

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI A RYCHLOSTI POMOCÍ
VYSÍLAČŮ A PŘIJÍMAČŮ ULTRAZVUKU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

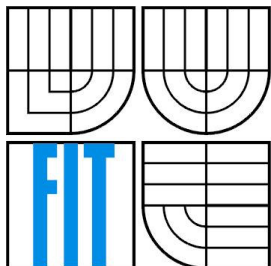
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Adam Šumbera

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI A RYCHLOSTI POMOCÍ VYSÍLAČŮ A PŘIJÍMAČŮ ULTRAZVUKU

MEASURING OF DISTANCE AND SPEED BY ULTRASONIC TRANSMITTERS AND RECIEVERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Šumbera

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Josef Strnadel, Ing., Ph.D.

BRNO 2009

Abstrakt

Práce se zabývá systémem měření rychlosti a vzdálenosti objektů pomocí ultrazvuku, realizovaném na bázi mikrokontroléru Freescale MC68HC08. Popisuje jednotlivé funkční bloky celého zařízení a jeho fyzickou realizaci. Teoreticky pojednává o vlastnostech ultrazvuku a rozebírá možná úskalí spojená s jeho vysíláním a příjmem.

Klíčová slova

Ultrazvuk, rychlost, vzdálenost, měření, příjem, vysílání, Motorola, Freescale, HC08, vestavěný systém.

Abstract

This thesis is engaged in measuring of distance and speed by ultrasound, based on microcontroller Freescale MC68HC08. Describes the function blocks of whole embedded system and its physical realization. Theoretically discusses about properties of ultrasound and deals with problems paired with transmitting and receiving.

Keywords

Ultrasound, speed, distance, measuring, receiving, transmitting, Motorola, Freescale, HC08, embedded system.

Citace

Šumbera Adam: Měření vzdálenosti a rychlosti pomocí vysílačů a přijímačů ultrazvuku. Brno, 2009, bakalářská práce, FIT VUT v Brně.

Měření vzdálenosti a rychlosti pomocí vysílačů a přijímačů ultrazvuku

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing., Ph.D. Josefa Strnadela

Další informace mi poskytl ing. Pavel Šádek

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Adam Šumbera
13.května 2009

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu, Ing., Ph.D. Josefu Strnadelovi za poskytnutí podkladů a doporučení pro návrh ultrazvukového měřiče. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Pavlu Šádkovi za velice užitečné rady a zkušenosti z oblasti práce s ultrazvukovými zařízeními.

© Adam Šumbera, 2009.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů..

Obsah

| | |
|-------------------------------------|----|
| Obsah | 1 |
| Úvod..... | 3 |
| 1 Ultrazvuk..... | 4 |
| 1.1 Vysílače ultrazvuku | 5 |
| 1.2 Přijímače ultrazvuku..... | 7 |
| 2 Návrh výrobku..... | 8 |
| 2.1 Výběr mikrokontroléru | 9 |
| 2.1.1 Architektury | 9 |
| 2.1.2 Instrukční sady | 9 |
| 2.1.3 Typy mikrokontrolérů | 10 |
| 2.2 Zesilovač pro vysílač | 11 |
| 2.3 Zesilovač pro přijímač | 12 |
| 2.3.1 Obvod pro detekci obálky..... | 13 |
| 2.4 Zobrazovací modul..... | 14 |
| 2.5 Zapojení kontroléru | 16 |
| 2.6 Integrovaný programátor | 17 |
| 2.6.1 Monitor mód | 19 |
| 2.6.2 RS-232..... | 19 |
| 2.7 Napájení..... | 20 |
| 2.8 Tělo výrobku | 20 |
| 3 Realizace | 21 |
| 3.1 DPS..... | 22 |
| 3.2 Osazení desky | 23 |
| 3.2.1 Rozpis součástek..... | 24 |
| 3.3 Oživení | 26 |
| 3.3.1 Programování paměti | 26 |
| 4 Obslužný program | 28 |
| 4.1 Inicializace zařízení..... | 28 |
| 4.2 Funkce display | 28 |
| 4.3 Funkce main..... | 29 |
| 4.4 Ladění programu | 33 |
| 4.5 Metriky kódu..... | 33 |
| 5 Experimenty | 34 |
| 5.1 Problém odrazů od překážky..... | 34 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.2 | Vlastnosti povrchů..... | 36 |
| 5.2.1 | Vliv tvaru povrchu a fázového posunu..... | 37 |
| 5.3 | Program ComLogger | 38 |
| 5.4 | Řešení problémů při měření ultrazvukem..... | 40 |
| 5.4.1 | Zvýšení aktivního dosahu sonaru..... | 40 |
| 5.4.2 | Detekce objektů z nevhodných materiálů..... | 40 |
| 5.4.3 | Zvýšení přesnosti měření..... | 40 |
| 6 | Závěr..... | 41 |
| | Literatura | 42 |
| | Seznam příloh | 43 |

Úvod

Tématem bakalářské práce je využití ultrazvuku pro měření rychlosti a vzdálenosti objektů. Ultrazvuk je vlnění v prostředí (obvykle ve vzduchu), které má vyšší frekvenci, než cca 20kHz. Je pro lidské ucho neslyšitelný. Nejčastěji se s ultrazvukem můžeme setkat ve zdravotnictví, v měřicích zařízeních, automatizaci, průmyslové výrobě. Vyskytuje se také v přírodě. Některá zvířata ho vnímají a některá i produkují, např. delfín, netopýr.

Netopýr využívá pro orientaci v prostoru echolokaci. Z úst vypouští zvukové kmity o frekvenci 15 – 100kHz. Ušima zachycuje ozvěny (echo) a podle zpoždění ozvěny dokáže určit vzdálenost překážky. Na stejném principu pracuje i zařízení, jehož vývoj je obsahem mé práce. Tento princip se obecně označuje jako sonar.

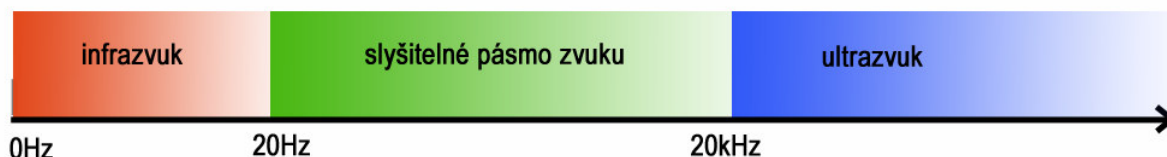
V technické praxi se ultrazvuk produkuje elektroakustickými měniči (reproduktory). Vhodné jsou například piezoelektrické měniče. Ty pracují na principu rozkmitávání krystalu elektrickým proudem. Opačným způsobem zase docílíme příjmu ultrazvuku – zvukové vlny rozkmitají krystal, na jehož výstupu se objeví napětí.

Pomocí těchto prvků je možno měřit vzdálenost objektů. Dle známé rychlosti šíření zvuku v daném prostředí, délkou času mezi vysláním signálu a zaznamenáním jeho ozvěny vypočteme vzdálenost objektu. Platí to ale pouze pro určitou skupinu povrchů, od kterých se ultrazvukové vlny odrazí zpět. Povrchy s vysokým faktorem útlumu (vata, koberec, molitan) zvukové vlny pohltí a proto není možno (nebo je možno velmi obtížně) měřit vzdálenost a rychlost těchto objektů.

Cílem práce je tedy navrhnout, realizovat a odladit zařízení, které by tato měření umožňovalo. Také provést experimenty a zaměřit se na možná úskalí práce s ultrazvukem (rušení, odrazy, útlum...).

1 Ultrazvuk

Ultrazvuk je část zvukového spektra, ležící za hranicí slyšitelnosti lidského ucha.



Obr. 1: Spektrum zvuku

Ultrazvuk se šíří stejnou rychlostí jako slyšitelný zvuk, což je ve vzduchu cca 340m/s. Rychlost šíření ale silně závisí na povaze prostředí. Zatímco v oceli se zvuk šíří rychlostí cca 5000m/s, ve vodě pouze rychlostí 1500m/s a v kyslíku jen 300m/s. Proto například sonar, který měří vzdálenost dna od lodi není možné použít pro měření vzdálenosti ve vzduchu. Základním předpokladem návrhu ultrazvukového měřicího zařízení je tedy volba prostředí, ve kterém bude pracovat. Zařízení, jehož vývoj je obsahem této práce bude z důvodu snadného testování a demonstrace určeno pro měření ve vzduchu.

Ovšem výběr konkrétního prostředí ještě nezaručuje konstantní rychlost šíření zvuku. Dalšími faktory jsou ve vzdušném prostředí teplota, tlak a vlhkost. Zatímco vliv tlaku a vlhkosti se ve většině aplikací zanedbává (obtížnost měření), teplota má významný vliv.

| Teplota vzduchu | Rychlost šíření |
|-----------------|-----------------|
| -20 °C | 319,3m/s |
| 0 °C | 331,6m/s |
| 5 °C | 334,5m/s |
| 10 °C | 337,5m/s |
| 15 °C | 340m/s |
| 20 °C | 343,8m/s |
| 25 °C | 346,3m/s |
| 40 °C | 355,3m/s |
| 60 °C | 366,5m/s |
| 80 °C | 377,5m/s |

Tabulka 1: Rychlost šíření zvuku ve vzduchu [4]

Pro konkrétní aplikaci je nutno buď uvážit, v jakém teplotním rozsahu se bude nacházet, nebo zařadit do systému teplotní snímač a provádět kompenzaci výsledku v závislosti na naměřené teplotě.

1.1 Vysílače ultrazvuku

Pro vysílání ultrazvuku se používají výhradně piezoelektrické zvukové měniče. Využívá se zde piezoelektrického jevu, kdy membránu rozkmitává destička piezomateriálu (zpravidla monokrystal křemene). Piezokrystal se budí střídavým elektrickým polem. Pokud frekvence signálu odpovídá vlastní rezonanční frekvenci krystalu, dochází k mechanické rezonanci. Potom může tento elektroakustický měnič dosáhnout značného výkonu.

Tato konstrukce je jednoduchá, výkonná a relativně levná. Používá se proto u levnějších výškových reproduktorů, nebo u vysílačů ultrazvuku [5].

Pro aplikace pracující s ultrazvukem se používají buď otevřené systémy (vysílač s kmitající membránou), nebo uzavřené (vysílač zde často plní i funkci přijímače a je celý hermeticky zapouzdřen)



Obr. 2: Otevřený vysílač [13]

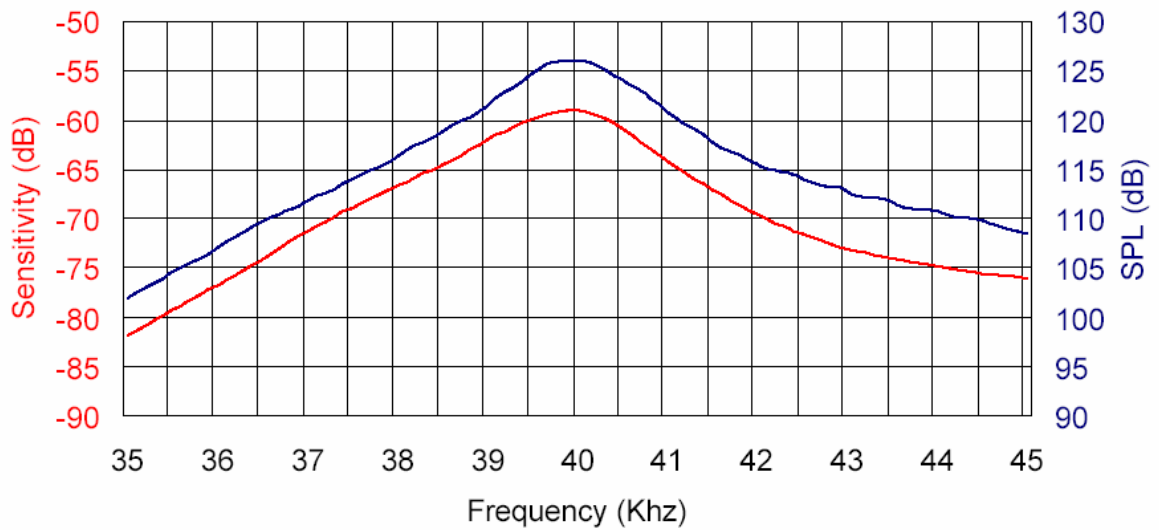


Obr. 3: Uzavřený vysílač [14]

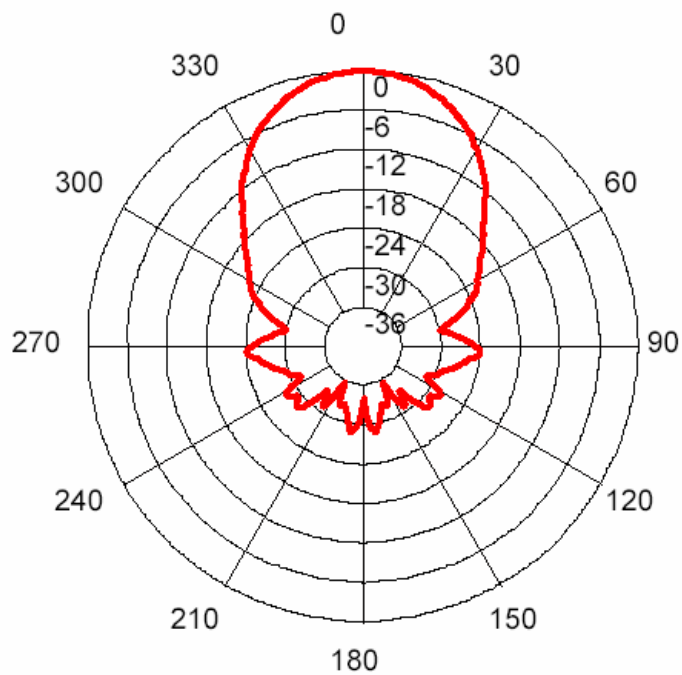
Uzavřené systémy jsou vhodné pro venkovní použití (parkovací systémy automobilů). Otevřené systémy jsou naopak určeny k použití v budovách a vyznačují se vyšší citlivostí. Pro moji aplikaci byl zvolen otevřený systém s odděleným vysílačem a přijímačem. Konkrétně se jedná o vysílač typu: 400st160.

| | |
|----------------------------|-------------------|
| Rezonanční frekvence | 40kHz |
| Šířka pásma | 2kHz |
| SPL (sound pressure level) | 120dB @10V, 30cm |
| Max. budící napětí | 20V RMS |
| Operační teplota | -30 °C až + 80 °C |

Tabulka 2: Údaje výrobce [6]



Obr. 4: Frekvenční charakteristika vysílače (modrá křivka) [6]



Obr. 5: Směrová charakteristika [6]

Z obrázku *Obr.4* je jasně patrný rezonanční kmitočet vysílače v oblasti 40kHz. Tímto kmitočtem je tedy vhodné vysílač budit. Směrová charakteristika je pro mou aplikaci vhodná, protože vyzářuje převážně v přímém směru.

1.2 Přijímače ultrazvuku

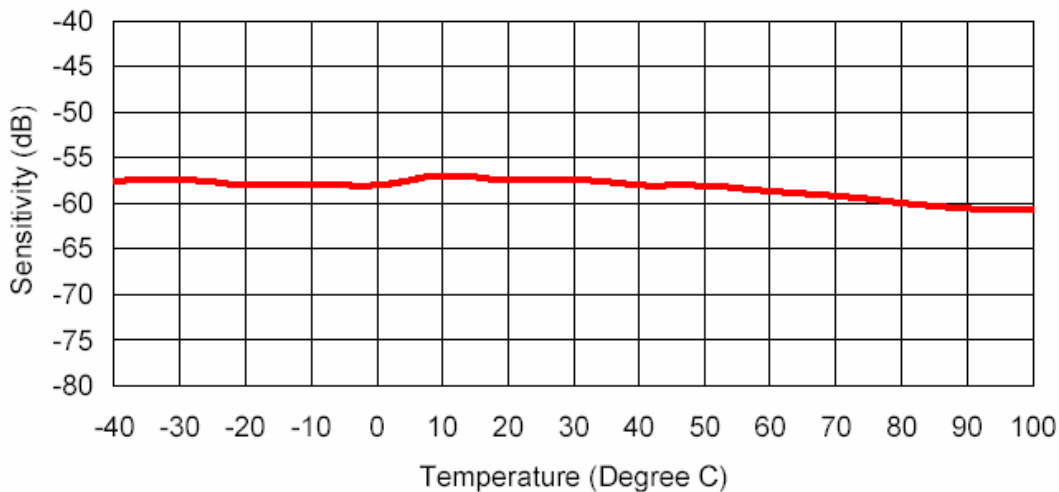
Vlnění ve vzduchu rozkmitává membránu. Ta je spojena s destičkou piezoelektrického materiálu. Jeho stlačováním vzniká elektrické napětí. Tohoto jevu se v minulosti využívalo u levnějších mikrofonů, později byly nepříliš kvalitní piezo mikrofony nahrazeny jiným typem. Pro příjem ultrazvuku je ale tento akusticko-elektrický měnič vhodný.

