

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Ultrazvukový měřič vzdálenosti**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2014/2015

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan ŠPRISL**  
Osobní číslo: **E12B0241P**  
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Ultrazvukový měřič vzdálenosti**  
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Prostudujte princip měření vzdálenosti s využitím ultrazvuku.
2. Navrhněte vhodný hardware, umožňující měřit vzdálenost.
3. Navržený hardware realizujte.
4. Vytvořte firmware, pro vytvořený měřič vzdálenosti.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.**  
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

**Abstrakt**

Bakalářská práce je zaměřena na návrh a realizaci ultrazvukového měřiče vzdálenosti. Navrhované zařízení se skládá z řídicího mikrokontroléru firmy ATMEL, konkrétně mikrokontroléru ATmega162, vysílače a přijímače UST 40 a jejich řídicích obvodů. Výsledná vzdálenost bude zobrazena na LCD displeji 16x2 znaků. Vzhledem k závislosti rychlosti ultrazvukové vlny ve vzduchu na teplotě obsahuje obvod ještě teplotní čidlo pro korekci naměřené hodnoty.

**Klíčová slova**

Ultrazvukový měřič vzdálenosti, ultrazvuk, měření vzdálenosti, mikrokontrolér ATMEL, hardware, firmware, teplotní korekce

**Abstract**

Bachelor thesis is focused on the design and implementation of ultrasonic distance meter. The proposed facility consists of a control microcontroller ATMEL, ATmega162 microcontroller specifically, the transmitter and receiver UST 40 and their control circuits. The distance will be displayed on the LCD display 16x2 characters. Due to the dependence of the speed of ultrasonic waves in air temperature circuit comprises temperature sensor for correction of the measured values.

**Key words**

Ultrasonic distance meter, ultrasound, measuring distance, ATMEL microcontroller, hardware, firmware, temperature compensation

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 4.6.2015

Jan Šprisl

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Kamilovi Kosturikovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

## Obsah

<b>OBSAH .....</b>	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>10</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
<b>1 MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI .....</b>	<b>12</b>
1.1 MODERNÍ METODY MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI.....	13
1.2 MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI POMOCÍ LASEROVÝCH MĚŘIČŮ .....	13
1.3 MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI POMOCÍ ULTRAZVUKOVÝCH MĚŘIČŮ .....	14
1.3.1 <i>Ultrazvuk.....</i>	<i>14</i>
1.3.2 <i>Rychlost šíření vln ve vzduchu .....</i>	<i>14</i>
1.3.3 <i>Odrážení zvukové vlny .....</i>	<i>15</i>
1.3.4 <i>Faktory ovlivňující rychlost zvuku .....</i>	<i>16</i>
1.3.5 <i>Ultrazvukové měřiče .....</i>	<i>17</i>
1.4 POROVNÁNÍ LASEROVÝCH A ULTRAZVUKOVÝCH MĚŘIČŮ .....	17
<b>2 NÁVRH ULTRAZVUKOVÉHO MĚŘIČE VZDÁLENOSTI .....</b>	<b>18</b>
2.1 ŘÍDICÍ ČÁST OBVODU .....	18
2.1.1 <i>Mikrokontrolér Atmel ATmega162 .....</i>	<i>19</i>
2.1.2 <i>Zapojení mikrokontroléru .....</i>	<i>19</i>
2.1.3 <i>Programátor pro mikrokontrolér.....</i>	<i>21</i>
2.2 NAPÁJECÍ ČÁST.....	21
2.2.1 <i>Stabilizátor.....</i>	<i>21</i>
2.2.2 <i>Zapojení napájecího obvodu.....</i>	<i>22</i>
2.2.3 <i>Chlazení stabilizátoru .....</i>	<i>23</i>
2.3 VYSÍLACÍ ČÁST .....	24
2.3.1 <i>Tvarovací obvod .....</i>	<i>24</i>
2.3.2 <i>Vysílač UST 40T .....</i>	<i>25</i>
2.4 PŘIJÍMACÍ ČÁST .....	26
2.4.1 <i>Přijímač UST 40R.....</i>	<i>27</i>
2.4.2 <i>Zesilovací obvod .....</i>	<i>27</i>
2.4.3 <i>Hardwarové nastavení komparátoru .....</i>	<i>28</i>
2.5 TEPLOTNÍ ČIDLO .....	29
2.6 ZOBRAZOVACÍ A OVLÁDACÍ ČÁST OBVODU .....	30
2.6.1 <i>Světelná a zvuková signalizace .....</i>	<i>30</i>
2.6.2 <i>Ovládací tlačítka.....</i>	<i>31</i>
2.6.3 <i>Zobrazovací jednotka.....</i>	<i>31</i>
<b>3 REALIZACE NAVRŽENÉHO OBVODU.....</b>	<b>32</b>
3.1 NÁVRH SCHÉMATU A DPS .....	32
3.2 VÝROBA DPS .....	34
3.2.1 <i>Fotopředloha .....</i>	<i>35</i>
3.2.2 <i>Osvětlení desky .....</i>	<i>35</i>
3.2.3 <i>Leptání mědi a vrtání otvorů .....</i>	<i>36</i>



3.3	OSAZOVÁNÍ DPS .....	37
<b>4</b>	<b>TVORBA FIRMWARE PRO VYTVOŘENÝ HARDWARE .....</b>	<b>39</b>
4.1	POPIS OVLÁDÁNÍ ZAŘÍZENÍ .....	39
4.2	PROGRAMOVACÍ PROSTŘEDÍ .....	40
4.3	INICIALIZACE I/O PERIFERÍÍ MIKROKONTROLÉRU .....	40
4.4	INICIALIZACE ČÍTAČŮ/ČASOVAČŮ A ANALOGOVÉHO KOMPARÁTORU .....	41
4.5	SOFTWAREVÉ ŘEŠENÍ ZÁKMITŮ TLAČÍTEK .....	42
4.6	VÝPOČET ZMĚŘENÉ VZDÁLENOSTI .....	42
4.7	INICIALIZACE ZOBRAZOVACÍ A OVLÁDACÍ ČÁSTI JEDNOTKY .....	42
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>43</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....</b>	<b>45</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>1</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>1</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>1</b>

## Seznam symbolů a zkratk

<i>DPS</i> .....	Deska plošných spojů
<i>s</i> .....	Vzdálenost
<i>ALU</i> .....	Aritmeticko-logická jednotka mikrokontroléru
<i>THT</i> .....	Technologie povrchové montáže
<i>I/O porty</i> .....	Vstupně/výstupní porty mikrokontroléru
<i>SPI</i> .....	Sériové periferní rozhraní
<i>OP</i> .....	Operační zesilovač

## Úvod

Tato práce se zabývá principy měření vzdálenosti, konkrétně pomocí ultrazvukových vln.

Cílem je navrhnout a vytvořit ultrazvukový měřič vzdálenosti založený na mikrokontroléru od firmy ATMEL ATmega162. Měření bude fungovat tak, že pomocí vysílače UST 40T bude generována ultrazvuková vlna o kmitočtu 40 kHz směrem k předmětu, u kterého chceme zjistit vzdálenost od měřicího zařízení. Odražená vlna od předmětu bude přijímačem UST 40R zaznamenána, převedena na elektrický signál a ten bude přiveden do mikrokontroléru, který vypočte dobu mezi vysláním a přijetím ultrazvukové vlny a podle toho určí vzdálenost předmětu. Jelikož rychlost zvuku ve vzduchu je přímo závislá na teplotě, tak je obvod vybaven teplotním čidlem pro přesnější určení měřené vzdálenosti.

Práce je rozdělena na 4 části, první se zabývá seznámením s možnostmi měření vzdálenosti, převážně pomocí ultrazvukových vln, druhá se zabývá popisem jednotlivých funkčních bloků navrhovaného zařízení a třetí část se zabývá realizací návrhem a realizací zapojení. Poslední část je zaměřena na tvorbu firmwaru pro realizované zapojení.

## 1 Měření vzdálenosti

Vzdálenost byla jednou z prvních veličin, kterou lidé potřebovali měřit. Slouží pro určení odlehlosti dvou bodů (těles) a jejich vzájemné polohy. Potřeba ji měřit vznikla společně se vznikem směnného obchodu, kde většina nabízeného zboží byla směňována podle jejich délky. Každá veličina musí mít jednotku, abychom ji mohli používat. První jednotky pro určování větší vzdálenosti byly odvozovány od časových údajů, např. vzdálenost mezi 2 vesnicemi je 3 hodiny chůze. Na kratší vzdálenosti byly odvozovány podle rozměrů lidského těla. Níže je podrobněji popsáno několik jednotek, které jsou v dnešní době nejčastěji používané pro měření délky na kratší vzdálenost, jelikož navrhovaný ultrazvukový měřič vzdálenosti je vhodný pro použití do jednotek metrů. [1]

**Stopa** je historická jednotka určená od délky otisku lidského chodidla. V různých státech a zemích měla pokaždé mírně odlišnou velikost. V případě vnitrostátního používání to nebyl problém, nicméně v mezinárodním používání už problémy vznikaly. Proto v dnešní době je platná pouze angloamerická stopa, která po převodu na metrickou soustavu SI má velikost 0,305 m. V současnosti má velké zastoupení v letectví pro určení výšky. [2]

**Palec** je jednotkou délky anglosaského původu. Druhý název pro tuto jednotku je coul, který je odvozen z německého slova Zoll. Původní byl odvozen od velikosti mužského palce. V antice byla velikost palce šestnáctina stopy a tedy přibližně 18,52 mm. Dnes je používán palec (inch) z angloamerické měrné soustavy, který není odvozen od velikosti lidského palce, ale je stanoven jako dvanáctina stopy. Od roku 1959 je přesně definován a v metrické soustavě má velikost 25,4 mm. V současnosti je nejvíce používán v USA, Spojeném království a Kanadě. V ostatních zemích jsou častější metrické jednotky. [3]

**Yard** je z historického hlediska britská jednotka délky. Velikost 1 yardu je 36 palců a v metrické soustavě tedy 0,9144 m. I v dnešní době je používán, např. velikost fotbalového hřiště nebo v atletice výška a vzdálenost překážek se udává v yardech. [4]

**Metr** je součástí metrické soustavy, která byla založena v roce 1790 ve Francii a je založena právě na této jednotce a jejich násobcích. [5]

## 1.1 Moderní metody měření vzdálenosti

Pro měření vzdálenosti jsou používány 2 metody. První je tzv. kontaktní metoda, kdy je použito pravítko, svinovací nebo rozkládací metr a pro přesnější měření posuvné měřítko. Ne vždy je vhodná nebo použitelná tato metoda, a je tedy nutné použít bezkontaktní metodu. V současné době jsou nejpoužívanější laserové, radarové a ultrazvukové bezkontaktní měřiče. Všechna tato zařízení jsou založena na odrazu určitého druhu vlnění od měřeného předmětu a měření doby příchodu odražené vlny, neboli tzv. echa. V případě laserových a radarových zařízení jsou kladeny velké nároky na vysílací, přijímací a číslicové obvody zpracovávající data, a to z důvodu rychlosti měření. Oproti tomu ultrazvukové vlny se šíří mnohem menší rychlostí a je mnohem snazší měřit dobu trvání echa.

## 1.2 Měření vzdálenosti pomocí laserových měřičů

Laserové přístroje pro měření vzdálenosti jsou založeny na principu měření doby odrazu laserového paprsku. Tyto přístroje jsou určeny pro měření středních vzdáleností, konkrétně v řádu desítek metrů. [6]

Přístroj se skládá z vysílací části, která je tvořena zařízením pro tvorbu laserového paprsku, který je dále veden na soustavu čoček. Uživatel pomocí druhého pomocného laserového paprsku nasměruje přístroj na předmět, ke kterému chce měřit vzdálenost. Po stisku tlačítka pro měření je vyslán pulz z vysílače, který se od předmětu odrazí. Přijímací část je opět tvořena soustavou čoček, která zachytí odražený paprsek. Ten je poté přivede na snímací obvod, který ho rozpozná a generuje signál nesoucí informaci o přijetí signálu. Řídicí obvod obstarává všechny potřebné úkony. Při stisku tlačítka pro měření předává požadavek o vyslání paprsku z vysílacích obvodů, spouští čítač a měří dobu dokud nedostává instrukce o přijetí echa z přijímací části. Shromážděná data dále zpracovává a pomocí zobrazovače informuje uživatele o výsledku měření. [6]

Výpočet změřené vzdálenosti  $d$  je počítán polovina násobku rychlosti světelného paprsku  $c$  v atmosféře a doby trvání echa  $t$  (1.1).

$$s = \frac{c \times t}{2} \quad [m] \quad (1.1)$$

Uplatnění těchto zařízení je ve vojenské technice, 3D modelování, lesnictví, geodézii, průmyslových výrobních procesech a ručních měřících přístrojích.

### 1.3 Měření vzdálenosti pomocí ultrazvukových měřičů

Ultrazvukové měřiče vzdálenosti pracují na podobném na stejném principu jako laserové, nicméně měřené echo je způsobené ultrazvukovou vlnou.

#### 1.3.1 Ultrazvuk

Mechanické vlnění o frekvenci větší než 20 kHz a menší než 1 GHz jsou nazývány jako ultrazvuk. Jelikož slyšitelná oblast mechanického vlnění je pro lidské sluchové ústrojí mezi 16 Hz a 20 kHz, tak ho lidé nevnímají. V přírodě jsou živočichové, kteří ho dokážou vnímat (psy) a někteří (netopýři a delfini) ho umějí používat ke komunikaci a lokalizaci objektů. [7]

V praxi se používá v námořnictví (lodě a ponorky), kde se toto zařízení nazývá sonar. První sonar byl vynalezen v roce 1906 jako nástroj pro vyhledávání ledovců. Na ponorkách se sonary používají k mapování okolí, určení hloubky ponoru a vyhledávání ostatních ponorek a lodí na hladině. Moderní ponorky mohou lokalizovat daný předmět až na 20 km. Na lodích se sonary používají k mapování mořského dna a na rybářských k lokalizaci hejn ryb. [8]

V průmyslu je používán pro nedestruktivní zkoušení materiálu. Vzhledem k malé intenzitě ultrazvukových vln, tak nemají žádné fyzikální vedlejší účinky. Dále se používají k čištění, měření tloušťky, zjišťování a lokalizaci defektů v materiálech. [7]

Lékařství využívá ultrazvuk v sonografii. Používána je frekvence 2-18 MHz. Zde je princip založen na různé akustické impedanci jednotlivých lidských tkáních a tudíž na rozdílné absorpci dopadajících vln.[7]

#### 1.3.2 Rychlost šíření vln ve vzduchu

Rychlost šíření ultrazvukových vln v ideálním plynu je obecně dána Newton-Laplaceovou rovnicí (1.2). [9]

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad \left[ \frac{m}{s} \right] \quad (1.2)$$

Kde  $K$  je modul objemové pružnosti pro daný plyn a  $\rho$  je jeho hustota.

