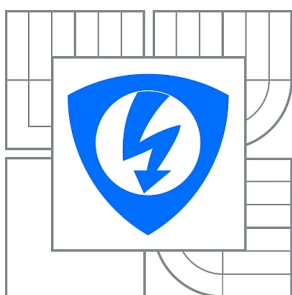




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKA DO OPTICKÉ HLAVICE

HVAC UNIT FOR OPTICAL HEAD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ JANOŠÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ZDENĚK KINCL

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Tomáš Janošík

ID: 136528

Ročník: 3

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Klimatizační jednotka do optické hlavice

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte koncept (schéma zapojení) klimatizační jednotky pro udržování definovaných provozních klimatických podmínek uvnitř optické hlavice. Při návrhu uvažujte průmyslové napájecí napětí 48 V, výkon topného tělesa v řádu 40 W a chlazení pomocí ventilátoru. Jednotka by dále měla umožňovat měření relativní vlhkosti vzduchu uvnitř hlavice, pamatovat si celkovou dobu provozu a diagnostiku poruchových stavů (zadření ventilátoru, spálení topného tělesa). V případě diagnostikované poruchy jednotka vybaví relé. Pro komunikaci jednotky s okolím využijte sběrnici RS-485.

Jednotku kompletně realizujte a změřte její dosažené parametry.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] FRÝZA, T. Soubor přednášek předmětu BMPT (Mikroprocesorová technika a embedded systémy). Brno: FEKT, VUT v Brně, 2010.

[2] HOROWITZ, P., HILL, W. The Art of Electronics (2nd edition). New York: Cambridge University Press, 1989.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 31.5.2013

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Kincel

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Táto práca sa venuje návrhu obvodového zapojenia a konštrukcie klimatizačnej jednotky, určenej na reguláciu teploty a vlhkosti v optickej hlavici. Jednotka je doplnená o funkcie zvyšujúce jej spoľahlivosť, ako kontrola funkčnosti ventilátora, výhrevného telesa, kontrola napájacieho napätia a ukladanie prevádzkových informácií do pamäte. Zariadenie komunikuje s PC cez sériovú linku RS-485. Ďalej je popísaná možnosť prepnúť jednotku do manuálneho režimu, v ktorom sa teplotný interval nastavuje cez odporové trimre. Výsledkom práce je vyrobený funkčný prototyp.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

klimatizačná jednotka, FSO, optická hlavica, teplota, vlhkosť, regulácia, RS-485, ATmega8, EEPROM, I2C

ABSTRACT

This thesis deals with the design of a HVAC unit for temperature regulation inside an optical head. The unit is completed by functions which optimize its reliability such as checking of fan, heating element, monitoring a supply voltage and saving operating information into the memory. The device communicates with PC via serial interface RS-485. There is also described the possibility to switch the unit to a manual mode, in which the temperature interval is setting by a potentiometers. Solution of this thesis is function prototype.

KEYWORDS

HVAC, FSO, optical head, temperature, humidity, regulation, RS-485, ATmega8, EEPROM, I2C

JANOŠÍK, T. *Klimatizační jednotka do optické hlavice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2013. 40 s., 11 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Kincl.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému „Klimatizační jednotka do optické hlavice“ som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, hlavne som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich zákona č. 121/2000 Zb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Zb.

V Brne dňa

.....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu semestrálnej práce Ing. Zdeňkovi Kinclovi za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

V Brne dňa

.....

(podpis autora)

OBSAH

Zoznam obrázkov	vi
Zoznam tabuliek	vii
Úvod	1
1 Návrh hardwarovej časti	2
1.1 Bloková schéma	2
1.2 Napájací zdroj	3
1.3 Popis riadiaceho mikrokontroléra	5
1.4 Tepelný senzor	6
1.5 Senzor vlhkosti	8
1.6 Návrh výhrevného telesa	10
1.7 Popis ventilátora	13
1.8 Nastavenie regulovanej teploty	14
1.9 Diagnostika poruchových stavov	15
1.10 Komunikácia s pamäťou EEPROM	15
1.11 Komunikácia po linke RS-485	17
2 Návrh softwarovej časti	20
2.1 Meranie teploty a vlhkosti	20
2.2 Regulácia klimatických podmienok	22
2.3 Poruchy a ich vyhodnotenie	25
2.4 Zápis prevádzkových informácií do pamäte EEPROM	26
2.5 Meranie času	28
2.6 Komunikácia s okolím	28
3 Návrh konštrukcie	31
3.1 Konštrukcia výhrevného telesa	31
3.2 Rozloženie riadiacej elektroniky	33
4 Výsledky práce	35
4.1 Spínaný zdroj	35
4.2 Kalibrácia teplomera	36

5 Záver	38
Literatúra	39
Zoznam symbolov, veličín a skratiek	40
Zoznam príloh	41

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1.1 Bloková schéma klimatizačnej jednotky	2
Obr. 1.2 Schéma zapojenia napájacieho zdroja pre klimatizačnú jednotku.	5
Obr. 1.3 Popis pinov mikrokontroléra ATmega8 v puzdre TQFP [1].	6
Obr. 1.4 Porovnanie tepelných závislostí odporových senzorov na teplote [3].	8
Obr. 1.5 Schéma zapojenia modulu vlhkosti.	10
Obr. 1.6 Schéma zapojenia výhrevného telesa	12
Obr. 1.7 Priebeh napätia na kontrolnom vodiči ventilátora.	14
Obr. 1.8 Schéma zapojenia spínacieho relé, pre signalizáciu poruchy v zariadení.	15
Obr. 1.9 Schéma pripojenia zariadení na zbernicu I2C.	16
Obr. 1.10 Kombinácia adresného a dátového paketu na zbernici I2C [6].	16
Obr. 1.11 Popis adresného rámca pamäte EEPROM [7].	17
Obr. 1.12 Schéma zapojenia viacerých zariadení na zbernicu RS-485 [8].	18
Obr. 1.13 Graf závislosti maximálnej prenosovej rýchlosti na dĺžke vedenia	18
Obr. 1.14 Schéma zapojenia prevodníka rozhraní USART/RS-485.	19
Obr. 2.1 Vývojový diagram merania teploty	20
Obr. 2.2 Grafické znázornenie spínania ventilátora a výhrevného telesa podľa teploty	23
Obr. 2.3 Vývojový diagram regulácie teploty a vlhkosti.	24
Obr. 2.4 Vývojový diagram kontroly otáčok ventilátora.	25
Obr. 2.5 Príklad nastavenia hraničných hodnôt cez terminál.	30
Obr. 2.6 Príklad výpisu obsahu pamäte.	30
Obr. 3.1 Konštrukcia výhrevného telesa.	32
Obr. 3.2 Fotka výhrevného telesa.	32
Obr. 3.3 Fotka klimatizačnej jednotky.	33
Obr. 3.4 Fotka klimatizačnej jednotky.	34
Obr. 4.1 Graf závislosti účinnosti a výstupného napätia na zaťažení zdroja.	35
Obr. 4.2 Priebeh zvlňenia výstupného napätia bez zaťaženia.	36
Obr. 4.3 Kalibračná krivka tepelného senzoru MCP9700.	37

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1.1 Vlastnosti aktívneho lineárneho termistora MCP9700.....	8
Tab. 1.2 Vlastnosti modulu vlhkosti SY-HS-230.	9
Tab. 2.1 Tabuľka výstupných napätí vlhkostného čidla HS-230A [10].	21
Tab. 2.2 Tabuľka, podľa ktorej program prepočítava hodnotu napätia na vlhkosť.	22
Tab. 2.3 Zoznam mimoriadnych stavov.	26
Tab. 2.4 Usporiadanie externej pamäte EEPROM.	27
Tab. 2.5 Identifikačné značky informácií zapisovaných do EEPROM.	27
Tab. 2.6 Zoznam príkazov pre komunikáciu s klimatizačnou jednotkou.	29

ÚVOD

Moderné trendy v bezdrôtovej vysokorýchlostnej komunikácii sú založené na spojení typu bod-bod, prostredníctvom optického signálu. Takýmto spôsobom komunikujú aj optické hlavice. Používajú sa na vysokorýchlostný prenos informácií z jedného bodu do druhého. Prenosová rýchlosť môže dosahovať až niekoľkých Gb/s. Využíva sa pri tom úzky laserový lúč v infračervenom spektre, takže pre človeka je neviditeľný. Dôležitá je priama viditeľnosť medzi hlavicami, čiže voľný priestor bez prekážok. Preto sa väčšinou umiestňujú na strechy výškových budov, alebo na stožiare. Optické spoje nepodliehajú komerčným poplatkom, a preto majú veľký potenciál do budúcnosti.

Klimatické podmienky vo vnútri hlavice sú ovplyvňované okolitým počasím. Tieto podmienky však nemusia byť vždy priaznivé pre vnútornú elektroniku a optiku. Pracovný rozsah teplôt, pri ktorých môže elektronika spoľahlivo pracovať, závisí na použitých súčiastkach. Keďže vonkajšia teplota môže prekročiť povolený pracovný teplotný rozsah, je potrebné teplotu vo vnútri hlavice regulovať. Okrem teploty ovplyvňuje funkčnosť hlavice aj vnútorná vlhkosť. Tá môže spôsobiť koróziu na vodivých spojoch, prípadne ovplyvniť funkčnosť mikrovlnných súčiastok. Pri vysokej vzdušnej vlhkosti dochádza ku kondenzácii vodných pár a k oroseniu šošoviek. To spôsobuje zhoršenie kvality prijímaného alebo vysielaného signálu. Preto je potrebné do optickej hlavice vložiť klimatizačnú jednotku, ktorá bude udržiavať vhodné klimatické prostredie vo vnútri hlavice.

Klimatizačnú jednotku je vhodné rozšíriť o ďalšie funkcie, aby jej prevádzka bola spoľahlivejšia. Medzi tieto funkcie patrí kontrola funkčnosti ventilátora a výhrevného telesa. Ďalej je užitočné zaznamenávať prevádzkové informácie, ako celkové časy prevádzky klimatizačnej jednotky a nameranú teplotu a vlhkosť vo vnútri optickej hlavice. To umožní spätne kontrolovať účinnosť a funkčnosť klimatizačnej jednotky, prípadne zistiť klimatické podmienky, aké boli v čase nejakej poruchy. Prenos informácií medzi klimatizačnou jednotkou a počítačom, prípadne inou riadiacou jednotkou v optickej hlavici, je realizovaný sériovou linkou RS-485.

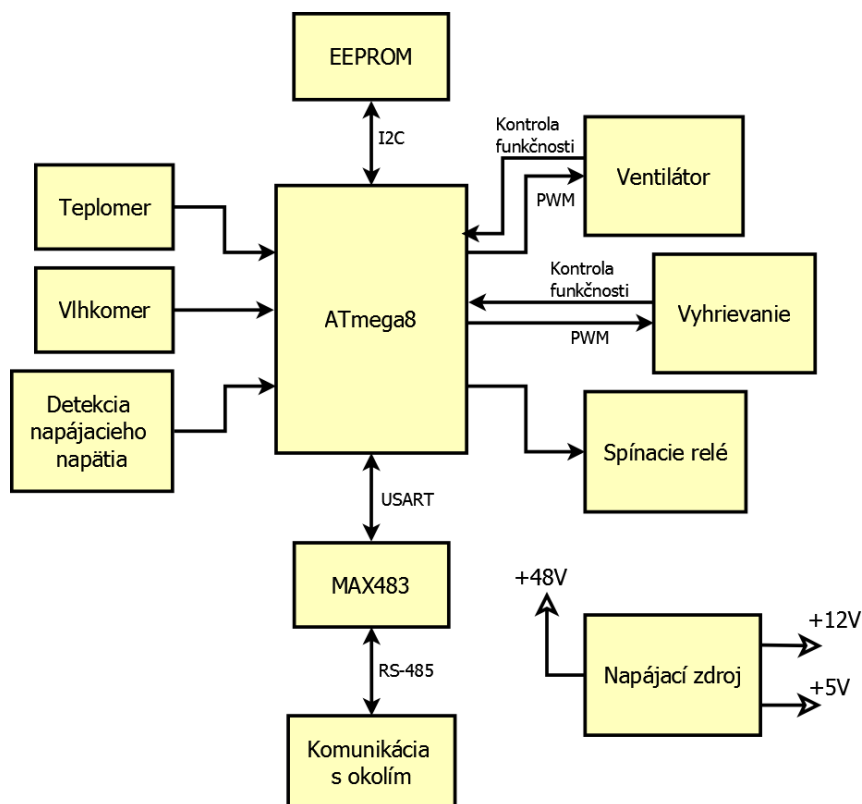
V tejto práci je popísaný návrh celého klimatizačného zariadenia, postupne od návrhu hardvérovej a softvérovej časti až po návrh konštrukcie a realizáciu. Pri návrhu konštrukcie bol kladený dôraz na minimálne rozmery a kompaktnosť celého modulu.

1 NÁVRH HARDWAROVEJ ČASTI

Táto kapitola popisuje návrh a funkciu jednotlivých častí, ktoré sa v klimatizačnej jednotke nachádzajú.

1.1 Bloková schéma

Konštrukcia klimatizačnej jednotky sa dá rozdeliť na niekoľko samostatných funkčných blokov. Na meranie klimatických podmienok vo vnútri optickej hlavice sú určené senzory teploty a vlhkosti. Hodnoty z nich vyhodnocuje mikrokontrolér a podľa potreby spína ventilátor, aby sa zvýšila vnútorná cirkulácia vzduchu a došlo k ochladeniu, alebo aktivuje výhrevné teleso na zvýšenie vnútornej teploty. Správna funkčnosť ventilátora aj výhrevného telesa je neustále kontrolovaná mikrokontrolérom a v prípade poruchy zopne spínacie relé. Do pamäte EEPROM sa pravidelne zapisujú informácie o prevádzke zariadenia. Detekcia napájacieho napätia slúži na rozpoznanie výpadku napájacieho napätia, aby sa mohli dôležité informácie z registrov mikroprocesora prepísať do EEPROM a nedošlo k ich strate. Na komunikáciu s okolím je využitá linka RS-485 a ako prevodník rozhraní je použitý obvod MAX483. Na obr.1.1 je návrh blokovej schémy. Jednotlivé bloky sú podrobnejšie popísané v nasledujúcich kapitolách.



Obr. 1.1 Bloková schéma klimatizačnej jednotky

1.2 Napájací zdroj

Klimatizačná jednotka je napájaná priemyslovým napájacím napätím 48 V. Pri návrhu zdroja sa vychádza z nasledujúcich požiadaviek na napájanie jednotlivých komponentov:

- +48V – Napájanie výhrevného telesa o výkone 40 W a napájanie spínaného zdroja. Toto napätie jej cez odporový delič privedené na komparátor, ktorý slúži ako detektor výpadku napájacieho napätia.
- +12V – Napájanie ventilátora a spínacieho relé. Na toto napätie je pripojený aj záložný kondenzátor, ktorý uchováva energiu, potrebnú na zápis dôležitých informácií do pamäte EEPROM, v prípade výpadku napájacieho napätia 48 V.
- +5V – Stabilizované napätie získane zo stabilizátora 78L05, ktorým je napájaný mikrokontrolér ATmega8 a všetky použité integrované obvody. Odoberaný prúd z tohto zdroja je rádovo 20 mA. Stratový výkon na stabilizátore potom bude 140 mW podľa (1.1).

$$P_{str} = \Delta U \cdot I = (12 - 5) \cdot 0,02 = 0,14 \text{ W}, \quad (1.1)$$

kde P_{str} je stratový výkon na stabilizátore, ΔU je rozdiel napätí na vstupe a výstupe stabilizátora a I je celkový prúd.

- +5-LC – napätie +5 V vyfiltrované LC filtrom, aby sa minimalizovalo rušenie. Toto napätie slúži na napájanie AD prevodníka, senzoru vlhkosti a senzoru teploty.
- Vref – Zdroj referenčného napätia 2,5 V, ktorý slúži ako externá referencia mikroprocesora pre AD prevodník. Ďalej je toto napätie pripojené na napäťové deliče tvorené trimrami R10 a R11, ktorými sa dá nastaviť teplotný interval, po prepnutí do manuálneho režimu. Stabilita a presnosť tohto napätia je teda v oboch prípadoch veľmi dôležitá. Použitá je preto napäťová referencia od výrobcu Texas Instruments LM431. Maximálny vstupný prúd referenčného obvodu je 10 mA. Hodnota rezistora R1 sa vypočíta podľa (1.2)

$$R1 = \frac{\Delta U}{I} = \frac{5 - 2,5}{0,01} = 250 \Omega, \quad (12)$$

kde ΔU je rozdiel napätí na vývodoch rezistora a I je prúd rezistorom obmedzený na maximálnu hodnotu referenčného zdroja. Vypočítanú hodnotu je potrebné zaokrúhliť na hodnotu 270Ω, ktorá je dostupná vo výrobnej rade E12.

Celkový prúdový odber riadiacej časti a jedného ventilátora je rádovo 200 mA. Pri použití lineárneho zdroja by podľa (1.3) vznikli straty až 7,2 W.

$$P_{str} = \Delta U \cdot I = (48 - 12) \cdot 0,2 = 7,2 \text{ W} \quad (1.3)$$

kde P_{str} je stratový výkon na stabilizátore, ΔU je rozdiel napätí na vstupe a výstupe stabilizátora a I je celkový prúd. Preto je použitý spínaný DC/DC menič, ktorého účinnosť je oveľa vyššia, rádovo 80-90 %. Lineárny zdroj by mal podľa (1.4) účinnosť 25 %.

$$\eta_{lin} = \frac{U_{out} \cdot I}{U_{in} \cdot I} \cdot 100 = \frac{U_{out}}{U_{in}} \cdot 100 = \frac{12}{48} \cdot 100 = 25 \% \quad (1.4)$$

Spínaný zdroj je riadený obvodom LM5007 s maximálnym vstupným napätím 80 V. Navrhnutý je na výstupný výkon 6 W, čo predstavuje pri výstupnom napätí 12 V maximálny odber 500 mA. To je dostatočná rezerva pre prípad, že by bolo potrebné zapojiť súčasne dva ventilátory. Obvodové zapojenie zdroja je na obr.1.2.

