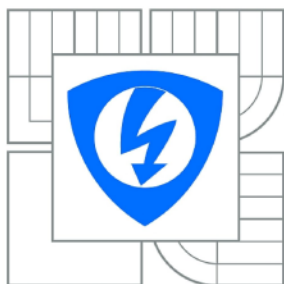




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC  
TECHNOLOGY

## **DIGITÁLNÍ OSCILOSKOP S MIKROKONTROLÉREM**

DIGITAL OSCILLOSCOPE WITH MICROCONTROLLER

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

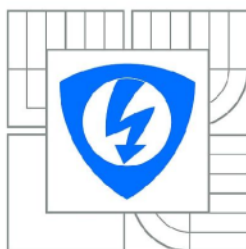
**JAN DAVID**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. MARTIN FRIEDL**

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav elektrotechnologie

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Mikroelektronika a technologie

**Student:** Jan David  
**Ročník:** 3

**ID:** 145983  
**Akademický rok:** 2013/2014

**NÁZEV TÉMATU:**

## Digitální osciloskop s mikrokontrolérem

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte a blíže popište vlastnosti mikrokontrolérů firmy Microchip. Seznamte se s principy digitálních osciloskopů a popište je. Uveďte hlavní výhody digitálních osciloskopů. Navrhněte vlastní uspořádání jednoduchého digitálního osciloskopu s mikrokontrolérem PIC. Realizujte navržený osciloskop a porovnejte naměřené hodnoty s parametry profesionálními přístroji.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího bakalářské práce.

**Termín zadání:** 10.2.2014

**Termín odevzdání:** 5.6.2014

**Vedoucí práce:** Ing. Martin Friedl

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem přenosného digitálního paměťového osciloskopu s mikrokontroléry PIC, pro zobrazení signálu je použit grafický LCD s rozlišením 240x128. Přístroj přináší originální řešení a možnost rozšíření zařízení o uživatelské funkce.

## Klíčová slova

Osciloskop, PIC, mikrokontrolér, A/D převodník, LCD

## Abstract

This bachelor's thesis deals with the design of portable digital storage oscilloscope with PIC microcontrollers, to view signal is used graphic LCD with resolution 240x128. The device provides an original solution and the possibility of expanding facilities for additional user features.

## Keywords

Oscilloscope, PIC, microcontroller, A/D convertor, LCD

David, J. *Digitální osciloskop s mikrokontrolérem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav elektrotechnologie, 2014. 34 s., 19 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Martin Friedl

# Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Digitální osciloskop s mikrokontrolérem jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

.

V Brně dne 4. června 2014

.....  
podpis autora

# Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Friedlovi. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování projektu.

V Brně dne 4. června 2014

.....  
podpis autora

# OBSAH

Seznam obrázků.....	viii
Úvod.....	1
1. Osciloskopy .....	2
1.1 Analogový osciloskop.....	3
1.2 Digitální osciloskop .....	4
1.2.1 Vzorkování.....	5
1.2.2 A/D převodník.....	6
1.3 Dostupná řešení .....	7
1.3.1 Komerční ruční osciloskopy.....	7
1.3.2 Amatérské konstrukce.....	7
2. Mikrokontroléry PIC .....	8
2.1 8-bitové mikrokontroléry PIC .....	8
2.2 16-bitové mikrokontroléry PIC .....	9
2.3 32-bitové mikrokontroléry PIC .....	10
3. Návrh osciloskopu .....	10
3.1 Blokové schéma navrhovaného osciloskopu .....	10
3.2 Návrh redukce pro TQFP .....	11
3.3 Návrh analogové vstupní části .....	12
3.3.1 Vstupní obvody.....	12
3.4 Návrh bufferu, a časovače pro A/D převodník .....	15
3.5 Návrh zdroje.....	16
3.6 Návrh dotykového ovládání .....	17
3.6.1 Složitější kapacitní ovládací prvky .....	17
3.7 Návrh zapojení LCD .....	19
3.8 Desky plošných spojů .....	22
4. Simulace .....	23

5. Porovnání parametrů přístroje s profesionálními přístroji.....	25
5.1 Měření frekvenční modulové charakteristiky analogové části.....	26
Závěr .....	28
Literatura.....	30
Abecední seznam zkratek .....	32
Seznam příloh .....	34

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Blokové schéma analogového osciloskopu. [1] .....	3
Obr. 2 Analogový osciloskop [17].....	3
Obr. 3 Blokové schéma digitálního osciloskopu .....	4
Obr. 4 Digitální osciloskop [19] .....	4
Obr. 5 Sinusový signál, reálné vzorkování, 8 vzorků na periodu .....	5
Obr. 6 Rekonstruovaný sinusový signál .....	6
Obr. 7 Blokové schéma ADS831 [3] .....	6
Obr. 8 Ruční osciloskop UNI-T UTD1025C [18] .....	7
Obr. 9 PIC10F [4] .....	8
Obr. 10 PIC18F [4] .....	9
Obr. 11 Blokové schéma navrhovaného osciloskopu .....	10
Obr. 12 Návrh redukce TQFP 100 .....	11
Obr. 13 Návrh redukce TQFP 80 .....	11
Obr. 14 Hotové redukce s procesory PIC .....	11
Obr. 15 Vstupní obvody analogové části .....	12
Obr. 16 Antialiasingový filtr .....	12
Obr. 17 Vertikální zesilovač .....	13
Obr. 18 Diferenční zesilovač a A/D převodník .....	13
Obr. 19 Nastavení offsetu .....	14
Obr. 20 Blokové zapojení bufferu .....	15
Obr. 21 Schéma nabíječky Li-ion baterií .....	16
Obr. 22 Pětikanálový 8 směrový křížový joystick + rotační enkodér 45° .....	18
Obr. 23 Dvoukanálový posuvník .....	18
Obr. 24 Multiplexovaná tlačítka .....	18
Obr. 25 Hotová redukce pro LCD .....	19
Obr. 26 Blokové schéma propojení procesoru s LCD .....	20
Obr. 27 Ukázka znakové sady 16bodů a 8bodů .....	21
Obr. 28 Ukázka vykreslení průběhu na LCD .....	21
Obr. 29 Graf přenosu analogového obvodu .....	23
Obr. 30 Simulace analogového modulu .....	24
Obr. 31 Frekvenční modulové charakteristiky analogové části s antialiasingovým filtrem .....	26
Obr. 32 Frekvenční modulové charakteristika pro rozsah 1V bez antialiasingového filtru .....	27



# Úvod

Mezi základní vybavení každého elektronika bezpochyby patří osciloskop. Jedná se o měřicí přístroj sloužící k zobrazení elektrických signálů v závislosti na čase. V současné době existují dva základní druhy osciloskopů a to starší analogový a moderní digitální.

Tato práce se zabývá návrhem jednokanálového přenosného digitálního osciloskopu, napájeného z baterie, který používá k řízení mikrokontroléry PIC. Zobrazení signálu zajišťuje LCD s rozlišením 240x128 bodů. Ovládání je řešeno pomocí moderních dotykových tlačítek. Snahou této práce je sestavit takové zařízení, které by mohlo sloužit jako univerzální měřicí přístroj, ten by mohl být doplněn o specifické uživatelské funkce (např. měření napětí, výkonu, vibrací, otáček atd...), tím by se přístroj lišil od konkurence.

# 1. OSCILOSKOPY

Mezi jedny z nejstarších zástupců patří analogový osciloskop (CRO - cathode-ray oscilloscope) pracuje na principu vakuové obrazovky s elektrostatickým vychylováním, kdy měřené napětí je přivedeno na horizontální vychylovací desky. Dále je na vertikální vychylovací desky je přiveden pilový signál z časové základny, tím je dosaženo, že se na obrazovce vykreslí průběh napětí. Analogové osciloskopy jsou stále vyráběny díky nižší pořizovací ceně oproti digitálním osciloskopům a také díky tomu že zobrazují skutečný průběh napětí.

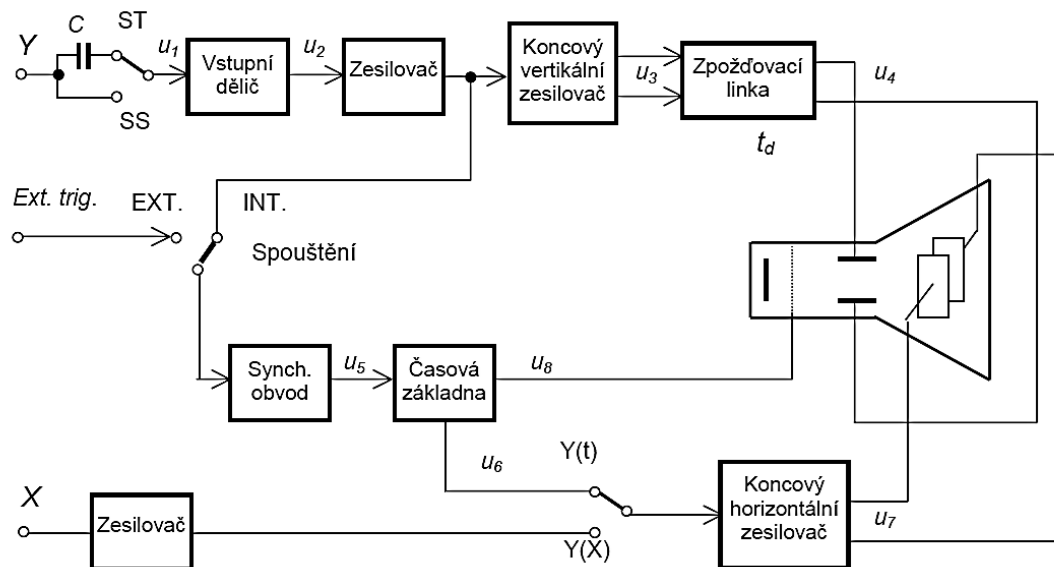
Digitální osciloskopy (DSO - Digital Storage Oscilloscope) pracují na odlišném principu, analogový signál je upraven a přiveden na A/D převodník který signál převede do digitální podoby a předá jej mikrokontroléru, který je uloží do paměti, z které je výsledný průběh zobrazen nejčastěji na LCD, tato konstrukce umožňuje zobrazit i neperiodické průběhy a také je možné obraz zastavit, lépe analyzovat, či zpracovávat, navíc digitální osciloskopy mají i různé matematické funkce jako například FFT (Fast Fourier Transformation), nebo jsou vybaveny logickými analyzátory a označovány jako MSO (Mixed Signal Oscilloscope).

Díky absenci rozměrné vakuové obrazovky vznikly ruční digitální osciloskopy (Handheld Oscilloscope), ty mohou pracovat i akumulátoru, tyto osciloskopy jsou velmi praktické pro měření v terénu. Výhodou těchto osciloskopů je, že jsou kompaktní a lze je snadno přemísťovat. Tato práce se zabývá právě takovým druhem osciloskopu.

Dalším druhem osciloskopů jsou takzvané PC osciloskopy (PC-based oscilloscopes) Jedná se o digitální osciloskop využívající ke zpracování a zobrazení měřených dat počítač. Zařízení se s počítačem propojí nejčastěji pomocí USB, výhodou těchto osciloskopů je pořizovací cena a také možnost přímé archivace či automatizace měření.

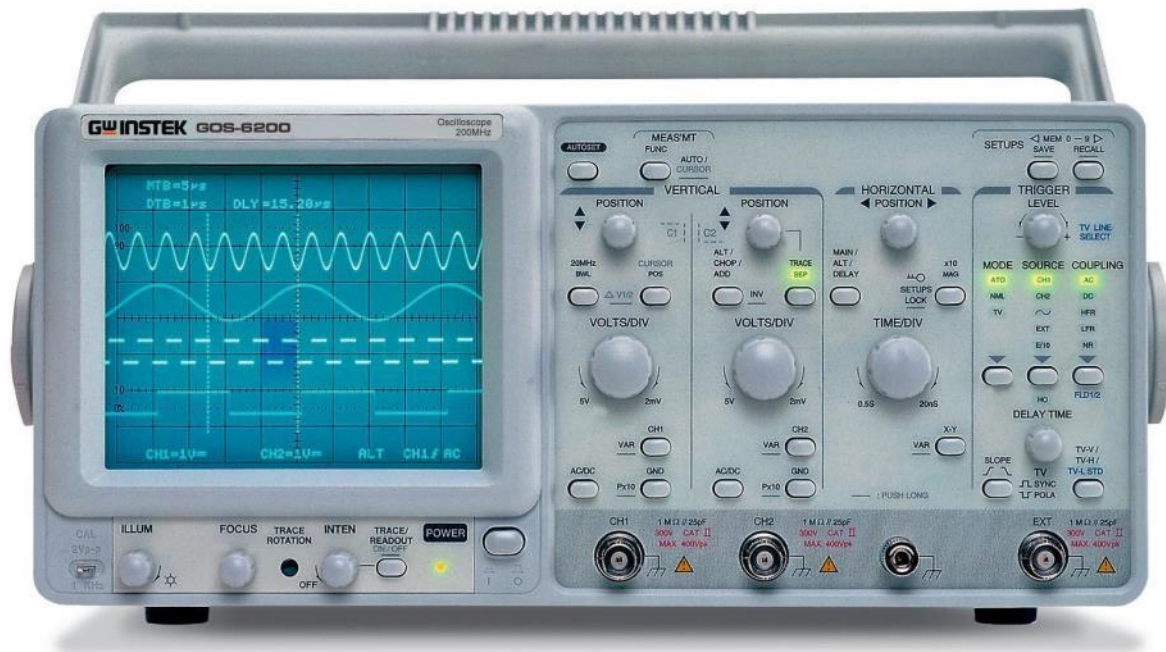
## 1.1 Analogový osciloskop

Hlavním dílem analogového osciloskopu je vakuová obrazovka s elektrostatickým vychylováním, na kterou je připojen přes vstupní obvody a vertikální zesilovač měřený signál, na horizontální vychylovací desky je připojen přes zesilovač pilový signál z časové základny, tím je dosaženo vykreslení měřeného signálu.



Obr. 1 Blokové schéma analogového osciloskopu. [1]

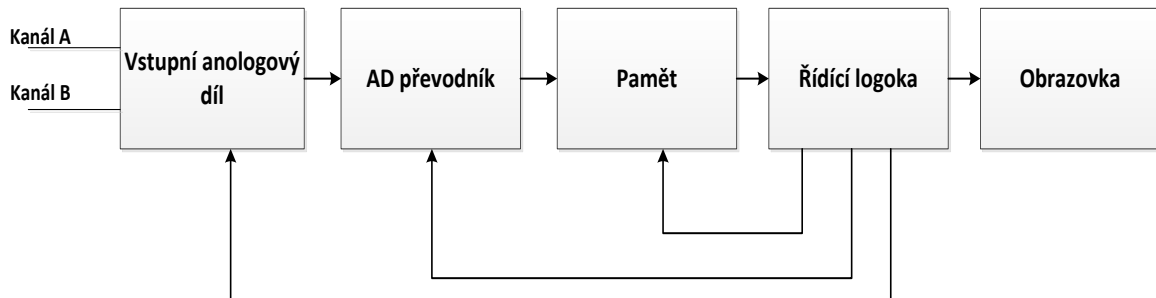
Nevýhodou těchto osciloskopů je že měřený signál nelze zastavit, také není možné měřit neperiodický průběh, je zde i problém s dokumentací měření. Z těchto důvodů vznikly digitální osciloskopy, které tyto funkce umožňují. [1]



Obr. 2 Analogový osciloskop [17]

## 1.2 Digitální osciloskop

Digitální osciloskopy se nejčastěji skládá z digitálně řízené analogové vstupní části, ta obsahuje vstupní dělič a řízený zesilovač. Na vstupní část je připojen A/D převodník, který převede analogový signál na digitální, ten je uložen do paměti a následně zpracován a vykreslen na obrazovku. Aby osciloskop správně fungoval, musí obsahovat řídicí logiku, která může být tvořena mikrokontrolérem nebo hradlovým polem.



Obr. 3 Blokové schéma digitálního osciloskopu

Digitální osciloskopy mají řadu výhod i nevýhod oproti analogovým osciloskopům.

Výhody:

- Je možné zaznamenat neperiodické průběhy.
- Je možné měřený signál zastavit nebo uložit a podrobně zkoumat např. v počítači.
- Snadná dokumentace měření.
- Možnost automatizace měření.
- Možnost sledování signálu před spuštěním „pretrigger“.
- Snadné zachycení jednorázových dějů.
- Možnost matematických operací se signálem: efektivní, střední, špičková hodnota signálu, možnost zobrazení spektra – FFT.

Nevýhody:

- Možnost vzniku aliasingu.
- Osciloskop nezobrazuje skutečný průběh ale spojnici naměřených bodů, to může při špatném nastavení vést k zobrazení zcela odlišného průběhu.
- Složitější ovládání.
- Větší složitost a větší cena.



Obr. 4 Digitální osciloskop [19]

### 1.2.1 Vzorkování

Aby bylo možné měřený signál uložit do paměti, je třeba ho rozdělit na části (vzorky). Dle jejich počtu se mění výsledná kvalita rekonstrukce měřeného signálu. Dle Nyquistova vzorkovacího teorému je třeba, aby rychlost vzorkování byla minimálně dvakrát větší než nejvyšší harmonická složka vyskytující se v měřeném signálu. Z toho důvodu je třeba osciloskop vybavit antialiasingovým filtrem typu dolní propust, který odfiltruje vyšší harmonické složky.

$$F_{vz} = \frac{1}{T} \geq 2f_{max} \quad (1)$$

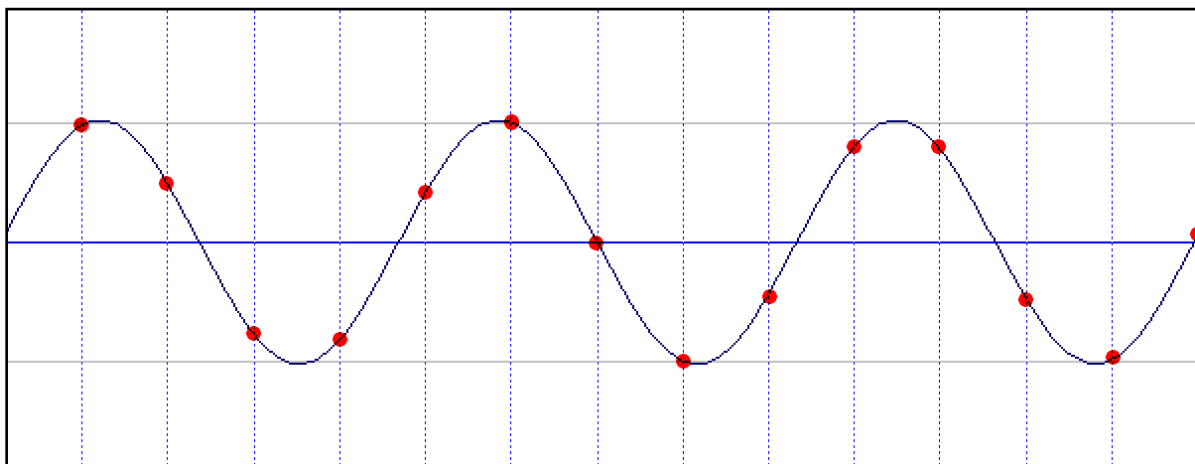
#### Vzorkování dělíme:

- Reálné vzorkování
  - Vzorky jsou odebírány lineárně po sobě, lze vzorkovat jakýkoliv signál, kvalita rekonstrukce závisí na počtu vzorků na periodu signálu (počet vzorků za sekundu - MSPS)
- Periodické vzorkování
  - Umožňuje zvýšit počet vzorků na periodu, v případě že se jedná o periodický průběh, vzorky jsou odebírány rovnoměrně z každé periody, čímž se dosáhne vysokého počtu vzorků na periodu i pro rychlé signály.
  - Pokud má být rekonstrukce věrohodný, je třeba, aby signál byl periodický, pokud není tato podmínka splněna, zobrazený signál neodpovídá měřenému signálu!

