

# **Programovatelný true-bypass přepínač audioefektů**

Václav Drda

---

Bakalářská práce  
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2013/2014

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Václav DRDA**  
Osobní číslo: **A13710**  
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Programovatelný true-bypass přepínač audioefektů**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na téma audioefektové jednotky.
2. Provedte hardwarový návrh mikropočítačově řízené audioefektové jednotky umožňující konfiguraci signálové cesty a výběr efektů.
3. Realizujte zařízení a ověřte jeho funkci.
4. Vytvořte programové vybavení efektové jednotky.
5. Měřením ověřte parametry analogové části jednotky.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. ATMEL CORPORATION. AT89S51 Data Sheet, [online]. 2008. Dostupné z: [www.atmel.com]
2. ATMEL CORPORATION. Design guide for 8051 standard devices, [online]. 2007. Dostupné z: [www.atmel.com]
3. ATMEL CORPORATION. AT93C46/56/66 Data Sheet, [online]. 2008. Dostupné z: [www.atmel.com]
4. ŠUBRT, Vladimír. Aplikace jednočipových mikropočítačů Intel. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 1996. ISBN 80-85623-37-4.
5. HRBÁČEK, Jiří. Komunikace mikrokontroléru s okolím. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura. ISBN 80-86056-42-2.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Petr Dostálek, Ph.D.**

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce:

**7. března 2014**


Termín odevzdání bakalářské práce:

**11. června 2014**

Ve Zlíně dne 7. března 2014

  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*ředitel ústavu*

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

## ABSTRAKT

Práce se zabývá problematikou audioefektových jednotek, konkrétně jednotek používaných kytaristy při živém hraní (tzv. kytarové krabičky, efekty), problémy spojenými s jejich přepínáním, a návrhem systému, který umožňuje přepínat předprogramované kombinace těchto efektů v jednu chvíli (přepínat více efektů najednou). Dále tyto kombinace umožňuje jednoduchým způsobem nastavovat a modifikovat. K takovému úkolu používá způsob zapojení přepínače signálu (relé) zvaný *true bypass*, schopný daný efekt přemostovat s minimálním vlivem na procházející audiosignál. Práce se dále snaží zmírnit nevýhody, které *true bypass* systém také má.

Klíčová slova: audio, efekt, *true bypass*, přepínač, 8051

## ABSTRACT

This thesis deals with audioeffect units problematics, those used by guitarist playing live, respectively (guitar effects, stompboxes), and problems associated with effect switching. Also, its aim is to design a device capable of switching pre-programmed combinations of more effects at the same time and easily setting and modifying these combinations. To achieve this, it uses a way to connect a signal switch (relay) called *true bypass* that can bridge the effect with a minimal influence on the signal. The device tries to ease the disadvantages which the *true bypass* also has.

Keywords: audio, effect, stompbox, *true bypass*, switching, 8051

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Petru Dostálkovi, Ph.D. za odborné vedení a připomínky, které mi při psaní pomohly. Dále děkuji panu Jindřichovi Hrabánkovi za pomoc s realizací plošného spoje.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

**OBSAH**

<b>ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>10</b>
<b>1 AUDIO EFEKTY .....</b>	<b>11</b>
1.1 ZKRESLENÍ.....	11
1.1.1 Overdrive.....	11
1.1.2 Distortion .....	12
1.1.3 Fuzz.....	13
1.1.4 Srovnání průběhů .....	13
1.2 EFEKTY S FILTREM .....	14
1.2.1 Ekvalizér.....	14
1.2.2 Wah a Envelope Filter.....	15
1.3 EFEKTY PRACUJÍCÍ S HLASITOSTÍ.....	16
1.3.1 Tremolo.....	16
1.3.2 Kompresor dynamiky .....	16
1.4 EFEKTY PRACUJÍCÍ SE ZPOŽĎOVACÍ LINKOU .....	17
1.4.1 Zpožďovací linka .....	17
1.4.2 Echo (Delay).....	18
1.4.3 Phaser (Phase shifter).....	19
1.4.4 Vibrato .....	19
1.4.5 Flanger.....	20
1.4.6 Chorus.....	20
1.5 EFEKTY PRACUJÍCÍ S VÝŠKOU TÓNU .....	21
1.5.1 Pitch shifter/Harmonizer a Octaver.....	21
<b>2 TYPY PŘEPÍNÁNÍ EFEKTŮ .....</b>	<b>22</b>
2.1 JEDNOPÓLOVÉ PŘEPÍNÁNÍ (SPDT PŘEPÍNAČ).....	22
2.2 JEDNOPÓLOVÉ PŘEPÍNÁNÍ (SPDT PŘEPÍNAČ) S BUFFEREM .....	23
2.3 TRUE BYPASS (DPDT PŘEPÍNAČ) .....	23
2.4 ELEKTRONICKÉ PŘEPÍNÁNÍ .....	24
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>25</b>
<b>3 HARDWAREOVÁ ČÁST PŘEPÍNAČE .....</b>	<b>26</b>
3.1 ÚČEL ZAŘÍZENÍ .....	26
3.2 BLOKOVÉ SCHÉMA .....	27
3.3 ŘÍDICÍ SYSTÉM – MIKROKONTROLÉR ARCHITEKTURY 8051 .....	28
3.4 NÁVRH OBVODU .....	29
3.4.1 Napájení.....	29
3.4.2 Mikrokontrolér .....	30
3.4.3 Tlačítka.....	30
3.4.4 Řízení displeje.....	31

3.4.5	Připojení persistentní paměti.....	33
3.4.6	Buzení relé.....	33
3.4.7	Přepínání audiosignálu.....	34
3.5	NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ.....	34
<b>4</b>	<b>SOFTWAREOVÉ VYBAVENÍ PŘEPÍNAČE.....</b>	<b>35</b>
4.1	VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ MCU 8051 IDE .....	35
4.2	PROGRAMÁTOR ELNEC BEEPROG+ .....	36
4.3	POPIS FUNKCE PROGRAMU .....	37
4.3.1	Inicializace a hlavní programová smyčka .....	37
4.3.2	Obsluha přerušení .....	39
4.4	MAPA PAMĚTÍ A PORTŮ .....	42
4.4.1	Mapa RAM.....	42
4.4.2	Mapa EEPROM.....	43
4.4.3	Mapa portů .....	44
<b>5</b>	<b>ZMĚŘENÉ PARAMETRY OBVODU .....</b>	<b>45</b>
5.1.1	Měření parametrů napájení .....	45
5.1.2	Měření odporu kladeného NF signálu .....	45
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>46</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>47</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>49</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>52</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>53</b>



## ÚVOD

Audio efekty jsou velmi důležitou součástí hudební praxe, ať už z pohledu umělce, či zvukového technika. Existuje mnoho variant těchto zařízení. Od těch nejjednodušších, například jednoduchý podlahový overdrive efekt, po ty nejsložitější – digitální multiefekty, které jsou schopné poskytnout nepřeberné množství efektů a jejich kombinací. Tato práce se snaží vytvořit přehled o rozdělení těchto zařízení, podle funkce, popsat jejich principy a základní vlastnosti.

Neméně důležitou věcí pro použití efektů v praxi je schopnost tyto efekty přepínat. Věnuji se zde proto návrhu zařízení, které tohle dokáže, podle mého názoru, dost elegantním způsobem. Návrh je proveden z pohledu kytaristy, který používá sadu těch jednodušších efektů (jeden efekt v jednom šasi – kytarová krabička, stompbox). Tenhle přístup má jednu relativně velkou nevýhodu. Každé toto zařízení má svůj vlastní přepínač, kterým se volí, zda je efekt aktivní (ovlivňuje procházející signál), nebo neaktivní (signál prochází neovlivněný, resp. víceméně - viz dále). To znamená, že prakticky nelze, nohou při hraní, aktivovat nebo deaktivovat více efektů najednou. Tuto nevýhodu řeší návrh v praktické části práce – programovatelný přepínač audio efektů.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 AUDIO EFEKTY

Audio efekty (efektové jednotky) jsou elektronická zařízení, která jsou schopna modifikovat barvu tónu, ladění, nebo zvuk obecně, resp. jeho elektronickou podobu, ať už analogovou či digitální. Jejich obvody mohou být instalovány do pedálů, zesilovačů, předzesilovačů, nebo jako efektové procesory, které využívají tzv. DSP (digital signal processing), popřípadě mohou být součástí software osobního počítače. Vkládají se do signálové cesty mezi zdroj signálu (mikrofon, elektrická kytara, klávesy, apod.) a zařízení, které zvuk reprodukuje, nahrává, mixuje, či jinak zpracovává (zesilovač, zvuková karta, mixpult, atd.). Změnou signálu pak dosahují cíleného účinku na podobu zvuku. Například přidání dozvuku, potlačení nebo zdůraznění některého frekvenčního pásma, komprese, modulace zvuku, atd.

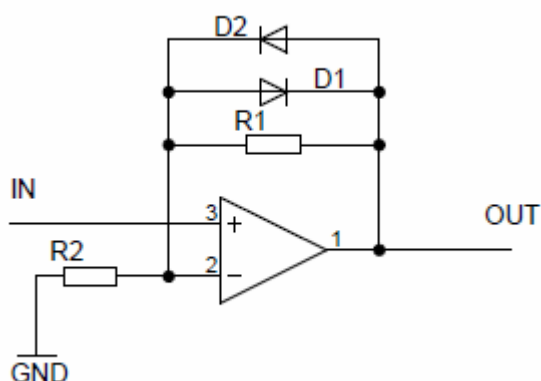
Protože praktická část se zabývá návrhem přepínače efektových jednotek pro kytaristy, primárně se zde budu zabývat efekty používanými s elektrickou kytarou.

### 1.1 Zkreslení

Zkreslení signálu je důležitým typem efektu zvláště u zvuku elektrické kytary, ale i jiných, například syntezátorů. Dosahuje se ho omezením signálu. Existuje více způsobů, jak tohoto omezení dosáhnout.

#### 1.1.1 Overdrive

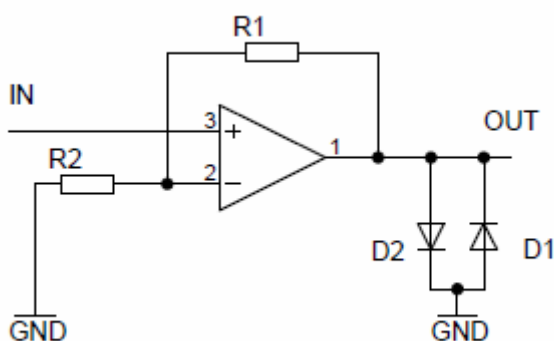
Tohoto typu zkreslení se původně dosahovalo (a dělá se to dodnes) přebuzením elektronkového zesilovače, až do oblasti saturace. Tím vzniká asi nejpřirozeněji znějící zkreslení vůbec. Podobného efektu se dá dosáhnout i pomocí způsobu zapojení zvaného Soft-clipping, což jsou vlastně dvě antiparalelně zapojené polovodičové diody v záporné zpětné vazbě zesilovacího prvku obvodu, tedy například operačního zesilovače, nebo tranzistoru. Tyto diody omezují signál procházející zpětnou vazbou. Principiálně vypadá zapojení s OZ například takto (viz obrázek níže).



Obrázek 1 – Principiální zapojení typu Soft-clipping

### 1.1.2 Distortion

Druhým typem zkreslení je distortion, který na rozdíl od overdrive používá tvrdší metodu zkreslení, a tou je tzv. Hard-clipping. Funguje podobným způsobem, jako Soft-clipping (také používá antiparalelní dvojici diod), s tím rozdílem, že diody jsou v tomto případě zapojeny přímo v signálové cestě proti signálové zemi. Výsledkem je ostřeji ořezaný signál. Zvuk je proto méně přirozeně znějící, má méně dynamiky, a je celkově tvrdší. Příklad je opět na obrázku níže.



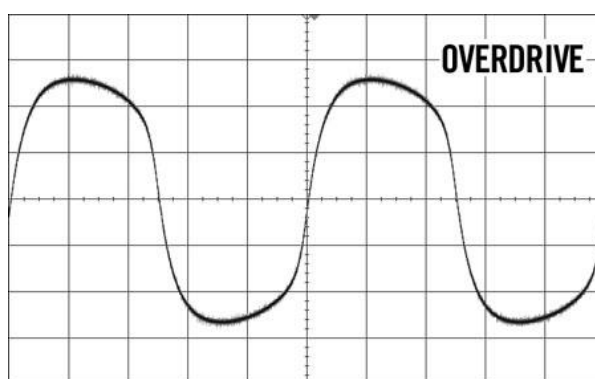
Obrázek 2 – Principiální zapojení typu Hard-clipping

### 1.1.3 Fuzz

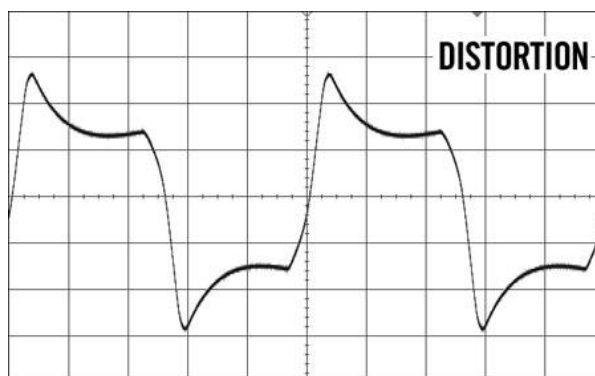
Fuzz je nestarším typem efektu, vyráběným pro zkreslování zvukového signálu. Vznikl v 60. letech minulého století s cílem napodobit zvuk přebuzeného elektronkového zesilovače. Zkreslení vzniká přebuzením tranzistoru, tzn. přijde-li signálová špička, je omezena tím, že tranzistor přejde do stavu saturace.

