

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра радиотехники и электродинамики  
наименование кафедры

**Разработка и исследование синтезатора частот на базе  
микросхемы ADF4351**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 4071 группы

направления 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»  
код и наименование направления

института физики

наименование факультета

Манукяна Рубена Эмилевича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

доцент кафедры радиотехники

и электродинамики, к.ф.-м.н., доцент \_\_\_\_\_

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

Слепченков М.М.

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой радиотехники и  
электродинамики

д.ф.-м.н., профессор \_\_\_\_\_

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

О.Е. Глухова \_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Саратов 2022 г.

**Введение.** В настоящее время в системах радиолокации и передачи связи широкое применение находят сверхширокополосные сигналы, реализуемые методом ступенчатого изменения частоты (СИЧ). Вопросам получения и применения СИЧ сигналов посвящен целый ряд отечественных и зарубежных работ [1-4], анализ которых позволил установить, что наиболее перспективными объектами для применения СИЧ сигналов являются следующее: радиолокационные системы с синтезированием апертуры (РСА); радиолокационные системы, построенные на принципе пространственно распределенных приемных и передающих элементов; радиолокаторы малой дальности. Актуальной задачей радиолокации и радиосвязи является внедрение на схемотехническом уровне для описанных выше радиотехнических систем элементов нового типа, работающих на принципах радиофотоники, например, оптоэлектронных генераторов (ОЭГ) с перестройкой частоты, которые позволили бы не только улучшить характеристики традиционных радиолокационных станций (РЛС), но и перейти к созданию РЛС, обладающих качественно новыми свойствами [5]. Целью данной дипломной работы является разработка и тестирование схемы синтезатора частот, выполненной на микросхеме микросхемы ADF4351, для последующего применения в радарх подповерхностного зондирования с использованием СИЧ сигналов. Работа состоит из четырех глав. Первая глава носит обзорный характер. Она посвящена обзору ключевых особенностей функционирования радаров поверхностного зондирования и вопросам техники генерирования СИЧ сигналов. Вторая глава содержит краткие технические сведения о характеристиках и функциональных блоках выбранной для построения синтезатора частот микросхемы ADF4351. В третьей главе приведены сведения об используемом программном обеспечении и описана блок-схема созданной программы для управления микросхемой ADF4351. В четвертой главе приводятся результаты моделирования и проектирования СИЧ на базе микросхемы ADF4351.

**Основное содержание работы.** Схемотехническое моделирование синтезатора частот на базе микросхемы ADF4351 выполнялось в программе

Analog Devices «ADIsimPLL» [6]. Построенная в ней схема устройства изображена на рис. 1. Монтажная схема печатной платы показана на рис. 2. Разводка платы выполнялась в программе P-CAD 2006. Скриншоты платы в программе P-CAD 2006 изображены на рис. 3 и 4 для передней и задней стороны платы, соответственно.

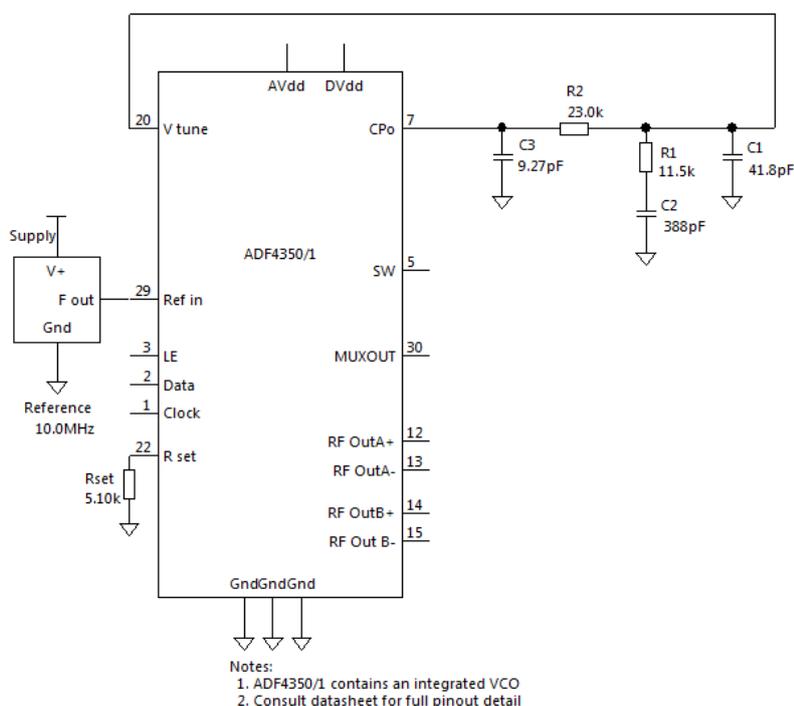


Рис. 1. Схема построения фильтра в программе Analog Devices «ADIsimPLL».

