

Разработка модельного ряда миниатюрных высокостабильных СВЧ генераторов С и Х диапазонов на отечественной элементной базе

Работа проведена в 2020 году в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы» в период с 01 января 2020 г. по 30 ноября 2020 г.

Соглашение о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидии № 075-15-2019-1947 от 18 декабря 2019 г. (номер 05.607.21.0324) (этап 2)

Уникальный идентификатор соглашения: RFMEFI60719X0324.

Научный руководитель проекта: профессор каф ВМСС, к.т.н., профессор Геворкян Владимир Мушегович

Ответственный исполнитель: доцент каф. ВМСС, к.т.н., доцент Михалин Сергей Николаевич

Цели выполнения ПНИЭР

Разработка миниатюрных высокостабильных СВЧ генераторов С и Х диапазонов на отечественной элементной базе для решения проблемы обеспечения импортозамещения генераторных устройств СВЧ диапазона, предназначенных для решения задачи комплектации изделий специального назначения.

Основные результаты ПНИЭР

В 2020 г. в рамках 2 этапа с в период 01.01.2020 — 30.11.2020 проведены следующие работы:

За счет средств субсидии:

- 2.1. Разработка технической документации на экспериментальную установку для измерения добротности резонатора колебательной системы генератора, превышающей 15000 в Х диапазоне частот на основе стандартного анализатора цепей и специальной измерительной секции.
- 2.2 Изготовление экспериментальной установки для измерения добротности резонатора колебательной системы генератора, превышающей 15000 в Х диапазоне частот.
- 2.3 Разработка алгоритма изготовления кольца фазовой автоподстройки частоты с опорой на фазовый дискриминатор на диэлектрическом резонаторе и с применением цифровой низкочастотной фильтрации сигнала ошибки.
- 2.4 Разработка узла фазового дискриминатора на основе диэлектрического резонатора с обеспечением режима термокомпенсации ухода резонансной частоты.
- 2.5 Разработка системы компенсации механических воздействий на частоту фазового дискриминатора.
- 2.6. Разработка эскизной конструкторской документации на макеты генераторов с фазовой подстройкой частоты в Х и С диапазонах.
- 2.7 Изготовление макетов генераторов с фазовой подстройкой частоты в Х и С диапазонах.
- 2.8 Разработка программы и методик исследовательских испытаний макетов генераторов с фазовой подстройкой частоты в Х и С диапазонах.
- 2.9 Исследовательские испытания макетов генераторов с фазовой подстройкой частоты в Х и С диапазонах.
- 2.10 Анализ полученных результатов ПНИЭР в сравнении с современным научно-техническим уровнем, рекомендации по реализации разработанных технических и технологических решений.

2.11 Разработка проекта технического задания на проведение ОКР «Разработка модельного ряда миниатюрных высокостабильных СВЧ генераторов С и Х диапазонов для комплектации изделий специального назначения».

За счет средств промышленного партнера:

2.12 Создание экспериментального участка для отработки сборки и отладки генераторных модулей.

2.13 Отработка технологии сборки и контроля качества генераторных модулей.

2.14 Доработка технической документации.

При этом были получены следующие результаты:

Для создания высокодобротных колебательных систем, а также для построения кольца фазовой автоподстройки частоты на основе диэлектрического резонатора, разработана методика измерения собственной добротности открытых диэлектрических резонаторов при ожидаемом уровне добротности выше 15000. Разработан алгоритм измерения собственной добротности открытого диэлектрического резонатора выше 15000. На основе численного моделирования, а также экспериментальных исследований, получены результаты, подтверждающие корректность предложенной методики, спроектирована, построена и экспериментально исследовано специализированное измерительное устройство. Создана экспериментальная установка для измерения добротности открытого диэлектрического резонатора выше 15000.

На основе разработанной методики проектирования колебательной системы генераторов созданы макетные образцы генераторов на основе отечественной элементной базы. Разработаны модели генераторов С и Х диапазонов, управляемых напряжением с уровнем фазовых шумов от минус 80 до минус 90 дБ/Гц при отстройке от несущей на 10 кГц, для создания генераторов с фазовой автоматической подстройкой частоты. Экспериментальные исследования подтвердили характеристики образцов на заявленном уровне. Использование высокодобротных диэлектрических резонаторов позволило достичь уровня ниже 80 дБ/Гц при отстройке на 10 кГц, что соответствует требованиям технического задания.

Разработан принцип построения петли фазовой подстройки частоты генератора, управляемого напряжением, с опорой на дискриминатор, образованный высокодобротным открытым диэлектрическим резонатором на низшем виде колебаний. Разработан узел дискриминатора фазовой подстройки частоты генератора, управляемого напряжением. Также разработан узел фазового дискриминатора на основе открытого диэлектрического резонатора с обеспечением режима термокомпенсации ухода резонансной частоты. Проведенные исследования позволили установить оптимальные параметры высокодобротной резонансной системы дискриминатора. Применение механизмов термостабилизации и компенсации акустических шумов на основе применения активной цепи в обратной связи позволило обеспечить стабильность работы и, соответственно, требуемый уровень фазовых шумов генератора, охваченного кольцом фазовой автоподстройки частоты, в диапазоне температур и при наличии эмиссии акустических шумов.

Созданы макеты генераторов С и Х диапазонов с фазовой подстройкой частоты с опорой на дискриминатор на открытом диэлектрическом резонаторе с уровнем спектральной плотности мощности фазовых шумов 100 дБ/Гц при отстройке от несущей на 10 кГц. Экспериментальные исследования макетов генераторов, охваченных кольцом фазовой автоподстройки частоты на основе высокодобротного диэлектрического резонатора, позволили подтвердить уровень фазовых шумов не выше -105 дБ/Гц при отстройке на 10 кГц, что позволяет достичь мирового уровня на отечественной элементной базе.