### 1.1.4 Srovnání průběhů

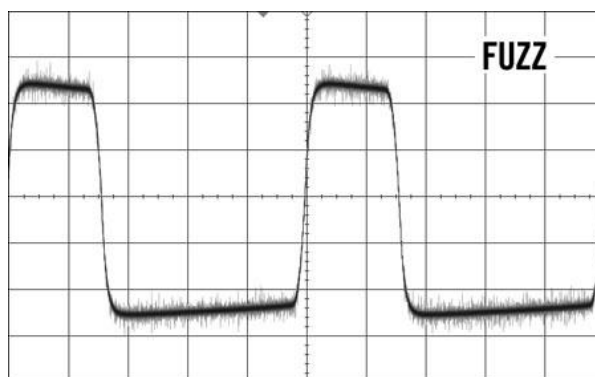
Takto vypadají průběhy po zkreslení jednotlivými typy zkreslovacích obvodů. Vstupem je sinusový signál.



Obrázek 3 – Příklad sinusového signálu zkresleného efektem typu overdrive [1]



Obrázek 4 – Příklad sinusového signálu zkresleného efektem typu distortion [1]



Obrázek 5 – Příklad sinusového signálu zkresleného efektem typu fuzz [1]

## 1.2 Efekty s filtrem

### 1.2.1 Ekvalizér

Ekvalizér je efekt, který má proměnnou frekvenční odezvu v jednotlivých pásmech. Dá se jím tedy nastavit zesílení, či útlum daného frekvenčního pásma. Podle typu se dají rozdělit na grafické, parametrické a hybridní (kvaziparametrické).

Největší zastoupení v běžném užití mají ekvalizéry grafické. Ty rozdělují slyšitelné pásmo na určitý počet pod-pásem, u kterých je potom možné nastavit buď pouze útlum (pasivní ekvalizér), či útlum nebo zesílení (aktivní). Šířky pásem, i frekvence, na které jsou pásma naladěna jsou pevně dané. Příklad grafického ekvalizéru pro úpravu signálu z elektrické kytary je na obrázku níže.



Obrázek 6 – Grafický ekvalizér Ten Band EQ firmy Dunlop (MXR) [7]

Parametrické ekvalizéry mají, oproti grafickým, nastavitelnou jak šířku pásma, tak i frekvenci, na jakou je pásmo naladěno. Jejich výhodou je možnost ovlivnit jen velmi úzké pásmo, například odfiltrovat frekvenci 50 Hz, která proniká z rozvodné sítě.

Čistě parametrické ekvalizéry se však příliš nevyskytují. Daleko častěji je možné se setkat s hybridním ekvalizérem, neboli kombinací obou předchozích typů. Například na mixážních pultech bývá kombinace pevně nastavených korekcí basů a výšek (tedy grafický typ) a parametrické korekce středů.

### 1.2.2 Wah a Envelope Filter

Wah pedál (někdy nazývaný Wah-Wah, nebo lidově „kvákadlo“) je v podstatě jen laditelná pásmová propust. Střední frekvence pásma se mění s mírou otočení ovládacího potenciometru, který je mechanickým převodem propojen s pedálem. Pohybem tímto pedálem pak efekt vytváří typický kvákavý zvuk vznikající tím, jak se posouvá zdůrazňované frekvenční pásmo.



Obrázek 7 – Cry Baby Wah pedál firmy Dunlop [7]

Envelope filter (nebo také Auto-wah) je vlastně wah, který postrádá mechanické ovládání pomocí potenciometru připojenému k pedálu, ale je ovládán automaticky pomocí tzv. obálky signálu (anglicky envelope). Jinak řečeno, střední frekvence pásma se mění podle úrovně signálu. Většinou platí, že čím silnější signál, tím je střední frekvence naladěna výš, ale není to pravidlem.

## 1.3 Efekty pracující s hlasitostí

### 1.3.1 Tremolo

Tremolo cyklicky mění amplitudu (hlasitost) signálu. Průběh změn je řízen oscilátorem o nízké frekvenci (LFO – low frequency oscillator). Výstupní signál z tohoto oscilátoru je přiveden na napětím řízený zesilovač (VCA – voltage controlled amplifier), kterým prochází signál z kytary. Výsledkem je, že hlasitost signálu se mění v závislosti na průběhu řídicího napětí z LFO, jehož frekvence je v určitých mezích nastavitelná. U většiny efektů tohoto typu se dá zvolit i tvar průběhu řídicího signálu (obdélník, trojúhelník, sinus, atd.), popřípadě se dá nastavovat i střída. [4]



Obrázek 8 – Tremolo efekt Pulsar firmy Electro-Harmonix [8]

### 1.3.2 Kompresor dynamiky

Dynamika signálu se dá popsat jako rozdíl mezi nejtiššími a nejhlasitějšími body v jeho průběhu. Kompresi dynamiky tyto rozdíly zmenšuje do užšího dynamického pásma.

Základem každého elektronického kompresoru je obvod, který monitoruje vstupní úroveň signálu (Side chain), a podle nastavených parametrů generuje řídicí napětí pro další část kompresoru. Tou je zesilovač řízený napětím (VCA – Voltage controlled amplifier), kterým prochází signál, jež je komprimován.



Hlavními parametry, kterými se komprese řídí, jsou práh citlivosti (Threshold) a kompresní poměr (Ratio). Až do prahové úrovně nebude signál procházející obvodem nijak ovlivněn. Jestliže však práh překročí, dojde k jeho omezení v míře dané kompresním poměrem.

Dále funkci ovlivňují tzv. časy reakce. Těmi jsou doba náběhu (Attack time), což je čas za jaký kompresor zareaguje po překročení prahu (bývá nastavitelný od zlomků po desítky ms), a čas doběhu (Release time), což je doba návratu do normálního stavu poté, co signál klesne pod prahovou úroveň. [6]



Obrázek 9 – Kompresor Super Comp firmy Dunlop (MXR) [7]

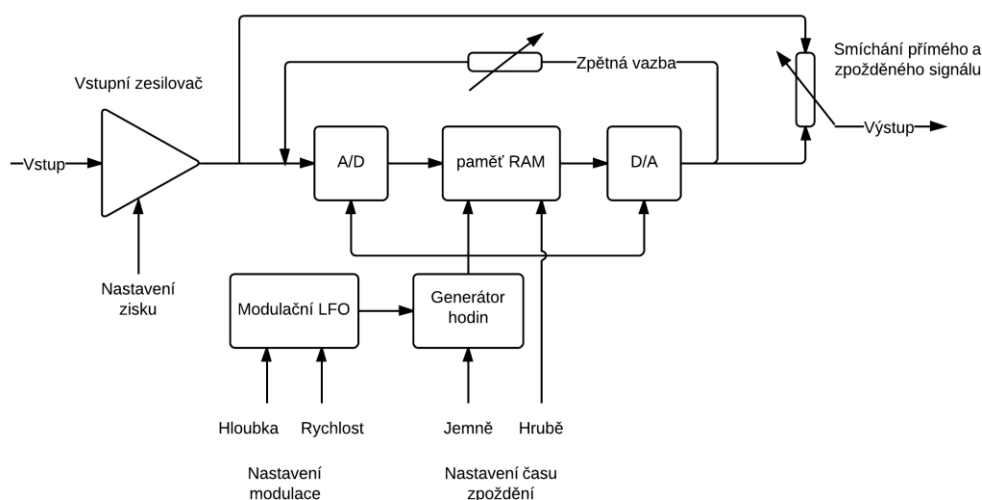
## 1.4 Efekty pracující se zpožďovací linkou

### 1.4.1 Zpožďovací linka

Digitální zpožďovací linka (DDL – digital delay line) je nejjednodušším digitálním efektem, a slouží jako základ pro realizaci dalších efektů. Základem jsou zpožďovací paměť RAM, a A/D a D/A převodníky.

Princip je následující. Nejprve se upraví úroveň vstupního signálu ve vstupním zesilovači, a poté následuje odbočka přímo na výstupní mix původního a zpožděného signálu (parametr Mix). Dále je signál převeden A/D převodníkem na sekvenci digitálních dat, které jsou na určitou dobu ukládány do zpožďovací paměti RAM. Nastavením jejího rozsahu se dá hrubě ovlivňovat čas zpoždění. Ten se dá ovlivňovat i velmi jemným způsobem, pomocí změny hodinové vzorkovací frekvence (Clock), či její modulace nízkofrekvenčním oscilátorem (LFO). Modulace pomocí LFO poskytuje možnost měnit ladění cyklicky. Změnou frekvence dosáhneme změny rychlosti, s jakou probíhají změny ladění (Rate), a změnou amplitudy pak

lze nastavovat intenzitu (hloubku) efektu (Depth). Některé efekty umožňují měnit tvar průběhu generovaného LFO (sinus, trojúhelník, pila, atd.). Poté je signál kvantován zpět na analogový signál D/A převodníkem jehož výstup směřuje nejen na výše zmíněný výstupní mix, ale je z něj zavedena ještě nastavitelná zpětná vazba zpět na vstup A/D převodníku (Feedback). Prochází-li signál touto vazbou zpět, vznikají opakovaná zpoždění, která zanikají podle toho, jak silná vazba je nastavena. [6]



Obrázek 10 – Blokové schéma zpožďovací linky (DDL) [6]

### 1.4.2 Echo (Delay)

Tohoto efektu lze dosáhnout použitím DDL nastaveným na delší zpoždění, a jedno nebo více opakování. Jedná se o časy trvající od řádově desítek milisekund, typicky 50 – 150 ms (nastavení zvané Slap Back Echo), kdy opakování zní, jakoby bylo součástí původního zvuku, až po opakování dlouhých frází, kdy jde o zpoždění až několika sekund.



Obrázek 11 – DD7 Digital Delay firmy Boss [9]

### 1.4.3 Phaser (Phase shifter)

Zvuku phaseru bylo původně dosahováno pomocí dvou synchronních magnetofonů přehrávajících stejný signál, přičemž byla jedna z cívek bržděna, a vznikal tak silný fázový efekt.

Toto se dá napodobit využitím pouze jedné DDL nastavením velmi krátkého zpoždění (několik ms) bez zpětné vazby, jemné pomalé modulace, a poměru původního signálu ke zpožděnému 1:1. Protože čas zpoždění nemůže v tomto případě projít nulou, nezní výsledný zvuk tohoto nastavení příliš autenticky.

Při realizaci pomocí dvou DDL zní výsledek mnohem věrněji. U obou z nich se nastaví krátký čas zpoždění (do 10 ms) a výstupní mix tak, že ani jednou neprochází původní nezpovědný signál. Jedna DDL je pak modulována LFO, čímž dochází k průchodu nulovým fázováním. [6]



Obrázek 12 – Small Stone phaser firmy Electro-Harmonix [8]

### 1.4.4 Vibrato

Jedná se o použití pouze zpožděného signálu z DDL. Zpoždění je nastaveno na několik ms. Pomocí modulace je pak dosaženo jemného rozladění zvuku. Parametr Depth u LFO by neměl být nastaven příliš silně, aby výsledný efekt nezněl nepřirozeně, kvůli příliš velké změně ladění. [6]

### 1.4.5 Flanger

Tento efekt je velmi podobný phaseru. Používá se zde zpoždění několika milisekund a modulace, ale rozdíl je ten, že zde je zavedena poměrně silná zpětná vazba, a přímý a zpožděný zvuk je smíchán v poměru 1:1. Modulační frekvence se používá velmi malá (až desetiny Hz), a hloubka modulace většinou větší, než např. u chorusu. Při použití flangeru vznikají velmi výrazné barevné změny zvuku.



Obrázek 13 – Electric Mistress flanger firmy Electro-Harmonix [8]

### 1.4.6 Chorus

DDL zde pracuje se zpožděním 20-50 ms, a mírnou modulací o frekvenci LFO v řádu jednotek Hz. Stejně jako u vibrata je zde třeba držet hloubku modulace v rozumné míře, aby nedošlo k přílišnému, nepřirozeně znějícímu rozladění zvuku. Při použití tohoto efektu vzniká dojem více nástrojů zároveň hrajících to samé (v hudební terminologii unisono), kdy vznikají malé rozdíly v ladění a časovém průběhu, což dodává zvuku sladce znějící zabarvení a také větší mohutnost. [4]



Obrázek 14 – CH-1 Super Chorus firmy Boss [9]

## 1.5 Efekty pracující s výškou tónu

### 1.5.1 Pitch shifter/Harmonizer a Octaver

Tyto efekty jsou schopny změnit výšku tónu, resp. pouze změnit, a pak se jedná o pitch shifter, nebo použít i původní tón, a potom se jde o harmonizer. Rozsah možné změny se liší podle konkrétního vybavení, ale většinou se dá tón přeladit (resp. vytvořit druhý tón o nastaveném intervalu) až o dvě oktávy nahoru i dolů. O efektu typu octaver můžeme mluvit v případě, že se k původnímu tónu přidává právě oktáva (ať už vyšší, či nižší). [3]



Obrázek 15 – Harmonizer PS-6 Harmonist firmy Boss [9]

## 2 TYPY PŘEPÍNÁNÍ EFEKTŮ

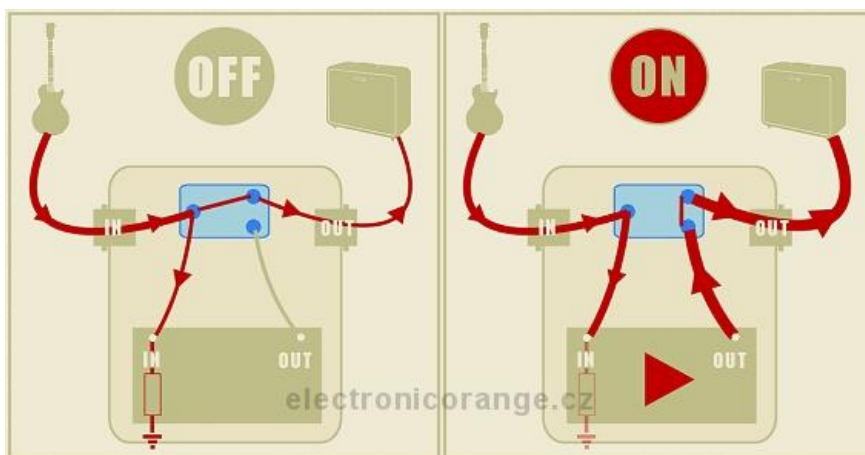
Existuje několik typů přepínání efektů, resp. zařazení nebo vyřazení daného efektu z/do signálové cesty z kytary (elektromagnetických snímačů) do zesilovače. Popíšme si ty základní, včetně toho, který je použit v návrhu v praktické části. Každý z nich má své výhody a nevýhody, přičemž nelze žádný z nich úplně odsoudit, nebo úplně vyzdvihnout nad ostatní.

