



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 22 с., 7 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 семестра 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 Общая модель исполнения	21
2.3 Портирование S.A.M. под МК ATMega128A	21
2.3.1 Устранение ошибок сборки	21
2.3.2 Работа с памятью программы	21
2.4 Модуль буфера входного потока	21
2.5 Модуль проигрывания звукового файла	21
2.6 Программирование МК	21
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	22
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	23
ПРИЛОЖЕНИЕ А ИСХОДНЫЙ ТЕКСТ ПРОГРАММЫ	24
ПРИЛОЖЕНИЕ Б СПЕЦИФИКАЦИЯ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ	26

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.

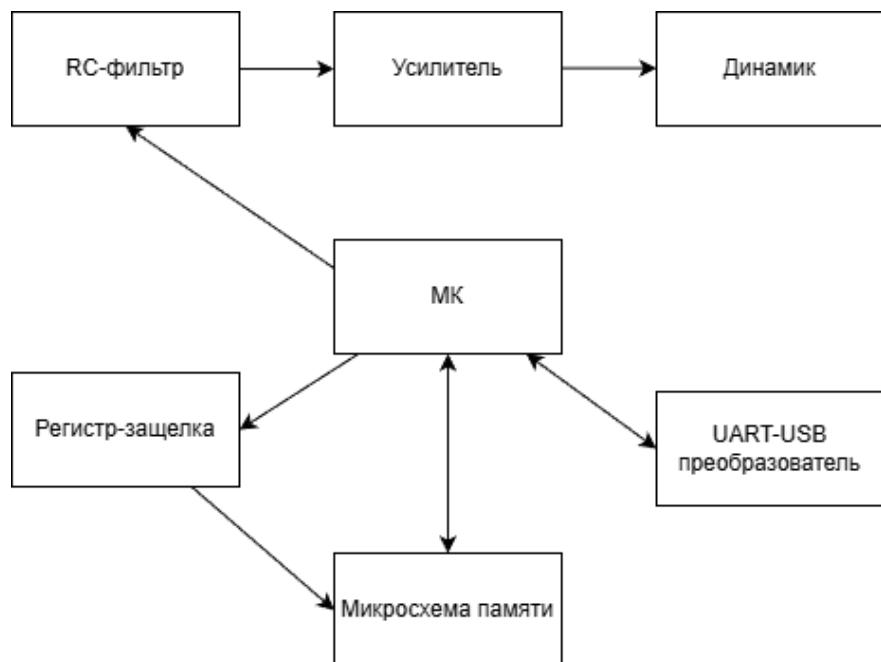


Рисунок 1 — Структурная схема

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.

