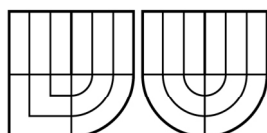


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY



FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

MODUL PRO MĚŘENÍ VLNOVÉ DÉLKY SVĚTLA LIGHT WAVELENGTH MEASUREMENT MODULE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

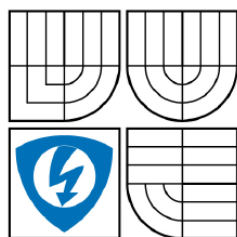
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VOJTĚCH MATOUŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ZDENĚK HAVRÁNEK

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Vojtěch Matoušek

ID: 72752

Ročník: 3

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Modul pro měření vlnové délky světla

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V návaznosti na semestrální projekt se zabývejte problematikou měření vlnové délky světla, zejména s použitím speciálních spektrálně závislých fotodiod. Podrobně se seznamte s měřením vlnové délky dvojitou fotodiodou WS-7.56 od firmy Pacific Silicon Sensor. Navrhněte a realizujte modul pro měření vlnové délky světla s WS-7.56 a vhodně zvoleným mikrokontrolerem, který bude zajišťovat A/D převod a komunikaci s nadřazeným systémem pomocí sběrnice USB. Modul bude zobrazovat vybrané parametry přímo na LCD displeji (intenzita, vlnová délka). Vytvořte obslužný software v počítači pro nastavování parametrů a sběr dat. Uvažujte možnosti napájení modulu (přes USB, bateriové napájení). Ověřte metrologické vlastnosti modulu při měření různých definovaných vlnových délek světla a stanovte použitelný rozsah. Dbejte pokynů vedoucího práce.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle vlastního literárního průzkumu a doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 1.6.2009

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Havránek

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

ABSTRAKT

Měření vlnové délky světelného zdroje pomocí dvojité fotodiody s rozdílnou spektrální charakteristikou je jednoduché a rychlé. Ze závislosti průběhů napětí odpovídajících generovaným fotoproudům obou elementů dvojité fotodiody zjistíme výpočtem hodnotu vlnové délky i intenzity zdroje světla. Vyhodnocení, zobrazování na LCD a posílání dat do PC zajišťuje mikrokontrolér z rodiny AVR – ATmega32. Součástí práce je také program pro PC. Modul je možno napájet síťovým adaptérem nebo z baterie.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dvojvltná fotodioda, WS-7.56-TO5, měření vlnové délky, AVR ATmega32, FT232, Pacific silicon sensor, Texas Instruments

ABSTRACT

Measurement of the wavelength of light source by means of dual-wavelength photodiode sensor is easy and fast. From the dependencies of the measured voltages corresponding to generated photocurrents of both elements of dual-wavelength sensor it can be calculated the information about wavelength and intensity of the measured light source. Evaluation, displaying on LCD and sending of measured information to PC are ensured with microcontroller from the AVR family – ATmega32. One part of the project is also visualization software for PC. Measurement module can be powered with wall socket power adaptor or with battery.

KEYWORDS

dual-wavelength photodiode sensor, WS-7.56-TO5, Measurement of the wavelength, AVR ATmega32, FT232, Pacific silicon sensor, Texas Instruments

Bibliografická citace

MATOUŠEK, Vojtěch. *Modul pro měření vlnové délky světla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. s.72. Ing. Zdeněk Havránek.

P r o h l á š e n í

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma "Modul pro měření vlnové délky světla" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této 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 :

Podpis:

P o d ě k o v á n í

Děkuji tímto Ing. Zdeňku Havránkovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

V Brně dne :

Podpis:

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| 1. ÚVOD | 10 |
| 2. VLNOVÁ DÉLKA | 11 |
| 3. JAK MĚŘIT VLNOVOU DÉLKU | 13 |
| 4. INTENZITA SVĚTLA..... | 15 |
| 5. PRINCIP SPEKTRÁLNĚ ZÁVISLÝCH FOTODIOD..... | 17 |
| 6. MĚŘICÍ ZESILOVAČ | 20 |
| 7. ATMEGA32 – POPIS | 23 |
| 8. AD PŘEVODNÍK V ATMEGA32..... | 25 |
| 8.1 Obecný popis převodníku | 25 |
| 8.2 Nastavení převodníku | 27 |
| 9. POPIS ZAPOJENÍ S ATMEGA32..... | 29 |
| 10. KOMUNIKACE S PC | 31 |
| 10.1Převodník FT232 | 31 |
| 10.2Popis komunikace USArt..... | 32 |
| 10.3Nastavení seriové komunikace..... | 35 |
| 10.4Terminál Hercules..... | 36 |
| 10.5Terminál vytvořený ve Visual Basicu..... | 37 |
| 11. ZOBRAZOVÁNÍ NA DISPLAY..... | 39 |
| 11.1Popis displeje | 39 |
| 11.2Knihovna pro LCD v jazyce C..... | 42 |
| 12. NAPÁJENÍ MODULU | 43 |
| 12.1Akumulátor | 43 |
| 12.2Nabíječka akumulátoru | 44 |
| 12.3Síťové napájení | 45 |
| 12.4Spotřeba modulu | 46 |
| 13. ZAPOJENÍ KOMPLETNÍHO MODULU..... | 47 |
| 14. POPIS PROGRAMU PRO PROCESOR..... | 50 |
| 15. PROVEDENÁ MĚŘENÍ..... | 52 |
| 15.1Měření k určení lineárních závislostí a postupy výpočtů | 52 |
| 16. ZÁVĚR | 59 |

| | |
|--------------------------------|-----------|
| 17. LITERATURA..... | 60 |
| 18. SEZNAM PŘÍLOH | 61 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| <i>Obrázek 1: Barevné spektrum v závislosti na vlnové délce a frekvenci[4].....</i> | 11 |
| <i>Obrázek 2: Lom světla na hranolu.....</i> | 12 |
| <i>Obrázek 3: Měření pomocí optické mřížky a stínítka.....</i> | 14 |
| <i>Obrázek 4: Náčrt k ilustraci převodu lumenů na luxy</i> | 16 |
| <i>Obrázek 5: Závislost citlivostí obou diod na vlnové délce[13].....</i> | 17 |
| <i>Obrázek 6: Struktura dvojitě fotodiody[13].....</i> | 18 |
| <i>Obrázek 7: Zapojení měřicího zesilovače</i> | 21 |
| <i>Obrázek 8: Blokové schéma vnitřního zapojení procesoru ATmega32 [11]</i> | 24 |
| <i>Obrázek 9: Schéma vývojového kitu s ATmega.....</i> | 30 |
| <i>Obrázek 10: Plán osazení a deska plošných spojů k vývojovému kitu s ATmega(zmenšeno).....</i> | 30 |
| <i>Obrázek 11: Schéma zapojení s obvodem FT232</i> | 31 |
| <i>Obrázek 12: Plán osazení a plošný spoj obvodu s FT232</i> | 32 |
| <i>Obrázek 13: Screen okna terminálu Hercules</i> | 36 |
| <i>Obrázek 14: Terminál vytvořený ve Visual Basicu</i> | 38 |
| <i>Obrázek 15: Náčrt displeje s rozměry [7]</i> | 39 |
| <i>Obrázek 16: Propojení displeje s bránou procesoru</i> | 41 |
| <i>Obrázek 17: Schéma zapojení nabíječky.....</i> | 44 |
| <i>Obrázek 18: Schéma síťového napájení.....</i> | 46 |
| <i>Obrázek 19: DPS finálního modulu pro měření vlnové délky světla</i> | 48 |
| <i>Obrázek 20: Fotka modulu (vrchní pohled).....</i> | 49 |
| <i>Obrázek 21: Foto modulu (boční pohled).....</i> | 49 |
| <i>Obrázek 22: Průběhy napětí obou diod a jejich poměr při intenzitě $E1 = 100Lx$.....</i> | 54 |
| <i>Obrázek 23: Průběhy napětí obou diod a jejich poměr při intenzitě $E2 = 60 Lx$.....</i> | 54 |
| <i>Obrázek 24: Průběhy napětí obou diod a jejich poměr při intenzitě $E3 = 50Lx$.....</i> | 55 |
| <i>Obrázek 25: Poměry průběhů napětí pro tři intenzity paprsku a jejich průměrná hodnota.....</i> | 55 |

| | |
|---|----|
| <i>Obrázek 26: Průběhy průměrů napětí UD1 a UD2 při různých intenzitách</i> | 56 |
| <i>Obrázek 27: Schéma vývojového kitu s AVR ATmega32</i> | 64 |
| <i>Obrázek 28: DPS vývojového kitu s AVR ATmega32</i> | 65 |
| <i>Obrázek 29: Plán osazení vývojového kitu s AVR ATmega32</i> | 65 |
| <i>Obrázek 30: Schéma komunikačního modulu s FT232</i> | 67 |
| <i>Obrázek 31: DPS komunikačního modulu s FT232</i> | 67 |
| <i>Obrázek 32: Plán osazení komunikačního modulu s FT232</i> | 67 |
| <i>Obrázek 33: Schéma modulu měření vlnové délky a intenzity světla</i> | 69 |
| <i>Obrázek 34: DPS modulu pro měření vlnové délky a intenzity světla</i> | 70 |
| <i>Obrázek 35: Plán osazení modulu pro měření vlnové délky a intenzity světla</i> | 70 |

SEZNAM TABULEK

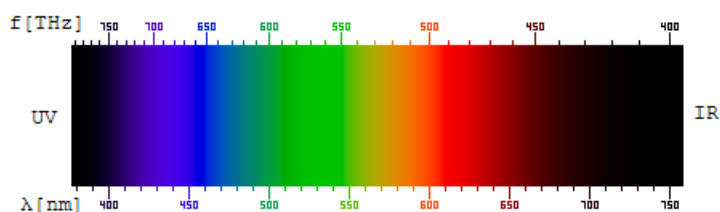
| | |
|---|----|
| <i>Tabulka 1: Vlnové délky jednotlivých barev světla [4]</i> | 11 |
| <i>Tabulka 2: Parametry fotodiody WS-7.56-WO5 [13]</i> | 19 |
| <i>Tabulka 3: registr ADMUX [11]</i> | 25 |
| <i>Tabulka 4: registr ADCSRA [11]</i> | 26 |
| <i>Tabulka 5: bity ADPS2:ADPS0 a jejich význam Division Factor – hodnota před- děličky [11]</i> | 27 |
| <i>Tabulka 6: registr SFIOR [11]</i> | 27 |
| <i>Tabulka 7: registr UCSRA [11]</i> | 33 |
| <i>Tabulka 8: registr UCSRB [11]</i> | 34 |
| <i>Tabulka 9: registr UCSRC [11]</i> | 34 |
| <i>Tabulka 10: registr UBRR [11]</i> | 35 |
| <i>Tabulka 11: tabulka výpočtů přenosové rychlosti a hodnoty registru UBRR (f_{OSC} je frekvence krystalu, UBRR hodnota registrů UBRRH a UBRRL (0-4095), BAUD je rychlost v bitech za sekundu) [11]</i> | 35 |
| <i>Tabulka 12: Parametry display [7]</i> | 39 |
| <i>Tabulka 13: Popis pinů LCD displeje [7]</i> | 40 |
| <i>Tabulka 14: Seznam instrukcí pro HD44780 [2]</i> | 41 |
| <i>Tabulka 15: Hodnoty K a q pro výpočet vlnové délky pro jednotlivé intervaly</i> | 56 |
| <i>Tabulka 16: Hodnoty K a q pro výpočet intenzity pro jednotlivé vlnové délky</i> | 57 |

1. ÚVOD

V následujících kapitolách popíši, v čem spočívá problematika měření vlnové délky světla a jeho intenzity. Podrobně popíši použité spektrálně závislé fotodiody od firmy PACIFIC SILICON SENSOR typu WS-7.56-TO5. Vyhodnocení měření z této diody, bude zajišťovat mikroprocesor z rodiny AVR – ATmega32. Tento procesor bude obstarávat veškeré výpočty, zobrazování na displeji a komunikaci. Modul bude připojitelný k PC pomocí USB. Samotná komunikace bude po sériové sběrnici. To zajistí obvod FT232, který vytváří v PC virtuální sériový port. Napájení modulu bude řešeno síťovým adaptérem nebo zvolenou baterií. Provedu potřebná měření, k určení závislostí vlnové délky a intenzity světla na výstupních napětích s fotodiod.

2. VLNOVÁ DÉLKA

Různé frekvence (vlnové délky) světla vidíme jako barvy, od červené s nejnižší frekvencí-nejdelší vlnovou délkou po fialovou s nejvyšší frekvencí – nejkratší vlnovou délkou.



Obrázek 1: Barevné spektrum v závislosti na vlnové délce a frekvenci[4]

| Barva | Rozsah vlnových délek | Rozsah frekvencí |
|------------------------------|-----------------------|------------------|
| červená | ~ 625–800 nm | ~ 480–375 THz |
| oranžová | ~ 590–625 nm | ~ 510–480 THz |
| žlutá | ~ 565–590 nm | ~ 530–510 THz |
| zelená | ~ 520–565 nm | ~ 580–530 THz |
| tyrkysová (azurová) | ~ 500–520 nm | ~ 600–580 THz |
| modrá | ~ 430–500 nm | ~ 700–600 THz |
| fialová (purpurová, nachová) | ~ 400–430 nm | ~ 750–700 THz |

Tabulka 1: Vlnové délky jednotlivých barev světla[4]

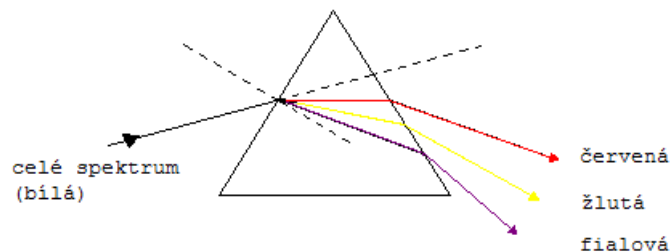
Směrem do kratších vlnových délek od viditelného světla se nachází ultrafialové (UV) a směrem do delších délek infračervené záření (IR). Přestože IR není viditelné, je možno blízké IR cítit jako teplo. Ultrafialové světlo se zase na člověku projeví zvýšením pigmentace pokožky – opálením (podle [4]).

Světlo, které nás obklopuje, se skládá z celého spektra. Abychom k různým účelům (např. měření jak uvedu později) mohli využít jen jednotlivé části spektra

neboli jednu složku o jedné vlnové délce, musíme světlo rozložit na jednotlivé složky. K tomu se využívá několika vlastností světla:

- 1) Závislosti rychlosti světla v látkách na vlnové délce – disperze světla
- 2) Rychlost světla se zmenšuje s frekvencí.
- 3) Vlnová délka světla závisí na indexu lomu prostředí.

Světlo necháme projít přes skleněný hranol. Protože světlo přechází z jednoho prostředí do druhého, bude se lámat v závislosti na indexu lomu prostředí (dvakrát). Světlo pak vychází v tzv. hranolovém spektru, viz obrázek Obr.2.



Obrázek 2: Lom světla na hranolu

Zařízení, které tento jev využívá, se nazývá monochromátor. Světlo se ze zdroje přivádí na kolimátor – v něm se získá svazek rovnoběžných paprsků, pak se přivede na výše zmíněný skleněný hranol, kde dojde k disperzi. Vycházející světlo se pak může dále upravit. Například pro účely měření je pak výstupem z přístroje jeden paprsek o jedné vlnové délce (podle [4]).

Vlnová délka:

Značka: λ

Základní jednotka: metr, zkratka m

Výpočet:
$$\lambda = vT = \frac{v}{f} \tag{1}$$

kde T je perioda, f frekvence vlnění a v je fázová rychlost šíření vlnění.

3. JAK MĚŘIT VLNOVOU DÉLKU

V laboratorních měřeních se často používá metoda promítání světla procházejícího přes optickou mřížku, na stínítko. Využívá se zde difrakce světla na mřížce. Je důležité, aby vzdálenost mezi mřížkou a stínítkem l byla mnohem větší než mřížková konstanta b , toho se využívá pro pozdější výpočet. Směr α_k ke k -tému maximu světla je zde závislý na vlnové délce a právě toho se využívá pro měření.

$$b \cdot \sin \alpha_k = k \cdot \lambda \quad (2)$$

kde b je mřížková konstanta

k je pořadí maxima

α_k je směr k maximu

λ je vlnová délka

Pro úhel také platí podle Pythagorovy věty (viz Obr.3):

$$\operatorname{tg} \alpha_k = \frac{x_k}{l} \quad (3)$$

kde x_k je vzdálenost maxima od hlavního maxima

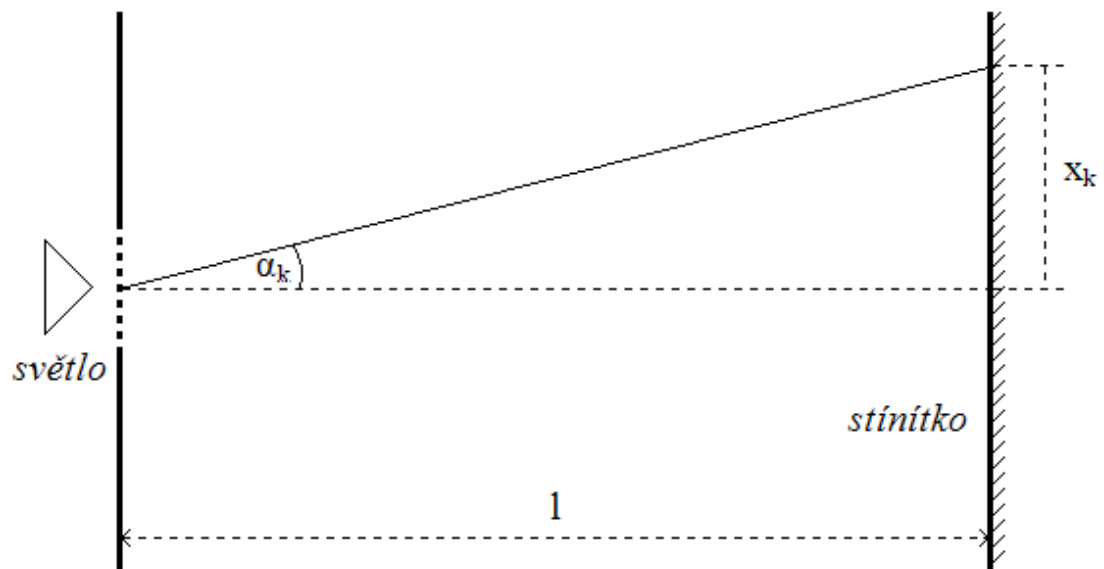
l je vzdálenost mřížky od stínítka

Nutno dodat, že vzdálenost x_k je jen z důvodů přehlednosti nakreslena přehnaně velká.

Jak jsem na začátku uvedl vzdálenost mezi mřížkou a stínítkem je mnohem větší než mřížková konstanta. Tudíž úhel α_k je velmi malý. Pro malé úhly můžeme napsat, že se $\operatorname{tg} \alpha_k = \sin \alpha_k$, pak můžeme výpočet značně zjednodušit. Po úpravách

$$\text{vyjde: } \lambda = \frac{x_k \cdot b}{l \cdot k} \quad (4)$$

Z tohoto vzorce snadno spočteme vlnovou délku. Zpracováno podle [5].



