



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## **GENERÁTOR SIGNÁLU ŘÍZENÝ AVR**

SIGNAL GENERATOR CONTROLLED BY AVR

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**JIŘÍ WIESNER**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. ZDENĚK ROUBAL**

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Elektronika a sdělovací technika**

**Student:** Jiří Wiesner

**ID:** 125343

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2012/2013

**NÁZEV TÉMATU:**

## Generátor signálu řízený AVR

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte princip přímé digitální syntézy (DDS). Navrhněte blokové schéma generátoru umožňujícího vytvářet libovolný průběh signálu.

Realizujte generátor signálu založený na přímé digitální syntéze s ovládním pomocí mikrokontroléru AVR. Uvažujte hlavní použití při měření magnetických materiálů.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MANN, B. C pro mikrokontroléry. Praha: BEN - technická literatura, 2004.

[2] A technical Tutorial on Digital Signal Synthesis [Online]. Dostupné na [http://www.analog.com/static/imported-files/tutorials/450968421DDS\\_Tutorial\\_rev12-2-99.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/tutorials/450968421DDS_Tutorial_rev12-2-99.pdf).

**Termín zadání:** 11.2.2013

**Termín odevzdání:** 31.5.2013

**Vedoucí práce:** Ing. Zdeněk Roubal

**Konzultanti bakalářské práce:**

**prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida**

*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**

Cílem práce bylo navrhnout univerzální funkční generátor, který by našel využití pro magnetizační a demagnetizační úlohy, nebo pro měření hystereze.

Srdcem řídicího modulu je 8-bitový mikrokontrolér od firmy Atmel, ke kterému jsou připojeny vstupně/výstupní periferie, v neposlední řadě také optočleny pro spínání relé. Mikrokontrolér komunikuje s druhým modulem osazeným DA převodníky pomocí linky SPI. Na výstupu jsou generovány libovolné signály naprogramované v MCU.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

DDS tutoriál, ATmega 128, ISP, připojení sram, MAX232, FTDI FT230X, SPI, uart

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis was to design a universal function generator, which would find use for magnetizing and demagnetizing job, or for measuring hysteresis.

The heart of the control module is an 8-bit microcontroller from Atmel, they are connected to the input/output peripherals, not least optocouplers for relay. Microcontroller communicates with the other module mounted DA converters using the SPI lines. At the exit so they can rise to any signals programmed into the MCU.

## **KEYWORDS**

DDS tutorial, ATmega 128, ISP, sram connection, MAX232, FTDI FT230X, SPI, uart

WIESNER, J. *Generátor signálu řízený AVR*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav teoretické a experimentální elektrotechniky, 2013. 38 s., 8 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Roubal.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Generátor signálu řízený AVR 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 jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 31. května 2013

.....  
podpis autora

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Zdeňku Roubalovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne .....

.....  
(podpis autora)

# OBSAH

<b>Seznam obrázků</b>	<b>viii</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>ix</b>
<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Měření magnetických materiálů</b>	<b>2</b>
1.1 Hysterezní smyčka.....	4
1.1.1 Klasifikace hysterezních smyček.....	4
1.2 Odmagnetování.....	5
<b>2 Přímá digitální syntéza</b>	<b>8</b>
2.1 Složení DDS obvodu .....	8
2.2 Popis funkce DDS.....	9
2.3 DDS obvody .....	10
<b>3 Funkční generátor</b>	<b>11</b>
3.1 Programovatelný funkční generátor.....	11
3.1.1 Řídící modul .....	13
3.1.2 Modul s D/A převodníky .....	17
3.1.3 Napájecí zdroj .....	18
<b>4 Výběr komponent</b>	<b>19</b>
4.1 Mikroprocesor.....	19
4.2 SRAM paměť .....	20
4.3 D/A převodníky .....	21
4.4 Precizní napěťová reference .....	22
4.5 Operační zesilovače pro D/A převodníky.....	23
<b>5 Oživení výrobku</b>	<b>24</b>
5.1 Řídící modul .....	24
5.2 Zdroj napětí.....	25
5.3 Modul s DA převodníky .....	26
<b>6 Programová část</b>	<b>29</b>

6.1	Inicializace .....	29
6.2	Funkce main() .....	30
6.3	Menu .....	32
6.4	Příklady funkcí se vzorci pro generování .....	36
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>38</b>
	<b>Literatura</b>	<b>39</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>40</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>41</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1:	Měření uzavřených vzorků s podporou PC (upraveno podle [2]).....	2
Obr. 1.2:	Měření otevřených vzorků (upraveno podle [2]).....	3
Obr. 1.3:	Hysterezní smyčka .....	4
Obr. 1.4:	Hysterezní smyčka a) normální typ, b) pravoúhlý typ, c) plochý typ, d) perminvarový typ .....	5
Obr. 1.5:	Zhodnocení účinku demagnetizace (převzato z [4]).....	6
Obr. 1.6:	Možný průběh demagnetizačního proudu .....	6
Obr. 1.7:	Průběh demagnetizačního proudu pro buzení stabilizovaného zdroje.....	7
Obr. 1.8:	Změna hysterezní smyčky při demagnetizaci.....	7
Obr. 2.1:	Základní princip obvodu DDS (převzato z [6]).....	8
Obr. 2.2:	Digitální fázová kružnice (převzato z [6]) .....	9
Obr. 2.3:	Příklad spektra generovaného signálu při $f_{\text{CLOCK}} = 300\text{MHz}$ (převzato z [6]).....	10
Obr. 3.1:	Blokové schéma generátoru .....	12
Obr. 3.2:	Zapojení součtového zesilovače.....	12
Obr. 3.3:	Průběhy na vstupu a výstupu součt. zesilovače.....	13
Obr. 3.4:	Konektory na řídicím modulu, pohled shora.....	14
Obr. 3.5:	Zapojení FTDI čipu (převzato z [9]) .....	15
Obr. 3.6:	Zapojení obvodu MAX232 (převzato z [10]).....	15
Obr. 3.7:	Spojení digitální a analogové země.....	17
Obr. 4.1:	Zapojení externí paměti (převzato z [12]).....	20
Obr. 4.2:	Časové konstanty $t_H$ a $t_{SU}$ (převzato z [13]).....	21
Obr. 4.3:	Blokové schéma D/A převodníku (převzato z [8]).....	22
Obr. 4.4:	Zapojení AD586 jako záporné reference (převzato z [14]) .....	22
Obr. 4.5:	Oddělení vstupu pomocí OPA2277 (převzato z [8]) .....	23
Obr. 5.1:	Zapojení resetovacího pinu mikrokontroléru (převzato z [15]).....	24
Obr. 5.2:	Detailní pohled na vrstvu bottom a drátový propoj (červená).....	25
Obr. 5.3:	CH1: náběh 5V zdroje, CH2: náběh 15V zdroje .....	25
Obr. 5.4:	CH1 – rušení na výstupu $IC_{1A}$ , CH2 – nerelevantní signál .....	26
Obr. 5.5:	Původní zapojení (vlevo) a upravené zapojení (vpravo).....	27
Obr. 5.6:	Časové průběhy SPI komunikace a nutnost resetu (převzato z [8]) .....	27
Obr. 5.7:	CH1 – signál odebraný z DAC1, CH2 – signál na výstupu modulu .....	28
Obr. 6.1:	Struktura menu.....	32
Obr. 6.2:	Základní menu .....	32
Obr. 6.3:	Menu pro signál sin s exponenciálním poklesem.....	33
Obr. 6.4:	Zadáání hodnoty.....	33
Obr. 6.5:	Generování rampy, $V_{P-P} = 10V$ .....	37
Obr. 6.6:	Generování sinu s exponenciálním poklesem, koeficient útlumu $k = 0,001$ , $t = 20s$ .....	37

## SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1:	Parametry obvodu AD9834 .....	10
Tab. 3.1:	Vývody displeje .....	16
Tab. 3.2:	Spotřeba generátoru .....	18
Tab. 4.1:	Maximální nastavovací časy pro režim bez čekání a pro $f_{osc} = 16\text{MHz}$ .....	20
Tab. 4.2:	Parametry DAC8871 .....	21

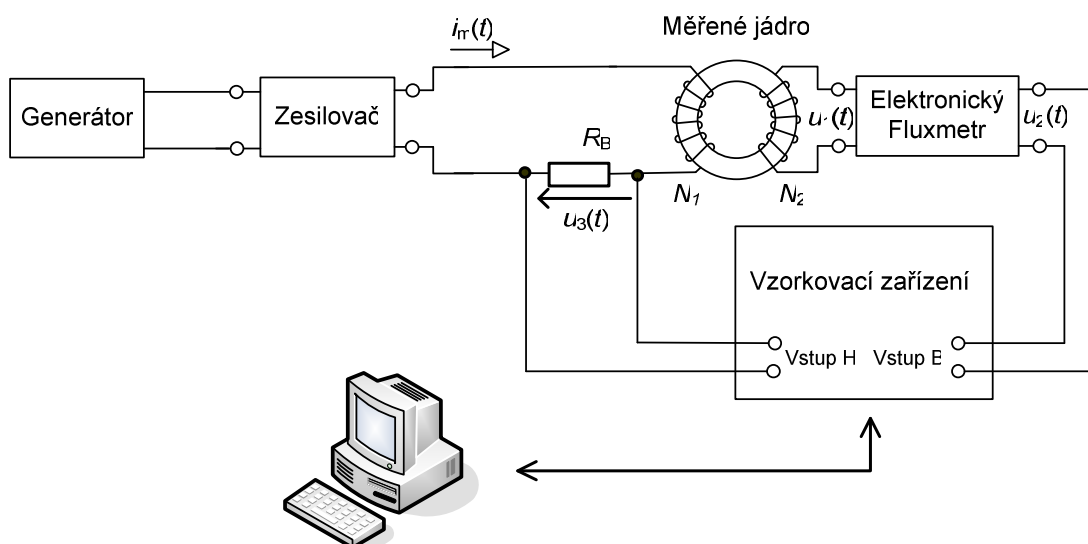
# ÚVOD

Na začátku této práce je nastíněna problematika měření magnetických materiálů, z které vyplývají požadavky na návrh generátoru. Generátor by měl být univerzální, proto pracuje od frekvence 0,5Hz do 20kHz. Jedním z možných řešení bylo využití obvodu přímé digitální syntézy. Tento princip je objasněn níže. V tomto případě však byla zvolena jiná koncepce a to generování signálu pomocí mikroprocesoru a paměti s vloženými vzorky, které jsou periodicky vyčítány a přiváděny na D/A převodník. Právě této koncepci je věnován zbytek práce.

# 1 MĚŘENÍ MAGNETICKÝCH MATERIÁLŮ

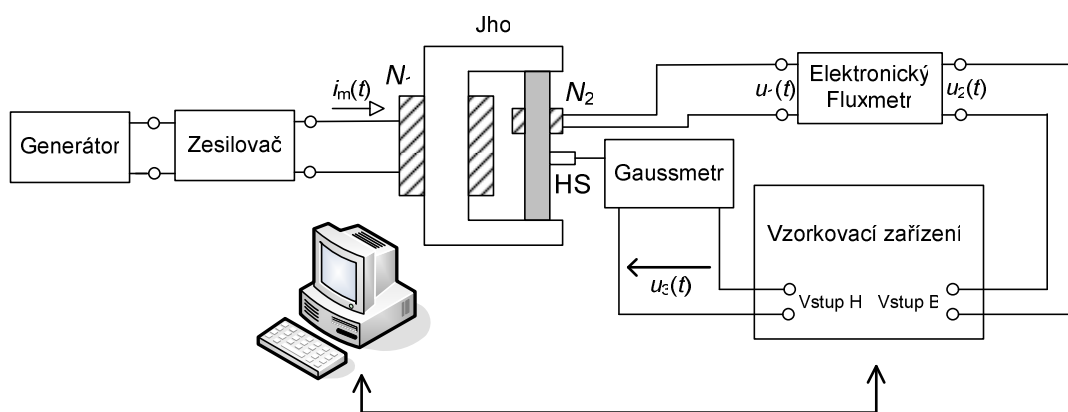
V praxi se setkáme s měřením vzorků uzavřených (toroid), nebo vzorků neuzavřených (válec, hranol). Tyto dva typy vzorku vyžadují dva různé přístupy k měření jejich magnetických vlastností.

Při měření na uzavřených vzorcích nejprve opatříme vzorek měřeného toroidního jádra magnetovacím vinutím  $N_1$  a měřícím vinutím  $N_2$ . Podle požadavků zadání měříme kvzistatickou hysterezní smyčku, kdy se na nízkém měřícím kmitočtu ještě neuplatňuje vliv vířivých proudů, nebo dynamickou hysterezní smyčku. Případně je možné měřit křivku prvotní magnetizace či jiné uživatelsky definované parametry materiálu. V případě kvzistatické hysterezní smyčky většinou generátor vytváří průběh pilovitého napětí. Ten je zesílen v zesilovači a budí magnetizačním proudem vinutí  $N_1$ . Ve vinutí  $N_2$  se poté indukuje napětí  $u_1$ , které je úměrné derivaci indukčního toku  $\Phi$ . Abychom mohli zpětně určit indukční tok  $\Phi$ , je nutné zařadit na výstup vinutí  $N_2$  elektronický Fluxmetr. Ten je ve většině případů tvořen invertujícím integrátorem. Vzorkovací zařízení, které souběžně vzorkuje napětí na bočníku  $R_B$  a výstupu elektronického Fluxmetru poté posílá naměřené hodnoty do PC na uložení a zpracování. Zde je tedy intenzita magnetického pole  $H$  úměrná napětí  $u_3$  na bočníku  $R_B$  a magnetická indukce  $B$  napětí na výstupu elektronického Fluxmetru  $u_2$ . Z těchto dvou změřených napětí jsou poté přepočítány hodnoty  $H$  a  $B$  podle vztahů uvedených v [1]. Měření na uzavřených vzorcích je přesnější než měření na vzorcích otevřených [1].



Obr. 1.1: Měření uzavřených vzorků s podporou PC (upraveno podle [2])

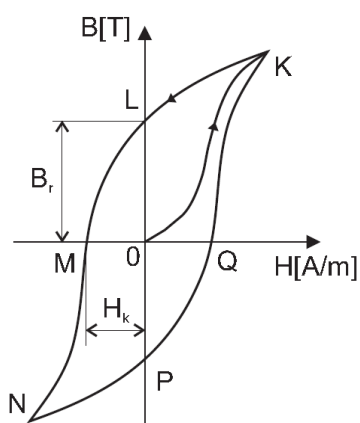
U měření otevřených vzorků je měřený vzorek (válec, hranol) upnut do Jha. To je magnetováno proudem  $I_m$  přes magnetizační vinutí  $N_1$  jako v předcházejícím případě, nelze ale přesně určit intenzitu magnetického pole  $H$  z jeho velikosti počtu závitů vinutí  $N_1$ . Proto se měří intenzita magnetického pole  $H$  pomocí tangenciální Hallovy sondy HS na povrchu vzorku Gaussmetrem, jehož analogový výstup je připojen na vzorkovací zařízení. Intenzita magnetického pole  $B$  se určí z měřicího vinutí  $N_2$  navinutém buďto přímo na vzorku, nebo na násuvné cívce [1] [3]. Tangenciální sonda a měřicí vinutí by měly být na měřeném vzorku co nejblíže sobě, jejich poloha by měla být uprostřed vzorku. Při měření křivky prvotní magnetizace u vzorků z magneticky měkkých materiálů může být problém s dokonalým odmagnetováním pólových nástavců Jha a vlivem magnetického pole země. Místo tangenciální Hallovy sondy je možné použít plochou cívku a druhý elektronický Fluxmetr, tím lze dosáhnout menší měřicí vzdálenosti  $H$  od povrchu vzorku. Výhodou je menší chyba při měření magneticky měkkých materiálů, nevýhodou je menší přesnost Fluxmetru oproti Gaussmetru s Hallovou sondou.



Obr. 1.2: Měření otevřených vzorků (upraveno podle [2])

## 1.1 Hysterezní smyčka

Hysterezní smyčka se měří za účelem zjištění magnetických vlastností měřeného materiálu z nichž se mohou usuzovat i jeho jiné, například mechanické, vlastnosti jako tvrdost či pevnost. Na svém průběhu má význačné body remanentní indukce  $B_R$ [T] a koercitivní síly  $H_K$ [A.m<sup>-1</sup>] (viz Obr. 1.3). Po provedení plného odmagnetování se vychází z bodu O postupným zvyšováním intenzity magnetického pole H do bodu K. Zde se intenzita magnetického pole začne zmenšovat až do nulové hodnoty v bodě L kde je možné odečíst kladnou hodnotu remanentní indukce  $B_{R+}$ . Obrátíme směr intenzity magnetického pole H a jeho dalším postupným zvyšováním se magnetická indukce B snižuje až do nulové hodnoty v bodě M, zde lze odečíst zápornou hodnotu koercivity  $H_K$ . Dalším zvyšováním intenzity magnetického pole do záporných hodnot se dostaneme do bodu N. Opět snižujeme hodnotu intenzity magnetického pole na nulovou hodnotu do bodu P, kde opět změním její směr a vrátíme se do bodu K.