Fyzická konstrukce je shodná jako u vysílače ultrazvuku. Jako přijímač byl analogicky zvolen typ: 400sr160.

Frekvenční charakteristika přijímače viz Obr.4 (červená křivka), směrová charakteristika je shodná jako u vysílače. Teplotní rozsah činnosti ultrazvukového přijímače je pro danou aplikaci více než dostatečný.

| | |
|----------------------|-----------------|
| Rezonanční frekvence | 40kHz |
| Šířka pásma | 2,5kHz |
| Citlivost | -65dB |
| Operační teplota | -30°C až + 80°C |

Tabulka 3: Údaje výrobce [6]



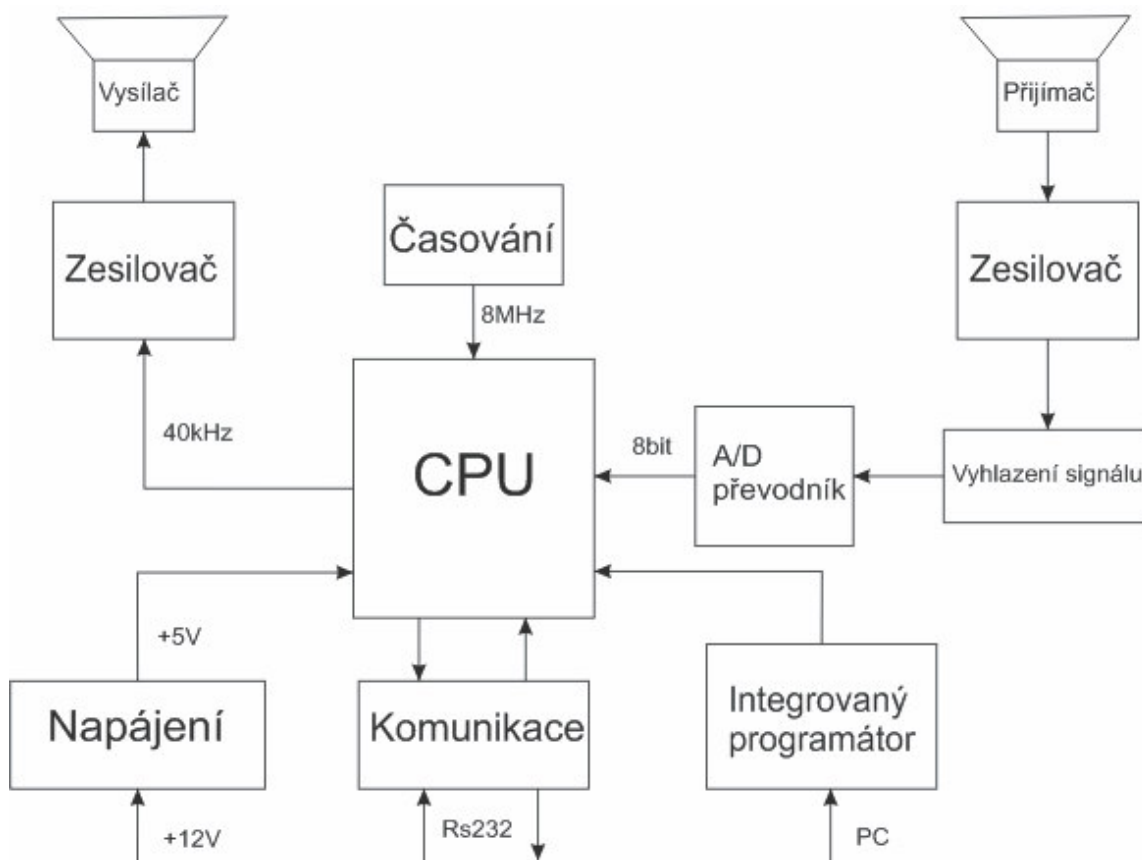
Obr. 6: Teplotní charakteristika přijímače [6]

2 Návrh výrobku

Cílem práce je demonstrace poznatků na reálném zařízení. Předpokladem k úspěchu při vývoji ultrazvukového měřiče vzdálenosti a rychlosti je kvalitní návrh a výběr vhodných technologií.

Výsledné zařízení by mělo splňovat tyto požadavky:

- Vhodný mikrokontroler
- Možnost komunikace s PC
- Měření vzdálenosti objektů
- Měření rychlosti objektů
- Zobrazení výsledků na displeji
- Není nutná miniaturizace
- Použití pouze v místnosti
- Napájení adaptérem +12V



Obr. 7: Blokové schéma navrhovaného systému

2.1 Výběr mikrokontroléru

Pro aplikaci v jednoúčelovém vestavěném systému je v dnešní době dostupná široká škála mikrokontrolérů. Existují spousty verzí jednotlivých kontrolérů, lišící se použitými periferiemi jako jsou převodníky, řadiče, paměti, časovače atd.. Je tedy možné zvolit kontrolér přímo „na míru“ danému řešení.

Mikrokontrolér, neboli jednočipový počítač, je integrovaný obvod obsahující jednak jádro mikroprocesoru, dále paměť RAM, perzistentní paměť (FLASH, EEPROM, ROM) a veškeré periferie. Mikrokontroléry můžeme rozdělovat v závislosti na různých aspektech.

- Šířka sběrnice 8bit / 16bit / 32bit
- Architektura Harvardská / Von Neumannova
- Instrukční sada CISC / RISC

2.1.1 Architektury

2.1.1.1 Von Neumannova architektura

Využívá společnou paměť dat i programu. Také společnou datovou sběrnici a instrukce pro přístup k programu a datům. Tato architektura je technologicky jednodušší, avšak rychlost při využití jedné společné sběrnice je nižší, než u dvou oddělených sběrnic [7].

2.1.1.2 Harvardská architektura

Nabízí výhody pramenící ze dvou oddělených sběrnic, tedy vyšší rychlost. Jednotlivé sběrnice mohou mít různou šířku, což je také velice výhodné. Tento typ architektury je ale technologicky náročnější a výrobně nákladnější [7].

2.1.2 Instrukční sady

2.1.2.1 CISC

CISC = Complex Instruction Set Controller (procesor s úplnou instrukční sadou). Procesory tohoto typu umí provádět stovky různých instrukcí. V minulosti, z důvodu nedostatečných kapacit paměti pro program bylo toto řešení výhodné. Nevýhodou je však složitý dekodér instrukcí. V dnešní době je pro obecné použití vhodnější technologie RISC [7].

2.1.2.2 RISC

RISC = Reduced Instruction Set Controller (procesor s redukovanou instrukční sadou). Místo jedné složité instrukce tento procesor vykoná několik jednoduchých. Stoupají sice nároky na paměť programu ale současně roste rychlost jejich vykonávání. Také technologické nároky jsou nižší, procesor zabírá menší plochu na čipu [7].

2.1.3 Typy mikrokontrolérů

Významní výrobci mikrokontrolérů a jejich zástupci, použitelní v navrhovaném systému.

Intel: 8051

Atmel: ATmega, AVR

Microchip Technology: PIC

Texas Instruments: MSP430

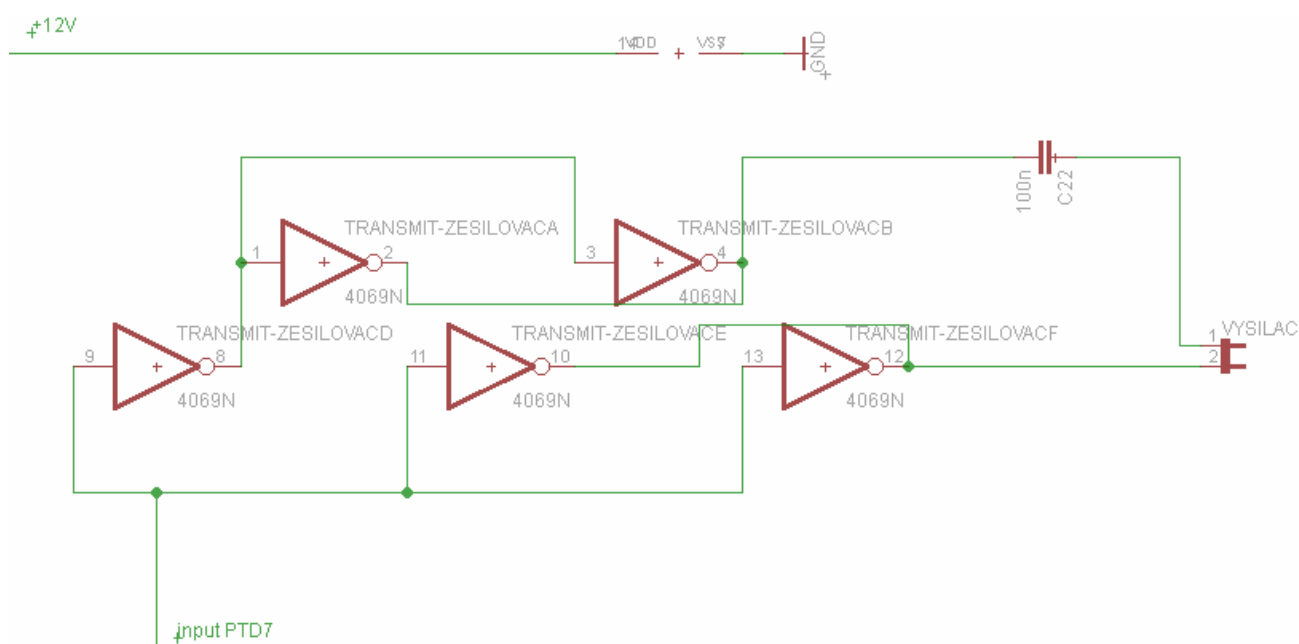
Freescale: HC08

Vybíral jsem jádro s ohledem na dostupnou programátorskou podporu a dokumentaci, jednoduchost, dostatečný výkon pro navrhovaný systém, požadované periferie a počty portů, dostupnost mikrokontroléru. Nejvhodnější volbou se jeví rodina HC08 firmy Freescale Semiconductors. Především díky integrovanému vývojovému prostředí „Codewarrior“, které obsahuje i simulátor a programátor. Dále díky obecné rozšířenosti tohoto typu mikrokontrolérů, jednoduchosti, dostatečnému výkonu a nízké ceně. Jedná se o 8bitový procesor RISC, Von Neumannovy architektury. Konkrétní zvolený typ nese název: MC68HC908AP8CFB. Je to tedy typ s nejmenší možnou pamětí (8 kb), pro navrhovaný systém však dostačující. Kontrolér je proveden ve 44 pinovém SMD pouzdru (CFB) [8].

2.2 Zesilovač pro vysílač

Zesilovat výstupní signál není bezpodmínečně nutné. Ultrazvukový vysílač je možno budít přímo z portu mikrokontroléru (5V). Zesílením výstupního signálu ale roste aktivní dosah sonaru, proto je mezi kontrolerem a vysílačem zařazen zesilovač. Jedná se o velice jednoduché zapojení, není totiž kladen důraz na zkreslení a tvar výstupního signálu.

Pro zesílení tedy postačuje invertor, napájený +12V. Pro dosažení většího rozkmitu signálu jsou tyto invertory zapojeny v protifázi. Dále jsou proudově posíleny dalšími invertory zapojenými do série. Celý zesilovač se tedy skládá z pěti invertorů.



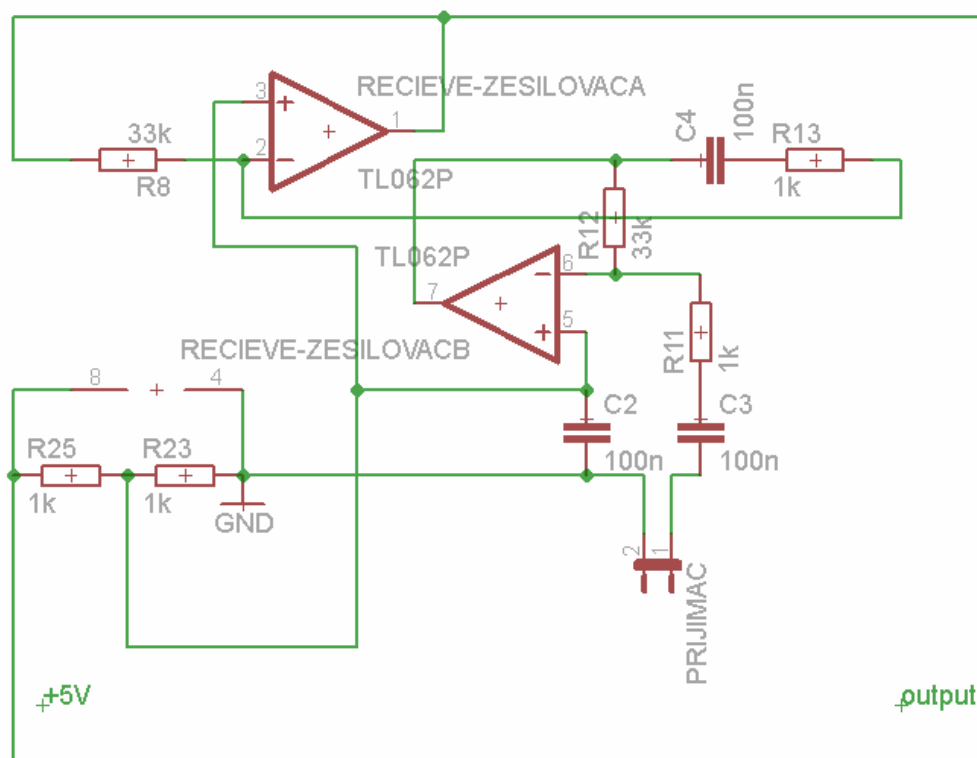
Obr. 8: Schéma zesilovače pro vysílač

Před ultrazvukovým vysílačem je zařazen kondenzátor 100nF, sloužící k potlačení stejnosměrné složky signálu. Invertory jsou typu 4069N, tedy jedno pouzdro DIL16 obsahující šestici invertorů. Maximální výstupní rozkmit je cca 24V. V reálné situaci je rozkmit menší, protože invertory nepracují ideálně v celém rozsahu napětí (nejsou typu rail-to-rail).

2.3 Zesilovač pro přijímač

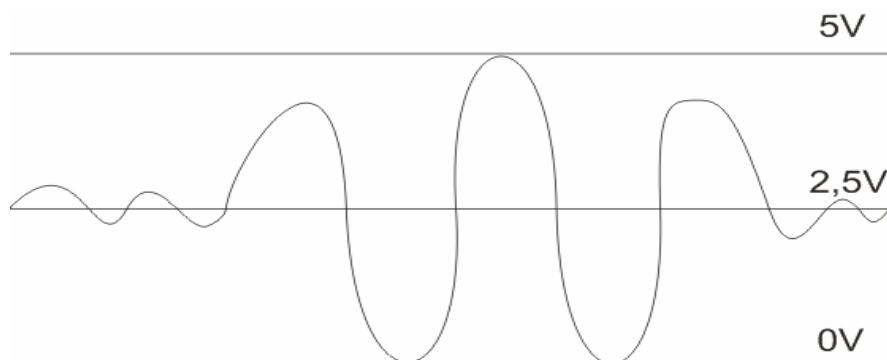
Přijatý odražený ultrazvukový signál je nutno zesílit. Výstupní napětí ultrazvukového přijímače je v řádech milivoltů. S takovým napětím mikrokontrolér pracovat nemůže. Optimální je signál zesílit do oblasti 0-5V. Všechny ultrazvukové přijímače, které jsem na webu našel, pracují na principu maximálního zesílení přijatého signálu (překročení limitace zesilovače) a následným přivedením signálu na port mikrokontroleru. Ten potom signál zpracovává jako dvoustavový (přišla ozvěna / nepřišla ozvěna) Tento systém se ale nejeví jako příliš vhodný, protože nelze rozlišit jak silná ozvěna (echo) přišla. Systém pak zesiluje i rušivé vlivy a šum až do limitace zesilovače a mikrokontrolér může tyto jevy chybně vyhodnotit jako přijaté echo.

