



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

ŘÍZENÍ VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU

CONTROL OF HOUSE HEATING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Hnyk

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

BRNO 2016

Abstrakt:

Cílem diplomové práce je návrh a implementace systému, který bude umožňovat ovládání vytápění na základě údajů získaných monitorováním jednotlivých místností v objektu. Zvláště se zaměříte na oblast měření teploty vody v systému topení, TUV a teploty v prostoru obytných místností. Ústředna musí umožňovat automatické ukládání měřených hodnot. Vybrané hodnoty teploty budou zpřístupněny pomocí webového rozhraní a průběžně ukládány na webový server.

Klíčová slova:

Měření teploty, dálkové ovládání, senzor teploty, automatizace vytápění.

Abstract:

The aim of the final thesis is a proposal and implementation of a system which would enable a heating control on the basis of data gathered by monitoring of particular rooms inside a building. In particular, it is focused on water measurement within the heating system, TUV (non-potable hot water) and the temperature within the space of residential rooms. The system headquarters must enable an automated saving of the measured data. Selected temperature figures will be made accessible by a web interface and continuously saved on the web server.

Keywords:

Measuring of temperature, remote kontrol, temperature sensor, automatizacien of heating.

HNYK, M. *Řízení vytápění rodinného domu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 69 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji Diplomovou práci na téma „**Řízení vytápění rodinného domu**“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne 16. dubna 2016

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrálního projektu doc. Ing. Pavlu Šteffanovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování projektu.

Děkuji majiteli firmy Harlingen s.r.o Ing. Peteru Potankovi a zaměstnancům p. Lukáčovi a p. Pokornému za poskytnutí výrobků firmy.

Děkuji též své manželce a dětem za trpělivost a podporu.

V Brně dne 16. dubna 2016

.....
podpis autora



Výzkum popsáný v této diplomové práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



1 Obsah

Úvod.....	11
1 Teoretická část.....	13
1.1 Měření teploty.....	13
1.1.1 Statické parametry senzorů.....	13
1.1.2 Dynamické parametry senzorů.....	13
1.1.3 Kapilárové termostaty.....	14
1.1.4 Kovové odporové senzory teploty.....	15
1.1.5 Polovodičové odporové senzory teploty.....	16
1.1.6 Číslicové senzory teploty.....	17
1.2 Regulace teploty.....	17
1.2.1 Regulace ON-OFF.....	18
1.2.2 Regulace P.....	18
1.2.3 Regulace PI.....	19
1.2.4 Regulace PID.....	19
1.3 Komerčně vyráběné systémy.....	20
1.3.1 Dvoustavový regulátor Auraton.....	20
1.3.2 Jablotron.....	20
1.3.3 Amit.....	21
2 Praktická část.....	23
2.1 HW.....	23
2.1.1 Centrální jednotka.....	23
2.1.2 Periferie vstupní.....	31
2.1.3 Teploměr s displejem LED.....	33
2.1.4 Teploměr s displejem LCD.....	35
2.1.5 Periferie výstupní.....	38
2.1.6 Ovládání a indikace.....	40
2.1.7 Kabelový rozvod.....	42
2.1.8 Hydraulický rozvod.....	42
2.1.9 Dimenzování napájecích zdrojů.....	43
2.1.10 Technická data centrální jednotky.....	43
2.2 SW.....	44
2.2.1 Regulace elektrického kotle.....	44

2.2.2 Ovládání čerpadla.....	44
2.2.3 Ovládání klapky vzduchu.....	44
2.2.4 Ohřev TUV.....	45
2.2.5 Ovládání ventilů.....	45
2.2.6 Ukládání naměřených dat.....	46
<i>Závěr</i>	48
Seznam zkratk.....	51
Seznam příloh.....	51
Příloha A.....	52
Příloha B.....	60
Příloha C.....	67

Seznam obrázků

Obr. 1 - kapilárový termostat.....	14
Obr. 2 - sloty sběrnice 1-wire.....	17
Obr. 3 - znázornění regulačního okruhu.....	18
Obr. 4 - regulátor ON-OFF.....	20
Obr. 5 - displej k AC-116.....	20
Obr. 6 - pohled na jednotku AC-116.....	20
Obr. 7 - regulátor Amit.....	21
Obr. 8 - ovládací panel OP-060.....	21
Obr. 9 - pozice modulů v základní jednotce.....	23
Obr. 10 - konfigurace systému.....	24
Obr. 11 - zapojení jednoho digitálního vstupu.....	25
Obr. 12 - zapojení jednoho digitálního výstupu.....	27
Obr. 13 - zapojení jednoho analogového vstupu.....	29
Obr. 14 - doporučené zapojení W717.....	32
Obr. 15 - doporučené zapojení W659.....	32
Obr. 16 - blokové schéma teploměru s displejem LED.....	34
Obr. 17 - schéma zapojení realizovaného teploměru s displejem LED.....	35
Obr. 18 - blokové schéma teploměru s displejem LCD.....	35
Obr. 19 - připojení teploměrů Dallas.....	37
Obr. 20 - zapojení spínací části s elektromagnetickým relé.....	38
Obr. 21 - hydraulické schéma.....	42
Obr. 22 - ovládání elektrického kotle.....	44
Obr. 23 - blokové schéma ovládání čerpadla.....	45
Obr. 24 - popis ovládání ventilů.....	46
Obr. 25 - provoz elektrického kotle.....	47
Obr. 26 - provoz ohřívače TUV.....	47

Příloha A, obr. 27 - DPS digitálních vstupů strana TOP.....	52
Příloha A, obr. 28 - DPS digitálních vstupů strana BOTTOM.....	52
Příloha A, obr. 29 - DPS digitálních vstupů rozmístění součástek.....	53
Příloha A, obr. 30 - DPS digitálních výstupů TOP.....	53
Příloha A, obr. 31 - DPS digitálních výstupů BOTTOM.....	54
Příloha A, obr. 32 - DPS digitálních výstupů osazení.....	54
Příloha A, obr. 33 - DPS ETH TOP.....	55
Příloha A, obr. 34 - DPS ETH BOTTOM.....	55
Příloha A, obr. 35 - DPS ETH osazení.....	56
Příloha A, obr. 36 - DPS PWM TOP.....	56
Příloha A, obr. 37 - DPS PWM BOTTOM.....	57
Příloha A, obr. 38 - DPS PWM osazení.....	57
Příloha A, obr. 39 - DPS analogových vstupů TOP.....	58
Příloha A, obr. 40 - DPS analogových vstupů osazení.....	58
Příloha A, obr. 41 - DPS základní jednotky TOP.....	59
Příloha A, obr. 42 - DPS základní jednotky BOTTOM.....	59
Příloha B, obr. 43 - zapojení ovládání elektrického kotle.....	60
Příloha B, obr. 44 - schema zapojení modulu digitálních vstupů.....	61
Příloha B, obr. 45 - schema zapojení modulu digitálních výstupů.....	62
Příloha B, obr. 46 - schema zapojení modulu PWM a 1-wire.....	63
Příloha B, obr. 47 - schema zapojení modulu ETH.....	64
Příloha B, obr. 48 - zapojení modulu analogových vstupů.....	64
Příloha B, obr. 49 - zapojení modulu přizpůsobení.....	65
Příloha B, obr. 50 - zapojení teploměru s LCD.....	66
Příloha C, obr. 51 - modul ethernet.....	67
Příloha C, obr. 52 - modul přizpůsobení ethernetu.....	67
Příloha C, obr. 53 - modul PWM a 1-Wire.....	68

Příloha C, obr. 54 - modul analogové vstupy.....	68
Příloha C, obr. 55 - modul digitální výstupy.....	69
Příloha C, obr. 56 - mechanismus ovládání klapky vzduchu.....	69

Seznam tabulek

Tabulka 1 - porovnání komerčně vyráběných systémů.....	22
Tabulka 2 - osazení pozic centrální jednotky moduly.....	23
Tabulka 3 - předpokládaná napětí na vstupu a výstupu.....	25
Tabulka 4 - parametry TLP283-4.....	26
Tabulka 5 - předpokládaná napětí na vstupu a výstupu modulu, měřeno proti zemi.....	27
Tabulka 6 - parametry optočlenu KPC452.....	28
Tabulka 7 - příklady osazení rezistorů na modulu analogových vstupů.....	29
Tabulka 8 - použité senzory.....	31
Tabulka 9 - napětí na vstupech ICL7107 při třech teplotách.....	34
Tabulka 10 - seznam svorek modulu DI na pozici G.....	38
Tabulka 11 - použité akční členy.....	39
Tabulka 12 - popis obsazení svorek modulu DO na pozici H.....	40
Tabulka 13 - kontrolky ovládacího panelu.....	40
Tabulka 14 - popis obsazení svorek modulu DO na pozici F.....	41
Tabulka 15 - popis obsazení svorek modulu DO na pozici I.....	41
Tabulka 16 - porovnání kabelů UTP a SYKFY.....	42

Úvod

Není to tak dávno, kdy se v panelových domech a dalších objektech, kde byly platby za energie rovnoměrně rozdělovány mezi nájemníky, teplota v místnostech regulovala větráním. Ceny za energie byly na relativně nízkých úrovních a energie byl zdánlivě dostatek. Jak však ceny energií narůstaly, bylo čím dál více potřeba energií šetřit a nespotřebovávat jí více, než je nutné.

Prvním krůčkem k omezení spotřeby energie bylo používání jednoduchých regulátorů s binárním výstupem, pracujících na principu dvojkovu, tedy dvou pásků z kovů s různou teplotní roztažností, spojených po jejich delší straně. Změna teploty způsobila, že se pásek více či méně prohnul, a to mělo za následek nejčastěji přepnutí kontaktů, které ovládaly přímo silový okruh. Tento regulátor byl jednoduchý, regulace však byla pochopitelně velmi nepřesná a kolísání teplot v objektu značné. Spínací teplotu bylo možné mechanicky nastavit, avšak nastavení bylo velmi hrubé.

S nástupem tranzistorů se regulace teploty začala řešit s použitím elektroniky. Nejprve v průmyslu (před rokem 1989 byly na špičkové úrovni výrobky ZPA Nová Paka) a později začaly elektronické regulátory pronikat i do domácností. Regulace se zdokonalovala, regulátory byly menší a přesnější.

Dnes jsou ceny například elektřiny na osminásobku ceny z roku 1991[1]. Také požadavky na ekologii, která s výrobou jakékoliv energie souvisí, jsou mnohonásobně náročnější. Oproti tomu lidé požadují vyšší komfort. Proto je nutné, aby současné regulátory splňovaly velmi náročné požadavky na přesnost, rychlost reakce, měly možnost zpracovávat hodnoty teplot z více měřicích míst. Nestačí pouze znát teplotu požadovanou v jedné místnosti a podle ní řídit např. centrální zdroj energie. Jiné požadavky na teplotu jsou v ložnici, jiné v obývacím pokoji a například v koupelně bude požadovaná teplota jistě nejvyšší. Takový systém již bude vyžadovat složitý regulátor, který bude mít k dispozici dostatečný počet informací o teplotách v jednotlivých místnostech, teplotě topného média do radiátoru vstupujícího a vystupujícího po ochlazení z radiátoru, teplotě venkovní, ale třeba také o rychlosti větru a intenzitě slunečního svitu. Zkonstruovat takový regulátor z diskrétních součástek by bylo velmi obtížné a drahé, kromě toho by takové zařízení pravděpodobně mělo vysokou vlastní spotřebu. Tyto nevýhody zapříčinily, že k většímu rozšíření takových regulátorů došlo až s rozvojem integrovaných obvodů a procesorové techniky.

Dalším významným spotřebičem v domácnosti je ohřívač teplé užitkové vody, tzv. bojler. K jeho ovládání se dodnes používá kontaktní regulátor. Nepracuje již na principu ohybu dvojkou, ale na zákonech tepelné roztažnosti kapaliny uzavřené do malé nádoby, která je umístěna v regulovaném prostoru. Na jeho výstupu je však stejně nekvalitní informace jako u již zmiňovaného bimetalového regulátoru.

Regulátorů teploty je na současném trhu velké množství. Od těch nejjednodušších až po složité systémy. Některá sériově vyráběná zařízení popisuje tato práce. Některé jsou

schopny ovládat i elektrický ohřev TUV. Nebyl však v nabídkách firem zabývajících se touto problematikou nalezen žádný regulátor, který by dokázal ohřev TUV ovládat ze dvou tepelných zdrojů – elektrického a spalováním pevného paliva. Práce si klade za cíl řešení vlastního regulátoru, který bude koncipován pro konkrétní objekt a bude schopen řídit vytápění objektu elektřinou a pevnými palivy. Současně by měl ovládat ohřev TUV z obou zdrojů tepla. Měla by být možnost jeho přizpůsobení jinému objektu. Stejně tak je nutné, aby se dal systém do budoucna rozšiřovat o další funkce a bylo by možné přidávat další vstupy a výstupy.

1 Teoretická část

1.1 Měření teploty

Je nemyslitelné řešit podobný systém bez přesných informací o teplotách v systému. Ke zjištění jednotlivých hodnot teploty je nutné použít vhodné senzory teploty, které budou vyhovovat svými vlastnostmi pracovním podmínkám a požadavkům na kvalitu naměřené hodnoty. Dále jsou popsány vybrané hlavní parametry senzorů teploty.

1.1.1 Statické parametry senzorů

Statická charakteristika je v ideálním případě přímka, kterou je možno popsat vzorcem (1), kde y je velikost veličiny na výstupu, K je **citlivost** a x je velikost veličiny na vstupu. Reálná statická charakteristika je popisována polynomem.

$$y = K \cdot x \quad (1)$$

Práh citlivosti senzoru je chápán jako velikost snímané veličiny na jeho vstupu, při které je na výstupu signál roven střední kvadratické odchylce jeho šumu. Je to nejmenší hodnota měřené veličiny, která může být senzorem detekována.

Maximální hodnota měřené veličiny je nejvyšší hodnota veličiny, která může být senzorem detekována.

Dynamický rozsah je udáván jako maximální interval měřené veličiny, který je senzor schopen vyhodnotit. Dole je ohraničen prahem citlivosti a shora maximální hodnotou měřené veličiny.

Hystereze je velikost maximálního rozdílu na výstupu při libovolné hodnotě vstupní veličiny, pokud je měřena při jejím zvyšování a snižování.

Linearita je míra shody ideální přenosové charakteristiky senzoru a skutečné kalibrační křivky.

Základní hodnota je hodnota výstupní veličiny při dané referenční hodnotě měřené veličiny.

1.1.2 Dynamické parametry senzorů

Výstupní i měřená veličina jsou funkcemi času a ve většině aplikací je nutné, aby výstupní veličina sledovala vstupní bez výrazného zkreslení a zpoždění. Tyto vlastnosti jsou popisovány zejména parametry uvedenými níže.

Přechodová charakteristika uvádí, jak senzor reaguje na skokovou změnu měřené veličiny na svém vstupu. U reálného senzoru bude vždy docházet ke zpoždění, konkrétně u měření teploty způsobenému tepelnou setrvačností hmoty senzoru. S ní úzce souvisí

frekvenční charakteristika, pomocí níž je vyjádřena závislost výstupní amplitudy a fáze v závislosti na frekvenci.

Teploměrů, které jsou používány, je mnoho druhů. V následujícím výčtu lze nalézt vybrané typy, které přicházejí v úvahu k použití při řešení tématu diplomové práce.

1.1.3 Kapilárové termostaty

Tyto termostaty neposkytují informaci o skutečné teplotě, ale pracují dvoustavově, změnou stavu výstupních kontaktů indikují, překročení nebo podkročení teploty nastavené. Pracují na mechanickém principu, kdy s teplotou silně roztažná kapalina je uzavřena do nádoby. Nádoba je umístěna do měřeného prostoru a spojena tenkou trubičkou – kapilárou s vyhodnocovacím mechanismem. Podle vzorce (2) dojde při změně teploty kapaliny ke změně jejího objemu. Tato změna objemu způsobí změnu tlaku v uzavřeném systému a tento tlak působí na kontakty, které se při dosažení nastaveného momentu síly přestaví. Kapilárový termostat je zobrazen na obr. 1 [2].

$$V = V_0(1 + \alpha \Delta t), \quad (2)$$

kde je

- V objem kapaliny po zahřátí [m^3],
- V_0 je objem kapaliny při referenční teplotě t_0 [m^3],
- α teplotní součinitel roztažnosti [K^{-1}],
- Δt rozdíl teplot před a po zahřátí [$^{\circ}\text{C}$].



Obr. 1 - kapilárový termostat

1.1.4 Kovové odporové senzory teploty

Princip těchto senzorů spočívá v závislosti konduktivity kovu na teplotě. Konduktivita se vypočítá podle vzorce (3),

$$\gamma = n e^2 \frac{\tau}{m}, \quad (3)$$

kde je

γ	konduktivita,
n	počet elektronů v jednotkovém objemu,
e	elementární náboj,
τ	relaxační čas elektronů,
m	efektivní hmotnost nosiče náboje.

Relaxační čas je jediný teplotně závislý parametr. Jeho hodnota je v řádu 10^{-13} s a pro teploty pod Debyovou charakteristickou teplotou kovu je $\tau \sim 1/T$, T [K] je termodynamická teplota kovu. Pro běžné výpočty však většinou postačí vztah (4),

$$R = R_0 (1 + \alpha t), \quad (4)$$

kde je

R_0	odpor senzoru při 0 °C,
α	teplotní součinitel odporu,
t	teplota [°C].

Platinové odporové senzory využívají platinový drátek. Platina je chemicky netečná a má vysokou teplotu tání. Proto je často používána v náročných aplikacích v rozmezí teplot -200 až 1100 °C. Platinové teploměry jsou vyráběny se základní hodnotou odporu 50, 100, 200, 500, 1000 a 2000 Ω .

Niklové odporové senzory jsou vyráběny technologií tenkých vrstev. Jejich výhodou je velká citlivost, malé rozměry a vzhledem k malé hmotě senzoru i velká rychlost odezvy na změnu měřené teploty. Používány jsou v rozmezí teplot -60 až 180 °C. Oproti platinovým teploměrům však mají horší dlouhodobou stabilitu a nejsou netečné vůči měřenému prostředí. Horší je i jejich linearita. Jsou vyráběny se základní hodnotou odporu 100, 200, 500, 1000 a 2000 Ω .

