



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

КАФЕДРА КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ (ИУ6)

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ 09.03.01 Информатика и вычислительная техника

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

*к курсовой работе
по дисциплине «Микропроцессорные системы»
на тему:*

Синтезатор речи

Студент

ИУ6-73Б
(Группа)

(Подпись, дата)

В.К. Залыгин
(И.О. Фамилия)

Руководитель

(Подпись, дата)

И.Б. Трамов
(И.О. Фамилия)

2025 г.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ИУ6

А.В. Пролетарский

«2» сентября 2025 г.

**ЗАДАНИЕ
на выполнение курсовой работы**

по дисциплине Микропроцессорные системы

Студент группы ИУ6-73Б

Залыгин В.К.

Тема курсовой работы: Синтезатор речи

Направленность курсовой работы: учебная

Источник тематики (кафедра, предприятие, НИР): кафедра

График выполнения работы: 25% – 4 нед., 50% – 8 нед., 75% – 12 нед., 100% – 16 нед.

Техническое задание:

Разработать на основе микроконтроллера устройство озвучивания передаваемого текста. Обеспечить поддержку текста на русском и английском языках. Текст на устройство должен передаваться по протоколу UART.

Разработать схему, алгоритмы и программу. Отладить проект в симуляторе или на макете. Оценить потребляемую мощность. Описать принципы и технологию программирования используемого микроконтроллера.

Оформление курсовой работы:

1. Расчетно-пояснительная записка на 30-35 листах формата А4.

2. Перечень графического материала:

- а) схема электрическая функциональная;
- б) схема электрическая принципиальная.

Дата выдачи задания: «2» сентября 2025 г.

Руководитель курсовой работы

02.09.2025

И.Б. Трамов

(И.О.Фамилия)

Студент

02.09.2025

В.К. Залыгин

(И.О.Фамилия)

Примечание: Задание оформляется в двух экземплярах; один выдается студенту, второй хранится на кафедре.

РЕФЕРАТ

РПЗ 31 с., 16 рис., 1 табл., 0 источн., 2 прил.

МИКРОКОНТРОЛЛЕР, ATMEGA128A, СИНТЕЗ РЕЧИ, TTS, UART, SAM

Курсовая работа посвящена разработке проекта TTS (text-to-speech) устройства на основе микроконтроллера ATMega128A семейства AVR и программы SAM для генерации звуковой речи на русском и английском языках на основе передаваемого на устройство по UART текста.

Основная цель курсовой работы состоит в формировании навыков разработки и проектирования микропроцессорных систем путем освоения современных технологий проектирования систем на основе микроконтроллеров, а также программируемых систем на кристалле.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Конструкторская часть	8
1.1 Анализ требований ТЗ	8
1.2 Описание структурной схемы	8
1.3 Описание функциональной схемы	9
1.3.1 Описание архитектуры и характеристики ATMega128A	11
1.3.2 Структура и организация памяти микроконтроллера	12
1.4 Описание принципиальной электрической схемы	14
1.4.1 Подключение МК и программатора	15
1.4.2 Подключение микросхемы памяти	15
1.4.3 Подключение модуля CH340C	17
1.4.4 Подключение усилителя PAM8403 и RC-фильтра	18
1.4.5 Оценка потребляемой мощности	19
2 Технологическая часть	21
2.1 Выбор инструментов и средств разработки	21
2.2 Программирование МК	21
2.3 Общая модель исполнения	21
2.4 Порттирование S.A.M. под МК ATMega128A	23
2.4.1 Устранение ошибок сборки	24
2.4.2 Работа с памятью программы	24
2.5 Модуль трансляции	26
2.6 Достижение максимальной утилизации вычислительного ядра	27
2.6.1 Модуль асинхронного буфера входного потока	28
2.6.2 Модуль асинхронного проигрывателя звукового файла	29
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	31
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	32
ПРИЛОЖЕНИЕ А ИСХОДНЫЙ ТЕКСТ ПРОГРАММЫ	33
ПРИЛОЖЕНИЕ Б СПЕЦИФИКАЦИЯ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ	35

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

MK – микроконтроллер

MK система – микропроцессорная система

Программатор – специальное устройство, позволяющее записывать и читать память программ микроконтроллера, а также конфигурировать его состояние

TTS – (анг. Text-To-Speech) технология синтеза речи на основе текста

UART –

ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа «Синтезатор речи» выполняется на основании учебного плана кафедры ИУ6.

К одному из наиболее широко используемых в учебных и практических разработках семейств микроконтроллеров относятся 8-разрядные микроконтроллеры AVR фирмы Atmel (в настоящее время – Microchip), которые основаны на RISC-архитектуре с гарвардской организацией памяти, обладают развитой системой периферийных модулей, низким энергопотреблением и сравнительно простой системой программирования. AVR-микроконтроллеры применяются в измерительной технике, системах автоматизации и управления, в встраиваемой аудио- и видеоаппаратуре, а также в образовательных макетах и учебных стендах, что делает их удобной основой для реализации курсовых и дипломных проектов.

Целевым микроконтроллером в данной работе является ATMega128A, относящийся к семейству высокопроизводительных 8-битных AVR. Он обладает расширенным объемом программной памяти (128 кБайт Flash), внутренней ОЗУ и энергонезависимой EEPROM-памятью. К архитектурным особенностям данного микроконтроллера относятся наличие нескольких таймеров/счетчиков с поддержкой режима ШИМ, универсальных последовательных интерфейсов (USART, SPI, TWI), встроенного АЦП, а также внешнего интерфейса памяти XMEM. Наличие двух независимых USART, развитой системы прерываний и широкого диапазона тактовых частот обеспечивает гибкость при организации обмена с внешними устройствами и генерации звука.

В основе проекта лежит S.A.M. (The Software Automatic Mouth – TODO ссылка) – программа синтеза речи (TTS) для английского языка, созданная компанией Don't ask software в 1982 году для компьютеров Commodore C64, Atari 8-bit, а также Apple II. S.A.M. является одной из первых коммерческих программ синтеза речи, выпущенных на рынок. Программа включает в себя преобразователь текста в фонемы, который называется reciter, функцию преобразования фонем в речь для окончательного вывода (в формате .wav

файла), а также набор функций для отладки. Изначально написанная на ассемблере под целевые компьютеры, в 2015 году благодаря стараниям Stefan Macke программа была дизассемблирована в код на языке С и выложена в открытый доступ (лицензия программы не была указана в связи с неуспешными попытками связаться с создателями, компания Don't ask software ныне не существует). Программа обладает поразительно малыми размерами – «боевая» автономная версия программы под x86 занимает менее 39 кБ дискового пространства и требует менее 128 кБ оперативной памяти для работы (в основном занимаемой выходным .wav файлом). Данная особенность программы позволяет портировать ее даже для самых маленьких МК систем. В рамках данной курсовой работы ставится задача портирования S.A.M. под МК ATmega128A.

С точки зрения проекта микроконтроллер ATmega128A обладает всеми необходимыми свойствами:

- наличие 128 кБ памяти программы;
- ОЗУ размером в 4 кБ, которое расширяется до 64 кБ при использовании внешней памяти и протокола XMEM;
- наличие нескольких таймеров, поддерживающих ШИП;
- наличие интерфейсов передачи данных, таких как UART;
- высокая производительность МК на частоте 8 МГц;
- простота и открытость архитектуры МК семейства AVR для настройки.

По завершении проектирования была выполнена проверка работоспособности схемы и программного обеспечения на макете.

1 Конструкторская часть

1.1 Анализ требований ТЗ

Согласно техническому заданию, необходимо разработать на основе микроконтроллера устройство озвучивания текста на русском и английском языках. Текст к микроконтроллеру должен передаваться по UART.

Микроконтроллер должен уметь работать с UART и считывать входящий текст, выполнять необходимые преобразования, а затем озвучивать его. Как и оригинальная программа SAM, устройство должно поддерживать флаги, передаваемые во входящем тексте (флаг обозначается при помощи тире на месте первого символа). Также устройство должно уметь подавать сигнал о готовности к вводу после инициализации, передавать информационные и отладочные сообщения по UART передающему устройству.

Поскольку встроенной в МК ОЗУ объёмом 4 кБ не хватает для генерации звукового потока, необходимо использовать внешнюю память, которая расширяет адресное пространство данных вплоть до 64 кБ, чего уже достаточно для работы алгоритмов синтеза речи. Согласно даташиту микроконтроллера, работа с внешней памятью осуществляется при помощи вспомогательного регистра-зашёлки, который необходим для хранения младших бит адреса до окончания цикла чтения или записи.

Для создания качественного звучания сигнал ШИМ, генерируемый МК, проходит несколько этапов обработки: сначала он поступает на RC-фильтр, который сглаживает высокочастотную составляющую, затем усиливается усилителем мощности, повышающим уровень сигнала по напряжению и току и обеспечивающим необходимую громкость динамика.

Для быстрого и простого соединения МК с компьютером устройство снабжается преобразователем UART-USB.

1.2 Описание структурной схемы

По результатам анализа требований к устройству можно сформулировать ряд компонентов, необходимых для работы устройства:

- микроконтроллер;
- UART-USB преобразователь;

- микросхема памяти;
- регистр-защелка;
- RC-фильтр;
- усилитель;
- динамик.

На рисунке 1 представлена структурная схема устройства.