Obrázek 3: Měření pomocí optické mřížky a stínítka

Tato metoda je ale velmi pracná a její automatizování by bylo složité, proto popíši jak měřit vlnovou délku jednodušeji, automatizovaně – pomocí dvojité fotodiody s rozdílnou spektrální charakteristikou.

4. INTENZITA SVĚTLA

Intenzita světla se měřit v třech jednotkách, které jednotlivě popíší (s definice jednotek, vyplývá i definice intenzity podle dané jednotky):

Kandela (symbol cd, angl. název jednotky je candela) je jednotka svítivosti. Je jednou ze sedmi základních jednotek soustavy SI. Je to svítivost světelného zdroje, který v daném směru emituje (vyzařuje) monochromatické záření o frekvenci 540×10^{12} hertzů (blízko světlu zelené barvy o vlnové délce 555nm) a jehož zářivost (zářivá intenzita) v tomto směru činí 1/683 wattů na jeden steradián. [4]

Lumen (lm) je hlavní jednotkou světelného toku. Lumen je jednou z vedlejších jednotek soustavy SI. Je definován jako světelný tok vyzařovaný do prostorového úhlu 1 steradiánu bodovým zdrojem, jehož svítivost je ve všech směrech 1 kandela. [4]

Lux (lx) je jednotkou osvětlenosti. Je to osvětlení způsobené světelným tokem 1 lm dopadajícím na plochu 1 m^2 . [4]

Protože různá zařízení se jednotkami, ve kterých je intenzita udávána různí, odvodím zde vztah pro převod lumenů na luxy. Jak je patrné z definice lumenu, hodnota intenzity světla v těchto jednotkách je nezávislá na vyzařovacím úhlu, vždy je definována pro jeden steradián. A z definice luxu plyne, že se jedná o hodnotu intenzity v lumenech vztaženou na jednotku plochy. O jakou plochu se jedná, je samozřejmě závislé na vyzařovacím úhlu. Proto při převodu mezi lumeny a luxy musím být známa vzdálenost od plochy, nebo místa kde danou intenzitu v luxech chceme znát. Podle této úvahy odvodím vzorec, pro ilustraci výpočtu plochy jsem uvedl Obrázek 4.

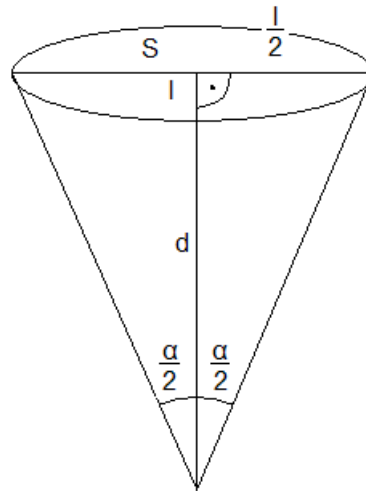
$$E = \frac{I_E}{4 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \text{tg}^2 \frac{\alpha}{2}} \quad (5)$$

kde E je intenzita [lx]

I_E je intenzita [lm]

D je vzdálenost od plochy [m]

α je vyzařovací úhel [sr]

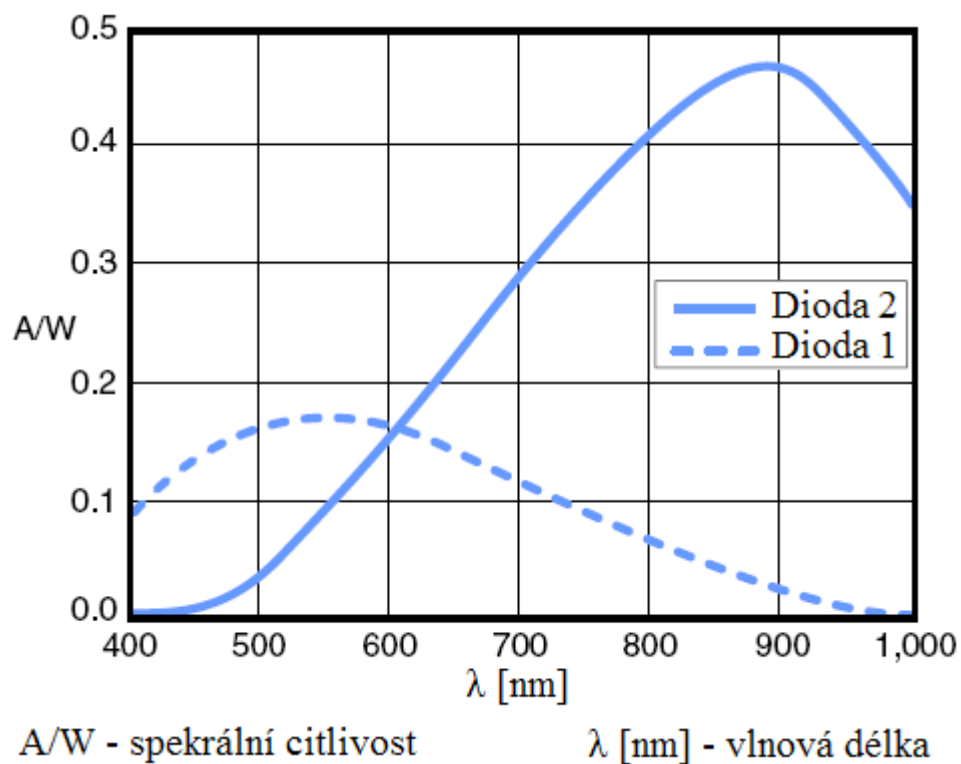


Obrázek 4: Náčrt k ilustraci převodu lumenů na luxy

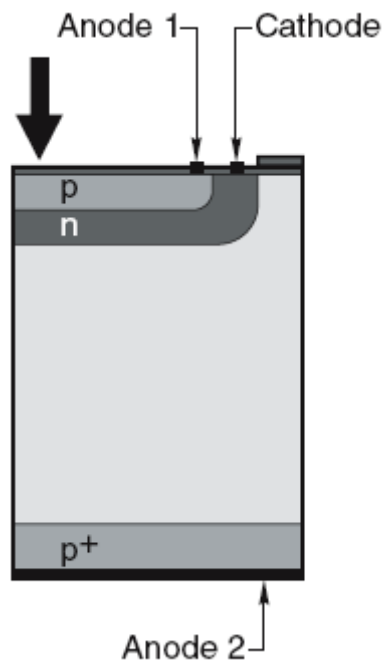
5. PRINCIP SPEKTRÁLNĚ ZÁVISLÝCH FOTODIOD

Princip je zde stejný jako u klasické fotodiody. Tedy, pokud na PN přechod dopadají fotony, tak na něm generují elektrický proud. U dvojité diody jsou na jedné křemíkové desce PN přechody nad sebou dva (viz Obrázek 5). Foton po průchodu jedním dopadne i na ten druhý, samozřejmě s menší energií. Mezi přechody je ovšem rozdíl, polovodiče P mají pro každý přechod různou hustotu příměsí, a to je dělá různě citlivé pro různé vlnové délky. Tohoto jevu se pak využívá k měření.

Blíže si vše specifikujeme pro mnou použitou diodu od firmy PACIFIC SILICON SENSOR typu WS-7.56-TO5. Dokáže rozlišit vlnovou délku monochromatického záření v rozsahu 450 – 900nm s rozlišením 0.01nm. další parametry jsou uvedeny v tabulce Tab.2 (dle výrobce [11]). Citlivost obou přechodů – diod je na obrázku Obr.5, kde Dioda 1 je ta na kterou dopadá světlo jako první, neboli na křemíkové desce je umístěna ve vrchní části, viz Obr.6.



Obrázek 5: Závislost citlivostí obou diod na vlnové délce[11]



Obrázek 6: Struktura dvojité fotodiody[11]

Jak je vidět z obrázku Obr.4 je vrchní dioda (Dioda 1) nejvíce citlivá v oblasti 500 – 600nm a je celkově méně citlivá než Dioda 2, ta vykazuje nejvyšší citlivost v okolí 900nm. To je patrné i s tabulky Tabulka 2.

| | |
|---|--|
| Part No. | WS-7.56-TO5 |
| Active Area | 7.56 mm ² 2.75 x 2.75 mm |
| Operating Range | 450 - 900 nm |
| Spectral Resolution | 0.01 nm |
| Bias Voltage U_R | Max. 5V |
| Saturation Level | Max. 150 μ W (0V) Max. 3 mW (5V) |
| Dark Current I_{R0} @ $E = 0lx$, $U_R = 5V$ | Max. 100 nA Typ. 10 nA |
| Spectral Responsivity Diode 1 @ 550 nm | Typ. 0.2 A/W |
| Spectral Responsivity Diode 2 @ 890 nm | Typ. 0.45 A/W |
| Junction Capacitance C_j Diode 1 @ 0V | Typ. 1 nF |
| Junction Capacitance C_j Diode 2 @ 0V | Typ. 0.1 nF |
| Rise Time t_r Diode 1 @ 0V, 1kΩ | Typ. 10 μ s |
| Rise Time t_r Diode 2 @ 0V, 1kΩ | Typ. 1 μ s |
| Quotient Q Depending on U_{Bias} @ $\lambda = 635$ nm | In case of short circuit typ. 5 nm/V |
| Temperature Coefficient of Quotient Q @ $\lambda = 635$ nm, 0V | In case of short circuit typ. 1 nm/K |
| Operating Temperature | -20 ... +55°C |
| Storage Temperature | -40 ... +100°C |
| Shunt Resistance @ 22°C @ $U_R = 10$ mV Diode 1 Diode 2 | Typ. 2 G Ω Typ. 100 M Ω |

Tabulka 2: Parametry fotodiody WS-7.56-WO5 [11]

6. MĚŘICÍ ZESILOVAČ

Protože signál z dvojité fotodiody je velmi malý, je nutné jej zesílit. Každá z diod je v zapojení s operačním zesilovačem. Použil jsem typ od Texas Instruments TLC2272. Hlavně proto, že dokáže pracovat při napětí nesymetrických +5V (podle [12]). To značně zjednodušuje konstrukci. Napájení je společné i pro procesor. Je zde vytvořena virtuální zem pomocí odporů (1kΩ) a pro filtraci rušení je zde připojen ještě kondenzátor 100nF. Každá dioda je jinak zesilována, aby bylo zkompenzováno nižší výstupní napětí druhé fotodiody (dalo by se to řešit i programově).

Zesílení je nastaveno pomocí odporů R_1 a R_2 [1]. Hodnoty odporů jsem nakonec určil podle několika zkušebních měření. Index odporu odpovídá indexu diody, dle značení výrobce, tedy: R_1 pro diodu D_1 a R_2 pro D_2 .

$$R_1 = 270 \text{ K}\Omega$$

$$R_2 = 560 \text{ K}\Omega$$

Výstupy z operačních zesilovačů jsou jednotlivě přiváděny na bránu mikroprocesoru, kde jsou převedeny na digitální, osmi bitovou hodnotu.

Paralelně k odporům R_1 a R_2 určujícím zesílení jsou ještě připojeny keramické kondenzátory, které dohromady s odpory zajišťují dolní propust' do 200Hz viz schéma Obrázek 7. Hodnoty kondenzátorů jsou určeny podle vzorce:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad (6)$$

kde f je frekvence [Hz]

R je odpor [Ω]

C je kapacita [F]

Ten upravíme, tak aby byla vyjádřena kapacita:

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot f} \quad (7)$$

kde f je frekvence [Hz]

R je odpor [Ω]

C je kapacita [F]

Dosadíme pro obě hodnoty odporů R_1 a R_2 pro $f = 200\text{Hz}$:

$$C_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot f} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 270E3 \cdot 200} \cong 2,95nF$$

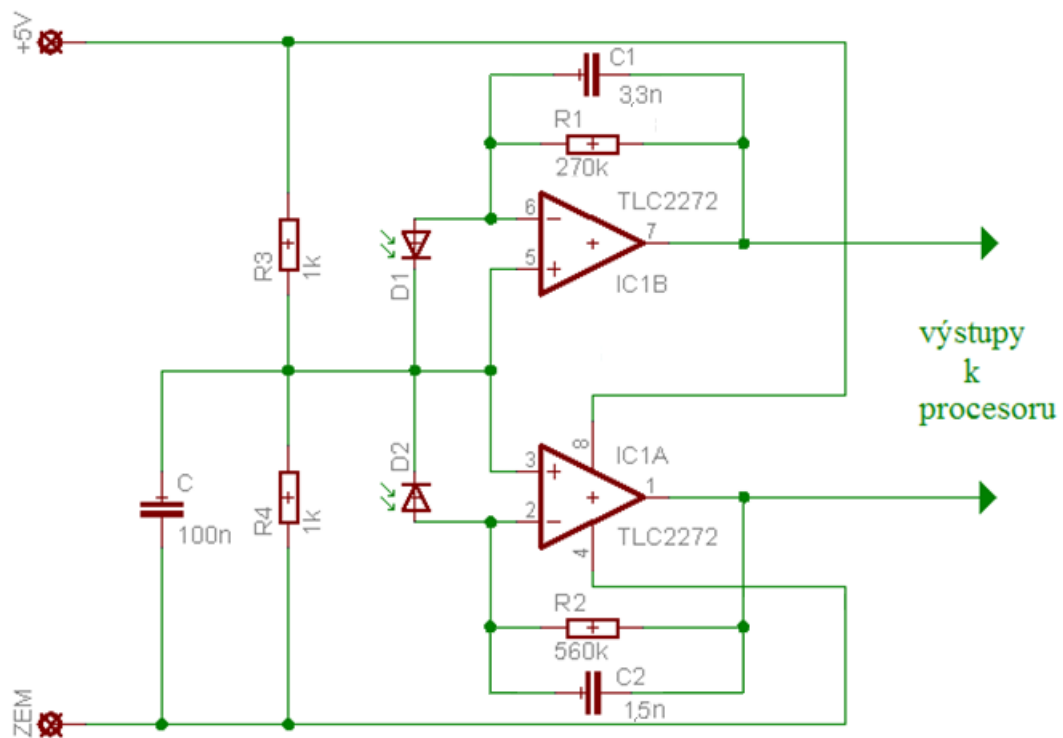
Z řady je nejbližší kapacita 3,3nF, tedy:

$$C_1 = 3,3nF$$

$$C_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot f} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 560E3 \cdot 200} \cong 1,42nF$$

Z řady je nejbližší kapacita 1,5nF, tedy:

$$C_2 = 1,5nF$$



Obrázek 7: Zapojení měřícího zesilovače

Zapojení jsem pro účely zkušebních měření a testování realizovatelnosti provedl nejprve na nepájivém poli, kde se dali snadno měnit hodnoty odporů R1 a R2. Celé zapojení je realizováno na společné desce plošných spojů s ostatními komponenty (procesor, komunikace...) viz kapitola Zapojení kompletního modulu.

7. ATMEGA32 – POPIS

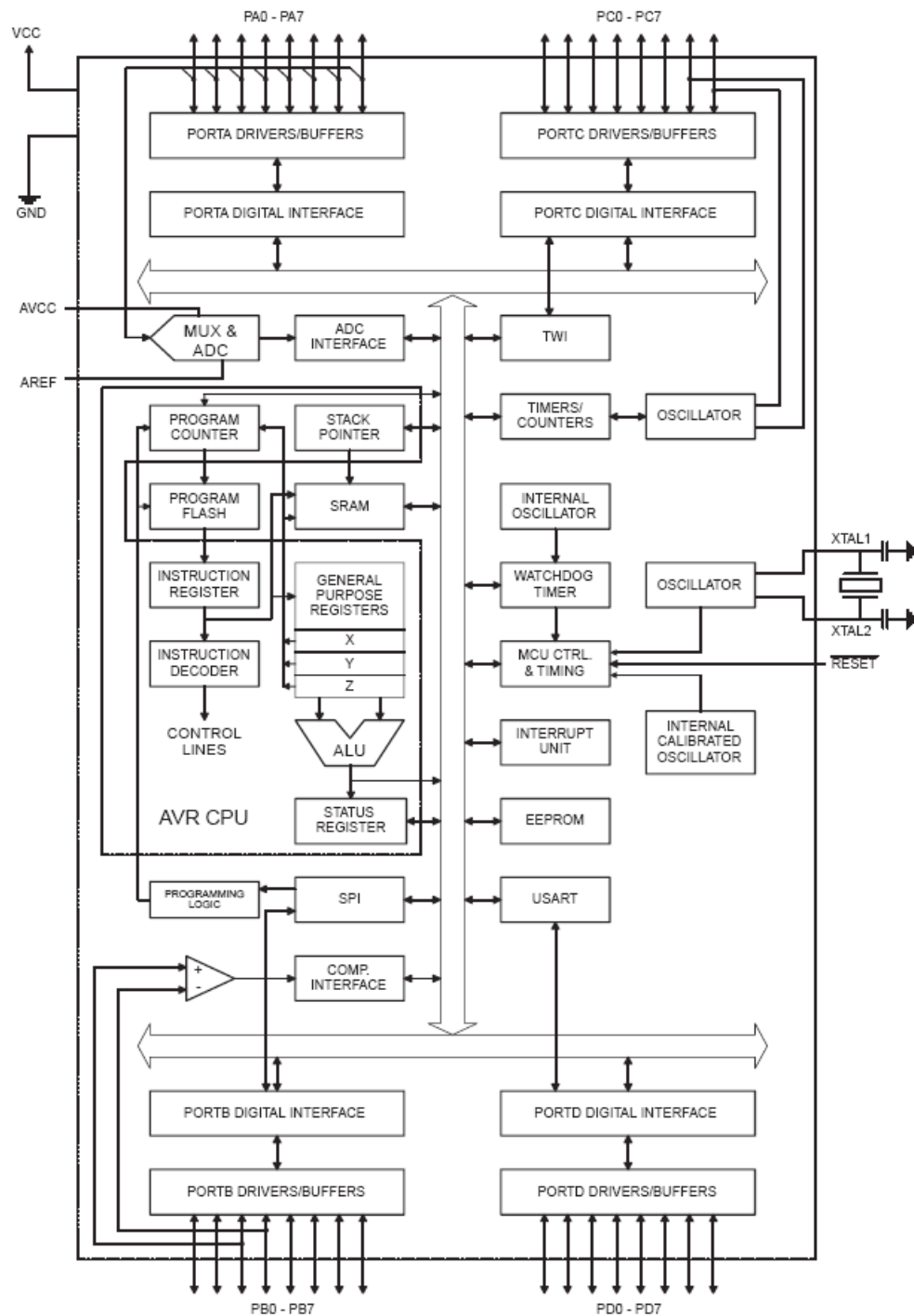
Mikroprocesory ATmega32 jsou 8-bitové s harvardskou architekturou. Mají tedy oddělenou paměť programu a dat. ATmega32 má 32kB programové a 2kB datové. Umožňují komunikaci po sériové lince s velkou možností nastavení. Dále nabízí JTAG, což je propojení s PC za běhu programu procesoru, samotný procesor informuje v průběhu práce o svojí činnosti PC. To je výhodné pro ladění programu. Má 3 čítače/časovače, dva 8-bitové a jeden 16-bitový, ty mají oddělenou děličku frekvence. Dále jsou v něm integrovány 4 PWM kanály. A je tu i 10-bitový AD převodník přepínatelný na 8 vstupů (jedna brána). Nabízí 4 brány po 8mi bitech. Napájení je nutné mezi 4.5 a 5.5V Existují i nízkonapěťové verze, ale nezdálo se mi nutné je použít. Vzhledem k nutnosti udržovat v modulu stále stabilní napětí 5V, kvůli operačním zesilovačům. Má možnost použití interního oscilátoru, ale je lepší používat externí, přesnější, krystal. Kvůli měření a komunikaci, ale i časovačům, tedy funkcím, které využijeme. Vše je vidět na Obr.8.

