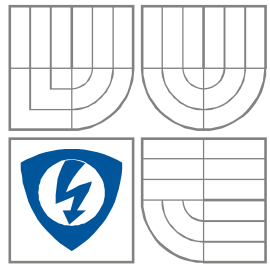


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

INTELIGENTNÍ KOMPONENTY CHYTRÉ DOMÁCNOSTI - SMARTFLAT

SmartFlat peripherals

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

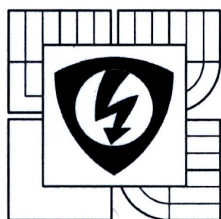
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JIŘÍ CHYTIL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

BRNO, 2016



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Jiří Chytil

Ročník: 2

ID: 146838

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Inteligentní komponenty chytré domácnosti - SmartFlat

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte periferie systému chytré domácnosti. Navrhněte a realizujte univerzální periferní jednotku pro měření vzdušné vlhkosti a teploty, dále jednotku inteligentní zásuvky (měření spotřeby, ovládání sepnutí a stmívání) a dále jednotku zabezpečení s PIR čidlem a CCD kamerou. Jednotky navrhněte pro bezdrátové komunikační rozhraní 433MHz/868MHz případně zvolenou alternativní průmyslovou sběrnici. Pokud je to možné a účelné, realizujte jednotky bateriově napájené nebo s bateriovým zálohováním. Vytvořte programové vybavení a komunikační protokol a demonstруйте funkčnost.

1. Proveďte literární rešerši a internetový průzkum.
2. Navrhněte blokovou koncepci periferního systému chytré domácnosti.
3. Vyberte vhodnou platformu, navrhněte elektroniku nezbytných periférií.
4. Realizujte elektroniku, oživte ji a vytvořte komplexní programové vybavení.
5. Ověřte funkčnost a sepište diplomovou práci.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

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

Termín zadání: 8. 2. 2016

Termín odevzdání: 16.5.2016

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

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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. čl. 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.



ABSTRAKT

Tématem práce je konstrukce periferních jednotek systému inteligentní domácnosti SmartFlat a návrh komunikačního rozhraní tohoto systému. Navrhovanými jednotkami jsou jednotka pro měření vzdušné vlhkosti a teploty, jednotka zabezpečení a jednotka chytré zásuvky umožňující dálkové ovládání, měření a řízení odebíraného příkonu. Všechny tyto jednotky jsou konstruované jak pro bezdrátovou komunikaci s řídicí jednotkou, tak i pro komunikaci prostřednictvím metalického rozhraní.

KLÍČOVÁ SLOVA

Měření vzdušné vlhkosti, Měření pokojové teploty, PIR, Měření výkonu, CCTV, Bezdrátová komunikace, RFM-22B, Wi-Fi, RS-485, AVR, ATmega8, SmartFlat, Inteligentní domácnost

ABSTRACT

The theme of this thesis is the design of peripheral devices of a smart home SmartFlat and the design of communication interface for this system. Designed units are the humidity and temperature measuring unit, the unit of security and the smart socket unit for remote control, power measurement and power control. All units are designed for wired communication and also for wireless communication with control unit.

KAYWORDS

Humidity measurement, Ambient temperature measurement, PIR, Power measurement, CCTV, Wireless communication, RFM-22B, Wi-Fi, RS-485, AVR, ATmega8, SmartFlat, Smart home

CHYTIL, J. *Intelligentní komponenty chytré domácnosti – SmartFlat*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 79s.
Vedoucí semestrální práce: doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Inteligentní komponenty chytré domácnosti – SmartFlat“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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: **11.5.2016**

.....

Podpis autora

Poděkování

Děkuji panu doc. Ing. Zdeňkovi Bradáčovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, cenné rady a ochotu při řešení problémů během tvorby mé diplomové práce.

V Brně dne: **11.5.2016**

.....

Podpis autora

OBSAH

Obsah	5
Seznam obrázků	7
Seznam tabulek	8
Úvod	9
1 Stav na současném trhu	10
2 Snímače neelektrických veličin použité v navrhovaných perifériích	12
2.1 Snímače atmosférické vlhkosti	12
2.1.1 Gravimetrická metoda měření vlhkosti	12
2.1.2 Vlhkoměry založené na principu měření rosného bodu	13
2.1.3 Hygrometry	14
2.1.4 Výběr snímače atmosférické vlhkosti pro periférii chytré domácnosti	15
2.2 Detekce pohybu – PIR detektory	15
3 Měření výkonu v jednofázové střídavé soustavě	18
3.1 Měření síťového napětí AD převodníkem	19
3.2 Měření proudu AD převodníkem	19
3.2.1 Měření proudu s využitím odporového bočníku	20
3.2.2 Měření proudu s využitím proudového transformátoru	20
3.2.3 Měření proudu senzorem na principu Hallové sondy	20
3.3 Měření výkonu ve střídavé soustavě prostřednictvím číslicových obvodů	21
3.3.1 Měření výkonu za pomoci běžného mikrokontroléru	21
3.3.2 Číslicové obvody určené k měření výkonu	22
4 Řízení výkonu osvětlení	24
4.1 Stmívání osvětlení řízené mikrokontrolérem	26
5 Kamerový systém	28
5.1 CCD snímač a PIR detektor realizovaný vlastní navrženou periférií	28
5.2 Bezpečnostní průmyslová IP kamera s detekcí pohybu	29
5.3 Chytrý PIR detektor doplňující bezpečnostní IP kameru	29
5.4 Subjektivní kvalita obrazu a jeho použitelnost	30
5.5 Srovnání kamer dostupných na trhu	34
5.5.1 Nevýhody levných řešení	34
5.5.2 Výhody profesionálních IP kamer	34
6 Návrh komunikačního rozhraní	36
6.1 Výběr bezdrátového komunikačního rozhraní	36
6.1.1 Realizace prostřednictvím Wi-Fi	36
6.1.2 Realizace prostřednictvím modulů XBee série 2B	37
6.1.3 Realizace prostřednictvím modulů RFM22B	37
6.1.4 Rušení Wi-Fi sítě útokem na úrovni linkové vrstvy	38
6.2 Výběr metalického komunikačního rozhraní	39
6.2.1 Realizace prostřednictvím metalického Ethernetu	39
6.2.2 Realizace prostřednictvím sběrnice RS-485	40
6.2.3 Realizace prostřednictvím sběrnice CAN	41
6.3 Návrh komunikačního protokolu	43
6.3.1 Význam datových bytů jednotky zabezpečení	45
6.3.2 Význam datových bytů jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty	46
6.3.3 Význam datových bytů jednotky chytré zásuvky	46
7 Hardwarový návrh periférií	48
7.1 Návrh jednotky zabezpečení	48
7.2 Návrh jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty	52
7.3 Návrh jednotky chytré zásuvky	53
7.4 Návrh desek plošných spojů periférií	56
8 Návrh softwarového vybavení periférií a jejich oživení	57

8.1	Softwarové vybavení jednotky zabezpečení	57
8.2	Softwarové vybavení jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty	60
8.3	Softwarové vybavení jednotky chytré zásuvky.....	63
8.4	Oživení jednotek	65
	Závěr	67
	Seznam použité literatury.....	69
	Seznam zkratk a symbolů.....	72
	Seznam příloh	73
	Přílohy v tištěné podobě	73
	Přílohy na CD	73
	Příloha A	74
	Příloha B	76
	Příloha C	78

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 – Princip kondenzačního vlhkoměru, převzato[6].....	13
Obrázek 2.2 - Stanovení relativní vlhkosti vzduchu, převzato[6].....	14
Obrázek 2.3 - Blokové schéma PIR detektoru, převzato[8].....	16
Obrázek 3.1 – Vztah mezi činným, jalovým a zdánlivým výkonem, zdroj: Wikipedie.....	18
Obrázek 3.2 – Princip číslicového měření činného výkonu pomocí mikrokontroléru.....	22
Obrázek 4.1 – Polovodičový stmívač osvětlení využívající deformaci půlvlny (zpožděné sepnutí), převzato[11]	24
Obrázek 4.2 - Spínání proudu na náběžné a sestupné hraně, převzato[11].....	25
Obrázek 4.3 - Obvod pro detekci průchodu nulou	26
Obrázek 5.1 - Nízká hloubka ostrosti s clonou 5,6 (vlevo) a vyšší hloubka ostrosti s clonou 32 (vpravo), převzato[13]	31
Obrázek 5.2 - Motion blur efekt, zdroj[14].....	32
Obrázek 5.3 - Obrazový šum způsobený vysokým digitálním ziskem, zdroj: Wikipedie	32
Obrázek 5.4 - Obličej v kvalitě doporučené pro identifikaci (vlevo) osoby a pro rozpoznání (vpravo) osoby	33
Obrázek 5.5 - Demonstrace efektu WDR Forensic Capture, převzato a upraveno[15]	35
Obrázek 6.1 - Zapojení konektoru RJ-45 metalické sběrnice systému SmartFlat	43
Obrázek 7.1 – Obvodový blok napájení.....	48
Obrázek 7.2 – Obvodový blok spínaných výstupů	50
Obrázek 7.3 – Konektory a převodník logických úrovní MAX487.....	51
Obrázek 7.4 - Řídící mikrokontrolér jednotky zabezpečení	51
Obrázek 7.5 – Řídící mikrokontrolér jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty	52
Obrázek 7.6 - Napájecí obvodový blok jednotky chytré zásuvky.....	53
Obrázek 7.7 - Obvodový blok měření výkonu.....	54
Obrázek 7.8 - Galvanicky oddělující převodník logických úrovní UART/RS-485	55
Obrázek 7.9 - Zapojení polovodičového relé.....	55
Obrázek 7.10 - Obvodový blok mikrokontroléru jednotky chytré zásuvky.....	56
Obrázek 8.1 - Vývojový diagram funkce main (vlevo) a přerušení PIR senzoru (vpravo) jednotky zabezpečení	58
Obrázek 8.2 Vývojový diagram přerušení časovače Timer/Counter0 jednotky zabezpečení.....	59
Obrázek 8.3 - Vývojový diagram přerušení přijatého bytu sběrnice RS-485 (UARTu) jednotky zabezpečení	60
Obrázek 8.4 - Inicializace měření a komunikace se senzorem RHT03, převzato[7]	62
Obrázek 8.5 - Přenos bitu s hodnotou 1 (nahore) a s hodnotou 0 (dole), převzato[7]	62
Obrázek 8.6 - Vývojový diagram funkce main (vlevo) a externího přerušení modulu RFM22B při přijetí rámce (vpravo) jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty	63
Obrázek 8.7 - Prototyp jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty	65
Obrázek 8.8 - Prototyp jednotky zabezpečení, strana součástek (vlevo) a strana PIR modulu (vpravo).....	65

SEZNAM TABULEK

Tabulka 3-1 – Přehled číslicových obvodů určených k měření výkonu v jednofázové střídavé soustavě.....	23
Tabulka 6-1 - Srovnání metalických komunikačních rozhraní	42

ÚVOD

Myšlenka inteligentní domácnosti se v současnosti stává trendem. I když na trhu existuje již několik řešení, nachází se v těchto systémech stále prostor na nová zlepšení a hlubší integraci elektroniky jiných výrobců. Integrovat lze například systém průmyslových kamer, zabezpečovací a protipožární systém či domácí elektroniku třetí strany jako je klimatizace a televize.

V případě periferních zařízení představuje jistý krok kupředu bezdrátová komunikace, která zákazníkovi umožňuje provoz systému i bez instalace kabelových rozvodů. Tuto možnost ocení zejména zákazníci, kteří se rozhodli systém instalovat v již využívaných prostorách. Systémy s bezdrátovou komunikací představovaly ještě donedávna doslova mezeru na trhu. To se začalo zvolna měnit přibližně od konce roku 2014, kdy některé společnosti zařadily do svého portfolia i rozšiřující bezdrátové moduly pro centrální jednotku a bezdrátové periferní jednotky. Touto tematikou se podrobněji zabývá kapitola 1 – Stav na současném trhu.

Tato práce se zaměřuje především na návrh periferních jednotek a metalického i bezdrátového komunikačního rozhraní pro systém chytré domácnosti SmartFlat. V práci je podrobně rozebrána konstrukce jednotky zabezpečení, jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty a jednotky chytré zásuvky. Práce přináší také stručný úvod do měření neelektrických veličin, které jsou periferními jednotkami měřeny. S ohledem na konstrukci chytré zásuvky byla v práci rozebrána problematika měření a řízení výkonu ve střídavých soustavách.

V práci je dále zahrnut přehled nejčastěji používaných metalických i bezdrátových komunikačních rozhraní, provedeno jejich vzájemné srovnání z hlediska rychlosti komunikace, spolehlivosti, zabezpečení i ceny a složitosti implementace. Z bezdrátového i metalického komunikačního rozhraní je vybráno nejvhodnější řešení. Tato dvojice komunikačních rozhraní je následně použita v návrhu komunikace systému SmartFlat a implementována do navrhovaných periférií.

V rámci návrhu jednotky zabezpečení je v práci zahrnuta také problematika průmyslových IP kamer. Práce přibližuje čtenáři nejzásadnější kritéria a problémy, které je nutno zohlednit při návrhu dobře fungujícího bezpečnostního kamerového systému, a pojednává o možnostech integrace kamerového systému se systémem inteligentní domácnosti.

1 STAV NA SOUČASNÉM TRHU

Tato kapitola se podrobně zabývá průzkumem výrobků nabízených na českém trhu a jejich specifickými funkcemi. Dále jsou zde popsány nevýhody existujících systémů, které byly zjištěny především diskuzí s uživateli. V závěru kapitoly jsou nastíněny požadavky na nový produkt, který by byl nejen konkurenceschopný, ale přinášel i jisté benefity navíc.

Bezdrátová řešení se na trhu začala objevovat teprve nedávno, ale jsou velmi rychle rozšiřována. Jedním z hlavních představitelů je portfolio produktů společnosti Loxone. Produkty společnosti Loxone nabízejí kompletní řešení chytré domácnosti. Centrální jednotkou je zde komponenta Loxone Miniserver, kterou je možno rozšířit o další komponenty, jako je například modul se stykači pro spínání zásuvek anebo komunikační modul průmyslové sériové sběrnice RS-485. Loxone Miniserver doplněn o rozšiřující moduly svým designem nápadně připomíná průmyslové automaty PLC. Tento server je určen k montáži do hlavního elektrického rozvaděče. Společnost Loxone zařadila bezdrátové řešení do své nabídky koncem roku 2014. Pro zákazníky, kteří mají zájem o čistě bezdrátové řešení, v současnosti nabízí Loxone Miniserver GO, který obsahuje pouze bezdrátové rozhraní a svým designem je určen pro umístění v obývané místnosti. Pro zákazníky, kteří již vlastní zabudovaný systém s klasickým Loxone Miniserverem, a mají zájem o doplnění systému o RF komunikaci, vznikl modul AIR Base určený pro rozšíření serveru instalovaného v elektrickém rozvaděči.[1]

Dalším výrobcem komponent chytré domácnosti je společnost ELCO EP, s.r.o., která v tomto odvětví vystupuje pod komerčním názvem iNELS. Tato společnost v současnosti rovněž nabízí modulární komponenty pro instalaci do rozvaděče i bezdrátové rozhraní. Pro komunikaci mezi jednotlivými moduly slouží jejich vlastní proprietární sériová sběrnice, která je společností patentovaná. Komunikace s bezdrátovými komponentami probíhá pomocí proprietárního protokolu na frekvenci 868 MHz. V portfolio bezdrátových komponent jsou například LED žárovky s integrovaným RF modulem. Instalace je tedy velice snadná. Produkty tohoto výrobce jsou v době publikace této práce nabízeny mimo jiné i na známém portále alza.cz. [2]

Na trhu se mimo výše zmíněné komplexní systémy objevují i jednotlivé decentralizované komponenty různých výrobců. Mezi nimi lze nalézt především dálkově ovládané zásuvky, které se připojují přímo do počítačové sítě prostřednictvím Wi-Fi a jejichž konfigurace a řízení probíhá z mobilního telefonu či tabletu bez centrální řídicí jednotky. Tyto produkty nabízí například společnost D-Link[3] a Belkin[4]. Výhodou těchto komponent je nízká pořizovací cena a velmi snadná uživatelská instalace. Ovládaný elektrospotřebič se jednoduše zapojí do elektrické zásuvky přes toto zařízení (podobně jako v případě přepět'ové ochrany či wattmetru). Nevýhodou je nízká integrace takového systému.

V rámci průzkumu trhu bylo vyslechnuto několik uživatelů, kteří některý z komplexních systémů chytré domácnosti již několik let používají. Jako největší problém jednohlasně označili kvalitu zákaznického servisu a obchodní strategii společností. Například byla popsána situace, kdy se vlivem selhání chytrého systému stala domácnost neobyvatelnou (systém řídil mimo jiné vytápění a domácí vodárnu). Servisní technik nejmenované společnosti se v tomto případě dostavil až téměř po dvou týdnech od nahlášení závady.

Za další nedostatek byla označena uzavřenost konfiguračního prostředí. Konfigurační prostředí, ačkoliv prý působí přehledně i pro běžného pokročilého uživatele, bylo v tomto nejmenovaném systému přístupné standardně pouze prostřednictvím speciální administrátorské aplikace. Tuto aplikaci si koncový distributor chránil jako své know-how. V případě požadavku zákazníka na úpravu chování některé z automatizovaných funkcí je tedy zákazník závislý na zásahu servisního technika. Zásah servisního technika představuje pro zákazníka další finanční náklady. Doba od objednávky servisu po zásah servisního technika bývá navíc dlouhá až jeden měsíc.

Z průzkumu situace na trhu tedy plynou následující požadavky na potenciálně úspěšný systém: Podpora bezdrátových periférií by měla být samozřejmostí. Tyto periférie by navíc měly být konstruovány s ohledem na co nejjednodušší uživatelskou instalaci (viz. chytré zásuvky společností D-Link a Belkin). Velká pozornost by měla být věnována také grafickému rozhraní centrální řídicí jednotky. To by mělo umožňovat snadnou uživatelskou konfiguraci. Pokročilému uživateli musí být umožněno přidat do systému novou bezdrátovou komponentu a libovolně tvořit, upravovat a odstraňovat schémata automatizovaného chování své domácnosti.

Při návrhu komunikačních protokolů a softwaru centrální řídicí jednotky by měl být kladen důraz na vysoké zabezpečení systému.

Přístup do uživatelského prostředí by, s ohledem na požadavky trhu a současné trendy, měl být realizován webovým rozhraním (jako „tenký klient“) podporující zabezpečení prostřednictvím HTTPS protokolu s důvěryhodným certifikátem.

OS centrální řídicí jednotky musí být co nejlépe zabezpečen proti vzdáleným útokům. V případě komponent zabezpečení (PIR čidel, průmyslových kamer, dveřních zámků a podobných) by mělo být užito výhradně komunikace s centrální řídicí jednotkou po metalické průmyslové sběrnici. Tím se zabezpečí odolnost proti rádiovému rušení a zvýší se také obtížnost neautorizovaného proniknutí do systému.

2 SNÍMAČE NEELEKTRICKÝCH VELIČIN POUŽITÉ V NAVRHOVANÝCH PERIFÉRIÍCH

V této kapitole budou postupně rozebrány nejznámější principy měření neelektrických veličin měřených navrhovanými periferiemi. Dále bude popsán výběr vždy nejvhodnějšího z těchto principů a konkrétního senzoru použitého při konstrukci dané periférie.

2.1 Snímače atmosférické vlhkosti

Atmosférickou vlhkostí se rozumí množství vodních par v suchém vzduchu. Lze ji vyjádřit různým způsobem. Mezi dva nejobvyklejší způsoby patří absolutní vlhkost (vyjádřena jako hmotnost vodních par v poměru k celkovému objemu vlhkého vzduchu, platí vztah 2.1.1) a relativní vlhkost (vyjádřena jako aktuální hmotnost vodních par v poměru k hmotnosti vodních par nasyceného vzduchu m_v'' , platí vztah 2.1.2).[5]

V případě domácích meteostanic je nejčastěji uváděna relativní atmosférická vlhkost. Cílem teoretického rozboru je tedy nalézt co nejmenší, nejlevnější a nejstálější snímač – převodník této veličiny na elektrický proud, napětí anebo digitální snímač poskytující měřený údaj přímo v číslicové podobě.

$$a = \rho_v = \frac{m_v}{V} \quad [kg/m^3; g/m^3] \quad (2.1.1)$$

$$\varphi = \frac{m_v}{m_v''} \quad (2.1.2)$$

2.1.1 Gravimetrická metoda měření vlhkosti

Patří mezi nepřesnější metody. Vyžaduje však laboratorní podmínky a je velmi zdlouhavá. Proto se používá především pro kalibraci jiných měřících metod a v aplikacích vyžadující extrémní přesnost.[6]

Gravimetrická metoda spočívá v odebrání vzorku vzduchu o známé hmotnosti a objemu, ze kterého je následně vhodným sušidlem veškerá vlhkost odebrána. Měřenou veličinou je poté přírůstek hmotnosti daného sušidla, který odpovídá hmotnosti absorbované vzdušné vlhkosti. Jako sušidlo se často používá například pentoxid fosforu.[6]

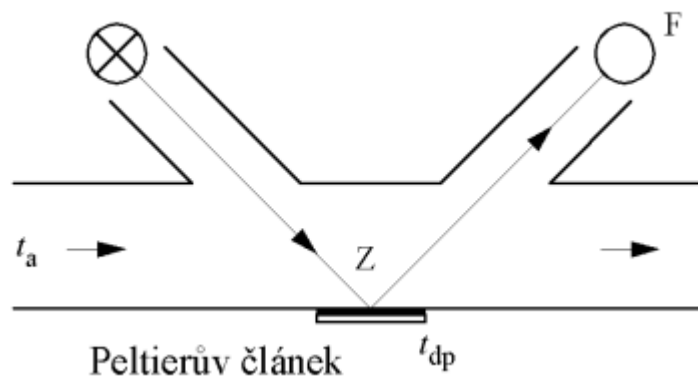
2.1.2 Vlhkoměry založené na principu měření rosného bodu

Princip tohoto měření spočívá ve stanovení relativní vlhkosti vzduchu proudícího vlhkoměrem na základě teploty vzduchu na jeho vstupu a teploty rosného bodu. Vlhkoměry, které využívají tuto metodu měření, jsou nazývány kondenzační vlhkoměry.

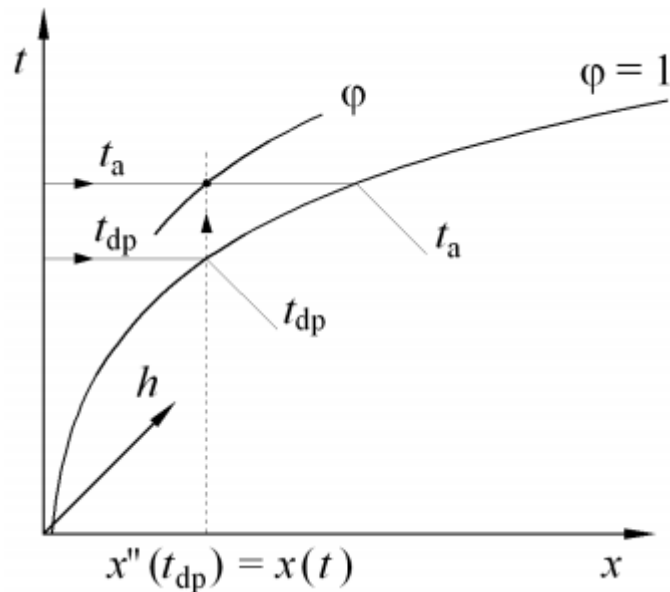
Uvnitř trubice s proudícím vzduchem je umístěna malá destička, která je po zahájení měření ochlazována (např. Peltierovým článkem, na němž je upevněna) až do jejího orosení. V momentě, kdy se destička orosí, je snímačem teploty umístěným na této destičce změřena její teplota. Tato teplota odpovídá rosnému bodu proudícího vzduchu.[6]

Moment, kdy se destička orosí, je nejčastěji detekován pomocí LED diody, fotocitlivého snímače a vyhodnocovacího algoritmu implementovaného v řídicí elektronice vlhkoměru. Sledovaná destička může být například černá (po orosení se zvýší její odrazivost) anebo naopak pokovená jako zrcátko (po orosení se její odrazivost naopak sníží).[6] Princip takového vlhkoměru je patrný z obrázku 2.1.

Z teploty vzduchu na vstupu do vlhkoměru a z teploty rosného bodu t_{dp} je následně stanovena relativní vlhkost vzduchu φ dle obrázku 2.2.[6]



Obrázek 2.1 – Princip kondenzačního vlhkoměru, převzato[6]



Obrázek 2.2 - Stanovení relativní vlhkosti vzduchu, převzato[6]

2.1.3 Hygrometry

U této měřicí metody se využívá schopnosti některých látek udržovat svou vlastní vlhkost v rovnováze s vlhkostí okolního vzduchu. Na základě změny vlhkosti těchto látek následně dojde i ke změně jiných fyzikálních vlastností – ke změně rozměrů (Dilatační hygrometry), změně elektrické vodivosti (Elektrické odporové hygrometry) anebo změně elektrické kapacity (Elektrické kapacitní hygrometry).[6]

V dilatačních hygrometrech, které jsou často používány v domácích meteostanicích a meteorologických zapisovačích, se nejčastěji používají živočišné látky jako pramínky odmaštěných lidských vlasů anebo živočišné blány. Vlhkost těchto látek způsobuje změnu povrchového napětí v jejich pórech. To má za následek relativní prodloužení λ v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu φ dle vzorce 2.1.3, kde T je absolutní teplota a k je konstanta daného hygrometru. Relativní prodloužení látky je pak mechanicky přenášeno na analogovou stupnici hygrometru.[6]

$$\lambda = kT \log \varphi \quad (2.1.3)$$

Elektrické odporové hygrometry využívají změny elektrické vodivosti některých hygroskopických polymerů a solných roztoků v závislosti na absorpci vody ze vzdušné vlhkosti. Jde například o hygrometry s tuhým elektrolytem Al_2O_3 . Jednu elektrodu zde tvoří vrstva Al_2O_3 , druhou tenká napařená vrstvička zlata, která je propustná pro vodní páry. Absorpce vzdušné vlhkosti do elektrolytu způsobuje změnu elektrického odporu.[6]

Elektrické kapacitní hygrometry se skládají ze dvou elektrod a dielektrika mezi nimi, které je realizováno hygroskopickým polymerem. Jedna z elektrod musí být porézní, aby umožnila vodní páře z okolí pronikat do polymeru. Hlavní výhodou je malá závislost vlastností senzoru na okolní teplotě. Voda má poměrně velkou

dielektrickou konstantu, proto i přes její malé množství proniklé do polymeru způsobí změnu kapacity řádově o 0,1% původní kapacity na jedno procento relativní atmosférické vlhkosti φ . [6]

2.1.4 Výběr snímače atmosférické vlhkosti pro periférii chytré domácnosti

Z vyjmenovaných měřících metod je zřejmé, že nejvhodnější senzor pro měření relativní atmosférické vlhkosti je elektrický odporový anebo kapacitní hygrometr.

