



# 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:** 20.6.2017

**Termín odevzdání:** 17.8.2017

**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. 71 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: 17. 8. 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

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

---

<b>5.4 ESP8266 NODEMCU DEVKIT V0.9</b> .....	<b>37</b>
<b>5.5 NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ (DPS)</b> .....	<b>38</b>
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
<b>5.6 FIRMWARE</b> .....	<b>44</b>
<b>5.7 VÝPOČET MĚŘENÝCH HODNOT NAPĚTÍ A PROUDU</b> .....	<b>45</b>
5.7.1 VÝPOČET NAPĚTÍ .....	45
5.7.2 VÝPOČET PROUDU .....	45
5.7.3 VÝPOČET ÚČINÍKU .....	46
5.7.4 VÝPOČET ČINNÉHO VÝKONU A ODEBRANÉ ČINNÉ ENERGIE .....	46
<b>5.8 KALIBRACE IO ADE7753</b> .....	<b>46</b>
5.8.1 KALIBRACE NAPĚTÍ.....	47
5.8.2 KALIBRACE PROUDU.....	48
5.8.3 KALIBRACE ÚČINÍKU .....	49
5.8.4 KRUHOVÁ CHARAKTERISTIKA.....	50
<b>6 POKUSNÁ INSTALACE V PROSTORÁCH UEEN</b> .....	<b>51</b>
<b>6.1 PRVNÍ MĚŘENÍ</b> .....	<b>52</b>
<b>6.2 DRUHÉ MĚŘENÍ</b> .....	<b>55</b>
<b>6.3 SHRUTÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT PŘI POKUSNÉ INSTALACI</b> .....	<b>58</b>
<b>7 NÁKLADY NA VÝROBU PROTOTYPU CHYTRÉ ZÁSUVKY</b> .....	<b>59</b>
<b>8 OPTIMALIZACE</b> .....	<b>60</b>
<b>9 ZÁVĚR</b> .....	<b>61</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>62</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>66</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1: Schéma topologie a připojení externí chytré zásuvky .....	14
Obr. 2-2: Vhodně zvolená vzorkovací frekvence (100 Hz) pro rekonstrukci křivky (40 Hz) .....	16
Obr. 2-3: Nevhodně zvolená vzorkovací frekvence (100 Hz) pro rekonstrukci křivky (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 k $\Omega$ .....	27
Obr. 4-3: Zapojení pro měření s kapacitní zátěží 0,5 k $\Omega$ a pro paralelní kombinaci kapacitní a odporové zátěže .....	27
Obr. 4-4: Charakteristika napětí a odebíraného proudu ze sítě při odporové zátěži 0,5 k $\Omega$ .....	29
Obr. 4-5: Charakteristika napětí a odebíraného proudu ze sítě při kombinované zátěži kapacitního charakteru 0,5 k $\Omega$ .....	29
Obr. 4-6: Charakteristika napětí a odebíraného proudu ze sítě při sérioparalelní kombinaci odporové a kombinované 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> .....	43
<i>Obr. 5-9: Zapojení proudového čidla ADE7753</i> .....	44
<i>Obr. 5-10: Schéma zapojení při kalibraci prototypu smart meteru</i> .....	47
<i>Obr. 5-11: Porovnání referenčních a naměřených hodnot při kalibraci proudu</i> .....	49
<i>Obr. 5-12: Kruhová charakteristika pro 100 mA, 1 A a 2 A</i> .....	50
<i>Obr. 6-1: Schéma zapojení pokusné instalace v prostorách UEEN</i> .....	51
<i>Obr. 6-2: Průběh referenčního a měřeného napětí - 1. měření</i> .....	52
<i>Obr. 6-3: Rozdíl měřeného napětí od referenčního napětí v čase - 1. měření</i> .....	52
<i>Obr. 6-4: Průběh změřeného a referenčního odebíraného proudu v čase pro 1. měření</i> .....	53
<i>Obr. 6-5: Odebíraný výkon ze sítě - 1. měření</i> .....	53
<i>Obr. 6-6: Rozdíl mezi naměřenou a referenční hodnotou činného výkonu - 1. měření</i> .....	54
<i>Obr. 6-7: Průběh odebrané činné energie - 1. měření</i> .....	54
<i>Obr. 6-8: Průběh referenčního a měřeného napětí - 2. měření</i> .....	55
<i>Obr. 6-9: Rozdíl měřeného napětí od referenčního napětí v čase - 2. měření</i> .....	55
<i>Obr. 6-10: Průběh změřeného a referenčního odebíraného proudu v čase pro 2. měření</i> .....	56
<i>Obr. 6-11: Průběh referenčního a změřeného odebíraného činného výkonu - 2. měření</i> .....	56
<i>Obr. 6-12: Rozdíl mezi naměřenou a referenční hodnotou činného výkonu - 2. měření</i> .....	57
<i>Obr. 6-13: Průběh odebrané činné energie v čase - 2. měření</i> .....	57

**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>
<i>Tab. 5-3: Ukázka naměřených a vypočtených hodnot při kalibraci napětí.....</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 5-4: Rozmezí kalibrace s přiřazeným krokem .....</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 5-5: Naměřené a vypočtené hodnoty při kalibraci proudu .....</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 5-6: Naměřené hodnoty účinníku pro různé proudy s vypočítanými relativními chybami .....</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 6-1: Programy nahrané do Chroma 63804, s účinníkem rovným 1 .....</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 6-2: Vypočítané průměrné hodnoty v jednotlivých úsecích 1. měření .....</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 6-3: Vypočítané průměrné hodnoty v jednotlivých úsecích 2. měření .....</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 7-1: Přibližné náklady na výrobu vyvinuté chytré zásuvky.....</i>	<i>59</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)
$\omega_s$	vzorkovací úhlová frekvence	(rad/s)
$\omega_s$	maximální úhlová frekvence signálu	(rad/s)
$T_s$	vzorkovací perioda	(s)
$f_s$	vzorkovací frekvence	(Hz)
$\Delta P$	spotřeba zásuvky při měření	(W)
$P_{\text{měřPŘED}}$	výkon měřený před chytrou zásuvkou	(W)
$P_{\text{měřZA}}$	výkon měřený za chytrou zásuvkou	(W)
$P_{uz}$	výkon udaný chytrou zásuvkou	(W)
$\Delta S$	zdánlivá spotřeba zásuvky při měření	(VA)
$E_{\text{měřPŘED}}$	odebraná elektrická energie	(Ws)
$E_{\text{měřZA}}$	elektrická energie dodaná zátěži	(Ws)
$\delta_P$	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)
<i>OZE</i>	obnovitelné zdroje energie	
<i>Wi-Fi</i>	bezdrátová komunikace v počítačových sítích	
<i>SSR</i>	solit state relé	
<i>iOS</i>	operační systém firmy Apple	
<i>FVE</i>	fotovoltaická elektrárna	
<i>PWM</i>	pulzně šířková modulace	
<i>IoT</i>	internet věcí (internet of things)	
<i>SPI</i>	sériové periferní rozhraní	
<i>SM</i>	smart meter	

# 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, navrhnout vhodnou topologii smart meteru a vyrobit cenově dostupný a přesný prototyp smart meteru.

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, optimalizaci a zařízení. Následně je prototyp smart metru testován v prostorách UEEN. V závěru je proveden rozbor chytré zásuvky po finanční stránce a jsou navrženy možnosti optimalizace 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 úrovní 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 projekty a stavby vyžadující flexibilní a komfortní řešení s širokou paletou funkcí 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 sestrojít 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

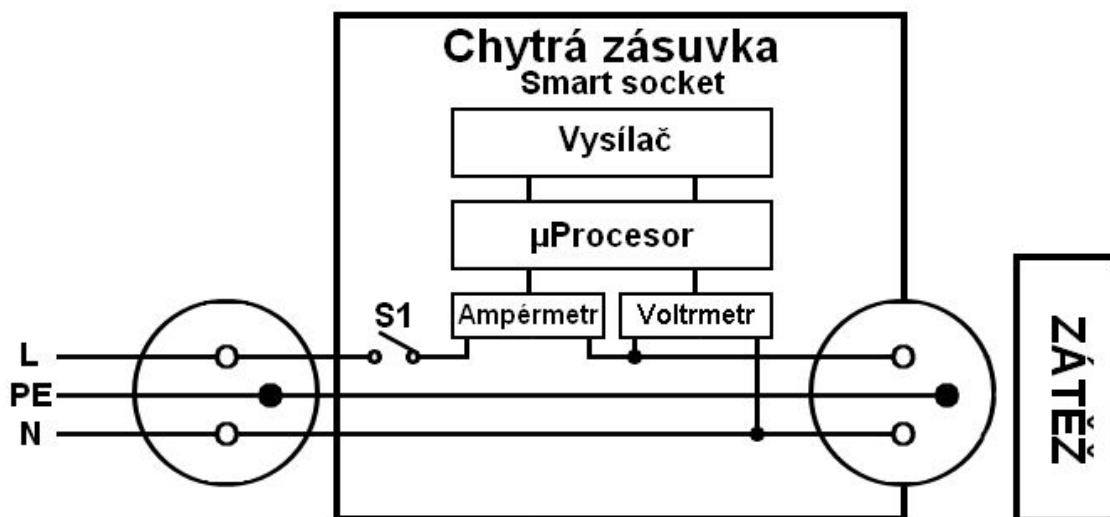
Chceme-li začít používat smart-metering ve stávajících prostorách, lze k tomu využít externích chytrých zásuvek. Ty jsou provedeny jako průchozí modul obsahující elektroniku. Komunikace s uživatelem probíhá bezdrátově buď přes centrální jednotku (server), anebo rovnou s uživatelem prostřednictvím mobilní 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 I<sup>2</sup>C. Existuje celá řada sériových rozhraní a je na výrobcích, 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 2.1, 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  $\mu$ s je odebrán vzorek.

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) \cdot \cos\varphi \quad (2.1)$$

Aby měla informace okamžitého výkonu váhu, je z něj určen průměrný výkon za určitý čas dle rovnice 2.2 [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.

$$P = \frac{1}{nT} \int_0^{nT} p(t) dt \quad (2.2)$$

Aktualizuje-li se zobrazený výkon jednou za 5s, vypočítáme počet cyklů ze vztahu 2.3 následovně:

$$n = \frac{t_{aktualizace}}{T_{sítě}} = \frac{5}{0,02} = 250 \quad (2.3)$$

Spotřebovaná elektrická energie zobrazovaná zákazníkovi se vypočte ze vztahu 2.4 integrací výkonu podle času [6]. Tento výkon může být pro větší přesnost představován okamžitým výkonem.

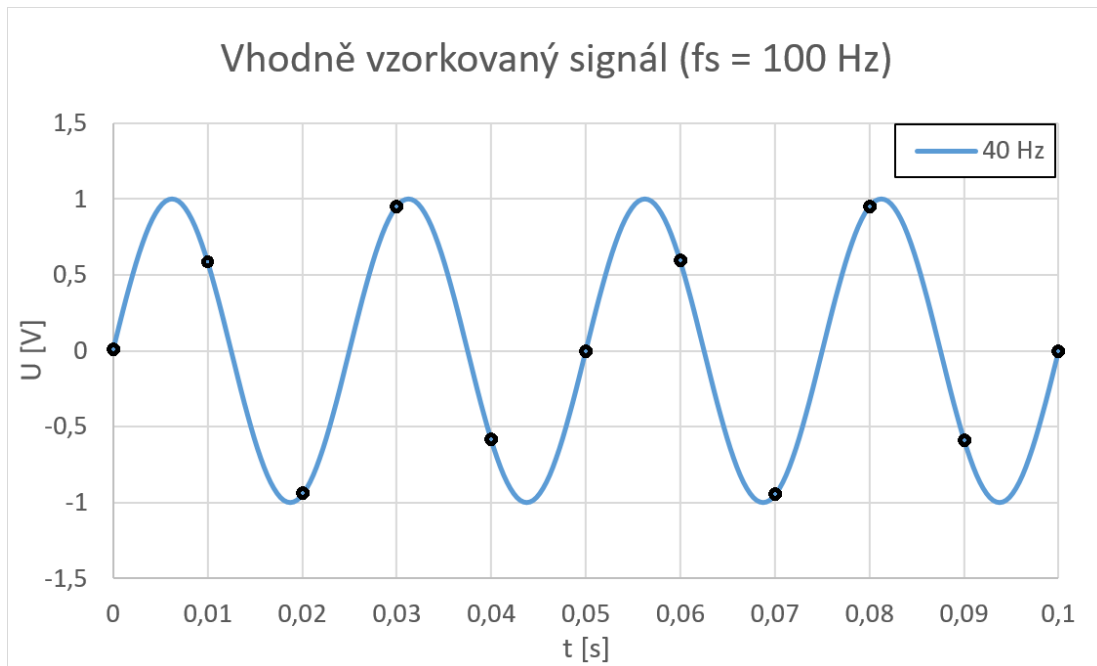
$$E = \int P dt [Ws] \quad (2.4)$$

### 2.3.2 Vzorkování signálu (sampling) a jeho rekonstrukce

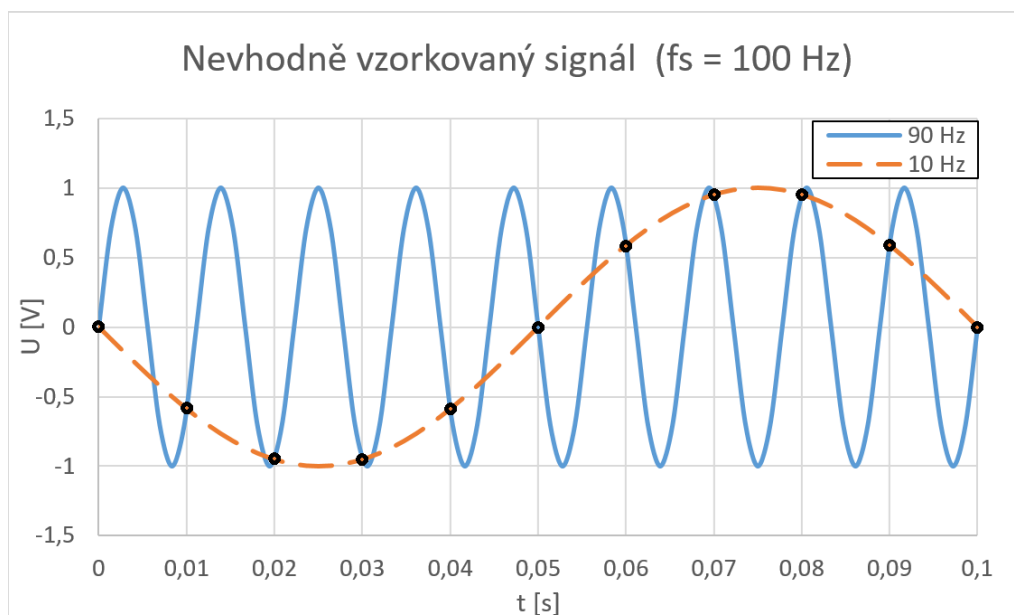
Vzorkování zajišťuje A/D převodník, který převádí spojitý signál na diskrétní. Pro samotné vzorkování průběhu a jeho následnou rekonstrukci je potřeba vycházet ze vzorkovacího teorému daného vztahem 2.5. Pokud zařízení vzorkuje minimálně dvakrát rychleji než je nejvyšší kmitočet ve spektru vzorkovaného 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 2.5. 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.

$$\omega_s \geq 2\omega_{max} \Leftrightarrow T_s \leq \frac{\pi}{\omega_{max}} \quad (2.5)$$

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: Vhodně zvolená vzorkovací frekvence (100 Hz) pro rekonstrukci křivky (40 Hz)



Obr. 2-3: Nevhodně zvolená vzorkovací frekvence (100 Hz) pro rekonstrukci křivky (90 Hz) a nesprávně zrekonstruovaná křivka o frekvenci 10 Hz

### 2.3.3 Čidla napětí a proudu

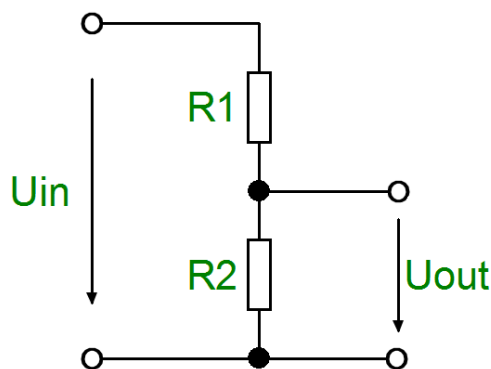
Přes smart meter je ze sítě (230 V) napájena připojená zátěž, pro určení odběru dané zátěže je potřeba měřit obvodové veličiny, to zajišťuje mikroprocesor, který obsahuje napěťové vstupy dimenzované na určité napětí, řádově jednotky voltů. Na tyto vstupy se připojí senzory napětí a proudu, jež budou 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 síťové 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 2.6. 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.

$$U_{out} = U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.6)$$



Obr. 2-4: Schématické zobrazení děliče napětí

Pro snímání proudu lze využít:

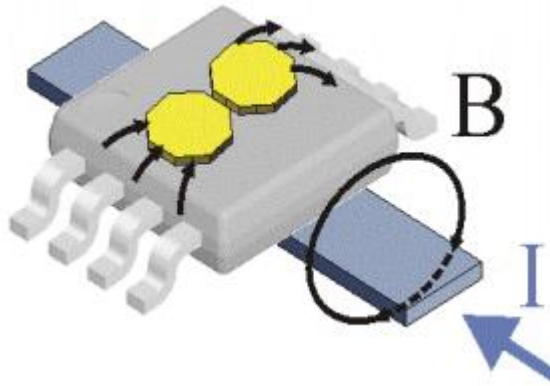
- Bočník
- Rogowského cívku
- Měřicí transformátor proudu
- Hallův proudový senzor

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 [6], [10].

