**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**
**Высшего образования**
**«Ижевский государственный технический университет**
**имени М. Т. Калашникова»**
**(ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»)**
**Кафедра «Конструирование Радиоэлектронной Аппаратуры»**

**Выпускная квалификационная работа на тему:**

# «Разработка и исследование программно-аппаратного комплекса для испытаний усилителей СВЧ диапазона»

Студент А. Р. Абдульменев

**Научный руководитель** **К. О. Максимов**

**Заведующий кафедрой** **В. А. Глушков**

# Актуальность

В настоящее время остро стоит проблема о качестве ЭКБ поставляемой на военно-космическую отрасль, этот вопрос имеет высокую актуальность, так как от качества ЭКБ может зависеть человеческая жизнь, огромные средства и время. Разработка и исследование представляемого комплекса, направлено на отслеживания и выявления не соответствующей продукцией, тем самым улучшается качества поставляемой продукции для космической и военной отросли.

Поэтому данная тема «Разработка и исследование программно-аппаратного комплекса для испытаний усилителей СВЧ диапазона» является актуальной.

# Цели и задачи

**Цель работы:**

Разработка автоматизированной контрольно-измерительной системы (КИС), позволяющей проводить измерения электрофизических параметров усилителей СВЧ диапазона, выполненных в виде интегральных микросхем с возможностью выявления потенциально ненадежных.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

- Исследование особенностей усилителей СВЧ диапазона;
- Исследование требуемого оборудования для комплекса;
- Разработка подключающих устройств для СВЧ усилителей;
- Разработка методики и аппаратной части измерений параметров;
- Автоматизация измерений электрических параметров СВЧ-устройств.

# Анализ особенностей работы

На сегодняшний день производителям военно-космической аппаратуры приходится использовал зарубежную ЭКБ не имеющих исчерпывающего комплекта документации, подтверждающей соответствие параметров, заявленных заводом-изготовителем. Таким образом, для подтверждения соответствия и присвоения комплекта документов для проверяемой ЭКБ необходимо проводить проверку электрических параметров.

Параметры СВЧ усилителей:

- Коэффициент усиления до 29 дБм;
- Рабочий диапазон частот от 0,1 ГГц до 20 ГГц;
- Выходная мощность до 22 дБм;
- Коэффициент шума до 6 дБм;
- Напряжения питания до 200 В постоянного тока;
- Ток потребления до 3 А.

# Разработка комплекса

Рисунок 1 - Комплекс измерительный,
СВЧ аппаратуры

# Параметры

Часто проверяемые параметры усилителей СВЧ диапазона:

- Потери на входе, выходе;
- Коэффициент усиления;
- Развязка межу сигнальной шиной и землей (изоляция).

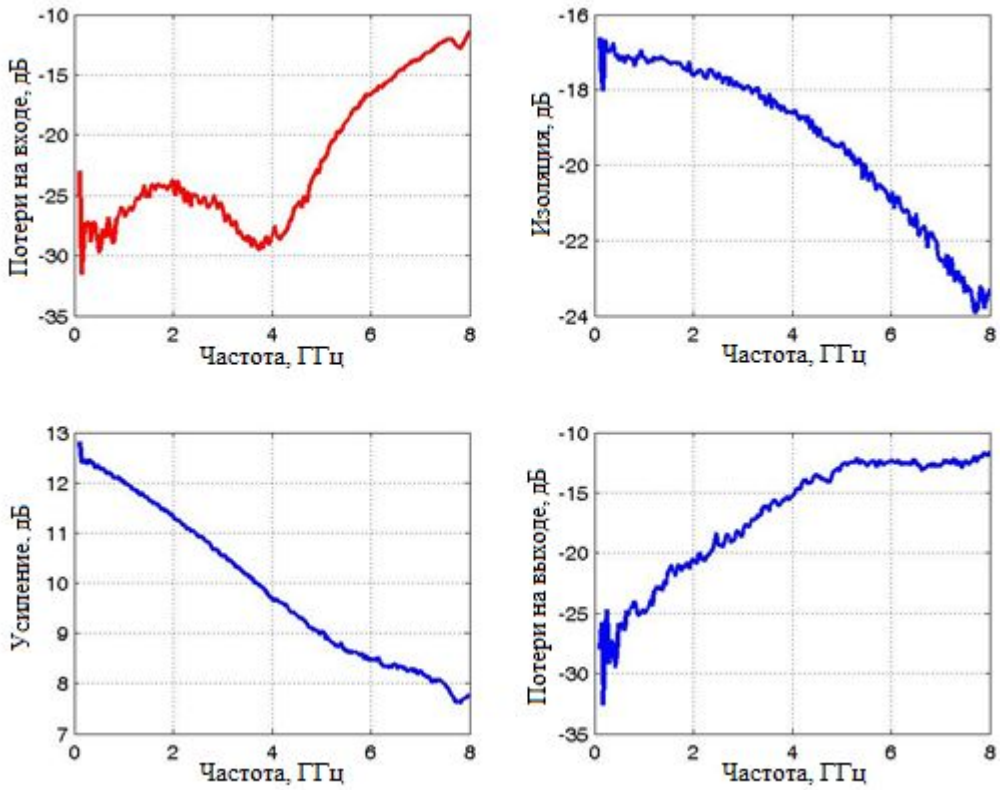



Рисунок 2 – Графики полученных при проверки усилителя ERA-1SM

Также, разработанный комплекс рассчитан на проверку параметров:

- Максимальная измеряемая мощность не менее 20;
- Измерения коэффициента отражения (S11, S22);
- Коэффициент передачи (S12, S21)
- Напряжение питания постоянного тока от 0,01 В до 200 В;
- Ток потребления от 0,001 А до 3А.

# Схема электрическая принципиальная ПУ

Схема построена с учетом проверяемых СВЧ параметров усилителя.

