



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

KONCEPT SMART-METERINGU PRO DOMÁCNOST

CONCEPT OF SMART HOME ENERGY MONITORING AND MANAGEMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Kolouch

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Vrána

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Petr Kolouch

ID: 173678

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Koncept smart-meteringu pro domácnost

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Rešerše stávajících systémů
2. Návrh měřicího konceptu pro domácnost
3. Realizace funkčního prototypu pro smart-metering jednoho spotřebiče a verifikace naměřených dat
4. Pokusná instalace v prostorách UEEN
5. Vyhodnocení naměřených dat a návrhy optimalizace

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 5.6.2017

Vedoucí práce: Ing. Michal Vrána

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Bibliografická citace práce:

KOLOUCH, P. *Koncept smart-meteringu pro domácnost*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 58 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Vrána.

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Koncept smart-meteringu pro domácnost* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne: 5. 6. 2017

.....

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá smart-meteringem domácnosti. Úvod práce se věnuje přiblížení dané problematiky. Následně je vysvětlen princip fungování chytré zásuvky a možnosti propojení chytrých zásuvek s obnovitelnými zdroji. V další části práce je provedena zevrubná rešerše stávajících chytrých systémů v České republice i zahraničí. V praktické části práce byly změřeny a zhodnoceny 3 komerční chytré zásuvky. Poslední částí práce je návrh konceptu chytré zásuvky založené na mikročipu ADE7753. Následně je podrobně popsána realizace měřícího zařízení.

KLÍČOVÁ SLOVA: ADE7753; chytré zásuvky; NodeMCU; chytré měření

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with smart metering of home. The introduction of the thesis deals with the approach of this issue. It then explains the principle of smart socket operation and the possibility of linking smart sockets with renewable sources. In the next part of the thesis there is a thorough search of existing smart systems in the Czech Republic and abroad. In the practical part, 3 commercial smart sockets were measured and evaluated. The last part is the creation of the concept of smart socket-based on microchip ADE7753. Subsequently, the implementation of the measuring device is detaily described.

KEY WORDS: ADE7753; smart socket; smart plug; NodeMCU; smart metering

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK.....	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
1 ÚVOD.....	12
2 SMART METERING.....	13
2.1 SMART METERING V NOVOSTAVBÁCH	13
2.1.1 SMART HOME – INTELIGENTNÍ INSTALACE	13
2.2 SMART METERING VE STÁVAJÍCÍCH ZÁSTAVBÁCH	14
2.3 PRINCIP MĚŘENÍ A FUNKCE.....	14
2.3.1 PRINCIP VÝPOČTU HODNOT	15
2.3.2 VZORKOVÁNÍ SIGNÁLU (SAMPLING) A JEHO REKONSTRUKCE.....	15
2.3.3 ČIDLA NAPĚTÍ A PROUDU	17
2.3.4 UKLÁDÁNÍ A VIZUALIZACE DAT	18
2.4 PROPOJENÍ S OZE	19
2.4.1 REGULÁTOR.....	19
2.4.2 HYBRIDNÍ MĚNIČE A PREDIKCE DAT.....	19
3 REŠERŠE STÁVAJÍCÍCH SYSTÉMŮ.....	22
3.1 SMART SOCKET AIR – LOXONE.....	22
3.2 EGO SMART WI-FI SOCKET – EFERGY	23
3.3 FIBARO WALL PLUG	23
3.4 PANASONIC KX-HNA101FX.....	24
3.5 BEEWI BLUETOOTH BBP200.....	25
4 TESTOVÁNÍ VYBRANÝCH ZÁSUVK	26
4.1 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE A KOMPONENTY	26
4.2 ZAPOJENÍ MĚŘICÍHO OBVODU.....	27
4.3 PŘÍKLADY VÝPOČTU	28
4.4 REVOGI SMART METER PLUG BLUETOOTH SPB012	30
4.4.1 VÝSLEDKY A POZNATKY Z MĚŘENÍ.....	31
4.5 REVOGI SMART POWER PLUG WI-FI	31
4.5.1 VÝSLEDKY A POZNATKY Z MĚŘENÍ.....	32
4.6 D-LINK MYDLINK™ HOME SMART PLUG.....	33
4.6.1 VÝSLEDKY A POZNATKY Z MĚŘENÍ.....	34
5 PRAKTICKÁ ČÁST PRÁCE.....	35
5.1 AVR465.....	35
5.2 ADE7753.....	35
5.3 VOLBA MIKROKONTROLÉRU	36

5.4 ESP8266 NODEMCU DEVKIT v0.9.....	37
5.5 NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ (DPS).....	38
5.5.1 KOMUNIKACE MEZI INTEGROVANÝMI OBVODY	39
5.5.2 NÁVRH ZDROJE PRO IO	41
5.5.3 ZAPOJENÍ ČIDLA NAPĚTÍ.....	42
5.5.4 ZAPOJENÍ ČIDLA PROUDU.....	43
5.6 FIRMWARE	44
5.7 KALIBRACE IO ADE7753	45
5.7.1 VLASTNÍ KALIBRACE CFDEN	45
5.7.2 VLASTNÍ KALIBRACE AKUMULOVANÉ ČINNÉ ENERGIE (LAENERGY).....	46
6 ZÁVĚR.....	47
6.1 SOUČASNÝ STAV	47
6.2 NÁVRH DALŠÍHO POSTUPU	48
POUŽITÁ LITERATURA.....	49
SEZNAM PŘÍLOH.....	53

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1: Schéma topologie a připojení externí chytré zásuvky.....	14
Obr. 2-2: Správně zvolená vzorkovací frekvence (100 Hz) pro rekonstrukci křivky napětí o frekvenci 40 Hz.....	16
Obr. 2-3: Nesprávně zvolená vzorkovací frekvence (100 Hz) pro křivku s frekvencí 90 Hz a nesprávně zrekonstruovaná křivka o frekvenci 10 Hz	16
Obr. 2-4: Schématické zobrazení děliče napětí.....	17
Obr. 2-5: Schéma čidla proudu s Hallovou sondou [13].....	18
Obr. 2-6: Schéma regulátoru spínajícího zátěž přes solid state relé	20
Obr. 2-7: Schéma napájení domovního rozvodu pomocí fotovoltaické elektrárny a distribuční sítě přes hybridní měnič s připojeným akumulátorem	21
Obr. 3-1: Smart socket air od firmy Loxone [20]	22
Obr. 3-2: Náhled na chytré zásuvky ego smart Wi-Fi socket od efergy [21].....	23
Obr. 3-3: Náhled zásuvky Fibaro Wall Plug [22].....	24
Obr. 3-4: Vzhled zásuvky KX-HNA101FX od Panasonicu [23]	25
Obr. 3-5: Náhled smart meteru BBP200 a aplikace od firmy BeeWi [24]	25
Obr. 4-1: Přesnost osciloskopu HIOKI 3390 v rozmezí od 0,5 Hz do 66 Hz [27].....	26
Obr. 4-2: Zapojení měření při odporové zátěži 0,5 kΩ.....	27
Obr. 4-3: Zapojení pro měření s kapacitní zátěží 0,5 kΩ a pro paralelní kombinaci kapacitní a odporové zátěže	27
Obr. 4-4: Charakteristika napětí a odebíraného proudu ze sítě při odporové zátěži 0,5 kΩ	29
Obr. 4-5: Charakteristika napětí a odebíraného proudu ze sítě při kapacitní zátěži 0,5 kΩ.....	29
Obr. 4-6: Charakteristika napětí a odebíraného proudu ze sítě při sérioparalelní kombinaci odporové a kapacitní zátěže	30
Obr. 4-7: Náhled rozložené zásuvky Revogi Smart Meter Plug Bluetooth SPB012 [29]	30
Obr. 4-8: Náhled rozložené zásuvky Revogi Smart Power Plug Wi-Fi [30].....	32
Obr. 4-9: Vzhled chytré zásuvky D-Link [31]	33
Obr. 5-1: Schéma zapojení mikrokontroléru AVR465 [32]	35
Obr. 5-2: Blokové schéma speciálního mikrokontroléru ADE7753 [6].....	36
Obr. 5-3: Přehled jednotlivých pinů NodeMCU [35]	38
Obr. 5-4: Komunikace Masteru a jednoho Slave pomocí SPI.....	39
Obr. 5-5: Vyčítání dat z ADE7753 přes SPI [6]	40
Obr. 5-6: Zapisování dat do ADE7753 přes SPI [6].....	40
Obr. 5-7: Kapacitní zdroj stejnosměrného napětí +5 V s bezpečnostními prvky.....	42

<i>Obr. 5-8: Zapojení napěťového čidla ADE7753</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 5-9: Zapojení proudového čidla ADE7753</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 6-1: Příklad vypsaných hodnot registrů VRMS, IRMS a PERIOD</i>	<i>48</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 4-1: Naměřené a vypočtené hodnoty pro Revofi SPB012 Bluetooth.....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 4-2: Naměřené a vypočtené hodnoty pro Revogi Smart Power Pluch Wi-Fi.....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 4-3: Naměřené a vypočtené hodnoty pro Smart meter D-Link</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 5-1: Odběr NodeMCU v různých módech [33].....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 5-2: Možné variace názvů datových výstupů SPI.....</i>	<i>40</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

u	okamžité napětí	(V)
i	okamžitý proud	(A)
p	okamžitý výkon	(W)
P	průměrný výkon za čas	(W)
E	spotřebovaná elektrická energie	(Ws)
ω_s	vzorkovací úhlová frekvence	(rad/s)
ω_s	maximální úhlová frekvence signálu	(rad/s)
T_s	vzorkovací perioda	(s)
f_s	vzorkovací frekvence	(Hz)
ΔP	spotřeba zásuvky při měření	(W)
$P_{m\check{r}\check{P}\check{R}\check{E}D}$	výkon měřený před chytrou zásuvkou	(W)
$P_{m\check{r}\check{Z}A}$	výkon měřený za chytrou zásuvkou	(W)
P_{uz}	výkon udaný chytrou zásuvkou	(W)
ΔS	zdánlivá spotřeba zásuvky při měření	(VA)
$E_{m\check{r}\check{P}\check{R}\check{E}D}$	odebraná elektrická energie	(Ws)
$E_{m\check{r}\check{Z}A}$	elektrická energie dodaná zátěži	(Ws)
δ_P	relativní chyba měření	(%)
t	čas měření	(min)
U_z	fázové napětí zdroje	(V)
I_{ef}	efektivní odebíraný proud	(A)
$\cos\varphi$	účinník	(–)
T_{in}	teplota uvnitř chytré zásuvky	(°C)

OZE	obnovitelné zdroje energie
Wi-Fi	bezdrátová komunikace v počítačových sítích
SSR	solid state relé
iOS	operační systém firmy Apple
FVE	fotovoltaická elektrárna
PWM	pulzně šířková modulace
IoT	internet věcí (internet of things)
SPI	sériové periferní rozhraní

1 ÚVOD

V době, kdy je kladen vysoký důraz na ekologii a ekonomickou výhodnost, je obyvatelstvem stále zvyšován odběr elektrické energie. Proto je potřeba zvyšovat výrobu elektrické energie a zároveň snižovat ztráty, a to jak na straně výroby a přenosu, tak i na straně spotřebitele. Energetika má tendenci decentralizace a stále větší podíl na výrobě elektrické energie mají obnovitelné zdroje. Budoucností energetiky jsou tak chytrá řízení – smart systémy.

Dostává se tak ke slovu smart metering, což je v rámci obytných prostor poměrně nová a efektivní možnost jak měřit, ovládat a optimalizovat spotřebu celého domu. Pomocí smart meterů lze měřená data spotřeby společně s časovým údajem ukládat, zkoumat a dále je využívat k úpravě a predikci spotřeby.

Již nyní je na trhu spousta chytrých systémů i zásuvek, jejichž cena je poměrně vysoká, ta se pohybuje kolem tisíce korun za zásuvku. Velká část z dostupných zařízení nemusí měřit optimálně, a tak je cílem této práce pochopit a shrnout problematiku smart meteringu a navrhnout vhodnou topologii smart metru a vyrobit cenově dostupný a přesný prototyp smart metru.

Teoretická část této práce pak nastiňuje problematiku smart meteringu a chytrých zásuvek. Jeden z úseků práce se věnuje přínosu propojení smart meterů s obnovitelnými zdroji. Následně je provedena zevrubná rešerše tuzemského i zahraničního trhu v oblasti stávajících chytrých systémů. Na závěr jsou proměřeny a zhodnoceny 3 komerční chytré zásuvky.

V praktické části je vybrán specializovaný měřicí integrovaný obvod a je vytvořen vhodný koncept smart metru pro měření jednoho spotřebiče. Práce dále popisuje vývoj a optimalizaci zařízení. Na závěr je navržena optimalizace řešení a použití vytvořené chytré zásuvky.

2 SMART METERING

Chytrým měřením rozumíme měření a zaznamenávání spotřeby elektrické energie. Tyto hodnoty získáváme ze smart meterů, čili chytrých zásuvek, které přes určité rozhraní komunikují s investorem a vizualizují změřené informace do grafů spotřeby. Pomocí každého grafu dostává investor představu o spotřebované energii jednotlivého spotřebiče v měřené oblasti (dům, byt atp.), a tím i možnost upravit délku i čas provozu a snížit tím náklady za elektřinu. Na této úrovni funguje již spousta systémů.

Další úroveň smart meteringu by měla být automatizace ovládání spínání určitých spotřebičů, u kterých lze začátek činnosti odsunout na vhodnou dobu. S tímto faktem jde ruku v ruce i propojení s obnovitelnými zdroji energie (OZE) a změna vysokého tarifu s nízkým.

2.1 Smart metering v novostavbách

Chytré měření na úrovni domu lze do angličtiny překládat více způsoby, jako např. smart metering, smart monitoring a smart home monitoring.

Pokud se rozhodneme stavět nový dům, případně je-li v plánu rekonstrukce i s výměnou rozvodů elektřiny, je potřeba zvolit správnou elektroinstalaci. Pro menší domy a byty, kde nebude vyžadováno složité řízení, se hodí obyčejná elektroinstalace, kde by byly pod omítku instalovány smart metery. Pro tento typ smart meterů by byly do omítky vysekány větší otvory a elektronika chytré zásuvky by byla zapuštěna ve stěně. Ve výsledku by smart meter vypadal jako obyčejná zásuvka a komunikoval by bezdrátově s centrálou, případně by data odesílal do cloudového úložiště (např. Quirky POTLK-WH01, který komunikuje přes centrálu Wink Hub [1]). Spotřebiče by následně byly kontrolovány a řízeny uživatelem s již výše zmíněným grafickým přehledem, a to buď přes počítač, nebo přes mobilní telefon. Tato varianta je finančně méně nákladná než inteligentní instalace. Například ve studii [2] dosahují při experimentálním měření systému RECoS úspory až 43,4 %.

Pro velké stavby a stavby vyžadující komfortní řešení, široké spektrum funkcí a flexibilitu se i přes vyšší náklady hodí inteligentní instalace – smart home [3].

2.1.1 Smart home – inteligentní instalace

Cílem této technologie je nejen snížit náklady na provoz domácnosti, ale také v kombinaci s ostatními prvky a čidly zákazníkovi co nejvíce zpříjemnit a zjednodušit pobyt. Ve smart home lze nejen snímat a ovládat spotřebu, ale chytrý dům zároveň umožňuje plnou regulaci a automatizaci domu z centrální jednotky (PC) nebo přes mobilní zařízení.

V oknech i dveřích mohou být umístěna čidla, lze tak sestavit jednoduchý alarm a pomocí něj chránit dům před vniknutím cizích osob. Dále lze programovat vypínače světel a nastavovat světelné scény. Otevírání garážových vrat pomocí mobilního telefonu nebo pohybových čidel je téměř samozřejmostí. Chytrý dům může disponovat automatickým ovládáním žaluzií, rolet a markýz při rozednění či silném větru. Regulace teploty vázána k teplotnímu čidlu je v létě uskutečněna pomocí ventilace a v zimě třeba pomocí elektrických kamen.

V těchto inteligentních elektroinstalacích nejsou světelné okruhy ovládány přímým silovým propojením, ovládací prvky (tlačítkové spínače) komunikují po sběrnici, silovém vedení nebo po radiofrekvenční komunikaci [4]. Např. v systémové elektroinstalaci se sběrnici CIB jsou ovládací prvky k ovládanému členu přiřazeny softwarovým příkazem přes sběrnici, která zároveň ovládací

prvky napájí a navazuje komunikaci s centrální jednotkou [5]. Dále lze spárovat i ovládací prvky, které jsou napájeny bateriemi a komunikují bezdrátově. To může být dálkové ovládání k upravování světelných scén, případně mobilní vypínač, který uchytíme na zeď a v případě potřeby ho můžeme přemístit a „nalepit“ na jiné místo.

2.2 Smart metering ve stávajících zástavbách

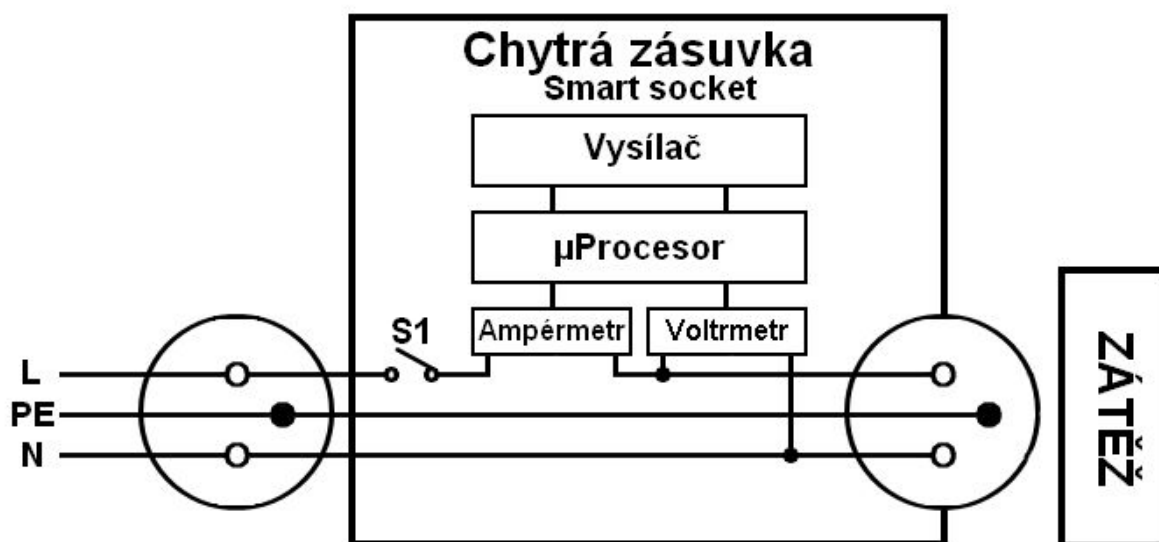
Chceme-li začít používat smart metering ve stávajících prostorách, lze k tomu využít externích chytrých zásuvek. Ty jsou provedeny jako průchozí modul obsahující elektroniku. Komunikace s uživatelem probíhá bezdrátově buď přes centrální jednotku (server), anebo rovnou s uživatelem prostřednictvím mobilní aplikace.

Velká výhoda této metody spočívá v tom, že není potřeba zasahovat do stávající elektroinstalace. Výhodou je samozřejmě i její vysoká mobilita. Pokud uživatel nevyžaduje kontinuální měření celého obydlí, lze po uvážení pořídit potřebný počet chytrých zásuvek a monitorovat např. 2 místnosti po zvolené období a systematicky zmonitorovat celý byt, potažmo dům. V každém ročním období se odběr některých spotřebičů různí, a proto je potřeba uvažovat případnou odchylku. Při celkovém měření obydlí tato odchylka nevzniká.

Při průměrné ceně cca 1.000,- za externí chytrou zásuvku, lze za 10.000,- vytvořit monitoring pro 2 malé místnosti, případně jednu velkou místnost jako je kuchyň nebo obývací pokoj.

2.3 Princip měření a funkce

Smart metery, ať už externí nebo uložené pod omítku, mají stejné základní funkce, a to změřit základní veličiny, zpracovat je a odeslat k dalšímu využití. Zjednodušené schéma chytré zásuvky je na Obr. 2-1. Hlavními výstupními veličinami odesílanými ze smart meterů jsou odebíraný výkon a spotřebovaná elektrická energie.



Obr. 2-1: Schéma topologie a připojení externí chytré zásuvky

Pro výpočet těchto hodnot jsou snímány obvodové hodnoty čidly napětí a proudu a následně měřeny mikrokontrolérem. Hodnoty jsou v mikrokontroléru zpracovány a přes vysílač odeslány na úložiště. Komunikace mezi mikrokontrolérem a vysílačem probíhá přes sériové rozhraní. V mnoha případech probíhá komunikace přes sériové periferní rozhraní (SPI) a přes I²C. Existuje celá řada

sériových rozhraní a je na výrobcí, aby pro své potřeby a optimalizaci zařízení zvolil ideální řešení komunikace [12].

