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).

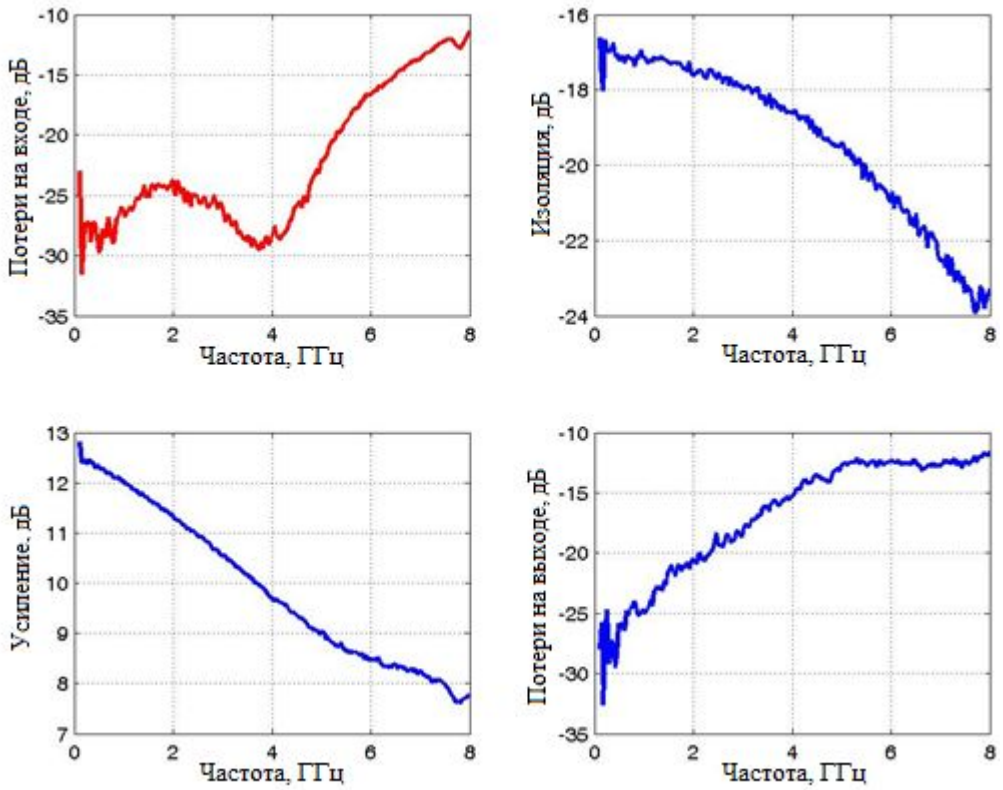


Рисунок 2 – Графики полученных при проверки усилителя ERA-1SM

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.

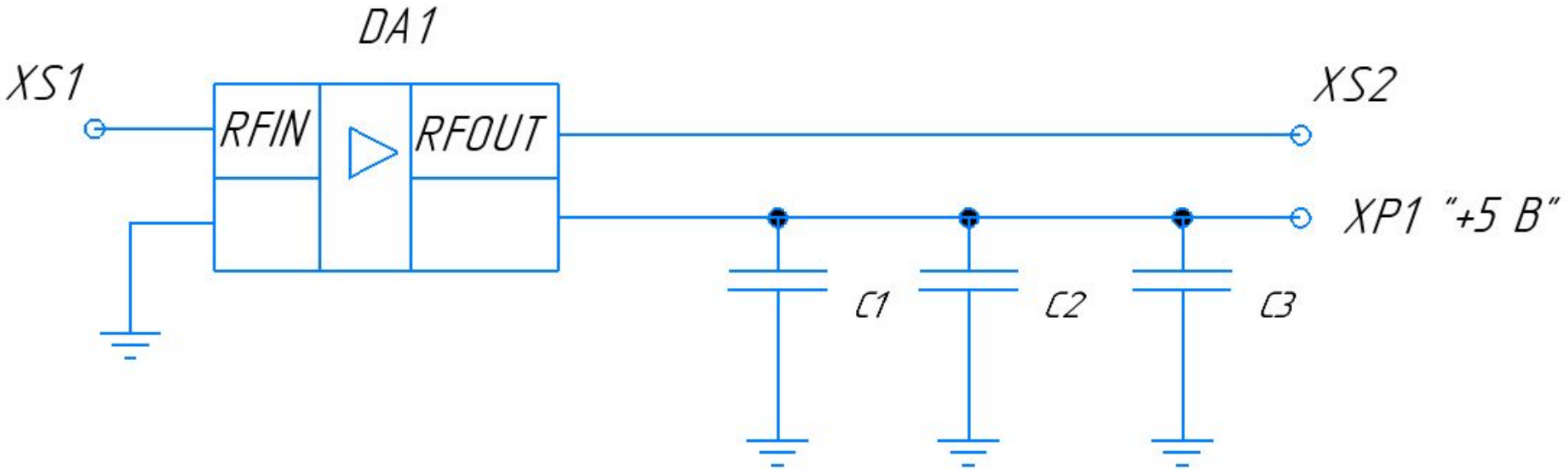


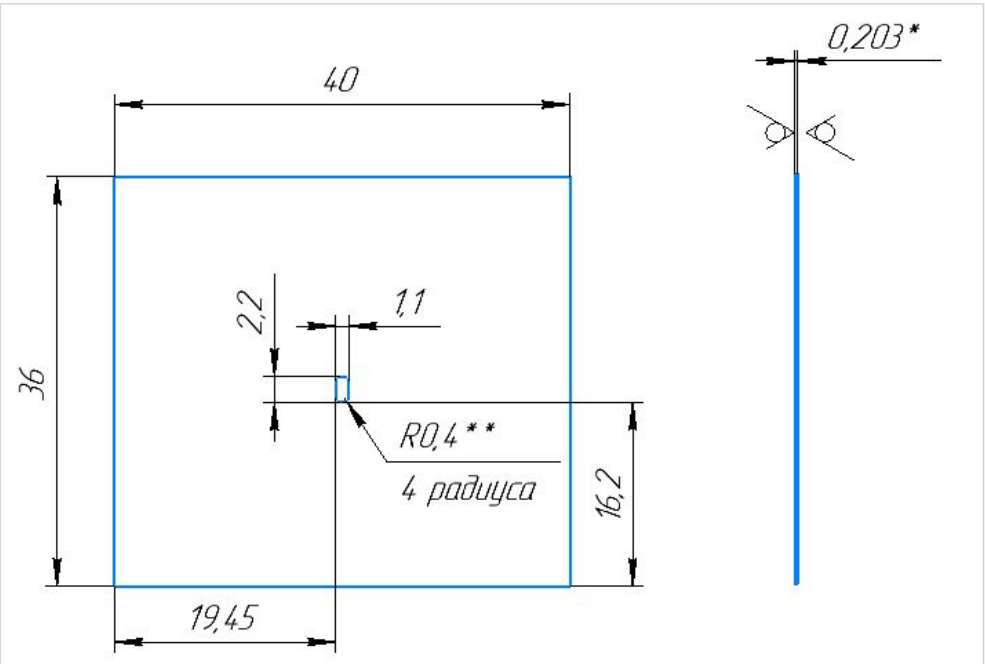
Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная ПУ
для усилителя HMC441

