	<p>VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY</p>
	<p>FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY</p> <p>FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS</p>

DIGITALIZACE SNÍMÁNÍ ROZLOŽENÍ OPTICKÉ INTENZITY

DIGITALIZATION OF THE OPTICAL INTENSITY DISTRIBUTION SCANNING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Robin Škrob

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Petr Křivák

BRNO, 2008

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Robin Škrob
Bytem: Horní Chaloupky 113, 664 34, Rozdrojovice
Narozen/a (datum a místo): 21. října 1982 v Boskovicích

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, 602 00, Brno 2
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací
technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Digitalizace snímání rozložení optické intenzity

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Petr Křivák

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 30. května 2008

.....
Nabyvatel

.....
Autor

DIGITALIZACE SNÍMÁNÍ ROZLOŽENÍ OPTICKÉ INTENZITY

Diplomová práce

Studijní obor: Elektronika a sdělovací technika
Jméno studenta: Bc. Robin ŠKROB
Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Křivák

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací zařízení pro sběr a přenos dat do počítače. Přístroj by měl nahradit souřadnicový zapisovač, kterým zobrazujeme optickou intenzitu laserového paprsku. Z takto změřené charakteristiky určujeme další parametry laserového paprsku jako jsou pološířka svazku, úhel divergence a Rayleighovu vzdálenost. Realizovaným zařízením - "sběrač dat" měříme dvě hodnoty napětí - napětí detekované na fotodiodě a napětí odpovídající poloze/posunutí fotodiody. Měřené napětí je zpracováno a posíláno po sériové lince do počítače. K řídicí části je dále připojen předzesilovač pro oba měřené kanály s možností volby zesílení. Jako ovládací uživatelská periferie slouží počítačová aplikace a vykonává grafickou interpretaci naměřených hodnot. Výsledkem celého projektu je kompaktní přístroj ovládaný v prostředí OS Windows s grafickým výstupem.

Klíčová slova

Sběrač dat, A/D převodník, mikrokontrolér ATmega128, laserový paprsek, snímání rozložení optické intenzity, komunikace po sériové lince

DIGITALIZATION OF THE OPTICAL INTENSITY DISTRIBUTION SCANNING

Master's Thesis

Specialization: **Electronics and Communication**

Student: **Bc. Robin ŠKROB**

Supervisor: **Ing. Petr Křivák**

Abstract

This Master's thesis solves a design and construction of device for gathering and transfer of data into computer. The device should replace graph plotter, by which is measured the optical intensity of a laser beam. From this characteristic it is possible to determine other parameters of the laser beam, such as halfwidth of the beam, angle of divergence and Rayleigh length. The described device - "data gatherer" - measures two voltage values – voltage detected on photodiode and voltage detected on position/shift by photodiode. Measured values of voltage are processed and sent through a serial line into the computer. A pre-amplifier is connected to the control part for both channels of measured values with possibility of amplification. Computer application, which performs graphic interpretation of the measured values, serves as user control peripheral. The product of this project is compact device operating under OS Windows with graphic output.

Key words

Data gatherer, A/D converter, microcontroller ATmega128, laser beam, optical intensity distribution scanning, communication through serial line

Bibliografická citace:

ŠKROB, R. *Digitalizace snímání rozložení optické intenzity*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 65 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Křivák.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Digitalizace snímání rozložení optické intenzity“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....
Robin Škrob

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce ing. Petru Křivákovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne

.....
Robin Škrob

Obsah:

1. ÚVOD	- 10 -
2. OPTICKÉ SVAZKY	- 11 -
2.1 PRINCIP LASERU	- 11 -
2.2 GAUSSŮV SVAZEK	- 12 -
3. MĚŘENÍ OPTICKÉ INTENZITY	- 19 -
3.1 METODY MĚŘENÍ OPTICKÉ INTENZITY	- 19 -
3.2 KLASICKÉ OPTICKÉ METODY	- 20 -
3.3 HOLOGRAFIE A HOLOGRAFICKÁ INTERFEROMETRIE	- 21 -
4. DIGITALIZACE OPTICKÉ INTENZITY.....	- 22 -
4.1 POPIS MĚŘENÍ.....	- 22 -
4.2 DETEKCE NAPĚTÍ.....	- 23 -
4.3 SBĚRAČ DAT	- 25 -
4.3.1 <i>Blokové schéma sběrače dat.....</i>	- 25 -
4.3.2 <i>Mikrokontroler ATmega128</i>	- 26 -
4.3.3 <i>A/D převodník.....</i>	- 26 -
4.3.4 <i>Sériová komunikace RS-232</i>	- 27 -
4.3.5 <i>Znakový LCD displej.....</i>	- 29 -
4.4 ZESILOVAČ – PŘEDZESILOVAČ PRO A/D PŘEVODNÍK	- 33 -
4.4.1 <i>Operační zesilovač AD 823</i>	- 34 -
4.4.2 <i>Obvod 4066</i>	- 35 -
4.4.3 <i>Tlačítka pro předzesilovač.....</i>	- 36 -
4.4.4 <i>Simulace zesílení zesilovače</i>	- 36 -
5. MECHANICKÉ KONSTRUKCE SBĚRAČE DAT	- 39 -
5.1 KONSTRUKCE ŘÍDÍCÍ DESKY	- 39 -
5.2 KONSTRUKCE ZESILOVAČE	- 40 -
5.3 KONSTRUKCE TLAČÍTEK	- 40 -
5.4 KOMPLETNÍ ZAPOJENÍ SBĚRAČE DAT	- 41 -
6. PROGRAMOVÁNÍ MIKROKONTROLÉRU	- 42 -
6.1 ISP PROGRAMOVÁNÍ.....	- 42 -
6.2 KOMUNIKAČNÍ STANDARD IEEE 1149.1 (JTAG).....	- 42 -
6.3 PROGRAMOVÁNÍ MIKROKONTROLÉRU AVR	- 43 -
6.4 JTAG-ICE	- 44 -
6.5 SOFTWAREVÉ VYBAVENÍ SBĚRAČE DAT	- 45 -
6.6 OBSLUŽNÁ APLIKACE PRO SBĚRAČ DAT	- 46 -
6.7 NÁSLEDNÉ ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ.....	- 47 -
7. ZÁVĚR	- 49 -
8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 50 -
9. SEZNAM PŘÍLOH.....	- 51 -

Seznam obrázků:

Obr. 2.1 Princip generace laserového paprsku.....	-11-
Obr. 2.2 Závislost normované pološířky svazku na bezrozměrné souřadnici z/z_0	-13-
Obr. 2.3 Závislost normovaného poloměru křivosti gaussovského svazku na bezrozměrné souřadnici z/z_0	-15-
Obr. 2.4 Normovaná optická intenzita jako funkce bezrozměrné souřadnice x/w_0	-16-
Obr. 2.5 Normovaná optická intenzita jako funkce bezrozměrné souřadnice z/z_0	-17-
Obr. 2.6 Základní charakteristiky a parametry Gaussova svazku	-18-
Obr. 4.1 Princip měření optické intenzity	-22-
Obr. 4.2 Schéma zapojení diodového detektoru.....	-23-
Obr. 4.3 Výstupní napětí při různých hodnotách $R_z C$	-23-
Obr. 4.4 Zapojení diodového detektoru.....	-24-
Obr. 4.5 Simulace diodového detektoru.....	-24-
Obr. 4.6 Datové a řídicí signály u RS232.....	-27-
Obr. 4.7 MAX 232, zapojení vývodů.....	-29-
Obr. 4.8 Displeje MC1602E-SYL (vlevo) a MC1602E-SYL/H (vpravo).....	-30-
Obr. 4.9 Zapojení vývodů u LCD displejů.....	-31-
Obr. 4.10 Uložení znaků pro zobrazení na řádcích displeje.....	-32-
Obr. 4.11 Blokové schéma řadiče HD44780U.....	-33-
Obr. 4.12 AD 823 – zapojení vývodů.....	-35-
Obr. 4.13 HEF 4066B – zapojení vývodů.....	-35-
Obr. 4.14 Zapojení tlačítek pro předzesilovač.....	-36-
Obr. 4.15 Simulované zapojení zesilovače bez detektoru.....	-37-
Obr. 4.16 Výsledek simulace bez detektoru.....	-37-
Obr. 4.17 Simulované zapojení zesilovače s detektorem.....	-38-
Obr. 4.18 Výsledek simulace s detektorem.....	-38-
Obr. 5.1 Fotografie řídicí desky	-39-
Obr. 5.2 Fotografie desky zesilovače.....	-40-
Obr. 5.3 Fotografie desky tlačítek.....	-41-
Obr. 5.4 Fotografie zapojení všech částí.....	-41-
Obr. 6.1 Pohled na modul JTAGIce.....	-44-
Obr. 6.2 Vývojový diagram programu pro mikrokontrolér.....	-45-
Obr. 6.3 Obslužná aplikace pro sběrač dat.....	-46-
Obr. 6.4 Určení x_1 z naměřených grafů průběhů intenzit.....	-47-
Obr. 6.5 Určení vzdálenosti dvou sousedních maxim interferenčního obrazce Δx z naměřených grafů.....	-47-

1. Úvod

Interferenční a difrakční jevy světelných elektromagnetických vln jsou v optice zajímavým problémem, který inspiruje generace optiků, fyziků a techniků k novým přístupům popisu těchto jevů a s rozvojem techniky i novým, mnohdy netradičním aplikacím v řadě přírodních a technických oborů.

Klasická optika popisuje interferenční a difrakční jevy pomocí pojmů ideálně koherentních a ideálně nekoherentních světelných svazků, nověji potom pomocí pojmu částečně koherentních světelných svazků. Superpozice ideálně koherentních nebo částečně koherentních světelných svazků dovoluje pozorovat, např. na stínítku, interferenční obrazec, ve druhém případě však s kontrastem interferenčních proužků menším, než je kontrast interferenčních proužků vytvořených koherentními svazky. U interferenčního obrazu pozorujeme zpravidla časovou stacionárnost a stejnou frekvenci interferenčních svazků, což lze poměrně jednoduše zajistit požadavkem jednoho primárního koherentního zdroje záření. V případě užití nekoherentních světelných svazků je interferenční obraz nepozorovatelný, lze však pozorovat, a tedy i technicky využívat, jevy plynoucí ze superpozice těchto, většinou intenzitních, světelných polí.

Cílem projektu bylo seznámit se s možnostmi měření rozložení optické intenzity ve stopě laserového svazku, za použití fotodiody (fotodetektoru) a následným převedením analogových hodnot na digitální pro jejich další zpracování. Druhou etapou projektu bylo návrh blokového schéma přípravku a návrh počítačového zpracování. Poslední etapa spočívala ve vytvoření přípravku umožňující počítačem zaznamenávat a zpracovávat analogové vstupní hodnoty.

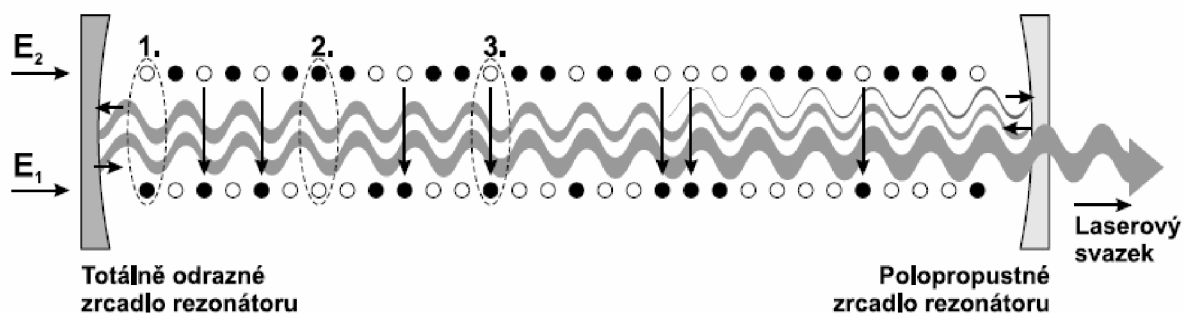
2. Optické svazky

2.1 Princip laseru

Ačkoliv existuje velké množství různých typů zdrojů laserových záření, každý v sobě zahrnuje tři základní součásti: laserové aktivní prostředí ve kterém probíhá zesilování záření, zdroj čerpání pro excitaci aktivního prostředí a rezonátor vytvářející zpětnou vazbu mezi zářením a aktivním prostředím vedoucí ke vzniku laserových oscilací.

Obecný princip laseru je následující: zdroj budící energie zajišťuje, aby se v aktivním prostředí nacházel dostatek kvantových soustav v excitovaném stavu. Poté, co některá kvantová soustava aktivního prostředí přejde náhodně spontánní emisí na nižší hladinu, bude uvolněné kvantum stimulovat i další kvantové soustavy k přechodu na spodní energetickou hladinu a emisi fotonů. Část fotonů se může kvantovými soustavami opět absorbovat. Pokud však bude v aktivním prostředí více kvantových soustav v excitovaném stavu (inverze populace hladin) bude se optické záření řetězovou reakcí zesilovat. Spontánní emise se stane zanedbatelnou vzhledem k emisi stimulované a generované záření nabude jednotné povahy, tj. bude koherentní a monochromatické. Aby se zajistila směrovost laserového záření, formuje se aktivní prostředí do tvaru dlouhého válce a je umístěno uvnitř optického rezonátoru. Ten zajišťuje selektivní kladnou zpětnou vazbu systému – jen rezonující fotony se budou zesilovat. Její velikost lze nastavit tak, aby byla maximální pro laserový paprsek požadovaných vlastností. Po dostatečném zesílení je laserový svazek z rezonátoru vyveden viz. obr.2.1. [3],[4]

Pokud je aktivní prostředí s inverzním obsazením hladin uzavřeno v optickém rezonátoru (tvořeném obvykle dvěma navzájem proti sobě umístěnými rovinnými nebo také sférickými zrcadly), zpětná vazba laserového záření (odraz zpět do aktivního prostředí) umožňují vznik generátoru elektromagnetických kmitů. Překročí-li zesílení světla v aktivním prostředí ztráty při jednom průchodu mezi zrcadly, začne laser emitovat záření na vlnové délce charakteristické pro dané aktivní laserové prostředí. Aby bylo možné vyvézt laserový paprsek z rezonátoru, je jedno ze zrcadel částečně propustné. Na obr.2.1 jsou vyznačeny kvantové soustavy v základním (1.) a v excitovaném (2.) stavu, stimulovaná emise (3.) a energetické hladiny kvantových soustav E_1 a E_2 .



Obr.2.1 – Princip generace laserového paprsku [3]

Od záření běžných světelných zdrojů se odlišuje laserové světlo následujícími vlastnostmi [5]:

- záření je prostorově koherentní, tzn., že vlny emitované z různých míst aktivního prostředí mají pevný fázový vztah
- záření se v prostoru nešíří všemi směry, ale v úzkém svazku. Fokusem na malou plošku lze dosáhnout extrémně vysoké hustoty výkonu (přibližně 10 W/cm^2)
- laser emituje postupně vlnění se zanedbatelnými fázovými nestabilitami – laserové záření je časově koherentní. S tím je svázána vysoká přesnost frekvence (monochromaticnost) záření. Frekvence kmitání viditelného světla je řádově 10^{15} Hz , typická frekvenční šířka laseru se pohybuje od 10^8 Hz do 10^9 Hz .
- Laser umožňuje generovat extrémně krátké světelné impulsy. Při použití pulzního laseru lze v úzké oblasti vlnových délek uvolnit optický výkon od 10^{10} W do 10^{13} W . Vysoká intenzita elektrického pole v takovém laserovém paprsku vedla k odhalení zcela nových fyzikálních efektů interakce světla a hmoty (nelineární optika).

Podle způsobu čerpání se lasery rozdělují na opticky (a to buď koherentně nebo nekoherentně) čerpané, na lasery čerpané elektrickým výbojem, chemickou reakcí, elektrickým svazkem atd.

Podle frekvenční oblasti, ve které je laserové záření generované se lasery dělí na submilimetrové, infračervené, viditelné, ultrafialové a rentgenové.

Další možnost je dělit lasery podle prostorové struktury laserového svazku na jednomódové a mnohomódové; podle rozsahu generovaných frekvencí na jednofrekvenční a přesaditelné; podle využitých nelineárních jevů na lasery generující na vyšší harmonické frekvenci, lasery se směřováním frekvencí, na Ramanovské lasery atd.

2.2 Gaussův svazek

Pro optické bezkabelové spoje je důležitý případ, kdy se optické vlny šíří v úzkém svazku, např. podél osy z v souřadnicové soustavě xyz . Vlny, jejichž normály vlnoploch svírají s osou z úhel cca 2° , se nazývají paraxiálními vlnami. Takové vlny musí rovněž vyhovovat vlnové rovnici. Důležitým řešením vlnové rovnice pro případ paraxiální vlny je vlna, která se nazývá gaussovský svazek [1].

Optický výkon gaussovského svazku je soustředěn do úzkého kužele a optická intenzita v rovině kolmé na směr šíření vlny je dána kruhově symetrickou gaussovskou funkcí s maximem I_0 na ose svazku (souřadnicové ose z). Kraj svazku je definovaný poklesem optické intenzity na hodnotu I_0 / e^2 . Vzdálenosti kraje svazku od osy svazku se říká pološířka svazku s označením w . Nejmenší pološířky w_0 dosahuje Gaussovský svazek v nejužším místě, tzv. krčku svazku.

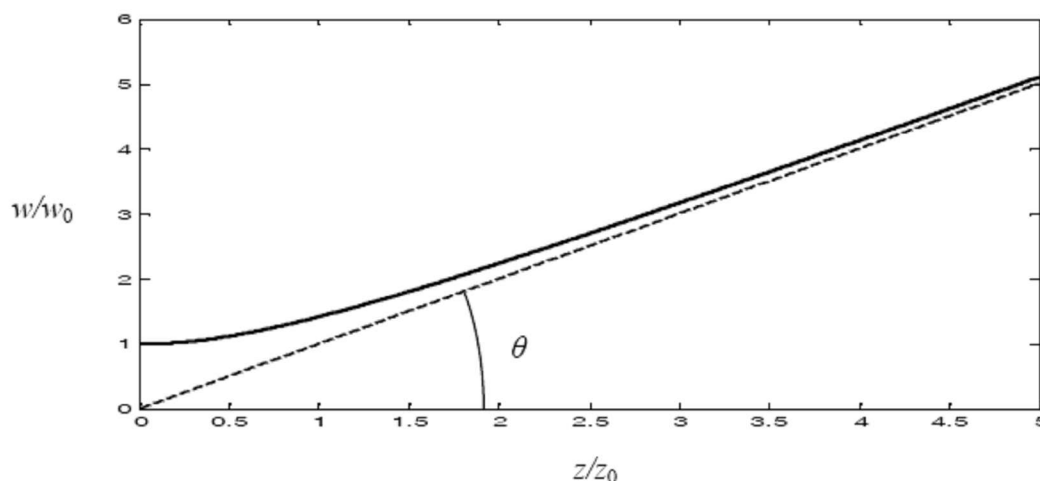
Do průsečíku osy svazku s rovinou krčku svazku se klade počátek souřadnicové soustavy xyz . Krček svazku leží v rovině xy . Pološířka svazku na obě strany od počátku pomalu narůstá: $w = w(z)$. Z praktického hlediska má smysl uvažovat pouze svazek pro kladné hodnoty souřadnicové osy z .

Vlnoplochy gaussovského svazku jsou blízko počátku téměř rovinné s poloměrem křivosti $R \rightarrow \infty$. Na obě strany od počátku se vlnoplochy pomalu zakřívují: $R = R(z)$. Vlnoplocha gaussovského svazku je nejvíce zakřivena v místě na ose z , kterému se říká Rayleighova vzdálenost (také hranice blízké a vzdálené zóny záření) s označením z_0 . Poloměr křivosti v Rayleighově vzdálenosti nabývá hodnoty $R(z_0) = 2 \cdot z_0$. Pro $z > z_0$ poloměr křivosti opět pomalu narůstá a pro $z \gg z_0$ se vlnoplochy gaussovského svazku blíží vlnoplochám sférické vlny. Pro $z \rightarrow \infty$ je také $R \rightarrow \infty$.

Podrobnou analýzou lze dospět k následujícím parametrům a charakteristikám gaussovského svazku. Závislost pološířky svazku na souřadnici z je vyjádřena vztahem

$$w(z) = w_0 \left[1 + \left(\frac{z}{z_0} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.1)$$

kde $z_0 = \frac{kw_0^2}{2}$ je hranice blízké a vzdálené zóny záření. Veličina $2w_0$ vyjadřuje šířku svazku v krčku. Ve vzdálenosti z_0 od počátku je $w(z_0) = w_0 \sqrt{2}$. Graf závislosti normované pološířky svazku w/w_0 na bezrozměrné souřadnici z/z_0 tvoří hyperbolu viz obr. 2.2.



Obr.2.2 – Závislost normované pološířky svazku na bezrozměrné souřadnici z/z_0 [1]

Úhel θ , který svírá asymptota hyperboly s osou svazku, se nazývá úhel divergence. Hranice blízké a vzdálené zóny se nalézají v místě největší křivosti hyperboly. Pro úhel divergence θ platí

$$\theta = \lim_{z \rightarrow \infty} \frac{w(z)}{z} = \frac{2}{kw_0} \quad (2.2)$$

Dodatečný fázový posuv vlny, ke kterému dochází v závislosti na souřadnici z se označuje $\varphi(z)$ a platí $\operatorname{tg} \varphi(z) = \frac{z_0}{z}$.

Řešením vlnové rovnice vychází pro komplexní amplitudu elektrického pole gaussovského svazku po příslušných úpravách tvar

$$\dot{E}(x, y, z) = E_0 \frac{w_0}{w(z)} e^{-\frac{x^2+y^2}{w^2(z)} \left(1 + j \frac{z}{z_0}\right)} e^{-j \left[kz + \varphi(z) - \frac{\pi}{2} \right]} \quad (2.3)$$

kde E_0 je reálná amplituda elektrického pole.