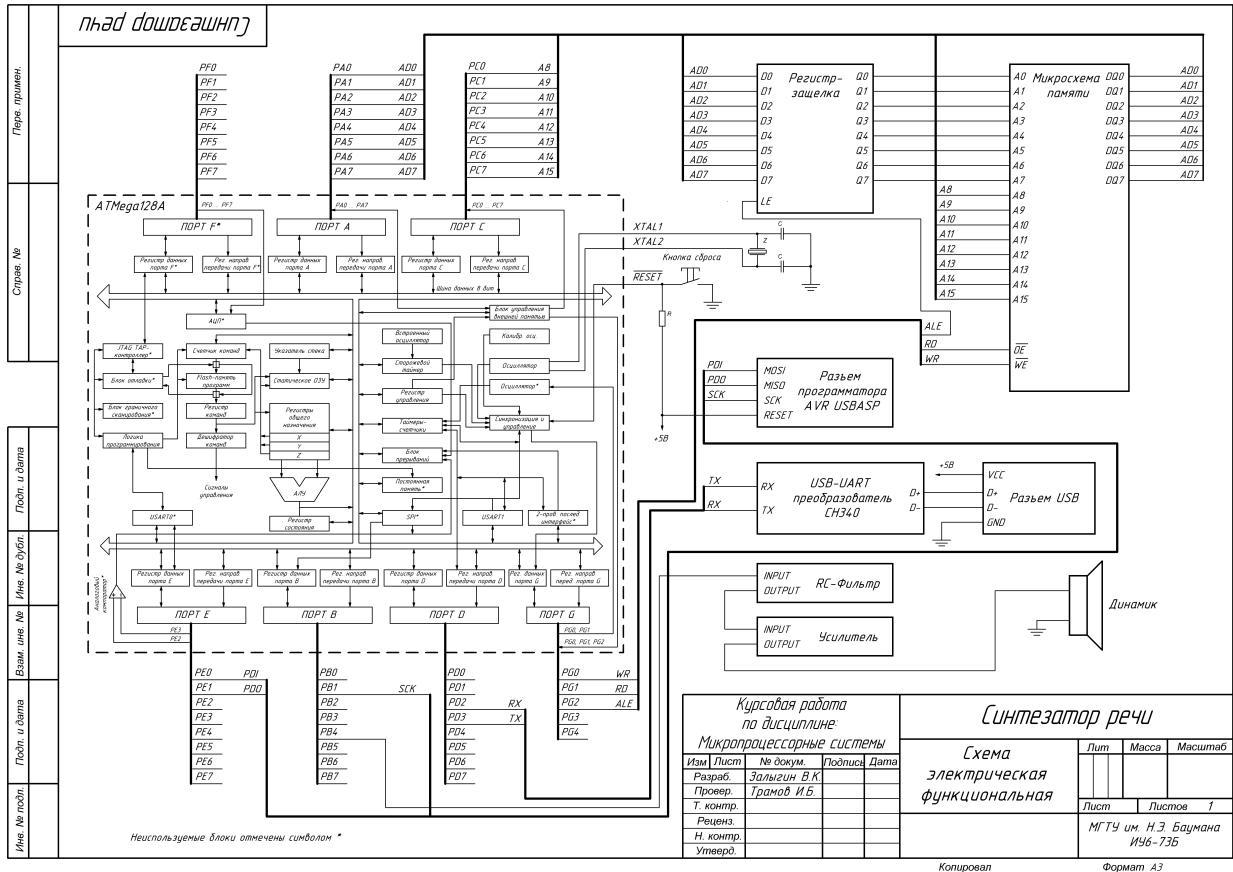


Рисунок 2 — Функциональная схема

На функциональной схеме микроконтроллер 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-защёлки 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.

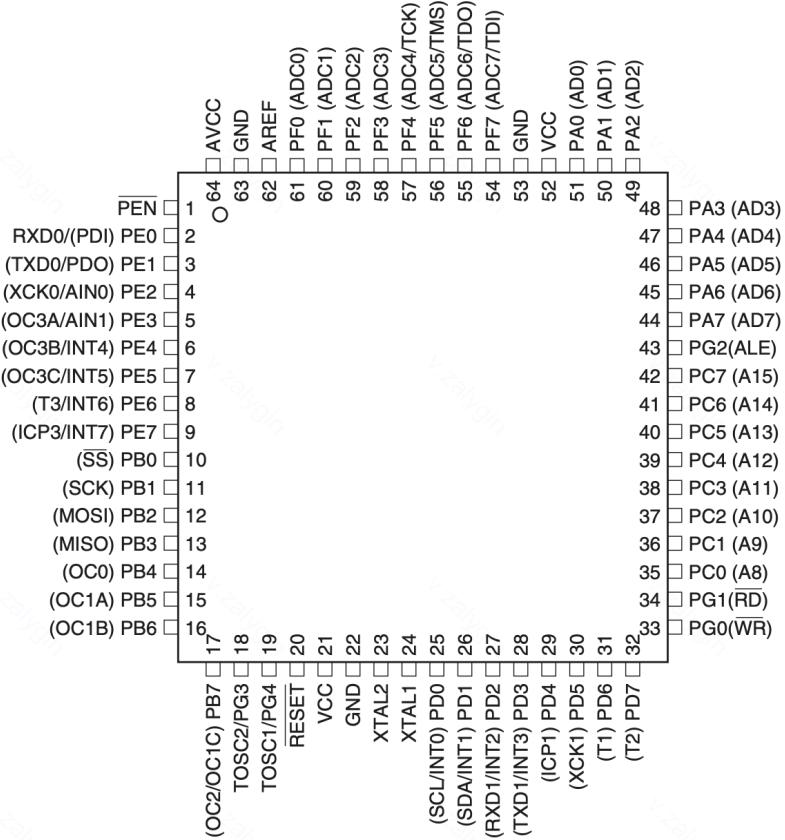


Рисунок 3 — Распиновка ATMega128A в корпусе TQFP64

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.

