

# Анализ сигналов и систем

УДК 621.396.61

## Разработка генератора опорной частоты цифрового вычислительного синтезатора на основе резонатора на поверхностных акустических волнах

Докторов А.Н., Матерухин С.Е., Сочнева Н.А.

В данной работе описаны основные этапы разработки высокочастотного маломощного генератора опорной частоты, имеющего в своем составе резонатор на поверхностных акустических волнах. Рассматривается эквивалентная схема ПАВ резонатора, составлена схемотехническая модель схемы генератора Колпица на его основе. Схемотехническое моделирование позволило проверить расчетные параметры элементов схемы ГОЧ. Разработана топология печатных плат задающего генератора с выходными частотами 304 и 433 МГц, приведены фотографии печатных плат с установленными элементами и результаты измерений спектральных характеристик.

**Ключевые слова:** генератор опорной частоты, цифровой вычислительный синтезатор, резонатор на ПАВ, поверхностные акустические волны.

Разработка и создание цифровых систем синтеза радиочастотных сигналов требует высококачественных маломощных генераторов опорной частоты (ГОЧ). Чем выше стабильность частоты и максимальная частота выходного сигнала ГОЧ, тем лучше условия работы цифрового вычислительного синтезатора (ЦВС), формирующего радиосигнал методом прямого цифрового синтеза.

Доступные сегодня ЦВС могут генерировать сигнал с частотой от менее 1 Гц до 400 МГц (при частоте тактового сигнала 1 ГГц). Высокая частота на выходе ГОЧ требуется для обеспечения режима прямого тактирования, когда отключаются встроенные умножители частоты тактового сигнала на системах фазовой автоподстройки частоты, и общая спектральная плотность мощности фазовых шумов ЦВС уменьшается [1-3]. Структурная схема, показывающая подключение высокочастотного генератора опорной частоты для прямого тактирования, показана на рис. 1. Для повышения мощности сигнала и согласования выхода генератора опорной частоты с тактовым входом ЦВС используется блок усилителя мощности.

В обычных случаях ГОЧ представляет собой кварцевый автогенератор, но его выходная частота не превышает 100 МГц. Генера-

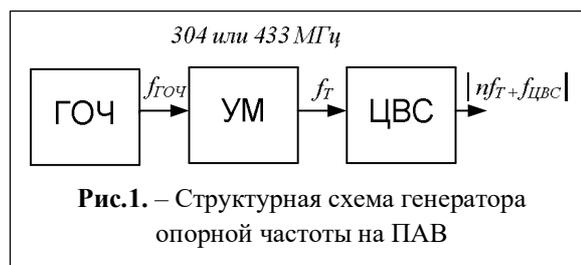
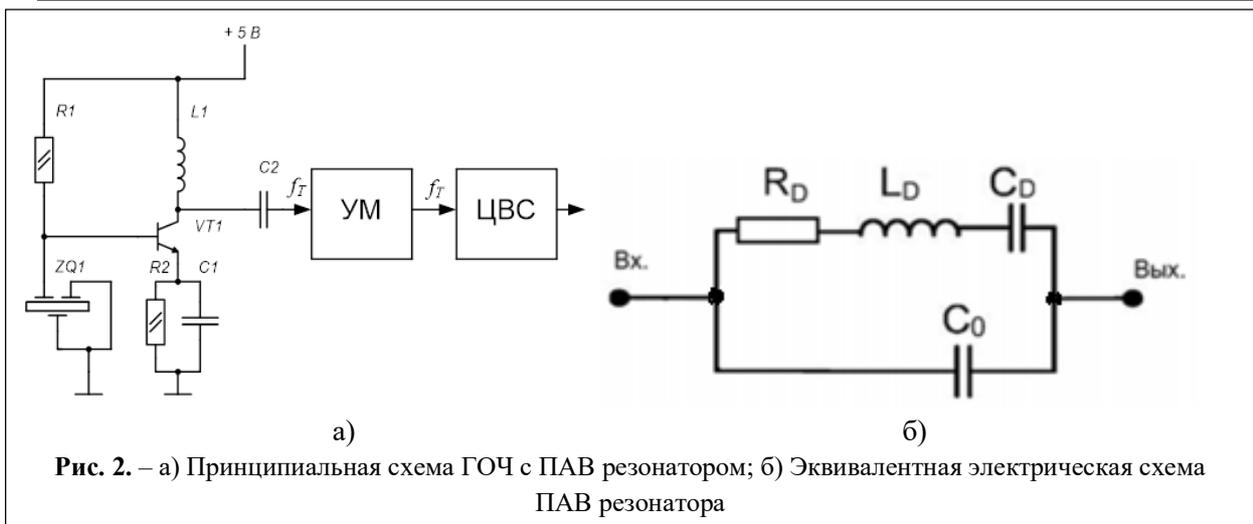