Pomocí rovnice konstantní fáze

$$-\frac{x^2 + y^2}{w^2(z)} \frac{z}{z_0} - kz - \varphi(z) + \frac{\pi}{2} = \text{konst} \quad (2.4)$$

Ize odvodit, že vlnoplochy gaussovského svazku vytvářejí v prostoru rotační paraboloidy. Úpravou a diferencováním (2.4) lze vyjádřit poloměr křivosti vlnoplochy

$$R(z) = z \left[1 + \left(\frac{z_0}{z} \right)^2 \right] \quad (2.5)$$

Grafické zobrazení (2.4) je na obr. 2.2. Poloměr křivosti vlnoplochy gaussovského svazku R nabývá nejmenší hodnoty pro $z = z_0$ a platí $R = (z_0) = 2z_0$. V krčku svazku ($z = 0$) přechází vlnoplocha v rovinu ($R = \infty$) a pro z rostoucí nade všechny meze se graf asymptoticky blíží k přímce ($R = z$) se směrnicí $\pi/4$.

Úpravou vztahu (2.3) se získá vyjádření komplexní amplitudy elektrického pole gaussovského svazku ve tvaru

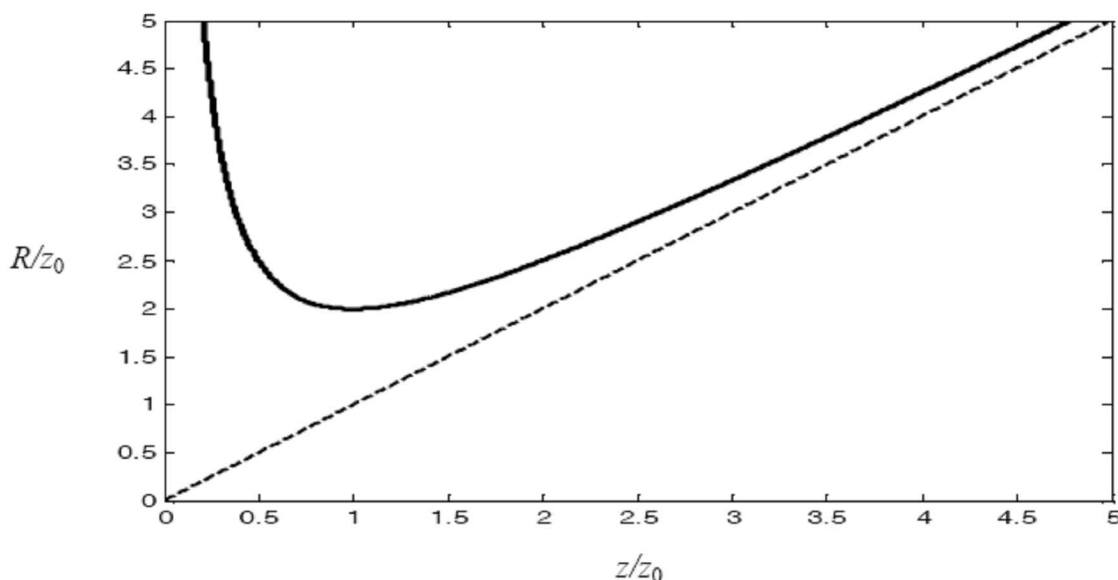
$$\dot{E} = E_0 \frac{w_0}{w} \exp \left[- (x^2 + y^2) \left(j \frac{k}{2} \right) \left(\frac{1}{R} - j \frac{2}{kw^2} \right) \right] e^{-j \left(kz + \varphi - \frac{\pi}{2} \right)} \quad (2.6)$$

Z posledního výrazu (2.6) je vidět, že pro $z = 0$ je fáze gaussovského svazku rovna nule a jedná se o rovinnou vlnu s gaussovským rozložením intenzity pole.

$$E = E_0 e^{\frac{x^2+y^2}{w_0^2}} \quad (2.7)$$

Pro $z \gg z_0$ se gaussovský svazek projevuje jako sférická vlna s poloměrem křivosti $R \approx z$ a výraz pro komplexní amplitudu elektrického pole gaussovského svazku nabývá tvaru:

$$\dot{E} = E_0 \frac{w_0}{\theta z} e^{-jk \frac{x^2+y^2}{2R(z)}} e^{-j \left(kz - \frac{\pi}{2} \right)} \quad (2.8)$$



Obř.2.3 – Závislost normovaného poloměru křivosti gaussovského svazku na bezrozměrné souřadnici z/z_0 [1]

Jednodušší vyjádření komplexní amplitudy elektrického pole gaussovského svazku (2.3) se získá zavedením tzv. komplexního parametru svazku \dot{q} rovnicí

$$\frac{1}{\dot{q}(z)} = \frac{1}{R(z)} - j \frac{2}{kw^2(z)} \quad (2.9)$$

Komplexní amplitudu elektrického pole gaussovského svazku je pak možno pomocí komplexního parametru svazku vyjádřit vztahem

$$\dot{E} = E_0 \frac{w_0}{w(z)} e^{-jk \frac{x^2+y^2}{2\dot{q}(z)}} e^{-j \left(kz + \varphi(z) - \frac{\pi}{2} \right)} \quad (2.10)$$

Porovnáním vztahů (2.8) a (2.10) je vidět, že parametr \dot{q} má pro gaussovský svazek stejný význam jako veličina R pro sférickou vlnu. Zákony platné pro sférickou vlnu platí i pro gaussovský svazek, stačí formálně nahradit veličinu R parametrem \dot{q} .

Z rovnice (2.9) lze odvodit i jiné tvary pro vyjádření parametru \dot{q} :

$$\frac{1}{\dot{q}} = \frac{1}{z + z_0} \quad (2.11)$$

Resp.

$$\dot{q} = z + z_0 \quad (2.12)$$

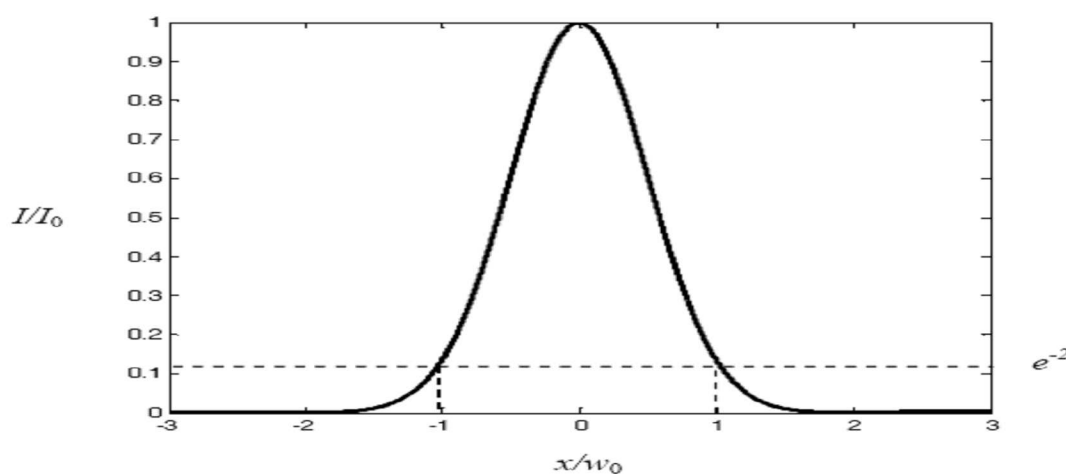
Pomocí definičního výrazu a (2.10) lze vyjádřit optickou intenzitu gaussova svazku ve tvaru

$$I(x, y, z) = I_0 \left[\frac{w_0}{w(z)} \right] e^{-2 \frac{x^2 + y^2}{w^2(z)}} \quad (2.13)$$

kde I_0 je optická intenzita na ose svazku v počátku ($z = 0$). Rozložení optické intenzity v příčné rovině xy je znázorněno na obr. 2.4.

Na ose svazku má optická intenzita rozložení dané vztahem

$$I(z) = I_0 \left[\frac{w_0}{w(z)} \right]^2 = \frac{I_0}{1 + \left(\frac{z}{z_0} \right)^2} \quad (2.14)$$



Obr.2.4 – Normovaná optická intenzita jako funkce bezrozměrné souřadnice x/w_0 ; ($z = 0$) [1]

který je graficky znázorněn na obr. 2.5. Ve vzdálenosti z_0 dosahuje normovaná optická intenzita polovinu maximální hodnoty. Pro $z \gg z_0$ je

$$I(z) \approx I_0 z_0^2 \frac{1}{z^2} \quad (2.15)$$

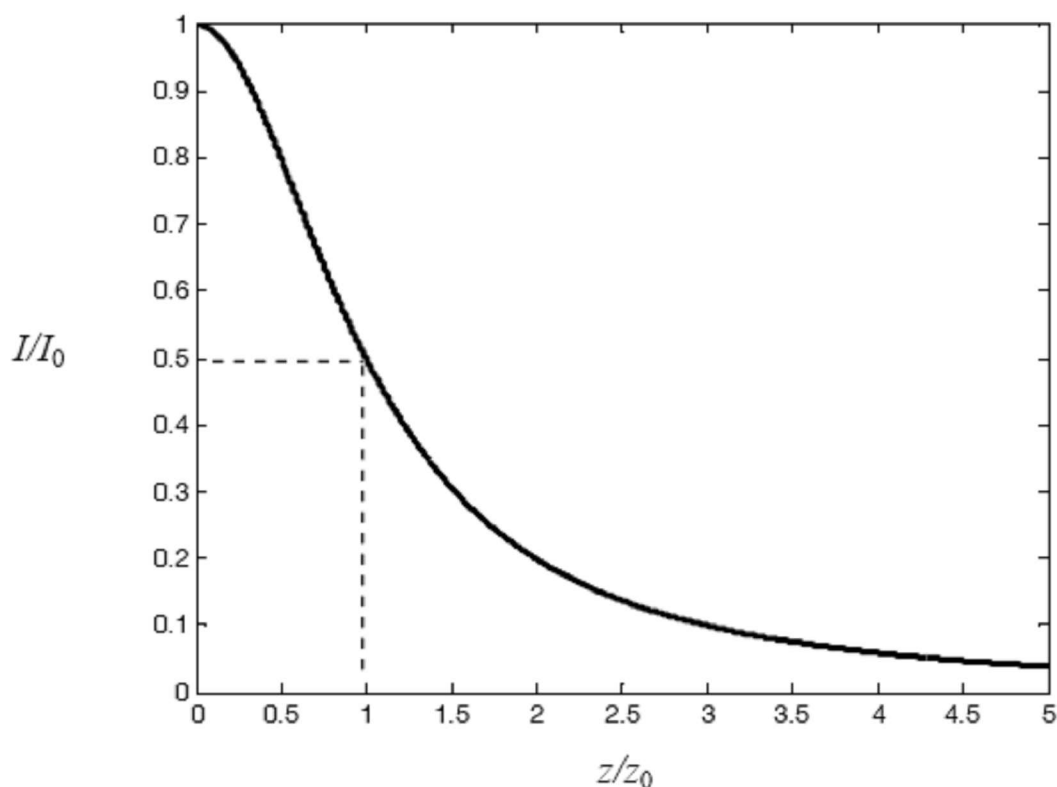
a optická intenzita klesá se čtvercem vzdálenosti podobně jako u sférické vlny.

Celkový optický výkon přenášený gaussovským svazkem je daný integrálem

$$P = \int_0^{\infty} I(\rho, z) 2\pi\rho d\rho \quad (2.16)$$

kde ρ je radiální vzdálenost $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$. Po integraci je

$$P = \frac{1}{2} I_0 \pi w_0^2 \quad (2.17)$$



Obr. 2.5 – Normovaná optická intenzita jako funkce bezrozměrné souřadnice z/z_0 [1]

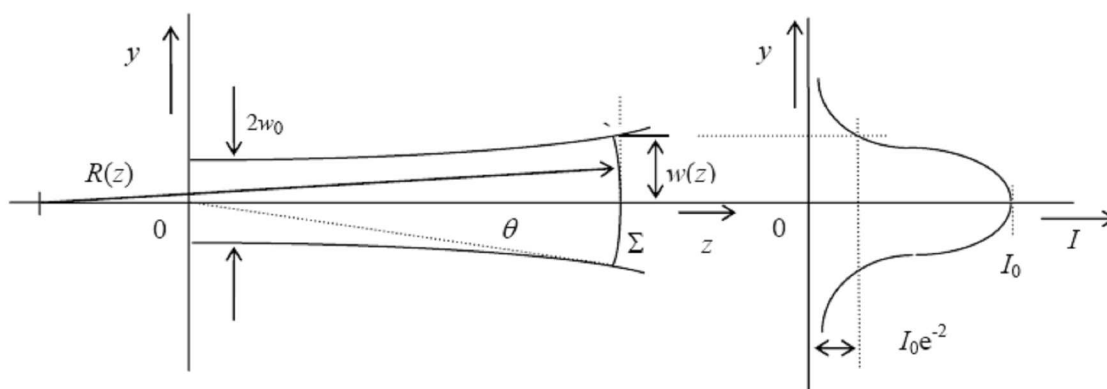
Výkon P_w přenášený v příčné rovině ($z = konst.$) vnitřkem kružnice o poloměru w lze vyjádřit integrálem

$$P_w = \int_0^{\infty} I(\rho, z) 2\pi\rho d\rho \approx 0,86P \quad (2.18)$$

Ve svazku omezeném krajem definovaným vztahem (2.1) se přenáší přibližně 86 % celkového výkonu. V praxi se někdy zkoumá vztah mezi optickou intenzitou na ose svazku a pološířkou svazku v libovolné rovině ($z = konst.$). V tomto případě je možno použít vztahu

$$P = \frac{0,5I_0}{1 + (z/z_0)^2} \pi w^2 \quad (2.19)$$

Gaussův svazek s vyznačením všech jeho základních charakteristik a parametrů je uveden na obr. 2.6.



Obr.2.6 – Základní charakteristiky a parametry Gaussova svazku (I - intenzita záření s maximální hodnotou I_0 na ose svazku) [1]

3. Měření optické intenzity

3.1 Metody měření optické intenzity

Měření optické intenzity se provádí pomocí fotometrických přístrojů, které měří intenzitu osvětlení prošlého zkoumanými látkami, popř. světla odraženého a z naměřených hodnot intenzity se usuzuje na vlastnosti látky. Měřicí metody, a tudíž i přístroje jsou dvojí: subjektivní (vizuální), užívá-li se k vyhodnocení oka, a objektivní (fotoelektrické), kde oko je nahrazeno fotoelektrickým článkem.

a) Subjektivní metody

Subjektivní fotometrie využívá schopností oka vnímat velmi malé rozdíly jasu mezi dvěma ploškami, ve které je rozděleno zorné pole optického přístroje (fotometru). Všechny běžné fotometry jsou v principu dalekohledy s dvěma objektivy a jedním společným okulárem. Umístěním hranolu mezi objektiv a okulár je dosaženo, že každý z obou objektivů přivádí záření jen do části zorného pole okuláru. Všeobecně je to kruhové zorné pole rozděleného vertikální přímkou ve dva polokruhy, jejichž jasy se srovnávají. Předpokládáme-li, že barva světla obou polovin zorného pole je úplně stejná, je mezní čára mezi oběma polovinami zorného pole tím zřetelněji vnímána, čím je větší rozdíl jasů. Při úplné rovnosti jasů je mezní čára prakticky neviditelná.

Subjektivní fotometrie provádí měření intenzity světla na základě porovnávání jasů. Porovnává se jas vytvořený v jedné polovině zorného pole normálním světlem, v druhé měřeným zdrojem. Metoda tohoto porovnání spočívá v tom, že se normální světlo měřitelně mění, až je dosaženo stejného jasů v obou polovinách zorného pole.

Měřitelné změny světla je možné dosáhnout těmito způsoby: změnou vzdálenosti zdroje, rotujícím sektorem, měnitelnými clonami, polarizačními hranoly a absorpčními klíny. Pro praktickou potřebu se osvědčily poslední tři způsoby. Clonové fotometry jsou obvykle světelnější než polarizačními, ale jejich přesnost je ovlivněna efektem Stilesovým – Crawfordovým. Polarizační fotometry mají vůči clonovým dvě hlavní výhody: Nepřichází zde v úvahu Stilesův – Crawfordův efekt a dělicí čára je velmi jemná, takže při nastavení na stejný jas úplně zmizí.

b) Objektivní metody

Citlivost subjektivních měření je omezena hodnotou $\frac{\Delta L}{L}$, na kterou oko ještě reaguje, a mimoto nelze metody použít k měření v oblastech mimo viditelnou část spektra, proto nahrazujeme oko termočlánek (při měření v infračervené oblasti) nebo fotočlánek. Výhodou těchto zařízení vůči oku je, že nereagují na relativní změny jasů, nýbrž na absolutní změny jasů ΔL , takže jejich citlivost může být libovolně stupňována, mimoto reagují na viditelné absolutní záření.

Poněvadž fotočlánek udává nejen stejnost jasů, nýbrž také poměr různých jasů, nejsme při objektivních fotometrických metodách odkázáni na vyrovnávání jasů dvou polí, nýbrž je možné měřit intenzitu světelného svazku před průchodem anebo po průchodu absorpčním prostředím. Proud, který poskytuje článek, je měřen pomocí vhodného galvanometru. Extinkci absorpující látky dostaneme z poměru výchylek měřicího přístroje, nutné ovšem je, aby byla úměrnost mezi světelnou intenzitou a fotoproudem, což není vždy splněno. Výhodou objektivního měření je, že lze měřit i malé extinkce, což u metod subjektivních není možné.

Fotometrické měření extinkce lze provést dvojím způsobem:

1. Měříme po sobě světelnou intenzitu I_0 , resp. I ve formě proudu dodávaného fotočlánku. Tento proud se měří buď přímo (výchylková metoda), nebo se kompenzuje pomocí potenciometru (kompenzační metoda).

2. Měříme extinkci jako při vizuálních metodách pomocí měřitelně proměnlivého zeslabení, které je zařazeno do chodu paprsků místo roztoku (substituční metoda).

3.2 Klasické optické metody

Období před objevením zdroje koherentního záření – laseru, tedy zdroje záření s do té doby nemyslitelnými parametry, byla charakterizována následujícími skupinami metod:

a) Optické interferometry

Klasické optické interferometry jsou zpravidla děleny na:

- dvousvazkové, např. interferometr Michelsonův, Machův-Zehnderův, Sagnacův aj. Z těchto základních typů jsou dále odvozeny různé technické varianty interferometrů a podle četných účelů jejich užití
- mnohosvazkové
- heterodynní
- jiné: do této skupiny zahrnujeme buď interferometry klasické, do jisté míry zvláštního typu (např. Newtonův interferometr aj.) nebo interferometry vyvinuté později (např. laserový interferenční anemometr (LDA) aj.)

b) Stereometrické a stereofotogrammetrické metody určené pro měření křivosti, deformace, napětí apod.

c) Moiré, resp. v dělení na metody moiré a na metody projekční moiré, která je založena na symetrické projekci lineární mřížky na prostorovou plochu studovaného předmětu

d) Fotoelasticimetrie (transmisní, reflexní) pro řešení úloh rovinných či prostorových

Předchozí metody využívají principu superpozice interagujících vln nebo jiných jevů (polarizace aj.), tedy principu nevyžadujících vždy striktně zdroje světla s dobrou koherencí. Především metody klasické optické interferometrie byly závislé na využití tehdy dostupných tzv. monochromatických zdrojů světla, avšak z jejich principu (s velmi malým stupněm koherence) byl poměrně jednoznačně vymezen rozsah jejich užití. Přesto lze v tomto období vysledovat uplatnění této skupiny metod v rozsahu a kvalitě špičkové, a to i z dnešního pohledu. Objev laseru a jeho technické uplatnění v měření přineslo renesanci i do těchto metod, resp. v kombinaci s metodickými přístupy později objevených metod (např. holografie) a uplatněním nových optoelektronických prvků, výpočetní techniky a matematických algoritmů

vyhodnocování naměřených výsledků přineslo nové, především kvalitou, ale i kvantitou, aplikace. Metody převážně (z různých důvodů) kvalitativní nebo omezené v jejich využití dostupnou metodikou, resp. pracností při vyhodnocování, byly následně (a doposud tento trend pokračuje) významně zlepšovány a aplikovány do nečekané kvality, a to i přes známé trendy v mechanice spojené s rozvojem aplikací numerických metod.

Následující metody jsou již založeny výhradně na principu interferometrie koherentních nebo kvazikoherentních optických vln.

3.3 Holografie a holografická interferometrie

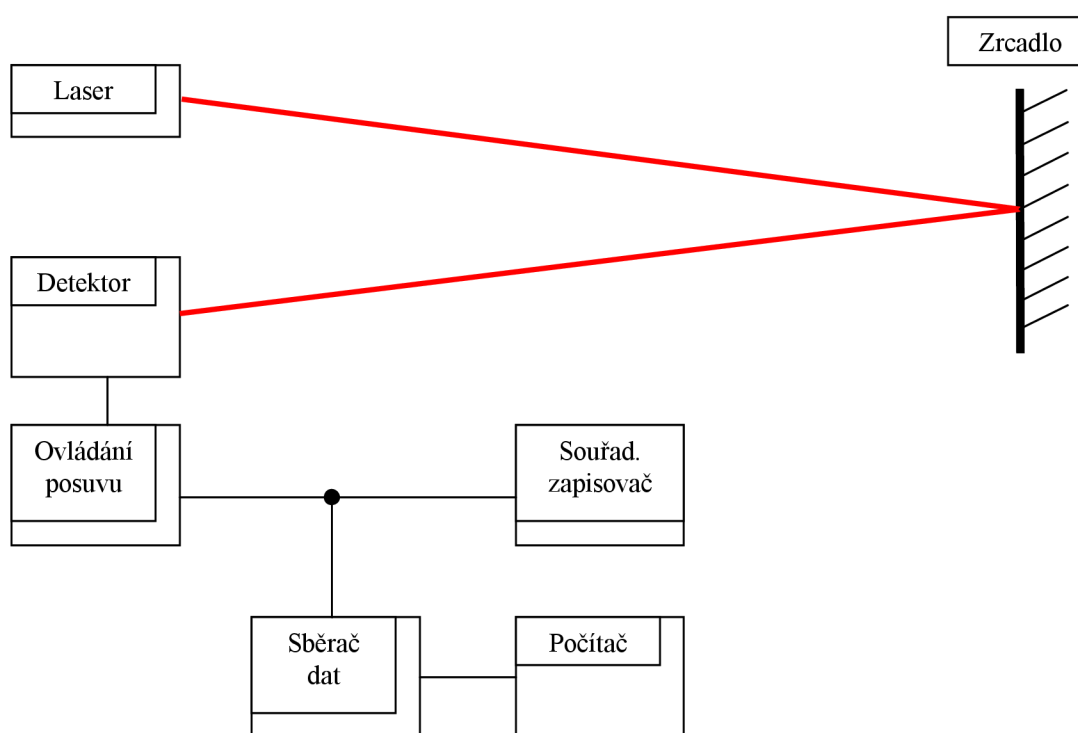
Mnohé známé způsoby dělení holografie a holografické interferometrie vesměs vycházejí ze dvou základních postupů užití této metody. Jsou to metoda v reálném čase a metoda dvojexpozice. Na jejich principu jsou založeny další, již speciálněji užitečné základní metody, metoda time-average, metoda stroboskopická, metoda hyperbolická aj.

