



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

SMART METERING

SMART METERING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Libor Lahodný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zoltán Szabó, Ph.D.

BRNO 2016



Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**

Ústav radioelektroniky

Student: Bc. Libor Lahodný

ID: 146048

Ročník: 2

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Smart metering

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte problematiku chytrých měřicích systémů pro domácnost. Navrhněte kompletní konstrukční řešení, řídicí jednotky a chytrých zásuvek. Požadavkem je, aby bylo možné přístroje připojený do zásuvky na dálku vypnout a zapnout, měřit spotřebu a neměřené hodnoty prohlížet skrz počítač. Provedte fyzickou realizaci celého systému. Pomocí měřicích přístrojů ověřte správnou funkci realizovaného systému.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] TARNG, M. M. Smart integrated socket automation system [online]. United States Patent, US5793125 A, 1998 - [cit. 10.5.2014]. Dostupné na [www: http://www.google.com/patents/US5793125](http://www.google.com/patents/US5793125).

[2] HERWIG, B. Chytré ovládání domácnosti [online]. DigiRoom.cz, 2013 - [cit. 10.5.2014]. Dostupné na [www: http://digiroom.digizone.cz/clanky/chytre-ovladani-v-domacnosti](http://digiroom.digizone.cz/clanky/chytre-ovladani-v-domacnosti).

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 19.5.2016

Vedoucí práce: Ing. Zoltán Szabó, Ph.D.

Konzultant diplomové práce:

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D., 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. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Semestrální práce se zabývá návrhem systému chytrých zásuvek a jejich řízení. Zásuvky jsou řízeny bezdrátově centrální jednotkou. V zásuvce je integrovaný senzor proudu určený k měření spotřeby přístroje. V případě potřeby je možné dálkově přístroj v zapojení v zásuvce odpojit od elektrické sítě. Práce obsahuje rozbor jednotlivých prvků systému, návrh elektrických schémat a desek plošných spojů. V konstrukci je obsažen ethernet modul, který slouží k zobrazování údajů pomocí počítače. Zařízení bylo vyrobené a otestované.

KLÍČOVÁ SLOVA

Inteligentní elektroměry, Ovládané zásuvky, Domovní automatizace, Arduino, Měření spotřeby

ABSTRACT

Semester paper describes the design of smart sockets and their management. Sockets are wirelessly controlled by a central unit. The socket has an integrated sensor, designed to measure current consumption of the device. If necessary, it can remotely disconnect the unit plugged in socket from AC network. Work includes analysis of individual system elements, design of electrical schematics and PCB. In the construction is included ethernet module, which is used to display data using a computer.. The device has been constructed and tested.

KEYWORDS

Smart metering, Controlled sockets, Home automation, Arduino, Measuring power consumption

LAHODNÝ, L. *Smart metering*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2016. 36 s., 9 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Zoltán Szabó, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma Smart metering 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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat Ing. Z. Szabóovi Ph. D. za vedení mé diplomové práce, cenné rady a odborný dohled. Dále bych rád poděkoval mým rodičům za podporu a motivaci.

Experimentální část této diplomové práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře
vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072

Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

OBSAH

1	Úvod do chytrých měřících systémů	2
1.1	Smart metering.....	2
1.2	Současnost a budoucnost Smart meteringu	3
1.3	Přístroje používané pro měření elektrické energie	3
2	Teoretický návrh systému	7
2.1	Předpoklady a požadavky na zařízení.....	7
2.2	Řídící jednotka systému.....	7
2.2.1	Arduino Mega2560	8
2.2.2	Ethernet modul.....	9
2.2.3	SPI sběrnice	9
2.2.4	Měřicí část řídicí jednotky	10
2.2.5	Komunikační moduly	11
2.3	Modul zásuvky.....	14
2.3.1	Arduino Pro micro	14
2.3.2	AC/DC měnič	15
2.3.3	Měřicí část.....	16
2.3.4	Spínání zátěže	17
3	Praktický návrh systému	19
3.1	Blokové schémata systému.....	19
3.2	Elektrotechnická schémata	20
4	Software zařízení	24
4.1	Zdrojový kód řídicí jednotky	24
4.2	Zdrojový kód bezdrátové zásuvky.....	25
4.3	Vizualizace webového prostředí.....	26
5	Konstrukce zařízení	28
5.1	Řídící jednotka.....	28
5.2	Zásuvkový modul	29
6	Ověření parametrů a funkčnosti zařízení	31
6.1	Test dosahu zařízení.....	31

6.2	Měření výkonu.....	31
6.3	Další měření parametrů.....	33
6.4	Shrnutí parametrů	34
7	Závěr	35

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr 1.1: Inteligentní elektroměr Landis+Gyr E450 [3].....	4
Obr 1.2: Wattmetry EGM-PWM-LAN (vlevo) a EG-PM1W-001(vpravo) [1]	5
Obr 1.3: Řídící jednotka systému Fibaro	5
Obr 1.4: Spínaná zásuvka systému Fibaro.....	6
Obr 2.1: Vývojový kit Arduino ATmega 2560 [6][7]	8
Obr 2.2: Ethernet modul ENC28J60 [8][6]	9
Obr 2.3: Principiální zapojení sběrnice SPI.....	10
Obr 2.4: Napěťový transformátor ZMPT101B [6]	11
Obr 2.5: Komunikační modul nRF24L01 [9] (vlevo) a nRF905 [10] (vpravo)	12
Obr 2.6: Komunikační modul RFM12B [11]	13
Obr 2.7: Modul CC1101 [12]	13
Obr 2.8: Vývojový kit Arduino pro micro [6]	15
Obr 2.9: AC/DC měnič 5 V 700 mA	15
Obr 2.10: Ideální průběh měření proudu obvodu ACS712 ($I_{max} = 20$ A) [16].....	16
Obr 2.11: Typická aplikace IO ACS712 [16].....	17
Obr 2.12: Bistabilní relé 16A/250V AC [15]	18
Obr 3.1: Blokové schéma řídicí jednotky	19
Obr 3.2: Blokové schéma modulu zásuvky	20
Obr 3.3: Napájecí část řídicí jednotky	20
Obr 3.4: Obvod stabilizátoru napětí.....	21
Obr 3.5: Schématické zapojení modulu zásuvky.....	22
Obr 3.6: Zapojení bezdrátového modulu s mikrokontrolérem	23
Obr 4.1: Vývojový diagram zdrojového kódu řídicí jednotky.....	25
Obr 4.2: Vývojový diagram zdrojového kódu bezdrátové zásuvky	26
Obr 4.3: Vizualizace webového prostředí: hlavní menu, ovládaní zásuvek a aktuální hodnoty	27
Obr 4.4: Vizualizace webového prostředí: menu historie, denní spotřeba a spotřeba v týdnu	27
Obr 5.1: Konstrukční řešení řídicí jednotky	28
Obr 5.2: Náhled řešení desky plošných spojů spínané zásuvky	29

Obr 5.3: Řešení zásuvkového modulu	30
Obr 6.1: Měření přesnosti měřeného napětí.....	32
Obr 6.2: Měření určené ke zjištění chyby zařízení	32
Obr 6.3: Závislost relativní chyby měření na odebíraném výkonu.....	33

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1: Přehled bezlicenčních pásem a jejich maximální vyzářený výkon [13]....	12
Tabulka 2.2: Porovnání vlastností komunikačních modulů [9][10][11].....	14
Tabulka 3: Přehled zapojení modulu přes sběrnici sériového rozhraní	21
Tabulka 4: Význam polí v komunikačním řetězci	25
Tabulka 5: Shrnutí parametrů zařízení smart metering	34

ÚVOD

Tato práce spadá do oblasti inteligentních měřidel. Cílem je se seznámit s chytrými měřicími systémy pro domácnost. Dalším cílem je návrh řešení vlastního měřicího systému schopného měřit spotřebu přístrojů zapojených v zásuvkách a zobrazení měřených hodnot pomocí počítače a v případě požadavku vypnutí zásuvek.

Práce je rozdělena dle kapitol do šesti základních částí. V první části je teoreticky popsán pojem smart metering, úvod do jeho problematiky a příklady přístrojů s ním spjatých. V druhé kapitole je teoretický návrh systému obsahující, jsou zde pojednány předpoklady na zařízení a rozbor vlastností součástí použitých v práci.

Další kapitoly se již týkají praktického návrhu. Jsou zde navržena bloková schémata a z nich obvodová schémata. Čtvrtá kapitola ukazuje základ řízení zařízení, jsou zde popsány zdrojové kódy a ukázána internetová aplikace určená pro ovládání systému. V páté kapitole je ukázané a popsané vyrobené zařízení následované ověřením jeho parametrů za pomoci měřicích přístrojů.

1 ÚVOD DO CHYTRÝCH MEŘÍCÍCH SYSTÉMŮ

1.1 Smart metering

Smart metering je systém pro měření spotřeby elektrické energie. V minulosti, do jisté míry i v současnosti se pro tento účel používají klasické elektroměry instalované distributory elektrické energie u odběratelů. Dříve byly používány mechanické indukční elektroměry pracující na principu točivého magnetického pole. S rozvojem elektroniky byly postupně nahrazeny elektronickými impulzními elektroměry s displeji, které mají menší vlastní spotřebu a menší náběhové proudy.

Aby bylo možné zohlednit odebrání energie v době kdy je na síti její přebytek, byly zavedeny pro jednotlivé období během dne různé sazby. V minulosti byla příslušná časová období pevně dána a elektroměr musel být vybaven hodinami, které přepínaly sazby. Dnes jsou elektroměry ovládány prostřednictvím HDO¹. Hodnoty naměřené elektroměrem jsou pak v pravidelných intervalech odečteny pracovníkem distributora. Z těchto údajů je zpracováno vyúčtování spotřebované elektrické energie.

Smart metering je nová koncepce měření spotřeby elektrické energie a je součástí tzv. chytrých sítí (smart grids). Znamená dálkovou obousměrnou komunikaci mezi měřícím přípravkem a datovou centrálou. Umožňuje sbírání dat z měření spotřeby, vyhodnocování, řízení připojení a odpojení měřících míst. Možností je taktéž informování zákazníka o aktuální spotřebě. Zákazník tak získá ve spojení s inteligentní domácností možnost spotřebu více ovlivnit a díky tomu si v budoucnu vybrat ze široké nabídky tarifů, tím snížit finanční náklady na spotřebovanou energii.

Další výhodou současných inteligentních elektroměrů je, že spotřebu měří průběžně a ukládají si ji do paměti. Jsou schopny vyhodnotit a zaznamenat i „kvalitu dodávky“ kterou ovlivňuje přepětí, podpětí nebo odchylky od požadované frekvence. Získaná data se přenáší bez zásahu lidské obsluhy do datového centra, kde se využijí pro lepší technické řízení sítě a pro kvalitnější obchodní řízení nákupu elektrické energie. Napomohou taktéž rychlejší obnově dodávky v případě poruch, nebo i takzvaný ostrovní provoz, který při přerušení důležitého vedení zajistí přepojení menšího regionu přímo na místní výrobní zdroje s vyrovnanou bilancí spotřeby a dodávky elektrické energie [1].

¹ Hromadné dálkové ovládání

1.2 Současnost a budoucnost Smart meteringu

V posledních letech se několikrát objevily problémy se sítí, resp. problémy s dodávkami elektrické energie. Z tohoto důvodu Itálie jako průkopník v roce 2000 zahájila pilotní projekt Smart Meteringu. Hlavním impulzem pro celoplošný přechod od pouhého měření k řízení pro Itálii byl blackout v roce 2003. Dnes již má Itálie touto technologií osazeno více než 30 milionů měřících míst.

Pro zbylé státy EU vychází požadavek na masivní zavádění chytrých měřidel z evropské směrnice projektu Grid4EU. Evropská unie předpokládá, že v roce 2020 dosáhne instalace chytrých měřidel v distribuční síti 80%. Z toho Francie plánuje nasadit v tomto období 35 milionů měřidel. Velká Británie 30 milionů a Španělsko chce do roku 2018 nainstalovat 13 milionů chytrých elektroměrů.

V České republice dva největší dodavatelé elektrické energie, skupina ČEZ a E.ON taktéž počítají s plošným zavedením inteligentních elektroměrů. Probíhá již pilotní projekt inteligentního měření. Projekt obsahuje přibližně 40 tisíc odběrných míst a testuje fungování vzdáleného odečtu energie, sledování bilance odebírané i zpět do sítě dodané energie. Dodávky zpět do sítě jsou způsobeny trendem instalace FVE² v jednotlivých domácnostech. Dalším efektem by mělo být snížení neoprávněných odběrů energie [1].

1.3 Přístroje používané pro měření elektrické energie

Přístrojů určených pro měření spotřeby elektrické energie je v dnešní době nepřeberné množství. Dají se dělit do několika skupin, podle místa použití, maximálního měřeného proudu, počtu fází nebo přesnosti.

Jedním z největších výrobců klasických elektroměrů na evropském trhu je švýcarská společnost Landis+Gyr vlastněná od roku 2011 společností Toshiba Corporation. Firma vyrábí tři základní skupiny elektroměrů dle jejich použití. První skupina je určena pro domácnosti, druhá pro rozvodné sítě a poslední pro průmysl a energetiku.

Elektroměr pro domácnosti je schopen měřit třífázový proud až do 80 A. Implementuje v sobě zařízení pro sběr energetických dat, uzel pro obousměrnou komunikaci a rozhraní pro komunikaci s koncovým uživatelem. Dále obsahuje bezdrátové rozhraní M-Bus, 3 - pólový odpojovač, dvě relé pro řízení zátěže a digitální vstup. Vyrábí se ve dvou variantách obsahující PLC³ nebo komunikační modul 2G/3G. Minimální proud, který je schopen měřit je 0,25 A. Tyto přístroje se již plošně používají ve státech EU v projektu Grid4EU. Nevýhodou však je měření pouze na hlavním přívodu do objektu. Ukázka měřícího přístroje je zobrazena na Obr 1.1.

² Fotovoltaická elektrárna

³ Powerline Communication (přenos zpráv po elektrické síti)



Obr 1.1: Inteligentní elektroměr Landis+Gyr E450 [3]

Společností zabývajících se mimo jiné výrobou wattmetrů je holandská společnost EnerGenie. Na trhu má několik variant přístrojů. Všechny jsou určeny k zapojení do zásuvky. Jednotlivé produkty se liší rozhraními, díky kterým komunikují s okolím. Jsou schopny komunikovat přes USB, Lan nebo Wi-Fi. Úlohu řídicí jednotky zde vždy plní počítač, který shromažďuje data a stará se o komunikaci.

První typ zásuvkového wattmetru komunikuje přes ethernet Obr 1.2. Je schopen měřit s přesností $\pm 2\%$ v rozsahu 50 W – 2500 W. Maximální proud zátěží je udáván výrobcem 10 A, přičemž maximální vlastní spotřeba činí 1,4 W.

Druhý typ přístroje komunikuje již bezdrátově pomocí Wi-Fi, přičemž je schopen pracovat jako repeater podporující protokoly 802.11 b/g/n. Oproti předchozímu modelu je možnost zapojit zátěž odebírající proud až 16 A. Avšak má nepatrně větší vlastní spotřebu, která dosahuje maximálně 2,5 W. [4]



Obr 1.2: Wattmetry EGM-PWM-LAN (vlevo) a EG-PM1W-001(vpravo) [1]

Oba tyto přístroje jsou schopny sledovat spotřebu pomocí grafů na PC. Po nastavení ceny za kWh jsou taktéž schopny vypočítat přibližnou cenu energie, kterou přístroj zapojený do zásuvky spotřebuje. Nevýhodou prvního přístroje je nutnost připojení k internetu pomocí LAN a malá proudová zatížitelnost. Oba tyto problémy řeší druhý přístroj, který již komunikuje bezdrátově, nicméně neobsahuje možnost dálkového vypnutí zapojeného přístroje [4].

Další společností zabývající se měřením spotřeby a řízením inteligentní domácnosti je Fibar Group Sp. Systém nazývaný Fibaro obsahuje vždy řídicí jednotku tzv. Home Center (Obr 1.3). S touto řídicí jednotkou komunikují další prvky na frekvenci 868 MHz. Mezi nejzajímavější prvky patří detektor kouře, zaplavení, pohybové čidla, termohlavice nebo spínané zásuvka.



Obr 1.3: Řídicí jednotka systému Fibaro

Spínaná zásuvka (Obr 1.4) obsahuje funkci měření elektrické energie a spínání. Umožňuje ovládat elektrická zařízení o trvalém maximálním příkonu 2,5 kW tedy 11 A. Indikace odebírané energie probíhá mimo jiné díky barevnému LED proužku na zásuvce. Zásuvka je řízena mikroprocesorem a komunikuje s řídicí jednotkou pomocí bezdrátového protokolu Z-Wave určeného pro ovládání bezdrátové domácí automatizace.

Výkon vysílače zařízení pracujícího na frekvenci 868,4 MHz je 1 mW, čímž je dle specifikace docílen dosah uvnitř budovy až 30 m. Zásuvka umožňuje mnoho nastavení, mezi něž patří vypnutí v případě zkratu nebo vypnutí v určitém časovém intervalu. Její vlastní spotřeba zařízení činí 0,8 W. Přesnost měření výkonu není nikde výrobcem uvedena.



