

Bezdrôtový systém riadenia teploty v termostatických hlaviciach

Amena Pavol · Elektrotechnika, Študentské práce

31.03.2010



Náplňou práce bolo vytvoriť systém pre úsporu energií kúrenia bez potreby zložitej inštalácie hlavne v panelových bytoch, ktorých výhrevné telesá sú osadené termostatickými hlaviciami a tým spôsobom prispievať k lepšej hospodárnosti panelových bytov.

1. Úvod

Spôsobov ako ušetriť na energiách je nes počet. Delia sa ale na dva hlavné celky, jedným hľadiskom je pasívna úspora energií prostredníctvom zateplovacích systémov s veľmi širokou ponukou na našom trhu. Ide o zateplovanie materiálmi s nízkou tepelnou vodivosťou ako sú rôzne minerálne vlny, polystyrény, resp. plastové okná a pod. Účinnosť takejto úspory energií je vysoká a zároveň veľkosť vynaložených nákladov na stavebné úpravy.

Ďalším spôsobom môže byť úspora energií uskutočnená aj prostredníctvom kotlov s vyššou účinnosťou, do tejto kategórie patria kondenzačné kotly s účinnosťou až 98% oproti klasickým kotlom s účinnosťou približne 92%. Kondenzačná technika predstavuje veľký krok týmto smerom a umožňuje pri rovnakej tepelnej pohode a spotrebe TUV v dome redukovať spotrebu plynu až o 30 % a znížiť emisie škodlivín NO_x a CO až o 70 % oproti konvenčným zdrojom tepla. Spaliny, ktoré sú odvádzané do ovzdušia, majú priemernú teplotu 120 °C. Chemickou reakciou pri spaľovaní uhľovodíku vzniká voda, ktorá sa samozrejme okamžite v plameni pretvorí na vodnú paru. Tá sa bez využitia odvádza do ovzdušia a odnáša so sebou až 11 % (u zemného plynu) nevyužitej energie (tepla).

Účelom kondenzačnej techniky je odobrať tuto vzácnu energiu (teplo) ochladením vodnej pary zo spalín v špeciálnom výmenníku a teplo takto získané použiť taktiež pre ohrev vody pre vykurovanie. Najviac tejto energie získame pri takom ochladiení spalín, kedy vodná para, obsiahnutá v spalínach skondenzuje, tj. pri teplotách vykurovacej vody nižších, než rosný bod spalín, ktorý sa pohybuje okolo 57 °C.

V predchádzajúcom texte sú spomenuté dva najrozšírenejšie spôsoby ako docieľiť úsporu energií. My si teraz predstavíme systém "Home Eco Solution", ktorého montáž a obsluhu zvládne aj starší občan.

2. Požiadavky elektronického riadenia budov

Budúcnosť je v znamení automatizácie a inak tomu nebude ani v našich bytoch či domácnostiach. Už dnes sa dá nájsť v luxusných hoteloch a v kanceláriách špičkových firiem praktické nasadenie automatického riadenia budov. To umožňuje nie len riadenie kúrenia a chladenia, ale je možné ovládať aj funkcie spotrebičov či informačného systému.

2.1 Automatické riadenie budov

Veľkou výzvou ale aj ako slubné odvetvie v oblasti inštalácie automatického riadenia a regulácie je plno-automatické elektronické riadenie bývania. Už dnes začína byť tento smer uplatnenia modernej elektroniky veľmi aktuálny a v budúcnosti by mala jeho dôležitosť naďalej stúpať. Práve automatizácia našich obydlií môže byť hlavný ekonomický ťahúň elektropriemyslu a spotrebnej elektroniky. Základnou otázkou pre firmy, výrobcov aj manažérov je otázka, ako ľudia budú môcť požadovať a ako vôbec príjmu možnosť, že úkony, ktoré pred tým robili ručne a viac menej podvedome, teraz budú môcť prenechať svojmu domácemu riadiacemu systému.