Holografie, tato bezesporu revoluční metoda, vyvolala velké očekávání a mnohá byla také realizována. V kombinaci s klasickými interferenčními metodami (např. využitím holografických postupů při aplikaci Machova-Zehnderova interferometru), nové holografické metodické přístupy a nové metody přinesly bezesporu nebývalé zjednodušení vlastní experimentální práce, avšak dnes již lze tvrdit, že klasické holografická interferometrie spadá ještě do oboru klasických interferenčních metod, vyžadujících převážně dobré laboratorní zázemí (metoda výrazně nepřekročila prostory laboratoří) a také vysoce kvalifikovanou obsluhu. Naopak některé metody, jsou díky užití moderních optických a optoelektronických prvků (vláknová optika, nelineární optika, CCD, optické korelátoři aj.), výpočetní techniky, numerických a zejména statistických metod, nově a neočekávaně aplikovány v nejrůznějších oborech, a to běžným uživatelským způsobem, technicky dostupným široké technické veřejnosti. Více o metodě [6].

4. Digitalizace optické intenzity

4.1 Popis měření

Můj úkol spočívá v měření optické intenzity laserového paprsku, který dopadá po odrazu od zrcadla na detektor. Tento detektor snímá intenzitu záření a mění ji na



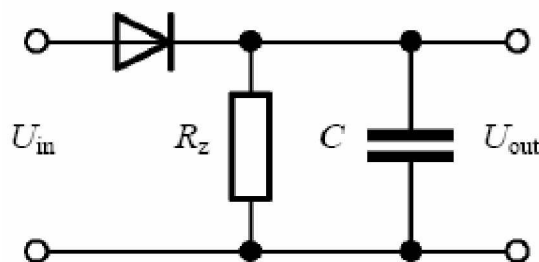
Obr.4.1 – Princip měření optické intenzity

velikost napětí. Toto napětí snímá původně souřadnicový zapisovač, který vykreslí hodnoty napětí na papír. Tyto hodnoty napětí potom můžeme považovat za vykreslené hodnoty intenzity záření. Popis měření je uveden na obr. 4.1

Hodnoty optické intenzity vykresluje původně souřadnicový zapisovač. Nyní tyto hodnoty chci dostat nějakým způsobem do počítače. Jak je vidět z obr. 4.1, řešení bude v tom, že místo souřadnicového zapisovače použiji sběrač dat. Tento systém bude snímat data z detektoru (v našem případě blok ovládání posuvu, který je zabudovaný v detektoru) a přes A/D převodník a přes sériové rozhraní ukládat data do počítače. Počítačem pomocí obslužné aplikace potom zobrazíme hodnoty napětí, které převedeme na optickou intenzitu.

4.2 Detekce napětí

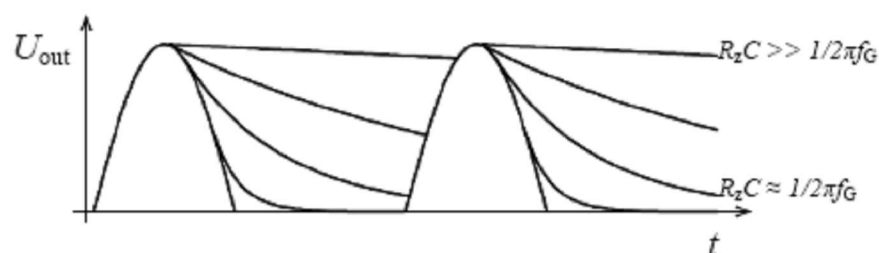
Diodový detektor je obvod pro měření amplitudy vysokofrekvenčního signálu. Toto zapojení nachází mnoho uplatnění. V našem případě lze užít jako pásmová propust sladěná na frekvenci modulačního signálu, kterým je buzena laserová dioda. Využití nachází zejména jako jednoduchý amplitudový demodulátor.



Obr.4.2 – Schéma zapojení diodového detektoru [7]

Na obr. 4.2 je schéma zapojení diodového detektoru. Vysokofrekvenční signál prochází detekční diodou, která usměrní, tj. oddělí kladnou půlvlnu signálu. V kladné půlvlně se kondenzátor C nabíjí přes diodu, v záporné se pak vybíjí přes rezistor R_z . Časová konstanta vybíjení kapacitou musí být vhodně volena vzhledem ke kmitočtu f_G vstupního signálu [7].

$$R_z C \gg \frac{1}{2\pi f_G} \quad (4.1)$$

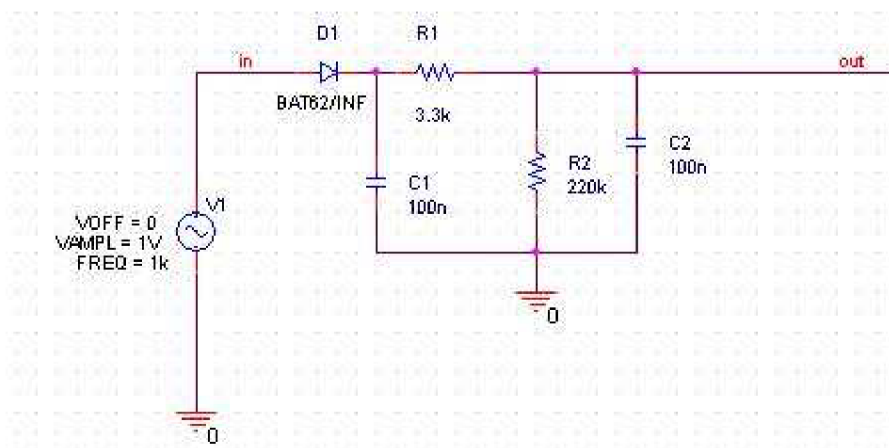


Obr.4.3 – Výstupní napětí při různých hodnotách $R_z C$ [7]

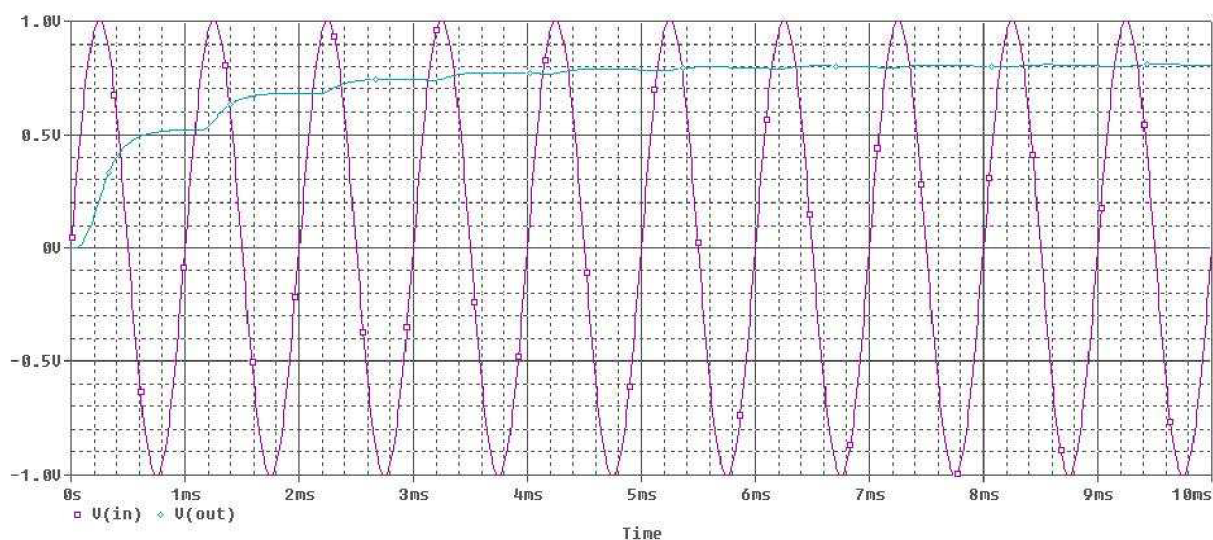
Za předpokladu, že přístroj bude pracovat v rozsahu kmitočtů 1 MHz – 16 MHz, je možné stanovit krajní hodnoty časové konstanty $R_z C$ Pro mezní frekvence tedy platí:

$$1\text{MHz} : R_z C \gg \frac{1}{2\pi f_G} \gg \frac{1}{2\pi \cdot 1 \cdot 10^6} \gg 159,15\text{ns} \quad (4.2),$$

$$16\text{MHz} : R_z C \gg \frac{1}{2\pi f_G} \gg \frac{1}{2\pi \cdot 16 \cdot 10^6} \gg 9,94\text{ns} \quad (4.3)$$



Obr.4.4 – Zapojení diodového detektoru



Obr.4.5 – Simulace diodového detektoru

Na obr. 4.5 je zachycen průběh simulace v programu OrCAD po dobu 10 ms. Snížil jsem v simulaci kmitočet na hodnotu 1 kHz, aby bylo názorně vidět, že ustálení měřeného napětí je po přibližně 3 ms. Detekované napětí poklesne na hodnotu cca 0,707 V z původní hodnoty 1 V.

Musím však poznamenat, že diodový detektor nebude součástí zapojení. Uživatel provozující zařízení by si měl připravit takový detektor, který obsáhne jeho potřebu měření.

4.3 Sběrač dat

4.3.1 Blokové schéma sběrače dat

Sběrač dat jsou dva nezávislé voltmetry. Zařízení však nemá sloužit pro zobrazení aktuálně měřených hodnot příslušných veličin v daný okamžik, tak jak tomu je u běžného voltmetru, ale je určen pro zachycení vzájemně závislého vývoje hodnot jednotlivých měřených veličin, sledovaných na jednotlivých kanálech, nebo jejich vývoje v určitém časovém úseku. Produktem měření, nebo spíše výstupem sběru dat, je tabulka hodnot sbíraných veličin, vyjadřující vzájemnou závislost jednotlivých veličin, nebo závislost těchto veličin na čase.

Popis blokového schéma:

- *Vstupní svorky napětí V1 a V2* : napěťové svorky k propojení za detektor, V1 snímá napětí fotodiody (optickou intenzitu), V2 snímá napětí polohy detektoru
- *Mikrokontroler* : na chipu je implementována nejen programová paměť, která je zároveň použita i pro uložení naměřených dat, ale také A/D převodník, časovač/čítače s děličkami, moduly komparátorů, watchdog atd.
- *Oscilátor 11,059MHz* : oscilátor 11,059MHz určen jako zdroj pro vlastní běh procesoru. Dále připojen oscilátor 32kHz, pro naše zapojení nevyužito, lze však využít jako zdroj hodinových pulsů pro záznam hodnot.
- *Zdroj napětí* : +5V.
- *Převodník MAX232 pro komunikaci s PC* : slouží k nastavení úrovní TTL pro přenos dat do počítače
- *Komunikace RS232* : konektor k připojení počítač

4.3.2 Mikrokontroler ATmega128

Mikrokontroler ATmega128 patří do rodiny AVR osmibitových procesorů RISC od firmy ATMEL. AVR architektura vychází s koncepcí rychle přístupného registrového pole, které obsahuje 32 obecně použitelných registrů délky 8 bitů. Přístup do registrového pole je proveden v jediném strojovém cyklu. To znamená, že během jednoho strojového cyklu lze vykonávat jednu aritmeticko-logickou operaci. Oba operandy aritmeticko-logické instrukce jsou načteny z registrového pole, operace je provedena a výsledek směřuje opět do registrového pole. To vše v jediném strojovém cyklu.

Tato technika dává AVR procesorům velký výpočetní výkon. Například mikrokontroléry řady 8051 disponují instrukcemi o délce od 12 do 48 hodinových cyklů, navíc se pro výpočty musí používat akumulátor, který je v procesoru pouze jeden. Registrové pole lze tedy chápat jako skupinu akumulátorů. Všechny mikrokontroléry AVR disponují pamětí FLASH, pamětí EEPROM, jednotkou obsluhy přerušení, 8-bitovým čítačem/časovačem a dnes pochopitelně i různými komunikačními rozhraními jako je port UART nebo sériové komunikační rozhraní SPI. V řadě procesorů je integrován A/D převodník, či analogový komparátor.

V tomto případě bude přístroj komunikovat s počítačem po sériové lince RS232, využijeme tedy alespoň jeden komunikační porty UART. Rovněž musí disponovat integrovaným A/D převodníkem a bude programovatelný buď pomocí rozhraní SPI, a nebo pomocí rozhraní JTAG. Dále bude obsluhovat LCD displej. V našem případě budeme též potřebovat programovatelnou paměť FLASH dostatečné kapacity. Na základě těchto požadavků byl pro tyto účely zvolen mikroprocesor ATmega128, který všechny požadavky splňuje. Je dostupný jako SMD součástka v pouzdru TQFP64. [8]

Mezi nejdůležitější parametry procesoru patří:

- 128 kB programové paměti FLASH
- 4 kB paměť EEPROM
- 4 kB paměť SRAM
- dva sériové kanály UART
- 8-kanálový 10-bitový A/D převodník
- 7 osmibitových portů
- pracovní kmitočet až 16 MHz
- napájecí napětí 2,7 – 5,5 V

Mikroprocesor potřebuje ke své základní funkčnosti minimální konfiguraci. Jako napájecí zdroj požaduje kladné napětí +5 V. Pro generování pracovního kmitočtu procesoru může být využit jednak interní oscilátor, nebo externí oscilátor realizovaný v tomto případě krystalem o kmitočtu 11,0592 MHz.

4.3.3 A/D převodník

Mikroprocesor ATmega128 je vybaven zabudovaným A/D převodníkem, což dává široké možnosti měření napětí či jiných fyzikálních veličin (po jejich převodu na napětí) bez nutnosti připojování vnějších A/D převodníků. Převodník je 10-bitový pracující algoritmem postupné aproximace. Je připojen na 8-kanálový analogový

multiplexer, takže je možno snímat až 8 vstupů. A/D převodník obsahuje vzorkovač spojený se zesilovačem, který udržuje vstupní napětí v průběhu A/D převodu na stabilní úrovni.

Vstupní analogové napětí je převedeno na 10-bitovou číslicovou hodnotu, kde minimum je reprezentováno vstupním pinem AGND a maximum pinem AREF. Zde je jako referenční napětí použito napájecí napětí procesoru +5 V. Vstupní analogové kanály se volí zápisem bitů do registru ADMUX. Všechny vstupy jsou konfigurovány jako SE (měří napětí proti zemi).

Postupná aproximace potřebuje vstupní hodinový kmitočet v rozsahu 50 až 200 kHz. Pro dosažení maximální přesnosti. Je-li požadováno nižší rozlišení než 10 bitů, může být vzorkovací kmitočet vyšší než 200 kHz a tak je dosaženo vyšší vzorkovací rychlosti. Modul A/D převodníku obsahuje předděličku, která dělí systémové hodiny na hodinový kmitočet přijatelný pro A/D převodník.

Číslicové obvody uvnitř mikrokontroléru produkují elektromagnetické rušení, které může mít podstatný vliv na přesnost A/D převodu. Požadavek na přesnost je v tomto případě vysoký, proto je analogové napájení převodníku AVCC připojeno přes filtrační článek LC.[8]

4.3.4 Sériová komunikace RS-232

- charakteristika:

RS232 je rozhraní pro přenos informací vytvořené původně pro komunikaci dvou zařízení do vzdálenosti 20 m. Pro větší odolnost proti rušení je informace po propojovacích vodičích přenášena větším napětím, než je standardních 5 V. Přenos informací probíhá asynchronně, pomocí pevně nastavené přenosové rychlosti a synchronizace sestupnou hranou startovacího impulsu.

- základní parametry RS232:

RS 232 používá dvě napěťové úrovně. Logickou 1 a 0. Log. 1 je někdy označována jako marking state nebo také klidový stav, Log. 0 se přezdívá space state. Log. 1 je indikována zápornou úrovní, zatímco logická 0 je přenášena kladnou úrovní výstupních vodičů. Povolené napěťové úrovně jsou uvedeny na obr. 4.6. Nejběžněji se pro generování napětí používá napěťový zdvojovač z 5 V a invertor. Logické úrovně jsou potom přenášeny napětím +10 V pro log. 0 a -10 V pro log. 1. Všechny DTE-DCE kabely jsou přímé a vývody jsou propojeny 1:1. DTE-DTE a DCE-DCE kabely patří mezi křížené. DTE - DCE se nazývá 'Straight Cable' (Přímý), DTE - DTE se nazývá 'Null-Modem', DCE - DCE se nazývá 'Tail Circuit'.

Datové signály			Řídící signály		
Úroveň	Vysílač	Přijímač	Signál	Driver	Terminátor
Log. L	+5 V to +15 V	+3 V to +25 V	"Off"	-5 V to -15 V	-3 V to -25 V
Log. H	-5 V to -15 V	-3 V to -25 V	"On"	5 V to 15 V	3 V to 25 V
Nedefinovaný	-3 V to +3 V				

Obr.4.6 – Datové a řídicí signály u RS232 [9]

- délka vedení u RS 232:

Standard RS 232 uvádí jako maximální možnou délku vodičů 15 metrů, nebo délku vodiče o kapacitě 2500 pF. To znamená, že při použití kvalitních vodičů lze dodržet standard a při zachování jmenovité kapacity prodloužit vzdálenost až na cca 50 metrů. Kabel lze také prodlužovat při snížení přenosové rychlosti, protože potom bude přenos odolnější vůči velké kapacitě vedení. Uvedené parametry počítají s přenosovou rychlostí 19200 Bd. Texas Instruments uvádí jako výsledek pokusných měření následující délky vodičů v závislosti na přenosové rychlosti. Vzhledem k „laboratorním“ podmínkám tohoto měření je třeba brát tyto údaje pouze jako orientační. V praxi je třeba počítat s rušením atd. Pro přenos dat na větší vzdálenosti je výhodnější používat rozhraní RS-422, RS-485, či proudovou smyčku. Rozhraní RS232 je oficiálně (podle specifikace) možné použít pro propojení dvou zařízení mezi sebou, a to jen do vzdálenosti 15 metrů při přenosové rychlosti do 20 kb/s, což vyplývá z povolené kapacity kabelu 2500 pF. V praxi jsou dosahovány výsledky mnohem lepší (115200 b/s při vzdálenosti až 50 metrů) díky použití kabelů s kapacitou pod 1000 pF. Rozhraní RS232 je relativně málo odolné proti rušení, neboť přenos dat je realizován napětovou úrovní na vodičích (vůči GND) na zatěžovacím odporu 3,7 kΩ při šumové imunitě 3 V. Mnoho zařízení má ale vstupní impedanci mnohem vyšší (až 30 kΩ) a šumovou imunitu nižší (1 V), takže dochází ke zvýšenému rušení, a tím ke zmenšenému možnému dosahu linky. V každém případě se doporučuje použít stíněný kabel a věnovat pozornost způsobu provedení signálové země a země zařízení (v plné specifikaci RS232 jsou to dva samostatné vodiče).

- převodník RS 232/TTL MAX 232:

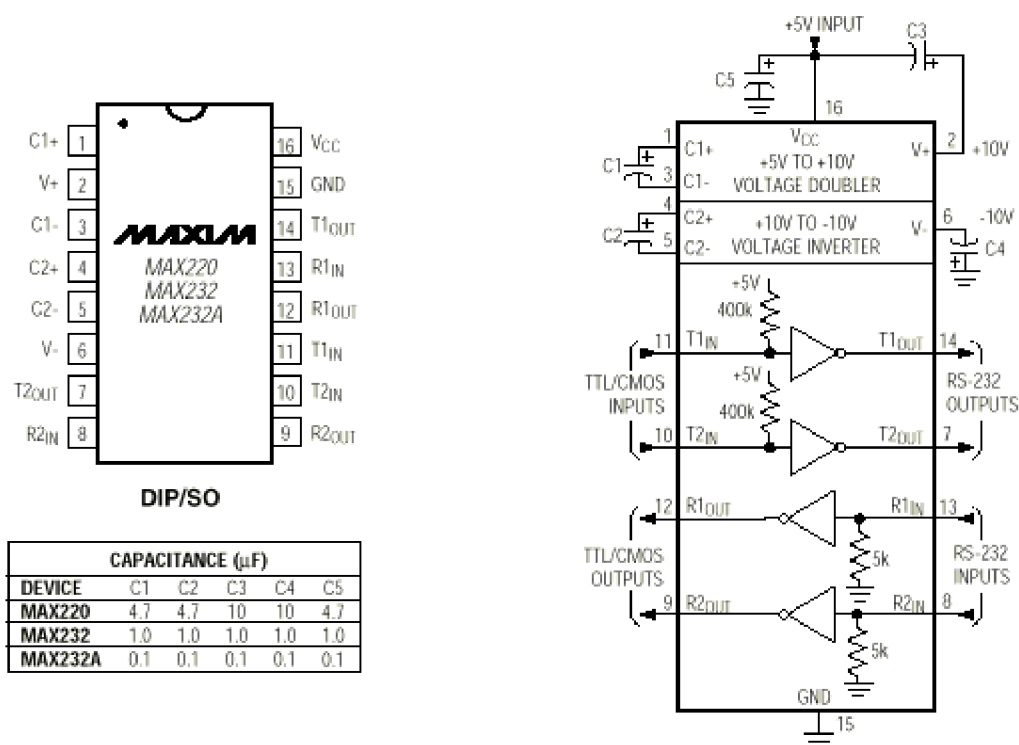
Jedná se o převodník TTL na RS232. Obsahuje dvě dvojice oddělovačů konvertujících napětové úrovně. Napětí pro RS 232 se získává pomocí nábojové pumpy, a výstupní napětí proto značně závisí na kvalitě použitých kondenzátorů, která u elektrolytických kondenzátorů časem značně klesá. Napětí je možno získat na pinech 2 a 6 a použít pro další obvody. Obvod funguje vždy na první zapojení. Maxim vyrábí i verze s minimální externí kapacitou – (MAX 232A – 0,1 μF) nebo verze pracující v rozsahu 7,5 – 13 V (určeno pro bateriové aplikace) – MAX 201 a MAX 231. Specialitou firmy MAXIM jsou obvody MAX 203 a MAX 233, které dokáží pracovat úplně bez potřeby vnějších kondenzátorů.