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.



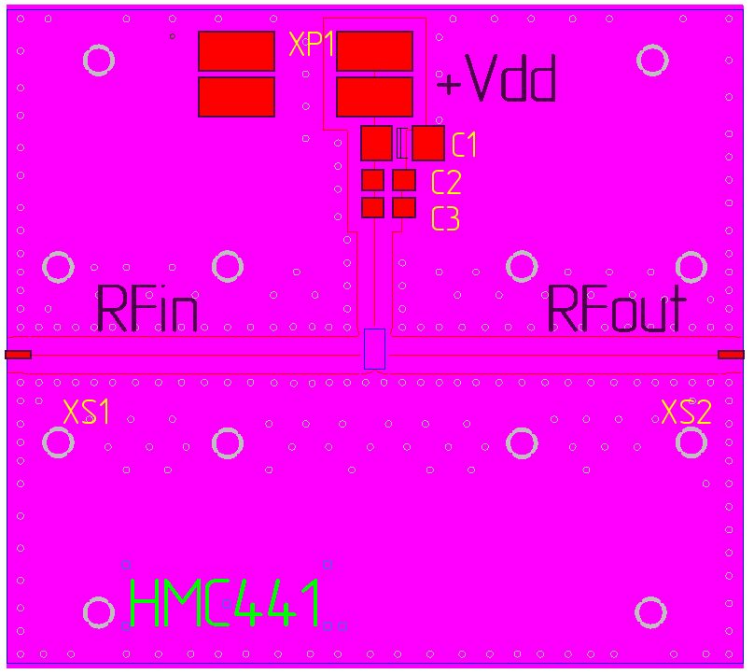


Рисунок 4 – Печатная плата для подключающего устройства усилителя HMC441

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 %.