Při výběru konkrétního senzoru byl kladen důraz zejména na snadnou dostupnost senzoru na trhu a jeho cenu. Periférie měřící atmosférickou vlhkost má dle požadavků zadání měřit i okolní teplotu. Preferovaný by tedy byl takový senzor, který by v sobě kromě měření atmosférické vlhkosti spojoval i měření teploty.

V případě elektronického hygrometru založeného na kapacitním principu (který je teplotně stálější, odpadá tedy nutnost teplotní kompenzace) by navíc celou konstrukci zjednodušoval senzor, který by v sobě integroval i základní elektronické vybavení pro převod kapacity na stejnosměrné napětí, proud anebo přímo do digitální podoby.

Všechny požadavky splňuje senzor RHT03 společnosti Maxdetect. Jde o součástku spojující elektronický kapacitní hygrometr, senzor teploty a nezbytnou elektroniku, která převádí měřená data do digitální podoby. Tato data lze následně vyčítat prostřednictvím jednovodičové proprietární asynchronní sběrnice popsané v katalogovém listu senzoru [7]. Senzor RHT03 pracuje se širokým rozsahem napájecího napětí 3,3 – 6V. Jeho cena se pohybuje okolo 300 korun a je skladem na českých internetových obchodech.

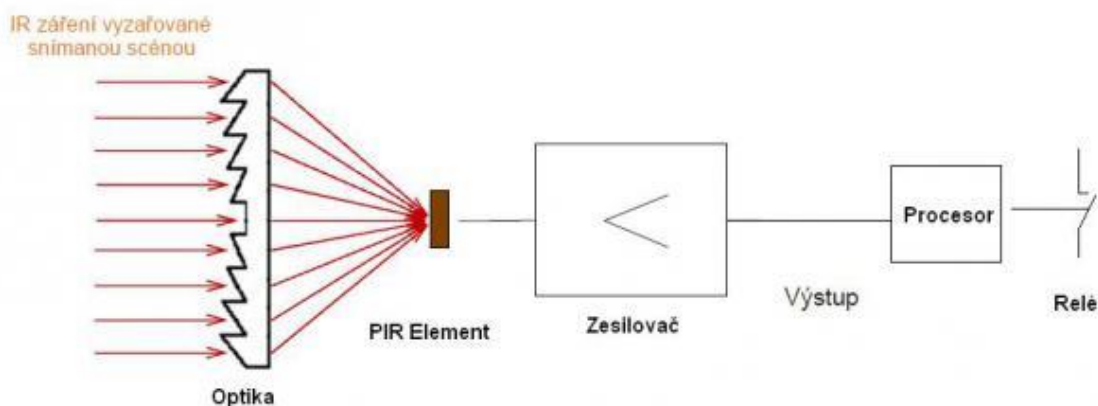
Data periferního zařízení uvedeného v zadání mají být chytrou domácností použita jednak pro vizualizaci a krátkodobou orientační předpověď počasí, jednak pro regulaci zavlažování zahrady. Rozsah měřitelné relativní atmosférické vlhkosti senzoru RHT03 činí 0 – 100%, rozsah měřené teploty pak -40 – 80°C. Měřitelné rozsahy i přesnost měření relativní atmosférické vlhkosti $\pm 2\%$ a teploty $\pm 0,5^\circ\text{C}$ naprosto dostačují dané aplikaci konstruovaného periferního zařízení.

2.2 Detekce pohybu – PIR detektory

V oblasti domácí bezpečnosti a automatického ovládání světel se pohyb osoby v místnosti nejčastěji detekuje prostřednictvím PIR (passive infrared – pasivních infračervených) detektorů.

PIR detektory využívají pyroelektrický jev. Pyroelektrický jev je, podobně jako piezoelektrický jev, založen na generování náboje vlivem deformace krystalické mřížky dielektrika. Na rozdíl od piezoelektrického jevu zde však nedochází k deformaci vlivem vnějšího mechanického tlaku, nýbrž vlivem změny teploty dielektrika. [8]

PIR detektor, jehož blokové schéma je uvedeno na obrázku 2.3, se skládá z optického elementu, který soustřeďuje IR záření ze sledovaného perimetru do samotného snímače, z citlivého PIR snímače, z vyhodnocovací elektroniky a případně z relé, nebo z jiného výstupního silového prvku. Optický element plní dále úlohu filtru, kdy propouští IR záření jen o úzce specifikované vlnové délce. Jelikož lidské tělo vyzářuje IR záření o vlnové délce cca 9,4 μm , je nejčastěji volen rozsah 8 až 14 μm . [8]



Obrázek 2.3 - Blokové schéma PIR detektoru, převzato[8]

Pohyb ve sledovaném perimetru generuje uvnitř PIR snímače náboj. Ten je následně zesílen (většina snímačů má přímo ve svém těle zabudován citlivý FET tranzistor a na výstupu tak poskytuje již zesílený signál) a vyhodnocen. Starší a levnější detektory hodnotí signál jen z hlediska úrovně (komparátor), případně délky a počtu komparátorem generovaných impulzů. To může zapříčinit horší reakční dobu a mylná sepnutí. Sofistikovanější detektory obsahují jednoduchý DSP, signál upravují řadou filtrů, zkoumají ho jak v časové, tak i frekvenční oblasti a poskytují tak mnohem přesnější detekci. [8]

Alternativně k dnes asi nejrozšířenějším a nejlevnějším detektorům PIR je možné detekci pohybu realizovat i pomocí průmyslových bezpečnostních IP kamer. Příkladem mohou být produkty společnosti Axis, do jejichž firmwaru lze zdarma doinstalovat softwarovou komponentu pro sofistikovanou detekci pohybu. Kromě nastavení minimálních a maximálních rozměrů objektů, na které má softwarová komponenta reagovat, lze po upevnění kamery přesně vytyčit prostor, který má být sledován a který již nikoliv (například lze pomocí kamery zabírající rušný prostor před budovou vytyčit pouze vstup na okrasný záhon, který by se mohl stát obětí vandalství). V případě kamery zabírající dlouhou chodbu lze sledovat překročení virtuální linie včetně směru tohoto překročení. Informace je možné následně zpracovávat, například je využít k počítání osob v objektu.

Reakcí na vyhodnocený poplach může být odeslání textového řetězce na uživatelsky nadefinovaný TCP server, zaslání emailu s fotografiemi (je-li kamera připojena do LAN

s přístupem k internetu) nebo také sepnutí jednoho z GPIO, kterými kamery často disponují.

Nevýhodou oproti PIR detektorům je kromě ceny zařízení činnost ve spektru viditelného světla a těsně za jeho hranicí. Detekce je tedy možná pouze za denního světla anebo s neustálým klasickým či IR přísvitem. Příkon IP kamery a IR přísvitu by se neustále pohyboval minimálně okolo 10 W oproti téměř zanedbatelné spotřebě PIR detektoru.

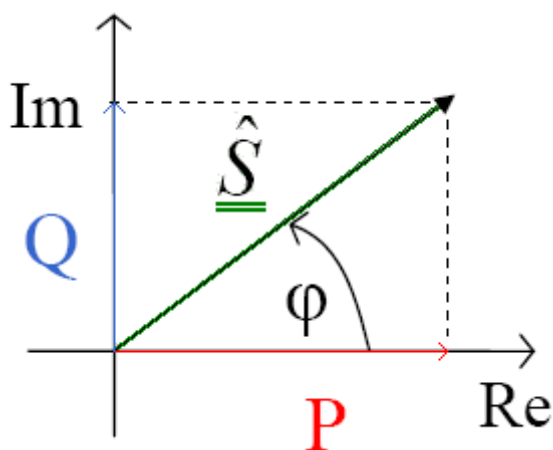
3 MĚŘENÍ VÝKONU V JEDNOFÁZOVÉ STŘÍDAVÉ SOUSTAVĚ

Tato kapitola přináší stručný úvod do problematiky měření výkonu v jednofázové střídavé soustavě. V následujících podkapitolách jsou rozebrány možnosti měření síťového napětí a proudu AD převodníkem a představeny možnosti nepřímého měření činného výkonu prostřednictvím číslicových obvodů.

Ve střídavých soustavách, na rozdíl od soustav stejnosměrných, je výkon závislý nejen na velikosti svorkového napětí a proudu, ale i na vzájemném fázovém posunu φ těchto veličin.

Na základě fázového posunu φ je pak vyjádřen účinník $\cos \varphi$. Účinník může nabývat hodnot 0 až 1 a vyjadřuje účinnost přenosu energie ze zdroje střídavého proudu do spotřebiče. U zátěže s čistě odporovým charakterem dosahuje účinník hodnoty 1, činný výkon střídavého proudu je zde tedy nejvyšší, roven zdánlivému výkonu. Naopak u čistě kapacitní či induktivní zátěže, která způsobí fázový posun mezi napětím a proudem $\pm 90^\circ$ je účinník a tedy i činný výkon dodaný do obvodu nulový.

Ve střídavých soustavách je na základě účinníku dále definován výkon zdánlivý (celkový, označován písmenem S), činný (označován písmenem P) a jalový (označován písmenem Q). Jejich vzájemný vztah vyjádřený v komplexní rovině je uveden na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1 – Vztah mezi činným, jalovým a zdánlivým výkonem, zdroj: Wikipedie

Zdánlivý výkon S [VA] je definován jako součin efektivní hodnoty proudu a svorkového napětí. Většinou je určován nepřímo výpočtem z měřeného proudu a napětí.[9]

Činný výkon P [W] je definován jako součin efektivní hodnoty proudu, svorkového napětí a účinníku $\cos \varphi$. Pouze tato složka výkonu koná práci (ve spotřebiči se přemění na mechanickou, tepelnou či světelnou energii) a pouze tato složka je rovněž účtována dodavatelem jako odebraná energie. Činný výkon je nejčastěji měřen

elektromechanickými nebo elektronickými wattmetry. Měření wattmetrem je vždy zkresleno – zvětšeno o vlastní spotřebu napěťového nebo proudového obvodu wattmetru. [9]

Jalový výkon Q [VAr] je definován jako součin efektivní hodnoty proudu, svorkového napětí a sinu fázového posunu φ . Tato složka výkonu nekoná žádnou práci. Ve spotřebiči vytvoří magnetické nebo elektrické pole, které se následně opět přemění v elektrickou energii a navrátí do sítě. Jalový výkon lze měřit buď přímo prostřednictvím fázoměrů, anebo lze určit nepřímo výpočtem ze známého činného a zdánlivého výkonu dle níže uvedených vztahů 3.1 a 3.2.[9]

$$\varphi = \cos^{-1}\left(\frac{P}{S}\right) \quad (3.1)$$

$$Q = S * \sin \varphi \quad (3.2)$$

3.1 Měření síťového napětí AD převodníkem

Běžné AD převodníky a integrované obvody pro měření výkonu mívají obvykle rozsah vstupního napětí pohybující se ve stovkách mV, maximálně jednotkách V. Na vstup těchto obvodů tedy není možné připojit síťové napětí přímo. Musí být nejprve upraveno vhodným převodníkem.

Velikost a toleranci síťového napětí v ČR stanovuje platná norma ČSN EN 60038 (330120). Při výpočtu potřebného převodníku síťového napětí na napětí vyhovující rozsahu AD převodníku je třeba počítat s napětím špičkovým vypočteným z nejvyšší normou dovolené hodnoty efektivního napětí, tedy z efektivního napětí 230 V + 10%. Maximální špičkové napětí, které lze předpokládat v elektrické síti, lze tedy určit dle vztahu 3.1.1:

$$U_{MAX} = \sqrt{2} * (230 V + 10\%) = 358 V \quad (3.1.1)$$

Pokud je například síťové napětí měřeno AD převodníkem o rozsahu vstupu ± 500 mV, musí být připojeno přes převodník 716:1.

Převodník lze realizovat například napěťovým transformátorem, nebo odporovým děličem. Hlavní výhodou napěťového transformátoru je galvanické oddělení měřícího obvodu od elektrické sítě. Nevýhodou je vyšší cena a větší mechanické rozměry.

3.2 Měření proudu AD převodníkem

Měřený proud je třeba převést na napětí o maximálním rozsahu odpovídajícímu rozsahu vstupu AD převodníku. Jako převodník proudu na napětí lze použít odporový bočník, proudový transformátor, nebo senzor využívající principu Hallovy sondy.[10]

3.2.1 Měření proudu s využitím odporového bočnicku

Jde o nejjednodušší metodu měření proudu, kdy se do obvodu sériově vloží rezistor o známé hodnotě. Protékající proud na tomto rezistoru dle Ohmova zákona vytvoří úbytek napětí přímo úměrný tomuto proudu.

Nevýhodou této měřicí metody je především absence galvanického oddělení měřícího obvodu a ovlivnění obvodu přidaným rezistorem, který zkresluje měření a působí energetické ztráty. Tento způsob měření je vhodný pouze pro malé hodnoty měřeného proudu do 20 A.

Výhodou je jednoduchost a nízká cena řešení. Při měření malých proudů a využití k tomuto účelu vhodného snímacího rezistoru lze dosáhnout velmi dobré přesnosti, která přesahuje 95%.[10]

3.2.2 Měření proudu s využitím proudového transformátoru

Do obvodu je sériově připojeno primární vinutí proudového transformátoru. K sekundárnímu vinutí transformátoru je připojen rezistor, na kterém je měřeno napětí přímo úměrné proudu protékajícímu primárním vinutím.

Hlavní výhodou oproti metodě s odporovým bočníkem je galvanické oddělení měřícího obvodu. Tato měřicí metoda navíc vykazuje menší energetické ztráty a umožňuje měření větších rozsahů proudu.

Nevýhodou je cena a mechanické rozměry řešení. Cena i mechanické rozměry navíc logicky výrazně narůstají s rozsahem měřeného proudu, pro který je transformátor konstruován. Další nevýhodou je možnost využití pouze pro proudy se střídavým průběhem.[10]

3.2.3 Měření proudu senzorem na principu Hallové sondy

Třetí metodou měření proudu je využití senzoru na principu Hallové sondy realizovaného jako integrovaný obvod. Zástupcem těchto integrovaných obvodů je například obvod ACS754, který je určen pro měření proudu o velikosti až 200 A.

Výhodou těchto senzorů oproti proudovým transformátorům jsou mechanické rozměry, cena a možnost měřit i stejnosměrné proudy. Oproti odporovým bočníkům nabízejí výrazně větší měřicí rozsahy, nižší energetické ztráty a galvanické oddělení.
[10]

I přes poměrně nízkou cenu senzorů na principu Hallové sondy (V době publikace této práce se cena senzoru ACS754 na zahraničních e-shopech pohybovala okolo 100 Kč.) a malé mechanické rozměry se v některých nenáročných aplikacích může vyplatit zvolení měřicí metody pomocí odporového bočnicku.

3.3 Měření výkonu ve střídavé soustavě prostřednictvím číslicových obvodů

V předchozích podkapitolách byl popsán stručný úvod do teorie měření výkonu v jednofázové střídavé soustavě a dále byly rozebrány metody měření proudu a síťového napětí AD převodníkem. Nyní budou uvedeny metody nepřímého měření výkonu prostřednictvím těchto měřených veličin.

V zásadě se nabízejí dvě možnosti obvodového řešení: První možností je implementace algoritmu pro výpočet výkonu do softwaru řídicího mikrokontroléru s využitím interních nebo diskrétních AD převodníků. Druhou možností je využití některého z komerčně nabízených číslicových obvodů přímo určených pro měření výkonu v jednofázových střídavých soustavách. Tyto jednoúčelové obvody v sobě implementují vhodné AD převodníky i potřebné algoritmy pro zpracování měření a poskytují výsledek nadřazenému mikrokontroléru prostřednictvím některé z běžných sériových sběrnic.

3.3.1 Měření výkonu za pomoci běžného mikrokontroléru

První z uvedených možností měření výkonu je softwarová implementace výpočtu do běžného mikrokontroléru.

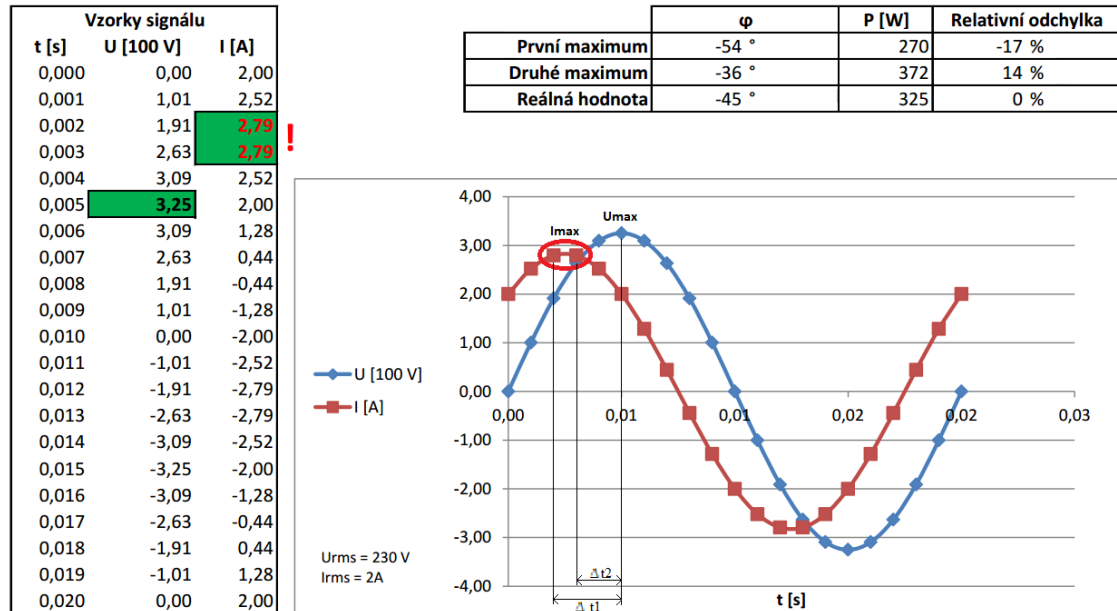
Softwarová implementace by spočívala ve vzorkování hodnoty proudu a napětí o frekvenci minimálně cca 20 vzorků na jednu periodu sítě, tedy 1 kHz. Pro dosažení uspokojivě přesného měření fázového posunu φ však nejlépe 10 kHz a více. Vzorek s nejvyšší číselnou hodnotou v dané periodě odpovídá amplitudě proudu či napětí a při porovnání vzájemné polohy největšího vzorku proudu a napětí v čase lze dle vztahu 3.3.1.1 jednoduše určit i fázový posun φ . Činný výkon lze z těchto veličin následně vypočítat dle vztahu 3.3.1.2.

$$\varphi = \frac{t_{I_{max}} - t_{U_{max}}}{T} * 360^\circ \quad (3.3.1.1)$$

$$P = \frac{U_{MAX}}{\sqrt{2}} * \frac{I_{MAX}}{\sqrt{2}} * \cos\varphi \quad (3.3.1.2)$$

Princip činnosti je znázorněn grafem na obrázku 3.2. Na tomto obrázku je dobře patrna i nepřesnost měření, která je vnesena nízkou vzorkovací periodou 1 ms (vzorkovací frekvencí 1 kHz). Příliš dlouhá vzorkovací perioda v tomto případě způsobuje špatnou detekci lokálního maxima proudu, kdy dva po sobě jdoucí vzorky mají totožnou hodnotu. Fázový posun 45° je určen s odchylkou $\pm 9^\circ$ (dle vzorku, který je pro výpočet vybrán), což ve výsledku vnáší do nepřímého měření výkonu relativní odchylku 14% v případě výběru vzorku druhého a až - 17% v případě vzorku prvního.

Přesnost měření lze zvýšit především zkrácením vzorkovací periody AD převodníků. Mírné zpřesnění lze realizovat i softwarovou optimalizací, kdy by se například v případě dvou po sobě jdoucích shodných vzorků vybrala pro výpočet rozdílu časových značek namísto časové značky jednoho z nich jejich střední hodnota.



Obrázek 3.2 – Princip číslicového měření činného výkonu pomocí mikrokontroléru

Při praktické realizaci je třeba nezanedbat fakt, že AD převod proudu a napětí musí být prováděn nejlépe ve fázi, nebo případně alespoň s časovým posunem zanedbatelným v porovnání se vzorkovací periodou. Pokud by byl vzorek napětí načten v nezanedbatelně odlišném časovém okamžiku než vzorek proudu, byl by následně chybně určen fázový posun φ a do výsledku by tak byla vnesena chyba. Běžně užívané mikrokontroléry mívají mnoho analogových vstupů. Často však disponují pouze jedním AD převodníkem, ke kterému jsou tyto vstupy připojeny prostřednictvím multiplexoru. Je tedy třeba klást důraz na to, jak dlouho trvá konverze jednoho vzorku spolu s přepnutím multiplexoru na další vstup. Tuto problematiku lze řešit například využitím dvojice externích diskretních AD převodníků, jejichž činnost je vzájemně nezávislá a mohou tak vzorkovat proud i napětí ve stejný okamžik, tedy ve fázi.

3.3.2 Číslicové obvody určené k měření výkonu

Jako vhodnější možnost se jeví využití některého z číslicových obvodů přímo určených k měření výkonu v jednofázové střídavé soustavě.

Tyto jednoúčelové obvody standardně obsahují dvojici AD převodníků s vhodným vstupním rozsahem, rozlišením i vzorkovací frekvencí. Pro komunikaci s nadřazeným mikrokontrolérem podporují známé sériové sběrnice, například SPI či UART. Některé

z nich disponují také programovatelnými binárními výstupy, na které lze nastavit například výstup některého z interních alarmů či ovládání SSR.

Zástupcem těchto obvodů je například MCP39F501 společnosti Microchip[26], 78M6610+PSU společnosti Maxim Integrated[23] a ADE7953 společnosti Analog Devices[27]. Srovnání základních parametrů těchto obvodů je uvedeno v tabulce 3.1.

Tabulka 3-1 – Přehled číslicových obvodů určených k měření výkonu v jednofázové střídavé soustavě

	MCP39F501	78M6610+PSU	ADE7953
Měřené veličiny	S, P, Q, Urms, Irms, φ , frekvence sítě	S, P, Q, Urms, Irms, φ , frekvence sítě	S, P, Q, Urms, Irms, PCM data z AD převodníků
Relativní chyba měření	až 0.1%	neuveдена	až 0.1%
Vstupní rozsah diferenčních AD převodníků	$\pm 600\text{mV}$	$\pm 250\text{mV}$	$\pm 500\text{mV}$
Maximální dovolený rozsah napětí na vstupech AD převodníků	$\pm 1\text{V}$	$V_{cc} \pm 500\text{mV}$	$\pm 2\text{V}$
Komunikace	UART	SPI, I2C, UART	SPI, I2C, UART
Napájecí napětí	2.7V až 3.6V	3.0V až 3.6V	3.0V až 3.6V

4 ŘÍZENÍ VÝKONU OSVĚTLENÍ

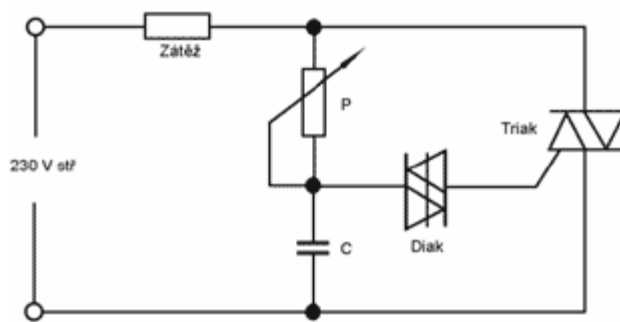
Na začátku této kapitoly je uvedena historie řízení výkonu osvětlení. Následně jsou představeny možnosti řízení výkonu s využitím polovodičových součástek a jejich výhody a nedostatky z hlediska charakteru použitelné zátěže a EMC. V podkapitole 4.1 je popsán vlastní návrh obvodové a softwarové realizace řízení výkonu osvětlení s mikrokontrolérem.

