

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИК»

Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова

Степушин Кирилл Алексеевич

РАЗРАБОТКА ОТЛАДЧИКА С МОНИТОРИНГОМ  
ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Выпускная квалификационная работа – магистерская диссертация  
по направлению 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
студента образовательной программы магистратуры  
«Интернет вещей и киберфизические системы»

Студент

---

Рецензент  
к.т.н., доцент

---

И.О.Фамилия

Научный руководитель  
приглашенный преподаватель

---

И.О.Фамилия

Консультант  
приглашенный преподаватель

---

И.О.Фамилия

Москва 2024

# Оглавление

1 Введение	2
Список используемой литературы	4

# Глава 1

## Введение

Независимо от стараний разработчика или сложности проекта, большая часть времени разработки будет потрачена на то, чтобы убедиться, что устройство работает правильно, или – что наиболее вероятно – разобраться, почему устройство работает не так, как ожидалось. Отладчик – самый мощный инструмент в наборе инструментов разработчика, позволяющий напрямую взаимодействовать с процессором, задавать точки останова, пошагово управлять потоком выполнения инструкций и проверять значения регистров. [1]

Для устройств «интернета вещей» очень важно знать и отслеживать энергопотребление, ведь обычно такие устройства питаются от батарейки и каждое ненужное действие уменьшит срок службы. Мониторинг энергопотребления позволяет понять энергоэффективность каждого сенса связи, что позволит выбрать наиболее подходящий интерфейс и протокол передачи данных.

Об актуальности возможности мониторинга энергопотребления для отладчика говорит количество измерительных устройств на рынке. Характеристики основных из них приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1: Сравнение характеристик измерительных устройств

Устройство	Joulescope	Otii Arc	NanoRanger	Current Ranger
Диапазон тока	от -1 А до 3 А	от 0 до 2,5 А	от 1 нА до 800 мА	от -1,65 А до 3 А
Разрешение	1 нА	десятки нА	до 10 пА	до 1 пА
Погрешность	до 0,3%	до 0,1%	до 0,3%	до 0,1%
Цена	800 \$	700 \$	220 \$	120 \$

Для реализации возможности мониторинга энергопотребления устройств IoT в первую очередь следует начать с требований. В качестве примера можно рассматривать устройство с BLE, у которого с периодичностью в несколько десятков мс повторяется такой цикл: спящий режим с потреблением единицы мкА, далее устройство просыпается (единицы мА, время – десятки мкс), передача (десятки мА, длительность передачи «пустого» пакета, 27 байт – около 200 мкс), ожидание 150 мкс inter-frame spacing, прием (единицы-десятки мА, 200 мкс). Данный паттерн поведения и характеристики измерительных устройств из таблицы 1.1, а так же особенности IoT-устройств позволяют составить требования к разрабатываемому устройству:

- полоса пропускания – 200 кГц
- напряжение питания отлаживаемых устройств – от 1,8 В до 12 В
- погрешность измерения – до 0,5%

- диапазон тока – от 3,2 мА до 2 А
- разрешение – 0,16 мкА
- время переключения диапазонов - десятки мкс
- себестоимость устройства – 5000 руб.

Вышеозвученные требования позволят спроектировать устройство с учетом специфики области применения, правильно произвести подбор электронной компонентной базы и сделать отладчик конкурентноспособным.

# Литература

1. Лакамера, Д. *Архитектура встраиваемых систем* /Д. Лакамера // ДМК Пресс – Москва – 2023. – 332 с.