Automatické riadenie budov, resp. bývania, sa dá definovať ako súbor vzájomne elektronicky prepojených zariadení, ktoré sú spravidla ovládané automaticky alebo poloautomaticky z centrálného riadiaceho systému v podobe priemyslového počítača, pričom prianiť užívateľa sú mu poskytované cez tzv. HMI (Human-Machine Interface, rozhranie človek - počítač). To má dnes podobu najčastejšie dotykového displeja, ale už v blízkej budúcnosti sa určite bude prechádzať na riadenie hlasom. HMI môže byť napevno na stene, alebo zabudovaný do niektorého zariadenia (chladnička, multimediálny systém a pod.) alebo ako voľne prenosný ovládač komunikujúci s PC bezdrôtovo napr. cez WiFi.

Základnou myšlienkou riadenia budov a bývania je možnosť centralizovať ovládanie množstva zariadení na jeden ovládací panel, miesto nastavovania každého zariadenia zvlášť, ich diaľkové ovládanie napríklad mobilom a zaistenie automatického vykonávania všetkých funkcií a procesov, ktoré sám človek ovládať nechce alebo na to nemá čas.

2.2 Požiadavky zákazníkov

Zatiaľ sa podobné systémy používajú v podnikovej sfére alebo v luxusných bytoch a hotelových izbách, hlavne z dôvodu ich vysokej ceny inštalácie i jednotlivých dielov. Lenže rovnako ako v minulosti u iných elektronických zariadeniach, s väčšou rozšírenosťou a väčším predajom budú klesať aj ceny a určite v krátkej budúcnosti budú cenovo dostupné aj pre bežných užívateľov v novostavbách. Otázkou však zostáva, či ľudia kupujúci tieto byty požadujú tie isté vlastnosti, ktoré sa hodia pre hotelové izby alebo podnikové kancelárie.

To čo v kancelárii môže byť vítané, v domácom rodinnom prostredí s deťmi a starými ľuďmi môže byť aj na obtiaž. V kanceláriách sa vlastne predpokladá určitá skupina osôb s určitým prístupom a skúsenosťami s modernou technikou a technológiami, naopak v domácom prostredí žijú a objavujú sa ľudia, ktorí moderné technológie neovládajú alebo dokonca k nim môžu mať aj odpor, napríklad niektorí starší občania.

Preto je nutné inak pristupovať k návrhu riadiaceho a automatizačného systému v komerčných priestoroch, či v krátkodobých ubytovacích zariadeniach a domácnostiach.

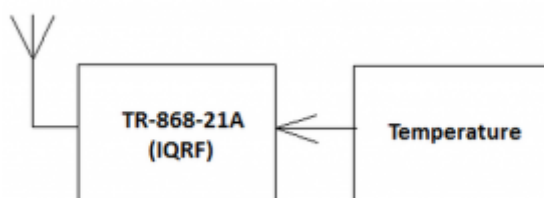
2.3 Všeobecné požiadavky na systém v bežných domácnostiach:

1. Jednoduché až primitívne ovládanie
2. Veľká spoľahlivosť
3. Rýchle funkcie
4. Možnosť núdzovej ručnej manipulácie s ovládanými systémami aj pri výpadku napájania
5. Možnosť prepnutia ovládaných prístrojov do manuálneho režimu (aspoň základné funkcie)
6. Zaistenie prevádzky ostatných zariadení ak jedno zariadenie má poruchu
7. Diely systému nesmú narušovať estetiku budovy
8. Zaistená kompatibilita prepojenia s ostatnými systémami
9. Jednoduchá údržba

