

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Modul pro řízení klimatických podmínek ve skleníku

Plzeň, 2012

Václav Vomáčka

Abstrakt

Tato diplomová práce je zaměřena na návrh modulu pro řízení klimatických podmínek ve skleníku s masožravými kytkami. Jsou zde popsána použitá čidla pro měření teploty, vlhkosti a intenzity osvětlení. Na základě dat, posbíraných z těchto čidel, je navržen algoritmus pro řízení klimatických podmínek podle předem stanovených hodnot. Naměřené hodnoty jsou zobrazovány na displeji.

Klíčová slova

Vlhkost, teplota, osvětlení, Atmega16, masožravé rostliny, řízení, Peltierův článek, elektronický startér, fotodioda, I2C, sběrnice, SHT11, BPW21

Abstract

The master thesis is focused on the design module which controls the climatic conditions in greenhouse with carnivorous plants. Here are described sensors for measuring temperature, humidity and intensity of light. The algorithm is designed to control climate conditions according to predefined values, based on data collected from these sensors. Measured values are presented on the display.

Key words

Humidity, temperature, lighting, ATmega16, carnivorous plants, control, Peltier, electronic starter, photodiode, I2C, SHT11, BPW21

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni _____

Podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Kamilu Kosturikovi, Ph.D. za velmi cenné profesionální rady a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Adamu Velebovi, za poskytnutí cenných rad ohledně pěstování masožravých rostlin a také svým rodičům za podporu a spoluúčast na financování projektu.

Obsah

Úvod	1
1 Principy měření veličin	2
1.1 Vlhkost	2
1.1.1 Základní vlhkostní veličiny	2
1.1.2 Metody měření vlhkosti	3
1.2 Teplota	6
1.2.1 Metody měření teploty	6
1.3 Intenzita osvětlení	7
1.3.1 Metody měření intenzity osvětlení	7
2 HW řešení modulu	9
2.1 Mikrokontrolér Atmel AVR ATmega16	9
2.2 LCD displej DEM16481	10
2.3 Čidlo SHT11	12
2.3.1 Parametry SHT11	12
2.3.2 Blokové schéma zapojení SHT11	13
2.3.3 Měření veličin	13
2.4 Fotodioda BPW21	14
2.5 Peltierův článek	15
2.6 Programátor STK500v2	16
2.7 Výběr HW	16
3 Návrh funkčních bloků	17
3.1 Luxmetr	17
3.1.1 Blokové schéma luxmetru	17
3.2 Měřící modul	20
3.2.1 Schéma a deska plošného spoje	20
3.3 Elektronický zářivkový předřadník	21
3.3.1 Blokové schéma elektronického předřadníku	22
3.4 Chladicí a rosící modul	24
3.4.1 Blokové schéma chladicího okruhu	24
3.4.2 Blokové schéma rosícího okruhu	26

4 SW řešení modulu	27
4.1 Použitý software	27
4.2 Program pro ovládání modulu	28
4.2.1 Vývojový diagram	28
4.2.2 Program pro měření vlhkosti a teploty	29
4.2.3 Program pro měření intenzity osvětlení	31
Závěr	34
Přílohy	43

Seznam obrázků

1.1	Vlasový senzor vlhkosti	3
1.2	Odporový senzor vlhkosti	4
1.3	Princip psychrometru	5
1.4	Princip zrcadlové metody měření rosného bodu	5
1.5	Intenzita osvětlení	7
1.6	Princip uspořádání fotodiody	8
2.1	Atmel ATmega16 TQFP	9
2.2	LCD displej DEM16481	11
2.3	Sensirion SHT11	12
2.4	Blokové schéma zapojení SHT11	13
2.5	Fotodiody BPW21 - závislost výstupního proudu na osvětlení	14
2.6	Peltierův článek	15
2.7	Struktura Peltierova článku	15
3.1	Blokové schéma luxmetru	17
3.2	Převodník proudu na napětí	18
3.3	Časový diagram digitálního potenciometru MAX5401	19
3.4	Schéma měřicího modulu	20
3.5	Deska plošného spoje měřicího modulu (velikost 2:1)	20
3.6	Konstrukce měřicího modulu	21
3.7	Blokové schéma elektronického předřadníku	22
3.8	Konstrukce elektronického předřadníku v1.0	24
3.9	Blokové schéma chladicího okruhu	24
3.10	Blokové schéma rosícího okruhu	26
3.11	Konstrukce chladicího modulu	26
4.1	Vývojový diagram pro měření vlhkosti	29
4.2	Start sekvence SHT11	30

Seznam tabulek

2.1	Číslování pinů displeje DEM16481	11
2.2	Instrukční popis řadiče HD44780	11
2.3	Parametry čidla SHT11	12
2.4	Signály potřebné pro ISP	16

Seznam symbolů

I2C	Inter-Integrated Circuit	Poloduplexní sériová sběrnice
LCD	Liquid Crystal Display	Displej z tekutých krystalů
SPI	Serial Peripheral	Sériové periferní rozhraní
ITS	International Temperature Scale	Mezinárodní teplotní stupnice
RISC	Reduced Instruction Set Computer	Mikroprocesor s redukovanou instrukční sadou
JTAG	Join Test Action Group	Architektura pro testování plošných spojů
ISP	In System Programming	Programování přímo v aplikaci
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory	Elektricky mazatelná programovací paměť
SRAM	Static Random Access Memory	Statická paměť
PWM	Pulse Width Modulation	Pulsně šířková modulace
USART	Universal Synchr/Asynchr Receiver and Transmitter	Synchronní/asynchronní sériové rozhraní
SCK	Serial Clock	Sériový hodinový signál
ACK	Acknowledge	Potvrzovací bit
FTDI	Future Technology Devices International	Převodník USB-RS232
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová sběrnice
LSB	Least Significant Bit	Nejméně významný bit
MSB	Most Significant Bit	Nejvýznamnější bit
NTC	Negative Temperature Coefficient	Negativní termistor
PTC	Positive Temperature Coefficient	Pozitivní termistor
MCU	Microcontroller	Mikrokontrolér

Úvod

Projekt návrhu plně automatizovaného skleníku pro masožravé rostliny vznikl v roce 2011 při návštěvě botanické zahrady v Praze. Každý pěstitel se svým masožravým rostlinám snaží zajistit autentické klimatické podmínky, které mají ve své domovině. Ne vždy se to však povede. Velké procento pěstitelů končí u časového spínače pro osvětlení, ručního rosení a teplotu neřeší vůbec. Já jsem se rozhodl jít cestou plně automatizovaného skleníku.

Skleníkem je speciálně navržená 63 litrová vitrína o rozměrech 30x30x70 cm. Cílem práce je prostudovat různé možnosti snímání vlhkosti, teploty a osvětlení a zvolit vhodná čidla pro naměření těchto fyzikálních veličin. Bude potřeba vymyslet vhodné zakrytování a úpravu čidel, neboť budou neustále vystavena vysoké relativní vlhkosti vzduchu. Umístění čidel mimo vitrínu není přípustné vzhledem k nemožnému odměření požadovaných dat.

Pro zajištění plné automatizace je potřeba naměřená data zpracovat a vyhodnotit. Navržený řídicí modul by měl, na základě naměřených a požadovaných dat ve vitríně, udržet vhodné klima pro vysokohorské druhy masožravých rostlin. Mým požadavkem do budoucna je, aby se toto klima měnilo v závislosti na ročním období, a aby dokázalo simulovat reálné počasí, které se v domovině těchto rostlin vyskytuje - zataženo, slunečno, prodlužující se den, změna vlhkosti, ...

Kapitola 1

Principy měření veličin

Pro přesné získání požadovaných dat, potřebných k řízení našeho modulu, je důležitou součástí výběr vhodných senzorů. V této kapitole si nastíníme několik způsobů získání veličin, jako jsou vlhkost, teplota a osvětlení. Metod, jak změřit tyto veličiny, je nepřeberné množství. Měření vlhkosti je poměrně zajímavá problematika, proto si v této kapitole popíšeme několik způsobů, jak se k požadované veličině dostat. U měření teploty a osvětlení si popíšeme jednu, námi později použitou, metodu měření.

1.1 Vlhkost

Vlhkost vzduchu nám udává množství vodní páry v jednotkovém objemu vzduchu. K vyjádření vlhkosti je třeba znát teplotu a tlak měřené směsi, dále absolutní či relativní vlhkost a směšovací poměr či měrnou vlhkost. K měření vlhkosti se dnes používá celá řada metod, které se od sebe liší v závislosti na různých požadavcích jako je rychlost odezvy, citlivost, stabilita, odolnost vůči chemikáliím a v neposlední řadě na dostupných financích.

1.1.1 Základní vlhkostní veličiny

Absolutní vlhkost vzduchu Φ , neboli hustota vodní páry, je podíl hmotnosti vlhké páry m_v ku objemu vlhkého plynu V .

$$\Phi = \frac{m_v}{V} [gm^{-3}]$$

Relativní vlhkost vzduchu ϕ , neboli poměrná vlhkost, udává poměr aktuální množství vodní páry ve vzduchu m_v ku maximálnímu množství par ve vzduchu (plné nasycení) M při stejné teplotě a vlhkosti v procentech.

$$\phi = \frac{m_v}{M} * 100[\%]$$

Relativní vlhkost vzduchu lze vyjádřit i pomocí poměru aktuální absolutní vlhkosti vzduchu ku absolutní vlhkosti vzduchu při nasycení vodními parami Φ_n .

$$\phi = \frac{\Phi}{\Phi_n} * 100[\%]$$

Měrná vlhkost vzduchu χ udává podíl množství vodní páry m_v ku celkové hmotnosti vlhkého plynu m .

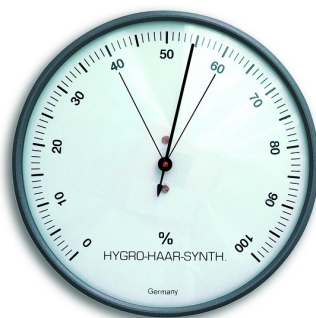
$$\chi = \frac{m_v}{m} \left[\frac{g}{kg} \right]$$

Teplota rosného bodu T je teplota, při které dojde k nasycení vzduchu vodními parami. Udává se při známém tlaku a teplotě vzduchu.

1.1.2 Metody měření vlhkosti

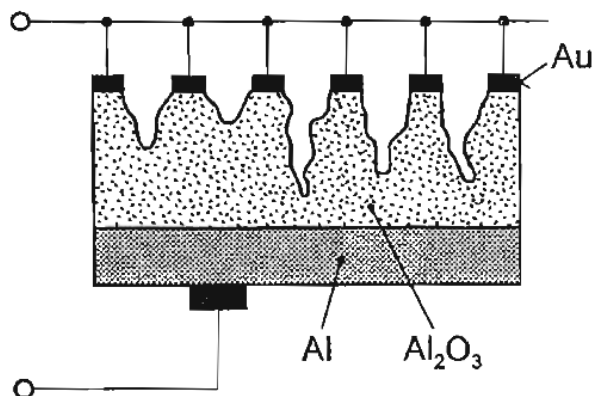
Sorpční metoda využívá změn fyzikálně-chemických vlastností materiálů, ke kterým dochází při sorpci či absorpci molekul vody. Mezi používané materiály při měření touto metodou patří roztoky hyroskopických solí nanesených na pórovitém nosném materiálu, směsi polymerů a další anorganické látky. Vlhkost může měnit elektrický odpor, kapacitu, hmotnost, teplotu či objem sorpčního materiálu. Tuto metodu měření vlhkosti využívá:

- **Dilatační senzor vlhkosti** neboli vlasový vlhkoměr, je historicky nejstarším zařízením pro měření vlhkosti. Jak je z názvu patrné, tento vlhkoměr využívá roztažnosti lidského odmaštěného vlasu. Lidský vlas má při změně relativní vlhkosti z 0% na 100% prodloužení až o 3%. Prodloužení vlasu je přeneseno pomocí vhodného pákového mechanismu na ručku měřicího přístroje. Toto měření není příliš přesné, ale je jednoduché.



