ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Řídící jednotka bytového topného systému

Tomáš Kuncl

2013

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: **2012/2013**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Tomáš KUNCL**
Osobní číslo:	**E10B0044K**
Studijní program:	**B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor:	**Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu:	**Řídící jednotka bytového topného systému**
Zadávající katedra:	**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Zásady pro vypracování:

1. Návrh a realizace prototypu řídící jednotky bytového topného systému umožňující regulaci teploty pro každé jednotlivé místnosti.
2. Diskutujte potřebu vstupně-výstupních rozhraní a na tomto základě zvolte vhodný typ procesoru a dalších obvodů.
3. Diskutujte výhody a nevýhody různých způsobů měření teploty v jednotlivých místnostech a sběr jejich dat do řídící jednotky.
4. Sestavte a naprogramujte funkční model pro zvolený způsob měření a sběr dat (konstrukční návrh, dimenzování součástek, sestavení + oživení zařízení a otestování dosažených vlastností).
5. Zhodnoťte navržené zařízení (případě uveďte možnosti dalšího vylepšení či rozšíření).

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan

L.S.

Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury, pramenů a dalších zdrojů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že jsem vlastníkem nebo oprávněným uživatelem licencí pro veškerý software, použitý při vytvoření a řešení této bakalářské práce.

V Teplicích dne 2. 6. 2013 _____

Tomáš Kuncl

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Kamilu Kosturikovi, Ph.D. za podnětné návrhy při řešení této bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat mé ženě za podporu a příkladnou trpělivost nejen při tvorbě této bakalářské práce, ale v průběhu celého mého dosavadního studia.

V Teplicích dne 2. 6. 2013 _____

Tomáš Kuncl

Anotace

Bakalářská práce popisuje návrh a realizaci prototypu řídící jednotky bytového topného systému. Jednotka umožňuje měření teploty v osmi nezávislých zónách a na základě vyhodnocení uživatelem zadaných požadavků jsou spínány resp. vypínány ovládací ventily jednotlivých topných okruhů. Aktuální čas je zálohován a synchronizován s časovou značkou DCF77. V bakalářské práci je obsaženo kompletní hardwarové a softwarové řešení.

Klíčová slova

ATmega128, AVR, měření teploty, regulace teploty, 1-Wire® sběrnice, DCF77

Abstract

Bachelor thesis describes the design and implementation of a prototype control unit of the home heating system. The unit allows temperature measurements in eight independent zones and on the basis of user-specified requirements are switched respectively switched off the control valves of the heating circuits. The actual real time is backed up and synchronized with DCF77 time stamp. The work is contained complete hardware and software solution.

Key Words

ATmega128, AVR, temperature measurement, temperature regulation, 1-Wire® bus, DCF77

Použitá symbolika

R_{25} ..... odpor senzoru při teplotě 25°C

R_ϑ ..... odpor senzoru při teplotě ϑ

α $[K^{-1}]$ ..... teplotní součinitel odporu

B $[K]$ ..... materiálová teplotní konstanta pro negastory

U_{te} $[V]$ ..... termoelektrické napětí článku

I_{dov} $[A]$ ..... maximální dovolený proud senzorem pro ovlivnění vlastním oteplením

Seznam použitých zkratek

NTC ..... termistor se záporným teplotním koeficientem, negastor (*Negative Temperature Coefficient*)

PTC ..... termistor s kladným teplotním koeficientem, pozistor (*Positive Temperature Coefficient*)

I²C ..... sériová sběrnice vyvinutá firmou Philips Semiconductors, dnes NXP (*Inter-Integrated Circuit*)

TWI ..... z historických (licenčních) důvodů firmou Atmel jinak pojmenovaná sběrnice I²C (*Two Wire Interface*)

SPI ..... sériové rozhraní pro komunikaci mezi mikroprocesorem a ostatními integrovanými obvody (*Serial Peripheral Interface*)

1-Wire® ..... datová jednovodičová sběrnice vyvinutá firmou Dallas Semiconductor Corp., dnes součást Maxim Integrated

DCF77 ..... rádiový vysílač časové značky, dnes již synonymum pro vysílanou časovou značku

ISP ..... způsob programování obvodů v aplikaci (*In System Programming*)

RTC ..... obvody pro práci s reálným časem (*Real Time Clock*)

EEPROM ..... elektronicky smazatelná paměť (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*)

FET ..... elektrickým polem řízený tranzistor (*Field-Effect Transistor*)

OBSAH

1 ÚVOD 9

2 NÁVRH HARDWAROVÉ ČÁSTI JEDNOTKY 9

2.1 Měření teploty 10

2.1.1 Dilatační senzory 11

2.1.2 Speciální senzory 12

2.1.3 Elektrické senzory 12

2.2 Sběr a zpracování dat 15

2.2.1 Analogový přenos naměřených hodnot 15

2.2.2 Přenos digitálních dat 16

2.2.3 Měření teploty v obytných prostorech 16

2.3 Mikroprocesor 16

2.4 1-Wire® rozhraní pro teplotní senzory 18

2.5 Řízení ventilů topných okruhů 19

2.6 Obvod reálného času 20

2.7 Klávesnice 21

2.8 LCD displej 22

2.9 Napájení 22

3 NÁVRH FIRMWARU 24

3.1 Definice datových struktur 25

3.2 Hlavní smyčka programu 25

3.3 Výkonné funkce 26

3.3.1 Řízení LCD displeje 26

3.3.2 Klávesnice 27

3.3.3 Ovládání výstupů 27

3.3.4 Teplotní senzory 27

3.3.5 Funkce reálného času 29

3.4 Vyhodnocení získaných údajů 30

4 REALIZACE PROTOTYPU 31
4.1 Vývojové prostředí 31
4.2 Osazení PCB desky 32

5 UŽIVATELSKÝ MANUÁL ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY 33
5.1 Status monitor 34
5.1.1 Hlavní informační panel 34
5.1.2 Informace o okruhu, bypass požadavků 34
5.2 Hlavní menu 35
5.2.1 Editace intervalu 35
5.2.2 Výmaz přiřazení teplotních senzorů okruhům 36
5.2.3 Defaultní teplota, režim dovolená 36
5.3 Nastavení času 36
5.4 Nastavení teplotních senzorů 37

6 ZÁVĚR 38

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ 39

SEZNAM OBRÁZKŮ 41

PŘÍLOHY 42
A. Schéma zapojení 42
B. Výkresy desky s plošnými spoji 47
Strana TOP 47
Strana BOTTOM 47
Osazení strany TOP součástkami 48
Osazeni strany BOTTOM součástkami 48
C. Seznam součástek (Bill of Materials) 49

1 Úvod

Útulný domov je jednou ze základních podmínek spokojeného života. V klimatickém podnebí České republiky je nutné v zimním období obytné prostory vytápět a v letním chladit. Vzhledem k výraznému nepoměru počtu dní, kdy je u nás potřeba topit a kdy naopak ochlazovat, je zastoupení klimatizačních systémů pro běžné domácnosti schopných obojí funkce minimální.

Moderní systémy vytápění již umožňují pokročilou regulaci, která však nebývá obvykle plně využívána. Nejčastěji je celý objekt zapojen do jediného topného okruhu, který je řízen jedním regulačním prvkem, obvykle termostatem, v lepším případě programovatelným. Takto je vytápění celého objektu řízeno na základě snímané teploty jen v jedné místnosti. Cílem této bakalářské práce je navrhnout a zrealizovat prototyp řídící jednotky topného systému pro vícero zcela nezávislých okruhů s důrazem na co nejjednodušší ovládání a uživatelské (nikoli instalační) programování systému.

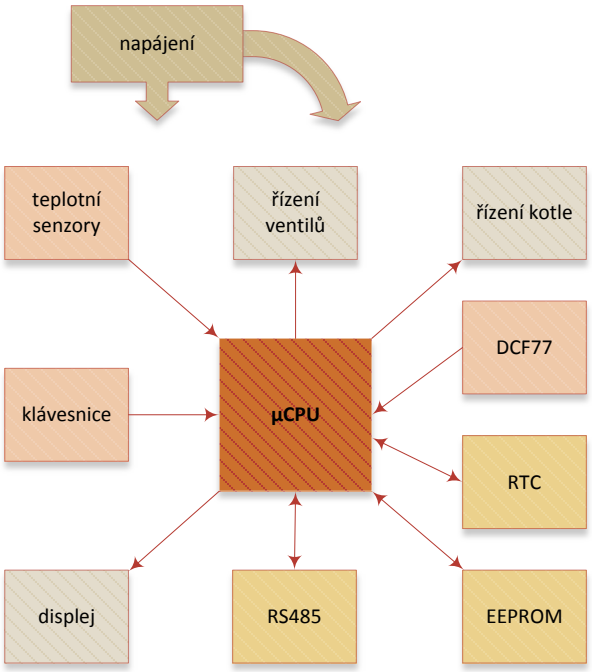
Práce je rozdělena do čtyř částí, kdy první popisuje návrh a hardwarové řešení zařízení. V druhé části práce je nastíněna softwarová výbava a principy algoritmů, umožňující jedno z mnoha způsobů užití programové jednotky. Vlastní realizací se zabývá třetí část a čtvrtá je uživatelským manuálem řídící jednotky.

2 Návrh hardwarové části jednotky

Na obrázku 1 je zobrazeno blokové schéma jednotlivých celků zařízení. Mikroprocesor musí být schopen zpracovat signály z teplotních senzorů, ty porovnat jednak s údaji z RTC (Real Time Clock, aktuální čas) a jednak se zadanými požadavky uživatele. Na základě tohoto vyhodnocení zapnout resp. vypnout ventily jednotlivých topných okruhů. Není-li celý prostor vytápěn z centrálního dálkového vytápění, je nutné také spouštět a vypínat plynový, resp. elektrický kotel. Aktuální čas je udržován v obvodu RTC a v pravidelných intervalech synchronizován s časovou značkou vysílače DCF77. Uživatelské rozhraní tvoří klávesnice a displej. V následujících kapitolách je popsán výběr jednotlivých součástek a jeho argumentace. Jako první je vy-

brán způsob měření teploty, poté µ-procesor schopný přijmout a zpracovat naměřená data z teplotních senzorů. Následně ostatní periferie v závislosti na výbavě zvoleného procesoru. Na závěr je zvolen způsob napájení.

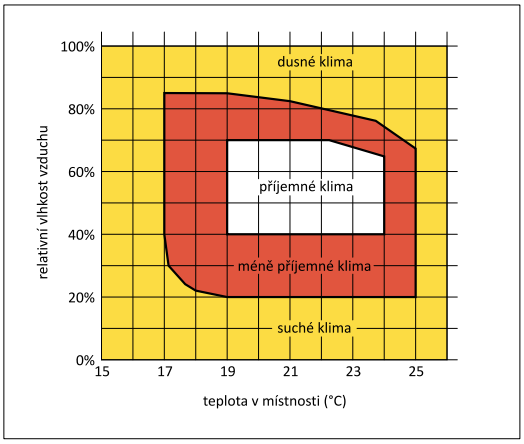
Pro návrh schématu a desky s plošnými spoji bylo zvoleno prostředí Altium.



Obrázek 1 - Blokové schéma řídící jednotky

2.1 Měření teploty

Chceme-li regulovat vytápění objektu, je nutné nejprve definovat vstupní veličiny, které budeme zpracovávat, a jejich rozsah. Příjemné klima v obytné místnosti je značně subjektivní a záleží na mnoha okolnostech [1]. Přibližné vymezení oblasti příjemného klimatu v závislosti na relativní vlhkosti a teploty vzduchu je zobrazeno na obrázku 2. Tímto je určena horní hranice regulace teploty, spodní je dána nezámrznou teplotou obytných prostor, obvykle mezi 5° - 8°C. Měření teploty ale musí ob-



Obrázek 2 - Oblast příjemného klimatu v místnosti [1]

sáhnout interval, který reálně může v obytných místnostech nastat, tedy 5° - 35°C. Teploty pod nulou nemá smysl měřit, protože topný systém nemůže být z bezpečnostního hlediska provozován v tomto intervalu, teplot nad 26°C lze sice samozřejmě topením docílit, ale reálně z ekonomických důvodů to je velmi málo pravděpodobné. Měření zde má tedy význam pouze informativní, kdy se teplota v letních měsících ve špatně izolovaných objektech může vyšplhat i nad 30°C.

Teplotu jako veličinu lze měřit pouze nepřímými metodami využívajícími závislosti některých fyzikálních jevů na teplotě. Měřit lze buď dotykově, nebo bezdotykově. Dotykové senzory lze rozdělit do tří základních skupin, elektrické, dilatační a speciální.

Protože při měření teploty v obytné místnosti nelze prakticky využít ani jedné z výhod bezdotykového měření teplot [2], není dále bezdotykové měření teploty (tzv. pyrometrie) uvažováno.

2.1.1 Dilatační senzory

Dilatační teploměry využívají závislosti změny objemu látek na teplotě, která je převáděna z naměřené délky, objemu, nebo tlaku. Ve skleněných teploměrech se měří výška teploměrné kapaliny (rtuť, pentan, aj.) v kapiláře. Dvojkovové senzory (bimetal) jsou pevně spojené dvojice kovových materiálů s různou teplotní roztažností, obvykle stočených do spirály, nebo šroubovice pro zvýšení účinnosti. Tlakový teploměr je uzavřený systém kovové nádobky, kapiláry a deformačního tlakoměru, zcela vyplněný teploměrnou kapalinou (rtuť, xylen, metanol, aj.). Parní a plynové teploměry využívají závislosti tlaku ideálního plynu (resp. nasycených par) na teplotě a jsou oproti tlakovým teploměrům citlivější a přesnější. Jako teploměrného média se využívá hélium, nebo vodík (s použitím korekcí stavové rovnice) pro plynové teploměry, pro parní etyléter, toluen aj.

Byť by bylo možné některý z dilatačních senzorů pro měření teploty v obytné místnosti použít, podstatnou komplikací by však byla digitalizace naměřených hodnot pro další zpracování mikroprocesorem.

2.1.2 Speciální senzory

Fyzikálních vlastností závislých na teplotě, které lze s úspěchem cejchovat nebo matematicky vyjádřit je celá řada. Jedná se však obvykle o oblasti velmi nízkých teplot (cca 20 K), kde se využívají kapacitní senzory (dielektrikem může být helium, nebo krystalické sklo), magnetické senzory, uhlíkové senzory, nebo šumové senzory, využívající šumové napětí generované náhodným pohybem elektronů v odporu.

Vyšší teploty (40° - 150°C) lze měřit teploměrnými barvami z různých sloučenin rtuti, stříbra, olova, mědi aj., které po dosažení určité teploty změní svou barvu.

Speciální senzory jsou svým rozsahem použití pro měření teploty v obytných místnostech nevhodné.

2.1.3 Elektrické senzory

Elektrické senzory teploty lze rozdělit do čtyř základních skupin: odporové, polovodičové, monokrystalické s PN přechodem a termoelektrické.

1) Odporové kovové senzory

Odporové kovové senzory jsou založeny na závislosti odporu kovu na teplotě. Nejrozšířenějšími materiály pro výrobu kovových teploměrů jsou platina a nikl. Pro teplotní rozsahy 0°C - 100°C lze velikost odporu R v závislosti na teplotě ϑ vyjádřit vztahem

$$R = R_0(1 + \alpha\vartheta) \tag{2.1}$$

kde R_0 je odpor senzoru při teplotě 0°C a α $[K^{-1}]$ je teplotní součinitel vyjádřený vztahem

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100\ R_0} \tag{2.2}$$

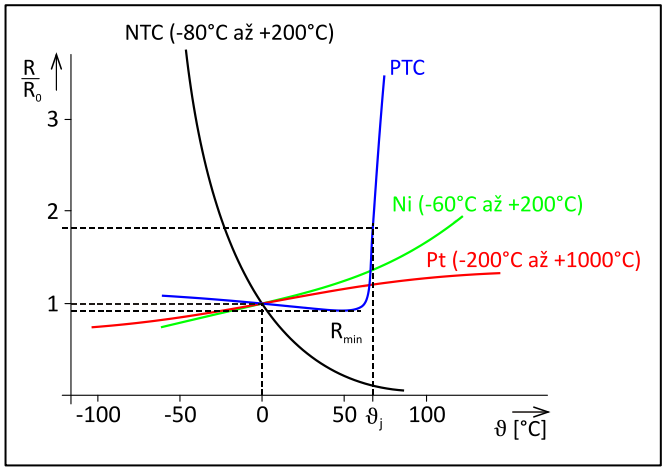
kde R_{100} je odpor teploměru při teplotě 100°C. Pro větší teplotní rozsahy (platina od -200° do 850°C, nikl od -60°C do 180°C) již nelinearitu nelze zanedbat a pro odpor senzoru platiny R_ϑ platí rovnice

$$R_\vartheta = R_0[1 + A\vartheta + B\vartheta^2 + C\vartheta^3(\vartheta - 100)] \tag{2.3}$$

kde A, B *a* C jsou konstanty pro daný materiál a teplotní rozsah a je nutné je dohledat v datasheetu výrobce každého konkrétního senzoru.

