

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
2	Описание структуры устройства	4
2.1	Подсистема управления	4
2.2	Подсистема питания	5
	Список используемой литературы	6

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 \$

Перед проектированием отладчика с возможностью мониторинга энергопотребления IoT-устройств следует определиться с требованиями, предъявляемыми к отладчику. Для этого в качестве примера рассмотрим «усредненный» паттерн поведения устройства с BLE, одной из самых популярных технологий беспроводной передачи данных интернета вещей, у которого с периодичностью в несколько десятков мс повторяется такой цикл: спящий режим с токопотреблением единицы мкА, далее устройство просыпается, в этот момент энергопотребление составляет единицы мА, время просыпания – десятки мкс, далее происходит сеанс связи, который начинается с передачи, с токопотреблением примерно десятки мА и длительностью передачи «пустого» пакета величиной 27 байт около 200 мкс, и продолжается ожиданием ответа длительностью в среднем 150 мкс, после сеанс связи завершается приемом, при котором токопотребление составляет единицы-десятки мА длительностью 200 мкс. Данный паттерн поведения, при известной максимальной скорости передачи и приема в 2 Мбит/с для Bluetooth версии 5, позволяет оценить необходимую полосу пропускания подсистемы измерения, её разрешение по измеряемому току и скорость переключения диапазона измеряемых токов.

Для обеспечения конкурентноспособности отладчика, остальные характеристики можно определить из таблицы 1.1, а так же из анализа типичной используемой элементной базы.

Резюмируя вышесказанное, можно ориентироваться на следующие 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.

Данные требования, предъявляемые на этапе начального анализа, в ходе более детальной проработки, изучения и тестирования в дальнейшем будут уточнены в соответствии с полученными результатами.

Глава 2

Описание структуры устройства

2.1 Подсистема управления

Проектирование любого устройства начинается с определения структуры, которая в дальнейшем поможет составить его структурную схему. А главным компонентом любого устройства является его подсистема управления.

Самые популярные подсистемы управления отладчиками базируются на микроконтроллерах, которые поддерживает основные отладочные интерфейсы – JTAG и SWD. В качестве типичного «отладочного» микроконтроллера было решено использовать STM32F107VCT6 из-за его следующих преимуществ:

- *Хорошо проработанная документация* – компания STMicroelectronics является одним из лидеров на рынке микроконтроллеров, во многом благодаря замечательной документации, которая позволяет создавать на базе их решений проработанные и, по большей части, предсказуемо работающие проекты. Важно быть уверенным, что при разработке устройства микроконтроллер не начнет показывать «недокументированные» возможности и различные баги, и репутация компании STMicroelectronics позволяет быть в этом уверенным. Антипримером может служить компания Espressif, чьи многочисленные ошибки, выявленные после выпуска очередного микроконтроллера, иногда выливаются в довольно объемные errata документы.
- *Библиотеки* – наличие удобных и, самое главное, пригодных в использовании библиотек позолит значительно ускорить время разработки. STM32F107VCT6 построена на базе ядра Cortex-M3, для которого написано большое количество популярных библиотек, таких как HAL, LL, CMSIS, libopenm3 и другие.
- *Большое количество готовых решений* – некоторые из функций разрабатываемой системы могли быть реализованы ранее индивидуальным разработчиком, сообществом или предприятием. Разработку всегда стоит начинать с поиска готовых или похожих решений, которые, возможно, уже были разработаны и ждут интеграции в проект. Используемое в STM32F107VCT6 ядро сильно повышает шансы найти что-то готовое или то, что сильно ускорит и упростит разработку устройства, позволяя не писать отдельные модули с «нуля». [1]
- *Доступность* – в «санкционную» эпоху доступность компонента может стать решающим фактором при выборе. Благодаря своей массовости микроконтроллеры серии STM32 можно легко найти как у дистрибьюторов ориентированных на крупные компании, так и на тех, кто работает с физическими лицами, что важно в рамках студенческой дипломной работы.

2.2 Подсистема питания

Невозможно представить устройство без подсистемы питания, которая является его «сердцем», обеспечивая электроэнергией все остальные подсистемы. Плохо спроектированная система питания может стать большой проблемой, вплоть до вывода из строя отдельной подсистемы или устройства в целом.

В качестве питания для отладчика была выбрана связка из PoE + преобразователь, выполненный по технологии fly-back.

PoE (Power over Ethernet) — это технология передачи удаленным Ethernet-устройствам по витой паре электропитания вместе с данными. Данная технология позволяет питать подключенные устройства, к которым невозможно или нежелательно проводить кабели для питания

Литература

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