Pro můj případ jsem použil krystal 7.3728 MHz je to výhodné z hlediska komunikace po sériové lince, při této frekvenci se dá využít vysoká rychlost při velmi nízké chybovosti přenosu dat.

Procesor využívá sadu 131 instrukcí. Vykonávají se až na několik výjimek v jednom taktu. (Zpracováno podle [8], [7] a [15]).

K programování jsem využil AVRstudio4 přímo od výrobce procesoru, s doinstalovaným kompilátorem WinAVR. Jedná se o program, který umožňuje psát program pro procesor v jazyce C. V programu jsem použil knihovny `avr/io.h`, `stdio.h`, `stdlib.h`, `string.h`, `util/delay.h`, které umožňují jednoduchými příkazy (funkcemi) nastavování registrů, bran, výpočty, používat zpoždění. Jsou to knihovny, které jsou součástí programu.

V pozdějších kapitolách podrobně popíšu AD převodník a sériovou komunikaci.



Obrázek 8: Blokové schéma vnitřního zapojení procesoru ATmega32 [8]

8. AD PŘEVODNÍK V ATMEGA32

8.1 OBECNÝ POPIS PŘEVODNÍKU

Pro převod měřených hodnot využívám integrovaný převodník v ATmega32, je pouze 10ti bitový, ale to je pro moji aplikaci dostačující. Tento převodník má tyto parametry (zpracováno podle [8] a [15]):

- až 10ti bitové rozlišení
- max. 0,5 LSB
- přesnost ± 2 LSB
- průměrný čas konverze 65 - 260 us (15 000 vzorků / s)
- celkem 8 možných vstupů (přepínatelných)
- 7 rozdílových vstupů (2 s možností nastavení zisku)
- nastavitelné rozlišení
- vstupní napětí a reference v celém rozsahu napájení
- možnost vnitřní reference 2,56V
- možnost volby mezi ručním spouštěním a kontinuálním během
- možnost spuštění přerušeno po dokončení konverze

K ovládání převodníku slouží 4 registry a část dalšího.

1) ADMUX

| Bit | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
|---------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| | REFS1 | REFS0 | ADLAR | MUX4 | MUX3 | MUX2 | MUX1 | MUX0 |
| Read/Write | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W |
| Initial Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabulka 3: registr ADMUX [8]

REFS0, REFS1 – slouží k výběru analogové reference.

| REFS1 | REFS0 | |
|-------|-------|----------------------------|
| 0 | 0 | vnější reference |
| 0 | 1 | AVCC (kondenzátor na AREF) |
| 1 | 0 | zatím bez významu |
| 1 | 1 | vnitřní 2,56 V |

pokud je připojena vnitřní reference, nesmí být na vývod AREF připojeno vnější napětí. Je ale nutné na tento vývod připojit kondenzátor.

ADLAR – slouží k nastavení zarovnání výsledku převodu. Je-li bit vynulován, je výsledek zarovnán standardně napravo. Je-li bit nastaven, pak je výsledek zarovnán doleva.

MUX4 - MUX0 – slouží k výběru kanálu. Může být vybrán jeden kanál, použitelný pro převod nebo dva kanály, kde se převádí rozdíl mezi úrovněmi napětí těchto kanálů.

pokud tedy zvolíme hodnotu 0 - 7, pak je zvolen jeden z kanálů.

pokud je nastavena hodnota 8 - 29 pak se převod koná na výsledku rozdílu mezi vybranými diferenčními kanály.

hodnota 30 slouží pro přivedení napětí 1,22V na vstup převodníku
hodnota 31 přivede na vstup 0V. (GND)

2) ADCSRA

| Bit | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
|---------------|------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| | ADEN | ADSC | ADATE | ADIF | ADIE | ADPS2 | ADPS1 | ADPS0 |
| Read/Write | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W |
| Initial Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabulka 4: registr ADCSRA [8]

ADEN – Zapíná a vypíná AD převodník. Pokud je prováděn převod, je ihned ukončen.

ADSC – Začne s AD převodem na vybraném kanálu (nebo dvojici kanálů). Čtením tohoto bitu také zjistíme, v jakém stavu je převod. Pokud převod stále probíhá, je bit nastaven. Pokud je bit vynulován, byl převod dokončen.

ADATE – tento bit zajistí automatické spouštění vzniku nastaveného přerušení.

ADIF – příznak přerušení po dokončení AD převodu.

ADIE – povolí přerušeni od AD převodníku.

ADPS2:ADPS0 – nastaví před-děličku hodin pro AD převodník. Viz tabulka Tab.5.

| ADPS2 | ADPS1 | ADPS0 | Division Factor |
|-------|-------|-------|-----------------|
| 0 | 0 | 0 | 2 |
| 0 | 0 | 1 | 2 |
| 0 | 1 | 0 | 4 |
| 0 | 1 | 1 | 8 |
| 1 | 0 | 0 | 16 |
| 1 | 0 | 1 | 32 |
| 1 | 1 | 0 | 64 |
| 1 | 1 | 1 | 128 |

Tabulka 5: bity ADPS2:ADPS0 a jejich význam Division Factor – hodnota před-děličky [11]

3) SFIOR

| | | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|---|------|-----|------|-------|
| Bit | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| | ADTS2 | ADTS1 | ADTS0 | – | ACME | PUD | PSR2 | PSR10 |
| Read/Write | R/W | R/W | R/W | R | R/W | R/W | R/W | R/W |
| Initial Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabulka 6: registr SFIOR [8]

ADTS2:ADTS0 – Tyto bity nastavují zdroj pro spuštění AD převodu.

Výsledek převodu se zapisuje do dvojice registrů ADCH a ADCL. Hodnoty z těchto registrů se musí číst nejprve z ADCL a až následně z ADCH, aby byla jistota, že se načte celá hodnota z právě dokončeného AD převodu.

8.2 NASTAVENÍ PŘEVODNÍKU

V mém případě je AD převodník nastaven na vnitřní referenci a před-dělička frekvence je nastavena na hodnotu 128. Viz ukázka inicializačního kódu.

ADMUX = (1<<REFS0) | (1<<REFS1);

ADCSRA = (1<<ADEN) | (1<<ADPS2) | (1<<ADPS1) | (1<<ADPS0);

Měření je prováděno funkcí *mereni* viz kód v příloze. Je zde provedeno 50 měření s nejvyšší přesností (dlouhý čas). A ty jsou následně zprůměrovány. Střídavě se měří napětí na pinu 0 a 1. Tedy z 1 nebo 2 diody.

Měřené napětí se pak s naměřených hodnot vypočte pomocí vzorce [8]:

$$ADC = \frac{U_{in} \cdot 1024}{U_{ref}} \quad (8)$$

kde U_{in} je změřená hodnota

U_{ref} je referenční napětí

ADC je výsledná hodnota napětí

9. POPIS ZAPOJENÍ S ATMEGA32

Pro účely pokusů a ověřování funkčnosti konceptu, jsem se rozhodl nestavět ihned jeden hotový přípravek, ale jednotlivé moduly, u kterých se dá univerzálně měnit propojení a různá konfigurace, například měnit brány, kde bude jaké zařízení připojeno a podobně.

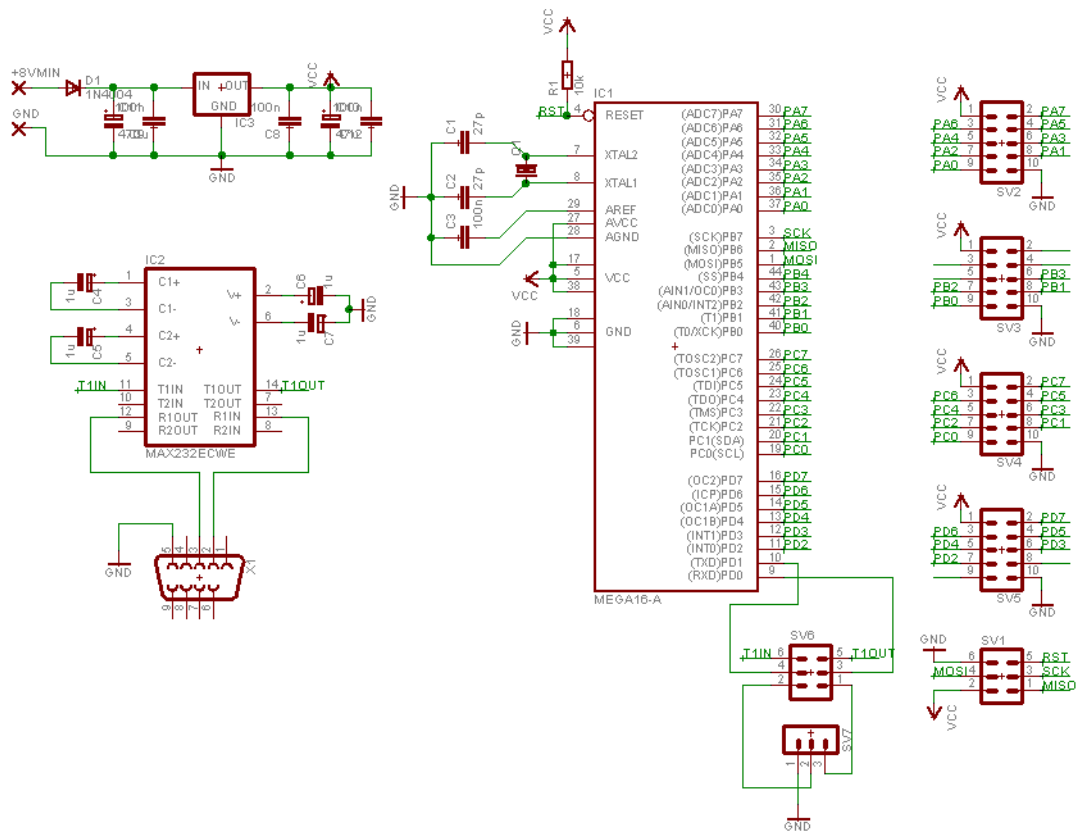
Takové zkušební zapojení s procesorem ATmega32 jsem navrhl tak, že je každá brána vyvedena na svůj port. Brána A je kompletní všech 8 bitů, bráně B chybí bity 5,6 a 7, které jsou využívány k programování procesoru. Brána C je kompletní a bráně D chybí bity 0 a 1, ty využívá sériová komunikace. Brány jsou na SV2-5 v pořadí A-D (viz schéma Obr.9).

Na desce je krystal 7.3728MHz. Dále důležitá napájecí část, tvořeno pětivoltovým stabilizátorem a filtračními kondenzátory. Vše je vidět na schématu viz Obr.8. Napájení je zajištěno z adaptéru 9V, ale na rozdíl od finálního modulu je zde použit obyčejný stabilizátor 7805 viz část o Napájení modulu.

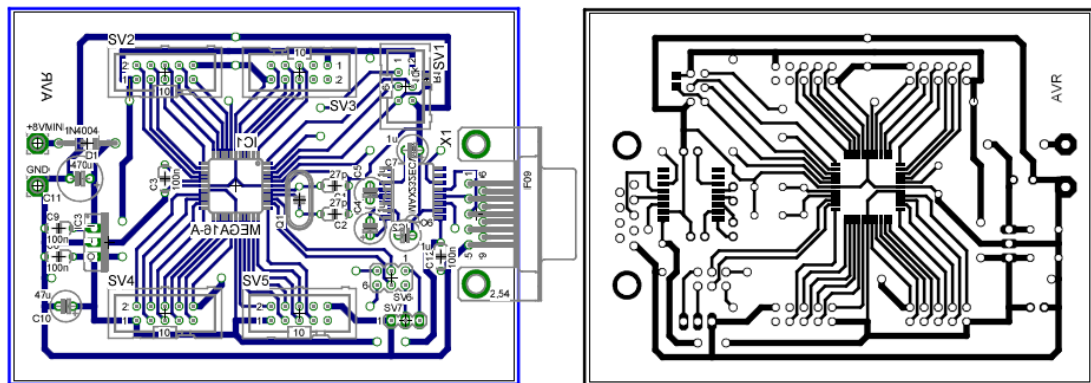
Port pro programování je 6ti pinový (MOSI, MISO, SCK, RESET) a GND. Je zde připojeno i napájení, pokud by bylo potřeba pro nějaký typ programátoru typu ISP, ale k funkci není důležité (SV1). Porty pro komunikaci jsou dva. Rozhodl jsem se zde použít i starý port COM. Přes něj se PC připojuje ještě přes MAX232, tento obvod upravuje napěťové úrovně z TTL na RS232, viz výše. Druhá možnost je připojit níže popisovaný obvod, který emuluje komunikaci RS232 přes USB. Tento port je 3pinový(SV7). Přepínání mezi porty probíhá pomocí dvou jumperů (SV6-viz schéma).

Na tomto vývojovém kitu jsem ověřil realizovatelnost mé koncepce řešení a programové vyhodnocení měření. Měřené údaje jsem úspěšně přenášel do PC a zobrazoval na LCD displeji. Viz níže.

Zapojení procesoru ATmega32 pro finální modul bude v kapitole o Zapojení kompletního modulu.



Obrázek 9: Schéma vývojového kitu s ATmega



Obrázek 10: Plán osazení a deska plošných spojů k vývojovému kitu s ATmega(zmenšeno)

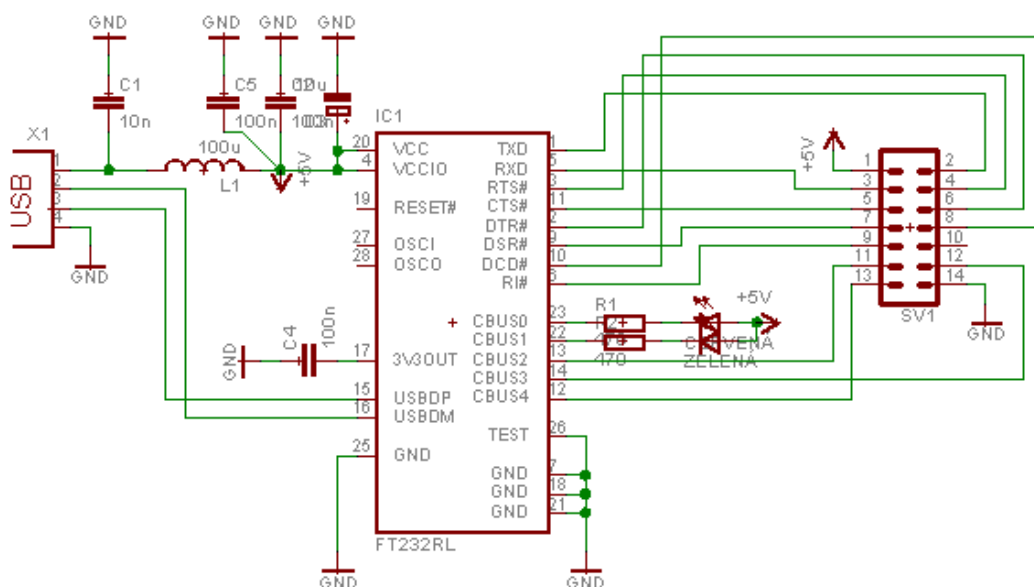
Návrhy desky plošných spojů v měřítku 1:1 jsou v příloze tohoto dokumentu a příloženém DVD.

10. KOMUNIKACE S PC

10.1 PŘEVODÍK FT232

V zadání je požadavek, aby zařízení dokázalo komunikovat s počítačem pomocí sběrnice USB. Pro komunikaci samotnou využívám jednoduché rozhraní RS232, ale toto rozhraní je simulováno přes integrovaný obvod FT232, který se k PC připojuje pomocí USB a vytváří tak virtuální port RS232. To je výhodné, protože dnešní nové počítače disponují RS232 jen málokdy. Ovladače pro PC nabízí výrobce obvodu na svém webu nebo na různých internetových stránkách zabývajících se problematikou FT232 [10].

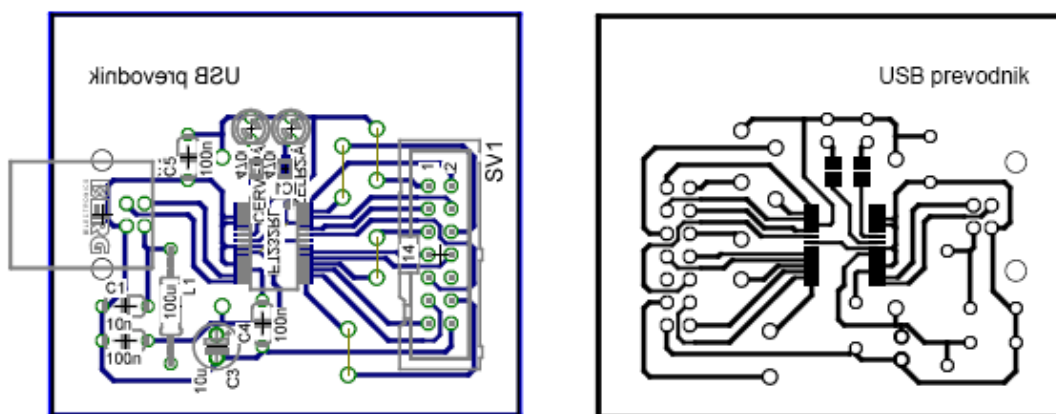
Další výhodou je, že není nutná konverze napěťových úrovní s RS232 (+15V log.1 a -5(-15)V log.0) a TTL (+5V log.1 a 0V log.0). Tento převodník jsem nejprve řešil jako periférii k výše popsanému vývojovému kitu s ATmegou32. viz Obr.9.



Obrázek 11: Schéma zapojení s obvodem FT232

Zapojení je udávané výrobcem - *Future Technology Devices International Ltd* [9] s některými úpravami, zčásti podle [10] nebo podle vlastního uvážení.

Na 14-pinový port jsou vyvedeny i pro tento projekt nepotřebné vstupy/výstupy, ale to je záměrné. Pokoušel jsem se přes tento převodník, přímo programovat procesor, ale nakonec jsem od toho upustil, kvůli vysoké chybovosti zápisu. Jak je patrné ze schématu (Obrázek 11.) je převodník napájen přímo s USB portu v PC, není nutné tedy dodávat jiný zdroj. Pro testování jsem také využil možnost připojení indikačních LED diod, pro monitorování komunikace. Plošný spoj a plán osazení jsou na obrázku Obrázek 12. V příloze jsou uvedeny 1:1.