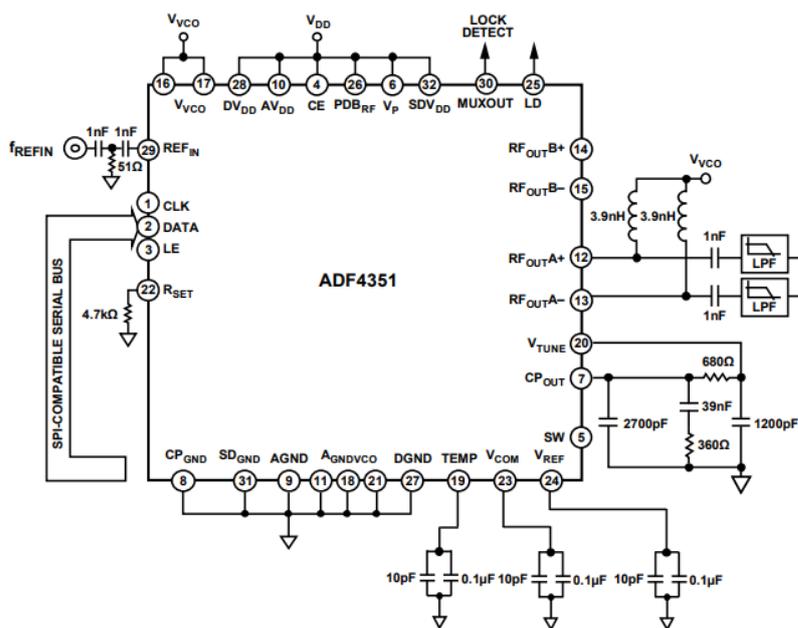
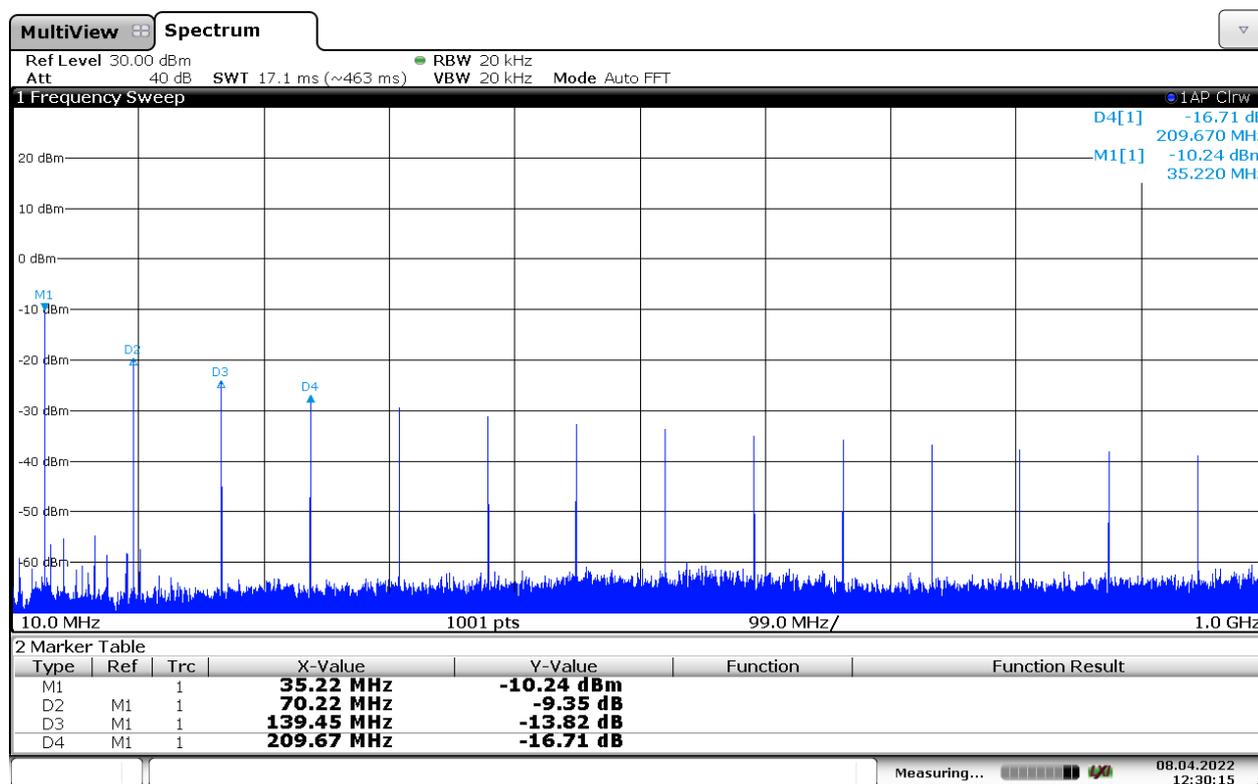