Obrázek 1.1: Vlasový senzor vlhkosti

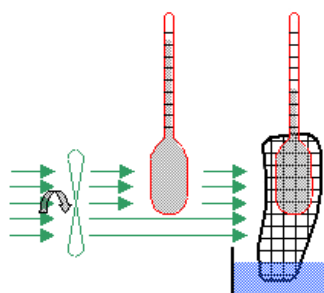
- **Odporový senzor vlhkosti** využívá změny elektrické vodivosti v závislosti na absorbované vlhkosti. Měření se provádí střídavým napětím, kvůli zamezení nežádoucí polarizaci elektrod. Senzor není vhodný pro vyšší teploty a je náchylný na kondenzaci vody na elektrodách. Je poměrně přesný a stabilní.



Obrázek 1.2: Odporový senzor vlhkosti

- **Kapacitní senzor vlhkosti** je principem velmi podobný odporovému senzoru vlhkosti. Je konstruován ze dvou elektrod, přičemž jedna je děrovaná. Mezi elektrodami je dielektrikum z polymeru, které absorbuje vlhkost z okolního prostředí skrz děrovanou elektrodu. Se změnou relativní vlhkosti o řádově 1% RH dochází ke změně kapacity o řádově 0,1% z celkové kapacity kondenzátoru. Závislost kapacity na vlhkosti je téměř lineární. Tyto senzory jsou poměrně přesné, nezávislé na teplotě a odolné vůči chemikáliím. Oblíbené jsou díky přijatelné ceně a výstup je často napěťový nebo číslicový.
- **Gravimetrický senzor vlhkosti** převádí vlhkost na hmotnost. Mějme absorpční látku, která ve vlhkém prostředí o známém objemu, pohlcuje molekuly vody a zvětšuje svou hmotnost. Tento přírůstek hmotnosti pak převedeme na vlhkost. Měření se používá hlavně v laboratorních podmínkách, převážně pro kalibraci jiných vlhkoměrů.

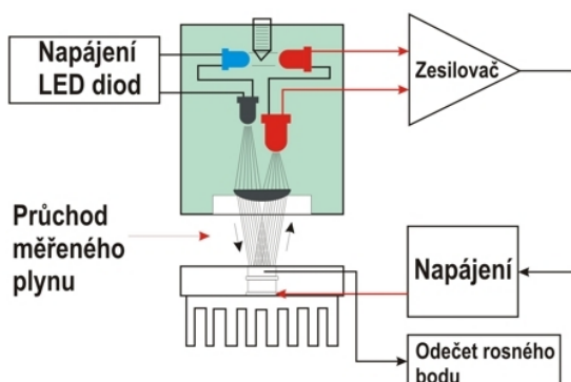
Psychrometrická metoda je založena na měření tzv. psychrometrického rozdílu teplot. Vlhkoměr je složen ze dvou teploměrů. První, suchý teploměr měří teplotu vzduchu. Druhý teploměr je obalen tkaninou namočenou ve vodě a odpařováním molekul vody z jeho těsné blízkosti dochází k odebrání výparného tepla, které způsobuje pokles měřené teploty.



Obrázek 1.3: Princip psychrometru

Čím větší bude relativní vlhkost vzduchu, tím více se bude voda na mokřém teploměru odpařovat a tím větší pokles teploty naměří. Naopak při 100% relativní vlhkosti vzduchu se voda z mokřého teploměru odpařovat nebude a rozdíl teplot bude nulový. Pro zvýšení přesnosti až na 1% musíme zajistit proudění měřeného vzduchu přes oba teploměry. Relativní vlhkost se zjistí odečtením z psychrometrických tabulek.

Zrcadlová metoda měření rosného bodu využívá senzoru vlhkosti, který se skládá ze zrcátka, ochlazovaného peltierovým článkem a z optického systému.



Obrázek 1.4: Princip zrcadlové metody měření rosného bodu

Pokud je teplota zrcátka menší než teplota měřeného vzduchu, zrcátko se orosí. Teplota, při které dojde k tomuto orosení se nazývá teplota rosného bodu. Pomocí optického systému a zpětné vazby je proud do Peltierova článku regulován tak, aby na zrcátku byla konstantní teplota rosného bodu. Problém u této metody je znečištění zrcátka, které pak zkresluje měřené údaje. Tento problém je často řešen pomocí indikace znečištění a automatického čištění zrcátka.

1.2 Teplota

Teplota je základní stavová veličina, která charakterizuje, zda dvě látky v tepelném kontaktu budou mezi sebou v tepelné rovnováze či nikoliv. Pro měření teploty používáme základní termodynamickou teplotní stupnici. Její počátek je absolutní nula, což je teplota trojného bodu. Trojný bod má teplotu $T_0 = 273,16 \text{ K} = 0,01 \text{ }^\circ\text{C}$, což je jediná teplota, při které můžeme vodu vidět v tuhém, kapalném a plyném skupenství. Termodynamická teplota se označuje $T[\text{K}]$, Celsiova teplota se označuje $t[^\circ\text{C}]$. Vztah mezi nimi je:

$$T = T_0 - t$$

Od roku 1927 se pro odečítání teploty používá teplotní stupnice ITS s pevně stanovenými body. Poslední verze stupnice, ITS-90, je z roku 1990 a má 17 přesně definovaných bodů. Podle této stupnice se kalibrují teplotní etalony.

1.2.1 Metody měření teploty

Teplotu můžeme měřit různými způsoby. Například využitím teplotní závislosti odporu na teplotě, teplotní závislosti napětí PN přechodu v propustném směru na teplotě, Seebeckova jevu, teplotní závislosti rezonančního kmitočtu křemenného výbrusu na teplotě, změně objemu látek vlivem teploty a další. Základní rozdělení senzorů teploty je v následujícím přehledu:

1. Dotykové měření teploty

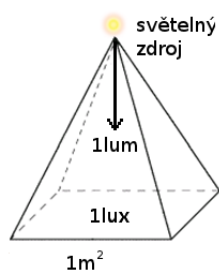
- Elektrické - odporové, polovodičové, termoelektrické, krystalové, ...
- Dilatační - bimetalové, plynové, kapalinové, ...
- Speciální - akustické, magnetické, teploměrné barvy, ...

2. Bezdotykové měření teploty

- Tepelné
- Kvantové

1.3 Intenzita osvětlení

Intenzita osvětlení E je definována jako plošná hustota světelného toku dopadajícího na plochu. Při světelném toku 1 lm dopadajícím na plochu o rozměru 1 m² je intenzita osvětlení 1 lux.



Obrázek 1.5: Intenzita osvětlení

1.3.1 Metody měření intenzity osvětlení

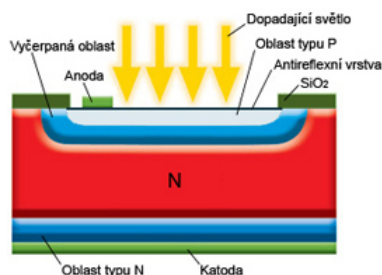
Intenzita osvětlení se měří luxmetrem, který se skládá z vhodného fotocitlivého prvku a vyhodnocovacího obvodu. Tím je zajištěn převod optického záření na elektrický signál. Použité fotočleny využívají vnitřního fotoelektrického jevu. Při absorpci elektromagnetického záření látkou dochází k emitování elektronů. Pokud emitované elektrony v látce zůstávají jako vodivostní a nejsou emitovány ven, mluvíme o vnitřním fotoelektrickém jevu. Mezi fotočleny, které využívají vnitřního fotoelektrického jevu, patří například fotorezistor, fotodioda a jiné. Principy těchto prvků jsou velmi podobné, a proto budou níže popsány pouze u fotodiody.

Důležitými parametry fotocitlivých prvků jsou citlivost, spektrální charakteristika, dynamické a šumové vlastnosti. Citlivost nám udává změnu elektrické veličiny při ozáření senzoru. Spektrální charakteristiku je důležité znát proto, že nám udává informaci citlivosti senzoru na určitou vlnovou délku. Dynamické vlastnosti nám určují, kolik informací je senzor schopný zpracovat za jednotku času, a šum nám omezuje citlivost.

Detektory optického záření můžeme rozdělit na:

1. Fotorezistory
2. Fotodiody
 - fotodioda, PIN fotodioda, Shottkyho fotodioda, lavinová fotodioda
3. Fototranzistory
 - unipolární, bipolární
4. Optrony
 - lineární optron, logický optron, optron s fotorezistorem

Fotodioda je speciálně upravená polovodičová součástka, do jejíž PN přechodu může pronikat světlo. Je citlivá na určitou vlnovou délku. Vliv osvětlení můžeme pozorovat v závěrné polarizaci diody, kdy s lineárně rostoucím osvětlením PN přechodu, lineárně roste anodový proud.



Obrázek 1.6: Princip uspořádání fotodiody

Fotodioda může pracovat v aktivním a pasivním režimu. V aktivním režimu je fotodioda schopná dodávat elektrický náboj. Při osvětlení PN přechodu vznikají páry elektron-díra a vzniklé elektrony se přesouvají do oblasti N a díry do oblasti P. To způsobí, že na vývodech fotodiody vznikne elektrický náboj, který pak můžeme měřit. V pasivním režimu je odpor fotodiody závislý na osvětlení. Po připojení fotodiody v závěrném směru ke zdroji, lze pomocí odporu měřit proud v závislosti na osvětlení. Citlivost na určitou vlnovou délku je zajištěna pomocí antireflexní vrstvy. Při použití Si je fotodioda citlivá v rozmezí 250 - 1100 nm. Použití sloučeniny GaAs nám zajistí citlivost až v infračervené oblasti.

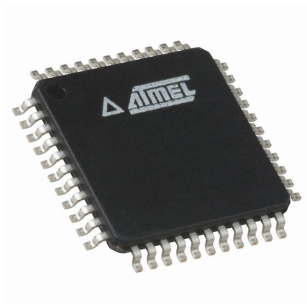
Kapitola 2

HW řešení modulu

V této kapitole budou popsány jednotlivé použité součástky, jako jsou například mikrokontrolér Atmel AVR ATmega16, LCD displej DEM16481, čidlo SHT11 a další. Budou vyzdviženy jejich důležité parametry, způsoby komunikace a možnosti připojení k řídicí jednotce.

2.1 Mikrokontrolér Atmel AVR ATmega16

Tento mikrokontrolér patří do rodiny osmibitových mikročipů architektury typu RISC podporujících JTAG a ISP. Sběrnice pro data a program a oddělené paměťové prostory ukazují na harvardskou koncepci. Tyto mikrokontroléry se vyrábějí jako 44 pinové v pouzdrech TQFP, QFN a 40 pinové v pouzdře PDIP. Atmel má na trhu verzi ATmega16L, který umí pracovat už od 2,7 - 5,5 V a při frekvenci 0 - 8 MHz. Spotřeba tohoto obvodu je při 1 MHz, 3 V a 25 °C pouze 1,1 mA, při nečinnosti 0,35 mA a při power-down módu se spotřeba pohybuje pod 1 μ A. V této práci je použita druhá verze ATmega16, jejíž pracovní napětí je 4,5 - 5,5 V a pracuje při frekvenci až 16MHz.



Obrázek 2.1: Atmel ATmega16 TQFP

Nejdůležitější parametry a vlastnosti mikrokontroléru ATmega16, vyňaté z data-sheetu, jsou uvedeny v následujícím přehledu:

1. Paměťové segmenty

- 16 kB Flash s 10000 cykly zápisu
- 512 B EEPROM se 100000 cykly zápisu
- 1 kB SRAM

2. Periferie

- 2x8b čítač/časovač s předděličkami a porovnávacím módem
- 1x16b čítač/časovač s předděličkou, porovnávacím a capture módem
- 4 PWM kanály
- 8 kanálový, 10b analogový komparátor
- USART
- Master/slave SPI
- Watchdog časovač
- Analogový komparátor

3. Speciální vlastnosti

- Vnitřní RC oscilátor
- Externí a interní zdroj přerušení
- 6 sleep módů

2.2 LCD displej DEM16481

Jako zobazovací prvek byl použit čtyřřádkový LCD displej se 16 znaky v každé řádce. Displej má standardní řadič HD44780.



Obrázek 2.2: LCD displej DEM16481

Komunikace s mikrokontrolérem může být 8b nebo 4b. Při 4b komunikaci jsou datové vodiče displeje 4 - 7 uzemněny a data se posílají na dvakrát. Nejprve horní 4b, které jsou následně potvrzeny impulsem Enable a poté spodní 4b, opět potvrzené Enablem. Vzhledem k dostatečnému množství I/O pinů u ATmega16 byla zvolena 8b komunikace, při které se všech 8b pošle najednou.

V tabulce 2.1 je znázorněné označení pinů displeje DEM16481.

