



МГТУ им. Н.Э. Баумана

Кафедра «Проектирование и технологии производства  
электронной аппаратуры» (ИУ4)

# **Интеллектуальный программно-аппаратный комплекс автоматизированной диагностики многоканальных радиочастотных модулей систем управления**

**Студент:** Леонидов В.В.

**Руководитель:**

к.т.н., доцент Макаrchук В.В.

Москва, 2012

# Цель работы

- Разработать программно-аппаратный комплекс для автоматизации процесса измерения электрических параметров многоканальных радиочастотных модулей систем управления

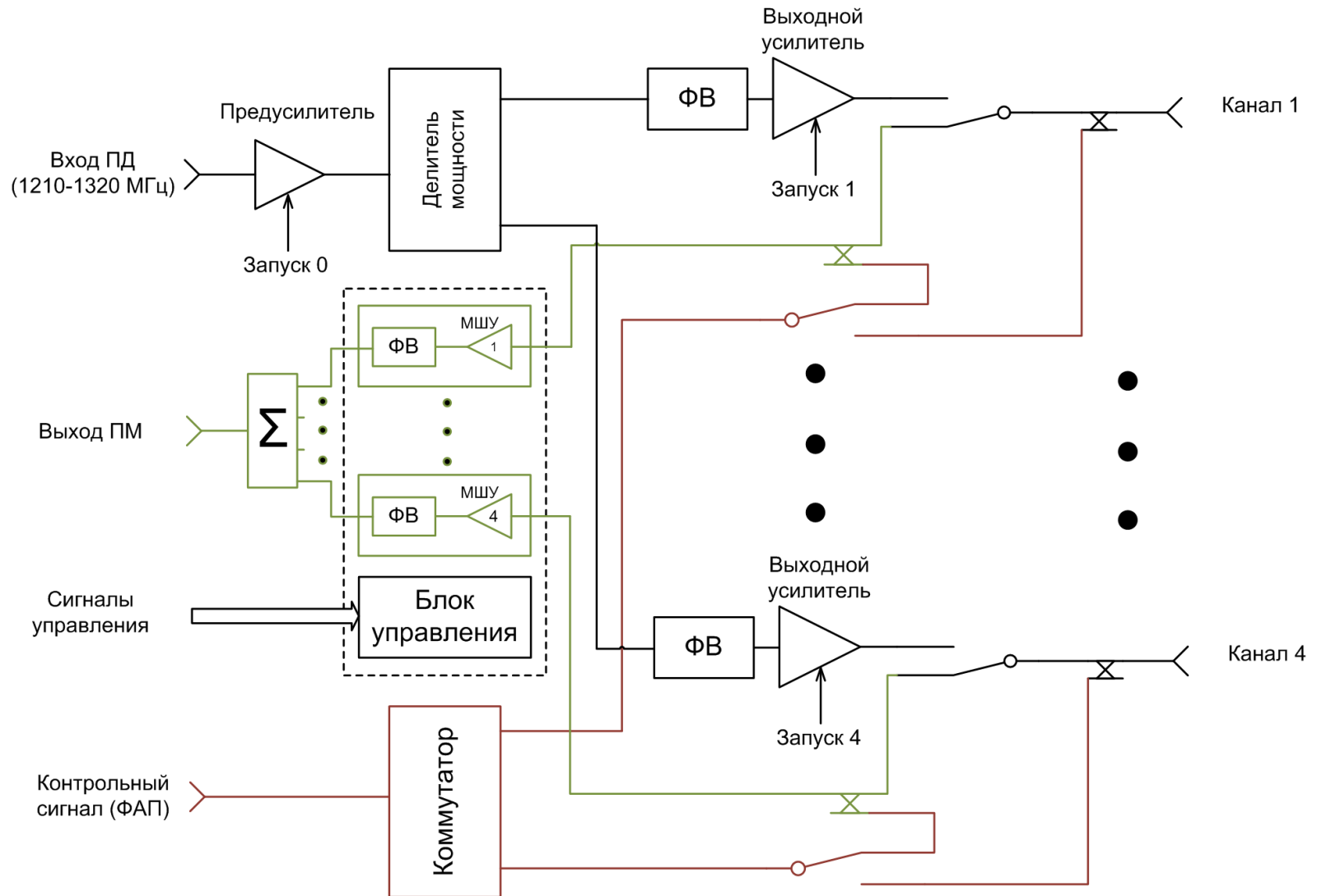
# Задачи

- Разработка структурной схемы
- Разработка аппаратного обеспечения
- Разработка программного обеспечения
- Экспериментальные исследования

Работа выполнена на базе ФГУП НПП «Пульсар»