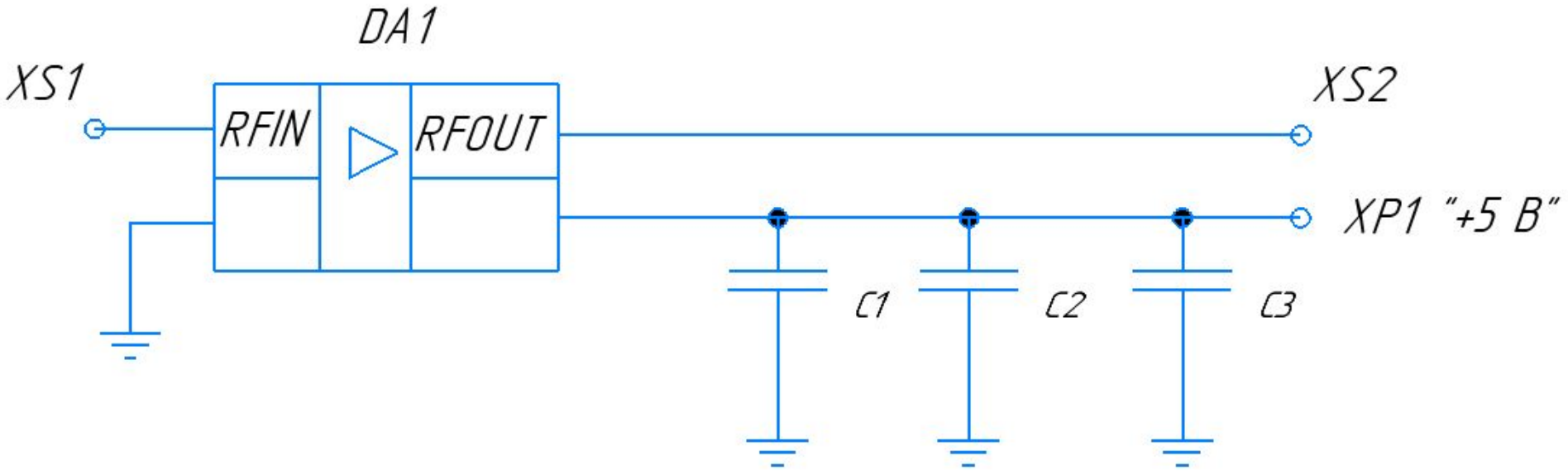


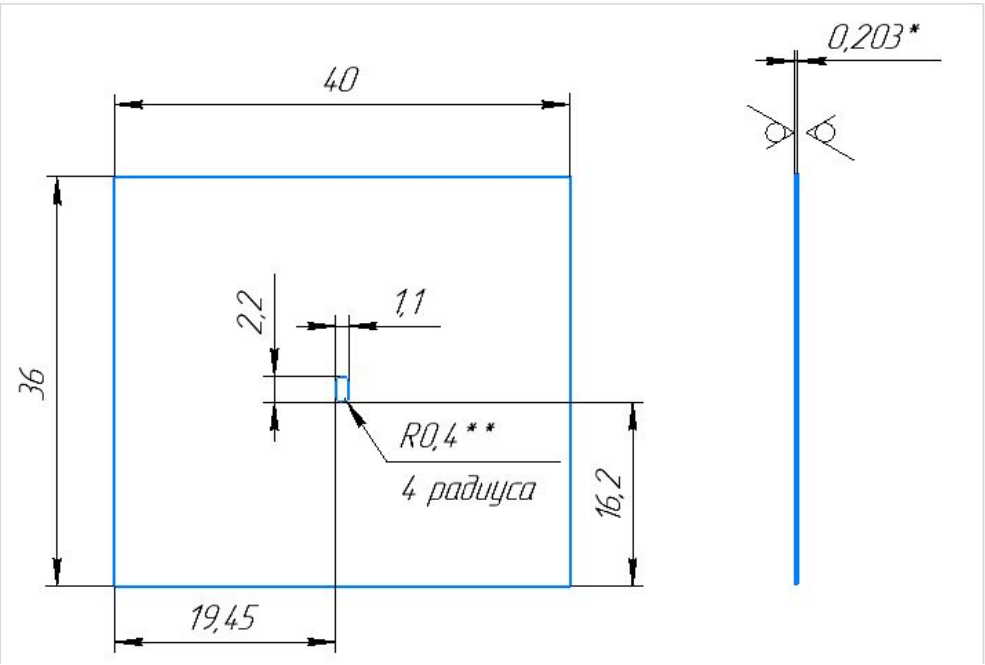

Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная ПУ
для усилителя HMC441

# Печатная плата ПУ

Разработана и изготовлена двухсторонняя печатная плата.

Плата соответствует 3-й группе жесткости по ГОСТ23752-97.

Класс точности 4, ГОСТ Р 53429-2009.



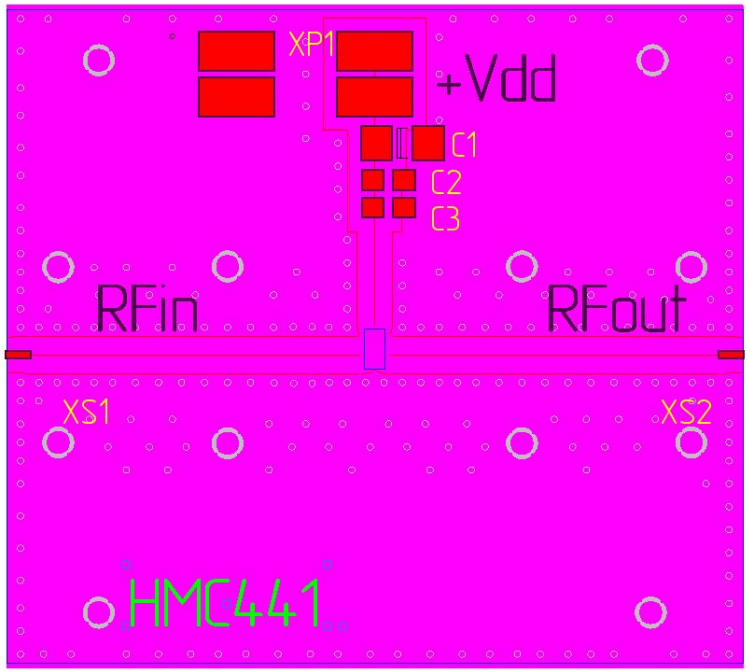




Рисунок 4 – Печатная плата для подключающего устройства усилителя HMC441

# Основание для ПП

Основание разработано и изготовлено из латуни ЛС59-1 ГОСТ 15527-2004.

Состав ЛС59-1:

- медь 57-60 %;
- цинк 37,05-42,2 %;
- свинец 0,8-1,9 %;
- различные примеси 0,75 %.