PIN	Označení	Funkce	PIN	Označení	Funkce
1	V_{ss}	GND	6	E	clock
2	V_{dd}	2,7 - 5, 5V	7-14	DB0 - DB7	data 0-7
3	V_0	kontrast	L-	LED-	K
4	RS	ins/data	L+	LED+	A
5	R/W	čtení/zápis			

Tabulka 2.1: Číslování pinů displeje DEM16481

V tabulce 2.2 je instrukční popis řadiče HD44780. Bit I/D nastavuje posun kurzoru (0-vlevo, 1-vpravo) a SH posun textu (0-ne, 1-ano). Bit D zapne displej, bit C kurzor a bit B kurzor rozblíká. Pro jeden posun kurzoru či textu vpravo nebo vlevo použijeme kombinaci bitů S/C (0-kurzor, 1-text) a R/L (0-vlevo, 1-vpravo). Při inicializaci využijeme trojici bitů DL, N a F. V našem případě 8b komunikace (DL=0), čtyřřádkový řádkový displej (N=1) a font 5x8 pixelů (F=0). A bit BF nastavuje zda je příjem příznaku povolen (BF=0) či nikoliv (BF=1).

Instrukce	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
Smaž displej	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Kurzor na začátek	0	0	0	0	0	0	0	0	1	x
Posuny směrem	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	SH
Displej ON/OFF	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B
1 posun směrem	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	x	x
Inicializace	0	0	0	0	1	DL	N	F	x	x
Zápis do CGRAM	0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0
Zápis do DDRAM	0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0
Čtení příznaku BF	0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0
Zápis do RAM	1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Čtení z RAM	1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Tabulka 2.2: Instrukční popis řadiče HD44780

2.3 Čidlo SHT11

Čidlo od Sensirionu, SHT11, je inteligentní senzor vlhkosti a teploty. Při použití tohoto čidla nám odpadá otázka kalibrace, jelikož je toto čidlo již interně plně kalibrováno. SHT11 má číslicový výstup, výbornou tepelnou stabilizaci, lze ho napájet 2,4 - 5,5 V a je v smd pouzdře o velikosti 7,5 x 5 mm. Na čipu je vlastní senzor teploty a relativní vlhkosti, který využívá kapacitní metodu měření. Dále čidlo obsahuje 14b analogově digitální převodník, kalibrační paměť a I2C interface. Teplotu lze měřit 12b nebo 14b a relativní vlhkost 8b či 12b. Defaultní a námi používaný výstup je 12b pro relativní vlhkost a 14b pro teplotu.



Obrázek 2.3: Sensirion SHT11

2.3.1 Parametry SHT11

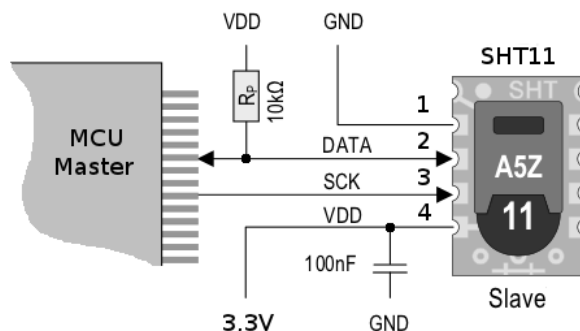
V následující tabulce jsou uvedeny parametry čidla, které odpovídají zvoleným parametrům v naší aplikaci.

Parametr	hodnota	jednotka
Vlhkost - přesnost	0,05	%RH
Vlhkost - rozlišení	12	bit
Vlhkost - rozsah	0 - 100	%
Teplota - přesnost	0,01	°C
Teplota - rozlišení	14	bit
Teplota - rozsah	-40 - 124	°C
Napájení U_{cc}	3,3	V
Odběr při sleep módu	0,3	μA
Odběr při měření	550	μA

Tabulka 2.3: Parametry čidla SHT11

2.3.2 Blokové schéma zapojení SHT11

Čidlo SHT11 využívá I2C komunikaci, s mikrokontrolérem je propojeno pomocí dvou vodičů - DATA a SCK. Mezi napájením a zemí by měl být blokovací kondenzátor o velikosti 100 nF. Pull-up rezistor není v našem případě použit, protože ATmega16 má vnitřní pull-up rezistory na všech I/O pinech.



Obrázek 2.4: Blokové schéma zapojení SHT11

2.3.3 Měření veličin

Pro úspěšné získání binárního čísla, odpovídající měřené veličině, musí být zajištěno vyslání určité sekvence příkazů a následné přepočítání přijatého binárního čísla na dekadickou hodnotu teploty či vlhkosti podle vzorce z datasheetu.

V příloze E je znázorněna měřící sekvence pro vlhkost. Na začátku je vyslána startovací sekvence. Po ní následuje 8b, přičemž první 3b jsou nastaveny do log0 a dalších 5b odpovídá adrese pro měření relativní vlhkosti. Po přijetí ACK od čidla začíná samotné měření. V datasheetu je uveden minimální čas měření 80 ms, v naší aplikaci funguje měření spolehlivě při minimálním čase 200 ms. Po tomto měření nám začne čidlo posílat data ve formátu 16b binárního čísla. Při měření vlhkosti s defaultním rozlišením 12b jsou první 4b vždy v log0. Následuje 12b číslo, které po přepočítání odpovídá dekadické hodnotě relativní vlhkosti.

Pro $U_{cc}=3,3$ V; 14b rozlišení teploty, 12b rozlišení vlhkosti vypadají vzorce pro přepočet tohoto binárního čísla takto:

1. Přepočet teploty

$$T = -39,65 + 0,01 * SO_T [^{\circ}C],$$

kde SO_T je binární hodnota čísla pro teplotu získaná z čidla.

2. Přepočet vlhkosti

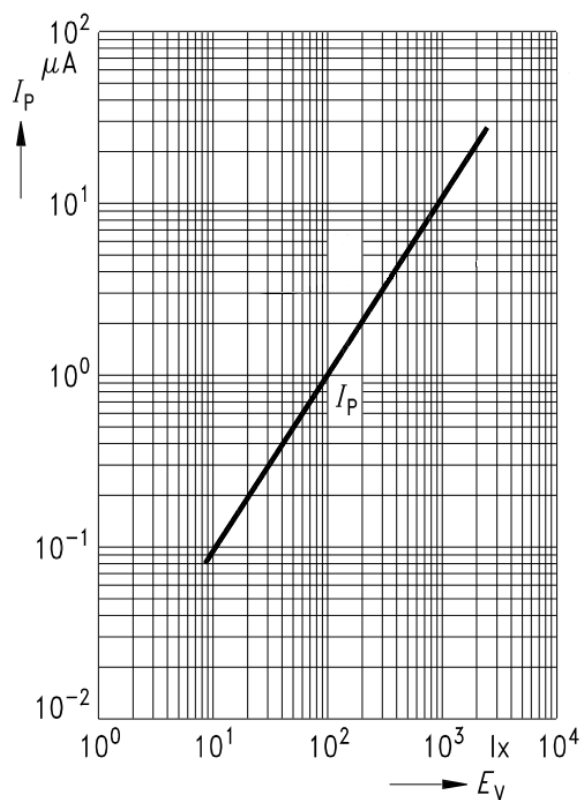
$$RH_{lin} = -2,0468 + 0,0367 * SO_{RH} - 1,5955E - 6 * SO_{RH}^2 [\%],$$

$$RH = (T - 25) * (0,01 + 0,00008 * SO_{RH}) + RH_{lin} [\%],$$

kde SO_{RH} je binární hodnota čísla pro vlhkost získaná z čidla, RH_{lin} je relativní vlhkost bez teplotní kompenzace a RH je relativní vlhkost s teplotní kompenzací.

2.4 Fotodioda BPW21

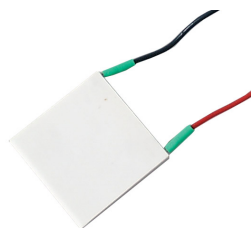
BPW21 je hermeticky uzavřená fotodioda s citlivostí ve viditelném pásmu 350 - 820 nm. Tyto dvě vlastnosti jsou ideální pro naši aplikaci, kdy bude fotodioda uvnitř vitríny vystavena neustále vysoké relativní vlhkosti a bude měřit intenzitu osvětlení u masožravých rostlin. BPW21 se vyznačuje velmi dobrou linearitou závislosti výstupního proudu na osvětlení.



Obrázek 2.5: Fotodioda BPW21 - závislost výstupního proudu na osvětlení

2.5 Peltierův článek

Peltierův článek nebo-li termoelektrická baterie využívá ke své funkci Peltierova a Seebeckova efektu. Seebeckův efekt je založen na tom, že pokud spojíme dva vodiče různých kovů do série a budou-li mít spoje různou teplotu, pak obvodem bude protékat proud. Pokud prochází stejnosměrný proud Seebeckovým obvodem, pak na obou spojích vodičů vzniká rozdíl teplot.



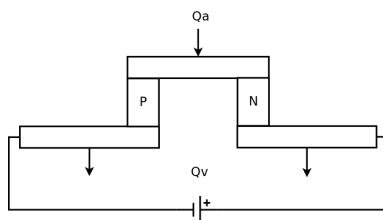
Obrázek 2.6: Peltierův článek

Použití Peltierova článku má několik výhod, ale i nevýhod. Výhodou je malá pořizovací cena obvodu, možnost malých rozměrů, tichý provoz, možnost hlubokého ochlazení, nemá žádné pohyblivé části a tak má velmi dlouhou životnost bez nutnosti jakékoliv údržby. Mezi nevýhody patří především poměrně nízká účinnost a potřeba odvodu velkého množství tepla. V našem případě je poměr:

$$\frac{P_t}{P_{ch}} = \frac{160}{89} = 1,798$$

Kde P_t je topící výkon a P_{ch} je chladící výkon.

Na následujícím obrázku je vidět struktura Peltierova článku. Skládá se ze dvou materiálů (typu P a typu N), nejčastěji z vizmutu a telluridu. Tyto materiály mají nízkou tepelnou vodivost a malý měrný elektrický odpor. Q_a je absorbované teplo a Q_v je vyzářené teplo. Pro získání velkých chladících výkonů se články skládají kaskádně.



Obrázek 2.7: Struktura Peltierova článku

2.6 Programátor STK500v2

Jedná se o programátor mikrokontroléru Atmel AVR s ISP rozhraním. Na programátoru je osazeno šest diod pro vizuální kontrolu jeho stavu. Jedna signalizuje napájení, další dvě přenos Tx a Rx. Čtvrtá dioda signalizuje aktivitu programátoru a dvě poslední se týkají napájení. Vizualizují velikost napájecího napětí pro aplikaci a zda je toto napětí nízké či nikoliv. Programátor je osazen převodníkem FTDI pro převod ze sběrnice RS232 na USB, kterou jsou vybaveny snad všechny dnešní PC. Pomocí programátoru lze aplikaci i napájet a to buď napětím 5 V a nebo 3,3 V. Odebíraný proud je omezený na 0,5 A, což je maximální proud, který je schopno dodat USB rozhraní.

Pro ISP se využívá SPI. Programátor lze s aplikací propojit, kromě napájení, pomocí čtyř vodičů, které jsou vyobrazeny v tabulce:

Označení	Funkce
MISO	Sériový vstup dat do mikrokontroléru
MOSI	Sériový výstup dat z mikrokontroléru
SCK	Sériové hodiny
\overline{RESET}	Reset mikrokontroléru

Tabulka 2.4: Signály potřebné pro ISP

2.7 Výběr HW

Výběr těchto komponent má své opodstatnění. Mikrokontrolér ATmega16 byl zvolen z důvodu předchozích zkušeností s podobným mikrokontrolérem od Atmelu a to ATmega8. Námi vybraný obvod má více IO pinů, což využijeme při měření veličin, ovládání prvků v systému a zobrazování informací na displeji. LCD panel 16x4 znaky byl použit proto, že měříme tři veličiny a uživatel tak nemusí pomocí externích tlačítek listovat, aby si vybral, co chce mít na displeji zobrazené. Takto jsou zobrazovány všechny tři měřené veličiny najednou. Čidlo SHT11 nám firma Sensirion zaslala jako vzorek. Výhodou je, že umí měřit teplotu i vlhkost, a tím nám odpadá nasazení třetího čidla. Fotodioda BPW21 je pro naši aplikaci vhodná proto, že je citlivá v oblasti viditelného záření a je hermeticky uzavřená. Proto může být dlouhodobě vystavena vysoké relativní vlhkosti. Požadavkem na celý systém byla co možná nejmenší úroveň hluku, proto byl jako chladič element použit Peltierův článek.