Jelikož v případě navrhovaného zapojení ultrazvukového měřiče se bude vlna šířit ve vzduchu, tak po úpravách předchozího vzorce byl získán následující vztah (1.3). [9]

$$c = (331,3 + 0,606\vartheta) \left[ \frac{m}{s} \right] \quad (1.3)$$

Kde  $\vartheta$  je teplota vzduchu ve stupních Celsia ( $^{\circ}C$ ) při nulové vlhkosti.

V běžné hovorové řeči se rychlost zvuku vztahuje na rychlost zvukových vln ve vzduchu. Nicméně rychlost zvuku se liší podle hustoty látky, ve které se pohybuje. Zvuk cestuje rychleji v neporézních pevných látkách a kapalinách. Ve vodě je to přibližně 4,3 krát rychleji ( $1500 \text{ m/s}$ ) a v železe skoro 15x rychleji ( $5100 \text{ m/s}$ ) než rychlost zvuku ve vzduchu při teplotě  $20^{\circ}C$ . [9]

### 1.3.3 Odraz zvukové vlny

Pokud putuje zvuková vlna směrem k předmětu dochází k jejímu odrazu. Odražená vlna se odráží pod stejným úhlem  $\alpha'$ , pod jakým dopadala  $\alpha$  (1.4). U navrhovaného zapojení se počítá, že úhel dopadu, a tudíž i odrazu je roven 0.

$$\alpha = \alpha' \quad (1.4)$$

Dále je při měření vzdálenosti ultrazvukem velice důležitá hodnota akustické impedance měřeného předmětu. Spočítá se jako násobek hustoty prostředí, ve kterém se vlna šíří, a rychlost jejího šíření (1.5). [10]

$$Z = \rho \times c \quad \left[ \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \right] \quad (1.5)$$

Tato hodnota udává, jak velká část energie z vysílané vlny se odráží zpět k měřiči. Zbývající část energie je rozptýlena v materiálu a část jím prostupuje a pokračuje dále. Proto je vhodné, aby předmět měl tuto hodnotu co nejvyšší. Pokud by byly intenzity impedance v

obou prostředích stejné (vzduchu a měřeného předmětu), tak by na jejich rozhraní nedošlo k odrazu. Při kolmém dopadu je koeficient odrazu R dán vztahem:

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad [-] \quad (1.6)$$

Kde  $Z_2$  je akustická impedance předmětu a  $Z_1$  vzduchu. Hodnota R se pohybuje v rozmezí 0 až 1, kdy 1 znamená dokonalý odraz zvukové vlny. [10]

### 1.3.4 Faktory ovlivňující rychlost zvuku

**Teplota** je největší ovlivňující faktor rychlosti zvuku ve vzduchu. Teplota je stejně jako zvuk forma kinetické energie. Molekuly při vyšší teplotě mají větší energii. Tyto molekuly rychleji vibrují, a tím se zvuková vlna šíří rychleji. Tato skutečnost už vyplývá ze vztahu 1.3. V následující tabulce je uveden vztah teploty a rychlosti na konkrétních hodnotách.

Tabulka 1: Závislost rychlosti zvuku na teplotě vzduchu

T [°C]	-15	-10	-5	0	10	20	30	40	50
c [ $\frac{m}{s}$ ]	322,2	325,2	328,3	331,3	337,4	343,4	349,5	355,5	361,6

**Atmosférický tlak** je dalším faktorem, který ovlivňuje rychlost šíření zvukových vln. U ideálního plynu tlak není ovlivňujícím faktor. Je to způsobeno tím, že ideální plyn má v celém svém objemu nekonečné množství molekul při jakémkoliv tlaku. Nicméně u reálného plynu, konkrétně u vzduchu, už toto neplatí. S klesajícím tlakem hustota molekul v daném objemu klesá. Toto má za následek, že průchod zvukových vln je ztížen a rychlost zvuku klesá. S rostoucí nadmořskou výškou klesá tlak, a tím klesá i rychlost zvuku. Z této skutečnosti lze také odvodit, že při nulovém tlaku (ve vakuu) se zvuk nešíří vůbec, jelikož zde nejsou obsaženy žádné molekuly, které by mechanicky kmitaly. Na území České republiky se průměrný atmosférický tlak pohybuje v rozmezí minimálně 970 hPa a maximálně 1055 hPa, tak se na tento faktor nebere ohled. [11]

**Vlhkost vzduchu** se vyjadřuje jako procentuelní podíl z maximální koncentrace vody ve vzduchu. Se zvyšujícím podílem vody ve vzduchu se rychlost zvuku zvyšuje. Tato skutečnost



je způsobena tím, že v daném množství plynu se s rostoucí vlhkostí nacházejí nejen molekuly vzduchu, ale i molekuly vody. Opět při více molekulách v daném množství je průchod zvukové vlny snazší a rychlejší. Nicméně při atmosférickém tlaku 101,325 kPa je rychlost zvuku ve vzduchu při nulové vlhkosti 343,36 m/s a při stoprocentní vlhkosti 344,61 m/s, tak je tento faktor možné zanedbat. [12]

### 1.3.5 Ultrazvukové měřiče

Moderní ultrazvukové ruční měřiče vzdálenosti byly poprvé uvedeny na trh ke konci minulého století právě s příchodem rychlých mikroprocesorů, který stíhaly výpočet měřené vzdálenosti. Nicméně v dnešní době jsou vytlačovány laserovými měřiči. Najdou se ovšem aplikace, kdy měření laserem není možné. [13]

Hardwarové uspořádání tohoto měřiče je podobné s laserovým. Rozdíl je pouze ve výpočetním výkonu řídicích obvodů a měřicím médiem jsou ultrazvukové vlny generované piezokeramickým měničem a většinou druhým stejným měničem snímány.

## 1.4 Porovnání laserových a ultrazvukových měřičů

Jednou z předností ultrazvukových měřičů je schopnost měřit vzdálenost k průhledným plochám jako jsou skleněné a vodní plochy, kde u laserových měřičů dochází k minimálnímu odrazu paprsku. Dále díky nižší rychlosti ultrazvukových vln jsou kladeny menší nároky na výpočetní výkon vnitřních obvodů měřiče, a tudíž je i nižší pořizovací cena. [13]

Hlavní nevýhodou ultrazvukového oproti laserovému přístroji je, že měřený předmět musí být dostatečně velký, např. při vzdálenosti cca 3 m musí mít v průměru minimálně 30 cm a ve vzdálenosti cca 10 m musí mít v průměru 1 m. Dále musí být plocha předmětu rovná a měřič musí být směřován kolmo na ni. Měřená vzdálenost je v rozmezí několika cm a přibližně 20 m v případě ultrazvuku. Laserové přístroje měří v rozmezí jednotek cm, nicméně horní hranice se u moderních přístrojů pohybuje i v řádech stovek metrů. S tímto souvisí i přesnost měření, která u prvního jmenovaného přístroje je přibližně  $\pm 0,5\%$ . Oproti tomu laserový přístroj může dosáhnout přesnosti až  $\pm 1,5 \text{ mm}$ . [13]

## 2 Návrh ultrazvukového měřiče vzdálenosti

V této kapitole je podrobně popsán postup návrhu ultrazvukového měřiče vzdálenosti. Kritéria pro navrhované zařízení byly kompaktnost, spolehlivost a jednoduchost ovládání. Pro docílení mobility je možné zařízení napájet nejen síťovým adaptérem, ale i 9V baterií.

Většina dnešních ultrazvukových měřičů vzdálenosti prodávaných na trhu jsou založena na principu 1 akustického měniče. Funkce celého zařízení je následující. Uživatel nasměruje přístroj směrem k předmětu, u něhož zjišťuje vzdálenost a stiskne tlačítko pro měření vzdálenosti. V tu chvíli je z akustického měniče generován ultrazvukový signál v určitém časovém intervalu (v řádu jednotek milisekund). Poté se ten samý měnič přepíná do režimu přijímače a zaznamenává echo od vyslaného signálu. Nicméně vlivem určité doby doznění mechanické rezonance v měniči nelze měřit ihned. Proto minimální měřená vzdálenost těchto přístrojů začíná až na hodnotě cca 60 cm. Aby bylo možné navrhovaným zařízením měřit menší vzdálenosti (v řádu jednotek cm) je vybaveno 2 měniči, přičemž jeden je v režimu vysílače a druhý přijímače. Je tedy možné ihned po spuštění vysílání ultrazvukového signálu měřit dobu trvání echa.

Navrhované zapojení bude používáno především k měření vodní hladiny v kontrolní jínce. Dosah navrhovaného zařízení je v řádu desítek centimetrů, což bude v případě uvedeného použití dostačující.

### 2.1 Řídicí část obvodu

S ohledem na požadované vlastnosti od řídicího obvodu je pro tento projekt vybrán mikrokontrolér ATmega162 od firmy Atmel. Mikrokontrolér je hlavní část celého přístroje a jeho vlastnosti posléze ovlivňují funkci a použití celého zařízení. Důležitým požadavkem na výběr mikrokontroléru je jeho taktovací frekvence, na které bude poté záležet minimální měřený rozsah zařízení. Druhým požadavkem byla implementace analogového komparátoru, aby nebylo nutné navrhovat externí komparační obvod, který by vyhodnocovat signál z přijímací části. Dále musí obsahovat vnitřní čítače/časovače, a to větší počet. Jeden je použit v módu časovače pro generování obdélníkového signálu o frekvenci 40 kHz, jenž je přiveden na vysílací obvod. Druhý pracuje v módu čítače. Je inicializován při spuštění vysílání signálu generovaným prvním čítačem a čítá pulzy z předděličky, odvozené od hodinových pulzů, dokud nedojde k překlopení komparátoru. Výsledné napočítané pulzy budou použity pro

výpočet doby trvání echa. A třetí slouží jako časovač pro generování budícího signálu pro magnetodynamický měnič. Nakonec je zapotřebí dostatečný počet vstupně/výstupních obvodů pro připojení dalších periférií a zobrazovací jednotky. A samozřejmě musí mít dostatečně velkou programovou paměť pro firmware.

### 2.1.1 Mikrokontrolér Atmel ATmega162

Jedná se o výkonný nízkonapěťový 8bitový AVR mikrokontrolér z modelové řady ATmega. Je postaven na architektuře RISC s programovatelnou flash pamětí o velikosti 16 KB. Výrobce deklaruje 10 000 přepisovacích cyklů. Dále obsahuje 1 KB SRAM, 512 B EEPROM paměť a externí paměťové rozhraní. Jsou zde integrovány dva 8bitové a dva 16bitové čítače/časovače. Celý obvod musí být napájen přivedeným stejnosměrným napětím o velikosti 2,7 - 5,5 V. Další funkce jsou uvedeny výrobcem v příloženém katalogovém listu. [14]

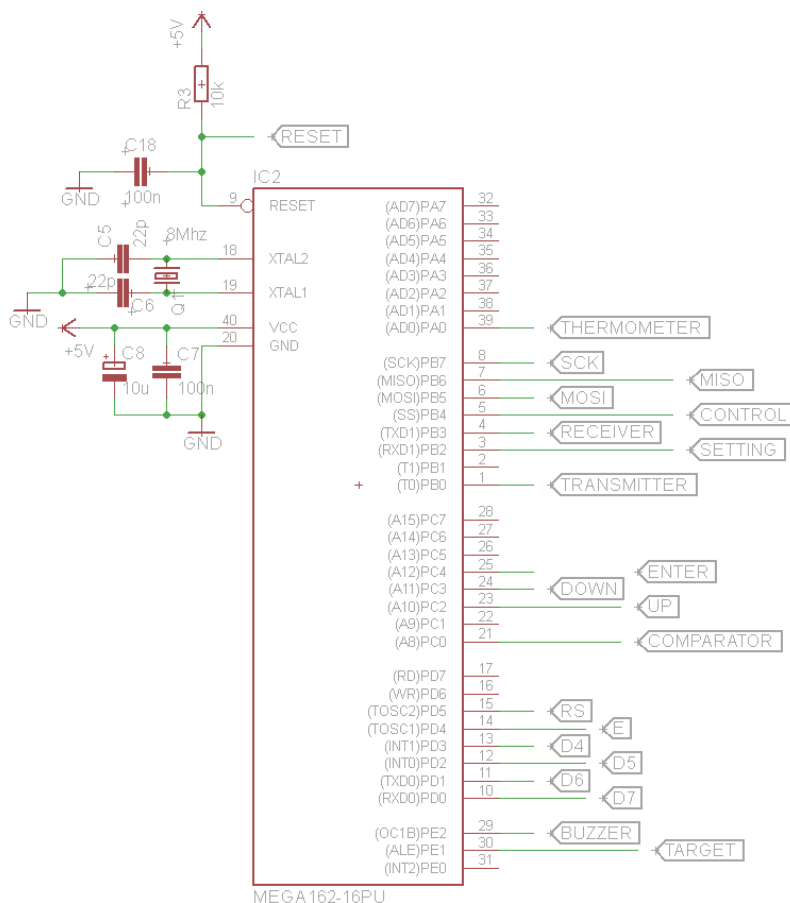
Jádro AVR obsahuje bohatou sadu instrukcí s 32 použitelnými 8bitovými registry, které jsou přímo připojeny na aritmeticko-logickou jednotku (ALU). V jednom hodinovém cyklu jsou přístupné 2 nezávislé registry. Výsledná RISC architektura použitá u tohoto zařízení je kódově efektivnější a rychlost prováděných instrukcí je až 10krát větší než u architektury CISC. [14]

Vybraný mikrokontrolér je integrován v pouzdře pro povrchovou montáž (THT) se 40 vývody rozloženými na 2 stranách, z nichž je 35 použitelných I/O portů. Vzhledem k velkému množství vnitřních funkcí a relativně malému počtu I/O portů, je každému přiřazena minimálně jedna další funkce. Dále obsahuje integrovaný RC oscilátor, nicméně jeho teplotní závislost je dosti značná, a proto je v navrhovaném zapojení mikrokontrolér taktován externím krystalovým oscilátorem. [14]

### 2.1.2 Zapojení mikrokontroléru

Na napájecí piny mikrokontroléru je přivedeno stabilizované napětí z napájecího obvodu o velikosti +5 V. Napájecí vstupy jsou ve schématu (obr.1) popsány jako Vcc a GND. Jelikož v zapojení měřiče se nacházejí součástky s impulzním odběrem proudu a vlivem dalších parazitních složek obvodu, např. indukčnosti, by mohlo docházelo k poklesu napájecího

napětí je mezi vstupy Vcc a GND připojen keramický blokovací kondenzátor (C7), který případný pokles napětí potlačuje.