### 2.1 Jednopolové přepínání (SPDT přepínač)

S prvním efektem ke kytáře přišla potřeba přepínání mezi čistým, a efektovaným signálem. To bylo vyřešeno pomocí SPDT (single pole double throw) přepínače, což je jednopolový přepínač se dvěma stabilními polohami, který rozděluje signál dvěma různými směry.

Z obrázku je vidět, že při tomto zapojení je jeden z pólů přepínače neustále připojen nejen ke kytáře, ale i ke vstupu vlastního efektového obvodu. Ve stavu přepínače, kdy efekt nemá být aktivní (nemá být zařazen v signálové cestě) tedy vstupní impedance obvodu negativně ovlivňuje procházející signál, protože jeho část odtéká na zem. Přesněji, cívka snímače v kytáře spolu se vstupní impedancí (hlavně reálná složka) obvodu vytvářejí dolní propust, a proto se z výsledného signálu do určité míry vytrácí vyšší frekvence (jsou svedeny na zem).

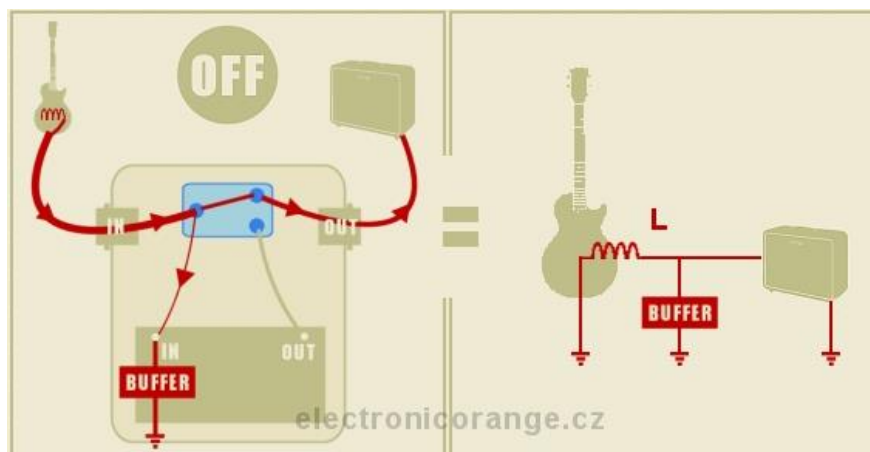
Tento způsob zapojení se také někdy nazývá Hardwire bypass.



Obrázek 16 – Jednopolové přepínání efektů, [2]

## 2.2 Jednopolové přepínání (SPDT přepínač) s bufferem

Tato varianta zapojení do jisté míry kompenzuje nevýhodu té předchozí tak, že před vstup efektového obvodu je umístěn tzv. buffer (sledovač signálu), který zásadně zvýší jeho vstupní impedanci. Tím se tedy omezí oslabení vyšších složek signálu. Jednoduchý buffer bývá často realizován pouze jedním tranzistorem.

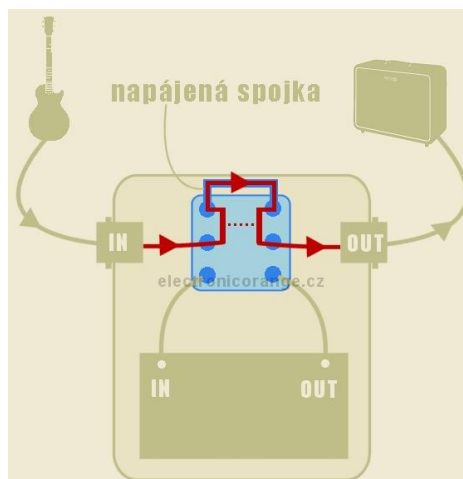


Obrázek 17 – Jednopolové přepínání s bufferem, [2]

## 2.3 True Bypass (DPDT přepínač)

Tento typ zapojení je realizován pomocí DPDT (double pole double throw) přepínače, tedy dvoupólového s dvěma stabilními polohami. Na rozdíl od variant s SPDT, se zde odpojí i vstup efektového obvodu, který tak nemůže ovlivňovat signál, když je efekt v neaktivním stavu. Efektový pedál se tak chová jako kus kabelu, resp. signál může degradovat pouze vlivem přechodového odporu a parazitní kapacity přepínače. Ty se však mohou projevit lupnutím při přepínání, a proto je nutné použít co nejkvalitnější přepínač, který má tyto parazitní parametry minimální.

Tento způsob zapojení je použit v návrhu v praktické části. Místo přepínačů je však použito signálových relé, která jsou k tomuto účelu uzpůsobena.

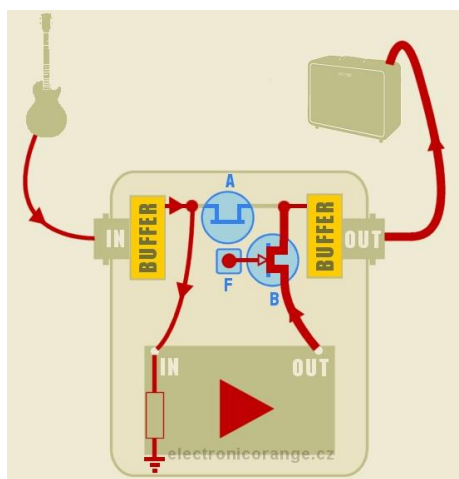


Obrázek 18 – Zapojení True Bypass ve stavu neaktivního efektu, [2]

## 2.4 Elektronické přepínání

Jedná se o hojně používaný způsob přepínání. Jako přepínací prvek se používají unipolární tranzistory FET. Jsou zapojeny tak, že každý tranzistor funguje jako „brána“, tzn. je-li na řídicí elektrodu přivedeno napětí, tranzistor propouští signál v obou směrech. Pokud napětí přivedeno není, tranzistor se uzavře, a signál nepropustí. Nevýhodou je, že aby systém fungoval, je třeba obvod „uzavřít“ mezi buffery. To znamená, že signál musí projít přes více polovodičových prvků, které způsobují zkreslení signálu (i když minimální) a vznik šumu.

Příkladem budiž elektronická analogie SPDT přepínání (viz obrázek 19).



Obrázek 19 – Elektronická analogie SPDT přepínání, [2]

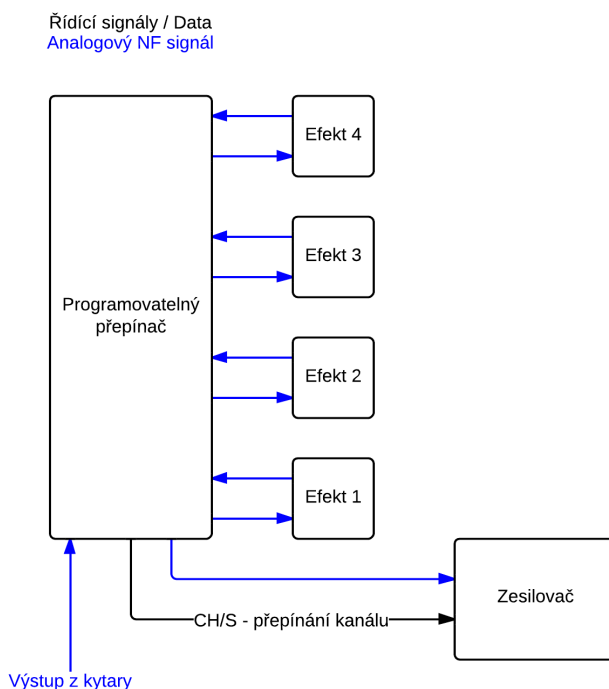


## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 HARDWAREOVÁ ČÁST PŘEPÍNAČE

#### 3.1 Účel zařízení

Cílem této části práce je navrhnout zařízení schopné ovládat řetězec čtyř audioefektů, resp. kytarových efektů, plus kanál zesilovače – programovatelný přepínač. Zařízení je určeno pro použití s kytarovými podlahovými efekty (tzv. stompboxy), popřípadě navíc se zesilovačem nebo předzesilovačem, který má vstup pro přepínání kanálu. Hlavním cílem je odstranit nevýhodu klasicky, za sebou propojených stompboxů, kterou je to, že nelze zapnout/vypnout více efektů najednou. Toto přepínač řeší pomocí čtyř efektových smyček, do kterých jsou efekty zařazeny, a které jsou řízeny mikrokontrolérem. Smyčky jsou zapojeny systémem True-bypass (viz bod 2.3). Přepínač je schopen si uložit různé, uživatelem nastavené kombinace sepnutí/vypnutí všech relé (programy), a tyto kombinace je pak schopen vyvolat stiskem tlačítka volby programu (resp. programu a banky).

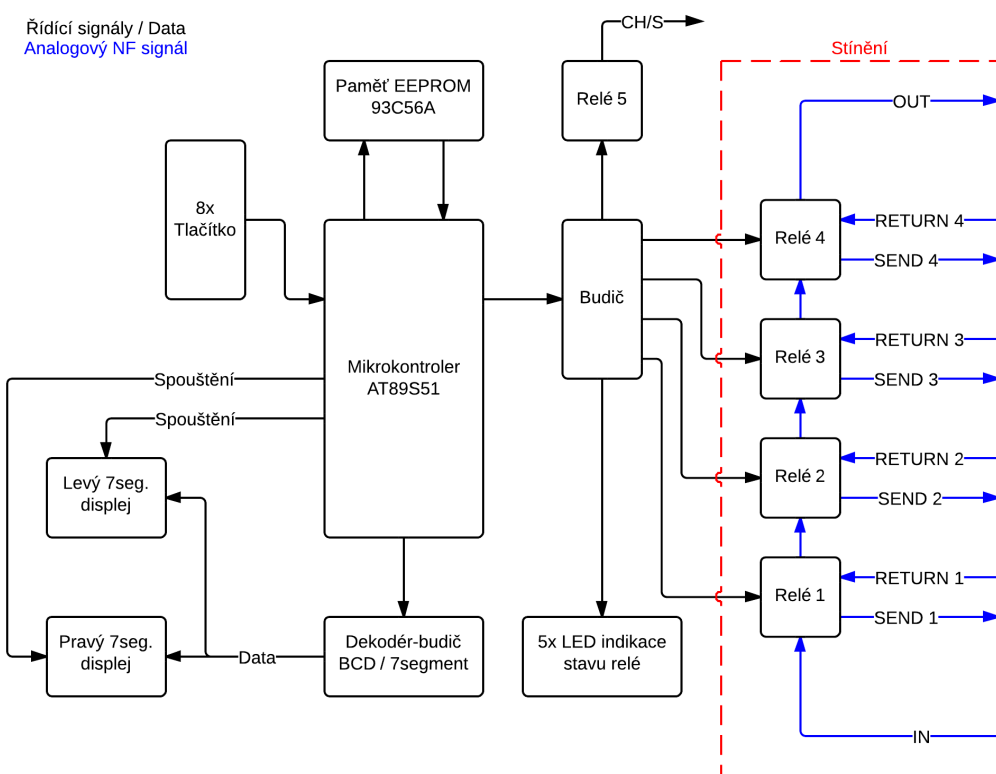


Obrázek 20 – Propojení přepínače s efekty a zesilovačem

### 3.2 Blokové schéma

Jak je vidět z blokového schématu, srdcem celého zařízení je mikrokontrolér Atmel AT89S51. Jako jeho jediný vstup je připojeno 8 tlačítek. Výstupy jsou dva, a to displej, který je řízen multiplexně (oba znaky displeje jsou buzeny jen jedním dekodérem/budičem), a dále pak budič relé, který spíná relé, a 5 LED diod, sloužících jako indikátory jejich aktuálního stavu. Tato relé slouží k samotnému přepínání NF signálu, a jsou zapojena True-bypass způsobem. Protože mikrokontrolér nemá vestavěnou žádnou persistentní paměť (kromě paměti programu - pro účel uložení uživatelských dat nepoužitelná), která je k funkci zařízení nutná, je k němu připojena externě. Jedná se o EEPROM paměť 93C56A, stejného výrobce, jako je výrobce mikrokontroléru, což je zárukou dobré spolupráce obou komponent.

