

3. Кировская И. А. Поверхностные свойства алмазоподобных полупроводников. Твёрдые растворы. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1984. 116 с.
4. Кировская И. А., Миронова Е. В., Леонтьева Н. Н., Леонов В. Е., Блесман А. И., Полонянкин Д. А., Юрьева А. В. Получение и физико-химические исследования новых адсорбентов на основе системы CdSe-ZnS // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. 2015. № 1 (137). С. 236–240.
5. Кировская И. А. Твёрдые растворы бинарных и многокомпонентных полупроводниковых систем: моногр. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. 400 с.
6. Кировская И. А., Миронова Е. В., Косарев Б. А., Григан А. А., Леонов В. Е. The Activity of New Materials Surfaces – ternary Semi-conductors with Cationic and Anionic Substitution // Procedia engineering. 2015. Vol. 113. P. 446–450.
7. Крылов П. Н., Гильмутдинов Ф. З., Романов Э. А., Федотова И. В. Влияние термоотжига на оптические свойства нанокристаллических плёнок сульфида цинка // Физика и техника полупроводников. 2011. Т. 45, № 11. С. 1571–1575.
8. Макаревич Н. А., Богданович Н. И. Теоретические основы адсорбции: учебное пособие / Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М. В. Ломоносова. Архангельск: САФУ, 2015. 362 с.
9. Сенокосов Э. А. [и др.]. Катодоллюминесценция фоточувствительных слоёв CdSe, выращенных в квазизамкнутом объёме // Неорганические материалы. 2012. Т. 48, № 12. С. 1299–1302.
10. Софронов Д. С. [и др.]. Влияние условий осаждения на размер и оптические свойства частиц ZnS // Неорганические материалы. 2014. Т. 50, № 7. С. 703–707.
11. Степанов Е. М. Исследование фотоллюминесценции коллоидных квантовых точек на основе халькогенидов металлов // Молодой учёный. 2015. № 9. С. 56–60.

УДК 621.373

## МЕТОДИКА ПРОВЕРКИ КВАРЦЕВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

К. О. Николайчук<sup>1</sup>, А. В. Щелканов<sup>2</sup><sup>1</sup>ООО «Мэдджик Кристалл», г. Омск, Россия<sup>2</sup>Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

**Аннотация.** При серийном производстве кварцевых генераторов актуальна задача их проверки. В статье описана методика, позволяющая осуществить их испытание на провал активности. Методика заключается в следующем: в камере тепла-холода кварцевый генератор выдерживается при температуре – 60 °С, после чего на него кратковременно подаётся питание, с последующим измерением частоты его выходного сигнала. Кратковременное включение и выключение приводит к плавному нагреву пьезоэлемента. Описанный способ позволяет определять провал активности кварцевого резонатора. Приведены структурная схема установки, реализующей данную методику, и результаты испытаний кварцевых генераторов.

**Ключевые слова:** генератор, провал активности, мода колебаний, кварцевый резонатор.

DOI: 10.25206/2310-4597-2019-1-151-156

### I. ВВЕДЕНИЕ

Кварцевые генераторы как наиболее стабильные частотозадающие устройства применяются в различных областях техники, таких как навигация, радиолокация, метрология, телекоммуникация. Качество и устойчивость радиосвязи, точность измерения электрических и неэлектрических величин, определение координат, требует стабильный, надёжный источник опорных колебаний.

Расширение областей применения кварцевых генераторов и ужесточение условий эксплуатации привело к повышению технических требований к ним. Термодинамический эффект, кратковременная нестабильность, долговременная нестабильность, повышение температурной стабильности, минимальный силовой коэффициент частоты – все эти параметры существенно улучшились с появлением двухповоротных срезов кварцевых резонаторов. Широкое применение в термостатированных кварцевых генераторах получили срезы типа SC и IT, которые практически вытеснили резонаторы других срезов.