Obrázek 1: Zapojení mikrokontroléru

Mezi výstupy XTAL1 a XTAL2 je připojen externí krystalový oscilátor o rezonanční frekvenci 8 MHz. Na něj a poté na GND jsou připojeny 2 keramické kondenzátory pro větší stabilitu oscilátoru a z katalogového listu výrobce lze jejich hodnoty zvolit od 12 do 22 pF. [14]

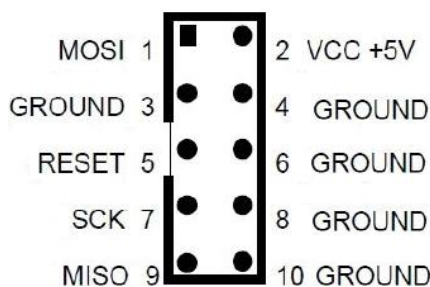
Po přivedení napájení by mohl mikroprocesor začít vykonávat náhodné funkce, jelikož není nastavena hodnota programového čítače. Proto je na resetovací vývod připojen na RC článek, kdy po zapnutí napájení je mikrokontrolér resetován. Při zapnutí zařízení dojde pokaždé k resetu mikrokontroléru a programový čítač je nastaven na správnou hodnotu v programové paměti. [15]

Na další vývody mikrokontroléru už jsou poté připojeny další vstupy a výstupy, které jsou popsány v dalších kapitolách.

### 2.1.3 Programátor pro mikrokontrolér

Nahrávání programu do mikrokontroléru je řešeno pomocí USBASP programátoru, který je připojen přes SPI. Toto zařízení je určeno pro programování AVR procesorů, konkrétně výrobků od firmy Atmel z modelové řady ATtiny a ATmega. Samotný programátor je postaven na ATmega8 a celé zařízení je připojeno do PC přes USB rozhraní.

Pro naprogramování mikroprocesoru je zapotřebí 6 pinů. Z následujícího obrázku (obr. 3) je patrné rozmístění jednotlivých pinů programátoru, které jsou poté připojeny na mikroprocesor.



Obrázek 2: ISP konektor připojený k mikrokontroléru

## 2.2 Napájecí část

Mikrokontrolér pro správnou funkci potřebuje stabilizované napětí o velikosti 5 V, proto hlavní součástí napájecího obvodu je integrovaný stabilizátor pevného napětí, který stabilizuje vstupní napětí na konstantní hodnotu 5 V.

### 2.2.1 Stabilizátor

Pro tuto funkci byl vybrán integrovaný stabilizátor L7805CV ze série pozitivních koncových regulátorů L7800 od výrobce STMicroelectronics.

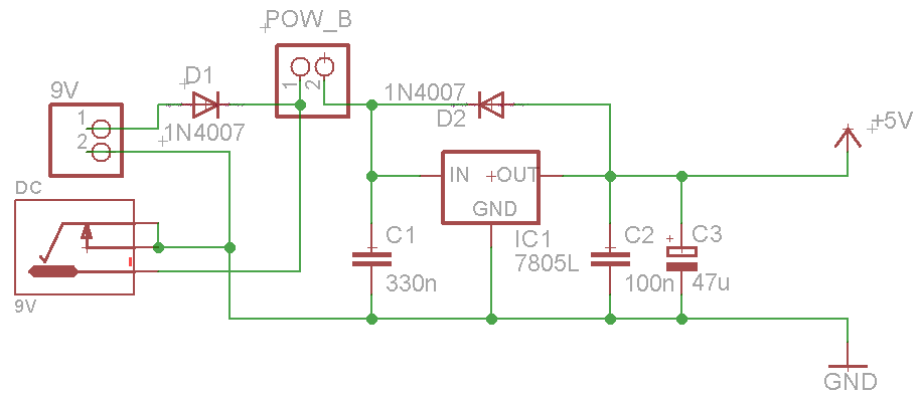
Výstupní napětí regulátoru je 5 V a při vhodném použití chladiče je možné dlouhodobě odebírat proud až do velikosti 0,75 A. Chladič slouží na odvod tepla z pouzdra. Na vstup je možné přivádět napětí až do hodnoty 35 V. Pro správnou funkci regulátoru, je nutné aby vstupní napětí bylo minimálně o 2 V vyšší než výstupní. Provozní teplota je v rozmezí od -55 do 150 °C. Celá součástka je uložena v pouzdře TO220. [16]

Vzhledem k možnému zkratu v dalších částech obvodů, které tyto stabilizátory běžně napájí, jsou vybaveny vnitřní proudovou ochranou. Při nadměrném odběru proudu se stabilizátor začne přehřívat a může dojít k jeho destrukci. Proto je v pouzdře také integrován teploměr, který při nadměrném oteplení součástky omezí výstupní proud. Tyto dvě ochrany podle výrobce dělají součástku téměř nezničitelnou. [16]

### 2.2.2 Zapojení napájecího obvodu

Napájet zařízení je možné dvěma způsoby. Je možné použít 9V stabilizovaný zdroj připojitelný do konektoru nebo 9V baterii. Za konektory pro zdroj a baterii je připojena usměrňovací dioda D1, která je použita ze dvou důvodů. Nebyla by nutná při použití samotného stabilizovaného zdroje. Nicméně při použití baterie může dojít k přepólování kontaktů při jejím zapojování, nebo i při správném zapojení a současném použití stabilizovaného zdroje by hrozilo nebezpečí vytečení, popř. výbuchu, baterie a možné poškození zdraví osob a majetku. Tento stav by byl způsoben tím, že baterie by při poklesu vlastního napětí pod úroveň napětí 9 V byla zdrojem nabíjena, a to v případě alkalických baterií není vhodné.

Ze schématu zapojení (obr. 3) jsou patrné 2 keramické kondenzátory (C1, C2) připojené na vstup a výstup stabilizátoru. Slouží jako blokovací kondenzátory a při krátkodobých změnách zatěžovacích proudů slouží jako dočasné zdroje energie. Velikost kapacity a jejich typ udává výrobce. Dioda D2 slouží jako ochrana proti zpětnému proudu. Tento proud by mohl vzniknout při náhlém odpojení napájecího zdroje a v obvodu napájeném stabilizátorem se nacházel zdroj energie (např. baterie). Vzniklý zpětný proud by mohl zničit stabilizátor. Jelikož výstupní napětí stabilizátoru může kolísat v rozmezí  $\pm 4\%$ , je v obvodu umístěn elektrolytický kondenzátor C3 pro větší vyhlazení výstupního napětí. Aby bylo na první pohled patrné, jestli je napájecí obvod funkční, je vybaven zelenou LED diodou, která se při zapnutí rozsvítí a signalizuje jeho správnou funkci. Výpočet předřadného odporu je dán vztahem 2.7.



Obrázek 3: Schéma zapojení napájecího obvodu

### 2.2.3 Chlazení stabilizátoru

U stabilizátoru je důležité určit ztrátový výkon, který bude ve formě tepla odváděn do okolí. Pokud by byl stabilizátor a chlazení poddimenzováno, docházelo by k omezení výstupního proudu ze stabilizátoru pomocí teplotní ochrany. To by mělo za následek špatnou funkci obvodu. Nejdříve je nutné určit maximální odebíraný proud  $I_{OUT}$  celého zařízení. Přestože ještě nejsou vysvětleny všechny bloky měřiče vzdálenosti, tak výsledná hodnota nebude přesahovat 300 mA.

Ztrátový výkon (2.2) se vypočítá jako násobek odebíraného proudu a rozdílu napětí  $\Delta U$  mezi vstupem a výstupem integrovaného stabilizátoru (2.1). Vstupní napětí navrhovaného zařízení je 9 V, jak již bylo výše uvedeno. Nicméně u něj je nutné odečíst úbytek na diodě D1, který činí 0,7 V. **Po dosazení je výsledná hodnota ztrátového výkonu přibližně 1 W.**

$$\Delta U = U_{IN} - U_{OUT} - U_{D1} \quad [V] \quad (2.1)$$

$$P_Z = \Delta U \cdot I_{OUT} \quad [W] \quad (2.2)$$

Další uvedené vzorce pojednávají, jaký tepelný výkon  $P_{ZTO220}$  je schopno samotné pouzdro stabilizátoru TO220 odvést do okolí. Tuto hodnotu lze určit ze vztahu pro výpočet tepelného odporu  $R_{thj-amb}$  (2.3), jehož hodnota je uvedena v katalogovém listu výrobce. [16] [17]

$$R_{thj-amb} = \frac{T_c - T_a}{P_{ZTO220}} \left[ \frac{^{\circ}C}{W} \right] \quad (2.3)$$

$$P_{ZTO220} = \frac{T_c - T_a}{R_{thj-amb}} [W] \quad (2.4)$$

Tepelný výkon  $P_{ZTO220}$ , jež je odevzdán do okolí, je dán rozdílem maximální teploty pouzdra  $T_c$  (výrobce udává hodnota je 125 °C), teploty okolí (běžně 25 °C) a výsledná teplota je dělena tepelným odporem pouzdra (podle výrobce 50  $\frac{^{\circ}C}{W}$ ). **Po dosazení vyšla hodnota 2 W.** [16] [17]

Samotné pouzdro stabilizátoru napětí je schopno odvést do okolí tepelný výkon o hodnotě až 2 W. U navrženého zapojení bude nutno odvádět pouze 1 W, tudíž není zapotřebí instalovat na pouzdro chladič.

## 2.3 Vysílací část

Vysílací obvod navrhovaného zařízení je složen ze 2 částí. První je tvořen obvodem na zpracování a úpravu obdélníkového signálu, který je přiveden z mikrokontroléru. Zpracovaný signál je poté přiveden na akustický měnič. Vysílaný signál do okolí je mechanické vlnění o frekvenci 40 kHz. Jedná se tedy už o výsledné ultrazvukové vlny, které jsou pomocí polohování zařízení nasměrovány na předmět, ke kterému je poté měřena vzdálenost.

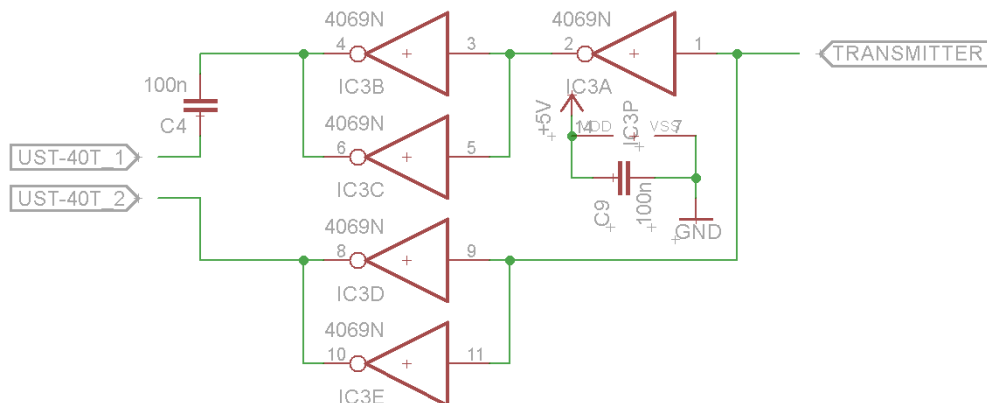
### 2.3.1 Tvarovací obvod

Obvod se skládá ze soustavy inverterů zesilující signál pro buzení akustického měniče UST 40T (obr. 4).

V tvarovacím obvodu se nachází 5 inverterů. Byla zvolena součástka CD4069UB od firmy TEXAS INSTRUMENTS, ve které je jich integrováno 6. Díky tomu je možné na desku plošných spojů umístit pouze 1 součástku pro povrchovou montáž se 14 vývody. Dvanáct z nich jsou vstupy a výstupy pro invertory a dva slouží jako napájecí piny, ke kterým je paralelně připojen blokovací kondenzátor C9. Napájecí napětí je možno volit od 3 do 20 V. [18]



Pro dosažení většího proudového zesílení, jsou výstupy z mikrokontroléru vedeny na vstupy invertorů. Výstupy obou větví jsou poté připojeny přes oddělovací kondenzátor C4 na výstupy akustického měniče. Velikost budícího napětí je 5 V.



Obrázek 4: Vysílací část

### 2.3.2 Vysílač UST 40T

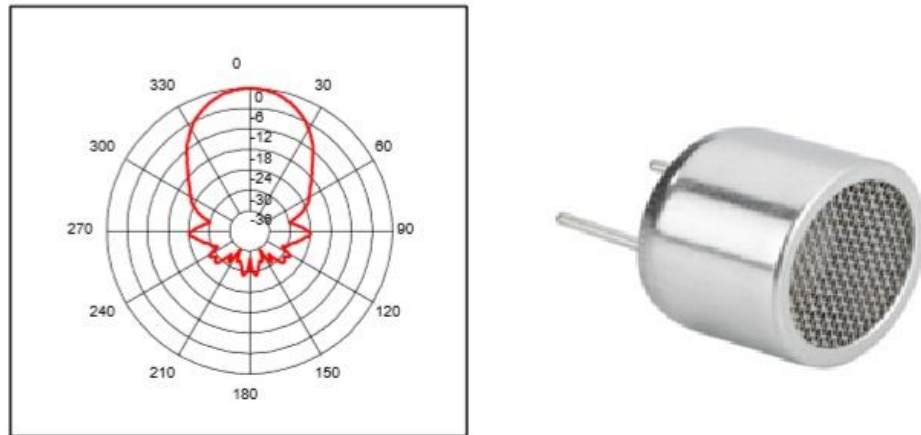
Pro generování a přijímání ultrazvukových vln je použit pár akustických piezo-měníčů UST 40 R/T .

U těchto měničů se využívá tzv. piezoelektrického jevu. Na konci 19. století bylo objeveno, že při mechanickém namáhání určitého materiálu dochází na jeho stranách k tvorbě povrchového napětí. Jedná se o látky tvořící nesouměrné krystaly, jakými jsou např. křemen, sfalerit, kyselina vinná a další. Tohoto jevu se využívá v piezoelektrických mikrofonech. Později byla objevena další vlastnost krystalů. Bylo zjištěno, že naopak po přivedení vnějšího střídavého elektrického pole na krystal dochází k jeho mechanické deformaci. Tohoto jevu se využívá u krystalových oscilátorů, piezoelektrických reproduktorů a dalších. [19]

Důležitou charakteristikou měniče UST 40 R/T je směrová vyzařovací charakteristika (obr. 5). Vyzařovací úhel je podle katalogového listu 55 °. Budící napětí v případě vysílače může být použito až do výše 20 V. Provozní teplota je v rozmezí -30 až 80°C. Uvedený měnič lze provozovat v režimu vysílače, ale stejně tak lze použít jak přijímač. Tato vlastnost je velmi výhodná, jelikož oba pracují na stejné rezonanční frekvenci. Dále na této frekvenci má vysílač nejvyšší intenzitu generovaných ultrazvukových vln. Hodnota činí 120 dB a teoretický

dosah při plném buzení je přibližně 6 m. V režimu vysílače má opět při 40 kHz největší citlivost -74 dB. [20]

Vzhledem k tvaru, směrové vyzařovací charakteristice a použití navrhovaného zařízení jsou oba měniče umístěny na vlastní DPS, která je připojena kolmo k desce, na které jsou umístěny ostatní funkční bloky ultrazvukového měřiče.