- synchronní a asynchronní přenos:

Synchronní přenos informací znamená, že na nějakém vodiči nebo vodičích se nastaví určitá úroveň, která přenáší informaci a validita informace se potvrdí impulzem, nebo změnou úrovně synchronizačního signálu. Synchronizačním signálem se tedy informace kvantují.

Základní vlastnosti synchronního přenosu :

- Výhodné pro velké objemy dat, přenášené po více vodičích.
- Nutno jednoznačně určit, kdo vysílá synchronizační impulsy.
- Možno použít spojitě proměnnou rychlost přenosu, například podle poměru chybovosti.
- Nutnost synchronizačního vodiče „navíc“ – v podstatě „nepřenáší žádnou informaci“.



Obr.4.7 – MAX 232, zapojení vývodů [9]

Asynchronní přenos dat přenáší data v určitých sekvencích. Data jsou přenášena přesně danou rychlostí a uvozena startovací sekvencí, na kterou se synchronizují všechna přijímací zařízení. Všechny strany obsahují vlastní přesný oscilátor, díky kterému odečítají data v přesně definovaných intervalech. Po ukončení sekvence je další příjem opět synchronizován startovní sekvencí.[9]

Základní vlastnosti asynchronního přenosu :

- Nevýhodné pro velké objemy dat, ale vhodné pro dlouhá vedení, na nichž by synchronizační vodič činil nezanedbatelné finanční náklady.
- Lze použít pro komunikaci mezi mnoha zařízeními.
- Nutno definovat jednoznačně přenosové rychlosti, změnu rychlosti je třeba ošetřit softwarovou sekvencí, která přiměje počítač změnit hardwarově přenosovou rychlost.
- Celkem složitá a drahá elektronika, nutno použít krystalové oscilátory.
- Až o 20% menší přenosová rychlost užitečných dat při stejné rychlosti komunikace, vzhledem k nutnosti startovacích a paritních bitů.

4.3.5 Znakový LCD displej

Displeje se u nás objevily koncem 80 let. Tehdy se používaly za zázrak techniky. Dnes jsou LCD zobrazovací displeje všude okolo nás. Každý displej má v sobě speciální integrovaný obvod - řadič, který ovládá celý displej a komunikuje s okolím. Standardem se stal řadič HD44780 od firmy HITACHI. Všichni výrobci používají HD44780 nebo jeho ekvivalent. Proto je jedno od jakého výrobce displej je. Pro dosažení plné kompatibility displeje, je zapojení přírodního konektoru stejné. To

zjednodušuje použití displejů v praxi. Displej se vyrábí v několika variantách 8x2, 16x1, 16x2, 16x4, 20x2, 20x4, 24x2, 24x4, 40x2, 40x4, které se liší počtem sloupců a řádků. Moduly se vyrábí s podsvícením LED nebo výbojkou.

Displeje LCD prodávají firmy GMe, Shop HW, Elatec, Powertip a Koala kde také najdeme přehled displejů a datasheety. Firma GMe prodává displeje označené např. MC1602E-SYL (2x16 znaků) od výrobce Everbouquet.



Obr.4.8 – Displeje MC1602E-SYL (vlevo) a MC1602E-SYL/H (vpravo) [10]

- zapojení vývodů:

Na obr. 4.9 je zobrazeno zapojení vývodů, název signálu a popis. Většinou se vyskytuje standardní zapojení vývodů, ale již jsem se setkal u displeje LCD 4x40 (neznámý výrobce) s jiným zapojením. DB0 - DB3 (Data Bus), nižší bity 3-stavové sběrnice. Nevyužito při 4-bitovém ovládní. DB4 - DB7 (Data Bus), vyšší bity 3-stavové sběrnice.

- komunikace s modulem:

Pro komunikaci s displejem je potřeba minimálně 6 vodičů až maximálně 11 vodičů a napájení +5 V. Před zapojením s procesorem si musíme zvolit datovou komunikaci. Komunikace s modulem může být po 8-bitové sběrnici (DB0-DB7) nebo 4-bitové sběrnici (DB4-DB7). Po zapnutí procesoru a displeje je nutné provést základní inicializaci displeje. Nastaví se počet bitů datové komunikace (8 nebo 4 bity), směr psaní znaků, posun řádku, pozice kurzoru a blikání kurzoru. Po této inicializaci je displej připraven na komunikaci.

- 8-bitová sběrnice (DB0-DB7). Pošle se 8 bitů a zapíšou se Enablem

- 4-bitová sběrnice (DB4-DB7). Tuto komunikaci je vhodné použít při nedostatku vývodů na procesoru. Komunikace bude 2x pomalejší, protože se data posílají nadvakrát. Nejdříve se pošlou vyšší 4 bity a zapíšou se Enablem a pak nižší 4 bity a zapíšou se Enablem. Nižší 4 bity (DB0-DB3) na displeji je potřeba spojit se zemí.

vývod standard	vývod LCD4x40	název	popis
1	13	V _{ss}	napájení GND
2	14	V _{dd}	napájení +5V
3	12	V _o	kontrast 0V .. 5V (typ. 0,8V)
4	11	RS	Register Select (0=instrukce, 1=data)
5	10	R/W	Read / Write (0=zápis, 1=čtení)
6	9	E	Enable (1, hrana z 1 -> do 0)
7	8	DB0	Data Bus 0
8	7	DB1	Data Bus 1
9	6	DB2	Data Bus 2
10	5	DB3	Data Bus 3
11	4	DB4	Data Bus 4
12	3	DB5	Data Bus 5
13	2	DB6	Data Bus 6
14	1	DB7	Data Bus 7
15	-	A	podsvícení - anoda LED (jen některé typy)
16	-	K	podsvícení - katoda LED (jen některé typy)
-	15	E2	Enable (1, hrana z 1 -> do 0)
-	16	nc	nezapojen

Obr.4.9 – Zapojení vývodů u LCD displejů [10]

- zobrazení znaků:

Každý znak je zobrazován jako matice 5x8 bodů. Definice jednotlivých znaků je uložena napevno ve vnitřní paměti ROM code: A00. Dále je možno zobrazit kurzor, nastavit blikání kurzoru, definovat posouvání zobrazených znaků, smazat displej, zobrazovat na konkrétní pozici apod. Názorně si ukážeme zobrazení znaků na displeji 2x16 znaků. Data, která se mají zobrazit jsou uložena v paměti DDRAM (Display Data Random Acces Memory). Každý zobrazovaný znak má svojí adresu. Ve skutečnosti je adresa posazena o 80h. Hodnota pro první řádek první znak je 80h pro druhý řádek první znak je C0h. Na obr. 4.10 jsou uvedeny pozice, na kterých jsou uloženy znaky pro zobrazení na řádcích. Některé jednořádkové displeje 1x16 znaků se musí inicializovat jako dvouřádkové! Je to zjednodušení a šetření ze strany výrobce, protože jeden řadič LCD displeje umí ovládat 2x8 znaků.

Jednorádkové displeje		Dvourádkové displeje		Čtyřrádkové displeje	
počet znaků	pozice v DDRAM	počet znaků	pozice v DDRAM	počet znaků	pozice v DDRAM
1 x 16	1.řádek 00h..0Fh	2 x 8	1.řádek 00h..07h 2.řádek 40h..47h	4 x 16	1.řádek 00h..0Fh 2.řádek 40h..4Fh 3.řádek 10h..1Fh 4.řádek 50h..5Fh
1 x 24	1.řádek 00h..17h	2 x 16	1.řádek 00h..0Fh 2.řádek 40h..4Fh	4 x 20	1.řádek 00h..13h 2.řádek 40h..53h 3.řádek 14h..27h 4.řádek 54h..67h
		2 x 20	1.řádek 00h..13h 2.řádek 40h..53h	4 x 24	1.řádek 00h..17h 2.řádek 40h..57h 3.řádek 18h..6Fh 4.řádek 58h..6Fh
		2 x 24	1.řádek 00h..17h 2.řádek 40h..57h		
		2 x 40	1.řádek 00h..27h 2.řádek 40h..67h		

Obr.4.10 – Uložení znaků pro zobrazení na řádcích displeje [10]

- řadič HD44780U:

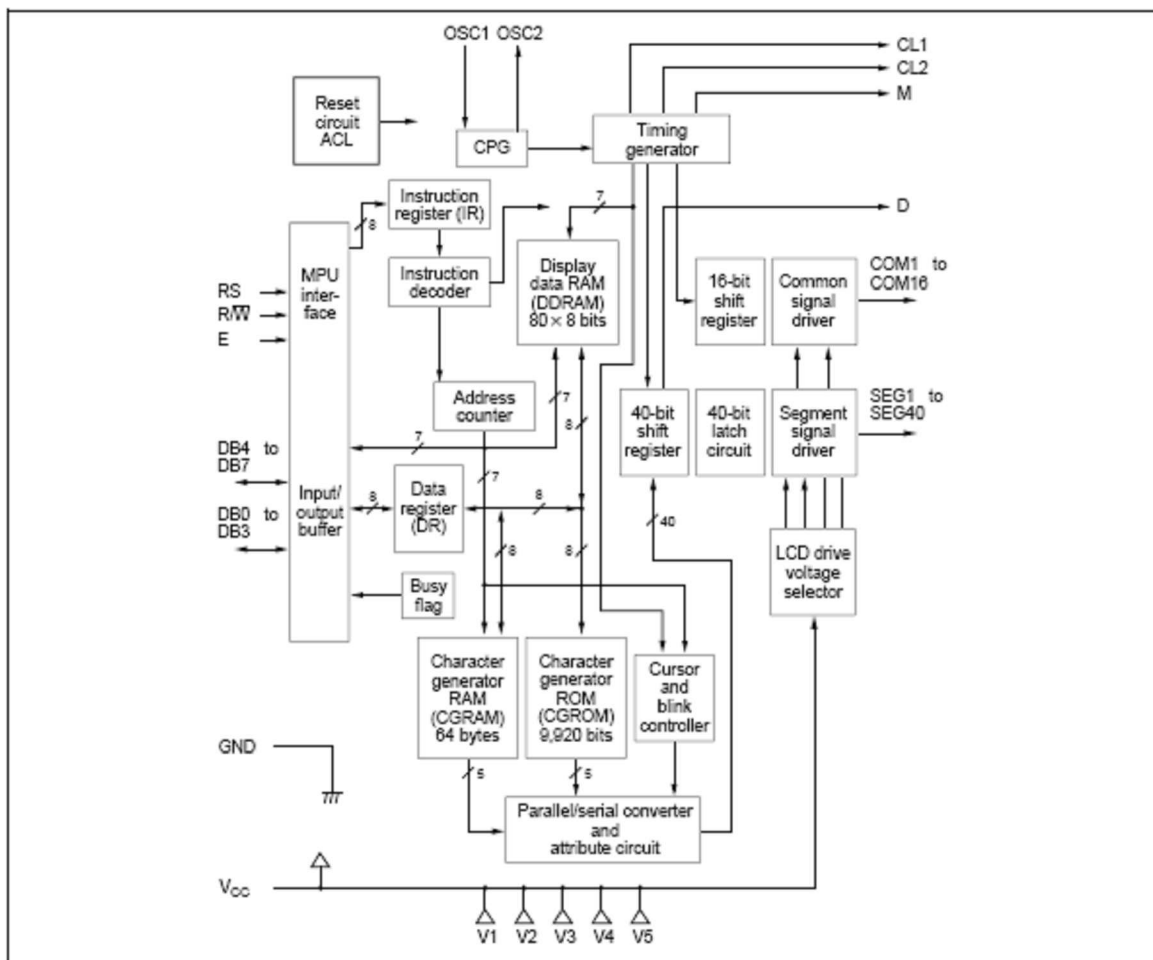
HD44780U řadič a ovladač pro LCD displeje zobrazuje alfanumerický, Japonské kana znaky, a symboly. Může být konfigurován k řízení LCD displeje u 4 nebo 8 bitového mikroprocesoru. Všechny funkce, které v tomto řadiči jsou jako například paměť RAM, generátor znaků a ovladač displeje, potřebné pro řízení LCD displeje jsou implementovány na jeden čip, a minimálně náročný systém ovládá rozhraní mezi řadičem a kontrolérem. Řadič HD44780U má vývod, který ovládáme kompatibilitu s řadičem HD44780S, který dovolí uživateli snadno nahradit displej LCD s displejem LCD II. U HD44780U paměť ROM generuje 208 znaků po 5x8 bodech a 32 znaků po 5x10 bodech z celkového počtu 240 typů písma. Nízké napájení (2.7 V 5.5 V) u HD44780U se hodí pro napájení z jakékoliv přenosné baterie či nízko napětového zdroje. [11]

Charakteristika:

- 5x8 a 5x10 matice bodů
- nízké napájení, podporuje: - 2,7 V-5,5 V pro široký okruh LCD displejů
- - 3,0 V-11 V střídavé napájení (jedna frekvence)
- Odpovídající rychlost MCU – 2 MHz při (Ucc=5 V)
- Rozhraní 4bitové-8bitové
- 80 x 8-bitová DDRAM
- 9920 bitů vnitřní ROM pro 240 znaků - 208 znaků s rozlišením (5x8) bodů
- - 32 znaků s rozlišením (5x10) bodů
- 64 x 8-bitová RAM - 8 znaků s rozlišením (5x8) bodů
- - 4 znaky s rozlišením (5x10) bodů
- běžně 16, až 40-segmentový displej
- Programovatelný pracovní cyklus:- 1/8 pro jednu linku 5x8body s kurzorem
- - 1/11 pro jednu linku 5x10body s kurzorem
- - 1/16 pro dvě linky 5x8body s kurzorem
- široký okruh funkcí displeje: vymazání displeje, zapnutí/vypnutí displeje, kursoru, posuv kursoru, blikání znaků na displeji.
- Pin pro zaměnitelnost s displejem HD44780S
- Automatický nulování obvod (Reset)-inicializuje kontrolér při zapnutí napájení

- Vnitřní oscilátor
- Nízký příkon

HD44780U Block Diagram



Obr.4.11 – Blokové schéma řadiče HD44780U [11]

4.4 Zesilovač – předzesilovač pro A/D převodník

Důvodem vložení předzesilovače před sběrač dat je, že napětí detekované na fotodiode je velmi malé (cca 5 mV). To samé provedu pro detekované napětí na posuvu fotodiody. Ten řídí elektrický motorek, na jejímž výstupu je pro určení polohy maximální napětí (cca 1 V).

Předzesilovače napětí budou samostatně oddělené na vlastní desce. Je to kvůli vyměnitelnosti předzesilovačů pro jiné rozsahy měření a také kvůli přehlednosti desky a zároveň také pro vzájemné ovlivňování obvodů.

Vstupy sběrače dat rozliší napětí do hodnoty cca 4 V. Velikost zesílení zesilovačů bude kalibrováno pouze na přibližnou hodnotu. Zde musíme pouze dávat pozor na překročení detekovaného napětí.

Jako aktivní prvky použijí operační zesilovače AD 823. Zesilovače budou napájeny napětím +5 V. Pro přepínání zesílení použijí přepínací obvod 4066. Každý kanál bude mít čtyři přepínatelné rozsahy. Jím budu měnit rozsahy a velikost zesílení ve formě konstanty potom použijí pro další zpracování v programu.

- Rozsahy zesílení pro detektor: 4000x, 400x, 40x, 4x
- Rozsahy zesílení pro posuv: 400x, 80x, 8x, 4x

4.4.1 Operační zesilovač AD 823

Operační zesilovač AD823 je dvojitě precizní, 16MHz JFET zesilovač operující s nesymetrickým napětím 3 V až 36V nebo symetrickým napájením $\pm 1,5$ V - ± 18 V. Nesymetrické napájení je kompatibilní se vstupním napětovým rozsahem. Výstupní napětí kolísá v rozsahu 50 mV při výstupním proudu menším jak 100 uA, což vyvíjí výjimečný dynamický rozsah. Maximální napětový offset spadá do úrovně 800 uV a napětový drift činí 2 uV/°C. Vstupní proud do zesilovače činí hodnotu pod 25 pA a nízký vstupní šum poskytuje preciznost se zdrojem impedance až do 1GΩ. Zesilovač pracuje až do kmitočtu 16 MHz. Má šířku pásma -3 dB, -108 dB THD na 22 kHz a sledovací rychlost 22 V/us s nízkým napájecím proudem 2,6 mA. AD823 řídí 500 pF přímá kapacitní zátěž, což má za následek výstupní proud až 15 mA a 0,5 V z napájení. Tímto lze zesilovač použít v široké řadě realizací. Zesilovač je ideální prvek pro A/D převodníky, vysoká rychlost aktivních filtrů a dále nízké napětí, vysoký dynamický rozsah systému. AD823 je k dispozici v průmyslu s rozsahem teplot od -40 °C do +85 °C a je nabízen s osmi vývody v pouzdrech PDIP a SOIC. Zapojení vývodů zesilovače je na obr. 4.12.[12]

Vlastnosti:

- nesymetrické, symetrické napájecí operace
- přepínání výstupu rail-to rail
- vstupní napětový rozsah proti zemi
- nesymetrická napájecí schopnost 3 V až 36 V
- kapacitní zátěž 500 pF, G=+1
- výstupní proud 15 mA, 0,5 V z napájení
- výborný střídavý výkon 2,6 mA/zesilovač
- šířka pásma -3 dB při kmitočtu 16 MHz, G=+1
- doba ustálení 350 ns do 0,01 % (2 V krok)
- sledovací rychlost 22 V/us
- dobrý stejnosměrný výkon
- maximální vstupní napětový offset 800 uV
- napětový drift 2 uV/°C
- proud do vstupu max. 25 pA
- nízká deformace: -108 dBc nejhorší při 20 kHz
- nízký šum: 16 nV/√Hz při 10 kHz
- žádné obracení fáze při spojení vstupu s napájením

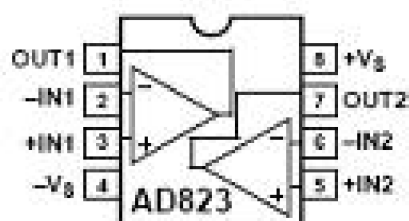
Aplikace:

- fotodiodový předzesilovač
- aktivní filtry
- 12-bitové, 16-bitové A/D převodníky

- lékařské aplikace

Výstupní impedance

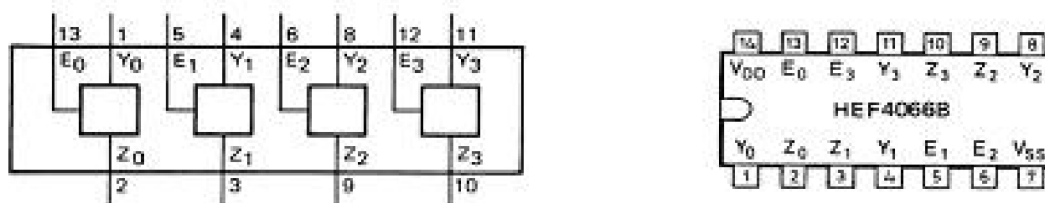
Nízký kmitočet otevře smyčku výstupní impedance ze společného emitoru na výstup stupně. Impedance je přibližně 30 k Ω . Ačkoliv je tato hodnota vyšší než typický výstupní stupeň emitorového sledovače, kdy je společný se zpětnou vazbou, výstupní impedance je redukována otevřením zesilovací smyčky zesilovače. Při zesílení 109 dB z otevřené smyčky se impedance sníží na méně než 0,2 Ω . Na vyšších frekvencích impedance vzrůstá, protože zesílení zesilovače klesá, nicméně výstup se díky kapacitě se chová jako integrační článek s kondenzátory C1 a C2. Integrační článek nám brání ve vzrůstu výstupní impedance, která může způsobit problémy při kapacitní zátěži. [12]



Obr.4.12 – AD 823 – zapojení vývodů [12]

4.4.2 Obvod 4066

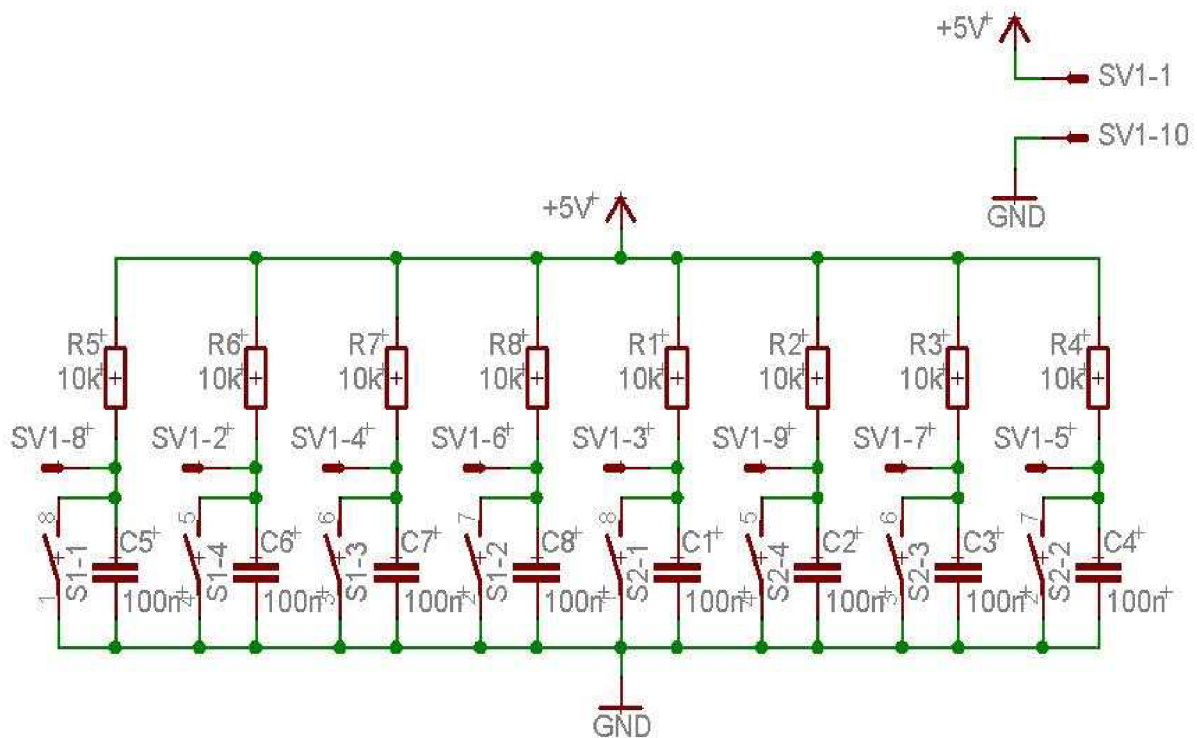
HEF 4066B má čtyři nezávislé dvojstranné analogové vypínače (přenosové brány). Každý vypínač má dva vstupně/výstupní terminály (Y/Z) a aktivační vstup (E) – sepnuto na vysokou úroveň. Když na vstup (E) přivedeme log. 1 (VDD), pak mezi (Y) a (Z) je malá impedance – spínač sepne. Když vstup (E) je připojen k log. 0 (VSS) vypínač je vypnut a mezi (Y) a (Z) je velká impedance. HEF 4066B je vývodově kompatibilní s obvodem HEF 4016B ale má o mnoho nižší odpor. Navíc je odpor relativně stálý při velkém vstupním napětíovém rozsahu. [13]



Obr.4.13 – HEF 4066B – zapojení vývodů [13]

4.4.3 Tlačítka pro předzesilovač

Tlačítka tvoří nedílnou součást přípravku. Budu jimi ovládat a přepínat úroveň zesílení zesilovače obou dvou kanálů. Tlačítka budou pod zdrojem +5 V, který bude přiveden z hlavní desky. Jak je vidět z obr. 4.14, ve stavu vypnutí tlačítek posílám do mikrokontroléru úroveň +5 V, tedy log.1. Při jakémkoliv sepnutí tlačítka se na příslušných vývodech konektorů objeví 0 V, tedy log. 0. Ovládání tlačítek je konektorem přivedeno na mikrokontrolér ATmega 128 na porty (pro kanál detektor) PC0,PC1,PC2,PC3 a (pro kanál posuv) PD4, PD5,PD6,PD7.