В отличие от наиболее популярного одноповоротного AT-среза, двухповоротные имеют основное преимущество – меньшее влияние механических и температурных воздействий на частоту кварцевого генератора. Однако наряду с достоинствами двухповоротные срезы имеют и недостатки: им свойственны сложная процеду-

ра распиловки кристалла на пластины и недостаточная моночастотность. Последний недостаток является существенным, он связан с высокой активностью побочных колебаний.

## II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В пьезоэлементах с двухповоротным срезом, угол  $\alpha$  и  $\beta$  определяет ориентацию пластины относительно осей кварца. Перпендикулярное плоскости среза электрическое поле возбуждает три компоненты деформаций. Возникшие толщинные колебания, которые называются А, В и С, приводят к ухудшению частотного спектра кварцевых резонаторов [1].

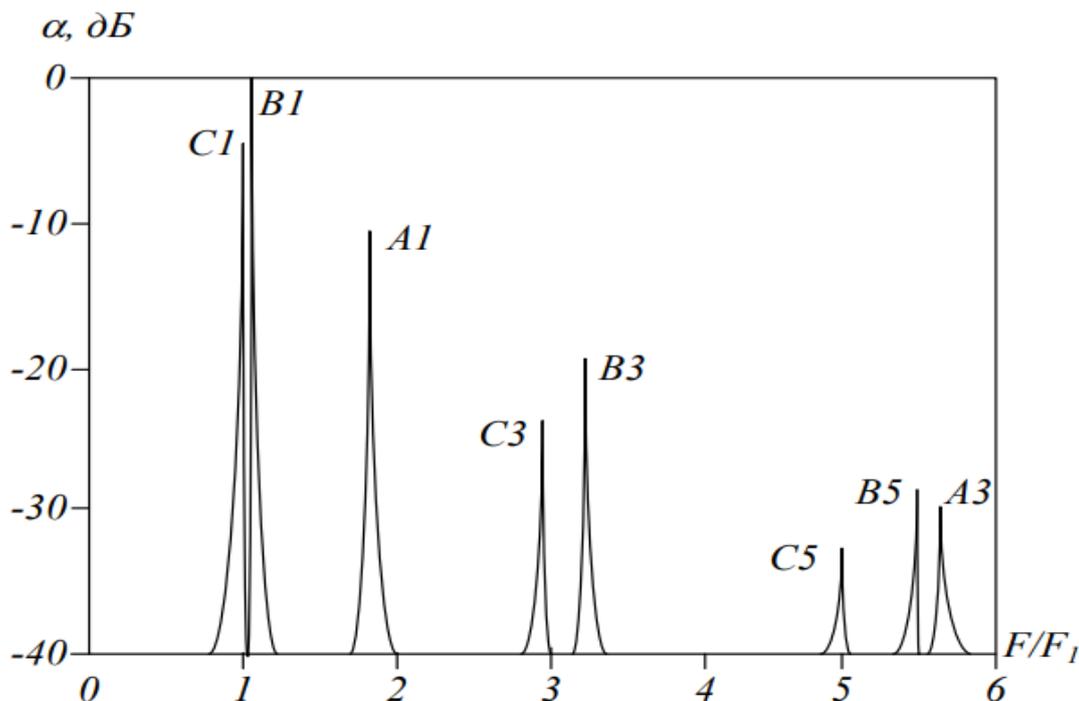


Рис. 1. Спектр частот кварцевого резонатора SC-среза

На рис. 1 отражен спектр мод кварцевого резонатора SC-среза. Тип возбуждаемой моды обозначен буквами, а номер гармоники – цифрами [2]. Спектр нормирован к наиболее активной моде B1, которая расположена на 8–10% выше от основной моды C1.

Из-за низкого динамического сопротивления и близкого расположения побочной частоты затрудняется устойчивое возбуждение колебаний на частоте рабочего резонанса. Для подавления побочных колебаний применяют различные технические методы. Один из них – использование LC-контура, который настраивается на частоту рабочего резонанса, на нужную С-моду. Несмотря на то что использование LC-контура усложняет настройку кварцевого генератора, а также ухудшает температурную стабильность частоты, этот метод применяют многие производители кварцевых генераторов (как термостатированных, так и на базе резонатор-термостат).

