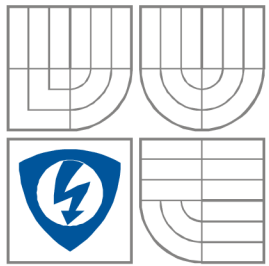


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

BEZDOTYKOVÝ MĚŘIČ VÝŠKY VODNÍ HLADINY

NON-CONTACT METER OF WATER LEVEL

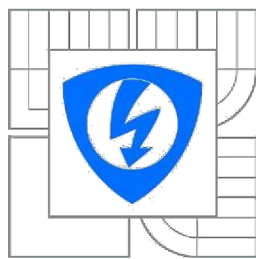
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Václav Pálka

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. Václav Říčný, CSc.



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Václav Pálka

ID: 146920

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Bezdotykový měřič výšky vodní hladiny

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte bezdotykový měřič výšky vodní hladiny. Bakalářská práce necht' obsahuje:

- detailní blokové schéma měřiče,
- obvodový návrh dílčích funkčních bloků,
- kompletní podklady pro realizaci měřiče,
- realizaci a funkční ověření měřiče.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] OBRAZ, J. Ultrazvuk v měřicí technice. Praha: SNTL, 1984.

[2] ŠKODA, J. Senzory pro měření vzdálenosti [online]. Brno: FEKT VUT v Brně, 2004. Dostupné na
www: http://web.umel.feec-vutbr.cz/BMMS/.%5Cprojekty_2004%skoda%5Cindey.html

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 30.5.2014

Vedoucí práce: prof. Ing. Václav Říčný, CSc.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato práce popisuje návrh a problematiku konstrukce bezdotykového měřiče výšky vodní hladiny v uzavřeném prostoru (typicky studni) do vzdáleností měření jednotek metrů. Dílo obsahuje teoretický rozbor možných způsobů měření a popis konstrukce, spolu s návrhy konstrukčního řešení jednotlivých funkčních bloků a ověřením jejich funkce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Měření vzdálenosti, ultrazvuk, mikroprocesor.

ABSTRACT

This paper describes the design and construction issues contactless meter water level in an enclosure (typically well) in distance measurement units of meters. The work includes theoretical analysis of possible ways to measure and describe the design, along with the design of individual functional blocks and verifying their function.

KEYWORDS

Distance measurement, ultrasound, microprocessor.

PÁLKA, V. *Bezdotykový měřič výšky vodní hladiny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 42 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Václav Říčný, CSc..

PROHLÁŠENÍ

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

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

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. ing. Václavu Říčnému, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	x
Seznam tabulek	xi
1 Úvod	1
1.1 Princip měření	1
1.2 Teorie ultrazvukové vlny	2
1.2.1 Rychlost šíření	2
1.2.2 Útlum vlnění	3
1.2.3 Výpočet vzdálenosti při známé rychlosti šíření	3
1.3 Srovnání vlastností alternativ řešení a) a c)	3
1.3.1 Alternativa a) Ultrazvuk	3
1.3.2 Alternativa c) Infračervené vlny	4
1.3.3 Výběr vhodné metody	4
1.4 Parametry měřicího signálu	4
2 Blokové schéma měřiče	7
2.1 Blokové schéma	7
3 Obvodový návrh dílčích funkčních bloků měřiče	8
3.1 Akustické měniče	8
3.2 Vysílací blok	8
3.2.1 Zesilovač	8
3.2.2 Oscilátor	9
3.3 Přijímací blok	9
3.4 Zobrazovač	10
3.5 Procesor	11
3.6 Napájení	12
3.6.1 Napěťová větev +5V	12
3.6.2 Napěťová větev -5V	13
3.7 Ovládání	14
3.8 Periferie	15

3.8.1	Baterie	15
3.8.2	Nabíječka	16
4	Celkové schéma zapojení a podklady pro realizaci	17
4.1	Primární část	17
4.1.1	Schéma.....	17
4.1.2	Seznam součástek	18
4.1.3	Deska plošného spoje.....	19
4.2	Část periferií	20
4.2.1	Schéma.....	20
4.2.2	Seznam součástek	20
4.2.3	Deska plošného spoje.....	21
5	Realizace a funkční ověření	22
5.1	Software	22
5.1.1	Zvolení módu měření	22
5.1.2	Vysílání	22
5.1.3	Příjem.....	23
5.1.4	Nastavení hloubky	23
5.1.5	Vyhodnocení výšky vodní hladiny	24
5.1.6	Zobrazení	25
5.2	Ověření funkčnosti.....	27
5.2.1	Vyslaný signál.....	27
5.2.2	Přijatý signál	28
5.2.3	Ověření v praxi	29
6	Závěr	31
	Reference	32

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Princip pulzního akustického měření vzdálenosti	1
Obr. 2: Graf závislosti rychlosti šíření vlny ultrazvuku na teplotě a vlhkosti	4
Obr. 3: Časové průběhy vysílaného a přijímaného akustického signálu	5
Obr. 4: Blokové schéma.....	7
Obr. 5: Zesilovací člen vstupní větve	8
Obr. 6: Zapojení zesilovače a filtru na přijímací větvi	9
Obr. 7: Zapojení zobrazovače	10
Obr. 8: Pinout diagram procesoru	12
Obr. 9: Stabilizátor napětí pro větev napětí +5V	13
Obr. 10: Invertor napájecího napětí z +5V na -5V	13
Obr. 11: Zapojení ovládacích tlačítek.....	14
Obr. 12: Zapojení napájení	15
Obr. 13: Akumulátor	16
Obr. 14: Schéma primární části	17
Obr. 15: DPS primární části.....	19
Obr. 16: Schéma části periférií	20
Obr. 17: DPS periférií	21
Obr. 18: Vysílaný signál	27
Obr. 19: Perioda vysílaných signálů	27
Obr. 20: Odražený signál č. 1 (kratší vzdálenost).....	28
Obr. 21: Odražený signál č. 2 (delší vzdálenost).....	28
Obr. 22: Praktické ověření měření vzdálenosti.....	29
Obr. 23: Praktické ověření primární funkce	30

SEZNAM TABULEK

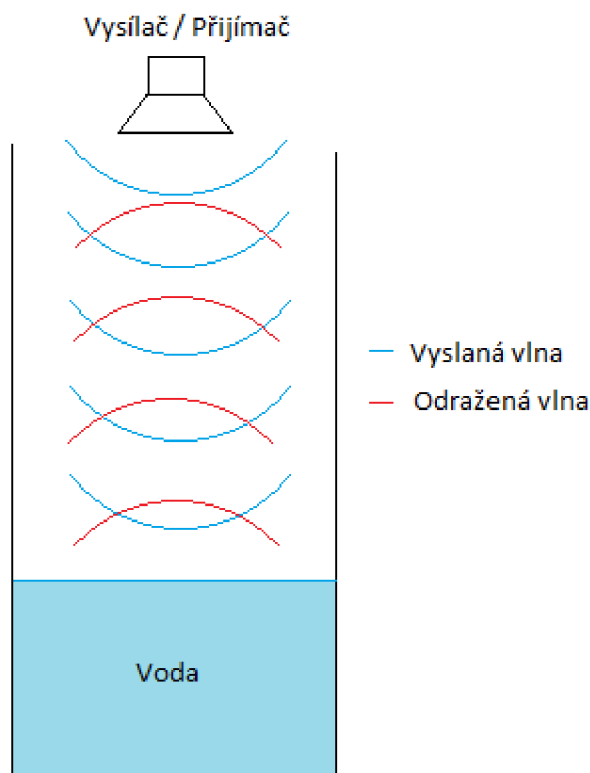
Tab. 1: Specifikace procesoru ATmega644A	11
Tab. 2: Specifikace akumulátoru	15
Tab. 3: Seznam součástek primární části	18
Tab. 4: Seznam součástek části periferií.....	20

1 ÚVOD

1.1 Princip měření

K bezdotykovému měření výšky vodní hladiny ve studni lze využít princip pulzního měření vzdálenosti (Obr. 1) mezi vysílačem a přijímačem některé formy záření (princip radaru). Při něm se vyhodnocuje čas mezi vyslaným a přijatým impulsem modulovaným některým typem vlnění a z něj se pro známou rychlost šíření vypočítává vzdálenost (vztah 1.6). Podle typu vln lze využít:

- ultrazvuk,
- elektromagnetické vlny v pásmu cm vln,
- infračervené vlny,
- koherentní laserové záření,



Obr. 1: Princip pulzního akustického měření vzdálenosti

V případě tohoto zadání je požadováno měření vzdáleností cca do 5m (od krytu studny po vodní hladinu) v prakticky tmavém prostředí a jinými signály nerušeném prostředí. Při známé hloubce studny musí být zobrazitelná i výška vodní hladiny. Výpočet a zobrazení tohoto údaje musí umožňovat procesor.

Určitý problém může působit účinnost odrazu použitého vlnění od vodní hladiny, která je určující pro stanovení potřebného výkonu vysílaného signálu a citlivosti snímače odraženého signálu. Problém s přesností měření může také představovat závislost rychlosti šíření vlnění na teplotě a vlhkosti, které mohou v daném prostředí

1.2.2 Útlum vlnění

Při průchodu vlny prostředím dochází ke ztrátě intenzity vlny, což je způsobeno především ztrátovým předáváním energie, při čemž se snižuje akustický tlak. Nezanedbatelnou velikostí se ultrazvuková vlna utlumí také při odrazu od vodní hladiny, kdy část vlny projde skrz a část (echo) se odrazí zpět. Protože matematické vyjádření by bylo velmi obtížné a bude provedeno experimentální ověření velikosti odrazu, které bude následně kompenzováno zvýšením zesílení přijímače.

Pro útlum ve vzduchu platí rovnice

$$\alpha = \alpha_v + \alpha_t = \frac{2\pi^2}{\rho \cdot v^3} \cdot \left[\frac{4}{3} \cdot \eta \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{c_v} \cdot \frac{1}{c_p} \right) \right] \cdot f^2 = \alpha \cdot f^2$$

[dB·mm⁻¹·MHz⁻¹], [1.5]

kde:	ρ	hustota prostředí	[kg·m ⁻³],
	v	rychlost ultrazvuku	[m·s ⁻¹],
	η	dynamická viskozita	[Pa·s],
	Q	tepelná vodivost,	
	c_v	měrná teplota při konstantním objemu	[J·kg ⁻¹ · K ⁻¹],
	c_p	měrná teplota při konstantním tlaku	[J·kg ⁻¹ · K ⁻¹].

