

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
(ТУСУР)

# **Микроволновый радиометр на основе нулевого метода измерений с упрощенной конструкцией входного СВЧ-блока**

Выполнил:

аспирант каф. РСС

**Жук Григорий Григорьевич**

E-mail:[g.g.zhuk@mail.ru](mailto:g.g.zhuk@mail.ru)

Научный руководитель:

доцент каф. РСС, канд. техн. наук

**Антон Викторович Убайчин**

E-mail:[dualog@mail.ru](mailto:dualog@mail.ru)

# Области применения

Актуальные области применения  
методов дистанционного  
зондирования

Мониторинг лесных пожаров



Исследование подстилающей  
поверхности на влагосодержание  
сельскохозяйственных угодий



# Актуальность

Микроволновые радиометры — это устройства измеряющие слабые электромагнитные сигналы, вызванные собственным излучением материальных объектов.



Рисунок 1 - Микроволновый СВЧ-радиометр МТВЗА-ГЯ КА «Метеор-М»



Рисунок 2 - Микроволновый СВЧ-радиометр для метеорологические наблюдения «QFW-6000»



Рисунок 3 - Радиометрическая метеосистема РМС-1

# Актуальные решения поставленной задачи

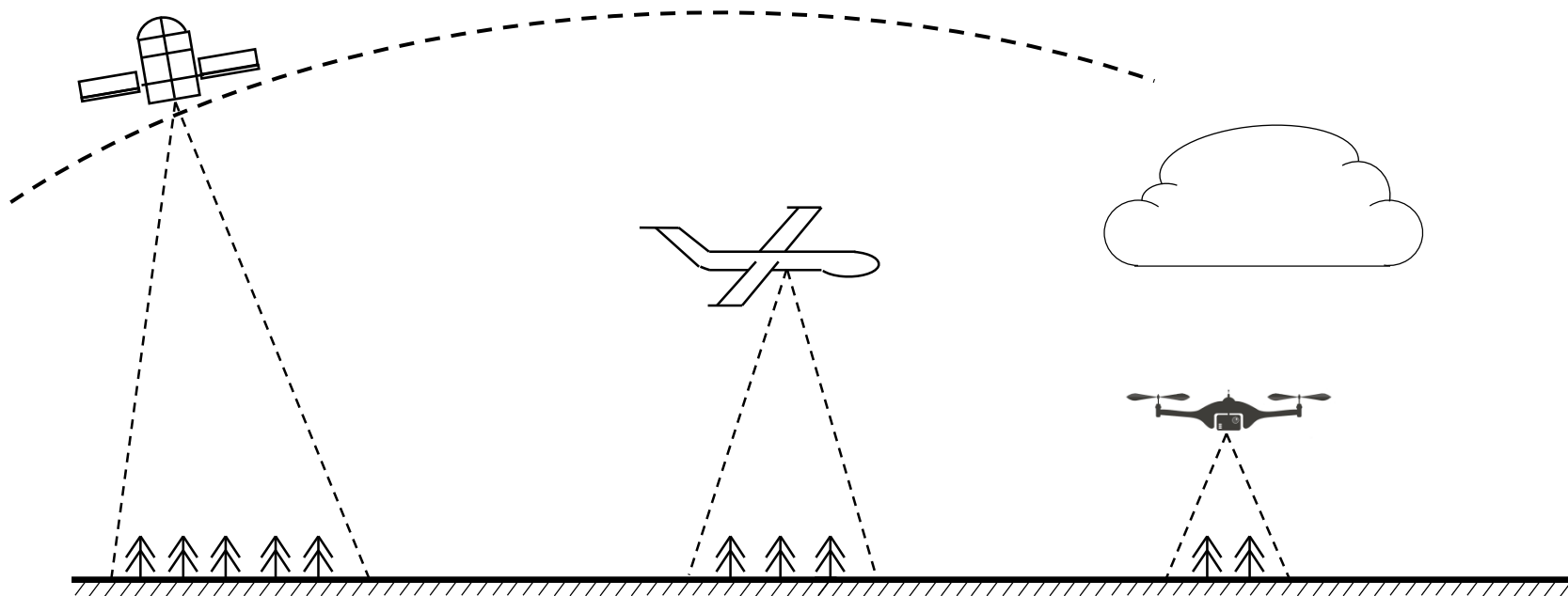


Рисунок 4 – Существующие в настоящее время методы дистанционного зондирования земли

Спутниковые системы	Летательные аппараты	Малогабаритные БПЛА
Высокая стоимость	Средняя стоимость	Низкая стоимость
Низкая разрешающая способность	Средняя разрешающая способность	Высокая разрешающая способность
Низкая повторяемость измерений	Средняя повторяемость измерений (наличие ВПП)	Высокая повторяемость измерений
Неремонтопригодный	Высокая стоимость ремонта	Низкая стоимость ремонта

# Цели и задачи

**Цель:** разработка нового бортового микроволнового радиометра с упрощенной конструкцией входного СВЧ-блока и центральной частотой 22 ГГц, принцип работы которого основан на нулевом методе измерений. При одновременном сохранении метрологических характеристик на уровне лучших мировых аналогов.

## **Задачи:**

1. Разработка структурной схемы микроволнового радиометра с упрощенной конструкцией входного СВЧ-блока;
2. Разработка алгоритма работы предложенной структурной схемы;
3. Разработка концепции технической реализации бортового СВЧ-радиометра (корпус, компоновка, топология печатный плат);
4. Выполнить моделирование СВЧ-узлов;
5. Произвести монтаж и отладку разработанного радиометрического приемника;
6. Проверка технических характеристик;
7. Выполнить сравнение теоретических и практических результатов исследований.

# Нулевой радиометр с изменением длительности опорного сигнала

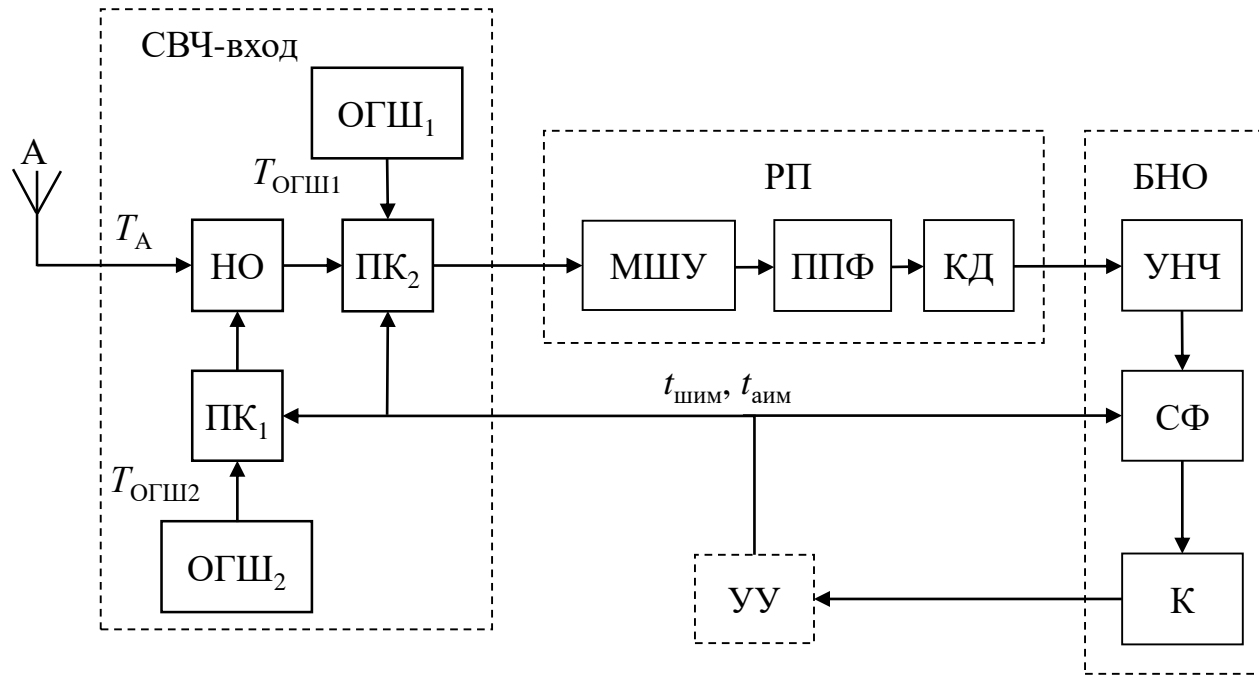


Рисунок 5 – Структурная схема нулевого радиометра с изменением длительности опорного сигнала

Нулевой радиометр с изменением длительности опорного сигнала содержит в своем составе четыре основных блока: входной СВЧ-блок, блок радиометрического приемника БРП, блок низкочастотной обработки сигнала БНО и блок управления УУ. Эти блоки включает в себя, антенну А, направленный ответвитель НО, два опорных генератора шума ОГШ<sub>1</sub> и ОГШ<sub>2</sub>, два СВЧ-переключателя ПК, малошумящий усилитель МШУ, полосно-пропускающий фильтр ППФ, квадратичный детектор КД, усилитель низких частот УНЧ, синхронный фильтр СФ и компаратор К.