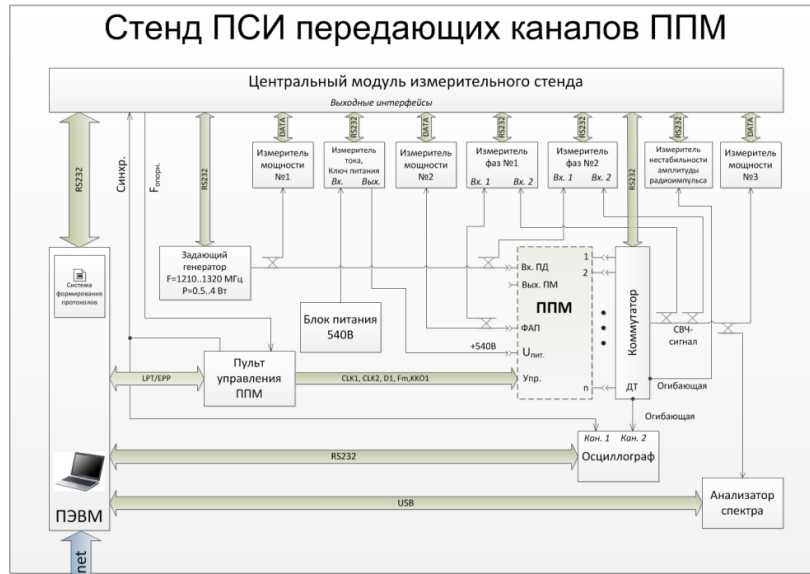
# Структурная схема 4-канального ППМ



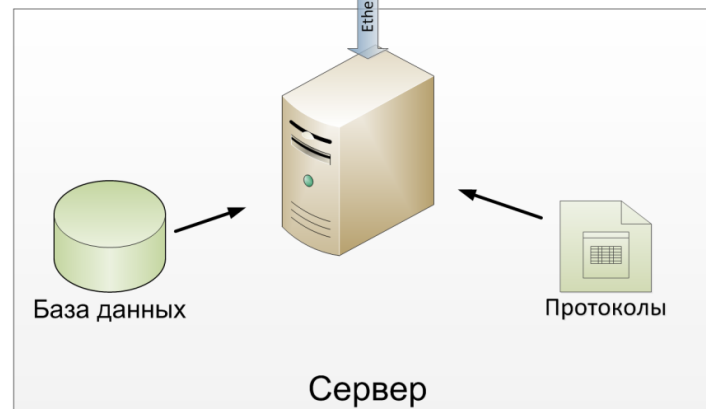
# Измеряемые параметры

1. Выходная импульсная мощность передающих каналов
2. Выходная импульсная мощность контрольного канала (ФАП)
3. Коэффициент передачи приёмных каналов
4. Точность установки фазы приёмных/передающих каналов
5. КСВН по входам приёмных каналов
6. КСВН входа передающего канала
7. КСВН входа канала ФАП
8. КСВН выхода приёмных каналов
9. Точность контроля фазы передающих каналов по каналу ФАП
10. Точность контроля фазы приёмных каналов по каналу ФАП
11. Относительный фазовый сдвиг канала ФАП ПД относительно ФАП ПМ
12. Относительный коэффициент ослабления при закрытом состоянии ключей пит. и ант.
13. Характеристики радиоимпульса:
  - a) Форма радиоимпульса
  - b) Длительность радиоимпульса
  - c) Длительность фронтов радиоимпульса
  - d) Скос вершины радиоимпульса
14. Спектральные характеристики модуля:
  - a) Ширина спектра выходного сигнала по уровню -60дБ
  - b) Уровень 2-й гармоники выходного сигнала
  - c) Уровень 3-й гармоники выходного сигнала
15. Ток, пиковый ток, напряжение и мощность потребления по цепи 540В
16. АЧХ выходных каналов
17. Контроль корректности запуска передающих каналов