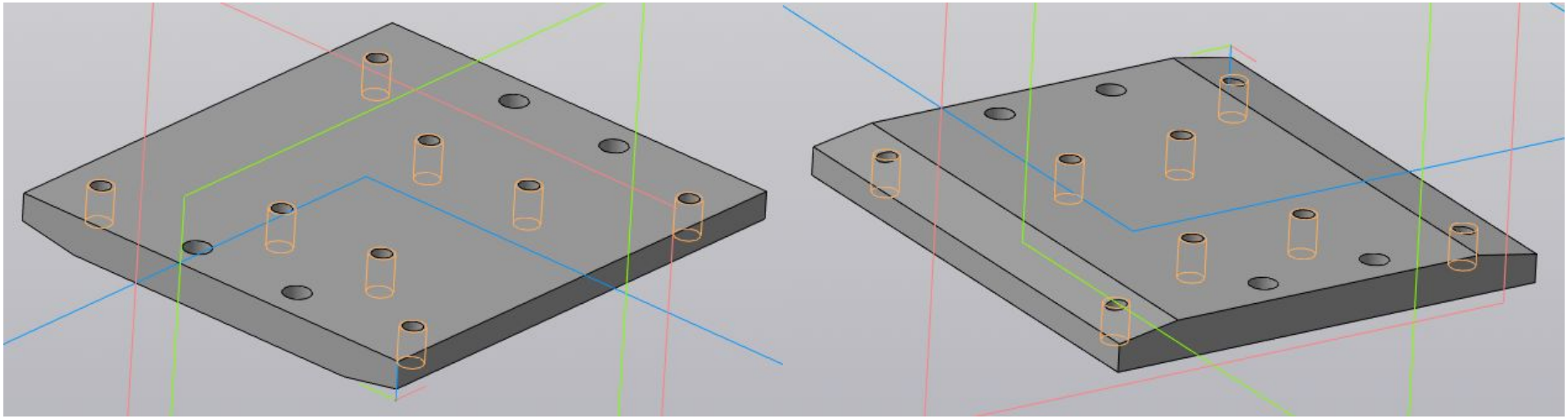


Рисунок 5 – Основание спроектировано в КОМПАС-3D

Основание для ПП

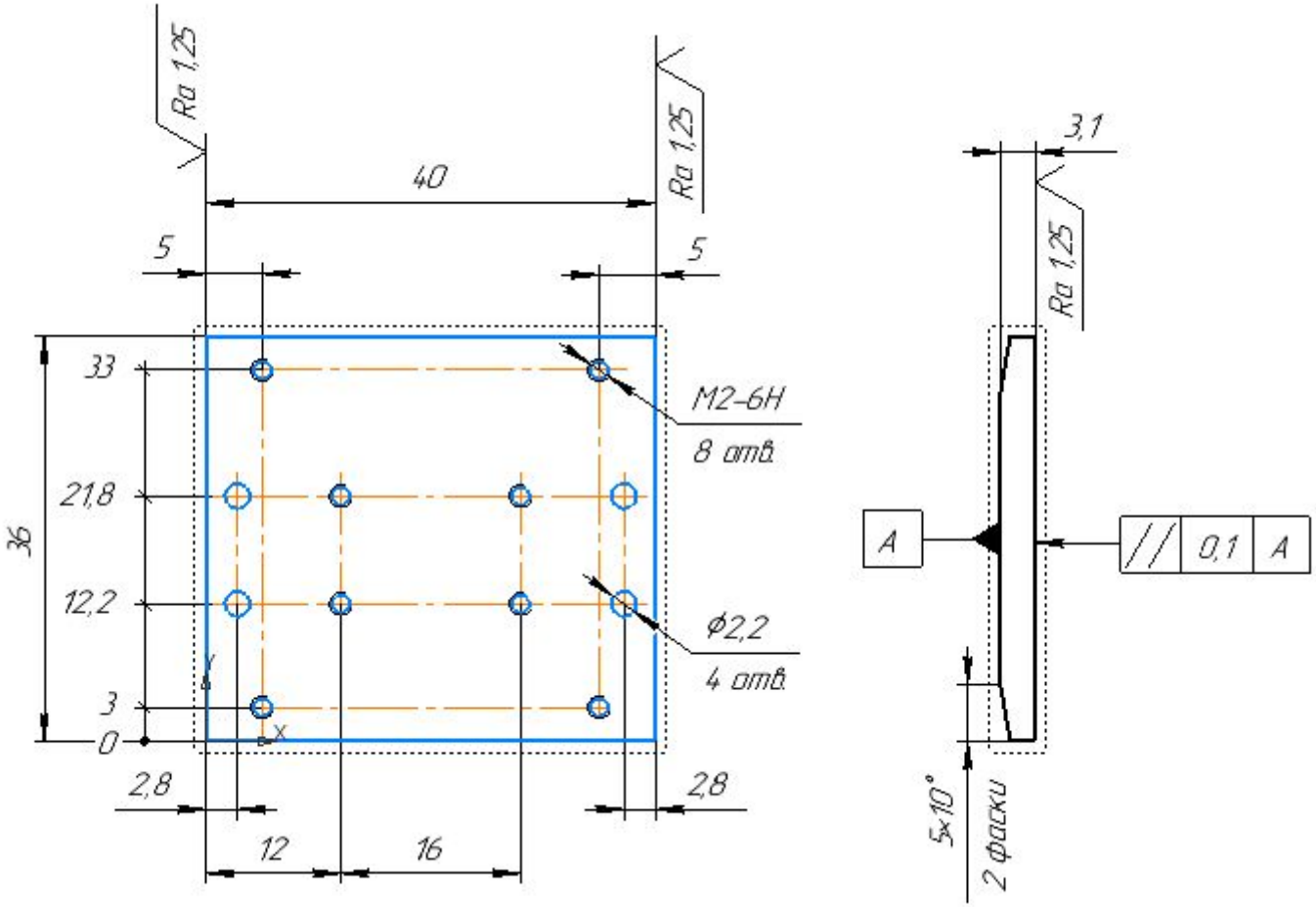


Рисунок 6 – Основание спроектировано в КОМПАС-3D

Защитная крышка

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