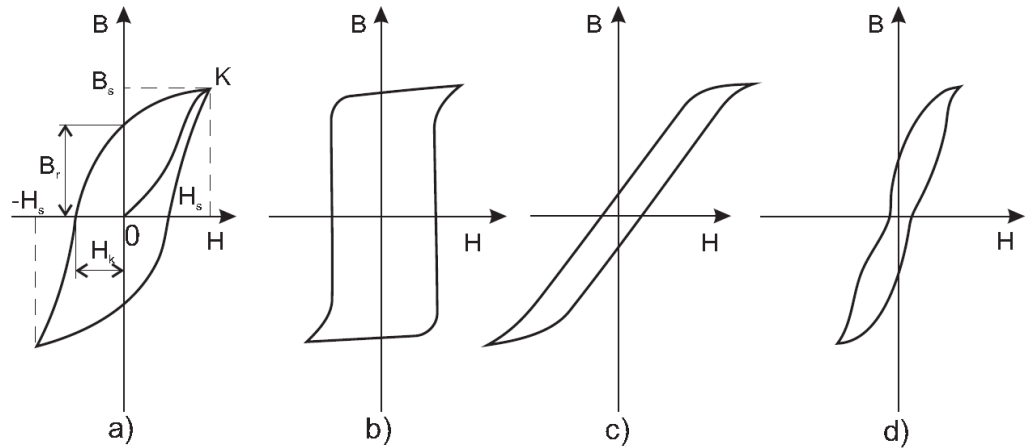


Obr. 1.3: Hysterezní smyčka

### 1.1.1 Klasifikace hysterezních smyček

Podle tvaru hysterezní smyčky rozlišujeme magneticky tvrdé a magneticky měkké materiály. Magneticky měkké materiály se snadno přemagnetují, magneticky tvrdé nikoli. Konvencí se rozdělují podle jejich  $H_K$ , kde magneticky měkké materiály jej mají menší jak 1 kA/m a magneticky tvrdé vyšší jak 1 kA/m.

Dalším rozlišovacím kritériem je poměr  $B_R/B_S$ , kde  $B_R$  je remanentní indukce a  $B_S$  je indukce dosažená v bodě K. Obr. 1.4 zachycuje 4 typy hysterezních smyček. U pravouhlé hysterezní smyčky je obtížné provedení její úplné demagnetizace, naopak u plochého typu s ní většinou nejsou problémy.



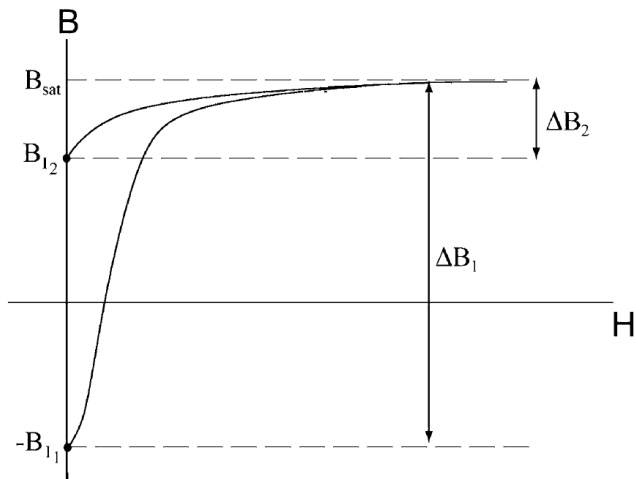
Obr. 1.4: Hysterezní smyčka a) normální typ, b) pravouhlý typ, c) plochý typ, d) perminvarový typ

## 1.2 Odmagnetování

Je jeden z prvních úkonů před většinou magnetických měření. Vzorek musí být zbaven stop předcházejícího zmagnetování. Jednu z možných metod, jak zjistit, zda je vzorek správně odmagnetován, popisuje následující postup. Nejprve změříme mezní hysterezní smyčku. Následně u vzorku provedeme demagnetizaci. Z počátečního bodu  $B_{11}[\text{T}]$  měřený vzorek vybudíme až do saturace -  $B_{\text{SAT}}$ . Následně se sníží hodnota intenzity magnetického pole k nule. Odečteme hodnotu  $B_{12}[\text{T}]$ , odpovídající bodu remanentní indukce  $B_{R+}$  předcházející hysterezní smyčky, viz Obr. 1.5. Hodnotu magnetické indukce pro počáteční bod zjistíme jako

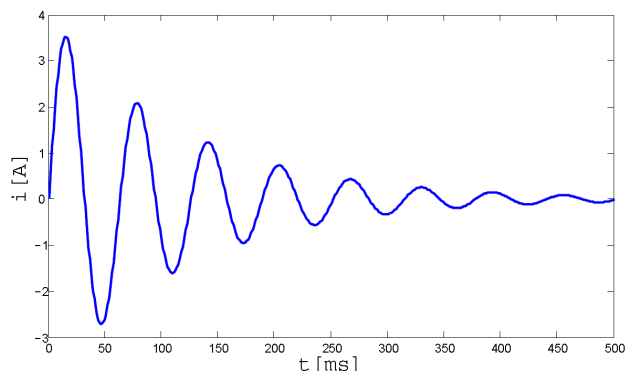
$$B_{11} = B_{R+} - \Delta B_{12}, \quad (1.1)$$

hodnotu  $B_{11}$  lze vyjádřit v procentech oproti magnetické indukci v saturaci, měla by být co nejmenší, je-li materiál dobře odmagnetovaný.



Obr. 1.5: Zhodnocení účinku demagnetizace (převzato z [4])

Navržený generátor najde využití pro tři zařízení v laboratoři magnetických měření. Prvním je zdroj demagnetizačního proudu UTEE, který bude zesilovat generované průběhy. Druhým zařízením je audio zesilovač TESON AZK 052. V obou případech bude využit sinusový průběh s exponenciálním poklesem - Obr. 1.6.

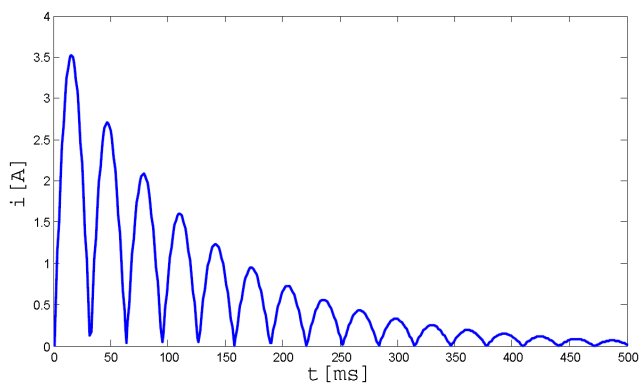


Obr. 1.6: Možný průběh demagnetizačního proudu

$$i(t) = I_M \cdot \sin(\omega t) \cdot e^{-k \cdot t}, \quad (1.2)$$

kde  $i(t)$  je demagnetizační proud,  $I_M$  je maximální hodnota proudu,  $\omega$  je úhlová frekvence,  $t$  je čas a  $k$  je konstanta ovlivňující útlum.

Nakonec třetí možností využití je řízení stabilizovaného zdroje MESIT 40V/40A, do kterého bude opět přiváděn sinus s exponenciálním poklesem, ale v absolutní hodnotě - Obr. 1.7. Důvodem je fakt, že tento zdroj není schopný dodávat záporné napětí. Záporné napětí bude obdrženo komutací polarity, kterou obstará také generátor, respektive optočlen řízený pomocí MCU. Jelikož není doba přepnutí relé zanedbatelná (cca 20ms), bude muset být ošetřena programově. A sice při periodickém vyčítání v cyklu for bude podmínka pro průchod nulou, bude-li splněna pošle se na D/A2 nula a zavolá se zpoždění.

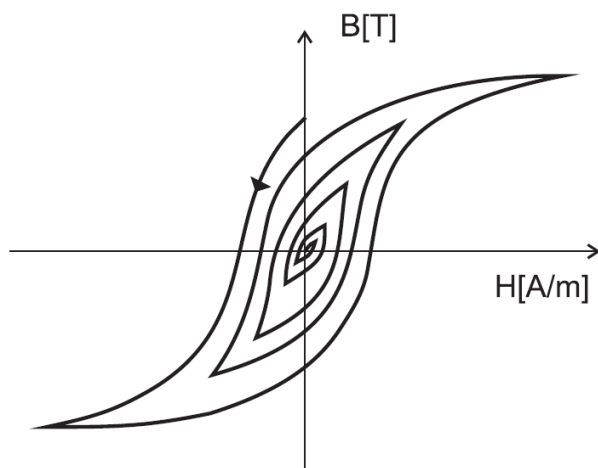


Obr. 1.7: Průběh demagnetizačního proudu pro buzení stabilizovaného zdroje

$$i(t) = \left| I_M \cdot \sin(\omega t) \cdot e^{-k \cdot t} \right|, \quad (1.3)$$

kde  $i(t)$  je demagnetizační proud,  $I_M$  je maximální hodnota proudu,  $\omega$  je úhlová frekvence,  $t$  je čas a  $k$  je konstanta ovlivňující útlum. Parametry průběhů na Obr. 1.6 a Obr. 1.7 jsou pouze pro ilustraci, v praxi se používá frekvence v rozmezí 0,5Hz – 380Hz, opakovaně po dobu 250ms – 25s [4].

Vlivem demagnetizačního proudu dochází ke změně hysterezní smyčky dle Obr. 1.8.



Obr. 1.8: Změna hysterezní smyčky při demagnetizaci

U magneticky měkkých materiálů by odmagnetování mělo začínat až při dvaceti násobku koercitivní síly materiálu, přičemž by snižování amplitudy mělo být delší než půl minuty. U magneticky tvrdých materiálů postačí dvojnásobek koercitivní síly [3].

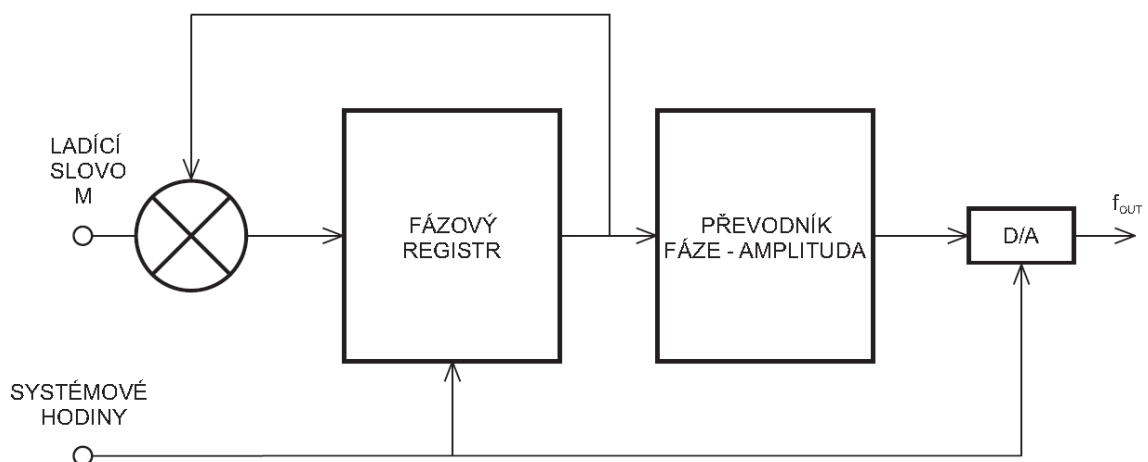
## 2 PŘÍMÁ DIGITÁLNÍ SYNTÉZA

Obvody přímé digitální syntézy, zkráceně obvody DDS (Direct Digital Synthesis), jsou velmi rozšířeným způsobem pro generování periodického signálu. Mezi hlavní přednosti patří obvodová jednoduchost, stabilita, přesnost nastavení výstupní frekvence, rychlost přeladění a další. Princip je založen na dělení systémových hodin, proto se od oscilátoru odvíjí základní vlastnosti celého generátoru. Nevýhodou je maximální dosažitelná frekvence, která je podílem kmitočtu referenčního oscilátoru.

V dnešní době jsou obvody DDS schopny generovat sinusový signál až do frekvence 1,4 GHz (AD9914), kmitočtové rozlišení takového obvodu je až 190 pHz. Jmenovaný obvod obsahuje vnitřní DA převodník o rozlišení 12 bitů.

### 2.1 Složení DDS obvodu

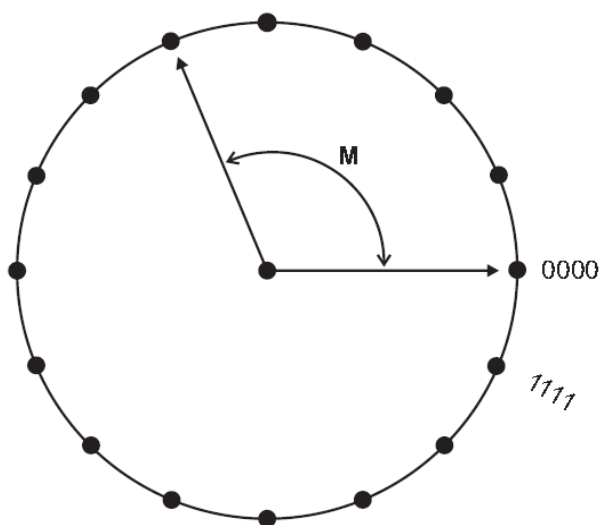
Jádro takového obvodu může být tvořeno sčítačkou, následně fázovým registrem, převodníkem fáze – amplituda a D/A převodníkem (viz Obr. 2.1). Kombinace fázového registru a sčítačky se nazývá fázový akumulátor.



Obr. 2.1: Základní princip obvodu DDS (převzato z [6])

## 2.2 Popis funkce DDS

Vycházejme z předpokladu, že fáze  $\varphi(t)$  lineárně narůstá je-li kmitočet signálu konstantní. Právě lineární nárůst zajišťuje blok nazvaný fázový registr (viz Obr. 2.1), kde se jeho výstup přičítá k ladícímu slovu  $M$  a je přiveden opět na jeho vstup. To vše s frekvencí systémových hodin  $f_{OSC}$ . V převodníku fáze – amplituda jsou obsaženy vzorky průběhu pro každou hodnotu fázového registru. Každou periodu jsou přiváděny na D/A převodník [7]. Ladící slovo  $M$  má zpravidla délku 24 – 48 bitů a určuje rychlost s jakou narůstá fáze – frekvence výstupního signálu, na obrázku Obr. 2.2 je znázorněna fázová kružnice pro 4 bity. Závislost slova  $M$  na výstupní frekvenci  $f_{OUT}$  znázorňuje následující vzorec (2.1).

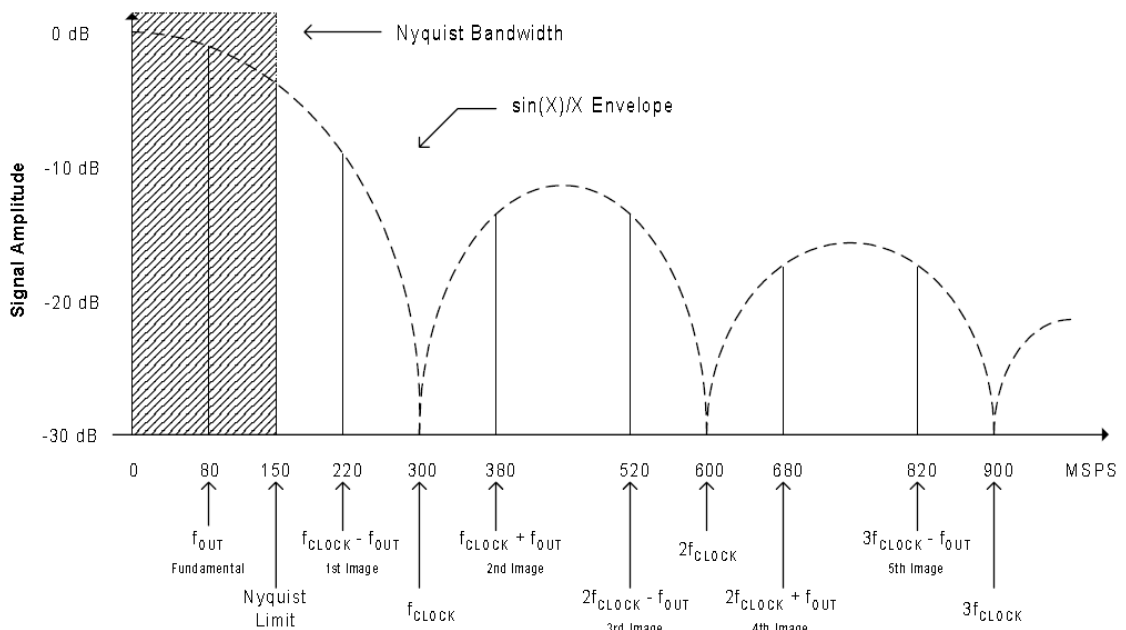


Obr. 2.2: Digitální fázová kružnice (převzato z [6])

$$f_{OUT} = \frac{M \times f_{OSC}}{2^N}, \quad (2.1)$$

kde  $f_{OUT}$  je frekvence výstupního signálu,  $M$  je ladící slovo,  $f_{OSC}$  je frekvence systémových hodin a  $N$  udává počet bitů registru fáze.

Obr. 2.3 zobrazuje spektrum vzorkovaného signálu na výstupu DA převodníku se základní frekvencí 80 MHz. Z obrázku je patrné bohaté spektrum, které je slabou stránkou obvodů DDS. Příčinou je časově i stavově diskrétní signál. Pro průběhy o vyšších frekvencích je vhodné navrhnout filtr, který potlačí vyšší harmonické složky nad polovinou vzorkovacího kmitočtu – Nyquistův teorém.



Obr. 2.3: Příklad spektra generovaného signálu při  $f_{\text{CLOCK}} = 300\text{MHz}$  (převzato z [6])

### 2.3 DDS obvody

Jedním z možných řešení generátoru je využít kompletní DDS obvod. Nejrozsáhlejším dodavatelem je firma Analog Devices. Jedním z mnoha adeptů na konstrukci generátoru je obvod, který nese označení AD9834. Mezi hlavní přednosti patří jeho dostupnost, lze si jej objednat jako vzorek i zdarma.