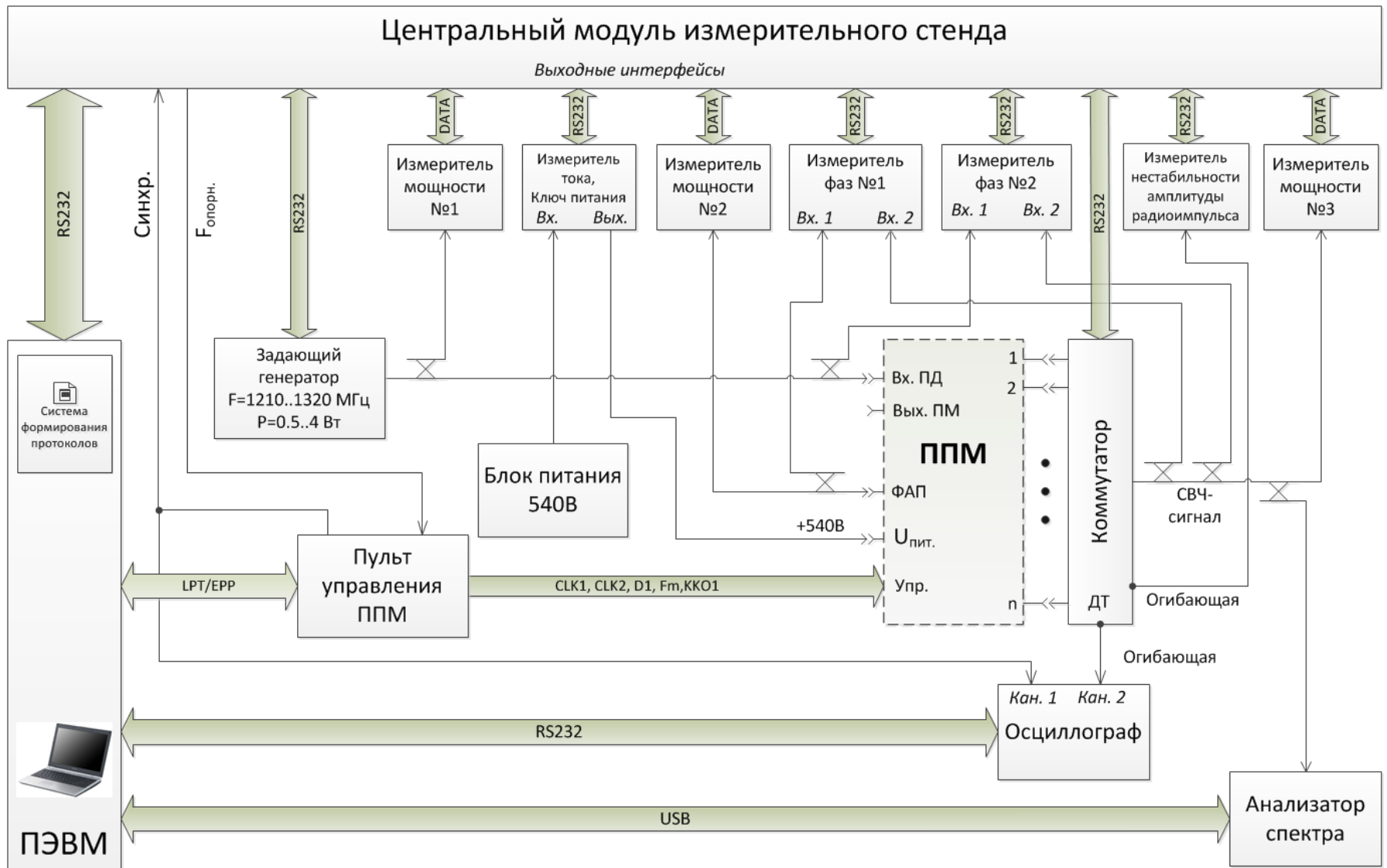
# Структурная схема комплекса



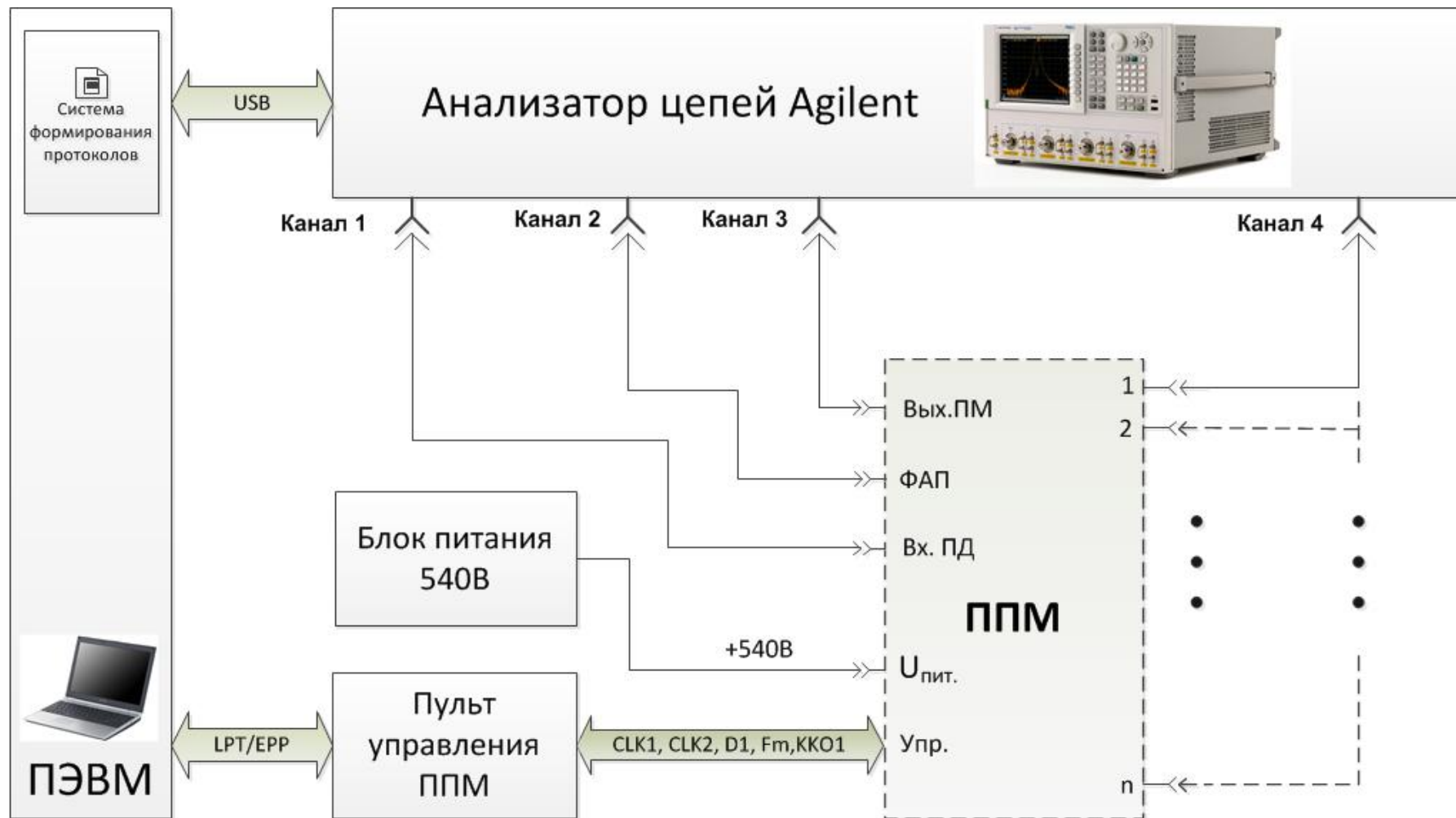
Локальная сеть предприятия



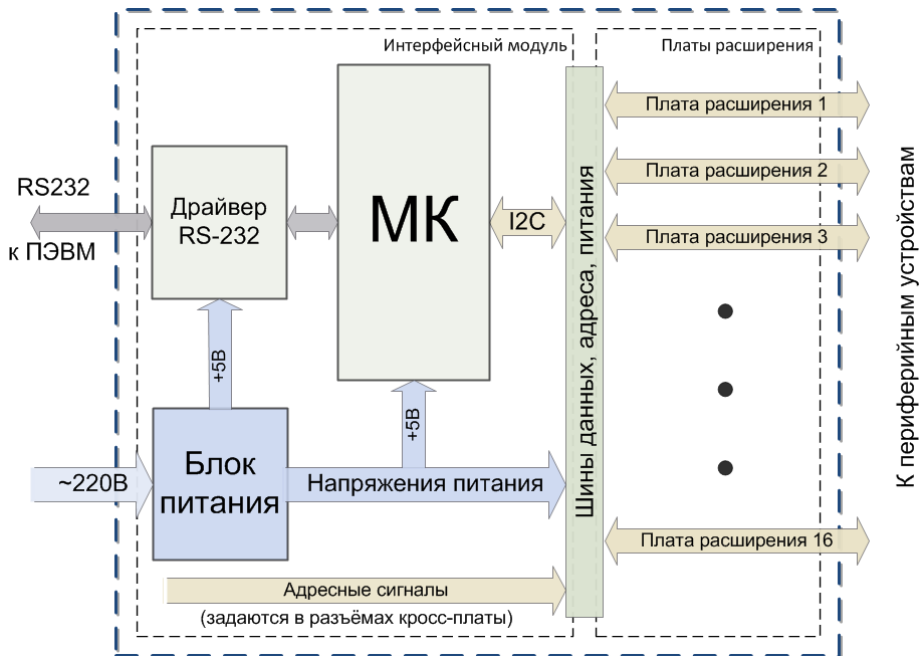
# Стенд передающих каналов



# Стенд приёмных каналов



# Центральный модуль измерительного стенда

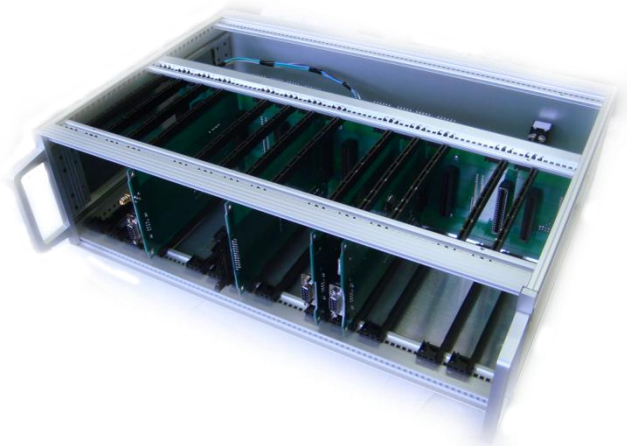


## Задачи модуля:

- Управление и приём данных от периферийных устройств
- Передача результатов в ПК