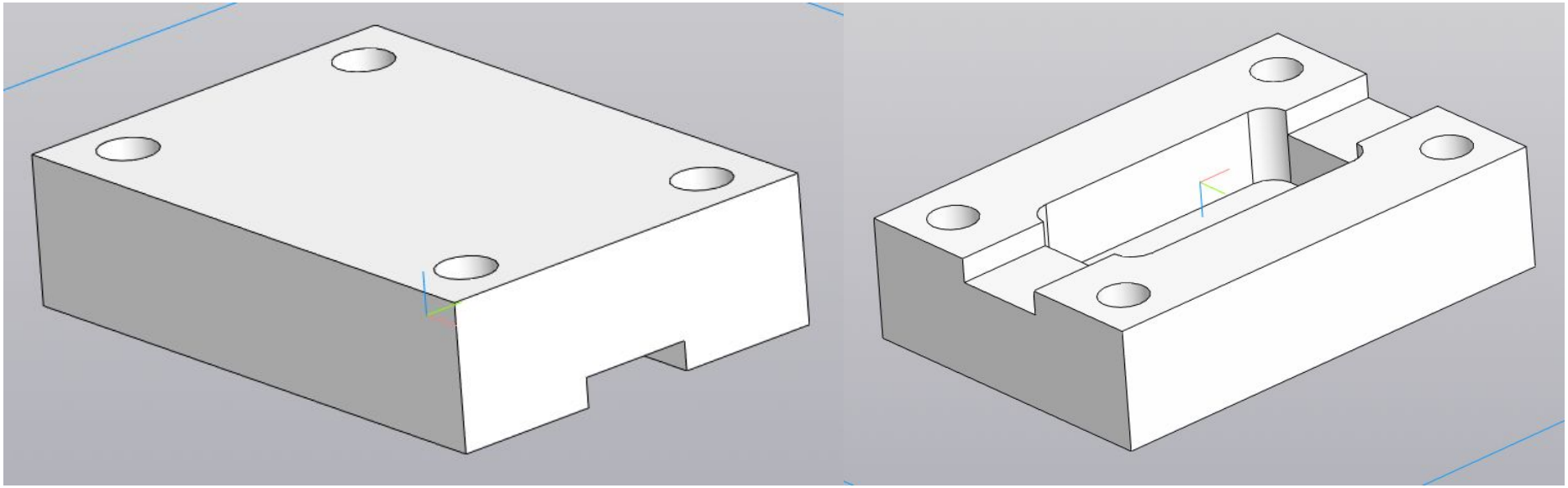


Рисунок 7 – Защитная крышка спроектировано в КОМПАС-3D

Защитная крышка

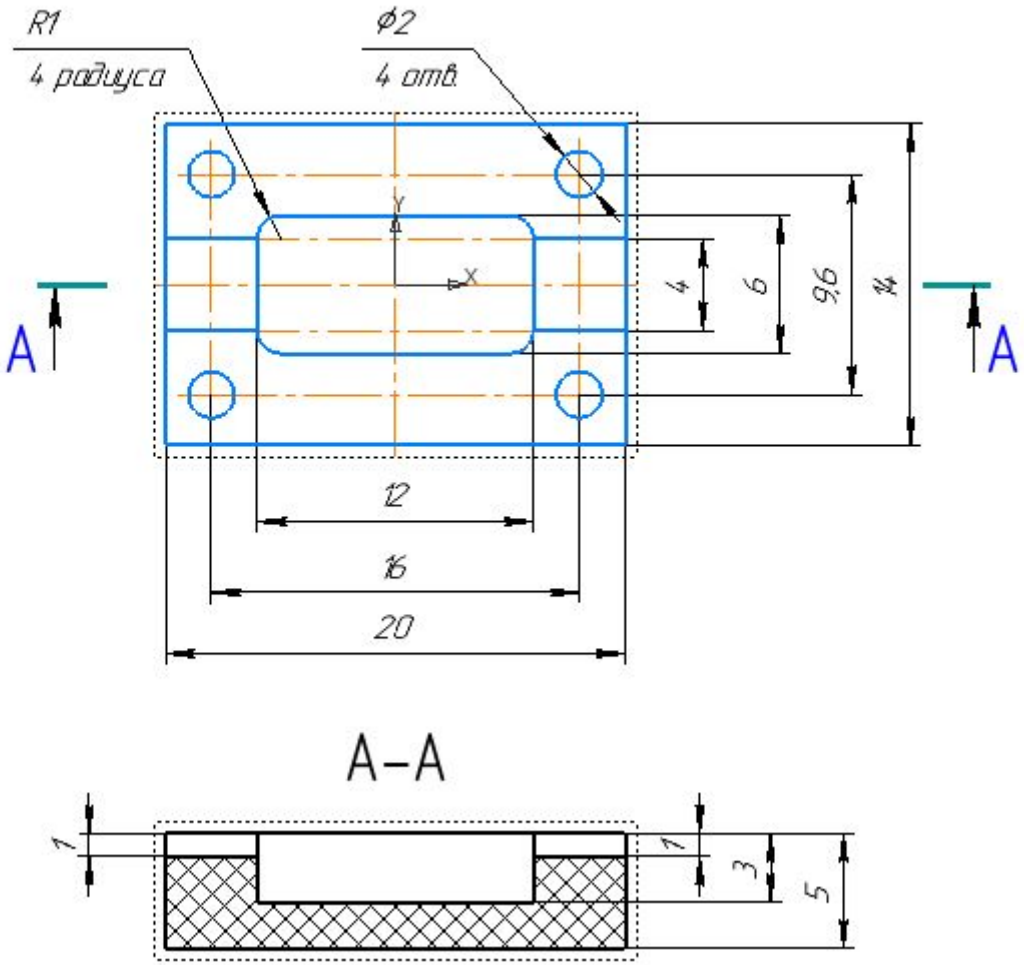


Рисунок 7 – Защитная крышка спроектировано в КОМПАС-3D

Подключающее устройство

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