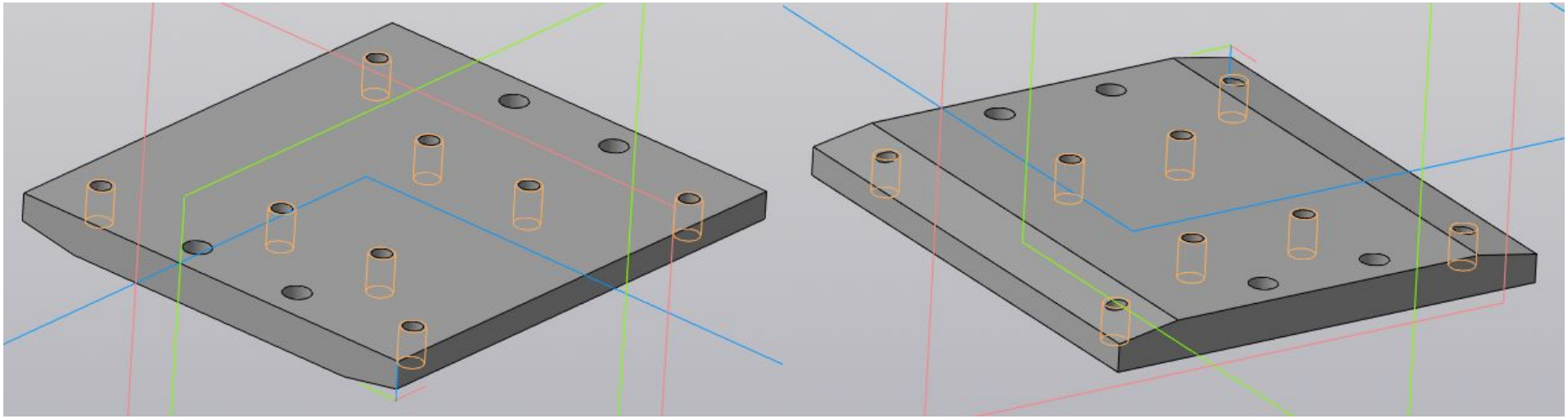


Рисунок 5 – Основание спроектировано в КОМПАС-3D

# Основание для ПП

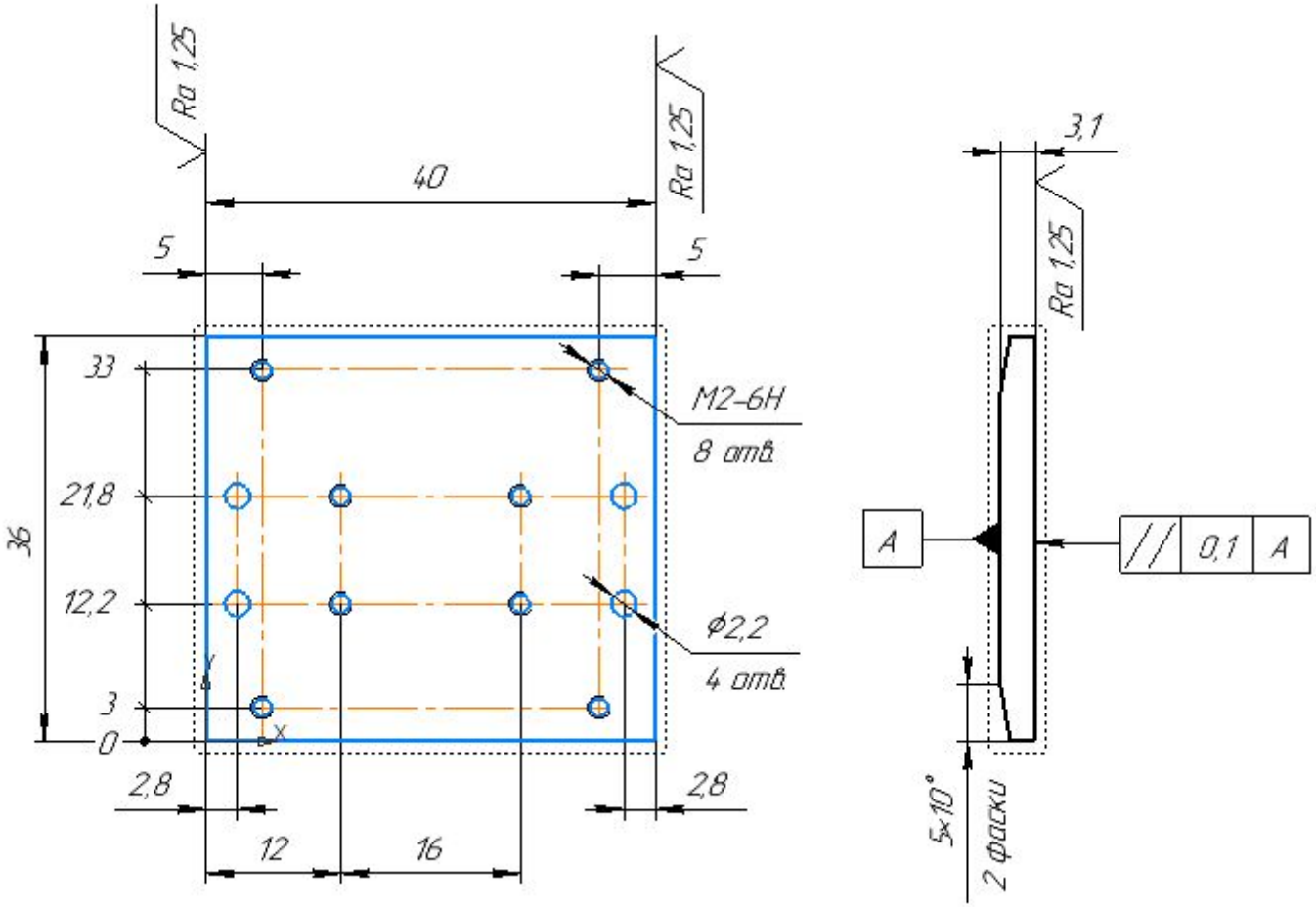



Рисунок 6 – Основание спроектировано в КОМПАС-3D

# Защитная крышка

Крышка разработано и изготовлено из полиамида ПА6 ОСТ 6-06-С9-93.

