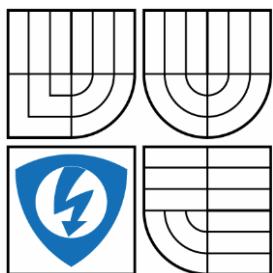


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY  
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

# EMULÁTOR UŽIVATELSKÉHO ROZHRANÍ TERMOSTATU

USER INTERFACE EMULATOR OF THERMOREGULATOR

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

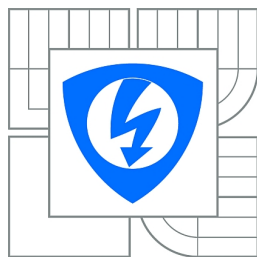
JAN VITÁK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK BRADÁČ, Ph.D.

BRNO 2014



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav automatizace a měřicí techniky**

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Automatizační a měřicí technika**

**Student:** Jan Viták

**ID:** 146993

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2013/2014

## NÁZEV TÉMATU:

**Emulátor uživatelského rozhraní termostatu**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je navrhnout emulátor uživatelského rozhraní termostatu s USB komunikací pro předvýrobní testování termostatů.

1. Zpracujte literární rešerši obdobných systémů.
2. Navrhněte miniaturní systém vybavený mikrokontrolérem a nezbytnými vstupy/výstupy.
3. Popište návrh a navrhněte elektrické schéma.
4. Navrhněte elektroniku, realizujte DPS, osadte a oživte.
5. Napište programové vybavení.
6. Ověřte, otestujte a demonstруйте funkčnost. Vyhodnoťte výsledky.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6  
Dle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 10.2.2014

**Termín odevzdání:** 26.5.2014

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**

*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**

Cílem této bakalářské práce Emulátor uživatelského rozhraní termostatu je navrhnout koncept emulátoru a emulátor včetně programového vybavení realizovat. V práci je uveden popis termostatu a jednotlivých emulovaných snímačů, navrhovaný koncept systému, popis navrhnutého elektrického schématu a popis vytvořeného programového vybavení emulátoru a obslužného programového vybavení pro PC. V příloze práce je návrh obvodového schématu emulátoru a návrh DPS.

## **Klíčová slova**

termostat, emulátor, uživatelské rozhraní, automatizované testování, emulace, snímač

## **Abstract**

The aim of this bachelor thesis User Interface Emulator of Thermoregulator is to design a concept of the emulator and to implement the emulator including the software. The thesis includes description of the thermostat and the particular sensors emulated, the designed concept of the system, description of the designed circuitry and the description of the embedded software and the control software for PC. The design of circuit diagram of the emulator and the design of printed circuit board are in the attachment of this thesis.

## **Keywords**

thermostat, thermoregulator, emulator, user interface, automated testing, emulation, sensor

### **Bibliografická citace:**

VITÁK, J. *Emulátor uživatelského rozhraní termostatu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 41 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Emulátor uživatelského rozhraní termostatu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **20. května 2014**

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Zdeňku Bradáčovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Rovněž děkuji firmě Honeywell spol. s r. o., která mi umožnila vypracování této bakalářské práce. Jmenovitě bych rád poděkoval Ing. Karlu Krajčovi a Ing. Ondřeji Voždovi za jejich vedení a odbornou pomoc při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **20. května 2014**

.....  
podpis autora

# Obsah

1	Úvod.....	9
2	Dostupná řešení.....	10
2.1	Nabídka řešení na trhu .....	10
2.2	Srovnání nabídky s požadavky.....	10
2.3	Důvody vlastní realizace .....	11
3	Termostat .....	12
3.1	Popis funkcí.....	12
3.2	Fyzický popis .....	12
3.3	Srovnání s konkurencí.....	14
4	Emulované snímače .....	15
4.1	Otočný ovladač.....	15
4.1.1	Optický enkodér.....	15
4.2	Dotykový snímač .....	16
4.2.1	Princip.....	17
5	Navrhované řešení .....	19
5.1	Koncept emulátoru uživatelského rozhraní.....	19
5.2	Emulace otočného ovladače .....	19
5.3	Emulace dotykového snímače.....	19
6	Realizace.....	21
6.1	Hardwarové řešení .....	21
6.1.1	Napájecí obvody a USB/UART převodník .....	21
6.1.2	Mikroprocesor a periferie .....	23
6.1.3	Fyzický popis emulátoru.....	25
6.2	Softwarové zpracování.....	28
6.2.1	Komunikace .....	28
6.2.2	Softwarové vybavení emulátoru .....	29
6.2.3	Obslužný software pro PC .....	30
6.3	Problémy zjištěné při realizaci .....	36
7	Obsah přiloženého CD.....	38
7.1	Adresářová struktura na CD.....	38
8	Závěr .....	39
	Literatura.....	40
	Seznam příloh .....	41

## Seznam obrázků

Obr. 1 „Wallplate“ .....	13
Obr. 2 Termostat Honeywell .....	14
Obr. 3 Blokové schéma enkodéru [9] .....	15
Obr. 4 Zobrazení impulzů na kanálech enkodéru [9] .....	16
Obr. 5 Snímání kapacity v EFM32 [10] .....	17
Obr. 6 Nabíjení a vybíjení kapacitoru [10] .....	17
Obr. 7 MAX1474 [11] .....	20
Obr. 8 Snižující měnič .....	22
Obr. 9 Přepínač napětí, USB a USB/UART čip .....	22
Obr. 10 Galvanické a optické oddělení a signalizační LED .....	23
Obr. 11 Frekvenční filtr a LDO regulátor .....	23
Obr. 12 Mikroprocesor a periferie .....	24
Obr. 13 Zapojení elektronicky nastavitelných kapacitorů .....	24
Obr. 14 Konektor pro emulátor otočného ovladače .....	25
Obr. 15 Emulátor v pouzdře .....	25
Obr. 16 Emulátor zepředu .....	25
Obr. 17 Emulátor zezadu .....	26
Obr. 18 DPS s popiskem adres .....	27
Obr. 19 Konektor pro emulaci otočného ovladače .....	27
Obr. 20 Konektor pro emulaci dotykové vrstvy .....	27
Obr. 21 Připojení k termostatu .....	28
Obr. 22 Grafické uživatelské rozhraní testovacího programu .....	33
Obr. 23 Původní zapojení elektronicky nastavitelných kapacitorů .....	37
Obr. 24 Původní zapojení optočlenů .....	37

## Seznam tabulek

Tab. 1 Otáčení ve směru hodinových ručiček .....	16
Tab. 2 Otáčení proti směru hodinových ručiček .....	16
Tab. 3 Paket pro emulaci otočného ovladače .....	30
Tab. 4 Paket pro emulaci dotykové vrstvy .....	30



# 1 ÚVOD

Účelem této bakalářské práce je navrhnout způsob řešení emulace uživatelského rozhraní termostatu firmy Honeywell a toto řešení realizovat. Realizace zahrnuje návrh obvodového schématu, výrobu desky plošných spojů a vytvoření programového vybavení emulátoru a obslužného programu na PC.

Tento emulátor bude následně využit pro účely automatizovaného testování během vývoje termostatu.

Dosavadní způsob testování během vývoje zahrnující uživatelské rozhraní je realizován za pomoci operátora. Tento emulátor sice neumožní jeho úplné nahrazení při testování, může však být použit při automatizovaných testech, které vyžadují zásah operátora, nebo v kombinaci s jinými přípravky pro automatizované testování termostatu.

Důsledkem nasazení tohoto emulátoru při testování bude eliminace lidské chyby a možnost efektivního vytváření záznamu o zjištěných chybách a provedených testech.

Druhá kapitola vytváří přehled nabízených řešení na trhu a diskutuje možnost jejich použití.

V třetí kapitole je čtenáři představen samotný termostat včetně popisu jeho funkcí a jsou zde také uvedeny srovnatelné konkurenční produkty, které jsou na současném trhu k dispozici.

Kapitola 4 se zabývá podrobným popisem jednotlivých snímačů, které představují uživatelské rozhraní termostatu a mají být emulovány.

Návrh řešení emulátoru popisuje kapitola 5. Je zde uveden koncept celého emulátoru, příslušného obslužného programového vybavení a způsob emulace jednotlivých snímačů.

Realizace navrhovaného řešení je popsána v kapitole 6. První část kapitoly se věnuje popisu částí obvodového schématu. Druhá část kapitoly si dává za úkol popsat realizované programové vybavení emulátoru, příslušný obslužný program pro PC včetně jeho obsluhy a způsob komunikace mezi emulátorem a PC. Závěrečná část kapitoly uvádí problémy, se kterými se bylo nutné vypořádat během realizace a způsob jejich odstranění.

Předposlední kapitola vytváří přehled o obsahu přiloženého CD.

V poslední kapitole je uvedeno shrnutí řešení této práce.

## 2 DOSTUPNÁ ŘEŠENÍ

### 2.1 Nabídka řešení na trhu

Automatizací testů, které jsou prováděny během vývoje zařízení, se na dnešním trhu zabývá velké množství firem. Spousta z nich nabízí komplexní řešení, která zahrnují prostředí pro tvorbu testů, sledování průběhu prováděných testů, vyhodnocování provedených testů atd.

Pojem uživatelské rozhraní představuje prostředí interakce uživatele a nějakého zařízení. Toto rozhraní může být buď tvořeno programovým vybavením například v podobě programu v PC, nebo skutečným fyzickým rozhraním jako jsou otočné ovladače, tlačítka aj.

Nabídka produktů, které umožňují automatizované testování programových uživatelských rozhraní, jako jsou například programy pro různé počítačové platformy nebo aplikace pro smartphony, je velice široká a není ji příliš složité uzpůsobit konkrétním požadavkům zákazníka. Takováto řešení nabízí například společnost SmartBear Software [1], Micro Focus International [2] nebo TestPlant [3].