AD9834 je schopný generovat základní průběhy jako je trojúhelník, obdelník nebo sinus. Dále podporuje komunikaci s mikrokontroléry AVR. Základní parametry obvodu jsou v Obr. 2.4.

Tab. 2.1: Parametry obvodu AD9834

Frekvence oscilátoru	75MHz	
Výst. frekvence (min, max)	0,28Hz	37,5MHz
Rozlišení interního DAC	10 bit	
Napájecí napětí (min, max)	2,3V	5,5V
Výstupní signál	trojúhelník	sinus

V našem případě by ovšem nestačilo zapojení kompletního DDS obvodu, protože potřebujeme generovat průběhy, které budou využity při měření magnetických materiálů (viz kapitola 1). Zapojení s DDS obvodem by proto muselo být doplněno o procesorem řízený atenuátor, za kterým by následoval filtr. Další nutností by byl návrh přesného oscilátoru, bez kterého se DDS neobejde. Z těchto posledně zmíněných důvodů bylo od této koncepce upuštěno.

## 3 FUNKČNÍ GENERÁTOR

Využití generátorů v elektrotechnice je např. při měření zkreslení zesilovačů, kdy se na vstup přivádí signál z generátoru a na výstupu se měří míra zkresleného signálu. Pro tato měření se používají různé průběhy, ať už je to sinus, pila nebo obdélník. Generátor generující tyto a jiné průběhy se nazývá funkční generátor.

### 3.1 Programovatelný funkční generátor

Bylo zapotřebí navrhnout generátor, který bude použit pro demagnetizaci nebo měření hystereze. Tento fakt vedl k myšlence sestavit generátor programovatelný, který by umožnil generování libovolných průběhů, např. sinus s exponenciálním poklesem.

Takový generátor obsahuje MCU ke kterému je připojena externí paměť SRAM. Pro získání vzorků libovolného průběhu je potřeba do paměti mikrokontroléru naprogramovat rovnice např. (1.2), kde jedinou proměnou je čas  $t$ , který bude krokovaným cyklem `for`. Počet průchodů této smyčky obsahující rovnici udá počet vzorků. Ty se budou ukládat do paměti. Z paměti budou vzorky těchto průběhů periodicky vyčítány opět pomocí cyklu `for`, převáděny druhým D/A převodníkem, který je modulovaný prvním D/A převodníkem – nastavuje amplitudu podle následujícího vztahu [8]

$$U_{\text{OUT}} = \frac{U_{\text{REFH}} - U_{\text{REFL}}}{65536} \times \text{CODE} + U_{\text{REFL}}, \quad (3.1)$$

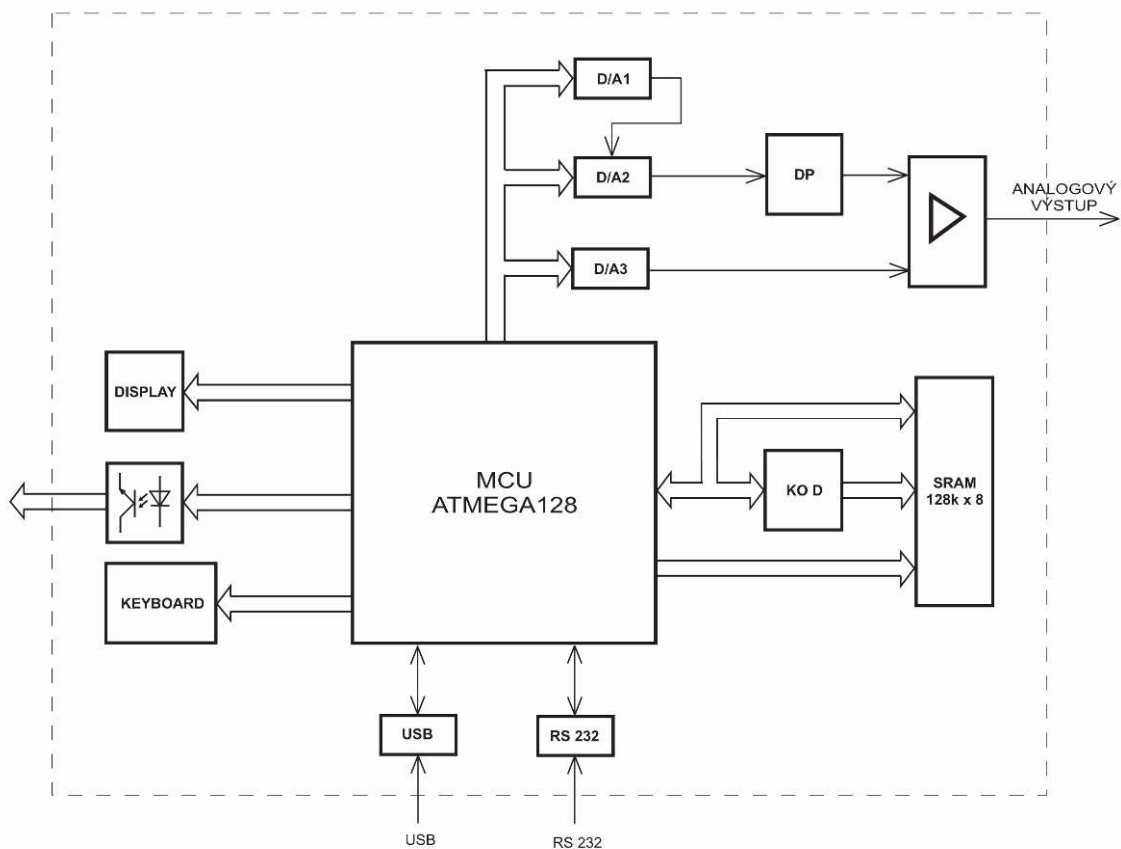
kde  $U_{\text{OUT}}$  je napětí na výstupu druhého D/A převodníku,  $U_{\text{REFH}}$  představuje referenční napětí odpovídající vysoké úrovni,  $U_{\text{REFL}}$  odpovídá referenčnímu napětí nízké úrovně, 65536 značí rozlišení převodníku,  $\text{CODE}$  je decimální datové slovo přivedené na vstup převodníku.

Pro pomalé signály nebude modulace prvním D/A převodníkem využita, protože modulovaný průběh bude daný přímo rovnicí (1.2) (1.3).

Na výstupu druhého D/A převodníku vzniká signál, který je potřeba vyfiltrovat antialiasingovým filtrem. Ten omezí vyšší harmonické složky, tedy filtr typu dolní propust, mezní kmitočet se volí většinou na 40% vzorkovací frekvence.

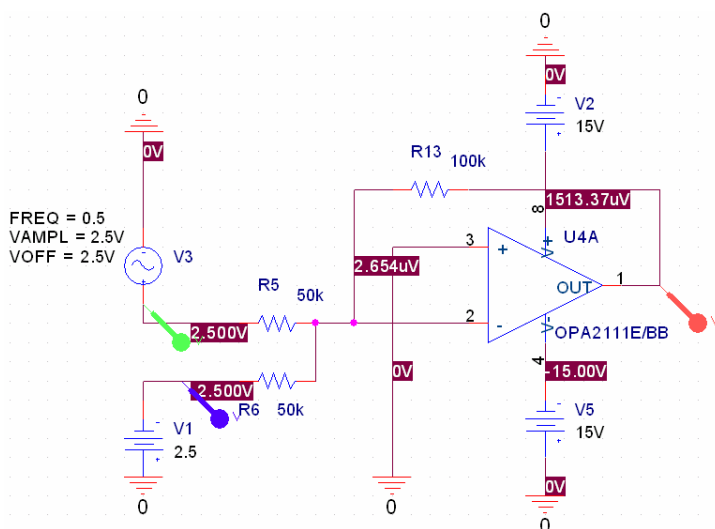
Třetí D/A převodník nastavuje offset – stejnosměrnou složku. Rozmezí offsetu je dáno napětím, které je přiváděno na referenční vstupy DA převodníku (kapitola 4.3). Offset tak lze nastavovat od -5V do +5V (rovnice (3.1)). Blokové schéma generátoru viz Obr. 3.1. Vzhledem k rozlišení převodníku  $n$  a požadovanému výstupnímu napětí  $U_{\text{P-P}} = 10\text{V}$  je kvantizační krok přibližně  $U_{\text{KV}} = 0,15\text{ mV}$ , dle následujícího vztahu

$$U_{\text{KV}} = \frac{U_{\text{P-P}}}{2^n}. \quad (3.2)$$



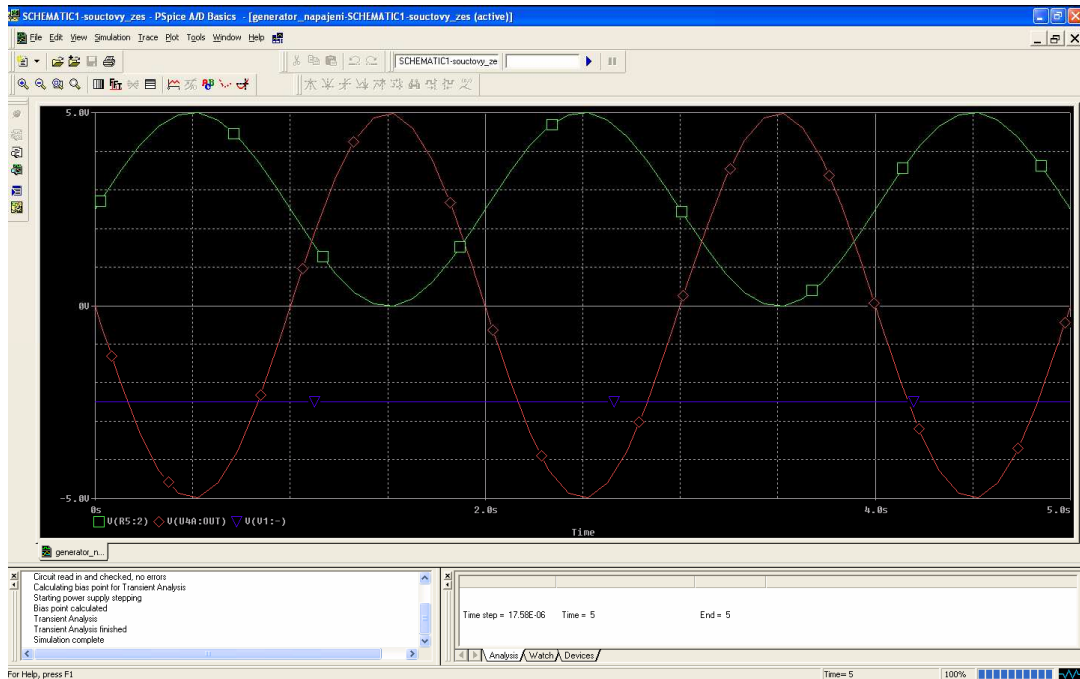
Obr. 3.1: Blokové schéma generátoru

Pro názornou ukázkou bylo v programu PSpice odsimulováno jednoduché zapojení se součtovým zesilovačem (Obr. 3.2). Rezistory  $R_5$  a  $R_6$  by měli mít stejnou hodnotu, protože je na ně přiváděn signál se stejnou stejnosměrnou složkou, rezistor  $R_{13}$  ve zpětné vazbě musí být dvakrát větší (viz příloha A.4), aby amplituda na výstupu splňovala zadanou hodnotu. To je 5V. Zesílení zesilovače  $A = 2$ .



Obr. 3.2: Zapojení součtového zesilovače

Obr. 3.3 demonstruje signály přiváděné z DA převodníků na vstup součtového zesilovače OPA2211. Zelený signál je výstup z druhého DA převodníku IO2, modrý signál představuje výstup z třetího DA převodníku IO3 a nastavuje tak offset výsledného - červeného signálu, který má maximální amplitudu 5V.



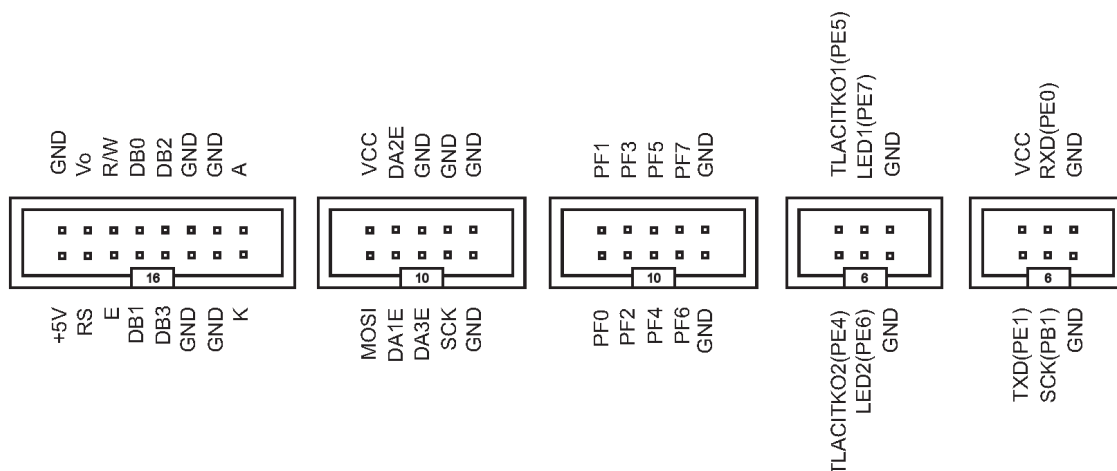
Obr. 3.3: Průběhy na vstupu a výstupu součt. zesilovače

### 3.1.1 Řídicí modul

Je tvořen I/O obvody a mikroprocesorem z rodiny AVR, jehož vlastnosti jsou popsány v kapitole 4.1. Na desce řídicího modulu můžeme také najít dva převodníky pro komunikaci přes USB nebo RS232 protokol, dále se deska obsahuje čtyři opotočleny v pouzdře DIL16. Zvolený MCU je vybaven sedmi porty, což se může zdát hodně, ale ve výsledku je toto množství portů využito následovně:

- PORTA – využit pro vstup/výstup do/z paměti (zároveň adresace dolní poloviny paměti SRAM)
- PORTB – u tohoto portu byly piny PB7 až PB4 využity k ovládání optočlenů, pin PB3 zůstal nevyužit, PB2 až PB0 jsou vyhrazeny pro ISP programování a SPI komunikaci s D/A převodníky
- PORTC – adresace horní poloviny paměti SRAM
- PORTD – PD7 až PD4 pro čtyř bitovou komunikaci s LCD displejem, PD3 a PD2 nevyužity, PD1 povolovací signál E, PD0 reset RS
- PORTE – PE7 až PE4 pro tlačítka, PE3 a PE2 jako povolovací piny pro D/A převodníky, PE1 a PE0 vyhrazeny pro UART komunikaci – TxD a RxD
- PORTF – maticová klávesnice
- PORTG – PG4, PG3 nevyužity, PG2 až PG0 pro řízení externí paměti SRAM

Jednotlivé konektory a jejich piny popisuje Obr. 3.4. Zleva je to konektor pro : displej, SPI komunikaci, klávesnici, přídatná tlačítka a ISP programování.

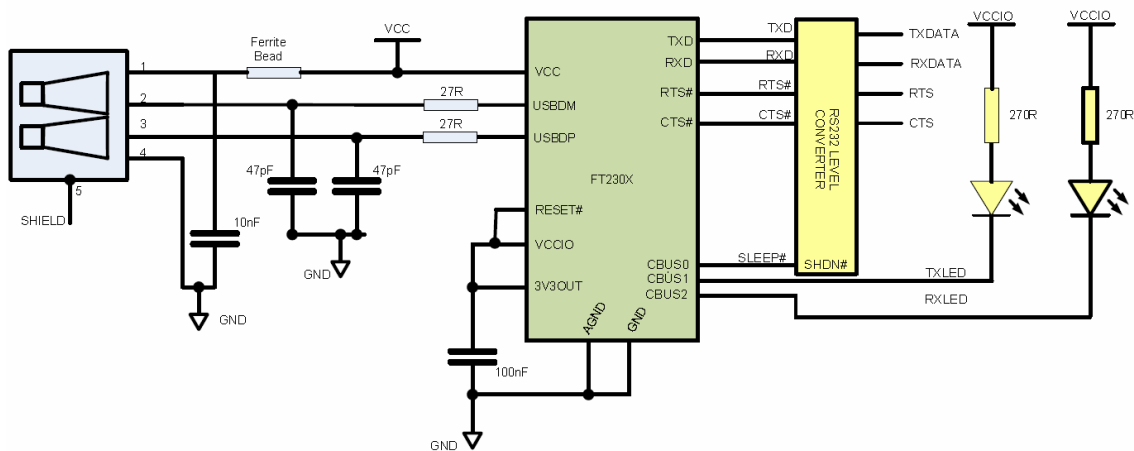


Obr. 3.4: Konektory na řídicím modulu, pohled shora

Při návrhu připojení vstupně/výstupních periférií k jednotlivým portům byl brán ohled na rozmístění konektorů na DPS. Některé součástky, jako například paměť SRAM, musely být striktně připojeny k danému portu dle datasheetu. Podobně tomu bylo s portem využívající ISP programování. Nevyužité piny byly ponechány volně a budou ošetřeny softwarově.