Navrhnul jsem tedy systém využívající A/D převodník a optimální zesílení. V programu se potom nekontroluje pouze za jak dlouho dorazilo echo, ale také jak silné. Tímto způsobem lze eliminovat velkou část chyb měření.



Obr. 9: Schéma zesilovače pro přijímač

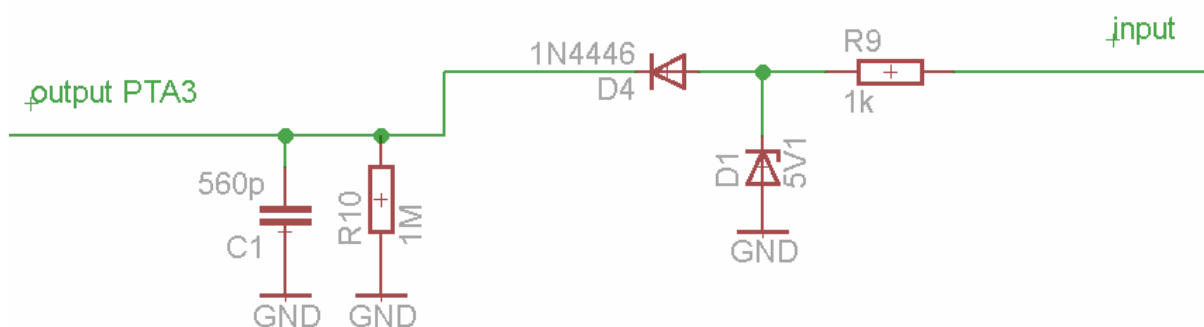
Zesilovač je tvořen dvěma operačními zesilovači, rezistory ve zpětných vazbách a odporovým děličem pro stejnosměrnou složku. První stupeň zesilovače má zisk 33 (nastavený poměrem rezistoru R13 ku R11). Druhý stupeň má také zisk 33 (nastavený rezistory R8 a R13). Celkové zesílení je tedy 1000*. Stejnosměrná složka signálu je odporovým děličem R25 a R23 posunuta kladně do oblasti 2,5V. Maximální výstupní napětí je 5V (kladná půlvlna), minimální 0V (záporná půlvlna).



Obr. 10: Ukázka střídavého signálu po zesílení

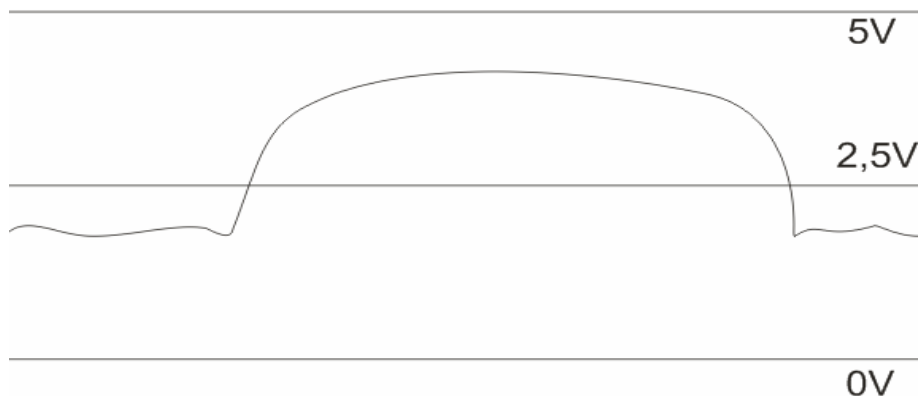
2.3.1 Obvod pro detekci obálky

Přijatý a zesílený signál má tvar, který odpovídá vyslanému signálu, tedy několik kmitů o frekvenci 40kHz. Protože takový signál by bylo obtížné zpracovat, je vhodné použít obvod, který tyto signál převede na tzv. obálku. Kmitý spojí do jednoho delšího vyhlazeného impulsu. Obvod tvoří diody, rezistory a kondenzátor.



Obr. 11: Schéma obvodu pro detekci obálky

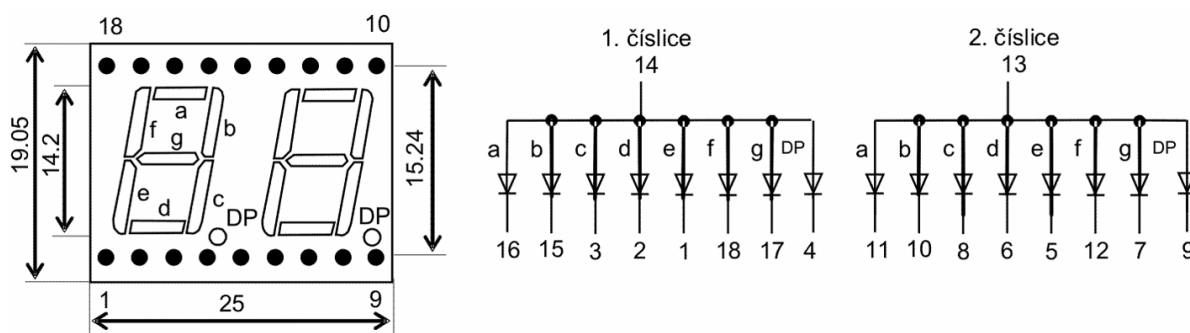
Signál se na diodě D4 usměrní a pomocí kondenzátoru a rezistoru vyhladí. Na vstup A/D převodníku jde potom signál v rozsahu 1,8V – 4,3V. 0,7V je úbytek na P-N přechodu diody. Tento rozsah je však dostatečný, 8bit A/D převodník ho rozliší na cca 100 hodnot. Zenerova dioda D1 slouží jako ochrana vstupu A/D převodníku před napětím vyšším než 5V.



Obr. 12: Ukázka signálu po detekci obálky

2.4 Zobrazovací modul

Návrh systému počítá s možností zobrazování výsledků měření na displeji přístroje. K tomuto účelu byly zvoleny LED displeje. Vzdálenost je vypisována v centimetrech, rychlost pak v centimetrech za vteřinu. Pro výpis vzdálenosti byl zvolen dvou a půl místný LED displej, tedy nejvyšší zobrazitelné číslo je 199. Na stejnou hodnotu je zároveň softwarově nastaven dosah. Pro výpis rychlosti je určen dvoumístný LED displej. Jedná se o zelené LED displeje v zapojení se společnou anodou. Ovládání na straně mikrokontroléru je tedy řízeno zápornou logikou (0V = svítí segment, 5V = nesvítí segment). Displeje jsou řízeny tzv. multiplexem. Jejich segmenty jsou navzájem propojeny a přivedeny na port PTC.

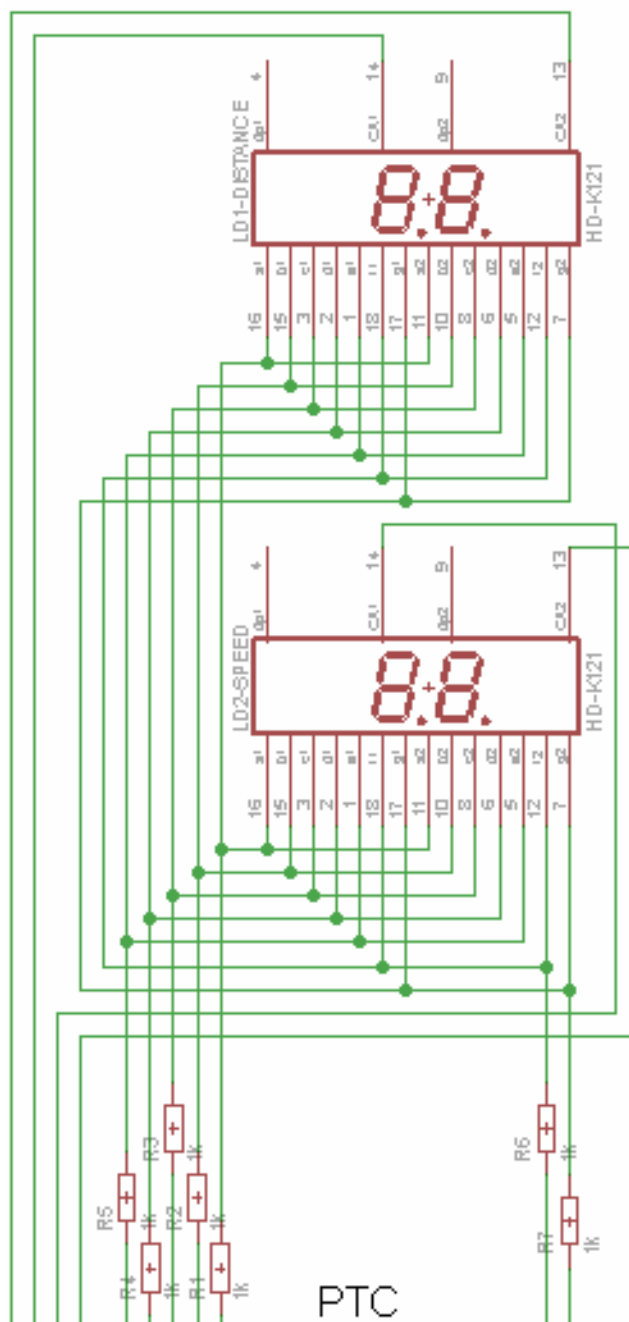


Obr. 13: Schéma dvoumístného LED displeje [15]

Displeje se rozsvěčují přivedením napětí na jednu ze čtyř společných anod (na každém dvoumístném displeji jsou dvě). Ty jsou řízeny z portu PTA, konkrétně piny 4 – 7. Displej, který zobrazuje symbol stovky při zobrazení vzdálenosti je řízen nezávisle z pinů 4 a 5 portu PTD. Pro vypisování číslic na displeje byla sestavena následující tabulka. Pro každou číslici uvádí seznam aktivních segmentů a také logické úrovně na portu (záporná logika). Nakonec příslušnou hexadecimální hodnotu. Pole těchto hodnot se využívá v obslužném programu.

| číslice | akt.segment | g | f | e | d | c | b | a | hexa |
|---------|---------------|---|---|---|---|---|---|---|------|
| 0 | a,b,c,d,e,f | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40 |
| 1 | b,c | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 79 |
| 2 | a,b,d,e,g | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 24 |
| 3 | a,b,c,d,g | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| 4 | b,c,f,g | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 19 |
| 5 | a,c,d,fg | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 12 |
| 6 | a,c,d,e,f,g | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 02 |
| 7 | a,b,c | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 78 |
| 8 | a,b,c,d,e,f,g | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 00 |
| 9 | a,b,c,d,f,g | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7F |
| E | a,d,e,f,g | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 06 |
| - | g | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3F |

Tabulka 4: Řízení displeje

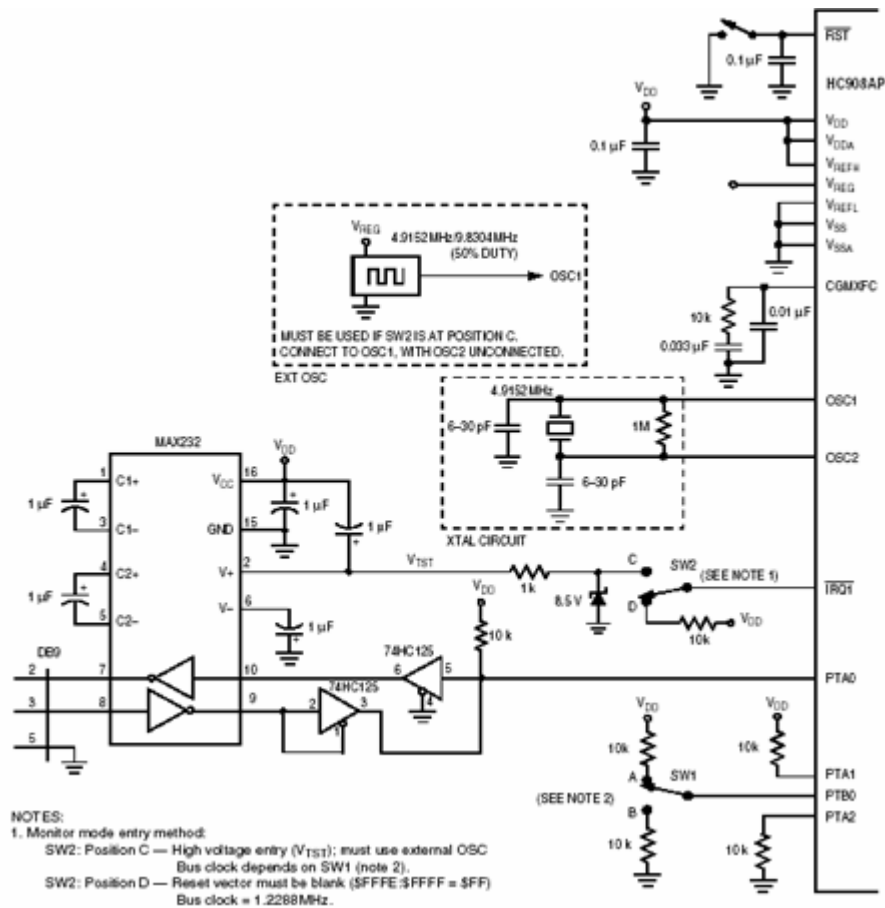


Obr. 14: Schéma zapojení displejů

Mezi každým segmentem displeje a portem PTC je zařazen rezistor 1KΩ (R1-R7). Ty slouží jednak ke snížení proudu tekoucího přes diody a také k tomu aby nedošlo k poškození portu přes který se dioda uzemňuje.

2.5 Zapojení kontroléru

Při návrhu podpůrných obvodů procesoru (krystal, napájení, referenční napětí atd.) jsem se řídil doporučením výrobce. Veškeré informace jsou čerpány z datasheetu [9].



Obr. 15: Doporučené zapojení mikrokontroléru [9]

Z důvodu lepší ochrany proti rušení bylo do napájecí části přidáno několik kondenzátorů (viz kompletní schéma, Příloha 1). Kontrolér je napájen pěti volty. Využívá dva zdroje hodin. 32kHz krystal, který pomocí fázového závěsu taktuje procesor za běhu a krystal 9,8304MHz, sloužící během programování v režimu „monitor“. Mezi těmito krystaly se přepíná pomocí jumperu.