Naopak společností, které by nabízely možnosti automatizovaného testování fyzických uživatelských rozhraní, je výrazně méně. Jednou z mála takových je finská společnost OptoFidelity [4]. Společnost nabízí zejména produkty zaměřené na testování dotykových displejů, a to z pohledu přesnosti reakce nebo například zpětné grafické vazby displeje. Výhodou je možnost modulárního skládání jednotlivých nabízených produktů.

### 2.2 Srovnání nabídky s požadavky

Vyvíjený emulátor uživatelského rozhraní bude zejména určen pro automatizované testy, ve kterých je zapotřebí interakce uživatele na některém z rozhraní. Bude tak doplňovat sestavu s dalšími moduly určenými pro automatizované testování.

Hlavním účelem emulátoru tedy nebude testování uživatelského rozhraní, ale věrná emulace snímačů uživatelského rozhraní použitých v termostatu.

Jako možné řešení se jeví nabídka společnosti OptoFidelity [4]. Pomocí nabízených modulárních produktů by bylo možné sestavit emulátor, který by prováděl dotyky na požadovaných oblastech dotykové vrstvy termostatu a otáčel otočným ovladačem. Problém by však mohl například nastat v případě požadavku na složitější kombinace více dotyků uživatele najednou na různých kanálech dotykové vrstvy. Obtížná by také mohla být realizace přesného požadovaného pohybu otočného ovladače o daný počet pulzů na kanálech optického enkodéru. Samotné celkové mechanické řešení by s sebou nepochybně přineslo tyto i řadu dalších problémů.

## **2.3 Důvody vlastní realizace**

Emulátor je určen k doplnění řady modulů určených pro automatizované předvýrobní testování termostatů.

Vlastní výroba umožní již od počátku jeho integraci do již implementovaného systému testování, který umožňuje řízení více modulů prostřednictvím jediného skriptu, a tím poměrně vysokou efektivitu vytváření automatizovaných testů.

Při výrobě bude také kladen důraz na věrnou reprodukci signálů z emulovaných snímačů termostatu a zároveň zvýšení přesnosti plnění požadovaných operací. Emulátor pak bude schopen velice věrné emulace otočného ovladače a také složitějších kombinací stisku více tlačítek termostatu současně.

Emulátor také může být uzpůsoben k tomu, aby jej bylo možné po drobných úpravách používat i na jiných typech termostatů firmy Honeywell.

## 3 TERMOSTAT

Termostat patří mezi řadu produktů společnosti Honeywell určených pro řízení domácího komfortu. Tento produkt je určený pro široké spektrum domácích uživatelů a i pro firmy.

### 3.1 Popis funkcí

Mezi základní funkce termostatu patří měření a regulace teploty, vlhkosti a možnost týdenního plánování. Termostat řídí vytápěcí, chladicí a ventilační zařízení. Tento typ termostatu také disponuje Wi-Fi připojením a je možné jej ovládat pomocí webového rozhraní, telefonu nebo tabletu.

Samotné prvotní nastavení termostatu se provádí na telefonu prostřednictvím dodávané aplikace. Uživatel je proveden správným zapojením termostatu v domácnosti a je mu nabídnuta široká škála kompletního nastavení termostatu, která například zahrnuje typ vytápěcího a chladicího systému, volbu komfortních teplot nebo volbu použitého paliva. Termostat také disponuje funkcí úsporného režimu, tzv. „Smart Away“, pomocí které sám zvolí optimální nastavení teploty v závislosti na venkovních povětrnostních podmínkách za nepřítomnosti uživatele. Dále je uživateli nabídnuta možnost připojení termostatu k jeho domácí Wi-Fi, aby svůj termostat mohl ovládat vzdáleně prostřednictvím aplikace na telefonu nebo tabletu a prostřednictvím webového rozhraní.

Základní nastavení lze pak jednoduše měnit přímo na samotném termostatu. Detailní změny lze znovu provádět pomocí aplikace. Způsob ovládání na samotném zařízení je velice podobný obsluze prostřednictvím aplikace.

Termostat je po registraci k uživatelskému účtu svázán s konkrétní lokací. Nabízí tak možnost zobrazení aktuální předpovědi počasí a to buď přímo na displeji, nebo v dodávané aplikaci.

### 3.2 Fyzický popis

Zařízení sestává ze dvou oddělitelných částí. První z nich, tzv. „wallplate“, je určen pro pevnou instalaci na zeď v domácnosti. K „wallplate“ se připojuje napájení a jednotlivé systémy ovládané termostatem. „Wallplate“, který je na Obr. 1, slouží k uchycení odnímatelného termostatu ke zdi a připojení napájení a ovládaných systémů pomocí speciálního konektoru k termostatu.



Obr. 1 „Wallplate“

Samotný termostat (viz Obr. 2) má válcovitý tvar o průměru přibližně 10 centimetrů. Na přední straně se nachází displej spolu s dotykovou vrstvou, která je umístěna z vnitřní strany předního krytu. Displej je rozdělen do dvou částí.

V pohotovostním režimu je v horní části zvýrazněn vybraný režim, tj. chlazení, vytápění, nebo vypnuto. V případě, že je zvolen jiný režim než vypnuto, je v prostřední části zobrazena požadovaná teplota. Aktivita chladicího nebo vytápěcího systému je indikována animací ikony zvoleného systému. Pokud se uživatel nachází v některé z kontextových nabídek při obsluze termostatu, slouží horní část displeje k zobrazení možnosti potvrzení nebo odmítnutí provedených změn. V oblasti horní části displeje se nacházejí celkem tři dotykové oblasti.

Druhá větší část displeje zobrazuje v pohotovostním režimu aktuální teplotu v místnosti. Dále slouží pro zobrazování předpovědi počasí a jiných údajů při ovládání termostatu. Zobrazují se zde také instrukce při prvotním nastavování termostatu.

Dotyková vrstva celkem zahrnuje pět dotykových oblastí. Jedná se o trojici tlačítek v horní části displeje a dvojici tlačítek po stranách displeje. Levým tlačítkem lze vyvolat zobrazení předpovědi počasí a pravým aktivaci funkce „Smart Away“.

Obvod termostatu je tvořen otočným ovladačem. Ovladač slouží k nastavování požadované teploty nebo k pohybu v nabídce.



Obr. 2 Termostat Honeywell

### 3.3 Srovnání s konkurencí

Mezi konkurenční termostaty jiných firem patří například výrobky společností Nest a Ecobee.

Termostat Nest je také vybaven Wi-Fi a umožňuje ovládání přes internet. Oproti termostatu Honeywell disponuje schopností učení se podle návyků uživatele. Na základě přítomnosti uživatele a případných požadovaných změn teploty termostat sám postupně vytvoří plán a tento pak adaptivně upravuje. Touto a mnoha dalšími inovacemi pak termostat vede uživatele k úspoře výdajů za vytápění. Výrobce udává, že termostat umožňuje snížit náklady až o 20%. Nest patří tedy nejen svým vzhledem mezi nejatraktivnější termostaty na trhu.

Další alternativou je produkt společnosti Ecobee. Tento termostat z nižší cenové kategorie je rovněž vybaven Wi-Fi. Na rozdíl od předchozích dvou se jednotlivá zařízení nepřipojují k termostatu přímo, ale používá se dedikovaný modul. Pomocí tohoto modulu pak mohou být jednotlivé systémy připojeny k termostatu vzdáleně bez nutnosti přímého spojení za pomoci kabelu. Tento způsob může být pro některé výhodou, avšak instalace není zdaleka tak pohodlná jako u termostatu firmy Honeywell a termostatu Nest. Mezi přednosti termostatu patří schopnost adaptivního vytápění na základě získaných dat pro jednotlivé typy vytápěcích a chladicích systémů a počasí. Webové prostředí pro obsluhu termostatu pak nabízí pokročilé možnosti zobrazení nasbíraných údajů o spotřebě, vývoji teplot a dalších dostupných parametrů.

## 4 EMULOVANÉ SNÍMAČE

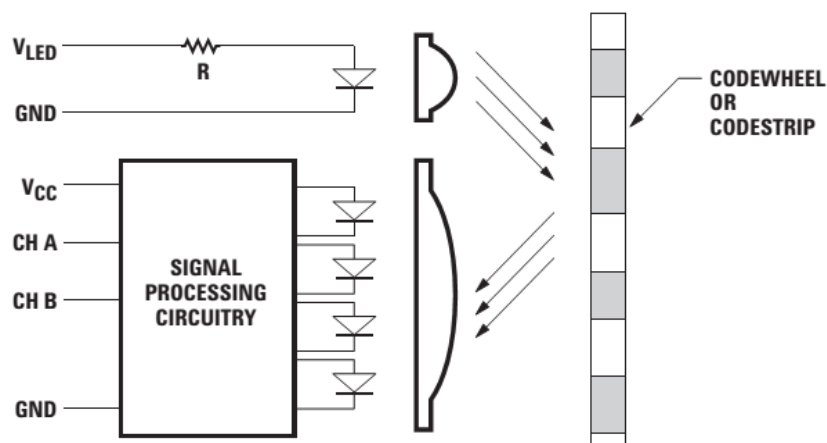
Zásah uživatele je vyhodnocován prostřednictvím dvou snímačů na termostatu. Jeden zaznamenává dotyk uživatele na vybraných místech čelní strany termostatu a druhý zaznamená pohyb otočného ovladače.

### 4.1 Otočný ovladač

Otočný ovladač je určený pro pohyb v nabídce a pro nastavování požadované teploty. Jeho pootočení je zaznamenáváno prostřednictvím optického enkodéru, který snímá mezikruží se střídajícími se matnými a lesklými místy. Výstupem tohoto snímače jsou dva fázově posunuté signály, pomocí nichž lze určit směr a úhel otočení.

