ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ŘÍDICÍ TECHNIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Regulace klimatické jednotky

Autor: Jiří Dostál

Praha, 2009

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Jiří Dostál**

Studijní program: Elektrotechnika a informatika (bakalářský), strukturovaný
Obor: Kybernetika a měření

Název tématu: **Regulace klimatické jednotky**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s funkcí a konstrukčním uspořádáním klimatické jednotky pro pěstování rostlin.
2. Navrhněte metodu automatické regulace teploty a osvětlení v klimatické jednotce s ohledem na 24 hodinový harmonogram mikroklimatu v jednotce a řízení realizujte. Pozornost věnujte návrhu řídicího panelu se zobrazovací jednotkou.
3. Stávající ruční řízení jednotky nahraďte navrženým systémem.

Seznam odborné literatury:

Dodá vedoucí práce

Vedoucí: Doc.Ing. Kateřina Hyniová, CSc.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2009/10

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry

L.S.

doc. Ing. Boris Šimák, CSc.
děkan

V Praze dne 27. 2. 2009

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

V Praze dne: 10.6.2009 Podpis: .....

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl především poděkovat mému dědovi Ing. Josefu Dostálovi, CSc. za veškerou pomoc. Zejména pak za odbornou pomoc k problematice rostlin. Dále pak paní Doc. Ing. Kateřině Hyniové, CSc. za cenné rady ke zpracování této práce.

V neposlední řadě mé poděkování patří mým rodičům a blízkým za podporu při vytváření této práce a za cenné rady a připomínky k ní.

Abstrakt

Regulace klimatických podmínek je obecně velkým problémem. Klimabox regulátor je komplexní řešení tohoto problému. V kombinaci s klimatickou komorou je dosaženo perfektních podmínek pro pěstování rostlin, explantátových kultur a mikrobakteriálních kultur. Regulací teploty, vlhkosti, časovým spínáním výbojek, zářivek a osvětlovacích LED diod je dosaženo nejlepších životních a růstových podmínek. Toho je využito například pro vědecké výzkumy v oblasti rostlinné genetiky a sériovou výrobu zárodků rostlin. Bezpochyby může být celé zařízení použito také pro pěstování domácích rostlin. Ovládání přístoje je maximálně zjednodušeno, intuitivní a uživatelsky příjemné.

Abstract

Regulation of climate is a complicated problem. Klimabox regulator is a complex solution of it. In combination with climate closet, there are reached perfect conditions for a cultivation of plants, explantated cultures and microbacterial cultures. By contoling the temperature and humidity and by timing gas tubes, flour tubes and LED diods there is achieved the best living and growing up environment. The device is usually used for scientific research and serial production. And with no doubt this unit can be used for home planting too. Device settings are simple, intuitive and user friendly.

Obsah

Seznam obrázků **xiii**

Seznam tabulek **xv**

Seznam použitých odborných výrazů **xvii**

1 Úvod **1**

2 Klimabox **3**

2.1 Biologické využití regulovaného klimatu 3

2.1.1 Použití klimaboxu 5

2.1.2 Podmínky pro pěstování rostlin 5

2.1.2.1 Světlo 5

2.1.2.2 Teplota 6

2.1.2.3 Vlhkost 6

2.1.2.4 Proudění vzduchu a vnitřní uspořádání 7

2.1.3 Podmínky pro pěstování ostatních kultur 9

2.1.3.1 Explantátové kultury 9

2.1.3.2 Mikrobakteriální kultury 9

2.2 Historie a vývoj klimaboxu 9

2.3 Technické řešení klimaboxu 10

2.3.1 Velikost klimaboxu 10

2.3.2 Blokové rozložení 10

2.3.3 Chlazení 11

2.3.3.1 Oběh chladiva 11

2.3.3.2 Ochrana chladícího okruhu 13

2.3.4 Světelný panel 13

2.3.5 Vlhčení vzduchu 13

2.3.6 Ohřev a sušení vzduchu 14

3 Klimabox regulátor **17**
3.1 Popis zařízení 18
3.1.1 Základní deska 18
3.1.1.1 Zdroj 19
3.1.1.2 Mikroprocesor a podpůrné obvody 19
3.1.1.3 Obvody sběrnice I2C 19
3.1.1.4 Ostatní obvody a zařízení 20
3.1.2 Snímač teploty a vlhkosti SHT 11 21
3.1.3 Displej 21
3.1.4 Indikace stavu výstupů 22
3.1.5 Výkonový výstup 22
3.2 Základní technické parametry regulátoru 23

4 Regulace **25**
4.1 Přechodové charakteristiky 26
4.2 Třípolohová regulace 27
4.2.1 Třípolohový regulátor s akčním zásahem pouze mimo zónu hysterese (regulátor 1.) 27
4.2.2 Tří polohový regulátor s dobíháním na požadovanou hodnotu (regulátor 2.) 28
4.2.3 Porovnání regulátorů 29
4.2.3.1 Skok 25°C→15°C 30

5 Návod k použití **33**
5.1 Základní obrazovka 34
5.2 Nastavení času 35
5.3 Výběr procesu 35
5.4 Nastavení překmitů 36
5.5 Nastavení intervalů 36

6 Budoucí vývoj **39**
6.1 Rozšíření nabídky menu 39
6.2 Automatická zálivka 39
6.3 Komunikační protokol obsluhy přes PC 40
6.4 LED světla 41
6.5 Propojení s počítačem přes USB 42
6.6 Webové rozhraní pro klimabox 43

7 Závěr **45**

A Algoritmy třípolohového řízení teploty a vlhkosti **I**

A.1 Třípolohový regulátor s akčním zásahem pouze mimo zónu hystereze . . . II

A.2 Třípolohový regulátor s dobíháním na požadovanou hodnotu III

B Schémata **V**

B.1 Základní deska VI

B.2 Displej IX

B.3 Indikace stavu výstupů X

B.4 Výkonová část XI

C Výkresy mechanických součástí **XV**

D Rozpis elektronických součástek **XIX**

D.1 Základní deska XIX

D.2 Displej XXII

D.3 Indikace stavu výstupů XXII

D.4 Výkonový výstup XXIII

D.5 Mechanické součásti XXIII

E Obsah přiloženého CD **XXV**

Seznam obrázků

2.1 Klimabox 4
2.2 Pěstební blok klimaboxu 8
2.3 Ukázka z možných konfigurací proudění vzduchu 8
2.4 Blokové rozložení prvků klimaboxu 11
2.5 Chladící agregát 12
2.6 Světelný panel 14
2.7 Zvlhčovač 15
2.8 Technologický blok klimaboxu 15

3.1 Klimabox regulátor 17
3.2 Blokové schéma regulátoru 18
3.3 Blokové schéma snímače SHT11(převzato z www.sensirion.ch) 21

4.1 Naměřená závislost relativní vlhkosti na teplotě. Během měření nebyl zapnutý zvlhčovač. 26
4.2 Přechodová charakteristika topení a chlazení 27
4.3 Třípolohový regulátor s akčním zásahem pouze mimo zónu hystereze . . . 28
4.4 Třípolohový regulátor s dobíháním na požadovanou hodnotu 29
4.5 Porovnání regulátorů. Udržování konstantní hladiny. 31
4.6 Porovnání regulátorů. Skok 25°C→15°C. 32

5.1 Klávesnice 34
5.2 Základní obrazovka 34
5.3 Nastavení času 35
5.4 Výběr procesu 35
5.5 Nastavení překmitů 36
5.6 Nastavení intervalů 36

6.1 Schéma doplňování nádrže s vodou 40

6.2 Komunikační paket 41
6.3 Spektrum LED světla, chlorofylu a vysokotlaké výbojky (převzato z www.wikipedia.org) 42

A.1 Algoritmus třípolohového regulátoru s akčním zásahem mimo zónu hystereze II
A.2 Algoritmus třípolohového regulátoru s dobíháním na požadovanou hodnotu III

B.1 Schéma - Základní deska, chip VI
B.2 Schéma - Základní deska, obvody I2C VII
B.3 Schéma - Základní deska, ostatní obvody VIII
B.4 Schéma - Displej IX
B.5 Schéma - Diody X
B.6 Schéma - Výkonová část, rozšíření portu XI
B.7 Schéma - Výkonová část, periferie XII
B.8 Schéma - Výkonová část, závlaha XIII

C.1 Výkres předního panelu 1. XVI
C.2 Výkres předního panelu 2. XVII

Seznam tabulek

2.1 Kardinální body vybraných rostlin[1] 7
2.2 Technické parametry chladícího okruhu 12

3.1 Měřený proudový odběr komponent 23
3.2 Základní technické parametry regulátoru 23

6.1 Definice speciálních znaků 41

D.1 Rozpis součástek - Základní deska, rezistory XIX
D.2 Rozpis součástek - Základní deska, kondenzátory XIX
D.3 Rozpis součástek - Základní deska, diody XX
D.4 Rozpis součástek - Základní deska, integrované obvody XX
D.5 Rozpis součástek - Základní deska, tranzistory XX
D.6 Rozpis součástek - Základní deska, konektory XXI
D.7 Rozpis součástek - Základní deska, ostatní XXI
D.8 Rozpis součástek - Displej XXII
D.9 Rozpis součástek - Indikace stavu výstupů XXII
D.10 Rozpis součástek - Výkonový výstup XXIII
D.11 Rozpis součástek - Mechanické součásti XXIII

Seznam použitých odborných výrazů

Aplet	Softwarová komponenta, která běží v kontextu jiného programu (například webového prohlížeče). Str.43.
Aseptický	Zbavený choroboplodných zárodků. Str.5.
Dehydrátor	Filtr odstřaňující vodu z chladiva. Str.13.
Explantátové kultury	Explantátové kultury rostlin vznikají aseptickou kultivací izolovaných částí rostlin za umělých podmínek. Patří k tradičním způsobům vegetativního množení. Str.5.
Extremální regulace	Samostatná regulace dvou a více na sobě závislých dějů. Str.25.
Fylogenetický vývoj	Vývoj druhů zapříčiněný genetickými změnami. Str.6.
Graetzův můstek	Diodový usměrňovací obvod. Str.19.
In vitro	Kultivace biologického materiálu v laboratorním skle (např. zkumavkách, Petriho miskách apod.). Str.9.
Kardinální bod	Hraniční teplota vegetativního režimu rostliny. Str.6.
Klimatron	Izolovaný umělý ekosystém obřích rozměrů. Str.3.
LED	Light Emiting Diod. Polovodičové diody emitující monochromatické světlo. Str.6.
Ontogenetický	Projevující se v průběhu vývoje jedince. Str.3.
PWM	Pulzně šířková modulace. Využíváno převážně k řízení výkonu. Str.42.

Kapitola 1

Úvod

Tato práce se věnuje návrhu moderního ovládání pro klimaboxy, jejichž použitelnost byla s jejich stávajícím vybavením po dvaceti letech velmi malá. Jako nejpřijatelnější se ukázalo ovládání mikroprocesorem. Digitalizací vstupních veličin a zobrazením na LCD displej se vyvarujeme mnoha problémů s analogovými obvody. Tato dokumentace je zaměřena na pojmenování a řešení problémů tématiky mikroprocesorů, snímačů a regulace. Stejně tak ukazuje i možná východiska pro budoucí vývoj.

Práce je rozdělena na několik částí, z nichž hned následující (2) se zabývá historií, vývojem a obecným popisem klimaboxu a jeho použití pří výzkumu a výrobě rostlin. Kapitola 3 je věnována popisu regulátoru klimatické jednotky. Detailně rozebírá funkci jednotlivých bloků, na které je regulátor logicky rozdělen. Algoritmus regulace a její reálná odezva jsou probírány v kapitole 4. Návod pro úspěšné a bezproblémové používání regulátoru naleznete v kapitole 5. Poslední kapitolou před závěrečným shrnutím je kapitola "Budoucí vývoj" 6, kde jsou představeny a ideově rozpracovány návrhy na další vývoj tohoto zařízení.

Tato práce je volným navázáním na výsledky mé maturitní praktické zkoušky z odborných předmětů [2]. Kde dosaženým cílem byla fyzická realizace základní elektroniky regulátoru.

Účelem vývoje klimabox regulátoru je zprovoznění a rozšíření funkce klimaboxu, aby byl použitelný pro další vědeckou činnost mého dědy Ing. Josefa Dostála, CSc.

Kapitola 2

Klimabox

Název je dle odborné praxe přisuzován jednomu ze zařízení pro využívání regulovaného klimatu, především pro biologický materiál. Z ostatních zařízení jsou to různé biologické skříně, pulty, inkubátory v různých velikostech a konstrukcích, dále jsou využívány klimatizované místnosti, skleníky a ojediněle také klimatrony[1]. Klimabox je nejběžnější a nejúčelnější zařízení využívané pro biologický výzkum, ale též pro sériovou výrobu mladých rostlin a rostlinných explantátů. Z hlediska jeho velikosti jde o skříně s obsahem cca do 1 m^3. Jejich součástí je osvětlení, topení, chlazení, vlhčení a úprava proudění vzduchu.

2.1 Biologické využití regulovaného klimatu

K základním parametrům regulace klimatu patří teplota a vlhkost, dále světelný režim a výměna ovzduší s případnou změnou jeho kvality, např. vyšší obsah oxidu uhličitého (CO2). Nedílnou součástí uvedených klimatických podmínek je jejich optimální využívání v čase podle životních potřeb biologického materiálu a v souladu s jeho denními i časově dalšími biorytmy a ontogenetickým[2] vývojem.

Z tohoto hlediska je komplexní řešení uvedených prvků velmi náročnou záležitostí. Klimatické podmínky se vždy nastavují na míru zadaných potřeb. Z tohoto důvodu se práce orientuje na ovládání teploty a vlhkosti moderní technikou.

[1] Izolované umělé ekosystémy obřích rozměrů.

[2] Projevující se v průběhu vývoje jedince.

Obrázek 2.1: Klimabox

2.1.1 Použití klimaboxu

Řídí se podle zadaných potřeb. Tyto potřeby jsou odlišné u každého biologického materiálu, kterým mohou být celé rostliny nebo jejich části pěstované v substrátech. Explantátové kultury[3] kultivované v aseptických[4] podmínkách v různý médiích, buněčné kultury rostlinného i živočišného původu rovněž kultivované v obdobných podmínkách. Dále mikrobakteriální a houbové kultury různého původu. Klimabox má také speciální využití v humánní a veterinární medicíně.

2.1.2 Podmínky pro pěstování rostlin

Rostliny potřebují pro svůj růst a vývoj optimální substrát zajišťující živiny přijímané kořeny a transportované do vegetativních částí. Tento proces vyžaduje optimální teplotu a vláhu. Teplota substátu se většinou odlišuje od teploty potřebné pro vegetativní části a bývá nižší. Vláha, voda v substrátech kolísá v závislosti na závlaze a transpiraci rostlin.

Regulace těchto potřeb týkající se substrátu, není většinou předmětem vlastní techniky regulace klimaboxu, je dána substrátem (jeho složením) a potřebnou zálivkou. Ta je zajištěna obsluhou kultur, nebo speciálním závlahovým systémem. Teplota substrátu je většinou poměrně optimální tím, že vlastní hmota substrátu a nádob má setrvačnou schopnost při snižování a zvyšování teploty během dne a noci. Kořenový systém má též vlastní autoregulační schopnost udržovat vůči celé rostlině nižší teplotu. A to především v temnotě.

2.1.2.1 Světlo

Světlo je u rostlin základní existenční podmínkou, podmínkou fotosyntézy a tím i tvorby biomasy.

Fotosyntéza probíhá nejúčinněji v oblasti elektromagnetického spektra o vlnových délkách 380-760nm. Pro rostliny je důležitá intenzita záření, elektromagnetické spektrum a doba osvětlení. Na těchto třech složkách, ve vztahu k ostatním činitelům, je závislá fotosyntéza a celková produkce rostlin. Z uvedených důvodů se v klimaboxu používá většinou dvojí

[3] Explantátové kultury rostlin vznikají aseptickou kultivací izolovaných částí rostlin za umělých podmínek. Patří k tradičním způsobům vegetativního množení.

[4] Zbavený choroboplodných zárodků.

zdroj záření a to výbojky a zářivky upravující elektromagnetické spektrum ve výše uvedeném rozsahu a s intenzitou osvětlení v rozsahu 2500- 40000Lx po dobu 8-16 hodin během 24 hodin. Při regulaci teploty je nutné vzít v úvahu, že světelné zdroje jsou současně i zdroji tepelnými. Klimabox, ve kterém se provádí regulace má tu výhodu, že přebytečné teplo vzniklé ze zdrojů světla je odvětráno ventilátory. V sekci 6.4 je pak nastíněna myšlenka osvětlování rostlin LED[5] světly.

2.1.2.2 Teplota

Teplota je jedním ze základních činitelů pro probíhající chemické reakce. Reakční rychlost těchto procesů se zdvojnásobuje se stoupající teplotou o 10°C. Tomu odpovídá i rychlost dělení rostlinných buněk a tím i rychlost růstu rostliny. Každý druh rostlin má však z fytogenetického[6] hlediska různé požadavky na teplotu, která se pro zdárný vývoj a růst musí respektovat. Např. petrklíč při teplotě vyšší než 15°C v klimaboxu neroste a odumírá. Naopak teplomilné rostliny vyžadují teplotu i přes 25°C. Kardinální body[7] vybraných rostin naleznete v tab. 2.1.

Mezi teplotou a osvětlením je vzájemná vazba, tj. po vypnutí osvětlení musí teplota klesat. To je obdobné v přírodě. Tato teplota, na rozdíl od osvětlení, které se přeruší naráz, vyžaduje mírnější kolísání a mírnější přechod na jinou teplotní hladinu. S tím do určité míry vypomáhá teplotní setrvačnost klimaboxu a jeho konstrukce.

2.1.2.3 Vlhkost

Fotosyntéza probíhá u rostlin pouze za cenu velké ztráty vody výparem, i když spotřeba vody při fotosyntéze samotné je malá.

Výpar vody z rostlin se děje převážně transpirací vodních par přes průduchy rostlin ve vztahu k relativní vlhkosti vzduchu. Při nižší relativní vlhkosti vzduchu je transpirace vyšší, rovněž tak při vyšší teplotě. Z těchto důvodů je důležité udržet vodní rovnováhu rostliny tak, aby nedocházelo k vodnímu deficitu a tím i k vadnutí rostliny. Klimabox by měl pracovat v rozsahu 40-85 % relativní vlhkosti. Tento rozsah umožňuje pokrýt požadavek na vlhkost vzduchu většiny rostlin.

[5] Light Emiting Diod. Polovodičové diody emitující monochromatické světlo.

[6] Vývoj druhů zapříčiněný genetickými změnami.

[7] Hraniční teplota vegetativního režimu rostliny.

Rostlina	Kardinální body [°C]		
	minimum	optimum	maximum
Ječmen, oves, žito	0-5	25-31	31-37
Pohanka	0-5	25-31	37-44
Konopí	0-5	37-44	44-50
Slunečnice	5-10	31-37	37-44
Kukuřice	5-10	37-44	44-50
Tykev	10-15	37-44	44-50
Okurka	15-18	31-37	44-50

Tabulka 2.1: Kardinální body vybraných rostlin[1]

2.1.2.4 Proudění vzduchu a vnitřní uspořádání

Vnitřní prostor klimaboxu (obr. 2.2) je rozdělen hliníkovými perforovanými policemi na čtyři pěstební prostory. Při pěstování explantátový a mikrobakteriálních kultur lze využít všech vzniklých ploch. Pěstování rostlin má však jistá omezení a to hlavně díky velmi sníženému osvětlení v nižších patrech. Je typické rostliny menšího vzrůstu umístit na vrchní polici co nejblíže osvětlení a v průběhu jejich růstu je přemísťovat na pozice nižší.