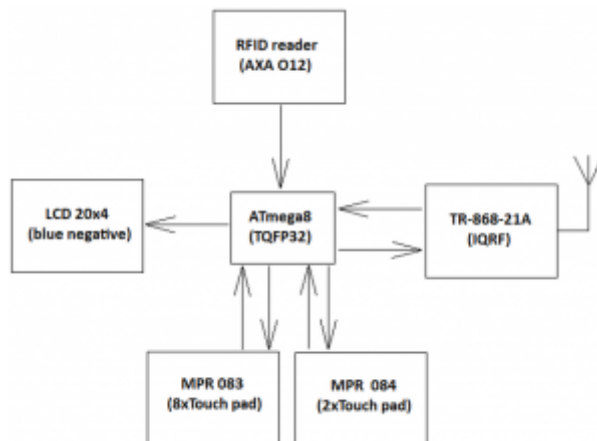
3. Návrh riadiaceho systému

Pozrime sa na to ako riadiaci systém vlastne funguje, najprv si ho rozoberieme na jednotlivé bloky. Riadiacu časť tvorí procesor ATmega8, ku ktorému sú pripojené ostatné periférie. Kompaktná čítačka RFID kariet LCD displej, dva integrované obvody, ktoré snímajú pohyb prstu po ovládacích kapacitných plôškach, posuv „sliding“ (MPR083) a dotyk „push“ (MPR084), ďalej komunikáciu medzi ostatnými perifériami zabezpečuje rádiový modul fy. Microrisc, na strane prijímača sa objavuje aj výkonový člen v podobe troch tranzistorov IRLR024 a jedného relé s prepínacím kontaktom Obr. 3.. Modul pracuje v bezlicenčnom frekvenčnom pásme ISM (Industry, Scientific and Medical) na frekvencií 868 MHz.

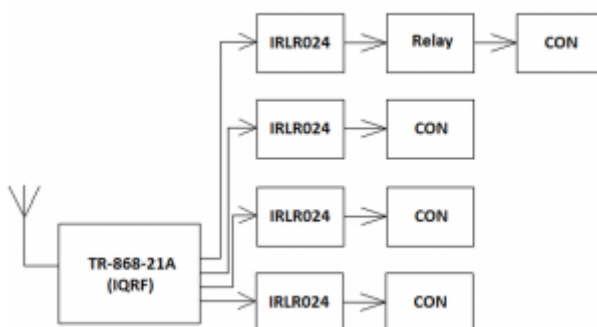
Hlavnou časťou riadiaceho systému je blok osadený procesorom a teda sa správa ako koordinátor, reprezentuje ho Obr. 2 Centrálna riadiaca jednotka systému „HES“ a keďže táto centrálna jednotka je prenosná a je zapuzdrená medzi dvoma tabuľkami plexiskla tzn. že má podobu diaľkového ovládača, môžeme mu hovoriť „Riadiaci terminál“ ďalej len RT. RT prijíma údaje o teplote z teplomerov rozmiestnených v jednotlivých izbách napríklad v byte Obr. 1.. Porovnáva teploty izieb so želanými prednastavenými teplotami a podľa toho dáva pokyny výkonovému členu na konci reťazca.



Obr. 1. Bezdrôtový teplomer (vysielač)



Obr. 2. Centrálna riadiaca jednotka systému „HES“



Obr. 2b. Jednotka prijímača „HES Mosfet driver“

3.1 Komunikačné moduly firmy Microrisc

Príkladom pre bezdrôtový prenos môžu byť napríklad moduly IQRF firmy Microrisc. Tieto moduly sa vyznačujú jednoduchým programovaním, malou spotrebou a veľkosťou SIM karty. Poskytujú bez externých súčiastok veľký dosah, peer-to-peer alebo sieťovú komunikáciu.

Moduly českej firmy Microriscs sú určené pre jednoduchú bezdrôtovú komunikáciu. Moduly označené ako TR-868-21A sú vstavané transceivery pracujúce s vysielačou frekvenciou 868MHz v bezlicenčnom pásme ISM (Industry, Scientific and Medical) Obr. 3.