2) Polovodičové odporové senzory

Stejně jako u kovových je i u polovodičových odporových senzorů využíváno závislosti odporu na teplotě. Polovodičové senzory se dále dělí na termistory (s pozitivním nebo negativním teplotním součinitelem odporu) a monokrystalické odporové senzory.



Obrázek 3 – Teplotní závislosti odporových senzorů teploty [2]

Pozistory (termistory s kladným teplotním součinitelem odporu, PTC) se vzhledem ke své charakteristice (obr. 3) s výrazným zlomem obvykle používají jako dvoustavové senzory pro signalizaci překročených hodnot.

Negastory (termistory se záporným teplotním součinitelem odporu, NTC) jsou díky výhodnému průběhu charakteristiky nejvhodnějšími teplotními senzory pro sledování a řízení teplot v rozsahu od -50°C do 150°C. Vyrábějí se v mnoha variantách pouzder i základních hodnot R_r. Hodnotu odporu negastoru R při teplotě T lze vyjádřit rovnicí

$$R = R_r e^{B(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r})} \tag{2.4}$$

kde $B\ [K]$ je materiálová teplotní konstanta, R_r je hodnota odporu negastoru při teplotě T_r (obvykle je $T_r = 25\,℃$). Protože je parametr B teplotně závislý, je nutné používat pro různé rozsahy a přesnosti různé stupně aproximačního polynomu

$$\frac{1}{T} = a_0 + a_1 \ln R + \cdots + a_n (\ln R)^n \tag{2.5}$$

přičemž pro rozsah od 0°C do 100°C s chybou ±0,1K [2] lze použít rovnici

$$\frac{1}{T} = a + b \ln R + c (\ln R)^3 \tag{2.6}$$

kdy konstanty a, b a c jsou tabelovány výrobcem pro každý typ senzoru. Oproti platinovým senzorům jsou negastory méně stabilní (pro běžné aplikace tolerance ±1K) a značně nelineární, ovšem mají o řád vyšší teplotní součinitel odporu a lze je vyrábět i ve velmi malých pouzdrech (SMD 0603).

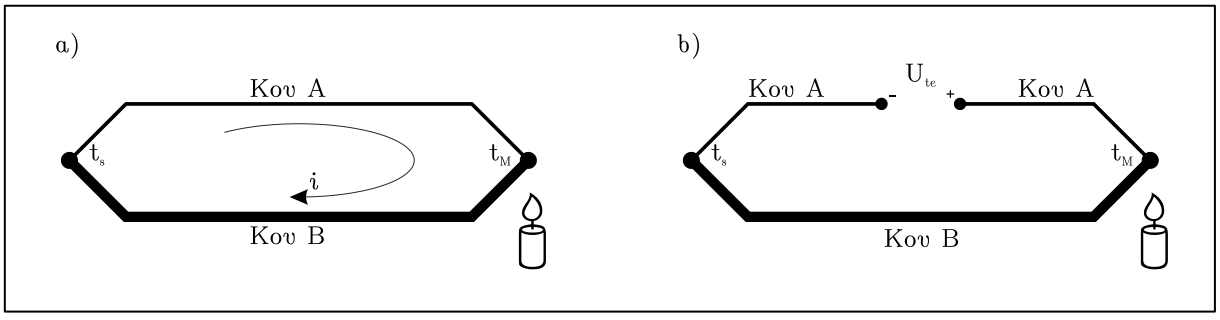
3) Monokrystalické PN senzory teploty

Závislost napětí na PN přechodu v propustném směru na teplotě je využívána v senzorech diodových, tranzistorových, nebo integrovaných s napěťovým (nebo proudovým) výstupem. Výstupy z integrovaných senzorů již bývají lineární a jsou určeny k přímému napojení na A/D převodníky pro zpracování mikroprocesorem.

Zástupci takovýchto teploměrů jsou např. obvody LM35, LM45, LM50 firmy National Semiconductor (dnes již divize Texas Instruments), které mají ve svém teplotním rozsahu linearizovaný napěťový výstup se strmostí +10mV/°C. Tyto teploměry jsou vhodné i pro měření teploty obytných místností.

4) Termoelektrické senzory

Termoelektrické senzory (též termoelektrické články) jsou založeny na principu využívajícího Seebeckova jevu (obr. 4). Uzavřeným obvodem, vytvořeným ze dvou spojených různých kovů nebo polovodičů, protéká elektrický proud, pokud jsou teploty t_M a t_s různé. Rozpojením takovéhoto obvodu na vzniklých svorkách bude elek-



Obrázek 4 - Termoelektrický článek [6]. a) Seebeckův jev b) termoelektrické napětí

trické napětí U_{te}, které je závislé na teplotním rozdílu ve svárech t_M a t_s. Pro určení teploty t_M je tedy nutné zajistit referenční teplotu t_s, což je pro použití měření teplot v obytných místnostech zbytečná komplikace.

2.2 Sběr a zpracování dat

Naměřené hodnoty z jednotlivých místností je potřeba dopravit do řídící jednotky. Na výběr jsou pouze dva způsoby, analogový nebo digitální, přičemž digitální data lze přenášet po metalickém vedení nebo bezdrátově. Protože však bezdrátový přenos vyžaduje bateriový způsob napájení jednotlivých komponent, což zvyšuje provozní náklady systému, nebude dále tento uvažován.

2.2.1 Analogový přenos naměřených hodnot

Přenos naměřených hodnot ovlivňují faktory, které je třeba eliminovat, především vliv proudu procházejícího senzorem a odpor přívodů k senzoru.

Průchodem měřícího proudu senzorem teploty dochází k jeho oteplení. Maximální proud pro přípustnou chybu oteplením $\Delta\vartheta$ je dán rovnicí

$$I_{dov} = \sqrt{\frac{\Delta\vartheta \ D}{R}} \tag{2.7}$$

kde R je maximální hodnota odporu senzoru v daném rozsahu teplot, a D je elektrický příkon potřebný k ohřátí senzoru o $\Delta\vartheta = 1K$ nad teplotu okolí [2]. Pro platinové senzory bývá maximální proud $I_{dov} \leq 1$ mA, pro termistory s odporem řádově kiloohmy bývá maximální proud v řádech mikroampérů.

Eliminaci odporu přívodů k senzoru lze řešit mnoha několika způsoby, jak je uvedeno např. v [2]. Pro případ, kdy odpor přívodů k senzoru je podle použitého kabelu kolem 10Ω/100m, a použitý NTC senzor s má při teplotě 40°C hodnotu $R = 5{,}33$ kΩ, je nejhorší možná chyba způsobená odporem přívodů -0,09°C. Při použití NTC senzoru s $R_{25} = 33$ kΩ je chyba již jen -0,03°C. Takovouto odchylku lze pro měření teploty obytných místností zanedbat.

2.2.2 Přenos digitálních dat

Digitální data naměřených hodnot pro odeslání do řídící jednotky lze získat dvojím způsobem. Realizací elektronické jednotky se senzorem, A/D převodníkem, mikroprocesorem a linkovým budičem sběrnice (např. RS485), nebo obvodem integrujícím všechny tyto dílčí části do jediné součástky. Elektronická jednotka pouze pro účel měření teploty a odesílání dat bez možnosti ovládání a řízení je zbytečným prodražením systému a nebude dále uvažováno.

Integrovaná sběrnicová rozhraní v čipech teplotních senzorů (I^2C, SPI) umožňují komunikaci s mikroprocesorem pouze v rámci jednoho zařízení, nelze je použít pro senzory vzdálené několik desítek metrů. Výjimkou je sběrnice 1-Wire® firmy Maxim Integrated Products, Inc., kterou je možné provozovat v sítích až do 500m při použití řadiče s FET tranzistory [3].

2.2.3 Měření teploty v obytných prostorech

Vytvořit síť senzorů teploty v rámci objektu je možné s ohledem na rozsahy a tolerance měření několika způsoby, z nichž nejvíce vyhovují dva, analogový s NTC termistory a digitální se sběrnicí 1-Wire®. NTC termistory musí být o minimální hodnotě $R_{25} \geq 10\,\mathrm{k\Omega}$ a metalickém vedení o maximální hodnotě odporu kolem 10 Ω/100 m. Použití NTC termistorů umožňuje pouze síť hvězdicovitého typu. Naproti tomu 1-Wire® digitální teploměry lze zapojit do hvězdy i na jednu sběrnici. Obvod DS18S20 má rozlišení 9 bitů, DS18B20 volitelné 9-12 bitů, oba v rozsahu od -55°C do 125°C, při toleranci ±0,5°C. Na delších vedeních je nutné použít řadiče s FET tranzistory, nebo převodník I^2C/1-Wire® s budičem linky DS2482-100+ [3].

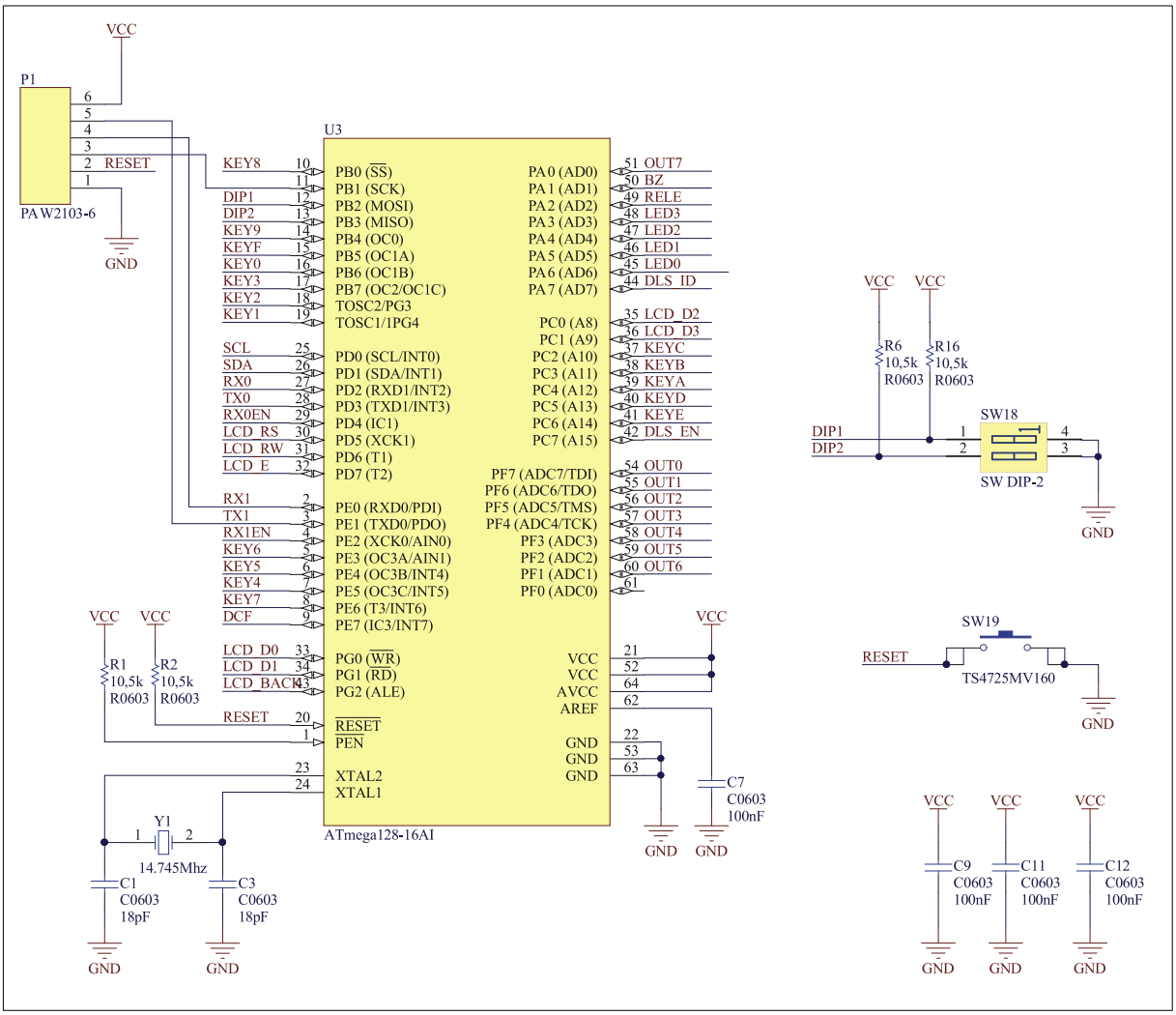
2.3 Mikroprocesor

Volba mikroprocesoru je jedním z nejdůležitějších rozhodnutí při stavbě jakéhokoli zařízení, od ní se obvykle odvíjí výběr následných připojených periférií. Skupina resp. rodina procesorů (PIC, AVR, ARM, 8051,…) je obvykle volena na základě preferencí autora. V mém případě jsem pro v minulosti již získané zkušenosti zvolil z rodiny AVR obvod ATmega128 (v nové revizi značen již jako ATmega128A).

Tento procesor svým vybavením umožňuje zpracování jak analogových signálů (8 kanálový AD převodník), tak připojení I²C budiče linky 1-Wire®, dále obsahuje EEPROM pro ukládání potřebných parametrů, dvě sériové linky pro komunikaci s okolím, rozhraní SPI, JTAG, a další, celkem 53 programovatelných vstupně výstupních portů. Jejich kompletní výčet je uveden v datasheetu obvodu [4].

Pro tvorbu a odladění firmwaru je k dispozici volně dostupné (po registraci) velmi výkonné vývojové prostředí AVR Studio®. Mikroprocesor ATmega128 lze programovat přes sériovou linku ISP přímo na osazené desce.

Na obrázku 5 je zapojení µ-procesoru. Konektor P1 je připojen na piny určené k ISP programování µ-procesoru, piny RESET a PEN jsou externími pull-up rezistory R1 a R2 nastaveny na log. 1. Tlačítko SW19 je určeno k resetování procesoru v případě selhání firmwaru. Přepínač DIP na pozici SW18 umožní případné hardwarové nastavení, jeho použití umožnily zbývající piny µ-procesoru. Hodinový takt je



Obrázek 5 - Schéma zapojení µ-procesoru

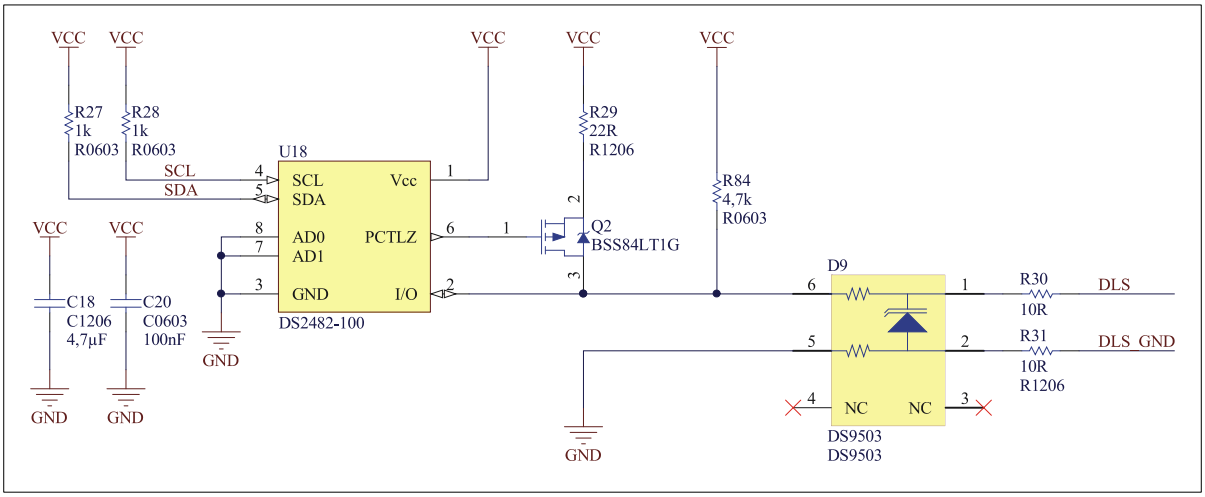
určen krystalem Y1, blokovaný dvěma kondenzátory C1 a C3. Napájení procesoru je z hladiny V_{CC} = 5,0V, blokované kondenzátory C9, C11 a C12. Protože bylo zvoleno pro měření teplot v místnostech 1-Wire® rozhraní se senzory DS18x20 a nebude tedy využito A/D převodníků, napájení AV_{CC} může být připojeno přímo na V_{CC} bez low-pass filtru, a referenční hladina AREF musí být blokována kondenzátorem C7.

Připojení dalších rozhraní k procesoru vyplývá z kombinace možných vlastností jednotlivých pinů a potřeby vedení drah na desce s plošnými spoji.