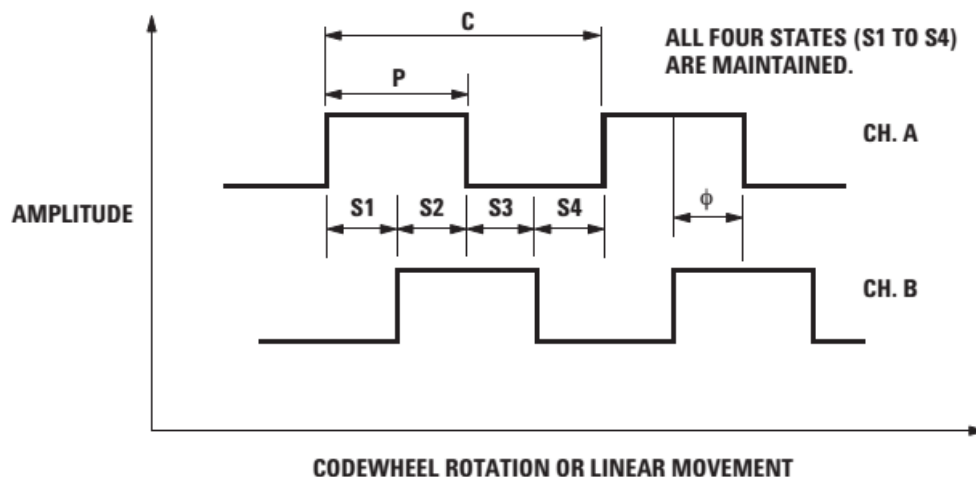
#### 4.1.1 Optický enkodér

V termostatu je využíván optický enkodér Agilent AEDR-8300. Snímač sestává z LED a fotoelektrického obvodu. Blokové schéma snímače je na Obr. 3.



Obr. 3 Blokové schéma enkodéru [9]

Snímač je umístěn paralelně s mezikružím a při otáčení ovladače generuje impulzy o dané frekvenci a fázovém posunu. Podle pořadí stavů obou kanálů lze určit směr otáčení. Impulzy z obou kanálů jsou zobrazeny na Obr. 4.



Obr. 4 Zobrazení impulzů na kanálech enkodéru [9]

Popis obrázku:

C - jeden cyklus, resp. perioda, odpovídá jednomu matnému a jednomu lesklému místu,

P – šířka pulzu,

S1÷S4 – šířka jednotlivých stavů,

$\Phi$  - fázový posun mezi pulzy.

Možné kombinace stavů a odpovídající směry otáčení jsou v Tab. 1 a Tab. 2.

Stav	CH. A	CH. B
1	0	1
2	1	1
3	1	0
4	0	0

Tab. 1 Otáčení ve směru hodinových ručiček

Stav	CH. A	CH. B
1	1	0
2	1	1
3	0	1
4	0	0

Tab. 2 Otáčení proti směru hodinových ručiček

Vyhodnocování signálů z kvadrurního snímače provádí procesor termostatu.

## 4.2 Dotykový snímač

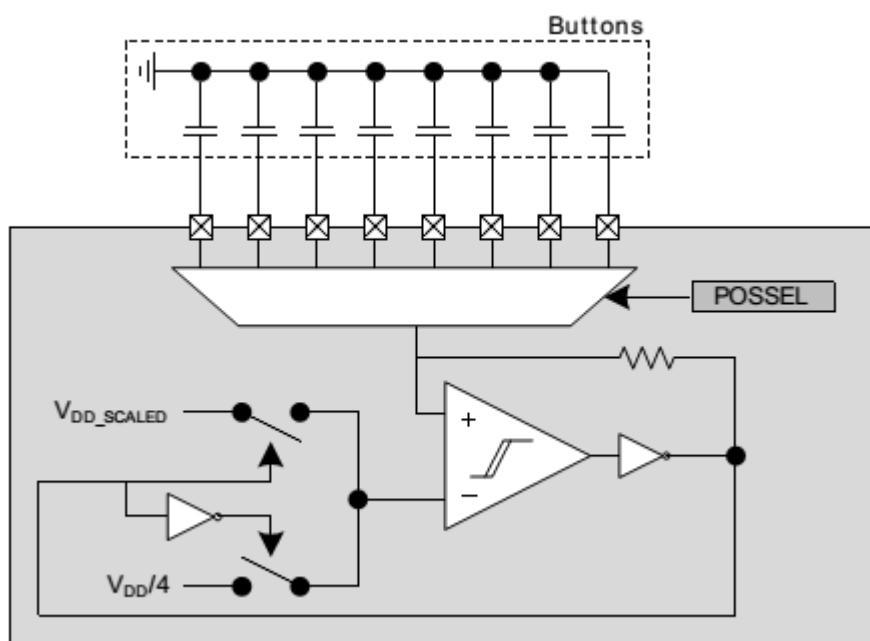
Uživatel může dotykem na vybraných místech čelní strany termostatu například přepínat mezi chladicím a vytápěcím režimem. Celkem je k dispozici pět oblastí, na kterých je snímán dotyk.



Snímání dotyku uživatele je realizováno pomocí kapacitního dotykového snímače obsahujícího pět vyhodnocovacích oblastí a mikrokontroléru. Dotykový snímač je umístěn na vnitřní straně předního krytu termostatu a pomocí konektoru je připojen k desce plošných spojů termostatu. Nízkopříkonový mikrokontrolér řady EFM32 vyhodnocuje dotyk na základě změny kapacity odpovídajícího vstupu.

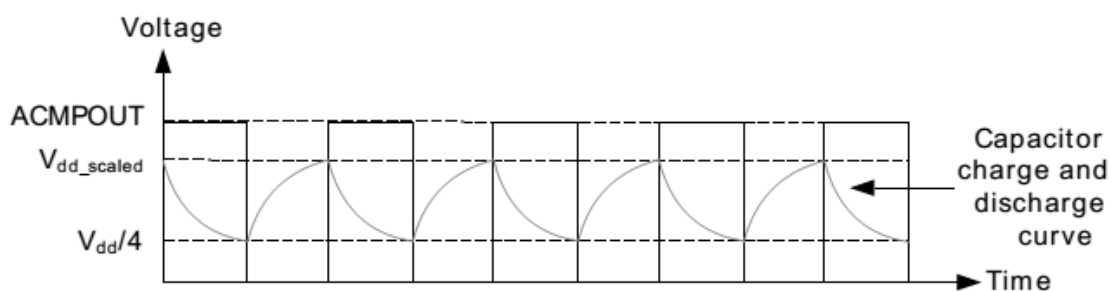
### 4.2.1 Princip

Dotyk uživatele je vyhodnocen při změně kapacity dané oblasti dotykového snímače, kdy tato je použita jako kapacitor v RC oscilátoru mikrokontroléru EFM32. Principiální schéma je uvedeno na Obr. 5.



Obr. 5 Snímání kapacity v EFM32 [10]

Na základě nabíjení a vybíjení kapacitoru dochází ke změně výstupní úrovně komparátoru. Zpětnovazební smyčkou je voleno referenční napětí na jeho záporném vstupu, což určuje vstupní hysterezi. Průběh nabíjení a vybíjení kapacitoru společně s výstupním signálem komparátoru je zobrazen na Obr. 6.



Obr. 6 Nabíjení a vybíjení kapacitoru [10]

Za předpokladu, že odpor rezistoru, řídicí napětí a reakční doba komparátoru RC oscilátoru jsou konstantní, je rychlost nabíjení a vybíjení kapacitoru a tedy frekvence signálu na výstupu komparátoru závislá pouze na hodnotě kapacity. Při dotyku uživatele se kapacita zvětší, protože uživatelův prst se chová jako paralelně připojený kapacitor. Dotykem tedy dojde ke snížení frekvence signálu komparátoru. Pomocí čítače lze pak zaznamenat změnu počtu impulzů, a tedy i dotyk uživatele na termostatu.

## 5 NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ

### 5.1 Koncept emulátoru uživatelského rozhraní

Celý emulátor uživatelského rozhraní bude zahrnovat mikrokontrolér s periferiemi pro emulaci snímačů a uživatelský software pro obsluhu pomocí PC. Komunikace mezi mikrokontrolérem a PC bude probíhat přes USB pomocí definovaných zpráv komunikačního protokolu. S termostatem bude emulátor propojen pomocí dvou redukčních kabelů s konektorem RJ11. Mikrokontrolér bude napájen buď z USB, nebo z externího napájecího zdroje.

Návrh způsobu emulace jednotlivých snímačů je popsán dále v kapitolách 5.2 a 5.3.

Návrh obvodového schématu emulátoru je uveden v Příloze 2 a návrh DPS je v Příloze 3.

### 5.2 Emulace otočného ovladače

Vzhledem k jednoduchosti a principu inkrementálního snímače použitého v termostatu není k jeho emulaci zapotřebí dalších periférií, ale postačí samotný mikrokontrolér. Při otáčení otočným ovladačem dochází pouze ke změnám úrovní signálů, které jsou fázově posunuté. Tyto signály jsou vyvedeny na kanálech A a B na snímači.

K emulaci postačí dva piny na jednom z portů mikrokontroléru. V něm bude implementován stavový automat, který bude měnit úroveň signálu na obou pinech při jednotlivých stavech podle Tab. 1 a Tab. 2. Mikrokontrolér tak bude na základě definované zprávy odeslané z PC emulovat pohyb otočného ovladače.

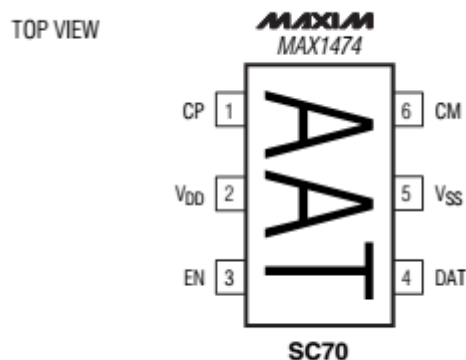
### 5.3 Emulace dotykového snímače

Jak již bylo zmíněno v popisu principu dotykového snímače v kapitole 4.2.1, tento reaguje na přiblížení prstu uživatele, které vede ke změně kapacity dané oblasti.

