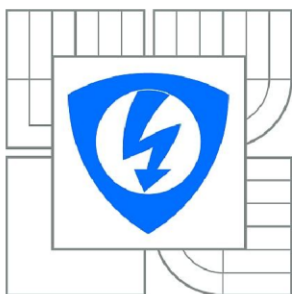


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

GENERÁTOR TVAROVANÉHO PRŮBĚHU

SHAPE GENERATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

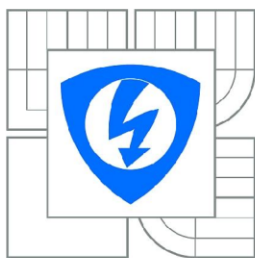
PAVOL ŠPANIHEL

VEDOUČÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ MACHO, Ph.D.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Pavol Španihel

ID: 106813

Ročník: 3

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Generátor tvarovaného průběhu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s problematikou generátorů tvarovaného průběhu.
2. Navrhněte koncepci generátoru sinusového, pilového, a obdélníkového průběhu pro kmitočty 10 Hz až 4 MHz s výstupním napětím -5V až +5V špička - špička.
3. Navrhněte a realizujte jednotlivé obvody generátoru včetně řídicí jednotky s mikrokontrolérem.
4. Navrhněte desky plošných spojů a vytvořte výrobní dokumentaci.
5. Vytvořte a odlaďte softwarové vybavení pro mikrokontrolér.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] FROHN, Manfred - OBERTHÜR, Wolfgang - SIEDLER, Hans-Jobst - WIEMER Manfred - ZASTROW, Peter. Elektronika - polovodičové součástky a základní zapojení. Praha: BEN 2006. 500 s. ISBN 80-7300-123-3.

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 31.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.
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

Táto práca sa zaoberá návrhom generátora tvarovaného priebehu s použitím integrovaného obvodu MAX 038. Generátor je schopný generovať obdĺžnikový, pílový a sínusový priebeh vo frekvenčnom rozsahu 10 Hz až 4 MHz s možnosťou zmeny striedy (15 % až 85 %), výstupnej amplitúdy (až 10 V_{P-P}) a posunutím voči nule ($\pm 2,5$ V). A umožňuje merať frekvenciu v rozsahu (10 Hz až 40 MHz).

ABSTRACT

The aim of this work is design of function generator with MAX 038. The generator is able to generate square, sawtooth and sinus waveform in the frequency range from 10 Hz to 4 MHz. You can change duty (15 % to 85 %), variable setting of the output amplitude (up to 10 V_{P-P}) and possibility to add offset voltage ($\pm 2,5$ V). It also include a frequency measurement in frequency range (10 Hz to 40 MHz).

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Generátor, čítač, MAX 038, ATmega 16

KEY WORDS

Generator, counter, MAX 038, ATmega 16

ŠPANIHEL, P. *Generátor tvarovaného průběhu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 59 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému Generátor tvarovaného priebehu som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, hlavne som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Zb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení § 152 trestného zákona č. 140/1961 Zb.

V Brne dňa

.....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce prof. Ing. Tomášovi Machovi, PhD. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

V Brne dňa

.....

(podpis autora)

Obsah

ZOZNAM OBRÁZKOV	8
1. ÚVOD	10
2. TEORETICKÝ ROZBOR PROBLEMATIKY	11
2.1 Generátory signálov	11
2.2 Možnosti generovania signálu.....	12
2.2.1 Generátory LC	12
2.2.2 Generátory RC	13
2.2.3 Oscilátory riadené kryštálom	14
2.2.4 Funkčné generátory.....	14
2.2.5 Digitálne riešenie	15
3. OBECNÝ POPIS NAVRHOVANÉHO GENERÁTORU	16
3.1 Bloková schéma	16
4. NÁVRH ČASTI GENEROVANIA SIGNÁLU	18
4.1 MAX 038.....	18
4.2 Výstupný zosilňovač	20
4.3 Obvod nastavenia amplitúdy	21
4.4 Prispôsobenie napäťovej úrovne D/A prevodníku	21
4.5 Obvod pre voľbu rozsahu.....	24
4.6 Peak detektor	26
4.7 Tvarovač a multiplexor	27
5. NÁVRH RIADIACEJ ČASTI.....	29
5.1 Voľba mikrokontroléra.....	29
5.2 Popis riadiacej časti.....	30
6. NÁVRH NAPÁJACIEHO ZDROJA.....	31
7. NÁVRH PLOŠNÝCH SPOJOV	32
8. NÁVRH PROGRAMU PRE MIKROKONTROLÉR.....	33
8.1 Inicializácia	33
8.2 Nastavenie veličiny v položkách menu	34
8.3 Obsluha tlačidla a enkodéra	35
8.4 Meranie frekvencie.....	37
8.5 Ovládanie generátora.....	37

9. NAMERANÉ PRIEBEHY.....	39
10. ZÁVER.....	42
11. POUŽITÁ LITERATÚRA	43
12. PREHĽAD POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	45
13. ZOZNAM PRÍLOH	46

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 2.1: Oscilátor s tunelovou diódou (prebrané z [2])	12
Obr. 2.2: Princiálne zapojenie LC oscilátorov (prebrané z [2]).....	13
Obr. 2.3: a) Wienov článok b) Oscilátor s Wienovým článkom (prevzaté z [2])	13
Obr. 2.4: a) Značka kryštálu b) Náhradná schéma kryštálu (prevzaté z [2])	14
Obr. 2.5: Piercov kryštálom riadený oscilátor (prevzaté z [2]).....	14
Obr. 2.6: Bloková schéma funkčného generátora (prebrané z [1])	15
Obr. 3.1: Bloková schéma generátora tvarovaných priebehov	16
Obr. 4.1: Blokové zapojenie integrovaného obvodu MAX 038 (prevzaté z [3]).....	19
Obr. 4.2: Typické zapojenie MAX 038 (prevzaté z [3])	19
Obr. 4.3: Výstupný zosilňovač, popis napätí	20
Obr. 4.4: Schéma prispôsobenia napäťovej úrovne I2C	21
Obr. 4.5: Schéma pripojenia D/A prevodníka.....	22
Obr. 4.6: Prispôsobenie napäťovej úrovne D/A prevodníka (popis napätí).....	23
Obr. 4.7: Zapojenie pre odvedenie napäťovej referencie 2,74 V.....	24
Obr. 4.8: Závislosť výstupnej frekvencie na prúde do riadiaceho vstupu IIN pri definovanej kapacite pripojeného kondenzátora (prevzaté z [3])	25
Obr. 4.9: Schéma zapojenia voľby rozsahu	25
Obr. 4.10: Schéma zapojenia Peak detektoru.....	26
Obr. 4.11: Princíp Peak detektoru(prevzaté z [10])	27
Obr. 4.12: Schéma zapojenia tvarovača a multiplexora.....	28
Obr. 6.1: Schéma zapojenia napájacieho zdroja	31
Obr. 8.1: Vývojový diagram hlavnej slučky programu.....	34
Obr. 8.2: Vývojový diagram nastavenia hodnoty v položkách.....	35
Obr. 8.3: Priebehy na výstupoch enkodéru	35
Obr. 8.4: Vývojový diagram obsluhu prerušenia od enkodéra	36
Obr. 8.5: Vývojový diagram obsluhu prerušenia od tlačidla	36
Obr. 8.6: Zobrazenie položiek na displeji	38
Obr. 9.1: Sínusový signál $f = 1,1 \text{ kHz}$	39
Obr. 9.2: Obdĺžnikový priebeh $f = 1,1 \text{ kHz}$	40
Obr. 9.3: Pílový priebeh $f = 1,1 \text{ kHz}$	40

Obr. 9.4: Obdĺžnikoví priebeh $f = 1,1$ kHz, strieda 15 %	41
Obr. 9.5: Sínusový signál $f = 10$ kHz.....	41

1. ÚVOD

Pre meranie a testovanie analógových a digitálnych obvodov slúžia generátory tvarovaných priebehov. Táto bakalárska práca sa zaoberá návrhom a realizáciou generátora tvarovaných priebehov určeného pre pásma frekvencií od 10 Hz do 4 MHz. Je určený pre neprofesionálne použitie. Základom je integrovaný obvod MAX 038.

Generátor je navrhnutý tak aby umožňoval generovať výstupný signál rôznych tvarov. Obdĺžnikového, pílového a sínusového priebehu s možnosťou zmeny striedy (15 % až 85 %), výstupnej amplitúdy (až 10 V_{P-P}) a posunutím voči nule ($\pm 2,5$ V). Obsahuje samostatný TTL výstup. Výstupnú frekvenciu je možné nastaviť v rozsahu 10 Hz až 4 MHz. Generátor má v sebe zahrnutý čítač frekvencie, ktorý umožňuje merať frekvenciu generovaného signálu alebo externého signálu (10Hz až 40MHz). Generátor sa nastavuje pomocou rotačného enkodéra a všetky parametre sú zobrazené na LCD displeji.

2. TEORETICKÝ ROZBOR PROBLEMATIKY

2.1 GENERÁTORY SIGNÁLŮV

Generátory signálův sú neoddeliteľnou súčasťou meracej elektroniky. Slúžia na generovanie signálův pre meracie a testovacie účely elektrických obvodův. Musia mať definované vlastnosti a zaručovať presnosť [1]. Delíme ich:

Podľa frekvencie signálu na:

- Nízkočrekvencné: Najčastejšie sa používajú v audio technike v črekvencnom rozsahu 10 Hz – 100 kHz
- Vysokochrekvencné: Generujú signály vysokých črekvencií až stoviek GHz.

Podľa priebehu signálu:

- Generátory harmonických signálův: Generujú harmonický signál.
- Funkčné generátory: Generujú základný trojuholníkový pílový, obdĺžnikový a sínusový priebeh, v dnešnej dobe sa najčastejšie vyrábajú na princípe priamej digitálnej črekvencnej syntézy (DDS).
- Generátory neharmonických signálův:
Patria sem impulzové generátory, generátory pílových, trojuholníkových a schodových priebehov.
- Generátory obecných priebehov definovaných užívateľom (arbitrary generátory): Programovateľné generátory, ktoré môžu generovať ľubovoľný priebeh signálu. Ich základné parametre sú vzorkovacia črekvencia, počet vzorkov na periódu signálu a maximálny rozkmit amplitúdy signálu.

2.2 MOŽNOSTI GENEROVANIA SIGNÁLU

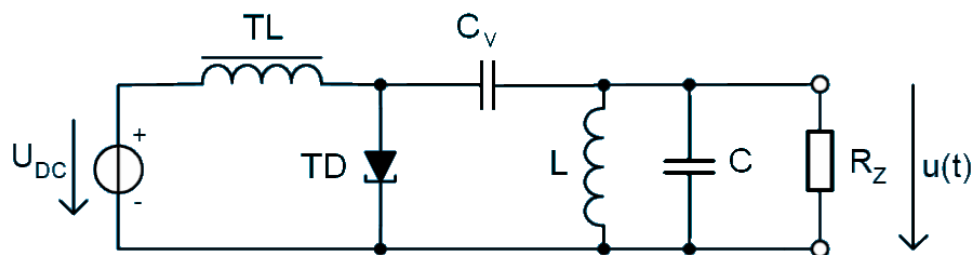
V praxi sa najčastejšie vyskytujú generátory LC, RC, riadené kryštálom alebo na princípe priamej digitálnej frekvenčnej syntézy.

2.2.1 Generátory LC

Používajú sa pre frekvencie od desiatok kHz do stoviek MHz. Pokiaľ je ladený obvod tvorený vedením alebo vlnovodom, do desiatok GHz. Zvláštny prípad tvoria tzv. video generátory s frekvenciami 10 Hz – 7 MHz v jednom rozsahu, čoho je dosiahnuté miešaním dvoch LC oscilátorov (pevného a preladiateľného). Frekvencia oscilácií je daná Thomsonovým vzťahom (2.1). LC generátory sa vyznačujú zlou preladiateľnosťou [1].

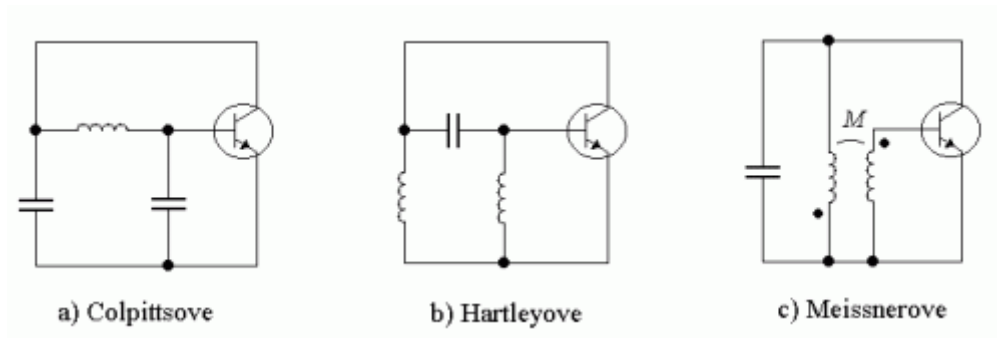
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.1)$$

Dvojbodové oscilátory: tiež sa nazývajú aj ako oscilátory so záporným diferenciálnym odporom. Ich činnosť je založená na odtlmení kmitavého obvodu RLC. Je to realizované pomocou nelineárneho odporu ktorý vykazuje v určitej časti svojej základnej V – A charakteristiky zápornú hodnotu diferenciálneho odporu. Používajú sa prvky s charakteristikou typu N (napr. tunelová dióda) alebo typu S (lavínová, štvorvrstvá dióda) [2]. Príklad zapojenia oscilátora s tunelovou diódou na Obr. 2.1.



Obr. 2.1: Oscilátor s tunelovou diódou (prebrané z [2])

Spätnoväzobné oscilátory: využívajúce kladnú spätnú väzbu. Príkladom spätnoväzobných oscilátorov sú oscilátory s indukčnou väzbou (napr. Meissenerov oscilátor Obr. 2.2 c)



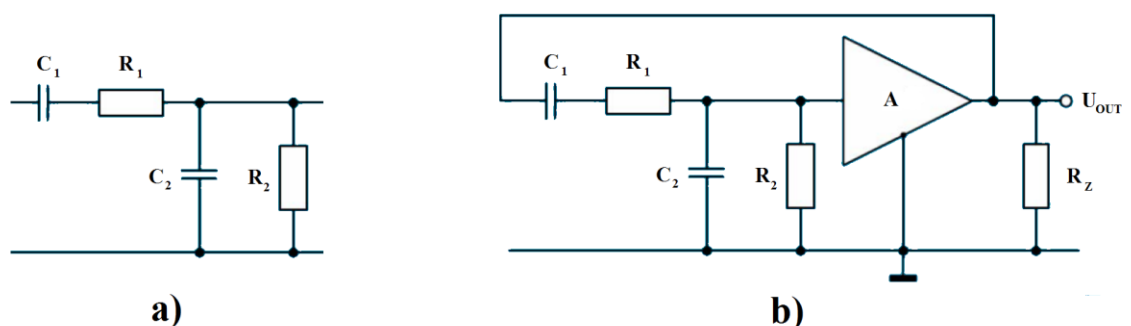
Obr. 2.2: Principiálne zapojenie LC oscilátorov (prebrané z [2])

Trojbodové oscilátory: najznámejšie trojbodové oscilátory sú Hartleyov Obr. 2.2 b a Colpittsov Obr. 2.2 a.

2.2.2 Generátory RC

Používajú sa pre frekvencie od 10 Hz do 10MHz. Pretože sú použité výhradne prvky R a C je ich možné jednoducho prelaďovať. Majú malé skreslenie výstupného signálu v porovnaní s funkčnými generátormi.

Činnosť je založená na kladnej spätnej väzbe. Je nutné otáčať fázu spätoväzobného napätia o 180°. Na Obr. 2.3 je príklad zapojenia s Wienovým článkom [2], frekvencia oscilácií je daná vzťahom (2.2) za splnenia podmienok $C_1 = C_2$ a $R_1 = R_2$. Potom prenos Wienovho článku je 1/3 preto zosilnenie A musí byť 3.



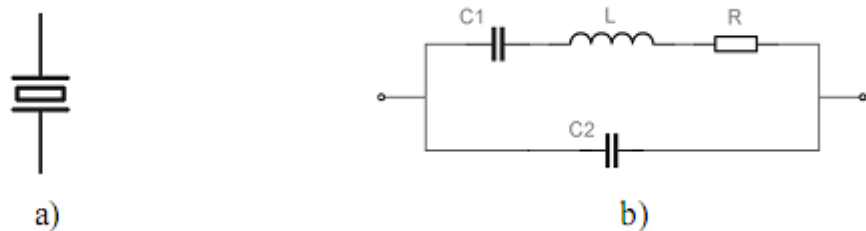
Obr. 2.3: a) Wienov článok b) Oscilátor s Wienovým článkom (prevzaté z [2])

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.2)$$

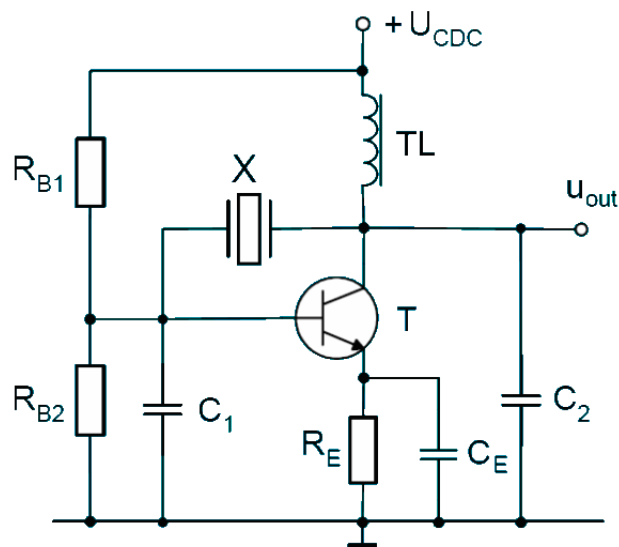
2.2.3 Oscilátory riadené kryštálom

Vyznačujú sa stálosťou frekvencie oscilátora. Kryštálový rezonátor (viď. Obr. 2.4) sa vyznačuje veľmi vysokou akosťou a to je príčinou vysokej frekvenčnej stability [2].