Рис. 2. Монтажная схема платы устройства.



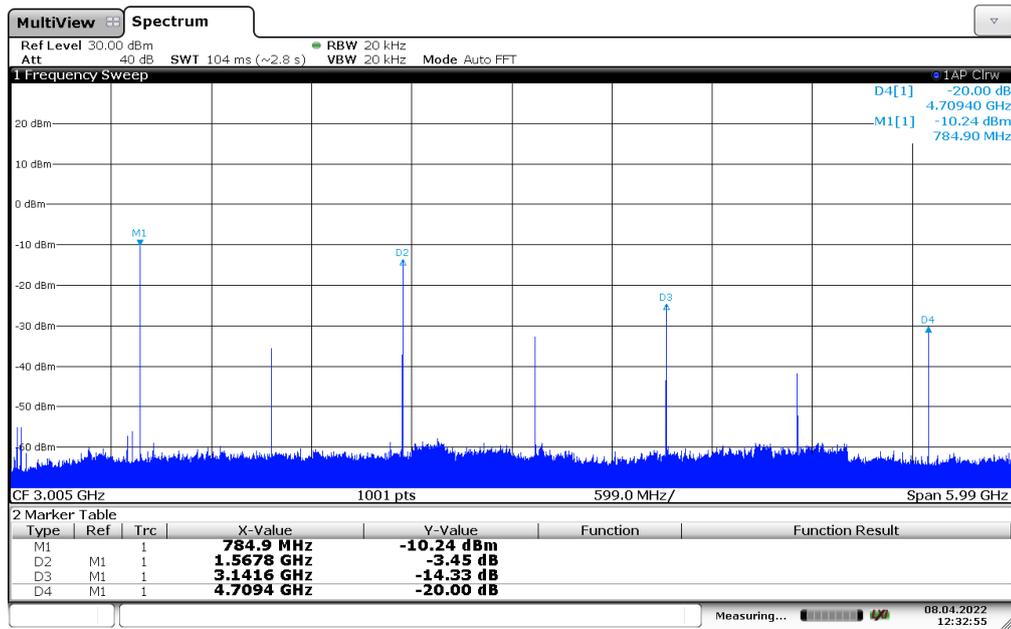
Далее проводилась экспериментальная проверка работы собранной схемы синтезатора частот на базе микросхемы ADF4351. С использованием анализатора спектра осуществлялось снятие спектра выходного сигнала в рабочем диапазоне частот микросхемы ADF4351. Измерения были начаты с частоты 35 МГц. На рис. 6 для этого случая приведены полезный сигнал под маркером M1, а также первую, вторую и третью гармоники под маркерами D2, D3, D4. Можно отметить, что ряд гармоник по мощности меньше, чем полезный сигнал, на величину 0,89 и больше.



Date: 8.APR.2022 12:30:15

Рис. 6. Спектр сигнала при частоте 35 МГц.