2.6 Integrovaný programátor

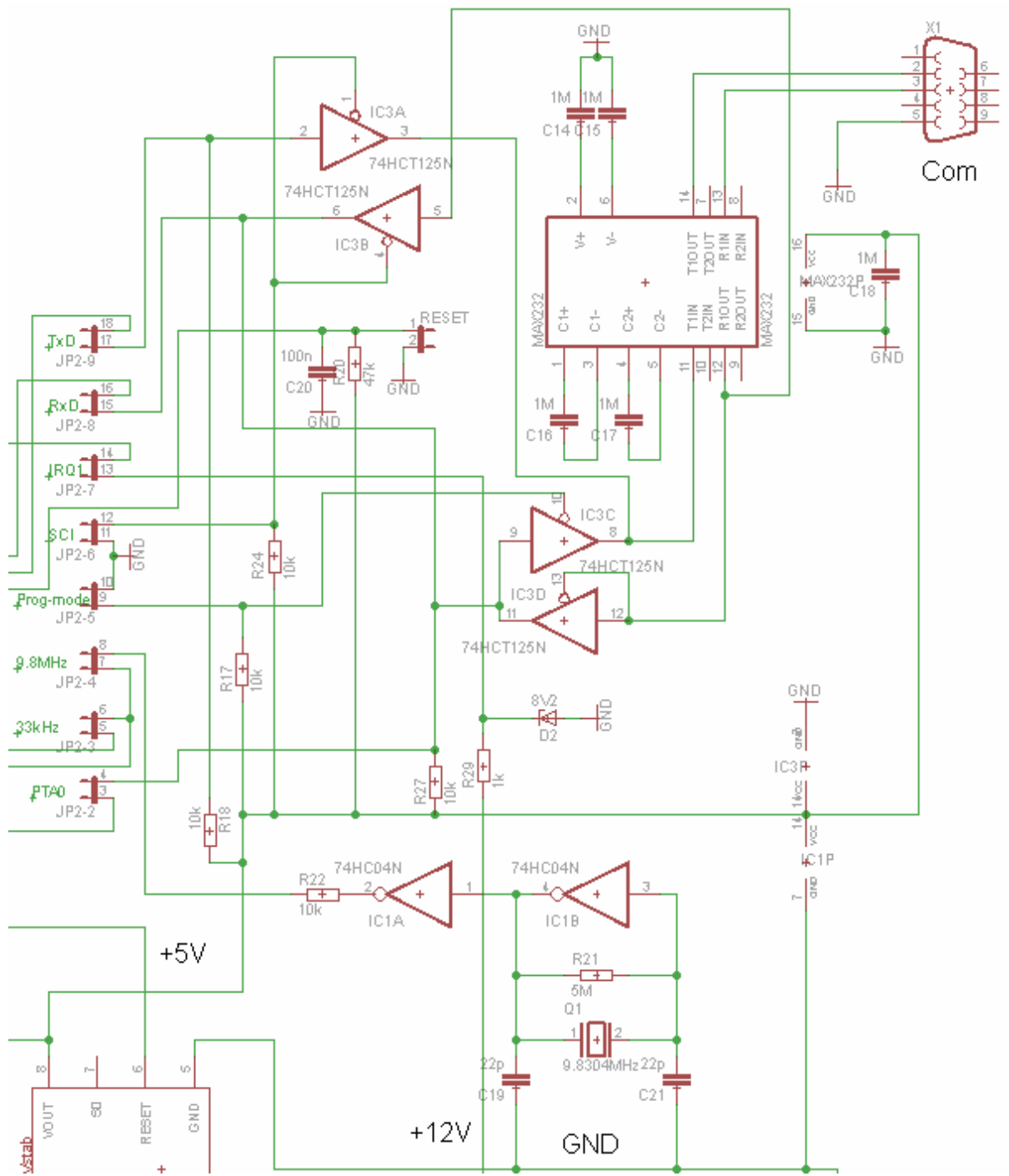
Z důvodu efektivnějšího ladění programu byl do návrhu zahrnut také programátor pro mikrokontrolér, umístěný přímo na desce výrobku. Nejdůležitější součástí programátoru je integrovaný obvod MAX-232. Slouží k převodu mezi logickými úrovněmi používanými standardem RS232 (COM port na PC) a úrovněmi použitelnými pro programování paměti mikrokontroléru (TTL úrovně). Tento obvod se využívá také za běhu programu, ke komunikaci mezi kontrolérem a PC pomocí asynchronního sériového přenosu SCI.

Další součástí programátoru je taktovací obvod, tvořený krystalem o kmitočtu 9,8304MHz a integrovaným obvodem 74HC04N (invertor), sloužící k zesílení hodinového signálu.

Součástí je také čtveřice ovladatelných bufferů (74HCT125N), které zajišťují správné propojení datových vodičů v závislosti na aktuálním režimu kontroléru (programování, běh programu, povolený sériový přenos). Pracují jako polovodičová relé a jsou ovládány zápornou logikou.

Při programování je obvod v režimu tzv. hardware loop, tedy veškerá data došla z PC jsou opět vrácena na sběrnici RS232.

Poslední částí obvodu je pak zenerova dioda 8V2 (D2), která zajišťuje přepnutí procesoru do monitor módu (viz kapitola 2.6.1) přivedením napětí 8V na pin IRQ1.



Obr. 16: Schéma integrovaného programátoru

2.6.1 Monitor mód

Monitor mód slouží pro ladění programu. V tomto režimu je možné nahrávat program do flash paměti a také krokovat běh procesoru.

Do monitor módu přejde procesor po resetu v případě, že jsou splněny následující podmínky:

- Na pin IRQ1 je přivedeno napětí 8V
- PTA1 je v log. 0
- PTA2 v log. 1
- PTB0 v log. 1

Při tomto nastavení je předpokládáno taktování krystalem 9,8304MHz. Při použití jiného kmitočtu se požadované hodnoty na portech liší. Všechny varianty vstupu do monitor módu jsou popsány v datasheetu [9]. Programování paměti se provádí skrze vývod PTA0.

2.6.2 RS-232

Standard 232 je jedno z nejrozšířenějších sériových rozhraní, v dnešní době používané hlavně v průmyslu. V oblasti osobních počítačů bylo nahrazeno výkonnějším sériovým rozhraním - USB. RS-232 umožňuje propojení a komunikaci dvou zařízení. Bity se přenášejí za sebou od nejméně významného (LSB) po nejvýznamnější (MSB) bit. Zpravidla po osmi bitech. Rozhraní využívá vodiče pro příjem (RxD), pro vysílání (TxD) a společnou zem (GND). Obsahuje ještě další vodiče pro napájení a řízení přenosu, ty však tomto projektu nejsou využity. Synchronizace přenosu se provádí vysláním tzv. start bitu. Po přenesení datových bitů se odešle paritní bit pro kontrolu, zda nedošlo během přenosu k chybě. Nakonec se přenesou jeden, nebo dva tzv. stop bity [10].

2.6.2.1 Logické úrovně

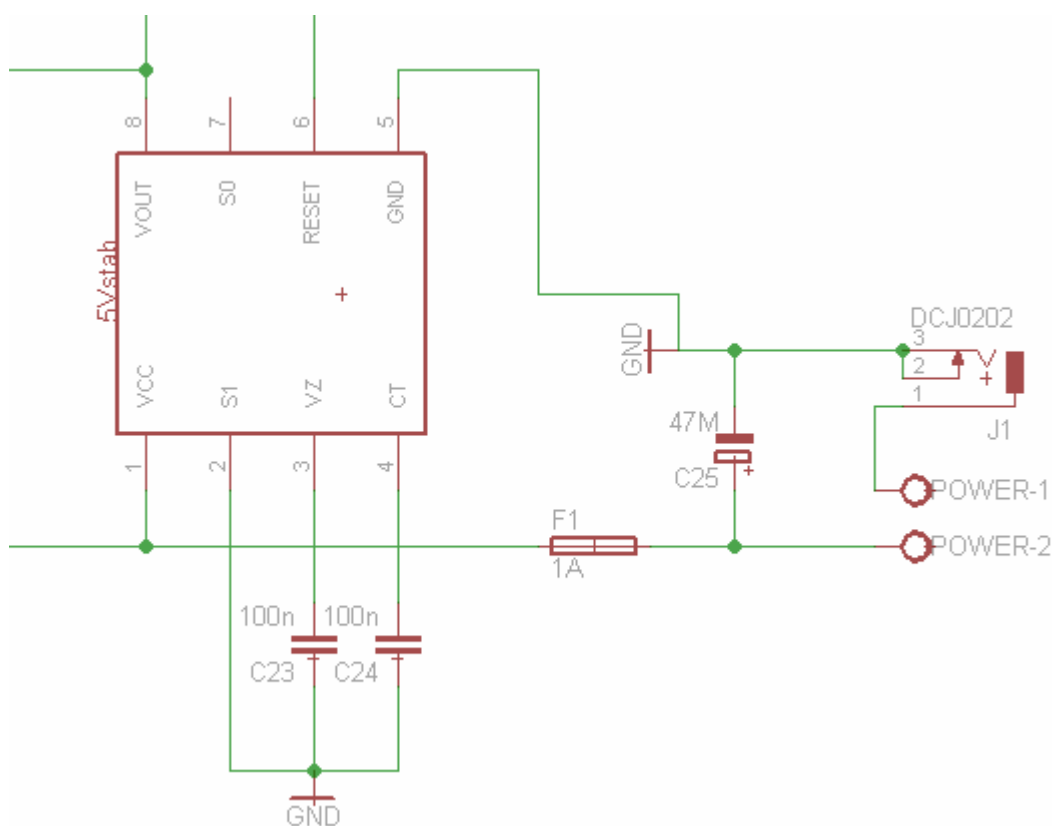
Logická „1“ je definována záporným napětím, logická „0“ kladným. Jejich hodnoty nejsou závazně určeny, používají se různá napětí, nejčastěji okolo 10V.

| Úroveň | Vysílač | Přijímač |
|--------|-------------|------------|
| Log 0 | +5V až +15V | +3 až +25V |
| Log 1 | -5V až -15V | -3 až -25V |

Tabulka 5: povolené napěťové úrovně RS-232 [11]

2.7 Napájení

Výrobek je napájen stejnosměrným napětím +12V. Napětí je konektorem typu jack přivedeno na desku. Do napájecí cesty je zařazen kolébkový vypínač, sloužící k zapnutí / vypnutí zařízení (vývody POWER-1 a POWER-2). Napájení je jištěno pojistkou typu F (rychlá) o maximálním proudu 1A. Za ní je zapojen kondenzátor C25 pro pokrytí odběrových špiček a filtraci napětí. Napětí 12V se využívá pouze pro napájení zesilovače vysílače a pro vstup do monitor módu (napětí na pin IRQ1). Ostatní obvody jsou napájeny napětím +5V. To zajišťuje stabilizátor L4949. Stabilizátor je vybaven také výstupem „reset“ který po ustálení napětí po zapnutí vyše signál k resetování kontroléru.



Obr. 17: Schéma napájení

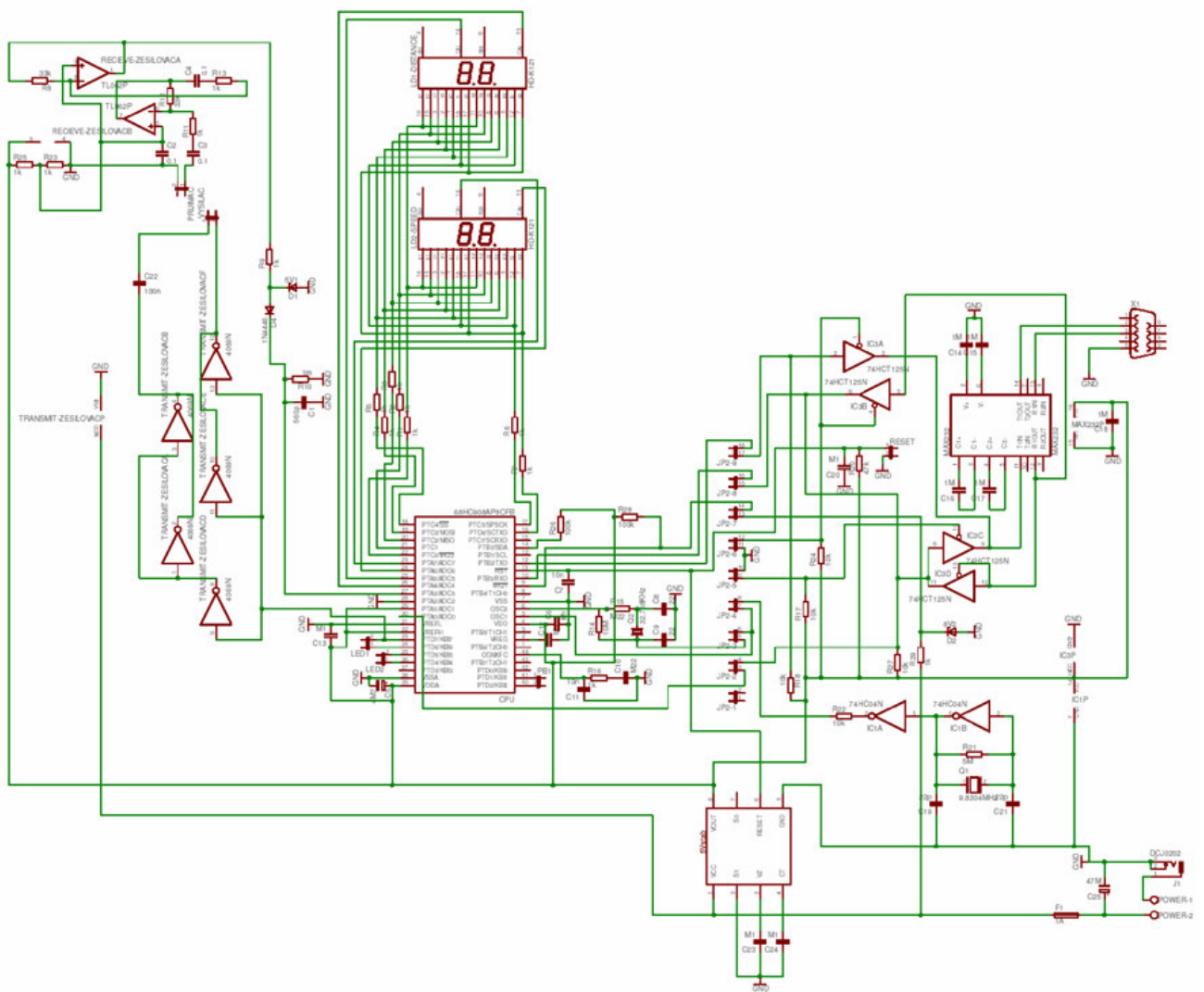
2.8 Tělo výrobku

Tělo výrobku tvoří plastová přístrojová krabice černé barvy o rozměrech 185mm x 135mm x 45mm. Uvnitř je umístěna deska plošného spoje osazená součástkami. Ve víku jsou vyřezány otvory pro dva displeje a vypínač. Na přední straně je vyveden ultrazvukový vysílač a přijímač. Vzadu potom otvory pro napájecí a komunikační konektor. Celá krabice stojí na čtyřech plastových podstavcích.

3 Realizace

Po fázi návrhu se začalo pracovat na fyzické realizaci zařízení. Nejprve bylo nutné převést elektrické schéma na desku plošného spoje. Následně tuto desku vyrobit, osadit součástkami a zapojení oživit. Mezitím se pracovalo na mechanických částech, jako je umístění vypínače, displejů a ultrazvukových prvků do přístrojové krabice.

Elektrické schéma v plné velikosti je součástí příloh (Příloha 1)

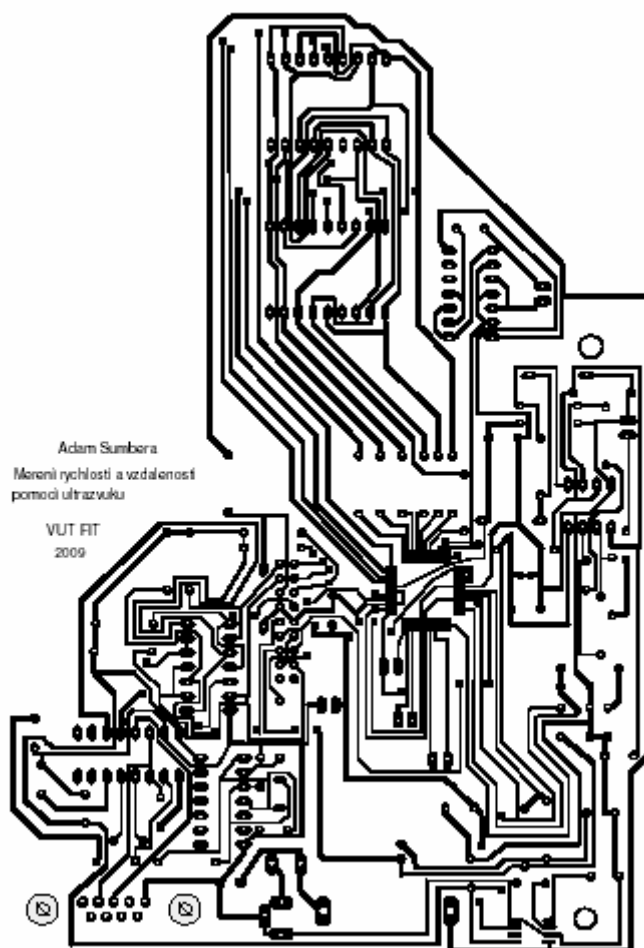


Obr. 18: Elektrické schéma

3.1 DPS

Desku plošného spoje jsem navrhoval v CAD programu Eagle [12]. Z ekonomických důvodů jsem se rozhodl pro jednostrannou desku. Nebylo tedy možné využít funkci autorouteru (automatické nalezení nejvhodnějších cest na desce) protože docházelo ke značnému počtu křížení vodičů. Tyto problémy byly řešeny drátovými propojkami se snahou o jejich minimální počet. Ruční návrh desky je sice časově velmi náročný, avšak mnohem efektivnější s ohledem na výrobní náklady a miniaturizaci. Miniaturizace však nebyla v tomto případě nutná. Ve finální verzi plošného spoje je potřeba cca 25 drátových propojek. Výroba oboustranného plošného spoje, vybaveného prokovenými otvory a nepájivou maskou by byla finančně více než desetkrát náročnější. Cena výroby jednoho kusu plošného spoje dle mého návrhu nepřevyší 300kč včetně vyvrtání otvorů.