Na vstup zdroja sú zaradené ochranné prvky, ako transil a dióda. Prahové napätie transilu je 60 V a slúži ako ochrana pred napäťovými špičkami. Dióda chráni zariadenie pred opačnou polaritou na napájacích svorkách. Výstupné napätie spínaného meniča sa nastavuje odporovým deličom R4 a R6 podľa vzorca (1.5)

$$V_{out} = 2,5 \cdot \frac{R4 + R6}{R6} \quad (1.5)$$

Požadované výstupné napätie je 12 V a hodnota R6 je zvolená 1 k Ω . R4 sa potom dopočíta podľa (1.6)

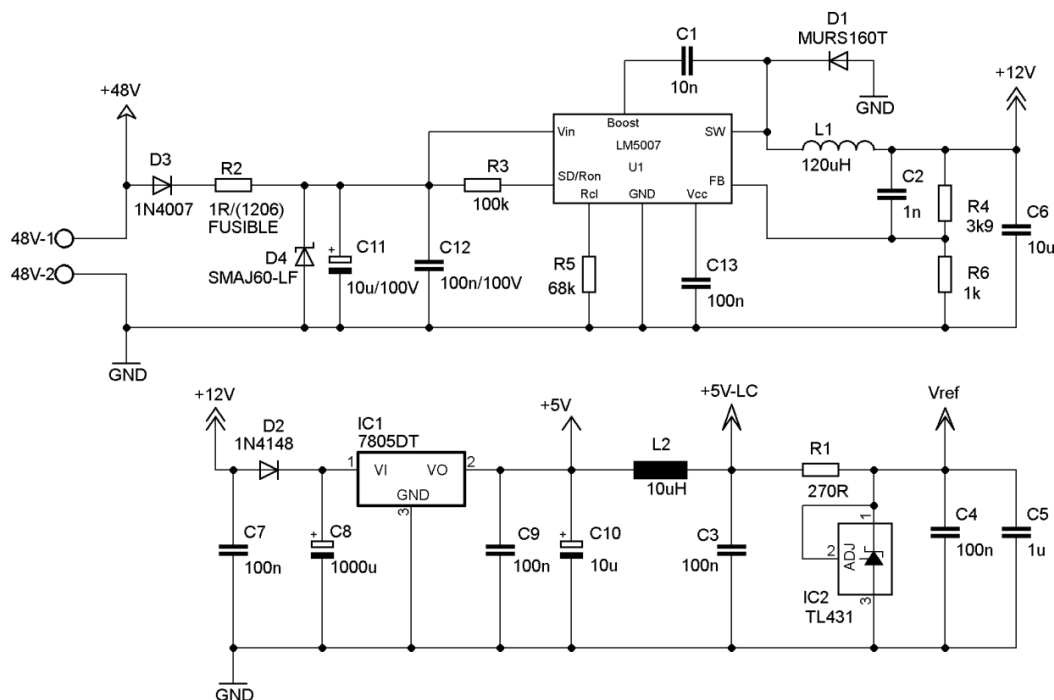
$$R4 = \frac{R6 \cdot V_{out}}{2,5} - R6 = \frac{1 \cdot 12}{2,5} - 1 = 3,8 \text{ k}\Omega \approx 3,9 \text{ k}\Omega \quad (1.6)$$

Frekvencia spínania sa nastavuje rezistorom R3 podľa vzťahu (1.7)

$$F = \frac{V_{out}}{1,42 \cdot 10^{-10} \cdot R3} = \frac{12}{1,42 \cdot 10^{-10} \cdot 100 \cdot 10^3} = 845 \text{ kHz} \quad (1.7)$$

Kondenzátor C1 slúži ako nábojová pumpa pre integrovaný N-MOSFET tranzistor, ktorý na zopnutie potrebuje väčšie napätie ako má privedené na Source. Rezistorom R5 sa aktivuje interná nadprúdová ochrana a rezistor R2 znižuje prúdové rázy pri nabíjaní C11 a súčasne má funkciu poistky. Ak sa vybaví transil D4, rezistor sa prepáli. Dióda D1 umožňuje, aby pretekal tlmičkou prúd aj vo chvíli, keď je vypnutý spínací tranzistor.

Podľa návrhovej aplikácie Webench od spoločnosti Texas Instruments by mala byť účinnosť spínaného meniča 82 % pri odbere 200 mA a celkové výkonové straty 0,6 W.



Obr. 1.2 Schéma zapojenia napájacieho zdroja pre klimatizačnú jednotku.

Kondenzátor C8 je do obvodu zapojený ako zásobník energie, potrebnej pre zápis informácií z mikrokontroléra do pamäte EEPROM po výpadku napätia. Kapacita kondenzátora musí byť taká, aby 100 ms po výpadku mohol dodávať potrebnú energiu pre mikrokontrolér a EEPROM. Čas 100 ms je zvolený ako bezpečná doba, za ktorú by mal mikrokontrolér vykonať všetky potrebné príkazy. Pracovné napätie mikrokontroléra ATmega8L je 2,7 V až 5,5 V a pamäte EEPROM 2,5 V až 5,5 V. Takže minimálne napätie na kondenzátore je 2,7 V plus úbytok napätia na stabilizátore IC1 2 V, čo je 4,7 V. V idealizovanom prípade je vybíjajúci prúd kondenzátora konštantný a je maximálne 20 mA. Hodnota kapacity sa potom vypočíta podľa (1.8) a (1.9),

$$Q = I \cdot t \quad (1.8)$$

$$C = \frac{Q}{\Delta U} = \frac{I \cdot t}{\Delta U} = \frac{0,02 \cdot 0,1}{12 - 4,7} = 274 \mu\text{F} \quad (1.9)$$

kde Q je celkový náboj, I je vybíjajúci prúd kondenzátora, t je čas, za ktorý by napätie na kondenzátor nemalo klesnúť pod 4,7 V a ΔU je povolený pokles napätia na kondenzátore. Zvolená hodnota kapacity je 1000 μF , čo s dostatočnou rezervou pokryje energetické požiadavky.

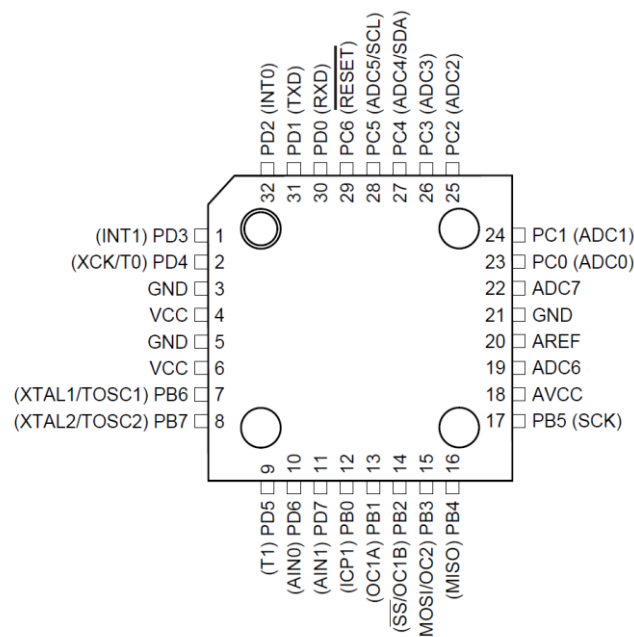
1.3 Popis riadiaceho mikrokontroléra

Riadenie celého zariadenia má na starosti osembitový mikrokontrolér od firmy Atmel, typ ATmega8L. Do riadenia klimatizačnej jednotky sú zapojené takmer všetky periférie, ktoré tento mikrokontrolér obsahuje. Konkrétne sú to všetky komunikačné

rozhrania, SPI, TWI (I2C), USART, ďalej je to päť AD prevodníkov, analógový komparátor a PWM signál na dvoch výstupných pinoch.

Napájanie mikroprocesora a jeho periférií zabezpečujú tri odlišné napätia. Hlavné napájacie napätie +5V je pripojené na piny označené VCC. Napájanie +5V-LC je vyfiltrované LC filtrom a pripojené na pin označený AVCC, ktoré napája AD prevodník. Napätie označené ako Vref a pripojené na pin AREF a slúži ako externá referencia mikroprocesora pre AD prevodník. Pre správnu synchronizáciu komunikačných rozhraní, hlavne RS-485, je potrebné zabezpečiť presnú a stabilnú hodnotu hodinového signálu. Preto je ako zdroj hodinového signálu použitý 8 MHz kryštál.

Tak, ako aj väčšina súčiastok, je aj mikrokontrolér v puzdre pre SMD montáž. Označenie jednotlivých pinov je na obr.1.3.



Obr. 1.3 Popis pinov mikrokontroléra ATmega8 v puzdre TQFP [1].

1.4 Tepelný senzor

Tepelným senzorom sa meria vnútorná teplota v optickej hlavici. Na meranie teploty existuje na trhu veľké množstvo senzorov, takže je pomerne jednoduché vybrať si presne to, čo je najvýhodnejšie, či už cenovo, alebo presnosťou merania. Požiadavky na senzor nie sú až tak náročné, keďže nebude súčasťou zariadenia na presné meranie teploty. Na reguláciu okolitej teploty v určitom rozsahu, pre správnu funkčnosť optickej hlavice, postačuje presnosť senzoru v jednotkách °C.

Princípom merania teploty každého senzoru je premena teploty na inú fyzikálnu veličinu, s ktorou sa ďalej pracuje. Meranie teploty pomocou tepelných senzorov je preto vždy nepriame. Podľa fyzikálneho princípu sa senzory delia na odporové, termoelektrické, polovodičové s PN prechodom, dilatačné, optické, radiačné, chemické, šumové, akustické, magnetické a iné[2].

Kovové odporové senzory fungujú na princípe tepelnej závislosti odporu kovu. To znamená, že so zvyšujúcou teplotou kovu sa zvýši pohyblivosť častíc kryštálovej mriežky kovu, ktoré spôsobia zvýšenie počtu zrážok s elektrónmi tvoriacimi elektrický prúd. Tým sa zvyšuje odpor materiálu. Na výrobu odporových kovových sensorov sa najčastejšie používajú materiály ako platina, nikel, Balco(Ni-Fe), meď a molybdén. Z uvedených materiálov sa v priemysle najčastejšie používajú platinové senzory. Platina má špeciálne vlastnosti, ako napríklad časová stálosť, vysoká teplota topenia a chemická odolnosť. Teplotný rozsah v ktorom sa dá platinový senzor použiť je -20°C až 850°C [2]. Nevýhodou týchto sensorov je vysoká cena a malá citlivosť.

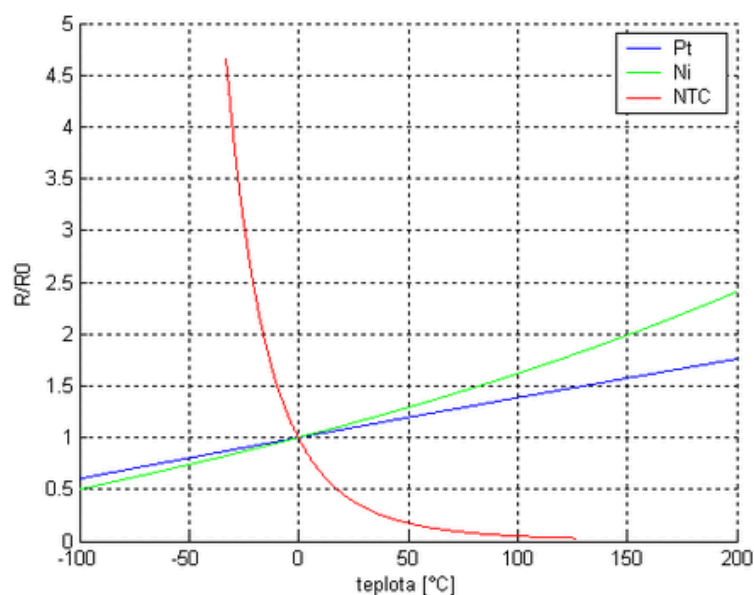
Polovodičové odporové senzory využívajú teplotnú závislosť odporu, tak ako tomu je u kovových odporových sensorov. Tu je dôležitá závislosť koncentrácie nosičov náboja na teplote. Polovodičové odporové senzory sa delia na termistory a monokryštalické odporové senzory. Termistor je tepelne závislý odpor zhotovený z polovodičových feroelektrických keramických materiálov. V závislosti na materiále má termistor buď záporný alebo kladný teplotný súčiniteľ. Delia sa teda na dve skupiny:

- Negastor alebo NTC termistor (Negative Temperature Coefficient) – má veľký záporný súčiniteľ odporu.
- Pozistor alebo PTC termistor (Positive Temperature Coefficient) – má veľký kladný súčiniteľ odporu [2].

Negastory sa na meranie teploty využívajú v elektronike najčastejšie. Tepelný rozsah u bežných negastorov je od -50°C do $+150^{\circ}\text{C}$ a v extrémnych prípadoch je maximálna teplota až 1000°C . Základne vlastností negastorov sú:

- Tepelný súčiniteľ odporu je záporný
- Široký rozsah hodnôt odporu od $0,1\ \Omega$ až do niekoľko $\text{M}\Omega$
- Majú veľkú citlivosť
- Malé rozmery
- Sú vhodné na meranie zmeny teploty v krátkom čase
- Voči platinovým sensorom sú časovo nestále a menej stabilné
- Nevýhodou je nelinearita [2]

Porovnanie tepelnej závislosti odporu negastoru s platinovým sensorom a s niklovým sensorom je na obr.1.4. Na zvislej osi je vynesенý pomer odporu senzoru R pri meranej teplote a odporu senzoru R_0 pri teplote 0°C .



Obr. 1.4 Porovnanie tepelných závislostí odporových senzorov na teplote, Pt- platinový senzor, Ni- niklový senzor, NTC- negastor [3].

Nevýhodou doteraz spomenutých senzorov je prevod teploty na odpor. Spracovávanie tejto veličiny mikrokontrolérom nie je to najjednoduchšie riešenie merania teploty. Pre jednoduchosť spracovania hodnoty teploty je najvhodnejšie merať napätie, ktoré sa so zvyšujúcou teplotou lineárne zvyšuje. Tieto podmienky spĺňa napríklad aktívny lineárny termistor MCP9700 od spoločnosti Microchip. Pre lepší kontakt s okolitým vzduchom je použitý senzor v puzdre TO-92. Vlastnosti vybraného senzoru MCP9700 sú uvedené v tab.1.1.

Tab. 1.1 Vlastnosti aktívneho lineárneho termistora MCP9700.

Merací rozsah	-40...+125 °C
Tolerancia	±2 °C
Napájacie napätie	2,3...5,5 V DC
Tepelný koeficient	10 mV/°C
Výstupné napätie pri 0°C	500 mV
Cena	6 Kč

1.5 Senzor vlhkosti

Senzor vlhkosti slúži na meranie vlhkosti vzduchu v optickej hlavici. Zvýšená vlhkosť vo vnútri hlavice môže spôsobiť kondenzáciu vodných pár na šošovkách vo vnútri zariadenia alebo koróziu vodivých spojov. Zníženie vnútornej vlhkosti v optickej hlavici je riešené aktiváciou vyhrievania a zvýšením vnútornej teploty.

Na meranie vlhkosti sa najčastejšie používajú odporové a kapacitné senzory. Odporový senzor vlhkosti využíva zmenu vodivosti, ktorá u niektorých hygroskopických (vodu pohlcujúcich) materiálov sprevádza absorpciu vody. Medzi výhody tohto senzoru patrí veľká presnosť (desatiny %RH) a pomerne dobrá stabilita. Nevýhodou je, že senzor je citlivý na orosenie (kondenzáciu) a nejde ho použiť pri vyšších teplotách [4]. Taktiež meranie vodivosti pomocou mikrokontroléra by bolo zbytočnou komplikáciou.

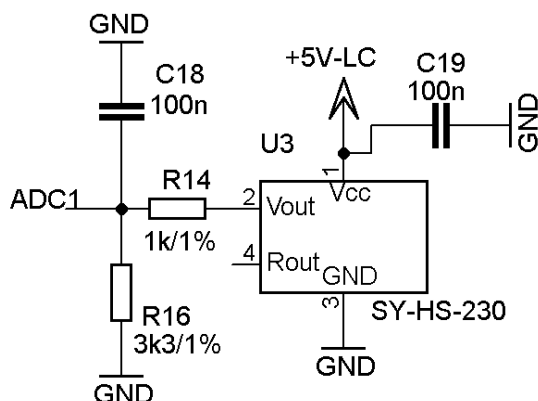
Absorpciu vody v polymérových materiáloch využívajú aj kapacitné senzory. Sledovanou veličinou je u nich zmena kapacity kondenzátoru, v ktorom je dielektrikom polymér. Jedna z elektród je dierovaná, umožňujúca okolitému vzduchu kontakt s dielektrikom. Aj keď je množstvo absorbovanej vody pomerne malé, vďaka jej veľkej dielektrickej konštante sú zmeny kapacity merateľné. Kapacitné senzory sa vyznačujú malou závislosťou údajov na teplote, odolnosťou voči kondenzácii, dobrou odozvou rádu desiatok sekúnd, presnosťou v jednotkách %RH, pomerne dobrou odolnosťou proti chemikáliám a vyšším teplotám, malými rozmermi a nízkou cenou [4]. Avšak mikrokontrolér neumožňuje priame meranie kapacity, takže by bolo potrebné navrhnuť pomocný obvod, ktorý by prevádzal kapacitu napríklad na frekvenciu.

Kapacitné senzory sa vyrábajú tiež s integrovaným spracovaním signálu, kde výstupom je namiesto kapacity omnoho presnejšie elektrické napätie, alebo dokonca digitálne rozhranie. Na meranie vlhkosti je zvolený modul práve z tejto skupiny senzorov. Jeho označenie je SY-HS-230 a výstupom je napätie. To je ideálne na spracovávanie AD prevodníkom, ktorý je priamo súčasťou mikrokontroléra. Vlastnosti modulu sú uvedené v tab.1.2

Tab. 1.2 Vlastnosti modulu vlhkosti SY-HS-230.

Merací rozsah	10%...90%RH
Tolerancia	±5%RH (pri 25°C)
Napájacie napätie	5 V DC
Výstupné napätie	580...2870 mV
Cena	227 Kč

Maximálne výstupné napätie 2,87 V je väčšie ako referenčné napätie AD prevodníka 2.5 V. Preto je potrebné upraviť výstupné napätie senzoru vlhkosti pomocou odporového deliča tak, aby maximálne napätie na vstupe do AD prevodníka bolo okolo 2,2 V. Zámerne je zvolená hodnota menšia ako maximálna možná 2,5 V, pretože vzorkovanie v blízkosti maxima a minima je menej presné. Zapojenie modulu vlhkosti je na obr.1.5.



Obr. 1.5 Schéma zapojenia modulu vlhkosti.

Hodnota rezistora R14 bola zvolená 1kΩ a hodnota odporu R16 je dopočítaná podľa vzťahu (1.10)

$$U_{ADC} = U_{out} \cdot \frac{R16}{R16 + R14} \quad (1.10)$$

a jeho úpravou na vzťah (1.11)

$$R16 = R14 \cdot \frac{U_{ADC}}{U_{out} - U_{ADC}} = 1000 \cdot \frac{2,2}{2,87 - 2,2} = 3283,6 \Omega.. \quad (1.11)$$

Premenná U_{ADC} značí vstupné napätie do AD prevodníka a premenná U_{out} výstupné napätie z modulu vlhkosti. Vypočítaná hodnota odporu je následne zaokrúhlená na dostupnú hodnotu 3,3 kΩ. Po spätnom dosadení do vzorca (1.8) vychádza maximálne výstupné napätie z deliča 2,203 V. Hodnota týchto rezistorov musí byť presná a povolená tolerancia odporu je zvolená na 1 %.

1.6 Návrh výhrevného telesa

Požadovaný výkon výhrevného telesa je 40 W. Napájacie napätie telesa je najvýhodnejšie zvoliť maximálne dostupné, aby prúd bol čo najmenší. Preto je výhrevné teleso napájané priamo z priemyselného napätia 48 V a celkový prúd telesom sa vypočíta podľa (1.12)

$$I = \frac{P}{U} = \frac{40}{48} = 0,833 \text{ A}, \quad (1.12)$$

Ako zdroj tepla sú zvolené výkonové rezistory, na ktorých pri prechode prúdu vzniká stratový výkon a ten sa v podobe tepla vyžiarí do prostredia. Výkonové rezistory sú vyberané podľa veľkosti ich puzdra a hodnoty maximálneho výkonu tak, aby ich počet bol čo najmenší. Optimálnu veľkosť puzdra majú rezistory o výkone 2 W. Pre dlhšiu životnosť je zvolený maximálny stratový výkon na jednom rezistore 1.5 W.