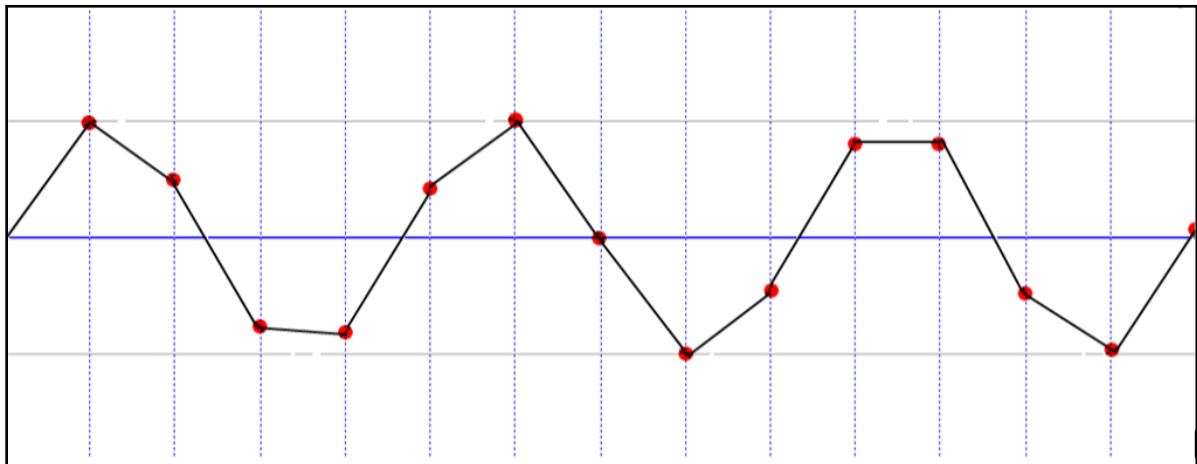
#### Náhodné vzorkování

- Čas mezi vzorky není stejný, vzorkování probíhá jako u periodického vzorkování v ekvivalentní časové oblasti. K rekonstrukci je třeba znát vzdálenost sousedních vzorků.

[2]



Obr. 5 Sinusový signál, reálné vzorkování, 8 vzorků na periodu



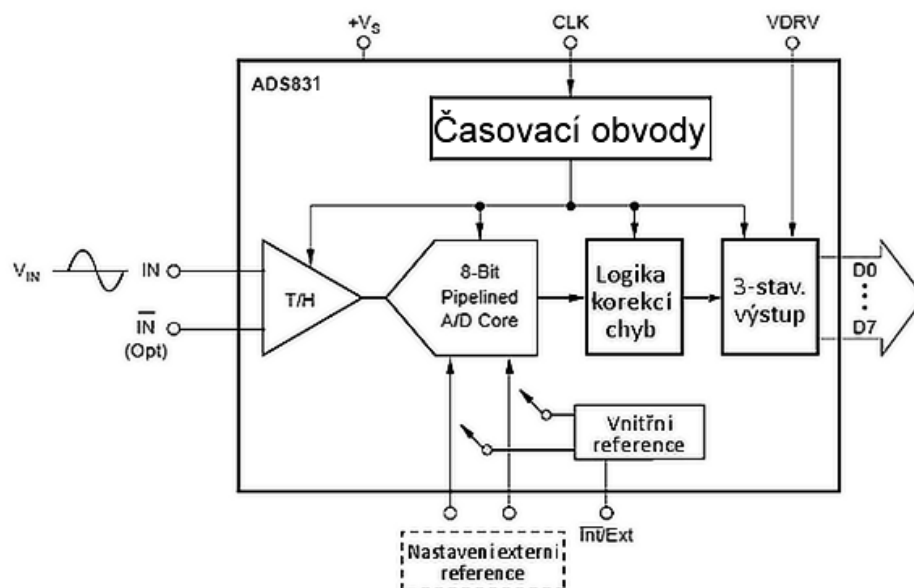
Obr. 6 Rekonstruovaný sinusový signál, reálné vzorkování, 8 vzorků na periodu (lineární interpolace)

## 1.2.2 A/D převodník

Slouží k převedení analogového signálu na diskrétní, který lze uložit do paměti. V dnešní době existuje mnoho druhů A/D převodníků, které se liší hlavně počtem bitů a rychlostí.

Rozlišujeme A/D převodníky se sériovým výstupem a s paralelním výstupem. Pro rychlé A/D převodníky se hodí paralelní výstup.

V tomto projektu je použit D/A převodník ADS831 (Datasheet [3]) s paralelním výstupem, architektury pipeline od firmy Texas Instruments, který vyniká hlavně svou cenou a nízkou spotřebou. Maximální rychlost vzorkování je 80MSPS při rozlišení 8bit. Signálová data jsou o 4 hodinové cykly zpožděna, to je dáno použitou архитектурou převodníku.



Obr. 7 Blokové schéma ADS831 [3]

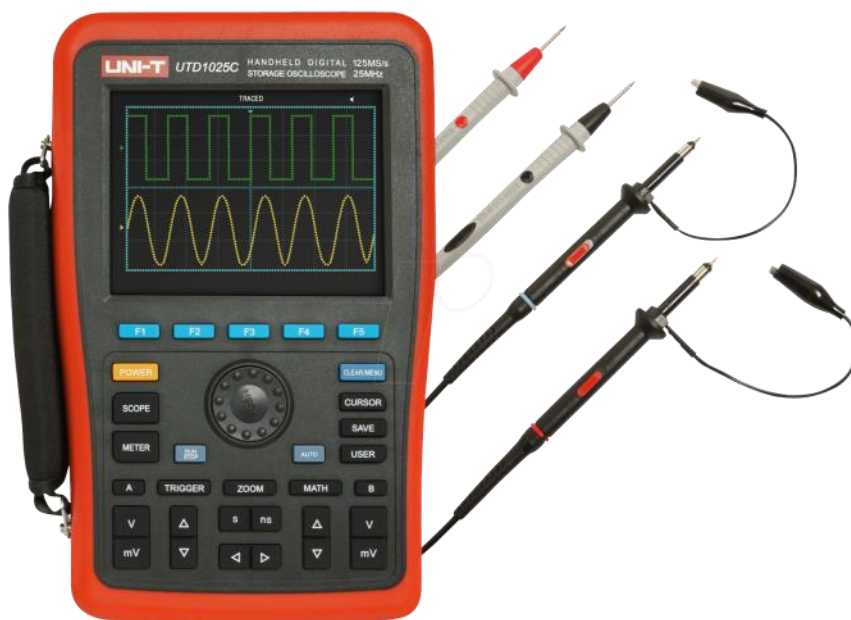
## 1.3 Dostupná řešení

### 1.3.1 Komerční ruční osciloscropy

V dnešní době je na trhu velké množství takovýchto přístrojů jejich cena se pohybuje od tisíců korun až po statisíce. Hlavním rozdílem mezi těmito přístroji je šířka pásma a počet kanálů. Pro nastínění vlastností takových přístrojů se zaměříme na přístroje do 10 000 Kč.

Tyto přístroje jsou často vybaveny funkcí multimetru (měření: napětí, proud, kapacitu, odpor), jejich šířka pásma je 10-25 MHz. Mají zpravidla jeden kanál, a možnost komunikace s PC (RS232,USB). Rychlost vzorkování se pohybuje kolem 10 - 200MSPS s rozlišením 8bit. Pro zobrazení slouží monochromatické nebo barevné LCD s rozlišením až 320x240 bodů.

Je jasné, že přístroje za sto a více tisíc korun budou disponovat lepšími parametry než přístroje do deseti tisíc. Přesto tyto přístroje najdou značné uplatnění, a i přes horší parametry jsou nepostradatelnými pomocníky při měření nejen v terénu.



Obr. 8 Ruční osciloskop UNI-T UTD1025C [18]

### 1.3.2 Amatérské konstrukce

Jelikož ceny digitálních osciloskopů jsou značně vysoké, tak vznikla řada amatérských konstrukcí, které přinášejí různá řešení digitálních osciloskopů. Většina svými parametry a komfortem nedosahuje kvality komerčních přístrojů, ale i přesto jsou v domácích podmínkách velmi přínosnými přístroji. Tyto konstrukce jsou i velmi dobrým zdrojem inspirace samozřejmě i pro tento projekt. Pár zajímavých odkazů na takové konstrukce je v [23],[24] a [25].

## 2. MIKROKONTROLÉRY PIC

PIC (Peripheral Interface Controller) je označení mikrokontrolérů vyvinutých americkou firmou Microchip Technology. Jedná se o RISC (Reduced instruction set computing) mikrokontroléry založené na harvardské architektuře tj. paměť dat je oddělená od paměti programu. Mikrokontroléry se dělí do několika skupin dle různých parametrů.

### 2.1 8-bitové mikrokontroléry PIC

Jsou děleny do 4 skupin dle šířky programové paměti a dle počtu vývodů.

Mají vysoký teplotní rozsah až  $-40 - 150^{\circ}\text{C}$ , převážná většina obsahují integrovaný oscilátor (některé s PLL), vykonání instrukce trvá 4 hodinové cykly, mikrokontroléry s označením „nanoWatt XLP Technology“ mají velmi malou spotřebu a jsou proto vhodné pro bateriové aplikace.

#### PIC10F

Jedná se nejnižší řadu PIC, tato řada klade důraz na minimální rozměr, proto tyto mikrokontroléry mají pouze 6 vývodů (2 napájecí a 4 I/O). Maximální pracovní kmitočet je 16MHz (4 MIPS). Nízkonapěťové PIC10LF mají velmi malou spotřebu ( $25\mu\text{A} / 1\text{MHz}$ ).

#### Periferie:

až 3 kanálový 8bit ADC, 2x 8bit čítače, PWM, CLC, NCO,CWG.



Obr. 9 PIC10F [4]

#### PIC12F

Tato řada se vyznačuje především pouzdry s 8 vývody Maximální pracovní kmitočet je 32MHz (8MIPS) .

#### Periferie:

až 4kanálový 10bit ADC, jeden analogový (rail-to-rail) komparátor, 2x 8bit časovač a 1x 16bit časovač, PWM, modul sériové komunikace MSSP (SPI, I2C), EUSART a 4-kanálové řadič dotykových tlačítek.

#### PIC16F

Tato řada nabízí mikrokontroléry střední třídy, které mají 14-64 vývodů. Maximální pracovní kmitočet je až 48MHz (12MIPS).



Periferie:

až 30kanálový 10bit ADC, až 8bit DAC, 8/16bit časovače, A/E/USART, I2C, SPI, USB 2.0, analogové komparátory, CLC, NCO,CWG.

PIC18F

Tato řada je nejvyšší řadou pro 8bit mikrokontroléry, mají 18-100. Maximální pracovní kmitočet je až 64MHz (16MIPS).

Periferie:

12bit ADC, řadič pro segmentové LCD, CTMU, 8x8 hardvérová násobička, RTCC, PWM, DMA, USB 2.0, A/E/USART, SPI, I2C, PMP, analogové komparátory, 8/16bit časovače atd..

Oproti ostatním řadám je zde zdokonalená adresování díky širší programové paměti (16bit), a také je zde možnost číst a zapisovat do programové paměti.



Obr. 10 PIC18F [4]

## 2.2 16-bitové mikrokontroléry PIC

Tyto mikrokontroléry jsou rozděleny na dvě skupiny PIC24 a dsPIC (DSP), dále jsou rozděleny dle rychlosti do dalších 3 skupin. Šířka programové paměti je 24bit (8bit opcode + 16bit data), maximální počet vývodů je 144.

Periferie:

17x17 hardvérová násobička, DMA, CRC, GFX, CTMU, RTCC, PMP, USB 2.0 OTG, CAN, UART, I2C, SPI, 50ch. 12bit A/D (až 10MSPS - PIC24FJ128GC010), 16bit Sigma – Delta A/D, 10bit DAC, High speed PWM (DC/DC, AC/DC, PFC), PPS, DSM, analogové komparátory, 16/32 bit časovače atd..

PIC24F

32MHz (16MIPS), až 256KB FLASH, až 96KB RAM.

PIC24H

80MHz (40MIPS), až 256KB FLASH, až 16KB RAM.

PIC24E

140MHz (70MISP), až 512KB FLASH, až 52KB RAM.

dsPIC30F

30MIPS, 144KB FLASH, až 8KB RAM

dsPIC33F

16,30,40MIPS, až 256KB FLASH, až 30KB RAM

dsPIC33E

140MHz (70MISP), až 512KB FLASH, až 52KB RAM

[4]

## 2.3 32-bitové mikrokontroléry PIC

Tyto mikrokontroléry jsou založeny na 32bitovém jádru M4K. Maximální takt je až 100 MHz, 1.65 DMIPS/MHz. Programová paměť až 512KB a paměť dat až 128KB.

### Periferie:

Full-speed USB Host/Device/OTG, 10/100 Ethernet MAC s MII/RMII,  
CAN 2.0B, UART, SPI, I2C, CTMU, DMA, PPS, PMP, RTCC, ADC, 16/32 bit časovače  
atd..

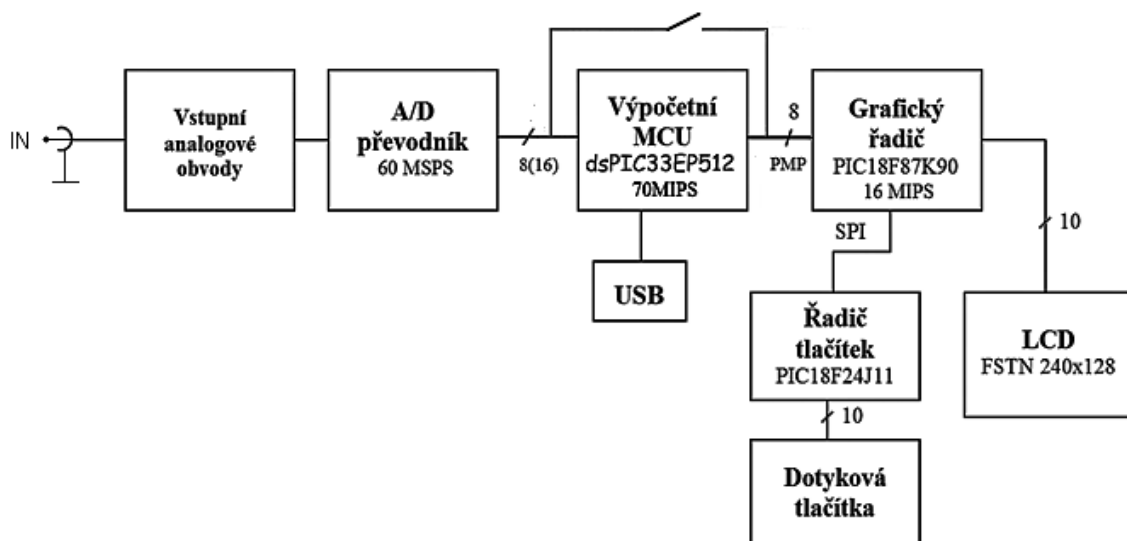
[4]

# 3. NÁVRH OSCILOSKOPU

## 3.1 Blokové schéma navrhovaného osciloskopu

Funkci osciloskopu je realizována pomocí tří mikrokontrolérů PIC a to 8bitový PIC18F87K90, který slouží ke komunikaci s LCD jako grafický řadič, dále s tímto mikrokontrolérem komunikuje přes sériovou sběrnici SPI PIC18F24J11, který slouží pro obsluhu dotykových tlačítek.

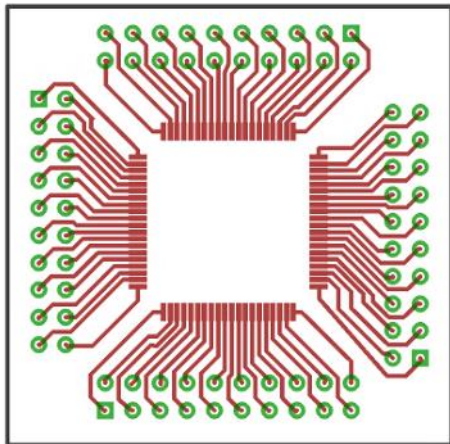
A pro rychlé čtení dat z A/D převodníku a jejich zpracování slouží 16bitový dsPIC33EP512, který komunikuje s grafickým řadičem po paralelní sběrnici PMP. Projekt je rozčleněn na více částí, návrh jednotlivých částí je popsán níže.



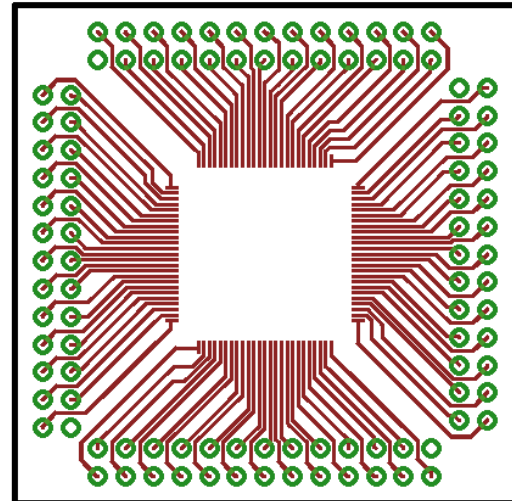
Obr. 11 Blokové schéma navrhovaného osciloskopu

### 3.2 Návrh redukce pro TQFP

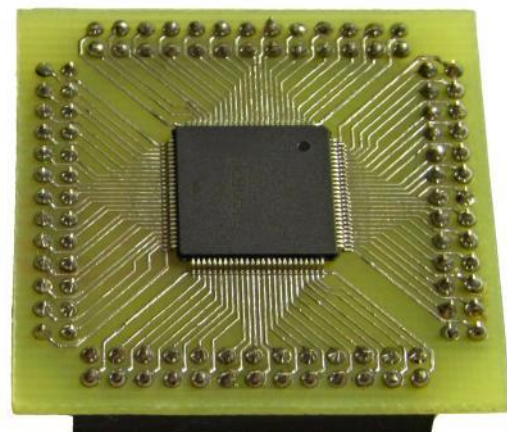
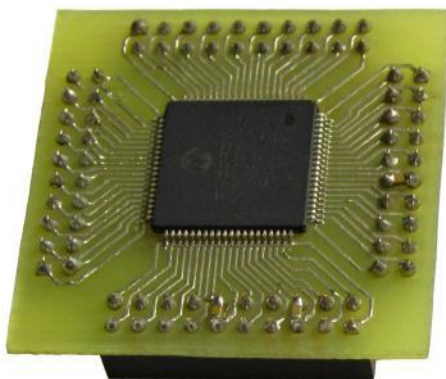
Pro lepší manipulovatelnost s procesory byly vyrobeny redukce pro pouzdra TQFP 80 a TQFP 100.



Obr. 13 Návrh redukce TQFP 80  
(32x32mm, měřítko 2:1)



Obr. 12 Návrh redukce TQFP 100  
(36x36mm, měřítko 2:1)



Obr. 14 Hotové redukce s procesory PIC

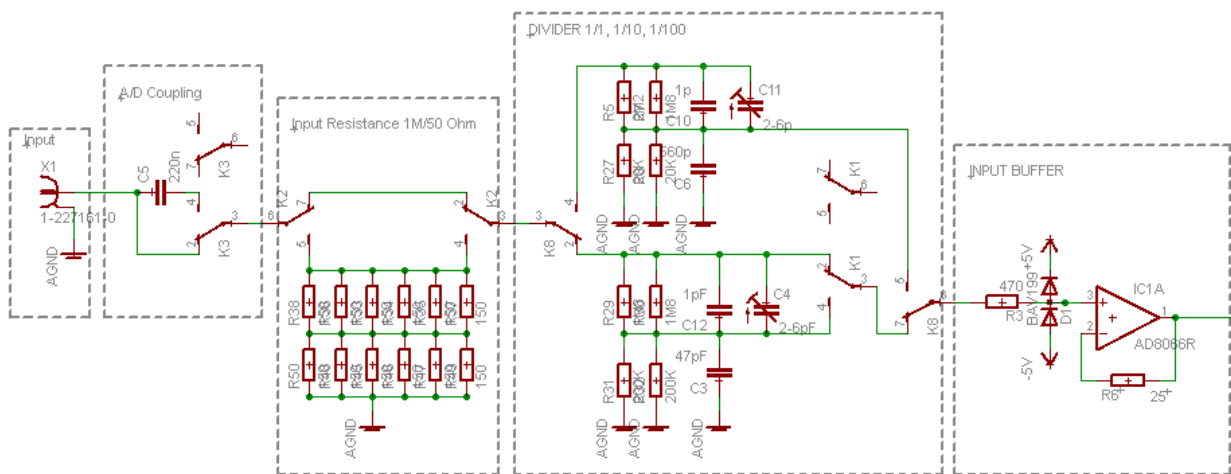
### 3.3 Návrh analogové vstupní části

Vstupní analogová část slouží k úpravě a převedení analogového signálu na digitální. Kompletní schéma analogového modulu a fotky hotového modulu jsou umístěny v [Příloze](#).