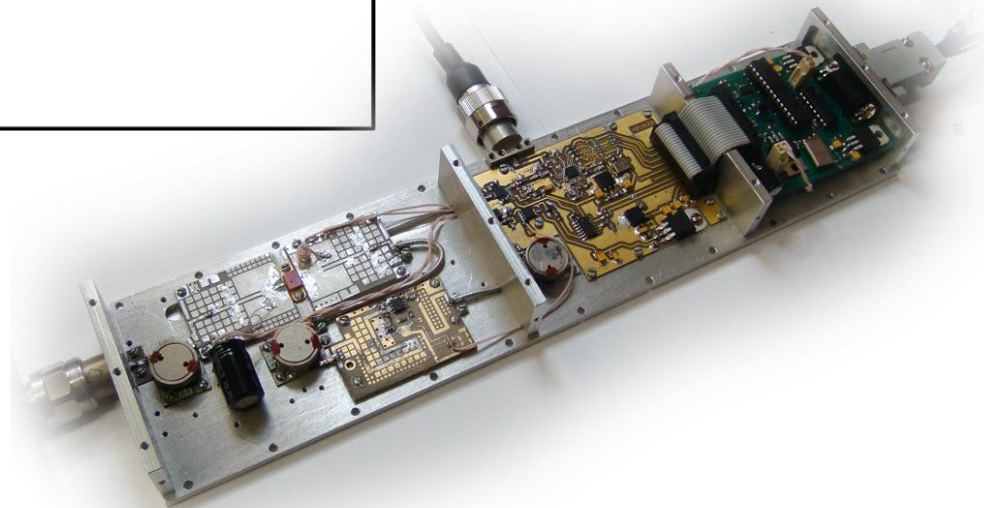
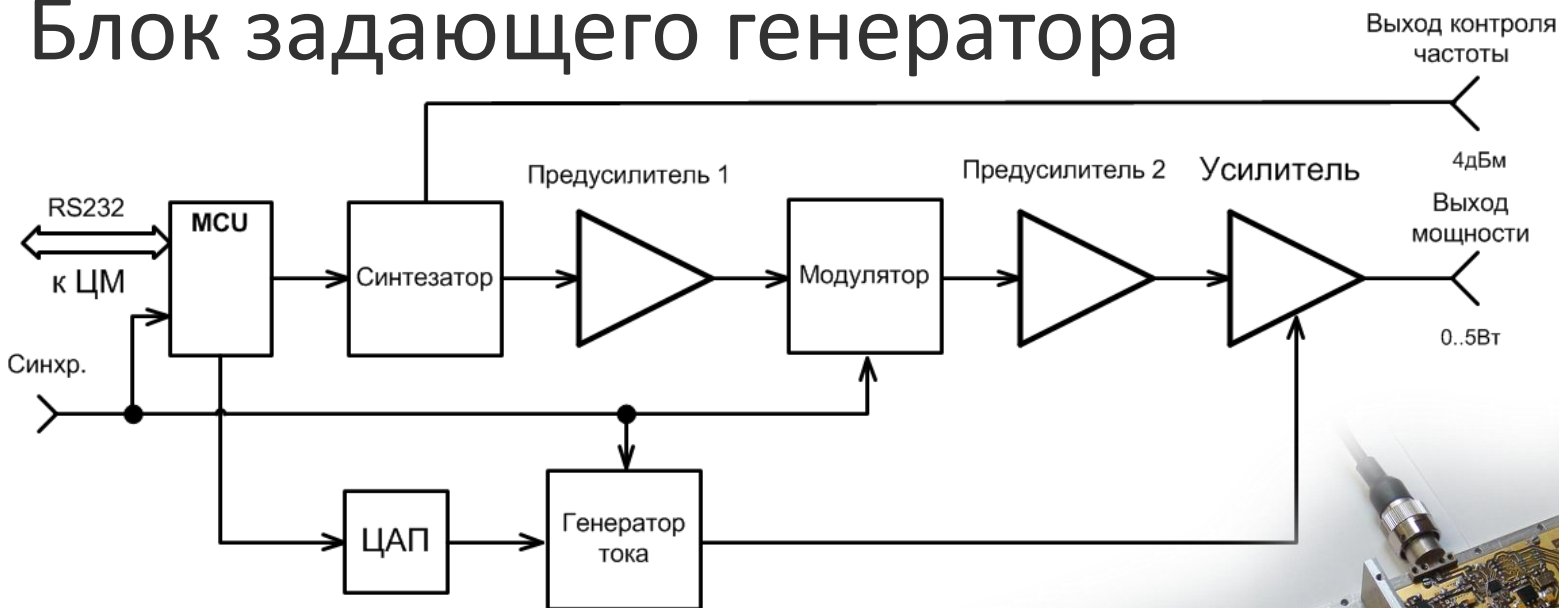
## Характеристики модуля:

- Максимальное кол-во периферийных модулей: 16 шт.
- Напряжения питания периферийных модулей:  $\pm 15V, +5V, +24V$
- Шина данных: I2C





# Блок задающего генератора

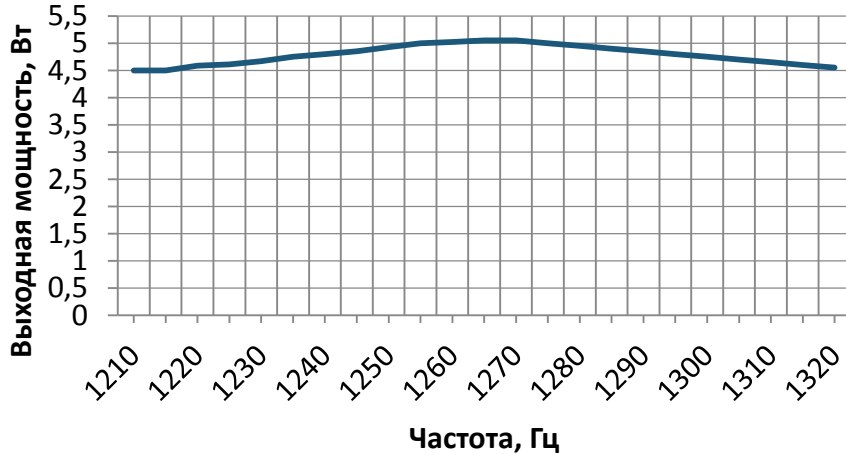


## Характеристики блока:

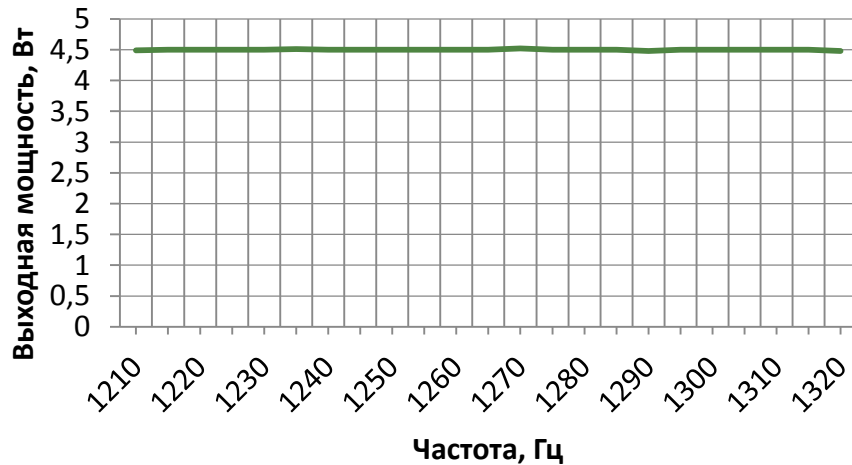
- Диапазон задаваемых частот: 1210..1320МГц
- Диапазон выходной мощности: 0.5..4.5Вт
- Длительность фронтов выходного импульса: не более 50нс
- Максимальная длительность выходного импульса при скважности 10 ед.: 500мкс

# Выходная характеристика задающего генератора

АЧХ на входе ПДМ (до корректировки):