\*Многоприемниковые микроволновые радиометрические системы на основе модифицированного метода нулевых измерений: моногр. / А.В. Убайчин, А.В. Филатов. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2014. – 154 с.

# Микроволновый радиометр на основе нулевого метода измерений с упрощенной конструкцией входного СВЧ-блока

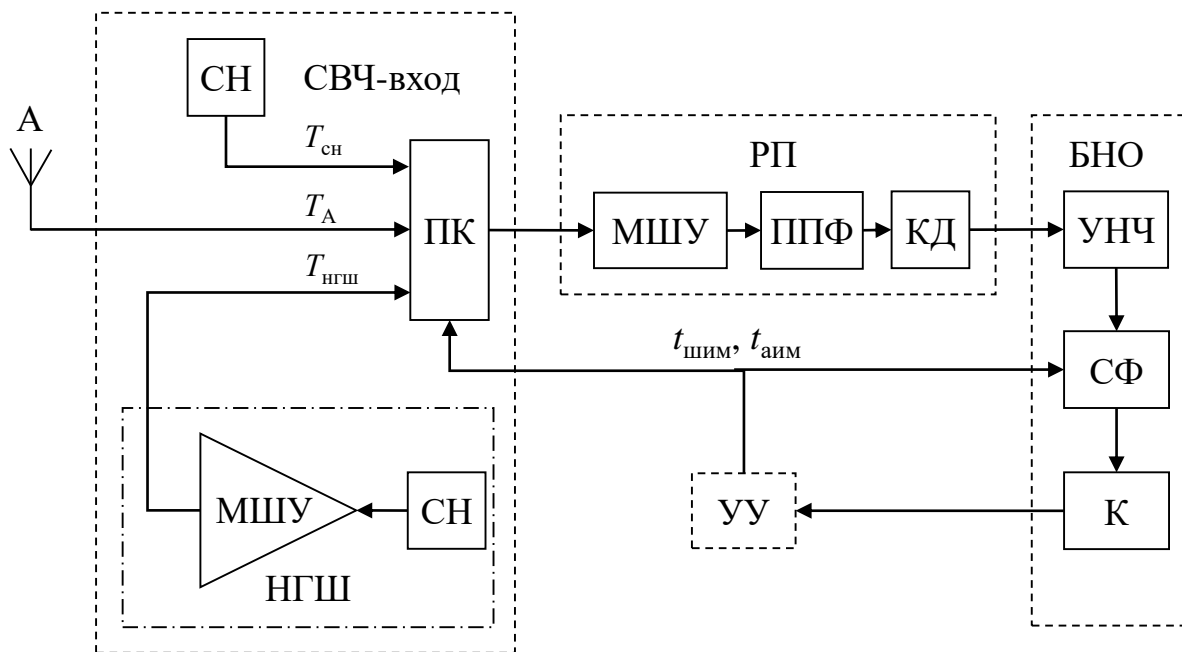


Рисунок 6 – Структурная схема микроволнового радиометра на основе нулевого метода измерений с упрощенной конструкцией входного СВЧ-блока

Нулевой радиометр с упрощенной конструкцией входного СВЧ-блока содержит в своем составе четыре основных блока: входной СВЧ-блок, блок радиометрического приемника БРП, блок низкочастотной обработки сигнала БНО и блок управления УУ. Эти блоки включает в себя, антенну А, два опорных генератора шума ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub>, СВЧ-переключатель ПК, малошумящий усилитель МШУ, полосно-пропускающий фильтр ППФ, квадратичный детектор КД, усилитель низких частот УНЧ, синхронный фильтр СФ и компаратор К.

*\*Microwave radiometer for sensor systems with self-contained power supplies. / A.V. Ubaychin, T. Abdirasul Uulu, G. G. Zhuk. Sensor review, 17 Jul 2020, Vol. 40, Issue 3, pages 329 - 334*