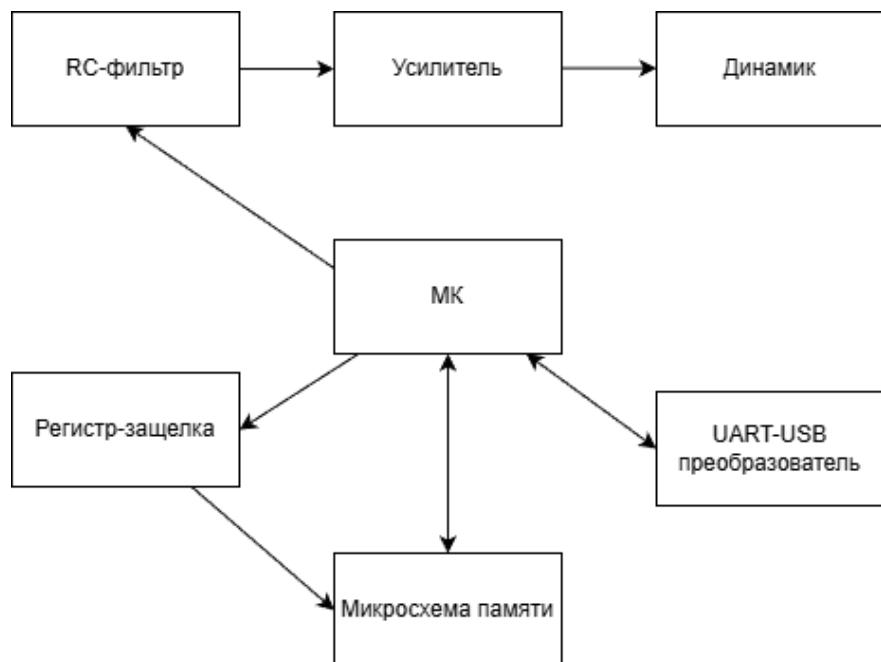


Рисунок 1 — Структурная схема

Микроконтроллер играет центральную роль в устройстве и потому расположен в центре схемы. Подключение к компьютеру, передача и приём данных от него производится через UART-USB преобразователь. Звуковой сигнал формируется на основе сигнала ШИМ, проходящего обработку в RC-фильтре и усилителе. Внешняя память и регистр-защёлка образуют подсистему расширения ОЗУ микроконтроллера.

1.3 Описание функциональной схемы

На основе структурной схемы выполнена функциональная схема устройства, которая уточняет состав внутренних модулей микроконтроллера и логические связи между ними и внешними блоками. Функциональная схема представлена на рисунке 2.

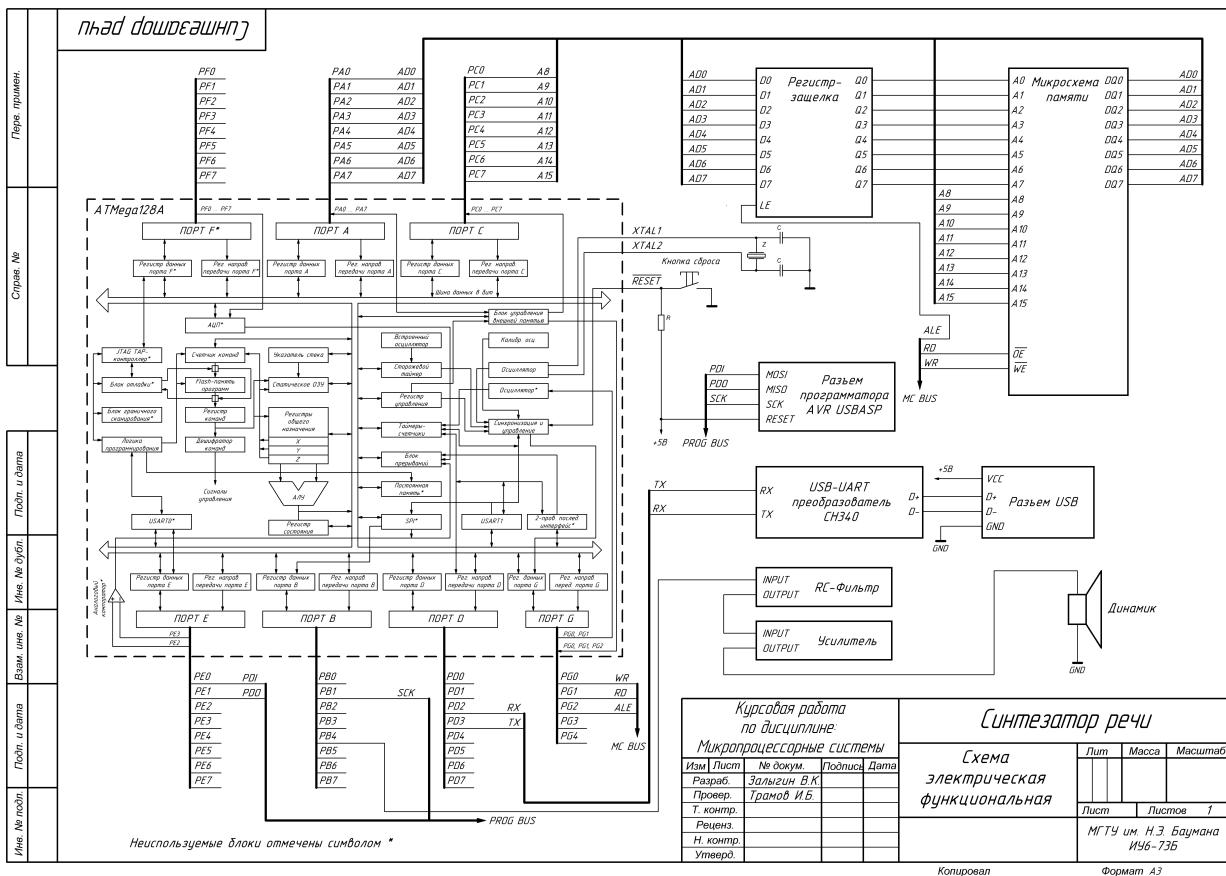


Рисунок 2 — Функциональная схема

На функциональной схеме микроконтроллеров ATMega128A изображён в развернутом виде: показаны ядро AVR, блок программной Flash-памяти, внутренняя SRAM, контроллер внешней памяти, таймеры/счётчики, интерфейсы USART, SPI, модуль тактирования и система прерываний.

Передача текста от персонального компьютера осуществляется по интерфейсу USB-UART. На функциональной схеме этот путь представлен как цепочка: USB разъем — USB-UART преобразователь — интерфейс USART1 микроконтроллера. USART1 принимает байтовый поток, на основе которого выполняются задачи: разбор текстовых флагов, преобразование текста и синтеза речи. В обратном направлении по тому же каналу передаются служебные и отладочные сообщения.

Для хранения промежуточных данных и выходного звукового буфера используется внешняя статическая память. В функциональном представлении подсистема памяти состоит из контроллера внешней памяти внутри микроконтроллера, шины адреса, шины данных (совмещена с младшими адресами шины адреса), регистра-зашёлки и микросхемы SRAM. Контроллер

внешней памяти формирует последовательность сигналов на шинах адреса и данных, а также управляющие сигналы чтения и записи в рамках параллельного интерфейса XMEM. Регистр-защёлка выполняет функцию временного хранения младшей части адреса. С точки зрения программы внешняя память воспринимается как продолжение внутренней SRAM, доступ к которой осуществляется обычными операциями чтения и записи по нужным адресам (с учетом необходимой конфигурации контроллера внешней памяти и разметки памяти данных для программы).

Генерация звукового сигнала представлена как последовательность модулей «ШИМ-выход таймера» — «RC-фильтр» — «Усилитель мощности» — «Динамик». Таймер/счётчик 0 работает в режиме генерации ШИМ и получает от программной части массив значений, соответствующих дискретному уровню звукового сигнала. Контроллер прерываний обеспечивает регулярную загрузку новых значений в регистр таймера 0 с заданной частотой дискретизации (более подробное описание представлено в технологической части РПЗ), RC-фильтр сглаживает высокочастотную составляющую сигнала — таким образом реализован простой цифро-аналоговый преобразователь. Усилитель мощности обеспечивает повышение мощности сигнала для подачи на динамик (мощность выхода GPIO-порта микроконтроллера слишком мала и при прямом подключении динамик не было бы слышен).

Отдельным представлена изображена схема тактирования. Кварцевый резонатор и схема генератора формируют опорную частоту 8 МГц. Наличие внешнего кварцевого резонатора продиктовано недостаточной точностью внутреннего механизма тактирования для работы с UART.

Наконец, показан интерфейс с программатором по SPI. Модуль SPI микроконтроллера используется для внутрисхемного программирования памяти программ и конфигурационных фьюзов. На схеме это отражено как отдельный канал взаимодействия с внешним модулем «Программатор».

1.3.1 Описание архитектуры и характеристики ATMega128A

Микроконтроллер входит в семейство AVR, имеет гарвардскую архитектуру (программа и данные находятся в разных адресных пространствах) и

систему команд, близкую к идеологии RISC. Процессор AVR имеет 32 8-битных регистра общего назначения, объединённых в регистровый файл.

В основном микроконтроллер можно встретить в корпусе TQFP64, распиновка которого показана на рисунке 3.