Kapitola 3

Návrh funkčních bloků

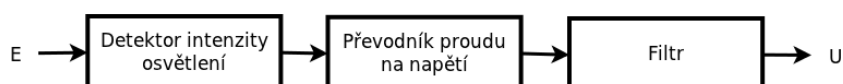
V této kapitole budou rozebrány jednotlivé funkční bloky, ze kterých se celý modul skládá. Mezi ně patří luxmetr, elektronický startér, měřicí modul a chladicí modul. Každý funkční blok bude znázorněn na blokovém schématu a popsán.

3.1 Luxmetr

Luxmetr je zařízení, které měří intenzitu osvětlení. Využívá k tomu fotocitlivých prvků, jejichž vlastnosti se mění se změnou osvětlení. V našem případě byla použita, jako detektor intenzity osvětlení, fotodioda BPW21, která má lineární závislost výstupního proudu na osvětlení.

3.1.1 Blokové schéma luxmetru

Mezi hlavní prvky luxmetru patří detektor intenzity osvětlení, převodník proudu na napětí a RC filtr. Kompletní schéma měřícího luxmetru je v příloze A.



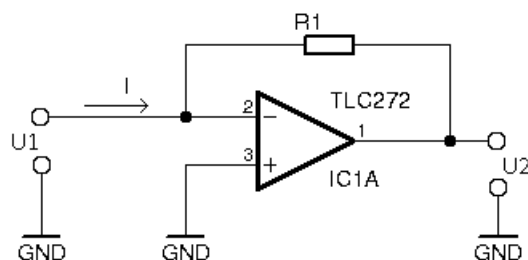
Obrázek 3.1: Blokové schéma luxmetru

Jak už bylo výše napsáno, jako **detektor intenzity osvětlení** je použita fotodioda BPW21, jejíž popis a vlastnosti jsou uvedeny v podkapitole 2.4.

Převodník I/U je tvořen jedním z dvojice operačních zesilovačů TLC272 (IC1A). Ten má velmi malý vstupní odpor, což je důležité pro lineární závislost proudu na intenzitě osvětlení. Zesílení je nastaveno zpětnovazebním digitálním odporem. Kondenzátor ve zpětné vazbě filtruje vysoké frekvence a zákmity, které se na fotodiodě můžou objevit. Tento získaný signál napětí je ještě filtrován jednoduchým RC článkem kvůli zamezení rychlých výkyvů.

Výpočet výstupního napětí U_2 , za I/U převodníkem, je podle vztahu:

$$U_2 = U_1 * I[V]$$



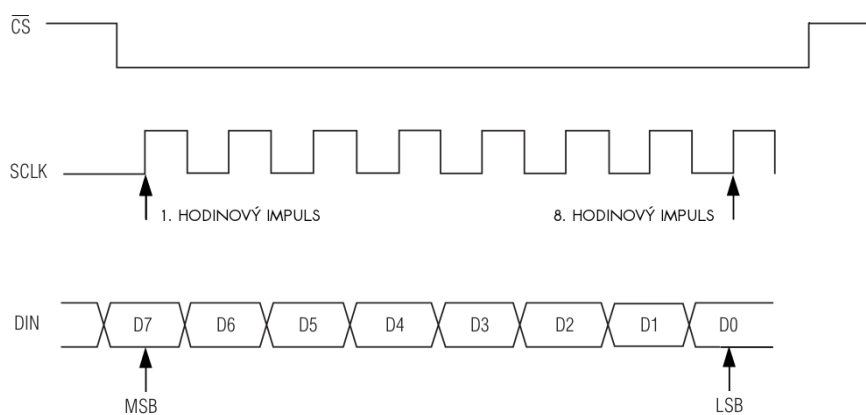
Obrázek 3.2: Převodník proudu na napětí

Digitální potenciometr MAX5401 byl použit z důvodu automatického nastavování rozsahů I/U převodníku pomocí mikrokontroléru. V následujícím přehledu jsou vidět důležité parametry tohoto obvodu.

- 256 krokový lineární potenciometr
- Klidový odběr $0,1 \mu A$
- Napájecí napětí +2,7 až +5,5 V
- Odporová dráha $100 k\Omega$
- I2C komunikace
- Teplotní rozsah -40 až +85 °C

Na následujícím obrázku je znázorněná komunikace s digitálním potenciometrem. Z diagramu je patrné, že data mohou být přijímána pouze tehdy, bude-li signál \overline{CS} v log0. Poté s každou náběžnou hranou hodinového pulsu bude přijímán 1b dat. Data musí být vysílána od nejvyššího bitu MSB k nejnižšímu bitu LSB. Po vyslání všech osmi

datových bitů do shift registru, čeká obvod na přijetí $\overline{CS} = 1$. Poté jsou 8b data přesunuta do dekodéru a ten podle nich nastaví odporovou dráhu do určité pozice. Nejnižší hodnota odporu je $100 \text{ k}\Omega / 255 = 392,2 \text{ }\Omega$.



Obrázek 3.3: Časový diagram digitálního potenciometru MAX5401

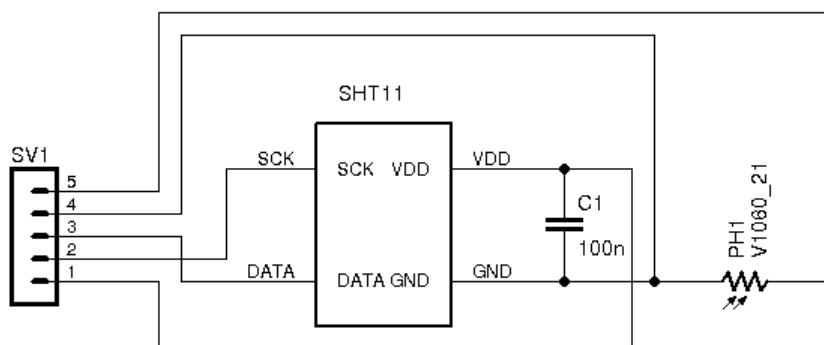
Použití tohoto obvodu je v našem případě výhodné, neboť potřebujeme snímat hodnotu osvětlení na rozsahu až do 200 000 lux, což by bylo s jedním odporem ve zpětné U/I převodníku nepřesné. V podobných aplikacích se používá ruční přepínání rozsahů. To je ale neefektivní, jelikož by někdo u luxmetru musel neustále stát a hlídat, jestli není měřená intenzita osvětlení mimo rozsah a podle toho přepínat odpory ve zpětné vazbě.

3.2 Měřicí modul

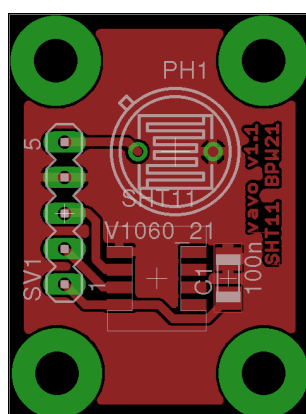
Měřicí modul se skládá ze senzoru SHT11 pro měření teploty a vlhkosti a fotodiody BPW21 pro měření intenzity osvětlení. Obě tyto součástky spolu s blokovacím kondenzátorem a konektorem, jsou umístěny na desce plošného spoje o velikosti 3 x 2 cm. Na plošném spoji je nepájivá maska a ochranný lak, který má desku a cín, u součástek, ochránit před korozí. To je proto, že je modul neustále vystaven vysoké relativní vlhkosti. Dioda BPW21 je hermeticky uzavřená a čidlo SHT11 je pro vysokou relativní vlhkost navržené.

3.2.1 Schéma a deska plošného spoje

Na následujících dvou obrázcích je znázorněné schéma a deska plošného spoje měřicího modulu.

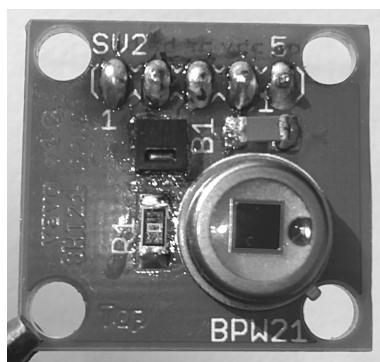


Obrázek 3.4: Schéma měřicího modulu



Obrázek 3.5: Deska plošného spoje měřicího modulu (velikost 2:1)

Na obrázku níže je vlastní konstrukce měřícího modulu verze 1.0.



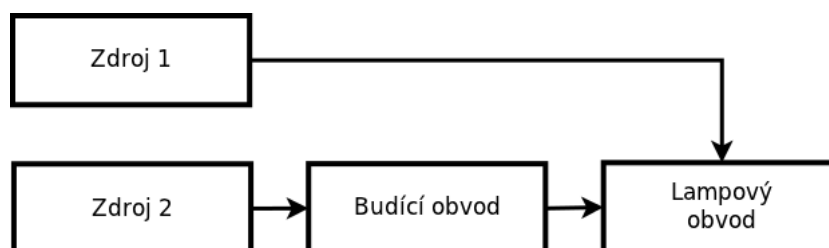
Obrázek 3.6: Konstrukce měřícího modulu

3.3 Elektronický zářivkový předřadník

Elektronický předřadník je zařízení, které rozsvěcuje a poté napájí zářivku střídavým proudem o frekvenci 30 - 50 kHz. Je to elegantní náhrada za soustavu tlumivky, startéru a kompenzačního kondenzátoru. Používá se pro kompaktní a lineární zářivky. Moderní elektronické předřadníky umí zářivky i stmívat. Důvodů, proč používat elektronické předřadníky, je několik. Při použití jedné 18 W zářivky je spotřeba předřadníku o dvě třetiny menší než u klasické soustavy (tlumivka, startér, kondenzátor). Při použití tří 18 W zářivek je spotřeba klasické soustavy přibližně 27 W a spotřeba elektronického předřadníku přibližně 4 W. Zářivka je napájena napětím o frekvenci 30 - 50 kHz, což oproti klasickým 50 Hz nezpůsobuje, lidským okem postřehnutelné, problikávání. Elektronické předřadníky obsahují místo indukčností s jádrem z plechů, indukčností s feritovými jádry, a proto nevydávají nepříjemné bzučení a jsou lehčí. Díky předeřívání elektrod startují zářivky okamžitě, bez blikání a mají delší životnost. Jedinou nevýhodou je vyšší pořizovací cena.

3.3.1 Blokové schéma elektronického předřadníku

Elektronický předřadník se skládá ze tří velkých bloků. Zdroj zajišťuje napájecí napětí pro zářivku. Budič obsahuje polomůstek a součástky, nastavující požadovanou buďící frekvenci pro spínání výkonových tranzistorů. Lampový obvod se skládá ze samotné zářivky a LC rezonančního obvodu.



Obrázek 3.7: Blokové schéma elektronického předřadníku

V následujícím textu si popíšeme funkci elektronického předřadníku. Kompletní schéma a deska plošného spoje je v příloze B a příloze C. **Zdroj 1** obsahuje na vstupu pojistku a NTC termistor, který omezuje proudové špičky při zapnutí a chrání tak usměrňovací můstek před proražením. K tomu by mohlo dojít, jelikož je na začátku kondenzátor C_1 vybitý. Po zapnutí napájení se NTC termistor ohřeje a jeho odpor klesne k nule. Kondenzátory C_6, C_7 a tlumivka zamezují případnému pronikání rušení do sítě. Kondenzátor C_1 je filtrační kondenzátor, na jehož svorkách je usměrněné síťové napětí cca 320 V, které je potřeba pro napájení zářivek. **Zdroj 2** v blokovém schématu znázorňuje zdroj pro napájení budícího obvodu. Ten je schopný dodat integrovanému obvodu až 100 mA při 12 V. Je postaven z transformátoru 230/18 V, usměrňovače a lineárního stabilizátoru 7812 v smd pouzdře.