Z úložiště jsou data vizualizovány v uživatelském prostředí, to zároveň umožňuje nastavení a ovládání sady smart meterů spolu s indikací okamžitého odběru elektrické energie.

2.3.1 Princip výpočtu hodnot

Aby mikrokontrolér (mikroprocesor), který je mozkiem celého smart meteru a zpracovává veškerá data, mohl určit výkon spotřebiče, jsou měřeny obvodové veličiny, tj. napětí a proud. Systém výpočtů a matematických operací mikroprocesoru se může lišit, princip je ale podobný.

Mikroprocesor snímá skrz čidla okamžité hodnoty napětí a proudu vzorkovací frekvencí f_s . Následuje výpočet okamžitého výkonu dle vztahu 1.1, ten je počítán z hodnot napětí a proudu se stejným časem odebrání vzorku. Počet vzorků na periodu je určen poměrem frekvence vzorkovací a frekvence měřené křivky, např. při frekvenci sítě 50 Hz a vzorkovací frekvenci 5 kHz je za periodu odebráno 100 vzorků, tj. každých 200 μ s je odebrán vzorek.

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) \cdot \cos\varphi \quad (1.1)$$

Aby měla informace okamžitého výkonu váhu, je z něj určen průměrný výkon za určitý čas dle rovnice 1.2 [6]. Toto je výkon, který je zobrazen uživateli, jako odebíraný výkon zařízení, kde n je počet cyklů měření. Cykly měření je určena doba aktualizace průměrného výkonu uživateli.

$$P = \frac{1}{nT} \int_0^{nT} p(t) dt \quad (1.2)$$

Aktualizuje-li se zobrazený výkon jednou za 5s, vypočítáme počet cyklů ze vztahu 1.3 následovně:

$$n = \frac{t_{aktualizace}}{T_{sítě}} = \frac{5}{0,02} = 250 \quad (1.3)$$

Spotřebovaná elektrická energie zobrazovaná zákazníkovi se vypočte ze vztahu 1.4dole integrací výkonu podle času [6]. Tento výkon může být pro větší přesnost představován okamžitým výkonem.

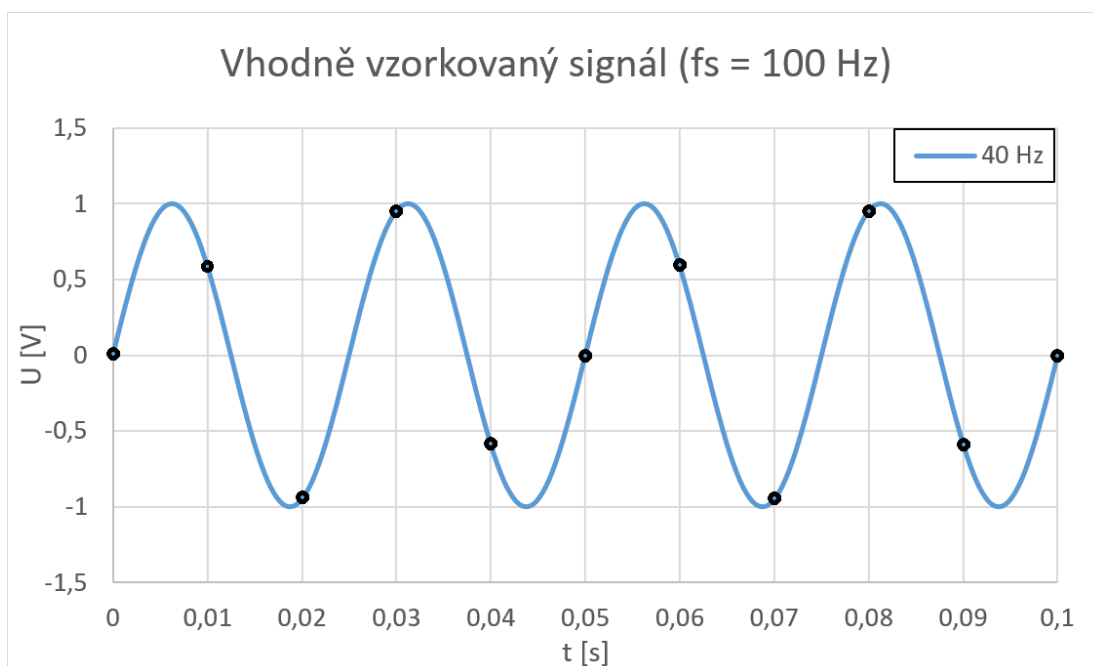
$$E = \int P dt [Ws] \quad (1.4)$$

2.3.2 Vzorkování signálu (sampling) a jeho rekonstrukce

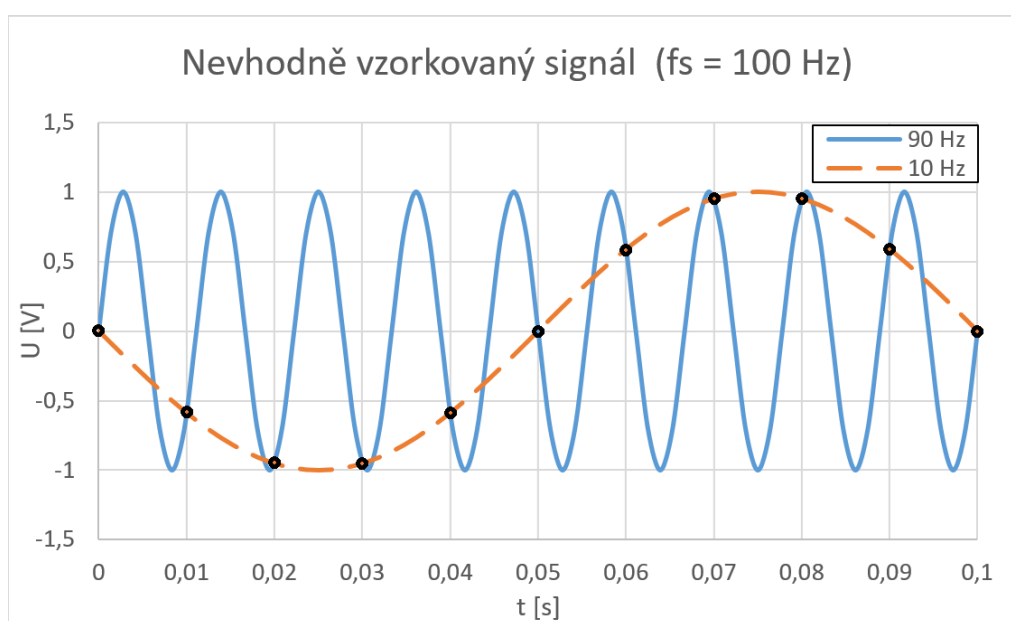
Vzorkování zajišťuje A/D převodník, který převádí spojitý signál na diskrétní. Pro samotné vzorkování průběhu a jeho následnou rekonstrukci je potřeba vycházet ze vzorkovacího teorému daného vztahem 1.5. Pokud zařízení vzorkuje minimálně dvakrát rychleji než je nejvyšší kmitočet ve spektru vzorkovaného signálu, nedojde při vzorkování ke ztrátě informace a lze zpětně rekonstruovat spojitý (původní) signál [7]. Příklad správně určené vzorkovací frekvence je na Obr. 2-2, kdy pro signál napětí o frekvenci 40 Hz byla zvolena vzorkovací frekvence 100 Hz, což splňuje vzorkovací teorém 1.5. Pro věrné zachycení průběhu a dosažení reálných výsledků by dle [8] měla být vzorkovací frekvence minimálně desetinásobkem frekvence vzorkovaného signálu, vyšší vzorkovací frekvence zkvalitňují rekonstruovanou křivku.

$$\omega_s \geq 2\omega_{max} \Leftrightarrow T_s \leq \frac{\pi}{\omega_{max}} \quad (1.5)$$

Naopak, pokud nesplníme vzorkovací teorém, dojde k jevu známému jako aliasing efekt. Při tomto jevu nastává již výše zmíněná ztráta informace a dojde při součtu spekter k jejich vzájemnému překrytí [7]. Tato situace nastává na Obr. 2-3, kdy byla pro signál o frekvenci 90 Hz zvolena nedostatečná vzorkovací frekvence 100 Hz. Při rekonstrukci dochází k aliasing efektu a výsledná křivka má frekvenci 10 Hz, což neodpovídá původní křivce.



Obr. 2-2: Správně zvolená vzorkovací frekvence (100 Hz) pro rekonstrukci křivky napětí o frekvenci 40 Hz



Obr. 2-3: Nesprávně zvolená vzorkovací frekvence (100 Hz) pro křivku s frekvencí 90 Hz a nesprávně zrekonstruovaná křivka o frekvenci 10 Hz

2.3.3 Čidla napětí a proudu

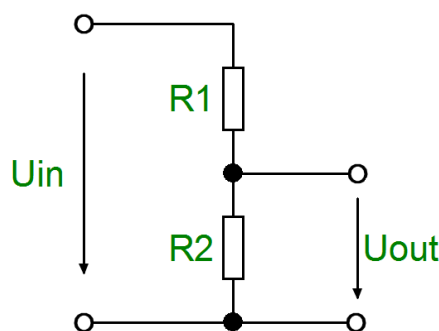
Přes smart meter je ze sítě (230 V) napájena připojená zátěž, pro určení odběru dané zátěže je potřeba měřit obvodové veličiny, to zajišťuje mikroprocesor, který obsahuje napět'ové vstupy dimenzované na určité napětí, řádově jednotky voltů. Na tyto vstupy se připojí senzory napětí a proudu, jež budou po správném dimenzování dodávat napětí o potřebné velikosti.

Jako čidla napětí lze použít:

- Dělič napětí
- Měřicí transformátor napětí

Mikroprocesor nedokáže měřit napětí sítě přímo, proto je potřeba sít'ové napětí transformovat na měřitelnou hladinu. Toho lze docílit např. děličem napětí zobrazeného na Obr. 2-4, ze kterého po vhodné kombinaci rezistorů dostaneme požadované výstupní napětí, viz vzorec 17. Výhodou děliče je malá velikost, ale neodděluje galvanicky síť od mikroprocesoru. Mimo děliče lze použít měřicí transformátor napětí, nevýhodou je sice velikost, ta je ale do jisté míry kompenzována galvanickým oddělením.

$$U_{out} = U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.6)$$



Obr. 2-4: Schématické zobrazení děliče napětí

Pro snímání proudu lze využít:

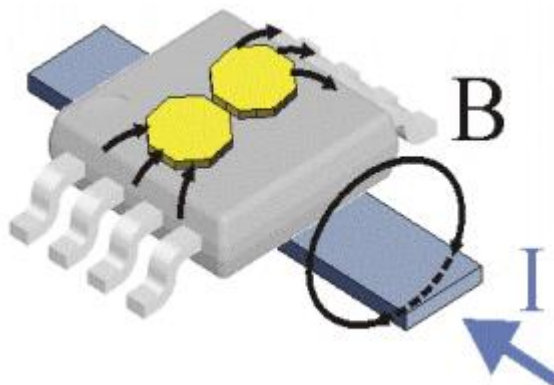
- Bočník
- Rogowského cívku
- Měřicí transformátor proudu
- Hallův proudový senzor

Bočník je nízkoodporový rezistor, který je připojen do série k zátěži. Při připojení zátěže na něm vzniká úbytek napětí, jenž je úměrný procházejícímu proudu [9].

Dříve hojně využívané měřicí transformátory proudu jsou čím dál častěji nahrazovány přesnými Rogowského cívkami [10]. Měřicí transformátory proudu jsou toroidní transformátory, skrz jejich střed se provleče fázový vodič, na sekundární straně měříme úbytek napětí na snímacím odporu vyvolaný transformovaným proudem [11]. Naopak z Rogowského cívky je výstupem napětí, jedná se o toroidní vzduchovou cívku umístěnou okolo měřeného vodiče a je potřeba, aby mikroprocesor obsahoval integrátor, který integrací napět'ového signálu vytvoří signál proudový [6], [10].

Prochází-li vodičem elektrický proud, vzniká kolem magnetické pole, to je snímáno senzorem s Hallovou sondou. Snímač samotný je tvořen úzkou polovodičovou destičkou. Čím je destička

užší, tím je snímač citlivější. Po vložení snímače do magnetického pole jsou procházejícím indukčním tokem přeskupovány náboje v polovodiči na jednu stranu, tím se generuje Hallovo napětí. Na tomto principu pracuje proudový snímač FHS 40-P/SP600 od firmy LEM [12]. Náhled senzoru s Hallovou sondou je na Obr. 2-5.



Obr. 2-5: Schéma čidla proudu s Hallovou sondou [13]

2.3.4 Ukládání a vizualizace dat

Naměřená data a všechny potřebné informace jsou ukládány do dočasného úložiště mikrokontroléru (mezipaměti). Mezipaměť má jen nízkou kapacitu, je tedy potřeba data posílat do úložiště k tomu určenému. Pokud by se tak nestalo, naměřená data budou cyklicky přepisována a dojde k jejich ztrátě. Úložiště může být interní a externí, které je umístěno vně chytré zásuvky. Popřípadě kombinace interního a externího úložiště, touto možností lze docílit lepší zálohy dat. Např. bluetoothové zásuvky musí obsahovat interní paměť, jinak by po odpojení docházelo ke ztrátě informace.

Vizualizaci dat obstarává program/aplikace výrobce, tu můžeme zobrazovat přes mobilní zařízení, což jsou mobilní telefony a tablety, nebo přes stolní zařízení - stolní počítače a notebooky. Prostředí aplikace se liší od výrobce, hlavní schéma ale zůstává stejné. Úvodní stránka obsahuje přehled spárovaných zařízení se systémem, možnosti jejich ovládání a vyhledávání nových zařízení. Dále aplikace obsahuje přehledy odebíraného výkonu v reálném čase a grafy odebrané energie za určitý časový úsek. Lze je řadit podle dnů, týdnů a měsíců. Dodatkové funkce, jako je nastavení ceny za kWh, a následný výpočet ceny energie, časovač nebo teploměr, se znovu liší dle výrobce.

2.3.4.1 Cloudové úložiště

U cloudového úložiště jsou data ukládána přes internet na webové úložiště. Proto je potřeba, aby se smart metery spárovaly s domácí bezdrátovou sítí (Wi-Fi), která má přístup k internetu. K zásuvkám se lze připojit přes mobilní aplikaci od výrobce, případně přes webové stránky. Protože je cloud online úložiště, tak se k aplikaci může uživatel připojit odkudkoliv, kde je připojení na internet. Toho lze využít, zapomněl-li uživatel vypnout zásuvku např. s žehličkou. Pokud ale v domácí síti vypadne připojení k internetu, data nelze odeslat a měření přichází vniveč. Tomuto negativnímu stavu lze předejít, pokud má smart meter kombinované úložiště a data jsou zálohována na paměti uvnitř zásuvky.

2.3.4.2 Vlastní server

Na rozdíl od cloudového úložiště není potřeba připojení k internetu, informace jsou posílány na vlastní server, což je elektronické zařízení zpracovávající naměřená data, z nichž může zákazník charakteristiky zobrazit přes mobilní aplikaci. Druhou možností představuje stolní počítač, který zpracovává přijatá data speciálním softwarem od výrobce (příp. matlab) a zobrazuje je rovnou na monitoru. Stav, kdy by server nepřijímal naměřená data je zároveň stavem, kdy ani být data měřena nemohou – výpadek elektrické energie.

2.4 Propojení s OZE

Pomocí smart meteringu lze snížit náklady spojené se spotřebou elektrické energie. Měřením uživatel zjistí, že některé spotřebiče mají i při vypnutém stavu, tzv. pohotovostním režimu, odběr elektrické energie a při odpojení od sítě dokáže tuto spotřebu anulovat. Při regulaci uživatelem osobně budou sníženy náklady za elektrickou energii, ale pro ještě větší úspory směřuje budoucnost smart meteringu k plné automatizaci domu.

Pro plné využití elektrické energie z fotovoltaické nebo větrné elektrárny je potřeba vyrobenou energii zpracovat v místě výroby, tzn. domu, jelikož výkupní ceny přebytků z obnovitelných zdrojů jsou obecně velmi nízké, nehledě na přepětí a další negativní vlivy na distribuční síť [14]. Proto je nutné přesunout možnou spotřebu na čas, kdy OZE vyrábí elektrickou energii.

2.4.1 Regulátory

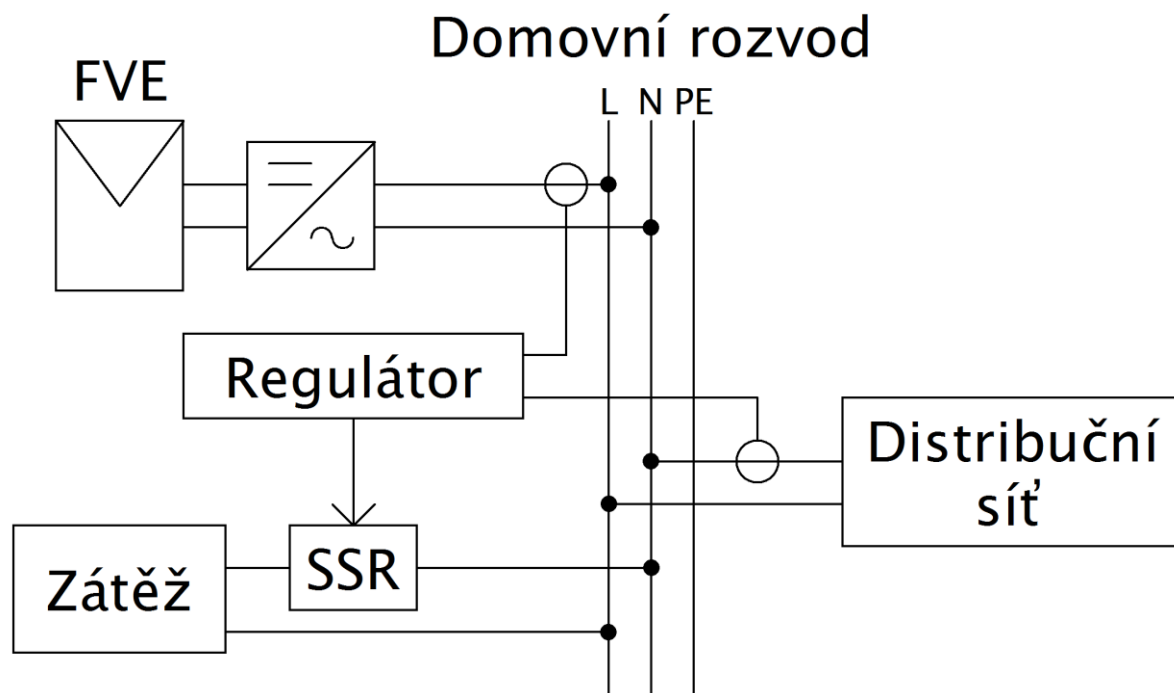
Již nyní jsou dostupné regulátory, které měří výrobu z obnovitelného zdroje energie (fotovoltaické a větrné elektrárny) a spotřebu elektrické energie. Při nadvýrobě spíná spotřebiče, které jsou normálně (bez OZE) spínány při nízkém tarifu, to se týká bojlerů, klimatizací, čističek vzduchu, elektrického vytápění apod. a snaží se měřicím modulem udržet nulový tok energie (tzv. virtuální nulu) [15]. Zjednodušené schéma takového regulátoru je zobrazeno na Obr. 2-6, kde je SSR (solid state relé) většinou zabudováno již v regulátoru. Takový regulátor, např. od firmy WATTrouter [15] nebo IRIDON [16], spíná zátěž jako je boiler tak, aby zamezil přetoku energie do distribuční sítě. Tím pádem je maximalizována spotřeba z OZE. Pomocí tohoto zapojení je možno ušetřit až 30 % z nákladů za elektrickou energii. Určitou nadstavbou by po úpravě systému bylo propojení přímo se smart metery, kde by SSR spínalo chytrou zásuvku. Na ni by byl připojen spotřebič bez potřeby ovládání, jako je větrák, přímotop a čistička vody v bazénu.

2.4.2 Hybridní měniče a predikce dat

Budoucností smart meteringu jsou hybridní měniče, které, na rozdíl od obyčejných měničů, dokáží kombinovat elektrickou energii vyrobenou OZE a energii z distribuční sítě [17]. Tato výhoda hybridního měniče má vysoký potenciál společně s chytrými zásuvkami a predikcí dat. Zjednodušené schéma na Obr. 2-7 zobrazuje fotovoltaickou elektrárnu a hybridní měnič doplňující z distribuční sítě potřebný příkon pro zátěž. V případě, že je akumulátor nabitý, může úplně, nebo alespoň z části, nahradit distribuční síť. Při používání podobného systému lze ušetřit až 70 % z původní ceny za elektrickou energii a díky akumulaci a řízení elektrické energie nedochází k přetokům do distribuční sítě.