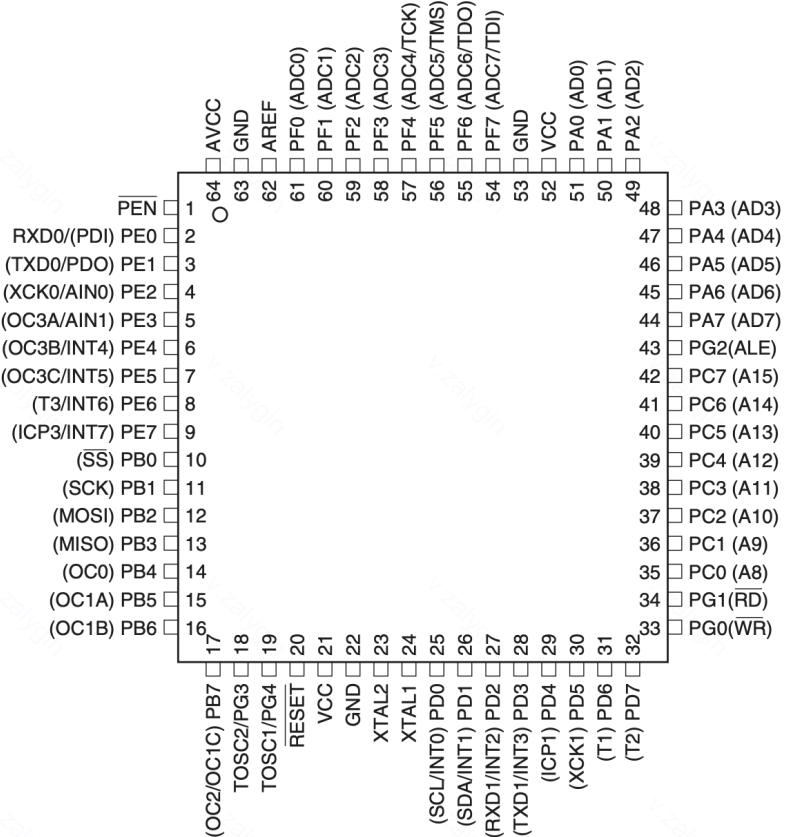


Рисунок 3 — Распиновка ATMega128A в корпусе TQFP64

Большинство ножек имеют несколько назначений: помимо 7 портов ввода-вывода, к ним также подключено множество периферии: 2 8-битных и 2 16-битных счётчика с поддержкой ШИМ, АЦП, Two-wire, два интерфейса USART, интерфейс SPI (с возможностью внутрисхемного программирования), сторожевой таймер, аналоговый компаратор, JTAG.

1.3.2 Структура и организация памяти микроконтроллера

В ATMega128A используется несколько типов памяти, каждый из которых имеет собственное адресное пространство и назначение. Программная память представляет собой встроенную Flash-память объёмом 128 Кбайт, организованную в виде слов по 16 бит. В ней размещается основной код программы, векторы прерываний, таблицы констант и, при необходимости, загрузчик. Доступ к Flash из программы осуществляется через специальные

инструкции чтения программной памяти, а запись возможна только в режиме самопрограммирования под управлением бутлоадера.

Графическое описание пространства данных представлено на рисунке 4. Цветные области обозначают секции памяти, используемые устройством.

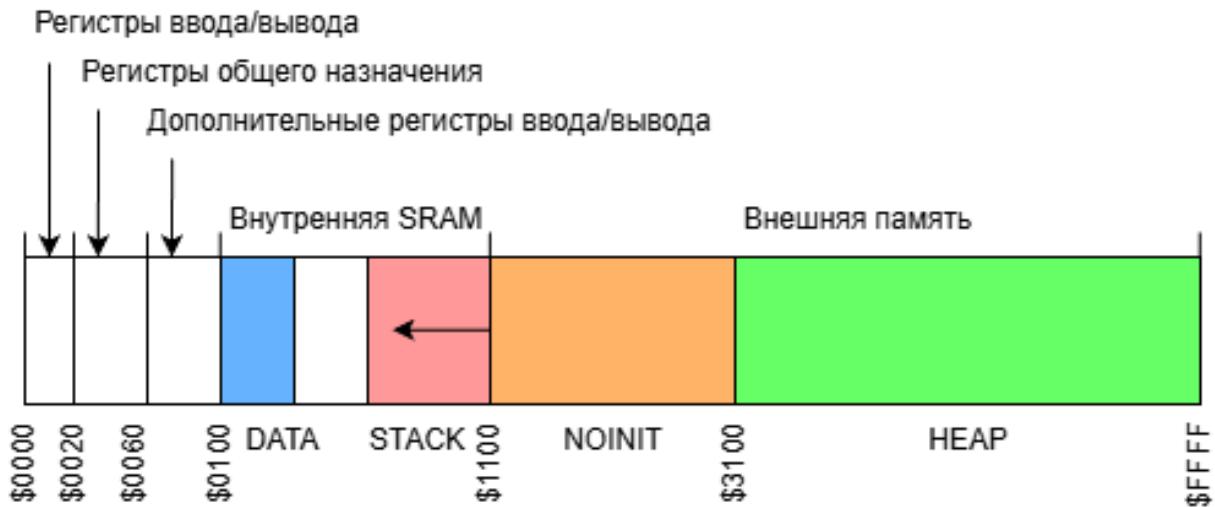


Рисунок 4 — Адресное пространство данных

Адресное пространство данных имеет объём 64 Кбайт и объединяет несколько областей. В самом начале располагаются 32 регистра общего назначения R0–R31. Далее следуют регистры ввода-вывода, в которых отображены все периферийные модули микроконтроллера: таймеры/счётчики, интерфейсы USART, SPI и TWI, АЦП, портовые регистры, регистры прерываний и конфигурации. Начиная с адреса, следующего за расширенной областью регистров ввода-вывода, располагается внутренняя SRAM объёмом 4 Кбайт.

При включённом интерфейсе XMEM верхняя часть адресного пространства данных отводится под внешнюю память. В рассматриваемом проекте во внешнюю область проецируется микросхема статической ОЗУ.

Алгоритм синтеза речи SAM из-за батчевого характера обработки данных активно используют массивы промежуточных данных и большой выходной буфер звукового сигнала. В данной реализации эти массивы размещаются именно во внешней ОЗУ, тогда как внутренняя память микроконтроллера резервируется под стек, системные переменные и небольшие служебные буфера.

Отдельно в микроконтроллере присутствует энергонезависимая EEPROM-память объёмом 4 Кбайт. В данной курсовой работе она не используется.

Скорость работы микросхемы памяти также вносит ограничение на частоту микропроцессора – 8 МГц. При более высоких частотах микросхема памяти не успевает отвечать микроконтроллеру, что ломает логику обработки данных.

1.4 Описание принципиальной электрической схемы

Принципиальная схема устройства представлена на рисунке 5.

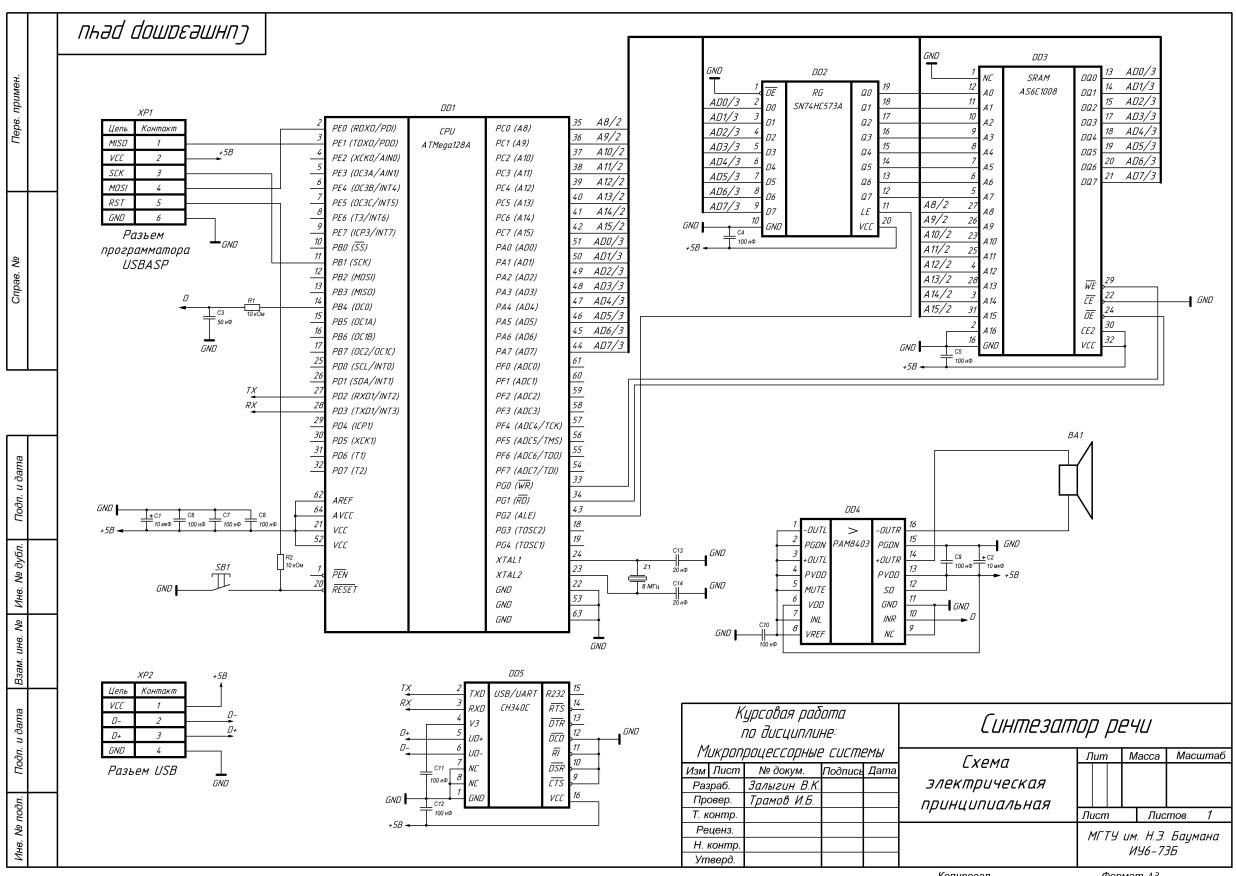


Рисунок 5 — Принципиальная схема

На принципиальной схеме центральным элементом является микроконтроллер ATmega128A (DD1), к выводам которого подведены цепи питания, тактирования, сброса, программирования, интерфейса внешней памяти, интерфейса связи с ПК и звуковой тракт.