Základ **budícího obvodu** je polomůstek IR2153. Ten spíná se střídou 50% a dead-timem $1,2 \mu s$, v protifázi dvojici tranzistorů IFR840. Spínací frekvence je nastavena rezistorem R_3 a kondenzátorem C_3 podle vzorce:

$$f \approx \frac{1}{1,4 * R_3 * C_3} [Hz]$$

V našem případě pro $R_3 = 68K\Omega$ a $C_3 = 330pF$:

$$f \approx \frac{1}{1,4 * 68 * 10^3 * 330 * 10^{-12}} = 31830Hz$$

Tato frekvence by měla být v rozmezí 30 - 50 kHz, ale zároveň by měla být co nejnižší kvůli minimalizaci rozměrů tlumivky v rezonančním obvodu. Frekvence 31,8 kHz je v tomto případě ideální. Paralelně ke kondenzátoru C_3 je vhodné připojit mosfet tran-

zistor, který v případě potřeby kondenzátor vyzkratuje a tím celý obvod uspí. Spotřeba se pak pohybuje řádově v μA . Kondenzátor C_4 je bootstrapový kondenzátor, který přes diodu D_1 nabíjí gejt tranzistoru Q_1 . Kondenzátor C_{10} je impulsní kondenzátor do 1000 V, který chrání spínací mosfet tranzistory před napěťovými špičkami z indukčnosti a zmenšuje dU/dt .

Poslední částí je **lampový obvod**. Ten se skládá ze samotné zářivky, rezonančního LC obvodu a blokovacího kondenzátoru. Rezonanční obvod je naladěn na frekvenci blízkou spínací frekvence budícího obvodu. Startovací kondenzátor by měl mít kapacitu kolem 10 nF. K němu dopočítáme vhodnou indukčnost pomocí vzorce:

$$f = \frac{1}{2\pi * \sqrt{LC}}$$

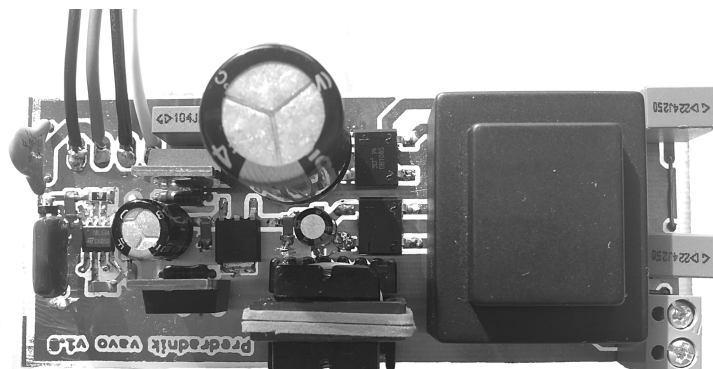
$$L = \frac{1}{C * (2\pi * f)^2}$$

$$L = \frac{1}{10 * 10^{-9} * (2\pi * 31830)^2} = 2,5mH$$

Navinutím 150 závitů drátem o průměru 0,3 mm na kostřičku s jádrem EE a vzduchovou mezerou 0,1 mm ve všech sloupkách, získáme námi požadovanou indukčnost, která spolu s 10 nF kondenzátorem tvoří rezonanční obvod na cca 32 kHz. Tlumivka byla vyrobena z malého trafo z PC zdroje, které bylo pomocí horké vody rozlepeno a převinuto tak, aby indukčnost odpovídala našim požadavkům. Je vhodné připojit paralelně ke startovacímu kondenzátoru ještě PTC termistor, který má za studena nulový odpor. Po zahřátí se jeho odpor zvětší a napětí na startovacím kondenzátoru zapálí zářivku. Termistor nemusí být osazen, slouží pouze k předehřátí elektrod, ale jeho použití nám prodlouží životnost zářivky. Těchto lampových obvodů můžeme za jeden budič připojit více. Maximální výkon připojených zářivek by však neměl přesáhnout 125 W. Se stoupajícím výkonem bude třeba tranzistory IRF840 chladit.

U tohoto zapojení je velmi důležité propojení zemí za oběma usměrňovačema. V případě nedodržení tohoto upozornění, může dojít k proražení spínacích mosfet tranzistorů. Každá zem bude mít totiž jiný potenciál a může dojít k tomu, že jeden tranzistor nebude úplně zavřen a druhý se začne otevírat, čímž začnou spínat souběžně a dojde k proražení.

Na následujícím obrázku je konstrukce elektronického předřadníku verze 1.0 pro zapálení jedné žárovky.



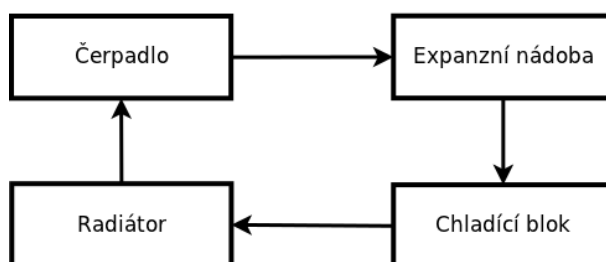
Obrázek 3.8: Konstrukce elektronického předřadníku v1.0

3.4 Chladicí a rosící modul

Chladicí modul je soustava, která se stará o chlazení vitríny. Aby chlazení mělo větší účinnost, jsou tři stěny vitríny zaizolovány polystyrenovými deskami. Bez izolace je pouze přední, pozorovací stěna. Rosící systém má za úkol udržet určité vlhkostní klima ve vitríně.

3.4.1 Blokové schéma chladicího okruhu

Chladicí okruh se skládá z chladicího bloku, radiátoru, expanzní nádoby a čerpadla, které neustále nutí kapalinu v okruhu k oběhu. Základem tohoto chladicího okruhu je vodní chlazení z PC.



Obrázek 3.9: Blokové schéma chladicího okruhu

Čerpadlo, expanzní nádoba a radiátor jsou použity ze starého vodního chlazení z PC. Čerpadlo je značky Innovatek HPPS Plus 12V a má tyto parametry:

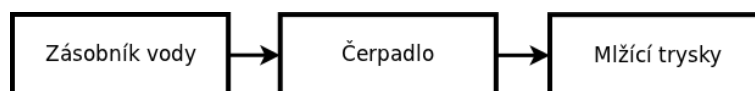
- Napájecí napětí: 12 V
- Spotřeba: 3 W
- Výtlak: 2 m
- Průtok: 1100 l/hod
- Rozměry: 130 x 55 x 65 mm
- Hmotnost: 500 g

Nároky na čerpadlo nejsou velké. Nepotřebujeme ani velký tlak, ani velký průtok. Čerpadlo nám pouze zajišťuje neustálou cirkulaci kapaliny v okruhu, aby byla rovnoměrně ochlazovaná. Průhledná expanzní nádobka o velikosti cca 300 ml je použita hlavně z důvodu jednoduché kontroly stavu kapaliny v oběhu a její případné doplnění bez nutnosti rozebírání uzavřeného okruhu. Žebrovaný hliníkový radiátor má rozměry 280 x 150 x 50 mm a je osazen dvěma ventilátory.

Samotný chladicí blok se skládá z peltierova článku, chladiče a měděného vodního bloku pro PC procesor. Pro naši aplikaci byl použit peltierův článek o těchto parametrech (při teplotě teplé strany 25°C):

- $Q_{max} = 85 \text{ W}$
- $\delta T_{max} = 66 \text{ °C}$
- $I_{max} = 10,5 \text{ A}$
- $U_{max} = 15,2 \text{ V}$
- $R = 1,08 \text{ } \Omega$

Studená strana Peltierova článku je připevněna k měděnému vodnímu bloku pro PC procesor. Skrz něj neustále koluje kapalina, která je článkem ochlazována. K lepšímu odvodu tepla z vodního bloku k Peltierovu článku byla použita teplovodivá pasta. Aby mělo chlazení pomocí Peltierova článku nějaký význam, musí být tento článek na teplé straně dostatečně ochlazován, respektive článek musí přijaté teplo opět odevzdat do prostředí. K tomu byl použit chladič s osmi měděnými heatpipemi a jemným hliníkovým žebrováním. Dostatečný odvod tepla zajišťuje 120 mm velký ventilátor, který hliníkové žebrování navíc aktivně chladí okolním vzduchem.



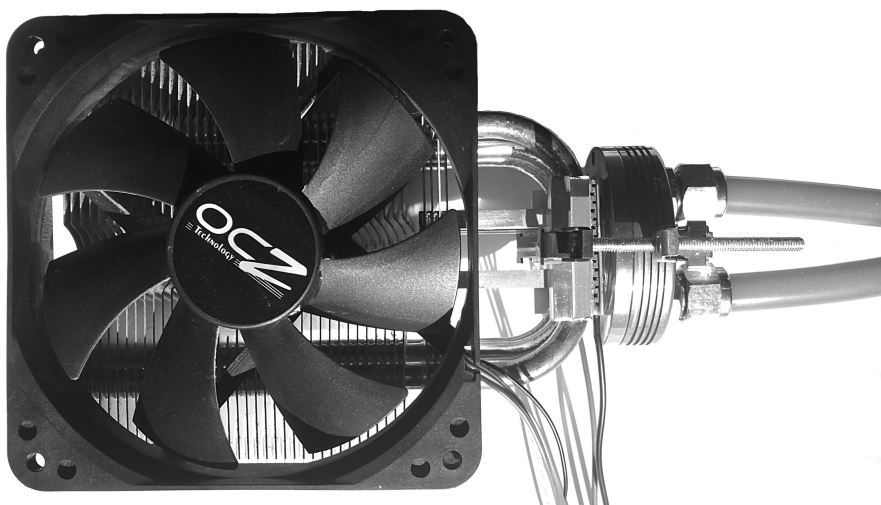
Obrázek 3.10: Blokové schéma rosícího okruhu

3.4.2 Blokové schéma rosícího okruhu

Rosící okruh se skládá ze tří hlavních částí. První je zásobník na vodu, druhou je čerpadlo a třetí je mlžící tryska.

Zásobník vody je obyčejná nádoba o objemu 5 l. K ní je připevněné **čerpadlo**. Je potřeba čerpadla s malým průtokem vody při vysokém tlaku. Cenově nejdostupnější čerpadla s těmito vlastnostmi jsou čerpadla do ostřikovačů do aut. V našem případě jde o čerpadlo ze Škody Felicie. Má dostatečný tlak pro **rosící trysku** s průměrem postřiku 1,5 m a průtokem vody 0,65 l/hod při tlaku 1,5 bar.

Na obrázku níže je fotografie konstrukce chladícího modulu. Je na něm vidět velký chladič, který odebírá teplo z Peltierova článku a blok k vodnímu chlazení z PC. Mezi těmito dvěma prvky je Peltierův článek.



Obrázek 3.11: Konstrukce chladícího modulu

Kapitola 4

SW řešení modulu

V této kapitole bude vyjmenován a zběžně popsán použitý software pro návrh modulu pro řízení klimatických podmínek. Dále zde bude popsán vývojový diagram celého programu, který má řízení klimatických podmínek na starosti.

4.1 Použitý software

Celý projekt byl vyvíjen a navrhován v systému Linux Ubuntu Natty Narwhal 11.04, proto je veškerý použitý software legální. Stručný přehled použitého softwaru je níže:

- \LaTeX , Texmaker 2.2.1
- Eagle 5.11.0
- Avr-Dude 5.10
- Dia 0.97.1

K sepsání této zprávy byl použit program, pro tvorbu odborného textu a prezentací, \LaTeX . Ten je balíčkem programu \TeX , což je program používaný pro počítačovou sazbu textů. Je vhodný zejména pro odborné články. Textovým editorem je program **Texmaker**. Požadované formátování textu se provádí pomocí ručně vpisovaných formátovacích příkazů. Aby byl vytvořený dokument k dispozici, je třeba ho nejprve přeložit. Výstupní soubor bývá ve velmi vysoké kvalitě, nejčastěji ve formátu *pdf*, můžeme však zvolit i formát *ps* či *div*.

Pro tvorbu schémat a návrh desek plošných spojů byl použit program **Eagel**. Jeho volná licence je omezená na jeden list schématu, což není problém. Při více schématech může být založeno více projektů. Další omezení je návrh pouze dvouvrstvé desky plošného spoje, s čímž jsme si také vystačili. Horší je to však se třetím omezením, a

to maximální velikostí desky plošného spoje na 100 x 80 mm. Při návrhu elektronického předřadníku bylo potřeba rozměry uzpůsobit malému prostoru mezi jednotlivými zářivkami. Tím se plošný spoj prodloužil nad 100 mm. Tento problém byl vyřešen u známého, který vlastní vyšší licenci Eaglu a deska plošného spoje, jakýkoliv rozměrů, mohla být navržena.

