

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2016

Jiří Hlušička

Univerzita Pardubice

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Generátor signálu s AD9832

Jiří Hlušička

Bakalářská práce

2016

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří Hlušíčka**
Osobní číslo: **I13011**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Generátor signálu s AD9832**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Na základě integrovaného obvodu AD9832 pro přímou kmitočtovou syntézu vytvořte generátor signálu.

Generátor bude řízen mikrokontrolérem, který zajistí: volbu typu průběhu (sinus, obdélník), nastavení kmitočtu, nastavení amplitudy a offsetu. Pro ovládání používejte tlačítka nebo rotační spínače, nastavené parametry generovaného průběhu vypisujte na řádkovém LCD. Napájení zajistěte pomocí běžného AC/DC adaptéru.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **40 stran A4**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Analog Devices [online]. [cit. 2015-10-09]. Dostupné z: www.analog.com.
Matoušek, David. Aplikace mikrokontrolérů ATmega644. 1. vyd. Praha: BEN -
technická literatura, 2013, ca 200 s. v různém stránkování. ISBN
978-80-7300-492-7.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Bc. David Matoušek**
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. prosince 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2016**



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



L.S.



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2016

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 12. 5. 2017

Jiří Hlušíčka

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Davidu Matouškovi za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

ANOTACE

Cílem této práce je návrh a realizace generátoru s obvodem AD9832, který bude ovládaný mikrokontrolérem. Na řádkovém LCD displeji se pomocí tlačítek a rotačního spínače volí parametry generovaného průběhu (sinus, obdélník). Napájení je zajištěno pomocí AC/DC adaptéru. Teoretická část práce popisuje obecné vlastnosti generátorů a použitých součástek. Praktická část se věnuje samotnému sestavení požadovaného generátoru.

KLÍČOVÁ SLOVA

Generátor, digitální syntéza,AD9832, redukce

TITLE

Function generator with AD9832

ANNOTATION

The aim of this project is design and implement function generator with circuit AD9832. Generator will be operated by microcontroller. Parameters of the generator are selected by push buttons and rotary switcher. These parameters are displayed on line LCD display. Power is provided by AC/DC adapter. Theoretic part describes properties of generators and components. The practical part is dedicated to the compilation of function generator.

KEYWORDS

Generator, digital synthesis,AD9832, reduction

OBSAH

Úvod.....	13
1 Teoretická část	14
1.1 Parametry signálních generátorů.....	14
1.2 Princip analogových generátorů.....	16
1.3 Zpětnovazební oscilátory	17
1.3.1 Zpětnovazební LC oscilátory.....	18
1.3.2 Zpětnovazební RC oscilátory.....	19
1.4 Teorie digitální syntézy.....	20
1.4.1 Princip digitální syntézy	20
1.4.2 Moderní zapojení digitální syntézy.....	21
1.4.3 Tabulka funkce sinus	22
1.4.4 Rekonstrukční filtr	23
1.5 Popis obvodu AD9832	23
1.5.1 NCO s fázovým modulátorem	24
1.5.2 SIN ROM.....	24
1.5.3 D/A převodník	24
1.6 Funkce pinů AD9832	25
1.6.1 Analogový signál a reference	25
1.6.2 Napájení.....	25
1.6.3 Digitální rozhraní a ovládání	25
2 Praktická část	27
2.1 Konstrukce	27
2.2 Návrh DPS	27
2.2.1 Napájení.....	28
2.2.2 Mikrokontrolér.....	29
2.2.3 LCD displej.....	30

2.2.4	Obvody s AD9832	33
2.2.5	Ovládací prvky.....	36
2.2.6	Výstupní obvody.....	40
2.3	Měření	42
3	ZÁVĚR	45
4	Použitá literatura	47
5	Přílohy.....	48

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1- Kmitočtové spektrum signálu (1).....	14
Obrázek 2 - Linearita trojúhelníkového průběhu (1)	15
Obrázek 3 - Parametry impulsního signálu(1).....	16
Obrázek 4 - Blokové schéma zpětnovazebních oscilátorů	17
Obrázek 5 - Analogový oscilátor a) Hartleyův (4), b) Colpittsův (4).....	19
Obrázek 6 - RC oscilátor s Wienovým článkem(4).....	19
Obrázek 7 - Blokové schéma digitální syntézy (zjednodušené) (5)	20
Obrázek 8 - Blokové schéma moderního obvodu digitální syntézy (5)	21
Obrázek 9 - Zjednodušená tabulka funkce sinus (5).....	22
Obrázek 10 - Spektrum signálu na výstupu DDS obvodu (5)	23
Obrázek 11 - Blokové schéma obvodu AD9832 (6).....	24
Obrázek 12 - Blokové schéma generátoru s AD9832.....	27
Obrázek 13 - Schéma zapojení napájecí části.....	28
Obrázek 14 - ISP konektor KANDA 2x5 pinů (7)	29
Obrázek 15 - Schéma zapojení LCD	30
Obrázek 16 - Menu pro nastavování kmitočtu.....	32
Obrázek 17 - Menu pro nastavování amplitudy.....	32
Obrázek 18 - Menu pro nastavování offsetu.....	33
Obrázek 19 - Schéma zapojení obvodu AD9832.....	33
Obrázek 20 – Návrh DPS redukce	34
Obrázek 21 - Sestavená redukce	34
Obrázek 22 - Rozmístění ovládacích prvků.....	36
Obrázek 23 - Schéma zapojení ovládacích prvků.....	37
Obrázek 24 - Inkrementální spínač ZIPPY	38
Obrázek 25 - Schéma zapojení pro úpravu tvaru výstupního signálu	41
Obrázek 26 - Schéma zapojení pro změnu offsetu a amplitudy	42
Obrázek 27 - Frekvenční spektrum $f = 1 \text{ kHz}$	42
Obrázek 28- Oscilogram $f = 1 \text{ kHz}$, $A = 2 \text{ V}$, $\text{Off} = 0 \text{ V}$, a) obdélník, b) sinus	43
Obrázek 29 - Oscilogram $f = 10 \text{ kHz}$, $A = 1 \text{ V}$, $\text{Off} = 0 \text{ V}$, a) obdélník, b) sinus	43
Obrázek 30 - Oscilogram $f = 10 \text{ kHz}$, $A = 1 \text{ V}$, $\text{Off} = -500 \text{ mV}$, a) obdélník, b) sinus.....	44
Obrázek 31 - Oscilogram $f = 200 \text{ kHz}$, $A = 2 \text{ V}$, $\text{Off} = 0 \text{ V}$, a) obdélník, b) sinus	44

Tabulka 1 - Seznam součástí redukce	34
---	----

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

THD	Total Harmonic Distortion
SFDR	Spurious Free Dynamic Range
IMD	Intermodulation Distortion
NCO	Numerical Controlled Oscillator
DDS	Direct Digital Synthesis
D/A	Digitálně analogový převodník
LCD	Liquid crystal display

ÚVOD

Generátory se dělí do dvou základních skupin na digitální a analogové. Výhodou digitálních generátorů je jejich stabilita a schopnost generovat i velice nízké kmitočty. Naproti tomu analogové generátory mají nižší zkreslení.

Generátor funkcí je elektronické zařízení, generující časový průběh proudu nebo napětí s požadovaným tvarem. Nejčastěji má tento časový průběh tvar sinusový, obdélníkový, pilový nebo trojúhelníkový. Funkční generátory se používají jako zkušební zdroj signálu pro jiná elektronická zařízení. Například k proměřování frekvenčních charakteristik, měření šumu a rušení, kalibraci přístrojů a podobně.

Práce si klade za cíl vytvořit funkční generátor s obvodem AD9832, což je obvod digitální syntézy. Obvod by měl být řízený mikrokontrolérem. Hodnoty veličin, které se budou nastavovat pomocí tlačítek a rotačních spínačů, se budou zobrazovat na dvou řádkovém alfanumerickém LCD displeji. Napájení bude zajištěno pomocí AC/DC adaptérů.

Práce je členěna na 2 hlavní části a několik podkapitol. První část práce (teoretická část) se zabývá popisem a základní problematikou analogových a digitálních generátorů a jejich principy. Jsou zde uvedeny parametry signálních generátorů, vysvětlení podmínek oscilací a několik ukázek zpětnovazebních analogových oscilátorů. V další části je popsán princip digitální syntézy i jeho moderní zapojení. Tato podkapitola se také zabývá popisem a rozбором tabulky funkce sinus a rekonstrukčním filtrem. V poslední podkapitole teoretické části je detailně popsán hlavní obvod celého zařízení generátor signálu AD9832.

Praktická část práce se věnuje návrhem a sestavením generátoru s AD9832, zdrojovým kódem a návrhem desek s plošnými spoji. Na začátku této kapitoly je popsáno blokové schéma generátoru. Jednotlivé bloky jsou následně popisovány v podkapitolách. Tyto podkapitoly obsahují funkci, schémata nebo zdrojový kód pro správný chod nebo řízení onoho bloku.

Poslední podkapitola práce se věnuje měření sinusových a obdélníkových průběhů funkčního generátoru s AD9832. Jsou zde zaznamenány naměřené průběhy s různou hodnotou frekvence, amplitudy a offsetu.

1 TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část práce popisuje základní parametry a principy funkce analogových a digitálních generátorů společně s několika ukázkami elektronických obvodů. Dále je zde uveden popis obvodu AD9842.

Tyto informace byly nápomocné pro konstrukci celé práce.

1.1 Parametry signálních generátorů

THD – Neboli činitel harmonického zkreslení určuje kvalitu sinusového signálu.

Je definován poměrem efektivní hodnoty složek vyšších harmonických k efektivní hodnotě základní harmonické.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^k U_i^2}}{U_1}$$

Kde,

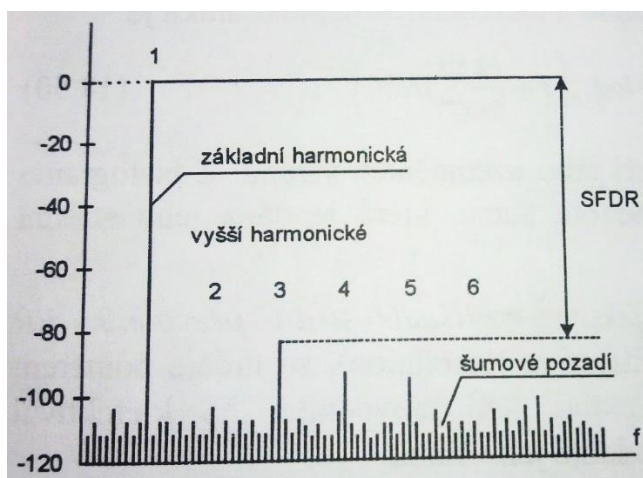
THD – činitel harmonického zkreslení

U_i – efektivní hodnota složek vyšších harmonických

U_1 – efektivní hodnota základní harmonické

Dále se definuje odstup signálu od šumu SFDR a šumové pozadí (Noise Floor)

Tyto parametry jsou zobrazeny na obrázku 1 dole



Obrázek 1- Kmitočtové spektrum signálu (1)

Dalším parametrem je činitel intermodulačního zkreslení IMD, který vzniká při generování modulovaných signálů.

„Tento činitel obvykle udává zkreslení 2. řádu, které je definované poměrem intermodulačních složek $f_1 \pm f_2$ k efektivní hodnotě základní harmonické.“(1)

Při generování trojúhelníkových průběhů se udává linearita tohoto průběhu.

Tato linearita, zobrazena na obr. 2, je definována odchylkou napětí od lineárního průběhu.

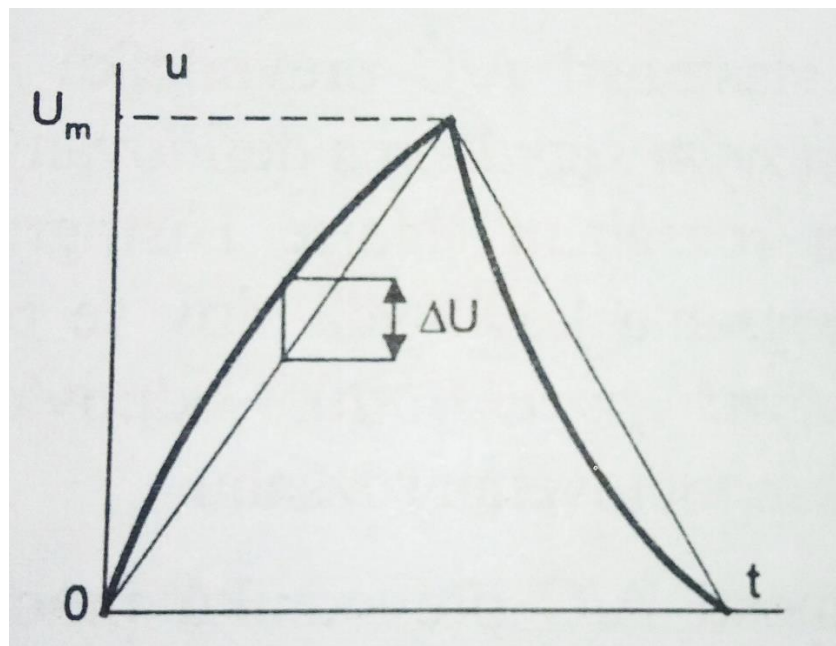
$$NL = \frac{\Delta U}{U_m}$$

Kde,

NL- linearita trojúhelníkového signálu

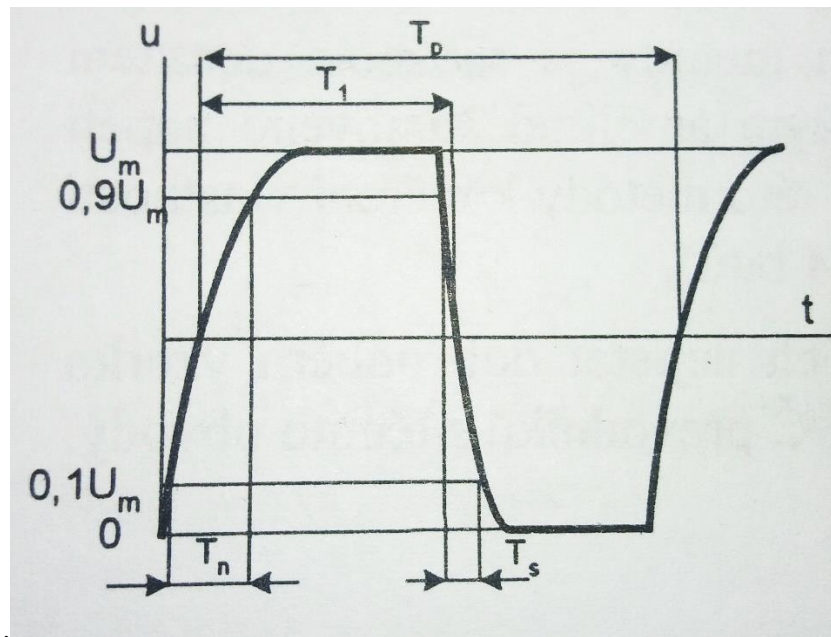
ΔU - odchylka napětí

U_m - lineární průběh signálu



Obrázek 2 - Linearita trojúhelníkového průběhu (1)

„Parametry impulsního signálu se definují dobou periody T_p , kmitočtem $f = 1/T_p$, střídou T_1/T_p , dobou náběhu T_n , a dobou sestupu T_s ,“ (1) viz obr.3.



Obrázek 3 - Parametry impulsního signálu(1)

1.2 Princip analogových generátorů

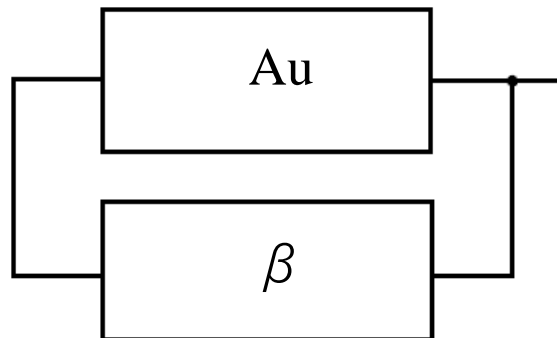
K rozkmitání generátoru tlumenými kmity po připojení napájecího napětí je potřeba akumulace energie, a proto se v obvodech určených ke generování signálu musí vyskytovat reaktance. Na odporech napájecího zdroje vznikají ztráty, které je potřeba nahrazovat, aby nedošlo ke ztrátě kmitání na generátoru. (2)

„Funkci automatického regulátoru energie ze zdroje plní zesilovač s nelineární zpětnou vazbou. Je samozřejmé, že je nutné pokrýt i ztráty, které vzniknou při zatížení generátoru spotřebičem.“ (2)

Generátor se tedy rozkmitává pomocí kladné zpětné vazby, kdy se šum pomocí zesilovače zesílí, přivede pomocí zpětné vazby znovu na začátek a zesílí se znovu až do limitní hodnoty zesilovače. Toto zesílení je potřebné regulovat, aby nedošlo k přebuzení. (2)

1.3 Zpětnovazební oscilátory

Zpětnovazební oscilátor, který je blokově zobrazen na obrázku 4 je nejjednodušší metodou pro vznik oscilací. Tyto oscilátory se skládají ze zesilovače se zesílením A_u a ze zpětnovazebního členu s přenosem β . Tyto oscilátory oscilují na jedné určité frekvenci.



