



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## ELEKTRONICKÝ MIDI SEQUENCER PRO MECHANICKÝ HUDEBNÍ NÁSTROJ

ELECTRONIC MIDI SEQUENCER FOR A MECHANICAL MUSICAL INSTRUMENT

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Mušinka

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

BRNO 2022

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Bc. Martin Muška

**ID:** 203300

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2021/22

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Elektronický MIDI sequencer pro mechanický hudební nástroj**

### **POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Navrhněte koncepci elektronického mikrokontrolérového systému pro řízení již existujícího mechanického hudebního nástroje. Navrhněte systém tak, aby umožnil implementaci alespoň na dva různé hudební nástroje. Mikrokontrolérový systém navrhněte jako autonomní MIDI sekvencér, která je kompatibilní s ostatními MIDI zařízeními a může s nimi kooperovat a komunikovat. MIDI sekvencér musí umět přehrávat MIDI soubory na připojením hudebním nástroji a dále musí umožňovat on-line přehrávání z MIDI klaviatury. Systém navrhněte, realizujte, osadte a oživte. Vybavte komplexním programovým vybavením a demonstруйте správnou funkci.

1. Proveďte literární rešerši a internetový průzkum.
2. Navrhněte koncepci MIDI systému a principy komunikace mezi jednotlivými jednotkami.
3. Navrhněte obvodová schémata a zrealizujte HW jednotky. Oživte ji.
4. Navrhněte programové vybavení, které implementujete do vytvořeného HW.
5. Zrealizujte přímou MIDI komunikaci s MIDI klaviaturou.
6. Otestujte a demonstруйте správnou funkci a popište dosažené výsledky.

### **DOPORUČENÁ LITERATURA:**

Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6

Dle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 7.2.2022

**Termín odevzdání:** 18.5.2022

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

**doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

### **UPOZORNĚNÍ:**

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Hudba je neoddeliteľnou súčasťou každého ľudského života. Ako čas plynul, začali sa postupne aj hudobné nástroje digitalizovať. Hlavnou náplňou tejto práce bude vytvorenie mikrokontrolového systému pre obsluhu aspoň dvoch mechanických hudobných nástrojov práve prostredníctvom MIDI komunikácie.

## **KĽÚČOVÉ SLOVÁ**

MIDI, mikroprocesor, ATmega, sekvencér, hudba, C/C++

## **ABSTRACT**

Music is an integral part of every human life. As time went on, musical instruments gradually began to digitize. The main task of this thesis will be to create a microcontroller system for operating at least two mechanical musical instruments through MIDI communication.

## **KEYWORDS**

MIDI, microprocessor, ATmega, sequencer, music, C/C++

MUŠINKA, Martin. *Elektronický MIDI sequencer pro mechanický hudební nástroj*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2022, 75 s. Diplomová práce. Vedúci práce: doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

## Vyhlásenie autora o pôvodnosti diela

**Meno a priezvisko autora:** Bc. Martin Mušinka  
**VUT ID autora:** 203300  
**Typ práce:** Diplomová práca  
**Akademický rok:** 2021/22  
**Téma záverečnej práce:** Elektronický MIDI sequencer pro mechanický hudební nástroj

Vyhlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracoval samostatne pod vedením vedúcej/cého záverečnej práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora\*

---

\*Autor podpisuje iba v tlačenej verzii.

## POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu diplomovej práce pánovi doc. Ing. Zdeněkovi Bradáčovi, Ph.D za odborné vedenie, konzultácie a podnetné návrhy k práci. Taktiež by som poďakoval pánom Ing. Ondřejovi Baštánovi, Ing. Tomášovi Benšlovi a Ing. Jakubovi Strieitovi ktorí častokrát prispievali svojimi znalosťami pri konzultáciach. Poďakovať by som chcel aj pánovi Bc. Matejovi Pončákovi za možnosti používania špecifických prístrojov pri oživovaní samotného návrhu a taktiež za odborné rady.

Brno .....

.....

podpis autora

# Obsah

Úvod	11
Ciele práce	12
<b>1 MIDI</b>	<b>13</b>
1.1 Základy MIDI	13
1.2 MIDI hardvér	14
1.2.1 MIDI Out	15
1.2.2 MIDI In	15
1.2.3 MIDI Thru	16
1.3 MIDI správa	17
1.3.1 Channel messages (Kanálové správy)	19
1.3.2 System messages (Systémové správy)	23
1.4 MIDI Zariadenia	26
1.4.1 MIDI kontrolér	27
1.4.2 MIDI syntetizátor	27
1.4.3 MIDI sampler	28
1.4.4 MIDI sekvencér	28
1.5 Prepojenie MIDI zariadení	28
1.6 Prieskum trhu	29
<b>2 Koncept systému</b>	<b>30</b>
2.1 Riadené zariadenia	30
2.1.1 Fúkacia harmonika	30
2.1.2 Metalofón	31
2.2 Akčné členy	32
2.3 Riadiaci systém	33
2.4 Požiadavky systému	33
<b>3 Hardvér</b>	<b>34</b>
3.1 Návrh systému	34
3.1.1 Voľba vhodných komponentov	34
3.1.2 Návrh dosky plošných spojov	42
3.2 Návrh nového systému	44
3.2.1 Voľba nových komponentov	44
3.2.2 Rozbor jednotlivých celkov systému	46
3.2.3 Návrh novej dosky plošných spojov	49
3.2.4 Parametre pre výrobu a osadenie DPS	49

3.2.5	Oživenie DPS . . . . .	51
<b>4</b>	<b>Softvér</b>	<b>53</b>
4.1	Testovanie DPS . . . . .	54
4.1.1	Testovanie LED diód . . . . .	54
4.1.2	Testovanie PWM . . . . .	55
4.1.3	Testovanie enkodéru . . . . .	55
4.1.4	Testovanie displeja . . . . .	55
4.1.5	Testovanie MIDI komunikácie . . . . .	56
4.2	Hlavný program . . . . .	56
4.2.1	MIDI funkcia . . . . .	57
4.2.2	StateMachine funkcia . . . . .	58
<b>5</b>	<b>Priama MIDI komunikácia</b>	<b>60</b>
<b>6</b>	<b>Dosiahnuté výsledky</b>	<b>61</b>
	<b>Záver</b>	<b>63</b>
	<b>Literatúra</b>	<b>65</b>
	<b>Zoznam symbolov a skratiek</b>	<b>68</b>
	<b>Zoznam príloh</b>	<b>69</b>
A	Zoznam súčiastok	70
B	Elektrická schéma a DPS doplnujúcej dosky	71
C	Elektrická schéma zapojenia systému	72
D	Doska plošného spoja systému	74
E	Obsah priloženého CD	75



# Zoznam obrázkov

1.1	MIDI konektor . . . . .	14
1.2	Prepojenie dvoch MIDI zariadení . . . . .	15
1.3	Elektrická schéma pre MIDI 1.0 . . . . .	16
1.4	Jeden sériový MIDI bajt . . . . .	17
1.5	Statusový MIDI bajt . . . . .	18
1.6	Spektrum MIDI tónov . . . . .	20
1.7	MIDI kontróler . . . . .	27
1.8	Prepojenie MIDI zariadení . . . . .	29
2.1	Blokový diagram systému . . . . .	30
2.2	Fúkacia harmonika . . . . .	31
2.3	Metalofón . . . . .	32
3.1	ATmega64A . . . . .	35
3.2	Darlingtonové zapojenie tranzistorov . . . . .	37
3.3	Schittov klopný obvod . . . . .	39
3.4	Bloková schéma regulátoru tlaku . . . . .	40
3.5	Elektrická schéma step-down meniča . . . . .	41
3.6	Elektrická schéma pred XL1509-5.0E1 DC-DC menič . . . . .	42
3.7	Prvotný 3D model vytvoreného systému . . . . .	43
3.8	Dodatočná doska plošného spoja . . . . .	45
3.9	Elektrická schéma napájacej časti systému . . . . .	47
3.10	Ovládanie regulačného ventilu . . . . .	48
3.11	Ovládanie solenoidových cievok . . . . .	49
3.12	3D model novo vytvoreného systému . . . . .	50

# Zoznam tabuliek

1.1	Popis MIDI konektoru . . . . .	14
1.2	Kanálové hlasové správy . . . . .	19
1.3	Kanálové správy režimu . . . . .	22
1.4	Správy reálneho času . . . . .	24
1.5	Bežné správy . . . . .	25
3.1	Solenoidy prvého typu . . . . .	36
3.2	Solenoidy druhého typu . . . . .	36
3.3	ULN2803ADW . . . . .	37
3.4	Regulátor tlaku . . . . .	39
3.5	Rotačný enkodér . . . . .	40
3.6	Operačný zosilňovač . . . . .	45
3.7	Tranzistor . . . . .	46
3.8	Poistky . . . . .	51

# Úvod

Hudba v živote človeka hraje oveľa dôležitejšiu rolu, ako by sa mohlo na prvý pohľad zdať. Je to akási forma umenia usporiadania zvukov v čase prostredníctvom prvkov ako melódia, harmónia, rytmus či farba jednotlivých tónov. V dnešnej dobe existuje množstvo rôznych hudobných žánrov, ktoré sa líšia práve týmito prvkami. Hudba pozostáva zo širokej škály hudobných nástrojov a rôznych typov vokálnych techník ako napríklad spev alebo rap. Množstvo štúdií dokazuje pozitívne vlastnosti hudby na človeka. Počúvanie hudby nám môže pomôcť vysporiadať sa so stresom, povzdvihnúť náladu, zlepšiť pamäť alebo dokonca môže zvýšiť celkový výkon pri vykonávaní rôznych typov fyzických aktivít. Ako teda čas plynul a svet sa ďalej rozvíjal, rozvíjala sa s ním zároveň aj hudba.

V dnešnej dobe je v hudbe možné počuť súzvuk rôznych typov elektrických a digitálnych nástrojov, ktoré otvárajú nové možnosti vo svete hudby. Elektrické hudobné nástroje sú schopné meniť svoj zvuk pomocou rôznych typov elektrických obvodov, zatiaľ čo digitálne hudobné nástroje potrebujú k svojmu správne fungovaniu aj nejakú tú výpočtovú techniku ako napríklad špeciálny druh procesoru. Digitálne hudobné nástroje taktiež dokážu medzi sebou istým spôsobom komunikovať. Na istý konkrétny spôsob komunikácie digitálnych hudobných nástrojov bude zameraná aj táto diplomová práca.

## Ciele práce

Hlavnou náplňou tejto práce bude vytvorenie mikrokontrolového systému pre obsluhu aspoň dvoch mechanických hudobných nástrojov prostredníctvom digitálnej MIDI komunikácie, ktorá bude bližšie popísaná v prvej kapitole tejto práci. Táto práca sa bude skladať z dvoch hlavných častí a to hardvérového a softvérového návrhu daného systému. V hardvérovej časti bude vysvetlený výber jednotlivých súčiastok pre tento systém a zároveň vytvorenie a oživenie plošného spoja tohoto systému. V softvérovej časti bude vytvorený program pre riadenie a správnu funkcionálnosť daného systému.

# 1 MIDI

Táto kapitola vysvetlí základné pojmy ohľadom MIDI, vysvetlí jeho funkčnosť, štruktúru a spôsob odosielania MIDI správ a taktiež stručne popíše jednotlivé MIDI zariadenia. Na konci tejto kapitoly bude spravený menší prieskum alternatívnych MIDI zariadení ktoré by mohli byť vhodné pre tento projekt.

## 1.1 Základy MIDI

MIDI (skratka pre Musical Instrument Digital Interface) je technický štandard, ktorý popisuje komunikačný protokol, digitálne rozhranie a elektrické konektory, ktoré spájajú širokú škálu elektronických hudobných nástrojov, počítačov a súvisiacich zvukových zariadení na hranie, úpravu a nahrávanie hudby.

Jednotlivé MIDI zariadenia sú v systéme prepojené buď pomocou USB alebo DIN káblu.

Jedno prepojenie MIDI káblom môže obsahovať až 16 kánálov správ, kde každý kanál môže predstavovať iné zariadenie. Ak hudobník hrá na MIDI hudobnom nástroji, odosiela tým druhému zariadeniu MIDI správy. Dôležité je pripomenúť, že pod pojmom MIDI správa netreba rozumieť nejaké zvukové stopy alebo klipy. Za MIDI správu sa berú udalosti ako stláčanie klávesov na MIDI nástroji, stláčanie tlačidiel, otáčanie alebo posúvanie rôznych druhov potenciometrov. MIDI správy môžu obsahovať informácie aký tón má dané zariadenie na danom kanály zahrať alebo ako hlasno má byť daný tón zahratý (bližšie informácie o MIDI správach budú rozobraté v podkapitole 1.3).

MIDI správy môžu buď spracovávať samotné MIDI zariadenia alebo napríklad aj príslušný počítačový softvér prezývaný tiež DAW (z ang. Digital Audio Workstation). Výhodou takéhoto DAW softvéru je možnosť nahrávania a editovania MIDI správ. Medzi najpopulárnejšie DAW softvéry patria programy ako **Ableton Live**, **FL Studio** alebo **Logic Pro**.

Medzi výhody MIDI patrí malá veľkosť súborov, keďže prostredníctvom MIDI neposielame žiadne zvukové záznamy, ale iba MIDI správy a ľahká modifikácia a manipulácia už nahratého MIDI záznamu obsahujúceho MIDI správy. Hudobník sa teda aj po nahratí určitej časti skladby môže jednoducho rozhodnúť či chce, aby jeho nahrávka znela ako klavír, flauta či dokonca aj ako celý orchester. Rôznorodosť zvukov a hudobných nástrojov závisí od použitia rôznych efektov alebo virtuálnych nástrojov, ktoré sa nazývajú zvukové moduly alebo **pluginy**.

Pomerne veľkou výhodou MIDI je aj to, že sa môžu prepájať medzi sebou aj zariadenia od rôznych výrobcov, čo pred vznikom MIDI nebolo možné. Stačí, že vysielajúce a prijímajúce zariadenia sú obe MIDI kompatibilné. [1] [2]



Obr. 1.1: MIDI konektor

Tab. 1.1: Popis funkcionality jednotlivých kolíkov MIDI konektoru

Číslo kolíku	Popis
1	Nie je používaný
2	Elektrické tienenie (iba pri MIDI Out)
3	Nie je používaný
4	Príjem MIDI dát
5	Vysielanie MIDI dát

## 1.2 MIDI hardvér

Keďže ako bolo spomenuté v predošlej podkapitole (1.1) je MIDI akýsi technický štandard a preto je dôležité spomenúť aj určitý hardvér tohto štandardu pre dosiahnutie správnej komunikácie medzi MIDI zariadeniami alebo medzi MIDI zariadením a počítačom. Pre komunikáciu prostredníctvom MIDI je dôležité poznamenať, aký konkrétny typ konektorov potrebujú jednotlivé zariadenia, aby medzi sebou vedeli komunikovať. Správy MIDI putujú káblami s konektormi typu 5-pin DIN 180° na oboch stranách tohto káblu. Dĺžka kábla pritom môže byť až 15 metrov no stále platí, že čím dlhší je kábel, tým danej informácií trvá dlhšie kým dorazí od jedného zariadenia k tomu druhému. Pri veľkých dĺžkach káblu je tiež dôležité podotknúť že signál postupne stráca na energií a je dôležité zvážiť aj tzv. signálové zosilňovače, pretože by sa daná MIDI správa mohla stať nečitateľnou. [1]

Všetkých päť kolíkov, ako je možné vidieť na obrázku 1.1 nie je aktívnych. Dôvodom je fakt, že MIDI využíva sériovú komunikáciu na prenos informácie. Popis funkcií jednotlivých kolíkov je znázornený v tabuľke 1.1.

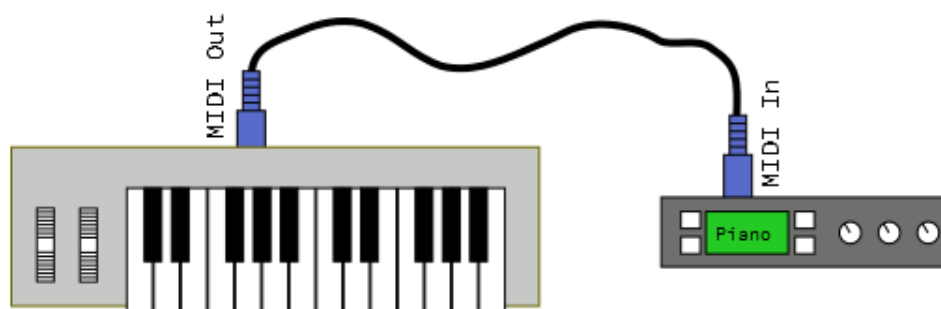
Každé MIDI zariadenie sa skladá z určitého druhu mikroprocesoru pre spraco-

vávanie MIDI správ a jedného alebo až troch zásuviek typu 5-pin DIN 180°. Každá z týchto zásuviek má svoju úlohu a je aj príslušne pomenovaná.

### 1.2.1 MIDI Out

MIDI Out slúži ako výstupná zásuvka MIDI zariadenia. To, čo sa skrz túto zásuvku posieľa sú MIDI správy, ktoré dané zariadenie produkuje. Dôležité je ale podotknúť, že z tejto zásuvky signál iba vychádza, keďže MIDI správy prúdia iba jedným smerom. [1]

Zariadenia, ktoré produkujú MIDI správy a následne ich vysielajú sú zväčša MIDI kontroléry, ktoré budú vysvetlené v podkapitole 1.7. V prípade, ak je potrebné prepojiť iba dve zariadenia pričom jedno MIDI správy produkuje a druhé MIDI zariadenie správy prijíma, tak v tom prípade stačí MIDI káblom prepojiť zásuvku MIDI Out zariadenia ktoré MIDI správy produkuje na zásuvku MIDI In zariadenia, ktoré MIDI správy prijíma, ako je to aj zobrazené na obrázku 1.2.



Obr. 1.2: Prepojenie dvoch MIDI zariadení

Na prepojenie viac ako dvoch MIDI zariadení je potreba využiť metódu Reťazenia zariadení (Daisy Chaining Devices) prostredníctvom zásuvky MIDI Thru. Táto metóda bude bližšie popísaná v podkapitole 1.5.

### 1.2.2 MIDI In

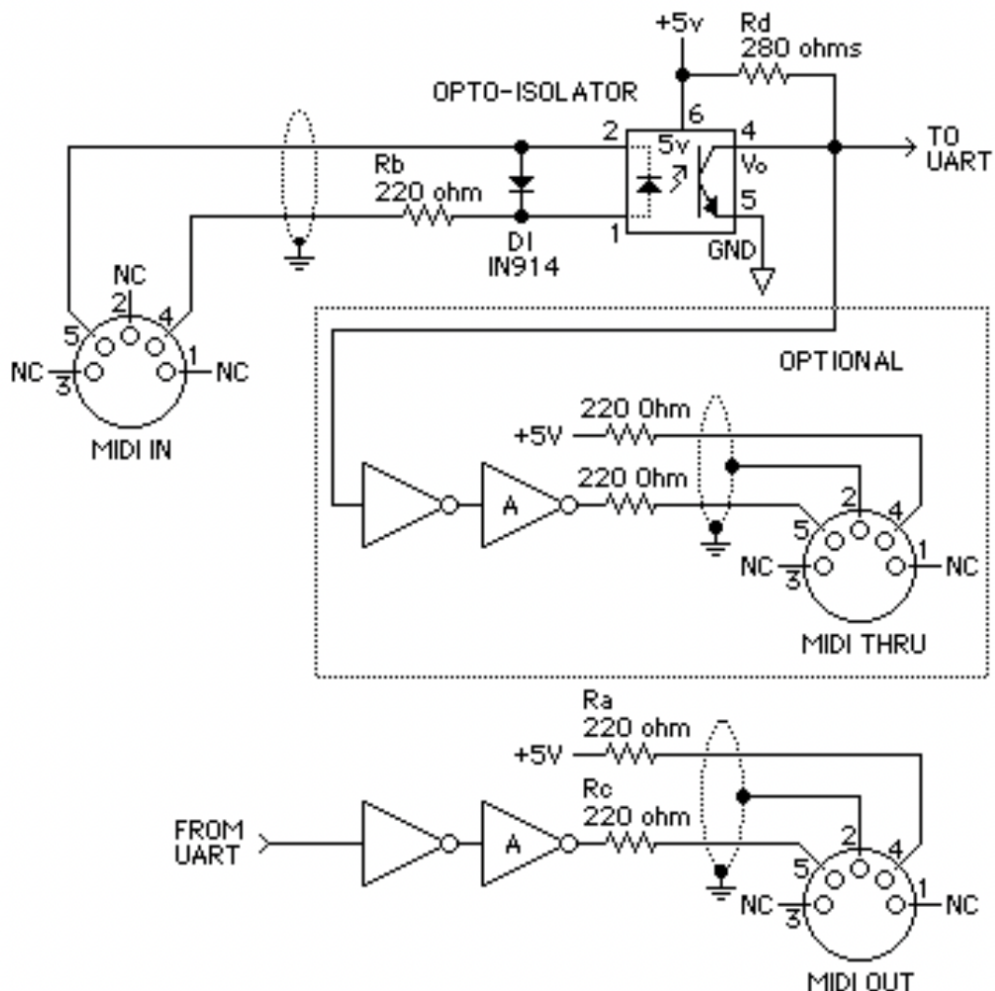
MIDI In slúži ako vstupná zásuvka MIDI zariadenia. Prostredníctvom tejto zásuvky MIDI zariadenie prijíma MIDI správy, ktoré následne spracováva istým druhom procesoru. Dáta prijaté prostredníctvom MIDI In zásuvky môžu byť vyvedené do zásuvky MIDI Thru v prípade vysielania MIDI správ do viac ako jedného zariadenia. [1]

Zásuvka MIDI In môže prijímať dáta prostredníctvom MIDI Out (v prípade, že zariadenie, ktoré posiela tieto dáta je masterom) alebo z MIDI Thru (v prípade, že zariadenie posielajúce dáta ho prijalo skrz MIDI In od mastera).

### 1.2.3 MIDI Thru

Akákoľvek informácia, ktorá dorazí na MIDI In daného zariadenia je automaticky skopírovaná na MIDI Thru. Vďaka tejto funkcionalite je teda možné danú informáciu poslať do ďalších zariadení a ako už bolo spomenuté v podkapitole 1.2.1 docieľiť tak prepojenie viacerých zariadení sériovo za sebou. Je teda dôležité si uvedomiť, že samotný prístroj neposiela na MIDI Thru žiadne svoje dáta, iba preposiela informácie prijaté na jeho MIDI In vstupe [1].

Vnútročné prepojenie vyššie spomenutých MIDI zásuviek je zobrazené na obrázku 1.3.