Obrázek 12: Plán osazení a plošný spoj obvodu s FT232

Bitsy RXD a TXD jsou vyvedeny na jejich partnerské bity TXD a RXD v procesoru. Ty se nachází na bráně D 0tý a 1n1 bit.

Ve výsledném modulu jsou z převodníku vyvedeny pouze piny TXD a RXD pro sériovou komunikaci. Také indikační LED jsem vypustil, napájení z USB je zachováno. Zapojení a deska plošných spojů je v příloze na DVD.

10.2 POPIS KOMUNIKACE USART

Nyní popíši, jak funguje a jak se nastavuje sériová komunikace v ATmega32. Procesor nabízí dvě možnosti sériové komunikace, SPI a USART. SPI nabízí více možností komunikace, s více zařízeními (režimy MASTER a SLAVE). Využívá se k programování procesoru. Pro můj případ postačí USART (Universal Synchronous

and Asynchronous serial Receiver and Transmitter). Umožňuje obousměrnou komunikaci, synchronní i asynchronní, přenos 5-9 datových bitů, 1-2 stop bitů, různé druhy parit, množství přerušení.

Jednotku můžeme rozdělit na tři části (zpracováno podle [8] a [15]):

Generátor hodinových pulzů - slouží k synchronizaci vysílací i přijímací části. Používá se pro synchronní sériový režim.

Vysílač - provede se odeslání byte pouhým zapsáním do registru UDR. Po úspěšném odvysílání je nastaven příznak TXC v registru UCSRA (při správném nastavení).

Přijímač - je po příjmu znaku nastaven příznak RXC v registru UCSRA. Poté je možno přečíst přijatý znak opět z registru UDR. Důležité je, že znak může být čten pouze jednou (při správném nastavení).

Nastavení USART se dá ovládat pomocí 4 registrů.

1) UCSRA

| Bit | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
|---------------|-----|-----|------|----|-----|----|-----|------|
| | RXC | TXC | UDRE | FE | DOR | PE | U2X | MPCM |
| Read/Write | R | R/W | R | R | R | R | R/W | R/W |
| Initial Value | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabulka 7: registr UCSRA [8]

RXC – příznak přijatého byte

TXC – příznak odvysílaného byte

UDRE – příznak vyprázdněného bufferu

FE – chyba rámce

DOR – nastaví se v případě přeplněného datového bufferu

PE – chyba parity

U2X – zdvojnásobí přenosovou rychlost, zmenší však přesnost

MPCM – nastaví do multiprocessorového komunikačního módu

2) UCSRB

| Bit | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
|---------------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|------|
| | RXCIE | TXCIE | UDRIE | RXEN | TXEN | UCSZ2 | RXB8 | TXB8 |
| Read/Write | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R | R/W |
| Initial Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabulka 8: registr UCSRB [8]

RXCIE – zápis tohoto bitu povolí přerušení od příjmového kanálu sérové linky

TXCIE – zápis tohoto bitu povolí přerušení od vysílacího kanálu sérové linky

UDRIE – zápis tohoto bitu povolí přerušení při vyprázdnění datového bufferu

RXEN – zápis tohoto bitu povolí příjem

TXEN – zápis tohoto bitu povolí vysílání

UCSZ2 – volí počet datových bitů

RXB8 – ovlivňuje nastavení čtení devátého bitu

TXB8 – ovlivňuje nastavení zápisu devátého bitu

3) UCSRC

| Bit | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
|---------------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|
| | URSEL | UMSEL | UPM1 | UPM0 | USBS | UCSZ1 | UCSZ0 | UCPOL |
| Read/Write | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W |
| Initial Value | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |

Tabulka 9: registr UCSRC [8]

URSEL – povolí zápis do registru UCSRS

UMSEL – (1) synchronní režim, (0) asynchronní režim

UPM1, UPM0 – nastavují paritu. (00) – bez parity, (01) – nepoužívat, (10) – sudá, (11) – lichá

USBS – počet stop bitů – (0) – jeden

UCSZ1, UCSZ0 – délka znaku

UCPOL – polarita hodin (pouze v synchronním režimu)

4) UBRR

| | | | | | | | | | |
|---------------|-----------|-----|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-------|
| Bit | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | |
| | URSEL | | - | - | - | UBRR[11:8] | | | UBRRH |
| | UBRR[7:0] | | | | | | | | UBRRL |
| | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| Read/Write | R/W | R | R | R | R/W | R/W | R/W | R/W | |
| | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | |
| Initial Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Tabulka 10: registr UBRR [8]

Je to registr určující přenosovou rychlost v baudech. Hodnota tohoto registru se spočítá podle tabulky Tab.11. UBRR je složen ze dvou registrů: UBRRH (vyšší byte) a UBRRL (nižší byte). Registr UBRRH je dostupný pouze tehdy, je-li bit URSEL vynulován.

| Operating Mode | Equation for Calculating Baud Rate ⁽¹⁾ | Equation for Calculating UBRR Value |
|---|---|-------------------------------------|
| Asynchronous Normal Mode (U2X = 0) | $BAUD = \frac{f_{osc}}{16(UBRR + 1)}$ | $UBRR = \frac{f_{osc}}{16BAUD} - 1$ |
| Asynchronous Double Speed Mode (U2X = 1) | $BAUD = \frac{f_{osc}}{8(UBRR + 1)}$ | $UBRR = \frac{f_{osc}}{8BAUD} - 1$ |
| Synchronous Master Mode | $BAUD = \frac{f_{osc}}{2(UBRR + 1)}$ | $UBRR = \frac{f_{osc}}{2BAUD} - 1$ |

Tabulka 11: tabulka výpočtů přenosové rychlosti a hodnoty registru UBRR (f_{OSC} je frekvence krystalu, UBRR hodnota registrů UBRRH a UBRRL (0-4095), BAUD je rychlost v bitech za sekundu) [8]

10.3 NASTAVENÍ SERIOVÉ KOMUNIKACE

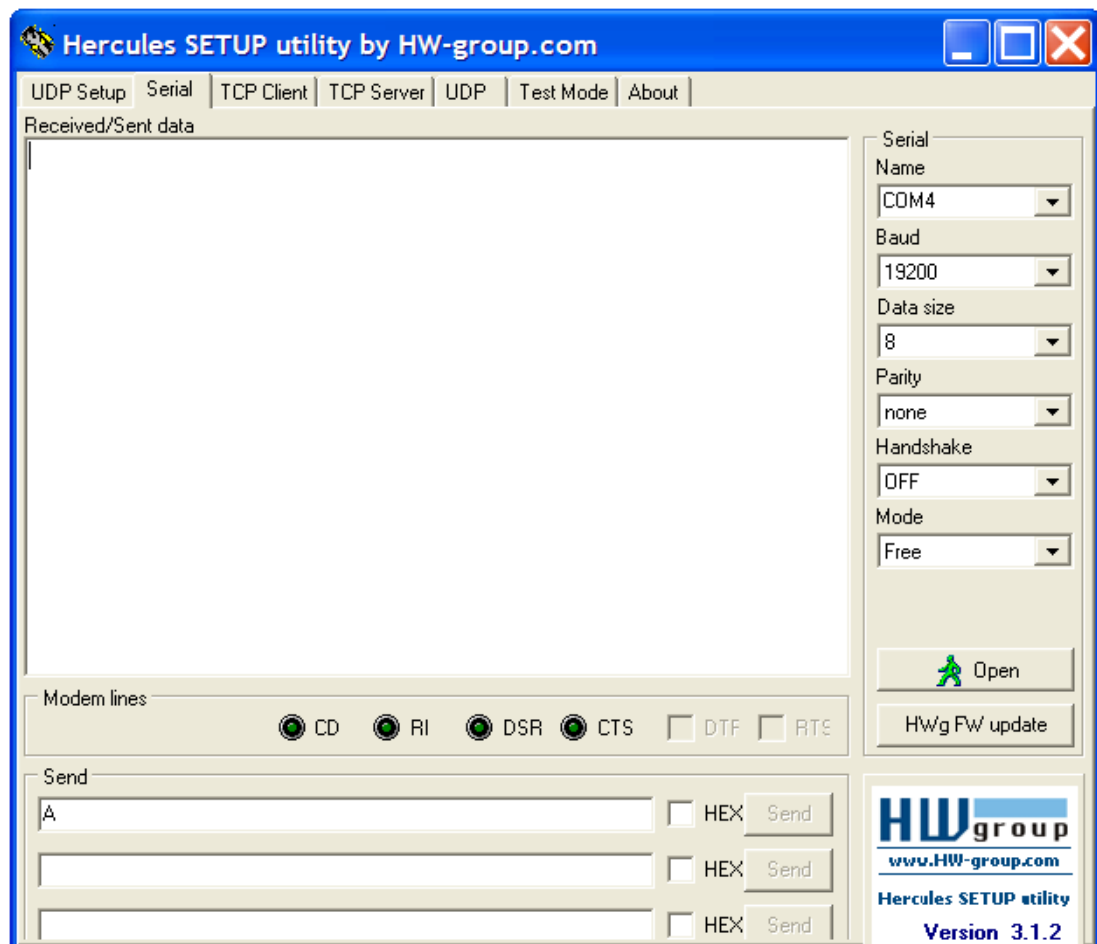
Moje komunikace je nastavena jako asynchronní, bez paritního bitu, s jedním stop bitem. Délka znaku je nastavena na 8 bitů. Vše je vidět v části kódu pro inicializaci USART:

```
void USART_Init(void){
```

```
UBRRH = (uint8_t)(USART_UBBR_VALUE>>8);
UBRRL = (uint8_t)USART_UBBR_VALUE;
UCSRA = 0x00;
UCSRC = (1<<URSEL) | (0<<USBS) | (1<<UCSZ1) | (1<<UCSZ0);
UCSRB = (1<<RXEN) | (1<<TXEN); }
```

10.4 TERMINÁL HERCULES

Pro příjem v PC jsem pro ověřování používal *Hercules Setup Utility* je to volně šiřitelný terminál pro TCP/IP klienta, TCP/IP server, UDP/IP a terminál pro komunikaci po sériové lince. Já využil jen poslední možnost. Jak je vidět na obrázku Obr.12 nabízí program možnost kompletního nastavení komunikace, přes zvolení portu, rychlost, počet přenášených bitů, počet stop bitů a nastavení typu parity. Umožňuje odesílání a příjem znaků ASCII či HEX [17].



Obrázek 13: Screen okna terminálu Hercules

10.5 TERMINÁL VYTVOŘENÝ VE VISUAL BASICU

Protože mým cílem je vytvořit program určený jen pro můj projekt, vytvořit jsem vlastní terminál, který rozlišuje přijímaná data a zobrazuje. Program jsem napsal ve Visual Basicu 6.0, jednoduché programy se zde dají vytvořit velmi rychle.[3]

Pro komunikaci využívám modul Ports.bas [2], který se jednoduše do programu vloží. Využívám jeho funkce k otevření a uzavření portu a čtení aktuálně přijatého bytu:

OPENCOM – otevře zadaný port, se zadanými parametry komunikace

CLOSECOM – uzavře aktuálně otevřený port

READBYTE – uloží do proměnné aktuálně přijatý byte

Při spuštění se aktivuje časovač, který v intervalu 100ms, v tomto intervalu se kontrolují přijaté znaky, ty se ihned zpracují a kontrola proběhne znovu, dokud READBYTE nehlásí hodnotu -1. Každý přijatý byte je zkontrolován, zda se jedná o číslo. Pokud jde o písmeno, porovná se o jaké. Jednotlivá písmena značí, hodnota jaké veličiny bude za ním následovat:

E – intenzita

L – vlnová délka

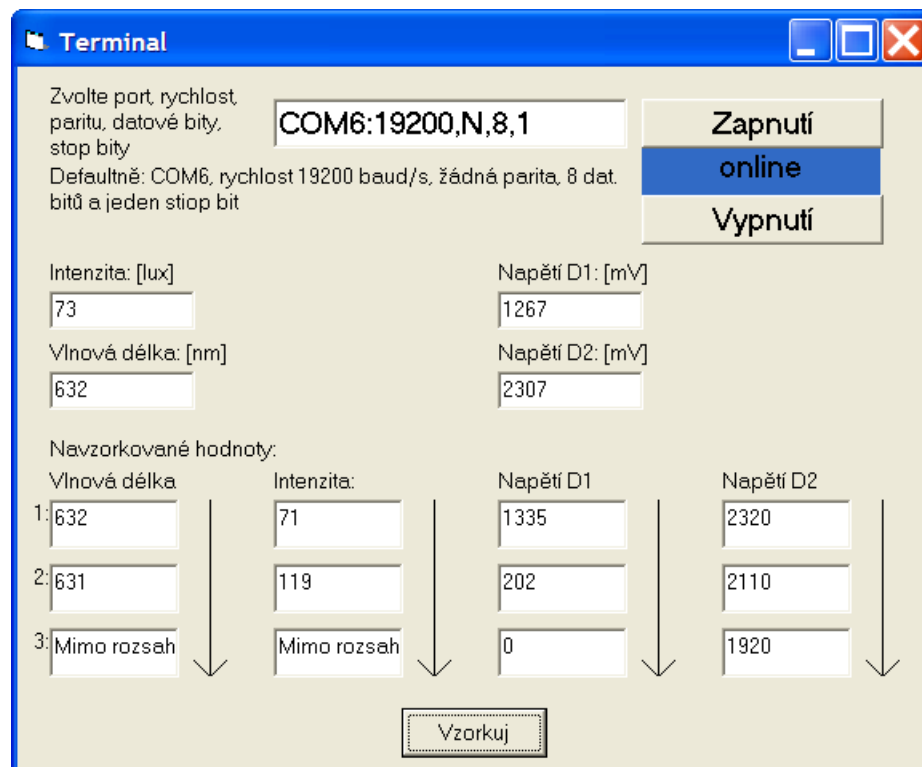
A – napětí diody D_1

B – napětí diody D_2

Podle těchto znaků jsou hodnoty zobrazovány v příslušných textových polích. Pokud je místo číselné hodnoty přijat znak vykřičníku, je do příslušných polí vložen text „Mimo rozsah“.

Parametry k otevření portu jsou defaultně nastaveny na COM6, tento parametr, je nutno změnit dle použitého portu. Dále je nastavena komunikace na rychlost 19200 baud/s, jeden stop-bit, 8 datových bitů a žádnou paritu. To měnit nelze, komunikace je tak nastavena v procesoru.

Na Obrázku 14. je zobrazeno okno programu. V horní části, lze upravit port, na který je modul připojen a i nastavení komunikace. Vpravo je pak tlačítko pro aktivaci a deaktivaci komunikace. Zda komunikace probíhá je poznat podle nápisu Online/Offline a jeho podbarvení modrá/šedá. V následujících 4 oknech se zobrazují přijaté hodnoty vlnové délky, intenzity a hodnoty napětí (zesílených) na D₁ a D₂. Pro účel nějakého měření se může využít tlačítko vzorkování, Aktuální hodnoty veličin jsou pak přeneseny do příslušných oken, zobrazují se tři poslední vzorky.



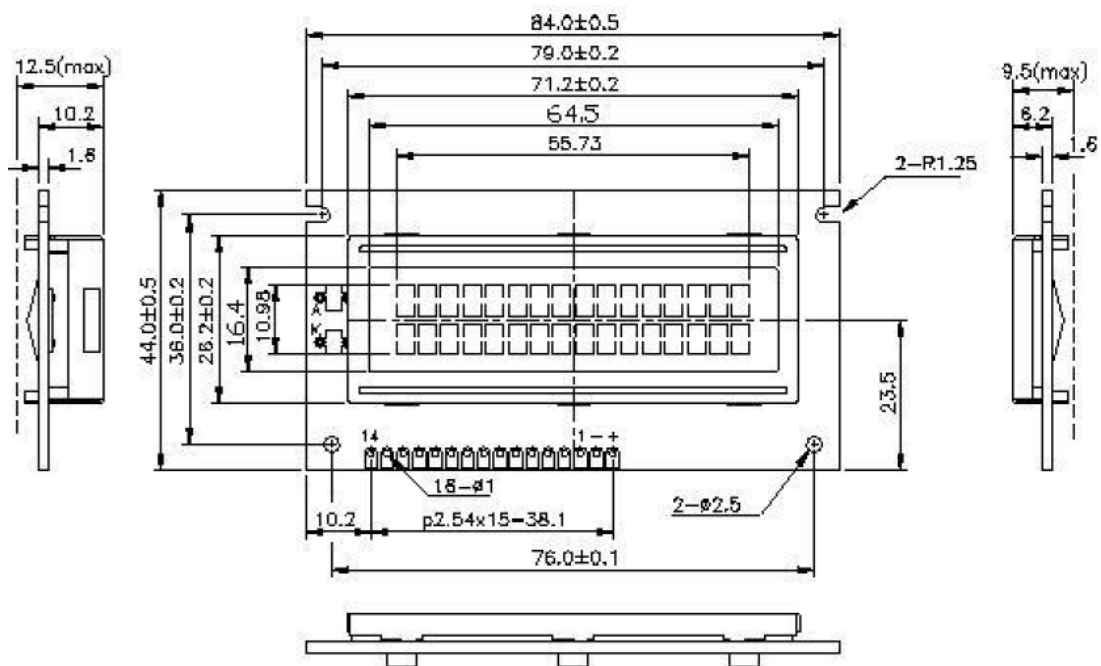
Obrázek 14: Terminál vytvořený ve Visual Basicu

Celý program je přiložen na DVD.

11. ZOBRAZOVÁNÍ NA DISPLAY

11.1 POPIS DISPLEJE

Na zobrazování výsledku měření jsem zpočátku využil alfanumerický display 4 x 16 znaků s řadičem HD44780, ale to se ukázalo jako zbytečné. Proto jsem pro finální verzi modulu vybral rozměr 2 x 16 znaků. Ten je vybaven řadičem S6A0069, který je kompatibilní s HD44780. V tabulce Tab.12 jsou uvedeny základní parametry. A v tabulce Tab.13 je popis jednotlivých 16ti pinů. Na obrázku 15. Je náčrt i s rozměry.



