



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

NÁVRH A REALIZACE ŘÍDÍCÍ MIDI KLAVIATURY

DESIGN AND REALIZATION OF MIDI CONTROLLER KEYBOARD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Štěpán Dvořáček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.

BRNO 2016

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Štěpán Dvořáček

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh a realizace řídicí midi klaviatury

v anglickém jazyce:

Design and realization of MIDI controller keyboard

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je navrhnout a vyrobit řídicí midi klaviaturu schopnou ovládat počítačovou simulaci elektromechanických varhan Hammond GSi VB3. V návrhu je možné využít dostupných komponent (řídicí MIDI obvody, klaviatura). Návrh musí respektovat požadavky na nízkou hmotnost a snadnou mobilitu výsledného zařízení.

Cíle bakalářské práce:

1. Návrh přenosné mechanické konstrukce s využitím klaviatury Fatar TP 80
2. Návrh a výroba řídicí elektroniky
3. Návrh a Výroba ovládacích prvků
4. Programování základní funkcionality

Seznam odborné literatury:

B.W.Bell: Making a MIDI keyboard, Stanford University internal presentation

Daniel Forró: Svět MIDI, GRADA, Praha 1997

MIDI CPU Firmware Version 1.2 User Manual

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 10.11.2014

L.S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá zhotovením specifického MIDI kontroléru schopného ovládat počítačovou simulaci varhan Hammond. Teoretická část je tvořena stručným úvodem do problematiky zvuku a MIDI ve spojení s počítačem, dále kapitolou věnovanou varhanám Hammond a simulaci GSI Vb3, z níž vyplývají klíčové ovládací prvky kontroléru. Následuje popis řešení mechanické a elektronické části nástroje.

Výsledkem této práce je funkční klávesový kontrolér vhodný pro využití v nahrávacím studiu i při živé produkci.

Klíčová slova

MIDI, kontrolér, VST, Hammond organ, GSI Vb3,

ABSTRACT

This thesis deals with the realization of a specific MIDI controller being able to control a computer simulation of the Hammond organ. Theoretical part consists of a brief introduction to working with audio and MIDI on the computer. Next chapter describes Hammond organ and GSI Vb3 simulation resulting in a selection of the key control elements. Mechanical and electronic solution is described in the following chapters.

A functional keyboard controller, which can be utilized in a recording studio or in a live performance was accomplished as a result of this thesis.

Key words

MIDI, controller, VST, Hammond organ, GSI Vb3

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DVOŘÁČEK, Š. *Návrh a realizace řídicí MIDI klaviatury*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 31 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh a realizace řídicí MIDI klaviatury** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Štěpán Dvořáček

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat panu doc. Ing. Jiřímu Krejsovi za schválení a vedení této práce a dále pánům: Vojtěch Řiháček (odborná pomoc při návrhu a ohýbání plechových součástí), Martin Jirsák (odborná korektura), Alois Orság (řezání plechu laserem a povrchová úprava), Pavel Koňářík (tváření závitů ve firmě STIMZET), Zdeněk Šplíchal (vyfrézování horního dřevěného panelu), Alois Orság st. (vyřezání dřevěných bočnic), Zdeněk Dvořáček (pájení), Martin Dvořáček (fotodokumentace) a Zdeněk Dvořáček st. (financování projektu).

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ	7
OBSAH.....	8
1 ÚVOD.....	10
2 ANALÝZA PROBLÉMU	11
3 HUDBA A POČÍTAČ	12
3.1 Cesta zvuku.....	12
3.2 Virtuální nástroje a efekty.....	12
3.3 Komunikační protokol MIDI.....	13
3.3.1 Technická specifikace.....	13
3.3.2 MIDI kanály.....	13
3.3.3 Struktura MIDI zprávy.....	13
3.3.4 Změna kontroléru.....	14
3.3.5 Typy kontroléru	14
4 VARHANY HAMMOND + LESLIE	15
4.1 Historie a popis originálního nástroje.....	15
4.4 Virtuální nástroj GSI Vb3.....	19
4.3 Výběr ovládacích prvků.....	19
5 VOLBA KLAVIATURY A LOGICKÝCH OBVODŮ.....	20
5.1 Klaviatura Fatar TP/80.....	20
5.2 Logický obvod Doepfer MKE	21
5.3 Logický obvod MIDI CPU	22
5.3.1 Popis konektorů	22
6 MECHANICKÁ ČÁST	23
6.1 Ovládací táhla	23
6.2 Šasi klaviatury.....	24
6.3 Ostatní ovládací prvky	24
6.4 Dřevěný panel a bočnice.....	25
7 ELEKTRONICKÁ ČÁST	27
7.1 Schéma zapojení	27
7.2 Struktura SysEx zprávy pro MIDI CPU	27
7.3 Napájecí zdroj	28
ZÁVĚR	29

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	30
SEZNAM PŘÍLOH.....	31

1 ÚVOD

Varhany Hammond mě zaujaly už v dětství svým zvukem, velikostí a množstvím na první pohled nepřehledných ovládacích prvků. Možnost vyzkoušet tento nástroj nebo jeho digitální hardwarovou simulaci bylo pro mne ekonomicky nedostupné. Zaměřil jsem se na virtuální nástroje. Nalezl jsem GSI Vb3 – zvukově věrnou simulaci. Zbývalo navrhnout MIDI kontrolér umožňující interakci s počítačem způsobem charakteristickým pro tento nástroj. V aukci na americkém Ebay jsem vyhrál ovládací skříňku nástroje Hammond M3 (*Obrázek 6.1*). K ní jsem zakoupil klaviaturu, mikrokontroléry a po neúspěšných pokusech vše spojit v jeden funkční celek jsem si tento problém zvolil jako téma bakalářské práce.

2 ANALÝZA PROBLÉMU

MIDI kontroléry dostupné na trhu jsou v drtivé většině navrženy podle jedné šablony s těmito ovládacími prvky: 8 tahových potenciometrů, 8 otočných potenciometrů, několik dynamických padů a kolečka pitchbend a modulace (pro kontrolér splňující zadání je potřeba více než dvojnásobek tahových potenciometrů, naopak kolečka pitchbend a modulace jsou zbytečná). Mezi sebou konkurují hlavně cenou, čemuž odpovídá i provedení, kdy například kvůli nekvalitním potenciometrům uživatel není schopen plně využít všech 128 hodnot už tak nízkého standardního MIDI rozlišení 7 bitů. Klaviatury těchto kontrolérů jsou použitelné např. pro elektronické psaní not, ale nevydrží namáhání vzniklé při každodenním cvičení.

Velkým kladem při vlastní výrobě varhanního kontroléru je dostupnost samotné klaviatury Fatar TP/80, která je použita v kvalitních nástrojích tohoto typu. K jejímu zapojení byl zvolen obvod Doepfer MKE a pro připojení potenciometrů a přepínačů obvod MIDI CPU. Oba obvody obsahují mikrokontroler PIC a jsou předprogramovány v assembleru. Nabízí se také možnost využít například mikrokontroléru na bázi Arduina, ale je nutné napsat velmi efektivní kód k docílení minimální latence. Ergonomie a rozmístění ovládacích prvků vychází ze způsobu hry na nástroj.

Cíle, kterých má být dosaženo:

1. Výroba funkčního a spolehlivého varhanního MIDI kontroléru navrženého se zaměřením na nízkou hmotnost a velikost kvůli snadné mobilitě
2. Návrh a výroba řídicí elektroniky.
3. Návrh a výroba ovládacích prvků s využitím součástí z originálního nástroje.
4. Programování základní funkcionality.
5. Design inspirovaný vzhledem elektromechanických nástrojů Hammond.

3 HUDBA A POČÍTAČ

Hudba je jedna z oblastí, která ke své tvorbě a zpracování využívá počítač. Počítačové technologie umožňují simulovat reálné hudební nástroje nebo vytvářet zcela nové, existující pouze ve virtuální podobě. K jejich ovládní používáme MIDI zařízení.