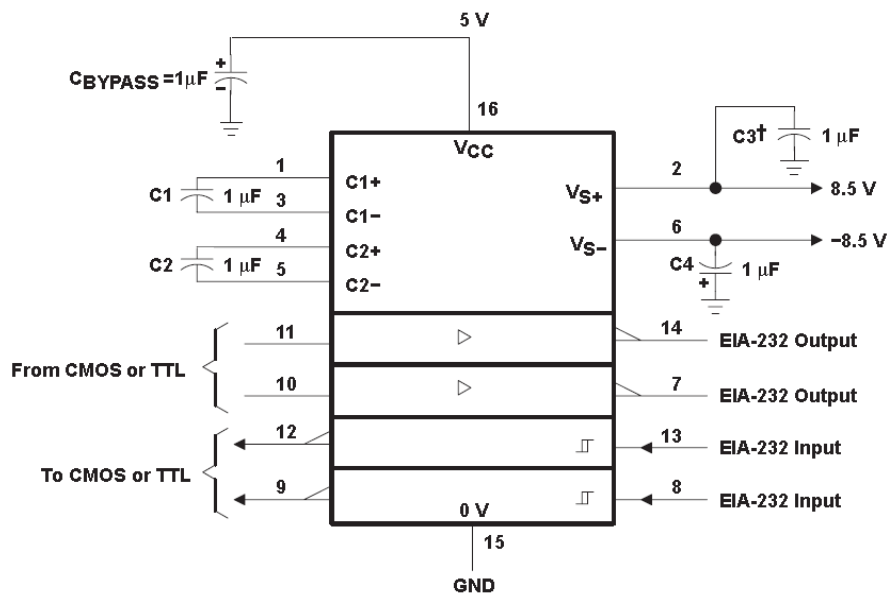
Modul je vybaven dvěma převodníky ze standardu UART na RS232 a USB, pro RS232 je to MAX232 a pro USB je to chip od FTDI - FT230X. MAX232 je v pouzdře DIL16 a FT230X v pouzdře SSOP16. Konektory jsou připevněny na zadním panelu výsledného přístroje, proto nebyly uvažovány žádné speciální konektory na DPS. Pro signalizaci čtení/zápis nebyly opomenuty ani čtyři LED diody, pro každou linku pár. Kvůli minimalizaci vrtání zůstaly uvnitř přístroje. Zapojení FT230X a MAX232 je na Obr. 3.5 a Obr. 3.6.

Byla zvolena tlumivka o indukčnosti 27nH v pouzdře 0805.



Obr. 3.5: Zapojení FTDI čipu (převzato z [9])

Vývody 10, 9, 8, 7 nebyly využity.



Obr. 3.6: Zapojení obvodu MAX232 (převzato z [10])

Pro zadávání hodnot a jejich zobrazení byl vybrán alfanumerický LCD displej o 4x20 znacích včetně podsvícení. Disponuje řadičem HD44780 od firmy Hitachi. Bude umístěn na čelním panelu, proto je k řídicímu modulu připojen přes konektor a to 16-ti žilovým plochým kabelem, jednotlivé vodiče popisuje Obr. 3.7.

Tab. 3.1: Vývody displeje

Vývod	Název	Popis
1	GND	Zem
2	VCC	Napájení +5V
3	Vo	Napájení - kontrast
4	RS	Výběr instrukce/data
5	R/W	Výběr dat zápis/čtení
6	E	Povolování
7 - 14	DB0 - DB7	Datové bity
15	A	Anoda podsvícení
16	K	Katoda podsvícení

Podobně tomu je u klávesnice, kde ke sběru dat postačuje 8-mi žilový plochý kabel. Využívá se PORTF, spodní nibl je nastaven jako výstup, horní naopak jako vstup.

Pro připojení externí paměti disponuje ATmega128 patnácti adresovatelnými piny, z toho musí být spodní polovina přepínána pomocí klopného obvodu typu D – KO D (viz Obr. 3.1), protože je využívána také pro sběr dat. Z počtu adresovacích pinů vyplývá velikost připojitelné paměti o velikosti až 64kB. V našem případě však byla vybrána paměť s vyšší kapacitou 128kB především pro svoji dostupnost. Liší se pouze počtem adresovacích pinů. šestnáctý přebývající pin byl v této koncepci uzemněn, tak bylo dosaženo poloviny datového prostoru.

Pro komunikaci s druhým modulem obsahujícím D/A převodníky je zapotřebí opět plochého kabelu o 10 žílech. Ten disponuje vodiči povolovacími (vybírající jednotlivé převodníky), MISO a MOSI, SCK, také napájení 5V a zem.

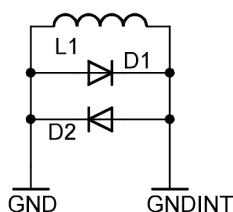
DPS byla navržena v programu Eagle, návrh znesnadňovala dostupná výrobní technologie, kdy nebylo možno zhotovit prokovy chemickou cestou. Prokovy tedy byly zrealizovány manuálně. Většina pouzder byla volena v SMD provedení, velikost 1206.

Jeden způsob odmagnetování využívá stejnosměrný zdroj a protože je vyžadována změna směru magnetizačního proudu, je řídicí modul vybaven optočleny, viz Obr. 3.1, přes které bude připojeno relé realizující právě zmíněnou komutaci.

### 3.1.2 Modul s D/A převodníky

Tento modul byl navržen teoreticky, následně odzkoušen prakticky, jeho schéma je v příloze A.4. Každý napájecí pin je blokován keramickým a tantalovým kondenzátorem o hodnotách 100n a 10u. Deska je vybavena piny pro případný filtr.

Protože modul vyžaduje napájení jak digitální (5V), tak analogové - reference s DA převodníky (+-15V), byla DPS zhotovena s ohledem na rozdělení digitální, analogové a výkonové země. Výkonová zem, ve schématu označena jako GNDINT, je spojena se zemí digitální, označenou jako GND, přes antiparalelní zapojení diod a tlumivky o hodnotě 27nH (viz Obr. 3.8).



Obr. 3.7: Spojení digitální a analogové země

Analogová zem GNDA a zem výkonová GNDINT může být spojena jumperem na výstupu součtového zesilovače, viz příloha A.4.

Pro správnou funkci bylo zapotřebí zajistit určité pořadí napájení. Jako první se musí sepnout napětí  $V_{SS}$  a  $V_{CC}$  - +-15V, druhým v pořadí je napětí digitální - 5V a nakonec napětí referenční +15V. Pro správnou funkci je doporučeno při zapnutí přivést na piny CS logickou jedničku, to obstarávají pull-up rezistory připojené na 5V. Měřením bylo zjištěno, že nedodržení pořadí napájecího napětí  $V_{SS}$ ,  $V_{CC}$ ,  $V_{DD}$  a  $V_{REF}$  způsobí pouze krátkodobé přetížení DA převodníku proudem 37mA.

Oba moduly spolu budou komunikovat pomocí sériové komunikace SPI. Je to synchronní komunikace, která využívá čtyř vodičů – Chip Select, pro výběr zařízení s kterým chceme komunikovat – v našem případě CS1(DA1E) až CS3(DA3E), Master Input Slave Output, pro příjem dat od řízeného k řídicímu obvodu, Master Output Slave Input pro příjem dat od řídicího k řízenému obvodu a nakonec SCK pro synchronizaci hodinovým signálem.

Funkce modulu s DA převodníky je popsána v kapitole 3.1.

### 3.1.3 Napájecí zdroj

Vzhledem k nutnosti symetrického napájení modulu s DA převodníky byl zhotoven jednoduchý zdroj, který obsahuje dva transformátory. První pro 5V a druhý pro +-15V. Výkon prvního je 4,5 VA (převážně kvůli permanentně rozsvícenému displeji), druhého pak 2,25 VA na jedno vynutí. Přibližná spotřeba jednotlivých modulů a součástek na nich obsažených je v Obr. 3.9.

Tab. 3.2: Spotřeba generátoru

Řídicí modul	Spotřeba [mA]	Počet kusů	Celková spotřeba[mA]
LCD displej	300	1	300
Atmega 128	100	1	100
SRAM	25	1	25
74AHC373	75	1	75
MAX232	8	1	8
FTDI FT230X	10	1	10
PC847 (optočleny)	50	1	50
			<b>568</b>
Modul s D/A převodníky			
DAC8871	0,650	3	19,5
OPA2211	20	2	40
OPA2277	2	1	2
AD586	3	2	6
			<b>67,5</b>

Z tabulky je zřejmé, že transformátory byly voleny s velkou rezervou. Důvodem byla především aktuální dostupnost.

Výrobce doporučuje u stabilizátorů s výstupním napětím nad 6V přemostit stabilizátor diodou ze vstupu na výstup v závěrném směru. Toto opatření slouží jako ochrana proti zkratu na vstupu a velké kapacitní zátěži. Zapojení je v příloze A.7.

Protože záporná větev symetrického zdroje nefunguje, není-li zatížena, byla doplněna o rezistor, jehož hodnota byla spočítána podle Ohmova zákona. Proud odporem byl zvolen na 5mA, napětí na odporu 15V. Proto byl vybrán nejbližší rezistor z řady E6 3k3.

## 4 VÝBĚR KOMPONENT

Mezi stěžejní komponenty patří hlavně mikroprocesor, paměť SRAM, klopný obvod typu D, D/A převodníky, precizní napěťové reference a oddělovací zesilovače.

### 4.1 Mikroprocesor

Požadavkem bylo vybrat mikroprocesor z rodiny AVR firmy ATMEL [12], kvůli množství I/O pinů byl zvolen mikroprocesor Atmega128-16AU.

Tento mikroprocesor má následující vlastnosti:

- pouzdro TQFP
- napájecí napětí 4,5 – 5,5V
- frekvence až 16MHz
- harvardská koncepce – oddělená paměť programu a dat
- redukováná instrukční sada – RISC
- 128kB programové paměti typu FLASH
- 4kB vnitřní datové paměti SRAM
- 4kB datové paměti EEPROM
- JTAG rozhraní
- SPI rozhraní
- ISP rozhraní
- interní RC oscilátor
- 53 programovatelných I/O pinů
- dva 8 bitové čítače/časovače
- dva 16 bitové čítače/časovače
- analogový komparátor
- 8 kanálový 10 bitový A/D převodník
- vnitřní a vnější zdroje přerušení
- sériové rozhraní USART
- 16AU značí možnou rychlost krystalu a rozmezí pracovní teploty

Nastavení programových pojistek je následující:

h\_fuse 0xC9

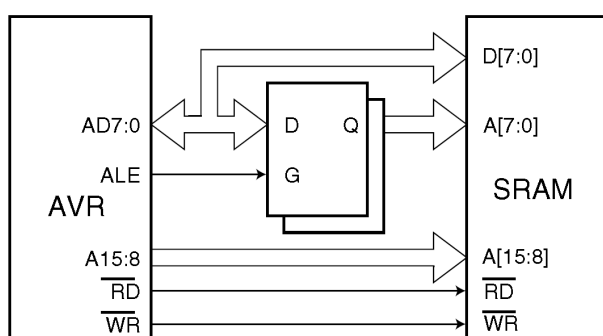
l\_fuse 0xFF

e\_fuse 0xFF

Bylo nutné nastavit externí krystal – High Freq.; Start-up time: 16K CK + 64 ms; [CKSEL=1111 SUT=11]. Další nutností bylo vypnout JTAG – pojistka JTAGEN, protože JTAGu přiřazené piny jsou použity pro klávesnici, klávesnice proto zpočátku nefungovala. Naopak pojistka SPIEN musí být povolena, aby bylo možné procesor programovat.

## 4.2 SRAM paměť

Z důvodu periodického vyčítání průběhu z paměti byl kladen důraz na rychlost. Byla vybrána paměť typu SRAM, konkrétně K6X1008C2D-B55, velikost 128kB, přístupová doba 70ns [11]. Blokové zapojení externí SRAM paměti a MCU je ukázáno na Obr. 4.1.



Obr. 4.1: Zapojení externí paměti (převzato z [12])

- AD7:0 je sběrnice pro data i adresu – spodních 8 bitů
- A15:8 je sběrnice vyhrazena pouze pro adresaci – horních 8 bitů
- ALE – pin pro aktivaci/deaktivaci klopného obvodu, který přepíná mezi adresou a daty
- RD a WR negované jsou určeny pro povolování čtení/zápisu

Rozhraní pro externí paměť je navrženo s maximální rychlostí –  $t_H = 5\text{ns}$ . Přístupová doba paměti musí být menší než čas  $t = t_{LLRL} + t_{RLRH} - t_{DVRH} = 111,25\text{ns}$ , jednotlivé časy zachycuje Obr. 4.2 (převzato z [12]). Z těchto čísel vyplývá, že rychlost zvolené paměti je dostačující.

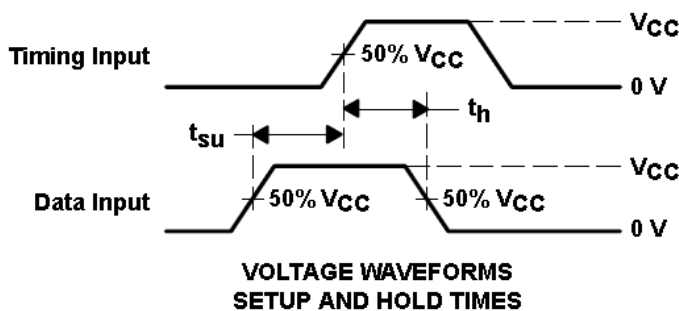
Tab. 4.1: Maximální nastavovací časy pro režim bez čekání a pro  $f_{osc} = 16\text{MHz}$

$t_{LLRL}$	ALE (0) – RD(0)	$0,5 \cdot t_{osc} + 5 = 36,25\text{ns}$
$t_{RLH}$	Šířka pulzu RD	$2 \cdot t_{osc} - 10 = 115\text{ns}$
$t_{DVRH}$	Nastavení dat – RD(1)	40ns

Z Obr. 4.1 a výše napsaného plyne nutnost doplnit zapojení o klopný obvod typu D, takový obvod převede data ze vstupu D na výstup Q vždy s nástupnou hranou hodinového signálu přivedeného na G. Výrobce doporučuje osmi – násobný klopný obvod z řady 74AHC pro frekvence krystalu větší jak 8MHz. Možné jsou i ekvivalenty tohoto obvodu, důležitými parametry jsou:

- zpoždění signálu mezi zápisem na vstup D a čtením z výstupu Q –  $t_{PD}$
- čas za který se obvod nastaví (před tím než se přivede nízká úroveň na G) –  $t_{SU}$
- čas za který je na výstupu nula (po přivedení nízké úrovně na G) –  $t_H$

Poslední dva zmíněné časy jsou zachyceny na Obr. 4.3 .



Obr. 4.2: Časové konstanty  $t_H$  a  $t_{SU}$  (převzato z [13])

Pro finální verzi řídicího modulu byl vybrán obvod 74AHC373, jehož časové konstanty jsou následující:  $t_{PD} = 1 - 13,5ns$ ,  $t_{SU} = 4ns$  a  $t_H = 1ns$ . Podmínka  $t_{SU} < t_{AVLLC}$  je tak splněna, kde  $t_{AVLLC} = 0,5 \cdot t_{OSC} - 2 = 29,25ns$ .

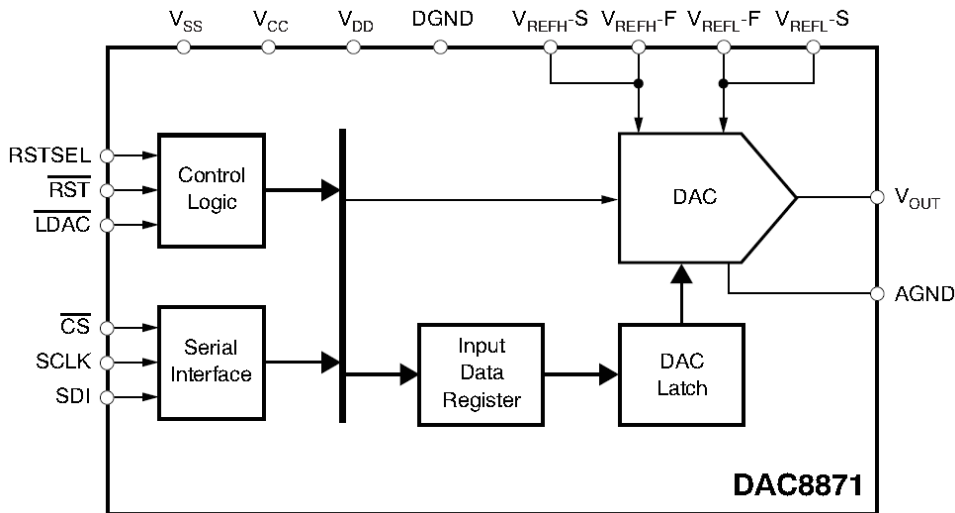
### 4.3 D/A převodníky

Mezi základní parametry D/A převodníku patří jeho rozlišení. Pro naši konstrukci byl zvolen převodník 16 bitový, sériově plněný, s vysokou přesností, komunikující přes rozhraní SPI rychlostí až 50 MHz. Jedním z našich požadavků byla možnost připojení externí reference (viz Obr. 4.5). Výrobce: Texas Instruments – typ DAC8871 [8]. Souhrn parametrů je v Obr. 4.4.