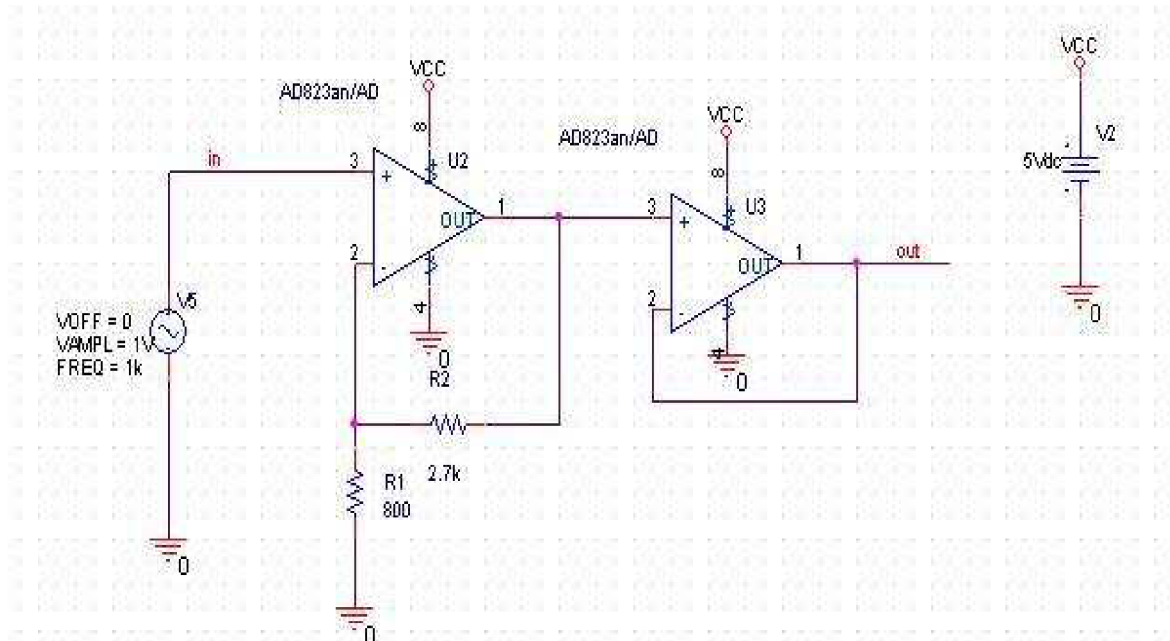


Obr.4.14 – Zapojení tlačítek pro předzesilovač

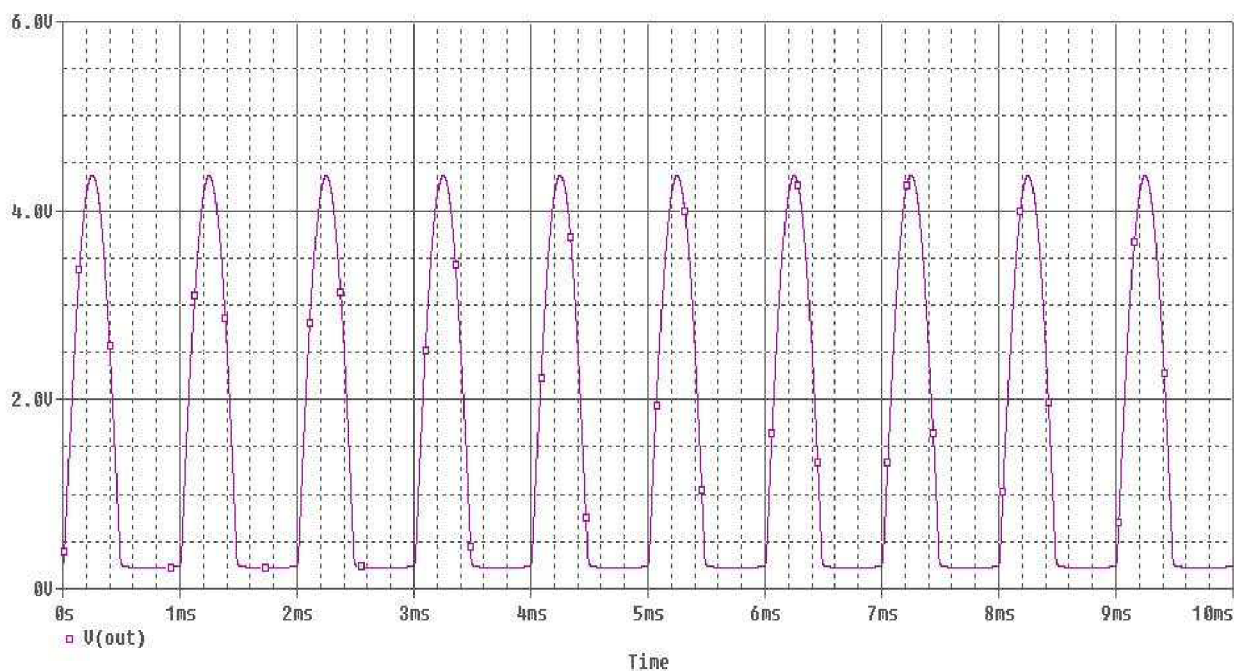
4.4.4 Simulace zesílení zesilovače

Simulaci provádím v programu OrCAD v.10. Jak bude vidět, zesilovač se bude jinak chovat při měření stejnosměrného i střídavého napětí. Nevýhoda zesilovače spočívá v nesymetrickém napájení. Sice nám tento zdroj mnohem zjednoduší návrh a zároveň protože A/D převodníkem nebudu měřit záporné napětí, ale u zesilovače je nevýhodou protože nám měření neprojde na 0 V, ale na napětí o něco vyšší.

Jako ukázkou předvedu zesílení kanálu pro posuv fotodiody. Rozsah zesílení je 4x, tudíž maximální napětí na vstupu je cca 1 V. Pro jemnou korekci zesílení mohu použít odporový trimr (zapojen na pozici rezistoru R1). Maximální napětí na výstupu by nemělo přesáhnout +5 V (toto napětí je vedené dále na jeden kanál A/D převodníku). Ve skutečnosti tato podmínka bude splněná, protože zesilovač pro svoji potřebu vyžaduje cca 0,5 V z napájecího napětí. Viz kapitola 4.4.1.

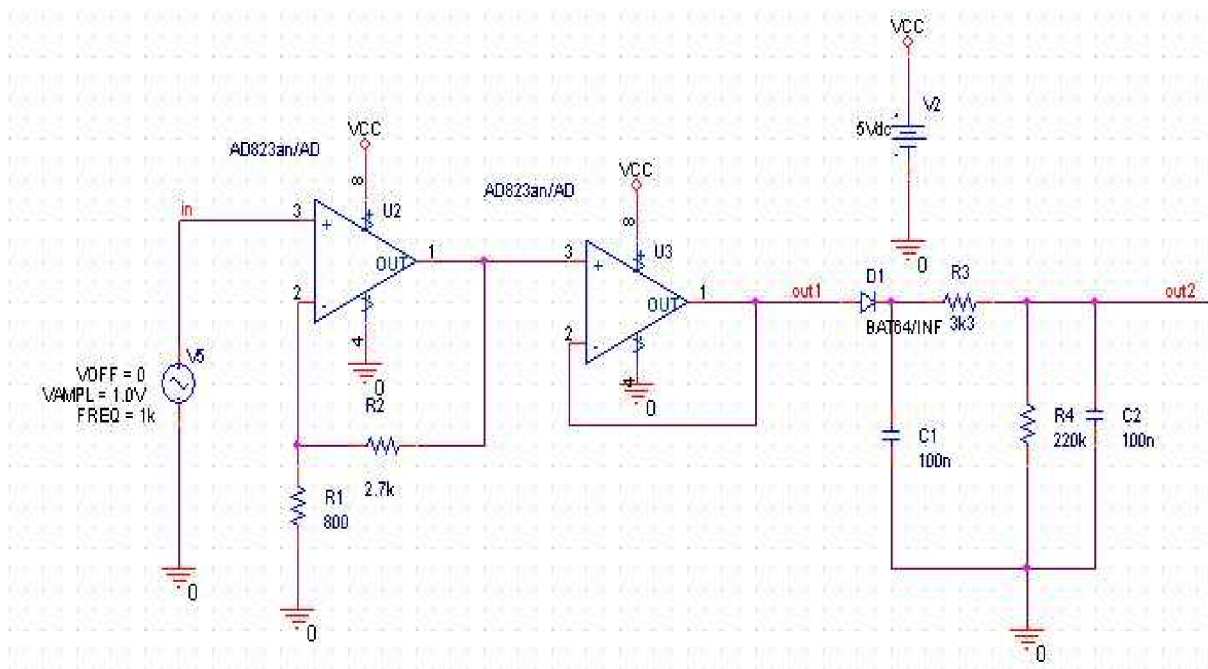


Obr.4.15 – Simulované zapojení zesilovače bez detektoru

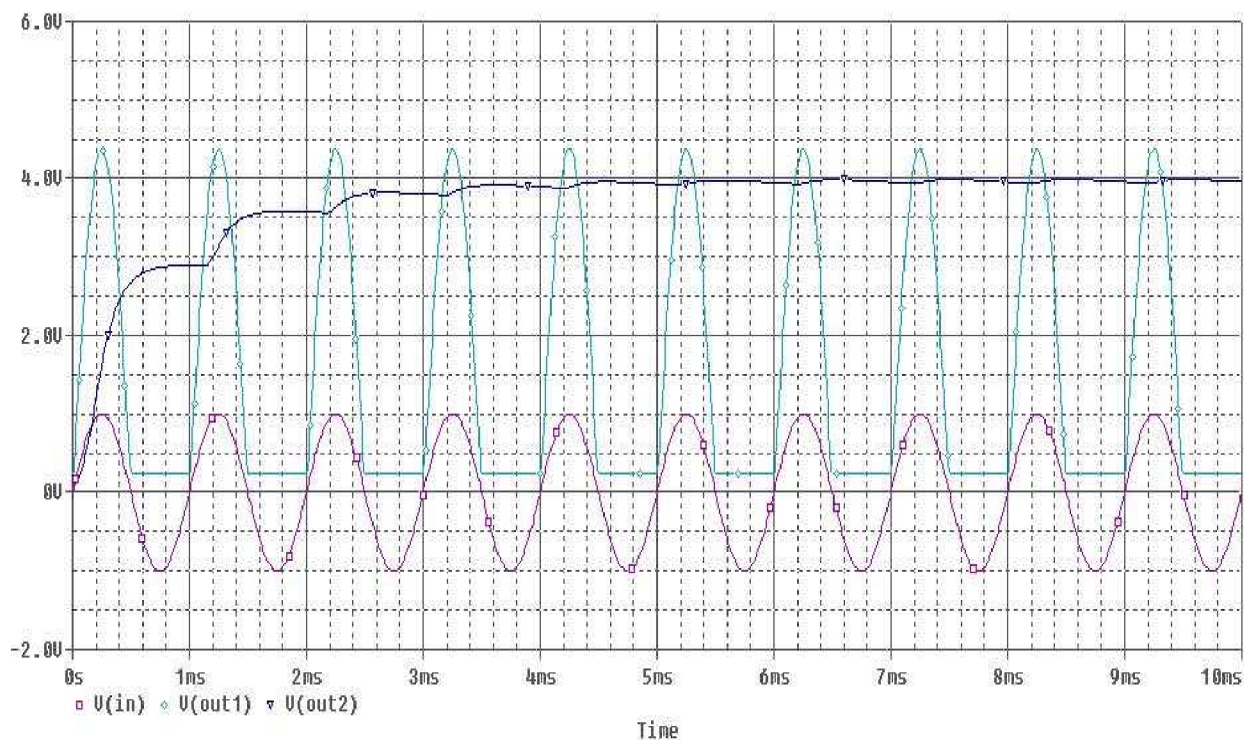


Obr.4.16 – Výsledek simulace bez detektoru

Na obr. 4.16 je vidět ořezaný signál na výstupu zesilovače. Takto ořezaný signál je z důvodu napájecího napětí zesilovače (+5 V). Protože však A/D snímá napětí 0 V až +5 V musíme se s tímto výsledkem spokojit pro střídavý průběh.



Obr.4.17 – Simulované zapojení zesilovače s detektorem



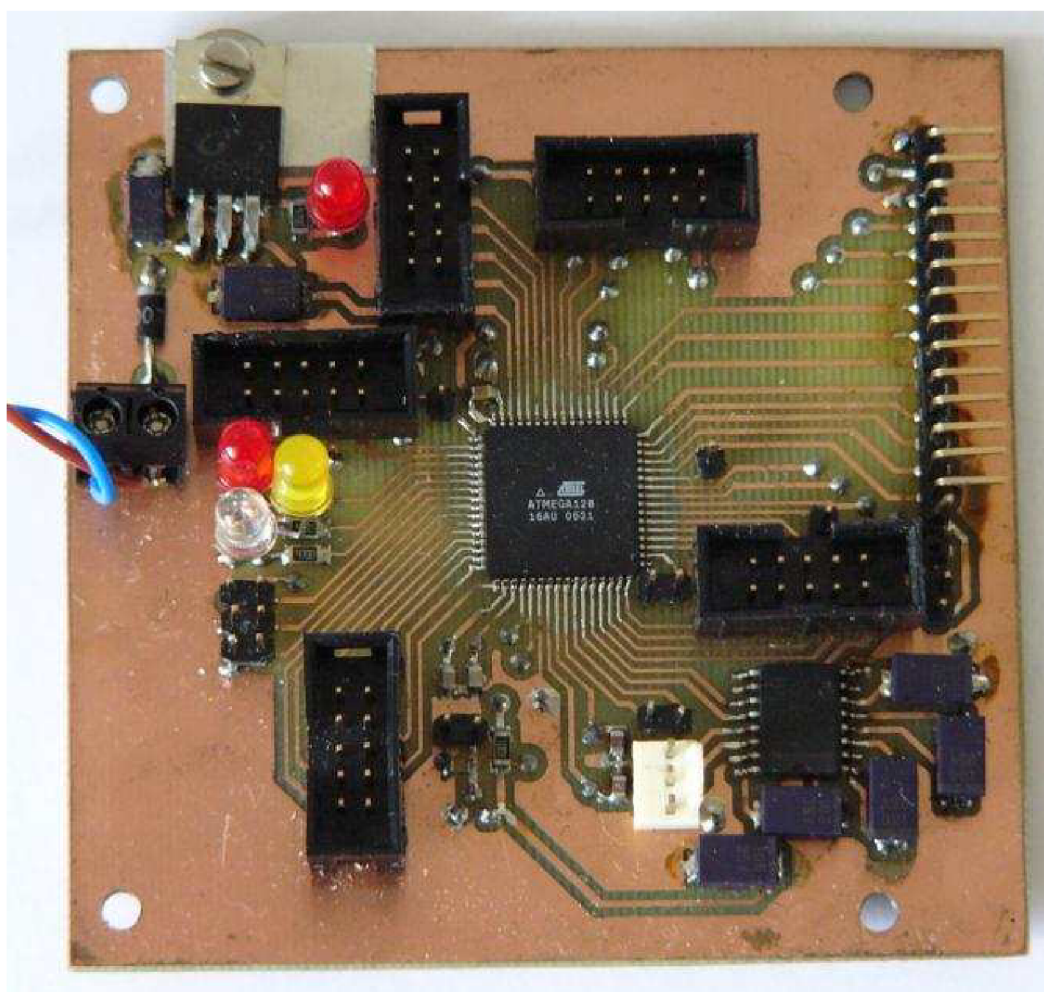
Obr.4.18 – Výsledek simulace s detektorem

Navržený detektor na obr. 4.17 nám ve výsledné simulaci na obr. 4.18 ukazuje možnost zpracování střídavého signálu na efektivní hodnotu napětí. Simulace je brána jen jako ukázka možnosti zpracování pro následný A/D převod.

5. Mechanické konstrukce sběrače dat

Protože se jedná o všestranné zapojení, rozhodl jsem se, že konstrukce celého přípravku bude rozdělena na více celků. Hlavní deska skládající se z napájecího zdroje (svorky, stabilizátor na +5V), mikrokontrolér ATmega 128, sériová komunikační periférie RS-232, vývod pro LCD displej. Deska pro předzesilovač pro A/D převodník, skládající se ze dvou kanálů – zesílení pro fotodiodu a zesílení pro posuv detektoru. A poslední deska pro tlačítka.

5.1 Konstrukce řídicí desky

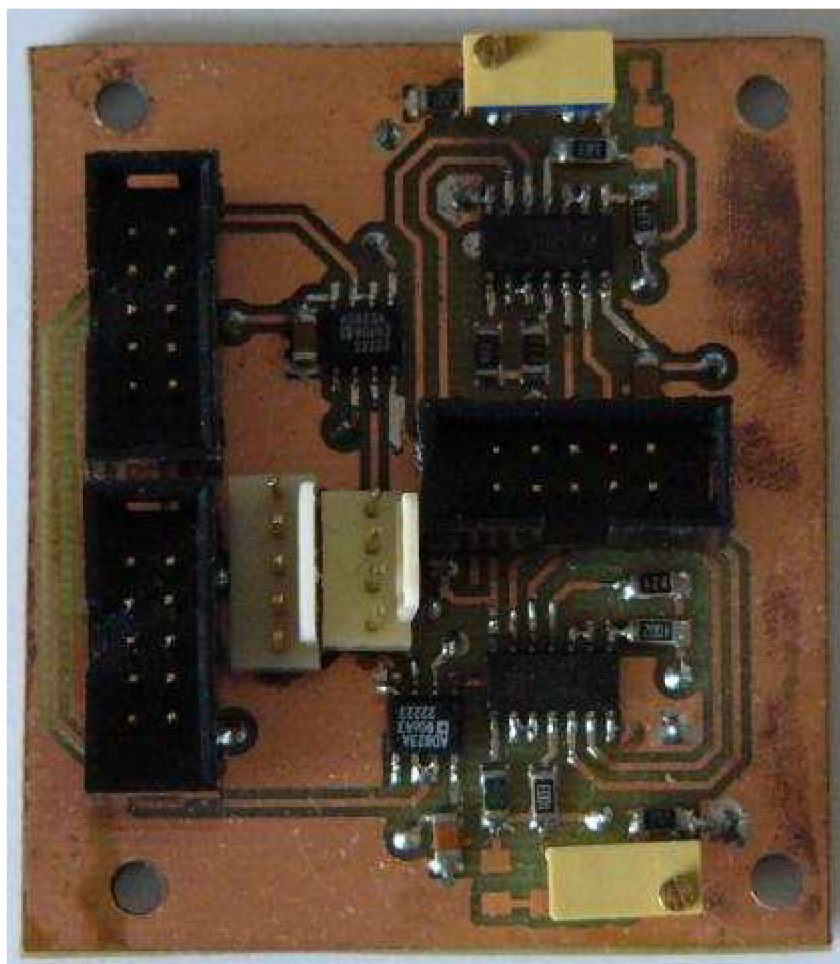


Obr.5.1 – Fotografie řídicí desky

Jak je vidět na obr. 5.1, desku tvoří kro mikrokontroléru a převodníku RS-232 několik konektorů. Konektory typu MLW 10G (černé 10-pinové se zámkem) jsou jednak pro připojení programátoru JTAG a ISP, dále je zde konektor pro ovládání tlačítek a konektor pro ovládání přepínání zesilovače, poslední konektor z této řady je pro přívod měřeného napětí na svorky A/D převodníku. Další konektorů jsou typu S1G40, S2G80 pro vyvedení resetu atd. Protože tato deska bude univerzální, vyvedl jsem z mikrokontroléru více vývodů, které sice pro tuto úlohu nebudou použity, ale

v budoucnu se dají užít pro jiné účely. Poslední konektor typu PFH02-03P (bílý) je připojen k počítači jako sériová linka.

