

# УСТРОЙСТВО ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Эльяшевич В.Ю. Студент гр.241201

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Институт информационных технологий,  
г. Минск, Республика Беларусь

Лопатченко А.С. – ст. преподаватель

**Аннотация.** Устройство цифровой обработки звуковых сигналов музыкальных инструментов – это устройство для записи, воспроизведения и редактирования звуковых файлов. Основной сферой применения данных устройств выступает производство и исполнение музыкальных композиций. Упор в разработке устройства делается на простоту конструкции, надежность и ремонтнопригодность, в связи с этим устройство планируется разрабатывать на микроконтроллере *STM32*, без применения дополнительных микросхем цифровой обработки сигналов.

История семплеров начинается с экспериментов по цифровой записи и воспроизведению звука в середине — конце XX века, когда появление доступных средств оцифровки и хранения сделало возможным использование заранее записанных звуковых фрагментов как самостоятельного музыкального материала. Первые ранние системы представляли собой громоздкие студийные установки с ограниченной памятью и низкой частотой дискретизации; их основная роль заключалась в воспроизведении коротких звуковых отрезков для эффектов и накопления звуковой палитры в студийной практике. В 1980-е годы развитие полупроводниковой памяти и интегральной электроники привело к появлению первых коммерческих семплеров: они предлагали более удобный интерфейс, расширенный набор редакторских операций (усечение, петчинг, транспонирование) и внезапно сделали семплы доступными для широкого круга музыкантов и продюсеров. Именно в этот период семплеры стали ключевым инструментом в электронной музыке, хип-хопе и поп-музыке — благодаря возможности воспроизводить фрагменты записанных инструментов, голосов и шумов в новых контекстах.

1990-е и начало XXI века ознаменовались дальнейшим улучшением качества записи и увеличением объемов памяти, что позволило работать с более длинными и высококачественными семплами, реализовывать многосемпловые библиотеки инструментов и применять многополосную обработку. Параллельно развивались программные семплеры — модули и плагины, интегрированные в цифровые аудиостанции, которые использовали ресурсы вычислительной платформы компьютера и предлагали гибкие средства организации звуковых библиотек.

Устройство цифровой обработки звуковых сигналов музыкальных инструментов – это устройство для записи, воспроизведения и редактирования звуковых файлов. Основной сферой применения данных устройств выступает производство и исполнение музыкальных композиций. На рынке уже давно существует такой класс музыкальных приборов, такие устройства обычно именуются как «семплер (от англ. sample)».

Идея работы устройства заключается в воспроизведении заранее подготовленных звуковых фрагментов. Устройство считывает музыкальный файл с носителя информации в память микроконтроллера и в последующем воспроизводит файл при поступлении команды пользователя. Преобразованием в звуковой сигнал на выходе из отсчетов сигнала занимается ЦАП.



Рисунок 1 – Структурная схема простейшего аудиосемплера.

Основным форматом для хранения звуковых отрезков выбран WAV файл. WAV-файл использует стандартную RIFF-структуру, которая группирует содержимое файла из отдельных секций (chunks) - формат выборки аудиоданных, аудиоданные, и т.п. Каждая секция имеет свой отдельный заголовок секции и отдельные данные секции. Заголовок секции указывает на тип секции и количество содержащихся в секции байт. [2]

В устройстве используются два метода для передачи данных выборки звукового сигнала в ЦАП:

- Передача данных с через процессор.
- Передача данных с использованием DMA.

Идея заключается в чтении записанного звука из памяти накопителя и записи информации в оперативной памяти контроллера; затем информация передается по протоколу I2S в ЦАП для последующего воспроизведения. Данный способ позволяет контролировать правильность передачи данных в ЦАП и работу над данными (цифровая обработка, обрезка семпла), но при этом требует затрат вычислительных ресурсов микроконтроллера.