2.4.2.1 Teoretický vývoj

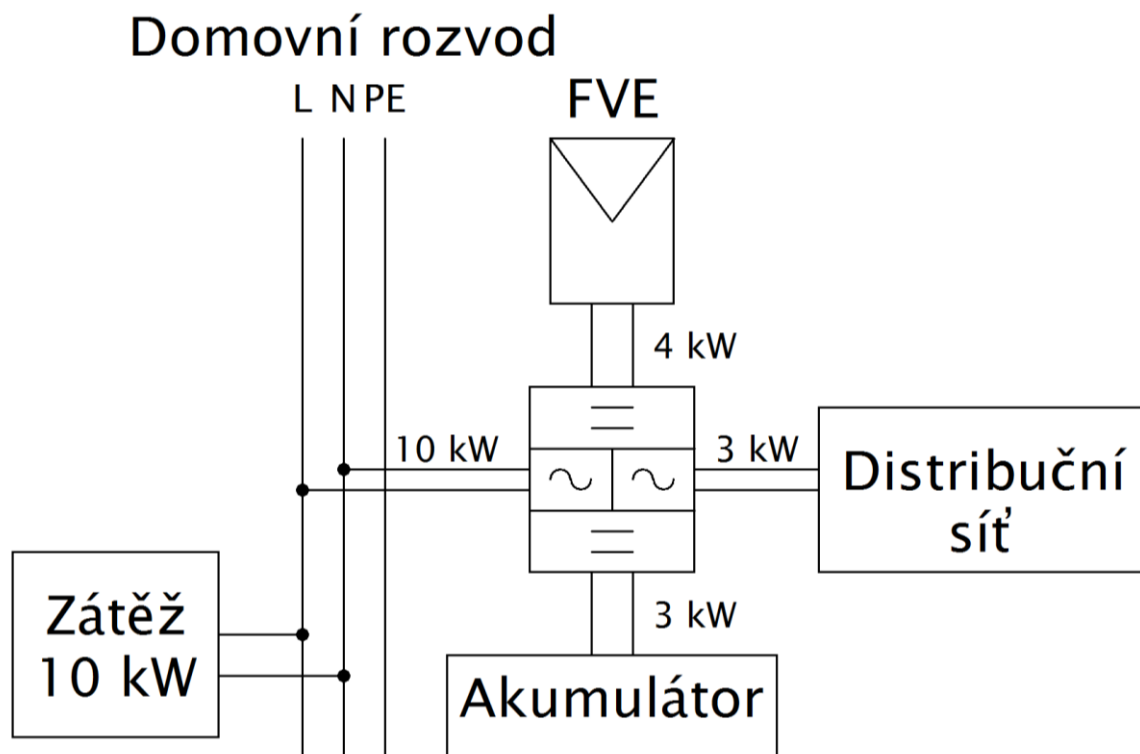
Společnou kombinací nových technologií a zvýšené automatizace lze docílit ještě větší minimalizace spotřeby elektrické energie z distribuční sítě. Každý spotřebič má svůj charakteristický odběr v čase, a to dle nastaveného programu (např. u pračky). Aby za provoz spotřebiče mohla být zaplacená minimální suma, je potřeba znát průběh odběru spotřebiče a výkon fotovoltaické elektrárny v čase, aby bylo možno určit nejvýhodnější start spotřebiče.



Obr. 2-6: Schéma regulátoru spínajícího zátěž přes solid state relé

Databáze odběrů některých spotřebičů je uvedena v projektu Pecan Street [18] a společně s technologií rozeznávání spotřebičů po připojení do sítě od SONY, která je vyvíjena od roku 2012 [19], by byla charakterizace odběru velmi snadná. Výroba fotovoltaické elektrárny jde do značné míry předvídat pomocí předpovědi počasí, ta by byla určena pomocí meteostanice v objektu měření nebo daty z vybraného internetového portálu. Podle nastavení nejzazšího času ukončení programu spotřebiče (např. myčky nádobí) vybere centrální řídicí jednotka z dostupných dat nejvýhodnější start spotřebiče, tím dojde k minimalizaci odběru.

Pokud bude po spuštění cyklu spotřebiče výroba fotovoltaické elektrárny vyšší než odběr zařízení, uloží se přebytečná energie do akumulátoru, k odběru z distribuční sítě nedojde. V případě, že centrální jednotka nebude mít možnost spustit zařízení při nadvýrobě fotovoltaické elektrárny, bude nejprve elektrická energie doplňována z akumulátoru a až v poslední řadě z distribuční sítě. Takovýto systém by obsahoval priority spotřebičů a kalkuloval by se všemi dostupnými i zadanými daty.



Obr. 2-7: Schéma napájení domovního rozvodu pomocí fotovoltaické elektrárny a distribuční sítě přes hybridní měnič s připojeným akumulátorem

3 REŠERŠE STÁVAJÍCÍCH SYSTÉMŮ

Již nyní je na trhu spousta komerčních řešení, ať už se jedná o celý systém s vlastním serverem vyhodnocujícím spotřebu, nebo jen o samostatnou zásuvku shromažďující informace, které se následně zobrazí přes mobilní telefon.

Vyskytují se zde i Smart zásuvky, ale ty jsou jen pouhou nadstavbou zásuvek současných. Obsahují funkce jako je dálkové ovládání přes Wi-Fi či bluetooth a časovač, kterým můžeme vypnout nebo zapnout spotřebič v nastaveném čase. Tyto zásuvky měří pouze aktuální odběr, a proto je nelze zařadit do smart-meteringu.

3.1 Smart Socket Air – Loxone

Chytrá zásuvka od Rakouské firmy Loxone na Obr. 3-1 obsahuje 16A relé, integrovaný teplotní senzor a elektroměr. V propojení s Miniserverem zaznamenává data a následně je zobrazuje ve statistikách, ty jde zobrazit na tabletu nebo mobilním telefonu. Obsahuje funkce jako je časovač a vzdálené vypínání. Samotná zásuvka funguje jako zesilovač signálu, proto v domácnosti stačí jen jeden Wi-Fi router. Zásuvky lze zakomponovat do celkového systému Smart home od Loxone a s pomocí dalších doplňků vytvořit chytrý dům [20].

Dostupné technické parametry podle [20]:

- Po 5 minutách jsou odesílány data o teplotě, stavu využití energie a výkonu
- Při odchylce větší jak 5% od předchozí hodnoty se data odesílají okamžitě
- Maximální spínací proud 16A
- Vlastní spotřeba je menší než 0,5W
- Stupeň krytí IP20
- Wi-Fi 868 MHz
- Spíná se nulový vodič
- Integrovaná ochrana proti přehřátí



Obr. 3-1: Smart socket air od firmy Loxone [20]

3.2 ego smart Wi-Fi socket – efergy

Pro mobilní zařízení s operačním systémem iOS a Android vyvinula firma efergy aplikaci na spravování chytrých zásuvek ego, náhled na Obr. 3-2. Skrze tuto aplikaci lze ovládat samotné zásuvky, prohlížet si grafy spotřeby, nastavit časovač a zapnout pohotovostní funkci, která po určité době nečinnosti vypne zásuvku. Data jsou ukládána na cloudovém úložišti, tím pádem mohou být zásuvky spravovány i mimo bydliště.

Dostupné technické parametry podle [21]:

- Okamžitá spotřeba je aktualizována po 5 vteřinách
- Spotřebovaná energie je aktualizována po 5 minutách
- Grafy spotřeby jsou aktualizovány každých 30 minut
- Přesnost měření je uváděna $\pm 5\%$
- Maximální spínací proud 16A
- Wi-Fi 2,4 GHz b/g/n
- V jedné aplikaci může být připojeno až 100 zásuvek (zpomaluje se systém)



Obr. 3-2: Náhled na chytré zásuvky ego smart Wi-Fi socket od efergy [21]

3.3 Fibaro Wall Plug

Polská firma Fibar Group vytvořila velice elegantní a kompaktní chytrou zásuvku s LED podsvícením, viz Obr. 3-3. Komponenty od této firmy komunikují pomocí Z-Wave. Z-Wave pracuje v topologii sítě Mesh. V této síti dokáží všechna zařízení vysílat i přijímat řídicí příkazy. Srdcem všech zařízení je centrální jednotka. Grafické rozhraní je optimalizováno jak pro stolní počítače, tj. webové prohlížeče, tak i pro mobilní zařízení. V tomto systému lze zapnout push notifikace (upozornění) zprávou v mobilním telefonu, e-mailem nebo sms. Push notifikace jsou dostupné i po vypnutí aplikace uživatelem. Aplikace nevypne, ale přesune do pozadí a při změně stavu zásuvky (porucha, zapnuté zařízení atp.) upozorní uživatele o probíhající akci. Push zpráva se zobrazí, díky integrovanému čidlu teploty, i při překročení 55 °C nebo pokud spotřeba přeroste povolený maximální odběr 2,5 kW.

Zásuvky si sami aktualizují software a disponují LED kroužkem, který zbarvením indikuje výši odběru elektrické energie. Pokud je zásuvka zapojena v zásuvce, LED kroužek svítí a lze jej použít jako noční lampičku. Nicméně podsvícení nelze vypnout, a tak se může jednat i o rušivý element. Zásuvky obsahují tester připojení na síť, kde barvou iniciují připojení k síti [22].



Obr. 3-3: Náhled zásuvky Fibaro Wall Plug [22]

3.4 Panasonic KX-HNA101FX

Japonská firma Panasonic vytvořila chytrou zásuvku obsahující všechny základní funkce smart meterů, vzhled je na Obr. 3-4. Pomocí aplikace v mobilním zařízení lze dálkově ovládat zásuvku, nastavit časovač sepnutí a také simulaci pobytu osob, pro zamezení loupeže. Aplikace v mobilním zařízení zobrazuje grafy spotřeby i aktuální odběr. Dále obsahuje a ochranu proti nadproudům (16 A). Indikace stavu zásuvky je zařízena prostřednictvím červené a zelené LED. Jako centrální jednotka je použit HUB, protože prvky v síti komunikují po bezdrátovém systému Ultra Low Energy (ULE). Tento systém není, na rozdíl od Wi-Fi, veřejně viditelný, tím pádem je lépe chráněn. Výrobce zároveň garantuje jednoduché párování stiskem tlačítka na zásuvce a na HUBu. Celý systém lze doplnit množstvím senzorů a další zařízení, kterými lze vytvořit smart home podle představ zákazníka [23].

Dostupné technické parametry z [23]:

- Maximální výkon 2400 W
- 1,88 GHz až 1,9 GHz frekvenční škála komunikace ULE
- Velmi dlouhý dosah, až 300 m
- Odběr zásuvky při pohotovostním odběru 0,8 W
- Maximální odběr zásuvky 1,6 W



Obr. 3-4: Vzhled zásuvky KX-HNA101FX od Panasonicu [23]

3.5 BeeWi Bluetooth BBP200

Chytrá zásuvka od firmy z Francie obsahuje kromě klasických funkcí, jako je časovač a dálkové ovládání také integrované teplotní čidlo, které umožňuje regulaci spínání elektrického přímotopu podle teploty. Ač je teplotní čidlo uvnitř zásuvky a může být ovlivňováno zahříváním zásuvky samotné, tak je tato funkce zajímavým prvkem. Dále zásuvka obsahuje pohybové čidlo, a tak se může lampa rozsvítit průchodem okolo zásuvky. Zásuvka je zobrazena na Obr. 3-5.

Bluetoothové zásuvky je možné ovládat jen z bezprostřední blízkosti. BeeWi nabízí k dokoupení Smart Gateway, což je internetová brána pro zásuvky tohoto výrobce. Po připojení zařízení k této bráně může být aplikace používána s přístupem k internetu odkudkoliv.

Dostupné technické parametry firmou BeeWi [24]:

- Bluetooth 4.0 a dosah až 50 m
- Maximální proud 16 A
- Rozsah pohybového čidla 100°
- Teplotní čidlo s přesností $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
- Kompatibilní pro iPhone 4s a novější
- Kompatibilní pro android 4.3+



Obr. 3-5: Náhled smart meteru BBP200 a aplikace od firmy BeeWi [24]

4 TESTOVÁNÍ VYBRANÝCH ZÁSUVEK

Pro zjištění kvalitativní situace na trhu se smart metery, byly zakoupeny a následně testovány 3 zásuvky. Vybrány byly chytré zásuvky, které jsou nabízeny předními českými obchody s elektronikou. Konkrétně byly koupeny 2 zásuvky od firmy Revogi a jeden smart meter od firmy D-Link. Testované zásuvky byly podrobeny komplexnímu měření, aby mohlo být určeno, jak a s jakou přesností měří, samotný smart meter. Parametry zásuvek byly změřeny osciloskopem Hioki 3390, jehož přesnost je o řád vyšší než pro dané účely předepisuje norma, viz Obr. 4-1. Proto v tomto měření byly zanedbávány chyby a nejistoty měření.

Pohotovostní režim, anglicky stand-by, je stav, kdy zařízení nevykonává svou primární funkci, ale vyčkává na pokyny. V tomto případě smart meter nesnímá hodnoty, ale vyčkává na připojení zátěže nebo na pokyn od uživatele k sepnutí zásuvky. Od roku 2013 platí, že by při pohotovostním režimu spotřeba neměla stoupnout přes 0,5 W [25]. Pomocí ampérmetru a následného přepočtu určíme vlastní spotřebu smart meterů.

V sítích nízkého napětí České republiky je fázové napětí 230 V. Od roku 2008 je povolena odchylka napětí maximálně +10 % (dříve 6 %) a -10 %, jak určuje norma ČSN 33 0122 [26]. Změnou napětí sítě na mezní hodnoty (207 V a 253 V) zjistíme, není-li ve smart metrech místo měření okamžitého napětí použita konstanta 230 V a případný vliv na samotné měření. Změnou účinníku poznáme, jestli přesnost měření smart meteru klesá se změnou zátěže. Budeme měřit odporovou zátěž 0,5 kW, kapacitní zátěž 0,5 kW a paralelní kombinaci odporové a kapacitní zátěže.

4.1 Měřicí přístroje a komponenty

Vlastní spotřeba smart meterů bez zatížení byla měřena při napětí 225 V ampérmetrem UNI-T UT804 No. 810001595. Pro připojení Wi-Fi zásuvek byl použit router TP-Link TL-WA701 ND zapojený přes notebook Acer Aspirel S3.

Simulaci sítě zajišťoval nastavitelný zdroj California Instruments MODEL 5001 ix s impedancí sítě California Instruments OMNI3-18i. Nastavení proběhlo pomocí stolního počítače softwarem Cigui32 AC Source Control Program. K určení odběru chytré zásuvky byl použit přípravek, díky němuž byly hodnoty měřeny před a za smart meterem. Měření samotné bylo prováděno osciloskopem HIOKI 3390 POWER ANALYZER spolu s 2 klešťovými proudovými čidly HIOKI Clamp senzor 9272-10 No. 101122349 (rok výroby 2010) a HIOKI Clamp senzor 272-10 No. 120731523 (rok výroby 2012). Dále byl použit prodlužovací přívod.

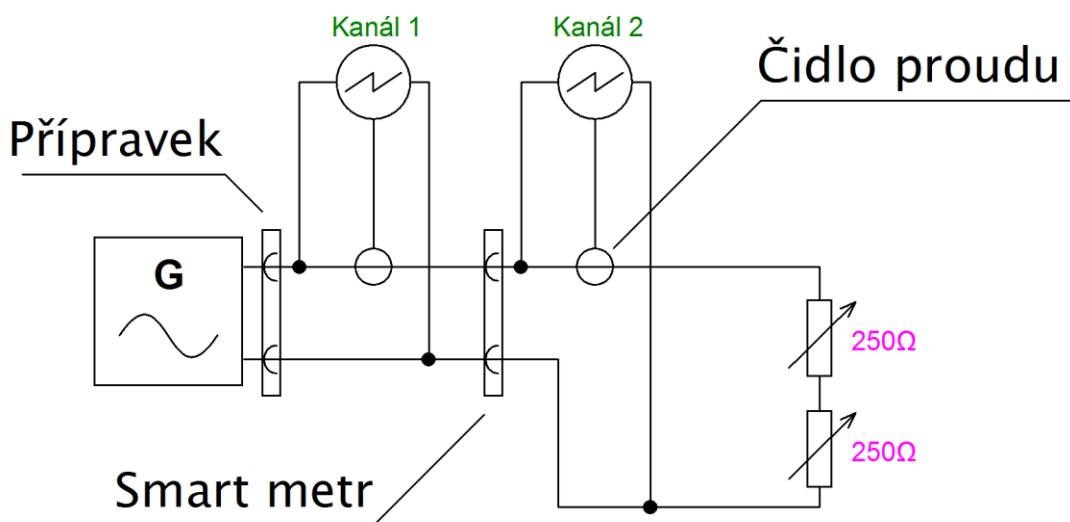
Jako zátěž posloužily 4 potenciometry s maximálním odporem 250 Ω a maximálním proudem 1,6 A, dalšími 2 potenciometry mohl při maximálním odporu 260 Ω procházet proud 2,3 A. Pro vytvoření kapacitní zátěže byly použity 2 přípravky s umělou zátěží zapojené dle obr. 4-3.

Accuracy			
	Voltage (U)	Current (I)	Active power (P)
DC	$\pm 0.1\% \text{rdg} \pm 0.1\% \text{f.s.}$	$\pm 0.1\% \text{rdg} \pm 0.1\% \text{f.s.}$	$\pm 0.1\% \text{rdg} \pm 0.1\% \text{f.s.}$
0.5Hz to 30Hz	$\pm 0.1\% \text{rdg} \pm 0.2\% \text{f.s.}$	$\pm 0.1\% \text{rdg} \pm 0.2\% \text{f.s.}$	$\pm 0.1\% \text{rdg} \pm 0.2\% \text{f.s.}$
30Hz to 45Hz	$\pm 0.1\% \text{rdg} \pm 0.1\% \text{f.s.}$	$\pm 0.1\% \text{rdg} \pm 0.1\% \text{f.s.}$	$\pm 0.1\% \text{rdg} \pm 0.1\% \text{f.s.}$
45Hz to 66Hz	$\pm 0.05\% \text{rdg} \pm 0.05\% \text{f.s.}$	$\pm 0.05\% \text{rdg} \pm 0.05\% \text{f.s.}$	$\pm 0.05\% \text{rdg} \pm 0.05\% \text{f.s.}$

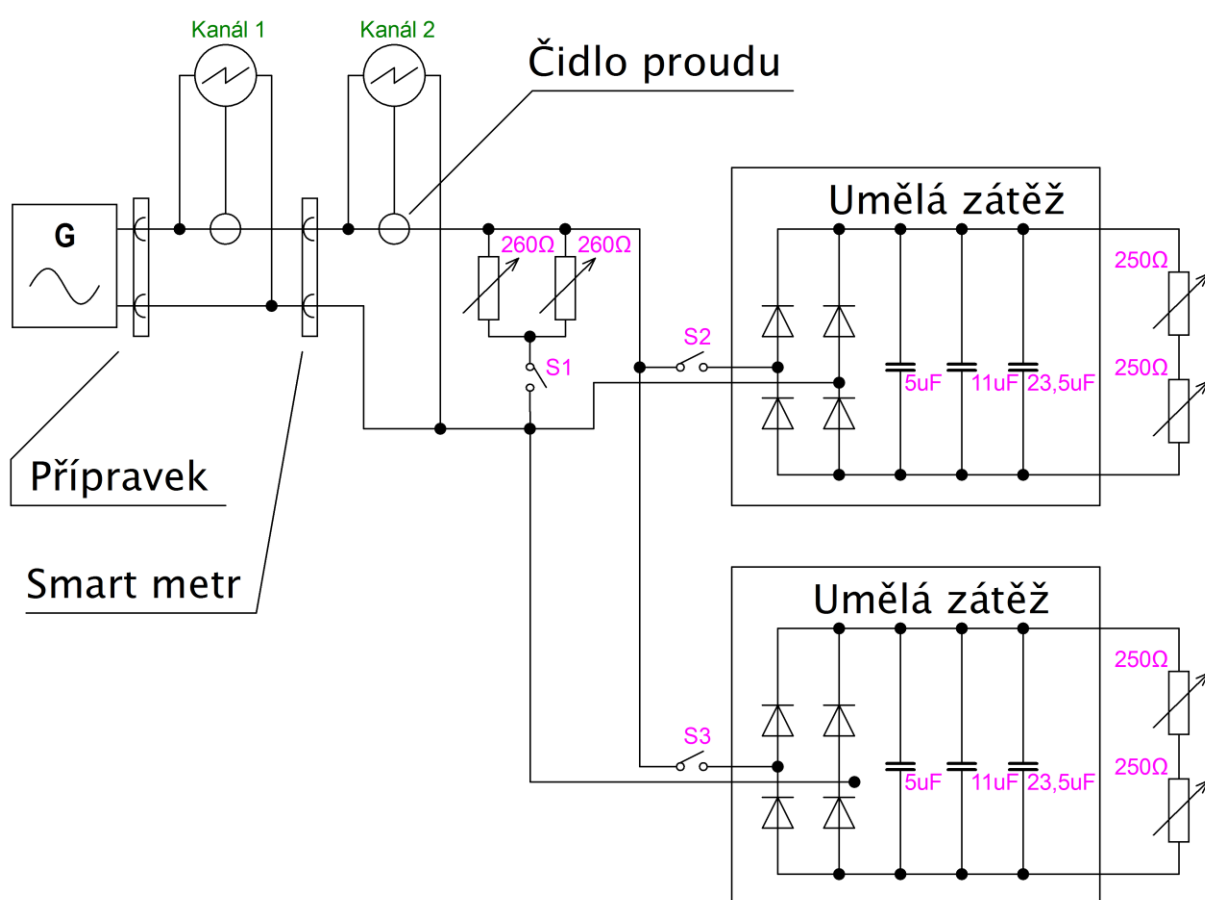
Obr. 4-1: Přesnost osciloskopu HIOKI 3390 v rozmezí od 0,5 Hz do 66 Hz [27]

4.2 Zapojení měřicího obvodu

Měření všech smart meterů mělo stejný průběh a měla stejný systém zapojení, vyjma zapojení zátěže. Z generátoru byly vodiče připojeny do přípravku, kde bylo snímáno kanálem 1 osciloskopu napětí a klešťovým čidlem proud před zásuvkou. K přípravku byla připojena chytrá zásuvka, za ní se stejným způsobem kanálem 2 snímalo napětí a klešťovým čidlem proud.