Príklad zapojenia Piercovho kryštálového riadeného oscilátora na Obr. 2.5.



Obr. 2.4: a) Značka kryštálu b) Náhradná schéma kryštálu (prevzaté z [2])

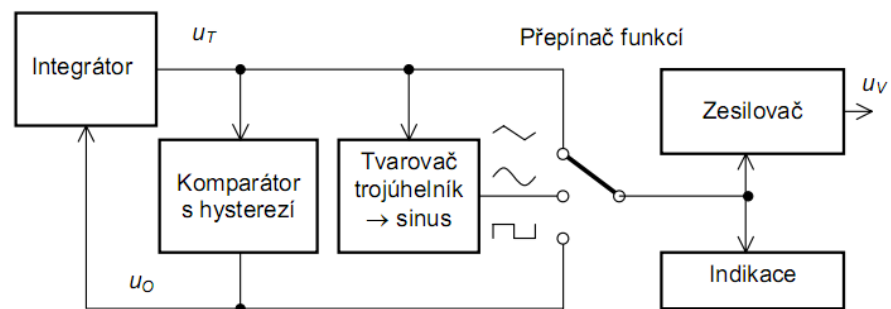


Obr. 2.5: Piercov kryštálový riadený oscilátor (prevzaté z [2])

2.2.4 Funkčné generátory

Je generátor ktorý vytvára harmonický pílový a obdĺžnikový priebeh. Frekvencia funkčných generátorov sa pohybuje rozsahu od jednotiek MHz po desiatky MHz. Presnosť nastavenia frekvencie sa pohybuje v jednotkách %. Funkčné generátory väčšinou umožňujú frekvenčnú a fázovú moduláciu.

Základným blokom funkčného generátora Obr. 2.6 je generátor pílového priebehu, tvoreným integrátorom s komparátorom v spätnej väzbe. Výstupné napätie u_0 je obdĺžnikového priebehu, integrátor integruje konštantné vstupné napätie tak dlho, pokiaľ jeho výstupná napätie u_T nedosiahne preklápajúcej úrovne komparátora. V tom čase sa zmení polarita výstupného napätia komparátora a výstupné napätie začne klesať, pokiaľ nedosiahne znovu komparačnej úrovne. Amplitúda oscilácii je úmerná hysteréze komparátora. Frekvencia funkčného generátora sa mení nastavením časovej konštanty integrátora. Harmonické napätie sa získava z pílového napätia pomocou tvarovača. Pomocou prepínača sa volí typ výstupného priebehu a zosilňovačom sa zosilní [1].



Obr. 2.6: Bloková schéma funkčného generátora (prebrané z [1])

2.2.5 Digitálne riešenie

Najčastejšie pracujú na princípe priamej digitálnej frekvenčnej syntézy DDS (Direct Digital Synthesis). Výhodou realizácie priamej frekvenčnej syntézy je veľmi vysoké frekvenčné rozlíšenie a pomerne jednoduchá implementácia analógovej, fázovej frekvenčnej modulácie.

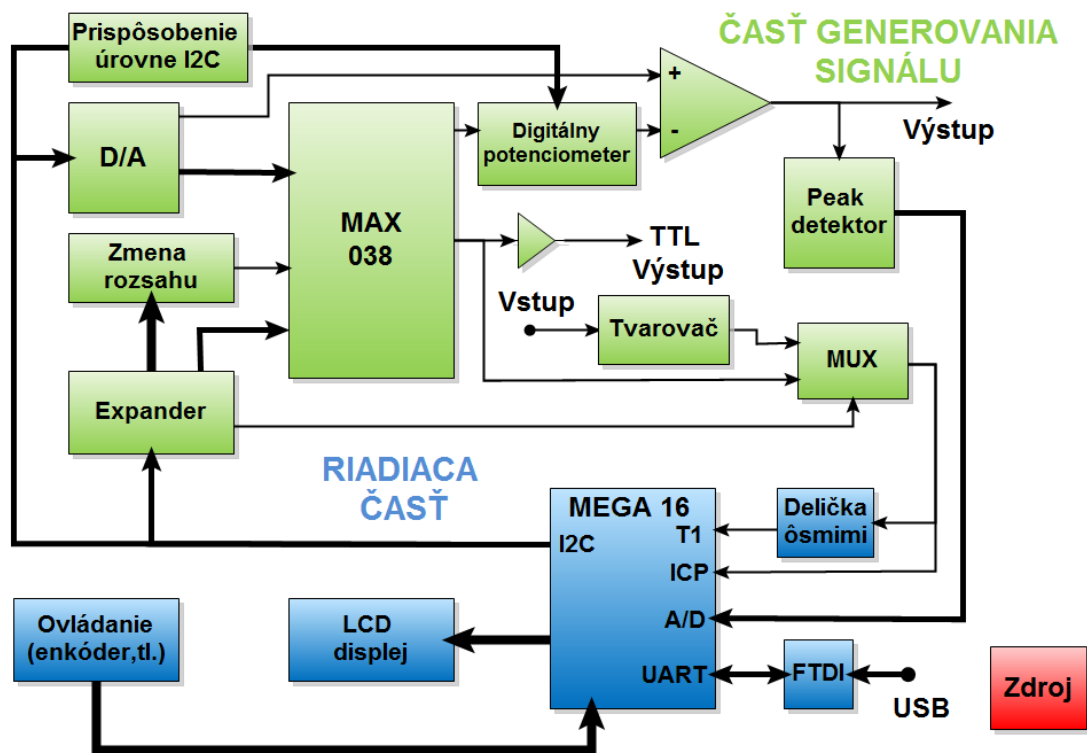
Signál je generovaný pomocou D/A prevodníka a filtrovaný výstupným filtrom. Dáta pre D/A prevodník sa nachádzajú v tabuľke alebo sa vypočítavajú.

3. OBECNÝ POPIS NAVRHOVANÉHO GENERÁTORU

3.1 BLOKOVÁ SCHÉMA

Generátor tvarovaného priebehu bol pri návrhu rozdelený na tri základné časti ako je vidieť na blokovej schéme (Obr. 3.1):

- Časť generovania signálu
- Riadiaca časť
- Zdroj



Obr. 3.1: Blokovaná schéma generátoru tvarovaných priebehov

Základom časti generovania signálu je obvod MAX 038 (viď. Obr. 3.1), pomocou ktorého sa generuje výstupný signál. Na výstup MAX 038 je pripojený digitálny potenciometer, slúži na nastavenie amplitúdy. Za potenciometrom je výstupný zosilňovač, ktorý zosilňuje signál a nastavuje posunutie signálu voči nule (OFFSET). MAX 038 má ešte TTL výstup, ktorý je oddelený pomocou hradla a privedený na TTL výstup zariadenia. D/A prevodník slúži na nastavenie frekvencie, striedy, posunutia voči nule, je pripojený na riadiace vstupy MAX 038 a neinvertujúci vstup výstupného zosilňovača. Pre frekvenčný rozsah 10 Hz až 4 MHz sa musí meniť rozsah obvodu MAX 038. K tomu slúži blok Zmeny rozsahu, ktorý je ovládaný pomocou expanderu. Expander slúži aj na ovládanie vstupov pre voľbu typu priebehu (sínus, píla, obdĺžnik) obvodu MAX 038 a multiplexora. Peak detektor detekuje maximálne kladné a záporne napätie. Napätie je potom zmerané pomocou A/D prevodníka, ktorý sa nachádza v mikrokontroléry ATmega 16. Generátor obsahuje aj možnosť meranie frekvencie, ktorá je privedená do Tvarovača (upraví priebeh na obdĺžnikový), potom je privedená na vstup multiplexora, pomocou ktorého sa volí meraná frekvencia. Digitálny potenciometer má posunuté napájanie o $-2,5$ V, preto sa posúvajú aj napät'ové úrovne I2C (blok Prispôsobenie úrovne I2C).

Základom riadiacej časti je mikrokontrolér ATmega 16. Mikrokontrolér zabezpečuje ovládanie expandera, D/A prevodníka a digitálneho potenciometra pomocou I2C zbernice. Taktiež zabezpečuje meranie frekvencie, ktorá je privedená z multiplexora na vstup ICP a cez deličku ôsmimi na vstup čítača T1 a meranie maximálneho napätie z Peak Detektoru. Obvod FTDI umožňuje pripojenie k PC pomocou USB. LCD displej spolu s Ovládaním (enkodér, tlačidlo) tvoria užívateľské rozhranie zariadenia.

Zdroj slúži k napájaniu celého zariadenia.

4. NÁVRH ČASTI GENEROVANIA SIGNÁLU

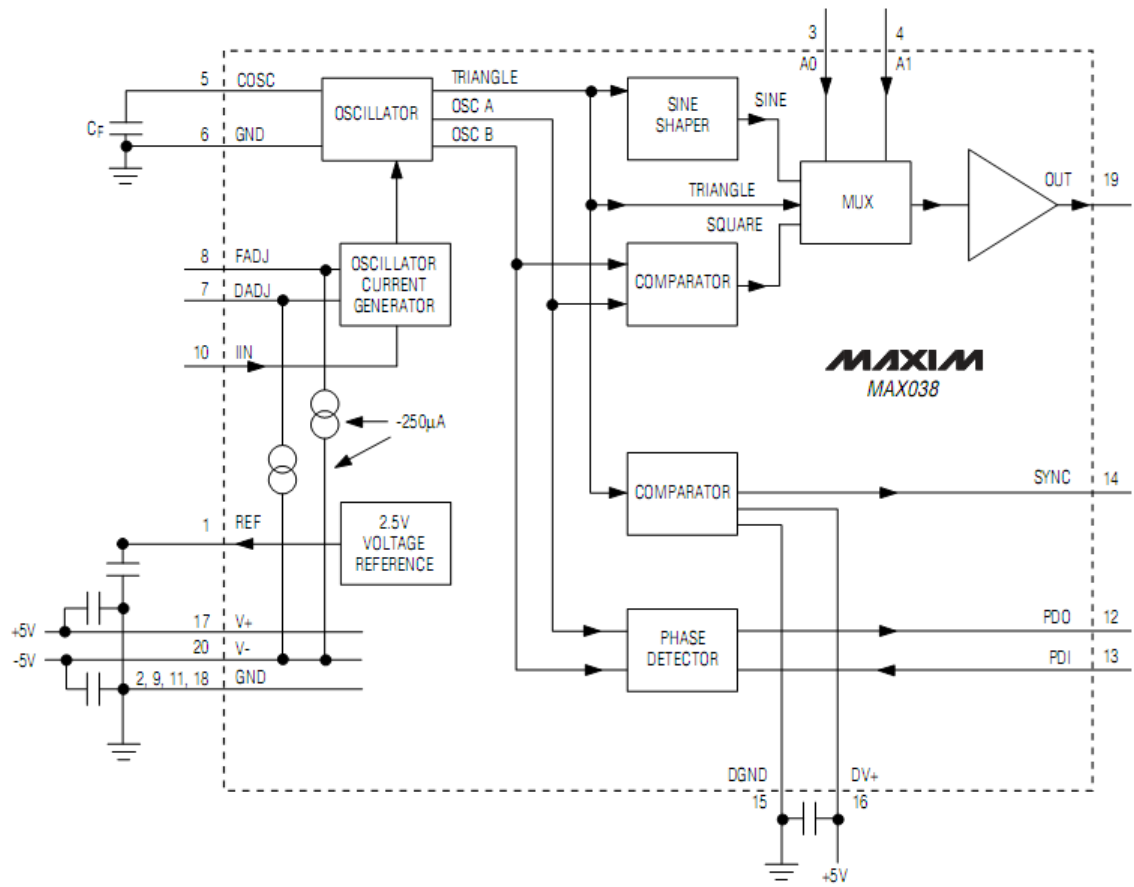
4.1 MAX 038

Základom generátora tvarovaného priebehu je integrovaný obvod MAX 038 [3] (typické zapojenie Obr. 4.2). Jeho hlavnými výhodami je veľký frekvenčný rozsah, jednoduché ovládanie a nízka cena. MAX 038 má frekvenčný rozsah 0,1 Hz až 20 MHz. Umožňuje generovať sínusový, pílový a obdĺžnikový priebeh. Umožňuje frekvenčnú moduláciu v rozsahu 1 až 350 násobku menovitej frekvencie a fázovú moduláciu v rozsahu 15 % až 85 %.

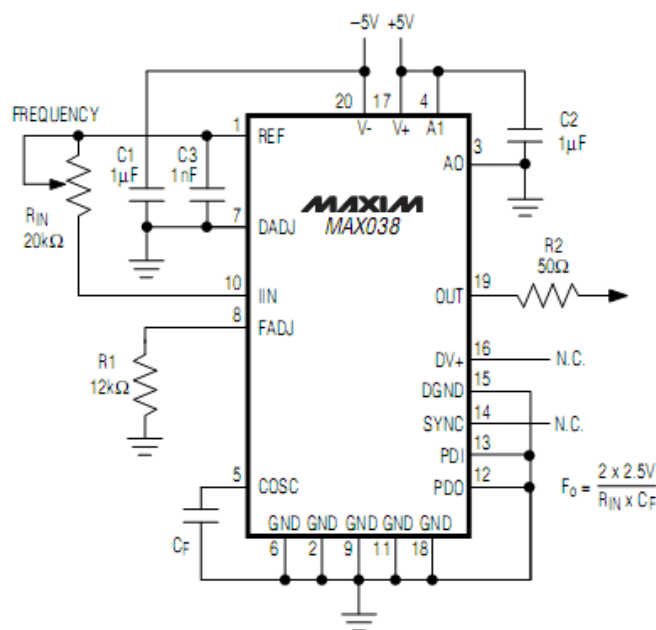
Obvod MAX 038 sa skladá s deviatich funkčných blokov (vid' Obr. 4.1):

- Oscilátor
- Prúdové riadenie oscilátora
- 2,5 V napäťová referencia
- Tvarovač sínusového priebehu
- Komparátor pre generovanie obdĺžnikového signálu
- Komparátor pre generovanie synchronizačného signálu
- Fázový detektor
- Multiplexor
- Výstupný zosilňovač

K prúdovému riadeniu oscilátora sú pripojené riadiace vstupy FADJ (frekvenčná modulácia) a DADJ (fázová modulácia) a IIN (nastavenie frekvencie). Riadiace napätie pre vstupy FADJ a DADJ je v rozsahu $\pm 2,3$ V. A prúdový rozsah riadiaceho vstupu IIN je 2 μ A až 750 μ A. Napäťová referencia riadiacich obvodov môže byť odvodená zo zabudovanej referencie. Prúdové riadenie oscilátora ovláda vybíjací a nabíjací prúd kondenzátora C_F pripojeného k oscilátoru. Z oscilátora vystupuje pílový signál, ktorý je privedený na multiplexor. Z pílového signálu je tvarovaný sínusový signál cez tvarovač a obdĺžnikový cez komparátor. Tieto signály sú tiež privedené na multiplexor. Vstupy A1 a A2 určujú typ priebehu. Nakoniec je signál zosilnený pomocou výstupného zosilňovača [3].



Obr. 4.1: Blokové zapojenie integrovaného obvodu MAX 038 (prevzaté z [3])



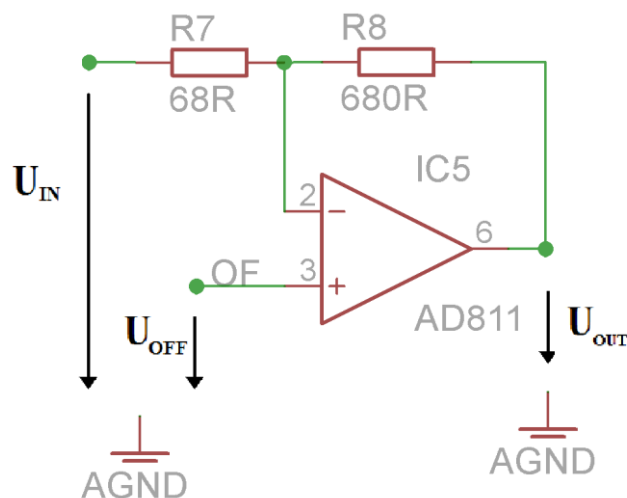
Obr. 4.2: Typické zapojenie MAX 038 (prevzaté z [3])

4.2 VÝSTUPNÝ ZOSILŇOVAČ

Je realizovaný pomocou IC5 (AD 811 [4]) (vid' Obr. 4.3) (v zapojení ako invertujúci zosilňovač). Odporý $R7 = 68 \Omega$ a $R8 = 680 \Omega$ určujú zosilnenie signálu 10x (aby bola maximálna amplitúda $20 V_{P-P}$) ich veľkosť je doporučená výrobcom [4]. Pred privedením signálu na IC5 sa musí najskôr signál cez napäťový sledovač IC7B impedančne oddeliť. Pretože výstup z digitálneho potenciometra má veľkú výstupnú impedanciu a požadujeme nízku aby bolo možné dostatočne vybudiť IC5.