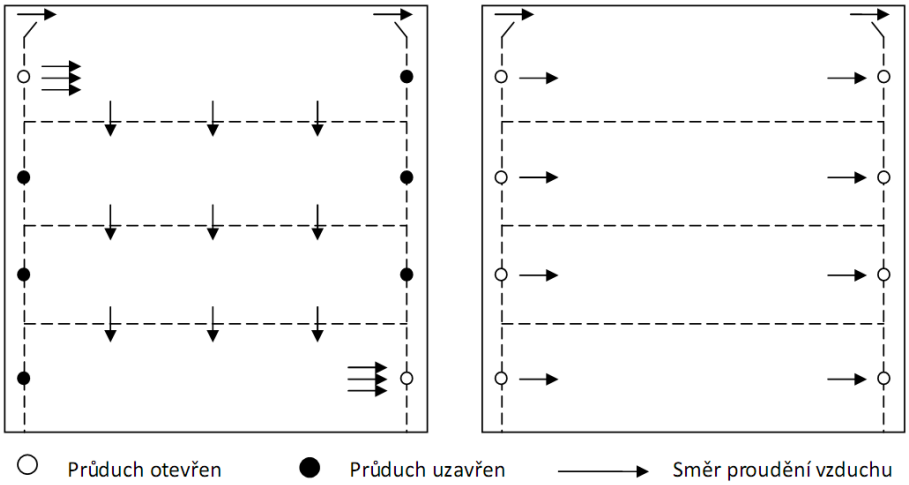
Na obou stranách vzdušníků[8] pod oddělovací akrylonovou deskou[9] jsou uzavírací klapky, které umožňují podle potřeby "odfoukat" teplý vzduchový polštář. Tento polštář vzniká zářením na akrylonovou desku díky její malé vzdálenosti od výbojek.

Bočnicemi v pěstebním bloku je vytvořen další vnitřní prostor, ve kterém je možné nastavovat proudění vzduchu. Otevřením či uzavřením každé z bočnic vzniká bezpočet možností proudění vzduchu. Ať už shora dolů, zdola nahoru nebo shora do stran atd. , aby bylo proudění vzduchu pro rostlinu optimální. Ukázky možných konfigurací proudění vzduchu naleznete na obr.2.3. Výměna čerstvého vzduchu z okolí je zajištěna pomocí otvorů v oddělovací akrylonové desce. Zakrýváním těchto otvorů je možné tok čerstvého vzduchu dále regulovat.

[8] Prostor za bočnicemi v pěstebním bloku, kudy proudí vzduch z technologického bloku, viz.2.3.

[9] Průhledná deska z hmoty podobné plexisklu. Slouží k tepelnému oddělení světelného panelu od pěstebního bloku.

Obrázek 2.2: Pěstební blok klimaboxu



Obrázek 2.3: Ukázka z možných konfigurací proudění vzduchu

2.1.3 Podmínky pro pěstování ostatních kultur

Požadavky ostatních kultur na funkci klimaboxu se mnohdy dosti liší od požadavků na pěstování rostlin.

2.1.3.1 Explantátové kultury

Explantátové kultury jsou uzavřené v nádobkách a nepotřebují regulovat vlhkost. Postačí regulace osvětlení a teploty.

2.1.3.2 Mikrobakteriální kultury

Mikrobakteriální kultury většinou nevyžadují osvětlení ani regulaci vlhkosti, pokud jsou v hermetických nádobách. Postačí regulace teploty.

2.2 Historie a vývoj klimaboxu

Vývoj klimaboxu probíhal od roku 1976 do roku 1985 postupně v těchto etapách. Každá etapa a subetapa představovala nejméně jeden prototyp klimaboxu.

1. Úprava cukrárenské skříně pro explantátové kultury.
2. Úprava lednic s bočním a horním osvětlení pro převod kultur *in vitro*[10] na rostliny.
3. Vývoj klimaboxu s oběhem klimatizovaného vzduchu.
   (a) s regulací teploměry Vertex
   (b) s regulací typu Danfos
   (c) s elektronickou regulací teploty
   (d) s elektronickou regulací teploty, vlhkosti, osvětlení
   (e) s programově nastavitelnými hodnotami teploty, vlhkosti, osvětlení

   a-d s pevným nastavením hodnot

[10] Kultivace biologického materiálu v laboratorním skle (např. zkumavkách, Petriho miskách apod.).

4. Samostatné klimatizované prvky.
   (a) světelný panel
   (b) klimatizovaný pult
5. Mikroprocesorové ovládání prostředků klimaboxu s digitálním snímáním teploty a vlhkosti.

Regulace klimaboxů označených pod body 1 - 4 je řešena buď mechanicky nebo analogově elektronicky. Toto řešení umožňuje pouze omezené nastavení požadavků na regulaci. Časové nastavení bylo možné pouze pro denní a noční režim. Z hlediska přesnosti snímacích prvků nebyla regulace vyhovující.

2.3 Technické řešení klimaboxu

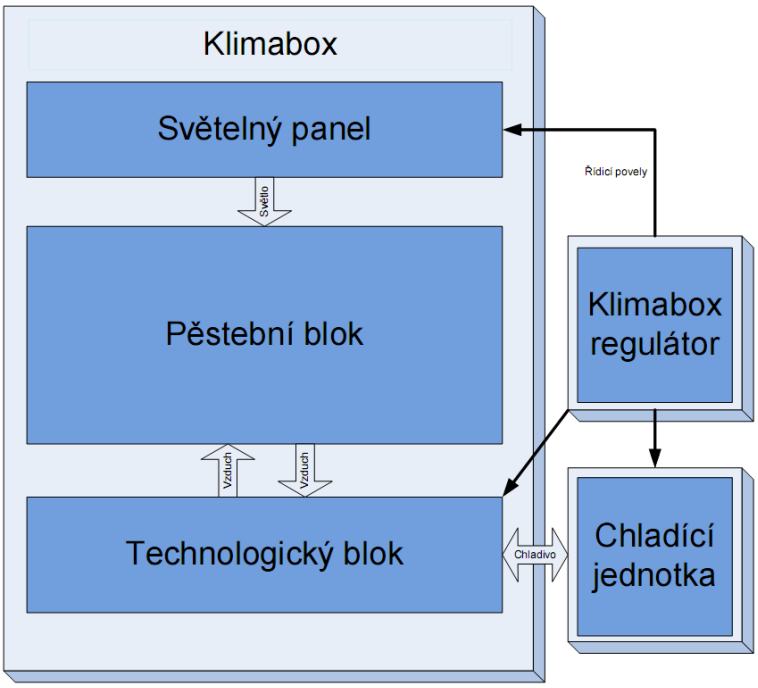
Z hlediska úkolu této práce není třeba popisovat konstrukční řešení všech typů klimaboxů. Technický popis bude zaměřen pouze na jednotlivé prvky klimaboxu bez návaznosti na jednotlivé typy.

2.3.1 Velikost klimaboxu

Velikost klimaboxu byla odvozena od potřeby pěstování rostlin v řízeném klimatu v malých počtech. Rozměry jsou dány některými technickými prvky, jako je např. délka zářivkových trubic (udává šířku vnitřního prostoru klimaboxu), dosah ruky na zadní stěnu klimaboxu (udává hloubku klimaboxu) a maximální rozměry dveří 100 cm (udává vnější rozměry). Výška vnitřního prostoru je odvozena od výšky obilovin ječmene a pšenice.

2.3.2 Blokové rozložení

Klimabox je sestaven z pěstebního bloku, chladícího a světelného panelu, viz. 2.4. Tyto bloky se vyrábějí samostatně a sestavují se na místě při montáži. Chladící agregát se umisťuje mimo klimabox. Vnitřní prostor je členěn čtyřmi vyjímatelnými perforovanými podlážkami. Podle růstu rostlin a jejich nároků na světlo se mohou umisťovat v různých vzdálenostech



Obrázek 2.4: Blokové rozložení prvků klimaboxu

od světelného panelu. Cirkulace vzduchu ve vnitřním prostoru je prováděna ventilátory ve směru hodinových ručiček. Vzduch klimatizovaný v technologickém bloku je přes uzavíratelné mřížky ve stěnách vegetačního bloku vháněn k rostlinám.

2.3.3 Chlazení

Chlazení je jednookruhové, médium je ekologická náhražka freonu. Vlastní agregát (400 W) je umístěn mimo klimabox, žebrovaný výparník je umístěn uprostřed technologického bloku (obr.2.8). Protože se nevyžadují teploty pod 0 °C nemá klimabox systém pro odtávání. Umístění agregátu mimo klimabox je podmíněno snadným přístupem k agregátu. Technické parametry chlazení naleznete v tab. 2.2. Fotografii chladícího agregátu je na obr. 2.5.

2.3.3.1 Oběh chladiva

V expanzním ventilu dochází ke zplynovaní kapalného chladiva. Při dalším rozpínání chladiva ve výparníku dochází k odebírání tepla z okolí. Teplota výparníku klesá. Chladivo v plynném skupenství přechází vedením ke kondenzační jednotce. Zde vchází do kompresoru, kde je znovu stlačeno a zkapalněno. Stlačením se chladivo zahřeje a toto přebytečné teplo je nutné v chladiči, za pomoci ventilátoru odvětrat. Z chladiče přechází chladivo do zásobníku

Obrázek 2.5: Chladící agregát

Kondenzační jednotka	ACC CGX18TB3NR (VOR s.r.o.)
Presostat	ALCO CONTROLS PS2-A7K
Dehydrátor	Danfoss DML163FS
Magnetický ventil	ALCO CONTROLS ASC 15VA
Chladivo	R134a
Objem nálpně	2 kg
Délka vedení	6m
Teplota výparníku	-5 °C
P_{Cut_in}	0 bar
P_{Diff_in}	1 bar
P_{Cut_off}	20 bar
Maximální spínací frekvence	1x/min

Tabulka 2.2: Technické parametry chladícího okruhu

chladiva, odtud směřuje přes dehydrátor[11] a magnetický ventil vedením zpět k expanznímu ventilu.

2.3.3.2 Ochrana chladícího okruhu

Ochranu chladicího okruhu zajišťuje presostat. Dva jeho tlakové vlnovce se stavitelnými kontakty udržují v okruhu tlak ve vymezeném rozsahu. Dolní hranice je určena hodnotou P_{Cut_in} a diferencí P_{Diff_in}. K poklesu tlaku dochází při úniku chladiva, presostat vypne kompresor, aby nedošlo k jeho poškození. K odepnutí kompresoru dojde také, je-li překročena maximální hranice P_{Cut_off}. K překročení tlaku dochází, když se chladivo v chladiči nedostatečně zchladí. Příčinnou může být např. příliš vysoká teplota v místnosti, do které je teplo odvětráváno. Aby se zamezilo zalití výparníku kapalným chladivem je magnetický ventil, zapojený na vedení kapalného chladiva, otevřen pouze běží-li kompresor. Doporučená maximalní frekvence spínaní kompresoru je 1x/min.

2.3.4 Světelný panel

Světelný panel (obr. 2.6) je řešen jako samostatný blok s vlastním chlazením. Tato koncepce byla u klimaboxů nová a revolučně snížila příkon klimaboxu. Najdeme zde čtyři výbojky SHC 250 W, které se velmi zahřívají. Jejich umístění v pěstebním bloku by radikálně zvyšovalo teplotu celého prostoru a bylo by potřeba téměř nepřetržitě chladit. Jako další zdroj světla je zde deset zářivek Tesla 36W. Trubice jsou zde namíchány tak, aby byly rostliny osvětlovány optimálním spektrem světelného záření. Chlazení světelného panelu zajišťují ventilátory, které mikroprocesor samostatně spíná. Je tím zajištěno dochlazení výbojek po jejich vypnutí. LED světla budou předmětem budoucí rozšíření, viz 6.4.

2.3.5 Vlhčení vzduchu

Vlhkost vzduchu je nejsložitější problém regulace klimaboxu. V současné době existuje mnoho různých zvlhčovačů vzduchu. Z fyzikálního pohledu je dělíme na:

1. Adiabatické

[11] Filtr odstřaňující vodu z chladiva.

Obrázek 2.6: Světelný panel

(a) s rotujícím kotoučem

(b) frekvenční nebo vakuovou dýzou

(c) ultrazvukové

(d) odpařovací/knotové

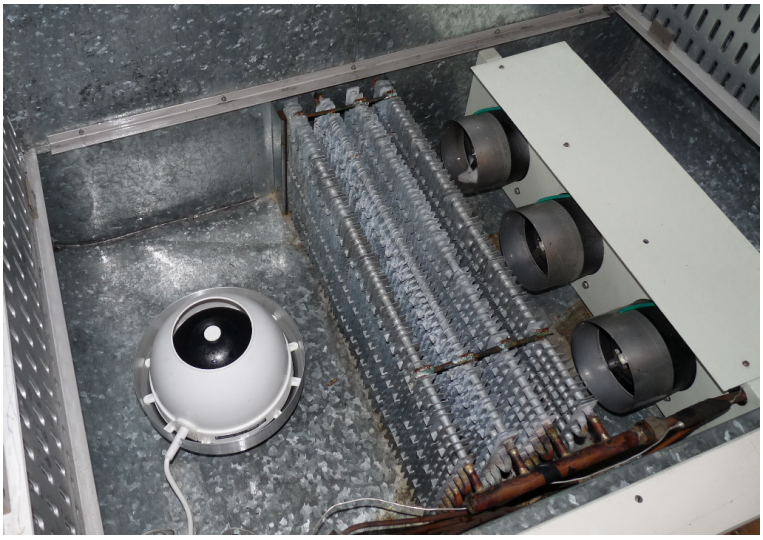
2. Parní

Z nichž u přístrojů z první skupiny dochází k rozstřikování kapiček vody do vzduchu. Na následné odpaření je potřeba energie, což se projeví snížením teploty. V druhém případě je voda dodávána do vzduchu již s energií potřebnou na odpaření, celková entalpie se zvyšuje. Aktuálně je použit zvlčovač vzduchu s rotujícím kotoučem. Do zásobní nádoby je potřeba nalévat vodu. V budoucím rozšíření se počítá s automatickým udržování vody u nastavené meze, které bude realizováno tak jak je uvedeno na schématu 6.1. Zařízení je umístěno v technologickém bloku v proudu cirkulujícího vzduchu, obrázek 2.7.

2.3.6 Ohřev a sušení vzduchu

Topení je realizováno topnou tyčí o výkonu 800 W umístěnou v pravé části technologického bloku. Topná tyč je využívána převážně v noční periodě, protože v denním režimu teplota vzduchu stoupá díky osvětlení. Topná tyč je schovaná na obr.2.8 za větráky.

Obrázek 2.7: Zvlhčovač



Obrázek 2.8: Technologický blok klimaboxu

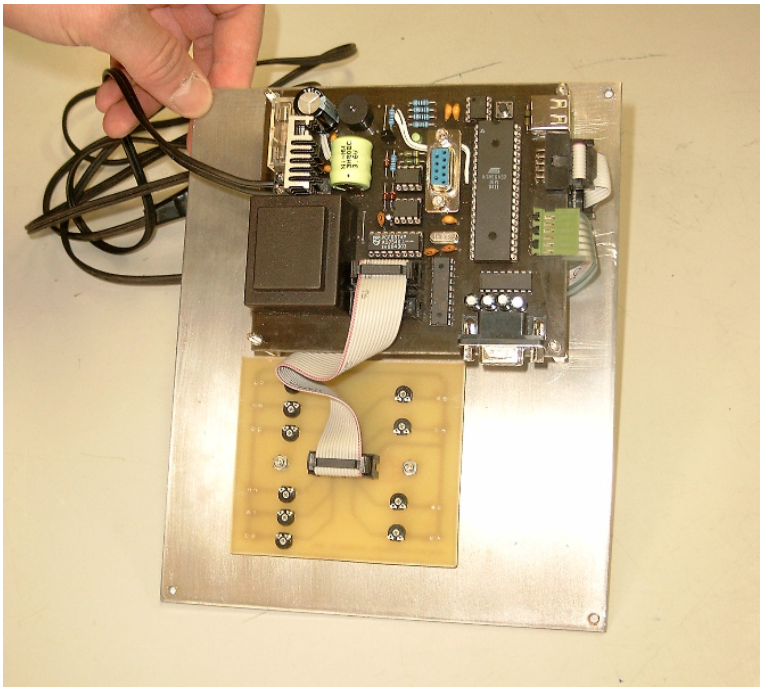
Vysoušet vzduch je možné sorbčně[12] nebo kondenzačně. Sušení je v klimaboxu založeno na principu kondenzace vodních par na chladiči. Při vysoušení je zapnuto chlazení a zároveň topná tyč, na které se procházející vzduch ohřeje. Takto ohřátý vzduch je ventilátory hnán skrz chladič, kde jeho vlhkost kondenzuje na vodu. Tato voda je odváděna kanálkem vespod vany technologického bloku ven z klimaboxu.

[12] Sorbční materiál pohlcuje vzdušnou vlhkost. Při saturaci je nutné jej vyměnit nebo používat rotující sorpční filtry vysoušené sekundárním okruhem.

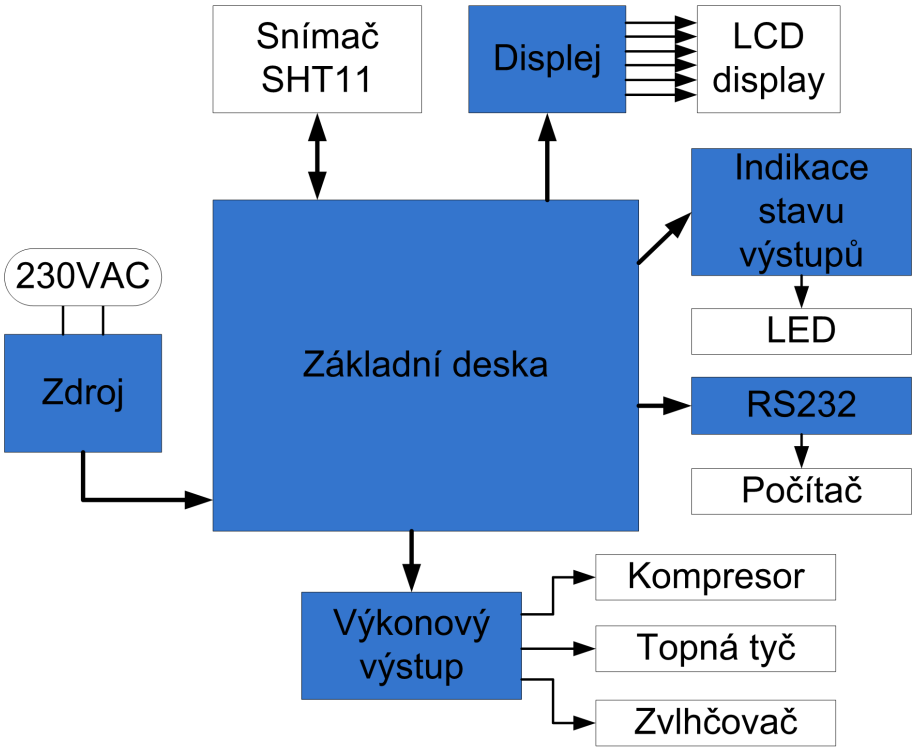
Kapitola 3

Klimabox regulátor

Klimabox regulátor je zařízení navržené pro potřeby a vlastnosti klimatické jednotky. Jeho úkolem je řídit bezpečný a bezproblémový provoz klimaboxu podle parametrů zadaných uživatelem. K uživatelsky co nejjednodušímu nastavení slouží LCD displej a klávesnice na přední straně. Na zadní servisní straně panelu se nachází programovací a komunikační konektory. Konektor připojení snímače, potenciometr nastavení kontrastu displeje a hardwarový reset zařízení. UPOZORNĚNÍ: Jakékoliv servisní úkony se mohou provádět pouze při vypnutém přívodu el. energie.