[8],[9]

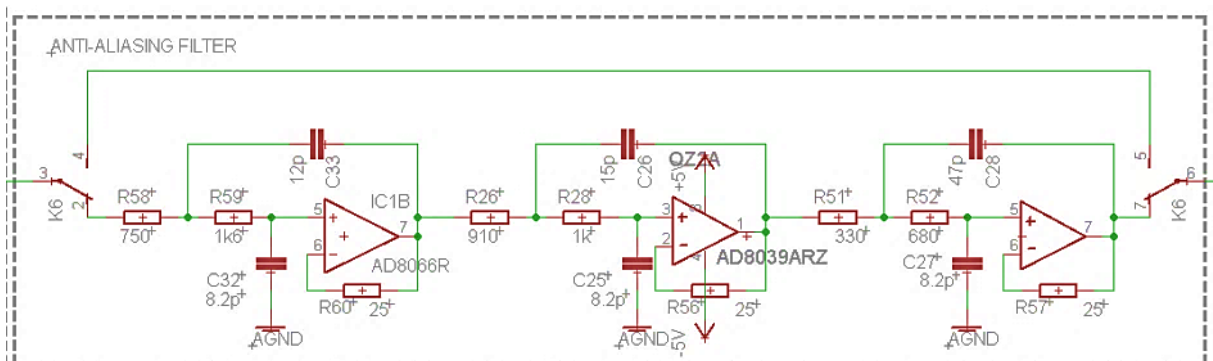
#### 3.3.1 Vstupní obvody

Tato část se zabývá podrobnějším rozбором částí analogového modulu.



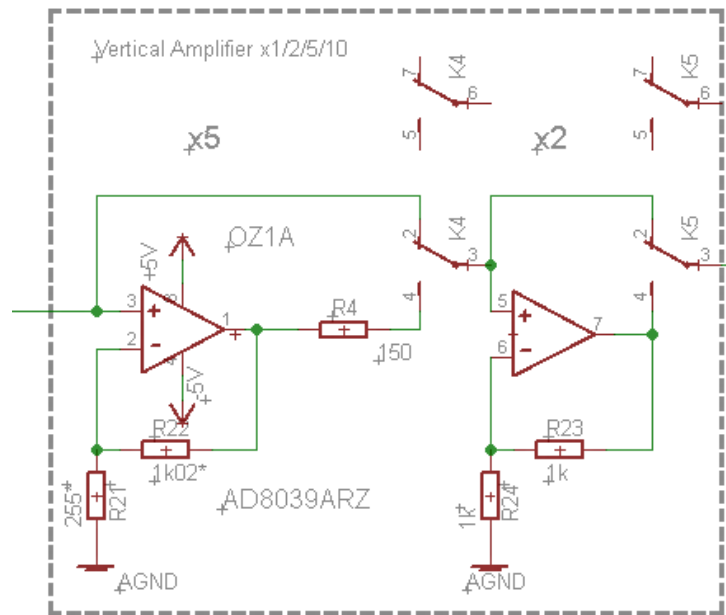
Obr. 15 vstupní obvody analogové části

K přepínání jednotlivých sekcí jsou použity signálové relé, první sekce slouží k přepínání AC/DC vazby druhá je volba impedančního přizpůsobení  $1\text{M}\Omega/50\Omega$ , dále následuje kompenzovaný vstupní dělič 1:1/1:10/1:100, napěťový omezovač a vysoko impedanční buffer AD8066.



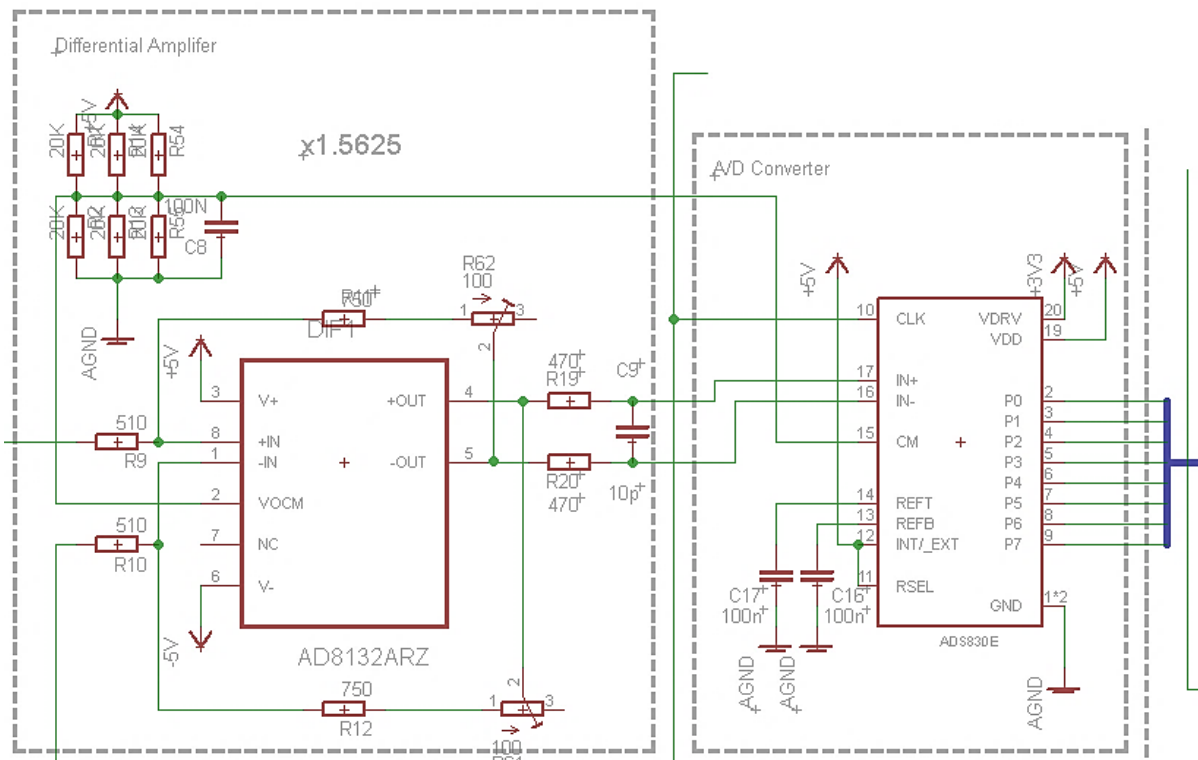
Obr. 16 Antialiasingový filtr

Jako antialiasingový filtr je použita dolní propust 6 řádu typu Sallen key s Besselovou aproximací. Výpočet byl proveden v programu od TI FilterPro [20], se zohledněním vstupních kapacit operačních zesilovačů. Filtr je naladěný na frekvenci o něco větší než 10Mhz.



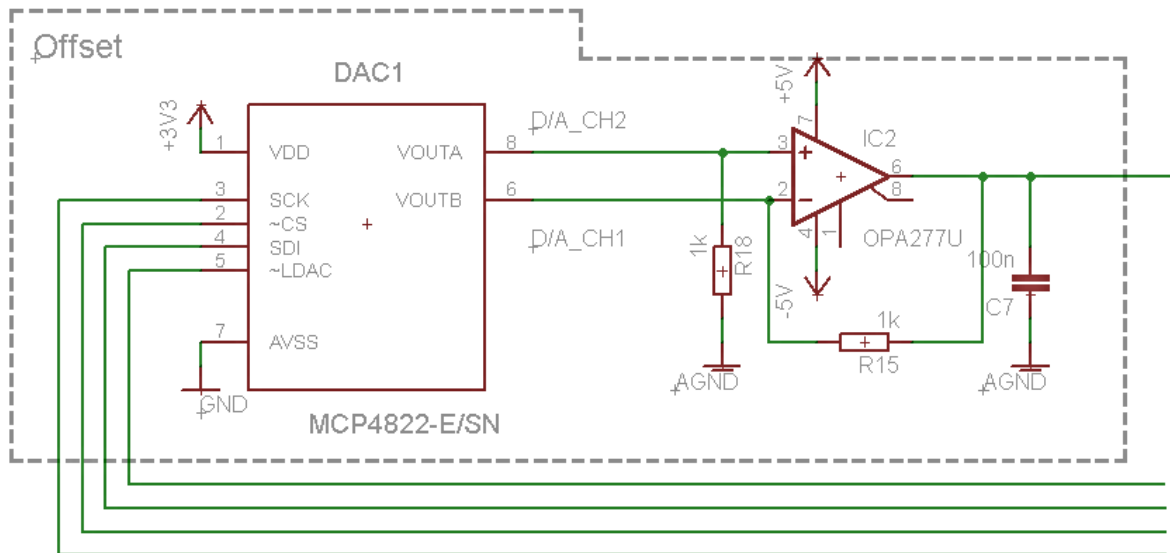
Obr. 17 Vertikální zesilovač

Zesilovač má možnost nastavení zesílení x1/x2/x5 a x10, přepínání je realizováno pomocí signálových relátek. Je složen z operačního zesilovače AD8039ARZ .



Obr. 18 Diferenční zesilovač a A/D převodník

Z vertikálního zesilovače signál pokračuje do diferenčního zesilovače (AD8132ARZ), který slouží k zesílení signálu  $\times 1,5625$  (toto zesílení se nastavuje pomocí dvojice odporových trimerů) dále slouží k přičtení offsetu z D/A převodníku a také k vytvoření symetrického signálu se středem 2,5V který je snímán A/D převodníkem. Na výstupu diferenčního zesilovače je přidán pasivní filtr typu dolní propust.



Obr. 19 Nastavení offsetu

Pro nastavení offsetu je použit D/A převodník MCP4822 který obsahuje 2kanály 12b převodníků, komunikace s převodníkem je pomocí SPI. Operační zesilovač OPA277 má na výstupu rozdíl napětí jednotlivých kanálů D/A převodníku.

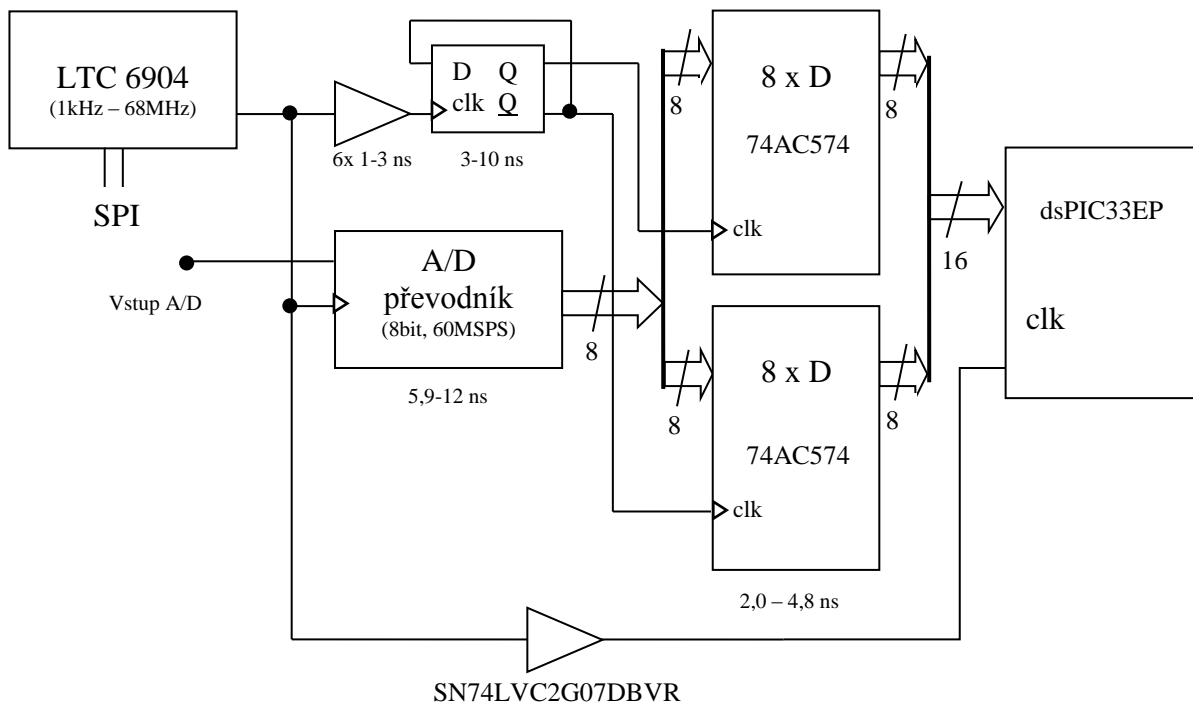
### 3.4 Návrh bufferu, a časovače pro A/D převodník

Pro časování A/D převodníku je použit digitálně řízený oscilátor LTC 6904, který dokáže generovat frekvenci 1kHz – 68MHz, A/D převodník dokáže pracovat v rozsahu od 10kHz do 80MHz. Pro zvětšení propustnosti dat jsou použity dva obvody 74AC574, které postupně načítají 8bitovou informaci z A/D převodníku a následně je 16bitová hodnota uložena do paměti procesoru dsPIC33EP512.

Maximální teoretická rychlost je 70MSPS - 8bit. Při použití A/D převodníku ADS831 je možné dosáhnout při 66,6Mhz časové základny 300nS/díl, díl=20pixel (15nS na pixel). [5]

#### Parametry převodníku ADS831:

- Vysoký SNR: 49dB
- Interní nebo externí napěťové reference
- Programovatelný vstupní rozsah: 1Vp-p /2Vp-p
- Nízká spotřeba: 275mW
- Nízký DNL: 0.35LSB
- Jediné +5V napájení



Obr. 20 Blokové zapojení bufferu

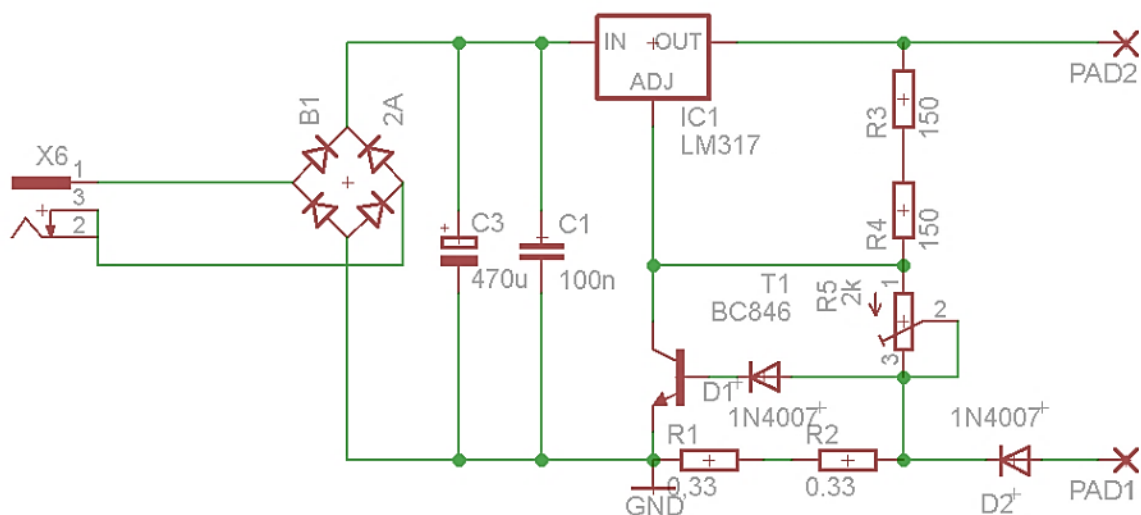
### 3.5 Návrh zdroje

Napájecí zdroj je realizován jako samostatný zásuvný modul, který pracuje ze dvou článků li-ion baterií nebo z připojeného adaptéru. Tento modul obsahuje dva spínané měniče pro +3,3V a -5V realizované pomocí obvodu MC33063, dále tři lineární stabilizátory napětí pro +5V analog a +5V digitál s obvodem LF50CTD a lineární stabilizátor na 3,3V s obvodem LE33 pro dotyková tlačítka.

Je zde také umístěn dělič pro snímání napětí baterie a spínací relé sloužící k vypnutí všech napětí krom napětí pro dotyková tlačítka. To umožňuje snížit spotřebu v režimu spánku na minimum a zároveň je možné zapnout přístroj pomocí dotykových tlačítek.

Schéma zapojení zdroje a desky pro výrobu spoje s fotografiemi hotového modulu jsou umístěny v [příloze](#).

Pro nabíjení baterie slouží nabíječka realizovaná na lineárním regulovatelném stabilizátoru LM317, která je umístěna na základní desce. Proud je omezen na cca 700mA což zajišťuje dobré chlazení desky bez použité externího chladiče.



Obr. 21 Schéma nabíječky Li-ion baterií



### 3.6 Návrh dotykového ovládání

Následující část se zabývá návrhem kapacitních dotykových tlačítek za pomoci periferní jednotky CTMU, tento princip navrhl sám výrobce a je popsán v [13],[15] a [16].

Výhody kapacitních tlačítek:

- Snadné ovládání s nulovou silou stisku tlačítek, možnost realizace posuvníku rotačních enkodérů a dalších pokročilých komponent.
- Nízká cena, a vysoká životnost neobsahuje žádné mechanické části.

Nevýhody kapacitních tlačítek:

- Možnost vlivu rušení, přeslechů atd.. (lze vyřešit dobrým návrhem).
- Větší pravděpodobnost nechtěného stisknutí tlačítka.

Ovládání je realizováno s mikrokontrolérem PIC18F24J11, který obsahuje jednotku CTMU, ta umožňuje ve spojení se zdrojem konstantního proudu a integrovaného A/D převodníku měřit kapacitu. Měření probíhá tak že nejprve je vybita připojená kapacita, dále je na definovaný čas připnut zdroj konstantního proudu, na připojené kapacitě vzrůstá napětí dle její velikosti, výsledné napětí je čteno A/D převodníkem. Výslednou kapacitu získáme dle vztahu ( 3 ).

$$I = C \frac{dU}{dt} \quad (2)$$

$$C = (It)/U \quad (3)$$

Pro potlačení rušení je vhodné doplnit řídicí algoritmus digitálním filtrem dolní propust, který omezí vliv rušení a tím zvýší citlivost tlačítek, výrobce sám popisuje možnost aplikace takového filtru, tento popis je v [16].

Použitý mikrokontrolér obsahuje 10 kanálový A/D převodník takže pro konstrukci lze použít 10 kapacitních kanálů. Existuje mnoho možností, jak zapojit kapacitní tlačítka. Je možné na každé tlačítko použít jeden kanál, což je nejspolehlivější a nejjednodušší možnost, ale znamená to že počet kapacitních kanálů je roven počtu tlačítek. Také lze využít zapojení do matice, kde počet tlačítek je strana krát výška matice (5x5 kanálů je 25 tlačítek), nebo existují i další varianty.

#### 3.6.1 Složitější kapacitní ovládací prvky

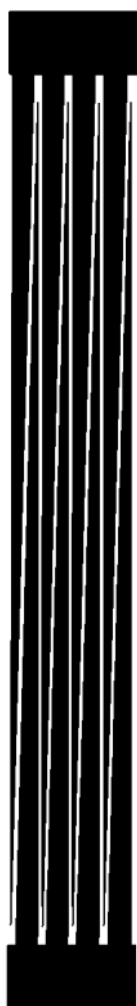
Kromě klasických tlačítek lze realizovat také křížové joysticky, rotační enkodéry, nebo posuvníky které mohou přispět ke zlepšení ovládání.