Метод «динамической селекции» [3] основывается на замещении кварцевого резонатора эквивалентной электрической схемой, которая состоит из статической ёмкости  $C_0$  и параллельно подключенной цепи из динамических элементов: индуктивность  $L_q$ , ёмкость  $C_q$ , сопротивление  $R_q$ . Учитывая динамические параметры С-моды и В-моды, схему автогенератора рассчитывают таким образом, что при подаче питания скорость нарастания основного колебания С-моды превышает скорость нарастания колебания В-моды.

В кварцевых резонаторах, вне зависимости от количества углов поворота, типа среза кристалла, присутствуют сдвиги, скачки, а также провалы активности [3, 4]. На рис. 2 показаны типичные провалы активности в зависимости частоты от температуры. Падение активности представляет собой резкое увеличение динамического сопротивления кварцевого резонатора в температуре.

На графике представлены три кривые одного и того же резонатора. Кривая  $R_1, f_R$  отражает зависимость частоты от температуры с подключенным последовательным сопротивлением и без нагрузочного конденсатора. Кривые  $R_{L1}, f_{L1}$  и  $R_{L2}, f_{L2}$  отражают зависимость частоты от температуры с подключенным последовательно сопротивлением и различных нагрузочных ёмкостей.

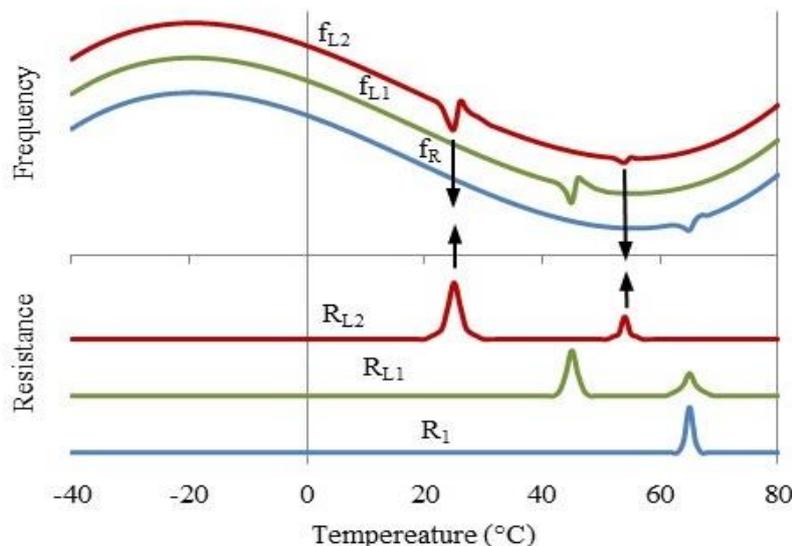


Рис. 2. Провалы активности кварцевого резонатора

Провалы активности обычно сильнее у низкочастотных резонаторов [5], работающих на основных гармониках. По данным разных источников [4, 5], провалы активности могут наблюдаться как в узких температурных диапазонах от 5 до 30 °С, так и в довольно широких – от 20 до 70 °С. Считается, что провалы активности вызваны мешающими механическими связями в кристалле кварца. Такие механические связи отбирают энергию от основных колебаний [4]. В работе [6] исследования с целью изучить причины провала моды В в узком температурном интервале велись для двухмодового кварцевого резонатора ТД-среза. Экспериментально было доказано, что причины провала побочного колебания связаны с акустическими взаимодействиями мод.