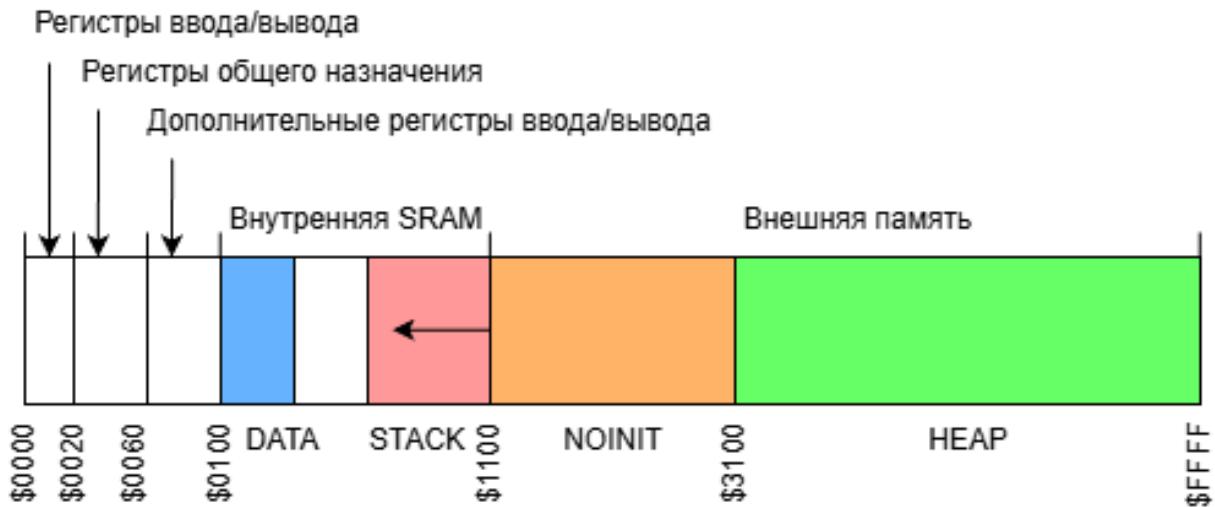


Рисунок 4 — Адресное пространство данных

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.

1.4 Описание принципиальной электрической схемы

Принципиальная схема устройства представлена на рисунке 5.

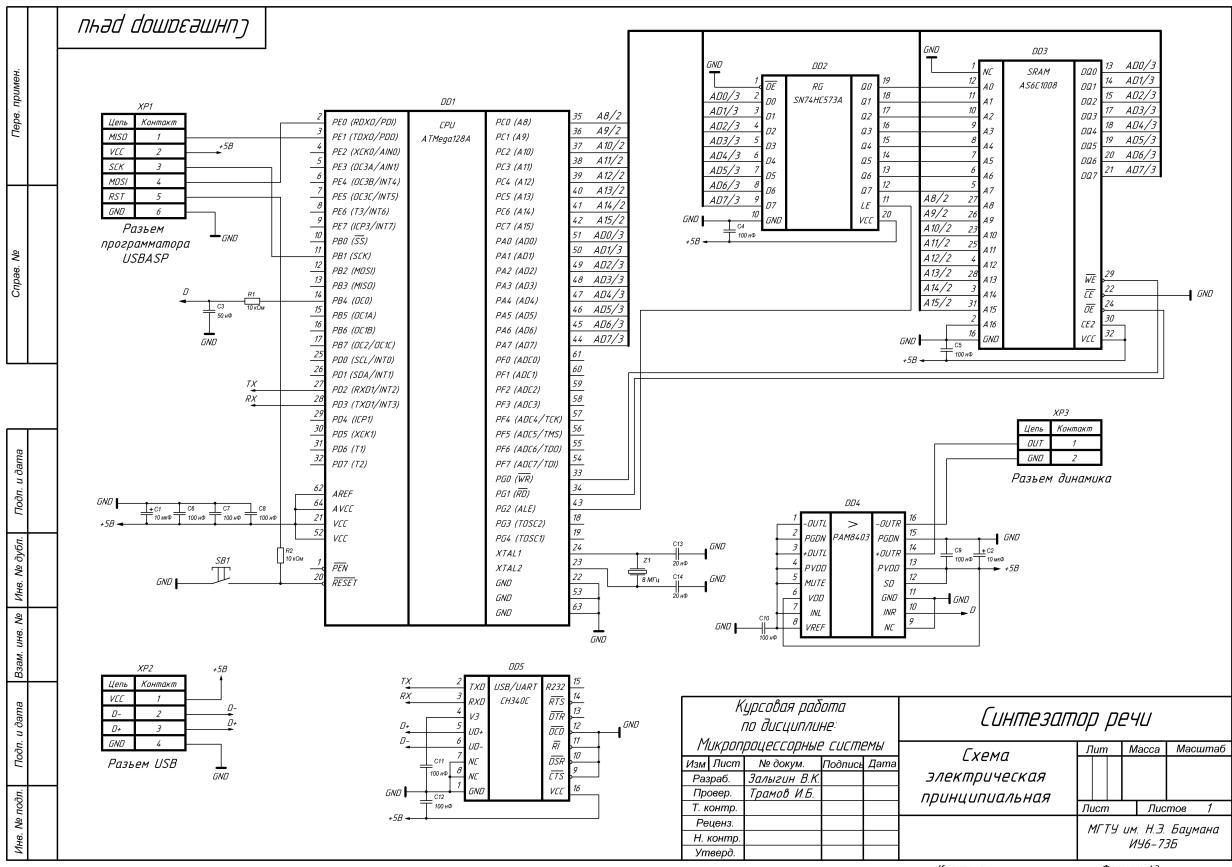


Рисунок 5 — Принципиальная схема

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 объема микросхемы SRAM – старший адресный бит A16 притянут к нулю.