1.2.3 Výpočet vzdálenosti při známé rychlosti šíření

$$s = \frac{v \cdot t_x}{2}$$

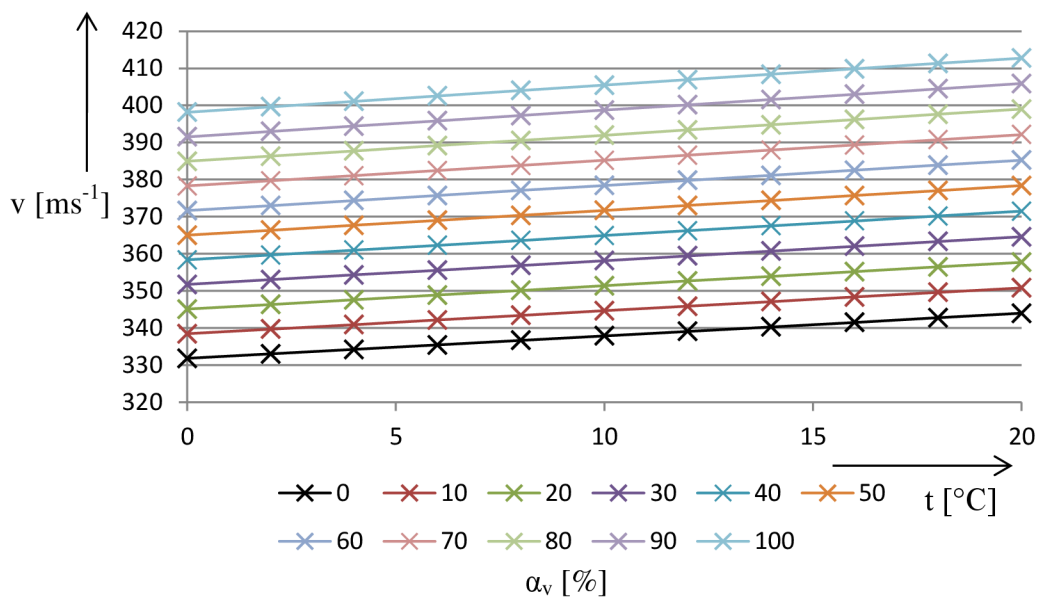
[m·s⁻¹], [1.6]

kde:	s	vzdálenost	[m],
	v	rychlost šíření vlny v prostředí	[m·s ⁻¹],
	t_x	čas šíření vlny prostředím	[s].

1.3 Srovnání vlastností alternativ řešení a) a c)

1.3.1 Alternativa a) Ultrazvuk

Ultrazvukem označujeme zvuky, které mají vyšší kmitočet než je schopno slyšet průměrné lidské ucho. Při realizaci musíme zvážit fakt, že rychlost šíření zvukové vlny se mění se změnou prostředí. Změnou teploty i vzdušné vlhkosti se téměř lineárně mění i rychlost šíření zvuku. Tuto odchylku je možné kompenzovat. Při znalosti teploty a vlhkosti prostředí lze podle vzorce 1.4 vynést tuto závislost do grafu (Obr. 2).



Obr. 2: Graf závislosti rychlosti šíření vlny ultrazvuku na teplotě a vlhkosti

Vzhledem ke skutečnosti, že měření bude probíhat ve studni, kde lze předpokládat stále a jen málo proměnné podmínky můžeme tento fakt zanedbat. Tato chyba by se měla rovnat změně rychlosti zvuku ve vzduchu, přičemž z experimentálního měření vyplývá, že se teplota ve studni pohybuje v rozmezí 5-15 °C a vlhkost neklesá pod 90%. Z daných hodnot bylo pomocí vzorce 1.4 určeno, že rychlost zvuku se pohybuje v rozmezí 395,1-409,1 ms⁻¹, což odpovídá relativní chybě způsobené změnou podmínek maximálně 3,54% a proto ji není třeba nijak kompenzovat.

1.3.2 Alternativa c) Infračervené vlny

Infračervené vlnění je elektromagnetické záření o vlnové délce větší než u viditelného světla, avšak kratší než u mikrovln. Pro realizaci této alternativy by bylo možné použít vhodnou směrovou infračervenou diodu. Při uvážení, že se jedná o metodu využívající světelného záření, musíme počítat s problémem při odrazu od vodní hladiny, kde může nastat rozptyl paprsku, či jeho nízko-odrazový průchod a následný útlum ve vodní hladině. Avšak mezi výhody patří fakt, že rychlost světla je jen minimálně závislá na změně teploty a vlhkosti vzduchu.

1.3.3 Výběr vhodné metody

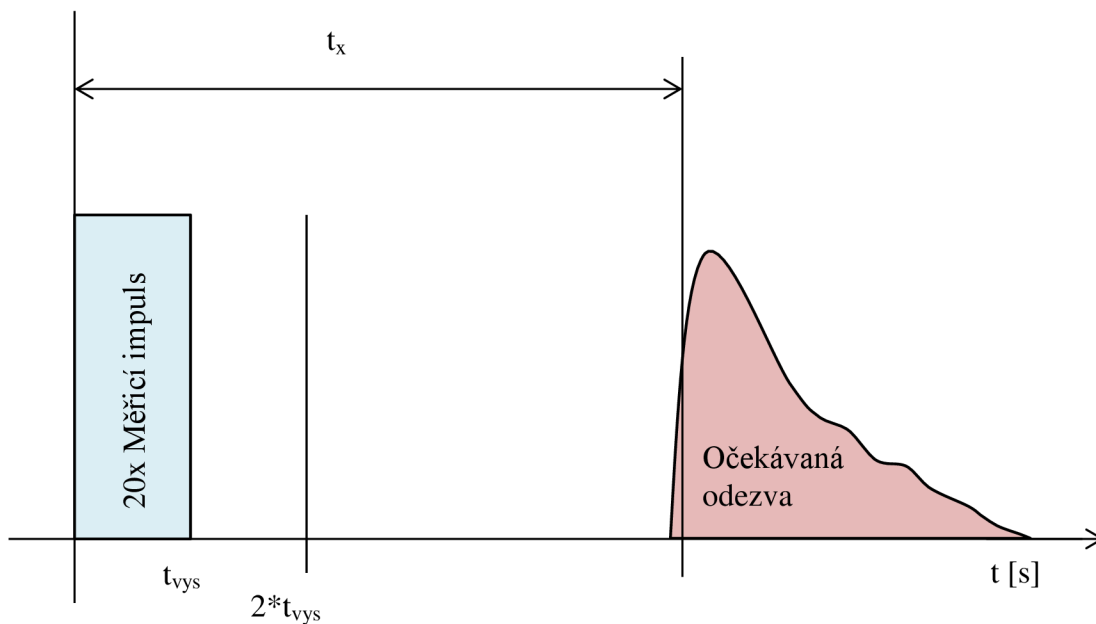
Po zvážení výhod a konzultaci s vedoucím práce jsem se rozhodl upřednostnit ultrazvuk, a to především z důvodu problémů s větším útlumem odrazu infračerveného signálu od vodní hladiny. Odražený signál by nemusel být dostatečně silný pro zpětnou detekci signálu, čímž by bylo zapotřebí zvýšit výkon nebo zařadit další zesilovací členy, což by neodpovídalo snaze o jednoduché a levné řešení.

1.4 Parametry měřicího signálu

Volba parametrů signálu vychází především z předpokládané odezvy prostředí na určitý ultrazvukový signál do něj přivedený. Z rovnice 1.5, která určuje útlum ultrazvukové vlny, vyplývá, že útlum signálu se kvadraticky zvyšuje se stoupající

frekvencí. Proto by se pracovní frekvence zařízení neměla pohybovat nad hranicí 100kHz. Po zvážení dostupných ultrazvukových měničů byly vybrány měniče pracující na frekvenci 40kHz.

Měřič pracuje v pulzním režimu, V něm je vysílán jeden nebo několik intenzivních akustických impulzů a měří se doba, za níž se vrátí odražený impuls zpět ke snímači (Obr. 3). Tyto pulzy jsou modulovány signálem s frekvencí, která odpovídá pracovnímu kmitočtu ultrazvukového měniče, v tomto případě 40 kHz.



Obr. 3: Časové průběhy vysílaného a přijímaného akustického signálu

Meze měření určuje především doba vysílání pulzů, čímž ohraničíme minimální měřenou vzdálenost. Maximální měřenou vzdálenost v konstantním prostředí určuje především citlivost senzoru a námi vyzářený výkon. Musíme proto dbát na to aby se cyklus opakování měření neaktivovat v době, kde se ještě nenavrátilo echo, popřípadě neustaly přeslechy.

Minimální měřitelnou vzdálenost vypočítáme

$$s_{min} = \frac{t_{vys} \cdot v}{2} \quad [m], \quad [1.7]$$

kde s_{min} minimální měřitelná vzdálenost [m],
 t_{vys} doba vysílání sady pulzů [s],
 v rychlost zvuku [$m \cdot s^{-1}$].

V případě této aplikace zvolíme 20 pulzů, což by měl být dostačující signál, který ještě nepřesahuje délku, kdy by mohl způsobit přeslechy

$$t_{vys} = \frac{N}{f_m} \quad [s], \quad [1.8]$$

kde: N počet pulzů,
 f_m pracovní frekvence měniče [Hz].

Pro výpočet minimální měřené vzdálenosti budeme uvažovat rychlost zvuku při 10 °C a 90% vlhkosti, což odpovídá průměrným hodnotám v uzavřené studni.

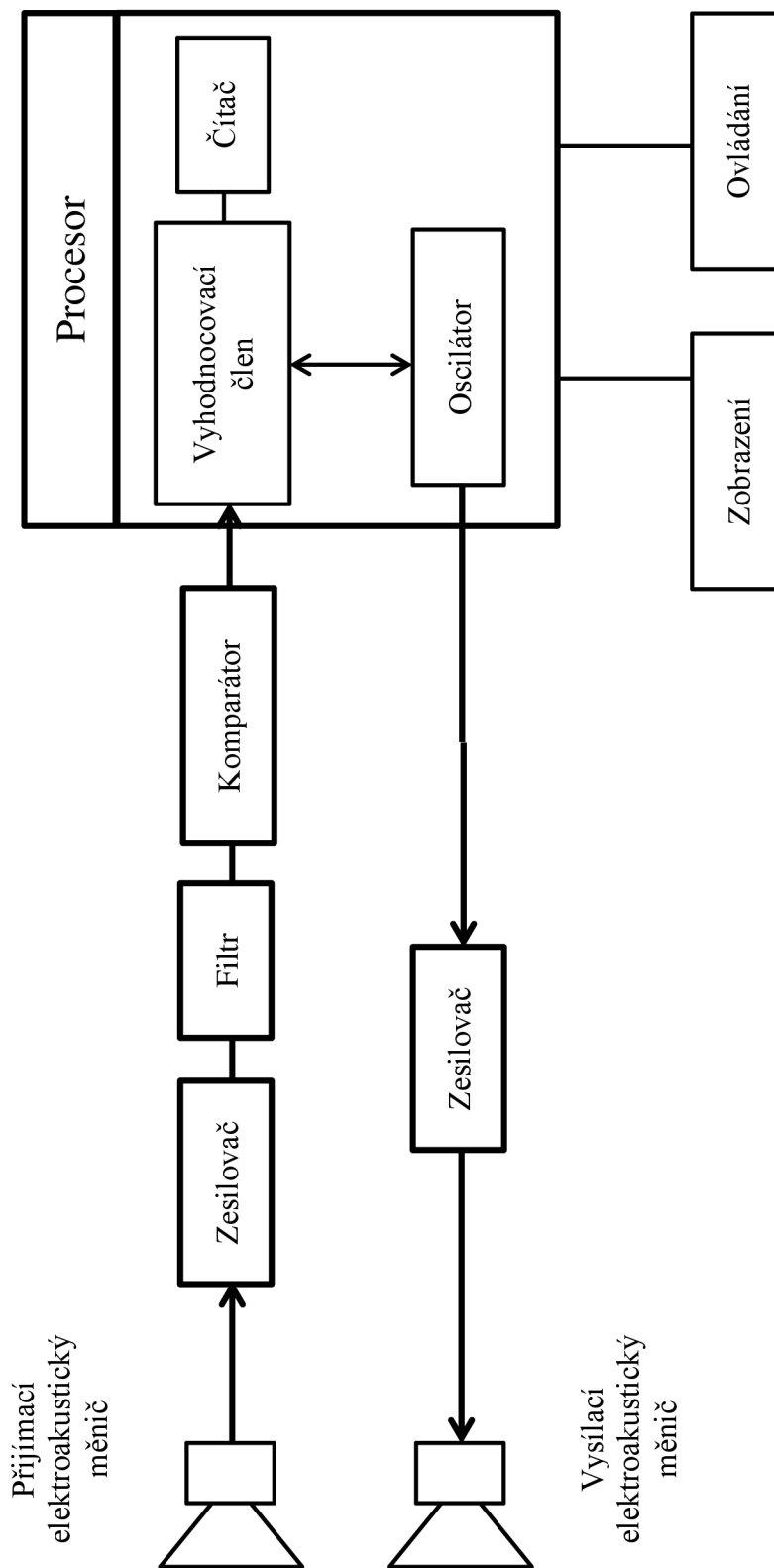
Příklad výpočtu (1.4),(1.7),(1.8):

$$v(t) = 331,82(1 + 1,83 \cdot 10^{-3} \cdot 10) \cdot (1 + 2 \cdot 10^{-3} \cdot 90) = 398,71 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$
$$t_{vys} = \frac{20}{40 \cdot 10^3} = 0,5 \text{ ms} \quad s_{min} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 398,71}{2} = 99,6 \text{ mm}$$

Čas v přijímacím módu můžeme s rezervou stanovit na 100 ms, čímž získáme dostatečnou rezervu pro utlumení předešlého vysílání, protože za tuto dobu urazí signál 40 metrů což je při předpokládané hloubce studny cca 5m asi čtyřnásobek vzdálenosti pokud uvažujeme cestu signálu tam i zpět.

2 BLOKOVÉ SCHÉMA MĚŘIČE

2.1 Blokové schéma



Obr. 4: Blokové schéma

3 OBVODOVÝ NÁVRH DÍLČÍCH FUNKČNÍCH BLOKŮ MĚŘIČE

3.1 Akustické měniče

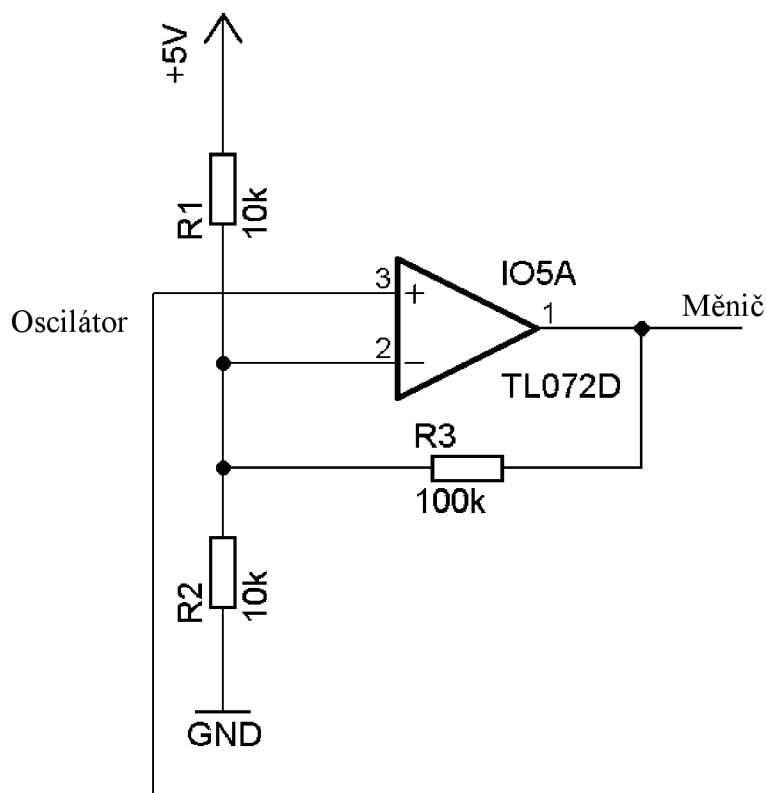
Při zachování představy jednoduchého a levného mobilního zařízení, které se zasune do otvoru ve studni a změří výšku její hladiny, je nutné vhodně zvolit správný akustický měnič.

Jako ideální volba se jeví měniče, které jsou opatřeny voděodolným krytem s úzkou vyřazovací charakteristikou. Jejich nevýhodou je však příliš vysoká cena, a proto v případě tohoto použití budou použity levnější měniče, které za nižší cenu odvedou stejnou službu. Konkrétně byly zvoleny měniče UST40T a UST40R. Tyto měniče jsou snadno k dostání za nízkou cenu a svými vlastnostmi dostačují plánované aplikaci.

3.2 Vysílací blok

3.2.1 Zesilovač

Jako zesilovací prvek byl zvolen operační zesilovač. Mezi jeho velké výhody patří snadné nastavení úrovně zesílení, nízká spotřeba, vysoký vstupní a nízký výstupní odpor. V zapojení (Obr. 5) je použit konkrétně operační zesilovač TL072, což je běžný operační zesilovač, čímž získáme vyšší špičkové napětí na vstupu akustického měniče.



Obr. 5: Zesilovací člen vstupní větve

3.2.2 Oscilátor

Pro jednoduchost zapojení byl zvolen procesor s vnitřním oscilátorem. Při úvaze, že napětí oscilátoru se bude pohybovat v rozmezí 0V až do hodnoty napájecího napětí, byl zesilovači pomocí odporového děliče R1 a R2 udělen offset o velikosti poloviny napájecího napětí, čímž u zesilovače docílíme i záporného rozmitání napětí, čímž získáme při symetrickém napájení 5V až 10V špičkového napětí.

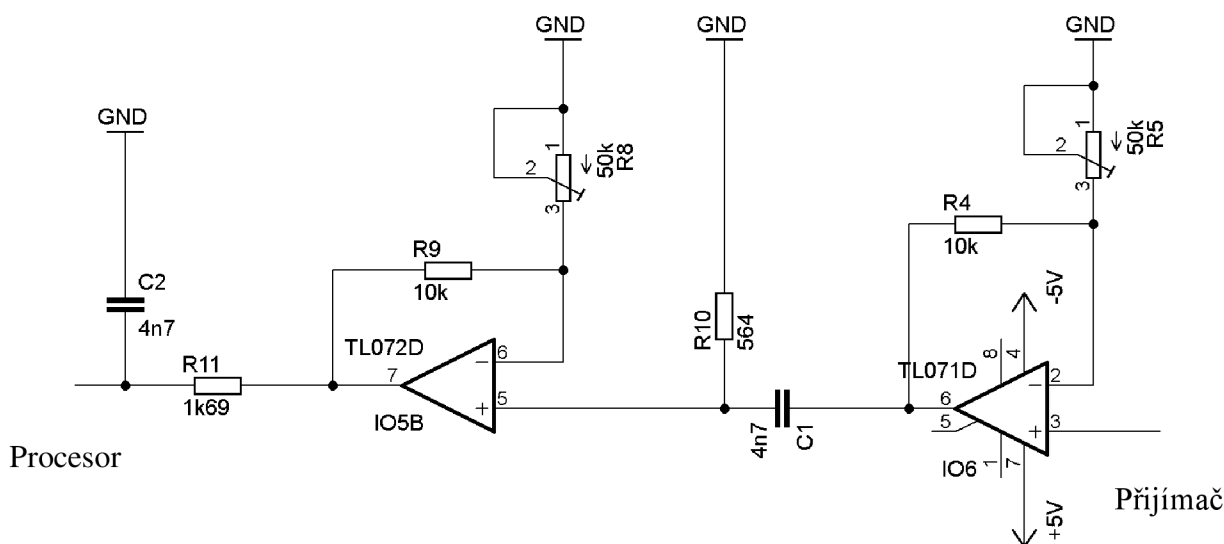
3.3 Přijímací blok

Na vstupu přijímací části (Obr. 6) obvodu je zapojen jako předzesilovač operační zesilovač TL071D, který je zapojen v neinvertujícím zapojení, kdy je na jeho vstup zapojen pouze přijímací měnič. Tímto obvodem je zesílen příchozí signál, který dále následně v dalším stupni opět zesílíme a odfiltrujeme nežádoucí signály.

Díky skutečnosti, že měření bude probíhat ve studni, což lze považovat za stálé a odrušené prostředí, není tedy nezbytné konstruovat filtry vyšších řádů a zcela pro tento případ postačí horní a dolní propust prvního řádu. Hodnoty součástek filtrů tvořených RC články se vypočtou pomocí vzorce

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad [\text{Hz}], \quad [3.1]$$

kde R odpor [Ω],
C kapacita [F].