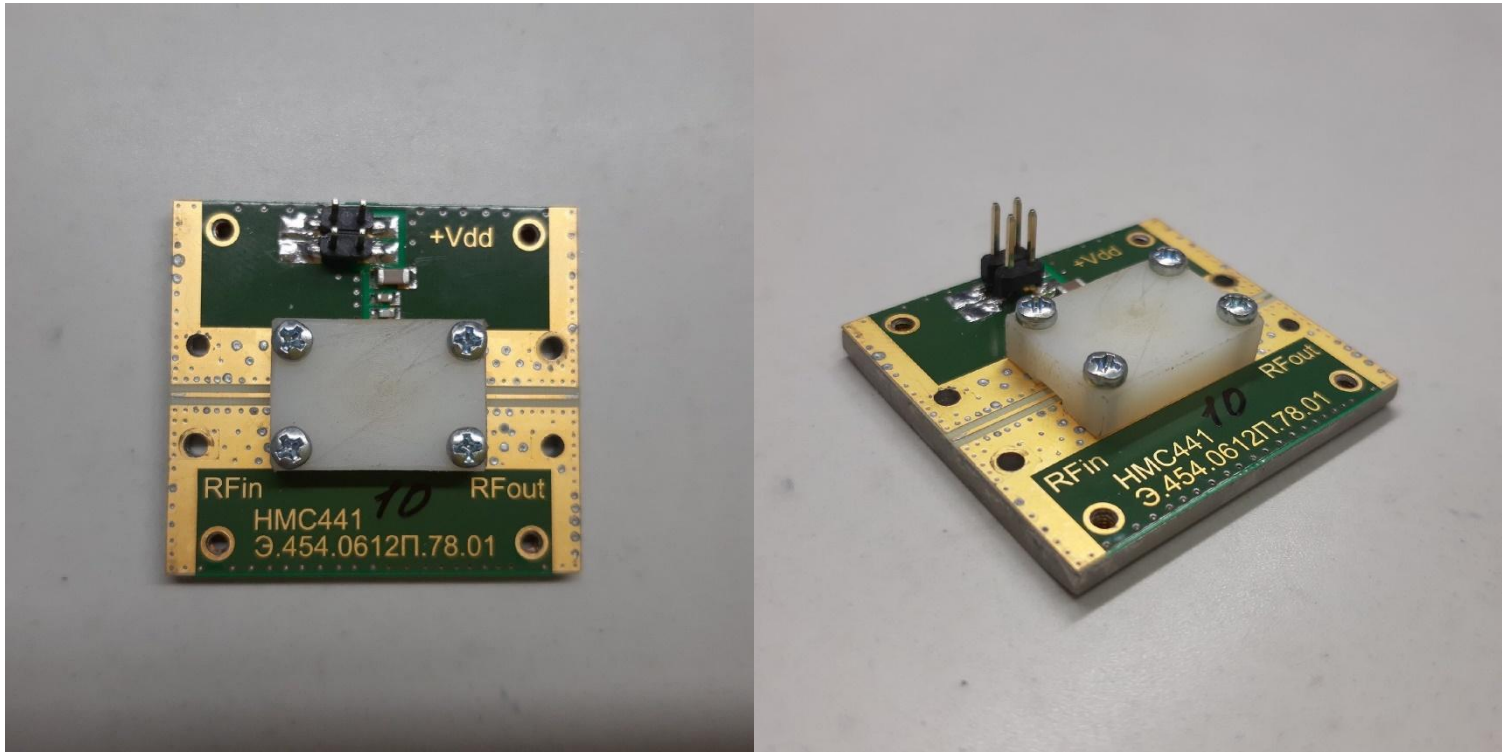


Рисунок 8 – Пример готового ПУ для бескорпусных усилителей HMC441

Подключающее устройство

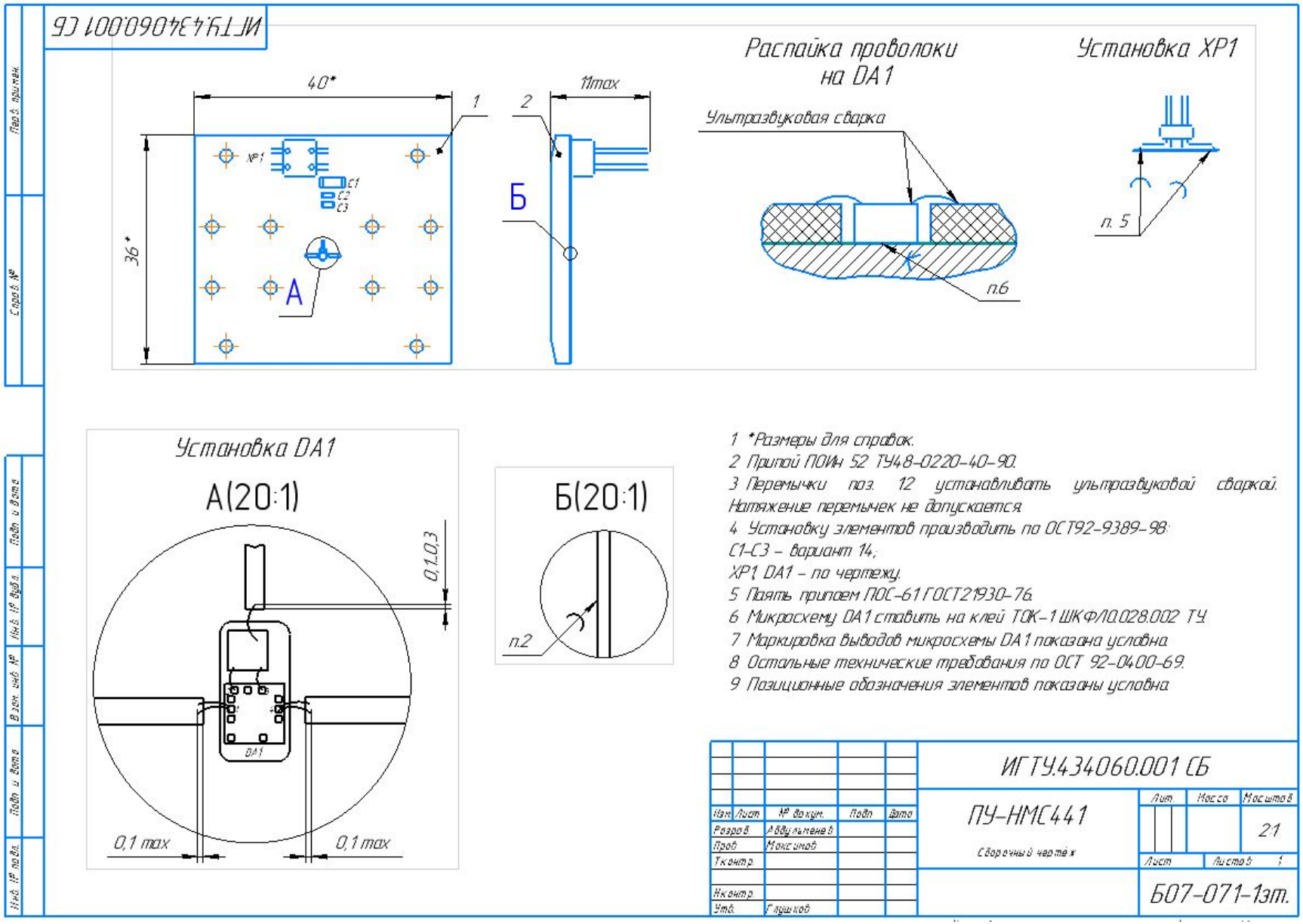


Рисунок 9 – ПУ спроектировано в КОМПАС-3D

Программная реализация методики в среде Agilent VEE Pro 9.2

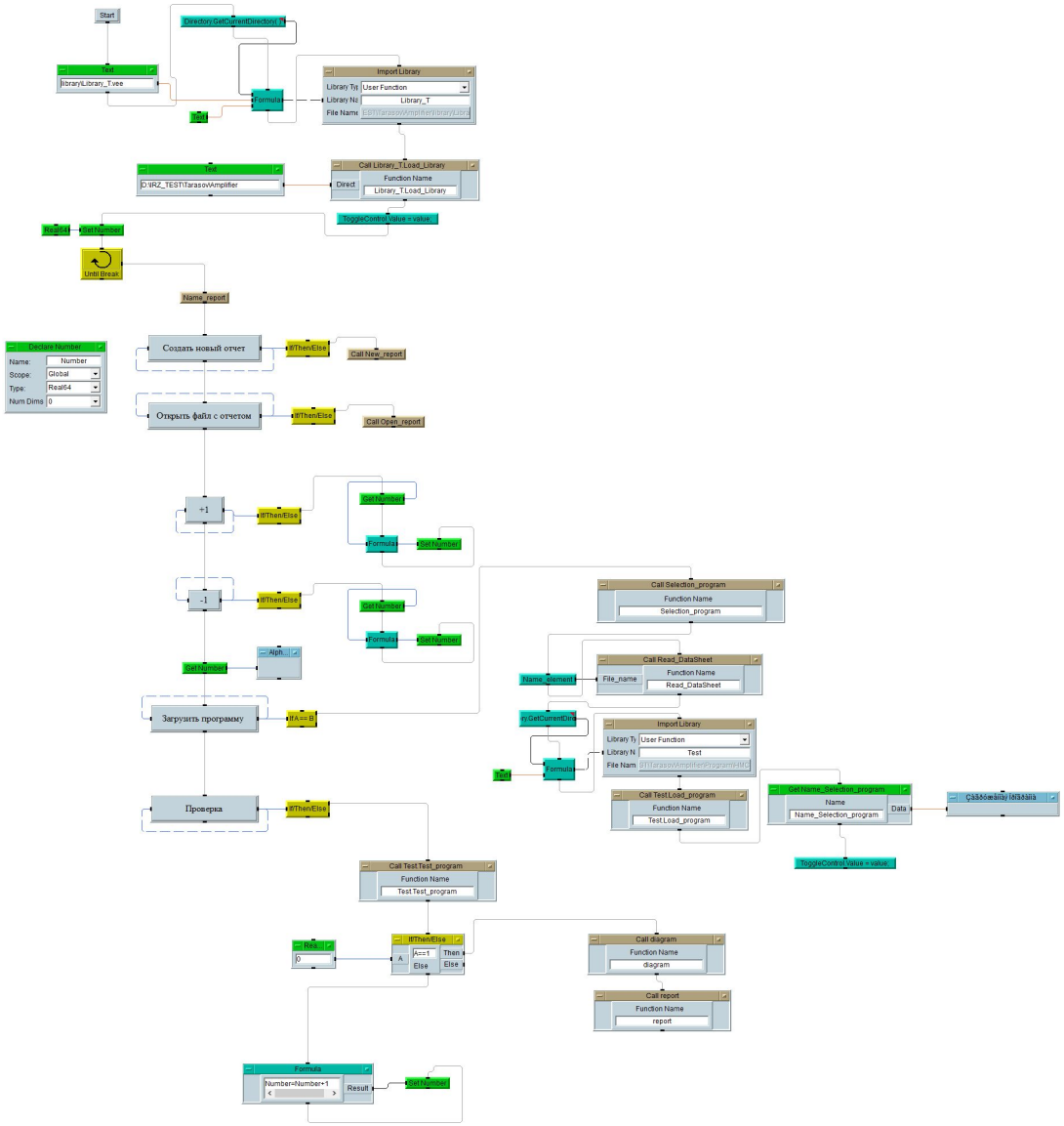