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

1.4.1 Подключения МК и программатора

Для удобства разработки и отладки микроконтроллер поддерживает внутрисхемное программирование по SPI. На схеме показан разъем 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 подключен к разъему 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 двунаправленной шине 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 C 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./3п.								
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/3п	Чт/3п	Чт/3п	Чт/3п	Чт/3п	Чт/3п	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.

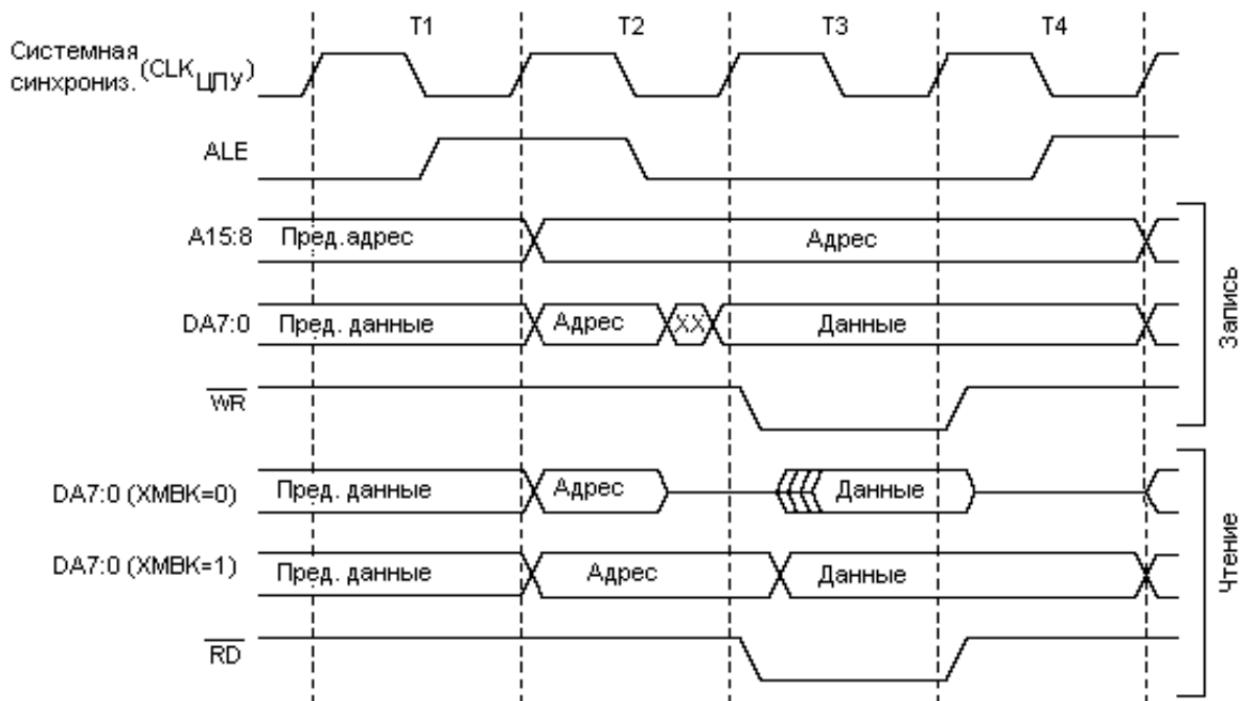


Рисунок 7 — Временная диаграмма циклов чтения и записи без дополнительных задержек

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 ХР3, 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,
 $U_{\text{питания}}$ – 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).

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

где P – потребляемая мощность микросхемы,

$I_{\text{питания}}$ – потребляемый ток,

$U_{\text{питания}}$ – напряжение питания.

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

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

где P_{sum} – суммарная мощность всего устройства,

P_i – мощность i -го устройства.

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

2 Технологическая часть

2.1 Выбор инструментов и средств разработки

2.2 Общая модель исполнения

2.3 Портирование S.A.M. под МК ATMega128A

2.3.1 Устранение ошибок сборки

2.3.2 Работа с памятью программы

2.4 Модуль буфера входного потока

2.5 Модуль проигрывания звукового файла

2.6 Программирование МК

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

ПРИЛОЖЕНИЕ А
ИСХОДНЫЙ ТЕКСТ ПРОГРАММЫ

Листов 1

TODO

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
СПЕЦИФИКАЦИЯ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ
Листов 1

TODO