Avr-dude je programátor pro mikrokontroléry AVR. Osobně používám k psaní programu jakýkoliv textový editor (gedit), který v terminálu zkompiluji pomocí avrgcc. Poté zkompilovaný program opět skrz terminál a programátor avr-dude nahraji do hardwarového programátoru, který program nahraje do aplikace. Tyto všechny operace lze zapsat do makefile, který pak stačí v terminálu spustit a celý proces, od kompilace po nahrání programu do aplikace, se provede bez našeho zásahu. Makefile pro naši aplikaci je v příloze H.

Pro tvorbu nejrůznějších blokových schémat a vývojových diagramů byl použit program **Dia**. V programu je k dispozici řada předdefinovaných bloků a symbolů pro návrh diagramů. Můžeme vybírat ze sekce elektroniky, databází, vývojových diagramů, sítí, mechanických součástí a spousty dalších.

4.2 Program pro ovládání modulu

V této podkapitole bude rozebrán program, který měří a vyhodnocuje veličiny jako je teplota, vlhkost a osvětlení a podle nich řídí celý náš systém. Popíšeme si vývojový diagram celého modulu a rozebere si jeho jednotlivé části.

4.2.1 Vývojový diagram

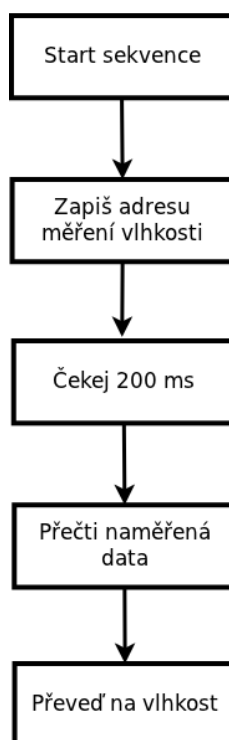
V příloze F a příloze G je k vidění vývojový diagram celého programu. První část se skládá z inicializace, měření osvětlení, nastavení zpětnovazebního odporu k I/U převodníku, měření veličin z čidla SHT11 a zobrazení měřených veličin.

Po startu programu se začne vykonávat inicializace. Sem patří vložení knihovných souborů, vložení .c souborů s definovanou komunikací s SHT11, displejem a digitálním potenciometrem. Dále do inicializace patří nastavení čítače/časovače 2 a nastavení A/D převodníku. Po tomto načtení všech externích souborů a nastavení periférií následuje vlastní měření intenzity osvětlení. Program je napsán tak, že po změření intenzity osvětlení se začne testovat velikost napětí za I/U převodníkem. Pokud je toto napětí větší než 2 V, snížíme o řád zpětnovazební odpor u převodníku a celý proces měření a testování opakujeme, než dostaneme napětí za I/U převodníkem pod 2 V. Toto napětí následně převedeme na jednotku intenzity osvětlení, lux. Poté začíná měření teploty a vlhkosti z čidla SHT11. Toto měření je podrobněji popsáno v následující kapitole 4.2.2. Po získání skutečné hodnoty intenzity osvětlení, teploty a vlhkosti jsou tato data zobrazena na LCD displej.

Druhá část vývojového diagramu se stará o regulaci klimatických podmínek. Vždy se testuje velikost naměřené veličiny a velikost požadované veličiny. Při nesplnění podmínky dojde k sepnutí, v případě vlhkosti, čerpadla, na které je napojena mlžná tryska. Při nedostatečném osvětlení rozepne MOSFET tranzistor, který přivádí polomůstek IR2153 do shutdown módu, a tím se spustí elektronický předřadník pro zářivku. Ve vývojovém diagramu je čárkovane znázorněna možná regulace chlazení. V praxi tato regulace však není použita. Chlazením pomocí Peltierova článku jsme dosáhli poklesu teploty o 5 - 6 °C. Vysokohorské masožravé rostliny, které budou ve vitrině pěstovány, vyžadují pokles teploty oproti našim podmínkám o cca 7 - 8 °C. Z tohoto důvodu je chlazení spuštěné neustále.

4.2.2 Program pro měření vlhkosti a teploty

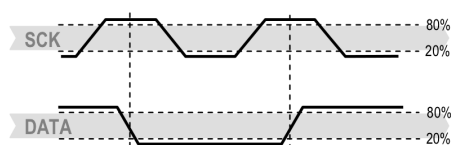
V následujícím textu bude ukázka a popis vývojového diagramu pro odečtení vlhkosti z čidla SHT11:



Obrázek 4.1: Vývojový diagram pro měření vlhkosti

Vlhkost a teplota jsou měřeny pomocí digitálního čidla SHT11, tudíž bylo potřeba napsat program pro ovládání tohoto senzoru. Ten komunikuje po sériové, poloduplexní sběrnici I2C. V našem případě nemusíme řešit unikátní adresy uzlů, jelikož v aplikaci máme jen jeden master (MCU) a jeden slave (SHT11). I2C sběrnice pro svou funkci potřebuje dva signály - data a hodiny.

Jak je z diagramu patrné, nejdříve musíme do senzoru poslat startovací sekvenci. Po první náběžné hraně hodinového impulsu nastavíme datový vodič z úrovně HIGH do úrovně LOW a po druhé náběžné hraně hodinového impulsu nastavíme datovou linku zpět do HIGH úrovně. Tím senzor detekuje start sekvenci a čeká na příkaz pro měření.



Obrázek 4.2: Start sekvence SHT11

V případě měření vlhkosti pošleme do senzoru 8b adresu 0x05. Po přijetí této adresy nám čidlo odpoví signálem ACK a začne samotné měření vlhkosti. Podle data-sheetu trvá měření vlhkosti v 12b rozlišení 80 ms. V naší aplikaci bylo vyzkoušeno, že spolehlivé měření proběhne po uplynutí 200 ms, proto po žádosti o měření čekáme 200 ms. Poté následuje odečtení dat ze senzoru. Jde o 12b číslo, které čteme od MSB. Do proměnné nejprve uložíme prvních 8 přečtených bitů, vyšleme čidlu ACK a odečteme zbývající 4b. Toto 12b číslo převedeme na dekadickou hodnotu vlhkosti podle následujícího vzorce, který je vysvětlen v podkapitole 2.3, zabývající se čidlem SHT11:

$$RH = (T - 25) * (0.01 + 80 * 10^{-6} * SO_{RH}) - 2.0468 + 0.0367 * SO_{RH} - 1.5955 * 10^{-6} * SO_{RH}^2 [\%]$$

Měření teploty probíhá velmi podobně. Rozdíl je akorát v adrese, kterou posíláme senzoru aby přečetl teplotu (0x03) a v tom, že teplota je v defaultním nastavení čidla 14b místo 12b. Převod tohoto čísla na skutečnou teplotu je následující:

$$T = SO_T * 0.01 - 39.65$$

I2C je sériová sběrnice, proto do ní data musíme posílat sériově bit po bitu. Pro zápis a čtení 1B ze senzoru jsme si napsali dvě funkce. V následujícím příkladu je vidět funkce, pro posílání dat do čidla. Proměnná *data_out*; nastavuje port mikrokontroléru jako výstupní, *data_in*; jako vstupní. *sht_data0*; a *sht_data1*; odpovídají logické 0 a logické

1 na datovém vodiči. Taktéž je to s *sht_clk0*; a *sht_clk1*;, které odpovídají hodinovým pulsům.

```
unsigned char zapis_byte(unsigned char hodnota)
{
    unsigned char maska, err = 0;
    data_out;
    for (maska=0x80; maska>0; maska»=1)
    {
        if (maska & hodnota) sht_data1;
        else sht_data0;
        sht_sck1;
        _delay_ms(2);
        sht_sck0;
    }
    data_in;
    sht_sck1;
    err=PINB & 0b00001000;
    sht_sck0;
    return err;
}
```

Do funkce vstupuje proměnná *hodnota*, která odpovídá 8b číslu, které chceme do senzoru zapsat. Na začátku je cyklus for, který se osmkrát zopakuje a provede vymaskování vstupní proměnné. Podle shody masky a maskovaného čísla jsou do senzoru s každým hodinovým impulsem zapisována data. Po zapsání tohoto 8b čísla do čidla se datový vodič nastaví jako vstupní a čeká na přijetí ACK. Pokud ACK nepřijde, nastaví se proměnná *err* do jedničky. Podobně vypadá i funkce na čtení bytu, kterou lze vidět v kompletním programu v příloze I.

4.2.3 Program pro měření intenzity osvětlení

Intenzita osvětlení je přepočítávána z napětí, které je získáno po převodu proudu z fotodiody pomocí I/U převodníku. Toto napětí je přivedeno na vnitřní 10b A/D převodník mikrokontroléru ATmega16 s vnitřní referencí 2,56 V. Vstupní napětí do A/D převodníku se na každém rozsahu pohybuje od 0,2 - 2 V. Po převodu získáme dvě 8b čísla, která odpovídají velikosti snímaného napětí. Ty jsou uložena v registrech ADCL a ADCH, které musíme číst v pořadí ADCL a poté ADCH, jinak v nich data nebudou platná. Aby jsme z těchto dvou 8b čísel dostali požadované jedno 10b číslo, musíme provést posloupnost příkazů uvedené na následující stránce.

```

osvetleni_low = ADCL»6;
osvetlení_high = ADCH«2;
osvetlení = osvetlení_high + osvetlení_low;

```

Spodní registr uložíme do proměnné *osvetlení_low* a posunem ho o šest míst doprava, tím získáme 2b číslo, které odpovídá dvěma spodním bitům v 10b čísle. Horní registr uložíme do proměnné *osvetlení_high* a posunem ho o dvě místa doleva, čímž nám vznikne 10b číslo, které má poslední dva bity v log0. Nakonec pouze sečteme tyto dvě proměnné a uložíme je do samostatné proměnné *osvetlení*. Aby jsme následně z tohoto 10b čísla mohli odečíst napětí, použijeme jednoduchou trojčlenku:

$$e = \text{osvetlení} * \frac{2,56}{1023},$$

kde 2,56 je referenční napětí a 1023 odpovídá 8b rozlišení A/D převodníku.

Podle tohoto přepočtu bychom mohli měřit napětí do 2,56 V, což ale nevyužijeme, jelikož je program ošetřený tak, že po překročení napětí 2 V, se desetkrát zmenší odpor ve zpětné vazbě I/U převodníku. Naopak při poklesu napětí pod 0,2 V se odpor ve zpětné vazbě desetkrát zvětší. To je zajištěno digitálním potenciometrem ve zpětné vazbě I/U převodníku, který je ovládán mikrokontrolérem.

Komunikace s tímto digitálním potenciometrem je velmi jednoduchá. Probíhá opět po I2C sběrnici. Data jsou posílána jen jedním směrem - od mikrokontroléru k potenciometru. Velikost odporu nastavíme 8b adresou, kterou do obvodu posíláme od MSB. Obrázek 3.3 znázorňuje časový diagram komunikace s digitálním potenciometrem MAX5401.

Převod napětí na intenzitu osvětlení provedeme podle tabulky 2.5. Je potřeba znát proud vytékající z fotodiody a odpor ve zpětné vazbě I/U převodníku. Z těchto dvou údajů dopočítáme podle Ohmova zákona napětí za I/U převodníkem, a podle grafu 2.5 převedeme toto napětí na odpovídající hodnotu intenzity osvětlení. Například pro zpětnovazební odpor o velikosti 100 Ω odpovídá napětí 1 V intenzitě osvětlení 1000 lux. Desetinásobnému zmenšení velikosti zpětnovazebního odporu odpovídá napětí 1 V intenzitě osvětlení 10 000 lux. V následující části programu je vidět, jak se provádí nastavování rozsahů luxmetru a vlastní přepočet měřeného napětí na intenzitu osvětlení.

Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a zrealizovat zařízení pro měření vlhkosti, teploty a osvětlení ve skleníku pro vysokohorské druhy masožravých rostlin. Skleníkem je vitrína o rozměrech 30 x 30 x 70 cm s tloušťkou skla 6 mm. Na boku jsou větrací otvory pro výměnu vzduchu a pomocnou regulaci vlhkosti. Jako snímač vlhkosti a teploty je použito čidlo SHT11, které nám firma Sensirion zaslala jako vzorek. Intenzita osvětlení je snímána pomocí luxmetru, který je postaven z hermeticky uzavřené fotodiody, citlivé na vlnových délkách od 350 - 820 nm, a I/U převodníku s automaticky nastavitelným rozsahem. Aby byly naměřené hodnoty věrohodné, je celý tento měřicí modul umístěn ve vitríně ve výšce rostlin, cca 10 cm nad substrátem.