Obr 1.4: Spínaná zásuvka systému Fibaro

2 TEORETICKÝ NÁVRH SYSTÉMU

Začátek kapitoly teoretický návrh systému pojednává o představě, jaké by mělo mít zařízení parametry a co musí zařízení obsahovat za součástky tak aby splňovalo všechny požadavky a vykazovalo co nejlepší technické parametry. V další části kapitoly jsou teoreticky popsány jednotlivé součástky, které jsou použity nebo o kterých se jednalo při návrhu. Komponenty jsou rozděleny zvláště pro řídicí jednotku a pro zásuvkový modul.

2.1 Předpoklady a požadavky na zařízení

Mezi hlavní požadavek systému smart metering patří měření výkonu a shromažďování informací o spotřebě elektrické energie. Měření výkonu bude probíhat na zásuvkách, bude tedy možné kontrolovat odběr elektrické energie jednotlivých spotřebičů. K měření proudu bude použit střídavý ampérmetr implementovaný v zásuvce. Naměřená data o spotřebě spotřebiče se zaznamenají a předají řídicí jednotce. Řídicí jednotka shromáždí informace ze všech zásuvek spárovaných s touto jednotkou. Komunikace mezi ŘJ a zásuvkovými moduly bude probíhat bezdrátově v některém bezlicenčním kmitočtovém pásmu, přičemž ŘJ bude plnit funkci master a řídit tím komunikaci s jednotlivými slave, pokrytí dosahu komunikace je nutný minimálně v rámci podlaží.

V případě požadavku bude řídicí jednotka schopna odpojit spotřebiče zapojené v zásuvce od elektrické energie. K tomuto účelu bude v zásuvce umístěn spínací prvek. Mezi dnes běžně používané spínací součástky pro síťové napětí patří například tyristory, triaky nebo relé. Tento prvek by měl být schopen spínat proud minimálně 16 A. Součástka by měl přitom být ovládána po úpravě stejnosměrným napětím z výstupních pinů mikrokontroléru. Prvek je nutné volit taktéž s ohledem na vlastní spotřebu a rozměry.

Díky připojení řídicí jednotky k internetu pomocí ethernetu by měl být systém schopen zobrazovat informace o spotřebě pomocí počítače nebo chytrého telefonu. K tomuto účelu bude sloužit jednoduchá webová aplikace. Jejím úkolem je zobrazovat aktuální spotřebu zásuvek spolu s historií spotřeby.

Řídicí jednotka bude navrhována s ohledem na možnost vložení do boxu a nainstalování na DIN lištu do rozvaděče. Modul zásuvky bude konstrukčně stavěn s ohledem na velikost a kompaktnost. Zařízení bude odzkoušeno na měřicích přístrojích z hlediska přesnosti měření a dosahu jednotlivých modulů a dalších parametrů.

2.2 Řídicí jednotka systému

Řídicí jednotka je hlavním dílem komunikujícím se všemi zásuvkami zapojenými v systému. Získává od jednotlivých modulů informace o aktuální spotřebě, popřípadě ovládá zapnutí a vypnutí jednotlivých zásuvek a stará se o bezdrátovou komunikaci s moduly. Jejím dalším úkolem je nashromážděné informace zpracovat a v případě potřeby zobrazit online pomocí internetové aplikace.

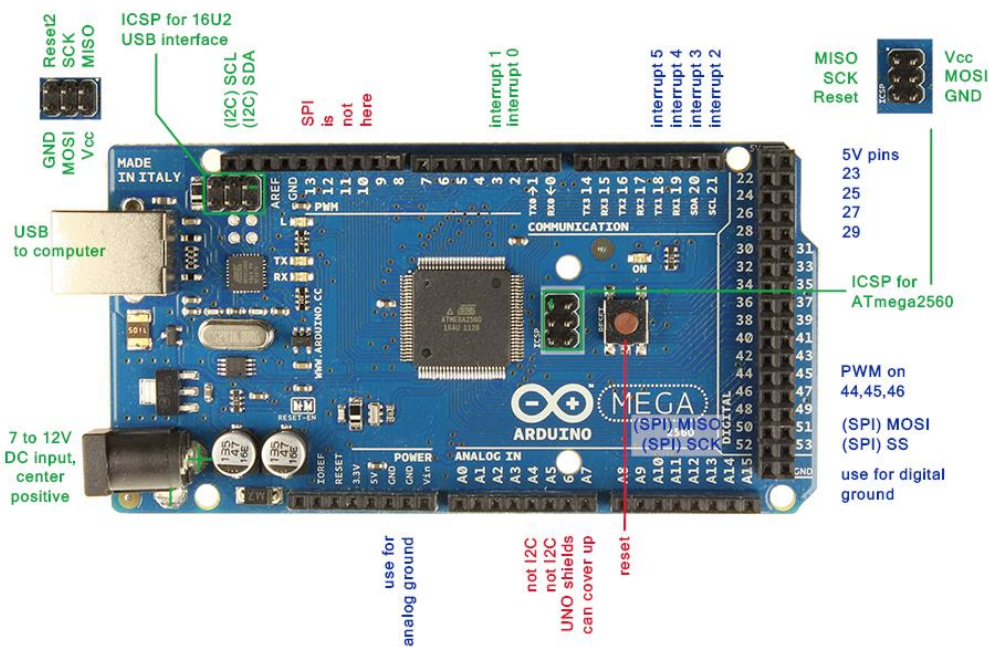
Hlavní částí řídicí jednotky je vývojová deska Arduino Mega2560, která slouží jako řídicí člen systému. Obsluhuje bezdrátový modul určený ke komunikaci mezi zařízeními,

napětový transformátor sloužící k měření napětí na síti a ethernet modul umožňující vkládání dat do internetové aplikace a ovládání systému uživatelem. Poslední částí řídicí jednotky je modul pro paměťovou kartu, ten bude sloužit pro případné zálohování dat spotřeb získaných z jednotlivých zásuvek.

2.2.1 Arduino Mega2560

Jak již bylo zmíněno hlavním prvkem řídicí jednotky je vývojová deska Arduino. Jedná se o platformu s otevřeným zdrojovým kódem postavenou na mikrokontroléru ATmega. Arduino lze použít k vývoji zapojení s pomocí software na počítači (např. Macromedia Flash, Processing, Pure Data). Projekt Arduino vznikl v Itálii v roce 2005. Cílem bylo vytvořit jednoduchou platformu pro studenty. Desky vyrábí italská firma Smart Projects požívá při tom 8 - bitové mikrokontroléry od firmy Atmel, ATmega8, ATmega168, ATmega328, ATmega1280 a ATmega2560 (Obr 2.1).

Vývojová deska použita v projektu je postavena na mikrokontroléru ATmega 2560 od firmy AVR, s připojeným externím 16 MHz krystalem. Programování probíhá pomocí konektoru USB. Maximální proud odebíraný z vstupně/výstupních pinů je 40 mA a mají interní pull-up rezistory 20 – 50 kΩ.



Obr 2.1: Vývojový kit Arduino ATmega 2560 [6][7]

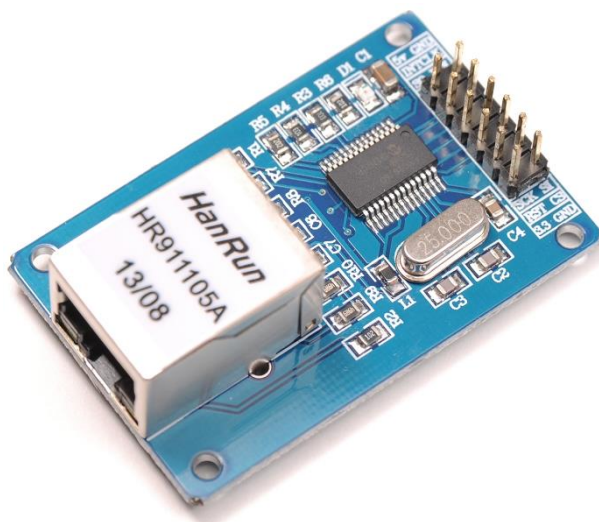
Procesor ATmega2560 má 54 digitálních vstupně/výstupních portů, z toho 15 je použito jako PWM⁴ výstup, 16 analogových vstupů s 10 – bitovým rozlišením a 4 Hardwarové porty UART. Obsahuje flash paměť je 256 kB z toho je 8 kB použito na bootloader, statickou paměť (SRAM) o velikosti 8kB a

⁴ Pulse width modulation (Pulzně šířková modulace)

EEPROM⁵ s 4 kB paměti [6][7].

2.2.2 Ethernet modul

Ethernetový modul ENC28J60 (Obr 2.2) je řadič produkováný firmou Microchip Technology. S řídicím MCU⁶ je zajištěna komunikace přes sběrnici SPI. Jedná se o sériovou sběrnici, která ke spojení vyžaduje čtyři signály (hodiny, datový vstup, datový výstup a CS) kde je připojen jeden obvod v roli Master a řídí komunikaci s jedním či více obvody v roli Slave. Tento kontrolér splňuje všechny normy ethernetu (IEEE 802.3). To zahrnuje početné množství filtrovacích možností pro omezení nebo "zahazování" přichozích paketů. Dále je v zařízení přítomen DMA⁷ modul pro rychlejší průchodnost dat a pro hardwarovou kalkulaci CRC⁸, což velmi urychlí výpočet těchto kódů a tedy i propustnost paketů. Řadič implementuje přerušení i resetovací pin, takže může být lehce začleněno do komplexnějších přerušovacích a resetovacích systémů. RJ45 konektor s integrovanými pulsními transformátory obsahuje i dvě LED pro signalizaci. Napájení modulu je napětím 3.3 V [6][8].



Obr 2.2: Ethernet modul ENC28J60 [8][6]

2.2.3 SPI sběrnice

Sběrnice spi je jedna z forem sériových externích sběrnic, která slouží pro vzájemné propojení dvou či více komunikujících uzlů, kde jedno zařízení vystupuje v roli takzvaného řadiče sběrnice (master) a ostatní uzly pracují v režimu slave. Zařízení pracující v režimu master obsahuje generátor hodinového signálu, který je rozveden do všech ostatních uzlů vodičem označovaným SCK. Kromě hodinového signálu je nutné propojení dvojicí vodičů MISO a MOSI pomocí nichž se obousměrně přenáší data. Posledním signálem, který se u této sběrnice používá je signál SS sloužící k výběru

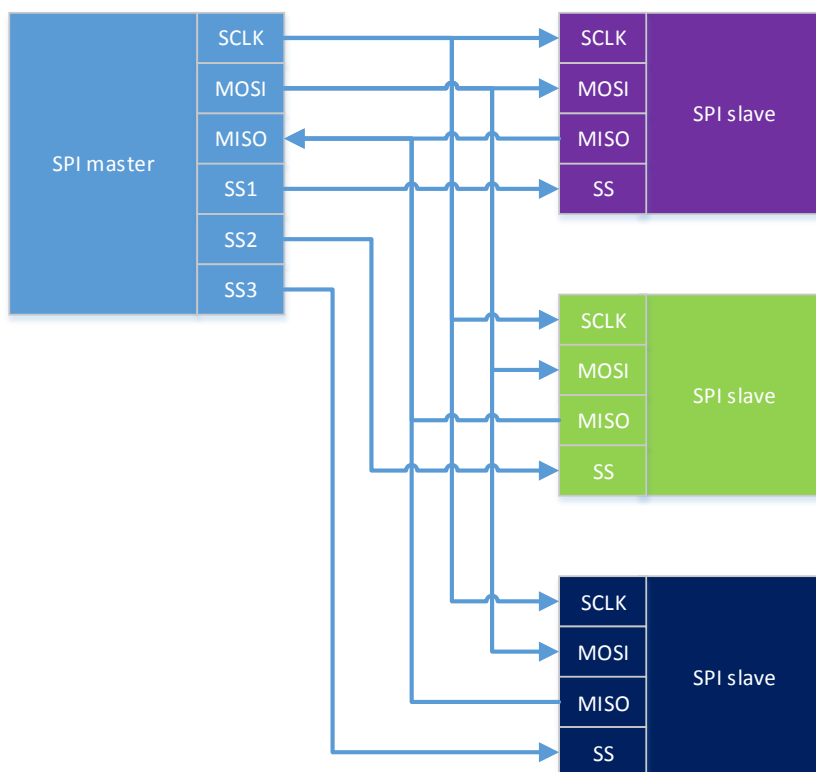
⁵ Elektricky mazatelná semipermanentní paměť typu ROM-RAM

⁶ Microcontroller unit

⁷ Přímý přístup do paměti

⁸ Cyclic redundancy check (Cyklický redundantní součet)

zařízení, které bude pracovat v režimu slave přivedením logické 0 na zařízení. Principiální zapojení je naznačeno na Obr 2.3 a odpovídá předchozímu popisu.



Obr 2.3: Principiální zapojení sběrnice SPI

2.2.4 Měřicí část řídicí jednotky

Pro výpočet spotřebovaného činného výkonu je použit následující vztah [1]. Ze vztahu je vidět, že je nutné znát odebíraný proud, napětí a účiník. Měření probíhá v místě odběru. Je tím tedy měřena přímo spotřeba přístroje zapojeného do zásuvky.

$$P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi) \quad (2.1)$$

Druhou veličinou, která ovlivní měření výkonu je napětí. Jmenovité napětí v elektrické síti České Republiky je 230 V. Toto napětí se však může měnit, dle ČSN s tolerancí až $\pm 10\%$ v závislosti na odběrném místě resp. vzdálenosti od kioskové trafostanice. Napětí se tedy může pohybovat v rozsahu 207 – 253 V. Rozsah změny napětí se může měnit v závislosti na místě odběru až o 20 % a tím i vypočtený činný výkon. Je proto nutné napětí měřit. K tomuto účelu bude sloužit miniaturní napěťový transformátor transformující napětí ze sítě na napětí, které je možno zpracovat mikrokontrolérem tedy v rozsahu 0-5 V (Obr 2.4).



Obr 2.4: Napěťový transformátor ZMPT101B [6]

Poslední jednotkou ovlivňující měření výkonu je účinník resp. kosinus fázového posuvu mezi proudem a napětím. Ten je však při měření odběru elektrické energie v domácnostech zanedbáván. Ve větší míře se projeví v místech, kde je větší výskyt indukční zátěže a poté je nutná jeho kompenzace. Rovnice [1] se tedy pro toto měření zjednoduší na vztah zdánlivého výkonu.

2.2.5 Komunikační moduly

Na volbu způsobu komunikace s jednotlivými moduly je nutné klást vysoký důraz. Vzhledem k tomu, že komunikace bude probíhat bezdrátově a poloduplexně, je důležité dosáhnout velkého pokrytí signálem. Pokrytí je nutné předně uvnitř budovy mezi jednotlivými místnostmi a mezi patry. Je závislé především na vysílacím pásmu, vysílacím výkonu, citlivosti, zisku antén a jejich směrové charakteristice.

Vysílací pásma a podmínky pro provoz zařízení krátkého dosahu určených k telemetrii a dálkovému řízení a přenosu dat jsou stanovena všeobecným oprávněním č. VO-R/10/05.2014-3 vydaným Českým telekomunikačním úřadem. Pro radiový přenos dat přichází v úvahu frekvenční pásma 433 MHz, 868 MHz a 2,4 GHz. ČTU uvádí maximální přípustný vyzářený výkon pro tyto pásma, jehož hodnoty jsou uvedeny v Tabulka 2.1. [13]

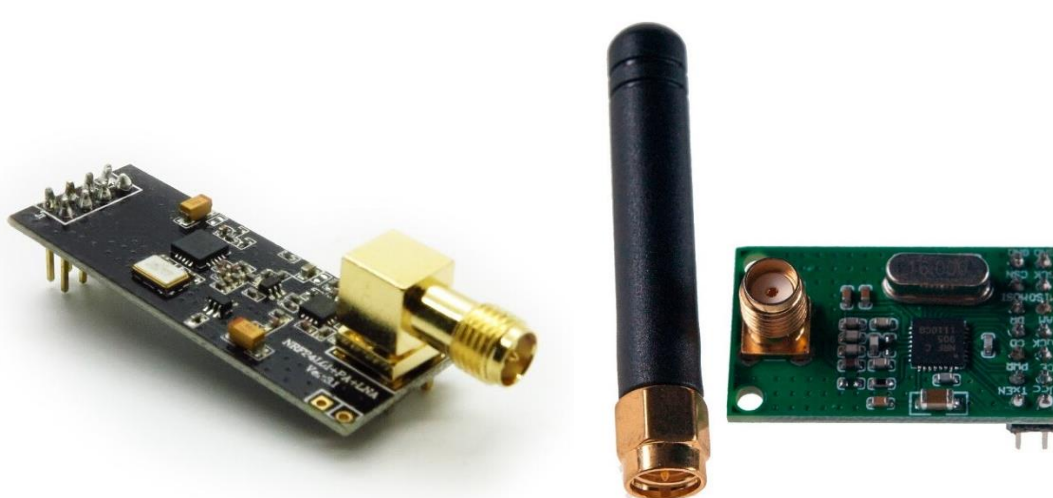
Tabulka 2.1: Přehled bezlicenčních pásem a jejich maximální vyzářený výkon [13]

Frekvenční pásmo	Vyzářený výkon
433,05–434,79 MHz	10 mW e.r.p ⁹
863,0–870,0 MHz	25 mW e.r.p
2400–2483,5 MHz	25 mW e.i.r.p ¹⁰

Dalším důležitým parametrem, který je nutné zohlednit je bezchybnost komunikace mezi řídicí jednotkou a moduly zásuvek. Chyby, které by se vyskytly, mohou způsobit chybné případně žádné údaje spotřeby zásuvek. V neposlední řadě je nutné vybírat obvod pro komunikaci z hlediska spotřeby. Ta může tvořit velice významnou část ztrát energie v případě použití většího počtu jednotek.