Obr. 1.3: Elektrická schéma pre MIDI 1.0



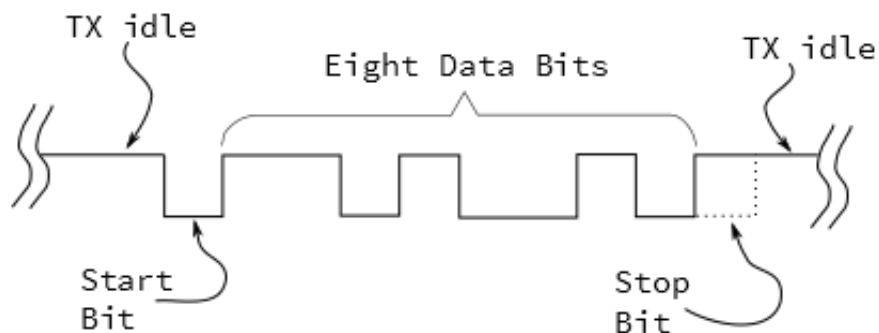
Táto elektrická schéma vychádza z detailnej technickej špecifikácie pre technický štandard MIDI 1.0, ktorú spravuje neziskové združenie MIDI Manufacturers Association založené v roku 1985 za účelom rozširovať, propagovať a chrániť technológiu MIDI v prospech umelcov a hudobníkov na celom svete. [3]

Ako je teda vidieť na obrázku elektrickej schémy (1.3), informácia z mikroprocesoru (FROM UART) najprv prejde istým typom zosilňovaču signálu (môže to byť nejaký integrovaný obvod alebo tranzistor) a následne je privedená na zásuvku MIDI Out. Zaujímavejšie je to ale na prijímacej strane. Zo zásuvky MIDI In totiž informácia putuje do optočlenu a tým pádom je obvod galvanicky oddelený. Optočlen prijíma elektrický signál, ktorý prostredníctvom LED diódy mení na svetelný signál, ktorý už ďalej spracováva istý typ fototranzistoru. Informácia je teda ďalej posielaná do mikroprocesoru na spracovanie (TO UART).

### 1.3 MIDI správa

MIDI správy sú dáta ktoré vysiela určité MIDI zariadenie pre komunikáciu s ostatnými MIDI zariadeniami. Ako bolo spomenuté v predošlej kapitole (1.1) jedným MIDI káblom je možné prenášať až 16 kanálov MIDI správ. Zariadenie, ktoré dáta produkuje taktiež vo svojej MIDI správe zahŕňa informáciu o tom, na akom kanále má byť táto MIDI správa vysielaná pričom zariadenie, ktoré chce danú informáciu prijať musí byť nastavené na tento daný kanál. [1]

MIDI je asynchrónne sériové rozhranie pracujúce na prenosovej rýchlosti 31.25 Kbaud. Pod pojmom asynchrónne sériové rozhranie je možné rozumieť systém, ktorý nie je riadený nejakým hodinovým signálom, pretože rýchlosť daného systému je vopred daná (spomínaných 31.25 Kbaud). Jeden bajt takejto MIDI správy obsahuje 1 štartovací bit, 8 dátových bitov a 1 stop bit. To predstavuje celkom 10 bitov po dobu 320 mikrosekúnd na jeden sériový bajt. Keďže kludový stav takéhoto systému je v úrovni log. 1, štartovací bit je v tomto prípade bit s úrovňou log. 0. [1] [3] [4] [5]



Obr. 1.4: Jeden sériový MIDI bajt

Pri vytváraní a vysielaní MIDI správ rozlišujeme dva druhy bajtov:

- Statusový bajt
- Dátový bajt

Statusový bajt je charakteristický tým, že jeho najvýznamnejší bit (MSB) je nastavený na hodnotu log. 1 ako je možné vidieť na obrázku 1.5. Nasledujúce 3 bity obsahujú danú MIDI správu, ktorú daný bajt posielajú. Zvyšné 4 bity predstavujú číslo kanálu, na ktorý sa má daný bajt poslať.



Obr. 1.5: Statusový MIDI bajt

Dátový bajt je charakteristický tým, že jeho najvýznamnejší bit (MSB) je nastavený na hodnotu log. 0. Zvyšné bity tohto bajtu predstavujú hodnotu v rozmedzí 0-127 (jedná sa o 7 mocninu čísla 2, pretože máme k dispozícii 7 zvyšných bitov).

Štruktúra jednej MIDI správy obsahuje stále ako prvý jeden Statusový bajt, za ktorým môžu nasledovať až dva Dátové bajty. Za istých okolností môže MIDI správa obsahovať iba spomínaný jeden Statusový bajt bez akýchkoľvek Dátových bajtov. V prípade ak by sa mala posielajú dlhšia správa obsahujúca rovnaký Statusový bajt, využíva sa taktiež metóda tzv. Running status (trvajúci status), pri ktorej sa vyššie iba v jednej MIDI správe Statusový bajt a nasledujúce MIDI správy budú vysielajú iba Dátové bajty. Týmto spôsobom je možné redukovať vyťaženosť zbernice. [1] [3] [5]

MIDI správy sa vo všeobecnosti delia na dve hlavné skupiny a to na správy **Kanálové** a správy **Systémové**. Detailnejšie rozdelenie MIDI správ vyzerá nasledovne:

- Channel messages (Kanálové správy)
  - Voice messages (Hlasové správy)
  - Mode messages (Správy režimu)
- System messages (Systémové správy)
  - Common messages (Bežné správy)
  - Real-time messages (Správy v reálnom čase)
  - Exclusive messages (Exkluzívne správy)

### 1.3.1 Channel messages (Kanálové správy)

Kanálové správy sú správy, ktoré sa vysielajú na jednotlivé kanály a nie globálne do všetkých zariadení v MIDI sieti. Medzi tieto správy patria tzv. Voice messages (Hlasové správy) a Mode messages (Správy režimu). Keďže ako je možné vidieť na obrázku 1.5, na to aby bolo popísané o aký druh MIDI správy sa jedná sú vyhradené 3 bity Statusového bajtu, čo predstavuje 8 možných druhov MIDI správ. Práve medzi 7 z nich patria Kanálové správy, zvyšná 1 patrí Systémovým správam. [1] [3] [5] [6]

#### Voice messages (Hlasové správy)

Hlasové správy poskytujú informácie o samotnom zvuku, ktorý má byť vysielaný z MIDI zariadenia. Sú to informácie ako napríklad aký tón bol zahratý a s akou intenzitou. Všetky rôzne typy Hlasových správ znázorňuje tabuľka 1.2.

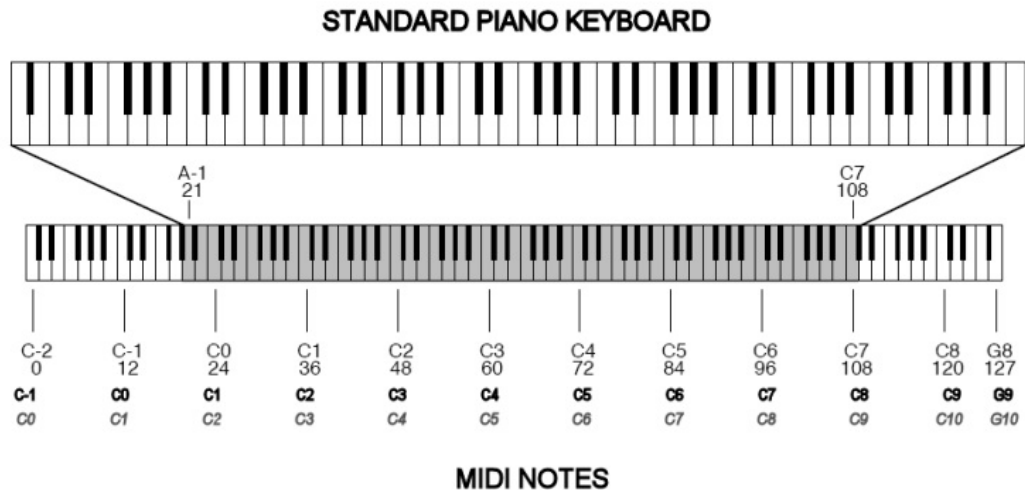
Tab. 1.2: Popis jednotlivých kanálových hlasových MIDI správ

Hlasová správa	Status bajt	1. Data bajt	2. Data bajt
Note off	0x8n	Číslo noty: 0 - 127	Sila vypustenia: 0 - 127
Note on	0x9n	Číslo noty: 0 - 127	Sila stlačenia: 0 - 127
Polyphonic Aftertouch	0xA <sub>n</sub>	Číslo noty: 0 - 127	Sila stlačenia: 0 - 127
Control Change	0xB <sub>n</sub>	Číslo kontroléru: 0 - 127	Hodnota: 0 - 127
Program Change	0xC <sub>n</sub>	Číslo programu: 0 - 127	-
Channel Aftertouch	0xD <sub>n</sub>	Sila stlačenia: 0 - 127	-
Pitch Bend Change	0xE <sub>n</sub>	LSB: 0 - 127	MSB: 0 - 127

Na miesto 'n' je potrebné doplniť hexadecimálne zobrazené číslo kanálu (0-16 takže hodnotu 0-F), na ktorý sa má daná MIDI Hlasová správa posielat. Statusový bajt každej Hlasovej správy je teda fixná hodnota, ktorá sa musí zachovať, aby sa vedelo o akú Hlasovú správu sa jedná. [1] [3] [5] [6]

**Note off** alebo v preklade **Nota vypnutá** hlasová správa hovorí o tom, aký tón bol vypustený a akou silou alebo dynamikou k tomu došlo. Ako je možné vidieť z

tabuľky 1.2, prvý dátový bajt obsahuje číslo tónu, ktorý bol práve zahratý. Tu je dôležité poznamenať že každý tón od subkontra oktávy tónu C („C alebo tiež nazývaný aj C-2 o frekvencii 16,35 Hz) až po 6-čiarový tón G (g””” alebo tiež nazývaný aj G8 o frekvencii 12 543,85 Hz) má pridelené svoje číslo v rozmedzí od 0 do 127 ako je znázornené na obrázku 1.6.



Obr. 1.6: Celé spektrum MIDI tónov

Druhý dátový bajt Note off hlasovej správy hovorí práve o sile alebo dynamike akou bol daný tón pustený v rozmedzí od piano pianissimo (pre hodnoty MIDI dátového bajtu od 1 až 15) až po forte fortissimo (pre hodnoty MIDI dátového bajtu 112 až 127). [1] [3] [5] [6]

**Note on** alebo v preklade **Nota zapnutá** hlasová správa hovorí o tom istom ako Note off hlasová správa s tým rozdielom, že ide o to aký tón a akou silou alebo dynamikou bol stlačený. Ako tomu bolo už pri Note off, prvý dátový bajt obsahuje číslo tónu a druhý dátový bajt hovorí o dynamike daného zahratého tónu. [1] [3] [5] [6]

**Polyphonic Aftertouch** taktiež nazývaná aj Polyphonic Key Pressure alebo v preklade **Individuálna tlaková citlivosť** hlasová správa hovorí o tom, ako už po stlačení daného tónu bol tento daný tón dynamicky zmenený. Táto funkcia sa vo väčšine prípadov pripisuje k efektu vibráta, kedy po stlačení daného tónu a následnom silnejšom pritlačení na daný tón aplikuje efekt vibráta. Podobný efekt sa pri mechanickom klavíry pozorovať nedá, no tento jav je pozorovateľný pri strunových hudobných nástrojoch ako cello alebo gitara, kde hudobník môže po zahratí daného tónu ľahkými kmitavými pohybmi vytvoriť spomínaný efekt vibráta. Pri tomto druhu hlasovej správy sa vysiela informácia o tlakovej citlivosti každého zahratého tónu individuálne. To znamená, že každý zahratý tón produkuje 3 bajty

(1 statusový a 2 dátové pričom prvý dátový hovorí o tom aký tón bol zahratý a druhý dátový hovorí o tom s akou dynamikou), čo v prípade ak sme zahrali 3 tóny naraz tvorí dohromady 9 vyprodukovaných bajtov. V prípade hlasovej správy typu **Channel Aftertouch** taktiež nazývanej Channel Pressure alebo v preklade **Tlaková citlivosť na daný kanál** sa berie do úvahy iba kanál (statusový bajt hlasovej správy) a najväčšia zaznamenaná zmena tlaku (dátový bajt hlasovej správy) už zahraneho tónu alebo skupiny tónov. Výsledná správa teda stále tvorí iba 2 bajty aj v prípade ak bolo zahratých viacero tónov naraz. [1] [3] [5] [6]

**Control Change** alebo v preklade **Zmena ovládacieho prvku** hlasová správa hovorí o tom, aký ovládací prvok bol nastavený a na akú hodnotu. Pod pojmom ovládací prvok je možné rozumieť tlačidlá, potenciometre alebo pedále. Prvý dátový bajt tejto hlasovej správy teda hovorí o tom, aký konkrétny ovládací prvok bol zmenený, druhý dátový bajt hovorí o tom, na akú konkrétnu hodnotu. Dôležité je poznamenať, že najväčší možný počet ovládacích prvkov je 127 ako je aj znázornené v tabuľke 1.2. [1] [3] [5] [6]

**Program Change** alebo v preklade **Zmena programu** hlasová správa hovorí o tom, ako má byť príslušný zvuk na danom kanále zmenený alebo zahratý. V minulosti totiž veľa zariadení bolo vybavených istou zvukovou bankou so 128 rôznymi zvukmi. Ak si teda hudobník zmyslí, že chce zmeniť zvuk (program) na MIDI zariadení s určitým priradeným kanálom, dokáže to práve zmenou parametru dátového bajtu v Program Change hlasovej správe. Narozdiel od vyššie spomenutých hlasových správ, táto hlasová správa obsahuje len jeden dátový bajt. [1] [3] [5] [6]

**Pitch Bend Change** alebo v preklade **Zmena výšky tónu** hlasová správa hovorí o zmene výšky frekvencie daného zahraneho tónu. Zaujímavosťou tejto hlasovej správy je fakt, že výška tónu sa vo väčšine prípadoch mení istým druhom potenciometra, prečo teda nie je táto hlasová správa zakomponovaná už v hlasovej správe typu Control Change? Dôvodom je fakt, že ľudské ucho je veľmi citlivé na zmeny výšky tónu a z toho dôvodu je potrebné, aby táto hlasová správa mala vyššie rozlíšenie. To bolo docielené tým, že na informáciu o zmene výšky tónu sú v skutočnosti vyčlenené 2 dátové bajty, ktoré dokopy tvoria jednu informáciu. Ak sa teda tieto 2 dátové bajty spoja, pričom prvý dátový bajt predstavuje najmenej významný bajt (LSB) a druhý dátový bajt predstavuje najvýznamnejší dátový bajt (MSB) celkovej správy, vytvorí sa tým jedna správa o rozlíšení 14 bitov, čiže hlasová správa Pitch Bend Change obsahuje až 16 384 krokov. Táto informácia je však posunutá do záporných čísel a to z toho dôvodu, aby pri kludovom stave mala hodnota Pitch Bend Change hodnotu 0. Rozsah tejto hlasovej správy je teda od -8 192 až 8 191. [1] [3] [5] [6]

## Mode messages (Správy režimu)

Správy režimu sú špeciálnym prípadom hlasovej správy Control Change. Správy režimu teda **zdieľajú spoločný status bajt (0xBn)** spolu s hlasovými správami typu **Control Change**, no rozdiel je v prvom dátovom bajte, kde sú hodnoty 121-127 rezervované práve pre tieto Správy režimu. Prehľadnejší popis Správ režimu sa nachádza v tabuľke 1.3.

Tab. 1.3: Popis jednotlivých kanálových MIDI správ režimu

Správa režimu	1. Data bajt	Zmysel 2. Data bajtu
All sound off	0x78	Žiaden Nastavený na 0
Reset all controllers	0x79	Žiaden Nastavený na 0
Local control	0x7A	0 = vypnutý 127 = zapnutý
All notes off	0x7B	Žiaden Nastavený na 0
Omni mode off	0x7C	Žiaden Nastavený na 0
Omni mode on	0x7D	Žiaden Nastavený na 0
Mono mode on (Poly mode off)	0x7E	**
Poly mode on (Mono mode off)	0x7F	Žiaden Nastavený na 0

\*\* ak je hodnota tohto dátového bajtu 0 potom počet použitých kanálov určí prijímač; všetky ostatné hodnoty nastavujú konkrétny počet kanálov, počnúc aktuálnym základným kanálom.

Správy režimu 0x7B až 0x7F fungujú tiež ako All Notes Off alebo v preklade Všetky tóny vypnuté správy. Po ich vyslaní sa vypnú všetky zvukové výstupy na pridelenom kanále. Tieto správy by sa nemali odosielať periodicky, ale iba za určitých okolností. Za žiadnych okolností by nemali byť náhradou Note Off správy pre vypnutie tónov, ktoré boli predtým zapnuté. [1] [3] [5] [6]

Mód **Omni On** znamená, že zariadenie bude reagovať na všetky prichádzajúce informácie/správy MIDI zo všetkých kanálov. Pravým opakom módu Omni On je

mód Omni Off. [1] [3] [5] [6]

V móde **Omni Off** bude zariadenie reagovať iba na informácie/správy MIDI určené pre jeho základný kanál. Základný kanál MIDI je predvoleným nastaveným kanálom zariadenia. Informácie/správy, ktoré budú mať vo svojom Statusovom bajte číslo kanálu iné ako číslo základného kanálu budú ignorované. [1] [3] [5] [6]

Mód **Poly** znamená, že zariadenie bude schopné polyfónneho hrania. Polyfónne hranie znamená, že v jednom okamihu na jednom kanály môže zariadenie zahrat viacero tónov naraz a vytvárať tak akordy. Počet naraz znejúcich tónov nie je nijakým spôsobom obmedzený špecifikáciami MIDI ale iba daným MIDI zariadením. [1] [3] [5] [6]

Opakom módu Poly je mód **Mono**. V tomto móde zariadenie nie je schopné prehrávať v jednom okamihu na jednom kanále viacero tónov. [1] [3] [5] [6]

Tieto 4 vyššie spomenuté módy sa väčšinou navzájom kombinujú a vytvárajú tak módy 1 až 4 ktoré vyzerajú nasledovne:

- Múd 1 – Omni On/Poly - zariadenie prijíma informácie z akéhokoľvek kanálu a zároveň dokáže prehrávať viac tónov v jednom okamihu.
- Múd 2 – Omni On/Mono - zariadenie prijíma informácie z akéhokoľvek kanálu a dokáže prehrávať iba jeden tón v jednom okamihu.
- Múd 3 – Omni Off/Poly - zariadenie prijíma informácie len z jedného kanálu a dokáže prehrávať viac tónov v jednom okamihu.
- Múd 4 – Omni Off/Mono - zariadenie prijíma informácie len z jedného kanálu a dokáže prehrávať iba jeden tón v jednom okamihu.

Väčšina kláves má v sebe už zabudovaný nejaký zvukový modul. Správy režimu typu **Local control** alebo v preklade **Lokálne ovládanie** umožňujú odpojiť ovládanie častí kláves od spomínaného zvukového modulu. V prípade, že je teda Lokálne ovládanie vypnuté, zvukový modul daného zariadenia nebude po prijatí MIDI správ vydávať žiaden zvuk. [1] [3] [5] [6]

V prípade ak zariadenie obdrží Správu režimu typu **Reset all controlers** alebo v preklade **Vyresetovanie všetkých kontrolérov**, vyresetuje stavy všetkých kontrolérov na ich predvolené nastavenia. [1] [3] [5] [6]

### 1.3.2 System messages (Systémové správy)

Systémové správy nesú informácie, ktoré nie sú špecifické pre kanál ale pre celý systém, ako je napríklad signál časovania pre synchronizáciu, informácie o polohe vo vopred nahraných MIDI sekvenciách a podrobné informácie o nastavení pre cieľové zariadenie.

## Real-time messages (Správy reálneho času)

Správy reálneho času sú MIDI správy, ktoré sa vykonávajú v reálnom čase. Správy reálneho času môžu nastať aj uprostred už inej MIDI správy a zároveň sa obslúžia s najvyššou prioritou. Prehľadnejší popis Správ reálneho času sa nachádza v tabuľke 1.4.

Tab. 1.4: Popis jednotlivých MIDI správ reálneho času

Správy reálneho času	Status bajt
Timing Clock	0xF8
Start Sequence	0xFA
Continue Sequence	0xFB
Stop Sequence	0xFC
Active Sensing	0xFE
System Reset	0xFF

**Timing Clock** alebo v preklade **Časový impulz** správa reálneho času sa používa pre synchronizáciu rôznych sekvencí. Správa je posielaná 24-krát za jeden beat (čiže sa jedná o štvrtovú notu) bez ohľadu na tempo skladby. Od doby odkedy zaháji sekvencér záznam MIDI dát, začne od začiatku skladby počítat tiky. Pri prijatí MIDI správy je tejto správe priradené aj číslo tiky, aby sa následne pri prehrávaní danej skladby vedelo, kedy príslušná MIDI správa dorazila a aby sa v ten okamih prehrala. Táto informácia o presnom čase prijatia správy je potom ďalej posielaná do ostatných zariadení a tým je zaistené dokonale synchronizované prehrávanie všetkých prijatých MIDI správ. [1] [3] [5] [6]

Správy reálneho času typu **Start**, **Continue** a **Stop Sequence** umožňujú ovládať sekvenciu sekvencéru. Po príchode správy Start Sequence sa umiestni sekvencia na začiatok a začne sa rovno aj prehrávať. Správa Stop Sequence zastaví prehrávanie sekvencéru. Táto správa sa zároveň chová ako pauza, čiže hodnota ukazateľa pozície daného sekvencéra sa v tom momente nezmení, iba sa zastaví. Správou Continue Sequence sa sekvencia opäť obnoví od bodu, kde bola naposledy zastavená. [1] [3] [5] [6]

Kedže MIDI správy putujú káblami stále len jedným smerom, môže vzniknúť problém, ak sa náhodou kábel nejakým spôsobom poškodí alebo odpojí. Aby teda dané zariadenie prijalo všetky potrebné správy prichádza vhod funkcia **Active Sensing**. Ide o to, že jedno zariadenie posieľa špecifickú správu druhému zariadeniu. V momente, ak toto zariadenie obdrží správu Active Sensing, bude očakávať minimálne



jednu udalosť MIDI každých 300ms na porte, cez ktorý prijalo správu Active Sensing. Pokiaľ na tomto porte nedôjde k žiadnej aktivite po dobu väčšiu ako 270ms, potom v prípade aktivovanej funkcie Active Sensing posielaajúce zariadenie pošle ďalšiu správu Active Sensing, ktorou uistí prijímacie zariadenie, že je všetko v poriadku a spojenie funguje. V prípade, že prijímaajúce zariadenie, ktoré očakáva nejakú udalosť neobdrží po dobu 300ms žiadnu správu, bude spojenie považované za prerušené a vygeneruje sa príkaz All Note Off čím efektívne odstráni všetky "zaseknuté"tóny, ktoré by sa inak prehrávali donekonečna. Jednoducho povedané, táto správa reálneho času indikuje, či je dané prepojenie MIDI nejakým spôsobom nepoškodené alebo či nie je náhodou odpojené. [1] [3] [5] [6]

**System Reset** správa reálneho času hovorí o tom, aby sa po príchode tejto správy na danom porte zariadenie vyresetovalo na svoje predvolené nastavenia. Keďže v priebehu pracovania s inými MIDI zariadeniami tieto zariadenia prijímajú všelijaké možné MIDI správy, táto správa reálneho času slúži práve nato, aby sa dané zariadenie dostalo do svojich implicitných nastavení parametrov. [1] [3] [5] [6]

### Common messages (Bežné správy)

Common messages alebo v preklade Bežné správy sú určené všetkým kanálom v systéme a pomáhajú zlepšiť funkčnosť ostatných príkazov MIDI. Vo väčšine prípadov sa správy Common messages týkajú synchronizácie, nastavovaním času alebo výberom skladieb a ladiacich častí MIDI zariadení. Tieto správy sa používajú v kombinácií so sekvencérmi.