Vzhledem k umístění vitríny a požadavkům na tichost zařízení je teplota regulována pomocí Peltierova článku, připojeného k vodnímu chlazení z PC. Tento systém se ukázal jako ne moc účinný. Vitrínu sice dokáže ochladit o cca 6 °C během půl hodiny, ale ke zvýšení chladícího účinku bychom potřebovali předimenzovat chladič, odebírající teplo z Peltierova článku. Nyní je osazen chladič, s jemným žebrovaním, o váze cca 1kg a aktivním ventilátorem. Ochlazení vitríny o 6 °C oproti okolní teplotě je pro vysokohorské druhy rostlin dostatečné. Ideální je rozdíl teplot cca 7 - 8 °C. Z tohoto důvodu není třeba výkon Peltierova článku regulovat, protože stále pracuje naplno. Při lepším chlazení jeho teplé strany bychom se mohli dostat s teplotami ještě níže. V tom případě by bylo potřeba navrhnout regulátor proudu. PWM regulace není pro Peltierův článek vhodná, neboť při stavu OFF se studená strana od teplé ohřívá. Při použití PWM regulace se její výstup ošetřuje zapojením LC filtru, za který se teprve Peltierův článek zapojuje. Pro regulaci výkonu existuje i speciální obvod MAX1978 od firmy Maxim. Tento obvod je však špatně k sehnání a je poměrně dost drahý.

Vlhkost je udržována pomocí bočního odvětrávání a mlžných trysek. Čerpadlo, které tryskám dodává vodu je spínáno na základě naměřených hodnot z vlhkostního čidla. Požadavek na vlhkost je cca 80% RH. K udržení vlhkosti ve vitríně nám stačí jedna mlžící tryska. Vitrína je umístěna na poměrně světlém místě, takže osvětlení speciálními zářivkami je především pro doplnění potřebného spektra, které rostliny vyžadují. Přisvětlování je nutné při méně slunných dnech a pro umělé prodloužení dne v zimních měsících, kdy se brzy stmívá.

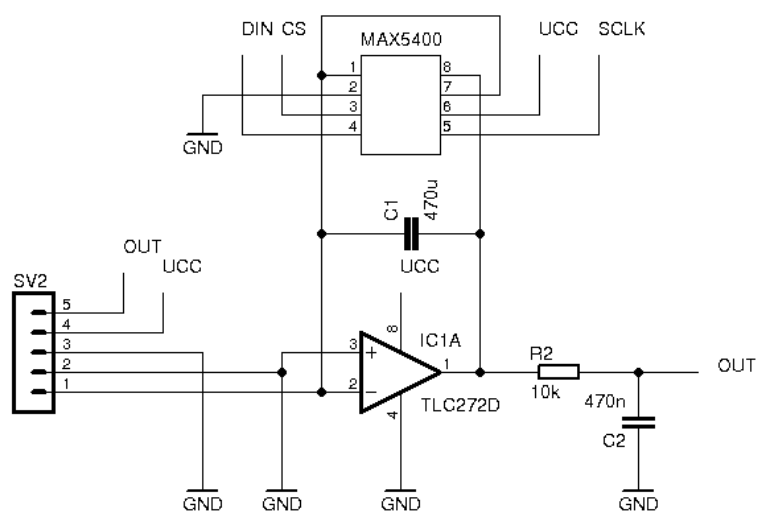
Další plánované vylepšení tohoto systému bude spočívat v přístupu k naměřeným datům přes webové rozhraní. Data se budou po určitém čase ukládat do databáze a připojený uživatel si je bude moct prohlížet, vykreslovat si grafy a podobně. Přes webové rozhraní bude také možné zadávat a měnit požadované hodnoty klimatu. Systém bude ve finále osazen GSM modulem, který bude schopný uživateli poslat sms v případě, že nastane nějaká krizová situace.

Literatura

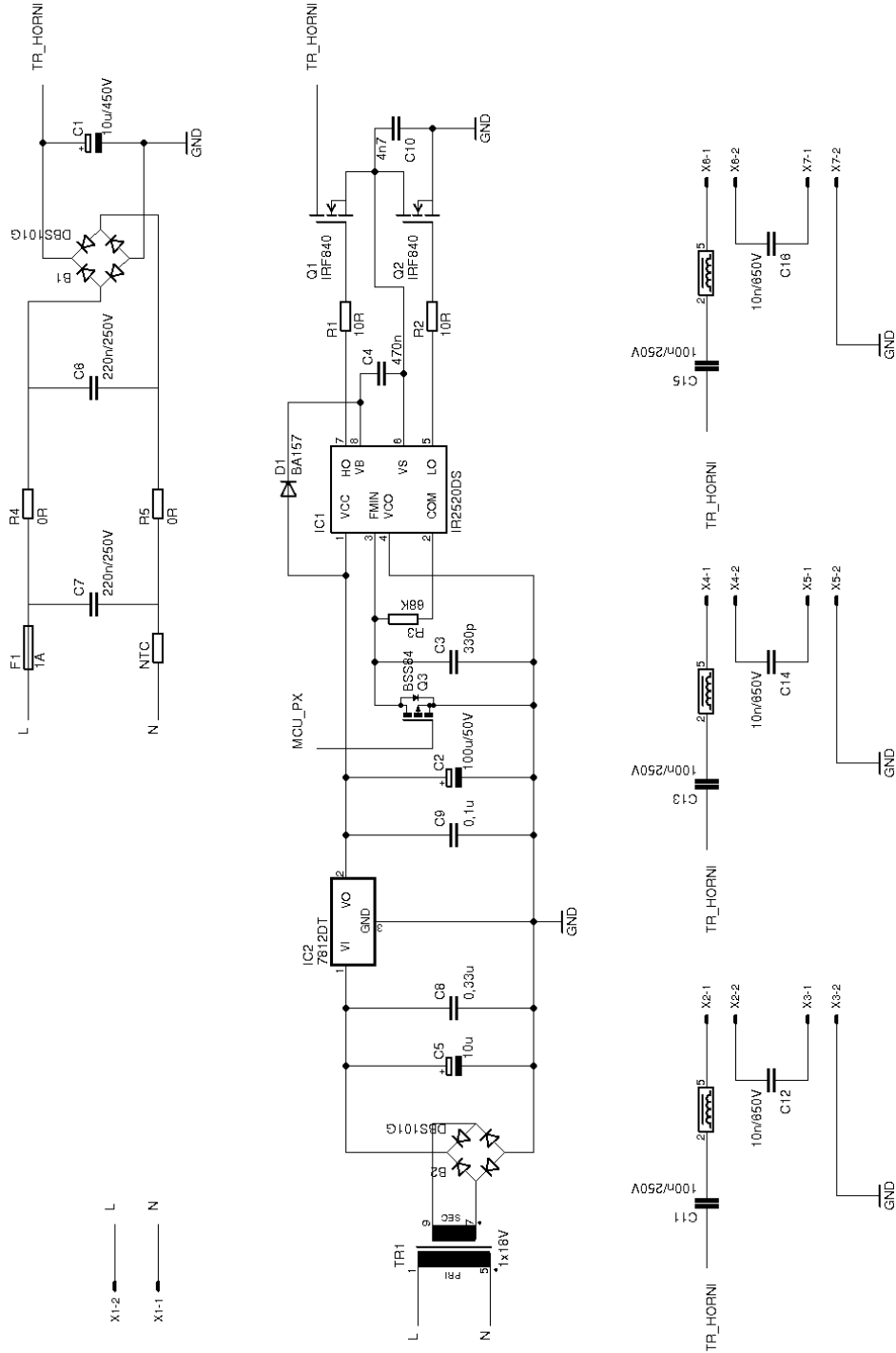
- [1] *Ďaďo, P. ; Kreidl, M.:* **Senzory a měřící obvody**
Vydavatelství ČVUT, Praha 1996, ISBN: 80-01-01500-9
- [2] *Urban, F. ; Mikel, B.:* **Optoelektronika a optické komunikace**
Vydavatelství VUT, Brno 2003, ISBN: MEL121
- [3] *Doleček, J.:* **Moderní učebnice elektroniky: Optoelektronika a optoelektronické prvky**
Vydavatelství BEN, Praha 2007, ISBN: 80-7300-184-5
- [4] *Jerhot, J. ; Jiráček, M.:* **Optoelektronika**
Vydavatelství VSŠE , Plzeň 1987, ISBN: 55-063-87
- [5] *Mareš, L.:* **Teplota a její měření**
<http://www.tzb-info.cz/3115-teplota-a-jeji-mereni>
- [6] *Hanzal, J.:* **Vlhkoměry**
<http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vlhkomery.html-0>
- [7] **Fotocitlivé prvky**
<http://jjohnyk.sweb.cz/elektronika/06.htm>
- [8] *Houлік, J.:* **Fotodioda**
<http://home.zcu.cz/houlec/www/htm/PN.htm>
- [9] **Datasheet ATmega16**
<http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>
- [10] **Datasheet IR2153**
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/irf/ir2153.pdf>
- [11] **Datasheet MAX5401**
<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/MAX5400-MAX5401.pdf>
- [12] **Datasheet SHT11**
<http://www.sensirion.com/images/getFile?id=25>