Obrázek 3.1: Klimabox regulátor



Obrázek 3.2: Blokové schéma regulátoru

3.1 Popis zařízení

Klimabox regulátor je panelové zařízení jehož základní funkcí je regulovat teplotu a vlhkost ve výše uvedeném rozsahu, dále pak spínat výbojky, zářivky a LED osvětlení podle časového nastavení uživatele. Časové intervaly lze nastavovat v 24 hodinovém cyklu s minimálním rozlišením 5 minut. Regulace probíhá programově na principu 3-polohového regulátoru a je dále popsána v kapitole 4. Hysterezní hranice regulace jsou nastavitelné od 0.1°C do 5 °C nad i pod nastavenou hodnotu teploty a 3 - 30 % nad i pod nastavenou hodnotu vlhkosti. Podrobné popsání nastavení je vysvětleno v návodu k použití (kapitola 5). Blokové rozdělení regulátoru je patrné z obr. 3.2. Jednotlivé bloky budou detailně popsány níže.

3.1.1 Základní deska

Na tomto jednovrstvém plošném spoji jsou umístěny všechny základní obvody potřebné k běhu mikroprocesoru, počítání a udržování času, programování a sériový výstup. Jednotlivé části budou popsány dále. Schéma zapojení naleznete v příloze B.1.

3.1.1.1 Zdroj

Napájecí zdroj je klasické konstrukce a je navržen pro potřeby napájení zařízení napětím 5V. Na primární vinutí transformátoru TR1 je přivedeno přes pojistku F1 napájecí napětí z klimaboxu 230 V/50 Hz. Toto napětí je transformováno na 9 V a usměrněno Graetzovým můstkem[1] B1. Kondenzátor C1 je zde jako vyhlazení. Takto upravené napětí je přivedeno na stabilizátor IC3, který stabilizuje napětí na stejnosměrných 5V. Kondenzátory C2 a C3 jsou potřebné ke správné funkci stabilizátoru. Signalizace napájení je realizována zelenou diodou D6 umístěnou vedle konektoru programování.

3.1.1.2 Mikroprocesor a podpůrné obvody

Jádrem celého zařízení je procesor ATMEGA 32 (IC5) [13]. Tento procesor byl vybrán z řady možných procesorů kvůli 32 kB vnitřní programové paměti a nahradil předchozí procesor AT90S8535, jehož programová paměť nebyla dostačující. Základním požadavkem běhu procesoru je napájecí napětí 5 V a oscilátor, ten zajišťuje krystal Q1 a kondenzátory C4 a C5. Pro dobrou funkci procesoru je vhodné připojit resetovací obvod. Resetovací odvod je složen z integrovaného obvodu IC9, rezistorů R16 a R17, kondenzátorů C7 a C8 a spínače S2 a je zapojen podle fungujícího zapojení výrobce. Rezistor R5 je pro oddělení resetovacího obvodu od programovací linky. Dále je ještě blízko napájecích pinů procesoru připojen kondenzátor C6 sloužící jako odrušení napájení procesoru.

3.1.1.3 Obvody sběrnice I2C

V návrhu zařízení jsou použity obvody pracující na sběrnicí I2C. To je výhodné řešení zejména z hlediska nízkých nároků na počet pinů procesoru. Všechna zařízení jsou napojena pouze na linky SDA (datová linka) a SCL (linka s hodinovým signálem), na kterých jsou ještě zdvíhací rezistory R9 a R10. Podrobný popis sběrnice je možno nalézt na .

Nejdůležitějším a nejsložitějším obvodem připojeným ke sběrnici je PCF8583[2] (IC7) [10]. Informace o reálné čase je přes sběrnici přenášena procesoru. Externí umístění je úmyslné, protože realizace času, který se "nezapomíná" (tj. běží i při vypnutém klimaboxu) se lépe

[1] Graetzův můstek je diodový usměrňovač.

[2] PCF8583 je obvod reálného času.

provádí mimo procesor, protože v opačném případě je nutné stálé napájení procesoru a programové ošetření tohoto stavu. IC7 je napájen ze zdroje, v případě vypnutého napájení z baterie G1. Baterie má svůj vlastní nabíjecí obvod, který ji nabije na 4,3 V. To je plně dostačující pro běh obvodu reálného času. Nabíjení zajišťuje rezistor R1 určující z rozdílu napětí nabíjecí proud a dioda D2, která zaručuje maximální napětí nepřesahující povolené nabití baterie. Diody D1 a D3 brání průchodu proudu mimo obvod IC7. Krystal Q2 a jeho kondenzátor C13 zajišťují běh času. Je použitý krystal 32768 Hz a to právě proto, že tato frekvence je mocninou 2. Což znamená, že se dělením snadno získají hodinové pulzy.

Další obvod připojený ke sběrnici je PCF8574 (IC8) [11]. Tento obvod je externím paralelním portem, je použit z důvodu nedostatku pinů na procesoru a slouží ke zobrazování sepnutých výstupů pomocí diod. Posledním obvodem používajícím I2C sběrnici umístěným na základní desce je paměť EEPROM AT24C04 (IC2) [14], do které jsou zaznamenávány hodnoty teploty, vlhkosti a další údaje.

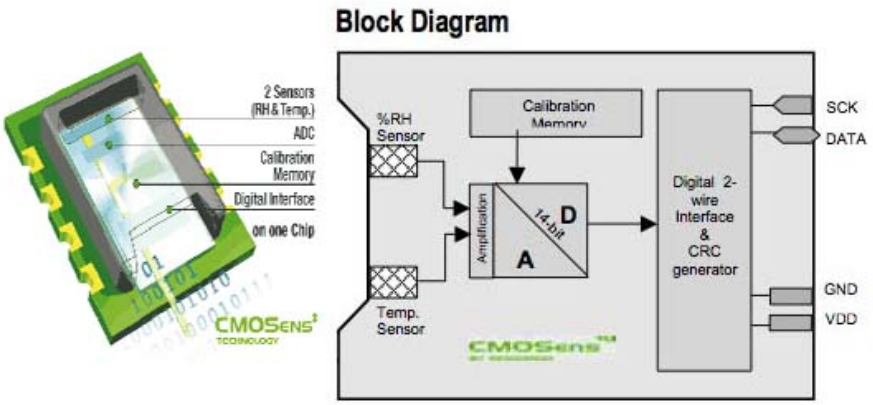
3.1.1.4 Ostatní obvody a zařízení

Protože se do budoucna počítá s využitím sériové linky k ovládání regulátoru přes počítač, a protože je sériová linka vhodná i pro odlaďování programu, je zde zapojen převodník úrovně MAX232 (IC4) [15], který zprostředkovává komunikaci mezi sériovým portem počítače a sériovým portem mikroprocesoru. Ke svému chodu potřebuje kondenzátory C9, C10, C11 a C12 zapojené podle fungujícího zapojení výrobce. Spojovacím článkem mezi počítačem a mikroprocesorem je nekřížený kabel pro sériovou komunikaci.

IC1 je neinvertující budič sběrnice sloužící jako budič čtyř výstupních linek z mikroprocesoru (ne z IC8) vedoucích na konektor X7. Všechny výstupy jsou zavedeny na konektory X7 (indikace pomocí LED diod) a X8 (konektor pro výkonové výstupy).

Důležitou členem uspadňujím ovládání je na plošném spoji umístěná piezosirénka, která "pípne" při každém stisku klávesy na klávesnici (viz dále). Rezistor R3 slouží jako omezovač proudu báze tranzistoru T1, který spíná samotné pípání piezosirénky SP1. Rezistory R4 a R6 zde byly navrženy pro možné upravení zvuku piezosirénky.

Použitá foliová klávesnice se k mikroprocesoru připojuje pomocí konektoru X6. Konektor X3 slouží k programování procesoru. Tím je možné kdykoli nahrát nový upravený program.



Obrázek 3.3: Blokové schéma snímače SHT11(převzato z www.sensirion.ch)

Přes konektor X5 se k procesoru připojuje LCD displej. USB konektor X1 slouží k připojení čidla teploty a vlhkosti.

3.1.2 Snímač teploty a vlhkosti SHT 11

Velmi důležitým prvkem regulátoru je snímač. Tento snímač je digitálním čidlem teploty v rozmezí 40 °C až +123,8 °C s přesností ±0,1 °C a vlhkosti v rozmezí 0-100 % relativní vlhkosti s přesností ±3 % relativní vlhkosti, to vše v pouzdře o velikosti 7,42 x 4,88 mm. SHT11 nahradil stávající systém měření teploty a vlhkosti pomocí suchého a mokrého teploměru. Operátor musel mít převodní tabulky a musel umět správně nastavit požadovanou teplotu na suchém a vlhkém teploměru. Původní snímač byl také složitý z pohledu digitalizace a získání konečných hodnot teploty a vlhkosti. Senzor SHT11 řeší všechny A/D převody, konverze a kalibrace autonomně ve svém těle. S okolím komunikuje po digitální sběrnici svým protokolem. Další informace o SHT11 lze nalézt v [12], blokové schéma snímače je na obr. 3.3.

3.1.3 Displej

Je použit LCD displej 20x4 znaků, modrý negativní s bílým podsvícením. Podsvícení se spíná tranzistorem T1 což umožňuje mikroprocesoru regulovat pomocí PWM svítivost displeje. Hardwarově lze nastavit intenzitu podsvícení rezistorem R2. Podsvícení se zapne při zmáčknutím jakékoliv klávesy na klávesnici. V nastavovacím režimu (viz. kapitola 5) svítí nepřetržitě. Při zobrazené základní obrazovce (5.2) se podsvícení po 10 sekundách vypne.

Konektorem X1 se displej připojuje k řídící desce. Trimrem R3 se nastavuje kontrast zobrazení displeje. Schéma zapojení naleznete v příloze B.2.

3.1.4 Indikace stavu výstupů

Zobrazení stavu výstupů se provádí diodami D1 - D10. Trimry R1 - R10 se nastavuje svítivost jednotlivých diod tak, aby všechny svítily stejně. Schéma zapojení naleznete v příloze B.3.

3.1.5 Výkonový výstup

Klimabox je zařízení pracující výhradně s napětím 230VAC a tomu musí být přizpůsobeny koncové spínací prvky regulátoru. Proudové odběry jednotlivých komponent jsou uvedeny v tab. 3.1. Regulátor spíná hlavní stykač klimaboxu, což umožnuje klimabox na dálku zapínat a vypínat. SSR relé použité ke spínání topné tyče je použito pro případ, že bude v budoucnu potřeba regulovat topný výkon pomocí PWM. Chladící jednotka a zvlhčovač jsou spínány stávajícími výkonovými stykači, je ovládá regulátor přes malá jazýčková relé. Stejná relé spínají také hlavní stykač klimaboxu, oba okruhy zářivek a výbojek a větráky světelného panelu. Větráky jsou ovládány samostatně kvůli dochlazení výbojek po jejich vypnutí. Na ovládání akčního členu zalévání jsou připraveny dvě varianty. První počítá se spínáním síťového napětí (např. solenoid), druhá se spínáním stejnosměrného napětí 12V (např. pumpa ostřikovače automobilu). Napětí 12V je přivedeno z externího adaptéru. Schéma zapojení naleznete v příloze B.4.

Komponenta	Hlavní spínací sprvek	Proudový odběr	Spínací prvek
Hlavní stykač klimaboxu	/	300mA	relé RAS1215
Topná tyč	/	1.7A	SSR S202SE2F
Chladící jednotka	stykač	300mA	relé RAS1215
Vlhčení	stykač	300mA	relé RAS1215
2x výbojka	/	4.5A	SSR KSD215AC8
5x zářivka	/	1.5A	relé RAS1215
Zalévání	/	max. 8A AC / 2A DC	SSR S202SE2F / BUZ11
Větráky světelného panelu	/	0.5A	relé RAS1215

Tabulka 3.1: Měřený proudový odběr komponent

3.2 Základní technické parametry regulátoru

Napájení	230V/50Hz z klimaboxu
Rozsah regulace teploty	5-40 °C
Rozsah regulace vlhkosti	40-90 %
Typ regulace	24 hodinová
Snímání teploty a vlhkosti	Digitální
Uživatelský vstup	Klávesnice, RS232
Uživatelský výstup	LCD, LED diody, RS232
Výkonnový výstup	230V AC, 12V DC

Tabulka 3.2: Základní technické parametry regulátoru

Kapitola 4

Regulace

Klimabox regulátor umožňuje regulovat teplotu, vlhkost, spínat výbojky, zářivky, LED světla a regulovat vlhkost tří substátů zálivkou[1]. Výbojky a zářivky lze spínat na poloviční a plný výkon, tj. je sepnuta polovina nebo všechny dané osvětlovací prvky. Regulace LED osvětlení bude předmětem dalšího vývoje.

Regulace teploty a vlhkosti zároveň je obecně velký regulační problém. Relativní vlhkost vzduchu je silně ovliňována jeho teplotou, jak je vidět na obrázku 4.1. Akčními prvky klimaboxu jsou topná tyč, kompresor chladícího agregátu a zvlhčovač. Jsou spínány zapnuto-vypnuto. Jako nejjednodušší a postačující regulátor je realizován třípolohový regulátor, který je popsán v sekci 4.2. Sušení se realizuje současným sepnutím kompresoru chladící jednotky a topné tyče, viz. 2.3.6.

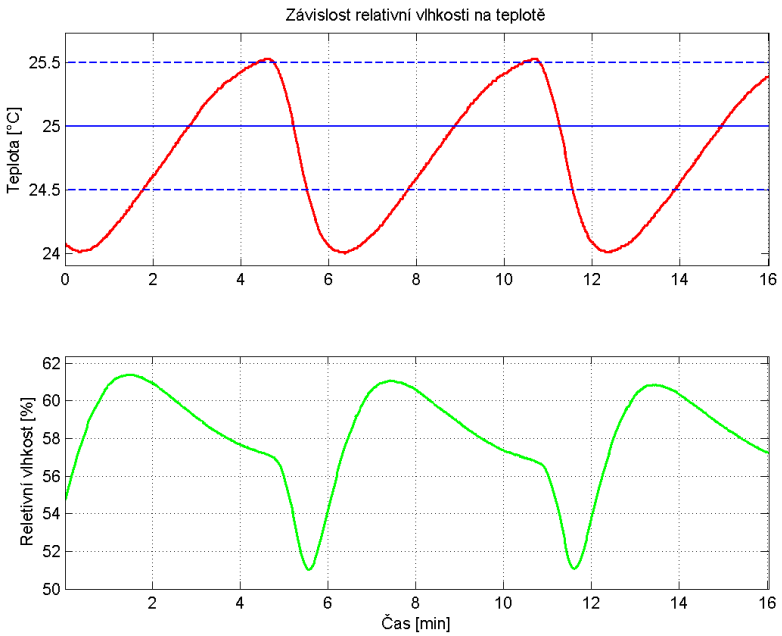
Spojité řízení teploty a vlhkosti zároveň spadá do oblasti extremální regulace[2][4]. Akční prvky by se daly navenek spojité udělat tímto zpusobem. Výkon topné tyče může být bez větších problému regulován pomocí modulace PWM. U chlazení je situace složitější. Chladící výkon na výparníku lze měnit regulací otáček motoru kompresoru. To by se zajistilo frekvenčním měničem. Dále je potřeba snímat teplotu na začátku a na konci výparníku a podle těchto teplot upravovat uzavření magnetického expanzního ventilu tak, aby docházelo k optimálnímu vstřiku chladiva do výparníku.

Regulátor má zabudován ochranný interval teplot < 2°C, 45°C >. Jestliže se teplota, ať už z důvodu jakékoliv poruchy, dostane mimo ochranný interval, regulátor vypne hlavní stykač

[1] Automatická zálivka je předmětem dalšího vývoje, viz.6.2.

[2] Samostatná regulace dvou a více na sobě závislých dějů.

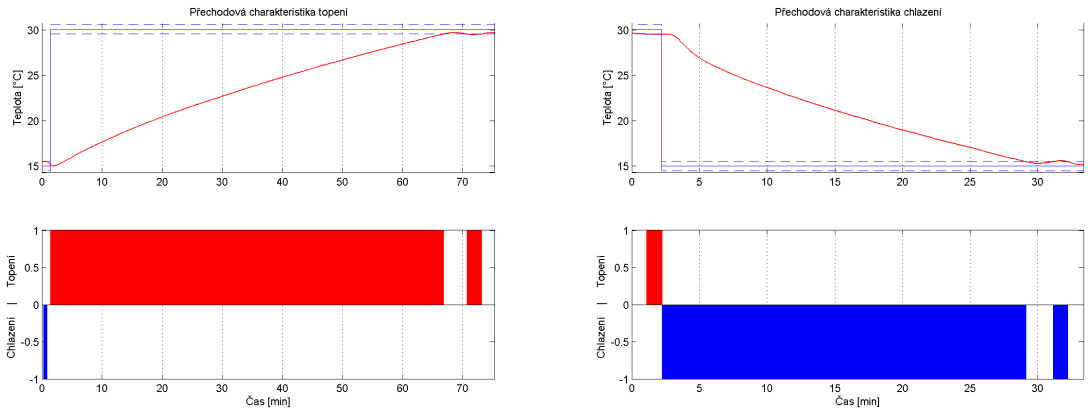
klimaboxu, čímž celé zařízení vypne. Současně je porucha hlášena přes sériovou komunikaci, na displeji a dále pípáním piezo sirény. Tento stav může změnit pouze operátor. Na jakékoliv opravy klimaboxu je nutné vypnout hlavní jistič přívodu el. energie. Při opětovném spuštění musí být během startu přidržena klávesa "**&**" (obrázek klávesnice na 5.1), tím dojde k přechodu do normálního režimu.



Obrázek 4.1: Naměřená závislost relativní vlhkosti na teplotě. Během měření nebyl zapnutý zvlhčovač.

4.1 Přechodové charakteristiky

Při měření přechodových charakteristik byla nejdříve delší dobu udržována stálá teplota, aby se teplota plechových stěn klimaboxu stačila vyrovnat s měřenou teplotou vzduchu. Na obou charakteristikách (obr. 4.2) je přesto vidět mírný zlom způsobený právě přídavkem teploty stěn. U topení najdeme zlom okolo 17°C, u chlazení na 27°C. Obecně však můžeme vliv topení i chlazení na regulovanou soustavu považovat za lineární.



