

ОТЧЕТ О ПРОДЕЛАННОЙ РАБОТЕ

по проекту:

**«Разработка измерительного устройства для
электропотенциального метода неразрушающего контроля»**

| | |
|--------------|---------------------------|
| Исполнитель | Гусев Данил Олегович |
| Руководитель | Кравчук Андрей Викторович |
| Организация | Эйрбург |
| Дата | 17 ноября 2025 г. |

1 Введение

В рамках проекта выполнена разработка измерительного устройства для системы неразрушающего контроля с трёхосевым позиционированием. Устройство предназначено для проверки блоков коммутации БПЛА электропотенциальным методом в СВЧ-диапазоне.

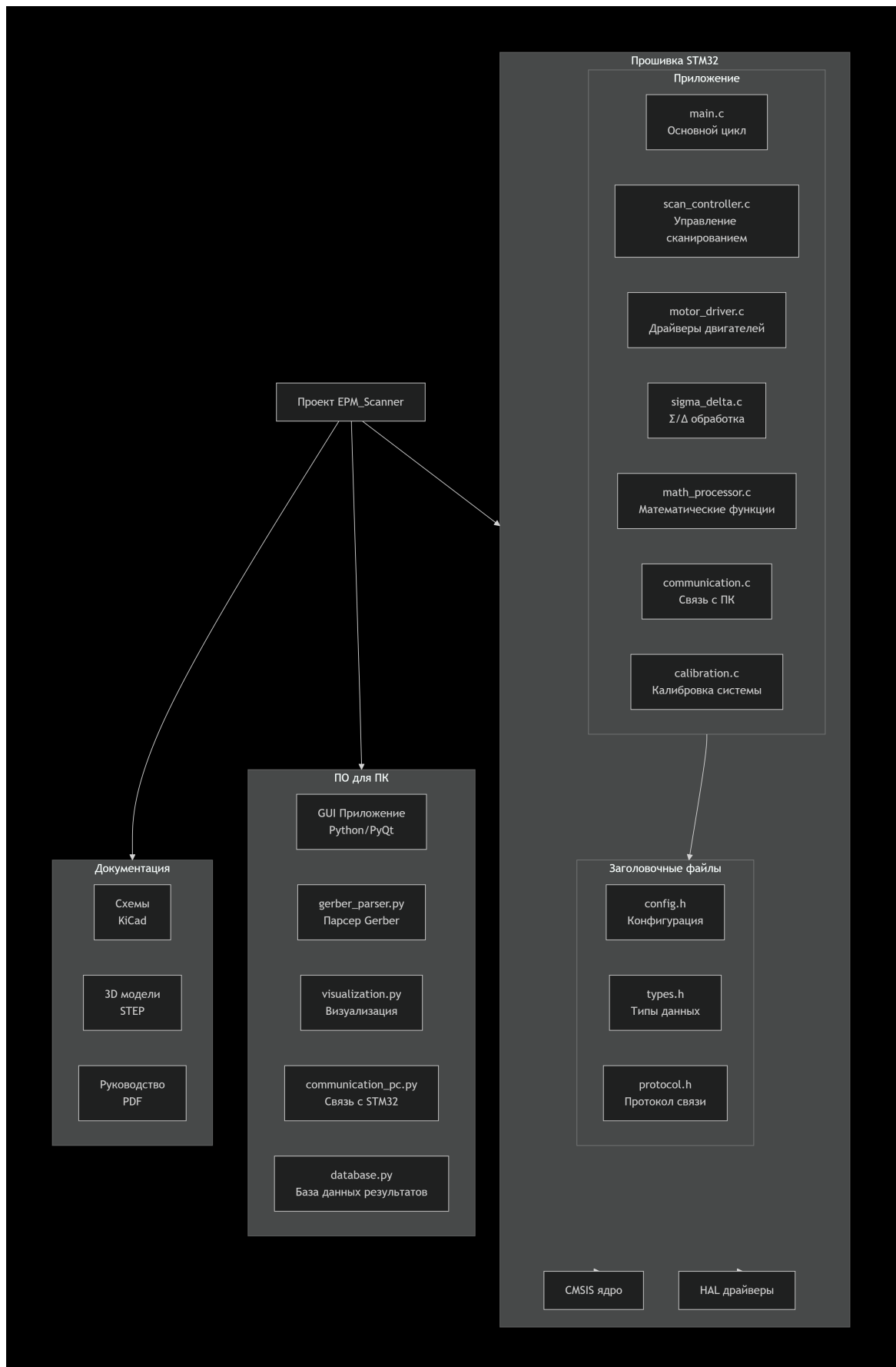
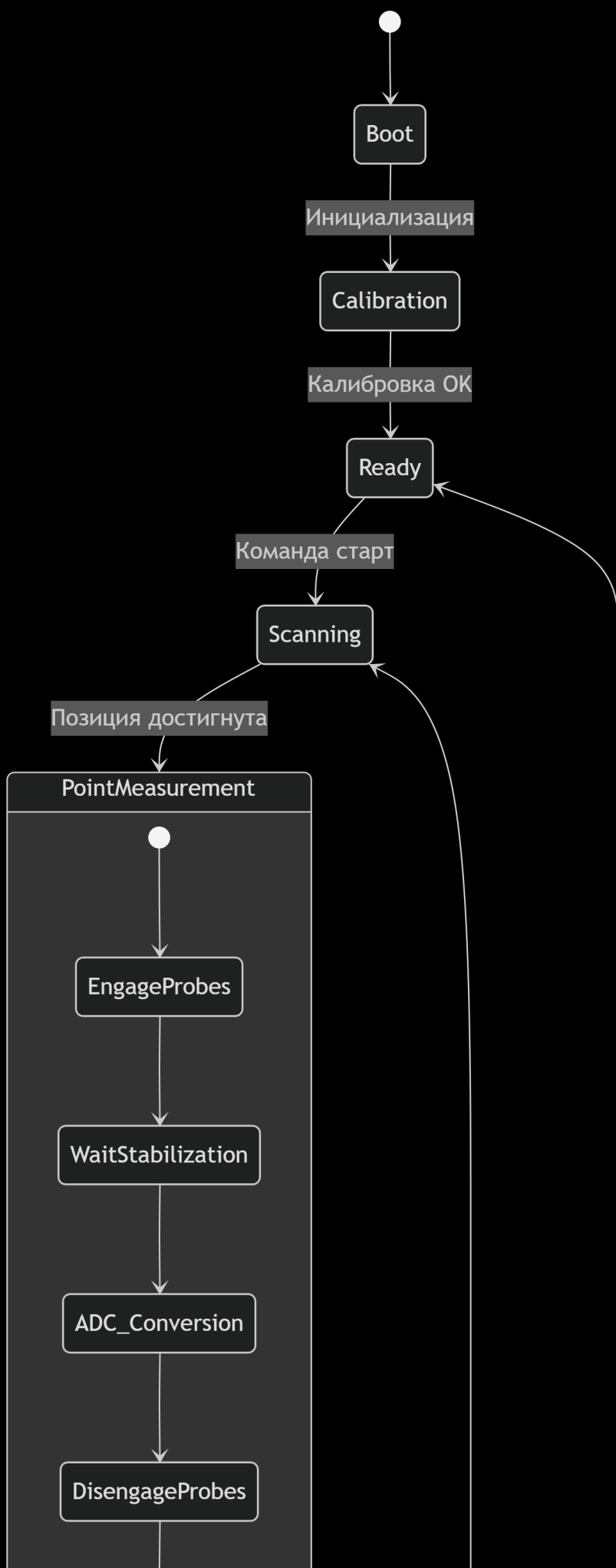