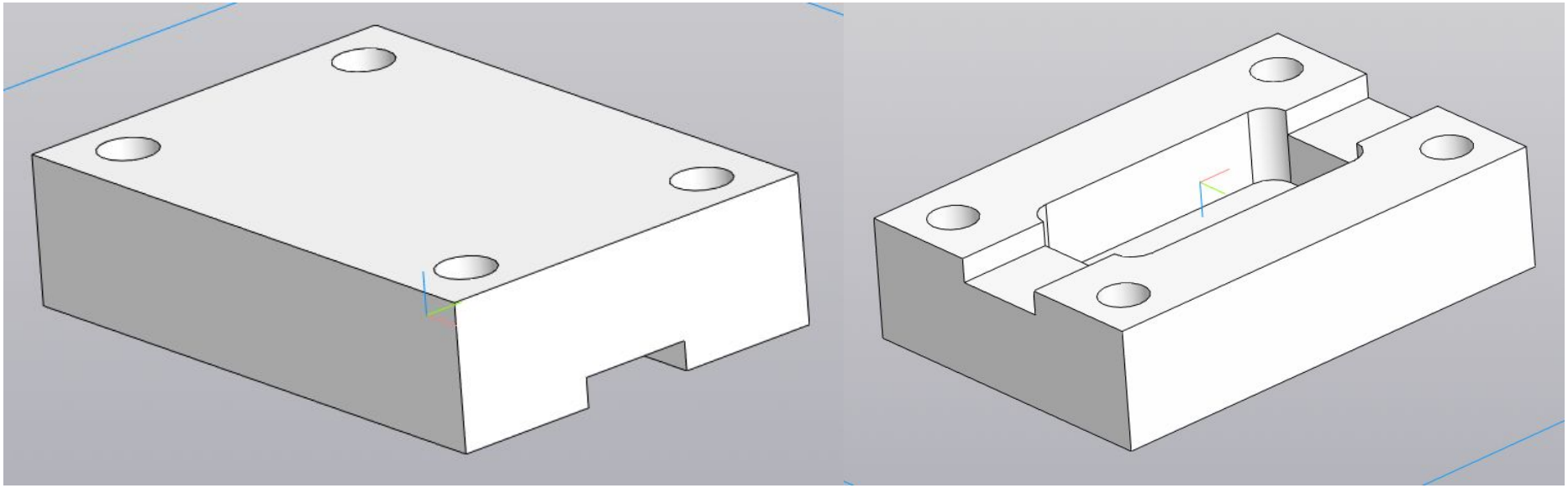


Рисунок 7 – Защитная крышка спроектировано в КОМПАС-3D

# Защитная крышка

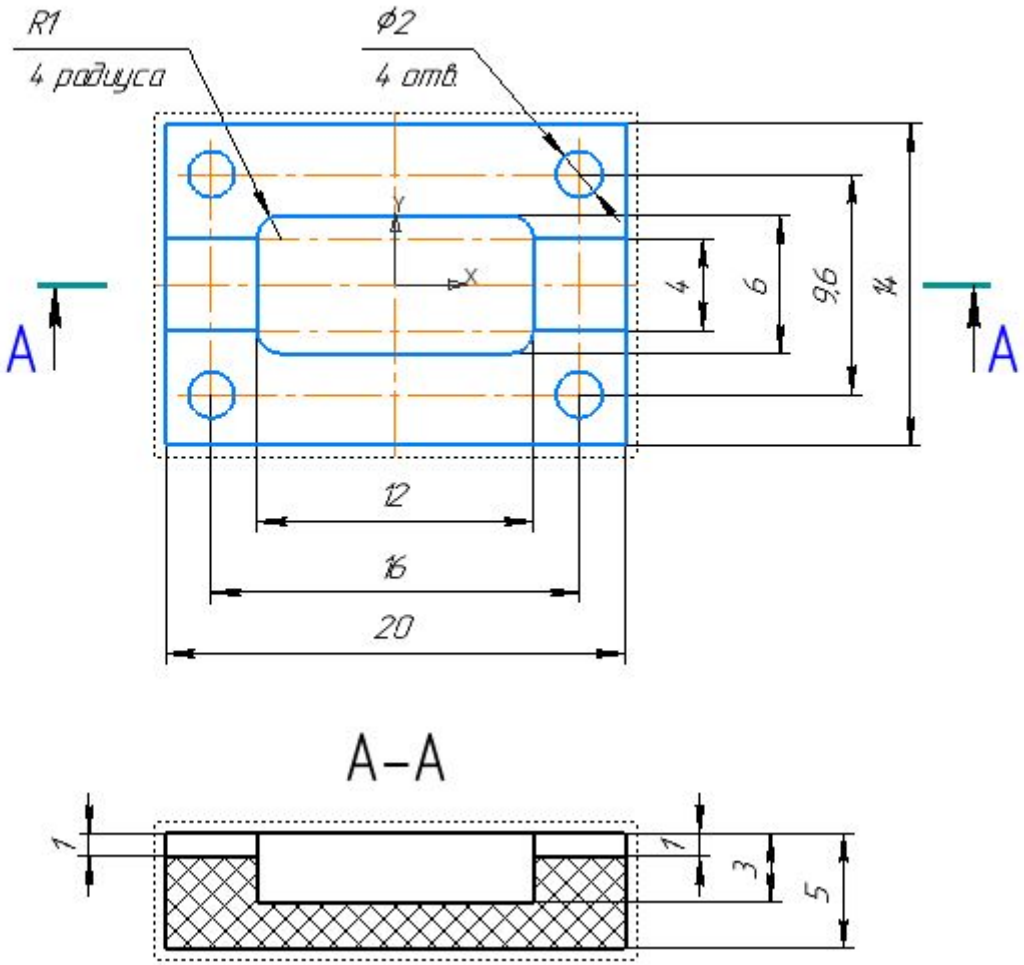



Рисунок 7 – Защитная крышка спроектировано в КОМПАС-3D

# Подключающее устройство

ПУ разработаны с соответствием всех технических условий и требований поставленных для работы.