# Алгоритм работы

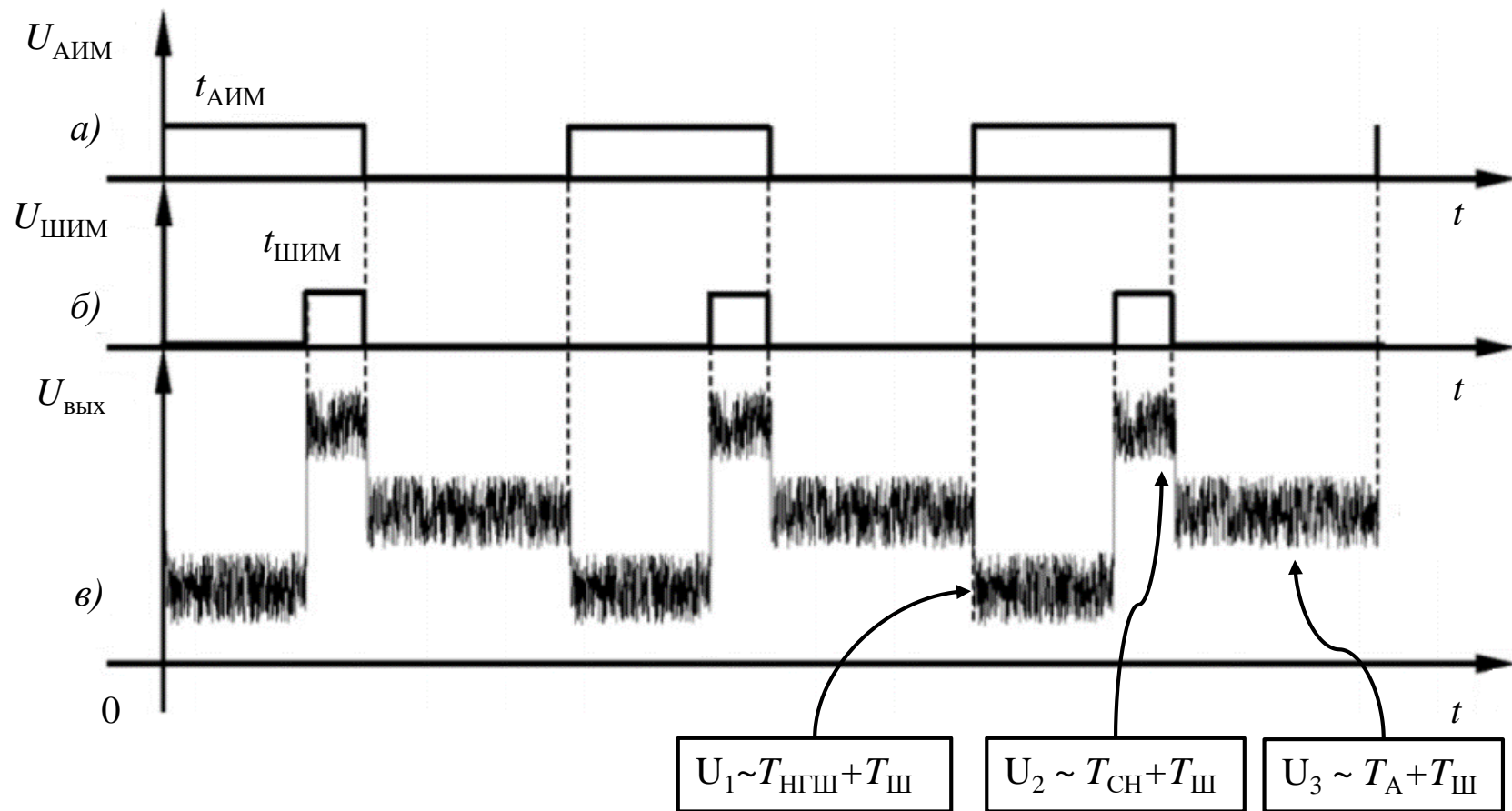
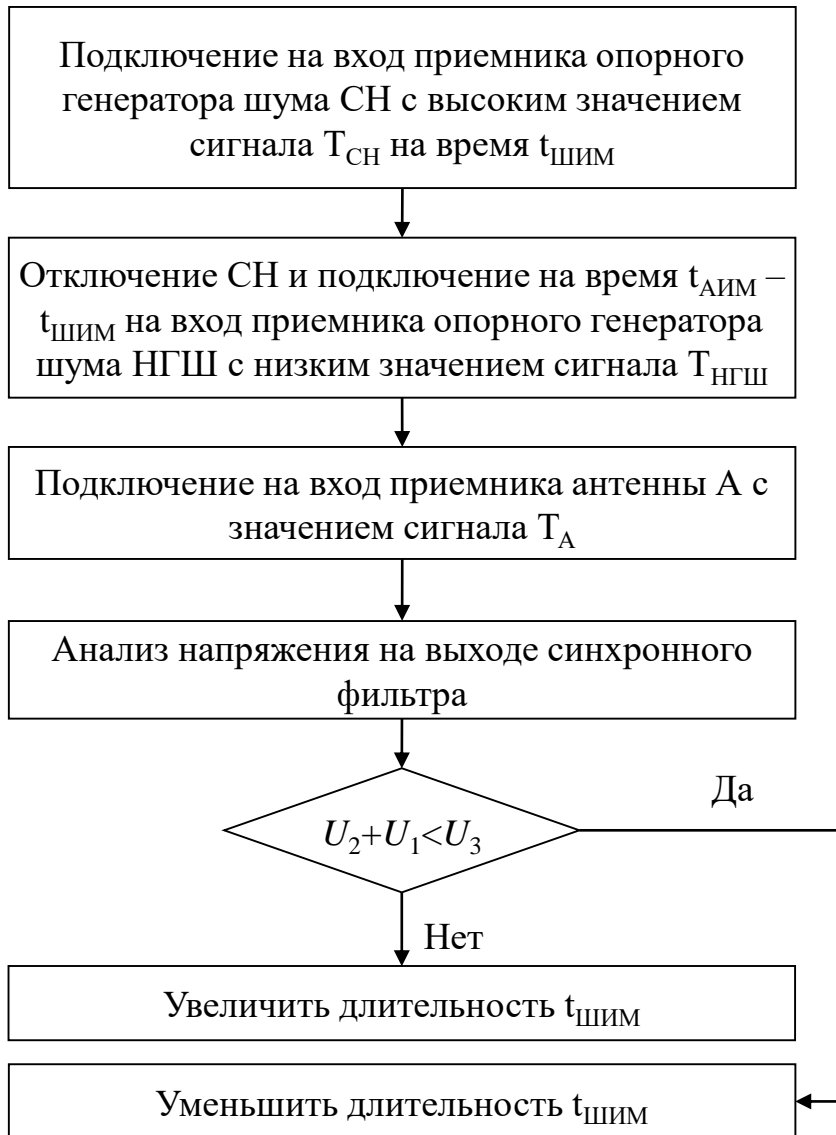


Рисунок 7 - Временные диаграммы управляющих сигналов  $t_{\text{АИМ}}$ ,  $t_{\text{ШИМ}}$  и огибающая модулированного сигнала на входе компаратора



# Алгоритм работы



$$(U_2 - U_3) \cdot t_{\text{ШИМ}} = (U_3 - U_1) \cdot (t_{\text{АИМ}} - t_{\text{ШИМ}}) \quad (1)$$

После подстановке уравнений (1), (2) и (3) в уравнение (4) получим значение  $T_A$

$$T_A = t_{\text{ШИМ.ИЗМ}} \cdot \frac{T_{\text{СН}} - T_{\text{НГШ}}}{t_{\text{ШИМ.СН}} - t_{\text{ШИМ.НГШ}}} \quad (2)$$

где  $T_{\text{СН}}$  - шумовая температура «горячего» эталонного уровня, определяющего верхнюю границу динамического диапазона измеряемых шумовых температур,  $T_{\text{НГШ}}$  - шумовая температура «холодного» эталонного уровня, определяющая нижнюю границу динамического диапазона измеряемых шумовых температур,  $t_{\text{ШИМ.СН}}$  и  $t_{\text{ШИМ.НГШ}}$  - длительности сигнала  $t_{\text{ШИМ}}$  при «горячих» и «холодных» эталонных значениях, поступающих на вход соответственно.

# Состав разработанного микроволнового радиометра на основе нулевого метода измерений с упрощенной конструкцией входного СВЧ-блока

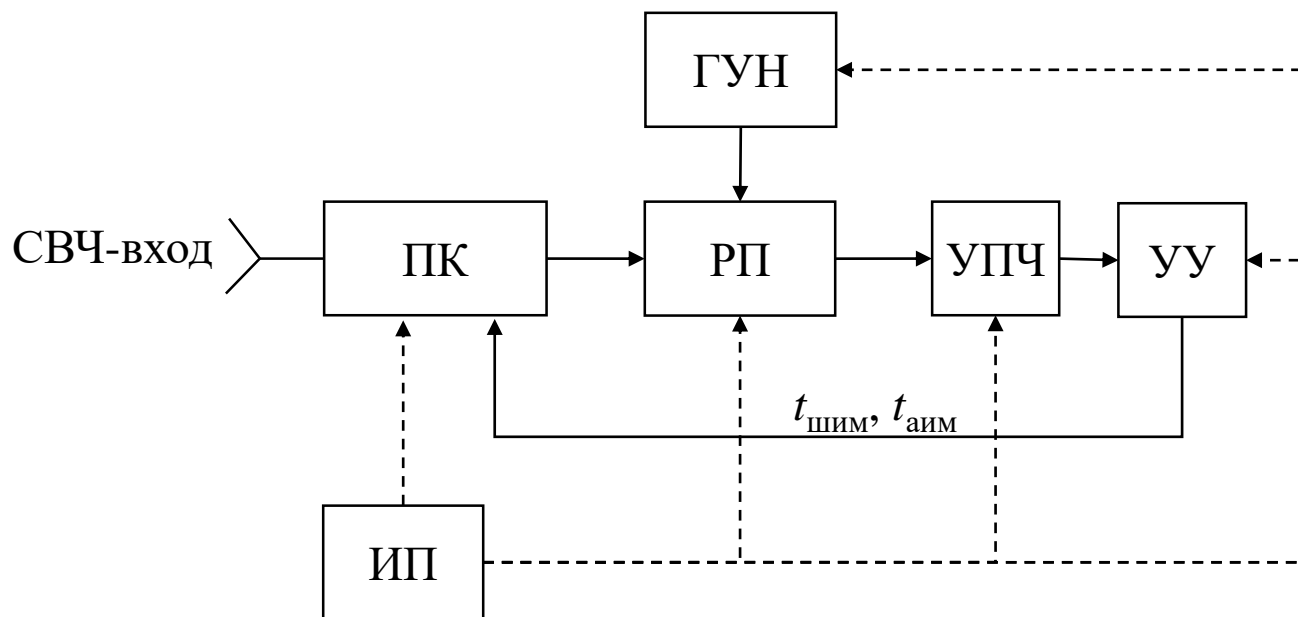


Рисунок – 8 Схема электрическая структурная микроволнового радиометра с центральной частотой 22 ГГц принцип работы которого основан на нулевом методе измерений.