Tab. 4.2: Parametry DAC8871

Rozlišení	16 bitů	
Výstupní napětí	$-U_{REFL}$	$+U_{REFH}$
Přesnost	+- 1LSB	
Šum	10nV/ $\sqrt{Hz}$	
Rychlost SPI	až 50MHz	
Výstupní impedance	6,25k $\Omega$	
Proud do vstupu $V_{REF}$	1,3mA	

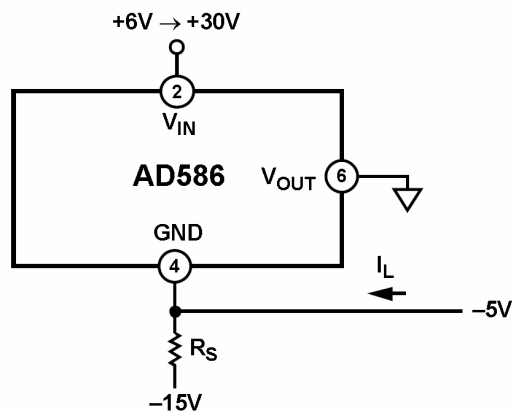
Dále budou popsány vstupy a výstupy převodníku, které byli v zapojení využity.  $V_{SS} = +15\text{ V}$  a  $V_{CC} = -15\text{ V}$  je napájecí napětí.  $V_{OUT}$  je napětí výstupní,  $V_{DD} = 5\text{ V}$  určuje napětovou úroveň logické jedničky.  $\overline{CS}$  – chip select povoluje komunikaci mezi mikroprocesorem a jedním ze tří převodníků.  $SDI$  – seriál data input slouží pro SPI komunikaci s mikroprocesorem. Výstupní napětí je nastavováno pomocí napětí referenčního  $V_{REFH}$  a  $V_{REFL}$  podle vzorce 3.1 .



Obr. 4.3: Blokové schéma D/A převodníku (převzato z [8])

#### 4.4 Precizní napětová reference

Pro správnou funkci převodníku bylo nutné doplnit zapojení o dvě reference na 5V, viz příloha A.4. Byl zvolen obvod od Analog Devices – AD586. Reference, ve schématu jako  $IO_9$ , je zapojena jako kladná, reference  $IO_{10}$  však jako záporná kvůli možnosti nastavování offsetu. Zapojení záporné reference naznačuje Obr. 4.6.



Obr. 4.4: Zapojení AD586 jako záporné reference (převzato z [14])

Odpor  $R_S$  byl vypočítán podle rovnice z [14]

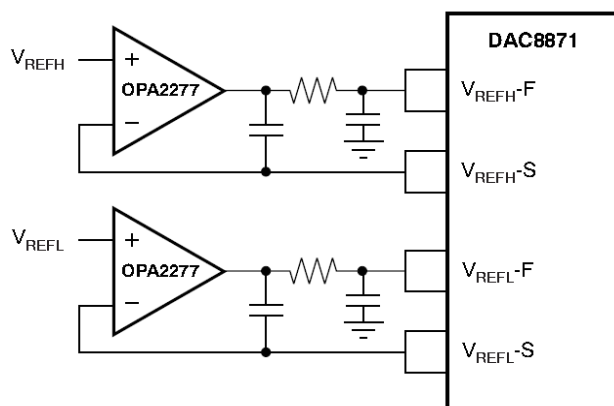
$$2,5 \cdot 10^{-3} \left\langle \frac{10}{R_S} - I_L \right\rangle 10 \cdot 10^{-3}, \quad (3.1)$$

kde  $R_S$  představuje sériový rezistor,  $I_L$  je proud odebíraný z reference IO10. Ten byl zvolen na 1,3mA dle [8]. Z těchto předpokladů vyšel  $R_S = 1369\Omega$ . Proto  $R_1 = 1k3$  viz příloha A.4.

## 4.5 Operační zesilovače pro D/A převodníky

Výrobce DAC8871 doporučuje oddělení výstupu od zátěže pomocí operačního zesilovače OPA2211. Ten byl použit i pro součet generovaného signálu se stejnosměrnou složkou Obr. 3.2. Vstup  $V_{REFH}$  a  $V_{REFL}$  by měl být oddělen pomocí OPA2277, zapojení je v A4 nebo na Obr. 4.7. V obou případech se jedná o dvojitě OZ.

Tyto operační zesilovače byly při oživování z desky odebrány, více v kapitole 5.



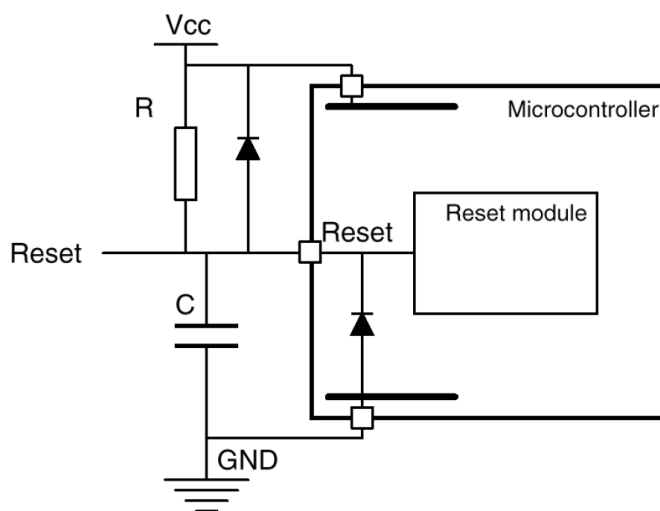
Obr. 4.5: Oddělení vstupu pomocí OPA2277 (převzato z [8])

## 5 OŽIVENÍ VÝROBKU

Postup oživení výrobku probíhal v neobvyklém pořadí. Jako první byl zhotoven a odzkoušen řídicí modul, který byl zpočátku napájen laboratorním zdrojem, následně vznikl modul s DA převodníky a nakonec napájecí zdroj pro oba moduly. Důvodem byla absence symetrického zdroje napětí. Po odzkoušení jednoduchého stabilizovaného zdroje, který tvoří dva transformátory, dva usměrňovací můstky a tři stabilizátory, byly moduly spojeny a začalo odlaďování problémů.

### 5.1 Řídicí modul

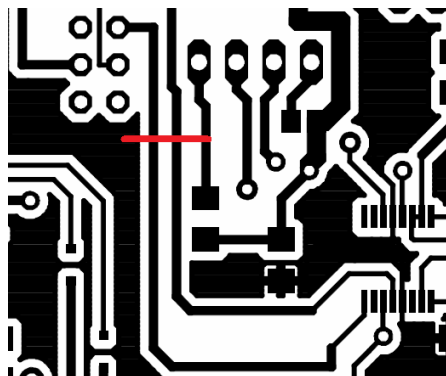
První komplikací při oživování řídicího modulu bylo chybné zapojení pinu reset použitého mikrokontroléru, respektive okolních pasivních součástí předepsaných v aplikační poznámce. Při programování je signál reset řízen z programátoru. Po připojení napájecího napětí je nutné zajistit zpožděné nastavení resetovacího signálu do klidové úrovně logické 1. Nastával tak problém při programování, které nefungovalo. Zapojení bylo opraveno podle aplikační poznámky [10]. Zapojení ukazuje Obr. 5.1



Obr. 5.1: Zapojení resetovacího pinu mikrokontroléru (převzato z [15])

Další chybou byla nutnost prokovení v místě pod konektory na plochý kabel, kde není zajištěno spojení mezi oběma vrstvami. Důvodem byla zvolená výrobní technologie, která neumožňovala prokovení. Bylo nutné vyjmout piny z plastového pouzdra konektoru a následně je přiletovat do DPS z obou stran, po té zvětšit otvory v plastovém pouzdře a nasunout je zpět.

K menší chybě došlo při návrhu zapojení u převodníku FTDI. Proto bylo nutné udělat drátovou propojku, díky níž bylo dosaženo vodivého spoje mezi zemí USB konektoru a zemí řídicího modulu, viz Obr. 5.2.



Obr. 5.2: Detailní pohled na vrstvu bottom a drátový propoj (červená)

Jako velký problém se ukázalo spojení vývodu PEN s resetem u mikrokontroléru ATmega 128. Zařízení se tak po zapnutí inicializovalo většinou do programovacího módu, bylo velmi obtížné napoprvé uvést zařízení do pracovního režimu. Řešením bylo přizvednutí vývodu PEN, který je interně v logické úrovni 1 a nemá žádnou funkci při běžném chodu MCU [12].

## 5.2 Zdroj napětí

Vzhledem k jednoduchosti zdroje nebyli žádné problémy s jeho realizací. Byl změřen šum na výstupu zatížených zdrojů, u 5V zdroje to bylo 2,44uV a u zdroje 15V šum 668uV. Pro zajímavost byl pořízen i oscilogram náběhu napětí obou zdrojů, viz Obr. 5.3

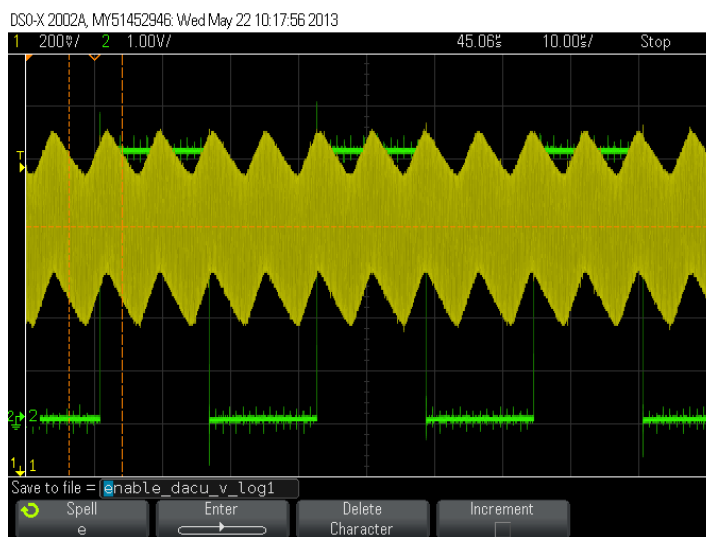


Obr. 5.3: CH1: náběh 5V zdroje, CH2: náběh 15V zdroje

### 5.3 Modul s DA převodníky

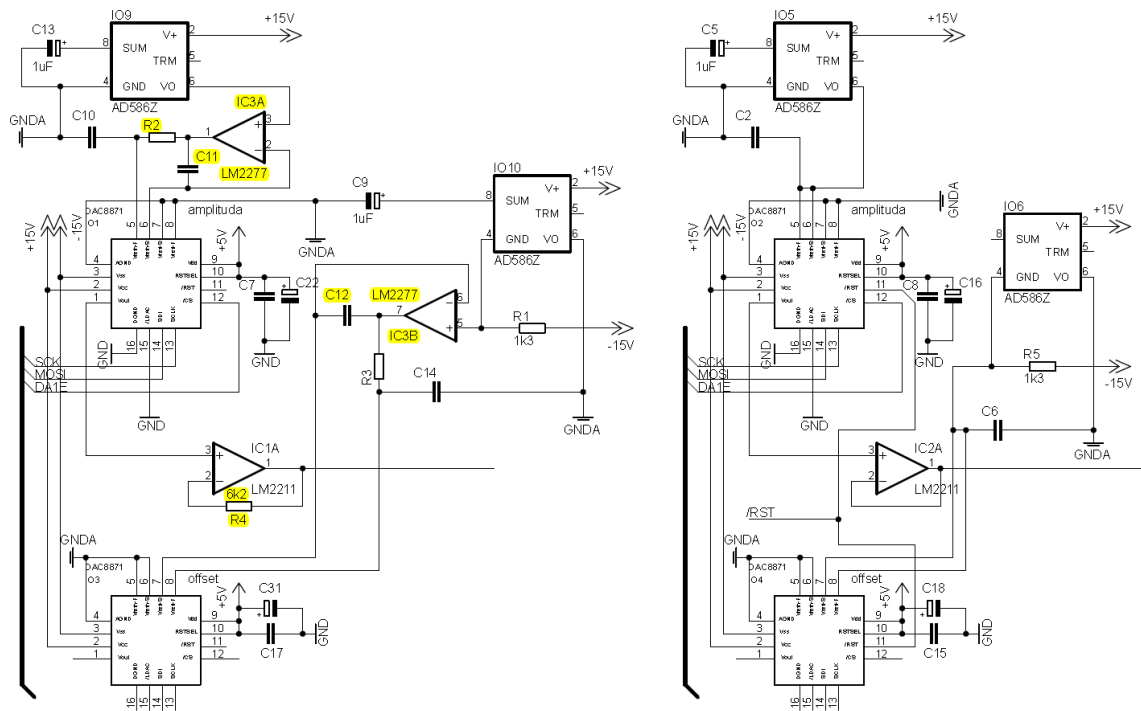
Při ožívování desky bylo nalezeno několik chyb. První z nich byl fakt, že referenční napětí na  $IO_{10}$  nebylo správné. Po zapojení napájení bylo na kladné referenci  $IO_9$  naměřeno napětí 4,989V, u reference záporné však -6V. Toto měření bylo provedeno pomocí běžného multimetru, při bližším zkoumání osciloskopem byly zjištěny oscilace na 58Hz v závislosti na kapacitoru  $C_9$ , při  $C_9 = 50\mu\text{F}$  byla frekvence rušení 1Hz. Z popsaných důvodů byla kapacita  $C_9$  odebrána a rušení tak přestalo.

Za obvody  $IC_1$  a  $IC_2$  byly zjištěny oscilace na frekvenci 11,3MHz. Na výstupu byl namodulován signál naměřený za  $IC_{3B}$  ukázka na Obr. 5.4



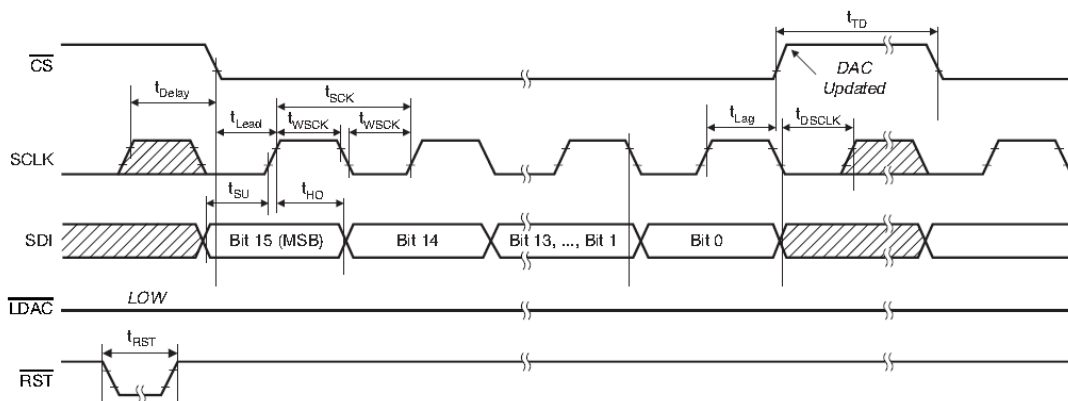
Obr. 5.4: CH1 – rušení na výstupu  $IC_{1A}$ , CH2 – nerelevantní signál

Po opětovném pročení katalogového listu a změření odběru referenčního vstupu DA převodníků byl oddělovací zesilovač  $IC_3$  z desky odebrán a zapojení upraveno, více ukazuje Obr. 5.5. Důvodem je schopnost reference  $IO_9$  a  $IO_{10}$  dodávat proud až 50mA, přičemž odběr referenčního vstupu je pouze 200uA. Z těchto poznatků byla vyvozena skutečnost, že obvod  $IC_3$  je zbytečný. Jako zdroj oscilací na frekvenci 11,3MHz se ukázalo zapojení bufferu OPA2211, dle katalogového listu s rezistory R4, R8, R7 ve zpětných vazbách. Po jejich přemostění rušení zmizelo.



Obr. 5.5: Původní zapojení (vlevo) a upravené zapojení (vpravo)

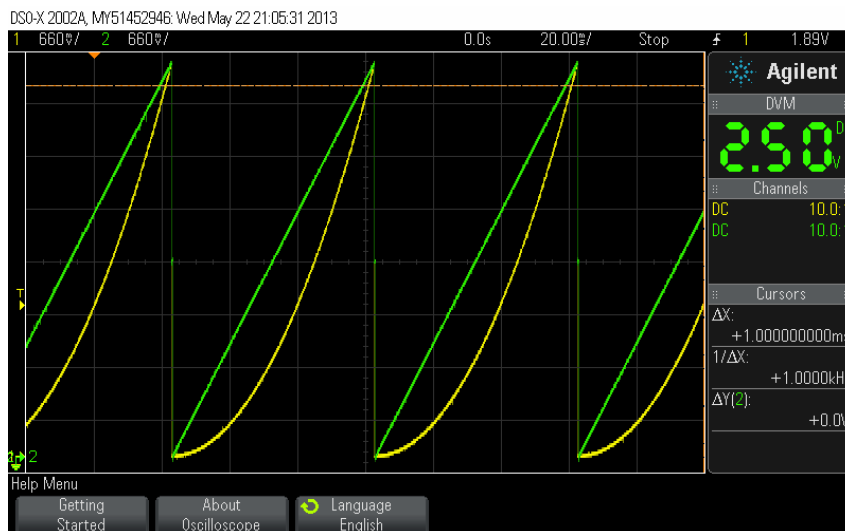
Posledním nedostatkem byl resetovací pin, který byl při návrhu opomenut a zůstal nepřipojený. Od každého DA převodníku proto musel být vyveden vodič k výstupnímu pinu mikroprocesoru, aby bylo možné poslat na DA převodníky krátký resetovací impuls, který uvede převodníky do definovaného stavu, pak lze pomocí vnějších řídicích signálů převodník ovládat. Toto vyplývá z diagramu na Obr. 5.6.