Tab. 1.5: Popis jednotlivých bežných MIDI správ

Bežné správy	Status bajt	Počet Data bajtov
MIDI Timing Code	0xF1	1
Song Position Pointer	0xF2	2
Song Select	0xF3	1
Tune Request	0xF6	Žiaden

**MIDI Timing Code** alebo v preklade **Časový kód MIDI** dovoľuje synchronizáciu sekvencéru s videozariadeniami, ktoré podporujú časový kód štandardu SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers - Spoločnosť filmových a televíznych technikov). SMPTE je protokol pre synchronizáciu videa a funguje na základe priradenia unikátnej adresy každému jednotlivému filmovému snímku. [1] [3] [5] [6]

**Song Position Pointer** alebo v preklade **Lokátor pozície piesne** udáva presnú pozíciu skladby v sekvencií. Správy SPP v skutočnosti neuvádzajú, kedy začať alebo prestať s prehrávaním, skôr informujú dané zariadenie, kde má pokračovať po prerušení prehrávania. Kvôli dlhším skladbám sa pre rozpoznávanie každého kroku (dĺžka jednej šestnástinovej noty) používajú dva dátové bajty. Dokopy to teda tvorí 14 bitov čo predstavuje 16 384 krokov. Prvý dátový bajt predstavuje najmenej významný bajt (LSB), druhý dátový bajt predstavuje najvýznamnejší bajt (MSB).[1] [3] [5] [6]

**Song Select** alebo v preklade **Výber skladby** správa slúži k nahraniu čísla skladby do pamäti sekvencéru. Všetky zariadenia pripojené k tomuto sekvencéru si v tom momente nahrávajú rovnakú skladbu do svojich pamätí. Správa Song Select obsahuje len jeden dátový bajt ktorý nesie informáciu o čísle skladby. To teda znamená, že je možné uchovať až 128 skladieb. [1] [3] [5] [6]

**Tune Request** alebo v preklade **Žiadosť o ladenie** sa používa väčšinou so zvukovými modulmi, ktoré obsahujú analógové obvody. V okamihu, kedy dané zariadenie obdrží správu Tune Request, zahájí proces sebaladenia pri ktorom dochádza ku kalibrácii oscilátoru, ktorý sa mohol po zahriatí prístroja rozladiť. Dôležité je teda pripomenúť, že táto správa má význam iba pri analógových syntetizátoroch, digitálne syntetizátory sa totiž ladiť nedajú.[1] [3] [5] [6]

### **Exclusive messages (Exluzívne správy)**

**Exclusive messages** tiež nazývané aj SysEx správy sa používajú pre posielanie správ konkrétnym MIDI zariadeniam. Akonáhle je vyvinutá nejaká nová funkcia, ktorá je závislá na svojom výrobcovi (nie je súčasťou štandardu) stáva sa z nej správa typu SysEx. Správy typu SysEx môžu byť využívané napríklad aj na firmvér update daného zariadenia. Každá SysEx správa ma svoj špeciálny bajt, ktorým správa začína (0xF0) a špeciálny bajt, ktorým správa končí (0xF7). Prvý až prvé tri bajty po začínajúcom bajte tvoria tzv. MMA ID (MIDI Manufacturer Assosiation ID), ktoré má každý jeden výrobca MIDI zariadení priradené. Nasledujúce bajty už obsahujú samotnú SysEx správu. [1] [3] [5] [6]

## **1.4 MIDI Zariadenia**

Kedže už aj v tejto práci a zároveň aj v MIDI priemysle sa používa viacero druhov MIDI zariadení, bolo by dobré si v krátkosti vysvetliť ako sa jednotlivé základné zariadenia nazývajú a akú spĺňajú funkciu v celom MIDI ekosystéme.

### 1.4.1 MIDI kontrolér

MIDI kontrolér je zariadenie, ktoré produkuje jednotlivé MIDI správy. Toto zariadenie samo o sebe nemá žiaden výstupný zvukový modul, jedná sa iba o zariadenie s rôznymi druhmi tlačidiel a potenciometrov. Najčastejšie sú MIDI kontroléry v podobe klaviatúry, čiže obsahujú istý počet kláves (väčšinou 2 oktávy). Klávesové MIDI kontroléry sa dajú ešte viac rozdeliť na Mini klávesové kontroléry a klávesové kontroléry v plnej veľkosti. V dnešnej dobe sú takéto klávesové MIDI kontroléry doplnené o rôzne druhy potenciometrov alebo dokonca aj plôch, ktoré sú tlakovo závislé a majú simulovať istým spôsobom bicie podložky. [1] [2]

Na nasledujúcom obrázku (1.7) je možné vidieť jeden z populárnych Mini klávesových kontrolérov Launchkey Mini MK3 od spoločnosti Novation.



Obr. 1.7: Kontrolér Launchkey Mini MK3

MIDI kontroléry nemusia mať stále len tvar klaviatúry, môžu mať tvar gitary, flauty dokonca môžu vyzerat aj ako sada bicích.

### 1.4.2 MIDI syntetizátor

MIDI syntetizátor je zariadenie, ktoré jednotlivé MIDI správy prijíma a mení ich na zvukový výstup. Syntetizátory vytvárajú zvuky pomocou rôznych zesilňovačov, filtrov a oscilátorov. Existuje nespočetné množstvo rôznych syntetizátorov, no medzi základné typy patria:

- Modulárne analógové syntetizátory – niekoľko prepojených modulov, kde každý obsahuje určitý typ obvodu. [1] [2]
- Samostatné analógové syntetizátory – podobné ako Modulárne ale jednotlivé moduly sú už od výroby prepojené.[1] [2]
- Digitálne syntetizátory – zvuk je generovaný digitálne a môže tak lepšie napodobniť zvuky rôznych hudobných nástrojov.[1] [2]

- Samplovacie syntetizátory – najbežnejší typ syntetizátoru. Obsahuje určité množstvo samplov (zvukových záznamov), ktoré môžu mať pôvod v reálnych hudobných nástrojoch (husle, piano...) alebo syntetických hudobných nástrojov (sínus, píla, obdĺžnik...).[1] [2]
- Syntetizátory modelujúce zvuk – softvérový kód je zodpovedný zodpovedný za analýzu nastavených parametrov a následne z nich vytvorí určitý zvuk.[1] [2]

### 1.4.3 MIDI sampler

Ide v podstate o samplovacie syntetizátory s jednou pridanou funkciou: do sampléru je možné nahrávať vlastné zvuky. Tento fakt tvorí z MIDI sampléru zariadenie flexibilnejšie v porovnaní so Samplovacím syntetizátorom. [1] [2]

### 1.4.4 MIDI sekvencér

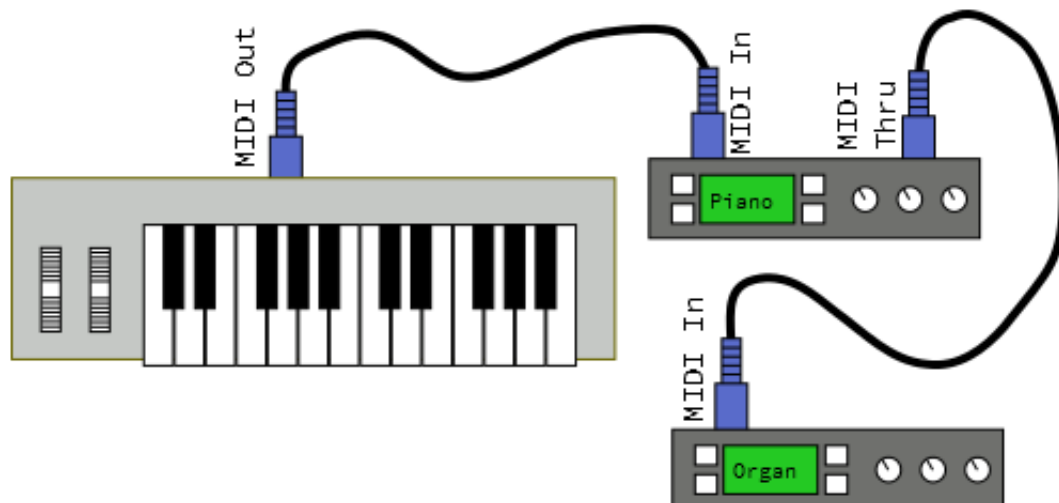
Hardvérový MIDI sekvencér je zariadenie, ktoré umožňuje zaznamenávať a následne prehrávať hudobníkom vytvorené určité hudobné pasáže. Tieto pasáže je následne možné modifikovať alebo prehrávať na istých druhoch MIDI zariadení. MIDI sekvencér nenahráva zvukové stopy, ale sériu za sebou idúcich MIDI správ. [1] [2]

## 1.5 Prepojenie MIDI zariadení

V prípade, ak je potrebné medzi sebou prepojiť MIDI zariadenia je možné využiť viacero možností. Najjednoduchší spôsob prepojenia dvoch MIDI zariadení už bol vysvetlený v kapitole 1.2.1, kde je potrebné káblom prepojiť výstup MIDI Out zariadeniu, ktoré MIDI správy produkuje na vstup MIDI In zariadeniu ktoré MIDI správy prijíma a následne spracováva. Čo však v prípade ak je potrebné medzi sebou prepojiť viacero zariadení? V tom prípade sa využíva metóda, ktorá sa nazýva Daisy Chaining Devices alebo v preklade Reťazenie zariadení. [1]

Táto metóda umožňuje predávať informácie jedného riadiaceho nástroja (Mastera) ostatným podradeným zariadeniam (Slaveom). Z dôvodu, že v MIDI putujú informácie sériovo dochádza pri veľkých dĺžkach k oneskoreniam príchodu MIDI správ. Preto bolo zavedené základné pravidlo reťazenia zariadení, ktoré hovorí, že maximálny počet zariadení prepojených týmto spôsobom by mal byť limitovaný na 3 zariadenia. Ak by bolo predsa len nutné pripojiť viacero zariadení využívajú sa nato špeciálne zariadenia, ktoré sa nazývajú MIDI Merge Boxy. [1]

Ako je možné vidieť na obrázku 1.8 zariadenie Master, ktoré produkuje dané MIDI správy ich vysiela na MIDI Out výstup, ktorý je následne prepojený na Slave zariadenie do MIDI In vstupu. Každé ďalšie zariadenie bude dostávať informáciu



Obr. 1.8: Prepojenie MIDI zariadení pomocou metódy Daisy Chain

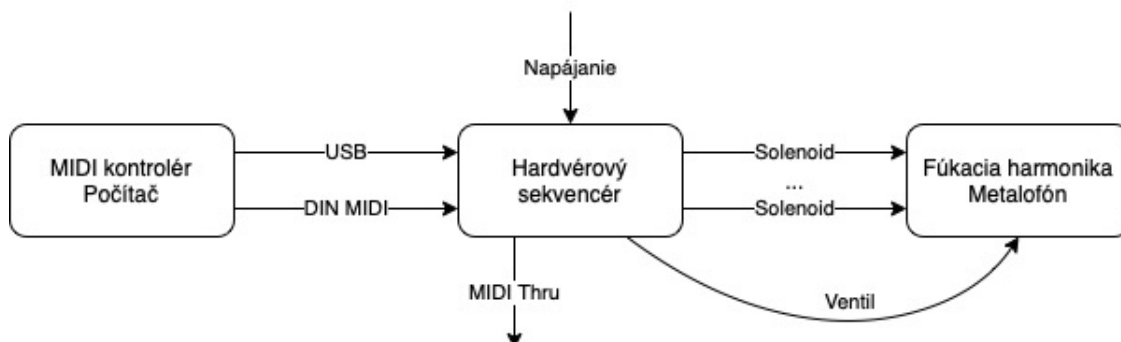
od Master zariadenia z predošlého Slave zariadenia prostredníctvom MIDI Thru, ktoré je pripojené na MIDI In prijacieho zariadenia. V tomto prípade dokáže Master zariadenie ovládať ďalšie reťazené zariadenia, pričom každé zo zariadení ma pridelený príslušný MIDI kanál. [1]

## 1.6 Prieskum trhu

Keďže sa na účely ktoré popisuje táto diplomová práca nepoužívajú komerčné riešenia, nedal sa teda spraviť prieskum trhu podobných zariadení. To znamená, že pre túto konkrétnu úlohu je potrebné vymyslieť prisôsobené zariadenie danému účelu.

## 2 Koncept systému

Táto kapitola sa bližšie pozrie na prvotný koncept celého systému. Popíše základné požiadavky na návrh systému tak, aby výsledné zariadenie bolo možné implementovať aspoň na dva rôzne hudobné nástroje. Funkcionalita celého systému je ukázaná na nasledujúcom blokovom diagrame na obrázku 2.1.



Obr. 2.1: Obrázok blokového diagramu systému

Cieľom tejto práce je vytvorenie harvérového sekvencéra, ktorý bude istým spôsobom schopný ovládať fúkaciu harmoniku a metalofón. Harvérový sekvencér bude prijímať MIDI správy buď z počítača (prostredníctvom DAW softvéru) alebo z MIDI kontroléru. Sekvencér bude prijímať tieto správy buď prostredníctvom DIN MIDI (na zásuvku MIDI In) alebo prostredníctvom USB rozhrania (na zásuvku USB B). Samozrejme takýto harvérový sekvencér musí byť istým spôsobom aj napájaný. Tento harvérový MIDI sekvencér bude obsahovať aj MIDI Thru zásuvku (ktorá bola bližšie popísaná v kapitole 1.2.3) z dôvodu kooperácie a komunikácie s inými MIDI zariadeniami.

### 2.1 Riadené zariadenia

Hardvérový sekvencér, ako opisuje zadanie práce má byť schopný ovládať minimálne dva rôzne mechanické hudobné nástroje. V tejto práci budú riadené zariadenia fúkacia harmonika a metalofón.

#### 2.1.1 Fúkacia harmonika

Fúkacia harmonika je hudobný nástroj, ktorý sa podobá klasickej klaviatúre no na rozozvučanie jednotlivých tónov je potreba taktiež priviesť aj vzduchový vstup do

tohto hudobného nástroja, ktorý je za bežných okolností privedený z úst hudobníka obsluhujúceho tento nástroj.

Konkrétna fúkacia harmonika, ktorá bude v tejto práci používaná je harmonika typu Hohner Student 32 Melodika, ktorá už ako názov napovedá má 32 klávesov [7].



Obr. 2.2: Fúkacia harmonika Hohner Student 32 Melodika

Keďže táto fúkacia harmonika musí byť istým spôsobom riadená, bol na ňu pridaný mechanický modul, ktorý pozostáva zo solenoidov, ktoré sú pripevnené na drevené klapky. Po zopnutí solenoidu sa teda spomínaná drevená klapka zovrie a tým pádom tak zatlačí klávesu na fúkacej harmonike. Pomocou spínania a rozpínania určitých solenoidov v určitom čase je teda možné stláčať dané klávesy tejto fúkacej harmoniky. Ďalej pre správnu funkčnosť je potrebné priviesť vzduchový vstup pomocou vzduchového čerpadla a regulačného ventilu (ventil bude bližšie popísaný v kapitole 3).

### 2.1.2 Metalofón

Druhý hudobný nástroj ktorý má byť riadený vytvoreným hardvérovým sekvencérom má byť metalofón (zvonkohra). Pojem metalofón definuje akýkoľvek hudobný nástroj, ktorého časť nástroja ktorá vydáva zvuk je kus kovu. Môžu to byť kovové tyčky, rúrky či dosky. Zvyčajne sa na tento hudobný nástroj udiera akýsiami paličkami po práve kovových prvkoch tohoto nástroja. [8]

Ako je možné vidieť na obrázku 2.3, metalofón pozostáva z dvoch oktáv kovových doštičiek. Jedna oktava predstavuje 12 poltónov, takže v tomto prípade bude treba 25 kovových doštičiek, pretože pri hudobných nástrojoch sa často pridáva ešte 1 poltón z vyššej oktávy a výnimkou nie je ani tento metalofón. Keďže ako tomu bolo už aj pri fúkacej harmonike aj tento metalofón musí byť istým spôsobom riadený. Pod každou kovovou doštičkou sa nachádza lineárny solenoid s pružinou, na ktorého



Obr. 2.3: Metalofón použitý v tejto práci

vrchole sa nachádza drevená gulička. Solenoidy piest sa po privedení napätia zovrie čo spôsobí to, že drevená gulička sa od kovovej doštičky vzdiali. Následne po odpojení napájacieho napätia solenoidu silou pružiny drevená gulička narazí zo spodu na kovovú plôšku a to následne rozozvučí daný tón metalofónu.

## 2.2 Akčné členy

Akčné členy celého tohto systému nesú zodpovednosť za obsluhu ovládania jednotlivých hudobných nástrojov. V oboch prípadoch budú teda hudobné nástroje riadené solenoidmi, ktoré sa postarajú o to, že sa zahrá daný prislušný tón. To v čom sa však budú líšiť, sú ich dynamické vlastnosti. Ak sa spomenie pojem dynamika pri hudobných nástrojoch myslí sa tým, že v závislosti ako intenzívne hudobník zahrá na klávesy alebo napríklad brnkne do struny zareaguje daný hudobný nástroj, čiže ako hlasno daný tón vyprodukuje. V jednoduchosti ak hudobník stlačí kláves klaviatúry malou silou, vyprodukuje sa zvuk s nižšou hlasitosťou ako keby stlačil kláves viac intenzívnejšie.

Pri fúkacej harmonike je intenzita závislá na prívode vstupného vzduchu. V prípade fúkacej harmoniky treba počítať s pridaním akéhosi vzduchového ventilu pre nastavovanie intenzity vzduchu.

Pri metalofóne nie je potrebné pridávať žiadne ďalšie zariadenie. Dynamiku



zvuku bude totiž určovať fakt, ako veľmi sa daný solenoid s drevenou guľičkou zavrie. Keďže pre napájanie solenoidov sa používa v podstate len dvojstavové riadenie (buď sa na solenoid privedie 24 V alebo 0 V), bude potrebné využiť tzv. pulzne šírkovú moduláciu signálu.

## 2.3 Riadiaci systém

Celý tento systém (hardvérový sekvencér) bude riadený mikroprocesorom osadeným na doske plošného spoja. Keďže ako bolo spomenuté v kapitole 1.6 na danú konkrétnu aplikáciu neexistuje už hotové vytvorené riešenie, preto je potrebné vytvoriť prispôbenú dosku plošného spoja danému systému. Táto doska bude ďalej obsahovať USB a MIDI konektory pre možnosť pripojenia MIDI zariadenia alebo počítača pre prijímanie MIDI správ a následne spracúvanie. Na doske nebudú chýbať ani výstupné svorkovnice, do ktorých sa napoja jednotlivé solenoidy pre obsluhu konkrétneho mechanického hudobného nástroja. Solenoidy je potreba spínať s vyšším napätím, akým je napätie logického výstupu mikroprocesoru a z toho dôvodu netreba zabudnúť aj na pridanie integrovaných obvodov tranzistorových spínačov pre spínanie daných solenoidov.

## 2.4 Požiadavky systému

Nato, aby bolo možné vybrať konkrétne súčiastky do daného riadiaceho systému je potrebné si ujasniť určité požiadavky, ktoré umožnia správny chod tohoto systému. Medzi hlavné požiadavky patria:

- Mikroprocesor s dostatočným počtom GPIO výstupov a s minimálne 2x UART rozhraním
- MIDI DIN a USB konektor
- Prúdovo musí zvládnuť záťaž v podobe solenoidov
- Schopný ovládať vzduchový ventil

## 3 Hardvér

Táto kapitola bude zameraná na celkový návrh hardvérového systému. Po prieskume daných problematík bude realizované vhodné zvolenie jednotlivých komponentov ktoré budú neskôr implementované do návrhu dosky plošného spoja. V rámci návrhu dosky plošného spoja bude ako prvá vytvorená elektrická schéma obsahujúca dané komponenty. Následne sa tieto komponenty strategicky rozmiestnia a vytvoria sa medzi týmito komponentami vodivé čiary odpovedajúce zapojeniu podľa elektrickej schémy.

### 3.1 Návrh systému

Pred samotným návrhom DPS je vhodné si dopredu rozmyslieť aké komponenty budú v tomto systéme použité. Komponenty sa vyberajú na základe určitých parametrov a vlastností ktoré sú bližšie odôvodnené pri opise daného komponentu.

#### 3.1.1 Voľba vhodných komponentov

##### Mikroprocesor

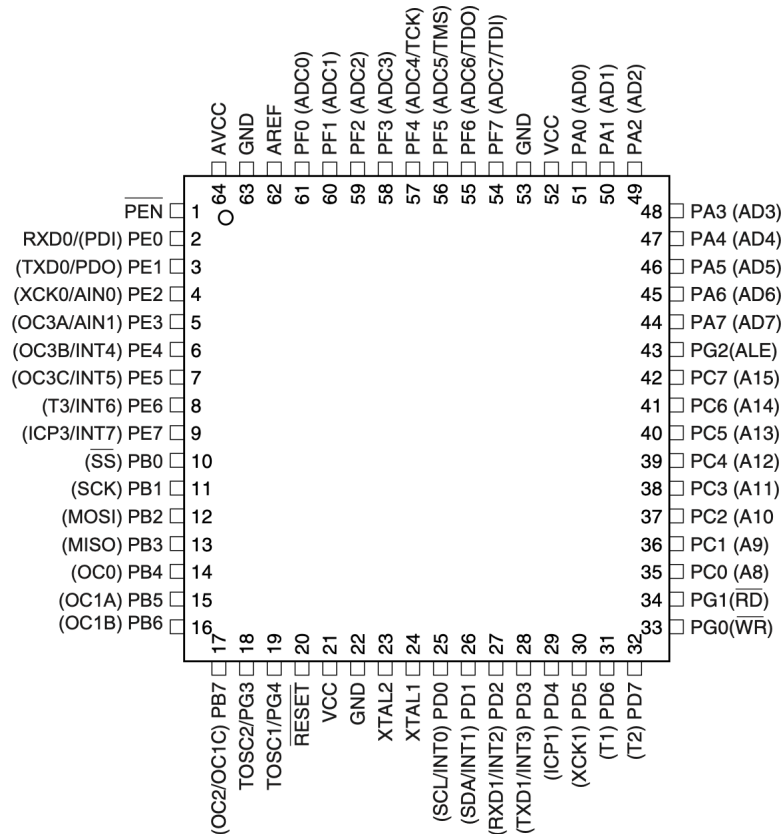
Keďže ako hlavný prvok riadiaceho systému daného projektu je práve mikroprocesor, bolo by vhodné túto súčiastku zvoliť ako prvú. Prvotným nápadom bolo zvolenie mikroprocesoru ATmega 2560 od firmy Atmel, keďže sa jedná o procesor, ktorý je používaný vo viacerých možných vývojových doskách (napríklad Arduino Mega 2560) a preto by nebol problém nájsť elektrické schémy obsluhy tohoto procesora a zároveň rôzne knižnice a manuály. No vzhľadom na situáciu vo svete (nedostatok mikroprocesorov tohoto typu) bol po dôkladnom overení a konzultácií zvolený mikroprocesor ATmega64A. Ako bolo spomenuté v požiadavkách systému, mikroprocesor musí obsahovať dostatočný počet GPIO (General Purpose Input Output) pinov pre pripojenie solenoidových cievok a zároveň byť vybavený dvomi UART rozhraniami pre komunikáciu prostredníctvom MIDI DIN a USB rozhrania. Mikroprocesor ATmega64A disponuje práve dvomi UART rozhraniami a to na pinoch 2 (RX0), 3 (TX0), 27 (RX1) a 28 (TX1) ako je možné vidieť na obrázku 3.1. [9]

UART (universal asynchronous receiver-transmitter) je jeden z najviac používaných protokolov medzi prepojením jedného zariadenia s druhým. Jedná sa o sériovú komunikáciu, kde jednotlivé dátové bity sa posielajú jeden za druhým po jednom vodiči. Bity sa stále posielajú od najmenej významného bitu (LSB) po najvýznamnejší bit (MSB). UART využíva dva vodiče pre komunikáciu s druhým zariadením. Jeden vodič je zapojený z TX na RX druhého zariadenia a druhý vodič naopak (z

TX druhého zariadenia na RX prvého). Komunikácia UART dokáže fungovať v 3 módoch a to: [10] [11]

- Simplex - informácia je posielaná iba jedným smerom
- Half-duplex - informácia dokáže byť posielaná oboma smermi ale iba jedným smerom v daný okamih
- Full-duplex - informácia dokáže byť posielaná oboma smermi v daný okamih

Mikroprocesor ATmega64A od firmy Atmel disponuje 53 programovateľnými GPIO pinmi. Keďže z dvoch spomínaných nástrojov (fúkacej harmoniky a metalofónu) má fúkacia harmonika 32 klávesov, bude mikroprocesor ATmega64A svojimi programovateľnými GPIO pinmi postačovať. Aby bol celý systém ešte viac univerzálnejší a robustnejší, pri navrhovaní elektrickej schémy a zároveň aj dosky plošného spoja sa brali do úvahy 3 plné hudobné oktávy (37 poltónov), keďže fúkacia harmonika obsahuje iba 2,5 celej hudobnej oktávy, takže vytvorený hardvérový sekvencér bude schopný obsluhovať 37 solenoidových cievok.