3.1 Cesta zvuku

K tomu, abychom po stisknutí klávesy nebo spuštění nahrávky uslyšeli zvuk, používáme zvukovou kartu. Pro hudební účely se dnes v naprosté většině připojují externí USB zařízení, která kombinují kvalitní AD/DA převodník, zvukový výstup, několik zvukových vstupů často s mikrofonními předzesilovači a některých případech i MIDI vstup a výstup. Základními parametry zvukové karty jsou vzorkovací frekvence a bitová hloubka, ve kterých je karta schopná hudbu nahrávat či reprodukovat. Bitová hloubka udává dynamický rozsah, jakého je nahrávka schopná, tedy počet dílků mezi nejhlasitějším a nejslabším místem nahrávky [1]. Vzorkovací frekvence udává kolikrát za sekundu je zvuk vyhodnocen [2]. Zvuková karta s parametry 24bit/192kHz tedy vyhodnocuje zvuk až 192 000 krát za sekundu s dynamickým rozsahem 2^{24} dílků. Dalším klíčovým článkem je software, ve kterém na počítači hudbu nahráváme a tvoříme – DAW (Digital Audio Workstation). Zde také spouštíme jednotlivé virtuální nástroje. Jako audio výstup je nastavena zvuková karta, která již vede zvuk do reproduktorů. Problém, kterému je nutné v tomto řetězci čelit, je latence. Latence (kumulovaná) je doba mezi okamžikem, ve kterém udáme povel počítači (např. zmáčknutí klávesy, brnknutí na strunu) a uslyšením zvuku. V praxi se to řeší ovladači zvukové karty.

3.2 Virtuální nástroje a efekty

Pro označení nástroje či efektu vytvořeného pro použití v DAW se vžil název plugin (zásuvný modul). Pluginy existují v různých formátech. Pro účely této práce je dále popsán formát VST, který je nejstarší, a zároveň v něm byla vytvořena simulace varhan Hammond GSI Vb3.

Rozhraní VST (Virtual Studio Technology) bylo uvedeno firmou Steinberg v roce 1996 a je dostupné pro platformy Windows, Mac i Linux. Od druhé generace (VST2) podporuje funkci „MIDI Learn“. Tato funkce umožňuje snadné přiřazení fyzického ovladače virtuálnímu například tímto způsobem: vybereme parametr, který chceme přiřadit, klikneme pravým tlačítkem a zvolíme MIDI Learn. Pohneme fyzickým ovladačem, kterým chceme parametr řídit. Tímto se fyzický a virtuální ovladač spojí [3]. Plugin GSI Vb3 je řešen tímto způsobem.

VST pluginy se dělí na dvě kategorie – efekt (VST) a instrument (VSTi). VSTi je virtuální nástroj, uvnitř kterého je generován zvuk. VST primárně zvuk negeneruje, ale vstupní zvuk upravuje na zvuk jiný.

VSTi je dále možné rozdělit na nástroje založené na přehrávání zvukových vzorků – samplů, a na nástroje tvořící zvuk díky matematicky popsanému fyzikálnímu modelu. Plugin GSI Vb3 patří do druhé kategorie.

3.3 Komunikační protokol MIDI

Tato část se zabývá vysvětlením MIDI (Music Instrument Digital Interface) na úrovni a rozsahu nutném pro pochopení programování a funkcionality výsledného zařízení.

3.3.1 Technická specifikace

Původní MIDI norma počítala s rozhraním, které se skládá ze tří 5-pinových konektorů DIN (Obrázek 3.1) označených In, Out a Thru. Konektor In – vstup pro MIDI data, Out – výstup pro MIDI data a konektor Thru – průchozí výstup dat, na který jsou kopírována data ze vstupu MIDI In, takže slouží k propojení více zařízení do série. Dnes u většiny zařízení konektor Thru chybí, což se v některých případech nahrazuje funkcí MIDI Merge - vstupní data jsou sloučena s interně generovanými daty a vše je odesláno na výstup. Kromě Konektorů DIN lze MIDI přenášet také pomocí USB, Ethernet, Bluetooth nebo WiFi.

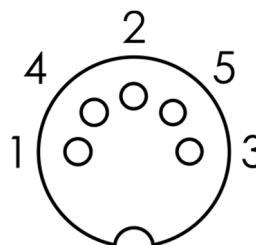
MIDI sběrnice přenáší data pomocí proudové smyčky. Logické nule odpovídá proud 5 mA, logické jedničky nulový proud [4].

4...příjem dat

5...vysílání dat

2...zemnění

1,3...nezapojen



Obr. 3.1: Zapojení MIDI DIN konektoru

3.3.2 MIDI kanály

K tomu, abychom určili, pro které zařízení je vyslaná MIDI zpráva určena, používáme MIDI Porty. Jeden Port umožňuje přijímat nebo vysílat na 16 kanálech. Každý z kanálů je schopen přenášet avšak MIDI zprávy. Plugin Gsi VB3 využívá 3 kanály pro rozlišení horní, spodní a nožní klaviatury.

3.3.3 Struktura MIDI zprávy

Základní datový blok, přenášející určitou informaci se nazývá „MIDI zpráva“. Ta se skládá z jednoho stavového a několika datových bytů. MIDI byte je osmibitový datový typ, kde nejvýznamnější bit (MSB – Most Significant Bit) určuje, zda jde o stavový byte (MSB=1) nebo datový byte (MSB=0). MIDI zprávy se dále dělí na tzv. kanálová data a systémová data. Kanálová data mají ve stavovém bytu vyhrazené poslední 4 bity pro identifikaci MIDI kanálu. Systémová data informaci o kanálu nepřenáší – jsou společná pro všechny kanály.

Příklad MIDI zprávy „Note On“ (nota zapnuta):

Stavový byte	Datový byte	n-číslo kanálu
100█nnnn	0kkkkkkk	k-číslo noty
	0hhhhhhh	h-hlasitost

Identifikátor 1

Rozlišení běžně přenášeného datového bytu je tedy 0-127 hodnot.

3.3.4 Změna kontroléru

MIDI zpráva typu Control Change (změna kontroléru) přenáší informaci o změně hodnoty tzv. kontroléru - ovládacího parametru MIDI nástroje, např. hlasitosti, modulaci, bance zvuků atd. První datový byte přenáší informaci o MIDI čísle kontroléru a druhý datový byte jeho novou hodnotu. Čísla kontrolérů i jejich hodnoty mohou být opět od 0 do 0127. Tento rozsah je pro některé parametry jako je např. Pitch Bend (ohýbání tónu) málo, proto mají vyhrazeny dva datové byty. Rozlišení je potom 14 bitů, tedy celkový počet hodnot, jakých může takový kontrolér nabývat, je 16284.

3.3.5 Typy kontroléru

MIDI kontroléry se z hlediska funkce dělí na:

kontinuální (průběžné)-mohou nabývat všech hodnot v rozsahu 0-127.

spínače-vysílají pouze hodnotu vypnuto (0-63) a zapnuto (64-127).

inkrementální (krokové)-na přenášené hodnotě nezáleží, funkce je dána pouhým přijetím čísla kontroléru - přičtení nebo odečtení 1 od hodnoty parametru.

povely-na přenášené hodnotě opět nezáleží, příkladem je povel All Notes Off (všechny noty vypnuty).

MIDI norma definuje funkce některých čísel kontrolérů, které by měli výrobci dodržovat. Pro potřeby této práce jsou z předdefinovaných kontrolérů důležité:

CC 11 - Expression Controller - zvláštní typ kontroléru, který má jako výchozí hodnotu 127. Je určen pro relativní zeslabení nástroje oproti nastavené hlasitosti.

CC 64 - Sustain pedal on/off - kontrolér typu spínač, který plní funkci pravého pedálu u klavíru. Dnes bývá (v souladu se skutečným klavírem) implementován jako kontinuální ovladač, kdy záleží na hloubce stisknutí pedálu.

CC 123 - All Notes Off - kontrolér typu povel (všechny noty vypnuty).