Питание устройства осуществляется от линии +5 В, поступающей с разъёма USB. Вблизи выводов питания микроконтроллера и других микросхем размещены развязывающие керамические конденсаторы. Тактовый генератор

построен на кварцевом резонаторе Z1 частотой 8 МГц, подключённом к выводам XTAL1 и XTAL2 микроконтроллера. Два конденсатора небольшой ёмкости (20 нФ) согласно требованиям из документации к микроконтроллеру (C13 и C14) образуют с резонатором пьезоэлектрический генератор.

Цепь сброса включает подтягивающий резистор R2, соединяющий вывод RESET с линией +5 В, и кнопку SB1, замыкающую этот вывод на общую землю; при нажатии кнопки микроконтроллер переходит в состояние аппаратного сброса.

Справа от микроконтроллера размещён узел внешней памяти, включающий регистр-защёлку SN74HC573A (DD2) и микросхему SRAM AS6C1008 (DD3) объемом 128 кБ. Шестнадцатиразрядная адресная шина микроконтроллера позволяет адресовать до 64 кБ внешней памяти, поэтому используется только младшая часть объёма микросхемы SRAM – старший адресный бит A16 притянут к нулю.

Снизу показан интерфейс USB-UART на микросхеме CH340C, связанный с разъёмом USB и выводами USART1 микроконтроллера. В нижней правой части схемы расположен «аудиотракт»: RC-фильтр, усилитель мощности PAM8403 и разъём динамика XP3.

1.4.1 Подключения МК и программатора

Для удобства разработки и отладки микроконтроллер поддерживает внутрисхемное программирование по SPI. На схеме показан разъём программатора USBasp XP1. Его выводы MISO, MOSI и SCK подключены соответственно к выводам PB3, PB2 и PB1 микроконтроллера, которые совмещают функции интерфейса SPI и портовых линий.

Вывод RESET микроконтроллера подключён к разъёму XP1 и используется программатором для перевода МК в режим программирования. В штатном режиме этот вывод подтянут к питанию резистором R2 и может принудительно замыкаться на землю кнопкой SB1. Такая схема обеспечивает как аппаратный сброс пользователем, так и корректное управление режимами микроконтроллера со стороны программатора.

1.4.2 Подключение микросхемы памяти

Подключение внешней памяти реализует стандартный параллельный интерфейс XMEM, поддерживаемый ATMega128A. Линии порта А микроконтроллера используются как мультиплексированная шина AD0–AD7: они подключены одновременно ко входам D0–D7 регистра-защёлки SN74HC573A и к двунаправленнойшине данных D0–D7 микросхемы SRAM AS6C1008. Сигнал ALE, формируемый выводом PG2, подаётся на вход LE регистра-защёлки. В момент начала цикла обращения по шине на порт А выводится младший байт адреса, и при помощи стробирующего сигнала ALE фиксируется выходах Q0–Q7, которые подключены к адресным входам A0–A7 микросхемы SRAM.

Старшие адресные биты A8–A15 формируются выводами порта C микроконтроллера и напрямую подключены к соответствующим выводам памяти. Управляющие сигналы чтения и записи формируются выводами порта G: сигнал /RD (PG1) подаётся на вход /OE ОЗУ, а сигнал /WR (PG0) — на вход /WE. Выход /CE микросхемы памяти подключён к общему проводу, а вывод CE2 — к шине +5 В, что обеспечивает постоянно разрешённое состояние микросхемы; фактический выбор режима работы определяется только сигналами /OE и /WE. Адресный вход A16 притянут к земле, поэтому используется младшая половина доступного адресного пространства ОЗУ. В цепях питания регистра-защёлки и памяти установлены развязывающие керамические конденсаторы C4 и C5.

Для конфигурации работы с внешней памятью используются регистры MCUCR, XMCRA, XMCRB, в которых указываются следующие биты:

- SRE – включает/выключает интерфейс внешней памяти XMEM;
- SRWn1 и SRWn0 – биты выбора числа состояний ожидания (wait-states) при доступе к внешней памяти для нижнего/верхнего сектора;
- SRL2, SRL1, SRL0 – задают разбиение адресного пространства внешней памяти на нижний и верхний сектор (адрес границы сектора);
- XMBK – разрешение работы устройства запоминания состояния шины на линиях AD7:0, при XMBK=1 шина удерживает последнее состояние, когда переведена в третье состояние;

– XMM2, XMM1, XMM0 – маска старших адресных разрядов A15:8; определяют, сколько линий порта С используется как старший адресный байт внешней памяти, а сколько остаётся обычными линиями ввода-вывода (тем самым ограничивается максимальный объём адресуемой RAM);

Регистры MCUCR, XMCRA представлены на рисунке 6.

Разряд	7	6	5	4	3	2	1	0	
	SRE	SRW10	SE	SM1	SM0	SM2	IVSEL	IVCE	MCUCR
Чтение/Запись	Чт./Зп.	Чт./Зп.	Чт./Зп.	Чт./Зп.	Чт./Зп.	Чт./Зп.	Чт./Зп.	Чт./Зп.	
Начальное значение	0	0	0	0	0	0	0	0	
Разряд	7	6	5	4	3	2	1	0	
	–	SRL2	SRL1	SRL0	SRW01	SRW00	SRW11	–	XMCRA
Чтение/Запись	Чт	Чт/Зп	Чт/Зп	Чт/Зп	Чт/Зп	Чт/Зп	Чт/Зп	Чт	
Начальное значение	0	0	0	0	0	0	0	0	

Рисунок 6 — Регистры MCUCR и XMCRA

Примеры временных диаграмм циклов чтения и записи показаны на рисунке 7. В данном устройстве используются короткие циклы без дополнительных тактов задержек, что возможно благодаря быстродействию микросхем регистра-защелки и памяти.

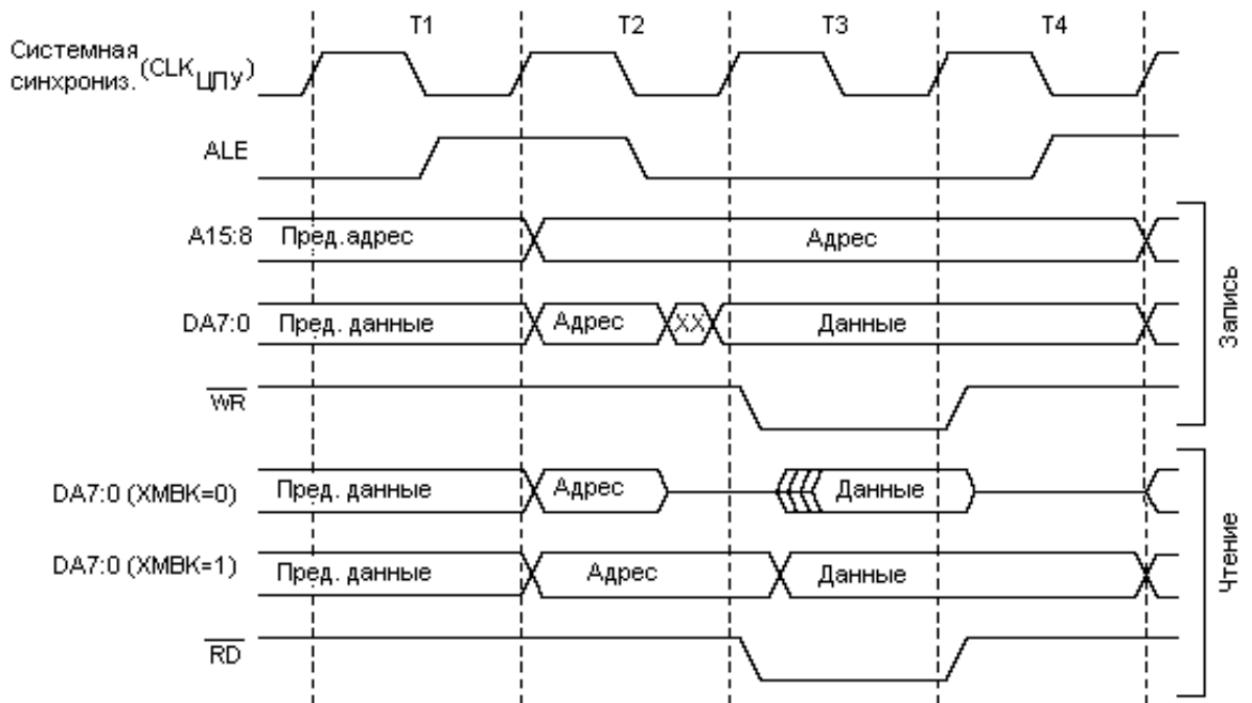


Рисунок 7 — Временная диаграмма циклов чтения и записи без дополнительных задержек

1.4.3 Подключение модуля CH340C

Сопряжение микроконтроллера с персональным компьютером по USB реализовано на микросхеме USB-UART преобразователя CH340C (DD5). На её выводы UD+ и UD– подведены линии D+ и D– разъёма USB XP2, а вывод VCC подключён к шине +5 В. Встроенный стабилизатор ядра микросхемы питается от линии +5 В. Пин на питание +3 В развязан через керамический конденсатор на землю в соответствии с требованиями из документации.