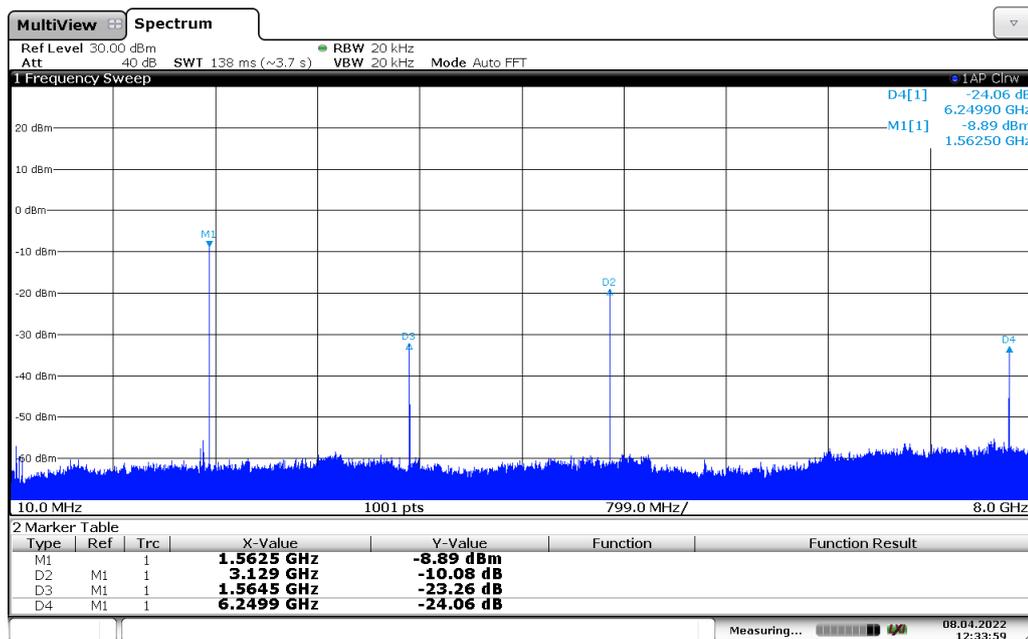
Затем выбиралась частота, равная 785 МГц. На анализаторе спектра при этом наблюдалась схожая картинка с гармониками, как и в предыдущем случае, однако мощность гармоник была намного меньше по сравнению с качественным сигналом (рис. 7).



Date: 8.APR.2022 12:32:55

Рис. 7. Спектр сигнала при частоте 785 МГц.

Следом проводились измерения для частоты в 1,5 ГГц. Полученные результаты снятия спектра показаны на рис. 8. Под маркером D2 можно наблюдать первую гармонику частотой 3,129 ГГц, а под маркером D3 виден некий сигнал частотой 1,5645 ГГц, отличающийся по мощности от полезного сигнала на 23 дБм. Это объясняется тем, что удвоенная частота кварцевого резонатора пролезает в петлю ФАПЧ.



Date: 8.APR.2022 12:33:59

Рис. 8. Спектр сигнала при частоте 1,5 ГГц.

Далее рассмотрим работу двух ГУН и выставим частоту 2,750 ГГц, как показано на рис. 9. На данном рисунке также отмечена частота удвоенного кварцевого резонатора с полезным сигналом (маркер D2), а также частота первой гармоники (маркер D3).

