

УДК 004.357; 004.355.083.74

«FBOX» – модульный MIDI-СЕКВЕНСЕР НА БАЗЕ ФЛОППИ-ПРИВОДОВ

Калютчик А.А.¹, студент гр. 950504

Яценко В.П.¹, студент гр. 950504

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники¹
г. Минск, Республика Беларусь

Перцев Д.Ю. – канд. техн. наук

Аннотация. Данная работа - результат разработки курсового проекта по дисциплине «Схемотехника». Целью данной работы является продемонстрировать работу флоппи-приводов в качестве MIDI-секвенсора. Отличительные особенности представленного решения - модульность и масштабируемость.

Ключевые слова. MIDI, секвенсер, USB, Floppotron, ATmega, Arduino.

Введение.

В 1990-е, когда в персональных компьютерах использовались флоппи-дисководы (англ. Floppy Disk Drive, FDD), при включении ПК издавал много звуков. Эти звуки создавали своего рода музыку, когда двигатели флоппи-дисководов трещали и дребезжали, жесткий диск раскручивался и жужжал, а различные периферийные устройства выполняли самодиагностику. Компьютерным энтузиастам захотелось собрать эти звуки в оркестр. Благодаря дешевым микроконтроллерным платам вроде Arduino или Raspberry Pi, появившимся в 2010-х годах, решить эту задачу стало в целом несложно: понадобились навыки программирования и пайки, а также усидчивость [1].

В 2011 году польский инженер Павел Задрожняк собрал «Floppotron» – музыкальный инструмент, состоящий из двух флоппи-приводов [2]. В 2016 году проект обновился до версии 2.0 и состоял из 64 флоппи-приводов, 8 жёстких дисков и 2 планшетных сканеров [3].

В данной статье представлен результат разработки курсового проекта по дисциплине «Схемотехника» студентами специальности «Вычислительные машины, системы и сети», в рамках которого реализована масштабированная до 15 флоппи-приводов версия «Floppotron 1.0». Целью работы было не только создание экземпляра музыкального инструмента, но и разработка модульного корпуса. Разработка получила название «Fbox» (англ. Floppy box, или Floppotron box).

Разработанная реализация логически состоит из:

- контроллера массива флоппи-приводов;
- преобразователя USB-MIDI;
- блока электроснабжения.

Преобразователь USB-MIDI.

MIDI (англ. Musical Instrument Digital Interface – цифровой интерфейс музыкальных инструментов) – стандарт цифровой звукозаписи для обмена данными между электронными музыкальными инструментами [4]. Традиционным для MIDI является разъем DIN-5, однако для подключения разработанного музыкального инструмента к источнику воспроизведения (ноутбук или ПК) был выбран более распространенный интерфейс внешней периферии – USB. При этом инструмент распознается музыкальным ПО как обычное MIDI-аудиоустройство и, как результат, не требует дополнительных действий со стороны пользователя.

Преобразователь реализован на базе 8-разрядного RISC-микроконтроллера Microchip (Atmel) AVR ATmega8A. Его преимуществом является большой набор готовых библиотек, выпускается в двух вариантах корпусов: DIP-28 и TQFP-32. Был выбран первый вариант (см. рис. 1) ввиду доступности и простоты монтажа на печатную плату.

Ввиду отсутствия у микроконтроллера аппаратной поддержки USB, была использована программная библиотека V-USB [6], позволяющая эмулировать поддержку протокола USB. Для этого библиотека предъявляет следующие минимальные требования:

- 2 Кб Flash-памяти;
- 128 байт ОЗУ;
- одно свободное аппаратное прерывание.

Быстродействие ATmega8A хватает для программной реализации USB 1.1 совместимого «Low-speed» устройства.