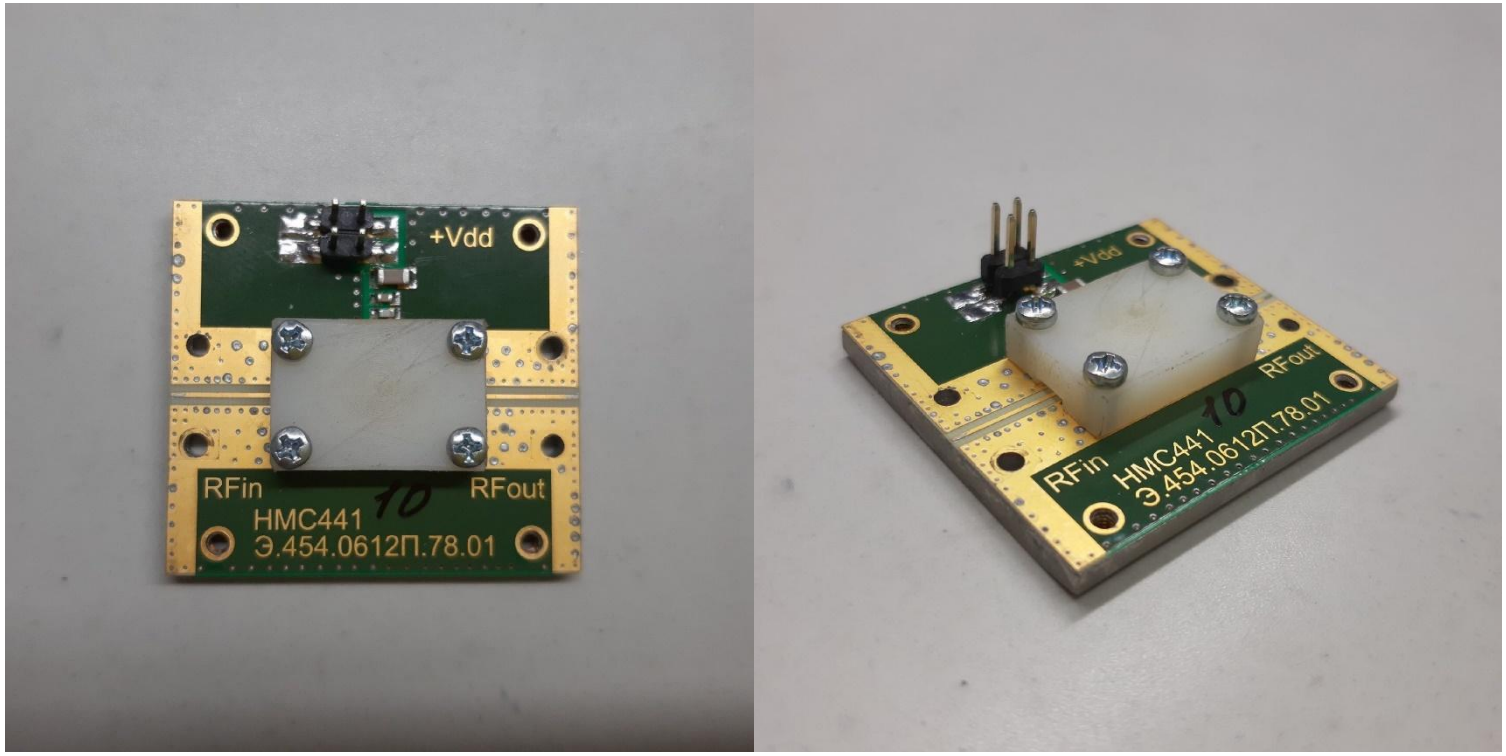



Рисунок 8 – Пример готового ПУ для бескорпусных усилителей HMC441

# Подключающее устройство

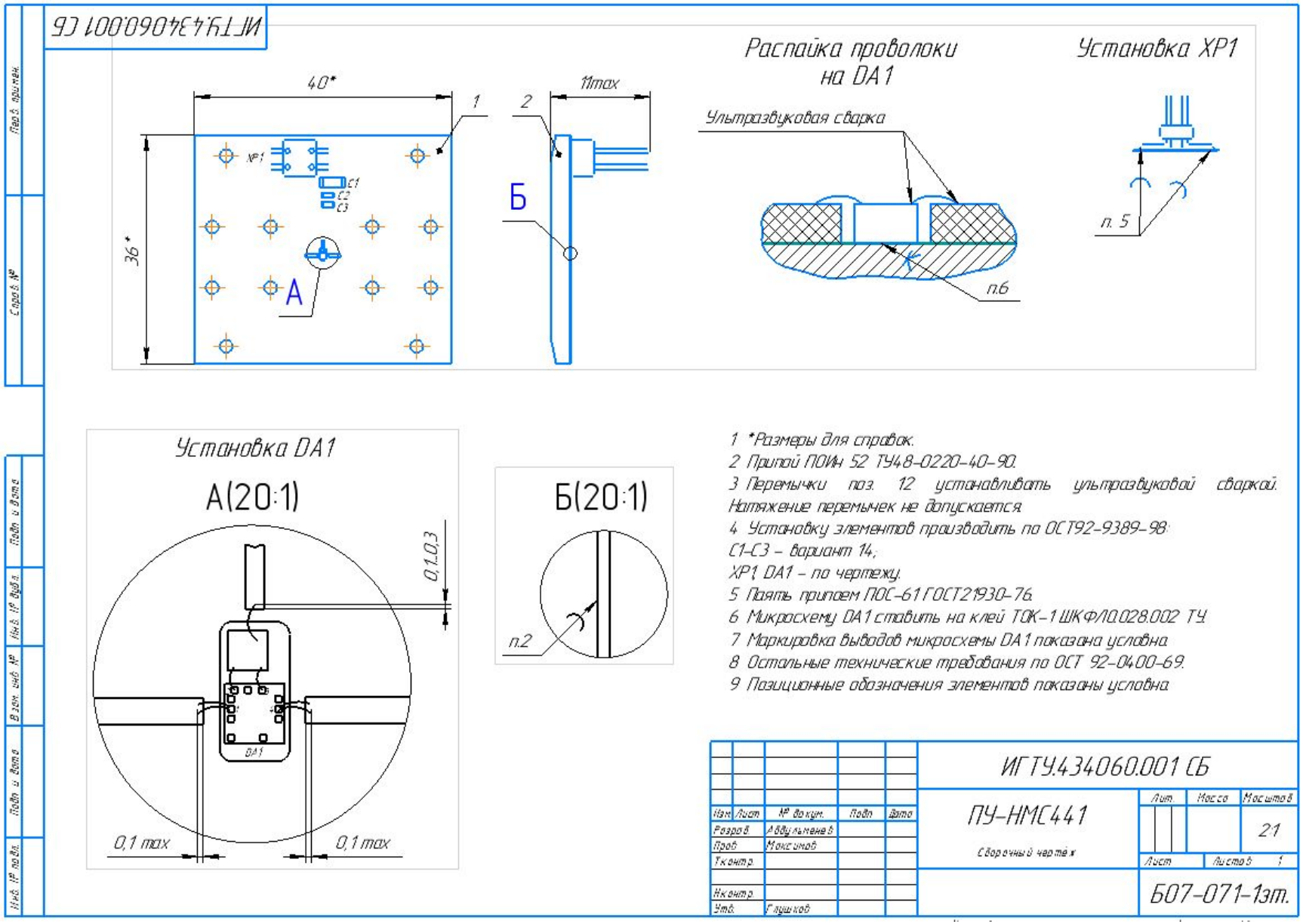



Рисунок 9 – ПУ спроектировано в КОМПАС-3D

# Программная реализация методики в среде Agilent VEE Pro 9.2

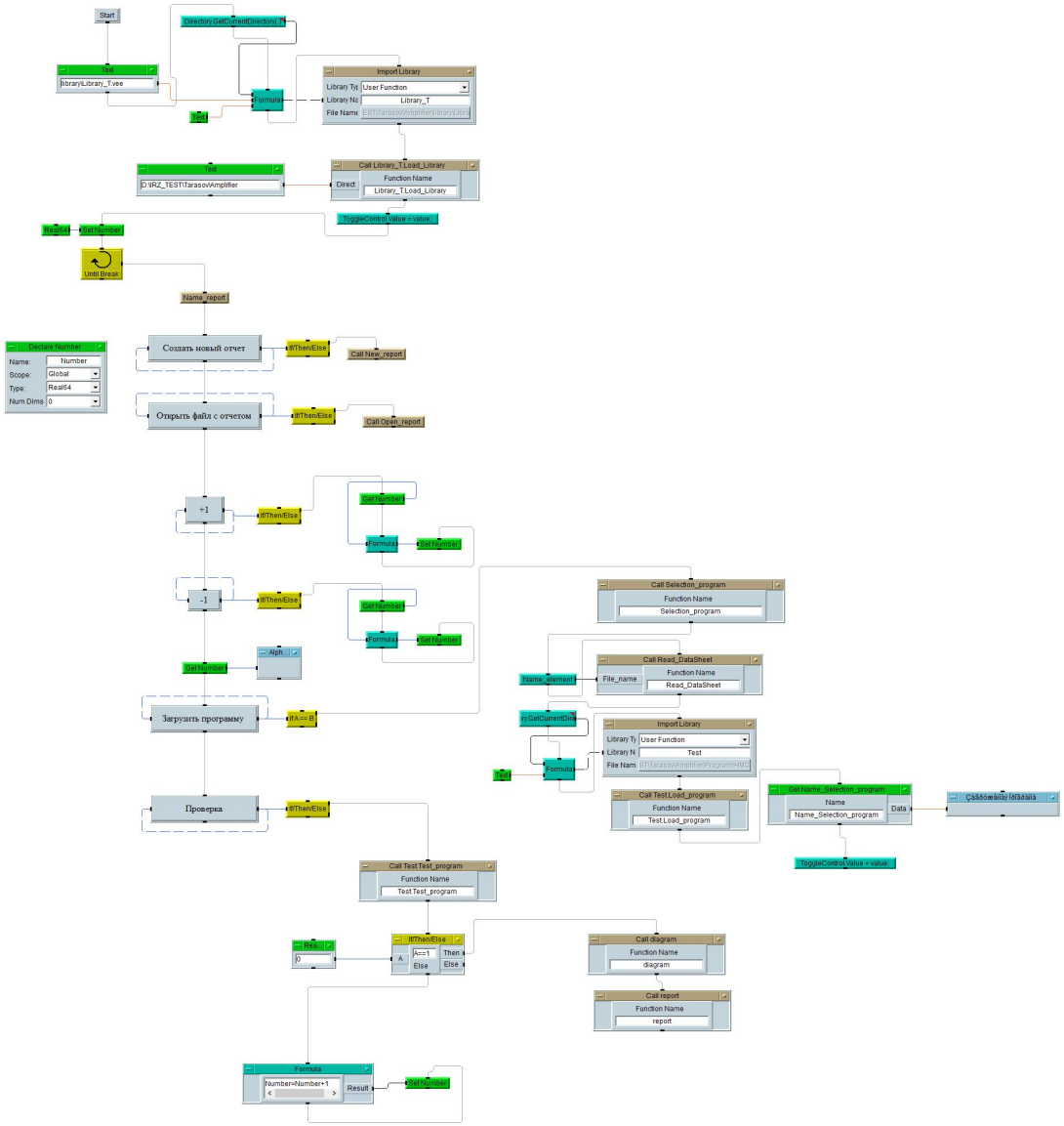



Рисунок 10 –Блок схеса в среде Agilent VEE Pro 9.2

# Пользовательский интерфейс

Разработан интерфейс для автоматизированной системы проверки параметров, с помощью которого осуществляется ввод информации и запуск начала проверки параметров СВЧ усилителей.