Kapacita dotykového snímače se však mění i v závislosti na změnách vlastností dielektrika, které ovlivňují např. vlhkost a teplota. Termostat se tedy musí při každém spuštění kalibrovat na aktuální hodnotu kapacity dotykového snímače.

Tohoto se dá s výhodou využít při emulaci dotyku na vybraných místech čelní strany termostatu. Pokud místo každé oblasti dotykového snímače připojíme kapacitor o známé kapacitě, termostat se při spuštění kalibruje na tuto kapacitu. Změnou jeho kapacity způsobíme emulaci dotyku uživatele na termostatu.

Jako nejvhodnější řešení se jeví použití nastavitelného digitálního kapacitoru MAX1474 místo každé oblasti dotykového snímače. Tento kapacitor má mezi piny CM a CP (viz Obr. 7) při uzemnění jednoho z pinů nastavitelnou kapacitu 6.41pF až 13.33pF s konstantním krokem 0.22pF.



Obr. 7 MAX1474 [11]

Velikost požadované kapacity lze nastavovat pomocí pinů EN a DAT. Pro dosažení stejných hodnot kapacit, jako mají oblasti dotykového snímače, lze k pinům CP a CM paralelně připojit kapacitor o dané hodnotě. Tato možnost je také zahrnuta v obvodovém zapojení v Příloze 2.

Podle počtu pulzů odeslaných na pin DAT pomocí mikrokontroléru lze pak jednoduše měnit kapacitu, a tím emulovat dotyk uživatele na termostatu.

Digitální kapacitory MAX1474 lze řadit paralelně. Tímto způsobem lze dosáhnout libovolně velké absolutní změny kapacity. Termostat Honeywell má práh reakce na změnu kapacity nastavený zvlášť pro každý sledovaný kanál. Hodnoty prahu se pro jednotlivé kanály pohybují v rozmezí 10 až 18%.

Experimentálně bylo změřeno, že použitím jednoho kapacitoru MAX1474 lze při nastavení nejnižší a nejvyšší kapacity dosáhnout změny přibližně 15%. Tato hodnota je pro většinu kanálů dostačující, ale pro některé bude potřeba využít dvou nastavitelných kapacitorů zapojených paralelně. V tomto případě, pokud budou spojeny jednotlivé piny EN a DAT, bude možné měnit kapacitu mezi piny CP a CM při uzemnění jednoho z nich v rozsahu 12.82pF až 26.66pF s konstantním krokem 0.44pF.

## 6 REALIZACE

### 6.1 Hardwarové řešení

V této podkapitole je uveden popis částí navrhnutého elektrického schématu. Kompletní návrh elektrického schématu je v Příloze 2. Dále v Příloze 3 je návrh desky plošných spojů.

#### 6.1.1 Napájecí obvody a USB/UART převodník

Emulátor může být napájen přímo z USB nebo z externího zdroje 12-26V AC, resp. 12-36V DC. Převod napětí z externího zdroje na požadovanou úroveň zajišťuje obvod, jehož schéma je na Obr. 8. Bezprostředně u vstupu napájení se nachází jiskřiště E1 pro případ přepětí. Ochrana před nežádoucím elektromagnetickým rušením je zajištěna použitím EMI filtru C36, L4 a C35. Ochranu proti přepětí pak doplňuje druhé jiskřiště E2, varistor RV1, rezistor R26 a transil D7. Pro usměrnění střídavého napětí je použit Grätzův můstek U7. Filtraci zajišťují kondenzátory C40, C41 a C42. Převod napětí na 5V DC zajišťuje snižující měnič U6 MP2562 spolu s cívkou L1, diodou D6 a dalšími nezbytnými elektronickými součástkami.

Výstupní napětí je nastaveno pomocí odporového děliče R24, R25, jehož výstup je připojený do vstupu chybového zesilovače. Hodnoty odporů jsou vypočteny v (1). Nastavení minimálního vstupního napětí měniče pro povolení a maximálního vstupního napětí pro zakázání jeho funkce zajišťuje odporový dělič R22, R23, připojený ke vstupu ENABLE. Pro zvolené hodnoty rezistorů jsou tato napětí na vstupu  $V_{in}$  měniče vypočtena v (2) a (3). Potřebná DC napětí na vstupu kolektoru P3 jsou s ohledem na zařazení diodového můstku U7, rezistoru R26 a tlumivky L4 o cca 2V vyšší. Při použití AC napětí je navíc třeba brát v úvahu RMS hodnotu a amplitudu napětí.

$$R24 = \frac{V_{out} - V_{fb}}{\frac{V_{fb}}{R25}} = \frac{5 - 0,8}{\frac{0,8}{40200}} = 211050\Omega \quad (1)$$

Kde:

$V_{out}$  – výstupní napětí 5V,

$V_{fb}$  – referenční napětí chybového zesilovače 0,8V, [12],

R25 – odpor 40,2kΩ doporučený výrobcem, [12].

Je použit R24 210kΩ, což je nejbližší vyráběná hodnota.

$$V_{in,en} = V_{en,rise} * \frac{R22 + R23}{R23} = 1,5 * \frac{40200 + 8200}{8200} \cong 8,85V \quad (2)$$

$$V_{in,dis} = (V_{en,rise} - V_{hyst}) * \frac{R22 + R23}{R23} = (1,5 - 0,3) * \frac{40200 + 8200}{8200} \cong 7,08V \quad (3)$$

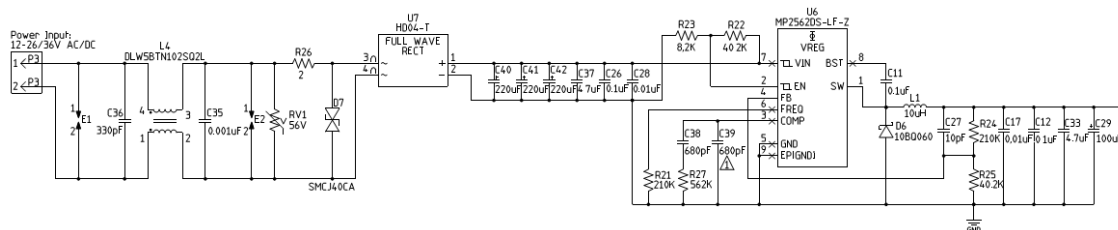
Kde:

$V_{in,en}$  – minimální napětí na vstupu  $V_{in}$  měniče pro povolení jeho funkce,

$V_{en,rise}$  – napětí na vstupu ENABLE měniče pro povolení jeho funkce, [12],

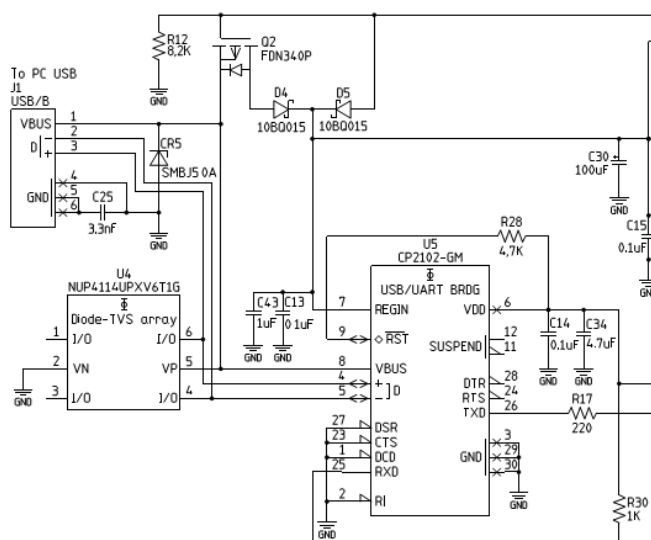
$V_{en,dis}$  – maximální napětí na vstupu  $V_{in}$  měniče pro zakázání jeho funkce,

$V_{hyst}$  – hystereze napětí na vstupu ENABLE měniče, [12].



Obr. 8 Snižující měnič

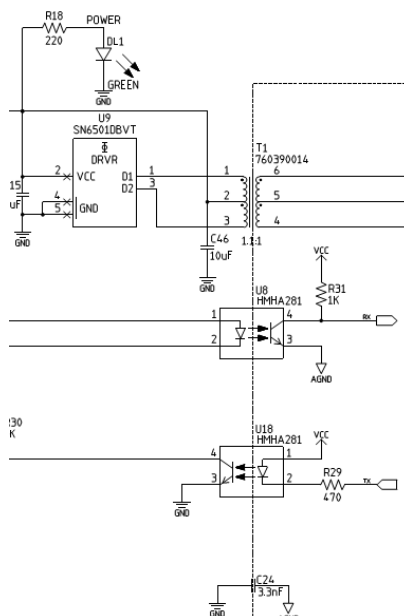
V levé horní části Obr. 9 se nachází MOSFET Q2, jež slouží jako přepínač napětí, kdy externí zdroj je použit jako master a napájení z USB jako slave. V případě připojení externího napájecího zdroje dojde k uzavření kanálu Q2, a tedy odpojení napájení z USB. U4 slouží jako ESD ochrana signálových vodičů USB konektoru. Převod dat z USB na UART je zprostředkován čipem U5 CP2102, který je vidět ve střední části výřezu na Obr. 9.



Obr. 9 Přepínač napětí, USB a USB/UART čip

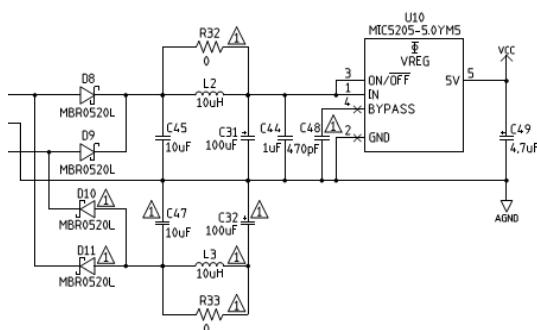
Galvanické oddělení USB a napájecího obvodu od zbylé části emulátoru je znázorněno na Obr. 10. Sériová komunikace je opticky oddělena pomocí optočlenů U8

HMHA281 a U18 HMHA281. Oddělení napájecího napětí, jehož přítomnost indikuje zelená LED DL1, zajišťuje střídač U9 SN6501DBVT, který řídí oddělovací transformátor T1.