5.2 Konstrukce zesilovače



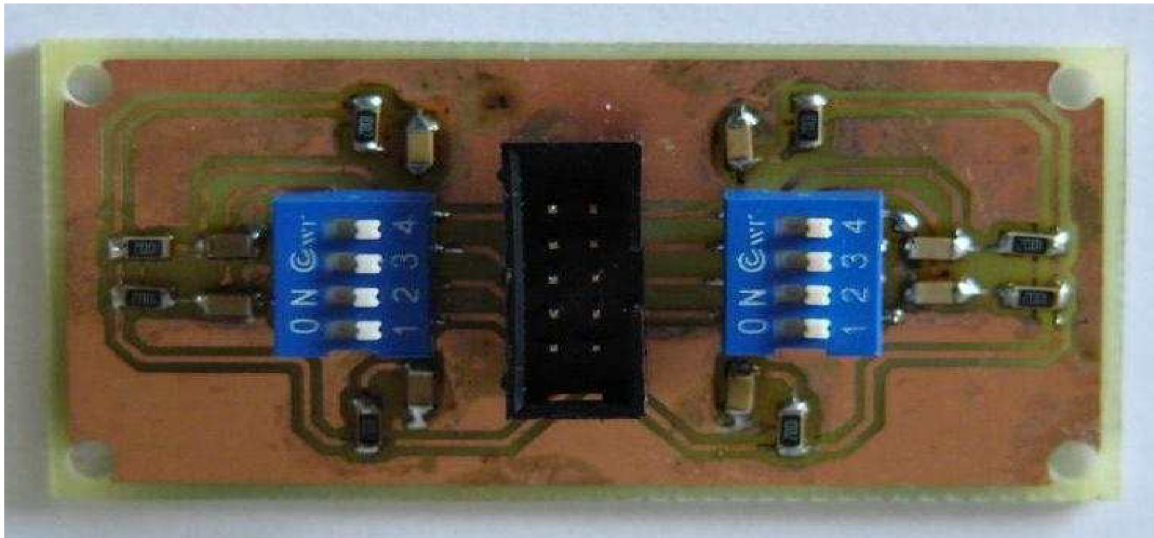
Obr.5.2 – Fotografie desky zesilovače

Tak jako předchozí deska obr.5.1, tak i deska zesilovače obr.5.2 tvoří více funkční desku. Napájení desky je vedeno spolu s řídicími signály k přepínání zesílení. Vstupní konektory typu PFH02-04P a typu PFH02-05P jsou vzájemně propojeny. Tvoří tak vlastně dva měřicí kanály pro jiný měřicí přístroj. To samé propojení je u výstupních konektorů MLW 10G (dva černé konektory nad sebou). Odporové trimry lze později nahradit dvojicí SMD rezistorů.

5.3 Konstrukce tlačítek

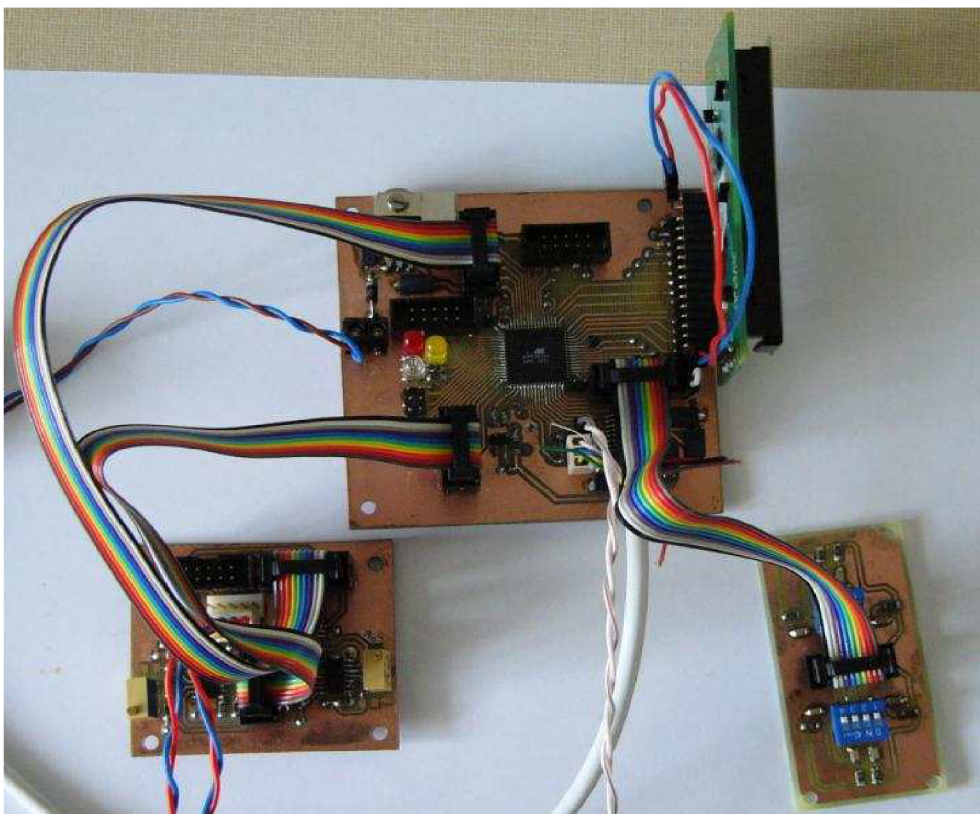
Tlačítka jsou vlastně ve formě spínačů. Přepnutím zůstávají v nové poloze. Jedná se hlavně o to, zesilovač nesmí být přepnut mezi procesem měření. Deska

tlačítek lze uživatelem samozřejmě vyměnit. Musí však být zapojena správně pinově ke konektoru.



Obr.5.3 – Fotografie desky tlačítek

5.4 Kompletní zapojení sběrače dat



Obr.5.4 – Fotografie zapojení všech částí

6. Programování mikrokontroléru

6.1 ISP programování

V současné době se využití jednočipových mikroprocesorů stalo běžnou záležitostí usnadňující v mnoha případech zjednodušení celého obvodové řešení. V souvislosti s tímto trendem je nutné, zabývat se otázkou, jak procesory naprogramovat. Vzhledem k použitému procesoru ATmega128, jehož provedení je pouze v SMD, je třeba navrhnout využití sériové programovací rozhraní (Serial Peripheral Interface - SPI), umožňující obvod naprogramovat přímo v aplikaci.

Jedná se o standardní rozhraní, které slouží jak pro programování, tak pro připojení SPI periférií. Z hlediska programování je rozhraní SPI nejjednodušší variantou, jak zapsat firmware včetně obsahu EEPROM do procesoru. Výhodou je již zmíněná možnost programovat procesor přímo v aplikaci, není tedy potřeba procesor neustále vysunovat z patice a přemísťovat do speciálního programátoru. Pro práci s SPI rozhraním je zapotřebí konvertor z paralelního, sériového či USB portu PC na SPI rozhraní. Existuje celá řada různých programátorů jednočipových mikrokontrolérů, nazývané společným názvem ISP (In System Programming). Takový obvod musí být podporován vývojovými prostředky pro práci s procesory AVR. Například vývojové prostředí CodeVisionAVR, umožňuje po napsání a kompilaci kódu ihned procesor programovat z jednoho prostředí. Snadno se tak aplikace ladí, protože po provedení změny v programu se spustí nová kompilace, která může končit přímo programováním procesoru.

6.2 Komunikační standard IEEE 1149.1 (JTAG)

Skupina výrobců integrovaných obvodů a jejich prodejců označovaná jako JTAG (Joint Test Action Group) usiluje o dosažení dohody, která by stanovila princip konstrukce integrovaných obvodů. Cílem této skupiny je, aby metodika testování integrovaných obvodů byla použitelná i v případě, že se na jedné desce vyskytují komponenty od různých výrobců. Současná verze této metodiky, reprezentovaná normou IEEE 1149.1, je výsledkem sjednocení názorů výrobců integrovaných obvodů a jejich zákazníků. Je to kompromis mezi snahou o respektování požadavků diagnostiky a snahou o co nejnižší výrobní náklady. Doporučení JTAG není striktní v tom smyslu, že by přesně určovalo, jak testovací obvody (Boundary-Scan buňky) konstruovat. Zaměřuje se spíše na definování rozhraní integrovaného obvodu a způsob komunikace na tomto rozhraní.

Norma IEEE 1149.1 tedy definuje testovací logické obvody, které mohou být zařazeny do integrovaných obvodů za účelem testování propojení mezi jednotlivými komponentami na již osazených deskách, testování integrovaného obvodu samotného a sledování chování integrovaného obvodu při jeho normální činnosti. Testovací logika se skládá s boundary-scan registru a dalších vestavěných bloků. Pro přístup k testovací logice a jejímu řízení slouží tzv. Test Access Port (TAP). Obvody vyhovující normě JTAGu dovolují, aby do jejich komponent byly načteny testovací instrukce a data a po provedení testovacích instrukcí pak provést výstup výsledků testování. Komunikace s JTAGem (přenos instrukcí, testovacích dat a výsledku testů) probíhá sériově. Obecně bývá prvním krokem při testování obvodu sériové nahrání instrukce, pro operaci, která má být provedena. Testovací logika je

navržena tak, že sériový posuv instrukce neovlivní ty bloky obvodu, jejichž činnost je ovládána touto instrukcí. Vliv instrukce na tyto bloky se projeví až po dokončení posuvu instrukce (po jejím celém načtení do obvodu). Jakmile je jednou instrukce načtena, vybraný testovací obvod je nakonfigurován k odezvě. Nicméně v některých případech je potřeba do vybraného testovacího obvodu načíst příslušná data, aby výsledky testu byly smysluplné. Data jsou do obvodu načítána stejným způsobem jako instrukce, jejich načítání však neovlivní instrukci, která již byla do obvodu načtena předtím. Po provedení instrukce jsou pak data sériově vysouvána ven z obvodu. [14]

Test Access Port (TAP)

Pro přístup k testovacím funkcím vestavěným do obvodu slouží tzv. Test Access Port. Je sestaven minimálně ze tří vstupních a jednoho výstupního signálu. Těmito signály jsou:

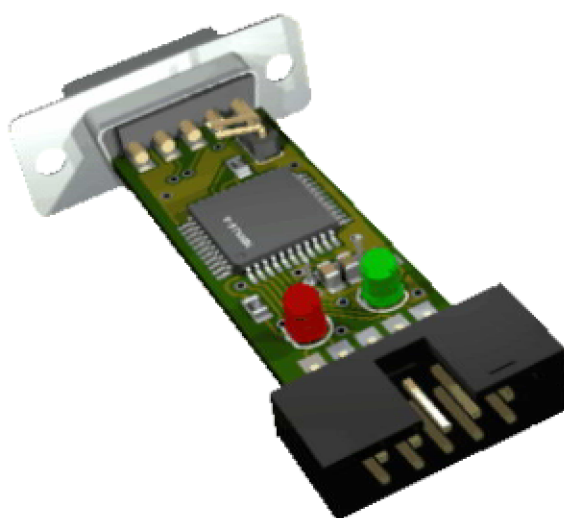
- **TCK - Test Clock Input** - Vstupní signál TCK je do TAP zařazen proto, aby sériová datová cesta mezi komponentami zařízení mohla být používána nezávisle na hodinách jednotlivých komponent, proto jen ty se mohou v každé komponentě lišit. Tento způsob také dovoluje, aby posuv testovacích dat probíhal paralelně s činností komponent zařízení.
- **TMS - Test Mode Select Input** - Tento vstupní signál je dekodován řadičem TAP a slouží k výběru testovacích operací. Pomocí hodnot TMS jsou řízeny přechody mezi stavy ve stavovém diagramu řadiče TAP. Hodnota na vstupu TMS je snímána při náběžné hraně TCK.
- **TDI - Test Data Input** - Datový vstup TDI a datový výstup TDO se používají k sériovému pohybu testovacích dat obvodem. Hodnoty ze vstupu TDI jsou načítány do příslušného datového nebo instrukčního registru, který se vybrán aktuální instrukcí. Hodnota na vstupu TDI je snímána při náběžné hraně TCK.
- **TDO - Test Data Output** - Hodnota na vstupu TDO je platná při sestupné hraně TCK.
- **TRST - Test Reset Input** - Tento signál je nepovinný. Pokud je přítomen, pak pokud je jeho hodnota rovna logické nule, musí řadič TAP přejít asynchronně do stavu Test-Logic-Reset. Tento signál není povinný proto, že inicializaci (resetování) řadiče TAP můžeme dosáhnout i jinak a to buď aplikací logické jedničky na signál TMS po dobu minimálně pěti náběžných hran TCK nebo zapnutím napájení integrovaného obvodu. Je-li na desce více integrovaných obvodů vybavených JTAG rozhraním, je možno zřetězit je sériově prostřednictvím řídicích signálů rozhraní. Tímto uspořádáním může být prováděna nejen diagnostika jednotlivých obvodů, ale i jejich vzájemného propojení.

6.3 Programování mikrokontroléru AVR

Nyní je zapotřebí vytvořit vlastní kód, který se bude do mikrokontroléru nahrávat. K tomu je zapotřebí vývojové prostředí např. AVR Studio. Toto studio je profesionální vývojový prostředek pro psaní a ladění aplikací. Používaným jazykem

pro psaní kódu je jazyk C, který má ale od klasického jazyka C jisté odlišnosti. Je například zapotřebí dávat pozor na zvolené datové typy jednotlivých proměnných, neboť při použití např. typu long je kód přeložen, ale v mikrokontroléru kód nepracuje. Proto je vhodnější místo typu long použít dva typy int. Dále je nutné se oprostit od složitých konstrukcí podmínek a v neposlední řadě nelze psát složité zápisy. Tím je myšleno to, že se v jediném řádku provede jak sčítání či umocnění na základě vyhodnocení podmínky podle vstupu a celý tento příkaz je v cyklu. Pokud je psán kód pomalu a srozumitelně, je tím téměř jisté, že vytvořený kód bude skutečně prováděn v mikrokontroléru tak, jak bylo požadováno. Při zakládání nového projektu je nezbytné nastavit podmínku pro zápis zdrojového kódu v jazyku C a dále je zapotřebí nastavit cestu pro překlad kódu (gcc_cmp.bat). Překladač AVR-GCC musí být nainstalován před vlastní tvorbou zdrojového kódu. Dále AVR Studio disponuje ladicími prostředky pro vyzkoušení vytvořených kódů na základě zvoleného cílového obvodu. Je k dispozici velké množství nástrojů, které ulehčují procházení vytvořeného kódu. Bohužel, i když bylo vynaloženo maximální úsilí tuto možnost využít, nikdy nebyl žádaný úspěch dosažen. Celé ladění kódů bylo proto zapotřebí provádět ručně pomocí logické sondy a příkazu na zastavení běhu kódu. Po napsání celého kódu v C je nutné provést přeložení příkazem Debug, který se nachází v menu projektu, do tzv. Intel hex formy. Po úspěšném přeložení zdrojového kódu následuje spuštění programu. V dialogovém okně pro otevření souboru je nutné zvolit výběrovou masku na *.hex a zvolit vygenerovaný soubor. Dále je nutné v položce menu Devices zvolit ATmega128 a dále nastavit programování. Zde je zapotřebí nastavit výmaz paměti Flash popř. paměti EEPROM a programování paměti Flash popř. EEPROM. Tím je vše nastaveno a může se přistoupit k vlastnímu programování mikrokontroléru stiskem tlačítka Program. Jednotlivá dialogová okna podávají informaci o průběhu programování až poslední okno, které vyžaduje potvrzení uživatele, informuje o úspěšném či neúspěšném výsledku celé transakce. Tím je naprogramována vnitřní paměť mikrokontroléru ATmega128. [15]

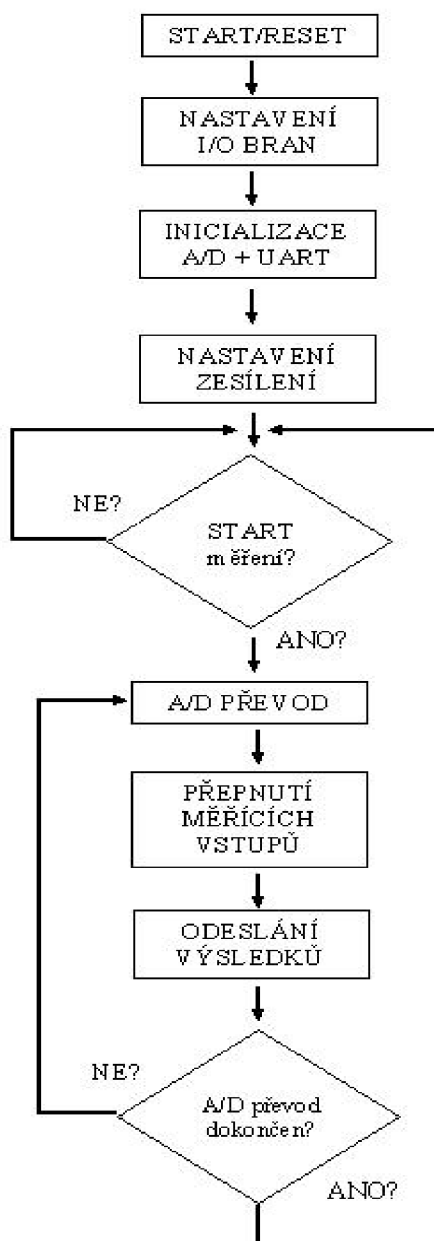
6.4 JTAG-Ice



Obr.6.1 – Pohled na modul JTAGIce [16]

Jtagce umožňuje velmi efektivní a finančně nenáročné ladění aplikací v mikroprocesorech firmy Atmel řady Atmega16 a vyšší. V podstatě je to jediný hardware, který budete pro vývoj aplikací v procesorech ATmega16 a vyšší potřebovat. K počítači je připojen přes sériový port. Celé zařízení obsahuje jen několik součástek: mikroprocesor ATmega16, převodník na RS232, indikační LED, tlačítko pro upgrade firmware a trochu bižuterie. Celý je zabudován do krytky redukce CANON 9pin-9pin. Pohled na modul je na obr. 6.1.[16]

6.5 Softwarové vybavení sběrače dat



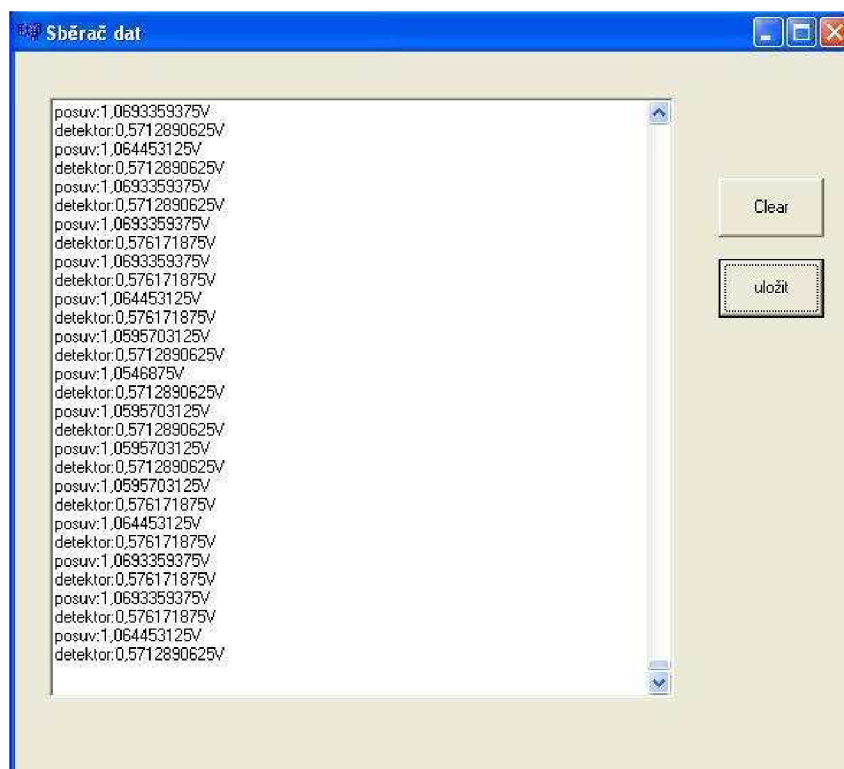
Obr.6.2 – Vývojový diagram programu pro mikrokontrolér

Obslužný program mikrokontroléru po spuštění, po stisku resetu nastaví nejprve vstupní a výstupní porty. Po inicializaci UARTu a A/D převodníku otestuje stav tlačítek – sepnutí tlačítka definované log. 0, nastaví příslušnou úroveň – log.1 na daný vývod pro ovládání spínače pro nastavení zesílení. V následném okamžiku stav tlačítka vypíše na displej.

Po nastavení zesílení zesilovače následuje nekonečná smyčka, kdy testujeme stav vývodu označeném PO na úroveň log. 1. V normálním stavu je měření vypnuto, na vývodu PO je úroveň log. 0. Zapneme-li přístroj, na kterém je umístěna fotodioda snímající paprsek, změníme úroveň na vývodu PO na log. 1. Sběrač dat začíná měřit až do té doby, kdy se opět na vývodu PO objeví log. 0. Měření a činnost sběrače dat nám inicializuje žlutá LED rozsvícením a na LCD displeji se objeví slovo „Merení“. Červená LED inicializuje funkčnost mikrokontroléru – svítí spolu s červenou LED při přiloženém napájecím napětí. Zelená LED není prozatím použita.

Vzhledem k tomu, že integrovaný A/D převodník mikroprocesoru pracuje s 10-bitovým vzorkováním, je vždy naměřená hodnota uložena ve dvou 8-bitových registrech. Protože se na sběrači měří celkem dvě napětí, přístroj odesílá čtyři hodnoty do počítače, kde se po jejich správném sloučení provádí další zpracování. Data přenášíme maximální přenosovou rychlostí a to 115,2 kD. Protože rychlost A/D převodu je větší než přenosová rychlost přesunu dat, vyhradil jsem v paměti EEPROM o velikosti 1024 B místo pro jejich ukládání. To by mělo bohatě pokrýt naše měření. Program je napsán tak, že jakmile se EEPROM naplní začnou se stará data přepisovat novými. Náčrtek vývojového diagramu je na obr. 6.2

6.6 Obslužná aplikace pro sběrač dat



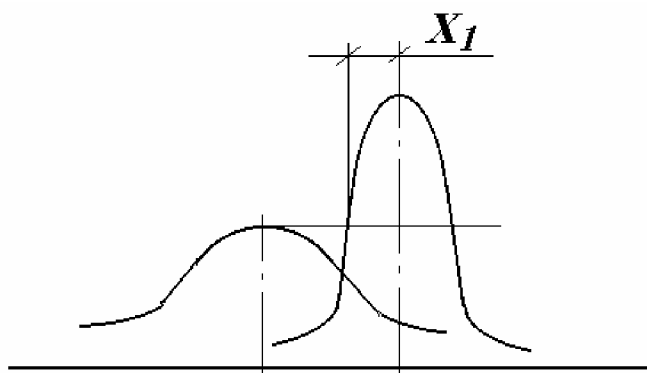
Obr.6.3 – Obslužná aplikace pro sběrač dat

Počítačová aplikace, vytvořená ve vývojovém prostředí C++ Builder, komunikuje s přístrojem a provádí vyhodnocování naměřených dat. Aplikace je připojena na komunikační port COM 4, s přenosovou rychlostí 115,2 kBd.