Odpor rezistora R sa potom vypočíta podľa vzorca (1.13)

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{48^2}{1,5} = 1536 \, \Omega, \quad (1.13)$$

kde U je napájacie napätie a P je stratový výkon rezistora. Vypočítanú hodnotu $1536 \, \Omega$ je potrebné zaokrúhliť na dostupnú hodnotu a tou je $1500 \, \Omega$. Po spätnom prepočte s hodnotou $1500 \, \Omega$ podľa (1.14),

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{48^2}{1500} = 1,536 \, \text{W}, \quad (1.14)$$

vychádza stratový výkon $1,536 \, \text{W}$. Paralelným spájaním takýchto rezistorov sa zvyšuje celkový stratový výkon, a teda aj výhrevnosť celého telesa. Na vytvorenie výhrevného telesa o výkone $40 \, \text{W}$ je podľa (1.15) potrebných 26 rezistorov so stratovým výkonom $1,536 \, \text{W}$.

$$N = \frac{P_{\text{celk}}}{P} = \frac{40}{1,536} = 26,04, \quad (1.15)$$

kde N vyjadruje počet potrebných rezistorov, P_{celk} je výkon celého výhrevného telesa a P je výkon jedného rezistora. K sústave paralelne zapojených rezistorov je do série pripojená vratná poistka PPTC, ktorá v prípade prehrievania zabráni prepáleniu. Poistka je v tepelne vodivom kontakte s jedným rezistorom a po prekročení teploty 85°C na povrchu puzdra, odpojí výhrevné teleso od napájania.

Všetky výkonové rezistory sú zapojené do siete, ktorá sa umiestni pred ventilátor, určený na chladenie zariadenia. Celý regulačný systém funguje tak, že ventilátor je aktívny pri chladení a aj pri vyhrievaní, kedy sa súčasne aktivuje výhrevné teleso a prúdiaci vzduch je zohrievaný sieťou rezistorov.

Výhrevné teleso je riadené PWM signálom z mikrokontroléra, takže jeho výkon sa dá plynule regulovať. Spínanie je riešené cez tranzistor typu MOSFET, ktorý má na hradlo(Gate) privedený PWM signál. Pri výbere tranzistora sú dôležité parametre prúd I_D , ktorý musí byť väčší ako $1 \, \text{A}$, napätie medzi elektródami U_{DS} , ktoré musí byť väčšie ako $48 \, \text{V}$ a prahové napätie tranzistora U_{GS} menšie ako $4 \, \text{V}$. Vybraný tranzistor ZXMN7A11 má nasledovné vlastnosti:

- $U_{DS} = 70 \, \text{V}$
- $I_D = 6,1 \, \text{A}$
- $R_{DS(\text{on})} = 0,13 \, \Omega$ -odpor medzi elektródami drain a source v zopnutom stave
- $U_{GS} = 1 \, \text{V}$

V krajnom prípade, ak by prúd telesom bol $1 \, \text{A}$, výkonová strata na tranzistore P_{str} bude podľa (1.16),

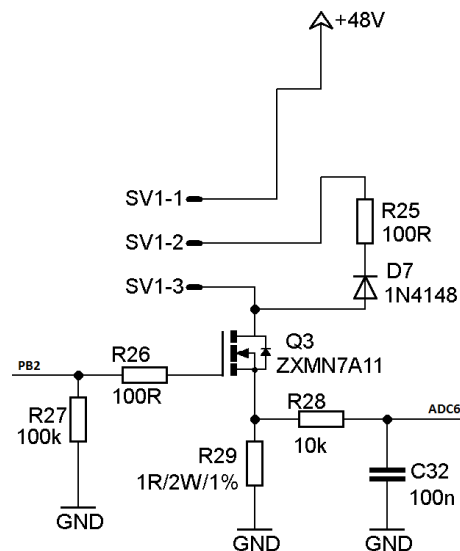
$$P_{\text{str}} = R_{DS(\text{on})} \cdot I^2 = 0,13 \cdot 1^2 = 0,13 \, \text{W}. \quad (1.16)$$

Výhrevné teleso je tvorené drôtovými rezistorami, ktoré majú aj induktívne vlastnosti. Pri vypnutí môžu teda vznikať na sústave rezistorov napäťové špičky. Tie by mohli zničiť spínací tranzistor, a preto je k telesu paralelne pripojená dióda s rezistorom. Schéma zapojenia výhrevného telesa je na obr.1.6. Na svorku označenú „TOPENI“ sa pripojí sieť výhrevných rezistorov. Rezistor R26 spolu s kapacitou hradla 298 pF tvorí RC filter, ktorý spomalí hrany obdĺžnika PWM pri buzení tranzistora Q3. Jeho medzná frekvencia sa vypočíta podľa (1.17)

$$f_{mez} = \frac{1}{2\pi \cdot R26 \cdot C_{iss}} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 298 \cdot 10^{-12}} = 5,34 \text{ MHz}, \quad (1.17)$$

kde C_{iss} je vstupná kapacita tranzistoru.

Rezistor R27 zabezpečí vypnutý stav tranzistoru, pri zapnutí mikroprocesoru, keď sú jeho porty v neurčitom stave. Filtračný RC článok R28 a C32 medzi snímacím rezistorom a AD prevodníkom slúži na odstránenie aliasingu.



Obr. 1.6 Schéma zapojenia výhrevného telesa

Pre spoľahlivú funkciu klimatizačnej jednotky je potrebné včas diagnostikovať prípadné poruchy. U výhrevného telesa sa kontroluje, či sú všetky rezistory funkčné a nedošlo k prepáleniu niektorého z nich. Ak sa jeden odpor prepáli, správa sa ako rozpojený a nevedie prúd. Tým sa zníži celkový odber prúdu. Preto je do obvodu sériovo zapojený snímací rezistor, na ktorom sa meria úbytok napätia. Toto meranie vykonáva AD prevodník s referenčným napätím 2,5 V. Aby bola splnená podmienka, že maximálne merané napätie musí byť menšie ako referenčné napätie, je potrebné správne určiť hodnotu snímacieho odporu. Avšak úbytok napätia na tomto rezistore znižuje napätie medzi hradlami Gate a Source, ktoré pri zlom návrhu môže klesnúť pod prahové napätie tranzistorau. Preto je ako bezpečná hodnota zvolený odpor 1 Ω .

Maximálny prúd, ktorý potečie rezistorom, a teda aj výhrevným telesom sa určí podľa vzťahu (1.18)

$$I = \frac{U}{\frac{R_v}{N} + R_s} = \frac{48}{\frac{1500}{26} + 1} = 0,818 \text{ A}, \quad (1.18)$$

kde U je napájacie napätie, R_v je odpor výhrevného rezistora, N je počet výhrevných rezistorov vo výhrevnom telese a R_s je odpor snímacieho rezistora. Úbytok napätia U_R na snímacom rezistore pri prúde 0,818 A je podľa vzťahu (1.19) 0,818 V.

$$U_R = R_s \cdot I = 1 \cdot 0,818 = 0,818 \text{ V} \quad (1.19)$$

Snímací rezistor je potrebné dimenzovať podľa (1.20)

$$P_R = U_R \cdot I = 0,818 \cdot 0,818 = 0,669 \text{ W}, \quad (1.20)$$

na výkon P_R 0,67 W, bez aktívneho chladenia. Preto je použitý výkonový odpor s výkonom 2 W. Tento stratový výkon sa premení na teplo, ktoré sa rovnakým spôsobom vytvára vo výhrevnom telese. V schéme na obr.1.6 je tento rezistor označený ako R29.

Prepálenie jedného výhrevného rezistora znamená zníženie počtu funkčných rezistorov, čo vo vzorci (1.15) reprezentuje premenná N . Napätie na snímacom rezistore potom poklesne z 0,818 V na 0,787 V.

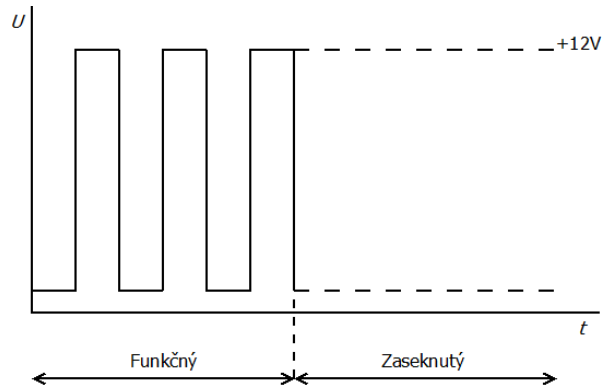
Keďže je výhrevné teleso regulované PWM signálom, prúd telesom je nespojitý a to nie je vhodné na meranie poruchového stavu. Toto meranie je potrebné vyriešiť programom, ktorý v pravidelných intervaloch kontroluje úbytok napätia počas toho, ako rezistorom potečie maximálny prúd. Riadiaci PWM signál musí mať teda striedu 100 %.

1.7 Popis ventilátora

Ventilátor slúži na ochladzovanie optickej hlavice tak, že rozprúdi okolitý vzduch vo vnútri hlavice. Cirkuláciou vzduchu sa teplé miesta ochladzujú a teplota vo vnútri je rovnomerne rozložená. Ventilátor je aktívny aj pri ohrievaní, kedy sa prúdiaci vzduch ohrieva výhrevným telesom. Pri výbere ventilátora je dôležitý jeho rozmer, aby sa zmestil do optickej hlavice a napájacie napätie. Vybraný bol ventilátor SUNON ME50151V1-000U-G99 s rozmermi 50x50x15 mm, napájacím napätím 12V a výkonom 1,5 W. Ideálny by bol ventilátor na 48 V, aby odoberaný prúd bol čo najmenší. Taký ale nie je dostupný v požadovaných rozmeroch. Na spínanie ventilátora je použitý N-MOSFET tranzistor IRFR120NPBF riadený PWM signálom z mikrokontroléra. Ventilátor je indukčná záťaž, a preto je k nemu potrebné paralelne pripojiť záverne pólovanú diódu s rezistorom, ktorá ochráni tranzistor pred napäťovými špičkami pri vypnutí.

U ventilátorov sa stáva, že po dlhšom čase prevádzky sa zaseknú a prestanú plniť svoju funkciu. Preto je dôležité kontrolovať, či sa točí keď je na ňom napätie, a teda či nedošlo k zaseknutiu. Na to existuje viac spôsobov, no najjednoduchšie je použiť priamo ventilátor, ktorý ma vyvedený tretí vodič, určený práve na kontrolu a meranie otáčok. Na výstupe tohto vodiča je obdĺžnikový signál, ktorého frekvencia je priamo

úmerná otáčkam ventilátora. Ak sa ventilátor zasekne, na kontrolnom vodiči zostane vysoká alebo nízka úroveň. Priebeh signálu vo funkčnom stave a v zaseknutom stave je zobrazený na obr.1.7.



Obr. 1.7 Priebeh napätia na kontrolnom vodiči ventilátora.

Kontrolu týchto stavov zabezpečuje čítač mikrokontroléra. Maximálne vstupné napätie na pinoch mikrokontroléra je 5 V. Preto je potrebné výstupné napätie z ventilátora 12 V, upraviť pomocou odporového deliča. Ten je navrhnutý tak, aby na jeho výstupe boli 4 V. Medzi výstup z deliča a vstupný pin je vložená zenerová dióda s prahovým napätím 4,7 V, ktorá ochráni vstup čítača pred prípadnými napäťovými špičkami.

1.8 Nastavenie regulovanej teploty

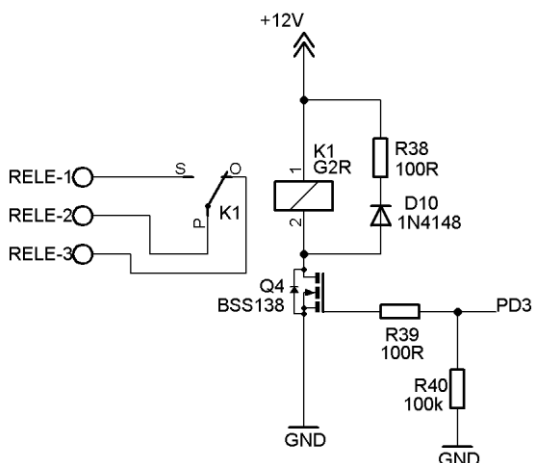
Pracovná teplota hlavice závisí od použitých elektronických súčiastok. Tie sa vyrábajú v troch stupňoch teplotných rozsahov. Prvý stupeň je komerčný, s rozsahom 0°C až 70°C , druhý stupeň je priemyselný, s rozsahom -40°C až 85°C a tretí stupeň je určený pre vojenský a letecký priemysel a má rozsah -65°C až 175°C . Elektronika v hlavici spadá do komerčného stupňa.

Tepelný rozsah, ktorý klimatizačná jednotka musí udržiavať sa nastavuje pomocou štyroch hraničných teplôt. Horná hranica teploty sa nastavuje pomocou hodnoty maximálnej teploty t_h a maximálnej kritickej teploty t_{h_krit} . Po prekročení maximálnej teploty t_h sa aktivuje chladenie ventilátorom. V intervale medzi teplotami t_h a t_{h_krit} sú otáčky ventilátora plynule riadené pomocou PWM. Ak teplota prekročí maximálnu kritickú teplotu, ventilátor chladí na plný výkon. Rovnako sa nastavuje aj spodná hranica teplôt, a to pomocou hodnoty minimálnej teploty t_d a minimálnej kritickej teploty t_{d_krit} . Medzi týmito teplotami je regulácia plynulá a až po klesnutí teploty pod minimálnu kritickú teplotu, začne vyhrevné teleso vyhrievať na maximálny výkon.

Tieto hranice sa dajú nastaviť cez sériovú linku RS-485, ktorú obsahuje jednotka na komunikáciu s okolím. Druhou možnosťou je manuálne nastavenie pomocou dvoch odporových trimorov. Trimre sú zapojené ako odporové deliče a napätie z nich je privedené na AD prevodník. Táto možnosť sa aktivuje jumperom JP1. Princíp regulácie je graficky znázornený na obr. 2.2 v kapitole 2.2.

1.9 Diagnostika poruchových stavov

Počas prevádzky klimatizačnej jednotky môže dôjsť k poruche niektorej časti elektroniky. Tie najdôležitejšie treba kontrolovať, aby ich nefunkčnosť nespôsobila škody na okolitej elektronike. Medzi tieto časti patrí ventilátor a výhrevné teleso. Ak riadiaca jednotka zaznamená poruchový stav, zopne relé, z ktorého sú vyvedené kontakty na svorkovnicu tak, ako je to v schéme na obr.1.8. To predstavuje logický výstup jednotky pre okolité periférie, zabezpečený galvanickým oddelením.



Obr. 1.8 Schéma zapojenia spínacieho relé, pre signalizáciu poruchy v zariadení.

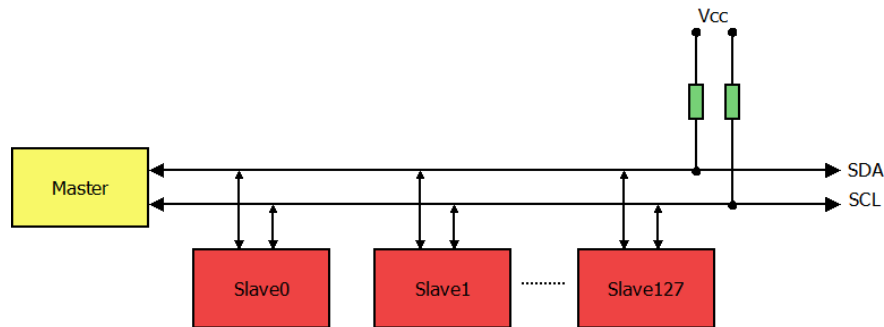
Použitý relé má označenie N4100CHS3DC12AC a prúd cievkou pri zopnutom stave je 40 mA. Relé je spínané cez tranzistor typu N-MOSFET, aby výkonové straty boli čo najmenšie. Použitý tranzistor musí mať prahové napätie menšie ako 5 V, aby mohol byť ovládaný priamo mikroprocesorom. Maximálny prúd I_d tranzistorom BSS138 je 220 mA, čo je dostatočné na spínanie jedného relé. Maximálne napätie U_{DS} medzi elektródami drain a source je 50 V. Pri vypínaní indukčnej záťaže vznikajú napäťové špičky, ktoré by mohli túto hodnotu prekročiť. Preto je k relé paralelne pripojená dióda, ktorá zabráni vzniku týmto špičkám. K dióde je sériovo pripojený rezistor, ktorý urýchli demagnetizáciu cievky.

1.10 Komunikácia s pamäťou EEPROM

Klimatizačná jednotka je doplnená o externú EEPROM pamäť 24LC512 s veľkosťou 512 kB. Slúži na ukladanie prevádzkových informácií o klimatizačnej jednotke. Základné informácie, ktoré sa zapisujú sú celkový čas prevádzky ventilátora celkový čas vyhrievania a celkový čas prevádzky celého zariadenia. Ako doplnkové informácie sa zapisuje teplota a vlhkosť v pravidelných intervaloch, poruchy spolu s časom kedy nastali a časy prekročenia teploty alebo vlhkosti nastavenej hranice.

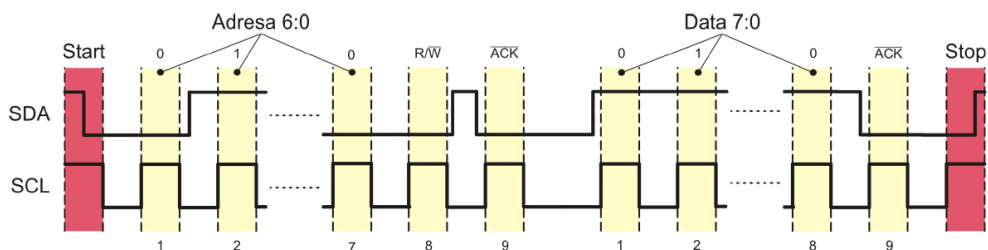
Na komunikáciu mikrokontroléra so sériovou pamäťou EEPROM je využitá zbernica I2C(Inter-Integrated Circuit), nazývaná aj TWI (Two-wire Serial Interface). Táto zbernica umožňuje pripojiť až 128 zariadení typu Slave, s jedným riadiacim zariadením typu Master, pomocou dvoch vodičov. Prvý signálový vodič označený SDA,

slúži pre obojsmerný prenos dát a druhým vodičom, SCK, posiela zariadenie typu Master ostatným zariadeniam hodinový signál. Pre správne fungovanie komunikácie, je potrebné obidva vodiče pripojiť cez pull-up rezistory na napájacie napätie. To zabezpečí vysokú úroveň signálu na oboch vodičoch v pokojovom stave, keď na zbernici neprebíha komunikácia. Spôsob pripojenia zariadení na zbernicu I2C je zobrazený na obr.1.9 [5],[6].