Рис. 1: Структура данных проекта EPM_Scanner

2 Актуальность разработки

Разработка автоматизированной системы электропотенциального неразрушающего контроля (НК) микрополосковых линий (МПЛ) является актуальной задачей в свете следующих факторов:

- **Рост требований к надёжности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА):** Современная аэрокосмическая, телекоммуникационная и военная техника предъявляет жёсткие требования к качеству и безотказности печатных плат и МПЛ.
- **Недостатки существующих методов визуального и оптического контроля:** Невозможность обнаружения скрытых дефектов, таких как утонение проводника, внутренние расслоения, микротрещины.
- **Цифровизация и роботизация процессов НК:** Тенденция к исключению человеческого фактора, повышению скорости, точности и воспроизводимости контроля.
- **Импортозамещение:** Разработка отечественных высокотехнологичных систем контроля для стратегических отраслей промышленности.
- **Эффективность суммарно-разностного метода:** Предлагаемый подход, позаимствованный из радиолокации, позволяет с высокой точностью не только обнаруживать, но и локализовывать асимметричные дефекты, что недоступно для классических методов ЭПМ.



3 Обзор аналогов и существующих решений

Проведён анализ коммерческих и научно-технических решений в области электропотенциального и родственных методов неразрушающего контроля печатных плат и МПЛ.

3.1 Коммерческие системы

| Производитель/Система | Принцип действия | Точность/Разрешение |
|-------------------------|---|---------------------|
| Proceq - PosiTest® | 4-точечный метод измерения удельного сопротивления | $\pm 1-3\%$ |
| Jandel Engineering Ltd. | Многоэлектродные измерительные головки, ручное сканирование | Высокая |
| CMI Group - RPS | Автоматизированный 4-точечный зонд для контроля покрытий | $\pm 0.5\%$ |

Таблица 1: Сравнительный анализ коммерческих систем контроля

Выявленные недостатки коммерческих аналогов:

- Ориентация на контроль массивных образцов и покрытий, а не микрополосковых линий
- Низкое пространственное разрешение для задач контроля ППП
- Ограниченная автоматизация или её отсутствие
- Высокая стоимость комплексных решений
- Отсутствие встроенных алгоритмов обработки для локализации дефектов