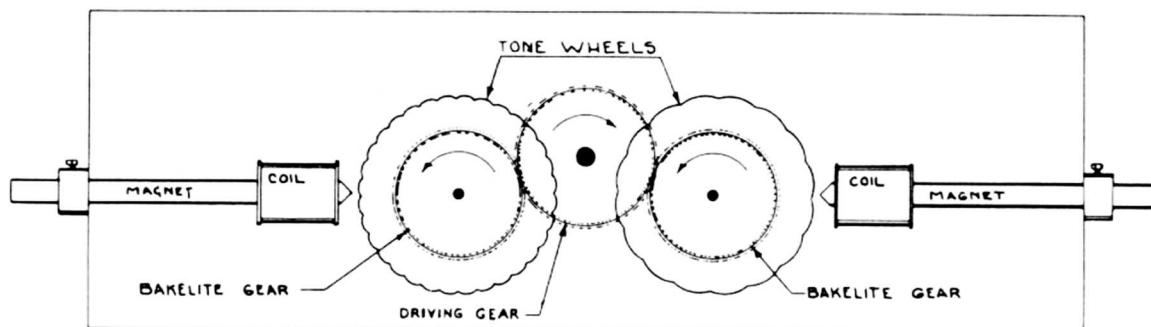
4 VARHANY HAMMOND + LESLIE

4.1 Historie a popis originálního nástroje

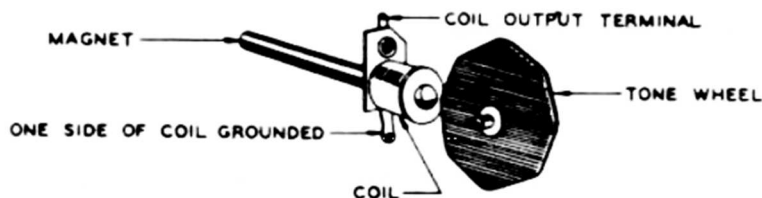
V roce 1934 si mechanik Laurens Hammond podal patent na výrobu elektromagnetických varhan jako kompaktní a levnější alternativu píšťalových varhan do kostela.

Zdrojem zvuku je 96 koleček (tonewheels) poháněných synchronním motorem otáčejícím se konstantní rychlostí (*Obrázek 4.1*). Každé kovové kolečko má vlastní elektromagnetický snímač (*Obrázek 4.2*), v němž se indukuje napětí 4-8 mV při impedanci 10 ohmů. Frekvence a amplituda sinusoidy generované každým kolečkem závisí na počtu a tvaru drážek po obvodu, které určují barvu a výšku tónu. Reálně se využívá pouze 91 koleček, zbylých 6 drážky nemá a slouží pouze k vyvážení hřídele. Každá klávesa má pod sebou devět spínačů, které spínají kromě základního tónu ještě osm dalších. Hlasitost těchto tónů je ovládána devíti táhly s devíti polohami (drawbars), jak je patrné z *Obrázku 4.3*. Jsou popsány 16', 5+1/3', 8', 4', 2+2/3', 2', 1+3/5', 1+1/3' a 1' a označují jednotlivé harmonické tóny v souladu s píšťalovými varhanami. Celkem jsou k dispozici čtyři sady devíti táhel plus dvě táhla 16' a 8' ovládající pedálovou klaviaturu [6].

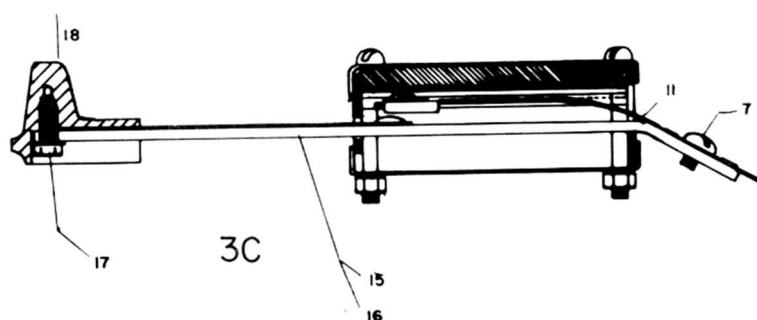
Varhany Hammond se vyznačují dvěma klaviaturami v rozsahu šesti oktáv, přičemž spodní oktáva je provedena v inverzním barevném schématu a slouží k přepínání přednastavených rejstříků a volbu aktuálně používaných táhel, a pedálnicí ovládanou nohama.



Obr. 4.1: Kolečka s drážkami [5]



Obr. 4.2: Schéma elektromagnetického snímače [5]



Obr. 4.3: Táhlo s devíti polohami [5]

4.2 Efekty

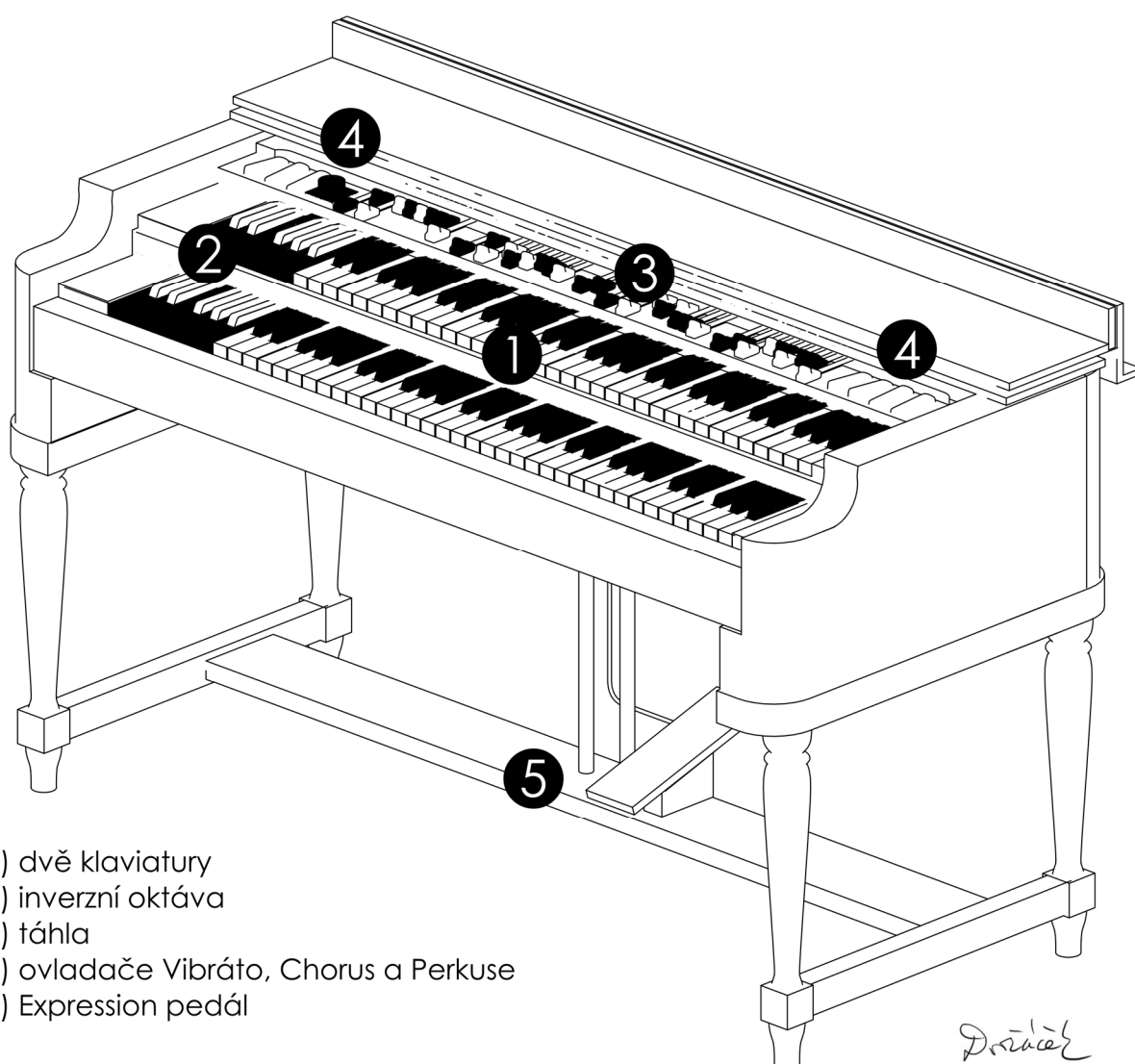
Percussion: označení pro prudké zesílení druhého nebo třetího harmonického tónu v okamžiku stisknutí klávesy, které simuluje podobný efekt při naražení proudu vzduchu na píšťalu varhan. Ovládá se čtyřmi přepínači: on/off (zapnuto/vypnuto), soft/normal (rychlost náběhu tónu), fast/slow (rychlost dozvuku tónu), third/second (druhý/třetí harmonický).