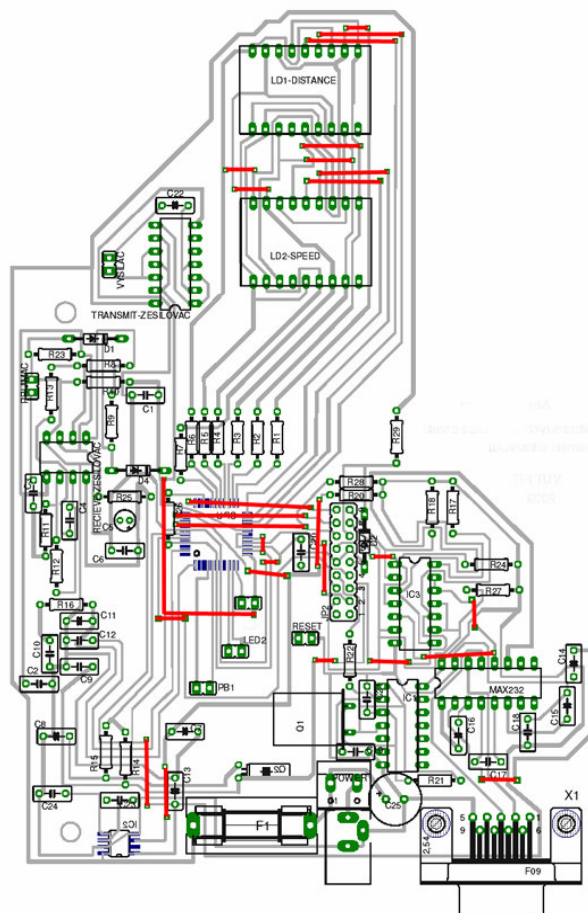
Plošný spoj v plné velikosti je součástí příloh (Příloha 2)



Obr. 19: Plošný spoj

3.2 Osazení desky

Desku plošného spoje jsem nechal vyrobit fotocestou ve firmě Sitas s.r.o. (Rožnov pod Radhoštěm). Deska je z důvodu snadnější domácí výroby osazena klasickými drátovými součástkami. Pouze mikrokontrolér a stabilizátor napětí 5V jsou v provedení SMD. Nejprve je tedy vhodné osadit tyto dvě součástky. Součástky se položí do cínové pasty a vlastní zapájení je provedeno ve speciální peci. Pokud by byla deska již kompletně osazená, došlo by v peci vlivem vysoké teploty k poškození např. displejů a některých integrovaných obvodů. Dále je vhodné postupovat osazením rezistorů, kondenzátorů a vývodů pro jumpery. Dalším krokem jsou patice pro integrované obvody. Pájení samotných IO není vhodné vzhledem k možnému tepelnému poškození a také k nemožnosti jejich výměny. Nakonec se osadí krystaly, konektory, pojistkové pouzdro a vývody pro displeje. Celá deska se umyje od zbytků tavidla a důkladně prozkoumá, zda při výrobě nebo osazování nedošlo ke zkratům. Po přivedení napájecího napětí je vhodná jeho kontrola na příslušných pozicích patic IO. Pokud je vše v pořádku, pak se můžou tyto obvody osadit do patic. Pro snadnější orientaci při osazování součástek byl vytvořen osazovací plán. Je součástí příloh (Příloha 3). Drátová propojení jsou vyznačena červenou barvou.



Obr. 20: Osazovací plán

3.2.1 Rozpis součástek

| Rezistory | |
|---|------|
| R1-R7, R9, R11, R13, R16, R23, R25, R29 | 1k |
| R17, R18, R22, R24, R27 | 10k |
| R8,R12 | 33k |
| R20 | 47k |
| R26, R28 | 100k |
| R15 | M22 |
| R10 | 1M |
| R21 | 5M |
| R14 | 10M |

| Kondenzátory | |
|-----------------------------------|------|
| C8, C9, C19, C21 | 22p |
| C1 | 560p |
| C7, C11 | 10n |
| C2-C4, C6, C12, C13, C20, C22-C24 | 100n |
| C10 | M22 |
| C14-C18 | 1M |
| C5 | 4M7 |
| C25 | 47M |

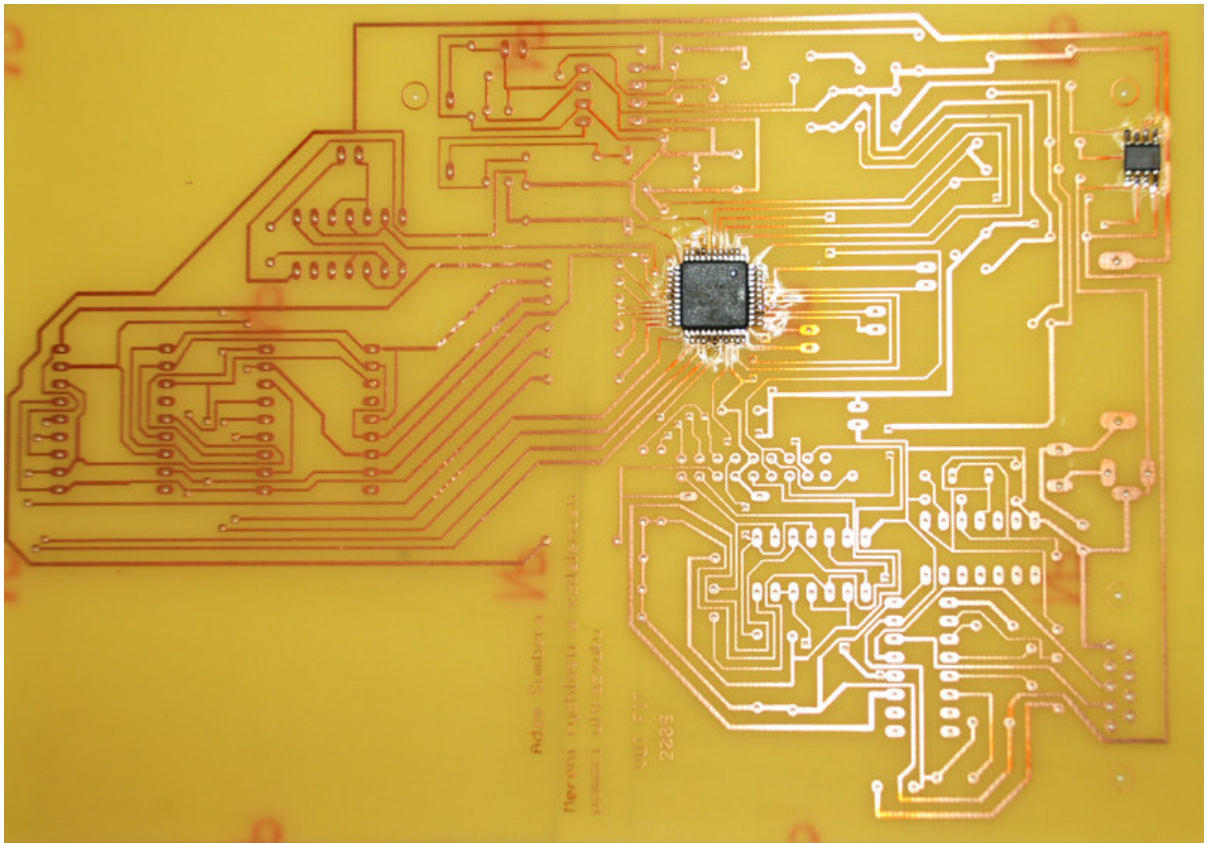
| Diody | |
|--------------|--------|
| D1 | 5V1 |
| D2 | 8V2 |
| D4 | 1N4446 |

| IO | |
|--------------|---------------|
| IC1 | 74HC04N |
| IC2 | L4949D |
| IC3 | 74HCT125N |
| MAX | MAX-232 |
| Transmit-zes | 4069N |
| Recieve-zes | TL062P |
| CPU | 68HC908AP8CFB |

| Krystaly | |
|-----------------|-----------|
| Q1 | 9.8304MHz |
| Q2 | 32.768KHz |

| Periferie | |
|------------------|------------|
| LD1-distance | DA56-11GWA |
| LD2-speed | DA56-11GWA |

| Konektory | |
|---|-----------------------|
| X1 | Cannon 90 |
| JP2 | lišta 8x dvojice pinů |
| J1 | 1,3mm jack |
| Power | 2x faston |
| led1, led2, pb1, vysilac, prijimac, reset | dvojice pinů |
| F2 | pojistkové pouzdro |



Obr. 21: DPS vyrobená fotocestou, osazené SMD součástky



Obr. 22: Osazování desky

3.3 Oživení

Po osazení a kontrole desky bylo nutné celé zařízení oživit. V této fázi se ladí chyby vzniklé při návrhu desky nebo problémy s nekompatibilitou součástek, příp. jejich logickými úrovněmi.

Jako první byly otestovány oscilátory. Pomocí osciloskopu se ověřil generovaný kmitočet. Oscilátor Q2 generoval požadovaný kmitočet 33kHz, avšak obvod pro generování hodin během programování (9.8304MHz) nepracoval správně. Naměřeny byly kmitočty ve stovkách MHz. Tento problém způsobil nevhodný typ integrovaného obvodu, sloužící pro zesílení hodinového signálu, kmitající na vyšší harmonické složce. Jeho náhradou typem 74HC04N byl problém vyřešen.

Následně se testovaly zesilovače. Pomocí tónového generátoru se na jejich vstupy přivedl obdélníkový signál 40kHz a na osciloskopu se ověřilo zesílení a tvar signálu. Zesilovač pro vysíláč pracoval bezchybně. U přijímacího zesilovače byla objevena chyba, vzniklá během návrhu desky. Byly zaměněny polarity vstupů operačního zesilovače. Po opravě zesilovač pracoval dle návrhu.

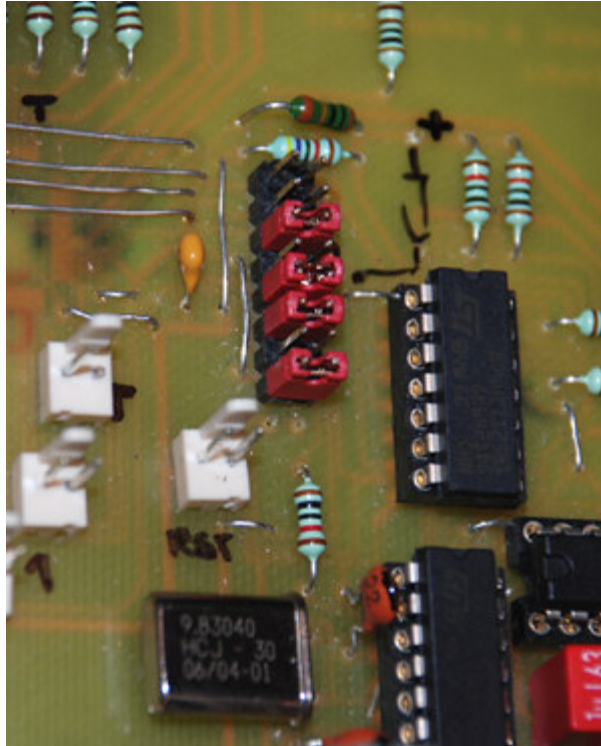
Na desce bylo nalezeno ještě několik drobných chyb. Všechny byly opraveny jak na DPS, tak ve schématech. Přiložená schémata a rozpisy součástek tedy odpovídají poslední, funkční verzi výrobku.

3.3.1 Programování paměti

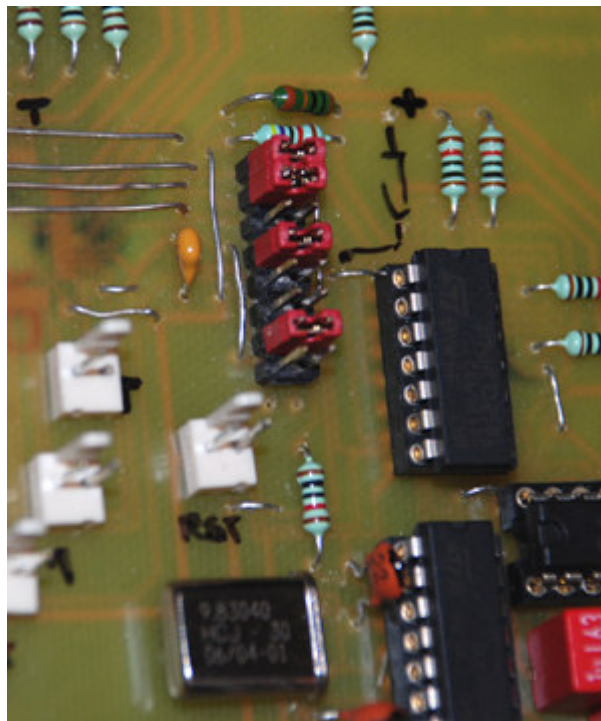
Funkční výrobek je nyní možné připojit k PC a naprogramovat mikrokontrolér. Pokud není počítač vybaven portem RS-232, může se použít redukce na USB. Před zahájením samotného programování je potřeba pomocí jumperů povolit monitor mód procesoru a aktivovat externí generátor hodin. Pozice jumperů pro programování jsou vyznačeny na Obr. 23 a pozice pro běh programu na Obr. 24.

Významy jednotlivých dvojic pinů pro jumpery. Vypsány ve formátu: Funkce při spojení pinů / funkce při rozpojení pinů.

1. Povolený přenos SCI (TxD) / Zakázaný přenos SCI (TxD)
2. Povolený přenos SCI (RxD) / Zakázaný přenos SCI (RxD)
3. IRQ1 = 8V / IRQ1 = 5V
4. Komunikace SCI aktivní / Komunikace SCI neaktivní
5. Programování aktivní / Programování neaktivní
6. Krystal 9,8MHz aktivní / Krystal 9,8MHz neaktivní
7. Krystal 33kHz aktivní / Krystal 33kHz neaktivní
8. PTA0 připojen pro příjem dat / PTA0 odpojen



Obr. 23: Zařízení připraveno pro programování



Obr. 24: konfigurace pro běh programu a aktivní SCI komunikaci

4 Obslužný program

Program pro mikrokontrolér byl vyvíjen v prostředí CodeWarrior, v jazyce C. Využívá několik jednodušších funkcí, funkci main a rutinu pro obsluhu přerušení. Kompletní zdrojový kód je součástí příloh. Některé zajímavější úryvky kódu budou popsány podrobněji.

Program periodicky měří vzdálenost a rychlost objektů s periodou 500ms. Naměřené hodnoty vypisuje na LED displeje a odesílá do PC po sériové lince.

4.1 Inicializace zařízení

Prvním krokem je inicializace celého mikrokontroléru. Je potřeba nastavit vlastnosti portům, aktivovat periferie jako SCI, A-D převodník atd.. K tomuto účelu slouží funkce MCUinit.c. Tvorbu této funkce výrazně usnadnila součást vývojového prostředí jménem Device Initialization, kde je možno vizuálně nakonfigurovat kontrolér a vygenerovat příslušný kód. Ve funkci MCUinit.c jsou dále přiřazeny handlers příslušným zdrojům přerušení. Zdrojem přerušení je v této aplikaci pouze časovač TIM2 sloužící pro obnovování LED displejů.

4.2 Funkce display

Funkce display slouží k výpisu hodnot na LED displeje. LED displeje jsou řízeny v časovém multiplexu. To znamená že v jeden okamžik svítí pouze jedna číslice. Displeje se tedy musí přepínat tak rychle po sobě, aby je lidské oko vnímalo jako konstantně svítící čtveřici číslic. Doba svícení jednoho segmentu je v tomto případě 5ms. Každý segment je obnoven 50x za vteřinu. Funkce display rozlišuje 4 různé stavy.