Elektrický proud procházející vodičem způsobí vznik magnetického pole, to je snímáno senzorem s Hallovou sondou. Snímač samotný je tvořen úzkou polovodičovou destičkou. Šířka destičky je nepřímo úměrná citlivosti snímače, tzn. 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 ovládní 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

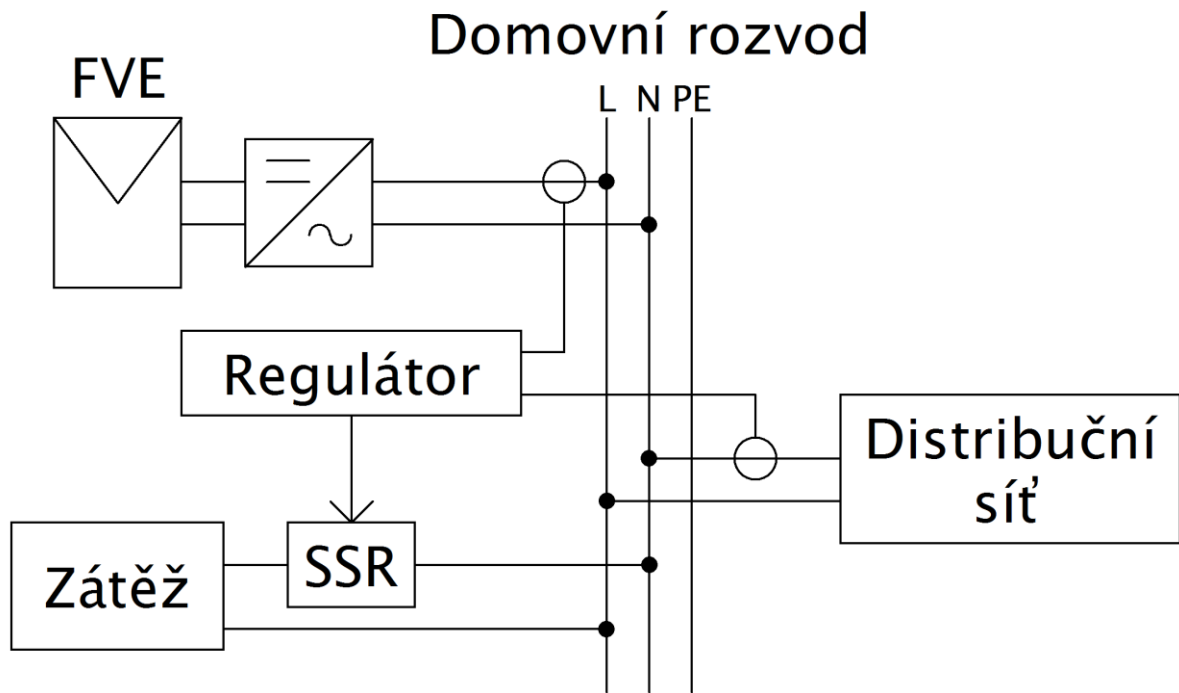
Již nyní jsou dostupné regulátory, které měří výrobu z obnovitelného zdroje energie (fotovoltaické a větrné elektrárny) a spotřebu elektrické energie. Při nadvýrobě spíná spotřebiče, které jsou normálně (bez OZE) spínány při nízkém tarifu, to se týká bojlerů, klimatizací, čističek vzduchu, elektrického 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

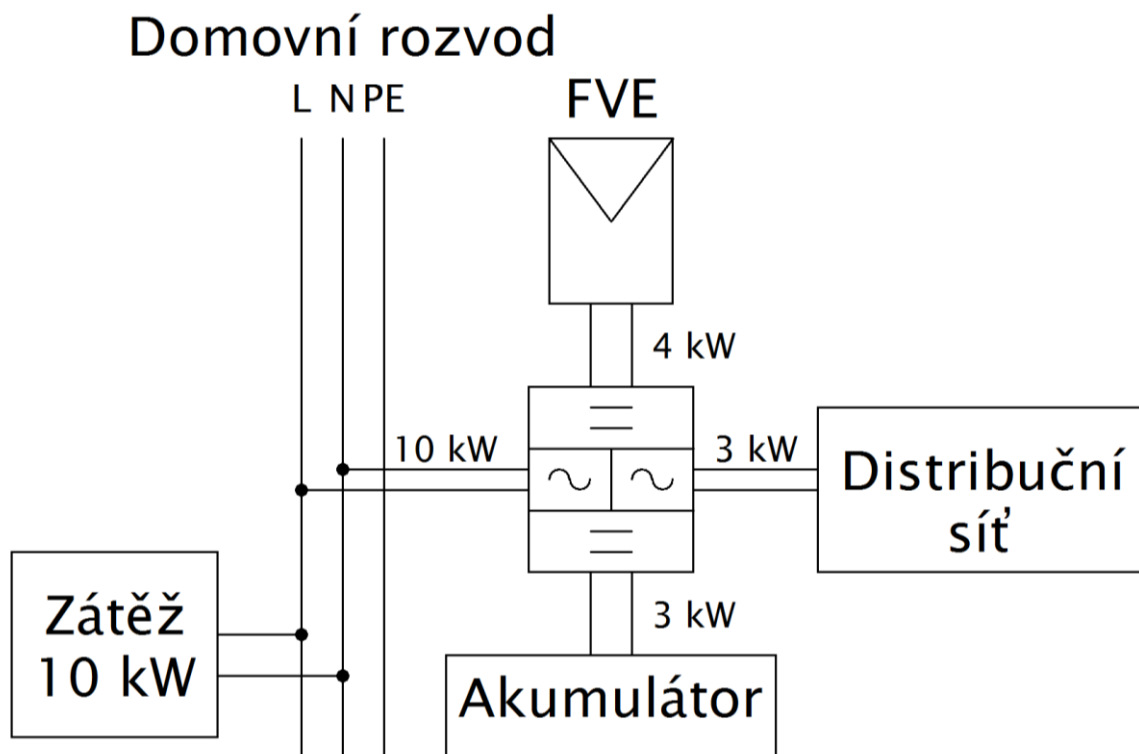
Společnou kombinací nových technologií a zvýšené automatizace lze docílit ještě větší minimalizace spotřeby elektrické energie z distribuční sítě. Každý spotřebič má svůj charakteristický odběr v čase, a to dle nastaveného programu (např. u pračky). Aby za provoz spotřebiče mohla být zaplacená minimální suma, je potřeba znát průběh odběru spotřebiče a výkon fotovoltaické elektrárny v čase, aby bylo možno určit co 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 jdou 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 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 dalšími zařízeními, kterými lze utvořit 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 při provozu 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 k $\Omega$ , kapacitní zátěž 0,5 k $\Omega$  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 Aspire S3.

Simulaci sítě zajišťoval nastavitelný zdroj California Instruments MODEL 5001 ix s impedancí sítě California Instruments OMNI 3-18i. 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.

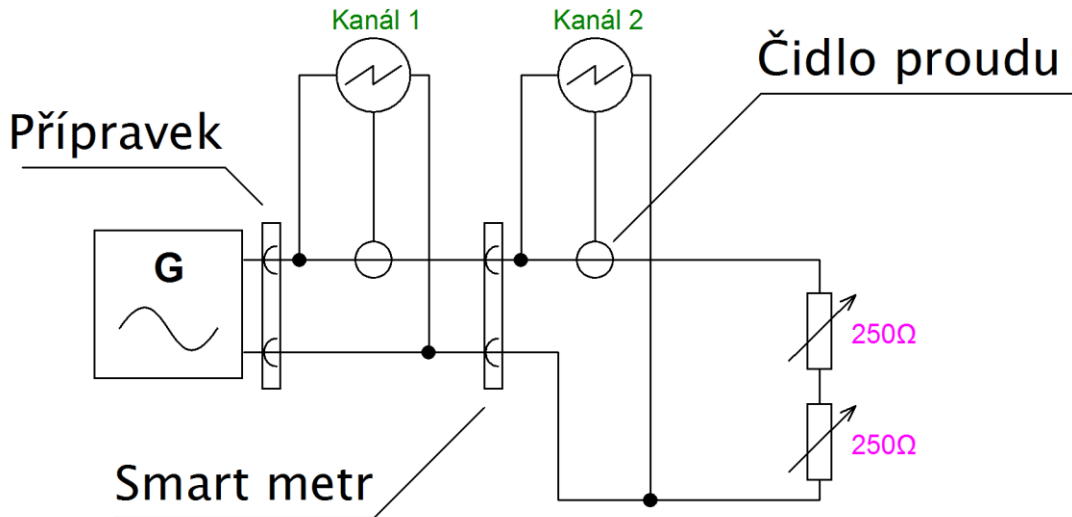
Jako zátěž posloužily 4 reostaty s maximálním odporem 250  $\Omega$  a maximálním proudem 1,6 A a 2 reostaty o maximálním odporu 260  $\Omega$  s maximálním proudem 2,3 A. Pro vytvoření kombinace kapacitní a odporové zátěže byly použity 2 přípravky s umělou zátěží zapojené dle obr. 4-3.

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	$\pm 0.05\% \text{rdg} \pm 0.05\% \text{f.s.}$	$\pm 0.05\% \text{rdg} \pm 0.05\% \text{f.s.}$	$\pm 0.05\% \text{rdg} \pm 0.05\% \text{f.s.}$

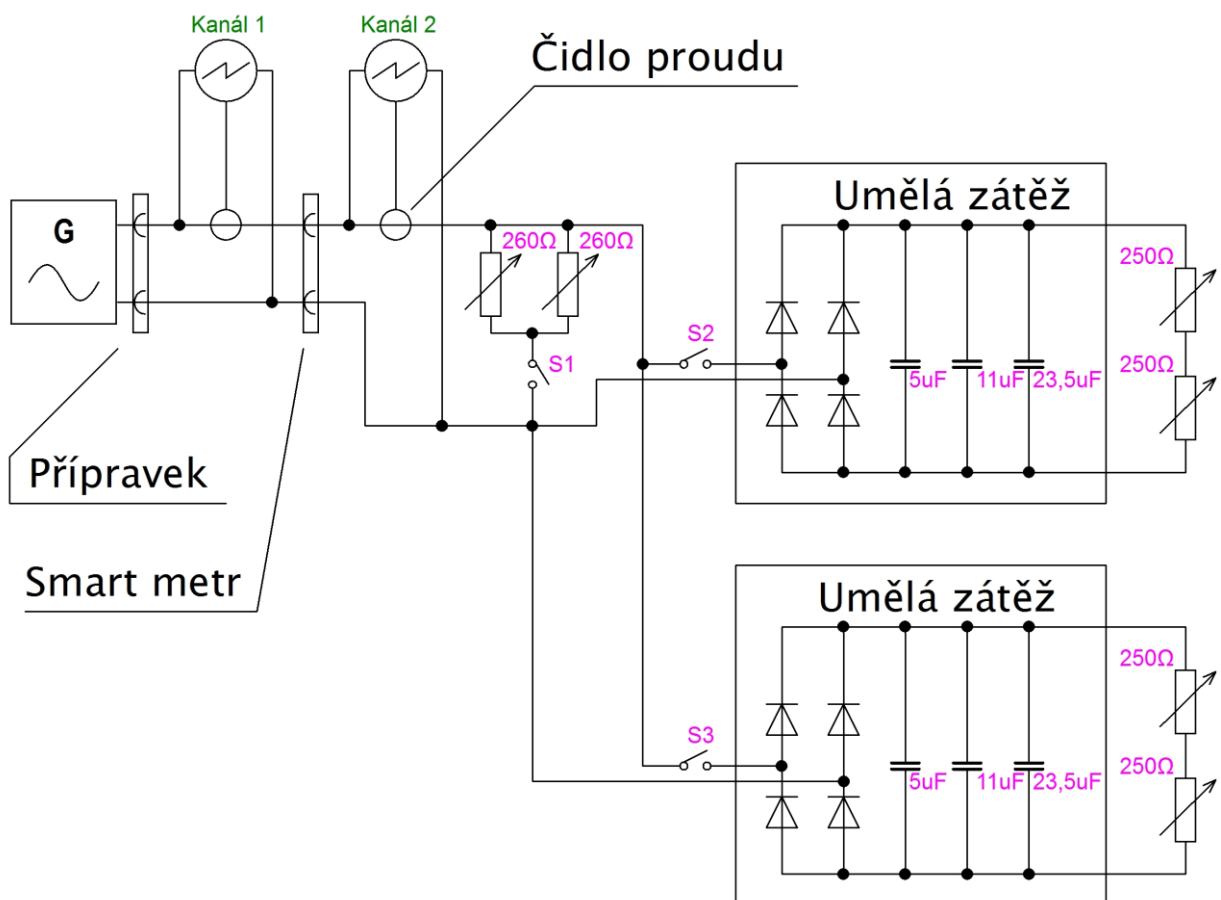
Obr. 4-1: Přesnost osciloskopu HIOKI 3390 v rozmezí od 0,5 Hz do 66 Hz [27]

## 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 reostaty nastaveny na maximální hodnotu, tzn. každý na 250  $\Omega$ , čímž vznikla odporová zátěž o hodnotě 0,5 k $\Omega$ . Při této zátěži byl odebíráán 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 kombinované zátěže kapacitního charakteru 0,5 k $\Omega$ . 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 sérioparalelní kombinace odporové a kombinované zátěže kapacitního charakteru. 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 4.1. 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  $\Delta P$ , při probíhající měření je dána rozdílem odebíraného výkonu měřeného osciloskopem před a za chytrou zásuvkou, což je vyjádřeno vztahem 4.2. Nespĺňuje-li zařízení normu o povoleném odběru činného výkonu, je odběr přepočítán na zdánlivý výkon  $\Delta S$  ve voltampérech dle vzorce 4.3.