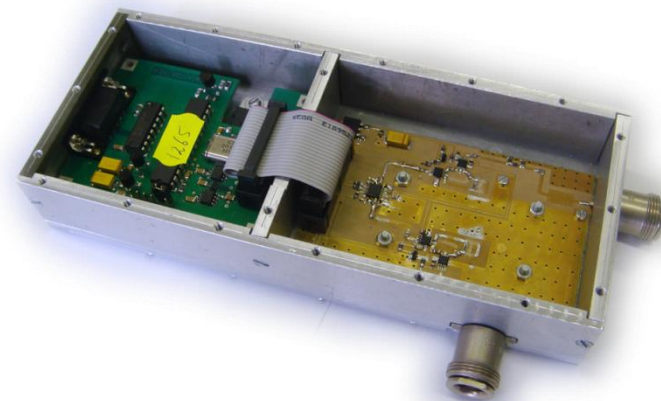
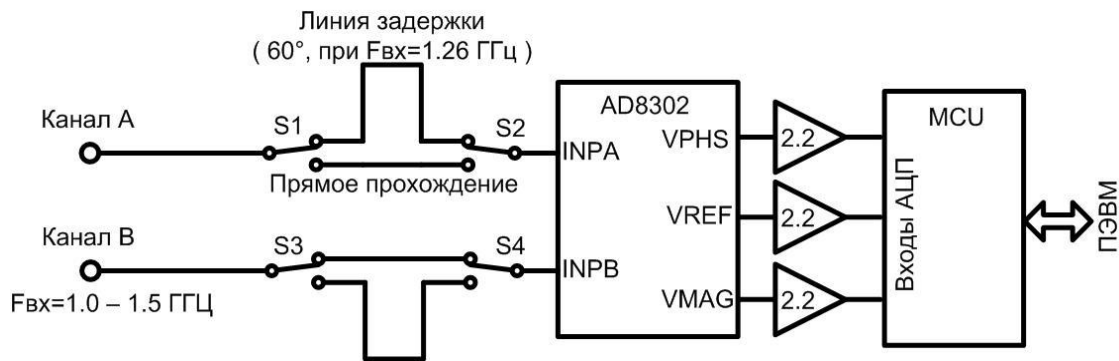


АЧХ на входе ПДМ (после корректировки), P=4.5Вт:



- Коэффициент усиления выходного каскада задаётся программно посредством установки тока эмиттера транзистора
- Выравнивание АЧХ осуществляется путём аппроксимации полученной характеристики полиномами 1-3 порядков по методу наименьших квадратов в среде MATLAB
- Коэффициенты аппроксимации записываются в ПЗУ МК индивидуально для каждого блока задающего генератора

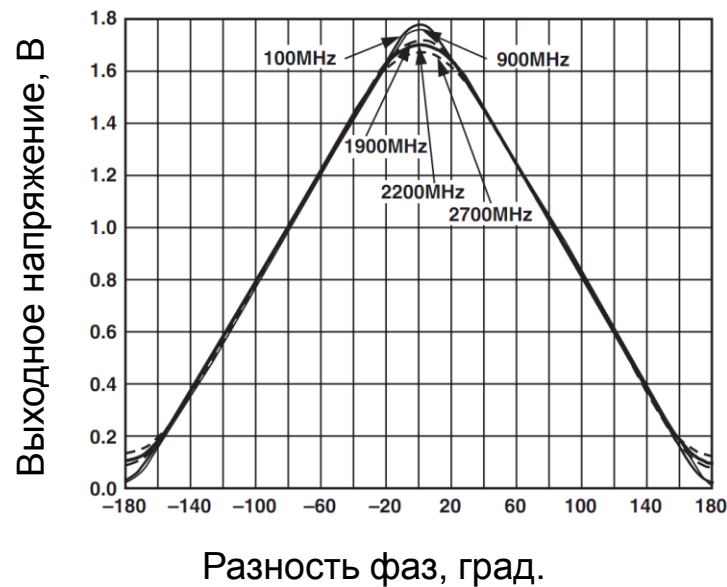
# Блок измерителя фаз



## Характеристики блока:

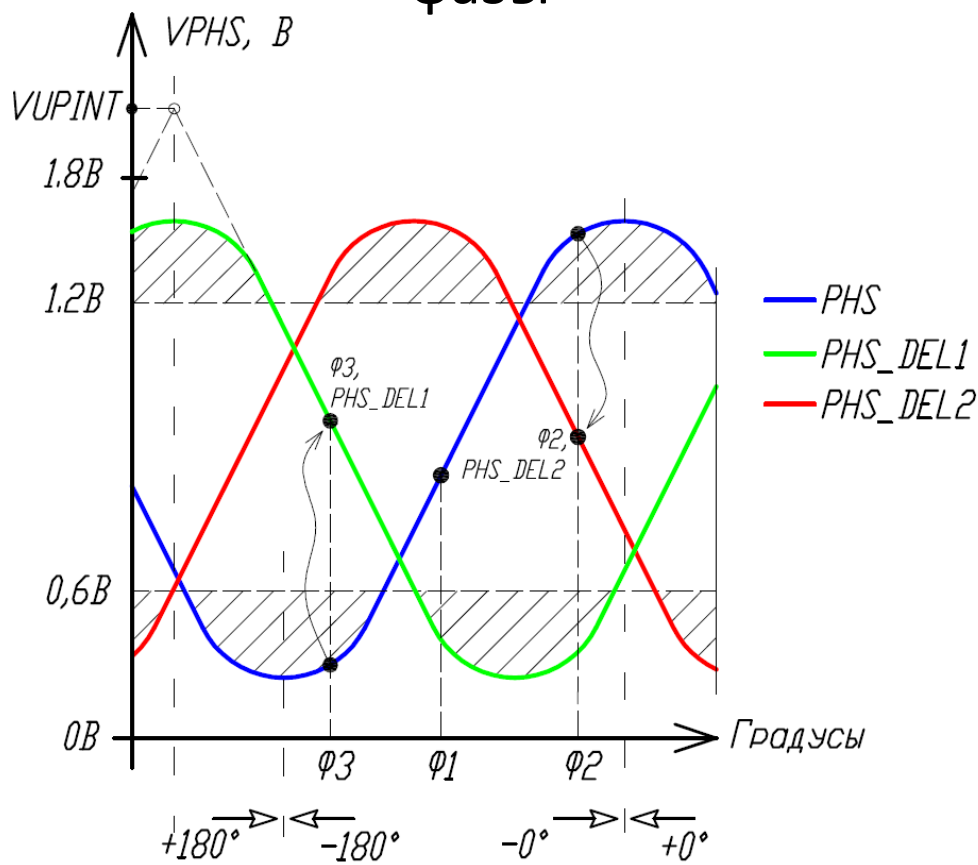
- Диапазон измерения разности фаз:  $0-360^\circ$
- Точность измерения:  $\pm 1^\circ$
- Динамический диапазон:  $-40..-10$ дБм