# Результат разработки модуля СВЧ-переключателя

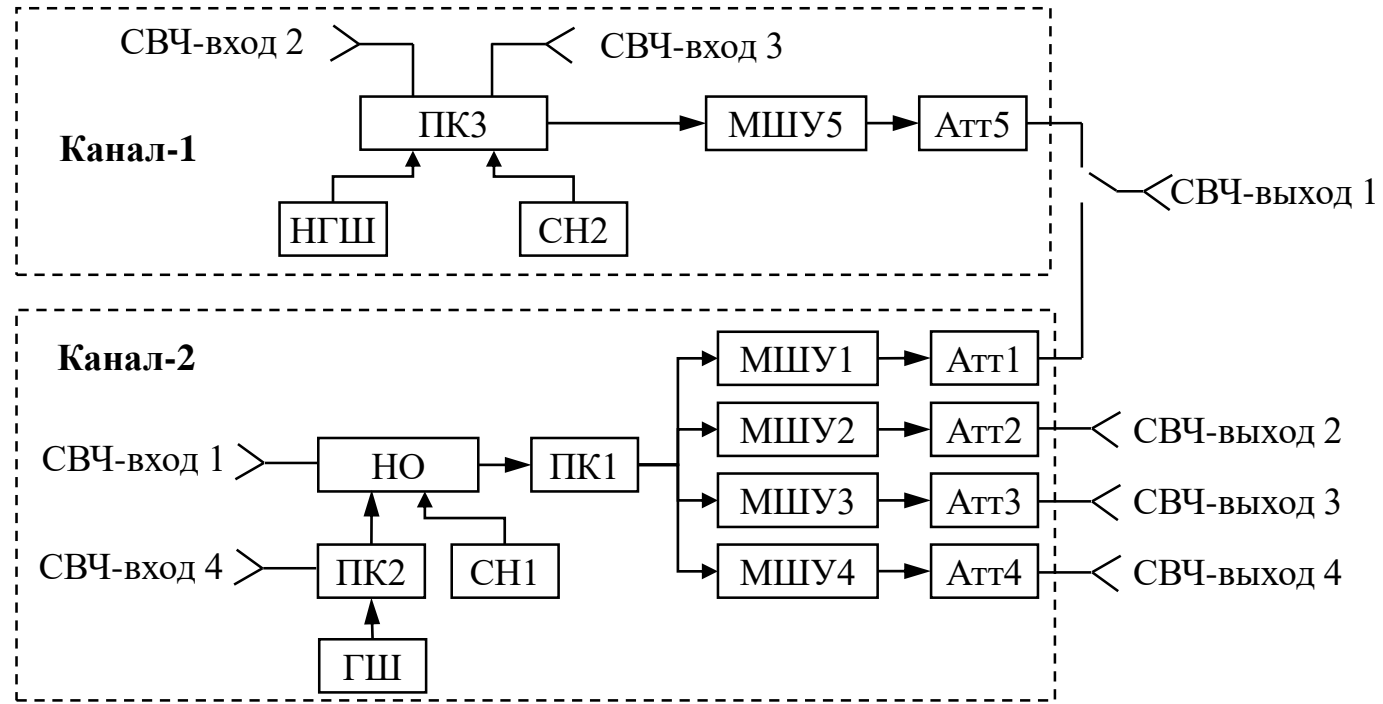
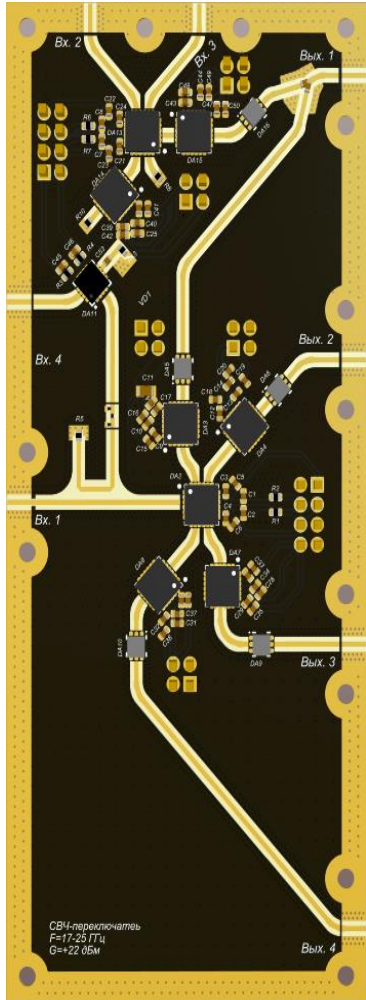


Рисунок 10 – Структурная схема модуля СВЧ-переключателя

**Канал 1:** СВЧ-переключатель ПК3; согласованную нагрузку CH2; низкотемпературный опорный генератор шума НГШ; малошумящий усилитель МШУ5; аттенюатор Атт5.

**Канал 2:** направленный ответвитель НО; СВЧ-переключатель ПК1 и ПК2; генератор шума ГШ; согласованную нагрузку CH1; малошумящий усилитель МШУ1...МШУ4; аттенюатор Атт1...Атт4