Obrázek 4.2: Přechodová charakteristika topení a chlazení

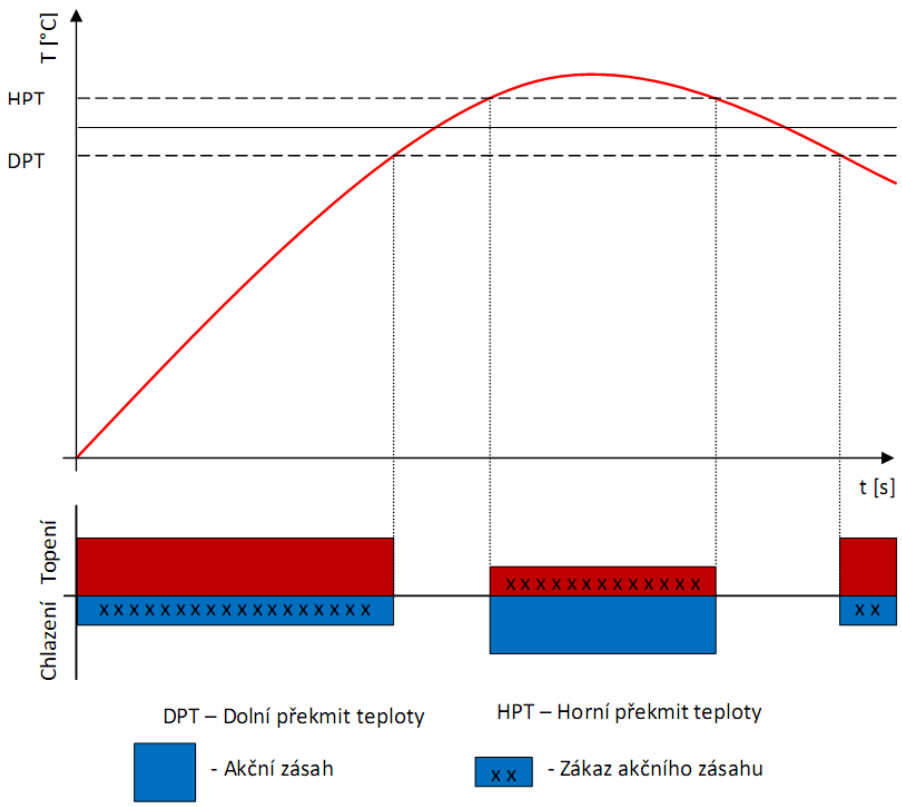
4.2 Třípolohová regulace

Regulátor je diskrétní automat vyhodnocující každou vteřinu logický strom. Byli zpracovány dvě varianty řízení dynamického prostředí klimaboxu, a to regulátor s akčním zásahem pouze mimo zónu hystereze v sekci 4.2.1 a regulátor s dobíháním na požadovanou hodnotu v sekci 4.2.2.

Před započetím regulace je nutné snímaná data teploty a vlhkosti filtrovat, aby při přechodech hranice sepnutí nedocházelo ke zbytečnému zapínání a vypínání ovládacích prvků. Filtrování je provedeno filtrem “Pohyblivý průměr s exponenciálním vážením hodnot” délky 15 [7]. Délka filtru odpovídá fázovému zpoždění 15 sekund a splňuje požadavky na filtraci dat. Údaje jsou snímány a zpracovávány s přesností na dvě desetinná místa.

4.2.1 Třípolohový regulátor s akčním zásahem pouze mimo zónu hystereze (regulátor 1.)

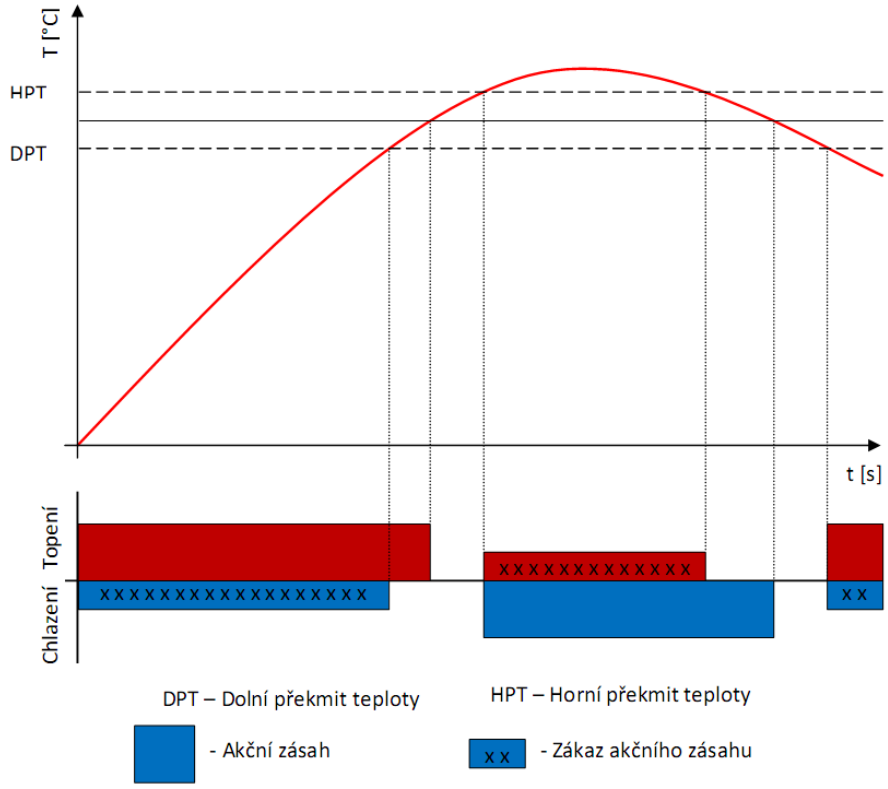
Tento regulátor budí akční členy tehdy, pokud se měřená veličina nachází mimo zónu hytereze. Stane-li se tak u teploty, je při topení zakázáno chlazení a naopak (obr. 4.3). To má následně vliv na regulaci vlhkosti, protože nemůže být prostor zároveň vysoušen. Jinými slovy, regulátor v prvé řadě zajistí rostlinám správnou teplotu a až potom se snaží vypořádat s vlhkostí. Algoritmus rozhodování tohoto typu regulátoru naleznete na diagramu A.1.



Obrázek 4.3: Třípolohový regulátor s akčním zásahem pouze mimo zónu hystereze

4.2.2 Tří polohový regulátor s dobíháním na požadovanou hodnotu (regulátor 2.)

Důvodem vzniku tohoto regulátoru byla snaha umožnit regulátoru snáze a rychleji měnit vlhkost při zachování teploty ve vytyčených mezích. Regulátor opět reguluje v prvé řadě teplotu, ale nyní s tím rozdílem, že akční členy je sepnuty až do doby, než teplota dosáhne nastavené požadované hodnoty (viz. 4.4). To vzhledem k setrvačnosti systému může při malém hysterezním rozsahu vést ke kmitání systému, avšak při hysterezi cca $\pm 1°C$ kmitání snižuje. Naměřené průběhy naleznete na obr. 4.6(*b*,*c*). Rozhodovací algoritmus je uveden na diagramu A.2.



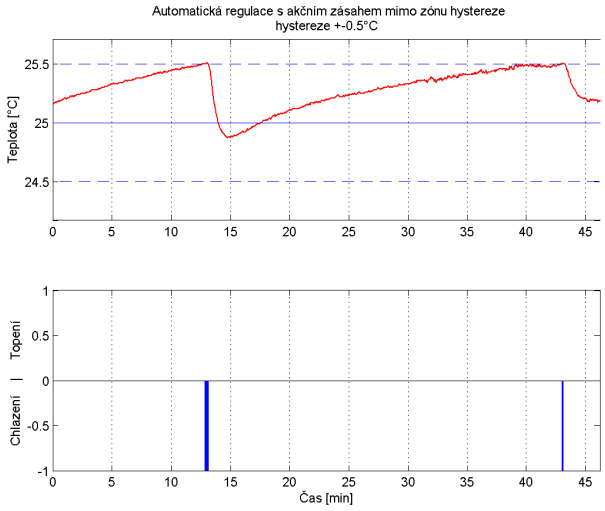
Obrázek 4.4: Třípolohový regulátor s dobíháním na požadovanou hodnotu

4.2.3 Porovnání regulátorů

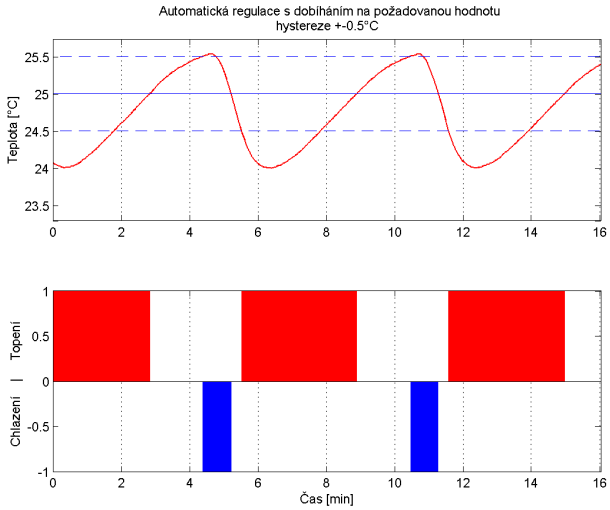
V tomto případě měli oba regulátory za úkol udržovat konstantní hladinu 25°C. Jak je vidět z obrázku 4.5 , při stejném nastavení mezí hystereze (na ±0.5°C) reguluje první regulátor s podstatně menší energetickou náročností a rozkmitem hodnot okolo požadované hodnoty než jak je tomu v druhém případě (4.5(b)). Zde dochází ke zbytečnému kmitání systému, a to kvůli setrvačnosti akčních prvků. Graf 4.5(c) ukazuje regulační děj 2. regulátoru s hysterezí ±1°C. Zde je názorně vidět tepelná kapacita systému. Tepelná tyč tady nesepnula téměř 2 hodiny a to také díky tomu, že byli stěny klimaboxu rozehřáty na teplotu podobnou požadované teplotě. Další vliv na tepelnou setrvačnost systému budou mít pěstované rostliny, zejména masa jejich substrátu. Prosím povšimněte si rozdílného časového rozpětí jednotlivých průběhů. Přesněji jsou rozdíly mezi jednotlivými regulátory vidět při teplotním skoku (popsáno níže v 4.2.3.1).

4.2.3.1 Skok 25°C→15°C

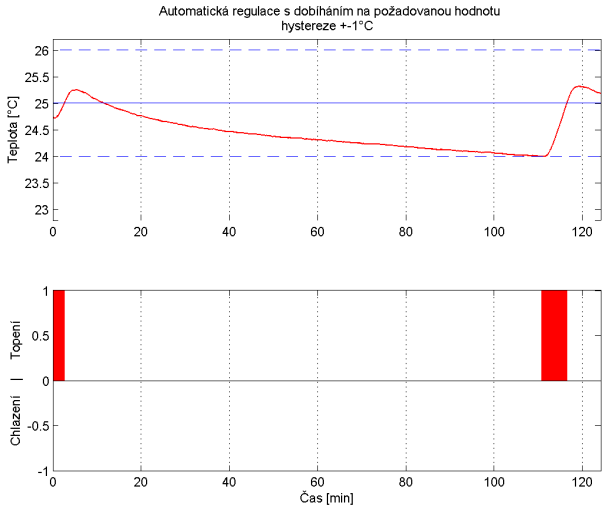
Typickým příkladem regulace teploty je změna mezi denní a noční etapou. Na grafu 4.6(*a*) je přechodový děj 1. regulátoru při změmě teploty z 25°C na 15°C. Průběh je celkem vyhlazený, kompresor spíná v mezích maximální frekvence a intervaly mezi jednotlivým sepnutí se prodlužují jak soustava postupně vychládá. Průběh 4.6(*b*) zobrazuje odezvu klimaboxu na regulaci regulátorem s dobíháním na požadovanou hodnotu (2.) s hysterezními mezemi nastavenými na ±0.5°C. Soustava zbytečně kmitá. Poslední zkoumaný průběh je 4.6(*c*) a patří stejnému regulátoru jako v předešlém případě s hysterezí ±1°C. Průběh kolísá více než je tomu v případě *4.6*(*a,b*), ale je výrazně energeticky šetrnější.



(a) regulátorem 1. s hysterezí ±0.5°C

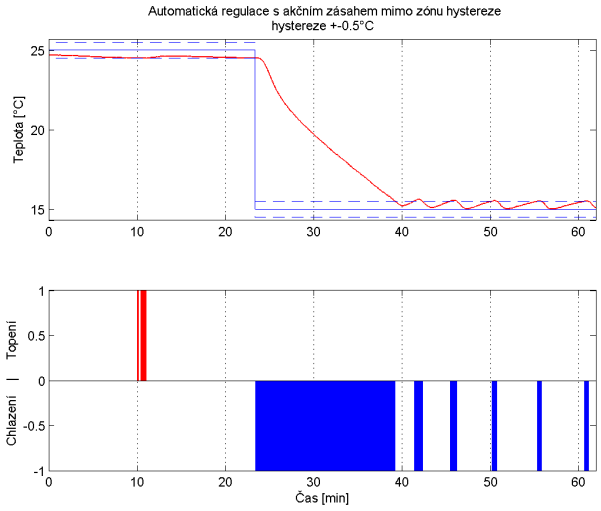


(b) regulátorem 2. s hysterezí ±0.5°C

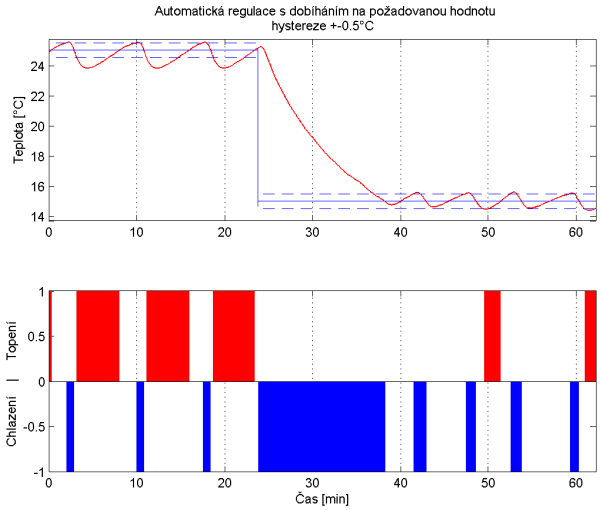


(c) regulátorem 2. s hysterezí ±1°C

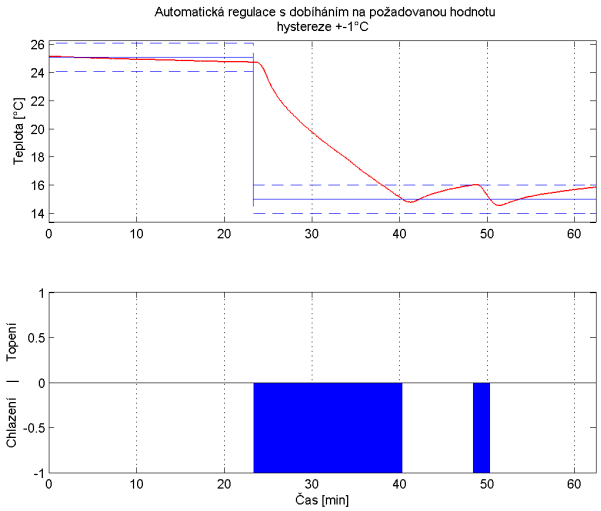
Obrázek 4.5: Porovnání regulátorů. Udržování konstantní hladiny.



(a) regulátorem 1. s hysterezí ±0.5°C



(b) regulátorem 2. s hysterezí ±0.5°C



(c) regulátorem 2. s hysterezí ±1°C

Obrázek 4.6: Porovnání regulátorů. Skok 25°C→15°C.

Kapitola 5

Návod k použití

Klimabox regulátor se ovládá pomocí klávesnice umístěné na předním panelu. Displej se rozsvítí po stisknutí jakéhokoliv tlačítka. Na klávesnici jsou dvě skupiny tlačítek, směrový kříž a tlačítka ovládací. Nákres a číselné pojmenování je patrné z obrázku 5.1. Specifický význam kláves při nastavování bude popsán dále, obecně však lze funkci jednotlivých kláves shrnout takto:

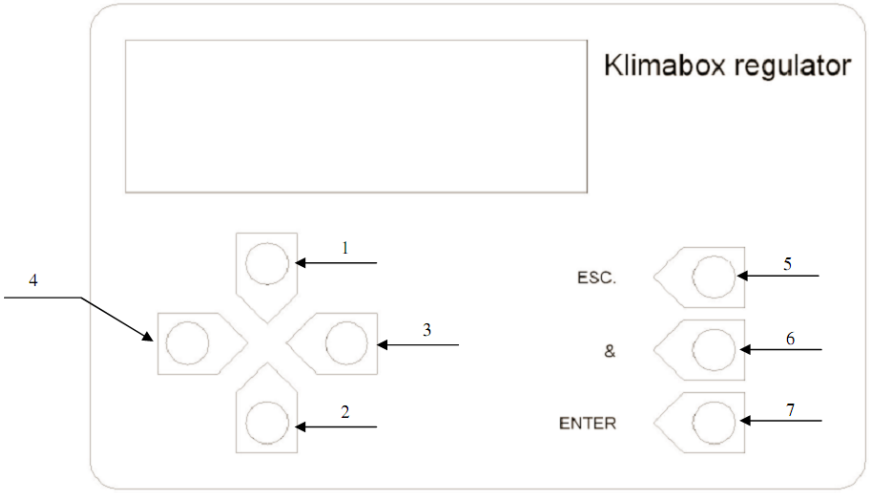
- **Nahoru** (1), **dolů** (2), **doprava** (3), **doleva** (4) - pohybují kurzorem v požadovaném směru, slouží k nastavení hodnot

- **ESC** (5) - opuštění nabídky

- tlačítko "**&**" (6) - mazání, opuštění poruchového stavu

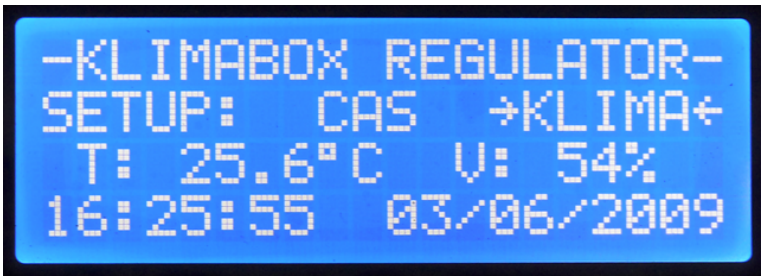
- **ENTER** (7) - vstup do nabídky, ukládání

LCD displej zobrazuje v každém okamžiku aktuální pozice kurzoru "→", možné nabídky a další informace (např. aktuální čas, aktuální teplotu a vlhkost apod.). Obsluha panelu zařízení je velmi intuitivní a uživatelsky příjemná.