1. Výpis jednotek cm na displej vzdálenosti
2. Výpis desítek cm na displej vzdálenosti
3. Výpis jednotek cm/s na displej rychlosti
4. Výpis desítek cm/s na displej rychlosti

V závislosti na aktuálním stavu funkce vypočítá číslici která se bude zobrazovat. Z tabulky znaků LED displeje (const char LED[13]) vybere odpovídající kód a vyšle ho na port PTC. Dále aktivuje společnou anodu příslušného displeje (dle aktuálního stavu), čímž dojde k jeho rozsvícení.

Pokud je změřená vzdálenost vyšší než 99cm, zajistí rozsvícení přídatného displeje pro zobrazování symbolu stovky.

Pokud nebyla změřena žádná vzdálenost (nedorazilo echo), nebo došlo k chybě, funkce display vypíše symbol „-“ nebo „E“

Posledním krokem funkce je přepnutí aktuálního stavu na následující.

4.3 Funkce main

Ve funkci main se provádí vlastní měření. Nejprve se všechny proměnné nastaví na výchozí hodnoty. Následuje nekonečná smyčka ve které se provádí měření. Před začátkem měření je nutné zakázat přerušení. Pokud by se během vysílání, nebo čekání na příchod signálu předalo řízení obslužné rutině přerušení, mohlo by během měření dojít k chybě.

Vyslání signálu

Vysílá se deset period signálu o kmitočtu 40kHz. V cyklu se čeká na přetečení časovače TIM2 a provádí inverze logické hodnoty na portu PTA7. Časovač TIM1 je nastaven na periodu 12,5us.

Čekání po vyslání

Pokud by se ihned po vyslání signálu začalo s příjmem odraženého signálu, mohlo by dojít k zachycení právě vyslaných vln a jejich vyhodnocení jako překážku. Proto je mezi vysíláním a příjmem zařazeno ještě čekání 300us. Za tuto dobu urazí zvukové vlny cca 10cm a neměly by již tedy ovlivnit příjem. K naměřené hodnotě pak přičtu těchto 10cm a dále 8,6cm, které vlny urazily během doby vysílání.

Příjem signálu

Na portu PTA3 je inicializovaný A/D převodník. Je nastaven pro jednorázový převod. Po přečtení výsledné hodnoty je znova aktivován. Na vstupu převodníku je zesílený vyhlazený signál ultrazvukového přijímače. Časovač TIM2 se nastaví na hodnotu 11,6us. Za tuto dobu urazí zvukové vlny 4mm. Ve smyčce s periodou 11,6us se potom čeká na příchod echa. Po každém průchodu smyčkou se inkrementuje počítadlo. Jakmile je detekováno echo, smyčka se ukončí a hodnota počítadla představuje počet milimetrů / 4.

Detekce echa se provádí pomocí tzv. korekční funkce. Vychází se z předpokladu, že čím je překážka dál, tím slabší signál dorazí zpět k přijímači. Proto s rostoucím časem klesá kritická hodnota („threshold“) kdy je přijatý signál vyhodnocen jako překážka a kdy pouze jako šum. Korekční funkce byla sestavena experimentálně měřením. Je zapsána ve formě pole 24 hodnot. Pokud je výsledek A/D

převodu přijatého signálu vyšší než aktuální „treshold“, došlo k detekci překážky a příjem signálu se ukončí. Aktuální „treshold“ se určuje podle uplynulého času od počátku příjmu signálu.

Na základě testování byla do přijímací smyčky přidána optimalizace. Ta spočívá v počítání aritmetického průměru čtyř po sobě přichozích hodnotách echa a až následnému vyhodnocení, zda jde o překážku nebo šum. Pokud se pracovalo jen s jednou hodnotou, docházelo k chybám, protože v přijatém signálu se vyskytují krátké impulsy, které byly vyhodnocovány jako překážka. Tato vlastnost přijímaného signálu byla objevena pomocí osciloskopu připojeném na výstup zesilovače pro přijímač.

Ukázka kódu pro příjem ultrazvukového signálu:

```
//zapnutí AD převodníku. jeden převod trva 8us
ADSCR&=0x7F;
pom = 0;
//Prijimaci cyklus. Pocita cas do prichodu ECHA. Pokud neprijde do 11,6 ms (cca 2 metry -
952kroku), konec
for (i=1;i<952;i++)
{
    //pooling - ceka se na dalsi "tik"11,6us
    while (T2SC_TOF == 0)
    {}
    T2SC_TOF = 0;

    //zapsani hodnoty do tabulky 4 prijatych hodnot
    echo[j] = ADROL;
    ADSCR&=0x7F; //aktivace převodníku pro dalsi hodnotu

    //je tabulka plna a bude se delat prumer?
    if(j >= 3)
    {
        vypocet = 0;
        for(k=0;k<4;k++)
        {
            vypocet = vypocet + echo[k];
        }
        vypocet = vypocet /4;

        //prislo ECHO? (vetsi hodnota na vstupu nez hodnota v korekcni tabulce)
        if (vypocet > corr_table[i / 42])
        {
            flag_overflow = FALSE; //nedoslo k pretečení času - bylo neco zmereno
            break; //ukonci se prijimaci cyklus
        }
    }
    //obsluha pocitadla ctyr hodnot, ktere se prumeruji (j = 0 - 3)
    j++;
    j = j % 4;
}
```

Výpočet vzdálenosti

Pokud nebyl zaznamenán žádný odražený signál, příznak přetečení (flag_overflow) je nastaven na hodnotu TRUE, vypíše se na displeji symboly „-“ a výpočty vzdálenosti a rychlosti neproběhnou.

Jestliže bylo zachyceno echo, vypočítá se vzdálenost překážky. Vzdálenost, kterou zvuk urazil se skládá z hodnoty počítadla (int i), ze vzdálenosti kterou urazil během vysílání a během čekání mezi vysíláním a příjmem. Počítadlo (i) počítalo vzdálenost po čtyřech milimetrech, během vysílání zvuk urazil 86mm a během čekání 100mm. Vzdálenost mezi čidlem a překážkou musel zvuk urazit dvakrát. Jednou směrem od vysílače k překážce a podruhé odražený zvuk od překážky k přijímači. Výpočet vzdálenosti má tedy následující tvar:

$$L(\text{mm}) = \frac{(4 * i + 86 + 100)}{2}$$

Vypočtená vzdálenost je v milimetrech. Pro vypsání na displej se převede na centimetry. Pokud je větší než 99cm, rozsvítí se znak stovky a na displej se vypíše hodnota 0-99.

Výpočet rychlosti

Rychlost se vypočítá jako změna vzdálenosti v závislosti na čase. Takový výpočet by byl ale přesný pouze v ideálním případě, kdy by byla vzdálenost změřena vždy správně. V reálné situaci ale při měření vzdálenosti dochází vlivem odrazů a pohlcování signálu k chybám. Rychlost potom silně kolísá a je obtížné ji vůbec přečíst na displeji. Proto je do tohoto výpočtu zahrnuto několik optimalizací. V proměnných se uchovávají hodnoty naměřených vzdáleností. Vypočte se aritmetický průměr dvou posledních změn vzdáleností. Tento průměr se ukládá do pole. Nakonec se vypočítá klouzavý průměr ze tří po sobě jdoucích hodnot z tohoto pole.

Výpočet rychlosti pracuje s absolutními hodnotami, takže vyhodnocuje rychlost pohybu jak směrem k měřiči, tak směrem od měřiče.

Protože měření probíhá v intervalech 0,5s, musí se výsledná rychlost vynásobit dvěma. Pak dostáváme hodnotu v centimetrech za vteřinu. Pokud je vypočtená rychlost vyšší než 99cm/s na displej se vypíše znak „E“, protože ji není možno zobrazit na dvoumístném displeji.

```
//vypocet rychlosti

//rychlost je prumer dvou po sobe jdoucich zmenach vzdalenosti
speed_0 = (unsigned char)((abs(realdistance - dist_1)) + abs(dist_1 - dist_2))/2;

//aktualni rychlost se urci pomoci klouzaveho prumeru 3poslednich rychlosti
speed = (unsigned char)(speed_2 + speed_1 + speed_0)/3;

//cm /s = 2* cm 1/2 s
speed = speed * 2;

//vejde se na display?
```

```

if (speed > 99)
    speed = 220; //vypise se pismeno E

//posunuti aktualnich hodnot v poli
dist_2 = dist_1;
dist_1 = (unsigned char)realdistance;

speed_2 = speed_1;
speed_1 = speed_0;

```

Obsluha zobrazování hodnot na displeje

Po ukončení výpočtů se obě hodnoty odešlou na sériovou linku SCI. Časovači TIM2 se nastaví perioda 5ms a povolí se přerušení. Ve smyčce, která trvá až do přetečení hlavního časovače TIM1 se pomocí přerušení od TIM2 obsluhují LED displeje. Časovač TIM1 byl nastaven už během inicializace na hodnotu 500ms. Celý jeden cyklus měření a následného čekání s výpisem na displeje tedy trvá 500ms. Po uplynutí se začíná měřit znova.

```

/*
** =====
**      Interrupt handler : isrINT_TIM2Ovr
** =====
*/
__interrupt void isrINT_TIM2Ovr(void)
{
    /*Preruseni od pretečni casovace 2 */

    display();
    T2SC_TOF =0; //reset priznaku pretečni casovace 2

}
/* end of isrINT_TIM2Ovr */

```

Handler přerušení časovače TIM2. Zavolá funkci display() a ta zajistí vypsání hodnoty na displej. V globální proměnné si uchovává který displej byl vykreslen naposledy a při příštím zavolání vykresluje další displej.

4.4 Ladění programu

Po dokončení první verze programu jsem využil integrovaný simulátor. Tam se ověřily základní věci jako vyslání signálu, čekání, přerušení a odesílání dat. Protože program pracuje s analogovým vstupem, předem nespecifikovatelného tvaru, je nutné ladit jej přímo v zařízení. Po naprogramování kontroléru a spuštění programu se ale objevil problém. Na displejích se zobrazovala nesmyslná čísla a jejich malý rozsah (pouze dvě místa) neumožňoval vypisování důležitých hodnot potřebných k ladění programu. Pro tento účel jsem tedy vyvinul program ComLogger na PC. Program je podrobněji popsán v kapitole 5.3. Modifikoval jsem obslužný program kontroléru tak, aby potřebná data odesílal na sériovou linku. Velmi důležitá byla hodnota z A/D převodníku (echo) a doba kdy došlo k jejímu zaznamenání. Pomocí těchto informací pak bylo možno nahrubo sestavit tabulku pro korekční funkci. Jakmile začal měřič zobrazovat alespoň přibližné hodnoty, tabulka se

doladila. Následně se určily problémy které byly odstraněny optimalizacemi, popsány v kapitole 4.3. Mikrokontrolér byl po dobu ladění přeprogramován cca třicetkrát.

4.5 Metriky kódu

Vlastní zdrojový kód se skládá ze souboru main.c, main.h a souboru MCUinit.c.

Počty řádků zdrojových kódů jsou 400 + 8 + 330.

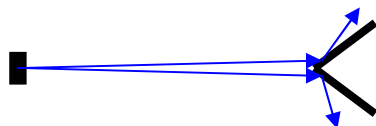
Velikost programu v binární podobě je 3,4kB

5 Experimenty

Po dokončení obslužného programu mikrokontroléru byly s funkčním zařízením provedeny experimenty. Zaměřil jsem se v nich pouze na vlivy povrchů materiálů jejich tvaru a umístění. Testovat vlivy teploty vzduchu a vlhkosti, nebo elektromagnetického rušení by bylo velmi obtížné.

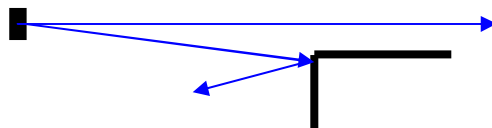
5.1 Problém odrazů od překážky

Přijímač zachytí echo objektu tehdy, pokud je alespoň jeho malá část kolmá k vysílači / přijímači a je schopná odrazit zvukové vlny. Problém ale nastává v následujících případech



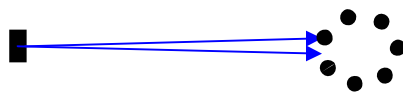
Obr. 25: Problém úhlu 1

Tento předmět nebude zachycen protože se veškeré vyslané zvukové vlny odrazí do jiných směrů než k přijímači.



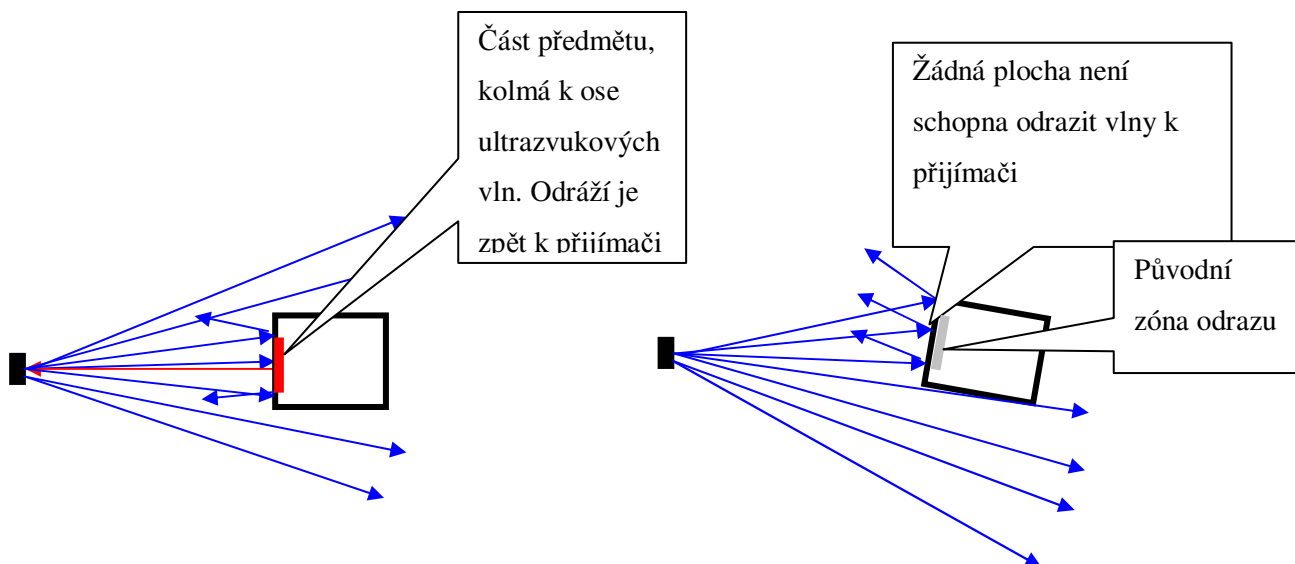
Obr. 26: Problém úhlu 2

V tomto případě část vyslaných zvukových vln předmět mine a druhá část se odrazí pod stejným úhlem jako na něj dopadla. Tedy opět mimo přijímač.