Obrázek 5: Směrová vyzařovací charakteristika UST 40 R/T [19]

## 2.4 Příjímací část

Obvod slouží pro detekci odraženého ultrazvukového signálu od předmětu, ke kterému se měří vzdálenost. Tento signál je zapotřebí ultrazvukového přijímače UST 40 zaznamenat a poté zesilovacím obvodem zesílit. Zesílený signál je přiveden na vstup mikrokontroléru, který ve vnitřním zapojení slouží jako vstup analogového komparátoru. Na jeho druhý vstup je přivedena komparační napěťová úroveň.

Komparátor je funkční blok, který porovnává dvě úroňové hladiny. Na výstupu je poté kladné nebo záporné saturační napětí. Polarita se odvíjí podle toho, na jaký vstup je přiveden signál s vyšší napěťovou hladinou. Pokud je přiveden na kladný vstup, je výstup překlopen na kladné saturační napětí, a je-li vyšší napětí na záporném vstupu, je na výstupu záporné saturační napětí. V případě rail-to-rail komparátorů se saturační napětí takřka rovná napájecímu.

### 2.4.1 Přijímač UST 40R

Zařízení pro převod zachycení a převod ultrazvukových vln na elektrický signál slouží přijímač UST 40R. Jeho vlastnosti jsou popsány v předchozí kapitole.

Měnič je napájen napětím 2,5 V. Toto stejnosměrné napětí je přičteno do frekvenčního spektra nasnímaného signálu.

### 2.4.2 Zesilovací obvod

Získané signály z ultrazvukového přijímače jsou pulzy o frekvenci 40 kHz s velmi malou napěťovou úrovní pro přímé přivedení na komparátor, proto je ho nutné nejdříve zesílit a upravit pro další zpracování. K tomuto účelu slouží zesilovací obvod. Je tvořen dvěma částmi. První část je tvořena obvodem pro úpravu signálu z akustického měniče a druhá se skládá z operačního zesilovače pro zesílení tohoto signálu, který je poté přiveden na komparátor.

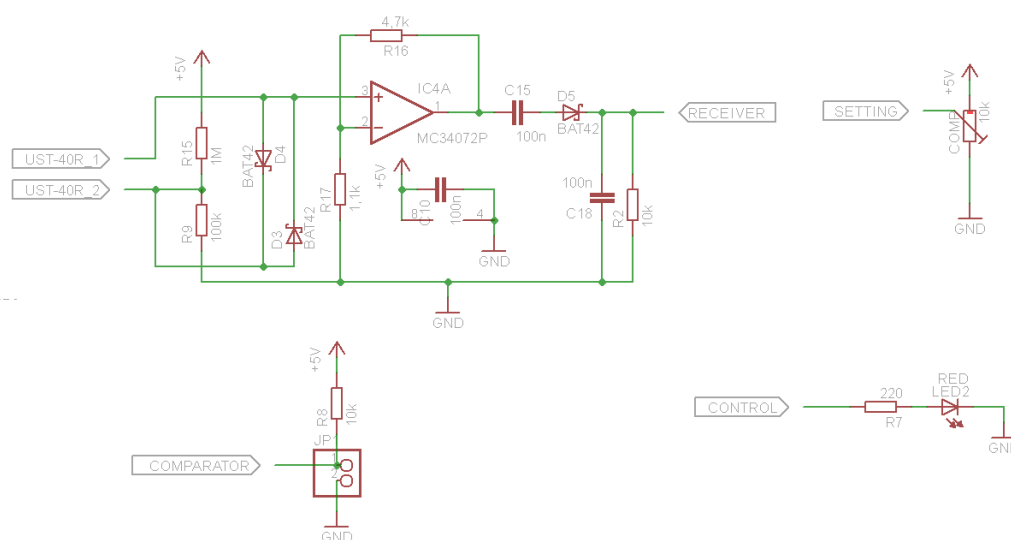
Na základě vlastností vstupního signálu byl vybrán nízkošumový operační zesilovač MC34072P od firmy ON Semiconductor. Vstupní napětí může být v rozsahu  $\pm 3$  až  $\pm 22V$ . Toto je důležitá faktor ovlivňující výběr, jelikož napájení celého zařízení je 5 V. Provozní teplota je v rozmezí  $-55$  až  $125$  °C. Harmonické zkreslení je 0,02 % a šum je na nízké úrovni  $32 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ . Pro omezení rušení je mezi napájecím a zemním pinem vložen blokovací keramický kondenzátor C10 (obr. 6). [21]

První úprava spočívá ve zvýšení spodní napěťové úrovně na ultrazvukovém měniči pomocí odporového děliče. Poté jsou umístěny 2 Schottkyho diody omezující horní a spodní velikost napětí z měniče. Tyto diody jsou použity z důvodu malé zotavovací doby a menšího úbytku napětí v propustném směru. Ve výsledku je na operační zesilovač veden signál s napěťovou úrovní v rozmezí 0,1 až 0,9. Operační zesilovač je nastaven jako neinvertující se zesílením přibližně 5, které je spočteno podle vztahu 2.5. Výstup z OZ nabývá hodnot od cca 0,5 do 4,5 V (obr. 6).

$$U_{OUT} = U_{IN} \left(1 + \frac{R_{16}}{R_{17}}\right) \quad [V] \quad (2.5)$$

Výstupní napětí  $U_{OUT}$  je rovno součinu vstupního napětí  $U_{IN}$  a součtu hodnot 1 s podílem odporů rezistoru  $R_{16}$  v záporné zpětné vazbě OZ s rezistorem  $R_{17}$  (obr. 6).

Dále je zapotřebí odfiltrovat stejnosměrnou složku signálu na výstupu OZ, usměrnit pomocí jednocestného usměrňovače a vytvořit stejnosměrný signál, který je nakonec veden na vstup komparátoru v mikrokontroléru.



Obrázek 6: Přijímací obvody

### 2.4.3 Hardwarové nastavení komparátoru

Pro správnou funkci vyhodnocení přijetí echa je důležité hardwarové nastavení komparátoru. Do vstupu mikrokontroléru PB3 je zapojen výstup z přijímacího obvodu. Tento vstup je připojen na invertující vstup komparátoru. Na neinvertující vstup je poté připojen trimr COMP, který slouží pro nastavení referenčního napětí, při kterém dojde k překlopení komparátoru.

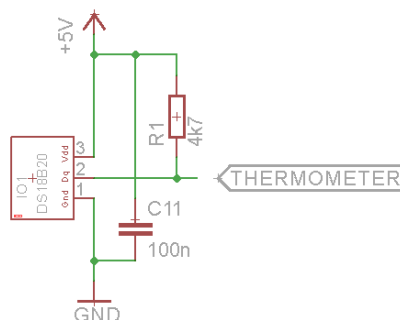
V obvodu je integrovaná dioda LED 2 sloužící jako vizuální kontrola správného nastavení komparačního napětí. K tomu aby bylo možné přepnout zařízení do režimu nastavení tohoto napětí je zapotřebí spojit piny COMPARATOR propojkou (obr. 6). Další funkce vztahující se k vyhodnocení příjmu ultrazvukového signálu jsou softwarovou záležitostí a jsou popsány ve čtvrté kapitole.

## 2.5 Teplotní čidlo

Rychlost ultrazvukových vln je závislá na teplotě okolí, ve kterém se šíří. Tato skutečnost již byla popsána v první kapitole. Aby bylo možné tuto odchylku při měření co nejvíce eliminovat, je zařízení vybaveno nízkonapětovým snímačem teploty.

Jelikož navržené zařízení bude používáno ve venkovních prostorech a teplotou okolí nejen nad bodem mrazu, ale i v teplotách pod touto hodnotou, je nutné aby čidlo bylo tuto teplotu schopno měřit. A dále čidlo bylo možné z napájet napětím o velikosti 5 V.

S ohledem na první kritérium byl vybrán digitální teplotní snímač DS18B20, který je schopen měřit teplotu od  $-55$  do  $125$  °C (obr. 7). DS18B20 komunikuje po 1 sběrnici, která potřebuje pouze 1 datovou linku pro komunikaci s mikrokontrolérem. Výrobce je firma Maxim Integrated. Přesnost podle katalogového listu výrobce je  $\pm 0,5$  °C, což je pro tuto aplikaci dostačující. Napájecí napětí se může pohybovat v rozmezí od 3,5 do 5,5 V. Celé zařízení je uloženo v pouzdře TO92. [22]

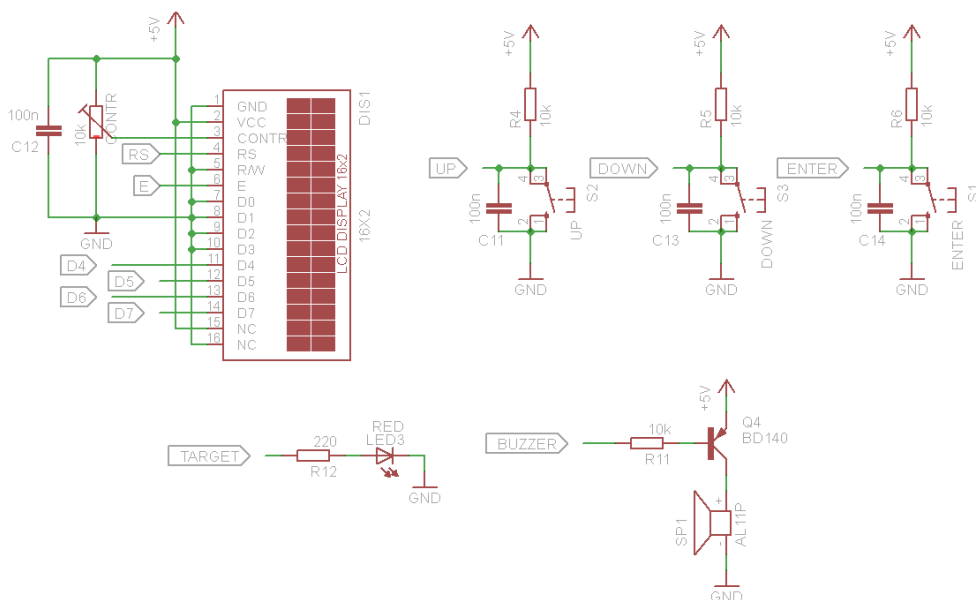


Obrázek 7: Teplotní snímač TMP36GT9Z

Teplotní snímač je umístěn na DPS s ultrazvukovými měniči. Kdyby byl snímač umístěn na desce s mikrokontrolérem a dalšími obvody, docházelo by k ovlivňování měřené teploty vlivem vyzařování tepla výkonových součástek.

## 2.6 Zobrazovací a ovládací část obvodu

Tato část se zabývá zobrazováním naměřených hodnot a ovládáním celého ultrazvukového měřiče vzdálenosti. Zařízení má naprogramovány 3 funkce volitelné uživatelem. Pro jejich výběr slouží trojice tlačítek.



Obrázek 8: Zobrazovací a ovládací část

### 2.6.1 Světelná a zvuková signalizace

Jak bylo výše zmíněno, přístroj má naprogramované tři funkce. Při zapnutí napájení se aktivuje první, která spočívá v neustálém měření vzdálenosti a zobrazování výsledné hodnoty na displeji. Pomocí ovládacích tlačítek je poté možno zobrazit teplotu okolí a poslední funkce složí pro hledání uživatelem zadané vzdálenosti.

Právě k poslední jmenované funkci zařízení obsahuje diodu LED 3 a piezo-elektrický měnič SP1 (siréna) generující vlny na o frekvenci slyšitelné lidským uchem (obr. 8). Jakmile měřič zaznamená, že se přiblížil k měřenému předmětu na zadanou hodnotu, rozsvítí se dioda a aktivuje siréna.

Následující vzorec (2.7) udává výpočet předřadného odporu pro LED diodu. Nejdříve je nutné vypočítat napětí, které bude na rezistoru. Je dáno rozdílem napájecího  $U_{CC}$  a prahového napětí LED diody  $U_D$ . Výsledná hodnota odporu je podílem tohoto napětí a proudu diodou  $I_D$ .

$$R_D = \frac{U_{CC} - U_D}{I_D} \quad [\Omega] \quad (2.7)$$

Piezo-elektrický měnič je výkonová součástka a nebylo by možné ji ovládat přímo výstupem z mikrokontroléru. Proto je připojen pomocí bipolárního tranzistoru, který je spínán mikrokontrolérem.

### 2.6.2 Ovládací tlačítka

V zapojené se nacházejí 3 tlačítka pro ovládání měřiče (obr.8). U každého je jeden výstup uzemněn a druhý je pomocí rezistoru přiveden na napájecí napětí. Výstup z mikrokontroléru je připojen mezi tlačítko a rezistor. Jelikož se jedná o mechanický spínač a při spínání a odpínání kontaktů dochází k záskmitům (nedá se jednoznačně určit, v jakém stavu se nachází tlačítko při stisku a rozeprtí), je k němu paralelně umístěn kondenzátor, který tento problém eliminuje. Jedná se o hardwarové ošetření, ale je možné toto provést ještě softwarově. [23]

Při neseprtém tlačítku je na něm napětí 5 V a po stisknutí dochází k uzemnění, tudíž napětí klesá na nulu. Pro vnitřní logiku mikrokontroléru je při stisku tlačítka indikován stav log. 0 a při rozeprtém stavu log. 1.

### 2.6.3 Zobrazovací jednotka

Zobrazovací jednotkou byl zvolen dvouřádkový grafický displej s 16 znaky na každý řádek. Každý znak je tvořen 35 body, které jsou uspořádány do matice  $5 \times 8$  zobrazovacích bodů. Je použit displej s modelovým označením GE-C 1602B-YYH-JT/R od firmy Gleichmann Electronics (obr. 8). Jedná se o alfanumerický displej se žlutým podsvícením zobrazovaných znaků.

Součástka má 16 vývodů, jenž jsou podrobně popsány v katalogovém listu výrobce. První a druhý slouží pro přívod napájení pro vnitřní číslicové obvody zpracovávající příkazy z mikrokontroléru a zobrazovací jednotku LCD. Jeho velikost se může pohybovat v rozmezí 4,5 až 5,5 V. Mezi tyto vstupy je opět připojen blokovací kondenzátor zabraňující dalšímu rušení.