Последовательный интерфейс UART со стороны микроконтроллера реализуется линиями USART1. Вывод PD3 (TXD1) подключен к входу RXD микросхемы CH340C, а вывод PD2 (RXD1) — к её выходу TXD. Остальные выводы микросхемы CH340C, связанные с аппаратным управлением модемными сигналами (CTS, DSR, DTR и др.), в данной схеме не используются и остаются свободными или подтянутыми к фиксированным уровням согласно рекомендациям документации к микросхеме.

1.4.4 Подключение усилителя PAM8403 и RC-фильтра

Формирование аналогового звукового сигнала начинается на выводе PB4 микроконтроллера, который использует OC0 — выход таймера/счётчика 0 в режиме ШИМ. Прямоугольный ШИМ-сигнал с частотой несущей (работает на частоте микроконтроллера) значительно выше максимальной звуковой частоты поступает на RC-фильтр, образованный резистором R1 и конденсатором C3. Фильтр сглаживает высокочастотную составляющую звукового сигнала.

С выхода RC-фильтра (разрыв D на схеме) сигнал подаётся на вход INR усилителя мощности PAM8403 (DD4). Усилитель питается от линии +5 В, к его выводам питания подключены конденсаторы C2, C9 и C10, обеспечивающие развязку питания микросхемы согласно документации. В данной схеме используется только правый канал усилителя, пины второго канала притянуты к земле. Выход усилителя соединён с разъёмом XP3, к которому подключается динамик.

Расчет RC-фильтра выполняется на основе следующих данных. Сопротивление резистора подбирается на основе напряжения питания и максимального тока на выходе GPIO-порта микроконтроллера ($I_{max} = 20$ мА согласно даташиту на микроконтроллер), тогда минимальное сопротивление

резистора определяется законом Ома, описанной в формуле (1). Для наличия запаса удобно использовать резистор $R_1 = 1$ кОм. Для речи достаточно взять частоту среза около 3-3.5 кГц (передача голоса по телефонной связи работает на полосе частот 0,3-3,4 кГц). Тогда можно вычислить емкость конденсатора при сопротивлении резистора $R_1 = 1$ кОм и частоте среза $f_c = 3.2$ кГц. Вычисления представлены в формуле (2).

$$R_{\min} = \frac{U_{\text{питания}}}{I_{\max}} = \frac{5\text{В}}{0.02\text{А}} = 250 \text{ Ом}, \quad (1)$$

где R_{\min} – минимальное сопротивление резистора,
 $U_{\text{питания}}$ – напряжение питания устройства,
 I_{\max} – максимальный ток GPIO-порта микроконтроллера.

$$C_3 = \frac{1}{2\pi * R_1 * f_c} = \frac{1}{2\pi * 1000 \text{ Ом} * 3200 \text{ Гц}} \approx 50 \text{ нФ}, \quad (2)$$

где C_3 – искомая емкость конденсатора, входящего в RC-фильтр,
 R_1 – сопротивление резистора, входящего в RC-фильтр,
 f_c – требуемая частота среза.

Таким образом получены параметры компонент RC-фильтра: сопротивление резистора $R_1 = 1$ кОм и емкость конденсатора $C_3 = 50$ нФ.

1.4.5 Оценка потребляемой мощности

Для оценки энергопотребления устройства требуется определить суммарный ток, потребляемый всеми узлами при работе в типовом и в наиболее тяжёлом режимах.

Мощность RC-фильтра можно вычислить по формуле (3)

$$P_{\text{RC}} = \frac{U_{\text{питания}}^2}{R_1} = \frac{(5\text{В})^2}{1000} = 25 \text{ мВт}, \quad (3)$$

где P_{RC} – искомая мощность,

$U_{питания}$ – напряжение питания,

R_1 – сопротивление резистора, состоящего в RC-фильтре.

Токи питания используемых микросхем приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Таблица токов питания микросхем при напряжении 5 В

Обозначение	Микросхема	Ток питания, мА
DD1	ATMega128A	10
DD2	SN74HC573A	0.08
DD3	AS6C1008	10
DD4	PAM8403	3.5
DD5	CH340C	20

Мощность микросхем можно установить по формуле (4).

$$P = I_{питания} * U_{питания}, \quad (4)$$

где P – потребляемая мощность микросхемы,

$I_{питания}$ – потребляемый ток,

$U_{питания}$ – напряжение питания.

Общая потребляемая мощность устройства будет определяться как суммарная мощность компонентов устройства и показано в формуле (5).

$$\begin{aligned} P_{sum} &= \sum_i P_i = \sum_i I_i * U_{питания} + P_{RC} = \\ &= (10 + 0.08 + 10 + 3.5 + 20) \text{ мА} * 5\text{В} + 25 \text{ мВт} \approx 70 \text{ мВт}, \end{aligned} \quad (5)$$

где P_{sum} – суммарная мощность всего устройства,

P_i – мощность i -го устройства.

Таким образом суммарная мощность устройства составляет $P_{sum} \approx 70$ мВт.

2 Технологическая часть

2.1 Выбор инструментов и средств разработки

2.2 Программирование МК

На рисунке 8 показана структурная схема программной части устройства.

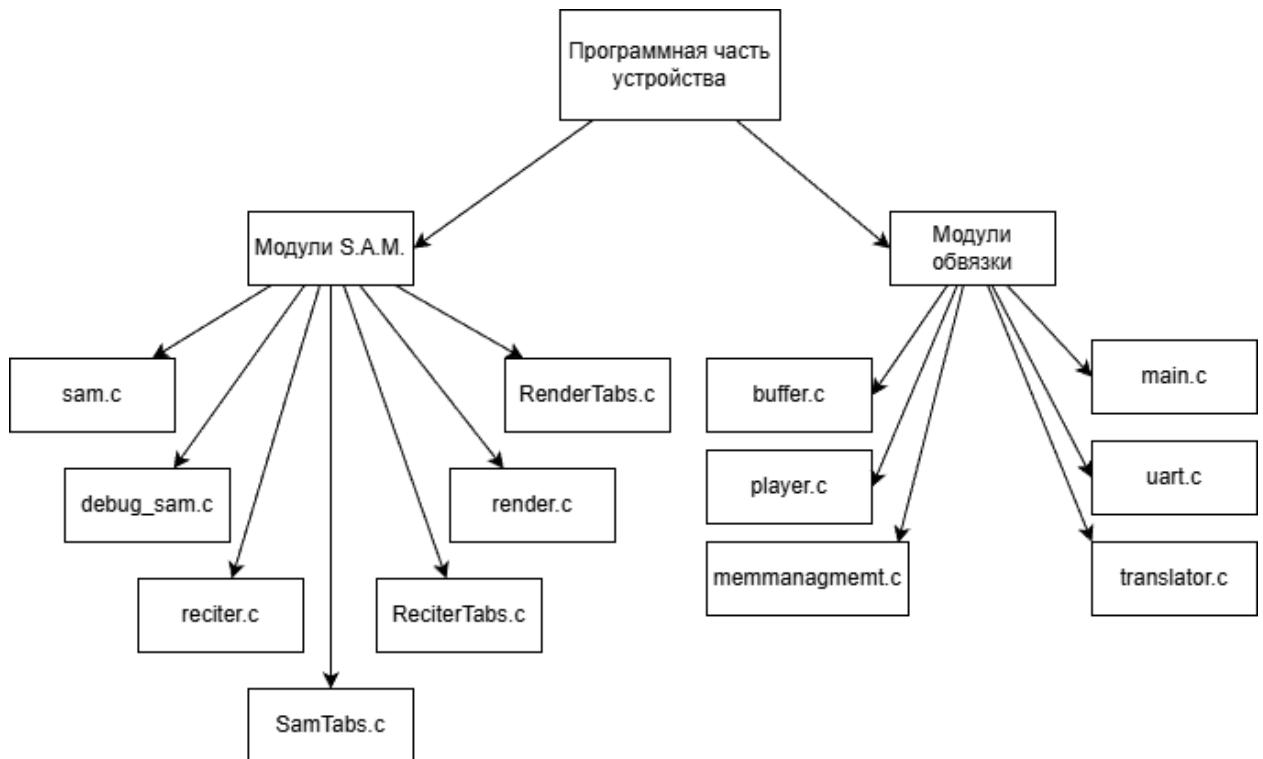


Рисунок 8 — Структурная схема

Для сборки проекта используется система сборки Make, скрипты сборки (Makefile) указаны в приложении А.