$$\Delta P = P_{m\check{e}řPRED} - P_{m\check{e}řZA} \quad (4.2)$$

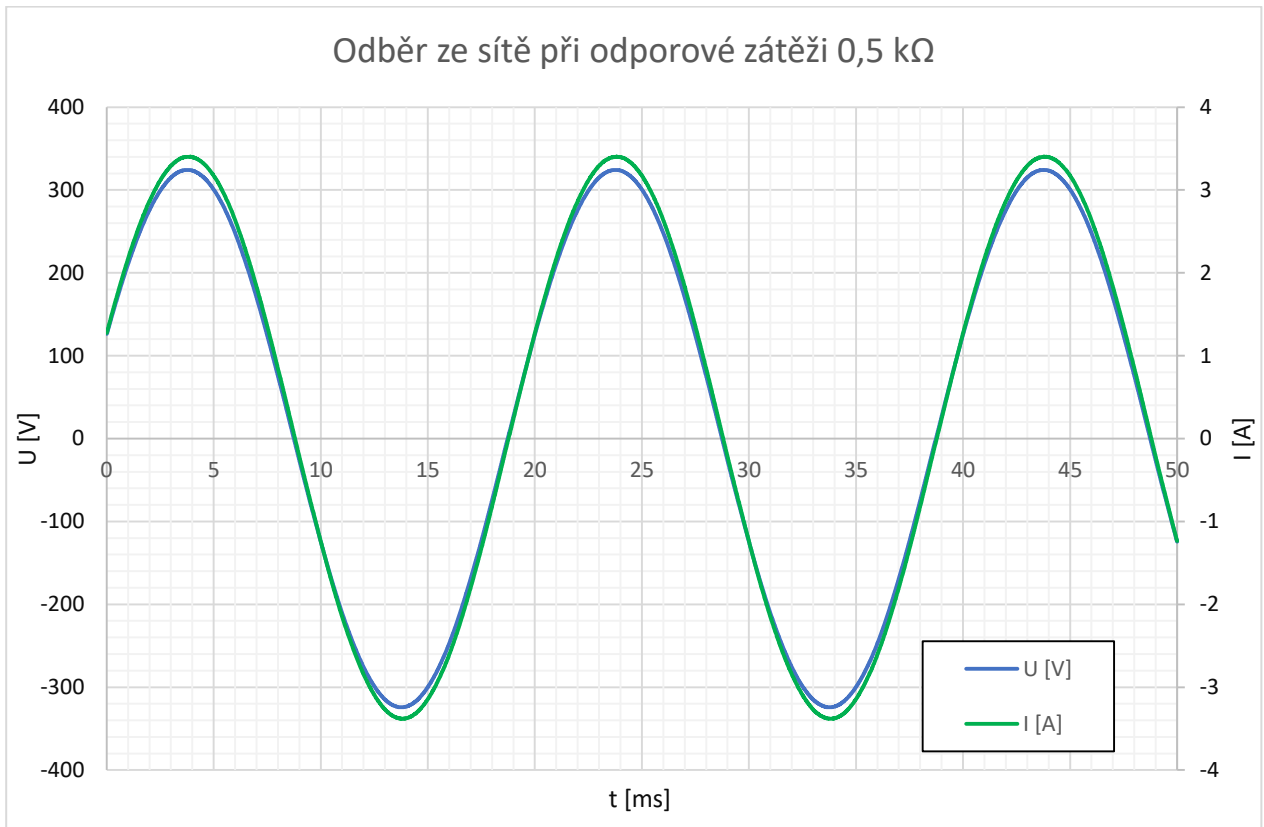
$$\Delta S = \frac{P_{m\check{e}řPRED} - P_{m\check{e}řZA}}{\cos\varphi} = \frac{\Delta P}{\cos\varphi} \quad (4.3)$$

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.

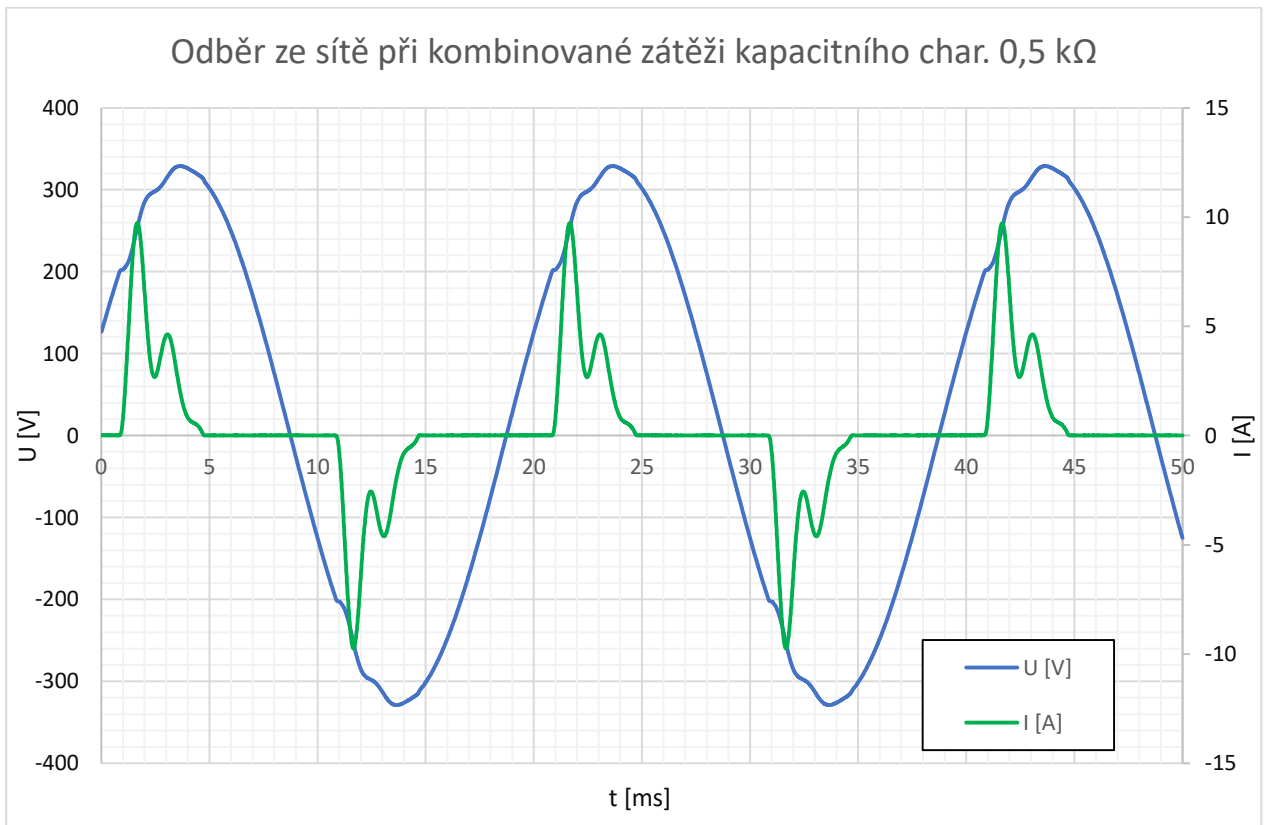
$$E_{m\check{e}řZA} = P_{m\check{e}řZA} \cdot \frac{t}{60} \quad (4.4)$$

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.

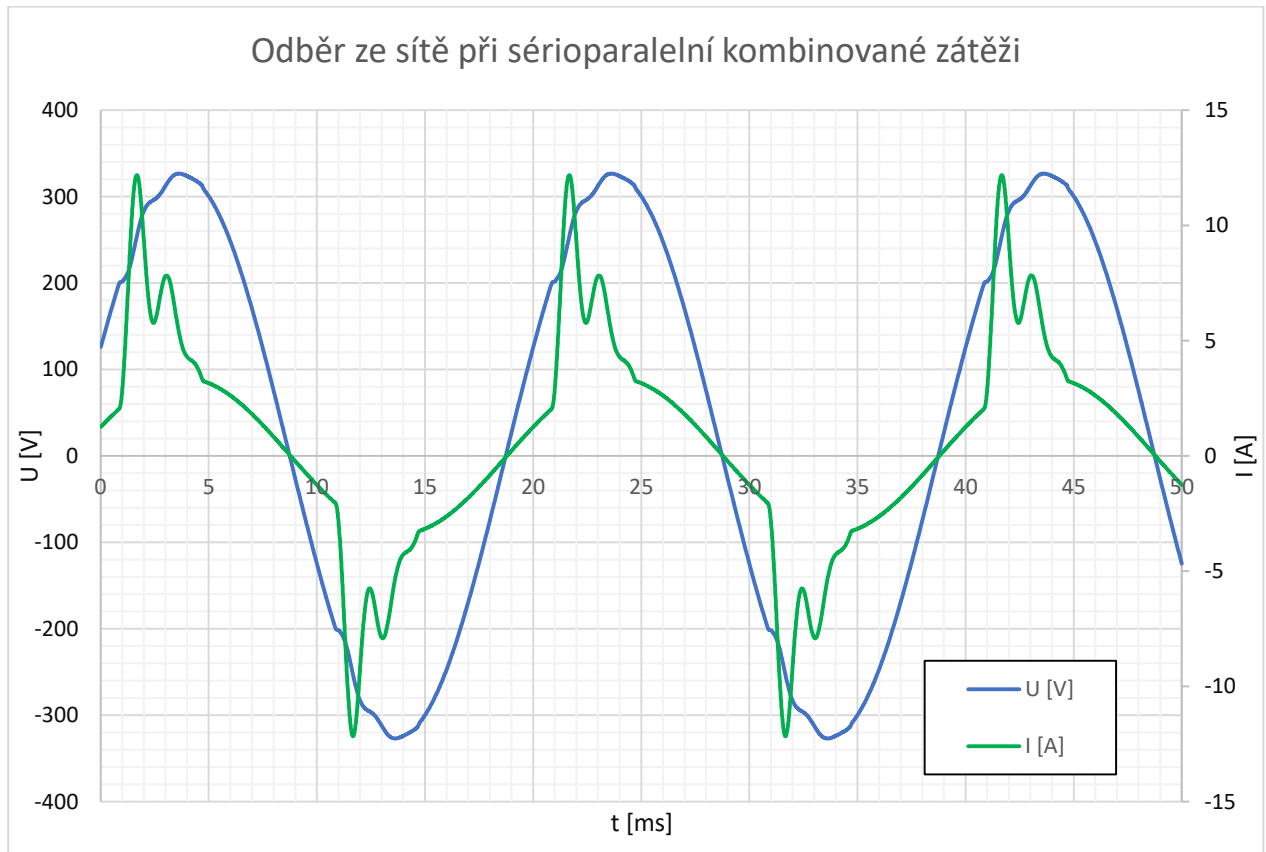
$$\delta_P = \frac{P_{uz} \cdot P_{m\check{e}řZA}}{P_{m\check{e}řZA}} \cdot 100 \quad (4.5)$$



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



Obr. 4-5: Charakteristika napětí a odebíraného proudu ze sítě při kombinované zátěži kapacitního charakteru 0,5 kΩ



Obr. 4-6: Charakteristika napětí a odebíraného proudu ze sítě při sérioparalelní kombinaci odporové a kombinované 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, velikostí i kruhovým LED indikátorem spotřeby se podobá chytré zásuvce od firmy Fibaro. Nechybí časovač a základní funkce. Zásuvka je zobrazena 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+
- Nadproudová ochrana

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

Zátěž	t	$U_z$	$I_{ef}$	$\cos\varphi$	$P_{m\acute{e}r\acute{P}R\acute{E}D}$	$P_{m\acute{e}r\acute{Z}A}$	$P_{uz}$	$\Delta P$	$\Delta S$	$\delta_P$	$E_{m\acute{e}r\acute{Z}A}$
	[min]	[V]	[A]	[-]	[W]	[Wh]	[W]	[W]	[VA]	[%]	[Wh]
0,5k $\Omega$ (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 $\Omega$ (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 odebírán proud 1600  $\mu A$ , což po užití vzorce 4.1 odpovídá 0,36 W. Při rozepnutém stavu dosahoval odebíraný proud 280  $\mu A$ , 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 4.3 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 Wi-Fi. Smart meter je v porovnání s bluetoothovou zásuvkou téměř dvakrát větší, viz obr. 4-8. I tato zásuvka umožňuje dálkové ovládání pomocí mobilního telefonu, a protože je zásuvka připojena přes Wi-Fi, je ji možno vypnout odkudkoliv. Lze nastavit čas vypnutí a zapnutí chytré zásuvky.

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	$U_z$	$I_{ef}$	$\cos\varphi$	$P_{m\check{e}r\check{P}R\check{E}D}$	$P_{m\check{e}r\check{Z}A}$	$P_{uz}$	$\Delta P$	$\Delta S$	$\check{D}P$	$E_{m\check{e}r\check{Z}A}$
	[min]	[V]	[A]	[-]	[W]	[Wh]	[W]	[W]	[VA]	[%]	[Wh]
0,5k $\Omega$ (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
0,5k $\Omega$ (C)	5,0	230	2,79	0,60	382,4	380,9	375,8	1,5	-	-1,34	31,74
Kombinace	26,0	228,4	4,61	0,88	925,4	922,6	917,3	2,8	3,19	-0,57	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  $\mu A$ . Tomu odpovídá výkon o hodnotě 0,0855 W. Při rozepnutí zásuvce procházelo ampérmetrem 300  $\mu A$ , přepočítáno na odběr 0,0675 W. Wi-Fi zásuvka od Revogi má odběry nižší než bluetoothová verze a taktěž 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 -1,34 %. 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. 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 tohoto typu 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 16 A
- Vlastní spotřeba je menší než 5 mW
- 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 <sub>z</sub>	I <sub>ef</sub>	T <sub>in</sub>	cosφ	P <sub>měřPŘED</sub>	P <sub>měřZA</sub>	P <sub>uz</sub>	ΔP	ΔS	δ <sub>P</sub>	E <sub>měřZA</sub>
	[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	-1,14	91,76
	6	220	-	45	1	460,9	458,1	451,61	2,8	2,80	-1,42	45,81
	5	207	-	45	1	408,2	405,5	399,18	2,7	2,70	-1,56	33,79
	8	253	-	48	1	609,2	606,2	596,73	3	3,00	-1,56	80,83
0,5kΩ (C)	8	230	2,81	48	0,597	383,7	380,7	374,86	3	5,03	-1,53	50,76
Kombinace	17	229	4,62	50	0,876	927,1	922,1	907,51	5	5,71	-1,58	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 přehoupla 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 -1,581 %. Podmínka maximální chyby pod 5% je splněna i zde.