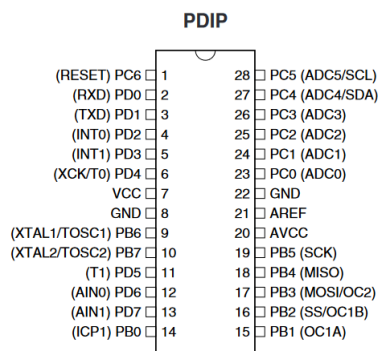


Рисунок 1 – Распиновка микроконтроллера ATmega8A в корпусе DIP-28 [5]

Минимальной тактовой частотой, при которой микроконтроллер успевает обрабатывать USB пакеты, является частота в 12 МГц. Имеется и поддержка больших частот: 15, 16, 16.5, 20 МГц (при этом, на 20 МГц, используемый МК работает нестабильно [7, 8]). В представленной реализации (см. рис. 2) Atmega8A затактирован внешним кварцевым резонатором на 16 МГц. Номинал нагрузочных конденсаторов C1 и C2 выбран равным 22пФ [9]. Правильная и стабильная работа обеспечивается использованием блокировочного конденсатора C4 емкостью 0.1 мкФ совместно с конденсатором большей емкости (конденсатор C3 на 10 мкФ) [10].

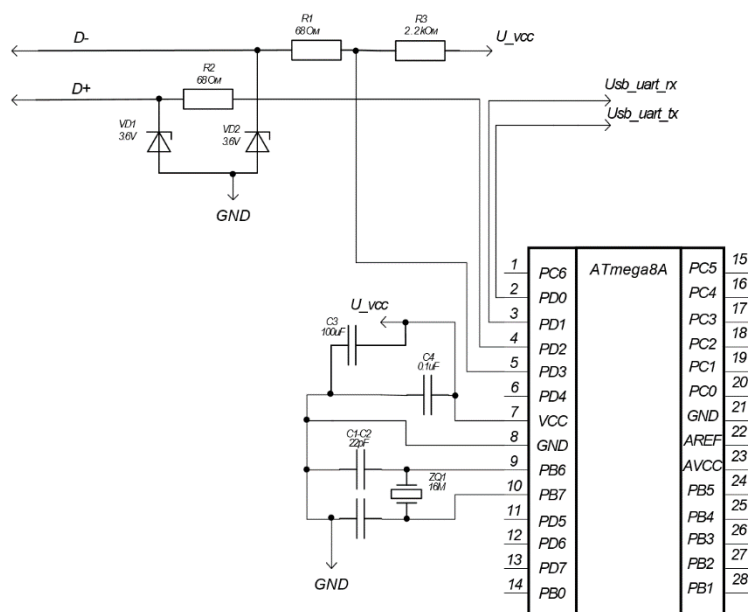


Рисунок 2 – Электрическая схема USB-MIDI преобразователя

По стандарту USB, максимальное напряжение на линиях D+ и D- при логической единице составляет 3.3 В. Поэтому прямое подключение данных линий к микроконтроллеру, питающемуся от 5 В, небезопасно. Для того, чтобы согласовать уровни напряжений использовались стабилитроны на 3.6 В, рекомендованные авторами библиотеки. Типичная схема включения стабилитрона [11] представлена на рисунке 3. Резисторы R1 и R2 номиналами 68 Ом, совместно со стабилитронами, выполняют функции делителей напряжения. При этом они ограничивают максимальный ток через стабилитрон. Номиналы R1 и R2 можно выбрать в пределах 50...200 Ом.

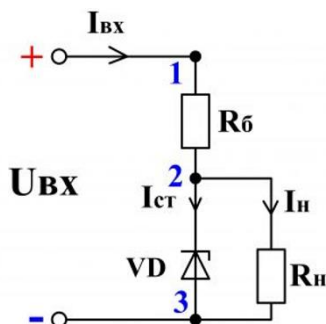


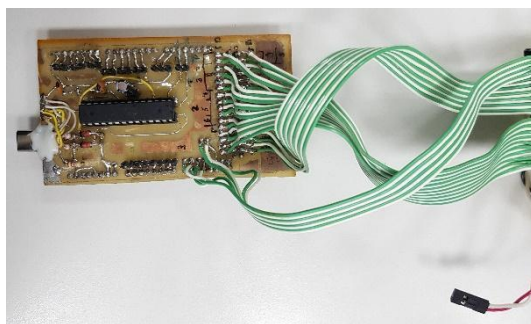
Рисунок 3 – Схема включения стабилитрона [11]

Резистор R3 на 2.2 кОм подтягивает линию D- к питанию 5 В, обеспечивая тем самым в первоначальный момент времени состояние логической единицы. Это необходимо для корректного определения хостом подключенного устройства. Номинал резистора можно выбирать в широких пределах, от одного до сотен кОм.