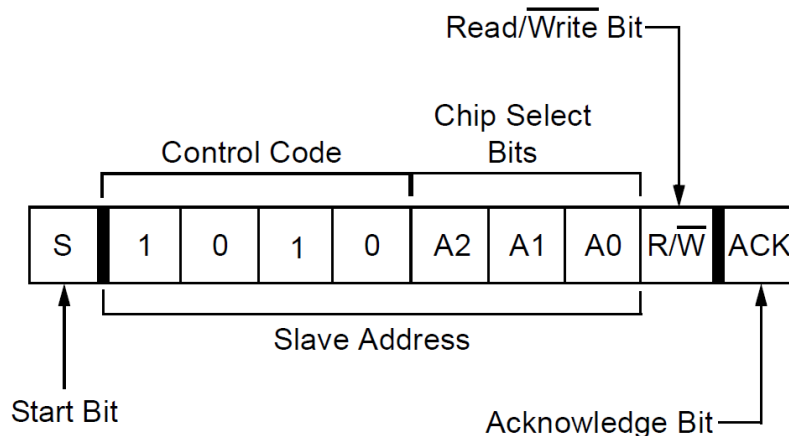
Obr. 1.9 Schéma pripojenia zariadení na zbernicu I2C.

Komunikáciu vždy zahajuje Master a to tak, že zníži úroveň na dátovom vodiči SDA na logickú nulu, počas vysokej úrovne hodinového signálu na vodiči SCL. Táto zmena sa nazýva Start bit. Ihneď po vyslaní Start bitu nasleduje adresný rámec obsahujúci adresu zariadenia, s ktorým chce master komunikovať. Po adresnom rámci nasleduje jeden, alebo viac dátových rámcov. Komunikáciu ukončí stop bit, ktorý predstavuje zmenu úrovne na vodiči SDA z logickej nuly na logickú jednotku, počas vysokej úrovne hodinového signálu. Všetky adresné pakety sú 9bitové, z čoho 7 bitov tvorí adresu zariadenia typu slave, jeden R/W riadiaci bit (R/W=1: čítanie) a potvrdzovací bit ACK - Acknowledge bit. Ten vysiela zariadenie slave, ak rozpozná svoju adresu a to tak, že vynuluje stav počas 9. hodinového cyklu SCL. Ak zariadenie nie je pripravené na komunikáciu, alebo neexistuje zariadenie s danou adresou, zostane signál SDA na vysokej úrovni, čo je identifikované ako NACK -Not Acknowledge. V prípade, že slave potvrdí svoju adresu, prichádza 9bitový dátový paket, z čoho 8 bitov nesie prenášanú dátovú informáciu a 9.bit je potvrdzovací. Priebeh signálov na obidvoch vodičoch je graficky znázornený na obr.1.10 [5],[6].



Obr. 1.10 Kombinácia adresného a dátového paketu na zbernici I2C [6]

Adresa pamäte je nastaviteľná pomocou pinov A2, A1 a A0. Úroveň, na ktorú sú pripojené určuje posledné tri bity adresy. Prvé štyri bity sú určené výrobcom ako 1010 (viz obr.1.11) [7].



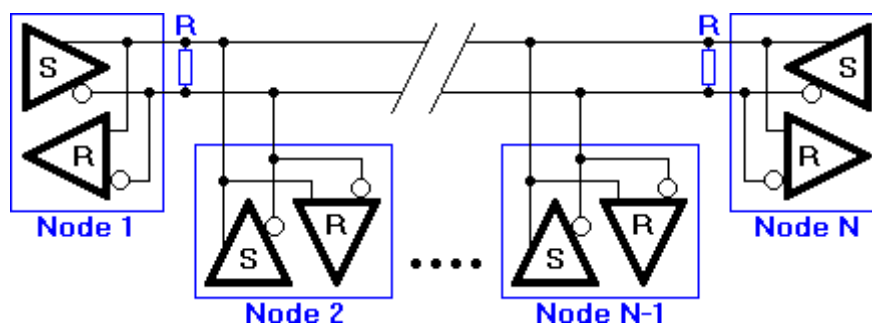
Obr. 1.11 Popis adresného rámca pamäte EEPROM [7].

Počet zapisovacích a mazacích cyklov je obmedzený, a preto časté prepisovanie jedného pamäťového miesta, by mohlo skrátiť životnosť čipu. Z toho dôvodu sa informácie o celkovom čase chladenia, alebo vyhrievania neprepisujú v krátkych intervaloch, ale aktualizuje sa po dlhšom intervale, rádovo desiatky hodín. Požadovaná informácia o čase sa zatiaľ uloží do pamäti mikrokontroléra. Tu však hrozí, že pri výpadku napájacieho napätia, sa dočasne uložené informácie vymažú bez uloženia do EEPROM pamäte. To je vyriešené vložení záložného kondenzátora s dostatočnou kapacitou, ktorý je po výpadku napájacieho napätia schopný dostatočný čas dodávať energiu do obvodu, aby sa stihli prepísať informácie z mikrokontroléra do pamäte EEPROM. Výpadok napájacieho napätia je identifikovaný komparátorom mikrokontroléra. Riadiaca jednotka následne zaháji zápis do EEPROM.

1.11 Komunikácia po linke RS-485

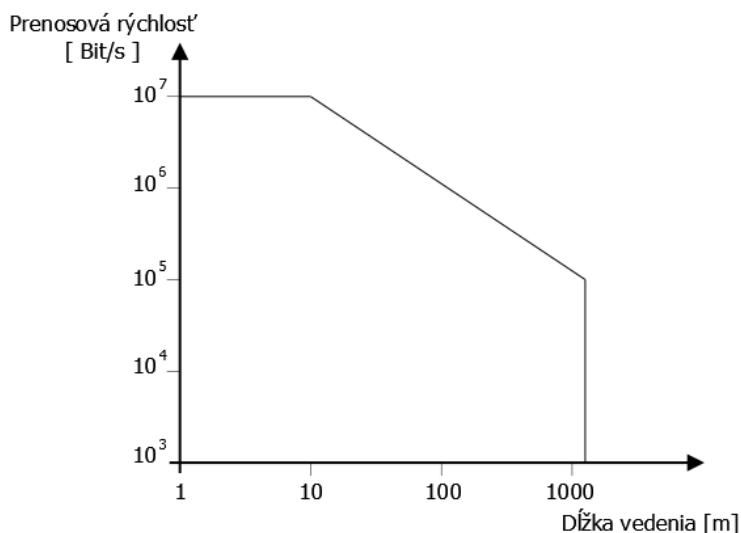
Komunikácia po priemyslovej dátovej zbernici RS-485 patrí už dlhodobo k základom dátovej komunikácie. Na sieť RS-485 môžu byť pripájané počítače, mikrokontroléry, alebo akékoľvek iné zariadenie, ktoré umožňuje asynchrónny sériový prenos. Výhodou tohto rozhrania je možnosť prenášať dáta na veľké vzdialenosti, a to až 1200 m.

Pomocou zbernice RS-485 môže spolu komunikovať až 32 zariadení, čo je veľký rozdiel od často používanej RS-232, kde medzi sebou komunikujú len dve zariadenia. Na sieť môže byť pripojený ľubovoľný počet prijímačov a vysielačov, ak ich súčet nepresiahne počet 32. V tom sa odlišuje od linky RS-422, kde spolu môže komunikovať maximálne 10 prijímačov a jeden vysielač. Spôsob pripájania zariadení na zbernicu RS-485 je zobrazený na obr.1.12. Na začiatok aj na koniec vedenia je potrebné pripojiť terminačné rezistory tlmiace odrazy signálov[8],[9].



Obr. 1.12 Schéma zapojenia viacerých zariadení na zbernicu RS-485 [8].

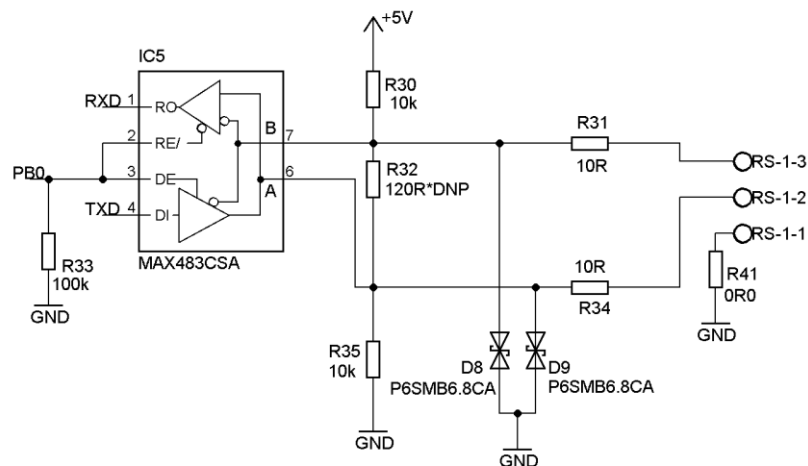
Dátový prenos zabezpečujú dva signálové vodiče (angl. two-wire) a komunikácia na nich môže prebiehať obojsmerne. Pri zisťovaní hodnoty bitu sa rozlišuje rozdiel a polarita napätí medzi týmito vodičmi. Ide o takzvaný diferenciálny prenos. A to je ďalšia odlišnosť od RS-232, kde sa rozdiel napätia zisťuje medzi jedným dátovým vodičom a signálovou zemou. Diferenciálny prenos zvyšuje imúnosť voči šumu a rušeniu, ktoré môžu vzniknúť na dlhších prenosových trasách. Najlepšia odolnosť voči rušeniu sa dá dosiahnuť skrútením dvoch signálových vodičov čím sa vytvorí takzvaný "twisted pair". To spôsobí, že rušenie bude pôsobiť na obidva vodiče rovnako, pričom napätový rozdiel medzi nimi sa nezmení. Rozdiel medzi napätiami musí dosiahnuť minimálne 0,2 V, typicky sa ale používajú omnoho vyššie rozdiely, ako napríklad 5 V, 12 V. Maximálna prenosová rýchlosť na vedení je 10 Mbit/s. So zväčšujúcou sa dĺžkou vedenia, sa maximálna prenosová rýchlosť znižuje, tak ako je zobrazené na obr.(1.13) [8],[9].



Obr. 1.13 Graf závislosti maximálnej prenosovej rýchlosti na dĺžke vedenia

Klimatizačná jednotka komunikuje s okolím prostredníctvom linky RS-485. Mikrokontrolér ATmega8 obsahuje komunikačné rozhranie USART, takže je nutné použiť budič zbernice RS-485. Na to bol vybraný obvod MAX-483. Mikrokontrolér je k tomuto obvodu pripojený pomocou troch vodičov, TXD, RXD a vodičom, ktorý prepína smer komunikácie. Na vodič riadiaci smer komunikácie je navyše pripojený pull-down rezistor, určujúci základný stav na vodiči. Zariadenie sa pripája na zbernicu

RS-485 cez svorkovnicu s troma svorkami. Jedna svorka je spoločná zem a zvyšné dve svorky sú označené ako A a B a sú určené na obojsmernú komunikáciu. Medzi prevodník rozhraní a svorkovnicu sú zaradené ochranné prvky ako obojsmerné transily a rezistory. Tie majú za úlohu ochrániť prevodník pred napätovými špičkami, ktoré môžu vzniknúť na zbernici. Maximálne napätie na vodičoch A a B je -8 V až 12 V. Dôležitejšia hranica je -8 V, a preto je prahové napätie transilu 6,8 V, čo by malo zabezpečiť dostatočnú ochranu obvodu. V prípade, že potenciál zeme na zbernici je iný ako potenciál zeme klimatizačnej jednotky, rezistor R41 s nulovým odporom vytvorí skrat a prepáli sa. Tým sa jednotka odpojí od zbernice. Medzi vodiče A a B sa zapojí rezistor s odporom 120 Ω , len v prípade, že klimatizačná jednotka je do zbernice pripojená na konci vedenia, kde sa vyžaduje ukončovacia impedancia 120 Ω . Východiskový stav je určený cez pull-up rezistor na vodiči B a pull-down rezistor na vodiči A. Schéma zapojenia je na obr.1.14.



Obr. 1.14 Schéma zapojenia prevodníka rozhraní USART/RS-485.

2 NÁVRH SOFTWAREJ ČASTI

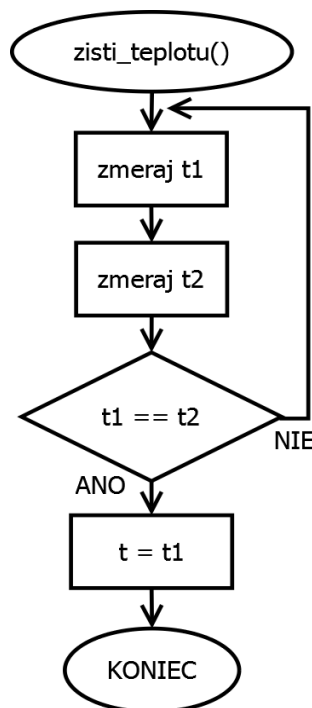
Táto kapitola popisuje riadiaci program klimatizačnej jednotky a vysvetľuje princípy a výpočty, z ktorých sa vychádza pri riadení celého zariadenia.

2.1 Meranie teploty a vlhkosti

Senzory teploty aj vlhkosti majú napäťové výstupy, takže na ich meranie sa používa 10 bitový AD prevodník s externou referenciou 2,5 V. Pri prepočte teploty sa uvažujú tepelný koeficient senzoru 10 mV/°C a napätie 500 mV pri 0°C. Prepočet z hodnoty *adc* získanej z AD prevodníka na teplotu *t* v °C sa potom vykoná podľa vzorca(2.1).

$$t = \frac{\frac{(adc \cdot 2500)}{2^{10}} - 500}{10} \quad (2.1)$$

Aby nameraná teplota nebola ovplyvnená rušením, ktoré môže spôsobiť nesprávny priebeh regulácie, pri meraní sa meria po sebe teplota t_1 a t_2 až kým sa nezhodujú. Výsledná teplota *t* je potom rovná teplote t_1 resp. t_2 . Priebeh funkcie `zisti_teplotu()`, ktorá meria teplotu je na obr.2.1.



Obr. 2.1 Vývojový diagram merania teploty

Výstupné napätie zo senzoru vlhkosti sa so zvyšujúcou vlhkosťou nemení lineárne, a preto sa pri prepočte napätia na vlhkosť vychádza z tab.2.1. pre senzor HS-230A.

Tab. 2.1 Tabuľka výstupných napätí vlhkosťného čidla HS-230A [10].

%RH	Spec.(mV)	
	HS-230A	HS-230B
10	580	700
20	760	920
30	1030	1310
40	1360	1700
50	1700	2050
60	2040	2380
70	2350	2710
80	2620	2970
90	2870	3180

Túto tabuľku je však potrebné upraviť, aby sa hodnoty správne zaokrúhľovali a započítal sa odporový delič. Ten zníži všetky napätia, aby maximálne možné napätie neprekročilo referenčné napätie 2,495 V. Túto úpravu zobrazuje tab.2.2. V prvom kroku sa rozdelia všetky intervaly na polovicu, aby bolo možné merať vlhkosť v násobkoch čísla päť . Potom sa tabuľkové hodnoty napätia U_{tab} vynásobia pomerom odporového deliča podľa (2.2)

$$U_R = U_{tab} \cdot \frac{R_{16}}{R_{16} + R_{14}} = U_{tab} \cdot \frac{3300}{3300 + 1000} \quad (2.2)$$

Nakoniec sa určia hraničné napätia tak, aby hodnota napätia pre danú vlhkosť ležala uprostred intervalu a došlo k správne zaokrúhleniu.

Tab. 2.2 Tabuľka, podľa ktorej program prepočítava hodnotu napätia na vlhkosť.

Vlhkosť [%RH]	U _{tab} [mV]	U _R [mV]	U _{Hraničné} [mV]
10	580	445,1	480
15	670	514,2	549
20	760	583,3	635
25	895	686,9	739
30	1030	790,5	854
35	1195	917,1	980
40	1360	1043,7	1109
45	1530	1174,2	1239
50	1700	1304,7	1370
55	1870	1435,1	1500
60	2040	1565,6	1633
65	1695	1300,8	1168
70	1350	1036,0	1280
75	1985	1523,4	1767
80	2620	2010,7	2059
85	2745	2106,6	2155
90	2870	2202,6	

2.2 Regulácia klimatických podmienok

Plynulú reguláciu chladenia aj vyhrievania zabezpečuje Časovač1 v režime Fast PWM 10 bitov. Pri preddeličke 1024 je frekvencia PWM signálu približne 8 Hz, vypočítaná podľa (2.3).

$$f_{PWM} = \frac{f_{clk}}{N \cdot 2^{10}} = \frac{8 \cdot 10^6}{1024 \cdot 1024} = 7,63 \text{ Hz} \quad (2.3)$$

V intervale medzi teplotami t_h a t_{h_krit} sú otáčky ventilátora plynule riadené pomocou PWM. Ak teplota prekročí maximálnu kritickú teplotu, ventilátor chladí na plný výkon. Strieda PWM signálu sa nastavuje pomocou registra OCR1A, pričom pri hodnote 1023 je strieda 100 % a pri hodnote 0 je to 0 %. V intervale medzi teplotami t_h a t_{h_krit} sa strieda vypočíta podľa vzorca (2.4). Mimo interval sa tento výpočet neaplikuje, aby nedošlo k pretečeniu registra OCR1A.

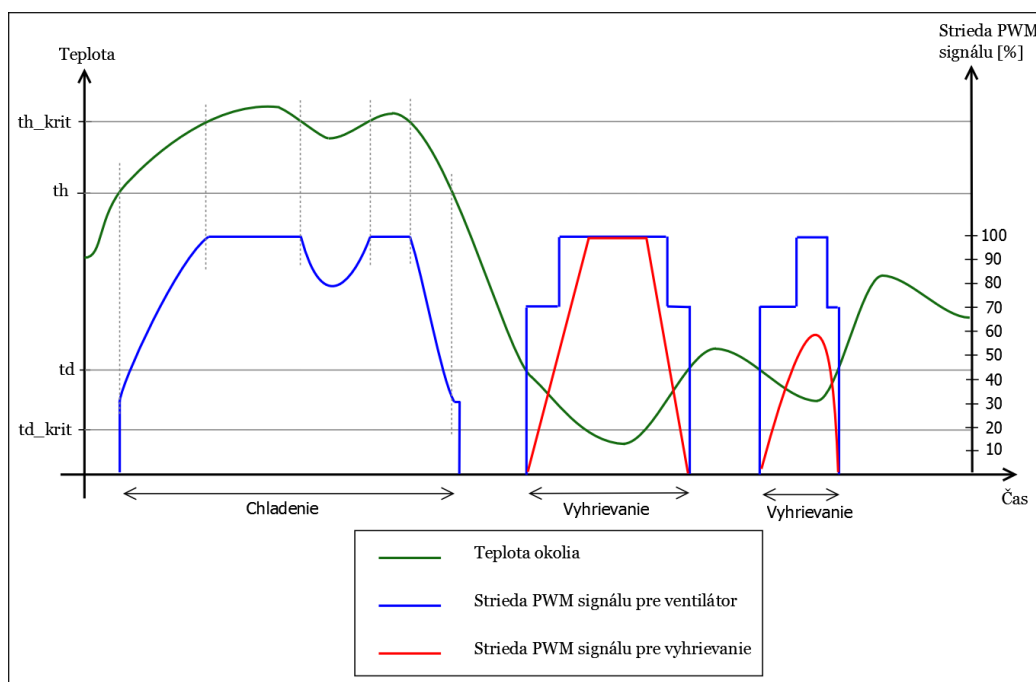
$$OCR1A = 300 + 723 \cdot \frac{t - t_h}{t_{h_krit} - t_h} \quad (2.4)$$

Koeficient 300 určuje minimálnu možnú striedu ventilátora. Táto hodnota je zistená experimentálne, aby sa ventilátor rozbehol, plynule sa točil a kontrola otáčok ventilátora nezaznamenávala poruchy. Koeficient 723 je len rozdielom medzi maximálnou hodnotou 1023 a zvoleným koeficientom 300.