Obr. 4-2: Zapojení měření při odporové zátěži 0,5 kΩ



Obr. 4-3: Zapojení pro měření s kapacitní zátěží 0,5 kΩ a pro paralelní kombinaci kapacitní a odporové zátěže

Na Obr. 4-2 je zobrazeno zapojení odporové zátěže, kterou tvoří 2 potenciometry nastaveny na maximální hodnotu, tzn. každý na 250 Ω , čímž vznikla odporová zátěž o hodnotě 0,5 k Ω . Při této zátěži byl odebírán sinusový proud o maximální hodnotě 3,4 A. Detailní charakteristiku zobrazuje graf na Obr. 4-4.

Zapojení dle Obr. 4-3 s rozepnutými spínači S1 a S3 umožnilo měření kapacitní zátěže 0,5 k Ω . Z charakteristiky tohoto zapojení, na Obr. 4-5, lze vyčíst, že maximální odebíraný proud následně dosáhl hodnoty 9,729 A. Při sepnutí všech spínačů na stejném obvodu (S1, S2 a S3) vznikl obvod pro měření paralelní kombinace odporové a kapacitní zátěže. Při tomto zapojení byla změřena charakteristika na Obr. 4-6, kde maximální odebíraný proud dosáhl hodnoty 12,206 A.

Všechny výše zmíněné a níže uvedené charakteristiky byly změřeny osciloskopem HIOKI 3390 POWER ANALYZER, hodnoty z osciloskopu byly následně použity jako referenční hodnoty k měření přesnosti chytrých zásuvek.

4.3 Příklady výpočtu

Vlastní spotřeba nezatížených smart meterů byla vypočítána z naměřeného proudu a napětí sítě pomocí vztahu 4.128. Napětí sítě bylo ve všech případech 225 V a zásuvka byla spárována s mobilním telefonem.

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (4.1)$$

Podle normy ČSN EN 62053-24:2015 je spotřeba energie elektroměrů připojených na napěťové obvody 2 W a 10 VA [28]. Spotřeba chytré zásuvky ve wattech, označeno jako ΔP , při probíhající měření je dána rozdílem odebíraného výkonu měřeného osciloskopem před a za chytřou zásuvkou, což je vyjádřeno vztahem 4.2. Nespĺňuje-li zařízení normu o povoleném odběru činného výkonu, je odběr přepočítán na zdánlivý výkon ΔS ve voltampérech dle vzorce 4.3.

$$\Delta P = P_{\text{měřPRED}} - P_{\text{měřZA}} \quad (4.2)$$

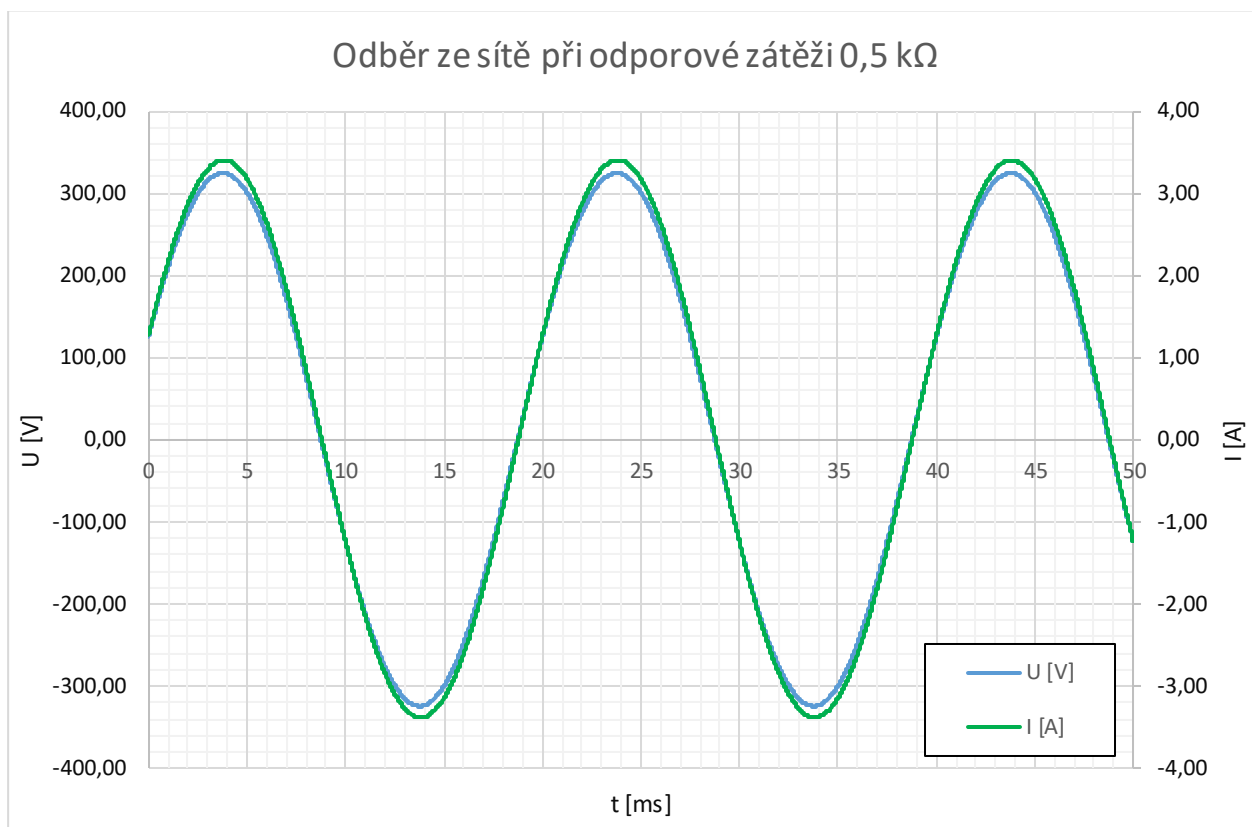
$$\Delta S = \frac{P_{\text{měřPRED}} - P_{\text{měřZA}}}{\cos\varphi} = \frac{\Delta P}{\cos\varphi} \quad (4.3)$$

V ideálním případě ukazuje smart meter průběžně spotřebovanou elektrickou energii. K porovnání slouží spotřebovaná elektrická energie měřená za zásuvkou. Výpočet pro jednotlivé časové úseky je proveden dosazením do vzorce 4.4.

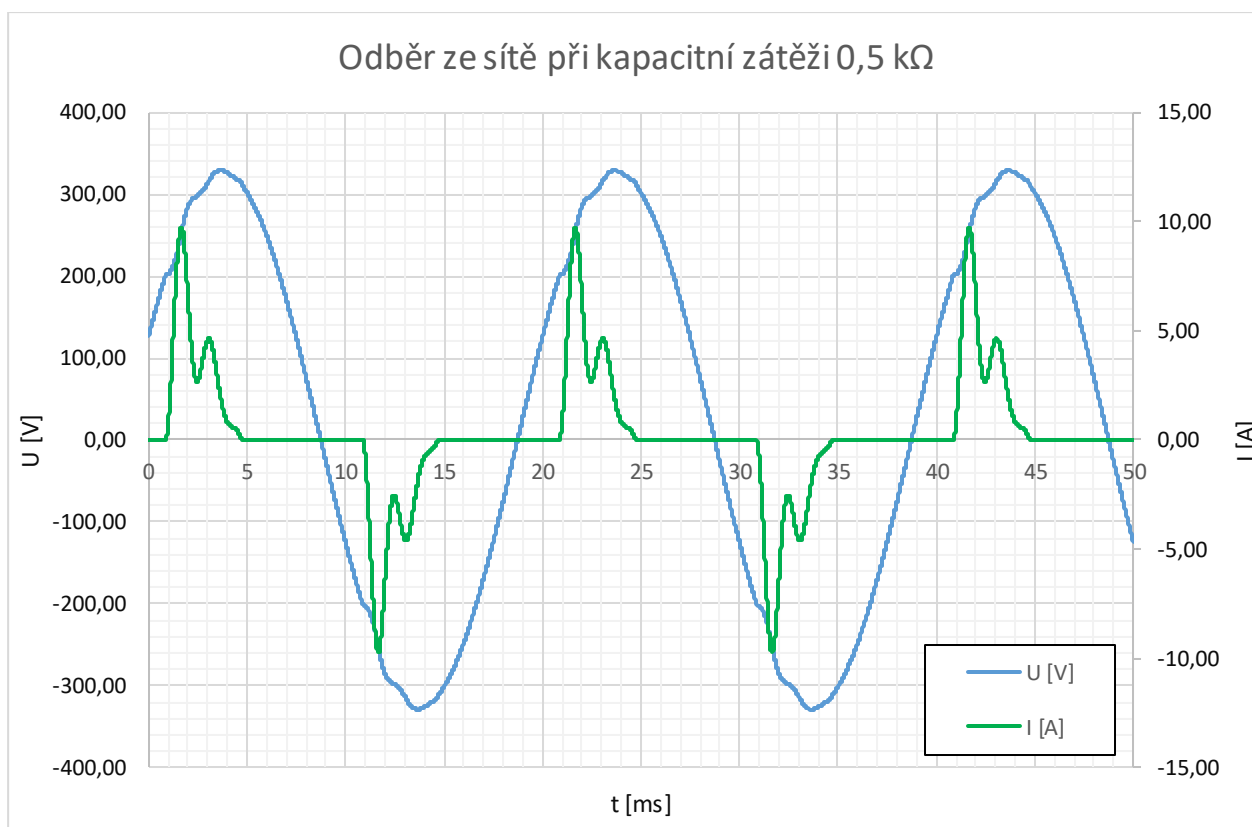
$$E_{\text{měřZA}} = P_{\text{měřZA}} \cdot \frac{t}{60} \quad (4.4)$$

Norma ČSN EN 62053-24:2015 ustanovuje 5% maximální celkovou chybu při měření spotřeby [28]. Provedené měření neobsahuje dostatečný počet vzorků, a proto bude brána v potaz jen relativní chyba vypočtená vzorcem 4.5.

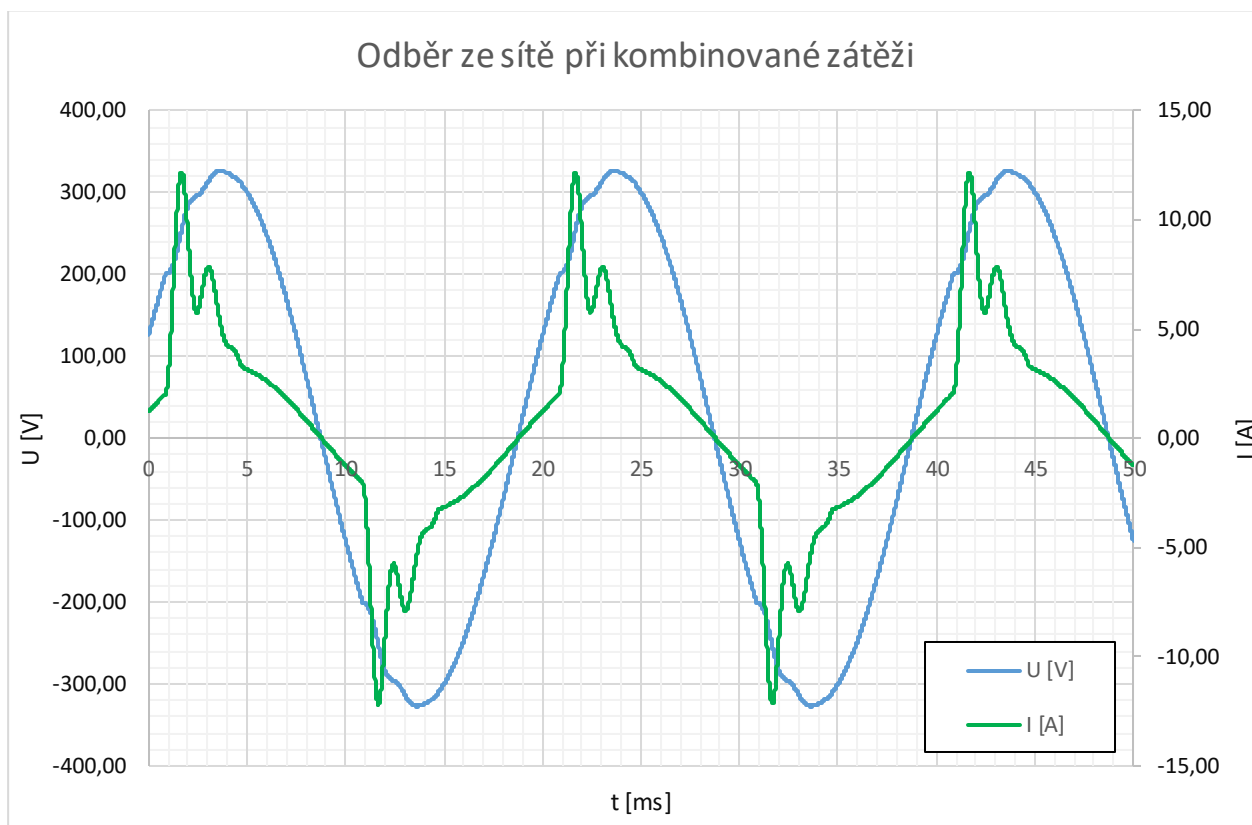
$$\delta_P = \frac{P_{\text{uz}} \cdot P_{\text{měřZA}}}{P_{\text{uz}}} \cdot 100 \quad (4.5)$$



Obr. 4-4: Charakteristika napětí a odebíraného proudu ze sítě při odporové zátěži 0,5 k Ω



Obr. 4-5: Charakteristika napětí a odebíraného proudu ze sítě při kapacitní zátěži 0,5 k Ω



Obr. 4-6: Charakteristika napětí a odebíraného proudu ze sítě při sérioparalelní kombinaci odporové a kapacitní zátěže

4.4 Revogi Smart Meter Plug Bluetooth SPB012

Zásuvka od Čínského výrobce obsahuje všechny základní vlastnosti smart meterů. Navíc obsahuje mód proti loupeži, kdy náhodně spíná připojenou lampu a simuluje pobyt člověka. Tím má odradit případné zloděje. Jednou z největších předností je velikost zásuvky. Vzhledem i velikostí podobná chytré zásuvce od firmy Fibaro. Zásuvka je na Obr. 4-7.



Obr. 4-7: Náhled rozložené zásuvky Revogi Smart Meter Plug Bluetooth SPB012 [29]

Dostupné technické parametry uváděné výrobcem [29]:

- Bluetooth 4.0, dosah až 15 m (rychlost přenosu 1 Mb/s)
- Minimální spotřeba 0,4 W
- Maximální spotřeba 1,2 W
- Ochrana proti nadproudu 17,6 A
- Měřicí rozsah 0 – 4200 W
- Přesnost 0,5 W s tolerancí $\pm 2\%$
- Podpora softwaru iOS 6+ a Android 4.3+

Tab. 4-1: Naměřené a vypočtené hodnoty pro Revofi SPB012 Bluetooth

Zátěž	t	U_z	I_{ef}	$\cos\varphi$	$P_{m\check{e}řP\check{R}ED}$	$P_{m\check{e}řZA}$	P_{uz}	ΔP	ΔS	δ_P	$E_{m\check{e}řZA}$
	[min]	[V]	[A]	[-]	[W]	[Wh]	[W]	[W]	[VA]	[%]	[Wh]
0,5k Ω (R)	7,13	230	-	1	551,6	550,3	549,85	1,3	-	-0,08	65,42
	1,23	220	-	1	504,7	503,5	503,01	1,2	-	-0,10	10,35
	2,25	207	-	1	446,7	445,7	445,19	1	-	-0,11	16,71
	0,75	253	-	1	667,2	665,9	665,47	1,3	-	-0,06	8,32
0,5k Ω (C)	5,00	230	2,79	0,595	382,3	380,6	375,69	1,7	-	-1,31	31,72
Kombinace	14,15	228,43	4,605	0,878	925,3	922,6	918,34	2,7	3,08	-0,46	217,58

4.4.1 Výsledky a poznatky z měření

Vlastní spotřeba zásuvky bez zátěže byla měřena pro 2 stavy, sepnutá a rozepnutá. Při sepnutém smart meteru byl odebíráán proud 1600 μA , což po užití vzorce 4.1 odpovídá 0,36 W. Při rozepnutém stavu dosahoval odebírááný proud 280 μA , po aplikaci stejného vzorce 4.1 dostáváme odběr 0,063 W. Ani jeden odběr ve stand-by nepřesahuje 0,5 W, čímž tato zásuvka splňuje normu. Po přeměření bylo zjištěno, že zásuvka rozpojuje nulový vodič, tzn. při obou stavech, sepnuto i rozepnuto, se vyskytuje na svorkách napětí sítě 225 V.

Spotřeba této zásuvky byla největší při kombinaci odporové a kapacitní zátěže, kdy spotřeba činného výkonu přesáhla povolené 2 W, a proto byl ze vzorce 4.5 vypočítán zdánlivý odběr, jehož hodnota 3,08 VA je v povolených mezích. V tomto zapojení nastala i maximální relativní chyba, která dosáhla hodnoty -1,31 % a vyhovuje tedy normě pro elektroměry. Celkový odběr změřený osciloskopem HIOKI nabył hodnoty 357,2 Wh. Smart meter určil odběr za celkový čas měření jako 355 Wh, což je velmi přesná hodnota.

Elegantní a zároveň výhodná je indikace příkonu spotřebiče barvou kroužku zásuvky. Do 100 W září zeleně, do 500 W je zásuvka zbarvena do oranžova a nad 1500 W je kroužek zbarven do červena. Aktualizace dat zásuvky je velmi rychlá, řádově v sekundách, zařízení je zapojeno v síti PAN.

4.5 Revogi Smart Power Plug Wi-Fi

Stejný výrobce jako u předešlé zásuvky, tentokrát v provedení s Wi-Fi. Zásuvka je v porovnání s bluetoothovou dvakrát větší viz Obr. 4-8.