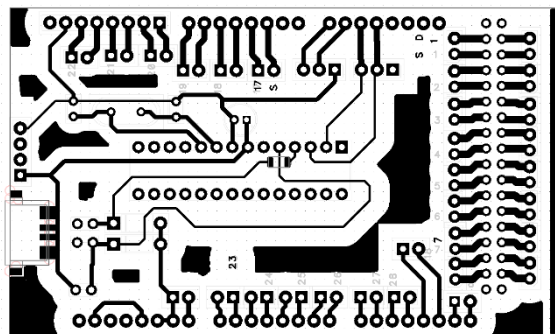
Питание ATmega8A осуществляется посредством USB от источника воспроизведения.

Физически преобразователь USB-MIDI выполнен в виде платы расширения (shield) (см. рис. 4) для удобного подключения к отладочной плате Arduino Mega. Взаимодействие преобразователя с контроллером массива флоппи-приводов происходит по последовательному интерфейсу UART. Физически взаимодействие осуществляется по дорожкам на печатной плате, соединяющим пины RX и TX ATmega8A и пины RX2 и TX2 микроконтроллера ATmega2560, лежащего в основе Arduino Mega.

Плата расширения также является продолжением контроллера массива флоппи-приводов и содержит все необходимые разъемы для подключения FDD, к тому же предусматривает отладочные разъемы для легкого доступа к интерфейсам Hardware UART Serial 2 и Hardware UART Serial 3 Arduino Mega, без необходимости снимать плату расширения.



а



б

Рисунок 4 – Плата расширения: а – вместе с разъемами для подключения FDD, б – проектирование

Плата расширения, изготовленная методом ЛУТ [12], после вытравливания потребовала доработок. Компоненты по возможности были выбраны в выводных корпусах для удобства монтажа.

Для разработки принципиальных схем использовался KiCad. Трассировка плат выполнялась с помощью DipTrace.

Контроллер массива флоппи-приводов.

В флоппи-приводах источником звука является шаговый двигатель, который перемещает считывающую головку и формирует звук. Изменяя скорость шагового двигателя можно изменять частоту извлекаемого звука, т.е. ноты [13]. Таблица соответствия скорости двигателя и ноты была взята из open-source проекта MorphyClassic [14].

Дисководы для 3,5-дюймовых дискет используют четырехконтактный разъем для подключения питания (первые устройства требовали питания от 5 и 12 вольт одновременно, но поздние модели уже использовали только 5 вольт) и 34-контактный разъем с линиями данных и управления (см. рис. 5) [1].

2	Connector Clamp
4	(Spare)
6	Select 3 (NDS3)
8	Index (NINDEX/SECTOR)
10	Select 0 (NDS0)
12	Select 1 (NDS1)
14	Select 2 (NDS2)
16	Drive Motor Enable (NMOTORON)
18	Direction
20	Step (NSTEP)
22	Write Data (NWRITEDATA)
24	Write Gate (NWRITEGATE)
26	Track 00 (NTRK00)
28	Write Protect (NWRITEPROTECT)
30	Read Data (NREADDATA)
32	Side Select (NSIDESELECT)
34	Connector Clamp

Рисунок 5 – Назначение пинов 34-контактного разъема FDD [15]

Для создания контроллера массива флоппи-приводов наибольший интерес представляют контакты 10, 18 и 20: контакт 10 отвечает за выбор флоппи-привода (при обычном использовании к одному разъему 34 pin могут подключаться 2 диска одновременно), контакт 18 – выбор направления движения шагового двигателя, контакт 20 – пин исполнения шага двигателем.

Контроллер массива флоппи-приводов реализован на базе отладочной платы Arduino Mega (см. рис. 6), к 30 цифровым выходам которой через плату расширения подключаются 15 флоппи-приводов, разбитых на стойки по 3 штуки в каждой. Данное разбиение было выполнено на основе экспериментально определенных диапазонов частот, характерных для каждой группы флоппи-приводов.