## Выходная характеристика AD8302

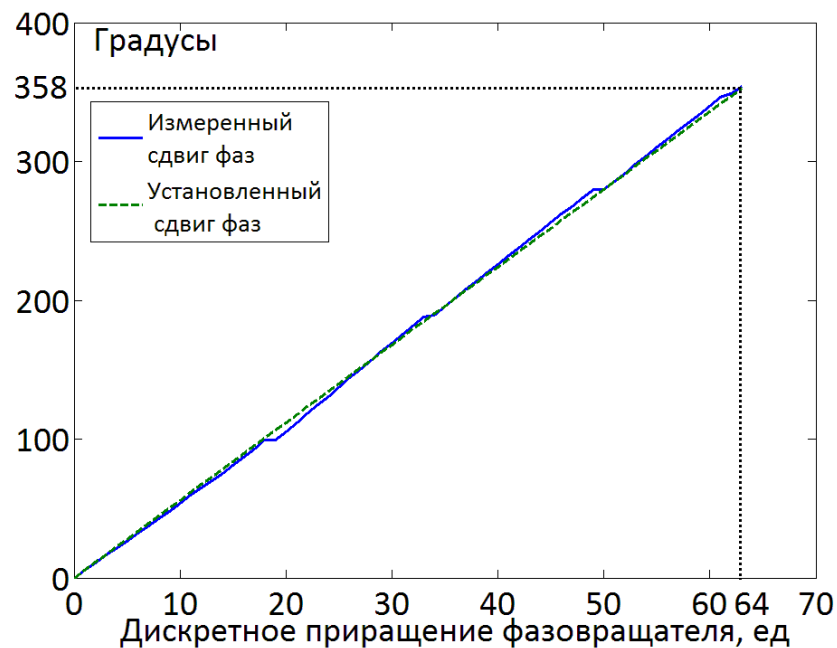


# Блок измерителя фаз

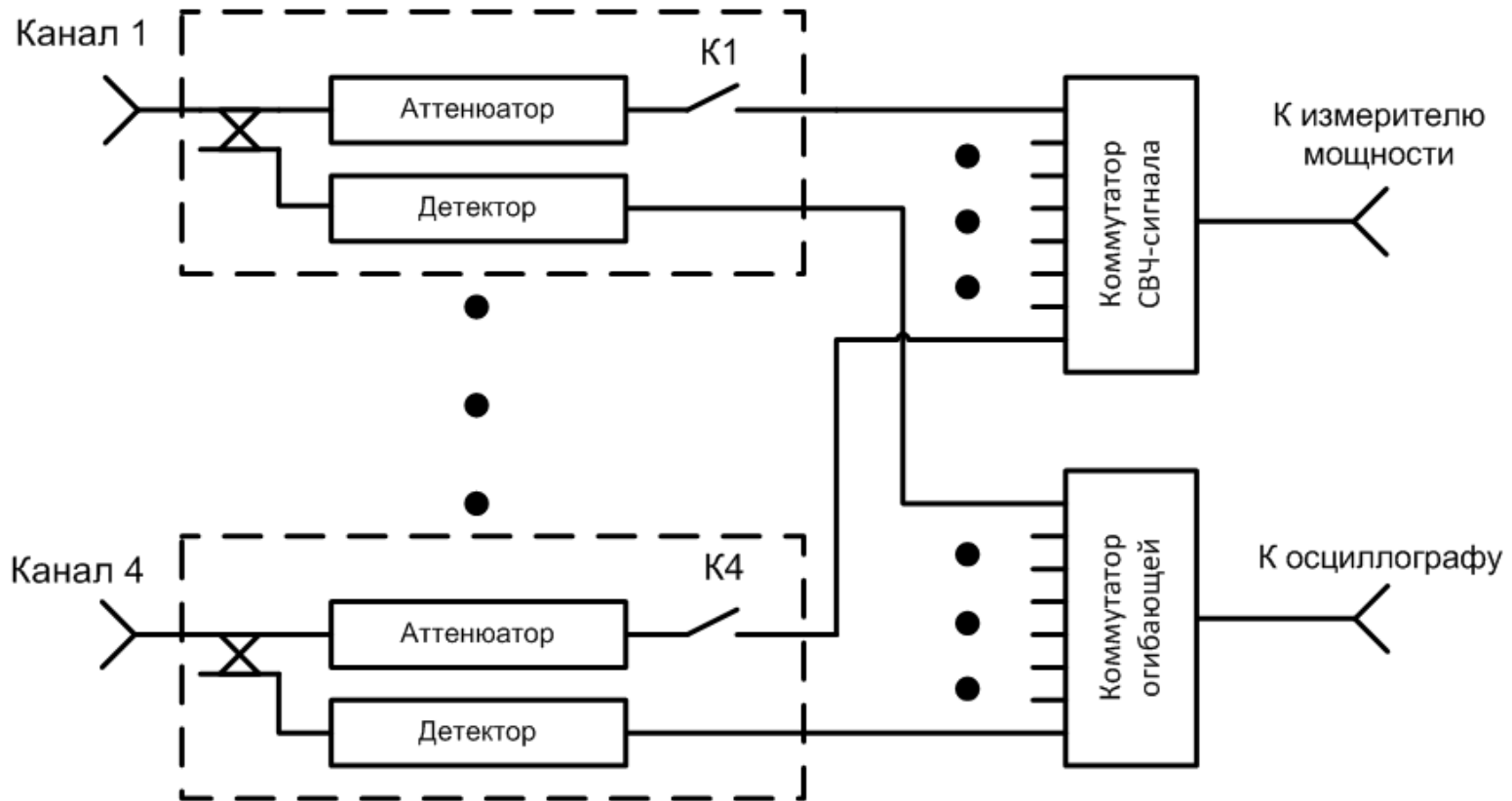
## Методика определения сдвига фазы



## Выходная характеристика измерителя фаз



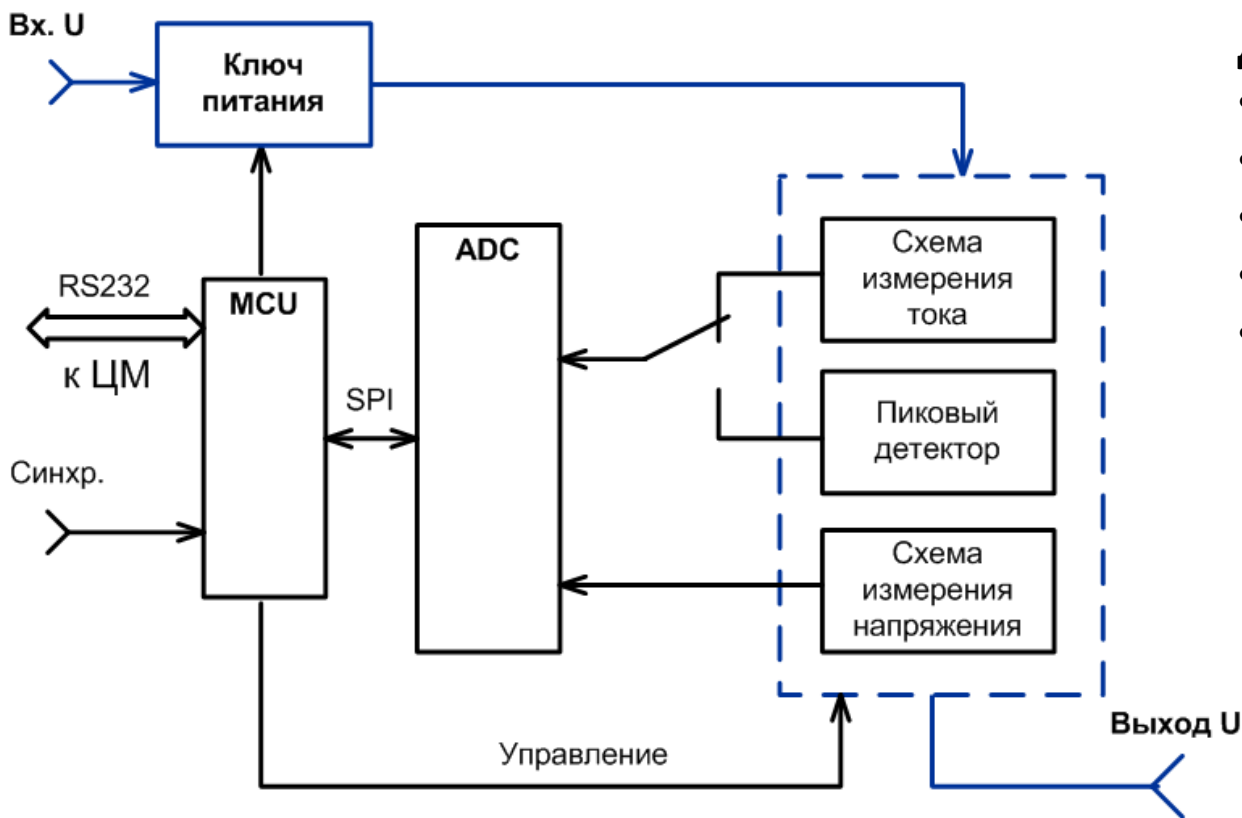
# Блок коммутатора



## Характеристики блока:

- Число коммутируемых каналов: 4 шт.
- Коэффициент ослабления мощности на выходе: -30dB
- Диапазон частот: 0..4ГГц

# Блок измерителя тока/напряжения питания



## Диапазоны измерения тока:

- 10A
- 5A
- 2.5A
- 1.25A
- 0.625A

## Диапазоны измерения напряжения:

- 1000V
- 500V
- 250V
- 125V
- 62.5V

# Программное обеспечение

Управление питанием модуля

Измеряемые параметры

Режимы измерений

Результаты измерений по каждому из каналов

Нормы и режимы измерений

Измерение всех параметров

Создание протоколов измерений

Температура модуля

Стенд ПСИ передающих каналов "Печ-нег-Л"

Файл Настройки Справка

Главная Спектральные характеристики Радиоимпульсы АИХ модуля Управление модулем

Питание модуля

**Выключено**

Измерения

**ИЗМЕРИТЬ ВСЁ**

**СТОП**

Генерирование протоколов

**Протоколы**

Запуск пульта

Внешний

Внутренний

Запуск измерений

t= 35.625 °C

История операций: **Очистить**

--- Удет. = 0.00

Переключение коммутатора на канал 3:

--- Результат: ОК

--- Коммут. канал: 3

--- Удет. = 0.00

Переключение коммутатора на канал 4:

--- Результат: ОК

--- Коммут. канал: 4

--- Удет. = 2.60

Питание модуля включено!