Pro nastavování jasu zobrazovaných znaků slouží třetí pin, na něž je přivedeno napětí v rozmezí 0 až 5 V pomocí trimru CONTR, jehož doporučená hodnota odporu je 10 k $\Omega$ . Další 11 pinů slouží pro komunikaci s mikrokontrolérem. Pomocí pinů RS, R/W a E se zadávají příkazy. Pin R/W slouží pro testování, jestli už jsou příkazy provedené. Jeho používání je vhodné, pokud je taktovací frekvence mikrokontroléru vyšší než 10 Mhz, jelikož příkazy jsou pak prováděny rychleji. Nicméně je možné tento pin připojit na GND a displej poté používat v tzv. Delay módu, kdy nejsou příkazy odesílány podle toho, jestli už předchozí byly vykonány, ale podle zjištěných časů potřebných na jejich provádění. V případě navrhovaného zařízení je použita varianta s uzemněním pinu R/W. Dalšími 8 piny jsou posílána data o jednotlivých znacích, které se mají zobrazovat. Data mohou být posílána všemi 8, v tom případě se jedná o 8bitovou komunikaci, nebo pomocí pouze 4 pinů, pak se jedná o 4bitovou komunikaci. Vzhledem k úspoře vývodů mikrokontroléru je v tomto případě použita druhá varianta. Posledními dvěma vývody se napájí podsvětlení displeje.

### 3 Realizace navrženého obvodu

V tomto bodu je popsána hardwarová realizace celého zařízení od návrhu schématu až po osazení DPS.

#### 3.1 Návrh schématu a DPS

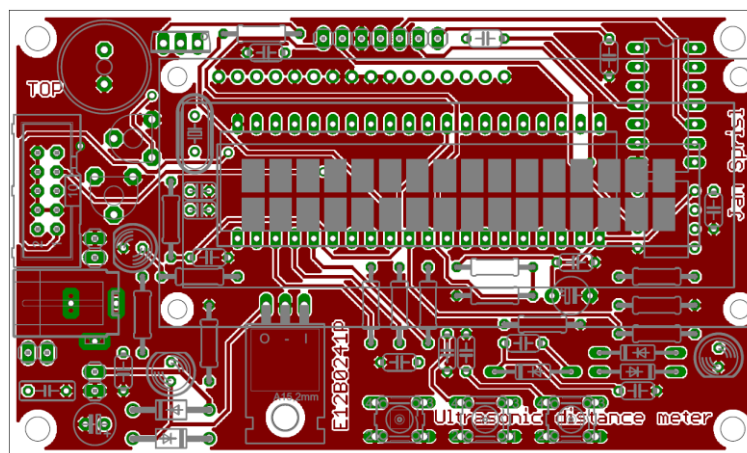
Pro návrh schématu a DPS byl použit software EAGLE od americké společnosti CadSoft. Výrobce nabízí bezplatnou freeware licenci pro soukromé používání, která má pouze minimální omezení oproti placené licenci. Hlavní omezení je v maximální velikosti DPS, jež je omezena na velikost 100x100 mm. Navrhované desky jsou menší, takže je možné software použít. Název EAGLE vznikl jako zkratka anglických slov Easily Applicable Graphical Layout Editor, což v překladu znamená "snadno použitelný grafický nákresový editor". Program obsahuje 3 části. První je editor spojů, druhá editor schémat a třetí je autorouter. [24]

Jak již bylo v předchozí kapitole naznačeno, celé zařízení se skládá ze dvou DPS. Na jedné se nachází ultrazvukové měniče s teplotním snímačem a na druhé jsou umístěny ostatní části se zobrazovací jednotkou. Vzhledem k velikosti displeje a k možnosti snadné realizace v domácích podmínkách je navrhované zařízení konstruováno z vývodových součástí. Tato



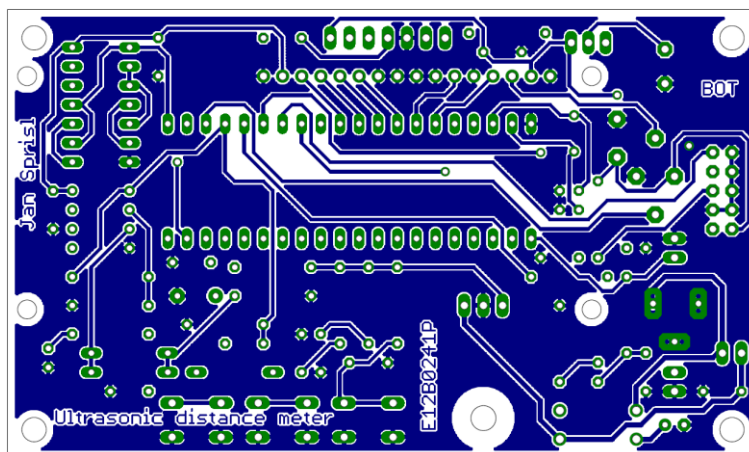
technologie se nazývá THT. Přesto bylo snahou dosáhnout co nejmenších rozměrů obou desek. Vzhledem ke složitosti zapojení je deska obsahující mikrokontrolér oboustranná o velikosti 100 x 60 mm. Druhá deska je naopak k jednoduchosti jednostranná o rozměrech 100 x 18 mm. Šířka spojovacích cest byla podle maximálního proudového odběru a použité tloušťky mědi na desce zvolena 0,6 mm pro napájecí část a 0,4 mm pro zbývající propojovací cesty.

Na obrázku 9 je vidět deska s mikrokontrolérem ze strany osazovaných součástek. V levém rohu se nachází konektor pro připojení napájení pomocí usměrněného 9V zdroje a piny pro připojení konektoru pro 9V baterii. Zařízení je umístěno v krabičce. Aby bylo možné při použití baterie přístroj vypínat a zapínat, je na desce umístěna dvojice pinů, na které je připojen vypínač umístěný vně krabičky. Dále je na levé straně DPS stran umístěn 10 pinový ISP konektor pro programování mikrokontroléru, siréna, dvojice trimrů pro nastavení jasu displeje a rozhodovací úrovně pro komparátor. Pod displejem se nachází mikrokontrolér ATmega162. Na spodní straně je umístěna trojice ovládacích tlačítek.



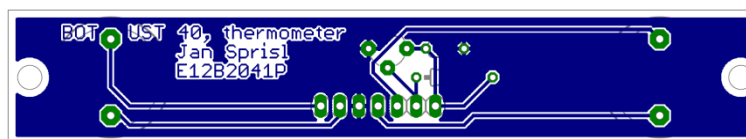
Obrázek 9: DPS s mikrokontrolérem ze strany součástek

Na spodní straně jsou patrné pouze spoje a při montáži se zde pájí vývody součástek (obr. 10).



Obrázek 10: DPS s mikrokontrolérem ze spodní strany

Druhá deska je pouze jednostranná a její výška takřka odpovídá velikosti ultrazvukových měničů, které jsou připojené na stranách (obr. 11). Toto umístění bylo zvoleno záměrně, aby se zamezilo ovlivňování měničů. Mohlo by nastat, že by přijímač zachytil ultrazvukový signál z vysílače ještě dříve než by se odrazil od měřeného předmětu. Uprostřed je umístěn teplotní snímač. Deska je pomocí 6 devadesáti stupňových oboustranných kolíků připojena k desce s mikrokontrolérem.



Obrázek 11: DPS s ultrazvukovými měniči a teplotním snímačem

### 3.2 Výroba DPS

Deska plošných spojů je vyrobena fotocestou. Tato metoda spočívá ve výrobě fotopředlohy s motivem desky. Tato matrice je poté přiložena na měděnou desku, na které je nanesen fotocitlivý materiál. Pomocí osvitové jednotky je motiv přenesen na desku a posléze je odleptána přebytečná měď.

Pro použité zařízení byla zvolena sklolaminátová deska s označením FR4, na které je nanesena měděná fólie s tloušťkou  $35 \mu\text{m}$  a pozitivní fotorezist. Hodnota tloušťky je zvolena podle proudové zatížitelnosti měděného vodiče, viz. [25].

### 3.2.1 Fotopředloha

Fotopředloha byla vyrobena pomocí osvitové jednotky, kdy se daný motiv vysvítí na film. Tato možnost je pro výrobu DPS nejvhodnější díky vysokému kontrastu výsledného motivu. Data pro osvitovou jednotku jsou dodávána ve formátu PDF nebo PostScript.

### 3.2.2 Osvit desky

Ještě před samotným osvitom bylo zapotřebí desku připravit. Nejdříve bylo nutné nastříhat desku do rozměrů výsledné DPS, nicméně je vhodné udělat desku o cca 5 mm větší. Nejvhodnější nástrojem jsou pákové (padací) nůžky. Je možné použít další nástroje, jako je např. přímočará pila. Po ustříhnutí desky je vhodné hrany zabrousit. Dále bylo nutné desku očistit od všech nečistot před nanesením fotorezistu. Existují dva druhy. U pozitivního fotorezistu dochází po osvitu k narušení chemických vazeb a při následném osvitu se odplaví. Naproti tomu negativní fotorezist se po osvitu vytvrzuje a při vyvolávání nedojde k jeho odplavení. Po jeho nanesení je potřeba nechat vrstvu vytvrdnout. Tento celý proces je dobré provádět v temnějších místnostech, ale nemusí to být pravidlem, jelikož dnešní fotorezisty jsou citlivé na elektromagnetické záření určitého druhu (většinou UV záření). V tomto případě byla použita deska s již nalaminovanou vrstvou pozitivního fotorezistu.

Nejdříve se odstranila krycí vrstva. U jednostranné DPS se poté přiložila fotopředloha. Aby došlo k těsnému přitisknutí a správnému osvitu, položila se na desku s fotopředlohou skleněná deska. Poté pomocí rtuťové výbojky ve vzdálenosti cca 25 cm po dobu přibližně 8 minut došlo k narušení osvícených částí fotorezistu. Posledním krokem bylo vyvolání motivu pomocí roztoku hydroxidu sodného NaOH s vodou. Tento proces probíhal přibližně 2 minuty. Celá deska se poté pomocí vlažné vody omyla, aby se smyla všechna vývojka.

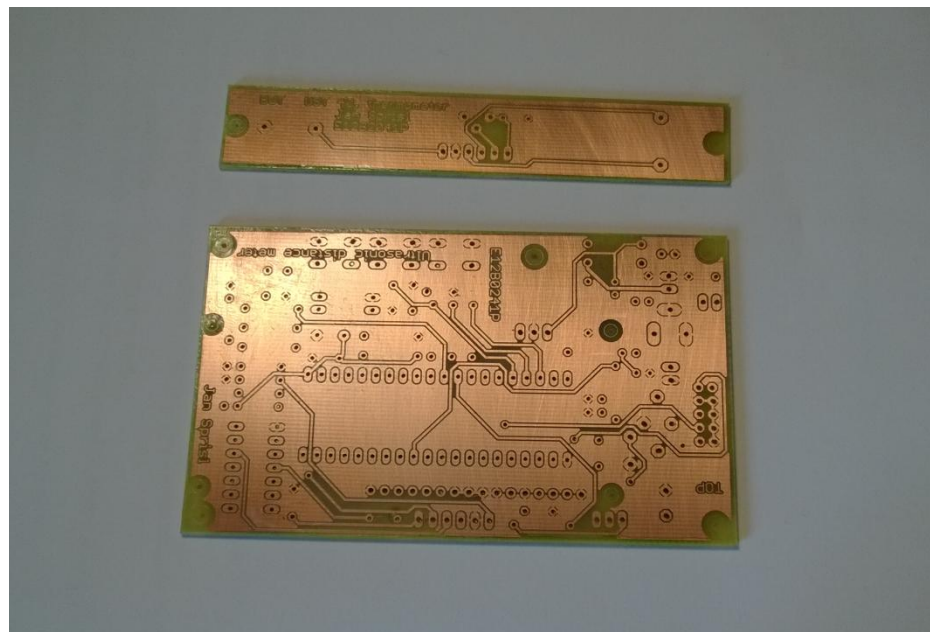
V případě oboustranné desky byla situace složitější. V první řadě bylo zapotřebí desku s nalaminovaným fotorezistem na obou stranách. Nejdůležitější je přesné sesazení obou fotopředloh, aby výsledný motiv nebyl posunutý. Kouskem ustříhnutého proužku ze slabší desky se poté pomocí lepicí pásky připevnily správně sesazené fotopředlohy s každou jeho stranu. Tím se vytvořila tzv. kapsa. Z desky s fotorezistem se odstranily krycí vrstvy a vložila se do připravené kapsy. Takto vytvořený přípravek se poté umístil mezi dvě skleněné desky, pro docílení rovnoměrného přitisknutí fotopředlohy. Tyto desky bylo potřeba vhodným

způsobem zafixovat k sobě, aby nedošlo k posunu motivu. Přípravek se poté osvítil z každé strany. Následný postup byl shodný s jednostrannou deskou.

### 3.2.3 Leptání mědi a vrtání otvorů

Leptání vyvolaného motivu se provádělo pomocí chloridu železitého  $FeCl_3$ . Je vhodné, aby roztok měl teplotu přibližně 20 až 30 °C. Proto bylo vhodné jej před leptáním zahřát, jelikož při menší teplotě nedochází k leptání mědi. Roztok se umístil do nádoby vhodného rozměru a poté se deska položila na hladinu motivem dolů tak, aby na spodní straně nebyla vzduchová mezera a došlo ke správnému odleptání. U jednostranné desky bylo po chvíli vidět, jak se začínají zprůhledňovat vodivé cesty. Celý proces trval přibližně 10 minut. U dvoustranné desky byl proces složitější. Nejdříve bylo nutné odleptat jednu vrstvu a pak druhou. Při pokládání desky na hladinu bylo důležité, aby se na vrchní vrstvu nedostal leptací roztok. Po odleptání jedné vrstvy desku se otočila a celý proces se opakoval s druhou stranou. Po vyleptání byla celá deska omyta vodou s mýdlem pro odstranění zbytků chloridu železitého. Následovalo odstříhnutí desky na konečný rozměr a zabroušení hran. Po odleptání mědi na spojích zbyl fotorezist, který se pomocí rozpouštědla (aceton, líh a jiné) odstranil. Po tomto kroku musela být deska ošetřena nanesením vrstvy pájitelného laku, aby nedocházelo k oxidaci mědi.