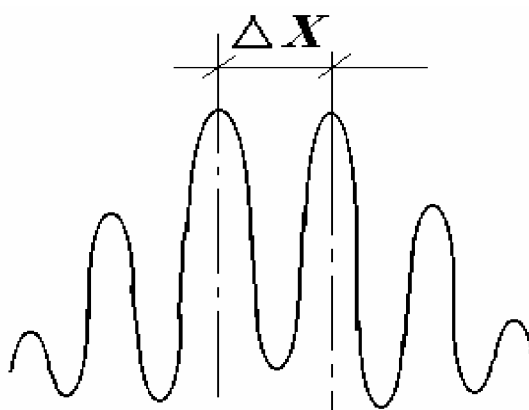
Pro měření lze využít i aplikaci otevřenou v OS Windows – Hyper Terminal. Problém je pouze v tom, že nám program zobrazuje hodnoty napětí převedené v ASCII znacích do symbolů. Každý kanál je však oddělen oddělovačem ve formě písmen „A“ a „B“.

6.7 Následné zpracování výsledků

Po zahájení komunikace se načítají data (velikosti napětí) do sloupce tabulky. První sloupec tabulky bude odpovídat např. hodnotě napětí měřící optickou intenzitu, druhý sloupec pak napětí odpovídající posuvu detektoru. Tyto sloupce tabulky mohou dále uložit ve formě textového editoru a nebo započít nové měření.



Obr.6.4 – Určení x_1 z naměřených grafů průběhů intenzit [1]



Obr.6.5 – Určení vzdálenosti dvou sousedních maxim interferenčního obrazce Δx z naměřených grafů [1]

Dále načítám tyto uložené hodnoty do programu Matlab. V něm pak provádím převod napětí na optickou intenzitu a vzdálenost, kterou mně urazí detektor při měření. Cílem je měření dvou průběhů optických intenzit, po jejímž vykreslení mohou

odečíst vzdálenost x_1 , tj. vzdálenost od osy svazku po okraj svazku, kde intenzita záření poklesne na hodnotu $I_0 e^{-2}$ vůči hodnotě intenzity I_0 na ose svazku obr. 6.4.

Ze vzdáleností od krčku laseru po detektor (z_1, z_2) vypočítám pološířku svazku v jeho nejužším místě w_0 . Zvolí-li se hodnoty x_1, x_2 tak, aby platilo $I_1 = I_2$, dostaneme po dosazení a podělení posledních úměr rovnicí

$$1 = \frac{z_2^2}{z_1^2} \exp \left\{ -2 \left(\frac{\pi w_0}{\lambda} \right)^2 \left[\left(\frac{x_1}{z_1} \right)^2 - \left(\frac{x_2}{z_2} \right)^2 \right] \right\} \quad (6.1)$$

Zvolí-li se navíc podmínka $I_1 = I_2$ tak, aby současně platilo $x_2 = 0$, platí

$$w_0 = \frac{\lambda}{\pi} \left(\frac{z_1}{x_1} \right) \sqrt{\ln \frac{z_2}{z_1}} \quad (6.2)$$

Pak i Rayleighovu vzdálenost z_0 podle vzorce .

$$z_0 = \frac{\pi w_0^2}{\lambda} \quad (6.3)$$

A dále pološířku svazku w_1, w_2 ve vzdálenostech z_1, z_2 ze vzorce (2.1). Určím i úhel divergence Θ .

$$\theta = \frac{\lambda}{\pi w_0} \quad (6.4)$$

Interferenční metodou potom určím poloměr křivosti R a to tak, že pomocí planparalelní destičky zobrazím průběh pro určení dvou sousedních maxim interferenčního obrazce Δx obr. 6.5.

Pro vyjádření poloměru křivosti vlnoplochy ve vzdálené zóně záření lze pomocí teorie Gaussových svazků odvodit vztah

$$R = \frac{2\alpha \Delta x}{\lambda \sqrt{1 - \alpha^2}} \cos \tau_1 \quad (6.6)$$

kde $\alpha = \frac{\sin \tau_1}{n}$ a τ_1 je úhel dopadu laserového záření na planparalelní destičku, Δx je vzdálenost dvou sousedních maxim interferenčního obrazce a λ je vlnová délka laserového záření. [1]

7. Závěr

Cílem semestrálního projektu 1 (MM1E) bylo seznámit se s metodami měření optické intenzity a převedení naměřených hodnot do digitální podoby. Z teoretického hlediska jsem popsal vlastnosti gaussovského svazku a odvodil jsem jeho parametry. Dále jsem nastínil použití laserového paprsku. V praktické části jsem spíše hledal možnosti měření optické intenzity. Je zde nastíněna metoda měření. Protože moje práce bude zaměřena k digitalizaci hodnot, navrhnul jsem blokové schéma systému, který analogové hodnoty převede na digitální a pošle je do počítače. A dále postup zpracování naměřených výsledků měření. K výpočtům použiji program Matlab. Zmíněný program se k tomuto účelu hodí nejvíce, protože toto měření dále poslouží k laboratorní úloze pro studenty.

Cílem semestrálního projektu 2 (MM2E) bylo prohloubení popsaných způsobů měření optické intenzity. V tomto jsem cíleně prošel do praktického řešení obvodového schématu sběrače dat a předzesilovače signálu. Jako vhodný prvek pro realizaci sběrače dat byl vybrán mikrokontrolér skupiny AVR ATmega 128. Postupoval jsem dále tak, aby cílová řídicí deska obsáhla více funkcí, než pro zmíněnou jednu úlohu měření, protože mikrokontrolér je součástí mnoha použití. K desce je také připojen LCD displej jako podpora zobrazovací jednotky v případě nepřítomnosti počítače. Nedílnou součástí řídicí desky je zesilovač pro předzpracování měřeného signálu spolu s ovládáním zesílení kanálů ve formě tlačítek.

Cílem posledního úseku práce (MMSE) je realizace obvodového zapojení, oživení, programování mikrokontroléru a také praktická ukázka funkčnosti ve formě obslužné aplikace. Přístroj – sběrač dat je napájen jedním napětím +5 V. Napájení je přivedeno na jednu desku, z které je dále rozvedeno na další obvody pomocí konektorů. Tímto se deska v mnohém zjednoduší a v našem případě to byla jedna z podmínek realizace.

S výhledem na budoucí využití přístroje byla prioritou nejen komunikace s počítačem, ale i příprava na připojení LCD displeje. V případě komunikace s PC je hlavním uživatelským rozhraním počítačová aplikace, jež umožňuje kompletní řízení a vyhodnocení měření. V případě LCD displeje se bude jednat o zjednodušenou a kompaktní formu řízení sběrače dat a bude tak možné pracovat se zařízením pohodlněji.

Po návrhu desek plošných spojů, jejich osazení a ověření základní funkčnosti zapojení bylo vytvořeno softwarové vybavení mikroprocesoru, který je srdcem celého zapojení a komunikuje se všemi důležitými perifériemi přístroje. Pro komunikaci s uživatelem byla dále vytvořena počítačová aplikace, která umožňuje základní ovládání přístroje. Tím je připraven vhodný základ pro další zdokonalení měřiče, které bude spočívat převážně ve vývoji softwarového vybavení přístroje za účelem zpřesnění a zautomatizování procesu měření.

Samotný sběrač dat slouží pouze k vynesení průběhů optické intenzity a to měřením hodnot ve formě tabulky. Tímto nám plně nahradí souřadnicový zapisovač. Vynesení a odečtu průběhů v programu Matlab mohu dále vypočítat ostatní parametry laserového paprsku.

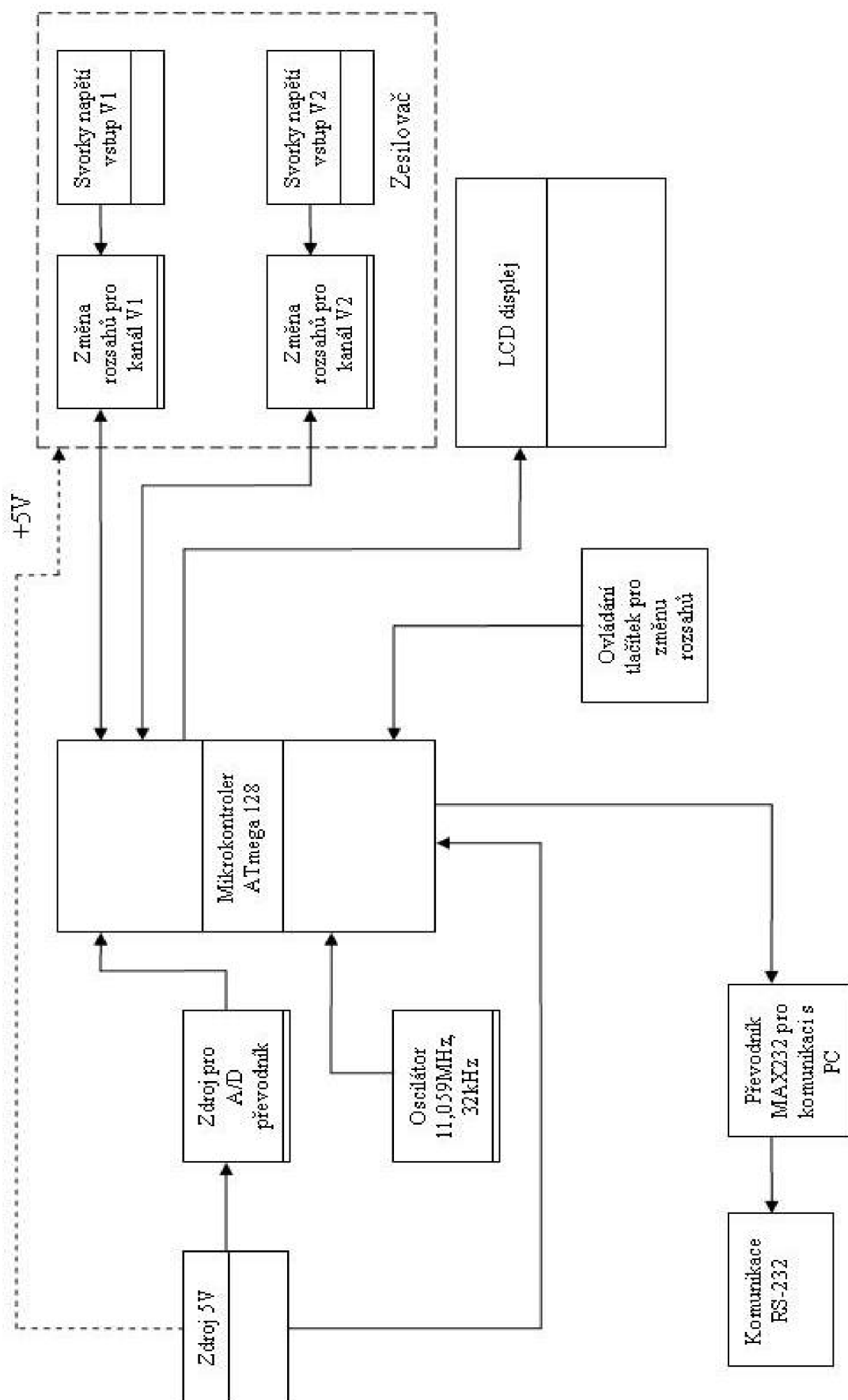
8. Seznam použité literatury

- [1] WILFERT, O. *Kvantová elektronika - skripta*. Brno, VUT - FEKT
- [2] SVAČINA, J. *Elektromagnetická kompatibilita*. Brno: VUT, 2001
- [3] VRBOVÁ, M. A KOL. *Lasery a moderní optika – Oborová encyklopedie*. Praha: Prométheus, 1994
- [4] SOCHOR, V. *Lasery a koherentní svazky*. Praha: Academia, 1990
- [5] ERNEST, P., HORÁK, M. *Aplikace laserů*. Praha: SNTL, 1989
- [6] HRABOVSKÝ. *Optické metody*. 40. mezinárodní konference „Experimentální analýza napětí“ Praha: 2002
- [7] DOSTÁL, T. *Analogové elektronické obvody*, Skriptum VUT – FEKT Brno, 2004
- [8] Aplikační listy mikrokontroléru Atmel Atmega128L, Atmel Corporation, Inc. [on-line], 2004, [cit. 14.5.2008]. Dostupné na www: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2467.pdf
- [9] Internetové stránky HW.CZ. [on-line], [cit. 14.5.2008]. Dostupné na www: http://rs232.hw.cz/#datovy_prenos
- [10] Internetové stránky Alfanumerické LCD displeje. [on-line], [cit. 14.5.2008]. Dostupné na www: <http://www.cmail.cz/doveda/lcd/>
- [11] Aplikační listy řadiče HD44780U, [on-line], 2004, [cit. 14.5.2008]. Dostupné na www: <http://www.cmail.cz/doveda/lcd/hd44780u.pdf>
- [12] Aplikační listy AD 823, Analog Devices, Inc. [on-line], 2004, [cit. 14.5.2008]. Dostupné na www: http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/AD823.pdf
- [13] Aplikační listy HEF 4066B, [on-line], 2004, [cit. 14.5.2008]. Dostupné na www: http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/H/E/F/4/HEF4066B.shtml
- [14] Internetové stránky Popis rozhraní JTAG [on-line], [cit. 14.5.2008]. Dostupné na www: <http://noel.feld.cvut.cz/vyu/ap2/JTAGmoje.htm>
- [15] Internetové stránky Sdělovací technika [on-line], [cit. 14.5.2008]. Dostupné na www: <http://www.stech.cz/articles.asp?ida=323&idk=267>
- [16] Internetové stránky Dioda [on-line], [cit. 14.5.2008]. Dostupné na www: <http://www.dioda.cz/index.php?PageId=7>

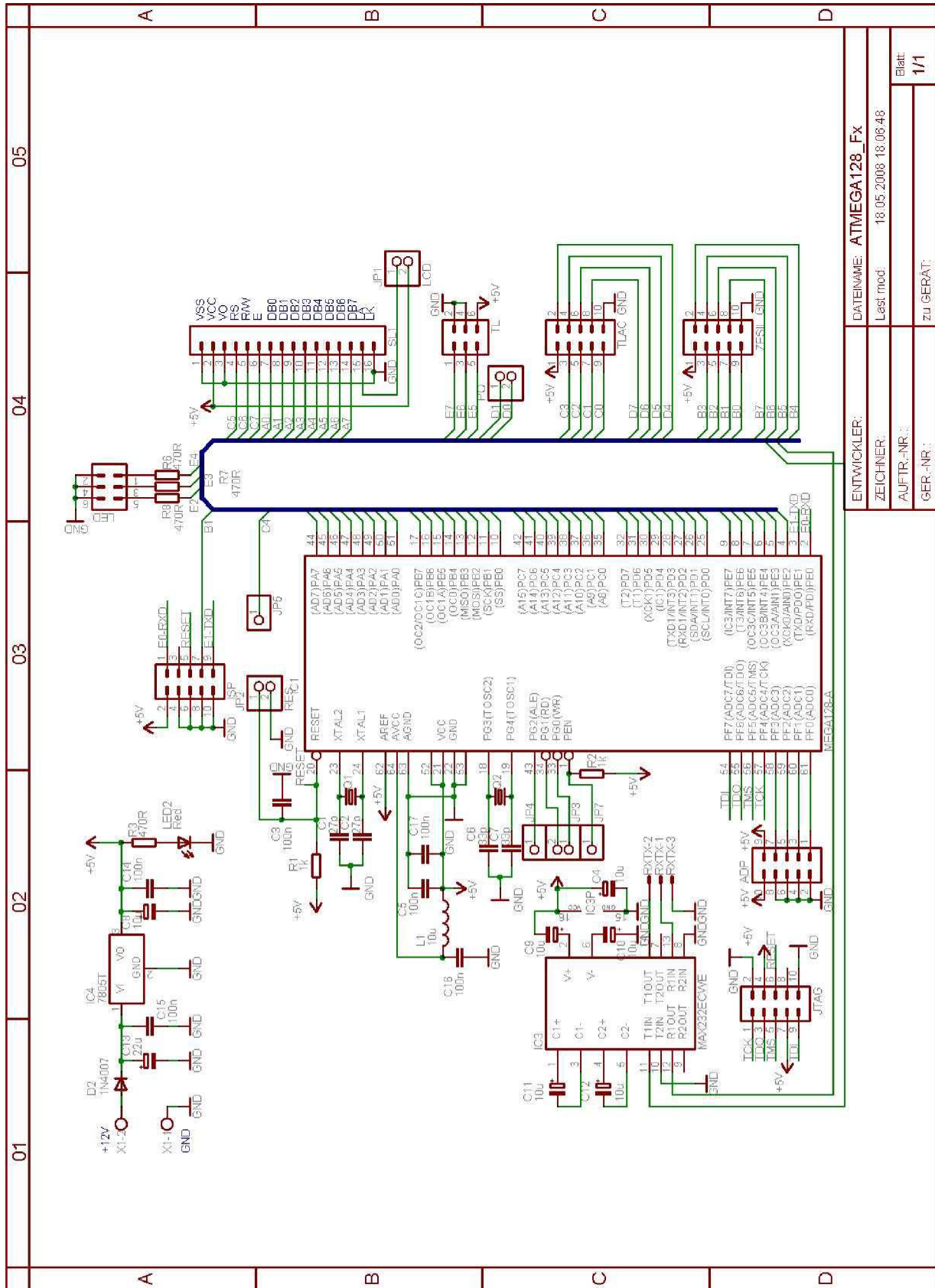
9. Seznam příloh

Příloha 1: Blokové schéma přípravku.....	-52-
Příloha 2: Schéma zapojení sběrače dat – řídicí část.....	-53-
Příloha 3: Schéma zapojení zesilovače.....	-54-
Příloha 4: Schéma zapojení tlačítka.....	-55-
Příloha 5: Deska plošných spojů řídicí části, horní vrstva.....	-55-
Příloha 6: Deska plošných spojů řídicí části, spodní vrstva (neotočená).....	-56-
Příloha 7: Deska plošných spojů řídicí části, osazení součástek.....	-56-
Příloha 8: Deska plošných spojů zesilovač, horní vrstva.....	-57-
Příloha 9: Deska plošných spojů zesilovač, spodní vrstva (neotočená).....	-57-
Příloha 10: Deska plošných spojů zesilovač, osazení součástek.....	-58-
Příloha 11: Deska plošných spojů tlačítek, horní vrstva.....	-58-
Příloha 12: Deska plošných spojů zesilovač, osazení součástek.....	-58-
Příloha 13: Zdrojový text pro mikroprocesor ATmega128.....	-59-
Příloha 14: Seznam součástek pro řídicí desku.....	-63-
Příloha 15: Seznam součástek pro zesilovač.....	-64-
Příloha 16: Seznam součástek pro tlačítka.....	-65-