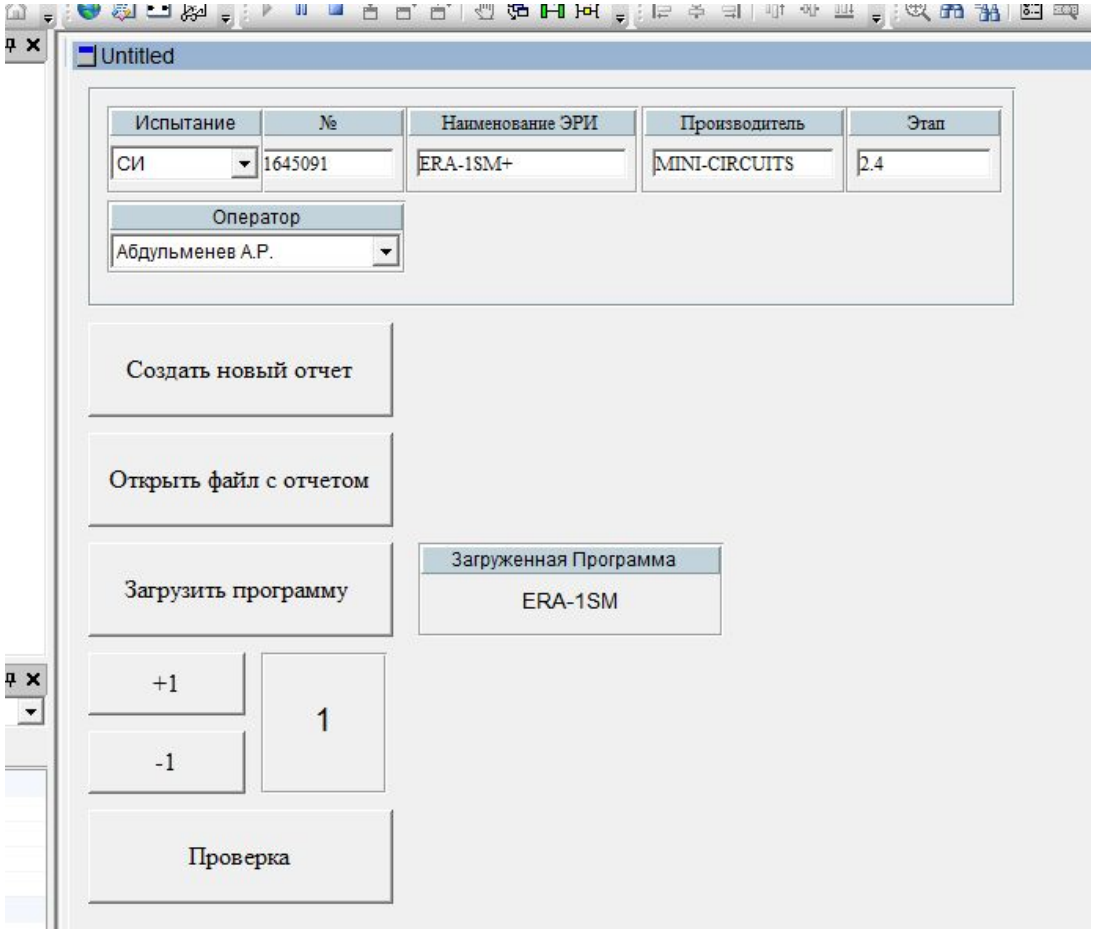



Рисунок 11 – Пользовательский интерфейс

# Интерфейс параметром

Для быстрого анализа и визуального восприятия полученных результатов измерений, имеется интерфейс параметров.

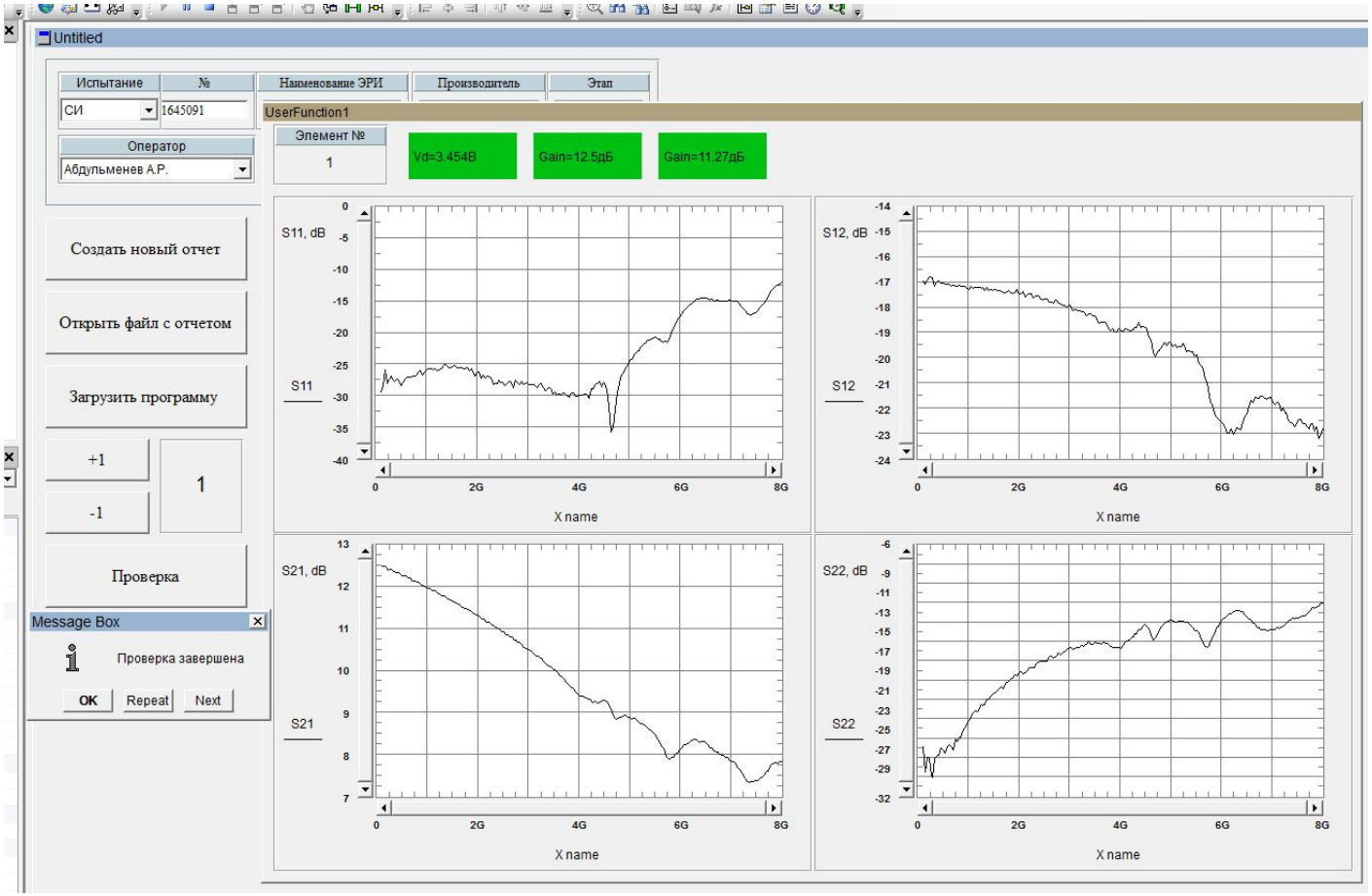



Рисунок 12 – Графический пользовательский интерфейс

# Результат проверке

После провиденной проверке параметров, формируется отчет в программе Microsoft Excel, который в дальнейшем нужен для провидения анализа проверке.