Posunutie signálu voči nule (OFFSET) je realizované pomocou výstupného zosilňovača (vid' Obr. 4.3). Kde U_{OFF} je riadiace napätie na nastavenie posunutia voči nule. U_{OUT} je výstupný signál a U_{IN} je vstupný signál. Hodnota riadiaceho napätia U_{OFF} sa vypočítala podľa vzťahu 4.3. Ak položíme $U_{IN} = 0 V$ (nulový vstupný signál) tak U_{OUT} definuje veľkosť napätia posunutia voči nule (požadujeme rozsah $\pm 5 V$). Po dosadení spodnej ($- 5 V$) a vrchnej hranice ($5 V$) U_{OUT} sa vypočíta spodná $- 0,455 V$ a vrchná $0,455 V$ hranica riadiaceho napätia U_{OFF} , s toho vyplýva, že riadiace napätie je v rozsahu $U_{OFF} = \pm 0,455 V$.

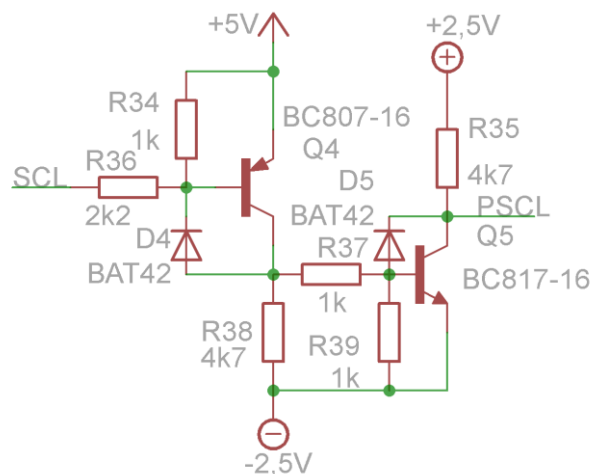
$$U_{OFF} = \frac{U_{OUT} - \frac{U_{IN} \cdot R7}{R8}}{1 + \frac{R7}{R8}} \quad (4.3)$$



Obr. 4.3: Výstupný zosilňovač, popis napätí

4.3 OBVOD NASTAVENIA AMPLITÚDY

Po vygenerovaní signálu obvodom IC3 sa nastavuje amplitúda pomocou digitálneho potenciometra IC4 (AD5252 [5]). Digitálny potenciometer dokáže spracovávať signál v rozsahu jeho napájacieho napätia a vstupný signál je v rozsahu ± 1 V. Preto bolo zvolené napájacie napätie $\pm 2,5$ V realizované pomocou stabilizátorov IC11, IC12. V dôsledku posunutého napájacieho napätia je nutné posunúť úroveň I2C signálu. Posunutie je realizované obvodom nastavenia amplitúdy (vid'. Schéma Obr. 4.4). Najskôr sa úroveň I2C signálu invertujú cez Q4 (spodná úroveň sa zníži o 2,5 V). Cez Q5 sa opäť signál invertuje (vrchná úroveň sa zníži o 2,5 V). Diódy D4 až D7 sú zapojené ako antisaturačné na urýchlenie rozpínania tranzistorov.



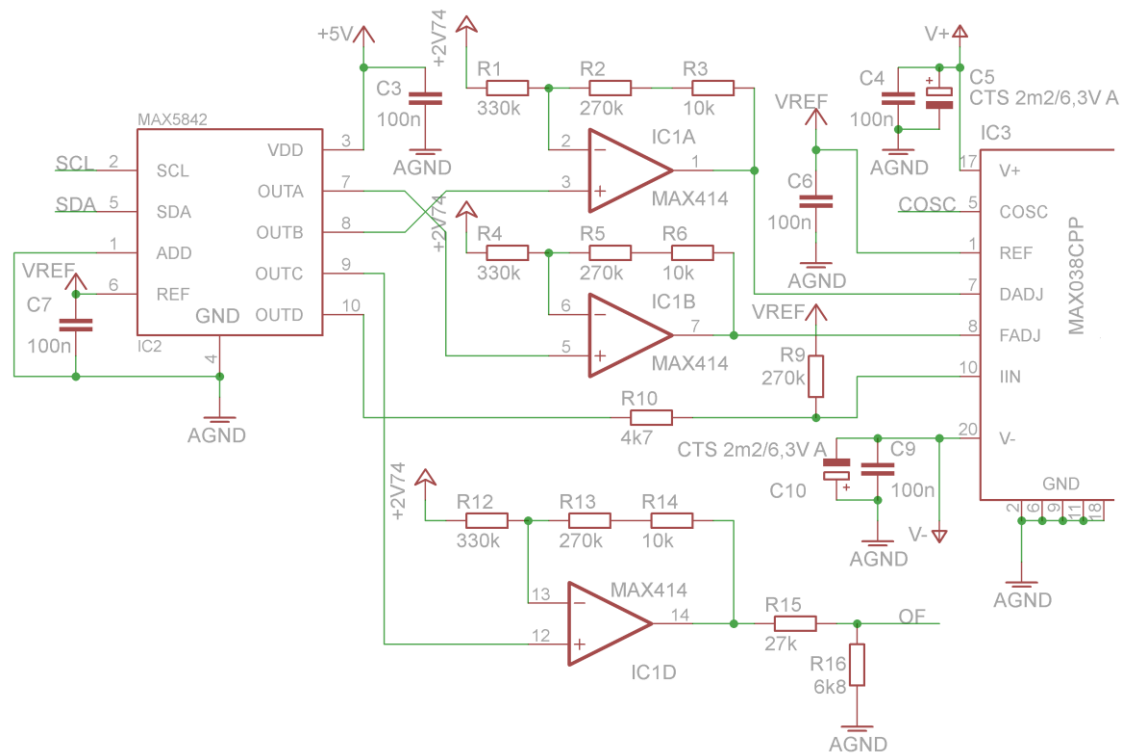
Obr. 4.4: Schéma prispôsobenia napät'ovej úrovne I2C

4.4 PRISPÔSOBENIE NAPÄŤOVEJ ÚROVNE D/A PREVODNÍKU

Obvod IC3 [3] má rôzne riadiace vstupy prúdový IIN, napät'ové DADJ a FADJ, ktoré majú odlišný rozsah alebo veličinu, ako výstup D/A prevodníku. Preto je nutné prispôbiť tieto výstupy. Prispôsobenie je realizované pomocou operačného zosilnovača (vid'. Obr. 4.5).

Pre nastavenie frekvencie slúži prúdový riadiaci vstup IIN (vid'. Obr. 4.5). Rozsah vstupných prúdov je 2 μ A až 750 μ A. Výrobca doporučuje [3] používať

menší rozsah, nami zvolený rozsah bol určený na základe grafickej závislosti (vid'. Obr. 4.8) je $9 \mu\text{A}$ až $530 \mu\text{A}$. Tento rozsah zabezpečí možnosť presnejšieho nastavovania frekvencie a umožní obsiahnuť celý frekvenčný rozsah generátora. Odpor R_9 je pripojený na napäťovú referenciu $2,5 \text{ V}$ (obvodu IC3), určuje spodnú hranicu riadiaceho prúdu $R_9 = 2,5 / 9 \cdot 10^{-6} = 270 \text{ k}\Omega$. Odpor R_{10} je pripojený na výstup OUTC D/A prevodníka, určuje vrchnú hranicu riadiaceho prúdu $R_{10} = 2,5 / 530 \cdot 10^{-6} = 4,7 \text{ k}\Omega$.



Obr. 4.5: Schéma pripojenia D/A prevodníka

Vstupy (DADJ, FADJ) obvodu IC3 majú rozsah vstupného riadiaceho napätia $\pm 2,3 \text{ V}$, preto sa musí prispôbiť výstupné napätie z D/A prevodníku (vid'. Obr. 4.5). Prispôbenie je realizované pomocou OZ[6] (vid'. **Obr. 4.6**) podľa doporučenia výrobcu [7]. Napätie U_R je referenčné napätie. U_{IN} je generované D/A prevodníkom s rozsahom 0 V až $2,5 \text{ V}$. U_{OUT} je výstupné napätie pripojené na riadiaci vstup IC3 (DADJ, FADJ). Odpor R_1 sa zvolil na základe doporučenia výrobcu [6] na hodnotu 330 k . Najskôr sa vypočítal odpor R_2 pomocou vzťahov (4.1) a (4.2). Kde U_{OUTmax} je maximálna hodnota výstupného napätia ($2,3 \text{ V}$) a

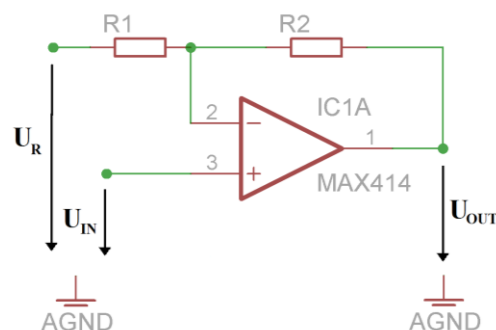
U_{OUTmin} je minimálna hodnota výstupného napätia (- 2,3 V). A U_{INmax} je maximálne vstupné napätie z D/A prevodníka (2,5 V). Hodnota odporu R2 bola vypočítaná na $R2 = 280 \text{ k}\Omega$ takýto odpor sa v použitej odporovej rade E24 nenachádza preto bola zvolená sériová kombinácia $R2 = 270 \text{ k}\Omega$ a $R3 = 10 \text{ k}\Omega$ (vid' Obr. 4.5). Napäťová referencia U_R sa potom dopočíta jedným zo vzťahov (4.1) a (4.2) a jej vypočítaná hodnota je $U_R = 2,74 \text{ V}$. U_R je odvodená z napäťovej referencie IC3 (2,5 V) pomocou IC1C (OZ ako neinvertujúci zosilňovač) (vid' Obr. 4.7). Na vstupe IC1C je kondenzátor C14 na potlačenie šumu. Je požadované zosilnenie $Z = 2,75 / 2,5 = 1,096$ toto zosilnenie je dané vzťahom (4.3). Odpor R28 sa zvolil na základe doporučenia výrobcu [6] na hodnotu $100 \text{ k}\Omega$. Odpor R25 ($9,1 \text{ k}\Omega$) a R26 (430Ω) sú zapojené v sérii (pretože požadovaný odpor sa nenachádza odporovej rade E24) a ich hodnota bola určená na pomocou vzťahu (4.3).

Nastavenie posunutia voči nule je realizované pomocou napätia U_{OFF} (výpočet v kapitole: 4.3) pripojeného na neinvertujúci vstup IC5. Pomocou IC1D sa upraví výstup D/A prevodníku na $\pm 2,3 \text{ V}$ a zmenší na požadovanú úroveň $U_{OFF} = \pm 0,455 \text{ V}$ pomocou odporového deliča R15 ($27 \text{ k}\Omega$), R16 ($6,8 \text{ k}\Omega$).

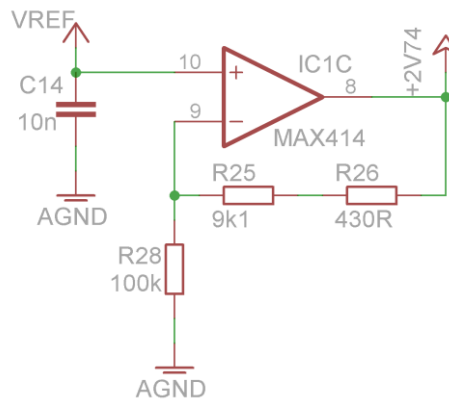
$$U_R = -\frac{R1}{R2} \cdot U_{OUTmin} \quad (4.1)$$

$$U_R = U_{INmax} - \frac{R1}{R2} \cdot (U_{OUTmax} - U_{INmax}) \quad (4.2)$$

$$Z = 1 + \frac{R25 + R26}{R28} \quad (4.3)$$



Obr. 4.6: Prispôsobenie napäťovej úrovne D/A prevodníka (popis napätí)



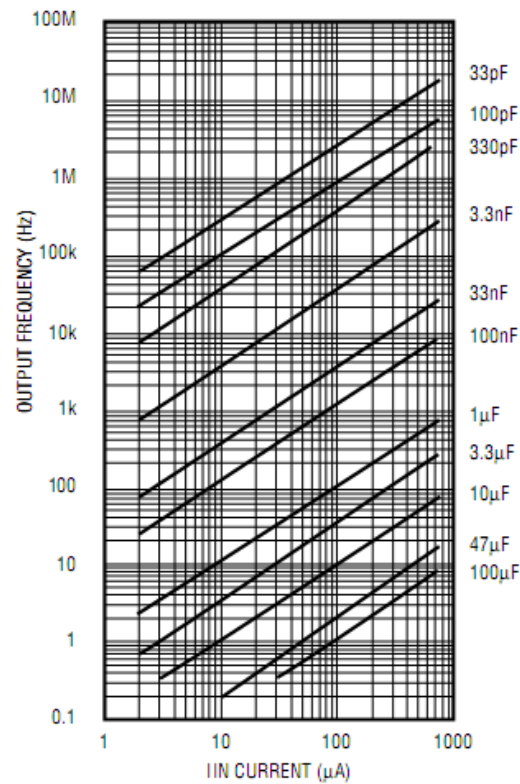
Obr. 4.7: Zapojenie pre odvedenie napät'ovej referencie 2,74 V

4.5 OBVOD PRE VOĽBU ROZSAHU

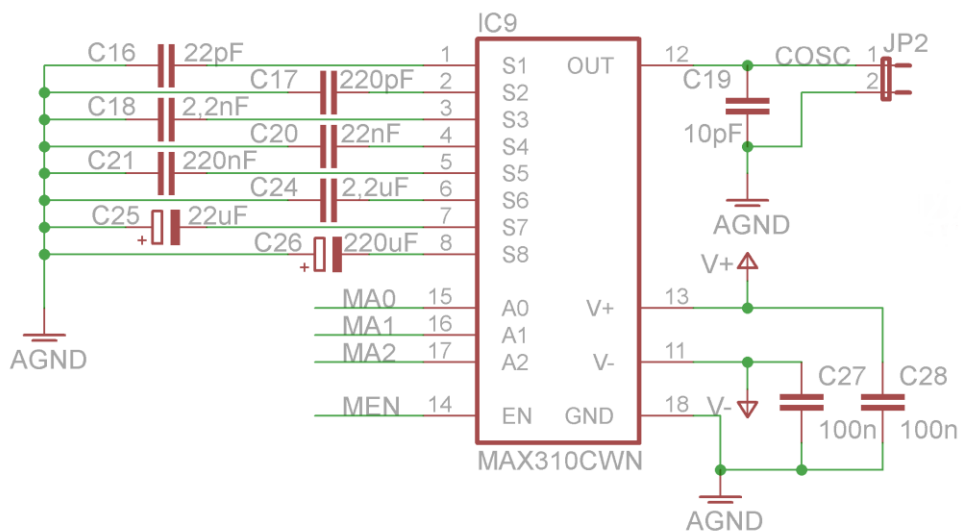
Frekvenčný rozsah obvodu IC3 (MAX038 [3]) určuje kondenzátor pripojený na COSC. Pre pokrytie rozsahu (10 Hz až 4 MHz) sa musí použiť 9 kondenzátorov C16 až C21 a C24 až C26. Hodnoty kondenzátorov boli určené na základe grafickej závislosti (vid' Obr. 4.8) výstupnej frekvencie na prúde do riadiaceho vstupu IIN (9 μA až 530 μA) pri definovanej kapacite pripojeného kondenzátora a rozsahu riadiaceho prúdu IIN.

Prepínanie medzi kondenzátormi zabezpečuje video multiplexor IC9 (MAX 310 [8]). Bol použitý pretože má dostačujúci frekvenčný rozsah, umožňuje obojsmerný prechod signálu a dokáže pracovať so signálom v rozsahu -5 V až 2 V .

Riadiace vstupy pripojené na expander IC8 (MAX 7325 [9]) určujú ktorý kondenzátor sa pripojí na vstup COSC. Schéma zapojenia je na Obr. 4.9.



Obr. 4.8: Závislosť výstupnej frekvencie na prúde do riadiaceho vstupu IIN pri definovanej kapacite pripojeného kondenzátora (prevzaté z [3])

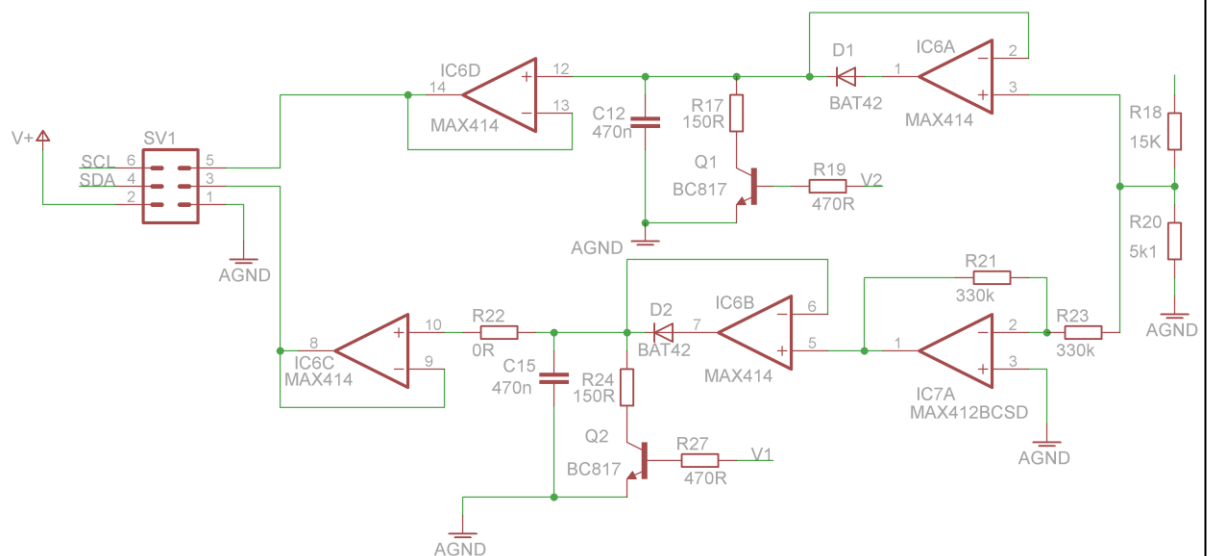


Obr. 4.9: Schéma zapojenia voľby rozsahu

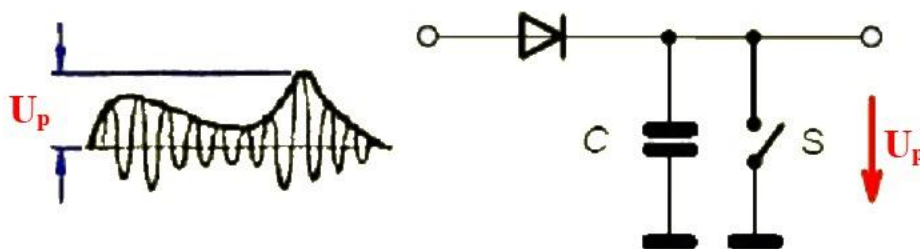
4.6 PEAK DETEKTOR

Peak detektor je obvod ktorý dokáže detekovať maximálne napätie daného signálu. Princíp peak detektoru [10] je naznačený na Obr. 4.11. Dióda usmerňuje signál a nabíja kondenzátor na maximálne napätie signálu. Po dosiahnutí maximálneho napätia kondenzátor udržiava túto hodnotu pokiaľ nie je zopnutý spínač S a kondenzátor sa nevybije.

Peak detektor slúži na meranie maximálneho kladného a záporného napätia na výstupe generátora (vid'. Schéma Obr. 4.10). Signál sa najskôr zmenší približne 4x cez odporový delič R18 (15 k Ω), R20 (5,1 k Ω), pretože sa používajú OZ MAX 412(414) [6] s napájaním ± 5 V. Pre záporné napätie sa signál invertuje cez IC7A (OZ v invertujúcom zapojení so zosinením 1). Potom sa signál usmerní cez IC6A (IC6B) (OZ ako jednocestný usmerňovač). Kondenzátor C12 (C15) sa nabíja na maximálne napätie. Pred meraním je nutné kondenzátor najskôr vybiť. Na to slúži tranzistor Q1 (Q2), ktorý je pripojený k expanderu. Odpor R19 (R27) obmedzuje prúd do bázy tranzistoru na 10 mA. Odpor R17 (R24) obmedzuje vybíjaný prúd na 20 mA. Napätie je privedené na A/D prevodník v mikrokontroléry cez napäťový sledovač IC7D (IC7C) kvôli zvýšeniu vstupného odporu .



Obr. 4.10: Schéma zapojenia Peak detektoru



Obr. 4.11: Princíp Peak detektoru(prevzaté z [10])

4.7 TVAROVAČ A MULTIPLEXOR

Na zmenu vstupného signálu (najčastejšie sínusového) na výstupný TTL signál (s rovnakou frekvenciou ako má vstupný signál) slúži tvarovač. Táto zmena na TTL signál je nutná pre ďalšie spracovanie a meranie frekvencie.

Vstupný signál do tvarovača (prebraný z [11]) (Schéma Obr. 4.12) je najskôr oddelený cez kondenzátor C22. Cez ochranný odpor R31 je privedený na bázu tranzistoru Q3. Signál je zosilnený a cez kondenzátor C23 je privedený na vstup multiplexora.

Multiplexor (Schéma Obr. 4.12) je realizovaný pomocou troch hradiel NOR IC10 (74HC02 [12]). Riadiace vstupy multiplexora SL1, SL2 sú pripojené na výstupy O10 a Q11 expandera IC8. Vstup z generátora je aktívny ak je na SL2 logická 0. Vstup z tvarovača (vstup pre meranie externej frekvencie) je aktívny ak je na SL1 logická 0. Pokiaľ je jeden vstup aktívny (na riadiacom vstupe je privedená logická 0) na druhom riadiacom vstupe musí byť logická 1

5. NÁVRH RIADIACEJ ČASTI

5.1 VOĽBA MIKROKONTROLÉRA

Hlavné požiadavky na mikrokontrolér boli dostatočný výpočtový výkon, veľkosť programovej pamäte a dátovej pamäte. Periférie: minimálne dva 8-bitové čítače/časovače, A/D prevodník umožňujúci merať dve napätia, USART, I2C, dostatočný počet vstupov/výstupov (približne 20), pamäť EEPROM.

Bol zvolený 8-bitový mikrokontrolér ATmega 16 [13] od spoločnosti ATMEL. Pretože splňuje všetky dané požiadavky, je ľahko dostupný a lacný.

Charakteristika obvodu:

- Architektúra RISC, inštrukčný súbor obsahuje 131 inštrukcii
- maximálny výpočtový výkon je 16 MIPS
- 16 KB Flash programovej pamäti
- 1 KB SRAM dátovej pamäti
- 512 B EEPROM pamäti
- 4 x 8-bitové vstupne/výstupné porty
- 2 x 8-bitový a 1 x 16-bitový čítač/časovač
- 4 PWM kanály
- 8 kanálový 10-bitový A/D prevodník
- 5 režimov spánku
- jednotky USART, SPI, TWI (podpora I2C)
- watchdog
- zabudovaný RC oscilátor
- rozhranie JTAG a ISP

5.2 POPIS RIADIACEJ ČASTI

Základom tejto časti je mikrokontrolér [14] ku ktorému je pripojený resetovací obvod (viď. príloha A.3) IC1 (DS1233 [15]). Na port A je pripojený LCD displej [16], podsvietenie displeja je napájané piatimi voltami cez odpor R10 (27 Ω) ktorý obmedzuje prúd na 70 mA. Odpor R1 (4,7 k Ω) a R2 (680 Ω) slúžia na nastavenie kontrastu displeja boli zvolené experimentálne. Na vstupy ADC0 a ADC1 je privedené cez odporové deliče R4, R8 (R3, R7) maximálne kladné a invertované záporné napätie z peak detektoru. Vstupy sú blokované proti šumu kondenzátormi C5, C6 a chránené proti zápornému napätiu diódami D1, D2 .

Na vstup ICP je privedená meraná frekvencia z multiplexora a na vstup čítača/časovača 1 je privedená cez deličku ôsmimi.

Na vstup portu D je pripojený rotačný enkóder, ktorý slúži na ovládanie celého zariadenia. Odporová sieť RN1 je pripojená k tlačidlám a enkóderu a “zdvíha” napätovú úroveň na log. 1. Odpor (R27, R30, R32 až R34) spolu s kondenzátormi (C14 až C18) tvoria dolnú priepust, ktorá potláča zákmity pri spínaní tlačidiel (enkóder) diódy D9 až D11 sú zapojené tak, aby pri stlačení tlačidla alebo pootočení enkodéra priviedli na vstup INT1 log. 0 a vzniklo prerušenie pre mikrokontrolér.

Obvod U1 (FT232RL [17]) umožňuje pripojenie k PC pomocou USB. Na konektor SL6 sa pripája USB a indikačné LED diódy ktoré sa nachádzajú na zadnom paneli zariadenia.

Konektor SV1 slúži na pripojenie programátora a naprogramovaniu mikrokontroléra, SV2 na prepojenie riadiacej časti s časťou generovania signálu.

6. NÁVRH NAPÁJACIEHO ZDROJA

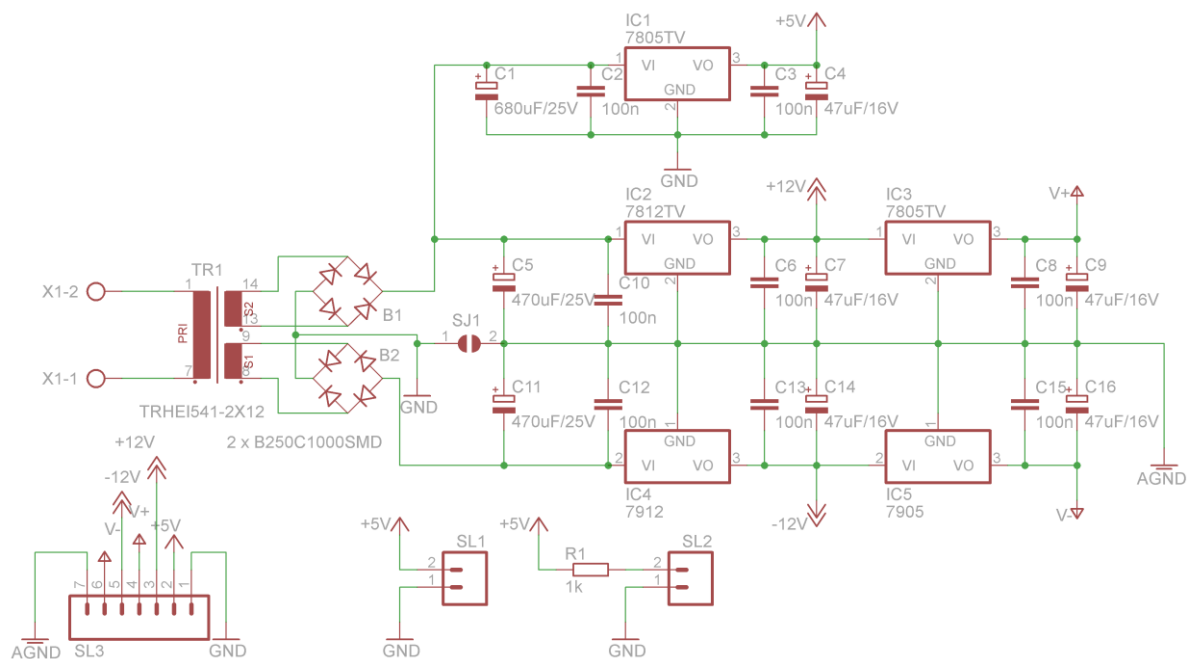
Skladá sa z troch vetiev (vid'. Schéma Obr. 6.1). Prvá, + 5 V, s maximálnym odberom približne 250 mA (200 mA riadiaca časť, 50 mA časť generovania signálu), slúži k napájaniu digitálnych častí (mikrokontrolér, expander ...). Druhá, ± 5 V, s maximálnym odberom približne ± 150 mA (30 mA OZ, 60 mA IC3,...), slúži k napájaniu analógových častí a obvodu IC3. Tretia, ± 12 V, s maximálnym odberom približne ± 100 mA, slúži k napájaniu výstupného zosilňovača IC5.

Transformátor TRHEI541 bol zvolený s dostatočným výkonom 16 VA (odber zariadenia je približne 10 W) a výstupný napätím 2×12 V. Poistka F1 bola zvolená podľa doporučenia výrobcu transformátora na hodnotu 100 mA.

Stabilizátory boli zvolené rady 78XX, 79XX pre maximálny prúd 1 A.

Elektrolytické kondenzátory slúžia k vyfiltrovaní zvlnenia. Keramické kondenzátory slúžia k blokovaniu vyšších frekvencií.

Analógová a digitálna zem sa prepojí prepojkou SJ1. Konektor SL2 slúži na pripojenie generátorovej časti a SL1 Riadiacej časti.



Obr. 6.1: Schéma zapojenia napájacieho zdroja

7. NÁVRH PLOŠNÝCH SPOJOV

Časť generovania signálu je navrhnutá na obojstrannom plošnom spoji s rozmermi $87,6 \times 64,5$ mm. Realizovaná prevažne SMD súčiastkami. Na obidvoch stranách plošného spoja je rozliata analógová zem. Pri návrhu bol kladený dôraz na oddelenie analógových častí a digitálnych.

Riadiaca časť je navrhnutá na obojstrannom plošnom spoji s rozmermi $160,0 \times 61,5$ mm. Na obidvoch stranách plošného spoja je rozliata digitálna zem.

Napájací zdroj je navrhnutý na jednostrannom plošnom spoji s rozmermi $116,0 \times 50,5$ mm. Realizovaný Kombináciou SMD a SMT súčiastok.

Návrh schém a plošných spojov bol realizovaný v návrhovom programe EAGLE 5.7.0

8. NÁVRH PROGRAMU PRE MIKROKONTROLÉR

V programe boli použité nasledujúce zdrojové súbory:

- *LCD.c* – obsahuje funkcie určené pre prácu s LCD displejom (zobrazenie textu, zobrazenie hodnoty)
- *LIB.c* – obsahuje funkcie pre spracovanie prerušení, pre komunikáciu s D/A prevodníkom, expanderom a digitálnym potenciometrom

Program pre mikrokontrolér sa skladá z hlavnej slučky (viď. Obr. 8.1) a obsluhy prerušení.

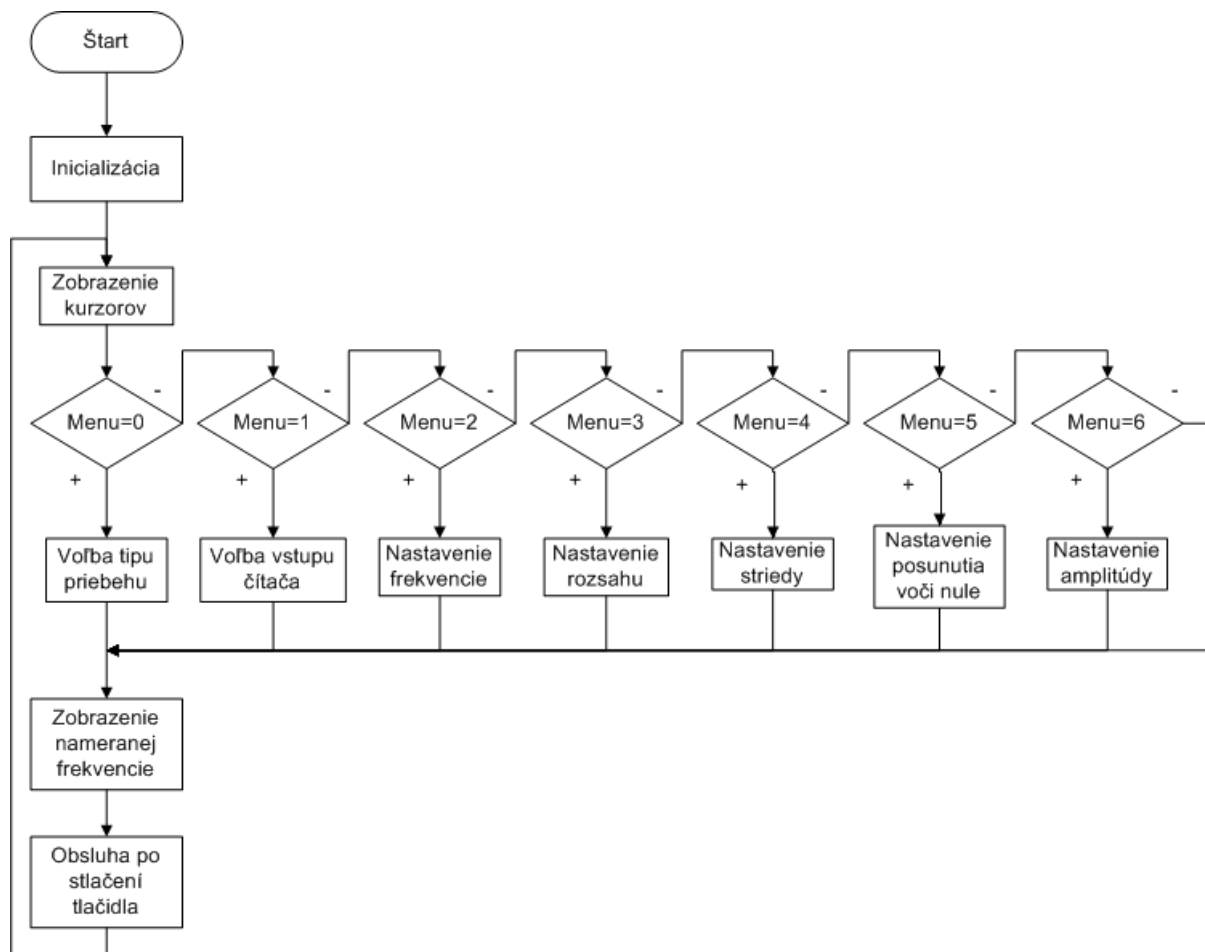
Po spustení zariadenia sa vykoná inicializácia. Po inicializácii sa dostáva do nekonečnej slučky. V nej sa cyklicky vykonáva zobrazenie kurzorov na displeji, zmena veličiny aktuálne vybranej položky (voľba typu priebehu, vstupu čítača...), zobrazenie meranej frekvencie a obsluha po stlačení tlačidla.

V obsluhu prerušenia čítača/časovača 0 a 1 sa vykonáva meranie frekvencie a spúšťa sa nasledujúce meranie. Obsluha tlačidiel a enkodéra sa vykonáva v obsluhu prerušenia INT2 a INT1. Meranie napätia z peak detektora zabezpečuje obsluhu prerušenia od A/D prevodníka. Po vzniknutí prerušenia sa spracuje nameraná hodnota a nastaví sa príznak ADOK0 (ADOK1).

8.1 INICIALIZÁCIA

Inicializácia sa vykonáva vždy po spustení zariadenia. V inicializácii sa vykonáva:

- Nastavenie portov mikrokontroléra
- Nastavenie I2C
- Nastavenie a povolenie prerušení
- Nastavenie a spustenie časovačov
- Inicializácia LCD displeja, D/A prevodníka, digitálneho potenciometra
- Zobrazenie údajov na displej



Obr. 8.1: Vývojový diagram hlavnej slučky programu

8.2 NASTAVENIE VELIČINY V POLOŽKÁCH MENU

Sekvencia úkonov pre nastavenie veličiny v položkách je realizovaná vo všetkých položkách rovnako. Spôsob nastavenia je znázornený na vývojovom diagrame Obr. 8.2. Pozícia v menu je uložená v premennej *MENU*. Hodnoty je jednotlivých položiek sú uložené vo vektore *DA*.