Рис.1. – Структурная схема генератора опорной частоты на ПАВ

торы на ПАВ (поверхностная акустическая волна) работают на частотах от 10 МГц до 3 ГГц, то есть более высоких, чем кварцевые генераторы. Добротность резонаторов несколько ниже кварцевых  $Q = 100-10000$ , несколько ниже и стабильность, определяемая материалом, из которого изготавливаются резонаторы - плавленый кварц. Зато они более технологичны и разнообразны по схемам, имеют малые габариты, массу, большую механическую прочность и дешевы при массовом производстве. Резонатор ПАВ представляет собой прямоугольную кварцевую пластину с нанесенным на ее поверхность рисунком из проводящих полосок с расстоянием между ними. Две соседние полоски образуют так называемый встречно-штыревой преобразователь ВШП. Расстояние между полосками определяет резонансную частоту преобразователя [4, 5].



Разработаем и исследуем генератор опорной частоты на ПАВ резонаторе с выходной частотой 304 МГц и 433 МГц. Принципиальная схема генератора опорной частоты построена на основе генератора Колпица. Как показано на рис. 2, а, ПАВ – резонатор подключен в базовой цепи транзистора. Для проведения схемотехнического моделирования с помощью программы MicroCAP использована эквивалентная электрическая схема ПАВ резонатора (рис. 2, б.), представляющая собой реактивный двухполюсник с динамической индуктивностью  $L_D$ , динамической емкостью  $C_D$ , статической емкостью  $C_0$  и сопротивлением  $R_D$ , характеризующим внутренние потери в резонаторе [6, 7]. На основе выражений, приведенных в [5], произведены расчеты параметров элементов эк-

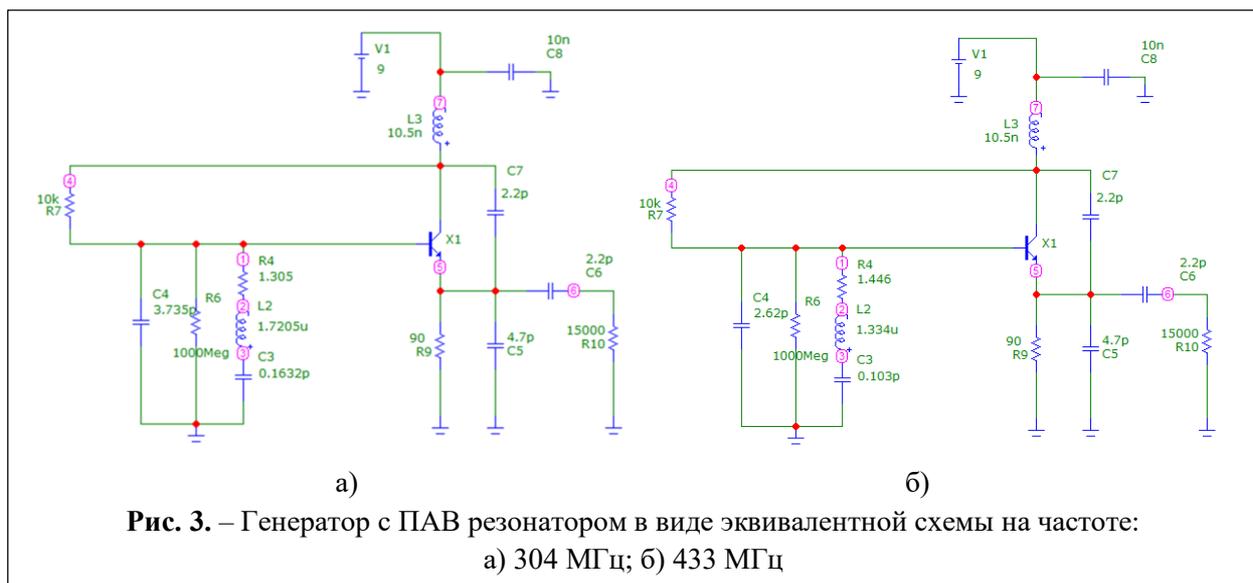
вивалентной схемы ПАВ-резонатора для частот 304 и 433 МГц. Результаты расчета приведены в таблице 1.