Obrázek 4 - Blokové schéma zpětnovazebních oscilátorů

Zesílení zesilovače se zpětnou vazbou

$$A_{u'} = \frac{A_u}{1 - \beta A_u}$$

Kde,

A_u – zesílení zesilovače

β - přenos

Pro vznik oscilací je nutné splnit dvě následující podmínky.

Podmínky pro vznik oscilací:

$$1 - \beta * A_u = 0$$

$$\beta * A_u = 1$$

$$|\beta| * |A_u| * e^{j(\alpha + \beta)}$$

„Amplitudová podmínka říká, že oscilátor může kmitat jen tehdy, pokud pokles zesílení vyrovnává zpětnovazební článek.“ (3)

$$|\beta| * |A_u| = 1$$

„Fázová podmínka říká, že kmitání se může udržet jen tehdy, pokud je vstupní napětí ve fázi s výstupním.“ (3)

$$\alpha + \beta = 2\pi k$$

Kde,

α – fázový posun zesilovače

β - fázový posun zpětnovazebního členu

k – konstanta 0,1,2,3.....

1.3.1 Zpětnovazební LC oscilátory

K nastavení kmitočtu těchto oscilátorů se používá rezonanční obvod tvořených cívku a kondenzátorem a převážně tranzistorů, které zde slouží jako zesilovací člen. Tyto oscilátory mají výsledný průběh s malým zkreslením, protože rezonanční obvod potlačuje vyšší harmonické. Kmitočet těchto oscilátorů je dán podle Thomsonova vztahu.

Thomsonův vztah

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Kde,

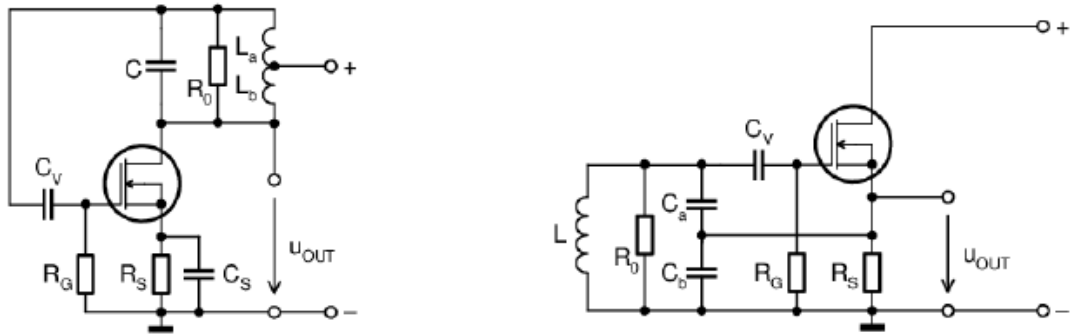
f_0 – středový kmitočet

L – indukčnost cívky

C – kapacita kondenzátoru

Příkladem těchto oscilátorů jsou například tříbodová zapojení. Tříbodová se nazývají proto, že jsou k zesilovacímu prvku spojeny ve třech bodech. Na obrázku 5 a je vyobrazeno schéma Hartleyova oscilátoru, který se vyznačuje odbočkou na cívce.

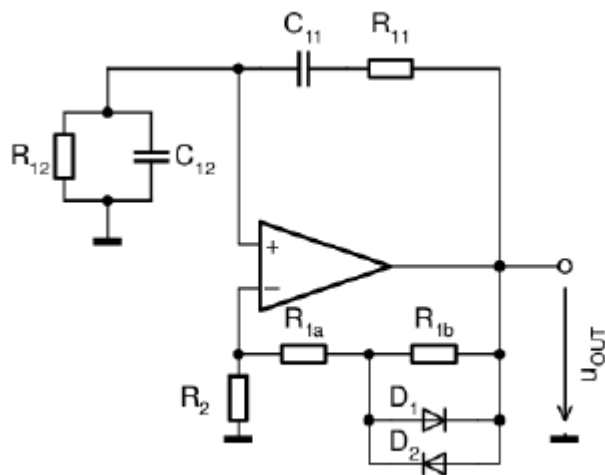
Colpittův oscilátor je dalším ze třítodových zapojení. Jeho rezonanční obvod je tvořen cívkou a dvěma kondenzátory. Zpětná vazba je vedena z odbočky na kapacitním děliči. Oscilátor je vyobrazen na obrázku 5 b.



Obrázek 5 - Analogový oscilátor a) Hartleyův (4), b) Colpittsův (4)

1.3.2 Zpětnovazební RC oscilátory

Dalším typem zpětnovazebních oscilátorů jsou RC oscilátory. Příkladem je oscilátor s Wienovým článkem. Wienův článek se chová jako pásmová propust, potlačuje tedy vyšší nebo nižší kmitočty. Kmitočet oscilátoru je tedy nastaven na středový kmitočet Wienova článku. (4)



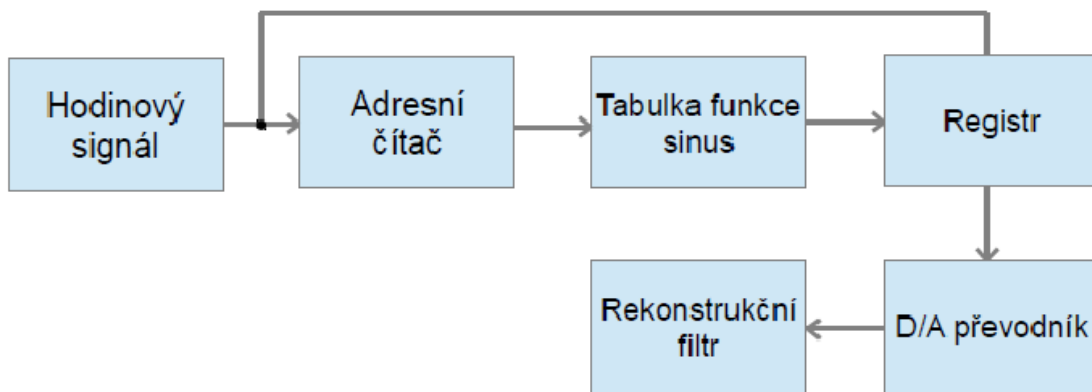
Obrázek 6 - RC oscilátor s Wienovým článkem (4)

1.4 Teorie digitální syntézy

V této podkapitole je shrnut princip digitálních generátorů.

1.4.1 Princip digitální syntézy

Na obrázku 7 je vyobrazeno zjednodušené blokové schéma obvodu digitální syntézy. Pomocí hodinového signálu o konstantním kmitočtu se inkrementují hodnoty v adresním čítači. Tyto digitální vzorky hodnoty napětí nebo proudu jsou ukládány do paměti typu ROM tabulky sinus v jednotlivých fázích jedné periody. Následně jsou tyto digitální hodnoty funkce sinus zapsány do registru. Dalším blokem ve schématu je D/A převodník. Pomocí tohoto převodníku je digitální hodnota vzorků převedena na hodnotu napětí. Posledním blokem celého zapojení je rekonstrukční filtr, který odstraňuje nežádoucí zrcadlové kmitočty. (5)



Obrázek 7 - Blokové schéma digitální syntézy (zjednodušené) (5)

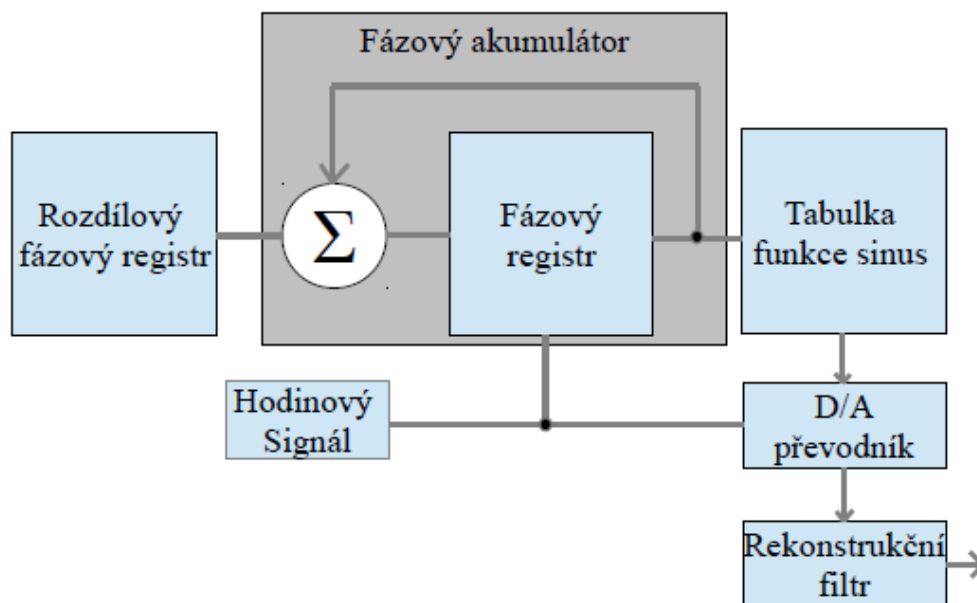
Při změně digitální hodnoty napětí na analogovou hodnou, která probíhá v D/A převodníku, dochází k tzv. kvantizačnímu šumu a k tvorbě zrcadlových kmitočtů. Důvodem vzniku tohoto šumu je zaokrouhlování hodnot v paměti. Šum má negativní dopad na kvalitu výstupního signálu. Kvantizační šum se dá částečně potlačit výběrem D/A převodníku s větším rozlišením. K potlačení zrcadlových kmitočtů se používá rekonstrukční filtr. (5)

Dalším problémem v tomto zapojení obvodu je přeladování výstupní kmitočtu. Prvním způsobem přeladění výstupního kmitočtu je změna hodnoty hodinového signálu. Změna hodnoty hodinového signálu však způsobí posunutí zrcadlových kmitočtů a bude tedy náročné je odfiltrovat. Dalším způsobem, jak měnit výstupní hodnotu kmitočtu, je změna hodnoty

v tabulce funkce sinus. „Ve vysokých kmitočtech by však docházelo ke zhoršování rozlišení a paměť by byla zbytečně zaplňována opakujícími se periodami funkce.“ (5)

1.4.2 Moderní zapojení digitální syntézy

Kvůli složitému přeladování byla vyvinuta praktičtější metoda pro použití digitální syntézy. Moderní zapojení digitální syntézy je vyobrazeno na obrázku 8. Ve fázovém akumulátoru je do fázového registru každý strojový cyklus zapisována binární hodnota z rozdílového fázového registru. Pokud tato hodnota přeteče, zůstane ve fázovém akumulátoru zbytek po tomto přetečení, ke kterému je nadále přičítána hodnota z rozdílového fázového registru. Výsledná hodnota je poté zapisována do paměti ROM funkce sinus. Následně D/A převodník převede digitální hodnoty na hodnoty napětí. Poslední blokem zůstává i nadále rekonstrukční filtr, který odstraňuje nežádoucí kmitočty. (5)



Obrázek 8 - Blokové schéma moderního obvodu digitální syntézy (5)

1.4.3 Tabulka funkce sinus

Tabulka funkce sinus s osmibitovým rozlišením, která je vyobrazena na obrázku 9, odebírání hodnotu z fázového registru a za pomoci hodinového signálu převádí tuto hodnotu na hodnotu kmitočtu. (5)

Výstupní kmitočet digitálního syntezátoru je udáván vztahem

$$f_0 = \frac{M * f_c}{2^n} [Hz]$$

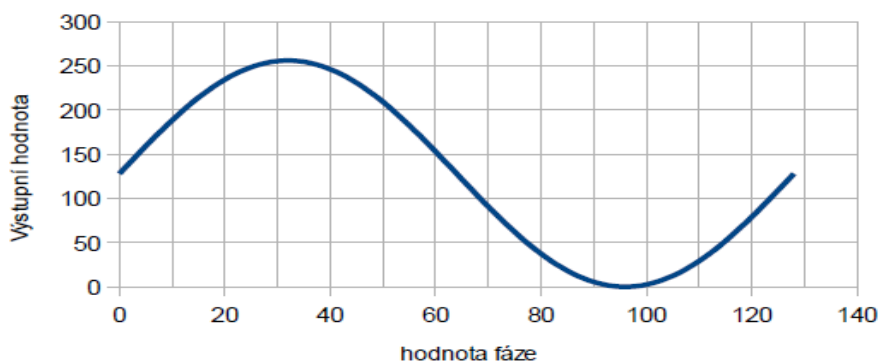
Kde,

f_0 - výstupní kmitočet

f_c - frekvence hodinového signálu

M - obsah rozdílového fázového registru

n - bitové rozlišení

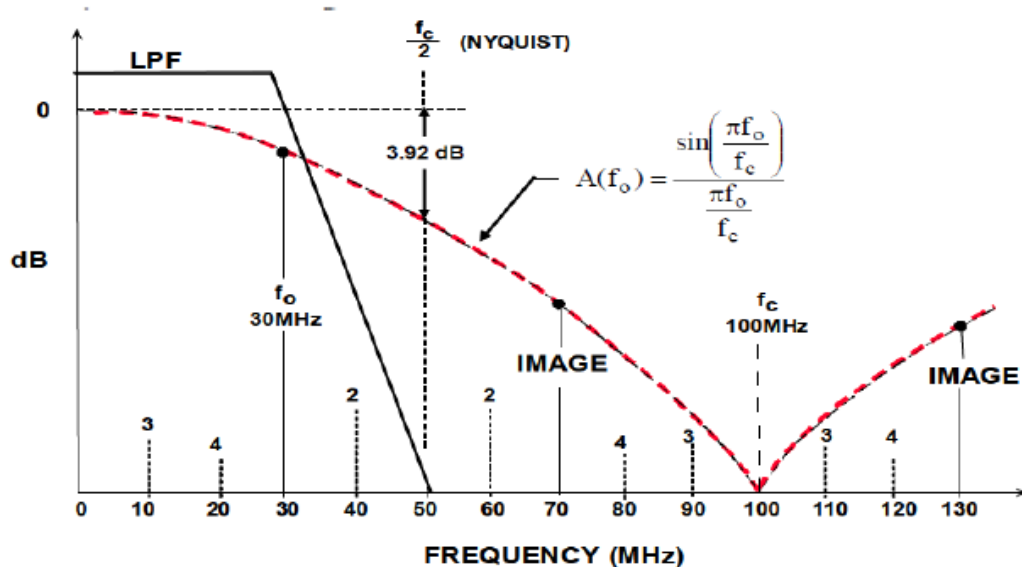


Obrázek 9 - Zjednodušená tabulka funkce sinus (5)

Tato tabulka funkce sinus má délku 128. V případě, že by se v rozdílovém registru nacházela hodnota 2, každý strojový cyklus bude tato hodnota přičítána ve fázovém akumulátoru. V případě, že zvolíme hodinový signál, například 1 kHz, bude jeden strojový cyklus trvat 1 ms. Tímto na výstupu D/A převodníku získáme sinusoidu o periodě 0,064 s a to odpovídá hodnotě 15,625 Hz. (5)