Obr. 6: Zapojení zesilovače a filtru na přijímací větvi

V zapojení zesilovacího stupně je nejdříve zavedena horní propust 1. řádu s mezní frekvencí 20 kHz. Dále následuje operační zesilovač TD072, který má společné pouzdro a je shodný se zesilovačem ve vysílací části obvodu. Tento člen také plní funkci impedančního oddělení dolní a horní propusti. Na výstupu obvodu ještě figuruje dolní propust s mezní frekvencí 60kHz.

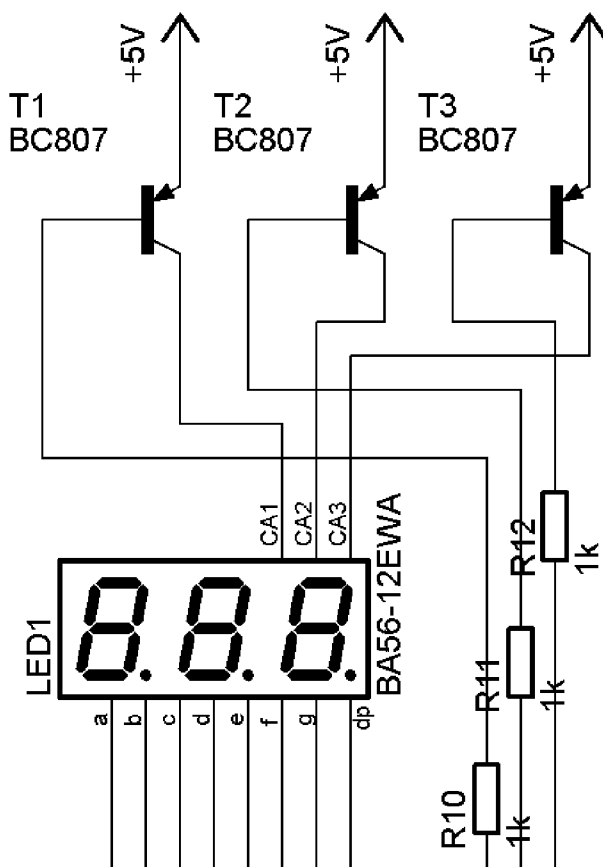
3.4 Zobrazovač

Jako zobrazovací člen byl zvolen 3místný sedmi-segmentový displej, který bude zobrazovat změřenou vzdálenost v jednotkách centimetrů.

Zvolený typ displeje je zapojen do maticového uspořádání se společnou anodou. Toto uspořádání je vhodné k ovládání vicemístných displejů, jenž nemají vlastní řadič.

Na obrázku (Obr. 7) je uvedeno zapojení zobrazovače. Jak je patrné, pro ovládání společné anody byly použity tranzistory, protože samotný procesor by nebyl schopen dodávat potřebný proud pro zobrazování. Byly použity hojně užívané PNP tranzistory BC807.

Pomocí rezistorů R10-12 je vhodně upraven proud do báze, aby došlo k dostatečnému otevření tranzistorů a bylo docíleno rozsvícení segmentového displeje.



Obr. 7: Zapojení zobrazovače

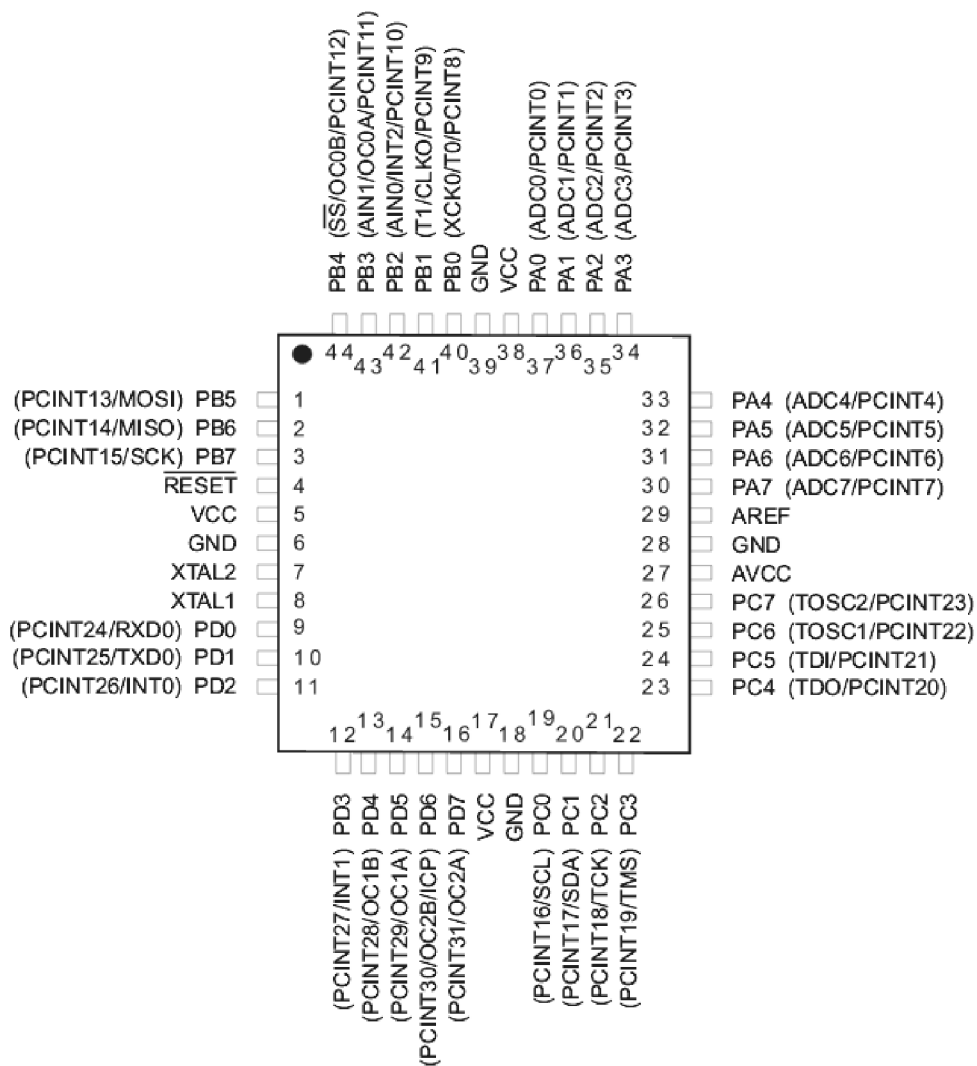
3.5 Processor

Processor řídí činnost měřiče, zpracovává výsledky a zobrazuje výsledný údaj. Zvolený procesor bude obsahovat vnitřní oscilátor, který zjednoduší schéma zapojení a následně i nároky na desku plošného spoje.

Vzhledem k záměru napájet zařízení z baterie je více než vhodné volit nízko příkonový procesor, který umožňuje použití i nižšího napětí. V mém zapojení byl použit 44 pinový procesor ATmega644A (Obr. 8, Tab. 1). Pro napájení bylo zvoleno napájecí napětí 5V, které je vhodné pro procesor a dostatečné i pro dosažení dostatečného vysílacího výkonu bez potřeby vytvářet složité násobiče napětí. Dále je tento procesor vhodný v případě že se rozhodneme použít nižší napětí, například při napájení Li-Pol článkem, který má výstupní napětí cca 3,6V.

Tab. 1: Specifikace procesoru ATmega644A (převzato z [6])

Napájecí napětí	1,8V - 5,5V
Počet pinů (I/O pin)	44 (32)
Paměť programu	64 kB
EEPROM paměť	2 kB
RAM paměť	4 kB
Rychlost CPU	20 MHz
Periferní zařízení	ADC, DAC, DMA, RTC
Vestavěné typy rozhraní	I2C, SPI, USART, USB
Rozsah pracovních teplot	-40°C – 85°C



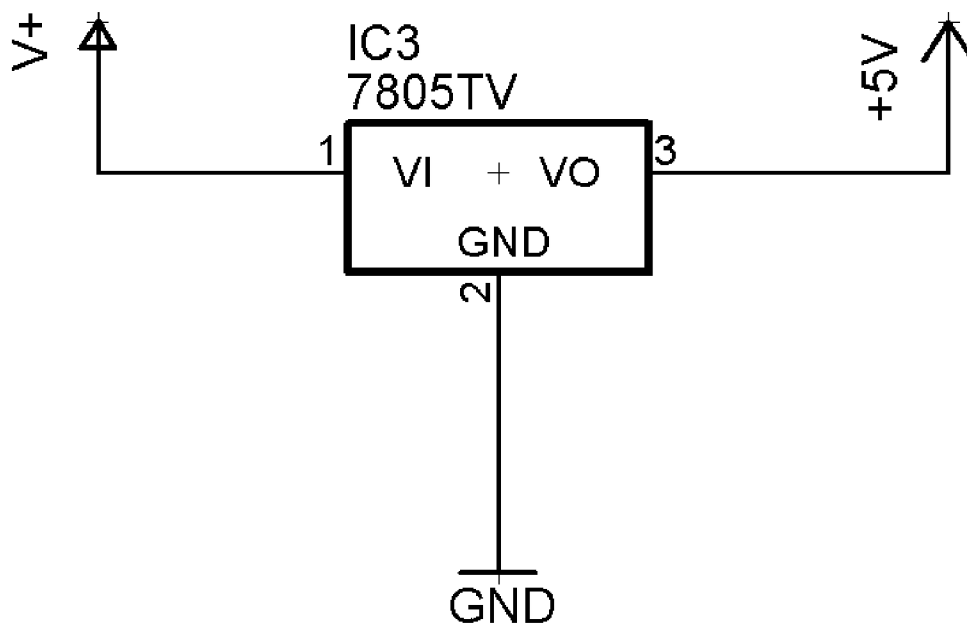
Obr. 8: Pinout diagram procesoru (převzato z [3])

3.6 Napájení

Pro správnou funkci zařízení je více než vhodné zajistit stálé a konstantní napětí.