2.4 1-Wire® rozhraní pro teplotní senzory

Připojení 1-Wire® sítě k µ-procesoru lze realizovat dvěma způsoby, buď napřímo k I/O pinu µ-procesoru, nebo prostřednictvím některého z 1-Wire® řadičů, převádějících komunikaci na jiná rozhraní (USB, RS232, I²C, …). Pro připojení sítě senzorů byl zvolen DS2482-100+, který je propojen s µ-procesorem pomocí I²C sběrnice. Schéma zapojení obvodu (obrázek 6) je založeno na doporučeném zapojení z datasheetu [5], doplněném o ESD ochranu obvodem DS9503 [6], integrující diodu a ochranné odpory. Tranzistor Q2 s odporem R29 jsou určeny k případnému posílení napájení sběrnice. Pokud je použito třívodičové vedení k senzorům, není třeba Q2 a R29 osazovat, místo nich je ale zajistit log. 1 v klidovém stavu odporem R84. Stejnou funkci plní pro sběrnici I²C odpory R27 a R28. Kondenzátory C18 a C20 slouží k blokování napájení.

Každý obvod určený pro sběrnici 1-Wire® má od výrobce přidělenou unikátní adresu uloženou v paměti ROM. 1-Wire® umožňuje zjištění adres všech obvodů na sběrnici, ale ke správné funkci řídící jednotky je nutné přiřazení konkrétního senzoru



Obrázek 6 - Schéma zapojení 1-Wire® sběrnice

ke konkrétnímu okruhu. Toto přiřazení je zajištěno při instalaci pomocí dalšího, tentokrát přímého připojení senzoru k µ-procesoru, kdy je nejprve vyčtena adresa z ROM připojeného senzoru a poté uživatelem přiřazen příslušný okruh.

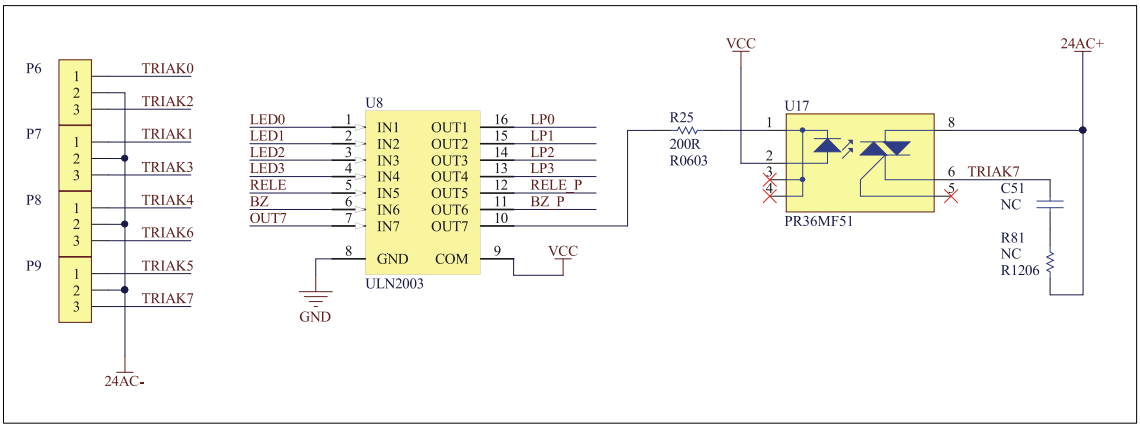
2.5 Řízení ventilů topných okruhů

Elektrické ventily se dělí na dvoustavové a lineární, dvoustavové dále na NO (normally open, bez napětí otevřen) a NC (normally close, bez napětí uzavřen). Dvoustavové je možné ovládat různým napětím, obvykle síťovým 230V, nebo bezpečným 24V~ i 24V=. Lineární bývají nejčastěji ovládány napětím 0-10V. Jako nejúčelnější se ukázaly být ventily s logikou NC a ovládáním 24V~, kdy lze spínání zajistit optotriakem.

Na obrázku 7 je na jednom kanále zobrazen zvolený způsob zapojení, kdy jsou jednotlivé LED diody optotriaků spínány signálem z procesoru pomocí pole tranzistorů (obvod ULN2003, [7]) přes proudové omezení odporem R25. Pro případné připojení indukční zátěže by bylo nutné osadit RC filtr napěťových špiček (zde C51 a R81).

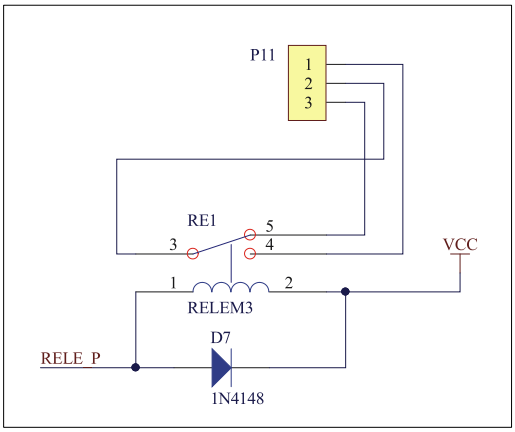
Pro výše uvedené ventily, konkrétně typ IVAR.TE 3041 [8] je uváděn otevírací proud 250mA po dobu dvou minut a klidový proud 80mA. Zvolený optotriak SHARP PR36MF51 [9] tak při dovoleném spínacím proudu 6A může ovládat až 24 paralelně zapojených ventilů (jsou-li montovány na jednotlivé radiátory), což je pro běžnou domácnost více než dostatečné.

LED dioda v optotriaku má při dopředném proudu 20mA úbytek 1,2V, hodnota předřadného odporu R25 je tedy dána vztahem $R = (V_{CC} - 1{,}2V)/20mA \doteq 200\Omega$ [9].



Obrázek 7 - Schéma zapojení optotriaků

Je-li potřeba ovládat spínání plynového (resp. elektrického) kotle, je opět signálem z mikroprocesoru přes obvod ULN2003 spínáno relé se třemi vyvedenými kontakty COM (společný), NO (normal open, v klidu rozepnuto) a NC (normal connect, klidu sepnuto). Pro potlačení proudových nárazů při rozpínání je k vinutí zapojena dioda D7 (obrázek 8).

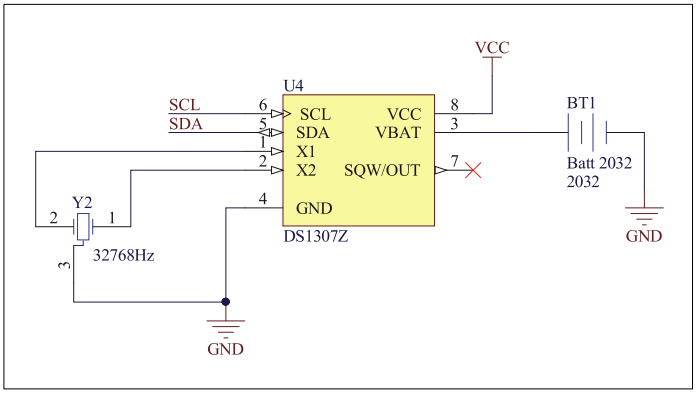


Obrázek 8 – Schéma zapojení relé

2.6 Obvod reálného času

Funkce jednotky není možná bez správného údaje času a data. K těmto účelům jsou určeny obvody RTC (Real Time Clock), které ve své paměti, obvykle SRAM, mají uložen aktuální čas a datum. Zvolený obvod DS1307 komunikuje po sběrnici I²C, ukládá datum s přestupnými roky až do roku 2100 s určeným dnem v rámci týdne, lze jej zálohovat baterií 3V (se spotřebou nižší než 500nA se spuštěným oscilátorem) a obsahuje 56 bytů SRAM k volnému uživatelskému použití. Připojený krystal 32kHz (obrázek 9) nepotřebuje blokovací kondenzátory, ty jsou již integrovány v oscilátoru obvodu [10]. Pull-up odpory pro sběrnici I²C jsou již osazeny u řadiče 1-Wire® (obvod DS2482-100+).

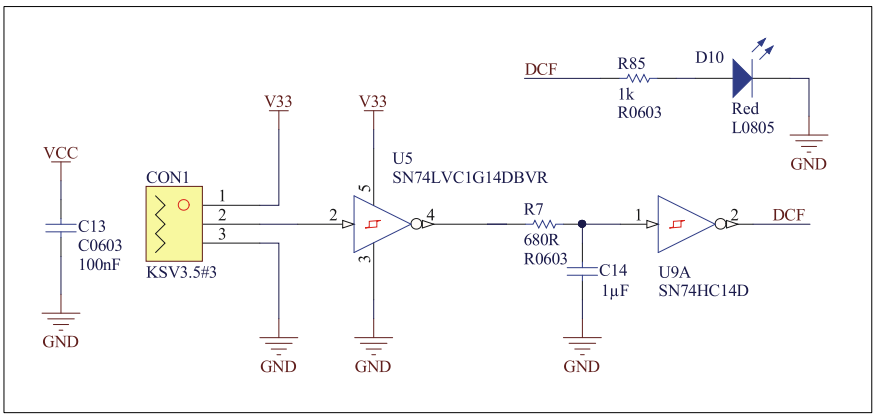
K jednotce lze připojit modul pro získání časové značky z vysílače DCF77. Takový modul lze zakoupit, nebo získat (rozuměj vyjmout) z komerčních hodin chlubících se příjmem rádiového signálu. Z nepochopitelných důvodů je tato cesta někdy výrazně snazší a lacinější. Výstup z modulů bývá obvykle ve formě kladných impulsů



Obrázek 9 - Schéma zapojení obvodu RTC

dlouhých 100ms (log. 0 ve značce DCF77) a 200ms (log. 1 ve značce DCF77), vzdálenost vzestupných hran je 1s. Na obrázku 10 je schéma pro připojení modulu k µ-procesoru. Impulsy z modulu jsou nejprve zformátovány schmittovým hradlem (U5) na obdélníko-

vou úroveň 3,3V, signál je ovšem negován. Za dalším schmittovým hradlem (U9A) je již logická jednička na V_{CC} úrovni a signál je opět pozitivní. Před druhým hradlem je zařazen dolnopropustní filtr, který eliminuje náhodné zákmity modulu. Mezní frekvence filtru je dána vztahem $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$, hodnoty R7 a C14 jsou zvoleny pro $f_0 \doteq 23\text{Hz}$. Impulzy jsou indikovány LED diodou D10.

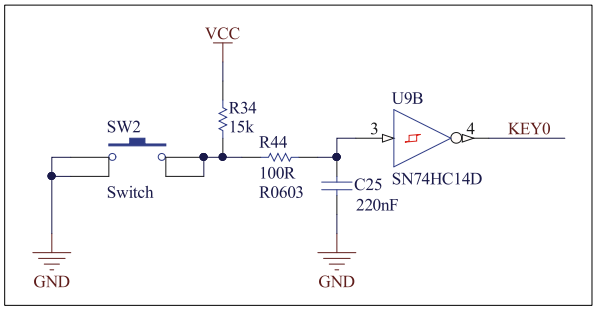


Obrázek 10 - Schéma zapojení DCF77

2.7 Klávesnice

Podmínkou co nejjednoduššího ovládání jednotky je dobře promyšlené ovládání. Jedním z cílů této práce je právě kvalitní a „přátelské“ uživatelské rozhraní. Nutnou, nikoli postačující podmínkou, je absence jakýchkoli dvoj- a více- hmatů k přístupu k libovolné funkci jednotky. To ovšem vyžaduje poměrně veliké množství ovládacích prvků, tedy tlačítek / kláves.

Vzhledem k charakteru jednotky nelze příliš dobře použít klávesnicové moduly, které jsou ponejvíce v matrici 3×4, nebo 4×4 s ciframi, *, #, popř. písmeny A, B, C, D. Jako tlačítka lze také využít plošky DPS s vhodným řadičem (např. AD7142). Ovšem za cenu plošného spoje, která v prototypových nákladech není zanedbatelná. Zbývají tedy obyčejná tlačítka, která však bude nutné ošetřit proti zákmitům. To lze dvojím způsobem, buď na straně firmwaru, nebo hardwaru. Pro co nejjednodušší vývoj firmwaru byla tla-



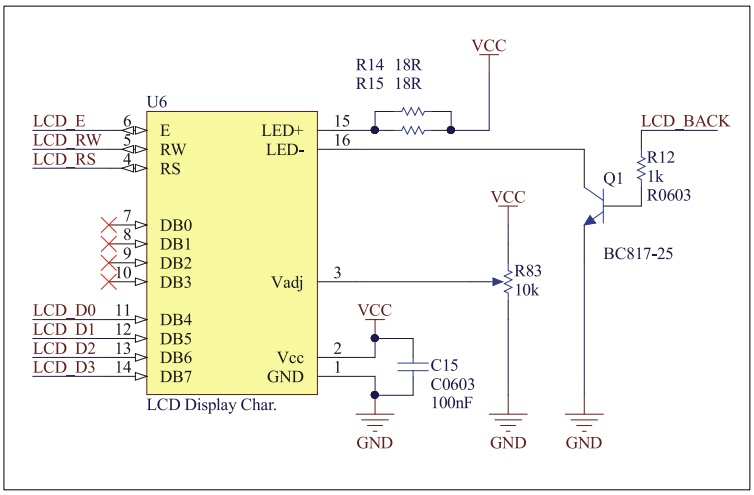
Obrázek 11 – Schéma zapojení klávesy

čítka navržena jako bezzákmitová, s dolnopropustním RC filtrem a schmittovým hradlem. Na obrázku 11 je schéma zapojení jednoho tlačítka. Pull-up odpor R34 udržuje v klidovém stavu vstup hradla v log. 1. Při stisku tlačítka mohou vzniknout zákmity, které je potřeba odfiltrovat RC článkem o mezní frekvenci $f_0 = \frac{1}{2\pi(\mathrm{R34+R44}).\mathrm{C25}}$, hodnoty R34, R44 a C25 jsou dle [11] zvoleny pro $f_0 \doteq 50\mathrm{Hz}$, kdy je ještě propuštěn rychlejší sled stisknutí, ale kratší pulsy (tedy zákmity) již nikoli.

Celkem jednotka bude disponovat 17 tlačítky, osm pro přímý přístup k jednotlivým okruhům, sedm pro obsluhu menu (left, right, up, down, enter, esc, menu), jedno pro spuštění identifikace senzoru a přiřazení k okruhu a jedno pro spuštění synchronizace času a data se značkou DCF77.

2.8 LCD displej

Jako zobrazovací jednotka byl zvolen standardizovaný znakový displej 20×4 založený na řadiči (resp. jeho klonu) HD44780. Připojení k mikroprocesoru je možné buď jedenácti, nebo jen sedmi datovými linkami, kdy nejsou čtyři datové linky využity. Rychlost komunikace se sice zpomalí zhruba na polovinu, ale ušetřené I/O vstupy na procesoru tuto nevýhodu plně vyváží.



Obrázek 12 – Schéma zapojení LCD displeje

Všechny datové linky jsou přímo propojeny s I/O piny procesoru, napájení je blokováno keramickým kondenzátorem C15. Kontrast je možné nastavit potenciometrem R83. Proud podsvitem LCD je omezen paralelně zapojenými odpory R14 a R15 a spínán tranzistorem Q1.