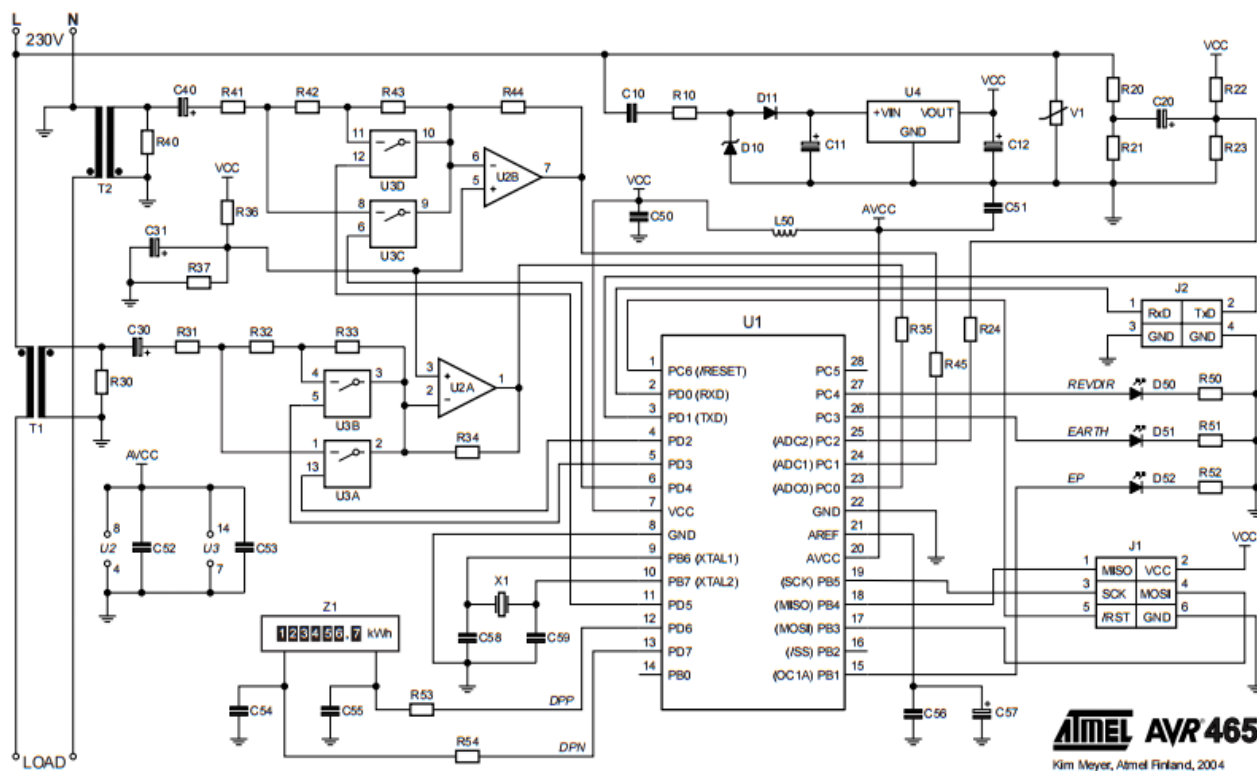
Oproti smart meterům od Revogi má D-Link velmi zdoluhavou aktualizaci měřených dat. V celou hodinu určil odebranou energii jako 300 Wh, což odpovídalo odběru v dané době. Měření následně pokračovalo dalších 17 minut a bylo odebráno 261 Wh, smart meter hodnotu neaktualizoval ani v další celou hodinu. 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 jeho následného vyladění.

## 5 PRAKTICKÁ ČÁST PRÁCE

Cílem této práce je vytvořit funkční prototyp chytré zásuvky pro domácnost. Smart meter je možné vytvořit samostatným mikrokontrolérem a jeho následným naprogramováním. Aby se předešlo složitému a zdlouhavému výběru, vývoji, programování, optimalizování a vyladování, byly po průzkumu trhu vybrány dva specializované integrované obvody komunikující pomocí sériového rozhraní (SPI). Konkrétně jednofázový energy meter s detekcí neoprávněné manipulace AVR465 od firmy Atmel a jednofázový integrovaný obvod pro měření činného výkonu ADE7753, vyvinutý firmou Analog Devices.

### 5.1 AVR465

Splňuje normy IEC 61036 pro přesnost elektroměrů 1. třídy. V datasheetu je uvedeno celkové funkční schéma zapojení s přesným seznamem použitých součástek, včetně návrhu napájení i čidel napětí a proudu. Obsahuje vývody pro jednoduché připojení LCD. Je kompatibilní s vnitřní flash pamětí SRAM a EEPROM. Komunikace probíhá pomocí sériového rozhraní. AVR465 umožňuje aktualizovat, případně přeprogramovat firmware. Pro potřebu chytré zásuvky stačí upravit uváděné schéma zapojení na obr. 5-1. Přesnost měření datasheet udává jako vyšší než 99 %. Další podrobnosti obsahuje datasheet od firmy Atmel [32].



Obr. 5-1: Schéma zapojení mikrokontroléru AVR465 [32]

### 5.2 ADE7753

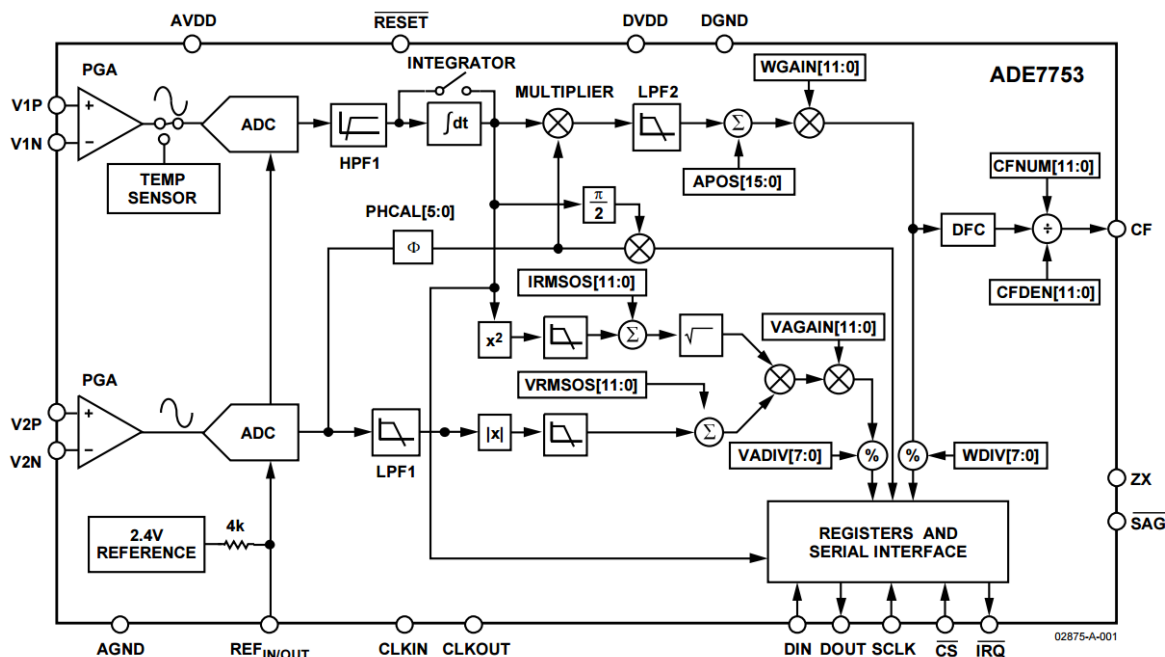
Druhou možností realizace chytrého zařízení pro měření v domácnosti je integrovaný obvod ADE7753. Tímto integrovaným obvodem lze měřit činný, jalový a zdánlivý výkon, dále efektivní hodnotu proudu a napětí. Splňuje normy IEC 60687/61036/61268 a IEC 62053-21/62053-22/62053-23.

Obvod obsahuje integrátor, který umožňuje přímé rozhraní s čidly proudu jako je 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 zabírat vývojem a optimalizací chytré zásuvky, po přihlédnutí k tomuto požadavku 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.

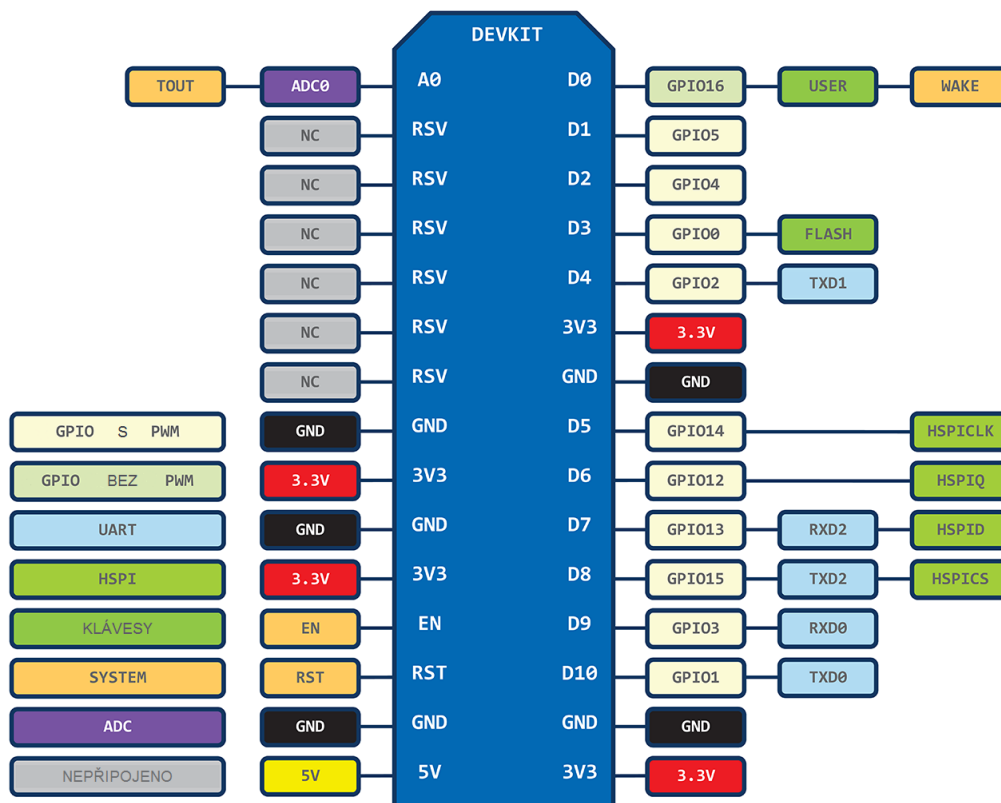
Přehled základních parametrů je dle [33] a [34] uveden v následujícím seznamu:

- 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 rozdělit na dvě části, část napájecí a část logickou, kvůli síťovému napětí není v místě napájení (zdroje stabilizovaného napětí +5 V) vylitá 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 jumpry, tedy vyvedené piny pro měření na desce. Pomocí jumprů 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. Dvojitý 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 ze schématu na obr. 5-7. Pro měření na NodeMCU byly na vývojovou desku vyvedeny všechny piny pomocí JUMprů. Celkové schéma zobrazuje Příloha A.

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].

Vzhledem k odstavci 2.3.2, který pojednává o správném vzorkování signálu, byly do obvodu pro správnou funkci napěťového i proudového kanálu 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 2.5 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].

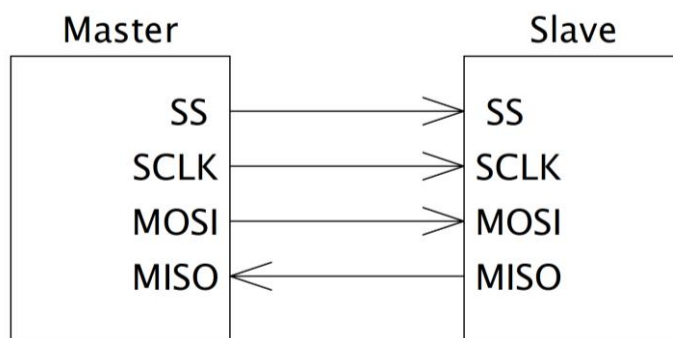
Správná funkce RC článku byla přímo ověřena osciloskopem, a to při měření signálu vstupujícího na napěťové svorky ADE7753. Použitím kondenzátorů se špatnou hodnotou RC články netlumily rušení a na napěťové svorky docházel vysokofrekvenční šum. Po přepájení správných kondenzátorů RC články začaly plnit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

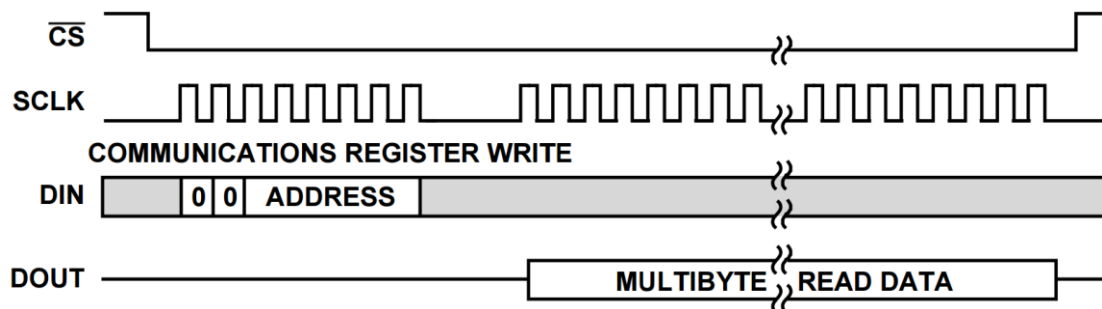
#### 5.5.1.1 Rozhraní SPI

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.

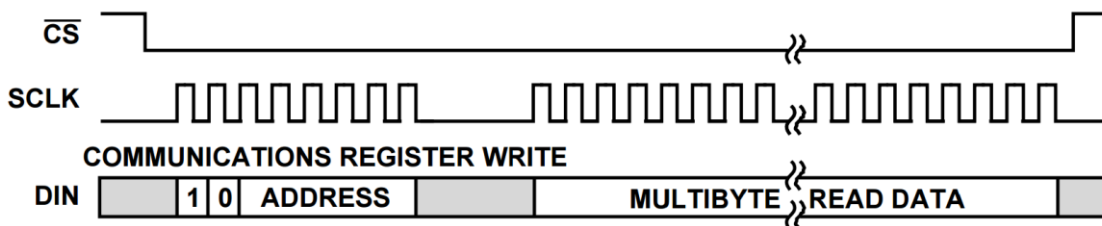


Obr. 5-4: Komunikace Masteru a jednoho Slave pomocí SPI

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, se 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

<b>SS</b>	nCS, CS, CSB, CSN, nSS, STE, SYNC
<b>SCLK</b>	SCK, CLK
<b>MOSI</b>	SIMO, SDO, DO, DOUT, SO, MTSR
<b>MISO</b>	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 nejnákladnějších 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  $V_{HFef}$  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 12V Zenerovu diodu. Na ní následně vzniká stabilizované napětí o hodnotě právě 12 V [36].

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

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

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

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

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

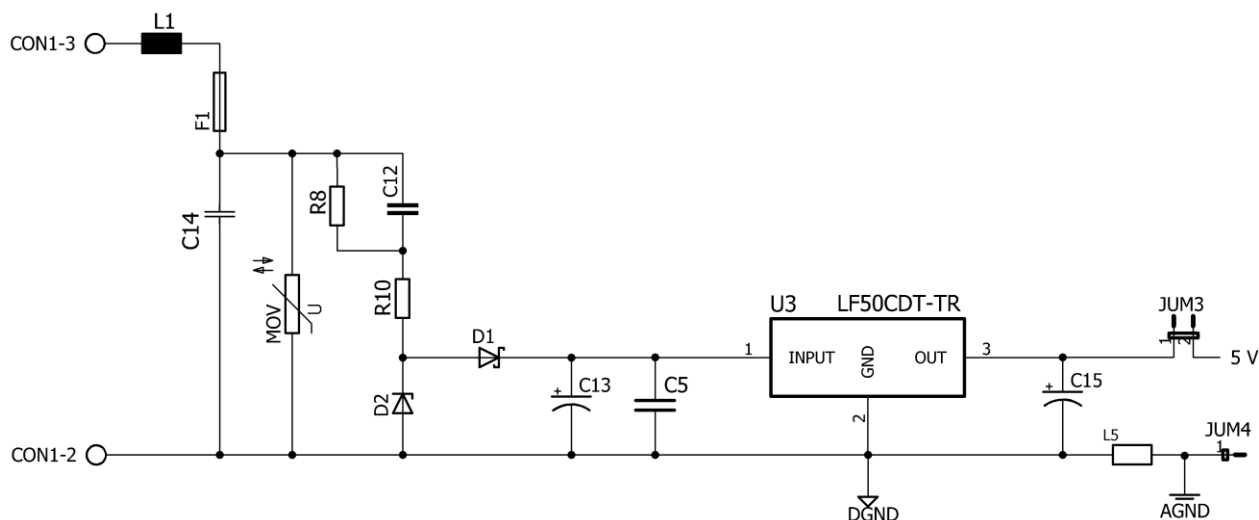
Dosazením rovnic 5.2 a 5.3 do rovnice 5.1 dostaneme rovnici 5.4 definující vstupní proud kapacitního zdroje. Odběr obou zařízení byl stanoven na 175 mA ( $I_{out}$ ), pro splnění podmínky rovnice 5.1 je vhodné stanovit vstupní proud  $I_{in}$  dimenzovat na vyšší hodnotu. Vstupní proud totiž ovlivňují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

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



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 nejhorsí možnou situací – prochází-li maximální proud při nabitém 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. Přiřazena byla feritová perla a RC člunek, ten udává i hodnotu 1 k $\Omega$  teoretickému odporu R2, reálně R6 a R7, viz schéma na [6].