Příloha 1: Blokové schéma přípravku

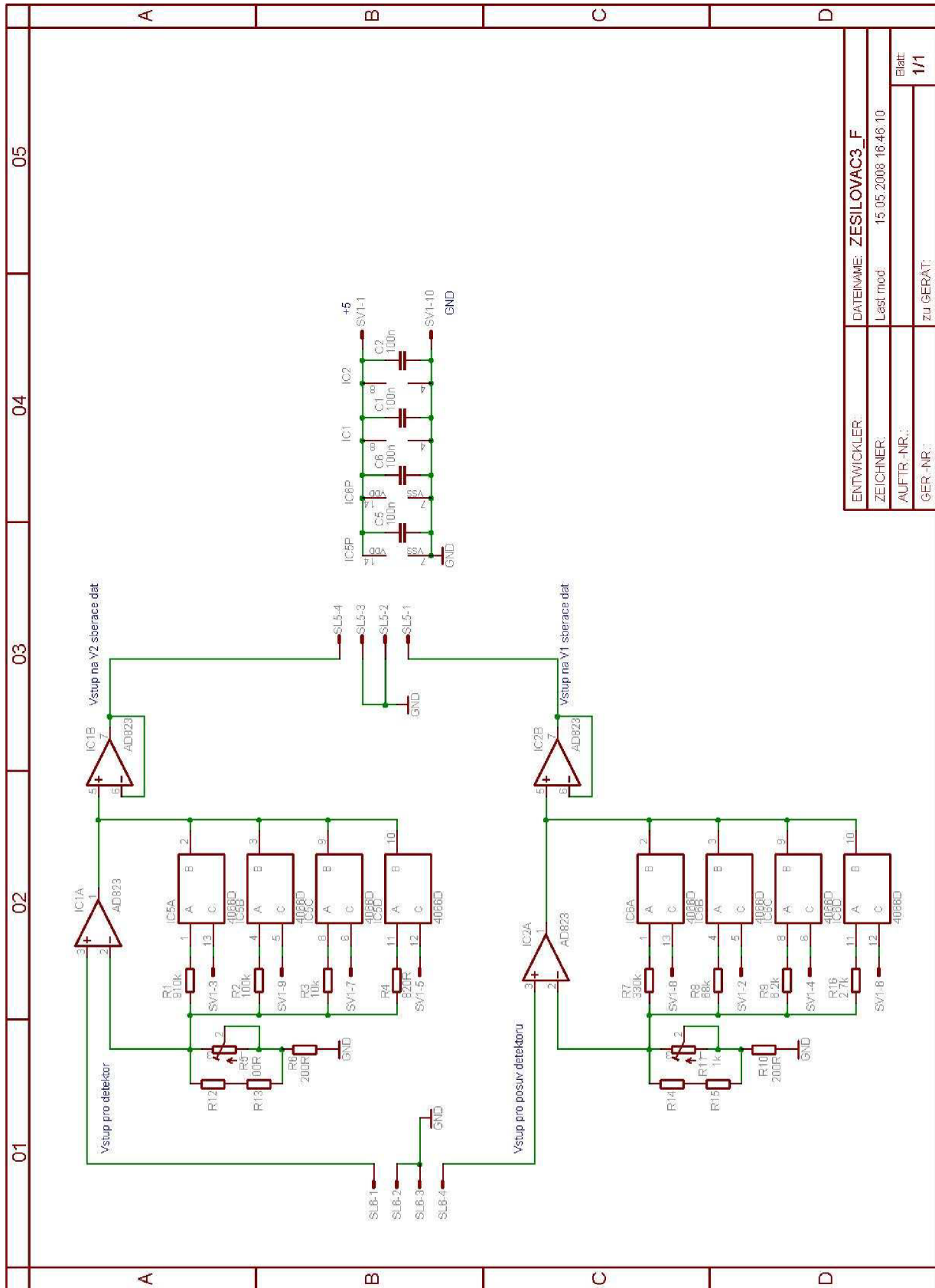


Příloha 2: Schéma zapojení sběrače dat – řídicí část

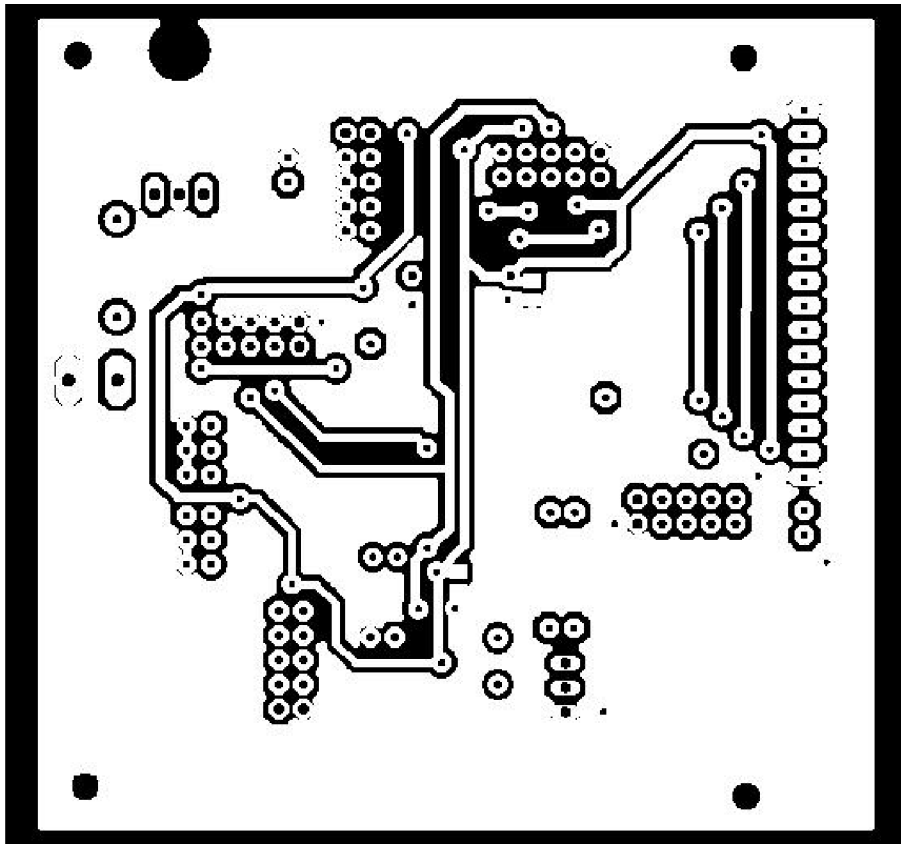
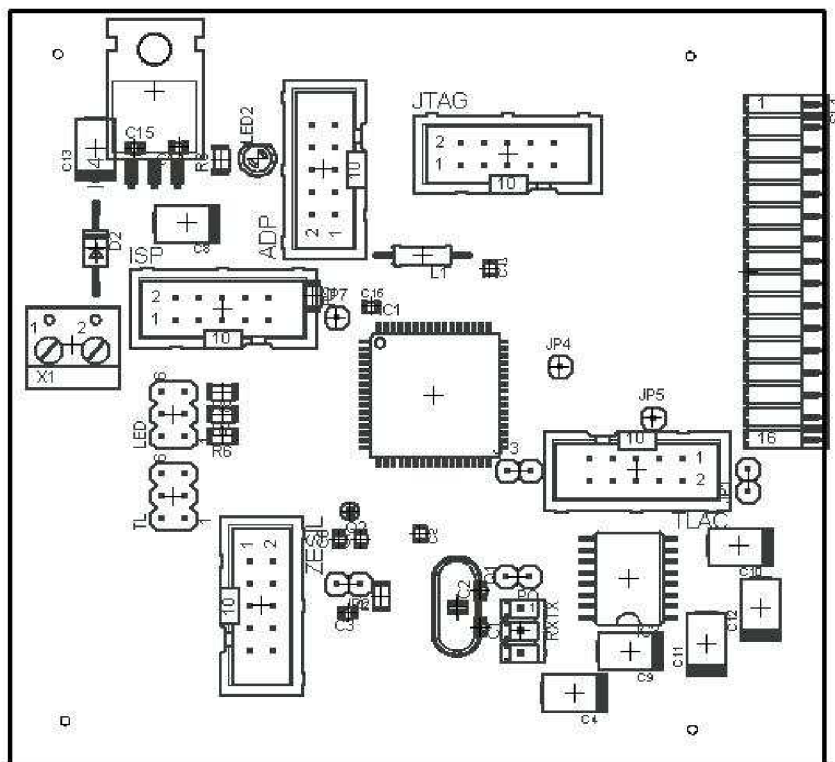


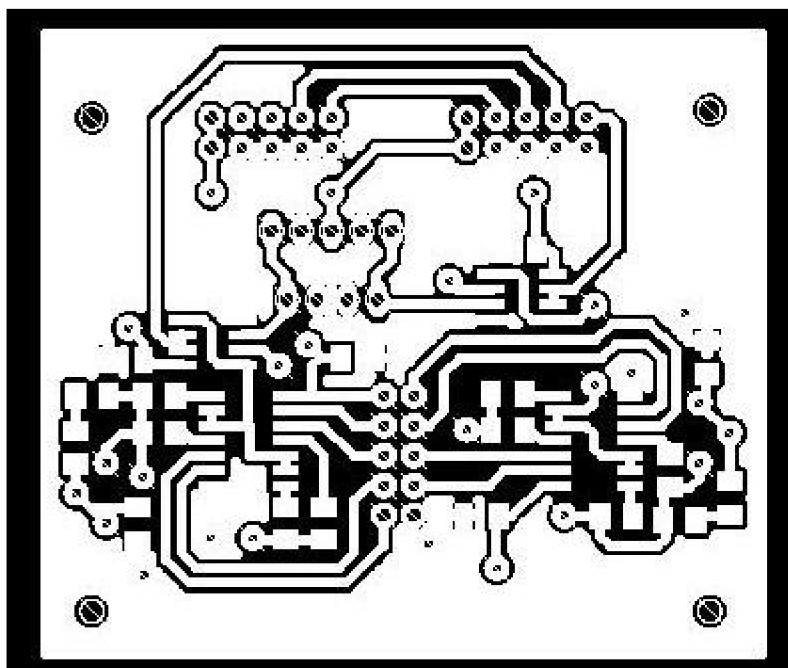
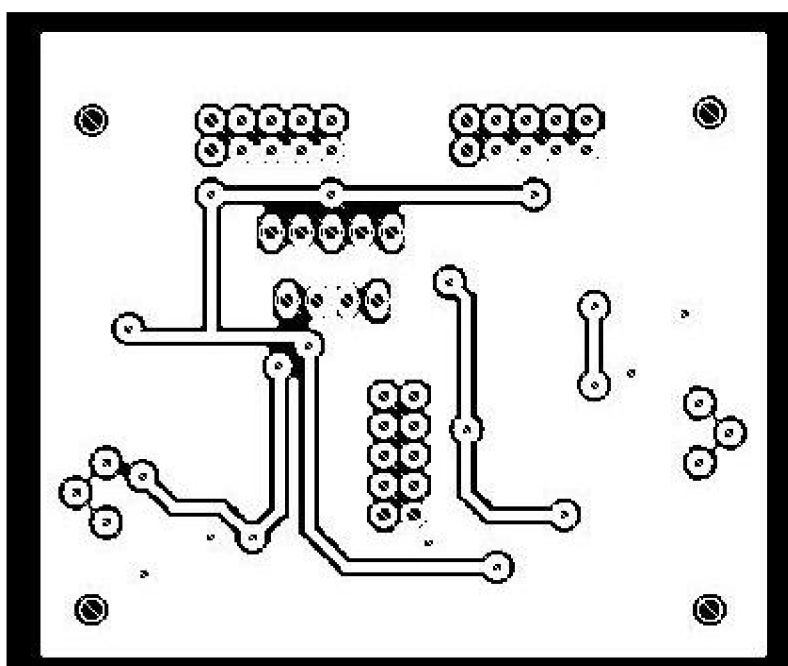
ENTWICKLER:	DATEINAME: ATMEGA128_Fx
ZEICHNER:	Last mod: 18.05.2008 18:06:48
AUFTR.-NR.:	
GER.-NR.:	zu GERÄT:
	Blatt: 1/1

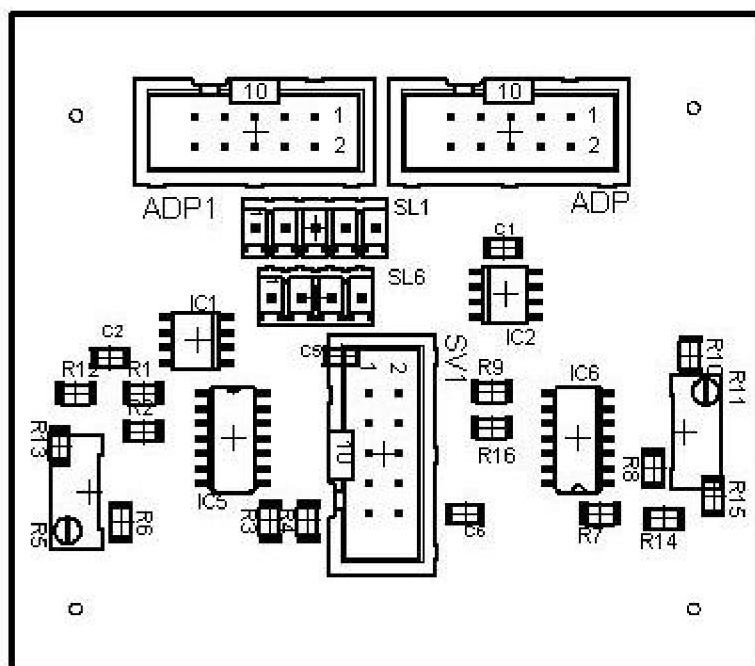
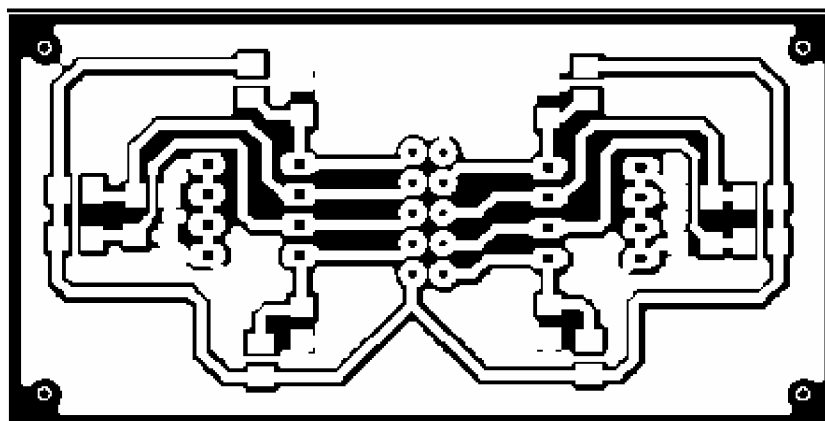
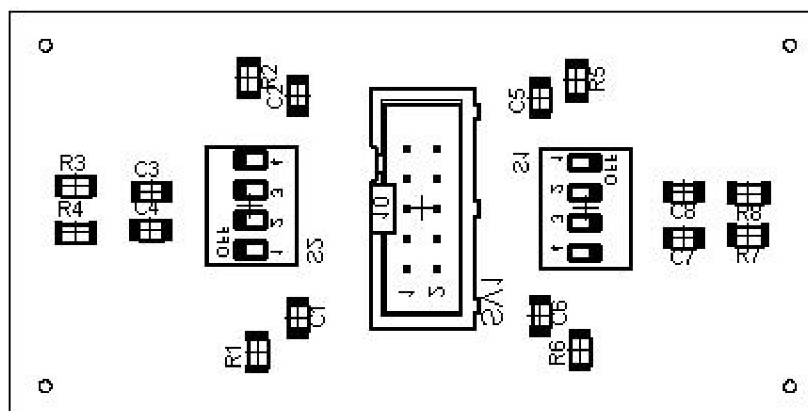
Příloha 3: Schéma zapojení zesilovače



ENTWICKLER:	DATEiname: ZESILOVAC3_F
ZEICHNER:	Leist. mod: 15.05.2008 16:48:10
AUFTR.-NR.:	
GER.-NR.:	zu GERAT: 1/1

Příloha 6: Deska plošných spojů řídicí části, spodní vrstva (neotočená)**Příloha 7:** Deska plošných spojů řídicí části, osazení součástek

Příloha 8: Deska plošných spojů zesilovač, horní vrstva**Příloha 9:** Deska plošných spojů zesilovač, spodní vrstva (neotočená)

Příloha 10: Deska plošných spojů zesilovač, osazení součástek**Příloha 11:** Deska plošných spojů tlačítek, horní vrstva**Příloha 12:** Deska plošných spojů zesilovač, osazení součástek

Příloha 13: Zdrojový text pro mikroprocesor ATmega128

```

#include "avr\io.h"           // Defines MCU
#include "avr\interrupt.h"    // Defines interrupts
#include "lcd_lib.h"

#define LED_1_on PORTE|=1<<PE2
#define LED_1_off PORTE&=~(1<<PE2)
#define LED_2_on PORTE|=1<<PE3
#define LED_2_off PORTE&=~(1<<PE3)
#define LED_3_on PORTE|=1<<PE4
#define LED_3_off PORTE&=~(1<<PE4)
#define TX_on UCSR1B|=0b00101000
#define TX_off UCSR1B&=~(0b00101000)

int napeti_data[4];
int napeti_detektor;
int napeti_posuv;
int buffer[1024];
int buf_max=0;
int buf_min=0;

char AD_prevod=0;

void delay_lm(unsigned int a)
{
volatile unsigned int i;
a=a*1000;
for(i=0;i<a;i++);
}

//-----
//External Interrupt INT0
ISR(INT0_vect)
{
delay_lm(10);
if(PIND&(1<<PD0))//zapnuto
{
ADCSRA|=1<<ADSC;
LED_2_on;

AD_prevod=1;
}
else //vypnuto
{
LED_2_off;
AD_prevod=0;
}
delay_lm(200);
}

//-----
//USART Data Register Empty Interrupt 1
ISR(USART1_UDRE_vect)
{
static char pulka=0;
if(buf_min==buf_max)
{
TX_off;
return;
}
}

```

```
if(pulka==2)
{
UDR1=buffer[buf_min]>>8;
buf_min=0x03ff&(buf_min+1);
pulka=0;
return;
}
if(pulka==1)
{
UDR1=buffer[buf_min];
pulka=2;
return;
}
if(pulka==0)
{
if((buf_min%2)==0)
UDR1='A';
else
UDR1='B';
pulka=1;
return;
}
}

//-----
//ADC conversion completes Interrupt
ISR(ADC_vect)
{
static char vstup=0;
napeti_data[vstup]=ADC;
switch(vstup){
case 0:
ADMUX =1;
vstup=1;
buffer[buf_max]=napeti_data[0];
buf_max=0x03ff&(buf_max+1);
break;
case 1:
buffer[buf_max]=napeti_data[1];
buf_max=0x03ff&(buf_max+1);
ADMUX =2;
vstup=2;
break;
case 2:

//diference
/*
buffer[buf_max]=napeti_data[0]-napeti_data[2];
buf_max=0x03ff&(buf_max+1);*/
ADMUX =3;
vstup=3;
break;
case 3:
//diference
/*
buffer[buf_max]=napeti_data[1]-napeti_data[3];
buf_max=0x03ff&(buf_max+1);
*/
ADMUX =0;
vstup=0;
break;
}
}
```

```
if(AD_prevod)
ADCSRA|=1<<ADSC; //zapnutí konverze
else
LED_2_off;
if(buf_max!=buf_min)
TX_on;
}

//-----
int main( void )
{
char u;
// *****Port Setting*****
// DDR: 0 - input, 1 - output
// PORT: 0 - "L"/Hi-Z , 1 - "H"/Pull-up
DDRA = 0b11111111;
PORTA = 0b00000000;
DDRB = 0b11111111;
PORTB = 0b11111111;
DDRC = 0b11100000;
PORTC = 0b00011111;
DDRD = 0b00000000;
PORTD = 0b11110011;
DDRE = 0b00011100;
PORTE = 0b11100000;
DDRF = 0b00000000;
PORTF = 0b00000000;
DDRG = 0b00000000;
PORTG = 0b00000000;

// *****External Interrupt Setting*****
// INT0 : On, Any logical change on INT0 generates an interrupt request.
// INT1 : Off, The low level of INT1 generates an interrupt request.
// INT2 : Off, The low level of INT2 generates an interrupt request.
// INT3 : Off, The low level of INT3 generates an interrupt request.
// INT4 : Off, The low level of INT4 generates an interrupt request.
// INT5 : Off, The low level of INT5 generates an interrupt request.
// INT6 : Off, The low level of INT6 generates an interrupt request.
// INT7 : Off, The low level of INT7 generates an interrupt request.
EIMSK = 0b00000001;
EICRA = 0b00000001;

// *****USART Setting*****
// USART1: Receive Off, Transmit On
// 8-bit, Parity None, Stop Bits 1-bit
// Baud Rate Setting 115,2kBaut
// TX Complete Interrupt: Off
// RX Complete Interrupt: Off
// USART Data Reg. Empty Interrupt: On

UCSR1B = 0b00101000;
//UCSR1C = 0b00000110;
UBRR1L = 5; //Baudrate 115,2kBaut

// *****ADC Setting*****
// Prescaler: 64x (Conversion 75,231us)
// Result is adjusted: Right, Interrupt: ADC conversion completes
// Reference voltage: 0 - AREF, Internal Vref turned off
// Input: 0 - ADC0
ADMUX = 0b00000000;
ADCSRA = 0b10001110;
```

```
LCD_Init() ;
//w_char('A');
sei();          // Enable Global Interrupt

LED_1_on;

while(1)
{
for(u=0;u<10;u++)
delay_lm(10);
if (!(PINC&(1<<PC0))){
LCD_Position(1,0);PORTB=0x08;LCD_WriteCString("Detektor=4000x");}
if (!(PINC&(1<<PC1))){
LCD_Position(1,0);PORTB=0x01;LCD_WriteCString("Detektor=400x ");}
if (!(PINC&(1<<PC2))){
LCD_Position(1,0);PORTB=0x02;LCD_WriteCString("Detektor=40x ");}
if (!(PINC&(1<<PC3))){
LCD_Position(1,0);PORTB=0x04;LCD_WriteCString("Detektor=4x ");}

if (!(PIND&(1<<PD4))){
LCD_Position(0,0);PORTB=0x40;LCD_WriteCString("Posuv=4x");}
if (!(PIND&(1<<PD5))){
LCD_Position(0,0);PORTB=0x20;LCD_WriteCString("Posuv=8x");}
if (!(PIND&(1<<PD6))){
LCD_Position(0,0);PORTB=0x10;LCD_WriteCString("Posuv=80x ");}
if (!(PIND&(1<<PD7))){
LCD_Position(0,0);PORTB=0x80;LCD_WriteCString("Posuv=400x ");}

if(PIND&(1<<PD0)){
LCD_Position(0,0);LCD_WriteCString("Mereni
");LCD_Position(1,0);LCD_WriteCString("
");}
}
return (1);
}
```

Příloha 14: Seznam součástek pro řídicí desku

<u>označení</u>	<u>hodnota</u>	<u>typ provedení</u>
<u>- rezistory:</u>		
R1,R2	1k	R1206 1K 1%
R3,R6,R7,R8	470R	R1206 470R 1%
<u>-kondenzátory</u>		
C1,C2	27pF	CK0805 27P/50V
C3,C5,C14,C15, C16,C17	100nF	CK0805 100N X7R
C6,C7	33pF	CK0805 33P NPO
C4,C8,C9,C10, C11,C12	10uF	CTS 10M/35V D
C13	22uF	CTS 22M/35V D
<u>-cívky:</u>		
L1	10uH	TLEC 24-100K
<u>-integrované obvody:</u>		
IC1		ATmega128-16AU
IC3		MAX232CWE
<u>-další prvky:</u>		
D2	1N4007	1N4007
Q1	11,059MHz	
Q2	32kHz	
IC4	7805T	7805-SMT
LED	LED-red	L-5MM 2MA/R
	LED-green	L-5MM 2MA/GW
	LED-yellow	L-5MM 2MA/Y
<u>-konektory:</u>		
X1		ARK 130/2
ISP,JTAG,ADP,ZESIL, TLAC		MLW10G
JP1,JP2,JP3,JP5, PO, TL,LED,RES		S2G80
JP4,JP7,SL1		S1G40
RXTX		PSH02P-03PG

Příloha 15: Seznam součástek pro zesilovač

<u>označení</u>	<u>hodnota</u>	<u>typ provedení</u>
<u>- rezistory:</u>		
R1	910k	R1206 910K 5%
R2	100k	R1206 100K 1%
R3	10k	R1206 10K 1%
R4	820R	R1206 820R 1%
R6	200R	R1206 200K
R7	330k	R1206 330K 5%
R8	68k	R1206 68K 5%
R9	6.2k	R1206 6K2 5%
R10	200R	R1206 200K
R16	2.7k	R1206 2K7 5%
<u>-odporové trimry:</u>		
R5	100R	64Y 100R
R11	1k	64Y 1K
<u>-kondenzátory:</u>		
C1,C2,C5,C6	100nF	CK1206 100N X7R
<u>-konektory:</u>		
SV1,ADP,ADP1		MLW 10G
SL1		PSH02P-05PG
SL6		PSH02P-04PG
<u>-integrované obvody:</u>		
IC1,IC2	AD823	
IC5,IC6	4066	4066 SMD

Příloha 16: Seznam součástek pro tlačítka

<u>označení</u>	<u>hodnota</u>	<u>typ provedení</u>
<u>- rezistory:</u>		
R1,R2,R3,R4, R5,R6,R7,R8	10k	R1206 10K 1%
<u>-kondenzátory:</u>		
C1,C2,C3,C4, C5,C6,C7,C8	100nF	CK1206 100N X7R
<u>-konektory:</u>		
SV1		MLW 10G
<u>-tlačítka:</u>		
S1,S2		DIL 4x EDG104S