Рисунок 10 –Блок схеса в среде Agilent VEE Pro 9.2

Пользовательский интерфейс

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

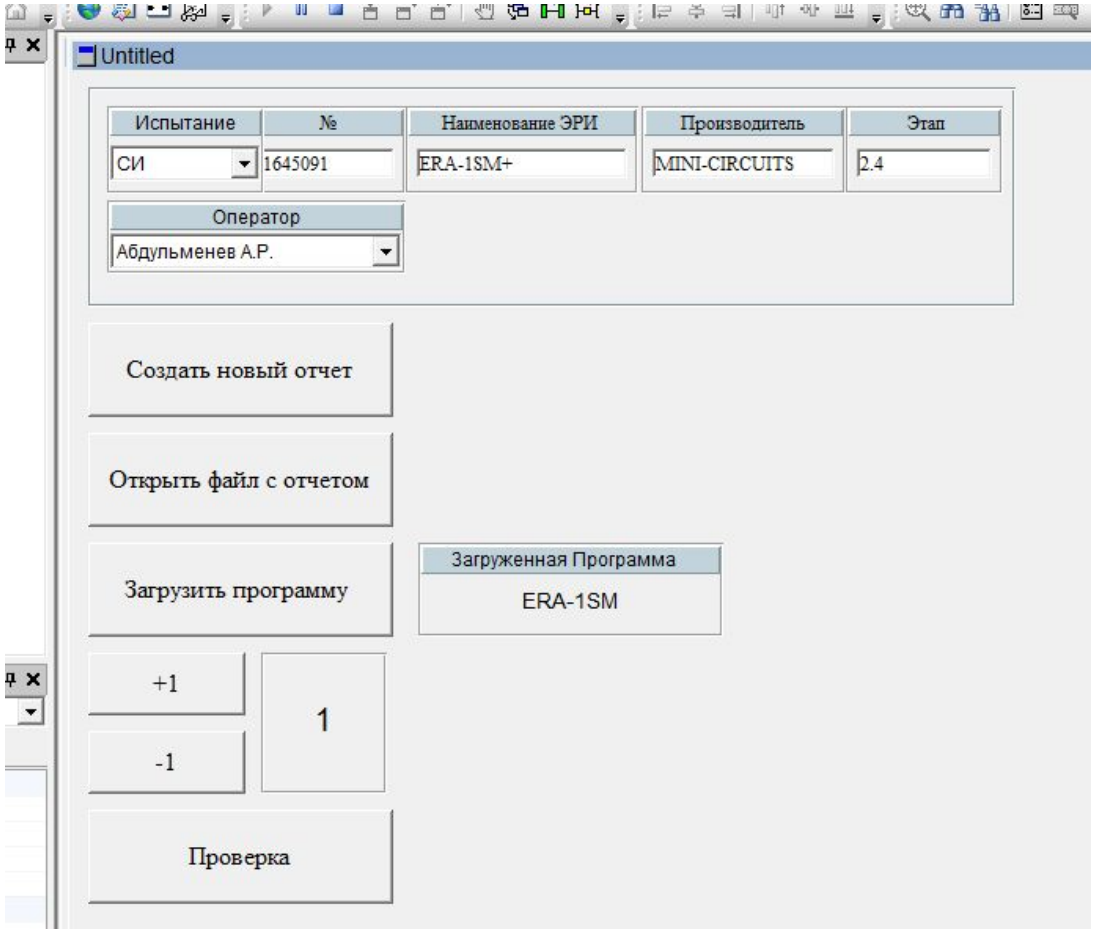


Рисунок 11 – Пользовательский интерфейс

Интерфейс параметром

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