В результате можно сделать следующие выводы:

- все провалы активности отличаются от одного к другому кристаллу кварца и от схем включения кварцевого резонатора;
- старение кварцевого резонатора не оказывает на частотно-температурные формы провалов, и они стабильны во времени;
- провалы активности могут не быть обнаружены при стандартных процедурах проверки кварцевых генераторов;
- провалы активности могут привести к потере фазовой синхронизации и другим проблемам;
- необходимо выявлять резонаторы с провалами активности на стадии производства кварцевых генераторов.

### III. ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ

При поиске провалов активности кварцевого резонатора применяются различные методы. Один из методов [6] заключается в использовании камеры миниатюрного термостата и технологического генератора частот. Миниатюрный термостат позволяет достаточно точно (с точностью лучше 0.1 °С) регулировать температуру статирования, что позволяет с высокой долей вероятности обнаружить провалы активности кварцевого резонатора. Такой метод пригоден только в экспериментальных целях, так как возможности использовать его в серийном производстве нет.

Другой метод заключается в использовании камеры тепла-холода с регулируемой скоростью изменения температуры 1.25 °С в минуту и лучше. Большинство установок не имеют такой функции, а если же имеют, то стоят очень дорого, и вопрос о поддержании температуры с высокой точностью в большом объеме остаётся открытым.

Анализ проблемы провалов активности кварца, изучение различных научных источников, статей, результатов экспериментов привели к разработке новой методики проверки и отбраковки кварцевых генераторов в серийном производстве.

Методика заключается в следующем: кварцевый генератор выдерживается в камере тепла-холода при температуре –60 °С, после чего на него кратковременно подаётся питание и впоследствии измеряется частота выходного сигнала. Такое кратковременное включение и выключение приводит к плавному нагреву пьезоэлемента.

Ниже на рис. 3 приведена структурная схема установки для обеспечения методики «холодного старта».

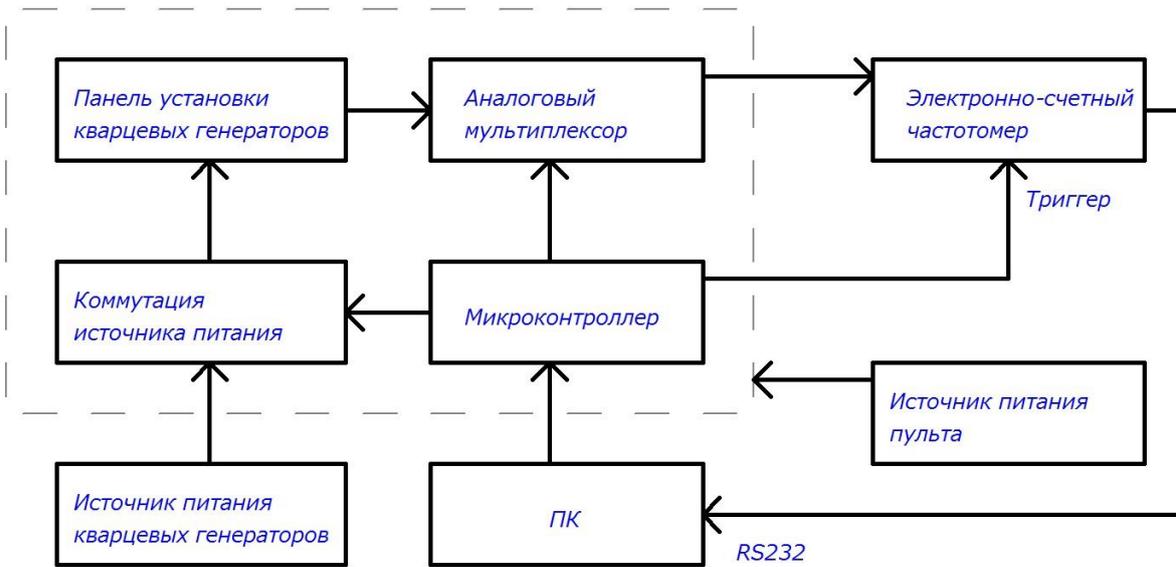


Рис. 3. Структурная схема установки «холодного старта»

Панель для установки кварцевых генераторов разрабатывается исходя из внутреннего объёма камеры тепла-холода. Пульт содержит панель для установки кварцевых генераторов, аналоговый мультиплексор для переключений выходов кварцевых генераторов на входной канал частотомера, коммутацию питания каждого генератора по отдельности и микроконтроллер.