Obr. 3.1: Funkcie výstupných pinov mikroprocesora ATmega 64A

Tento mikroprocesor ATmega64A bude osadený na vytvorenej doske plošného spoja v púzdre TQFP spolu so všetkými potrebnými súčiastkami pre jeho obsluhu.

Celú elektrickú schému spolu s navrhnutou doskou plošného spoja je možné nájsť v prílohách tejto práce.

## Solenoidy

Solenoid je istý typ elektromagnetu, ktorý sa skladá z cievky a posúvneho feromagnetického piestu vo vnútri tejto cievky. Bez napájania je časť feromagnetického piestu vysunutá von z cievky. Po pripojení požadovaného napätia sa na cievke začne indukovať napätie, čo spôsobí vytvorenie elektromagnetického poľa a následne spomínaný feromagnetický piest vtiahne do vnútra cievky. [12] [13]

Obe zo spomínaných mechanických hudobných nástrojov obsahujú totiž tieto solenoidové cvievky pre ich obsluhu. Na fúkacej harmonike sa nachádzajú solenoidy od výrobcu Saia-Burgess typu 195224-233. Technické parametre tohto druhu solenoidu sú spísané v tabuľke 3.1. [14]

Tab. 3.1: Popis technických parametrov solenoidov prvého typu

<b>Výrobca</b>	SAIA-BURGESS
<b>Typ elektromagnetu</b>	Ťažný
<b>Napájacie napätie</b>	24V
<b>Magnetická sila</b>	12.8N

Druhý typ solenoidu ktorý sa nachádza na mechanickej časti obsluhy metalonónu je lineárny solenoid od firmy BLP a výrobným číslom 250-0726. Technické parametre tohto druhu solenoidu sú spísané v tabuľke 3.2. [15]

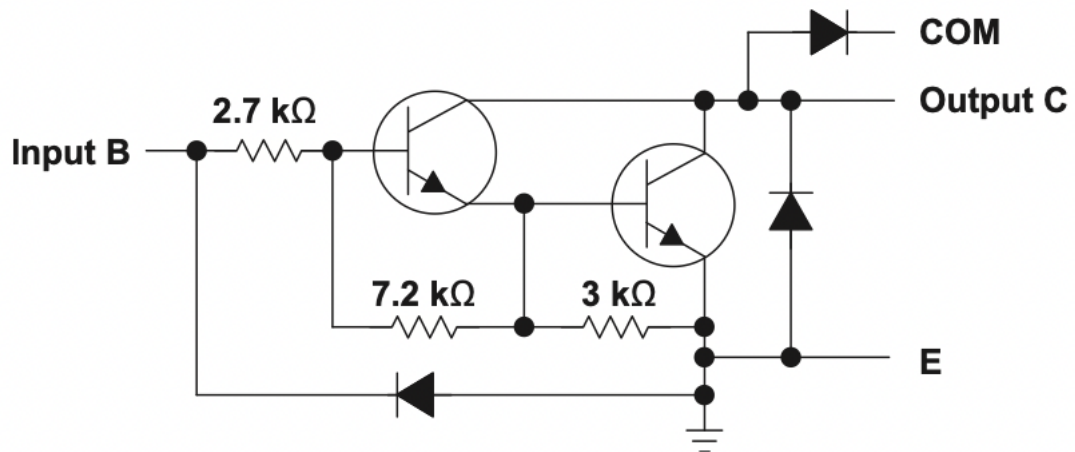
Tab. 3.2: Popis technických parametrov solenoidov druhého typu

<b>Výrobca</b>	BLM
<b>Typ elektromagnetu</b>	Ťažný
<b>Napájacie napätie</b>	24V
<b>Maximálny zdvih</b>	10mm
<b>Rozmery</b>	37 x 20.3 x 26 mm

## Tranzistorový spínač

Keďže logický výstup z mikroprocesoru nestačí na spínanie samotných solenoidových cievok bude musieť byť do systému implementovaný istý druh tranzistora pre spí-

nanie týchto cievok. Pre tento systém bude využité tzv. Darlingtonové tranzistorové pole vo forme integrovaného obvodu ULN2803ADW. V jednom tomto integrovanom obvode sa nachádza 8 takýchto tranzistorových spínačov v Darlingtonovom zapojení. Darlingtonové zapojenie pozostáva z dvoch bipolárnych NPN tranzistorov s emitorom jedného tranzistora zapojeného v báze druhého rezistora. To spôsobuje, že prúd zosilnený prvým tranzistorom je ďalej zosilnený druhým tranzistorom pre väčší prúdový zisk. Na každom z týchto 8 tranzistorov je pripojená aj ochranná dióda proti prepätiu. Vnútorne zapojenie jedného z týchto 8 tranzistorových spínačov je zobrazené na obrázku 3.2.



Obr. 3.2: Zapojenie tranzistorov v integrovanom obvode ULN2803ADW

Technické parametre tohto druhu integrovaného obvodu sú spísané v tabuľke 3.3. [16]

Tab. 3.3: Popis technických parametrov integrovaného obvodu ULN2803ADW

Výrobca	Texas Instruments
Maximálne napätie na C-E	50V
Maximálne vstupné napätie	30V
Maximálny výstupný prúd	500mA
Počet tranzistorových spínačov	8

## USB

Do harvérového sekvencéru sa informácie budú posielat buď skrz DIN MIDI alebo USB. Kedže vybratý mikroprocesor ATmega64A nemá v sebe zabudovaný prevodník USB na UART, bude musieť byť do obvodu externe zakomponovaný. Prvotným nápadom bol prevodník FT232, ktorý sa používa vo väčšine embedeed zariadeniach. Lenže z dôvodu nedostatku týchto prevodníkov na trhu, musela byť zvolená alternatíva v podobe USB na UART prevodníku s názvom CP2102 od firmy Silicon Labs.

## DIN MIDI

Hardvér pre DIN MIDI rozhranie systému je už v podstate popísaný v kapitole 1.2.3 na obrázku 1.3. MIDI zásuvky, ktoré boli v tomto systéme použité sú 5 pinové 180°DIN zásuvky od spoločnosti CONNFLY. Optočlen tohoto systému bol zvolený 6N138 v THT verzii, pretože aj samotné odborné články MIDI organizácie udávajú tento optočlen ako vhodnú voľbu. Funkciu integrovaného obvodu v tejto DIN MIDI sekcii bude tvoriť Schmittov klopný obvod v integrovanom obvode 74HC14, ktorý obsahuje 6 klopných obvodov v jednom puzdre.

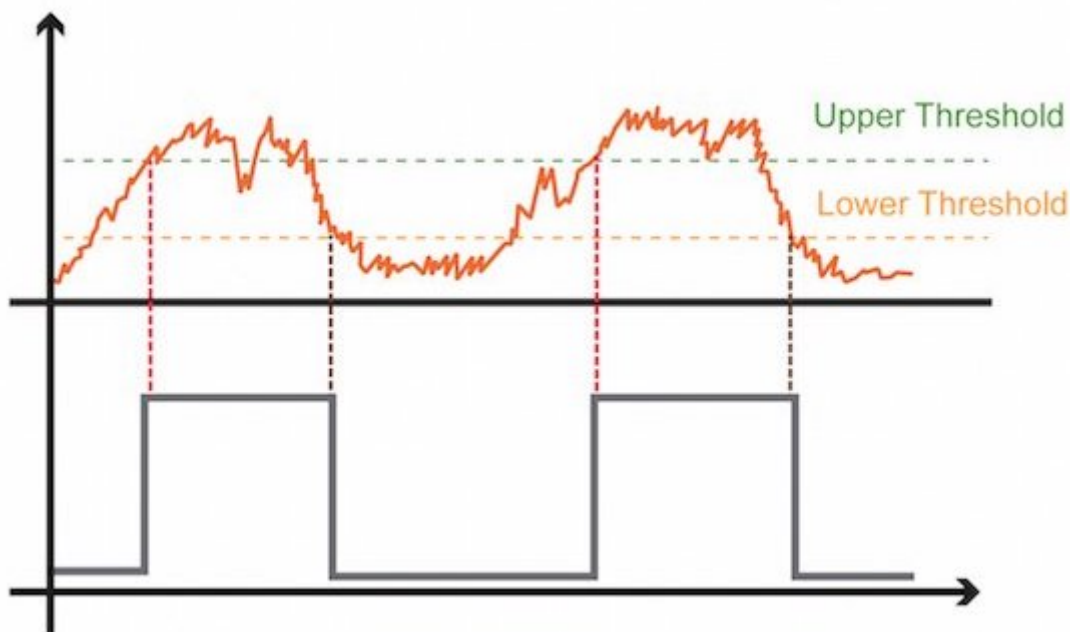
Schmittov klopný obvod je komparátor, ktorý využíva pozitívnu spätnú väzbu (malé zmeny na vstupe vedú k veľkým zmenám na výstupe v rovnakej fáze) na implementáciu hysterézie (výrazné slovo pre oneskorenú akciu) a používa sa na odstránenie šumu z analógového signálu pri jeho konverzii na digitálny. Práve tá vlastnosť odstraňovania šumu bude pre tento systém dôležitá. Schmittov klopný obvod teda zo zašumeného analógového signálu dokáže spraviť dvojstavový signál o spodná aj vrchná hranica je nastavená na určitých prahových hodnotách. Kedže bude v tejto práci použitý integrovaný obvod 74HC14, bude potrebné zapojiť 2 časti tohto integrovaného obvodu sériovo z dôvodu, že sa jedná o invertujúci Schmittov klopný obvod. Funkcionalita Schmittovho klopného obvodu je názorne vysvetlená na obrázku 3.3.

## Ventily

Regulátor tlaku obsahujúci ventil bude v tomto systéme slúžiť pre reguláciu tlaku vzduchu, ktorý bude privádzaný do fúkacej harmoniky pre nastavovanie dynamiky zahraného tónu. Presný typ regulátoru, ktorý bude použitý v tomto systéme je ITV1030-31F1N-X154 od firmy SMC. Z datasheetu od výrobcu je možné podľa názvu vydedukovať aké vlastnosti tento daný typ regulátoru má. Tieto technické parametre sú spísané v tabuľke 3.4. [17]

Bloková schéma funkcionality tohoto ventilu je zobrazená na obrázku 3.4.

Ako je vidieť z obrázku, regulátor disponuje dvomi solenoidivými ventilmi a to napúšťacím a vypúšťacím. Keď sa vstupný signál zvýši, elektromagnetický ventil

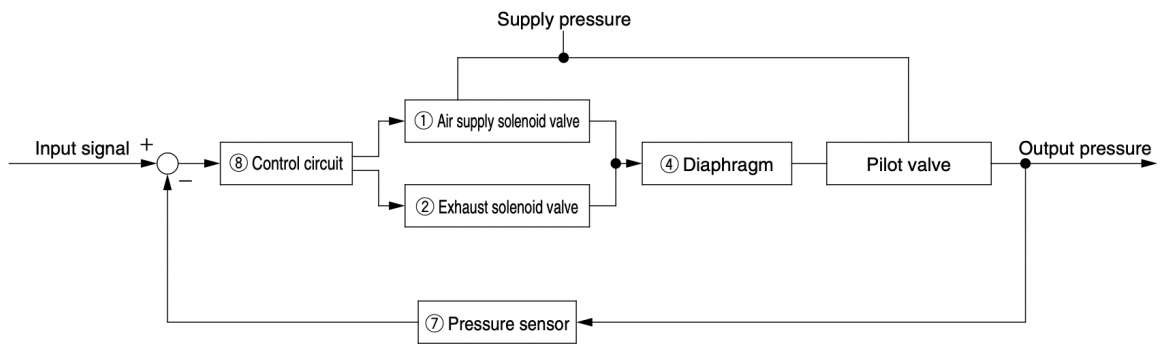


Obr. 3.3: Činnosť Schmittovho klopného obvodu

Tab. 3.4: Popis technických parametrov regulátoru ITV1030-31F1N-X154

Séria	1000
Rozsah tlaku	0.005 až 0.5MPa
Napájacie napätie	24 VCD $\pm$ 10 %
Výstupný signál (spätná väzba)	1 - 5VDC
Linearita	$\pm$ 1%
Hysterézia	0.5%
Opakovateľnosť	$\pm$ 0.5%
Senzitivita	0.2%

prívodu vzduchu sa **zapne** a elektromagnetický ventil výfuku sa **vypne**. Prívodný tlak prechádza cez solenoidový ventil prívodu vzduchu a je aplikovaný do riadiacej komory. Tlak v pilotnej komore sa zvyšuje a pôsobí na horný povrch membrány. V dôsledku toho sa ventil prívodu vzduchu spojený s membránou otvorí a časť prívodného tlaku sa stane výstupným tlakom. Tento výstupný tlak sa vracia späť do riadiaceho okruhu cez snímač tlaku. Tu funguje správna prevádzka, kým výstupný tlak nie je úmerný vstupnému signálu, čo umožňuje vždy získať výstupný tlak úmerný vstupnému signálu.[17]



Obr. 3.4: Blokový diagram funkčnosti ventilu TV1030-31F1N-X154

### Rotačný enkóder a displej

Aby sa mohol celý systém aj nejak ovládať bol do neho pridaný rotačný enkóder a grafický displej. Rotačný enkóder je niečo ako nekonečný potenciometer, ktorý slúži na zisťovanie polohy natočenia alebo na zistenie smeru rotácie tohoto enkóderu. Tento enkóder bude v celom systéme slúžiť ako ovládací prvok pre nastavovanie rôznych parametrov ako napríklad nastavenie MIDI kanálu alebo pre zapnutie a vypnutie signalizačných LED diód. Pre tento systém bol zvolený inkrementálny enkóder s 20 impulzmi na otáčku, ktorý je navyše disponuje aj funkciou stláčania, preto na svoju obsluhu potrebuje 5 kontaktov.

Technické parametre tohto druhu rotačného enkóderu sú spísané v tabuľke 3.5. [18]

Tab. 3.5: Popis technických parametrov rotačného enkóderu

<b>Počet kontaktov</b>	5
<b>Pracovná teplota</b>	-10°C až 50°C
<b>Menovitý prúd</b>	10mA
<b>Menovité napätie</b>	5V
<b>Elektrická životnosť</b>	30 000 cyklov

Displej v celom systéme bude slúžiť ako istý druh grafického zobrazenia pre možnosť nastavovania istého druhu parametrov pomocou vyššie spomínaného enkóderu. Operátor bude môcť na ňom vidieť hodnotu daného parametru alebo aj v akej úrovni daného menu sa nachádza. Pre lepšie grafický zážitok z ovládania tohoto celkového systému bol zvolený grafický OLED displej s rozlíšením 128x64 pixelov, ktorý bude komunikovať s mikroprocesorom prostredníctvom I2C.

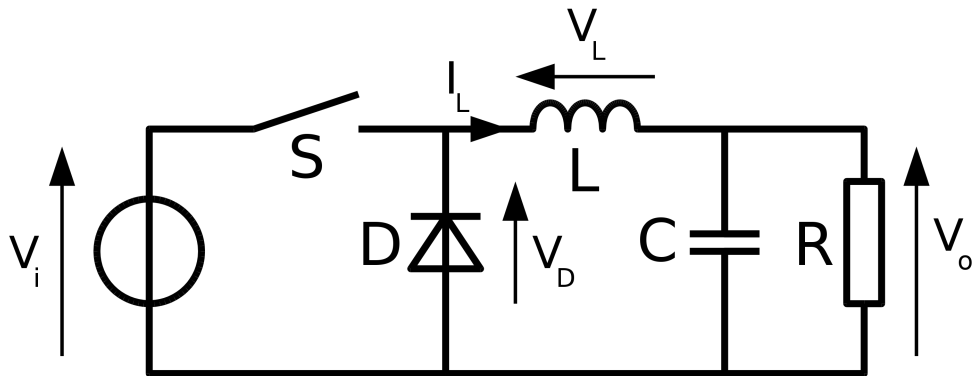


## DC-DC menič

Rôzne prvky systému budú potrebovať rôzne napájacie napätia. Solenoidy potrebujú pre svoju obsluhu 24V, logika mikroprocesoru je 5V a regulačný ventil potrebuje hodnoty v rozmedzí 0-10V. Prvotný nápad bol využitie stabilizátoru napätia no po konzultácií sa zistilo, že sa nejedná o najlepšie riešenie z dôvodu, že pri zmene napätia z 24V na 5V pomocou stabilizátoru napätia sa 19V zmení na teplo a mohlo by to ovplyvňovať chod celého systému.

DC-DC menič, ktorý bol použitý v tomto systéme má je označovaný ako step-down menič alebo tiež ako buck converter (znižovací menič). Je to taký druh DC-DC meniča, ktorý má na vstupe väčšie napätie ako na jedno výstupe. Tento druh meniča má zároveň aj veľmi dobrú efektivitu a to často aj nad 90%. [19]

Činnosť takéhoto step-down meniča je možné najlepšie pochopiť z obrázku 3.5.

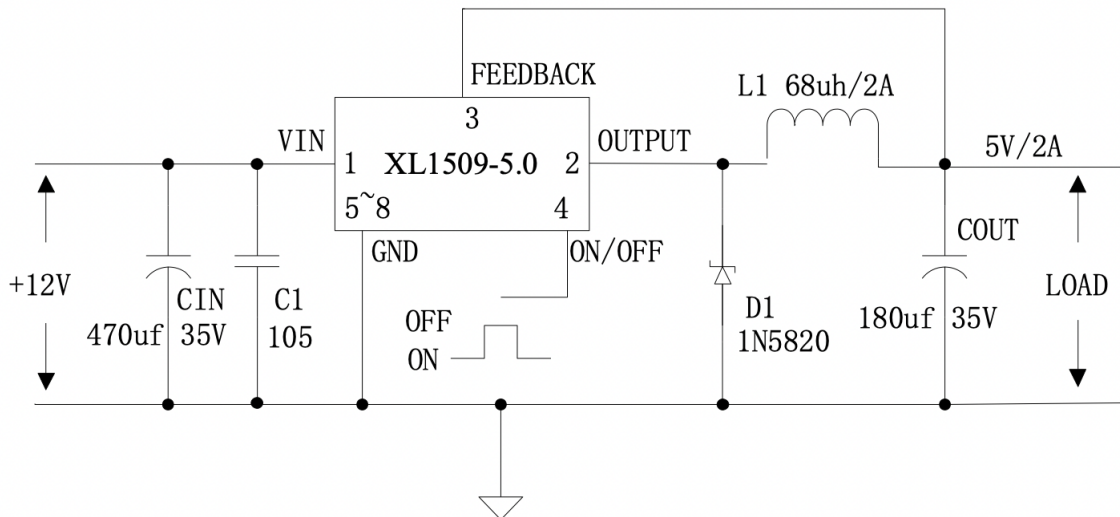


Obr. 3.5: Elektrická schéma step-down meniča

V stave keď je spínač  $S$  zapnutý, obvodom začne pretekať prúd  $I_L$ . Ako bude prúd  $I_L$  pretekať cievkou, začne sa na cievke indukovať magnetické pole. Čím väčší prúd bude pretekať cievkou, tým väčším magnetickým poľom sa cievka nabije. Cievka v tomto momente začne pôsobiť voči zmene napätia, ktorú ju vyvolala. Bude teda pôsobiť proti napätiu  $V_i$  svojím napätím  $V_L$ . V ten moment bude napätie na záťaži  $V_o$  výsledkom odčítania napätia  $V_i$  a napätia  $V_L$ . V momente ak cievkou preteká prúd, bude prúd pretekať aj kondenzátorom  $C$ , ktorý sa bude nabíjať a zároveň bude pretekať aj záťažou  $R$ . Dôležité je tiež poznamenať, že diódou  $D$  nebude pretekať žiaden prúd pretože je zapojená v závernom smere. V stave ak sa spínač  $S$  rozopne, začne prúd cievkou klesať a tým pádom bude klesať aj vygenerované magnetické pole. Zároveň napätie na cievke zmení svoju polaritu a začne sa správať ako zdroj prúdu ktorý bude napájať cievku a záťaž. Týmto zapínaním a vypínaním spínača  $S$

sa pri step-down meniči docieli to, že výstupné napätie bude menšie ako vstupné. [19]

V tomto systéme bol zvolený DC-DC menič typu XL1509-5.0E1. Jedná sa o DC-DC menič, ktorý ak je zapojený podľa schémy zapojenia 3.6, bude na svojom výstupe produkovať napätie 5V.