Параметр	Режимы	Канал 1	Канал 2	Канал 3	Канал 4
Рвых.	0°	93.1Вт	100.1Вт	83.3Вт	90.5Вт
	F= 265.0МГц	94.6Вт	101.7Вт	89.6Вт	98.5Вт
	1320.0МГц	84.6Вт	92.0Вт	81.5Вт	85.4Вт
337.5°	1210.0МГц	92.4Вт	99.8Вт	83.3Вт	90.5Вт
	F= 1265.0МГц	94.4Вт	101.7Вт	89.4Вт	98.3Вт
	1320.0МГц	85.0Вт	92.0Вт	81.5Вт	85.5Вт
Δφ, вх.-вых.	ФВ	112.5°	114.7°	102.8°	110.0°
	180°	181.4°	179.0°	175.0°	178.6°
	225°	228.3°	228.4°	221.6°	225.5°
	337.5°	342.9°	332.0°	335.2°	335.1°
Рвых. ФАП	ФВ	112.5°	0.30Вт	0.31Вт	0.35Вт
	180°	0.30Вт	0.32Вт	0.33Вт	0.22Вт
	225°	0.31Вт	0.33Вт	0.32Вт	0.22Вт
	337.5°	0.32Вт	0.32Вт	0.33Вт	0.23Вт
Δφ, вых.-ФАП	ФВ	22.5°	137.1°	136.0°	127.8°
	45°	137.2°	135.4°	128.5°	138.9°
	90°	136.9°	134.8°	129.2°	139.6°
	180°	135.6°	134.2°	130.0°	139.9°
Δφ max по кан.		1.6°	1.8°	2.2°	1.8°
Рпотр.	Упит.	535.0В			
	Ипотр.	331.0мА		177.1Вт	
	Ипик.	551.5мА			
Запуск каналов		ОК	ОК	ОК	ОК

Измеряемые параметры, нормы и режимы измерений

Файл конфигурации: **Control.ini** **Открыть** **Сохранить**

Q= 10 ед.

Запуск каналов

Все

Только текущий

Измeрить

Норма: 0.2 ≤ Рвых. ≤ 0.4 Вт

Разность фаз по контрольному каналу (ФАП)

P= 1.50 Вт

F= 1265.0 МГц

W= 500 мкс

Q= 10 ед.

Запуск каналов

Все

Только текущий

Измeрить

Норма: Δφ= 165 ± 11 град.

Мощность потребления по цепи 540В

P= 2.50 Вт

F= 1265.0 МГц

W= 500 мкс

Q= 10 ед.

Измeрить

Норма: Рпотр. ≤ 250 Вт

Норма: Ипик. ≤ 1000 мА

Проверка импульсов запуска каналов

P= 1.50 Вт

F= 1265.0 МГц

W= 500 мкс

Q= 10 ед.