Vzhledem k daným požadavkům jsou jednou z možností obvody od firmy Nordic semiconductor. Z jejich nabídky lze vybírat dva základní typy čipů. První je integrovaný obvod nRF24L01 (Obr 2.5) pracující na frekvenci 2,4 GHz. Druhý obvod s označením nRF905 umožňuje pracovat na třech nižších frekvencích. První frekvencí je 433 MHz s šířkou pásma 100 kHz, druhou 868 MHz s šířkou pásma 200 kHz a poslední volitelná frekvence je 915 MHz, na této frekvenci však v rámci ČR nelze bez povolení vysílat.

Obvody nRF se skládají z integrovaného frekvenčního syntezátoru, zesilovače, krystalového oscilátoru, demodulátoru, modulátoru a rozšířeného ShockBurst protokolu. Jsou snadno programovatelné přes sériové periferní rozhraní. Vestavěné režimy Power Down a Standby umožňují úsporu energie. Umožňují kontrolu doručení dat příjemci v případě nedoručení a jsou schopny provést nové vysílání spolu s CRC. Ke komunikaci používají modulaci GFSK¹¹. Maximální odběr obou zařízení je velmi podobný. Při vysílání 14 mA a v pohotovostním režimu 26 uA[9][10].



Obr 2.5: Komunikační modul nRF24L01 [9] (vlevo) a nRF905 [10] (vpravo)

⁹ effective radiated power (efektivní vyzářený výkon)

¹⁰ equivalent isotropically radiated power (ekvivalentní izotropně vyzářený výkon)

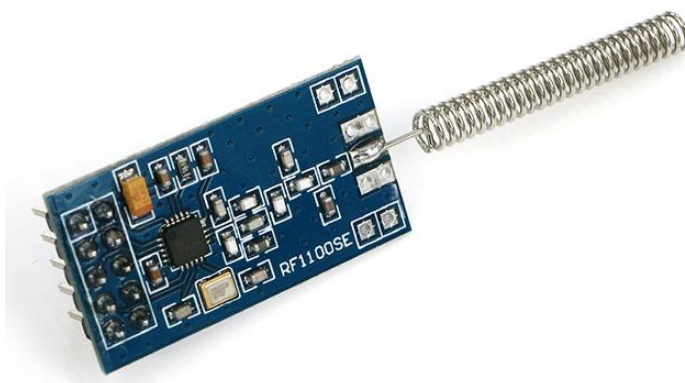
¹¹ Gaussian frequency-shift keying (kmitočtové klíčování s použitím Gaussova filtru)

Další možnost pro bezdrátovou komunikaci nabízí společnost Hoperf microelectronics. Jedná se o specializovanou firmu na výrobu bezdrátových čipů a zařízení. Pro projekt přichází v úvahu řada FSK vysokofrekvenčních modulů, jehož příklad je na Obr 2.6. Lze z ní vybírat v rozsahu frekvencí 240 – 960 MHz a výkonu až do +20 dBm. Řada FSK dále nabízí vestavěné funkce jako detektor nízké baterie, vysílání a přijímání dat v režimu FIFO, nastavení šířky pásma nebo volbu datové rychlosti.[11]



Obr 2.6: Komunikační modul RFM12B [11]

Poslední ze zvažovaných možností je čip transceiveru od výrobce Texas Instruments jehož ukázka je na Obr 2.7. Jedná se o výrobek s označením CC1101 pracující stejně jako předchozí možnosti na napětí 3,3 V a kmitočtech 433 a 868 MHz. Výhodou tohoto modulu je velký výstupní výkon dosahující až 12 dBm, ukládání dat do RX FIFO a nízký práh citlivosti přijímače. Obvody mohou pracovat s třemi různými modulacemi (2-FSK, 4-FSK, GFSK). Tento modul komunikuje, stejně jako předchozí po sběrnici SPI. Navíc obsahuje dva vodiče označené GDO0 a GDO2 určené pro testovací a informační signály.



Obr 2.7: Modul CC1101 [12]

Porovnání modulů použitelných pro bezdrátovou komunikaci je v Tabulka 2.2. Zde jsou srovnány vlastnosti důležité pro výběr. Zohledněny jsou parametry jako frekvence komunikace, výstupní výkon ale i proudový odběr.

Tabulka 2.2: Porovnání vlastností komunikačních modulů [9][10][11]

Specifikace	nRF24L01	nRF905	RFM12B	CC1101
Výrobce	Nordic semiconductor	Nordic semiconductor	Hoperf	Texas Instruments
Provozní pásmo [MHz]	2 400	433/868/915	433/868/915	315/433/868/915
Maximální výstupní výkon [dBm]	0	10	7 (433MHz) 5 (868MHz)	12
Citlivost přijímače [dBm]	-94	-100	-110	-116
Typ modulace	GFSK	GFSK	FSK	2-FSK, 4- FSK, GFSK
Komunikační rozhraní	SPI	SPI	SPI	SPI
Proudový odběr (maximum) [mA]	45	12,5	28	35
Datová rychlost	2 Mbps	50 kbps	115,2 kbps	600 kbps
Napájecí napětí	1,9 – 3,6 V	1,9 – 3,6 V	2,2 -3,8 V	1,8 – 3,6 V
Dosah (dle specifikace, otevřené prostředí) [m]	>520	250	150	350

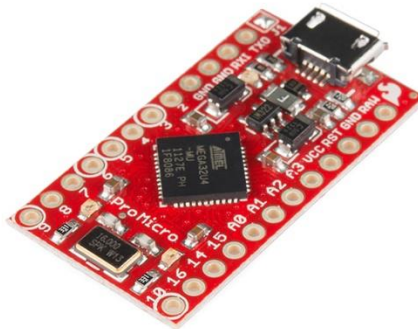
2.3 Modul zásuvky

Modul zásuvky řídí mikrokontrolér Arduino pro micro. Napájení řídicích a měřících prvků obstarává AC/DC měnič generující napětí 5 V. Mimo jiné obsahuje spínací prvek a ampérmetr (resp. I/U převodník).

2.3.1 Arduino Pro micro

Pro Micro (Obr 2.8) je minimalizovaná vývojová deska s mikrokontrolérem AVR ATmega32u4. Piny vstupů a výstupů jsou vyvedeny na spodní stranu desky. Z důvodu minimalizace chybí konektor pro externí napájení, pro napájení lze však použít pin RAW. K naprogramování pomocí počítače slouží microUSB konektor.

Výhodou zařízení je jednoduché připojení k počítači a programování. Vlastní programování probíhá v jednoduchém prostředí Arduino IDE za pomoci jazyku odvozeného z jazyka C. Kód je tak velice přehledný a odděluje programátora od složité konfigurace hardwaru [6].



Obr 2.8: Vývojový kit Arduino pro micro [6]

Parametry:

- 8 - bitový mikroprocesor ATmega32U4
- Napájení 5V
- Frekvence 16 MHz
- 32 kB samostatné programovací FLASH paměti (4 kB pro bootloader)
- 2,5 kB SRAM
- 1 kB EEPROM
- 12 kanálový 10bit A/D převodník
- UART
- Externí přerušení
- PWM
- SPI, I2C

2.3.2 AC/DC měnič

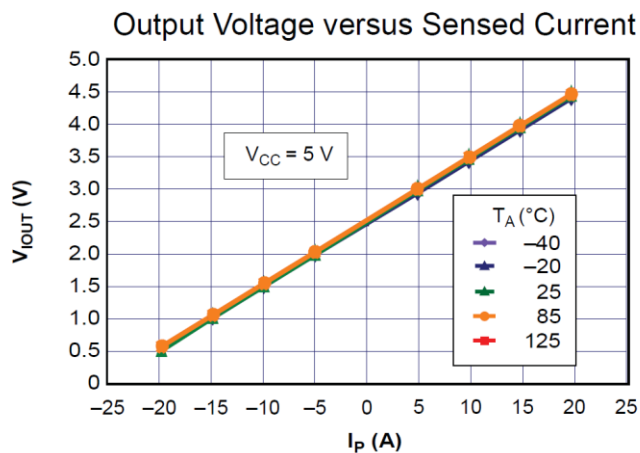
Pro účely napájení řídicích obvodů zásuvky je použit snižující usměrňovací měnič napětí. Pro jednoduchost návrhu je zvolen měnič již osazený, který je volně dostupný k prodeji. Obsahuje ochranu proti přepětí na vstupu. Na výstupu chrání proti přetížení a proti zkratu. Napájení tohoto modulu je možno ve velkém rozsahu střídavého napětí 85 až 265 V. Na výstupu tvoří tento měnič stejnosměrné napětí 5 V a maximální proud 700 mA, tedy 3,5 W s udávanou účinností 80%.



Obr 2.9: AC/DC měnič 5 V 700 mA

2.3.3 Měřicí část

Měření proudu zásuvky zprostředkovává obvod ACS712. Jedná se o lineární proudový senzor, využívající technologie Hallova senzoru. Slouží pro měření jak stejnosměrného, tak střídavého proudu. Výrobce Allegro MicroSystems vyrábí tento obvod ve třech variantách dle maximální hodnoty snímaného proudu (5, 20 a 30 A). V závislosti na těchto variantách se liší výstupní napětí snímače a tím i přesnost. Měření proudu je realizováno tak, že protékající proud indukuje magnetické pole, které je snímáno integrovanou Hallovou sondou a je převáděno na napětí. Vysoká přesnost měření je zaručena systémem umístění, tedy v těsné blízkosti vedení. Odpor vedení je u SOIC pouzdra $1,2 \Omega$. Výhodou tohoto obvodu je možnost napájení stejnosměrným napětím 5 V. Průběh závislosti měřeného proudu na výstupním napětí převzatý z katalogového listu je zobrazen na Obr 2.10. tato závislost je však pouze pro ideální případ. V praxi tato závislost pravděpodobně nebude takto ideální a bude nutné ji kompenzovat porovnáním s reálnými hodnotami. [16]

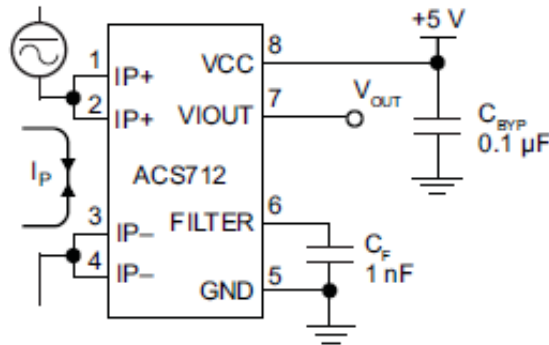


Obr 2.10: Ideální průběh měření proudu obvodu ACS712 ($I_{max} = 20$ A) [16]

Parametry:

- minimální izolační napětí pro piny 1-4 a 5-8 je $2,1 \text{ kV}_{RMS}$
- citlivost obvodu dle rozsahu (66,100, 185 mV/A)
- napájecí napětí 5 V
- pracovní teplotní rozsah $-40 - 85 \text{ }^\circ\text{C}$
- odebíraný proud 10 mA

Na Obr 2.11 je ukázán příklad zapojení tohoto obvodu. Svorkami IP+ a IP- protéká měřený proud obvodu. Dále je zde použito dvou kondenzátorů C_{byp} , jehož doporučená hodnota výrobcem je 0,1 uF, a druhý je filtrační kondenzátor sloužící k vyfiltrování výstupního napětí. Hodnota proudu převedená na napětí je na výstupu VIOUT. [16]



Obr 2.11: Typická aplikace IO ACS712 [16] **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

V kapitole 2.3.1 je uvedeno, že A/D převodník mikrokontroléru je desetibitový. Rozsah měření pro 20 A variantu obvodu je -20 A až +20 A. Z těchto údajů lze vypočítat za pomoci vztahu [2] kvantizační šum A/D převodu měřeného proudu.

$$\Delta q = \frac{M}{2^{b-1}} = \frac{40}{20^{10}-1} = 0.0391 \text{ A} \approx 40 \text{ mA} \quad (2.2)$$

Kde: Δq .. kvantizační šum

M .. rozsah měřeného proudu

b .. počet bitů převodníku

2.3.4 Spínání zátěže

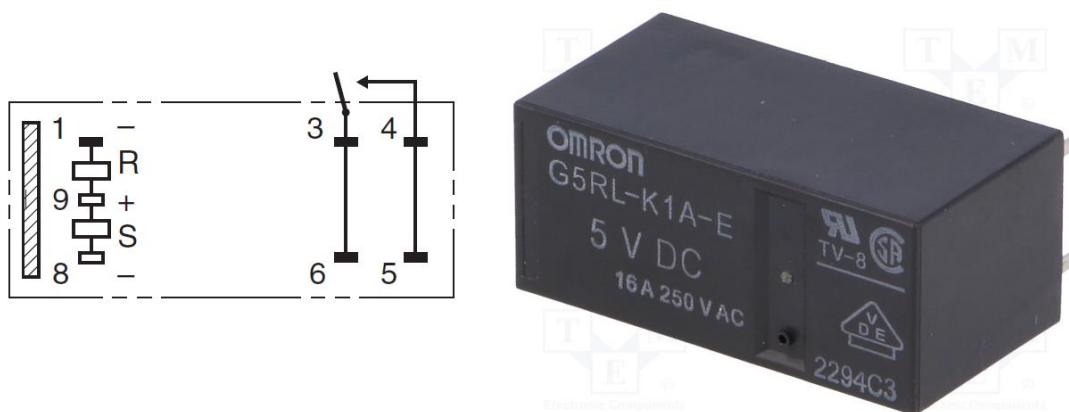
Připojení a odpojení zátěže od elektrické sítě je jednou z důležitých požadovaných vlastností zařízení. Je nutné spínat hodnoty odebíraného proudu až do 16 A při napětí alespoň 250 V. Tedy výkon 4 kW při zachování co nejmenších rozměrů. V dnešní době je dostupných mnoho způsobů pro výkonové spínání.

První zvažovanou variantou je spínání pomocí výkonových unipolárních tranzistorů. Jedná se o jednu z nejpoužívanějších variant ke spínání. Nevýhodou je však nemožnost spínání velkých výkonů při zachování malých rozměrů. Ve většině případů je tento prvek nutné dodatečně chladit. Další možností je obousměrný triodový spínač. Ten je schopen regulovat proudy až do desítek ampér. Nevýhodou v případě použití je nutné přidání periférií pro galvanické oddělení od mikroprocesoru. Při spínání indukční zátěže mohou vznikat problémy. Například pokud je asynchronní motor spínán v nule napájecího napětí. A stejně jako u tranzistorů je nutné dodatečné chlazení ztrátového výkonu

Mezi poslední variantu patří spínání pomocí výkonového relé. Relé mají nesporné výhody, mezi něž patří teplotní nezávislost a mechanická odolnost. Díky indukční vazbě vzniká velká izolace mezi cívkou a spínanými kontakty. Ovládáním kontaktů pomocí cívky je galvanicky oddělena ovládací část od spínané zátěže. Nevýhodou naopak je hluk

vznikající v důsledku přepínání kontaktů a tím i vznik rušivých signálů. Další nevýhodou je trvalý odběr proudu při sepnutém stavu kontaktu z důvodu průchodu proudu cívkou a v případě spínání velkých proudů i možnost opalování kontaktů.

Pro vývoj aplikace je po zvážení všech podmínek nejvhodnější varianta výkonového relé. Vzhledem k jednoduchosti návrhu spínání a maximálního možného proudu. Nevýhodu klasických relé, kterou je spotřeba energie při spínání jsem eliminoval zvolením bistabilního (západkového) relé od společnosti Omron typu G5RL-K1A-E obsahující dvě cívky. [15]



Obr 2.12: Bistabilní relé 16A/250V AC [15]

Relé má jeden spínací kontakt. Obsahuje dvě cívky, kde jedna je použita na sepnutí a druhá na rozepnutí kontaktů. K přepnutí postačuje krátký impulz minimální délky 30 ms o napětí 5 V. Relé má dle katalogového listu velkou dielektrickou izolaci mezi kontakty a cívkou dosahující až 6 000 V po dobu 1 minuty. [15]

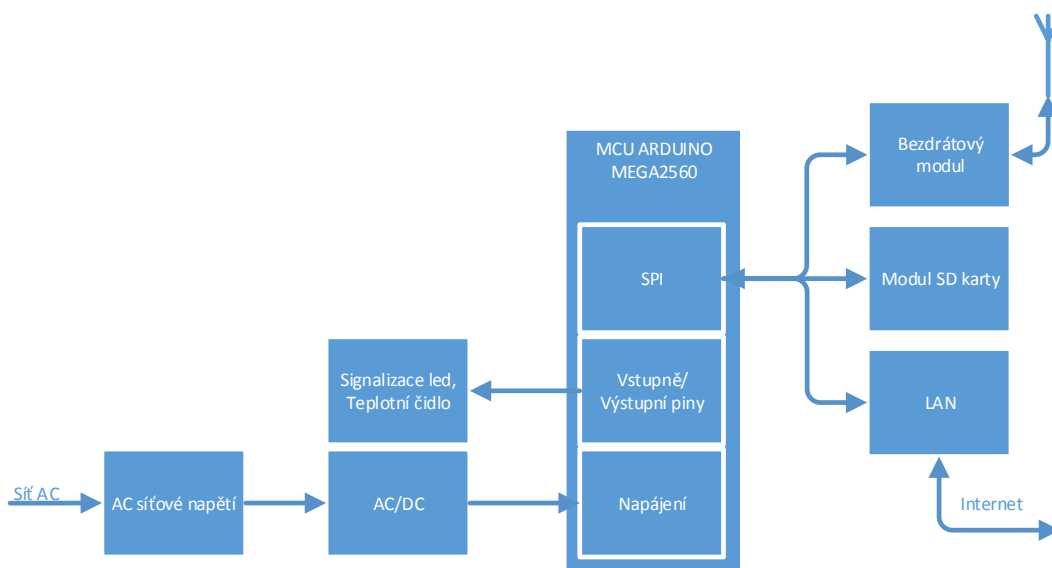
3 PRAKTICKÝ NÁVRH SYSTÉMU

Třetí kapitola přímo navazuje na předchozí teoretické poznatky. Zabývá se návrhem zařízení. V první části jsou zde uvedena vytvořená bloková schémata jednotlivých částí systému. V druhé podkapitole je uveden popis elektrotechnických obvodových schémat složený ze součástek a komponent.