1.1.5 Polovodičové odporové senzory teploty

Polovodičové odporové senzory teploty jsou rozděleny na termistory a monokrystalické odporové senzory. Termistory mohou být dále rozděleny na negastory a pozistory.

Negastory jsou používány pro měření teplot od -50 do 150 °C. Jsou vyráběny práškovou technologií z oxidů kovů (chromu, kobaltu, mědi, niklu, titanu...). Lisují se při vysokých teplotách. Mají velký záporný teplotní součinitel odporu.

Pozistory jsou vyráběny z polykrystalické keramiky a vykazují nejprve záporný teplotní koeficient. Při dosažení Curieovy teploty však dochází ke strmému poklesu konduktivity. Tento okamžik je nazýván spínací teplota. Může být ovlivněn složením materiálu v rozmezí přibližně 60 až 180 °C.

I u tohoto typu senzorů teploty dochází ke změnám konduktivity v závislosti na změnách teploty. To je způsobeno závislostí koncentrace nosičů náboje na teplotě. Teplotní koeficient α je záporný, jak je patrné z rovnice (4).

$$\alpha = \frac{-\Delta E}{2kT} \frac{1}{T}, \quad (4)$$

kde je

ΔE změna šíře mezery mezi energetickými hladinami,
 K Boltzmannova konstanta,
 T termodynamická teplota.

Monokrystalické senzory jsou nejčastěji vyráběny na bázi křemíku dotovaného na polovodič typu N, kdy je dominantní elektronová vodivost. Pro tuto vodivost platí vztah (5),

$$\gamma = e(\mu_n n + \mu_p p), \quad (5)$$

kde je

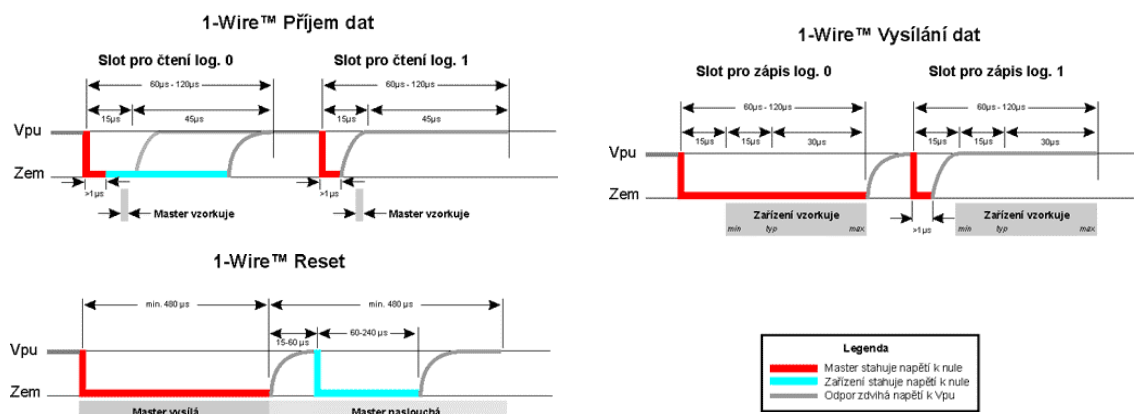
γ konduktivita,
 e elementární náboj,
 n, p koncentrace elektronů, děr,
 μ_n, μ_p pohyblivost elektronu, děr.

Koncentrací dotace je nastavena konduktivita při dané teplotě. Pokud se teplota zvyšuje, dochází na kmitající mřížce ke snižování pohyblivosti, a tím k poklesu konduktivity. Rozsah měřených teplot je obvykle v rozsahu od -50 do 150 °C.

1.1.6 Číslicové senzory teploty

Na trhu je nabízena celá řada integrovaných číslicových teploměrů. Mohou mít na svém výstupu signál proudový, napěťový, změnu střidy pravoúhlého kmitočtu a v neposlední řadě může být na výstupu informace o teplotě zakódována do sériových dat.

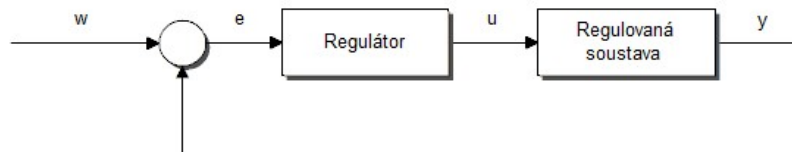
Dallas 18B20 je zástupce posledně jmenované skupiny. Jde o integrovaný obvod, který teplotu snímá na principu dvou oscilátorů, z nichž první je teplotně nezávislý a druhý vykazuje velkou teplotní závislost. Rozdíl kmitočtů obou generátorů je tedy závislý na teplotě a dále je zpracováván až do formátu výstupních dat, která jsou po sběrnici přenášena na místo určení. Tento senzor je vždy typu slave a jako master je obvykle použit mikrokontrolér. Komunikace po datovém vodiči probíhá v obou směrech v takzvaných slotech. Existuje pět druhů slotů, jeden resetovací a sloty pro zápis a čtení „1“ a „0“ tak, jak jsou vyobrazeny na obr. 2 [3].



Obr. 2 - sloty sběrnice 1-wire

1.2 Regulace teploty

Regulace je v obecném významu činnost, při které je nějaká fyzikální veličina udržována v blízkosti požadované hodnoty. Prvky, kterými je regulace zajišťována, spolu tvoří regulační okruh. Tento uzavřený regulační okruh je tvořen regulátorem, regulovanou soustavou a zpětnou vazbou regulované veličiny. Hlavní veličiny jsou patrné na obr. 3, na kterém w je požadovaná hodnota, y skutečná hodnota, e je rozdíl požadované a skutečné hodnoty, regulační odchylka. Tento rozdíl je regulátorem zpracován a přeměněn na výstupní veličinu u , která působí na regulovanou soustavu.



Obr. 3 - znázornění regulačního okruhu

1.2.1 Regulace ON-OFF

Jedná se o nejjednodušší typ regulace. Výstupní veličina u se mění skokem do stavu zapnuto při podkročení spodní meze regulace a skokem do stavu vypnuto při překročení horní meze. Rozdíl těchto hodnot je nazýván hystereze. Tato regulace je často používána tam, kde nejsou kladeny vysoké nároky na kvalitu regulačního procesu. Její výhodou je jednoduchost, spolehlivost a nízká cena.

1.2.2 Regulace P

Při proporcionální regulaci je rozdíl požadované a skutečné hodnoty regulované veličiny vynásoben konstantou proporcionality K_P . Ta tedy určuje zesílení regulátoru. To může být vyjádřeno vzorcem (6).

$$u = K_P \cdot e, \quad (6)$$

kde je

- u výstupní veličina
- K_P konstanta proporcionality
- e rozdíl požadované a skutečné hodnoty.

U tohoto typu regulace je problém s přesným udržením skutečné hodnoty y . Pokud bude zvolena příliš nízká hodnota K_P , hodnota y nikdy nedosáhne hodnoty w . Je-li hodnota K_P příliš vysoká, dochází k velikému rozkmitu y kolem požadované hodnoty w . Při optimálním nastavení K_P dochází k rozkmitu y v malé míře a pro některé nenáročné regulace je možno proporcionální způsob použít. Vždy však bude trvalá regulační odchylka, jejíž amplituda bude cyklovat od kladného do záporného maxima.

1.2.3 Regulace PI

Pokud je paralelně k proporcionální složce připojena složka integrační, vzniká regulace PI. Velikost integrační složky je opět závislá na konstantě určující zesílení K_I a integrálu regulační odchylky e . Velikost výstupní veličiny je součtem složek P a I, jak je možné pozorovat ve vzorci (7)[4].

$$u = K_P \cdot e + K_I \cdot \int_0^t e(T) dT, \quad (7)$$

kde je

u výstupní veličina
 K_P konstanta proporcionality
 K_I konstanta integrační
 e rozdíl požadované a skutečné hodnoty.

Vliv integrační složky je na počátku regulačního zásahu malý. Je-li skutečná hodnota menší než požadovaná, integrační složka roste s časem, je-li skutečná hodnota větší než požadovaná, s časem klesá. Tímto způsobem tlumí kmity regulované veličiny kolem požadované hodnoty.

1.2.4 Regulace PID

Je-li ke složkám P a I paralelně připojena složka derivační, vzniká regulátor PID. Tento typ regulace je možné popsat vzorcem (8)[4].

$$u = K_P \cdot e + K_I \cdot \int_0^t e(T) dT + K_D \cdot e', \quad (8)$$

kde je

u výstupní veličina
 K_P konstanta proporcionality
 K_I konstanta integrační
 K_D konstanta derivační
 e rozdíl požadované a skutečné hodnoty.

Derivační složka je závislá na rychlosti změny regulační odchylky a chová se opačně než složka integrační. Je nejvíce účinná při vzniku regulační odchylky a při ustálení regulačního okruhu se neprojevuje. Nastavením konstant K_P , K_I a K_D se provede nastavení optimálního chování regulátoru PID.

1.3 Komerčně vyráběné systémy

1.3.1 Dvoustavový regulátor Auraton

Jedná se o velmi jednoduché a levné zařízení, jehož výstup je v závislosti na nastavené a aktuální teplotě sepnut či rozepnut. Využívá tedy regulaci typu ON-OFF, má týdenní program a může mít nastavenou hysterezi. Lze jej pořídit za cenu do 1000,- Kč. Je zobrazen na obr. 4.



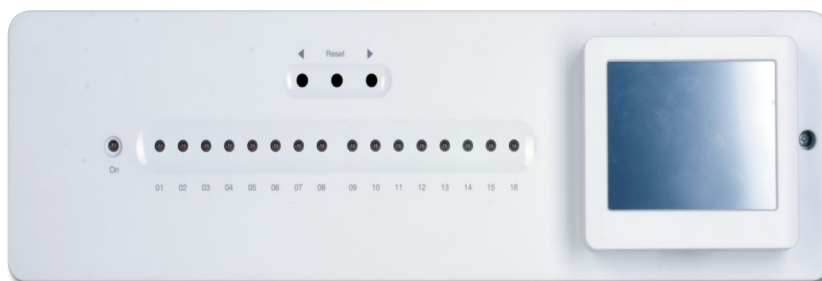
Obr. 4 - regulátor ON-OFF

1.3.2 Jablotron

Výrobek AC-116 firmy Jablotron je uzavřeným systémem, který je složen z centrální řídicí jednotky a ovládacího displeje. Jako senzory teploty v prostoru slouží bezdrátové termostaty, kterých může být až 16. Jedná se o zónovou regulaci. Řídicí jednotka je na obr. 6 a ovládací panel této jednotky na obr. 5.



Obr. 5 - displej k AC-116



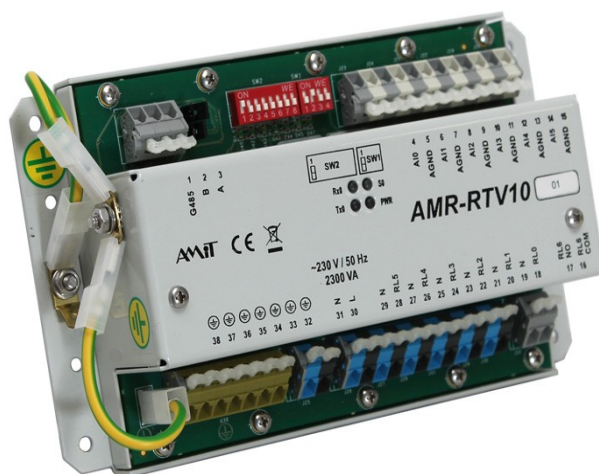
Obr. 6 - pohled na jednotku AC-116

1.3.3 Amit

Firmou Amit je vyráběn kompaktní regulátor AMR-RTV10, který je možno propojit s periferiemi různých výrobců. Jde tedy o systém, který není zcela uzavřený jako AC-116. Vyobrazení jednotky je na obr. 8 a ovládacího panelu na obr. 7. Porovnání obou zmiňovaných systémů je uvedeno v tab. 1.



Obr. 8 - ovládací panel OP-060



Obr. 7 - regulátor Amit

Tabulka 1 - porovnání komerčně vyráběných systémů

	AMIT	JABLOTRON
Centrální jednotka	5530,-	6 000,-
Dotykový displej	3385,-	4 000,-
Termostat	-	1200,-
Prostorový teploměr	500,-	Je součástí termostatu
Analogové vstupy	6x Ni1000	Nejsou
Digitální výstupy	6x relé 4 A, celkem max. 10 A	16x max. 0,4 A, celkem max. 1,6 A, 1x relé 10 A
Připojení do sítě	RS485	Pouze stejné jednotky, max. 2, sběrnice Jablotron
Výhody	Sběrnice RS485, možnost připojit senzory jiných výrobců	Dostatečný počet zón (16), řízení ohřevu TUV
Nevýhody	Nemožnost připojit rozšiřující moduly, malý počet vstupů a výstupů	Zcela uzavřený systém, není možné připojit senzory jiného výrobce, s počtem senzorů podstatným způsobem narůstá cena
Zdroj informací	[5]	[6]

2 Praktická část

V praktické části bude popsáno řešení systému, který bude zajišťovat požadované funkce pomocí vlastního HW a SW.

2.1 HW

2.1.1 Centrální jednotka

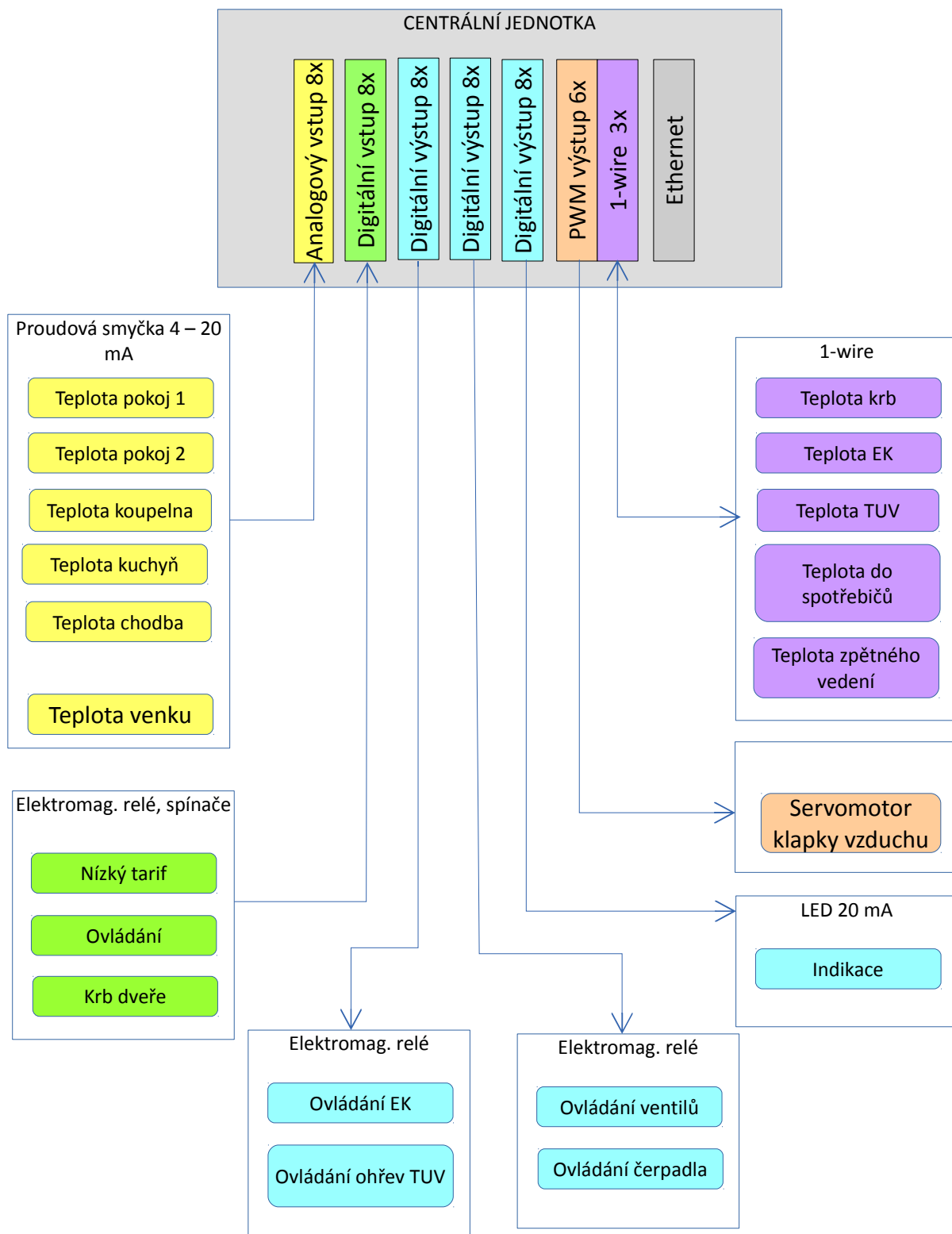
Variabilita počtu vstupů a výstupů je zabezpečena mechanickým uspořádáním, kdy centrální jednotka je tvořena základní deskou s procesorem, do které jsou zasouvány jednotlivé moduly jako jsou digitální vstupy, digitální výstupy, analogové vstupy nebo modul komunikace či ethernetu. Pozice v základní jednotce jsou naznačeny na obr. 9. konfigurace je popsána v tabulce 2.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Obr. 9 - pozice modulů v základní jednotce

Tabulka 2 - osazení pozic centrální jednotky moduly

Pozice	Modul
A	Ethernet
B	PWM
C, E	Analogové vstupy
D	Komunikace
F, G, H, I	Digitální vstupy nebo digitální výstupy

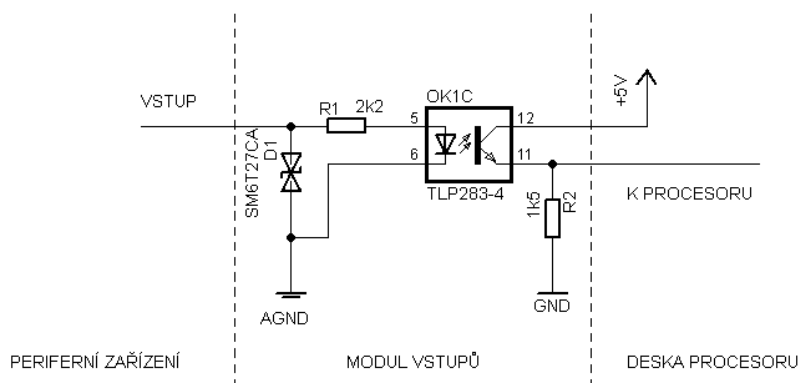


Obr. 10 - konfigurace systému

Při návrhu centrální řídicí jednotky bylo třeba respektovat požadavky na elektrické parametry a též požadavky na vlastnosti mechanické. Mezi požadavky na elektrické vlastnosti je možno zahrnout galvanické oddělení digitálních vstupů a výstupů jednotky od okolních obvodů, napájení jednotky externím zdrojem napětí, jako hlavní požadavek na mechanické řešení je možnost použití různého počtu vstupů a výstupů. Galvanické oddělení je realizováno pomocí optočlenů, k napájení jsou použity dva, továrně vyráběné zdroje 12 V a 24 V.