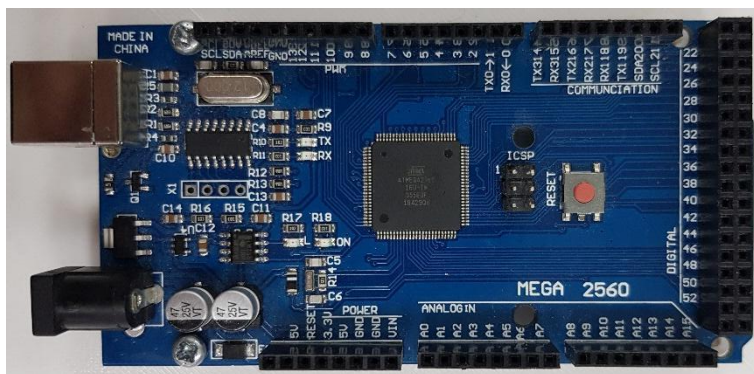


Рисунок 6 – Отладочная плата Arduino Mega

Интерфейс Hardware Serial 2 на плате Arduino Mega используется для подключения преобразователя USB-MIDI. Запитывается Arduino Mega от блока электроснабжения, через соответствующие разъемы.

Схема взаимодействия устройств «Fbox» представлена на рисунке 7.

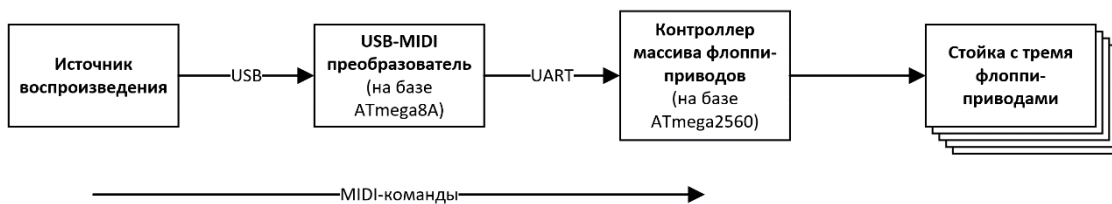


Рисунок 7 – Схема взаимодействия устройств «Fbox»

Блок электроснабжения.

Блок электроснабжения запитывает «Fbox». Напряжение питания унифицировано и составляет 5 В. Примерное потребление тока для каждой составной части «Fbox» в усредненном режиме эксплуатации приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Потребление устройств «Fbox» в усредненном режиме эксплуатации.

Замеряемое значение	Значение
Контроллер массива флоппи-приводов, мА	400
Интерфейс USB-MIDI, мА	100, но питается от устройства воспроизведения

Замеряемое значение	Значение
Контроллер массива флоппи-приводов, мА	400
Интерфейс USB-MIDI, мА	100, но питается от устройства воспроизведения
Стойки с FDD, среднее потребление на стойку * количество стоек, мА	800 * 5

Итого, необходим блок питания (далее – БП) с током по линии 5 В не менее 5 А. Ввиду наличия компьютерных БП форм-фактора ATX, было принято решение использовать именно такой экземпляр с внесением в БП минимальных модификаций, не влияющих на его работоспособность. В частности, оставлено подключение только к линии 5 В и выведена кнопка включения БП.

Ко входу блока электроснабжения подключается вышеупомянутый БП, затем напряжение расходится по всему «Fbox» через соответствующие разъемы.

Ввиду простоты, а также планов на дальнейшую его модификацию и объединение с компьютерным БП, для реализации (см. рис. 8) была использована обычная паечная макетная плата со стандартным шагом отверстий 2.54 мм. Блок электроснабжения комплектуется набором проводов и переходников, необходимых для сопряжения с другими блоками и блоком питания. Основные использованные разъемы – также с шагом 2.54 мм.

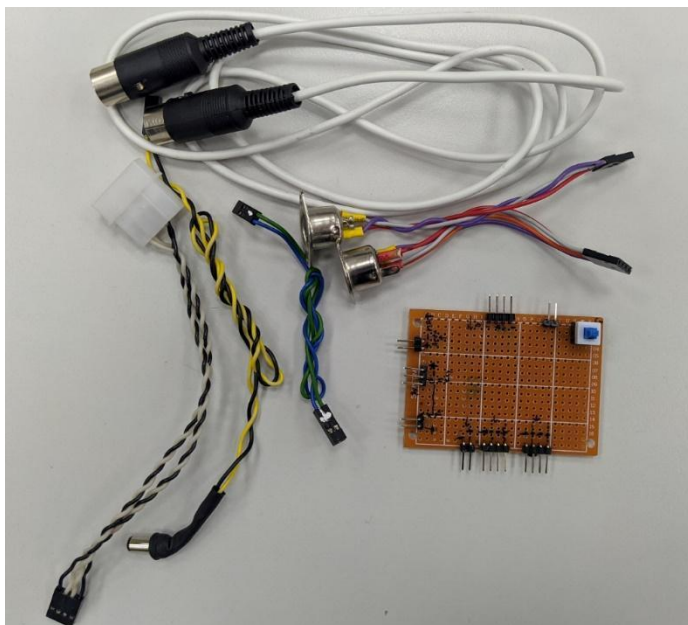


Рисунок 8 – Блок электроснабжения, без блока питания

Разработка корпуса.