Před rozšířením výkonových polovodičových spínacích prvků bylo řízení výkonu v osvětlení užíváno jen zřídka. Příkladem může být osvětlovací technika, která byla součástí vybavení divadel a filmových studií.[11]

Nejčastější metodou pro řízení výkonu před rozšířením polovodičů byly napěťové autotransformátory (transformátory, jejichž sekundární vinutí bylo tvořeno částí primárního vinutí a jehož počet závitů mohl být měněn pohyblivým jezdcem). Tyto transformátory byly značně rozměrné a jejich výroba byla nákladná. Kromě osvětlovací techniky byly používány například i v prvních tramvajích.[11]

Druhou možností řízení byly výkonové potenciometry zařazené do série se světelným zdrojem. Tyto rezistory byly rovněž velice rozměrné. Toto řešení bylo navíc energeticky nevýhodné, jelikož podstatná část spotřebovaného výkonu byla na odporech přeměněna na teplo.[11]

Řízení výkonu osvětlení v domácnostech se v ČR začalo rozšiřovat až se zvýšenou dostupností polovodičů v druhé polovině 70. let. Zapojení jednoho z nejjednodušších polovodičových stmívačů osvětlení s využitím výkonového triaku je uvedeno na obrázku 4.1.[11]



Obrázek 4.1 – Polovodičový stmívač osvětlení využívající deformaci půlvlny (zpožděné sepnutí), převzato[11]

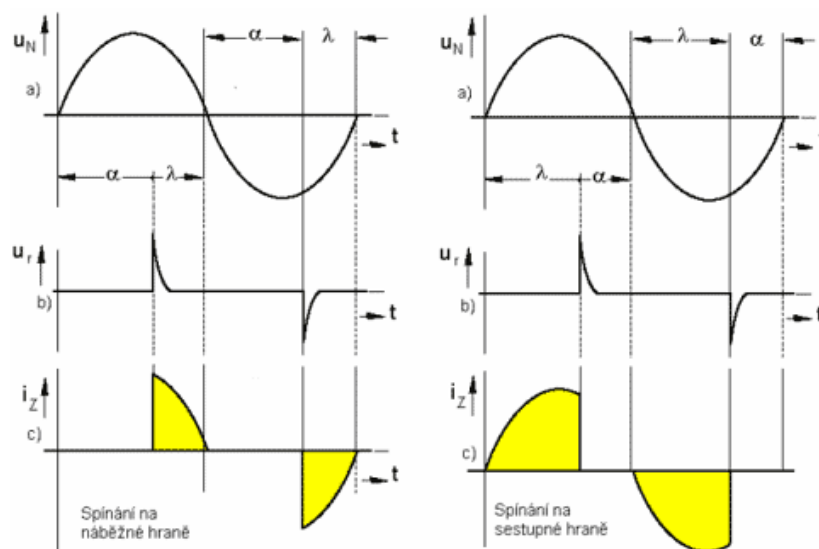
Existují dvě nejběžnější metody řízení výkonu pomocí výkonového polovodičového spínače (např. triaku). První z nich spočívá ve střídavém zadržování a propouštění celých síťových půlperiod, případně celých period. Tato metoda je výhodná z hlediska EMC, jelikož nedeformuje tvar protékajícího proudu a nevytváří tak harmonické složky. Je však vhodná pouze pro řízení výkonu topných těles, které mají velmi pomalé časové

konstanty. Světelné zdroje není možné řídit touto metodou, jelikož by viditelně pohasínaly.[11]

Druhou metodou je deformace jednotlivých půlvln prostřednictvím spínání na náběžné či sestupné hraně. Tato metoda je zobrazena na obrázku 4.2. Grafy a) znázorňují harmonický průběh napětí, b) průběh ovládacího napětí polovodiče a c) průběh spínaného proudu. [11]

Levá polovina obrázku znázorňuje případ spínání proudu na náběžné hraně. Tato metoda je vhodná zejména pro řízení výkonu klasických a halogenových žárovek. Je užívána také pro řízení malých motorů, například v ručním nářadí. Spínací prvek v tomto zapojení zůstane po průchodu nulou rozepnut. Řídící impuls se zpožděním α pak zabezpečí jeho sepnutí. Proud protéká zátěži pouze po dobu danou úhlem otevření λ . [11]

Pravá polovina znázorňuje opačný případ, tedy metodu se spínáním na sestupné hraně. Zde je použit spínací prvek, který po průchodu nulou zůstane sepnut a po dosažení úhlu otevření λ je řídicím impulzem rozepnut. Spínání na sestupné hraně je vhodné pro řízení výkonu halogenových žárovek s elektronickým transformátorem. [11]



Obrázek 4.2 - Spínání proudu na náběžné a sestupné hraně, převzato[11]

Těchto metod řízení výkonu osvětlení je běžně využíváno ke stmívání světel v domácnostech. Užití však (kvůli deformaci průběhu proudu a vzniku harmonických složek) není výhodné z hlediska EMC a je regulováno evropskými normami.[11]

4.1 Stmívání osvětlení řízené mikrokontrolérem

Pro řízení stmívání mikrokontrolérem je nutné detekovat průchod napětí nulou. Toho je možné dosáhnout například diskrétním či v mikrokontroléru integrovaným komparátorem, který při každé změně své výstupní logické úrovně vyvolá v řídicím softwaru obsluhu příslušného přerušení.

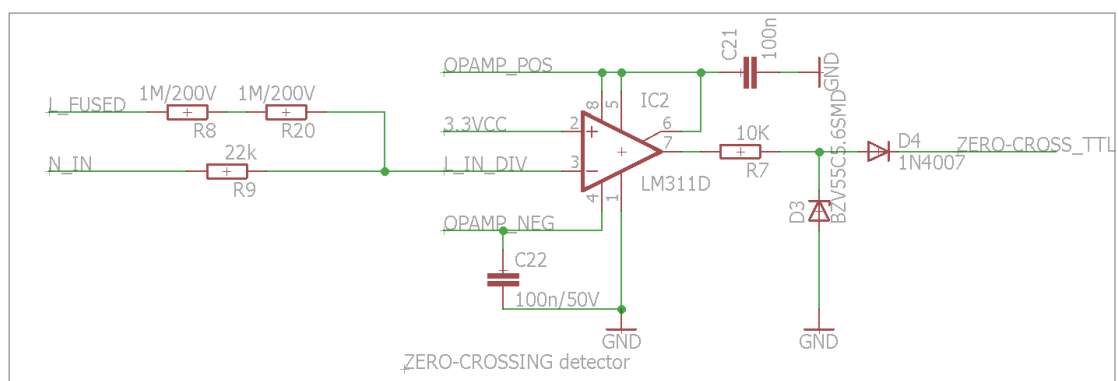
Střídavé síťové napětí vstupující do komparátoru musí být vhodně přizpůsobeno vstupnímu rozsahu komparátoru. Přizpůsobení lze realizovat například odporovým děličem. Tato problematika je ekvivalentní k problematice přizpůsobení síťového napětí vstupnímu rozsahu AD převodníku a byla již podrobně rozebrána v kapitole 3.1.

Na obrázku 4.3 je uveden obvod pro detekci průchodu napětí nulou použitý v této práci při návrhu chytré zásuvky. Odporový dělič realizovaný odpory R8, R9 a R20 přizpůsobuje síťové napětí vstupnímu rozsahu komparátoru.

Takto přizpůsobený průběh je komparátorem porovnáván s napětím 3.3 V, které je v obvodu spojeno se síťovým vodičem N. (Tato reference je zvolena kvůli použitým AD převodníkům v obvodu měření výkonu, které mají vstupní rozsah $VCC \pm 250$ mV. Síťový vodič N tedy musel být spojen s potenciálem 3,3 V napájecího napětí. V jiném případě je možné a vhodnější spojit potenciál vodiče N s potenciálem GND číslicových obvodů.)

Na výstupu komparátoru je tvořen obdélníkový průběh s amplitudou přibližně \pm napájecí napětí komparátoru. Náběžná a sestupná hrana tohoto průběhu kopíruje průchod síťového napětí nulou.

Obdélníkový průběh je pomocí rezistoru R7, křemíkové diody D4 a zenerovy diody D3 upraven na úroveň 0 až 5 V a připojen prostřednictvím vstupu externího přerušení k mikrokontroléru.



Obrázek 4.3 - Obvod pro detekci průchodu nulou

V softwarovém vybavení mikrokontroléru je na náběžnou i sestupnou hranu signálu reagováno obsluhou přerušení, ve kterém je dle požadovaného úhlu otevření λ vynulován a inicializován časovač. Poté, co časovač dosáhne požadované hodnoty, vygeneruje mikrokontrolér na příslušném výstupním kontaktu řídicí impuls k sepnutí polovodičového spínacího prvku, čímž na zbytek půlvlny sepne proud protékající připojenou zátěží. Jde tedy o metodu řízení výkonu pomocí spínání na náběžné hraně.

Triak je nahrazen polovodičovým relé. Některá polovodičová relé obsahují integrovanou řídicí elektroniku pro detekci průchodu nulou. Taková relé spínají a rozepínají automaticky až po dosažení nulového napětí, aby minimalizovaly EMI. Tato relé nejsou pro řízení výkonu osvětlení vhodná. Je třeba použít relé bez integrované detekce průchodu napětí nulou, která je možno sepnout v libovolné části půlvlny.

5 KAMEROVÝ SYSTÉM

Tato kapitola pojednává o jednotlivých možnostech integrace kamerového systému a systému zabezpečení do systému chytré domácnosti SmartFlat. V poslední podkapitole jsou pak v souvislostech ujasněny základní parametry IP kamer, které je nutno zohlednit při návrhu správně fungujícího a vyváženého kamerového systému.

Při tvorbě jednotky zabezpečení bylo vybíráno ze třech základních řešení. Prvním řešením je vybavit jednotku zabezpečení CCD čipem a spojit tak kameru a PIR detektor do jediného zařízení přímo určeného pro systém SmartFlat.

Druhou možností je realizovat jednotku zabezpečení komerční bezpečnostní IP kamerou se softwarovou detekcí pohybu ve snímaném obraze (viz. Kapitola 2.2).

Třetí možností je jednotku zabezpečení pojmout pouze jako chytrý PIR detektor vhodně doplňující komerční průmyslovou IP kameru integrovanou do systému.

5.1 CCD snímač a PIR detektor realizovaný vlastní navrženou periferií

Ačkoliv se řešení spojit CCD kameru a PIR detektor v jedno zařízení jeví jako velice elegantní, byly shledány dvě výrazné nevýhody.

Proprietární bezdrátová síť, při jejímž návrhu je kladen důraz především na dobrý dosah, robustnost komunikace a na nízkou cenu řešení, je nevhodná pro přenos multimediálního obsahu. Například síť pracující na 434 MHz nebo 868 MHz realizovaná moduly RFM22B dosahuje v ideálních podmínkách 256 kbps. Podobnou maximální rychlost nabízí i síť využívající technologii ZigBee. V případě drátové sériové sběrnice je možno dosáhnout rychlostí vyšších, avšak vysoké rychlosti by měly opět negativní vliv na maximální dosah a kvalitu komunikace. Jediným řešením problému je tedy využití komunikace prostřednictvím rozhraní Ethernet (IEEE 802.11n v případě bezdrátové varianty). O návrhu bezdrátového i metalického komunikačního rozhraní pojednává podrobněji kapitola 6.

Druhou nevýhodou je nutnost v jednotce zabezpečení implementovat pokročilou kompresi videa. Ačkoliv některé CCD čipy poskytují výstup již komprimovaný ve formátu JPEG, v případě rozsáhlejších kamerových systémů není možné síť ani úložiště zatěžovat sérií deseti či více snímků formátu JPEG za sekundu z každé kamery. Jediným přijatelným řešením je tedy provádět v jednotce zabezpečení pokročilou kompresi videa (například H.264), což by přinášelo značné požadavky na výkon. (Pravděpodobně by byla nevyhnutelná implementace komprese za pomoci FPGA či využití mikroprocesoru s hardwarovým kodekem. Vzhledem k časové i finanční náročnosti a k cenám IP kamer dostupných na trhu toto řešení naprosto postrádá smysl). Další možností je nepřenášet video, ale pouze sérii fotografií bezprostředně po detekci pohybu PIR senzorem

Ačkoliv je problém s rychlostí komunikace i kompresí obrazu řešitelný, výsledek by byl značně neekonomický. Zmíněné CCD snímače s výstupem ve formátu JPEG se svou cenou v době publikace této práce pohybovaly okolo 30 dolarů (cca 750 korun). Další nárůst ceny by způsobil specializovaný procesor anebo FPGA pro H.264 kompresi a implementace Ethernetové komunikace. Za podobnou částku, jako CCD snímače, se přitom na zahraničních internetových obchodech pohybují i hotové neznačkové IP kamery, u kterých problém s vlastní implementací komprese videa a podpory Ethernetu odpadá.

5.2 Bezpečnostní průmyslová IP kamera s detekcí pohybu

Další možností je nerealizovat vlastní hardware a detekci pohybu řešit pomocí softwarové komponenty integrované do komerční IP kamery.

Základní detekci pohybu v obraze podporuje značná část současných IP kamer přímo ve svém firmwaru. Společnost Axis Communication umožňuje do svých kamer navíc instalovat aplikace a zásuvné moduly, prostřednictvím kterých lze realizovat i pokročilá detekce, jakou je sledování směru překročení linie nebo omezení detekce na objekty dané velikosti včetně odstranění vlivu perspektivy.[12]

Výhodou je, stejně jako v prvním případě, elegance řešení – videozáznam i detekce pohybu je řešena jediným zařízením. Druhou výraznou výhodou je jednoduchost řešení a v případě využití neznačkové kamery i nízká cena řešení do 1000 Kč (u předních výrobců jsou maloobchodní ceny přibližně desetinásobné).

Nevýhodou je vyšší spotřeba elektrické energie, kdy by pro detekci pohybu (na rozdíl od PIR detektoru) byl při snížených světelných podmínkách nutný neustálý infračervený přísvit.

5.3 Chytrý PIR detektor doplňující bezpečnostní IP kameru

Třetí možností je zkonstruovat jednotku zabezpečení jako chytrý PIR detektor, který se připojí do sítě komponent chytré domácnosti, nebo případně přímo k IP kameře prostřednictvím binárních vstupů a výstupů.

Detektor by disponoval výkonovým spínaným výstupem pro ovládání IR přísvitu, který sepne až v momentě, kdy se ve sledovaném prostoru nachází osoba. Díky tomu nemusí být přísvit aktivní po celou noc a šetří tak elektrickou energii.

Výhodou tohoto řešení je úspora energie plynoucí z využití PIR detektoru a spínaného IR přísvitu. Dále také zachování jednoduché konstrukce za nízkou cenu. Výhodou oproti prvnímu řešení je možnost kombinovat toto zařízení prakticky s jakoukoliv komerční IP kamerou dle požadavků a rozpočtu konkrétní aplikace a vytvořit tak řešení s libovolnými parametry na míru zákazníkovi.

Nevýhodou tohoto řešení je přítomnost dvou zařízení. V případě požadavku digitálního metalického propojení PIR detektoru s centrální jednotkou (Pokud z jakéhokoli důvodu nedostačuje pouze přímé propojení s kamerou přes spínaný výstup.) nastává navíc nutnost přivést k zařízením i dva typy kabeláže (Ethernet pro IP kameru a proprietární sběrnici chytré domácnosti pro PIR detektor).

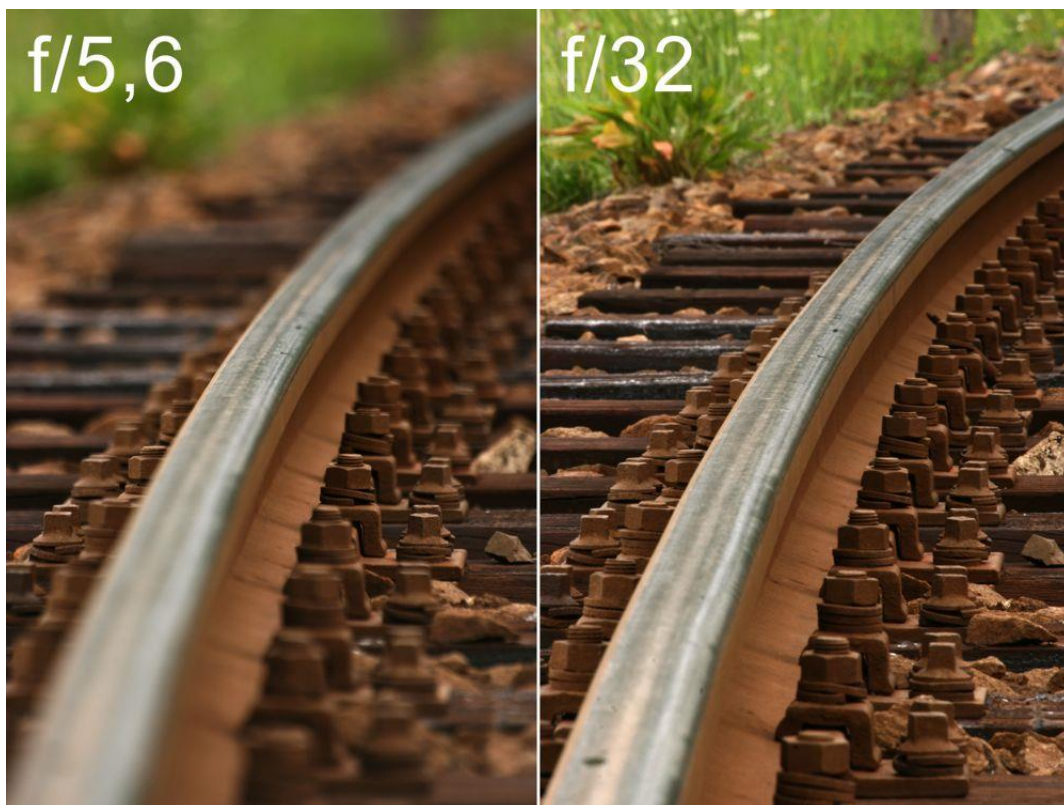
I přes vyjmenované nevýhody bylo zvoleno toto řešení díky jeho flexibilitě a nižší ceně oproti řešení prvnímu, s ohledem na energetické úspory a vyšší spolehlivost detekce pohybu oproti řešení druhému.

5.4 Subjektivní kvalita obrazu a jeho použitelnost

Na trhu existuje široká nabídka bezpečnostních průmyslových IP kamer, přičemž i nejlevnější kusy často nabízejí překvapivě dobré parametry. Je však třeba podotknout, že ne vždy musí dobré parametry v katalogovém listu nebo obrazu připadající laickému divákovi subjektivně kvalitní zaručovat vhodnost pro použití v dané aplikaci.

Základním parametrem, který by ve volbě kamery neměl být opomenut, je světelná citlivost snímače. Ta ze své fyzikální podstaty úzce souvisí s fyzickými rozměry jednotlivých pixelů na snímači a je tedy i u předních výrobců kamer nepřímou úměrná maximálnímu rozlišení čipu. Z tohoto důvodu je třeba rozlišení kamery nevolit jen dle finančních možností projektu, nýbrž střídme s ohledem na požadavky dané aplikace. Z pravidla platí, že čím větší jsou fyzické rozměry snímače a čím menší je jeho rozlišení, tím lepší citlivost může snímač dosáhnout.[12]

Dalším důležitým parametrem je hloubka ostrosti. V oblasti uměleckých záběrů může být nízká hloubka ostrosti někdy i žádaná. V oblasti bezpečnostních průmyslových kamer je však nízká hloubka ostrosti rozhodně nežádoucím jevem, jehož dopad na danou aplikaci je třeba co možná nejvíce minimalizovat. Obecně platí, že čím vyšší („uzavřenější“) je nastavená hodnota clony před snímačem, tím vyšší hloubky ostrosti lze dosáhnout. Vysoká hodnota clony však na druhou stranu propouští méně světla a snižuje tak citlivost kamery. Na obrázku 5.1 je názorně uvedena nízká hloubka ostrosti (vlevo) a vysoká hloubka ostrosti (vpravo).



Obrázek 5.1 - Nízká hloubka ostrosti s clonou 5,6 (vlevo) a vyšší hloubka ostrosti s clonou 32 (vpravo), převzato[13]

Světlost obrazu lze kromě citlivosti samotného snímače a velikosti clony podstatně ovlivnit také délkou expozice snímku a digitálním ziskem při následném zpracování obrazových dat.[12]

Dlouhá doba expozice negativně ovlivňuje ostrost pohybujících se objektů (v anglických publikacích zvané jako „motion blur“). Z praktických zkušeností lze říci, že pro náročné aplikace, jako je rozpoznání RZ projíždějícího vozidla, je vhodná délka expozice nejvýše 1/1000 sekundy. Pro rozpoznání tváře pohybující se osoby pak maximálně 1/30s. Příklad fotografie ovlivněné „motion blur“ efektem je uveden na obrázku 5.2.



Obrázek 5.2 - Motion blur efekt, zdroj[14]

Digitálním ziskem lze také výrazně ovlivnit světlost kompozice. Negativním dopadem vyšší hodnoty digitálního zisku je, na rozdíl od délky expozice, obrazový šum a ztráta detailů. Příklad takto degradovaného obrazu je uveden na obrázku 5.3.



Obrázek 5.3 - Obrazový šum způsobený vysokým digitálním ziskem, zdroj: Wikipedie

Ačkoliv může subjektivně pro lidské oko obraz s dlouhou expozicí a malou clonou působit kvalitněji oproti obrazu „zašuměnému“ vysokým digitálním ziskem, pro některé aplikace je obraz s dlouhou expozicí naprosto nevyhovující. Například pro správnou funkci softwaru pro strojové čtení RZ vozidel nemívá ani silný obrazový šum znatelný negativní vliv, zatímco RZ na vozidle, které je ovlivněno „motion blur“ efektem, anebo se nachází mimo oblast zaostření objektivu, je naprosto nečitelná. Proto je při snaze o dosažení přiměřeně exponovaného záběru třeba vždy volit kompromis mezi všemi těmito parametry (clona, délka expozice, digitální zisk a citlivost snímače plynoucí z jeho fyzických rozměrů, maximálního rozlišení a použité výrobní technologie).[12]

Další důležitou dvojicí parametrů je rozlišení kamery v poměru s jejím zorným úhlem. V případě, kdy je požadováno určité množství detailů (pixelů na 1 metr), je nutné udělat kompromis mezi zorným úhlem kamery (ve výsledku užší zorný úhel navýší celkový počet kamer v dané aplikaci a tím i násobí náklady) a rozlišením kamery (modely s vyšším rozlišením jsou dražší a zpravidla mají nižší světelnou citlivost).[12]

O doporučeních pro dané aplikace pojednává norma ČSN EN 50132-7 ED.2. Z této normy vyplývá například údaj, jaké minimální rozlišení by měl mít obličej zaznamenaného narušitele, aby mohl být záznam považován za relevantní důkaz. Pro tuto situaci platí doporučení 80 pixelů na šířku obličeje pro prvotní identifikaci narušitele, tedy pro prokazatelný důkaz přítomnosti dané osoby v objektu. Pro rozpoznání již identifikovaného narušitele pak na důkaz jeho další činnosti v napadeném objektu postačí 20 pixelů. Jako minimální hodnotu pro detekci lidské osoby uvádí doporučení minimálně 4 pixely na šířku obličeje.[12]

Pro názornost je na obrázku 5.4 uvedena moje pasová fotografie v kvalitě doporučené normou jako minimální pro identifikaci (vlevo) a pro rozpoznání (vpravo).



Obrázek 5.4 - Obličej v kvalitě doporučené pro identifikaci (vlevo) osoby a pro rozpoznání (vpravo) osoby

5.5 Srovnání kamer dostupných na trhu

Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, na současném trhu se nacházejí kamery s cenou začínající pod 1000 korun. Zajímavé by tedy bylo srovnání, v čem se nejvýrazněji liší od kamer předních výrobců, které při velmi podobných parametrech začínají až na pětinasobných cenách.

5.5.1 Nevýhody levných řešení

I nejlevnější kamery mají obvykle implementovanou kompresi ve formátu rodiny H.264 a ani použitý CCD či CMOS snímač nemusí být výrazně horší kvality, než u předních značek.

Jedním z nedostatků těchto kamer je nekvalitní použitá optika, která způsobuje chromatickou aberaci (každá vlnová délka světla se při průchodu nedokonalou čočkou objektivu odrazí s odlišnou odchylkou, což v kompozici způsobuje rozostřené hrany obalené duhovým efektem či okolím zbarveným do určitého odstínu).[12]

Dalším a možná nejvýraznějším problémem nejlevnějších výrobků je naprosto nevyhovující firmware. Zbytečně pestrá grafika konfiguračního prostředí a nedostatek zpřístupněných nastavení neodpovídá požadavkům profesionálních zákazníků. Kamery například často postrádají možnost ručního nastavení pevné délky expozice a pevného nastavení clony.

Pro dosažení co „nejkvalitnějšího“ obrazu pak někteří neznačkoví výrobci implementují doslova nepoužitelné digitální obrazové filtry. Ve snaze potlačit šum například implementují algoritmus známý z grafických editorů pod názvem „žehlička“. U těchto výrobků pak pro oko lajka kompozice vypadá lépe, nicméně při potřebě identifikovat obrazový detail se kamera projeví jeho téměř nepoužitelná.[12]

5.5.2 Výhody profesionálních IP kamer

Konfigurace značkových IP kamer oproti tomu probíhá přes webové rozhraní, bez nutnosti instalace softwaru či zásuvného modulu do webového prohlížeče. Rozhraní bývá zpravidla graficky velmi strohé, avšak přehledné. Standardem se začíná stávat HTML5. Nastavení nabízí široké možnosti.

Digitální efekty sloužící k dodatečnému vylepšení obrazu jsou mezi předními výrobci výsledkem dlouholetého výzkumu a pro specifické aplikace mohou být skutečně užitečné. Tyto efekty jsou v základním nastavení standardně vypnuty, aby uživatele při instalaci zbytečně nezdržovaly v případě jejich nevyužití.

Dobrým příkladem povedeně navrženého digitálního efektu je funkce WDR Forensic Capture společnosti Axis Communications. Tato funkce je ve světě videozáznamů obdobou HDR fotografií. Spočívá ve skládání kompozice z několika snímků pořízených s odlišným časem expozice.[12] Pro demonstraci tohoto efektu je uveden obrázek 5.5, který byl převzat a upraven z reklamního materiálu výrobce[15]. Z osobních zkušeností získaných při integraci IP kamer této společnosti do speciálních

vozidlových systémů v rámci odborné praxe však lze prohlásit, že funkce dosahuje srovnatelně kvalitních výsledků i v reálné aplikaci.



Obrázek 5.5 - Demonstrace efektu WDR Forensic Capture, převzato a upraveno[15]

Závěrem této kapitoly je nutno říci, že i nejlevnější neznačkové kamery mohou najít své využití v případech, jako je hlídání dětí, monitorování počtu lidí v čekárně lékaře či jako přehledová kamera doplňující zvonek u vchodu do objektu. V náročnějších aplikacích, zejména je-li předpoklad využití videozáznamu jako důkazního materiálu a je tedy nutno co nejlépe zachytit detaily, je vhodnější volit osvědčené výrobce.

6 NÁVRH KOMUNIKAČNÍHO ROZHRAŇÍ

Tato kapitola se zabývá výběrem a návrhem nejvhodnějšího metalického a bezdrátového komunikačního rozhraní. Jednotlivá řešení jsou diskutována jak z pohledu přenosové rychlosti, dosahu a spolehlivosti, tak i z hlediska odolnosti vůči bezpečnostním útokům, z hlediska celkové ceny řešení a z hlediska obchodní strategie.

6.1 Výběr bezdrátového komunikačního rozhraní

Při návrhu bezdrátového komunikačního rozhraní byly uvažovány tři možné varianty realizace:

- Wi-Fi (IEEE 802.11n) v pásmu 2,4 GHz;
- ZigBee mesh síť s využitím modulu XBee Pro 2B v pásmu 2,4 GHz;
- Proprietární Master – Slave komunikace s využitím modulu RFM22B v pásmu 434 MHz.

6.1.1 Realizace prostřednictvím Wi-Fi

Nejlevnější a nejjednodušší z uvedených variant je komunikace prostřednictvím Wi-Fi realizovaná SMD modulem typu ESP8266. Cena těchto modulů na zahraničních serverech se v době publikace této práce pohybovala pod \$2 (50 Kč). Tento modul vyžaduje pouze velmi triviální konfiguraci pomocí AT příkazů. Následně bez zásahu vývojáře vytvoří spojení v roli AP či klient, vyčká na přidělení IP adresy DHCP serverem (pakliže není AT příkazy nakonfigurován včetně statické IP adresy) a na AT příkazy definovaném portu spustí jednoduchý TCP server. V počítačové síti LAN je následně možné připojit se na tento server TCP terminálem, například Telnet klientem. Takto nakonfigurovaný modul se chová jako obousměrný plně duplexní převodník komunikačního kanálu TCP/IP na UART, který před navázáním spojení sloužil k jeho konfiguraci.