Obr. 5.6: Časové průběhy SPI komunikace a nutnost resetu (převzato z [8])

Po výše zmíněných úpravách následovalo programování funkcí pro komunikaci SPI. Funkce SPI byla opět ověřena osciloskopem, v zápětí byl ověřen i výstup desky s DA převodníky. Podařilo se generovat jednoduché průběhy jako pila nebo sinus z tabulky. Oscilogram na Obr. 5.7 ukazuje průběhy, které vznikly inkrementací osmi bitové proměnné, ta byla převedena na horní bajt šestnácti bitové proměnné (pro max amplitudu tedy bylo  $CODE = 0xFF00$ ), tyto hodnoty byly periodicky posílány na DA1 a DA2. Výsledkem je žlutý průběh na kanálu CH2. Na třetí DA převodník byla poslána

hodnota  $CODE = 0x0000$ , což vysvětluje 2,5V offset obou průběhů dle vzorce 3.1. Každé číslo posílané na DA převodník musí mít šestnáct bitů, aby bylo využito maximálního rozkmitu výstupního signálu.



Obr. 5.7: CH1 – signál odebíraný z DAC1, CH2 – signál na výstupu modulu

## 6 PROGRAMOVÁ ČÁST

V této kapitole budou popsány nejdůležitější funkce hlavního programu. Ovladání displeje a sériové linky zajišťují knihovny lcd.h a uart.h, jejichž autorem je Peter Fleury.

### 6.1 Inicializace

Prvním úkonem je inicializace, která proběhne jednou na začátku programu voláním funkce inicializace(). Zde se nastavují vstupní a výstupní piny MCU pomocí směrového registru DDRx. Následuje funkce pro inicializaci LCD displeje - lcd\_init(). Dále se nastavují registry pro externí přerušení od tlačítka na pinech PE4 a PE5 a sice přerušení od nástupné hrany, ukázka je uvedena dále:

```
void inicializace(void)
{
    int i;

    DDRE = 0b11000000;           //ledky-vystup
    PORTE &= 0b00111111;        //nizka uroven na PE6 a PE7 (zhasnuti ledky)

    DDRF = 0x0f;                 //klavesnice, horni nibl vstup, dolni vystup
    PORTF = 0b00001111;        //pocatecni hodnota pred posunem radku

    lcd_init();
    uart_init(UART_BAUD_SELECT(9600,F_CPU)); //nastaveni prenosove rychlosti

    EICRB |= _BV(ISC40);         //nastavuje, nast hrana generuje pozadavek na preruseni
    EICRB |= _BV(ISC41);

    EICRB |= _BV(ISC50);         // --||--
    EICRB |= _BV(ISC51);

    EIMSK |= _BV(INT4);         //aktivace ext preruseni z pinu PE4
    EIMSK |= _BV(INT5);

    sei();

    lcd_clrscr();
    lcd_gotoxy(8,1);             //nastaveni kurzoru na 8 sloupec,2 radek
    lcd_puts("UTEE");           //vypsani retezce
    lcd_gotoxy(6,2);            //nastaveni kurzotu na 6 sloupec,3 radek
    lcd_puts("VUT BRNO");       //vypsani retezce
    for(i=1;i<3;i++)
        _delay_ms(1000);
}
```

## 6.2 Funkce main()

Z důvodu rychlého vyčítání vzorků z paměti pracuje zařízení v jedné ze tří nekonečných smyček. V praxi to znamená práci ve třech módech - ovládání/generování/komunikace (programování). Podmínka pro první smyčku je splněna vždy – while(1) .. return(1). Tato smyčka obstarává čtení z klávesnice a podle načtených hodnot odskakuje do příslušného menu nebo podmenu. Druhá smyčka je určena pro generování a je vnořena do první smyčky, pro její splnění musí být nastaven flag zmacknuto\_gen, který se překlápí pomocí externího přerušení na tlačítku PE4. Obsah přerušení:

```
ISR ( INT4_vect )
{
    if (zmacknuto_prenos == false){
        if (zmacknuto_gen){
            zmacknuto_gen = false;
            PORTE &= ~(_BV(7)); //vynuluje, zhasne LED
            lcd_clrscr();
            menu_start();
            vrstva_menu = 0;
        }
        else{
            zmacknuto_gen = true;
            PORTE |= _BV(7); //nastavi, rozne LED
            lcd_clrscr();
            lcd_gotoxy(1,1);
            lcd_puts("PROBIHA GENEROVANI");
        }
    }
}
```

Nakonec třetí smyčka, umístěna podobně jako druhá, je spuštěna, je-li flag zmacknuto\_prenos pravdivý. Měla by být využita pro vzdálenou komunikaci/programování MCU. Je taktéž řešena externím přerušením od tlačítka na PE5. Níže je uvedena funkce main:

```
int main( void )
{
    inicializace();
    menu_start();

    while( 1 ){
        pom_znak = 0;
        sken();

        if (PISMENO){

            if ((pom_znak == 'A') && (vrstva_menu == 0)){ //vypise mozne
periodicke prubehy
                menu1();
            }
            else if((pom_znak == 'B') && (vrstva_menu == 0)){ //vypise mozne
demag prubehy
                menu2();
            }

            else if ((pom_znak == 'A') && (vrstva_menu == 1)){
//nastaveni frekvence, amplituda sinu
                flag_sinus = true;
                flag_pila = false;
                flag_trojuhelnik = false;
                flag_rampa = false;
                flag_esin = false;
            }
        }
    }
}
```

```

        flag_aesin = false;
        menu3();
    }
    .
    .
    .
    else if ((pom_znak == 'D') && (vrstva_menu == 1)){
        flag_trojuhelnik = true;
        flag_sinus = false;
        flag_pila = false;
        flag_rampa = false;
        flag_esin = false;
        flag_aesin = false;
        menu3();
    }

    else if ((pom_znak == 'A') && (vrstva_menu == 2)){
        flag_esin = true;
        flag_sinus = false;
        flag_pila = false;
        flag_trojuhelnik = false;
        flag_rampa = false;
        flag_aesin = false;
        menu5();
    }

    else if ((pom_znak == 'B') && (vrstva_menu == 2)){
        flag_aesin = true;
        flag_sinus = false;
        flag_pila = false;
        flag_trojuhelnik = false;
        flag_rampa = false;
        flag_esin = false;
        menu5();
    }
}

if ((pom_znak == STORNO) && (vrstva_menu > 1)){
    navrat_zpet();
}

while (zmacknuto_gen){
//    jj = 0;
    for(cas = 0; cas < pocet_vzorku; cas++){
        horni_bajt = mem[jj];
        spodni_bajt = mem[jj+1];
        jj = jj + 2;

        output_data = spojeni(horni_bajt,spodni_bajt);

        DAC_WRITE(2, output_data);
    }

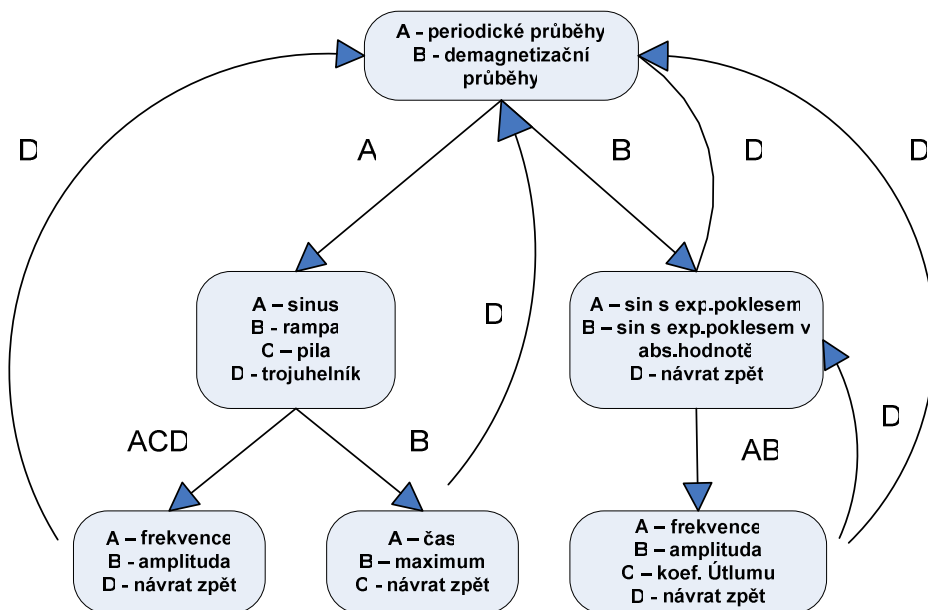
    while(zmacknuto_prenos){
//        komunikace přes uart
    }
}

return( 1 );
}

```

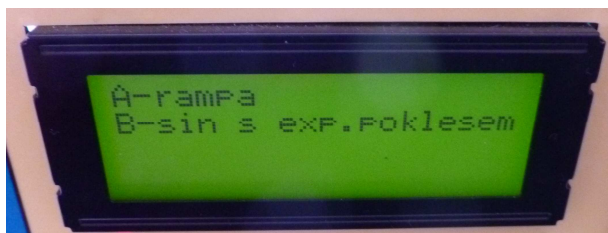
## 6.3 Menu

Menu se ovládá pomocí tlačítek ABCD, ke kterému je vždy napsána příslušná volba na LCD displeji. Výjimkou je tlačítko \* a #, jejich funkce je pevně dána, legenda se nachází na čelním panelu pod klávesnicí, \* slouží jako desetinná tečka a # jako potvrzovací klávesa pro zadání hodnoty. K mazání při zadávání hodnot slouží tlačítko D. Strukturu menu zachycuje Obr. 6.1.

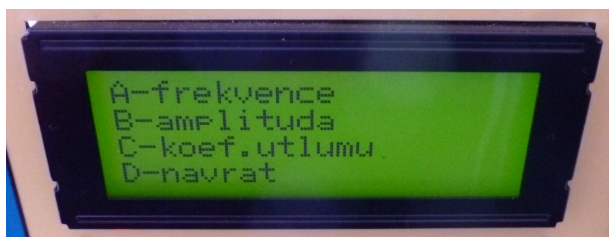


Obr. 6.1: Struktura menu

Menu a podmenu je zobrazeno na Obr. 6.2, Obr. 6.3 a Obr. 6.4. Tyto snímky byly pořízeny na demoverzy programu, proto jsou v nabídce pouze dva průběhy.



Obr. 6.2: Základní menu



Obr. 6.3: Menu pro signál sin s exponenciálním poklesem



Obr. 6.4: Zadávání hodnoty

Následuje ukázka funkce pro zadávání frekvence amplitudy sinu, pily, nebo trojúhelníku:

```
void menu3(void) //menu pro periodicke prubehy + zadavani jejich parametru
{
    lcd_clrscr();
    pom_znak = 0;
    m = 0;
    vrstva_menu = 3;

    lcd_gotoxy (0,0);
    lcd_puts("A-frekvence");

    lcd_gotoxy (0,1);
    lcd_puts("B-amplituda");

    lcd_gotoxy (0,3);
    lcd_puts("D-navrat");

    while (ABD){ //dokud neni stisknuto A nebo B nebo D
        sken(); //ulozi do pom_znak char
    }

    if (pom_znak == 'A'){ //podminka pro zadani frekvence
        lcd_clrscr();
        lcd_gotoxy (0,0);
        lcd_puts("Zadej hodnotu v Hz:");
        lcd_gotoxy (0,1);

        pom_znak = 0;

        while (pom_znak != OK){ //dokud se nestlaci ok skenuje
            sken(); //nacte znak do pom_znak
            cisla_rozeznani(); //tato funkce zajistuje i ukladani do pole
            charu
        }

        frekvence = atof(pole_znak); //prevede chary na int
        lcd_clrscr();
        lcd_gotoxy (0,0);
        lcd_puts("hodnota byla zadana a ulozena");
        _delay_ms(1000);
        menu3();
    }

    else if (pom_znak == 'B'){
        lcd_clrscr();
        lcd_gotoxy (0,0);
        lcd_puts("Zadej amplitudu v V:");
        lcd_gotoxy (0,1);

        pom_znak = 0;

        while (pom_znak != OK){ //dokud se nestlaci ok skenuje ...
            sken();
            cisla_rozeznani();
        }

        amplituda = atof(pole_znak); //prevede chary na int
        lcd_clrscr();
        lcd_gotoxy (0,0);
        lcd_puts("hodnota byla zadana a ulozena");
        _delay_ms(1000);
        menu3();
    }

    else if (pom_znak == 'D'){
        navrat_zpet();
    }
}
```

Podstatnou funkci je `uint16_t spojeni(uint8_t horni_bajt, uint8_t spodni_bajt)` a funkce `void DAC_WRITE(unsigned int channel, uint16_t data)`. DA převodníky jsou plněný 16 bitovým slovem. Paměť MCU má však šířku slova 8 bitů, funkce pro vysílání dat po SPI lince pracuje s typem `char`, proto se z paměti musí nejdříve načíst 8 bitové slovo, jako horní bajt, převést ho na 16 bitovou proměnnou (například číslo 0xF10A 0000), poté se provede podobná operace s další paměťovou buňkou s proměnnou `spodni_bajt` (například číslo 0x123A 0000), s tím rozdílem, že se musí dojít k záměně méně významného bajtu za bajt více významný. Ve výsledku se musí udělat logický součet horního a spodního bajtu (vznikne tak 0xF10A 123A). Takto vzniklé číslo je předáno parametrem do funkce `DAC_WRITE`, kde je opět rozděleno a přetypováno, aby mohlo být předáno funkci pro vysílání přes SPI:

```
uint16_t spojeni(uint8_t horni_bajt, uint8_t spodni_bajt)
{
    uint16_t pom1;
    uint16_t pom2;

    pom1 = (uint16_t)(spodni_bajt);
    pom2 = (uint16_t)(horni_bajt );
    pom2 = (pom2 << 8);

    return (pom1 | pom2);
}
```

```
void DAC_WRITE(unsigned int channel, uint16_t data)
{
    char data_MSB;
    char data_LSB;

    switch (channel){

        case 1: cbi(PORTB,0); break;
        case 2: cbi(PORTE,2); break;
        case 3: cbi(PORTE,3); break;

        default:

            sbi(PORTB,0); //neni-li vybrán DAC zakazou se všechny
            sbi(PORTE,2);
            sbi(PORTE,3);

            break;
    }

    data_LSB = (char)(data);
    data_MSB = (char)(data >> 8);

    SPI_MasterTransmit(data_MSB);
    SPI_MasterTransmit(data_LSB);

    sbi(PORTB,0); //po dokončení přenosu všechny DAC vypnout
    sbi(PORTE,2);
    sbi(PORTE,3);
}
```

## 6.4 Příklady funkcí se vzorci pro generování

Byly zrealizovány dvě funkce pro plnění paměti vzorky průběhu rampy a sinu s exponenciálním poklesem:

```
void plneni_pameti_rampa(uint16_t maximum)
{
    double uu, pocet_vzorku_d, maximum_d;
    pom = 0;
    jj = 0;

    DAC_WRITE(1,maximum); // amplituda 0000 = 0V, ffff = 5V, rampa muze nabyvat
    // hodnot 0 az 10V(maximum)
    DAC_WRITE(3,0x0000); // offset 0000 = 0 az 10V, ffff = -10 az 0V, 0x8000 = -5V to
    // 5V, rampa zacina od nuly

    maximum_d = (double)(maximum);
    pocet_vzorku_d = (double)(pocet_vzorku);

    for(doba_nabehu = 0; doba_nabehu < pocet_vzorku; doba_nabehu++){ //pocet_vzorku
    glob prom - const

        output_data = (unsigned int) ((pom * 65535)/maximum); //prevod
        // double (0 az 10) na u int - rozsah 0000 az FFFF

        horni_bajt = (output_data >> 8) & 0x00ff;
        mem[jj] = horni_bajt;
        spodni_bajt = output_data & 0x00ff;
        mem[jj+1] = spodni_bajt;

        pom = pom + (maximum_d/pocet_vzorku_d);
        jj = jj + 2;
    }
}

void plneni_pameti_exp_sinem(double utlum, double amplituda, double frekvence)
{
    double uu;
    pom = 0;
    jj = 0;

    for(cas = 0; cas < pocet_vzorku; cas++){
        uu =(double)(cas);
        //uu odpovida casu
        pom = (sin(uhel * frekvence))* 1/(exp((uu/100))); //pom je typu double

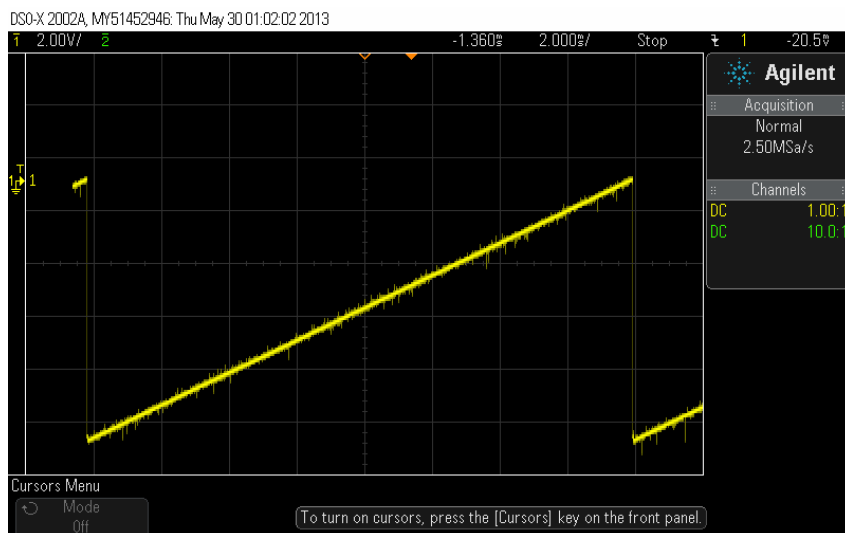
        output_data = (unsigned int) ((pom + 1) * 32635); //prevod
        // double (0 az 1) na u int - rozsah 0000 az FFFF

        horni_bajt = (output_data >> 8) & 0x00ff;
        mem[jj] = horni_bajt;
        spodni_bajt = output_data & 0x00ff;
        mem[jj+1] = spodni_bajt;

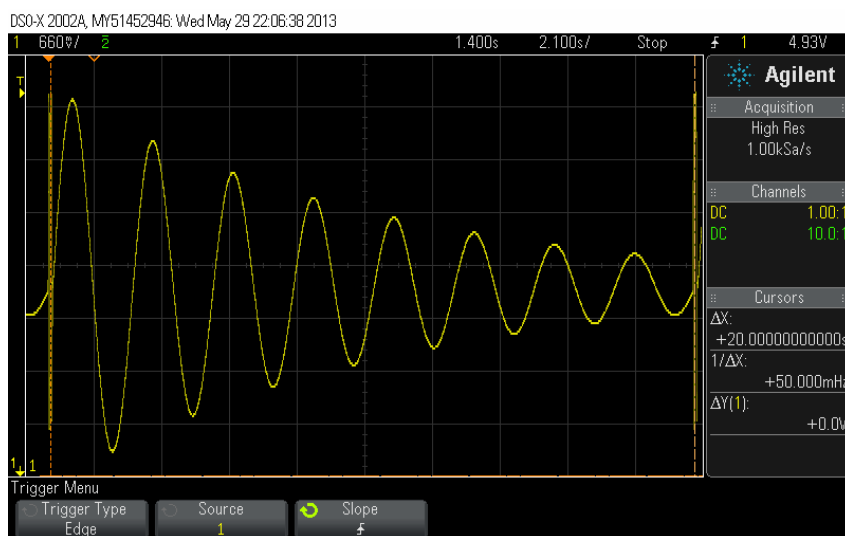
        jj = jj + 2;
        uhel = uhel + (6.28/((pocet_vzorku/8)-1)); //aby byla navzork jedna perioda
        // inkrementuje o: 6.28 / 9 = 0.6978

    }
}
```

Funkce pro plnění paměti byly volány z menu, vždy po zadání patřičných parametrů. Byly pořízeny oscilogramy - Obr. 6.2 a Obr. 6.3. Počet vzorků je 2000 na jednu periodu, bylo tak zabráno 4kB paměti.