Obr. 3.6: Elektrická schéma pred XL1509-5.0E1 DC-DC menič

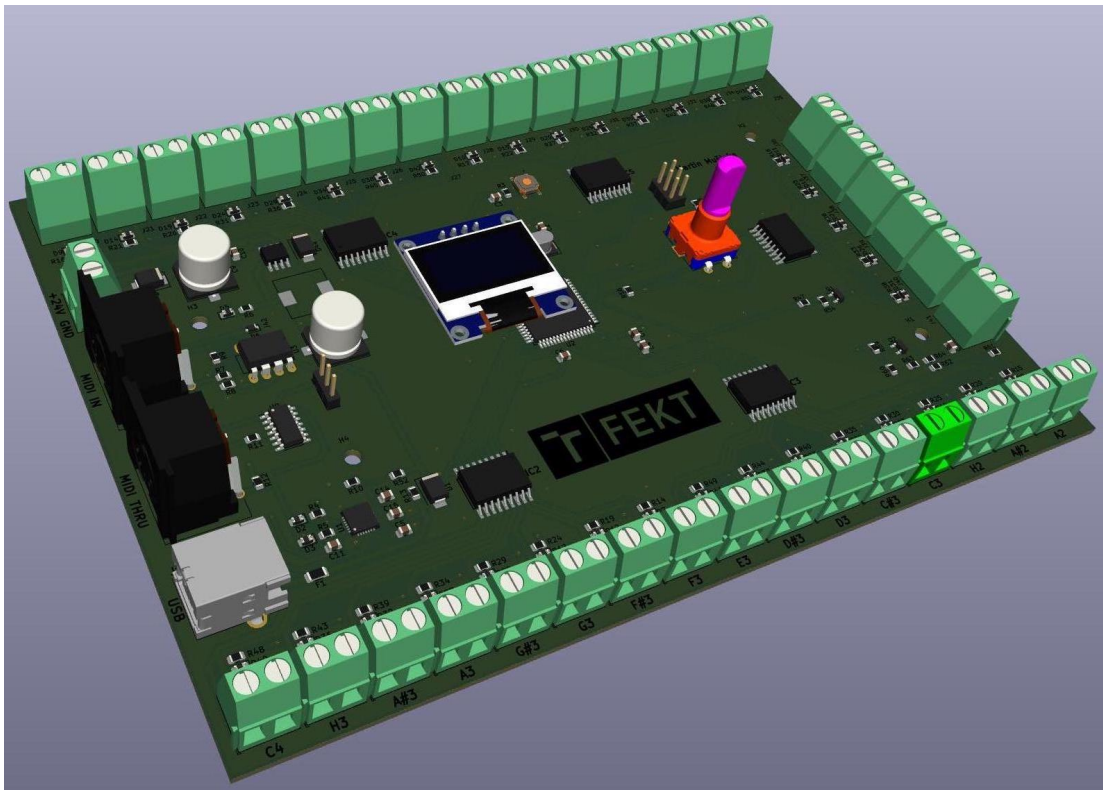
Pre vytvorenie napätia 0-10V pomocou, ktoré je možné ovládať regulátor vzduchu bol navrhnutý odporový delič spolu s R-C, filtrom ktorý má simulovať DAC (digital to analog converted).

### 3.1.2 Návrh dosky plošných spojov

Na trhu existuje množstvo rôznych softvérových riešení pre navrhovanie plošných spojov. Po konzultácií a odporúčaní bude doska plošného spoja navrhovaná prostredníctvom open-source softvéru s názvom KiCad. Kedže je tento softvér typu open-source nie je potrebné tento produkt nijakým spôsobom kupovať alebo licencovať a preto sa javí ako najlepšie riešenie. Tento softvér disponuje možnosťou návrhu elektrickej schémy, samotného rozloženia dosky plošného spoja a zároveň aj vygenerovaním 3D modelu ktorý zobrazuje ako bude výsledný produkt vyzeráť.

Pri návrhu elektrickej schémy sa vychádzalo z dostupných datasheetov jednotlivých komponentov a schém zapojení iných vývojových dosiek, ktoré obsahovali tieto komponenty. Pri návrhu dosky plošného spoja sa kladol dôraz aj na estetiku. Taktiež hrúbky jednotlivých spojov sú prispôbené ich prúdovej záťaži. Všetkým komponentom na doske plošného spoja boli priradené aj súbory obsahujúce 3D podobizne

danej súčiastky. Výsledný produkt v podobe 3D modelu je vyzobrazený na obrázku 3.7.



Obr. 3.7: Prvotný 3D model vytvoreného systému

Tento výsledný návrh bol vytvorený za pomoci datasheetov a rôznych schém zapojení (ako už bolo spomenuté na začiatku tejto podkapitoly) no zároveň boli pri návrhu zahrnuté aj vlastné riešenia daných problematík. Po ukázaní tohoto návrhu systému a následnej konzultácií s vedúcim práce boli však zistené nedostatky a z tohoto dôvodu musel byť vytvorený nový návrh systému. Zmeny sa týkali hlavne samotnej dosky plošného spoja, no zároveň isté zmeny museli byť vykonané aj v elektrickej schéme tohoto systému. Medzi hlavné nedostatky patrili:

- Zbytočne veľké rozmery svorkovnic, ktoré viedli k zbytočne veľkej DPS.
- Osadenie enkodéru a displeja na nie veľmi prístupných miestach po aplikovaní na daný mechanický hudobný nástroj.
- Vytváranie 10V napätia z 24V napätia z napájacieho zdroja pomocou odporového deliča.
- Maximálny výstupný prúd tranzistorového spínača ktorý umožňoval zopnutie 2 z 8 pripojených solenoidov kvôli ich vysokému prúdovému odberu.

Tieto štyri nedostatky patrili medzi tie najpodstatnejšie a preto ich bolo potrebné v ďalšom návrhu systému adekvátne vyriešiť. Prvý nedostatok sa môže javiť

ako najmenej podstatný ale keďže sa DPS dával do výroby prostredníctvom JLC PCB bola cena pri štandardných rozmeroch 100x100mm podstatne nižšia a predajca si účtoval navyšujúce poplatky za každých 10mm v danom rozmere DPS a keďže bolo treba vytvoriť nový návrh systému kvôli ďalším nedostatkom, bol teda vo výslednom návrhu zapracovaný aj tento nedostatok. Riešenia daných nedostatkov boli nasledovné:

- Zmena veľkosti svorkovních a zmenšenie veľkosti daných SMD súčiastok.
- Vytvorenie dodatočného DPS s encodérom a displejom, ktorý sa do hlavného DPS pripája prostredníctvom plochého káblu s konektorom a tým pádom môže byť dodatočný DPS umiestnený v dosahu užívateľa pri aplikovaní na daný mechanický hudobný nástroj.
- Nahradenie odporového deliča operačným zosilňovačom s dvojnásobným zosilnením (popísaným bližšie v podkapitole 3.2.2).
- Nahradenie integrovaných obvodov tranzistorových spínačov za tranzistory s vyšším možným prúdovým zaťažením.

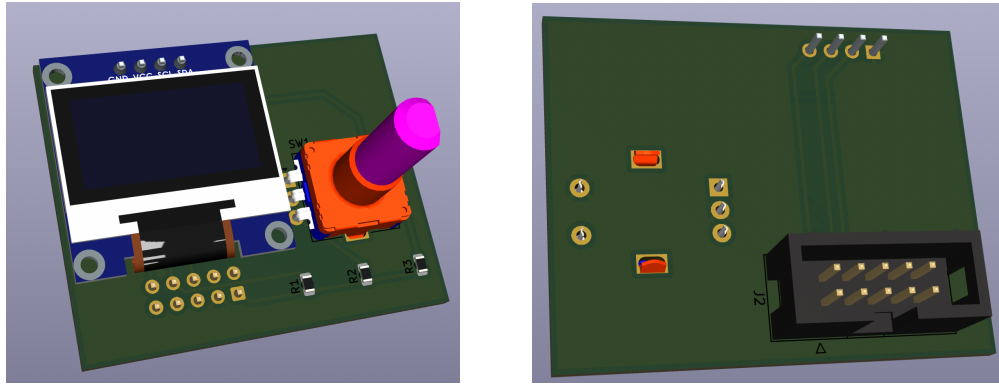
## 3.2 Návrh nového systému

Ako už je zrejmé z konca predošlej podkapitoly, hardvérový návrh mal isté nedostatky, ktoré bolo pre jeho bezpečný a spoľahlivý chod potrebné odstrániť. Prvým krokom k oprave nedostatkov bolo zvolenie nových komponentov. Nový systém tak tiež už pozostáva z dvoch dosiek plošného spoja a to z hlavnej dosky plošného spoja a dodatočnej dosky plošného spoja obsahujúcej iba enkodér a displej na zabezpečenie ovládania celého systému a konektoru typu MLW10G pre zabezpečenie prepojenia s hlavnou doskou plošného spoja. Dodatočná DPS je zobrazená z oboch strán na obrázku 3.8. Z dôvodu jednoduchosti elektrickej schémy nebude táto práca ďalej do detailov rozoberať jednotlivé celky tejto dodatočnej DPS a prejde sa na voľbu nových komponentov a návrhu hlavnej dosky plošného spoja. Elektrická schéma a samotné vyzobrazenie DPS pre dopĺňujúcu dosku sú dostupné v prílohách B.

### 3.2.1 Voľba nových komponentov

#### Operačný zosilňovač

Operačný zosilňovač alebo aj hovorovo povedané operák je typ zosilňovača zloženého z analógového obvodu (špecifické zapojenie tranzistorov, rezistorov a kondenzátorov), ktorý prijíma diferenciálny napätový vstup a na svojom výstupe produkuje špecificky zosilnené napätie. Operačné zosilňovače majú zvyčajne tri vývody: dva vysokoimpedančné vstupy a výstupný vývod s nízkou impedanciou. Operačný zosilňovač bude v tomto projekte slúžiť na zosilnenie výstupu z mikrokontroléru (PWM



Obr. 3.8: Dodatočná doska plošného spoja

signál z mikrokontroléru ktorý následne bude prechádzať skrz R-C filter, celý proces je bližšie popísaný v kapitole 3.2.2) v rozsahu 0 - 10V pre ovládanie regulačného ventilu popísaného v kapitole 3.1.1. Pre tento projekt bol zvolený operačný zosilňovač typu LM385. Technické parametre tohto operačného zosilňovača sú spísané v tabuľke 3.6.

Tab. 3.6: Popis technických parametrov operačného zosilňovača LM385

<b>Prevedenie</b>	SMD, SOIC-8
<b>Počet OZ v jednom púzde</b>	2
<b>Maximálne napájacie napätie</b>	32VDC
<b>Vstupné napätie pri napájaní jedným zdrojom</b>	3 - 32VDC

### Tranzistor pre spínanie solenoidov

Hlavným nedostatkom v predošlom návrhu systému bol fakt, že tranzistorový spínač typu ULN2803 popísaný v podkapitole 3.1.1 má maximálny výstupný prúd 500mA no odmeraný prúdový odber jednej solenoidovej cievky sa pohyboval na hodnote cca 300mA. Na tento tranzistorový spínač bolo pripojených 8 solenoidových cievok, čo by znamenalo že by sa plne zopnúť mohli len približne dva takéto solenoidové cievky. Tento tranzistorový spínač bol teda nahradený samotným tranzistorom typu AO3400A, ktorého technické parametre sú spísané v tabuľke 3.7.

Tab. 3.7: Popis technických parametrov tranzistoru AO3400A

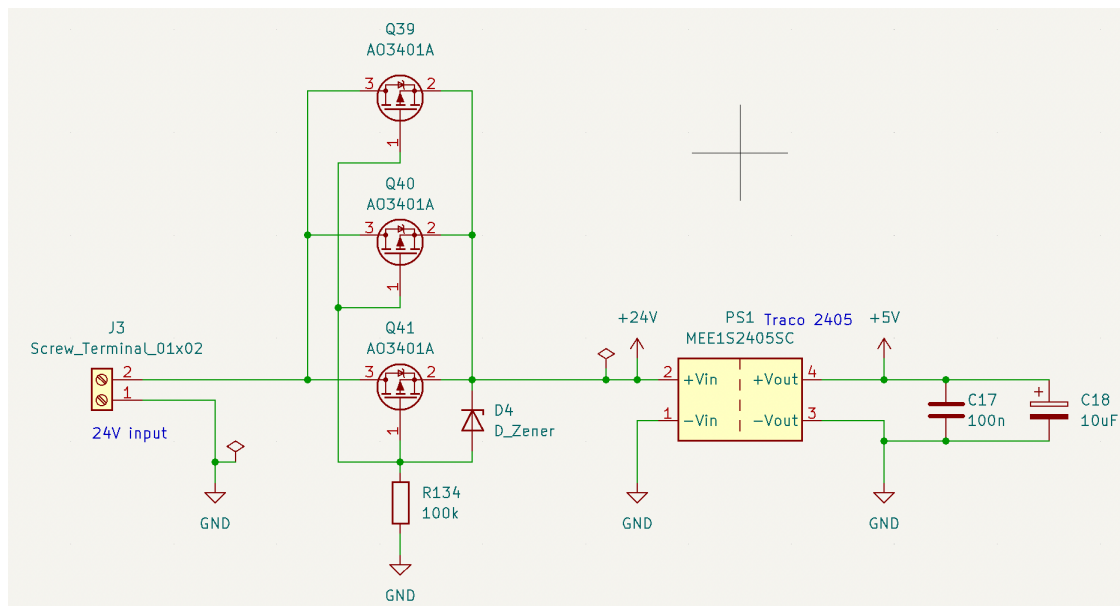
<b>Prevedenie</b>	SMD, SOT23
<b>Typ tranzistoru</b>	Unipolárny, N-kanálový MOSFET
<b>Drain-Source napätie</b>	30V
<b>Nepretržitý prúd do Drainu</b>	5.7A

### 3.2.2 Rozbor jednotlivých celkov systému

Novo vytvorený návrh systému pozostáva z určitých celkov, ktoré budú bližšie popísané v tejto podkapitole. Medzi hlavné celky patrí práve spôsob napájania, ovládanie ventilu pre určenie dynamiky tónu pre fúkaciu harmoniku a zároveň aj logika pre ovládanie solenoidových cievok.

#### Napájacia časť

Aby celý systém pracoval správne, musí byť napájaný napätím 24V, pretože toto napätie predstavuje spínacie napätie solenoidových cievok. Samotný mikroprocesor potrebuje ale na napájanie iba 5V, ktoré mu zabezpečí DC-DC po novom typu TRACO2405. Na čo je ale potreba myslieť je, že po zopnutí väčšieho množstva solenoidov bude odoberaný prúd celkom vysoký. Pre jeden solenoid to predstavuje až 300mA. Pri zopnutí všetkých 37 solenoidov by to predstavovalo prúd 11,1A a preto je potrebné zvoliť aj správnu prepäťovú ochranu. Väčšinou funkciu prepäťovej ochrany plní dioda no z dôvodu veľkého prúdového odberu a následného veľkého výkonu na tejto dióde bol v tomto projekte použitý P-kanálový unipolárny tranzistor typu AO3401A. Jeden takýto tranzistor má nepretržitý prúd Drainom (3 výstup na danom obrázku) až 4A. Tri takto paralelne zapojené tranzistory zabezpečia teda možný prúdový odber o hodnote 12A, čo teda pokryje zopnutie všetkých solenoidových cievok v rovnakom čase. Na čo však pri tomto zapojení je potrebné dať pozor je hodnota napájacieho napätia a hodnota napätia Gate-Source na danom tranzistore. V tomto prípade ak by došlo k prepólovaniu napájacieho napätia, na Gate-Source sa naindukujú hodnota vstupného napájacieho napätia. Tranzistor AO3401A má napätie Gate-Source menšie ako napájacie napätie 24V (Gate-Source napätie má hodnotu 12V) a tým pádom musí byť do obvodu pridaná zenerová dióda, ktorá zabezpečí že napätie na tranzistory medzi vývodmi Gate-Source nebude väčšie ako zenerovo napätie zenerovej diódy. Elektrickú schému pre napájaciu časť je možné vidieť na obrázku 3.9.



Obr. 3.9: Elektrická schéma napájacej časti systému

### Ovládanie ventilu

Keďže regulačný ventil použitý v tejto práci potrebuje na svojom vstupe hodnotu napätia v rozmedzí 0-10V, v novom návrhu systému sa použil operačný zosilňovač zapojený v neinvertujúcom zapojení a dvojnásobným zosilnením. Hodnota výstupného napätia operačného zosilňovača sa počíta podľa vzťahu:

$$V_{out} = A_u * (V_+ - V_-)$$

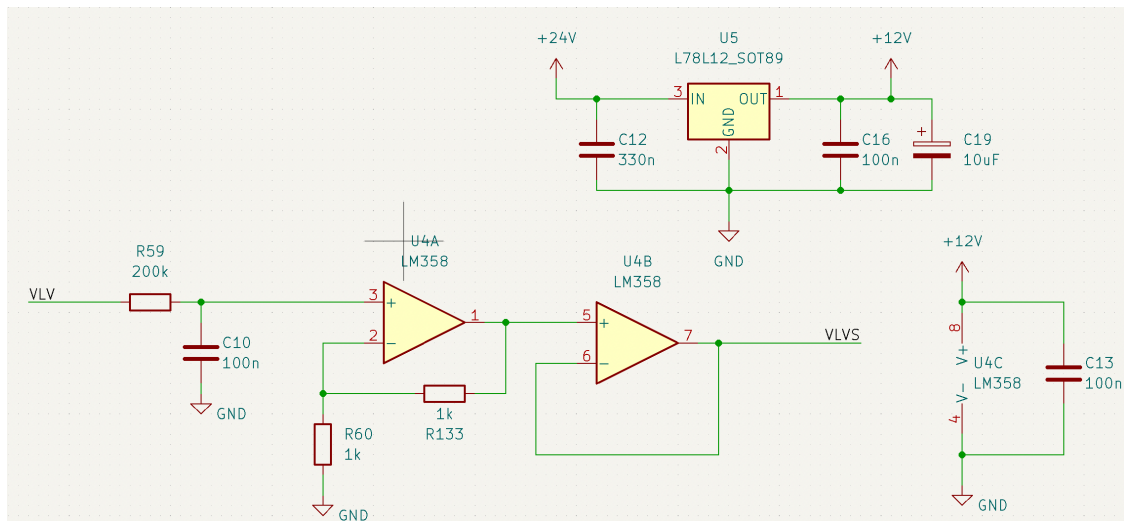
, kde hodnoty  $V_+$  a  $V_-$  sú hodnoty napätí na invertujúcom a neinvertujúcom vstupe operačného zosilňovača kde  $V_-$  predstavuje hodnotu 0V a  $V_+$  hodnotu 5V z výstupu mikroprocesoru. Aby sa teda dosiahlo napätia 0-10V musí byť hodnota  $A_u$  rovná číslu dva. Hodnota  $A_u$  operačného zosilňovača sa vypočíta podľa vzťahu:

$$A_u = 1 + \frac{R2}{R1}$$

, kde  $R2$  predstavuje spätnoväzobný rezistor a  $R1$  predstavuje rezistor pripojený medzi invertujúcim vstupom operačného zosilňovača a zemou. Už na prvý pohľad z tohoto vzorca je známe, že pomer rezistorov by mal dávať výslednú hodnotu jedna, aby sa dosiahlo dvojnásobnému zosilneniu, čo predstavuje zvolenie rovnakých hodnôt odporu daných rezistorov. Týmto spôsobom by bola hodnota napätia na výstupe operačného zosilňovača 0V alebo 10V a nie analógová hodnota v rozmedzí 0 - 10V. Tento problém sa dá však vyriešiť aplikovaním dolno-priepustného filtra (R-C filtra) na vstup neinvertujúceho vstupu operačného zosilňovača. Týmto sa zabezpečí, že

hodnoty napätia vstupujúce do operačného zosilňovača budú nadobúdať hodnoty 0 - 5V a tým pádom bude aj výstup z operačného zosilňovača v rozmedzí 0 - 10V. Následne treba vhodne zvoliť R-C článok tak, aby hodnota výsledného analogového signálu nebola veľmi zašumená. Najlepšie vlastnosti malo zvolenie rezistoru o odpore 200kOhm a kondenzátoru 100nF. Tento návrh R-C filtru bol realizovaný prostredníctvom simulačného softvéru Multisim.

Elektrická schéma ovládania regulačného ventilu pre nastavenie dynamiky fúkacej harmoniky je znázornené na obrázku 3.10.



Obr. 3.10: Elektrická schéma pre ovládanie regulačného ventilu

### Ovládanie solenoidov

Ovládanie spínania jednotlivých solenoidových cievok bolo nakoniec v tomto projekte realizované pomocou unipolárneho N-kanálového MOSFET tranzistoru AO3400A popísaného v podkapitole 3.2.1.

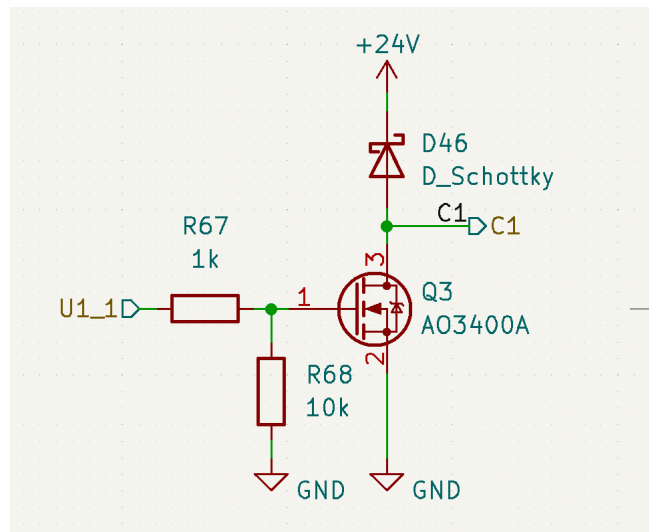
Elektrická schéma ovládania solenoidových cievok je znázornená na obrázku 3.11.

Jedná sa o zapojenie známe pod názvom "low side switch", kde je solenoid pripojený na 24V a Drain unipolárneho tranzistoru (solenoid je pripojený na mieste C1). Týmto zapojením sa po príchode log. 1 z výstupu mikroprocesoru (vstup U1\_1) tranzistor otvorí a solenoidová cievka sa pripojí na zem, čo spôsobí zopnutie solenoidovej cievky. Schottkyho dióda zapojená v závernom smere paralelne ku indukčnej záťaži (solenoidu) nesie názov "flyback diode".

Flyback diode je dióda, ktorá sa pripája paralelne k indukčnej záťaži z dôvodu, aby zabránila tzv. flyback efektu, čo predstavuje náhly skok napätia na indukčnej záťaži v prípade, ak sa napájací prúd tejto indukčnej záťaži náhle zníži alebo preruší.



Takýto napätový skok by mohol viesť k vážnemu poškodeniu tranzistora, ak na to nie je prispôbenný, preto z dôvodu bezpečnosti bola do tejto elektrickej schémy táto Schottkyho dióda pridaná.