Pružinový reverb: využívá se dlouhé kovové pružiny, kterou na jednom konci rozkmitává elektromagnetický budič a na druhém konci je elektromagneticky snímána. Tímto se simuluje efekt odrazů zvuku ve velké místnosti.

Vibráto a Chorus: vibráto znamená pulzující změnu výšky tónu, chorus se dociloval přidáním tónu o několik centů vyššího a nižšího k základnímu tónu. Na varhanách jsou ovládány šestipolohovým otočným přepínačem.

Key click: nejedná se o efekt v pravém slova smyslu, je to defekt způsobený zesíleným jiskřením spínačů pod klávesami, který ovšem tvoří charakteristickou část zvuku varhan Hammond.

Expression pedál: pedál ovládající celkovou hlasitost nástroje. Funguje na principu zastiňování žárovky, kterou snímá fotorezistor. Díky tomu má exponenciální průběh [6].

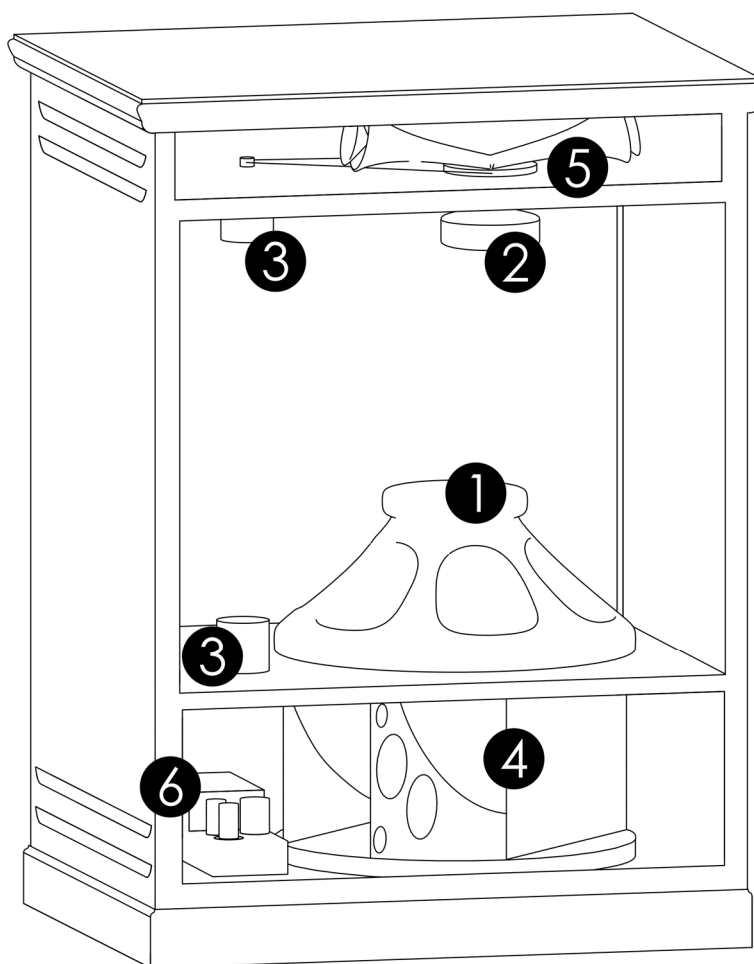


Obr. 4.4: Schéma varhan Hammond B3

4.3 Reprodukter Leslie

Kvůli tomu, že varhany Hammond postrádaly charakteristický efekt chorusu/vibráta souzvuku mnoha píšťal z různých zdrojů a elektronické obvody ještě nebyly na úrovni potřebné k uspokojivé simulaci, experimentovalo se s mechanickými efekty. Nejúspěšnější byly reproduktory značky Leslie, konkrétně model 122 (Obrázek 4.5). Obsahuje basový (1) a výškový (2) reproduktor, napevno umístěný v dřevěné skříni o rozměrech 104*74*52 mm. Před oběma reproduktory rotují zvukovody (4,5) poháněné motory (3), navzájem v opačném směru. Díky tomu dochází k amplitudové, a v důsledku Dopplerova efektu také frekvenční modulaci. Oba zvukovody se navíc otáčejí odlišnou rychlostí, s možností přepínání chorale/tremolo (pomalu/rychle). Uvnitř skříně je rovněž lampový zesilovač (6) o výkonu 40 W. Díky všem těmto faktorům se jedná o komplexní a obtížně napodobitelný efekt [7].

- (1) basový reproduktor
- (2) výškový reproduktor
- (3) motory
- (4), (5) zvukovody
- (6) lampový zesilovač



Obrázek 4.5: Schéma reproduktoru Leslie 122

4.4 Virtuální nástroj GSI Vb3



Obr. 4.6: Grafické uživatelské rozhraní GSI Vb3 [8]

Základem je 91 virtuálních oscilátorů, modelovaných podle výstupního signálu skutečného nástroje. K dispozici jsou všechna táhla a přepínače, podporující funkci MIDI Learn. Lze ovládat percussion, vibrato/chorus, expression pedál včetně křivky odezvy, hlasitost key click, zkruslení lampového zesilovače, úroveň reverbu a simulaci Leslie: rychlost obou rotorů, jejich setrvačnost při změně rychlosti a pozici virtuálních mikrofónů snímajících reproduktor. Změnu rychlosti chorale/tremolo je možné ovládat sustain pedálem. Přestože varhany nereagují dynamicky na úhoz, lze parametr MIDI velocity využít pro simulaci postupného sepnutí devíti kontaktů pod každou klávesou, které může trvat 1-39 milisekund [8].

4.3 Výběr ovládacích prvků

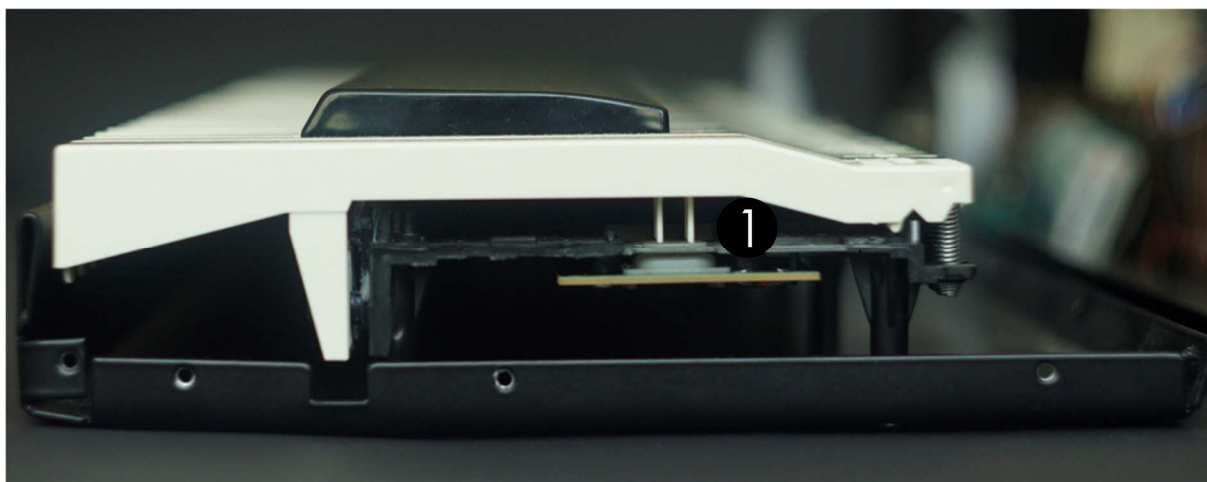
Návrh kontroléru obsahuje 2×9 táhel, přepínače Percussion on/off, soft/normal, fast/slow, third/second, potenciometry Drive a Reverb, Vibrato/Chorus enkodér, MIDI All Notes Off přepínač, expression pedál, sustain pedál a volně přiřaditelný analogový vstup pro pedál, což představuje 22 analogových a 9 digitálních vstupů. Dále je potřeba jedna klaviatura s možností připojení dalších přes MIDI vstup.