У флоппи-привода есть особенность: шаговый двигатель не способен менять громкость исполняемой ноты. Павел Задрожняк в оригинальном флоппотроне [3] управляет громкостью проигрываемых нот путем увеличения числа флоппи-приводов. Представленная реализация также пользуется данным приемом: партию каждого музыкального инструмента исполняют три флоппи-привода. Еще одна особенность флоппи-привода: не все шаговые двигатели жужжат одинаково.

Предварительно отобранная тройка флоппи-приводов физически размещается в стойке, распечатанной на 3D-принтере (см. рис. 9). Поэтапная разработка 3D-моделей велась с помощью ПО Autodesk Fusion 360.

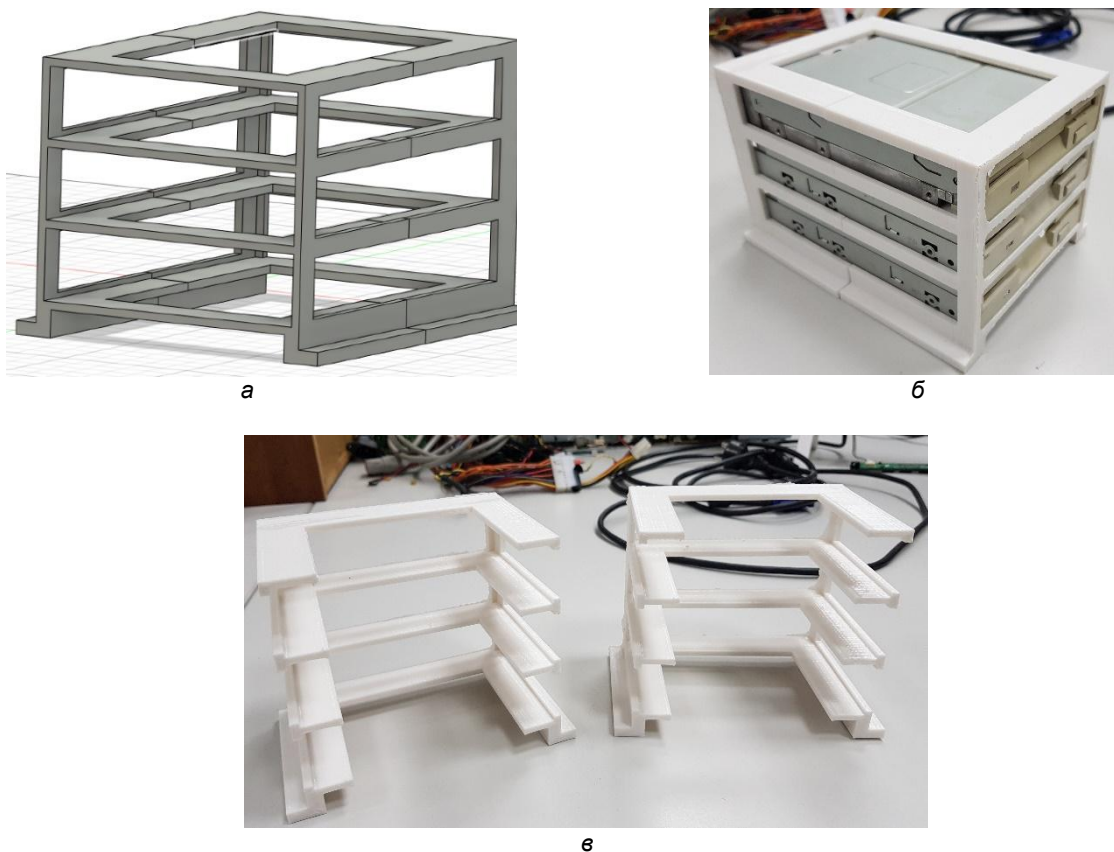


Рисунок 9 – Стойка для флоппи-приводов: а – 3D-модель; б – собранная стойка; в – результат 3D-печати