Část obvodu, kudy prochází nízkofrekvenční signál, je odstíněna uzemněnou hliníkovou přepážkou v šasi, hlavně kvůli rušení, které vzniká při buzení displeje (frekvenčně ve slyšitelném pásmu), a dále kvůli vysokofrekvenčnímu rušení vznikajícímu při činnosti mikrokontroléru. Jednotlivé části zapojení jsou popsány níže.



Obrázek 21 – Blokové schéma

### 3.3 Řídicí systém – mikrokontrolér architektury 8051

K řízení celého přepínače je použit monolitický mikropočítač (nebo také mikrokontrolér) typu AT89S51, značky Atmel. Ten je postaven na architektuře i8051, která vznikla ve firmě Intel v roce 1980. Jedná se tedy o mikropočítač vývojově relativně starý, ovšem pro tento účel naprosto dostačující. Uvedme některé základní parametry zvolené varianty. Jedná se o nízkopříkonový osmibitový kontrolér, vyrobený technologií CMOS. Má oddělené paměti – paměť programu a paměť dat (Harvardská koncepce). Je kompatibilní s TTL napětíovými úrovněmi.

AT89S51 disponuje:

- Celkem 4 vstupně-výstupními porty (4x 8bitů)
- 4 kB vnitřní paměti programu (In-System Programmable Flash)
- 128 B vnitřní paměti dat (RAM), 16 B bitově adresovatelných
- Dvěma 16-bitovými časovači/čítači
- 5 zdroji přerušení, z toho dva jsou externí
- Pracuje s hodinovým kmitočtem až 33 MHz [10]

V tomto zapojení funguje mikrokontrolér na hodinové frekvenci 11,0592 MHz.

### 3.4 Návrh obvodu

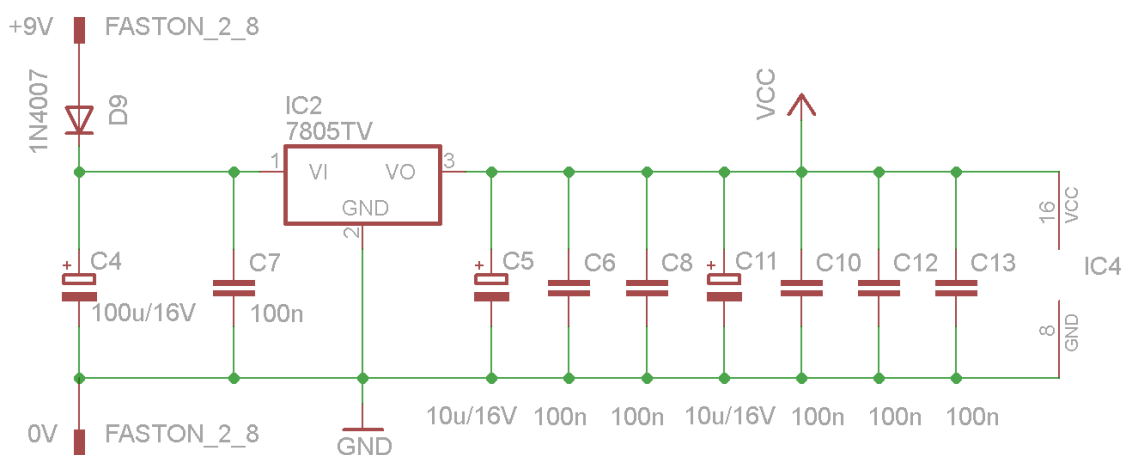
#### 3.4.1 Napájení

Pro napájení kytarových efektů se standardně používá 9 V baterií, nebo adaptérů se stejným výstupním napětím. Protože má toto zařízení s kytarovými efekty spolupracovat, zvolil jsem napájení tak, aby se dalo použít stejného, popřípadě společného zdroje.

AT89S51 pracuje s 5 V napájením (používá napěťové TTL úrovně), proto je nutné napájení na tuto hodnotu stabilizovat. O to se stará integrovaný stabilizátor 7805 v pouzdře TO220, přišroubovaný k hliníkovému šasi, což zajišťuje jeho dobré chlazení. Tento obvod umožňuje dosáhnout výstupního napětí 5 V při vstupním napětí až 35 V, ovšem při takto velkém rozdílu obou hodnot by to znamenalo, že se obvod bude hodně zahřívat. Nejvyšší mnou testovaná hodnota vstupního napětí je 15 V. Zařízení bylo během testu zapnuto po dobu tří hodin, aniž by se jakkoliv významně zvýšila teplota pouzdra stabilizátoru, či šasi v jeho okolí.

Před stabilizátor je zařazena křemíková dioda 1N4007, jako ochrana proti náhodnému připojení zdroje napětí opačné polarity. Tato je dimenzována na anodový proud až 1 A, což s velkou rezervou stačí, vzhledem k tomu, že zařízení má maximální odběr 250 mA. Protože na diodě vzniká úbytek napětí, minimální napájecí napětí by mělo činit alespoň o 3 V více, než 5 V, na které stabilizujeme, tedy 8 V.

Kondenzátory, které vidíme ve schématu, slouží pro blokování stabilizátoru a ostatních integrovaných obvodů. [10][11]

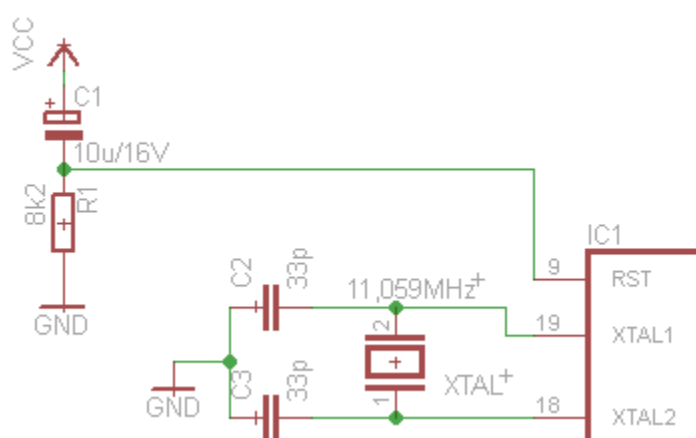


Obrázek 22 – Schéma napájecí části obvodu

### 3.4.2 Mikrokontrolér

Tento typ mikrokontroléru pro svou správnou funkci potřebuje některé externí součástky. Za prvé jsou to krystal (XTAL) a dva kondenzátory s kapacitou 33 pF (C2 a C3), které tvoří část oscilátoru hodinové frekvence. Dále pak resetovací obvod tvořený kondenzátorem C1 a rezistorem R1. Tento obvod vytvoří, po připojení napájecího napětí, impuls dostatečně dlouhý na to, aby došlo k resetu mikrokontroléru.

Aby mikrokontrolér pracoval s vnitřní pamětí programu, musí být vstup External Access (EA) nastaven před resetem do log.1 (je přímo připojen k +5 V). [10]

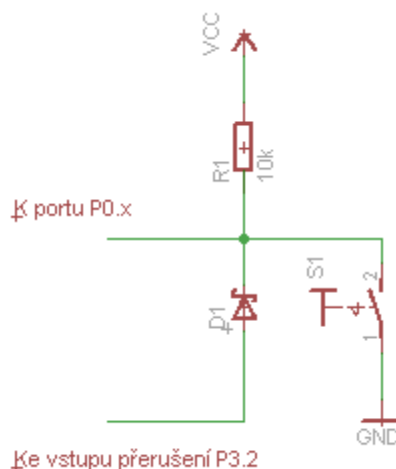


Obrázek 23 – Část obvodu nezbytná pro chod mikrokontroléru

### 3.4.3 Tlačítka

Připojení tlačítek je realizováno, dá se říct, standardním způsobem. Vzhledem k tomu, že klasický problém se zakmitáváním tlačítek je řešen programově, je třeba jen minimum součástek. Každé tlačítko je jedním kontaktem připojeno přímo na jeden z pinů portu P0, přičemž každý z těchto pinů je „držen“ v log. 1 pull-up rezistorem o odporu 10 kΩ. Druhým kontaktem jsou všechna tlačítka připojena na zem. Při stisku kteréhokoliv z nich se tedy na příslušném pinu objeví stav log. 0. Protože potřebujeme, aby se při stisku libovolného tlačítka vyvolalo přerušení procesoru, ale signály z tlačítek se vzájemně neovlivňovaly, je z každého pinu ještě vyvedena dioda na vstup externího přerušení 0 (pin P3.2). Ten je pak při stisku také uzemněn na log. 0. Aby byly dodrženy TTL úrovně (resp

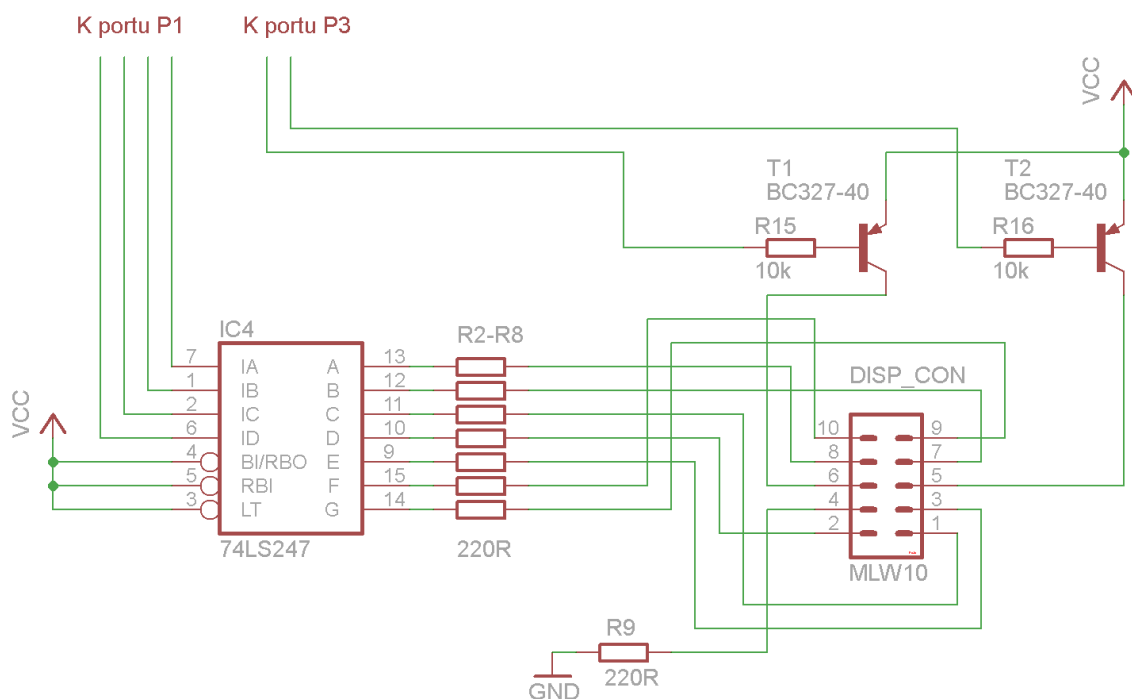
úroveň log. 0), jsou použity schottkyho diody typu BAT46, které způsobí menší úbytek napětí, než klasické křemíkové diody.



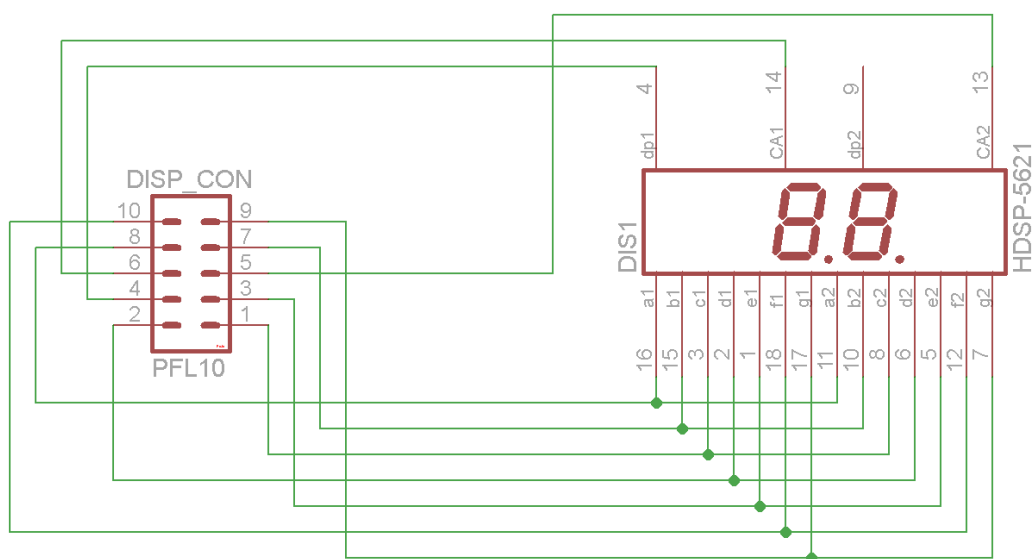
Obrázek 24 – Připojení tlačítka

#### 3.4.4 Řízení displeje

Buzení displeje je prováděno multiplexním způsobem. Znamená to určité zjednodušení obvodu, protože pro dva znaky displeje je použit pouze jeden dekodér/budič (74LS247 - BCD na 7 segment.). Je tomu tak proto, že budicí signály z dekodéru jsou posílány na oba znaky současně, avšak jsou platné pro daný znak pouze ve chvíli, kdy je daný znak vybrán. Výběr je realizován střídavým otevíráním a zavíráním dvou tranzistorů připojených na společné anody obou znaků displeje. Přepínání je tak rychlé, že lidské oko nemůže zaznamenat jakékoliv blikání, a jeví se mu jako statický obraz dvou různých čísel.