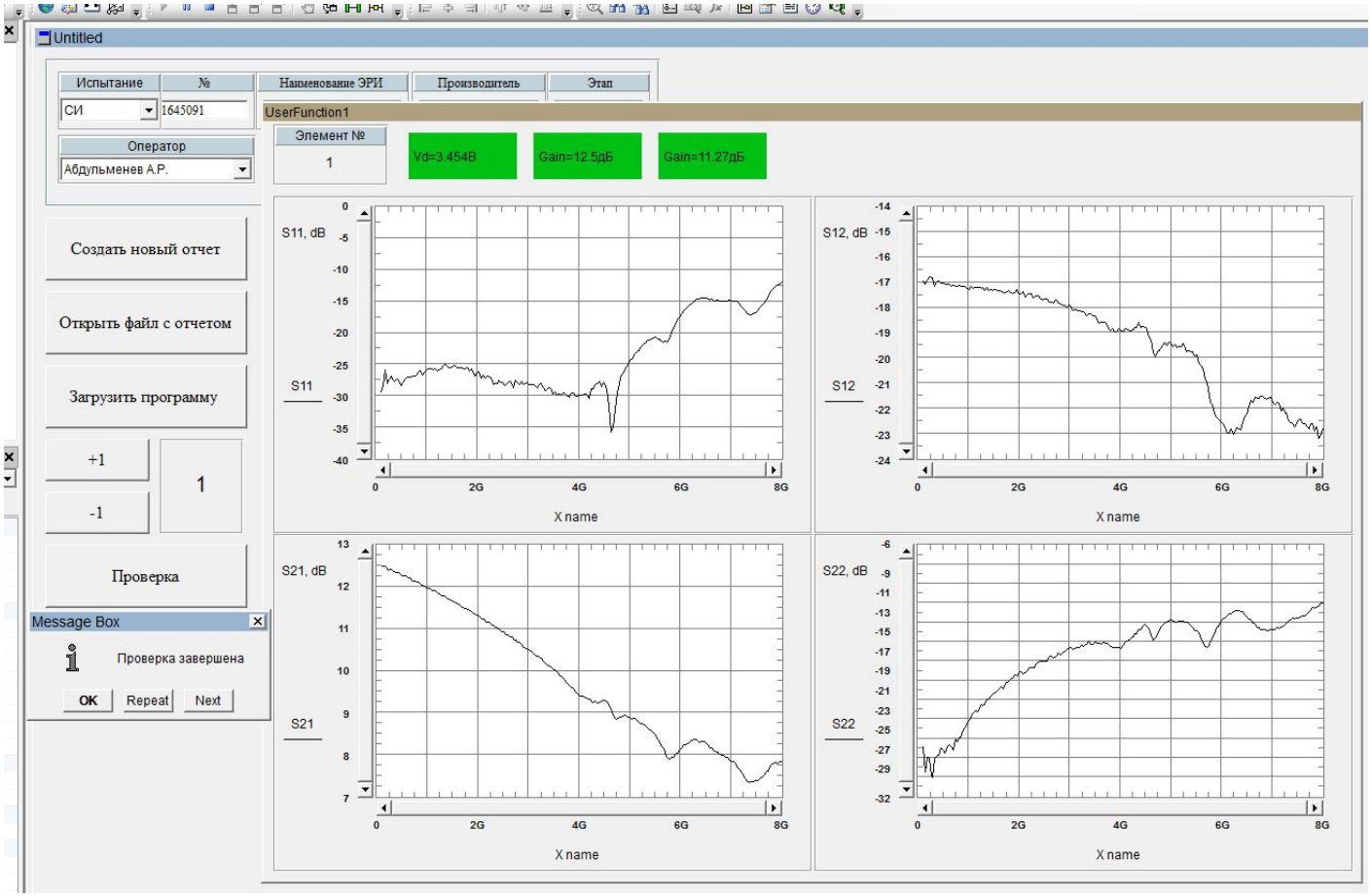


Рисунок 12 – Графический пользовательский интерфейс

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.

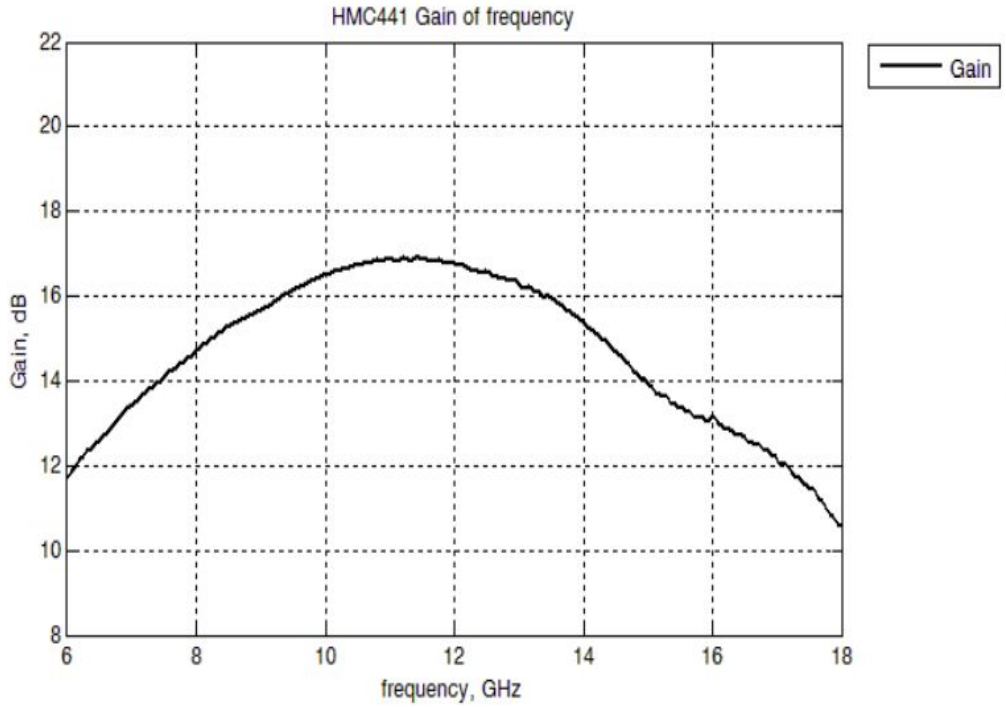


Рисунок 14 – График коэффициента усиления усилителя HMC441 полученный при проверке