Technické parametry uvedené výrobcem [30]:

- Wi-fi podle IEEE 802,11 b/g/n, dosah až 15 m
- Minimální spotřeba 0,3 W
- Maximální spotřeba 0,6 W
- Ochrana proti nadproudu 17,6 A
- Měřicí rozsah 0 – 4200 W
- Přesnost 0,5 W s tolerancí $\pm 2\%$
- Podpora Windows 2000, XP 32/64 bit a Vista 32/64 bit, Windows 7, Windows 8, Linux, iOS, Android



Obr. 4-8: Náhled rozložené zásuvky Revogi Smart Power Plug Wi-Fi [30]

Tab. 4-2: Naměřené a vypočtené hodnoty pro Revogi Smart Power Pluch Wi-Fi

Zátěž	t	U _z	I _{ef}	cosφ	P _{měřPŘED}	P _{měřZA}	P _{uz}	ΔP	ΔS	δ _P	E _{měřZA}
	[min]	[V]	[A]	[-]	[W]	[Wh]	[W]	[W]	[VA]	[%]	[Wh]
0,5kΩ (R)	2,5	230	-	1	550,1	549,0	548,2	1,1	-	-0,15	22,88
	1,0	220	-	1	503,9	502,6	501,6	1,3	-	-0,20	8,38
	1,5	207	-	1	446,0	445,0	444,1	1	-	-0,20	11,13
	2,0	253	-	1	666,2	665,2	663,8	1	-	-0,21	22,17
0,5kΩ (C)	5,0	230	2,79	0,60	382,4	380,9	375,8	1,5	-	-1,36	31,74
Kombinace	26,0	228,4	4,61	0,88	925,4	922,6	917,3	2,8	3,19	-0,58	399,79

4.5.1 Výsledky a poznatky z měření

Vlastní potřeba byla měřena a počítána analogicky dle vzorce 4.1. Při sepnuté zásuvce byl naměřen nižší proud, a to 380 μ A. Tomu odpovídá výkon o hodnotě 0,0855 W. Při rozepnuté zásuvce procházelo ampérmetrem 300 μ A, přepočítáno na odběr 0,0675 W. Wi-Fi zásuvka od Revogi má odběry nižší než bluetoothová verze a taktéž splňuje normu o maximálním odběru ve stand-by. Podobně, jako u předchozí verze, je také rozpojován nulový vodič.

Obdobně jako u předchozí verze přesáhla zásuvka maximální odběr při kombinaci odporové a kapacitní zátěže. Z činného odběru 2,8 W jsme určili vzorcem 4.3 zdánlivý odběr jako 3,19 VA. Nejvyšší relativní odchylka nastala při zapojení kapacitní zátěže, dosahuje maximální hodnoty -1,36 %. Podmínka 5% maximální chyby pro elektroměry je tedy také splněna.

Velmi rychlá aktualizace odběru, zařízení pravděpodobně komunikuje po lokální síti. Existuje tedy možnost offline komunikace po síti WLAN. Vlivem zásuvky byl pozměněn účinek z 0,597 na hodnotu 0,596. Z tohoto poznatku lze určit odběr zásuvky jako kapacitní. V celou hodinu vyhodnotil smart meter odběr energie jako 237,06 Wh, což byla v tu chvíli přesná hodnota energie změřená i osciloskopem HIOKI. Po vypnutí a zapnutí smart meteru byla smazána data. Jednalo se pravděpodobně o chybu softwaru, při opětovném restartu zařízení tato chyba znovu nenastala.

4.6 D-Link mydlink™ Home Smart Plug

Chytrá zásuvka z Čínské republiky podobně jako výše zmíněná ego smart socket ukládá naměřená data na cloudové úložiště. Skrze mobilní aplikaci můžeme sledovat grafy spotřeby energie, vypínat a zapínat chytré zásuvky, případně sepnout zásuvku v nastavený čas. Zásuvka obsahuje integrovaný tepelný senzor, při zapnutí funkci přehřívání se zásuvka po přesažení 45°C sama rozezne. U těchto zásuvek lze zapnout notifikace push. Indikaci zapnutého stavu zajišťuje modré podsvícení tlačítka. Po zaregistrování zásuvky na D-Link bude v určitých směrech rozšířena záruka. V návodu jsou objasněny podmínky pro kopírování, distribuci a modifikaci původního softwaru. Volná úprava softwaru je velkou výhodou této chytré zásuvky [31].

Dostupné technické parametry dle [31]:

- Maximální spínací proud 16A
- Vlastní spotřeba je menší než 5W
- Podpora iOS 6+ a Android 4+



Obr. 4-9: Vzhled chytré zásuvky D-Link [31]

Tab. 4-3: Naměřené a vypočtené hodnoty pro Smart meter D-Link

Zátěž	t	U _z	I _{ef}	T _{in}	cosφ	P _{měřPŘED}	P _{měřZA}	P _{uz}	ΔP	ΔS	δ _p	E _{měřZA}
	[min]	[V]	[A]	[°C]	[-]	[W]	[Wh]	[W]	[W]	[VA]	[%]	[Wh]
0,5kΩ (R)	11	230	-	38	1	503,0	500,5	494,81	2,5	2,50	-1,15	91,76
	6	220	-	45	1	460,9	458,1	451,61	2,8	2,80	-1,44	45,81
	5	207	-	45	1	408,2	405,5	399,18	2,7	2,70	-1,58	33,79
	8	253	-	48	1	609,2	606,2	596,73	3	3,00	-1,59	80,83
0,5kΩ (C)	8	230	2,81	48	0,597	383,7	380,7	374,86	3	5,03	-1,56	50,76
Kombinace	17	229	4,62	50	0,876	927,1	922,1	907,51	5	5,71	-1,61	261,26

4.6.1 Výsledky a poznatky z měření

Při sepnutém i rozepnutém stavu byl naměřen stejný proud o velikosti 280 μA, následně byl odběr znovu určen podle vzorce 4.1 o hodnotě 0,063 W. Odběr při stand-by je i zde menší jak 0,5 W a splňuje normu. Pro odpojení spotřebiče je jako u předchozích smart meterů rozpojován nulový vodič.

Tento model smart meteru překročil povolenou hodnotu odběru činného výkonu při všech připojených zátěžích, po přepočítání na zdánlivý výkon vzorcem 4.3 se hodnoty dostávají do vymezených 10 VA. Nicméně při odporové zátěži se vlastní spotřeba přehoupala přes dovolenou hranici 2 W, čímž nesplňuje normy pro elektroměry. Relativní odchylka této chytré zásuvky je o řád vyšší než u předchozích dvou modelů, dosahuje maximální hodnoty -1,61 %. Podmínka maximální chyby pod 5% je splněna i zde.

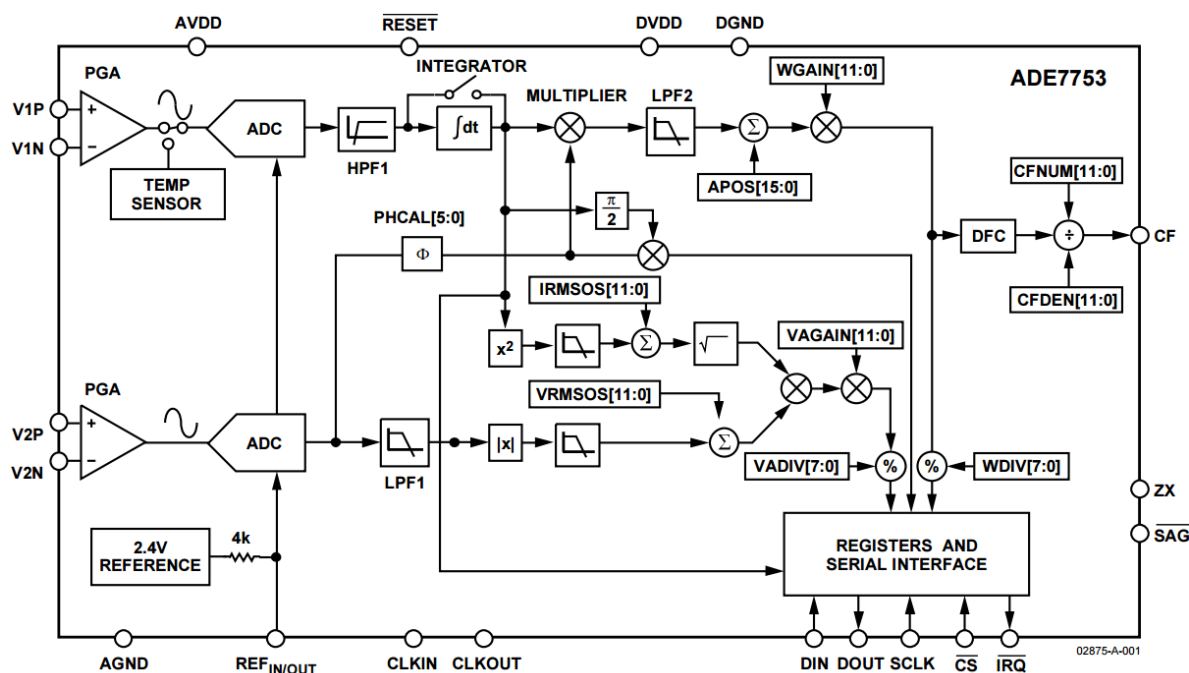
Oproti smart meterům od Revogi má D-Link velmi zdlouhavou aktualizaci měřených dat. V celou hodinu určil odebranou energii jako 300 Wh, což odpovídalo odběru v dané době. Měření následně pokračovalo dalších 17 minut a bylo odebráno 261 Wh, smart meter hodnotu neaktualizoval ani v další celou hodinu. Teoreticky může mít vliv na měření vysoká provozní teplota, integrovaným tepelným čidlem zásuvky byla snímána teplota až 50 °C. Výhodou je možnost přeprogramování systému a vyladění.

Rogowského cívka. Integrovaný obvod je napájen 5 V a komunikuje po sériové lince (SPI). Vyznačuje se nízkou spotřebou a vysokou přesností, chyba měření je menší než 0,1 % [6].

obr. 5-2 umožňuje nahlédnout do blokového diagramu integrovaného obvodu.

Přehled základních funkcí podle datasheetu k ADE7753 [6]:

- Nastavitelné zesílení (použití bočníků a proudových transformátorů jako senzorů elektrického proudu)
- Měří výkon činný, reaktivní a zdánlivý
- Měří efektivní hodnotu proudu i napětí
- Umožňuje přímo přistupovat k navzorkovaným datům
- Možné měřit jen pozitivní spotřebu energie
- Detekce nízkého napětí s programovatelným prahem
- Digitální kalibrace výkonu, fáze a výstupu
- Vestavěný teplotní senzor $\pm 3^{\circ}\text{C}$
- Sériové rozhraní kompatibilní s rozhraním SPI®
- Impulzní výstup s programovatelnou frekvencí
- Napájecí napětí 5 V
- Nízká spotřeba (typicky 25 mW)
- Proudový odběr cca 5 mA



Obr. 5-2: Blokové schéma speciálního mikrokontroléru ADE7753 [6]

5.3 Volba mikrokontroléru

Oba IO mají podobné vlastnosti a nacházejí se ve stejné cenové relaci (cca 100 Kč), výhodu ADE7753 získává pro možnost měření zdánlivého a jalového výkonu a možnost přesnějšího měření. Datasheet AVR465 uvádí přibližnou chybu měření 1%, zatím co ADE7753 menší než 0,1 %. Praktická část práce se má zabývat vývojem a optimalizací chytré zásuvky, i s přihlédnutím na tuto skutečnost byl zvolen specializovaný čip ADE7753.

5.4 ESP8266 NodeMCU Devkit v0.9

NodeMCU Devkit v0.9 je starší verze levného open source Wi-Fi modulu určeného pro vývoj a připojení aplikací či zařízení na internet (IoT) s rozměry 47 mm na 31 mm. Pro tyto účely má vyvedené programovatelné piny obsahující PWM, schéma těchto pinů lze vidět na Obr. 5-3. NodeMCU může být používáno v módu SoftAP (software enabled access point), station (stanice) nebo jako kombinace těchto dvou módů, tzn. station + SoftAP, což je možné využít pro MESH síť.

Velká výhoda NodeMCU spočívá v mikro USB konektoru, jímž lze komunikovat přímo s PC, odpadá tak potřeba čip programovat přes externí USB-UART převodník. Zároveň mikro USB napájí čip a případné další připojené obvody napětím 3,3 V nebo 5 V. Obvod obsahuje vlastní stabilizátor napětí. Práci dále usnadní indikační dioda s programovatelnou diodou D0, ta však neumožňuje pulzně šířkovou modulaci.

Pro vyráběnou chytrou zásuvku bylo NodeMCU vybráno nejen kvůli své ceně, ale také pro svůj výkon a možnost jednoduché komunikace jak s ADE7753 (přes SPI), tak i s uživatelem pomocí mikro USB. Na této desce bude NodeMCU pracovat v režimu station.

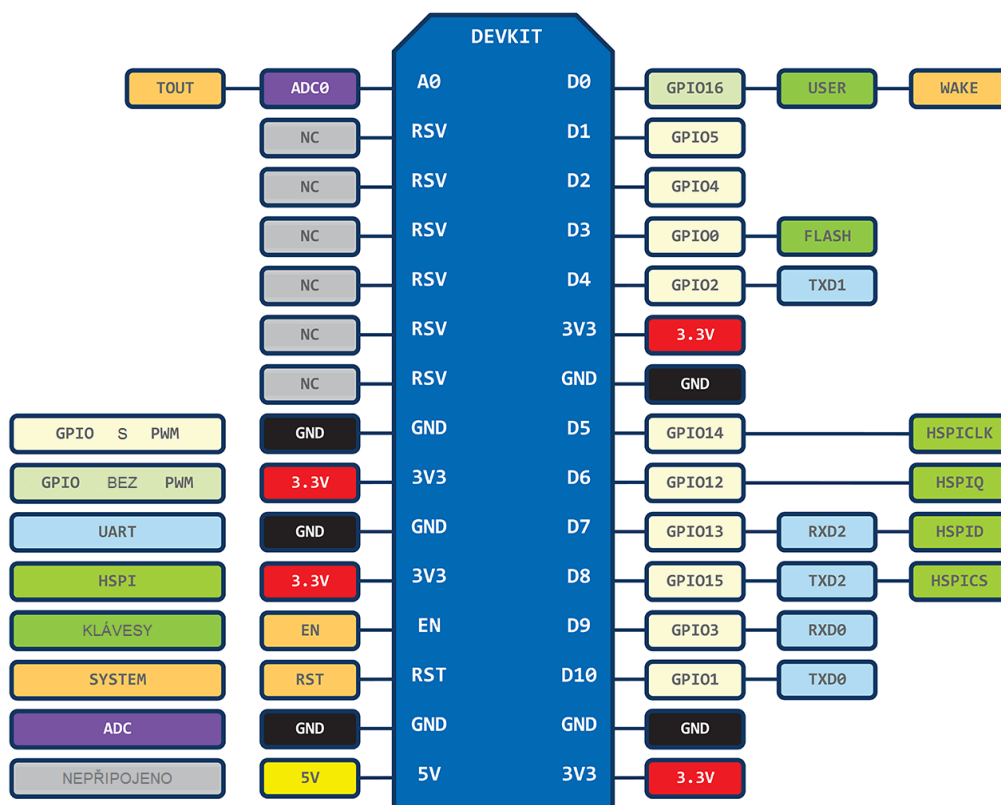
Přehled základních parametrů je dle [33] a [34] uveden v následujícím seznamu:

- 802.11 b / g / n
- WIFI 2,4 GHz, podpora pro režim zabezpečení WPA / WPA2
- Vestavěný TCP / IP protokol
- Vestavěný TR spínač, balun, LNA, výkonový zesilovač a odpovídající síť
- Vestavěný PLL, regulátor napětí a komponenty pro správu napájení
- Vestavěné mikro USB a teplotní čidlo
- Integrovaná DPS anténa
- Komunikace mezi IO přes SPI
- Napájení 3,3 V, případně 5 V (pouze pro aplikaci jako Wi-Fi modul)
- Kapacita paměti 4 MB
- Taktovací frekvence 80 MHz nebo 160 MHz

V Tab. 5-1 je uveden odebíraný proud v různých režimech NodeMCU, maximální hodnoty lze využít k dimenzování napájení desky.

Tab. 5-1: Odběr NodeMCU v různých módech [33]

Režim	Odběr
	[mA]
Tx802.11b, CCK 11Mbps, P OUT=+17 dBm	170
Tx 802.11g, OFDM 54Mbps, P OUT =+15dBm	140
Tx 802.11n, MCS7, P OUT = +13dBm	120
Rx 802.11b, délka paketu 1024 b, -80 dBm	50
Rx 802.11g, délka paketu 1024 b, -70 dBm	56
Rx 802.11n, délka paketu 1024 b, -65 dBm	56
Modem - spánek	15
Lehký spánek	0,9
Hluboký spánek	0,01
Vypnuto	0,0005



Obr. 5-3: Přehled jednotlivých pinů NodeMCU [35]

5.5 Návrh desky plošných spojů (DPS)

V programu EAGLE 8.0.2 premium od firmy Autodesk byla pro chytrou zásuvku navržena prototypová deska s rozměry 64,5 mm na 63 mm. Inspiraci poskytla diplomová práce [36]. Aby deska nemusela být leptána na speciálním pracovišti, byla navržena jako jednovrstvá s dvěma drátovými propojkami, viz Příloha E. Rozlité měď spojená s digitální zemí (DGND) slouží jako stínění a pomáhá k lepšímu chlazení regulátoru napětí [37]. Odsazení od vodivých cest je u vylité mědi nastaveno na 1,5 mm, z důvodu jednodušší manipulace při pájení komponent na desku. Zároveň se zmenší pravděpodobnost nevyleptání mědi mezi cestami a zjednoduší se následná lokalizace těchto míst. Knihovny klasický součástek pro EAGLE jsou převážně převzaty z [37], pouzdra atypických součástek poskytl internetový obchod Farnell [38], z kterého byly součástky nakoupeny. Jediný problém nastal při připojení ADE7753, knihovna pro tuto součástku obsahovala vadnou šířku rozpětí čipu. Tento problém byl vyřešen prodloužením pájecích cest pro jednotlivé piny ADE7753.

Opticky lze desku rozlišit na dvě části, část napájecí a část logickou, kvůli síťovému napětí není v místě napájení (zdroje stabilizovaného napětí +5 V) vylité měď. Pro připojení prototypu chytré zásuvky k síti je použito pevně připájených kabelů zakončených banánkovým konektorem, to usnadňuje manipulaci se zařízením v laboratorních podmínkách. Pro klasickou DPS by následně byla zvolena svorkovnice typu ARK.

Dalším specifickým prototypové desky jsou měřicí jumpřry, tedy vyvedené piny pro měření na desce. Pomocí jumpřrů označených JUM6 a JUM7 na obr. 5-8 lze pohodlně měřit napěťový vstup do ADE7753. JUM4 je připojen v místě spojení analogové a digitální země za regulátorem napětí +5 V, viz schéma na obr. 5-7. Dvojité jumper, označený jako JUM3, odděluje zdroj stabilizovaného napětí +5 V od napájecích pinů ADE7753 a NodeMCU. V normálním provozu je

JUM3 propojena zkratovací propojkou. V případě poruchy, potažmo jakéhokoliv problému s napájecím napětím +5 V je možno zkratovací propojku odstranit a následně komponenty napájet z mikro USB, které obsahuje NodeMCU. Mezi JUM3 a JUM4 tedy lze měřit napájecí napětí +5 V, což je dobře patrné z obr. 5-7. Pro měření na NodeMCU byly na vývojovou desku vyvedeny všechny piny pomocí JUMprů. Příloha A tyto řady JUMprů zobrazuje.

V obvodu jsou dále umístěny feritové perly, jejich úkolem je utlumení vysokofrekvenčního rušení. Odpor feritové perly stoupá zároveň s frekvencí, což je patrné v datasheetu [38]. Utlumené vysoké frekvence v přeneseném významu zahřívají feritovou perlu, zato propuštěné frekvence jsou téměř neovlivněné [36].

Odstavec 2.3.2 pojednává o správném vzorkování signálu, pro správnou funkci napěťového i proudového kanálu byly zařazeny RC články typu dolní propust'. Tyto články se chovají jako antialiasingové filtry A/D převodníků obou kanálů. Vzorkovací frekvence A/D převodníků je odvozena od frekvence 3,579545 MHz generované krystalem pro celý obvod. Frekvence A/D převodníků je 894 kHz, úpravou vztahu 1.5 dostaneme Nyquistovu frekvenci jako 447 kHz. Nabízí se tedy zařazení RC článků, kde $R = 1 \text{ k}\Omega$ a $C = 33 \text{ nF}$. Takový RC článek při frekvencích blízkých 900 kHz má útlum vyšší než -40 dB, tím se zamezí znehodnocení měření [6], [36].

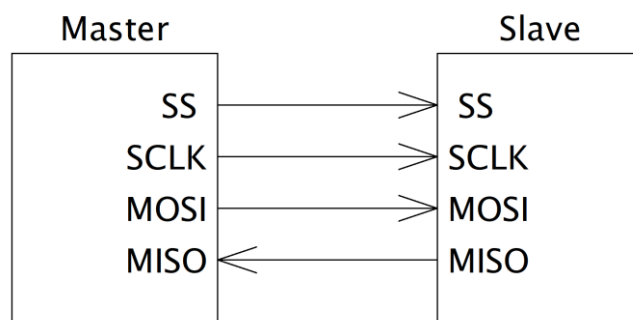
Správná funkce RC článku byla přímo ověřena osciloskopem, a to při měření signálu vstupujícího na napěťové svorky ADE7753. Použitím kondenzátorů se špatnou hodnotou RC články netlumily rušení a na napěťové svorky docházel vysokofrekvenční šum. Po přepájení správných kondenzátorů RC články začaly plnit svou funkci a na svorky docházel čtený sinusový signál

5.5.1 Komunikace mezi integrovanými obvody

Jedním ze základních sériových komunikačních rozhraní je SPI, hojně využití nalézá v komunikaci mezi mikropočítačovými moduly na krátkou vzdálenost. Výhoda sériové komunikace spočívá v nízkém počtu vývodů jednotlivých modulů (typicky 4 vývody). Odpadá tedy složité propojování, čímž je umožněna minimalizace desky plošných spojů i pouzder jednotlivých modulů [39].