3.1 Blokové schémata systému

Při návrhu jakéhokoli zařízení je po ujasnění vlastností a požadavků na zařízení vhodné navrhnout obecné blokové schéma. Z něho se následně bude odvíjet obvodové schéma tvořeno ze součástek. V tomto případě jsou blokové schémata dvě. První zobrazuje řídicí jednotku v nejjednodušší možné podobě a je ukázáno na Obr 3.1. Druhé blokové schéma na Obr 3.2 ukazuje základ pro dálkově řízenou zásuvku s ampérmetrem.

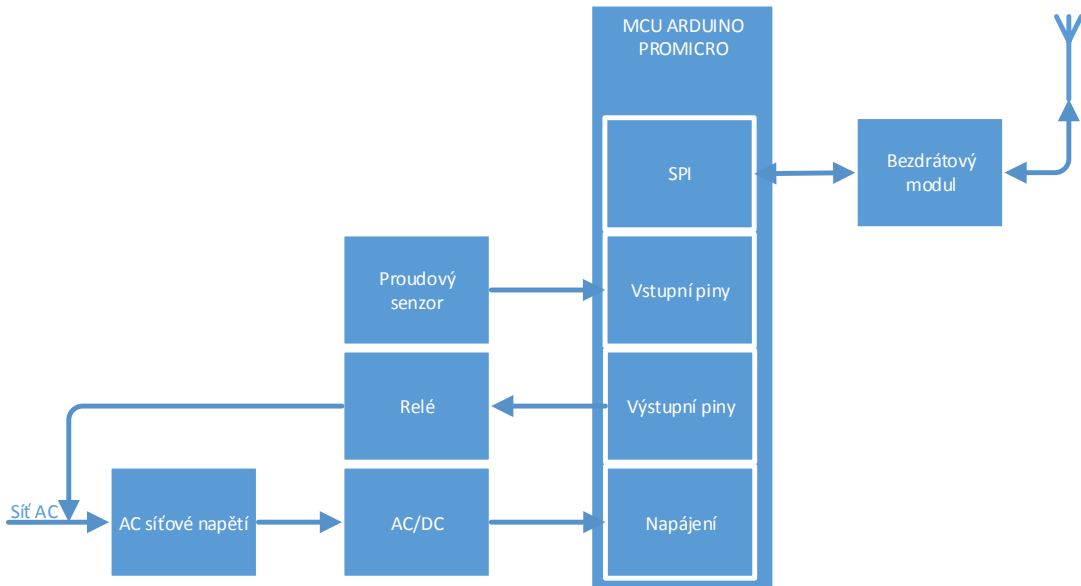
Základ řídicí jednotky tvoří vývojová deska Arduino osazená 8 - bitovým procesorem ATmega2560 od firmy Atmel. Napájení desky a všech komponent zajišťuje měnič napětí vytvářející na výstupu stejnosměrné napětí 5 V. Vstup tohoto měniče je napojen na střídavé síťové napětí. Vstupně/výstupní piny jsou zde použity pro jednoduchou signalizaci chodu. Poslední tři důležité periferie jsou připojeny přes sériovou sběrnici. Prvním z nich je modul SD karty, který slouží jako uložení dat mikroprocesoru. Dále je zde bezdrátový vysílač/přijímač, díky němuž probíhá komunikace s říditelnými zásuvkami. Poslední jednotka je určena pro komunikaci s internetem, k tomuto složí konektor RJ45.



Obr 3.1: Blokové schéma řídicí jednotky

Základem druhého blokového diagramu pro zásuvku je opět vývojový kit Arduino. V tomto případě se však jedná o podstatně menší variantu desky s názvem Promicro. Ta je napájena stejně jako v předchozím případě z napěťového měniče, jehož vstup je napojen na síťové napájení. Výstupní piny arduina slouží k ovládání kontaktů

bistabilního relé, jehož kontakty spínají fázi ze vstupu na výstup zásuvky. K těmto kontaktům je v sérii připojen ampérmetr měřící protékající proud. Hodnota naměřeného proudu je předána na vstupní piny mikrokontroléru. Pro připojení bezdrátového komunikačního modulu je zde stejně jako v případě řídicí jednotky použito sériové sběrnice.

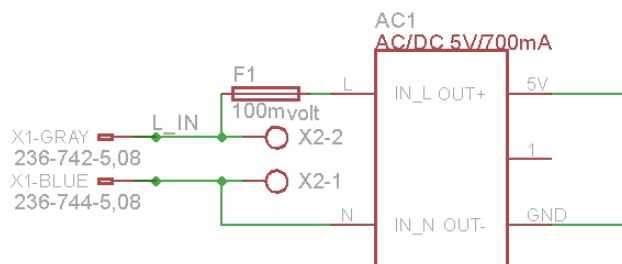


Obr 3.2: Blokové schéma modulu zásuvky

3.2 Elektrotechnická schémata

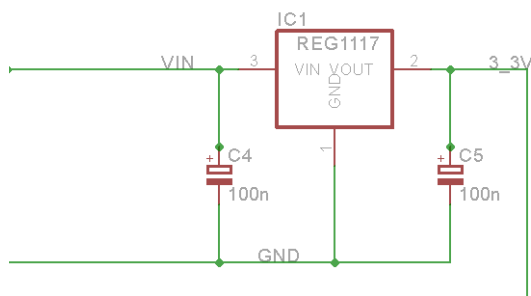
Elektrotechnická schémata zařízení vycházejí z předchozích blokových schémat a z teoretického návrhu systému. Nejprve bylo nakresleno schéma jednotlivých částí zařízení a poté v softwaru Eagle navrženy desky plošných spojů. V následujících odstavcích bude popsáno po částech obvodové zapojení řídicí jednotky, jehož celé zobrazení je v příloze A.1.

Celý systém je napájen přes konektory X1 ze síťového napětí (Obr 3.3). Síťové napětí je přes tavnou pojistku F1 o jmenovité hodnotě 100 mA přivedeno do napěťového měniče AC1 generujícího stejnosměrné napětí 5 V, jehož výstup je napojen na vstupní svorku Vin Arduina a na vstup regulátoru napětí. Pro účely připojení napěťového transformátoru slouží svorky X2.



Obr 3.3: Napájecí část řídicí jednotky

K napájení bezdrátového modulu, ethernet modulu a modulu pro paměťovou kartu je nutné napětí 3,3 V. Toto napětí vytváří napěťový stabilizátor TS1117 označený na Obr 3.4 jako IC1 jehož maximální výstupní proud je 1 A. Dle doporučení výrobce [17] má na svém vstupu a výstupu elektrolytické stabilizační kondenzátory C4 a C5 o hodnotě kapacity 10 uF.



Obr 3.4: Obvod stabilizátoru napětí

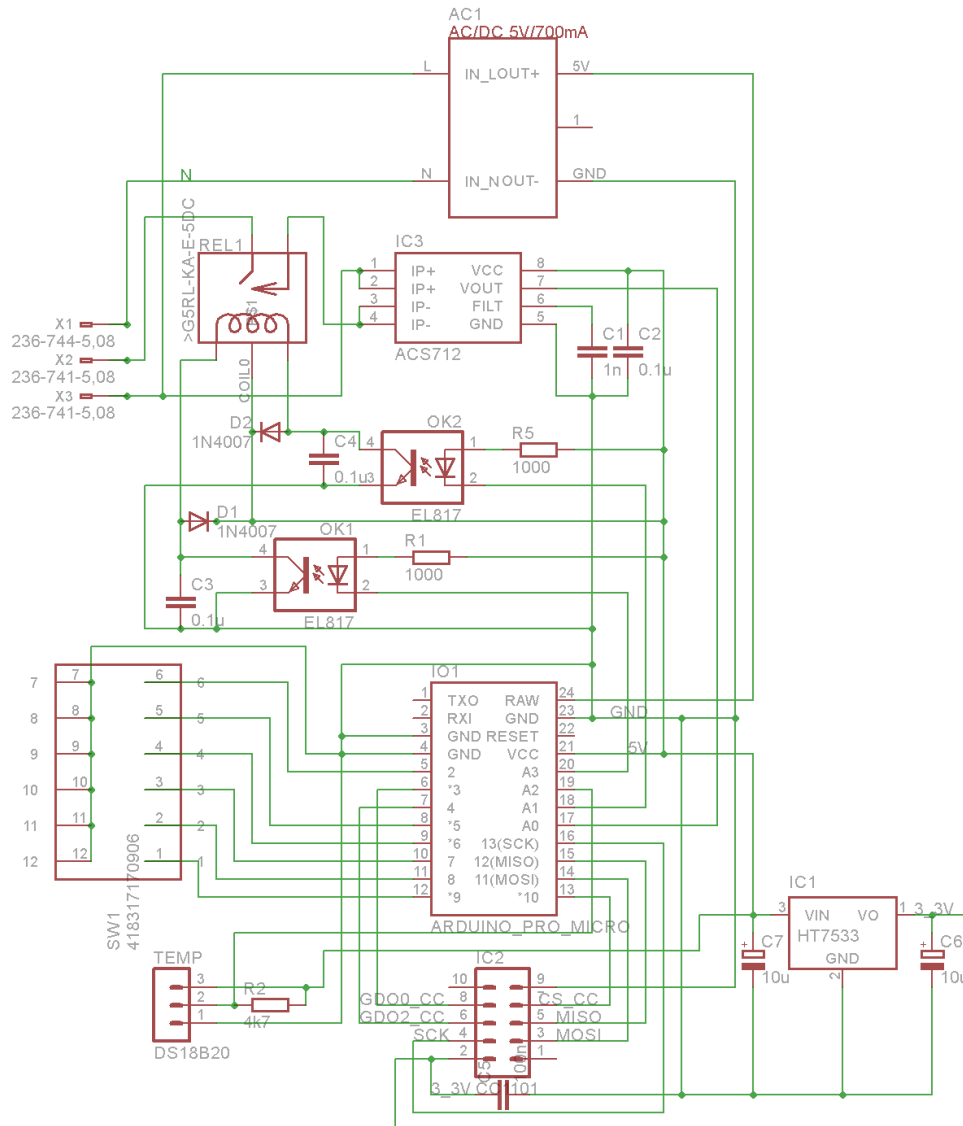
Analogový vstup A0 obsahující 10 – bitový A/D převodník je použit pro převod napětí z výstupu napěťového transformátoru. Výstupní piny 2 a 3 jsou použity pro ovládání diod signalizující stav zařízení. Poslední částí je tlačítko sloužící pro reset celého zařízení v případě nečekané chyby nebo poruchy.

Pro komunikaci mezi zařízeními byl zvolen obvod CC1101 pracující na frekvenci 433 MHz z důvodu nejlepších parametrů v porovnání s ostatními moduly. Má nejmenší práh citlivosti, nejvyšší výkonový zisk a pracuje na relativně nízké frekvenci s lepší propustností skrze objekty. Připojen je stejně jako ethernet modul a modul SD karty pomocí sběrnice SPI. Pro tuto komunikaci jsou určeny piny 23,29,37 a 49-53. Přesné zapojení naznačuje Tabulka 3. Zapojení vychází z teorie sběrnice SPI. Společné vodiče MISO, MOSI a SCK pro všechny tři zařízení a řízení komunikace pomocí třech SS vodičů.

Tabulka 3: Přehled zapojení modulu přes sběrnici sériového rozhraní

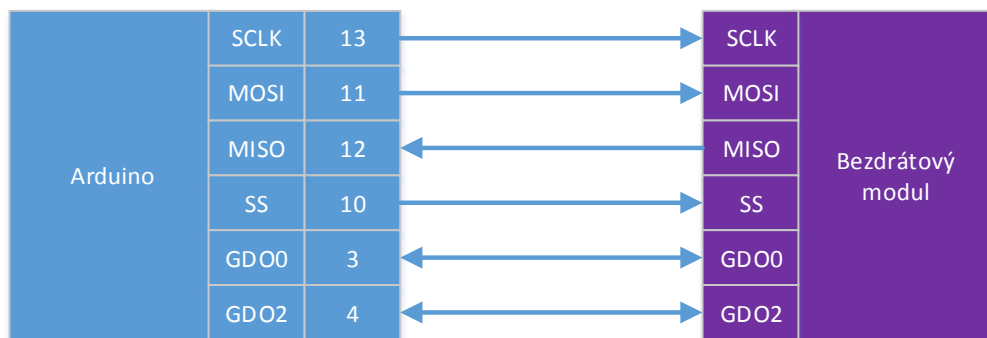
Spi jednotka	Pin MCU	Typ vodiče
CC1101	23	GDO2
CC1101	29	GDO0
CC1101	37	SS
SD modul	49	SS
SD modul, CC1101, Ethernet	50	MISO
SD modul, CC1101, Ethernet	51	MOSI
SD modul, CC1101, Ethernet	52	SCK
Ethernet	53	SS

Schéma pro obvodové zapojení zásuvky je zobrazeno na Obr 3.5. K napájení modulu jsou zde použity svorky X1 a X3. Svorka X1 je určena pro nulovací vodič a X3 pro vstupní fázový vodič. Ten je připojen na měnič napětí AC1 napájející celý řídicí systém a na obvod měření proudu. Měření proudu obstarává integrovaný obvod IC3 ACS712 měřící procházející proud mezi svorkami IP+ a IP-. Obvod v závislosti na tomto proudu vytváří na výstupu VOUT, které je přivedeno na analogový vstup A0 arduina. Výrobce doporučuje použití kondenzátorů pro filtraci, k tomuto účelu slouží kondenzátory C1 a C2. Vodič z výstupní svorky IP- obvodu ACS712 je přiveden na kontakt relé REL1. Relé v případě sepnutí přivede síťové napětí na svorku X2.



Obr 3.5: Schématické zapojení modulu zásuvky

Spínání cívek bistabilního relé REL1 zajišťují dva spínací optočleny OK1 a OK2 řízené přivedením log. 0 na výstupní piny A3 a A1. Sériové rozhraní je zde využito pro komunikaci s bezdrátovým modulem CC1101. Naznačení zapojení bezdrátového modulu v zásuvce je naznačeno na Obr 3.6. Napájení modulu je z napěťového stabilizátoru IC1 HT7533 vytvářejícího napěťovou úroveň 3,3 V s maximálním výstupním proudem 100 mA. Stejně jako obvod TS1117 doporučuje výrobce přiřadit na vstup a výstup stabilizační kondenzátory s hodnotou kapacity 10 uF [18]. Pro případné nastavení identifikace jednotlivých zásuvek je použit DIP přepínač.



Obr 3.6: Zapojení bezdrátového modulu s mikrokontrolérem

4 SOTWARE ZAŘÍZENÍ

V následující kapitole jsou popsány a rozebrány zdrojové kódy jednotlivých komponent. Zdrojové kódy jsou nahrané přímo do mikroprocesorů. Jsou psány ve vývojovém jazyce „wiring“ a jsou spuštěny ihned po připojení napájení mikrokontroléru. V případě řídicí jednotky obsluhuje mimo jiné ethernet modul a zobrazování webové stránky. Popřípadě vykonává příkazy na ovládání relé, které jsou dále předány na příslušnou zásuvku.

V další části budou pro zjednodušení uvedeny pouze blokové diagramy programů, které řídí jednotlivá zařízení. Poté bude popsána webová aplikace zobrazující informace o spotřebě s možností ovládání zásuvek.