5 VOLBA KLAVIATURY A LOGICKÝCH OBVODŮ

K realizaci požadavků zařízení, vytyčených v předchozí kapitole, byly vybrány následující komponenty:

5.1 Klaviatura Fatar TP/80

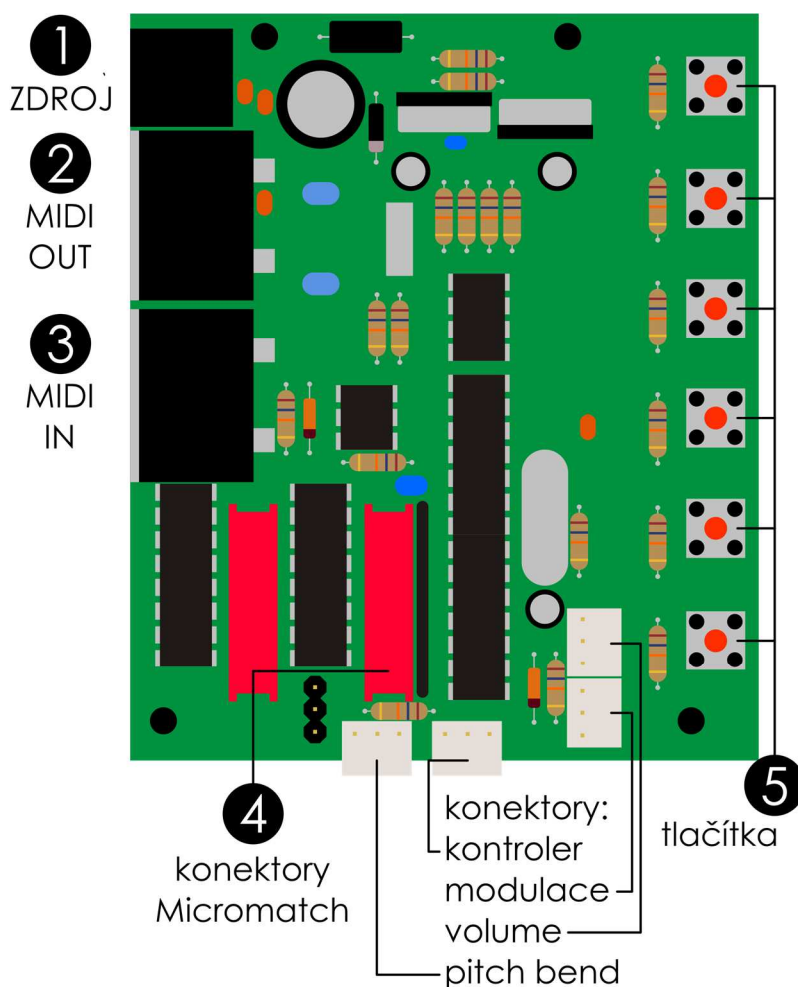
Klaviatura Fatar TP/80 s rozměry 848,4×196×70,75mm má 61 kláves (5 oktáv) a byla navržena speciálně pro účely nástrojů simulujících varhany Hammond. Jedná se o klaviaturu typu waterfall se zaoblenými okraji kláves. Pod každou klávesou jsou umístěny dva bublinové uhlíkové kontakty (1) (Obrázek 5.1). Na základě doby mezi sepnutím prvního a druhého spínače klaviatura vysílá tzv. rychlostní citlivost (velocity). Spínače jsou propojeny diodovou maticí a vyvedeny do dvou 16-pinových konektorů typu Micromatch. Klaviatura není samostatně napájena [9].



Obr. 5.1: Klaviatura Fatar TP/80

5.2 Logický obvod Doepfer MKE

Tento obvod (Obrázek 5.2) o rozměrech 85*71*33mm umožňuje připojení MIDI klaviatury značky Fatar o rozsahu 2 až 5 oktáv a čtyř dalších ovládacích prvků – Pitch Bend, Modulace, Volume a volně přiřaditelný kontrolér. Pro připojení klaviatury jsou určeny dva konektory typu Micromatch (4). Nastavení funkcí jako Transpose nebo výběr kanálu a programování funkcí ovládacích prvků probíhá pomocí šesti tlačítek (5). Obsahuje DIN konektory pro MIDI vstup (3) a výstup (2). K napájení je potřeba zdroj stejnosměrného napětí 7-12V s proudem minimálně 250mA, připojený ke konektoru (1) [10].

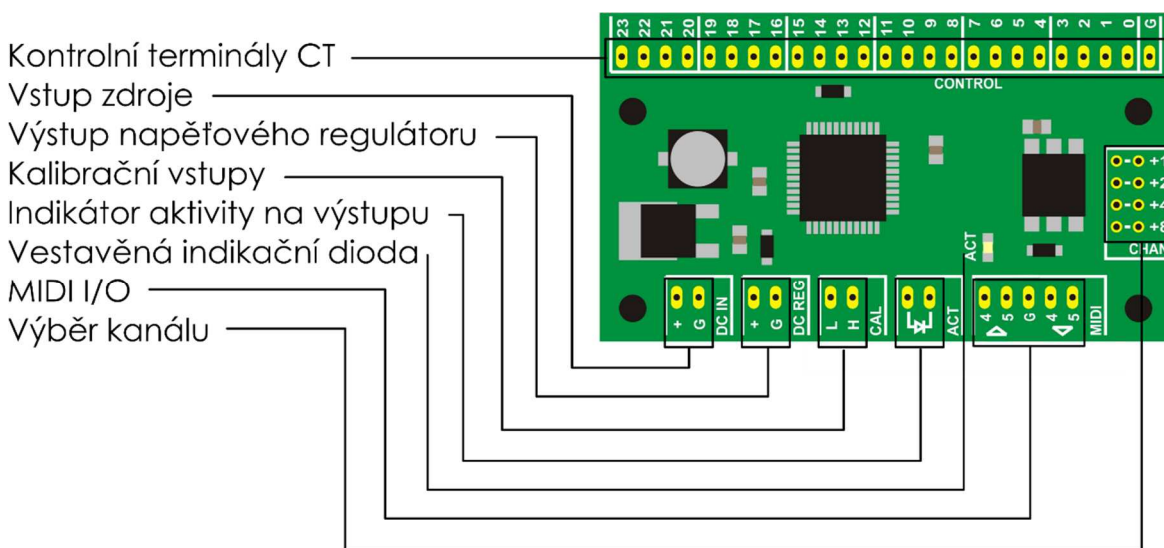


Obr. 5.2: Schéma logického obvodu Doepfer MKE

5.3 Logický obvod MIDI CPU

Tento obvod s rozměry 66*38*8mm obsahuje 24 vstupů, z nichž 14 je analogových. Díky tomu, že MIDI CPU disponuje funkcí MIDI Merge, byly použity dva kusy propojené navzájem mezi sebou. K napájení je potřeba zdroj stejnosměrného napětí 3,3-12V a proudu o velikosti 150mA. Funkce jednotlivých vstupů jsou programovány pomocí MIDI SysEx zpráv vyslaných do MIDI vstupu [11].

5.3.1 Popis konektorů



Obr. 5.3: Schéma konektorů obvodu MIDI CPU

Kontrolní terminály: zde se připojují spínače, potenciometry, enkodéry a indikační LED diody. Terminály 8-13 a 16-23 lze použít jako analogový vstup. Konektory označené G slouží k uzemnění.

Vstup zdroje

Výstup napěťového regulátoru

Kalibrační vstupy

Indikátor aktivity na výstupu: zde je možné připojit indikační LED.

Vestavěná indikační dioda

MIDI I/O: slouží k připojení MIDI vstupu a výstupu.