Základní deska s procesorem je realizována ze dvou dílů. První díl je továrně vyráběný modul, který je osazený procesorem ATMEGA2560. Druhý díl je tvořen deskou s plošnými spoji, jejíž úloha spočívá v rozvedení jednotlivých pinů procesoru na požadované konektory, do kterých jsou zasouvány jednotlivé dále popisované moduly. Oba díly spolu tvoří sendvičovou sestavu.

Modul digitálních vstupů obsahuje optočlen s fototranzistorem, jehož nejdůležitější parametry jsou uvedeny v tabulce 4[7]. Zapojení jednoho digitálního vstupu je ukázáno na obr. 11. Napěťové hodnoty na vstupu a výstupu modulu jsou v tabulce 3. Celkové zapojení modulu digitálních vstupů je v příloze A. Postup při návrhu hodnot součástek je uveden v následujícím textu.



Obr. 11 - zapojení jednoho digitálního vstupu

Tabulka 3 - předpokládaná napětí na vstupu a výstupu

Parametr	Zkratka	Hodnota	Jednotka
Log. 1 na vstupu	U_I	24	V
Log. 1 na výstupu	U_{OUT}	5	V

Tabulka 4 - parametry TLP283-4

Parametr	Zkratka	Hodnota	Jednotka
Maximální proud LED	I_F	50	mA
Napětí na LED v propustném směru při $I_F = 10 \text{ mA}$	V_F	1,15	V
Maximální kolektorový proud fototranzistoru	I_C	50	mA
Maximální výkonová ztráta fototranzistoru	P_C	150	mW
Napětí na tranzistoru při saturaci	V_{CE}	0,2	V

Při výpočtu rezistorů byl zvolen $I_F = 10 \text{ mA}$ a $I_C = 3 \text{ mA}$. Potom

$$R_1 = \frac{(U_I - U_F)}{I_F} = \frac{24 - 1,15}{0,01} = 2285 \Omega, \quad (5)$$

a podobně

$$R_2 = \frac{(U_{proc} - U_{CE})}{I_C} = \frac{5 - 0,2}{0,003} = 1600 \Omega. \quad (6)$$

Je nutné vypočítat ztrátové výkony rezistorů a porovnat je s maximální výkonovou ztrátou použitých rezistorů.

$$P_{R_1} = U_{R_1} \cdot I_F = 22,85 \cdot 0,01 = 0,23 \text{ W}, \quad (7)$$

$$P_{R_2} = U_{R_2} \cdot I_F = 4,8 \cdot 0,003 = 0,01 \text{ W}, \quad (8)$$

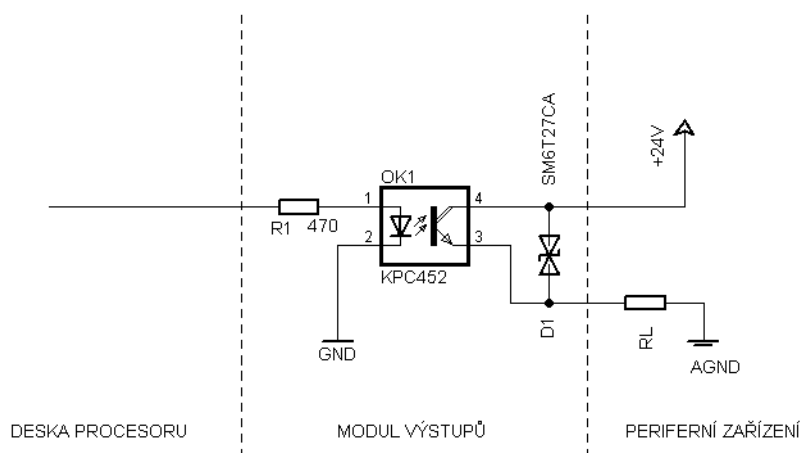
kde je

U_I napětí na vstupu modulu pro log 1
 U_F napětí na LED
 I_F proud LED
 U_{proc} pracovní napětí procesoru
 U_{CE} napětí kolektor emitor tranzistoru

Dále je ke vstupu paralelně připojen transil D_1 , jehož spínací napětí je 27 V, tedy 3V nad provozním napětím a který chrání LED optočlenu proti přepětí.

Modul digitálních vstupů může být umístěn na pozicích F, G, H, a I.

Modul digitálních výstupů též obsahuje optočlen, avšak pro zvýšení proudového zesílení je použit typ s Darlingtonovou dvojicí tranzistorů. Jeho součástí je i ochranná dioda proti napěťovým impulsům vznikajícím při spínání indukční zátěže. Napěťové impulsy jsou též omezeny bipolárním transilem SM6T27CA. Parametry optočlenu KPC452 jsou uvedeny v tabulce 6. Celkové zapojení modulu je uvedeno v příloze B.



Obr. 12 - zapojení jednoho digitálního výstupu

Tabulka 5 - předpokládaná napětí na vstupu a výstupu modulu, měřeno proti zemi

Parametr	Zkratka	Hodnota	Jednotka
Log. 1 na vstupu	U_I	5	V
Log. 1 na výstupu	U_{OUT}	24	V

Tabulka 6 - parametry optočlenu KPC452

Parametr	Zkratka	Hodnota	Jednotka
Maximální proud LED	I_F	50	mA
Napětí na LED v propustném směru při $I_F = 10$ mA	V_F	1,2	V
Maximální kolektorový proud	I_C	150	mA
Maximální výkonová ztráta tranzistoru	P_C	150	mW
Napětí na tranzistoru při saturaci	V_{CE}	1,5	V

Proud LED byl zvolen 10 mA a odpor rezistoru R_1 byl určen jako

$$R_1 = \frac{(U_{proc} - U_F)}{I_F} = \frac{5 - 1,2}{0,01} = 380 \, \Omega \quad (9)$$

a jeho výkonová ztráta

$$P_{R_1} = U_{R_1} \cdot I_F = 3,8 \cdot 0,01 = 0,038 \, W, \quad (10)$$

kde je

U_F napětí na LED

I_F proud LED

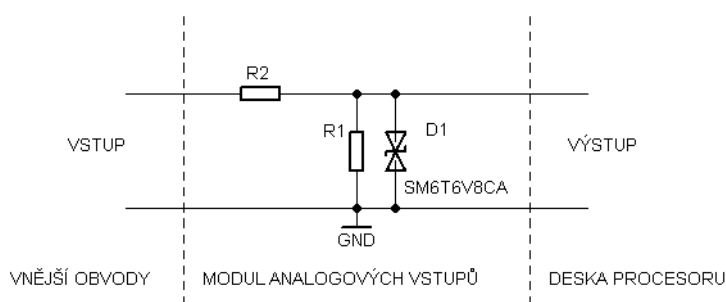
U_{proc} pracovní napětí procesoru

Modul digitálních výstupů může být umístěn na pozicích F, G, H, a I.

Modul analogových vstupů je možné použít ve třech režimech, které lze kombinovat i na jednom modulu. Jednak je možné měřit přímo napětí, napětí snížené odporovým děličem, nebo snímat proud smyčky 4 – 20 mA. Režim daného kanálu se volí osazením různých rezistorů, jak popisuje tabulka 7. Odpor rezistorů R_1 a R_2 byly určeny na základě úvahy příp. Ohmova zákona. Při proudovém režimu protéká proud smyčky přes měřicí rezistor, na kterém se vytváří úbytek napětí, který je dále přiveden do analogového vstupu procesoru (11), (12). Rezistor R_2 je přitom nahrazen propojkou. Při napěťovém režimu je opět R_2 nahrazen propojkou a R_1 není osazen. V tom případě jsou vstupní svorky modulu připojeny přímo k analogovému vstupu procesoru. Pokud je třeba měřit napětí vyšší než 5 V, osadí se rezistory oba a pracují jako dělič napětí (13),(14),(15),(16),(17). Vstupní svorka ADC procesoru je chráněna transilem se spínacím napětím 6,8 V.

Tabulka 7 - příklady osazení rezistorů na modulu analogových vstupů

Režim měření	R_1 [Ω]	R_2 [Ω]	Max hodnota na vstupu modulu	Hodnota na výstupu modulu
Proudový	250	0	20 mA	5 V
Napěťový	∞	0	5 V	5 V
Napěťový 5:1	5000	25000	30 V	5 V



Obr. 13 - zapojení jednoho analogového vstupu

$$R_1 = \frac{(U_{AD})}{I_{max}} = \frac{5}{0,02} = 250 \Omega \quad (11)$$

$$P_{R_1} = U_{AD} \cdot I_{max} = 0,1 W \quad (12)$$

Při návrhu děliče napětí byl zvolen proud děličem $I = 1$ mA. Z tohoto proudu a maximálního napětí na děliči vypočítáme celkový odpor děliče:

$$R_{celk} = \frac{U_{max}}{I} = \frac{30}{0,001} = 30 k\Omega, \quad (13)$$

kde je

R_{celk} součet odporů obou rezistorů,
 U_{max} maximální napětí přivedené na vstup děliče, zde 30 V,
 I proud děličem.

Protože vstup ADC procesoru má vysoký vnitřní odpor, můžeme dělič uvažovat jako nezatížený. Byly vypočteny odpory obou rezistorů a poté dopočítána výkonová ztráta na rezistorech.

$$R_1 = \frac{R_{celk}}{5} = \frac{30000}{6} = 5000 \Omega \quad (14)$$

$$R_2 = \frac{R_{celk}}{6} \cdot 5 = \frac{30000}{6} \cdot 5 = 25000 \Omega \quad (15)$$

$$P_{R_1} = U_{R_1} \cdot I = 5 \cdot 0,001 = 0,005 \text{ W} \quad (16)$$

$$P_{R_2} = U_{R_2} \cdot I = 25 \cdot 0,001 = 0,025 \text{ W} \quad (17)$$

Tento modul není galvanicky oddělen od procesoru a všechny připojené senzory mají společnou zemní svorku. Schema zapojení jednoho kanálu je na obr.13, celkové schema je v příloze C.

Modul analogových vstupů může být umístěn na pozicích C a E. Rezistory použité v modulech budou mít dle výpočtů ztrátový výkon 0,25 W.

Modul komunikace může být umístěn na pozici D. Je možno jej využít pro komunikaci regulátoru s dalšími zařízeními, která používají UART. V této verzi regulátoru není osazen.

Modul ethernet slouží k připojení centrální jednotky do počítačové sítě prostřednictvím routeru. Je složen z továrně vyráběného komunikátoru, který je prodáván jako příslušenství k desce s procesorem Arduino a z plošného spoje přizpůsobení, který umožňuje použití v modulové konstrukci centrální jednotky. Jádrem modulu je integrovaný obvod od firmy WizNET označený W5100. Modul obsahuje i další potřebné součástky a je osazen konektorem k připojení kabelu UTP. Napájení zajišťuje základní deska s procesorem.

Modul ethernet musí být umístěn na pozici A, protože přes něj je do centrální jednotky přivedeno napájecí napětí 5 V z externího zdroje. Pokud není vyžadováno připojení centrální jednotky do sítě ethernet, musí se použít samostatný plošný spoj přizpůsobení bez osazeného komunikátoru.

Modul PWM je určen k připojení spotřebičů, které jsou ovládány PWM, není to však podmínkou a tyto piny procesoru je možné použít i jako běžné digitální vstupy či výstupy. Modul PWM v aktuální verzi je využíván jednak pro ovládání serva klapky vzduchu a též jsou k němu připojeny teploměry Dallas. Pro komunikaci s teploměry Dallas jsou vyžadovány piny, které umožní jak příjem, tak i vysílání a proto není použito oddělení optočlenem. Dalším důvodem pro toto řešení je skutečnost, že vedení k teploměrům jsou

relativně krátká a pravděpodobnost vniknutí cizích napětí velmi nízká. Pro ovládání PWM jsou použity optočleny. Všechny kanály tohoto modulu jsou chráněny transily s odpovídajícím spínacím napětím, pro kanály pracující s 5 V napětím je to 6,8 V a pro kanály pracující s 24 V je to 27 V. Hodnoty součástek použitých v modulu byly určeny stejným způsobem, jako pro modul digitálních výstupů. Celkové schema zapojení tohoto modulu je v příloze D.

Modul PWM může být umístěn na pozici B.

2.1.2 Periferie vstupní

Centrální jednotka ke své činnosti potřebuje znát aktuální stav parametrů regulované a ovládané soustavy. K tomu slouží senzory polohy, které snímají stav vybraných prvků systému a senzory teploty. Jejich seznam a parametry jsou uvedeny v tabulce 8.

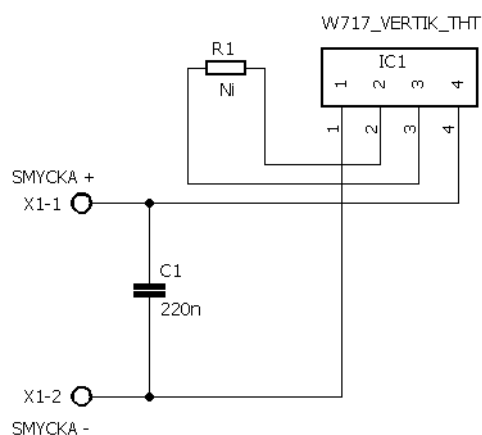
Tabulka 8 - použité senzory

Senzor	Počet	Princip	Výstupní veličina	Provedení
Teploměr	5	Niklový snímací element	Proud 4 – 20 mA	Vnitřní
	1	Niklový snímací element	Proud 4 – 20 mA	Venkovní
	3	Dallas	1 – wire	Do jímky
	4	Dallas	1 – wire	Na potrubí
	2	Dallas	1 – wire	Vnitřní
Úhel natočení	1	Odporový	0 – 5 V	Na hřídel
Poloha	1	Kontakťový	Binární 0/24 V	Mikrospínač
NT	1	Kontakťový	Binární 0/24 V	Mikrospínač
Ovládání	1	Kontakťový	Binární 0/24 V	Mikrospínač

Senzory polohy jsou v systému použity zatím pouze dva. První snímá polohu dveří krbové vložky. Je použit koncový spínač určený právě pro tyto účely. Další senzor je spojen s hřídelí, která ovládá polohu klapky nasávaného vzduchu. Jde o odporový vysílač úhlu natočení, odpor jeho dráhy je 100 Ω a je zapojen jako potenciometr.

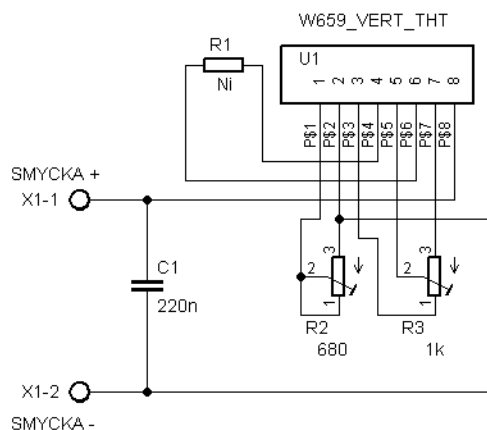
Pro měření teplot jsou použity tři typy senzorů teploty. Jednak je to analogový niklový teploměr od firmy Harlingen s.r.o. a dále teploměr číslicový od firmy Dallas. Jako pojistný prvek při přehřátí elektrického kotle, krbu nebo elektrického ohříváče TUV je použit kapilárový termostat.

Niklový teploměr je použit pro měření teplot na větší vzdálenosti a tam, kde je k dispozici pouze vedení kabelem SYKFY 3x2x0,5 který není vhodný pro přenos pravoúhlých pulsů o relativně vysoké frekvenci. K přenosu informace o teplotě je využívána proudová smyčka 4 – 20 mA se všemi jejími výhodami, jako jsou například vysoká odolnost proti rušení nebo zanedbatelný vliv odporu přívodních vodičů. Velkou výhodou pro konstrukci je možnost použití hybridního integrovaného obvodu s označením W 659, resp W 711 firmy Harlingen s.r.o. Tento obvod převádí změnu odporu niklového teploměru na změnu proudu smyčky a současně provádí linearizaci. Doporučené zapojení dle výrobce je na obr. 14 a 15. Jak je patrné, k obvodu W717 postačí připojit Ni odporový senzor na svorky 2 a 3 a proudovou smyčku ke svorkám 1 a 4. Všechny nastavovací prvky jsou součástí W717 a jeho použití je tedy velmi jednoduché.



Obr. 14 - doporučené zapojení W717

Zapojení obvodu W659 navíc obsahuje dvojici odporových trimrů. Trimrem R_2 je nastavován počátek měřícího rozsahu (proud 4 mA) a trimrem R_1 jeho konec (proud 20 mA). W659 je tedy variabilnější, pokud jde o měřící rozsah, než W717. W717 je však jednodušší na aplikaci.



Obr. 15 - doporučené zapojení W659

Tato základní zapojení jsou používána spolu s modulem analogových vstupů jako prostorové a venkovní teploměry. Po konzultaci s firmou Harlingen s.r.o. bylo toto základní zapojení doplněno o digitální zobrazení aktuální teploty. Tento typ teploměru je popsán v dalším textu.