2.3 Общая модель исполнения

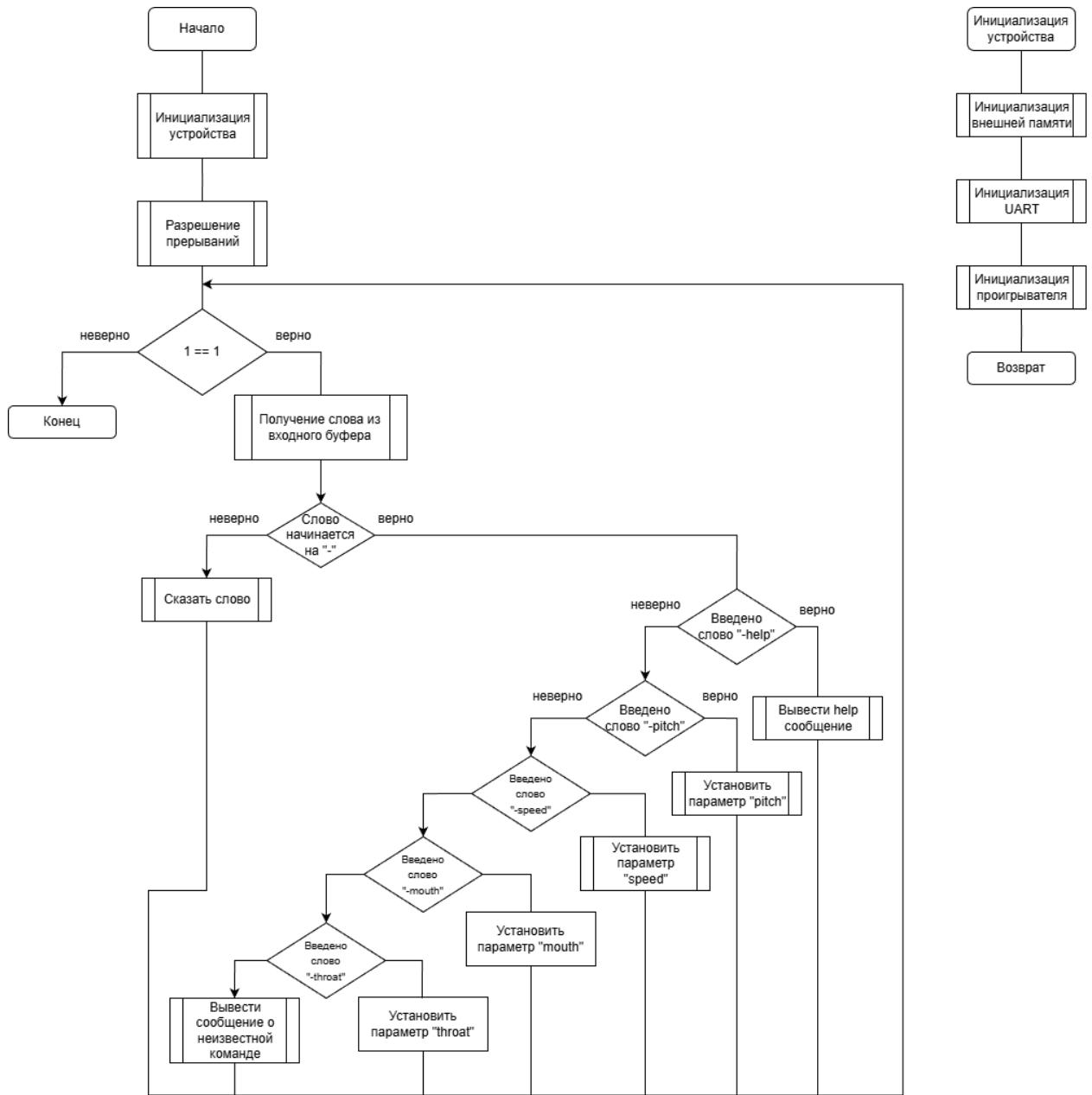


Рисунок 9 — Основной цикл работы



Рисунок 10 — Схема алгоритма основной функции генерации речи
2.4 Портирование S.A.M. под МК ATmega128A

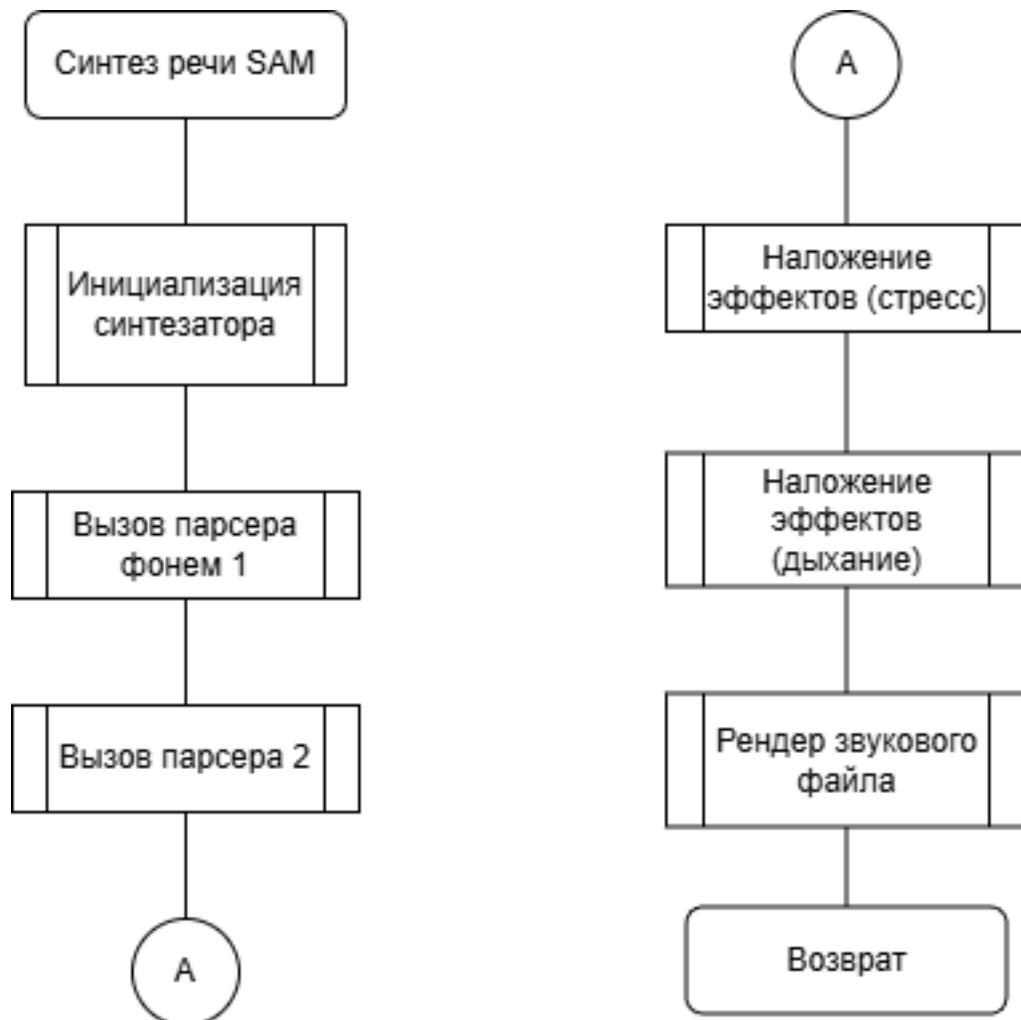


Рисунок 11 — Схема алгоритма синтеза речи S.A.M.

2.4.1 Устранение ошибок сборки

2.4.2 Работа с памятью программы

Весь код (макросы и одна вспомогательная функция) для удобства вынесены в отдельный заголовочный файл memmanagement.h, который затем подключается к остальным файлам проекта и обеспечивает поддержку работы с памятью данных. Содержимое memmanagement.h показано в листинге 1.

Листинг 1 — Заголовочный файл memmanagement.h

```

#ifndef MEMMANAGEMENT_H
#define MEMMANAGEMENT_H

#include <avr/pgmspace.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>

#include "uart.h"

```

Продолжение листинга 1

```
#define DATAMEM __attribute__((section(".data")))
#define NOINITMEM __attribute__((section(".noinit")))

#define printf(...) _PRINTF_IMPL(__VA_ARGS__) (__VA_ARGS__)
#define _PRINTF_IMPL(...)
\
    _GET_MACRO(__VA_ARGS__, _PRINTF_IMPL_1, _PRINTF_IMPL_1,
_PRINTF_IMPL_1, \
            _PRINTF_IMPL_1, _PRINTF_IMPL_1, _PRINTF_IMPL_1,
_PRINTF_IMPL_1, \
            _PRINTF_IMPL_1, _PRINTF_IMPL_1, _PRINTF_IMPL_0)
#define _GET_MACRO(_fmt, _1, _2, _3, _4, _5, _6, _7, _8, _9,
NAME, ...) NAME
#define _PRINTF_IMPL_0(fmt) \
    do { \
        static const char PROGMEM = fmt; \
        printf(copy_pgm_str(MSG)); \
    } while (0)
#define _PRINTF_IMPL_1(fmt, ...) \
    do { \
        static const char PROGMEM = fmt; \
        printf(copy_pgm_str(MSG), __VA_ARGS__); \
    } while (0)

extern char COPY_PGM_BUFFER[256] NOINITMEM;
const char* copy_pgm_str(const char* pgm_str);

#endif
```

Благодаря указанным выше макросам можно гибко и явно определять структуру памяти. На рисунке 12 показано адресное пространство программы, подписаны различные секции программы и переменные линкера, которые отвечают за разметку.