Obrázek 5.1: Klávesnice

5.1 Základní obrazovka



Obrázek 5.2: Základní obrazovka

Tato obrazovka je zobrazena vždy, když systém není v režimu nastavování. Šipkami **doprava** a **doleva** se volí, který prvek budeme chtít nastavovat. Do režimu nastavování vstoupíme zmáčknutím tlačítka **ENTER**. V případě výběru položky čas (CAS) se zobrazí obrazovka Nastavení času (viz 5.2), v případě výběru položky nastavení klimatických podmínek (KLIMA) se zobrazí obrazovka Výběr procesu (viz 5.3). Pokud není stisknuta žádná klávesa, podsvícení se za 10s vypne.

5.2 Nastavení času

Obrázek 5.3: Nastavení času

Šipkami **doprava** a **doleva** posouváme kurzor postupně přes sekundy (SEK), minuty (MIN), hodiny (HOD), dny (DEN), měsíce (MES) a roky (ROK). Šipkou **nahoru** se inkrementuje hodnota na pozici kurzoru, šipkou **dolů** se hodnota na pozici kurzoru dekrementuje.

Po zmáčknutí tlačítka **&** se hodnota na pozici kurzoru vynuluje. Nastavení času se potvrdí tlačítkem **ENTER** a zobrazí se Základní obrazovka (viz 5.1) s nově nastaveným časem. V případě, že nechceme původní čas měnit, zmáčkneme tlačítko **ESC**.

5.3 Výběr procesu

Obrázek 5.4: Výběr procesu

Šipkami **doprava** , **doleva** , **nahoru** a **dolů** přejíždíme kurzorem po jednotlivých položkách - teplota (TEPLOTA), vlhkost (VLHKOST), výbojky (VYBOJKY), zářivky (ZARIVKY), LED světla (LED SV.), zalévání 1 (ZALEV. 1), zalévání 2 (ZALEV. 2) a zalévání 3 (ZALEV. 3). Po vybrání určité položky stiskneme klávesu **ENTER** a zobrazí se obrazovka Nastavení intervalů (viz 5.5), v případě výběru položky teplota nebo vlhkost se zobrazí obrazovka Nastavení překmitů (viz 5.4). Chceme-li smazat všechny intervaly kurzorem vybraného kanálu

stiskneme klávesu **&**. POZOR! Pokud potvrdíte následující obrazovku klávesou **ENTER** budou smazány všechny dříve nastavené intervaly daného kanálu!

5.4 Nastavení překmitů

Obrázek 5.5: Nastavení překmitů

Tato obrazovka je podobná u nastavení překmitů teploty i vlhkosti. Tlačítky **doprava** a **doleva** nastavíme kurzor na příslušnou pozici. Poté šipkami **nahoru** a **dolů** nastavíme požadovanou hodnotu horního překmitu (HORNI PREKMIT) nebo dolního překmitu (DOLNI PREKMIT). Překmit je jinými slovy hodnota tolerance udržování nastavené hodnoty. Když budou překmity nastaveny na malé hodnoty, regulátor bude často spínat topení a chlazení, což znamená vyšší energetickou náročnost. Po stisku klávesy **ENTER** (7) se zobrazí obrazovka Nastavení intervalů (viz. 5.5).

5.5 Nastavení intervalů

Obrázek 5.6: Nastavení intervalů

Tlačítky doprava a doleva posouváme kurzor postupně přes:

1. Číslo intervalu (INT C.). Stiskem tlačítka **nahoru** vytvoříte nový prázdný interval, na displeji se zobrazí nápis NOVY označují nový interval. Nelze vytvořit nový interval dokud neuložíte právě nastavovaný interval (viz níže)! Pokud se na displeji zobrazí nápis MAX POC (maximální počet) je již zadáno 31 intervalů, což je maximální počet intervalů (každý kanál má na začátku svůj vynulovaný interval, intervaly se počítají od 0). Tlačítkem **nahoru, dolů** prohlížíte dříve zadané intervaly.

2. Hodnota (HODNOTA) značí požadovanou hodnotu v průběhu regulace. Nastavuje se šipkami **nahoru** a **dolů** v rozmezí pro teplotu 5 °C - 40 °C, u vlhkosti v rozmezí 20 - 90 % relativní vlhkosti. U ostatních kanálů lze nastavit pouze 0 (vypnuto) nebo 1 (zapnuto).

3. Začátek a konec časového intervalu (OD, DO) se nastavuje šipkami **nahoru** a **dolů**. Hodiny a minuty zvlášť.

Dále vybereme požadovanou akci z:

1. Uložení intervalu. Po ukončení nastavení stiskneme **ENTER** pro uložení zadaných hodnot. Na obrazovce se objeví nápis ULOZENO ohlašující, že byl interval uložen..

2. Mazání intervalů. Pokud chceme právě zobrazovaný interval smazat stiskneme klávesu **&** . Potvrdíme-li následující upozornění klávesou **ENTER** bude tento interval smazán.

3. Odchod z nabídky. Po stisku klávesy **ESC** se zobrazí zpět obrazovka Výběr kanálu (viz 5.3). Neuložené intervaly nebudou při regulaci brány v úvahu.

Kapitola 6

Budoucí vývoj

6.1 Rozšíření nabídky menu

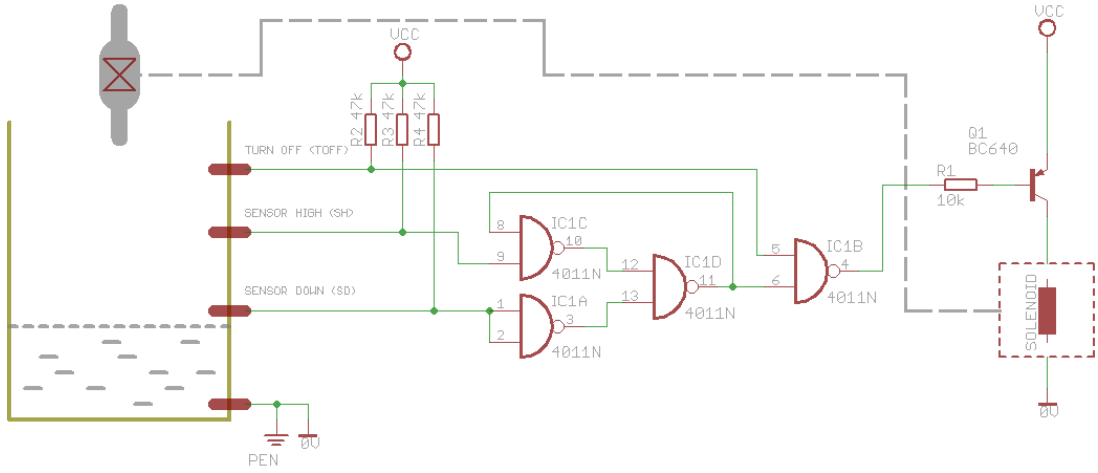
V současné době lze nastavovat na regulátoru pouze čas a průběh klimatu. Nebude obtížné změnit na základní obrazovce položku CAS na položku MENU. Pod ní se bude skrývat již zmíněné nastavení času, dále by zde bylo nastavení hysterezních mezí pro teplotu a vlhkost, doba svícení displeje po posledním stisku klávesy, intenzita podsvícení, nastavení ochranného intervalu teploty a další pro uživatele zajímavé hodnoty.

Případným dalším rozšířením bude možnost zadávání klimatických podmínek z dlouhodobého hlediska.

6.2 Automatická zálivka

Automatickou zálivku můžeme realizovat pouze za předpokladu, že známe vlhkost substrátu rostliny a řídíme akční člen, který umožní vodě dostat se k rostlině.

Měření vlhkosti substrátu lze provádět různými způsoby. Mezi nejpřijatelnější patří měření vodivosti nebo kapacity zeminy. Vodivost je bohužel závislá na vlhkosti zeminy nelineárně a je závislá také na "upěchování" hlíny. Kapacitní sondy jsou lineární, zato obvodově složitější. Na měření vlhkosti bude potřeba nový plošný spoj. Tento blok bude k základní desce připojen pomocí sběrnice I2C.



Obrázek 6.1: Schéma doplňování nádrže s vodou

Řekněme, že akční člen je malé 12V čerpadlo z ostřikovače automobilu. Pak, klesne-li vlhkost substrátu pod spodní nastavenou hranici, regulátor spustí pumpu. Pumpa poběží až do doby, než vlhkost zeminy přesáhne horní nastavenou hranici. Rozvod hadic od čerpadla bude mít ke každé rostlině stejnou vzdálenost, takže budeme předpokládat, že měřená vlhkost substrátu jedné rostliny odpovídá vlhkosti substrátu všech rostlin ve skupině. Regulátor je připraven provádět automatickou zálivku u 3 skupin rostlin.

Z praxe je známo, že rostlinám nejvíce vyhovuje odstátá zálivka pokojové teploty. Toho docílíme jednoduše tak, že budeme doplňovat vodu z vodovodu nejprve do nádrže. Obvod zajišťující doplňování vody do nádrže naleznete na obrázku 6.1. Nádrž je plastová, hladina vody bude snímána kovovými vruty zašroubovanými do stěny nádrže. Na ty budou připojeny vodiče obslužného obvodu. Na přívodu vody bude magnetický ventil, který bude spínaný pomocí relé, připojeného na výstup logického obvodu. Aby se maximálně snížilo riziko přeplnění nádoby, je zde přidáno další pojišťovací čidlo umístěné nad horním senzorem hladiny.

6.3 Komunikační protokol obsluhy přes PC

Komunikační protokol je stavebním prvkem bezpečného a snadno kontrolovatelného přenosu zpráv mezi regulátorem a počítačem. Vysílaná data budou vždy uvozena *příkazem*. Příkazů, které se budou komunikačním kanálem přenášet, bude bezpočet. Pro příklad: “zápis regulačních intervalů” do regulátoru nebo “čtení naměřených dat” uložených v paměti regulátoru. Vlastní konstrukce jednotlivých příkazů bude řešena při implementaci protokolu.

Start znak (0x90)	Adresa příjemce	Adresa odesílatele	Číslo paketu	.. DATA ..	CRC	Stop znak (0x94)

Obrázek 6.2: Komunikační paket

Komunikace s PC bude probíhat pomocí paketů (obr. 6.2). Každý paket je uvozen vysláním speciálního znaku *start*. Následuje adresa příjemce, adresa odesílatele paketu a číslo paketu. Pokračuje se daty určenými k přenosu, CRC[1] paketu a konečným znakem je znak *stop*.

Při odesílání paketu se do vysílacího zásobníku postupně vkládají všechny položky tak, jak jsou uvedeny na obr. 6.2. Vyskytne-li se v těchto položkách některý ze speciálních znaků, je tento znak nahrazen posloupností :"znak *esc*, odpovídající *stínový znak*", opačná náhrada se provede na přijímací straně a tím se umožní přenos jakýchkoliv dat uvnitř paketu. Hodnoty speciálních znaků a jím odpovídajících stínových znaků jsou uvedeny v tabulce 6.1.

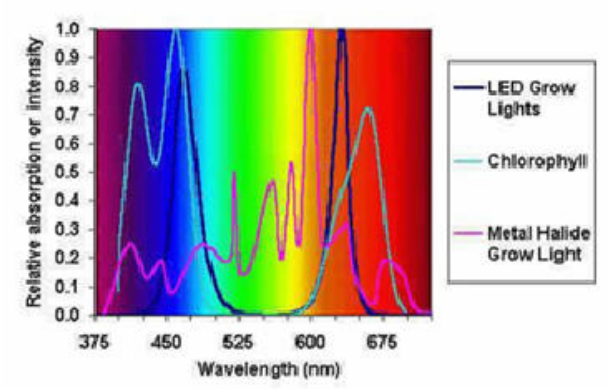
Název znaku	Hodnota	Stínový znak	Poznámka
Start	0x90	0x10	Označuje začátek paketu
Stop	0x94	0x14	Označuje konec paketu
Ecs	0x1B	0x9B	Uvozuje výskyt stínového znaku

Tabulka 6.1: Definice speciálních znaků

6.4 LED světla

V posledních několika letech došlo k rozsáhlým výzkumům růstu rostlin v podmínkách, kdy jsou kontrolovány různé aspekty životního prostředí jako je osvětlení, teplota, vlhkost, koncentrace CO2 a výživa. Bylo zjištěno, že červené světlo vlnové délky kolem 660nm v kombinaci s modrým světlem vlnové délky 470nm účinně zvyšuje efektivitu fotosyntézy, čímž urychluje růst rostlin. Barevné spektrum LED světla, chlorofylu a vysokotlaké výbojky je uvedeno na obr. 6.3. Běžný poměr červených diod oproti modrým je 5:1. Fluorescenční a sodíkové výbojky vyzařují velké množství světla i v jiných vlnových délkách než 660nm a 470nm, což má za následek ztrátu energie a vysoké náklady. LED diody jsou zdroji monochromatického světla jejichž frenkvenční spektrum je úzký pás, který lépe pokrývá požadavky rostlin na světlo.

[1]CRC je cyklický redundantní součet. Je používám k detekci chyb při přenosu zpráv.



Obrázek 6.3: Spektrum LED světla, chlorofylu a vysokotlaké výbojky (převzato z www.wikipedia.org)

Další možností jak snížit energetickou náročnost osvětlení je modulovat proud LED diodami PWM modulací. Obecný princip opravňující ke krátkodobému zhasínání světel vyplývá z dějů při fotosyntéze. Chlorofylová buňka dokáže přijmout omezené množství fotonů, potom jí trvá určitou dobu než fotosyntézou světelnou energii zpracuje a je schopna přijmout světlo znovu. Některé zdroje na internetu [9] uvádějí, že rostlinám stačí svítit pouze 0,5% doby periody. Budeme-li uvažovat frekvenci 50Hz, pak doba sepnutí vychází na 100μs. Běžné LED diody mají dobu náběhu okolo 100ns, což znamená, že bychom mohli frekvenci ještě snižovat. Výzkum biochemických pochodů při fotosyntéze ještě zdaleka není ukončen. Optimální osvětlení není pro každou rostlinu stejné. Parametry doba sepnutí a perioda budou nastavitelné v menu regulátoru a budou předmětem dalšího výzkumu odbornou obsluhou klimaboxu.

Podstatně nižšími tepelnými emisemi bude také méně ovlivňována teplota uvnitř klimaboxu, proto mohou být LED světla umístěna v pěstebním bloku co nejblíže rostlinám. Další výhodou je, že LED diody vyzařují světlo pouze do úzkého kuželu. Světelný úhel supersvítivých diod je běžně 40° nebo 15°, což umožňuje směřovat světlo pouze na rostlinu a ne na stěny klimaboxu.

6.5 Propojení s počítačem přes USB

Připojení regulátoru k počítači přes USB by usnadnilo komunikaci s novějšími počítači, které sériový port již nemají. Existuje několik možností jak to udělat.

1. Softwarový USB. Implementace protokolu USB programově do stávajícího procesoru. Nutné zvážit, zdali je možné splnit požadavky na časování sběrnice. Jako zdroj informací bude sloužit [16].

2. FTDI[2] čip FT232R. Obvod převádějící USB signály na sériovou komunikaci. K regulátoru by přibyl další tištěný spoj s tímto převodníkem. V počítači je FTDI čip rozpoznán jako sérový COM port a také tak s ním je programově zacházeno.

3. Použití mikroprocesoru ATMEL AT90SC6464C-USB. Tento mikropočítač je designován právě pro potřeby malých zařízení připojených přes USB. Má 64kB programové paměti a 64kB EEPROM paměť na ukládání dat. Tento přístup by žádal zcela nový návrh regulátoru.

Jako nejschůdnější varianta se v tomto okamžiku jeví první možnost. Funkce komunikace přes USB pro jazyk C jsou uvedeny v [16]. Potíž může vzniknout při časování sběrnice a řešení ovladačů pro PC. U druhé varianty odpadají problémy s ovladači a zavedením komunikace, je ale potřeba další plošný spoj.

6.6 Webové rozhraní pro klimabox

Jednou z dalších vizí je vytvoření webového apletu[3], pomocí něhož bude možné klimabox přes internet pozorovat a ovládat. Z obrázku web kamery, umístěné uvnitř pěstebního bloku klimoboxu, bude pozorován stav rostlin. Historie hodnot teploty, vlhkosti vzduchu, vlhkosti substrátů a akčních zásahu bude zřetelná z grafů. Dále bude možné na dálku nastavovat klimatické podmínky na budoucí dny a týdny. Webový aplet bude realizován v jazyce C# nebo Java.

Komunikace probíhá takto: uživatel komunikuje přes webový aplet se serverem. Regulátor je připojen přímo k serveru nebo ke klientskému počítači, přes který server regulátor ovládá. Z počítače jsou vysílány řídicí signály regulátoru pomocí komunikačního protokolu.

[2] Future Technology Devices International. Výrobce USB čipů.

[3] Applet je softwarová komponenta, která běží v kontextu jiného programu (například webového prohlížeče).

Kapitola 7

Závěr

Původní záměr byl obsluhovat klimabox pouze pomocí PC, od toho muselo být odstoupeno kvůli problémům s rychlým a přesným programovým ovládáním sériového portu. A také kvůli malému počtu vstupně/výstupních linek. Použití mikroprocesoru však zezačátku také nebylo bez obtíží. Pochopení funkce a programování procesoru nebylo jednoduchou záležitostí. K pochopení činnosti a základnímu naučení byl dobrý zkušební kit popsaný v [3], z něhož jsem částečně vycházel i při návrhu plošného spoje mikroprocesoru. Problémem bylo i měření teploty a vlhkosti. Původní čidlo založené na teplotě suchého a mokrého teploměru nebylo vyhovující. Senzor SHT11 [12] řeší všechny A/D převody, konverze a kalibrace autonomně ve svém těle, avšak jeho použití se také neobešlo bez potíží. Napsání a odladění knihoven pro komunikaci se senzorem bylo velmi náročnou záležitostí. S přibývající náročností programu rostla také jeho velikost, což vedlo následně až k výměně za procesor s větší programovou pamětí.

Ale ani rezerva 16 kB programové paměti nemusí do budoucna stačit. Jak je popsáno v kapitole Budoucí vývoj 6, funkce měření a regulace závlahy, implementace USB protokolu a komunikační protokol s PC ho mohou programovou paměť procesoru vyčerpat. Pokud k tomu dojde, bude nutné navrhnout regulátor znovu pro nový procesor (např. ten popsaný v 6.5(3)).

V rámci zadaní jsem se seznámil s problematikou pěstování rostlin v klimaboxu. Navrhl jsem metodu automatické regulace teploty a osvětlení v klimatické jednotce s ohledem na 24 hodinový harmonogram mikroklimatu. Stávající analogové řízení jsem nahradil navrženým systémem.

Ze zkoumaných třípolohových regulátorů teploty vyšel jako nejlepší regulátor s dobíháním na požadovanou hodnotu (4.2.2) s hysterezí $\pm 1°C$. Kolísání průběhu vyváží skutečnost, že kompresor chlazení a topná tyč spínají ve výrazně delším intervalu. Což je z hlediska dlouhodobého používání klimaboxu prioritní. Pokud bude biologický materiál požadovat menší kolísání teplot, bude nutné připrogramovat do regulátoru, že pro hysterezní interval okolo$\pm 0.5°C$ bude použit regulátor s akčním zásahem pouze mimo zónu hystereze (4.2.1). Dále je možné vyzkoušet různé intervaly hystereze, například omezit hodnotu hystereze na nejníže $\pm 0.7°C$, a zvážit použití pouze jednoho konceptu regulátoru.