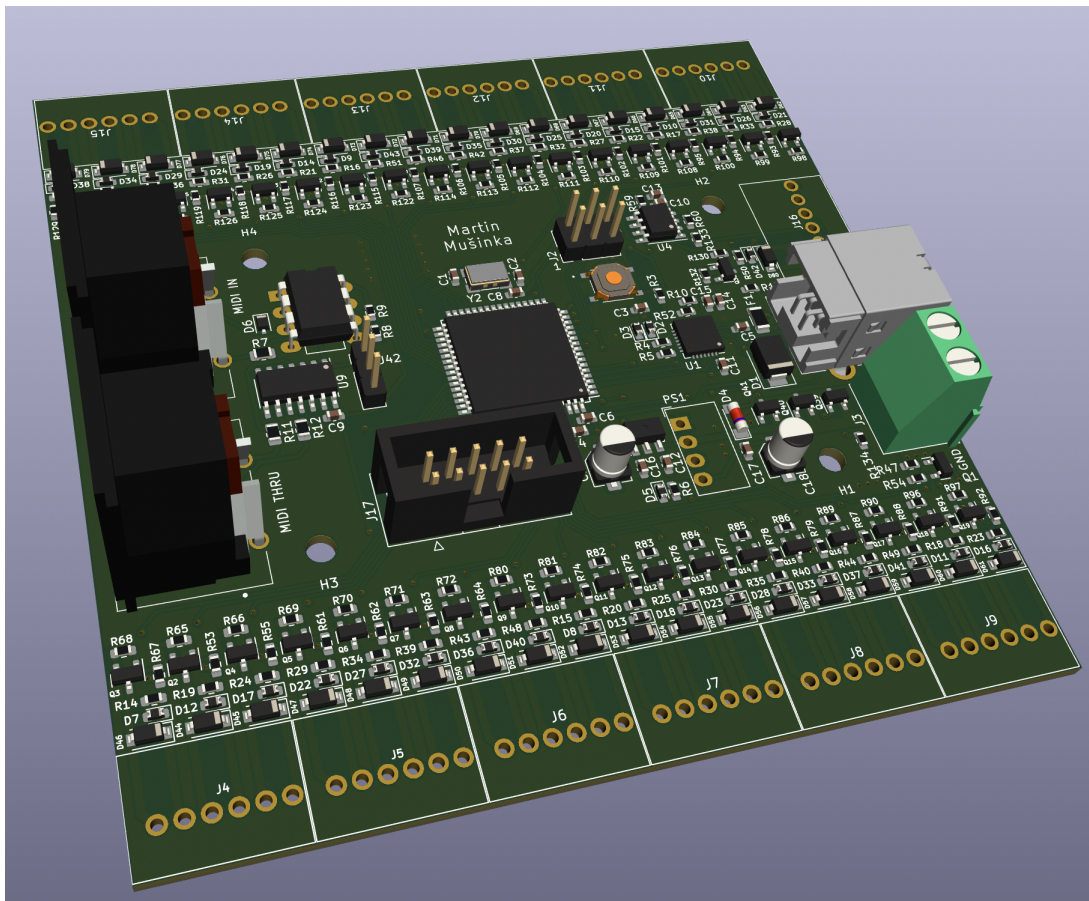
Obr. 3.11: Ovládanie solenoidových cievok

### 3.2.3 Návrh novej dosky plošných spojov

Návrh novej dosky plošných spojov prebiehal tak, ako tomu bolo pri prvom návrhu. Opäť sa využíval open-source softvér KiCad pre zostavenie elektrickej schémy, ktorej hlavné časti boli prebraté v predošlej podkapitole 3.2.2. Pre zmenšenie veľkosti DPS boli použité svorkovnice o menšej veľkosti a zároveň veľkosť bežných SMD súčiastok bola taktiež zmenšená z veľkosti 0805 na veľkosť 0603 z dôvodu ľahšieho a lepšieho usporiadávania jednotlivých komponentov na DPS. Výsledok nového návrhu hlavnej dosky plošných spojov v 3D podobe je zobrazený na obrázku 3.12. Nová DPS už obsahuje riešenie všetkých nedostatkov z prvotného návrhu. Taktiež veľkosť novej DPS je 100x100mm, čo prestavuje v konečnom dôsledku zredukovanie ceny na výrobu. Po dôkladnom skontrolovaní výberu daných komponentov a elektrických schém a následnej konzultácií s vedúcim práce sa dospelo k záveru, že doska splňuje všetky požiadavky a je tým pádom pripravená k výrobe, ktorá prebehne prostredníctvom predajcu JLC PCB.

### 3.2.4 Parametre pre výrobu a osadenie DPS

DPS pre tento projekt bude vyrobený u výrobcu plošných spojov JLC PCB, ktorý taktiež umožňuje aj osadenie súčiastok v rámci jednej vrstvy plošného spoja. Keďže



Obr. 3.12: 3D model novo vytvoreného systému

plošný spoj je dvojvrstvový (vrchná a spodná vrstva) a väčšina súčiastok sú SMD súčiastky, ktoré sú osadené na vrchnej vrstve bude to práve táto vrstva, ktorá sa dá do výroby osadiť. Súčiastky pre tento projekt boli hlavne volené z katalógu, ktorým tento výrobca disponuje. Niektoré však neboli nájdené v katalógovom liste výrobcu a museli byť objednané u iných výrobcov, ako sú GME a TME (podrobný zoznam súčiastok je dostupný v prílohe A). Súčiastkám bolo potrebné v elektrickej schéme doplniť parameter s názvom LCSC a číslom danej súčiastky z katalógového listu.

Na úspešné vytvorenie objednávky bolo potrebné vygenerovanie dvoch druhov dát:

- Dáta pre vytvorenie DPS - Gerber dáta a Drill Holes dáta
- Dáta pre osadenie súčiastok - BOM dáta a Centroid dáta

Gerber dáta sú dáta, ktoré v sebe nesú informáciu o samotnom plošnom spoji a sú generované pre všetky použité vrstvy plošného spoja. S gerber dátami prudko súvisia aj Drill Holes, ktoré v sebe nesú informáciu o tom, kde na plošnom spoji budú vytvorené diery pre osadenie súčiastok.

Bill of material alebo skrátene BOM dáta hovoria zas o samotných súčiastkach, ktoré majú byť na plošnom spoji osadené. Sú to dáta, ktoré hovoria o tom, aké reálne súčiastky majú byť pridelené k súčiastkam z návrhu plošného spoja. Centroid dáta zas hovoria o pozícií a natočení týchto reálnych súčiastok na plošnom spoji.

Po úspešnom výrobnom procese a doručení bolo potrebné ešte na dosku ručne pripájkovať niektoré SMD súčiastky, ktoré v katalógovom liste JLC PCB neboli a zároveň všetky THT súčiastky, pretože osadenie plošného spoja prebehlo iba z vrchnej vrstvy.

### 3.2.5 Oživenie DPS

Po úspešnom osadení celej dosky plošného spoja prišlo na rad jej oživenie. Pred tým, než do samotnej dosky môže byť nahrávaný obsluhý program, treba túto dosku prvotne nakonfigurovať prostredníctvom AVR ISP. Pre správnu konfiguráciu bolo potrebné mikroprocesoru nastaviť jeho poistky a následne do ňo nahráť bootloader, ktorý zaručí to, že nasledujúce programy môžu byť následne nahrávané prostredníctvom USB portu a nie za pomoci AVR ISP.

Nastavenie poistiek a nahranie bootloadera prebehlo prostredníctvom softvéru Arduino IDE, pretože sa tento spôsob javil ako najjednoduchší a tieto nastavenia poistiek si bolo možné v grafickom prostredí nastaviť. Ešte predtým si bolo však potrebné stiahnuť istým spôsobom repozitár s hardvérovou konfiguráciou pre typ mikroprocesorov typu ATmega medzi, ktoré patrí aj ATmega64A použitá v tomto projekte. Repozitár nesie názov MegaCore a je ho možné nájsť na github stránke na profile MCUdude [20]. Tento repozitár bolo potrebné vložiť do priečinku Arduino/hardware. Následne v programe Arduino IDE v záložke nástroje bola prevedená konfigurácia znázornená v tabuľke 3.8.

Tab. 3.8: Popis nastavených poistiek a bootloadera pre mikrokontrolér ATmega64A

Doska	ATmega64
<b>Clock</b>	External 16MHz
<b>BOD</b>	BOD 2.7V
<b>EEPROM</b>	EEPROM retained
<b>Compiler LTO</b>	LTO enabled
<b>Bootloader</b>	Yes (UART0)

Táto konfigurácia by sa dala docieľiť aj zaslaním príkazu pomocou príkazového riadku na port pripojeného zariadenia. Tento príkaz je znázornený vo výpise 3.1.

Výpis 3.1: Príklad nastavenia poistiek a bootloadera pomocou príkazového riadku

```
-U lfuse:w:0xbf:m -U hfuse:w:0xc6:m -U efuse:w:0xff:m
```

1

Pre pripojenie sa na piny AVR ISP vytvorenej dosky bola použitá doska ArduinoMega, ktorá plnila v tej chvíli funkciu programátora. Pri tejto relácii sa však po viacerých nepodarených pokusoch prišlo na dve chyby vo vytvorenej doske plošného spoja.

Prvou chybou bol nesprávne zvolený footprint resetovacieho tlačidla a tým pádom aj jeho zlé zapojenie. Táto chyba bola vyriešená vypájkovaním tohoto tlačidla, odtrhnutím jeho protilahlých nožičiek (čo v konečnom dôsledku viedlo k funkcionality správne zvoleného footprintu) a následnom napájkovaní tohoto tlačidla naspäť na hlavnú dosku plošného spoja. Ani po vyriešení tohto problému však oživenie nedopadlo úspešne a prišlo sa na druhú chybu v systéme.

Piny AVR ISP totiž nemali byť pripojené na SPI piny mikroprocesoru ako by bolo možno na prvý pohľad vydedukovateľné ale na iné piny mikroprocesoru ATmega64A [21]. Po manuálnom pridržaní vodičov na správnych pinoch priamo na mikroprocesore sa nakoniec podarilo úspešne nahráť do vytvorenej dosky plošného spoja nakonfigurované poistky a bootloader čo znamenalo, že doska je úspešne nakonfigurovaná a má možnosť nahrávania naprogramovaného softvéru už priamo skrz USB.

## 4 Softvér

Táto kapitola bude opisovať softvérové riešenie vytvorenej dosky plošného spoja, pretože aj to je súčasťou tejto diplomovej práce. Vysvetlí pomocou akých prostredí a akým spôsobom sa samotná doska programovala, popíše prvotné testovacie kódy, ktoré mali za úlohu odtestovať jednotlivé komponenty osadené na tejto doske a následne vysvetlí vytvorený hlavný program, ktorý do vytvorenej doske plošného spoja bude implementovaný. Síce sa v predošlej kapitole 3.2.5 spomínalo prostredie Arduino IDE, hlavný kód a testovacie programy sa budú písať v prostredí VS Code, ktoré sa javí vo veľa veciach ako lepší editor ako Arduino IDE.

Visual Studio Code bežne označovaný aj ako VS Code, je editor zdrojového kódu od spoločnosti Microsoft, ktorý je dostupný pre operačné systémy Windows, Linux a macOS. Medzi jeho funkcie patrí aj možnosť debugovania, zvýrazňovanie syntaxe, inteligentné dokončovanie kódu či vnorená funkcia Gitu. Za bežných okolností by bolo asi vhodné celý projekt programovať v prostredí Microchip Studio, pretože sa jedná o najpopulárnejšiu možnosť pri programovaní AVR mikroprocesorov, ale keďže pre vytvorenie tohto projektu je využívaný operačný systém macOS bude celý systém programovaný v prostredí VS Code.

Programovanie tejto dosky bude uskutočnené prostredníctvom frameworku Arduino, ktorý je potrebný do prostredia VS Code v sekcii Extensions doinštalovať a následne môže začať samotné programovanie danej úlohy. Celá práca bude programovaná v jazyku C/C++ a bude využívať už existujúce knižnice pre obsluhu jednotlivých komponentov, ktoré budú prispôbené danému zadaniu.

Pre lepšiu prácu s programom a postupnými vykonávanými zmenami a verziovaním celého výsledného programu bude využívaný GIT pomocou softvéru Sublime Merge. Gitový repozitár bude tiež uložený aj na githube, čo tiež prispieva k zabezpečeniu v prípade ak by počas vyvíjania obslužného softvéru prestala fungovať technika.

### Framework Arduino

Tento framework bol vybraný z dôvodu jeho jednoduchosti a predchádzajúcimi skúsenosťami s týmto frameworkom. Celý kód je rozdelený na dva veľké celky ktorými sú Setup a Loop.

Sekcia Setup sa vykoná iba raz od spustenia programu a preto je táto sekcia vhodná pre inicializáciu, kdežto sekcia Loop beží v tzv. supersmyčke a kód napísaný v tejto sekcii sa bude vykonávať kontinuálne.

Po nahratí programu do dosky plošného spoja sa však volá funkcia **main**, ktorá obsahuje tieto dva hlavné funkcie Setup a Loop ako je znázornené na výpise 4. V tomto výpise je možné vidieť funkciu **setup()**, ktorá sa volá pred vykonaním funkcie

**for**, čo znamená, že sa táto funkcia vykoná iba raz, naopak však funkcia **loop()**, ktorá sa nachádza v spomínanej cyklickej funkcii **for**, ktorá v tomto zápise vytvorí cyklus s nekonečným sa opakovaním tzv. supersmyčku.

```
int main(void) 1
{ 2
    init(); 3
    initVariant(); 4
    5
    6
    #if defined(USBCON) 7
        USBDevice.attach(); 8
    #endif 9
    10
    setup(); 11
    12
    for (;;) { 13
        loop(); 14
        if (serialEventRun) serialEventRun(); 15
    } 16
    17
    return 0; 18
} 19
```

## 4.1 Testovanie DPS

Po úspešnom oživení dosky plošného spoja a pred vytvorením hlavného programu tohoto systému, by bolo vhodné odtestovať najprv jednotlivé časti tejto dosky samostatne, predtým ako sa aplikujú do jedného hlavného programu. Jednotlivé časti, ktoré boli najprv odtestované sú:

- LED diódy
- PWM
- Enkóder
- Displej
- MIDI komunikácia

### 4.1.1 Testovanie LED diód

LED diódy boli do systému implementované pre istý spôsob monitoringu, keďže solenoidové cievky sú spínané práve výstupmi mikroprocesoru, na ktorých sú tieto

signalizačné led diódy pripojené. Signál, ktorý teda spína solenoidové cievky je znázornený práve aj na led diódach. Pre odtestovanie všetkých led diód bol vytvorený program, ktorý je možné nájsť v prílohách v zložke Software/Skuska\_LED. Testovací program odtestoval všetky LED diódy spôsobom ich postupného zapínania a vypínania s periódou 200ms. Testovanie LED diód prebehlo úspešne a pokračovalo sa na testovanie ďalších častí systému.

### **4.1.2 Testovanie PWM**

PWM signál je v tomto projekte potrebný pre ovládanie regulačného ventilu, ktorý ovláda dynamiku hrania pri fúkacej harmonike. Výstupný signál vytvorený na pine harvérovej PWM sa následne posiela do R-C filtru a potom do operačného zosilňovača. Celý tento postup je bližšie vysvetlený v kapitole 3.2.2 v časti Ovládanie ventilu. Testovací program je možné nájsť v prílohách v zložke Software/Skuska\_PWM. Tento testovací program dáva na výstup signál so 100%, 50% a 0% striedou. Keďže na pin mikroprocesoru, kde sa tento PWM signál vysiela nie je pripojená signalizačná dióda, bola táto funkčnosť potvrdená pripojením multimetra v režime voltmetra na daný výstup, kde bolo následne namerané a zistené, že tento PWM signál a následne aj výstup, ktorý má riadiť regulačný ventil funguje správne.

### **4.1.3 Testovanie enkodéru**

Enkodér bol do tohto návrhu pridaný pre spôsob ovládania jednotlivých možných nastavení v menu celého systému. Pre obsluhu enkóderu bola použitá už vytvorená knižnica s názvom Rotary od užívateľa brianlow [22]. Testovací program má teda za úlohu skúmať, či sa rotačným enkóderom pohlo v smere hodinových ručičiek alebo proti smeru hodinových ručiek a je ho možné nájsť v prílohách v zložke s názvom Software/Skuska\_Encoder. Výstupom tejto testovacej funkcie bol výpis na sériový monitor, ktorý popisoval do ktorej strany sa s enkóderom pohlo. Keďže vybraný enkóder obsahuje aj vstavané tlačidlo, bol v tomto testovacom programe taktiež aplikovaný aj tzv. debouncer na toto tlačidlo pre úspešné vyčítanie stlačenia a pustenía tohoto tlačidla. Ako aj pohyb, tak aj stlačenie enkóderu boli úspešne odtestované a plne funkčné.

### **4.1.4 Testovanie displeja**

Pre obsluhu OLED displeja bola taktiež použitá už vytvorená knižnica s názvom Adafruit\_SSD1306 od užívateľa adafruit [23]. Testovací program pre displej v sebe obnáša aj implementáciu enkóderu, kde sa buď inkrementuje alebo dekrementuje hodnota počítadla (v závislosti od manipulácie s enkóderom) a táto hodnota sa

následne vypisuje na displej a je ho možné nájsť v prílohách v zložke s názvom Software/Skuska\_OLED. Pre uľahčenie si práce s displejom bola vytvorená nová funkcia s názvom displayPrint pre jednoduchšie nastavenie pozície textu. Táto funkcia bola hlavne vytvorená pre centrovanie zobrazovaného textu a následne bude využívaná v hlavnom programe. Tento test sa taktiež podaril a užívateľ mohol na displeji vidieť aktuálnu hodnotu počítadla.

#### **4.1.5 Testovanie MIDI komunikácie**

Po odtestovaní si všetkých vyššie spomínaných častí dosky plošného spoja prišla na rad tá najdôležitejšia. Keďže knižnica na MIDI komunikáciu je pomerne robustná a komplikovaná na vytvorenie, využívala sa už vytvorená varianta s názvom arduino\_midi\_library od užívateľa FortySevenEffects [24]. Jednoduchý testovací program prebehol ako priama MIDI komunikácia (bližšie popísaná v kapitole 5). Testovací program po pripojení MIDI kontroléra prostredníctvom DIN MIDI konektora a následnom stláčaní klávesov mal za úlohu vypisovať na sériový monitor správu o tom, aký typ MIDI správy bol práve vykonaný (pri stláčaní kláves to bol teda hlavne NoteOn a NoteOff), na akom kanále bola daná MIDI správa vyslaná, aký tón bol zahrnaný a s akou dynamikou. Nakoniec aj tento test prebehol úspešne a tým pádom boli hlavné časti vytvorenej dosky plošného spoja pripravené na plnú implementáciu do hlavného programu. Tento testovací program je možné nájsť v prílohách v zložke Software/Skuska\_MIDI.

## **4.2 Hlavný program**

Hlavný program je teda program, ktorý bude implementovaný do samotného zariadenia a bude vykonávať funkcie popísané v zadaní tejto diplomovej práce. Z dôvodu prehľadnosti kódu budú všetky hlavné funkcie obsahovať svoj hlavičkový súbor (.h) a zdrojový kód (.cpp). V hlavnom kóde bude teda iba implementácia hlavičkových súborov potrebných pre realizáciu tejto úlohy, dva funkcie pre detekovanie a následnú obsluhu MIDI správ typu NoteOn a NoteOff a ako už bolo na začiatku kapitoly 4 spomenuté, tak z dôvodu použitia frameworku Arduino budú v hlavnom kóde funkcie setup a loop.

Vo funkcií setup prebieha inicializácia MIDI komunikácie pre načítanie MIDI správ na všetkých kanáloch, inicializácia displeja a všetkých potrebných pinov pre túto úlohu. Funkcia setup je ukončená vypísom na displej s názvom zadanej úlohy a menom autora práce, po ktorom nasleduje 5 sekundové oneskorenie a následne sa začína vykonávanie funkcie loop.



Funkcia loop v sebe nesie dve hlavné funkcie a to MIDI funkciu a funkciu obsahujúcu stavový automat, ktorý slúži ako obslužné menu zariadenia (funkcia State-Machine).

### 4.2.1 MIDI funkcia

Ako prvým krokom k vytvoreniu MIDI komunikácie medzi vytvoreným sekvencérom a MIDI kontrolérom je vytvorenie inštancie (objektu), ktorý bude využívaný v tomto programe a nadobudne potrebné metódy z prevzatej MIDI knižnice. Tento objekt bude v prípade priamej MIDI komunikácie využívať harvérový serial s názvom Serial1, čo znamená že UART komunikáciu bude zabezpečovať pin PD2 (RXD1) a PD3 (TXD1), ktoré su pripojené na MIDI DIN konektoroch. Zo všetkých druhov MIDI správ budú v tejto práci využité iba dve a to hlasové správy typu NoteOn a NoteOff. Implementovaná MIDI knižnica dokáže detekovať o aký typ správy sa jedná a následne má za úlohu zavolať obslužnú funkciu, ktorú bude potrebné vytvoriť a naprogramovať.

Vytvorené funkcie budú funkcie typu callback. Po prijatí napr. MIDI správy NoteOn má funkcia z implementovanej knižnice za úlohu iba vyhodnotiť a rozparsovať danú správu a následne vyslať rozparsované dáta ako parametre pre spomínanú callback funkciu, ktorú je potrebné vytvoriť. Vytvorené funkcie pre obsluhu MIDI správ typu NoteOn a NoteOff vyzerajú nasledovne:

#### Callback funkcia pre MIDI správy typu NoteOn

Vstupné parametre tejto vytvorenej funkcie budú získané pomocou funkcie z implementovanej knižnice s názvom **setHandleNoteOn**. Tieto vstupné parametre sú:

- Kanál - číslo kanálu, na ktorom bolá daná správa zachytená
- Tón - aký konkrétny tón bol zahrnaný
- Dynamika - s akou dynamikou bol daný tón zahrnaný

Tieto 3 parametre sa pre lepšiu prehľadnosť následne vypisujú aj na sériový monitor pre overenie správnosti správy. Pre aplikáciu na dané mechanické hudobné nástroje je teda potrebné tieto získane parametre využiť na vytvorenie obsluhy daného mechanického nástroja.

V prípade fúkacej harmoniky aj metalofónu sa na základe daného zahrnaného tónu bude spúšťať daná solenoidová cievka, čo znamená, že v závislosti na zahrnanom tóne bude na daný výstupný pin mikroprocesoru privedená hodnota log. 1.

Získaná hodnota o dynamike daného tónu bude určovať triedu PWM signálu, ktorý je následne vyslaný do obsluhy regulačného ventilu.

V tejto funkcii sa taktiež bude inkrementovať hodnota počítadla, aby sa zistilo, koľko bolo zahrnaných tónov v jednom okamihu (typicky pri zahrnaní akordu).

## Callback funkcia pre MIDI správy typu NoteOff

Vstupné parametre tejto funkcie sú totožné ako pri callback funkcií pre MIDI správy typu NoteOn. V tomto prípade je potrebné poznamenať, že zariadenie detekuje MIDI správu typu NoteOff pri vypustení klávesy pripojeného MIDI kontroléru, čo znamená, že hodnota dynamiky bude stále nulová a bude potrebné zistiť len aký tón bol vypustený a na akom kanále.

Na základe informácie o danom vypustenom tóne bude teda na príslušný výstupný pin mikroprocesoru privedená hodnota log. 0, čo spôsobí odpojenie solenoidovej cievky a následne vrátenie mechanickej obsluhy daného hudobného nástroja do pôvodného stavu.

V tejto funkcií sa bude hodnota počítadla dekrementovať, aby sa zistilo koľko tónov zo zahraného akordu bolo vypustených. Táto funkcionálna počítadla bola pridaná z dôvodu, že ak by užívateľ zahrál viacero tónov naraz (typicky akord) a následne vypustil iba časť zo zahraných tónov tak, aby sa zachovala dynamika zahraných tónov. V prípade, že je teda hodnota počítadla nulová, vyšle sa PWM signál s nulovou striedou do obsluhy regulačného ventilu.