Obrázek 25 – Obvod pro multiplexní buzení displeje



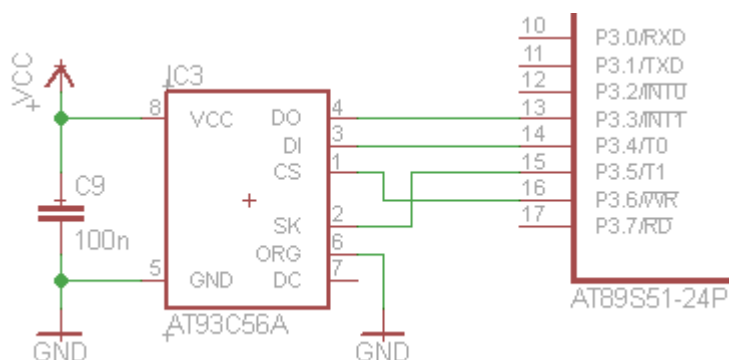
Obrázek 26 – Připojení displeje k desce plošných spojů



### 3.4.5 Připojení persistentní paměti

Aby bylo kam ukládat kombinace efektů, je třeba přidat persistentní paměť (neboli non-volatile paměť – po vypnutí napájení zůstávají data zachována), protože kromě paměti programu, kterou k tomuto účelu nelze použít, mikrokontrolér žádnou takovou paměť interně k dispozici nemá.

Byla vybrána sériová EEPROM paměť 93C56A ze série Microwire firmy Atmel, o velikosti pouze 256 Byte. Vzhledem k tomu, že přepínač využívá pouze 45 Byte, je to velikost plně dostačující. Sériové rozhraní paměti je typu Three-wire (třívodičové). Když k tomu přičteme ještě vstup CS (chip select), využívá paměť celkem čtyři piny mikrokontroléru. Paměť lze adresovat buď po osmi nebo šestnácti bitech, podle toho zda je vstup ORG v log. 0, nebo log. 1. V tomto případě je připojen na zem, tedy adresujeme po osmi bitech.[12]



Obrázek 27 – Připojení paměti 93C56A

### 3.4.6 Buzení relé

Protože vstupně/výstupní porty mikrokontroléru nejsou dimenzovány na takové zatížení, jakým je buzení relé, je třeba do zapojení zařadit budič. Je použit integrovaný obvod typu ULN2003A. Jedná se o pole sedmi darlingtonových NPN tranzistorů vybavených navíc ochrannými diodami pro spínání indukčních zátěží, jakými relé jsou. Odpadá tedy nutnost připojovat ochranné diody externě. [13]

Výstupem mikrokontroléru pro tento účel je pět pinů portu P2 (P2.0 až P2.5), které jsou připojeny na vstup budiče, a zároveň jsou drženy v log. 1 pull-up rezistory o odporu 10 kΩ. Relé jsou pak připojena mezi svorku napájecího napětí +5 V a kolektor daného darlingtonu. Kromě relé je na každý z pěti kolektorů připojena i LED dioda, sloužící k indikaci aktuálního stavu relé. Viz. Příloha I – kompletní schéma, výkresy 1 a 3.

### 3.4.7 Přepínání audiosignálu

Čtyři z pěti relé fungují jako efektové smyčky – zařazují daný efekt do signálové cesty z kytary do zesilovače, nebo jej naopak přemostují, a signál pak efektem neprochází, ani jím není nijak ovlivněn (konektory SEND 1 až 4, a RETURN 1 až 4). Všechna relé jsou monostabilní dvoupólová, přepínací – typ Takamisawa NA5WK, a jsou určena k přenosu NF signálů. Dvoupólová jsou proto, aby mohla být zapojena způsobem zvaným True-bypass (Viz 2.3), tedy byla schopna odpojení vstupu i výstupu z/do efektu.

Páté relé poskytuje možnost přepínání jiného externího zařízení, primárně kanálu kytarového zesilovače, či komba (konektor CH/S).

Viz. Příloha I – kompletní schéma, výkres 3.

## 3.5 Návrh desky plošných spojů

Kreslení schématu i návrh desky plošných spojů je realizován pomocí programu EAGLE v6.5.0 Standard edition (Easily Applicable Graphical Layout Editor), což je návrhový systém skládající se ze tří hlavních částí, a to schématického editoru, editoru plošných spojů a editoru knihoven součástek, přičemž tyto tři části jsou úplně provázané.

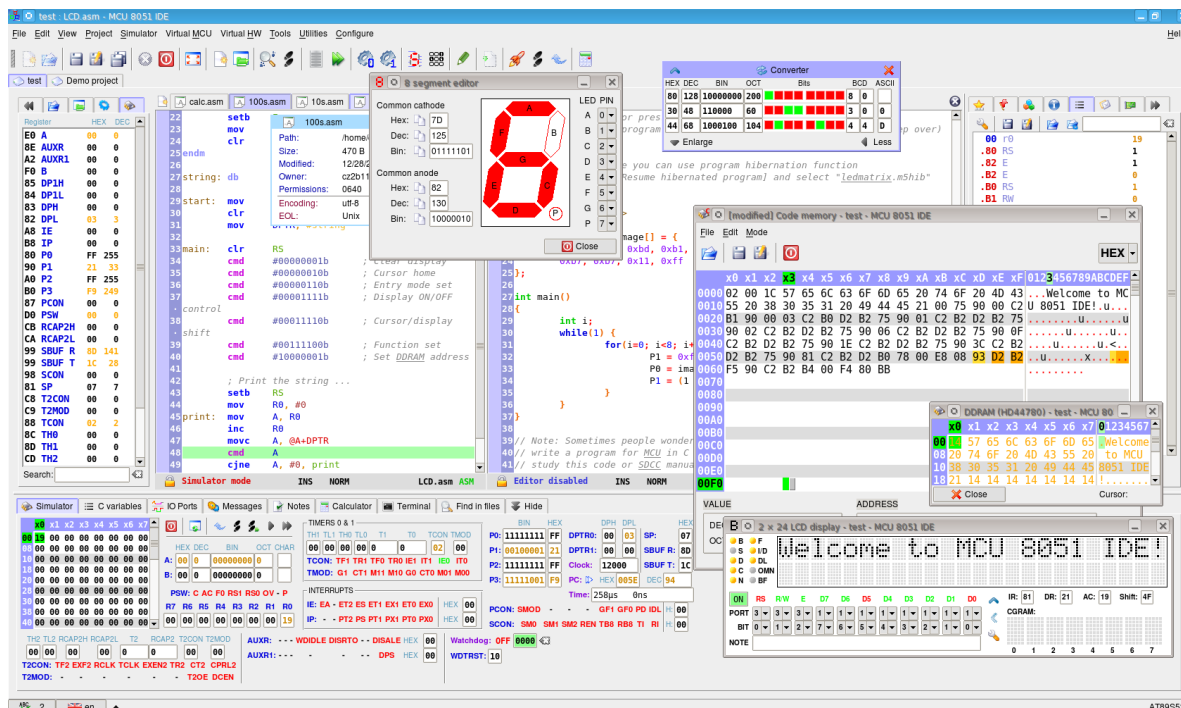
EAGLE pracuje s knihovnami součástek. Knihovny distribuované s programem jsou sice velmi obsáhlé, a obsahují velké množství běžně používaných komponent, ale při návrhu bylo přesto třeba použít editor knihoven, vytvořit novou knihovnu a nakreslit několik takových komponent, které obsaženy nebyly (např. relé). Všechny součástky v knihovnách mají přiřazenu jak značku, tak i typ pouzdra (popř. více typů). Na to je třeba myslet už při návrhu schématu, a zvolit správné pouzdro, protože ta jsou pak přenesena z editoru schémat do editoru plošného spoje. Tam už se pouzdra jen rozmístí a realizuje se vlastní návrh.

Výstupy návrhu jsou součástí elektronické části příloh.

## 4 SOFTWAREOVÉ VYBAVENÍ PŘEPÍNAČE

### 4.1 Vývojové prostředí MCU 8051 IDE

K napsání a kompilaci programu pro mikrokontrolér řídící celé zařízení je použit program MCU 8051 IDE. Jedná se o open-source vývojové prostředí vyvinuté Martinem Ošmerou, šířitelné pod licencí GNU GPL v2, s integrovaným kompilátorem.



Obrázek 28 – Vývojové prostředí MCU 8051 IDE [5]

#### Vybrané funkce MCU:

- Simulátor mikrokontroléru s mnoha funkcemi pro ladění programu: stav registrů, krokování programu, přehled přerušení, náhled externí paměti, zobrazení paměti programu atd.
- Simulátor jednoduchých elektronických periférií: LED diody, LED displeje, maticové displeje, LCD displeje, atd.
- Podpora assembleru pro kontroléry řady 51 a jazyka C
- Pokročilý textový editor se zvýrazněním syntaxe a validací kódu, hexadecimální editor
- Vědecký kalkulač s výpočty časových zpoždění, generátorem kódu, převody soustav atd. [5]

## 4.2 Programátor Elnec Beeprog+

Po kompilaci programu, pomocí vývojového prostředí popsaného výše, je třeba program, již ve strojovém kódu, nahrát do flash paměti mikrokontroléru. K tomu lze použít programátor BeeProg+ firmy Elnec.

Jedná se o velmi rychlý univerzální programátor. Podporuje přes 80000 typů obvodů. Obsahuje 48 výkonných pindriverů, programuje všechny obvody v pouzdře DIL bez přídavných modulů, dále podporuje sériové programování ISP (In-circuit sériové programování). K PC se dá připojit buď přes sběrnici USB, nebo LPT port. [14]



Obrázek 29 – Programátor Beeprog+ firmy Elnec

### 4.3 Popis funkce programu

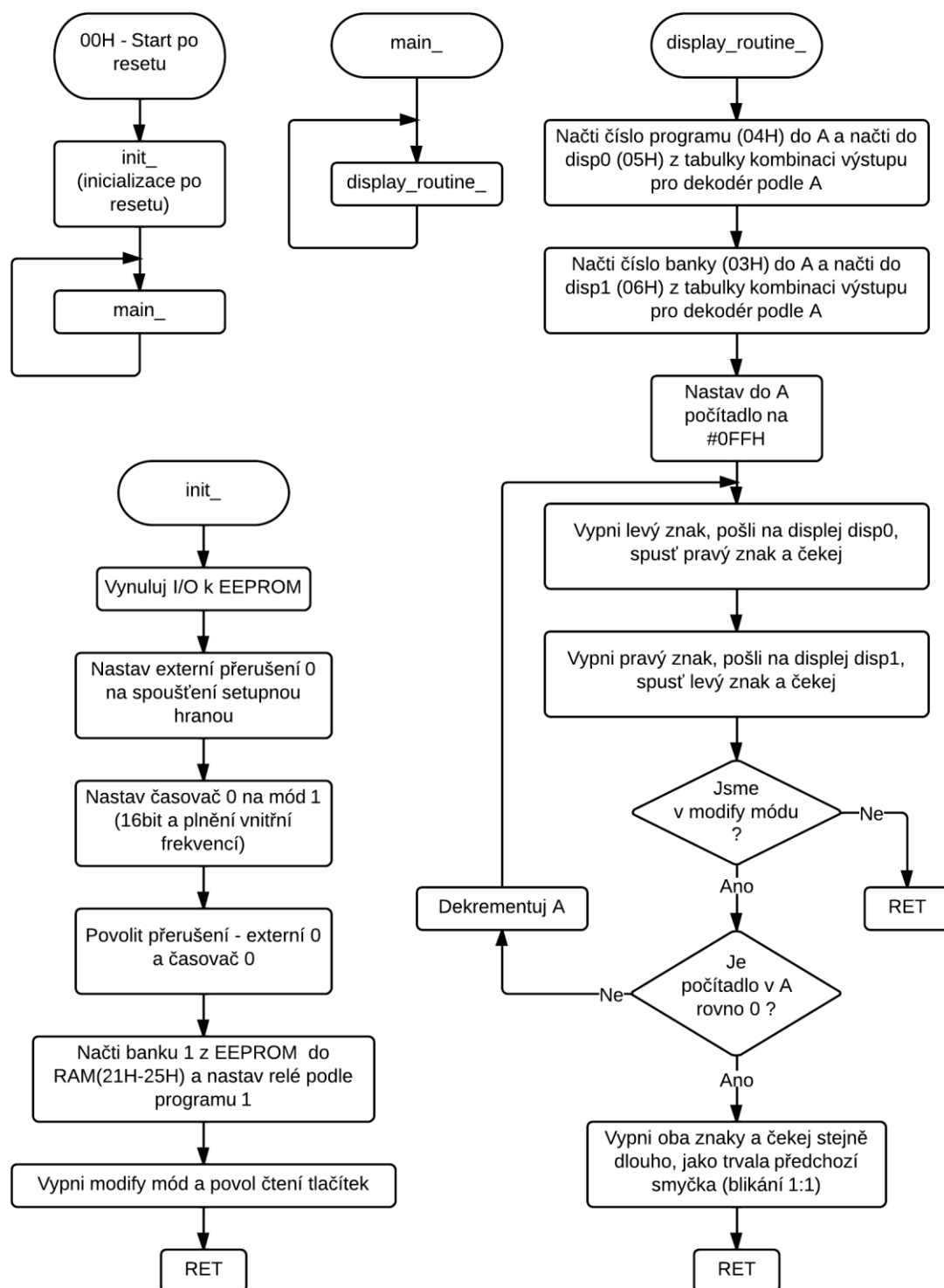
Pozn. Kompletní okomentovaný program v assembleru je k dispozici na přiloženém CD v souboru PPAE.asm.