Regulace vlhkosti nebyla zatím pro její složitost uvažována. Bude na dalším vývoji odladit regulaci vlhkosti tak, aby systém nekmital a nebyly zbytečně často spínány akční členy. Za zvážení stojí i možnost dopomoci vysoušení prostoru větráky světelného panelu. Skrze otvory v akrylonové desce by tak byl vlhký vzduch mírně odsáván ven. Dále není vyřešena dezinfekce vody zvlhčovače taková, aby druhotně neškodila pěstovaným rostlinám.

V kapitole 6 je popsáno několik nápadů na vylepšení celého zařízení. Některé vize jsou téměř připravené, jiné jsou odvážnější a je zapotřebí je dále rozpracovat. Výsledný produkt, klimabox ovládaný přes internet, by mohl být například cílem pro diplomovou práci.

Literatura

[1] DOSTÁL, Josef. Vývoj československého klimatizovaného boxu. [s.l.], 1985. 54 s.

[2] DOSTÁL, Jiří. Automatické ovládání klimatické komory : Praktická zkouška z odborných předmětů, Technická dokumentace. [s.l.], 2005. 21 s. , 12. Střední průmyslová škola elektrotechnická a Vyšší odborná škola, Pardubice, Karla IV. 13.

[3] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry Atmel AVR AT90S. 1.vydání. Praha, BEN 2003.

[4] CHLEBNÝ , Jan, BENEŠ, Pavel. Automatizace a automatizační technika 3. [s.l.] : [s.n.], 2003. 239 s. 2. ISBN 80-7226-248-3.

[5] FRANKLIN, Gene F., POWELL, J. David, EMAMI-NAEINI, Abbas. Feedback Control of Dynamic Systems. 5th edition. New Jersey : Prentice Hall, 2006. 910 s. ISBN 0-13-149930-0.

[6] HAIDUC,Pavel and HP Infotech S.R.L. CodeVisionAVR v1.25.7 User Manual [online]. 2009 [cit. 2009-06-06]. Dostupný z WWW: <http://www.hpinfotech.ro/cvavrman.zip>.

[7] THAM,M.T..Exponencial weighting moving average filter [online].1996-1998 [cit. 2009-06-07]. Dostupný z WWW: < http://lorien.ncl.ac.uk/ming/filter/filewma.htm >.

[8] Www.i2c-bus.org [online].2009 [cit. 2009-06-07]. Anglicky. Dostupný z WWW: <http://www.i2c-bus.org/>.

[9] Www.sdk.co.jp. SDK Offers AlGaInP Red LED Chips Optimized for Plant Growth. 2009 [cit. 2009-06-11]. Anglicky. Dostupný z WWW: <http://www.sdk.co.jp/aa/english/news/2009/aanw_09_1048.html>.

[10] Www.semiconductors.philips.com. Datasheet PCF8583 [online]. 1997. Dostupný z WWW: <http://www.semiconductors.philips.com/acrobat/datasheets/PCF8583_5.pdf>.

[11] Www.semiconductors.philips.com. Datasheet PCF8574 [online]. 2002. Dostupný z WWW: <http://www.semiconductors.philips.com/acrobat/datasheets/PCF8574_4.pdf >.

[12] Www.sensirion.com. Datasheet SHT11 [online]. 2009. Dostupný z WWW: <http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT1x.pdf >.

[13] Www.atmel.com. Datasheet ATMEGA32 [online]. 2008. Dostupný z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2503.pdf >.

[14] Www.atmel.com. Datasheet AT24C04 [online]. 2004. Dostupný z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/DOC3256F.pdf >.

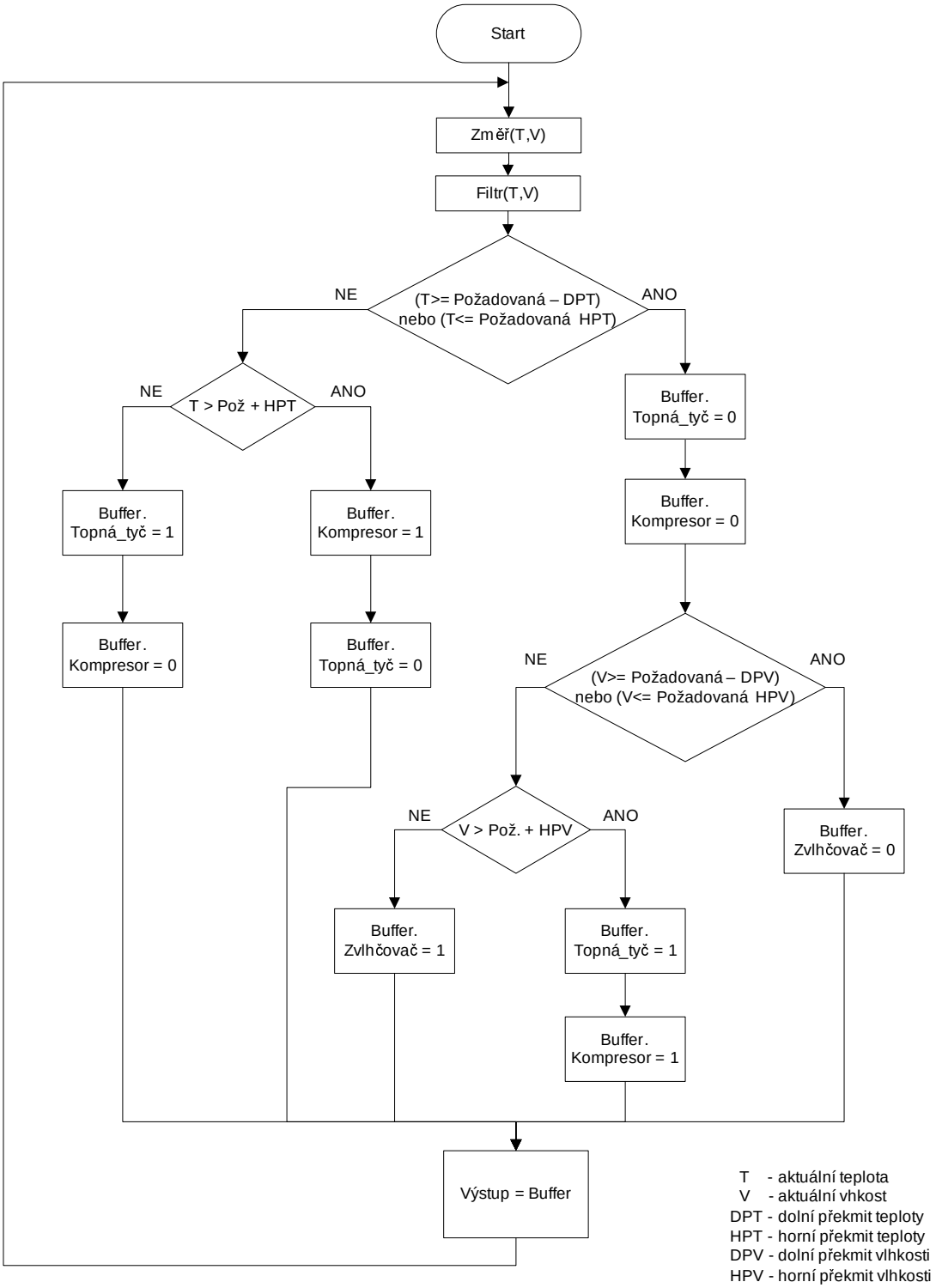
[15] Www.maxim-ic.com. Datasheet MAX232 [online]. 2006. Dostupný z WWW: < http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX220-MAX249.pdf >.

[16] Www.atmel.com. Software Universal Serial Bus [online]. 2006. Dostupný z WWW: < www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2556.pdf >.

Příloha A

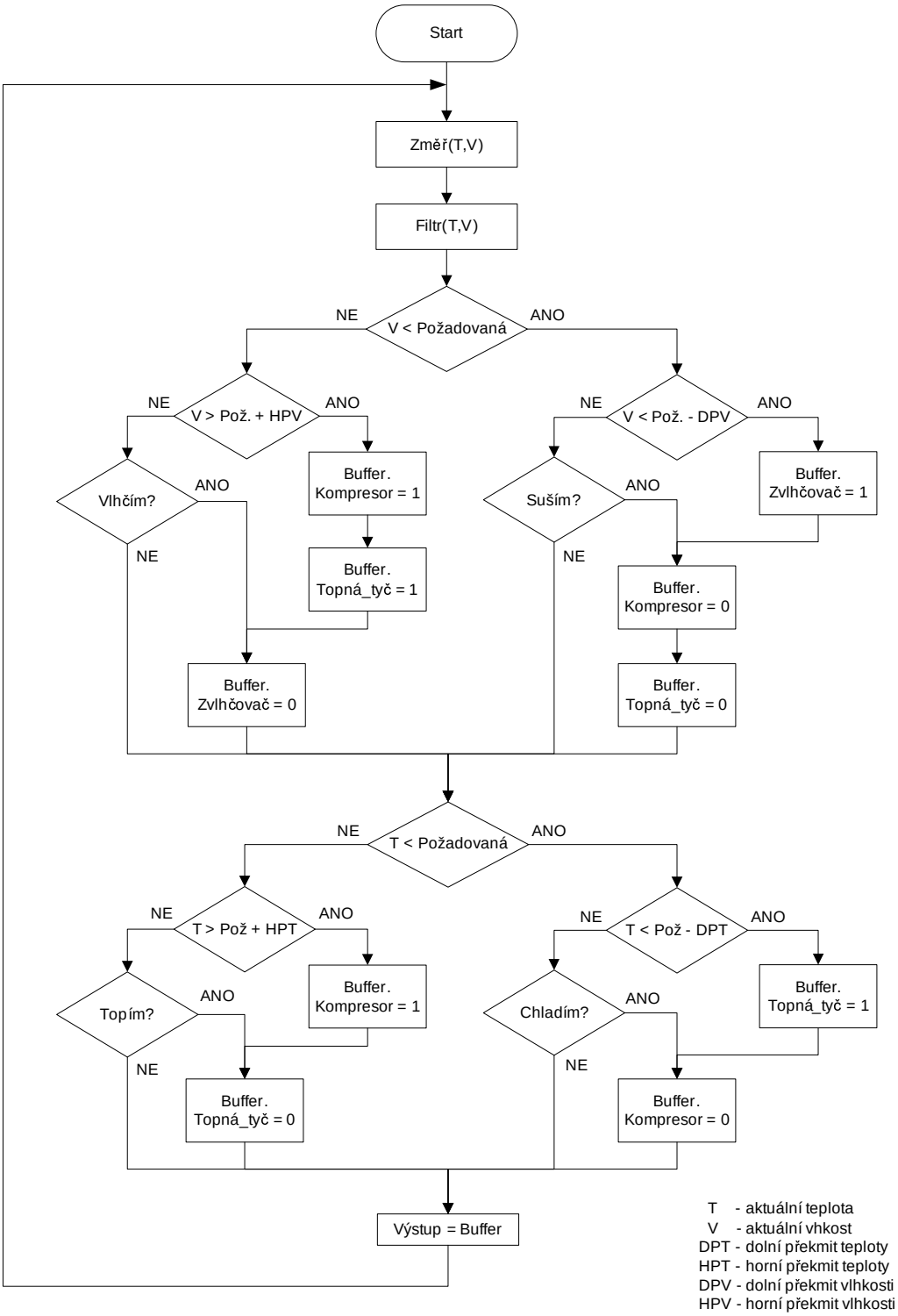
Algoritmy třípolohového řízení teploty a vlhkosti

A.1 Třípolohový regulátor s akčním zásahem pouze mimo zónu hystereze



Obrázek A.1: Algoritmus třípolohového regulátoru s akčním zásahem mimo zónu hystereze

A.2 Třípolohový regulátor s dobíháním na požadovanou hodnotu

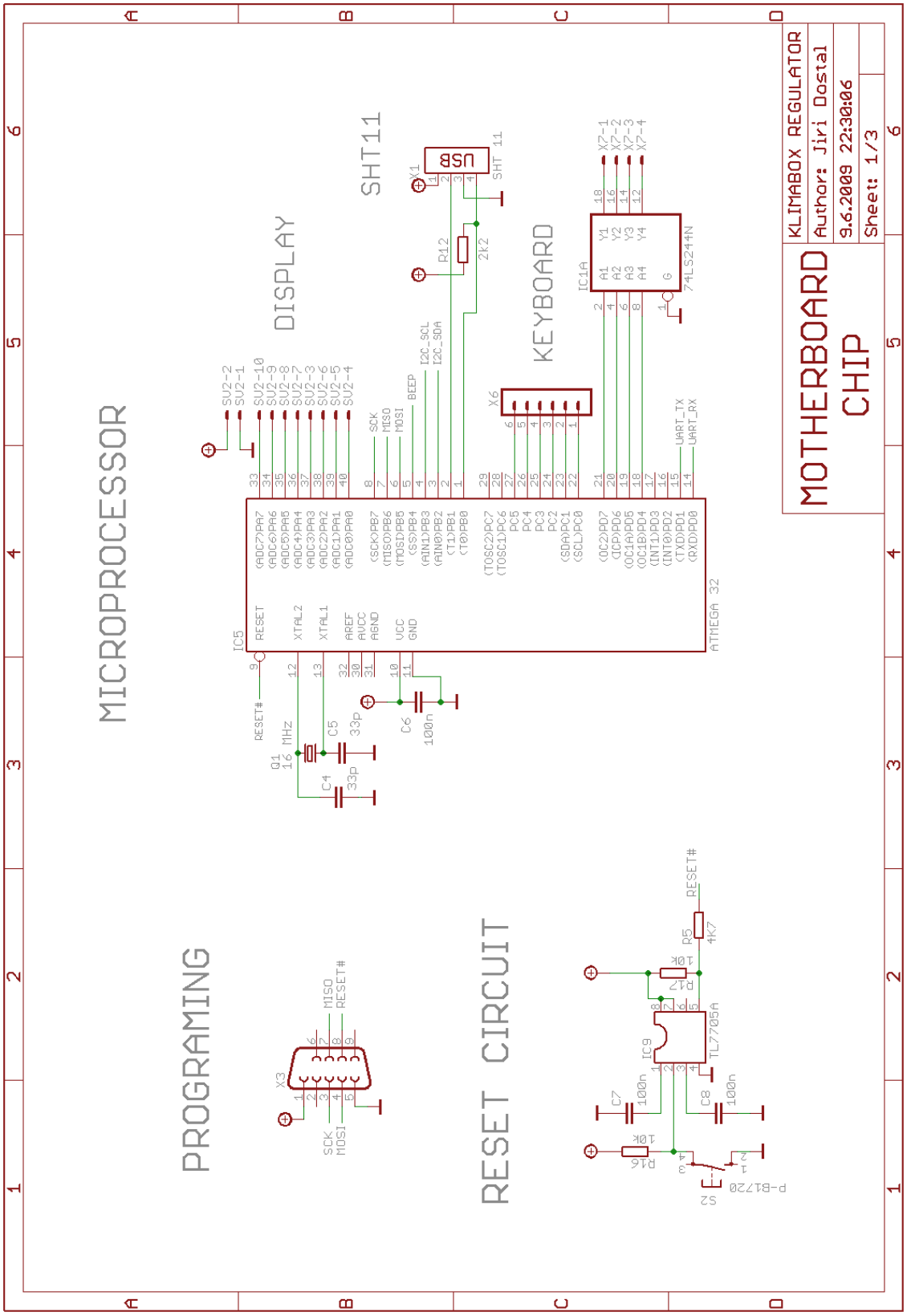


Obrázek A.2: Algoritmus třípolohového regulátoru s dobíháním na požadovanou hodnotu