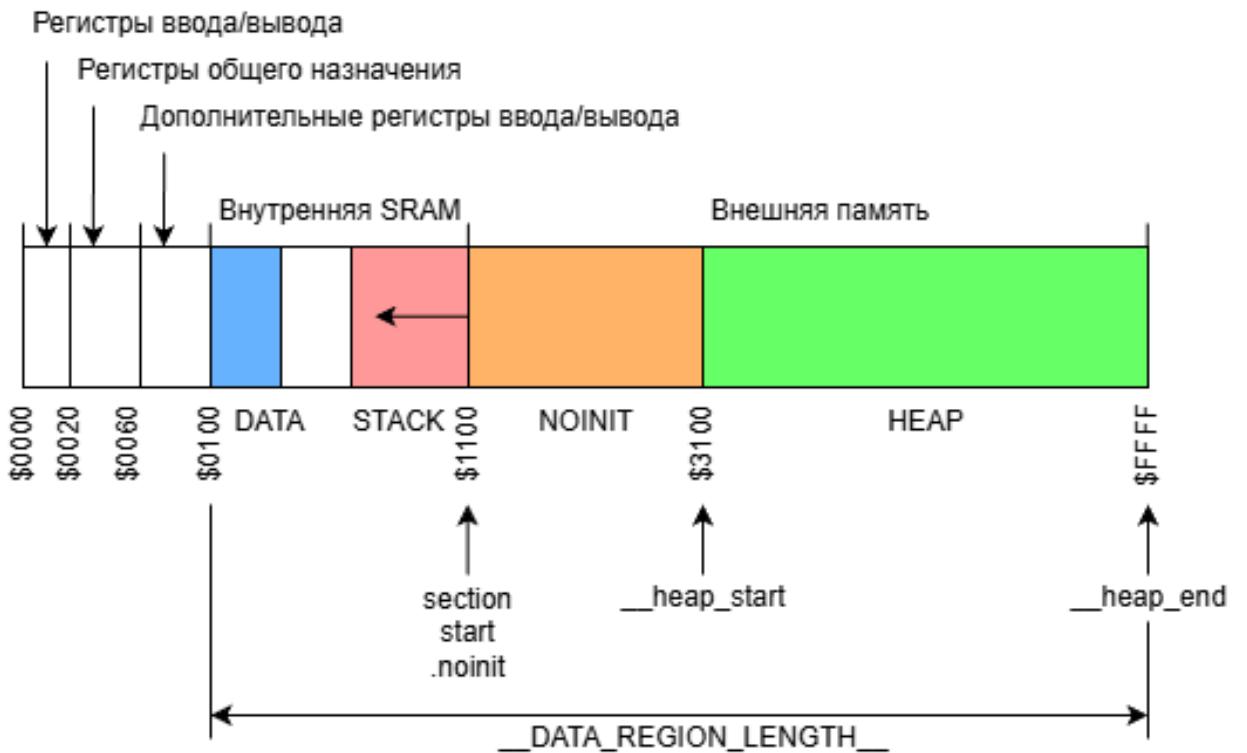


Рисунок 12 — Разметка адресного пространства данных

Помимо разметки данных по секциям, для непосредственного назначения диапазонов адресов для секций данных необходимо передать несколько аргументов линкеру через переменных сборочного файла. Фрагмент файла с аргументами представлен в листинге 2.

Листинг 2 — Выдержка из файла Makefile с флагами линкера

```
LDFLAGS += -Wl,--defsym,__DATA_REGION_LENGTH__=0xfffa0,--  
section-start=.noinit=0x801100,--  
defsym=__heap_start=0x803100,--defsym=__heap_end=0x80ffff
```

2.5 Модуль трансляции

Модуль трансляции необходим для перевода русских букв в английские транскрипции так как алгоритмы синтеза работают только с английским языком. Заголовочный файл транслятора показан в листинге 3.

Листинг 3 — Заголовочный файл translator.h

```
#ifndef TRANSLATOR_H  
#define TRANSLATOR_H  
  
void translate(char* dst, char* src, int dstsize);  
  
#endif
```

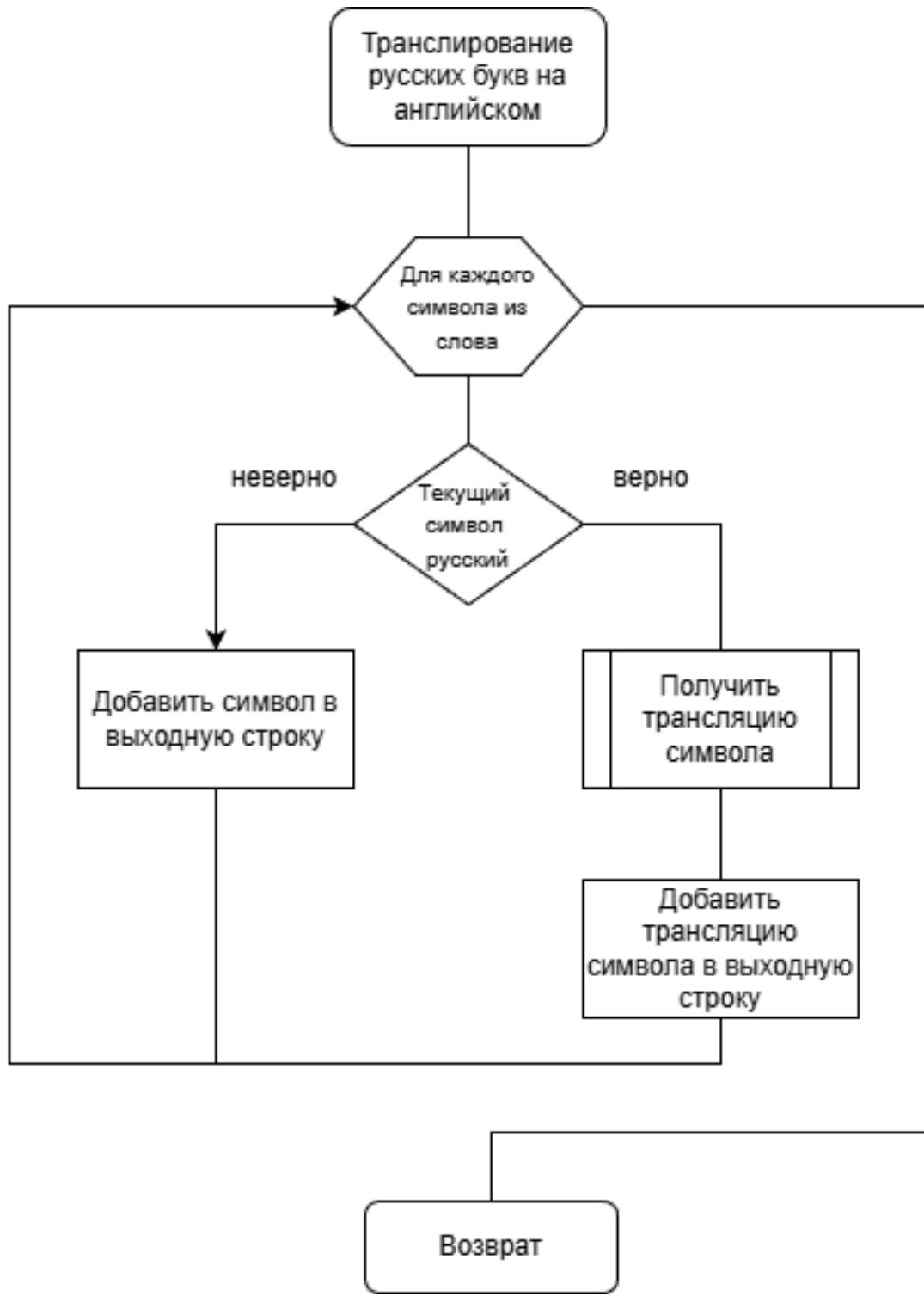


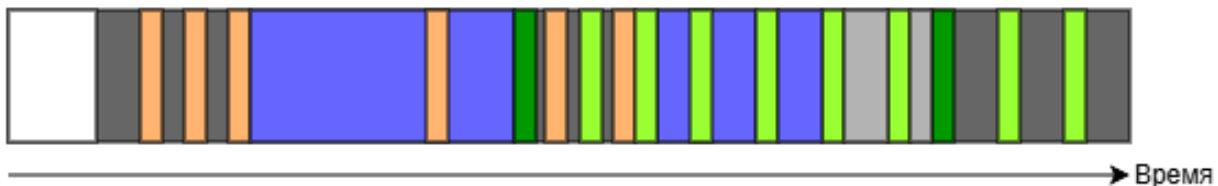
Рисунок 13 — Схема алгоритмов модуля трансляции

2.6 Достижение максимальной утилизации вычислительного ядра

Так как синтез речи является тяжелой задачей, встает вопрос о грамотном использовании ограниченных ресурсов. Для увеличения полезного процента в времени утилизации вычислительного ядра активно применяются асинхронные алгоритмы, реализованные при помощи прерываний. Таким образом удается достичь минимизации времени простаивания ядра в циклах

ожидания, а освободившиеся ресурсы направить на тяжелые вычислительные задачи синтеза речи. Рисунок 14 иллюстрирует, как используется процессорное время.