На предприятии — индустриальном партнере (ООО «Радиокомп») создана и оснащена производственная линия, предназначенная для серийного производства разрабатываемых генераторов, проведена отработка технологии сборки и контроля качества генераторных модулей.

Оценка элементов новизны полученных результатов работ по этапу

- Предложенные технические решения построения генераторов С и Х диапазонов с фазовой подстройкой частоты с опорой на дискриминатор на открытом диэлектрическом резонаторе являются паллиативным вариантом построения генераторов с низким уровнем шумов на отечественной элементной базе устройств СВЧ, предназначенным для обеспечения задач импортозамещения в устройствах специального назначения.

- Разработан принцип построения генератора, управляемого напряжением характеризуется новизной и существенными отличиями и защищен патентом РФ на изобретение (№ 2733204 регистрация 30.09.20 Оpubл. БИ 28 от 30.09.20 г. Заявка №2019145382/07(087548) от 31.12.19).

- Разработан способ измерения добротности диэлектрического резонатора (Решение от 1.12.20 г. о выдаче патента по Заявке на патент на изобретение №2020125072 /28 (043429) от 28.07.20).

Опубликованы следующие статьи:

- Gevorkyan V.M., Mikhailin S.N. Recommendations for the Drift Thermal Compensation of the Oscillator Frequency Using a Dielectric Resonator // (2020) Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85084525555&doi=10.1109%2fIEEECONF48371.2020.9078621&partnerID=40&md5=5fba565ac3d3aa7a57d3cd9eff307e9> DOI: 10.1109/IEEECONF48371.2020.9078621

- Gevorkyan V.M., Kochemasov V.N., Kazantsev Y.A., Mikhailin S.N., Chenakin A.V. Modeling of The Microwave Oscillator Steady-State Mode, which Use a Dielectric Resonator// (2020) Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2020, <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85091505608&doi=10.1109%2fSYNCHROINFO49631.2020.9166117&partnerID=40&md5=99259c4e01a734be181fc75e218bbc6f> DOI: 10.1109/SYNCHROINFO49631.2020.9166117

- Kochemasov V.N., Gevorkyan V.M., Mikhailin S.N., Soloukhin Yu.E., Chenakin A.V. Microwave Voltage Controlled Oscillators on the Base of MicroAssembles with Dielectric Resonator // (2020) Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2020, <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85091495169&doi=10.1109%2fSYNCHROINFO49631.2020.9166113&partnerID=40&md5=d8ed88058667546744ab7f0f0a4ca6bf> DOI: 10.1109/SYNCHROINFO49631.2020.9166113

- Gevorkyan V.M., Kazantsev Y.A. Low Noise Oscillator Based on a Conventional Dielectric Resonator // (2020) Microwave Journal, 63 (10). <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85095127692&partnerID=40&md5=a4879860c0848eec9c884917445710f7>

Проведена популяризация полученных результатов проекта на мероприятиях:

- конференция 2020 Systems of signals generating and processing in the field of on board communications, 19-20 марта 2020 г., Москва, Россия

- конференция Электрооборудование нового поколения на базе оптических и цифровых технологий. Перспективы развития и эффекты от применения, 22 июня 2020 г., Москва, Россия

- конференция XXX Международная научно-практическая конференция "Российская наука в современном мире", 31 мая 2020 г., Москва, Россия

- конференция Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности, 29-30 апреля 2020 г., Казань, Россия

- VII Национальная выставка ВУЗПРОМЭКСПО, 10-11 ноября 2020 г., Москва, Россия
- конференция Информатизация инженерного образования, 14 апреля 2020 г., Москва, Россия
- конференция Электромагнитное поле и материалы, 27 ноября 2020 г., Москва, Россия
- урок для Московской электронной школы «Высокодобротные резонансные системы»

Полученные результаты полностью соответствуют техническим требованиям к выполняемому проекту.

Область применения результатов проведения исследований и возможная форма коммерциализации полученных результатов заключается в выпуске на основе проведенной разработки стабильных СВЧ генераторов коммерческого и специального назначения для связанных систем бортового и наземного размещения.

В настоящее время наблюдается устойчивый интерес к проектированию и внедрению в производство высокостабильных генераторов все более высокого частотного диапазона (С, затем Х с перспективой перехода на еще более высокие частоты). В частности, ставится задача оснащения искусственных спутников Земли высокостабильными генераторами с низким уровнем фазовых шумов для повышения разрешающей способности систем зондирования Земли из космоса. Также высокостабильные генераторы востребованы в системах связи, навигации и радиолокации.

Организации - индустриальному партнеру переданы лицензии на следующие результаты интеллектуальной деятельности:

5.1. Программа для расчета топологии генератора с параллельной обратной связью № 2020614283 от 27.03.2020 г. РФ Заявка № 2020613222 от 20.03.20

5.2. Изобретение патент № 2733204 от 30.09.20 Оpub. БИ 28 от 30.09.20 г. Генератор СВЧ управляемый напряжением. РФ. Заявка №2019145382/07(087548) от 31.12.19

НИУ «МЭИ» совместно с индустриальным партнером ООО «Радиокомп» планируют проектирование и внедрение в серийное производство десяти литер генераторов Х и С диапазонов на отечественной элементной базе.

Оценка перспектив продолжения работ по проекту

Проведение ОКР в продолжение ПНИЭР и внедрение разработанных на его основе отечественных устройств в электронные изделия понизит зависимость отечественных производителей СВЧ устройств от ограничений на поставку зарубежной элементной базы и комплектующих изделий.

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства по Соглашению на отчетном этапе исполненными надлежащим образом.