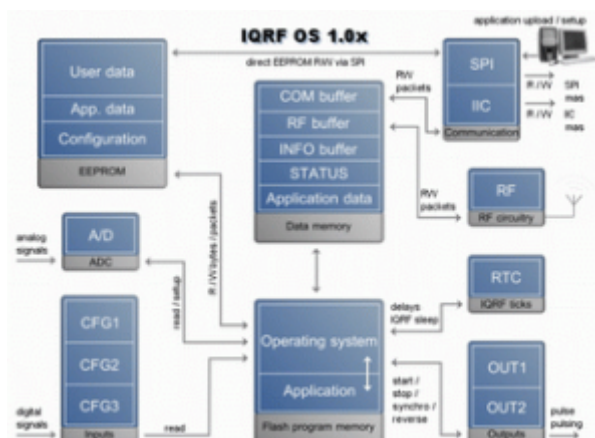


Obr. 3. Modul IQRF veľkosti SIM karty

Modul obsahuje implementované všetky potrebné komponenty a okrem antény nie je nutné nič pripájať. Hlavnými komponentmi sú mikropočítač s malým vnútorným operačným systémom, napäťový regulátor a rádiový vysielač. Nízka spotreba modul predurčuje k napájaniu z batérií. Operačný systém umožňuje veľmi jednoduché programovanie.

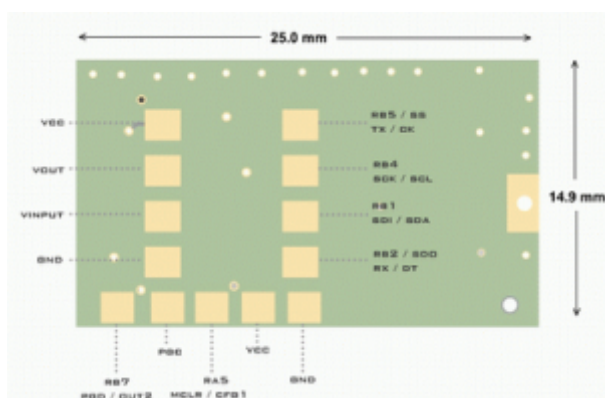
3.2 Prevedenie a zapojenie modulu TR-868-21A

Hlavnými komponentmi na vrchnej strane DPS sú mikroprocesor PIC16LF88 a RF transceiver RFM TR 1001.



Obr. 4. Bloková schéma vnútorného operačného systému IQRF OS

V mikroprocesore beží špeciálny malý operačný systém IQRF OS. Spracováva príkazy užívateľského programu nahraného v programovej FLASH pamäti a teda operácie, ktoré by normálne bolo nutné realizovať desiatkami inštrukcií sa vytvorí jedným, dvoma, troma príkazmi v jazyku C. Špeciálne príkazy sú definované knižnicou. Tak je možné k prekladu využiť bežný C prekladač.



Obr. 5. Rozmery a zapojenie vývodov IQRF

3.3 Bezdrôtové siete s obvodmi IQRF

Z hľadiska topológie sietí rozlišujeme niekoľko variant sietí:

- **Point to Point** - v tejto variante komunikujú dva uzly (nody) medzi sebou bez nutnosti riadenia komunikácie a využitia koordinátora, ktorý by ich riadil.
- **Point to Multipoint** - je podobná ako predchádzajúca varianta s tým rozdielom, že komunikujúcich prvkov je viac, prvky sú si rovné, majú rovnaké práva ku komunikácií, ale

tiež rovnaké povinnosti, čo sa týka réžie siete. Ani v tomto prípade nie je v sieti obsiahnutý koordinátor, ktorý by sieť riadil.

- **Hviezdicová sieť (star)** - v sieti je obsiahnutý centrálny subjekt - koordinátor, jednotlivé uzly siete môžu komunikovať len s centrálnym prvkom alebo s ostatnými uzlami prostredníctvom koordinátora. Sieť je možné ďalej rozširovať o ďalšie prvky, tzv. routery, ktoré umožňujú prepojenie vzdialenejších uzlov (nodov) s centrálnym prvkom (extended star).
- **MESH siete**- ide o druh siete s jedným koordinátorom a veľkým počtom uzlov (nodov), kde nie sú dopredu určené väzby medzi jednotlivými uzlami. V tejto sieti je možná komunikácia aj medzi uzlami, ktoré na seba priamo „nevidia“ a to prostredníctvom susedných uzlov schopných tzv. routingu. Routingu je schopný každý uzol, a tak je možné, aby správa z jedného konca siete „preskákala“ na druhý. Tým sa dá v podstate zvýšiť vzdialenosť, na ktorú sme schopný komunikovať. Každý uzol má navyše schopnosť stať sa koordinátorom ďalšej vlastnej siete. To nám dáva možnosť celú sieť štrukturovať do logických celkov. Tento princíp je často používaný v armádnej komunikácii napríklad na bojisku, kde zaisťuje situácie, kde môže dôjsť k výpadku (zničeniu) niektorého uzla.