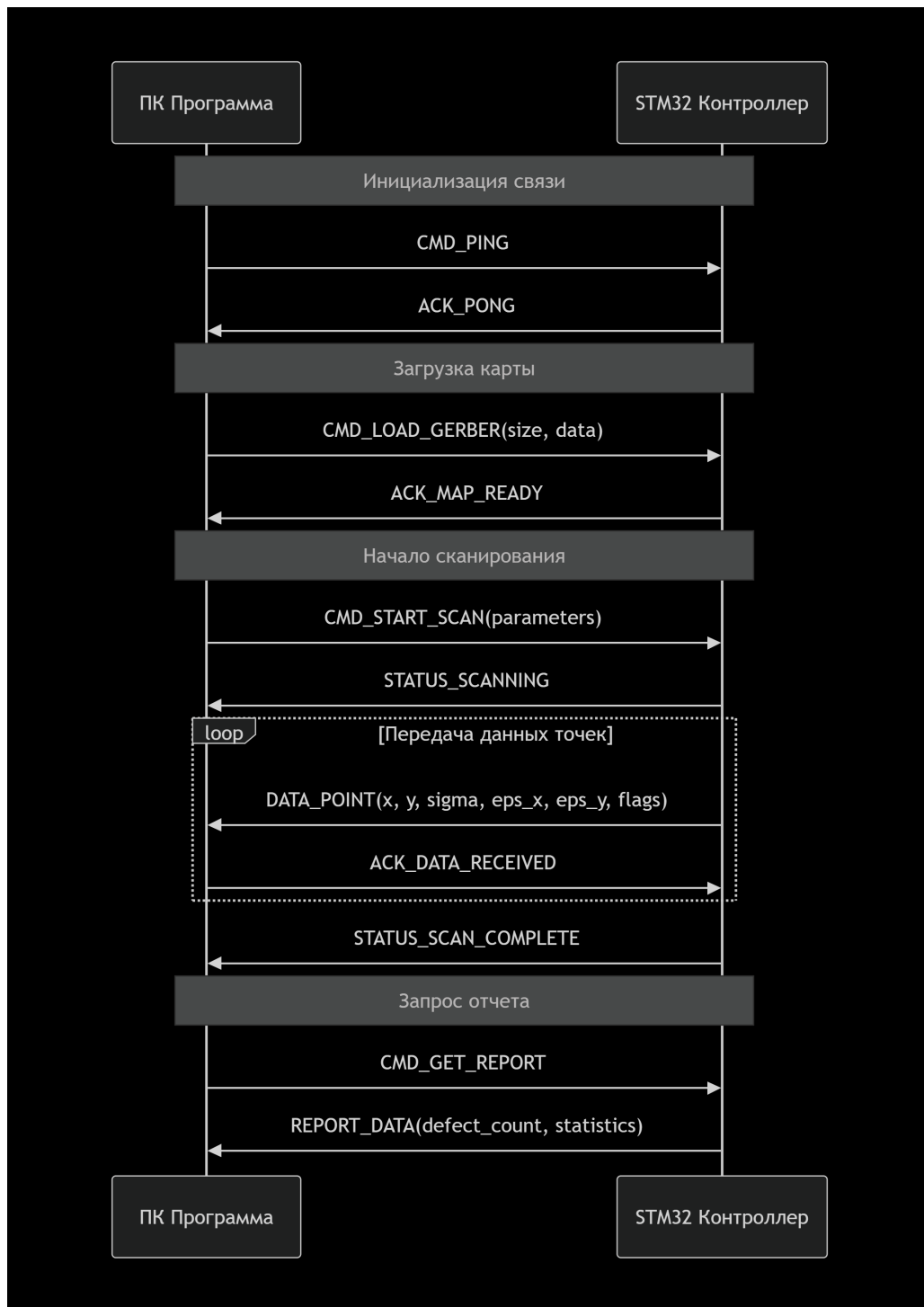


Рис. 3: Протокол связи между ПК и контроллером STM32

4 Выполненные работы

4.1 Разработка метода интерпретации данных СВЧ диапазона

Разработан алгоритм обработки сигналов, основанный на:

- суммарно-разностном методе обработки сигналов

- I/Q демодуляции для выделения амплитуды и фазы
- цифровой фильтрации шумов
- корреляционном анализе дефектов