2.9 Napájení

Napájecí obvody musí splňovat několik podmínek nutných pro bezproblémový chod řídící jednotky. Vstupní napětí je dáno použitým napětím pro spínání ventilů,

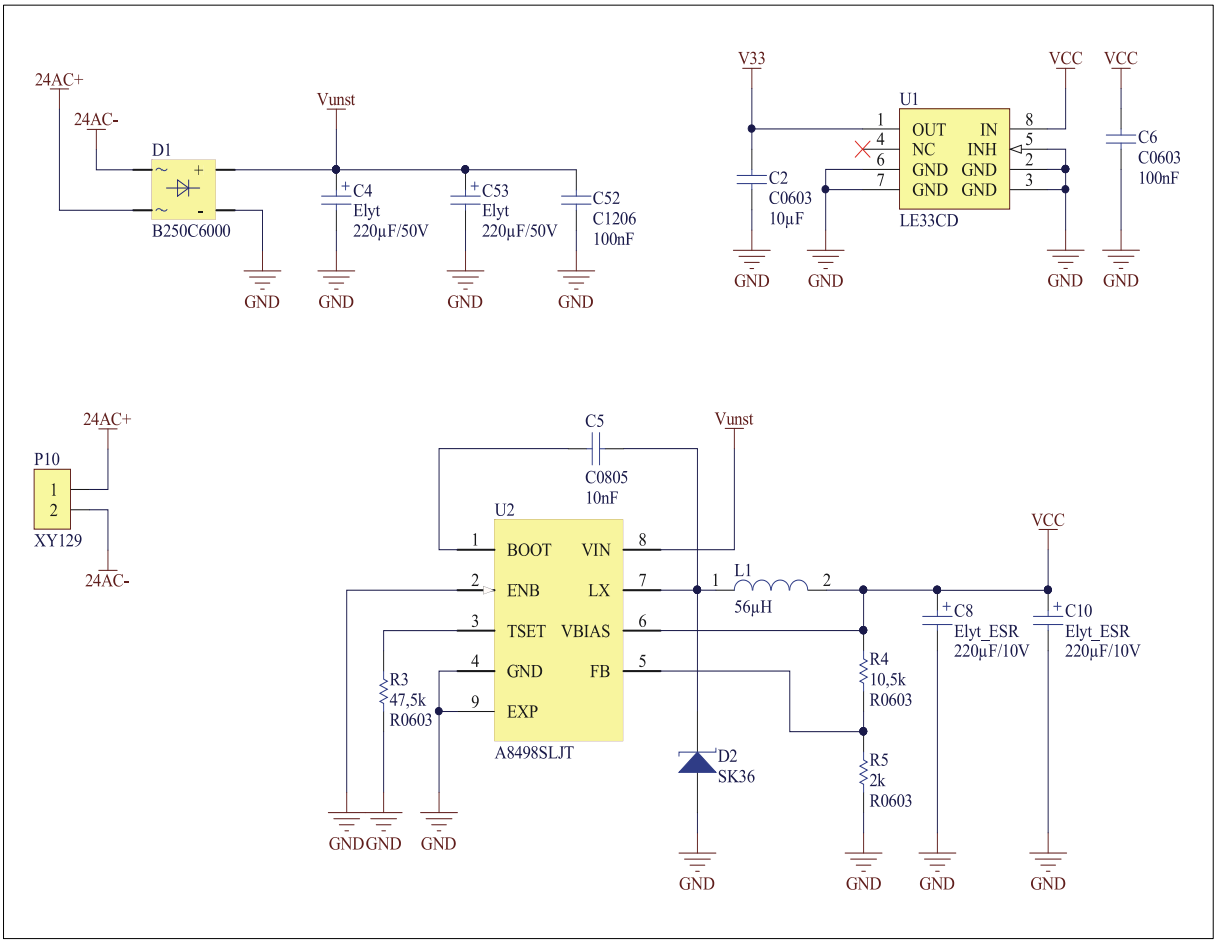
tedy 24V~. Výstupní hladiny jsou dvě, $V_{CC} = +5V$ pro celou řídící jednotku a +3,3V pro napájení modulu DCF77.

Proudový odběr z hladiny 3,3V rozhodně nebude větší než 100mA a proto s dostatečnou rezervou vyhoví low-drop obvod pro stabilizaci napětí LE33CD firmy STMicroelectronic [12] zapojený dle doporučení výrobce (obr. 13).

Proudový odběr z hladiny V_{CC} je dán součtem odběrů všech obvodů, největší odběr mají LED diody v optotriacích (8×max. 50mA) a v podsvitu LCD displeje (180mA), cívka relé 40mA, µ-procesor 20mA a zbytek obvodů jistě nepřevýší v součtu 200mA. Klidový odběr celé řídící jednotky by měl být pod 1A, zdroj napětí by měl být schopen dodat minimálně dvojnásobek této hodnoty.

K dispozici jsem měl obvod firmy Allegro MicroSystems Inc. A8498 [13], pulsní napěťový regulátor, který se svými max. 3A výstupního proudu a vstupním napájecím napětím až 50V splňuje všechna požadovaná kritéria.

Na obrázku 13 je schéma zapojení napájecích obvodů, střídavé napětí je nejprve



Obrázek 13 - Schéma zapojení napájecích obvodů

usměrněno můstkem D1 a poté vyhlazeno kondenzátory C4, C53 a C52. Schéma zapojení obvodu A8498 i hodnoty ostatních součástek jsou zcela převzaty z datasheetu výrobce [13].

3 Návrh firmwaru

Společnost Atmel ke svým procesorům řady AVR (a nově i ARM) poskytuje volně k použití vývojové prostředí Atmel Studio (dříve AVR Studio), umožňující vývoj a odladění firmwaru ve vyšších programovacích jazycích C nebo C++. Protože nevlastním rozhraní JTAG ICE mkII, nemohla být využita při vývoji firmwaru možnost odladění pomocí krokování.

K naprogramování procesoru lze využít programátorů mnoha výrobců, zvolen byl výrobek ZeptoProgII firmy MattairTech [14]. Tento programátor má v sobě integrován také čtyř kanálový logický analyzátor a převodník USB/RS232, tyto funkce však nebyly v této práci využity. ZeptoProgII simuluje AVR programátor typu AVRISP mkII. Pomocí něj lze programovat mikroprocesory přímo v aplikaci (což bývá označováno jako ISP – In System Programming). Oproti nižším verzím AVR procesorů, které využívají pro ISP piny MOSI a MISO, ATmega128 používá piny PDI a PDO (Programming Data In/Out) na portu PE0 a PE1. Pro hodinový takt je určen pin SCK a jako poslední datový vodič na konektoru pro ISP je signál RESET. Na ISP konektoru jsou krom čtyř datových ještě dva piny napájení. Obecně programátory pouze sledují přítomnost napětí V_{CC}, programátor ZeptoProgII však umožňuje napájet skrz konektor ISP i aplikaci, což může být někdy využíváno v produkční výrobě, dovolí-li to charakter zapojení výrobku. Zde tato možnost využita nebyla. Schéma zapojení programovacího rozhraní ISP je na obrázku 5.

Programový kód firmwaru byl psán v jazyku C, pro který je poměrně velké množství volně dostupných knihoven pro práci s různými periferiemi pro µ-procesory rodiny AVR. Celý výpis programu je přílohou této práce, kód je proložen komentáři popisující jednotlivé činnosti příkazů.

3.1 Definice datových struktur

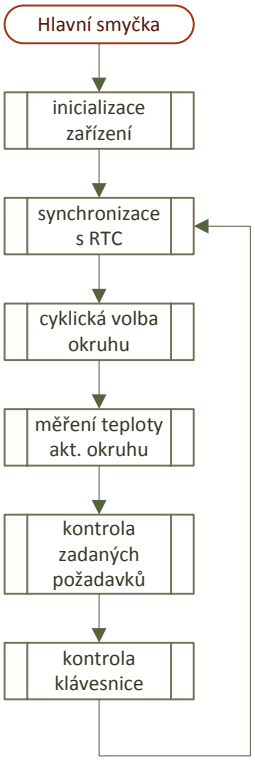
Pro další popis programových utilit, je nutné zavést některé pojmy. Přesné definice s datovými typy jsou uvedeny v hlavičkovém souboru, jehož výpis je přílohou této práce.

Okruhem je myšlena jedna obytná zóna se společnými parametry a s jedním senzorem teploty. Řídící jednotka dokáže ovládat celkem osm takovýchto topných okruhů. *Intervalem* bude nazývána struktura parametrů definující uživatelské nastavení. Těmito parametry jsou dotčený okruh a dotčený den v týdnu (obojí jako bitové masky, 2B), dále hodina a minuta počátku a konce intervalu (vše v BCD, 4B) a nakonec hodnota teploty pro tento interval (1B). Jeden byte do celkového počtu osmi bytů na jeden interval je rezervou pro případné budoucí použití. Není-li intervalem určeno jinak, bude řídící jednotka udržovat v každém okruhu defaultní teplotu. Počet intervalů je teoreticky omezen pouze kapacitou paměti EEPROM, prozatím byl však omezen na 256.

Jednotka umožňuje použití dvou speciálních režimů *Dovolená* a *Bypass*. V režimu *Bypass* jsou ignorovány po uživatelem danou dobu (max. 255 hod. a 59 min.) nastavené hodnoty intervalů, a je udržována uživatelem definovaná *Bypass* teplota. Oproti *Bypass* režimu, který lze nastavit pro každý okruh zvlášť, režim *Dovolená* platí pro všechny okruhy a je v něm hlídána pouze defaultní teplota.

3.2 Hlavní smyčka programu

Na obrázku 14 je vývojový diagram hlavní smyčky programu. Po zapnutí, resp. resetu, je nutná inicializace µ-procesoru, kdy jsou nastaveny globální proměnné a potřebné registry do výchozího stavu, vyčteny z EEPROM parametry uživatelských intervalů a adresy senzorů atp. Poté je v nekonečné smyčce nejprve zkontrolován (resp. vyčten) z RTC čas a datum, cyklicky zvolen okruh 1÷8 a změřena (resp. vyčtena ze senzoru) teplota zvoleného okruhu. V dalším kroku jsou tyto údaje postupně porovnány s režimy a se všemi zadanými uživatelskými intervaly, jehož výsledek je promítnut do výstupu příslušného okruhu (topit/netopit). Mezitím se průběžně testuje stisk některé z kláves pro přístup k ostatním funkcím řídící jednotky.



Obrázek 14 - Vývojový diagram hlavní smyčky

3.3 Výkonné funkce

Z hlavní smyčky jsou volány jednotlivé funkce, které byly nejprve jednotlivě odladěny na modulu vývojové desky nepájivého pole s µ-procesorem AT-mega32A a poté implementovány do kódu prototypu řídící jednotky.

3.3.1 Řízení LCD displeje

K řízení displeje bylo využito knihovny volně šiřitelné pod licencí GNU GPL, kterou vytvořil P. Fleury [15]. Tato knihovna umí ovládat znakové displeje na bázi čipu HD44780, kdy se v definicích v hlavičkovém souboru nastaví parametry jako počet řádků a počet znaků na řádku, počet využívaných datových linek a především konkrétní piny, na které je display připojen k µ-procesoru.

Pro usnadnění a lepší čitelnost kódu byly vytvořeny další funkce výpisu údajů na displej, jako např. `void lcd_print_line (uint8_t y, char *buff)`, jejímiž parametry jsou číslo řádku a pointer na řetězec, která nejprve smaže celý řádek a poté vypíše

řetězec z bufferu; nebo funkce `void lcd_print_int(uint8_t x, uint8_t y, int i)`, která na souřadnice [x, y] vypíše hodnotu proměnné i.

3.3.2 Klávesnice

Protože jsou tlačítka ošetřena proti zákmitům na HW úrovni (obr. 11), stačí již jen testovat logickou úroveň na jednotlivých pinech. Je-li detekováno stisknuté tlačítko, zobrazí se příslušná funkce a spustí se 16bitový časovač (jako watchdog), při jehož přetečení (pro 14,745MHz krystal a předdělička 1024 za cca 4,5s) se opustí prostor funkce příslušného tlačítka. Jakákoli očekávaná reakce uživatele před přetečením opět časovač vynuluje a dává uživateli další čas na reakci. Je-li necelých pět vteřin dostatečně dlouhá doba na reagování uživatele, ukáže až nasazení prototypu jednotky do reálného provozu.

3.3.3 Ovládání výstupů

Ovládání jednotlivých výstupů (okruhy přes triaky a kotel přes relé) je realizováno prostým zápisem log. 1 (resp. 0) do výstupního registru příslušného pinu, ke kterému je triak připojen. Protože má zvolený µ-procesor dostatečné množství I/O pinů a nebylo tedy nutné některým pinům zdvojovat funkci, stačí po zapnutí jednotky v inicializační části kódu programu pouze nastavit jednotlivé piny jako výstupní a za běhu programu již tento stav neošetřovat.

3.3.4 Teplotní senzory

Aby bylo možné provozovat síť teplotních senzorů na jedné 1-Wire® sběrnici, je nutné nejprve ke každému okruhu přiřadit adresu příslušného senzoru. To je realizováno pomocí funkce spuštěné tlačítkem DLS_ID, která vyčte z přímo k µ-procesoru připojeného senzoru jeho unikátní adresu. Stiskem příslušného tlačítka okruhu je tímto k němu senzor přiřazen, adresa je zapsána do EEPROM a senzor tak může být připojen k 1-Wire® sběrnici.

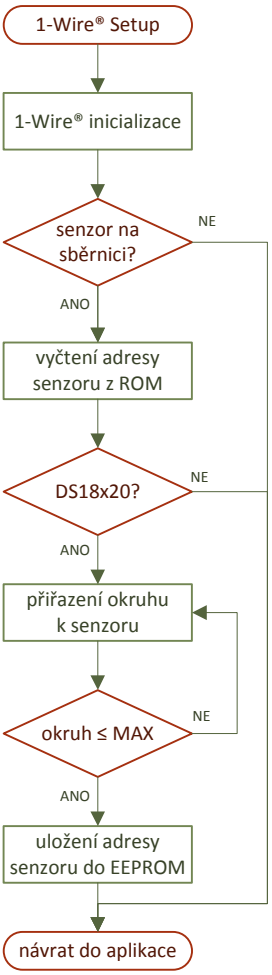
Identifikace senzorů

Pro vlastní vyčtení adresy z paměti ROM senzoru je využito knihovny z projektu OpenPlayer [16] vytvořené G. M. Paretasem. V hlavičkovém souboru je nutné nastavit jen pin µ-procesoru, kam je připojen senzor. Funkce knihovny umožňují plný

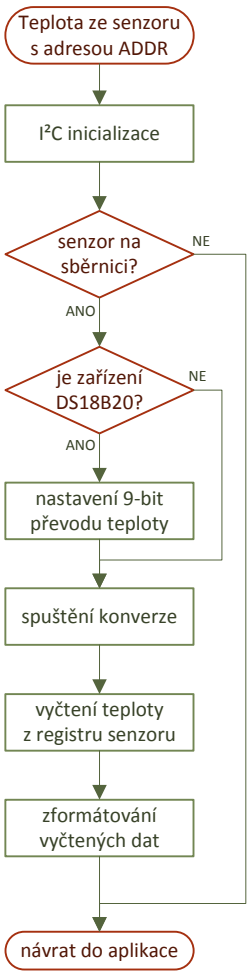
přístup ke všem funkcím senzoru, zde je ovšem využita pouze funkce na vyčtení unikátní adresy senzoru z paměti ROM. Na obrázku 15 je vývojový diagram přiřazení teplotního senzoru zvolenému okruhu.

Sběrnice 1-Wire®

Všech osm teplotních senzorů je připojeno k řadiči sběrnice typu DS2482, komunikujícím s µ-procesorem pomocí rozhraní I²C. Toto rozhraní (z licenčních důvodů nazývané firmou Atmel jako *Byte-oriented Two-wire Serial Interface*, zkráceně *TWI*) užívám pomocí další knihovny od P. Fleury, volně dostupné na jeho webových stránkách [15]. Oproti přímému připojení senzoru k pinu mikroprocesoru, není třeba se v případě použití řadiče zabývat přesným časováním intervalů tzv. časových slotů. Budič sběrnice v obvodu řadiče lze navíc posílit buď interním Strong-Pullup obvodem, nebo vyvedeným signálem na externě připojený tranzistor MOSFET. Toto



Obrázek 16 - Vývojový diagram pro přiřazení senzoru k danému okruhu



Obrázek 15 - Vývojový diagram pro vyčtení teploty ze senzoru se zadanou adresou

umožňuje dosažení výrazně delších přípojných tras. Rutiny pro ovládání registrů obvodu DS2482 vycházejí z knihoven Pascala Stanga [17]. Obrázek 16 je vývojový diagram postupu čtení teploty ze senzoru připojeného na řadič sběrnice DS2482.

3.3.5 Funkce reálného času

RTC DS1307

Pro práci s reálným časem lze využít jednak vlastní µ-procesor, nebo využít specializovaných obvodů. Zvolený DS1307 komunikuje po sběrnici I²C, lze tak sdílet obslužné sběrnicové rutiny s řadičem 1-Wire®. RTC je zálohován baterií, a udržuje si tak reálný čas i po výpadku napájení. Z příslušných registrů [10] jsou v případě potřeby programu čteny aktuální údaje hodiny, minuty a pořadový den v týdnu. Datum jako takový (tedy den v měsíci a měsíc v roce) nemá pro vyhodnocování intervalů význam[1].