Podobný algoritmus je použitý aj pre vyhrievanie. Ak je teplota medzi minimálnou teplotou a minimálnou kritickou teplotou, regulácia je plynulá a až po klesnutí teploty pod minimálnu kritickú teplotu, začne výhrevné teleso vyhrievať na maximálny výkon. Strieda PWM signálu sa nastavuje pomocou registra OCR1B. V intervale medzi teplotami t_d a t_{d_krit} sa strieda vypočíta podľa vzorca (2.5).

$$OCR1B = 1023 \cdot \frac{t_d - t}{t_d - t_{d_krit}} \quad (2.5)$$

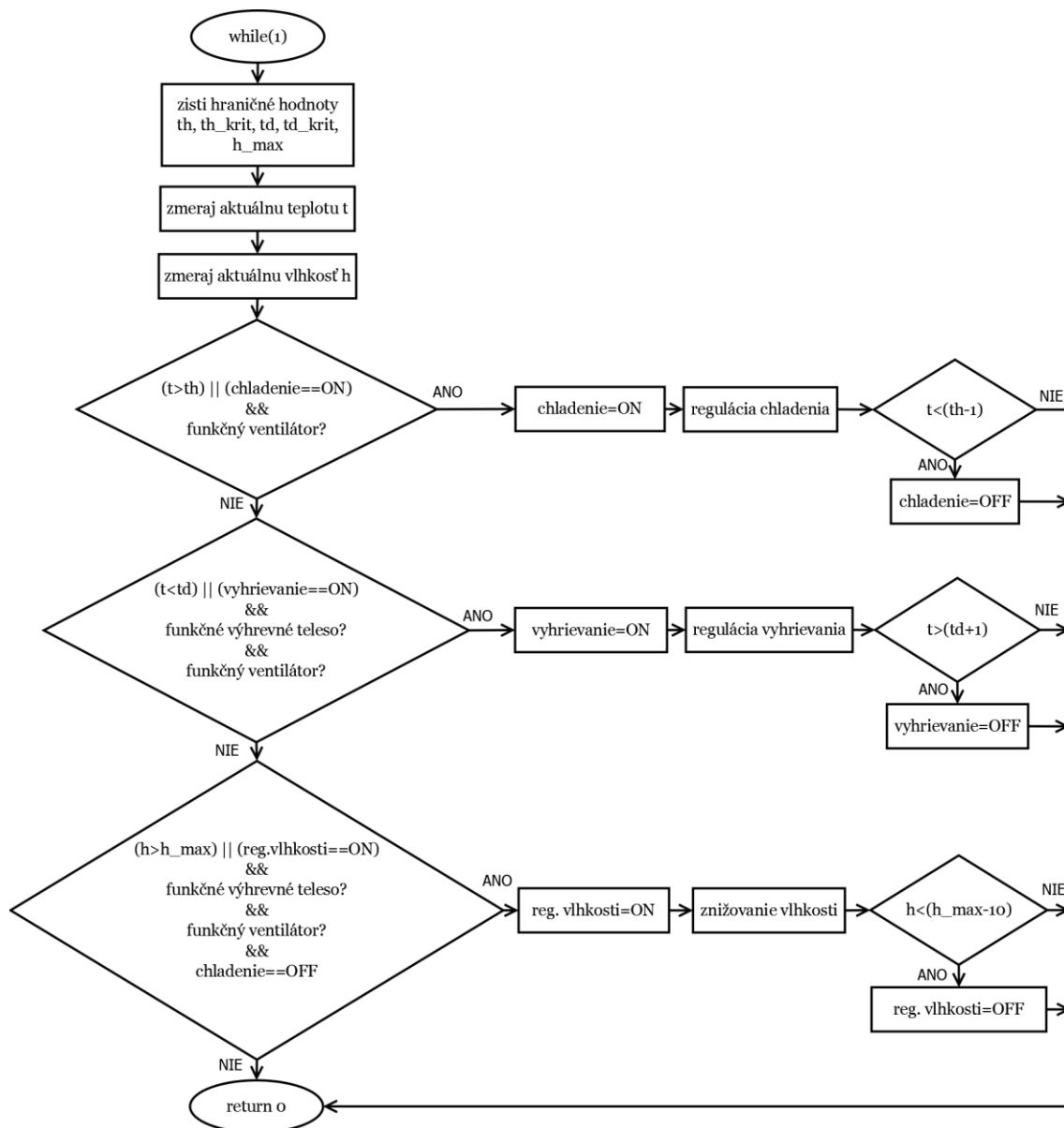
Pri výkone výhrevného telesa do 50 % je ventilátor pustený na 70 % maximálnych otáčok a pri výkone nad 50 % je ventilátor zapnutý na plný výkon. Regulácia teploty je graficky znázornená na obr.2.2.



Obr. 2.2 Grafické znázornenie spínania ventilátora a výhrevného telesa podľa teploty

Povolená vlhkosť okolia je ohraničená len jednou hraničnou hodnotou a to maximálnou vlhkosťou h_{max} . Ak vlhkosť okolia prekročí túto nastavenú hodnotu, aktivuje sa vyhrievanie. Podmienkou je však aby nebolo aktivované chladenie. Pri regulácii vlhkosti je nastavená hysterezia 10 %RH, takže regulácia vlhkosti sa vypne až keď vlhkosť klesne o 10 %RH pod maximálnu vlhkosť.

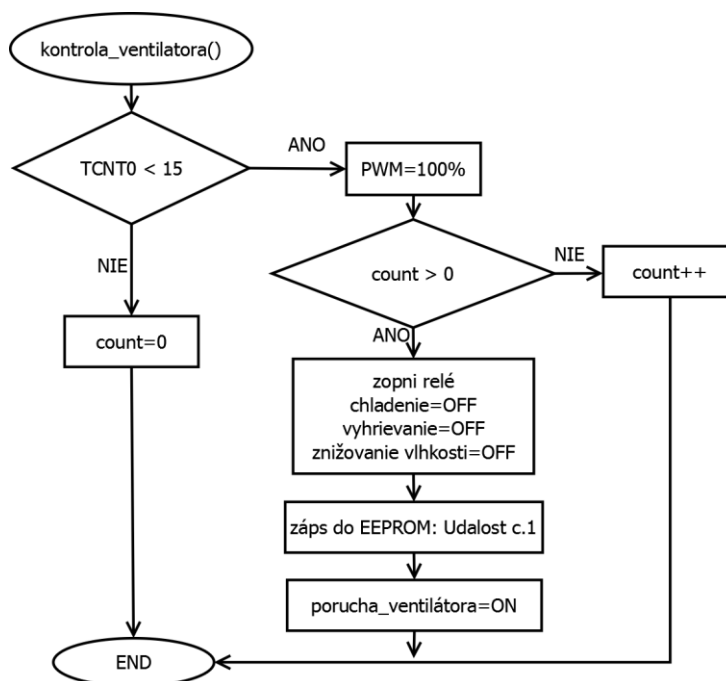
Všetky hraničné hodnoty t_h , t_{h_krit} , t_d , t_{d_krit} a h_max sú uložené v internej pamäti mikroprocesora EEPROM a je možné ich meniť počas prevádzky cez komunikačné rozhranie RS-485. Nastavovanie hraničných hodnôt teploty je možné aj manuálne. Do manuálneho režimu sa jednotka prepne ak je prepojený jumper JP1 a na pine PD5 je tak nastavená nízka úroveň. Maximálna teplota t_h sa nastavuje trimrom R10 a minimálna teplota trimrom R11. Teploty sa dajú nastaviť v rozsahu od 5°C do 45°C. Maximálna kritická teplota t_{h_krit} je v tomto režime o 5°C väčšia ako nastavená teplota t_h a dopočíta sa automaticky. Rovnako aj minimálna kritická teplota t_{d_krit} je o 5°C menšia ako nastavená minimálna teplota t_d . Princíp regulácie je zobrazený vo vývojovom diagrame na obr.2.3.



Obr. 2.3 Vývojový diagram regulácie teploty a vlhkosti.

2.3 Poruchy a ich vyhodnotenie

Kontrola otáčok ventilátora sa vykonáva, ak je aktivované chladenie, vyhrievanie, alebo regulácia vlhkosti. Opakuje sa s periódou 0,8 s. Ak je ventilátor funkčný, tak obdĺžnikový signál na jeho kontrolnom vodiči inkrementuje register Čítača0 TCNT0. Meraním funkčného ventilátora bolo zistené, že za periódu 0,8 s sa pri minimálnych otáčkach ventilátora inkrementuje register TCNT0 20-krát a pri maximálnych otáčkach 160-krát. Po každej kontrole sa register TCNT0 vynuluje, aby počítanie impulzov začínalo vždy od nuly. Ak je počet prijatých impulzov za jednu periódu menší ako 15, program to vyhodnotí ako zaseknutie ventilátora. Treba však počítať aj s tým, že zaseknutý ventilátor generuje impulzy spôsobená PWM signálom, ktorý ho reguluje. Za periódu 0,8 s sa napočíta 6 takýchto impulzov v zaseknutom stave. Aby sa minimalizovala chyba merania, program vyhodnotí ventilátor za nefunkčný až po dvoch po sebe idúcich kontrolách, v ktorých bol počet prijatých impulzov menší ako 15. Následne zopne relé, zapíše do EEPROM Udalosť č.1 a zakáže chladenie, vyhrievanie a reguláciu vlhkosti. Vývojový diagram kontroly ventilátora je na obr.2.4.



Obr. 2.4 Vývojový diagram kontroly otáčok ventilátora

Kontrola výhrevného telesa sa vykonáva pravidelne každú sekundu prevádzky výhrevného telesa a to tak, že sa pustí na plný výkon a zmeria sa aký prúd telesom preteká. Zmeranú hodnotu porovná s nastavenou minimálnou hodnotu prúdu I_{min} . Ak je menší, znamená to že jeden alebo viac rezistorov je prepálených a zapíše sa Udalosť č.2 do pamäte EEPROM. Táto chyba nie je závažná a preto sa pokračuje v regulácii. Súčasne sa vykonáva aj kontrola proti skratu na prírodných vodičoch a ak je zmeraný prúd väčší ako 1 A, vypne sa vyhrievanie, prípadne regulácia vlhkosti a zopne relé. Do pamäte sa zapíše Udalosť č.8.

Ďalšia porucha, ktorá môže nastať je výpadok napájacieho napätia. Na jeho detekciu je použitý analógový komparátor, ktorý je súčasťou mikrokontroléra. Na jeho neinvertujúci vstup je pripojená interná referencia 1,23 V a na invertujúci vstup je

privedené napätie z odporového deliča. Odporový delič je navrhnutý tak, aby pri poklese napájacieho napätia pod 34 V došlo k preklopeniu komparátora. To vyvolá prerušenie, v ktorom sa postupne vypne ventilátor, výhrevné teleso, relé a signalizačná LED, aby sa minimalizoval odber. Následne sa do pamäte EEPROM zapíše informácie o celkových časoch prevádzky celého zariadenia, ventilátora a výhrevného telesa, zapíše sa aj informácia o Udalosti č.3 a nakoniec sa uloží adresa, do ktorej sa bude zapisovať pri ďalšom zápise.

2.4 Zápis prevádzkových informácií do pamäte EEPROM

Hodnoty, ktoré sa zapisujú do externej pamäte sú rozdelené na kumulačné a na prevádzkové. Kumulačné sú tie, ktoré informujú o celkovom čase prevádzky zariadenia, ventilátora a výhrevného telesa. Sú uložené na jednej nemeňiacej sa adrese a aby sa častým prepisovaním pri inkrementácii nezničila funkčnosť pamäte, tieto dáta sa prepisujú len keď je to nutné. To je vždy pri výpadku napájacieho napätia. Počas prevádzky sú tieto hodnoty uložené v registroch mikroprocesora. Celkové časy sa zapisujú v minútach a pre každú hodnotu je vyhradených 24 bitov, čo udáva maximálny možný čas $2^{24}=16\,777\,216$ minút a to je 32 rokov.

Medzi prevádzkové informácie patrí ukladanie teploty a vlhkosti okolia v pravidelných intervaloch a mimoriadne udalosti, ktoré sa okamžite zapisujú do pamäte. Za každou mimoriadnou udalosťou sa uloží aktuálny celkový čas prevádzky zariadenia, v ktorom udalosť nastala. Čas zaberá 3 bajty takže spolu má informácia o mimoriadnej udalosti 4 bajty. Mimoriadnych stavov je spolu osem a sú rozpísané v tab.2.3.

Tab. 2.3 Zoznam mimoriadnych stavov.

Zápis do EEPROM	Význam	Označenie pri čítaní z pamäte
11000001	Zaseknutý ventilátor	Udalost c.1
11000010	Porucha výhrevného telesa	Udalost c.2
11000011	Výpadok napájacieho napätia	Udalost c.3
11000100	Prekročená maximálna kritická teplota	Udalost c.4
11000101	Pokles teploty pod minimálnu kritickú teplotu	Udalost c.5
11000110	Prkročenie maximálnej povolenej vlhkosti	Udalost c.6
11000111	Oprava zaseknutého ventilátora	Udalost c.7
11001000	Skrat na výhrevnom telese	Udalost c.8

Informácia o adrese, do ktorej sa bude zapisovať nasledujúca informácia je pri bežnej prevádzke uložená v registroch mikroprocesora a pri výpadku napájacieho napätia sa uloží do externej pamäte na pridelené pamäťové miesto. Usporiadanie pamäťového priestoru je v tab.2.4.

Tab. 2.4 Usporiadanie externej pamäte EEPROM.

Adresa v EEPROM	Obsah
0x0000	celkový čas prevádzky
0x0001	zariadenia v minútach
0x0002	
0x0003	celkový čas prevádzky
0x0004	ventilátoru v minútach
0x0005	
0x0006	celkový čas prevádzky
0x0007	výhrevného telesa
0x0008	
0x0009	adresa posledného
0x000A	zápisu
0x000B	pamäť určená pre zápis
až	prevádzkových
0xFFFF	informácií

Každá prevádzková informácia má veľkosť 8 bitov a je tvorená z identifikačnej značky a samotnej informácie. Podľa identifikačnej značky sa rozpoznávajú informácie a ich význam. Použité identifikačné značky sú v tab 2.5.

Tab. 2.5 Identifikačné značky informácií zapisovaných do EEPROM.

0 + 7 bitov	Teplota (0-127)
100 + 5 bitov	Vlhkosť (0-31)
110 + 5 bitov	Mimoriadny stav (0-31)

Ako je vidno z tab.3.1, na vyjadrenie vlhkosti stačí 5 bitov, teda hodnoty od 0 do 31. V skutočnosti vlhkosť môže dosahovať hodnôt od 10 do 90, ale vzhľadom na presnosť použitého senzoru $\pm 5\%$ RH sú namerané hodnoty v násobkoch čísla päť. Nameraná vlhkosť sa pred zápisom do pamäte vydělí piatimi, čo umožní zmenšiť rozsah na hodnoty 2 až 18. Pri čítaní z pamäte sa hodnoty vlhkosti opäť vynásobia piatimi.

Periódza zapisovania teploty a vlhkosti sa dá nastavovať cez sériovú linku RS-485 a to v rozsahu 0 až 99 minút s krokom 1 minúta. Ak je nastavená periódza na 0 minút, zapisovanie sa vykonáva po 10 sekundách. Pre predstavu aké dlhé obdobie záznamov môže byť uložené v pamäti pri periódze 5 minút je výpočet tohto obdobia spravený pre dva extrémne prípady. Jeden keď za celé obdobie nenastane ani jeden mimoriadny stav(2.6) a druhý keď mimoriadny stav nastane každých 5 minút(2.7). Počet voľných bajtov pre zápis prevádzkových informácií je $2^{16}-11=65525$.

$$T = \frac{65525}{b} \cdot T_z = \frac{65525}{2} \cdot 5 = 163812,5 \text{ min} = 113,7 \text{ dní} \quad (2.6)$$

$$T = \frac{65525}{b} \cdot T_z = \frac{65525}{6} \cdot 5 = 54604,2 \text{ min} = 37,9 \text{ dní} \quad (2.7)$$

T predstavuje obdobie po ktorom sa vyčerpá pamäť a začnú sa prepisovať prvé zápisy. Premenná b je počet bajtov ktoré sa zapíšu za periódu T_z . Pamäť funguje ako cyklický buffer, takže po vyčerpaní voľného miesta sa začnú prepisovať dáta od začiatku bez toho, aby sa celá pamäť vymazala.

2.5 Meranie času

Správne meranie celkových časov prevádzky a periódu zapisovania prevádzkových informácií zabezpečuje periféria Časovač2. Časovač je 8 bitový, frekvencia mikroprocesora je 8MHz a preddelička nastavená na 1024. Pretečenie časovača vyvolá prerušenie, v ktorom sa inkrementujú pomocné kumulačné veličiny. Aby bolo meranie času v minútach presné tak 60 sekúnd musí byť celočíselným násobkom času jedného pretečenia. Keďže časovač je 8 bitový, pretečenie nastane vždy po 256 impulzoch. Čas pretečenia je však ideálny ak nastane po 250 impulzoch. Preto je v programe nastavené, aby počítanie nezačínalo na 0, ale rovno na hodnote 6. Čas pretečenia sa vypočíta podľa vzťahu(2.8).

$$T_{OVF} = \frac{1}{f_{OVF}} = \frac{1}{\frac{f_{clk}}{N \cdot (2^8 - 6)}} = \frac{N \cdot (2^8 - 6)}{f_{clk}} = \frac{1024 \cdot (256 - 6)}{8 \cdot 10^6} = 32 \text{ ms} \quad (2.8)$$

N je hodnota nastavenej preddeličky a f_{OVF} je frekvencia prerušení, ktoré vyvolá pretečenie. Celkové časy prevádzky sa ukladajú v minútach, a preto premenné v ktorých je uložená informácia o čase v minútach sa inkrementuje až po 1875 prerušeniach, vypočítané podľa (2.9).

$$n_{OVF} = \frac{60}{T_{OVF}} = \frac{60}{0,032} = 1875 \quad (2.9)$$

2.6 Komunikácia s okolím

Klimatizačná jednotka je navrhnutá na komunikáciu s okolím po linke RS-485, ale použitý mikroprocesor využíva na komunikáciu komunikačné rozhranie UART. Prevod medzi rozhraniami UART a RS-485 je riešený čisto hardvérovo, takže program je písaný ako pre rozhranie UART. Konfigurácia spojenia pre UART:

- Prenosová rýchlosť: 9600 baud/s
- Počet informačných bitov: 8 bitov
- Počet stop bitov: 1 bit
- Zabezpečenie paritou: párna parita (even parity)
- Riadenie prenosu: žiadne

Prostredníctvom sériovej linky môže zariadenie na požiadanie odoslať aktuálnu teplotu, aktuálnu vlhkosť, aktuálne nastavenie intervalov pre reguláciu teploty a vlhkosti, obsah pamäte s prevádzkovými informáciami a zoznam príkazov

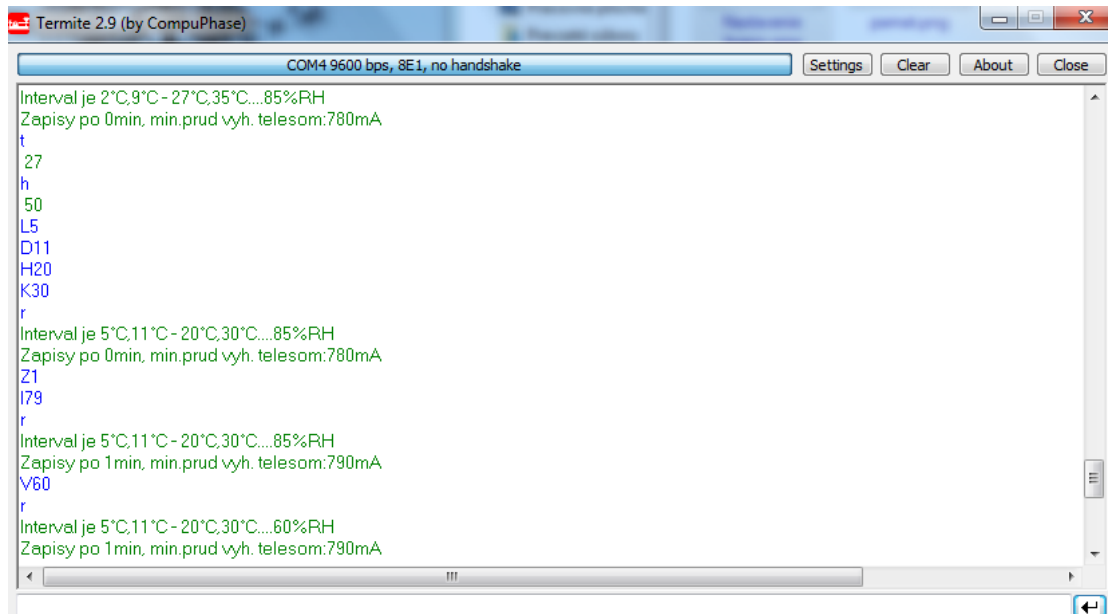
s vysvetlením ich významu. Ďalej sa dajú meniť hraničné hodnoty teplôt a vlhkosti, podľa ktorých klimatizačná jednotka vyhodnocuje potrebnú reguláciu. Ako príkazy slúžia znaky, ktoré mikroprocesor prijíma, vyhodnocuje a následne vykoná úkon, ktorý prijatý znak reprezentuje. Zoznam príkazov pre komunikáciu s klimatizačnou jednotkou je v tab. 2.6. Ak je prijatý znak, ktorý nie je definovaný, procesor pošle Error.