Výpočet děliče vychází z rovnice 2.6, 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 R<sub>1</sub> na dva rezistory se stejnou hodnotou (R<sub>9</sub> a R<sub>12</sub>)

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

Přibližnou hodnotu odporů lze získat opětovnou modifikací rovnice 2.6

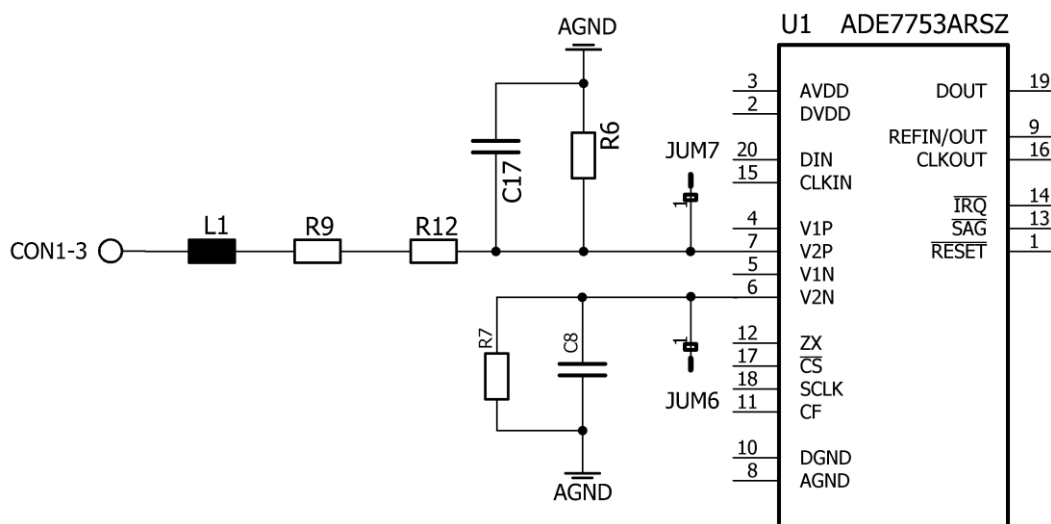
$$R_1 = \frac{U_{in} \cdot R_2}{U_{out}} - R_2 = \frac{\sqrt{2} \cdot 230 \cdot 1000}{0,5} - 1000 = 649,54 \text{ k}\Omega \quad (5.9)$$

Zvolíme-li odpory R<sub>9</sub> a R<sub>12</sub> jako 510 k $\Omega$ , 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 2.6.

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



Obr. 5-8: Zapojení napěťového čidla ADE7753

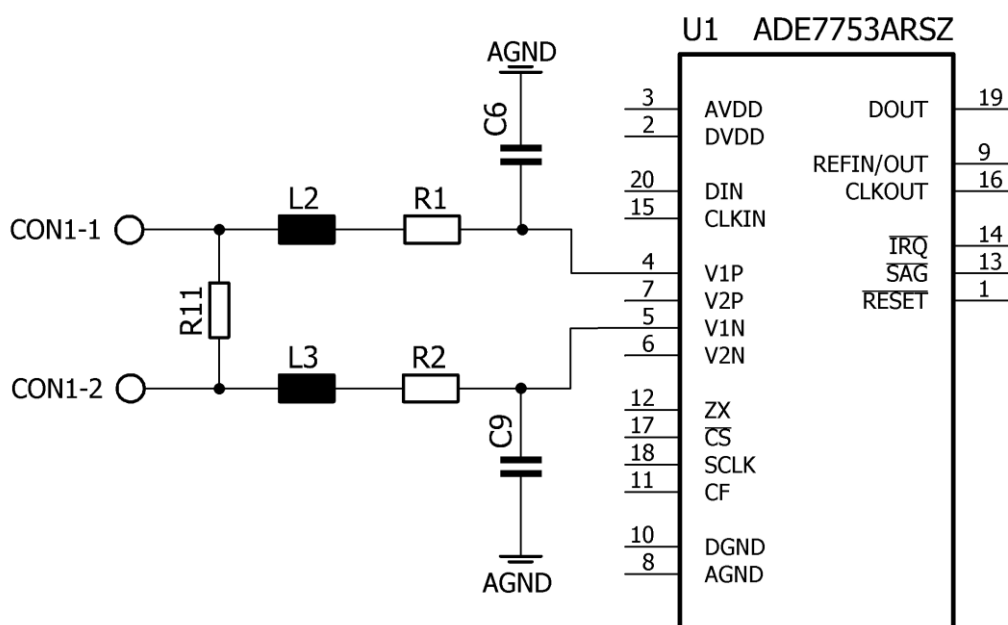
### 5.5.4 Zapojení čidla proudu

V1P a V1N označují analogový proudový kanál ADE7753. Jsou to plně diferenční vstupy o maximální vstupní hodnotě napětí  $\pm 0,5$  V,  $\pm 0,25$  V nebo  $\pm 0,125$  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 R<sub>11</sub>. Obr. 5-9 zobrazuje zapojení proudového čidla. Čidlo opět obsahuje feritové perly a klasické RC člunky.

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  $\pm 6$  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 měřícím zařízením zajišťuje NodeMCU pomocí mikro USB a programu Arduino IDE. Základním stavebním kamenem pro komunikaci se staly chilské knihovny z portálu GitHub [42]. Knihovny ADE7753.cpp a ADE7753.h byly následně upraveny a opraveny. Kód je k nahlédnutí v elektronických přílohách.

Příklad přiřazení proměnných k registrům v souboru ADE7753.h:

Název	Adresa registru	Bitová šířka
#define WAVEFORM	0x01//	24
#define AENERGY	0x02//	24
#define RAENERGY	0x03//	24
#define LAENERGY	0x04//	24
#define IRMS	0x16//	24

Před měřením na ADE7753 je nutné nastavit registr GAIN, který obsahuje hodnotu o zesílení obou napěťových kanálů, byl zvolen fullscale select (0,5 V). Pokud je nutné zvýšit přesnost vyčítání z napěťového nebo proudového vstupu, lze zesílení nastavit na dvojnásobnou (0,25 V) nebo čtyřnásobnou přesnost (0,125 V), viz kapitola 5.5.3 a 5.5.4.

Příklad ukládání hodnoty z 24 bitového proudového registru s adresou 0x16 do proměnné getIRMS2. A následný výpis uložené hodnoty v proměnné getIRMS2.

```
uint32_t ADE7753::getIRMS2(void)           //funkce v ADE7753.cpp
{
    return read24(IRMS);
}
Serial.print(meter.getIRMS2);             //výpis do sériového portu v ADE7753.ino
```

## 5.7 Výpočet měřených hodnot napětí a proudu

Aby nebylo ADE7753 přetěžováno, je nutné pro výpočet skutečné efektivní hodnoty používat jiný mikrokontrolér, v tomto případě ESP 8266 Node MCU [6].

### 5.7.1 Výpočet napětí

Ač je registr VRMS 24-bitový, měřící rozsah tohoto registru je 1561400 [6]. Pokud by na napěťový vstup přicházelo napětí o velikosti 0,5 V, z registru VRMS bychom vyčetli maximální hodnotu registru, a to právě hodnotu 1561400. Vzorec 5.13 popisuje vztah mezi napětím  $U_{out}$ , což je napětí za děličem přivedené na napěťové svorky ADE7753 a velikostí vypsaného registru.

$$U_{out} = \frac{VRMS}{1561400} \cdot 0,5 \quad (5.13)$$

Úpravou vzorce 5.11 dostáváme vztah 5.14 určený pro výpočet napětí před děličem,  $U_{in}$ .

$$U_{in} = U_{out} \cdot \frac{(R_9 + R_{12}) + R_2}{\sqrt{2} \cdot R_6} = \frac{U_{out}}{9,7943 \cdot 10^{-4}} \quad (5.14)$$

Kombinací vzorců 5.13 a 5.14 dostaneme ve vzorci 5.15 výslednou konstantu pro výpočet reálné hodnoty napětí udávané prototypem smart meteru. Následnou kalibrací bude prototyp smart meteru vypisovat přesné hodnoty

$$U_{in} = \frac{VRMS \cdot 0,5}{\sqrt{2} \cdot 1561400 \cdot 9,7943 \cdot 10^{-4}} = VRMS \cdot 0,000231189 \quad (5.15)$$

### 5.7.2 Výpočet proudu

Obdobným způsobem je zpět počítán i proud měřený prototypem smart meteru. Rozsah proudového vstupu je 1868467. Hodnotu napětí na bočníku určíme ze vztahu 5.16.

$$U_{bočníku} = \frac{IRMS}{1868467} \cdot 0,5 \quad (5.16)$$

Měřený proud odebíraný spotřebičem  $I_{\text{odebíraný}}$  se následně dopočítá ve vzorci 5.17 z kombinace Ohmova zákona a vztahu 5.16. Přesné hodnoty znovu zajistí až kalibrace proudového kanálu.

$$I_{\text{odebíraný}} = \frac{U_{\text{bočnicku}}}{\sqrt{2} \cdot R_{\text{bočnicku}}} = \frac{IRMS \cdot 0,5}{\sqrt{2} \cdot 1868467 \cdot 0,1} = 1,892 \cdot 10^{-6} \cdot IRMS \quad (5.17)$$

### 5.7.3 Výpočet účinníku

Účinník se v případě prototypu chytré zásuvky počítá z poměru registrů RAENERGI a RVAENERGI. RAENERGI je zkratka pro Reset Active Energy, čili činná energie odebraná v jednom cyklu, která se po vyčtení z registru smaže. RVAENERGI je resetovaná zdánlivá energie.

Účinník se určí výpočtem dle vztahu 5.18. Tyto registry nemají stejné měřítko, je tedy nutné RAENERGY násobit konstantou 0,848.

$$\cos\varphi = \frac{RAENERGI \cdot 0,848}{RVAENERGY} \quad (5.18)$$

### 5.7.4 Výpočet činného výkonu a odebrané činné energie

ESP8266 NodeMCU počítá činný výkon z naměřených hodnot podle vzorce 5.19.

$$P = U_{in} \cdot I_{\text{odebíraný}} \cdot \cos\varphi \quad (5.19)$$

Jelikož prototyp chytré zásuvky neobsahuje hodiny reálného času, nelze vzorky výkonu sortovat dle data a času a následně je vyčítat podle určeného časového období. Proto se počítá zvlášť odebraná energie v jednom cyklu měření, viz rovnice 5.20, a následně se přičítá do celkové odebrané činné energie, viz rovnice 5.21.

$$E_{\text{cyklu}} = P \cdot \frac{t_{\text{cyklu}}}{3600000} \quad (5.20)$$

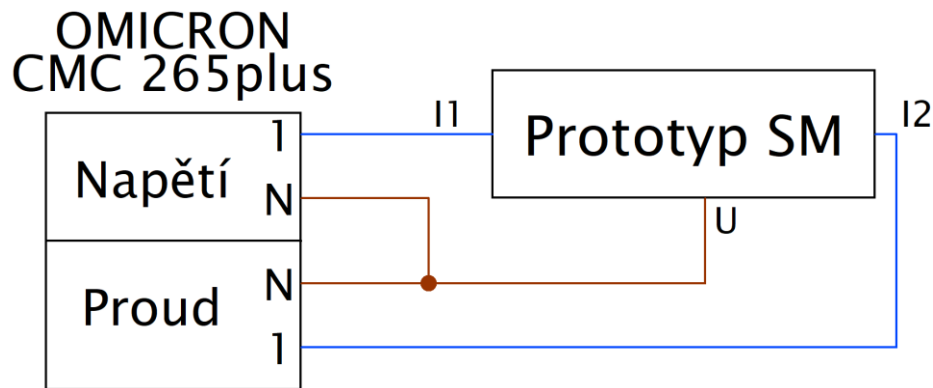
Čas jednoho cyklu se začíná načítat po vypočtení hodnoty činného výkonu a zastaví se po načtení dalšího výkonu. Čas se načítá v milisekundách, k vyjádření energie ve wathhodinách je nutno  $t_{\text{cyklu}}$  podělit konstantou 3 600 000.

$$E_n = E_{n-1} + E_{\text{cyklu}} \quad (5.21)$$

## 5.8 Kalibrace IO ADE7753

Digitální kalibrace ADE7753 lze provést dvojím způsobem. První možností je využití referenčního měřiče, druhou možností je pak využití přesného zdroje napětí a proudu s nastavitelným účinníkem. Digitální kalibraci se nastavuje kompenzace, to znamená, že je do měřícího zařízení uložena funkce nebo konstanta, která následně kladně ovlivňuje výpočet. Výsledná hodnota zásluhou kompenzace 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 je provedena kalibrace napětí a proudu, z něhož je počítán okamžitý výkon.



Obr. 5-10: Schéma zapojení při kalibraci prototypu smart meteru

Jako přesný zdroj posloužil OMICRON CMC 256plus, přesnost tohoto zdroje umožňuje kalibrovat elektroměry s třídou přesnosti až 0,2 S. Zařízení má zvlášť vyvedené plně nastavitelné napěťové a proudové vstupy [43]. Pro jeho vysokou přesnost mohou být hodnoty považovány za referenční. Pomocí OMICRON CMC 256plus proběhlo měření a následná kalibrace napětí, proudu a účinníku. Dále byla proměřena kruhová charakteristika.

### 5.8.1 Kalibrace napětí

Kalibrace napětí proběhla v rozmezí  $\pm 10\%$  efektivní hodnoty síťového napětí, tedy od 207 V do 253 V s krokem 1 V. Ukázkou naměřených a vypočtených hodnot zobrazuje tab. 5-3. Odchylka od referenční hodnoty je lineární, proto lze z poměru naměřené hodnoty napětí prototypem chytré zásuvky a referenční hodnoty z OMICRON CMC 256plus stanovit konstanta 1,033691862, která jako dělitel upravuje napětí na přesnou hodnotu.

Tab. 5-3: Ukázka naměřených a vypočtených hodnot při kalibraci napětí

$U_{ref}$	$U_{meter}$	$U_{meter}/U_{ref}$
[V]	[V]	[-]
207	214,05	1,034058
208	215,09	1,034087
214	221,26	1,033925
215	222,31	1,034
216	223,35	1,034028
230	237,74	1,033652
235	242,91	1,03366
236	243,94	1,033644
242	250,13	1,033595
243	251,16	1,03358
244	252,19	1,033566
252	260,46	1,033571
253	261,49	1,033557

## 5.8.2 Kalibrace proudu

Kalibrace probíhala v rozsahu od 0,01 A, což je nejnižší přesně detekovatelný proud čipem ADE7753 do 4 A. Rozsahy snímaných proudů s krokem měření zobrazuje tab. 5-4.