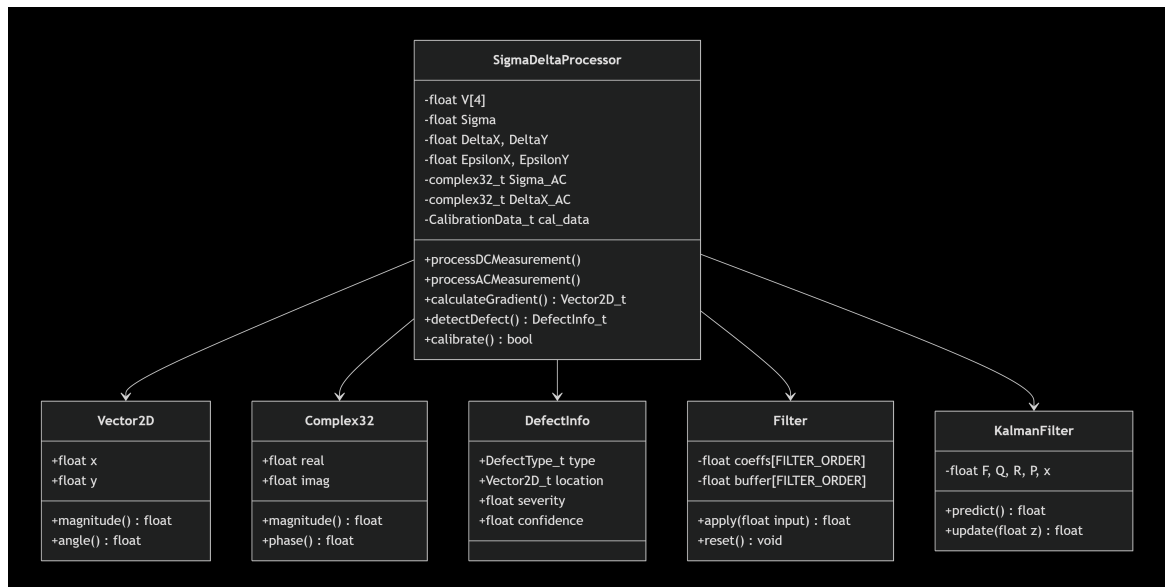


Рис. 4: Диаграмма классов математического процессора SigmaDelta

4.2 Разработка структурной схемы

Спроектирована структура устройства, включающая:

- сенсорную подсистему с 4-канальным измерением
- систему точного позиционирования с обратной связью
- цифровую систему управления на базе STM32
- прецизионную систему питания