Wi-Fi modul nabízí oproti zbývajícím dvěma možnostem bezdrátového řešení komunikaci jen na velmi omezenou vzdálenost. Tato skutečnost však není při výběru komunikace považována za limitující, jelikož lze předpokládat, že chytrá domácnost kvalitním pokrytím sítě Wi-Fi stejně musí disponovat kvůli připojení počítačů a chytrých telefonů do sítě LAN a k internetu. Nespornou výhodou Wi-Fi řešení je nízká cena a jednoduchá konstrukce sítě a centrální jednotky. Pro realizaci stačí pouze pokrytí domácnosti sítě Wi-Fi s použitím levných a běžně dostupných síťových prvků a připojení centrální jednotky do sítě LAN.

Zásadní nevýhodou tohoto řešení je složité zabezpečení a nízká odolnost vůči úmyslnému rušení sítě útočníkem. Díky masovému rozšíření jak technologie Wi-Fi, tak i znalostí jednotlivých vrstev referenčního ISO/OSI modelu počítačových sítí a díky snadné dostupnosti síťových komponent existuje nespočet snadno ovladatelných

linuxových nástrojů pro analýzu provozu v síti, prolomení šifrované Wi-Fi sítě, či dokonce pro spolehlivé softwarové rušení Wi-Fi. Z těchto důvodů není Wi-Fi příliš vhodná pro komunikaci s bezpečnostními prvky jako je PIR senzor či IP kamera. Z obchodního hlediska také není žádané, aby měl uživatel bez úsilí s prolomením fyzické vrstvy, pouze s běžným osobním počítačem, možnost snadno zachytávat a napodobovat komunikaci. Z tohoto důvodu byla Wi-Fi komunikace označena za nepříliš vhodnou pro profesionální aplikaci. Podrobnější informace o softwarovém rušení Wi-Fi sítě jsou uvedeny v podkapitole 6.1.4.

6.1.2 Realizace prostřednictvím modulů XBee série 2B

Druhým možným řešením bezdrátové komunikace je využití modulů XBee série 2B. Tyto moduly mají deklarovaný dosah až 1 míli (1,6 km)[16]. Moduly navíc umožňují vytvoření mesh sítě[16], tedy topologie, kdy jsou data předávána vždy mezi dvěma moduly s nejsilnějším signálem – periférie chytré domácnosti se stávají retranslačními transceivery. Dosah tedy není limitující pro vzdálenost nejvzdálenější periférie od centrální jednotky, ale pro vzdálenost mezi dvěma nejbližšími komponentami. Další výhodou je snadná konfigurace a možnost využití integrovaného 128-bitového šifrování komunikace v kombinaci s menším rozšířením a dostupností tohoto standardu oproti síti Wi-Fi.

Nevýhodou je cena, která se v době publikace této práce v případě modulu XBee Pro - 2B pohybuje okolo \$40 (1000 Kč). Další nevýhodou je nízká přenosová rychlost 250 kbps[16]. Tato rychlost je oproti Wi-Fi standardu IEEE 802.11n nevhodná pro přenos multimediálního obsahu a je srovnatelná s rychlostí vlastní proprietární komunikace na frekvenci 434 MHz. Především vysoká cena je rozhodujícím faktorem pro snahu najít jiné alternativní řešení.

6.1.3 Realizace prostřednictvím modulů RFM22B

Třetím řešením je návrh proprietární komunikace založené na modulu RFM22B společnosti HOPE Microelectronics. Jde o modul s výstupním výkonem až 0.1W pracující na frekvenci 434 MHz. Existuje však i varianta pracující na frekvenci 868 MHz. Modul disponuje základními funkcemi pro tvorbu a příjem datového packetu jako je FIFO, adresace a CRC, těmito úkony tedy není nutné zatěžovat řídicí mikrokontrolér.

Modul RFM22B dosahuje maximální přenosové rychlosti téměř shodné s moduly XBee - 256 kbps. Jeho největší výhodou je cena, která se v době publikace této práce pohybovala okolo 200 Kč i v českých internetových obchodech. Další výhodou je dobrý výstupní výkon. Nevýhodou je nutnost navrhnout řízení komunikace a implementovat jej do řídicího mikrokontroléru. Při implementaci je tedy třeba více úsilí programátora.

I přes tyto nedostatky byl vybrán modul RFM22B. Rozhodujícím faktorem byla nízká cena, lepší robustnost oproti Wi-Fi rozhraní a fakt, že tento modul byl použit i v mé bakalářské práci, která se rovněž zabývala návrhem periférie chytré

domácnosti[28]. Tuto periférii je tedy díky zachování stejného komunikačního rozhraní možné integrovat a prezentovat zároveň se zbytkem systému.

6.1.4 Rušení Wi-Fi sítě útokem na úrovni linkové vrstvy

Zásadní nevýhodou využití sítě Wi-Fi pro zabezpečovací techniku je její snadné rušení. Útok je přitom možné provést z běžného PC či chytrého telefonu. Nevyžaduje vysílač s vysokým výkonem ani speciální hardwarové vybavení, jelikož nevyužívá fyzikálního rušení elektromagnetických vln, nýbrž softwarové slabiny linkové vrstvy sítě Wi-Fi.[17]

Proprietární bezdrátová komunikace má oproti Wi-Fi síti výhodu. K vyřazení proprietární sítě z provozu by útočník potřeboval dostatečně silný vysílací výkon, kterým by překryl původní vysílač. Transceivery pracující na frekvenci 434 MHz navíc logicky nejsou tolik obvyklé jako Wi-Fi transceivery a rozhodně pak nejsou součástí většiny současných notebooků a chytrých telefonů. Přístup k médiu je tedy obtížnější.

Slabina Wi-Fi spočívá v nešifrované komunikaci na úrovni linkové vrstvy, která je primárně určena pro zaslání SSID a dalších základních informací, jako jsou podporované protokoly a technologie šifrování, pro navázání šifrované komunikace a pro ukončení spojení. Autentizace Wi-Fi klientského zařízení k AP probíhá na linkové vrstvě, tedy nešifrovaně a pouze za pomoci MAC adres, přibližně následovně:[17]

1. Klientské zařízení neustále veřejně vysílá zprávu „probe request“. Tato zpráva obsahuje základní informace o zařízení a protokolech standardu 802.11, které podporuje.
2. Každé AP v dosahu, které tuto žádost zachytí a také podporuje některých z protokolů uvedených v „probe request“, odpoví zprávou „probe response“. Tato zpráva obsahuje informace o AP a jím podporovaných protokolech standardu 802.11. Po přijetí této zprávy klientským zařízením se AP objeví v jeho seznamu dosažitelných sítí.
3. Pokud se klientské zařízení začne k danému AP připojovat, zašle AP žádost o autentizaci – „authentication request“, kterou AP potvrdí zprávou „authentication response“.
4. Po autentizaci nastane poslední fáze – asociace. V této fázi je klientské zařízení zaregistrováno na straně AP. Pokud má AP nastavenou některou z technologií šifrování, teprve poté, co proběhne tato fáze, se otevírá zabezpečená linka.

Data, která jsou adresována MAC adresami na úrovni linkové vrstvy a zprostředkovávají navázání a ukončení komunikace, jsou nazývána řídicí rámce. Jelikož nejsou nijak zabezpečena, může je vyslat i přijat jakékoliv zařízení a jakékoliv zařízení se také může vydávat za zařízení jiné. Stačí pouze odposlechnout část komunikace a

získat tak seznam MAC adres a informací o všech AP i klientských zařízeních v dosahu.[17]

Vlastní rušení následně spočívá v odeslání falešného řídicího rámce obsahujícího oznámení o ukončení komunikace mezi klientským zařízením, které je cílem útoku, a AP, ke kterému bylo připojeno. Klientské zařízení však ve skutečnosti o odpojení nežádalo. Proto ihned začne provádět autentizační a asociační sekvenci, aby opět navázalo spojení. Pokud však bude útočník zasílat zmíněné falešné řídicí rámce v nekonečné smyčce, klientské zařízení sekvenci nikdy nedokončí a zůstane odpojeno. Jde tedy ve skutečnosti o útok typu DoS – Denial of Service.[17]

Mezi dostupnými řídicími rámci Wi-Fi komunikace je k dispozici i broadcastový řídicí rámec pro odpojení všech klientských zařízení. Tento řídicí rámec však bývá některými novějšími, zejména podnikovými, AP ignorován.[17]

Výše popsané praktiky bývá využíváno také jako doplňkového nástroje při snaze o prolomení šifrování. Klientské zařízení je takto přinuceno k častému opakování asociační fáze, která je útočníkem monitorována. Při zachycení dostatečně vysokého množství asociačních fází lze z těchto dat v některých případech vypočítat heslo.[17]

Tuto bezpečnostní slabinu opravuje standard IEEE 802.11w-2009. Tento standard je podporován zejména v aktuálních síťových prvcích společnosti Cisco. Microsoft standard začal zavádět ve Windows 8 a Windows 10. Dle zdroje [17] publikovaného 22. března 2016 se však při provedených testech zařízení s MS Windows taktéž odpojovaly.

6.2 Výběr metalického komunikačního rozhraní

Při výběru metalického komunikačního rozhraní byly uvažovány realizace rozhraní prostřednictvím sítě Ethernet, sběrnice RS-485 a sběrnice CAN.

6.2.1 Realizace prostřednictvím metalického Ethernetu

Velkou výhodou metalické komunikační rozhraní v síti Ethernet je vysoká přenosová rychlost až 100Mbps. Druhou výhodou je automatické řízení přístupu k médiu. Nebyla by tedy nutná implementace master – slave či jiného řízení komunikace. Zjednodušila by se též konstrukce centrální řídicí jednotky, jelikož většina jednodeskových počítačů tímto rozhraním již disponuje. Nemuselo by se tedy realizovat na přídatné modulární desce. Pro napájení prostřednictvím komunikačního rozhraní je již v Ethernetu zaveden standard IEEE 802.3af. Při dodržení tohoto standardu by bylo možné využít komerčně prodávané PoE prepínače a injektory.[18]

Nevýhodou je kratší dosah 100 m, který by však v dané aplikaci nemusel být limitující (díky možnosti využití komerčně vyráběných opakovačů a prepínačů, případně možnosti připojit periférie do již existující síťové infrastruktury). Hlavní nevýhoda však nastává při hledání řídicích mikrokontrolérů s hardwarovou podporou

Ethernetu. Jsou sice běžně dostupné, ale tento požadavek i tak zužuje výběr na dražší a zbytečně výkonnější mikrokontroléry, které by zvýšily cenu výsledné konstrukce. Další nevýhodou je, podobně jako v případě Wi-Fi – bezdrátové verze Ethernetu, rozšířenost a uživatelská znalost tohoto rozhraní, což představuje potenciální bezpečnostní slabinu. Otázkou k zamyšlení je také fakt, zdali je možnost použít standardní komerčně vyráběné směrovače, přepínače a PoE injektory, v důsledku obchodní výhodou či nevýhodou.

6.2.2 Realizace prostřednictvím sběrnice RS-485

Sběrnice RS-485 představuje nejlevnější a velmi snadno implementovatelnou průmyslovou sběrnici. Tato sběrnice nabízí obousměrnou half-duplexní komunikaci. Spojení je realizováno sběrnici s krátkými odbočkami prostřednictvím jednoho krouceného páru vodičů s diferenciálními napěťovými úrovněmi a třetího – zemního vodiče. Zejména při vyšších přenosových rychlostech je třeba sběrnici na koncích zakončit rezistory 110 ohmů.

Maximální teoretický baudrate sběrnice dle standardu je 10Mbps, běžně prodávané obvody jsou však určeny pouze pro rychlosti do 2,5Mbps. Délka sběrnice může dle standardu dosahovat maximálně 1200 m. Při realizaci klasickým krouceným párem je doporučeno zohledňovat vztah mezi maximální délkou vedení a maximálním baudratem: Násobek baudratu [Mbps] a maximální délky sběrnice [m] by měl být vždy menší než 10^8 . Z toho vyplývá, že při maximální délce sběrnice by rychlost neměla přesahovat 83kbps.[19]

Přenos dat je realizován sériově asynchronně, stejně jako u UARTu nebo RS-232. Při realizaci zařízení podporujícího sběrnici RS-485 se nejčastěji použije mikrokontrolér s rozhraní UART/RS-232 v kombinaci s převodníkem logických úrovní na diferenciální napěťové úrovně sběrnice RS-485. Kromě signálů RX a TX je na převodník logických úrovní nutné přivést též binární vstup přepínající směr half-duplexní komunikace.

RS-485 neimplementuje řízení přístupu k médiu, detekci kolizí, kontrolní součet ani adresaci. Tyto funkce je nutné implementovat softwarově ve vlastním komunikačním protokolu.

Hlavní výhodou sběrnice RS-485 je obrovský dosah a velmi snadná implementace. Většina jednodeskových počítačů i mikrokontrolérů (včetně těch nejlevnějších) mají hardwarově podporované rozhraní UART. K tomuto rozhraní stačí připojit převodník logických úrovní na RS-485 za několik desítek korun. Přístup k rozhraní UART při tvorbě softwaru je navíc velice jednoduchý.

Nevýhodou je nízká přenosová rychlost oproti Ethernetu a nutnost implementace řízení přístupu k médiu a detekce kolizních stavů softwarově ve vlastním komunikačním protokolu.

6.2.3 Realizace prostřednictvím sběrnice CAN

Sběrnice CAN (Controller Area Network) byla vyvinuta společností BOSCH. Původně byla určena zejména pro propojení řídicích jednotek v automobilech, avšak v současnosti našla i silné uplatnění v průmyslových aplikacích.

Jedná se o sériovou asynchronní sběrnici realizovanou prostřednictvím krouceného páru vodičů s diferenciálními napěťovými logickými úrovněmi. Její maximální rychlost je, stejně jako u sběrnice RS-485, závislá na maximální délce sběrnice. Pro délku sběrnice 40 m je stanovena maximální přenosová rychlost až 1Mbps. Pro maximální délku 530m je stanovena rychlost až 125kbps. Ve srovnání se sběrnici RS-485 jsou tyto parametry horší, ale řádově srovnatelné a dostatečné pro aplikaci v systému chytré domácnosti.

Obrovskou výhodou sběrnice CAN oproti RS-485 je implementace identifikátoru zprávy, prioritního přístupu k médiu, detekce kolizních stavů, CRC a filtru příchozích zpráv dle identifikátoru (v podstatě využitelné jako adresace). Rámec obsahuje identifikátor (11bitů dle standardu CAN 2.0A, 29bitů dle standardu CAN 2.0b), 0 až 8 bytů dat a CRC.

Každý rámec začíná identifikátorem, který symbolizuje zároveň i prioritu zprávy. Nižší identifikátor znamená vyšší prioritu. Pokud by dvě zařízení začala vysílat zprávu ve stejný okamžik, nižší identifikátor svou napěťovou úrovní na sběrnici přepíše identifikátor vyšší, zařízení s vyšším identifikátorem tuto kolizi detekuje a vysílání svého rámce s nižší prioritou přeruší.

Nevýhodou je absence hardwarové podpory sběrnice CAN na jednodeskových počítačích a levných mikrokontrolérech. Existují však diskrétní řadiče, například MCP2515-I/ST od společnosti Microchip. Tento integrovaný obvod lze připojit k řídicímu mikrokontroléru prostřednictvím sběrnice SPI (pro přenos dat a nastavení registrů) a několika binárních výstupů jako zdroj přerušení příslušné události sběrnice CAN. V době publikace této práce byl obvod k dispozici v řetězci GM Electronic za cenu 55 Kč.

Zmíněný radič i mikrokontroléry s hardwarovou implementací sběrnice CAN mají obvykle výstupy RX a TX v TTL logických úrovních. Pro připojení k half-duplexní diferenciální sběrnici CAN je třeba použít příslušný převodník logických úrovní. Tyto převodníky jsou běžně dostupné a stojí několik desítek korun, podobně jako v případě převodníků UART/RS-485.

Po dohodě s vedoucím práce a s autorem práce „Centrální stanice chytré domácnosti - SmartFlat“, se kterým je v zájmu komunikaci sjednotit, bylo rozhodnuto o využití sběrnice RS-485 a to zejména z důvodu velmi snadné softwarové implementace (přímý přístup jako k RS-232 na straně centrální jednotky, velmi snadná konfigurace registrů a použití na straně mikrokontroléru v perifériích.). Master-Slave řízení přístupu k médiu je navíc již implementováno v bezdrátovém komunikačním rozhraní. Je tedy výhodné zachovat stejný komunikační protokol v obou formách komunikačního rozhraní.

Stručný přehled výše zmíněných metalických komunikačních rozhraní je uveden v tabulce 6-1:

Tabulka 6-1 - Srovnání metalických komunikačních rozhraní

	Metalický Ethernet	Sběrnice RS-485	Sběrnice CAN
Topologie	Hvězda	Sběrnice	Sběrnice
Kabeláž	4x kroucený pár (využity dvě dvojice)	1x kroucený pár, GND	1x kroucený pár, GND
Maximální vzdálenost mezi dvěma uzly	100 m	1200 m	530 m
Maximální přenosová rychlost při uvedené vzdálenosti	100 Mbps	83 kbps	125 kbps
Řízení přístupu k médiu a detekce konfliktů	Ano, automaticky	Ne, nutné v SW	Ano, prioritně
Implementace v jednodeskovém počítači	Přímá	Nutný převodník	Nutný převodník a řadič
Implementace v mikrokontroléru AVR Atmega8 (zástupce levného osmibitového mikrokontroléru)	Nutný převodník a řadič	Nutný převodník	Nutný převodník a řadič

6.3 Návrh komunikačního protokolu

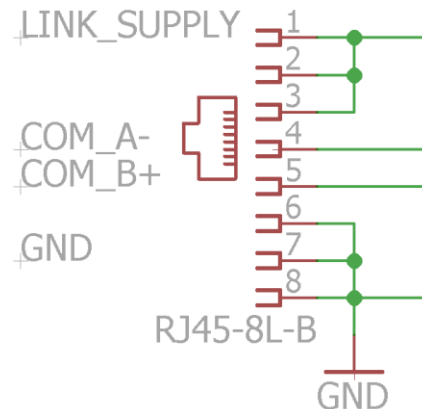
Pro bezdrátové i metalické komunikační rozhraní byl zvolen proprietární komunikační protokol s master-slave řízením přístupu k médiu s centrální jednotkou v roli master, podporou přidělování adres a rámcem tvořeným 4 bytovou adresou a 4 byty dat. Základ komunikace byl z důvodu kompatibility s dalšími perifériemi převzat z mé bakalářské práce.

V případě bezdrátového komunikačního rozhraní byla zvolena komunikace s datovým tokem 30kbps na frekvenci 434 MHz s využitím bezdrátových modulů RFM22B. Moduly pracují v konfiguraci 4 bytová hlavička rámce (využita jako adresa), 4 byty dat a automaticky generované CRC. Hlavička i data jsou přenášena v binární podobě.

V případě metalického komunikačního rozhraní RS-485 byla zvolena komunikace s následujícími parametry:

Baudrate: 9600bps	Datové byty: 8	Stop byty: 1	Parita: Ne	Handshaking: Ne
-------------------	----------------	--------------	------------	-----------------

Pro realizaci sběrnice RS-485 byla zvolena strukturovaná kabeláž s konektory RJ-45. Nevyužité vodiče strukturované kabeláže jsou využity pro napájení periférií prostřednictvím Centrální jednotky napětím 6 až 9 V. Zapojení jednotlivých kontaktů konektorů RJ-45 je zobrazeno na obrázku 6.1:



Obrázek 6.1 - Zapojení konektoru RJ-45 metalické sběrnice systému SmartFlat

Rámcem je z důvodu snadného monitorování textovým terminálem a z důvodu předejití záměny datových bitů s řídicími ASCII znaky přenášena jako textový řetězec v ASCII kódování. Každý byte adresy i každý datový byte je před odesláním převeden z binární podoby do podoby číselné reprezentované jedním až třemi číselnými znaky ASCII sady. Každý rámcem začíná znakem „\$“, následují čtyři byty adresy oddělené znakem „:“, znak „-“ oddělující adresu od datových bytů a čtveřice datových bytů oddělených znakem „-“. Rámcem je ukončen skrytým ASCII znakem „CR“ (hexadecimálně 0x0D, v řetězci jazyka C „\r“). Rámcem nemá pevně určenou délku.

Každý adresový a datový byte může být reprezentován jedním až třemi ASCII znaky dle velikosti čísla. Rámec je však vždy ohraničen znaky „\$“ a „CR“.

Rámec odeslaný Centrální jednotkou periférii s adresou 192 202 0 2 obsahující datové byty 0xFF, 0xFF, 0x00, 0xFF by tedy vypadal následovně (každé políčko symbolizuje byte):

\$	1	9	2	.	2	0	2	.	0	.	2	-	2	5	5	-	2	5	5	-	0	-	2	5	5	CR
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Každý byte adresy má svůj specifický význam:

- Nejvyšší byte (v ukázkovém rámci s hodnotou 192) určuje adresu sítě. Tento byte má význam například v případě, pokud je v dosahu bezdrátového komunikačního rozhraní přítomno několik domácností se systémem SmartFlat. Díky tomuto bytu dojde k jejich spolehlivému oddělení. Více sítí lze vytvořit také v případě rozlohou či počtem periférií rozsáhlé instalace v rámci jedné domácnosti. Adresa sítě smí v běžném provozu nabývat hodnot 0x01 až 0xFE. Hodnota 0x00 je užívána při párování s novou periférií – k broadcastovému vysílání nově vyčleněné adresy, která má být periférii přidělena. Adresa 0xFF je rezervována a prozatím nepřirazena žádnému úkonu.
- Druhý nejvyšší byte (v ukázkovém rámci s hodnotou 202) je pevná část adresy zařízení. Tento byte představuje typové číslo dané komponenty, při párování jej nelze změnit a díky tomuto bytu nelze daná periférie namapovat chybně jako periférie jiná (například PIR senzor jako detektor oxidu uhelnatého). Zatím byly přidělena taková typová čísla zařízení:
 - 0x01: Master zařízení, standardní centrální jednotka
 - 0xCA: Jednotka zabezpečení (PIR senzor se dvěma spínanými výstupy)
 - 0xCB: Jednotka pro měření vzdušné vlhkosti a teploty se dvěma spínanými výstupy
 - 0xC0: Jednotka kontroly a ovládání plynového ohřevu (Detektor oxidu uhelnatého a teplotně diferenční požární detektor se dvěma spínanými výstupy)
 - 0x00: Rezervováno
 - 0xFF: Rezervováno
- Třetí a čtvrtý byte představují 16-ti bitovou adresu zařízení, která je zařízení dynamicky přidělena při úspěšném párování. Tato adresa může nabývat hodnot 0x0002 až 0xFFFFE. Adresa 0x0001 je vyhrazena pouze pro zařízení typu Centrální jednotka, adresa 0x0000 je vyhrazena pro zařízení, které je párováno a čeká na broadcastovou zprávu s nově přidělenou adresou, adresa 0xFFFF je rezervována, ale nepřidělena žádnému úkonu ani zařízení.

Pro příklad je uvedena komunikace prostřednictvím metalické sběrnice mezi centrální jednotkou v síti 192, která právě přiděluje adresu 0x0002 jednotce zabezpečení čekající na spárování:

Výzva centrální jednotky: „\$0.202.0.0-192-202-0-2CR“

Odpověď jednotky zabezpečení při akceptaci adresy: „\$192.1.0.1-192-202-0-2CR“

Druhým příkladem je komunikace mezi centrální jednotkou v síti 192, která spárované jednotce zabezpečení s adresou 0x0002 zasílá zprávu s požadavkem na deaktivaci spínaných výstupů, pokud byly aktivovány manuálně, a automatickou aktivaci výstupů po detekci pohybu po maximální možný čas. Jednotka zabezpečení odpovídá zprávou, že momentálně nebyl detekován pohyb:

Výzva centrální jednotky: „\$192.202.0.2-0-0-255-0CR“

Odpověď jednotky zabezpečení: „\$192.1.0.1-0-0-0-0CR“

6.3.1 Význam datových bytů jednotky zabezpečení

Jednotka zabezpečení disponuje dvěma spínanými výstupy a PIR senzorem pro detekci pohybu. První z výstupů je realizován jako spínané napájecí napětí a je primárně určen pro spínání IR přísvitu. Druhý výstup je realizován jako polovodičové relé a jeho možné využití je například pro přímé propojení jednotky s IP kamerou prostřednictvím jejího binárního vstupu.

V rámci odeslaném centrální jednotkou jsou dva nejvyšší byty rámce nevyužity. Třetí byte slouží k nastavení času alarmu, po který má být reagováno na detekovaný pohyb. Tento byte může nabývat hodnot 0x00 až 0xFF s tím, že hodnota 0x00 představuje nulový čas reakce a hodnota 0xFF odpovídá času 5 minut. V případě komunikace při probíhajícímu alarmu je nové nastavení použito až při další detekované události.

Ve čtvrtém, nejnižším bytu nastavují čtyři nejnižší bity chování spínaných výstupů, čtyři nejvyšší jsou nevyužité:

x	x	x	x	Výstup 1 alarm	Výstup 2 alarm	Výstup 1 stále	Výstup 2 stále
---	---	---	---	----------------	----------------	----------------	----------------

V rámci navraceném centrální jednotce jsou nejvyšší tři byty nevyužity a vždy nulové. V nejnižším bytu jsou využity pouze dva nejnižší bity symbolizující detekci pohybu. Druhý nejnižší bit je nastaven náběžnou hranou detekovaného pohybu a resetován při prvním vyčtení - odeslání do centrální jednotky. Nejnižší bit je aktivní po celou dobu reakce na detekovaný pohyb. Zbývající bity jsou nevyužité a vždy nulové:

x	x	x	x	x	x	Hrana	Alarm
---	---	---	---	---	---	-------	-------

6.3.2 Význam datových bytů jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty

Jednotka měření vzdušné vlhkosti a teploty disponuje dvěma spínanými výstupy a číslicově připojeným senzorem měření vzdušné vlhkosti a teploty. První z výstupů je realizován jako spínané napájecí napětí a může být určen například pro spínání ventilátoru. Druhý výstup je realizován jako polovodičové relé. Tímto relé lze mimo jiné ovládat činnost plynového kotle namísto běžného termostatu.