Tab. 5-4: Rozmezí kalibrace s přiřazeným krokem

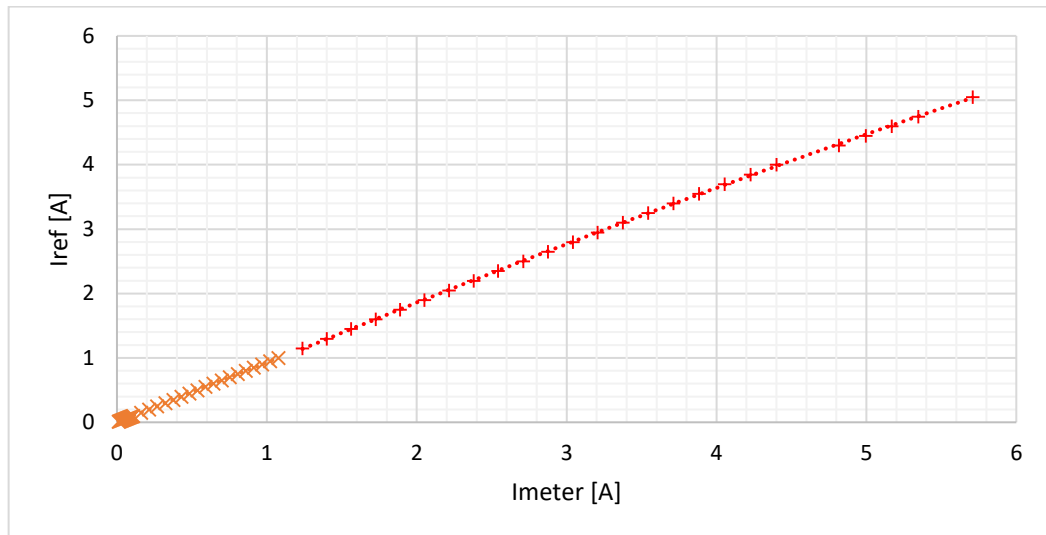
Od	Do	Krok
[A]	[A]	[A]
0,01	0,1	0,005
0,1	1	0,05
1	4	0,15

Z naměřených hodnot v tab. 5-5 lze určit nejstabilnější a nejnižší odchylku v rozsahu od 0,05 A do 1 A. Za účelem vyšší přesnosti vypisovaných hodnot proudu byly do kódu ADE7753.ino zapsány 2 kalibrační konstanty. Pro proudy do 1 A je to funkce  $y = 0,943x + 0.00007$ , pro vyšší proudy je to funkce  $y = 0,935x$ .

Tab. 5-5: Naměřené a vypočtené hodnoty při kalibraci proudu

Iref	Im	Im/Iref	Iref	Im	Im/Iref	Iref	Im	Im/Iref
[A]	[A]	[-]	[A]	[A]	[-]	[A]	[A]	[-]
0,010	0,011	1,100	0,150	0,161	1,073	1,150	1,238	1,076
0,015	0,016	1,087	0,200	0,215	1,074	1,300	1,400	1,077
0,020	0,022	1,080	0,250	0,268	1,074	1,450	1,562	1,077
0,025	0,027	1,076	0,300	0,322	1,074	1,600	1,726	1,079
0,030	0,032	1,077	0,350	0,376	1,074	1,750	1,889	1,079
0,035	0,038	1,077	0,400	0,430	1,074	1,900	2,052	1,080
0,040	0,043	1,075	0,450	0,483	1,074	2,050	2,215	1,081
0,045	0,048	1,076	0,500	0,537	1,074	2,200	2,379	1,081
0,050	0,054	1,074	0,550	0,591	1,074	2,350	2,543	1,082
0,055	0,059	1,075	0,600	0,644	1,074	2,500	2,710	1,084
0,060	0,064	1,073	0,650	0,698	1,074	2,650	2,874	1,085
0,065	0,070	1,074	0,700	0,752	1,074	2,800	3,042	1,086
0,070	0,075	1,074	0,750	0,806	1,074	2,950	3,207	1,087
0,075	0,081	1,073	0,800	0,860	1,074	3,100	3,375	1,089
0,080	0,086	1,074	0,850	0,913	1,074	3,250	3,543	1,090
0,085	0,091	1,074	0,900	0,967	1,075	3,400	3,712	1,092
0,090	0,097	1,073	0,950	1,021	1,075	3,550	3,883	1,094
0,095	0,102	1,074	1,000	1,076	1,076	3,700	4,053	1,096
0,100	0,107	1,074				3,850	4,228	1,098
						4,000	4,401	1,100

Graf na obr. 5-11 zobrazuje naměřené hodnoty z tab. 5-5. Barvy rozlišují meze použití kalibračních konstant, oranžová barva zvýrazňuje rozsah do 1 A, červená barva je zvýrazněná škála do 4 A.



Obr. 5-11: Porovnání referenčních a naměřených hodnot při kalibraci proudu

### 5.8.3 Kalibrace účinníku

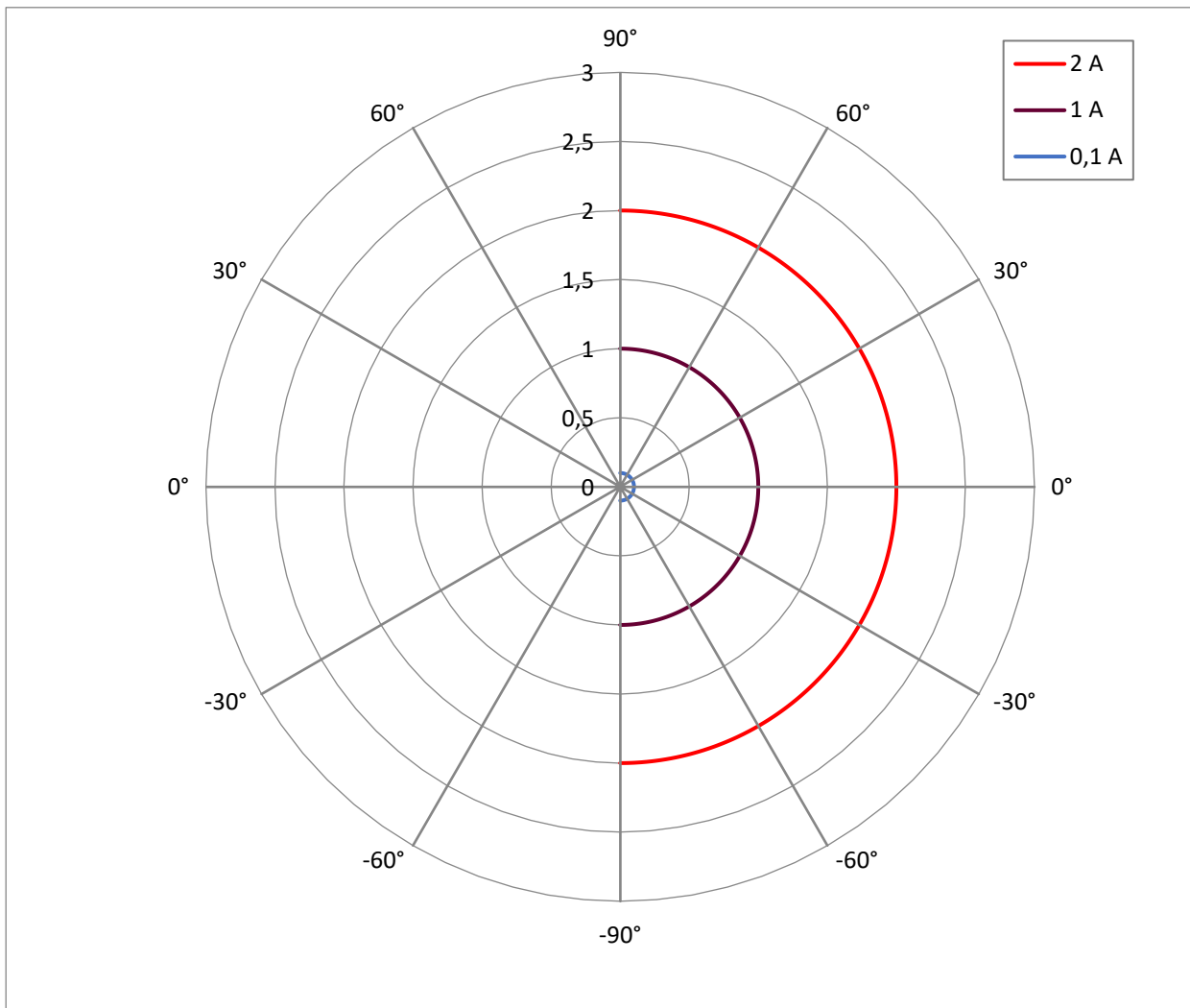
Kapitola 5.7.3 popisuje výpočet účinníku přímo z registrů. Velikost těchto registrů je pouze poměr. Předpoklad o přesném měření účinníku se potvrdil, což je patrné i z tab. 5-6. Čím vyšší proud, tím je měření účinníku přesnější. Pro proudy vyšší než 1 A dosáhne relativní chyba měření velikosti menší -0,2404 %.

Tab. 5-6: Naměřené hodnoty účinníku pro různé proudy s vypočítanými relativními chybami

Teoretická	pro 10 mA		pro 100 mA		1 A	
	cos $\phi$	$\delta$	cos $\phi$	$\delta$	cos $\phi$	$\delta$
[-]	[-]	[%]	[-]	[%]	[-]	[%]
0,0175	0,0223	27,7761	0,0207	18,6083	0,0205	17,4623
0,0872	0,0893	2,4603	0,0896	2,8045	0,0900	3,2634
0,1736	0,1785	2,7941	0,1770	1,9302	0,1766	1,6999
0,2588	0,2455	-5,1461	0,2620	1,2290	0,2618	1,1518
0,3420	0,3347	-2,1403	0,3447	0,7835	0,3449	0,8420
0,4226	0,4150	-1,8026	0,4251	0,5872	0,4254	0,6582
0,5000	0,4909	-1,8200	0,5033	0,6600	0,5027	0,5400
0,5736	0,5579	-2,7331	0,5768	0,5620	0,5762	0,4574
0,6428	0,6248	-2,7984	0,6458	0,4686	0,6451	0,3597
0,7071	0,6918	-2,1647	0,7010	-0,8622	0,7094	0,3243
0,7660	0,7364	-3,8698	0,7676	0,2031	0,7680	0,2553
0,8192	0,8034	-1,9230	0,8204	0,1523	0,8209	0,2134
0,8660	0,8480	-2,0814	0,8664	0,0433	0,8677	0,1934
0,9063	0,8926	-1,5125	0,9078	0,1646	0,9079	0,1757
0,9397	0,9149	-2,6384	0,9400	0,0327	0,9410	0,1391
0,9659	0,9373	-2,9636	0,9675	0,1630	0,9669	0,1009
0,9848	0,9596	-2,5597	0,9859	0,1109	0,9857	0,0906
0,9962	0,9596	-3,6734	0,9974	0,1210	0,9969	0,0708
1,0000	0,9596	-4,0400	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000
<b><math>\delta</math>průměr</b>		<b>-2,4226</b>		<b>1,5618</b>		<b>0,2404</b>

### 5.8.4 Kruhová charakteristika

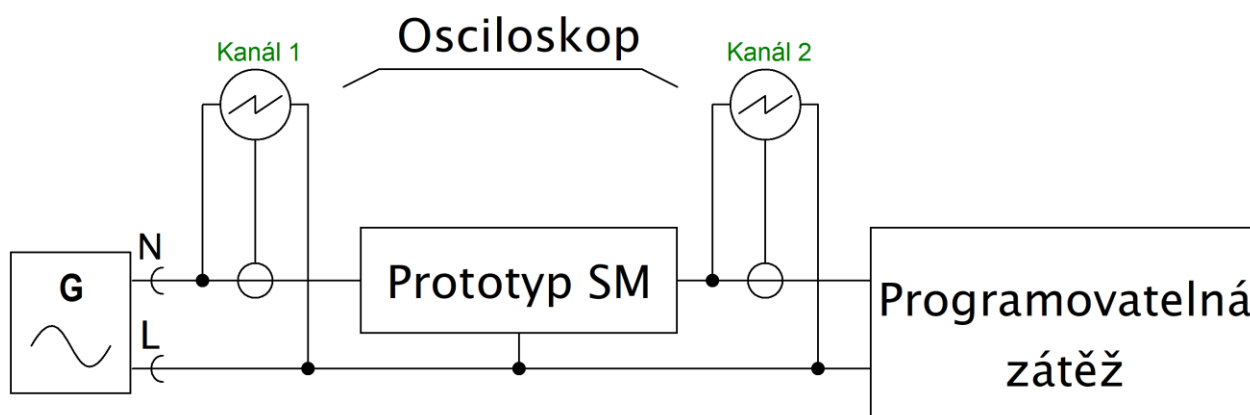
Při kalibraci proudu a účínku byla zároveň změřena kruhová charakteristika v prvním a čtvrtém kvadrantu. Účíník nemá na hodnoty proudu vypisované prototypem chytré zásuvky vliv, což je zobrazeno i na polárním diagramu na obr. 5-12.



Obr. 5-12: Kruhová charakteristika pro 100 mA, 1 A a 2 A

## 6 POKUSNÁ INSTALACE V PROSTORÁCH UEEN

Pro otestování prototypu chytré zásuvky byla využita programovatelná zátěž Chroma 63804, jako zdroj referenčních hodnot znovu posloužil osciloskop HIOKI 3390 POWER ANALYZER společně s 2 klešťovými proudovými čidly HIOKI Clamp senzor 9272-10. Zapojení pokusné instalace je zobrazeno na obr. 6-1.



Obr. 6-1: Schéma zapojení pokusné instalace v prostorách UEEN

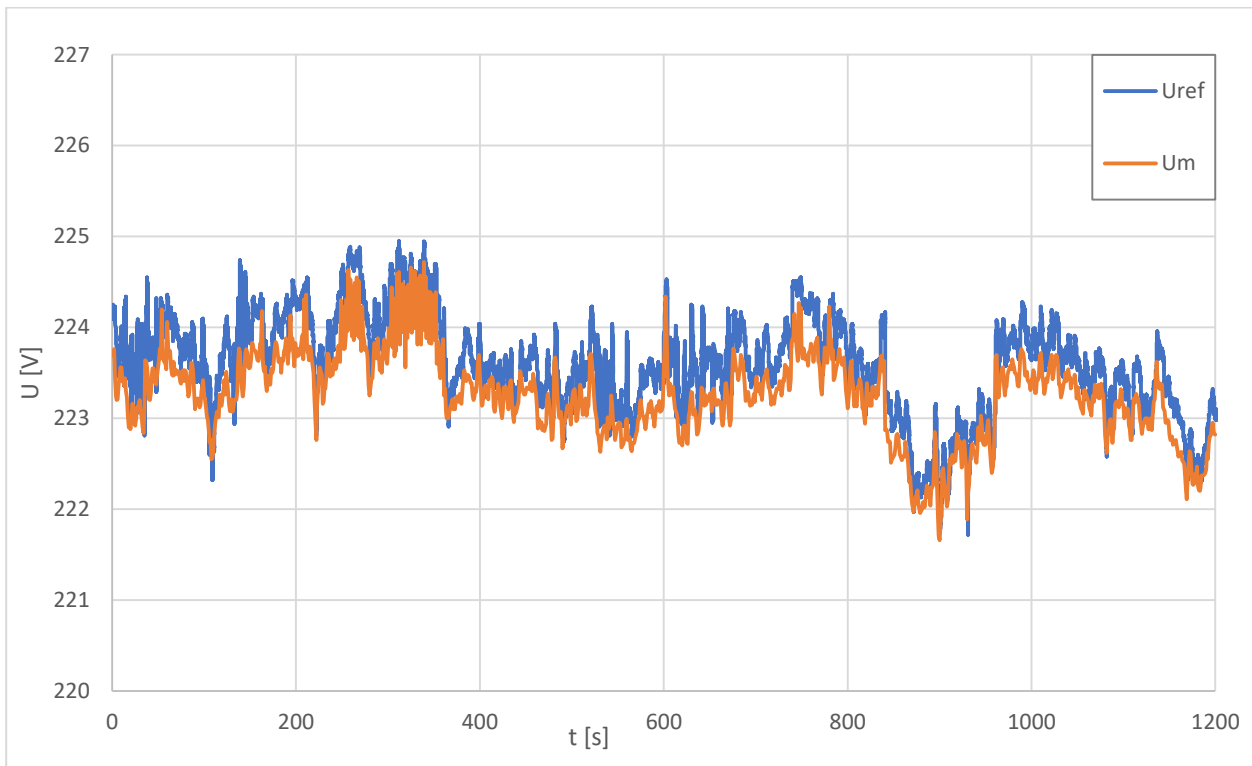
Nastavení programovatelné zátěže bylo provedeno přes stolní počítač. Do programovatelné zátěže se nahrály postupně 2 programy měření, viz tab. 6-1. Program obsahuje čas, po který zátěž odeberá nastavený výkon. Pro obě měření osciloskop HIOKI 3390 vzorkoval s frekvencí 20 Hz, což odpovídá 24000 vzorků. Prototyp chytré zásuvky sbíral vzorky přibližně 1 za sekundu, to odpovídá 1200 vzorků. Vzorky z osciloskopu byly proto průměrovány a následně porovnány se vzorky z prototypu. Kapitoly 6.1 a 6.2 obsahují tabulky s naměřenými hodnotami, vypočítané chyby, grafické zobrazení odchylek a samotných průběhů měření.

Tab. 6-1: Programy nahrané do Chroma 63804, s účinníkem rovným 1

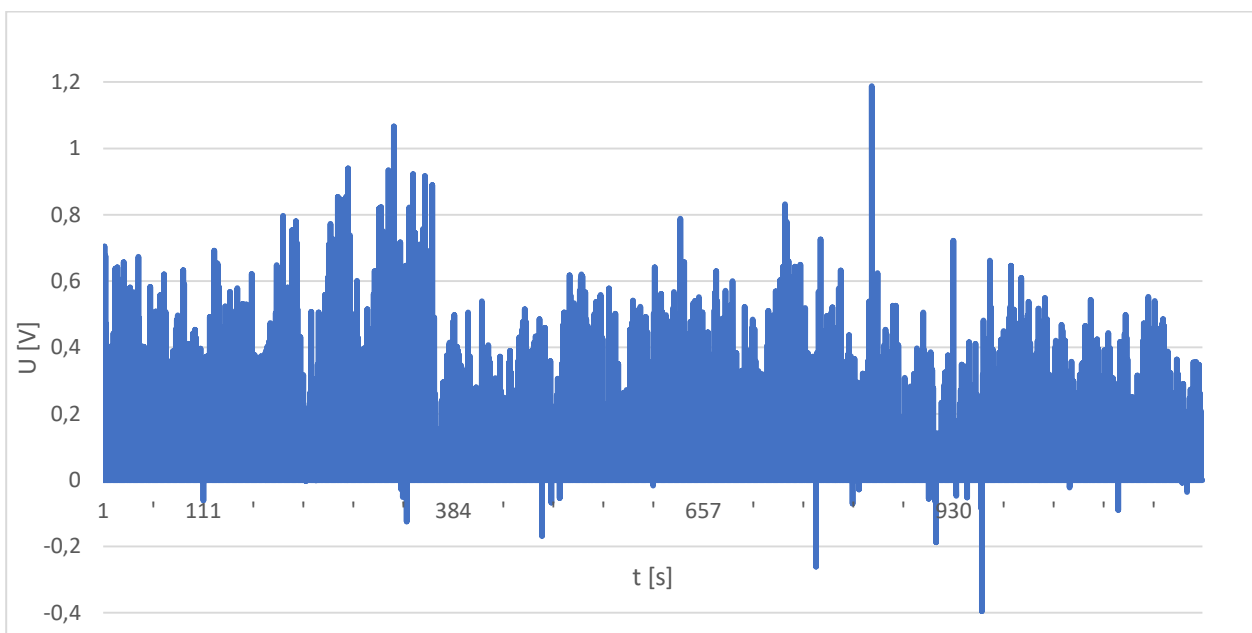
První měření		Druhé měření	
t	P	t	P
[s]	[W]	[s]	[W]
120	100	120	0,05
120	0,5	120	50
120	10	120	100
120	500	120	500
120	250	120	0,05
120	100	120	100
120	10	120	10
120	500	120	500
120	150	120	150
120	400	120	400

## 6.1 První měření

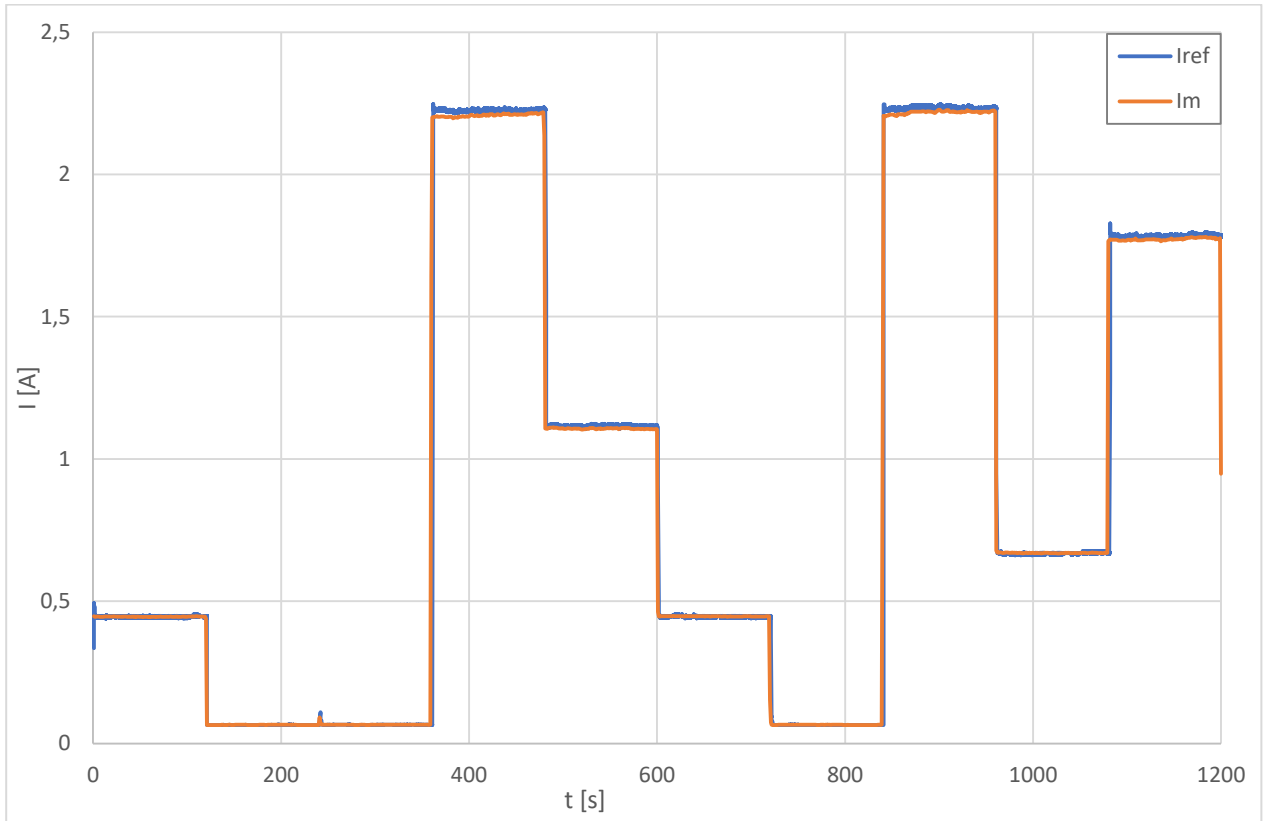
Veškerá data k prvnímu měření obsahuje elektronická příloha Kalibrace\_smartmeteru.xlsx, záložka M1 grafy. Tato kapitola obsahuje průběhy referenčních a naměřených hodnot napětí, proudu, činného výkonu a odebrané činné energie. Pro ilustraci doplňují některé průběhy grafy rozdílů mezi referenční a naměřenou hodnotou.



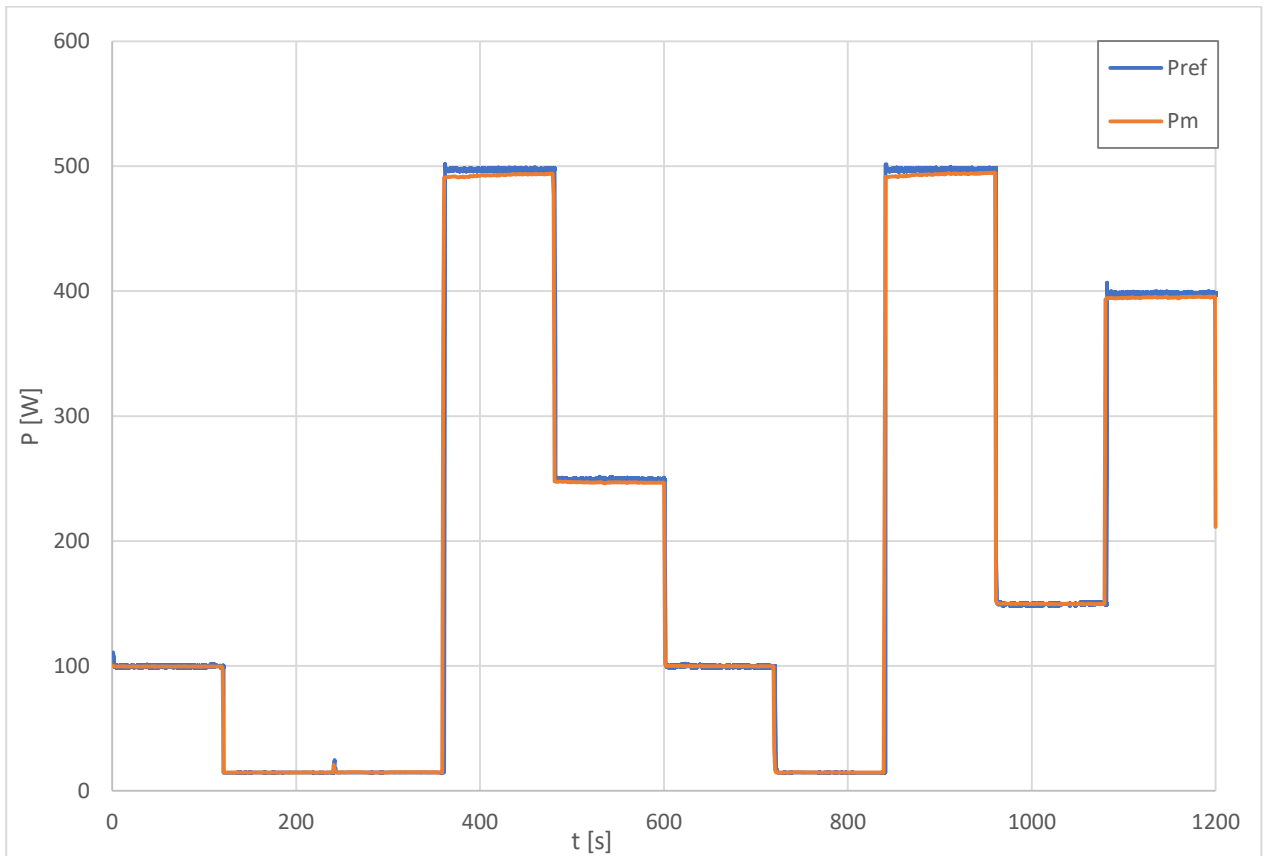
Obr. 6-2: Průběh referenčního a měřeného napětí - 1. měření



Obr. 6-3: Rozdíl měřeného napětí od referenčního napětí v čase - 1. měření

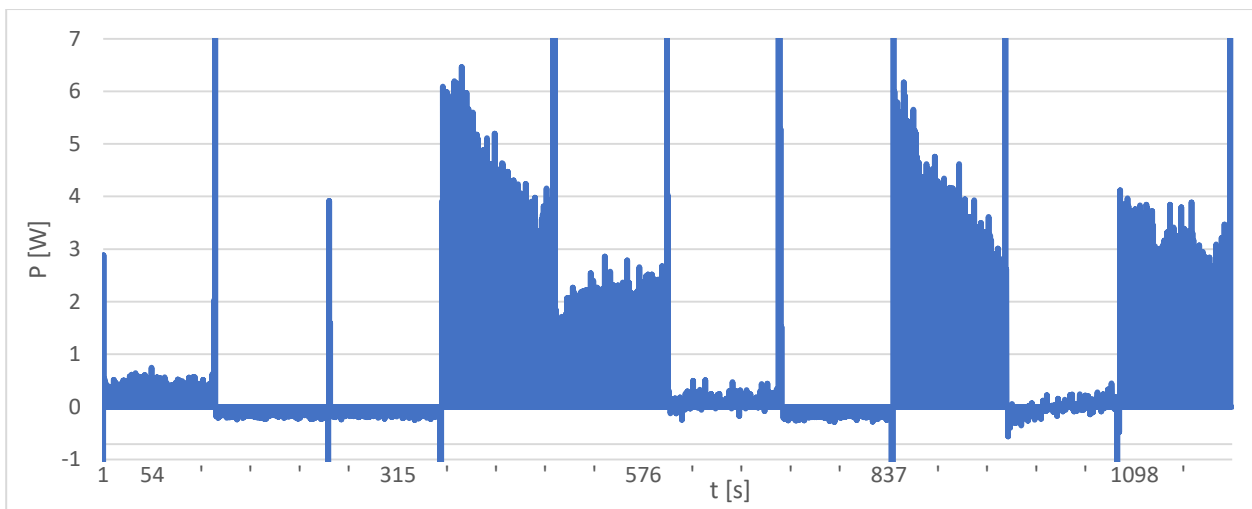


Obr. 6-4: Průběh změřeného a referenčního odebraného proudu v čase pro 1. měření

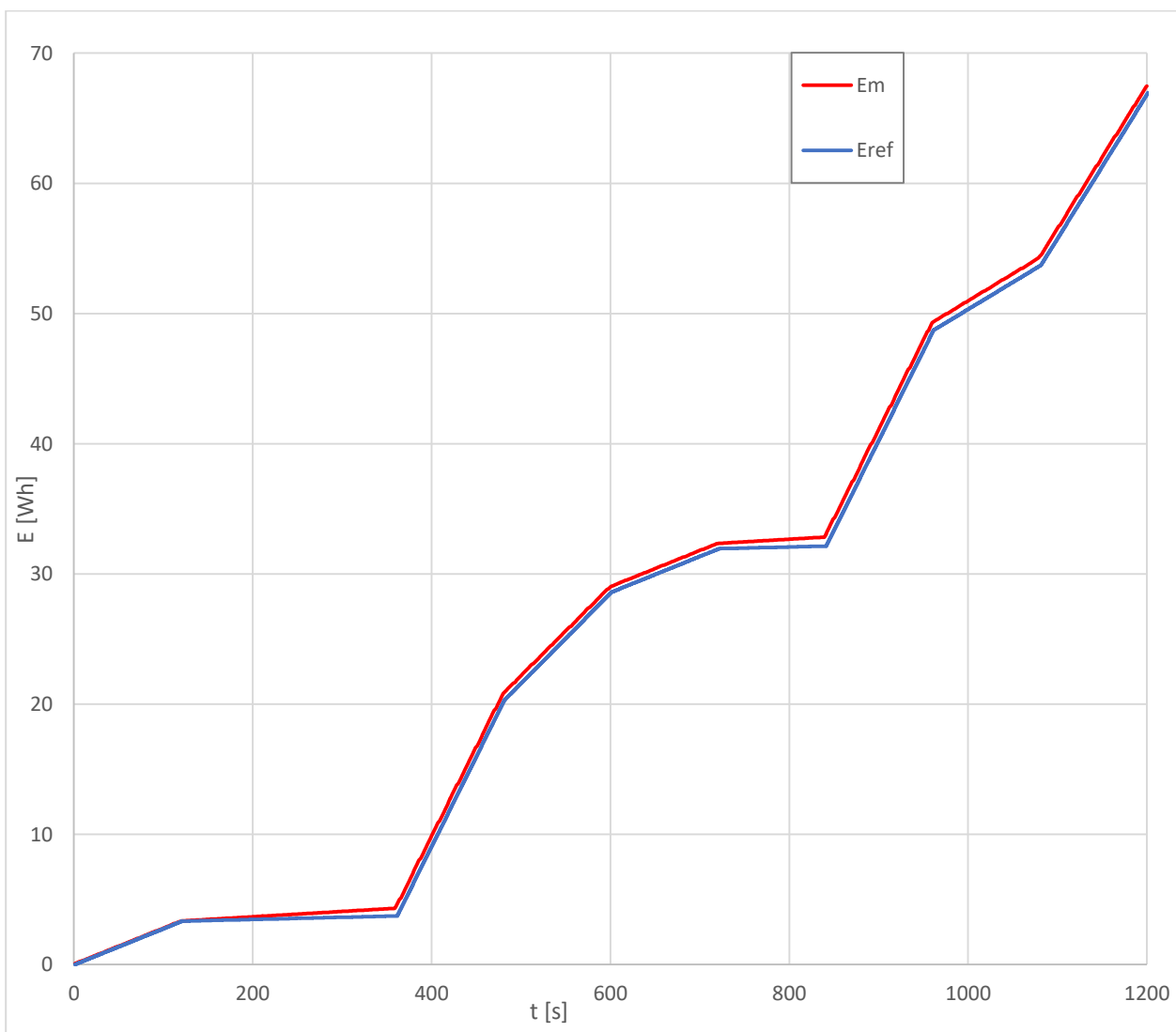


Obr. 6-5: Odebraný výkon ze sítě - 1. měření

Graf na obr. 6-6 vykazuje vždy při změně zátěže vysokou odchylku, to je způsobeno rozdílnou vzorkovací frekvencí osciloskopu a prototypu chytré zásuvky. Prototyp smart meteru vzorkuje přibližně 20krát pomaleji, v časové odchylce vzniká zmiňovaná odchylka.