Рисунок 9 – 3D-вид модуля СВЧ-переключателя

# Результат разработки модуля радиометрического приемника

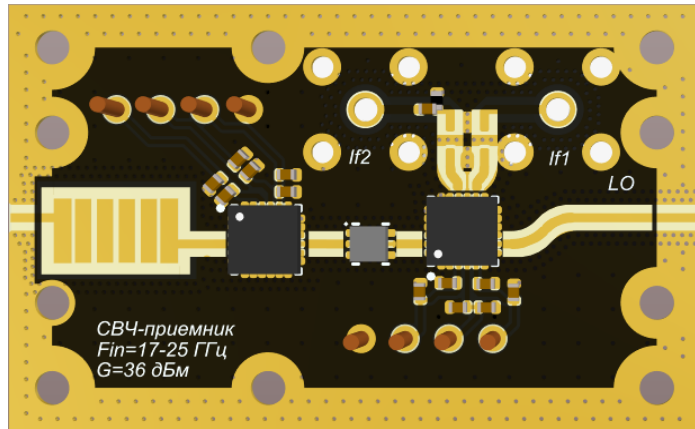


Рисунок 11 – 3D-вид модуля радиометрического приемника

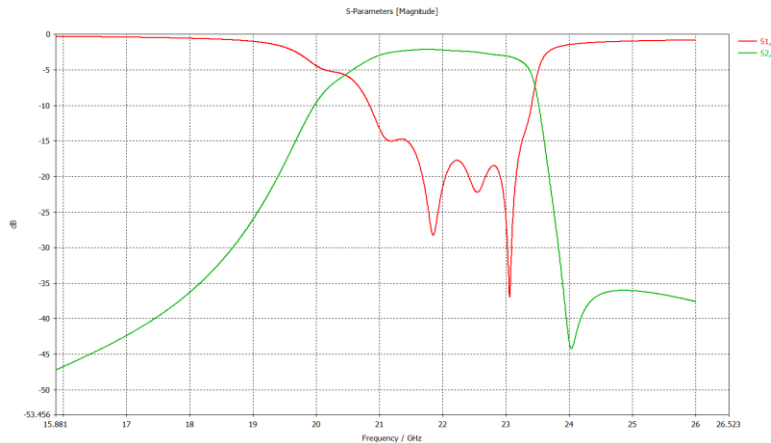


Рисунок 12 – Результаты расчетов S-параметров полосно-пропускающего фильтра

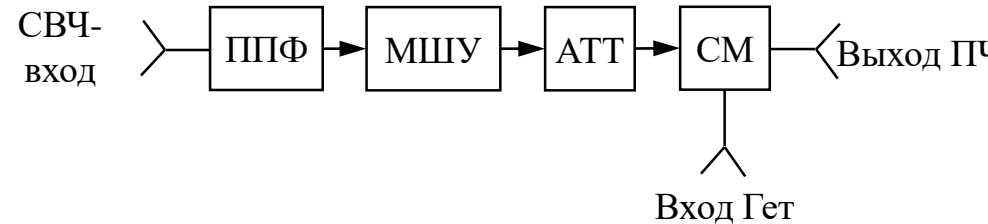


Рисунок 13– Структурная схема модуля радиометрического приемника

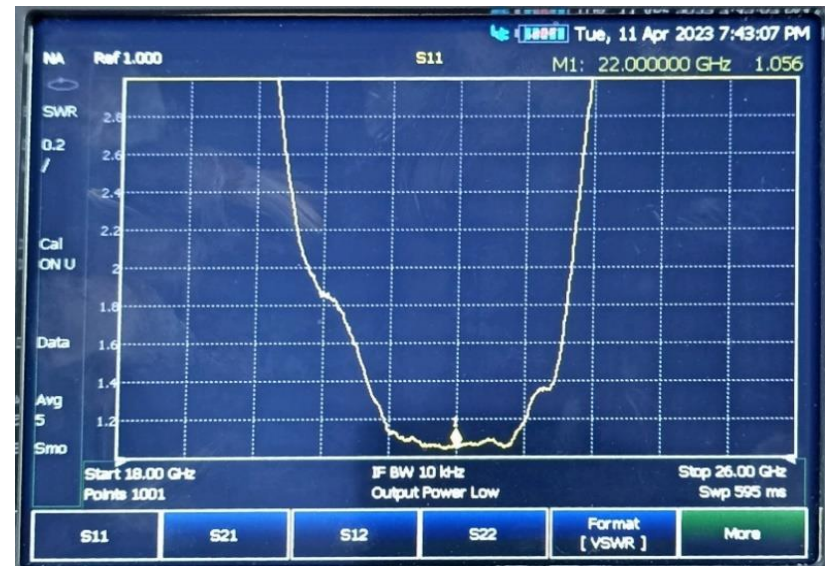


Рисунок 14 – Результаты подстройки полосно-пропускающего фильтра

# Результат разработки модуля генератора управляемого напряжением

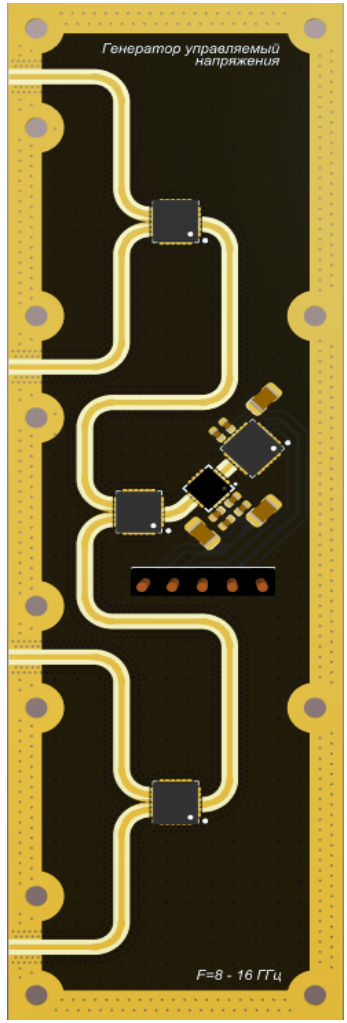


Рисунок 15 – 3D-вид модуля генератора управляемого напряжением

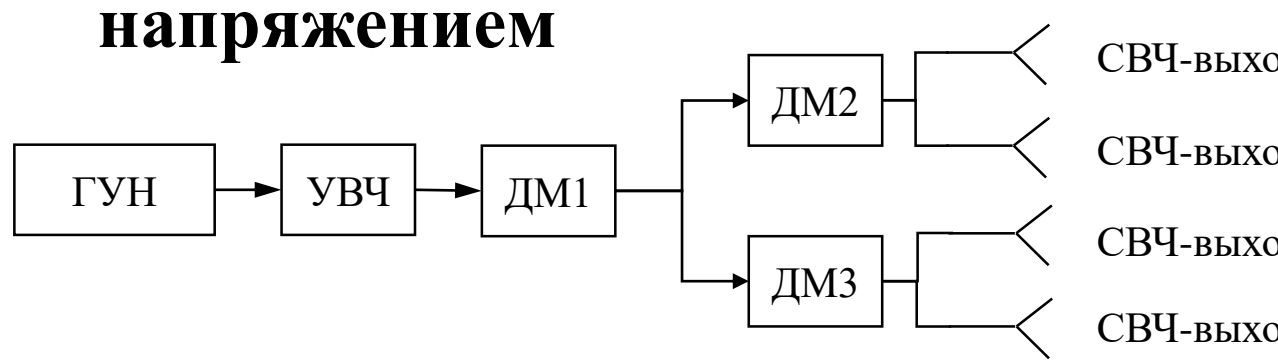


Рисунок 16 – Схема электрическая структурная модуля генератора сигналов управляемого напряжением

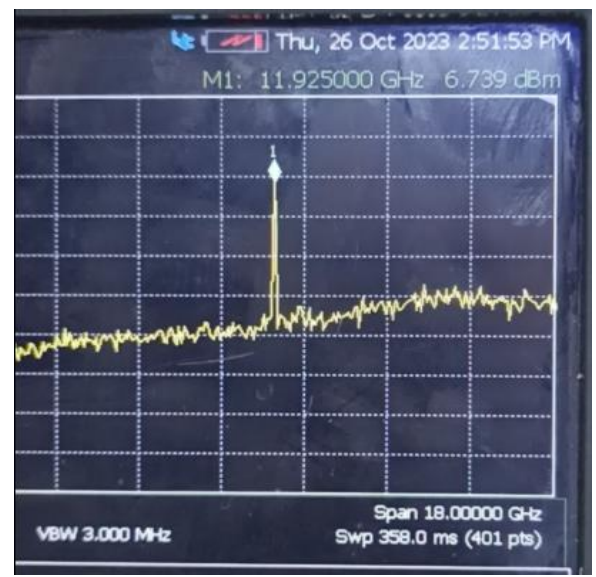


Рисунок 17 –Сигнал на выходе модуля генератора управляемого напряжением

# Результат разработки модуля усилителя промежуточной частоты

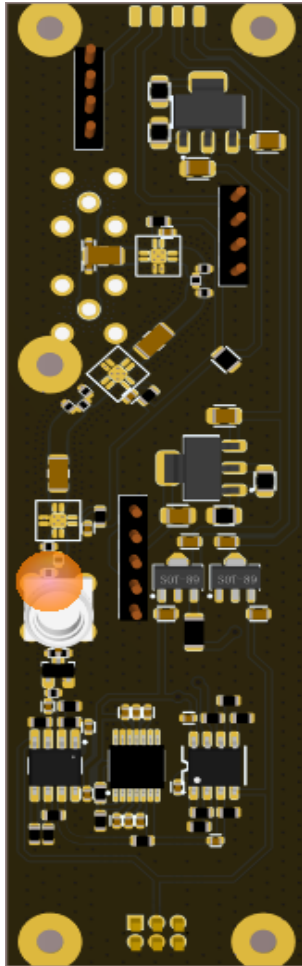


Рисунок 18 – 3D-вид модуля усилителя промежуточной частоты

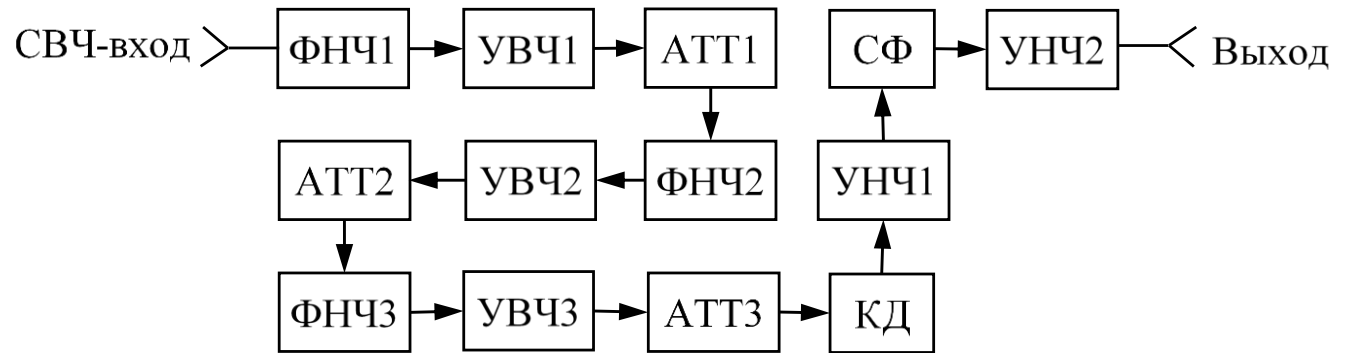


Рисунок 19 – Схема электрическая структурная модуля усилителя промежуточной частоты