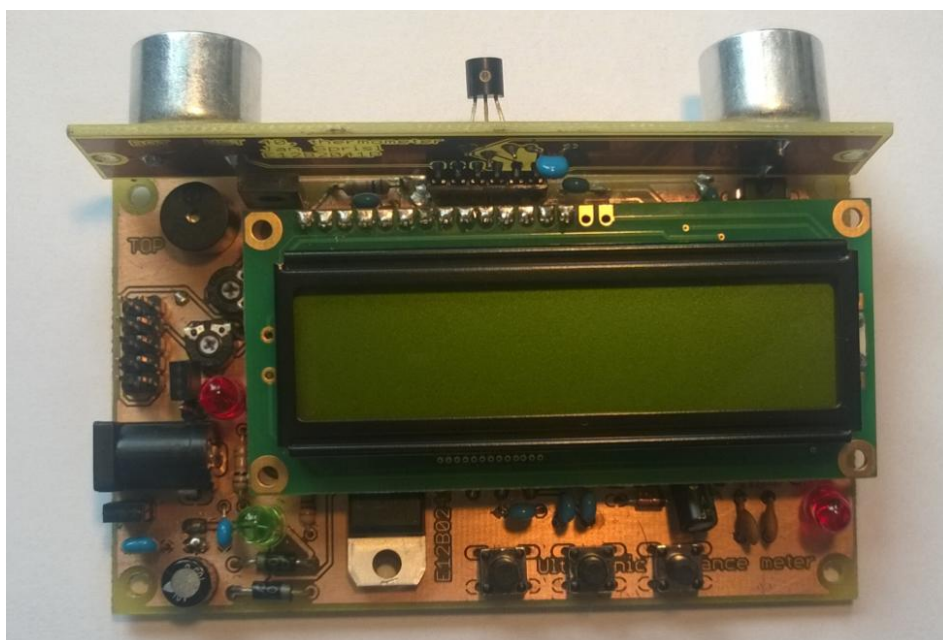
K vrtání otvorů byla použita vysokootáčková vrtačka umístěna ve stojanu. Stojan na vrtačku je vhodný pro přesné vyvrtání otvorů. Pro vývody součástek byl použit vrták o průměru 0,8 mm a u otvorů pro konstrukční prvky byla jeho velikost 3 mm. Výsledné desky vyleptané a vyvrtané desky jsou vyobrazeny na obrázku č. 12.



Obrázek 12: Vyleptaná a vyvrtaná DPS

### 3.3 Osazování DPS

Před osazením bylo nutné důkladně zkontrolovat kvalitu vyleptaných cest, aby nebyly některé spojené. Pokud už je celá deska osazená, je dosti obtížné hledat tyto nedokonalosti, obzvláště pokud by chyba byla u dvoustranné desky na straně součástek pod samotnou součástkou. Vzhledem k tomu, že u dvoustranné desky nejsou pokovené otvory, bylo nutné nejdříve důkladně rozmyslet postup umístování jednotlivých součástek. V první řadě bylo nutné propojit vodivé vrstvy na každé straně, kdy je toto v návrhu DPS zajištěno pomocí tzv. via otvorů (pokovený otvor sloužící k spojení vodivých cest mezi jednotlivými vrstvami DPS). K realizaci došlo pomocí drátku, který byl prostrčen skrz otvor, na obou stranách zapájen a zbytky ustříhnuty co nejbližší desce. Dále byly osazovány součástky podle velikosti od nejnižších po nejvyšší. Nicméně součástky (např. keramické kondenzátory), u kterých by při nechtěné manipulaci mohlo dojít k mechanickému poškození vodivých cest, byly osazovány naposled. Při osazení každé součástky byl pomocí multimetru kontrolován správný průchod signálu. Například jestli při pájení cínu nedošlo ke spojení více vodivých cest nebo nebyla dokonale odleptaná měď. Osazená deska je zobrazena na obrázku 13.



Obrázek 13: Výsledná osazená deska



Obrázek 14: Ultrazvukový měřič vzdálenosti v krabici

## 4 Tvorba firmware pro vytvořený hardware

Tato kapitola se zabývá softwarovou částí mikrokontroléru. Pro správnou tvorbu celého programu byl vytvořen následující vývojový diagram popisující ovládání ultrazvukového měřiče uživatelem (obr. 15).

### 4.1 Popis ovládání zařízení

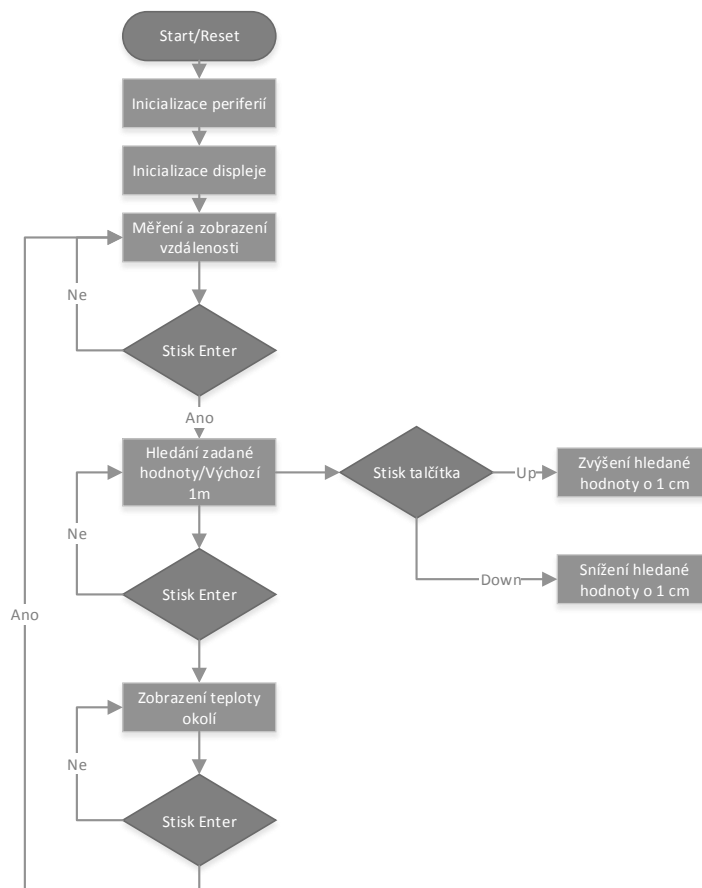
Uživatel může zařízení používat 3 způsoby. Jednotlivé režimy jsou voleny pomocí tlačítka ENTER. Jsou naprogramovány jako tzn. kruhový seznam. Pokud se uživatel nachází v 3. režimu a stiskne ENTER, zařízení přejde do 1. režimu (obr. 15).

V prvním případě je zařízení ve stavu, kdy neustále měří vzdálenost a zobrazuje ji na displeji. Zařízení provede měření přibližně 4 krát za vteřinu. Do tohoto režimu přechází zařízení hned po přivedení napájení.

V druhém režimu je uživatelem zadána hledaná vzdálenost v rozmezí 1 až 70 cm. Pokud dojde ke shodě měřené a hledané vzdálenosti, rozsvítí se LED dioda označující shodu a začne pípat bzučák. Softwarově je přednastavená hodnota 40 cm. Pomocí tlačítek UP a DOWN je hodnota zvyšována, nebo snižována o 1 cm.

V třetím režimu je uživatel na displeji informován o okolní teplotě.

Pro správnou funkci zařízení je nejdříve nutné nastavit komparační napětí na neinvertujícím vstupu analogového komparátoru. Pomocí propojky se spojí 2 piny označené jako JP1. Mikrokontrolér poté přechází do seřizovacího módu. Přístroj se poté nasměruje na měřený předmět, pro přesné nastavení je vhodná např. kolmá stěna, a umístí se do vzdálenosti 70 cm. Poté se pomocí trimru SETTING nastaví komparační napětí, při níž dojde k překlopení komparátoru a rozsvícení LED diody CONTROL signalizující správné nastavení.



Obrázek 15: Vývojový diagram použití měřiče

## 4.2 Programovací prostředí

Program byl vytvořen v programu Atmel Studio od firmy Atmel a je napsán v programovacím jazyce C.

## 4.3 Inicializace I/O periferií mikrokontroléru

Při spuštění je nejdříve nutné nastavit, jak budou jednotlivé vývody mikrokontroléru používány. Je tedy nutné nastavit, které budou sloužit pro snímání vstupních signálů (tlačítka, přijímací obvod, kontakty pro spuštění režimu nastavování analogového komparátoru a teploměr) , ovládání výstupních periferií (signalizační LED diody, bzučák ) a vývody se specifickou funkcí. Na jeden vývod se specifickou funkcí je připojen vysílací obvod, pro něhož vnitřní čítač/časovač 0 generuje obdélníkový signál s frekvencí 40 kHz. Další 2 vývody slouží jako invertující a neinvertující vstup vnitřního analogového komparátoru .



#### 4.4 Inicializace čítačů/časovačů a analogového komparátoru

Nejdříve je zapotřebí nastavit čítač/časovač 0, který bude použit pro generování budících pulzů o frekvenci 40 kHz pro vysílací část zařízení. Tato periferie je nastavena jako časovač v módu CTC (Clear Time on Compare). Doba jednotlivých taktů čítače je pomocí předděličky odvozena od externího 8MHz oscilátoru. Při každém odvozeném taktu dochází k inkrementaci registru TCNT0 a porovnáním jeho hodnoty s hodnotou přednastavenou v registru OCR0. při shodě dojde k vyvolání požadavku o interruptové přerušení a dekrementaci registru TCNT0 na počáteční hodnotu.

Následující vztah 4.1 slouží pro výpočet hodnoty předděličky a hodnoty přetečení OCR0.

$$f_{OC1} = \frac{f_{CLK}}{2 \cdot N \cdot (1 + OCR0)} \quad [Hz] \quad (4.1)$$

Aby bylo docíleno generování signálu o požadované frekvenci je hodnota předděličky N nastavena na hodnotu 1 a hodnota přetečení OCR0 na hodnotu 99 (4.2).

$$f_{OC1} = \frac{8 \cdot 10^6}{2 \cdot 1 \cdot (1 + 99)} = 40 \cdot 10^3 \quad [Hz] \quad (4.2)$$

Druhý čítač/časovač 2 je nastaven také do režimu CTC. Jeho funkce je po začátku vysílání ultrazvukového signálu měřit dobu, kterou trvá echo. Pro inkrementování registru TCNT2 je nastavena předdělička N na hodnotu 64. Inkrementace registru TCNT2 probíhá každých 8  $\mu s$ . Ze vztahu pro rychlost ultrazvukových vln je vypočteno, že za 8  $\mu s$  vlna urazí vzdálenost 0,275 cm. Minimální měřená vzdálenost je tedy 0,137 cm. Dále je nutné nastavit maximální měřenou vzdálenost. Toto je provedeno pomocí nastavení hodnoty přetečení registru OCR2. Byla zvolena maximální možná hodnota 255. Maximální vzdálenost, kterou je zařízení schopno změřit, je přibližně 35 cm. Požadovaná vzdálenost je vzhledem k předpokládanému použití přibližně 70 cm, proto je pomocí softwarových prostředků zajištěno, že dochází k přetečení registru OCR2 dvakrát. Pokud dojde při měření k druhému přetečení, tak je na displeji signalizováno přesažení měřeného rozsahu.

Na vstupy analogového komparátoru je připojen výstup z přijímací části a komparační napětí. Jelikož vstup z přijímací části je připojen na invertující pin komparátoru, je interruptové přerušení generováno na sestupnou hranu výstupu komparátoru. Po vyvolání interruptové rutiny dochází k uložení aktuálního stavu čítače/časovače 2, zastavení generování frekvence pro vysílací část a nulování potřebných konstant.

#### 4.5 Softwarové řešení zákmitů tlačítek

Jedná se o tzv. číslicovou filtraci signálu. V programu je použita metoda dvojího vzorkování s vloženou prodlevou. Nejdříve se načte hodnota tlačítka, poté se chvíli počká a znovu se načte hodnota tlačítka. Pokud jsou hodnoty shodné, vyhodnotí se jako stisknutí tlačítka. V opačném případě se jedná o chybu. Vzhledem k jednoduchosti se častěji používá tato metoda ošetření zákmitů tlačítek. [23]

#### 4.6 Výpočet změřené vzdálenosti

Pro výpočet je nejdříve nutné znát dobu trvání echa  $t$  a teplotu okolního prostředí  $\vartheta$  (4.3). Tyto hodnoty jsou získány z registru čítače TCNT2 a digitálního teploměru.

$$s = \frac{(331,3 + 0,606\vartheta) \cdot 8 \cdot TCNT2}{10^{-4}} / 2 \quad [cm] \quad (4.3)$$

#### 4.7 Inicializace zobrazovací a ovládací části jednotky

Zvoleném displej je řízen řadičem HD44780. Nachází se v něm znaková sada. Není tudíž nutné řídit jednotlivé pixely, které se mají zobrazovat. Řadiči je pouze zadán příkaz pro zobrazení znaku v matici 5x8. K tomuto řadiči existuje velké množství zdrojových kódů, sloužící k jeho ovládní. V práci je použit ovladač, jehož autor je Peter Fleury. [26]

## Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout zařízení, které pomocí ultrazvukových vln měří vzdálenost k danému předmětu. Běžně dostupná zařízení jsou schopna měřit vzdálenost od cca 60 cm do desítek metrů. Navrhované zařízení je schopno naopak měřit od 1 do 70 cm.

První kapitola se zabývá všeobecným popisem možných metod pro měření vzdálenosti a jejich vývojem a rozdělením. Dále jsou v ní popsány moderní měřicí přístroje pracující pomocí laserových paprsků a ultrazvukových vln. V druhém případě je problematika měření vzdálenosti za pomoci ultrazvukových vln popsána podrobněji. Jedná se především o fyzikální principy a faktory ovlivňující přesnost této používané metody. Nejdůležitější je rychlost zvuku ve vzduchu. Jelikož v případě ultrazvukových vln se jedná o mechanické vlnění částic ve vzduchu, nejvíce ovlivňující faktory jsou teplota, tlak a vlhkost prostředí, ve kterém se vlny šíří. Je zde také popsána akustická impedance předmětu, od kterého se vlny odráží. V poslední podkapitole jsou porovnány laserové a ultrazvukové měřiče, které jsou dnes v civilní sféře běžně dostupné.

Druhá část se zabývá návrhem samotného zařízení pro měření vzdálenosti za pomoci ultrazvukových vln. O řízení celého zařízení se stará mikrokontrolér ATmega162 od firmy Atmel. Pro generování ultrazvukových vln o frekvenci 40 kHz je použit piezo-elektrický měnič UST 40R. Impulzy o této frekvenci jsou generovány na výstupech mikrokontroléru. Pro větší dosah zařízení, jsou pomocí invertorů proudově zesíleny, a až poté jsou vedeny na akustický měnič. O zachycení tzv. echa se stará přijímací část. Nejdříve je nutné zachycené vlny převést na elektrický signál. Tohoto je docíleno pomocí akustického měniče UST 40T. Získaný signál je upraven a přiveden na analogový komparátor, který je součástí mikrokontroléru. Změřená vzdálenosti je poté zobrazena na displeji 16x2 znaky. Zařízení dále obsahuje diody indikující funkčnost napájecí části, správného nastavení rozhodovací hladiny komparátoru a dosažení hledané vzdálenosti, kterou si uživatel nastaví pomocí mechanických tlačítek.