1.4.4 Rekonstrukční filtr

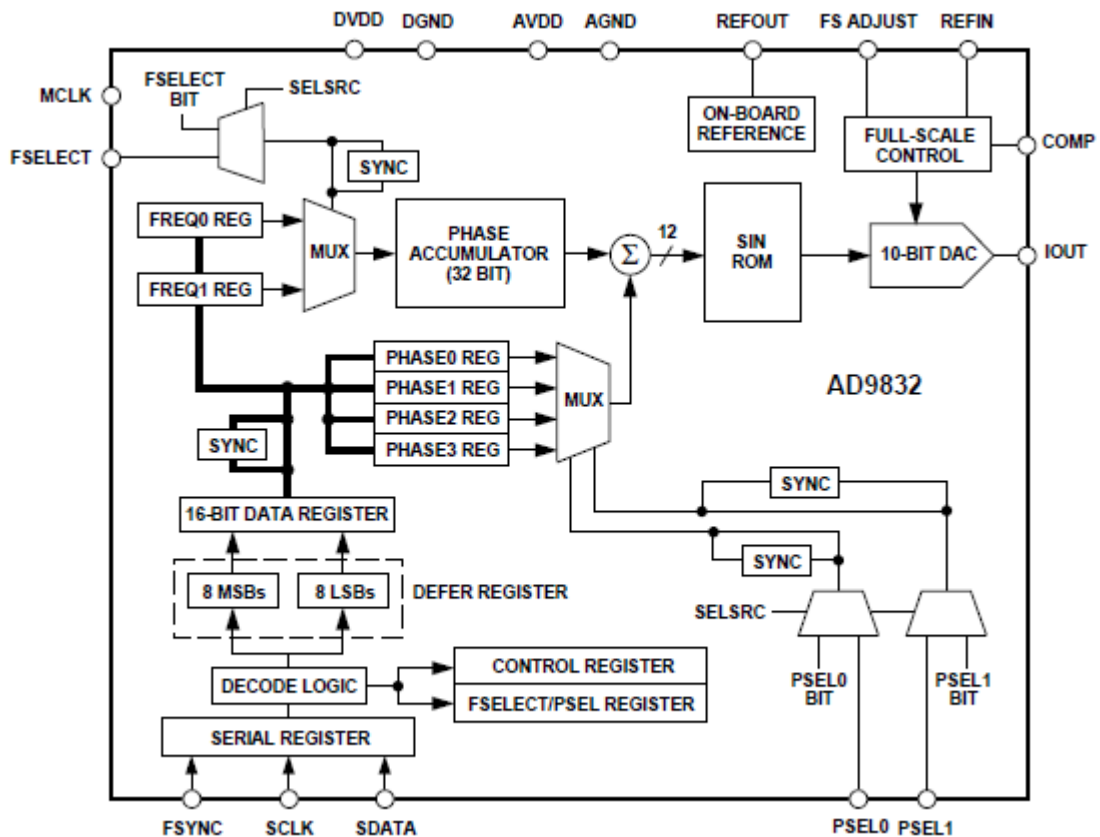
Jak již bylo řečeno, rekonstrukční filtr se používá k odstranění zrcadlových harmonických kmitočtů. Tímto filtrem je potřeba zablokovat převážně vyšší harmonické a z tohoto důvodu je volen filtr typu dolní propust, který nechtěné kmitočty odstraňuje. Přenos tohoto filtru by měl být ideálně do hodnoty Nyquistova kmitočtu, jenž je polovinou vzorkovacího kmitočtu (viz obrázek 10). Takovýto filtr však není možné sestavit, a proto v nepropustném pásmu zrcadlové kmitočty proniknou. Dále do obvodu pronikají násobky základního kmitočtu, které se zrcadlí podle Nyquistova kmitočtu. Tyto kmitočty však neovlivňují kvalitu výstupního signálu. Důvodem je jejich malá hodnota amplitudy oproti velikosti amplitudy základního kmitočtu. (5)



Obrázek 10 - Spektrum signálu na výstupu DDS obvodu (5)

1.5 Popis obvodu AD9832

Integrovaný DDS obvod AD9832, který je blokově znázorněn na obrázku 11 níže, je číslicově ovládaný oscilátor. Obvod také poskytuje frekvenční a fázový modulátor, digitálně analogový převodník. Zároveň je uvnitř tohoto jednoho čipu také možnost použití SINE ROM. (6)



Obrázek 11 - Blokové schéma obvodu AD9832 (6)

1.5.1 NCO s fázovým modulátorem

Obsahuje dva frekvenční registry, fázový akumulátor a čtyři fázové registry. Hlavním komponentem této sekce v obvodu je 32 - bitový fázový akumulátor, který shromažďuje fázové informace pro výstupní signál. Tento signál má fázový rozsah od 0 do 2π . Mimo tento rozsah se funkce periodicky opakuje. Pro vstup dat fázového akumulátoru slouží registry FREQ0 nebo FREQ1. Tyto registry jsou řízeny podle vstupních dat zasílaných z FSELECT pinu. Z těchto dat NCO vygeneruje spojitý signál. Tento signál může být dále fázově modulován pomocí 12 - bitových fázových registrů. (6)

1.5.2 SIN ROM

Tabulka funkce sinus, která z fázových informací tvoří na výstupu obvodu sinusoidu s určitou amplitudou. (6)

1.5.3 D/A převodník

V obvodu se rovněž nachází 10 - bitový D/A převodník s vysokou impedancí. (6)

1.6 Funkce pinů AD9832

V této části je popsána funkce jednotlivých pinů obvodu AD9832. Tyto funkce jsou detailně popsány v (6).

1.6.1 Analogový signál a reference

FS ADJUST – Nastavení rozsahu. Rezistor R_{SET} je připojen mezi tímto pinem a pinem AGND. Tímto odporem se zároveň určuje velikost proudu pro D/A převodník. Vztah pro výpočet proudu je následující.

$$I_{OUT_{FULL-SCALE}} = 12.5 \times V_{REFIN} / R_{SET}$$

$V_{REFIN} = 1.21 \text{ V nominal}, R_{SET} = 3.9 \text{ k}\Omega \text{ typical}$

REFIN – Vstup referenčního napětí. Tento vstup slouží k přivedení referenčního napětí. Toto napětí se dá přivést externě nebo z pinu REFOUT. Hodnota tohoto napětí činí 1,21 V.

REFOUT – Výstup referenčního napětí s nominální hodnotou 1,21 V. Toto napětí se dá použít jako referenční napětí pro D/A převodník připojení na pin REFIN. Tento pin musí být oddělen od AGND 10 nF kondenzátorem.

IOUT – Je to proudový výstup s vysokou hodnotou impedance. Mezi tímto pinem a pinem AGND bude připojený zatěžovací rezistor.

COMP – Tento pin slouží jako vyrovnávací pin pro vnitřní zesilovač. Mezi tímto pinem a pinem AVDD se připojí 10 nF kondenzátor.

1.6.2 Napájení

DVDD – Napájení digitální sekce obvodu.

DGND – Zem pro digitální sekci obvodu.

AGND – Zem pro analogovou sekci obvodu.

AVDD – Napájení analogové sekce obvodu.

1.6.3 Digitální rozhraní a ovládání

MCLK – Vstup pro digitální hodiny. Tímto vstupem se určuje přesnost frekvence na výstupu a fázový šum.

SCLK – Sériový logický vstup pro hodiny. Data jsou do obvodu zapisována na každou sestupnou hranu.

SDATA – Sériový 16 - bit logický datový vstup.

FSYNC – Logický vstup pro synchronizační signál. Pokud je tento signál v logické nule, tak je to informace sloužící obvodu, že se zapisují nová data.

FSELECT – Tímto pinem se nastavuje, který ze dvou frekvenčních registrů FREQ0 nebo FREQ1 je použit pro fázový akumulátor. Tyto registry je možné vybrat pomocí pinu FSELECT nebo bitu FSELECT. FSELECT je vzorkován na náběžnou hranu signálu MCLK. FSELECT musí být v ustáleném stavu, když dojde MCLK k náběžné hraně. Pokud se hodnota změní tak zde existuje nejistota jednoho MCLK cyklu, když je hodnota převáděna do dalšího registru. Pro vyhnutí se této nejistotě by neměla být změna FSELECT souběžná s náběžnou hranou MCLK. Pokud je použit bit pro výběr frekvenčních registrů tak se pin FSELECT spojí s DGND.

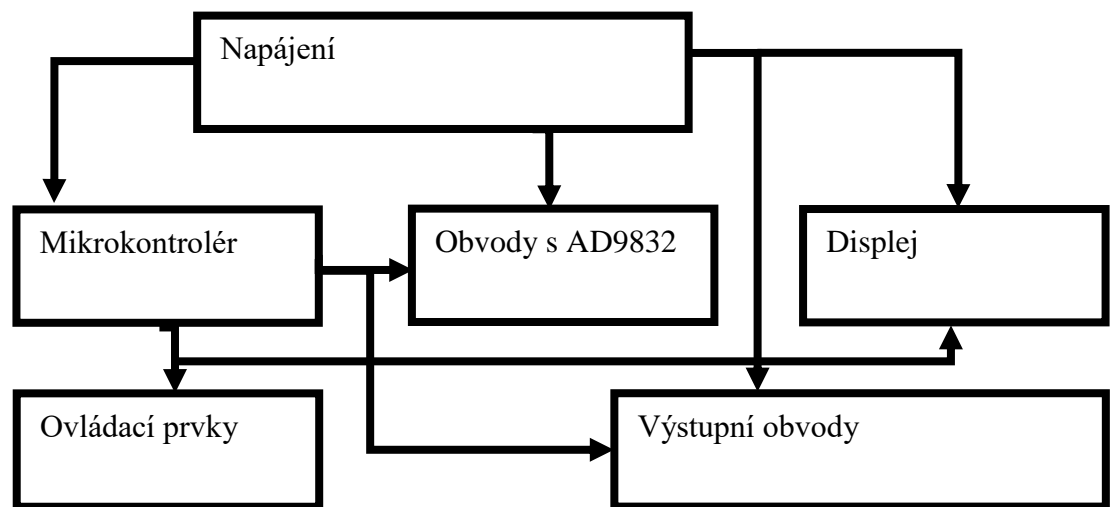
PSEL0, PSEL1 - Fázové vstupy. Obvod AD9832 obsahuje celkem 4 fázové registry. Tyto registry mohou být použity ke změně na vstupu SIN ROM. Obsah těchto registrů se přidá k výstupu fázového akumulátoru. Výběr těchto registrů se zajišťuje piny PSEL0 a PSEL1. Popřípadě jako je tomu u pinu FSELECT bity PSEL0, PSEL1. Pokud jsou fázové registry řízeny pomocí bitů PSEL0 a PSEL1, tak piny PSEL0 a PSEL1 musí být spojeny s DGND.

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Tato část práce čerpá z informací teoretické části práce, zabývá se návrhem a konstrukcí generátoru s AD9832. Tvorbou plošných spojů a softwaru celého zařízení.

2.1 Konstrukce

Obrázek 12 představuje základní blokové schéma funkčního generátoru s AD9832. Dle zadání je obvod ovládán několika tlačítky a rotačním enkodérem. Aktuální hodnoty nastavené pomocí těchto ovládacích prvků jsou snímány mikrokontrolérem a pomocí sběrnice SPI jsou tyto informace zasílány do obvodu digitální syntézy AD9832. Tento obvod z přijatých hodnot vytvoří sinusoidu o uživatelem nastaveném kmitočtu, amplitudě a offsetu. Hodnoty kmitočtu lze nastavovat v rozsahu 0 až 200 kHz. Pomocí výstupních obvodů lze měnit hodnoty amplitudy v rozmezí 0 V až 2 V a hodnoty offsetu v rozsahu -500 mV až 500 mV. Páčkovým přepínačem je ovládán tvar výstupního signálu sinus nebo obdélník. Aktuální nastavované hodnoty jsou postupně zobrazovány na dvouřádkovém LCD displeji. Kompletní schéma funkčního generátoru je umístěno v příloze A.



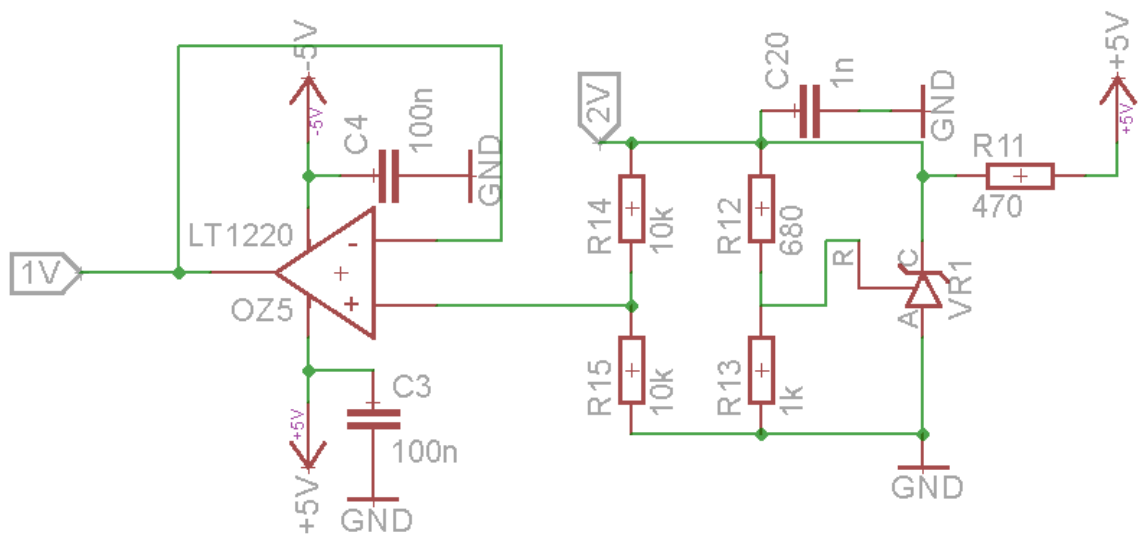
2.2 Návrh DPS

Celý generátor se skládá ze dvou desek s plošnými spoji. Z hlavní desky a z redukce. Redukce k hlavní desce je jednovrstvá deska s integrovaným obvodem AD9832 a součástkami k jeho řízení. Hlavní deska je dvouvrstvá s mědí vylitou zemí na spodní straně. Na této desce se nachází konektory na přívod napětí 5 V. Výstupní obvody, které slouží k úpravě signálu, ovládací prvky určené k nastavení výstupní hodnoty. Mikrokontrolér pro řízení celého zařízení. Dále pak LCD displej, ISP konektor určený k možnému přeprogramování procesoru

a BNC konektor pro získání výstupního signálu. Sestavený generátor funkcí s AD9832 je uveden v příloze E. Návrh DPS a seznam součástek pro hlavní DPS je uveden v příloze F.

2.2.1 Napájení

Napájení je důležitou částí všech elektronických obvodů. Integrované obvody v zařízení jsou napájeny pomocí dvou AC/DC adaptérů se stabilizovaným napětím +5 V. Tyto dva adaptéry jsou zapojeny jako symetrický zdroj napětí, proto aby bylo dostáno záporné hodnoty napětí -5 V, na napájení operačních zesilovačů. Pro potřeby obvodu bylo nutné toto napětí dále regulovat na 1 V a 2 V. K této regulaci napětí slouží obvod zobrazený na obrázku 13.



Obrázek 13 - Schéma zapojení napájecí části

Hlavní částí tohoto obvodu je třísvorkový napěťový regulátor s nastavitelným výstupním napětím TL431A, který je ve schématu označen jako VR1. Díky tomuto obvodu bylo možné nastavit požadované napětí 2 V a podle vzorce pro výpočet výstupního napětí, zvolit potřebné hodnoty rezistorů.

$$V_{out} = V_{ref} \left(1 + \frac{R_{12}}{R_{13}} \right)$$

Kde,

V_{out} – výstupní napětí

V_{ref} – referenční napětí 1,24 V

R_{12} – zvolený odpor 680 Ω

R_{13} – zvolený odpor 1000 Ω

Toto napětí je dále děleno pomocí napěťového děliče sestaveného ze dvou rezistorů o hodnotě 10 k Ω . Pro kontrolu tohoto napětí je na výstup děliče připojen napěťový sledovač.

2.2.2 Mikrokontrolér

Pro řízení generátoru s AD9832 a obvodů s ním spojenými byl vybrán mikrokontrolér ATmega8A od firmy Atmel. Zdrojový kód, který je potřebný pro správný chod zařízení je sepsán v programu Atmel Studio 7.0 v jazyce C. Programování mikrokontroléru probíhá přes 10 - pinový ISP konektor standardu KANDA zobrazeného na obrázku 14.



Obrázek 14 - ISP konektor KANDA 2x5 pinů (7)

Jako programátor mikrokontroléru byl použit AVRprog USB v3. Tento programátor je specificky určen pro programování mikrokontrolérů z rodiny AVR a je také kompatibilní s prostředím BASCOM nebo AVRDUDE. (7)

Řízení obvodů v generátoru s AD9832 je zajištěno přes datovou sběrnici SPI. Zdrojový kód k inicializaci sběrnice a funkcí ke čtení a zápisu dat do sběrnice SPI je zobrazen níže.