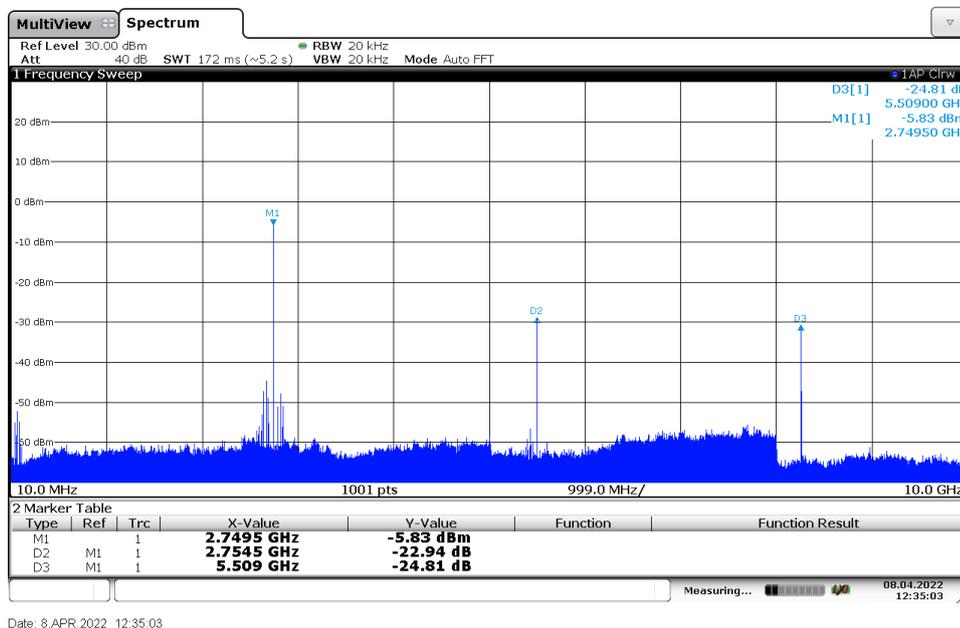


Рис. 9. Спектр сигнала при частоте 2,750 ГГц.

На рис. 10 представлен спектр на частоте 4,27 ГГц. Продемонстрируем регулировку мощности на этой частоте в диапазоне от -14,86 дБм до -7,89 дБм. Полученные результаты представлены на рис. 11-13.