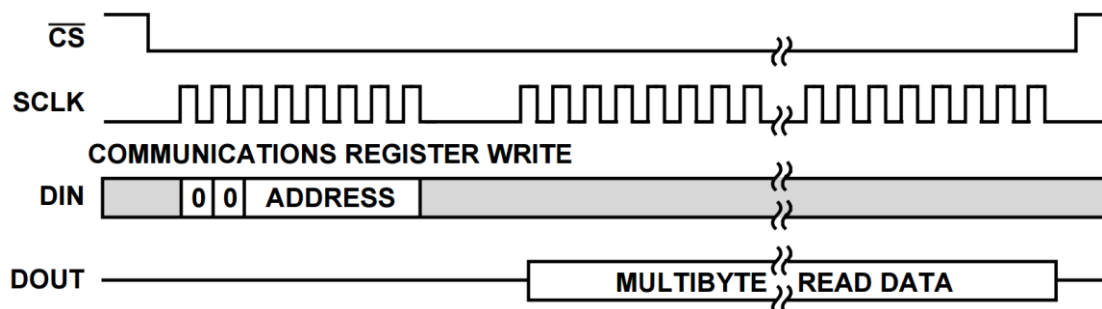
5.5.1.1 Rozhraní SPI

Zapojení, v systému komunikujícím po sběrnici SPI, disponuje dvěma a více obvody. Jedno zařízení, které řídí komunikaci přes hodinový signál tvořený krystalem o určité frekvenci, se nazývá Master. Ostatní zařízení jsou označována jako Slave (otrok) [39]. Náhled připojení dvou komponent lze vidět na obr. 5-4. K ADE7753 je připojen krystal o frekvenci 3,579545 MHz.

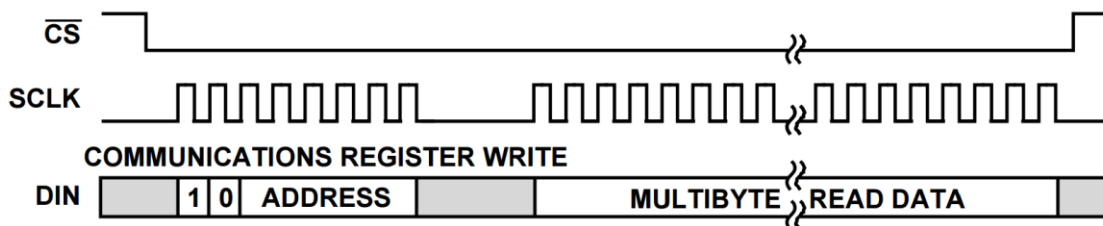


Obr. 5-4: Komunikace Masteru a jednoho Slave pomocí SPI

Princip níže popsané komunikace mezi jednotlivými prvky obvodu popisují obr. 5-5 a obr. 5-6. Master přes SS (slave select) volí snížením napětí na logickou nulu zařízení, s kterým bude komunikovat. Následně SCLK, což je výstup hodinového signálu propojují všechny prvky v obvodu, začne generovat hodinový signál. Tím je spuštěna komunikace na linkách MOSI a MISO. Na lince MOSI vždy Master data vysílá a Slave zase přijímá, to vyplývá i z překladu anglické zkratky MOSI, tedy Master Out – Slave In. U MISO, v překladu Master In - Slave Out, zkratka znovu opisuje překlad a platí tedy, že Master data přijímá a Slave odesílá. Komunikace mezi komponenty pokračuje do té doby, než Master ukončí vysílání hodinového signálu SCLK přepnutím na logickou 1 [6], [39].



Obr. 5-5: Vyčítání dat z ADE7753 přes SPI [6]



Obr. 5-6: Zapisování dat do ADE7753 přes SPI [6]

5.5.1.2 Komunikace mezi ADE7753 a NodeMCU

Označení datových výstupů se může s jednotlivými výrobci zařízení měnit, jejich různé variace jsou sepsány v tab. 5-2. Tento problém nastal i při párování ADE7753, které bude v zapojení chytré zásuvky zastávat funkci Slave a NodeMCU, zastávající funkci Master.

Tab. 5-2: Možné variace názvů datových výstupů SPI

SS	nCS, CS, CSB, CSN, nSS, STE, SYNC
SCLK	SCK, CLK
MOSI	SIMO, SDO, DO, DOUT, SO, MTSR
MISO	SOMI, SDI, DI, DIN, SI, MRST

Logická nula je u obou zařízení představována poklesem napětí pod hranici 0,8 V, logickou 1 představuje napětí 2,4 V a výše. Tato skutečnost usnadňuje spojení obou komponent, jelikož odpadá potřeba řešení nekompatibility napěťových úrovní. A vlivem vnitřního zapojení samotného NodeMCU lze propojení s ADE7753 uskutečnit jen pomocí 4 vodičů. Příloha B obsahuje vnitřní zapojení NodeMCU.

5.5.2 Návrh zdroje pro IO

Existuje několik způsobů, jak usměrnit střídavé napětí na hodnotu vyžadující mikrokontroléry. Usměrnění pomocí transformátoru a usměrňovače je jedno z klasických řešení, ale také jedno z nákladnějších a objemnějších řešení. Proto byla zvolena levná alternativa, kterou je kapacitní zdroj. Výhodou oproti čistě rezistivnímu zdroji, který je sice levnější, je vyšší efektivita. Nevýhodou tohoto zdroje je chybějící galvanické oddělení. Zdroj na obr. 5-7 byl navržen podle literatury [40] a inspirován diplomovou prací [36].

Součet odběrů ADE7753 a NodeMCU můžeme z datasheetů stanovit na 175 mA, pro navrhovaný zdroj pak musí být dodržena podmínka vyššího vstupního proudu. Při nedodržení této podmínky může značně kolísat výstupní napětí a ovlivnit tak funkčnost celého zařízení.

Podle rovnice 5.1 z [40] je vstupní proud I_{in} dán poměrem půlvlny efektivní hodnoty $V_{HFe f}$ a součtu kapacitní reaktance X_{C12} a odporu R_1 . Síťové napětí se totiž dělí mezi kondenzátor $C12$, kde vzniká nejvyšší úbytek napětí, $R10$ a Zenerovu diodu 12 V. Na ní následně vzniká stabilizované napětí o hodnotě právě 12 V [36].

$$I_{in} = \frac{V_{HFe f}}{X_{C12} + R_{10}} \geq I_{out} \quad (5.1)$$

$V_{HFe f}$ můžeme určit jako polovinu z rozdílu efektivní hodnoty napětí sítě a Zenerova napětí na Zenerově diodě D_2 , viz rovnice 5.2 [40].

$$V_{HFe f} = \frac{\sqrt{2} V_{ef} - V_{D2}}{2} \quad (5.2)$$

Kapacitní reaktanci vypočítáme ze známého vztahu 5.3, kde f značí frekvenci sítě (50 Hz).

$$X_{C1} = \frac{1}{2\pi f C_{12}} \quad (5.3)$$

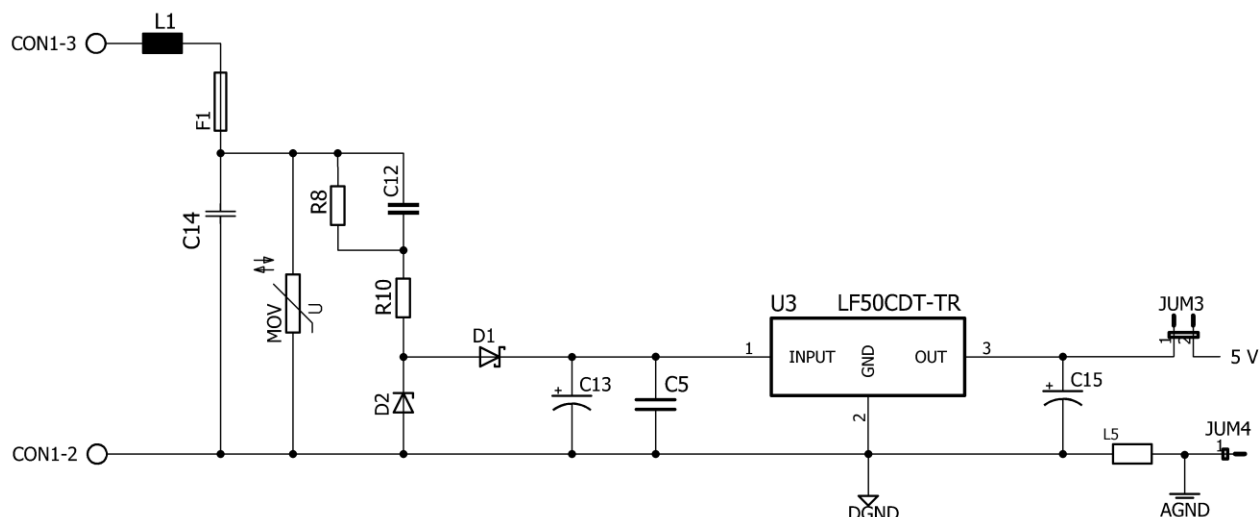
Dosazením rovnic 5.2 a 5.3 do rovnice 5.1 dostaneme rovnici 5.4 definující vstupní proud kapacitního zdroje. Odběr obou zařízení byl stanoven na 175 mA (I_{out}), pro splnění podmínky rovnice 5.1 je vhodné stanovit vstupní proud I_{in} dimenzovat na vyšší hodnotu. Vstupní proud totiž ovlivňují tolerance hodnot použitých součástek [40].

$$I_{in} = \frac{\sqrt{2} V_{ef} - V_{D2}}{2 \left(\frac{1}{2\pi f C_{12}} + R_{10} \right)} = \frac{\sqrt{2} \cdot 230 - 12}{2 \left(\frac{1}{100\pi \cdot 4,7 \cdot 10^{-6}} + 39 \right)} = 231,84 \text{ mA} \quad (5.4)$$

Takový vstupní proud má 32,48% rezervu, při krajních možnostech tolerancí součástek ($\pm 10\% R_{10}$; $\pm 10\% C_{12}$), nabude vstupní proud hodnoty 196,92 mA. I tak v této mezní situaci vzniká 12,53% rezerva vstupního proudu k odebíranému.

Nutným krokem je výkonové dimenzování součástek R_{10} , Schottkyho diody D_1 a Zenerovy diody D_2 , tím se předejde problémům s destrukcí součástek a případným poškozením zdroje [40]. Dimenzování odporu R_{10} ukazuje rovnice 5.5, odpor samotný je vynásoben tolerancí +10 % [40].

$$P_{R10} = I_{in}^2 \cdot R_{10} = (V_{ef} \cdot 2\pi f \cdot C_{12})^2 \cdot 1,1 R_{10} = 4,95 \text{ W} \quad (5.5)$$



Obr. 5-7: Kapacitní zdroj stejnosměrného napětí +5 V s bezpečnostními prvky

Literatura [40] doporučuje dvojnásobnou toleranci, zvolený odpor bude minimálně dimenzován na 10 W.

Dimenzování Zenerovy diody D_2 , podle [40], ztvárňuje rovnice 5.6. Rovnice počítá s nejhorší možnou situací – prochází-li maximální proud při nabitě kondenzátoru C_{12} . V_{D2} zde představuje Zenerovo napětí na diodě.

$$P_{D2} = I_{in} \cdot V_{D2} = (V_{ef} \cdot 2\pi f \cdot C_{12}) \cdot 12 = 4,075 \text{ W} \quad (5.6)$$

Zdvojnásobením P_{D1} se získá hodnota okolo 8 W. Zvolí se tedy dioda dimenzovaná rovnou na 10 W. Dimenzování Schottkyho diody ukazuje rovnice 5.7, kde I_{in} je proud vypočítaný v rovnici 5.4.

$$P_{D1} = I_{in} \cdot V_{D1} = 0,23184 \cdot 1,1 = 0,255 \text{ W} \quad (5.7)$$

Použitá schottkyho dioda bude dimenzována na 0,5 W.

Jak již bylo zmíněno výše, zdroj není galvanicky oddělen od sítě, proto je na vstup zařazena pojistka 400 mA, která se při proudovém přetížení přetaví a ochrání tak logickou část od poškození. Pro omezení elektromagnetického rušení do sítě je paralelně k C_{12} přiřazen odpor R_8 [40]. Na schottkyho diodě D_1 vzniká úbytek 1,1 V a na vstupu do regulátoru se tedy objeví přibližně 10,9 V.

Varistor MOV poskytuje ochranu proti přepětí, filtrační kondenzátor C_{14} je dimenzovaný na síťové napětí a je voleno speciální pouzdro třídy X2, určení pouzdra udává norma IEC664 [40]. Umístěné kondenzátory C_{13} a C_5 slouží ke stabilizaci a filtraci vstupního napětí do lineárního regulátoru napětí LF50CDT-TR. Ten společně se stabilizačním kondenzátorem C_{15} dodává stabilizované napájecí napětí +5 V pro ADE7753 i NodeMCU [36].

5.5.3 Zapojení čidla napětí

Analogový napěťový kanál ADE7753 označený jako V2P a V2N porovnává vstupy o maximální vstupní hodnotě napětí $\pm 0,5$ V, $\pm 0,25$ V nebo $\pm 0,125$ V. Proto je nutné snížit síťové napětí na tyto hodnoty. Výhody a nevýhody jednotlivých typů čidel napětí byly popsány v kapitole 2.3.3.

Pro vyráběnou chytrou zásuvku byl zvolen napěťový dělič, zejména kvůli nižší ceně a objemu. Přřazena byla feritová perla a RC články, ten udává i hodnotu 1 kΩ teoretickému odporu R2, reálně R6 a R7, viz schéma na [6].

Výpočet děliče vychází z rovnice 1.6, a protože je známo vstupní i výstupní napětí, úpravou získáme rovnici 5.5, která vyjadřuje potřebný dělicí poměr. Datasheet k ADE7753 [6] doporučuje rozdělit pomyslný rezistor R₁ na dva rezistory se stejnou hodnotou (R₉ a R₁₂)

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} \leq \frac{U_{out}}{\sqrt{2} \cdot U_{in}} \leq \frac{0,5}{\sqrt{2} \cdot 230} \leq 1,5372 \cdot 10^{-3} \quad (5.8)$$

Přibližnou hodnotu odporů lze získat opětovnou modifikací rovnice 1.6

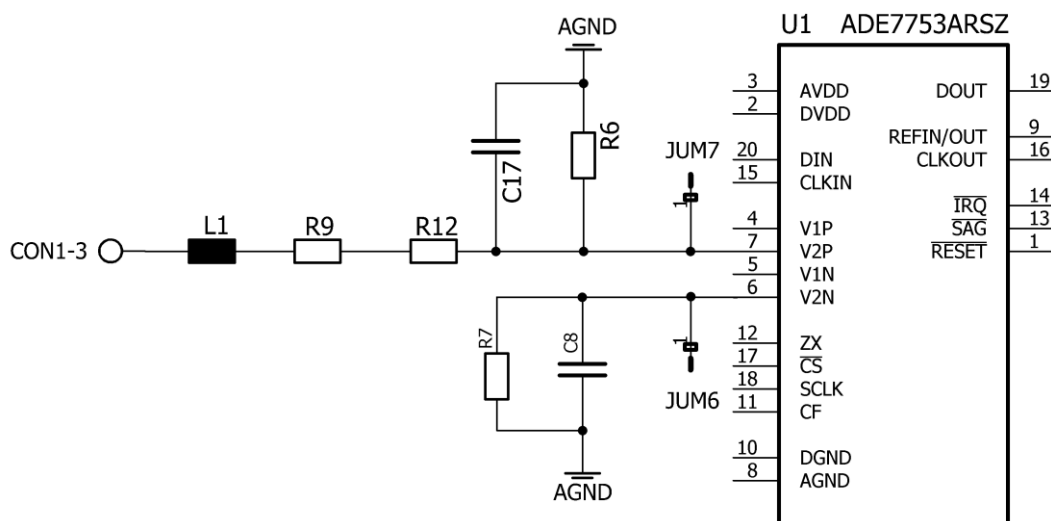
$$R_1 = \frac{U_{in} \cdot R_2}{U_{out}} - R_2 = \frac{\sqrt{2} \cdot 230 \cdot 1000}{0,5} - 1000 = 649,54 \text{ k}\Omega \quad (5.9)$$

Zvolíme-li odpory R₉ a R₁₂ jako 510 kΩ, můžeme následně určit výsledný dělicí poměr.

$$\frac{R_6}{(R_9 + R_{12}) + R_2} = \frac{1 \cdot 10^3}{1,02 \cdot 10^6 + 1 \cdot 10^3} = 9,7943 \cdot 10^{-4} \quad (5.10)$$

Následný dělicí poměr splňuje podmínku z rovnice 5.8 s rezervou 36,28 %. Maximální napětí na vstupu V2P a V2N lze určit dosazením do rovnice 1.6.

$$U_{out} = U_{in} \cdot \frac{R_6}{(R_9 + R_{12}) + R_2} = \sqrt{2} \cdot 230 \frac{1 \cdot 10^3}{1,02 \cdot 10^6 + 1 \cdot 10^3} = 318,57 \text{ mV} \quad (5.11)$$



Obr. 5-8: Zapojení napěťového čidla ADE7753

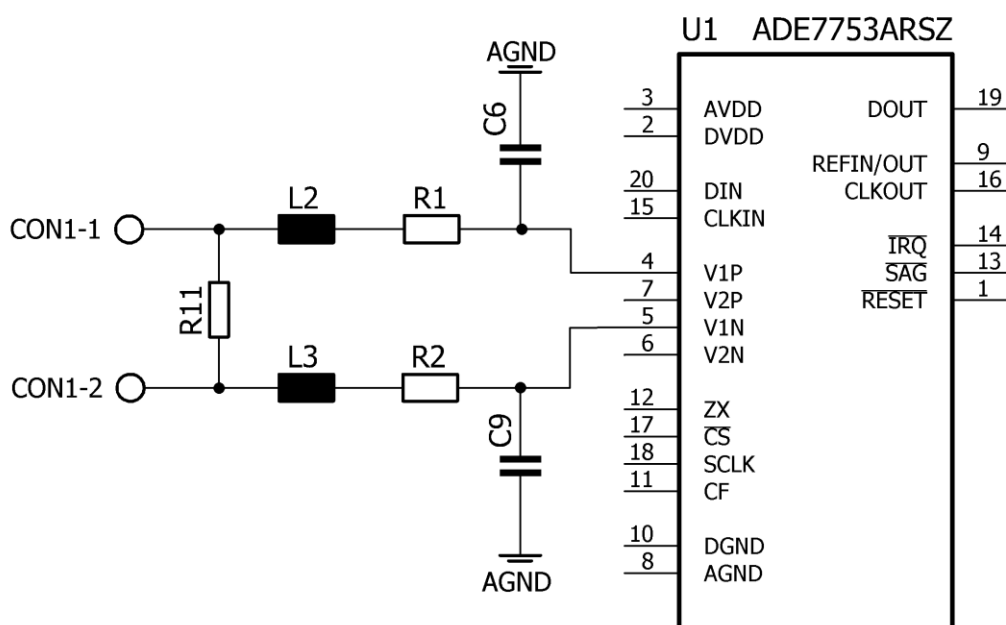
5.5.4 Zapojení čidla proudu

V1P a V1N označují analogový proudový kanál ADE7753. Jsou to plně diferenční vstupy o maximální vstupní hodnotě napětí ±0,5 V, ±0,25 V nebo ±0,125 V. Výhody a nevýhody byly stejně jako u čidla napětí popsány v kapitole 2.3.3. Pro svou jednoduchost, malou cenu i velikost byl zvolen bočník, označen jako R₁₁. Obr. 5-9 zobrazuje zapojení proudového čidla. Čidlo znovu obsahuje feritové perly a klasické RC články.