Po vytvorení spomínaných obslužných funkcií je potreba v setup sekcii hlavného kódu spustiť MIDI komunikáciu pomocou príkazu **begin** so vstupným parametrom, ktorý označuje kanál, na ktorom táto komunikácia má prebiehať.

Následne je potrebné priradiť vytvorené callback funkcie ako vstupné parametre pre knižné funkcie slúžiace na spomínanú detekciu a parsovanie prijatých MIDI správ, aby sa docielilo spomínanému callback efektu.

Ako posledný krok je ešte potrebné volať funkciu **read**, ktorá je vložená práve do loop sekcii hlavného programu a má za úlohu detekovať prichádzajúce MIDI správy.

## 4.2.2 StateMachine funkcia

Z dôvodu vytvorenia možnosti konfigurácie MIDI sequencéru je celý systém vybavený enkodérom a displejom pre lepšiu navigáciu a nastavenie jednotlivých parametrov systému. MIDI sekvencér ponúka užívateľovi 3 hlavné menu obrazovky: LEDs, CHANNEL a INSTRUMENT. Užívateľ sa prepína medzi jednotlivými menu obrazovkami pomocou natočenia enkóderu. Pre vstup do daného menu je potrebné enkóder stlačiť. Pre vizuálnu signalizáciu, že sa užívateľ nachádza v danom menu sa práve zvolené nastavenie podfarbí bielou farbou. Následným natočením enkóderu je možné vybrať rôzne nastavenia parametrov v danom menu, ktoré je následne potrebné potvrdiť opätovným stlačením tlačidla enkóderu. Celá navigácia v menu bola navrhnutá tak, aby bola užívateľsky prívetivá.

## **Menu LEDs**

V menu LEDs má užívateľ možnosť vypnutia a zapnutia signalizačných LED diód, ktoré predstavujú aktivitu daného výstupu.

- On – signalizácia pomocou LED diód je zapnutá
- Off – signalizácia pomocou LED diód je vypnutá

## **Menu CHANNEL**

V menu CHANNEL má užívateľ možnosť nastavenia kanálu zariadenia. Dané zariadenie bude vždy prijímať MIDI správy iba ak sú vysielané na kanál, na ktorý je toto zariadenie nastavené.

- All - zariadenie načúva MIDI správy na všetkých kanáloch
- 1-16 - zariadenie načúva MIDI správy na danom kanále

## **Menu INSTRUMENT**

V menu INSTRUMENT má užívateľ možnosť nastavenia spôsobu ovládania pripojených výstupov (v tomto prípade solenoidových cievok) z dvoch možných nastavení.

- Harm - zaradenie je v režime ovládania fúkacej harmoniky
- Meta - zaradenie je v režime ovládania metalofónu

Hlavným rozdielom v týchto dvoch možných spôsoboch ovládania je ten, že pri obsluhu fúkacej harmoniky sa solenoidové cievky držia stlačené až pokým užívateľ na pripojenom MIDI kontroléry nepustí danú klávesu, zatiaľ čo pri metalofóne sa po stlačení klávesy na MIDI kontroléry zapne solenoidová cievka, no po 35ms sa tento výstup deaktivuje, čo spôsobí pustenie solenoidovej cievky a následné rozozvučanie metalofónu. Čas 35ms bol zvolený, pretože sa jedná o pomerne nízku dobu odozvy a zároveň sa za tento čas stihne piest solenoidovej cievky naplno stlačiť a následne aj pustiť.

## 5 Priama MIDI komunikácia

Priama MIDI komunikácia prebieha priamim prepojením MIDI kontroléra s vytvoreným MIDI sekvencérom obsluhujúcim daný mechanický hudobný nástroj. Pre vyskúšanie priamej MIDI komunikácie bol použitý MIDI kontrolér Launchkey Mini MK3, ktorý je zobrazený aj na obrázku 1.7 z dôvodu osobného vlastníctva a podrobnejším zvládnutím ovládania rozličných funkcionalít tohto MIDI kontroléru. Keďže tento MIDI kontrolér disponuje MIDI Out portom vo forme 3,5 mm jack konektoru, bolo pre nadviazanie priamej MIDI komunikácie potrebné zaobstarať kábel typu 3,5 jack - DIN MIDI. Komerčné riešenie tohto káblu však dokáže byť pomerne nákladné [25] a preto bol tento kábel vytvorený z kúpených, podstatne lacnejších konektorov a káblu. Po vytvorení spomínaného káblu prebiehala priama MIDI komunikácia prepojením výstupu MIDI Out MIDI kontroléru na vstup MIDI In vytvoreného MIDI sekvencéru.

Do výstupných svoriek MIDI sekvencéru boli následne pripojené solenoidové cievky obsluhy mechanickej časti fúkacej harmoniky. Do MIDI výstupných svorkovnic vytvoreného MIDI sekvencéru bol pripojený aj regulačný ventil pre nastavovanie dynamiky samotného hrania. Zariadenie bolo potrebné aj adekvátne napájať a to napätím 24 V, na ktorý bol použitý jeden z dostupných laboratórnych zdrojov.

Obsluha solenoidových cievok mechanickej časti fúkacej harmoniky prebehla úspešne a bez ďalších komplikácií, no ovládanie vzduchu skrz regulačný ventil nedopadlo úplne podľa očakávaní. Fúkacia harmonika bez akýchkoľvek mechanických zásahov je dychový hudobný nástroj, kde vstupný zdroj vzduchu predstavujú ústa hudobníka hrajúceho na tento nástroj. V tomto prípade bolo však použité vzduchové čerpadlo s priemyselným regulačným ventilom pre prívod vzduchu do tejto harmoniky. Tento priemyselný ventil predstavoval problém z dôvodu príliš veľkej hodnoty tlaku a prietoku vzduchu pri najnižších možných nastaveniach tohto ventilu. Výsledkom bol teda fakt, že dynamika fúkacej harmoniky nemohla byť pokrytá na celom rozsahu tohto nástroja a nástroj rozlišoval iba úrovne dynamiky najvyššej a o niečo málo nižšej. Keďže fúkacia harmonika dokáže byť na svojej plnej dynamike veľmi hlučná, bolo by v tomto prípade vhodné do budúcnosti zvoliť ventil o nižšom výstupnom tlaku a prietoku vzduchu. Nehľadiac na nastavovanie dynamiky v plnom rozsahu dopadla skúška vytvoreného MIDI sekvencéra pomocou priamej MIDI komunikácie úspešne.

MIDI sekvencér bol následne vyskúšaný aj na mechanickom metalofóne, kde implementácia tohto sekvencéru viedla k ďalším úspešným výsledkom a úspešne sa podarilo rozozvučať dané tóny mechanického metalofónu. Netreba však zabudnúť, že pri aplikovaní vytvoreného MIDI sekvencéra je podstatné tento sekvencér v menu INSTRUMENT nastaviť na režim Meta.

## 6 Dosiahnuté výsledky

Výsledkom tejto práce je elektronický MIDI sekvencér, ktorý je možné implementovať na minimálne dve mechanické zariadenia a to na fúkaciu harmoniku a metalofón. Elektronický MIDI sekvencér pozostáva z dvoch dosiek plošných spojov: hlavnej dosky plošného spoja a dodatočnej dosky plošného spoja.

Na hlavnej doske plošného spoja sa nachádza mikroprocesor ATmega64A, ktorý riadi činnosť celého systému. Zároveň sa tam nachádzajú aj ostatné časti systému ako obsluha napájacieho napätia, obsluha DIN MIDI komunikácie, USB obsluha a obsluha pre pripojenie solenoidových cievok, ktoré ovládajú mechanické hudobné nástroje. Táto doska sa dávala do výroby prostredníctvom výrobcu DPS dosiek s názvom JLC PCB, kde bola z väčšej časti aj osadená, no niektoré SMD a všetky THT súčiastky museli byť ručne pripájkované. Hlavná doska plošného spoja disponuje pridaným konektorom pre externé pripojenie dodatočnej dosky plošného spoja.

Dodatočná doska plošného spoja obsahuje OLED displej a enkóder, ktoré umožňujú nastavovanie určitých parametrov na zariadení. Táto doska bola do systému pridaná z dôvodu možnosti nastavovania týchto parametrov, ale zároveň aj z dôvodu, že hlavná doska musí byť umiestnená v dosahu solenoidových cievok čo nie je úplne v najlepšej pozícii čo sa týka interakcie užívateľa práve s touto vytvorenou hlavnou doskou. Tým, že je táto dodatočná doska odnímateľná poskytuje tak možnosť implementácie na miesto užívateľovi prístupnejšie a zlepšuje tak užívateľský zážitok z ovládania tohoto systému. Nastavovanie určitých parametrov je realizované pomocou rotačného enkóderu. Keďže tento rotačný enkóder je jediný spôsob interakcie so zariadením, plní viaceré funkcie ako prepínanie medzi jednotlivými menu systému, nastavovanie a následne potvrdzovanie určitých parametrov. Jednotlivé menu obsahujú názov daného menu a zobrazenie práve nastaveného parametru. Po vstupe do daného menu (stlačením tlačidla enkodéru) sa daný parameter podfarbí čo dáva užívateľovi prívetivú spätnú väzbu. Jednotlivé nastavovanie parametrov je taktiež určitým spôsobom softvérovo ošetrené a tým pádom nemôže užívateľ nastaviť v systéme neplatný parameter.

Celý systém je vybavený aj signalizačnými LED diódami, ktoré dávajú užívateľovi spätnú väzbu o zopnutí daného solenoidového výstupu. Hlavná doska plošného spoja bola dimenzovaná aj na prípad zopnutia všetkých pripojených solenoidových cievok (či už schválne alebo z dôvodu chyby) a to hlavne v podobe dostatočných hrúbek čiar na doske plošného spoja.

Implementácia vytvoreného systému na mechanickú obsluhu fúkacej harmoniky prebehla úspešne, jedinou nevýhodou bolo však zvolenie regulačného ventilu s príliš veľkým vzduchovým prietokom a vstupným tlakom a preto sa dynamika fúkacej harmoniky nedala nastavovať v jej celom rozsahu. Realizácia ovládania regulačného

ventilu bola však navrhnutá správne a tento problém by sa dal vyriešiť použitím ventilu s menším vzduchovým prietokom a vstupným tlakom. Implementácia vytvoreného systému na mechanickú obsluhu metalofónu prebehla taktiež úspešne.

Nedostatkom tohoto systému je fakt, že pri návrhu bol použitý nesprávny footprint resetovacieho tlačidla a tým pádom bolo potrebné do osadeného návrhu manuálne zasahovať a tento problém vyriešiť. Po vyriešení tohoto problému sa prišlo na problém druhý, ktorým bolo zlé zvolenie pinov mikroprocesoru pre AVR ISP. Tento problém, ako aj ten predošlý, bol taktiež vyriešený no muselo sa opäť zasahovať do osadeného plošného spoja. Ďalším menším zisteným nedostatkom je zlé zapojenie signalizačných LED diód pre UART komunikáciu.

Tieto nedostatky by sa dali v budúcom návrhu dosky plošného spoja adekvátne vyriešiť a to zvolením správneho footprintu resetovacieho tlačidla, zmenením elektrickej schémy a následným zmenením dosky plošného spoja aby AVR ISP piny boli pripojené na správnych pinoch mikroprocesoru podľa novej zistenej schémy zapojenia a taktiež správnym zapojením signalizačných LED diód pre UART komunikáciu.

Vytvorený systém však nebol odskúšaný prostredníctvom USB komunikácie s príslušným DAW softvérom ako to bolo spomenuté v návrhu konceptu systému čo by mohlo byť v budúcnosti taktiež napravené. Medzi ďalšie veci ktoré by sa do budúca dali s touto vytvorenou doskou plošného spoja uskotočniť je aj ovládanie dynamiky pri obsluhu metalofónu. Dynamika pri obsluhu metalofónu sa zatiaľ riadiť nedá, pretože bola zistená istá kolízia pri implementácii softvérovej PWM a MIDI komunikácie čo nedovoľovalo použitie oboch týchto funkcií v jeden okamih. Zároveň aj samotný metalofón nebol úplne na riadenie dynamiky pripravený z dôvodu stvrdnutia gumy, ktorá sa nachádzala pod kovovými plieškami a následne tak vysúvala samotné kovové pliešky do výšky, ktorá nebola dosiahnuteľná pri použití PWM signálu s nižšou striedou.

# Záver

Cielom tejto diplomovej práce bolo vytvorenie elektronického mikrokontrolového systému pre riadenie aspoň dvoch existujúcich mechanických nástrojov prostredníctvom MIDI komunikácie.

V prvej kapitole tejto práce bola spravená literárna rešerš ohľadom MIDI, kde je od základov popísaný tento technický štandard. Kapitola zahŕňa základné popísanie MIDI komunikácie vrátane popisu potrebných hardvérových komponentov. Nachádzajú sa tam aj do detailov popísané MIDI správy, ktoré si medzi sebou dané zariadenia vymieňajú. V tejto kapitole ďalej nasleduje vysvetlenie istých typov MIDI zariadení a ich vzájomný spôsob prepojenia pre dosiahnutie požadovanej MIDI komunikácie. Internetový prieskum podobných zariadení však ukázal, že neexistujú komerčne dostupné zariadenia, ktoré by sa na túto úlohu hodili a preto je potrebné spraviť špecifický návrh pre riešenie tohoto zadania.

Druhá kapitola sa už zaoberá samotným konceptom systému zadanej úlohy. Táto kapitola bližšie popisuje aké zariadenia má výsledný systém riadiť a aké zariadenia budú práve akčné členy tohoto systému. Na konci sú spísané požiadavky, ktoré musí celkový systém splňovať pre jeho správny chod.

Tretia kapitola je už zameraná na samotný harvérový návrh systému a to v podobe voľby vhodných komponentov a návrhu dosky plošného spoja. Pri daných komponentoch je zároveň stručným spôsobom vysvetlená aj ich činnosť a základné technické parametre. Pri tvorbe harvérového návrhu sa však zistili isté nedostatky a preto musel byť celý systém prerobený a tým pádom sa musel vytvoriť druhý - nový hardvérový systém, ktorý už v sebe implementuje všetky potrebné požiadavky. Táto kapitola teda popisuje obe návrhy harvérového systému a zároveň aj popisuje nedostatky a následne potrebné úpravy. Rozoberá bližšie jednotlivé celky systému a vysvetľuje postup pri tvorbe samotnej dosky plošného spoja. Po úspešnom novom návrhu popisuje táto kapitola spôsob oživenia už existujúcej dosky plošných spojov, ktorý sa nezaobišiel bez zistených komplikácií. Výsledná vyrobená doska plošných spojov totiž obsahovala zlé vybraný footprint resetovacieho tlačidla a zlé pripojenie AVR ISP. Tieto problémy boli však v konečnom dôsledku vyriešené a dosku plošného spoja sa podarilo úspešne oživiť.

Štvrtá kapitola popisuje softvérové riešenie zadanej úlohy. Po úspešnom oživení dosky plošného spoja boli najprv vytvorené testovacie programy pre otestovanie funkcionality jednotlivých komponentov systému. Testovacie programy slúžili na otestovanie signalizačných LED diód, PWM signálu, testovanie funkčnosti enkóderu a displeju a ako posledné aj samotnej MIDI komunikácie. Všetky z týchto spomínaných testov prebehli úspešne a pokračovalo sa ďalej na vytvorenie hlavného programu. Táto kapitola taktiež popisuje zvolené prostredie a framework použitý pri

programovaní celej práce. Hlavný program nakoniec obsahoval dve hlavné funkcie a to funkciu pre MIDI komunikáciu a funkciu stavového automatu ktorá sa týkala hlavne vytvorených menu obrazoviek a nastavovaniu určitých parametrov.

Piata kapitola popísala spôsob vytvorenia priamej MIDI komunikácie s mechanickými hudobnými nástrojmi. Vysvetlila podrobné zapojenie potrebné pre dosiahnutie priamej MIDI komunikácie a zároveň aj dosiahnuté výsledky pri komunikácií s týmito mechanickými hudobnými nástrojmi.

Šiesta a zároveň posledná kapitola rozoberá dosiahnuté výsledky. V tejto kapitole sú bližšie popísané jednotlivé vytvorené dosky plošných spojov a dôvod ich vytvorenia. Táto kapitola popisuje funkčnosť celého systému, všetky výhody a nevýhody a zároveň aj možné vylepšenia tohoto systému do budúcnosti.

Výstupom tejto práce je teda funkčný harvérový MIDI sekvencér ktorý dokáže obsluhovať mechanickú obsluhu fúkacej harmoniky a zároveň aj mechanickú obsluhu metalofónu. Harvérový sekvencér je možné implementovať aj na iné mechanické obsluhy hudobných nástrojov pokiaľ využívajú solenoidové cievky pracujúce s napätím 24 V. Tento vytvorený harvérový MIDI sekvencér dokáže ovládať až 3 oktávy solenoidových cievok a zároveň disponuje výstupným signálom v rozmedzí 0 až 10 V pre ovládanie akčných členov ako napríklad ovládanie regulačného ventilu. MIDI sekvencér obsahuje odnímateľnú doplnkovú dosku s enkóderom a OLED displejom pre vhodné umiestnenie a následne pohodlné nastavenie určitých parametrov systému ako druh pripojeného hudobného nástroja, voľba kanálu zariadenia a možnosť vypnutia alebo zapnutia signalizačných LED diód.



# Literatúra

- [1] GUÉRIN, Robert. *Velká kniha MIDI: standardy, hardware, software*. Brno: Computer Press, 2004, 340 s. ISBN 80-7226-985-2.
- [2] Wikipedia, *MIDI* [online]. poslední aktualizace 28. 12. 2021 [cit. 2. 1. 2022]. Dostupné z URL:  
<<https://en.wikipedia.org/wiki/MIDI#>>.
- [3] MIDI Association, *Official MIDI Specifications* [online]. [cit. 2. 1. 2022]. Dostupné z URL:  
<<https://www.midi.org/specifications/midi1-specifications>>.
- [4] Teragoaudio, *Schematic* [online]. [cit. 2. 1. 2022]. Dostupné z URL:  
<<http://midi.teragoaudio.com/tech/midispec/hardware.htm>>.
- [5] Dave Marshall, *MIDI Messages* [online]. poslední aktualizace 10. 4. 2001 [cit. 2. 1. 2022]. Dostupné z URL:  
<<https://users.cs.cf.ac.uk/Dave.Marshall/Multimedia/node158.html>>.
- [6] HUBER, D. M. *The MIDI Manual. 4th edn.* Taylor and Francis, 2020, 274 s. ISBN 9781317368298. Dostupné z URL:  
<<https://www.perlego.com/book/1718984/the-midi-manual-pdf>>.
- [7] Muziker, *MIDI* [online]. [cit. 2. 1. 2022]. Dostupné z URL:  
<<https://www.muziker.sk/hohner-student-32-melodica>>.
- [8] Wikipedia, *Metallophone* [online]. poslední aktualizace 10. 8. 2021 [cit. 2. 1. 2022]. Dostupné z URL:  
<<https://en.wikipedia.org/wiki/Metallophone>>.
- [9] Datasheet, *ATmega64A* [online]. [cit. 2. 1. 2022]. Dostupné z URL:  
<[https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1811021609\\_Microchip-Tech-ATMEGA64A-AU\\_C9435.pdf](https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1811021609_Microchip-Tech-ATMEGA64A-AU_C9435.pdf)>.
- [10] Wikipedia, *Universal asynchronous receiver-transmitter* [online]. poslední aktualizace 18. 11. 2021 [cit. 2. 1. 2022]. Dostupné z URL:  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Universal\\_asynchronous\\_receiver-transmitter](https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver-transmitter)>.
- [11] AnalogDialogue, *UART: A Hardware Communication Protocol Understanding Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* [online]. [cit. 2. 1. 2022]. Dostupné z URL:

- <<https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/uart-a-hardware-communication-protocol.html>>.
- [12] Wikipedia, *Solenoid* [online]. poslední aktualizace 31. 12. 2021 [cit. 2. 1. 2022]. Dostupné z URL: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Solenoid>>.
- [13] TLX Technologies, *Solenoid 101: What is a Solenoid?* [online]. poslední aktualizace 25. 8. 2021 [cit. 2. 1. 2022]. Dostupné z URL: <<https://www.tlxtech.com/articles/solenoid-101-what-is-a-solenoid>>.
- [14] TME, *Size 75M-STA® Pull Tubular Solenoids* [online]. [cit. 2. 1. 2022]. Dostupné z URL: <<https://www.tme.eu/Document/e6f2be922f2eef5ff85325c47e73bd7a/75M-STA-EN.pdf>>.
- [15] RS, *BLP Linear Solenoid, 24 V dc, 37 x 20.3 x 26 mm* [online]. [cit. 2. 1. 2022]. Dostupné z URL: <<https://uk.rs-online.com/web/p/linear-solenoids/2500726>>.
- [16] Texas Instruments, *ULN2803A Darlington Transistor Arrays* [online]. [cit. 2. 1. 2022]. Dostupné z URL: <<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2803a.pdf>>.
- [17] SMP Pneumatics, *Electro-pneumatic Regulator/Electronic Vacuum Regulator* [online]. [cit. 2. 1. 2022]. Dostupné z URL: <<https://www.smpneumatics.com/pdfs/ITV.pdf>>.
- [18] GME, *Inkrementální Encodér, 20imp/otáčka, 0,01A/5V E1171S-DAK3-2020-K0* [online]. [cit. 2. 1. 2022]. Dostupné z URL: <<https://www.gme.cz/inkrementalni-spinac-ec11-1s>>.
- [19] Wikipedia, *DC-to-DC converter* [online]. poslední aktualizace 18. 12. 2021 [cit. 2. 1. 2022]. Dostupné z URL: <[https://en.wikipedia.org/wiki/DC-to-DC\\_converter](https://en.wikipedia.org/wiki/DC-to-DC_converter)>.
- [20] Github repozitár uživateľa MCUdude, *MegaCore* [online]. [cit. 16. 5. 2022]. Dostupné z URL: <<https://github.com/MCUdude/MegaCore>>.
- [21] Schéma zapojenia AVR ISP, *MegaCore ATmega64T pinout* [online]. [cit. 16. 5. 2022]. Dostupné z URL: <<https://camo.githubusercontent.com/>>

e05a5541fd4e949d4d7d3051cb0f4d295169a8e19c84abde890efeb9a3ba2025/  
68747470733a2f2f692e696d6775722e636f6d2f426b4a664957432e706e67>.

- [22] Github repozitár uživateľa brianlow, *Rotary* [online]. [cit. 16. 5. 2022]. Dostupné z URL:  
<<https://github.com/brianlow/Rotary>>.
- [23] Github repozitár uživateľa adafruit, *AdafruitSSD1306* [online]. [cit. 16. 5. 2022]. Dostupné z URL:  
<[https://github.com/adafruit/Adafruit\\_SSD1306](https://github.com/adafruit/Adafruit_SSD1306)>.
- [24] Github repozitár uživateľa FortySevenEffects, *arduinomidilibrary* [online]. [cit. 16. 5. 2022]. Dostupné z URL:  
<[https://github.com/FortySevenEffects/arduino\\_midi\\_library](https://github.com/FortySevenEffects/arduino_midi_library)>.
- [25] Kytary.cz, *BOSS BMIDI-5-35* [online]. [cit. 16. 5. 2022]. Dostupné z URL:  
<<https://kytary.cz/boss-bmidi-5-35/HN209337/>>.