Все настройки программы микроконтроллер получает от персонального компьютера с последующим управлением мультиплексором, коммутации питания кварцевых генераторов и частотомером для захвата в необходимый период времени выходного сигнала с генераторов. Частотомер по последовательному порту RS232 передаёт данные в персональный компьютер.

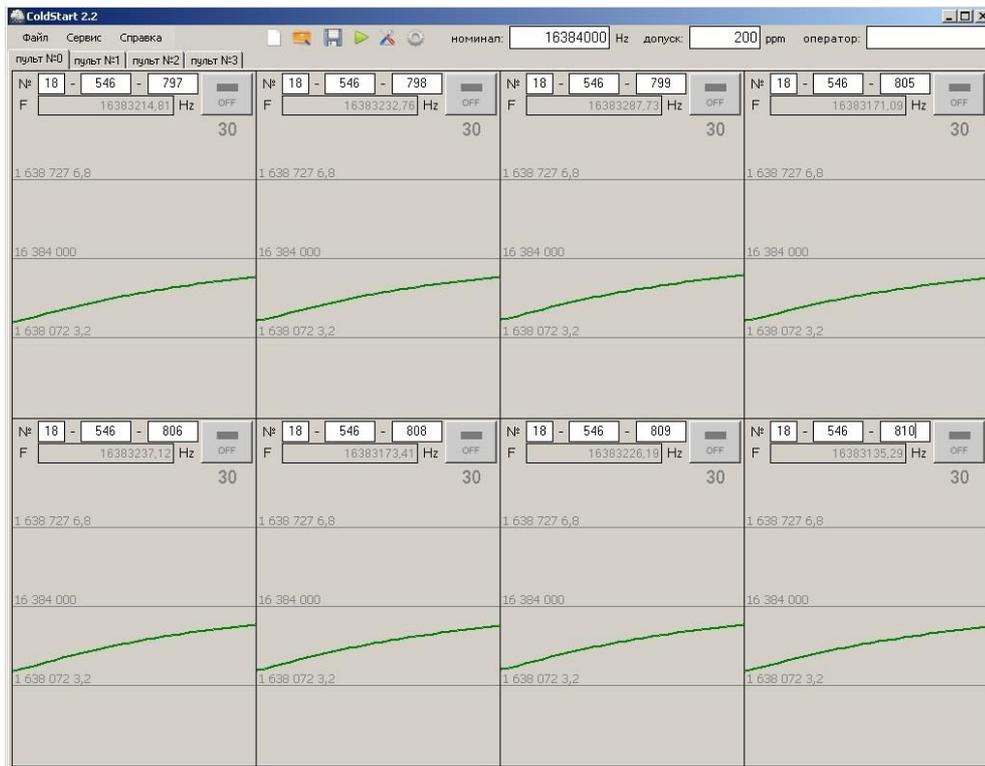


Рис. 4. Интерфейс программы «холодного старта»

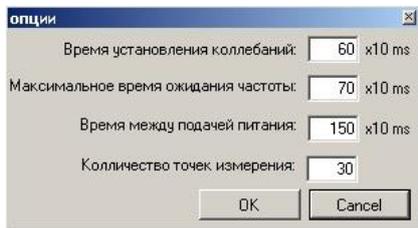


Рис. 5. Настройки программы «холодный старт»