Obr. 10 Galvanické a optické oddělení a signalizační LED

Napětí z něj je usměrněno dvojicí diod D8 a D9 a vyfiltrováno pomocí C45, C31 a L2, viz Obr. 11. Stabilizaci na 5V DC zajišťuje LDO regulátor U10 MIC5205. Protože v daném zapojení není třeba záporné napájecí napětí, zůstaly diody D10 a D11 a filtr C47, C32 a L3 neosazený.

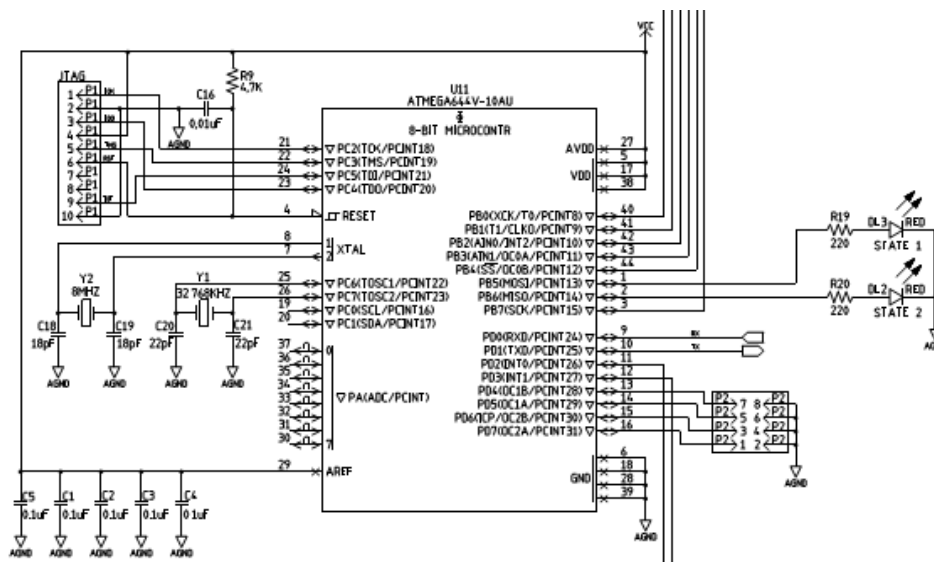


Obr. 11 Frekvenční filtr a LDO regulátor

### 6.1.2 Mikroprocesor a periferie

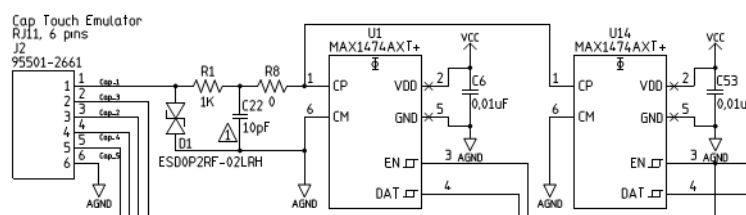
Emulátor je řízen mikroprocesorem ATmega644V-10AU. Připojení periférií k němu je patrné z Obr. 12. Tento mikroprocesor je využit také u dalších zařízení pro automatizované testování, a proto byl zvolen i pro popisovaný emulátor. Jeho programování probíhá přes rozhraní JTAG. K mikroprocesoru jsou připojeny dva externí oscilátory. Krystal Y2 o frekvenci 8 MHz je použit jako hodinový zdroj. Krystal Y1 o frekvenci 32768Hz je využíván druhým časovačem ve funkci RTC. Většina pinů portu B je určena pro řízení elektronicky nastavitelných kapacitorů. Dva piny pak slouží

k rozsvěcování dvojice LED, které indikují emulaci některého z uživatelských rozhraní. Piny 2 a 3 portu D jsou využity pro emulaci otočného ovladače. Poslední čtveřice pinů slouží pro snímání nastavené adresy modulu. Toto nastavení se provádí binárně, tedy spojením pinu 7 portu D se zemí je nastavena adresa 8, spojením pinu 5 se zemí je nastavena adresa 4 atd. Modul může mít nastavenou adresu v rozmezí 0÷15. Význam adresy je vysvětlen v kapitole 6.2.2.



Obr. 12 Mikroprocesor a periferie

Na Obr. 13 je pro přehlednost zobrazeno zapojení pouze jedné paralelní dvojice elektronicky nastavitelných kapacitorů. Zapojení ostatních kapacitorů je identické. Podrobný popis elektronicky nastavitelných kapacitorů je pak v kapitole 5.3. Kapacitu kanálu lze v případě potřeby zvětšit osazením kapacitoru C22.



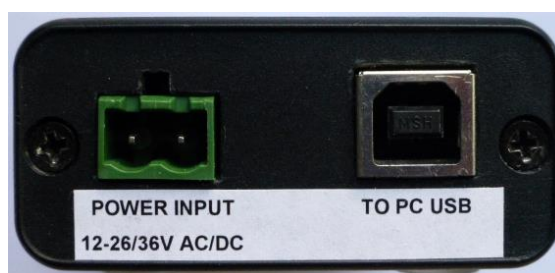
Obr. 13 Zapojení elektronicky nastavitelných kapacitorů

Jednotlivé kanály jsou chráněny před přepětím pomocí transilů. Stejně tak je tomu i pro oba kanály pro emulaci otočného ovladače, které jsou vyvedeny na konektor J3, viz Obr. 14. Vzhledem k tomu, že některé z revizí termostatu mají jeden ze svých termistorů pro snímání teploty umístěn na flexibilní desce společně s optickým enkodérem, je mezi piny 5 a 6 konektoru J3 umístěn odpor R15 o stejné nominální hodnotě.



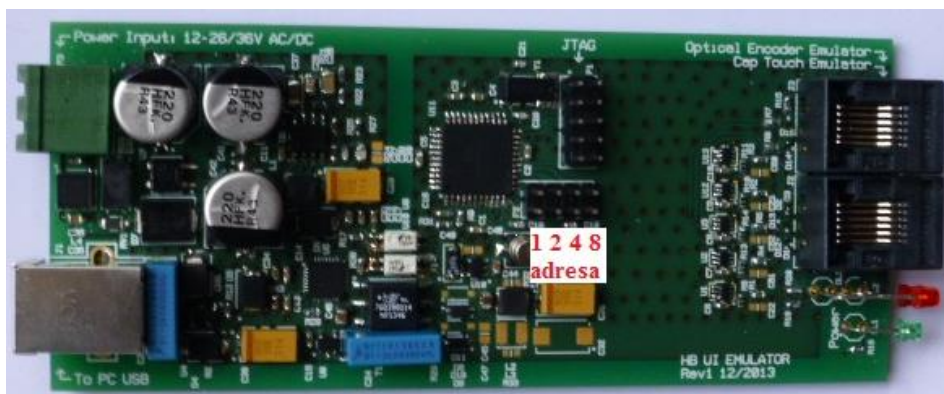


konektor na zadní straně slouží pro připojení externího napájecího zdroje. Napájecí napětí je 12-26V AC, resp. 12-36V DC.



Obr. 17 Emulátor zezadu

Samotná deska plošných spojů je na Obr. 18. Na obrázku je popsána osmice pinů, která slouží k nastavení adresy konkrétního modulu emulátoru. Nastavení lze provést pomocí propojek. Každý modul může mít adresu 0 až 15. Význam adresy modulu a její použití je popsáno v kapitole 6.2.2.



Obr. 18 DPS s popiskem adres

Konektory sloužící k připojení emulátoru k termostatu jsou na Obr. 19 a Obr. 20. Délka kabelu pro emulaci kapacitní dotykové vrstvy byla zvolena co nejkratší pro minimalizaci parazitní kapacity vedení.

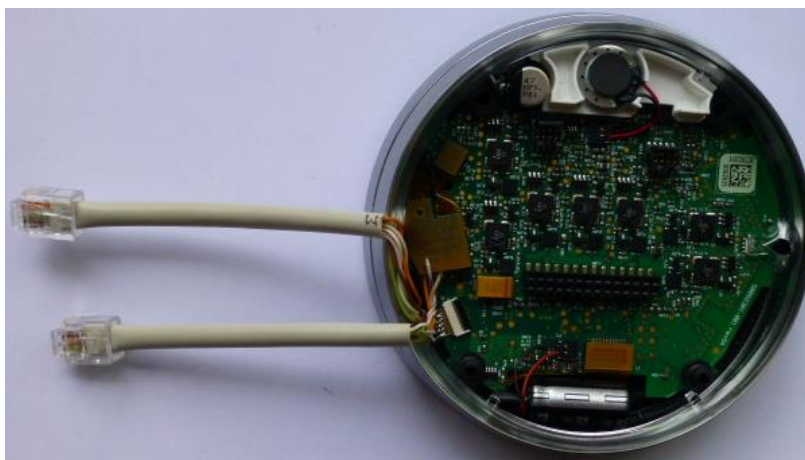


Obr. 19 Konektor pro emulaci otočného ovladače



Obr. 20 Konektor pro emulaci dotykové vrstvy

Zapojení konektorů k termostatu je patrné z Obr. 21.



Obr. 21 Připojení k termostatu

## 6.2 Softwarové zpracování

Kompletní programové vybavení sestává z programového vybavení emulátoru, testovacího obslužného programu pro PC a ukázkového skriptu pro automatizované testování. Během vývoje softwaru bylo důležité zohlednit spolehlivost komunikace mezi PC a emulátorem a dostatečně kvalitní logování průběhu testů. Jedině pak je možné zajistit dostatečně kvalitní automatizované testování uživatelského rozhraní termostatu.