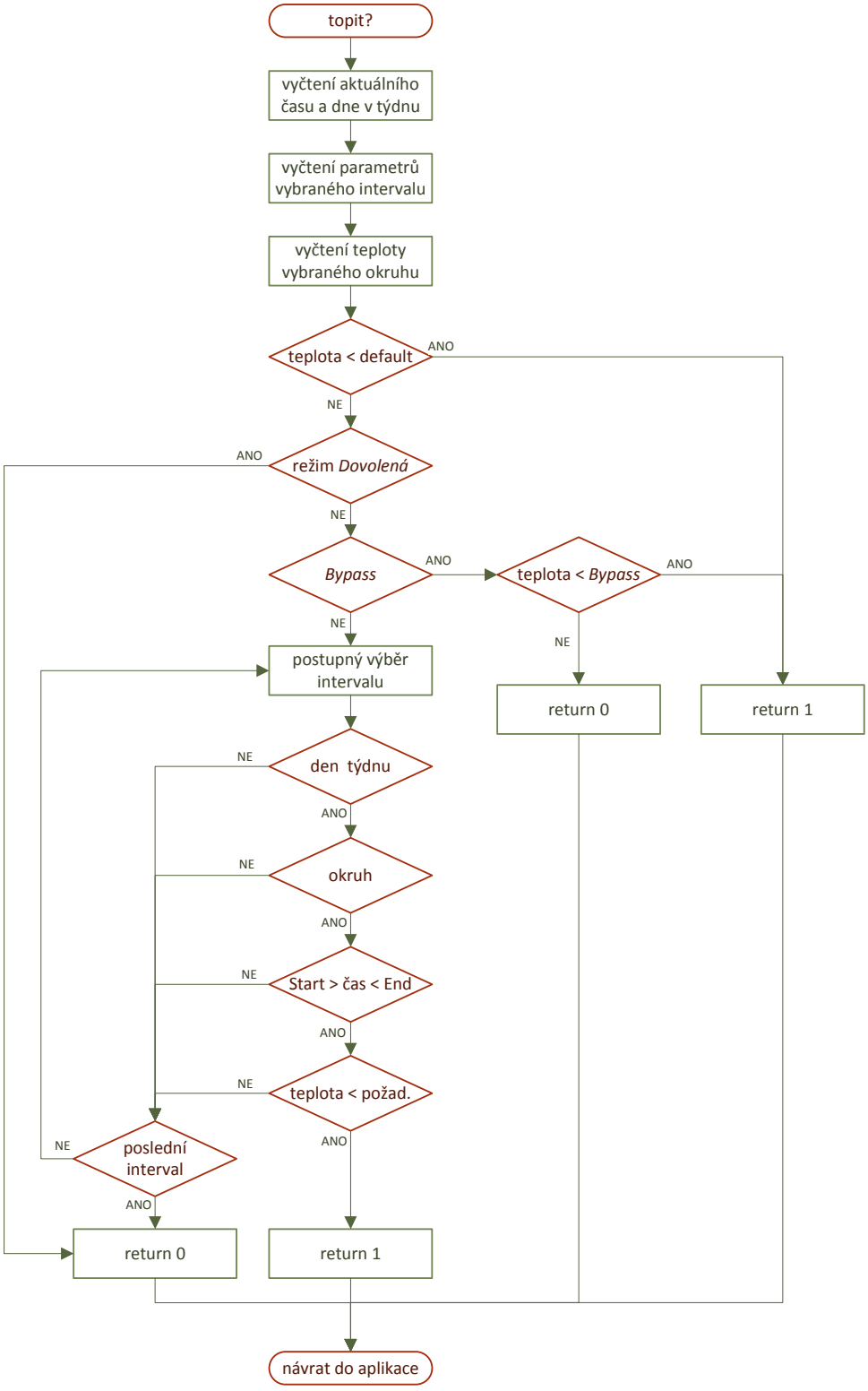
Časová značka DCF77

Přesnost RTC je dána mnoha faktory, ale především kvalitou součástek, hlavně použitého krystalu. Proto je nutné občas RTC synchronizovat. Toho lze běžně docílit čtyřmi způsoby: ručně zadáním údajů z klávesnice, ze signálu GPS (nebo obdobných systémů), ze NTP serverů, nebo z vysílače DCF77. Zvolil jsem formu vyčtení časové značky z vysílače DCF77, k čemuž stačí v ideálním případě krom modulu pouhý jeden pin procesoru. Modul vysílá kladné pulsy široké 100ms (pro log 0) a 200ms (log 1), přičemž vzestupné hrany pulsů jsou od sebe vzdáleny přesně 1s. Po aktivaci rutiny synchronizace je pomocí obsluhy přerušení měřena nejprve mezera mezi pulsy pro zachycení prvního bitu značky [18]. Poté jsou měřeny délky pulsů a vzápětí vyhodnocovány. Po získání a ověření paritních bitů (ve 28s pro minuty, ve 35s pro hodiny a v 58s pro celé datum) je vždy příslušný údaj (hod, min, datum) převeden z BCD kódu a zapsán do proměnné. Po získání celé značky jsou údaje zapsány do obvodu RTC.

[1] Pro budoucí použití je připravena v intervalech i maska pro svátky, kde již bude datum využito

3.4 Vyhodnocení získaných údajů

K rozhodnutí zda otevřít či uzavřít ventily topných okruhů (tedy topit či neto-pit) je nutné pro každý jednotlivý okruh porovnat aktuální údaje se všemi požadavky



Obrázek 17 - Vývojový diagram vyhodnocení požadavků pro jeden topný okruh

uloženými v paměti EEPROM (intervaly). Počet těchto intervalů je omezen pouze velikostí paměti, pro jeden interval je rezervováno 8 bytů. Na obrázku 17 je vývojový diagram vyhodnocení požadavků pro jeden každý topný okruh.

Po vyčtení aktuálních hodnot času a teploty se nejprve ověří teplota proti defaultní, která je minimální udržovanou teplotou pro všechny okruhy. Pro nižší teplotu je funkce opuštěna s návratovým kódem 1 (otevřít ventil příslušného okruhu). V dalším kroku je ověřena existence nastavení režimu *Dovolená*, která v kladném případě vrátí nulu (uzavřít ventily), je tedy hlídána pouze defaultní teplota, všechny ostatní nastavení jsou zcela ignorovány.

Není-li aktivován režim *Dovolená*, zjišťuje se existence nastavení režimu *Bypass*. Ten umožňuje na přechodnou dobu každému okruhu jednotlivě nastavit tzv. *Bypass* teplotu a ostatní nastavení zadané v intervalech ignorovat. Porovnání aktuální teploty s nastavenou je rozhodující pro návratový kód při opuštění funkce. Po uplynutí nastaveného času je režim *Bypass* vypnut.

Nakonec, nejsou-li režimy *Dovolená* a *Bypass* aktivní, se prověří, není-li v některém z intervalů v časovém okně daném údaji *Start* a *End* požadavek na vyšší teplotu než je aktuální. Při nalezení tohoto požadavku je opět funkce opuštěna s návratovým kódem 1. Není-li nalezen požadavek na vyšší teplotu v žádném z intervalů, teprve pak funkce vrací hodnotu 0 (uzavřít ventil okruhu). Po opuštění funkce do hlavní smyčky (ať s návratovým kódem 1 či 0) je zvolen další okruh a vyhodnocovací proces se opakuje (obr. 14).

Tento zvolený přístup řeší vzájemné kolize uživatelských požadavků způsobem „vyšší bere“, kdy je v daném okruhu a časovém okně udržována nejvyšší teplota ze všech intervalů.

4 Realizace prototypu

4.1 Vývojové prostředí

Pro vývoj jednotky bylo zvoleno prostředí Altium Designer australské firmy Altium Ltd. V českém prostoru jej zastupuje firma RETRY s.r.o., jež nabízí prodej li-

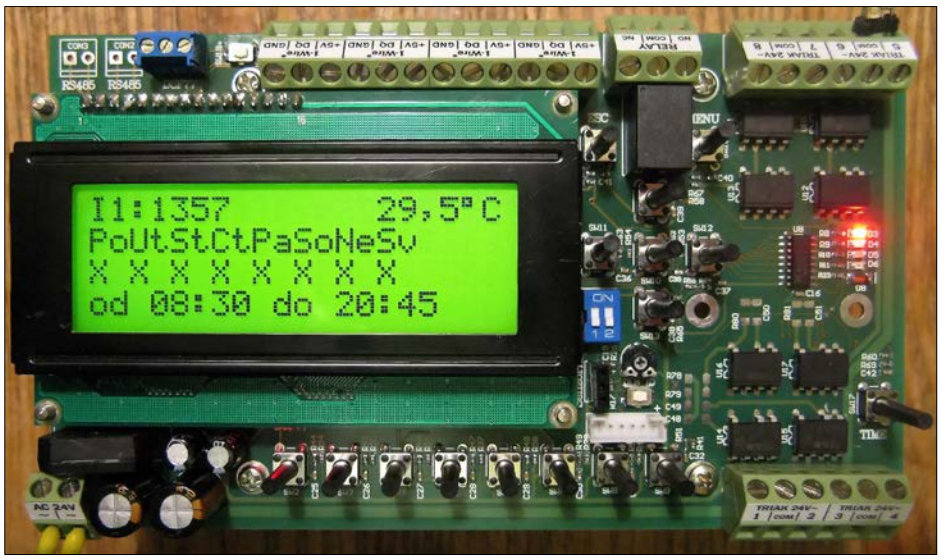
cencí, vývojových kitů a hlavně technickou podporu v českém jazyce. Na jejích webových stránkách [19] je v několika kapitolách celkem obsáhlý manuál, popisující od úplného začátku práci na projektu.

Nejprve je nutné založit projekt, v jehož rámci jsou vytvářeny jednotlivé soubory se schématem projektu, výkresem desky s plošnými spoji, nastaveními výstupů, vygenerovanými výstupy atp. Schéma i vlastní návrh pak lze libovolně upravovat, je však nezbytné promítat, resp. aplikovat změny ve schématu do pcb editoru a naopak.

Přestože Altium disponuje poměrně bohatou knihovnou součástek, bylo nutné některé komponenty vytvořit, především mechanické prvky (konektory,…) a čtyřřádkový LCD displej.

4.2 Osazení PCB desky

Protože je počítáno s nasazením prototypu jednotky do reálného testovacího provozu, bylo nutné jej navrhnout tak, aby bylo možné jej umístit do rozvodné skříně. Z nabídky zásilkového obchodu byla vybrána krabička CP-11-26T firmy Combiplast [20], jejíž vnitřní prostor určil velikost desky a jejíž montážní otvory byly do layoutu desky promítnuty jako první. Následovaly funkční mechanické prvky, konektory a LDC displej. Do zbylého prostoru byly rozmístěny ostatní komponenty. Protože není počítáno se strojním ale pouze s ručním osazováním, bylo možné součástky rozložit i na spodní stranu desky a neohlížet se na ekonomické hledisko montáže.



Obrázek 18 - Osazená deska s plošnými spoji, strana TOP

Kusovou výrobu desek s plošnými spoji dnes již nabízí několik firem, nejvýhodněji v tzv. pool servisu, kdy je na společnou matrici složeno několik různých zakázek a není tak účtována cena za filmové podklady, ale pouze za plochu DPS. Nevýhodou jsou pevně dané (resp. velmi omezené) parametry, jako výsledná tloušťka DPS, mědi, atp., pro tuto práci však více než postačující. Vygenerované soubory s jednotlivými vrstvami je také nutno přejmenovat podle požadavků výrobce.

Jako první byly osazeny součástky napájení, přičemž pulsní zdroj (U2, Allegro A8498) kvůli chladící plošce na spodní straně obvodu (hladina GND) bylo nutné pečlivě prohřát horkovzdušnou pistolí. Po kontrole napětí napájecích hladin (V_{CC}=5V a V_{33}=3,3V) byl osazen zbytek desky, které prvním naprogramováním procesoru a nastavením kontrastu displeje byl vdechnut život.

Projekt se zdrojovými a vygenerovanými soubory je přílohou této práce.

5 Uživatelský manuál řídící jednotky

Centrální řídící jednotka umožňuje udržovat zadanou teplotu v celkem osmi nezávislých prostorech/místnostech, dále jen okruzích. Každý jednotlivý okruh je řízen prostřednictvím triakem spínaných elektrických ventilů, výstupní napětí je 24V AC. Ke každému triaku lze paralelně připojit více ventilů, max. dovolený odběr je 2A. K jednotce lze připojit buď ventily se zapojením bez proudu uzavřeno, nebo bez proudu otevřeno, nelze je však kombinovat. Nastavení typu ovládání ventilů je prostřednictvím přepínače SW18 (DIP1 ON – bez proudu otevřeno, DIP1 OFF – bez proudu uzavřeno) [1].

Teplota každého okruhu je měřena teplotním senzorem DS18S20 nebo DS18B20, připojeným na společnou sběrnici 1-Wire®. Před prvním použitím senzoru je nutné jeho přiřazení k okruhu.

Do paměti jednotky lze vložit až 256 různých uživatelských nastavení parametrů, dále jen intervaly. Každý interval obsahuje údaj o teplotě, která má být udržo-

[1] DIP2 je připraveno pro budoucí použití

vána, v jakých dnech a v jakém čase (začátek a konec) je tento interval aktivní a jakých okruhů se tento interval týká.

Aktuální čas je pravidelně synchronizován (každý den ve 02:00 hod.) s časovou značkou rádiového vysílače DCF77. Podmínkou je připojení rádiového modulu přijímající tento signál. Čas je používán a zobrazován výhradně ve formátu 24h.

5.1 Status monitor

5.1.1 Hlavní informační panel

Obrázek 19 - Display: Status monitor

Na základní obrazovce (obr. 19) jsou zobrazeny aktuální stavy všech instalovaných okruhů. Ty okruhy, které byly při instalaci zakázány, nejsou nikde vizualizovány. Za pořadovým číslem okruhu je lomenou závorkou vyjádřen stav ventilu, znak > značí ventil otevřen, znak < ventil uzavřen. Na poloze přepínače DIP1 pak záleží, jestli je ventil otevřen proudem (DIP1-OFF), či proudem uzavřen (DIP1-ON). Za lomenou závorkou je hodnota aktuální teploty okruhu. V pravé části displeje je zobrazen aktuální čas, den v týdnu a datum. Je-li aktivován režim *Dovolená*, je pod datem vypsáno slovo DOVOL.

Není-li přiřazen okruhu teplotní senzor, nebo je ze sběrnice odpojen, je toto oznámeno textem *err!* namísto aktuální teploty.

5.1.2 Informace o okruhu, bypass požadavků

Obrázek 20 - Display: Režim Bypass

Stisknutím tlačítka okruhu z hlavního informačního panelu lze zobrazit název okruhu, aktuální teplotu a požadavek teploty ze všech zadaných intervalů. Tlačítkem ENTER je aktivována editace režimu *Bypass*, která umožňuje po uživatelem definovanou dobu udržovat v okruhu zadanou teplotu. Blikající kurzor označuje editovanou položku (teplota, hodiny a minuty), mezi těmito položkami se přepíná tlačítky LEFT a RIGHT, tlačítka

UP a DOWN editují označenou položku. Časový interval je omezen na max. 255 hodin a 59 minut. Po ukončení editace se tlačítkem ENTER uloží hodnoty do paměti jednotky. Po výpadku napájení nejsou tyto hodnoty obnoveny.

Bypass režim je možné nastavit pro každý jednotlivý okruh. Je-li pro nějaký okruh režim *Bypass* aktivován, je indikován rozsvícením modré LED diody.

5.2 Hlavní menu

Stiskem tlačítka MENU je zobrazeno hlavní menu nastavení jednotky (obr. 21). Nabízené položky se aktivují stiskem příslušného čísla okruhu. Jednotlivé nabídky lze opustit klávesou ESC. Na reakci uživatele je vymezen čas zhruba necelých pěti vteřin, poté je nabídka opuštěna do vyšší úrovně bez uložení editovaných položek.

Obrázek 21 - Display: Hlavní menu

5.2.1 Editace intervalu

Obrázek 22 - Display: Nastavení intervalu

Interval je soubor uživatelem zadaných požadavků. Jde o časový interval určený počátečním (Start hod a min) a konečným (End hod a min) časem, ve kterém je udržována požadovaná teplota. Dále je nutno určit v jakých dnech a v jakých okruzích má být tento požadavek uplatňován. Výběrem položky číslo 1 z menu (obr. 21) se zobrazí nastavení prvního intervalu (obr. 22). Mezi editovanými položkami se opět přepíná klávesami LEFT a RIGHT. Položky Start hod a min, End hod a min a teplota se editují tlačítky UP/DOWN. Ovšem výběr okruhů a dní v týdnu je prostřednictvím příslušných tlačítek okruhu, opakovaným stiskem je editovaná položka zapínána a vypínána. Zaškrtnutí položky Svátky nemá na řídící jednotku zatím vliv, tato funkce je připravena pro budoucí použití. Stisknutím tlačítka ENTER se editované položky uloží do paměti jednotky. Výpadkem napájení nedojde ke ztrátě uložených intervalů.

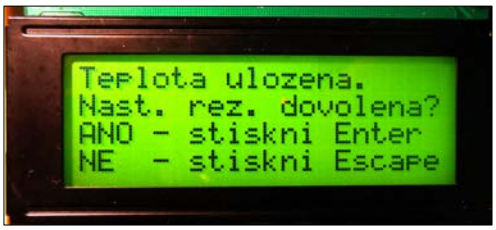
5.2.2 Výmaz přiřazení teplotních senzorů okruhům

Nabídka číslo dvě z hlavního menu (obr. 21) umožňuje odstranění z paměti jednotky již přiřazené adresy senzorů. Volbou zaškrtnutím jednotlivých okruhů a potvrzením tlačítkem ENTER budou vybraným okruhům smazány přiřazené adresy teplotních senzorů. Tato akce není podmínkou pro přiřazení nového senzoru okruhu, nová adresa vždy přepíše starou.

5.2.3 Defaultní teplota, režim dovolená

Poslední, třetí nabídka hlavního menu nastavuje defaultní teplotu, která je udržována ve všech okruzích, není-li nastavena libovolným intervalem jiná teplota. Tlačítky UP/DOWN je možné teplotu upravit a tlačítkem ENTER uložit do paměti (obr. 23). Vzápětí poté je zobrazena nabídka zapnutí (resp. vypnutí) režimu *Dovolená*. Tento režim ignoruje všechna uživatelská nastavení a ve všech instalovaných okruzích udržuje v předchozím kroku nastavenou defaultní teplotu (obr. 24). Výpadek napájení nezpůsobí ztrátu nastavené defaultní teploty a po obnovení napájení řídící jednotka zůstane v původním režimu (normální nebo *Dovolená*).

Obrázek 24 - Display: Nastavení defaultní teploty



Obrázek 23 - Display: Režim dovolená

5.3 Nastavení času

Řídící jednotka pracuje s časem výhradně ve formátu 24h. Systémový čas je udržován a zálohován obvodem RTC, který se automaticky po výpadku napájení přepne na záložní zdroj energie (3V baterie typu CR2032 s výdrží v řádu jednotek let). Synchronizace a prvotní nastavení je možné pouze s modulem přijímajícím časovou značku rádiového vysílače DCF77. Synchronizace je prováděna automaticky každý den ve dvě hodiny ráno, kdy by měly být podmínky pro příjem signálu nejvýhodnější.

Ruční synchronizaci lze spustit tlačítkem TIME. Nejprve jednotka čeká na první bit časové značky. Další průběh příjmu je zobrazen na panelu lcd (obr. 25), kdy se postupně aktualizují jednotlivé údaje. Až po korektním příjmu celé značky jsou všechny uloženy do RTC. V poslední řádce jsou vypisovány pomocné hodnoty pro kontrolu kvality příjmu (délka pulsu, vyhodnocený bit, pořadové číslo bitu a hodnota watchCat[1]).

Obrázek 25 - Display: Synchronizace času se značkou DCF77

5.4 Nastavení teplotních senzorů

Pro správnou funkci řídící jednotky je nutné mít ke každému okruhu přiřazený právě jeden teplotní senzor. Sběrnice 1-Wire® umožňuje identifikaci senzorů pomocí unikátní adresy uložené v paměti ROM senzoru. Tu je nutno při instalaci ze senzoru vyčíst a poté přiřadit k příslušnému okruhu.

Obrázek 26 - Display: Nastavení teplotních senzorů Dallas DS18x20

Vložením senzoru do dutinkové lišty označené na DPS jako SenzorID a stisknutím mikrotlačítka DLS_ID se spustí funkce identifikace senzoru. Vyčtená adresa připojeného senzoru se vypíše na lcd displej (obr. 26) a následně je očekáván stisk tlačítka okruhu 1÷8, ke kterému bude senzor přiřazen. Vzápětí po stisku tlačítka je adresa uložena do paměti EEPROM. Pro poněkud snazší orientaci je na displeji vypsán seznam aktivních okruhů se zkratkami jejich názvů.

Jeden senzor lze přiřadit libovolnému počtu okruhů a spínat tak větší proudové zatížení (ovšem za cenu snížení počtu nezávislých okruhů).

Výpadek napájení nemá vliv na již uložené adresy teplotních senzorů.

[1] Obdoba watchdogu, po překročení nastavené hodnoty je příjem značky ukončen (za cca 10-15 minut)

6 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout, zhotovit a naprogramovat řídící jednotku, která dokáže regulovat teplotu v osmi nezávislých zónách. Návrh elektronického schématu a desky s plošnými spoji byl vytvořen ve vývojovém prostředí Altium. Přestože umožňuje svými rozsáhlými kontrolními mechanismy soustředění vývojáře na řešení vlastního problému, nevyvaroval jsem se při realizaci několika drobným chybám, bohužel i z kategorie hloupých. Především jsem při posledních úpravách před odesláním dps do výroby nepřipojil polygon rozlité mědi k hladině GND. Ve výkresech je již tato chyba odstraněna. Zatím jsem nezjistil žádný vliv nepřipojeného polygonu na provozní vlastnosti prototypu jednotky. Oživení elektroniky proběhlo zcela bez problémů, stejně jako otestování funkčnosti jednotlivých celků, vyjma neosazené části dvou kanálů RS485, připravených pro případné budoucí použití.

Vývoj firmwaru je dlouhodobý, dá se říci nikdy nekončící proces, který musí reagovat jak na nově přicházející požadavky, tak na v budoucnu odhalené chyby v kódu, případně v celém algoritmu. Řídící jednotka v současné době umí změřit teplotu z osmi různých senzorů a na základě vyhodnocení uživatelem zadaných požadavků otevřít či uzavřít ventily topných okruhů. Nevýhodou může být vnímána nutnost provádět všechny zásahy do regulace v místě instalace jednotky, nikoli přímo v konkrétní dotčené zóně.

Skutečné otestování všech provozních vlastností a záměrů autora však dokáže pouze nasazení řídící jednotky do reálného provozu…

7 Seznam použité literatury a zdrojů

[1] G. Häbele, *Elektrotechnické tabulky pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles cz, 2006.

[2] S. Ďaďo and M. Kreidl, *Senzory a měřící obvody*. Praha, Česká republika: Vydavatelství ČVUT, 1999.

[3] Maxim Integrated Inc. (2012). *Guidelines for Reliable Long Line 1-Wire®*. [Online]. Dostupné na: http://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN148.pdf [cit. 25. prosince 2012]

[4] Atmel Corporation (2011, únor). *Documents for ATmega128A, Datasheet Complete (rev.H)*. [Online]. Dostupné na: http://www.atmel.com/Images/doc8151.pdf [cit. 11. března 2013]

[5] Maxim Integrated Inc. (2012, leden). *DS2482-100 Single-Channel 1-Wire Master*. [Online]. Dostupné na: http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS2482-100.pdf [cit. 24. března 2013]

[6] Maxim Integrated Inc. (2009, červenec). *ESD Protection Diode with Resistors*. [Online]. Dostupné na: http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS9503.pdf [cit. 25. března 2013]

[7] Texas Instruments Inc. (2013, únor). *ULN2003A - datasheet*. [Online]. Dostupné na: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2003a.pdf [cit. 19. května 2013]

[8] IVAR CS spol. s r. o. *Elektrotermická hlavice TE3041 - technický list*. [Online]. Dostupné na: http://www.ivarcs.com/?download=_/p.ivar.te3040_te3041/eh_te_3040-3041-3061.pdf [cit. 19. května 2013]

[9] SHARP Corporation (2006, září). *PR36MF51 datasheet*. [Online]. Dostupné na: http://sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/pr36mf51_e.pdf [cit. 19. května 2013]

[10] Maxim Integrated Inc. (2008, únor). *DS1307 I^2C Real-Time Clock - datasheet*. [Online]. Dostupné na: http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf [cit. 02. března 2013]

[11] D. Matoušek, *Číslicová technika - základy konstruktérské praxe*. Praha: BEN - technická literatura, 2001.

[12] STMicroelectronic (2012). *LE33C - datasheet.* [Online]. Dostupné na: http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000545.pdf [cit. 25. března 2013]

[13] Allegro MicroSystems Inc. (2006). *A8498 - datasheet.* [Online]. Dostupné na: http://www.allegromicro.com/~/media/Files/Datasheets/A8498-Datasheet.ashx [cit. 25. března 2013]

[14] MattairTech (2013, duben). *ZeptoProgII User Guide.* [Online]. Dostupné na: http://www.mattairtech.com/docs/ZP-II/ZeptoProg_II_User_Guide.pdf [cit. 20. května 2013]

[15] P. Fleury. (2006) AVR-Software. [Online]. Dostupné na: http://homepage.hispeed.ch/peterfleury/avr-software.html

[16] G. M. Paretas (2007, září). *Using DS18B20 digital temperature sensor on AVR microcontrollers.* [Online]. Dostupné na: http://teslabs.com/openplayer/docs/docs/other/ds18b20_pre1.pdf [cit. 15. března 2011]

[17] P. Stang. (2006, říjen) Library of routines for AVR microcontollers. [Online]. Dostupné na: http://www.amcnicoll.com/avr-liberty-dox/index.html

[18] M. Poupa. (2002) Vše o času. [Online]. Dostupné na: http://home.zcu.cz/~poupa/cas.html

[19] RETRY s.r.o. (2012) České manuály pro Altium Designer. [Online]. Dostupné na: http://www.edatools.cz/support/uvodad.html

[20] TME Czech Republic s.r.o. (2013). *CP-11-26T datasheet.* [Online]. Dostupné na: http://www.tme.eu/cz/Document/444e2ba4aac579a4ffefb93c67e15d92/CP-11-26T.pdf [cit. 14. dubna 2013]

[21] Texas Instruments Inc. (2000, listopad). *LM35, datasheet.* [Online]. Dostupné na: http://www.ti.com/lit/gpn/lm35 [cit. 27. srpna 2012]

[22] Vishay Intertechnology, Inc. (2012, srpen). *NTC thermistors LE100, datasheet.* [Online]. Dostupné na: http://www.vishay.com/docs/29049/ntcle100.pdf [cit. 12. prosince 2012]

[23] T. Liška, *Kontaktní měření teplot.* Plzeň, 2008, Diplomová práce. ZČU v Plzni, FEL, Katedra technologií a měření.

[24] Maxim Integrated Inc. (2008, září). *How to Use the DS2482 I²C 1-Wire® Master.* [Online]. Dostupné na: http://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN3684.pdf [cit. 21. dubna 2012]

[25] Orient display Ltd. (2005, březen). *AMC2004 - datasheet.* [Online]. Dostupné na: http://www.eio.com/admin/images/Downloads/AMC2004A.pdf [cit. 20. srpna 2012]

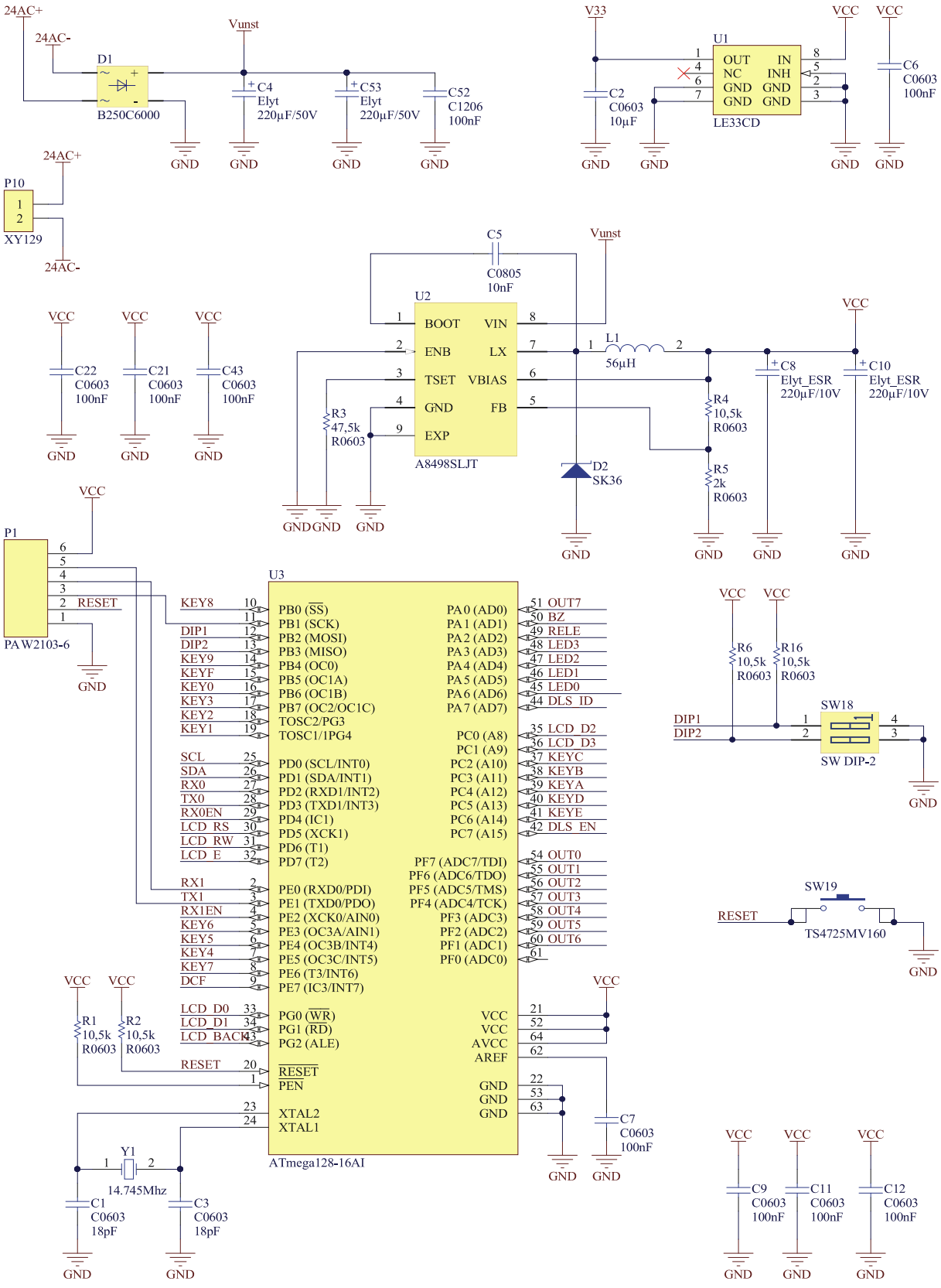
[26] P. Herout, *Učebnice jazyka C.* České Budějovice: nakladatelství KOPP, 2010.

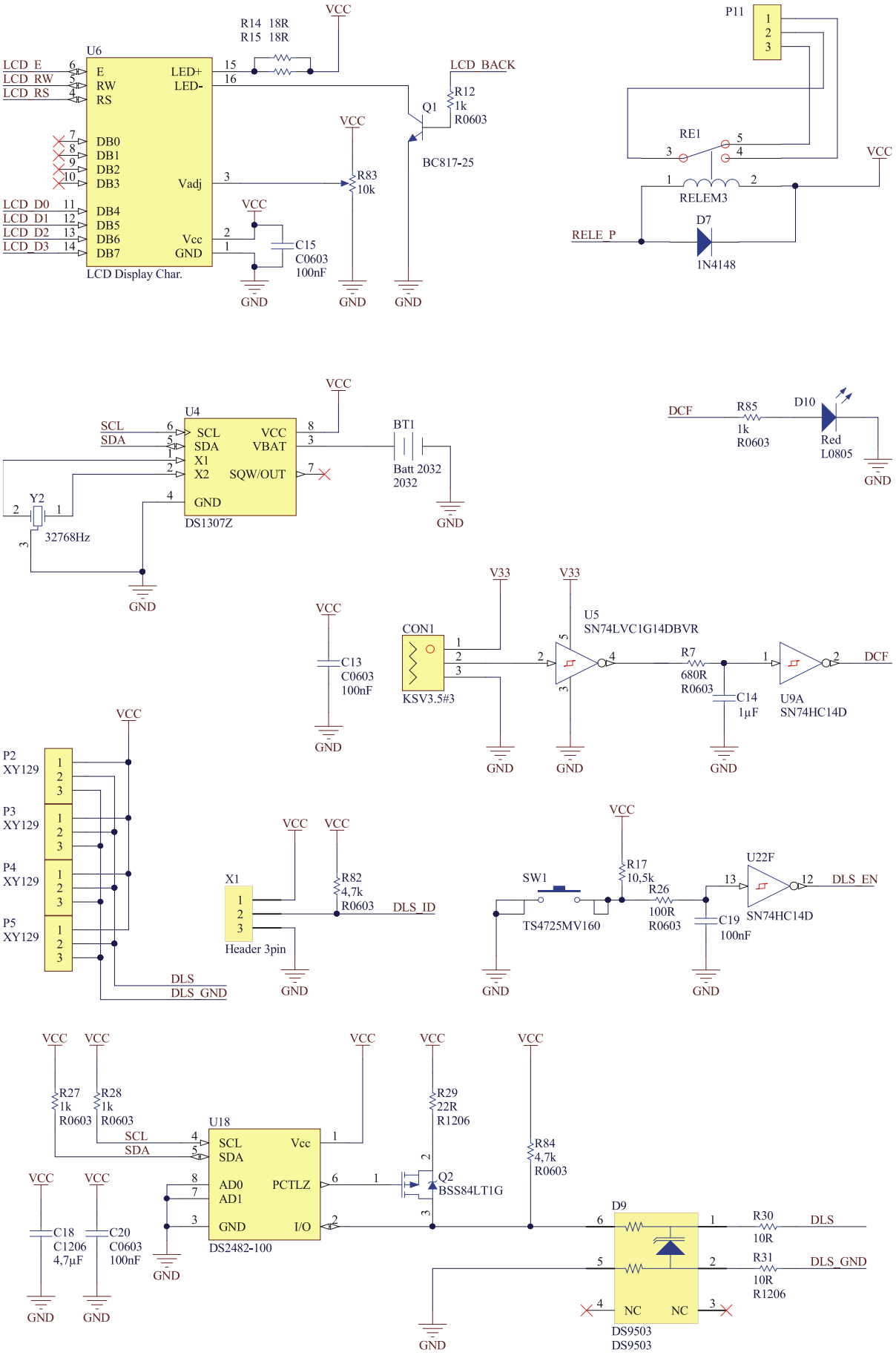
SEZNAM OBRÁZKŮ

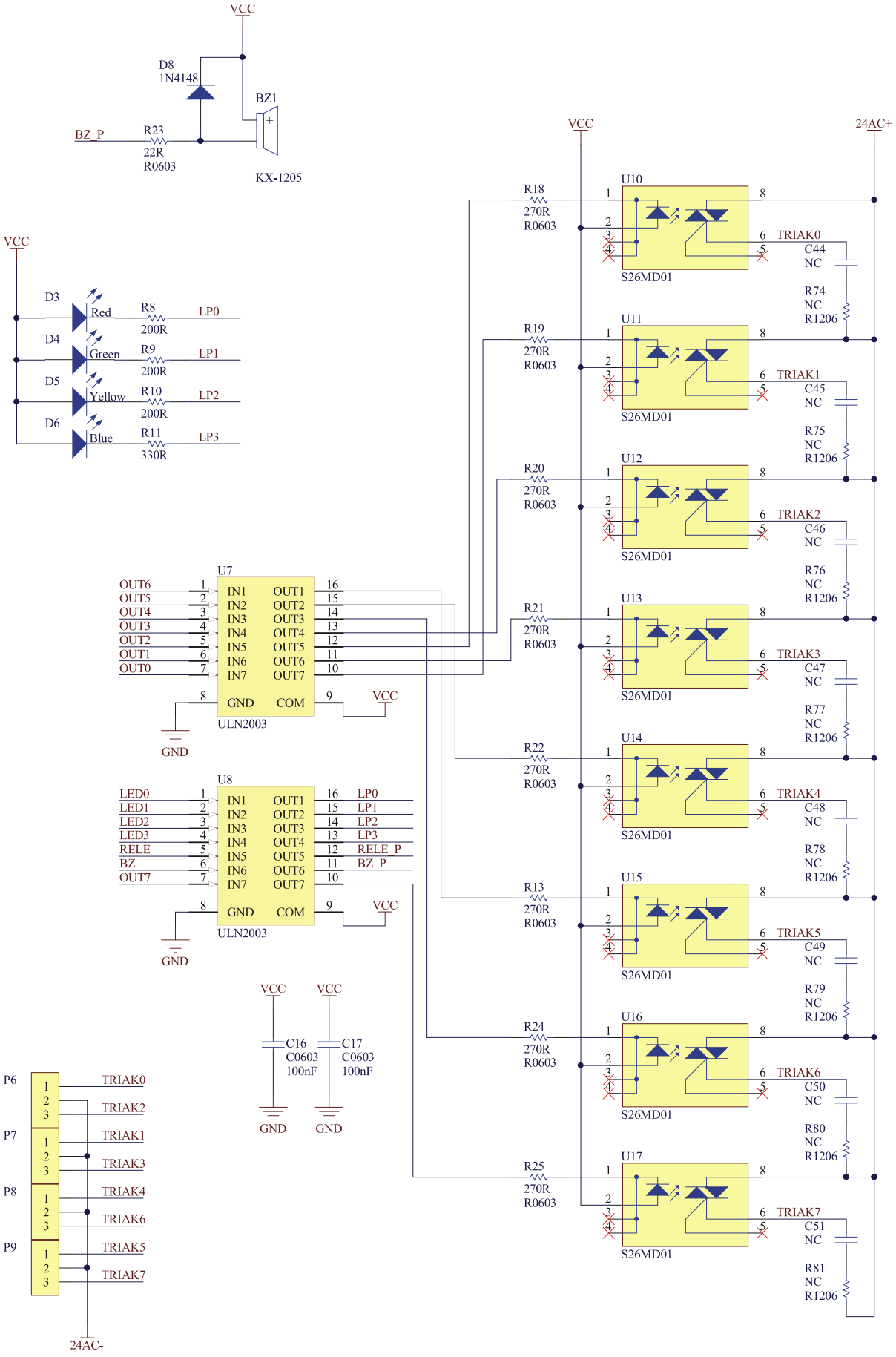
Obrázek 1 - Blokové schéma řídící jednotky 10
Obrázek 2 - Oblast příjemného klimatu v místnosti [1] 10
Obrázek 3 – Teplotní závislosti odporových senzorů teploty [2] 13
Obrázek 4 - Termoelektrický článek [6]. a) Seebeckův jev b) termoelektrické napětí 14
Obrázek 5 - Schéma zapojení µ-procesoru 17
Obrázek 6 - Schéma zapojení 1-Wire® sběrnice 18
Obrázek 7 - Schéma zapojení optotriaků 19
Obrázek 8 – Schéma zapojení relé 20
Obrázek 9 - Schéma zapojení obvodu RTC 20
Obrázek 10 - Schéma zapojení DCF77 21
Obrázek 11 – Schéma zapojení klávesy 21
Obrázek 12 – Schéma zapojení LCD displeje 22
Obrázek 13 - Schéma zapojení napájecích obvodů 23
Obrázek 14 - Vývojový diagram hlavní smyčky 26
Obrázek 15 - Vývojový diagram pro přiřazení senzoru k danému okruhu 28
Obrázek 16 - Vývojový diagram pro vyčtení teploty ze senzoru se zadanou adresou 28
Obrázek 17 - Vývojový diagram vyhodnocení požadavků pro jeden topný okruh 30
Obrázek 18 - Osazená deska s plošnými spoji, strana TOP 32
Obrázek 19 - Display: Status monitor 34
Obrázek 20 - Display: Režim Bypass 34
Obrázek 21 - Display: Hlavní menu 35
Obrázek 22 - Display: Nastavení intervalu 35
Obrázek 24 - Display: Režim dovolená 36
Obrázek 23 - Display: Nastavení defaultní teploty 36
Obrázek 25 - Display: Synchronizace času se značkou DCF77 37
Obrázek 26 - Display: Nastavení teplotních senzorů Dallas DS18x20 37

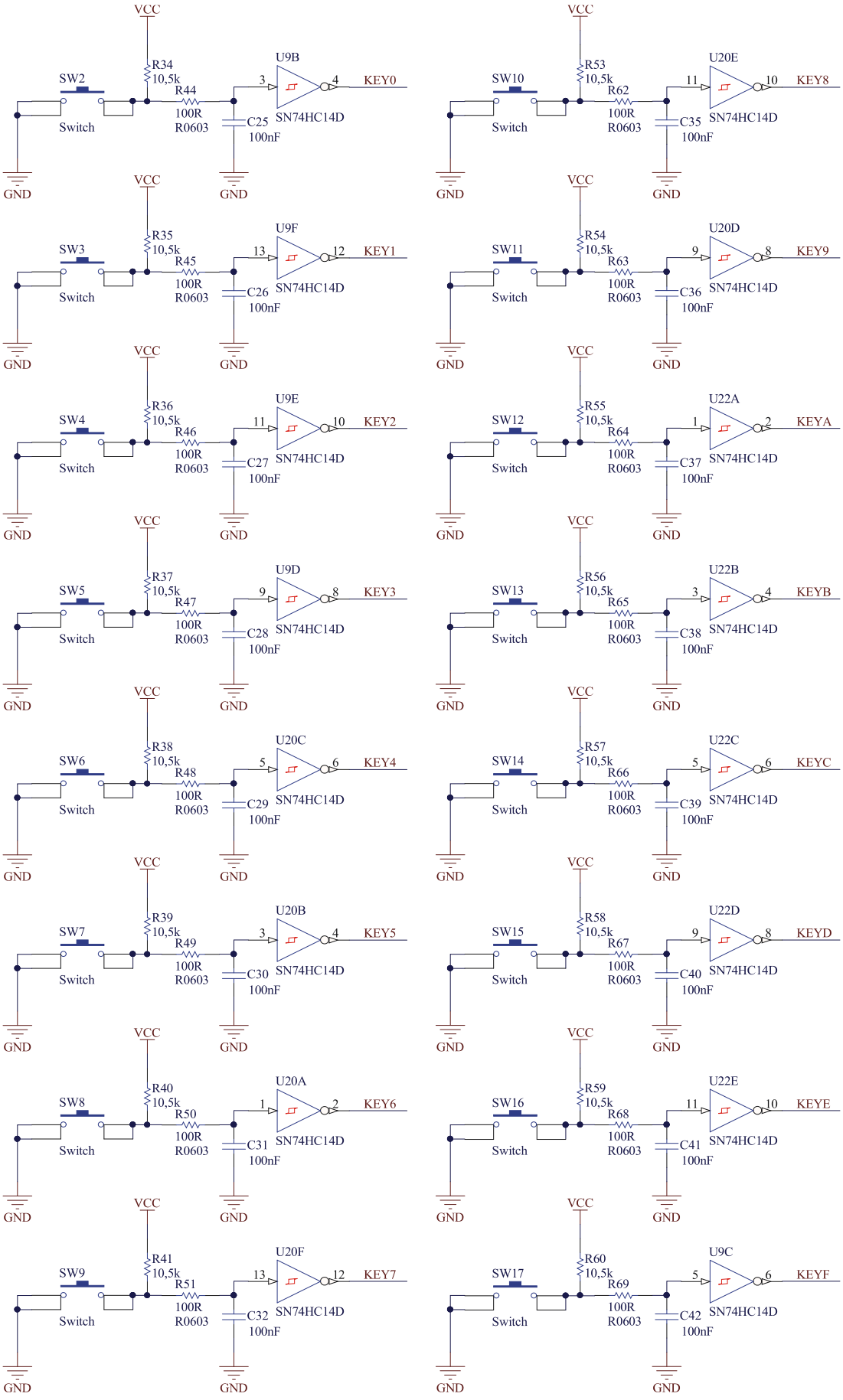
PŘÍLOHY

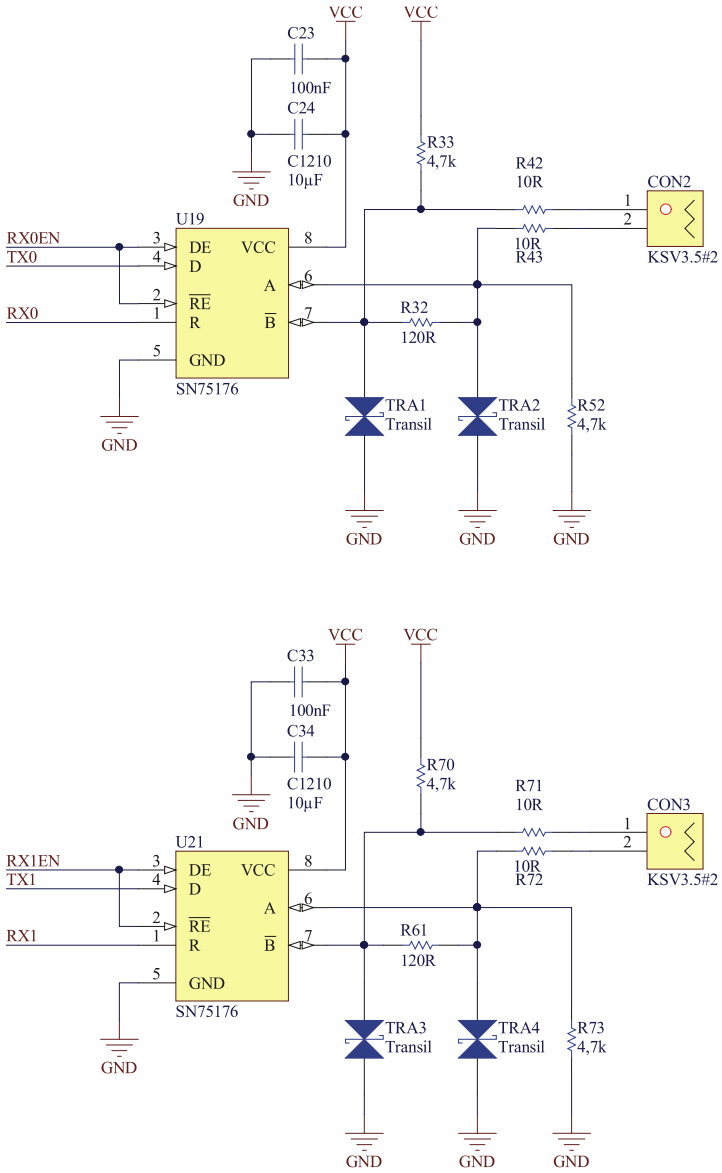
A. Schéma zapojení




U6
LCD_E
LCD_RW
LCD_RS
E
RW
RS
DB0
DB1
DB2
DB3
DB4
DB5
DB6
DB7
LED+
LED-
Vadj
Vcc
GND
LCD_D0
LCD_D1
LCD_D2
LCD_D3
LCD Display Char.
R14 18R
R15 18R
VCC
LCD_BACK
R12
1k
R0603
Q1
BC817-25
R83
10k
C15
C0603
100nF
GND
P11
RE1
RELEM3
RELE_P
D7
1N4148
U4
SCL
SDA
X1
X2
SQW/OUT
VBAT
BT1
Batt 2032
2032
DS1307Z
Y2
32768Hz
DCF
R85
1k
R0603
D10
Red
L0805
C13
C0603
100nF
CON1
KSV3.5#3
V33
U5
SN74LVC1G14DBVR
R7
680R
R0603
C14
1µF
U9A
SN74HC14D
P2
XY129
P3
XY129
P4
XY129
P5
XY129
DLS
DLS_GND
X1
Header 3pin
R82
4,7k
R0603
DLS_ID
SW1
TS4725MV160
R17
10,5k
R26
100R
R0603
C19
100nF
U22F
SN74HC14D
DLS_EN
R27
1k
R0603
R28
1k
R0603
SCL
SDA
U18
AD0
AD1
PCTLZ
I/O
DS2482-100
R29
22R
R1206
R84
4,7k
R0603
Q2
BSS84LT1G
C18
C1206
4,7µF
C20
C0603
100nF
D9
NC
DS9503
R30
10R
R31
10R
R1206


VCC
D8
1N4148
BZ1
BZ_P
R23
22R
R0603
KX-1205
VCC
D3
Red
R8
200R
LP0
D4
Green
R9
200R
LP1
D5
Yellow
R10
200R
LP2
D6
Blue
R11
330R
LP3
U7
OUT6 1
OUT5 2
OUT4 3
OUT3 4
OUT2 5
OUT1 6
OUT0 7
IN1 IN2 IN3 IN4 IN5 IN6 IN7
OUT1 OUT2 OUT3 OUT4 OUT5 OUT6 OUT7
16 15 14 13 12 11 10
8 GND
COM 9
VCC
ULN2003
GND
U8
LED0 1
LED1 2
LED2 3
LED3 4
RELE 5
BZ 6
OUT7 7
IN1 IN2 IN3 IN4 IN5 IN6 IN7
OUT1 OUT2 OUT3 OUT4 OUT5 OUT6 OUT7
16 LP0
15 LP1
14 LP2
13 LP3
12 RELE_P
11 BZ_P
10
8 GND
COM 9
VCC
ULN2003
GND
VCC
VCC
C16
C0603
100nF
C17
C0603
100nF
GND
GND
P6
P7
P8
P9
TRIAK0
TRIAK2
TRIAK1
TRIAK3
TRIAK4
TRIAK6
TRIAK5
TRIAK7
24AC-
VCC
24AC+
R18
270R
R0603
U10
S26MD01
TRIAK0
C44
NC
R74
NC
R1206
R19
270R
R0603
U11
S26MD01
TRIAK1
C45
NC
R75
NC
R1206
R20
270R
R0603
U12
S26MD01
TRIAK2
C46
NC
R76
NC
R1206
R21
270R
R0603
U13
S26MD01
TRIAK3
C47
NC
R77
NC
R1206
R22
270R
R0603
U14
S26MD01
TRIAK4
C48
NC
R78
NC
R1206
R13
270R
R0603
U15
S26MD01
TRIAK5
C49
NC
R79
NC
R1206
R24
270R
R0603
U16
S26MD01
TRIAK6
C50
NC
R80
NC
R1206
R25
270R
R0603
U17
S26MD01
TRIAK7
C51
NC
R81
NC
R1206

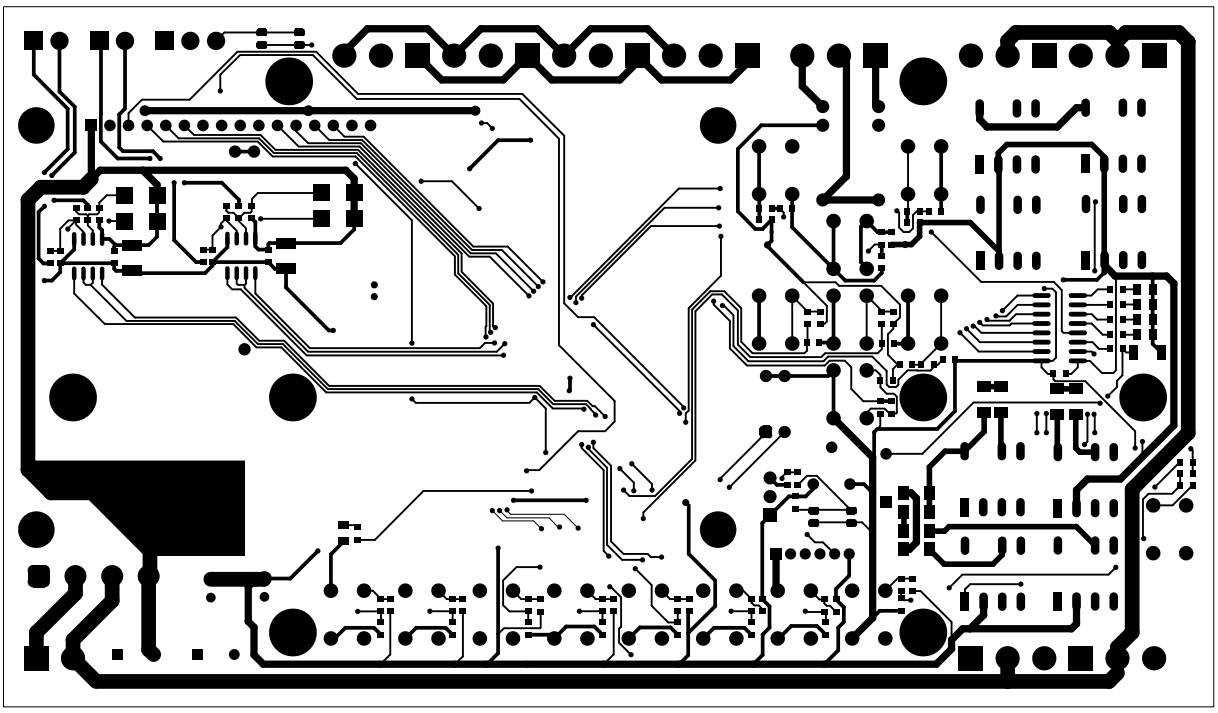

VCC
SW2
R34
10,5k
R44
100R
R0603
C25
100nF
U9B
SN74HC14D
KEY0
Switch
GND
SW3
R35
R45
C26
U9F
KEY1
SW4
R36
R46
C27
U9E
KEY2
SW5
R37
R47
C28
U9D
KEY3
SW6
R38
R48
C29
U20C
KEY4
SW7
R39
R49
C30
U20B
KEY5
SW8
R40
R50
C31
U20A
KEY6
SW9
R41
R51
C32
U20F
KEY7
SW10
R53
R62
C35
U20E
KEY8
SW11
R54
R63
C36
U20D
KEY9
SW12
R55
R64
C37
U22A
KEYA
SW13
R56
R65
C38
U22B
KEYB
SW14
R57
R66
C39
U22C
KEYC
SW15
R58
R67
C40
U22D
KEYD
SW16
R59
R68
C41
U22E
KEYE
SW17
R60
R69
C42
U9C
KEYF


VCC
VCC
C23
100nF
C24
C1210
10µF
GND
R33
4,7k
R42
10R
CON2
U19
RX0EN
TX0
RX0
DE
D
RE
R
GND
VCC
A
B
SN75176
R43
10R
KSV3.5#2
R32
120R
TRA1
Transil
TRA2
Transil
R52
4,7k
GND
GND
GND
GND
VCC
VCC
C33
100nF
C34
C1210
10µF
GND
R70
4,7k
R71
10R
CON3
U21
RX1EN
TX1
RX1
DE
D
RE
R
GND
VCC
A
B
SN75176
R72
10R
KSV3.5#2
R61
120R
TRA3
Transil
TRA4
Transil
R73
4,7k
GND
GND
GND

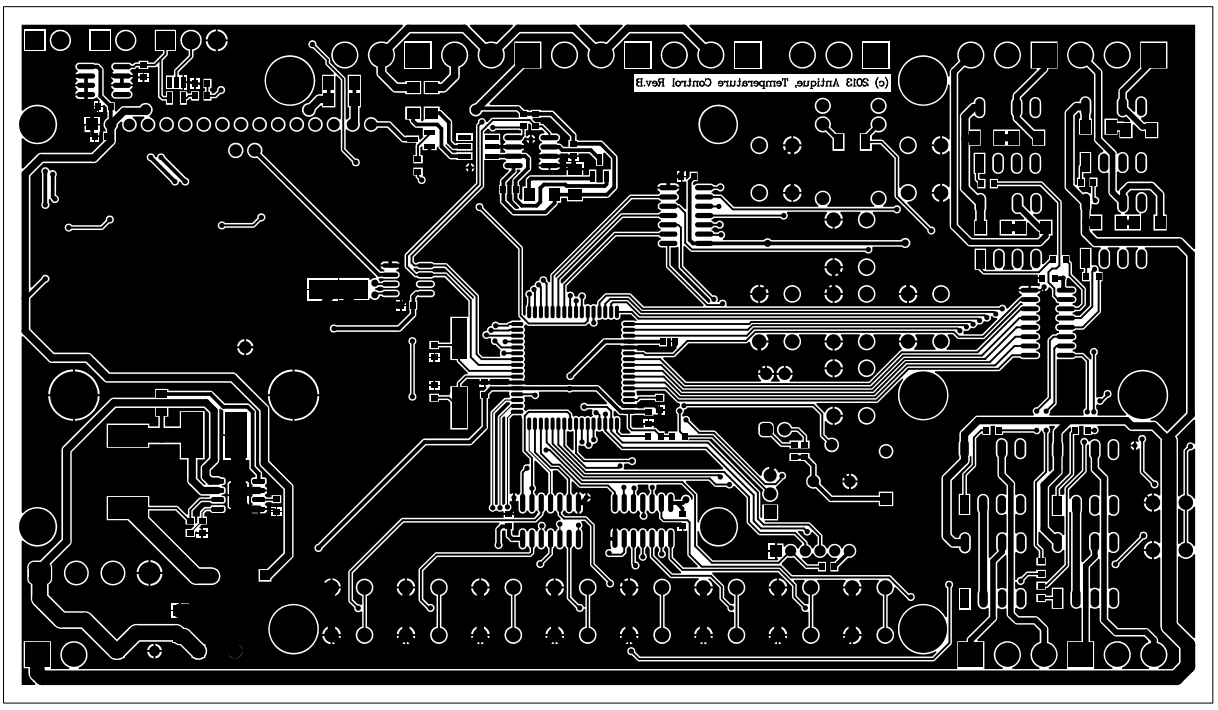
B. Výkresy desky s plošnými spoji

Rozměry desky s plošnými spoji jsou 165×95 mm, všechny uvedené výkresy jsou v měřítku M1:1.

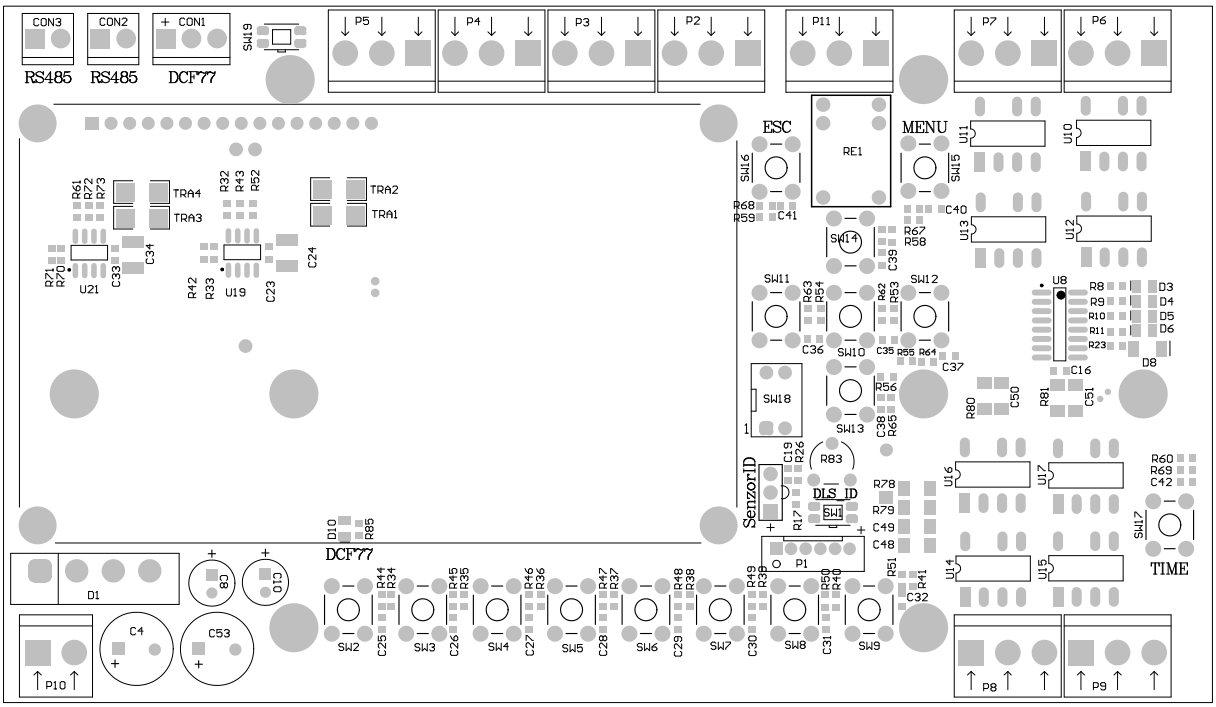
Strana TOP



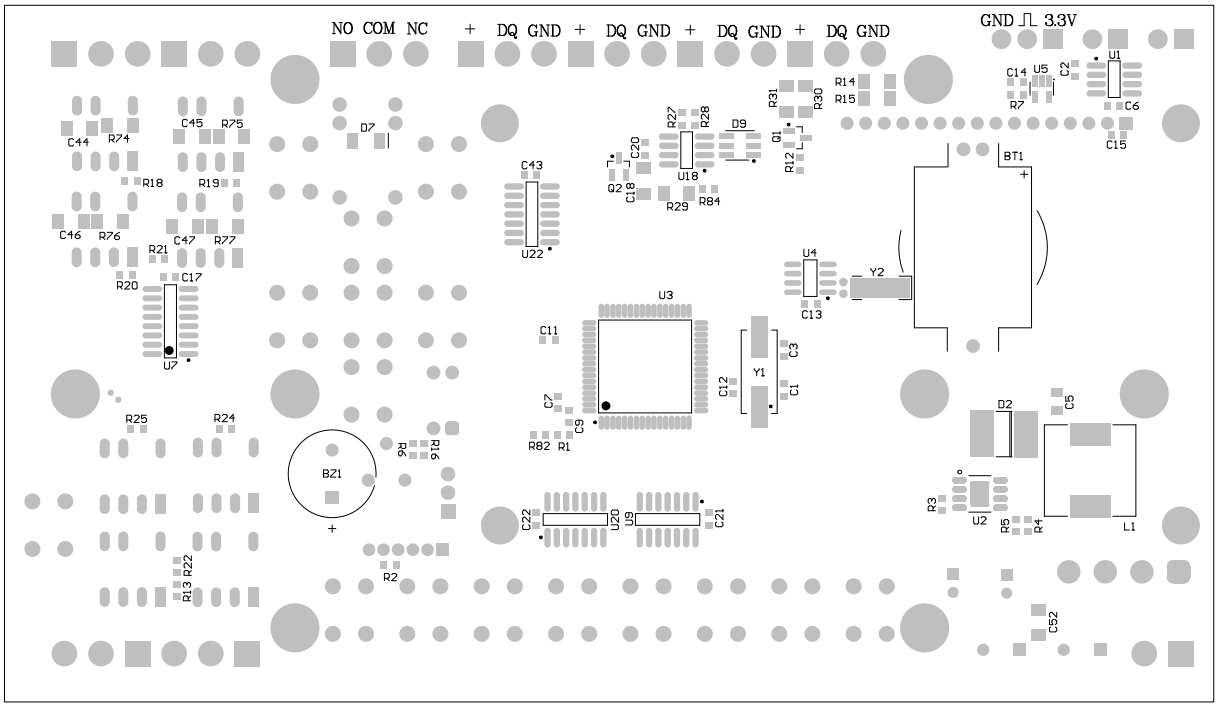
Strana BOTTOM



Osazení strany TOP součástkami



Osazeni strany BOTTOM součástkami



C. Seznam součástek (Bill of Materials)

Qty	Designator	Value	Footprint
1	BT1	CR2032	KEYSTONE_1059
1	BZ1	KX-1205	KX-12xx
2	C1, C3	18pF	SMD0603
1	C2	10µF	SMD0603
2	C4, C53	220µF/50V	CAPPR5-10x16
1	C5	10nF	SMD0805
13	C6, C7, C9, C11, C12, C13, C15, C16, C17, C20, C21, C22, C43	100nF	SMD0603
2	C8, C10	220µF/10V	CAPPR2.5-6.3x11.5
1	C14	1µF	SMD0603
1	C18	4,7µ	SMD1206
17	C19, C25, C26, C27, C28, C29, C30, C31, C32, C35, C36, C37, C38, C39, C40, C41, C42	220nF	SMD0603
8	C44, C45, C46, C47, C48, C49, C50, C51	NC	SMD1206
1	C52	100nF	SMD1206
1	CON1	KSV3.5#3	KSV3.5#3
1	D1	B250C6000	B250CXXXX
1	D2	SK36	SMC/DO214AB
2	D3, D10	Red	LED0805
1	D4	Green	LED0805
1	D5	Yellow	LED0805
1	D6	Blue	LED0805
2	D7, D8	1N4148	LL4148 MINI-MELF
1	D9	DS9503	DSO-C6/D4
1	L1	56µH	WE-PD XXL
1	P1	PAW2103-6	PAW2103-6
9	P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P11		CON XY129V-B_3pin
1	P10		CON XY129V-B_2pin
1	Q1	BC817-25	SOT23
1	Q2	BSS84LT1G	SOT23
5	R1, R2, R4, R6, R16	10,5k	SMD0603
1	R3	47,5k	SMD0603
1	R5	2k	SMD0603
1	R7	680R	SMD0603
11	R8, R9, R10, R13, R18, R19, R20, R21, R22, R24, R25	200R	SMD0603
1	R11	330R	SMD0603
4	R12, R27, R28, R85	1k	SMD0603

Qty	Designator	Value	Footprint
2	R14, R15	18R	SMD1206
17	R17, R34, R35, R36, R37, R38, R39, R40, R41, R53, R54, R55, R56, R57, R58, R59, R60	15k	SMD0603
1	R23	22R	SMD0603
17	R26, R44, R45, R46, R47, R48, R49, R50, R51, R62, R63, R64, R65, R66, R67, R68, R69	100R	SMD0603
1	R29	22R	SMD1206
2	R30, R31	10R	SMD1206
8	R74, R75, R76, R77, R78, R79, R80, R81	NC	SMD1206
2	R82, R84	4,7k	SMD0603
1	R83	10k	PT-6 KV
1	RE1	RELEM3	RELEM3
2	SW1, SW19	TS4725MV160	TS4725MV160
16	SW2, SW3, SW4, SW5, SW6, SW7, SW8, SW9, SW10, SW11, SW12, SW13, SW14, SW15, SW16, SW17	Switch	Switch 6x6 mm
1	SW18	SW DIP-2	DIP Switch - 2
1	U1	LE33CD	SOIC8
1	U2	A8498SLJT	SOIC8_GPAD
1	U3	ATmega128-16AU	64A_N
1	U4	DS1307Z	SOIC8
1	U5	SN74LVC1G14DBVR	SOT23-5
1	U6	LCD Display Char.	LCD Display 20×4 characters
2	U7, U8	ULN2003	SOIC16
3	U9, U20, U22	74HC14	SOIC14
8	U10, U11, U12, U13, U14, U15, U16, U17	S26MD01	DIP7
1	U18	DS2482-100+	SOIC8
1	X1	Header 3pin	HDR1x3V
1	Y1	14.745Mhz	HC49/4H_SMX
1	Y2	32768Hz	TC38-CrystalHor