# Результат сборки и запуска СВЧ-части микроволнового радиометра на основе нулевого метода измерений с упрощенной конструкцией входного СВЧ-блока

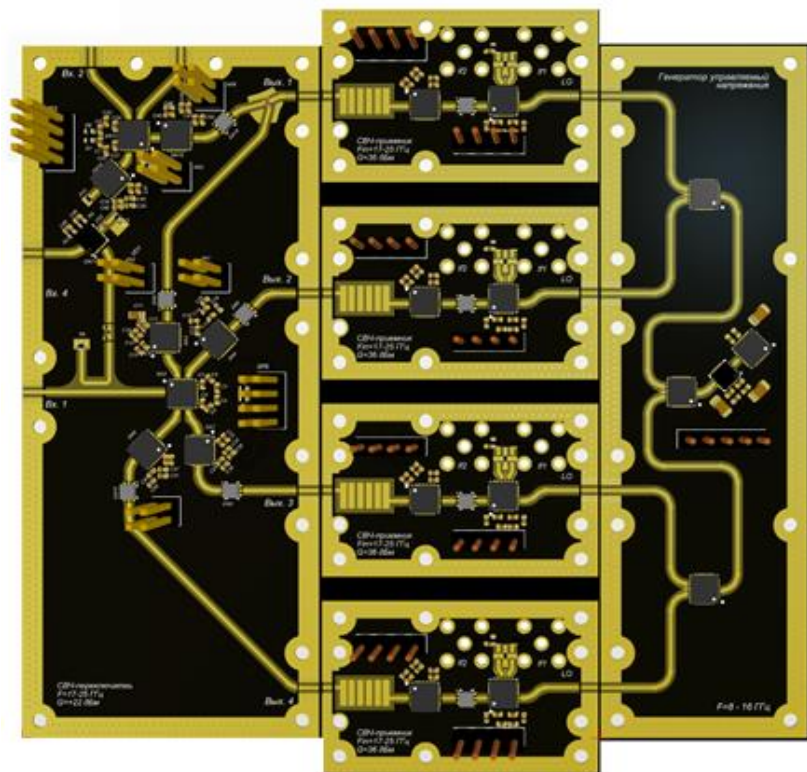


Рисунок 20– Сторона 1 «СВЧ-тракт»



Рисунок 21 – Спектр сигнала на выходе СВЧ-тракта (выход ПЧ СВЧ-смесителя)

# Результат сборки и запуска микроволнового радиометра на основе нулевого метода измерений с упрощенной конструкцией входного СВЧ-блока

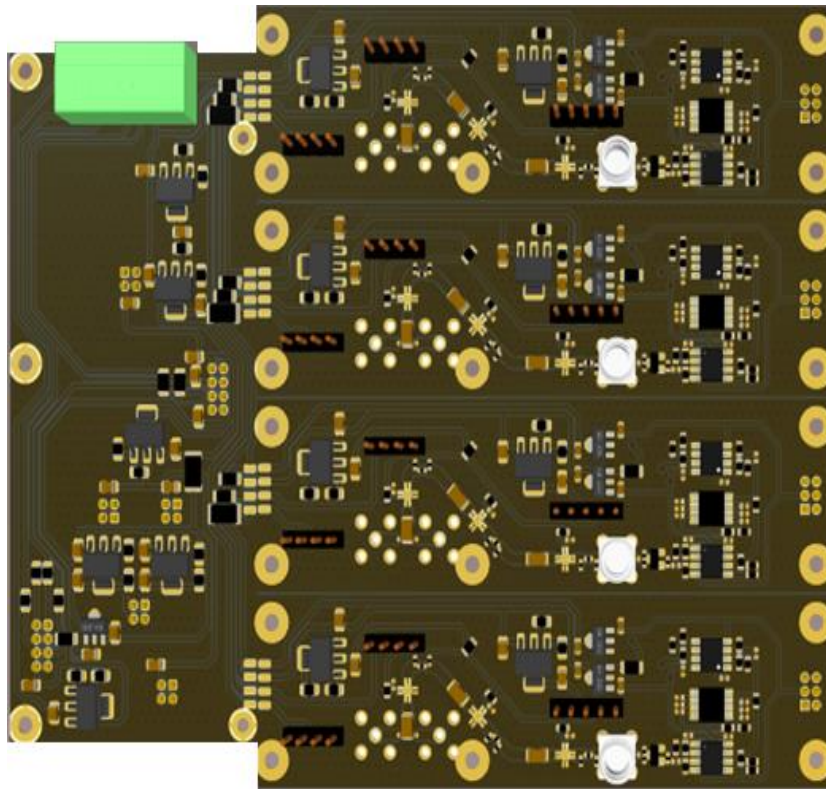


Рисунок 22 – Сторона 1 «ПЧ-тракт»

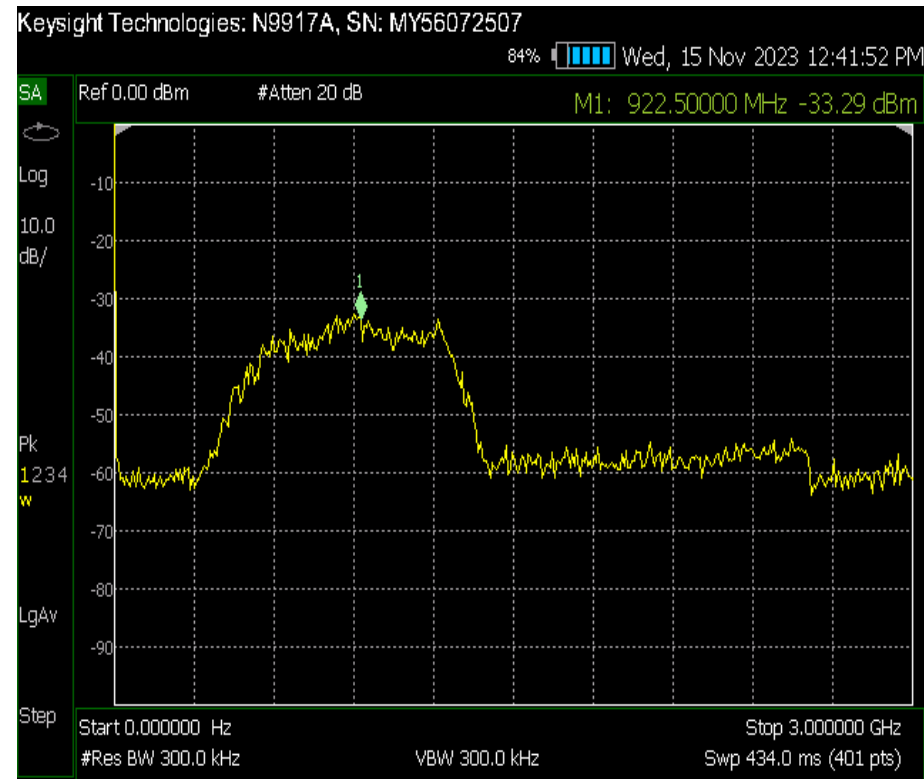


Рисунок 23 – Спектр сигнала на входе квадратичного детектора



# Результат разработки корпуса радиометра

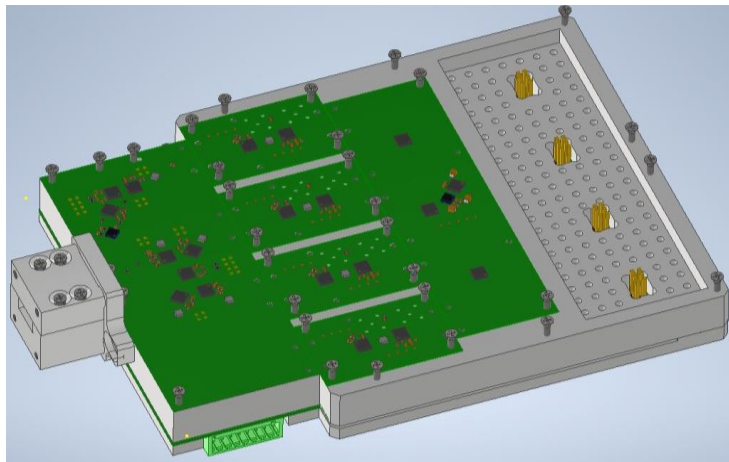


Рисунок 24 – Сторона 1 «СВЧ-часть»