Ve třetí kapitole je popsána výroba DPS a jejich osazení součástkami. Fotopředloha byla vyrobena pomocí osvitové jednotky, pro její větší kontrast a lepší kvalitu výsledného motivu. Zařízení je tvořeno ze dvou desek. V případě výroby menší jednostranné desky, je postup poměrně jednoduchý. Nicméně u dvoustranné desky byly kladeny velké nároky na správné sesazení fotopředloh a leptání jednotlivých stran desky. Pro usnadnění výroby byly obě sklolaminátové desky (FR4) zakoupeny s již naneseným fotorezistem. Po vyleptání motivu, následovalo ošetření mědi proti korozi a vyvrtání otvorů pro součástky a konstrukční prvky. Posledním krokem bylo osazení desek součástkami a umístění zařízení do krabičky (obr. 14).

V poslední kapitole jsou popsány jednotlivé kroky pro tvorbu firmwaru mikrokontroléru. Je zde také popis ovládání celého zařízení. Program byl napsán ve vývojovém prostředí Atmel studio, jenž byl získán na stránkách výrobce mikrokontroléru. Výsledný program je umístěn v příloze 8.

Výsledné zařízení může mít mnoho využití. Některá už byla popsána v první kapitole, jako je např. měření vodní hladiny. Právě pro měření hloubky vodní hladiny v revizní jímce bylo toto zařízení vytvořeno. Další možné použití by mohlo být měření hladiny sypkého materiálu, např. množství uhlí v násypce automatického kotle. Budoucí zdokonalování přístroje by mohlo spočívat ve zvětšení dosahu přístroje. Zdokonalení by spočívalo v úpravě vysílací a přijímací části. Zařízení při sepisování této práce nebylo oživeno. Jsou prováděny další kroky pro jeho zprovoznění.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Historie měření a měřicích jednotek. *Informační stránky Yin.cz*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://oko.yin.cz/36/historie-mereni-a-mericich-jednotek/>
- [2] Stopa (jednotka délky). *Wikipedie*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Stopa\\_%28jednotka\\_d%C3%A9lky%29](http://cs.wikipedia.org/wiki/Stopa_%28jednotka_d%C3%A9lky%29)
- [3] Palec (jednotka). *Wikipedie*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Palec\\_%28jednotka%29](http://cs.wikipedia.org/wiki/Palec_%28jednotka%29)
- [4] Yard. *Wikipedie*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Yard>
- [5] Metrická soustava. *Wikipedie*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Metrick%C3%A1\\_soustava](http://cs.wikipedia.org/wiki/Metrick%C3%A1_soustava)
- [6] Lukáš Kachtík. Laserový metr. *Laser*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: [http://lasery.wz.cz/laserove\\_zamerovani\\_a\\_mereni\\_vzdalenosti.html](http://lasery.wz.cz/laserove_zamerovani_a_mereni_vzdalenosti.html)
- [7] Ultrazvuk. *Wikipedie*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrazvuk>
- [8] SONAR. *Ponorky*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.uboa.cz/>
- [9] Rychlost zvuku. *Wikipedie*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Rychlost\\_zvuku](http://cs.wikipedia.org/wiki/Rychlost_zvuku)
- [10] Tereza Zdražilová. Ultrazvuk Diagnostické a terapeutické využití. *BIOFYZIKÁLNÍ WEB*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: [http://ftplf2.agarek.com/fyziopravak/biofyzika/semin/tercaza\\_uz.php](http://ftplf2.agarek.com/fyziopravak/biofyzika/semin/tercaza_uz.php)
- [11] Tlak vzduchu. *Meteocentrum.cz*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/tlak-vzduchu.php>
- [12] *Calculation of speed of sound in humid air. National Physical Laboratory*. [online]. 2.5.2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://resource.npl.co.uk/acoustics/techguides/speedair/>
- [13] Ing. Miloš Hušek. Porovnání laserových a ultrazvukových dálkoměrů. *QTEST – měřicí a přístrojová technika*. [online]. 2.5.2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.qtest.cz/laserove-dalkomery/porovnan-laser-ultrazvuk.htm>
- [14] Atmel Corporation. ATmega162. *Atmel*. [online]. 2.5.2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/devices/ATMEGA162.aspx?tab=documents>
- [15] PINKER, Jiří. *Mikroprocesory a mikropočítače*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 159 s. ISBN 80-7300-110-1.

- [16] STMicroelectronics. L78 1.5A positive voltage regulators . *STMicroelectronics*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: [http://www.st.com/web/catalog/sense\\_power/FM142/CL1015/SC315/PF260264](http://www.st.com/web/catalog/sense_power/FM142/CL1015/SC315/PF260264)
- [17] Výpočet chladiče. *Pandatron.cz*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: [http://pandatron.cz/?219&vypocet\\_chladice](http://pandatron.cz/?219&vypocet_chladice)
- [18] Texas Instruments Incorporated. CD4069UB. *Texas Instruments*. [online]. 4.5.2015 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.ti.com/product/cd4069ub-mil>
- [19] FYZMATIK. Piezoelektrický jev. . [online]. 6.5.2015 [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/573-piezoelektricky-jev.html>
- [20] Přijímač ultrazvuku UST-40R. *GES-ELECTRONICS*. [online]. 4.5.2015 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.ges.cz/cz/prijimac-ultrazvuku-ust-40r-GES05600044.html>
- [21] ON Semiconductor. MC34072: Operational Amplifier. *ON Semiconductor*. [online]. 6.5.2015 [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=MC34072>
- [22] Maxim Integrated . DS18B20. *Maxim Integrated* . [online]. 13.5.2015 [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: [http://www.maximintegrated.com/en/products/analog/sensors-and-sensor-interface/DS18B20.html/tb\\_tab1](http://www.maximintegrated.com/en/products/analog/sensors-and-sensor-interface/DS18B20.html/tb_tab1)
- [23] MATOUŠEK, David. *Aplikace mikrokontrolérů ATmega644*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2013, ca 200 s. v různém stránkování. ISBN 978-80-7300-492-7.
- [24] ELCAD v.o.s.. Eagle Online. *ELCAD v.o.s.*. [online]. 9.5.2015 [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.eagle.cz/info.htm>
- [25] PragoBoard s.r.o.. Proudová zatížitelnost vodiče. *PragoBoard s.r.o.*. [online]. 9.5.2015 [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: [http://www.pragoboard.cz/proudova\\_zatizitelnost](http://www.pragoboard.cz/proudova_zatizitelnost)
- [26] Peter Fleury. LCD library for HD44780 based LCD's. *AVR-Software*. [online]. 13.5.2015 [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://homepage.hispeed.ch/peterfleury/avr-software.html#libs>

## Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: ZAPOJENÍ MIKROKONTROLÉRU .....	20
OBRÁZEK 2: ISP KONEKTOR PŘIPOJENÝ K MIKROKONTROLÉRU .....	21
OBRÁZEK 3: SCHÉMA ZAPOJENÍ NAPÁJECÍHO OBVODU .....	23
OBRÁZEK 4: VYSÍLACÍ ČÁST .....	25
OBRÁZEK 5: SMĚROVÁ VYZAŘOVACÍ CHARAKTERISTIKA UST 40 R/T [19] .....	26
OBRÁZEK 6: PŘIJÍMACÍ OBVODY .....	28
OBRÁZEK 7: TEPLOTNÍ SNÍMAČ TMP36GT9Z.....	29
OBRÁZEK 8: ZOBRAZOVACÍ A OVLÁDACÍ ČÁST.....	30
OBRÁZEK 9: DPS S MIKROKONTROLÉREM ZE STRANY SOUČÁSTEK .....	33
OBRÁZEK 10: DPS S MIKROKONTROLÉREM ZE SPODNÍ STRANY.....	34
OBRÁZEK 11: DPS S ULTRAZVUKOVÝMI MĚNIČI A TEPLOTNÍM SNÍMAČEM.....	34
OBRÁZEK 12: VYLEPTANÁ A VYVRTANÁ DPS .....	37
OBRÁZEK 13: VÝSLEDNÁ OSAZENÁ DESKA.....	38
OBRÁZEK 14: ULTRAZVUKOVÝ MĚŘIČ VZDÁLENOSTI V KRABICI.....	38
OBRÁZEK 15: VÝVOJOVÝ DIAGRAM POUŽITÍ MĚŘIČE.....	40

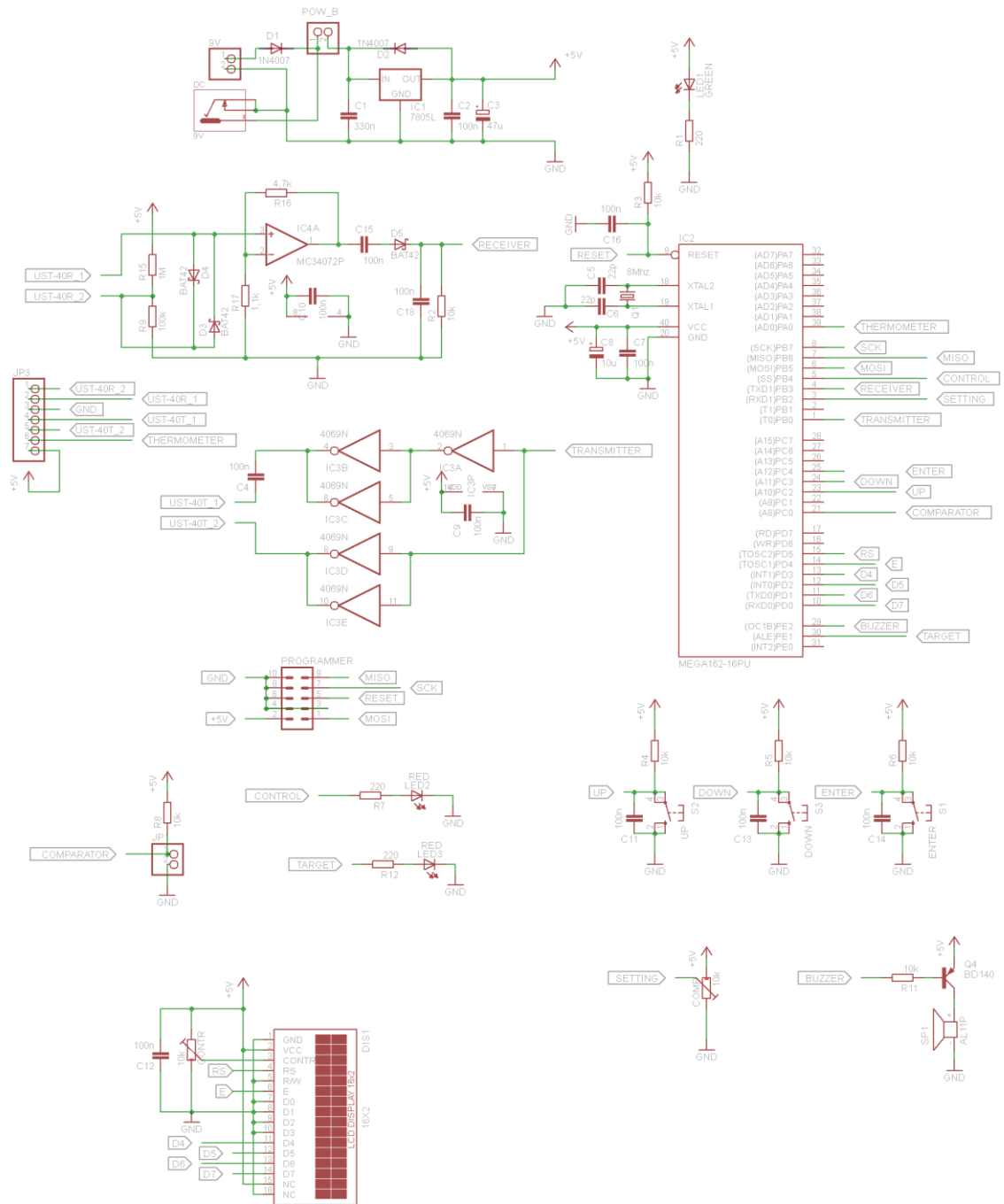
## Seznam tabulek

TABULKA 1: ZÁVISLOST RYCHLOSTI ZVUKU NA TEPLOTĚ VZDUCHU .....	16
---	----

## Seznam příloh

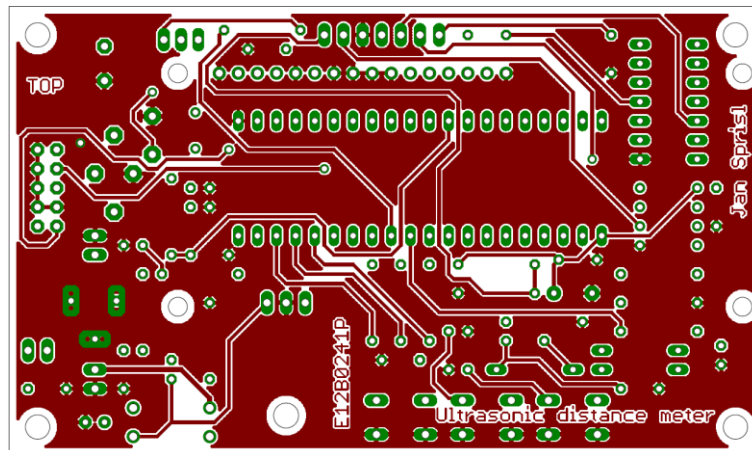
PŘÍLOHA 1: <i>SCHÉMA NAVRŽENÉHO ULTRAZVUKOVÉHO MĚŘIČE VZDÁLENOSTI.....</i>	<i>2</i>
PŘÍLOHA 2: <i>HORNÍ VRSTVA DPS ULTRAZVUKOVÉHO MĚŘIČE VZDÁLENOSTI (VŠE V MĚŘÍTKU 1:1) ...</i>	<i>3</i>
PŘÍLOHA 3: <i>SPODNÍ VRSTVA DPS ULTRAZVUKOVÉHO MĚŘIČE VZDÁLENOSTI.....</i>	<i>3</i>
PŘÍLOHA 4: <i>ROZMÍSTĚNÍ SOUČÁSTEK NA DPS ULTRAZVUKOVÉHO MĚŘIČE VZDÁLENOSTI.....</i>	<i>3</i>
PŘÍLOHA 5: <i>SCHÉMA DESKY S AKUSTICKÝMI MĚNIČI A TEPLOMĚREM.....</i>	<i>4</i>
PŘÍLOHA 6: <i>SPODNÍ VRSTVA DPS S AKUSTICKÝMI MĚNIČI A TEPLOMĚREM .....</i>	<i>4</i>
PŘÍLOHA 7: <i>ROZMÍSTĚNÍ SOUČÁSTEK NA DPS S AKUSTICKÝMI MĚNIČI A TEPLOMĚREM .....</i>	<i>4</i>
PŘÍLOHA 8: <i>PROGRAM PRO MIKROKONTROLÉR V JAZYCE C .....</i>	<i>5</i>