Při vývoji byly využity již vytvořené interní knihovny firmy Honeywell pro komunikaci a logování, které jsou použity i v ostatních modulech využívaných pro automatizované testování termostatů.

Výsledný software umožňuje současné testování libovolného počtu termostatů s využitím libovolného počtu různých modulů určených pro automatizované testování. Tímto způsobem lze například testovat termostat s využitím již dříve vyvinutého simulátoru teplotního senzoru a tohoto emulátoru uživatelského rozhraní. Toto vše za použití jediného skriptu a logovacího souboru o průběhu testu.

V následujících podkapitolách je uveden popis způsobu komunikace, popis vyvinutého softwaru emulátoru a popis obslužného softwaru pro PC včetně ukázkového skriptu.

### 6.2.1 Komunikace

Komunikace mezi mikrokontrolérem a obslužným softwarem na PC probíhá prostřednictvím USB. Mikrokontrolér obsahuje USB/RS-232 převodník, který je připojen k sériovému rozhraní UART mikroprocesoru.

Mikrokontrolér může pracovat v tzv. ASCII módu, nebo v módu řízené komunikace.

ASCII mód byl implementován a využit zejména pro komunikaci s mikrokontrolérem při vývoji softwarového vybavení emulátoru a testování správnosti zpracování odeslaných zpráv.

Mód řízené komunikace je tvořen dvěma vrstvami rozhraní.

Dolní vrstva zajišťuje zasílání zpráv po fyzickém rozhraní, rámcovou synchronizaci a detekci chyb během přenosu pomocí cyklického redundantního součtu CRC-8 a využívá metodu jednotlivého potvrzování, tzv. „Stop-And-Wait“. Při této metodě nedojde k odeslání další zprávy, dokud není přijata potvrzovací zpráva ACK.

Horní vrstva využívá ke komunikaci dolní vrstvu a dále zajišťuje navazování spojení, kontrolu spojení s využitím watchdog a zpracování požadavku na zaslání názvu modulu. Kontrola spojení je realizována zasíláním zpráv NOP po vypršení časovače watchdog, pokud je po dobu vypršení časovače komunikační rozhraní nečinné. V případě, že opakovaně dojde k nepotvrzení odeslaných zpráv, tak dojde k upozornění vyšších vrstev o ztrátě spojení.

### 6.2.2 Softwarové vybavení emulátoru

Softwarové vybavení emulátoru bylo vyvinuto v prostředí IAR Embedded Workbench for AVR V6.10. Kompletní použitý zdrojový kód je k dispozici na příloženém CD.

Chod emulátoru je řízen jednoduchým operačním systémem, který lze označit za plánovač. Tento zajišťuje plánování úloh při chodu systému, obsluhu komunikace, počáteční inicializaci emulovaných snímačů po spuštění, obsluhu watchdog a další.

Emulátor umí pracovat ve dvou režimech. Jedním je mód emulace otočného ovladače termostatu a druhým je mód emulace dotyku uživatele na dotykové vrstvě termostatu.

- 1. Mód emulace otočného ovladače:** Modul umožňuje emulaci otáčení optického enkodéru. U emulace je možné zvolit počet period (viz Obr. 4), rychlost, resp. frekvenci pulzů, a směr otáčení. Počet period lze volit v rozsahu 0÷9999 a přednastavené rychlosti, resp. frekvence pulzů, jsou: Normal 120Hz, Slow 60Hz a Fast 240Hz.
- 2. Mód emulace dotykové vrstvy:** Modul umožňuje emulaci stisku tlačítka na oblastech dotykové kapacitní vrstvy. U emulace je možné zvolit, zda má být tlačítko stisknuto po určité době, nebo má být drženo stisknuté. Stisknutí více tlačítek najednou je také možné.

Pro každý mód emulátoru byla definována jedna zpráva, resp. datový paket. Každá zpráva musí začínat hlavičkou, což je „:“, a musí být zakončena ASCII znaky CR (carriage return) a LF (line feed).

Zde je uveden přehled definovaných paketů podle módu emulace. Hlavička v tabulce vždy popisuje velikost v bajtech a druh informace:

### 1. Paket pro emulaci otočného ovladače:

1B „U“	1B Múd	1B Směr	1B Rychlost	4B Počet
Identifikátor emulátoru	Múd emulace: <ul style="list-style-type: none"> <li>„O“ – mód emulace otočného ovladače,</li> <li>„T“ – mód emulace dotykové vrstvy.</li> </ul>	Směr otáčení: <ul style="list-style-type: none"> <li>„R“ – ve směru hodinových ručiček,</li> <li>„L“ – proti směru hodinových ručiček.</li> </ul>	Rychlost otáčení: <ul style="list-style-type: none"> <li>„N“ – Normal 120Hz,</li> <li>„S“ – Slow 60Hz,</li> <li>„F“ – Fast 240Hz.</li> </ul>	Počet period, jedna perioda představuje 4 stavy (viz kapitola 4.1.1). Formát „xxxx“. Povolný rozsah 0÷9999. Hodnota „0000“ je určena pro zrušení emulace otáčení.

Tab. 3 Paket pro emulaci otočného ovladače

### 2. Paket pro emulaci dotykové vrstvy:

1B „U“	1B Múd	5B Tlačítka	5B Doba stisku
Identifikátor emulátoru	Múd emulace: <ul style="list-style-type: none"> <li>„O“ – mód emulace otočného ovladače,</li> <li>„T“ – mód emulace dotykové vrstvy.</li> </ul>	Bitmaska stisknutých tlačítek: „1“ pro aktivní, „0“ pro neaktivní. Formát „abcde“: <ul style="list-style-type: none"> <li>„a“ – tlačítko 1,</li> <li>„b“ – tlačítko 2,</li> <li>„c“ – tlačítko 3,</li> <li>„d“ – tlačítko 4,</li> <li>„e“ – tlačítko 5.</li> </ul>	Doba stisku tlačítka v ms. Formát „xxxxx“. Povolný rozsah 0÷99999. Hodnota „99999“ je určena pro trvalý stisk tlačítka. Hodnota „00000“ je určena pro zrušení stisku tlačítka.

Tab. 4 Paket pro emulaci dotykové vrstvy

Pro umožnění použití více modulů najednou v automatizovaných testech byla implementována možnost nastavení adresy daného modulu. Adresa může být libovolná v rozmezí 0÷15 a její nastavení se provádí pomocí umístění propojek na určené piny na desce emulátoru (viz Obr. 18). Emulátor se pak při inicializaci komunikace identifikuje podle svého přednastaveného jména a dané zvolené adresy.

## 6.2.3 Obslužný software pro PC

Obslužný software pro PC byl vyvinut v prostředí Microsoft Visual C# 2005 Express Edition. Kompletní zdrojový kód je k dispozici na přiloženém CD.

Obslužný software sestává ze dvou částí. První částí je testovací grafické uživatelské rozhraní, které je určeno pro otestování funkčnosti emulátoru a počáteční nastavení

termostatu před začátkem testování. Druhou částí je vytvořený ukázkový skript, který je určený pro samotné automatizované testování.

V obou prostředních je implementována možnost vyváření záznamu o probíhajícím testu zařízení. Toto je velice důležité při běhu automatizovaného testu. Ze záznamu je totiž možné zjistit, zda byl test úspěšný, nebo zda v jeho průběhu došlo k chybě. Před začátkem testu je možné zvolit, jak podrobný má záznam být. V nejméně podrobném logu je uveden pouze počet nalezených modulů, informace o jejich úspěšném připojení a výsledek testování.

Příklad nejméně podrobného záznamu je uveden zde:

```
[2014-04-28 20:20:37.935] <Module_UserInterface> All modules
connected. Module(s) count: 1.
[2014-04-28 20:20:37.943] Module was successfully initialized!
[2014-04-28 20:20:37.945] Device was successfully initialized!
[2014-04-28 20:20:45.072] Test statistics: 3 comment(s), 0 warning(s),
0 error(s).
Test PASSED.
Test runtime 00:00:08.0820000
```