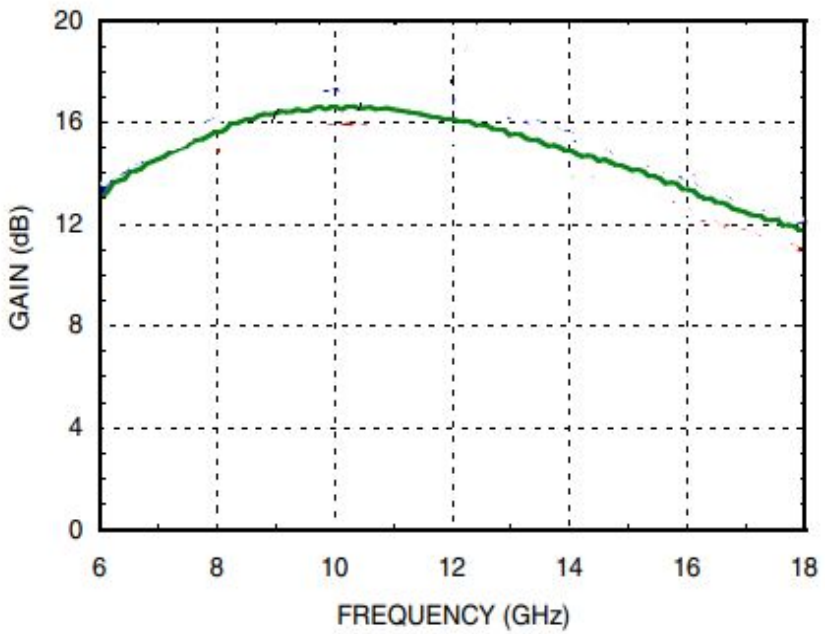


Рисунок 15 – Теоретический график коэффициента усиления приведенный в технической документации производителя

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

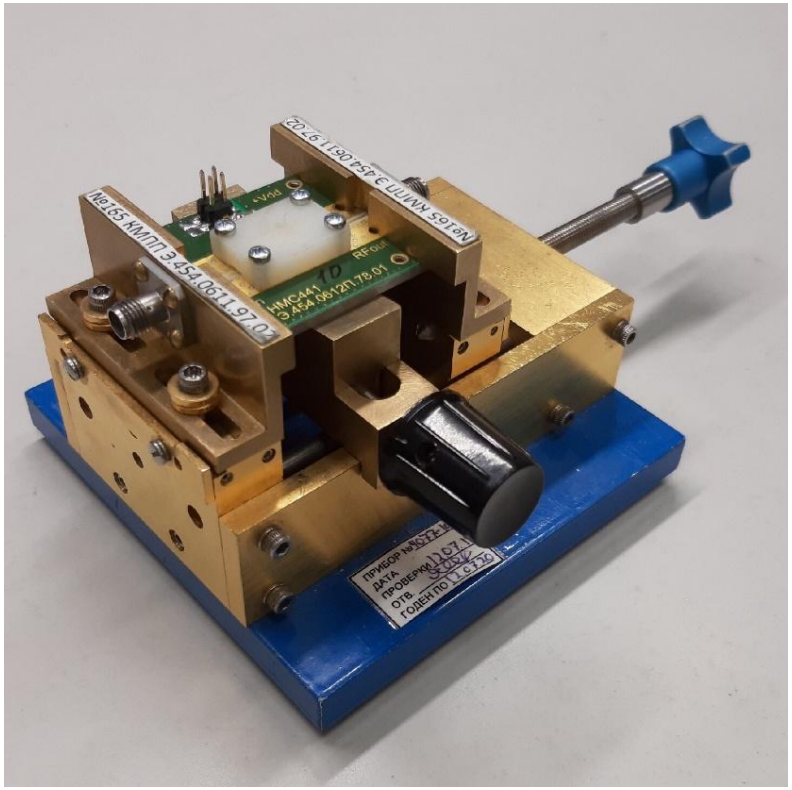


Рисунок 18– вспомогательное устройство (СВЧ тиски) и ПУ для HMC441

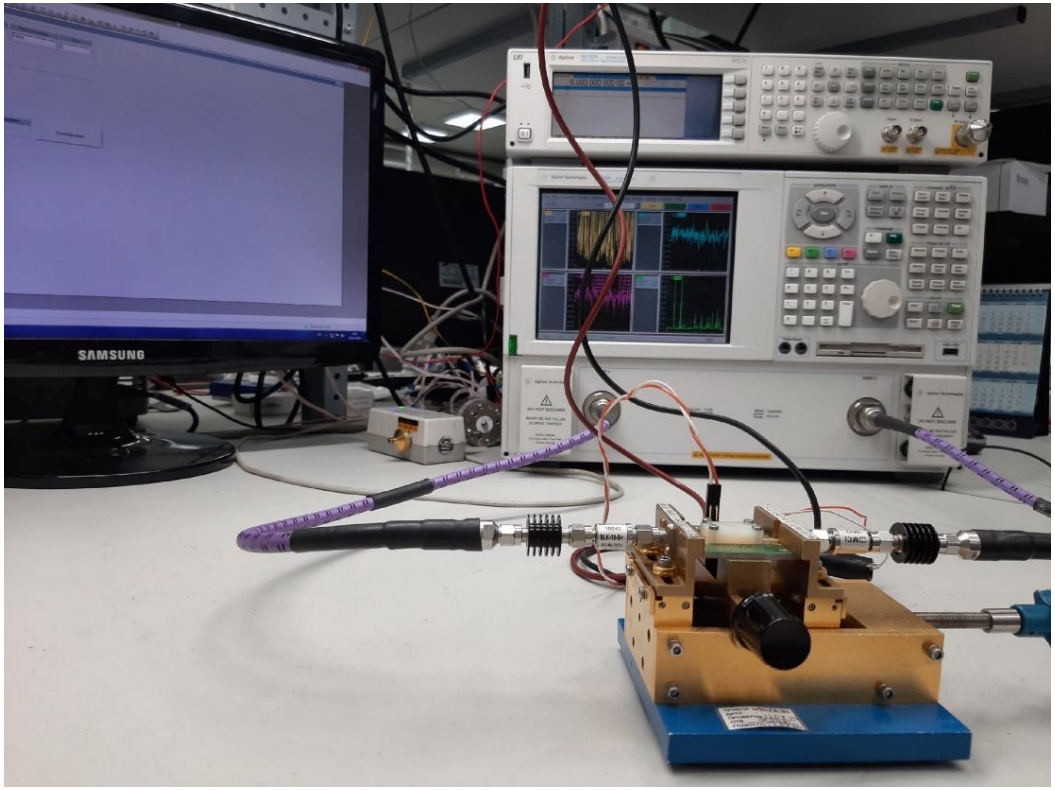


Рисунок 19 – готовое рабочее место, для проверки СВЧ параметров усилителя HMC441

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!