#### 4.3.1 Inicializace a hlavní programová smyčka

Po resetu začíná mikrokontrolér zpracovávat instrukce z paměti programu od adresy 00H. Na této adrese je uložena instrukce skoku na pseudoadresu označenou `init_`, kde se nachází začátek inicializační sekvence. Ta nastaví několik základních parametrů:

- Nuluje piny portu P3, na kterých je připojena externí persistentní paměť
- Nastavuje konfiguraci čítače/časovače 0 tak, aby pracoval v plném rozsahu čítání (16 b), tj. používal registry TL0 a TH0, a v módu časování, tj. plnil se vnitřní hodinovou frekvencí
- Aktivuje přerušení od časovače 0 – používá se pro tzv. debouncing (odstranění zákmitů tlačítek)
- Aktivuje externí přerušení 0 a jeho spouštění sestupnou hranou – používá se pro volání rutiny zpracování stisku tlačítek
- Do registrů označených jako bank (aktuálně zvolená banka) a program (aktuálně zvolený program) nastavuje hodnotu 1, a volá podprogram, který podle těchto registrů načítá z externí paměti do RAM aktuální banku, vybere z ní program, a volá druhý podprogram, který pak budí relé
- Nastavuje dva příznakové bity – `modify_enable` (aktuální pracovní mód programu – nastavování kombinace programu / volba programu z banky) a `key_enable` (povolení čtení stisku tlačítek)

Po inicializaci začíná hlavní programová smyčka `main_`, obsahující pouze volání podprogramu `display_routine_`, který multiplexně (střídavě) budí oba znaky displeje. Na levém znaku je zobrazeno číslo aktuálně zvolené banky, a na pravém pak číslo aktuálně zvoleného programu. Postup multiplexního buzení je nejlépe vidět na vývojovém diagramu na obrázku 30.



Obrázek 30 – Vývojový diagram hlavního programu

### 4.3.2 Obsluha přerušení

Program používá pouze dvě přerušení, přičemž obě souvisí se zpracováním vstupu zařízení, tj. stisku tlačítek.

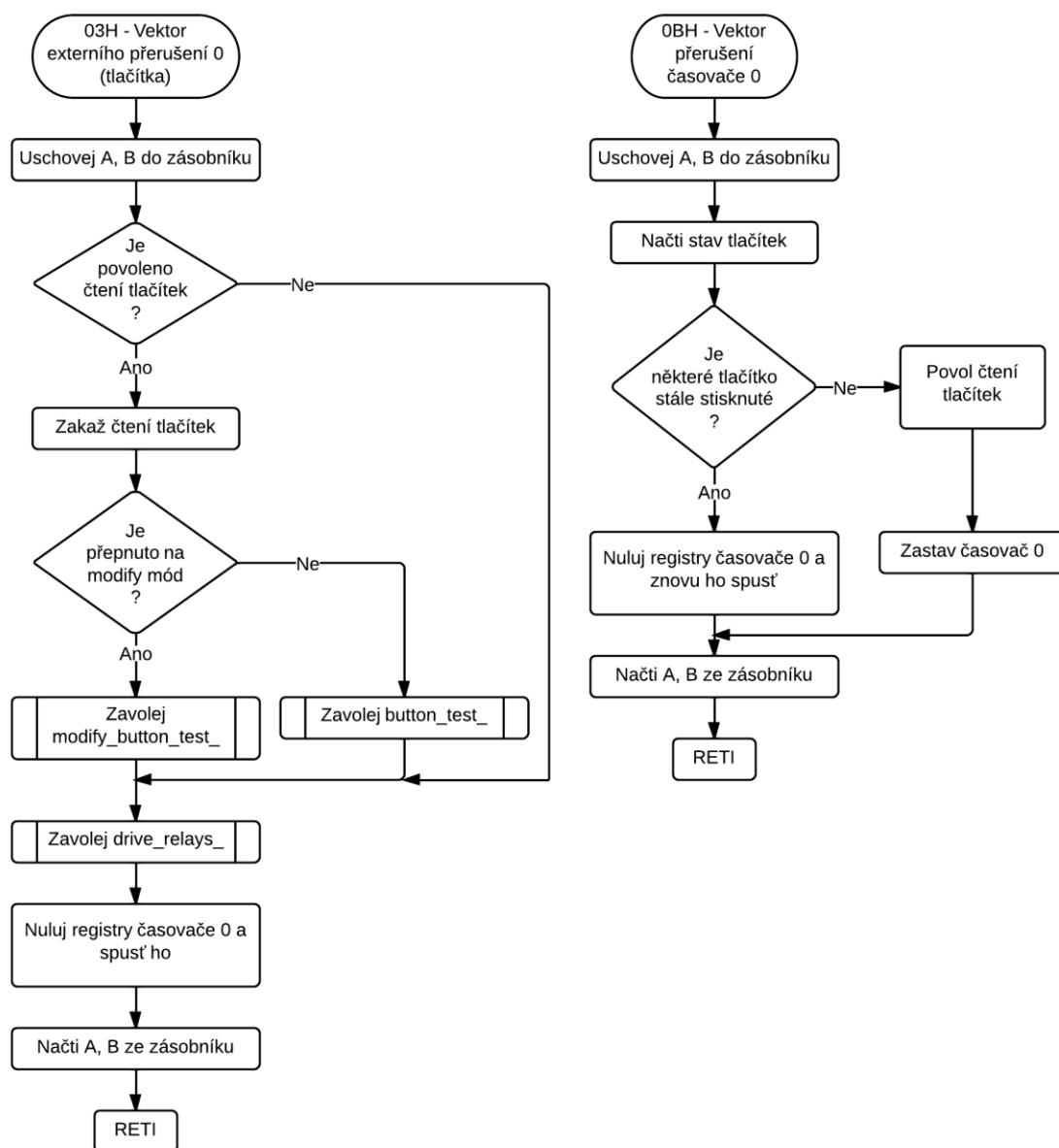
Externí přerušení 0 nastane při stisku jakéhokoliv tlačítka, a postupuje podle diagramu na obrázku 31. Nejprve je třeba uschovat hodnoty registrů A a B do zásobníku, což je u přerušení nutné, aby nedošlo k ovlivnění přerušeného programu. Dále se testuje příznakový bit `key_enable`, který říká, zda je povoleno čtení tlačítek. Program tento příznak používá k potlačení zákmitů, které funguje následujícím způsobem. Jestliže je čtení povoleno, potom tato rutina, ještě než přistoupí k samotnému zpracování stisku, čtení zakáže, aby nemohlo dojít k vícenásobnému zpracování jednoho stisku, a je zakázáno do té doby, než ho povolí druhá rutina přerušení, volaná při přetečení registrů časovače 0. Časovač 0 je spuštěn na konci rutiny zpracování externího přerušení, a je nastaven na dobu dostatečně dlouhou k tomu, aby tlačítko přestalo kmitat (přibližně 70 ms). Rutina přerušení časovače 0 testuje, zda jsou už všechna tlačítka v rozpojeném stavu (ani jedno není stisknuto), a jestliže ano, pak opět povolí čtení a časovač se zastaví. Pokud ne, časovač se znovu spustí, a čtení je zakázáno do té doby, dokud není podmínka splněna, přičemž je znovu testována v přibližně 70 milisekundových intervalech.

Samotné zpracování stisku je prováděno dvěma podprogramy (resp. jedním nebo druhým) `button_test_` nebo `modify_button_test_`, podle toho v jakém stavu je v danou chvíli příznak `modify_enable`, tedy v jakém módu je zrovna zařízení přepnuto. Může to být buď standardní pracovní mód, tedy spínání relé podle programů uložených v jednotlivých bankách v EEPROM, nebo modify mód, v němž je možné jednotlivé kombinace (programy) měnit.

Ve standardním módu je pět tlačítek, označených 1 až 5, vyhrazeno k volbě programu v aktuální bance, tlačítka `BANK UP` a `BANK DOWN` k volbě banky (inkrementačním/dekrementačním způsobem), a tlačítko `MODIFY` pak slouží k přepnutí do modify módu. V modify módu tlačítka 1 až 5 slouží negaci stavu jednotlivých relé (nastavování kombinace), a tlačítko `MODIFY` k uložení kombinace do EEPROM a přepnutí do standardního módu. Tlačítka `BANK UP` a `BANK DOWN` v tomto módu nemají žádný význam.

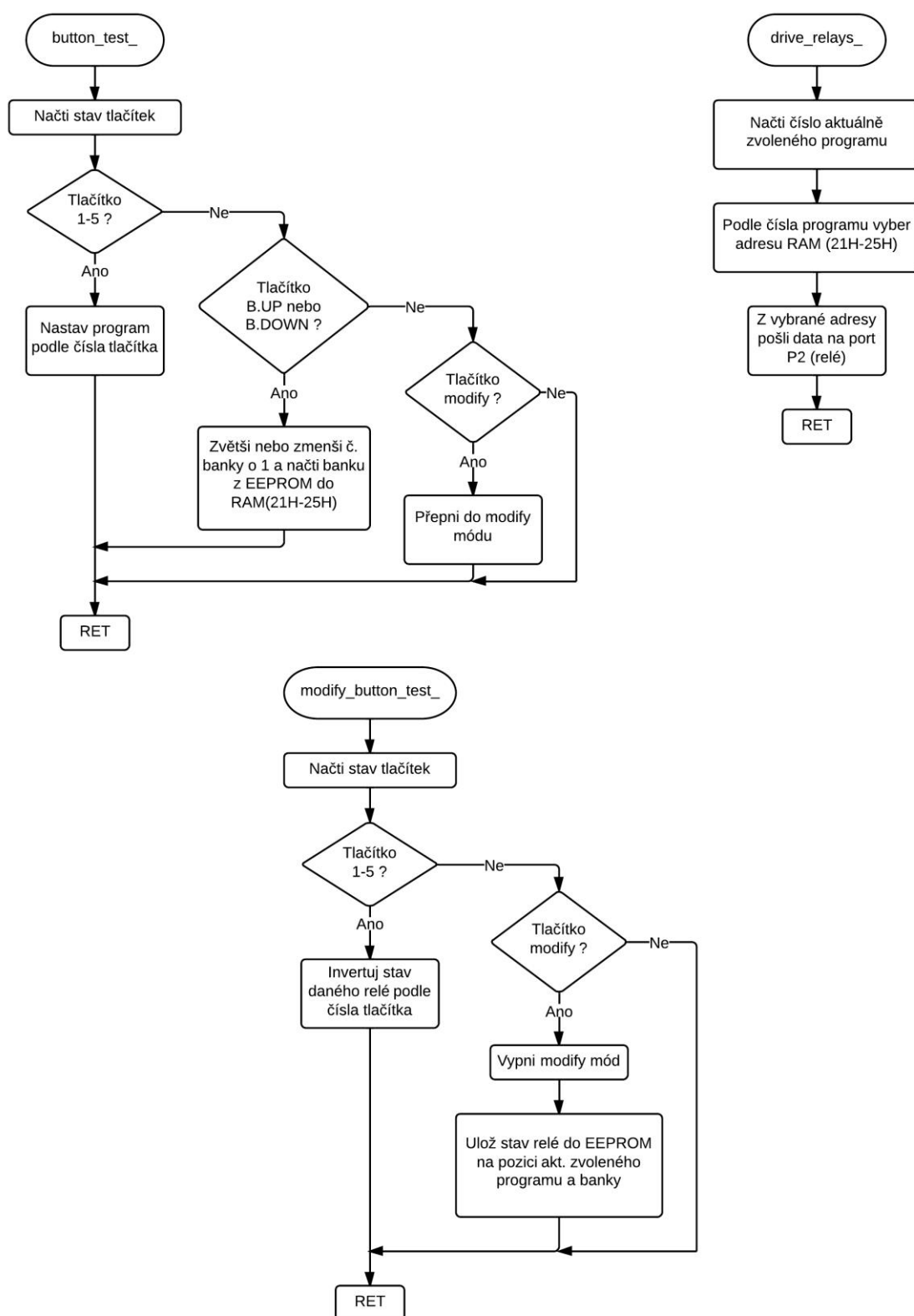
Před koncem rutiny zpracování stisku je ještě volán podprogram `drive_relays_`, který podle zvoleného programu posílá řídicí signály budiči relé, dále výše zmíněné nastavení a spuštění časovače 0, a opětovné načtení původních hodnot registrů A a B ze zásobníku (toto probíhá samozřejmě i u rutiny přerušení časovače 0).

Celá činnost je názorněji vidět na vývojových diagramech na obrázcích 31 a 32.



Obrázek 31 – Vývojové diagramy rutin přerušení





Obrázek 32 – Vývojové diagramy podprogramů zpracování tlačítek a buzení relé

## 4.4 Mapa pamětí a portů

Pro jednodušší orientaci v programu jsou sestaveny tabulky popisující názvy a adresy proměnných v paměti RAM, způsob uložení kombinací relé (programů) v paměti EEPROM, a popis zařízení připojených k jednotlivým portům mikrokontroléru.