4.1 Zdrojový kód řídicí jednotky

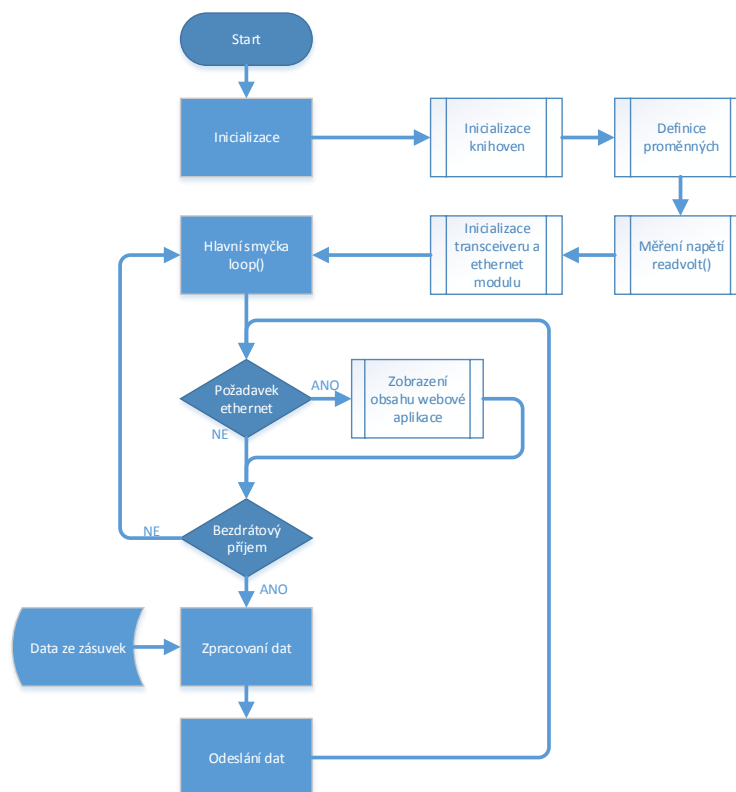
Běh zdrojového kódu řídicí jednotky naznačuje Obr 4.1. Spouští se okamžitě po připojení napájení. Nejprve proběhne inicializace. V rámci ní jsou načteny knihovny mimo jiné ELEHOUSE_CC11012.h pro bezdrátový modul a knihovna ETHER_28J60.h pro ethernet modul. V další části inicializace jsou nadefinovány piny a potřebné proměnné. Poté proběhne měření napětí zavoláním funkce „readvolt“. Tato funkce provádí vzorkování hodnot napětí v čase za použití A/D převodníku. Z navzorkovaného průběhu dle rovnic vypočítá napětí použité k výpočtu spotřebovaného výkonu. Měření napětí proběhne pouze v inicializaci, po připojení napájení. V poslední části inicializace proběhne načtení ethernet a bezdrátového modulu. Ethernet modulu je přiřazena IP adresa 192.168.1.15 a je mu přiřazena mac adresa 54:55:58:10:00:24. Hodnoty MAC a IP adres lze libovolně měnit. Na konci úspěšnost inicializace signalizuje rozsvícení zelené diody na zařízení.

Po úspěšné inicializaci probíhá vlastní smyčka programu. Jejím úkolem je mimo jiné neustálá kontrola, zda je přijat příkaz od uživatele v internetové aplikaci. V případě že ano, dojde k odeslání požadovaného obsahu webové stránky a případně pozměnění parametry pro jednotlivé zásuvky. Vypisování webového obsah je provedeno odesláním řetězců kódu html na ethernet modul.

Následně program kontroluje, zda nejsou přijímána data ze zásuvek resp., zda není nastaven příznak příjmu dat z bezdrátového modulu. Příznak se nastavuje nastavením vodiče GDO0 do log. 1, a je řízen přímo obvodem CC1101. Jestliže ano, dojde ke zpracování dat a odeslání dat zpět do zásuvky pro kontrolu a případnou změnu stavu relé. Zpracování dat probíhá formou dekódování přijatého řetězce. Po tomto kroku se běh programu vrací na začátek a celý běh se opakuje. Přijatý řetězec má tvar a_b_XXXXX_yyy_zzzzz. Význam jednotlivých částí je naznačen tabulce 4. Zásuvka vždy zasílá informaci o aktuální spotřebě a hodnotě proudu spotřebovaného v minulém časovém období. Časové období je určeno řídicí jednotkou a je nastaveno na jednu hodinu.

Tabulka 4: Význam polí v komunikačním řetězci

Část řetězce	Význam položky
a	Číslo zásuvky (0-9)
b	Stav zásuvky (1 – relé zapnuto)
x	Aktuálně odebíraný proud [mA]
y	Aktuální časový rámec (0-24)
z	Spotřeba proudu v minulém časovém rámci [mA]



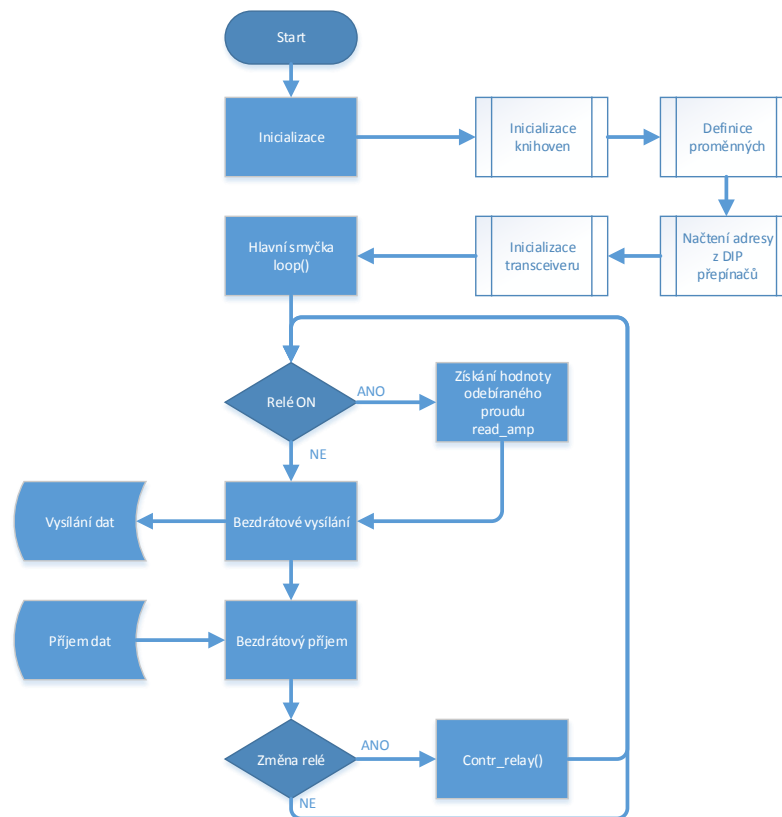
Obr 4.1: Vývojový diagram zdrojového kódu řídicí jednotky

4.2 Zdrojový kód bezdrátové zásuvky

Průběh začátku běhu řízené zásuvky je velmi podobný tomu u řídicí jednotky. Nejprve proběhne inicializace knihoven pro bezdrátový modul, nadefinování proměnných, načtení adresního čísla zásuvky z DIP přepínačů a poté proběhne nastavení vstupních a výstupních pinů. Nakonec se ziniculuje bezdrátový modul.

Běh hlavní smyčky začíná ihned po inicializaci. V případě, že je relé zapnuto proběhne měření odebíraného proudu pomocí funkce „read_amp“, ta získá 9000 vzorků z průběhu napětí vytvořeného I/U převodníkem. Ze získaných vzorků se vybere maximální hodnota a vypočte se měřený proud. Po tomto kroku probíhá bezdrátové vysílání hodnot měřeného proudu dle řetězce z kapitoly 4.1. Poté co řídicí jednotka data zpracuje, posílá zpět potvrzená data. Zásuvka přijme potvrzená data, a pokud je požadavek na změnu stavu kontaktů relé provede se zavolání funkce „contr_relay“ a

dojde nastavení příslušného výstupního pinu do log. 0 po dobu 50 ms, čímž dojde ke změně stavu bistabilního relé. Poté se běh vrátí zpět na začátek smyčky.



Obr 4.2: Vývojový diagram zdrojového kódu bezdrátové zásuvky

4.3 Vizualizace webového prostředí

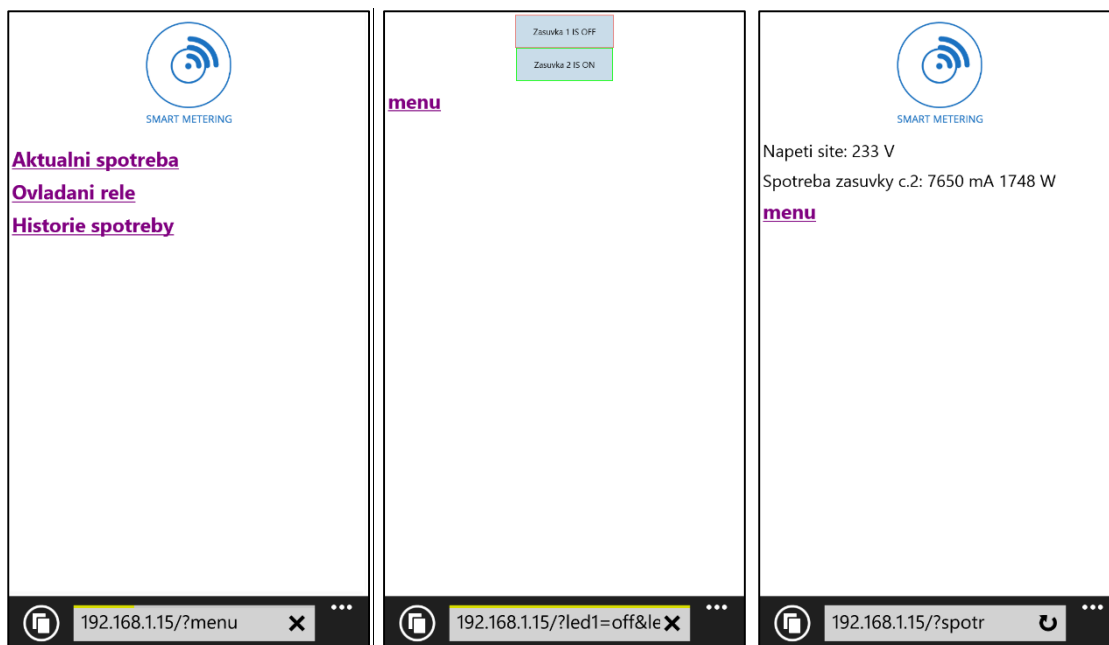
Požadavkem na zařízení je mimo jiné i zobrazování naměřených hodnot pomocí počítače anebo chytrého telefonu. K tomuto účelu slouží, jak již bylo zmíněno ethernet modul implementovaný v řídicí jednotce. Ethernet modul je řízen mikrokontrolérem, který obstarává funkci jednoduchého webového serveru. Ten zpracovává požadavky z webového prostředí a vytváří prostředí sloužící k ovládní systému. Dalším úkolem webového serveru je odesílání dat klientovi.

Vytvořené prostředí bylo psáno v jazyce HTML¹² za pomoci jednoduchých značek. Přístup do webového rozhraní je v lokální síti přes IP¹³ adresu, která byla zvolena z rozsahu volných adres domácí sítě a její hodnota je 192.168.1.15 tato adresa však lze ve zdrojovém kódu libovolně měnit. Po přístupu na IP adresu zařízení se zobrazí logo smart metering. Kliknutím na toto logo dojde k přesunu do hlavního menu (Obr 4.3 vlevo), zde jsou tři základní odkazy sloužící k navigaci v prostředí. Prvním z nich je položka „Aktuální spotřeba“ zobrazující napětí sítě a aktuální odběr proudu sepnutých

¹² HyperText Markup Language

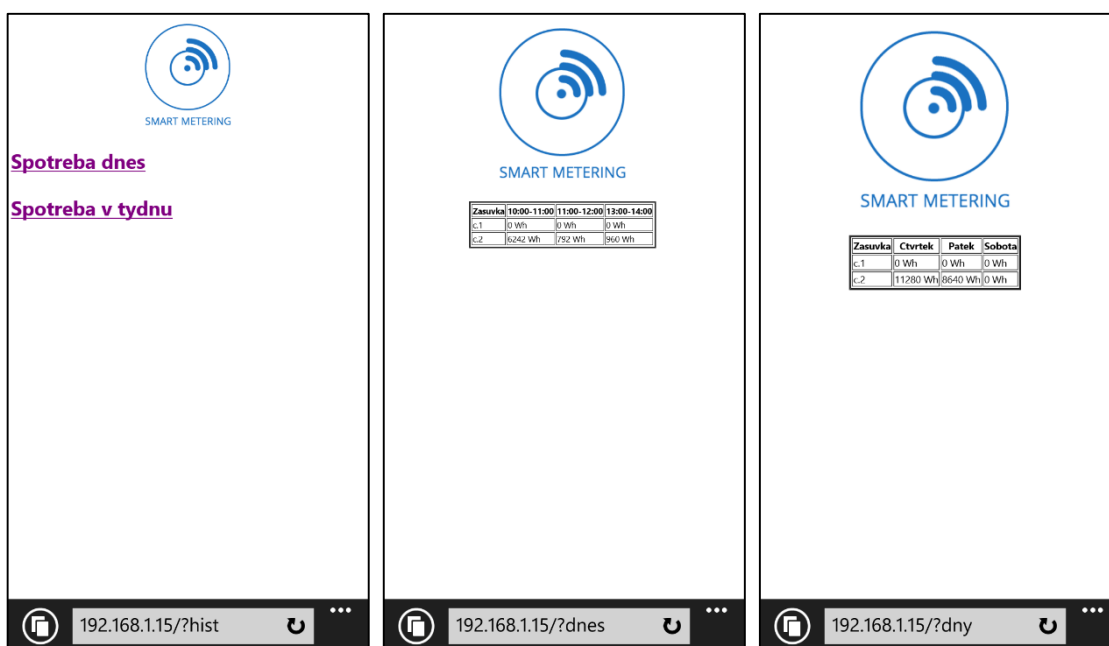
¹³ Adresa internetového protokolu

zásuvek a jejich spotřebovávaný výkon. Druhou položkou je „Ovládání relé“ (Obr 4.3 uprostřed), které odkazuje na záložku ovládání zásuvek obsahující tlačítka pro vypnutí a zapnutí jednotlivých zásuvek.



Obr 4.3: Vizualizace webového prostředí: hlavní menu, ovládání zásuvek a aktuální hodnoty

Třetí položkou v hlavním menu je „Historie spotřeby“ (Obr 4.4). Tento odkaz slouží k zobrazení, jak se spotřeba na zásuvkách vyvíjela v čase. Obsahuje dva odkazy, první je určen k zobrazení spotřeby dnes a druhá k zobrazení spotřeby v uplynulých dnech



Obr 4.4: Vizualizace webového prostředí: menu historie, denní spotřeba a spotřeba v týdnu

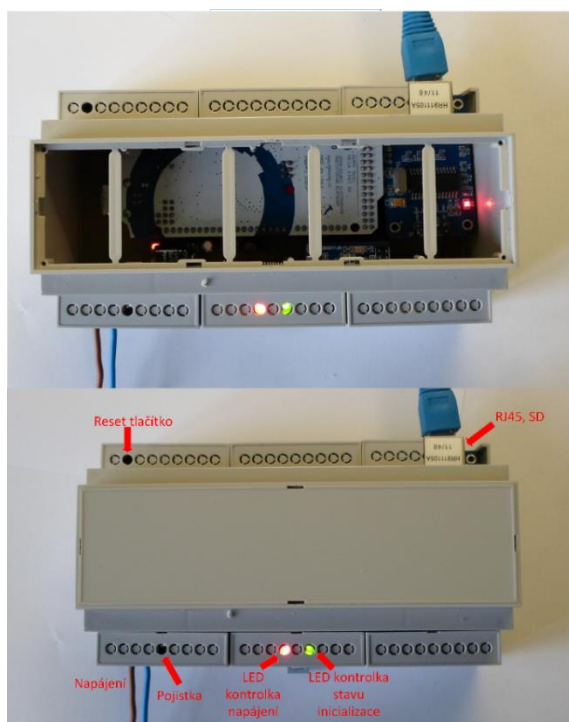
5 KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ

Kapitola konstrukce zařízení ukazuje fyzicky vyrobený produkt vycházející z předchozích návrhů. V první části je ukázána řídicí jednotka spolu s jejím popisem a druhou část tvoří zásuvkový modul.

5.1 Řídicí jednotka

Při návrhu desky plošného spoje pro řídicí jednotku bylo počítáno s jejím umístěním do vhodné krabičky. Nutné bylo přitom vzít v úvahu přístup k internetu pomocí LAN konektoru a přístup k napájení, které je popřípadě chráněno samostatným jisticím prvem. Z těchto důvodů byla vybrána krabička určená do domovního rozvaděče k montáži na DIN lištu. Jedná se o univerzální krabičku vhodnou k úpravě dle vlastních požadavků, jejíž označení je Gainta D9MG. Dle jejích technických specifikací (156 x 87 mm) byla vytvořena deska plošných spojů, jejíž návrh je umístěn v příloze A.3.

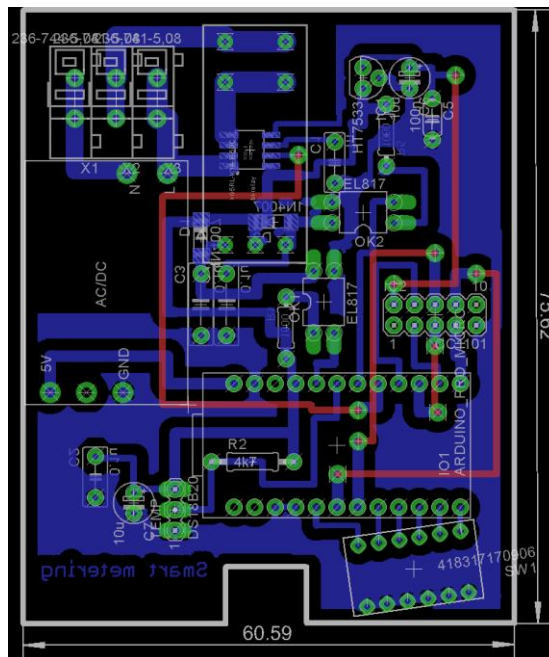
Zvláštní důraz byl kladen na umístění prvků obsluhy a připojení, tak aby byly dobře přístupné. Zejména konektor RJ45 a konektory Wago určené pro napájení. Rozmístění těchto prvků je zobrazeno na Obr 5.1. Mimo již zmiňované krabička obsahuje dvě signalizační diody. Funkčnost napájení resp. měniče signalizuje červená dioda a zelená dioda úspěšnost provedení inicializace všech komponent. Pro případ nečekaného problému softwaru zařízení obsahuje reset tlačítko v levé horní části zařízení. Pro případ jiné poruchy, zejména v AC/DC měniči je na vstupu do měniče 100 mA tavná pojistka, která se díky nadproudu přetaví a přeruší tak přívod elektrického proudu do zařízení.