Obrázek 15: Náčrt displeje s rozměry [7]

| Veličina | Označení | Podmínky | Min. | Max. | Jednotky |
|----------------------------|----------|----------|------|---------|----------|
| Napájecí napětí | Vdd-Vss | - | 0 | 7 | V |
| Řídicí napájecí napětí LCD | Vdd-Vee | - | 0 | 13 | V |
| Vstupní napětí | Vin | - | -0,3 | Vdd+0,3 | V |
| Provozní teplota | Topr | Nor. | 0 | 50 | °C |
| Teplota pro skladování | Tstg | Nor. | -20 | +70 | °C |

Tabulka 12: Parametry display [13]

| Vývod | Název | Funkce |
|-------|---------|------------------------------------|
| 1 | Vss | GND |
| 2 | Vcc | napájení +5V |
| 3 | Vee, V0 | nastavení kontrastu |
| 4 | RS | volba mezi 0 - instrukce, 1 - data |
| 5 | R/W | volba mezi 0 - zápis, 1 - čtení |
| 6 | E | hodinový vstup |
| 7 | DB0 | data 0 |
| 8 | DB1 | data 1 |
| 9 | DB2 | data 2 |
| 10 | DB3 | data 3 |
| 11 | DB4 | data 4 |
| 12 | DB5 | data 5 |
| 13 | DB6 | data 6 |
| 14 | DB7 | data 7 |
| 15 | LED+ | anoda podsvětlení |
| 16 | LED- | katoda podsvětlení |

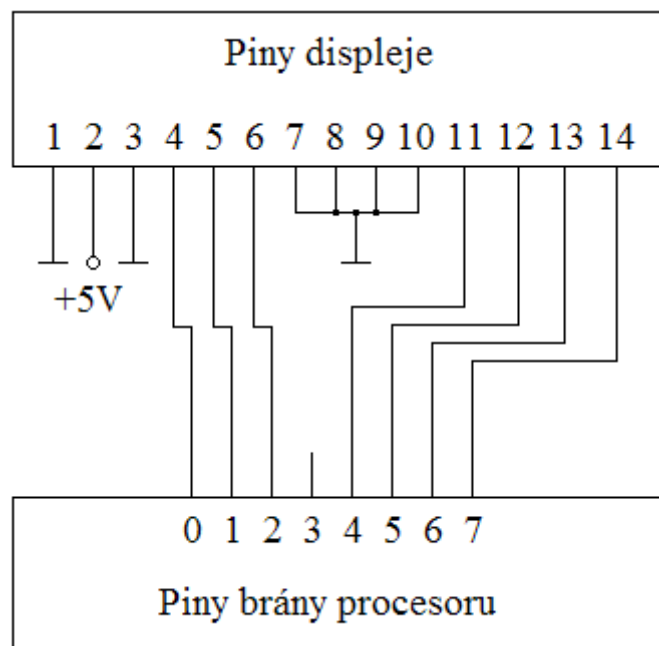
Tabulka 13: Popis pinů LCD displeje [14]

Řadič HD44780 (S6A0069) obsahuje mimo základní anglickou sadu některé řecké, německé, japonské a další znaky. Základní znaky odpovídají ASCII kódování. Případně se dají programovat i vlastní znaky. K propojení s procesorem je třeba 4 nebo 8 datových vodičů, jeden na přepínání zápisu instrukcí/dat (RS) a další s hodinovým signálem (E). Pro případné čtení obsahu displeje je třeba připojit ještě jeden (R/W), jinak je trvale uzemněn. Já se rozhodl pro 4 vodičovou komunikaci, v tom případě, totiž stačí k ovládní displeje pouze 1 brána procesoru. Na obrázku Obr.16 je zobrazeno propojení displeje s bránou procesoru. V čtyř-vodičové komunikaci se posílá byte s daty či instrukcemi nadvakrát, prvně se pošle horní polovina bytu, vygeneruje se pulz na E, pošle se spodní polovina bytu a vygeneruje se druhý pulz na E. V tabulce Tab.14 je soubor instrukcí k ovládní displeje (zpracováno podle [14]). Display je napájen ze společného zdroje pro celý modul. Podsvětlení není zapojeno.

Na displeji je v horním řádku vlevo zobrazena intenzita a vpravo vlnová délka. Na druhém řádku je textově vypsané v jaké části spektra se měřená vlnová délka nachází. Např.: „Infračervená“.

| Význam instrukce | RS | R/W | DB7 | DB6 | DB5 | DB4 | DB3 | DB2 | DB1 | DB0 | Délka |
|--|----|-----|------|----------------|----------------|-----|-----|-----|-------|-------|---------|
| smaže disp. a nastaví kurzor na začátek | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1,64 ms |
| nastaví kurzor na začátek | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | x | 1,64 ms |
| smer posuvu kurzoru I/D (0=vlevo, 1=vpravo), posuv textu S (0=ne, 1=ano) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | I/D | S | 40 us |
| D - zapne displej, C - zapne kurzor, | | | | | | | | | | | |
| B - zapne blikání kurzoru | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | D | C | B | 40 us |
| 1x posune (S/C=0 kurzor, S/C=1 text) smerem (R/L=0 vlevo, R/L=1 vpravo) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | S/C | R/L | x | x | 40 us |
| inicializace: | | | | | | | | | | | |
| DL=0 4-bit, DL=1 8-bit mód | | | | | | | | | | | |
| N=0 jednořádkový, N=1 dvouřádkový disp. | | | | | | | | | | | |
| F=0 font 5x8, F=1 font 5x10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | DL | N | F | x | x | 40 us |
| přepnutí na zápis do CGRAM | 0 | 0 | 0 | 1 | adresa v CGRAM | | | | | 40 us | |
| přepnutí na zápis do DDRAM | | | | | adresa v DDRAM | | | | | 40 us | |
| čtení příznaku BF (BF=0 příjem povolen, BF=1 řadič zaneprázdněn) | 0 | 0 | 1 | adresa v DDRAM | | | | | 0 us | | |
| čtení adresy v DDRAM | 0 | 1 | BF | adresa v DDRAM | | | | | 0 us | | |
| zápis dat do CGRAM nebo DDRAM | 1 | 0 | data | | | | | | 40 us | | |
| čtení dat z CGRAM nebo DDRAM | 1 | 1 | data | | | | | | 40 us | | |

Tabulka 14: Seznam instrukcí pro HD44780 [14]



Obrázek 16: Propojení displeje s bránou procesoru

11.2 KNIHOVNA PRO LCD V JAZYCE C

Pro ovládání displeje jsem napsal knihovnu v C. Je napsána jen pro 4 vodičovou komunikaci. Využívá Instrukce uvedené v tabulce Tab.14. Jsou v ní napsány tyto funkce:

`LCDinic(void);` - inicializuje display

`LCDgotoXY(uint8_t x, uint8_t y);` - posune kurzor na souřadnice x,y

`LCDstring(char* text);` - pošle na display řetězec znaků

`LCDznak(char znak);` - pošle na display znak

`LCDclear(void);` - smaže display

`LCDcursorOn(void);` - zapne blikání kurzoru

`LCDcursorOff(void);` - vypne blikání kurzoru

`LCDcursorVlevo0(uint8_t okolik);` - posune kurzor o určený počet míst do leva

`LCDcursorVpravo0(uint8_t okolik);` - posune kurzor o určený počet míst vpravo

Funkce jsem napsal tak, aby odpovídaly popisu ovládání displejů z řadiči HD44780 [14].

Celý zdrojový kód je vložen v příloze na DVD.

12. NAPÁJENÍ MODULU

Napětí v modulu je jen jedno a to stejnosměrných 5V. Napájení modulu jsem se rozhodl realizovat dvěma způsoby. Z akumulátoru a pomocí síťového adaptéru, který bude sloužit i jako zdroj pro nabíječku akumulátoru.

12.1 AKUMULÁTOR

Nejprve jsem uvažoval o baterii s nízkým napětím a použití DC-DC měniče, ale takto detailně se zabývat napájením nebylo předmětem mé práce, proto jsem použil pouze akumulátor s potřebně vysokým napětím. Modul lze napájet jakoukoli baterií s napětím vyšší než 5V nebo akumulátorem, v takovém případě, pokud by bylo záměrem využít i dobíjení integrované v modulu, by bylo nutné vyměnit odpory R1, R2, R5 a R6. Jejich nové hodnoty se dají jednoduše vypočíst dle postupu v příloze, závisí na době nabíjení, kapacitě a napětí použitého akumulátoru. Nakonec jsem pro svoji realizaci modulu zvolil akumulátor typu Nimh, složený z 5ti článků o napětí 1,2V a kapacitě 1400mAh, vznikl tak akumulátor o napětí 6 voltů a kapacitě 1400mAh.

Napětí 6 voltů jsem zvolil kvůli stabilitě napětí v obvodu. Akumulátoru při vybíjení totiž napětí klesá, procesoru by to sice nevadilo, ale operačnímu zesilovači ano. Respektive by nešlo jeho napájení, ale změnil by se hodnoty napětí odpovídající měřeným veličinám. Proto jsem zvolil vyšší napětí než požadovaných 5 voltů a baterii zapojil přes ochranou diodu ještě před stabilizátor napětí. Stabilizátor je použit speciální, viz část o síťovém napájení.

Nimh jsem zvolil, kvůli snadné dostupnosti univerzálních článků a možnosti sestavit akumulátor s požadovaným napětím. Výhoda je také v poměrně snadném nabíjení. Napětí akumulátoru při nabíjení roste až do doby, kdy dosáhne plné kapacity, pak mírně klesne. Stačí hlídat tento pokles a přestat nabíjet. Další možností je sledovat teplotu akumulátoru, pokud totiž dosáhne plné kapacity, tak nabíjecí proud už jen akumulátor zahřívá. Při nárůstu teploty je opět nutno přestat nabíjet. Podrobněji vše uvedu v následující části o nabíječce.

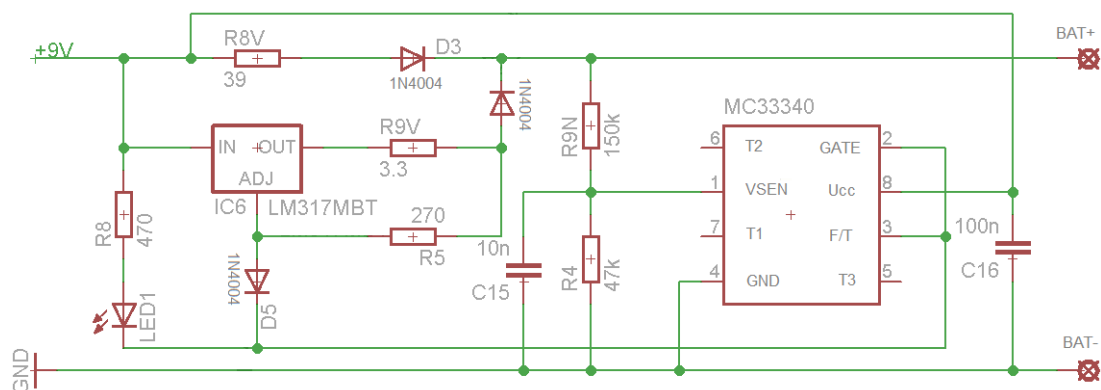
12.2 NABÍJEČKA AKUMULÁTORU

Jak jsem uvedl výše, nabíjení Nimh baterie je možné dvěma způsoby nebo jejich kombinací. Zvolil jsem možnost s hlídáním poklesu napětí. Nabíječka je navržena pro 6V baterii s kapacitou 1400mAh.

Nejprve jsem uvažoval o doplnění programu pro procesor, který by v pravidelných intervalech měřil napětí baterie a vyhodnocoval nutnost nabíjení. Bylo by to výhodné z hlediska indikace nízké hladiny energie – uživatel by věděl, že má zařízení připojit do sítě. Tuto možnost jsem, ale nerealizoval, předmětem zadání není vytvořit ideální nabíječku.

Nalezl jsem levný obvod Motorola MC33340 určený právě k nabíjení Nimh akumulátorů, jde o velmi výkonný, ale levný obvod. V pravidelných krátkých intervalech zjišťuje napětí připojeného akumulátoru, a zjistí-li jeho pokles, automaticky přepne z rychlého nabíjení na udržovací nabíjení malým proudem. Navíc umožňuje nabíjení ukončit při nadměrném zahřátí akumulátoru – kombinace metod nabíjení (v mém případě nevyužito) a dále omezit dobu rychlého nabíjení pomocí nastavitelného časovače. [16]

Návrh zapojení Obrázek 17. a výpočet hodnot součástek je podle [16]. Viz příloha.



Obrázek 17: Schéma zapojení nabíječky

Podle stavu připojeného akumulátoru přepíná integrovaný obvod MC33340 do dvou režimů nabíjení - rychlého a udržovacího. Nabíjecí proud v udržovacím režimu je určen napětím zdroje v mém případě 9V, velikostí odporu R5 a úbytkem

napětí na diodě D5. Těmito prvky protéká udržovací nabíjecí proud, který by se měl pohybovat v rozmezí 0,03 až 0,05 kapacity akumulátoru. [16]

V režimu rychlého nabíjení je jako výkonový prvek použit běžný stabilizátor LM317T, zapojený jako zdroj konstantního proudu. Je řízen z vývodu F/T (fast/trickle) obvodu MC33340 přes diodu D7. Nabíjecí proud protéká tímto stabilizátorem, rezistorem R6 a diodou D6. Stav nabíjení je indikován svítivou diodou LED1. Při rychlém nabíjení bliká, při udržovacím nabíjení svítí trvale. [16]

Napětí na akumulátoru se snímá odporovým děličem R1 a R2 a přivádí se na vývod VSEN integrovaného obvodu MC33340. Je-li na tomto vývodu napětí v rozmezí 1-2V, zapíná obvod rychlé nabíjení. Při napětí pod 1V, což může znamenat vadný článek, nebo nad 2V (nepřipojený akumulátor) zůstává obvod v režimu udržovacího nabíjení. Vývody T1, T2, T3 jsou vstupy pro nastavení vnitřního časovače. V mém zapojení jsem je nechal všechny nepřipojené, což omezuje rychlé nabíjení na dobu maximálně 4,5 hodin. [16]

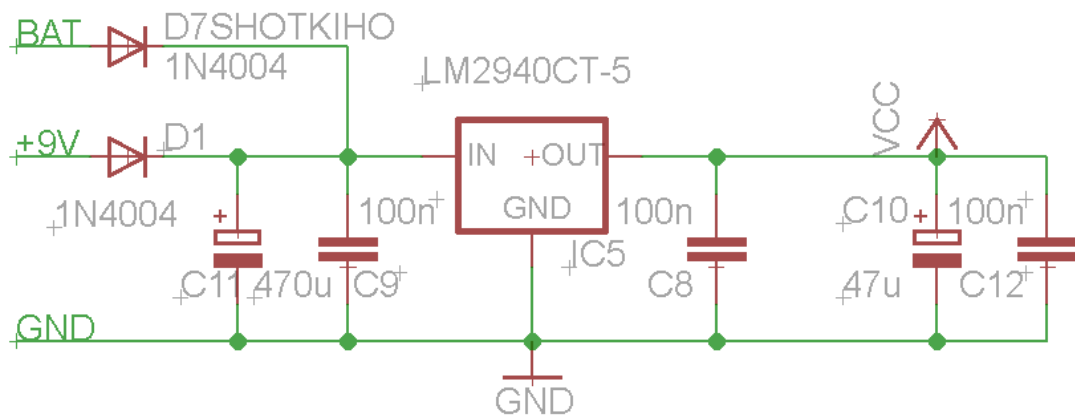
Přesně toto zapojení je integrováno do modulu, viz část Kompletní modul.

12.3 SÍŤOVÉ NAPÁJENÍ

Síťové napájení je zajištěno devíti voltovým adaptérem, který zajišťuje energii pro modul v případě vybití akumulátoru a také energii pro opětovné nabití akumulátoru.

Do obvodu se napětí z adaptéru přivádí pře diodu, viz Obrázek 18. – schéma zapojení, z důvodu, aby napájení z akumulátoru nepřicházelo do adaptéru. Ze stejné příčiny je i přívod energie od akumulátoru řešen přes diodu, zde jde ale o schottkyho diodu. Ta je zde použita proto, aby co nejméně snížila napětí z baterie, protože stabilizátor potřebuje k zajištění kvalitního výstupního napětí, určitý napěťový rozdíl na vstupním a na výstupním stabilizovaném napětí. I to je v tomto případě ošetřeno, je zde použit speciální pěti voltový stabilizátor LM2940T, kterému stačí výše zmíněný rozdíl pouze 0,2 Voltu.

Přes stabilizátor prochází tedy obě napájecí napětí, jak s akumulátoru, tak se síťového adaptéru, tím je zajištěno stálé napětí 5 voltů v obvodu a tím zachování přesnosti měření.



Obrázek 18: Schéma síťového napájení

12.4 SPOTŘEBA MODULU

Po dokončení modulu, jsem provedl několik měření k určení spotřeby modulu. Při napájení z baterie je byl z ní odebíraný 55mA. To znamená příkon při napětí baterie 6V:

$$P = U \cdot I = 6 \cdot 55 = 330mW$$

V případě výše popsaného akumulátoru, je jeho udržovací proud při napájení z adaptéru 65mA. Tedy dohromady 55+65 = 120mA To znamená příkon při napájení z adaptéru 9V:

$$P = U \cdot I = 9 \cdot 120 = 1080mW$$

Pro případ, že probíhá nabíjení je celkový odebíraný proud 450mA, tedy příkon:

$$P = U \cdot I = 9 \cdot 450 = 4050mW$$

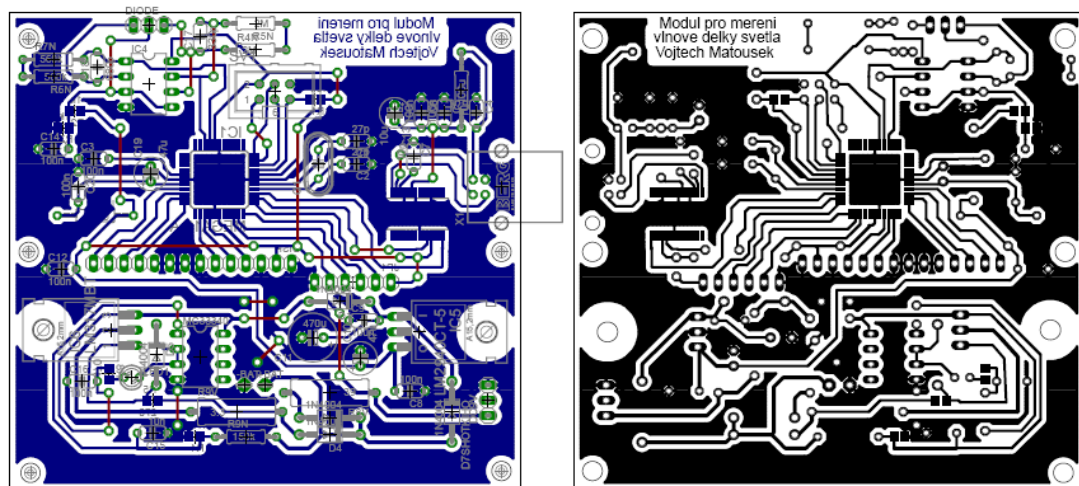
Vzhledem k velmi malému zjištěnému příkonu modulu, bylo zřejmě zbytečné použití akumulátoru. Odebíraný proud je třikrát menší, než je pro životnost akumulátoru doporučený proud.