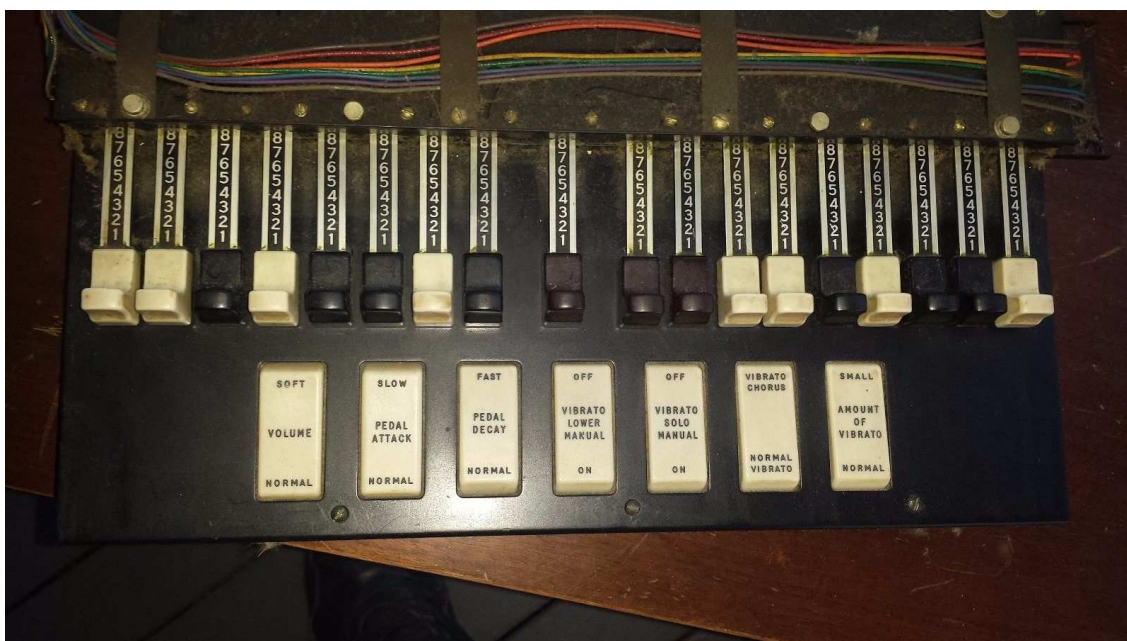
Výběr MIDI kanálu

6 MECHANICKÁ ČÁST

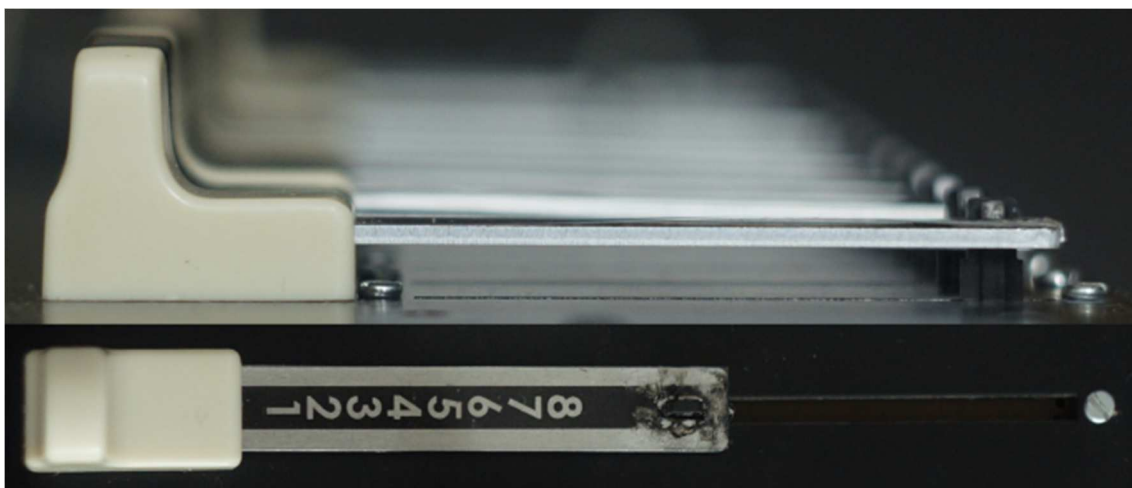
V této části je rozebrán proces návrhu a výroby jednotlivých součástí

6.1 Ovládací táhla

Po důkladném zvážení byla zamítnuta možnost použití táhel vymontovaných z originálního nástroje Hammond M3 (Obrázek 6.1) a to zejména kvůli velké hmotnosti a značné nespolehlivosti způsobené rušením. Proto bylo navrženo vlastní řešení s použitím originálních plastových knoflíků, kdy každé táhlo ovládá připojený lineární posuvný potenciometr. Dráha posuvu původních táhel je 42mm, proto byla zvolena nejbližší dostupná varianta potenciometru s dráhou posuvu 45 mm, ovšem bylo nutné vyrobit prodlouženou variantu proužků plechu se stupnicí 1 - 8 spojujících knoflíky s jezdcem potenciometru. Stupnice byly vyrobeny z průhledné s folie s popisem vytisknutým na rubovou stranu (Obrázek 6.2). Ve výsledku se podařilo snížit celkovou délku ovladače o 30%, výšku o 70% a hmotnost o 85%, pokud započítáme i část plechu, držící potenciometry vcelku.



Obr. 6.1: Ovládací skříňka Hammond M3

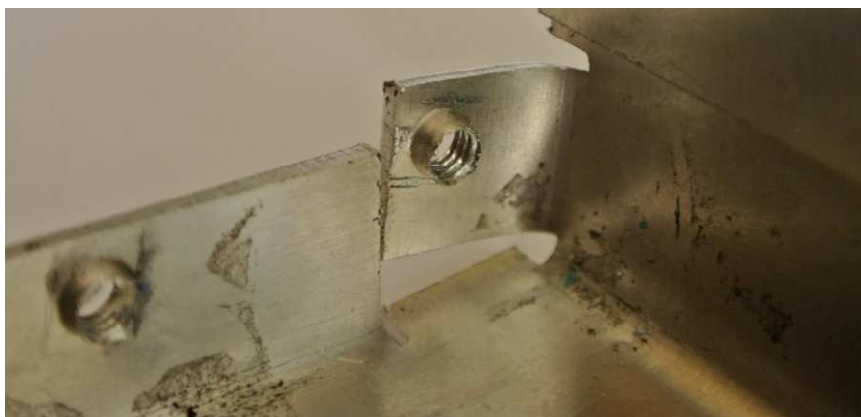


Obr. 6.2: Ovládací táhla

6.2 Šasi klaviatury

Základní rozměry byly dané klaviaturou Fatar TP/80. Kvůli tomu, že bylo nutné upevnit mnoho drobných potenciometrů na přesné pozice, byl jako materiál zvolen polotvrký hliníkový plech tloušťky 1,5 mm, přičemž rozvinuté části plechu byly vyřezány laserem. Při CAD návrhu byl nejprve vytvořen kvádr, jehož rozměry odpovídaly vnějším rozměrům klaviatury, na základě kterého bylo možné vytvořit půdorys plechu a přidávat obruby. Mezi klaviaturou a bočnicemi byla po stranách nechána vůle 1,5 mm, mezi klaviaturou a předním lemem vůle 2 mm. Aby bylo možné ohnout výsledný tvar, bylo nutné šasi rozdělit na dvě části. Řezání proběhlo na laseru, původně měly být ohybové čáry gravírovány, což se kvůli vysoké odrazivosti plechu nepodařilo. Pokud by byl k dispozici stroj s vodním paprskem, nedošlo by ani k opálení některých hran. Spojovací otvory a otvory pro upevnění bočnic byly tvářeny protlačovacím vrtákem s následným vyřezáním závitů M4 pro bočnice a M3 pro spojení horního a spodního plechu (*Obrázek 6.3*).

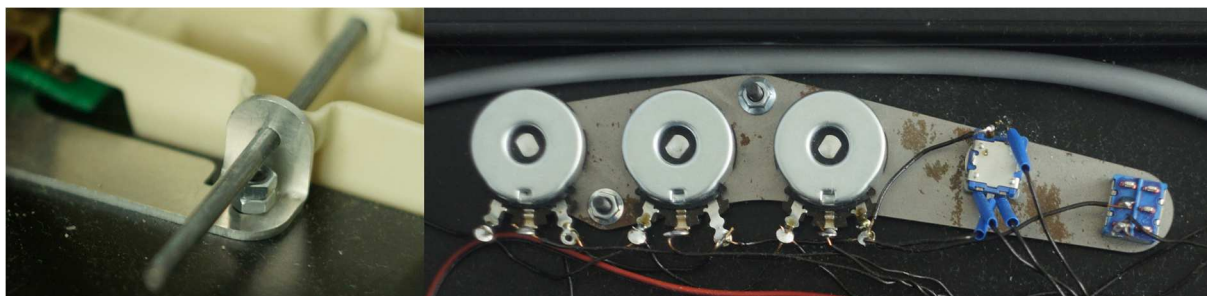
Postup ohýbání byl následující (*Obrázek 6.7*): nejprve byl ohnut lem spodního plechu (1), poté obruby na bocích (2) a nakonec přes vložené prkno délky 84 cm a tloušťky 2 cm podélné hrany (3, 4). Postup u horního plechu byl obdobný, jen bylo možné začít hned obrubami. Povrchová úprava byla provedena černým matným komaxitem.