## Zoznam symbolov a skratiek

<b>PWM</b>	pulzne šírková modulácia – Pulse Width Modulation
<b>MIDI</b>	digitálne rozhranie hudobného nástroja – Musical Instrument Digital Interface
<b>DPS</b>	doska plošného spoja
<b>SMD</b>	súčiastky určené pre povrchovú montáž na plošný spoj – Surface Mount Devices
<b>THT</b>	súčiastky určené pre povrchovú montáž skrz dieru – Through-hole-technology
<b>UART</b>	hardvérové zariadenie počítača pre asynchrónnu sériovú komunikáciu – Universal asynchronous receiver-transmitter
<b>Kbaud</b>	jednotka signálnej rýchlosti – Kilobaud
<b>MSB</b>	najvýznamnejší bit – Most Significant Bit
<b>LSB</b>	najmenej významný bit – Least Significant Bit
<b>SPP</b>	lokátor pozície piesne– Song Position Pointer
<b>LED</b>	svetelná dióda– Light-Emitting Diode

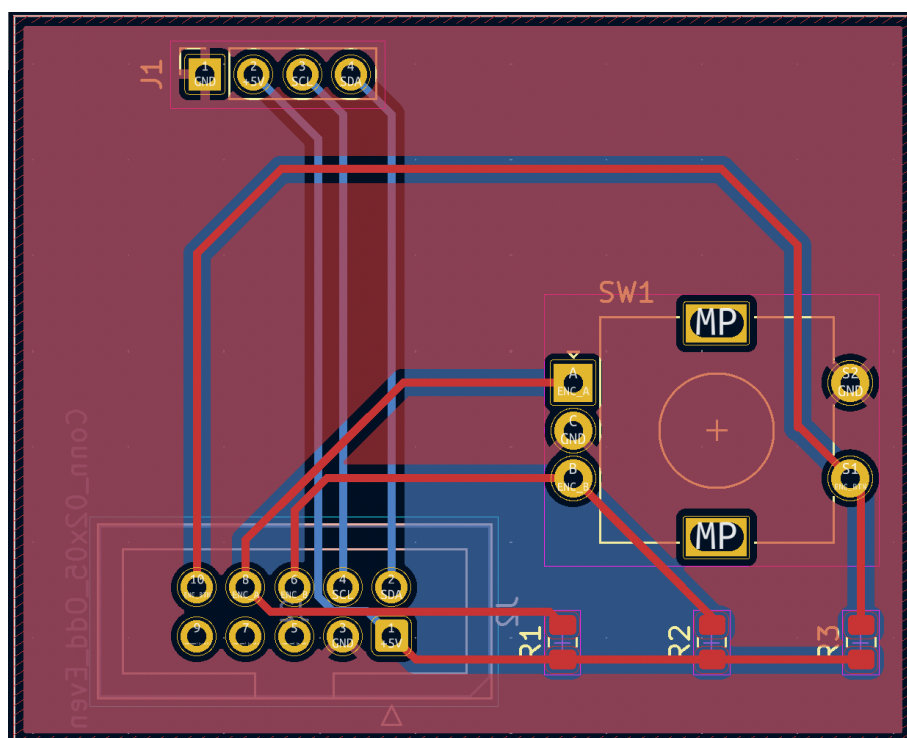
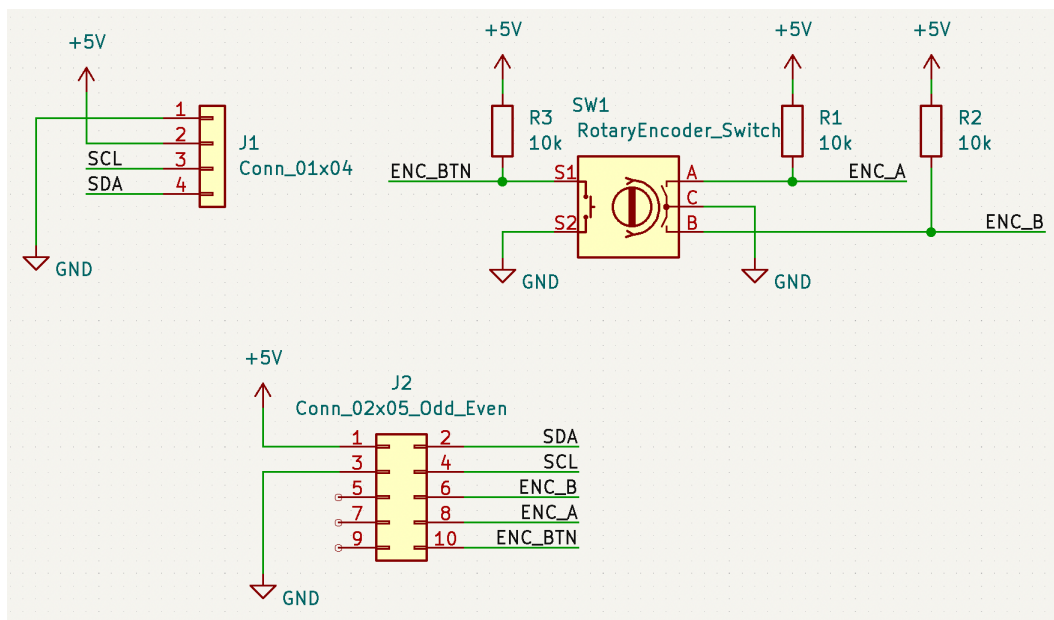
# Zoznam príloh

A	Zoznam súčiastok	70
B	Elektrická schéma a DPS doplňujúcej dosky	71
C	Elektrická schéma zapojenia systému	72
D	Doska plošného spoja systému	74
E	Obsah priloženého CD	75

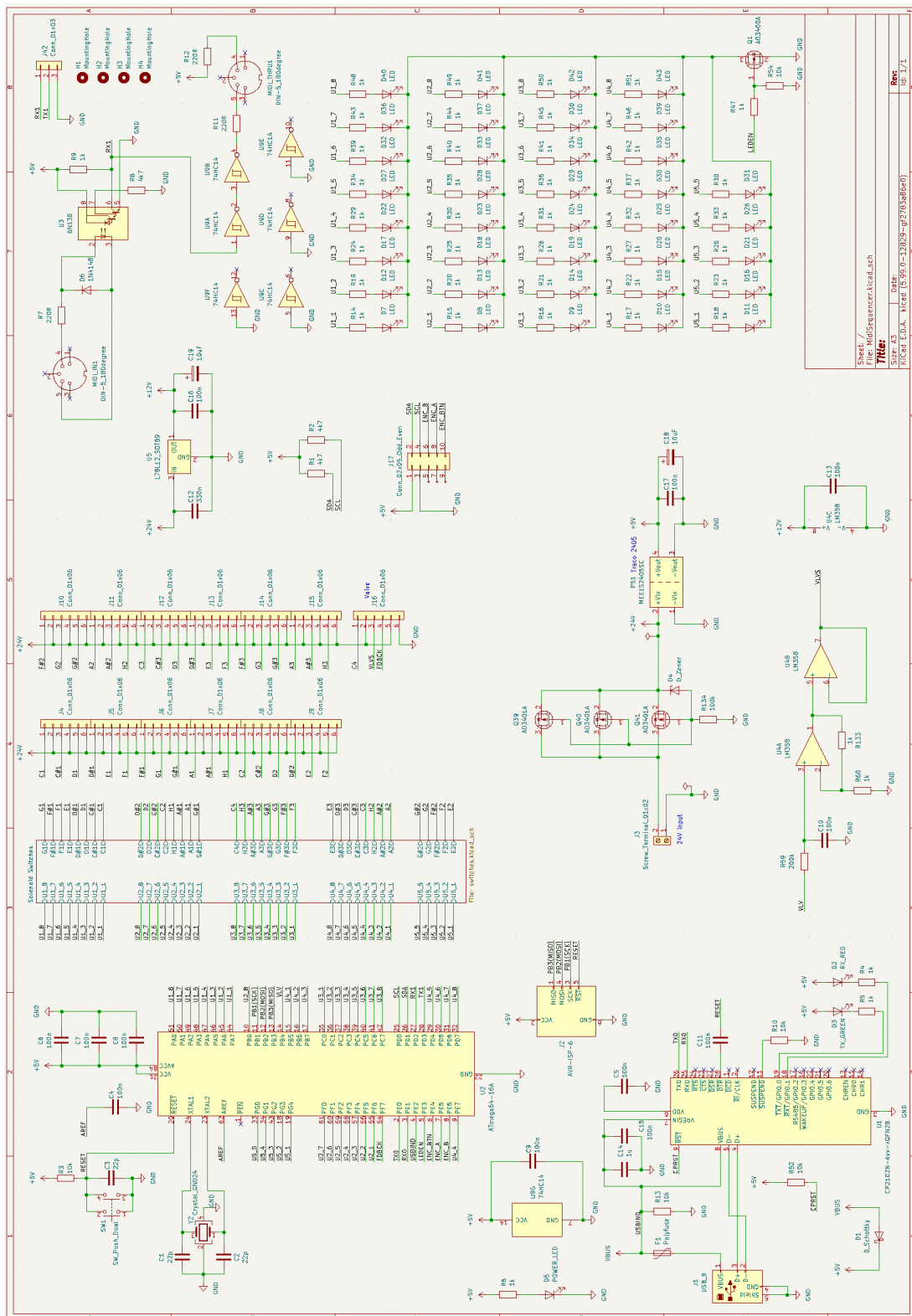
# A Zoznam súčiastok

Názov súčiastky (MFR.Part)	Popis	Dodávateľ	Počet kusov	Cena za 1ks [€]	Cena za 1ks [~kč]	Cena [~kč]
ATMEGA64A-AU	Mikroprocesor	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	1	9,20	208,40	208,40
CC0603KRX7R9BB104	Kondenzátor	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	12	0,00	0,06	0,71
0603B334K250NT	Kondenzátor	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	1	0,01	0,22	0,22
CL10C220JB8NNNC	Kondenzátor	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	3	0,01	0,15	0,44
CL10A105KB8NNNC	Kondenzátor	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	1	0,01	0,13	0,13
0603WAF1001T5E	Rezistor	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	81	0,00	0,03	2,20
0603WAF1002T5E	Rezistor	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	42	0,00	0,03	1,24
0603WAF1003T5E	Rezistor	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	1	0,00	0,03	0,03
0603WAF4701T5E	Rezistor	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	3	0,00	0,03	0,09
0805W8F2200T5E	Rezistor	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	3	0,00	0,05	0,16
0603WAF2003T5E	Rezistor	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	1	0,00	0,03	0,03
19-217/GHC-YR1S2/3T	LED Zelená	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	2	0,03	0,71	1,41
KT-0603R	LED Červená	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	38	0,00	0,07	2,76
AO3400A	Tranzistor	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	38	0,20	4,58	173,94
AO3401A	Tranzistor	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	3	0,18	4,02	12,06
ZMM5V6-M	Dióda	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	1	0,02	0,45	0,45
1N4148WS	Dióda	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	1	0,02	0,42	0,42
TS-1187A-B-A-B	Mikrospínač Operačný zosilňovač	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	1	0,02	0,38	0,38
LM358DR2G		<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	1	0,15	3,38	3,38
B5819W SL	Schottky Dióda	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	37	0,05	1,04	38,57
74HC14	Schmitt KO	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	1	0,39	8,75	8,75
78L12G-AB3-R	Stabilizátor	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	1	0,16	3,58	3,58
CP2102-GMR	USB Transciever	<a href="https://jlcpcb.com/parts">https://jlcpcb.com/parts</a>	1	3,72	84,36	84,36
STPS2L40U	Schottky Dióda	<a href="https://www.tme.eu/">https://www.tme.eu/</a>	1		4,20	4,20
OZCJ0050AF2E	Polyfuse	<a href="https://www.tme.eu/">https://www.tme.eu/</a>	1		4,25	4,25
EEEHB1C100R PANASONIC	Kondenzátor	<a href="https://www.tme.eu/">https://www.tme.eu/</a>	2		5,07	10,14
TME 2405S	DC-DC konverter	<a href="https://www.tme.eu/">https://www.tme.eu/</a>	1		121,81	121,81
SMD QS 16,000MHz GSX-533	Kryštál	<a href="https://www.gme.cz/">https://www.gme.cz/</a>	1		14,00	14,00
S1G20C	Pin lišta	<a href="https://www.gme.cz/">https://www.gme.cz/</a>	1		3,80	3,80
DS1093-07-BN50S	Midi Konektor	<a href="https://www.gme.cz/">https://www.gme.cz/</a>	2		16,00	32,00
AK4191/6KD-2.5-SLADE GREY	Svorkovnica	<a href="https://www.gme.cz/">https://www.gme.cz/</a>	13		13,00	169,00
2x5pin na kabel PFL10	Konektor - zasuvka	<a href="https://www.gme.cz/">https://www.gme.cz/</a>	2		6,20	12,40
2x5pin do DPS MLW10G	Konektor - vidlica	<a href="https://www.gme.cz/">https://www.gme.cz/</a>	2		5,30	10,60
AWG28-10H	Ploché kábel	<a href="https://www.gme.cz/">https://www.gme.cz/</a>	3		14,00	42,00
ARK301-2P-5.00	Svorkovnica	<a href="https://www.gme.cz/">https://www.gme.cz/</a>	1		5,00	5,00
E1171S-DAK3-2020-K01	Rotačný enkodér	<a href="https://www.gme.cz/">https://www.gme.cz/</a>	1		50,00	50,00
THT 6N138	Optočlen	<a href="https://www.gme.cz/">https://www.gme.cz/</a>	1		20,00	20,00
DS1099-WN0	USB B	<a href="https://www.gme.cz/">https://www.gme.cz/</a>	1		13,00	13,00
					Celkom:	1055,90

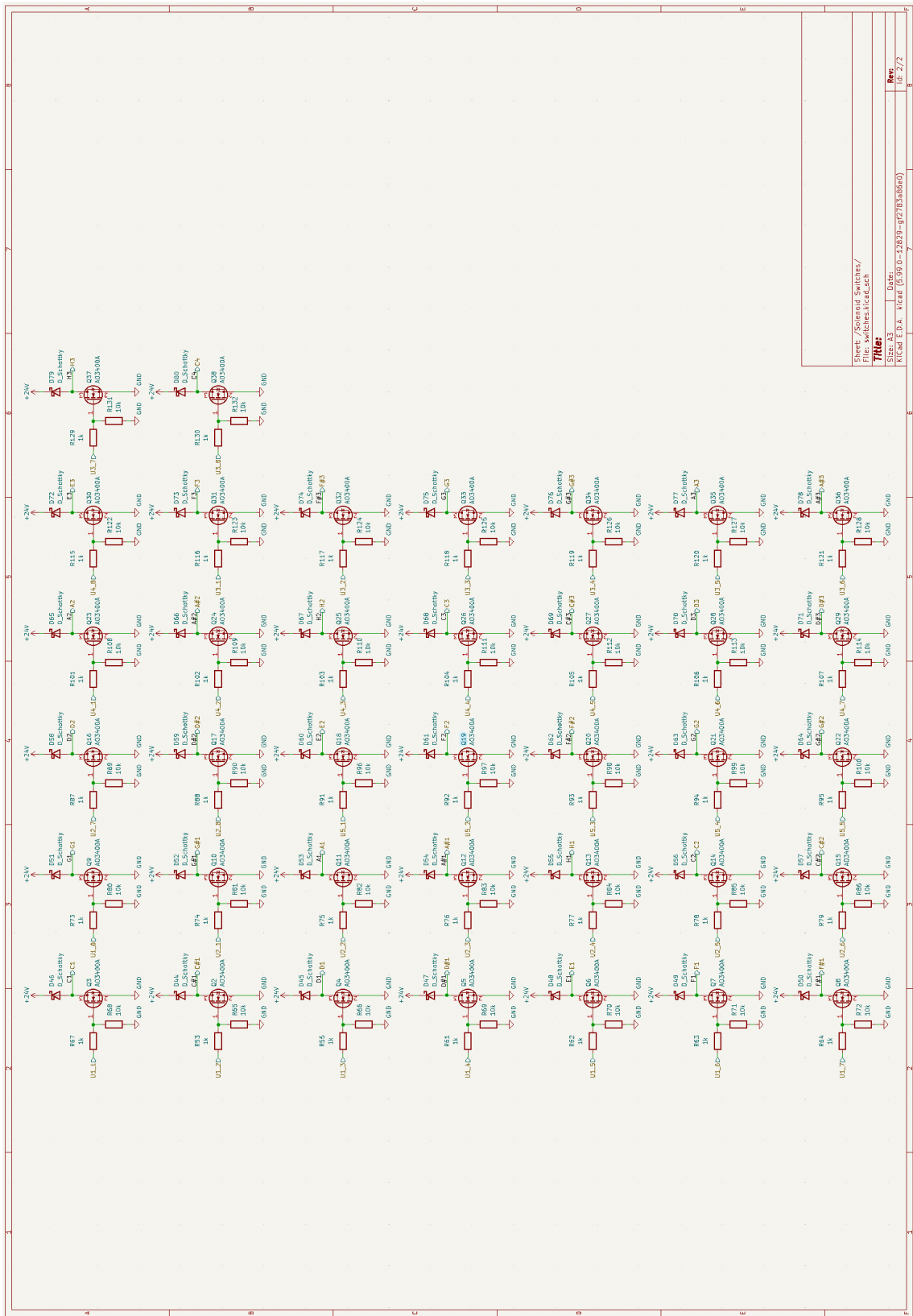
## B Elektrická schéma a DPS doplňující do- sky



# C Elektrická schéma zapojenia systému

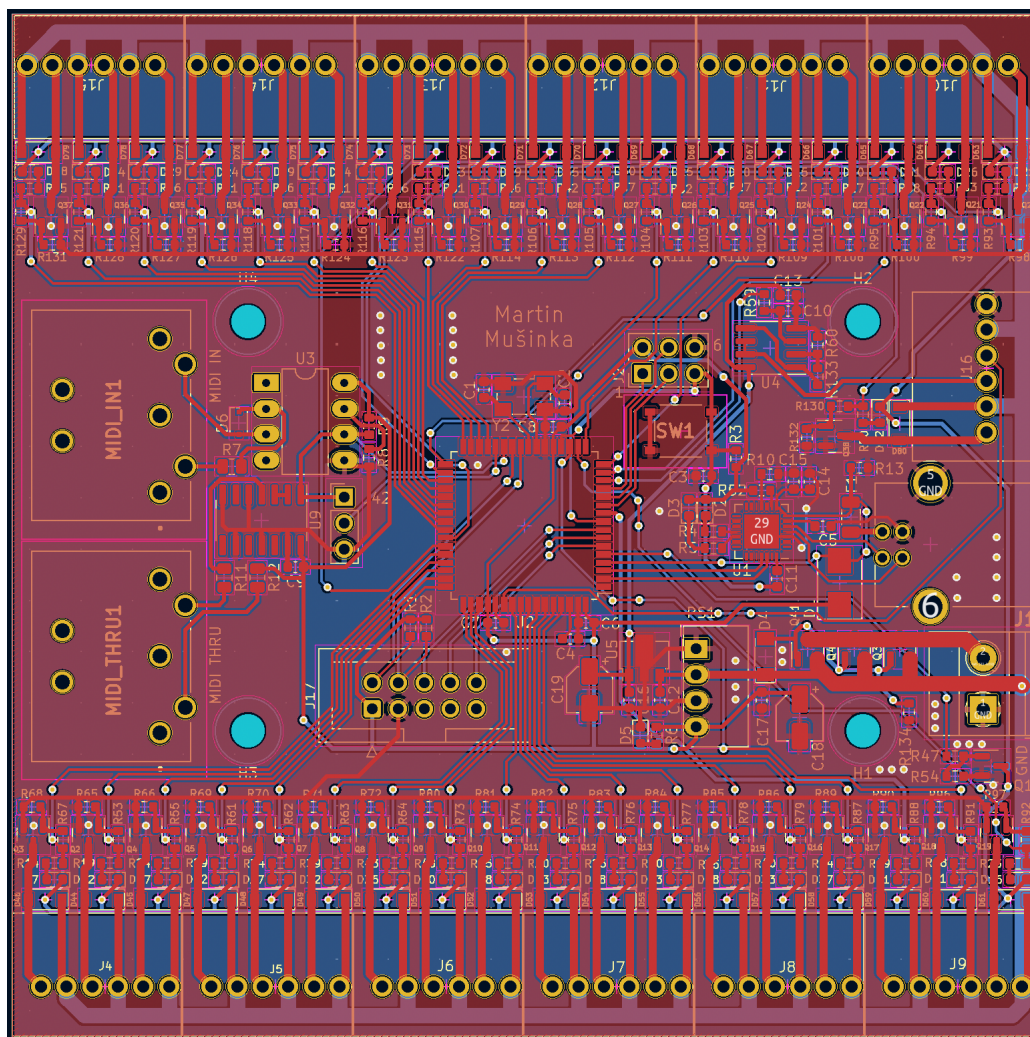






Sheet: Solenoid Switches/  
 File: switches.kicad.sch  
**Notes**  
 Kicad E.O.A. Kicad (5190 D-2859-7)2(838560)

## D Doska plošného spoja systému



## E Obsah priloženého CD

Obsah priloženého CD je totožný s obsahom elektronickej prílohy a popisuje všetky potrebné materiály pre realizáciu zadanej úlohy. Celok je rozdelený na dve hlavné časti a to na Hardware a Software. V časti Hardware sa nachádzajú všetky potrebné materiály pre realizáciu DPS (elektronická schéma, návrh DPS). Časť Software obsahuje testovacie programy pre otestovanie jednotlivých komponentov celého systému a zároveň aj hlavný program ktorý je implementovaný do vytvorenej DPS. Súčasťou prílohy je aj elektronická verzia diplomovej práce.

```
/ ..... koreňový adresár priloženého CD
├── Hardware ..... harvérová realizácia systému
│   ├── DispEnco ..... harvérová realizácia doplnujúcej dosky
│   │   ├── DispEnco.kicad_pcb
│   │   ├── DispEnco.kicad_prl
│   │   ├── DispEnco.kicad_pro
│   │   ├── DispEnco.kicad_sch
│   │   └── Gerber ..... gerber dáta pre výrobu doplnujúcej dosky
│   └── MidiSequencer ..... harvérová realizácia hlavnej dosky
│       ├── MidiSequencer.kicad_pcb
│       ├── MidiSequencer.kicad_prl
│       ├── MidiSequencer.kicad_pro
│       ├── MidiSequencer.kicad_sch
│       ├── MidiSequencer.xml
│       ├── switches.kicad_sch
│       └── xmusin00_Gerber ..... gerber dáta pre výrobu a osadenie hlavnej dosky
│           ├── MidiSequencer_BOM.xlsx
│           ├── MidiSequencer_Gerber
│           └── MidiSequencer-top-pos.xlsx
├── Software ..... softvérová realizácia systému
│   ├── MidiSequencer ..... hlavný program systému
│   ├── Skuska_Encoder
│   ├── Skuska_LED
│   ├── Skuska_MIDI
│   ├── Skuska_OLED
│   └── Skuska_PWM
└── Diplomova-praca.pdf
```