**Příloha 1: Schéma navrženého ultrazvukového měřiče vzdálenosti**

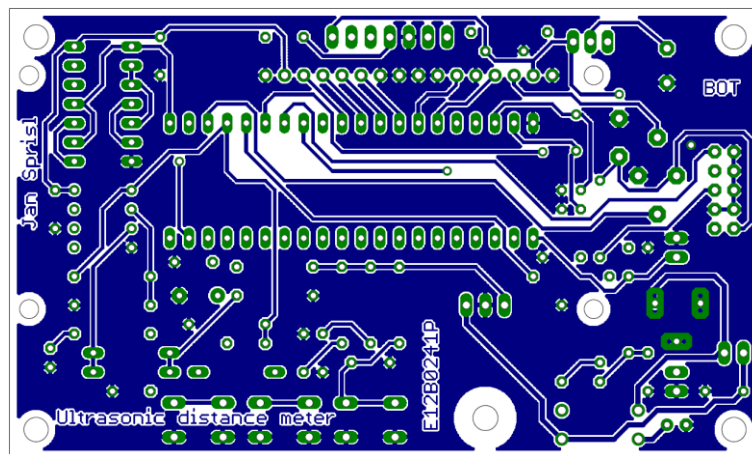




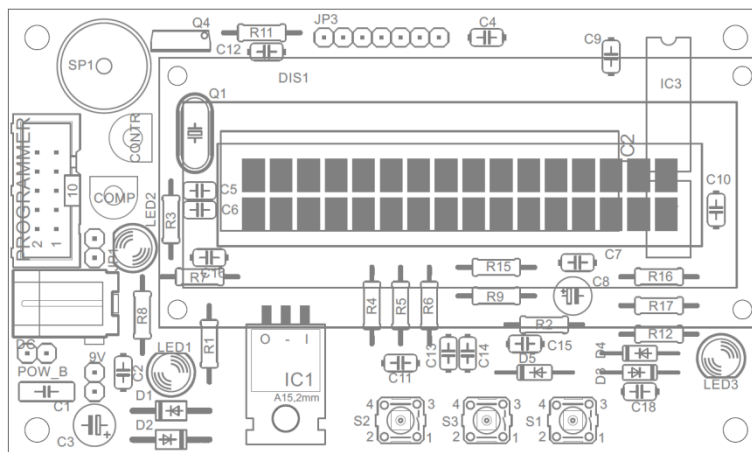
**Příloha 2:** Horní vrstva DPS ultrazvukového měřiče vzdálenosti (vše v měřítku 1:1)



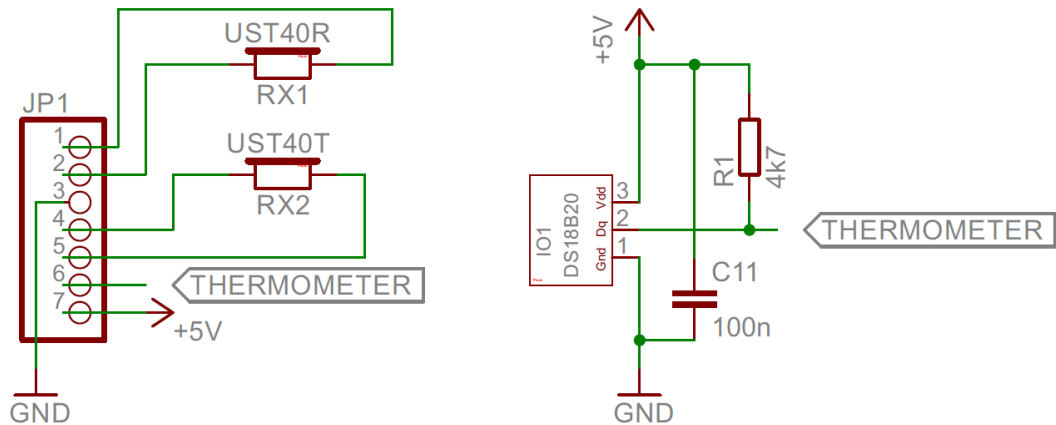
**Příloha 3:** Spodní vrstva DPS ultrazvukového měřiče vzdálenosti



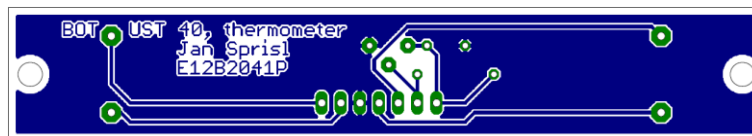
**Příloha 4:** Rozmístění součástek na DPS ultrazvukového měřiče vzdálenosti



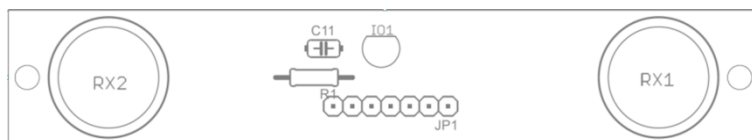
**Příloha 5:** Schéma desky s akustickými měniči a teploměrem



**Příloha 6:** Spodní vrstva DPS s akustickými měniči a teploměrem



**Příloha 7:** Rozmístění součástek na DPS s akustickými měniči a teploměrem



**Příloha 8:** Program pro mikrokontrolér v jazyce C

```

/*
 * Ultrasonic_distance_meter.c
 *
 * Created: 12. 5. 2015 14:58:52
 * Author: Jan Sprisl
 */

#define F_CPU 8000000UL //definovani hodinovych taktu mikroprocesoru pro
knihovnu delay.h
#include <avr/io.h> // knihovna AVR pro Input/output
#include <util/delay.h> // hlavičkový soubor pro zpoždění
#include <stdio.h> // hlavičkový soubor pro standardní IO operace
#include <avr/interrupt.h> // hlavičkový soubor pro interrupty

#include "therm_ds18b20.h" // hlavičkový soubor pro termometer
#include "lcd_new.h" // hlavičkový soubor pro displej

volatile uint8_t measuring; // oznaceni probihajiciho mereni
volatile uint16_t state_TCNT2; // pro ulozeni stavu registru TCNT2
volatile uint8_t counter_overflow = 0;
volatile uint8_t overflow = 0;

// identifikace pretečení registru TCNT2
volatile uint16_t temperature_decimal;
volatile unsigned int distance, temperature, find_meas = 40;
volatile double ultrasonic_speed, distance_double;

unsigned char touch_button(char button_0); // prototypy funkci
void comparator_setting();
void timer0_init();
void timer0_stop();
void timer2_init();
void buzzer();
void comparator_init();
int display_distance();

ISR(TIMER0_COMP_vect) //obsluha interruptoveho preruseni pri
doaszeni porovnavaci hodnoty v OCR0 citace/casovace 0
{
}

ISR(ANA_COMP_vect) //obsluha interruptoveho preruseni pri
preklopeni analogoveho komparatoru
{
    if (overflow == 1)
    {
        state_TCNT2 = TCNT2 + 256;
    }
    else{
        state_TCNT2 = TCNT2;
    }
    timer0_stop();
    measuring = 1;
}

```

```

ISR (TIMER2_COMP_vect) //obsluha interruptoveho preruseni pri
doaszeni porovnavaci hodnoty v OCR2 citace/casovace 2
{
    if (overflow == 0) //promenna overflow slozi proto aby bylo mozne
merit citacem 2 preceteni jeho OCR0
    {
        overflow = 1;
    }
    if (overflow == 1)
    {
        timer0_stop();
        measuring = 1;
        counter_overflow = 1;
    }
}

int main(void)
{
    DDRA = 0x00; //nastaveni portu A jako vstupni
    DDRB = 0b00000001; //nastaveni portu B
    DDRC = 0x00; //nastaveni portu C
    DDRD = 0b00111111; //nastaveni portu D pro displej
    DDRE = 0b00000110; //nsataveni portu E

    lcd_init(LCD_DISP_ON); // inicializace LCD
    lcd_clrscr(); // smazani LCD displeje
    lcd_gotoxy(0,0); // nastavení kurzoru na pozici x0, y0

    comparator_init();

    sei(); //povoleni interruptu

while (1)
{
    while(1) //funkce 1 v menu zobrazujici a nesutale merici vzdalenost
    {
        lcd_clrscr();
        lcd_gotoxy(0,0);
        lcd_puts("Zmer. zdalenost");
        display_distance(); //vypocet a zobrazeni zmerene vzdalenosti

        if (touch_button('e') ==1) //pokud je stisknut enter, tak prechod na
dalsi polozku menu
            break;
        if (touch_button('c') == 1)
        {
            //pokud propojka na comparator, prechod do serizovaciho modu komparatoru
            comparator_setting();
            break;
        }
    }

    while(1) //funkce 2 v menu pro nastaveni a nasledne
vyhledani pozadovane vzdalenosti
    {
        char find_distance[5]={0};
        PORTE &=0b11111101;

        sprintf(find_distance,"%02d",find_meas);
    }
}

```

```

    lcd_clrscr();
    lcd_gotoxy(0,0);
    lcd_puts("Hledani ");
    lcd_puts(find_distance);
    lcd_puts(" cm");
    display_distance();

    if (display_distance() == find_meas)
    {
        PORTE |=0b00000010;
        buzzer();
    }

    if (touch_button('u'))
    {
        if (find_meas < 71)
        {
            find_meas = find_meas + 1;
        }
    }
    if (touch_button('d'))
    {
        if (find_meas > 1)
        {
            find_meas = find_meas - 1;
        }
    }

    if (touch_button('e') ==1) //podminka, pokud enter prechod na 3. while
        break;
    if (touch_button('c') == 1)
    {
        comparator_setting();
        break;
    }
}

while(1) //cyklus, který slouží jako 3. položka menu
zobrazující na displeji teplotu
{
    char temperature_c[20] = {0};

    therm_read_temperature(temperature_c); //nactena hodnota z termometru
ve formátu XXX.XXXX

    lcd_gotoxy(0,0);
    lcd_puts("Teplota okoli");

    lcd_gotoxy(7,1);
    sprintf("%s",temperature_c);
    lcd_puts(temperature_c);

    if (touch_button('e') ==1) //podminka, pokud enter prechod na 1. while
        break;
    if (touch_button('c') == 1) //pokud propojka na comparator, prechod
do serizovaciho modu komparatoru

```

```

        {
            comparator_setting();
            break;
        }

        _delay_ms(500);
    }
}

unsigned char touch_button(char button_0) //funkce slouzici pro softwarove
osetreni zakmitu mechanickych tlacitek
{
    unsigned char a, b, button_1; //promenne pro 2 vzorky a pro vyber 1
ze 3 tlacitek
    switch (button_0) //vyber vymaskovavaci hodnoty pro
tlacitka enter, up, down
    {
        case 'e':
            button_1 = 0b00010000;
            break;
        case 'u':
            button_1 = 0b00000100;
            break;
        case 'd':
            button_1 = 0b00001000;
            break;
        case 'c':
            button_1 = 0b00000001;
            break;
    }

    a = PINC & button_1; //vymaskovani bitu PC4
    _delay_ms(10); //prodleva na ustaeni zakmitu tlacitka
    b = PINC & button_1; //vymaskovani bitu PC4

    if (a==b && a==0)
        return 1;
    else
        return 0;
}

void comparator_setting() //funkce pro nastaveni porovnavaci
hodnoty komparatoru pomoci vnejsiho trimru
{
    while (1)
    {
        timer0_init(); //inicializace citace/casovace 0
        timer2_init();
        do
        {
            PORTB &= 0b11101111;
        }
        while (measuring == 0);

        if (counter_overflow == 0)
        {
            PORTB |= 0b00010000; //signalizace spravneho nastaveni
komparatoru
        }
    }
}

```

```

        _delay_ms(200);
    }
    if (touch_button('c') == 0)
        break;

    measuring = 0;
    counter_overflow = 0;
}

void timer0_init() //inicializace citace/casovace 0
{
    TCCR0 |= (1 << WGM21)|(0 << WGM20)|(1 << CS00)|(0 << COM01)|(1 << COM00);
    // nastaveni ctc modu, preddelicky na hodnotu 1 a portu PB0

    TIMSK|=(1<<TOIE0); //povoleni interruptu

    TCNT0 = 0; // inicializace casovace

    OCR0 = 99; // inicializace porovnavaci hodnoty
}

void timer0_stop()
{
    TCCR0 |= (0 << COM01)|(0 << COM00); //zastaveni vysilani na PB0
}

void timer2_init() //inicializace citace/casovace 2
{
    TCCR2 |= (1 << WGM01)|(0 << WGM00)|(0 << CS22)|(1 << CS21)|(1 << CS20)|(0 <<
COM21)|(0 << COM20); // nastaveni ctc modu a preddelicky na 64

    TIMSK|=(1<<TOIE2); //povoleni interruptu

    TCNT2 = 0; // inicializace casovace

    OCR2 = 255; // inicializace porovnavaci hodnoty

    measuring = 0; // inicializace casovace
}

void comparator_init() //inicializace komparatoru
{
    ACSR |= (1 << ACIS1)|(0 << ACIS0);
}

void buzzer() //funkce pro pipnuti pri nalezeni hledane vzdalenessi
{
    for (int i = 0; i < 1000; i++)
    {
        _delay_us(185);
        PORTE |= 0b00000100; //privedeni log. 1 na PE2
        _delay_us(185);
    }
}

```

```

    PORTE &= 0b11111011;          //privedeni log. 0 na PE2
  }
}

int display_distance()          //funkce pro vypocet a zobrazeni zmerene vzdalenosti
{
  char distance_result[5];
  int8_t digi;
  uint16_t deci;

  timer0_init();
  timer2_init();

  do
  {
  } while (measuring == 0 );

  if (counter_overflow == 1)          //pokud pretekla citac/casovac 2,
  zobrazeni "mimo rozsah"
  {
    lcd_gotoxy(4,1);
    lcd_puts("mimo rozsah");
    return 0;
  }

  else
  {
    therm_read_temperature2(digi, deci);    //nacteni teploty okoli

    ultrasonic_speed = (33130*(0.602*(double)digi));
    //vypocet rychlosti zvuku
    distance_double = ((double)state_TCNT2 * 0.000008 *ultrasonic_speed)/2.0;
    //vypocet zmerene vzdalenosti
    distance = (int)distance_double;

    if (((int)(distance_double + 0.5)-distance) == 1)    //rozhodovani o
  zaokrouhleni zmerene vzdalenosti
    {
      distance = distance + 1;
    }

    sprintf(distance_result,"%d",distance);    //ulozeni vysledku do
  pole, pro nasledne zobrazeni na displeji

    lcd_gotoxy(11,1);

    lcd_puts(distance_result);                //zobrazeni vysledku
    lcd_puts(" cm");

    return distance;
  }

  measuring = 0;
  counter_overflow = 0;
  _delay_ms(200);
}

```