Tab. 2.6 Zoznam príkazov pre komunikáciu s klimatizačnou jednotkou.

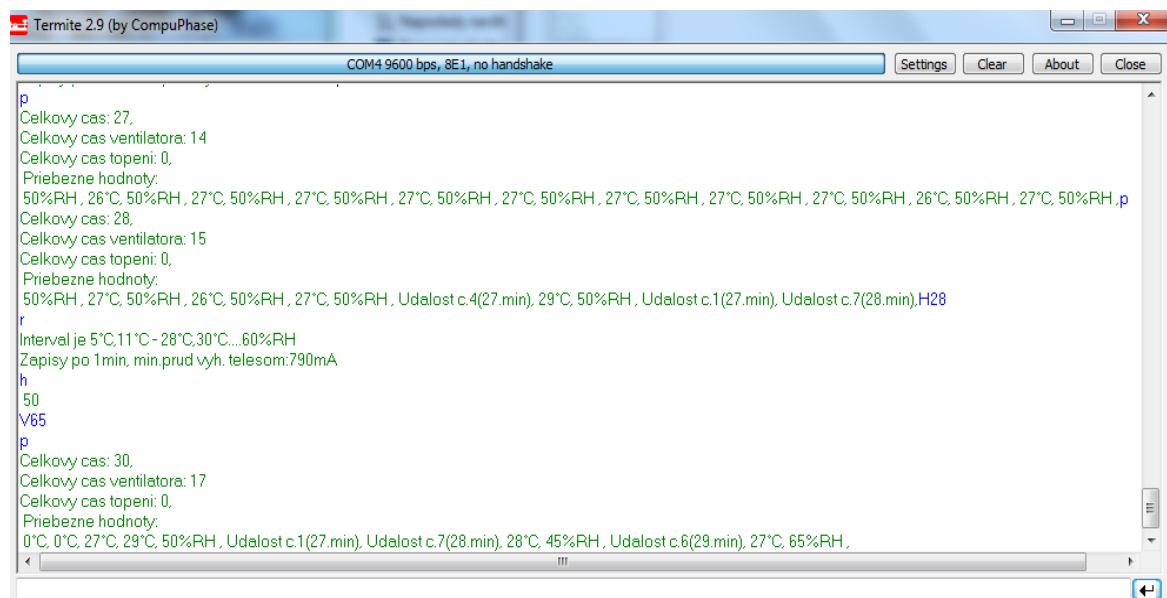
Znak	Príkaz
m	Vypíše menu príkazov
t	Pošle aktuálnu teplotu
h	Pošle aktuálnu vlhkosť
p	Vypíše obsah pamäte
n	Vynulovanie celkových časov prevádzky
o	Informácia o oprave poruchy, aby rozoplo relé
r	Vypíše nastavené rozsahy (t_{d_krit} , t_d , t_h , t_{h_krit} , h_{max}), periódu zapisovania teploty a vlhkosti do pamäte a I_{min}
H	Nastavenie hornej tepelnej hranice t_h vo formáte Hxx...kde xx je teplota od 0 do 99°C
K	Nastavenie hornej kritickej tepelnej hranice t_{h_krit} vo formáte Kxx...kde xx je teplota od 0 do 99°C
D	Nastavenie dolnej tepelnej hranice t_d vo formáte Dxx...kde xx je teplota od 0 do 99°C
L	Nastavenie dolnej kritickej tepelnej hranice t_{d_krit} vo formáte Lxx...kde xx je teplota od 0 do 99°C
V	Nastavenie maximálnej dovolenej vlhkosti h_{max} vo formáte Vxx...kde xx je vlhkosť od 10 do 90%RH
Z	Nastavenie periódy zapisovania teploty a vlhkosti do pamäte vo formáte Zxx...kde xx je čas v minútach od 0 do 99 minút, pričom 0 predstavuje periódu 10 sekúnd
I	Nastavenie minimálneho prúdu I_{min} výhrevným telesom, pre detekciu prepálenia rezistoru vo formáte Ixx...kde xx je prúd od (0 do 99)x10 mA, napr. príkaz I75 nastaví I_{min} na 750mA

Na komunikáciu medzi klimatizačnou jednotkou a počítačom sa využíva terminál. Screenshot z prebiehajúcej komunikácie cez terminál je na obr. 2.5, kde sú zobrazené

prevažne príkazy na nastavovanie hraničných hodnôt. Na obr. 2.6 je zobrazený príklad výpisu pamäte posledných 20 bajtov, aby bol výpis prehľadnejší. V reálnej prevádzke sa však obsah pamäte vypíše celý. Následne boli umelo vyvolané Udalosti č. 4, 1, 7 a 6 a zobrazené ich vyčítanie z pamäte.



Obr. 2.5 Príklad nastavenia hraničných hodnôt cez terminál.



Obr. 2.6 Príklad výpisu obsahu pamäte.

3 NÁVRH KONŠTRUKCIE

Táto kapitola obsahuje popis konštrukcie klimatizačnej jednotky.

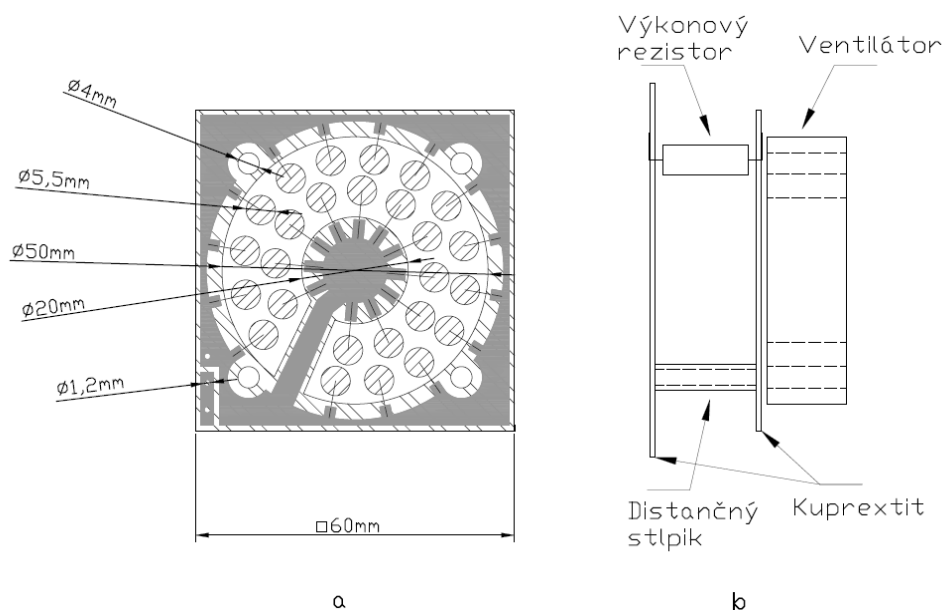
3.1 Konštrukcia výhrevného telesa

Pri návrhu konštrukcie výhrevného telesa je kľúčové dosiahnuť efektívne chladenie všetkých výkonových rezistorov. To je závislé na rozmeroch použitého ventilátora, konkrétne jeho lopatiek, ktoré vymedzujú priestor, ktorým prúdi vzduch. Do tohto priestoru je potrebné vložiť všetky rezistory, pričom musí zostať okolo nich dostatok priestoru, aby prúdiaci vzduch nebol príliš blokovaný. Plocha, ktorú pokrývajú rotujúce lopatky sa vypočíta ako rozdiel obsahu kruhu s polomerom lopatiek S_1 a obsahu kruhu s polomerom rotoru ventilátora S_2 podľa vzťahu(3.1).

$$\begin{aligned} S_p &= S_1 - S_2 = \pi \cdot r_1^2 - \pi \cdot r_2^2 = \pi \cdot (r_1^2 - r_2^2) = \pi(25^2 - 13^2) = \\ &= 1432,6 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (3.1)$$

Najefektívnejšie chladenie rezistorov sa dosiahne vtedy, ak sú orientované kolmo na smer prúdiaceho vzduchu, čiže najväčšou plochou k ventilátoru. Takáto orientácia je však pre väčšie množstvo rezistorov nevhodná, lebo zaberajú veľkú plochu. Zapojenie 26 rezistorov takýmto spôsobom by vyžadovalo minimálne tri rezistorové siete za sebou, rozložené do priestoru prúdiaceho vzduchu. Ak by boli súmerne za sebou, rezistory z druhej a tretej siete by boli v zákryte a neboli by dostatočne chladené. Ak by bola každá sieť mierne natočená voči predchádzajúcej, rezistory by príliš zaplnili celý priestor a prúdiaci vzduch by bol brzdený. Tým by sa zhoršilo ich chladenie.

Vhodnejším riešením je orientovať rezistory rovnobežne s prúdiacim vzduchom, čiže stranou, na ktorej je vývod smerom k ventilátoru. Rozloženie rezistorov a motív plošného spoja je na obr.3.1a. Usporiadanie jednotlivých komponentov výhrevného telesa je zjednodušene znázornené na obr.3.1b.

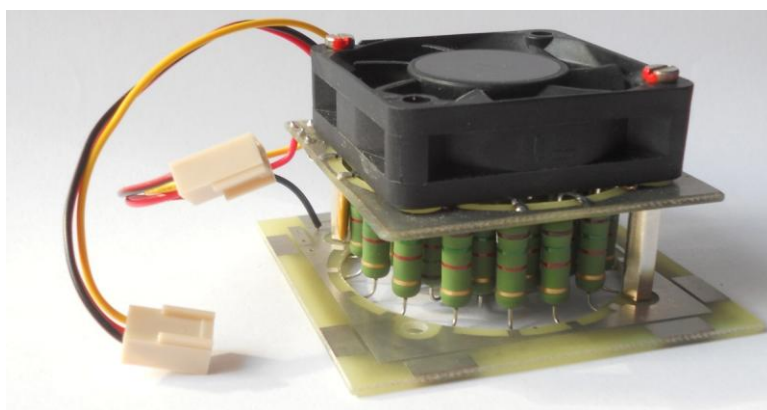


Obr. 3.1 Konštrukcia výhrevného telesa a) Rozloženie rezistorov a motív plošného spoja, b) Usporiadanie komponentov výhrevného telesa.

Takýmto usporiadaním zaberie jeden rezistor plochu S_R a všetky rezistory zaberú z celkovej plochy podľa vzťahu (3.2) okolo 43 %.

$$S_{\%} = \frac{26 \cdot S_R}{S_p} \cdot 100 = \frac{26 \cdot \pi \cdot r_r^2}{S_p} \cdot 100 = \frac{26 \cdot \pi \cdot 2,75^2}{1432,6} \cdot 100 = 43,1\% \quad (3.2)$$

K jednému z rezistorov je tepelne vodivou pastou prilepená vratná poistka PPTC s vypínacím prúdom 1,8 A a maximálnou teplotou 85°C. Tá by mala ochrániť prehriatie a následné prepálenie rezistorov. Zostrojené výhrevné teleso je na obr.3.2.



Obr. 3.2 Fotka výhrevného telesa.

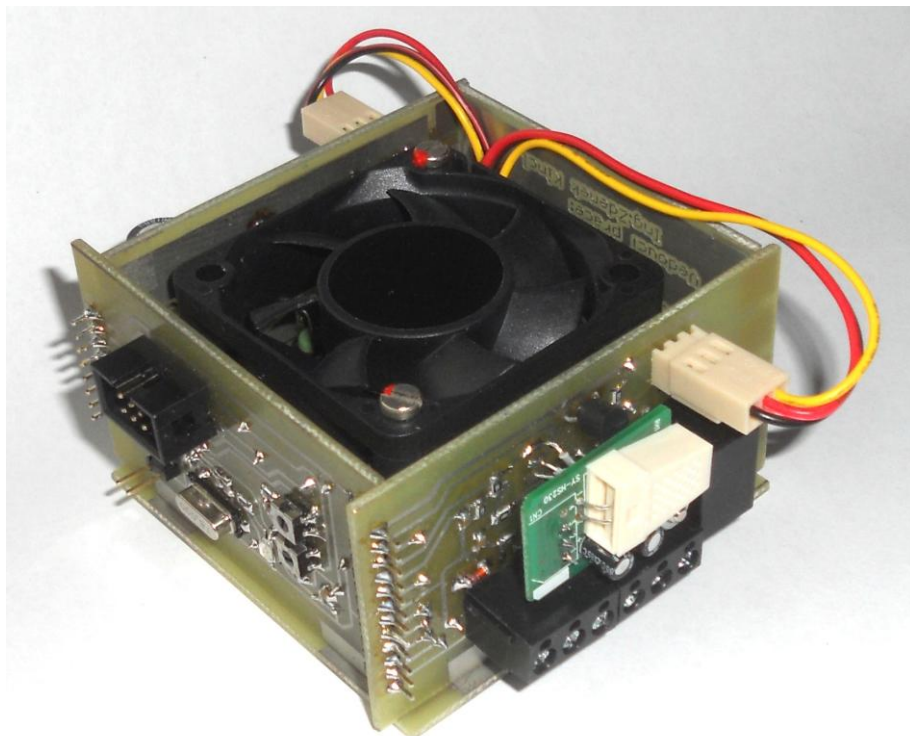
3.2 Rozloženie riadiacej elektroniky

Celá klimatizačná jednotka by mala byť vyhotovená ako kompaktný modul, ktorý zaberie čo najmenej miesta. Preto je všetka elektronika rozložená na troch obojstranných doskách, ktoré sú vzájomne spojené do štvorca okolo výhrevného telesa. Vzájomné spojenie dosiek je riešené pomocou obojstranných kolíkov v uhle 90°. Prázdna štvrtá doska uzatvára štvorec a pomáha tak lepšiemu prúdeniu vzduchu. Na okrajoch má spájkovacie plôšky, takže táto doska je s ostatnými spojená pomocou cínu.

Celý modul riadiacej elektroniky je nasunutý na výhrevné teleso a prispájkovaný na pripravených spájkovacích plôškach. Takto zložený modul klimatizačnej jednotky má maximálne vonkajšie rozmery aj so súčiastkami 95x78x47 mm. Zložená klimatizačná jednotka je na obr.3.3 a na obr.3.4.



Obr. 3.3 Fotka klimatizačnej jednotky



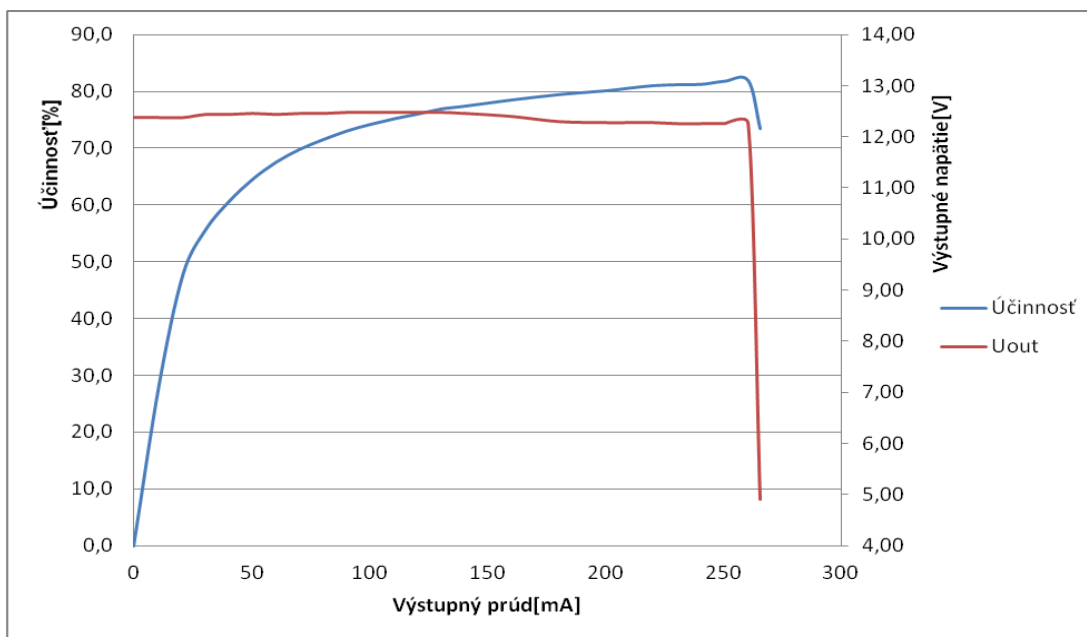
Obr. 3.4 Fotka klimatizačnej jednotky

4 VÝSLEDKY PRÁCE

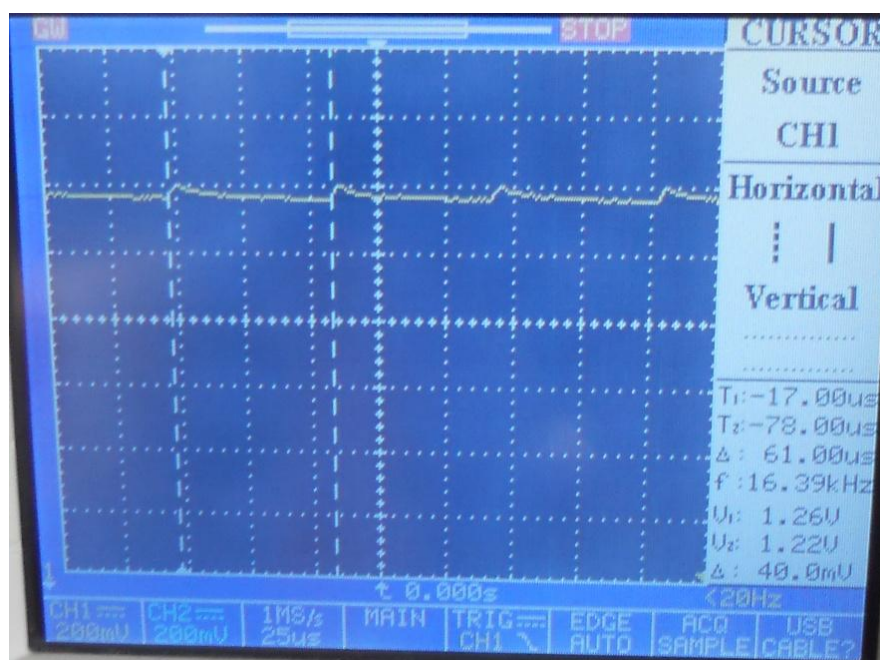
V tejto kapitole sú popísané postupy merania, spracované výsledky a ich zhodnotenie.