13. ZAPOJENÍ KOMPLETNÍHO MODULU

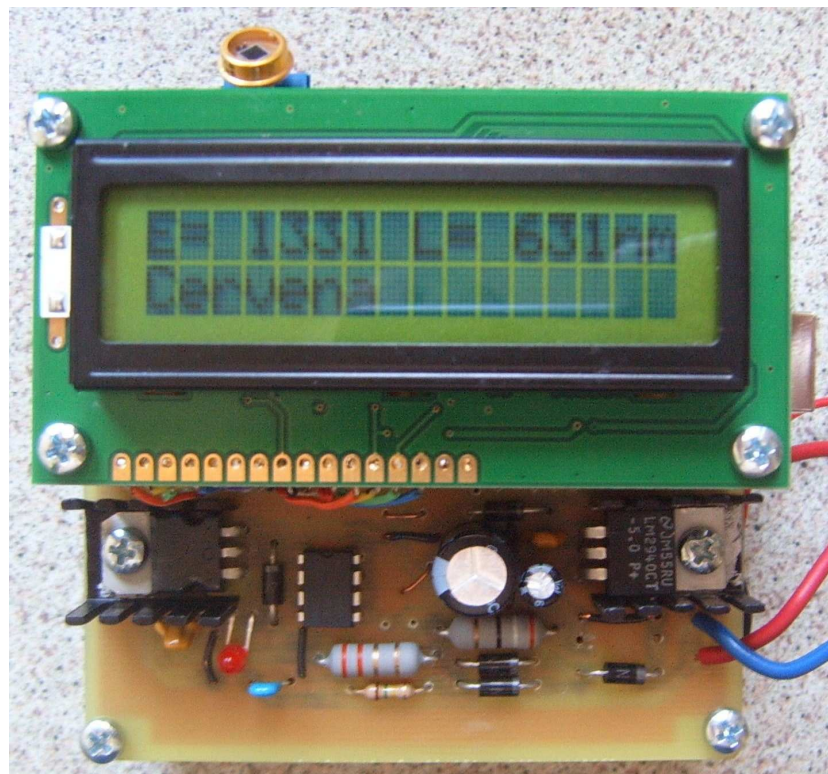
Po odzkoušení a ověření všech potřebných parametrů (hodnot odporů, kapacit, funkčnosti nabíječky, operačních zesilovačů, komunikace atd.) jsem udělal návrh desky plošných spojů kompletního modulu. Kompletní schéma je obsaženo v příloze a DVD. Jedná se o spojení výše popsaných částí do jednoho celku. Obě dílčí fotodiody jsou připojeny k operačním zesilovačům, zesílené signály jsou přivedeny na vstupy 0 a 1 brány A. Komunikační vodiče TXD a RXD od převodníku FT232 jsou připojeny na 0 a 1 bit brány D. Převodník je připojen na konektor USB typu B. 0 – 2 bity brány C procesoru slouží jako řídicí bity a 4 – 7 jsou datové pro LCD. To je napojeno přímo z plošného spoje pomocí 14ti žilového kabelu. Jak jsem popsal výše, využívám ISP programování, příslušné vodiče jsou připojeny na bránu B, 4 – 7 bit. Ty jsou vyvedeny společně s RESETem na 6ti pinový konektor (SV1) pro připojení programátoru. Popis zapojení zdroje a nabíječky jsem již uvedl v příslušných kapitolách. Stabilizátor LM2940T a LM317 jsou společně se svými chladiči umístěny tak aby nepřekáželi umístění LCD displeje a ani ho nepřechnívali výškou, viz Obrázek 20. a 21.

Desku plošných spojů jsem řešil jako jednostrannou, s několika drátovými propojkami na straně součástek. Viz Obrázek 19. Desku jsem vyráběl sám, fotocestou, bez pocínování. Návrh je přiložen na DVD a zobrazen 1:1 v příloze. Kde to bylo možné, volil jsem součástky v pouzdrech SMD (povrchové montáži ze strany spojů), je tak řešen procesor, převodník, a všechny odpory, na kterých není moc velký tepelný výkon. Odpory určující zesílení operačních zesilovačů jsou klasické, z důvodu případné výměny za jinou hodnotu. Pro případné doladění hodnoty jsou navrženy jako dva odpory v sérii, tuto možnost jsem nakonec nevyužil. Operační zesilovač TLC2272 a stejně tak i nabíjecí obvod MC33340 nebyly v SMD pouzdrech k dispozici. Pro snížení vyzařování jsem plošný spoj opatřil „rozlitím“ země. Přívody od akumulátoru jsou napájeny přímo ze strany spojů. Konektor pro napájecí adaptér je připojen na drátkách pro případné umístění do pouzdra to nabízí libovolné umístění. Stejně je řešen i vypínač. Ten je dvojpólový, odpojuje najednou jak napájení z adaptéru tak přívod od akumulátoru.

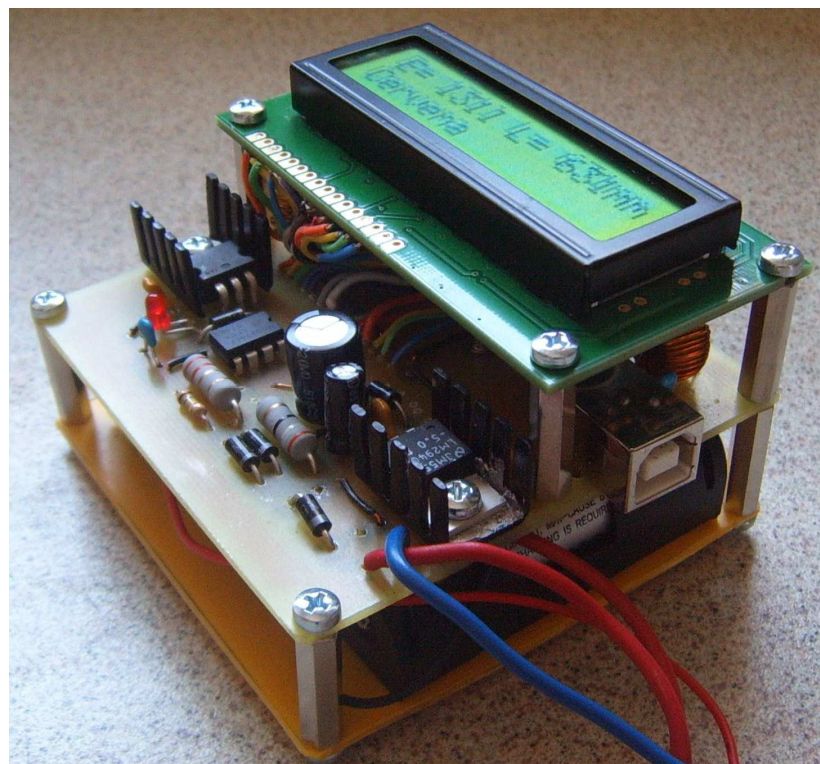
Plošný spoj jsem opatřil dírkami pro distanční sloupky. Na nich je i přímo na desce připevněn displej – ze strany součástek. A ze strany spojů je pomocí těchto sloupků připevněn akumulátor. Viz fotografie Obrázek 20. a 21.



Obrázek 19: DPS finálního modulu pro měření vlnové délky světla



Obrázek 20: Fotka modulu (vrchní pohled)



Obrázek 21: Foto modulu (boční pohled)

14. POPIS PROGRAMU PRO PROCESOR

Jak jsem již uvedl výše, k programování jsem využil AVRstudio4 s kompilátorem WinAVR. V programu byly použity knihovny `avr/io.h`, `stdio.h`, `stdlib.h`, `string.h`, `util/delay.h`, které umožňují jednoduchými příkazy (funkcemi) nastavování registrů, bran, výpočty, používat zpoždění. Jsou to knihovny, které jsou součástí programu. Je zde i v kapitole o LCD popsána knihovna `lcd_lib.h` pro ovládání displeje.

V celém programu jsou použity neznamínkové datové typy. Pokud je to možné tak 8-bitový typ `uint8_t`, když je to nutné tak 16ti-bitový (`uint_16t`) nebo 32ti-bitový (`uint_32t`). Čím jednodušší datový typ, tím méně je procesor zatěžován. Další úsporou výkonu procesoru je používání výpočtů bez desetinných míst.

Na začátku programu je definováno jaký krystal používá procesor, dále hodnoty pro sériovou komunikaci – rychlost a její přepočítání pro registr UBRR.

V hlavním programu `main()` jsou vytvořeny a naplněny potřebné proměnné. Následuje volání inicializačních funkcí pro USART a display. Je také vypnuto blikání kursoru na displeji. Dále se zde nastavuje AD převodník, jak bylo popsáno výše. Pak už následuje nekonečný cyklus, ve kterém je vždy spuštěno měření a následně výsledek početně zpracován a zobrazen na displeji a poslán po sériové lince do PC. Výsledky jsou přitom zároveň doplněny o texty - o jaké napětí se jedná a jednotky. Zápis na display navíc rozlišuje počet mezer mezi znakem napětí „E=“ nebo „L=“ a samotnou hodnotou, podle toho kolik znaků hodnota má. Například pro 16 mV jsou před hodnotu vloženy dvě mezery. Tím dosáhneme stejné pozice čísla a jednotky pro různé počty cifer. Na spodní řádek je vyspán text, značící to v jaké části spektra se měřená vlnová délka nachází. Data odesílaná přes sériovou linku do PC, jsou opatřena příslušným znakem, tak aby na straně PC došlo k jejich rozpoznání viz kapitola 8.5. Pokud je hodnota mimo rozsah je místo číselné hodnoty poslán vykřičník. Tato kontrola probíhá při výpočtech, pokud nastane takový stav, je proměnné `error` změněna hodnota na 1 (normální stav je 0). Na závěr cyklu je

dáno zpoždění 300ms. To zajišťuje, aby hodnoty na displeji neblíkaly a bylo možno je přečíst.

Jednotlivé dílčí operace, měření, výpočty, zobrazování, přenosy, jsou řešeny jako funkce, a v hlavním programu dochází jen k jejich volání. Jednotlivé funkce popíší.

Funkce `mereni()` je napsána pro samotné měření. Aktivuje AD převodník a vždy po zavolání vymění vstup brány A 0 nebo 1, na kterém se bude měřit. Vždy tedy proběhne jedno měření na vstupu 0 a další na vstupu 1. Po té je ve funkci spuštěn cyklus 50 měření, která jsou zprůměrována. Funkce vrací již naměřenou hodnotu.

Další funkcí je `prumeruj()` slouží k průměrování napětí na D_1 a D_2 , průměr se využívá k výpočtu intenzity světla. Funkce vrací hodnotu průměru.

Třetí funkce `USART_Init(void)` slouží k inicializaci sériové linky. Nastavuje registry pro ovládání USART.

Čtvrtá `USART_Transmit(uint8_t u8Data)` již zprostředkovává samotný přenos jednoho znaku přes sériovou linku. Pro poslání řetězce znaků je nutno vytvořit cyklus:

```
while(retezec[i]!='\0')USART_Transmit(retezec[i++]);
```

Hodnota i musí být na začátku rovna nule.

Pátá funkce `USART_Receive` umožňuje příjem dat po sériové lince. Vytvořil jsem ji, ale nakonec není využita.

Další výpočtovou funkcí je `prumeruj()`, ta vypočte poměr napětí na D_1 a D_2 . Podle vzorce:

$$pomer = \frac{2500 \cdot (U_{d1} - U_{d2})}{U_{d1} + U_{d2}} + 2500 \quad (9)$$

Z poměru se určí vlnová délka světla. K tomu slouží funkce `vlnuj()`. Tak na základě hodnoty poměru určí, do jakého z osmi intervalů poměr patří. A použije pro tuto část platnou lineární funkci pro výpočet hodnoty vlnové délky. Dále je v ní z hodnoty průměru spočtena intenzita světla v Luxech. Je vypočtena vždy v mezích intervalu a podle poměru vzdálenosti od jednotlivých mezí je určena aktuální intenzita pro danou vlnovou délku.

15. PROVEDENÁ MĚŘENÍ

15.1 MĚŘENÍ K URČENÍ LINEÁRNÍCH ZÁVISLOTÍ A POSTUPY VÝPOČTŮ

Po oživení hardwaru, jsem udělat několik potřebných měření, bez kterých by se jen těžko dokončoval program, popsany v předchozí kapitole, který přepočítá naměřená napětí na hodnotu vlnové délky. Potřeboval jsem změřit průběhy obou napětí pro vlnové délky od 400nm do 1000nm při alespoň dvou různých intenzitách zvolil jsem intenzitu 100lx, při které s daným natavením je signál těsně před maximální hodnotou (myšleno velikost obou napětí). A další intenzitu 50lx pro ověření jsem změřil i třetí při 60lx. Všechny měření jsem prováděl pomocí monochromátoru v laboratoři VUT. Tento monochromátor umožňuje nastavení vlnové délky paprsku světla, který zařízení generuje. Popis jsem uvedl v první kapitole.

Natavování intenzit bylo ovšem trochu komplikované. Výstupem monochromátoru je paprsek o jedné vlnové délce, jde o světelný kužel s velmi malým prostorovým úhlem. Plocha, kterou tvoří dopadající světlo je na vstupu kruh s průměrem cca 1mm, ze vzdálenosti 50cm jde již o kruh o průměru cca 8mm. Tohoto jevu jsem využil při nastavování intenzity, stačilo modul, umístit do správné vzdálenosti, samozřejmě se jedná o intenzitu v luxech (viz kapitola 3.). Bohužel v laboratořích VUT nebyl k dispozici luxmetr, který by takto úzký paprsek změřil, Fresnelova čočka umístěna před samotný senzor luxmetru, má příliš velkou plochu (cca 3cm²). Ke určení intenzity jsem použil LED diody o příslušné vlnové délce a porovnal jsem hodnoty napětí měřených mým modulem při osvětlení monochromátorem a LED diodou. LED měla daleko větší prostorový úhel, proto se její intenzita dala luxmetrem již změřit.

Pomocí prvních měření jsem určil i hodnoty odporů R1 a R2 v měřicím zesilovači Obr.7, tak aby bylo měření kvalitní po celé šířce měřeného rozsahu. V grafu Obr.22 až 24 je zobrazeno měření při daných třech intenzitách paprsku. Tuto intenzitu jsem nastavoval změnou vzdálenosti od zdroje paprsku. V každém grafu jsou zobrazena obě napětí, a jejich vypočtený poměr a průměr.

V grafu Obr.25 jsou uvedeny všechny tři poměry průběhů napětí obou diod. Jejich poměr je totiž nezávislý na intenzitě světla. Výpočet je podle vzorce (9). V grafu je uvedena i jejich průměrná hodnota, podle které jsou vyjádřeny lineární závislosti v jednotlivých intervalech od 400nm do 1000nm s korkem 100nm. Nebo-li, průběh průměrné hodnoty poměrů je po částech lineární. V daných intervalech tedy vypočteme lineární rovnice, které pak použijí v programu:

$$\lambda = K \cdot pomer + q \quad (10)$$

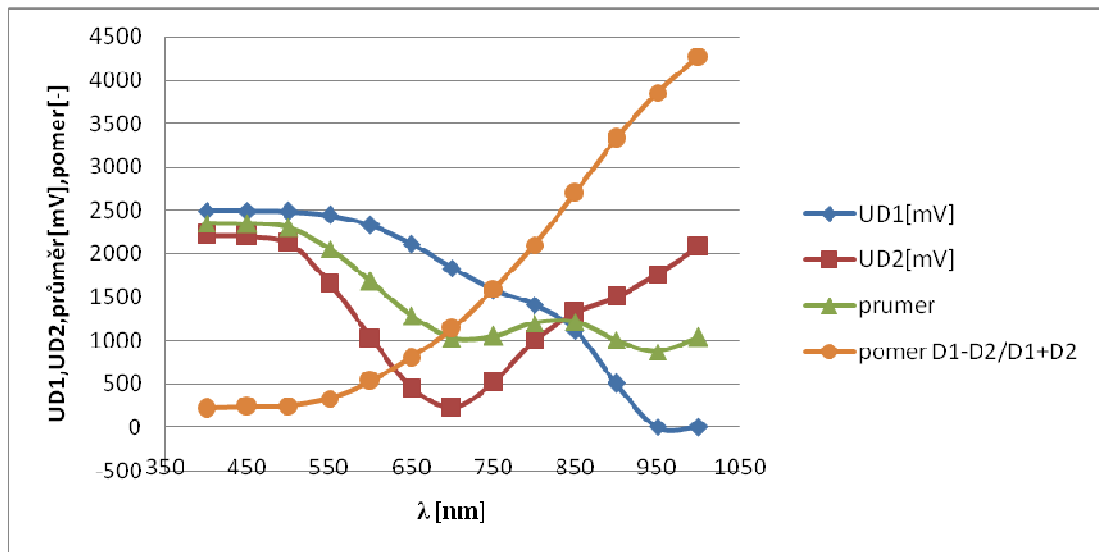
kde λ je vlnová délka [nm]
pomer je vypočten podle vzorce (9)
hodnoty K a q viz Tabulka 15.

V grafu Obrázek 20. Jsou zobrazeny průměry s nejvyšší a nejnižší intenzity světla, tedy při 100 a 50ti luxech. Pro každou hodnotu od 400nm do 1000nm s krokem 100nm je vypočtena lineární závislost, použitá v programu viz Tabulka 16. V této tabulce jsou odpovídající intervaly vlnové délky a průměru, a z nich vypočtené K a q pro lineární rovnici:

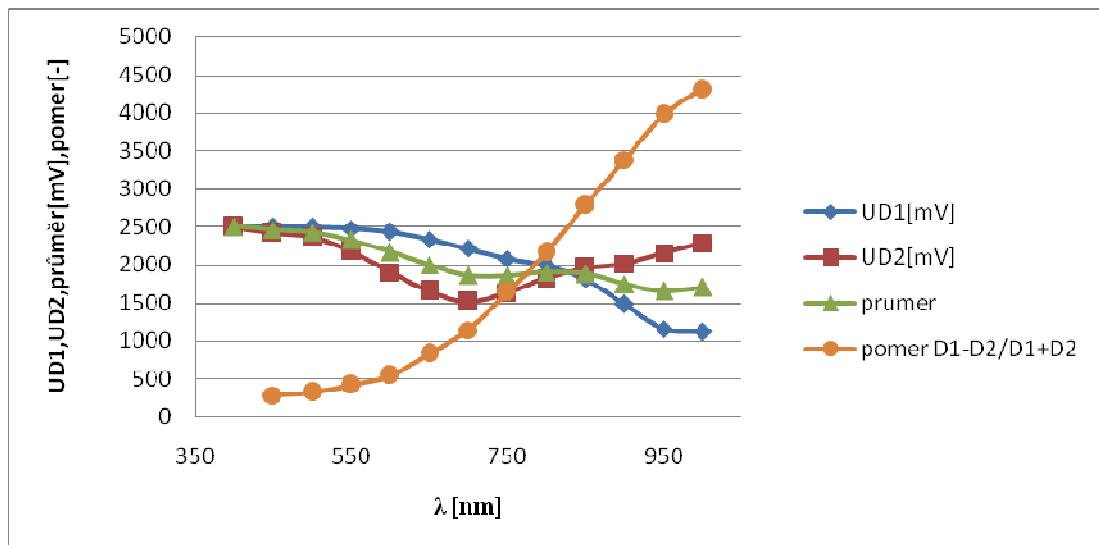
$$E = K \cdot prumer + q \quad (11)$$

kde E je intenzita [lx]
průměr napětí UD₁ a UD₂
hodnoty K a q viz Tabulka 16.

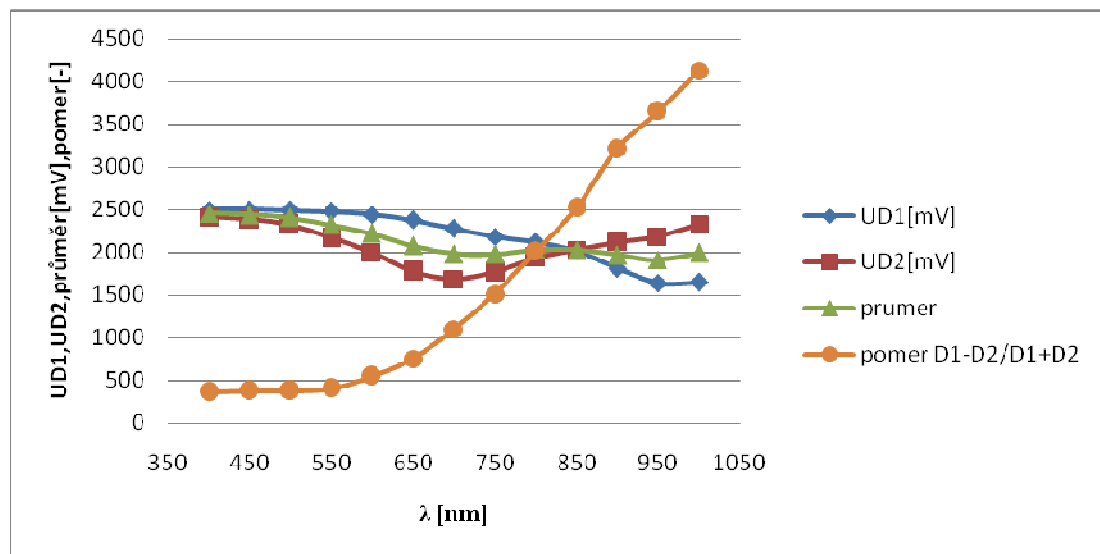
Tyto lineární rovnice jsou použity pro výpočty v programu.



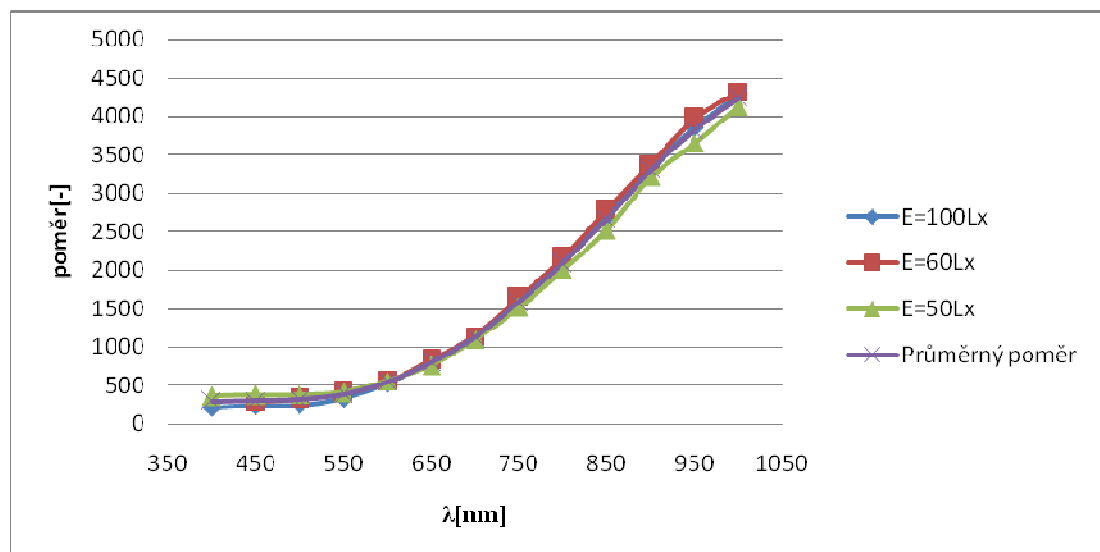
Obrázek 22: Průběhy napětí obou diod a jejich poměr při intenzitě $E1 = 100Lx$



Obrázek 23: Průběhy napětí obou diod a jejich poměr při intenzitě $E2 = 60 Lx$

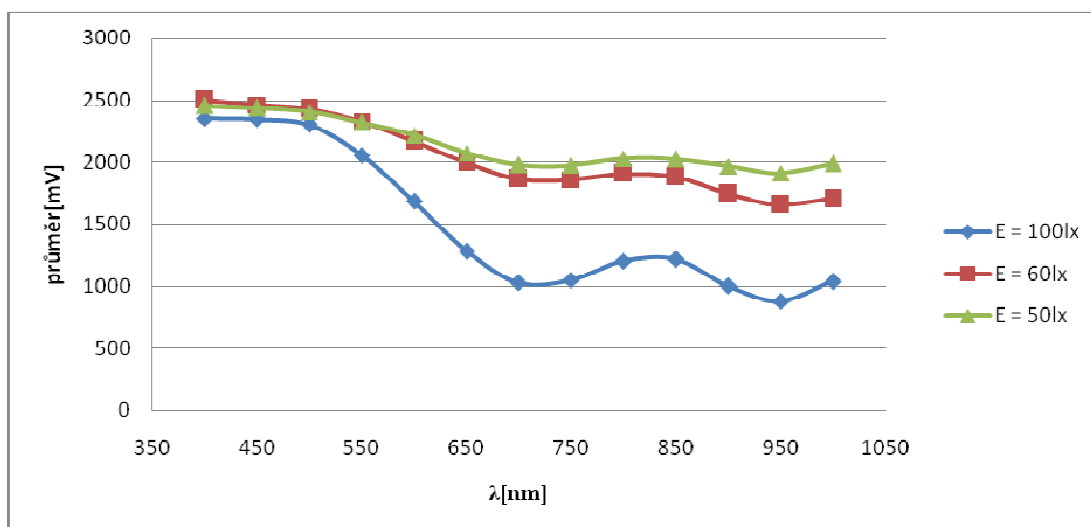


Obrázek 24: Průběhy napětí obou diod a jejich poměr při intenzitě $E3 = 50Lx$



Obrázek 25: Poměry průběhů napětí pro tři intenzity paprsku a jejich průměrná hodnota

Jak je vidět z grafu Obr.25 poměry z různých intenzit záření se překrývají. V oblasti 400 – 500nm je změna hodnot poměru velmi malá. V této oblasti bude měření nejméně spolehlivé.



Obrázek 26: Průběhy průměrů napětí UD1 a UD2 při různých intenzitách

Z průběhů průměrů napětí UD1 a UD2 (Obrázek 26.) je patrné, že jsou opravdu závislé na intenzitě světla. K výpočtu intenzity musíme nejprve znát vlnovou délku, kterou měříme. Jak jsem popsal v předchozí kapitole, v oblasti 400 – 1000nm je po kroku 100nm vypočtena lineární závislost průměru a intenzity světla, právě z hodnot zobrazených v grafu - Obrázek 26. Přesnou hodnotu intenzity určíme s hodnot hraničních vlnových délek. Hodnoty zesílení obou napětí z fotodiód jsou nastaveny tak, že modul je schopen měřit intenzitu do maximální hodnoty 120 lx. Tedy jen pro nízké osvětlení.

| interval vlnové délky | interval poměru | K | q |
|-----------------------|-----------------|----------|----------|
| 400-500nm | 288-315 | 3,703704 | -666,667 |
| 500-600nm | 315-543 | 0,438596 | 361,8421 |
| 600-700nm | 543-1126 | 0,171527 | 506,8611 |
| 700-800nm | 1126-2090 | 0,103734 | 583,195 |
| 800-900nm | 2090-3307 | 0,082169 | 628,2662 |
| 900-1000nm | 3307-4241 | 0,107066 | 545,9315 |

Tabulka 15: Hodnoty K a q pro výpočet vlnové délky pro jednotlivé intervaly

| vlnová délka | průměr při 50 lx | průměr při 100lx | K | q |
|--------------|------------------|------------------|----------|----------|
| 400 | 2456 | 2355 | -0,49505 | 1265,842 |
| 500 | 2406 | 2301 | -0,47619 | 1195,714 |
| 600 | 2220 | 1683 | -0,09311 | 256,7039 |
| 700 | 1981 | 1030 | -0,05258 | 154,1535 |
| 800 | 2029 | 1204 | -0,06061 | 172,9697 |
| 900 | 1968 | 1003 | -0,05181 | 151,9689 |
| 1000 | 1989 | 1040 | -0,05269 | 154,7945 |

Tabulka 16: Hodnoty K a q pro výpočet intenzity pro jednotlivé vlnové délky

Nejlépe výpočet vlnové délky a intenzity vysvětlím na příkladu. Budu postupovat přesně tak jak jsem napsal program. Viz funkce $vlnuj()$ v příloze na DVD.

Po změření UD_1 a UD_2 dojde k výpočtu poměru a průměru jejich hodnot. Náš příklad bude pro hodnoty:

$$\text{Poměr} = 680$$

$$\text{Průměr} = 1835$$

Podle hodnoty poměru zjistím že patří do intervalu odpovídající vlnové délce 600 – 700nm. V tomto intervalu platí pro výpočet rovnice:

$$\lambda = 0,171527 \cdot \text{pomer} + 507 \quad (12)$$

kde λ je vlnová délka [nm]

pomer je vypočten podle vzorce (9)

Vlnová délka tedy bude $\lambda = 624\text{nm}$

Pro výpočet intenzity nejprve vypočítám intenzitu v hranicích intervalu tedy v 600 a v 700nm. Pro 600nm platí rovnice:

$$E = -0,09311 \cdot \text{prumer} + 257 \quad (13)$$

kde E je intenzita [lx]

průměr napětí UD_1 a UD_2

A pro 700nm:

$$E = -0,05258 \cdot \text{prumer} + 154 \quad (14)$$

$$E_{600} = 86 \text{ lx}$$

$$E_{700} = 58 \text{ lx}$$

Výslednou intenzitu spočítám podle vzorce:

$$E = \frac{((h_mez - \lambda) \cdot E_{d_mez}) + ((\lambda - d_mez) \cdot E_{h_mez})}{(h_mez - \lambda) + (\lambda - d_mez)} \quad (15)$$

kde h_mez je horní mez intervalu vlnové délky [nm]

d_mez je dolní mez intervalu vlnové délky [nm]

E_{d_mez} je intenzita v dolní mezi [lx]

E_{h_mez} je intenzita v horní mezi [lx]

λ je vlnová délka [nm]

Dosadím:

$$E = \frac{((700 - 624) \cdot 86) + ((624 - 600) \cdot 58)}{(700 - 624) + (624 - 600)}$$

$$E = 79 \text{ lx}$$

16. ZÁVĚR

Výsledkem mé práce je modul pro měření vlnové délky a intenzity světla, který měřené údaje zobrazuje na integrovaném displeji a zároveň v jednoduchém textovém řetězci odesílá do PC. Modul je vybaven i akumulátorem, pro který je integrována nabíječka.

Celý modul je řízen mikroprocesorem AVR ATmega32, který se stará o měření a zpracování hodnot výstupních napětí z čidla WS-7.56-TO5. Program pro tento procesor je napsán v jazyce C. Modul je připojen k PC přes sběrnici USB. Protože mikroprocesor má implementováno sériové rozhraní, využil jsem obvod FT232, který emuluje virtuální sériový port. Pro PC jsem vytvořil program, který data rozpozná a zobrazí. Tento program je napsán ve Visual Basicu.

Modul je schopen měřit vlnové délky od 400nm do 1000nm. V nejvyšší přesnost má obvod v oblasti 700 – 900nm naopak nejmenší přesnost je v oblasti světla 400 – 600nm. Intenzitu dokáže modul měřit do 120 luxů. Tedy jen pro mírné osvětlení.

Vedlejším výsledkem práce je i univerzální komunikační modul s obvodem FT232, jde o sériový port s logickými úrovněmi TTL. A také vývojový kit s procesorem ATmega32. Univerzální je i ovládací knihovna v jazyce C pro ovládání displejů s řadičem HD44780.

17. LITERATURA

- [1] PUNČOCHÁŘ , Josef. Operační zesilovače v elektronice. [s.l.] : BEN, c2002. 496 s.
- [2] BURKHARD , Kainka . [9] Elektronika s podporou PC . 1. vyd. [s.l.] : HEL, c2004. 184 s.
- [3] BARTONÍK, Leoš . Elektronika, PC a Visual Basic : Programování a přístup na COM port 232 [online]. 2008 [cit. 2009-01-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.electroweb.wz.cz/jakna232.html>>.
- [4] Wikipedia : Otevřená encyklopedie [online]. 2001-2009 [cit. 2008-12-28]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavní_strana>.
- [5] REICHL, Jaroslav. Měření vlnové délky světla [online]. 2008 [cit. 2008-12-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.rvp.cz/clanek/6/2119>>.
- [6] VÁCLAVÍK, Radek . HW.CZ [online]. [1999] [cit. 2009-05-18]. Dostupný z WWW: <<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Konstrukce/ART656-Rychlonabijecka-NiMH-akumulatoru-s-MC-33340.html>>.
- [7] ATMEL CORPORATION [online]. 2009 [cit. 2009-01-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.atmel.com/>>.
- [8] ATMEL CORPORATION. ATMEGA32 datasheet. [s.l.] : [s.n.], c2003. 19 s.
- [9] FTDI. FT232R USB UART IC datasheet. [s.l.] : [s.n.], 2008. 40 s
- [10] FTDI chip [online]. 2009 [cit. 2009-01-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.ftdichip.com/>>.
- [11] PACIFIC SILICON SENSOR. WS-7.56-TO5 datasheet. [s.l.] : [s.n.], 2008. 2 s.
- [12] TEXAS INSTRUMENTS. TLC2272 datasheet. [s.l.] : [s.n.], c2004. 48 s
- [13] GME. ATM1602B - displej [online]. 2009 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/513/513-109/dsh.513-109.1.pdf>.

- [14] Ovládání znakových LCD s řadičem HD44780 [online]. 2007 ,
11.3.2007 [cit. 2009-01-06]. Dostupný z WWW:
<<http://www.elektronika.kvalitne.cz/ATMEL/necoteorie/LCDmatice.html>>.
- [15] KARAS, Ondřej. Kvetakov.net : články AVR [online]. 2006-2008 [cit.
2009-01-05]. Dostupný z WWW:
<<http://www.kvetakov.net/clanky/avr>>.
- [16] Střední škola spojů a informatiky, Tábor [online]. 2007 [cit. 2009-05-
18]. Dostupný z WWW:
<<http://www.sous.cz/soubory/esf1/download/nabijec.pdf>>.
- [17] Hercules SETUP utility [online]. 2009 [cit. 2009-06-25]. Dostupný z
WWW: <http://www.hw-group.com/products/hercules/index_en.html>.

18. SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výpočet hodnot součástí pro nabíječku
- Příloha 2 Schémata, desky plošných spojů 1:1, plány osazení a seznamy součástí
- a) Vývojový kit AVR
 - b) Komunikační modul s FT232
 - c) Kompletní modul pro měření vlnové délky

PŘÍLOHA 1 – VÝPOČET HODNOT SOUČÁSTEK PRO NABÍJEČKU

Příklad výpočtu pro dva články s kapacitou 1400mAh, napětí zdroje 9V a dobu nabíjení v rychlém režimu 4 hodiny:

Napětí zdroje: $U_{in} = 9V$

Napětí akumulátoru (n = počet článků): $U_{aku} = 5 * 1,2 = 6V$

Kapacita akumulátoru: 1400 mAh

Nabíjecí proud v udržovacím režimu: $I_u = 0,04 * 1400 = 56 \text{ mA} = 0,056 \text{ A}$

Hodnota rezistoru R5: $R_5 = (9 - 6 - 0,5) / 0,056 = 44,65 \Omega$

Doba rychlého nabíjení (max. 4,5 hod.): 4 hodiny

Nabíjecí proud v rychlém režimu: $I_f = 1,1 * 1400 / 4 = 385 \text{ mA} = 0,385 \text{ A}$

Hodnota rezistoru R6: $R_6 = 1,25 / 0,385 = 3,25 \Omega$

Napětí VSEN volíme: $V_{SEN} = 1,5 \text{ V}$

Výpočet děliče R1, R2: $R_2 = 47 \text{ k}\Omega$

$R_1 = 47 * (6 / 1,5 - 1) = 141 \text{ k}\Omega$

Vypočítané hodnoty rezistorů zaokrouhlíme na nejbližší vyráběné hodnoty z řady, tj.