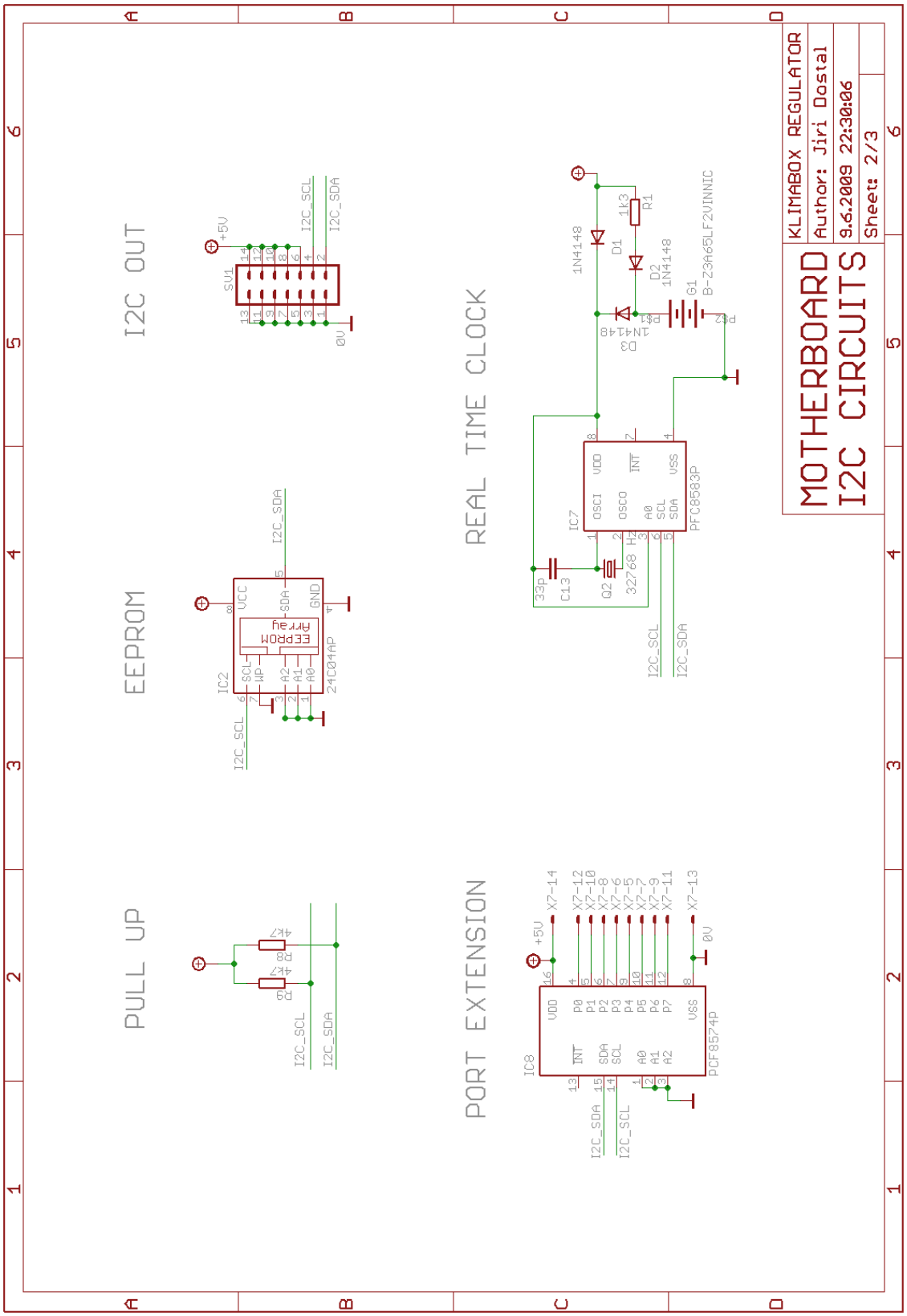
Příloha B

Schémata

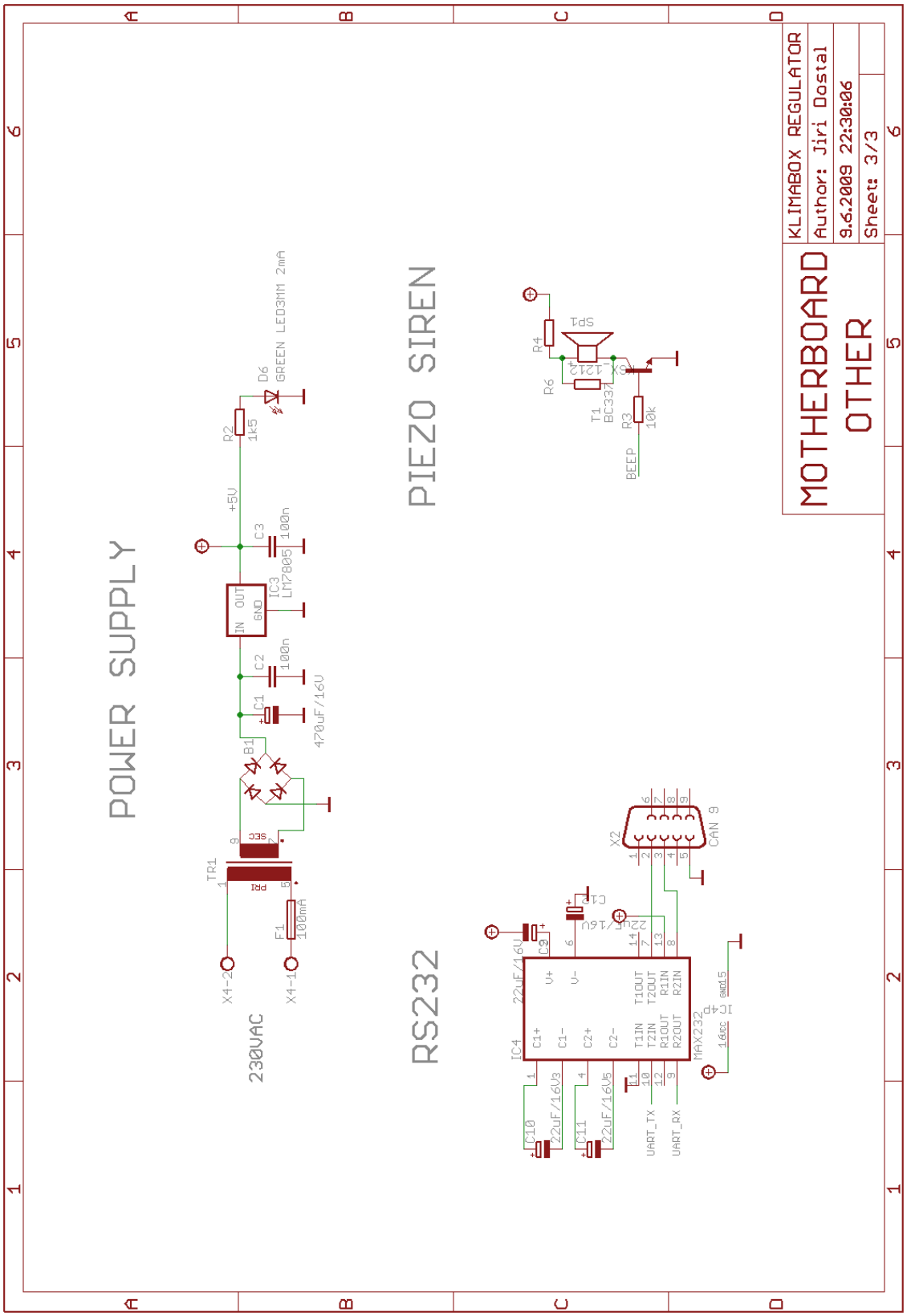
B.1 Základní deska



Obrázek B.1: Schéma - Základní deska, chip

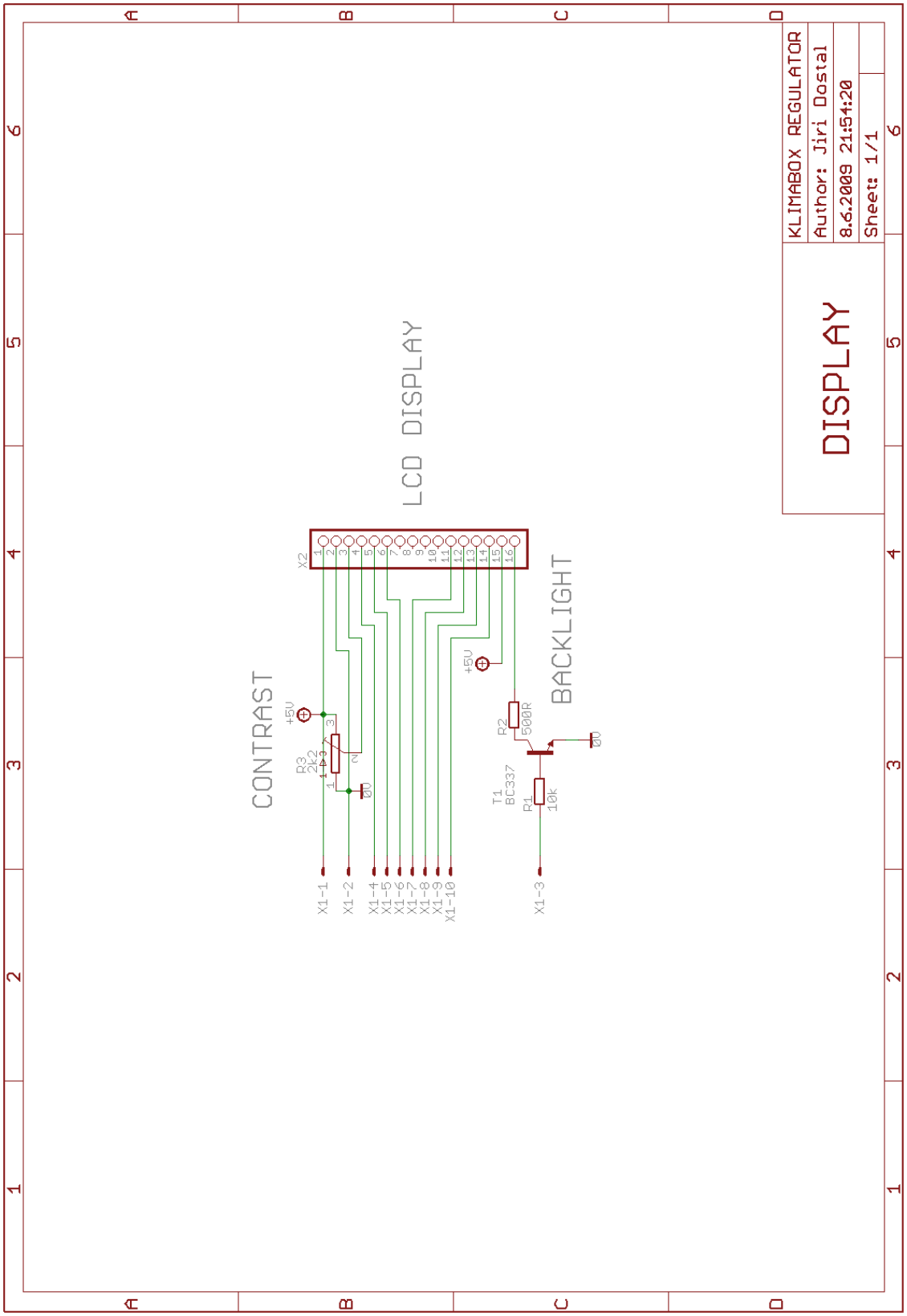


Obrázek B.2: Schéma - Základní deska, obvody I2C



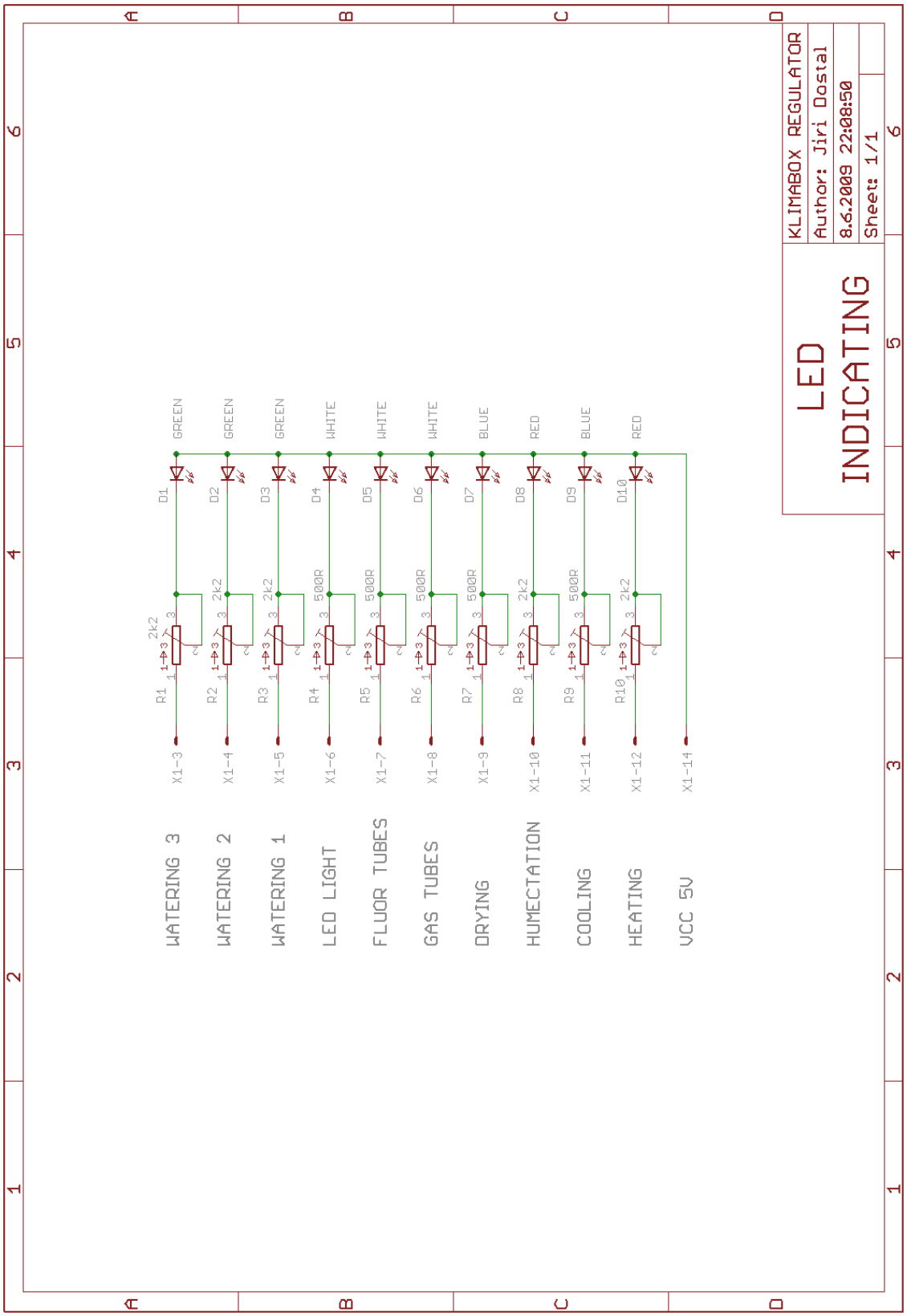
Obrázek B.3: Schéma - Základní deska, ostatní obvody