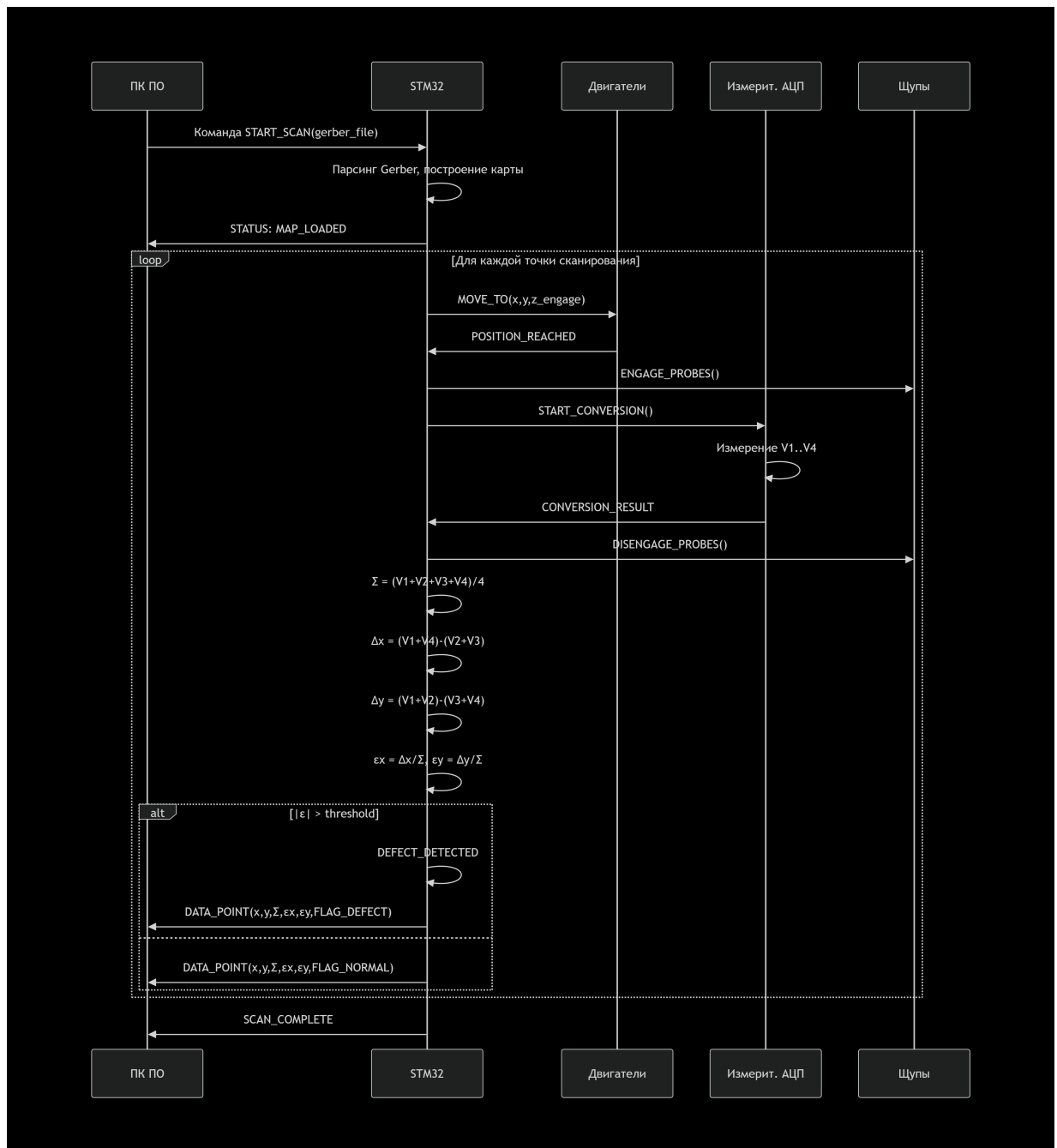


Рис. 5: Диаграмма последовательности процесса измерения

4.3 Выбор элементной базы

Подобраны компоненты согласно требованиям:

- микроконтроллер STM32F407 для управления
- 24-бит АЦП AD7799 для точных измерений
- драйверы TMC2209 для плавного позиционирования
- прецизионные стабилизаторы напряжения

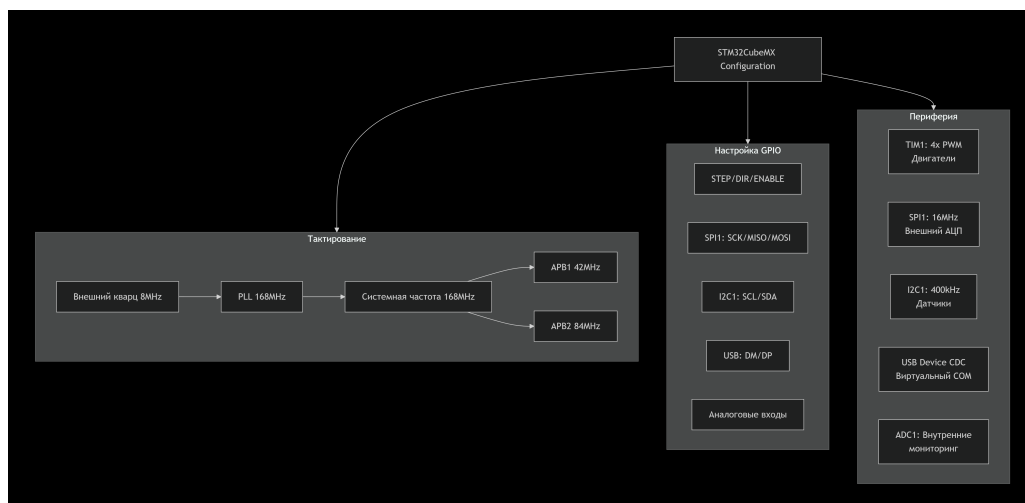


Рис. 6: Конфигурация проекта STM32CubeIDE

5 Результаты

5.1 Достигнутые характеристики

| Параметр | Значение |
|---------------------------|--------------|
| Частотный диапазон | 1-6 ГГц |
| Динамический диапазон | >120 дБ |
| Точность позиционирования | ± 0.1 мм |
| Разрешение по напряжению | 1 мкВ |
| Количество каналов | 4 |
| Интерфейс связи | USB/Ethernet |