Posuvník lze realizovat dvěma způsoby buď lineární tento druh používá 2 kanály, které se postupně překrývají, nebo lze realizovat segmentový posuvník, který je realizován z více kanálů. Pro tuto práci bylo navrženo speciální uspořádání dvou kanálového posuvníku, které eliminuje příčný parazitní vliv různé kapacity kanálu v různém místě doteku - viz obrázek 23.

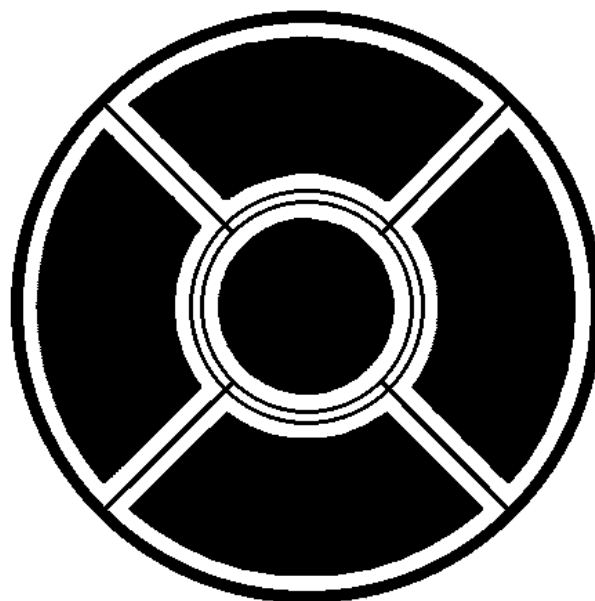
Pro ovládání je vhodný i všesměrový joystick obrázek 22, který navíc může fungovat i jako rotační enkodér s rozlišovacím úhlem 45° úhlem.

Dále zařízení obsahuje 3 multiplexovaná tlačítka se speciálně navrženým tvarem obrázek 24.

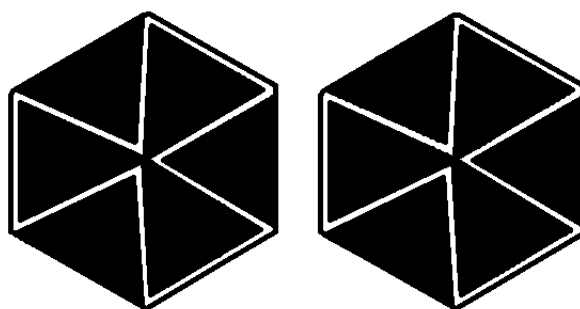
Podklad pro výrobu desky a fotka hotové desky je umístěna v [příloze](#).



Obr. 23 Dvou kanálový posuvník



Obr. 22 Pětikanálový 8 směrový křížový joystick + rotační enkodér 45°



Obr. 24 Multiplexovaná tlačítka

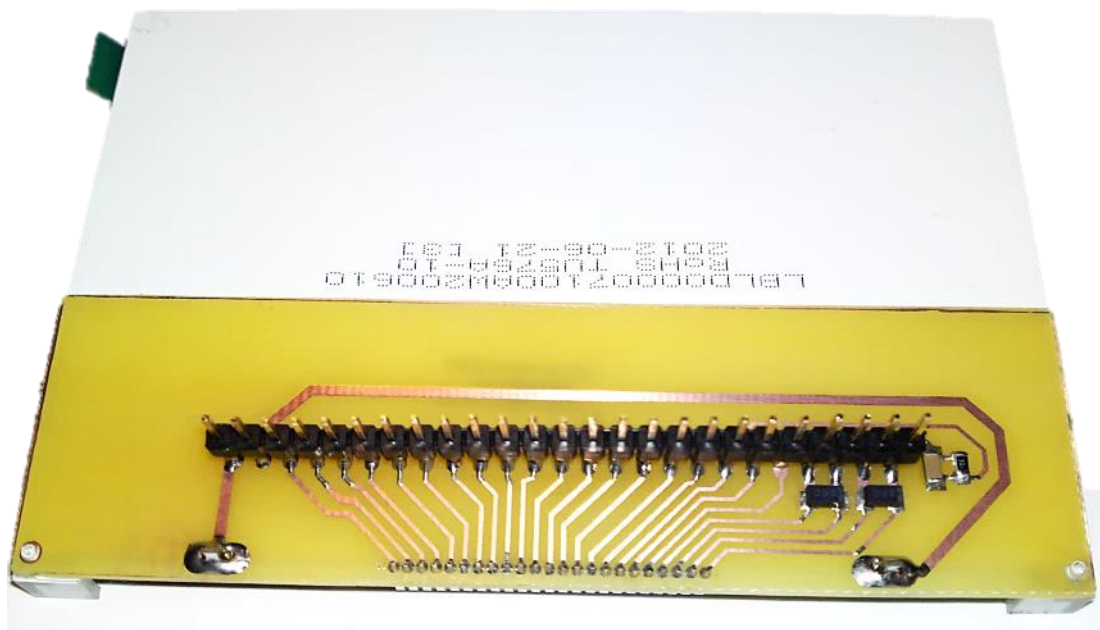
Klávesnice komunikuje s grafickým řadičem pomocí sběrnice SPI. Zasílání dat probíhá tak že nejprve je poslán 8b příkaz který určuje druh posílaných dat, pokud se například jedná o stisk tlačítka je v následujících bajtech poslán kód konkrétního tlačítka. Dotyková klávesnice se také stará o vypnutí případně zapnutí napájecího zdroje, který je při uvedení zařízení do spánku vypnut. Program pro mikrokontrolér je psán v jazyce C v prostředí MPLABX.

### 3.7 Návrh zapojení LCD

Tato část řeší propojení mikrokontroléru PIC18F87K90 s LCD.

Pro zobrazení průběhu byl vybrán LCD RX240128A-TIW od firmy RAYSTAR OPTRONICS (Datasheet [6]). LCD má rozlišení 240x128 bodů, bílé LED podsvícení, a tmavě modré pozadí. LCD má integrovaný řadič UC1608 technologií COG.

Pro správnou funkci je třeba doplnit LCD o pár externích součástek a jelikož uspořádání pinů s roztečí 1,27mm je nevyhovující, tak byla vyrobena redukce pro LCD .



Obr. 25 Hotová redukce pro LCD

- Řadič UC1608 podporuje více možností komunikace paralelní 4bit,8bit (6800.8080) nebo sériovou v několika variantách typu SPI, více v datasheetu [7].

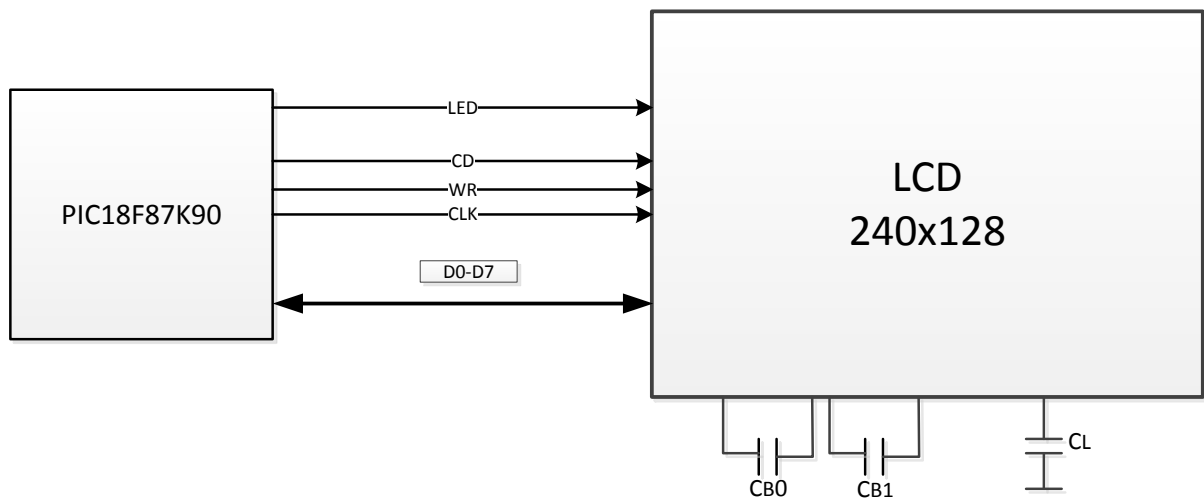
#### Výhody LCD :

- Rychlost komunikace (ČTENÍ/ZÁPIS 140nS)
- Digitální řízení kontrastu s automatickou teplotní kompenzací
- Automatická inkrementace řádků a sloupců

#### Nevýhody LCD :

- Pouze grafický režim
- Malé pozorovací úhly (+/- 60,45 stupňů)

Pro komunikaci byla vybrána 8bit paralelní sběrnice, která je nejrychlejší a při zapisování na LCD nezatěžuje tolik procesor. Pro řízení podsvícení je použita PWM, která je řízena dle okolního osvětlení, které je snímáno fototranzistorem.



**Obr. 26** Blokové schéma propojení procesoru s LCD

Z důvodu absence znakového módu, byly vytvořeny 2 znakové sady:

- 1) Znaková sada s pevnou šířkou znaku 8x6 bodů, obsahující plnou ASCII o 256 znacích (včetně české diakritiky).
- 2) Znaková sady s proměnou šířkou znaku a pevnou výškou 16 bodů s základní ASCII tabulkou o 128 znacích.

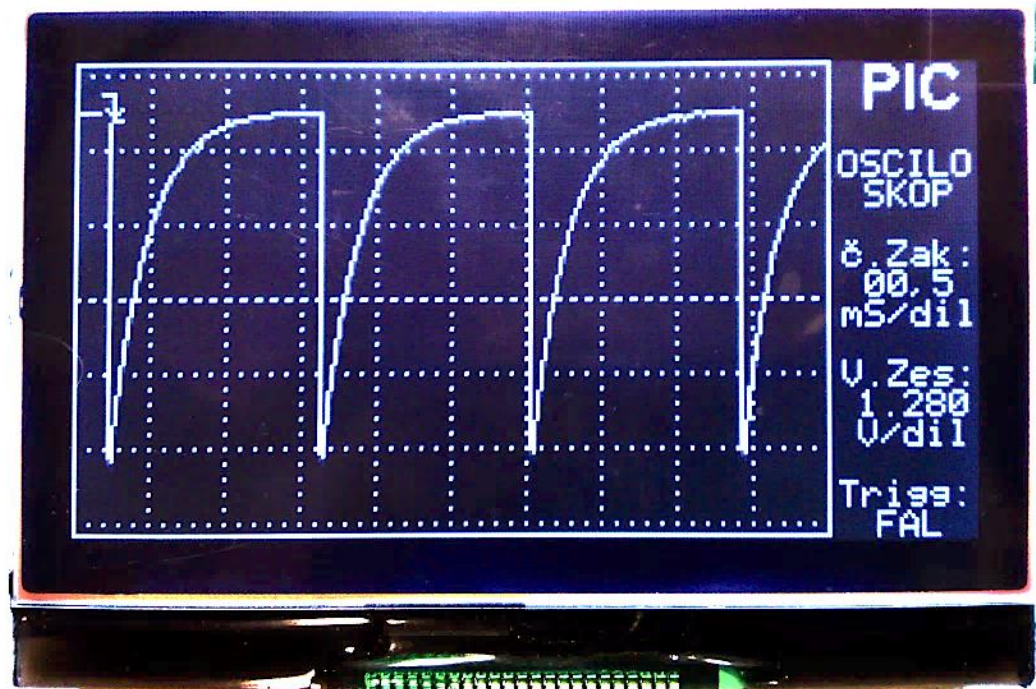
Program pro PIC18F87K90 je psán v ASEMBLERU v prostředí MPLABX.  
Ukázka funkce pro výpis textu na LCD:

```
call PISARI ;volání funkce pro výpis textu "PISARI" front 16bod
de 11,15,70,"PIC18F87K90" ; parametry funkce : počet písmen, řádek, X
posuv, "text" tyto parametry jsou uloženy přímo v programové paměti
mikrokontroléru
```

**návrat z fce...**



Obr. 27 Ukázka znakové sady 16bodů a 8bodů



Obr. 28 Ukázka vykreslení průběhu na LCD

### 3.8 Desky plošných spojů

Celé zařízení je složeno z několika částí a to zdroje, analogového modulu, mikrokontrolérů, dotykové klávesnice, LCD a ze základní desky.

Desky plošných spojů jsou vyrobeny na oboustranně plátovaném materiálu FR4 s laminovanou nepájivou maskou, prokovy jsou realizovány ručním propájením.

Nejnáročnější byl vývoj desky analogového modulu, který obsahuje velké množství součástek a prokovů. Všechny součástky krom připojovacího konektoru a BNC konektorů jsou v provedení SMD a to hlavně pro co nejmenší rozměr desky a snížení parazitních vlivů přívodů. Deska má rozdělené napájení na digitální a analogové pro potlačení rušení.

Návrh zdroje byl výrazně jednodušší je zde k dispozici podstatně více místa a tak je možné použít i některé vývodové součástky. Při návrhu byla snaha minimalizovat zvlnění napětí použitím LC filtrů. Celý zdroj drží na základní desce pouze pomocí dvou konektorů, jeden je pro přívod napájecích napětí a druhý pouze pro fixaci modulu.

Návrh dotykové klávesnice byl hlavně o návrhu dotykových ploch, které byly postupně testovány, a nakonec byl navržen nejefektivnější tvar příslušných komponent. Důležité je vyvarovat se rozlévané mědi, která by snižovala citlivost tlačítek. Pro správnou funkci je třeba desku „nakalibrovat“ je třeba odečíst parazitní kapacitu každého tlačítka, aby byla snímána pouze užitečná část změny kapacity

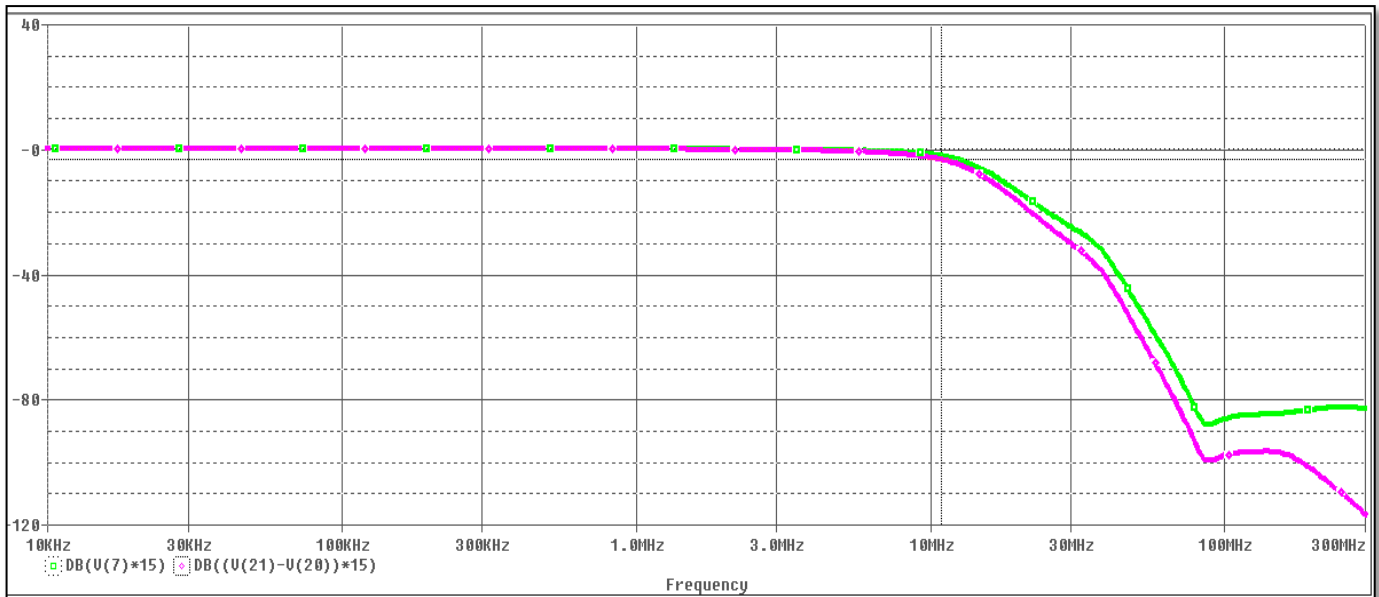
Základní deska slouží k propojení jednotlivých modulů. Na desce je také nabíječka li-ion baterie. Tato deska je největší deskou v zařízení, s největším počtem prokovů.

Schémata, šablony pro výrobu desek a jejich fotky jsou umístěny v [příloze](#).

## 4. SIMULACE

Pro ověření funkce navrženého analogového modulu byla provedena simulace v programu PSpice.

Simulace přenosu analogového modulu (AC analýza):



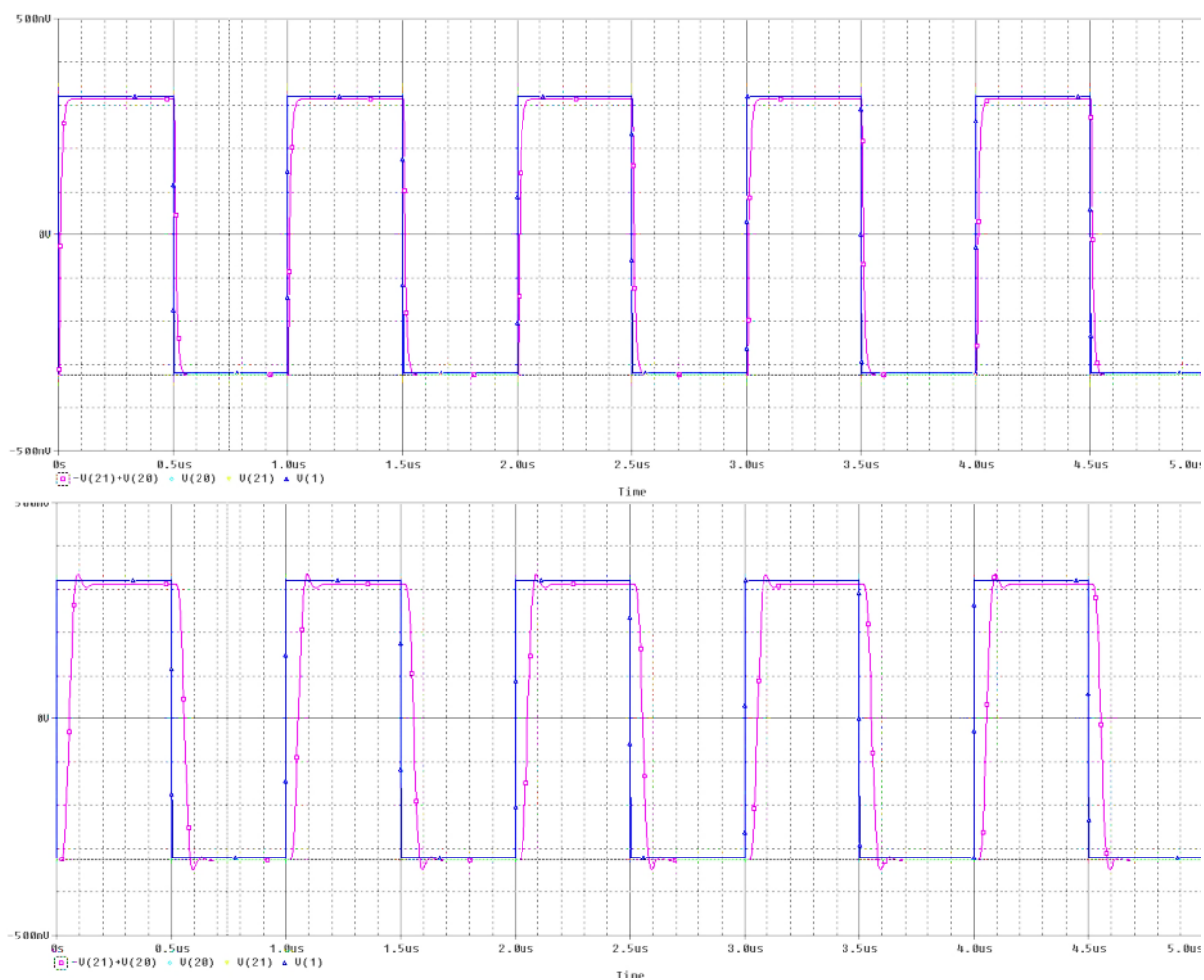
**Obr. 29 Graf přenosu analogového obvodu  
(růžová na výstupu AD8132 a zelená na výstupu antialiasingového filtru)**

Z obrázku 29 byl odečten pokles o 3dB za antialiasingový filtrem na 12,4MHz, a za výstupem AD8132 na 10,8MHz. Pro zobrazení signálu na LCD, je možné použít 7 bitů z A/D převodníku, pokud použijeme 7 horních bitů, tak při vzorkování max. rychlostí 66,6Mhz je dle Nyquistova vzorkovacího teorému na 33,3Mhz pokles o 33,2dB (44,7x). To znamená, že aliasing se může objevit na méně než 3 LSB.

$$\frac{2^{\text{počet bitů A/D}}}{\text{potlačení}} = \frac{2^7}{44,7} = 2,86 \doteq 3 \text{ LSB} \quad (4)$$



Simulace zkreslení obdélníkového signálu (Transientní analýza) :



**Obr. 30 Simulace analogového modulu,  
nahore bez antialiasingového filtru a dole s antialiasingovým filtrem,  
modrá vstupní signál a růžová signál na výstupu AD8132.**

Z obrázku 30 je patrné, že při zapnutí antialiasingového filtru dojde k snížení vyšších harmonických kmitů.