Najskôr sa obmedzí hodnota na maximálnu respektíve minimálnu hodnotu. Potom sa fyzicky nastaví zápisom na D/A prevodník, digitálny potenciometer alebo expander hodnota z preddefinovanej tabuľky. D/A prevodník v prípade frekvencie, striedy a posunutia voči nule. Digitálny potenciometer v prípade amplitúdy. A expander pre voľbu priebehu a nastavenie video multiplexora. Nakoniec sa zobrazí nastavená hodnota na displeji.

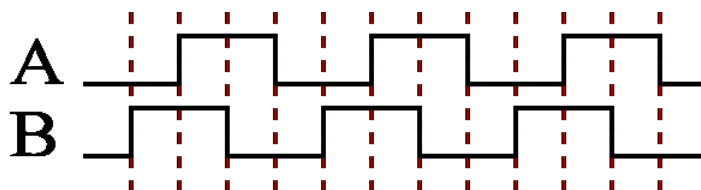


Obr. 8.2: Vývojový diagram nastavenia hodnoty v položkách

8.3 OBSLUHA TLAČIDLA A ENKODÉRA

Obsluha tlačidla a enkodéra sa vykonáva v obsluhu prerušenia INT2 a INT1. Táto obsluha musí byť čo najrýchlejšia pretože prerušenia INT2 a INT1 majú väčšiu prioritu ako prerušenie od časovacu (mohlo by dochádzať k zvýšeniu nepresnosti merania frekvencie).

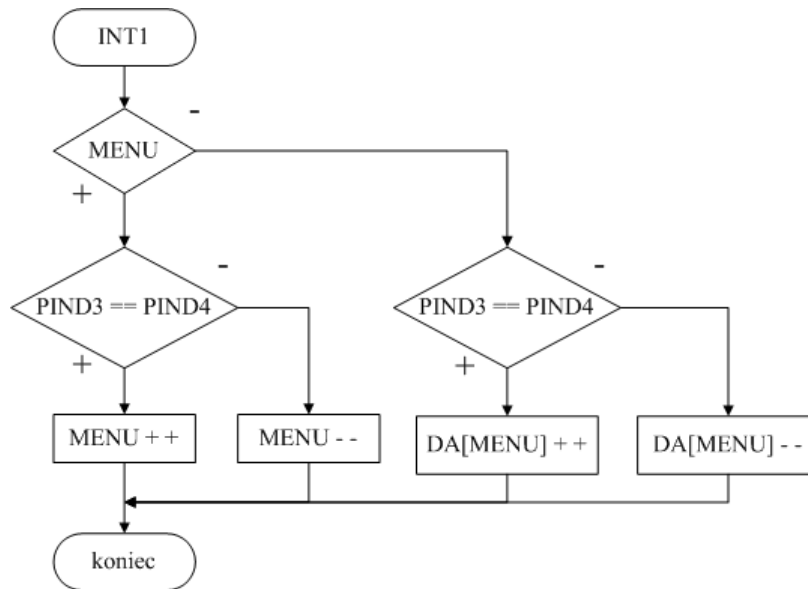
Rotačný enkodér je ovládací prvok ktorý dokáže určiť smer pootočenia a veľkosť uhlu otočenia. Enkodér má dva výstupy A a B pri otáčaní sa na obidvoch výstupoch generuje pulzový priebeh pričom sú vzájomne posunuté o 90° (viď. Obr. 8.3).



Obr. 8.3: Priebehy na výstupoch enkodéru

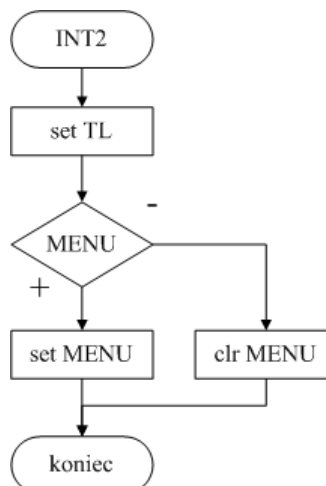
Pri pootočení enkodéra vznikne prerušenie od vstupu INT1. Po vstupe do prerušenia (viď. Obr. 8.4) sa testuje či sa nachádza v menu. Podľa toho sa pripočítava (alebo odpočítava) jednotka k menu alebo k aktuálne nastavovanej veličine. Smer pootočenia je daný výstupmi A a B enkodéra ak majú rovnakú

logickú úroveň (PIND3 == PIND4) tak je kladný smer (+ 1) ak nie tak je záporný smer (- 1).



Obr. 8.4: Vývojový diagram obsluhu prerušenia od enkodéra

Po stlačení tlačidla vznikne prerušenie od vstupu INT2. Po vstupe do prerušenia (viď. Obr. 8.5) sa nastaví príznak TL pomocou ktorého sa ďalej spracováva stlačenie tlačidla v hlavnej slučke. Potom sa nastavuje príznak MENU ktorý určuje či sa program nachádza v menu alebo v niektorej z položiek.



Obr. 8.5: Vývojový diagram obsluhu prerušenia od tlačidla

8.4 MERANIE FREKVENCIE

Meranie frekvencie je realizované pomocou čítača/časovača 0 a 1. Meranie má viacero rozsahov ktoré sa prepínajú automaticky po zmeraní. Pokiaľ je nameraná frekvencia väčšia ako maximálna pre daný rozsah prepne sa meranie na väčší rozsah. A keď je nameraná frekvencia menšia ako minimálna pre daný rozsah prepne sa meranie na menší. Po zmeraní sa automaticky spustí ďalšie meranie.

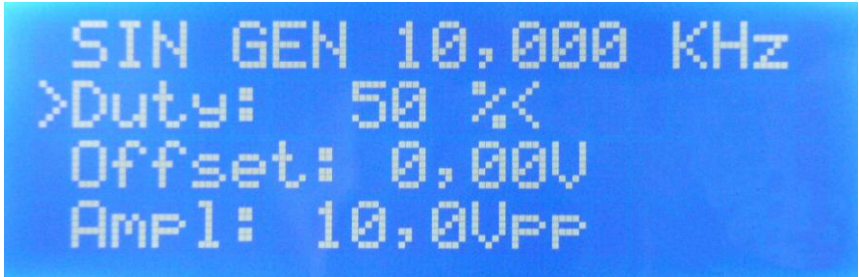
Pre meranie sú použité dve metódy. Pri veľkých frekvenciách sa počíta počet nábežných hrán pomocou hodinového vstupu T1 čítača/časovača 1, počas doby nastavenej na čítači/časovači 0. Pre malé frekvencie sa meria čas medzi dvomi hranami na vstupe ICP čítača/časovača 1.

8.5 OVLÁDANIE GENERÁTORA

Výber veľkosti displeja a spôsobu zobrazovania bol prispôsobený tomu, aby boli zobrazené všetky potrebné informácie o stave zariadenia. Pomocou enkodéra sa dá prepínať medzi položkami. Aktuálna položka je vyznačená pomocou znakov (kurzorov) > a <. Po stlačení tlačidla sa kurzory rozblíkajú čo indikuje, že je možné nastavovať vybranú položku, po opätovnom stlačení sa dá opäť pohybovať medzi položkami (kurzory neblíkajú).

Položky zobrazené na displeji Obr. 8.6 :

- Typ priebehu (SIN, SQU, TRI) - voľba typu výstupného priebehu.
- Vstup čítača (EXT, GEN) - určuje čo bude merať čítač (frekvenciu na vstupe alebo frekvenciu generátora).
- Nastavenie frekvencie
- Nastavenie frekvenčného rozsahu umožňuje nastavovať frekvenciu po násobkoch 10-ich.
- Nastavenie striedy - umožňuje nastaviť striedu v rozsahu 15 % až 85 % s krokom 5 %
- Nastavenie posunutia voči nule - umožňuje nastavovať posunutie v rozsahu 0 V až 2,5 V s krokom 0,25 V
- Nastavenie amplitúdy – umožňuje nastavovať amplitúdu v rozsahu 1 V_{P-P} až 10 V_{P-P} s krokom 0,5 V



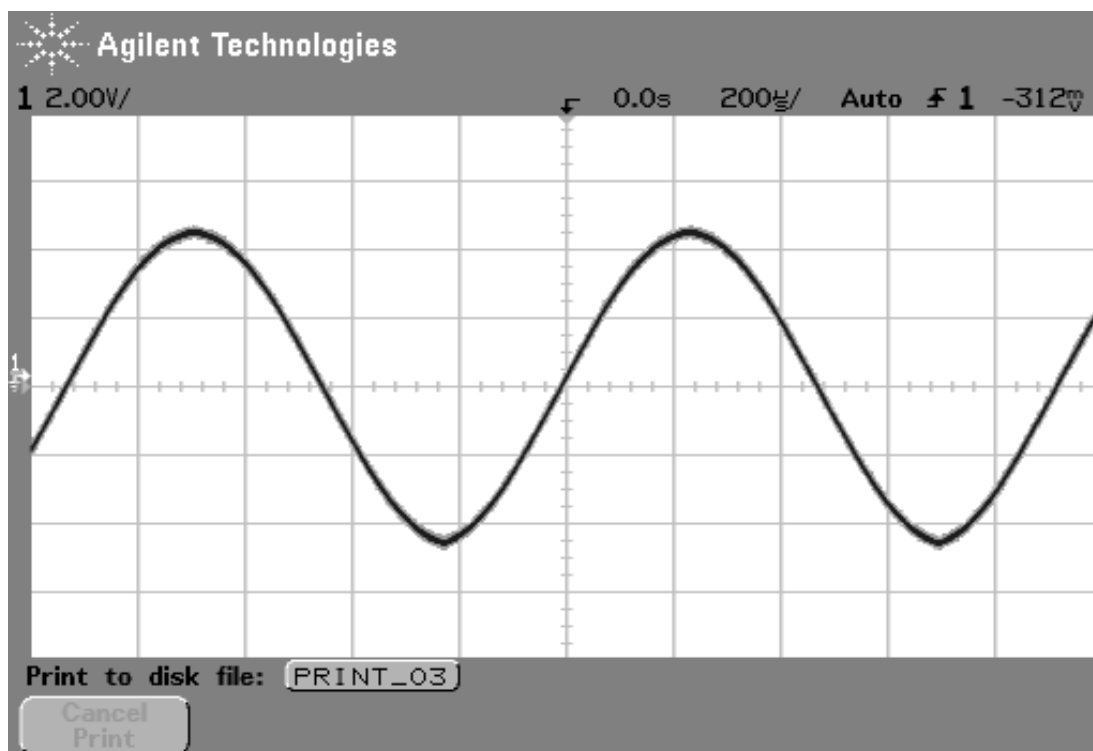
```
SIN GEN 10,000 KHz  
>Duty: 50 %<  
Offset: 0,00V  
Amplitude: 10,0VPP
```

Obr. 8.6: Zobrazenie položiek na displeji

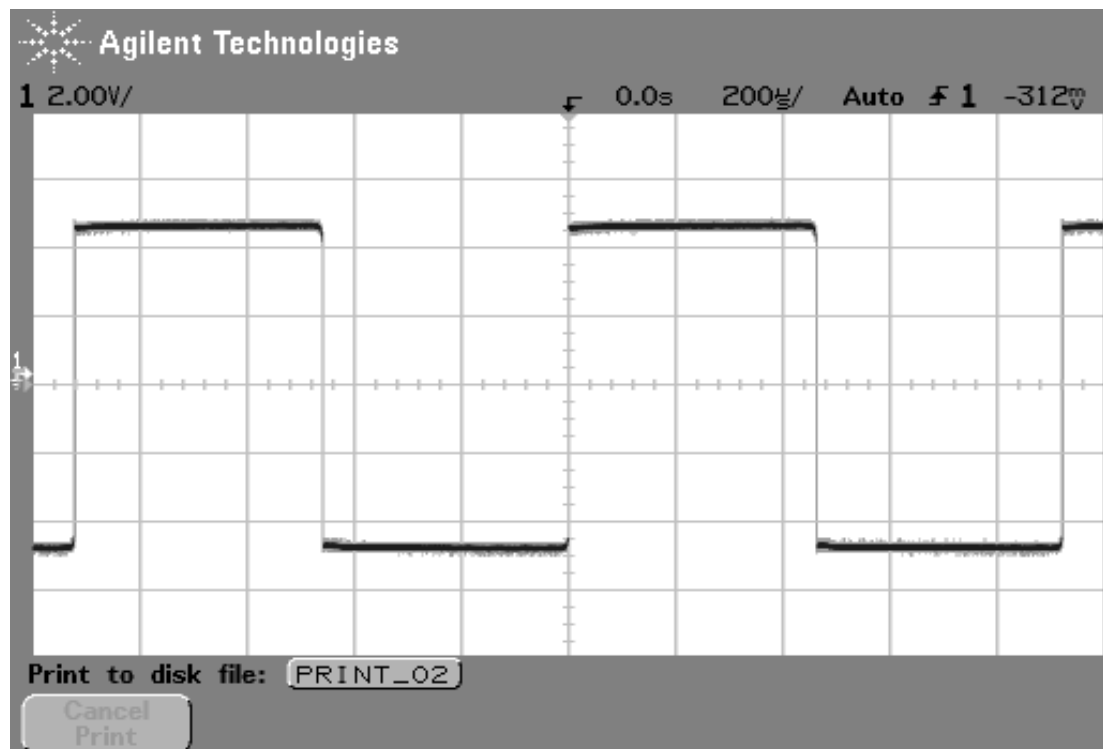
9. NAMERANÉ PRIEBEHY

Na generátore boli nastavené tieto parametre: frekvencia na 1,1 kHz, offset na 0 V, amplitúda 4,5 V a strieda 50 %. A boli zmerané priebehy pre sínusový (vid'. Obr. 9.1), obdĺžnikový (vid'. Obr. 9.2) a pílový priebeh (vid'. Obr. 9.3). Na Obr. 9.4 bol zmeraní obdĺžnikový priebeh s striedou 15%. Namerané priebehy zodpovedajú nastaveným hodnotám.

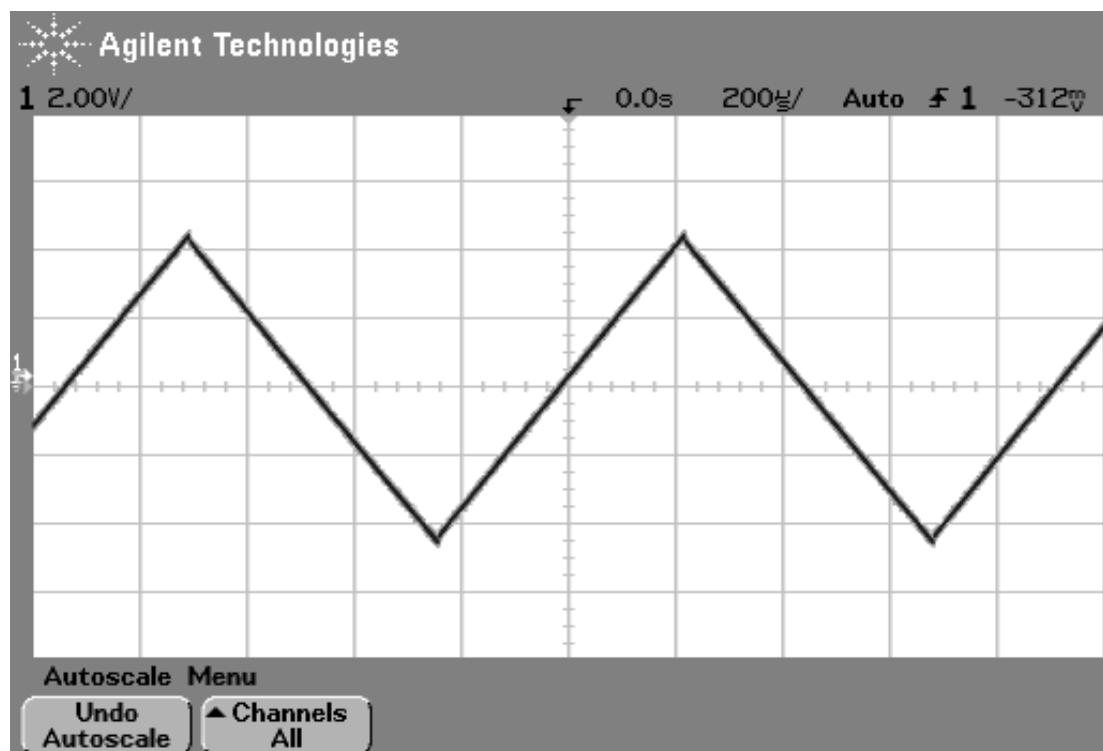
Na Obr. 9.5 je zmeraný sínusový priebeh (nastavenia generátora: frekvencia na 10 kHz, offset na 0 V, amplitúda 4,5 V a strieda 50 %.), na ktorom je možné vidieť nespojitosť vo vrcholoch signálu. Táto nespojitosť je spôsobená úbytkom napätia na video multiplexore.