Zdrojový kód je částečně převzat a upraven z (8).

```
void InitSPI(void){ //funkce sloužící k inicializaci sběrnice SPI

    SPI_PORT |= (1<<DD_SS) | (1<<DD_MISO);
    SPI_DDR &= ~ (1<<DD_MISO);
    SPI_DDR |= (1<<DD_MOSI) | (1<<DD_SCK) | (1<<DD_SS);
    //nastavení funkčního registru SPI (SPCR), CPHA=0 a CPOL=1
    SPCR |= (1<<SPE) | (1<<MSTR) | (1<<SPR1) | (1<<CPOL);
    SPCR &= ~ (1<<DORD);

    PORTD=PORTD|(1<<FSYNC);
    DDRD=DDRD|(1<<FSYNC);

    PORTC |= (1 << PINC5);
    DDRC |= (1 << PINC5);
```

```

        DDSinit();
    }

    void WriteByteSPI(unsigned char byte){ //funkce sloužící k zápisu dat do sběrnice SPI

        SPDR = byte; //Nahraj byte do SPI datového registru
        while(!(SPSR & (1<<SPIF))); // čekání na ukončení přenosu
    }

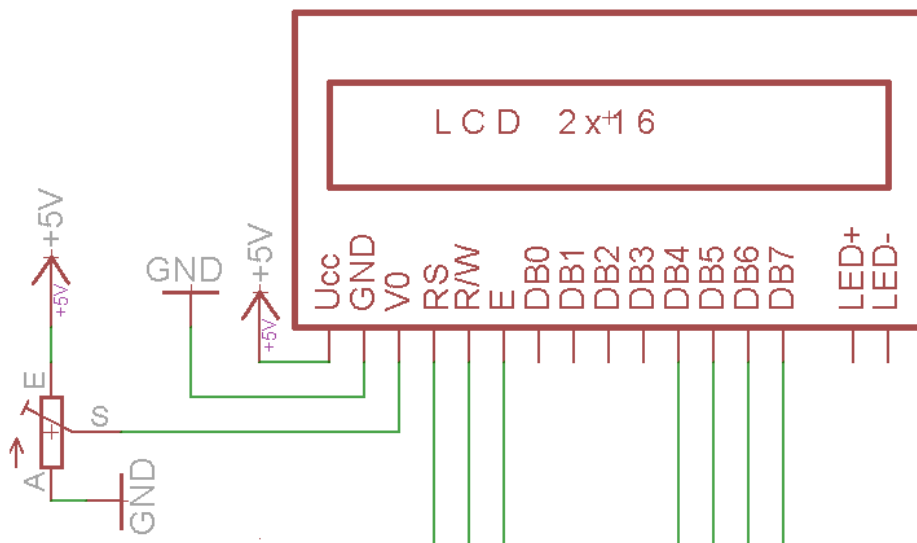
    unsigned char ReadByteSPI(void) //funkce sloužící ke čtení dat ze sběrnice SPI
    {
        SPDR = 0xFF; //Nahraj byte do datového registru
        while(!(SPSR & (1<<SPIF))); // čekání na ukončení přenosu
        return SPDR; // navratova hodnota - přijatá data
    }

    unsigned char WriteAndReadByteSPI(unsigned char byte){
        SPDR = byte; // Nahraj byte do SPI datového registru
        while(!(SPSR & (1<<SPIF))); // čekání na ukončení přenosu
        return SPDR; // návratová hodnota - přijaté data
    }
}

```

2.2.3 LCD displej

Jako zobrazovací prvek funkčního generátoru s AD9832 byl vybrán alfanumerický LCD displej od firmy Winstar. Jedná se konkrétně o displej WH1602A s charakterem 2x16. Na displeji je tedy možné zobrazit znaky ve dvou řádcích po šestnácti znacích. Schéma zapojení je zobrazeno na obrázku 15.



Obrázek 15 - Schéma zapojení LCD

Ze schématu je patrné, že na pin Ucc je připojeno napájení, pin GND je uzemněn a na pin V0 je připojen trimr o hodnotě odporu 10 kΩ. Tento trimr slouží k nastavení kontrastu zobrazovače. Piny RS, R/W a E slouží k řízení řadiče a jsou připojeny k mikrokontroléru. Dále piny DB0 – DB7 slouží jako datové sběrnice. Pro komunikaci je displej zapojen pouze ve 4 bitovém režimu. Důvodem je nedostačující počet volných portů na mikrokontroléru.

Knihovna pro ovládání LCD displeje je velmi rozsáhlá a z tohoto důvodu se vyskytuje pouze v hlavním programu přiloženém na CD. Tato knihovna je převzata z (9).

Pro ukázkou jsou v písemné práci uvedeny čtyři nejpoužívanější funkce.

`lcd_gotoxy(x,y);` - tato funkce nastaví kurzor na pozici x, y.
`lcd_puts(" ");` - tato funkce vypíše požadovaný znak ve formátu string na pozici kurzoru
`lcd_clrscr();` - smazání všech znaků na displeji
`lcd_init(LCD_DISP_ON);` - inicializace displeje a jeho zapnutí

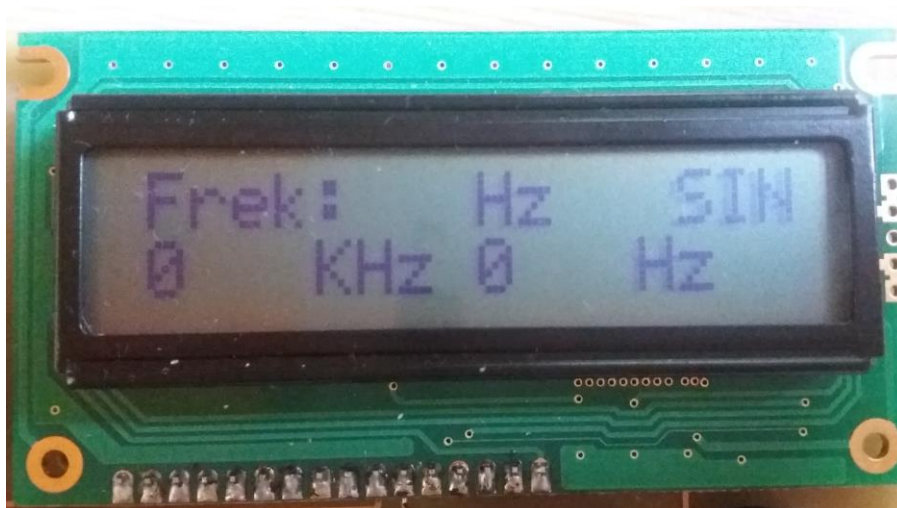
Pro zobrazení aktuální hodnoty proměnné, pomocí funkce `printf`, bylo nutné jednu funkci pozměnit. Zdrojový kód, který je k tomu určený, je zobrazený níže.

```
int lcd_putc2(char c, FILE *stream)
{
    lcd_putc(c);
    return 0;
}

void presmeruj()
{
    static FILE vystup =
        FDEV_SETUP_STREAM(lcd_putc2,
            NULL, _FDEV_SETUP_WRITE);
    stdout = &vystup;
}
```

Autorem tohoto zdrojového kódu je Ing. David Matoušek.

Při nastavování hodnoty kmitočtu je na displeji v prvním řádku zobrazená nastavovaná veličina. Dále pak nastavovaná jednotka kmitočtu a výběr tvaru výstupního signálu. V druhém řádku je zobrazena uživatelem nastavená aktuální číselná hodnota. Viz obrázek 16.



Obrázek 16 - Menu pro nastavování kmitočtu

Při nastavování amplitudy je na displeji v první řádce opět zobrazená nastavovaná veličina v rozmezí špička-špička "PP", jednotka a nastavovaný tvar výstupního signálu. V druhém řádku je zobrazena aktuální hodnota nastavované amplitudy. Viz obrázek 17.



Obrázek 17 - Menu pro nastavování amplitudy

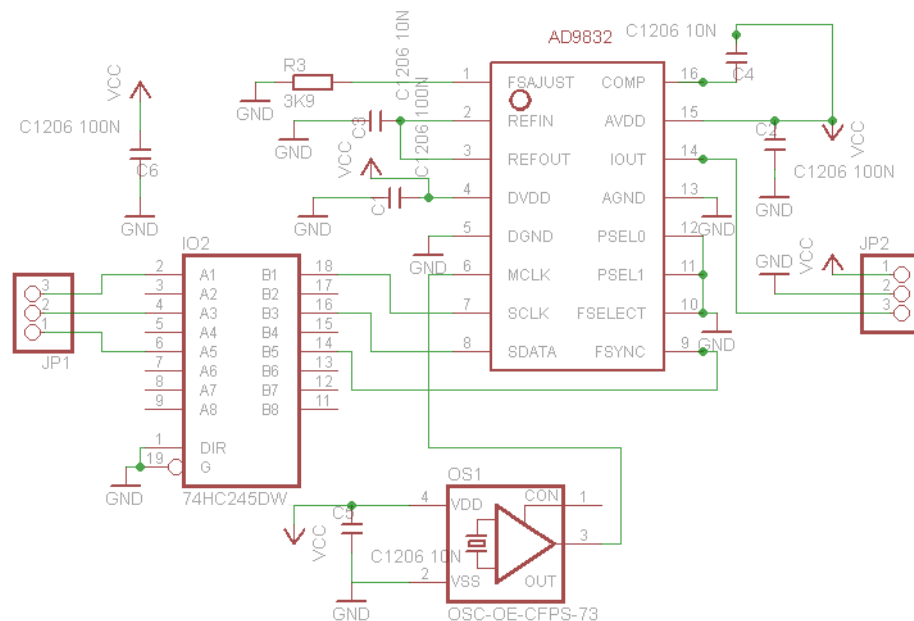
Třetím stavem je nastavení offsetu. Rozložení menu a nastavovaných veličin je totožné viz obrázek 18.



Obrázek 18 - Menu pro nastavování offsetu

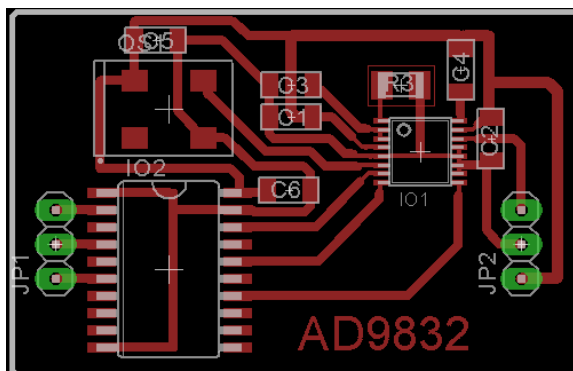
2.2.4 Obvody s AD9832

Jak je patrné ze schématu zapojení na obrázku 19, tak digitální generátor AD9832 ke své funkci nepotřebuje velké množství součástek. Celé zapojení se skládá převážně z pasivních prvků (kondenzátorů), které se starají a zadržení nežádoucího napětí. Dále na pin 6 je připojen generátor hodinového signálu a hodnotě 25 MHz. Dalším integrovaným obvodem zapojení je integrovaný obvod 74HC245DW ve schématu zobrazený jako IO2. Tento obvod slouží jako budič pro hodnoty logických funkcí přicházejících z mikrokontroléru.

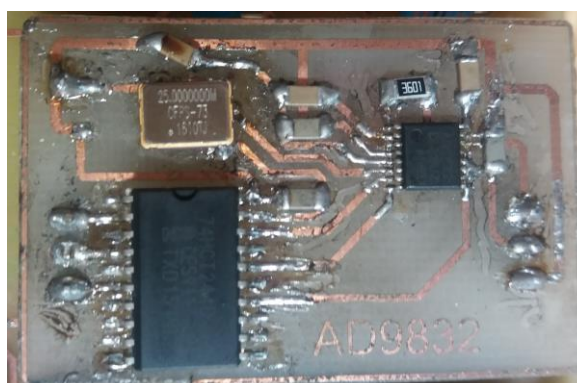


Obrázek 19 - Schéma zapojení obvodu AD9832

Deska plošného spoje byla navržena jako redukce na hlavní desku plošného spoje. S hlavní deskou je tato redukce spojena přes pin heady JP1 a JP2. Pin head JP1 je spojen s mikrokontrolérem na pinech SCLK, SDATA a FSYNC. Tyto piny tvoří sériovou sběrnici SPI, která řídí chod a nastavení obvodu AD9832. Přes pinhead JP2 je do obvodu vedeno napájení 5 V, uzemnění a je odtud vyveden výstupní signál.



Obrázek 20 – Návrh DPS redukce



Obrázek 21 - Sestavená redukce

Při návrhu DPS došlo k drobné chybě se špatně uzemněným kondenzátor C5 umístěným nad generátorem hodinového signálu OS1. Tato chyba byla ve schématu a v návrhu DPS odstraněna. Nebyla však vyrobena nová deska, ale oprava proběhla na desce původní.

Tabulka 1 - Seznam součástek redukce

Pořadové číslo	Označení součástky na DPS	Název/hodnota	Pouzdro	Poznámka
1	C1	100 nF	SMD 1206	
2	C2	100 nF	SMD 1206	
3	C3	10 nF	SMD 1206	
4	C4	10 nF	SMD 1206	
Pořadové	Označení součástky	Název/hodnota	Pouzdro	Poznámka

číslo	na DPS			
5	C5	10 nF	SMD 1206	
6	C6	100 nF	SMD 1206	
7	IO1	AD9832	TSSOP-16	
8	IO2	74HCT244D	SOL20	
9	JP1	S1G03		Oboustranný kolík, 3 pin, 2,54 mm
10	JP2	S1G03		Oboustranný kolík, 3 pin, 2,54 mm
11	OS1	CFPS-73 1610TJ	SMD, 7 mm x 5 mm	Oscilátor 25 MHz
12	R3	3,9 k Ω	SMD 1206	

Jak již bylo řečeno řízení obvodu probíhá po sběrnici SPI. Zdrojový kód pro řízení obvodu je vyobrazen níže.

```

void DDSposli(unsigned x)
{
    PORTD=PORTD&~(1<<FSYNC); //FSYNC=0
    WriteByteSPI((x>>8)&0xFF);
    WriteByteSPI(x&0xFF);
    PORTD=PORTD|(1<<FSYNC); //FSYNC=1
}

void DDSinit()
{
    DDSposli(0xD800);
    DDSposli(0xC000);
}

void DDSnastav(float f)
{
    float f0=25e6/4294967296.0; //2 na 32
    unsigned long v=f/f0;
    unsigned char v0=v&0xFF;
    unsigned char v1=(v>>8)&0xFF;
    unsigned char v2=(v>>16)&0xFF;
    unsigned char v3=(v>>24)&0xFF;

    DDSposli(0x3000|v0); //nejnizsi
    DDSposli(0x2100|v1); //nizsi
    DDSposli(0x3200|v2); //vyssi
    DDSposli(0x2300|v3); //nejvyssi
}

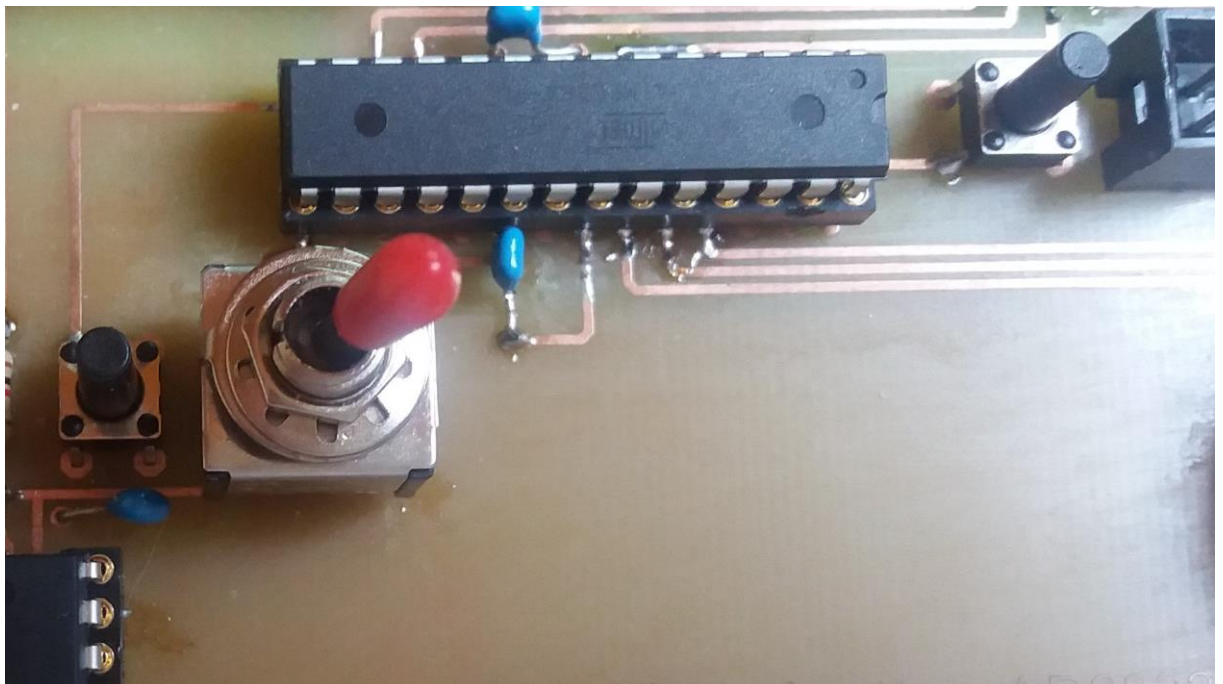
```

Autorem tohoto zdrojového kódu je Ing. David Matoušek.