Obr. 6. Mesh sieť

V IQMESH sa podsiete nazývajú cluster. Po splnení určitých podmienok môžeme zostaviť sieť so skoro neobmedzeným počtom clusterov a tým tiež skoro neobmedzeným dosahom. To je možné vďaka reťazeniu clusterov, ktoré nám obvody IQRF dovoľujú. Každá sieť IQMESH vyžaduje jedného koordinátora. Bez nej nie je možné MESH sieť realizovať. Spolu s koordinátorom je možné do siete zaradiť ďalších 239 uzlov (nodov). A to v jednom clusteri. Ak pridáme ďalší cluster, tak nám pribudne ďalších 239 uzlov (ktoré už však musia komunikovať prostredníctvom svojho koordinátora).

Operačný systém obvodov IQRF obsahuje sadu funkcií a špeciálnych registrov podporujúcich práve systém IQMESH. Ide v prvom rade o funkcie pre prijatie uzla do siete (na strane koordinátora i potenciálneho uzla) a tiež funkcie pre zrušenie členstva v sieti. Funkcie pre odosielanie a príjem paketov zostávajú rovnaké ako pre komunikáciu P2P. Pribúdajú nám len informácie o odosielateľovi a príjemcovi.

Funkcie pre prácu v sieti:

- **setNetworkOne()** - moduly môžu pracovať vo dvoch režimoch. Ako coordinator a ako uzol (node). Zavolaním funkcie setNetworkOne() sa prepne modul do práce v sieti, kde je koordinátorom. Túto funkciu je vhodné volať pred odoslaním správy. Pri prijímaní je automaticky prepnutý modul do tej siete, z ktorej je správa prijatá.
- **setNetworkTwo()** - funkcia opačná k predchádzajúcej, prepne do tej siete, kde je uzlom (node)
- **setCoordinatorMode()** - prepne do režimu, kde sa modul chová ako koordinátor
- **setNodeMode()** - prepne do režimu, kde sa modul chová ako uzol (node)

- **setNetworkFilteringOn()** - prijíma správy iba z aktuálne prepnutej siete (súvisí s funkciami setNetworkOne() a setNetworkTwo())
- **setNetworkFilteringOff()** - vypne filtrovanie správ z neaktívnej siete
- **getNetworkParams()** - vracia informáciu o sieti. Pre nás je dôležitý parameter vrátený v premennej param2, v ňom je totiž vrátená adresa uzla v sieti.

3.4 Kapacitné senzory ako bezdotykové tlačidlá

Stále viac sa u zariadeniach využívajú dotykové plochy miesto klasických tlačítok. Nemusí byť v každej aplikácii nutne dotyková obrazovka. Firma Freescale, vyrába digitálne kapacitné snímače rady MPR08x s rozhraním I2C. Týmto obvody je možné realizovať tlačítka rôznych tvarov, ktoré sa vyznačujú nulovou ovládacou silou, tzn. nemusíme na dané plošky tlačiť, ale stačí sa k nim priblížiť. Snímacie plošky môžu byť pod pevným krytom a tak je zaistená veľmi dlhá životnosť a odolnosť. Navyše je možné rozlíšiť, či sa k snímaču priblížil prst tak alebo iný materiál (guma, ceruzka, kov a pod.)