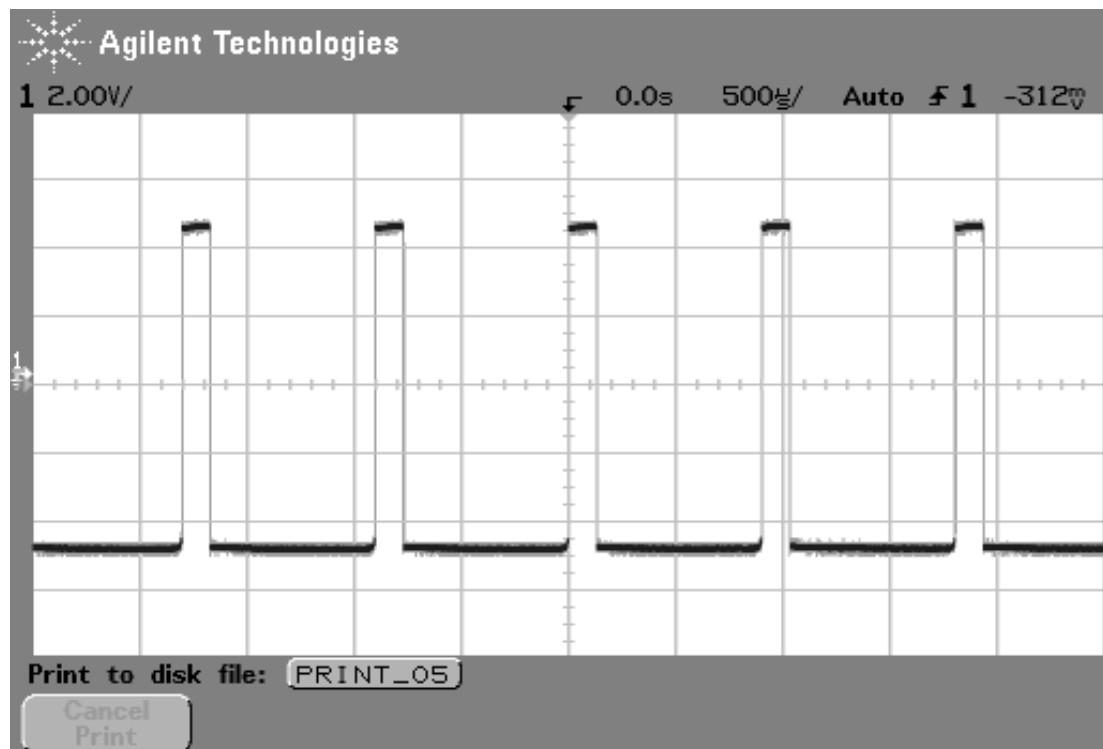
Obr. 9.1: Sínusový signál $f = 1,1$ kHz



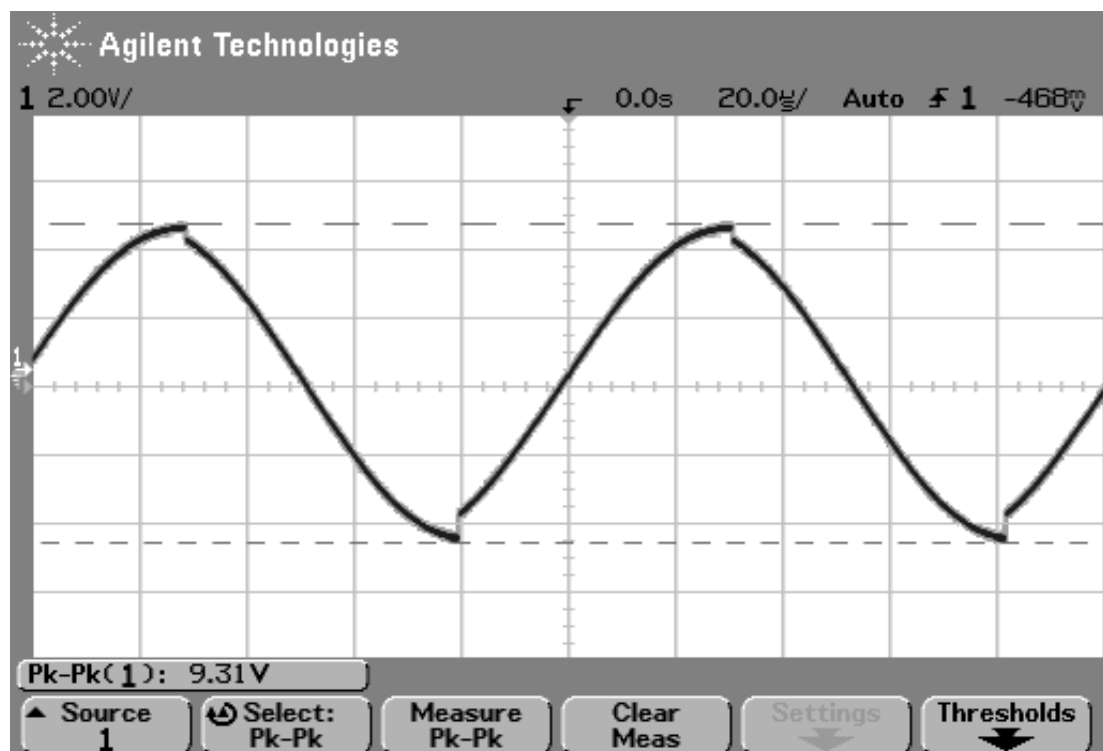
Obr. 9.2: Obdĺžnikoví priebeh $f = 1,1$ kHz



Obr. 9.3: Pílový priebeh $f = 1,1$ kHz



Obr. 9.4: Obdĺžnikoví priebeh $f = 1,1$ kHz, strieda 15 %



Obr. 9.5: Sínusový signál $f = 10$ kHz

10. ZÁVER

V rámci bakalárskej práce bol rozobratý návrh a realizácia generátora tvarovaného priebehu s použitím obvodu MAX 038 (pre generovanie signálu) a mikrokontrolérom ATmega 16 (pre riadenie generátora).

Generátor umožňuje generovať TTL signál na TTL výstupe. Na výstupe tvarovaného priebehu umožňuje generovať signál sínusového, obdĺžnikového a pílového priebehu v rozsahu 10 Hz až 4 MHz, s možnosťou zmeny striedy (15 % až 85 %), posunutia voči nule ($\pm 2,5$ V), amplitúdy (maximálne 10 V_{P-P}). Generátor má v sebe zahrnutý čítač frekvencie, ktorý umožňuje merať frekvenciu v rozsahu 10 Hz až 40 MHz.

Z nameraných priebehov Obr. 9.5 je vidieť nespojitosť vo vrcholoch signálu. Táto nespojitosť je spôsobená úbytkom napätia na video multiplexore (MAX 310). Riešením tohto problému je použitie miniatúrnych relé.

Pri frekvenciách nad 500 kHz dochádza ku skresleniu výstupného signálu na pílový je to spôsobené operačným zosilňovačom MAX412 (IC7B), ktorý nedokáže dostatočne vybudieť AD811. Riešením je použiť OZ napr. AD811, ktorý je schopný dodávať väčšiu hodnotu výstupného prúdu.

V rámci ďalšej práce bude navrhnutý nový plošný spoj pre časť generovania signálu. V ňom použijem namiesto video multiplexora (MAX 310) relé a MAX412 (IC7B) nahradím obvodom AD811. Pokúsím sa vhodnejšie rozvrhnúť zemnenie a lepšie oddeliť analógové časti od digitálnych. Prevediem kalibráciu generátora.

11. POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] BEJČEK,L. – ČEJKA,M. – REZ,J. – GESCHEITOVÁ,E.
– STEIBAUER.M. : *Měření v elektrotechnice* VUT-FEKT, 2002. 242 s.
- [2] BRANČÍK, L. - DOSTÁL, T. : *Analogové elektronické obvody*.
VUT-FEKT, 2007. 193 s.
- [3] Maxim, *MAX 038 datasheet* [online], 2007 - [cit. 8.5. 2010]. Dostupný
z WWW: <<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX038.pdf>>
- [4] Analog Devices, *AD 811 datasheet* [online], 2004 - [cit. 8.5. 2010].
Dostupný z WWW: <[http://www.analog.com/static/imported-
files/data_sheets/AD811.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD811.pdf)>
- [5] Analog Devices, *AD 5252 datasheet*, 2009 - [cit. 8.5. 2010]. Dostupný
z WWW:<[http://www.analog.com/static/imported-
files/data_sheets/AD5251_5252.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD5251_5252.pdf)>
- [6] Maxim, *MAX 412 ,MAX 414 datasheet* [online], 2009 - [cit. 8.5. 2010].
Dostupný z WWW: <[http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX410-
MAX414.pdf](http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX410-MAX414.pdf)>
- [7] Maxim, *Engineering Journal* [online], [cit. 8.5. 2010]. Dostupný z WWW:
<<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ej/EJ19.pdf>>
- [8] Maxim, *MAX 310 datasheet* [online], [cit. 8.5. 2010]. Dostupný
z WWW: <[http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX310-
MAX311.pdf](http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX310-MAX311.pdf)>
- [9] Maxim, *MAX 7325 datasheet* [online], 2006 - [cit. 8.5. 2010]. Dostupný
z WWW: <<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX7325.pdf>>
- [10] DŘÍNOVSKÝ,J. - FRÝZA,T. - SVAČINA,J. - KEJÍK,Z. - RŮŽEK,V. :
Encyklopedie elektromagnetické kompatibility VUT-UREL, 2010. 280 s.
- [11] *Čítač AVR 1300 MHz* [online], [cit. 8.5. 2010]. Dostupný z WWW:
<<http://www.zajic.cz/avr/citavr.pdf>>
- [12] *74HC02 datasheet* [online], 1990 - [cit. 8.5. 2010]. Dostupný z WWW:
<[http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/74HC_HCT02_CNV
_2.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/74HC_HCT02_CNV_2.pdf)>

- [13] Atmel, *ATmega16 datasheet* [online], 2009 - [cit. 8.5. 2010]. Dostupný z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf>
- [14] MATOUŠEK D.: *Práce s mikrokontroléry atmel AVR*, 2006. 319 s.
- [15] Maxim, *DS1233 datasheet* [online], [cit. 8.5. 2010]. Dostupný z WWW:<<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS1233.pdf>>
- [16] LCD Displej, *MC1604D-SYL datasheet* [online], [cit. 8.5. 2010]. Dostupný z WWW: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/513/513-132/dsh.513-132.2.pdf>
- [17] FTDI, *FT232R datasheet* [online], [cit. 8.5. 2010]. Dostupný z WWW: <http://www.ftdichip.com/Documents/DataSheets/DS_FT232R_V205.pdf>

12. PREHĽAD POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

D/A – Digitálne analógový prevodník

MUX – Multiplexor

MIPS – (Million Instruction Per Second) Jednotka ktorá udáva výpočtový výkon mikroprocesora

USART – Univerzálny synchrónny a asynchrónny sériový prijímač a vysielateľ

TWI – Dvojvodičové sériové rozhranie známe tiež ako I2C

I2C – Multi-masterová sériová zbernica

PINXy – Vstup mikroprocesora ATmega16 na porte X a bit y

ADCx - Vstup A/D prevodníku v mikroprocesore ATmega 16

ICP - Jednotka input compare mikroprocesora ATmega 16

INTx – Vstup prerušenia mikroprocesora ATmega 16

PULL-UP – Odpor, ktorý “zdvíha“ prázdnu zbernicu k log.1

DADJ – Vstup obvodu MAX038, ktorý slúži na zmenu triedy

FADJ – Vstup obvodu MAX038, ktorý slúži na frekvenčnú moduláciu

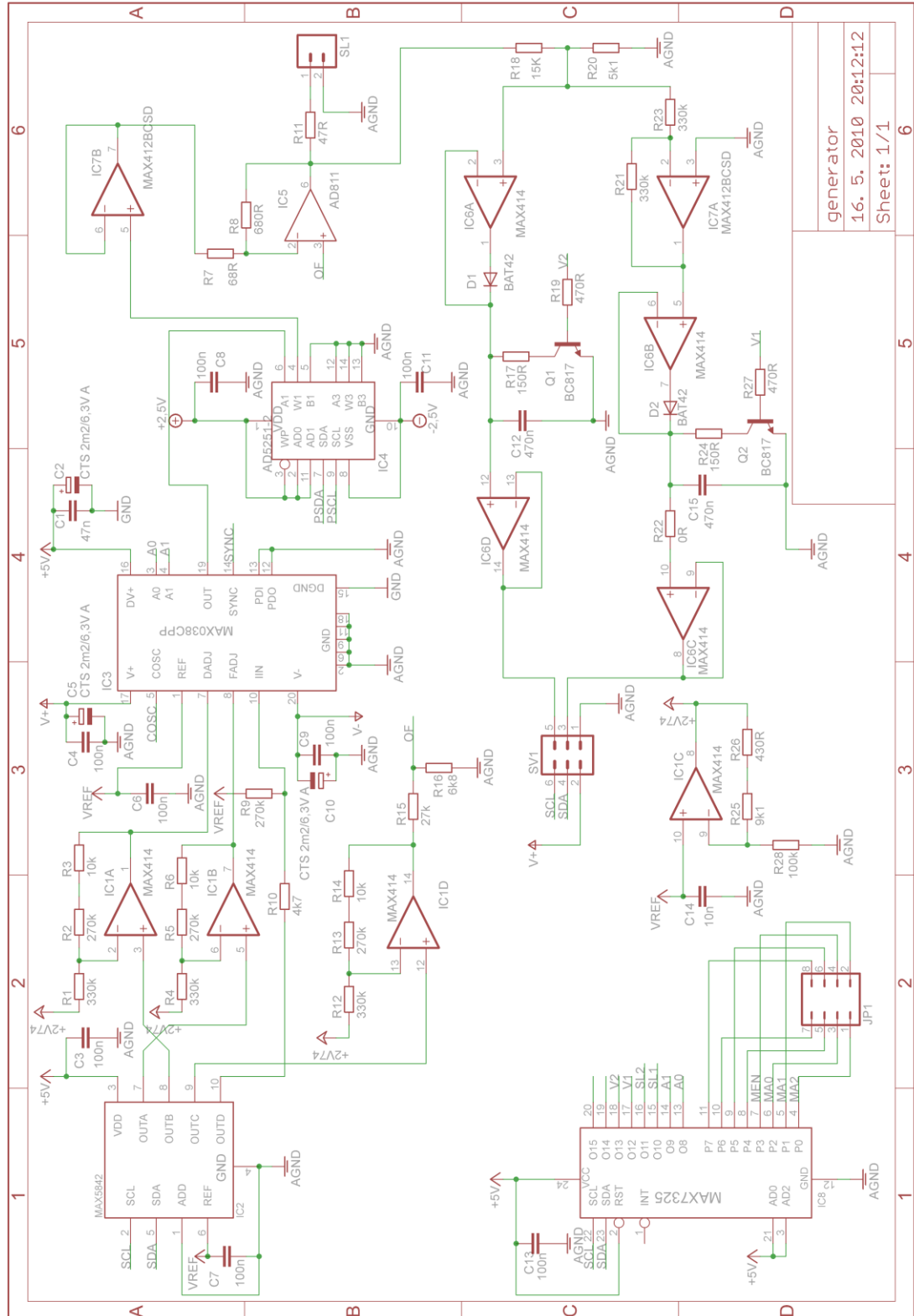
IIN – Vstup obvodu MAX038, ktorý slúži na nastavenie frekvencie

13. ZOZNAM PRÍLOH

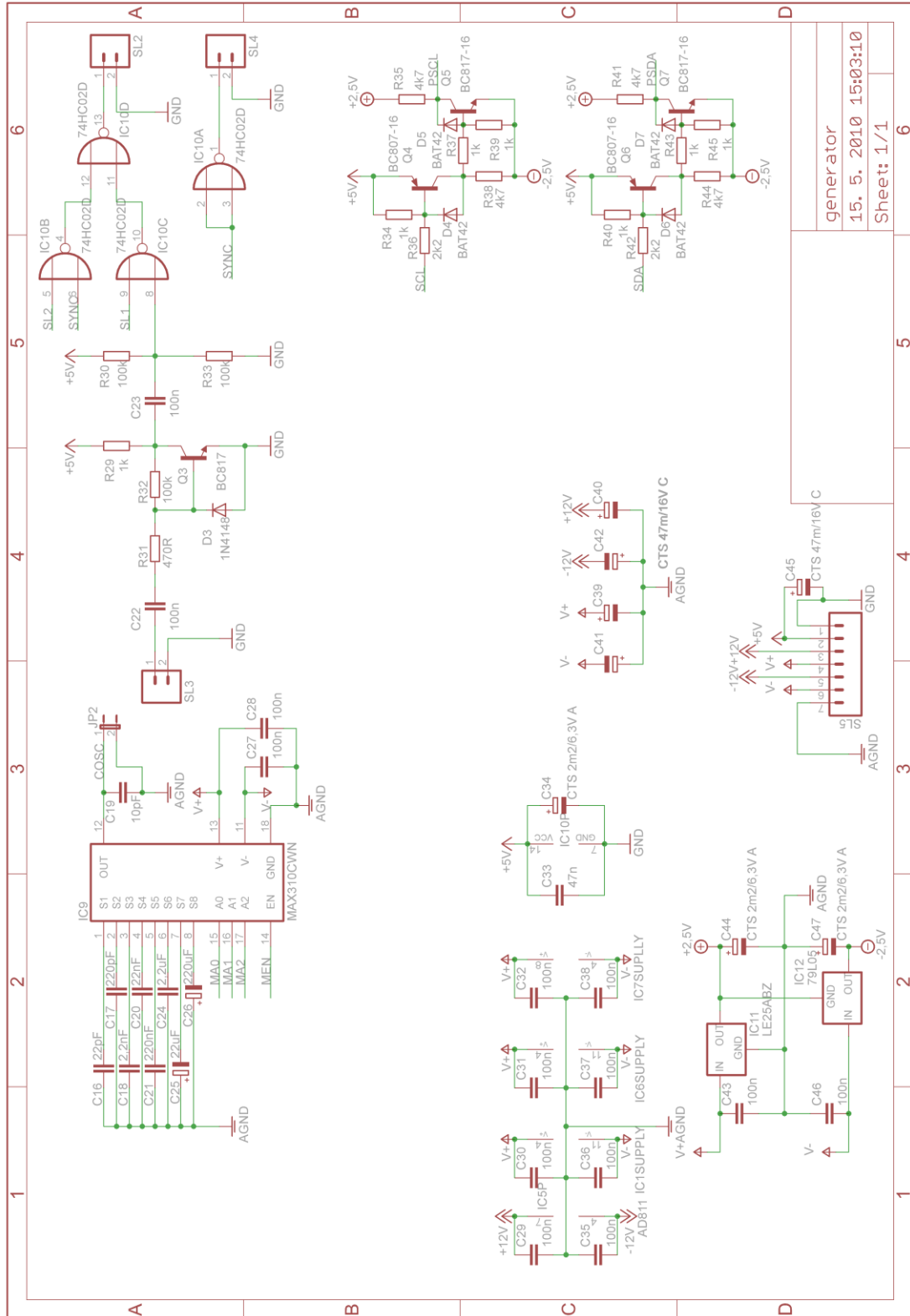
A	SCHÉMY ZAPOJENIA	47
A.1	Schéma zapojenia časti generovania signálu 1	47
A.2	Schéma zapojenia časti generovania signálu 2	48
A.3	Schéma zapojenia riadiacej časti	49
A.4	Schéma zapojenia zdroja	50
B	DOSKY PLOŠNÝCH SPOJOV A OSADZOVACÍ PREDPIS.....	51
B.1	Doska plošného spoja časti generovania signálu – TOP	51
B.2	Doska plošného spoja časti generovania signálu – BOTTOM	51
B.3	Osadzovací predpis časti generovania signálu – TOP	52
B.4	Osadzovací predpis časti generovania signálu – BOTTOM	52
B.5	Doska plošného spoja riadiacej časti – TOP	53
B.6	Doska plošného spoja riadiacej časti – BOTTOM.....	53
B.7	Osadzovací predpis riadiacej časti – TOP	54
B.8	Osadzovací predpis riadiacej časti – BOTTOM	54
B.9	Doska plošného spoja zdroja – BOTTOM.....	55
B.10	Osadzovací predpis zdroja – TOP	55
B.11	Osadzovací predpis zdroja – BOTTOM	55
C	ZOZNAMY SÚČIASTOK.....	56
C.1	Pre časť generovania signálu.....	56
C.2	Pre riadiacu časť	58
C.3	Pre zdroj	59