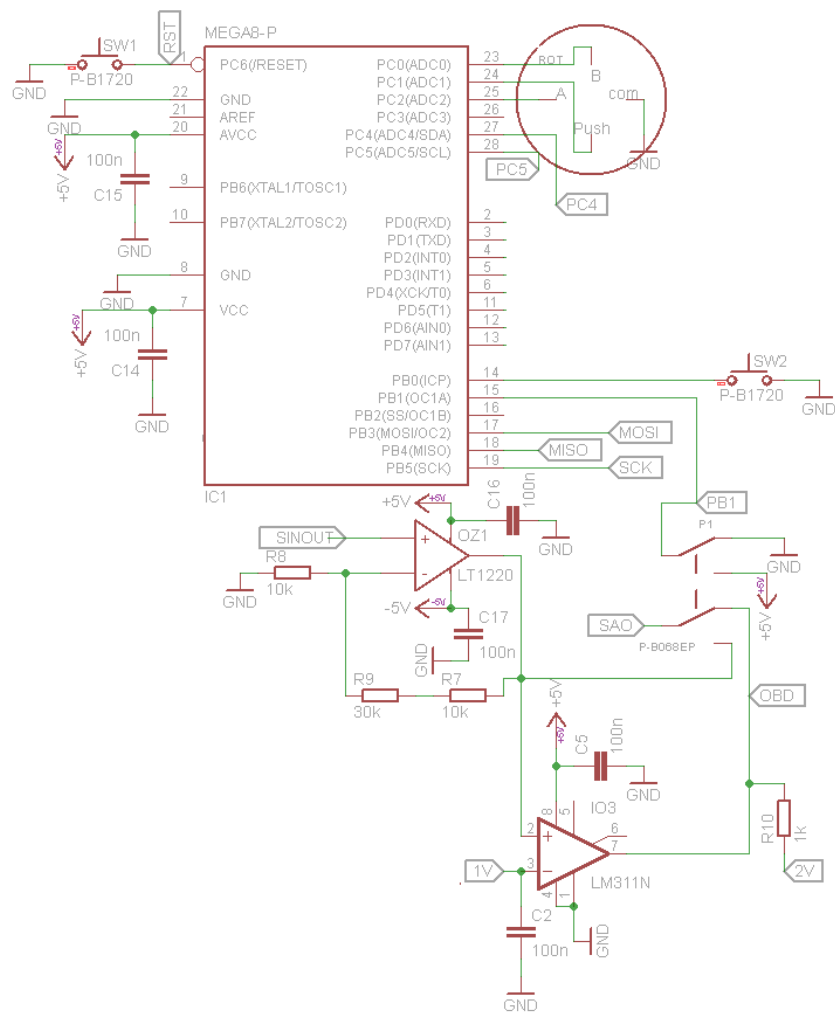
Funkce DDSnastav přijme uživatelem nastavený kmitočet. Tento kmitočet je pomocí hodinového signálu a koeficientu navzorkován a následně pomocí funkce DDSposli zapsán do obvodu AD9832. Zápis probíhá, pokud je synchronizační signál v logické 0. Zápis poté končí, objeví-li se synchronizační signál v logické 1. Digitální generátor poté z těchto informací vytvoří sinusový signál o uživatelem nastavené frekvenci s amplitudou 0,2 V.

2.2.5 Ovládací prvky

Na obrázku 22 je zobrazený mikrokontrolér ATmega8A společně se třemi ovládacími prvky, které slouží k nastavení výstupního signálu. Schéma zapojení Ovládacích prvků je zobrazeno na obrázku 23. Na pravé straně od mikrokontroléru je umístěn spínač P-B1720, který slouží k resetování programu v mikrokontroléru. Při stisknutí tohoto tlačítka je pin reset umístěný na první pozici spojen se zemí a dojde tak k restartu celého zařízení. Ve schématu je tento spínač označen jako SW1.



Obrázek 22 - Rozmístění ovládacích prvků



Obrázek 23 - Schéma zapojení ovládacích prvků

Druhým ovládacím prvkem generátoru je páčkový přepínač P – B068EP. Ve schématu označen jak P1. Tento přepínač slouží k výběru tvaru výstupního signálu. Uživatel přepnutím vybere mezi sinusoidou a obdélníkovým tvarem výstupního signálu. Na první část tohoto přepínače je přiveden sinusový a obdélníkový signál. Druhá část tohoto přepínače je přivedena k mikrokontroléru, kde se pomocí jednoduchého kódu zobrazeného níže určuje, o jaký z těchto dvou signálů se jedná.

```

if(bit_is_clear(PINB,1))
{
    lcd_gotoxy(13,0);
    lcd_puts("OBD");
}
else
{
    lcd_gotoxy(13,0);
    lcd_puts("SIN");
}

```

Jedná se o jednoduchou funkci ke kontrole bitu. V tomto případě, pokud je bit na PINU B1 prázdný, tak se na LCD displeji v prvním řádku na pozici třináct, objeví signalizace obdélníkového signálu "OBD". Pokud je tento bit naplněn, je na této pozici vypsána signalizace pro sinusový signál "SIN".

Třetím ovládacím prvkem generátoru s AD9832 je inkrementální spínač od firmy ZIPPY. Tento spínač je zobrazen na obrázku 23 (ve schématu označen jako ROT). Jedná se konkrétně tedy o spínač KC-I1B-01G-1-Z. Tímto spínačem se nastavují aktuální číselné hodnoty frekvence, amplitudy a offsetu výstupního signálu.



Obrázek 24 - Inkrementální spínač ZIPPY

Pro funkčnost inkrementálního spínače bylo nutné zjistit stav směru otáčení a poziční kód.

Zdrojový kód je částečně převzat z (10).

```
void inirs(void)
{
    PORTC |= (1 << PINC0) | (1 << PINC1) | (1 << PINC2);
    DDRC |= (1 << PINC0) | (1 << PINC1) | (1 << PINC2);
}
```

Funkce inirs se stará o inicializaci na portu C jako vstupní piny v mikrokontroléru a zároveň zapíná pull-up rezistory. (10)

```
unsigned char ctivz(void)
{
    unsigned char a,b;

    do
    {
        a=(~PINC)&0b111;
        _delay_us(RS_ZAKMITY_US);
        b=(~PINC)&0b111;
    } while (a!=b);
}
```

```
    return a;
}
```

Při zavolání funkce ctivz jsou získány vzorky s časovou prodlevou RS_ZAKMITY_US, která trvá po dobu 1000 μ s. Tyto vzorky jsou potřebné k získání k pozičnímu kódu spínače ve funkci ctitrs. (10)

```
unsigned char ctitrs(void)
{
    unsigned char v1,v2,k;

    v1=ctivz();
    _delay_us(RS_ZMENA_US);
    v2=ctivz();

    k=((v1&0b101)<<4)+(v2&0b101);

    if (k==0x01 || k==0x15 || k==0x54 || k==0x40)
        return 1;

    if (k==0x04 || k==0x45 || k==0x51 || k==0x10)
        return 2;

    return 0;
}
```

Funkce stitrs se stará o dekodování vzorků z funkce ctivz a vrací poziční kód, který určuje směr otáčení inkrementálního spínače. Tedy vzorky získané z předešlé funkce se uloží do proměnných v1 a v2 znovu s časovou prodlevou 1000 μ s. Z těchto vzorků se vyberou pouze bity 0 a 2 dále se sestaví kód, který v horních čtyřech bitech obsahuje hodnotu prvního vzorku a v dolních čtyřech bitech hodnotu druhého vzorku. Tento kód se poté uloží do proměnné k. Po dekodování je vrácen poziční kód 1 pro otáčení spínače po směru hodinových ručiček nebo je vrácen poziční kód 2 pro otáčení proti směru hodinových ručiček. Funkce vrací poziční kód 0, pokud je spínač v klidové poloze. (10)

Středové tlačítko inkrementálního spínače slouží výhradně ke změně nastavované frekvenční hodnoty. Kvůli zákmitům na tlačítku byla navržena část kódu s povolením přepnutí při stisku tlačítka.

```

if(bit_is_set(PINC, 1))
{
    povoleni_prepnuti2 = 1; //povolí se přepínání
}

if (bit_is_clear(PINC, 1) && (povoleni_prepnuti2 == 1))
//pokud je na bytu nula a je zároveň povoleno přepínání
{

    i++;           //inkrementace i
    _delay_ms(100); //časová prodleva proti zákmitům

    if(i>=2)      //podmínka-při hodnotě i>2 se hodnota i vrátí na nulu
    {
        i = 0;
    }

    povoleni_prepnuti = 0;
//zakázané přepnutí - pro opětovné přepnutí se musí objevit nová logická hodnota
}

```

Po ošetření tlačítka následuje přepočítání nastavené hodnoty mezi Hz a kHz.

Posledním ovládacím prvkem je spínač nalevo od páčkového přepínače (ve schématu značen jako SW2). Tímto tlačítkem uživatel přepíná nastavenou hodnotu frekvence, amplitudy a offsetu. Zdrojový kód je popsán v příloze B.

2.2.6 Výstupní obvody

Výstupní obvody slouží k úpravě výstupního signálu z obvodu AD9832. Generátor signálu vygeneruje sinusový signál s amplitudou 0,2 V. Schéma pro úpravu signálu je zobrazeno na obrázku 24. Tento signál je přiveden na neinvertující zesilovač tvořeného z operačního zesilovače LT1220 a třech rezistorů sloužících pro nastavení zesílení. Operační zesilovač LT1220 byl zvolen především kvůli své velké šířce pásma. Rezistory byly vybrány podle vzorce k zesílení amplitudy signálu na 1 V.

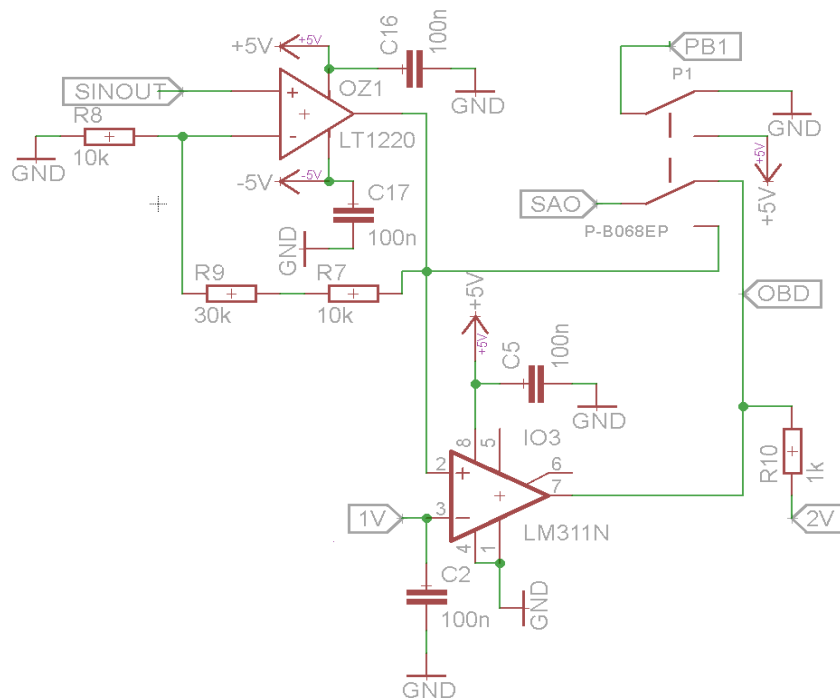
$$U_{OUT} = U_{in} \left(1 + \frac{R_9 + R_7}{R_8} \right)$$

Kde,

U_{out} – požadované výstupní napětí (v tomto případě 1 V)

U_{in} – vstupní napětí (v tomto případě 0,2 V)

R_7, R_8, R_9 – Rezistory sloužící k nastavení zesílení

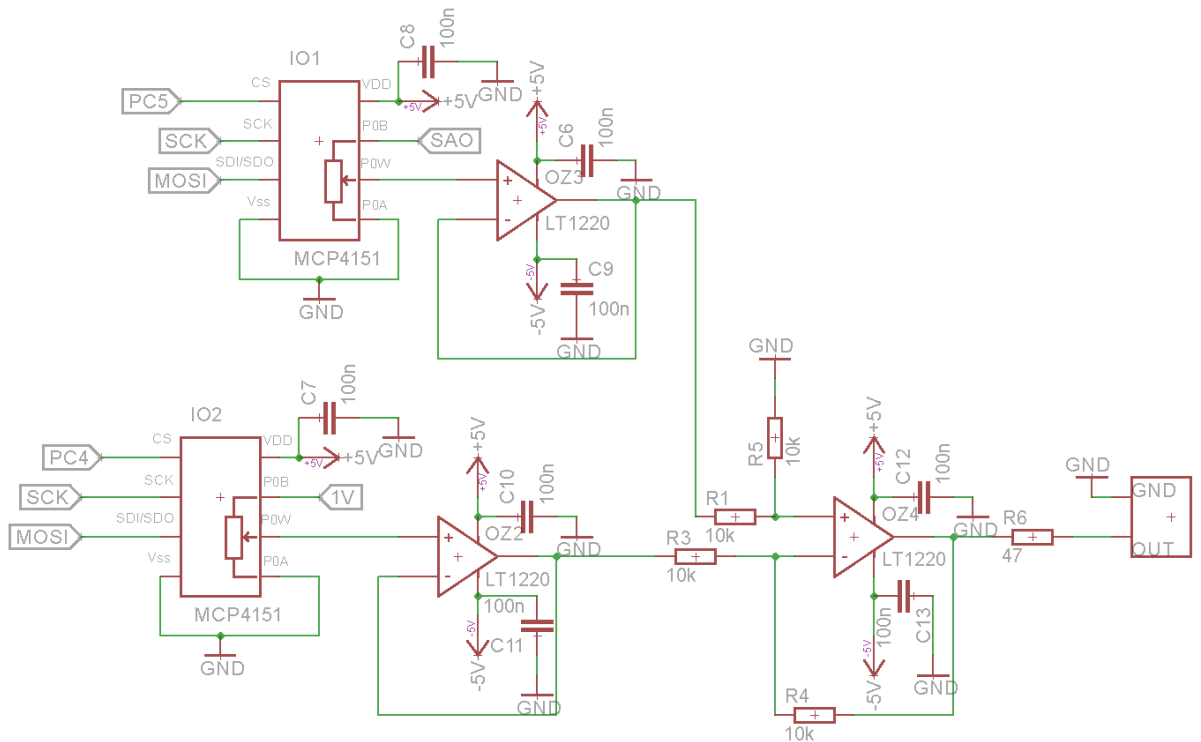


Obrázek 25 - Schéma zapojení pro úpravu tvaru výstupního signálu

Signál dále pokračuje na páčkový přepínač, kterým uživatel volí tvar výstupního signálu a komparátor. Signál vycházející z obvodu AD9832 je pouze kladné polarity. K tvorbě obdélníkového signálu byl vybrán komparátor LM311, protože z tohoto sinusového signálu vytvoří obdélníkový signál také pouze s kladnou polaritou. Toto velice zjednodušuje úpravu offsetu a amplitudy.