V rámci odeslaném centrální jednotkou jsou využity pouze dva nejnižší bity nejnižšího bytu. Druhý nejnižší bit slouží k přímému ovládnání prvního spínaného výstupu. Nejnižší bit slouží k přímému ovládnání výstupu druhého. Nejnižší byte rámce tedy vypadá následovně:

x	x	x	x	x	x	Výstup 1 stále	Výstup 2 stále
---	---	---	---	---	---	----------------	----------------

V rámci navráceném centrální jednotce jsou využity všechny čtyři byty. Obsah a pořadí dat v rámci je ekvivalentní s daty poskytovanými senzorem RHT03[7], tedy následující:

Vlhkost vyšší byte	Vlhkost nižší byte	Teplota vyšší byte	Teplota nižší byte
--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

6.3.3 Význam datových bytů jednotky chytré zásuvky

Jednotka chytré zásuvky disponuje jedním spínaným výstupem síťového napětí s možností řízení výkonu prostřednictvím spínání napětí na náběžné hraně s rozlišením 8 bitů, měřením síťového napětí, proudu, frekvence a účinníku s rozlišením 24 bitů a nepřímým měřením jednotlivých složek výkonu ve střídavém obvodu s rozlišením rovněž 24 bitů.

Jelikož je rozlišení výstupních měřených veličin 24 bitů, lze při výměně jednoho rámce v komunikaci s řídicí jednotkou přenést pouze jednu měřenou veličinu. Rámec odeslaný centrální jednotkou tedy musí, kromě dalších informací, obsahovat požadavek, jaká měřená veličina má být v odpovědi periférie zahrnuta. Druhou nezbytnou informací, kterou musí tento rámec obsahovat je úhel otevření λ pro řízení výkonu spínané zátěže. Bylo rozhodnuto, že dva nejvyšší datové byty rámce odeslaného řídicí jednotkou budou nevyužity. Druhý nejnižší datový byte bude představovat velikost úhlu otevření spínaného výstupu (0x00: vypnuto, 0x01: řízení s nejmenším úhlem otevření, 0xFE: spínání s nejvyšším úhlem otevření, 0xFF: trvalé sepnutí bez řízení výkonu). Nejnižší byte pak symbolizuje požadovanou měřenou veličinu, která má být zaslána v rámci odeslaném z periférie co centrální jednotky. Datový rámec tedy vypadá následovně:

x	x	Úhel otevření výstupu	Požadované měření
---	---	-----------------------	-------------------

Nejnižší byte nabývá pro vyžádání daného měření těchto hexadecimálních hodnot:

0x01	0x02	0x03	0x04	0x05	0x06	0x07
Urms	Irms	Frekvence	Účinitel φ	Celkový výkon S	Činný výkon P	Zdánlivý výkon Q

Nejvýznamnější byte v rámci navráceném centrální jednotce je vždy nulový. Zbylé tři byty obsahují výsledek měření. Výsledek je dekadické číslo ve formátu integer s maximální délkou 24 bitů. Výsledek je již převeden do inženýrských jednotek. Pro přenos informace s přesností jedna tisícina s využitím datového typu integer jsou namísto základních jednotek zvoleny jednotky [mV], [mA], [mHz], [1/1000°], [mVA], [mW] a [mVar]. Nejnižší byte nese osm nejméně významných bitů měřené veličiny, druhý nejnižší byte nese devátý až šestnáctý bit měřené veličiny, druhý nejvyšší byte pak nese osm nejvýznamnějších bitů měřené veličiny. Data obsažená v rámci zaslaném centrální jednotce tedy vypadají následovně:

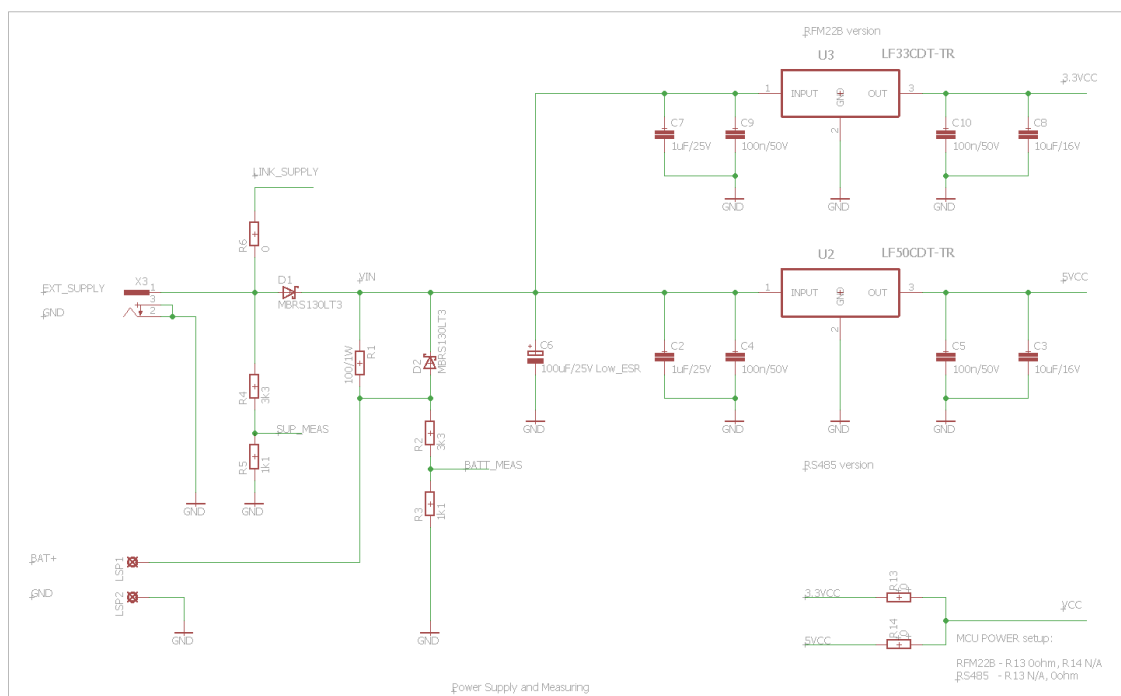
X	24. – 17. bit měření	16. – 9. bit měření	8. – 1. bit měření
---	----------------------	---------------------	--------------------

7 HARDWAROVÝ NÁVRH PERIFÉRIÍ

Tato kapitola se zabývá návrhem obvodového řešení a desek plošných spojů jednotlivých periférií. Desky plošných spojů jsou v případě všech periférií navrženy jako vývojové desky s elektrickými pozicemi pro osazení jak metalického, tak i bezdrátového komunikačního rozhraní.

7.1 Návrh jednotky zabezpečení

Schéma napájecí části jednotky zabezpečení je uvedeno na obrázku 7.1. Napájení je možno realizovat prostřednictvím konektoru RJ-45 (signál LINK_SUPPLY), prostřednictvím konektoru Power Jack anebo prostřednictvím akumulátoru, který je však primárně určen jako zálohovací zdroj pro případ výpadku.



Obrázek 7.1 – Obvodový blok napájení

Dobíjení zálohovacího akumulátoru je realizováno Schottkyho diodami D1, D2 a odporem R1. Odpor R1 omezuje nabíjecí proud akumulátoru. Tento odpor je nutné volit tak, aby dobíjecí proud při zcela vybitém akumulátoru nepřesáhl maximální dobíjecí proud udaný výrobcem akumulátoru a trvalý „přebíjecí“ proud při plně nabitém akumulátoru rovněž nepřesáhl limit výrobce. Jeho hodnotu lze vypočítat pomocí Ohmova zákona.

Výrobce GP v katalogovém listu[20] NiMH baterií typu AA s kapacitou 2700 mAh udává napětí při plném nabití 1,5 V, napětí zcela vybitého akumulátoru 0,6 V, nabíjecí proud 250 mA a trvalý „přebíjecí“ proud rovněž 250 mA po dobu jednoho roku.

Při napájecím napětí 9 V (8,7 V, pokud je odečten úbytek napětí na Schottkyho diodě D1) a čtyřech sériově spojených AA akumulátorech je tedy nutno dosáhnout úbytku napětí na rezistoru R1 při zcela vybitém akumulátoru 5,1 V, na plně nabitém akumulátoru pak 2,7 V. Hodnota rezistoru R1 musí být volena taková, aby úbytek odpovídal protékajícímu proudu 250 mA nebo menšímu. Tyto hodnoty odpovídají minimálně odporu o hodnotě 20,4 ohmů pro omezení maximálního nabíjecího proudu a 10,8 ohmů pro omezení trvalého „přebíjecího“ proudu. Je tedy třeba volit hodnotu rezistoru 20,4 ohmů nebo větší.

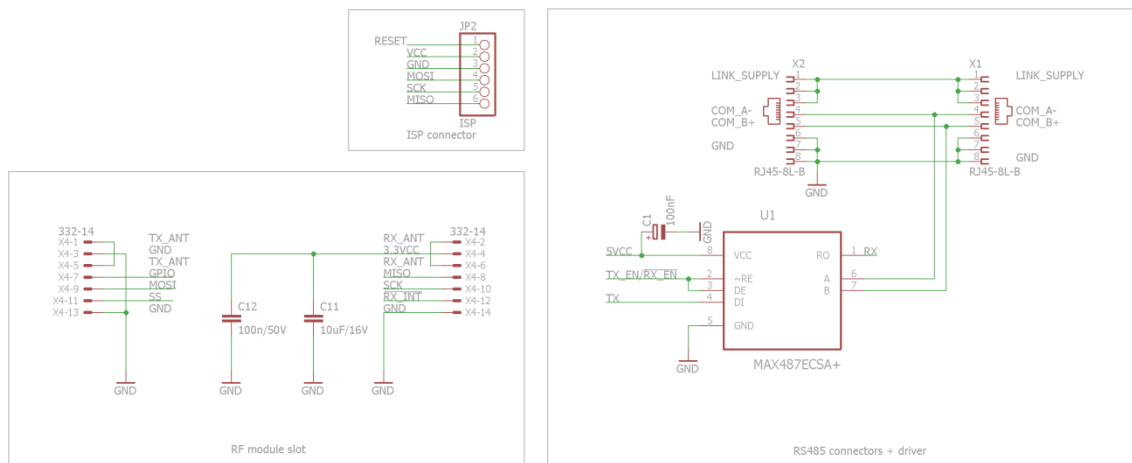
S ohledem na ochranu akumulátorů i v případě vyššího napájecího napětí a v případě použití akumulátorů jiného výrobce s nižšími dovolenými hodnotami nabíjecího a „přebíjecího“ proudu byla zvolena hodnota rezistoru 100 ohmů. Tato hodnota rezistoru odpovídá při napájecím napětí 12 V (úbytku napětí na rezistoru 8,1 V) maximálnímu nabíjecímu proudu 81 mA. Prostřednictvím těchto veličin lze stanovit i výkon, který bude na rezistoru přeměněn na teplo, jako součin úbytku napětí a protékajícího proudu. Výkon byl stanoven na 0,66 W. Z běžně dostupných rezistorů je tedy nutno zvolit rezistor konstruovaný pro výkon 1 W.

Odporový dělič tvořený rezistory R4 a R5 slouží k měření vstupního napájecího napětí. Odporový dělič tvořený rezistory R2 a R3 slouží k měření svorkového napětí na záložním akumulátoru. Při maximálním napětí 12 V na vstupu těchto děličů je na jejich výstupu napětí 3 V, které je přizpůsobeno vstupnímu rozsahu analogového vstupu mikrokontroléru s napájecím napětím 3,3 V. Výpočet děliče napětí je uveden ve vztahu 7.1.1:

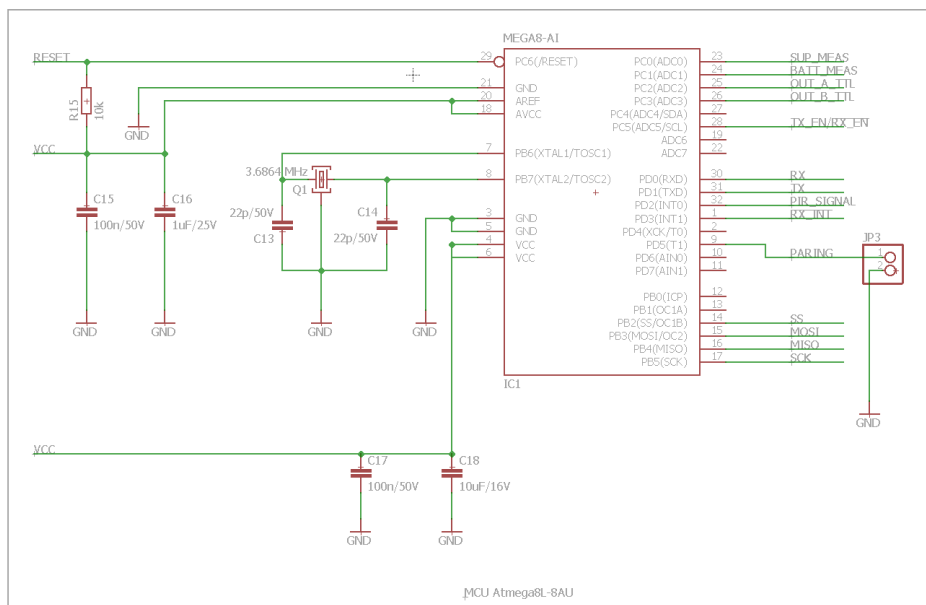
$$U_{\text{výstupní}} = U_{\text{vstupní}} \frac{R3}{R2 + R3} = 12V \frac{1k1}{1k1 + 3k3} = 3V \quad (7.1.1)$$

Součástí napájecích obvodů je též dvojice lineárních stabilizátorů LF33CDT (zdroj napětí 3,3 V) a LF50CDT (zdroj napětí 5 V). Při osazení komponenty pouze bezdrátovým komunikačním rozhraním je nutné osadit jen zdroj 3,3 V. Při osazení komponenty pouze metalickým komunikačním rozhraním je nutné osadit naopak jen zdroj 5V. Propoje R13 a R14 slouží k výběru napájecího napětí 3,3/5 V řídicího mikrokontroléru.

Jelikož celkový proudový odběr číslicových obvodů ani v jedné z těchto napájecích větví nepřesahuje 100 mA, nepřesahuje tepelný výkon vyzářený na lineárních stabilizátorech 1 W. (Vztah 7.1.2 udává příklad pro stabilizátor 3,3 V, tedy pro „horší“ případ.) Vzhledem k nízkému tepelnému výkonu stabilizátorů je použita varianta v SMD provedení a chladič je realizován pouze motivem na DPS prostřednictvím matic prokovů a plošek rozlévané mědi.



Obrázek 7.3 – Konektory a převodník logických úrovní MAX487



Obrázek 7.4 - Řídící mikrokontrolér jednotky zabezpečení

Na obrázku 7.4 je zobrazen obvodový blok řídicího mikrokontroléru. Konstrukce vyžaduje, aby mikrokontrolér disponoval SPI sběrnici pro připojení modulu bezdrátového komunikačního rozhraní, 1x UARTem pro komunikaci prostřednictvím metalické sběrnice RS-485, 2x analogovými vstupy s nepříliš vysokými nároky na přesnost pro detekci stavu zálohovacího akumulátoru a několika GPIO. S ohledem na tyto požadavky byl zvolen jednoduchý osmibitový mikrokontrolér Atmega8.

Pro přesné časování asynchronní sériové komunikace je takt mikrokontroléru řízen externím krystalem o frekvenci 3,6864 MHz (tato frekvence je mimořádně vhodná pro dosažení obvyklých baudratů sběrnic RS-485 a RS-232). Vzhledem k nízkým nárokům na přesnost analogových vstupů není pro interní AD převodník použita přesná reference, nýbrž reference a napájení AD převodníku jsou pouze opatřeny blokovacími kondenzátory a připojeny na hlavní napájecí větev mikrokontroléru. Pinheader JP3 slouží k párování – přidělení nové adresy centrální jednotkou. Pro detekci pohybu byl

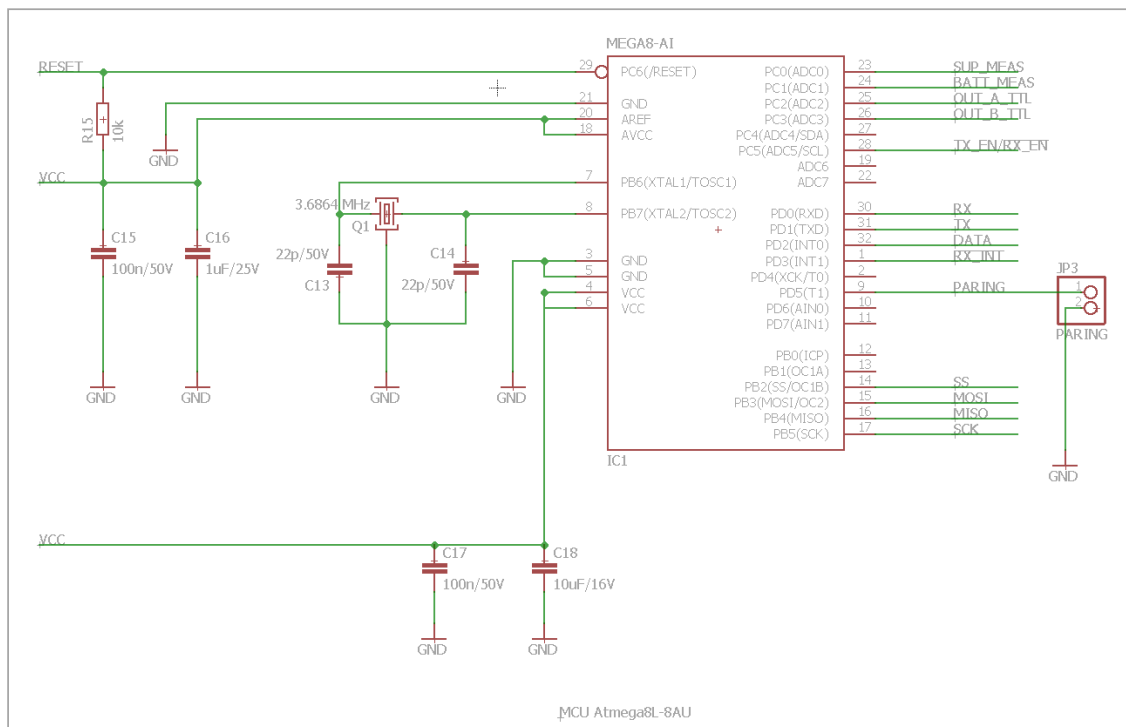
využit PIR senzor AS-0071 s binárním výstupem. Tento výstup byl připojen na binární vstup mikrokontroléru s možností operace jako zdroj externího přerušení.

7.2 Návrh jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty

Jednotka měření vzdušné vlhkosti a teploty se v naprosté většině obvodového řešení shoduje s návrhem jednotky zabezpečení. Rozdíl je pouze v senzoru RHT03, kterým je nahrazen PIR senzor.

Senzor RHT03 vyžaduje připojení pomocí proprietární jednovodičové asynchronní sériové sběrnice, kterou mikrokontroléry standardně nepodporují a je ji nutno implementovat softwarově. Senzor RHT03 je tedy k mikrokontroléru Atmega8 připojen prostřednictvím binárního vstupně-výstupního pinu s možností softwarové aktivace interního pull-up rezistoru a s možností operace jako zdroj externího přerušení (signál ve schématu označen jako „DATA“).

Obvodový blok řídicího mikrokontroléru jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty je uveden na obrázku 7.5:



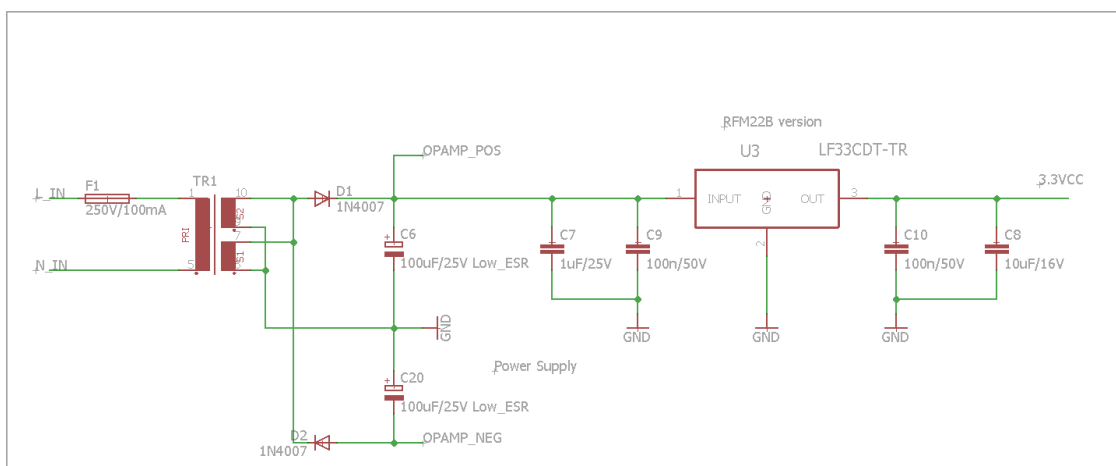
Obrázek 7.5 – Řídicí mikrokontrolér jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty

7.3 Návrh jednotky chytré zásuvky

Jednotka chytré zásuvky disponuje funkcemi měření síťového napětí, měření odebraného proudu, měření frekvence síťového napětí, měření zdánlivého, činného a jalového výkonu, měřením účinníku, spínání a řízení výkonu připojené zátěže.

Na rozdíl od ostatních periférií jednotka chytré zásuvky nedisponuje zálohovacím akumulátorem. Její funkce jsou totiž úzce vázány na síť nízkého napětí a zálohování v případě výpadku elektřiny by tak nemělo smysl. Převodník logických úrovní metalického komunikačního rozhraní je optočleny galvanicky oddělen od ostatních obvodových bloků a je napájen prostřednictvím metalické sběrnice. Zbytek obvodových bloků je napájen přes transformátor TR1 přímo ze sítě 230 V a od sítě není galvanicky oddělen.

Napájecí obvodový blok je uveden na obrázku 7.6. Primární vinutí transformátoru TR1 je jištěno 100 mA pojistkou F1. Jako transformátor TR1 je zvolen model BV302 2005 společnosti HAHN. Tento transformátor disponuje dvěma sekundárními vinutími 6V/0,9VA. Vhodnější, avšak v běžných obchodech méně dostupný, by byl transformátor s jedním vinutím dvojnásobného výkonu. Vinutí jsou paralelně spojena. Pomocí diod D1, D2 a kondenzátorů C6 a C20 je výstup sekundárních vinutí jednocestně usměrněn na stejnosměrné symetrické napětí pro napájení komparátoru detekujícího průchod síťového napětí nulou. Kladná větev symetrického napětí je dále vedena na lineární stabilizátor LF33CDT. Maximální proud odebraný číslicovými obvody je srovnatelný se zbylými jednotkami, proto zde již nebude podrobně rozebrán výpočet ztrátového výkonu. Chladič je opět realizován jako motiv na DPS prostřednictvím matice prokovů a plošky rozlévané mědi.

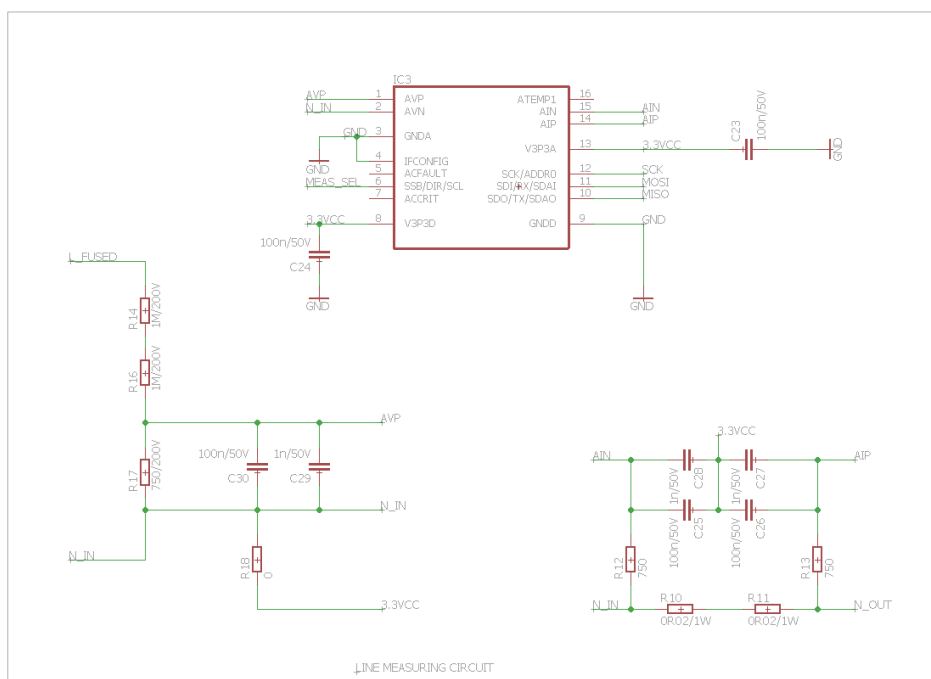


Obrázek 7.6 - Napájecí obvodový blok jednotky chytré zásuvky

Dalším významným obvodovým blokem je blok pro detekci průchodu síťového napětí nulou. Tento blok byl podrobně rozebrán již v kapitole „4.1 Stmívání osvětlení řízené mikrokontrolérem“. Na tomto místě je nutné pouze doplnit informaci, proč je jako reference k průchodu síťového napětí nulou uvažováno napětí 3,3 V namísto digitální země. Jak již bylo řečeno, obvody této jednotky jsou galvanicky spojeny se sítí

a komparátor i řídicí mikrokontrolér mají společnou úroveň země se specializovaným obvodem pro měření výkonu 78M6610+PSU společnosti Maxim Integrated. Tento obvod v sobě integruje AD převodníky pro přesné měření proudu a síťového napětí, jejichž vstupní rozsah se pohybuje v rozmezí ± 250 mV od napájecího napětí. Z tohoto důvodu musí být nulový vodič elektrické instalace spojen nikoliv se zemí, ale s napájecím napětím číslicových obvodů. Signál označený jako digitální země má ve skutečnosti oproti nulovacímu vodiči (a zemi absolutní) napětí -3,3 V.