Измeрить на

Канал 1

Канал 2

Канал 3

Канал 4

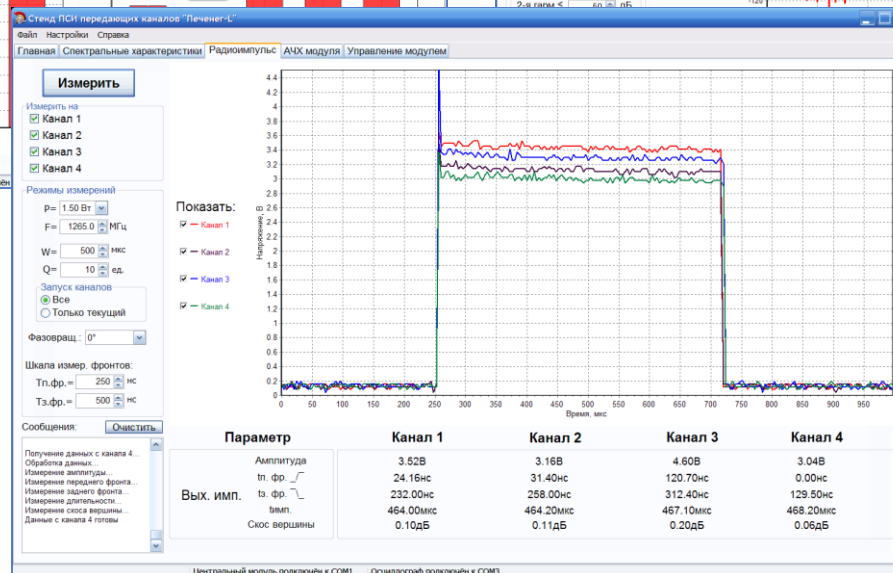
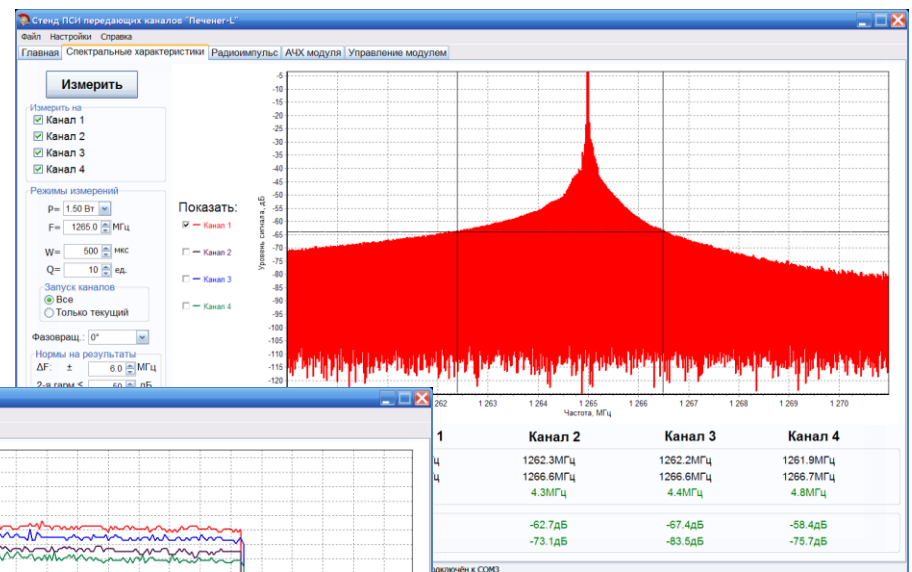
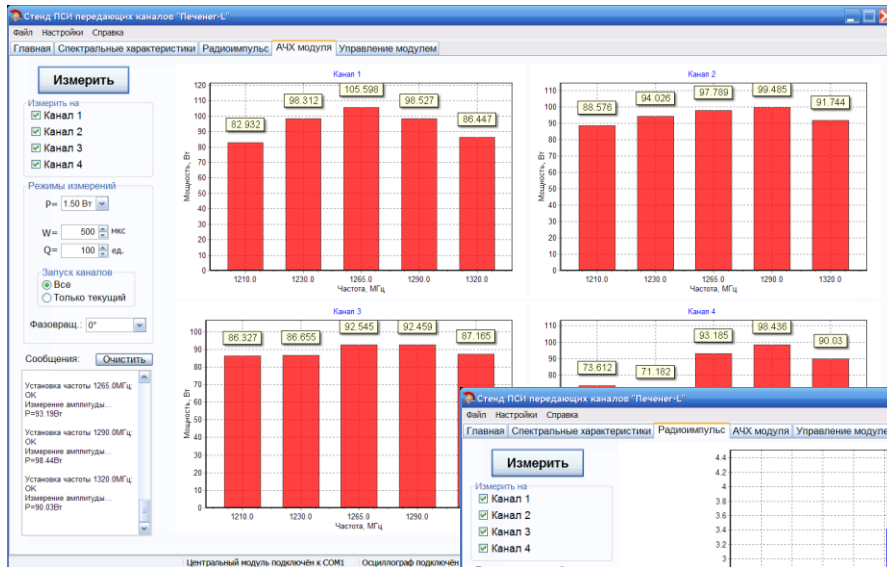
**Проверить**

Центральный модуль подключён к COM Осциллограф подключен к COM4 Анализатор спектра подключен по USB

# Программное обеспечение

## АЧХ модуля

## Спектральные характеристики



## Параметры радиоимпульса



# Выводы

- Разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет во много раз упростить и ускорить процесс измерения параметров мощных многоканальных радиочастотных модулей систем управления.
- Производительность измерений и настройки данных модулей увеличивается в 100 раз.
- Функциональность программно-аппаратного комплекса может быть легко расширена за счет введения необходимых периферийных устройств и соответствующей модификации ПО ПК.

# Перспективы

- В дальнейшем планируется расширение возможностей разработанного программно-аппаратного комплекса

# Апробация

- По результатам работы имеются тезисы и доклады на IX научно-технической конференции **«Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА»** - 1-3 декабря 2010 г., г. Звенигород:
  - «Программно-аппаратный комплекс автоматизированного измерения параметров мощных многоканальных радиочастотных передающих модулей» - Р.М. Григорян, Г.С. Колчин, В.В. Леонидов, И.Б. Гуляев
  - «Автоматизированный измерительный комплекс статических параметров n-канальных полевых транзисторов» - В.В. Леонидов, Р.М. Григорян, И.Б. Гуляев
- По материалам работы имеется статья в журнале **«Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы»**:
  - «Программно-аппаратная платформа автоматизированного измерения параметров электронных модулей и полупроводниковых приборов» - В.В. Леонидов, И.Б. Гуляев, Г.С. Колчин
- По результатам работы имеется доклад на XIII международной молодёжной научно-технической конференции **«Научоёмкие технологии и интеллектуальные системы - 2011»**, 27 апреля 2011г., г. Москва:
  - «Универсальная платформа для разработки программно-аппаратных комплексов автоматизированного измерения электрических параметров мощных многоканальных СВЧ передающих модулей» - В.В. Леонидов, Р.М. Григорян