Schéma pro lineární změny amplitudy a offsetu je zobrazeno na obrázku 25. Uživatelem zvolený signál SAO je přiveden na integrovaný obvod MCP4215. Jedná se o digitální potenciometr o hodnotě 100 k Ω . Tento potenciometr se skládá z 256 rezistorů a je řízený pomocí sběrnice SPI. Nastavením odporu na tomto potenciometru tedy lineárně měníme aktuální velikost amplitudy signálu. Velikost amplitudy signálu je dále kontrolována napěťovým sledovačem. K tomuto signálu je pomocí součtového sledovače se zesílením jedna přičtena hodnota offsetu. Hodnoto offsetu se nastavuje pomocí druhého digitálního potenciometru. Takto kompletní signál je vyveden pomocí BNC konektoru s přibližnou impedancí 50 Ω . Zdrojový kód pro řízení digitálních potenciometrů je uveden v příloze C. Tento zdrojový kód byl převzat a upraven z (11).

Všechny napájecí vstupy v obvodu jsou ošetřeny 100 nF keramickými blokovacími kondenzátory.

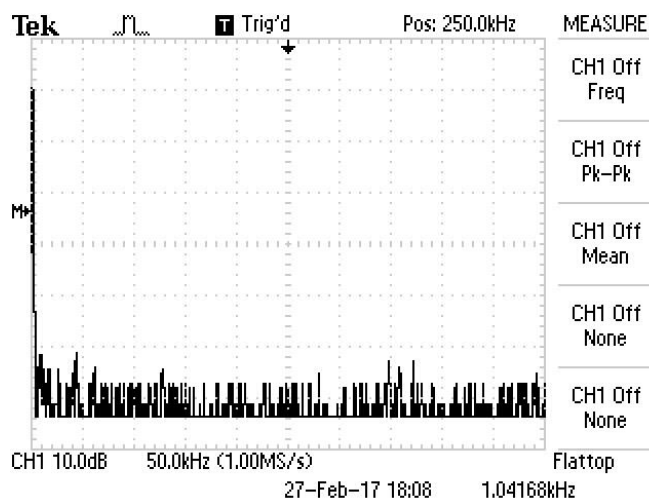


Obrázek 26 - Schéma zapojení pro změnu offsetu a amplitudy

2.3 Měření

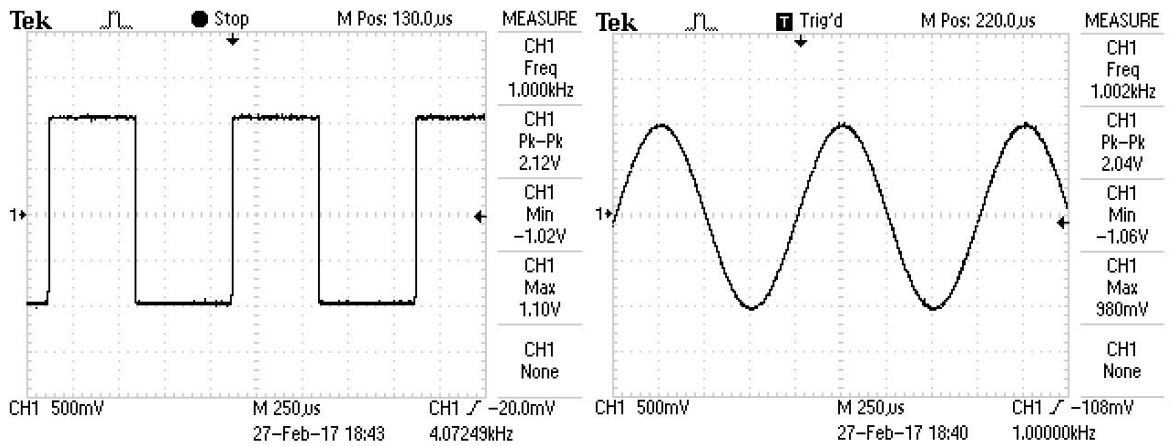
Měření bylo prováděno v laboratorních podmínkách na Univerzitě Pardubice. Z osciloskopu byly zaznamenány sinusové a obdélníkové průběhy s různými hodnotami frekvence, amplitudy a offsetu.

Obrázek 26 představuje frekvenční spektrum pro hodnotu frekvence 1 kHz. Z tohoto průběhu je patrné, že se na této hodnotě nevyskytují žádné vyšší rušivé harmonické.



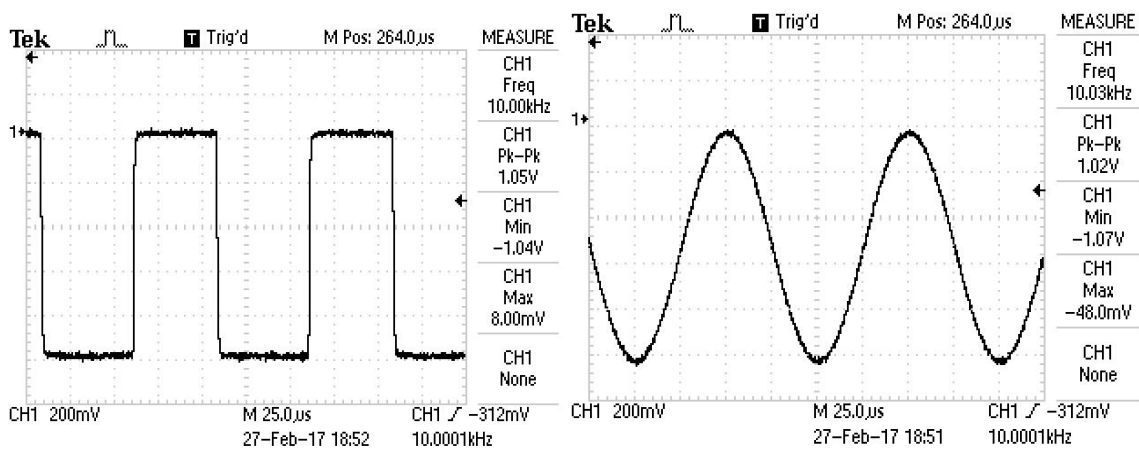
Obrázek 27 - Frekvenční spektrum $f = 1 \text{ kHz}$

Sinusový a obdélkový průběh zaznamenaný na obrázku 27 je tedy čistý. Průběhy byly zaznamenány s nastavenou amplitudou signálu 2 V a hodnotou offsetu 0 V.



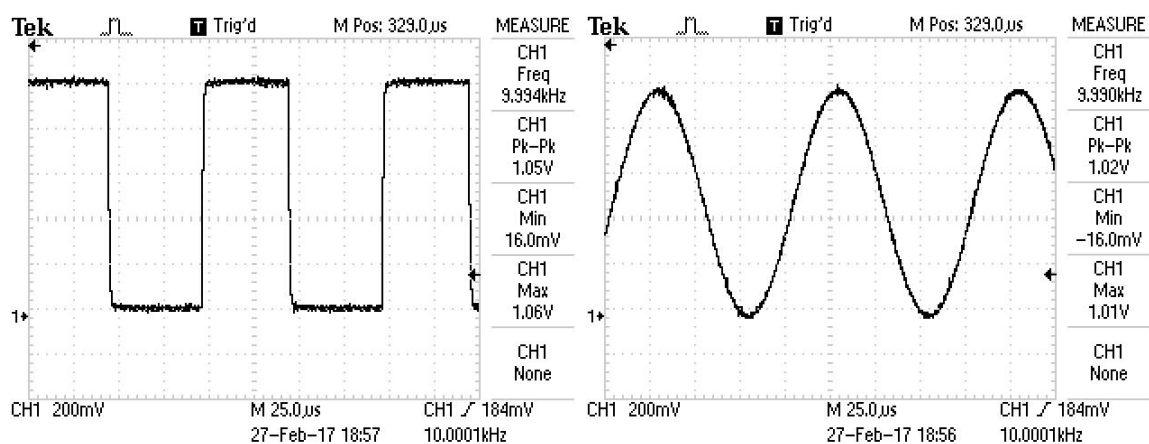
Obrázek 28- Oscilogram $f = 1 \text{ kHz}$, $A = 2 \text{ V}$, $\text{Off} = 0 \text{ V}$, a) obdélník, b) sinus

Na průbězích zaznamenaných na obrázku 28, je poukázáno na změnu hodnoty amplitudy. Nastavená hodnota amplitudy je pro tento případ 1 V.



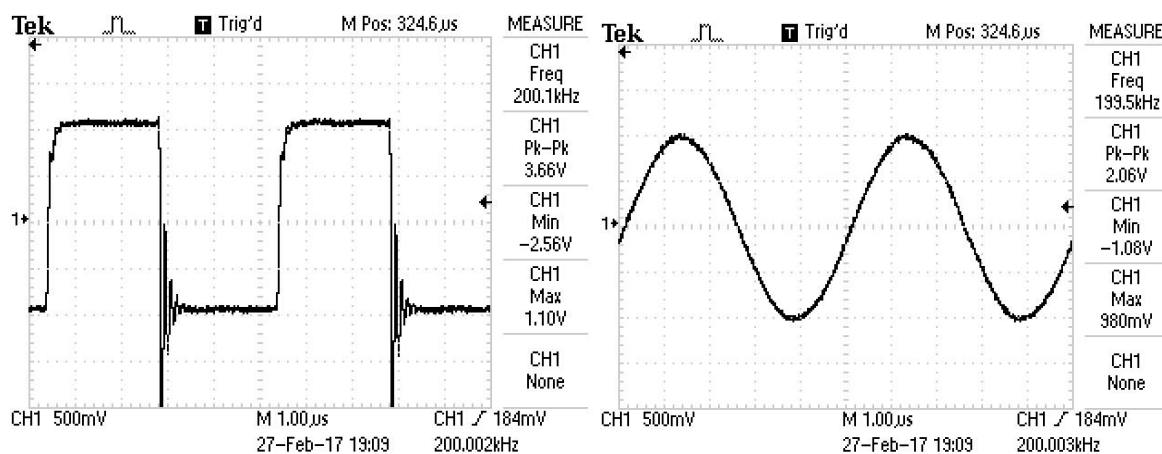
Obrázek 29 - Oscilogram $f = 10 \text{ kHz}$, $A = 1 \text{ V}$, $\text{Off} = 0 \text{ V}$, a) obdélník, b) sinus

Na níže zaznamenaných průbězích (obrázek 29) byla změněna hodnota offsetu na -500 mV.



Obrázek 30 - Oscilogram $f = 10 \text{ kHz}$, $A = 1 \text{ V}$, $\text{Off} = -500 \text{ mV}$, a) obdélník, b) sinus

Od hodnoty 200 kHz začíná průběh přicházet o svůj výkon. Jak je zřejmé z obrázku 30, tak obdélkový signál začíná ztrácet svůj tvar. Hodnota amplitudy se při vzrůstající frekvenci snižuje. Příčinou je vysoký vnitřní odpor digitálních potenciometrů. Z tohoto důvodu byla omezena šířka pásma funkčního generátoru s AD9832 pouze do hodnoty kmitočtu 200 kHz.



Obrázek 31 - Oscilogram $f = 200 \text{ kHz}$, $A = 2 \text{ V}$, $\text{Off} = 0 \text{ V}$, a) obdélník, b) sinus

3 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout a zhotovit generátor funkcí s integrovaným obvodem AD9832. Tento generátor měl být řízen pomocí mikrokontroléru a hodnoty nastavované pomocí tlačítek a rotačních enkodérů. Tyto hodnoty měly být zobrazovány na alfanumerickém LCD displeji. Napájení mělo být zajištěno pomocí AC/DC adaptérů.

Tyto zadané podmínky byly splněny. Byl navržen a zkonstruován generátor, který se dá lineárně nastavovat v rozsahu frekvence 0 až 200 kHz, v rozsahu amplitudy 0 V až 2 V a v rozsahu offsetu -500 mV až 500 mV. Tyto hodnoty jsou nastavovány pomocí rotačního enkodéru, kterým se také u nastavení kmitočtu přepíná nastavovaná jednotka. Tlačítkovým spínačem je nastavován výběr nastavované veličiny (frekvence, amplitudy a offsetu). Volbu tvaru signálu (sinus, obdélník) uživatel volí pomocí páčkového přepínače. Všechny tyto parametry a nastavované aktuální hodnoty veličin jsou zobrazovány na dvouřádkovém alfanumerickém LCD displeji WH1602A. Jako mikrokontrolér byl zvolen ATmega8a od firmy Atmel, který řídí správný chod zobrazovače, ovládacích prvků a pomocí sériové sběrnice SPI i správný chod generátoru AD9832 a digitálních potenciometrů z výstupních obvodů. Pro případné přeprogramování mikrokontroléru byl na desku plošných spojů umístěn deseti pinový ISP konektor.

Při návrzích desek s plošnými spoji došlo k několika problémům, které byly způsobeny převážně nepozorností. Jedná se špatné zapojení blokovacího kondenzátoru u redukce na hlavní desku. Schéma hlavní desky bylo nutné několikrát předělat. Jak je patrné z obrázků zkonstruovaného generátoru, na spodní stranu byla přidána jedna propojka k obvodu TL431A pro jeho správnou funkčnost a jeden blokovací kondenzátor. Dále při návrhu pouzdra pro digitální potenciometry v programu EAGLE bylo zaměněno pořadí pinů na pravé straně pouzdra. Tento problém byl odstraněn za pomoci patice a propojek. Při tvorbě zdrojového kódu bylo největším oříškem vyřešit ošetření zákmitů na tlačítkách a rotačním enkodéru. Na tento problém byl vytvořen zdrojový kód s povolením přepnutí, který je popsán v této práci. Dalším softwarovým problémem bylo přemazávání znaků na LCD, kdy nebylo možné použít funkci určenou k mazání LCD při práci s rotačním enkodérem. Problém s funkcí určené k mazání nebyl vyřešen. Namísto toho byly na potřebná místa v LCD vloženy prázdné znaky (mezery) a tím byl problém z části vyřešen. Poslední problém se vyskytl při měření průběhu nad 200 kHz. Tehdy se začal projevovat vysoký vnitřní odpor digitálních potenciometrů a kapacita, která tyto potenciometry nabíjí. Takto byla vytvořena RC dolní propust (filtr), která potlačuje vyšší kmitočty. Hodnota amplitudy výstupního signálu začala klesat. Hraniční

hodnota, na které se začal tento problém vyskytovat, by se dala posunout použitím digitálních potenciometrů s nižší hodnotou odporu. Problém by však nebyl odstraněn. Na řešení tohoto problému by bylo nutné zkonstruovat jiné řešení pro změnu hodnot amplitudy a offsetu. Z tohoto důvodu bylo zadávání kmitočtu omezeno na hodnotu 200 kHz.