Obr. 6.3: Detail závitů M4 boční obruby

6.3 Ostatní ovládací prvky

Umístěním táhel na střed vzniklo nalevo místo pro 4 originální přepínače Hammond M3 obdélníkovitého tvaru. Celý mechanismus bylo možno demontovat a přemístit. Modifikací byla výroba pomocných úchytů tvaru L držících osičku (*Obrázek 6.4 vlevo*), okolo které se přepínače otáčejí. Napravo byly umístěny tři potenciometry, jeden krokový enkodér a spínač. Z estetického hlediska jsou usazeny v plechovém držáku (*Obrázek 6.4 vpravo*), tak aby byly matice potenciometrů skryté a knoflíky dosedly na panel.



Obr. 6.4: Plechové úchyty

6.4 Dřevěný panel a bočnice

Dřevěný panel (*Obrázek 6.5*) byl použit nejen jako estetický prvek odkazující na originální nástroj vyrobený velkou částí ze dřeva, ale také jako ochrana vystouplých táhel, knoflíků a přepínačů. Je vyroben z masivního bloku ořechového dřeva o tloušťce 20mm. Po konzultaci byly nejprve do vyfrézovaných drážek vlepeny příčné špalíčky kolmo na léta dřeva, aby se panel po odfrézování velké části materiálu do hloubky 15mm nezkroutil. Panel je připevněn k hornímu plechu čtyřmi samořeznými šrouby 4×16.

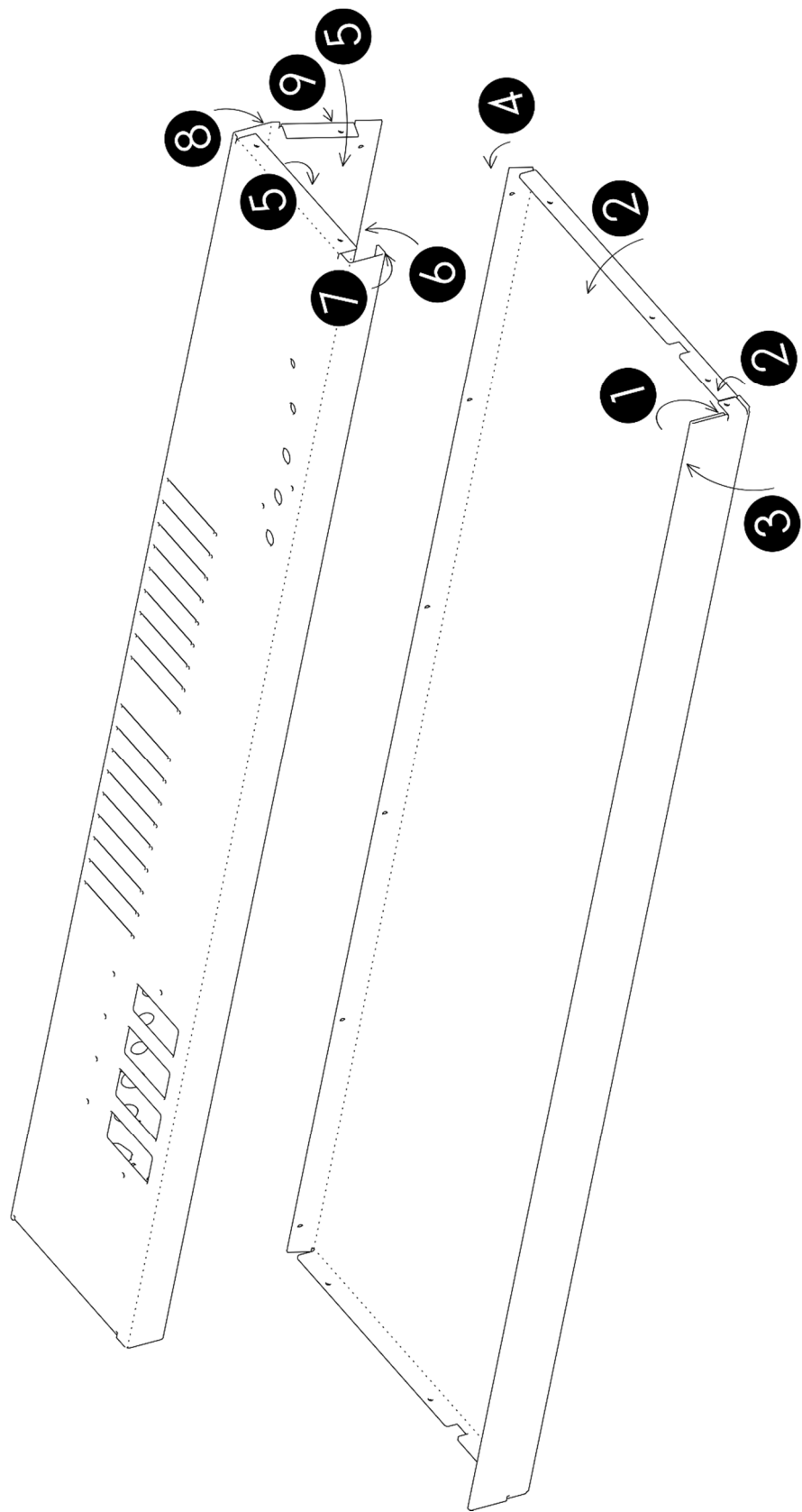


Obr. 6.5: Dřevěný panel

Bočnice (*Obrázek 6.6*) se skládají ze dvou kusů - menší část z dřevotřísky tloušťky 4mm a větší z ořechového masivu tloušťky 20mm.