Утилизация времени процессорного ядра:



Тип вычислений, занимающих процессорное ядро:



Рисунок 14 — Использование процессорного времени

2.6.1 Модуль асинхронного буфера входного потока

Принято решение реализовать получение входных данных при помощи специального входного буфера, который позволил не терять данные, если они приходят уже во активной вычислительной работе, а также снизить долю времени ожидания процессора (данные в буфер попадают асинхронно, а затем в необходимые момент читаются из буфера и берутся в работу). Заголовочный файл в листинге 4 показывает интерфейс буфера. При помощи асинхронного буфера закрывается задача тяжелого ввода.

Листинг 4 — Заголовочный файл buffer.h

```
#ifndef BUFFER_H
#define BUFFER_H

#define BUFFER_SIZE 256

typedef struct buffer_t {
    char* buf;
    int begin;
    int end;
} buffer_t;

buffer_t make_buffer();
```

Продолжение листинга 4

```
int buffer_is_empty(volatile buffer_t* buffer);  
  
void buffer_write(volatile buffer_t* buffer, char ch);  
  
char buffer_read(volatile buffer_t* buffer);  
  
#endif
```

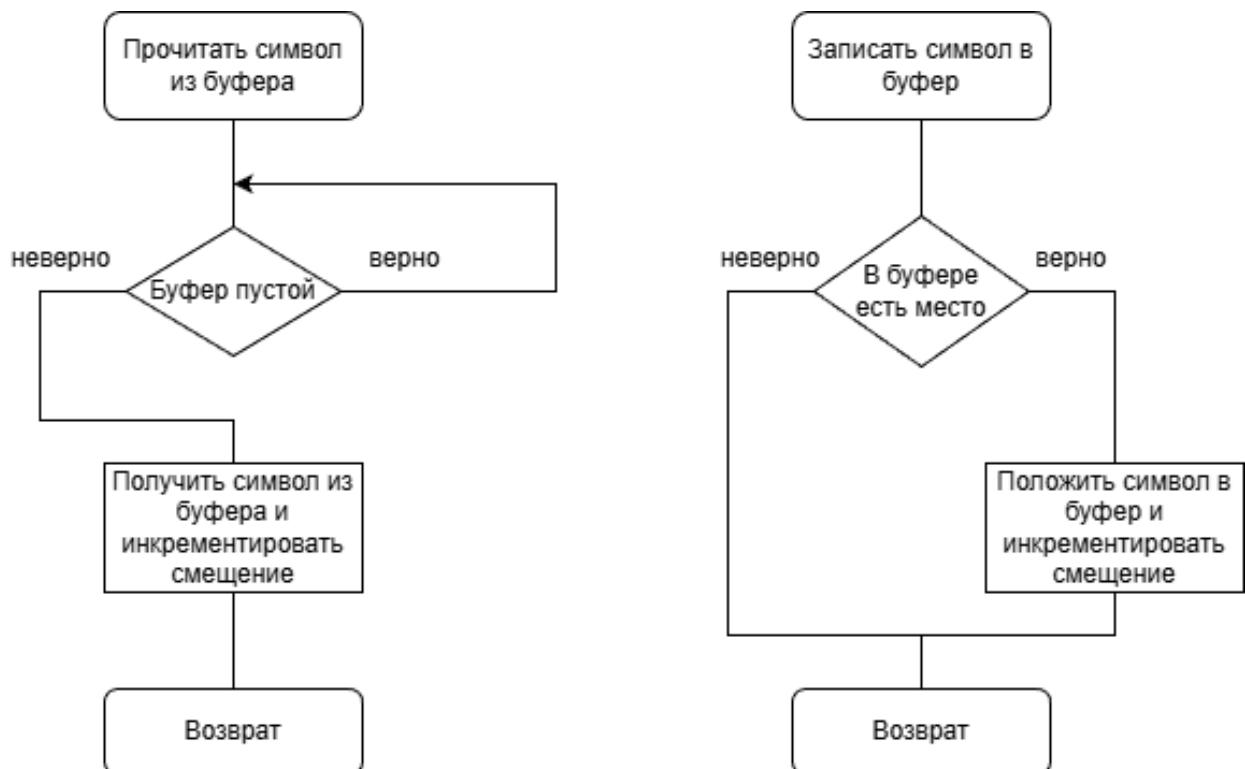


Рисунок 15 — Схема алгоритмов буфера входного потока

2.6.2 Модуль асинхронного проигрывателя звукового файла

Асинхронный проигрыватель, интерфейс которого представлен в листинге 5, снимает задачу тяжелого вывода, чем совместо с асинхронным входным буфером, позволяет процессору проводить минимальное количество времени в состоянии ожидания.

Листинг 5 — Заголовочный файл player.h

```
#ifndef PLAYER_H  
#define PLAYER_H  
  
typedef struct player_data_t {  
    char* buffer;
```

Продолжение листинга 5

```

        unsigned int size;
} player_data_t;

typedef void (*callback_func_t)(volatile player_data_t* data);

void init_player();

player_data_t make_player_data(char* buffer, unsigned int
size);

void play(player_data_t data, callback_func_t callback);

int is_player_blocked();

void wait_player();

#endif

```

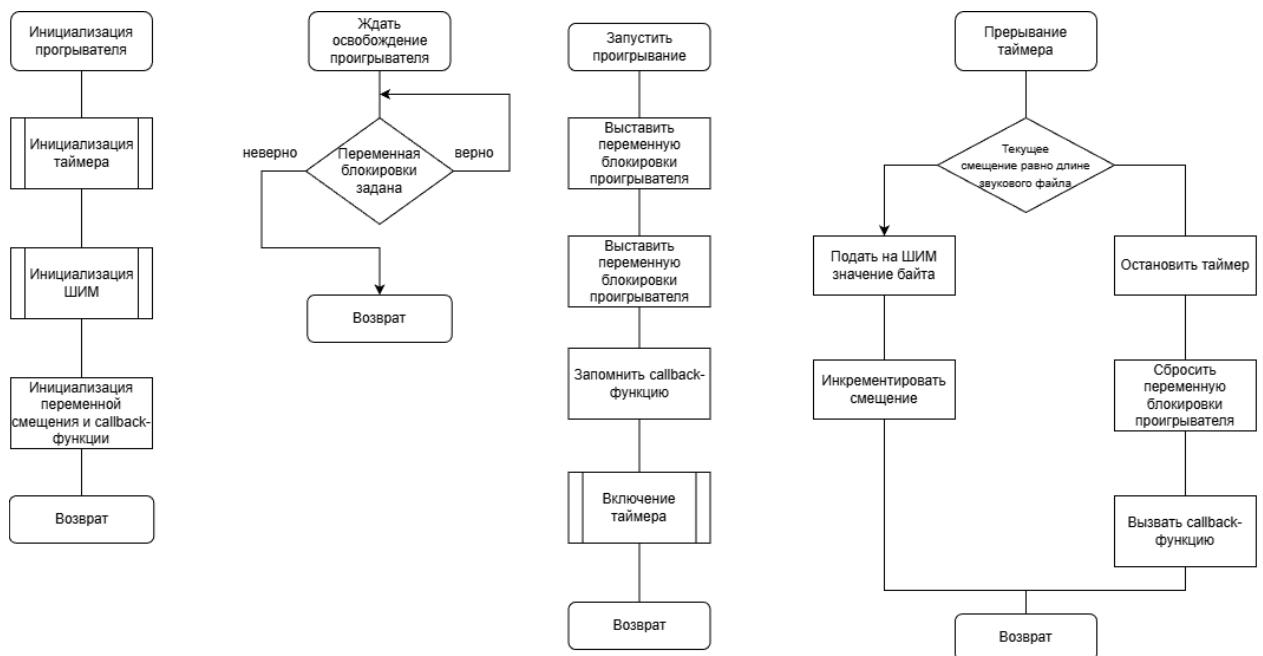


Рисунок 16 — Схема алгоритмов проигрывателя

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

ПРИЛОЖЕНИЕ А
ИСХОДНЫЙ ТЕКСТ ПРОГРАММЫ

Листов 1

TODO

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
СПЕЦИФИКАЦИЯ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ
Листов 1

С13-14

КМ5Б-Н90-20 нФ

2

Микросхемы

ДД1

ATMega128A

1

ДД2

SN74HC573A

1

ДД3

AS6C1008

1

ДД4

PAM8403

1

ДД5

CH340C

1

Резисторы

R1-R2

МЛТ 0,125 - 10 кОм

2

Соединители контактные

ХР1

DS-1023-2x3

1

ХР2

DS-1023-1x4

1

Резонаторы

Z1

НС-49U 8 МГц

1