$R_1 = 141 \text{ k}\Omega$

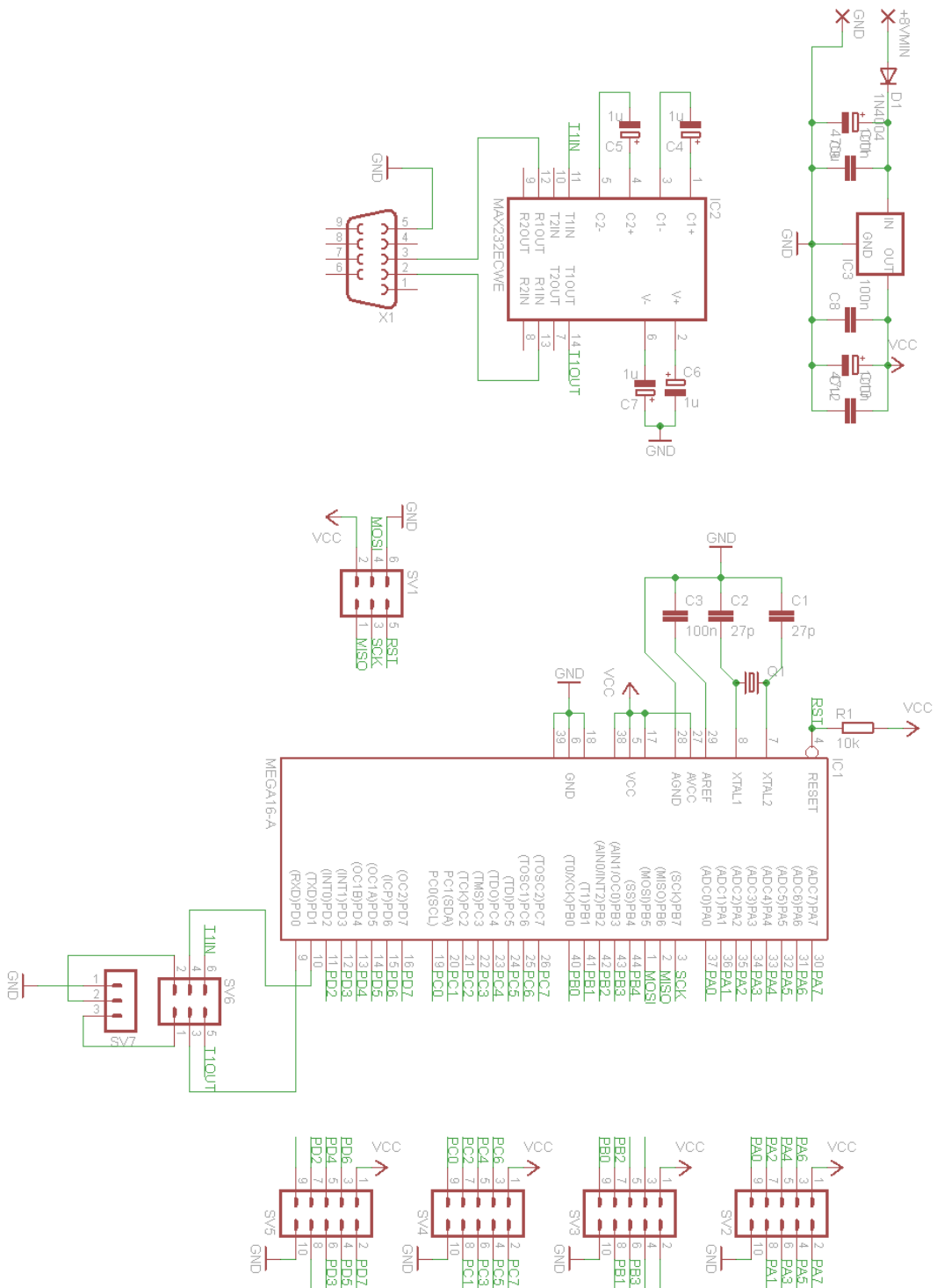
$R_2 = 47 \text{ k}\Omega$

$R_5 = 39 \Omega / 2W$ (zaokrouhlíme raději dolů)

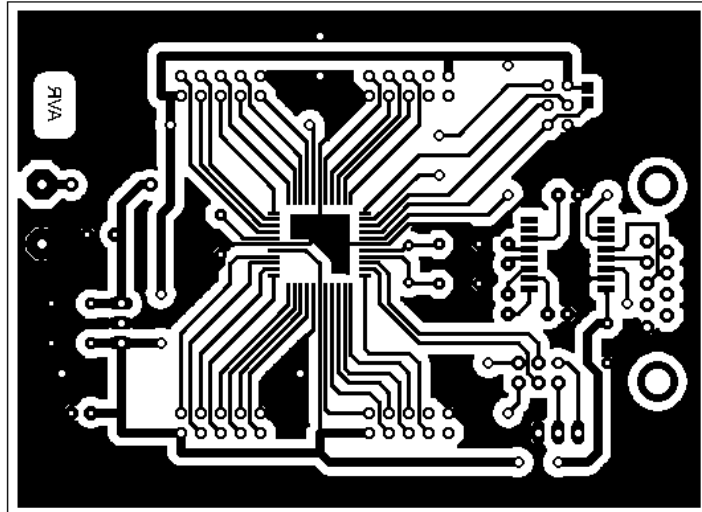
$R_6 = 3,3 \Omega / 2W$

PŘÍLOHA 2 – SCHÉMATA, DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ 1:1, PLÁNY OSAZENÍ A SEZNAMY SOUČÁSTEK

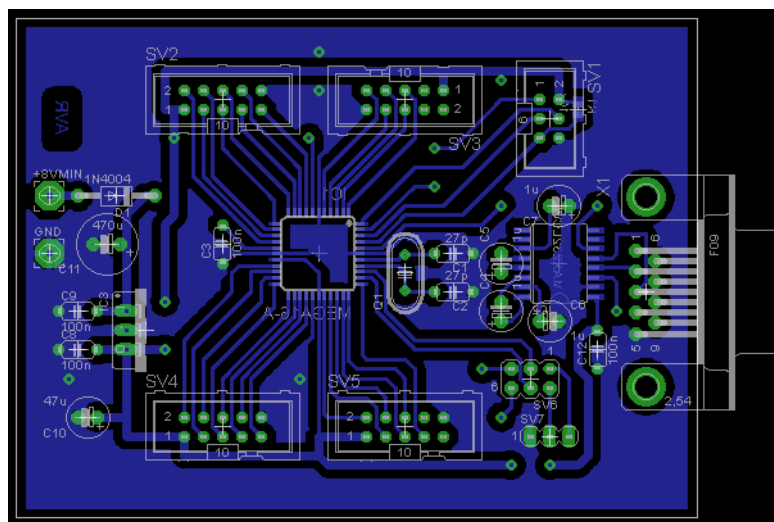
a) Vývojový kit AVR



Obrázek 27: Schéma vývojového kitu s AVR ATmega32



Obrázek 28: DPS vývojového kitu s AVR ATmega32

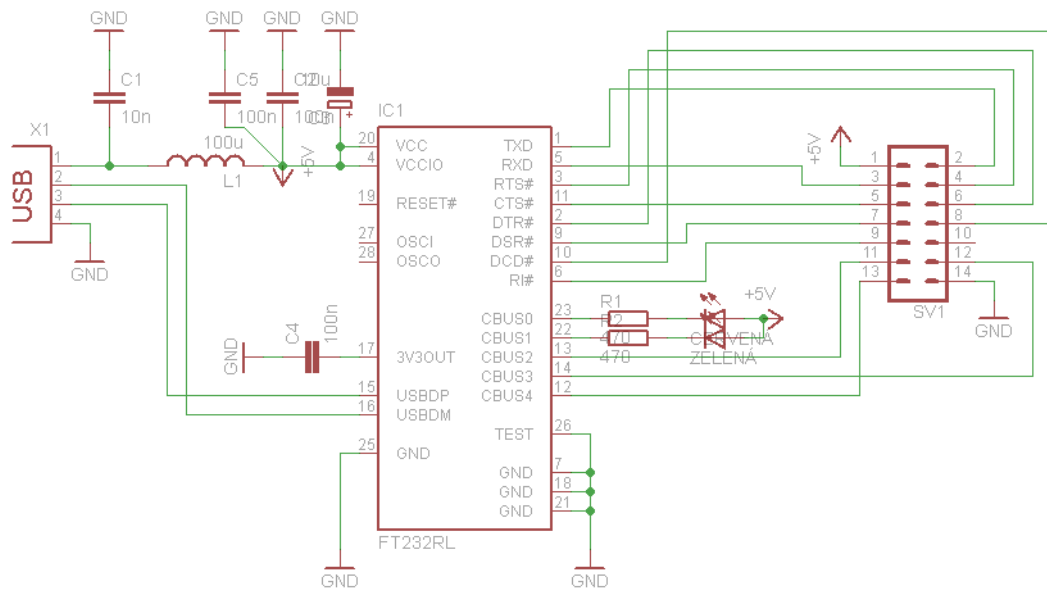


Obrázek 29: Plán osazení vývojového kitu s AVR ATmega32

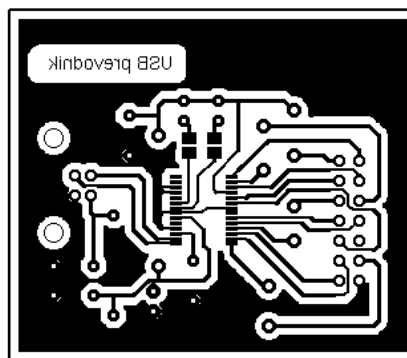
Seznam součástek vývojového kitu s AVR ATMega32:

| Název | Hodnota | Pouzdro |
|-------|------------|--------------|
| C1 | 27p | C050-024X044 |
| C2 | 27p | C050-024X044 |
| C3 | 100n | C050-024X044 |
| C4 | 1u | E2,5-6 |
| C5 | 1u | E2,5-6 |
| C6 | 1u | E2,5-6 |
| C7 | 1u | E2,5-6 |
| C8 | 100n | C050-024X044 |
| C9 | 100n | C050-024X044 |
| C10 | 47u | E2,5-6 |
| C11 | 470u | E3,5-8 |
| C12 | 100n | C050-024X044 |
| D1 | 1N4004 | DO41-10 |
| IC1 | MEGA16-A | TQFP44 |
| IC2 | MAX232ECWE | SO16L |
| IC3 | | 78XXS |
| Q1 | | HC49U-V |
| R1 | 10k | R0805 |
| SV1 | | ML6 |
| SV2 | | ML10 |
| SV3 | | ML10 |
| SV4 | | ML10 |
| SV5 | | ML10 |
| SV6 | | MA03-2 |
| SV7 | | MA03-1 |
| X1 | | F09HP |

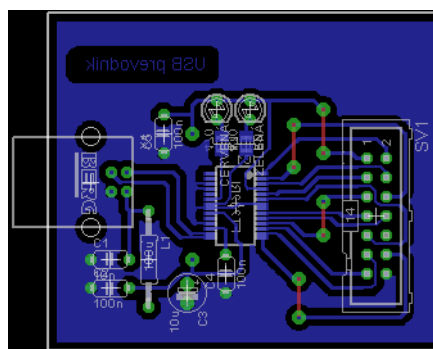
b) Komunikační modul s FT232



Obrázek 30: Schéma komunikačního modulu s FT232



Obrázek 31: DPS komunikačního modulu s FT232

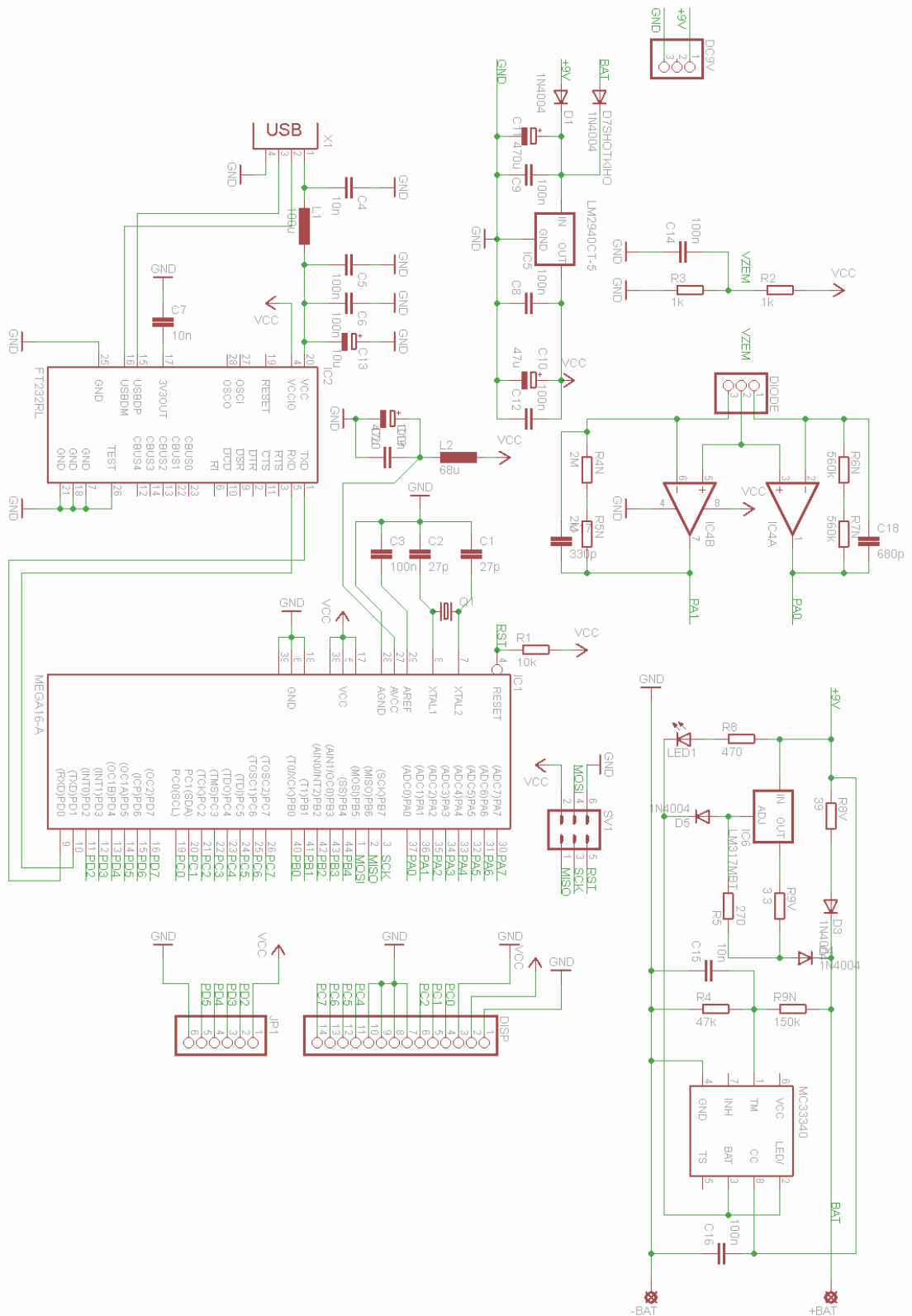


Obrázek 32: Plán osazení komunikačního modulu s FT232

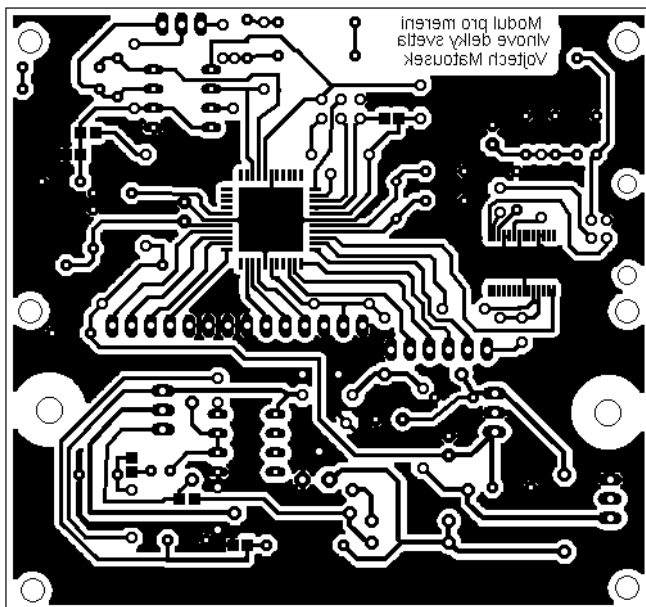
Seznam součástek komunikačního modulu s FT232:

| Název | Hodnota | Pouzdro | |
|---------|---------|--------------|--------|
| C1 | 10n | C050-024X044 | |
| C2 | 100n | C050-024X044 | |
| C3 | 10u | E2,5-5 | |
| C4 | 100n | C050-024X044 | |
| C5 | 100n | C050-024X044 | |
| IC1 | FT232RL | FT232RL | SSOP28 |
| L1 | 100u | 0207/12 | |
| R1 | 470 | M0805 | |
| R2 | 470 | R-EU_M0805 | M0805 |
| SV1 | | ML14 | |
| X1 | | PN61729 | |
| ZELENÁ | | LED3MM | |
| CERVENÁ | | LED3MM | |

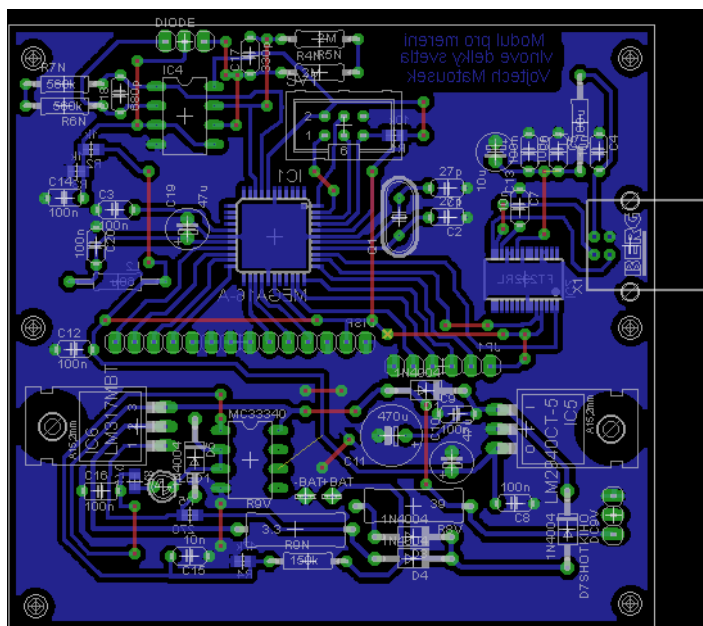
c) Kompletní modul pro měření vlnové délky



Obrázek 33: Schéma modulu měření vlnové délky a intenzity světla



Obrázek 34: DPS modulu pro měření vlnové délky a intenzity světla



Obrázek 35: Plán osazení modulu pro měření vlnové délky a intenzity světla

Seznam součástek komunikačního modulu s FT232:

| Název | Hodnota | Pouzdro |
|-------|-----------------|--------------|
| C1 | 27p | C050-024X044 |
| C2 | 27p | C050-024X044 |
| C3 | 100n | C050-024X044 |
| C4 | 10n | C050-024X044 |
| C5 | 100n | C050-024X044 |
| C6 | 100n | C050-024X044 |
| C7 | 10n | C050-024X044 |
| C8 | 100n | C050-024X044 |
| C9 | 100n | C050-024X044 |
| C10 | 47u | E2,5-6 |
| C11 | 470u | E3,5-8 |
| C12 | 100n | C050-024X044 |
| C13 | 10u | E2,5-5 |
| C14 | 100n | C050-024X044 |
| C15 | 10n | C050-024X044 |
| C16 | 100n | C050-024X044 |
| C17 | 330p | C050-024X044 |
| C18 | 680p | C050-024X044 |
| C19 | 47u | E2,5-6 |
| C20 | 100n | C050-024X044 |
| D1 | 1N4004 | DO41-10 |
| D3 | 1N4004 | DO41-10 |
| D4 | 1N4004 | DO41-10 |
| D5 | 1N4004 | DO41-10 |
| D7 | SHOTKIHO 1N4004 | DO41-10 |
| DC9V | | 1X03 |
| DIODE | | 1X03 |
| DISP | | 1X14 |
| IC1 | MEGA16-A | TQFP44 |
| IC2 | FT232RL | SSOP28 |
| IC4 | 2AMP_P8+4N | DIL08 |

| | | |
|---------|------------|----------|
| IC5 | LM2940CT-5 | 78XXL |
| IC6 | LM317MBT | TO220L1 |
| JP1 | PINHD-1X6 | 1X06 |
| L1 | 100u | 0207/12 |
| L2 | 68u | 0207/12 |
| LED1 | | LED3MM |
| MC33340 | | DIL08 |
| Q1 | | HC49U-V |
| R1 | 10k | R0805 |
| R2 | 1k | R0805 |
| R3 | 1k | R0805 |
| R4 | 47k | R0805 |
| R4N | 2M | 0207/10 |
| R5 | 270 | R0805 |
| R5N | 2M | 0207/10 |
| R6N | 560k | 0207/10 |
| R7N | 560k | 0207/10 |
| R8 | 470 | R0805 |
| R8V | 39 | P0613/15 |
| R9N | 150k | 0207/10 |
| R9V | 3.3 | P0613/15 |
| SV1 | | ML6 |
| X1 | | PN61729 |