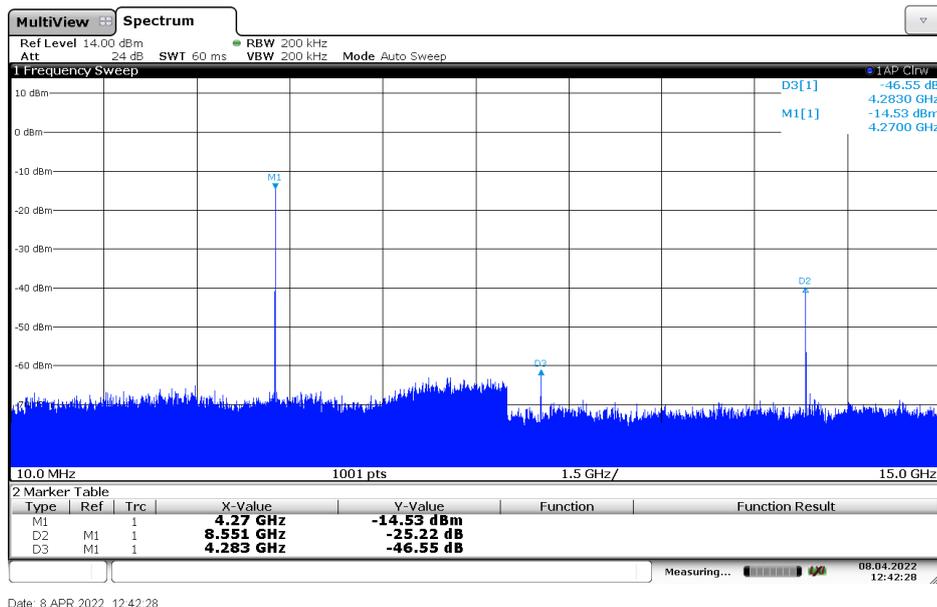
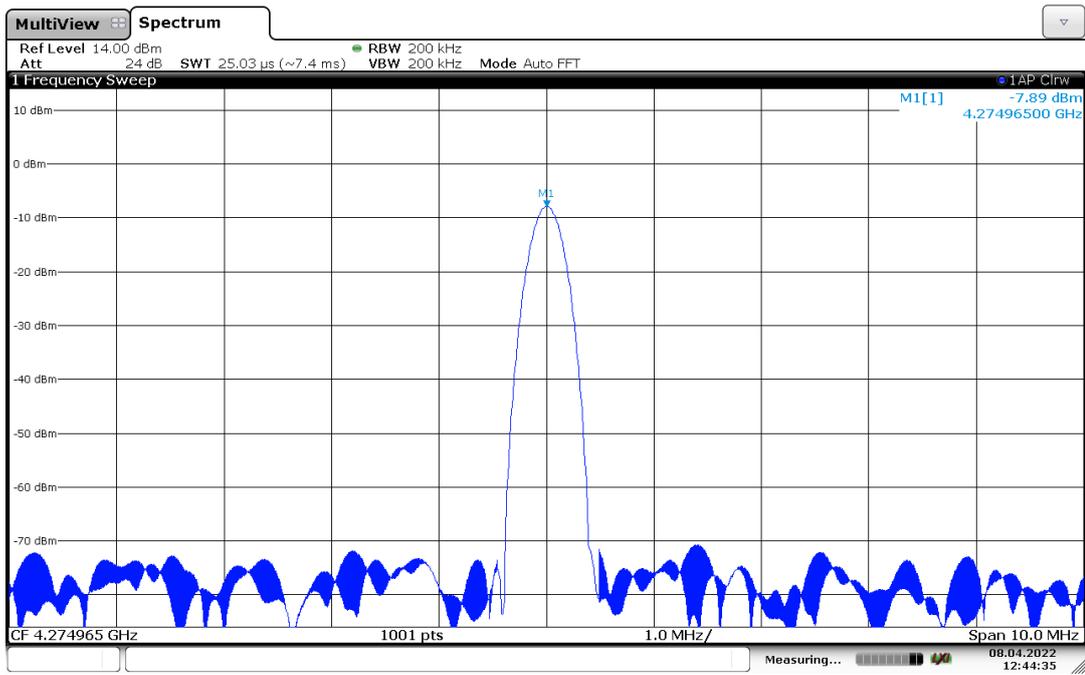
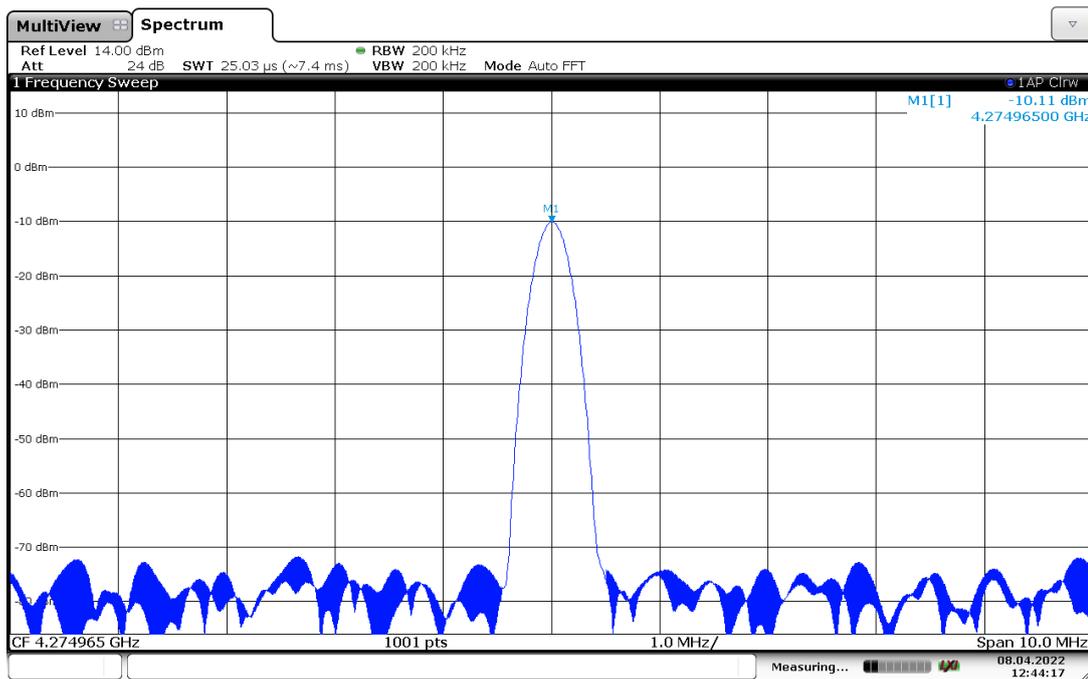


Рис. 10. Спектр сигнала на частоте 4,27 ГГц.



Date: 8.APR.2022 12:44:35

Рис. 11. Максимальная мощность -7,89 дБм на частоте 4,2ГГц.



Date: 8.APR.2022 12:44:16

Рис. 12. Мощность -10,11 дБм на частоте 4,2ГГц.