## 5. POROVNÁNÍ PARAMETRŮ PŘÍSTROJE S PROFESIONÁLNÍMI PŘÍSTROJI

Porovnání realizovaného osciloskopu s podobným komerčním produktem.

**Realizovaný přístroj má tyto parametry:**

- Rozměry (š x v x h): 186 x 136 x 48 mm
- Max. rychlost vzorkování: 66,6MSPS (70MSPS).
- Počet kanálu: 1
- Napájení: Li-ion akumulátor 7,4V/DC.
- Šířka pásma: s antialiasingovým filtrem 10Mhz, bez >20MHz.
- Vstupní odpor: 1M $\Omega$ /50 $\Omega$
- Vertikální vychylování: 10mV-10V/dílek (dílek=20pixel), maximální vstupní napětí bez sondy V<sub>p-p</sub> = 64V.
- Rozsah časové základny: 300nS-1s/dílek reálné vzorkování.
- LCD s 240x128 bodů (10 x 6,4 dílku)
- Odběr zařízení 200-380mA (cca 2,2W), výdrž na baterii cca 6 hodin.

**Komerční přístroj:**

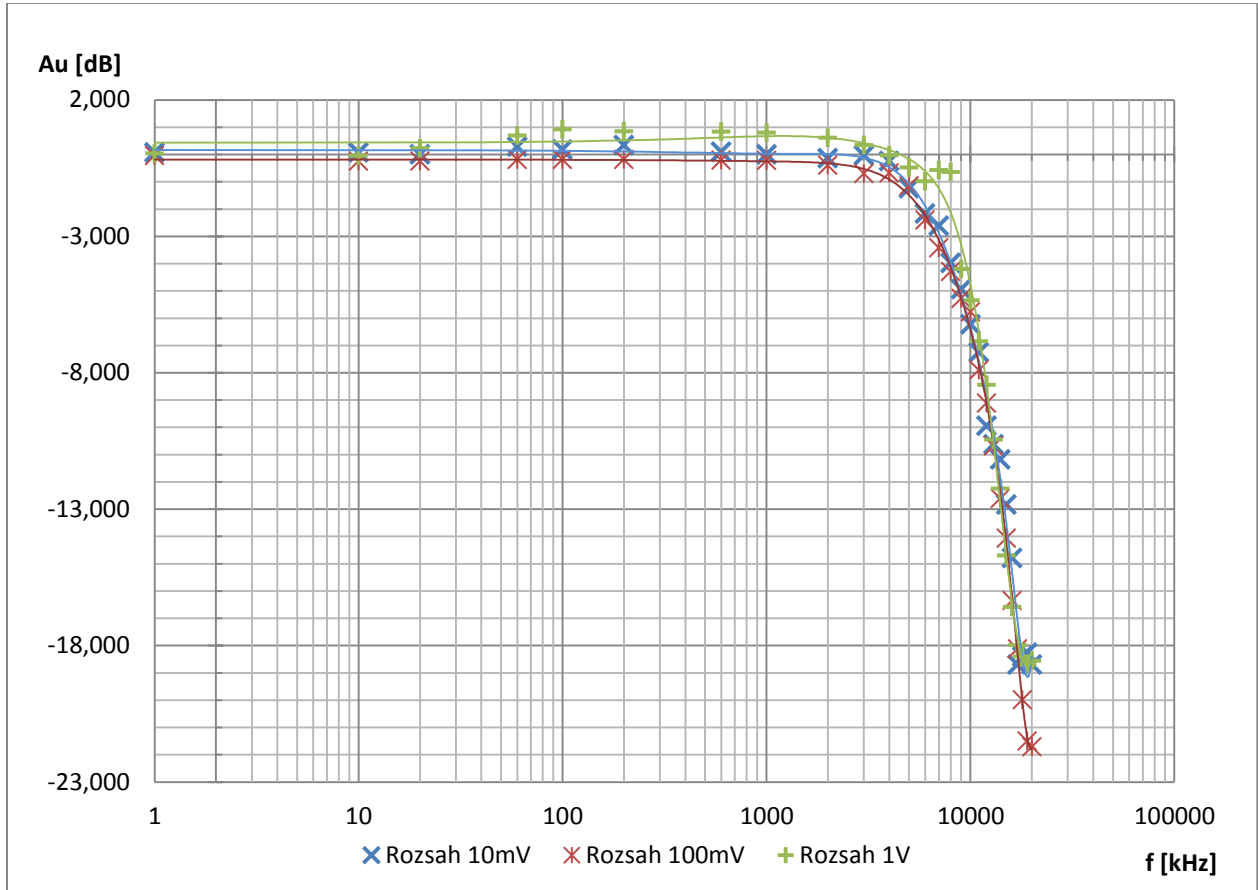
RUČNÍ OSCILOSKOP VELLEMAN HPS50 [21]

- Rozměry (š x v x h): 110 x 175 x 40 mm
- Max. rychlost vzorkování: 40 MSPS
- Počet kanálu: 1
- Napájení: Akumulátor 7,4 V/DC
- Šířka pásma: 12 MHz
- Vertikální vychylování: 5 mV/dílek - 20 V/dílek
- Rozsah časové základny: 50 ns/dílek - 1 h/dílek
- Vzorkovací kmitočet: 40 MS/s
- LCD: 192 x 112 px
- Základní přesnost: 2,5 %

## 5.1 Měření frekvenční modulové charakteristiky analogové části

Použité měřicí přístroje:

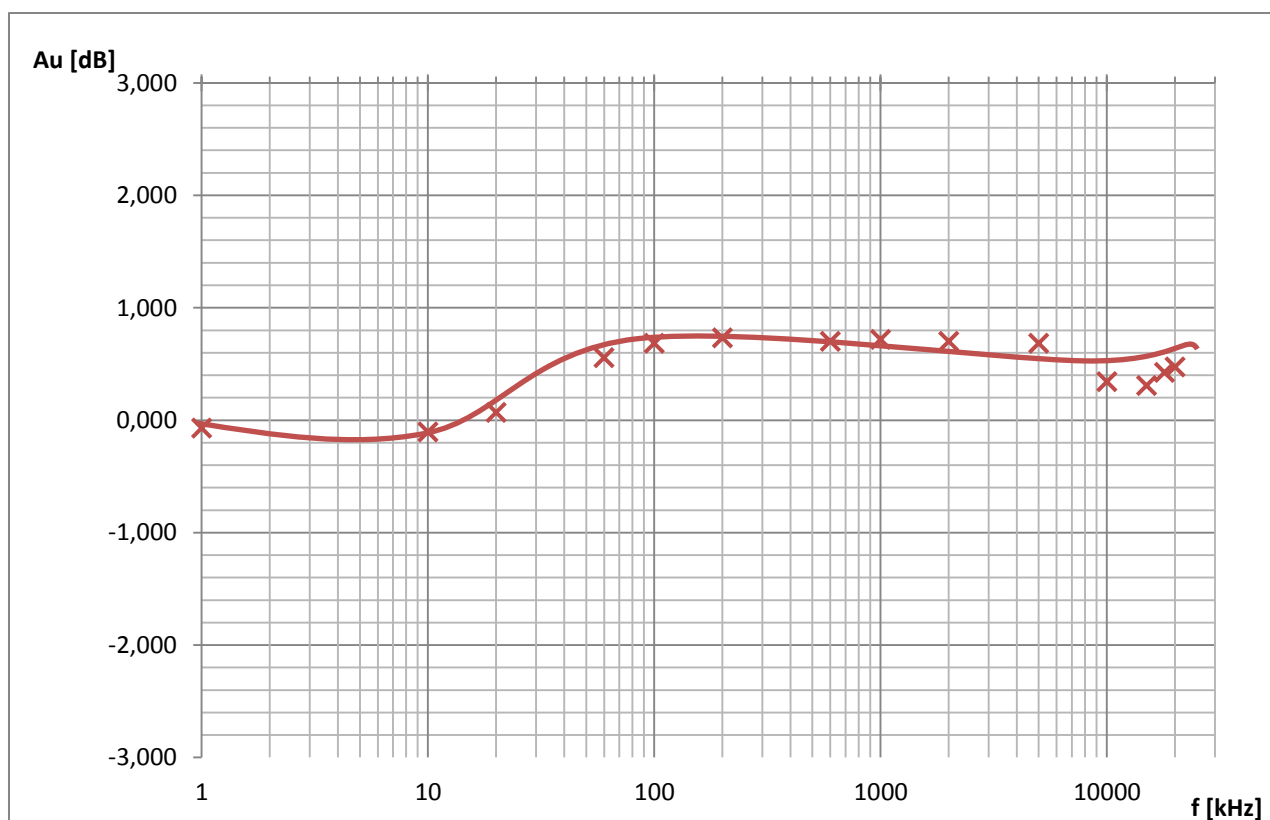
- Osciloskop Agilent DSO 6052A
- Generátor Agilent 33220A



Obr. 31 Frekvenční modulové charakteristiky analogové části s antialiasingovým filtrem

Pro měření na rozsahu 10mV/dílek bylo použito měřící napětí 50mVp-p, pro 100mV/dílek 500mVp-p a pro 1V/dílek 5Vp-p. Se zapnutým antialiasingovým filtrem, se naměřená šířka pásma při poklesu o -3dB pohybovala pro rozsah 10mV/dílek na 7,5MHz, pro rozsah 100mV/dílek na 6,5MHz a pro rozsah 1V/dílek na 8,5Mhz. Naměřená frekvence je o něco málo menší než navrhovaná a to i přes značnou rezervu cca 2-3Mhz, tento fakt je nejspíše způsoben parazitní kapacitou přívodních vodičů k operačním zesilovačům.

Frekvenční modulová charakteristika pro rozsah 1V/dílek měřící napětí 5Vp-p, bez antialiasingového filtru.



Obr. 32 Frekvenční modulová charakteristika pro rozsah 1V bez antialiasingového filtru

Frekvenční rozsah byl proměřen pouze do 20MHz z důvodu maximální frekvence generátoru, ale ani na 20MHz stále nedochází k poklesu, tudíž se dá předpokládat, že pro periodické vzorkování by se šířka pásma mohla pohybovat dle použitých obvodů kolem 50MHz. Toto tvrzení je ale třeba ověřit dalším měřením.

# ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byl navržen a vyroben funkční prototyp digitálního osciloskopu včetně programů pro mikrokontroléry. Vývoj tohoto zařízení byl nelehkým úkolem a jeho sestavení značně náročné, to hlavně protože se zařízení skládá z většího počtu desek plošných spojů, které byly všechny vyráběny ručně.

Nejvíce práce bylo s analogovým modulem, kde se vyskytlo několik problémů, například při zapnutí zesilovačů se v signálu objevuje šum, tuto závadu by bylo vhodné odstranit pomocí stínění analogové části. Při ožívování analogové desky bylo zjištěno několik závad v návrhu desky. Například došlo k prohození tří pinů na A/D převodníku, v důsledku stažení špatné schématické značky, tento problém bylo možné vyřešit přemostěním pinů. Problém byl také s diferenčním operačním zesilovačem, který se snadno rozkmital, proto byly do zpětných vazeb přidány kondenzátory na zvýšení stability. Osciloskop má možnost použití antialiasingového filtru jehož frekvence se pohybuje kolem 7,5MHz při vypnutí filtru a použití periodického vzorkování je šířka pásma výrazně přes 20MHz. Dalším problémem jsou spínané zdroje, které generují značné rušení, to způsobovalo rušení LCD tento problém byl odstraněn přidáním filtračních kondenzátorů na sběrnici a prodloužením časování LCD. Další chyba byla v návrhu základní desky, kde došlo k propojení země adaptéru se zemí zařízení, to způsobovalo nefunkčnost omezovače nabíjecího proudu. Tento problém byl vyřešen oddělením těchto zemí, přesto však došlo ke stejnému problému při propojení měřící šňůry se zemí napájecího adaptéru. Problém je možné vyřešit přidáním diody mezi baterii a modul zdroje, to však povede k navýšení spotřeby o cca 12mW. Potíže byly i se spínacím relé v modulu zdroje, to se při sepnutí speklo a už se neroztopilo. Tento problém je možné vyřešit použitím většího elektromagnetického relé.

Program pro grafický řadič je psán v assembleru pro zajištění co největšího výkonu mikrokontroléru, především se využívá 16bitového uspořádání programové paměti, kam je možné ukládat znakové sady a obrázky pro LCD. Toto řešení je výhodné v tom, že není potřeba používat externí paměť. Má však tu nevýhodu, že si programátor musí hlídat, aby se procesor nedostal na místo dat, to by vedlo ke kolapsu programu, protože uložená data by pro procesor byla posloupnost příkazů. Dalším využitím této vlastnosti je možnost použití speciálních funkcí, kde se do programové paměti uloží nejprve volání příslušné funkce a hned pod ní parametry funkce, program skočí na obsluhu funkce a ta si postupně vyčte parametry. A po vykonání funkce se skočí za tyto parametry a pokračuje se v programu. To je velmi důležité protože v případě špatného vrácení může dojít ke zhroucení programu. Tento způsob umožňuje jednoduché a rychlé vypisování dlouhých textů na LCD. Naznačení této funkce je v 3.7 Návrh zapojení LCD. Nejobtížnějším úkolem bylo naprogramovat propojení vykreslovaných vzorků pomocí lineární interpolace. Kde se pracuje s velkým objemem dat a je třeba, aby byl program dostatečně rychlý. Další obtížnější funkcí je trigování signálu, kde se vyhledává maximální úroveň signálu nebo nástupná či sestupná hrana.

Program pro dotykovou klávesnici je psán v jazyce C. Tato klávesnice komunikuje s grafickým řadičem pomocí rozhraní SPI, čímž se klávesnice stává naprosto univerzální a je možné ji použít i v jiných projektech. Program zde obstarává vyhodnocování kapacitních tlačítek, pomocí kterých se zařízení ovládá, pro správnou funkci je třeba kalibrace klávesnice, aby došlo k odečtení parazitních kapacit.

Výpočetní mikrokontrolér se zatím v zařízení nevyužívá a bude využit až při zprovoznění rozšířených funkcí zařízení. Po úplném dokončení by zařízení mělo disponovat USB portem, ten by sloužil k ukládání dat na flash disk. Také by zprostředkoval možnost převést měřený signál na spektrální analýzu pomocí FFT. Zařízení je také třeba doplnit funkcemi pro měření střední a efektivní hodnoty, možností měření pomocí kurzorů a dalšími pokročilými funkcemi. Speciální vlastností zařízení je možnost doprogramování specifických funkcí pro měření, což dělá přístroj velmi univerzální. Program pro grafický řadič zabírá asi jednu třetinu programové paměti, takže je zde spousta prostoru pro další funkce.

# LITERATURA

- [1] **BEJČEK, L., ČEJKA, M., REZ, J., GESCHIEDTOVÁ, E., STEIBAUER, M.**  
*Měření v elektronice*. [Skriptum BMVE] Brno: FEKT VUT v Brně.
- [2] **Havlík, Ladislav.** *Osciloskopy a jejich použití*. Praha : Sdělovací technika, 2002. str. 254. ISBN 80-901936-8-4.
- [3] ADS831: Data Sheet. [Online] 2001. [Citace: 30. 11 2013.] Dostupné z :  
<http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/ads831.pdf>.
- [4] MICROCHIP. [Online] MICROCHIP. [Citace: 30. 11 2013.] Dostupné z :  
<http://www.microchip.com/>.
- [5] *LTC6904: Data Sheet*. [Online] Linear Technology. [Citace: 30. 11 2013.] Dostupné z :  
<http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/69034fe.pdf>.
- [6] **Malina, Václav.** *Poznáváme elektroniku VII. osciloskopy*. České Budějovice : Kopp, 2002. str. 288. ISBN 80-7232-175-7.
- [7] **Seibt, Arturb.** *Osciloskopy od A do Z*. Ostrava-Plesná : HEL, 2000. str. 256. ISBN 80-86167-11-9.
- [8] **Winder, Steve.** *Analog and Digital Filter Design*. Woburn (USA) : Newnes, 2002. ISBN 0-7506-7547-0.
- [9] **Hájek K., Sedláček J.** *Kmitočtové filtry*. Praha : BEN-Technická literatura, 2002. str. 535. ISBN 80-7300-023-7.
- [10] PIC18F87K90: Data Sheet,. [Online] 2010. [Citace: 30. 11 2013.] Dostupné z:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39957b.pdf>.
- [11] PIC18F24J11: Data Sheet. [Online] 2011. [Citace: 30. 11 2013.] Dostupné z:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39932D.pdf>.
- [12] dsPIC33EP512: Data Sheet. [Online] 2009-2012. [Citace: 21. 5. 2014.] Dostupné z:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70616g.pdf>.
- [13] UC1608: Data Sheet. [Online] 2004. [Citace: 30. 11 2013.] Dostupné z :  
<http://www.displayfuture.com/Display/datasheet/controller/UC1608.pdf>.
- [14] LCD RX240128A-TIW. [Online] 2012. [Citace: 30. 11 2013.] Dostupné z :  
<http://www.tme.eu/cz/Document/622b5f65e49851583fa2dcf474392472/RX240128A-TIW.pdf>.