Всего таких стоек было распечатано пять штук. На рисунке 10 по середине видна первая версия стойки. От данного дизайна было принято решение отказаться для уменьшения времени печати (наиболее критичный параметр) и улучшения акустических характеристик (ввиду минимизации препятствий для звука). При этом надежность стойки (с вставленными флоппи-приводами) не пострадала, а затраты времени на печать и расход пластика (в метрах) уменьшились (с 14 часов 22 минут до 6 часов 56 минут, с 61.75 до 26.50 метров пластика).



Рисунок 10 – 15 флоппи-приводов, размещенных в 5 стойках

Впоследствии конструкция стойки еще немного упростилась (см. рис. 11): на практике выяснилось, что придерживать верхний флоппи-привод по всему периметру нет необходимости.



Рисунок 11 – Финальная версия стойки для флоппи-приводов

Модульности разработки (см. рис. 12) невозможна без унификации как корпуса для стоек, так и корпуса с контроллером массива флоппи-приводов и блоком электроснабжения. Унифицированный корпус минимизирован с оглядкой на габариты стойки с флоппи-приводами. Модульности также предполагает стандартизацию способа фиксации в корпусе как стоек с флоппи-приводами, так и блока электроснабжения вместе с контроллером массива флоппи-приводов. Таким стандартным решением стали прямоугольные пазы в профиле из PLA-пластика, также используемые для фиксации стенок корпуса.

Можно отметить стенки с перфорацией в виде пчелиных сот. Данное решение призвано минимизировать препятствия для звука. Дизайн стенок с перфорациями также позволяет уменьшить время печати и расход пластика за счет уменьшения сопротивления скручиванию. Однако стенки не подвергаются таким деформациям в составе корпуса.

Идея модульности предусматривает свободное перемещение блоков. Для взаимной фиксации корпусов предусмотрены пазы в виде равнобедренной трапеции.

В отличие от боковых, передняя и задняя стенки закрепляются с помощью М3 винтов. Для предупреждения слизывания резьбы отверстия в профиле из PLA-пластика используются резьбовые втулки (см. рис. 13). Их использование предусмотрено при 3D-моделировании.

Итого корпус представляет собой четыре профиля с пазами двух видов и стенок (боковые с перфорацией, передняя с вырезами чуть меньшими, чем флоппи-привод, задняя с вырезами под шильдик разъемов (англ. IO shield)) (см. рис. 14а). Два верхних профиля соединены перемычкой для предотвращения прокручивания, а два нижних, помимо этого, содержат упор для стойки с флоппи-приводами или кареток с блоком электроснабжения или контроллером массива флоппи-привода, совмещенного с USB-MIDI преобразователя (см. рис. 14б).



а



б



в

Рисунок 12 – Размещенные в корпусе: *а* – контроллер массива флоппи-приводов и блок электроснабжения;
б – стойка с флоппи-приводами; *в* – демонстрация модульности корпуса

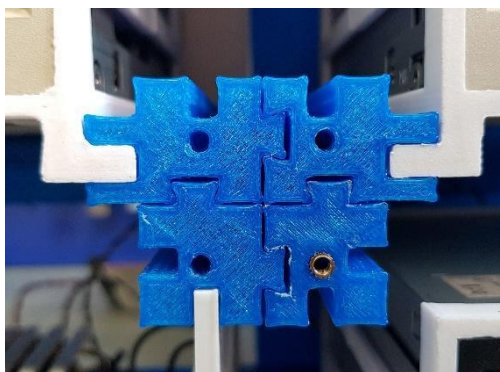


Рисунок 13 – Демонстрация взаимной фиксации корпусов и применения резьбовых втулок