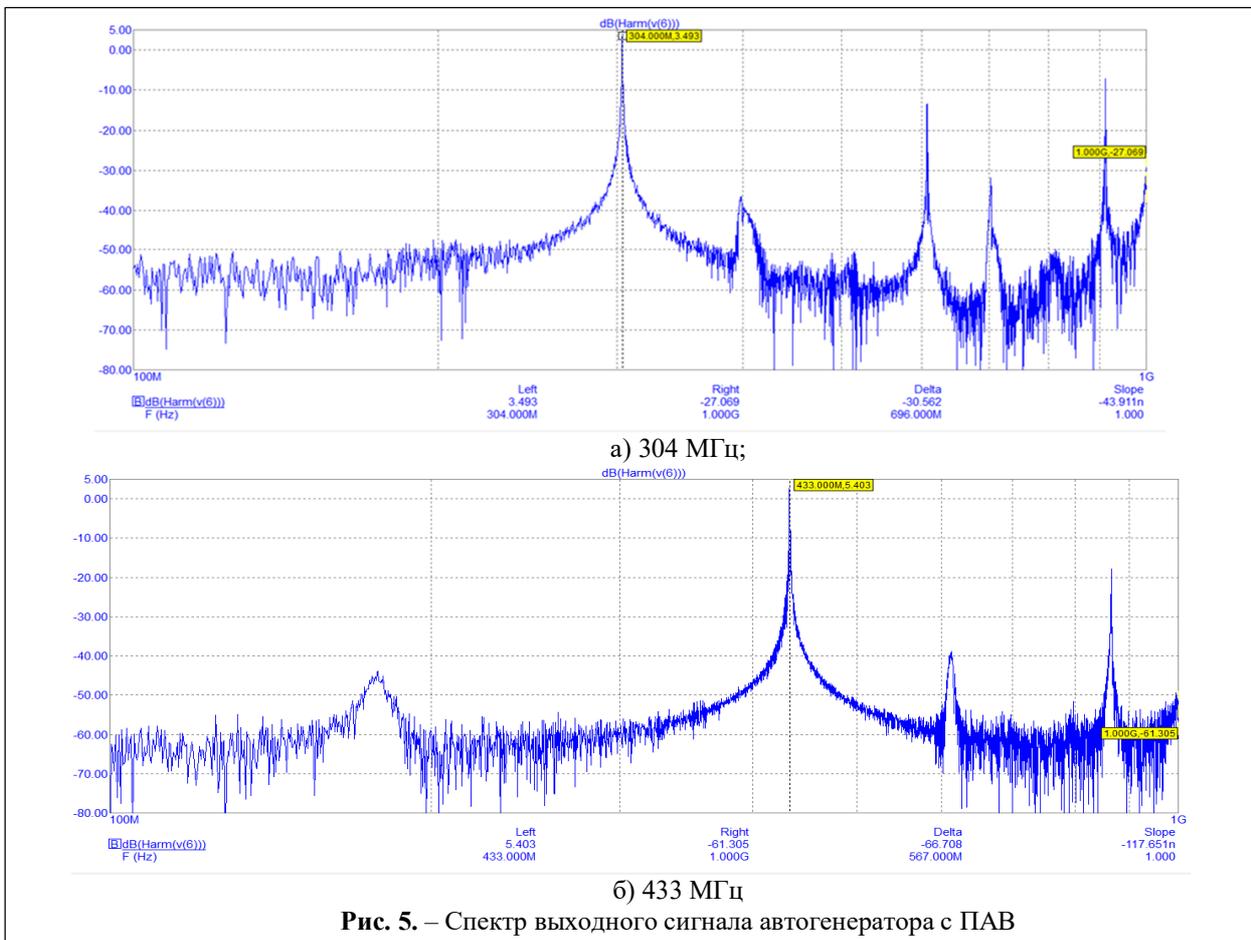
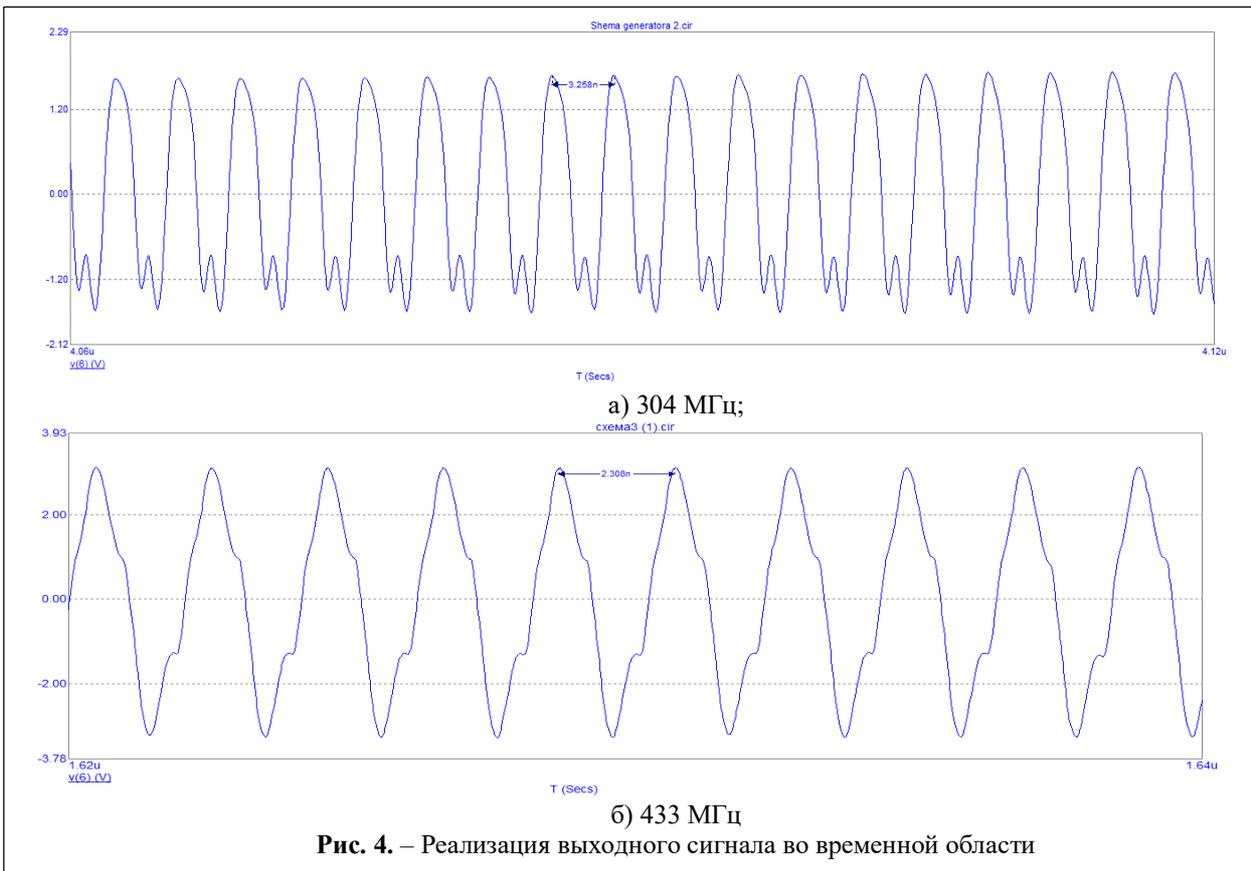
**Таблица 1.** Результаты расчета параметров элементов эквивалентной схемы резонатора

$f_a$ , МГц	$C_0$ , пФ	$C_D$ , пФ	$L_D$ , мкГн	$R_D$ , Ом
304	3.74	0.164	1.75	1.305
433	2.62	0.104	1.36	1.446

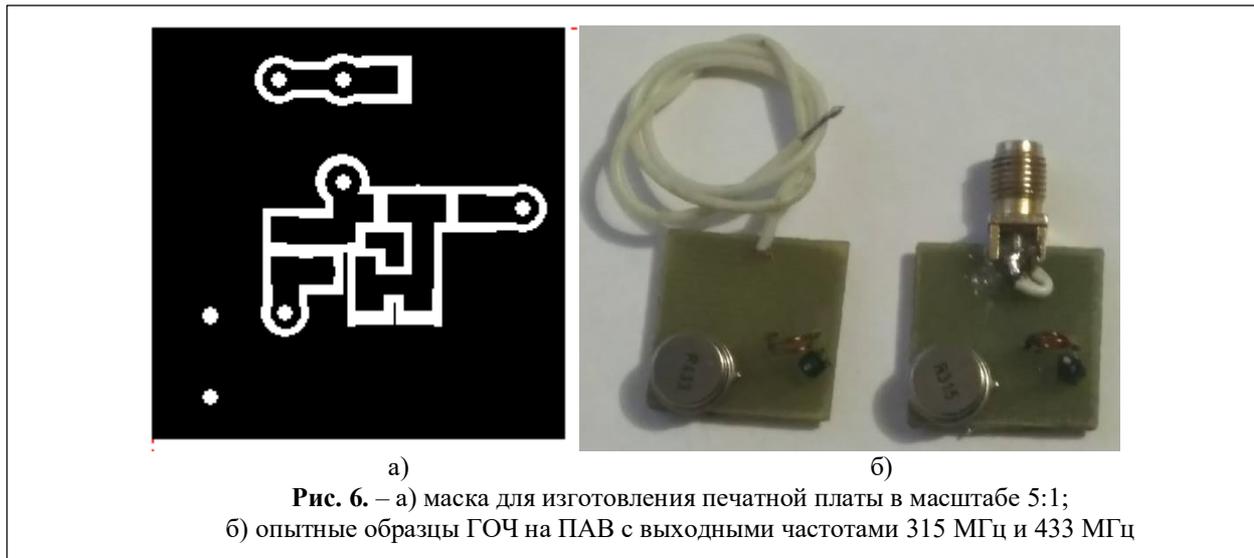
На рис. 3 представлены схемотехнические модели ГОЧ, выполненные в программе MicroCAP 12 [8] с эквивалентной схемой резонаторов на частоты 304 МГц и 433 МГц, по которым был проведен анализ переходных процессов во временной области.

Была получена реализация выходного сигнала схемотехнических моделей генераторов опорной частоты во временной обла-





сти (рис. 4), а также были построены спектры данных сигналов, они приведены на рис. 5.



В предварительных исследованиях по данной теме выяснено, что для работы отладочного модуля с ЦВС AD9910 необходима высокая мощность выходного сигнала ГОЧ, в случае если форма данного сигнала - синусоидальная. Ориентировочная мощность выходного сигнала ГОЧ в зависимости от частоты приведена в таблице 2.

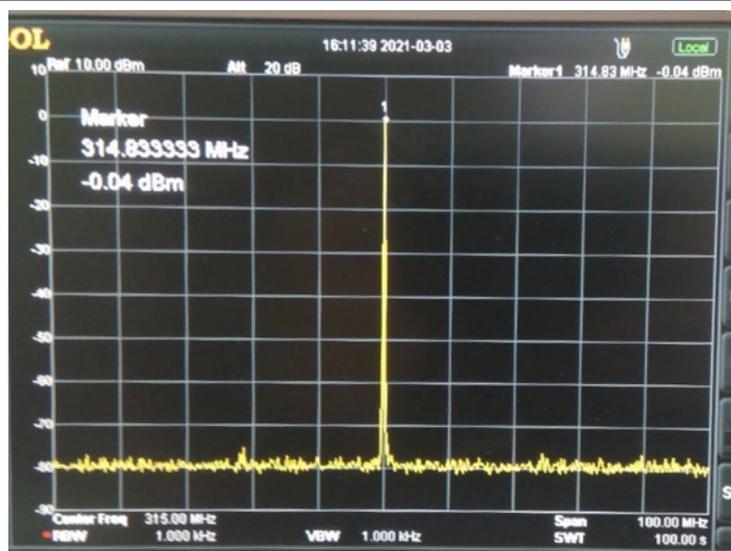
**Таблица 2.** Требуемые уровни мощности тактового сигнала ЦВС в зависимости от частоты

Частота ГОЧ, МГц	Мощность сигнала для тактового входа ЦВС AD9910, дБм
304	+10
433	+15
608	+20
866	+30
1000	+35

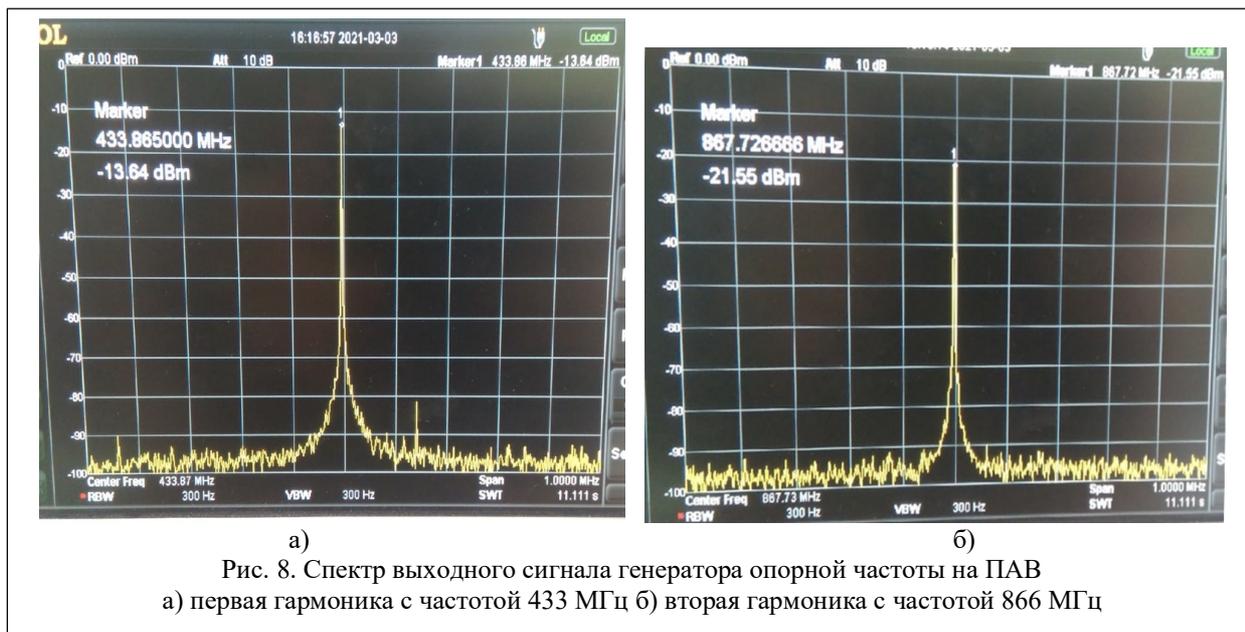
Сигнал генератора с частотой 304 МГц необходимо усилить перестраиваемым усилителем мощности, выставив дополнительное усиление на величину 6,51 дБ, а с частотой 433 МГц необходимо усилить перестраиваемым усилителем мощности, выставив дополнительное усиление на величину 9,6 дБ.

Для экспериментальной проверки работоспособности были изготовлены опытные образцы генераторов опорной частоты на ПАВ с выходными частотами 315 МГц и 433 МГц. Топология печатных плат и внешний вид изготовленных ГОЧ приведены на рис. 6. В схемах использован высокочастотный smd-транзистор 2CS3356 с граничной частотой 7 ГГц.

Спектры выходных сигналов данных



**Рис. 7.** – Спектр выходного сигнала генератора опорной частоты на ПАВ с частотой 315 МГц



ГОЧ, измеренные с помощью спектроанализатора Rigol DSA1030A, показаны на рис.7-8.

На практике мощность генератора на 315 МГц составила 0 дБм, что меньше расчётной на 3.49 дБм. На частоте 433 МГц мощность меньше расчётной на 19.05 дБм, однако, стоит отметить, что для замера мощности в генераторе на эту частоту использовалась антенна вместо коаксиальной линии (Рис. 8). На второй гармонике генератор на 433 МГц показал сигнал с частотой 868 МГц и уровнем мощности -21.55 дБм, что так же существенно ниже необходимого уровня.

Таким образом, были разработаны математические модели генераторов опорной частоты на ПАВ резонаторах с выходной частотой 304 МГц и 433 МГц. В ходе исследования была получена реализация выходного сигнала во временной области и его спектр. Расчеты реализованы в реальные опытные образцы генераторов опорной частоты на ПАВ с выходными частотами 315 МГц и 433 МГц.

По результатам исследований изготовленных макетов ГОЧ на ПАВ резонаторах можно сделать вывод, что сигнал генератора с частотой 304 МГц необходимо усилить перестраиваемым усилителем мощности на величину 10 дБм. Кроме того, необходимо произвести повторные исследования выход-

ного сигнала ГОЧ с частотой 433 МГц, заменив антенну на коаксиальный кабель и согласовав выход генератора ГОЧ с 50-ти омным входом спектроанализатора.

### Литература

1. Опорный генератор для СЧ и ВЧ синтезаторов радиочастот [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.cqf.su/technics/technics4-2.html>, свободный – (10.05.2020)
2. Устройства генерирования и формирования сигналов [Электронный ресурс]: научно образоват. модуль в системе дистанц. обучения Moodle / М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); авт.-сост. С. А. Гудков, А. А. Потудинский. - Электрон. текстовые и граф. дан. - Самара, 2013. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM)/
3. Ромашов, В.В. Моделирование шумовых характеристик гибридных синтезаторов частот / В.В. Ромашов, Л.В. Ромашова, К.К. Храмов, А.Н. Докторов, К.А. Якименко // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2014. - №1 – С.5-20
4. АО «Научно-исследовательский институт «Элпа» // [www.elpariezo.ru](http://www.elpariezo.ru) (дата обращения: 25.11.2020)
5. Дворников А. А., Огурцов В. И., Уткин Г. М. Стабильные генераторы на ПАВ. М.: Радио и связь. 1983.
6. И. В. Веремеев Разработка широкополосных ВЧ ПАВ-резонаторов// АО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения»-Омск,2016 - №4 – с.102-109.
7. Мартынов А. В., Никонова Г. С. Моделирование ВЧ-генератора с ПАВ-резонатором //

---

Техника радиосвязи. 2019. Вып. 4(43). С. 103–110. DOI10.33286/2075-8693-2019-43-103-110.

8. Micro-Cap [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spectrum-soft.com/index.shtml>, свободный – (25.11.2020)

**Поступила 10 мая 2020 г.**

---

This paper describes the main stages of the development of a high-frequency low-noise reference frequency generator, which includes a resonator on surface acoustic waves. An equivalent circuit of the resonator surfactant is considered, and a circuit model of the Kolpitz generator circuit based on it is compiled. Circuit modeling allowed us to check the calculated parameters of the elements of the GOCH scheme. The topology of printed circuit boards of the master generator with output frequencies of 304 and 433 MHz is developed, photos of printed circuit boards with installed elements and the results of measurements of spectral characteristics are presented.

*Key words:* reference frequency generator, digital computing synthesizer, surfactant resonator, surface acoustic waves.

---

*Докторов Андрей Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

*E-mail:* doctorov\_a\_n@mail.ru

*Адрес:* 602264, г. Муром, ул. Орловская, 23.

*Матерухин Сергей Евгеньевич* – магистрант 2-го курса по направлению подготовки магистратуры 11.04.01 «Радиотехника» факультета радиоэлектроники и компьютерных систем Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

*E-mail:* materukhin.sergey@mail.ru

*Адрес:* 602264, Муром, ул. Орловская, д. 23.

*Сочнева Наталья Александровна* – магистрант кафедры радиотехники Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

*E-mail:* sochnewa.natalya@yandex.ru

*Адрес:* 602264, г. Муром, ул. Орловская, 23.