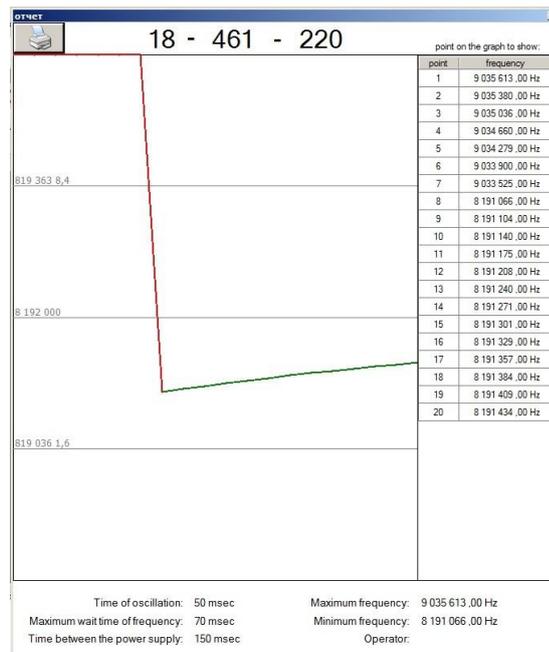


Рис. 6. Отображение отчёта

На рис. 6 содержится отчёт о работе кварцевого генератора. Такие отчёты о функционировании каждого протестированного изделия хранятся в базе, и при обнаружении провалов активности в большом количестве образцов из партии они подлежат дополнительному исследованию.

Из отчёта (рис. 6) видно, что кварцевый генератор работал на побочной В-моду с последующим перескоком на рабочую С-моду. Данный резонатор изготовлен из модифицированного SC-среза и работает на методе динамической селекции [3]. Исследуем его динамические параметры на С-моду и В-моду.