2.1.3 Teploměr s displejem LED

Teploměr s displejem je komfortnější varianta analogového měření teploty. Byl navržen a testován ve dvou variantách, s displejem LED a displejem LCD. Ukázalo se, že návrh teploměru je poměrně komplikovaný, protože bylo třeba vyřešit problémy, které nebyly na první pohled zcela patrné a jako problém se ukázaly až v průběhu návrhu. Koncepce teploměru LED je na obr. 16. Jeho připojení je čtyřvodičové a pro správnou funkci je nutné, aby byly odděleny země napájení a proudové smyčky. Tento požadavek pramení z faktu, že 0°C neodpovídá proud 0 mA, ale 4 mA a proto je třeba u voltmetru, který měří a zobrazuje hodnotu napětí po převodu I/U „posunout nulu“. K tomu byla vytvořena napěťová reference a aby bylo možné manipulovat s referenční hodnotou správným směrem, bylo zapotřebí, aby byla galvanicky oddělená od měřeného napětí. Výsledkem mnoha experimentů bylo funkční zapojení, které je vyobrazeno na obr. 17. Jako převodník R/I je použit obvod W711. K převodu proudu na napětí slouží rezistor R14, jehož odpor je 39 Ω. Procházejícím proudem se na něm vytváří úbytek napětí. Pro 4 mA je to 156 mV, pro 20 mA 780 mV. Toto napětí je přivedeno do jednoho z diferenčních vstupů integrovaného obvodu ICL 7107, IN-HI. Diody D₄ až D₆ tvoří přepěťovou ochranu, C₁₁ filtruje napěťové špičky. ICL 7107 obsahuje A/D převodník, dekodér pro 3,5místný displej a budič displeje. A/D převodník ke své činnosti vyžaduje záporné napětí asi 4 V. To je generováno pomocí nábojové pumpy T₁, T₂, D₁, D₂, C₄. Nula je potlačena napětím přivedeným do druhého diferenčního vstupu IN-LO, jeho velikost odpovídá napětí při 4 mA, tedy 156 mV. Protože toto napětí musí být přesné a stabilní, je k jeho vytvoření použita napěťová reference TL431. Tento integrovaný obvod poskytuje stabilní napětí 2.5 V, které je vyděleno víceotáčkovým trimrem 25 kΩ. Stejný obvod je použit i pro vytvoření dalšího stabilního napětí, které je potřeba pro vstup REF-HI. Napětí na tomto vstupu má vliv na hodnotu zobrazenou na displeji. To vyjadřuje vzorec (18)[8].

$$x = \frac{U_i}{U_{ref}} \cdot 1000, \quad (18)$$

kde je

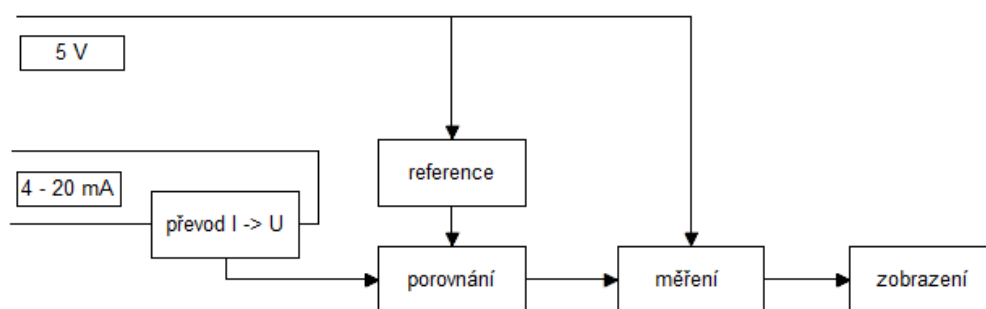
x	číslo zobrazené na displeji
U _i	rozdíl napětí mezi vstupy IN-HI a IN-LO
U _{ref}	napětí na vstupu REF-HI

Z tabulky 9 jsou patrné napěťové hodnoty na obou vstupech. Ze známého vstupního napětí a požadovaného údaje na displeji byla určena velikost referenčního napětí jako

$$U_{ref} = \frac{U_i}{x} \cdot 1000 = 624 \text{ mV}. \quad (19)$$

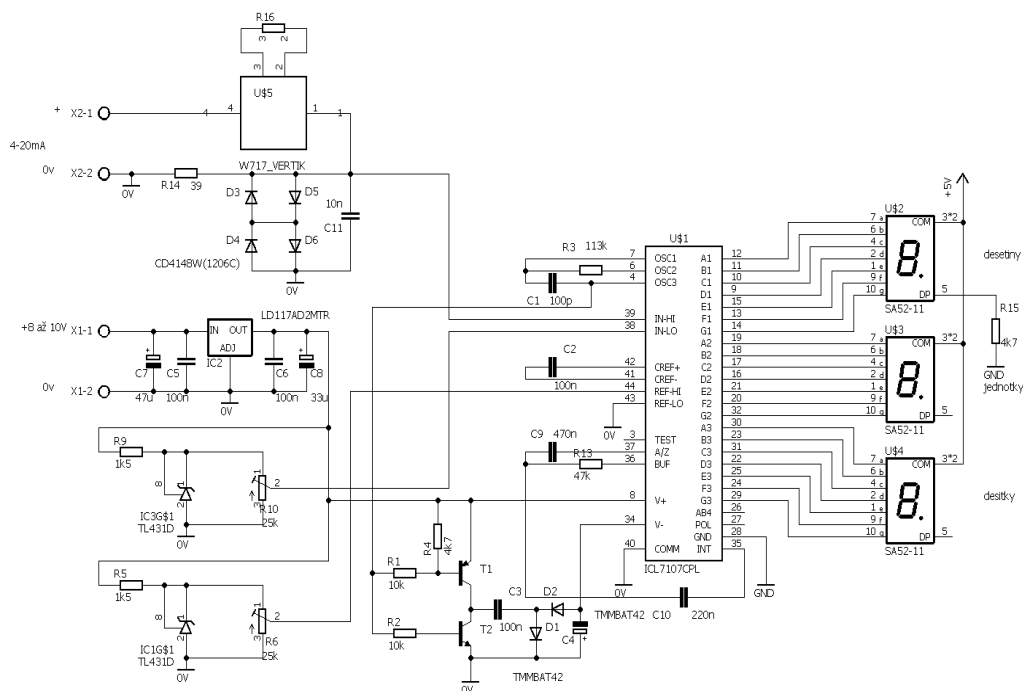
Tabulka 9 - napětí na vstupech ICL7107 při třech teplotách

Proud smyčkou [mA]	Teplota [°C]	Napětí na IN-HI [mV]	Napětí na IN-LO [mV]	Rozdíl napětí [mV]	Požadovaná hodnota na displeji
4	0	156	156	0	0
12	50	156	468	312	500
20	100	156	780	624	1000



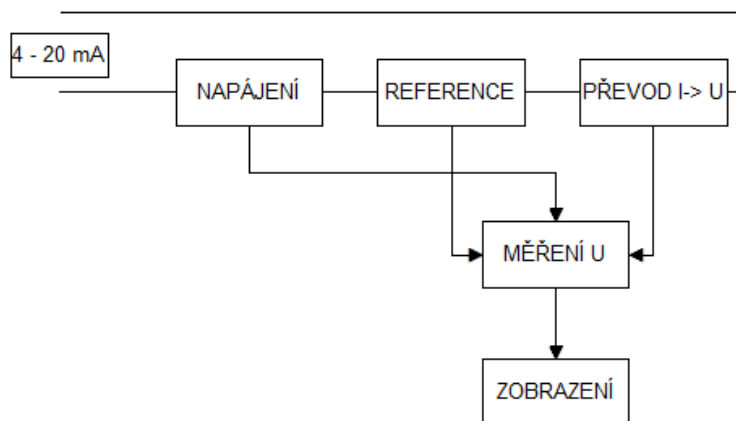
Obr. 16 - blokové schéma teploměru s displejem LED

Pro zmiňované nevýhody s napájením a po konzultaci s firmou Harlingen s.r.o. bylo toto řešení ve stadiu funkčního zapojení na nepájivém poli opuštěno a byl zahájen vývoj teploměru s LCD displejem napájeného přímo z proudové smyčky. Jeho blokové schéma je možné vidět na obr. 19. Ani tato varianta nebyla při návrhu bez problémů. Ty se ale podařilo vyřešit a výsledkem je zapojení uvedené na obr. 50 v příloze B.



Obr. 17 - schéma zapojení realizovaného teploměru s displejem LED

2.1.4 Teploměr s displejem LCD



Obr. 18 - blokové schéma teploměru s displejem LCD

Blokové schéma je na obr. 18, celkové zapojení je v příloze B na obr. 50. Zapojení je možné rozdělit na analogovou a digitální část. V analogové části dochází k převodu odpor/proud/napětí, k tvorbě napětí potřebných pro napájení obou částí a v části digitální je toto napětí měřeno a zobrazováno.

Na vstupu analogové části je použit obvod W659 firmy Harlingen s.r.o. v zapojení totožném s obr. 15. převádí změnu odporu R_t teplotního senzoru na změnu proudu v rozsahu 4 – 20 mA. Je napájen z proudové smyčky a pomocí trimrů R_8 a R_9 je možné nastavit počátek a konec rozsahu. Proudová smyčka dále prochází LED₁, LED₂, D₁ a R₂. Na těchto součástkách dochází vlivem procházejícího proudu k vytvoření úbytků napětí. Napětí na R₂ je zavedeno do vstupů IC₁. Napětí na D₁ napájí IC₁ a T₁ a napětí které se vytvoří na obou LED slouží k napájení IC₃, IC₅, a tvoří se z něj napěťová reference pomocí IC₄. Obvod IC₂ je velmi důležitý prvek analogové části. Jedná se o obvod, který obsahuje světloemitující diodu a dvě fotocitlivé diody. Je určen pro galvanické oddělení proudové smyčky od ostatních obvodů. Bez tohoto obvodu se nedařilo teploměr s požadovanými vlastnostmi navrhnout. Princip oddělení spočívá v optické vazbě mezi LED a fotodiodou. Protože jsou však oba prvky silně nelineární, je nutno provést linearizaci zařazením fotodiody do zpětné vazby IC₁. Druhá fotodiody potom tvoří galvanicky oddělený výstup a je zapojena do vstupů IC₃. Na jeho výstupu je již k dispozici napětí lineárně závislé na odporu R_t senzoru teploty.

Jako jádro digitální části je použit 8-mi bitový procesor ATMEGA 32. Disponuje 10-ti bitovým A/D převodníkem, který je multiplexován do 8-mi kanálů. Dva z nich jsou použity jako diferenční. Do prvního je přivedeno napětí z výstupu IC₃ a do druhého napětí z reference s IC₄. Vzhledem k tomu, že napětí reference je rovno napětí z IC₃ při 0°C, dochází tak k potřebnému posunutí nulové hodnoty na displeji. Hodnota, která bude na displeji zobrazena je určena dle (20)[9],

$$D = (U_p - U_n) \cdot \frac{Z}{U_{ref}}, \quad (20)$$

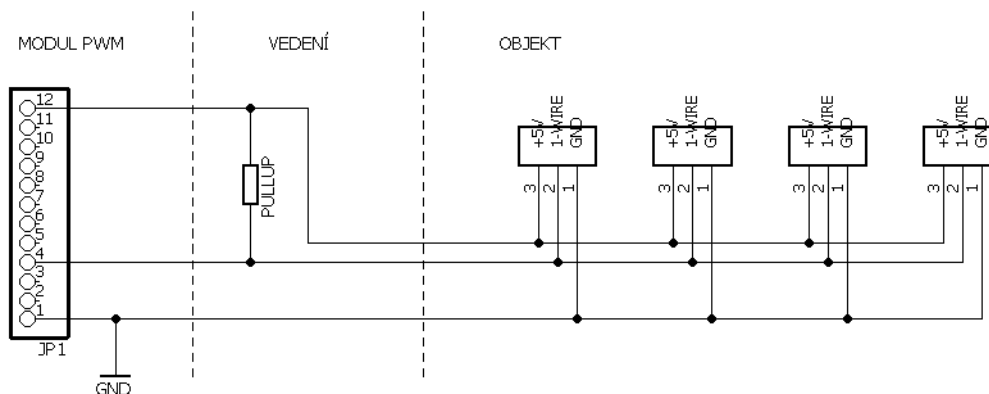
kde je

D	zobrazený údaj na displeji
U_p	napětí na pozitivním vstupu
U_n	napětí na negativním vstupu
Z	zesílení dif. vstupů
U_{ref}	referenční napětí A/D převodníku

Číslicový teploměr DS18B20 je použit pro měření teplot na topném systému a pro měření teploty venkovní. Jeho zapojení je velmi jednoduché a je naznačeno na obr 19. Spočívá v přivedení napájecího napětí 5 V a připojení datového výstupu k I/O pinu procesoru prostřednictvím modulu PWM. Mezi kladné napájení a datový vodič je vložen pull up rezistor, master i slave datový vodič připojají k zemi.

Na jednu sběrnici je možné připojit větší počet teploměrů. Každý teploměr má vlastní jedinečné identifikační číslo o délce 64 bitů, jejich počet na sběrnici teoreticky není

omezen. Prakticky jsme omezeni jednak maximálním odběrem zařízení na sběrnici a také časem nutným pro zpracování dat z teploměrů. Rozlišení těchto teploměrů je nastavitelné na 9 až 12 bitů a přesnost udávaná výrobcem je $\pm 0,5$ °C pro rozsah -20 až 85 °C.



Obr. 19 - připojení teploměrů Dallas

Kapilárový termostat je použit jako pojistný prvek a v případě selhání systému a přehřátí některého jeho prvku zajistí elektrické odpojení napájení cívek příslušných elektromagnetických relé, které ovládají kontakty topných těles v případě elektrického kotle a elektrického ohřivače TUV. V případě přehřátí krbu dojde k rozpojení napájení elektricky ovládaného ventilu a ten vypne okruh bypass.

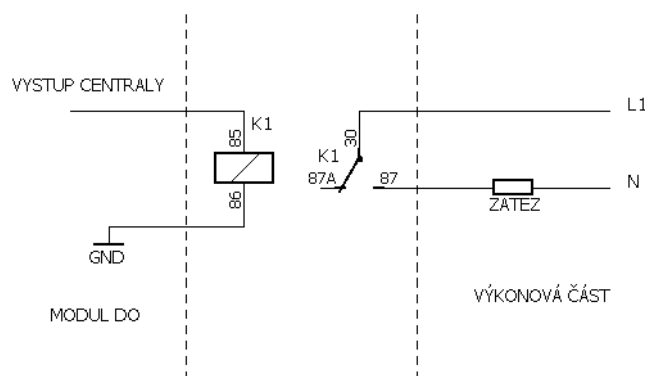
Mechanické provedení senzorů. Sensory teploty musí splňovat současně více požadavků, jež se budou lišit dle umístění senzoru. Obecně platí, že musí být zajištěn co nejdokonalejší kontakt senzoru s měřeným objektem nebo prostorem. Sensory do interiéru musí splňovat též estetické požadavky, senzory venkovní teploty musí mít odpovídající krytí proti vnikání vody.

Tabulka 10 - seznam svorek modulu DI na pozici G

Svorka	Popis připojeného senzoru
1	COM 2,3 (0 V)
2	SCK
3	MISO
4	COM 5,6 (0 V)
5	Nepoužito
6	Nepoužito
7	COM 8,9 (0 V)
8	Nepoužito
9	Dveře krb
10	COM 11,12 (0 V)
11	NT
12	Ovládání elektro

2.1.5 Periferie výstupní

Akční členy působí na ovládanou a regulovanou soustavu a jsou ovládány z modulů výstupů centrální jednotky. Seznam akčních členů seznam je uveden v tab. 11. V dalším textu jsou popsány jednotlivé akční členy a způsob jejich ovládání. V závěru tohoto bloku jsou definovány svorky modulů, které jsou využity.



Obr. 20 - zapojení spínací části s elektromagnetickým relé

Tabulka 11 - použité akční členy

Akční člen	Počet	Pracovní napětí [V]	Odebíraný proud [A]	Příkon [W]
Čerpadlo	1	230	0,40	92
Ventil	3	230	0,04	9,2
Topné těleso EK	9	230	4,35	1000
Topné těleso EO	1	230	8,70	2000
servomotor	1	5	0,1	0,5
indikace	4	24	0,01	0,24

Čerpadlo zajišťuje oběh topného média a je společné pro elektrický kotel i krb. Vzhledem k jeho elektrickým parametrům bylo zvoleno ovládání pomocí elektromagnetického relé se dvěma přepínacími kontakty firmy Finder, typ 4052. Toto relé má každý kontakt dimenzován na 8 A. Předimenzování kontaktů bylo konzultováno s výrobcem a není na závadu. Toto relé má cívku, která odebírá při napětí 24 V proud 26 mA, je tedy možné jej bez problémů připojit k modulu výstupů, jak je možné vidět z tabulky 6. Čerpadlo je připojeno k modulu výstupů na pozici H základní jednotky. Jeho umístění v hydraulickém okruhu je zobrazeno na obr. 21.

Ventil je v systému použit na třech místech. První přepíná trasy topného média přes elektrický kotel nebo krb, druhý zapíná nebo vypíná bypass krbu a třetí zapíná nebo vypíná ohřev TUV topným médiem. Tyto ventily jsou ovládány rovněž pomocí relé Finder, typ 4052. Všechny ventily jsou připojeny k modulu výstupů na pozici H základní jednotky. Jejich umístění v hydraulických okruzích je zobrazeno na obr. 21 V příloze C, funkce je popsána na obr. 24.

Servomotor ovládá polohu klapky nasávaného vzduchu krbu. Byl použit servomotor HD - 1201MG určený pro modely. Je napájen napětím 5 V a ovládán PWM z modulu PWM. Poskytuje krouticí moment $13,2 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-1}$. Použití tohoto neprofesionálního řešení bylo zvoleno z finančních důvodů, cena modelářského servomotoru byla cca 500,- Kč. Funkce ovládání klapky funguje bez problémů, nic však nebrání tomu použít jiný typ servomotoru ovládaného pulsně-šířkovou modulací.