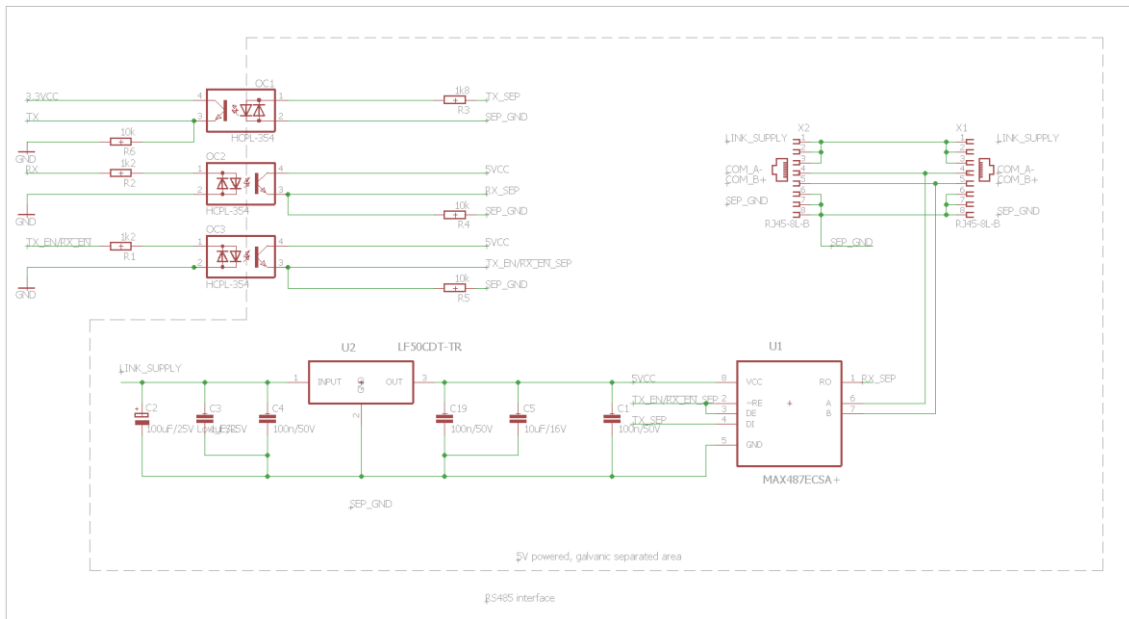
Na obrázku 7.7 je uveden obvodový blok měření výkonu s již zmíněným obvodem 78M6610+PSU. Bočník pro měření proudu i napěťový dělič spolu s filtračními antialiazingovými kondenzátory jsou realizovány dle katalogového listu[23] a hardwarových aplikačních doporučení[24] výrobce obvodu Maxim Integrated. Napěťový dělič je realizován dvojicí rezistorů R14 a R16 namísto jediného rezistoru s dvojnásobnou hodnotou pro dosažení vyššího izolačního napětí. Jediný rezistor by byl síťovým napětím proražen. Rezistor R10 (R11) je zdvojen z důvodu odvodu ztrátového výkonu přeměněného na teplo. Měřicí obvod je připojen k řídicímu mikrokontroléru prostřednictvím SPI sběrnice.



Obrázek 7.7 - Obvodový blok měření výkonu

Připojení modulu RFM22B bezdrátového komunikačního rozhraní i konektoru ISP pro přenos programového vybavení je shodné jako u ostatních periférií. Proto zde není uvedeno. Odlišný je však obvodový blok převodníku logických úrovní pro komunikaci prostřednictvím metalické sběrnice RS-485 (obrázek 7.8). Převodník je zde napájen prostřednictvím metalických rozvodů sběrnice RS-485 a od ostatních obvodových bloků je galvanicky oddělen trojicí optočlenů HCPL-354. Napájecí napětí je upraveno lineárním stabilizátorem LF50CDT. Jelikož je touto větví napájen pouze

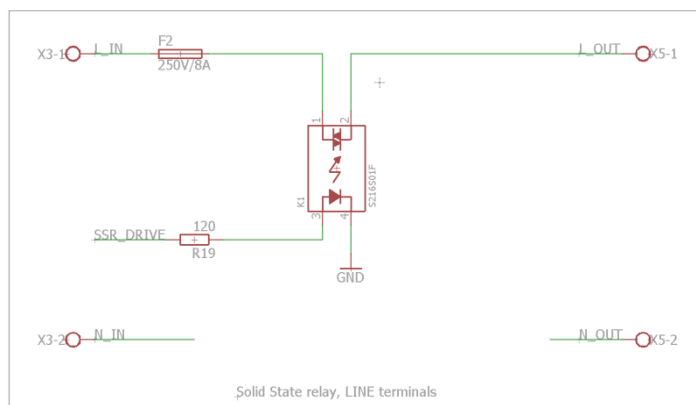
obvod MAX487, pohybuje se odebíraný proud řádově v jednotkách mA a ztrátový tepelný výkon na stabilizátoru je tedy zanedbatelně malý.



Obrázek 7.8 - Galvanicky oddělující převodník logických úrovní UART/RS-485

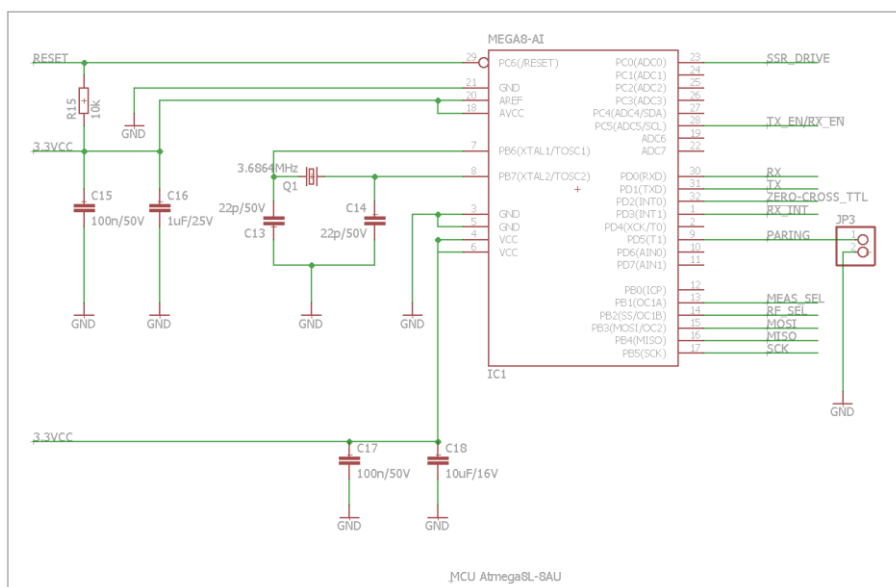
Na obrázku 7.9 je zobrazeno polovodičové relé společnosti Sharp pro spínání spotřebiče a řízení výkonu spolu s pojistkou 8 A a s terminály pro připojení napájení 230 V a spotřebiče.

Polovodičové relé S216S01F je určeno pro spínání zátěže ve střídavé síti nízkého napětí. Dle katalogového listu[25] je při pokojové teplotě a v případě opatření hliníkovým chladičem o rozměrech minimálně 10 x 10 cm s tloušťkou 2cm určeno ke spínání proudu až 10 A RMS (výkonu 2,3 kW). Bez použití chladiče je možné spínat proud o velikosti 2 A RMS (výkon 460 W). Pro spínání a řízení výkonu běžných svítidel (a v případě osazení patřičné pojistky pouze 2 A) tedy není třeba opatřit relé chladičem. Při nasazení jednotky pro spínání síťové zásuvky, u které lze předpokládat i vyšší odebíraný příkon (například vysavač či malé elektrické topidlo) je nutné chladič osadit. V katalogovém listu[25] jsou uvedeny i další rozměry chladičů pro vyšší pracovní teploty a spínané proudy až 16 A RMS.



Obrázek 7.9 - Zapojení polovodičového relé

Řídicím mikrokontrolérem byl opět zvolen obvod ATMEL AVR Atmega8. Obvod měření výkonu je, stejně jako bezdrátový modul RFM22B, připojen prostřednictvím číslkové sériové sběrnice SPI. Převodník logických úrovní metalické komunikační sběrnice RS-485 je k mikrokontroléru připojen prostřednictvím rozhraní UART a vstupně/výstupního pinu PC5 pro přepínání směru half-duplexní komunikace. Obvodový blok pro detekci průchodu síťového napětí nulou vytváří obdélníkový signál v TTL napěťových úrovních. Tento signál je přiveden na vstupně/výstupní pin PD2 nakonfigurovaný jako binární vstup, který při náběžné i sestupné hraně vyvolává obsluhu přerušení. Ovládací signál polovodičového relé je připojen na vstupně/výstupní pin PC0. Analogové vstupy mikrokontroléru nejsou využity. Mikrokontrolér je, stejně jako v případě ostatních jednotek, taktován externím krystalem na frekvenci 3,6864 MHz pro přesné časování sériové asynchronní komunikace. Obvodový blok mikrokontroléru a napojení periférií je uveden na obrázku 7.10.



Obrázek 7.10 - Obvodový blok mikrokontroléru jednotky chytré zásuvky

7.4 Návrh desek plošných spojů periférií

Desky plošných spojů byly navrženy s ohledem na konvence, které by měli co nejvíce eliminovat vznik EMI a zemních smyček.

Signál GND je realizován plochou rozlévané mědi. GND číslkových obvodů, stabilizátorů a konektorů RJ-45 metalické komunikační sběrnice RS-485 jsou fyzicky odděleny a spojeny vždy pouze v jediném místě DPS s dostatečným množstvím prokůvů. Všechny napájecí piny integrovaných obvodů jsou filtrovány blokovacími kondenzátory v bezprostřední blízkosti těchto pinů.

Navržené desky plošných spojů jsou uvedeny v sekci Přílohy na konci této práce a v elektronické podobě na příloženém CD.

8 NÁVRH SOFTWAREVÉHO VYBAVENÍ PERIFÉRIÍ A JEJICH OŽIVENÍ

Tato kapitola se zabývá softwarovým vybavením periférií a jejich oživením. V kapitole je rozebrána struktura a vývojové diagramy softwaru. Komentovaný zdrojový kód je vzhledem ke svému rozsahu přiložen pouze jako elektronická příloha.

K vývoji softwaru byla využita softwarová sada WinAVR. Pro nahrávání softwaru do programové paměti mikrokontroléru byl použit USBasp kompatibilní ISP programátor a softwarová komponenta BitBurner AVR Programmer. Komunikace prostřednictvím metalického rozhraní byla testována proti textovému terminálu sériového rozhraní v běžném PC s využitím převodníku rozhraní RS-485/USB SB485 od společnosti Papouch. Komunikace prostřednictvím bezdrátového komunikačního rozhraní byla testována proti jednodeskovému počítači Raspberry PI, který byl doplněn rozšiřující deskou s RF modulem RFM22B.

8.1 Softwarové vybavení jednotky zabezpečení

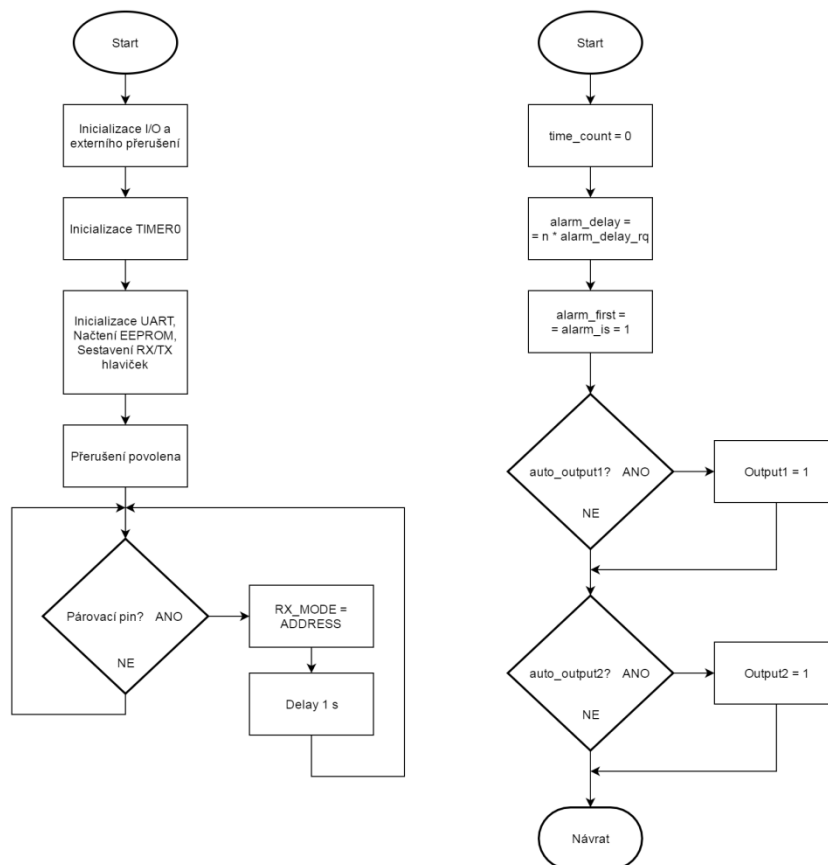
Při realizaci prototypu jednotky zabezpečení byla zvolena varianta s metalickým komunikačním rozhraním. Tomu odpovídá i softwarové vybavení jednotky.

Ve zdrojovém kódu se nacházejí následující významné funkční celky:

- Funkce main s nekonečným cyklem;
- Externí přerušení při detekci pohybu PIR senzorem;
- Přerušení časovače Timer/Counter0 každých 0,07 s (Taktovací frekvence 3,6864 MHz, dělička 1024, čítač 8 bitů). Tento čas je v obsluze přerušení dále softwarově dělen inkrementací globální proměnné `time_count`.
- Přerušení přijatého bytu sběrnice RS-485 (UARTu).

Funkce main provede nejprve inicializaci všech funkcí jednotky zabezpečení včetně vyčtení adresy uložené v EEPROM pro tvorbu RX a TX hlavičky, následně přejde do nekonečného cyklu, ve kterém kontroluje zkratování párovacího pinheadru. Je-li vyvoláno párování, globální proměnná `RX_MODE` typu enum {ADDRESS, NORMAL} je nastavena na hodnotu ADDRESS. Vývojový diagram funkce je uveden na obrázku 8.1.

Obsluha přerušení při detekci pohybu PIR senzorem resetuje softwarový čítač `time_count`. Následně nastaví `alarm_delay` dle proměnné `alarm_delay_rq`, proměnné `alarm_first` a `alarm_is` na hodnotu „1“ a dle proměnných `auto_output1` a `auto_output2` nastaví hodnotu 1 na výstupních pinech prvního a druhého spínaného výstupu. Vývojový diagram obsluhy přerušení je uveden na obrázku 8.1.

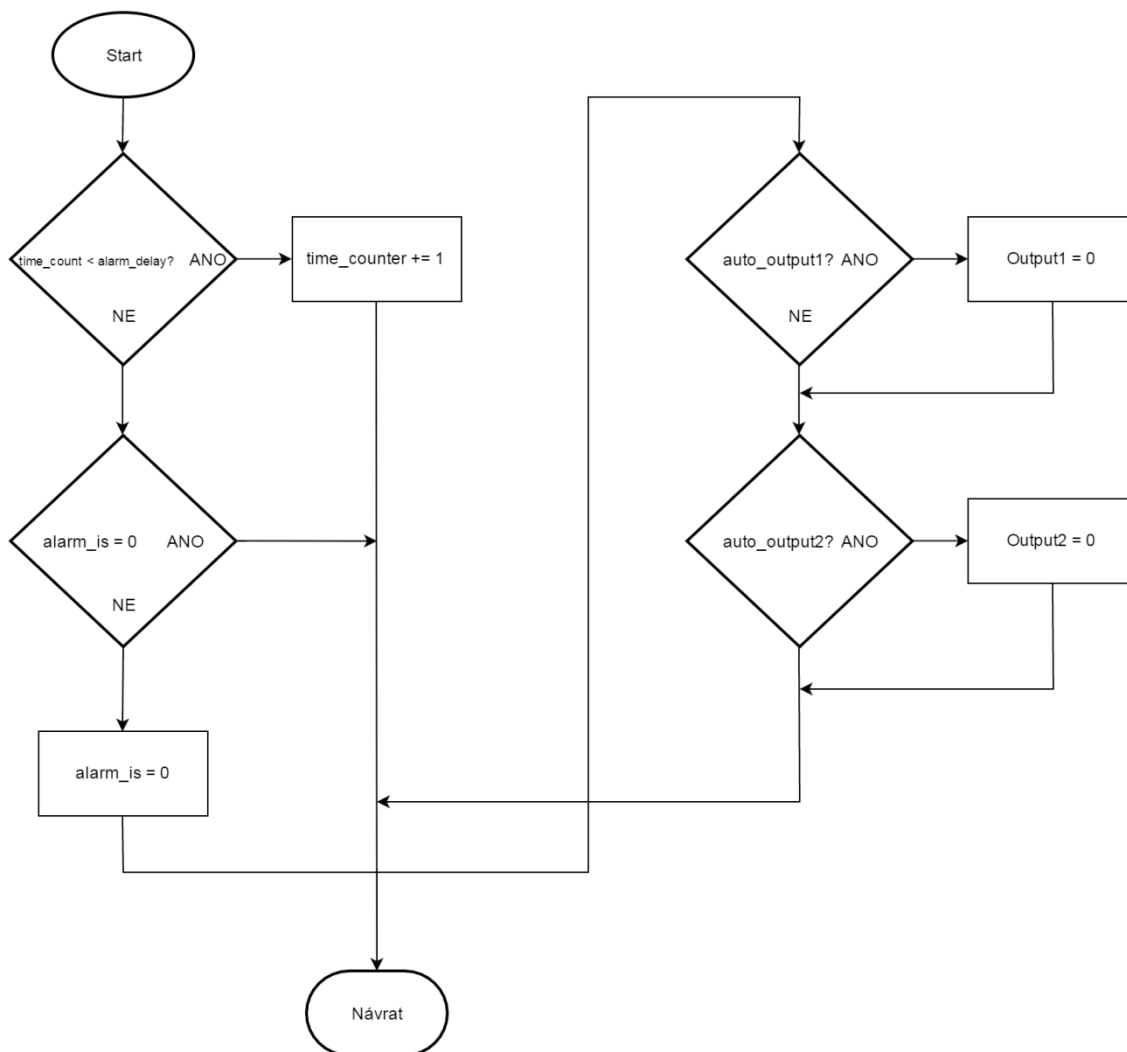


Obrázek 8.1 - Vývojový diagram funkce main (vlevo) a přerušení PIR senzoru (vpravo) jednotky zabezpečení

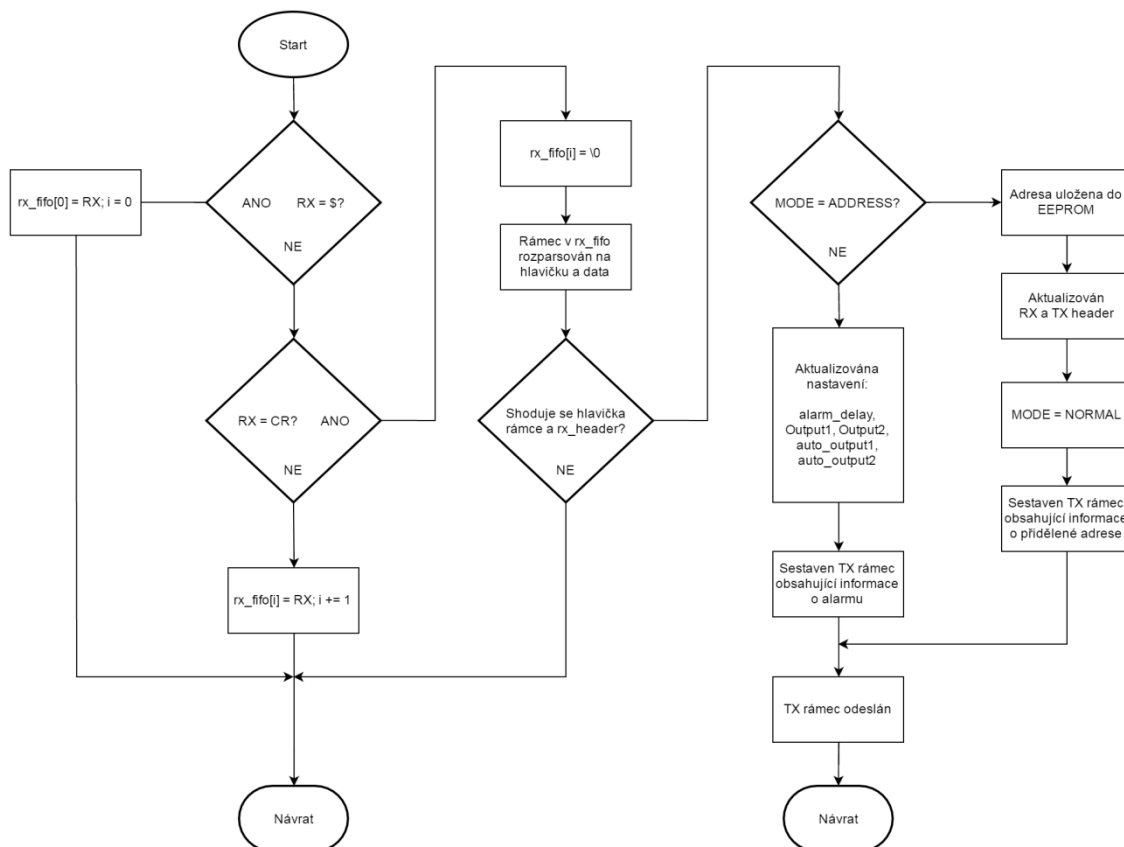
Přerušení časovače Timer/Counter0 slouží pro určení délky probíhajícího alarmu a ukončení alarmu po dosažení času nastaveného centrální jednotkou. V první fázi je kontrolován softwarový counter `time_count`. Pokud je jeho hodnota menší než hodnota proměnné `alarm_delay`, je inkrementován o 1 a obsluha přerušení je ukončena. Pokud je jeho hodnota větší, je dále kontrolována hodnota proměnné `alarm_is`. V případě hodnoty 0 (nepravda) je obsluha přerušení ukončena. V případě nenulové hodnoty (pravda) je ukončen probíhající alarm. Tedy `alarm_is` je nastaven na hodnotu 0 a pakliže jsou spínané výstupy nastaveny na automatické řízení, jsou i tyto výstupy nastaveny na hodnotu 0 – vypnuto. Vývojový diagram obsluhy přerušení je uveden na obrázku 8.2.

Přerušení přijatého bytu sběrnice RS-485 (UARTu) zabezpečuje kompletní obsluhu master-slave komunikace prostřednictvím metalického rozhraní. Při přijetí bytu je nejprve zkontrolováno, zdali nejde o speciální znak \$ nebo CR. Pokud nejde o jeden z těchto znaků, je přijatý byte uložen na aktuální místo pole `rx_fifo` a obsluha přerušení je ukončena. V případě znaku \$ je ukazatel na aktuální prvek pole `rx_fifo` nastaven na začátek pole a znak je zde uložen. Předchozí přijaté znaky jsou tak zahozeny a paměť je připravena pro příjem nového rámce. Obsluha přerušení je ukončena. V případě přijetí znaku CR je na poslední prvek pole uložen zakončovací znak `\0` a je zahájena komunikace. Hlavička přijatého rámce je nejprve srovnána s řetězcem `rx_header`. V případě neshody jde o rámec určený jiné jednotce a obsluha přerušení je ukončena. V případě shody dojde ke kontrole proměnné `RX_MODE`. Pokud je zařízení v módu

NORMAL, je obsah příchozího rámce zpracován jako nastavení a je vytvořena a odeslána odpověď obsahující informaci o probíhajícímu alarmu. Pokud je zařízení v módu ADDRESS, je obsah příchozího rámce zpracován jako nově přidělená adresa, tato adresa je uložena do EEPROM, jsou vytvořeny aktualizované RX/TX hlavičky a je vytvořena a odeslána odpověď obsahující shodná data, jako rámec příchozí – tedy nově přidělenou adresu. Vývojový diagram obsluhy tohoto přerušení je uveden na obrázku 8.3.



Obrázek 8.2 Vývojový diagram přerušení časovače Timer/Counter0 jednotky zabezpečení



Obrázek 8.3 - Vývojový diagram přerušení přijatého bytu sběrnice RS-485 (UARTu) jednotky zabezpečení

8.2 Softwarové vybavení jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty

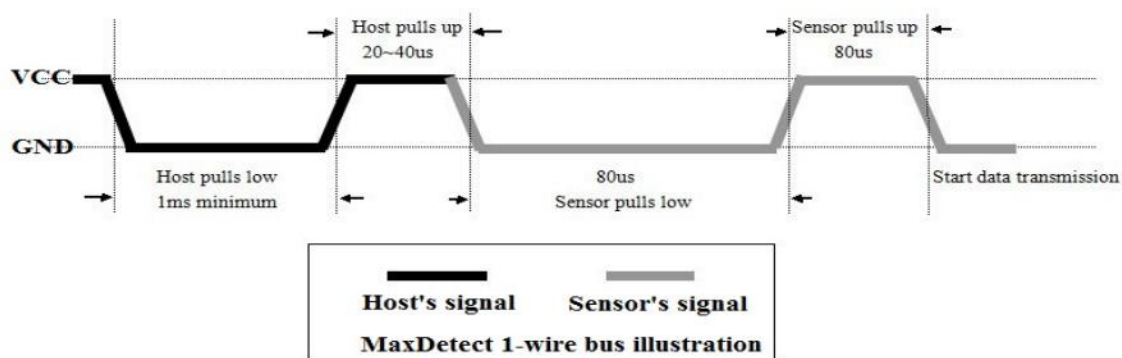
Při realizaci prototypu jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty byla zvolena varianta s bezdrátovým komunikačním rozhraním. Tomu odpovídá i softwarové vybavení jednotky.

Ve zdrojovém kódu se nacházejí následující významné funkční celky:

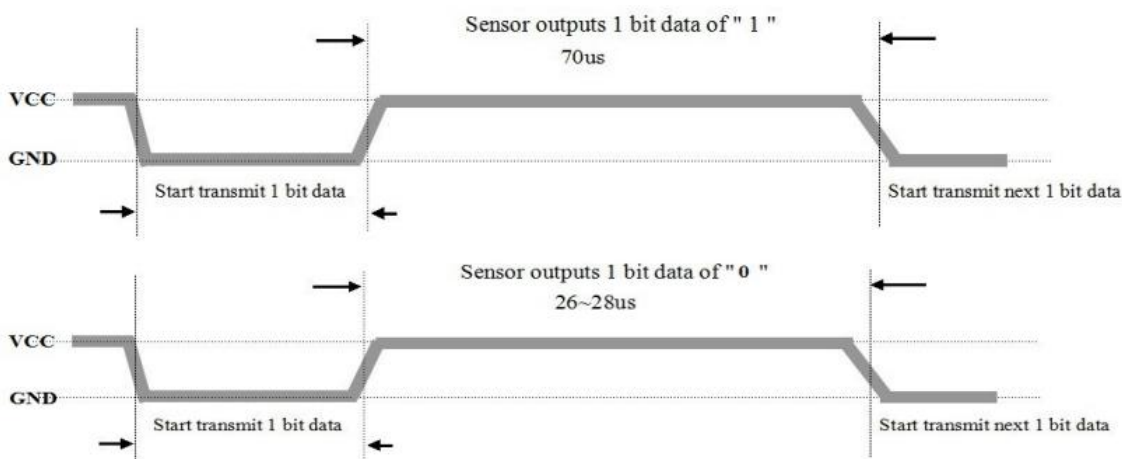
- Funkce main s nekonečným cyklem;
- Přerušení časovače Timer/Counter0 každých 0,07 s (Taktovací frekvence 3,6864 MHz, dělička 1024, čítač 8 bitů). Tento čas je v obsluze přerušení dále softwarově dělen inkrementací globální proměnné `time_count`.
- Externí přerušení modulu RFM22B při přijetí rámce.

Funkce main provede nejprve inicializaci všech funkcí jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty včetně vyčtení adresy uložené v EEPROM a nastavení registrů modulu RFM22B spolu s příslušnou RX a TX hlavičkou, následně přejde do nekonečného cyklu, ve kterém kontroluje zkratování párovacího pinheadru. Je-li vyvoláno párování, globální proměnná `RX_MODE` typu enum {ADDRESS, NORMAL} je nastavena na hodnotu ADDRESS. Vývojový diagram funkce je uveden na obrázku 8.6.

Při obsluze přerušení časovače Timer/Counter0 je frekvence časovače dále softwarově dělena na událost jedenkrát za 30 sekund prostřednictvím proměnné `time_count`. Jednou za 30 sekund je pak provedeno měření vzdušné vlhkosti a teploty senzorem RHT03 a vyčtení těchto údajů do řídicího mikrokontroléru. V první fázi je kontrolována hodnota proměnné `time_count`. Pokud je její hodnota menší než 428 (přerušení s nejvyšší děličkou 1024 je vyvoláno vždy jedenkrát za 0,07, požadovaný čas měření je 30 sekund), je proměnná inkrementována o 1 a obsluha přerušení je ukončena. Pokud je její hodnota větší nebo rovna, je provedeno měření a proměnná `time_count` je nastavena na hodnotu 0. Senzor RHT03 je připojen prostřednictvím proprietárního jednovodičového sériového rozhraní[7], jež není hardwarově implementováno mezi perifériemi mikrokontroléru a musí být obsluhováno vlastním softwarem. Rozhraní je v klidovém stavu připojeno k napěťové úrovni napájecího napětí. Komunikace se senzorem je následně aktivována ze strany mikrokontroléru „stažením“ úrovně rozhraní na hodnotu GND. Senzor odpoví nejprve logickou úrovní GND po dobu 80 us, následně VCC po dobu 80us (Obrázek 8.4), poté začne sériově přenášet 4 byty dat a 1 byte jako kontrolní součet. Přenos bitu je vždy iniciován úrovní GND po dobu 50 us a následně úrovní VCC po dobu 26 – 28 us symbolizující logickou 0, případně po dobu 70 us symbolizující logickou 1 (Obrázek 8.5 vlevo). Doba je počítána za pomocí Timer/Counter1 bez přednastavené děličky (inkrementace časovače o 1 tedy symbolizuje přibližně 0,27 us). Při obsluze komunikace je nejprve rozhraní staženo do úrovně GND na dobu 1ms, následně je v nekonečném cyklu čekáno na odpověď v podobě sestupné a náběžné hrany představující odpověď senzoru a druhé sestupné hrany symbolizující počátek přenosu prvního bitu. Bity se ve for cyklu vyčítají a ukládají do pětimístného pole typu `int` s názvem `rht_data`. Náběžná hrana vždy aktivuje Timer/Counter0 a v nekonečném cyklu je čekáno na hranu sestupnou. Při detekci sestupné hrany je během 50 us iniciujících přenos dalšího bitu porovnána hodnota Timer/Counteru0. Pokud je nainkrementována hodnota menší než 110 (odpovídá cca 30 us), je na příslušný bit pole `rht_data` zapsán bit 0, v opačném případě je na tuto pozici zapsán bit 1. Tímto způsobem jsou postupně vyčteny všechny bity komunikace. Ze čtveřice datových bytů je vypočítán kontrolní součet a srovnán se součtem vypočítaným senzorem, který je zapsán v pátém bytu komunikace. V případě shody jsou data uložena do globálně definovaného pole typu `int` s názvem `data` a jsou tak připravena pro zaslání centrální jednotce. S ohledem na značný rozsah a nepřiliš složitě větvení tohoto programového bloku není uveden vývojový diagram. V případě snahy o hlubší pochopení problematiky lze odkázat na komentovaný zdrojový kód v elektronické příloze této práce.

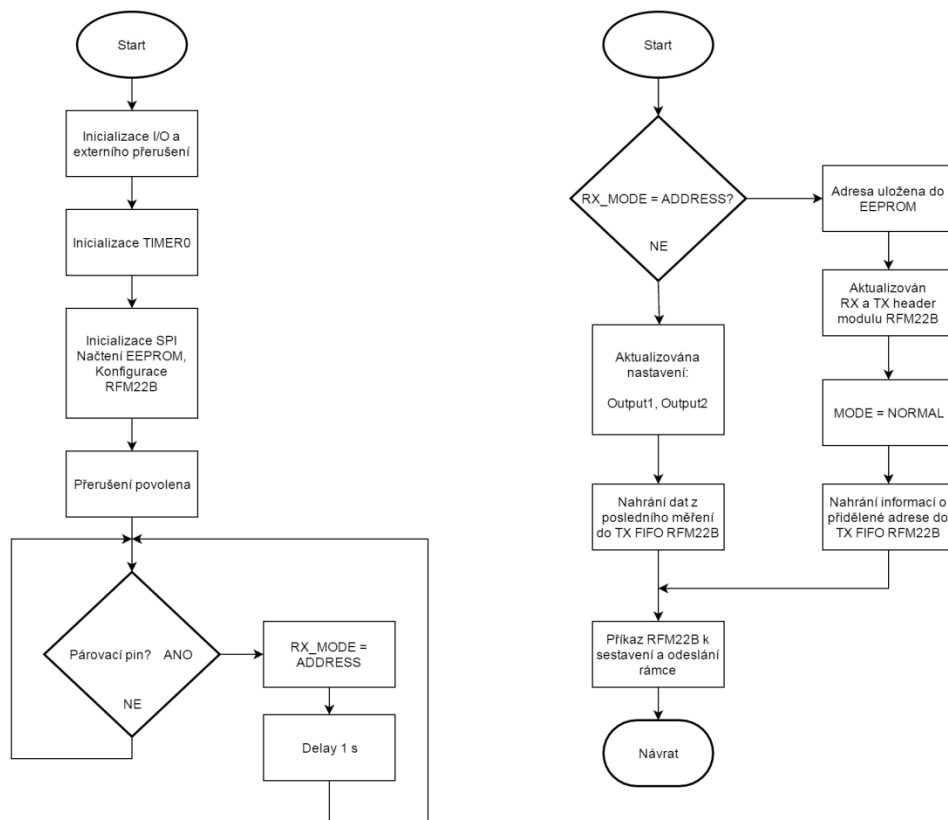


Obrázek 8.4 - Inicializace měření a komunikace se senzorem RHT03, převzato[7]



Obrázek 8.5 - Přenos bitu s hodnotou 1 (nahore) a s hodnotou 0 (dole), převzato[7]

Externí přerušení modulu RFM22B při přijetí rámce zabezpečuje kompletní obsluhu master-slave komunikace prostřednictvím bezdrátového rozhraní. Hlavička a kontrolní součet přijatého rámce je kontrolován již programovým vybavením modulu RFM22B. Externí přerušení tedy vyvolá pouze nepoškozená zpráva adresována této jednotce. Z fronty integrované v programovém vybavení modulu RFM22B jsou do řídicího mikrokontroléru vyčteny pouze čtyři datové byty, které rámec obsahoval. Pokud je zařízení v módu NORMAL, je obsah příchozího rámce zpracován jako nastavení a je vytvořena a odeslána odpověď obsahující data z nejnovějšího měření teploty a vzdušné vlhkosti. Pokud je zařízení v módu ADDRESS, je obsah příchozího rámce zpracován jako nově přidělená adresa, tato adresa je uložena do EEPROM, v nastavení RFM22B jsou aktualizovány RX/TX hlavičky a je vytvořena a odeslána odpověď obsahující shodná data, jako rámec příchozí – tedy nově přidělenou adresu. Vývojový diagram obsluhy tohoto přerušení je uveden na obrázku 8.6 (vpravo).



Obrázek 8.6 - Vývojový diagram funkce main (vlevo) a externího přerušení modulu RFM22B při přijetí rámce (vpravo) jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty

8.3 Softwarové vybavení jednotky chytré zásuvky

Prototyp jednotky chytré zásuvky nebyl kvůli technickým problémům a nedostatku času realizován. Proto nebyla vytvořena ani finální podoba softwarového vybavení.

Pokud by došlo k realizaci prototypu, softwarové vybavení funkčního prototypu by obsahovalo tyto významné funkční celky:

- Funkce main s nekonečným cyklem;
- Externí přerušení při detekci průchodu síťového napětí nulou;
- Přerušení časovače Timer/Counter0 každých 0,07 s (Taktovací frekvence 3,6864 MHz, dělička 1024, čítač 8 bitů). Tento čas je v obsluze přerušení dále softwarově dělen inkrementací globální proměnné `time_count`.
- Přerušení časovače Timer/Counter1 každých 0,07 s (Taktovací frekvence 3,6864 MHz, dělička 1024, čítač 8 bitů). Tento čas je v obsluze přerušení dále softwarově dělen inkrementací globální proměnné `time_count`.
- Přerušení přijatého bytu sběrnice RS-485 (UARTu) nebo externí přerušení modulu RFM22B při přijetí rámce (V závislosti na osazené variantě komunikačního rozhraní).

Funkce main, přerušení komunikačního rozhraní a přerušení časovače Timer/Counter0 by (až na drobné odlišnosti) měli v zásadě stejnou funkci o podobu jako ve dvojici výše popsaných jednotek.

Funkce main by tedy zajišťovala inicializaci mikrokontroléru, konfiguraci registrů měřicího obvodu 78M6610+PSU a nekonečný cyklus zajišťující přechod do režimu přidělení adresy v případě zkratování párovacích pinů. Obvod 78M6610+PSU nevyžaduje příliš rozsáhlou konfiguraci. V jeho registrech je třeba nastavit pouze převodní poměr děliče síťového napětí a převodní poměr odporového bočníku pro správný převod měřených veličin do inženýrských jednotek[23].

Přerušení komunikačního rozhraní by zajišťovalo kompletní obsluhu komunikace. Příklad obsluhy metalického komunikačního rozhraní je prakticky realizován v jednotce zabezpečení. Příklad bezdrátového komunikačního rozhraní je prakticky realizován v jednotce měření vzdušné vlhkosti a teploty.

V obsluze přerušení časovače Timer/Counter0 by byla jednou za několik sekund realizována komunikace s obvodem 78M6610+PSU prostřednictvím sběrnice SPI. Z tohoto obvodu by byly vyčteny vždy všechny měřené veličiny. Obvod tyto veličiny poskytuje již převedeny do inženýrských jednotek[23] (viz. kapitola 6.3.3 Význam datových bytů jednotky chytré zásuvky).

Externí přerušení při detekci průchodu síťového napětí nulou slouží ke spínání připojené zátěže a k řízení výkonu této zátěže. Pokud je centrální jednotkou požadován maximální výkon zátěže (sepnutí bez regulace), proběhne v obsluze tohoto přerušení sepnutí polovodičového relé. Tím je zabezpečeno sepnutí v oblasti blízké nule a je tak minimalizováno EMI. Pokud je centrální jednotkou požadováno řízení výkonu, tedy zavedení určitého spínacího úhlu λ , je v obsluze tohoto přerušení vynulována hodnota čítače Timer/Counter1, softwarové proměnné time2_count a tento časovač je spuštěn. Sepnutí polovodičového relé v tomto případě zabezpečuje obsluha přerušení časovače Timer/Counter1.

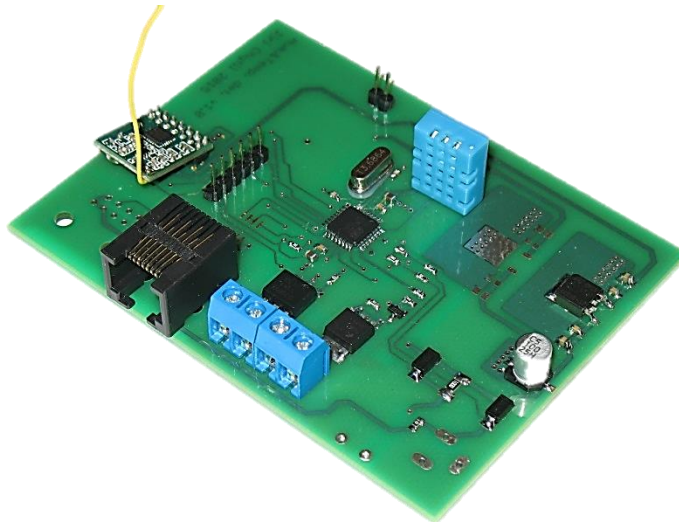
Přerušení časovače Timer/Counter1 zabezpečuje sepnutí polovodičového relé se spínacím úhlem λ . V obsluze tohoto přerušení je inkrementována hodnota proměnné time2_count a v případě, kdy tato proměnná dosáhne velikosti proměnné lambda_setting, je sepnuto polovodičové relé a zastavena inkrementace.

8.4 Oživení jednotek

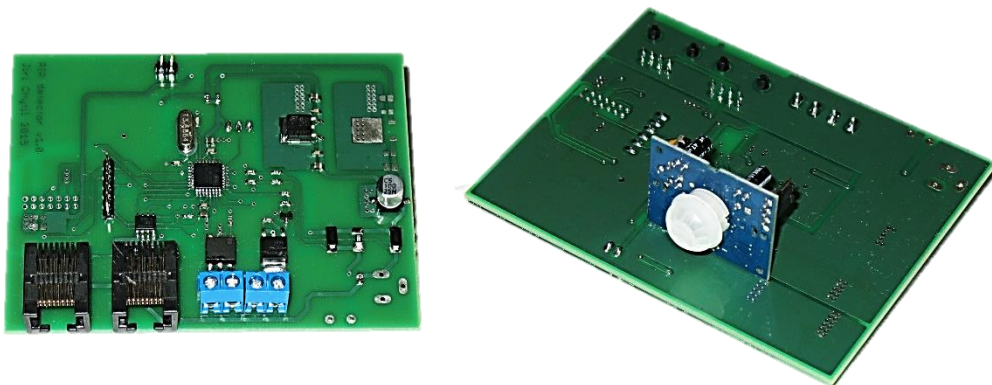
Při oživení jednotek bylo nejprve otestováno výstupní napětí osazených lineárních regulátorů. Až po ověření jejich správné činnosti byly osazeny propojky, které připojují napájecí napětí k číslicovým obvodům.

K jednotkám byl následně připojen ISP programátor a do mikrokontroléru byl nahrán jednoduchý program pro test správné činnosti spínaných výstupů. Po otestování správné činnosti spínaných výstupů bylo do programového vybavení postupně implementováno komunikační rozhraní. Komunikační rozhraní bylo implementováno a otestováno jako první ze všech funkcí jednotky, jelikož bylo při implementaci dalších funkcí používáno jako jisté debugovací rozhraní. Jednoduchý programátor USBasp připojený přes ISP rozhraní debugování neumožňuje.

Fotografie prototypu jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty je uvedena na obrázku 8.7. Fotografie prototypu jednotky zabezpečení jsou uvedeny na obrázku 8.8.



Obrázek 8.7 - Prototyp jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty



Obrázek 8.8 - Prototyp jednotky zabezpečení, strana součástek (vlevo) a strana PIR modulu (vpravo)

Při oživování jednotek bylo objeveno několik návrhových chyb: Signálový vodič volící v převodníku logických úrovní rozhraní RS-485 směr komunikace byl z nepozornosti zapojen na pin ADC7 řídicího mikrokontroléru, který nedisponuje funkcí běžného vstupně-výstupního pinu. Lze použít pouze jako vstup multiplexoru AD převodníku. Druhá chyba nastala při vedení signálu GND formou rozlévané mědi. Změnou izolační vzdálenosti obrazce rozlévané mědi byl obrazec rozdělen do třech nekonzistentních celků. K některým obvodům byl tedy signál GND přiveden pouze prostřednictvím vodivých cest uvnitř řídicího mikrokontroléru, což mohlo vést k jeho zničení. Tyto chyby byly ve zhotovených prototypch opraveny drátovými propojkami a následně byla přepracována i schémata a návrh desek plošných spojů. Desky plošných spojů uvedené v tištěné i elektronické příloze práce představují již opravené verze navržených jednotek.

ZÁVĚR

Výsledkem práce je prototyp jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty, prototyp jednotky zabezpečení a nezrealizovaný návrh jednotky chytré zásuvky. Realizované prototypy jsou oživeny a vybaveny navrženým softwarem. Jednotka zabezpečení je vybavena metalickým rozhraním, jednotka měření vzdušné vlhkosti a teploty pak rozhraním bezdrátovým pro demonstraci funkčnosti obou komunikačních rozhraní.

Při návrhu metalického komunikačního rozhraní byly zvažovány tyto varianty: Metalický Ethernet, sběrnice CAN a sběrnice RS-485. Pro realizaci bezdrátového komunikačního rozhraní bylo vybíráno z Wi-Fi rozhraní, proprietárního komunikačního rozhraní na frekvenci 434 MHz a mesh síť na frekvenci 2,4 GHz realizované prostřednictvím technologie Zigbee. Výhody a nevýhody každého z uvedených rozhraní jsou rozebrány v kapitole 6. Zvolena byla komunikace prostřednictvím sběrnice RS-485 a proprietární bezdrátová komunikace na frekvenci 434 MHz. Metalická i bezdrátová komunikace využívají společný navržený proprietární protokol a liší se vzájemně jen na fyzické úrovni. Přenášené rámce obsahují 4 adresové a 4 datové byty. Komunikace je half-duplexní s master – slave řízením přístupu ze strany centrální jednotky systému SmartFlat. Metalické komunikační rozhraní umožňuje prostřednictvím své kabeláže realizovat i napájení periferních jednotek z centrální jednotky.

Jednotka zabezpečení disponuje pohybovým PIR senzorem AS-0071 s binárním výstupem, spínaným výstupem určeným pro napájení IR přísvitu a spínaným výstupem určeným pro spínání binárního vstupu IP kamery. Tato jednotka je určena zejména jako doplněk bezpečnostní IP kamery. Výhodou řešení je zlepšení vlastností IP kamery ve zhoršených světelných podmínkách. IR přísvit a algoritmy pro pokročilé vyhodnocování pohybu implementované ve firmwaru kamery nemusí být v činnosti nepřetržitě, jsou sepnuty až v reakci na podnět od jednotky zabezpečení, což přináší výrazné energetické úspory. Druhou výhodou ve zhoršených světelných podmínkách je spolehlivější detekce pohybu PIR senzorem oproti softwarovému zpracování obrazu ve viditelném spektru. Jednotka zabezpečení umožňuje sepnout výstup pro napájení IR přísvitu i vzdáleně na uživatelské vyžádání (aniž by byl pohyb detekován), tato funkce je nutná pro aktivaci IR přísvitu například při zobrazení živého náhledu obrazu z kamery uživateli. Druhou možností realizace je vlastní navržená jednotka obsahující i jednoduchou kameru. Toto řešení by však nikdy nedosáhlo obrazové kvality, nízké ceny a flexibility jako řešení kombinované s komerčně vyráběnou IP kamerou a tak bylo po diskuzi s vedoucím práce vyhodnoceno jako nevýhodné.

Jednotka měření vzdušné vlhkosti a teploty disponuje senzorem RHT03. Tento senzor v sobě integruje kapacitní vlhkoměr, senzor teploty a z výroby kalibrovaný převodník na jednovodičovou digitální sériovou sběrnici s automatickou teplotní kompenzací. Princip a výběr senzoru je rozebrán v kapitole 2. Jednotka dále obsahuje dvojici spínaných výstupů. Výstupy lze použít například ke spínání ventilátoru na malé

napětí či k ovládní plynového kotle. Chování výstupů není v rámci jednotky automatizováno, jsou ovládány vždy ze strany centrální jednotky.

Jednotka chytré zásuvky disponuje obvodem 78M6610+PSU pro měření síťového napětí, frekvence, odebíraného proudu, celkového, činného a zdánlivého výkonu a účinníku. Tento obvod je k řídicímu mikrokontroléru připojen prostřednictvím rozhraní SPI. Jednotka dále obsahuje vlastní obvodové řešení pro detekci průchodu síťového napětí nulou a polovodičové relé určené ke spínání zátěže. Softwarové vybavení jednotky chytré zásuvky umožňuje na základě detekce průchodu nulou ovládat výkon zátěže, například jas osvětlení. Tato jednotka nebyla realizována. Bylo provedeno pouze několik testů s obvodem 78M6610+PSU připojeným k jednodeskovému počítači Raspberry PI, při kterých se projevila velmi nízká odolnost analogových vstupů tohoto obvodu. Absolutní vstupní rozsah AD převodníků se pohybuje v rozmezí napájecí napětí ± 500 mV. Pokud je například jeden z diferenčních vstupů zapojen na signál GND, dojde k téměř okamžitému zničení obvodu. Při tvorbě práce tak nezbyl časový prostor pro výrobu a otestování konečného řešení této jednotky.

O návrhu hardwarového vybavení jednotek pojednává kapitola 7. V kapitole 8 je rozebráno softwarové vybavení a v jejím závěru pak samotné oživení dvojice realizovaných jednotek.

S ohledem na tvorbu jednotky zabezpečení je v kapitole 5 uveden úvod do problematiky bezpečnostních IP kamer. V této kapitole jsou představeny parametry jako rozlišení a světelná citlivost čipu, nastavení clony, nastavení zorného úhlu, nastavení času expozice a další. Tyto parametry jsou diskutovány vzhledem k jevům, jako je obrazový šum, „motion blur“ efekt a chromatická aberace. Je zde vysvětleno, že mezi parametry existují zdůvodnitelné vztahy, které je třeba při návrhu kamerového bezpečnostního systému s rozvahou uvažovat.

Dalším možným vývojem systému SmartFlat je integrace komerčních RFID čteček (například rozšířením o rozhraní sběrnice Wiegand) a integrace domácích elektrospotřebičů prostřednictvím rozhraní Ethernet anebo prostřednictvím jednotky IR vysílače, která by plnila funkci univerzálního dálkového ovladače.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *LOXONE* [online]. 2015 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.loxone.com/cscz/start.html>
- [2] *INELS* [online]. 2015 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.inels.cz/>
- [3] Chytrá zásuvka mydlink™ Home. *D-Link Česká republika* [online]. 2015 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.dlink.com/cz/cs/home-solutions/mydlink-home/smart-plugs/dsp-w215-smart-plug>
- [4] WeMo® Switch. *Belkin* [online]. 2015 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.belkin.com/us/p/P-F7C027/>
- [5] MAREŠ, Luděk. *Vlhkost vzduchu a její měření. Tzb info* [online]. : 1 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3137-vlhkost-vzduchu-a-jeji-mereni>
- [6] MATUŠKA, Tomáš a Luděk MAREŠ. *EXPERIMENTÁLNÍ METODY 1.* [online]. Praha, 2009 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/EXM/Matuska_Mares_Experimentalni_metody_1.pdf
- [7] LIU, Thomas. *Digital relative humidity & temperature sensor RHT03 Datasheet* [online]. [cit. 2015-12-31]. Dostupné z: <http://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/RHT03.pdf>
- [8] *PIR detektor: skvělý sluha, ale zlý pán. Hw.cz* [online]. 2013, 19.3.2013 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/automatizace/pir-cidlo-skvely-sluha-ale-zly-pan.html>
- [9] TKOTZ, Klaus. *Příručka pro elektrotechnika. Vydání první.* Praha : EuropaSobotáles cz. s.r.o., 2002. 564 s. ISBN 80-86706-00-1.
- [10] VOJÁČEK, Antonín. *Integrované senzory proudu a problematika použití: 1.část. Hw.cz* [online]. 2009, , 1 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/integrované-senzory-proudu-a-problematika-pouziti-1cast>
- [11] KUNC, Josef. *Stmívání (1.). ElektriKa.cz* [online]. 2004, , 1 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://elektriKa.cz/data/clanky/stm1_040209
- [12] SVĚTNICA, Jindřich. *Network Video Fundamentals.* [přednáška]. Brno: ADI Global Distribution, 16. 11. 2015.

- [13] *SIMUVWEB* [online]. simuvweb.wz.cz [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.simuvweb.wz.cz/glossary/glossgal/70300DOF300rl.jpg>
- [14] *London bus*. [online]. 2008 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/10158179@N06/2334039881>
- [15] *Wide Dynamic Range: Challenges and solutions* [online]. In: Axis Communications, 2014, s. 11 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://www.axis.com/files/whitepaper/wp_wide_dynamic_range_58576_en_1406_lo.pdf
- [16] *XBee Buying Guide*. Spark fun Electronics [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: https://www.sparkfun.com/pages/xbee_guide
- [17] ČÍŽEK, Jakub. *Vyrobili jsme si rušičku Wi-Fi. Stačil běžný laptop a hackerský Kali Linux*. In: Zive.cz [online]. 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/clanky/vyrobili-jsme-si-rusickou-wi-fi-stacil-bezny-laptop-a-hackersky-kali-linux/sc-3-a-181832/default.aspx>
- [18] DVORÁK, Jaroslav; GUTMAN, Jiří; STAUDEK, Jan. *Ročenka výpočetní techniky 1*. In PLÁŠIL, František. Praha : SNTL, 1989. Kapitola Lokální síť Ethernet, s. 235-279.
- [19] *RS 485 & 422*. Vyvoj.hw.cz [online]. 1998 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/rs-485-422.html>
- [20] *Katalogový list baterie GP270AAHC* [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/540/475/nabijeci-baterie-gp-aa-2700mah-nimh-blistr-2ks-datasheet-1.pdf>
- [21] *Katalogový list FDD6685* [online]. 2011 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1730042.pdf>
- [22] *Katalogový list KAQV214/214A* [online]. 2002 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.promelec.ru/pdf/Kaqv214.pdf>
- [23] *78M6610+PSU: Energy Measurement Processor for Single-Phase Power-Supply Units* [online]. Rev. 3. Maxim Integrated 160 Rio Robles, San Jose, CA 95134 USA: Maxim Integrated, 2014 [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/78M6610+PSU.pdf>

- [24] *78M6610+PSU: Hardware Design Guidelines* [online]. Rev. 0. 160 Rio Robles, San Jose, CA 95134 USA: Maxim Integrated Products, Inc., 2012 [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/UG5475.pdf>
- [25] *S112S01 Series S116S01 Series: SIP Type SSR for Medium Power Control* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/523/233/s216s01f-datasheet-1.pdf>
- [26] *MCP39F501 Data Sheet: Single-Phase, Power-Monitoring IC with Calculation and Event Detection* [online]. Microchip Technology Inc., 2013 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005256A.pdf>
- [27] *ADE7953 Data Sheet: Single Phase, Multifunction Metering IC with Neutral Current Measurement* [online]. Rev. B. One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A: Analog Devices, Inc., 2013 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADE7953.pdf>
- [28] CHYTIL, J. *Systém FLATcon – detekce úniku plynu s RF komunikací*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 51s. Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

AP	Access Point, přístupový bod
CAN	Controller Area Network, standard asynchronní sériové sběrnice
CCD	Charge-coupled device, technologie snímání obrazové informace
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor, technologie snímání optické informace
CRC	Cyclic redundancy check, cyklický redundantní součet
DPS	Deska Plošných Spojů
EMC	Electromagnetic compatibility, elektromagnetická kompatibilita
EMI	Elektromagnetická interference
FET	Field-Effect Transistors, tranzistor řízený elektrickým polem
FIFO	First in, first out, označení datové struktury fronta
FPGA	Field Programmable Gate Array, Programovatelné hradlové pole
GPIO	General Purpose In/Out, Vstup/Výstup k obecnému účelu
H.264	Standard pro kompresi videa
IP	Internet Protocol, Internetový protokol (síťová technologie)
IR	Infrared Radiation, Infračervené záření
JPEG	Joint Photographic Expert Group, metoda digitální komprese obrazu
LAN	Local Area Network, Lokální síť
LED	Light-Emitting Diode, Dioda emitující světlo
OS	Operační Systém
PIR	Passive InfraRed sensor, Pasivní infračervený senzor
PLC	Programmable Logic Controller, Programovatelný logický automat
RF	Radio Frequency, Rádiová frekvence
RZ	Registrační Značka
SMD	Surface Mount Device, Součástka pro povrchovou montáž plošných spojů
SSR	Solid State Relay, Relé bez pohyblivých částí
TCP	Transmission Control Protocol, Protokol s kontrolou přenosu
UART	Universal Asynchronous Receiver and Transmitter, Univerzální asynchronní přijímač a vysílač
UTP	Unshield Twisted Pair, Nestíněný křížený pár
Wi-Fi	Wireless Fidelity, obchodní název pro bezdrátové rozhraní počítačové sítě

SEZNAM PŘÍLOH

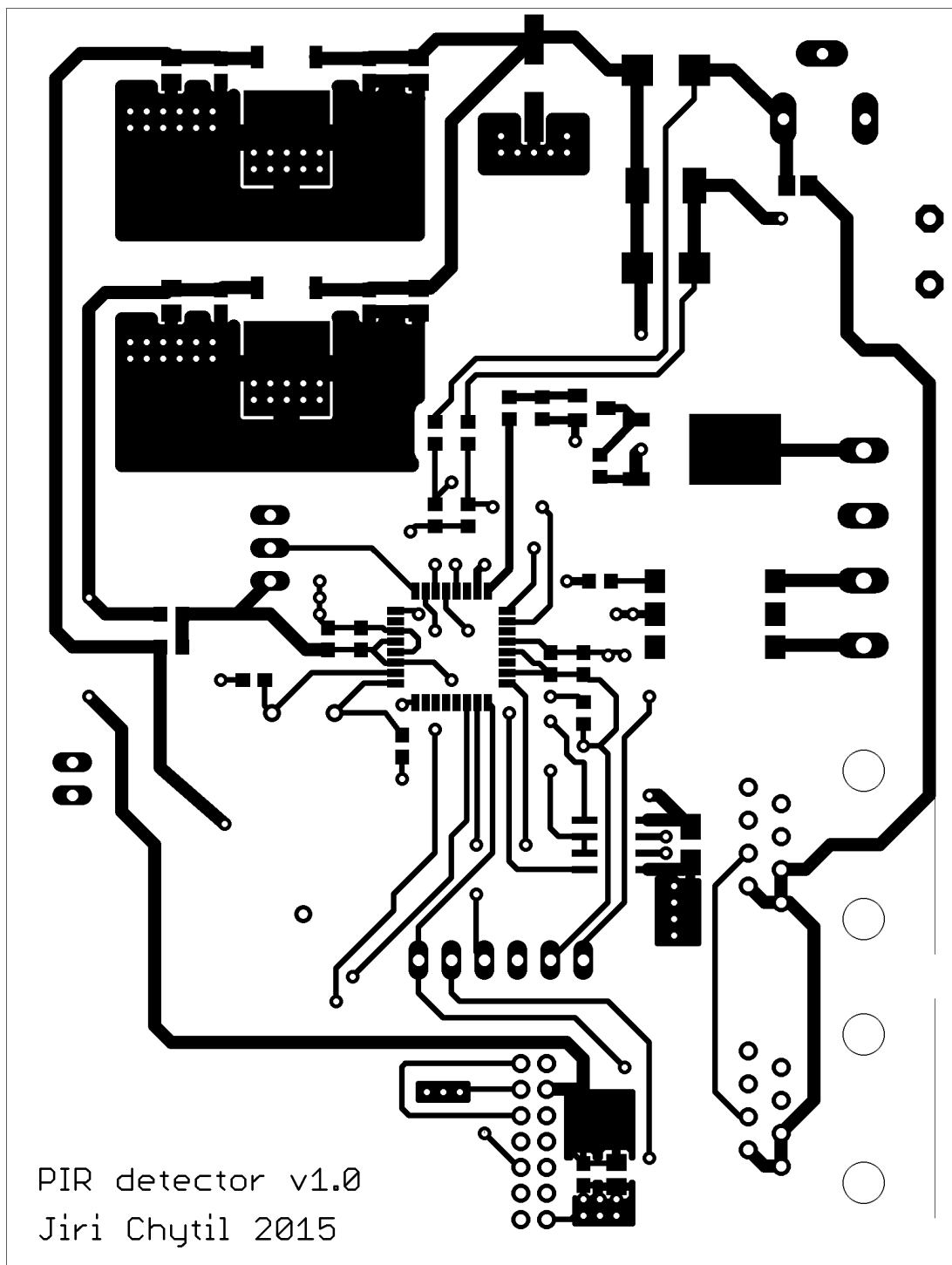
Přílohy v tištěné podobě

Příloha A:	Deska plošných spojů jednotky zabezpečení.....	74
Příloha B:	Deska plošných spojů jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty.....	76
Příloha C:	Deska plošných spojů jednotky chytré zásuvky.....	78
Příloha D:	CD	

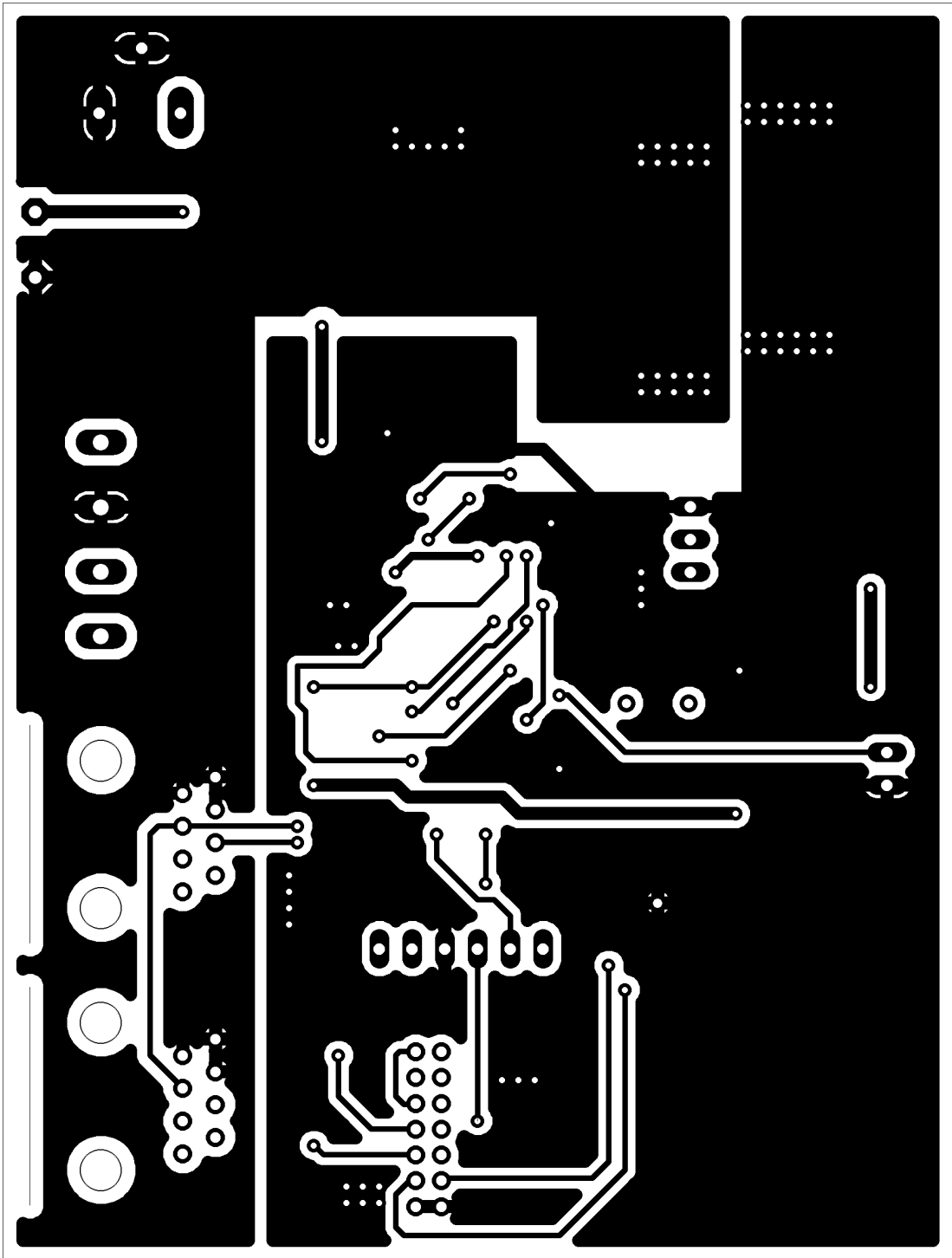
Přílohy na CD

Příloha 1:	Práce v elektronické podobě
Příloha 2:	Deska plošných spojů jednotky zabezpečení
Příloha 3:	Deska plošných spojů jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty
Příloha 4:	Deska plošných spojů jednotky chytré zásuvky
Příloha 5:	Softwarové vybavení jednotky zabezpečení
Příloha 6:	Softwarové vybavení jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty

PŘÍLOHA A

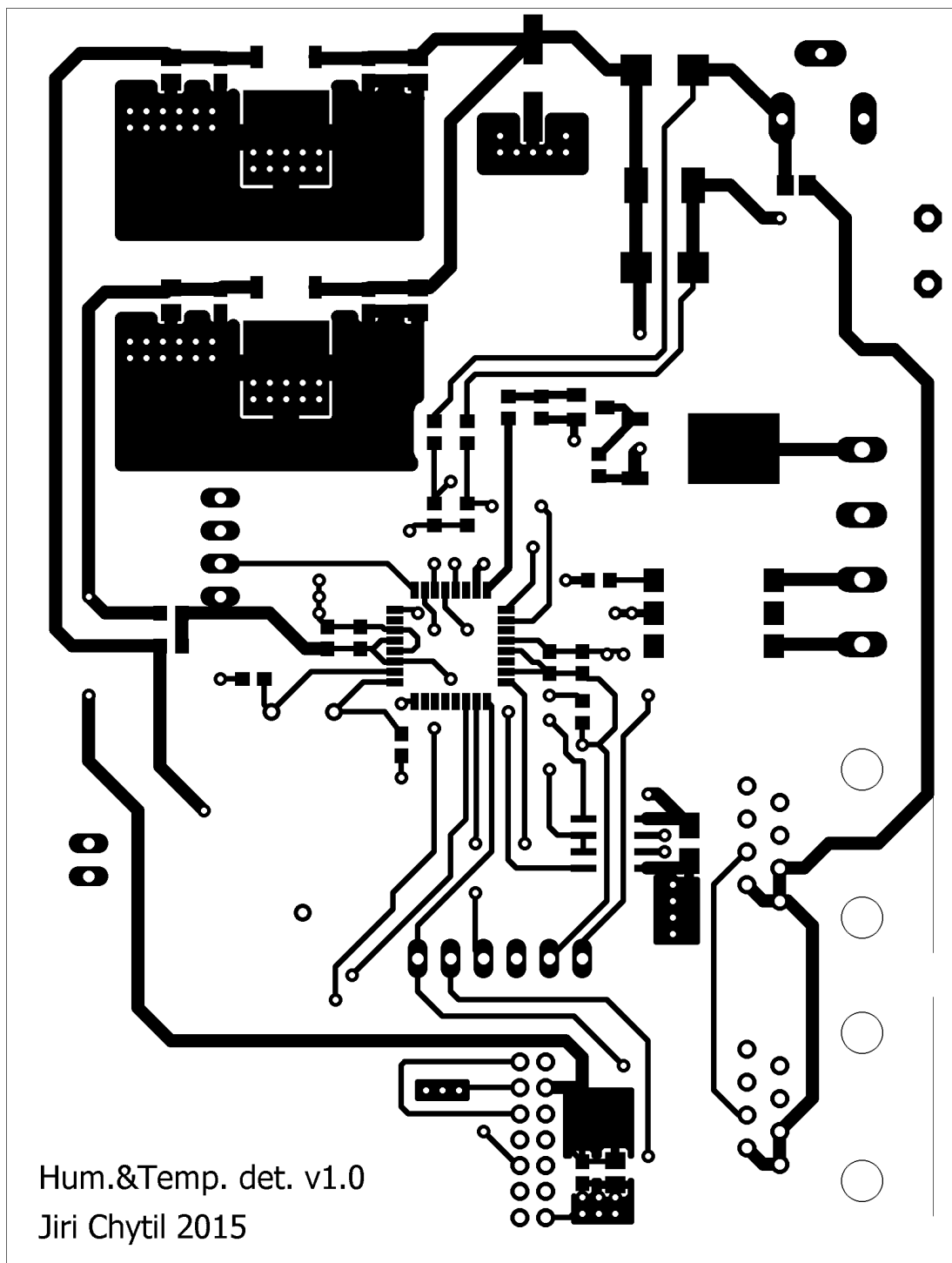


DPS jednotky zabezpečení – pohled shora

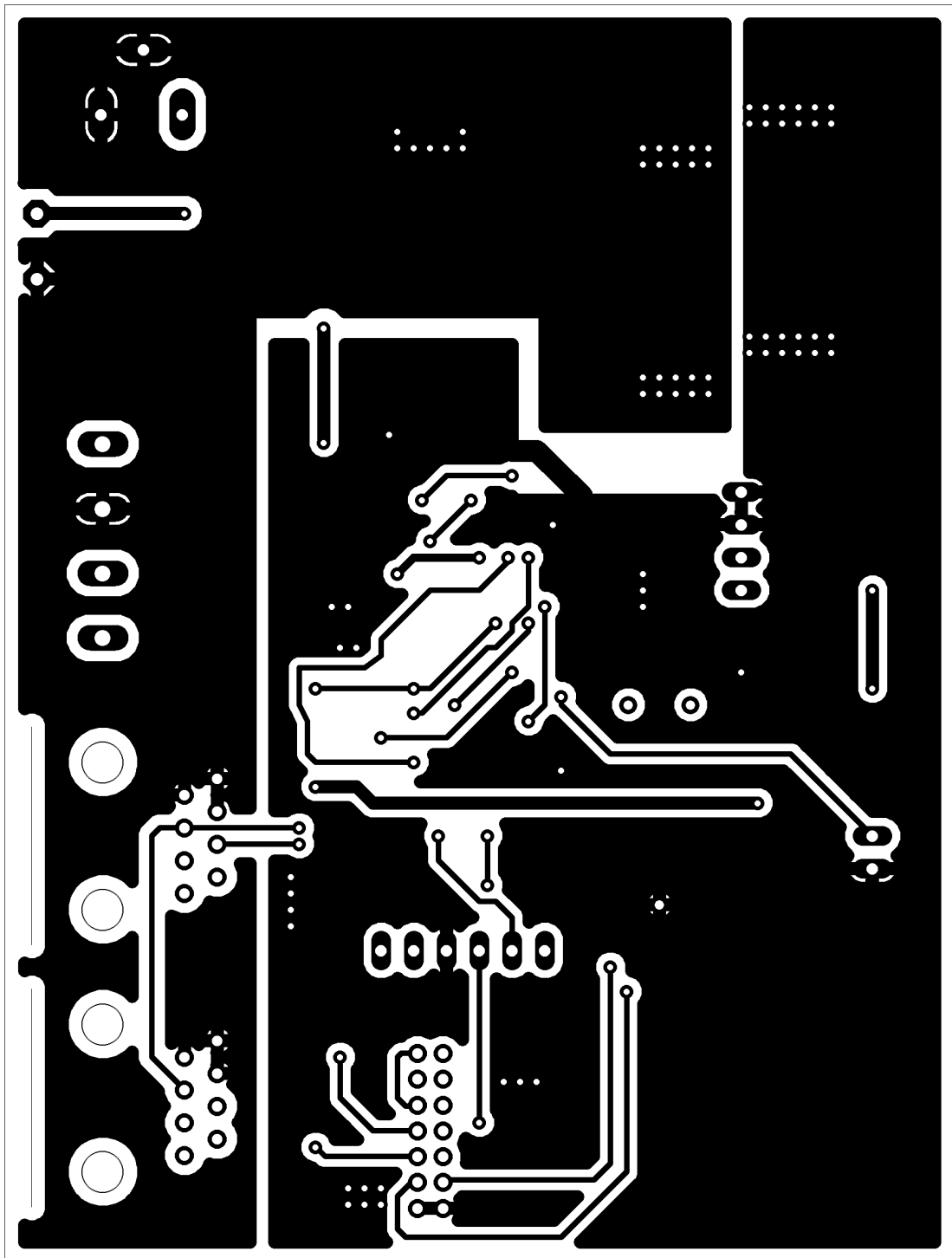


DPS jednotky zabezpečení – pohled zdola

PŘÍLOHA B

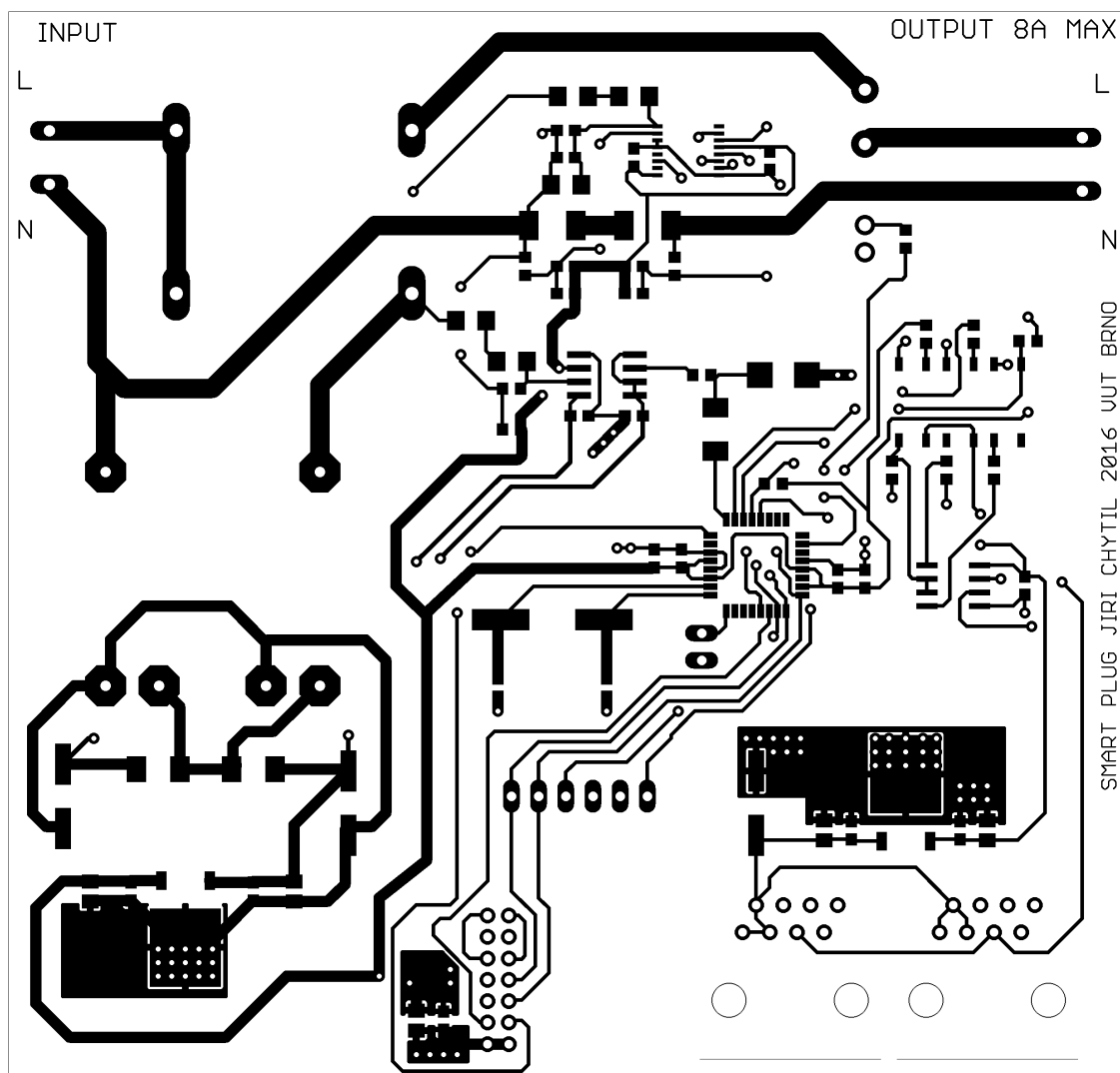


DPS jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty – pohled shora

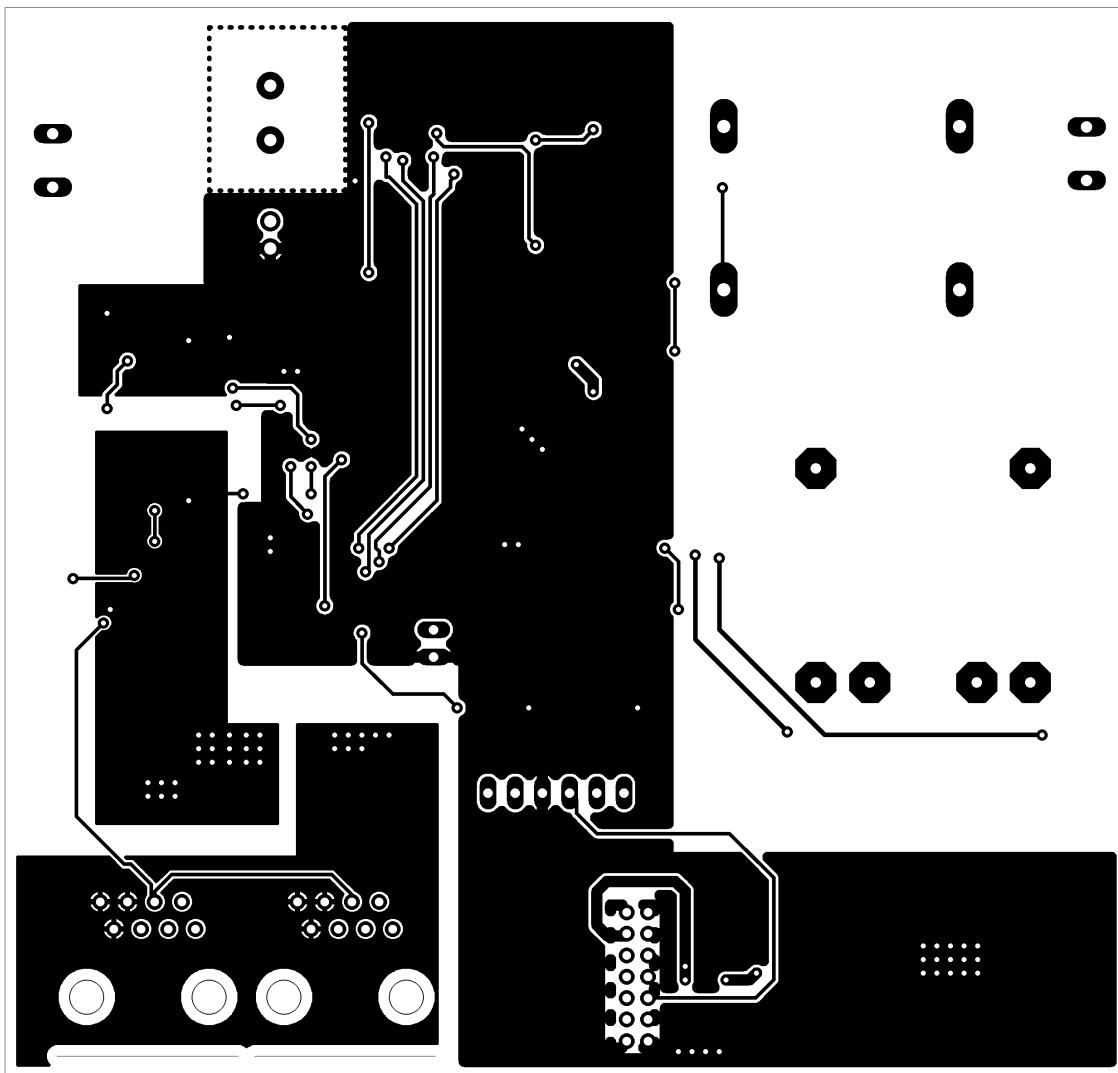


DPS jednotky měření vzdušné vlhkosti a teploty – pohled zdola

PŘÍLOHA C



DPS jednotky chytré zásuvky – pohled shora



DPS jednotky chytré zásuvky – pohled zdola