A SCHÉMY ZAPOJENIA

A.1 Schéma zapojenia časti generovania signálu 1

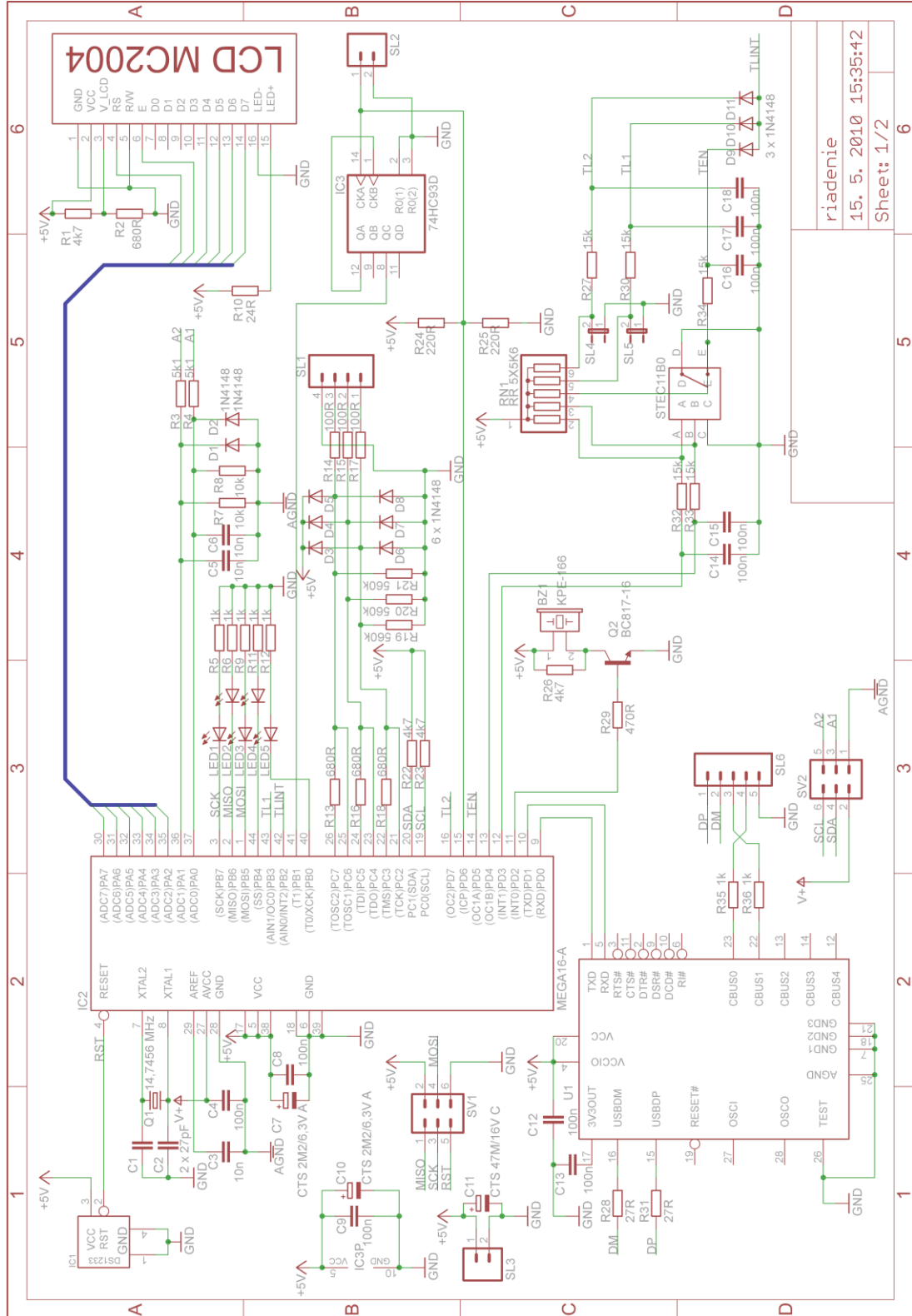


A.2 Schéma zapojenia časti generovania signálu 2



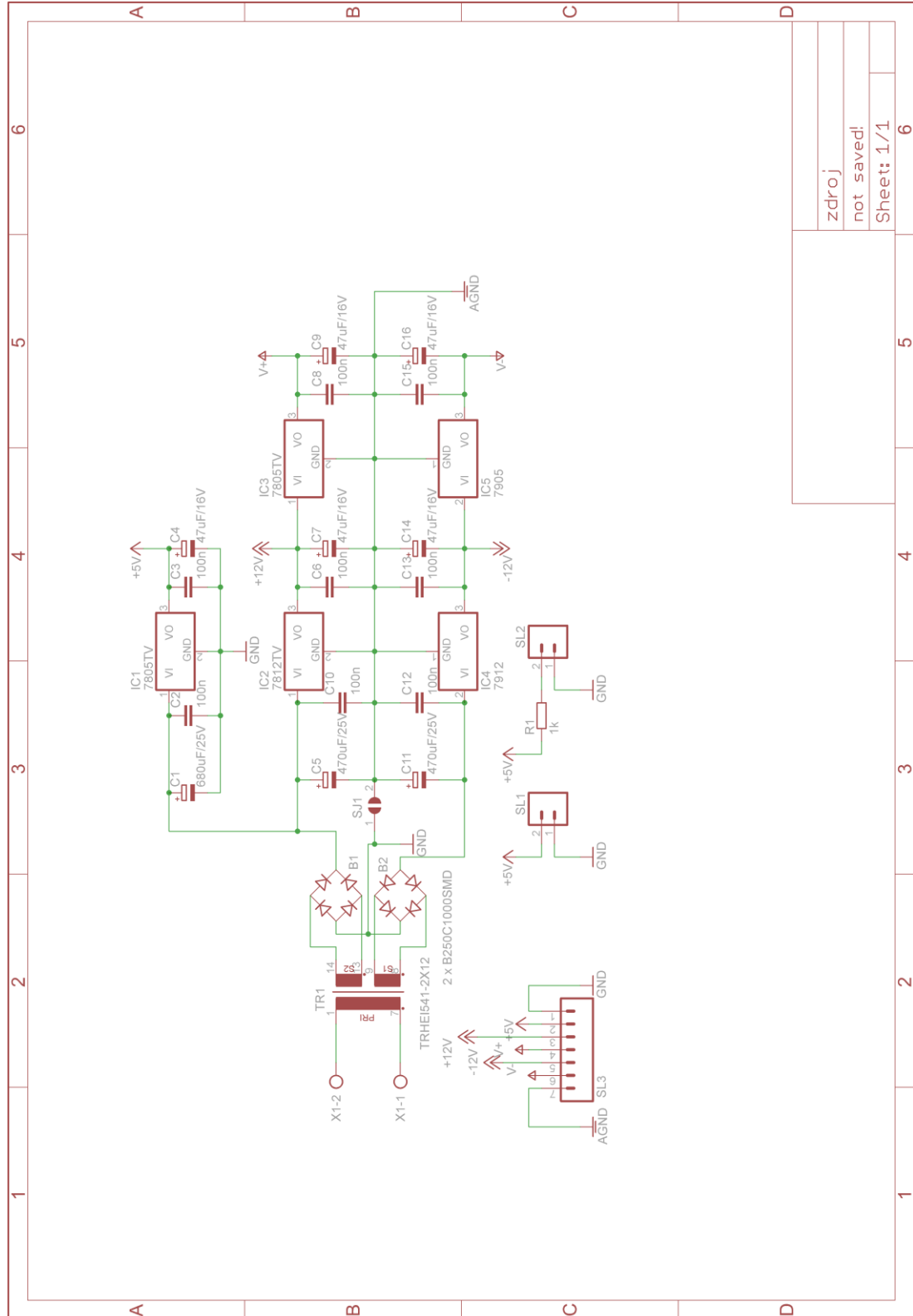
generator
15. 5. 2010 15:03:10
Sheet: 1/1

A.3 Schéma zapojenia riadiacej časti



riadenie
15. 5. 2010 15:35:42
Sheet: 1/2

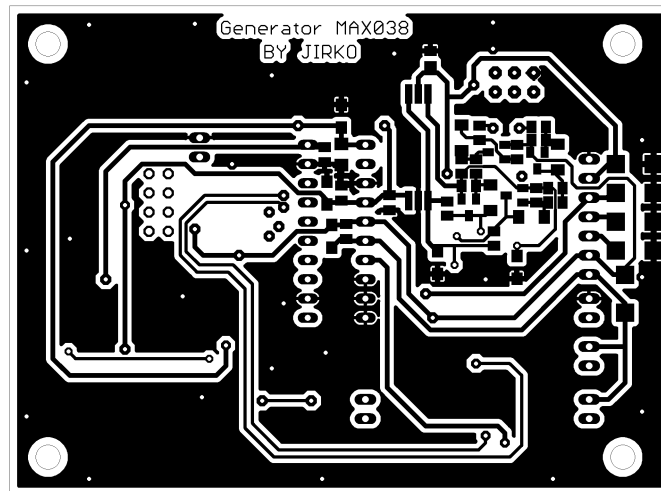
A.4 Schéma zapojenia zdroja



zdroj
not saved!
Sheet: 1/1

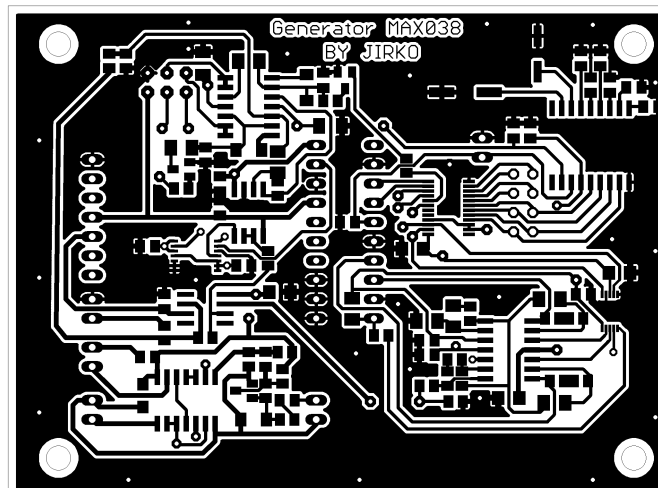
B DOSKY PLOŠNÝCH SPOJOV A OSADZOVACÍ PREDPIS

B.1 Doska plošného spoja časti generovania signálu – TOP



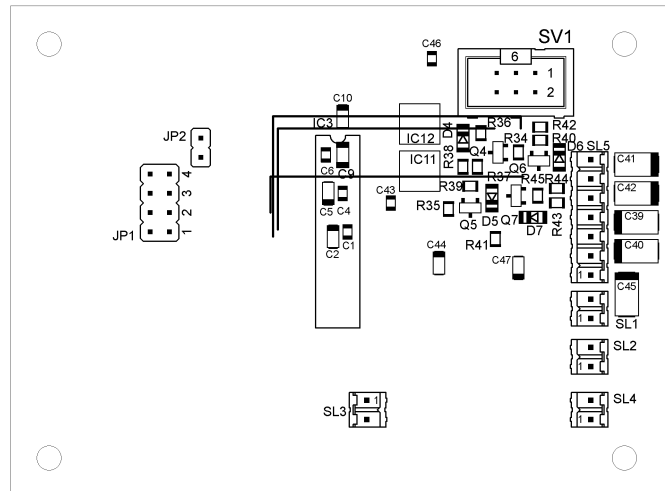
Rozmery dosky 87,6 × 64,5[mm], mierka 1:1

B.2 Doska plošného spoja časti generovania signálu – BOTTOM



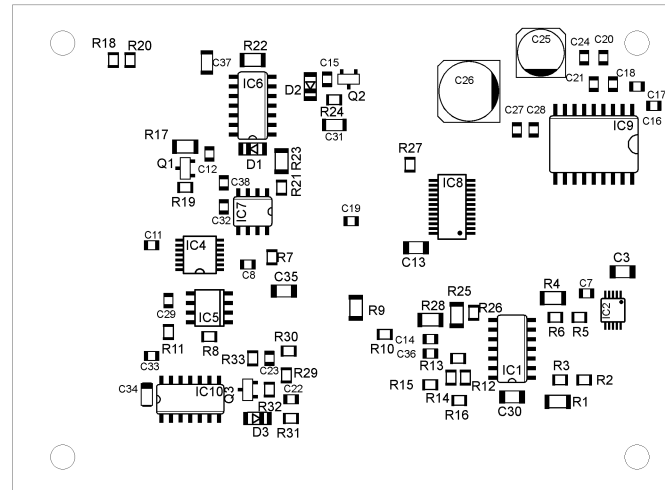
Rozmery dosky 87,6 × 64,5[mm], mierka 1:1