Obr 5.1: Konstrukční řešení řídicí jednotky

5.2 Zásuvkový modul

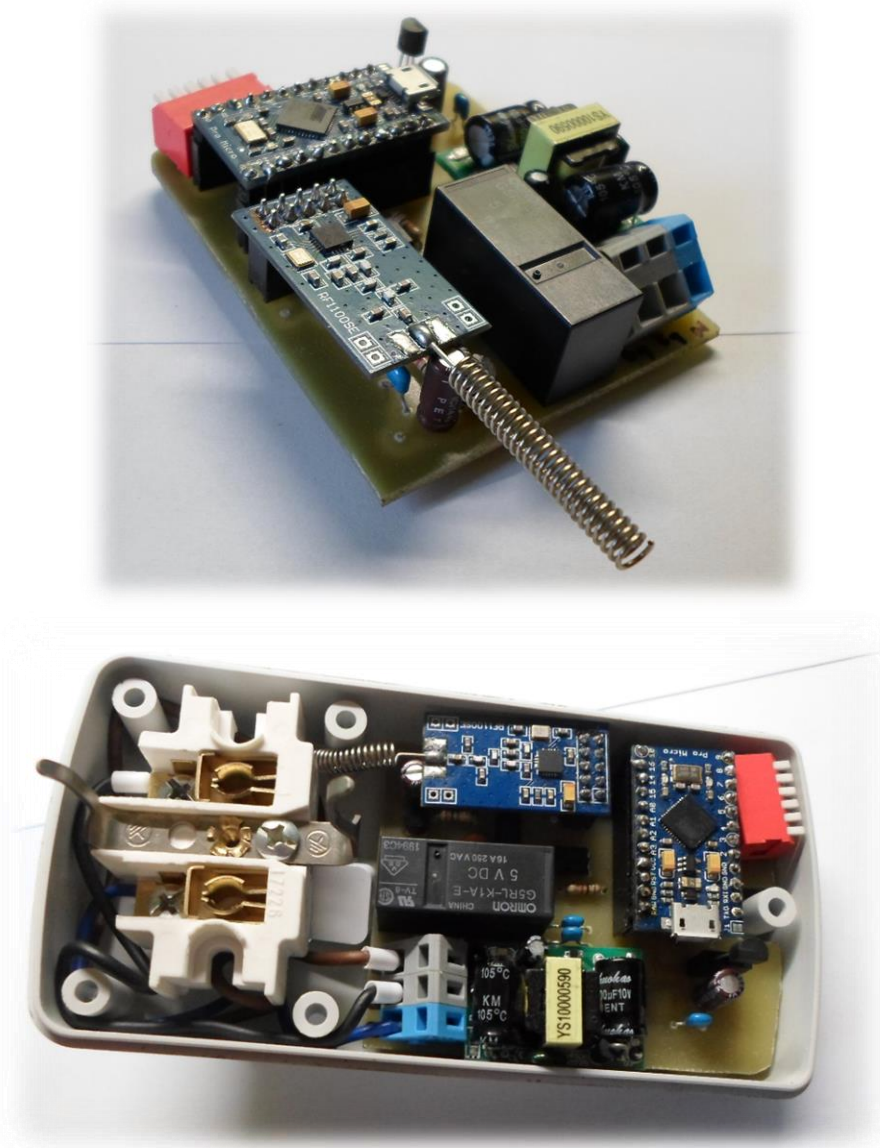
Návrh zásuvkového modulu a jeho desky plošného spoje (Obr 5.2) byl tvořen s ohledem na snadnou montáž a manipulaci pro potenciálního uživatele. Proto byla zvolena průchozí zásuvková krabička, jejíž vstup lze zapojit do instalační zásuvky a na výstup se zapojí měřený spotřebič. Vzhledem k přítomnosti nízkého napětí na stejné desce společně s malým napětím je nutné klást vysoký důraz na dostatečné oddělení těchto spojů. Důležitá je také volba tloušťky spojů a dimenzování silových spojů, které musí být schopny přenést proud alespoň 16 A, pro zvýšení odolnosti jsou spoje, kde se očekává průchod velkých proudů pocínovány.



Obr 5.2: Náhled řešení desky plošných spojů spínané zásuvky

V levé horní části jsou umístěny tři konektory Wago. První konektor je určen pro nulovací vodič N, vprostřed je konektor pro výstupní zásuvku, která je spínaná a konektor vpravo je pro vstupní zásuvku resp. přívodní fázový vodič. V těsné blízkosti je umístěno spínací relé a integrovaný obvod ACS712 pro měření protékajícího proudu. Pod konektory napájení je umístěn AC/DC měnič napájející desku Arduina umístěno v pravé dolní části.

Na Obr 5.3 je zobrazeno hotové konstrukční řešení bezdrátové zásuvky. Pro jednoduchost případné výměny mikrokontroléru nebo bezdrátového modulu byly zvoleny pro připojení dutinkové lišty. Dolní obrázek ukazuje již desku zakomponovanou do průchozí zásuvkové krabice s typovým označením Kradex-Z120J. Propojení nulovacích a fázových vodičů je provedeno slanými vodiči o průřezu 1,5 mm². Hnědý vodič slouží k připojení přívodního fázového vodiče a černý vodič je určen pro spínaný výstup z relé.



Obr 5.3: Řešení zásuvkového modulu

6 OVĚŘENÍ PARAMETRŮ A FUNKČNOSTI ZAŘÍZENÍ

Následující kapitola popisuje výsledky měření jednotlivých vlastností systému. Měření probíhalo mimo jiné v laboratoři na měřicích přístrojích. Měřeny byly dva vytvořené zásuvkové moduly komunikující s řídicí jednotkou. V závěru kapitoly jsou shrnuty všechny naměřené parametry.

6.1 Test dosahu zařízení

Dosah komunikace je jeden z důležitých aspektů zařízení. Požadavkem na začátku bylo dosah alespoň v rámci podlaží.

Testování probíhalo nejprve pohybem a zapojováním zásuvky v rámci dvoupatrové budovy. Stěny testované budovy jsou složeny z cihel a podlahy jsou betonové. Prvním testem jsem zjistil plné pokrytí v přízemí budovy o ploše 100 m². V 1. NP probíhal stále přenos údajů bezproblémově a vše fungovalo bez problému. Při měření v 2. NP se vyskytovaly již chyby, přičemž ve většině případů již nebylo možné přecíst hodnoty spotřeby.

Druhý test proběhl na volném prostranství bez výskytu překážek v přenosové cestě. Díky tomuto testu jsem byl schopen zjistit, že dosah tohoto zařízení dosahuje minimálně 60 m na volném prostranství, nicméně vzhledem k omezenému prostoru nebyla možnost provádět tento test pro delší vzdálenost.

6.2 Měření výkonu

Ověření parametrů pro měření fyzikálních veličin probíhalo v laboratoři na měřicích přístrojích a generátorech.

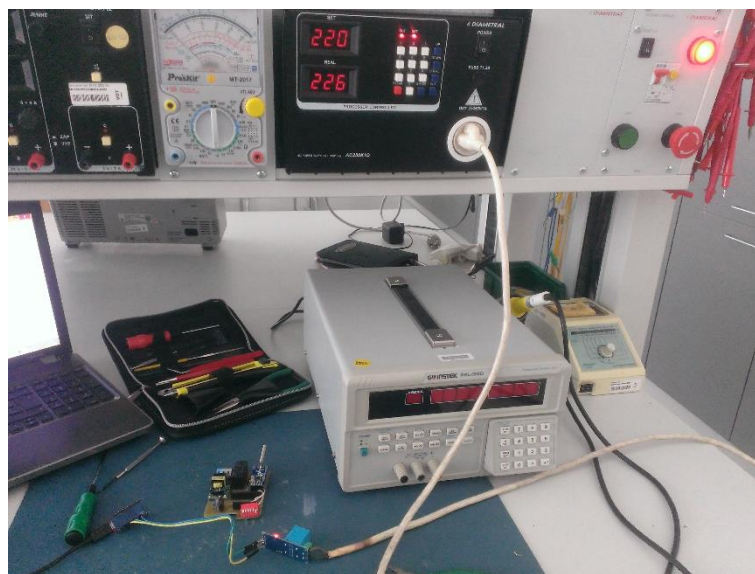
Nejprve byla ověřena přesnost měření napětí pomocí střídavého zdroje DIAMETRAL AC250K1D (Obr 6.1). Tato napěťová reference byla porovnávána s napětím měřeným pomocí napěťového transformátoru v řídicí jednotce. Měření probíhalo v rozsahu 200 V až 255 V. Z měření bylo zjištěno, že absolutní chyba napětí je ± 1 V. Tato chyba ovlivní měření výsledného výkonu. Dle rovnice [1] bylo zjištěno že, chyba měření výkonu způsobená nepřesností měření napětí je maximálně 32 W.

$$\Delta P = \Delta U \cdot I_{max} = 2 \cdot 16 = 32 \text{ W} \quad (6.1)$$

Kde: ΔP .. maximální rozdíl v měření výkonu [W]

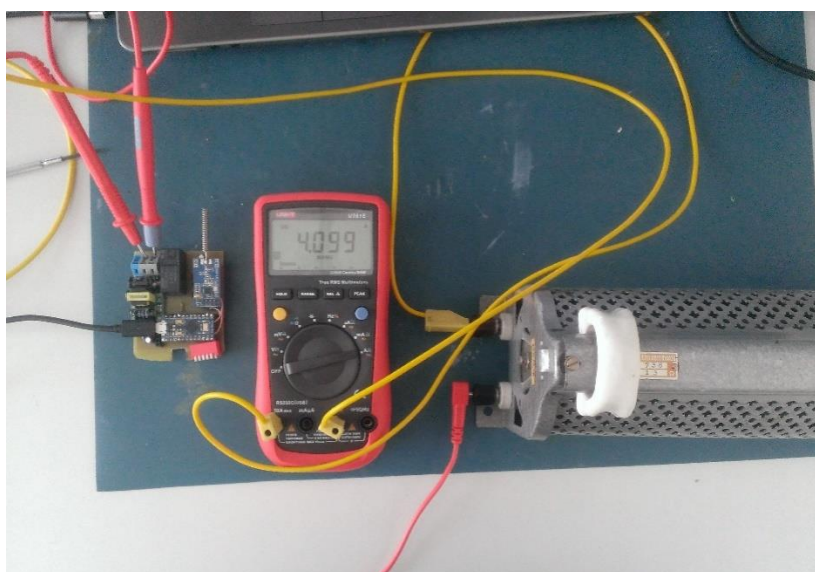
ΔU .. Chyba způsobená měřením napětí [V]

I_{max} .. maximální měřený proud [A]



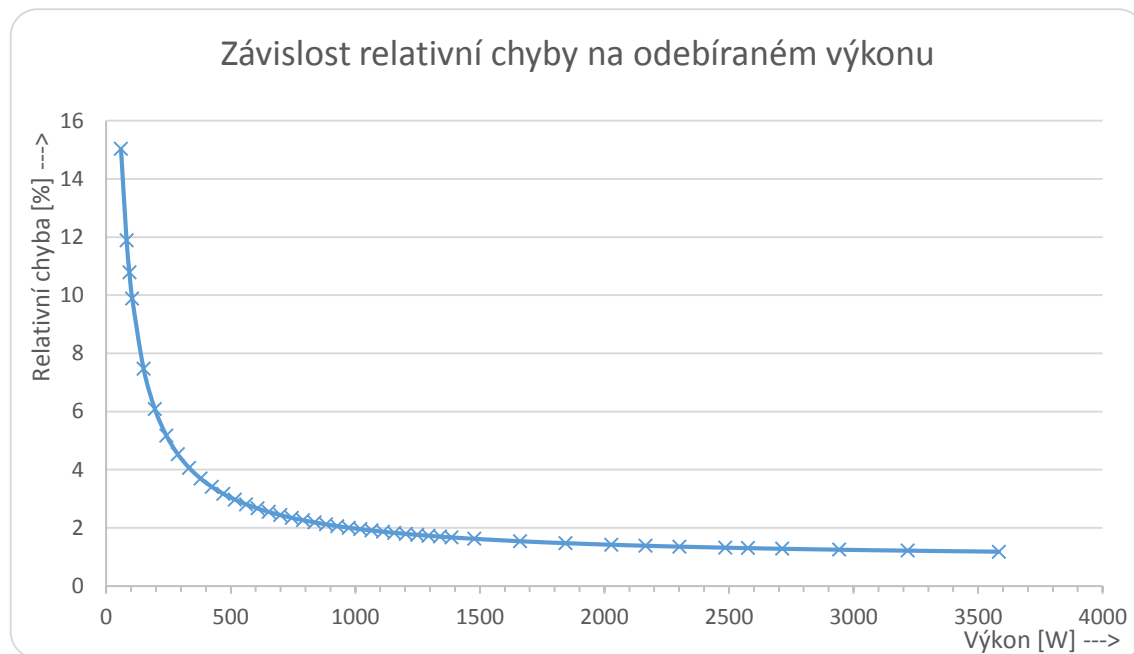
Obr 6.1: Měření přesnosti měřeného napětí

Poté byla testována přesnost měření proudu (Obr 6.2). K tomuto testu byl použit pro nižší proudy do 6,3 A střídavý napájecí zdroj a ampérmetr, jako zátěž byl použit posuvný válcový odpor s napětím maximálně 48 V st. Pro měření větších proudů již posuvný odporový válec nebyl vhodný z důvodu jeho možného výkonového zatížení. Proto byly pro měření použity spotřebiče s odporovou zátěží (rychlouvarné konvice, přímotopy), jejíž hodnota spotřeby byla zjištěna z výrobních štítků. Toto měření probíhalo již mimo laboratoř. Měření ukázalo, že chyba je silně závislá na měřeném proudu. Značná chyba při měření malých proudů je způsobena 10 - bitovým A/D převodníkem v arduinu, který je schopen měřit proud s krokem 40 mA, čímž je způsobena absolutní chyba ± 40 mA což potvrzuje výpočet v [2.2] v teoretickém úvodu. Řešením toho problému by mohlo být použití externího A/D převodníku například 12 - bitového, čímž by se absolutní chyba zmenšila na ± 10 mA.



Obr 6.2: Měření určené ke zjištění chyby zařízení

Na Obr 6.3 je zobrazena závislost relativní chyby výkonu na měřeném proudu, z grafu je vidět že maximální relativní chyba dosahuje až 15 % pro 300 mA a se zvyšujícím se proudem dochází k postupnému snižování chyby. Pro příkon spotřebiče nad 1 kW je chyba nižší než 2 %.



Obr 6.3: Závislost relativní chyby měření na odebíraném výkonu

6.3 Další měření parametrů

V rámci dalších testů byla nejprve změřena pomocí ampérmetru vlastní spotřeba zařízení. Spotřeba je dána AC/DC měničem, který napájí jednotlivá zařízení. Každé zařízení má tedy vlastní spotřebu 3,5 W.

V dalším testu bylo provedeno ověření schopnosti spínání proudu blížícího se k hodnotě 16 A. Testování probíhalo zapojením 2 ks elektrických topení o celkovém příkonu 3 kW. Poté program provedl opakovaně každých 5 s zapnutí a vypnutí těchto těles.

Poslední test obnášel rychlost časové odezvy sepnutí zásuvky na požadavek v internetové aplikaci. Měření probíhalo za pomoci stopek a dosahovalo hodnot do 2 s v případě použití dvou zásuvek, s rostoucím počtem zásuvek by se navyšovala i intenzita komunikace a tím i prodloužení doby odezvy sepnutí. Hlavním důvodem zpoždění je čas potřebný k přenesení řetězců příkazů a jeho ověření.

6.4 Shrnutí parametrů

Shrnutí předchozích naměřených parametrů zařízení je ukázáno v Tabulka 5. Jsou v ní přehledně zobrazeny všechny naměřené parametry zařízení.

Tabulka 5: Shrnutí parametrů zařízení smart metering

Typ testu	Výsledek testu
Dosah zařízení v budově	Dvě podlaží (100m ²)
Dosah volné prostranství [m]	Min. 60 m
Vlastní spotřeba zásuvky [mA/W]	15 mA / 3,5 W
Vlastní spotřeba řídicí jednotky [mA/W]	15 mA / 3,5 W
Zpoždění při sepnutí z inter. aplikace [s]	max. 2 s
Schopnost zásuvky spínat proud 16 A	OK
Absolutní chyba měření napětí [V]	± 1 V
Absolutní chyba měření proudu [mA]	± 40 mA
Maximální relativní chyba [%]	15 %

7 ZÁVĚR

V diplomové práci je popsán návrh zařízení pro účely smart metering. V začátku práce jsou zmíněny teoretické informace o současných chytrých měřicích systémech. Následně jsou zde teoreticky rozebrány prvky obsažené následujícím textu práce, jejíž základní dělení je na řídicí jednotku a zásuvky.