Obr. 6.5: Generování rampy,  $V_{P-P} = 10V$



Obr. 6.6: Generování sinu s exponenciálním poklesem, koeficient útlumu  $k = 0,001$ ,  $t = 20s$

## 7 ZÁVĚR

Byla prostudována přímá digitální syntéza, na základě studia a dohody s vedoucím práce se podařilo navrhnout programovatelný generátor, který je řízený pomocí mikrokontroléru ATmega128-16AU. Tento generátor vyčítá vzorky naprogramovaných průběhů z externí paměti a přivádí je na D/A převodník. Ve finálním řešení jsou tři desky, jedna pro řídicí modul, druhá pro modul s D/A převodníky a třetí jako napájecí zdroj. Bylo nutné udělat menší úpravy pro správnou funkčnost řídicího modulu. Výsledkem je generátor usazený v přístrojové krabici, který má na čelním panelu BNC konektor pro výstupní signál, klavesnici, displej a dvě tlačítka pro zapnutí výstupního signálu a pro zapnutí komunikace/programování přes sériovou linku. Nechybí tři signalizační diody. Zadní panel obsahuje čtyři konektory. První je synchronizační, který se přepínačem přepíná k pinu MCU na místo tlačítka, které zapínalo výstup. Druhý a třetí konektor je pro sériovou komunikaci, čtvrtý pak jako výstup optočlenů.

Jelikož je generátor určen pro magnetická měření, čili pomalé průběhy, nebyl antialiasingový filtr uvažován.

Funkce generátoru byla ověřena jednoduchým programem, který potvrdil funkci a schopnost generovat základní průběhy, jako je sinus s exponenciálním průběhem nebo rampa.

Z časových důvodů se nepodařilo zprovoznit externí paměť sram, která by zvýšila kvalitu generovaných průběhů. Byla tak využita pouze interní sram paměť.

# LITERATURA

- [1] GESCHIEDTOVÁ, Eva, Miloslav ČEJKA, Jiří REZ a Miloslav STEIBAUER. *Měření v elektrotechnice* [online]. Brno: VUT, 241 s. [cit. 2012-12-04].
- [2] ROUBAL, Zdeněk. *Labolator magnetických měření UTEE*. Brno, 2012. Nepublikováno.
- [3] DUFEK, Milan, Jaroslav HRABÁK a Zdeněk TRNKA. *MAGNETICKÁ MĚŘENÍ*. Praha, 1964, 406 s.
- [4] OXLEY, Paul. Apparatus for Magnetization and Efficient Demagnetization of Soft Magnetic Materials. *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS* [online]. 2009, roč. 09, č. 45, s. 10 [cit. 2012-12-04].
- [5] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Magnetická hystereze*. [online]. [cit. 2012-12-3]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/296-magneticka-hystereze>
- [6] Analog devices: *A Technical Tutorial on Digital Signal Synthesis* [online]. 1999 [cit. 2012-11-28]. Dostupné z: <http://www.analog.com>
- [7] DRESLER, Tomáš. *Přímá číslicová syntéza kmitočtu (DDS - Direct Digital Synthesis)*. In: [Http://www.hw.cz](http://www.hw.cz) [online]. 3.března 2001. [cit. 2012-12-01]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/prima-cislicova-synteza-kmitoctu-dds-direct-digital-synthesis.html>
- [8] TEXAS INSTRUMENTS: *DAC8871*. [online]. 2007, s. 23 [cit. 2012-11-26]. Dostupné z: <http://www.ti.com>
- [9] FTDI CHIP: *FT230X USB TO BASIC UART IC*. [online]. 2012, s. 44 [cit. 2013-5-18]. Dostupné z: <http://www.ftdichip.com/FT-X.htm>
- [10] TEXAS INSTRUMENTS: *DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS*. [online]. 2004, s. 17 [cit. 2013-5-18]. Dostupné z: <http://www.ti.com>
- [11] 628128L10M: *K6X1008C2D Family*. [online]. 2003, s. 10 [cit. 2012-11-26]. Dostupné z: <http://www.gme.cz>
- [12] Atmel AVR: *ATmega128(L) Complete*. [online]. 2011, s. 386 [cit. 2012-11-26]. Dostupné z: <http://www.atmel.com>
- [13] TEXAS INSTRUMENTS: *SN74AHC373*. [online]. 2003, s. 22 [cit. 2013-5-17]. Dostupné z: <http://www.ti.com>
- [14] Analog devices: *High Precision 5 V Reference* [online]. 2005 [cit. 2013-5-16]. Dostupné z: <http://www.analog.com>
- [15] Atmel AVR: *Atmel AVR042: AVR Hardware Design Considerations*. [online]. 2011, s. 16 [cit. 2013-5-14]. Dostupné z: <http://www.atmel.com>

# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

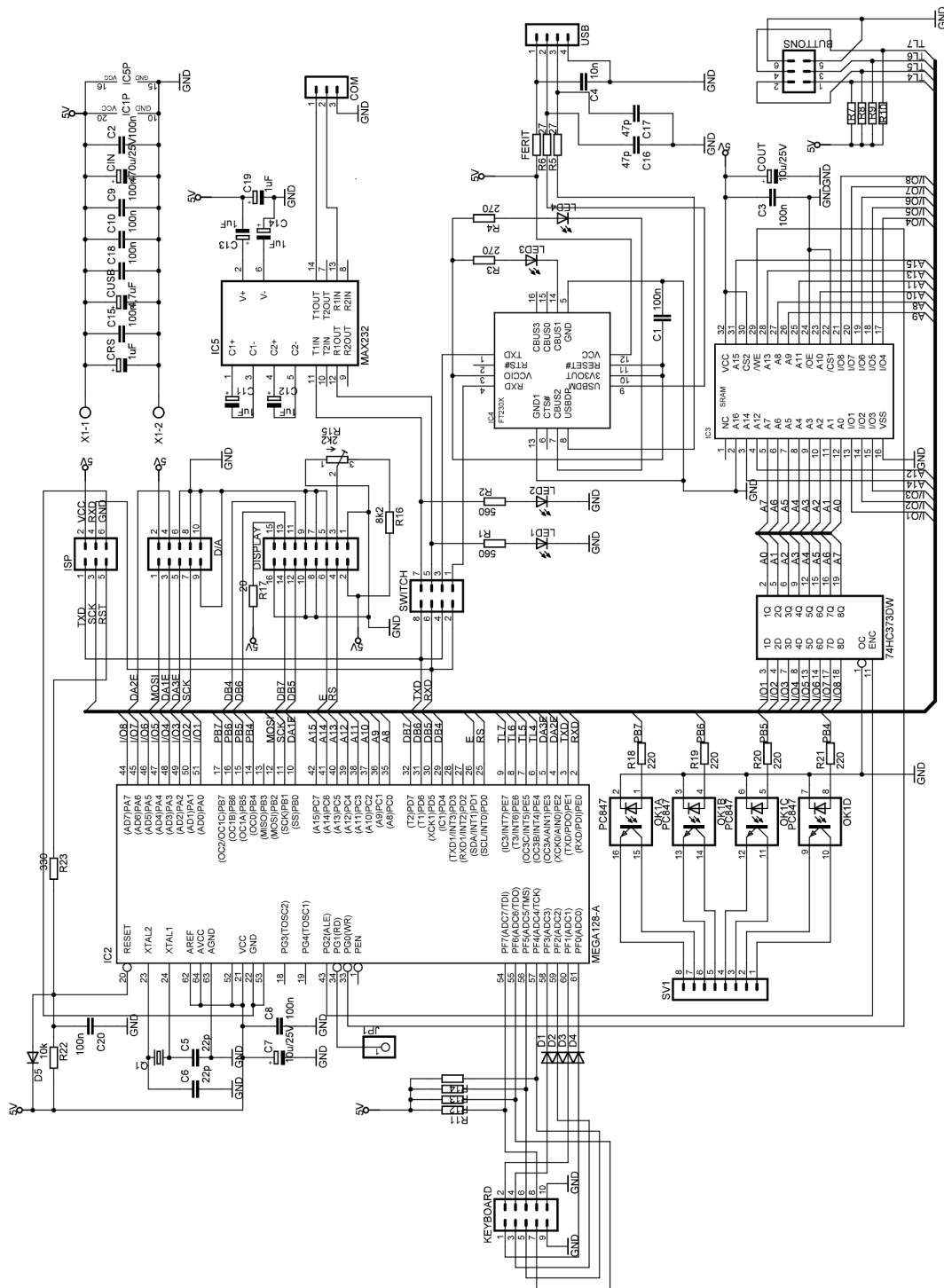
D/A	digital to analog converter, převodník digitálního signálu na analogový
DDS	direct digital synthesis, přímá digitální syntéza
DIL16	dual in line, pouzdro s šestnácti vývody
DPS	deska plošného spoje
EEPROM	electrically erasable programmable read-only memory, elektricky mazatelná paměť určena pro čtení
FLASH	elektricky programovatelná paměť
I/O	input/output, vstup/výstup
I2C	inter – integrated circuit, seriová sběrnice
ISP	in system programming, schopnost programování MCU bez jejich vyjmutí
JTAG	joint test action group, rozhraní pro programování MCU (krokování programu)
LCD	liquid crystal display, displej z tekutých krystalů
LED	light-emitting diode, svítivá dioda
MCU	microcontroller unit, mikroprocesorová jednotka
MISO	master input slave output, standard pro sériovou komunikaci
MOSI	master output slave input, standard pro sériovou komunikaci
OZ	operační zesilovač
PC	personal computer, osobní počítač
RISC	reduced instruction set computing, redukováná instrukční sada
SCK	system clock, systémové hodiny
SDI	seriál data input, seriový vstup
SMD	surface mounted device, jednotka pro plošnou montáž
SPI	seriál peripheral interface, sériové periferní rozhraní
SRAM	static random access memory, statická paměť
USART	universal synchronous / asynchronous receiver, univerzální synchronní / asynchronní přijmač
USB	universal serial bus, univerzální sériová sběrnice

# SEZNAM PŘÍLOH

<b>A</b>	<b>Návrh zařízení</b>	<b>44</b>
A.1	Obvodové zapojení řídicího modulu.....	44
A.2	DPS řídicího modulu – top (strana součástek).....	45
A.3	DPS řídicího modulu – bottom (strana spojů) .....	46
A.4	Obvodové zapojení modulu s D/A převodníky .....	47
A.5	DPS modulu s D/A převodníky – top (strana součástek) .....	48
A.6	DPS modulu s D/A převodníky – bottom (strana spojů) .....	48
A.7	Obvodové zapojení zdroje napětí .....	49
A.8	DPS zdroje napětí – bottom (strana spojů) .....	49
<b>B</b>	<b>Fotky zhotoveného zařízení</b>	<b>50</b>
B.1	Vnitřní rozvržení modulů.....	50
B.2	Čelní panel .....	50
B.3	Zadní panel .....	50
<b>C</b>	<b>Seznam součástek</b>	<b>51</b>
C.1	Řídicí modul .....	51
C.2	Modul s D/A převodníky .....	52
C.3	Zdroj napětí.....	53

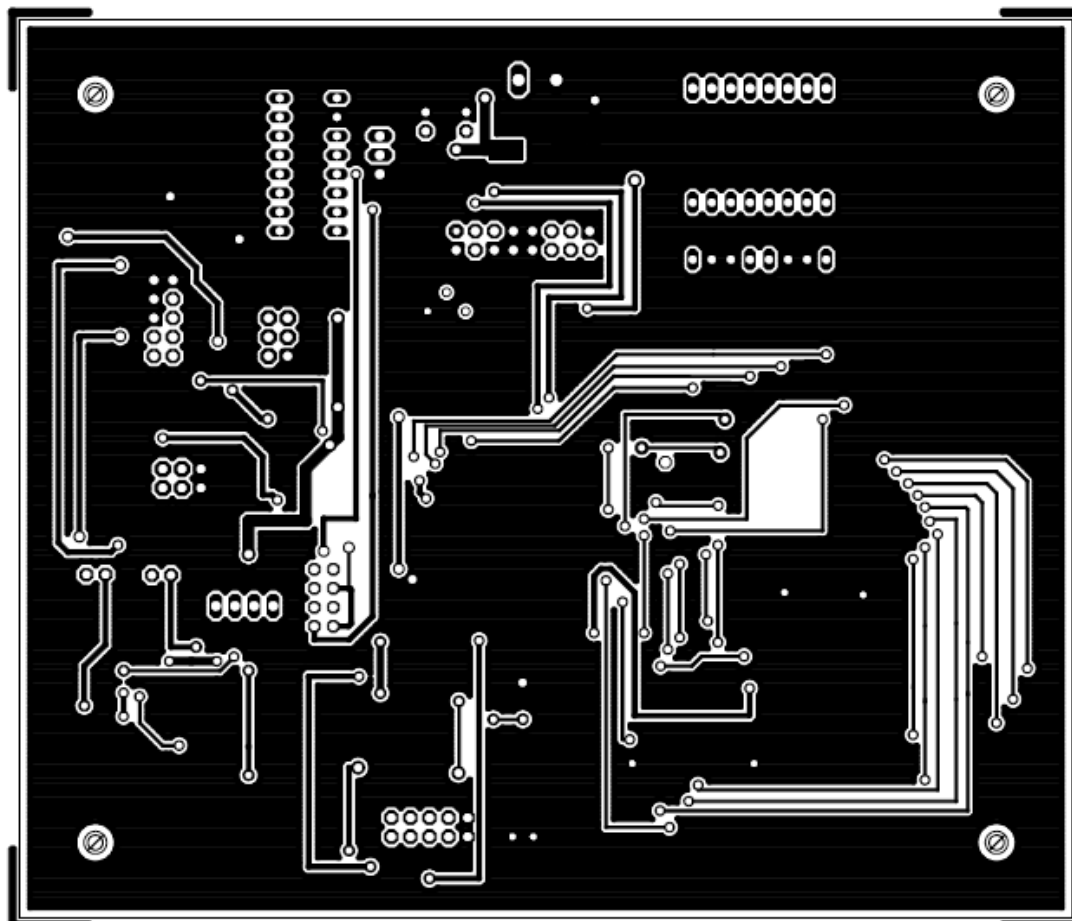
# A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