Přílohy

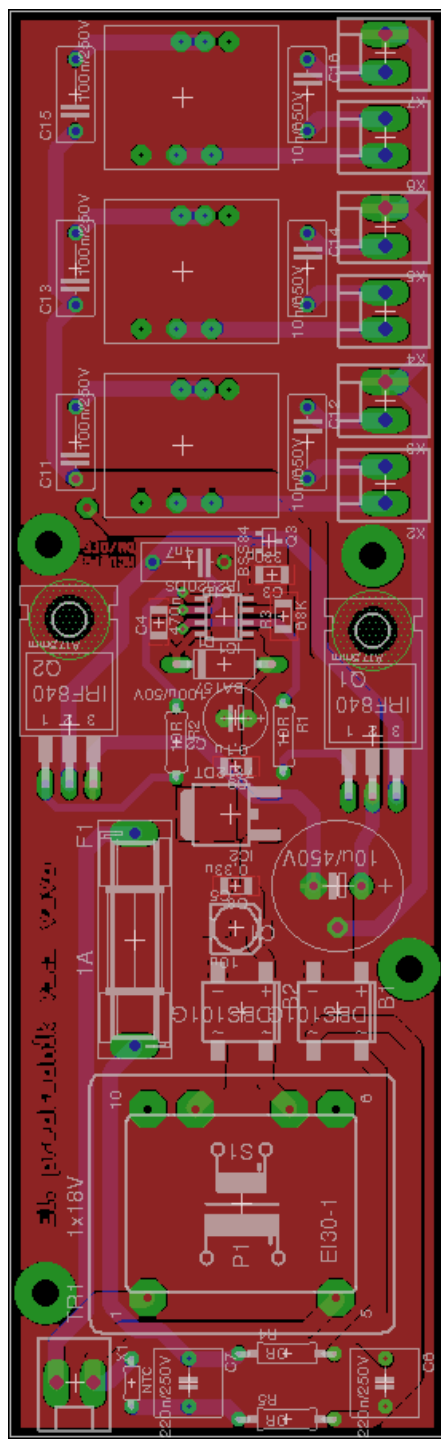
Příloha A - schéma luxmetru



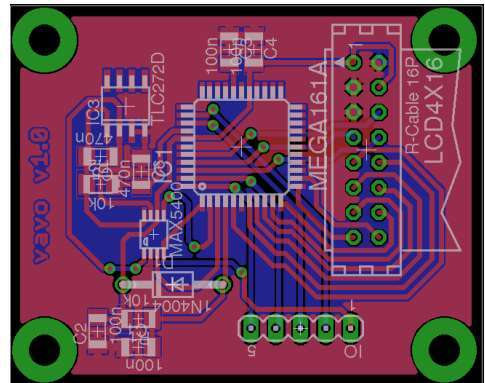
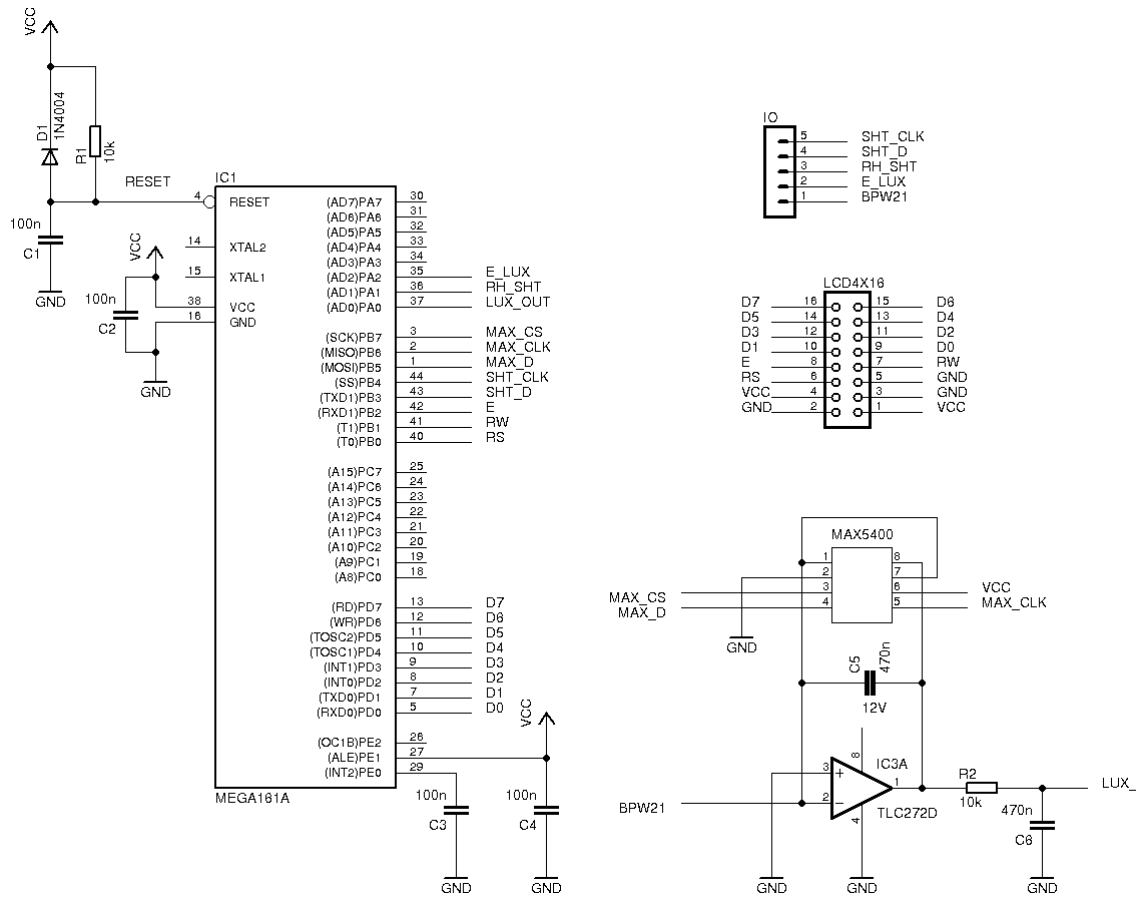
Příloha B - schéma elektronického předřadníku



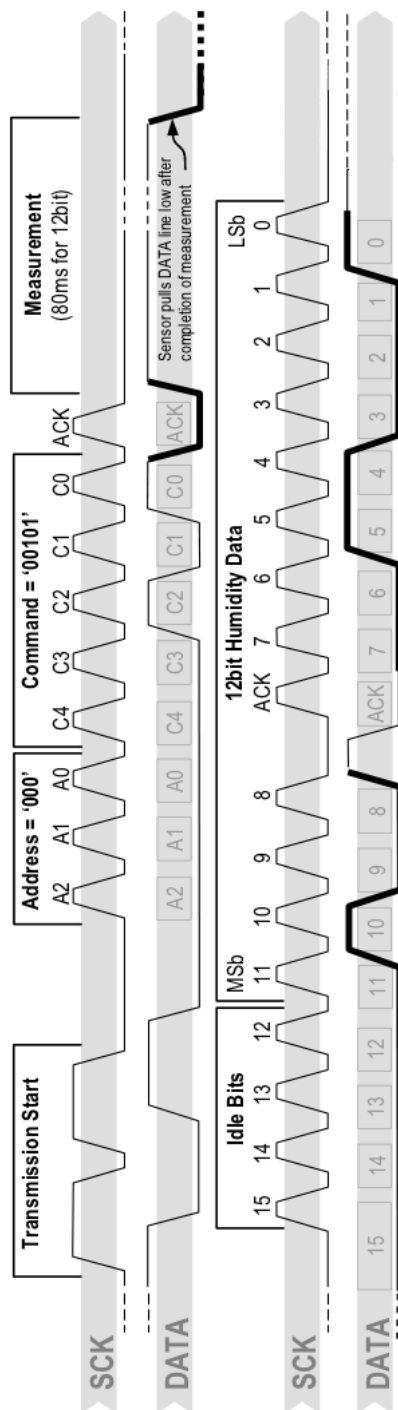
Příloha C - DPS elektronického předřadníku



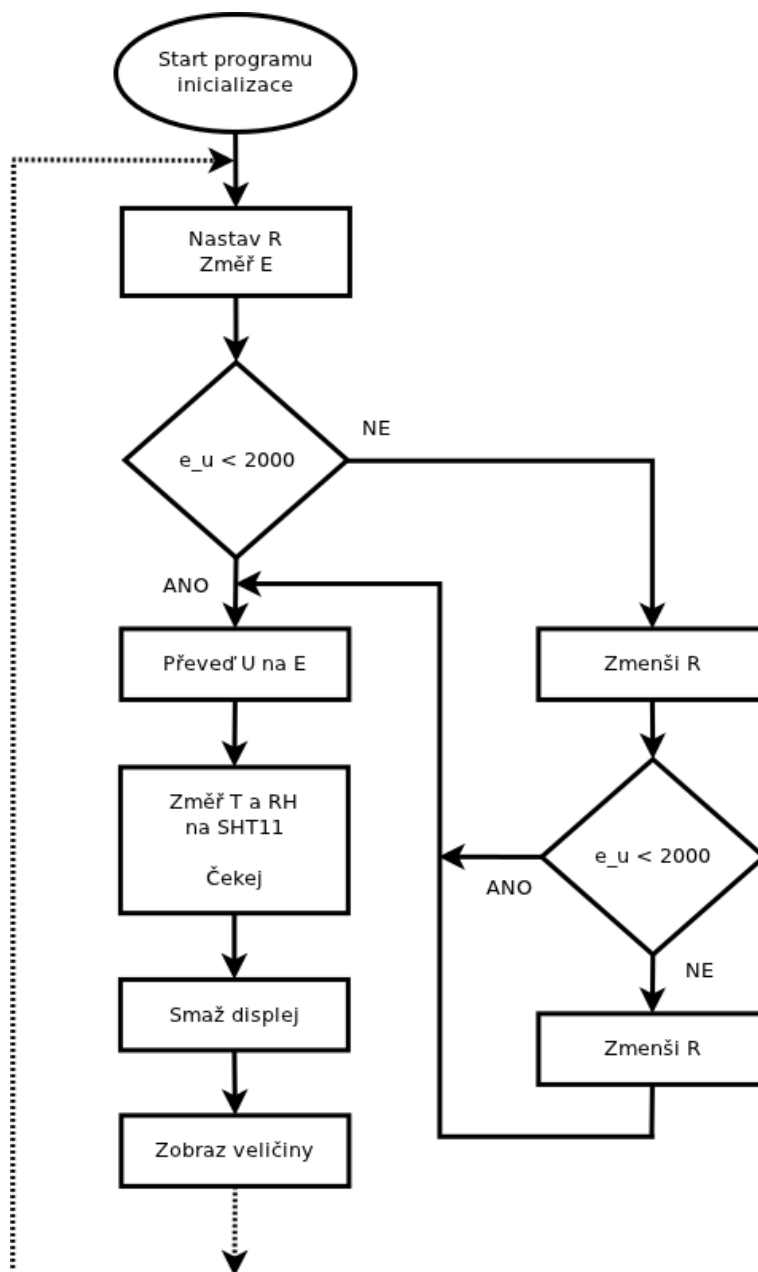
Příloha D - schéma a DPS modulu s MCU



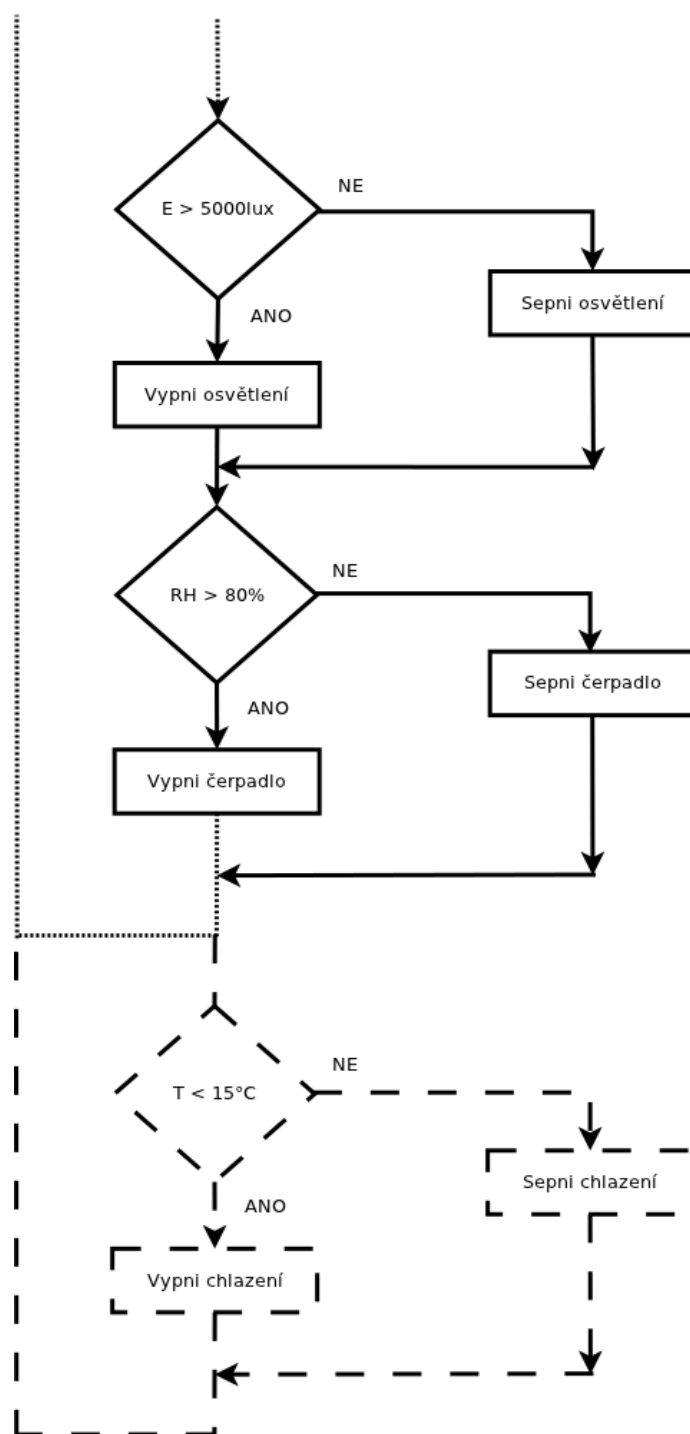
Příloha E - časový diagram pro měření vlhkosti



Příloha F - vývojový diagram měření veličin



Příloha G - vývojový diagram regulace veličin



Příloha H - makefile

```
PRG = firm_v1
OBJ = firm_v1.o
MCU_TARGET = atmega16
Optimize = -O2
CC = avr-gcc

override CFLAGS = -g -Wall $(OPTIMIZE) -mmcu = $(MCU_TARGET) $(DEFS)

OBJCOPY = avr-objcopy
OBJDUMP = avr-objdump

all: hex

$(PRG).elf: $(OBJ)
    $(CC) $(CFLAGS) $(LDFLAGS) -o $@ $$$(LIBS)

clean:
    rm -rf *.o $(PRG).elf $(PRG).hex

hex: $(PRG).hex

%.hex: %.elf
    $(OBJCOPY) -j .text -j .data -O ihex $< $@

install: load

load: $(PRG).hex
    avrdude -p m16 -c stk500v2 -P /dev/ttyUSB0 -U flash:w.$<
```