- [15] **Bruce Bohn**. AN1250: Microchip CTMU for Capacitive Touch Applications. [Online] 2009. [Citace: 30. 11 2013.] Dostupné z :  
[http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS\\_GET\\_PAGE&nodeId=1824&appn](http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1824&appn)
- [16] **Mihnea Rosu-Hamzescu**. AN1317: mTouch™ Conducted Noise Immunity Techniques for the CTMU. [Online] 2010. [Citace: 30. 11 2013.] Dostupné z :  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01317A.pdf>.
- [17] Reichelt elektronik [Online] 2013. [Citace: 16. 12 2013.] Dostupné z :  
[http://cdn-reichelt.de/bilder/web/xxl\\_ws/D100/UTD1025C-02.png](http://cdn-reichelt.de/bilder/web/xxl_ws/D100/UTD1025C-02.png)
- [18] tjskl.org.cn [Online] 2013. [Citace: 16. 12 2013.] Dostupné z :  
[http://img.tjskl.org.cn/pic/z245b882-0x0-0/new\\_instek\\_gos\\_6200\\_200\\_mhz\\_dual\\_channel\\_analog\\_oscilloscope.jpg](http://img.tjskl.org.cn/pic/z245b882-0x0-0/new_instek_gos_6200_200_mhz_dual_channel_analog_oscilloscope.jpg)
- [19] TME [Online] 2013. [Citace: 16. 12 2013.] Dostupné z :  
[http://static4.tme.eu/katalog\\_pics/c/3/d/c3d6c7d0e5119450df5327a28152ddfd/ax-ds1100cfm.jpg](http://static4.tme.eu/katalog_pics/c/3/d/c3d6c7d0e5119450df5327a28152ddfd/ax-ds1100cfm.jpg)
- [20] TI [Online] 2014 [Citace: 20.5.2014.] Dostupné z:  
<http://www.ti.com/tool/filterpro>
- [21] PŮHY.CZ [Online] 2014. [Citace: 2. 6 2014.] Dostupné z :  
<http://www.puhy.cz/rucni-osciloskop-velleman-hps50-1-kanal-12-mhz-5341.html>
- [22] **David, J.** *Digitální osciloskop s PIC*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 24 s

## **Amatérské konstrukce**

- [23] **Mašláš S.** Můj první stand-alone DSO, [online], [citace 30.11.2013]. Dostupné z:  
[http://elektronika.kvalitne.cz/foto/DSO\\_32.html](http://elektronika.kvalitne.cz/foto/DSO_32.html)
- [24] **Vassilis Serasidis**, AVR osciloskope, [online], [citace 30.11.2013]. Dostupné z:  
[http://www.serasidis.gr/circuits/AVR\\_oscilloscope/avr\\_oscilloscope.htm](http://www.serasidis.gr/circuits/AVR_oscilloscope/avr_oscilloscope.htm)
- [25] eOscope, Ver. 1.2, [online], [citace 30.11.2013]. Dostupné z:  
[http://www.eosystems.ro/eoscope/eoscope\\_en.htm](http://www.eosystems.ro/eoscope/eoscope_en.htm)

# ABECEDNÍ SEZNAM ZKRATEK

A/D	převod z analogového na digitální signál ( <i>Analog to Digital</i> )
AC	střídavá složka napětí/proudu ( <i>Alternating Current</i> )
ADC	převodník z analogového signálu na digitální ( <i>Analog to Digital Converter</i> )
ASCII	americký standartizovaný kód pro výměnu informací, jedná se o tabulku s deklarací znaků a jejich číselným vyjádřením. ( <i>American Standard Code for Information Interchange</i> )
CAN	Sběrnice pro komunikaci ( <i>Controller Area Network</i> )
CLC	Configurovatelná logická buňka ( <i>Configurable Logic Cell</i> )
COG	Technologie montáže chipu na sklo ( <i>Chip On Glass</i> )
CRC	Cyklický redundantní součet, používá se pro ověření správnosti jako kontrolní součet ( <i>Cyclic Redundancy Check</i> )
CRO	analogový osciloskop s vakuovou obrazovkou ( <i>Cathode-Ray Oscilloscope</i> )
CTMU	periferní jednotka pro mikrokontroléry PIC, sloužící k měření času a kapacity ( <i>Charge Time Measurement Unit</i> )
CWG	periferní jednotka PIC ( <i>Complimentary Waveform Generator</i> )
D/A	převod z digitálního na analogový signál ( <i>Digital to Analog</i> )
DAC	digitálně analogový převodník ( <i>Digital to Analog Converter</i> )
DC	stejnsměrná složka napětí/proudu ( <i>Direct Current</i> )
DC/DC	měníč z stejnosměrné složky na stejnosměrnou ( <i>Direct Current to Direct Current</i> )
DMA	příjemý přístup do paměti ( <i>Direct Memory Access</i> )
DMIPS	jednotka rychlosti procesoru ( <i>Dhrystone MIPS</i> )
DSM	periferní jednotka pro PIC sloužící k digitálním modulacím signálu ( <i>Data Signal Modulátor</i> )
DSO	digitální osciloskop ( <i>Digital Storage Oscilloscope</i> )
DSP	digitální signálový procesor ( <i>Digital Signal Processor</i> )
EUSART	periferní jednotka PIC pro sériovou komunikaci (UART) ( <i>Enhanced Universal Asynchronous Receiver Transmitter</i> )
FFT	rychlá Fourierova transformace ( <i>Fast Fourier Transformation</i> )
GFX	periferní jednotka PIC pro řízení LCD ( <i>Graphics Controller Module</i> )
I <sup>2</sup> C (I <sup>2</sup> C)	protokol sériové komunikace ( <i>Inter-Integrated Circuit</i> )
LCD	dislej z tekutých krytalů ( <i>Liquid Crystal Display</i> )



LED	světlo emitující dioda ( <i>Light-Emitting Diode</i> )
MIPS	jednotka rychlosti mikrokontrolérů ( <i>Million Instruction Per Second</i> )
MSO	osciloskop s logickým analyzátozem ( <i>Mixed Signal Oscilloscope</i> )
MSPS	rychlost A/D převodníku ( <i>Million Samples Per Second</i> )
MSSP	periferní jednotka PIC pro sériovou komunikaci ( <i>Master Synchronous Serial Port</i> )
NCO	periferní jednotka PIC sloužící pro generování řídicích signálů ( <i>Numerically Controlled Oscillator Module</i> )
PC	Osobní počítač (IBM PC kompatibilní) ( <i>Personal Computer</i> )
PFC	korekce účinníku ( <i>power factor correction</i> )
PIC	mikrokontrolér firmy Microchip ( <i>Peripheral Interface Controller</i> )
PLL	fázový závěs (používá se pro zvětšení frekvence) ( <i>Phase-locked loop</i> )
PMP	paralelní komunikační sběrnice ( <i>Parallel Master Port</i> )
PPS	možnost nastavení konfigurace pinů u PIC ( <i>Peripheral Pin Select</i> )
PWM	pulzně šířková modulace ( <i>Pulse Width Modulation</i> )
RAM	paměť s libovolným přístupem (označují se tak paměť dat u PIC) ( <i>Random-Access Memory</i> )
RISC	redukovaná instrukční sada ( <i>Reduced Instruction Set Computing</i> )
RTCC	obvod reálných hodin ( <i>Real-Time Clock and Calendar</i> )
SPI	protokol sériová komunikační sběrnice ( <i>Serial Peripheral Interface</i> )
TQFP	typ pouzdra ( <i>Thin Quad Flat Package</i> )
USB	komunikační protokol sériové sběrnice ( <i>Universal Serial Bus</i> )
XLP	označení mikrokontrolérů PIC se sníženou spotřebou ( <i>eXtreme Low Power</i> )

# SEZNAM PŘÍLOH

## A Schémata

A.1 Schéma zapojení analogového dílu .....	35
A.2 Schéma napájecího zdroje .....	35
A.3 Schéma dotykové plochy.....	36
A.4 Schéma základní desky: .....	37

## B Předlohy pro desky plošných spojů

B.1 Deska plošného spoje - analogového modulu strana TOP .....	37
B.2 Deska plošného spoje - analogového modulu strana BOTTOM.....	37
B.3 Deska plošného spoje – Zdroj TOP .....	38
B.4 Deska plošného spoje – Zdroj BOTTOM.....	38
B.5 Deska plošného spoje – dotyková tlačítka +LCD redukce TOP .....	39
B.6 Deska plošného spoje – dotyková tlačítka +LCD redukce BOTTOM .....	40
B.7 Deska plošného spoje –základní deska TOP .....	41
B.8 Deska plošného spoje –základní deska BOTTOM.....	42

## C Hotové a osazené desky plošných spojů

C.1 Analogový modul TOP.....	43
C.2 Analogový modul BOTTOM .....	44
C.3 Zdroj TOP.....	44
C.4 Zdroj BOTTOM .....	45
C.5 Dotyková klávesnice.....	45
C.6 Základní deska s moduly .....	46
C.7 Hotové zařízení.....	47

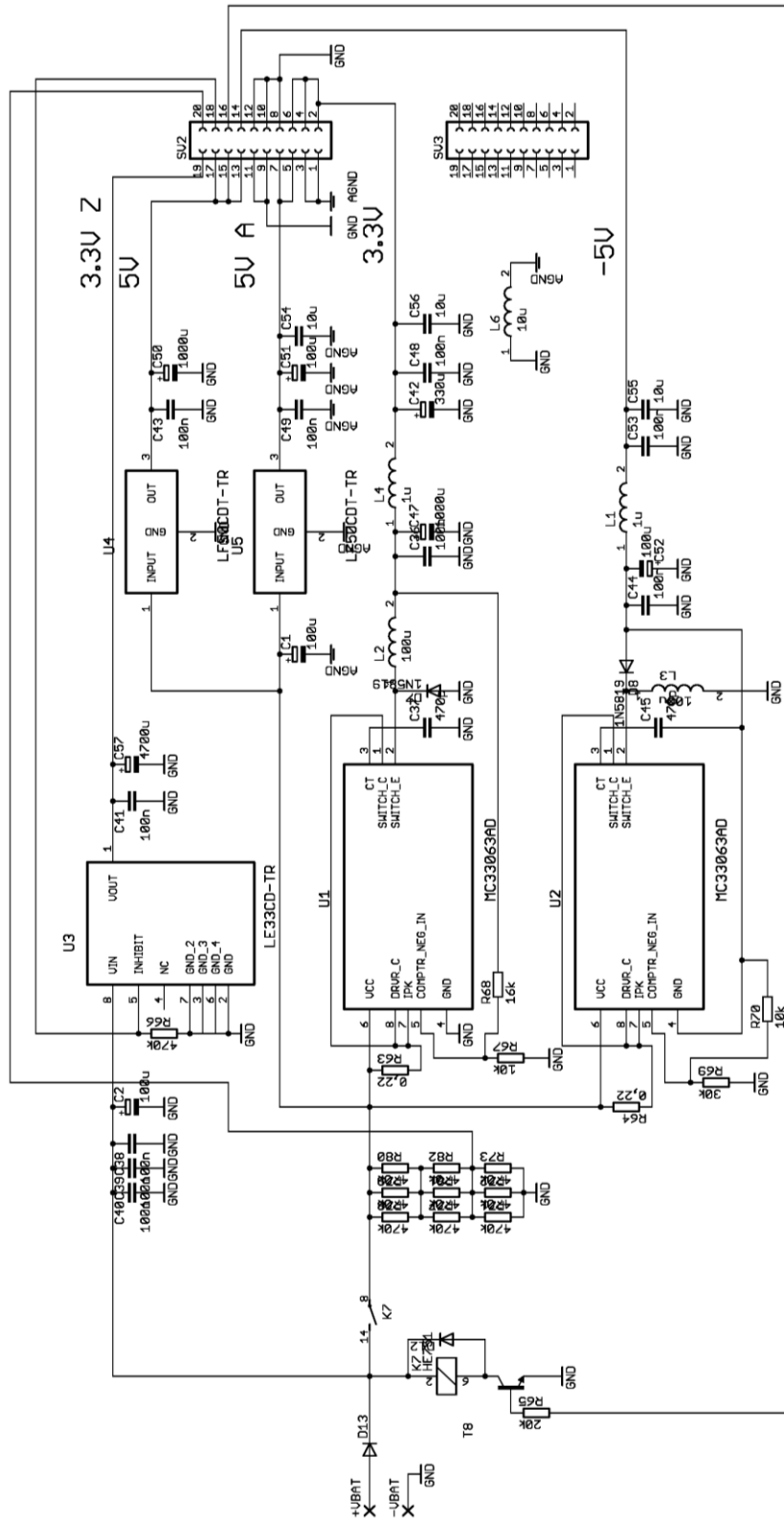
## D Seznam součástí

D.1 Analogový modul .....	48
D.2 Zdroj .....	49
D.3 Základní deska.....	50
D.4 Dotyková plocha.....	51
D.5 Ostatní .....	51

## A. SCHÉMATA

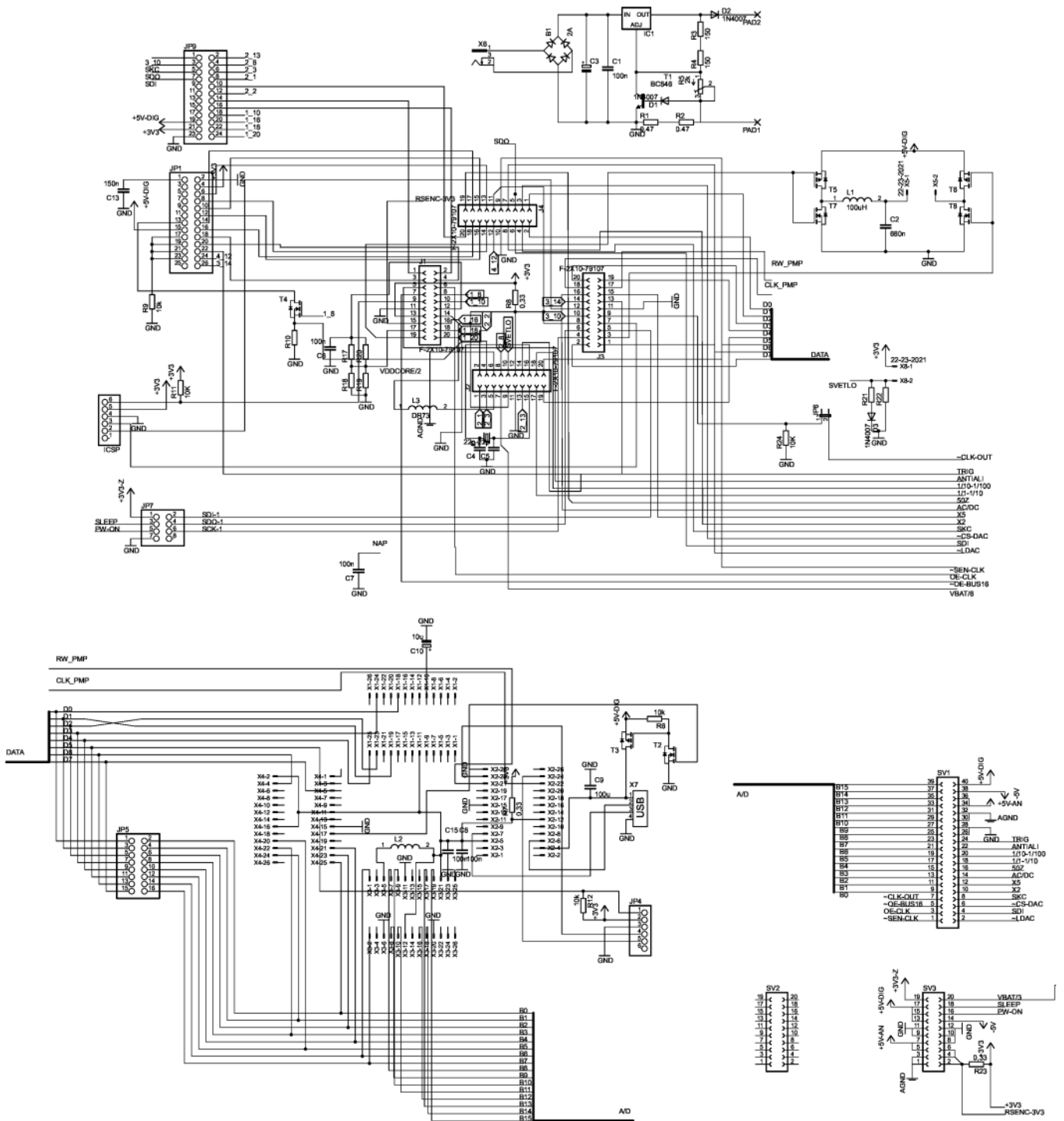


## A.2 Schéma napájecího zdroje



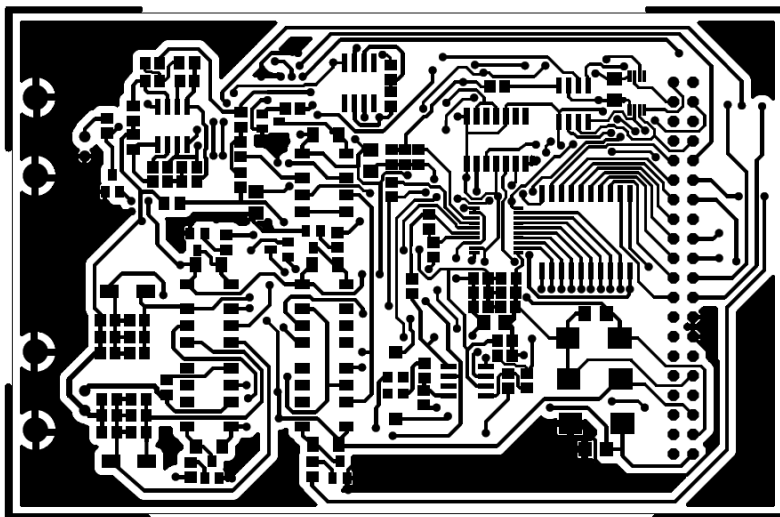


## A.4 Schéma základní desky:



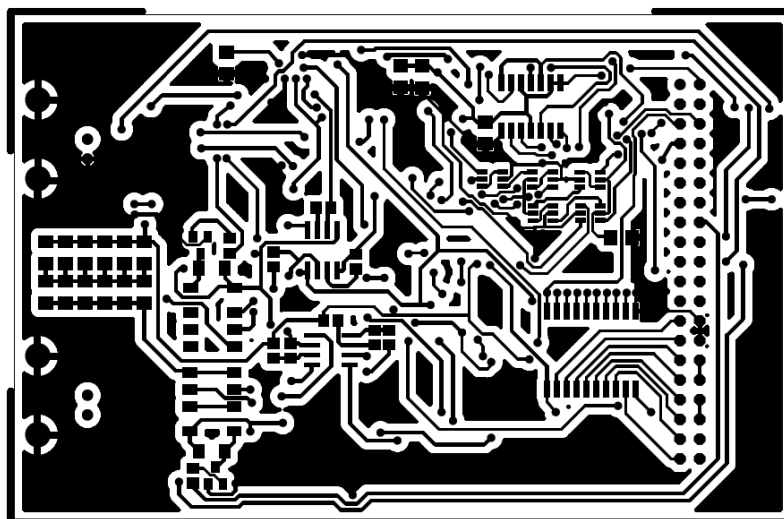
## B. PŘEDLOHY PRO DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

### B.1 Deska plošného spoje – analogové části strana TOP



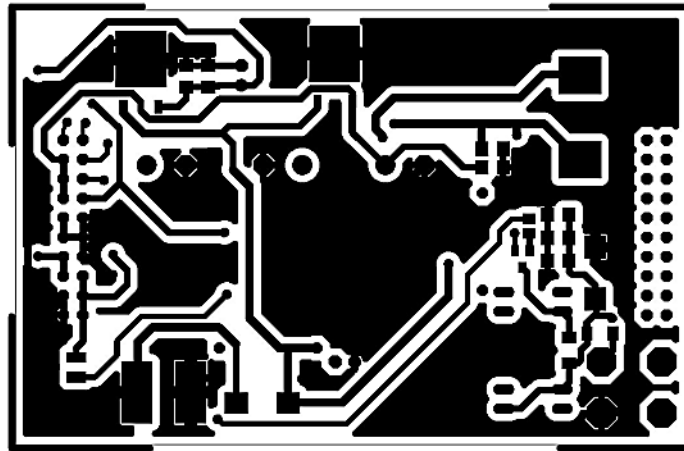
rozměr: 100x65 mm, měřítko 1:1

### B.2 Deska plošného spoje - analogové části strana BOTTOM



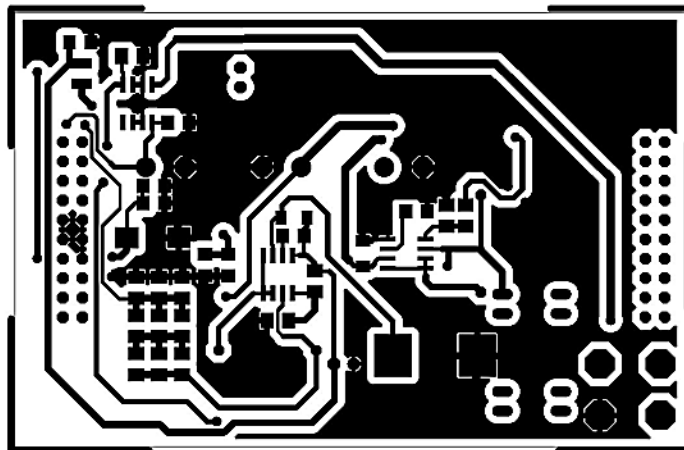
rozměr: 100x65 mm, měřítko 1:1

### B.3 Deska plošného spoje – Zdroj TOP



rozměr: 56x87 mm, měřítko 1:1

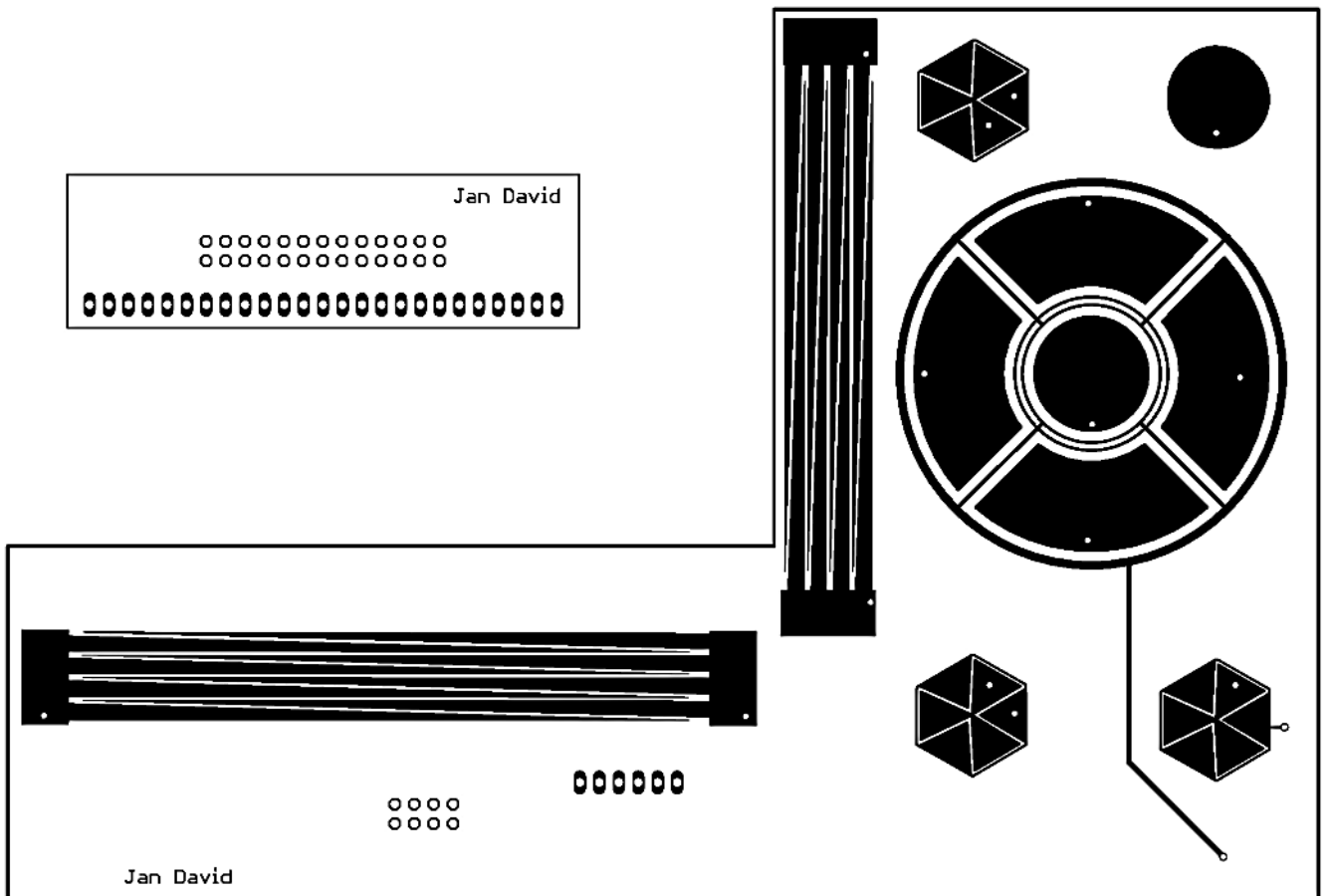
### B.4 Deska plošného spoje – Zdroj BOTTOM



rozměr: 56x87 mm, měřítko 1:1

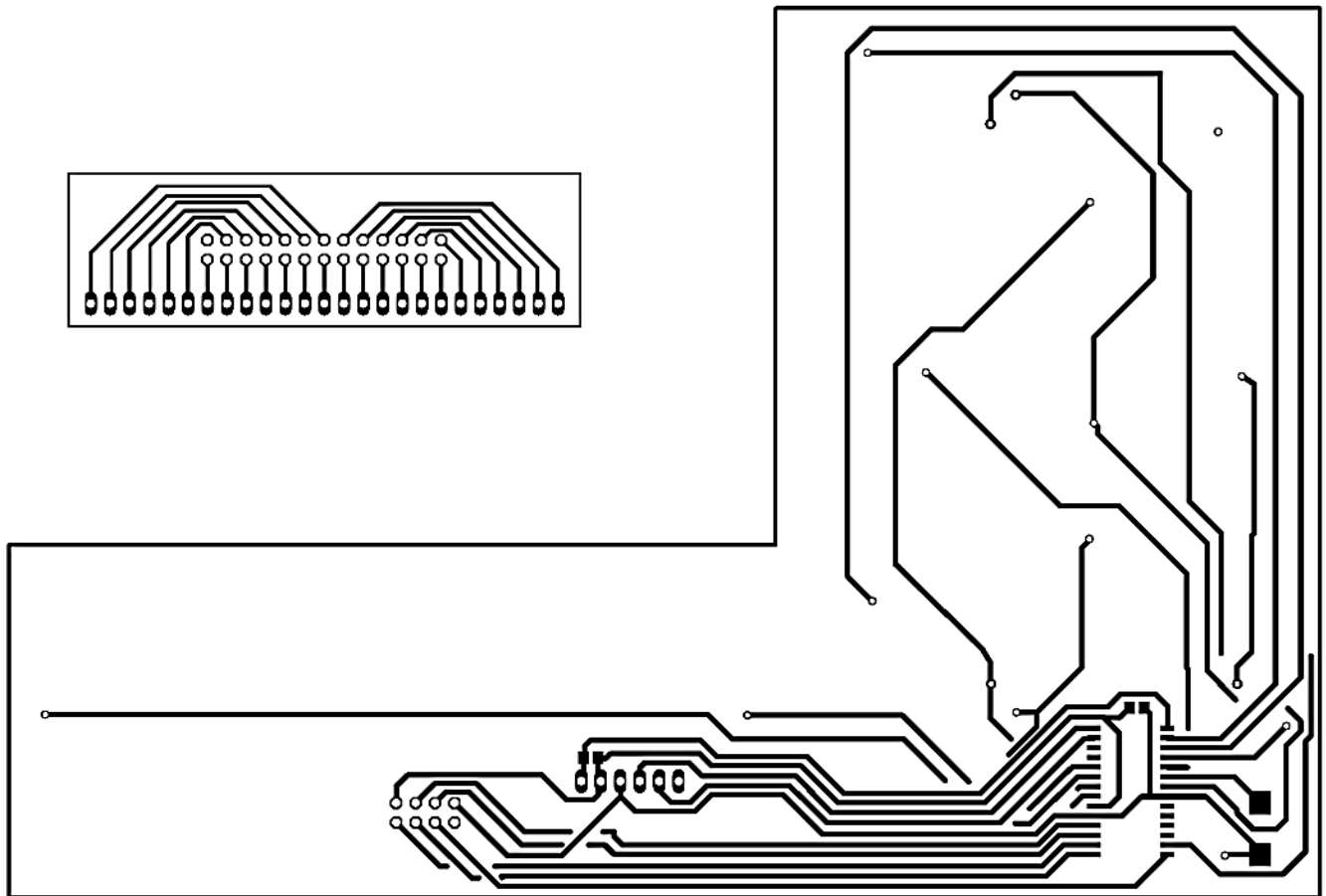


## B.5 Deska plošného spoje – dotyková tlačítka +LCD redukce TOP



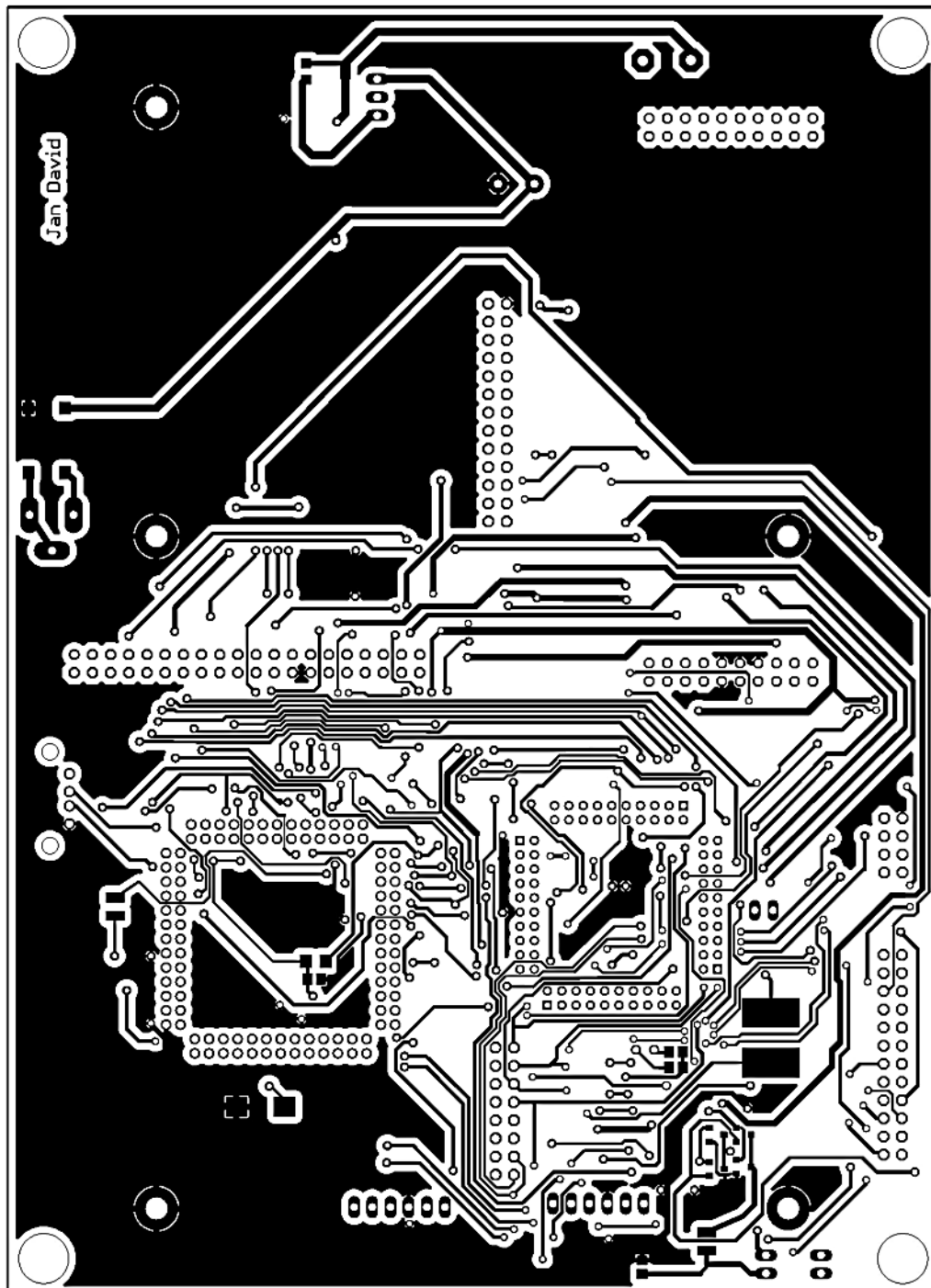
rozměr 171 x 116 mm, měřítko 1:1

## B.6 Deska plošného spoje – dotyková tlačítka +LCD redukce BOTTOM



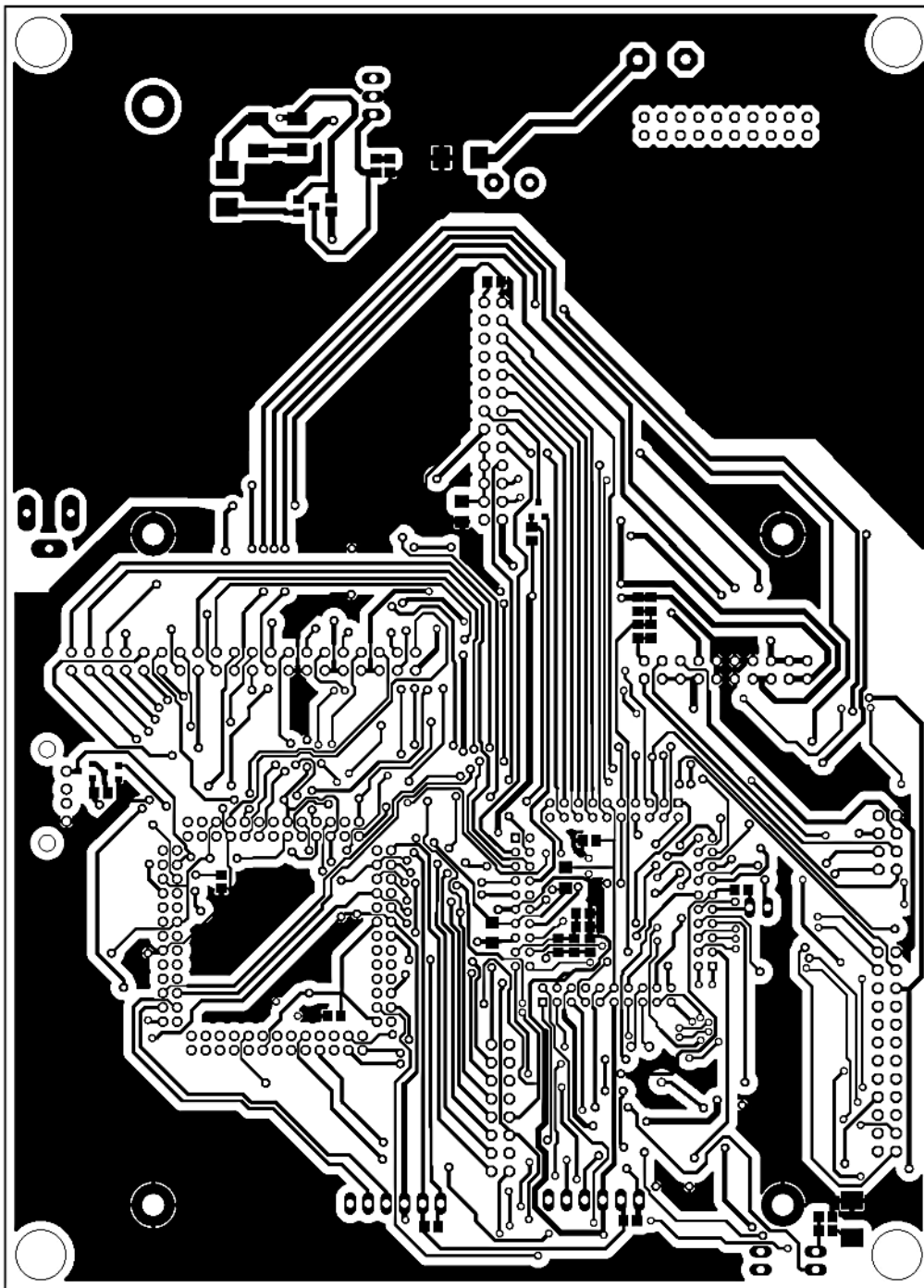
rozměr 171 x 116 mm, měřítko 1:1

## B.7 Deska plošného spoje –základní deska TOP



rozměr 180x130 mm, měřítko 1:1

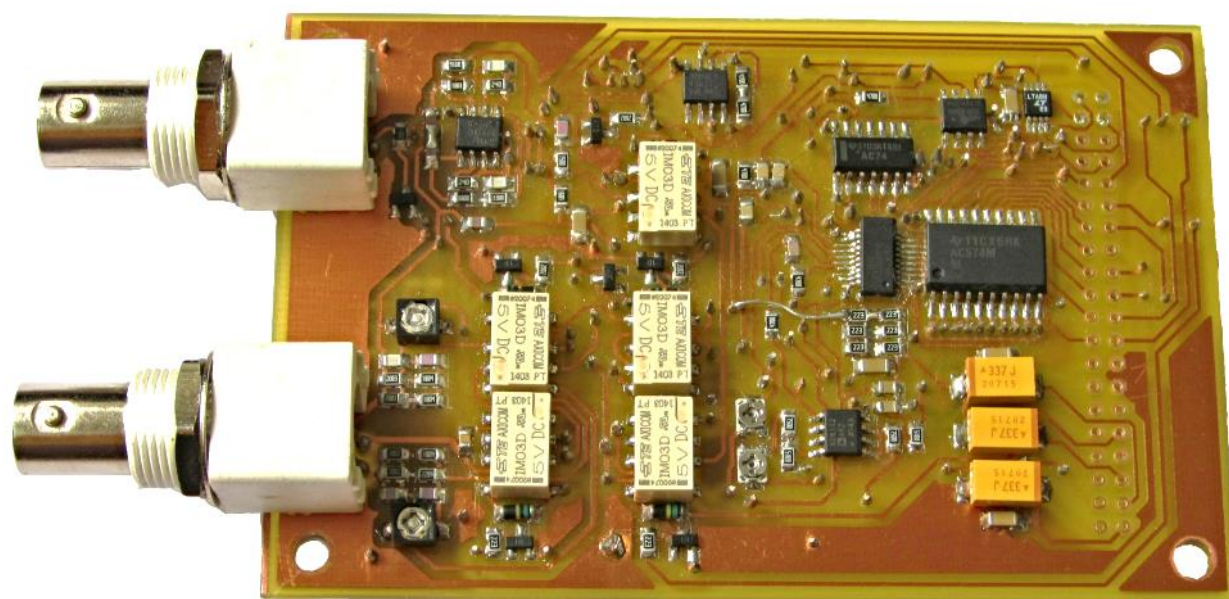
## B.8 Deska plošného spoje –základní deska BOTTOM