## A.1 Obvodové zapojení řídicího modulu



## A.2 DPS řídicího modulu – top (strana součástek)

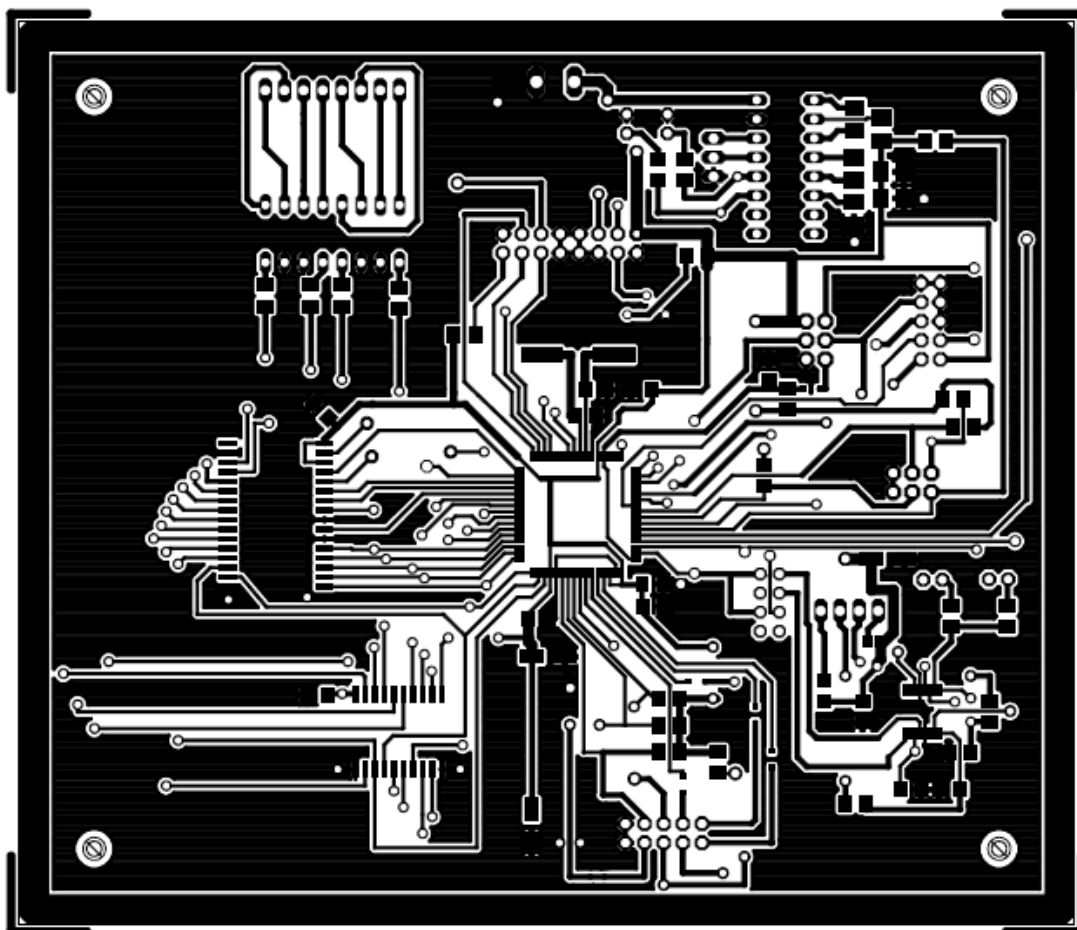
Jiri Wiesner/Generator s AVR/TOP



Rozměr desky 140 x 120 [mm], měřítko M1:1

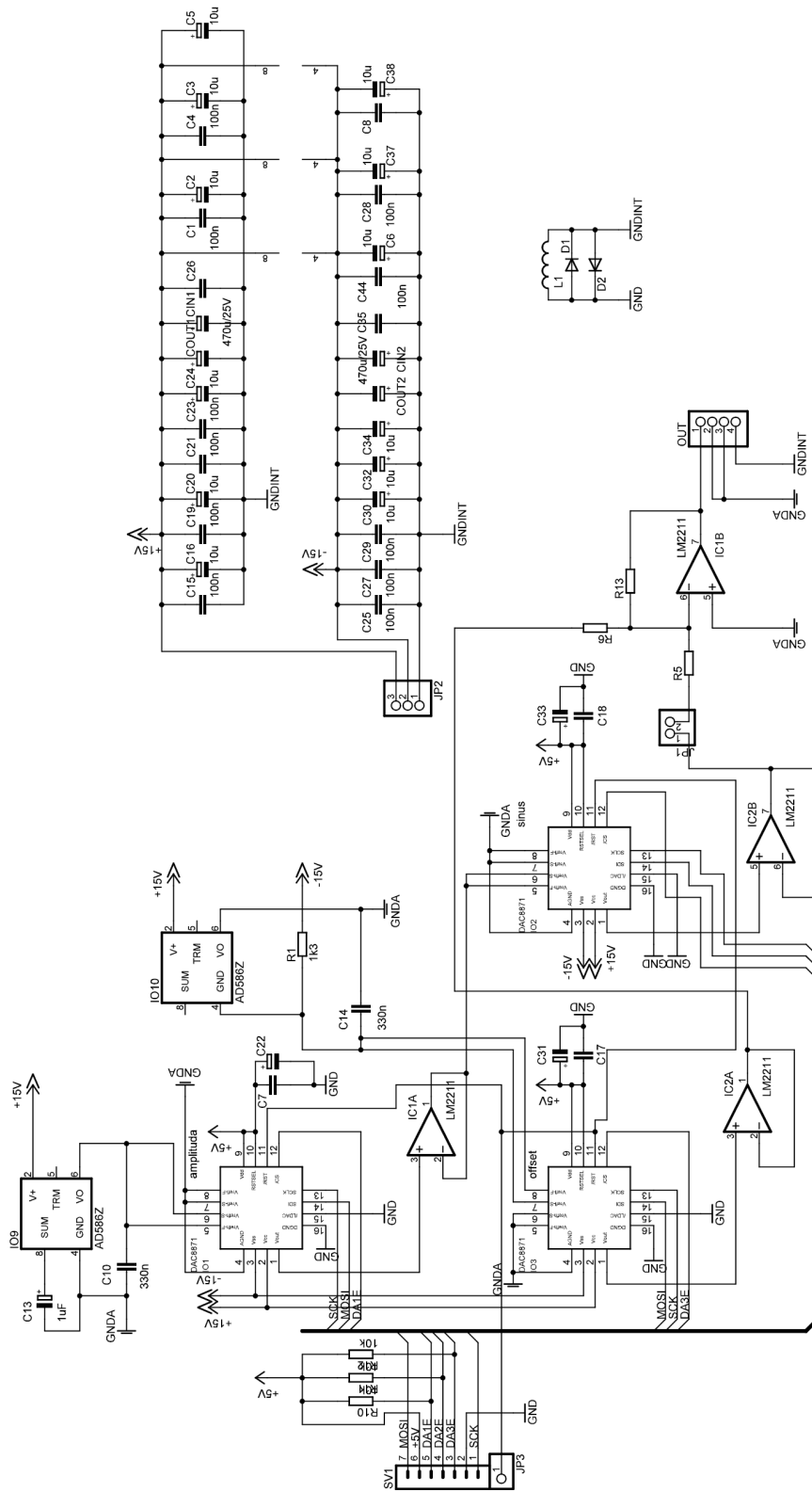
### A.3 DPS řídicího modulu – bottom (strana spojů)

Jiří Wiesner / Generator s AVR / BOTTOM

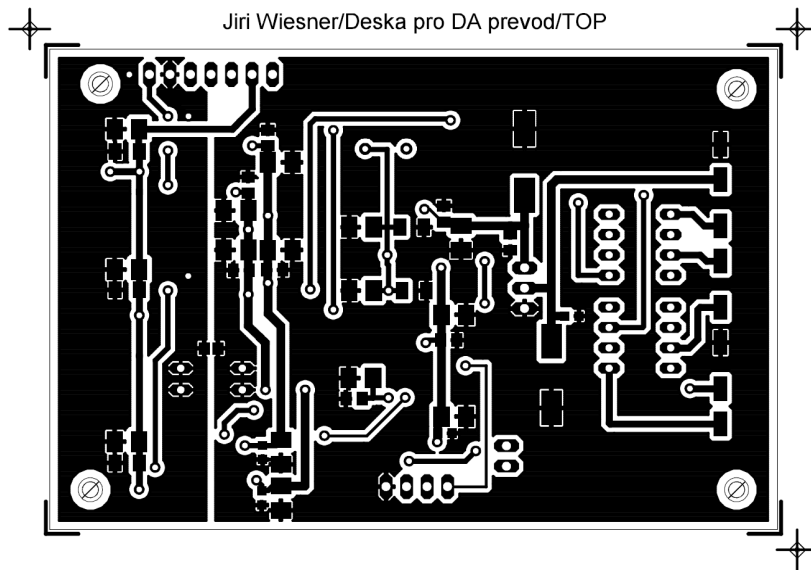


Rozměr desky 140 x 120[mm], měřítko M1:1

## A.4 Obvodové zapojení modulu s D/A převodníky

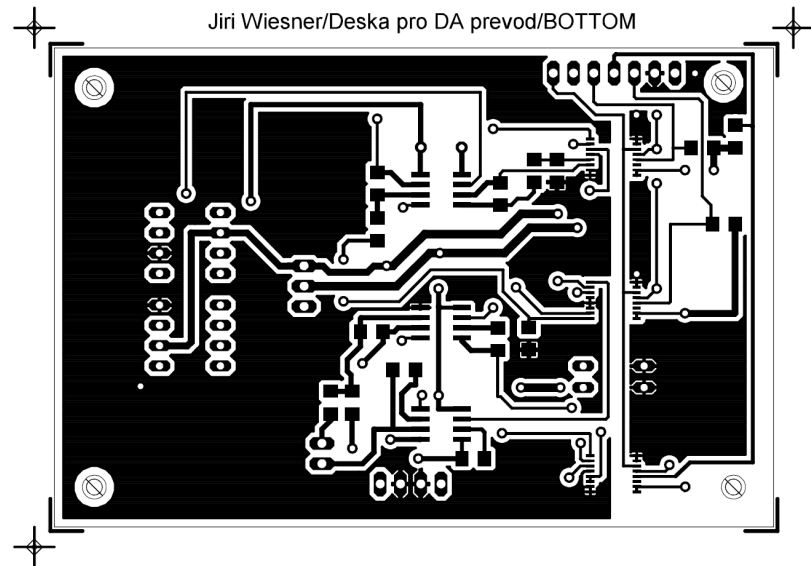


## A.5 DPS modulu s D/A převodníky – top (strana součástek)



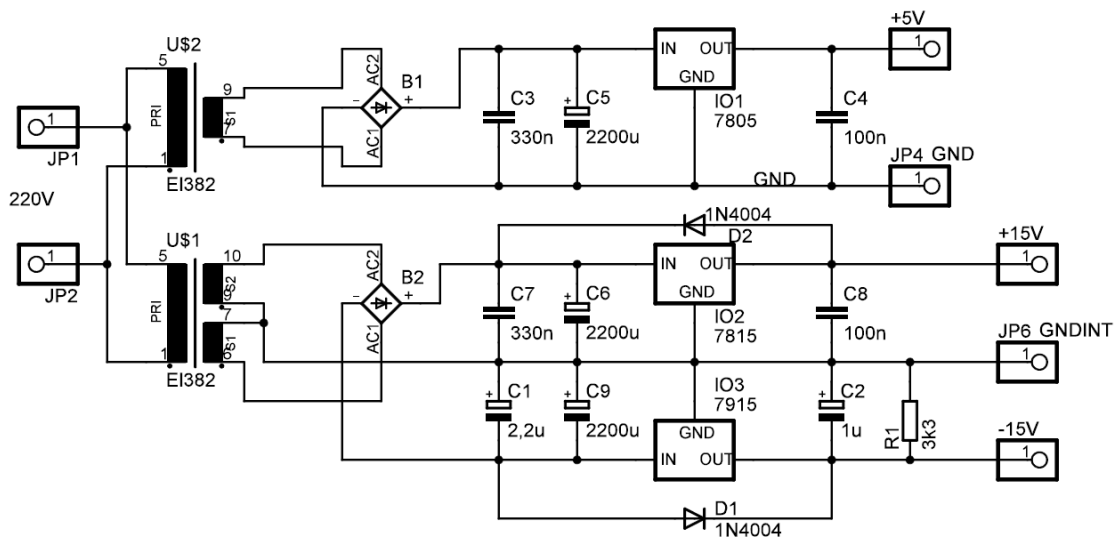
Rozměr desky 90 x 60[mm], měřítko M1:1

## A.6 DPS modulu s D/A převodníky – bottom (strana spojů)

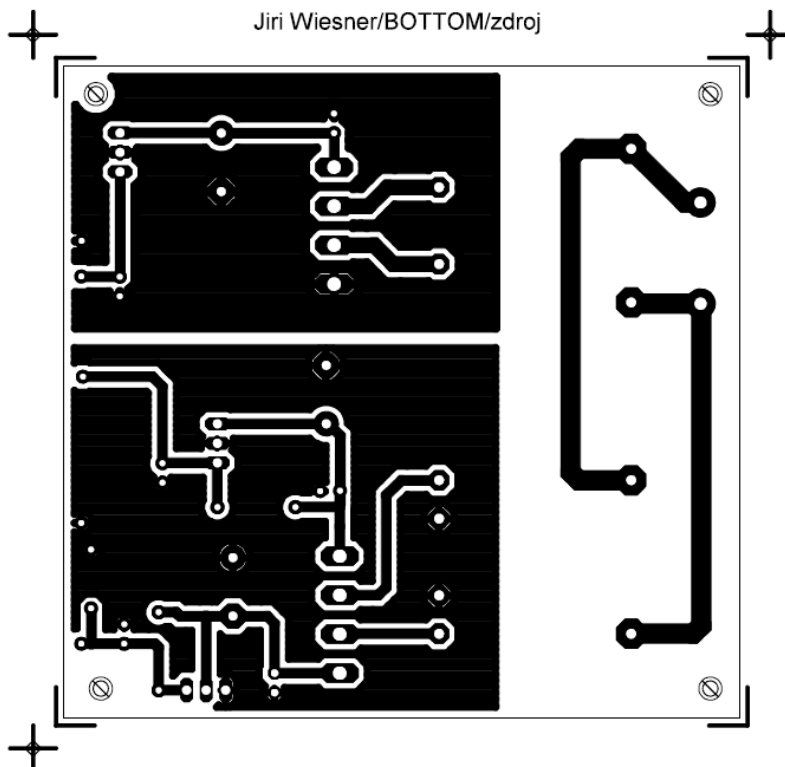


Rozměr desky 90 x 60[mm], měřítko M1:1

## A.7 Obvodové zapojení zdroje napětí



## A.8 DPS zdroje napětí – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 88 x 85[mm], měřítko M1:1

## B FOTKY ZHOTOVENÉHO ZAŘÍZENÍ

### B.1 Vnitřní rozvržení modulů



## B.2 Čelní panel



## B.3 Zadní panel



# C SEZNAM SOUČÁSTEK

## C.1 Řídící modul

Označení	Hodnota	Device	Pouzdro
D/A konektor	ML10	ML10	con-harting-ml
BUTTONS konektor	ML6	ML6	con-harting-ml
DISPLAY konektor	ML16	ML16	con-harting-ml
ISP konektor	ML6	ML6	con-harting-ml
KEYBOARD kon.	ML10	ML10	con-harting-ml
C1 – C3, C8, C9, C10, C15, C18	100n	C-EUC1206	C1206
C4	10n	C-EUC1206	C1206
C5, C6	22p	C-EUC1206	C1206
C7, COUT	10u/25V	CPOL	153CLV-0505
C11 – C14, C19, CRS	1uF	CPOL	B/3528-21R
C16, C17	47p	C-EU	C1206
CIN	470u/25V	CPOL	153CLV-1012
CUSB	4,7uF	CPOL	153CLV-0505
D1 - D4	DIODE-SOD323-R	SOD323-R	diode
IC1	74AHC373DW	74AHC373DW	SO20W
IC2	MEGA128-A	MEGA128-A	TQFP64
IC3	SRAM	K6X1008C2D	SOP32L
IC4	FT230X	FT230X	SSOP16
IC5	MAX232	MAX232	DIL16
JP1	PINHD-1X1	1X01	pinhead
LED1 – LED4	LED3MM	LED3MM	led
OK1	PC847	optocoupler	DIL16
Q1	CRYTALHC49UP	HC49UP	
R1,R2	560	R-EU_M1206	M1206
R3,R4	270	R-EU_M1206	M1206
R5,R6	27	R-EU_M1206	M1206
R7-R14	300	R-EU_M1206	M1206
R15	2k2	R-TRIMM64Y	RTRIM64Y
R16	8k2	R-EU_M1206	M1206
R17	80	R-EU_M1206	M1206
R18-R21	220	R-EU_M1206	M1206
X1	AK500/2	AK500/2	con-ptr500

## C.2 Modul s D/A převodníky

Označení	Hodnota	Device	Pouzro
1 DAC8871	DAC8871	TSSOP16	DAC8871
2 DAC8871	DAC8871	TSSOP16	DAC8871
3 DAC8871	DAC8871	TSSOP16	DAC8871
C1, C2	1uF	CPOL	153CLV-0505
C3 – C6	330n	C-EUC1206	C1206
C7 – C19, C25, C27, C29, C31, C33	100n	C-EUC1206	C1206
C20 – C24, C26, C28, C30, C32, C34	10uF	CPOL	B/3528-21R
IC3	OPA_2277	OPA_2211	SO08
IO9, IO10	AD586Z	AD586Z	DIL08
IC1	OPA_2211P	OPA_211P	SO08
IO2	OPA_2211P	OPA_211P	SO08

### C.3 Zdroj napětí

Označení	Hodnota	Device	Pouzdro
B1	KBL	Diodový můstek	KBL
B2	KBL	Diodový můstek	KBL
C1	2,2u	CPOL-EUE2.5-5	E2,5-5
C2	1u	CPOL-EUE2.5-5	E2,5-5
C3	330n	C-EU025-040X050	C025-040X050
C4	100n	C-EU025-040X050	C025-040X050
C5	2200u	CPOL-EUE7.5-16	E7,5-16
C6	2200u	CPOL-EUE7.5-16	E7,5-16
C7	330n	C-EU025-040X050	C025-040X050
C8	100n	C-EU025-040X050	C025-040X050
C9	2200u	CPOL-EUE7.5-16	E7,5-16
D1	1N4004	1N4004	DO41-10
D2	1N4004	1N4004	DO41-10
IO1	7805	78XXS	78XXS
IO2	7815	78XXS	78XXS
IO3	7915	79XXS	79XXS
R1	3k3	R-EU_0204/7	0204/7
U\$1	1x9 V, I = 500 mA	Transformátor	EI30-2
U\$2	2x18 V, I = 125 mA	Transformátor	EI30-2