4 POUŽITÁ LITERATURA

1. VEDRAL, Josef a Jan FISCHER. *Elektronické obvody pro měřicí techniku*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-010-2966-2.
2. *Generátory a oscilátory* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: www.isstechn.cz/objekty/generatory-a-oscilatory.doc
3. *Oscilátory harmonických kmitů LC - Dlabos* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: http://dlabos.wz.cz/en/39-Oscilatory_harmonickych_kmitu_LC.html
4. *IEOBE kap_10* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html>
5. ČADA, David. *Funkční generátor s DDS* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=67504.
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Doc. Ing. JIŘÍ ŠEBESTA, Ph.D.
6. *Datasheet AD9832* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: www.alldatasheet.com/Ad9832
7. *Programátor AVRProg USB v3 MK II Eco Manuál* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/czn.752-447.1.pdf>
8. ZÁVODSKÝ, Bc. Ondrej. *Programujeme AVR v jazyce C* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: svetelektro.com/Download/avr_kniha.pdf
9. *Základy ovládání mikrokontroléru ATmega(16/32) 14.díl – Dvouřádkový LCD displej* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.tajned.cz/2014/11/zaklady-ovladani-mikrokontroleru-atmega-14-dil-dvouradkovy-lcd-displej/>
10. MATOUŠEK, David. *Aplikace mikrokontrolérů ATmega644*. Praha: BEN - technická literatura, 2013. ISBN 978-80-7300-492-7.
11. *Digitales Potentiometer* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.kner.at/home/40.avr/arduino/projekte.digitalpoti/index.html>

5 PŘÍLOHY

Příloha A – *Celkové schéma zapojení generátoru s AD9832*

Příloha B – *Zdrojový kód spínače pro změnu nastavované veličiny*

Příloha C – *Zdrojový kód pro ovládání digitálního potenciometru*

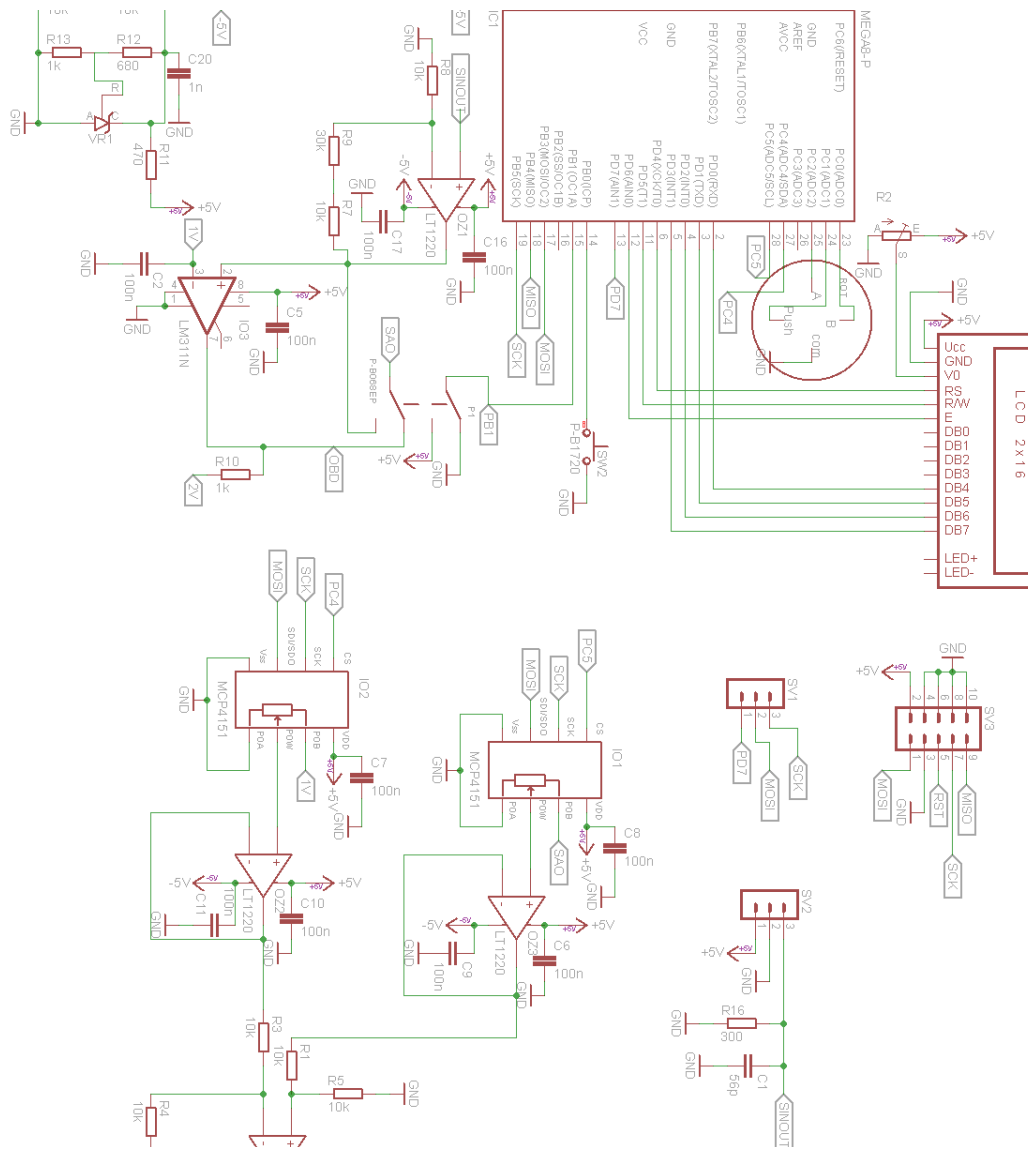
Příloha D – *Průběhy měření*

Příloha E – *Sestavený generátor*

Příloha F – *Hlavní DPS funkčního generátoru s AD9832 a seznam součástek*

Příloha G – *CD*

Příloha A – Celkové schéma zapojení generátoru s AD9832



Obrázek 32 - Schéma zapojení generátoru s AD9832

Příloha B – Zdrojový kód spínače pro změnu nastavované veličiny

```
if(bit_is_set(PINB, 0)) //pokud je na bytu 1
{
    povoleni_prepnuti = 1; //povolí se prepínání
}

if (bit_is_clear(PINB, 0) && (povoleni_prepnuti == 1)) //pokud je na bytu nula a
je zároveň povoleno prepínání
{
    a++; //inkrementuj acko

    if(a>=3) //pokud bude a větší než 3, tak se vynuluje
    {
        a = 0;
    }

    povoleni_prepnuti = 0; //zakazou prepnutí
}
if(a==1) { //pro a =1

    kod=ctitrs();

    if(kod!=0){ //při pohybu rotočného spínače
        if(kod==2 && cislo>0)
            cislo--;
            _delay_ms(50); //delay pro ošetření zákmitů tlačítka
        if(kod==1 && cislo<256)
            cislo++;
            _delay_ms(50); //delay pro ošetření zákmitů tlačítka
        }

        vysledekA=(2000-(cislo*7.8125)); //výpočet hodnoty amplitudy
        lcd_gotoxy(0,1); //volba pozice kurzoru
        printf("%-4ld", vysledekA); //výpis na LCD
        digitalPotWrite(cislo,0); //zápis do digitálního potenciometru 0

        lcd_gotoxy(6,0); //volba pozice kurzoru
        lcd_puts(" "); //výpis na LCD

        lcd_gotoxy(7,0); //volba pozice kurzoru
        lcd_puts("mV PP"); //výpis na LCD
        lcd_gotoxy(0,0); //volba pozice kurzoru
        lcd_puts("Ampl:"); //výpis na LCD

    } else if (a==2) {

        kod=ctitrs();

        if(kod!=0){ //při pohybu rotočného spínače
            if(kod==2 && cislo2>0)
                cislo2--;
                _delay_ms(50); //delay pro ošetření zákmitů tlačítka
            if(kod==1 && cislo2<256)
                cislo2++;
                _delay_ms(50); //delay pro ošetření zákmitů tlačítka
        }
```

```

    }
    vysledek0=(500-(cislo2*3.90625)); //výpočet hodnoty offsetu

    lcd_gotoxy(0,1); //volba pozice kurzoru
    printf("%-4ld", vysledek0);
    digitalPotWrite(cislo2,1); //zápis do digitálního potenciometru 1

    lcd_gotoxy(8,0); //volba pozice kurzoru
    lcd_puts("mV "); //výpis na LCD
    lcd_gotoxy(7,0); //volba pozice kurzoru
    lcd_puts(" "); //výpis na LCD
    lcd_gotoxy(0,0); //volba pozice kurzoru
    lcd_puts("Offs:"); //výpis na LCD

} else {

kod=ctitrs();

if(kod!=0){ //při pohybu rotočního spínače

    if(kod==2 && cislo3<999 && i==0)

        cislo3++;
        _delay_ms(50); //delay pro ošetření zákmitů tlačítka

    if(kod==1 && cislo3>0 && i==0)

        cislo3--;
        _delay_ms(50); //delay pro ošetření zákmitů tlačítka

    }

    if(kod==2 && cislo4<200 && i==1)
    {
        cislo4++;
        _delay_ms(50); //delay pro ošetření zákmitů tlačítka
    }

    if(kod==1 && cislo4>0 && i==1)
    {
        cislo4--;
        _delay_ms(50); //delay pro ošetření zákmitů tlačítka
    }

}

if(bit_is_set(PINC, 1))
{
    povoleni_prepnuti2 = 1; //povolí se prepínání
}

if (bit_is_clear(PINC, 1) && (povoleni_prepnuti2 == 1))
//pokud je na bytu nula a je zároveň povoleno prepínání
{

    i++;
    _delay_ms(100); //delay pro ošetření zákmitů tlačítka

    if(i>=2) //pokud bude i větší než 2 tak se vynuluje
    {
        i = 0;
    }
}

```

```

    }

    povoleni_prepnuti = 0;
}

if(i==1)
{
    cislo4pomocna=cislo4*1000;
    //převedení hodnoty frekvence na jednotku KHz
    lcd_gotoxy(7,0); //volba pozice kurzoru
    lcd_puts("K"); //výpis na LCD

}

else
{
    cislo3pomocna=cislo3*5; //krokování jednotek Hz po 5

    if (cislo3pomocna>995) //podmínka pro nepřetečení hodnoty 1000
    {
        cislo3pomocna=995;
    }

    lcd_gotoxy(7,0); //volba pozice kurzoru
    lcd_puts(" "); //výpis na LCD

}

    lcd_gotoxy(8,1); //volba pozice kurzoru
    printf("%-4ld",cislo3pomocna); //výpis na LCD

    lcd_gotoxy(0,1); //volba pozice kurzoru
    printf("%-4ld",cislo4); //výpis na LCD

    vysledekF=cislo3pomocna+cislo4pomocna,
    lcd_gotoxy(12,1); //volba pozice kurzoru
    lcd_puts("Hz"); //výpis na LCD

    lcd_gotoxy(4,1); //volba pozice kurzoru
    lcd_puts("KHz"); //výpis na LCD

    if (vysledekF>200000) //podmínka pro nepřetečení hodnoty 200 kHz
    {
        vysledekF=200000;
    }

    DDSnastav(vysledekF); //nastavení výsledné hodnoty do obvodu AD9832
    lcd_gotoxy(8,0); //volba pozice kurzoru
    lcd_puts("Hz "); //výpis na LCD
    lcd_gotoxy(0,0); //volba pozice kurzoru
    lcd_puts("Frek:"); //výpis na LCD

}

}

}

```

Příloha C – Zdrojový kód pro ovládání digitálního potenciometru

```
void setCSlow(uint8_t dev){
    if(dev==0){
        PORTC &= 0b11011111;
    }else{
        PORTC &= 0b11101111;
    }
}
void setCSHigh(uint8_t dev){
    if(dev==0){
        PORTC |= 0b00100000;
    }else{
        PORTC |= 0b00010000;
    }
}

void digitalPotInc(uint8_t dev) {
    setCSlow(dev);
    WriteByteSPI(4);
    setCSHigh(dev);
}

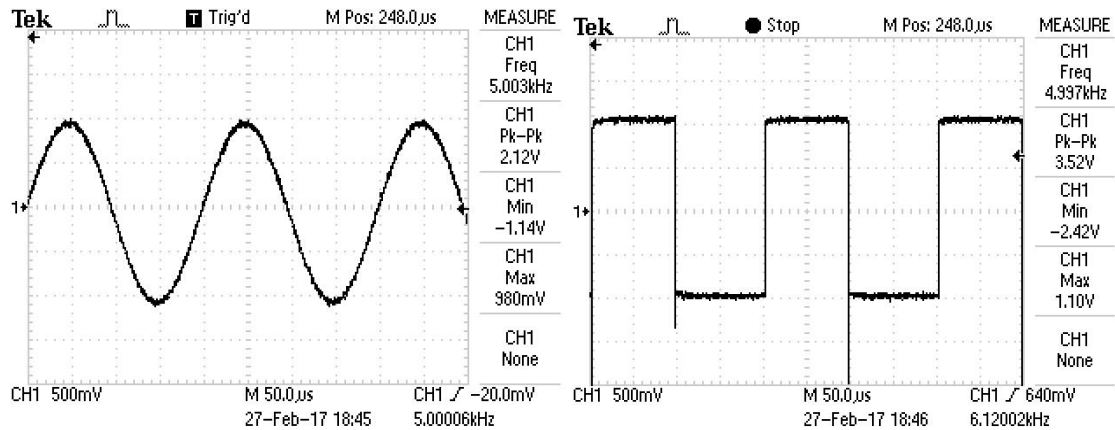
void digitalPotDec(uint8_t dev) {
    setCSlow(dev);
    WriteByteSPI(8);
    setCSHigh(dev);
}

void digitalPotWrite(int value, uint8_t dev) {
    setCSlow(dev);
    WriteByteSPI((value>>8)&0b00000001);
    WriteByteSPI(value & 0xff);
    setCSHigh(dev);
}

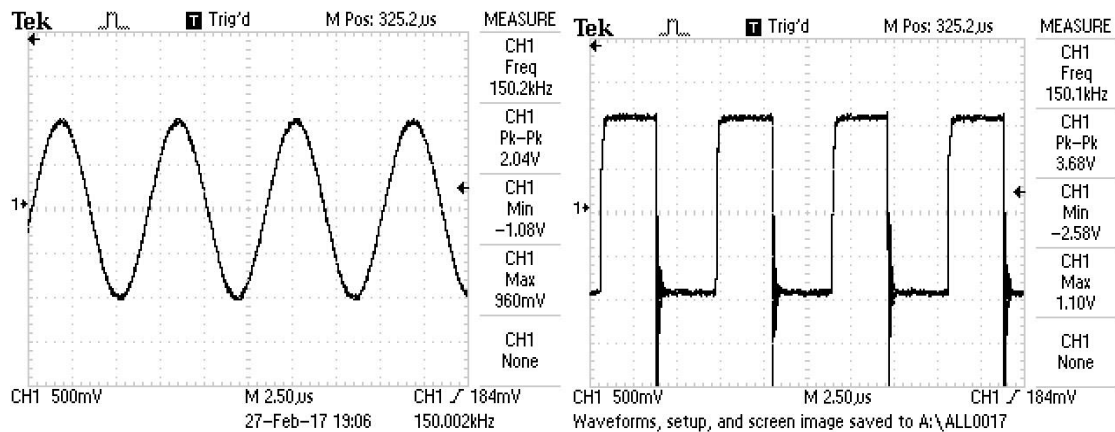
void digitalPotWrite16Bit(int value, uint8_t dev) {
    setCSlow(dev);
    WriteByteSPI(value>>8);
    WriteByteSPI(value);
    setCSHigh(dev);
}

uint16_t digitalPotReadControlregister(uint8_t dev) {
    setCSlow(dev);
    int highbyte = WriteAndReadByteSPI(0x4F);
    int lowbyte = WriteAndReadByteSPI(0xFF);
    setCSHigh(dev);
    return highbyte*256+lowbyte;
}
```

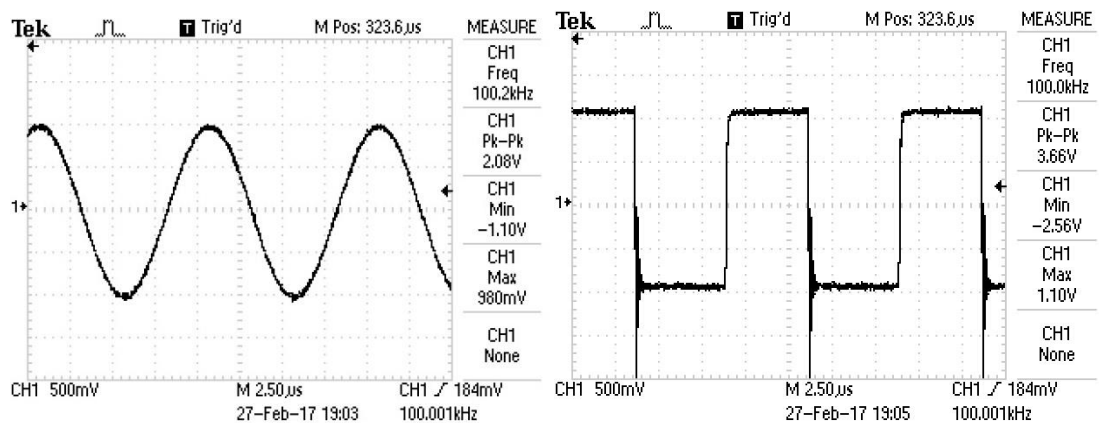
Příloha D – Průběhy měření



Obrázek 33 - Oscilogram $f = 5$ kHz, $A = 2$ V, $Off = 0$ mV, a) obdélník, b) sinus