| B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Микросхема: | 1 | | | | | | | |
| Наименование микросхемы: | HMC441 | | | | | | | |
| Дата проверки: | 18.10.2019 10:12:15 | | | | | | | |
| Оператор: | Абдульменев А.Р. | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| Параметр | Условия измерения | Частота | Единица измерения | Мин. | Тип. | Макс | Изм. | Результат |
| Ток потребления | Vdd=5 В | | мА | | 90 | 115 | 103.1 | Соотв. |
| Коэффициент усиления | Pin=-20дБм, Vdd=5 В | 7-8 ГГц | дБ | 13 | 15.5 | | 13.46 | Соотв. |
| Коэффициент усиления | Pin=-20дБм, Vdd=5 В | 8-12.5 ГГц | дБ | 14 | 16.5 | | 14.34 | Соотв. |
| Коэффициент усиления | Pin=-20дБм, Vdd=5 В | 12.5-14 ГГц | дБ | 13 | 15.5 | | 14.92 | Соотв. |
| Коэффициент усиления | Pin=-20дБм, Vdd=5 В | 14-15.5 ГГц | дБ | 12 | 14.5 | | 12.81 | Соотв. |

Рисунок 13 – Пример сформированного отчета для усилителя HMC441

# Анализ полученных данных

Для анализа данных проверенных элементов, за основу были взяты данные от изготовителя ЭКБ и проведены сравнения.

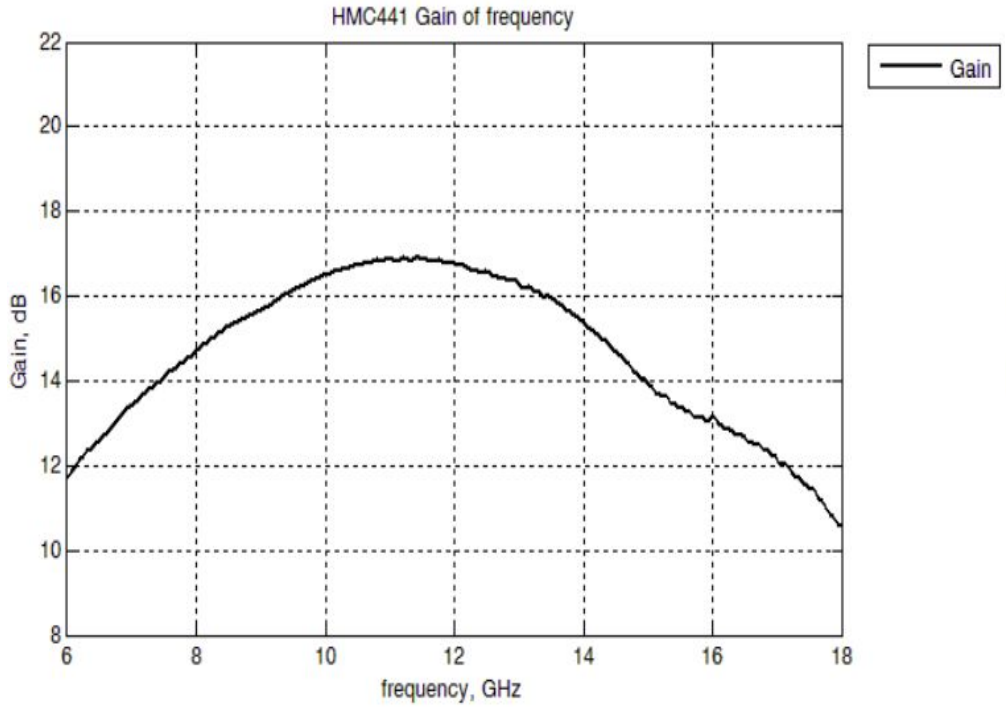



Рисунок 14 – График коэффициента усиления усилителя HMC441 полученный при проверке

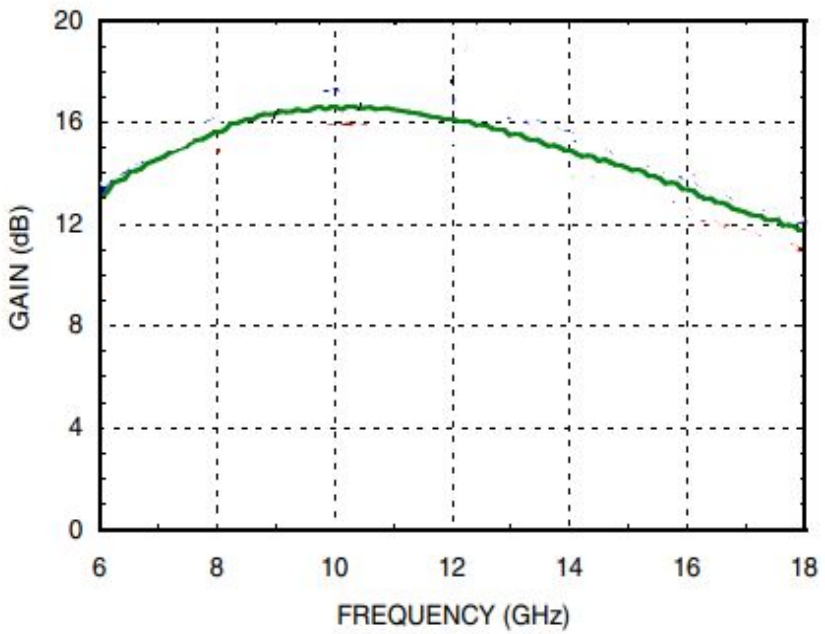



Рисунок 15 – Теоретический график коэффициента усиления приведенный в технической документации производителя

# Сравнение параметров

Среднее отклонение коэффициента усиления на частоте от 7 до 15,5 ГГц составила, 1,6 дБм для усилителя HMC441.

| | Мин. | Тип. | Макс. | Мин. | Тип. | Макс. | Мин. | Тип. | Макс. | Мин. | Тип. | Макс. | Ед. измерения |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Частотный диапазон | 7-8 | | | 8-12.5 | | | 12.5-14 | | | 14-15.5 | | | ГГц |
| Усиление | 13 | 15.5 | | 14 | 16.5 | | 13 | 15.5 | | 12 | 14.5 | | дБ |
| Ток потреб. | | 90 | 115 | | 90 | 115 | | 90 | | | 90 | 115 | мА |