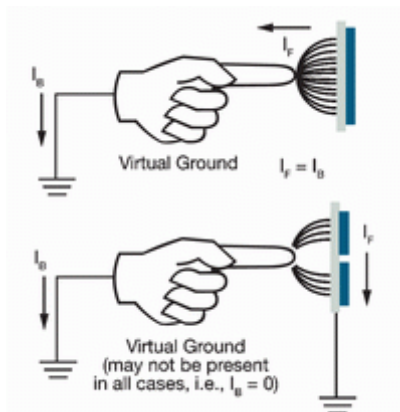
Dotykové ovládacie rozhrania sa už stávajú bežným štandardom pre meracie prístroje, priemyselné terminály ale aj potrebnú elektroniku. Pred tým bola veľmi rozšírená technológia rezistívnych dotykových plôch, lenže kapacitné snímanie je spoľahlivejšie a nevyžaduje naozaj žiadnu ovládaciu silu, tým sa tak minimalizuje zašpinenie a opotrebovanie dotykovvej plochy.

Spoločnosť freescale má vo svojej ponuke snímač MPR084 a MPR 083. V našom zariadení budeme na pohyb v menu („sliding“) využívať práve kapacitný snímač MPR083, ktorý je vybavený priamo sériovým komunikačným rozhraním I2C. Výsledkom je jednoduché vyhodnotenie pohybovania sa v menu v pravo, či v ľavo. Vďaka tomuto komunikačnému protokolu pripojenie snímača k mikroprocesoru nebude žiaden problém.

Obidva integrované snímače MPR08x sú ponúkané vo dvoch prevedeniach, v 16 vývodových puzdrách QFN a TSSOP. Počet vývodov a ani ich štruktúra a elektrické prevedenie sa však nemenia, takže naozaj závisí len od požadovaného spôsobu osadzovania súčiastok na DPS.

3.5 Princíp funkcie kapacitných snímačov

Kapacitné snímače merajú zmenu kapacity, spôsobenú buď zmenou vlastností dielektrika (napr. zmena permeability) alebo zmenou vzdialeností či konfigurácie elektród. Prvá varianta umožňuje snímať prítomnosť širokého spektra nevodivých materiálov a látok (izolantov), pokiaľ ich permeabilita je iná ako permeabilita okolitého prostredia. Druhý vplyv, teda zmena vzdialeností alebo konfigurácia elektród zase umožňuje snímať elektricky vodivé materiály, ako sú: kovy, tekutiny, či časti ľudského tela, ktoré obsahujú veľké množstvo vody.



Obr. 7. Zmena permeability prostredia, pri priblížení predmetu k dotykovej plôške.

Zatiaľ čo pri snímaní zmeny permeability dielektrika je nutné využívať dvoj a viac elektródové usporiadanie, v prípade snímania vodivých materiálov je možné použiť len jednu elektródu, pretože tú druhú tvorí samotný snímaný predmet, obvykle aspoň čiastočne cez niečo uzemnený. Jeho približovaním a oddalovaním sa potom mení vzájomná vzdialenosť oboch elektród a tým aj kapacita. Dielektrikom je potom voľný priestor medzi nimi, teda obvykle vzduch a krycia plocha elektródy, ktorá chráni pevnú elektródu pred skratovaním a pred poškodením.

3.6 Bezkontaktná identifikácia RFID

Pod skratkou RFID (Radio Frequency Identification) sa skrýva systém bezdrôtového prenosu dát, ktorý prebieha bez potreby napojenia kontaktov snímača na vývody identifikátora a ktorý sa poslednej dobe stále častejšie objavuje vedľa klasických kontaktných identifikátorov. Bezkontaktné identifikátory tak môžu byť hermeticky uzatvorené v obale a neovplyvňujú ich také bežné javy, ako oxidácia kontaktov, prach, špina či vlhkosť.