DMA (Direct Memory Access) - механизм прямого доступа к памяти, позволяющий периферийным устройствам обмениваться данными с ОЗУ напрямую, минуя центральный процессор. То бишь, процессор не участвует в передаче данных, а данные поступают в ЦАП через DMA-контроллер. Процессору требуется только сконфигурировать передачу данных и загрузить данные о звуковых отсчетах в оперативную память. Данный способ позволяет не задействовать ресурсы процессора для передачи данных в ЦАП, тем самым «разгружая» его. Из минусов данного способа передачи данных стоит отметить невозможность процессора «контролировать» полноту передачи данных и обрабатывать их. То бишь, невозможно будет произвести цифровую обработку сигнала или редактирование семпла во временной области. [1]

Принято решение использовать эти два способа комбинированно, т.к в случае «предпросмотра» музыкального фрагмента его обработка не требуется, что позволяет использовать передачу данных через DMA; но если потребуется обработка музыкального фрагмента, то будет использован способ передачи данных через процессор.

Разработка структурной схемы выполнена исходя из функциональных требований к семплеру: обеспечение надёжной загрузки аудиофайлов, их буферизации и последующего преобразования в аналоговый сигнал. На схеме выделены три основных блока: носитель информации (источник WAV-файла), микроконтроллер STM32 (устройство управления и обработки), цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) и выходное устройство (усилитель/наушники/микшер). Дополнительный блок — устройство ввода команд — обеспечивает пользовательский контроль (воспроизведение, пауза, выбор семпла, параметры редактирования).

При проектировании учтены потоки данных и управления: последовательность загрузки файла с носителя в оперативную память, возможная цифровая обработка и буферизация в микроконтроллере, передача PCM-отсчётов к ЦАП по интерфейсу I2S (с поддержкой DMA для непрерывного вывода) и формирование аналогового выхода. Логика управления предусматривает обработку прерываний и переключение режимов передачи в зависимости от необходимости редактирования или экономии ресурсов. Для обеспечения согласования уровней и помехозащиты между ЦАП и выходным устройством предусмотрены фильтры нижних частот и схемы согласования импеданса.

Так же в устройстве предусмотрен звуковой вход для подключения микрофона и записи звука, что позволит пользователю не опираясь на библиотеку звуковых отрезков записать свой звуковой фрагмент для последующего воспроизведения и обработки. Предусмотрен MIDI вход, который позволит пользователю воспроизводить звуковой сигнал устройства подавая команды по протоколу MIDI (MIDI-клавиатура, компьютер). Данное решение позволит настроить обработку звука на устройстве и затем удобно подавать сигнал к воспроизведению с удобного пользователю устройства, решая тем самым проблему с синхронизацией с остальной звуковой дорожкой.

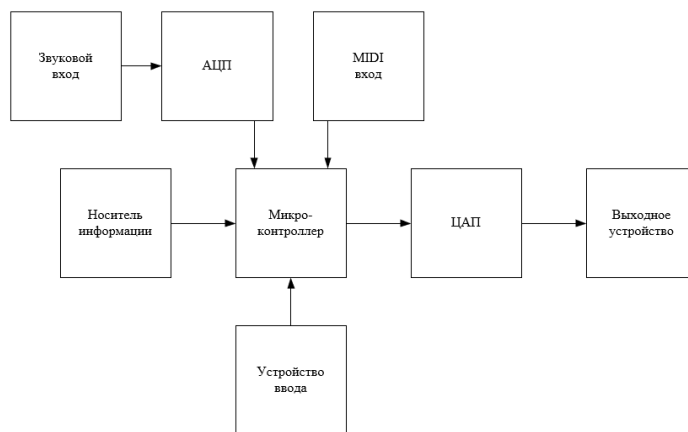


Рисунок 2 – Конечная структурная схема устройства.

**Список использованных источников:**

- 1 Кармин Н. Освоение STM32 Пошаговое руководство по самой полной платформе ARM Cortex-M/ Кармин Н. – LeanPub, 2021 - 237 с.
2. [microsin.net](http://microsin.net) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [programming/pc/wav-format.html](http://programming/pc/wav-format.html)