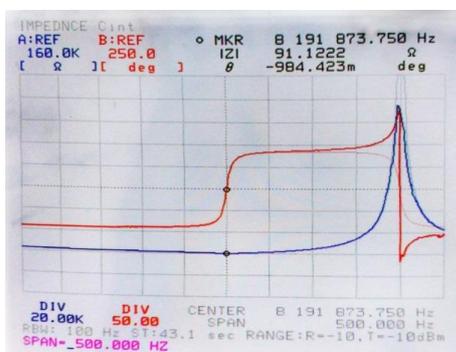


Рис. 7. Фазочастотная характеристика С-моды

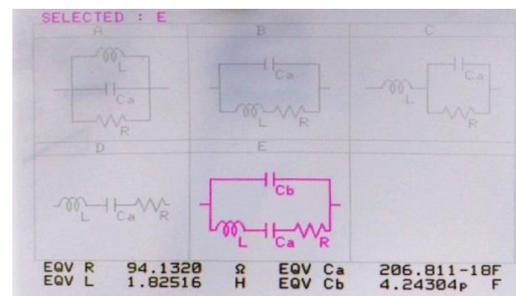


Рис. 8. Динамические параметры С-моды

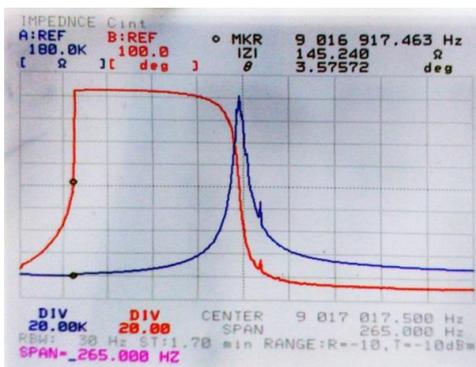


Рис. 9. Фазочастотная характеристика В-моды

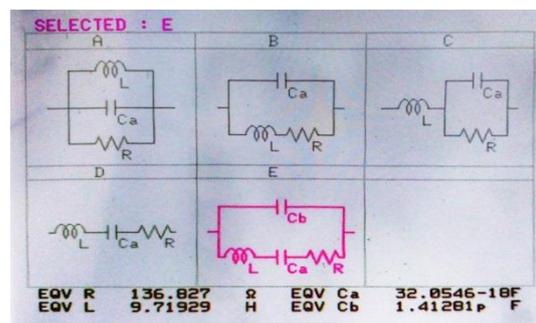


Рис. 10. Динамические параметры В-моды

Из параметров кварцевого резонатора видно, что его динамическое сопротивление побочной моды выше примерно в 1,5 раза, а динамическая индуктивность больше в пять раз. С такими параметрами побочной моды кварцевый генератор должен стабильно работать на основной моде.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение проблем провалов активности кварцевых резонаторов привело к созданию методики отбраковки изделий в серийном производстве. Метод «холодного старта» показал, что динамическая селекция не даёт полной уверенности в стабильной работе кварцевого генератора. Метод LC-контура тоже не всегда является гарантом стабильной работы, особенно в конструкции кварцевого генератора на базе резонатора-термостата, так как автогенератор находится за пределами термостатирования и подвержен уходу параметров с изменением окружающей среды, что может привести к провалам активности.

Метод «холодного старта» уже не первый год успешно применяется при производстве кварцевых генераторов фирмы ООО «Мэджик Кристалл».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кандыба П. Е., Поздняков П. Г. Пьезоэлектрические резонаторы. Справочник / Под ред. П. Г. Позднякова. М.: Радио и связь, 1992. 392 с.
2. John R. Vig. Quartz Crystal Resonators and Oscillators for Frequency Control and Timing Applications – A Tutorial // 2004 IEEE International Frequency Control Symposium Tutorials, May 2004.
3. Abramzon I., Baranushkin S., Gubarev A., Rotova O., Tapkov V. High-stability miniature OCXOs based on advanced IHR technology // Proceedings of 2007 IEEE International Frequency Control Symposium. 2007. P. 242–245.
4. Activity Dips in Crystal Oscillators APPLICATION NOTE QTAN-102. URL: <https://q-tech.com/wp-content/uploads/QTAN102-Activity-Dips-in-Crystal-Oscillators.pdf> (дата обращения: 20.02.2019).
5. Ballato A., Tilton R. Electronic Activity Dip Measurement // IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, March 1978. Vol. IM-27, no. 1. P. 59–65.
6. Хоменко И. В., Лепетаев А. Н., Косых А. В. Исследование нестабильности динамического сопротивления В-моды двухмодового кварцевого резонатора ТД-среза в интервале температур // Омский научный вестник. 2005. № 3 (32). С. 157–161.

УДК 621.396

### САМООРГАНИЗУЮЩАЯСЯ СЕТЬ НИЗКОСКОРОСТНЫХ РАДИОСИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ КОРОТКИХ СООБЩЕНИЙ СРЕДНЕВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА

П. И. Пузырёв, М. А. Квачев, В. А. Ерохин

*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

**Аннотация.** В работе обоснована применимость средневолнового диапазона частот для организации связи в малонаселённых территориях Российской Федерации, не покрытым сетями сотовой связи. Показано, что низкоскоростной средневолновый модем передачи коротких сообщений может обеспечить передачу сообщений в радиусе до 200 км. Целью работы является разработка концепции самоорганизующейся Mesh-сети, построенной на основе низкоскоростных модемов, которая позволит значительно увеличить зону покрытия и достоверность доставки сообщения. Представлены выражения для расчёта метрик с целью выбора наикротчайшего пути, учитывающих количество ретрансляций и минимальное отношение сигнал/шум на всем протяжении маршрута. Представлен алгоритм построения сети.

**Ключевые слова:** самоорганизующаяся сеть, mesh-сеть, метрика, средневолновый диапазон.

DOI: 10.25206/2310-4597-2019-1-156-160

#### I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на большей части территории Российской Федерации по-прежнему отсутствует полное покрытия сотовыми сетями связи, особенно в приполярных территориях. И если для многих населённых пунктов эта проблема решена, то за пределами населённых пунктов единственным средством связи остаются наземная УКВ, КВ радиосвязь и спутниковая связь. Однако во многих случаях необходимо поддерживать связь с удалёнными объекта-