Pre samotný prenos dát, resp. jednotlivých bitov v sériovej komunikácii sa využíva amplitúdová modulácia ASK (Amplitude Shift Keying), pričom samotný tag nevykonáva generovanie nosnej vlny, ale len dopadajúcu vlnu z čítačky s rôznou intenzitou odráža, čím mení obálku vlny (amplitúdu) tak ako to je u ASK modulácie. Riadenie odrazu vlny vykonáva blok nazývaný backscatter resp. backscattering modulator. Pretože v dosahu čítačky môže byť naraz hneď niekoľko RFID tagov pracujúcich na rovnakej frekvencii, sú obvykle implementované rôzne mechanizmy detekcie, ktoré umožňujú sa vyhnúť kolíziám pri súčasnom vysielaní viacerých jednotiek na rovnakej frekvencii.

4. Realizácia riadiaceho systému

Po rozsiahlom teoretickom úvode a oboznámení sa so základnými charakteristikami jednotlivých blokov zariadenia môžeme teraz pristúpiť k realizácii riadiaceho systému.

4.1 Bezdrôtový teplomer

Ako už sme spomenuli, na komunikáciu medzi jednotlivými perifériami využívame moduly IQRF. Ak chceme merať okolitú teplotu, nemusíme dlho hľadať riešenie tohto problému pretože náš komunikačný modul má integrovaný aj teplomer MCP9700, ktorý je osadený vedľa procesoru PIC16F88, Obr.8.



Obr. 8. Modul IQRF ako bezdrôtový teplomer

Teplomer MCP9700 má na výstupe napätie úmerné teplote a to podľa vzorca [1].

$$T_a = (V_{out} - 0,5V) / 10mV \quad (1)$$

Pri napájacom napätí 3V bude vzorec pre výpočet napätia na vstupe prevodníka [2].

$$V_{in} = 3/1024*ADR \quad (2)$$

Potom môžeme dosadiť druhú rovnicu do prvej:

$$T_a = (3/1024*ADR - 0,5) / 10mV$$

$$T_a = 300/1024*ADR - 50$$

$$T_a = 75/256*ADR - 50$$

Bezdrôtový teplomer prenáša hodnotu o teplote nadriadenej jednotke, ktorou je centrálna riadiaca jednotka zabezpečujúca jej ďalšie spracovanie.

4.2 Centrálna riadiaca jednotka systému „HES“

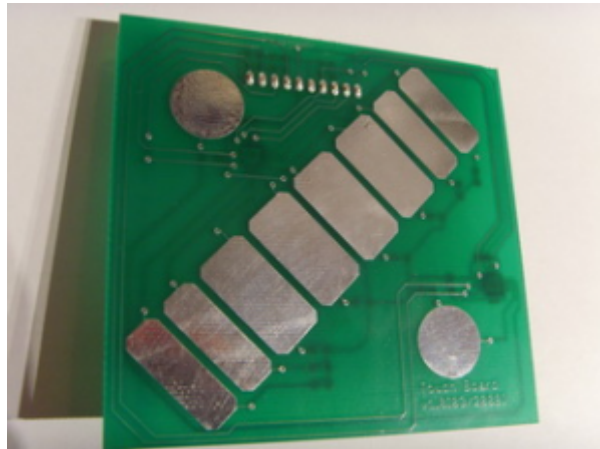
Prijíma údaje z teplomerov a komunikuje s ostatným okolím. Je navrhnutá pre najjednoduchšie ovládanie, bez potreby klávesnice, dokáže len prostredníctvom troch dotykových plôšok a RFID čítačky zabezpečiť plnohodnotné ovládanie a konfigurovanie riadiaceho systému Obr.9.



Obr. 9. V spodnej časti sa nachádza konektor pre pripojenie bezdotykového ovládacieho terminálu.

4.3 Bezdotykový ovládací terminál

Prostřednictvím integrovaných obvodů MPR083 a MPR084 je realizované ovládání v menu radiaceho terminálu. Ten sa nachádza pod tenkou vrstvou plexiskla aby nedošlo k jeho poškodeniu.