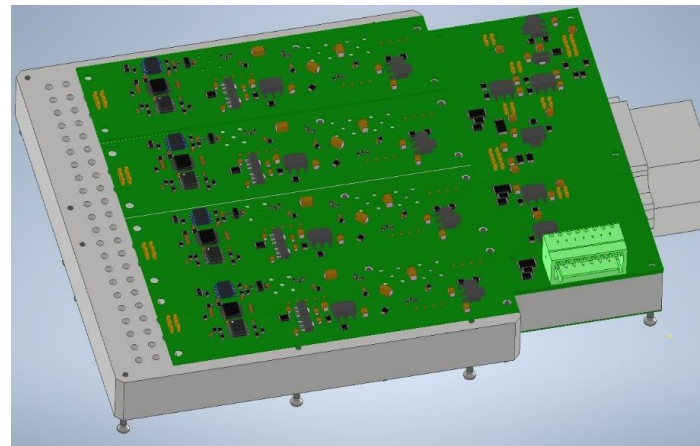


Рисунок 26 – Сторона 2 «ПЧ-часть»

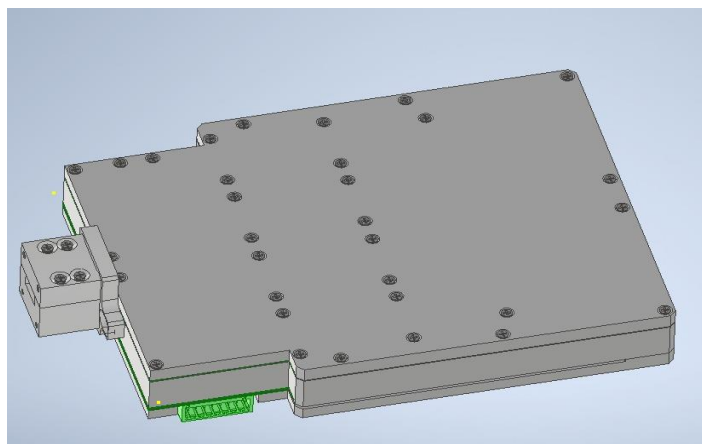


Рисунок 27 – Микроволновый радиометр на основе нулевого метода измерений с упрощенной конструкцией входного СВЧ-блока работающий на частоте 22 ГГц

# Результат разработки коаксиально волноводного перехода

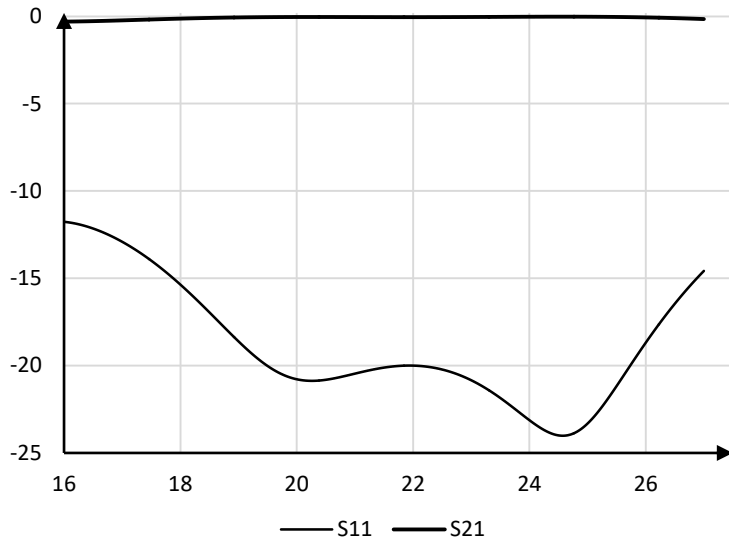


Рисунок 28 – Результат моделирования КВП

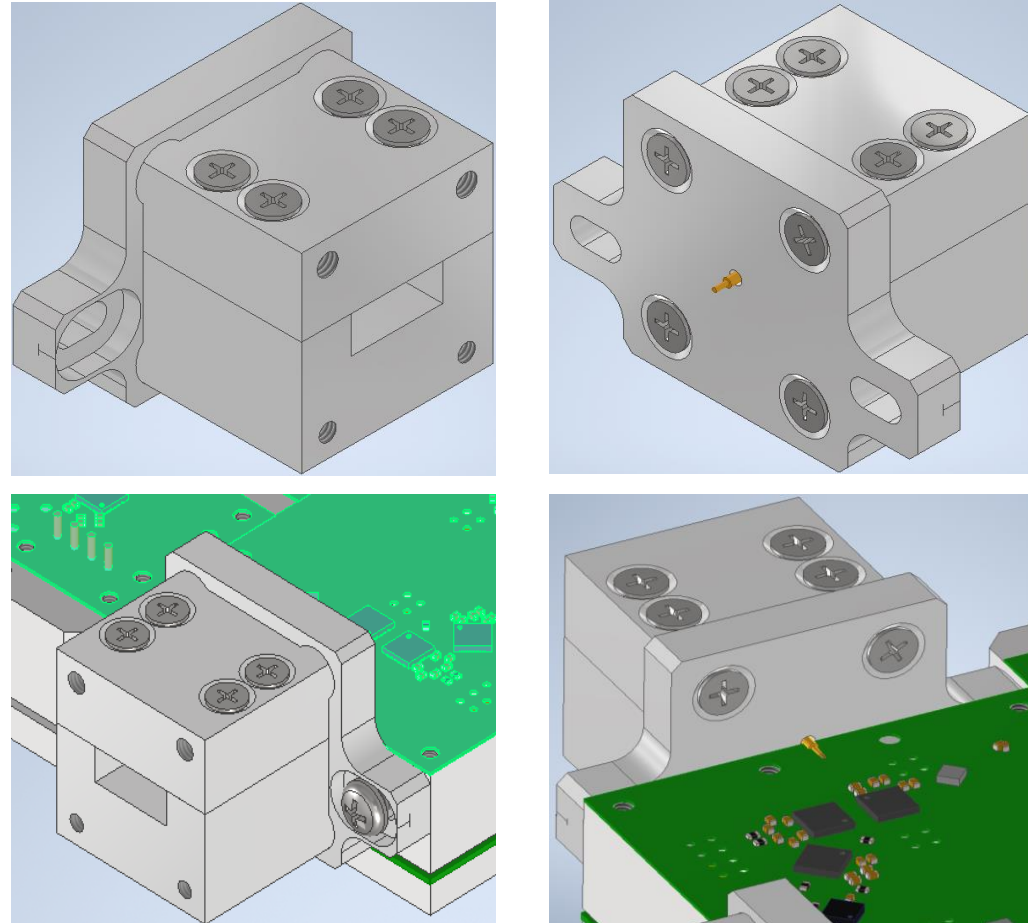
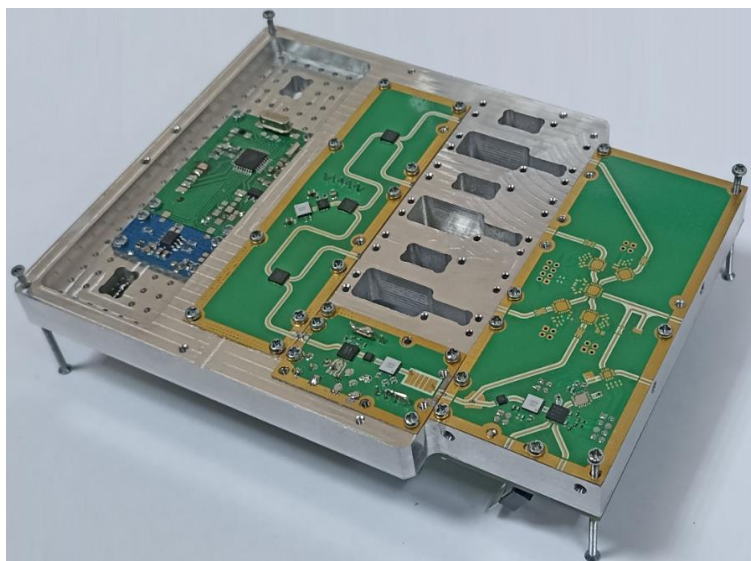
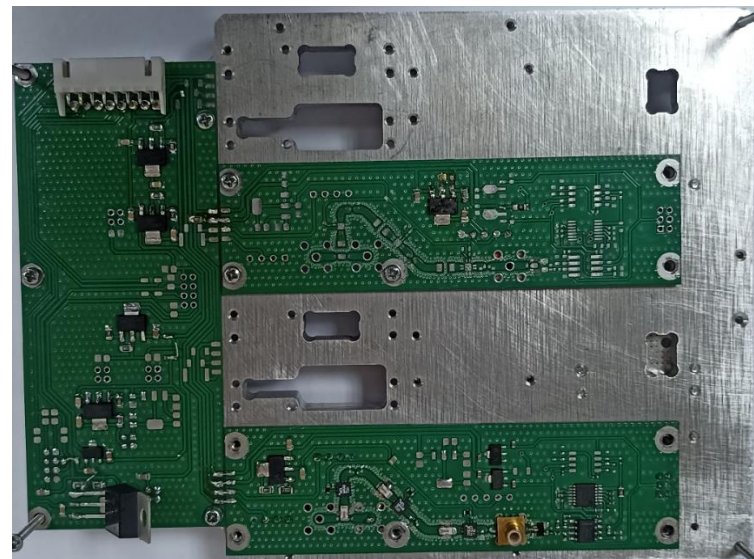
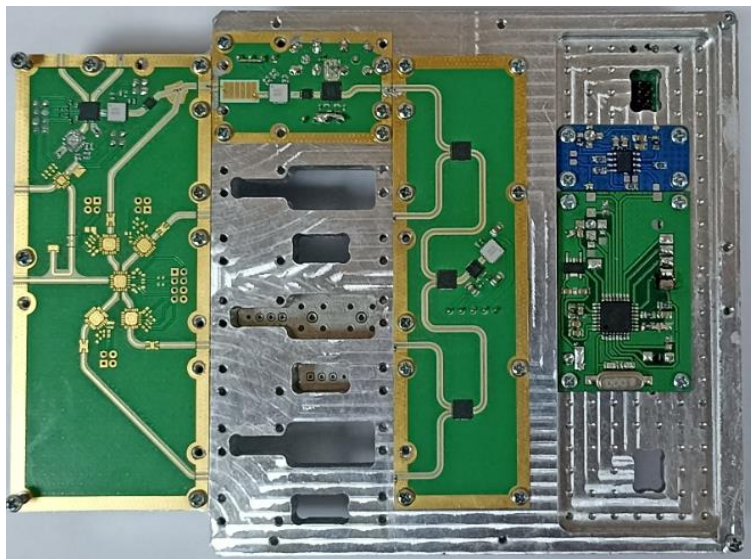


Рисунок 29 – 3D-вид КВП

# Результат сборки микроволнового радиометра на основе нулевого метода измерений с упрощенной конструкцией входного СВЧ-блока



## Технические характеристики

Диапазон рабочих частот 20,5-23,3 ГГц

напряжение питания  $\pm 12$  В

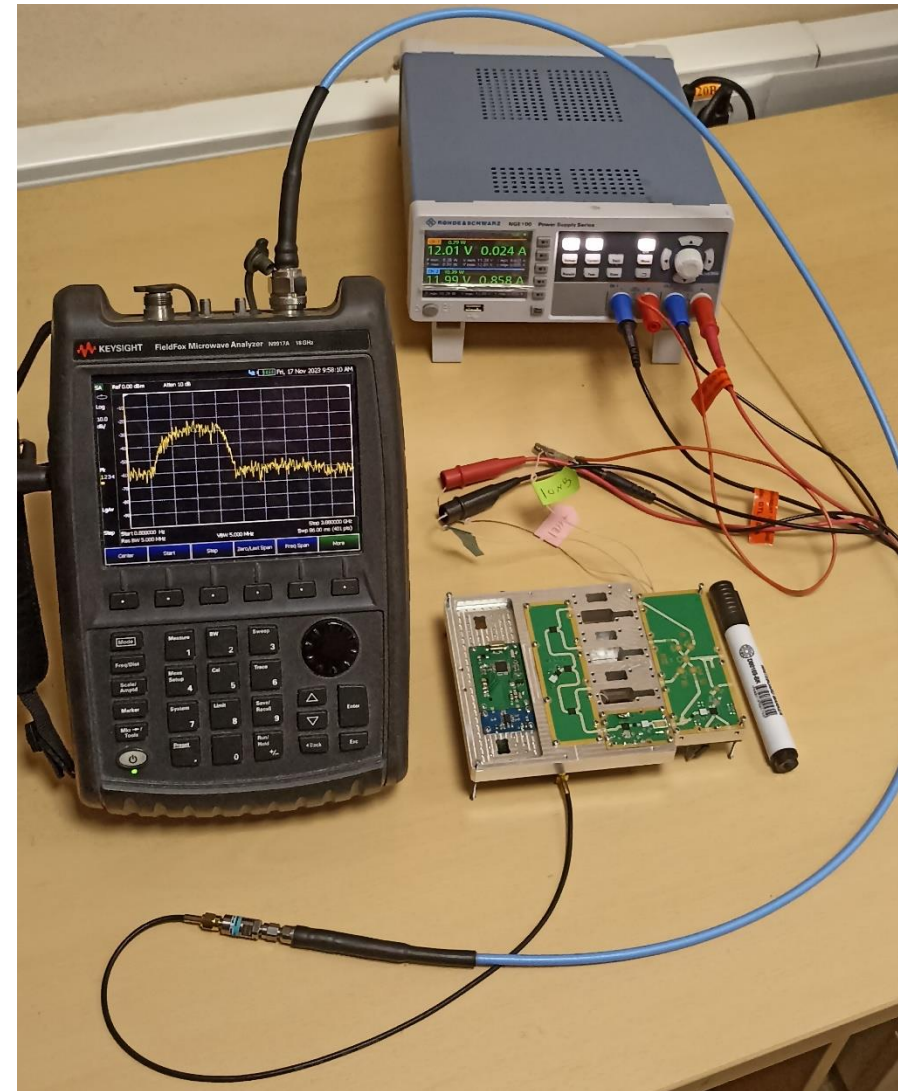
ток потребления 0,9 А,

габаритные размеры 160×120×30 мм

масса не более 2 кг

# Заключение

1. Разработана структурная схемы микроволнового радиометра с упрощенной конструкцией входного СВЧ-блока;
2. Разработан алгоритм работы предложенной структурной схемы;
3. Выполнена разработка узлов и деталей микроволнового радиометра на основе нулевого метода измерений с упрощенной конструкцией входного СВЧ-блока;
4. Произведена сборка и отладка разработанного радиометрического приемника;



# Микроволновый радиометр на основе нулевого метода измерений с упрощенной конструкцией входного СВЧ-блока

**Спасибо за внимание!**

Докладчик:

аспирант каф. РСС

**Жук Григорий Григорьевич**

Научный руководитель:

доцент каф. РСС, канд. техн. наук

**Антон Викторович Убайчин**