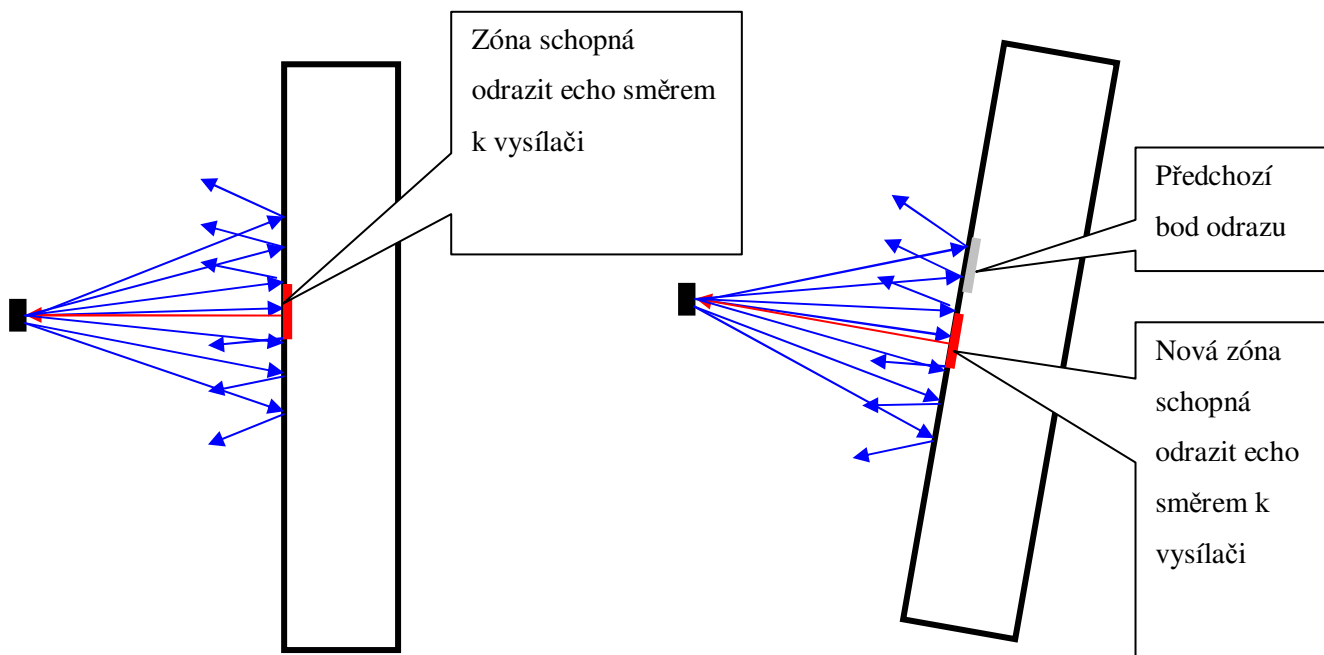
Obr. 27: Problém útlumu

Nyní je sice část tělesa natočena kolmo k vysílači / přijímači, ale jedná se o materiál který absorbuje zvukové vlny. Žádné echo tedy nedorazí zpět k přijímači a objekt je pro zařízení nedetekovatelný.



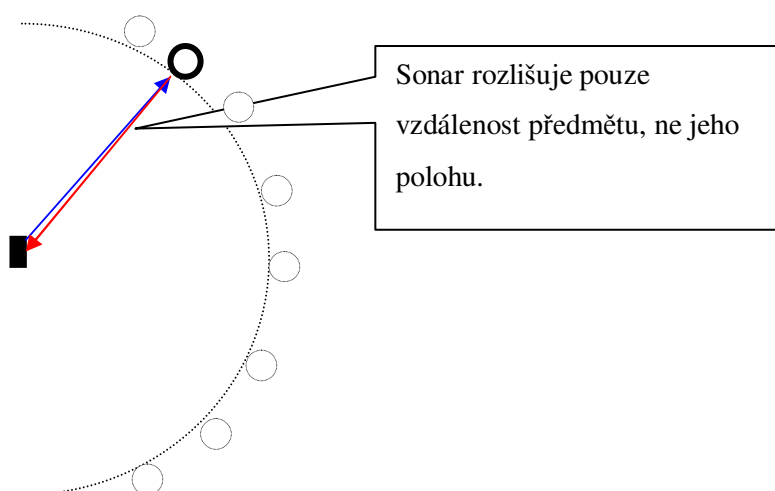
Obr. 28: Problém natočení předmětu

Pouhým natočením o několik stupňů se tento předmět stal „neviditelným“ pro ultrazvukový sonar. Obecně nezávisí na velikosti objektu. Vlny se odrážejí k přijímači jen z malé plochy která je kolmá k ose vysílače. Natočením předmětu se tato plocha posune jinam, nebo úplně zmizí.



Obr. 29: Změnou úhlu objektu se mění i jeho aktivní plocha schopná odrazu

Sonar není schopen rozlišit polohu objektu, a ale pouze jeho přítomnost ve svém aktivním dosahu a změřit jeho vzdálenost. To jak v horizontální tak vertikální ose.

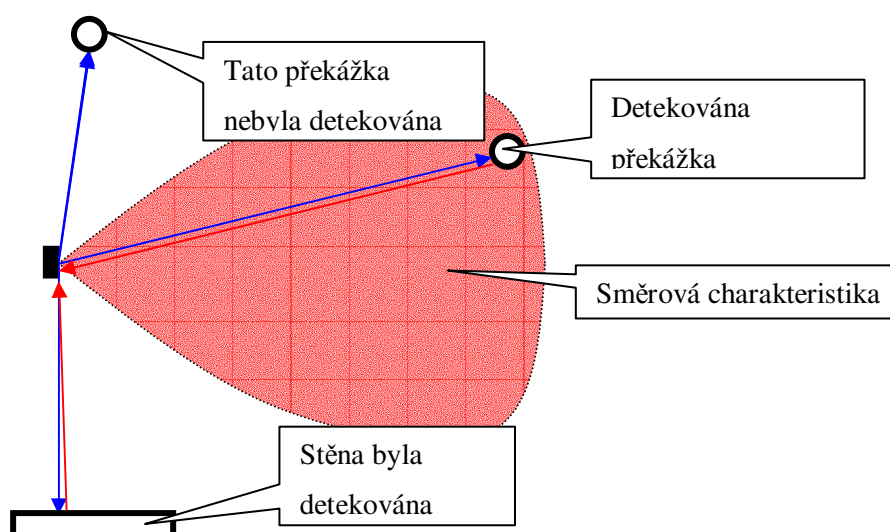


Obr. 30: Není možno rozlišit polohu objektu

Pro určení polohy by bylo potřeba více než jeden ultrazvukový přijímač. Ze znalosti jejich rozmístění a rozdílných časů příchoďů echa potom lze vypočítat polohu objektu v prostoru.

5.2 Vlastnosti povrchů

Nezáleží sice na velikosti objektů, ale různé objekty, stejně vzdálené od přijímače se mohou jevit jinak. Objekty s členitějším tvarem, nebo povrchem absorbující zvuk, odrážejí echo s menší intenzitou (část vln se rozptýlí, nebo pohltí) než hladké objekty, které jsou vhodně natočeny k vysílači a přijímači.

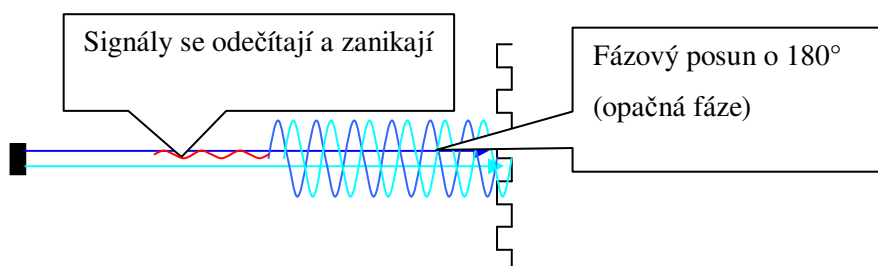


Obr. 31: Různé vyhodnocení stejně vzdálených překážek

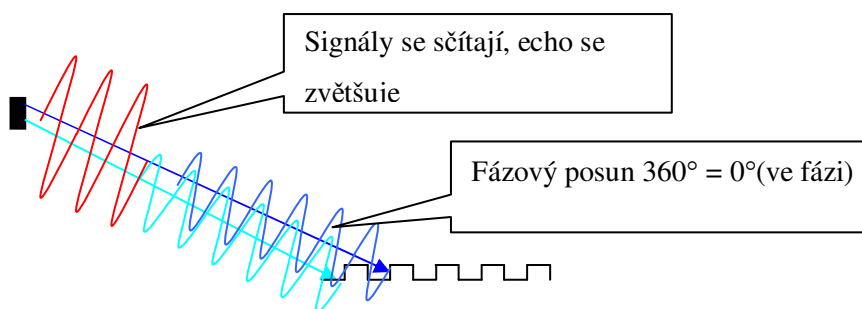
V případě zobrazeném na Obr. 31 hraje roli navíc směrová charakteristika přijímače, která nemá ideální tvar. Citlivost je po stranách nižší než v přímém směru. V takovém případě je možné že stejně vzdálené předměty (na obrázku je to tyč a zeď) budou vyhodnoceny různě. Zeď je z hladkého materiálu a vhodně natočena. Tyč nedokáže signál odrazit tak dobře jako hladká stěna, proto není systémem detekována. Druhá tyč, umístěna v přímém směru detekována je protože v tomto místě je citlivost přijímače vyšší a i slabší signál dokáže bez problému zachytit.

Při praktických pokusech se ukázalo, že materiál s nejvyšší útlumem je tlumící rouno do reprobeden. Dále vata a molitan. U těchto materiálů je téměř nemožná detekce echa. V některých případech je i člověk v oblečení velmi špatně detekovatelný. Na druhou stranu materiály jako dřevo, plast, kov a sklo výborně odrážejí ultrazvukové vlny. Tam potom ale hraje významnou roli natočení předmětu vzhledem k ultrazvukovému měřiči. Nejideálnější těleso ve všech ohledech byla novodurová trubka. Vlny odráží do stran a na tvrdém plastu je minimální útlum signálu.

5.2.1 Vliv tvaru povrchu a fázového posunu



Obr. 32: odečítání signálu vlivem opačného fázového posunu



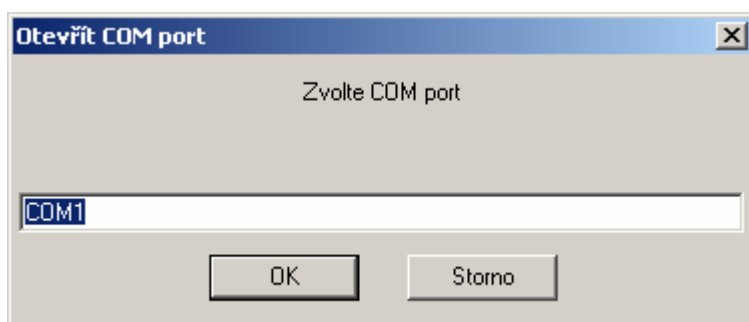
Obr. 33: Sčítání signálů vlivem stejné fáze

Úhel dopadu zvukových vln a tvar povrchu může výrazně ovlivnit detekovatelnost překážky.

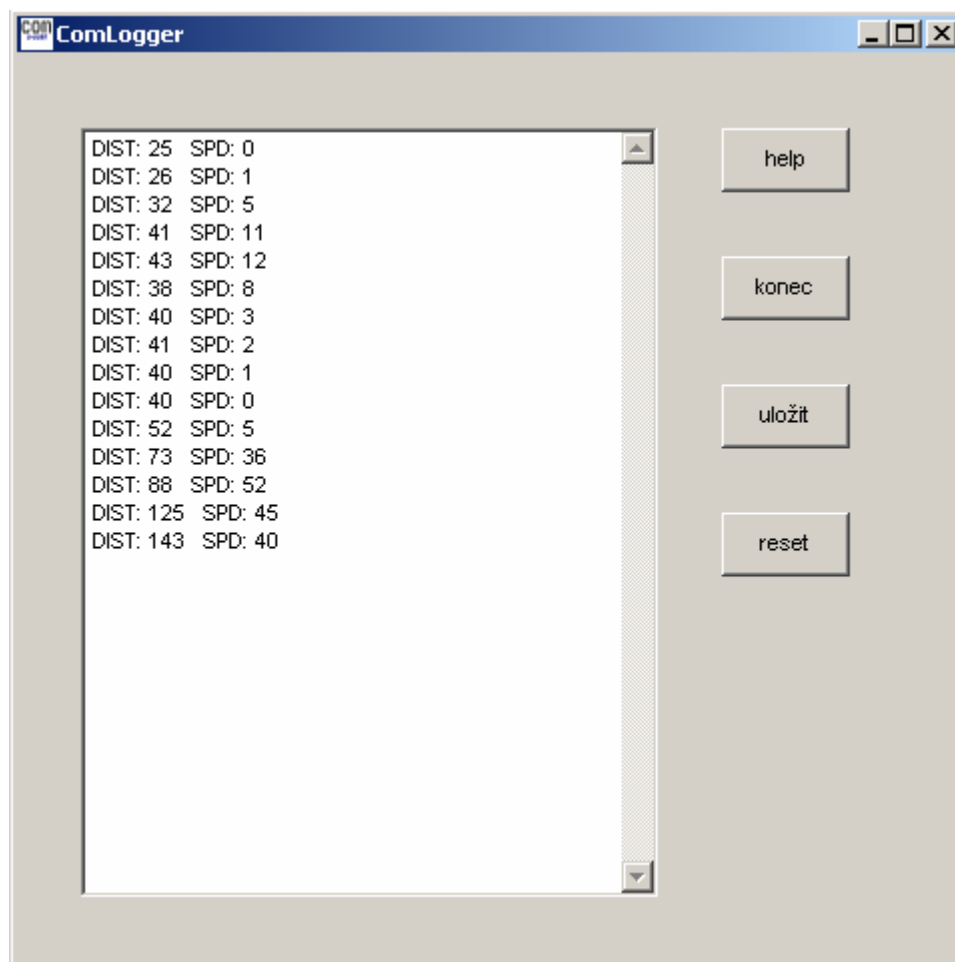
5.3 Program ComLogger

Aby se dala data z ultrazvukového měřiče během ladění a experimentování lépe zpracovávat, vytvořil jsem program ComLogger pro PC. Tento program umožňuje otevřít jakýkoliv COM port a zachytávat příchozí data. Ta vypisuje na monitor s možností jejich pozdějšímu uložení do textového souboru. Program je součástí příloh (Příloha 5). Byl vytvořen ve vývojovém prostředí Petr (www.gemtree.cz). Toto prostředí nabízí jednoduchou a rychlou práci s dialogovými okny, soubory a periferiemi.

Po zapnutí je uživatel vyzván ke specifikování portu. Pokud není tento port obsazen a existuje, program jej otevře. Jinak vypíše chybovou hlášku a ukončí se. Po otevření portu vypisuje na jednotlivé řádky příchozí data ve formátu DIST: xxx SPD: xx. První hodnota udává změřenou vzdálenost a druhá hodnota rychlost. Během ladění jsem program v kontroléru modifikoval tak aby odesílal i hodnotu z A/D převodníku (echo). Velmi se tím usnadnila tvorba korekční funkce. Program dále obsahuje tlačítko „help“ pro vypsání nápovědy a informací o autorovi. Tlačítkem „reset“ dojde k vymazání textového pole. Pro uložení textového pole do souboru slouží tlačítko „uložit“. Po jeho stisknutí se objeví standardní dialogové okno systému pro specifikaci cesty a názvu nového souboru.



Obr. 34: Dialog pro výběr COM portu



Obr. 35: Vzhled programu ComLogger

Program ComLogger je určen pro systém MS Windows. Jeho zdrojové kódy jsou součástí spustitelného souboru comlogger.exe. Tento soubor je pak modifikovatelný v prostředí Petr. Výsledná velikost je proto cca 500kB.

5.4 Řešení problémů při měření ultrazvukem

V předchozích kapitolách byly popsány problémy které souvisejí s vlastnostmi zvukových vln, jejich odrazy a útlumem. Některé problémy jsou řešitelné, jiné jen velmi obtížně. Nabízí se ale několik způsobů jak vylepšit ultrazvukový měřič v následujících aspektech:

5.4.1 Zvýšení aktivního dosahu sonaru

Aktivní dosah sonaru je dán z velké části vlastnostmi samotných vysílačů a přijímačů. Především výkonem vysílače, citlivostí přijímače a jejich směrovými charakteristikami. Volbou vhodného typu se dá dosah prodloužit.

Dále je vhodné použít dostatečně výkonné zesilovače signálů jak pro vysílač tak pro přijímač. Značnou roli hraje i kvalita obslužného software, který dokáže rozlišit i velmi nízké hodnoty echa od šumu.

Poslední možností je volba vyhovujícího měřeného objektu. Objekt s výhodným tvarem a povrchem z hlediska odrazů ultrazvuku je možno detekovat na delší vzdálenost než jiné objekty.

5.4.2 Detekce objektů z nevhodných materiálů

Pokud se snažíme detekovat objekt, který je vyroben z materiálu pohlcujícího zvukové vlny, platí stejná doporučení jako v kapitole 5.4.1. Tedy maximalizovat výstupní výkon vysílače a výkon přijímače. Potom je vyšší pravděpodobnost že některé vlny nebudou pohlceny a objekt bude možno detekovat.

Pokud je naopak povrch hladký, jednolitý a dochází k odrazům mimo přijímač, možným řešením je zařadit do systému více přijímačů a zvýšit tak šanci na zachycení echa.