B.2 Displej



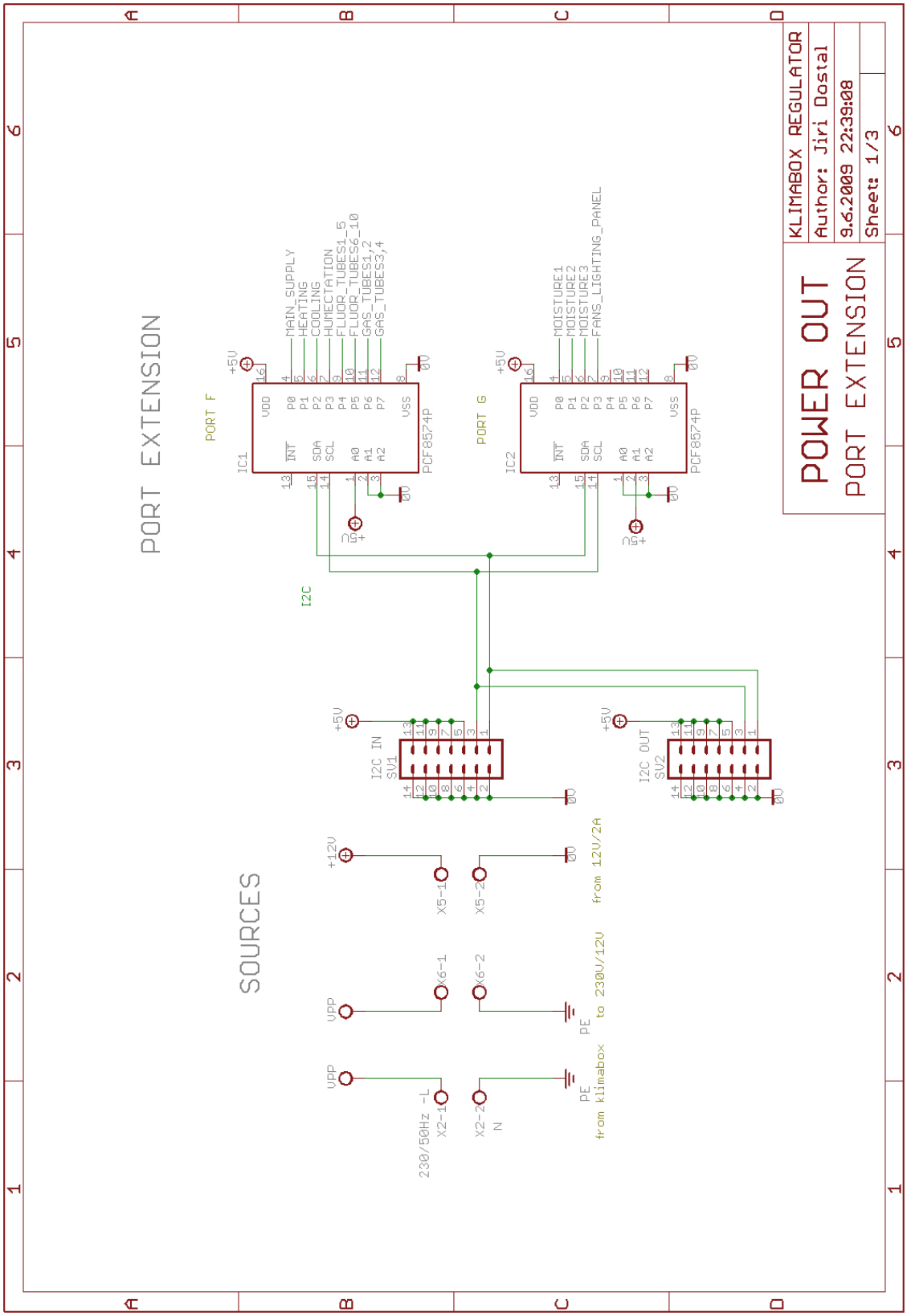
Obrázek B.4: Schéma - Displej

B.3 Indikace stavu výstupů

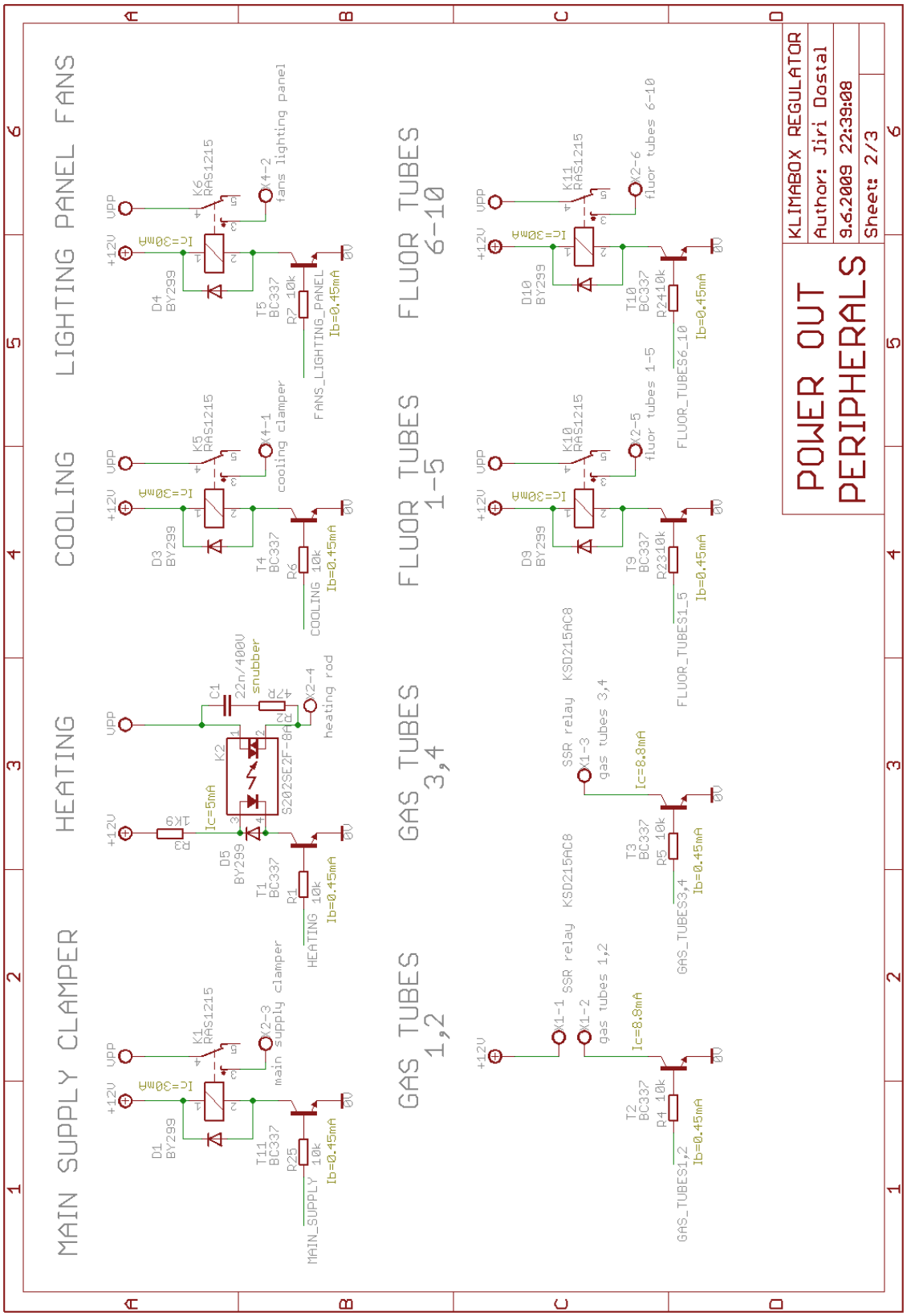


Obrázek B.5: Schéma - Diody

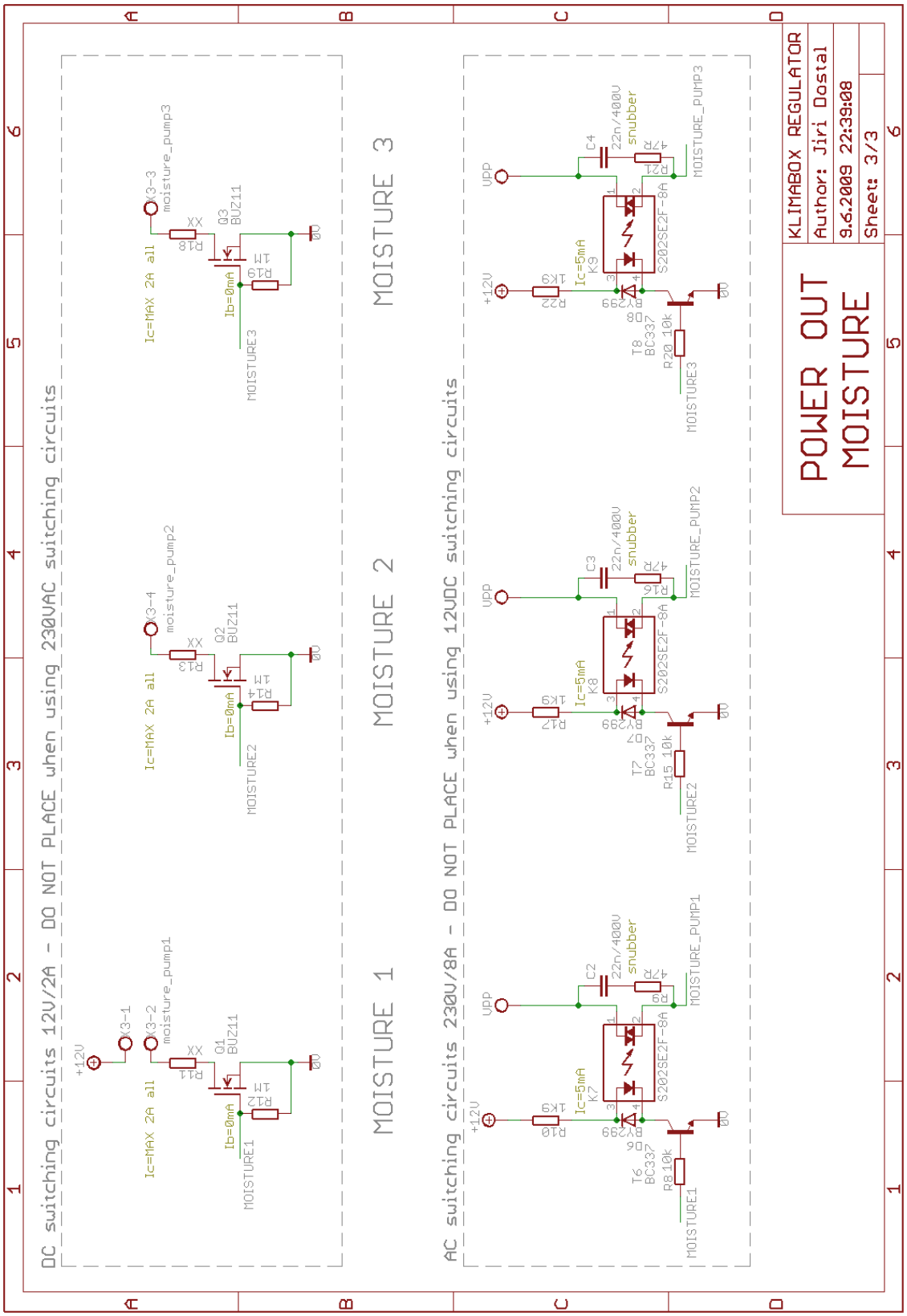
B.4 Výkonová část



Obrázek B.6: Schéma - Výkonová část, rozšíření portu



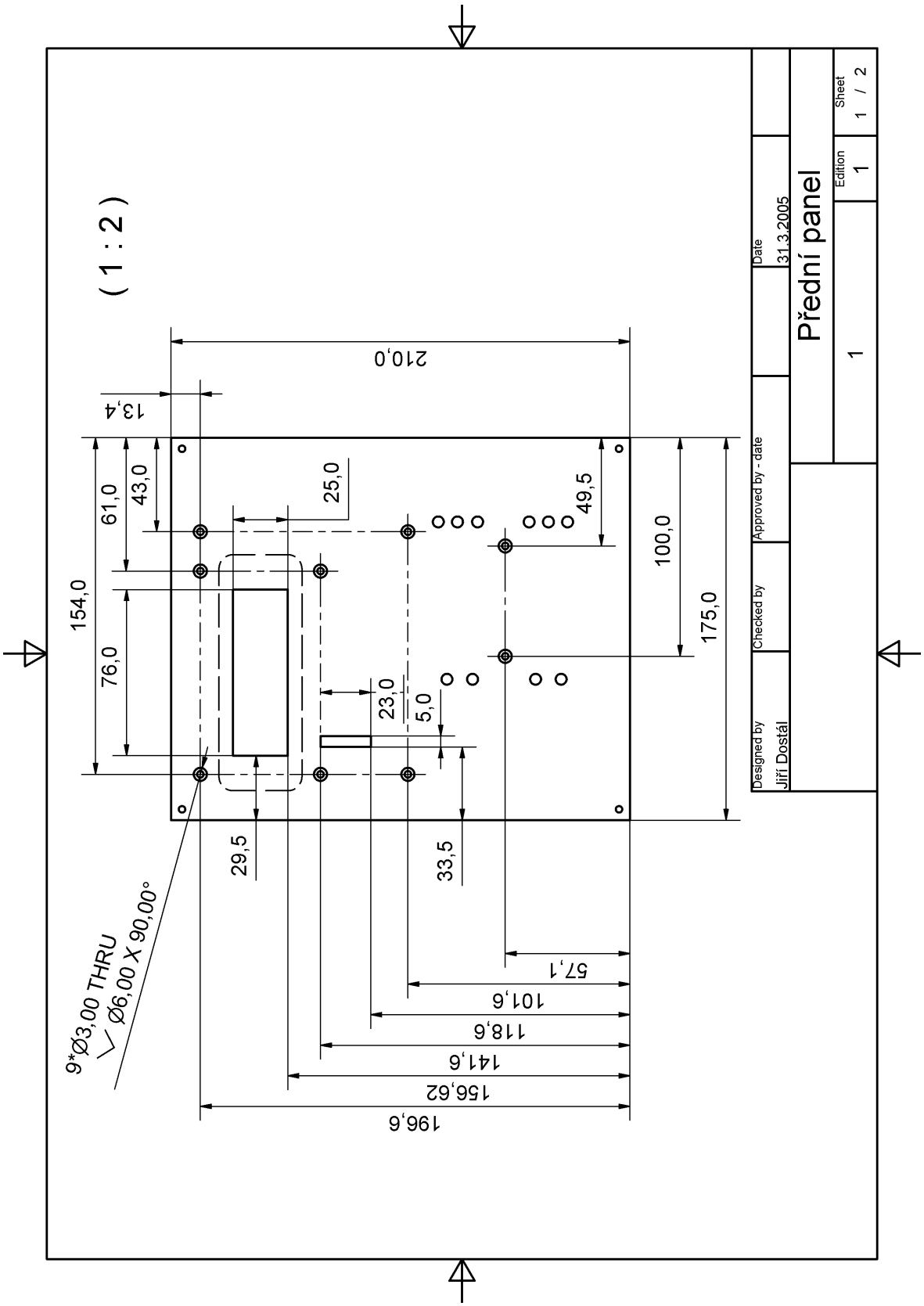
Obrázek B.7: Schéma - Výkonová část, periferie



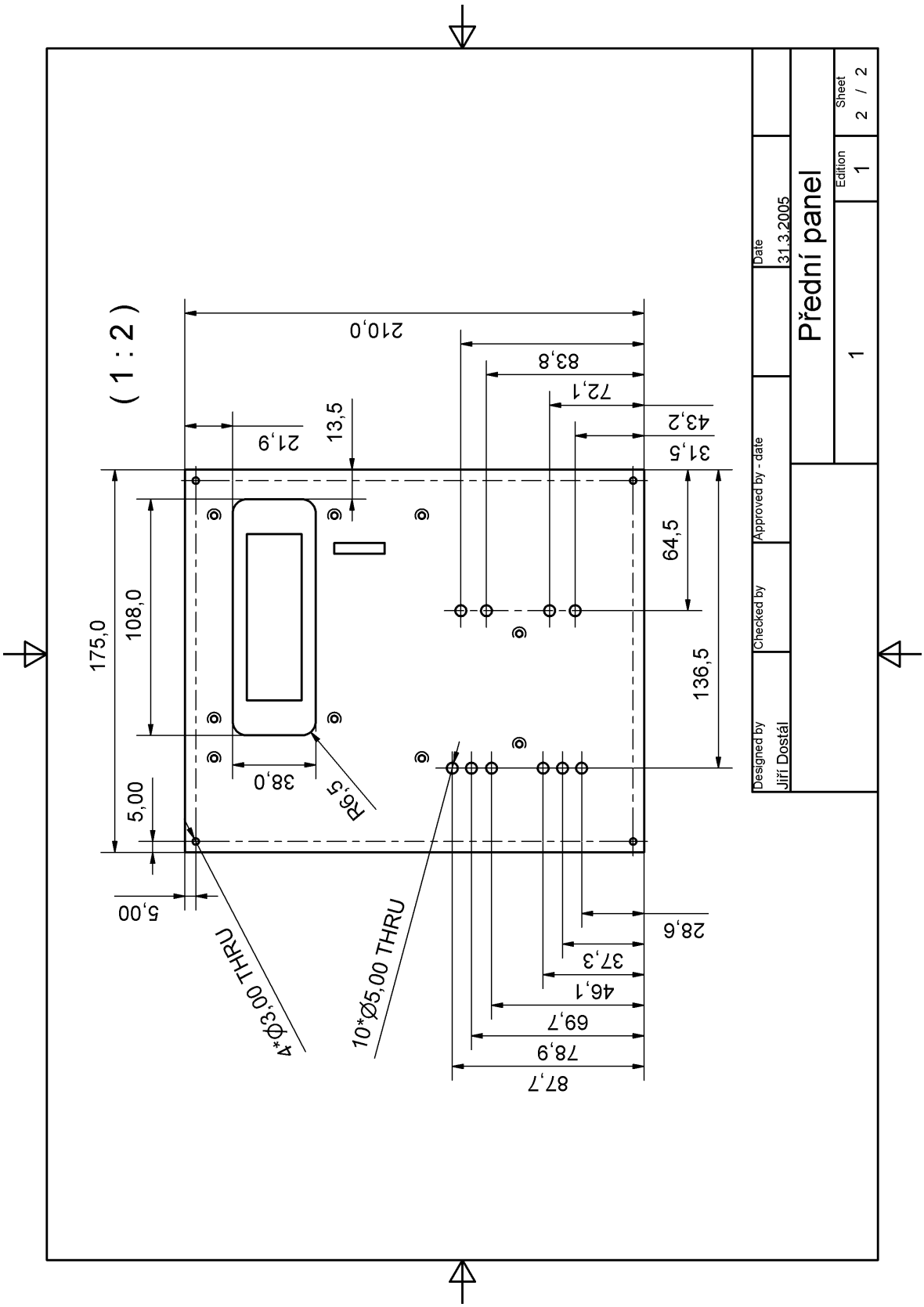
Obrázek B.8: Schéma - Výkonová část, závlaha

Příloha C

Výkresy mechanických součástí



Obrázek C.1: Výkres předního panelu 1.



Obrázek C.2: Výkres předního panelu 2.

Příloha D

Rozpis elektronických součástek

D.1 Základní deska

Resistory

pořadové číslo	označení	hodnota	typ	množství
1	R_3, R_{16}, R_{17}	10 kΩ/ 0,5 W	TR191	3
2	R_5, R_8, R_9	4,7 kΩ/ 0,5 W	TR191	3
3	R_{12}	2,2 kΩ/ 0,5 W	TR191	1
4	R_2	1,5 kΩ/ 0,5 W	TR191	1
5	R_1	1,3 kΩ/ 0,5 W	TR191	1

Tabulka D.1: Rozpis součástek - Základní deska, rezistory

Kondenzátory

pořadové číslo	označení	hodnota	typ	množství
6	C_1	470 µF/16 V	elektrolytický	1
7	C_9, C_{10}, C_{11}, C_{12}	22 µF/16 V	elektrolytický	4
8	C_2, C_3, C_6, C_7, C_8	100 nF	keramický	5
9	C_4, C_5, C_{13}	33 pF	keramický	3

Tabulka D.2: Rozpis součástek - Základní deska, kondenzátory

Diody

pořadové číslo	označení	hodnota	typ	množství
10	D_1, D_2, D_3	1N4148	křemíková	3
11	D_6	3 mm / 2 mA	LED zelená	1

Tabulka D.3: Rozpis součástek - Základní deska, diody

Integrované obvody

pořadové číslo	označení	hodnota	typ	množství
13	IC_1	74LS244N	/	1
14	IC_2	AT24C04	/	1
15	IC_3	LM7805	/	1
16	IC_4	MAX232	/	1
17	IC_5	ATMEGA 32	/	1
18	IC_7	PCF8583P	/	1
19	IC_8	PCF8574P	/	1
20	IC_9	TL7705A	/	1

Tabulka D.4: Rozpis součástek - Základní deska, integrované obvody

Transistory

pořadové číslo	označení	hodnota	typ	množství
12	T_1	BC337	bipolární NPN	1

Tabulka D.5: Rozpis součástek - Základní deska, tranzistory

Konektory

pořadové číslo	označení	typ	poznámka	množství
13	X_1	USB -787616	/	1
14	X_2, X_3	CAN 9	/	2
15	X_4	ARK 500	svorkovnice	1
16	X_5	MLW10A	MLW 90°	1
17	X_6	pin lišta	6 pinů	1
18	X_7	MLW14G	/	2

Tabulka D.6: Rozpis součástek - Základní deska, konektory

Ostatní

pořadové číslo	označení	typ	poznámka	množství
19	F_1	100 mA	pojistka	1
20	G_1	3,6 V / 65 mAh	baterie	1
21	Q_1	16 MHz	krystal	1
22	Q_2	32768 Hz	krystal	1
23	S_2	P-B1720	mikrospínač	1
24	SP_1	KSX1212	piezosiréna	1
25	TR1	THREI382-1X9	transformátor	1
26	/	SHT11	senzor	1
27	/	USB prodlužovací kabel	/	1

Tabulka D.7: Rozpis součástek - Základní deska, ostatní

D.2 Displej

Resistory

pořadové číslo	označení	hodnota(typ)	poznámka	množství
1	/	MC2004B-TGR	LCD displej	1
2	R_1	10 kΩ/ 0,5 W	/	1
3	R_2	500 Ω/ 0,5 W	/	1
4	R_3	2,2 kΩ/ 0,5 W	/	1
5	X_1	MLW10A	MLW 90°	1
6	X_2	pin lišta	16 pinů	1
7	X_3, X_4	jumper lišta 90°	3 piny	1

Tabulka D.8: Rozpis součástek - Displej

D.3 Indikace stavu výstupů

pořadové číslo	označení	hodnota(typ)	poznámka	množství
1	R_1, R_2, R_3, R_8, R_{10}	2,2 kΩ	trimr 6 mm	5
2	R_4, R_5, R_6, R_7, R_9	500 Ω	trimr 6 mm	5
3	D_4, D_5, D_6	5 mm / 20 mA	LED bílá	3
4	D_7, D_9	5 mm / 20 mA	LED modrá	2
5	D_1, D_2, D_3, D_8, D_{10}	5 mm / 2 mA	LED červená	5
6	X_1	MLW14G	/	1

Tabulka D.9: Rozpis součástek - Indikace stavu výstupů

D.4 Výkonový výstup

pořadové číslo	označení	hodnota(typ)	poznámka	množství
1	R_{12}, R_{14}, R_{19}	1 MΩ	/	3
2	R_1, R_{4-8}, R_{15}, R_{20}, R_{23-25}	10 kΩ	/	11
3	R_3, R_{10}, R_{17}, R_{22}	1,9 kΩ	/	4
4	R_2, R_9, R_{16}, R_{21}	47 Ω	/	4
5	R_{11}, R_{13}, R_{18}	x Ω	podle použití	3
6	C_{1-4}	22 nF/400 V	/	4
7	D_1, D_{3-9}	1N4004	BY299	9
8	K_1, K_5, K_6, K_{10}, K_{11}	RAS1215	relé	5
9	K_2, K_7, K_8, K_9	S202SE2F-8A	SSR relé	4
10	K_{12}, K_{13}	KSD215AC8	SSR relé	2
11	Q_{1-3}	BUZ11	MOSFET	3
12	T_{1-11}	BC337	NPN	11
13	IC_1, IC_2	PCF8574P	I^2C port	2
14	SV_1, SV_2	ML14L	poč. konektor 90°	2
15	X_{3-7}	W237-102	WAGO 500	5
16	X_1, X_2, X_8	W237-103	WAGO 500	3

Tabulka D.10: Rozpis součástek - Výkonový výstup

D.5 Mechanické součásti

pořadové číslo	označení	poznámka	množství
1	/	těleso předního panelu	1
2	/	distanční sloupek kovový 25 mm	3
3	/	distanční sloupek kovový 12 mm	1
4	/	distanční sloupek kovový 5 mm	12
5	ČSN EN ISO 7076-1 H	šroub se zápustnou hlavou M3*6	10
6	ČSN EN 24032	matice šestihranná M3	9
7	ČSN 021740	pojistná podložka 3mm	9

Tabulka D.11: Rozpis součástek - Mechanické součásti

Příloha E

Obsah přiloženého CD

bc_2009_Dostal_Jiri.pdf Bakálářská práce ve formátu .pdf. Zobrazitelné např. pomocí Foxit Reader (přiložen ve složce Programy)

Návody

- **CodeVisionAVR_manual.pdf** Návod k používání programu na programování mikrokontrolerů Atmel AVR. [6]
- **Getting_started_with_CodeVisionAVR.pdf** Začínáme s CodeVisionAVR.
- **Software_USB_on_AtmelAVR.pdf** Uzavřené řešení programové implementace rozhraní USB do mikrokontroléru AtmelAVR. [16]

Schémata Složka se schématy v programu Cadsoft EAGLE. Názvy souborů odpovídají názvům schémat v příloze B.

- **zakladniDeska.sch**
- **displej.sch**
- **indikaceStavuVystupu.sch**
- **vykonovaCast.sch**
- **doplnovaniNadrze.sch**
- **eagle-win-5.6.0.exe**

Datasheety Technické specifikace použitých komponent

ATMEGA32.pdf [13]

SHT11.pdf [12]

PCF8583.pdf [10]

PCF8574.pdf [11]

AT24C04.pdf [14]

MAX232.pdf [15]

Programy Volně dostupné verze programů použitých během vytváření práce

eagle-win-5.6.0.exe Instalační balíček programu Cadsoft EAGLE 5.6.0

FoxitReader30_enu_Setup.exe Instalační balíček programu Foxit Reader 3.0.