B.3 Osadzovací predpis časti generovania signálu – TOP



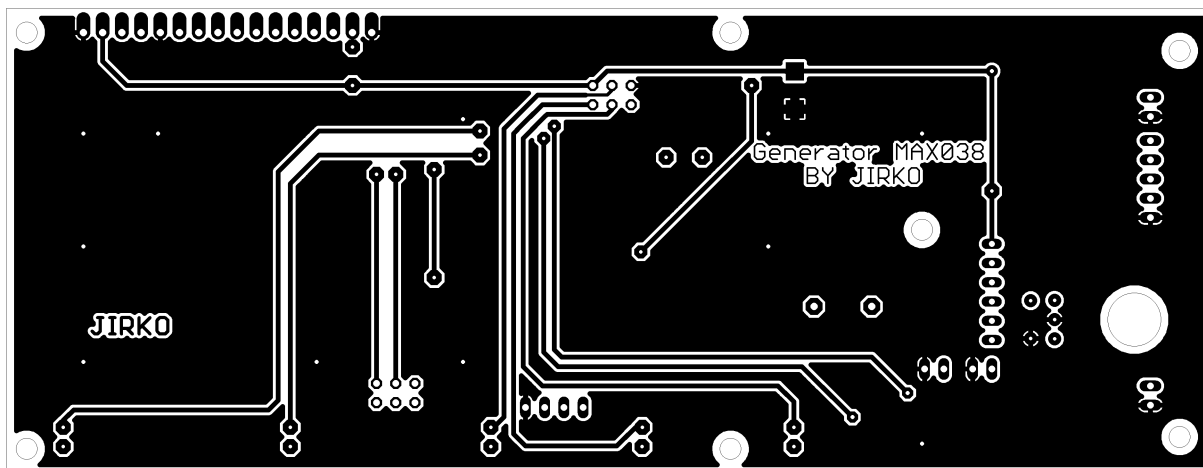
Mierka 1:1

B.4 Osadzovací predpis časti generovania signálu – BOTTOM



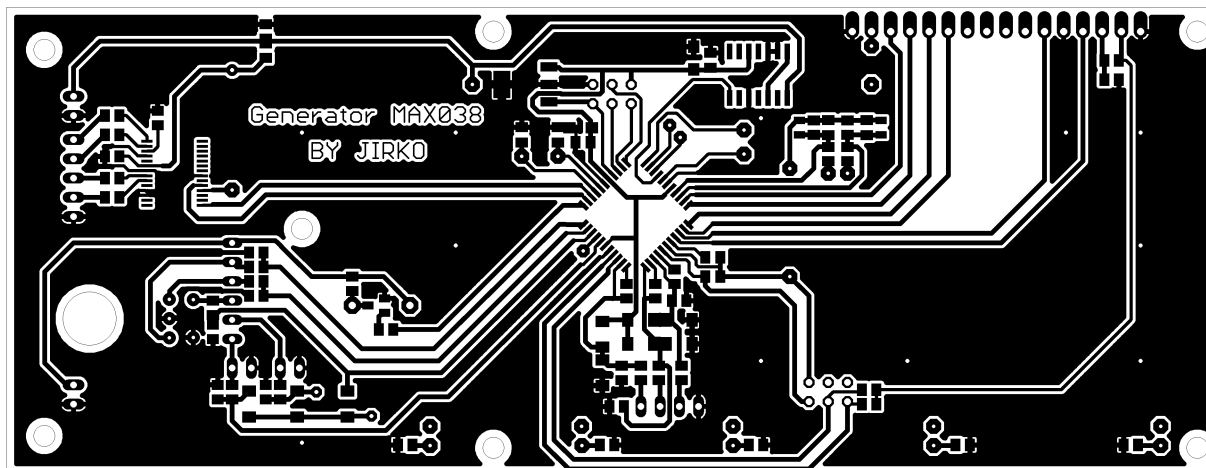
Mierka 1:1

B.5 Doska plošného spoja riadiacej časti – TOP



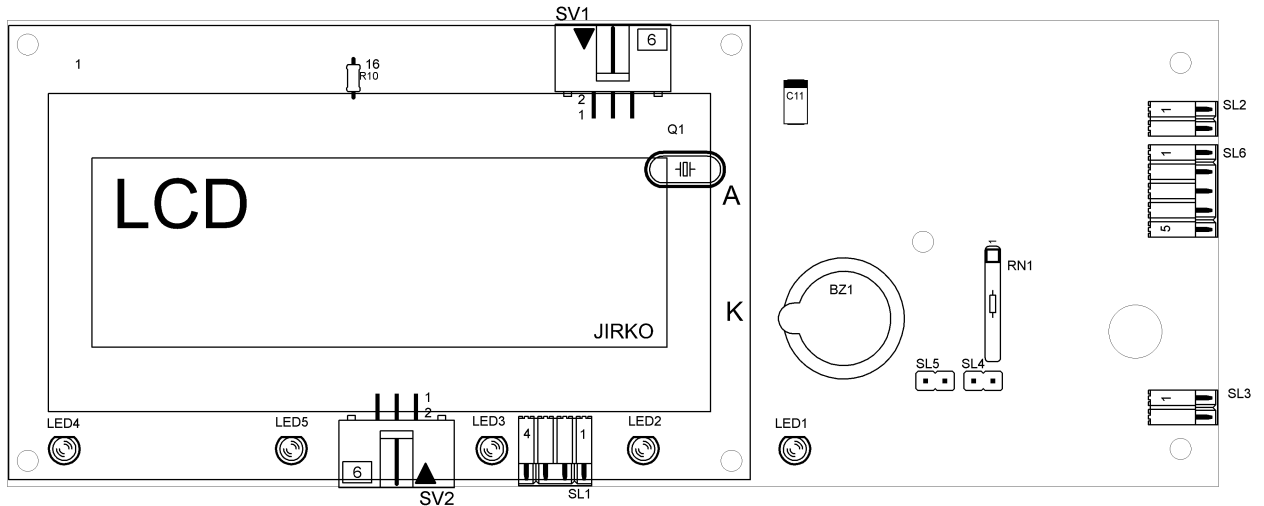
Rozmery dosky 160,0 × 61,5[mm], mierka 1:1

B.6 Doska plošného spoja riadiacej časti – BOTTOM



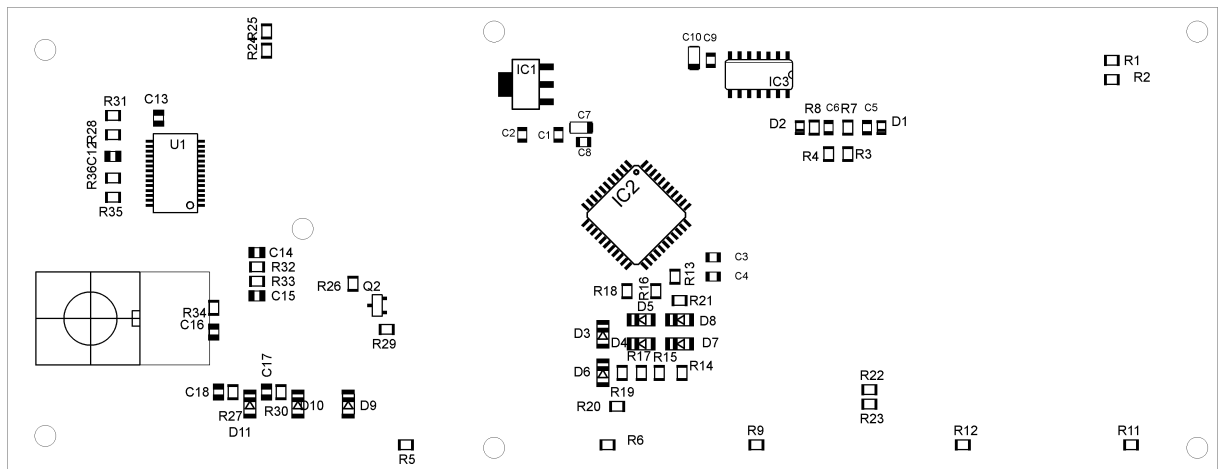
Rozmery dosky 160,0 × 61,5[mm], mierka 1:1

B.7 Osadzovací predpis riadiacej časti – TOP



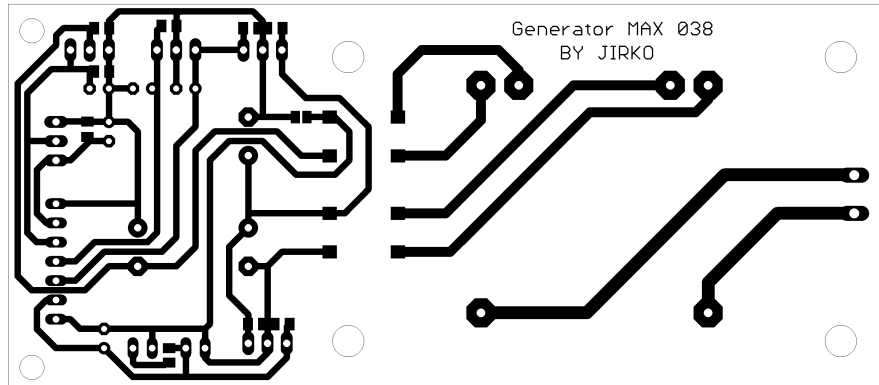
Mierka 1:1

B.8 Osadzovací predpis riadiacej časti – BOTTOM



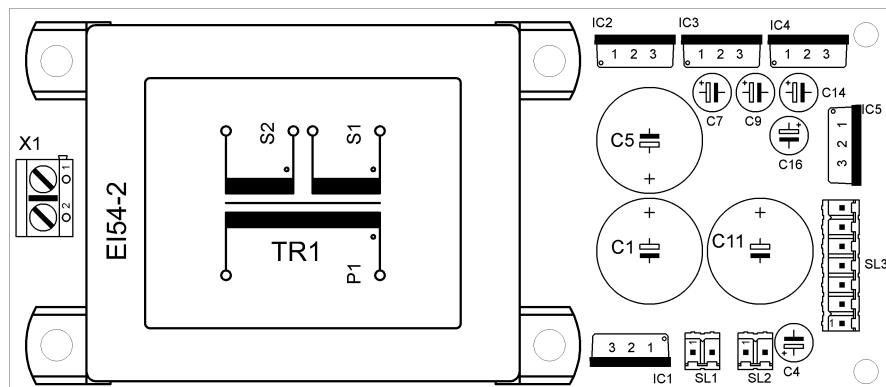
Mierka 1:1

B.9 Doska plošného spoja zdroja – BOTTOM



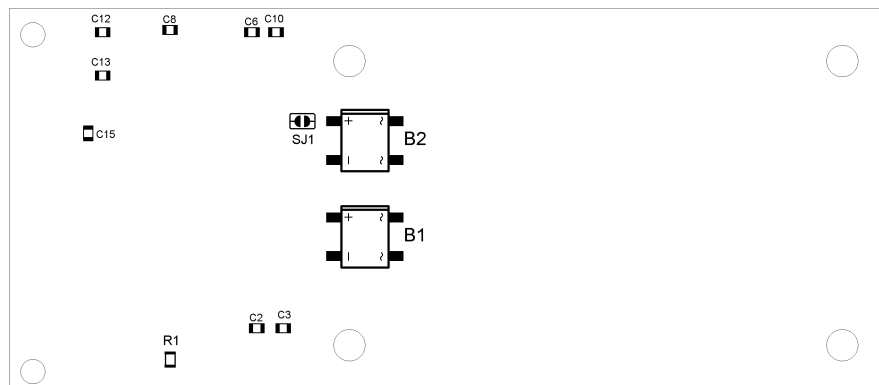
Rozměry dosky 116,0 × 50,5[mm], měřka 1:1

B.10 Osadzovací předpis zdroja – TOP



Měřka 1:1

B.11 Osadzovací předpis zdroja – BOTTOM



Měřka 1:1

C ZOZNAMY SÚČIASTOK

C.1 Pre časť generovania signálu

Označenie	Názov	Hodnota	Puzdro	Výrobca (Dodávateľ)
C1, C33	Keramický kondenzátor	47n/50V	0805	(GME)
C12, C15	Keramický kondenzátor	470n/50V	0805	(GME)
C14	Keramický kondenzátor	10n/50V	0805	(GME)
C16	Keramický kondenzátor	22pF/50V	0805	(GME)
C17	Keramický kondenzátor	220pF/50V	0805	(GME)
C18	Keramický kondenzátor	2,2nF/50V	0805	(GME)
C19	Keramický kondenzátor	10pF/50V	0805	(GME)
C2, C5, C10, C34, C44, C47	Tantalový kondenzátor	CTS 2m2/6,3V A	A	(GME)
C20	Keramický kondenzátor	22nF/50V	0805	(GME)
C21	Keramický kondenzátor	220nF/50V	0805	(GME)
C24	Keramický kondenzátor	2,2uF/50V	0805	(GME)
C25	Keramický kondenzátor	22uF/16V	5X5,8mm	(GME)
C26	Keramický kondenzátor	220uF/16V	6,3X7,7mm	(GME)
C3, C9, C13, C30, C35, C31, C37	Keramický kondenzátor	100n/50V	0805	(GME)
C39, C40, C41, C42, C45	Tantalový kondenzátor	CTS 47m/16V C	C	(GME)
C4, C6, C7, C8, C11, C22, C23, C27, C28, C29, C32, C36, C38, C43, C46	Keramický kondenzátor	100n/50V X7R	0805	(GME)
D1, D2, D4, D5, D6, D7	Schottkyho dioda	BAT42	PMLL4150	(GME)
D3	Dióda	1N4148	PMLL4150	(GME)
IC1, IC6	4 x Operačný zosilnovač	MAX414	SO14	Maxim
IC2	D/A prevodník	MAX5842	uMAX10	Maxim
IC3	Generátor	MAX038	DIL20	Maxim
IC4	Digitálny potenciometer	AD5251-2	TSSOP14	Analog Devices
IC5	Video zosilnovač	AD811	SO8	Analog Devices
IC7	2 x Operační zosilnovač	MAX412	SO08	Maxim
IC8	Expander	MAX7325	QSOP24	Maxim
IC9	Video Multiplexor	MAX310CWN	SO18L	Maxim
IC10	4xNOR	74HC02D	SO14	(GME)

Označení	Název	Hodnota	Puzdro	Výrobca (Dodávateľ)
IC11	Stabilizátor	LE25ABZ	TO92	(GME)
IC12	Stabilizátor	79L05	TO92	(GME)
Q1, Q2, Q3, Q5, Q7	Tranzistor	BC817-16	SOT23	(GME)
Q4, Q6	Tranzistor	BC807-16	SOT23	(GME)
R1, R4, R23	Rezistor	330k/ 0,125W 5%	1206	(GME)
R10, R35, R38, R41, R44	Rezistor	4k7/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R11	Rezistor	47R/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R12, R21	Rezistor	330k/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R15	Rezistor	27k/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R16	Rezistor	6k8/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R17	Rezistor	150R/ 0,125W 5%	1206	(GME)
R18	Rezistor	15k/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R19, R27, R31	Rezistor	470R/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R20	Rezistor	5k1/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R2, R5, R13	Rezistor	270k/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R22	Rezistor	0R/ 0,125W 5%	1206	(GME)
R24	Rezistor	150R/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R25	Rezistor	9k1/ 0,125W 5%	1206	(GME)
R26	Rezistor	430R/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R28	Rezistor	100k/ 0,125W 5%	1206	(GME)
R29, R34, R37, R39, R40, R43, R45	Rezistor	1k/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R3, R6, R14	Rezistor	10k/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R30, R32, R33	Rezistor	100k/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R36, R42	Rezistor	2k2/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R7	Rezistor	68R/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R8	Rezistor	680R/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R9	Rezistor	270k/ 0,125W 5%	1206	(GME)
JP1	Konektor 2x4 pin.	MLW08G	RM=2,54mm	(GME)
JP2	Konektor 2 pin.	PSH02-02P	RM=2,54mm	(GME)
SL1, SL2, SL3, SL4	Konektor 2 pin.	PSH02-02P	RM=2,54mm	(GME)
SL5	Konektor 7 pin.	PSH02-07P	RM=2,54mm	(GME)
SV1	Konektor 2x3 pin.	MLW06G	RM=2,54mm	(GME)

C.2 Pre riadiacu časť

Označenie	Názov	Hodnota	Púzdro	Výrobca (Dodávateľ)
BZ1	Piezo	KPE-166		(GME)
C1, C2	Keramický kondenzátor	27pF/50V	0805	(GME)
C3, C5, C6	Keramický kondenzátor	10n/50V	0805	(GME)
C4, C8, C9, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C18	Keramický kondenzátor	100n/50V X7R	0805	(GME)
C7, C10	Tantalový kondenzátor	CTS 2M2/6,3V A	A	(GME)
C11	Tantalový kondenzátor	CTS 47M/16V C	C	(GME)
D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11	Dióda	1N4148	PMLL4150	(GME)
IC1	Reset obvod	DS1233-15	SOT223	Maxim
IC2	Mikrokontrolér	MEGA16-A	TQFP44	Atmel
IC3	Delička :8	74HC93D	SO14	(GME)
LED1, LED2, LED3, LED4, LED5	LED	HLMP-6000	L-934GD	(GME)
Q1	Krištál	14,7456 MHz	HC-49US	(GME)
Q2	Tranzistor	BC817-16SMD	SOT32	(GME)
R1, R22, R23, R26	Rezistor	4k7/0,4W 1%	0204	(GME)
R10	Rezistor	24R/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R14, R15, R17	Rezistor	100R/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R19, R20, R21	Rezistor	560k/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R2, R13, R16, R18	Rezistor	680R/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R24, R25	Rezistor	220R/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R27, R30, R32, R33, R34	Rezistor	15k/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R28, R31	Rezistor	27R/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R29	Rezistor	470R/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R3, R4	Rezistor	5k1/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R5, R6, R9, R11, R12, R35, R36	Rezistor	1k/ 0,125W 5%	0805	(GME)
R7, R8	Rezistor	10k/ 0,125W 5%	0805	(GME)
RN1	Rezistorová sieť	RR 5X5K6	G05R	(GME)

Označení	Název	Hodnota	Púzdro	Výrobca (Dodávateľ)
SL1	Konektor 4 pin.	PSH02-04P		(GME)
SL2, SL3, SL4, SL5	Konektor 2 pin.	PSH02-02P	RM=2,54mm	(GME)
SL6	Konektor 5 pin.	PSH02-05P	RM=2,54mm	(GME)
SV1, SV2	Konektor 2x6 pin.	MLW06G	RM=2,54mm	(GME)
U\$1	LCD Displej	MC1604E-SBL/H		(GME)
U\$2	Rotačný enkoder	STEC11B01		(SOS)
U1	prevodník USB / RS232	FT232RL	SSOP28DB	(GME)

C.3 Pre zdroj

Označení	Název	Hodnota	Púzdro	Výrobca (Dodávateľ)
B1, B2	Diódový mostík	B250C1000SMD	DBLS201G	(GME)
C1	Elektrolytický kondenzátor	680uF/25V	10x20mm	(GME)
C4, C7, C9, C14, C16	Elektrolytický kondenzátor	47uF/16V	5x11mm	(GME)
C2, C3, C6, C8, C10, C12, C13, C15	Keramický kondenzátor	100n/50V X7R	0805	(GME)
C5, C11	Elektrolytický kondenzátor	470uF/25V	10x13mm	(GME)
F1	Poistkové púzdro	100mA		(GME)
R1	Rezistor	1k/ 0,125W 5%	0805	(GME)
IC1, IC3	Stabilizátor	7805TV	TO220	(GME)
IC2	Stabilizátor	7812TV	TO220	(GME)
IC4	Stabilizátor	7912	TO220	(GME)
IC5	Stabilizátor	7905	TO220	(GME)
SJ1	Prepojka na DPS			
SL1, SL2	Konektor 2 pin.	PSH02-02P	RM=2,54mm	(GME)
SL3	Konektor 7 pin.	PSH02-07P	RM=2,54mm	(GME)
TR1	Transformátor	TRHEI541-2X12	EI54-2B	(GME)
X1	Svorkovnica	AK 500/2-DS-5.0-V	AK500/2	(GME)