3.6.1 Napěťová větev +5V

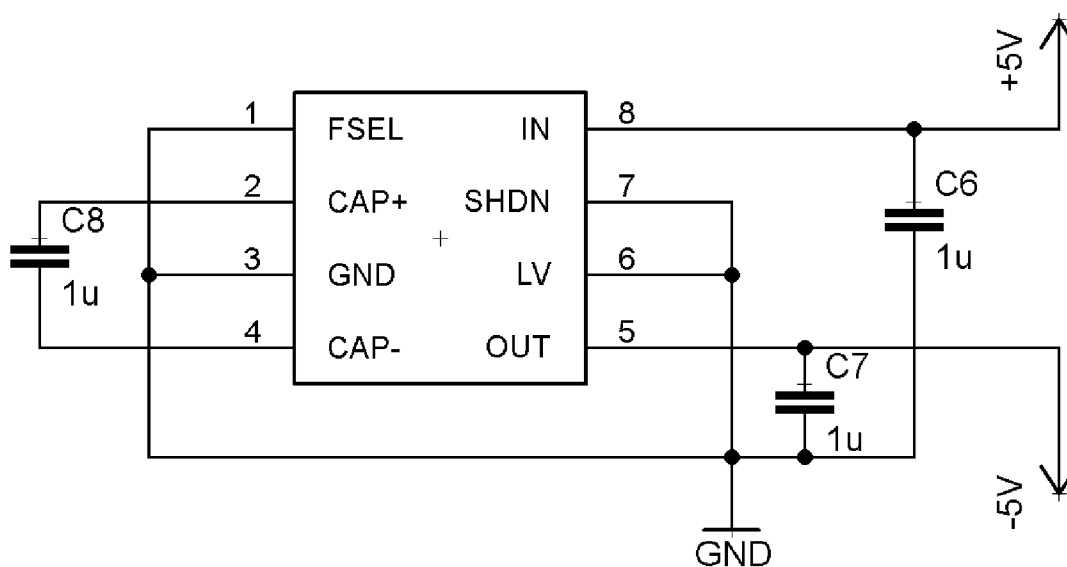
Napětí 5V bylo zvoleno jako referenční pro celý obvod. Je spousta integrovaných obvodů, kterými se lehce dosáhne stabilizace napětí. Pro tento účel byl vybrán stabilizátor LM7805 vyráběný společností Texas Instruments. Tento obvod má fixní výstupní napětí 5V, což výrazně usnadňuje jeho zapojení (Obr. 9).



Obr. 9: Stabilizátor napětí pro větev napětí +5V

3.6.2 Napěťová větev -5V

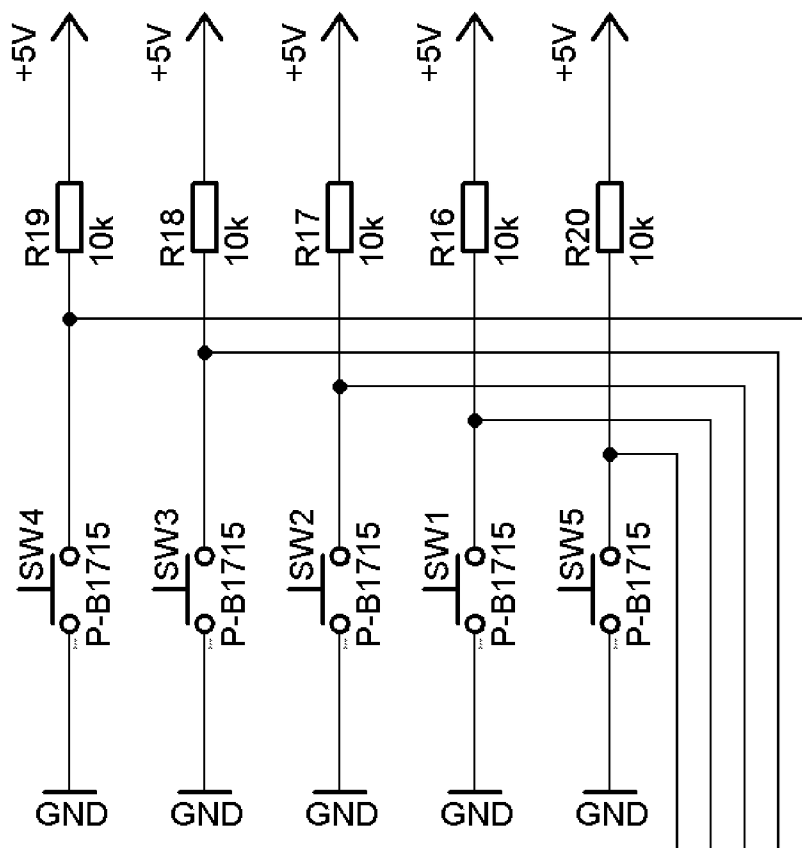
Většina operačních zesilovačů vyžaduje symetrické napájení. Proto je do obvodu zapojen (Obr. 10) invertor napětí MAX1681 vyráběný firmou Maxim Integrated, který snadno invertuje napětí. Invertováním napětí získáme dvounásobné špičkové napětí, které využijeme pro vyšší vyzářený výkon na akustickém měniči.



Obr. 10: Invertor napájecího napětí z +5V na -5V

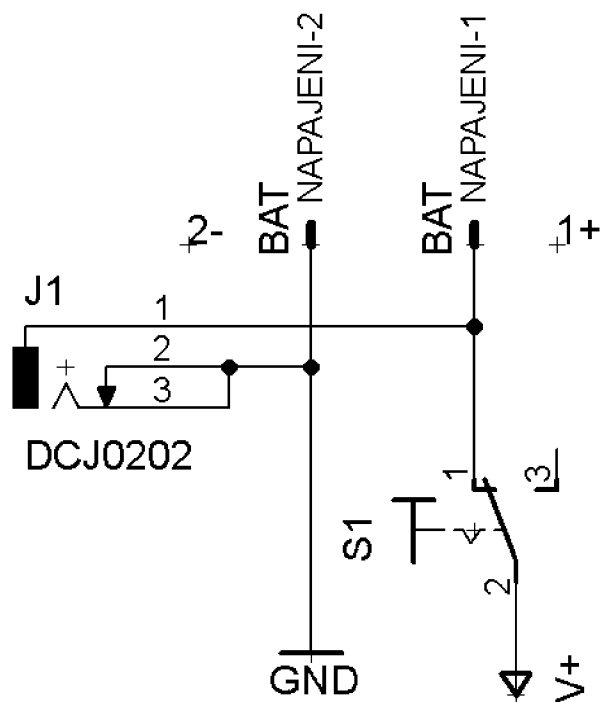
3.7 Ovládání

Celý obvod bude ovládán pomocí několika tlačítek, které jsou připojeny na vstup procesoru. Toto zapojení (Obr. 11) je provedeno pomocí tlačítek P-B1715, které jsou přes ochranný rezistor připojeny na napájení. Aktivní hodnota u tlačítek bude brána jako Low hodnota referenčního napětí. Obdobně je zapojeno i tlačítko reset procesoru.



Obr. 11: Zapojení ovládacích tlačítek

Jako další ovládací člen byl zařazen spínač P-MS611A, který bude pracovat jako spínač celého obvodu (Obr. 12). Dále je do zapojení napájení připojen konektor DCJ0202, který slouží k nabíjení akumulátoru, popřípadě k napájení zařízení.



Obr. 12: Zapojení napájení

3.8 Periferie

3.8.1 Baterie

Jako zdroj napájení může sloužit jakýkoliv akumulátor či baterie s napětím vyšším než 7,5V, které je vhodné pro ideální funkci stabilizátoru. Vzhledem ke kladeným nárokům byla zvolena klasická 9V nabíjecí baterie. Konkrétně se jedná o RTU-HR22 (Tab. 2 Obr. 13), který by měl dodávat dostatečné množství energie pro celý obvod.

Tab. 2: Specifikace akumulátoru

Výrobce	Teccus
Typ baterie	NiMH
Napětí	8,40 V
Kapacita	0,200 Ah
Velikost	48x26x15 mm
Hmotnost	0,042 kg



Obr. 13: Akumulátor (převzato z [8])

3.8.2 Nabíječka

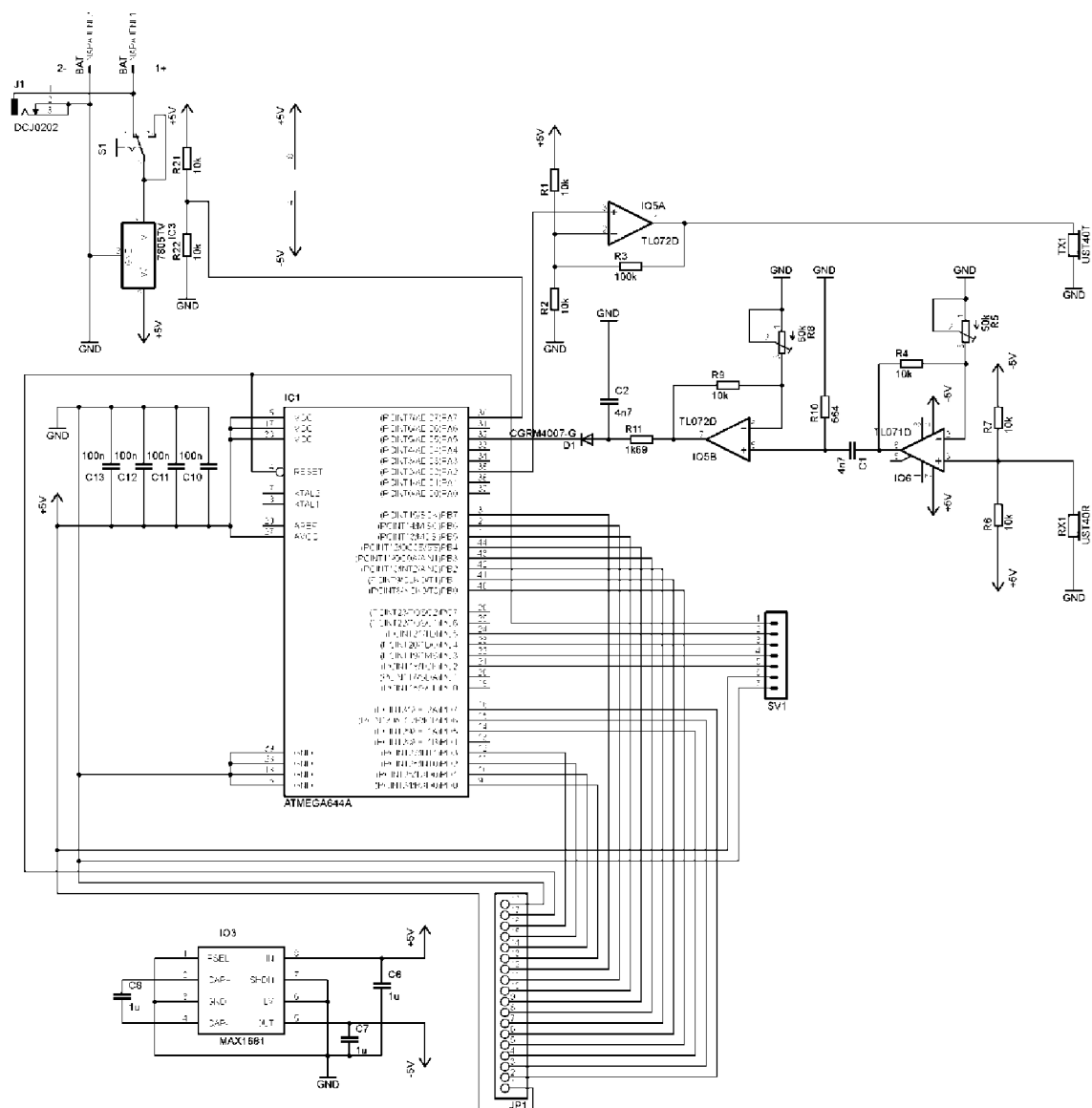
Jako nabíječka pro zvolený akumulátor poslouží pulzní nabíječ baterií MINWA MW6288GS. Tento adaptér je vhodný k nabíjení NiMH baterií a obsahuje automatickou ochranu před přebíjením a indikaci nabité baterie.

4 CELKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ A PODKLADY PRO REALIZACI

Z důvodu jednoduchosti realizace, bylo zvoleno rozdělit obvod na dvě desky plošného spoje. Primární část bude obsahovat procesor, napájení, vysilací a přijímací část, přičemž ovládání a zobrazení bude obsaženo na plošném spoji periférií.

4.1 Primární část

4.1.1 Schéma



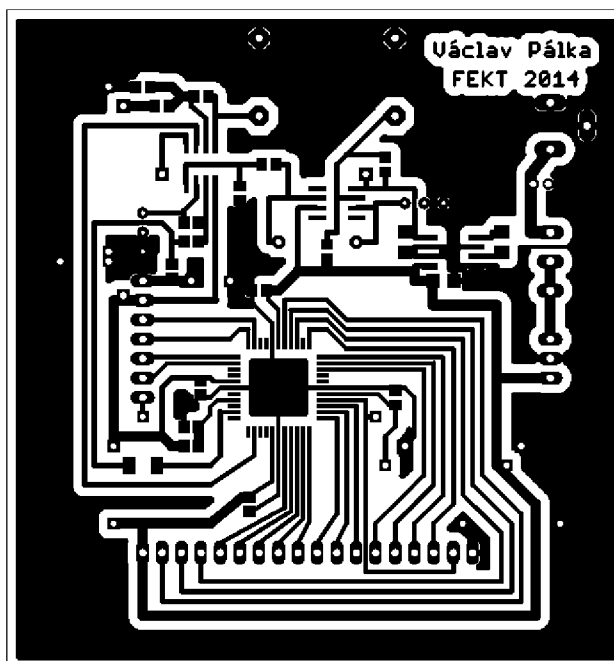
Obr. 14: Schéma primární části

4.1.2 Seznam součástek

Tab. 3: Seznam součástek primární části

Označení	Hodnota	Název	Pouzdro
C1	4n7	C-EUC0805	C0805
C2	4n7	C-EUC0805	C0805
C6	1u	C-EUC1206	C1206
C7	1u	C-EUC1206	C1206
C8	1u	C-EUC1206	C1206
C10	100n	C-EUC0805	C0805
C11	100n	C-EUC0805	C0805
C12	100n	C-EUC0805	C0805
C13	100n	C-EUC0805	C0805
D1	ES2D	ES2D	SMB
IC1	ATMEGA644A	AVR_ATMEGA644A	TQFP44
IC3	7805TV	7805TV	TO220V
IO3	MAX1681	MAX1681	SO08
IO5	TD072D	TL072D	SO08
IO6	TL071D	TL071D	SO08
J1	DCJ0202	DCJ0202	DCJ0202
JP1		PINHD-1X18	1X18
L1	1.8 uH 42mOhm	L-USL5650M	L5650M
RX1	UST40R	UST40R	UST40
TX1	UST40T	UST40T	UST40
NAPAJENI	BAT	332-02	332-02
R1	10k	R-EU_R0805	R0805
R2	10k	R-EU_R0805	R0805
R3	100k	R-EU_R0805	R0805
R4	10k	R-EU_R0805	R0805
R5	50k	R-TRIMM3296W	RTRIM3296W
R6	10k	R-EU_R0805	R0805
R7	10k	R-EU_R0805	R0805
R8	50k	R-TRIMM3296W	RTRIM3296W
R9	10k	R-EU_R0805	R0805
R10	540R	R-EU_R0805	R0805
R11	1k69	R-EU_R0805	R0805
R21	10k	R-EU_R0805	R0805
R22	10k	R-EU_R0805	R0805
S1		255SB	255SB
SV1		MA07-1	MA07-1

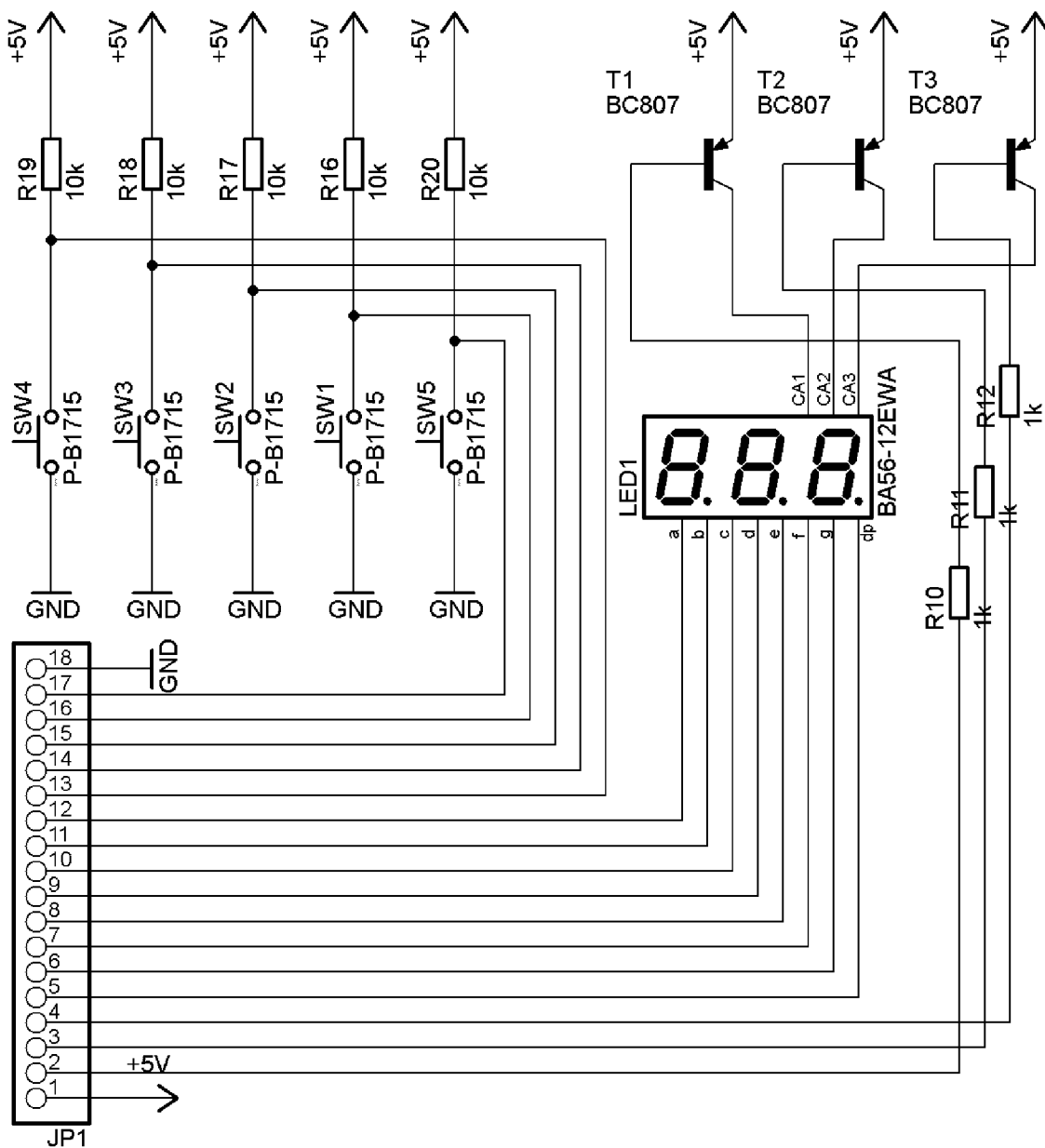
4.1.3 Deska plošného spoje



Obr. 15: DPS primární části

4.2 Část periférií

4.2.1 Schéma



Obr. 16: Schéma části periférií

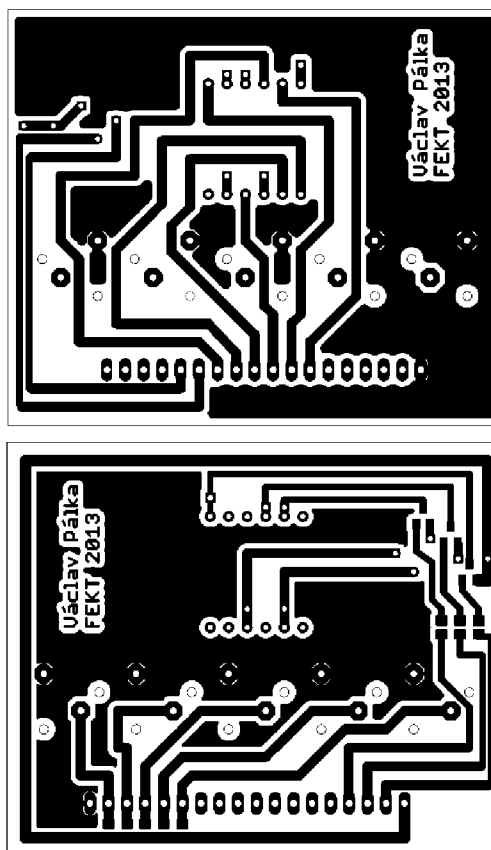
4.2.2 Seznam součástek

Tab. 4: Seznam součástek části periférií

Označení	Hodnota	Název	Pouzdro
JP1		PINHD-1X18	1X18
LED1	BA56-12EWA	BA56-12EWA	BX56-12

R10	1k	R-EU_R0805	R0805
R11	1k	R-EU_R0805	R0805
R12	1k	R-EU_R0805	R0805
R16	10k	R-EU_R0805	R0805
R17	10k	R-EU_R0805	R0805
R18	10k	R-EU_R0805	R0805
R19	10k	R-EU_R0805	R0805
R20	10k	R-EU_R0805	R0805
SW1	P-B1715	P-B1715	P-B1715
SW2	P-B1715	P-B1715	P-B1715
SW3	P-B1715	P-B1715	P-B1715
SW4	P-B1715	P-B1715	P-B1715
SW5	P-B1715	P-B1715	P-B1715
T1	BC807	BC807-16-PNP-SOT23-BEC	SOT23-BEC
T2	BC807	BC807-16-PNP-SOT23-BEC	SOT23-BEC
T3	BC807	BC807-16-PNP-SOT23-BEC	SOT23-BEC

4.2.3 Deska plošného spoje



Obr. 17: DPS periférií

5 REALIZACE A FUNKČNÍ OVĚŘENÍ

5.1 Software

Softwarová část bakalářské práce byla vytvořena v programu Atmel Studio 6.2, který je volně dostupný a již obsahuje základní knihovny pro mikroprocesory firmy Atmel. Tento software byl celý zhotoven v programovacím jazyku C a byl vytvořen především za účelem ověření funkce zhotoveného zařízení.

5.1.1 Zvolení módu měření

Zařízení je naprogramováno, aby bylo schopno měřit výšku vodní hladiny, kterou zařízení vypočte ze známé hloubky měřeného objektu a změřené vzdálenosti od vodní hladiny k zařízení, kterou je možno si pro kontrolní účely zobrazit ve druhém módu měření. Módy měření je možno přepínat pomocí jednoho z ovládacích tlačítek pod displejem.

```
if (!TEST(PIND,0))
{
    while (!TEST(PIND,0)){}
    if (mod==0)
    {
        mod=1; //měření hloubky
    }
    else
    {
        mod=0; //měření vzdálenosti
    }
}
```

5.1.2 Vysílání

Vzhledem k frekvenční charakteristice použitého akustického měniče, který se svou kapacitou a vnitřní impedancí tvoří jednoduchou pásmovou propust s mezní frekvencí 40 kHz, nemusíme se zabývat tvorbou ideálního sinusového průběhu, který je pro aplikaci ideálním možným signálem, avšak naprosto zbytečným. Při modulaci obdélníkovým a sinusovým signálem nebylo docíleno výrazné změny vyslaného signálu.

```
while(x!=50)
{
    _delay_us(5);
    SET(PINA,2);
    _delay_us(5);
    RES(PINA,2);
    x++;
}
x=0;
```

Je tedy důležité docílit především vhodného nastavení frekvence, která musí odpovídat danému měniči. Použitý měnič, jak již bylo výše zmíněno, má pracovní

frekvenci 40 kHz. Tato hodnota byla docílena rozmitáním hodnoty na výstupním pinu procesoru. Tato hodnota byla následně zesílena a přivedena na vysílací měnič.

5.1.3 Příjem

Vhodně nastavená přijímací část je základem úspěchu, kdy je nutno správně nastavit zesílení operačních zesilovačů, aby byl na vstup procesoru přiveden dostatečně silný signál, který bude jistě rozpoznán.

```
stare=neco;
neco=10;
while(neco!=501)
{
    _delay_us(56);
    if(TEST(PINA,5) || neco==500)
    {
        if(neco<20||neco==500)
        {neco=stare-1;}
        else
        {
            zm_jednotky=neco/100;
            zm_desetiny=neco/10-10*zm_jednotky;
            zm_setiny=neco-zm_desetiny*10-zm_jednotky*100;
            neco=500;
        }
    }
    neco++;
}
```

Princip měření hodnoty spočívá v tom, že nejdříve uložíme poslední platnou hodnotu do paměti, která je použita, pokud zařízení nezachytí platnou hodnotu. Toto omezení je způsobeno pro interference na začátku měření (cca 20cm) a pro nedostatečný odraz, kdy je měřič zaměřen na volný prostor. Změření hodnoty probíhá vždy po daném časovém úseku odpovídající známé délkové jednotce, kdy testujeme, zda se na vstupu procesoru vyskytla odražená vlna. Vzhledem k délce vrácené vlny je tento princip funkční a zároveň nereaguje na rychlé špičky, které přijdou mimo testovací fázi.

5.1.4 Nastavení hloubky

Pro funkci měřiče výšky vodní hladiny je nutné do zařízení zadat hloubku měřeného objektu, v němž se nachází vodní hladina.

```
if (!TEST(PIND,3))
{
    jednotky=5;
    desetiny=77;
    setiny=77;
    _delay_ms(500);
    jednotky=0;
    desetiny=0;
    setiny=0;
    while(TEST(PIND,3) && vychod)
    {
        if ((!TEST(PIND,2)))
```

```

    {
        set_jednotky++;
        if (set_jednotky==10)
            set_jednotky=9;
        jednotky=set_jednotky;
        while ((!TEST(PIND,2))){}
    }
    if ((!TEST(PIND,1)))
    {
        set_jednotky--;
        if (set_jednotky==255)
            set_jednotky=0;
        jednotky=set_jednotky;
        while ((!TEST(PIND,1))){}
    }
    if (!TEST(PIND,0))
    {
        while ((!TEST(PIND,0))){}
        while (TEST(PIND,3)&&vychod)
        {
            if ((!TEST(PIND,2)))
            {
                set_desetiny++;
                if (set_desetiny==10)
                    set_desetiny=9;
                desetiny=set_desetiny;
                while ((!TEST(PIND,2))){}
            }
            if ((!TEST(PIND,1)))
            {
                set_desetiny--;
                if (set_desetiny==255)
                    set_desetiny=0;
                desetiny=set_desetiny;
                while ((!TEST(PIND,1))){}
            }
            if (!TEST(PIND,0))
            {
                while ((!TEST(PIND,0))){}
                vychod=0;
            }
        }
    }
}

setset_jednotky=set_jednotky;

```

Výška hladiny se nastavuje pomocí tlačítek, které jsou umístěny u displeje. Princip zadávání hodnoty spočívá v tom, že při přepnutí do nastavovacího režimu postupně nastavíme zvláště metry a decimetry, které následně potvrdíme dalším tlačítkem. Při nastavování jsou zanedbány jednotky centimetrů.

5.1.5 Vyhodnocení výšky vodní hladiny

Výšku vodní hladiny vyhodnocuje procesor ze známé vzdálenosti k hladině a hloubky měřeného objektu. Toto vyhodnocení probíhá podle vzorce

$$X = H - V \qquad [m] \qquad [5.1]$$

kde:	X	Výška vodní hladiny	[m],
	H	Hloubka objektu	[m],
	V	Vzdálenost hladiny od měřiče	[m].

Vyhodnocení výšky vodní hladiny je spojeno s funkcí vyhodnocení vzdálenosti, kdy se podle nastaveného módu vyhodnotí buď vzdálenost, nebo výška hladiny. U vzdálenosti na rozdíl od výšky vodní hladiny není nutno zadávat ochranné podmínky, protože rozsah měřených hodnot omezuje měřicí algoritmus. Avšak v případě, kdy nastavujeme hloubku, musíme ošetřit případy, jako je například chvíle, kdy procesor vyhodnotí vzdálenost větší než je hloubka objektu.

```

if (mod==0)
{
    jednotky=zm_jednotky;
    desetiny=zm_desetiny;
    setiny=zm_setiny;
}
else
{
    nassto=10*set_desetiny+set_setiny;
    teststo=10*zm_desetiny+zm_setiny;
    if (nassto<teststo)
    {
        if (setset_jednotky>0)
        {
            setset_jednotky--;
            nassto=nassto+100;
        }
        else
        {
            jednotky=99;
            desetiny=99;
            setiny=99;
        }
    }
    rozdil=nassto-teststo;
    if (setset_jednotky<zm_jednotky)
    {
        jednotky=99;
        desetiny=99;
        setiny=99;
    }
    else
    {
        jednotky=setset_jednotky-zm_jednotky;
        desetiny=rozdil/10;
        setiny=rozdil-10*desetiny;
    }
}

```

5.1.6 Zobrazení

Pro zobrazení změřené hodnoty je využito přerušení, které cyklicky obnovuje jednotlivé segmenty displeje, který je řešen maticovým zapojením tří sedmi-segmentových displejů.

```

ISR( TIMERO_OVF_vect )
{
  ii++;
  switch(ii){
    case 1:
      jednotky_show(jednotky);
      break ;
    case 2:
      desetiny_show(desetiny);
      break ;
    case 3:
      setiny_show(setiny);
      break ;
    case 4:
      ii=0;
      break ;
  }
}

```

Ukázka funkce pro zobrazení jednoho segmentu:

```

int jednotky_show( unsigned char symbol )
{
  PORTD = ~( 1<<7 ) ;           // Zvolení displeje
  switch( symbol ){             // Nastavení symbolu
    case 0:
      PORTB = 0b00000010 ;      // Zobraz "0"
      break ;
    case 1:
      PORTB = 0b10011110 ;      // Zobraz "1"
      break ;
    case 2:
      PORTB = 0b00100100 ;      // Zobraz "2"
      break ;
    ...
    x
    ...
    case 99:
      PORTB = 0b01100001 ;      // Zobraz "E"
      break ;
  }
  return( 0 ) ;                 // Návrat z funkce
}

```

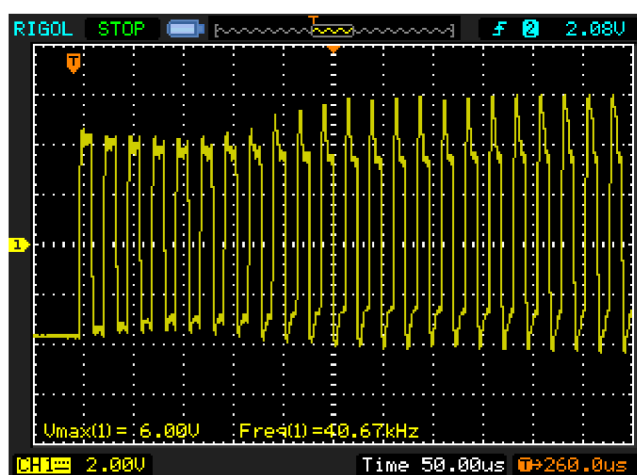
Obdobně jako výše uvedená ukázka je řešena i funkce pro zobrazení desetin a setin.

5.2 Ověření funkčnosti

Ověření funkce probíhalo jak v laboratorních podmínkách při ověřování funkce jednotlivých částí měřiče, tak i při praktickém měření v různých prostředích.