Pro použití chytré zásuvky k měření spotřebičů v domácnosti je potřeba zvolit správný bočník. V domácím rozvodu může procházet maximální proud 16 A, a při maximálním možném napětí 0,5 V na svorkách čidla proudu lze vypočítat maximální velikost bočníku dle rovnice 5.12.

$$R = \frac{U_{in}}{I} = \frac{0,5}{16} = 0,03125 \, \Omega \quad (5.12)$$

Ač ADE7753 snese přetížení $\pm 6 \, \text{V}$ bez trvalého poškození, je správnou volbou některý hodnotově menší bočník, který zajistí dostatečnou rezervu vstupního napětí na svorky čidla proudu a zajistí se tak správný chod měření [6]. Nicméně pro testování prototypu byl zvolen dostupný bočník $0,1 \, \Omega$. Tímto bočníkem bude procházet maximální testovaný proud 4 A, aby nenastalo překročení maximální hodnoty napětí 0,5 V. Vzniklý úbytek napětí na bočníku dosáhne maximální hodnoty 0,4 V, výkonová ztráta dosáhne maximálně 1,6 W.



Obr. 5-9: Zapojení proudového čidla ADE7753

5.6 Firmware

Komunikaci mezi PC a měřicím zařízením zajišťuje NodeMCU pomocí mikro USB a programu Arduino IDE. Základním stavebním kamenem pro komunikaci se staly španělské knihovny z protálu GitHub [42], které byly následně upraveny. Kód je k nahlédnutí v elektronických přílohách.

Příklad přiřazení proměných k registrům:

Název	Adresa registru	Bitová šířka
#define WAVEFORM	0x01//	24
#define AENERGY	0x02//	24
#define RAENERGY	0x03//	24
#define LAENERGY	0x04//	24
#define VAENERGY	0x05//	24

Před měřením na ADE7753 je nutné nastavit registr GAIN, který obsahuje hodnotu o zesílení obou napěťových kanálů, lze navolit fullscale select (0,5 V), případně polovinu (0,25 V) nebo čtvrtinu (0,125 V), viz kapitola 5.5.3 a 5.5.4.

5.7 Kalibrace IO ADE7753

Digitální kalibrace ADE7753 lze provést použitím referenčního měřicího zařízení nebo lze využít přesný zdroj napětí a proudu s nastavitelným účínkem. Digitální kalibraci se nastavuje kompenzace, to znamená, že je do daných registrů zapsaná konstanta, která následně kladně ovlivňuje výpočet. Výpočet tedy její zásluhou dostává přesnější hodnotu [6].

ADE7753 nabízí kalibraci všech výkonů, fázového posunu a vstupního offsetu. Požadovanou primární veličinou, která má být z chytré zásuvky vyčítána je činný výkon a odebraná energie, proto bude pro potřeby této práce provedena jen kalibrace činného výkonu.

Kalibrace proběhne jako metoda přesného zdroje. Nicméně tento postup probíhá v domácích podmínkách, proto jako zdroj při kalibraci poslouží domovní síť. Vstupní parametry budou snímány dvěma digitálními multimetry. Jeden multimetr bude sloužit jako voltmetr a druhý jako ampérmetr, ten bude měřit napájecí proud zátěže. Využit bude kalibrační pin 11 – logický výstup CF, který je určen pro operační a kalibrační účely. Výstupní kmitočet z tohoto pinu lze v plném rozsahu nastavit zápisem do registrů CFDEN a CFNUM. Digitální převodník generuje v CF pulzy pokaždé, když se akumuluje 1 LSB (last significant bit) v registru aktivní energie. Za podmínek stálého zatížení se výstupní kmitočet rovná činnému výkonu [6], [36].

Jako zátěž je zvolena žárovka 40 W, odebíraný proud je tedy $I_{IB} = 0,16$ A, síťová frekvence je $f = 50$ Hz. Maximální proud je dán bočníkem, tzn. již výše zmíněné $I_{MAX} = 4$ A.

5.7.1 Vlastní kalibrace CFDEN

Prvním krokem je určení konstanty CF_C (calibration output frequency), z datasheetu ADE7753 je určena jako 3,2 impulz/Wh.

Druhým krokem je výpočet očekávané frekvence $CF_{IB(exp)}$ z impulzního výstupu ADE7753, ten je ovlivněn vstupními parametry a vypočítán v rovnici 5.13.

$$CF_{IB(exp)} = \frac{CF_C \cdot U_{ef} \cdot I_{IB}}{3600} = \frac{3,2 \cdot 230 \cdot 0,16}{3600} = 0,0327111 \text{ Hz} \quad (5.13)$$

Dále je rovnicí 5.14 vypočítána nominální frekvence, kde maximální frekvence dosahuje hodnoty 23 kHz.

$$CF_{IB(nom)} = f_{max} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{I_{IB}}{I_{max}} = \frac{23 \cdot 10^3}{4} \cdot \frac{0,16}{4} = 460 \text{ Hz} \quad (5.14)$$

Výsledky rovnic 5.13 a 5.14 se implementují do rovnice 5.15 a získáme potřebnou hodnotu pro registr CFDEN. Tento registr je celočíselný, proto se musí výsledek zaokrouhlit. Společně s CFDEN budou zapsány registry CFNUM = 0 a WDIV = 0, viz [6].

$$CFDEN = \frac{CF_{IB(nom)}}{CF_{IB(exp)}} - 1 = \frac{460}{0,0327111} - 1 = 14061,5 \sim 14062 \quad (5.15)$$

5.7.2 Vlastní kalibrace akumulované činné energie (LAENERGY)

Pro další nastavení kalibrace je nastaven počet půlperiod, po které měření LAENERGI probíhá. Nastavením hodnoty 3000 do LINECYC bude měření sbírat hodnoty po 3000 ms, tedy po půlminutových intervalech. LAENERGY lze kalibrovat pomocí registru WGAIN, chtěná hodnota tohoto registru může být získána ze vztahu 5.16.

$$WGAIN = \left[\left(\frac{LAENERGY_{IB(exp)}}{LAENERGY_{IB(nom)}} - 1 \right) \cdot 2^{12} \right] \quad (5.16)$$

Je tedy nutné určit obě proměnné LAENERGY, kde $LAENERGY_{IB(exp)}$ je vypočtená hodnota z rovnice 5.17. Proměnnou $LAENERGY_{IB(nom)}$ určuje po zapsání hodnoty 3000 do registru LINECYC druhá vyčtená hodnota z registru LAENERGY [6]. Vhodnějším řešením se jeví vyčtení několika hodnot měření a jejich následné zprůměrováním [36]. Stejným způsobem získáme pro vzorec 5.17 hodnotu z registru PERIOD, ta může být pro kontrolu vypočtena ze vzorce 5.18 [6].

$$LAENERGY_{IB(exp)} = \frac{CF_{IB(exp)} \cdot \frac{LINECYC}{2} \cdot PERIOD \cdot \frac{8}{CLKIN}}{\frac{CFNUM + 1}{CFDEN + 1} \cdot WDIV} \quad (5.17)$$

Zprůměrovaná hodnota PERIOD se rovná 8959.

$$PERIOD = \frac{CLKIN}{8 \cdot f_{sitě}} = \frac{3579545}{8 \cdot 50} = 8949 \quad (5.18)$$

Definované hodnoty jsou následně implementovány do rovnice 5.17. Výsledek je znovu zapsán v celočíselném tvaru.

$$LAENERGY_{IB(exp)} = \frac{0,0327111 \cdot \frac{3000}{2} \cdot 8959 \cdot \frac{8}{3579545}}{\frac{1}{14062 + 1} \cdot 1} \sim 13816 \quad (5.19)$$

Všechny proměnné pro dopočítání rovnice 5.16 jsou získány, výsledkem je tedy hodnota pro registr WGAIN. Pro vypočítání skutečné činné energie je nutné vypočítat přepočtovou konstantu Wh/LSB, která z hodnoty registru LAENERGY určí reálnou naměřenou činnou energii.

$$\frac{Wh}{LSB} = \frac{\frac{CFNUM + 1}{CFDEN + 1} \cdot WDIV}{CF_c} = \frac{1}{14062 + 1} \cdot 1 = \frac{1}{3,2} = 2,22214 \cdot 10^{-5} Wh^{-1} \quad (5.20)$$

6 ZÁVĚR

V semestrální práci je nastíněna charakteristika smart meteringu. Dále jsou zhodnoceny vhodné podmínky pro využití smart meteringu s přihlédnutím na typ obytných prostor. Následně je vysvětlen zjednodušený princip odběru hodnot a jejich dalšího zpracování. Zvláštní kapitola je věnována vzorkování signálu, kde je objasněna problematika velikosti vzorkovací frekvence, což je důležitá část měřicího procesu. V další kapitole jsou vyjmenovány možnosti snímání proudu a napětí čidly. Navázáno je uvedením možností ukládání naměřených dat a jejich vizualizace uživateli přes zobrazovací média.

V kapitole o propojení s obnovitelnými zdroji energie jsou rozvedeny stávající metody využívání elektrické energie v domácnostech. Další podkapitola je věnována teoretickému vývoji, vyšší a intuitivnější automatizaci domácnosti v propojení s predikcí počasí a zvyšování efektivity využití vyráběné elektrické energie obnovitelnými zdroji.

Následně byla provedena rešerše stávajících systému od různých firem na českém i zahraničním trhu. Rešerše obsahuje stručnou charakteristiku a informace o parametrech zařízení.

Pro ověření kvality stávajících smart meterů bylo provedeno komplexní měření výrobků, které nabízí přední české obchody s elektronikou. Zásuvky byly měřeny při čistě odporové zátěži, při čistě kapacitní zátěži a při sérioparalelní kombinaci, za účelem zjistit, zda-li má charakter zátěže vliv na přesnost měření. Toto měření mělo za účel potvrdit předpoklad, že komerční chytré zásuvky budou měřit s velkou chybou. Tato domněnka se nepotvrdila a dokázal se pravý opak. Smart metery od firmy Revogi měří s vysokou přesností, chyba měření se pohybuje v řádech desetin procenta. Americký D-Link měří s chybou okolo 1,5 %. Charakter zátěže má minimální vliv na chybu měření.

V praktické části je vybrán specializovaný integrovaný obvod ADE7753 pro vytvoření prototypu chytré zásuvky. Jako ovládací mikrokontrolér je zvoleno ESP8266 NodeMCU, které komunikuje jak s měřicím mikročipem, tak s uživatelem. Dále je popsán princip komunikace mezi zařízeními, vytvořená deska plošných spojů, čidla proudu i napětí. Na závěr je definován princip kalibrace akumulované činné energie.

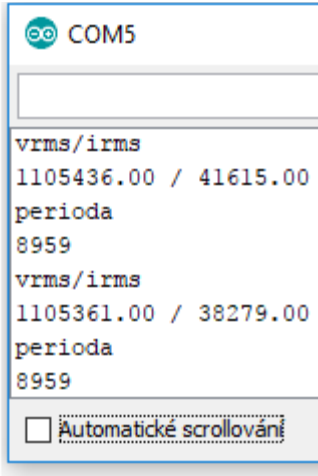
6.1 Současný stav

Knihovny pro ADE7753 v programu Arduino IDE byly detailně prozkoumány, opraveny a optimalizovány pro danou vývojovou desku (např. změna hodnoty registru MODE z 2 na 3). Avšak i přes vynaloženou snahu nefunguje zařízení optimálně. Vypisované hodnoty registrů VRMS i IRMS nefungují, viz obr. 6-1, kdy je vypsaná hodnota registru VRMS 1105436. Správná hodnota, pro napětí 230 V, by nabývala hodnoty přibližně 10689435,4. To znamená, že vypsaná hodnota registru je přibližně desetkrát menší.

Registry VRMS a IRMS jsou 24 bitové, proto je ve vzorci 5.21 číslovka 2^{24} , za dělicím napětí se vyskytuje U_{out} , hodnotu můžeme převzít z rovnice 5.11. U_{V2} je maximální napěťový rozsah kanálu, tzn. 0,5 V. Podobné problémy má i výpis registru IRMS.

$$VRMS = \frac{U_{out} \cdot 2^{24}}{U_{V2}} = \frac{0,31857 \cdot 2^{24}}{0,5} = 10689435,4 \quad (5.21)$$

Jedinou správně vypsanou hodnotou registru zůstává PERIOD. To potvrzuje rovnice 5.18, kde vypočítaná hodnota nabývá podobné velikosti (8949).



```

Serial.println("vrms/irms ");
Serial.print(meter.vrms());
Serial.print(" ");

Serial.print("/ ");
Serial.print(meter.irms());
Serial.print("\n");

Serial.println("perioda");
Serial.print(meter.getPeriod());

```

Obr. 6-1: Příklad vypsaných hodnot registrů VRMS, IRMS a PERIOD

K zjištění příčiny vadných hodnot v registru byly proměřeny vstupy obou kanálů při různých zátěžích. Naměřené hodnoty na vstupech obou kanálů odpovídaly hodnotám předpokládaným. Změnou zátěže docházelo k změnám v COM portu (dialogové okno), nicméně tyto změny neměly směrodatné hodnoty. 40 W žárovka při měření odebírala přibližně 0,16 A, 75 W žárovka proud dvakrát větší. V obou případech ADE7753, po ručním přepočtu (obdobně jako v rovnici 5.21), vypisovalo pro oba případy přibližně proud 0,33 A.

ADE7753 obsahuje integrované tepelné čidlo a při téměř konstantních vypisovaných hodnotách se přistoupilo k vyčítání teploty. V pokojové teplotě se hodnoty registru neměnily, po zahřátí horkovzduchem se hodnota registru zvyšovala. ADE7753 tedy reagovalo na změny. Dalším krokem byla výměna NodeMCU, avšak žádná změna nenastala. Pro další testování posloužilo nepájivé pole, na němž bylo vytvořeno stejné zapojení jako na vývojové desce, použit byl druhý čip ADE7753. Na nepájivém poli nové ADE7753 nevyčítalo správně ani periodu, proto byl podle datasheetu zapojen testový obvod. Avšak ani ten nevedl k úspěšnému vyčtení hodnot.

V průběhu výše popsaných manipulací byly kontinuálně procházeny, pozměňovány a opravovány knihovny pro ADE7753 a další příkazy v Arduino UNO. Byla vysána i testovací funkce testREAD 24, která měla za úkol vyčíst hodnoty bez čekání na zerocross (průchod nulou). Na ten se čeká pro lepší přesnost měření, avšak ani zde nedošlo ke správnému vyčtení.

6.2 Návrh dalšího postupu

V první řadě je nutno znovu provést důkladnou revizi vývojové desky. Nejpravděpodobnější možností výpisů vadných hodnot z registrů je chyba v implementovaném firmwaru. Je tedy nutné přezkoumat znovu celý kód a společně s datasheetem k ADE7753 najít a opravit chybu firmwaru. Nelze vyloučit ani vadné čipy ADE7753, nicméně je velmi nepravděpodobné, že by byly oba pořízené čipy vadné.

Po oživení obvodu se nabízí změna součástek z vývodových na součástky v pouzdře SMD. Miniaturizace desky by vedla k možnému zmenšení celé chytré zásuvky a tím ke zvýšení kompaktnosti.

Nabízí se také implementace hodin reálného času. Společně s vytvořením nového firmwaru by zásuvka mohla vytvořit MESH síť, čímž by byl rozšířen komunikační dosah. Ukládáním hodnot do externího úložiště by po spojení s hodinami reálného času umožnilo na webu vyčítat zvolené hodnoty za určité období.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Wink-Controlled Smart Plug with Energy Monitoring. *Smarthome: Home Automation Superstore* [online]. SMARTHOMER®, 2016 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.smarthome.com/quirky-ge-potlk-wh01-outlink-wall-outlet-and-energy-monitor.html>
- [2] TSAI, Kun-Lin, Fang-Yie LEU a Ilsun YOU. *Residence Energy Control System Based on Wireless Smart Socket and IoT* [online]. IEEE Aces, 2016, , 10 [cit. 2017-01-20]. ISSN 2169-3536. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/xpls/icp.jsp?arnumber=7480364>
- [3] HALUZA, Miroslav a Jan MACHÁČEK. *Klasická versus inteligentní elektroinstalace* [online]. 2011 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/domovni-elektroinstalace/7842-klasicka-versus-inteligentni-elektroinstalace>
- [4] KUNC, Josef. Inteligentní instalace v budovách. *Elektro* [online]. FCC Public, 2011, 11(2), 4 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/inteligentni-instalace-v-budovach--9717>
- [5] STÝSKALÍK, Jiří. *Inteligentní instalace budov INELS: instalační příručka*. 1. vyd. Holešov-Všetuly, 2009, 67 s.
- [6] ANALOG DEVICES. *Single-Phase Multifunction Metering IC with di/dt Sensor Interface: ADE7753*. 2010. Norwood: One Technology Way, 2010, 61 s. Dostupné také z: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADE7753.pdf>
- [7] JURA, Pavel. *Signály a systémy: Část 3: Diskrétní signály a systémy*. 2. opr. vyd. Brno: Jura, 2010, 89 s.
- [8] BERNAT, Petr. *MĚŘENÍ VÝKONU V SOUSTAVĚ MĚNIČ - MOTOR* [online]. In: . Ostrava: Bernat, 2001, s. 6 [cit. 2017-01-20].
- [9] AUTORSKÝ ČLÁNEK, . Co je bočník a k čemu slouží?. *ProfiElektrika.cz* [online]. profiElektrika.cz, 2015 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/clanek.2006-02-05.1331239165>
- [10] VOJÁČEK, Antonín. Co je, k čemu je a jak funguje Rogowského cívka?. *Automatizace.hw.cz* [online]. 2007 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/co-je-k-cemu-je-jak-funguje-rogowskeho-civka>
- [11] KOLEKTIV AUTORŮ, . *Měřicí transformátor proudu* [online]. In: . profiElektrika.cz, b.r. [cit. 2017-01-20]. ISSN 1212-9933.
- [12] LEM. *Current transducer FHA40-P/SP600: Datasheet*. www.lem.com, 2010. Dostupné také z: <http://www.lem.com/docs/products/fhs%2040-p%20sp600.pdf>

- [13] HAASZ, Vladimír a Miloš SEDLÁČEK. *Elektrická měření: přístroje a metody*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-010-2731-7.
- [14] Základní popis funkce: Účel použití WATTrouteru. *Solar controls: Elektronické systémy pro obnovitelné zdroje, domovní automatizace* [online]. 2013 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: http://www.solarcontrols.cz/cz/wattrouter_function.html
- [15] WATTRouter M - UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA: Návod k instalaci a nastavení přístroje [online]. 2. dopl. vyd. Plzeň: SOLAR controls, 2016 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: http://www.solarcontrols.cz/archives/eshop/WATTrouterM_CZ.pdf
- [16] Iridon: *Svět obnovitelných zdrojů budoucnosti!* [online]. Praha: Iridon, 2005 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://iridon.cz/>
- [17] Hybridní fotovoltaické elektrárny. *Solární panely* [online]. Brno: Solární panely, b.r. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://solarni-panely.cz/hybridni-fotovoltaicke-elektrarny>
- [18] Dataport: Free Reports On Solar PV Performance And Maintenance. *Pecan Street* [online]. Texas, b.r. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <https://dataport.pecanstreet.org/>
- [19] Sony develops “Authentication Outlet” Where Electricity Use can be Managed and Consumed on a Per-User and Per-Device Basis: Sony realize new concept by combining contactless IC card technology with its newly developed “RFID Over Power Line” technology [online]. Japonsko: SONY, 2012 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.sony.net/SonyInfo/News/Press/201202/12-023E/>
- [20] Smart socket air: Zprovoznění Smart Socket Air. *Loxone* [online]. b.r. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <https://www.loxone.com/cscz/kb/smart-socket-air/#prehled>
- [21] Appliance Control and Monitoring Wi-Fi Socket - Ego Smart Socket. *Efergy* [online]. efergy, b.r. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://efergy.com/eu/products/home-automation/ego-smart-wi-fi-socket>
- [22] Fibaro Wall Plug: Nejmenší na světě. *Fibaro* [online]. b.r. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.fibaro.com/cz/Fibaro-syst%C3%A9m/z%C3%A1suvka>
- [23] Chytrá zásuvka (KX-HNA101FX): Proved'te zdokonalení napájecího systému pomocí Chytré zástrčky. *Panasonic* [online]. b.r. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.panasonic.com/cz/consumer/smart-home/kx-hna101fx.html>
- [24] BBP200 - Smart Plug. *BeeWi: Simply Wireless* [online]. BeeWi, b.r. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.bee-wi.com/bbp200,us,4,BBP200-A1.cfm>
- [25] VALENTOVÁ, Michaela. Evropská komise omezí spotřebu v pohotovostním režimu. *TZB-info* [online]. TZB-info, 2009 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/5608-evropska-komise-omezi-spotrebu-v-pohotovostnim-rezimu>
- [26] HARAGA, Lukáš. *Využití jednočipových mikroprocesorů a způsoby jejich komunikace s PC* [online]. In: . 2003 [cit. 2017-01-20].