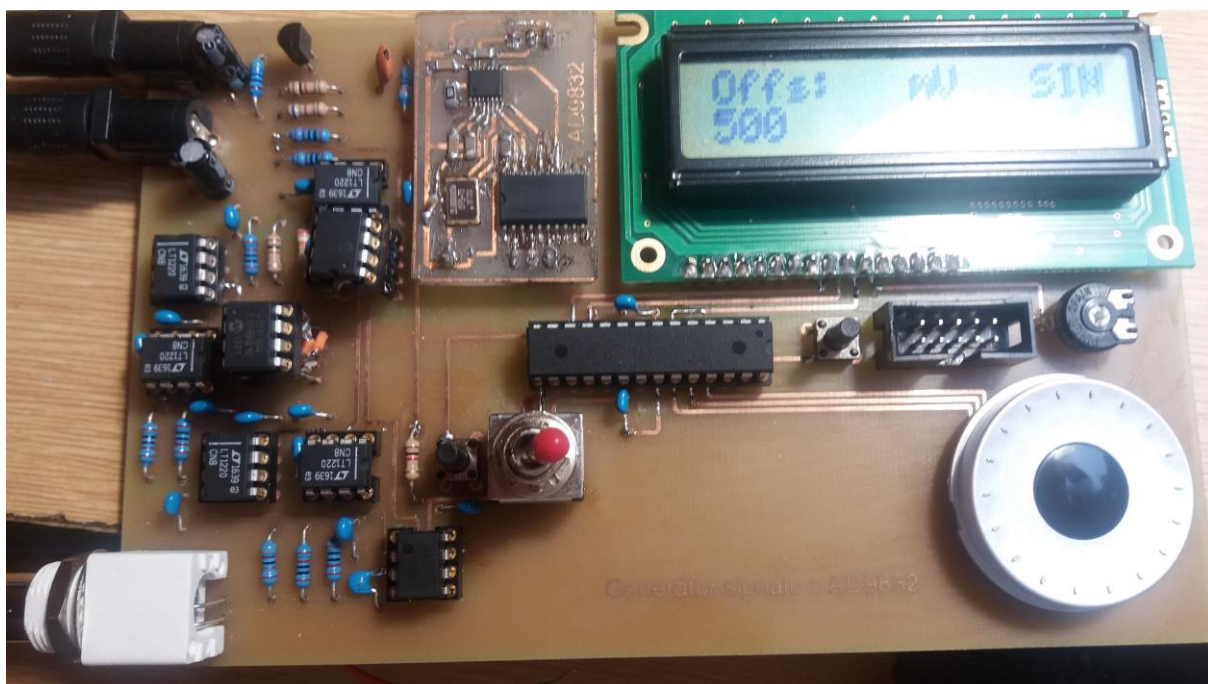


Obrázek 34 - Oscilogram $f = 150$ kHz, $A = 2$ V, $Off = 0$ mV, a) obdélník, b) sinus

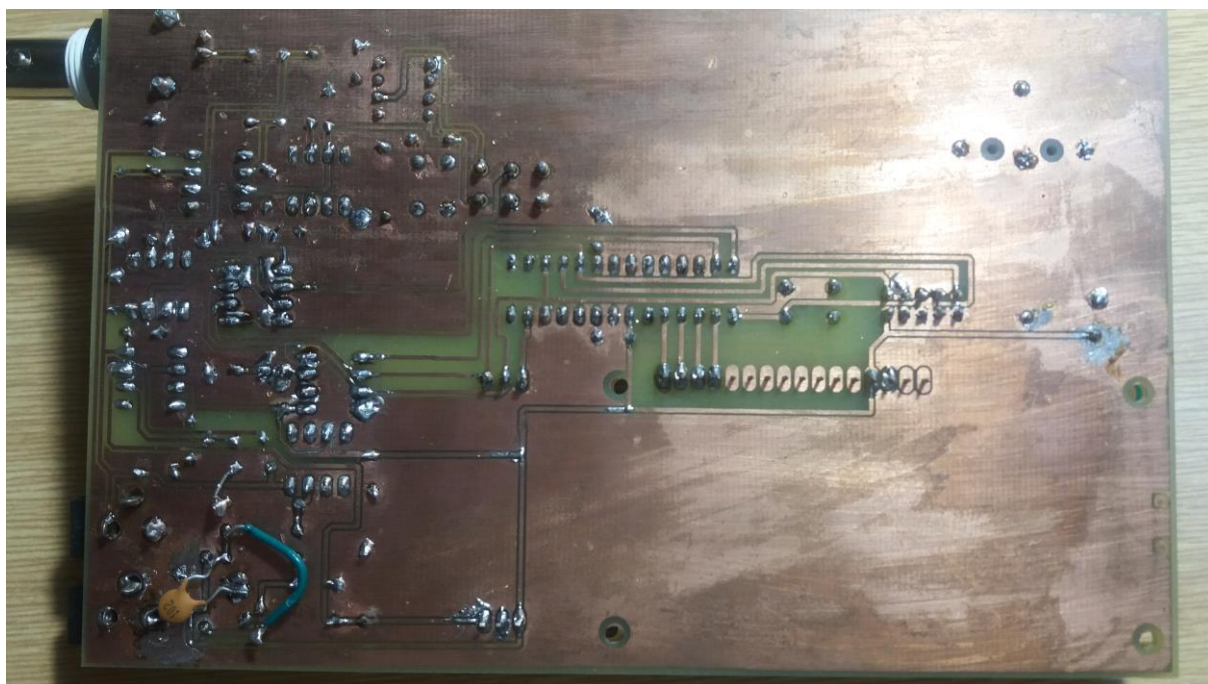


Obrázek 35 - Oscilogram $f = 100$ kHz, $A = 2$ V, $Off = 0$ mV, a) obdélník, b) sinus

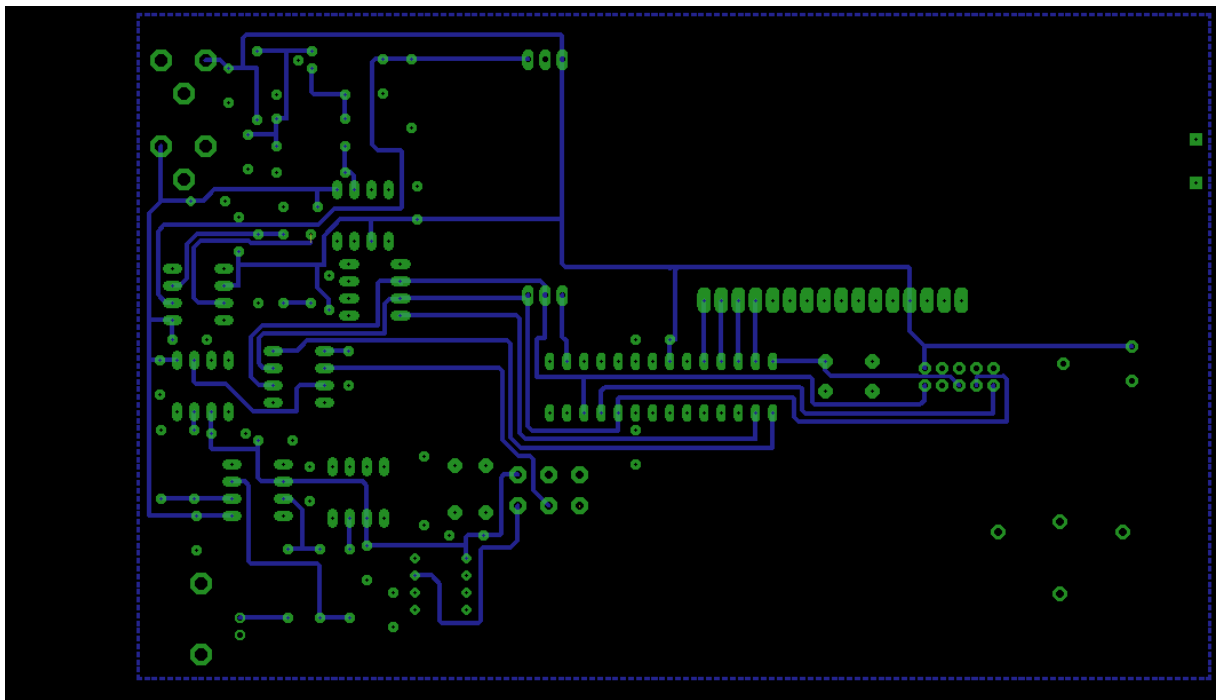
Příloha E – Sestavený generátor



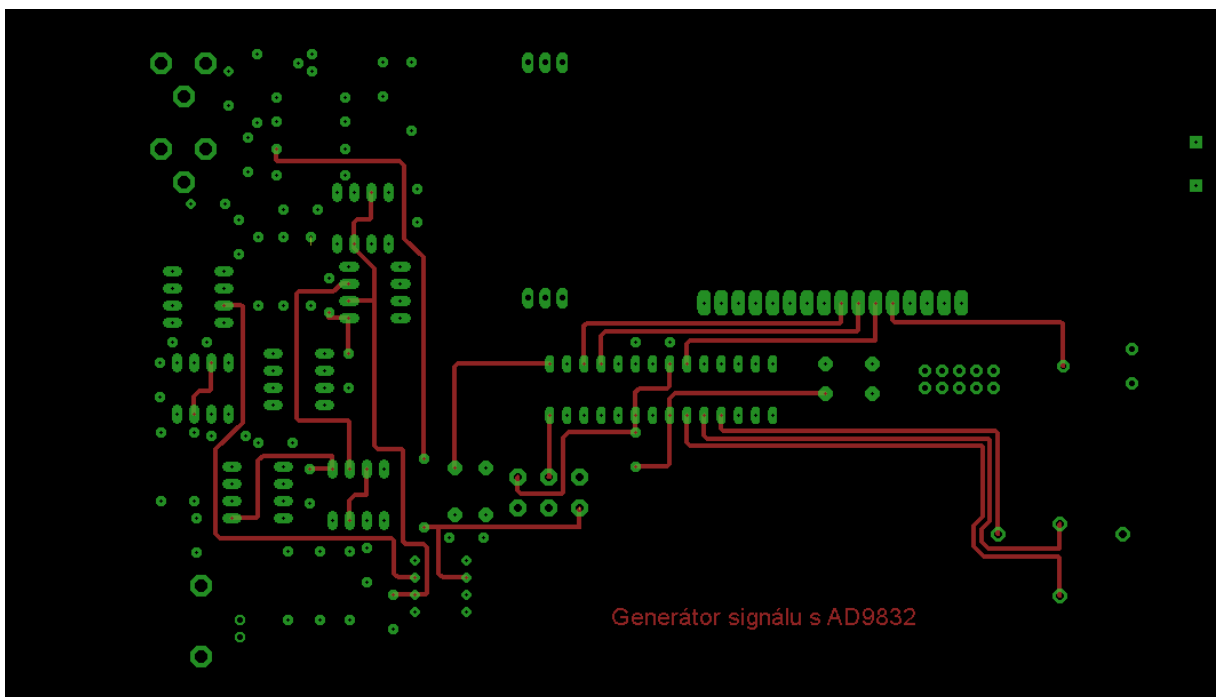
Obrázek 1 - Sestavený generátor s AD9832 vrchní strana



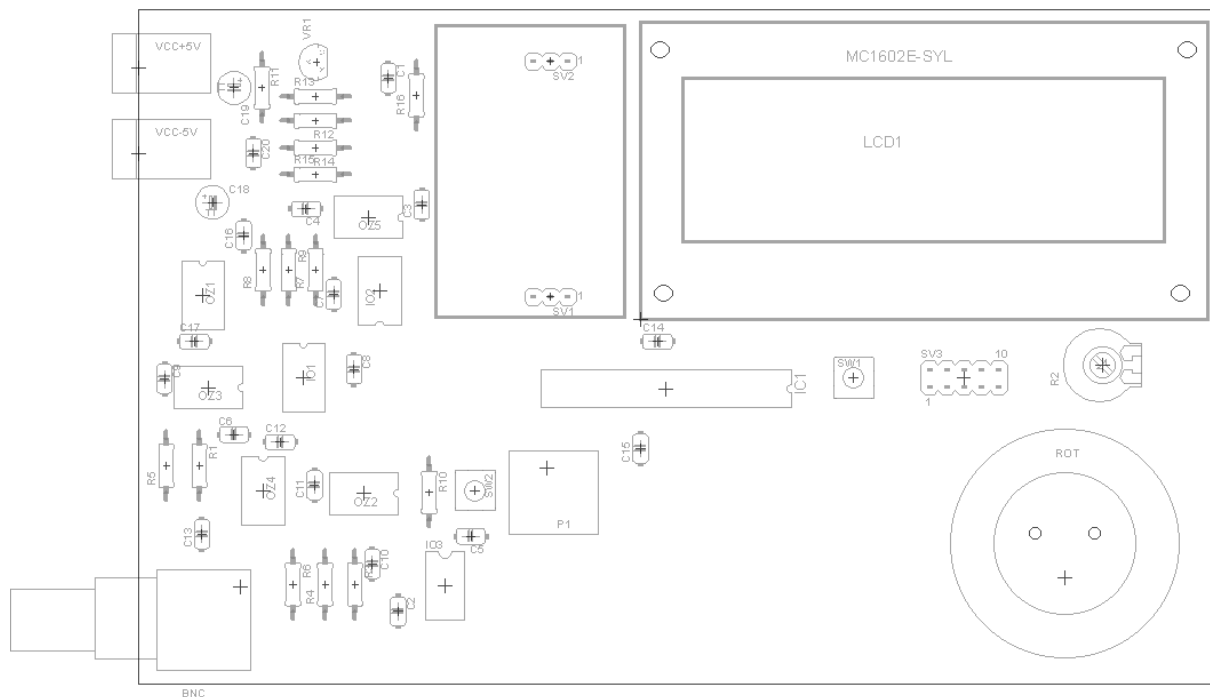
Obrázek 2 - Sestavený generátor s AD9832 spodní strana



Obrázek 1 - Návrh DPS hlavní desky spodní strana 100 x 160



Obrázek 36 - Návrh DS hlavní desky vrchní strana 100 x 160



Obrázek 37 - Rozmístění součástek pro hlavní DPS

Tabulka 2 - Seznam součástek pro hlavní DPS

Pořadové číslo	Označení součástky na DPS	na	Název/hodnota	Pouzdro	Poznámka
1	C1		56 pF		
2	C2		100 nF		
3	C3		100 nf		
4	C4		100 nf		
5	C5		100 nf		
6	C6		100 nf		
7	C7		100 nf		
8	C8		100 nf		
9	C9		100 nf		
10	C10		100 nf		
11	C11		100 nf		
12	C12		100 nf		
13	C13		100 nf		
14	C14		100 nf		
15	C15		100 nF		
Pořadové číslo	Označení součástky na DPS	na	Název/hodnota	Pouzdro	Poznámka

16	C16	100 nF		
17	C17	100 nF		
18	C18	100 μ F	BULK	Elektrolyt
19	C19	100 μ F	BULK	Elektrolyt
20	C20	1 nF		
21	IC1	ATmega8A-PU	DIL28	
22	IO1	MCP4151	DIL8	
23	IO2	MCP4151	DIL8	
24	IO3	LM311P	DIL8	
25	LCD1	WH1602A		Charakter 16x2
26	OZ1	LT1220	DIL8	
27	OZ2	LT1220	DIL8	
28	OZ3	LT1220	DIL8	
29	OZ4	LT1220	DIL8	
30	OZ5	LT1220	DIL8	
31	P1	P – B068EP		Páčkový spínač do DPS
32	R1	10 k Ω		
33	R2	PT10MVK010		Uhlíkový trimr, 10 k Ω
34	R3	10 k Ω		
35	R4	10 k Ω		
36	R5	10 k Ω		
37	R6	47 Ω		
38	R7	10 k Ω		
39	R8	10 k Ω		
40	R9	30 k Ω		
41	R10	1 k Ω		
42	R11	470 Ω		
43	R12	680 Ω		
44	R13	1 k Ω		
45	R14	10 k Ω		
Pořadové číslo	Označení součástky na DPS	Název/hodnota	Pouzdro	Poznámka
46	R15	10 k Ω		
47	R16	300 Ω		
48	ROT	ZIPPY KC-I1B-		Inkrementální spínač do

		01G-1-Z		DPS
49	SV1	S1G03		Oboustranný kolík, 3 pin, 2,54 mm (Z redukce)
50	SV2	S1G03		Oboustranný kolík, 3 pin, 2,54 mm (Z redukce)
51	SV3	MLW10GT		Konektor do DPS
52	SW1	P-B1720		Mikrospínač do DPS
53	SW2	P-B1720		Mikrospínač do DPS
54	VCC+5V	PC-GK2,1		Souosý konektor do DPS
55	VCC-5V	PC-GK2,1		Souosý konektor do DPS
56	VR1	TLV431		

Příloha G – CD

Obsah CD:

DPS – návrhy desek plošných spojů

Software – zdrojový kód

HlusickaJ_GeneratorSignalu_DM_2017.pdf – vlastní text práce