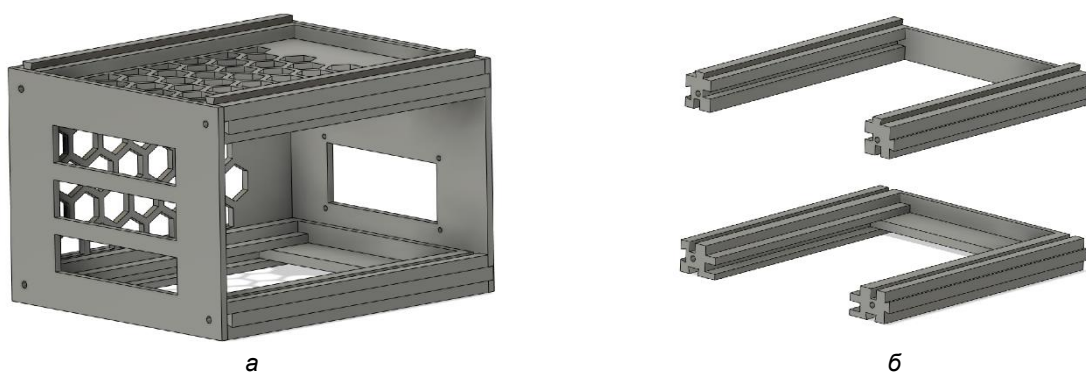


Рисунок 14 – 3D-модель: *а* – унифицированный корпус; *б* – основа корпуса

По состоянию на начало апреля 2022 года готово 4 из 6 блоков: блок с контроллером массива флоппи-приводов и блоком электроснабжения и 3 блока со стойками из флоппи-приводов (см. рис. 15).



Рисунок 15 – 4 из 6 блоков «Fbox»

Разработка интерфейсных плат.

Для реализации идеи модульной структуры необходимо было продумать подключение стоек с флоппи-приводами к контроллеру массива флоппи-приводов и блоку электроснабжения, которые размещены в одном корпусе. Для этого разработаны интерфейсные платы (см. рис. 16а), несущие на себе необходимые разъемы. Данные платы предполагается монтировать в корпуса с стойками (см. рис. 16б), а подключение к главному блоку (корпус, в котором размещены контроллер массива флоппи-приводов и блок электроснабжения) осуществлять стандартными шлейфами PATA 40pin (см. рис. 16в), которые обычно применяются для соединения жестких дисков. Данные кабеля имеют достаточное количество контактов, а также являются достаточно распространенными. При этом, для подключения каждой стойки выделяется по 6 контактов (для адресного управления

каждым флоппи-приводом отдельно). При этом задумывалось, что каждая стойка может подключаться к предыдущей (в виде цепи), передавая сигналы от неиспользуемых контактов дальше. Поэтому имеется 2 разъема: входной и выходной.

Питание стоек осуществляется по схожему принципу: питание для следующей стойки можно брать, подключаясь к предыдущей.