### 4.4.1 Mapa RAM

Tabulka 1 – Tabulka adres RAM použitých v programu

Adresa RAM	Název	Popis
00H	bank_adress	registr používaný pro uložení adresy banky v EEPROM
01H	modify_adress	zde je uložena adresa ukazující na naposledy modifikovaný program (pro uložení do EEPROM)
02H	counter	počítadlo pro podprogram čekání delay_
03H	bank	číslo aktuálně zvolené banky
04H	program	číslo aktuálně zvoleného programu
05H	disp0	byte pro zobrazení na pravém znaku displeje
06H	disp1	byte pro zobrazení na levém znaku displeje
20H.1	key_enable	příznakový bit povolení čtení tlačítek
20H.2	modify_enable	příznakový bit přepnutí do modify módu
21H		kombinace stavů relé programu 1 aktuálně zvolené banky
22H		kombinace stavů relé programu 2 aktuálně zvolené banky
23H		kombinace stavů relé programu 3 aktuálně zvolené banky
24H		kombinace stavů relé programu 4 aktuálně zvolené banky
25H		kombinace stavů relé programu 5 aktuálně zvolené banky

#### 4.4.2 Mapa EEPROM

Kombinace stavů relé (programy) se ukládají do paměti po jednotlivých bankách, přičemž jedna banka se skládá z pěti programů (5 Byte). Do EEPROM se ukládají od začátku, tedy od adresy 00H, a jsou umístěny hned za sebou (viz tabulka 3). Programy v bance jsou seřazeny způsobem nejnižší číslo programu – nejnižší adresa v bance.

Tabulka 2 – Tabulka rozsahů adres bank v paměti EEPROM

Číslo banky	Rozsah adres
1	00H – 04H
2	05H – 09H
3	0AH – 0EH
4	0FH – 13H
5	14H – 18H
6	19H – 1DH
7	1EH – 22H
8	23H – 27H
9	28H – 2CH

### 4.4.3 Mapa portů

Tabulka 3 – Tabulka periférií připojených k portům mikrokontroléru

Pin portu	Připojená periferie	Pin portu	Připojená periferie
P0.0 – P0.7	8x Tlačítko	P3.0	Spouštění levého znaku displeje
P1.0	D bit k dekodéru	P3.1	Spouštění pravého znaku displeje
P1.1	A bit k dekodéru	P3.2	Vstup přerušení tlačítek
P1.2	C bit k dekodéru	P3.3	DO (EEPROM)
P1.3	B bit k dekodéru	P3.4	DI (EEPROM)
P1.4 – P1.7	Nevyužito	P3.5	SK (EEPROM)
P2.0 – P2.4	5x Relé	P3.6	CS (EEPROM)
P2.5 – P2.7	Nevyužito	P3.7	MUTE (Nevyužito)

## 5 ZMĚŘENÉ PARAMETRY OBVODU

### 5.1.1 Měření parametrů napájení

Maximální celkový proudový odběr: 250 mA (všechna relé sepnuta, na displeji 85 – rozsvíceno nejvíce segmentů)

Testovaný rozsah napájecího napětí: 8 – 15 V – při vstupním napětí 15 V se stabilizované napětí po dobu tří hodin pohybovalo v rozmezí 4,9 – 5,1 V bez náznaku přehřátí stabilizátoru

### 5.1.2 Měření odporu kladeného NF signálu

Odpor měřících elektrod  $R_e = 120 \text{ m}\Omega$

Tabulka 4 – Naměřené hodnoty odporu kladeného NF signálu

Měření mezi konektory	Naměřený odpor $R_n$ [ $\text{m}\Omega$ ]	$R_n - R_e$ [ $\text{m}\Omega$ ]
IN a SEND 1	210	90
RETURN 1 a SEND 2	230	110
RETURN 2 a SEND 3	235	115
RETURN 3 a SEND 4	210	90
RETURN 4 a OUT	225	105
		SUMA = 510

Odpor mezi svorkami konektory IN a OUT při všech relé vypnutých je  $R_{IO} = 350 \text{ m}\Omega$ , což se o  $160 \text{ m}\Omega$  liší od součtu jednotlivých měření. Chyba je způsobena pravděpodobně přechodovým odporem mezi konektorem a svorkou měřící elektrody. Tato chyba v součtu hodnot z pěti měření narostla na výše zmíněných  $160 \text{ m}\Omega$ .

## ZÁVĚR

V praktické části bylo navrženo a vyrobeno zařízení usnadňující a zvyšující efektivitu přepínání kytarových efektů, což bylo cílem této práce. Zároveň bylo ověřeno, že zařízení klade jen minimální odpor průchodu signálu, a způsobuje tak jen velmi malé ztráty, neboli chová se tak jak tomu má u zapojení typu True-bypass být. Dále byla s úspěchem ověřena teplotní stabilita při maximálním napájecím napětí, stanoveném při návrhu.

Při realizaci se však vyskytla relativně podstatná komplikace. Zvolený způsob buzení displeje, tedy multiplexní, způsoboval rušení (frekvenčně ve slyšitelném pásmu), které se indukovalo do vedení audiosignálu. Protože kytarové snímače produkují velmi slabý signál (maximálně stovky mV), byl odstup signálu od rušení také malý, a výsledkem bylo patrné pískání způsobené řídicími signály, které střídavě rozsvěcují oba znaky displeje. Řešení tohoto problému si vyžádalo přidání uzemněné hliníkové přepážky do šasi přepínače, stínící čtyři relé, kterými prochází audiosignál (resp. celou NF část obvodu). Slyšitelné pískání po jejím použití zmizelo. Způsob buzení tedy nebyl zvolen optimálně. Bylo by bývalo lepší použít dva dekodéry BCD / 7segment (pro každý displej zvlášť), přidaná přepážka je však dostatečně efektivní, a zařízení je i takto plně funkční.

Dalším velkým úskalím bylo vymyslet co nejlepší algoritmus pro ošetření zakmitávání tlačítek. Po několika neúspěšných pokusech bylo toto vyřešeno použitím časovače, nastaveného na dobu dostatečně dlouhou na to, aby přestalo kmitat i tlačítko té nejhorší kvality. Zapojení je tak realizovatelné s prakticky jakýmkoliv tlačítky.

Relé, potažmo všechny mechanické přepínače, mají tu nepříjemnou vlastnost, že při přepínání zanesou do audiosignálu, který jimi prochází, slabé lupnutí, způsobené prudkou změnou potenciálu na vstupu zesilovače (resp. zesilovače, nebo efektu). Protože s tímto bylo při návrhu počítáno, na výstup byl připojen ještě optočlen, který měl splňovat jakousi funkci MUTE, tedy zeslabit signál (svést ho na signálovou zem) v době, kdy relé přepínají, a zmírnit tak ono lupnutí. Při prvních testech však bylo jasné, že toto opatření nebude třeba využít, protože se ukázalo, že použitá relé jsou velmi dobré kvality a způsobují tak mírné lupnutí, že optočlen by ve výsledku způsobil srovnatelné, nebo větší. I ve srovnání s klasickými přepínači vyjdou tato relé lépe. Na plošném spoji proto zůstala po optočlenu pouze patice. Nemíjí být vyloučeno, že se používáním vlastnosti relé nezhorší, a nebude třeba optočlen využít.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] The Distortion Guide (for Non-Engineers). *Jim Dunlop* [online]. 2012 [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.jimdunlop.com/blog/the-distortion-guide-for-non-engineers/>
- [2] True Bypass a další přepínací systémy IV (elektronické přepínání). *Electronic Orange* [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.electronicorange.cz/cs/blog/true-bypass-a-dalsi-prepinaci-systemy-iv-elektronicke-prepinani>
- [3] PTÁČEK, Ladislav. Jak pracují efekty II. *Muzikus.cz* [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-clanky/Jak-pracuji-efekty-II~05~brezen~2009/>
- [4] PTÁČEK, Ladislav. Jak pracují efekty I. *Muzikus.cz* [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-clanky/Jak-pracuji-efekty-I~19~leden~2009/>
- [5] MCU 8051 IDE. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 10.10.2013 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/MCU\\_8051\\_IDE](http://cs.wikipedia.org/wiki/MCU_8051_IDE)
- [6] VLACHÝ, Václav. *Praxe zvukové techniky*. Praha: Muzikus, 1995, 257 s. ISBN 80-901-5376-3.
- [7] DUNLOP MANUFACTURING, Inc. *Dunlop* [online]. 2014 [cit. 2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.jimdunlop.com/>
- [8] *Electro-Harmonix* [online]. 2014 [cit. 2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.ehx.com/>
- [9] *BOSS U.S.* [online]. 2014 [cit. 2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.bossus.com/>
- [10] ATMEL CORPORATION. *AT89S51 Complete Datasheet*. 2008 [cit.2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc2487.pdf>
- [11] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. *LM78XX / LM78XXA Datasheet*. Rev. 1.3.0. 2006 [cit.2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM7805.pdf>

- [12] ATMEL CORPORATION. *AT93C56A/66A Complete Datasheet*. 2009  
[cit. 2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc3378.pdf>
- [13] TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. *ULN2002/03/04 Datasheet*. 2013.  
[cit. 2014-06-05] Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2003a.pdf>
- [14] Beeprog+. ELNEC S.R.O. *Elnec* [online]. 2014 [cit. 2014-06-05]. Dostupné z:  
<http://www.elnec.com/products/universal-programmers/beeprogplus/>



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

A/D	Analogově digitální převodník
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor, doplňující se kov-oxid-polovodič
D/A	Digitálně analogový převodník
DDL	Digital Delay Line, digitální zpožďovací linka
DIL	Dual-In-Line, typ pouzder integrovaných obvodů
DPDT	Double Pole Double Throw, dvoupólový přepínač se dvěma polohami
DSP	Digital Signal Processing, rychlé zpracování digitálně reprezentovaných signálů
EEPROM	Electrically Erasable Read-Only Memory, elektricky mazatelná semipermanentní paměť
FET	Field Effect Transistor, tranzistor řízený polem
IDE	Integrated Development Environment, integrované vývojové prostředí
ISP	In-System Programming, programovatelnost bez nutnosti vyjmutí obvodu
LCD	Liquid-Crystal Display, displej z tekutých krystalů
LED	Light-Emitting Diode, dioda emitující světlo
LFO	Low Frequency Oscillator, oscilátor s nízkou frekvencí
NF	Nízkofrekvenční
OZ	Operační zesilovač
RAM	Random Access Memory, paměť s náhodným přístupem
SPDT	Single Pole Double Throw, jednopólový přepínač se dvěma polohami
TTL	Transistor-Transistor-Logic, tranzistorově-tranzistorová logika
USB	Universal Serial Bus, univerzální sériová sběrnice
VCA	Voltage-Controlled Amplifier, zesilovač řízený napětím

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Principiální zapojení typu Soft-clipping.....	12
Obrázek 2 – Principiální zapojení typu Hard-clipping .....	12
Obrázek 3 – Příklad sinusového signálu zkresleného efektem typu overdrive [1] .....	13
Obrázek 4 – Příklad sinusového signálu zkresleného efektem typu distortion [1] .....	13
Obrázek 5 – Příklad sinusového signálu zkresleného efektem typu fuzz [1] .....	14
Obrázek 6 – Grafický ekvalizér Ten Band EQ firmy Dunlop (MXR) [7].....	14
Obrázek 7 – Cry Baby Wah pedál firmy Dunlop [7] .....	15
Obrázek 8 – Tremolo efekt Pulsar firmy Electro-Harmonix [8] .....	16
Obrázek 9 – Kompresor Super Comp firmy Dunlop (MXR) [7] .....	17
Obrázek 10 – Blokové schéma zpožďovací linky (DDL) [6].....	18
Obrázek 11 – DD7 Digital Delay firmy Boss [9] .....	18
Obrázek 12 – Small Stone phaser firmy Electro-Harmonix [8] .....	19
Obrázek 13 – Electric Mistress flanger firmy Electro-Harmonix [8].....	20
Obrázek 14 – CH-1 Super Chorus firmy Boss [9] .....	21
Obrázek 15 – Harmonizer PS-6 Harmonist firmy Boss [9] .....	21
Obrázek 16 – Jednopolové přepínání efektů, [2].....	22
Obrázek 17 – Jednopolové přepínání s bufferem, [2] .....	23
Obrázek 18 – Zapojení True Bypass ve stavu neaktivního efektu, [2] .....	24
Obrázek 19 – Elektronická analogie SPDT přepínání, [2].....	24
Obrázek 20 – Propojení přepínače s efekty a zesilovačem.....	26
Obrázek 21 – Blokové schéma.....	27
Obrázek 22 – Schéma napájecí části obvodu .....	29
Obrázek 23 – Část obvodu nezbytná pro chod mikrokontroléru .....	30
Obrázek 24 – Připojení tlačítka .....	31
Obrázek 25 – Obvod pro multiplexní buzení displeje .....	32
Obrázek 26 – Připojení displeje k desce plošných spojů.....	32
Obrázek 27 – Připojení paměti 93C56A .....	33
Obrázek 28 – Vývojové prostředí MCU 8051 IDE [5] .....	35
Obrázek 29 – Programátor Beeprog+ firmy Elnec .....	36
Obrázek 30 – Vývojový diagram hlavního programu .....	38
Obrázek 31 – Vývojové diagramy rutin přerušování.....	40

Obrázek 32 – Vývojové diagramy podprogramů zpracování tlačítek a buzení relé .....	41
--	----

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 – Tabulka adres RAM použitých v programu.....	42
Tabulka 2 – Tabulka rozsahů adres bank v paměti EEPROM .....	43
Tabulka 3 – Tabulka periférií připojených k portům mikrokontroléru .....	44
Tabulka 4 – Naměřené hodnoty odporu kladeného NF signálu .....	45