Topné těleso EK je použito v elektrickém kotli. Kotel jich obsahuje celkem devět. Jsou ovládána opět prostřednictvím relé Finder 4052 jako v předchozích dvou případech. Zdvojené kontakty jsou s výhodou použity pro spínání dvou těles současně s tím, že je každé napájeno z jiné fáze. Vhodným přepínáním pěti relé je umožněno volit příkon elektrického kotle od 0 do 9 kW při relativně rovnoměrném zatěžování všech tří fází a opotřebením jednotlivých topných těles. Systém přepínání popisuje příloha B, obr.43. Topná tělesa jsou připojena k modulu výstupů na pozici I podle tabulky 15.

Topné těleso EO je v elektrickém ohřívači TUV. K jeho ovládání je použito relé firmy Elko, typ VS116K. Toto relé má jeden přepínací kontakt a ten je dimenzován na 16 A. Cívka tohoto relé odebírá proud 26 mA při napětí 24 V. Elektrický ohřívač TUV je připojen k modulu výstupů na pozici I.

Tabulka 12 - popis obsazení svorek modulu DO na pozici H

Svorka	Popis připojené zátěže
1	SS
2	MOSI
3	COM 1,2 (+24 V)
4	Cívka relé K1 (čerpadlo)
5	Cívka relé K2 (bypass)
6	COM 4,5 (+24 V)
7	Cívka relé K3 (elektro - krb)
8	Cívka relé K4 (ohřev TUV od krbu)
9	COM 7,8 (+24 V)
10	Cívka relé K5 ()
11	Cívka relé K6 ()
12	COM 11,12

2.1.6 Ovládání a indikace

Jako jednoduché a přehledné zobrazení stavu řídicího systému domu bude použit panel s několika kontrolními světly a nejn nutnějšími ovládacími prvky. Těchto panelů by mohlo být v objektu i více, např. v každém poschodí. Výhoda takovéto optické indikace spočívá v tom, že na první pohled i z větší vzdálenosti je možno získat celkový přehled o nejdůležitějších funkcích systému. Následující tabulka uvádí uvažované kontrolky. Jako ovládací prvky by stačila tlačítka zapnutí a vypnutí elektrokotle a nuceného ohřátí TUV.

Tabulka 13 - kontrolky ovládacího panelu

Kontrolka	Barva	Funkce
Čerpadlo	Zelená	Pokud běží čerpadlo, svítí
Krb	Zelená	Svítí – bypass ano, bliká – bypass ne
Elektrokotel	Zelená	Počet bliknutí = stupeň výkonu
Poruchy	Rudá	Svítí – varování, bliká – poplach

Detailnější informace např. o teplotách bude možné získat např. z připojeného PC nebo pomocí internetového prohlížeče.

Tabulka 14 - popis obsazení svorek modulu DO na pozici F

Svorka	Popis připojené zátěže
1	Kontrolní světlo čerpadlo
2	Kontrolní světlo krb
3	COM 1,2 (+24 V)
4	Kontrolní světlo elektrokotel
5	Kontrolní světlo poruchy
6	COM 4,5 (+24 V)
7	Nepoužito
8	Nepoužito
9	COM 7,8 (+24 V)
10	Nepoužito
11	Nepoužito
12	COM 11,12

Tabulka 15 - popis obsazení svorek modulu DO na pozici I

Svorka	Popis připojené zátěže
1	Cívka relé K7 (topné těleso elektrického kotle)
2	Cívka relé K8 (topné těleso elektrického kotle)
3	COM 1,2 (+24 V)
4	Cívka relé K9 (topné těleso elektrického kotle)
5	Cívka relé K10 (topné těleso elektrického kotle)
6	COM 4,5 (+24 V)
7	Cívka relé K11 (topné těleso elektrického kotle)
8	Cívka relé K12 (topné těleso ohřívače TUV)
9	COM 7,8 (+24 V)
10	Nepoužito
11	Nepoužito
12	COM 11,12

2.1.7 Kabelový rozvod

Do některých míst objektu je rozvedena kabeláž SYKFY3x2x0,5. Tento kabel není vhodný pro přenos dat. Hlavním důvodem je kapacita mezi vodiči v kabelu. Její hodnoty a další parametry kabelů SYKFY a UTP jsou uvedeny v tabulce 16 [10].

Tabulka 16 - porovnání kabelů UTP a SYKFY

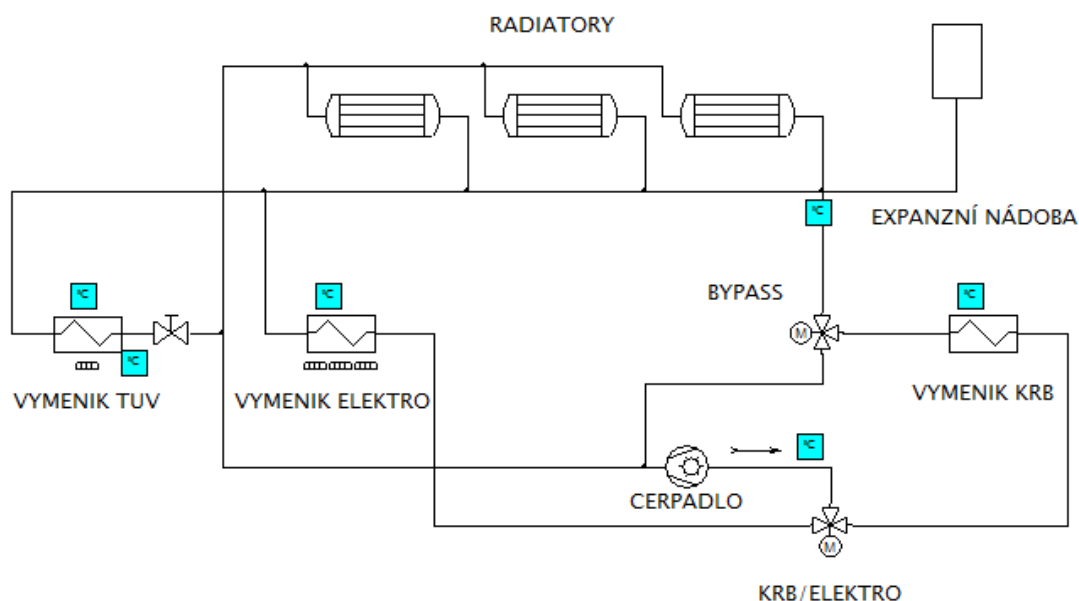
Parametr	Jednotka	SYKFY	UTP
Kapacita	pF/m	120	52
Odpor	Ω/km	196	188
Indukčnost	nH/m	nezjištěno	525
Kapacitní nerovnováha	pF/500m	400	330

Sběrnice je vedena kabelem UTP, použití vodičů v kabelu je patrné z obr. 19. Rozbočení sběrnice 1 - wire je realizováno v plastových instalačních krabičkách pomocí svorkovnic, která byly pro tento účel vyrobeny z univerzální DPS. Do hlavního rozvaděče tedy vede vždy jeden kabel UTP na každou sběrnici.

Analogové teploměry jsou připojeny kabelem SYKFY 3x2x0,5. Tímto kabelem je možné vést až pět proudových smyček. Do hlavního rozvaděče tedy na jeden modul analogových vstupů tedy vedou dva kabely.

Silové rozvody jsou provedeny kabelem CYKY 3x1,5 a CYKY 3x2,5. Jsou svedeny do rozvaděče, ve kterém je umístěna řídicí jednotka s periferiemi.

2.1.8 Hydraulický rozvod



Obr. 21 - hydraulické schéma

2.1.9 Dimenzování napájecích zdrojů

Napájecí napětí 24 V je využito pro napájení cívek všech relé, která spínají silové obvody. Těch je v celkové sestavě použito 12, jedno odebírá proud 26 mA. Dále je toto napětí použito pro napájení tří kontaktů digitálních vstupů, každý vstup odebírá proud 10 mA. Po sečtení vychází odebíraný proud této konfigurace 340 mA pro případ, že by všechny jmenované prvky byly v činnosti. Byl tedy zvolen pulsní zdroj Meawell, jehož výstupní proud je 1 A a je tedy dostatečná rezerva pro další rozšíření vstupů a výstupů.

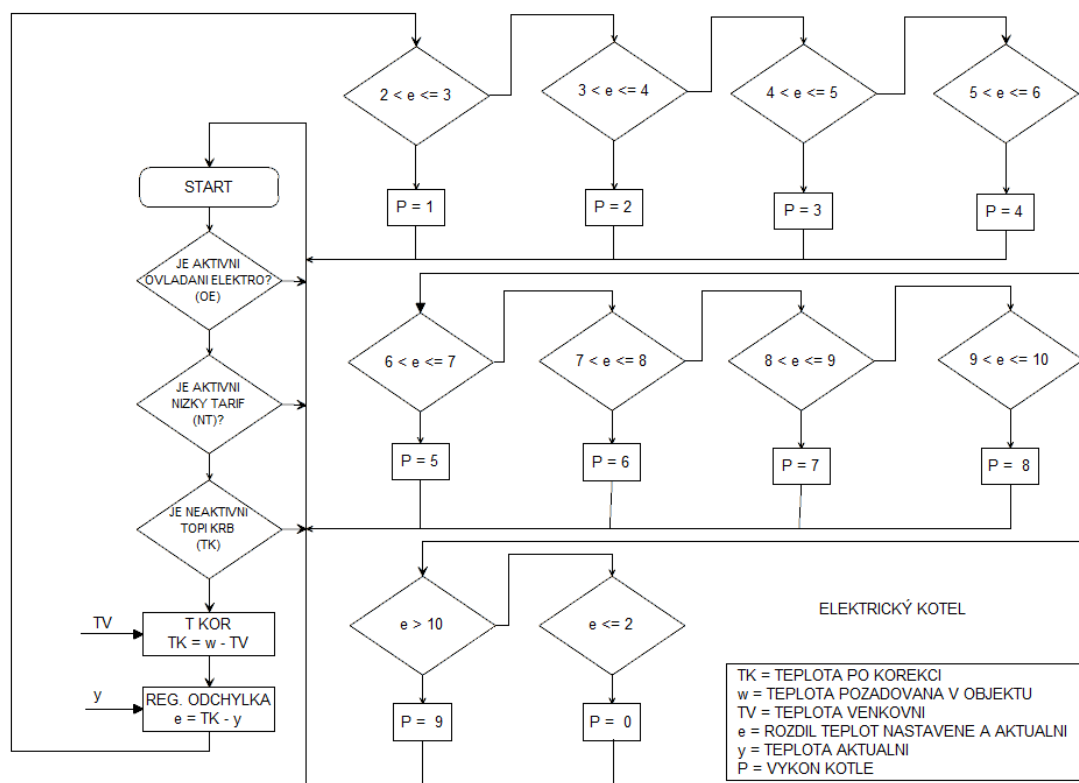
Napájecí napětí 12 V je potřebné pro napájení modulu Arduino. Proud v dokumentaci k modulu není uveden, avšak vzhledem k tomu, že proud jednoho výstupu je maximálně 20 mA[11] a výstupů je 54, vychází celkový proud přibližně 1 A. To je však pouze teoretická úvaha, v uváděné konfiguraci centrální jednotky je jako výstup nastaveno 24 pinů a z každého je odebírán proud 10 mA, celkem tedy 240 mA. K volbě zdroje přispěl i fakt použití stabilizátoru napětí 5 V na desce Arduino, jehož maximální výstupní proud je 1 A[12]. Byl zvolen opět pulsní zdroj Meanwell s výstupním napětím 12 V a maximálním proudem 1 A. Tento zdroj má též k dispozici trimr pro korekci výstupního napětí. Tímto nastavovacím prvkem bylo nastaveno minimální možné napětí na výstupu zdroje, protože pro napájení 5 V stabilizátoru postačí vstupní napětí cca 8 V a další jeho zvyšování má za následek pouze vyšší výkonovou ztrátu na stabilizátoru.

2.1.10 Technická data centrální jednotky

Rozměry [mm]	180x180x70
Hmotnost [g]	850
Počet pozic pro moduly	9, 4x digitální I-O, 2x analogový, 1x PWM s 1-wire, 1x komunikace, 1x ethernet
napájení	Externí zdroje 24 V/1 A a 12 V/1 A
počet digitálních teploměrů	Omezen dobou SW obsluhy, 3 oddělené sběrnice
počet analogových teploměrů	16

2.2 SW

2.2.1 Regulace elektrického kotle



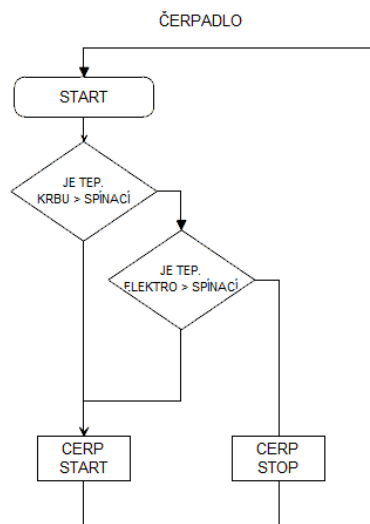
Obr. 22 - ovládání elektrického kotle

2.2.2 Ovládání čerpadla

Čerpadlo je ovládáno v závislosti na teplotě média v obou tepelných zdrojích. Při zkušebním provozu se ukázalo jako vhodné zavést do ovládání hysterezi, kdy teplota vypínací je nižší než teplota spínací. Tato funkce není v obr. 23 uvedena, je popsána základní ovládací funkce.

2.2.3 Ovládání klapky vzduchu

Řízení krbové vložky spočívá v regulaci nasávaného vzduchu, a tím výkonu v závislosti na požadavcích na teplotu topné vody. Tento požadavek je odvozen z venkovní teploty, teploty v místnostech a nastavení požadované teploty v místnostech.



*Obr. 23 - blokové schéma ovládání
čerpadla*

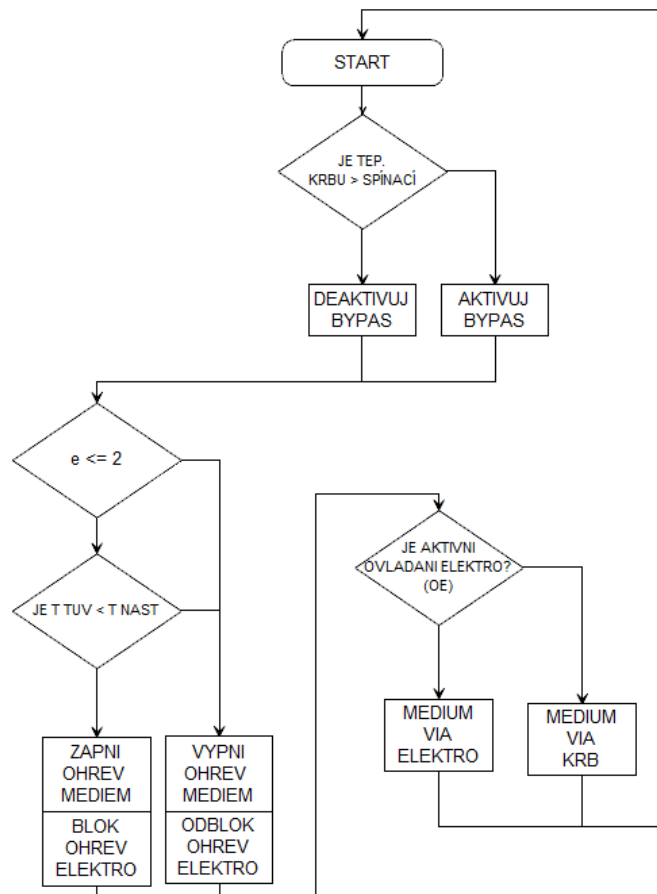
2.2.4 Ohřev TUV

Automatický režim. Řídicí systém sám volí způsob ohřevu (elektro/krbová vložka) v závislosti na teplotních poměrech v systému. Je-li v systému dostatek tepla od krbu, použije přednostně tento způsob. V tom případě je blokován ohřev elektrický.

Ruční režim. Ruční režim umožňuje zapnutí elektrického ohřívání nezávisle. Jeho vypnutí se provede automaticky po nastavené době, při dosažení nastavené teploty nebo při aktivaci ohřevu od krbové vložky.

2.2.5 Ovládání ventilů

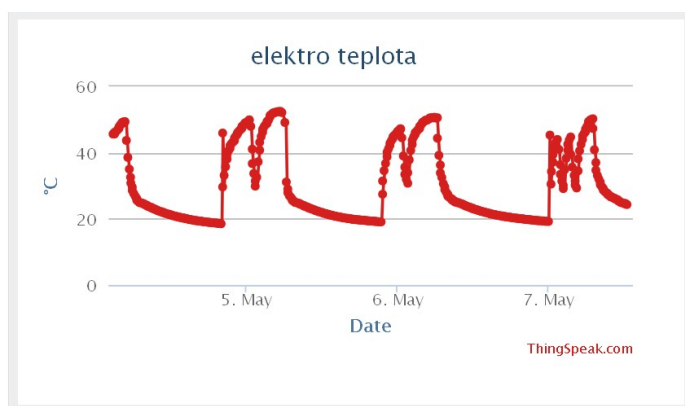
Tyto elektricky ovládané ventily slouží k přepínání provozu elektro – krb, otevírání a zavírání bypassu, ovládání vyhřívání TUV a jsou ovládány v závislosti na požadavku na typ vytápění a na aktuálních teplotách v systému.



Obr. 24 - popis ovládání ventilů

2.2.6 Ukládání naměřených dat

Vybraná data, která systém využívá ke své činnosti jsou průběžně ukládána na server <https://thingspeak.com/>. Je možné je později zobrazit pomocí filtrů, kterými je definováno období, četnost zobrazených dat a další parametry zobrazení. Tato data je též možné exportovat do formátu .csv. Následující obrázky jsou uvedeny jako příklady zobrazených parametrů. Na obr. 25 je vidět průběh teploty EK v závislosti na čase. Je zobrazeno období třech dnů a jsou patrné noční poklesy teploty při vypnutí NT. Je též možné pozorovat, že topení bylo aktivní pouze v noci.



Obr. 25 - provoz elektrického kotle

Na obr. 26 je pak uvedeno kolísání teplot při provozu ohřívače TUV. Tyto dva obrázky byly vygenerovány pomocí rozhraní Thingspeak. Data vyexportovaná ve formátu .csv je možné zpracovávat v editorech jako je například Libre office calc.



Obr. 26 - provoz ohřívače TUV

Závěr

Cílem diplomové práce byl návrh a implementace systému, který bude umožňovat ovládání vytápění na základě údajů získaných monitorováním jednotlivých místností v objektu. Bylo předpokládáno měření teplot v systému topení, v ohříváči TUV a prostorové teploty v místnostech. Byl též požadavek na automatické ukládání naměřených hodnot a tyto hodnoty měly být přístupné pomocí internetového připojení. Celou konstrukci bylo zamýšleno navrhnout modulárně tak, aby ji bylo možné přizpůsobit jinému objektu či dokonce jinému účelu.

Měření teplot bylo realizováno pomocí různých druhů teplotních senzorů. Důvodem byly jednak místní podmínky, kdy část kabeláže, která již byla provedena v objektu během jeho rekonstrukce, byla nevhodná pro přenos dat, ale vhodná pro přenos informace pomocí proudové smyčky 4 – 20 mA, ale také snaha o univerzálnost centrální jednotky. K té je tedy možné připojit jednak senzory komunikující pomocí sběrnice 1 – wire, dále již zmíněnou proudovou smyčku, ale je možné použít i přenos informace pomocí napěťového signálu 0 – 10 V. Navíc je možné malou změnou v konfiguraci příslušného modulu centrální jednotky měnit i zmiňované rozsahy, např. proud měřit v rozsahu 4 – 10 mA nebo napětí 0 – 5 V. Je samozřejmě nutné upravit i SW.

Naměřené hodnoty bylo původně plánováno využít pouze pro ovládání akčních členů a k archivaci pro pozdější analýzy. Jak se však projekt vyvíjel, ukázalo se jako velmi užitečné některé teploty přímo zobrazovat. Tento nápad se zrodil při jedné z konzultací ve firmě Harlingen s.r.o. Byl jsem neočekávaně postaven před problém vyřešit zobrazení teploty přímo na analogovém teploměru. Byl tedy navržen obvod, který převáděl naměřenou hodnotu odporu snímacího prvku na napětí, a to bylo zobrazováno na displeji s LED zobrazovači. Toto zapojení bylo funkční a základní požadavek, tedy zobrazení teploty, splňovalo. Mělo však velkou spotřebu, vyžadovalo externí zdroj a připojení čtyřmi vodiči. Tyto nevýhody vedly k tomu, že byl vývoj v tomto směru ukončen a byl zahájen vývoj nové verze, která by byla připojena pouze dvěma vodiči, po nichž by byl teploměr jednak napájen a současně by po nich byla přenášena informace o teplotě do centrální jednotky. Opět se podařilo navrhnout funkční zapojení, pro které byla po ověření na nepájivém poli i navržena DPS.

Změna konfigurace jednotky je možná tím, že jednotlivé moduly lze použít v různých počtech. Je možné použít například jeden modul digitálních vstupů a tři moduly digitálních výstupů, nebo naopak jeden s digitálními výstupy a tři s digitálními vstupy, případně další variace. Pro správnou funkci zařízení není potřeba mít obsazeny všechny pozice. Modul na pozici A však osazen být musí, jsou na něm umístěny napájecí svorky. Je možné měnit i konfiguraci jednotlivých modulů tak jak bylo popsáno výše.

Do budoucna je počítáno s dalším rozšiřováním a zdokonalováním systému. Bude možno pracovat na SW i HW. Například je předpoklad, že během a po první topné sezoně bude laděn program z hlediska kvality regulace nebo je počítáno se zavedením regulace ekvitermní. Jistě se objeví problémy, které nebyly patrné při krátkém zkušebním provozu.

Vzhledem k modulárnímu řešení je možné realizovat i změny v hardware. Bude například řešeno, jak ukládat případný přebytek tepla při vytápění krbem a následně jej použít k temperování objektu nebo připojení solárního panelu pro ohřev TUV. Okna a dveře je možné osadit senzory otevření a pokud nebudou okna a dveře zavřeny, může centrální jednotka blokovat vytápění v dané místnosti, dokud nebude dosažena zámrazná teplota, případně hlásit závadu. Variant je více, nebyly ale součástí této práce.

Hlavní výhoda popisované konstrukce centrální jednotky spočívá v tom, že není omezena hardwarově ani softwarově, jak je tomu u továrně vyráběných zařízení. Je tedy možné si systém navrhnout skutečně podle vlastních požadavků. Další výhodou je nižší cena než u továrně vyráběných zařízení.

Mezi hlavní nevýhody patří absence uživatelsky přívětivého prostředí, ve kterém by si uživatel mohl sám nakonfigurovat systém dle svých požadavků. Nastavení musí provést osoba znalá programování.

Práce na projektu byla pro mě velikým přínosem, byl to můj první projekt takového rozsahu a jako nejcennější vidím fakt, že skutečně všechny problémy, které se během práce vyskytly, se podařilo uspokojivě vyřešit. Takovéto poznatky a zkušenosti se totiž nedají získat z žádné učebnice, je nutné je postupně získávat právě řešením praktických situací. Umění zastavit návrh, když se cesta ukáže jako nesprávná, i za cenu obětování desítek hodin práce, rozlišit správný okamžik pro tento krok, je podle mě již z vyšší úrovně návrhářské činnosti. Mně se díky tomuto projektu podařilo nepatrně nahlédnout do této úrovně. Díky za tu možnost.

Bibliografie

- [1] Studie cen elektřiny [online] [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: www.hnutiduha.cz/sites/default/files/publikace/2015/06/proc_je_elektrina_osmkrat_drazsi_studie.pdf,
- [2] foto termostatu [online] [cit. 2016-4-17]. Dostupné z: <http://www.expos.cz/mereni-a-regulace/termostaty/pro-topny-system/regulus-termostat-provozni-kapilarovy-0-90-c-1-5-m-brc.html>,
- [3] Popis sběrnice 1-wire [online] [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/sbornice-1-wiretm.html>,
- [4] doc. Ing. Pavel Beneš, CSc., doc. Ing. Josef Janeček, CSc., Bc. Jindřich Král, Ing. Gunnar Künzel, doc. Ing. Branislav Lacko, CSc., Ing. Jaroslav Semerád, doc. Ing. Pavel Souček, DrSc., Ing. Ladislav Šmejkal, CSc., Ing. Rudolf Voráček, doc. Ing. Ladislav Maixner, CSc., prof. Ing. Bohumil Šulc, CSc., Automatizace a automatizační technika 2, 2012
- [5] Amit [online] [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: http://amit.cz/docs/cz/amreg/amr-rtv1001_d_cz_103.pdf,
- [6] Stránky Jablotron [online] [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.jablotron.com/cz/katalog-produktu/regulace-1/regulace-topeni-zonova/ridici-jednotky/>,
- [7] Datasheet TLP283-4 [online] [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: <http://www.datasheetarchive.com/dlmain/Datasheets-302/19815.pdf>,
- [8] Datasheet ICL7107 [online] [cit. 2016-4-17]. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/67441/INTERSIL/ICL7107.html>,
- [9] Datasheet ATMEGA [online] [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/devices/ATmega32.aspx?tab=documents>,
- [10] kabelovna Děčín [online] [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.kabelovna.cz/technicke-podminky>,
- [11] Domovské stránky Arduino [online] [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>,
- [12] Dokumentace Arduino [online] [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://www.arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-mega2560_R3-sch.pdf,

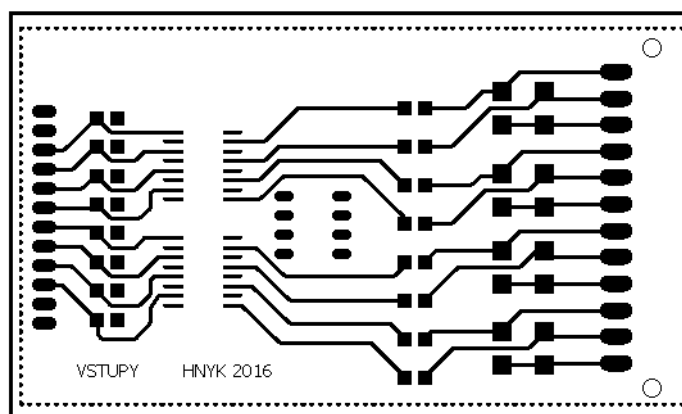
Seznam zkratk

EK	elektrický kotel
EO	elektrický ohříváč TUV
DPS	deska s plošným spojem
TUV	teplá užitková voda
UART	univerzální asynchronní port

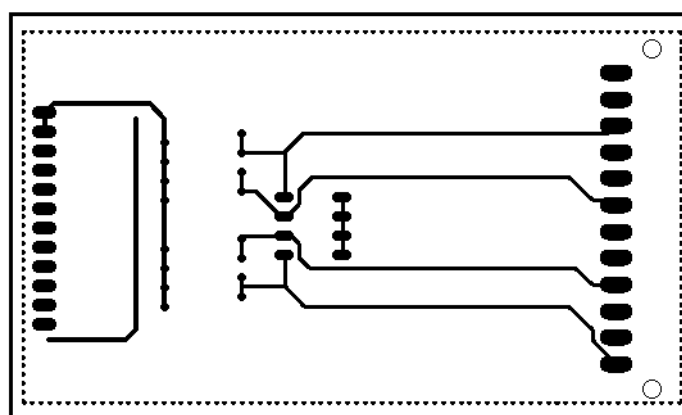
Seznam příloh

A	desky s plošnými spoji modulů
B	schemata zapojení modulů
C	fotografie

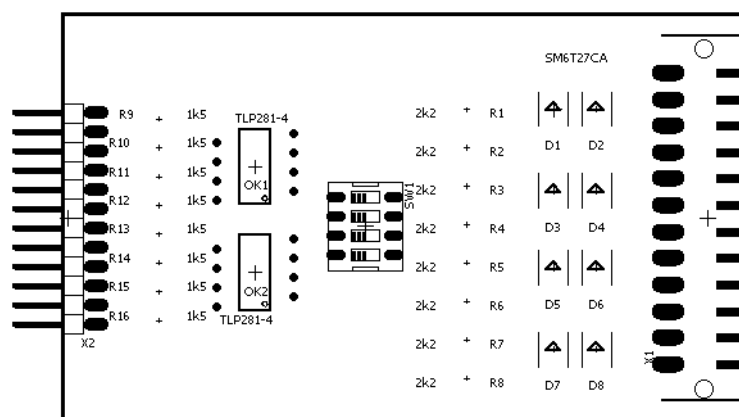
Příloha A



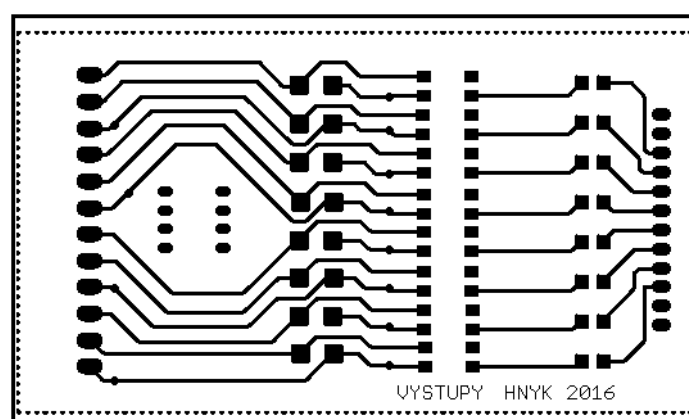
Příloha A, obr. 27 - DPS digitálních vstupů strana TOP



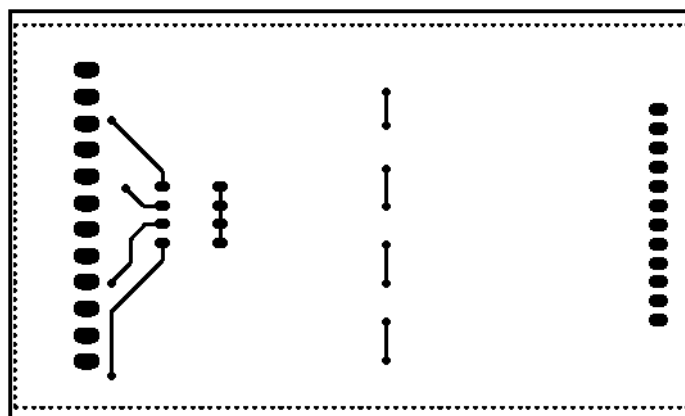
*Příloha A, obr. 28 - DPS digitálních vstupů strana
BOTTOM*



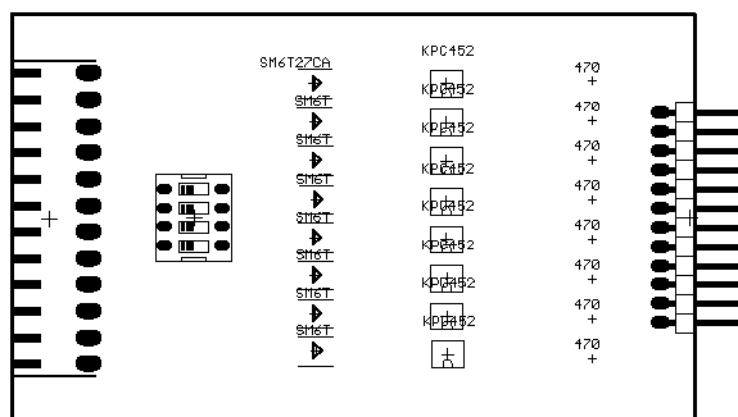
Příloha A, obr. 29 - DPS digitálních vstupů rozmístění součástek



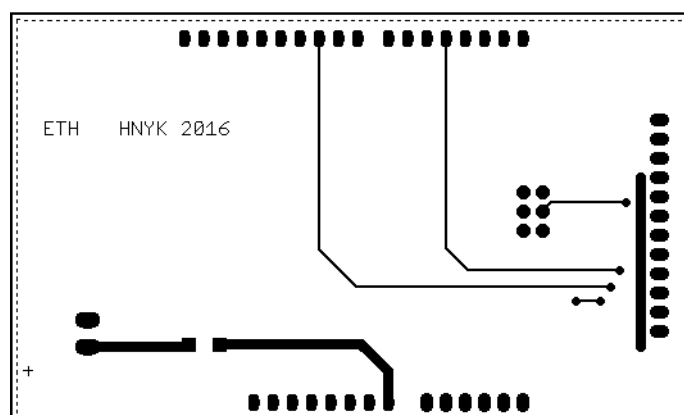
Příloha A, obr. 30 - DPS digitálních výstupů TOP



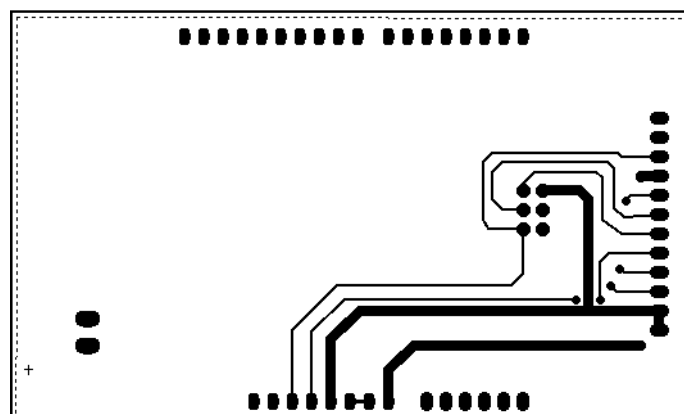
Příloha A, obr. 31 - DPS digitálních výstupů BOTTOM



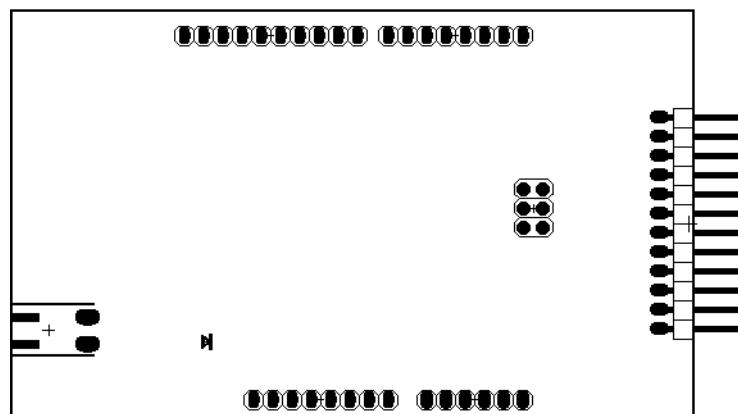
Příloha A, obr. 32 - DPS digitálních výstupů osazení



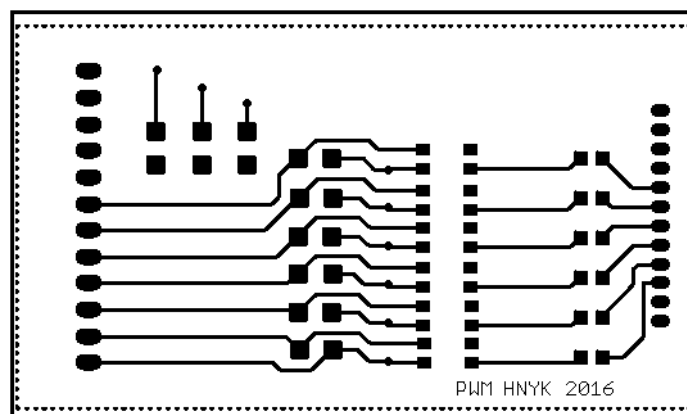
Příloha A, obr. 33 - DPS ETH TOP



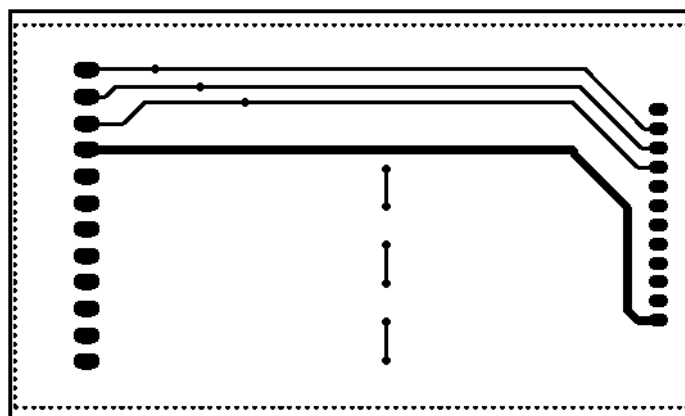
Příloha A, obr. 34 - DPS ETH BOTTOM



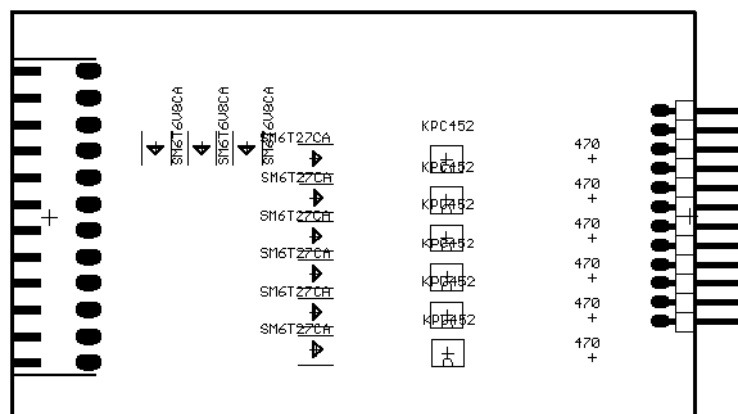
Přiloha A, obr. 35 - DPS ETH osazení



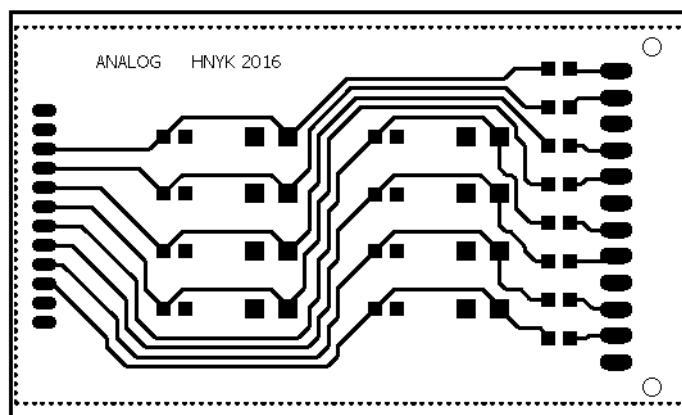
Přiloha A, obr. 36 - DPS PWM TOP



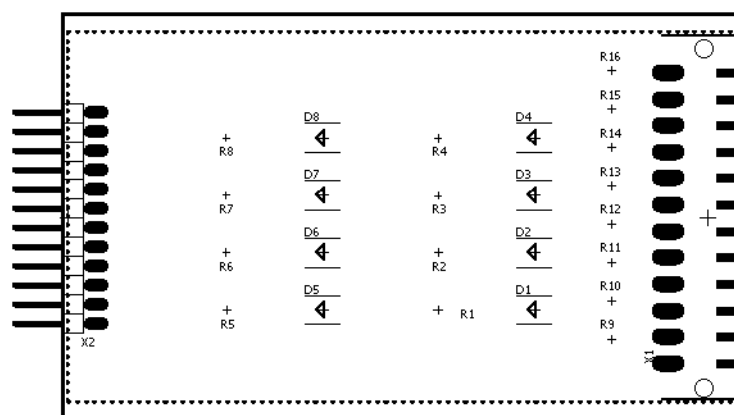
Příloha A, obr. 37 - DPS PWM BOTTOM



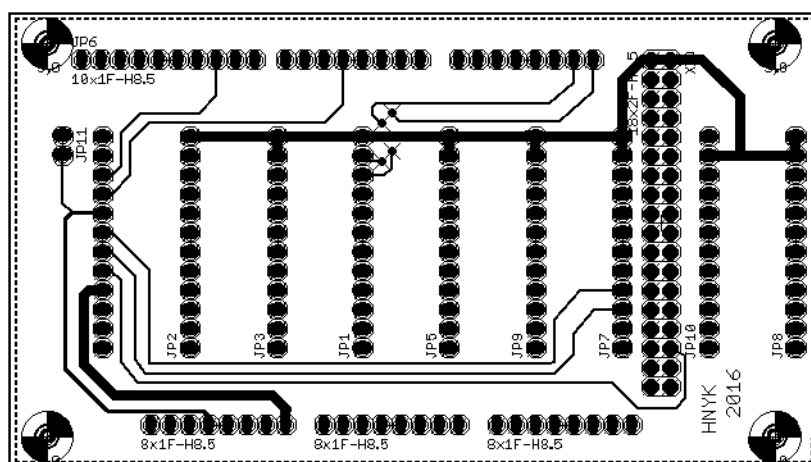
Příloha A, obr. 38 - DPS PWM osazení



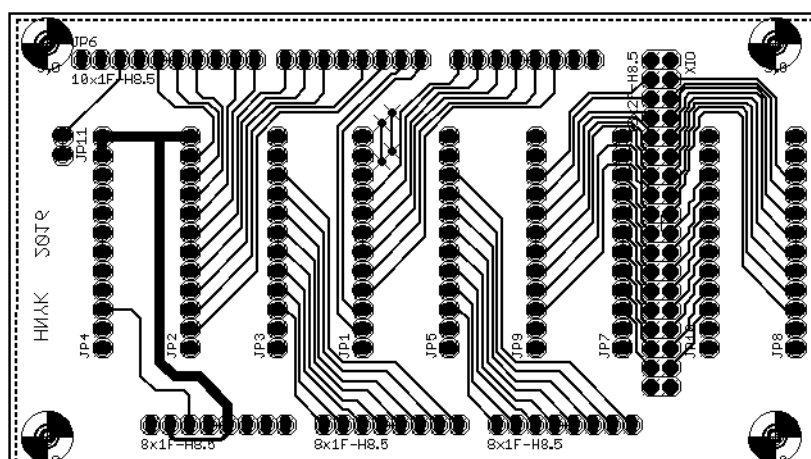
Příloha A, obr. 39 - DPS analogových vstupů TOP



Příloha A, obr. 40 - DPS analogových vstupů osazení

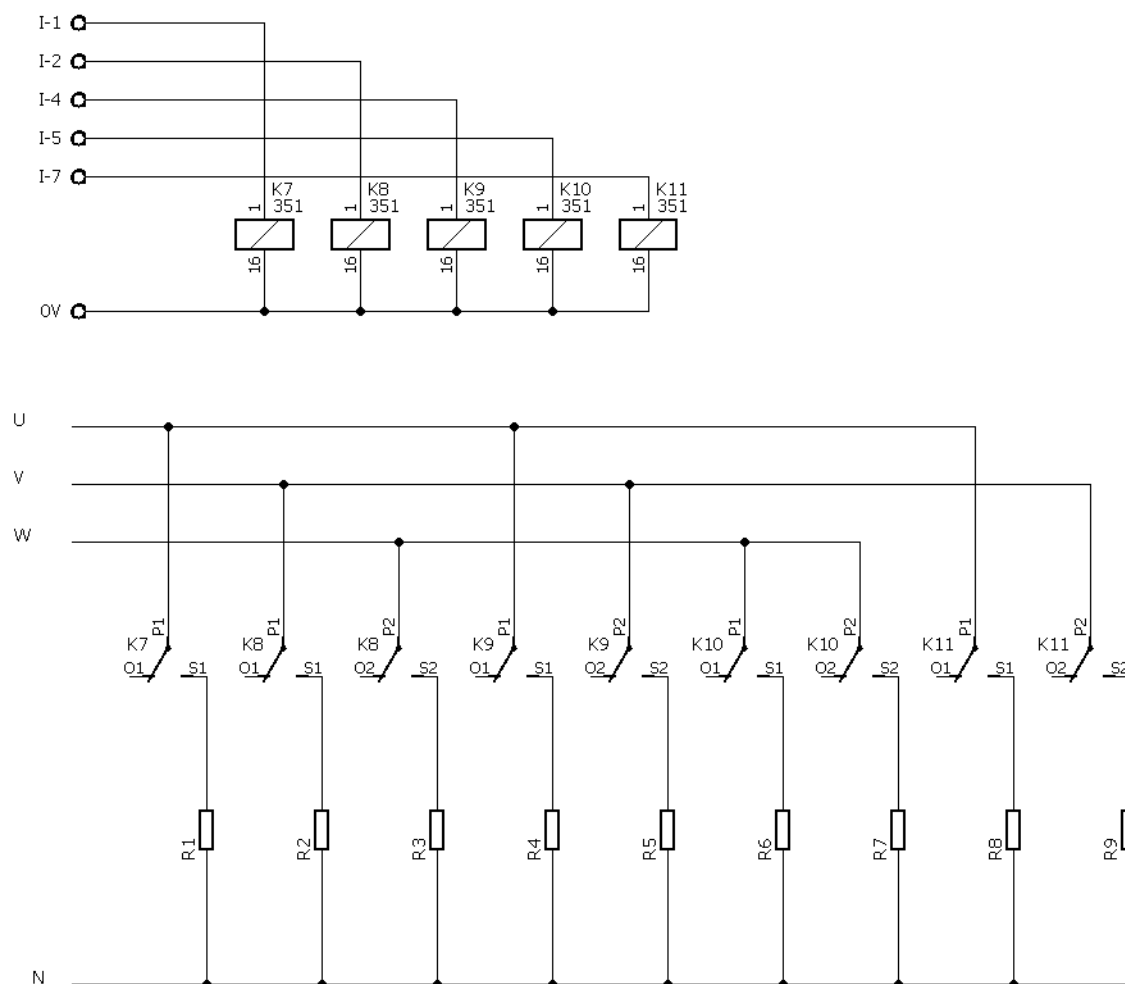


Прі́лога А, о́бр. 41 - DPS за́kladní jednotky TOP

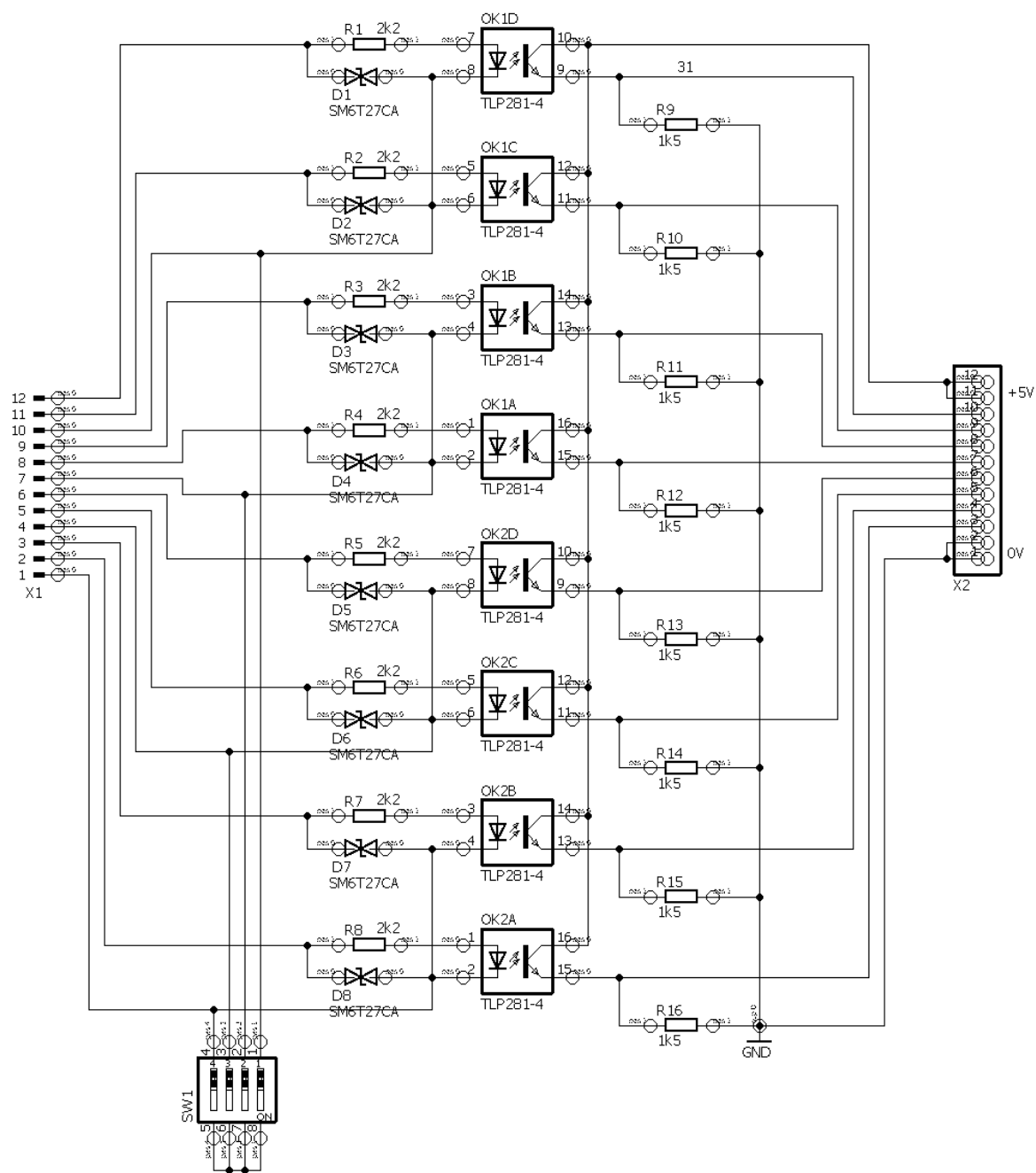


Прі́лога А, о́бр. 42 - DPS за́kladní jednotky BOTTOM

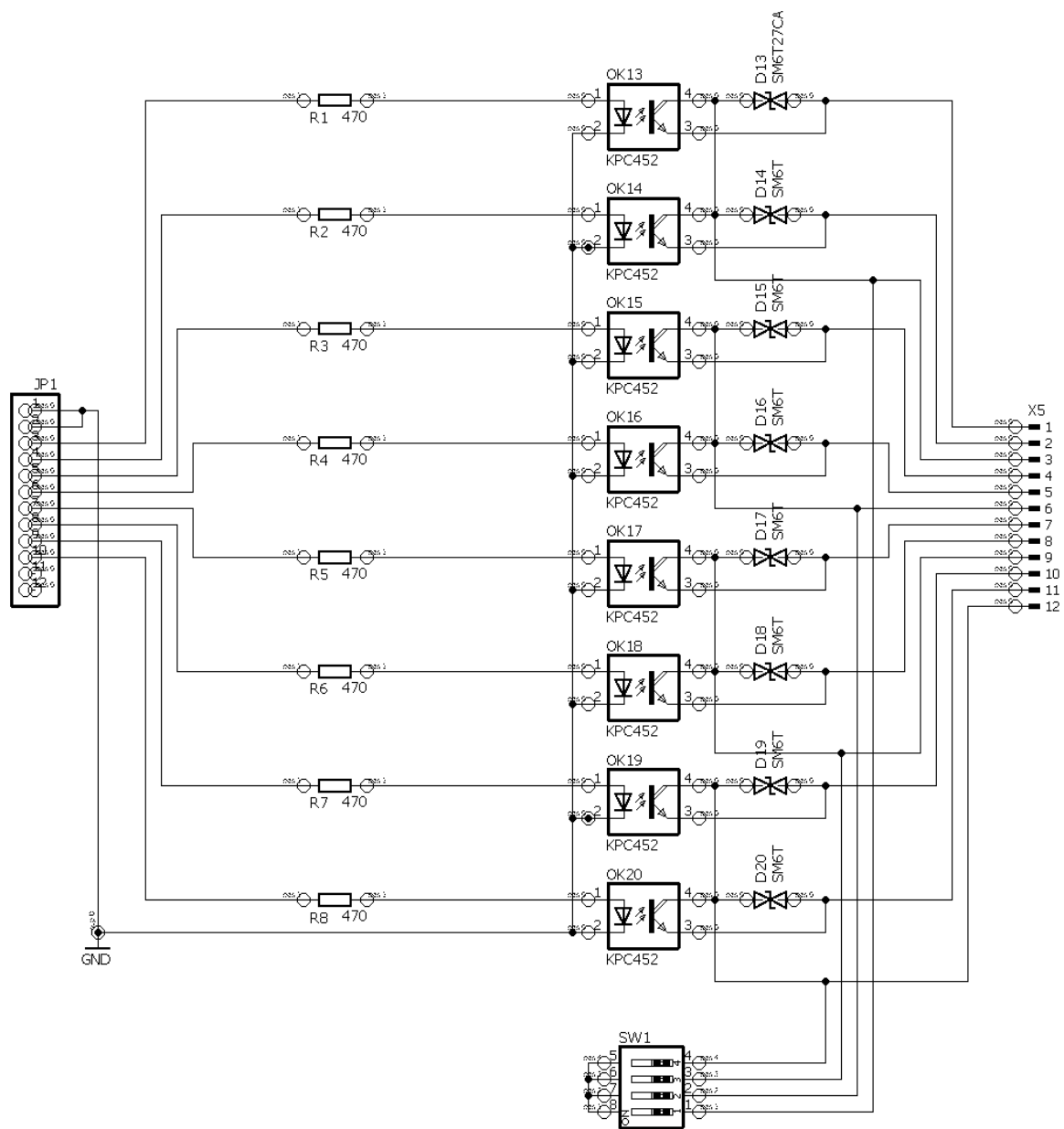
Příloha B



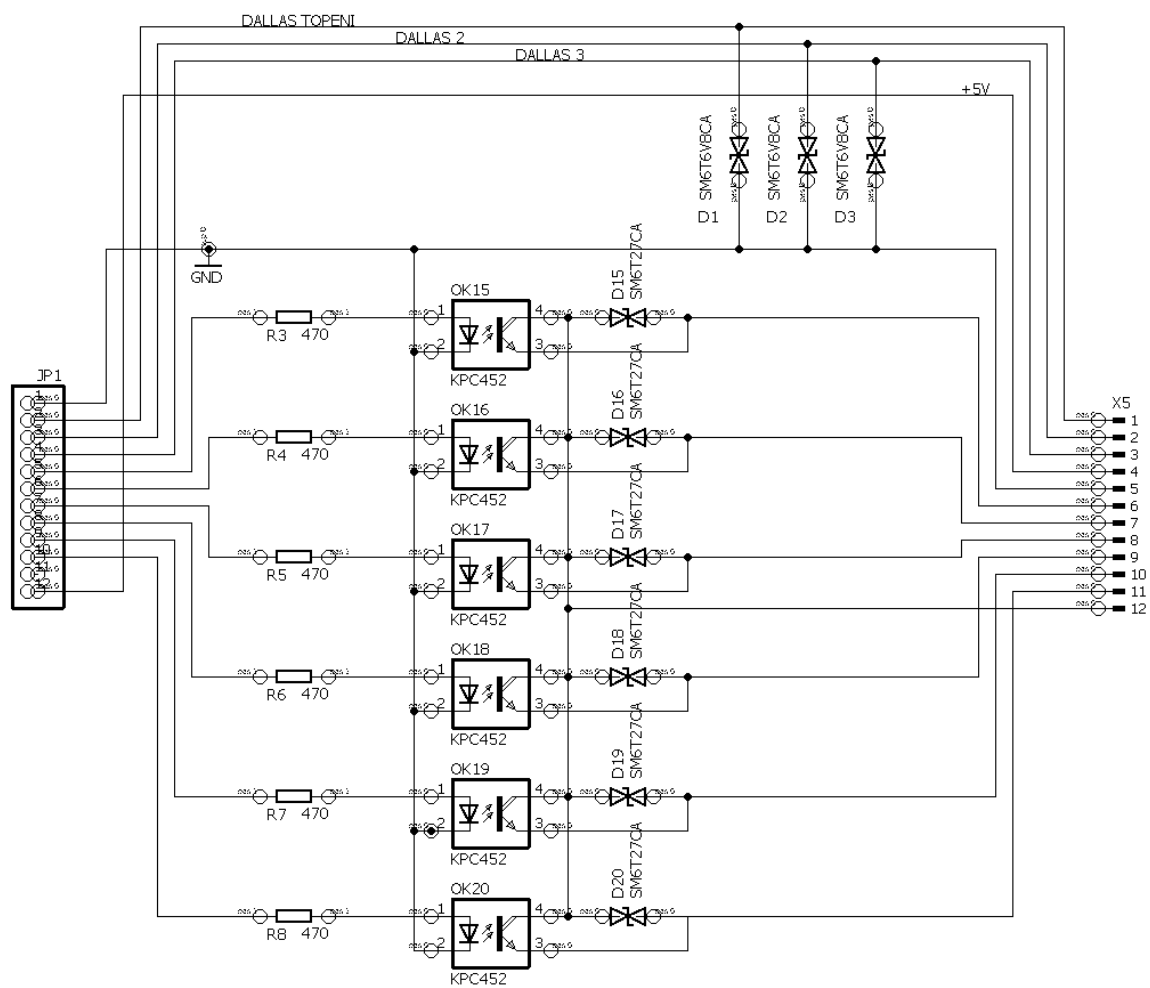
Příloha B, obr. 43 - zapojení ovládání elektrického kotle



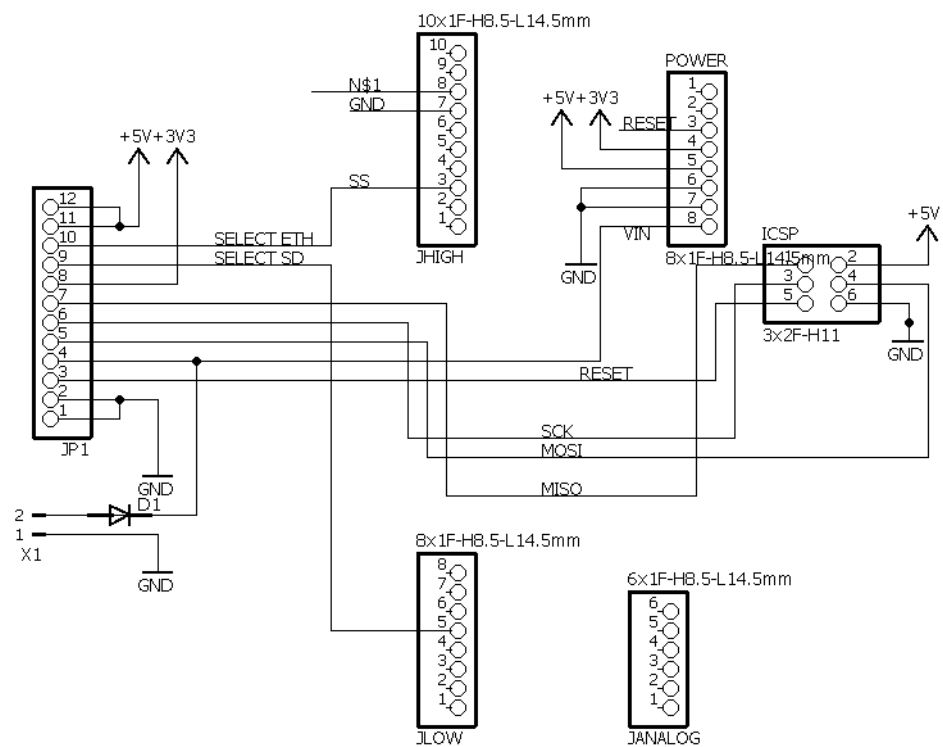
Příloha B, obr. 44 - schema zapojení modulu digitálních vstupů



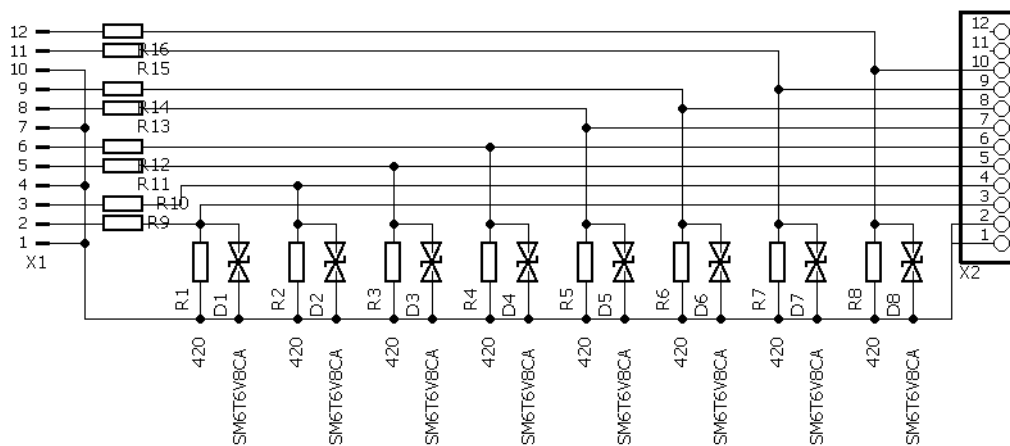
Příloha B, obr. 45 - schema zapojení modulu digitálních výstupů



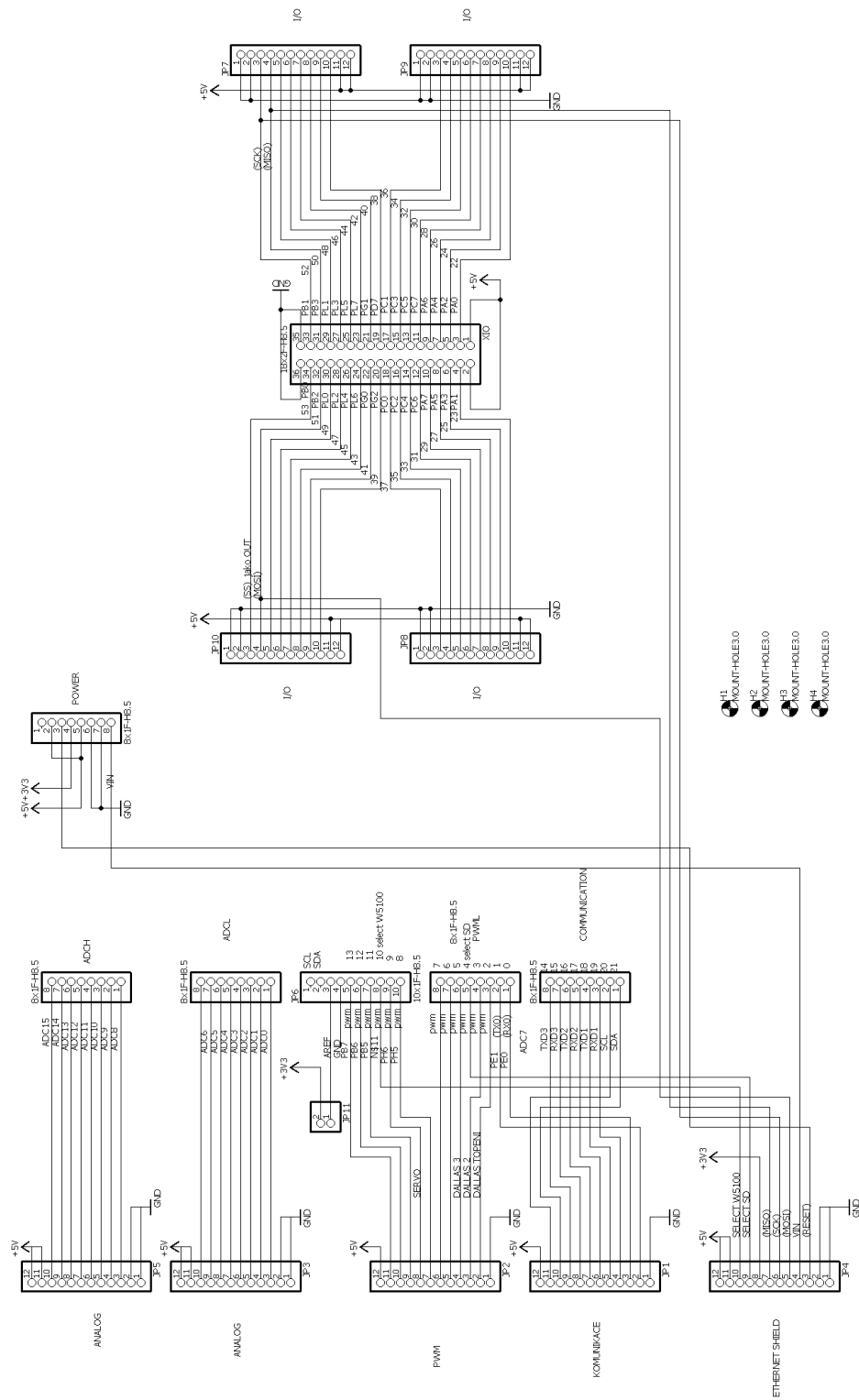
Příloha B, obr. 46 - schema zapojení modulu PWM a 1-wire



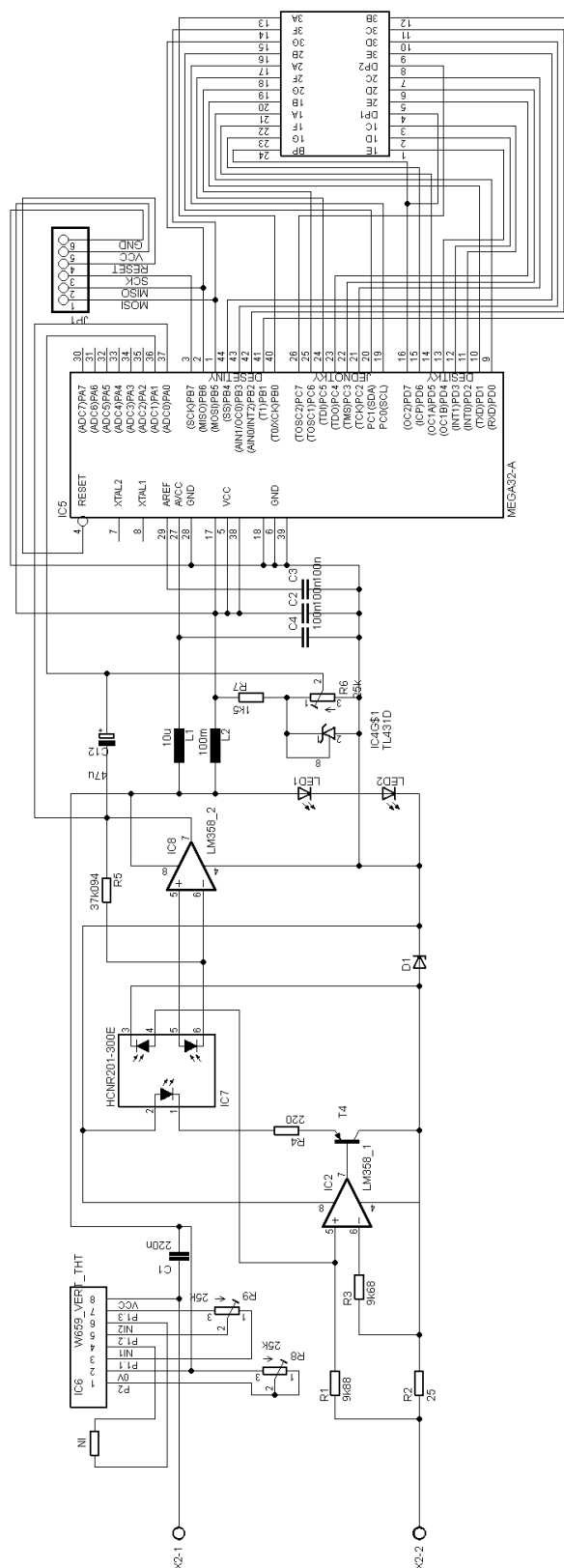
Příloha B, obr. 47 - schema zapojení modulu ETH



Příloha B, obr. 48 - zapojení modulu analogových vstupů



Príloha B, obr. 49 - zapojení modulu přizpůsobení

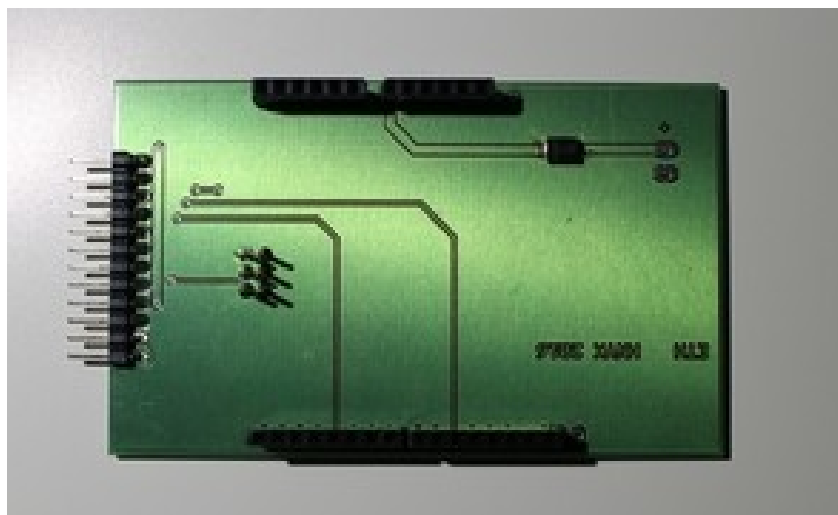


Příloha B, obr. 50 - zapojení teploměru s LCD

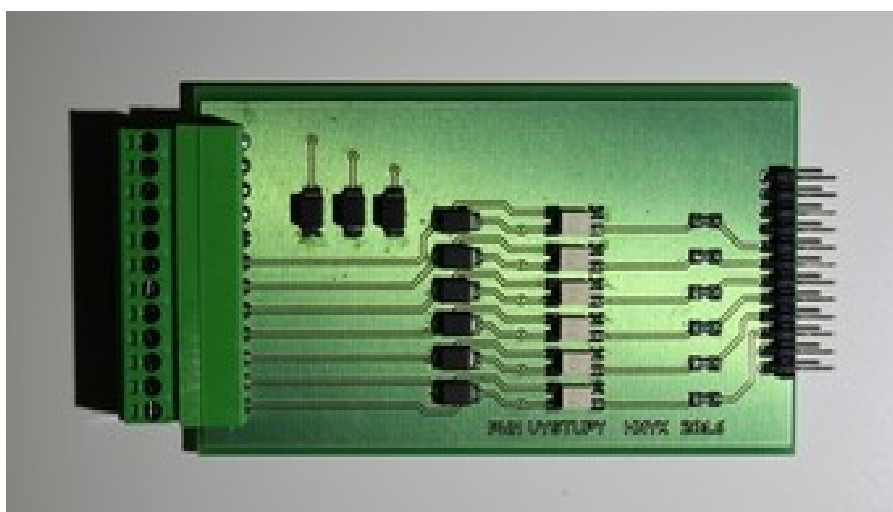
Příloha C



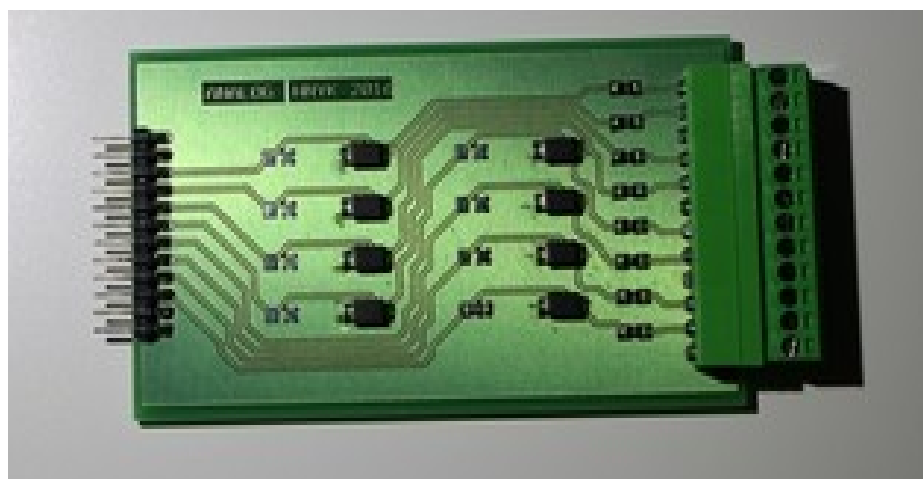
Příloha C, obr. 51 - modul ethernet



Příloha C, obr. 52 - modul přizpůsobení ethernetu



Příloha C, obr. 53 - modul PWM a 1-Wire



Příloha C, obr. 54 - modul analogové vstupy



Příloha C, obr. 55 - modul digitální výstupy



Příloha C, obr. 56 - mechanismus ovládání klapky vzduchu