Z prvků obsažených v teoretickém návrhu po zvážení požadavků vytvořena obvodová schémata dvou jednotek. Tyto jednotky spolu komunikují bezdrátově díky obvodu CC1101 na frekvenci 443 MHz a předávají si navzájem data. První jednotkou je zásuvkový modul obsahující mimo jiné mikrokontrolér řídicí zásuvku, bistabilní relé sloužící k odpojení spotřebiče od elektrické energie a proudový senzor sloužící k měření jeho spotřeby. Řídicí jednotka je druhá z vytvořených částí systému. Obsahuje stejně jako zásuvkový modul mikrokontrolér a bezdrátový modul. Navíc obsahuje voltmetr a ethernet modul sloužící pro připojení zařízení k internetu.

V rámci práce dále byly vytvořeny zdrojové kódy řídicí jednotlivé moduly. Práce obsahuje jejich základní popis. Mimo zdrojových kódů bylo nutné vytvořit ještě internetovou aplikaci pro obsluhujícího uživatele, pro tyto účely slouží řídicí jednotka jako webový server generující html stránky. Tyto stránky jsou velice jednoduché a splňují pouze základní příkazy. V této části by bylo možné práci dále rozvíjet například o grafické zobrazení a přívětivější uživatelské prostředí.

Následně byly vyrobeny navržené desky plošných spojů, které byly vytvořeny ohledem na umístění do krabiček. Poté bylo provedeno jejich osazení součástkami. Celý systém jsem oživil a vyzkoušel vlastnosti. Poslední částí práce je změření parametrů pomocí měřicích přístrojů. Mezi hlavní parametry patří dosah, který je v budově napříč dvěma poschodími budovy o ploše 100 m², tento dosah by bylo možné zvýšit použitím vhodného zesilovače připojeného k bezdrátovému modulu. Vlastní spotřeba zařízení je dána měničem vytvářející stejnosměrné napětí pro řídicí obvody. Trvalá spotřeba každého zařízení tím činí 3,5 W. Snížení této hodnoty by bylo možné použitím vhodnějšího zdroje.

Dalším důležitým parametrem je chyba měření spotřeby. Spotřeba je vypočítávána z měřeného proudu odebraného ze zásuvky a napětí na síti. K měření proudu je použit proudový senzor ve formě převodníku I/U. Napětí z proudového senzoru je zpracováváno 10 – bitovým A/D převodníkem. Z důvodu malého počtu kvantizačních úrovní převodníku je měření proudu s chybou ± 50 mA. V závislosti na tom se mění i relativní chyba měření výkonu. Pro výkony do 1 kW je chyba měření až 15 % a nad 1 kW je chyba do 2 %. Problém s tak velkou chybou by do jisté míry řešil přesnější A/D převodník.

LITERATURA

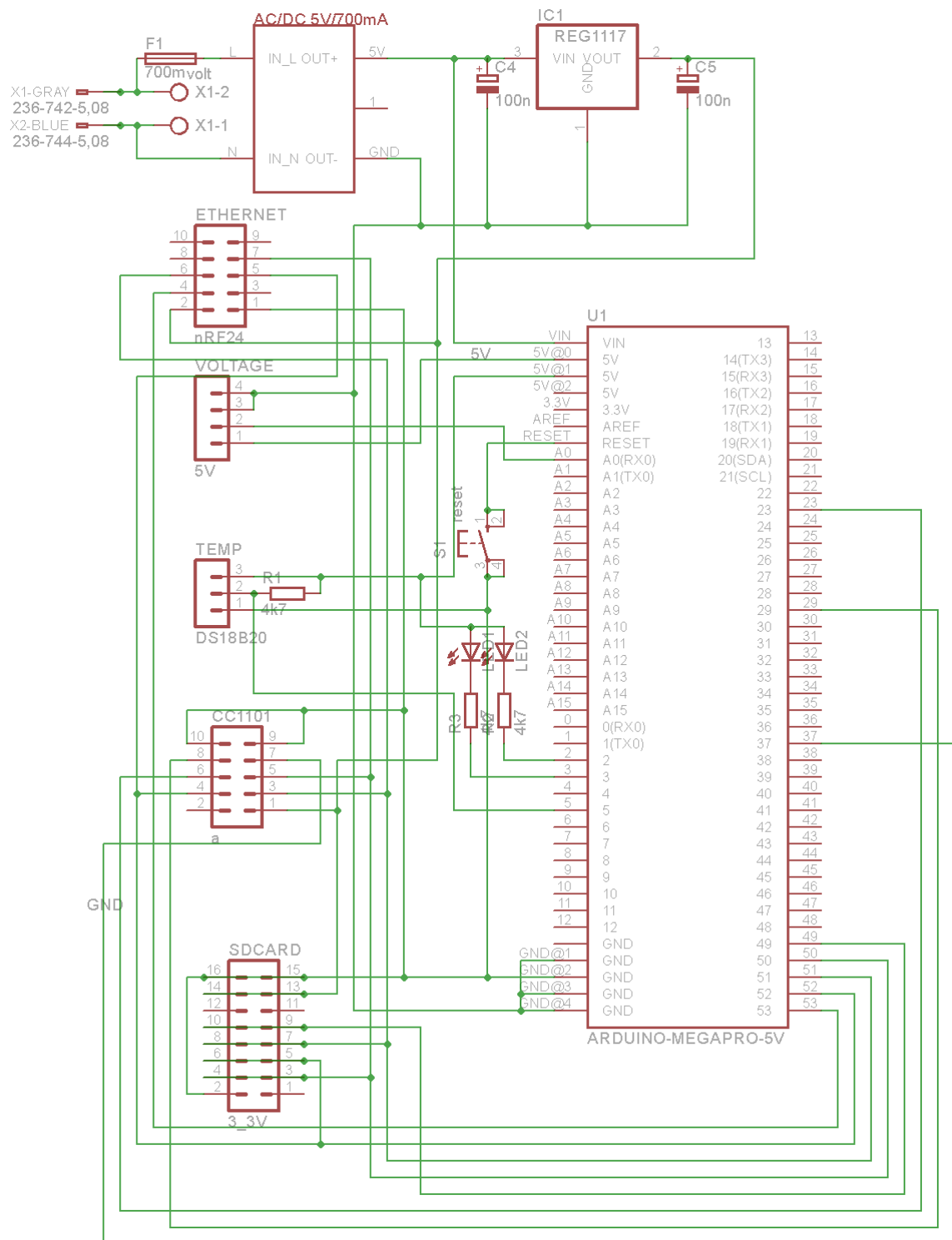
- [1] Skupina ČEZ. Skupina ČEZ [online]. 2016 [cit. 2.2.2016]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/>
- [2] HERWIG, B. Chytré ovládání domácnosti [online]. DigiRoom.cz, 2013 - [cit. 10.5.2014]. Dostupné na www: <http://digiroom.digizone.cz/clanky/chytre-ovladani-v-domacnosti>
- [3] Landis+Gyr. [online]. 2016 [cit. 25.11.2015]. Dostupné z: <http://www.landisgyr.cz/>
- [4] EnerGenie. EnerGenie [online]. 2009-2016 [cit. 3.1.2015]. Dostupné z: <http://energenie.com/>
- [5] Fibaro. Fibaro [online]. 2009-2016 [cit. 3.4.2016]. Dostupné z: <http://www.mojefibaro.cz/>
- [6] CREATIVE COMMONS. Arduino [online]. 2010 [cit. 25.11.2015]. Dostupné z: <http://www.arduino.cc/>
- [7] Mikroprocesor Atmega640/1280/1281/2560/2561. [online]. 10/2012, 447 s. [cit. 25.11.2015] ATMEL. Dostupné z WWW: <http://www.atmel.com/Images/doc2549.pdf>
- [8] ENC28J60. [online]. 10/2012, 102 s. [cit. 14.2.2016] Microchip. Dostupné z WWW: <http://www.farnell.com/datasheets/1700966.pdf>
- [9] nRF24L01. [online]. 7/2015, 74 s. [cit. 18.11.2015] Nordic semiconductor. Dostupné z WWW: http://www.nordicsemi.com/eng/nordic/download_resource/8041/1/28042580
- [10] nRF905. [online]. 4/2008, 84 s. [cit. 4.12.2015] Nordic semiconductor. Dostupné z WWW: http://www.nordicsemi.com/eng/content/download/2452/29528/file/Product_Specification_nRF905_v1.5.pdf
- [11] Hope microelectronics: FSK module. [online]. 2009- [cit. 2015-12-07]. Dostupné z: http://www.hoperf.com/rf/fsk_module/
- [12] Texas Instruments: Low-Power Sub-1 GHz RF Transceiver. [online]. 2015- [cit. 2016-4-07]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/swrs061i/swrs061i.pdf>
- [13] Český telekomunikační úřad. Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/05.2014-3. [online]. 20 s. [cit. 2015-11-18]. Dostupné z WWW: http://www.ctu.cz/cs/download/oop/rok_2014/vo-r_10-05_2014-03.pdf
- [14] TARNG, M. M. Smart integrated socket automation system [online]. United States Patent, US5793125 A, 1998 - [cit. 10.5.2014]. Dostupné na www: <http://www.google.com/patents/US5793125>
- [15] G5RL-U/-K PCB Power Relay. [online]. 4 s. [cit. 21.11.2015] OMRON Corporation. Dostupné z WWW: https://www.omron.com/ecb/products/pdf/en-g5rl_uk.pdf
- [16] ACS712. [online]. 2006-2013, 15 s. [cit. 20.2.2016] Allegro MicroSystems. Dostupné z WWW: <http://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx>
- [17] TS1117. [online]. 12/2003, 6 s. [cit. 20.4.2016] TSC Dostupné z WWW: http://biakom.com/pdf/TS1117_TSC.pdf
- [18] HT75XX-1. [online]. 12/2006, 14 s. [cit. 20.4.2016] Holtek Dostupné z WWW: <http://www.e-ele.net/DataSheet/HT75XX-1.pdf>

SEZNAM PŘÍLOH

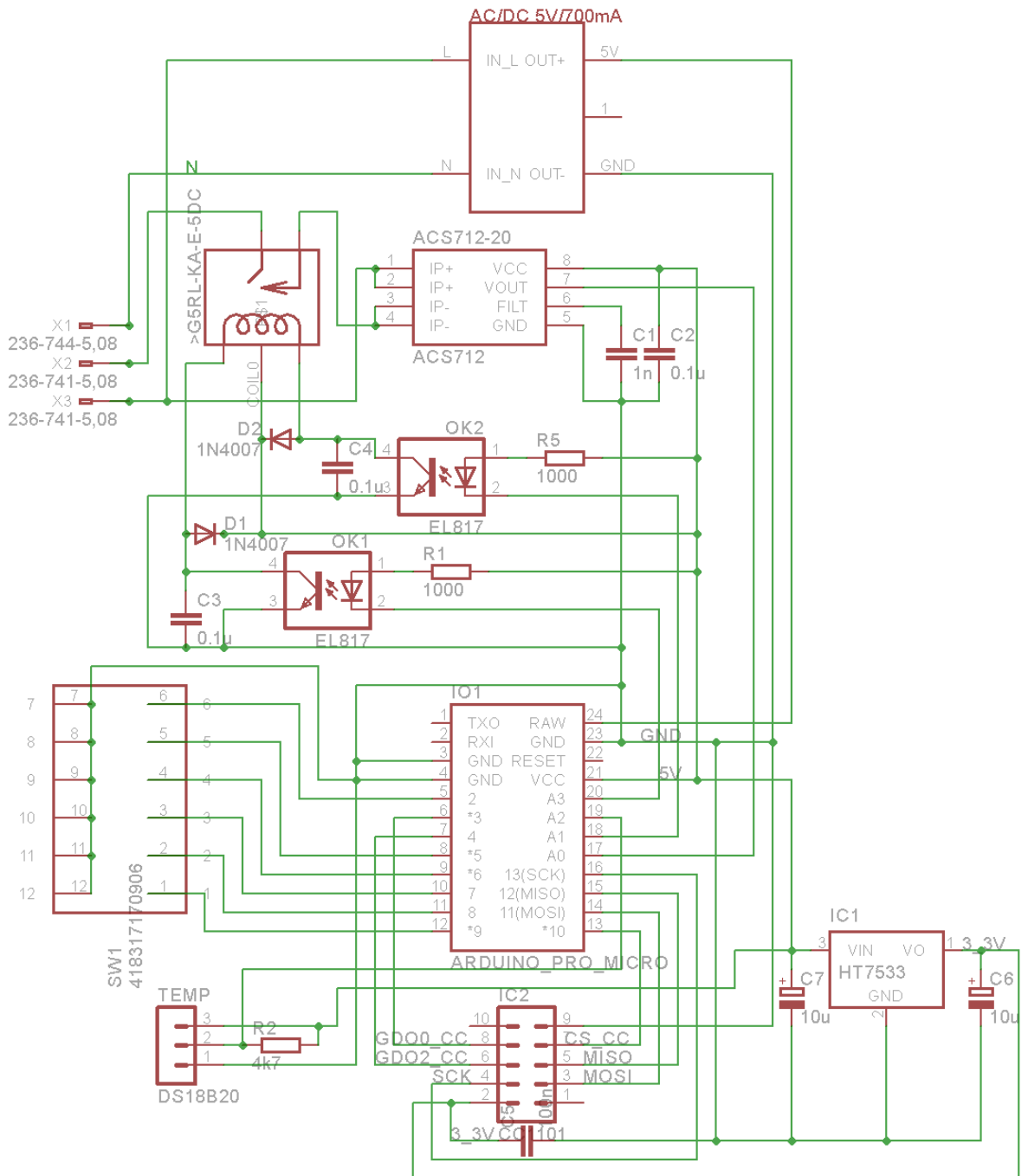
A	Návrh zařízení	38
A.1	Obvodové zapojení řídicí jednotky	38
A.2	Obvodové zapojení zásuvkového modulu	39
A.3	Deska plošného spoje řídicí jednotky – bottom (strana spojů).....	40
A.4	Deska plošného spoje zásuvkového modulu – bottom (strana spojů)	41
A.5	Osazení zásuvkového modulu	42
B	Seznam součástek	43
B.1	Řídicí jednotka.....	43
B.2	Zásuvkový modul	43
C	Fotografie zařízení	45
E	Obsah přiloženého CD	46