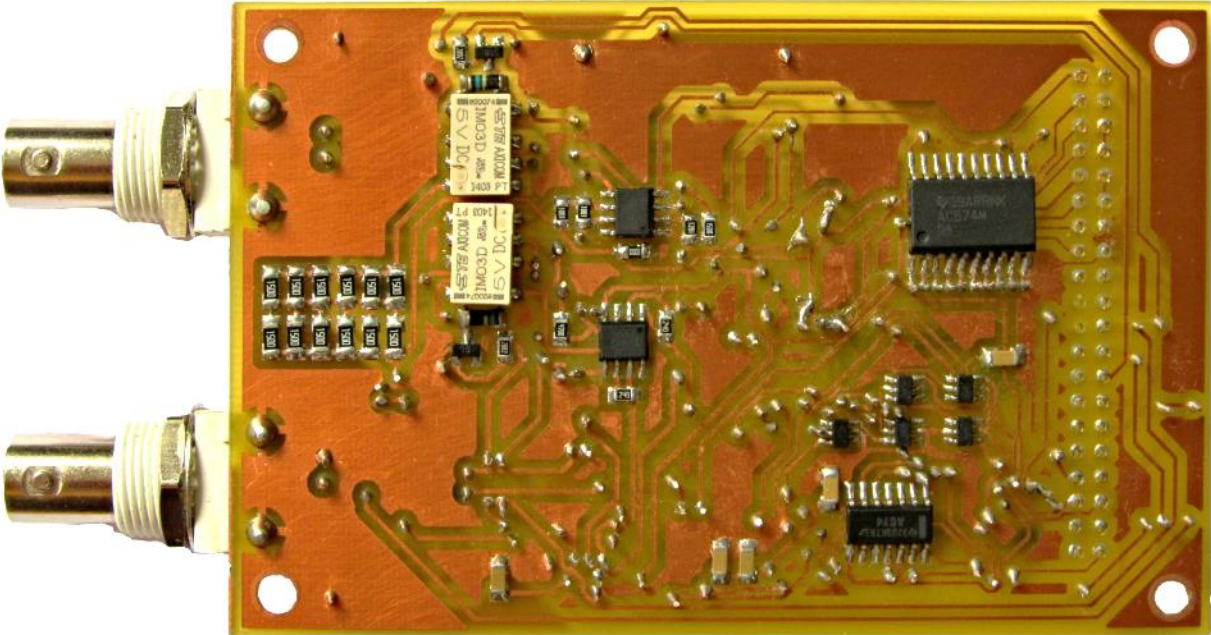
rozměr 180x130 mm, měřítko 1:1

# C. HOTOVÉ A OSAZENÉ DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

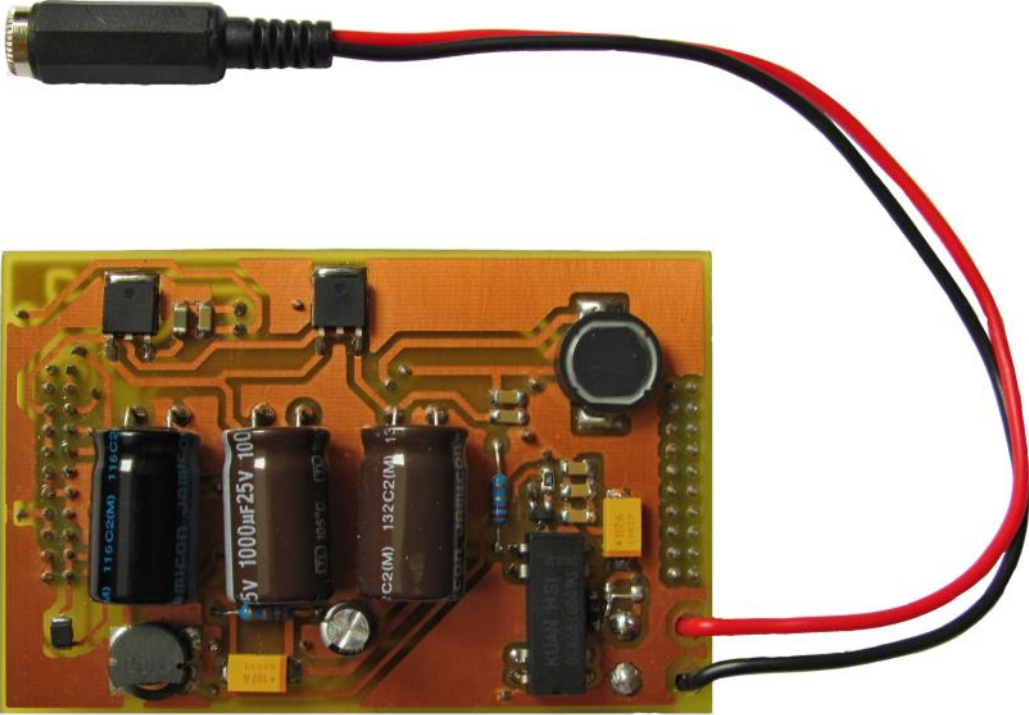
## C.1 Analogová část TOP



### C.2 Analogová část BOTTOM

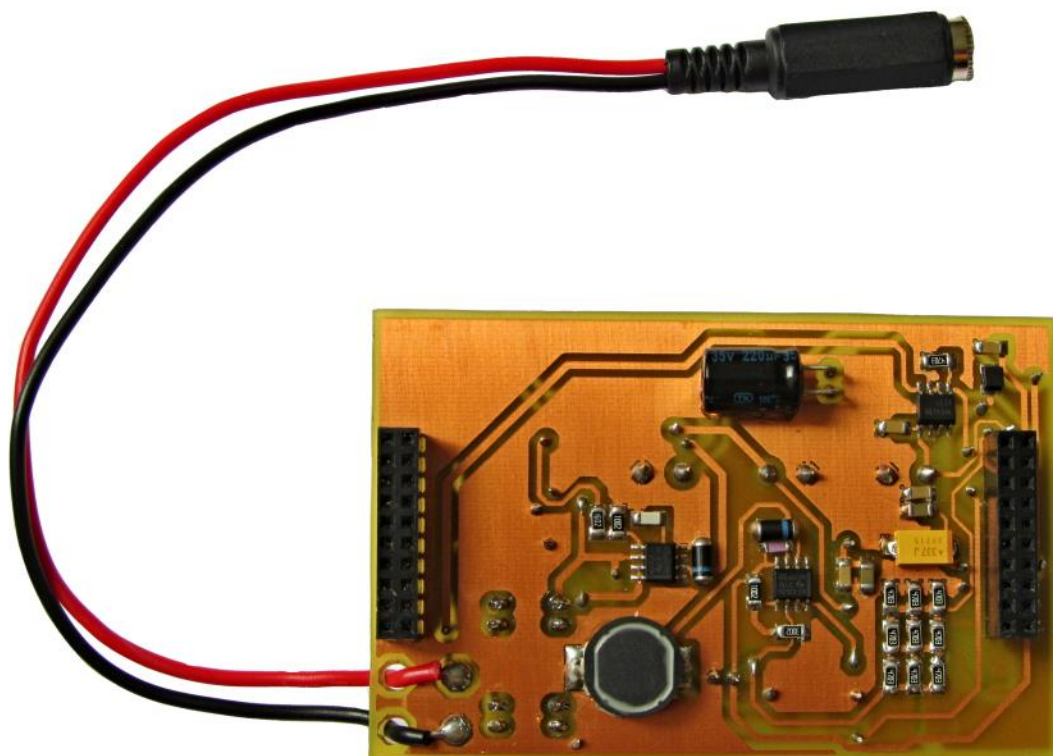


### C.3 Zdroj TOP

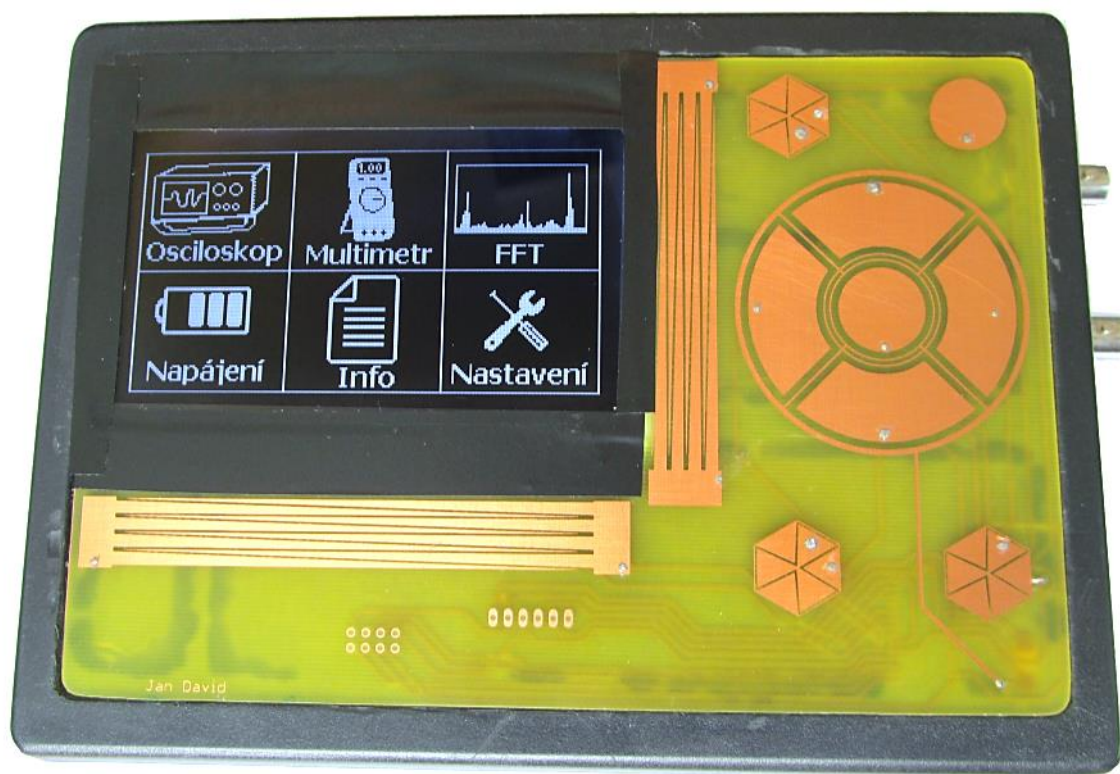




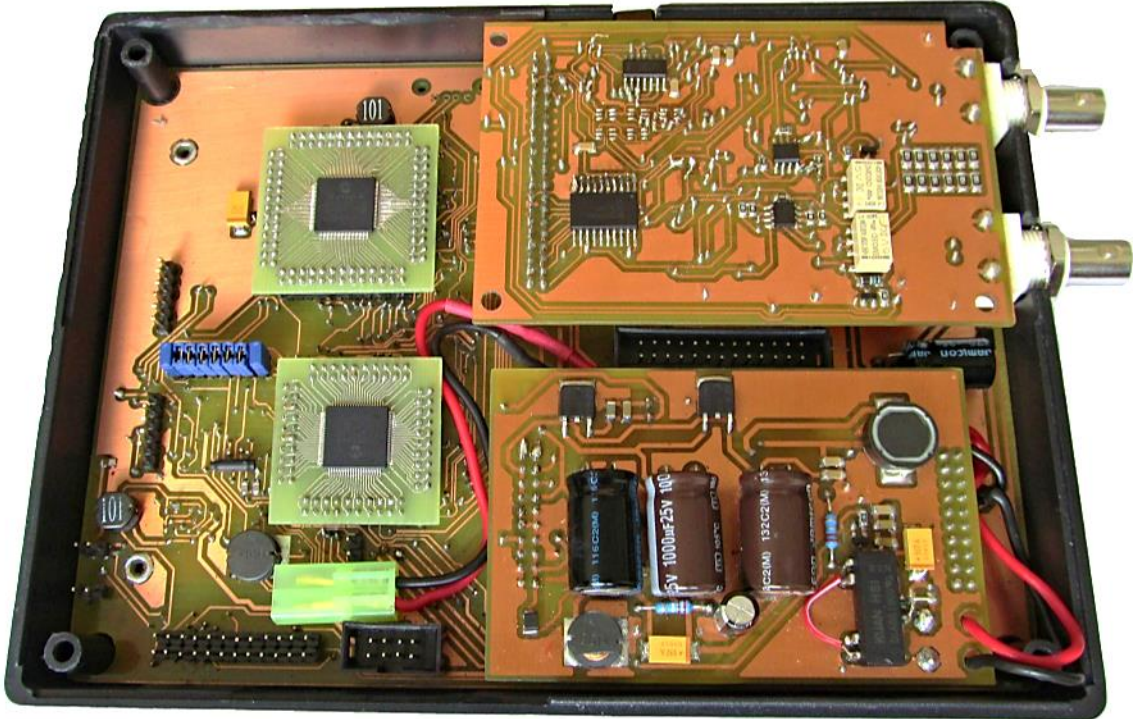
## C.4 Zdroj BOTTOM



## C.5 Dotyková klávesnice

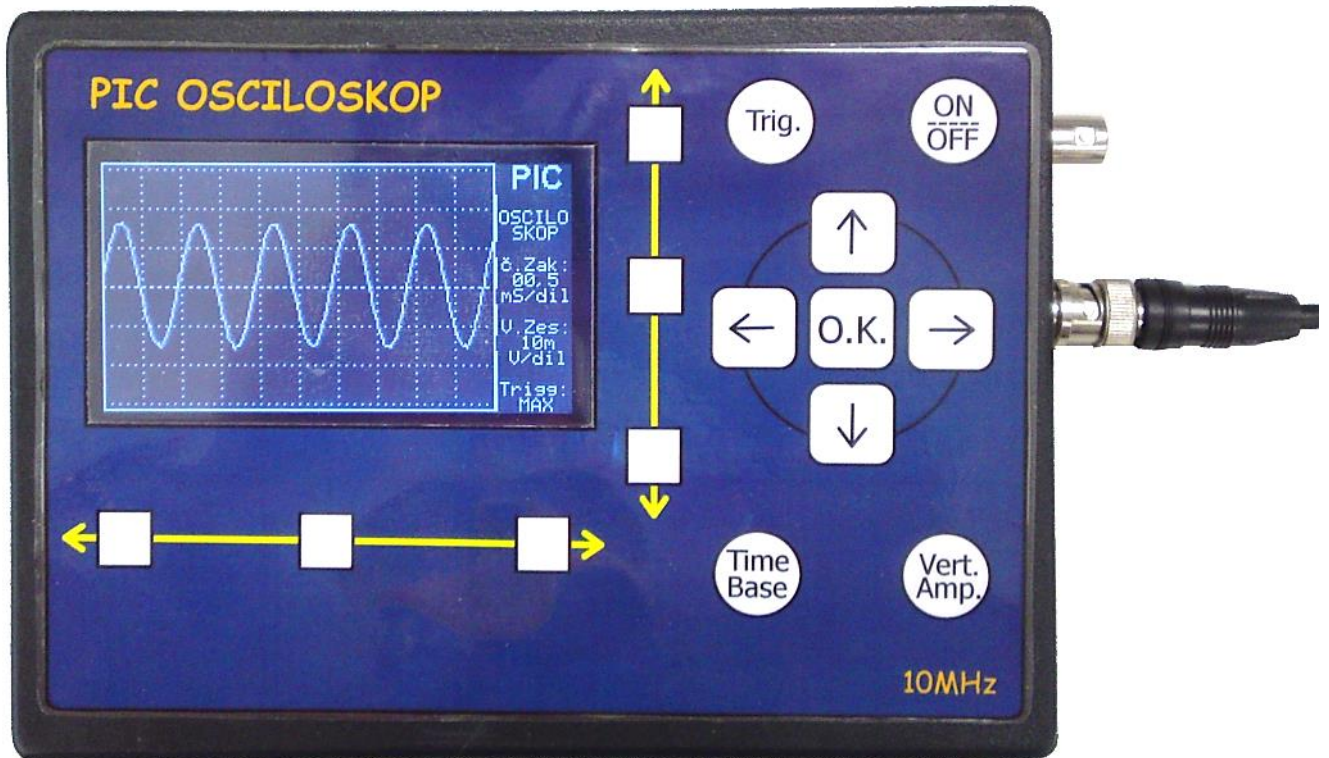


### C.6 Základní deska s moduly





## C.7 Hotové zařízení



## D. SEZNAM SOUČÁSTEK

### D.1 Analogový modul

Analogový modul							
Označení:	Druh součástky:	Typ:	Kusů:	Označení:	Druh součástky:	Typ:	Kusů:
ADS830E	A/D převodník	ADS831	1	IC1	OZ	AD8066R	1
BUF1- BUF5	Buffer	SN74LVC 2G07DBV R	5	IC2	OZ	OPA277U	1
C10,C12	K. kondenzátor	1p	2	IC3,IC4	Klopný obvod D	74AC74	2
C3	K. kondenzátor	47pF	1	IC5,IC6	8b registr	74AC574	2
C5	K. kondenzátor	220n	1	R1,R2,R8,R13,R14, R27,R39-R44,R53-R55	Rezistor	20K	15
C6	K. kondenzátor	560p	1	R3,R19,R20,	Rezistor	470	3
C9	K. kondenzátor	9p1	1	R4,R33-R38,R45-50	Rezistor	150	13
C4,C11	K. kap. Trimer	7-50p	2	R5	Rezistor	2M2	1
C8,C14, C16-C24, C31,C34	K. kondenzátor	100n	13	R6,R56,R57,R60	Rezistor	25	4
C25,C28,C 32	K. kondenzátor	8.2p	3	R7,R229,R30	Rezistor	1M8	3
C26	K. kondenzátor	15p	1	R11,R12,R58	Rezistor	750	3
C28	K. kondenzátor	47p	1	R21	Rezistor	255	1
C33	K. kondenzátor	12p	1	R22	Rezistor	1k02	1
C29,C30,C 35	T. kondenzátor	330u	3	R15,R18,R23,R24,R28	Rezistor	1k	3
CLK1	Hodinový generátor	LTC6903	1	R25	Rezistor	10K	1
D1,D2	Dioda	BAV199	2	R26	Rezistor	910	1
D3-D11	Dioda	EGL1G	7	R31,R32	Rezistor	200K	2
T1-T7	Tranzistor	BC846B	7	R51	Rezistor	330	1
SV1	Pinová lišta	2x20	1	R52	Rezistor	680	1
X1,X6	Konektor	BNC	2	R59	Rezistor	1k6	1
K1-K8	Relé	IM03DGR	7	R61,R62	Rez. trimer	100	2
DAC1	D/A převodník	MCP4822	1	R9,R10	Rezistor	510	2
DIF1	OZ	AD8132A RZ	1				

## D.2 Zdroj

Zdroj			
Označení:	Druh součástky:	Typ:	Kusů:
C1,C2	El. Kondenzátor	100u	2
C54,C55,C56	K. kondenzátor	10u	3
C37,C45	K. kondenzátor	470p	2
C36,C38,C39,C40,C41,C43,C44,C48,C49,C53	K. kondenzátor	100n	10
C42	T. Kondenzátor	330u	1
C51,C52	T. Kondenzátor	100u	2
C47,C50	El. Kondenzátor	1000u	2
C57	El. Kondenzátor	4700u	1
D7,D8	Dioda	1N5819	2
K7	Relé	5V	1
L1,L4	Cívka	1uH	2
L2,L3	Cívka	100uH	2
L6	Cívka	10uH	1
R63,R64	Rezistor	0,22	2
R69	Rezistor	30k	1
R68	Rezistor	16k	1
R70,R67	Rezistor	10k	2
R65	Rezistor	20k	1
R66,R71,R72,R73,R77,R78,R79,R80,R81,R82	Rezistor	470K	10
SV2,SV3	Duřinková lišta	2x10	2
T8	Tranzistor	BC808	1
U1,U2	Spínaný měnič	MC33063	2
U3	Stabilizátor	LE33CD	1
U4,U5	Stabilizátor	LF50CDT	2

## D.3 Základní deska

Základní deska			
Označení:	Druh součástky:	Typ:	Kusů:
B1	Diodový můstek	2A	1
C1,C6,C7,C8,C13,C15	K. kondenzátor	100n	5
C2	K. kondenzátor	680n	1
C3,C4	K. kondenzátor	22p	2
C5	El. Kondenzátor	100u	1
C9	T. Kondenzátor	10u	1
C10	K. kondenzátor	150n	1
D1,D2,D3	Dioda	1N4007	3
IC1	Stabilizátor	LM317	1
J1,J2,J3,J4	Pinová lišta	2x10 (2mm)	4
JP1	Konektor	2x13	1
ICSP,JP4	Pinová lišta	1x6	2
JP5	Pinová lišta	2x8	1
JP6	Propojka	1x2	1
JP7	Konektor	2x4	1
JP9	Pinová lišta	2x12	1
L1	Cívka	100uH	1
L2,L3	Cívka	10uH	2
X5,X8	Konektor	1x2	2
Q1	Krystal	32.768 kHz	1
R1,R2	Rezistor	0,47	2
R3,R4	Rezistor	150	2
R5	Rezistor	2k	1
R6	Rezistor	10k	2
R7,R8,R23	Rezistor	0,33	3
R9,R11,R12,R24	Rezistor	10k	4
R10	Rezistor	10	1
R13,R14,R15,R16,R17,R18,R19,R20	Rezistor	470k	8
R21	Rezistor	47k	1
R22	Rezistor	100k	1
SV1	Pinová lišta	2x20	1
SV2	Pinová lišta	2x10	1
SV3	Tranzistor	BC846	1
T1,T2,T7,T8	Tranzistor N-MOS	AP2302GN-HF-3	4
T3,T5,T6	Tranzistor P-MOS	AP2301GN-HF-3	3
X1,X2,X3.X4	Pinová lišta	2x13 (2mm)	4
X6	Konektor	Napájecí souosý	1
X7	Konektor	USB	1

## D.4 Dotyková plocha

Doteková plocha			
Označení:	Druh součástky:	Typ:	Kusů:
IC1	Mikrokontrolér	PIC18F24J11	1
C12	Kondenzátor	100n	1
C11	T. kondenzátor	10u	1
R25	Rezistor	10k	1
ICSP1	Pinová lišta	1x5	1
JP8	Konektor	2x4	1

## D.5 Ostatní

Ostatní		
Druh součástky:	Typ:	Kusů:
Mikrokontrolér	PIC18F87K90	1
Mikrokontrolér	dsPIC33EP512	1
LCD	RX240128A-TIW	1
Kabel pro klávesnici	2x4	1
Kabel pro LCD	2X13	1
Krabička	KP23	1
Měřicí šňůra	1,2m, 3A	1