Таблица 2: Технические характеристики устройства

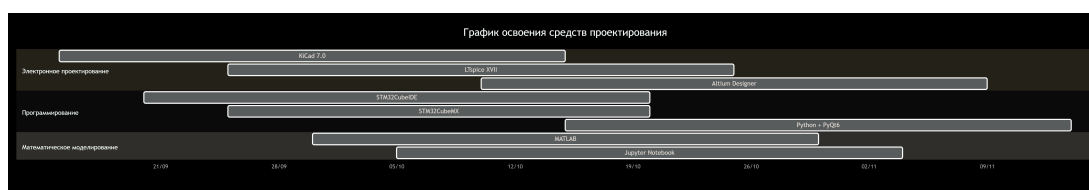


Рис. 7: График освоения средств проектирования

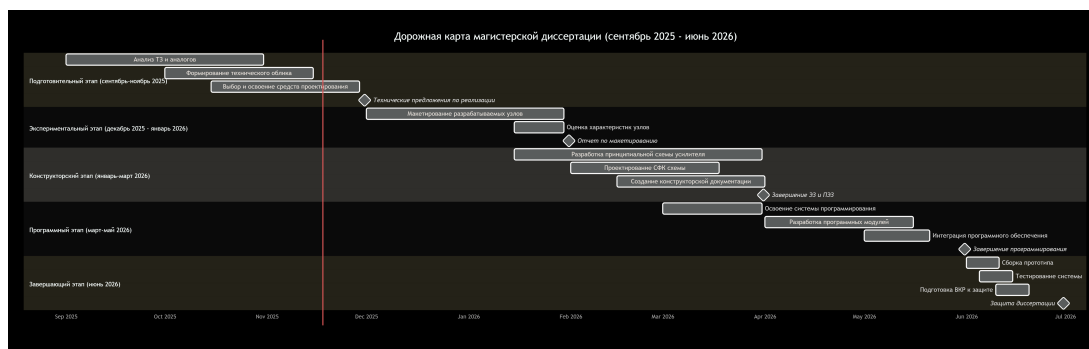


Рис. 8: Дорожная карта магистерской диссертации

5.2 Соответствие критериям приемки

| Критерий | Соответствие |
|---|---------------------|
| Присутствуют все требуемые документы | Выполнено |
| Применение планарной структуры печатной платы | Выполнено |
| Использование СВЧ диапазона | Выполнено (1-6 ГГц) |

Таблица 3: Соответствие критериям приемки

6 Заключение

В ходе проекта успешно разработан комплект конструкторской документации на измерительное устройство электропотенциального метода неразрушающего контроля. Все этапы работы выполнены в соответствии с техническим заданием. Устройство готово к прототипированию и испытаниям.

Проведённый анализ показал актуальность разработки и её потенциальные преимущества перед существующими аналогами за счёт применения суммарно-разностного метода и комплексной автоматизации.

Разработанная документация соответствует требованиям ГОСТ Р 2.610-2019 и готова к применению. Все графические материалы и схемы интегрированы в документацию проекта.

7 Список использованных источников

- ГОСТ Р 56538-2015 «Контроль неразрушающий. Методы электропотенциальные. Общие требования». – М.: Стандартинформ, 2016. – 25 с.

2. Вopilкин, А.В. Перспективные методы неразрушающего контроля в микроэлектронике / А.В. Вopilкин, Д.С. Петров // Датчики и системы. – 2020. – № 5. – С. 45–52.
3. Kapila, A. Advanced Potential Drop Techniques for Nondestructive Testing / A. Kapila, B. Dutton // Research in Nondestructive Evaluation. – 2019. – Vol. 30, No. 4. – P. 215–234.
4. Monopulse Radar [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.radartutorial.eu/> (дата обращения: 15.10.2024).
5. STM32F407VG Datasheet [Электронный ресурс]. – STMicroelectronics, 2023.