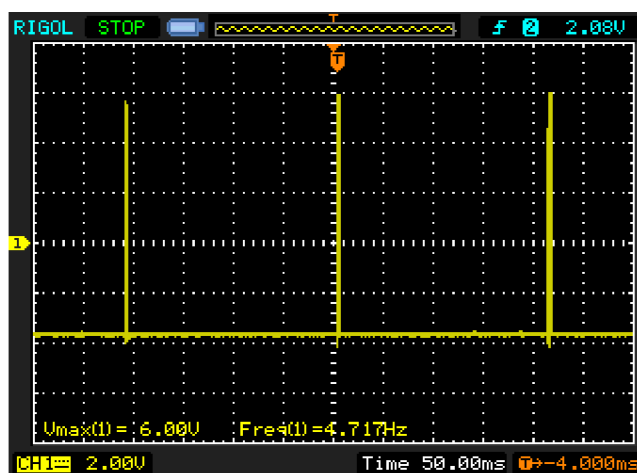
5.2.1 Vyslaný signál

Základem pro úspěšné zprovoznění měřiče je nutnost zajistit správný signál, který bude odpovídat specifikacím měniče. Pro použitý měnič je nutné získat signál o frekvenci 40 kHz. Test tohoto signálu je vidět na obrázku (Obr. 18: Vysílaný signál). Po chvíli lze vidět mírnou deformaci signálu, která je způsobena nedokonalým kontaktem měřicí sondy a saturací operačního zesilovače. Jak lze vidět signál má opravdu kmitočet 40 kHz, což je hlavní aspekt zkoumání vyslaného signálu.



Obr. 18: Vysílaný signál

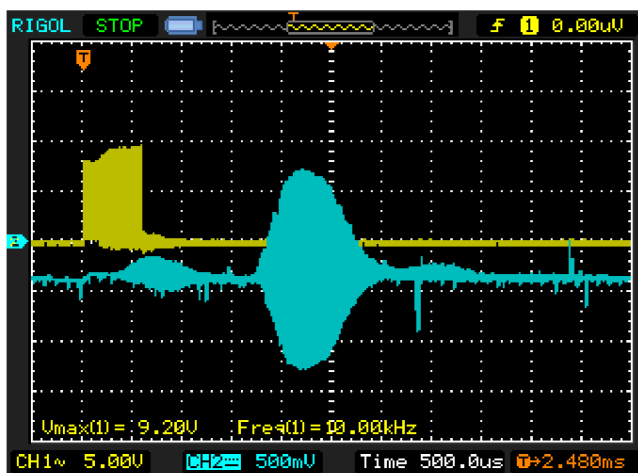
Na dalším obrázku (Obr. 19) lze vidět periodu měřicích signálů. Měření se opakuje v závislosti na měřené vzdálenosti, nejdříve však 200 ms od posledního měření z důvodu vyčkání na úplné doznění minulého signálu, který by nám mohl v případě příliš brzkého měření způsobit interference a rušení, čímž bychom získaly jen klamné výsledky.



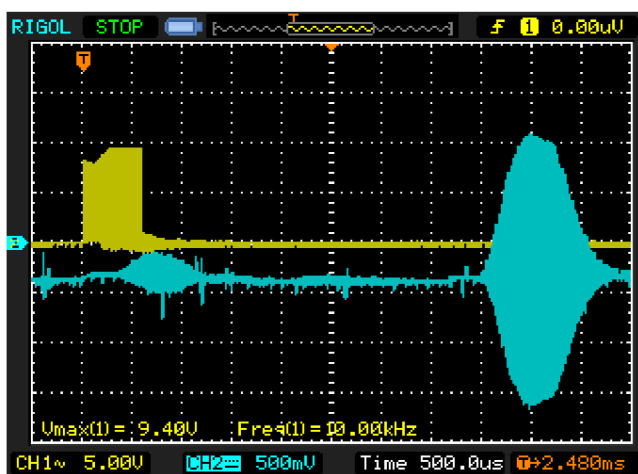
Obr. 19: Perioda vysílaných signálů

5.2.2 Přijatý signál

Na obrázcích níže (Obr. 20, Obr. 21) je zřetelně vidět odražený signál, který se vrátil zpět do zařízení. Je zde vidět časové zpoždění způsobené dobou cestování signálu. Odrazové plochy pro ověření změny vzdálenosti byly pro tento případ vzdáleny cca 40 a 100 cm. Menší velikost prvního signálu je způsobena tím, že jako odrazová plocha zde sloužila mnohem menší plocha než v případě druhé ukázky.



Obr. 20: Odražený signál č. 1 (kratší vzdálenost)

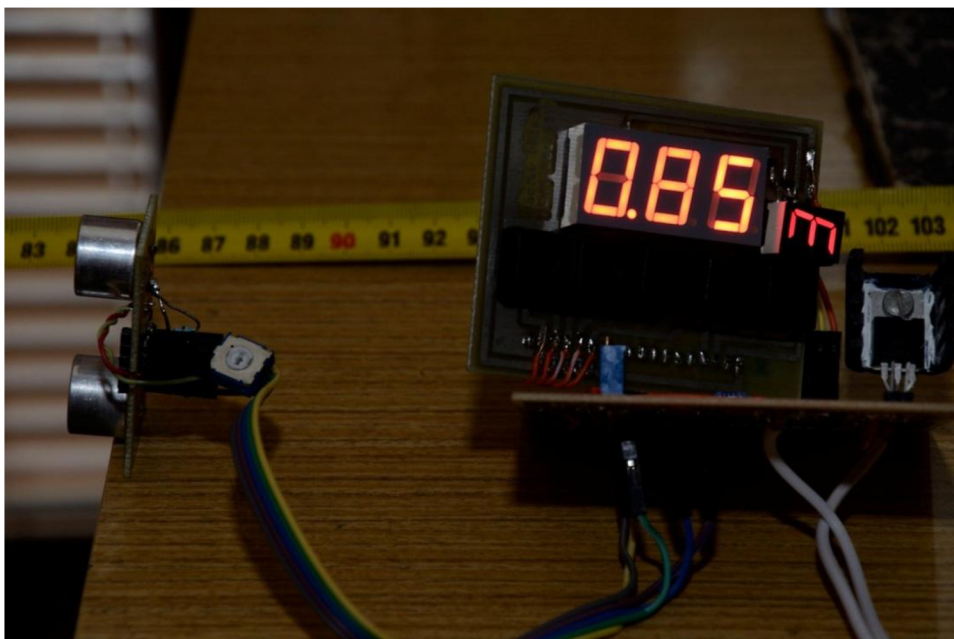


Obr. 21: Odražený signál č. 2 (delší vzdálenost)

5.2.3 Ověření v praxi

Ověření funkce výrobku z praktického hlediska probíhalo na prototypové desce, která svým zapojením odpovídá dříve uvedeným návrhům. Z důvodu demonstrace funkce bylo zařízení kalibrováno pro teplotu 20°C. Zařízení se dá však relativně snadno překalibrovat pro použití v různých teplotách a prostředích, kde stačí pouze upravit testovací prodlevu u měřicí části programu.

Na obrázku (Obr. 22) je vidět praktické použití v módu měřiče vzdálenosti, kdy jako odrazová plocha sloužila rovná stěna. Jedná se tedy o téměř ideální případ, kde se signál nerozptyluje o stěny, například studny.



Obr. 22: Praktické ověření měření vzdálenosti

V praktickém testu ověření funkce měřiče vzdálenosti zařízení prospělo s odchylkou, která se pohybovala pod hranicí několika cm. Vzhledem k úspěchu v prvním testu v kontrolovaném prostředí bylo možné přistoupit k finálnímu testu v prostředí, ve kterém by zařízení teoreticky mohlo najít uplatnění.



Obr. 23: Praktické ověření primární funkce

Další demonstrace funkce (Obr. 23) měřiče vodní hladiny byla provedena na lokální nádrži sloužící pro zadržení dešťové vody určené k distribuci na zavlažování přilehlé zahrady. Jak je vidět tak v okamžiku měření bylo v nádrži cca 40 cm vody, kterou měřič spolehlivě změřil. Při měření byly akustické měniče umístěny do výšky 1 metru nade dnem nádrže, přičemž byla tato známá hodnota nastavena i v měřicím zařízení, které s přesností jednotek cm změřilo danou výšku vodní hladiny.

6 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo prostudovat možnosti bezdotykového měření výšky vodní hladiny v uzavřených prostorách omezených prostorů. Navrhnout detailní blokové schéma měřiče, analyzovat vliv dílčích parametrů na přesnost měření. Navrhnout obvodové zapojení a výrobní podklady pro DPS. Následně realizovat navržené zařízení a ověřit funkci měřiče.

Na základě zmíněných požadavků byla pro realizaci zvolena metoda pulzního akustického měření pomocí ultrazvukového vlnění. Návrh počítá s měřením do vzdáleností nepřesahující cca 5m, přičemž by se výsledná chyba neměla pohybovat nad hranicí 5%. Práce obsahuje detailní blokové schéma s popisem jednotlivých dílčích bloků schématu a podklady pro návrh desky plošného spoje.

Zařízení bylo posléze realizováno a byla ověřena jeho funkčnost při zadaných omezeních na účel jeho použití, kterým zařízení odpovídá. Celková chyba měření se pohybuje v rámci jednotek procent a nepřekračuje teoreticky určenou hodnotu 5%. Zařízení dále umožňuje, v případech, kde se neočekává propad hladiny za hranici měření, nastavit hloubku objektu až do hodnoty necelých 10 m.

REFERENCE

- [1] OBRAZ, J. *Ultrazvuk v měřicí technice*. Praha: SNTL, 1984
- [2] BAČÍK, M, *Parkovací radar*. Bakalářská práce. Brno: FEKT VUT v Brně, 2010
- [3] GM ELECTRONIC, spol. s r. o. *GME* [online]. 2014 [cit. 2014-6-22]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/>
- [4] Atmel. *ATmega644* [online]. 2014 [cit. 2014-6-22]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/devices/ATMEGA644.aspx/>
- [5] TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. *Texas Instruments* [online]. 2013 [cit. 2014-6-22]. Dostupné z: <http://www.ti.com/>
- [6] Datasheet Sencera TR4016. *TME* [online]. 2014 [cit. 2014-6-22]. Dostupné z: http://www.tme.eu/cz/Document/074ecd82635735a6f338004b48cda870/TR40_.pdf
- [7] PREMIER FARNELL GROUP. *Farnell* [online]. 2014 [cit. 2014-6-22]. Dostupné z: <http://farnell.com/>
- [8] BATTEX, spol. s r.o. *BATTEX* [online]. ©2004 [cit. 2014-6-24]. Dostupné z: <http://shop.battex.cz/>
- [9] CadSoft [online]. ©2011 [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.cadsoftusa.com/>