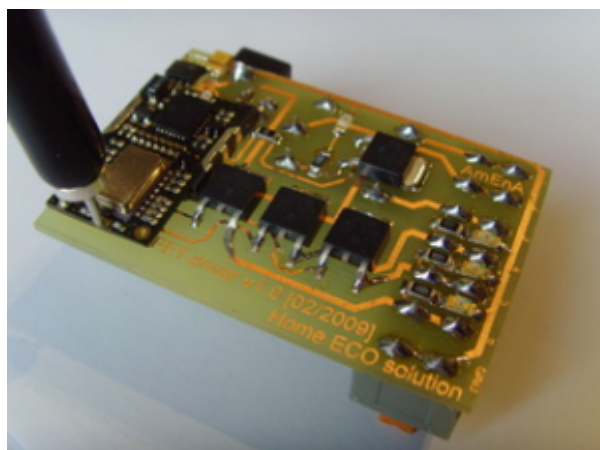


Obr. 10. Snímacie plôšky na ovládacom terminály

Integrovaný obvod MPR083 disponuje dostatkem konfiguračných registrov umožňujúcich individuálne nastavenie pre každého užívateľa. MPR084, integrovaný obvod veľmi podobný tomu predchádzajúcemu, líšia sa len v spôsobe snímania a v pár registroch. Obvod MPR084 a MPR083 sú zo spoločnej rodiny, snímajú pozíciu prstu na dotykovej plôške, lenže MPR083 na rozdiel od svojho brata MPR084, sníma pohyb po kruhovej, resp. rovnej sústave dotykových plôšok, pričom jeho status register sa mení len vtedy ak prst prechádza od jednej plôšky ku druhej. MPR084 zase pohyb medzi plôškami nezaujíma ale sníma priblíženie a vzdialenie od dotykovej plôšky. Citlivosť každej zo snímacích plôšok sa dá nastaviť až v 64 úrovniach.

4.4 Jednotka prijímača „HES Mosfet driver“

Jednotka prijímača s označením „HES Mosfet driver“ pracuje vo viacerých režimoch. Môže pracovať ako diaľkové relé (presne ako relé v bežnom termostate), tzn. relé zopne (kotel sa zapne) ak teplota v miestnosti je nižšia ako žiadaná.



Obr. 11. HES Mosfet driver

Druhou možnosťou je využitie MOSFET tranzistorov, tie pri zopnutí prepúšťajú prúd do výkonových rezistorov umiestnených na termostatických hlavičkách potrebný k ich

vyhrievaniu, a tak možno inteligentne riadiť teplotu v miestnostiach.

5. Záver

V čase hospodárskej krízy sme zostrojili systém na šetrenie vykurovacích nákladov v panelových bytoch, a to predurčuje tento systém k hromadnému nasadeniu.

6. Odkazy na literatúru

1. MICRORISC, technical support center,
www.microrisc.com
2. IQRF prakticky, HW.cz,
<http://hw.cz/teorie-praxe/konstrukce/art2320-iqrf-prakticky-i.html>
3. Datasheet ATMEGA88, Atmel, rev. 2486N-AVR-09-04,
www.atmel.com
4. Datasheet MPR083, FS, Proximity Capacitive Touch Sensor Controller, Rev 4, 10/2008,
www.freescale.com
5. Datasheet MPR084, FS, Proximity Capacitive Touch Sensor Controller, Rev 5, 11/2008,
www.freescale.com
6. Datasheet AXA012, Elatec, Low cost transponder reader, Rev 02/2006,
www.elatec.de
7. Datasheet ATM2004D, ATM, standard character LCD modules, Rev N/A,
www.mhzthai.com
8. Datasheet HD44780, HITACHI, display controller, Rev 0.0, ADE-207-272(Z),
www.sparkfun.com
9. Datasheet 74AC245, Fairchild semiconductor, Octal Bidirectional Transceiver, Rev 132,
www.fairchildsemi.com
10. Datasheet IRLR024, International Rectifier, Single N-Channel HEXFET Power MOSFET, Rev N/A,
www.datasheetcatalog.com

Spoluautorom článku je Michal Hupka, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská Technická Univerzita, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika