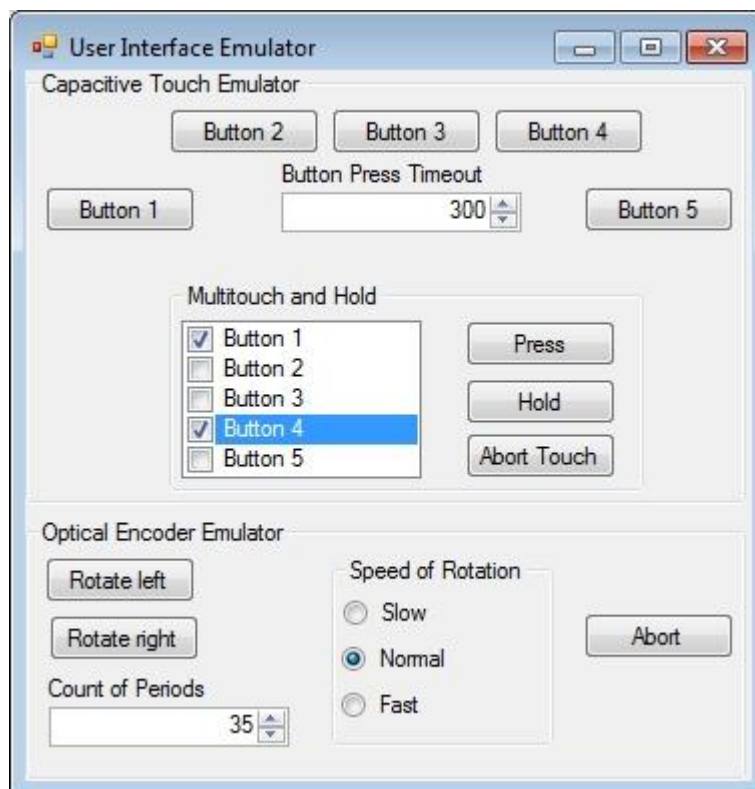
Nejpodrobnější log umožňuje záznam o všech požadovaných činnostech emulátoru. Je zde tedy například uveden požadavek na stisk tlačítek, pohyb otočného ovladače a další. Log je vždy uložen ve formátu textového souboru a je umístěn ve složce se spustitelným souborem programu. V případě testování několika zařízení najednou, jsou záznamy v logu rozlišeny podle názvů jednotlivých zařízení. Ukázka podrobného logu je zde:

```
[2014-04-28 20:17:30.940] (DD) <NameTranslator> Parsing file
'C:\Users\Honza\Documents\Visual Studio
2005\Projects\AutoTester_VUT\AutoTester\Testing_UserInterface_Script\m
odules.conf' with section 'userInterface'.
[2014-04-28 20:17:30.998] (DD) <NameTranslator> File parsing finished
successfully.
[2014-04-28 20:17:31.017] (DD) <Module_UserInterface> Looking for
modules with familyname: userInterface and baudrate: 19200. Expected
count: 1
[2014-04-28 20:17:31.025] (DD) <ModuleManagementLayer> Ports found:
0:COM1 1:COM5 .
[2014-04-28 20:17:31.285] (DD) <ModuleManagementLayer> Name
'userInterface0' acquired on port 1:COM5.
[2014-04-28 20:17:31.883] (DD) <ModuleManagementLayer> Connection not
established on port 0:COM1.
[2014-04-28 20:17:31.886] (DD) <ModuleManagementLayer> 1 module(s)
found.
[2014-04-28 20:17:31.892] (DD) <Module_UserInterface> 1 modules found.
[2014-04-28 20:17:31.894] (DD) <ModuleManagementLayer> Activating
modules...
[2014-04-28 20:17:31.901] (DD) <ModuleManagementLayer> Modules
activated.
[2014-04-28 20:17:31.901] <Module_UserInterface> All modules
connected. Module(s) count: 1.
[2014-04-28 20:17:31.901] Module was successfully initialized!
[2014-04-28 20:17:31.904] Device was successfully initialized!
```

[2014-04-28 20:17:31.907] (DD) <Module\_UserInterface[HBUIEMULATOR0]>  
Buttons 'B3' are requested to be pressed on device.  
[2014-04-28 20:17:31.934] (DD) <Module\_UserInterface[HBUIEMULATOR0]>  
Buttons 'B3' were pressed on device, duration 300ms.  
[2014-04-28 20:17:32.935] (DD) <Module\_UserInterface[HBUIEMULATOR0]>  
Buttons 'B1' are requested to be pressed on device.  
[2014-04-28 20:17:32.950] (DD) <Module\_UserInterface[HBUIEMULATOR0]>  
Buttons 'B1' were pressed on device, duration 300ms.  
[2014-04-28 20:17:33.950] (DD) <Module\_UserInterface[HBUIEMULATOR0]>  
Buttons 'B1' are requested to be pressed on device.  
[2014-04-28 20:17:33.965] (DD) <Module\_UserInterface[HBUIEMULATOR0]>  
Buttons 'B1' were pressed on device, duration 300ms.  
[2014-04-28 20:17:34.965] (DD) <Module\_UserInterface[HBUIEMULATOR0]>  
Buttons 'B2' are requested to be pressed on device.  
[2014-04-28 20:17:34.980] (DD) <Module\_UserInterface[HBUIEMULATOR0]>  
Buttons 'B2' were pressed on device, duration 300ms.  
[2014-04-28 20:17:35.980] (DD) <Module\_UserInterface[HBUIEMULATOR0]>  
Buttons 'B2' are requested to be pressed on device.  
[2014-04-28 20:17:35.995] (DD) <Module\_UserInterface[HBUIEMULATOR0]>  
Buttons 'B2' were pressed on device, duration 300ms.  
[2014-04-28 20:17:36.998] (DD) <Module\_UserInterface[HBUIEMULATOR0]>  
Ring rotation is requested on channel 'RING'.  
[2014-04-28 20:17:37.013] (DD) <Module\_UserInterface[HBUIEMULATOR0]>  
Ring rotation was sent on channel 'RING', direction RIGHT, speed FAST,  
count 200.  
[2014-04-28 20:17:39.013] (DD) <Module\_UserInterface[HBUIEMULATOR0]>  
Ring rotation is requested on channel 'RING'.  
[2014-04-28 20:17:39.026] (DD) <Module\_UserInterface[HBUIEMULATOR0]>  
Ring rotation was sent on channel 'RING', direction LEFT, speed FAST,  
count 200.  
[2014-04-28 20:17:39.076] Test statistics: 3 comment(s), 0 warning(s),  
0 error(s).  
Test PASSED.  
Test runtime 00:00:08.1510000



Vzhled grafického uživatelské rozhraní testovacího programu je patrný z Obr. 22.



Obr. 22 Grafické uživatelské rozhraní testovacího programu

Okno programu je rozděleno na dvě části. Horní část je určena pro obsluhu emulátoru dotykové vrstvy a dolní část je určena pro obsluhu emulátoru otočného ovladače.

V horní části lze kliknutím na jedno z pěti tlačítek emulovat fyzické stisknutí tlačítka na termostatu na přednastavenou dobu. Druhou možností je využití funkce stisku více tlačítek nebo trvalé stisknutí jednoho nebo více tlačítek. Toto lze provést zatržením uvedených tlačítek a stisknutí tlačítka „Hold“ / „Press“ / „Abort Touch“, podle požadované operace.

Stisknutím jednoho z tlačítek „Rotate left“ nebo „Rotate right“ ve spodní části lze emulovat otáčení otočného ovladače o požadovaný počet period. Dále je možné zvolit přednastavenou rychlost otáčení. Stejně jako v horní části zde je tlačítko „Abort“, které slouží pro okamžité přerušení emulace.

Při vytváření skriptu pro automatizované testování lze využít členské metody určené pro emulátor uživatelského rozhraní. Zde je uveden seznam všech metod včetně jejich popisu:

- **void RotateRing(string devName, string chanName, Direction direction, Speed speed, Int32 count)**  
Emulace otáčení otočného ovladače.

devName - Jméno zařízení.  
chanName - Jméno kanálu.  
direction - Směr otáčení.  
speed - Rychlost otáčení.  
count - Počet period. Povolený rozsah 0÷9999.

- **void AbortRing(string devName, string chanName)**  
Zrušení probíhající emulace pohybu otočného ovladače.

devName - Jméno zařízení.  
chanName - Jméno kanálu.

- **void PressButtons(string devName, string buttonsNames, Int32 duration)**  
Emulace stisku požadovaných tlačítek.

devName - Jméno zařízení.  
buttonsNames - Požadovaná tlačítka. Povolené oddělovače: { ',', ' ', ';' }.  
duration - Doba stisku tlačítka v ms. Povolený rozsah 1÷99998.

- **void HoldButtons(string devName, string buttonsNames)**  
Trvalý stisk požadovaných tlačítek.

devName - Jméno zařízení.  
buttonsNames - Požadovaná tlačítka. Povolené oddělovače: { ',', ' ', ';' }.

- **void AbortButtons(string devName, string buttonsNames)**  
Přerušování emulace stisku požadovaných tlačítek.

deviceName - Jméno zařízení.  
buttonsNames - Požadovaná tlačítka. Povolené oddělovače: { ',', ' ', ';' }.

Pro správnou inicializaci obou prostředí je potřeba dodat správný konfigurační soubor. Tento je rovněž uložen ve složce se spustitelným souborem programu a musí

být pojmenován „modules.conf“. Konfigurační soubor určuje názvy testovaných zařízení, adresy modulů a adresy kanálů. Kanály v případě emulátoru uživatelského rozhraní představují emulátor otočného ovladače a emulátor jednotlivých tlačítek. Zde je uvedena ukázka obsahu konfiguračního souboru:

```
# module family
Family userInterface
  # logical device
  Device HBUIEMULATOR0
    # channelname      mod   chan
    RING                0     0
    B1                   0     1
    B2                   0     2
    B3                   0     3
    B4                   0     4
    B5                   0     5
  EndDevice
EndFamily
```

Znak „#“ je určen pro označení komentáře. „module family“ určuje název skupiny modulů a je shodný s názvem, kterým se modul identifikuje společně se svojí adresou. „logical device“ identifikuje testované zařízení. „channelname“ je název daného kanálu na modulu. V tomto případě to je emulátor optického enkodéru „RING“ a jednotlivá emulovaná tlačítka „B1“ až „B5“. „mod“ určuje adresu použitého modulu a „chan“ udává číslo kanálu na modulu.

Konfigurační soubor je čten a kontrolován při každém spuštění programu. Inicializace emulátoru z konfiguračního souboru se provádí tímto zápisem:

```
Module_UserInterface.Init(@"..\..\modules.conf");
```

Ukázka hlavního těla skriptu pro automatizované testování včetně komentáře je uvedena zde:

```
static void Main(string[] args)
{
    //Set culture.
    SetENLocale();

    //Start new log.
    log.StartNewLog(GetTestName(), GetTestName(),
    true, LogType.PlainText);

    //Init module from configuration file.
    Module_UserInterface.Init(@"..\..\modules.conf");
    log.LogMessage(ScriptLogger.MsgSeverity.COMMENT,
    "Module was successfully initialized!");
    //Init device.
```

```

DeviceUserInterface dui = new
DeviceUserInterface("HBUIEMULATOR0");
log.LogMessage(ScriptLogger.MsgSeverity.COMMENT,
"Device was successfully initialized!");

//Testing loop. Set LOOPS to 0 for infinite
looping.
for (int i = 0; (LOOPS == 0 || i < LOOPS); i++)
{
    dui.PressButtons("B3", 300);
    Wait(1000);

    dui.PressButtons("B1", 300);
    Wait(1000);

    dui.PressButtons("B1", 300);
    Wait(1000);

    dui.PressButtons("B2", 300);
    Wait(1000);

    dui.PressButtons("B2", 300);
    Wait(1000);

    dui.RotateRing("RING",
Module_UserInterface.Direction.RIGHT,
Module_UserInterface.Speed.FAST, 200);
    Wait(2000);
    dui.RotateRing("RING",
Module_UserInterface.Direction.LEFT,
Module_UserInterface.Speed.FAST, 200);
}

//Disconnect module.
Module_UserInterface.Deinit();

//Log success.
log.LogEndScriptSuccess();
}

```

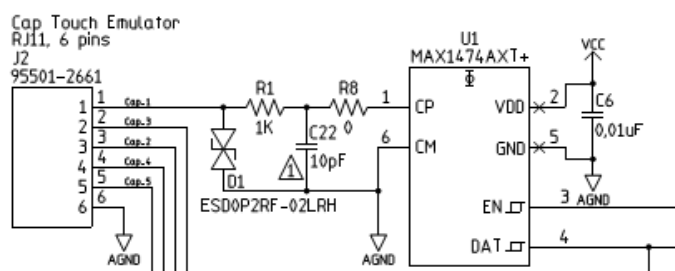
Kompletní zdrojový kód testovacího skriptu lze nalézt na přiloženém CD.

### 6.3 Problémy zjištěné při realizaci

V průběhu realizace emulátoru nastal problém s jedním emulovaným kanálem kapacitní dotykové vrstvy emulátoru. Jeden digitální kapacitor je totiž schopen změny frekvence použitého RC oscilátoru pouze o 17% při využití svého plného rozsahu nastavení kapacity. Tento problém se týkal pouze jediného kanálu, pro který má termostat nastavený práh reakce 18%.

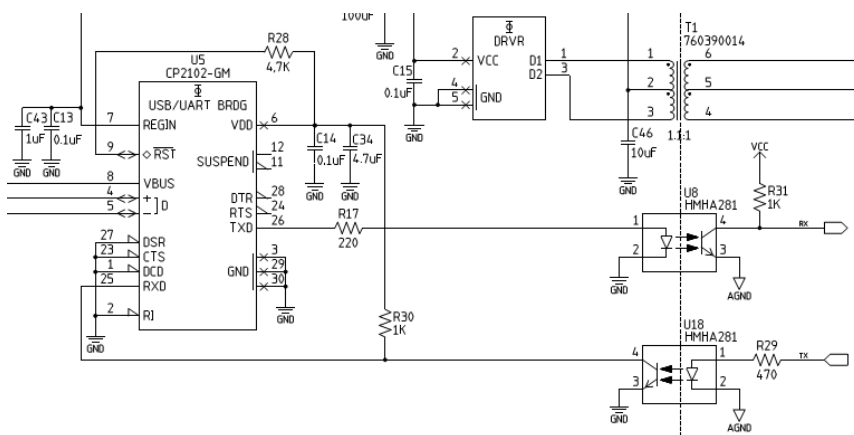
Problém byl vyřešen připojením paralelního kapacitoru, což uvádí výrobce v dokumentaci [11]. Změna frekvence se tak změnila ze 17% na 27%.

Paralelní kapacitor pro nefunkční kanál byl na DPS osazen dodatečně. Pro další výrobu byly kapacitory zdvojeny pro každý kanál. Původní zapojení kapacitorů pro jeden kanál na Obr. 23 lze porovnat s novým zapojením na Obr. 13. Obě revize návrhu elektrického schématu jsou pak v Příloze 1 a v Příloze 2.



Obr. 23 Původní zapojení elektronicky nastavitelných kapacitorů

Druhý problém, který byl v revizi 2 odstraněn, je inverze Rx a Tx signálů způsobená nesprávným buzením optočlenů vůči zemi. Aby k inverzi nedocházelo, optočlen se musí budit vůči napájecímu napětí. Na vyrobené desce plošných spojů byla oprava provedena přeškrábnutím několika spojů a použitím pomocných vodičů. Původní zapojení optočlenů U8 a U18 je patrné z Obr. 24.



Obr. 24 Původní zapojení optočlenů

## 7 OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

K této bakalářské práci je přiloženo CD, na kterém je k dispozici elektronická verze práce ve formátu PDF, spustitelné soubory vytvořeného programu, ovladač pro připojení emulátoru přes USB a zdrojové kódy pro programové vybavení emulátoru a vytvořeného obslužného programu na PC.

### 7.1 Adresářová struktura na CD

Na přiloženém CD se nachází tyto adresáře:

- PDF

V tomto adresáři je elektronická verze bakalářské práce včetně všech příloh ve formátu PDF.

- Driver

Zde se nachází ovladač nutný pro správné připojení emulátoru k PC. Ovladač je kompatibilní s Windows XP/Server 2003/Vista/7/8/8.1 a v době tvorby této práce byl k dispozici na této adrese:

<http://www.silabs.com/products/mcu/pages/usbtouartbridgevcpcdrivers.aspx>.

- Executables

Tento adresář obsahuje spustitelné soubory testovacího grafického rozhraní a ukázkového skriptu pro automatizované testování včetně ukázkového konfiguračního souboru a DLL knihoven. Pro správnou funkci programu musí být nainstalován ovladač a emulátor musí být připojen k PC.

- Source files

Obsah tohoto adresáře je rozdělen na dva podadresáře.

- Autotester

V tomto podadresáři je projekt se zdrojovým kódem obslužného programu vyvinutý v prostředí Microsoft Visual C# 2005 Express Edition.

- UserInterfaceEmulator

Tento podadresář obsahuje projekt se zdrojovým kódem programového vybavení emulátoru vyvinutý v prostředí IAR Embedded Workbench for AVR V6.10.

- Video

V tomto adresáři se nachází video demonstrující funkčnost vytvořeného emulátoru.

## 8 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout a realizovat emulátor uživatelského rozhraní termostatu a vytvořit programové vybavení emulátoru a programové vybavení obslužného programu na PC.

Nejprve byl proveden průzkum nabízených produktů na současném trhu, které by splňovaly požadavky kladené na emulátor, který měl být začleněn do systému automatizovaného kvalifikačního testování firmy Honeywell. Nakonec bylo přistoupeno k výrobě vlastního emulátoru kompatibilního se stávajícími moduly.

Před realizací výroby emulátoru byly zkoumány vlastnosti snímačů určených pro zprostředkování uživatelského rozhraní. Uživatelské rozhraní je tvořeno otočným ovladačem po obvodu termostatu a dotykovou kapacitní vrstvou na vnitřní straně předního krytu termostatu.

Byl analyzován princip a popis chování obou snímačů a rozvržen koncept celého způsobu emulace. Po zhodnocení konceptu celého systému byl proveden návrh elektrického schématu, který je k dispozici v Příloze 2, a návrh desky plošných spojů, který lze nalézt v Příloze 3.

Po výrobě DPS bylo přistoupeno nejprve k realizaci programového vybavení emulátoru. Pro správnou implementaci do již vytvořeného systému pro automatizované testování byly převzaty některé interní knihovny firmy Honeywell. Postupně pak byl implementován emulátor otočného ovladače společně s oživením komunikace a později pak emulátor dotykové vrstvy.

Po otestování funkčnosti emulátoru bylo přistoupeno k realizaci programu pro obsluhu emulátoru na PC. Bylo vytvořeno grafické uživatelské rozhraní pro otestování emulátoru a následně bude využíváno pro konfiguraci termostatu před samotným automatizovaným testováním. Samotné automatizované testování bude probíhat pomocí skriptu, jehož ukázka je součástí vytvořeného programu. Práce zahrnuje také stručný popis obsluhy programu, vytváření testovacích skriptů a konfiguračního souboru, který je nutný pro správnou inicializaci programu.

# LITERATURA

- [1] *SmartBear Software* [online]. 2014 [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: <http://smartbear.com/>
- [2] *Micro Focus International* [online]. 2014 [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: <https://www.borland.com/>
- [3] *TestPlant* [online]. 2014 [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: <http://www.testplant.com/>
- [4] *OptoFidelity* [online]. 2014 [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: <http://www.optofidelity.com/>
- [5] KERNIGHAN, Brian. *Programovací jazyk C*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2006, 286 s. ISBN 80-251-0897-X.
- [6] MANN, Burkhard. *C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy - linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky*. Vyd. 1. Praha: BEN, 2003, 279 s. ISBN 80-730-0077-6.
- [7] MATOUŠEK, David. *Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR ATmega16*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 319 s. μC. ISBN 80-730-0174-8.
- [8] WATSON, Karli. *Beginning Microsoft Visual C# 2008*. Indianapolis, IN: Wiley Pub., c2008, xxxiii, 1307 p. ISBN 04-701-9135-X.
- [9] AVAGO TECHNOLOGIES. *AEDR-8300 Series Encoders: Surface Mount Optical Encoder Data Sheet* [online]. 2007 [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: <http://www.avagotech.com/docs/AV02-0088EN>
- [10] ENERGYMICRO. *Low Energy Sensor Interface – Capacitive Sense: AN0028 - Application Note* [online]. 2013 [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/AN0028.pdf>
- [11] MAXIM. *Miniature Electronically Trimmable Capacitor* [online]. Rev 1. 2001 [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1474.pdf>
- [12] MONOLITHIC POWER SYSTEMS. *MP2562* [online]. 2010 [cit. 2014-4-20]. Dostupné z: <http://www.monolithicpower.com/Page/Download.aspx?ListID=149b7d2b-0bb2-4ba6-a219-a0495acb8b0b&&ItemID=9>



# SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1. Obvodové schéma emulátoru revize 1

Příloha 2. Obvodové schéma emulátoru revize 2

Příloha 3. Návrh DPS

Příloha 4. CD