4.1 Spínaný zdroj

Po zostrojení DC/DC meniča z 48 V na 12 V bolo meraním zistené, že jeho maximálny výstupný výkon je menší ako sa predpokladalo pri návrhu. Na prevádzku klimatizačnej jednotky to však stačí, takže všetko je funkčné a neovplyvní to spoľahlivosť zariadenia. Predpokladaná zaťažiteľnosť zdroja bola 500 mA, reálne však je 255 mA. Dôvodom nesprávne fungujúceho meniča je pravdepodobne zlý výber akumuláčnej tlmivky L1, ktorá je dimenzovaná na 400 mA a dochádza k jej presycovaniu. Na vyšších kmitočtoch spôsobuje problémy vlastná rezonancia cievky čo znižuje zaťažiteľnosť zdroja. Frekvencia spínania bola zmenená z pôvodných 800 kHz na 200 kHz, na úkor väčšieho zvlnenia výstupného napätia a zníženej účinnosti. Riešením by bolo použiť tlmivku SDR1006-121KL s maximálnym prúdom 780 mA a vlastnou rezonančnou frekvenciou 5 MHz dostupnú v Mouser Electronics. Účinnosť zdroja sa pohybuje na úrovni 80 % (viz obr.4.1) a zvlnenie výstupného napätia bez zaťaženia je 40 mV (viz obr.4.2).



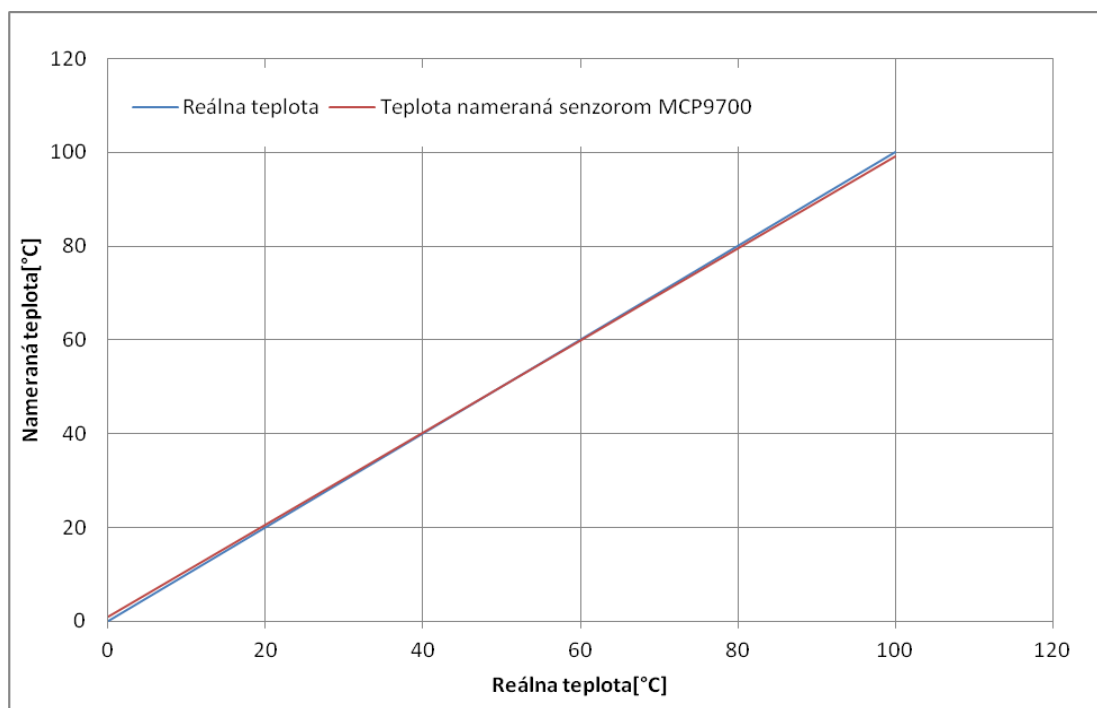
Obr. 4.1 Graf závislosti účinnosti a výstupného napätia na zaťažení zdroja.



Obr. 4.2 Priebeh zvlňnenia výstupného napätia bez zaťaženia.

4.2 Kalibrácia teplomera

Kalibrácia tepelného senzoru a celej sústavy ktorá sa zapája do merania sa vykonáva, aby sa mohli minimalizovať prípadné chyby merania, ako sú chyby offsetu, chyby zosilnenia, alebo chyby spôsobené nepresnosťou tepelného senzoru. Ideálny spôsob kalibrácie by bolo použiť platinový senzor a porovnávať výsledky s hodnotami nameranými klimatizačnou jednotkou v širokom intervale teplôt. Takáto kalibrácia však nebola realizovaná pre nedostupnosť platinového senzoru. Zvolená bola dvojbodová kalibrácia, kde sa meria teplota destilovanej vody pri 0°C a pri 100°C. Teplota 0°C sa dosiahne ľadom, ktorý sa topí vo vode a schladí ju na 0°C. Teplota 100°C je meraná pri varení vody. V obidvoch bodoch sa nameraná teplota vypočíta ako priemer 20 hodnôt meraných za sebou po troch sekundách. Teplota po spriemerovaní pri 0°C vyšla 0,9°C a pri 100°C vyšla 99,15°C. To je pomerne presné meranie, keďže presnosť tepelného senzoru uvedená výrobcom je $\pm 2^\circ\text{C}$. Kalibračná krivka je zobrazená v grafe na obr.4.3.



Obr. 4.3 Kalibračná krivka tepelného senzoru MCP9700.

5 ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo navrhnuť a zostrojiť klimatizačnú jednotku do optickej hlavice. Celé zariadenie je navrhnuté na napájacie napätie 48 V a pokles napätia pod 34 V je vyhodnotený ako výpadok napájania. Na meranie teploty aj vlhkosti boli vybrané senzory s napäťovým výstupom, ktorý spracováva AD prevodník mikroprocesora ATmega8. Regulácia teploty je riadená podľa nastavených hraničných teplôt. Tie sa dajú nastavovať buď cez sériovú linku RS-485 príkazmi popísanými v kapitole 2.6, alebo manuálne pomocou odporových trimrov v rozsahu teplôt 5°C až 45°C. Do tohto režimu sa jednotka prepne pomocou jumperu JP1. Regulácia vlhkosti je riadená podľa nastavenej maximálnej vlhkosti a meniť sa dá len cez sériovú linku. Výkon výhrevného telesa sa dá plynule regulovať do maximálneho výkonu 40 W. Ochranu proti nadmernému prehriatiu a skratu zabezpečuje vratná PPTC poistka, ktorá odpojí výhrevné teleso od napájania pri teplote nad 85°C, alebo pri prúde nad 1,8 A. Počas regulácie teploty aj vlhkosti sa kontroluje funkčnosť ventilátora a ak je vyhodnotená jeho porucha, vybaví sa poruchový stav pomocou relé. Závažné poruchy signalizované pomocou relé, vyžadujú kontrolu jednotky užívateľom. Po odstránení poruchy je nutné jednotku reštartovať alebo poslať po linke RS-485 príkaz, ktorý informuje o odstránení poruchy. Jednotka pravidelne zapisuje teplotu a vlhkosť do externej pamäte EEPROM v intervale, ktorý je možné nastavovať cez sériovú linku. K týmto informáciám zapisuje ešte mimoriadne udalosti, ako sú poruchy alebo prekročenie intervalu teploty a vlhkosti. Súčasťou zápisu každej udalosti je aj časová značka, ktorá informuje, v ktorej minúte celkovej prevádzky zariadenia nastala. V pamäti sú uložené aj celkové časy prevádzky výhrevného telesa, ventilátora a celého zariadenia.

Plošný spoj je navrhnutý na obojstrannej doske rozdelený na tri samostatné DPS. Tie sú vzájomne spojené obojstrannými kolíkmi do tvaru štvorca, tak aby kopírovali obvod výhrevného telesa. Tým sa docielila minimalizácia rozmerov a vznikol tak kompaktný modul klimatizačnej jednotky s maximálnymi vonkajšími rozmermi 95x78x47mm.

Klimatizačná jednotka bola otestovaná a je plne funkčná. Prúdový odber jednotky, v stave keď je vypnutý ventilátor aj výhrevné teleso je okolo 8 mA. Účinnosť spínaného zdroja, keď je zapnutý ventilátor sa pohybuje na úrovni 77 %. Použitý senzor teploty má výrobcom uvedenú presnosť merania $\pm 2^{\circ}\text{C}$, ktorá bola pomocou dvojbodovej kalibrácie spresnená na $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Pri testovaní detekcie výpadku napájacieho napätia sa po odpojení napájania stihli zapísať všetky potrebné informácie do externej pamäte. Prípadným vylepšením do budúcnosti je doplnenie výhrevného telesa o teplomer, ktorý by meral teplotu priamo na výhrevných rezistoroch, naprogramovanie ovládacieho programu pre počítač, aby komunikácia s jednotkou bola pre užívateľa jednoduchšia a ošetrenie riadiaceho programu od nedostatkov zistených po dlhodobom užívaní v praxi.

LITERATÚRA

- [1] ATMEL CORPORATION. 8-bit Microcontroller ATmega8. *Atmel* [online]. 2011 [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/images/doc2486.pdf>
- [2] KREIDL, L. *Měření teploty – senzory a měřící obvody*. Ben, ISBN 80-7300-145-4, ČR, 2005.
- [3] Měření teploty - polovodičové odporové senzory teploty. *HW* [online]. 2004 [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-polovodicove-odporove-senzory-teploty.html>
- [4] Vlhkoměry. *HW* [online]. 2004 [cit. 2012-12-13]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vlhkomery.html-0>
- [5] Komunikace po sériové sběrnici I2C. *ROOT* [online]. 2009 [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/komunikace-po-seriove-sbernici-isup2supc/>
- [6] FRÝZA, T. *Mikroprocesorová technika a embedded systémy – Přednášky*. Elektronické skriptá. Brno: FEKT VUT v Brně, 2011
- [7] MICROCHIP TECHNOLOGY. 24LC512 512K I2C Serial EEPROM. *Microchip* [online]. 2010 [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21754M.pdf>
- [8] Sběrnice RS-422, RS-423 a RS-485. *ROOT* [online]. 2008 [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/sbernice-rs-422-rs-423-a-rs-485/>
- [9] RS 485 & 422. *HW* [online]. 1998 [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/rs-485-422.html>
- [10] SY-HS-230B - Humidity Sensor Module - List of Unclassified Manufacturers. *Alldatasheet* [online]. [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.net/datasheet-pdf/view/184068/ETC2/SY-HS-230B.html>
- [11] MANN, Burkhard. *C pro mikrokontroléry*. 1. české vyd. Praha: BEN-technická literatura, 2003, 279 s. ISBN 80-7300-077-6.
- [12] TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. LM5007: (ACTIVE) High Voltage (80V) Step Down Switching Regulator. Texas Instruments [online]. 2013 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm5007.pdf>
- [13] HOROWITZ, P., HILL, W. *The Art of Electronics* (2nd edition). New York: Cambridge University Press, 1989.
- [14] MICROCHIP TECHNOLOGY. MCP9700. Microchip [online]. 2009 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21942e.pdf>
- [15] ZETEX SEMICONDUCTORS. ZXMN7A11 - 70V N-channel MOSFET. *Aldatasheet* [online]. 2006 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.net/datasheet-pdf/view/170292/ZETEX/ZXMN7A11.html>
- [16] INTERNATIONAL RECTIFIER. IRFR120NPBF - Fast Switching. *Alldatasheet* [online]. 2004 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/218565/IRF/IRFR120NPBF.html>
- [17] UNIS COMPUTERS, A.S. FSO (Free Space Optics) - Optika bez kabelů. *Uniscomp* [online]. 2010 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: <http://www.uniscomp.cz/t/fso-free-space-optics-optika-bez-kabelu/1064.?lang=en>

ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

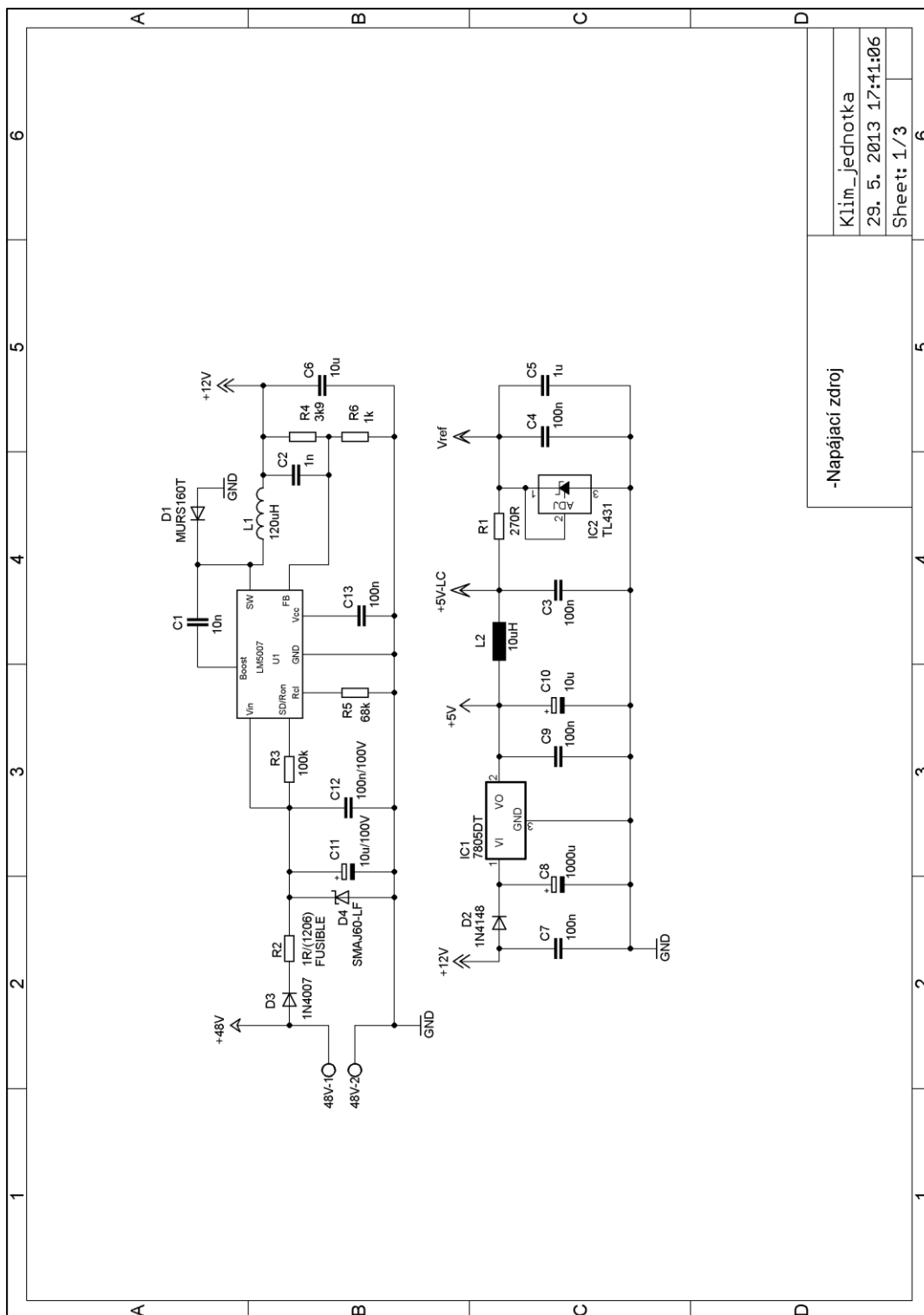
FSO	Free Space Optics
HVAC	Heating, ventilation, and air conditioning
I2C	Inter-Integrated Circuit
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
RH	Relative humidity
AD	Analógovo digitálny
USART	Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter
UART	Universal Asynchronous Receiver and Transmitter
SPI	Serial Peripheral Interface
TWI	Two Wire Interface
NTC	Negative Temperature Coefficient
PTC	Positive Temperature Coefficient
PWM	Pulse Width Modulation
SMD	Surface mount device
MOSFET	Metal oxide semiconductor field effect transistor
DPS	Doska plošných spojov
PPTC	Polymeric positive temperature coefficient
LED	Light-Emitting Diode

ZOZNAM PRÍLOH

A	návrh zariadenia	42
A.1	Obvodové zapojenie	42
A.2	Doska plošného spoja – top (strana súčiastok)	45
A.3	Doska plošného spoja – bottom (strana spojov)	45
A.4	Rozmiestnenie súčiastok – top.....	46
A.5	Rozmiestnenie súčiastok – bottom	46
A.6	Doska plošného spoja výhrevného telesa – top	47
A.7	Doska plošného spoja výhrevného telesa – bottom	47
A.8	Rozloženie DPS s elektronikou	48
B	Zoznam súčiastok	49
B.1	Riadiaca elektronika	49
B.2	Výhrevné teleso	51

A NÁVRH ZARIADENIA

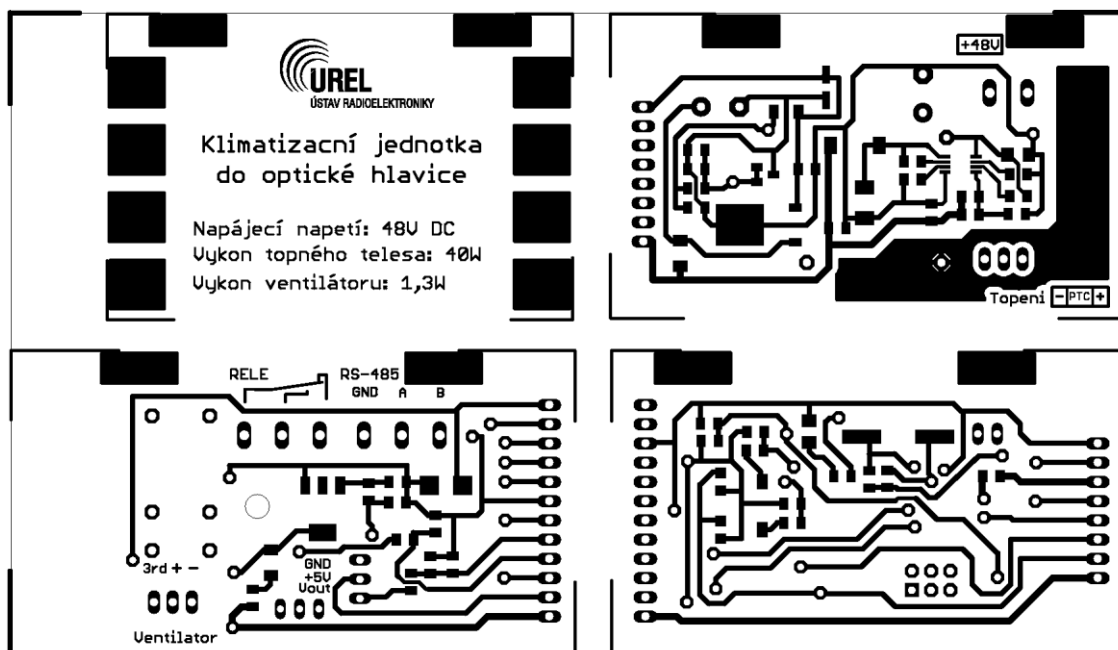
A.1 Obvodové zapojenie



-Napájací zdroj

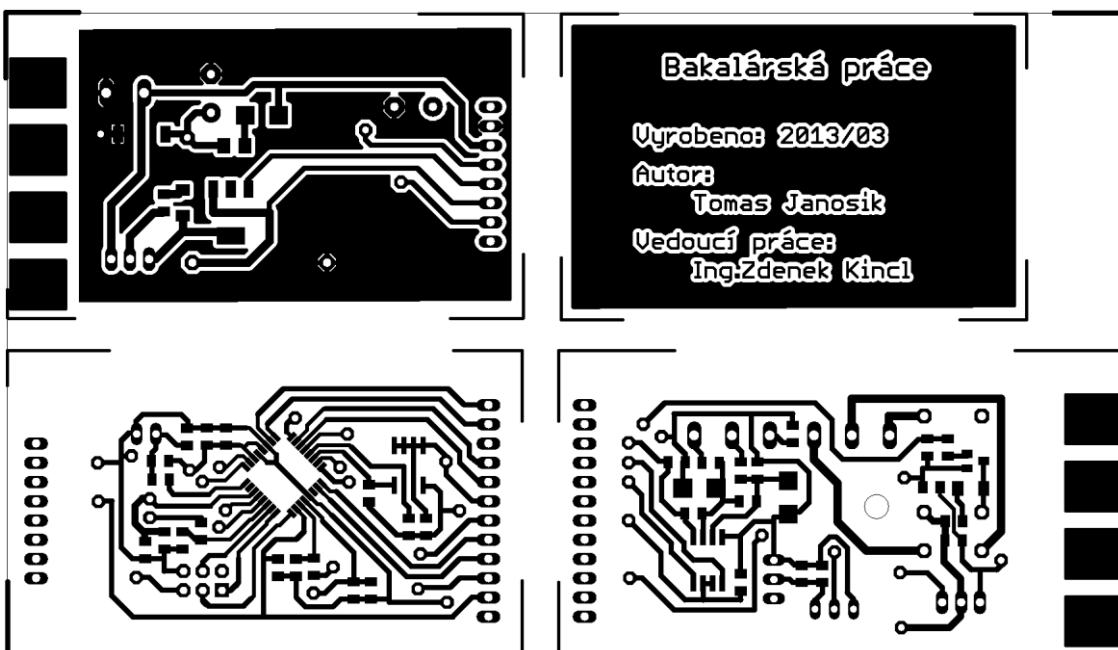
Klim_jednotka
29. 5. 2013 17:41:06
Sheet: 1/3

A.2 Doska plošného spoja – top (strana súčiastok)



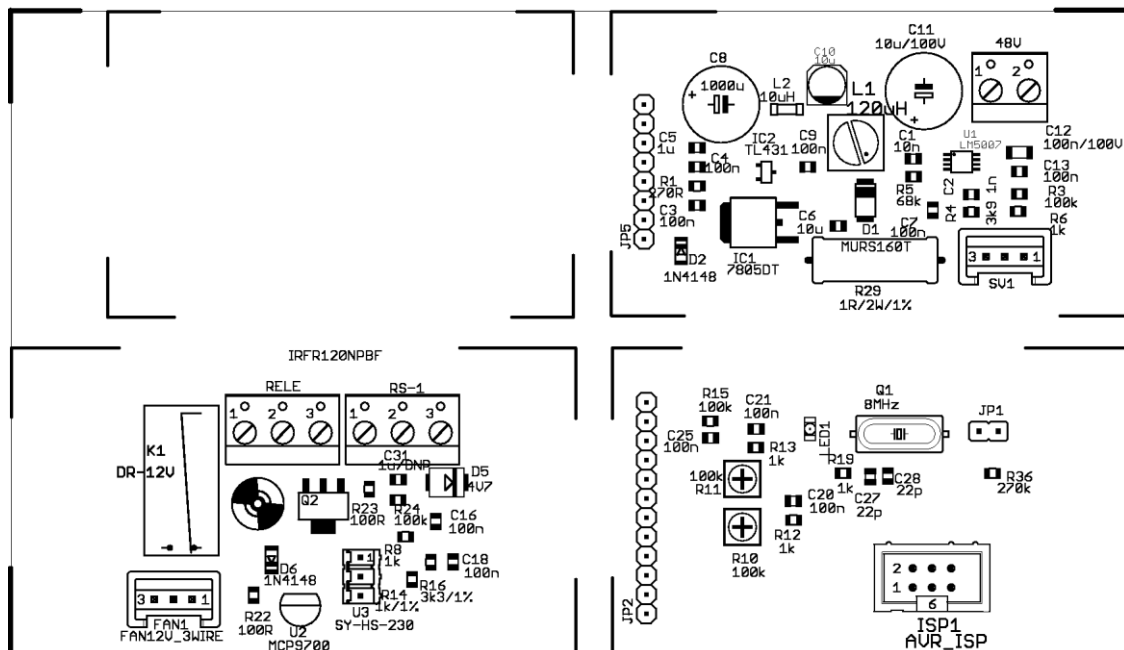
Rozměry desky 147x84 [mm], měřítko M1:1

A.3 Doska plošného spoja – bottom (strana spojov)



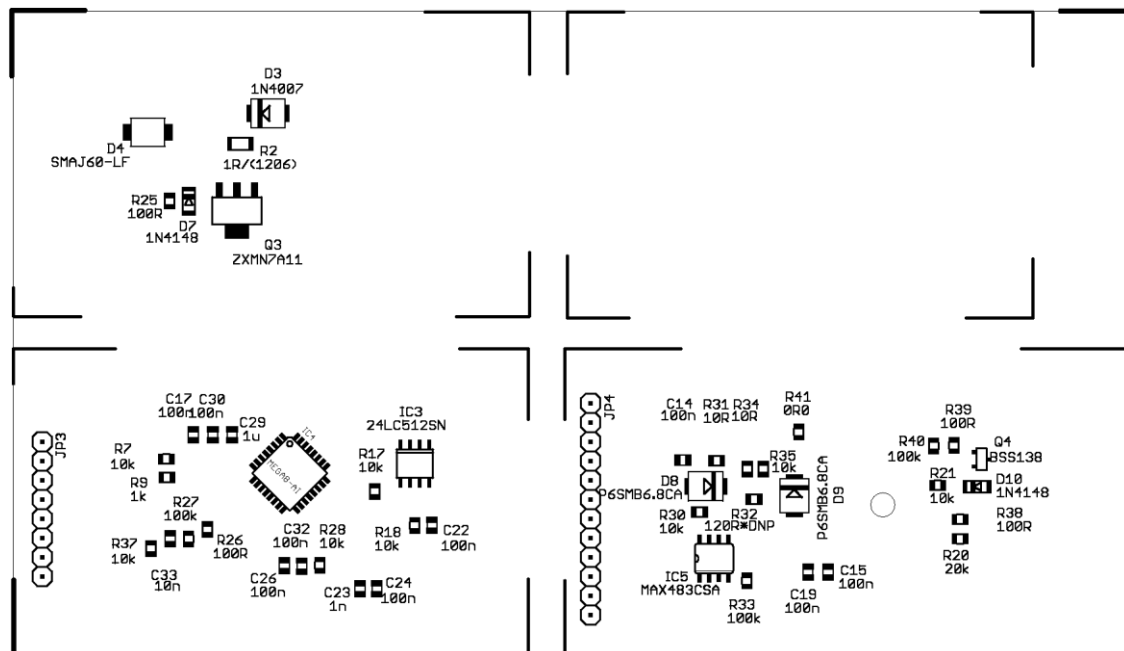
Rozměry desky 147x84 [mm], měřítko M1:1

A.4 Rozmieszczenie súčiastok – top



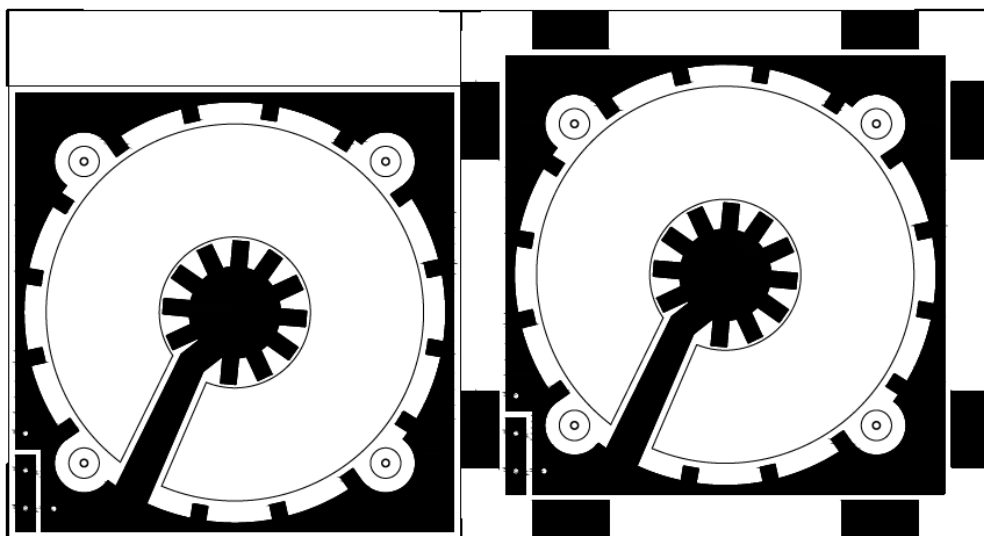
Rozmery dosky 147x84 [mm], mierka M1:1

A.5 Rozmieszczenie súčiastok – bottom



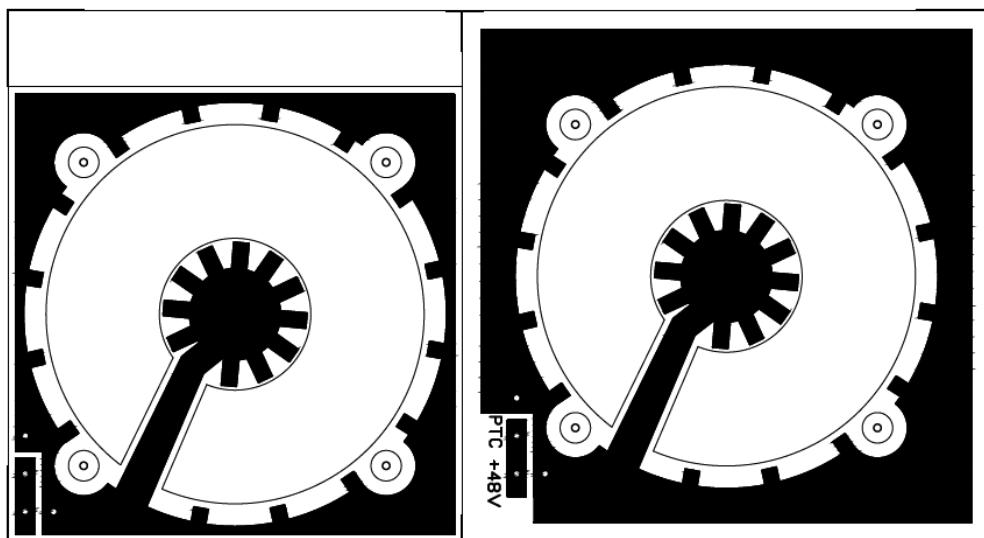
Rozmery dosky 147x84 [mm], mierka M1:1

A.6 Doska plošného spoja výhrevného telesa – top



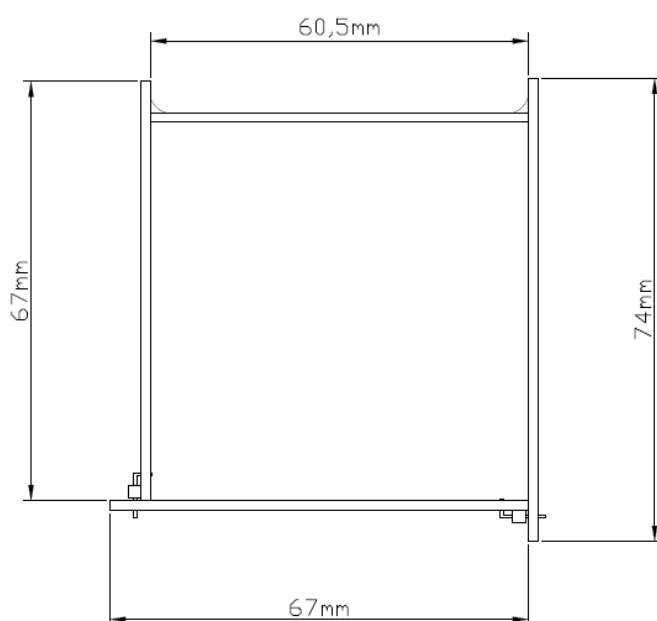
Rozmery dosky 130x70 [mm], mierka M1:1

A.7 Doska plošného spoja výhrevného telesa – bottom



Rozmery dosky 130x70 [mm], mierka M1:1

A.8 Rozloženie DPS s elektronikou



B ZOZNAM SÚČIASTOK

B.1 Riadiaca elektronika

Označenie	Hodnota	Puzdro	Popis
C1	10n	C0805	Keramický kondenzátor
C2	1n	C0805	Keramický kondenzátor
C3	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C4	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C5	1u	C0805	Keramický kondenzátor
C6	10u	C0805	Keramický kondenzátor
C7	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C8	1000u	E5-10,5mm	Elektrolytický kondenzátor
C9	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C10	10u	SMD 5x5,8mm	Elektrolytický kondenzátor
C11	10u/100V	E5-7mm	Elektrolytický kondenzátor
C12	100n/100V	C1206	Keramický kondenzátor
C13	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C14	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C15	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C16	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C17	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C18	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C19	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C20	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C21	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C22	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C23	1n	C0805	Keramický kondenzátor
C24	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C25	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C26	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C27	22p	C0805	Keramický kondenzátor
C28	22p	C0805	Keramický kondenzátor
C29	1u	C0805	Keramický kondenzátor
C30	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C31	1u/DNP	C0805	Keramický kondenzátor
C32	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C33	10n	C0805	Keramický kondenzátor
D1	MURS160T	DO-214AC	DIODE
D2	1N4148	MINIMELF	Spínacia dióda

D3	1N4007	SMB	DIODE
D4	SMAJ60-LF	SMB	Jednosmerný transil 60V
D5	4V7	MINIMELF	Zenerová dióda 4,7V
D6	1N4148	MINIMELF	Spínacia dióda
D7	1N4148	MINIMELF	Spínacia dióda
D8	P6SMB6.8CA	SMB	Obojsmerný transil 6,8V
D9	P6SMB6.8CA	SMB	Obojsmerný transil 6,8V
D10	1N4148	MINIMELF	Spínacia dióda
IC1	7805DT	TO252	Napäťový stabilizátor 5V
IC2	TL431	SOT23	Napäťová referencia 2,5V
IC3	24LC512SN	SO-08	Externá pamäť EEPROM 512kbit
IC4	ATMEGA8-AL	TQFP32-08	Mikrokontrolér ATmega8
IC5	MAX483CSA	SO08	Linkový vysílač-přijímač
ISP1	AVR_ISP	MLW06G	AVR ISP konektor
JP1		2,54mm	JUMPER
K1	N4100CHS3DC12		Relé 12V
L1	120uH	PIS2816	Tlmivka (500mA)
L2	10uH	SM-1206	Tlmivka
LED1		1206	LED červená
Q1	8MHz	SM49	Kryštál 8MHz
Q2	IRFR120NPBF	SOT223	Tranzistor N-MOSFET
Q3	ZXMN7A11	SOT223	Tranzistor N-MOSFET
Q4	BSS138	SOT23	Tranzistor N-MOSFET
R1	270R	R0805	Rezistor
R2	1R/(1206)	R1206	Rezistor
R3	100k	R0805	Rezistor
R4	3k9	R0805	Rezistor
R5	68k	R0805	Rezistor
R6	1k	R0805	Rezistor
R7	10k	R0805	Rezistor
R8	1k	R0805	Rezistor
R9	1k	R0805	Rezistor
R10	100k	SMD 5x5mm	O odporový trimer
R11	100k	SMD 5x5mm	O odporový trimer
R12	1k	R0805	Rezistor
R13	1k	R0805	Rezistor
R14	1k/1%	R0805	Rezistor
R15	100k	R0805	Rezistor
R16	3k3/1%	R0805	Rezistor
R17	10k	R0805	Rezistor
R18	10k	R0805	Rezistor
R19	1k	R0805	Rezistor
R20	20k	R0805	Rezistor

R21	10k	R0805	Rezistor
R22	100R	R0805	Rezistor
R23	100R	R0805	Rezistor
R24	100k	R0805	Rezistor
R25	100R	R0805	Rezistor
R26	100R	R0805	Rezistor
R27	100k	R0805	Rezistor
R28	10k	R0805	Rezistor
R29	1R/2W/1%	0617/17	Výkonový rezistor 2W
R30	10k	R0805	Rezistor
R31	10R	R0805	Rezistor
R32	120R*DNP	R0805	Rezistor
R33	100k	R0805	Rezistor
R34	10R	R0805	Rezistor
R35	10k	R0805	Rezistor
R36	270k	R0805	Rezistor
R37	10k	R0805	Rezistor
R38	100R	R0805	Rezistor
R39	100R	R0805	Rezistor
R40	100k	R0805	Rezistor
R41	0R0	R0805	Rezistor
48V		5mm	Šróbovacia svorkovnica
RELE		5mm	Šróbovacia svorkovnica
RS-1		5mm	Šróbovacia svorkovnica
SV1		2,54mm	Konektor so zámkom, 3 piny
FAN1		2,54mm	Konektor so zámkom, 3 piny
U1	LM5007	MSOP8	Spínaný regulátor Step down
U2	MCP9700	TO92	Tepelný senzor
U3	SY-HS-230	samostatný modul	Senzor vlhkosti
JP3+JP4	20pin/90°	2,54mm	Obojstranný kolík 20pin

B.2 Výhrevné teleso

Hodnota	Púzdro	Popis
12V/1,5W	50x50mm	Ventilátor SUNON
1500Ω/2W	16x5,5mm	Výkonové rezistory 26ks
RXE090E 1,8A/85°C	5,1mm	Vratná pojistka PPTC
	20mm	Distančné stĺpiky matka x matka 4ks