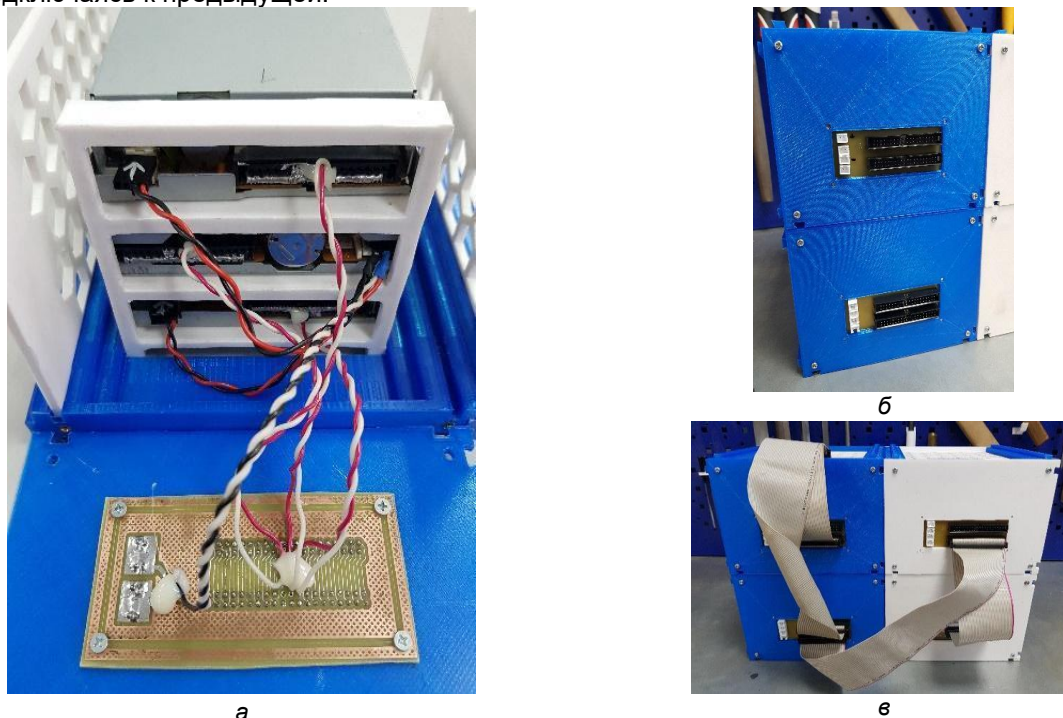


Рисунок 16 – Интерфейсная плата: а – подключенная к флоппи-приводам; б – вмонтированная в задние стенки корпусов; в – взаимное подключение блоков с помощью шлейфов PATA 40pin

Заключение.

В результате выполнения работы был изготовлен MIDI-секвенсер на базе флоппи-приводов (см. рис. 15). Преимуществом представленного рабочего образца является модульность конструкции. Проект «Fbox» был представлен на Дне открытых дверей ФКСИС.

Данная работа выполнялась на базе студенческого инженерно-образовательного центра кафедры ЭВМ БГУИР.

Список использованных источников:

1. Мелодия для флоппитрона без оркестра [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nplus1.ru/material/2020/03/10/singingFDDs>. – Дата доступа: 04.04.2022.
2. Evil floppy drives – English translation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://silent.org.pl/home/2011/09/29/evil-floppy-drives-english-translation/>. – Дата доступа: 04.04.2022.
3. Return of the Floppies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://silent.org.pl/home/2016/07/06/return-of-the-floppies/>. – Дата доступа: 04.04.2022.
4. MIDI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/MIDI>. – Дата доступа: 04.04.2022.
5. ATmega8/L datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8_L_datasheet.pdf. – Дата доступа: 04.04.2022.
6. V-USB - A Firmware-Only USB Driver for Atmel AVR Microcontrollers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.obdev.at/products/vusb/index.html>. – Дата доступа: 04.04.2022.
7. ATmega8 умер генератор? - AVR - Форум по радиоэлектронике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://forum.cxem.net/index.php?topic/187340-atmega8-%D1%83%D0%BC%D0%B5%D1%80-%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80/>. – Дата доступа: 04.04.2022.
8. V-USB and HIDKEYS example working with 20MHZ? | AVR Freaks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.avrfreaks.net/forum/v-usb-and-hidkeys-example-working-20mhz>. – Дата доступа: 04.04.2022.
9. Параметры кварцевых резонаторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/el_mech/GEYER_EL/parametr.htm. – Дата доступа: 04.04.2022.
10. Чистое питание для каждой микросхемы, часть 2: Выбор и использование блокировочных конденсаторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://radiopro.ru/post/461>. – Дата доступа: 04.04.2022.
11. Принцип работы и маркировка стабилитронов * diodov.net [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://diodov.net/stabilitrn-printsip-raboty-i-markirovka-stabilitrnov/>. – Дата доступа: 04.04.2022.

12. Лазерно-утюжная технология [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://chem.net/master/45.php>. – Дата доступа: 04.04.2022.
13. Новая жизнь дискет: что такое флопотрон и как его сделать [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tproger.ru/articles/floppotron-what-is-it-and-how-to-make/>. – Дата доступа: 04.04.2022.
14. Sammy1Am/MoppyClassic: Moppy has been replaced with Moppy 2.0! [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/Sammy1Am/MoppyClassic>. – Дата доступа: 04.04.2022.
15. Распиновка 5 1/4 inch floppy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://old.pinouts.ru/HD/5_12_floppy.shtml. – Дата доступа: 04.04.2022.

«FBOX» – MODULAR MIDI SEQUENCER BASED ON FLOPPY DRIVES

Kaliutchyk A.¹

Yaschenko V.¹

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics¹, Minsk, Republic of Belarus

Pertsau D. – PhD in Computer Science

Annotation. This work is the result of the development of a course project in the discipline "Circuit Engineering". The purpose of this work is to demonstrate the operation of floppy drives as a MIDI sequencer. Distinctive features of the presented solution are modularity and scalability.

Keywords. MIDI, sequencer, USB, Floppotron, ATmega, Arduino.