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha P I: Kompletní schéma

Příloha P II: Obrazce plošných spojů a osazovací plán

Příloha P III: Fotodokumentace

## **SEZNAM ELEKTRONICKÝCH PŘÍLOH**

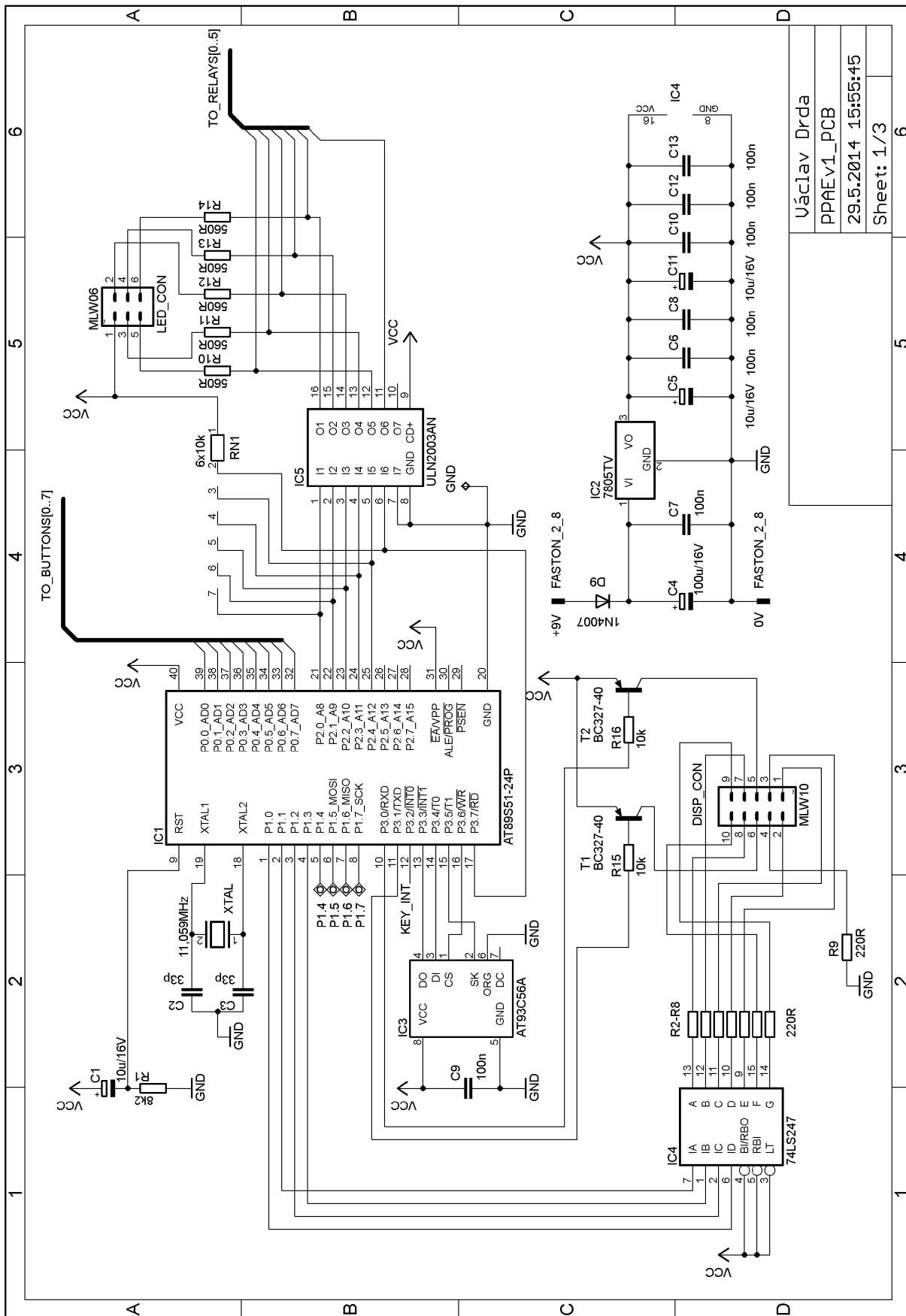
Příloha IV: Schéma zapojení PCB (Eagle)

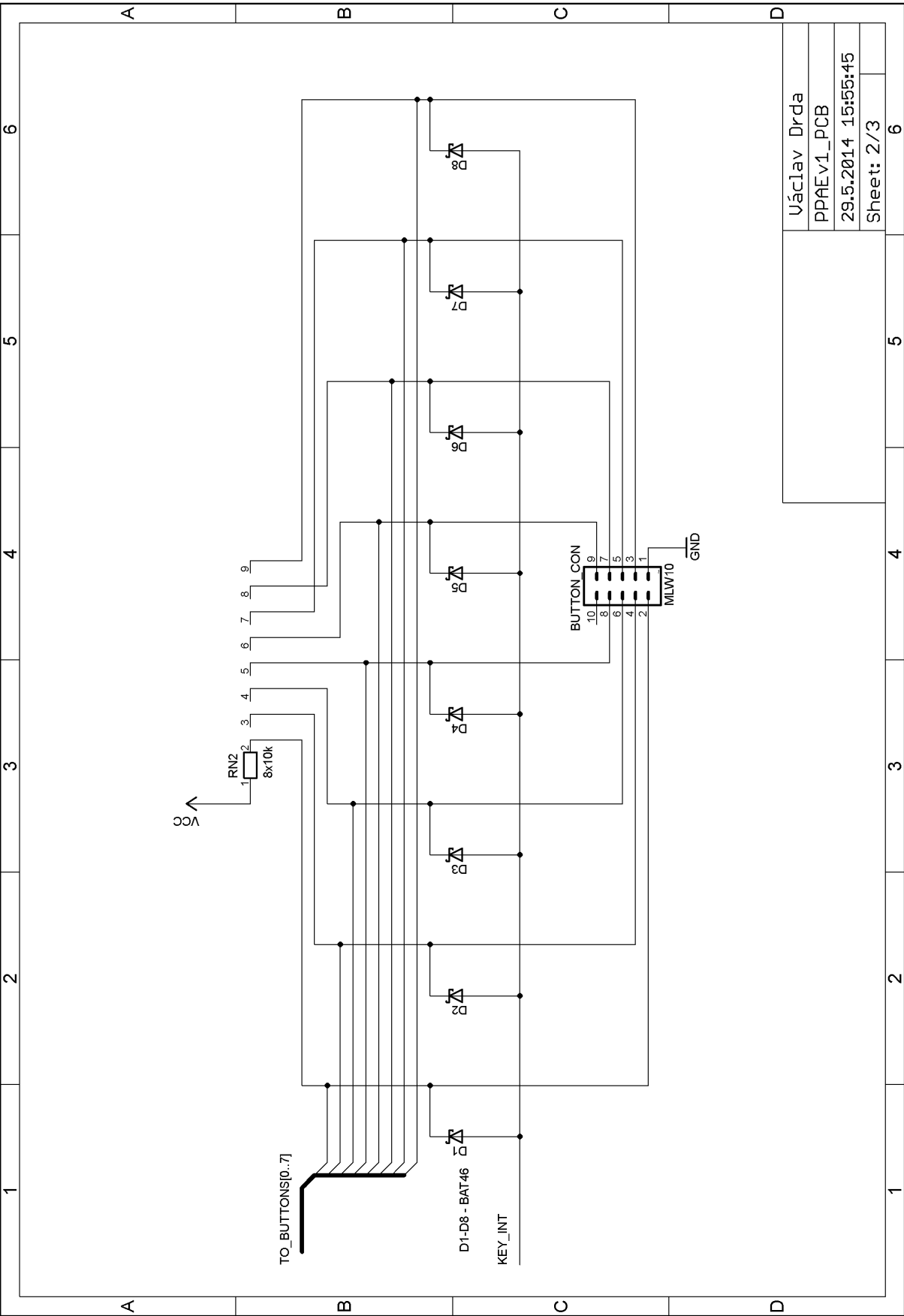
Příloha V: Schéma zapojení mimo PCB (Eagle)

Příloha VI: Návrh DPS (Eagle)

Příloha VII: Program v assembleru

## PŘÍLOHA P I: KOMPLETNÍ SCHÉMA





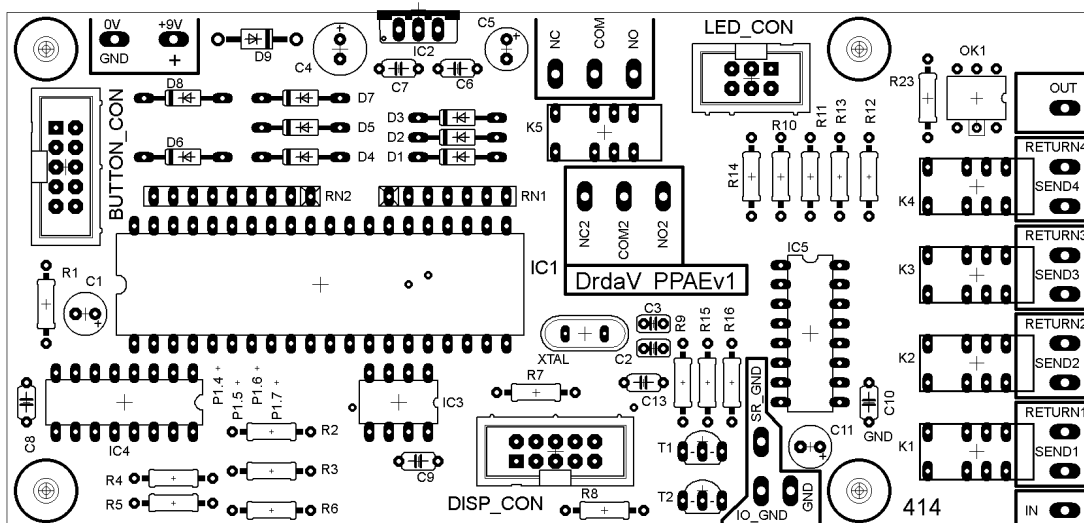
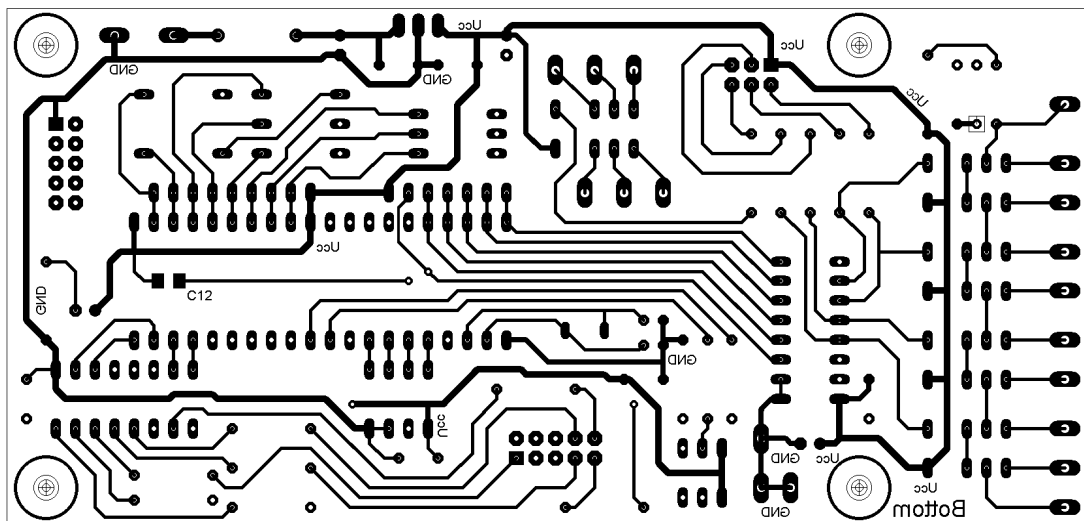
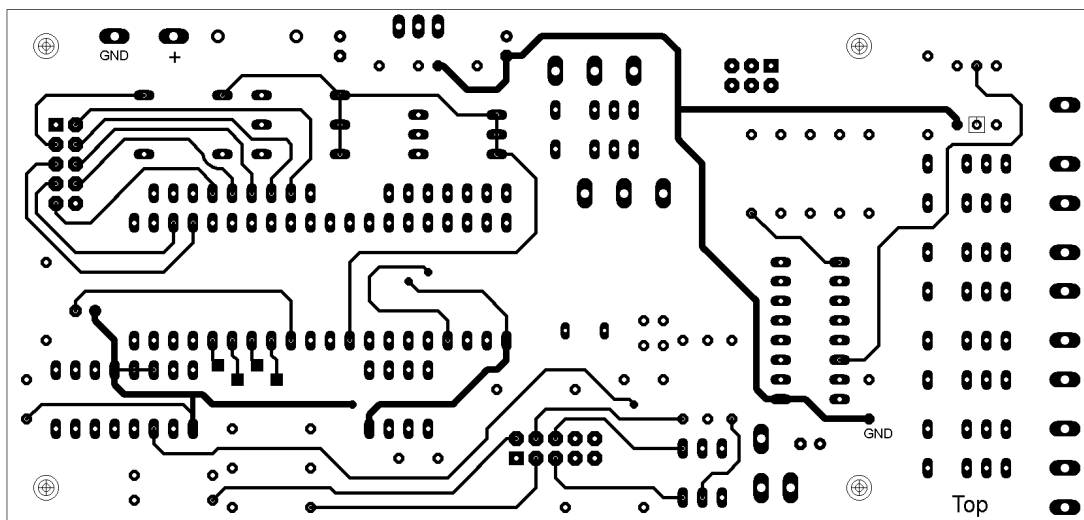
Uáclav Drda	
PPAEv1_PCB	
29.5.2014 15:55:45	
Sheet: 2/3	







## PŘÍLOHA PII: OBRAZCE PLOŠNÝCH SPOJŮ A OSAZOVACÍ PLÁN



Pozn. pouze informativní (není v měřítku) - pro výrobu použijte příložený BRD soubor.

### PŘÍLOHA III: FOTODOKUMENTACE