Рисунок 16 – Параметры изготовителя, усилителя HMC441

| | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Микросхема: | 1 | | | | | | | |
| | Наименование микросхемы: | HMC441 | | | | | | | |
| | Дата проверки: | 18.10.2019 10:12:15 | | | | | | | |
| | Оператор: | Абдульменев А.Р. | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | Параметр | Условия измерения | Частота | Единица измерения | Мин. | Тип. | Макс | Изм. | Результат |
| | Ток потребления | Vdd=5 В | | мА | | 90 | 115 | 103.1 | Соотв. |
| | Коэффициент усиления | Pin=-20дБм, Vdd=5 В | 7-8 ГГц | дБ | 13 | 15.5 | | 13.46 | Соотв. |
| | Коэффициент усиления | Pin=-20дБм, Vdd=5 В | 8-12.5 ГГц | дБ | 14 | 16.5 | | 14.34 | Соотв. |
| | Коэффициент усиления | Pin=-20дБм, Vdd=5 В | 12.5-14 ГГц | дБ | 13 | 15.5 | | 14.92 | Соотв. |
| | Коэффициент усиления | Pin=-20дБм, Vdd=5 В | 14-15.5 ГГц | дБ | 12 | 14.5 | | 12.81 | Соотв. |

Рисунок 17 – Измеренные параметры, усилителя HMC441

# Рабочее место оператора

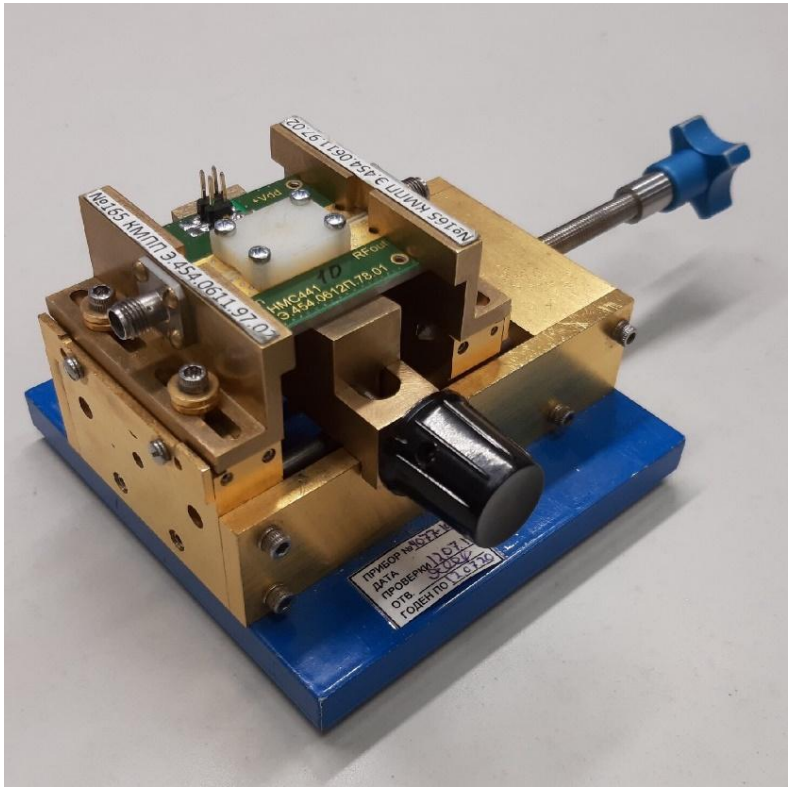



Рисунок 18– вспомогательное устройство (СВЧ тиски) и ПУ для HMC441

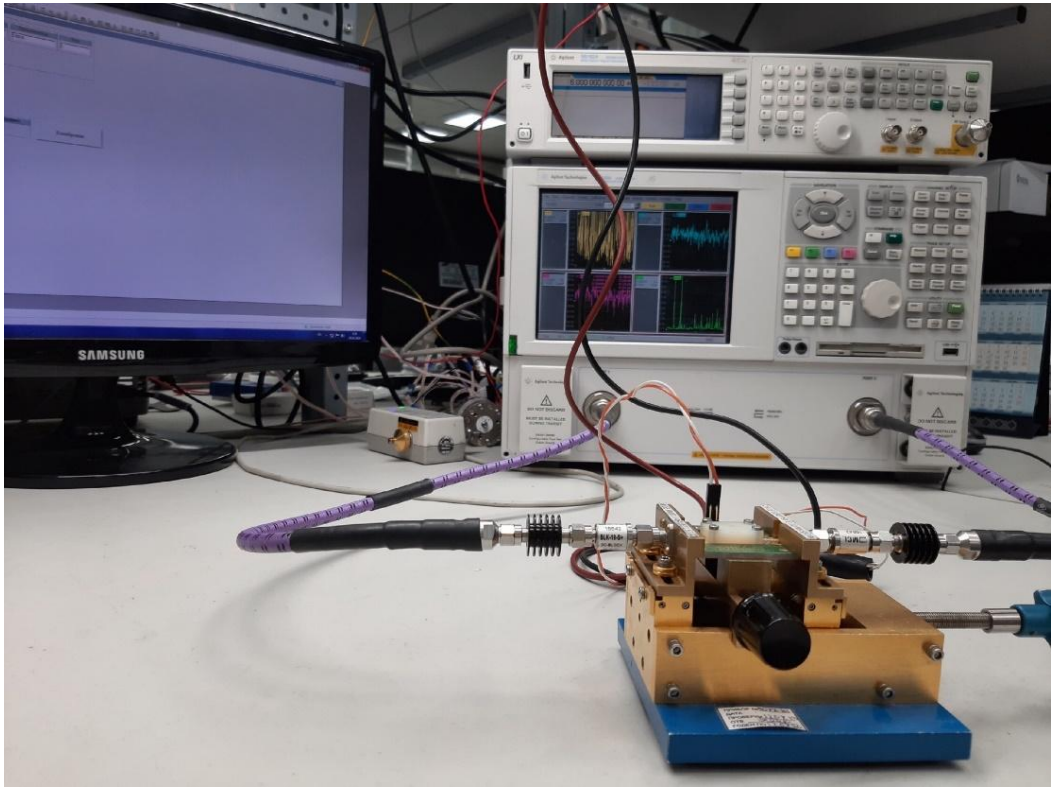



Рисунок 19 – готовое рабочее место, для проверки СВЧ параметров усилителя HMC441

# Заключение

В ходе проделанной работы были выполнены следующие поставленные задачи:

1. Проработаны и учтены все особенности усилителей СВЧ диапазона по ГОСТ 29180-91.
2. Разработан измерительный комплекс на базе СВЧ приборов с учетом методов измерения электрических параметров, ГОСТ 20271,1-91.
3. Разработано подключающее устройства для усилителей СВЧ диапазона, рабочая чистота которых составляет от 0,1 ГГц до 15,5 ГГц и выходная мощность до 29 дБм.
4. Разработана методика в среде Agilent VEE Pro 9.2 для управления измерительными приборами комплекса.
5. Пользовательский интерфейс разработан для автоматизации процессов измерения электрических параметров и удобства использования программного модуля. Пользовательский интерфейс позволяет исключить человеческий фактор из испытаний а также понизить требования к квалификации персонала.
6. Проанализирована эффективность комплекса в частотном диапазоне до 15,5 ГГц и выходной мощности до 22 дБм, и относительная погрешность измерения составила 6,58%.

***Спасибо за внимание!***