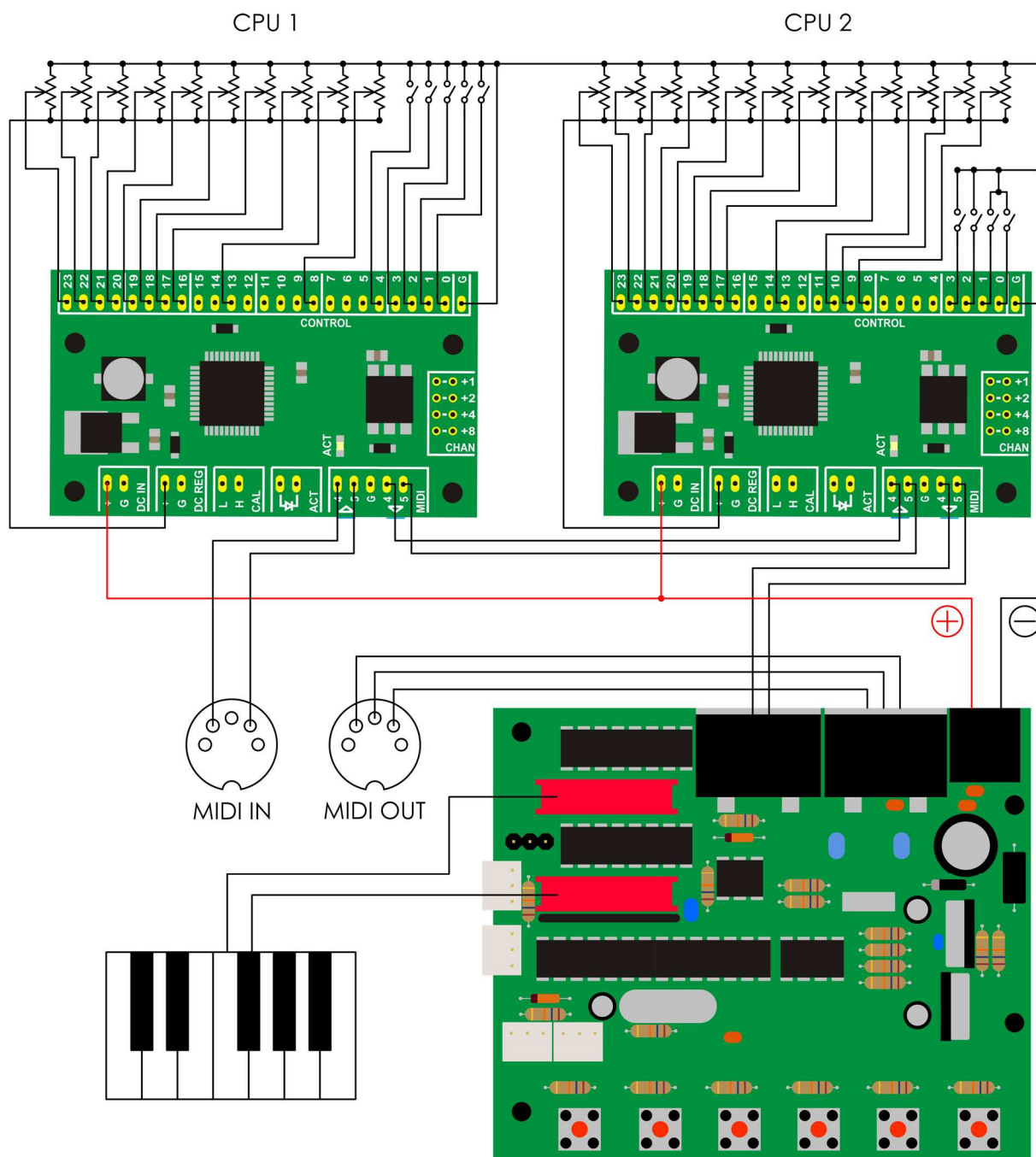
Obr. 6.6: Dřevěné bočnice



Obr. 6.7: Postup ohýbání plechových částí

7 ELEKTRONICKÁ ČÁST

7.1 Schéma zapojení



7.2 Struktura SysEx zprávy pro MIDI CPU

Hlavička (6 bytů)	Vrstva (1byt)	Konfigurace vstupů (opakujte podle potřeby)	Patička (1 byt)
<i>F0 00 01 5D 04 01</i>	<i>yy</i>	<i>čč pp tt kk d0 d1</i>	<i>F7</i>

Hlavička: určuje začátek každé konfigurační zprávy

Vrstva (*yy*): určuje která ze čtyř vrstev je konfigurována (*00, 01, 02, 03*)

Číslo vstupu (*čč*): specifikuje pro který vstup je zpráva určena

Přechod (*pp*): při definování logického vstupu je možné vyvolat různé pokyny při přechodu Zapnuto → Vypnuto (*00*) a Vypnuto → Zapnuto (*01*). Pro konfiguraci jiného typu vstupu se použije hodnota *pp = 00*.

Typ vstupu (*tt*): Logický vstup - *4C* pro spínač, *14* pro enkodér

Analogový vstup - *04*

Logický výstup - liší se pro ovládání displeje, LED ...

MIDI kanál (*kk*): některé zprávy je nutné vysílat na specifickém MIDI kanálu. Pro ostatní účely je použita hodnota *kk = 00*.

Data (*d0, d1*): plní různé funkce, při analogovém vstupu a logickém vstupu enkodéru *d0* určuje číslo MIDI kontroléru a *d1* Adresu registru, při logickém vstupu spínače *d0* určuje číslo kontroléru a *d1* stav Zapnuto *7F* a Vypnuto *00*.

Patička: ukončuje konfigurační zprávu

Výše uvedená struktura konfigurační SysEx zprávy je zapsaná s šestnáctkové soustavě, do které je potřeba převést i všechna číselná označení analogových a digitálních vstupů obvodu a čísla MIDI kontrolérů. V případě rozsáhlejší zprávy manuál doporučuje zprávu převést nejprve do binárního kódu a až poté nahrát do mikrokontroléru, ale tento způsob se v mém případě neosvědčil [12].

7.3 Napájecí zdroj

Pro napájení elektroniky byl použit běžný spínaný zdroj s parametry 9V/1A. Zdroj byl umístěn uvnitř zařízení a k připojení slouží síťový mini konektor.

ZÁVĚR

Podářilo se splnit všechny body zadání. Jsem spokojen s celkovými rozměry nástroje, které jsou skutečně minimální při zachování všech ovládacích prvků. Je pro mě poučením, že se vyplatí při návrhu umístit do počítačového modelu všechny elektronické součástky včetně kabeláže, protože to jednak ušetří čas při kompletaci, ale také lze elegantněji vyřešit vedení kabelů. Pro dosažení vysoké kvality výroby jednotlivých součástí jsem se spojil s odborníky, kteří mi ve většině případů ochotně pomohli. Největší obavy jsem měl z ručního ohýbání rozměrných plechových součástí, ale ve výsledku lícovaly pouze s drobnými, odstranitelnými odchylkami. Při výrobě dalšího nástroje už rozhodně proces ohýbání provedu na ohraňovacím lisu, který se pro tyto účely používá i na sériově vyráběných nástrojích.

Sestavování nástroje vyžadovalo značné trpělivosti. Nejprve byly do horního plechu upevněny všechny logické obvody, potenciometry včetně knoflíků, spínače a konektory, poté byl přišroubován horní dřevěný panel. Následovalo připojení součástek a konektorů na příslušné analogové či digitální vstupy. Po spojení klaviatury se spodním plechem a propojení kabely s obvodem v horním pechu bylo možné oba plechy spojit šesti šrouby a připevnit bočnice.

Většina jednotlivých kroků mě bavila a byla to pro mě ideální možnost vyzkoušet si spojení hardware a software tím nejzajímavějším způsobem. Doufám, že má práce bude alespoň vodítkem pro toho, kdo by se chtěl pustit do podobného projektu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] JIRSÁK, Martin. *Bitová hloubka* [online]. [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://blog.cubase-training.com/2014/02/bitova-hloubka.html>
- [2] JIRSÁK, Martin. *Vzorkovací frekvence* [online]. [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://blog.cubase-training.com/2014/02/vzorkovaci-frekvence-aneb-441khz-48khz.html>
- [3] JIRSÁK, Martin. VST, AU, RTAS, DX a jim podobní. *Muzikus* [online]. 2013 [cit. 2016-04-29]. ISSN 1210-1443. Dostupné z: <http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-clanky/VST-AU-RTAS-DX-a-jim-podobni~03~brezen~2013/>
- [4] SCHIMMEL, Jiří. *Komunikační rozhraní MIDI*. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2009.
- [5] Leslie Donald J. *Rotatable tremulant sound producer*. USA. US 2489653 A. Přihlášeno 9. červenec 1945. Uděleno 29. 11.1949.
- [6] ZÍTKO, Jakub. Hammondovy varhany - téma měsíce. *Muzikus* [online]. 2007 [cit. 2016-04-28]. ISSN 1210-1443. Dostupné z: <http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-clanky/Hammondovy-varhany-Tema-mesice~18~zari~2007/>
- [7] GUŠTAR, Milan. Leslie - téma měsíce. *Muzikus* [online]. 2008 [cit. 2016-04-28]. ISSN 1210-1443. Dostupné z: <http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-clanky/Leslie-tema-mesice~05~duben~2008/>
- [8] ZIO, Guido. *VB3 - 1.2.1 - PDF User's Manual* [online]. 2008 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://www.genuinesoundware.com/vst/vb3/vb3.pdf>
- [9] FATAR *TP/80* [online]. [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: http://www.fatar.com/pages/TP_80.htm#
- [10] *MKE Universal Midi Keyboard Electronics User's Guide* [online]. Doepfer Musikelektronik GmbH Geigerstr. 13 82166 Graefelfing Germany, 2006 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: http://www.doepfer.de/pdf/MKE_Manual.pdf
- [11] *MIDI CPU Hardware Revision K User Manual* [online]. 2010 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://support.codeandcopper.com/hl/docs/pdf/MIDI-CPU-Hardware-Rev-K.pdf>
- [12] *MIDI CPU Firmware Version 1.2 User Manual* [online]. 2013 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://support.codeandcopper.com/hl/docs/pdf/MIDI-CPU-Firmware-Ver-1-2.pdf>

SEZNAM PŘÍLOH

Stepan_Dvoracek_BP2016.pdf

Bakalářská práce v elektronické podobě.

Výkresy

Výkresová dokumentace všech součástí.

Software

SysEx zprávy pro konfiguraci CPU1 a CPU2