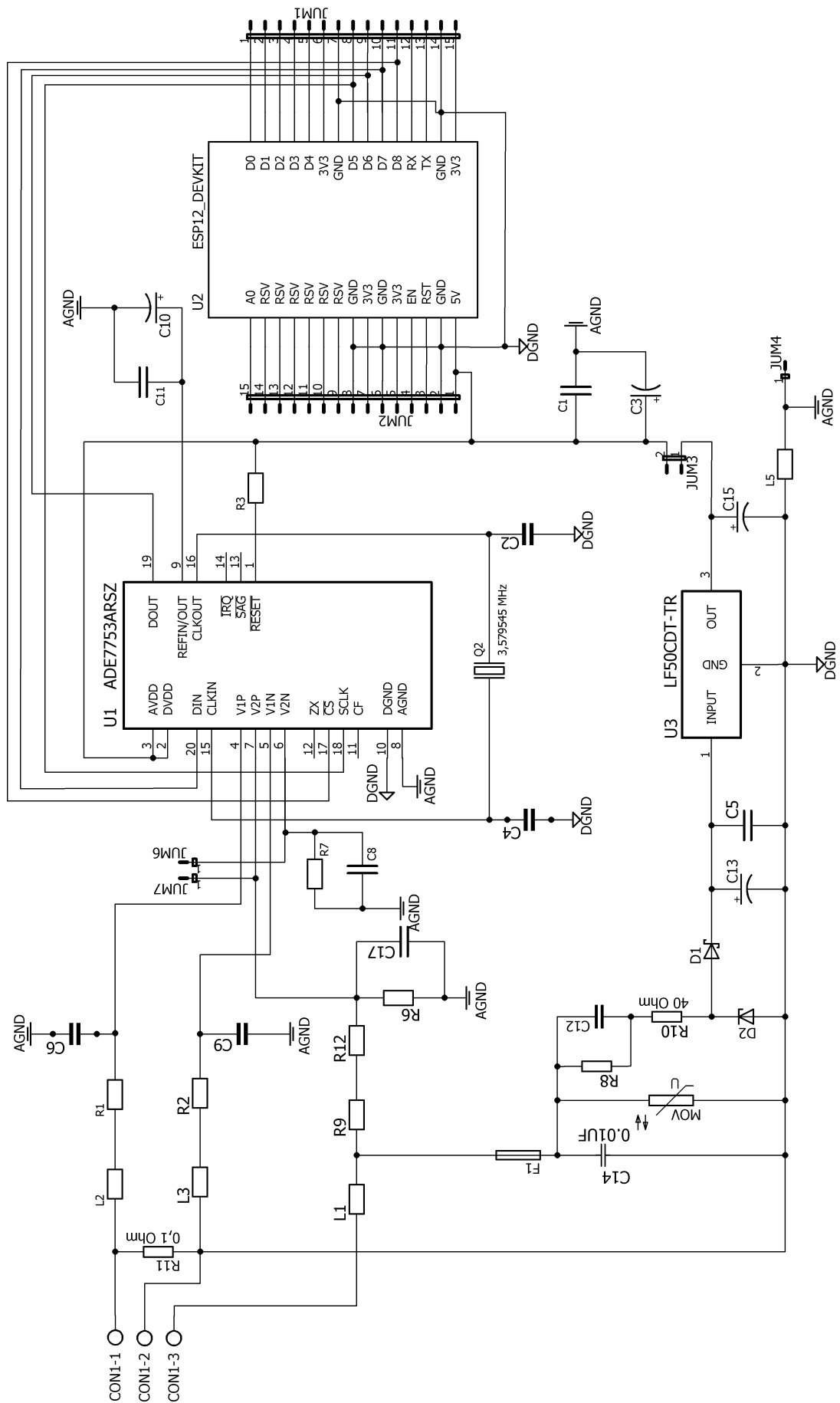
- [27] *HIOKI POWER ANALYZER Power 3390: Power measuring instruments*. Korea: HIOKI, 2011.
- [28] *ČSN EN 50160 (33 0122): Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*. Ed. 3. Praha: Český normalizační institut, 2015.
- [29] Revogi Smart Meter Plug: Transform any device into a smart device!. Revogi [online]. revogi, b.r. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.revogi.com/smart-power/smart-meter-plug-eu-2/#section12>
- [30] Revogi Smart Plug: Transform any device into a smart device!. Revogi [online]. revogi, b.r. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.revogi.com/smart-power/smart-plug-eu/#section8>
- [31] Chytrá zásuvka mydlink™ Home: DSP-W215. D-Link: Home is where the SMART is [online]. D-Link, 2012 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.dlink.com/cz/cs/home-solutions/mydlink-home/smart-plugs/dsp-w215-smart-plug>
- [32] *Atmel AVR465: Single-Phase Power/Energy Meter with Tamper Detection: Atmel AVR 8-bit Microcontroller* [online]. San Jose: Atmel Corporation, 2013 [cit. 2017-05-31]. Dostupné z: http://www.atmel.com/Images/Atmel-2566-Single-Phase-Power-Energy-Meter-with-Tamper-Detection_Ap-Notes_AVR465.pdf
- [33] *ESP8266EX Datasheet* [online]. 4.3 edition. Espressif Systems, 2015 [cit. 2017-05-31]. Espressif Systems IOT Team. Dostupné z: http://www.esp8266.com/wiki/lib/exe/fetch.php?media=0a-esp8266_datasheet_en_v4.3.pdf
- [34] ESP8266: ESP-12 Development Board Serial Wi-Fi modul pro Nodemcu. *Dealextreme: Great Gadgets, Price & Service* [online]. b.r. [cit. 2017-05-31]. Dostupné z: <http://www.dx.com/cs/p/esp8266-esp-12-development-board-serial-wi-fi-module-for-nodemcu-442191?tc=CZK&gclid=COydxrORldQCFXUo0wods8cMQw#.WS59E2jyDd>
- [35] NodeMCU devkit: Pins. In: *GitHub* [online]. b.r. [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <https://raw.githubusercontent.com/nodemcu/nodemcu-devkit/master/Documents/NODEMCU-DEVKIT-INSTRUCTION-EN.png>
- [36] ŠTEFANY, Martin. *Zigbee zařízení pro monitorování spotřeby elektrické energie* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012 [cit. 2017-06-01]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/9411>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav telekomunikací. Vedoucí práce Milan Šimek.
- [37] JANÍK, Pavel. Eagle: Easily Applicable Graphical Layout Editor. *Eagle: Návod* [online]. Třebíč: PaJa, 2002, (2) [cit. 2017-06-01]. Dostupné z: http://paja-trb.cz/eagle/eagle_navod_2.html

-
- [38] *Farnell: element14* [online]. Anglie: Premier Farnell Company, b.r. [cit. 2017-06-04]. Dostupné z: http://cz.farnell.com/?_ga=2.46384871.172950375.1496586618-1253295918.1489400825
- [39] *Chip Ferrite Bead: BLM18P* [online]. muRata, b.r. [cit. 2017-06-04]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/19a35c43258593752611d1c31a7dbf1a/MURATA-BLM18P.pdf>
- [40] DUDÁČEK, Karel. *Sériová rozhraní SPI, Microwire, I2C a CAN* [online]. 2002 [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova_rozhrani.pdf
- [41] CONDIT, Reston. *Transformerless Power Supplies: Resistive and Capacitive: AN954* [online]. Microchip Technology Inc., 2004 [cit. 2017-06-04]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00954A.pdf>
- [42] ADE7753: Library. *GitHub* [online]. 2017 [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <https://github.com/fngstudios/ADE7753>
- [43] NodeMCU: Devkit. In: *GitHub* [online]. 2016 [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: https://raw.githubusercontent.com/nodemcu/nodemcu-devkit/master/Documents/NODEMCU_DEVKIT_SCH.png

SEZNAM PŘÍLOH

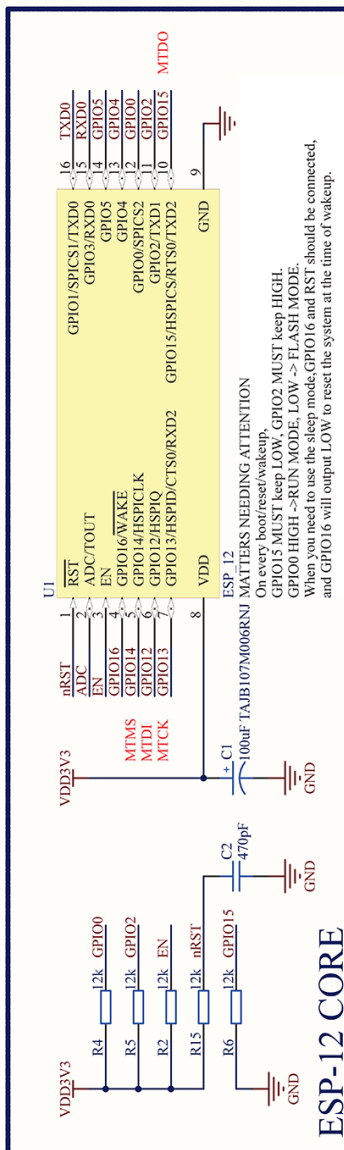
<i>Příloha A: Schéma zapojení chytré zásuvky s ADE7753 a NodeMCU.....</i>	<i>54</i>
<i>Příloha B: Vnitřní zapojení NodeMCU [41]</i>	<i>55</i>
<i>Příloha C: Osazovací plán DPS.....</i>	<i>56</i>
<i>Příloha D: Pohled na tištěné spoje DPS</i>	<i>56</i>
<i>Příloha E: Znázorněné drátové propojky.....</i>	<i>57</i>
<i>Příloha F: Vzhled vývojové desky</i>	<i>58</i>

Příloha A: Schéma zapojení chytré zásuvky s ADE7753 a NodeMCU

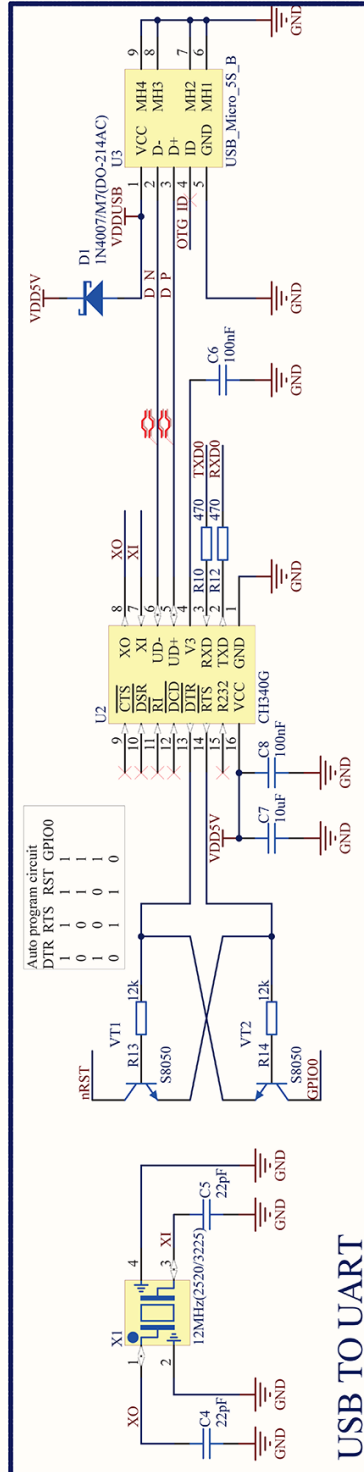
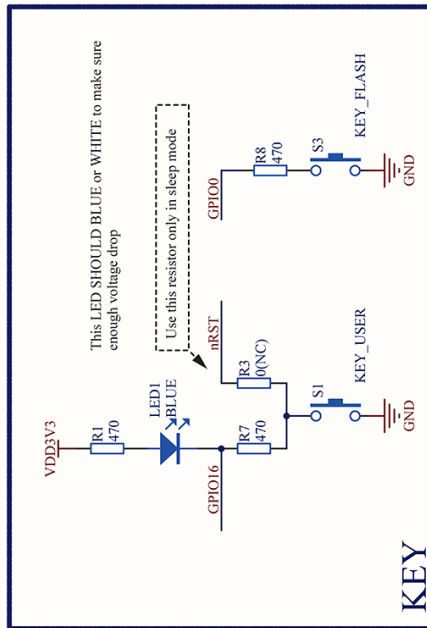


Příloha B: Vnitřní zapojení NodeMCU [41]

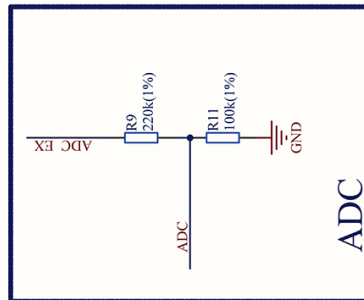
NODE MCU ESP12



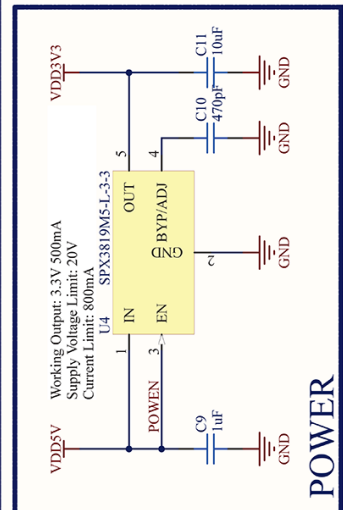
ESP-12 CORE



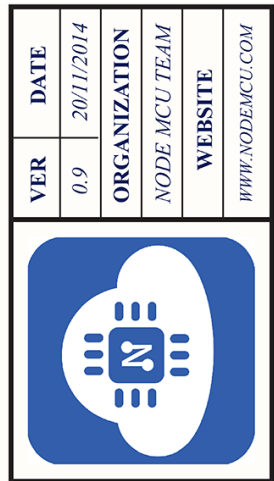
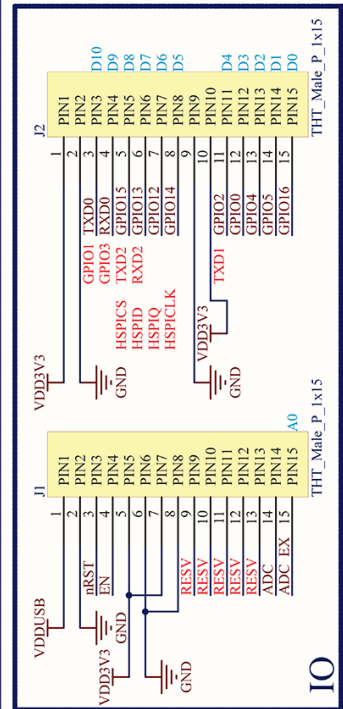
USB TO UART



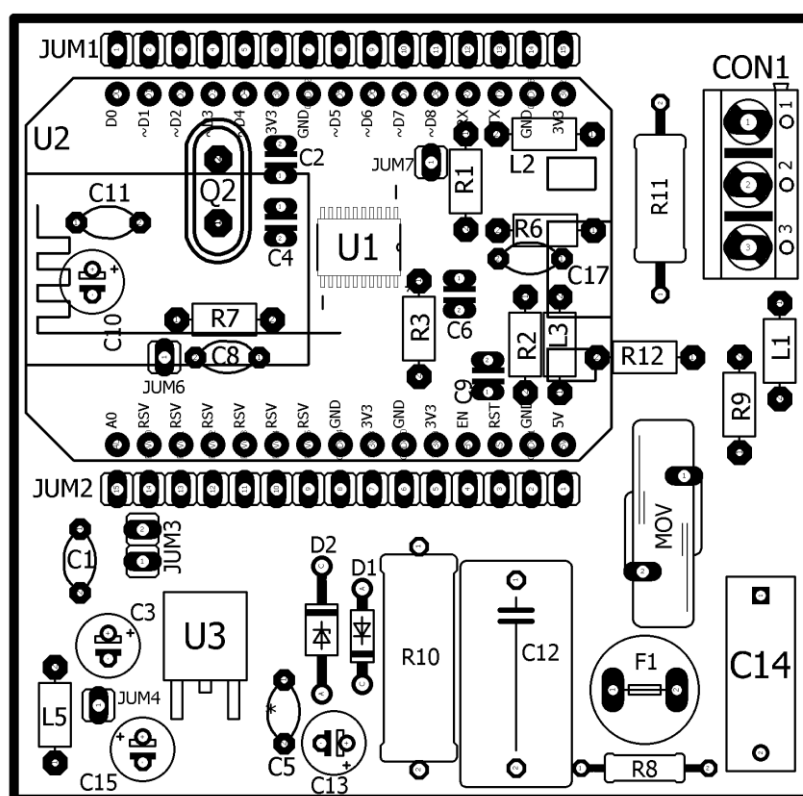
ADC



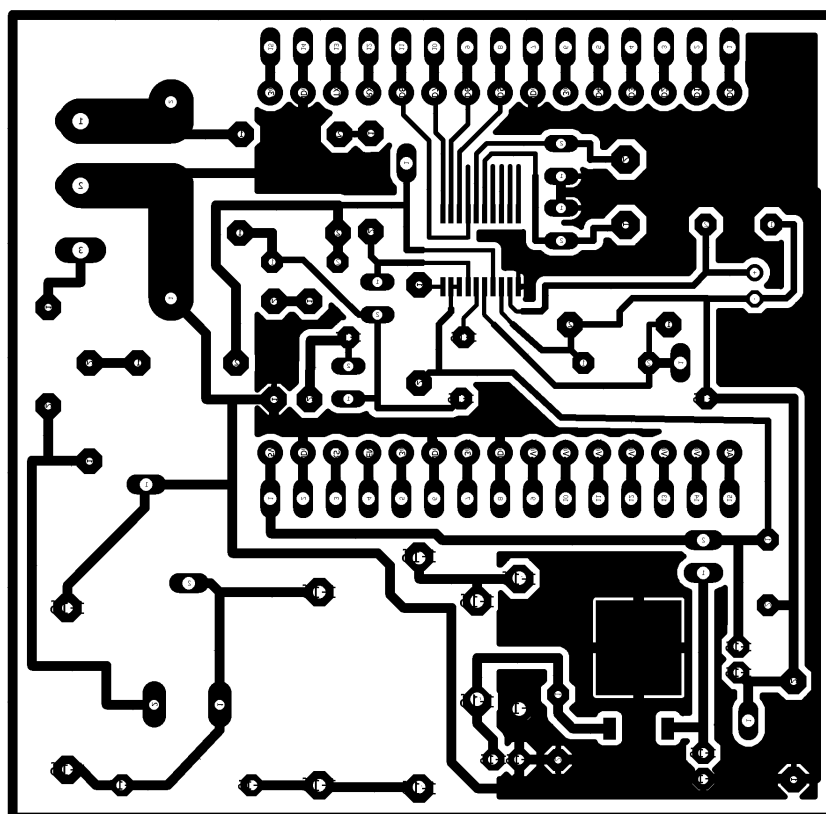
POWER



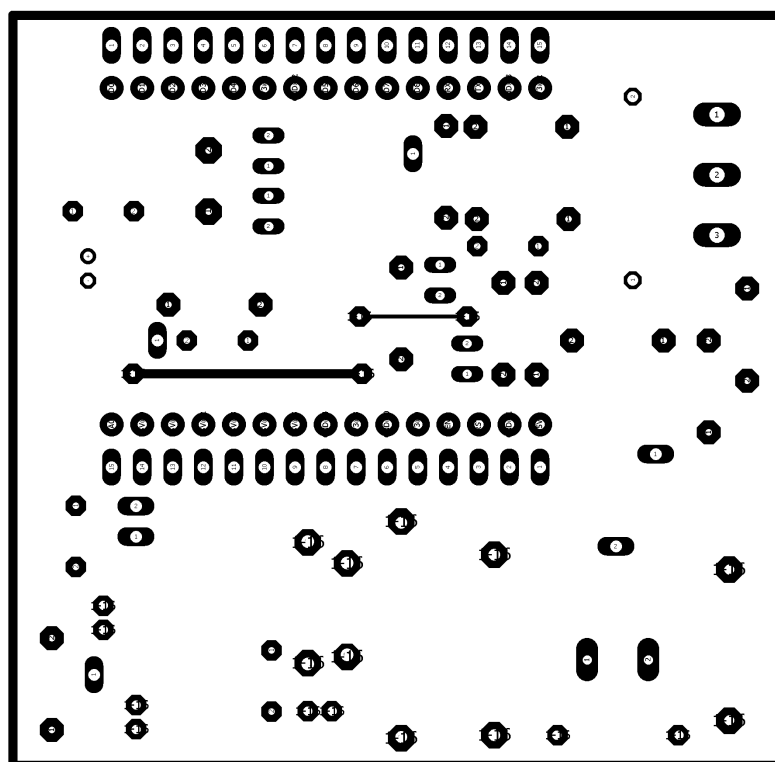
Příloha C: Osazovací plán DPS



Příloha D: Pohled na tištěné spoje DPS



Příloha E: Znázorněné drátové propojky



Příloha F: Vzhled vývojové desky