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

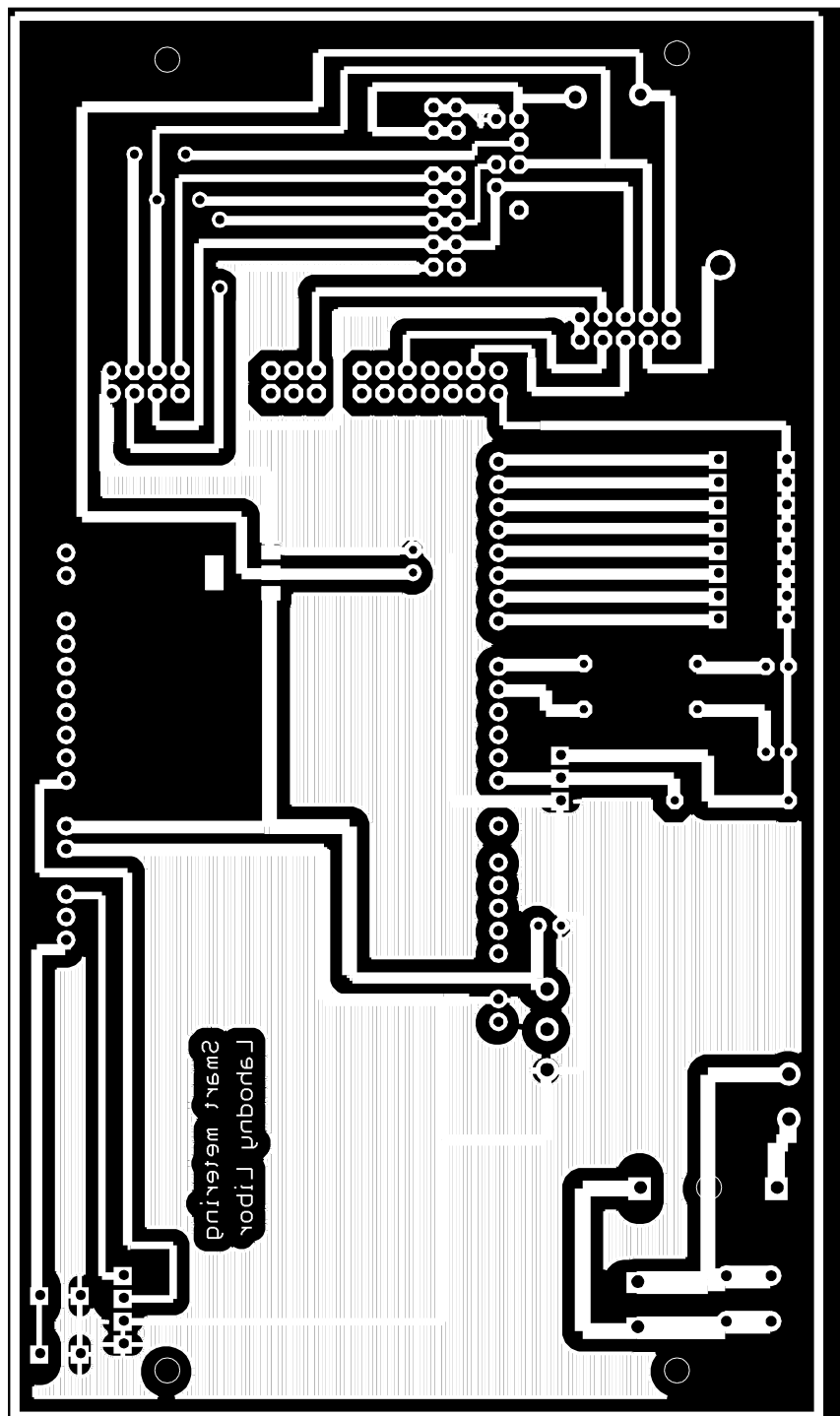
A.1 Obvodové zapojení řídicí jednotky



A.2 Obvodové zapojení zásuvkového modulu

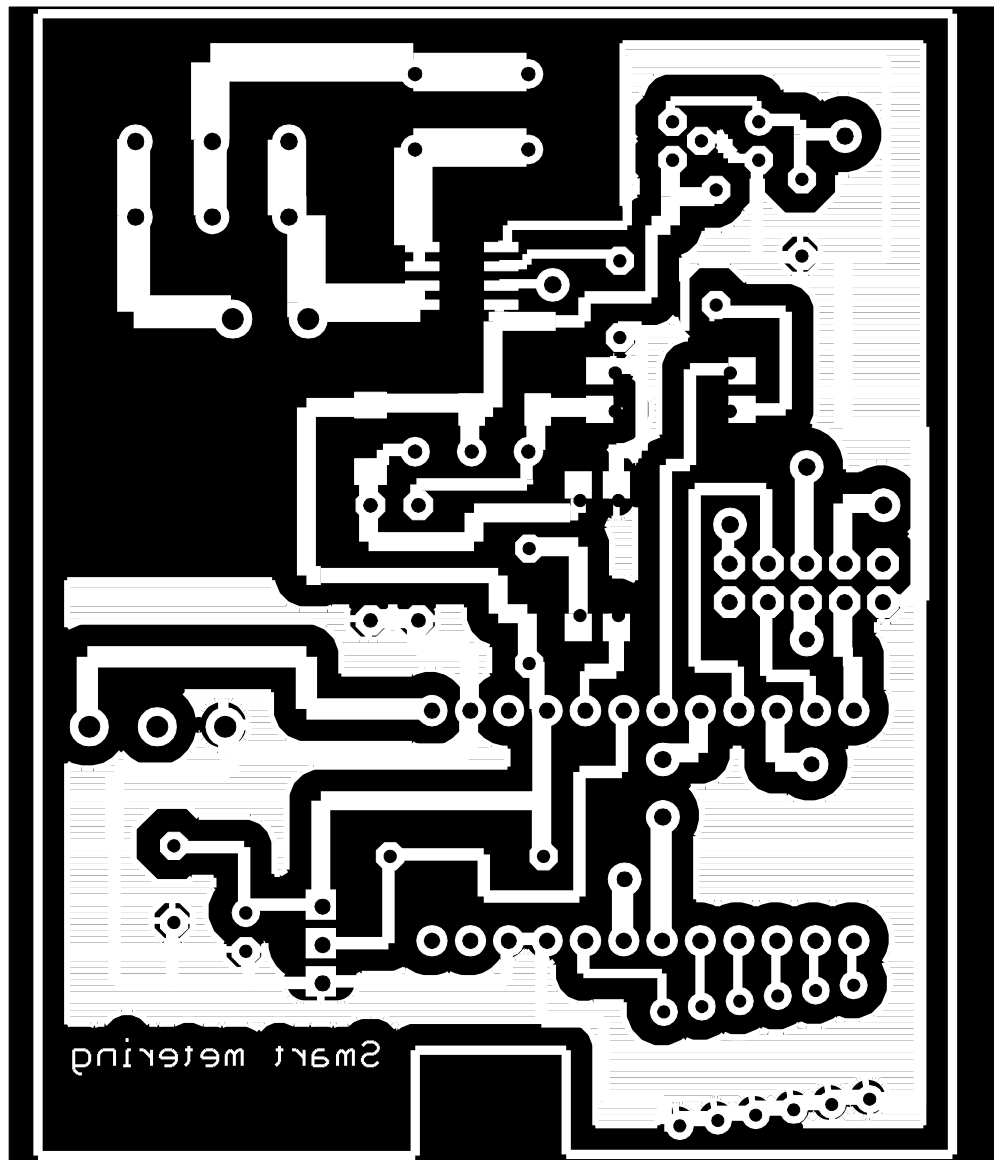


A.3 Deska plošného spoje řídicí jednotky – bottom (strana spojů)



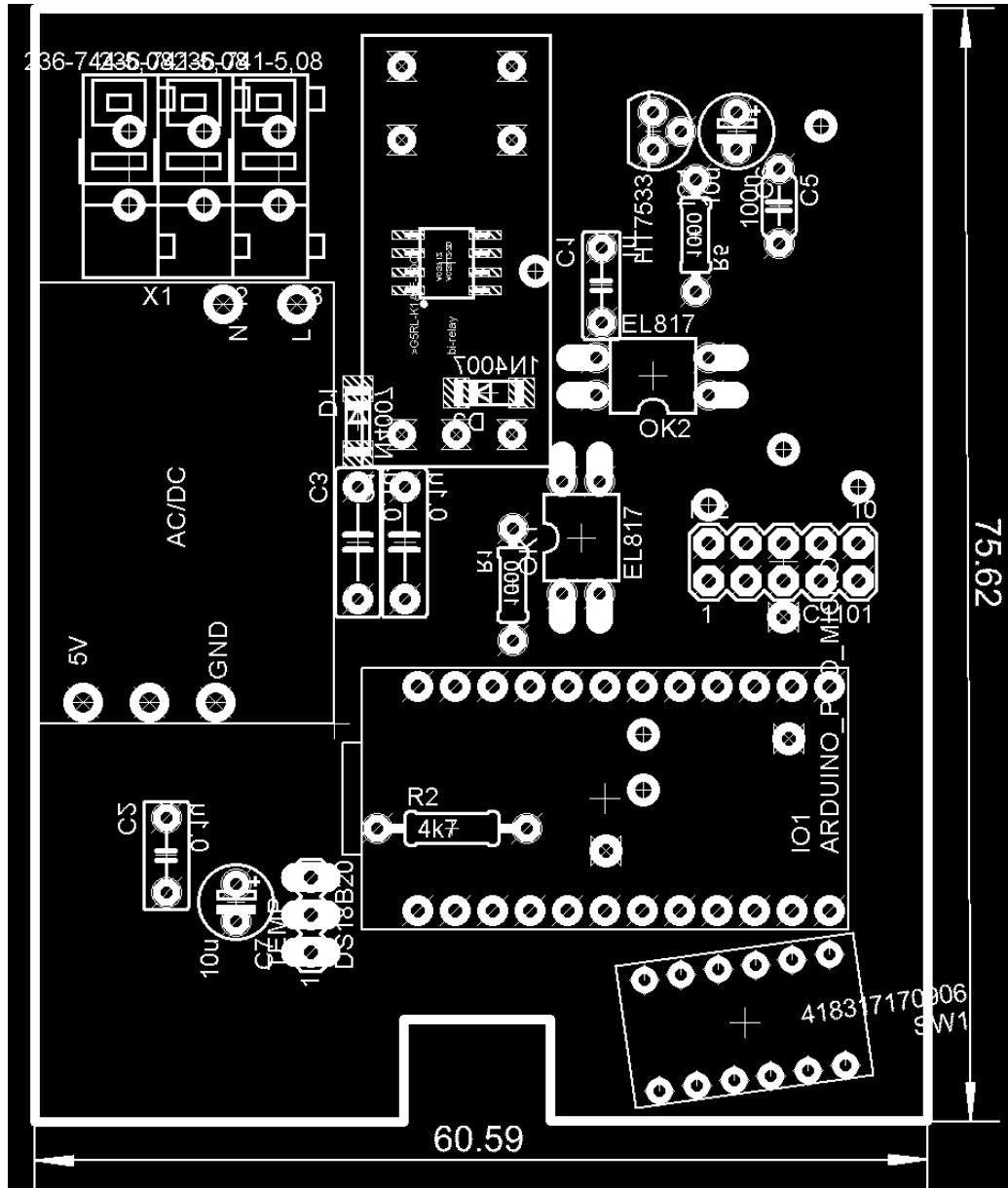
Rozměr desky 86,9 x 156,2 [mm], měřítko M6:5

A.4 Deska plošného spoje zásuvkového modulu – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 60,6 x 76,6 [mm], měřítko M2:1

A.5 Osazení zásuvkového modulu



Rozměr desky 60,6 x 76,6 [mm], měřítko M2:1

B SEZNAM SOUČÁSTEK

B.1 Řídící jednotka

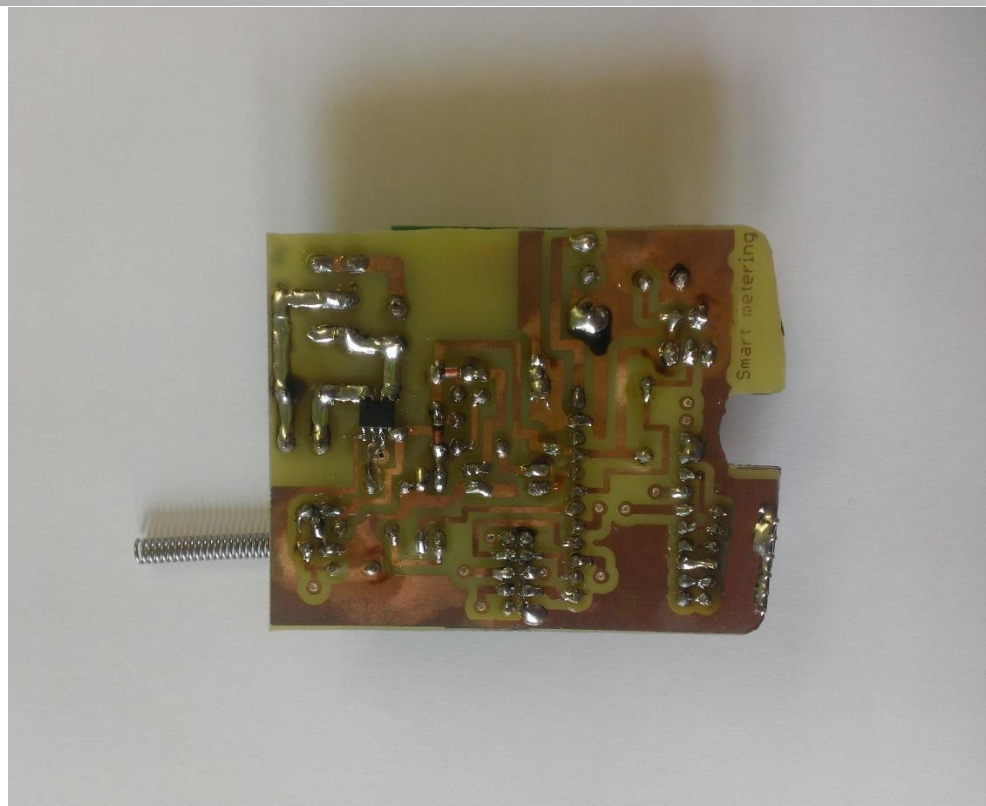
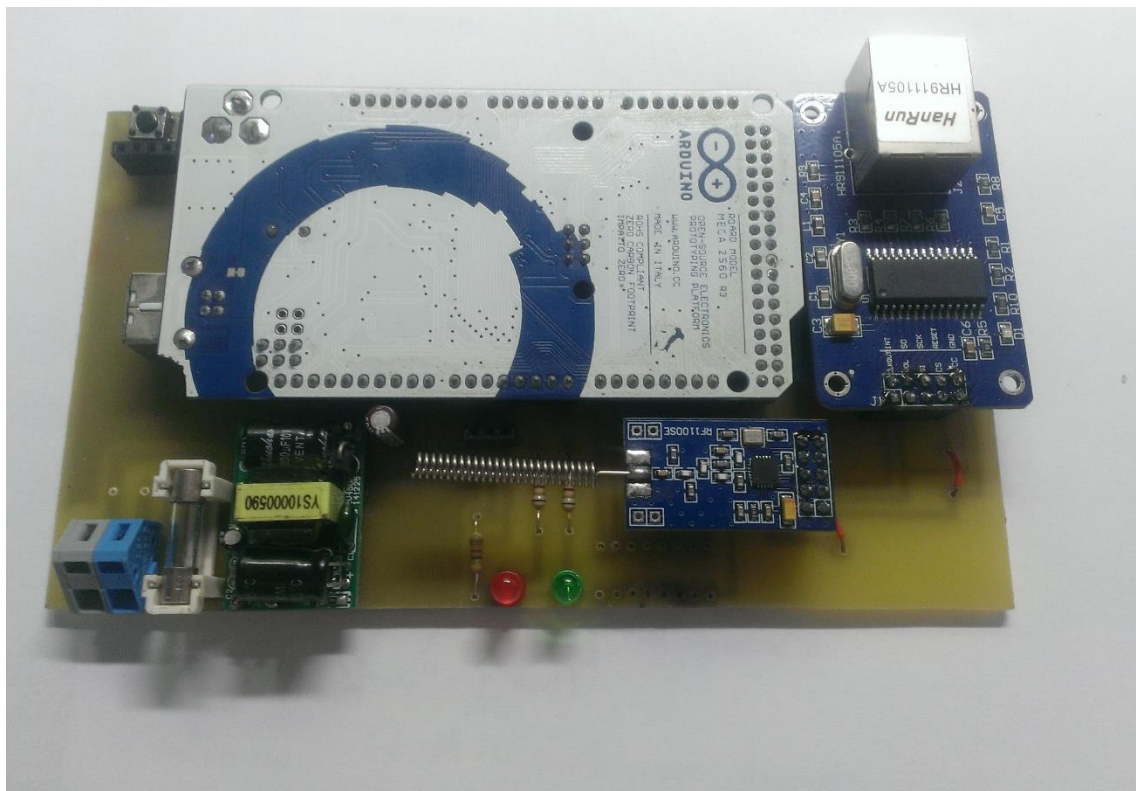
Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
ACDC5V	ACDC	ACDC	Měnič napětí
U1	ARDUINO_MEGA	ARDUINO_MEGA	Mikrokontrolér
ETHERNET	ENC28J60	MA05-2	Ethernet modul
SDCARD	SD	MA08-2	Modul SD karty
CC1101	MA05-2	con-lstb	Bezdrátový modul
LED1	RED	LED3MM	LED
LED2	GREEN	LED3MM	LED
R1	4k7	0207/12	Rezistor
R2	560	0207/12	Rezistor
R3	560	0207/12	Rezistor
IC1	REG1117	SOT223	Regulátor napětí 3,3V
C1	100n	CPOL-EUE2,5-6E	Kondenzátor
C2	100n		Kondenzátor
F1	100m	GSH15	Pojistkové pouzdro
VOLTAGE	MA04-1	MA04-1	Modul voltmetru
S1	reset	B3F-10XX	Reset tlačítko
X1-GRAY	236-742-5,08	236-4XX	Wago konektor
X2-BLUE	236-744-5,08	236-4XX	Wago konektor

B.2 Zásuvkový modul

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
ACDC5V	ACDC	ACDC	Měnič napětí
IO1	PRO_MICRO	PRO_MICRO	Mikrokontrolér
ACS712-20	ACS712	SO08	Proudový senzor
C1	1n	C-EU050-025X075	Keram. kondenzátor
C2	0.1u	C-EU050-030X075	Keram. kondenzátor
C3	0.1u	C-EU075-032X103	Keram. kondenzátor
C4	0.1u	C-EU075-032X103	Keram. kondenzátor
C5	100n	C-EU050-024X044	Keram. kondenzátor
C6	10u	CPOL-EUE2.5-5	Elektrolyt. kondenzátor
C7	10u	CPOL-EUE2.5-5	Elektrolyt. kondenzátor
D1	1N4007	SOD106A-R	Usměrňovací dioda
D2	1N4007	SOD106A-R	Usměrňovací dioda

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
IC1	HT7533	TO92	Stabilizátor napětí
IC2	CC1101	MA05-2	IC2
OK1	EL817	DIL04	Optočlen
OK2	EL817	DIL04	Optočlen
R1	1k	0204/7	Rezistor
R2	4k7	0207/10	Rezistor
R5	1k	0204/7	Rezistor
SW1	DP06R	DIP06	DIP přepínač
US1	SRD-05VDC-SL-C	relay	Relé
X1	236-744-5,08	236-4XX	Wago konektor
X2	236-741-5,08	236-4XX	Wago konektor
X3	236-741-5,08	236-4XX	Wago konektor

C FOTOGRAFIE ZAŘÍZENÍ



D OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

K této práci je přiloženo CD, na kterém jsou uloženy zdrojové kódy a podklady pro výrobu DPS a dále:

- Hardware – soubory z návrhového softwaru Eagle
 - Modul zásuvky
 - Řídící jednotka

- Software
 - Zdrojový kód pro modul zásuvky
 - Zdrojový kód pro řídicí jednotku

- Fotografie, obrázky použité v práci a soubory diagramů

- Kopie diplomové práce