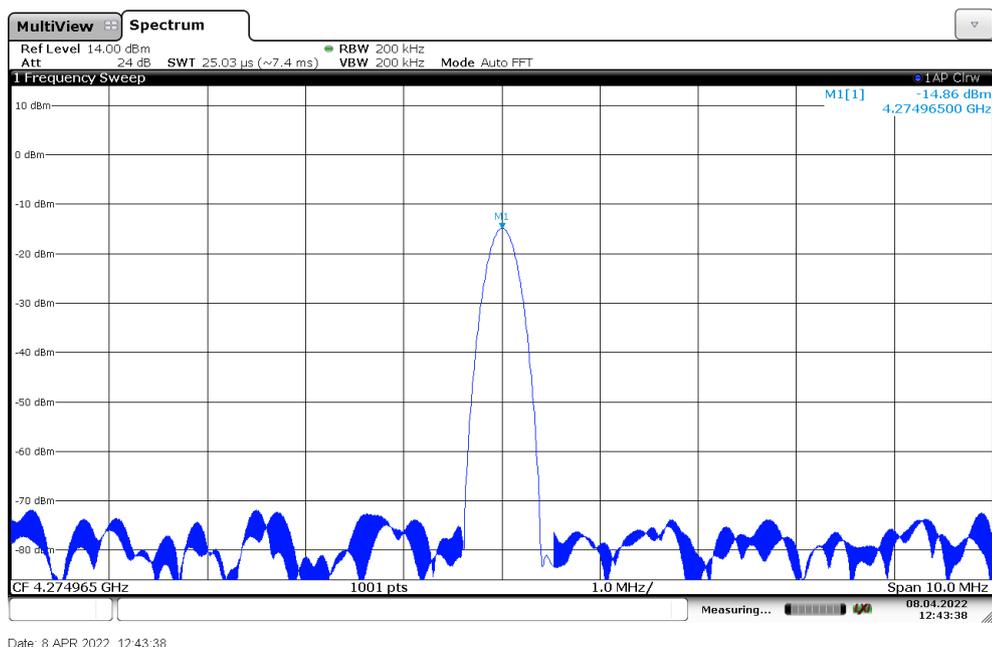


Рис. 13. Минимальная мощность -14,86 дБм на частоте 4,2ГГц.

В заключении приведем измерения уровня фазового шума в ближней зоне на выходе платы. На рис. 14 показаны фазовые шумы ГУН в петле ФАП с подключенными вне петли встроенными делителями частоты они равны при отстройке на 10 кГц -90 дБм/Гц.



Рис. 14. Измерения уровня фазового шума.

Применение встроенных делителей частоты (2/4/8/16) на выходе петли ФАП позволяет дополнительно снизить уровень фазовых шумов выходного сигнала на 6–24 дБ. Вместе с фильтрующими свойствами самой петли ФАП это

позволяет получить стабильный и спектрально чистый выходной сигнал для применения, например, в радарах подповерхностного зондирования в диапазоне частот до 4 ГГц.

**Заключение.** Резюмируем основные результаты, полученные в данной работе:

- Проведено схемотехническое моделирование и проектирование синтезатора на базе микросхемы ADF4351;
- Изготовлена монтажная плата синтезатора;
- Проведено тестирование работы собранной схемы.

В качестве эффективного способа улучшения характеристик синтезатора частот предложено проводить сборку разных блоков фильтра на каждый диапазон и подключением к этим блокам переключателя ADRF5040. Такое решение позволит ликвидировать лишние гармоники, вносящие искажение.

#### **Библиографический список**

- [1] Филипов Б.О. Применение сигнала со ступенчатой частотной модуляцией (СЧМ) в условиях работы на ограниченной полосе частот // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2017. №2. С. 55-58.
- [2] Костров В.В. и др. Анализ возможностей двухчастотного космического РСА X и P диапазонов // Всероссийские открытые Армандовские чтения. 2019. С. 371-383.
- [3] Quan Y. et al. FM sequence optimisation of chaotic-based random stepped frequency signal in through-the-wall radar // IET Signal Processing. 2017. Vol. 11. No. 7. P. 830-837.
- [4] Zheng C., Xi X., Song Z. Through-the-wall radar clutter mitigation using stepped-frequency signal // Electronics Letters. – 2019. – Vol. 55. – No. 1. – P. 53-55.
- [5] Голов Н.А., Савченко В.П., Усачев В.А. Радиофотоника в перспективных радиолокационных системах // Успехи современной радиоэлектроники. 2020. Т. 74. No. 12. P. 17-31.
- [6] Analog Devices «ADIsimPLL» URL: <https://www.analog.com/en/design-center/adisimpll.html>. (дата обращения 18.02.2022).