023. – С. 72–77.
7. **Хмара И.В.** SPDT-переключатель поглощающего типа диапазона частот 0,01-20 ГГц на технологии 0,15 мкм GaAs-pHEMT / **И.В. Хмара** // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2025. – № 1-1. – С. 140-142.

Патент на изобретение

8. Патент № 2832689 С1 РФ, МПК G01R 23/165, H01P 1/15. Сверхширокополосный pin-диодный диплексерный переключатель / В.Н. Гребенюк, Д.С. Данилов, А.С. Загородний, **И.В. Хмара**, А.Н. Парханюк. – № 2024114564; заявл. 29.05.2024; опубл. 27.12.2024, Бюл. № 36. – 8 с.

Свидетельства о государственной регистрации Топологий интегральных микросхем

9. Св-во о гос. регистрации ТИМС № 2024630079. Переключатель диплексерный MD229V02 / Д.С. Данилов, В.Н. Гребенюк, **И.В. Хмара**. – Заявка № 2024630074. Дата поступления 16 апреля 2024 г. Зарегистрировано в Реестре ТИМС 23 апреля 2024 г.
10. Св-во о гос. регистрации ТИМС № 2024630080. Переключатель диплексерный MD230V02 / Д.С. Данилов, В.Н. Гребенюк, **И.В. Хмара**. – Заявка № 2024630075. Дата поступления 16 апреля 2024 г. Зарегистрировано в Реестре ТИМС 23 апреля 2024 г.
11. Св-во о гос. регистрации ТИМС №2024630271. Переключатель МР233 / **И.В. Хмара**, Ц.М. Батоев, В.Н. Гребенюк, Ю.А. Ламанов – Заявка № 2024630284. Дата поступления 4 декабря 2024 г. Зарегистрировано в Реестре ТИМС 11 декабря 2024 г.
12. Св-во о гос. регистрации ТИМС №2025630182. Переключатель МР236 / **И.В. Хмара**, Д.С. Данилов, А.С. Загородний, В.Н. Гребенюк. – Заявка № 2025630180. Дата поступления 14 июля 2025 г. Зарегистрировано в Реестре ТИМС 24 июля 2025 г.
13. Св-во о гос. регистрации ТИМС №2025630135. Переключатель МР237 / **И.В. Хмара**, Д.С. Данилов, А.С. Загородний, В.Н. Гребенюк. – Заявка № 2025630128. Дата поступления 23 мая 2025 г. Зарегистрировано в Реестре ТИМС 02 июня 2025 г.
14. Св-во о гос. регистрации ТИМС №2026630158. Калибратор электронный ЕСАL-67 / **И.В. Хмара**, Д.С. Данилов, Ц.М. Батоев, А.Е. Левковский. – Заявка № 20256630152. Дата поступления 01 июля 2026 г. Зарегистрировано в Реестре ТИМС 08 июля 2026 г.
15. Св-во о гос. регистрации ТИМС № 2026630159. Переключатель диплексерный DIP-4 / **И.В. Хмара**, Д.С. Данилов, В.Н. Гребенюк. – Заявка № 2026630153. Дата поступления 01 июля 2026 г. Зарегистрировано в Реестре ТИМС 08 июля 2026 г.