5.4.3 Zvýšení přesnosti měření

Vyšší přesnosti měření lze dosáhnout kvalitnějším software. Využitím přesnějších datových typů, A/D převodníků s vyšším rozlišením, častějším vzorkováním signálu a jeho důkladnou analýzou.

Další možností je přidání teploměru a následnými korekcemi výsledku v závislosti na naměřené teplotě, případně i vlhkosti vzduchu. Vliv teploty na rychlost šíření zvukových vln ve vzduchu je uveden v tabulce 1.

6 Závěr

Návrhem a stavbou ultrazvukového měřiče rychlosti a vzdálenosti jsem si mimo jiné v praxi ověřil vlastnosti šíření zvukových vln. Práce s ultrazvukem není jednoduchá, protože vlny se šíří všemi směry, dochází k odrazům a falešným signálům. Testovat ultrazvukové zařízení je vhodné buď na volném prostranství, nebo nejlépe v dokonale zatlumené místnosti. U navrhovaného zařízení se podařilo docílit relativně dobré přesnosti, u menších vzdáleností na centimetry, dále už je patrná mírná nelinearita měření.

Aktivní dosah (199cm) není nijak výrazný, je limitován použitou elektronikou. Především zesilovačem přijatého signálu. Minimální měřitelná vzdálenost je 10cm. Ta je daná dobou čekání po vyslání signálu a proto v tomto případě není možno změřit kratší vzdálenosti.

Práce obsahovala prvky elektroniky, programování i fyziky (akustika). Hodnotím ji jako velmi přínosnou. Přesto se nabízí možnosti jak zařízení dále vylepšit. Ty byly popsány v kapitole 5.4.

Časově nejnáročnější bylo bez pochyby ladění programu a ožívování elektroniky. Finanční náklady na stavbu výrobku se pohybovaly okolo 1200kč.

Literatura

- [1] Wikipedia: Ultrazvuk. [online], poslední aktualizace 18.4.2009, [cit. 2.5.2009]
URL <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrazvuk>>
- [2] Wikipedia: Zvuk. [online], poslední aktualizace 26.4.2009, [cit. 2.5.2009]
URL <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Zvuk>>
- [3] Wikipedia: Rychlost zvuku. [online], poslední aktualizace 1.3.2009, [cit. 2.5.2009]
URL <http://cs.wikipedia.org/wiki/Rychlost_zvuku>
- [4] Ing. Jan Babčaník: Ultrazvukový dálkoměr s ATMega8515. [online], poslední aktualizace 13.11.2006, [cit. 2.5.2009] URL < <http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Navrhy-vyvojsare/ART1750-Ultrazvukovy-dalkomer-s-ATMega8515.html> >
- [5] Wikipedia: Piezoelektrický jev. [online], poslední aktualizace 9.3.2009, [cit. 2.5.2009]
URL <http://cs.wikipedia.org/wiki/Piezoelektrický_jev>
- [6] Air Ultrasonic Ceramic Transducers 400ST/R160. datasheet [online], [cit. 2.5.2009]
URL <<http://www.robot-electronics.co.uk/datasheets/t400s16.pdf>>
- [7] Wikipedia: Jednočipový počítač. [online], poslední aktualizace 2.5.2009, [cit. 4.5.2009]
URL <http://cs.wikipedia.org/wiki/Jednočipový_počítač>
- [8] Váňa, Vladimír: Začínáme pracovat s mikrokontroléry Motorola HC08 NITRON, Praha 2003, nakladatelství BEN, ISBN 80-7300-124-1.
- [9] MC68HC908AP. datasheet [online], [cit. 7.5.2009]
URL < http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC68HC908AP64A.pdf>
- [10] Wikipedia: RS-232. [online], poslední aktualizace 19.2.2009, [cit. 8.5.2009]
URL <<http://cs.wikipedia.org/wiki/RS-232>>
- [11] HW.cz: Logické úrovně RS-232. [online], poslední aktualizace 12.12.2005, [cit. 8.5.2009]
URL < <http://hw.cz/rs-232#urovne>>
- [12] Cadsoft: Web firmy vyvíjející CAD program EAGLE. [online], [cit. 8.5.2009]
URL <<http://www.cadsoft.de/>>
- [13] Obrázek: Ultrazvukový vysílač otevřený. [online], [cit. 8.5.2009]
URL <<http://www.electronicsonmore.com/images/Ma40a5x.gif>>
- [14] Obrázek: Ultrazvukový vysílač uzavřený. [online], [cit. 8.5.2009]
URL <http://audiowell.en.alibaba.com/product/50278883-50061541/Waterproof_Ultrasonic_Sensor_T_R40_14_4A_.html>
- [15] EZK: Elektronický katalog součástek [online], [cit. 10.5.2009]
URL < <http://www.ezk.cz>>

Seznam příloh

Příloha 1. Elektrické schéma

Příloha 2. Deska plošného spoje

Příloha 3. Osazovací plán

Příloha 4. Fotodokumentace výrobku

Příloha 5. CD/DVD obsahující:

Zdrojový tvar práce (formát doc)

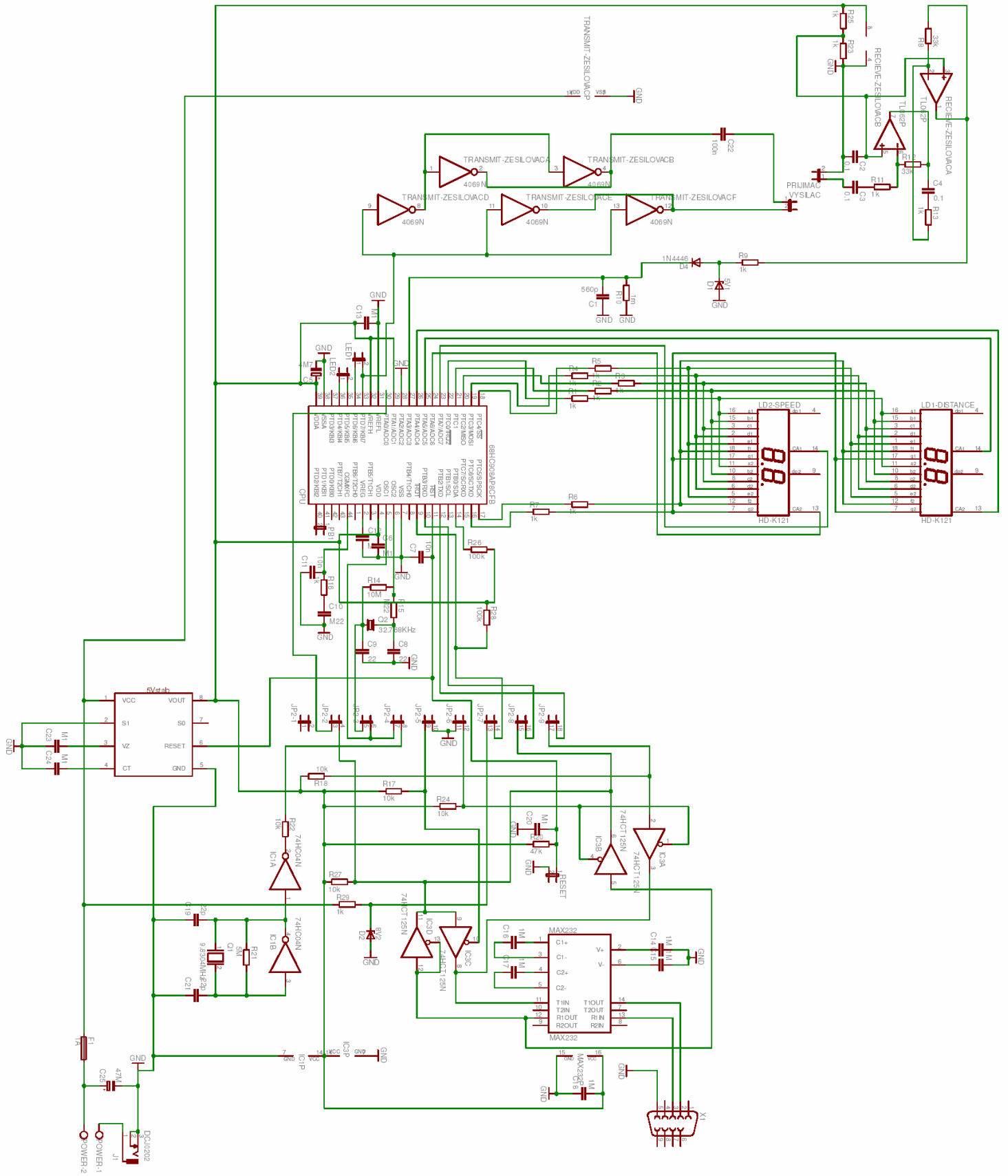
Text práce (formát pdf)

Zdrojové kódy programu pro mikrokontrolér

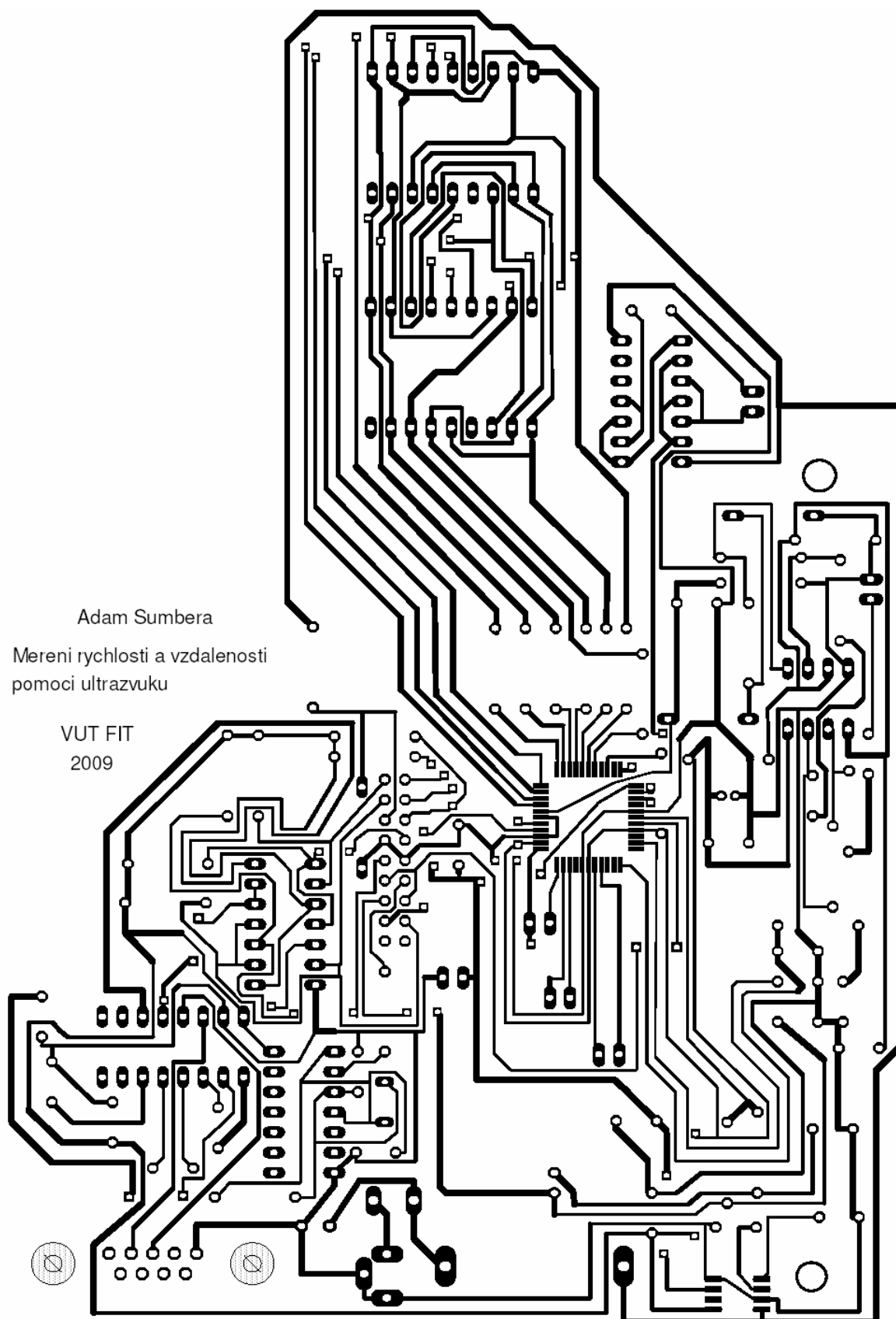
Spustitelný program ComLogger.exe

Elektronická schémata

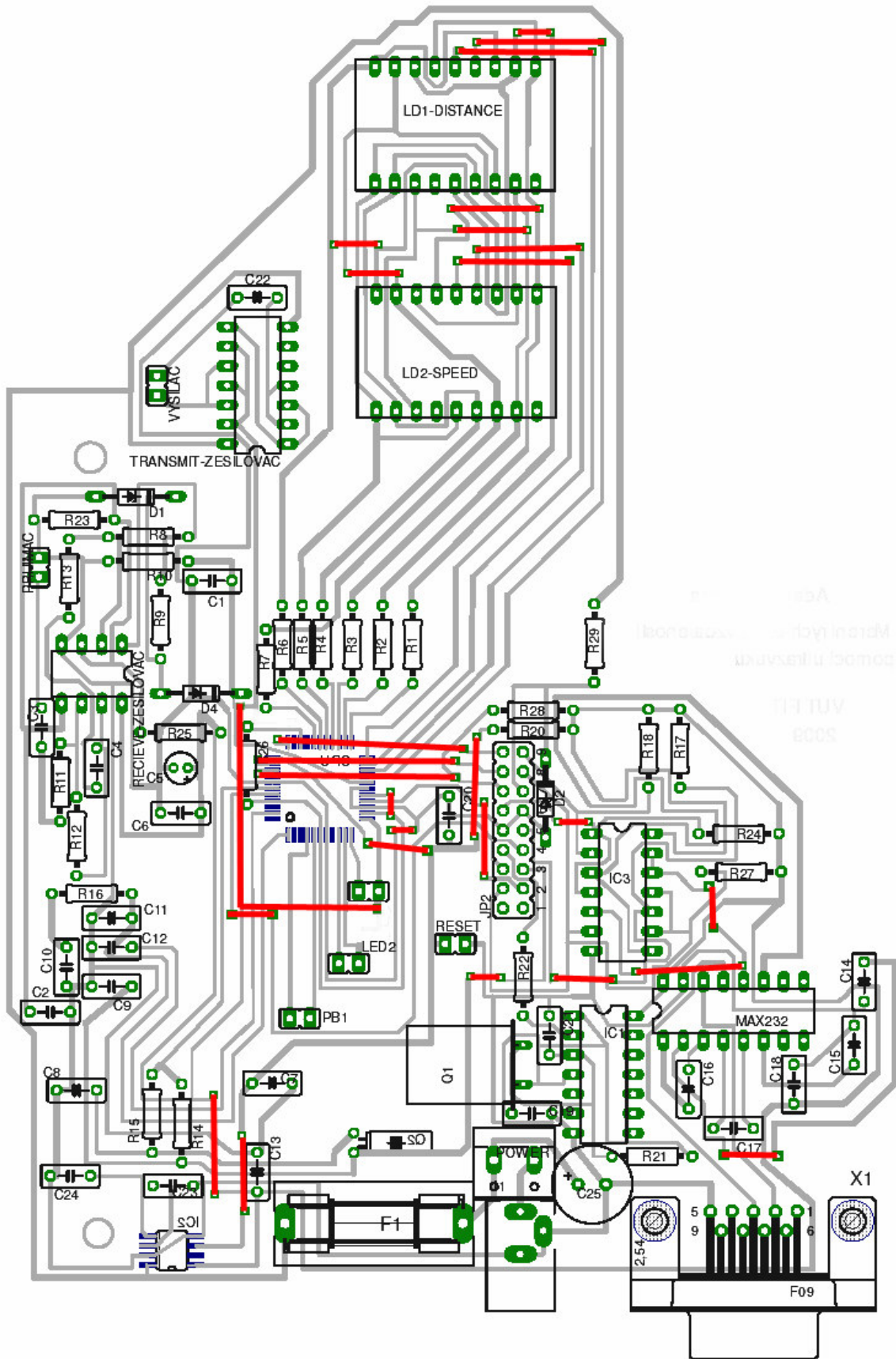
Příloha 1:



Příloha 2:



Příloha 3:



Příloha 4:

