

Матерухин С.Е.

*Научный руководитель доктор техн. наук, профессор Ромашов В.В.  
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного  
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: materukhin.sergey@mail.ru*

### Генератор опорной частоты на основе резонатора поверхностных акустических волн

Разработка и создание цифровых систем синтеза радиочастотных сигналов требует высококачественных малошумящих 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].

В обычных случаях ГОЧ представляет собой кварцевый автогенератор, но его выходная частота не превышает 100 МГц. Генераторы 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 - плавленный кварц. Зато они более технологичны и разнообразны по схемам, имеют малые габариты, массу, большую механическую прочность и дешевы при массовом производстве.

Был разработан и исследован генератор опорной частоты на ПАВ резонаторе с выходной частотой 304 МГц и 433 МГц. Принципиальная схема генератора опорной частоты построена на основе генератора Колпица. Для проведения схемотехнического моделирования с помощью программы MicroCAP использована эквивалентная электрическая схема ПАВ резонатора, 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 эквивалентной схемы ПАВ-резонатора для частот 304 и 433 МГц.

На рисунке 1 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 и спектров выходного сигнала.

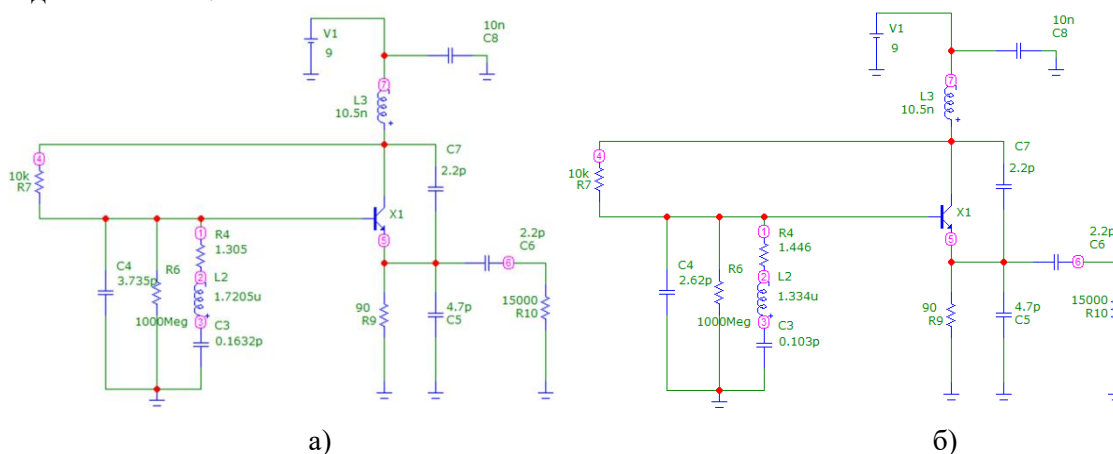
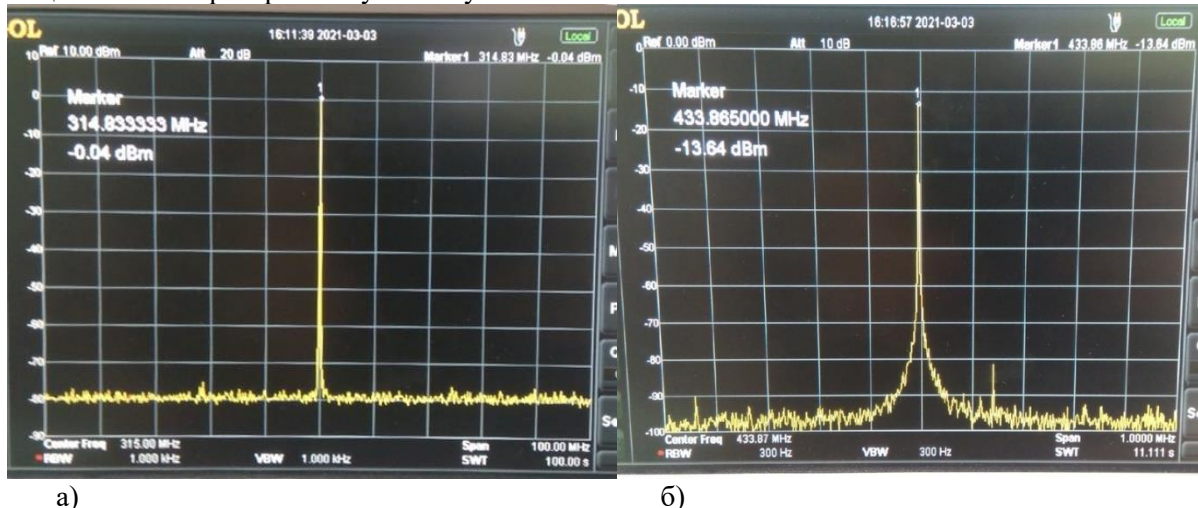


Рис. 1. Генератор с ПАВ резонатором в виде эквивалентной схемы на частоте:  
а) 304 МГц; б) 433 МГц

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 для сигнала с частотой 304 МГц равна +10 дБм для 433 МГц +15 дБм.

Для экспериментальной проверки работоспособности были изготовлены опытные образцы генераторов опорной частоты на ПАВ с выходными частотами 315 МГц и 433 МГц. Спектры выходных сигналов данных ГОЧ, измеренные с помощью спектроанализатора Rigol DSA1030A, показаны на рис.2.

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, для замера мощности в генераторе на эту частоту использовалась антенна вместо коаксиальной линии.



а)

б)

Рис. 8. Спектр выходного сигнала генератора опорной частоты на ПАВ  
а) первая гармоника с частотой 315 МГц б) первая гармоника с частотой 433 МГц

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 вы-вод, что сигнал генератора с частотой 304 МГц необходимо усилить перестраиваемым усилителем мощности на величину 10 дБм. Кроме того, необходимо произвести повторные исследования выходного 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]: научнообразоват. 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)