Obr. 6-6: Rozdíl mezi naměřenou a referenční hodnotou činného výkonu - 1. měření



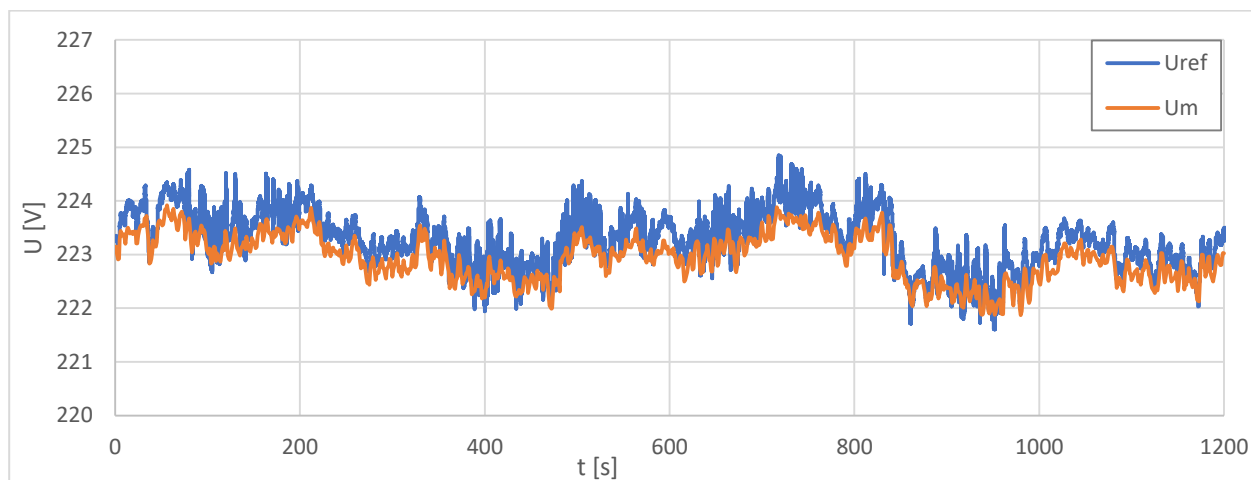
Obr. 6-7: Průběh odebrané činné energie - 1. měření

Tab. 6-2: Vypočítané průměrné hodnoty v jednotlivých úsecích 1. měření

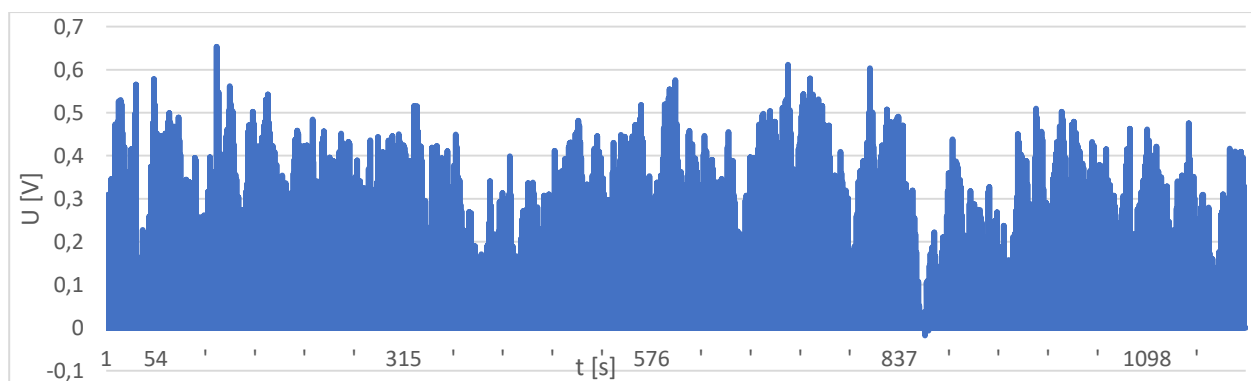
Pn	Uref	Um	$\delta u$	Iref	Im	$\delta i$	Pref	Pm	$\delta p$
[W]	[V]	[V]	[%]	[A]	[A]	[%]	[W]	[W]	[%]
100	223,697	223,311	-0,173	0,447	0,445	-0,301	99,878	99,470	-0,408
0,5	223,960	223,573	-0,173	0,065	0,066	0,539	14,459	14,689	<b>1,590</b>
10	224,402	223,972	<b>-0,191</b>	0,066	0,066	0,560	14,605	14,774	1,160
500	223,504	223,232	-0,122	2,225	2,207	<b>-0,817</b>	497,331	492,700	-0,931
250	223,373	223,039	-0,150	1,115	1,107	-0,733	249,055	246,903	-0,864
100	223,608	223,239	-0,165	0,447	0,444	-0,594	99,905	99,201	-0,705
10	223,895	223,523	-0,166	0,066	0,066	0,144	14,509	14,663	1,066
500	222,711	222,470	-0,108	2,234	2,218	-0,697	497,414	493,434	-0,800
150	223,751	223,413	-0,151	0,669	0,670	0,128	149,593	149,597	0,003
400	223,113	222,844	-0,120	1,784	1,772	-0,643	397,972	394,966	-0,755

## 6.2 Druhé měření

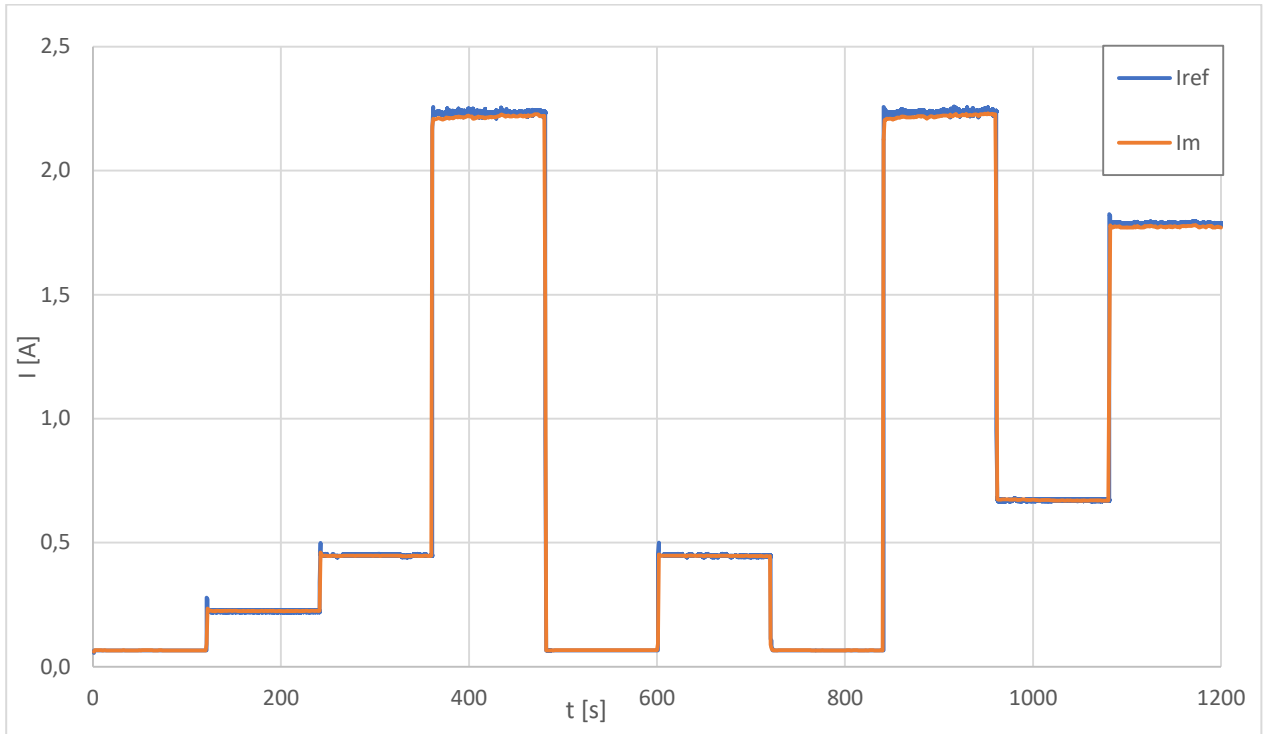
Veškerá data k prvnímu měření obsahuje elektronická příloha Kalibrace\_smartmeteru.xlsx, záložka M2 grafy. Stejně jako v předchozí kapitole jsou zde obsaženy grafy referenčních a naměřených hodnot napětí, proudu, činného výkonu a odebrané činné energie. Pro ilustraci doplňují průběhy napětí a výkonu grafy rozdílů mezi referenční a naměřenou hodnotou.



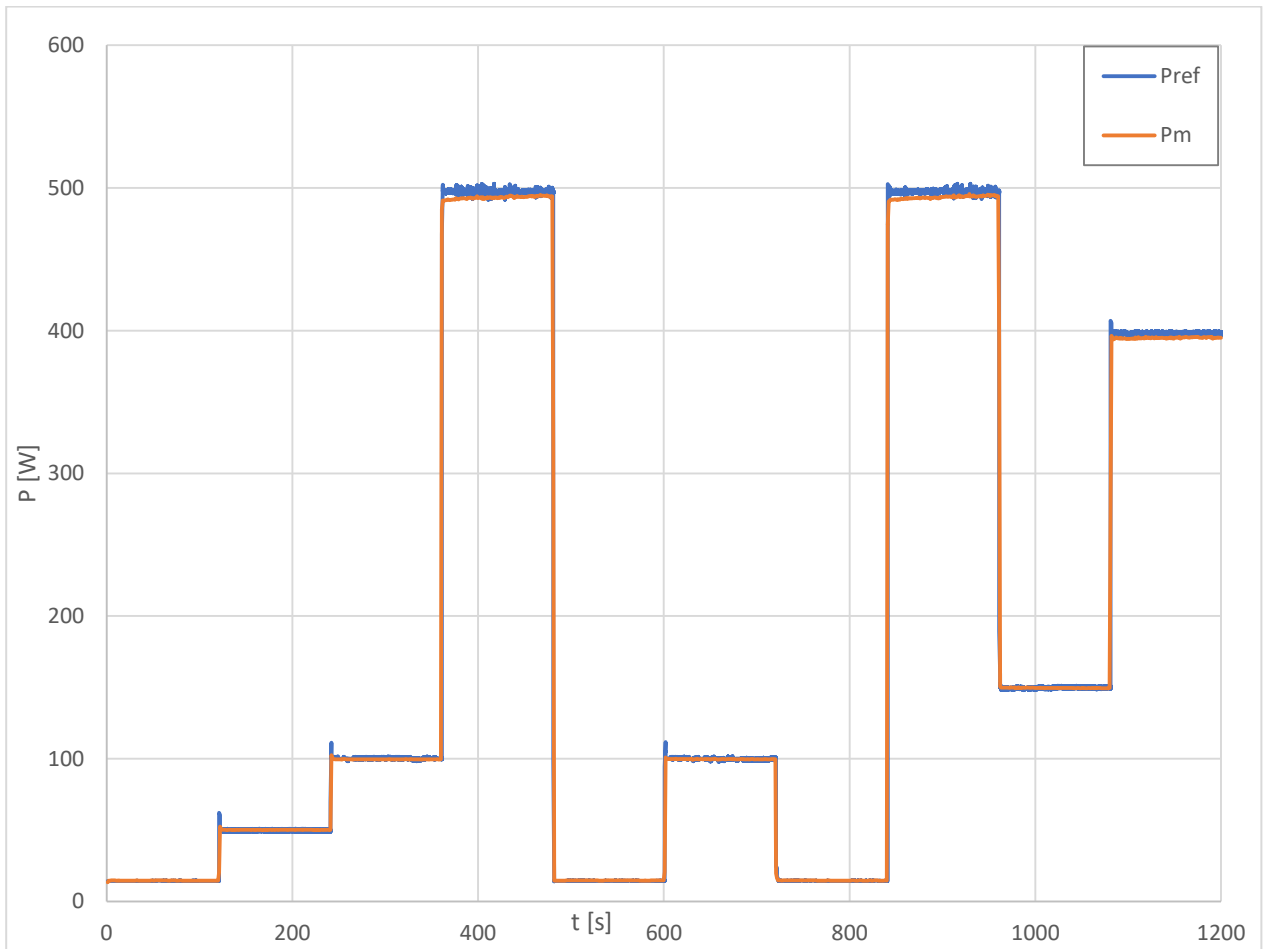
Obr. 6-8: Průběh referenčního a měřeného napětí - 2. měření



Obr. 6-9: Rozdíl měřeného napětí od referenčního napětí v čase - 2. měření



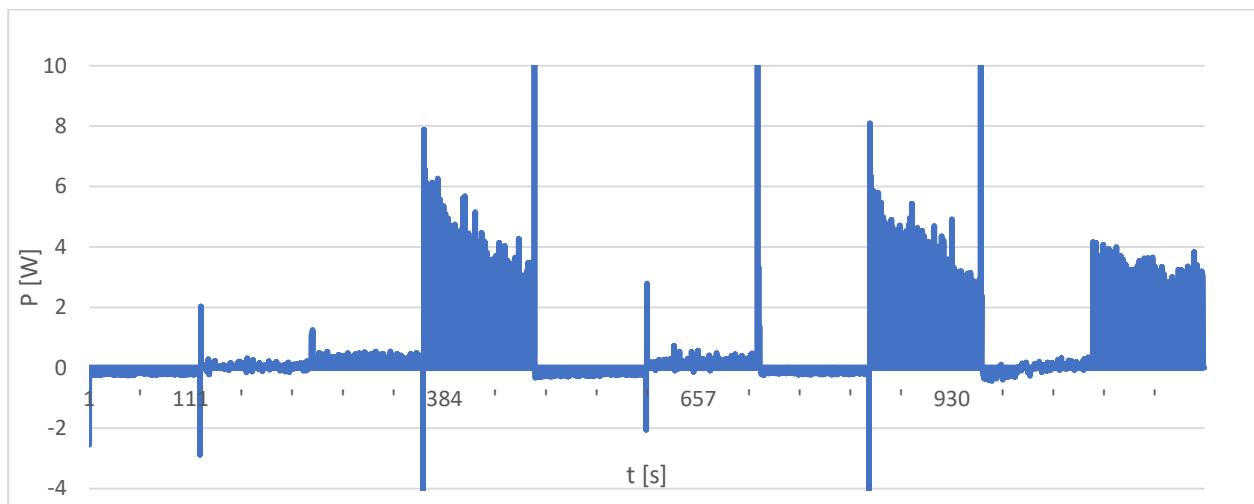
Obr. 6-10: Průběh změřeného a referenčního odebíraného proudu v čase pro 2. měření



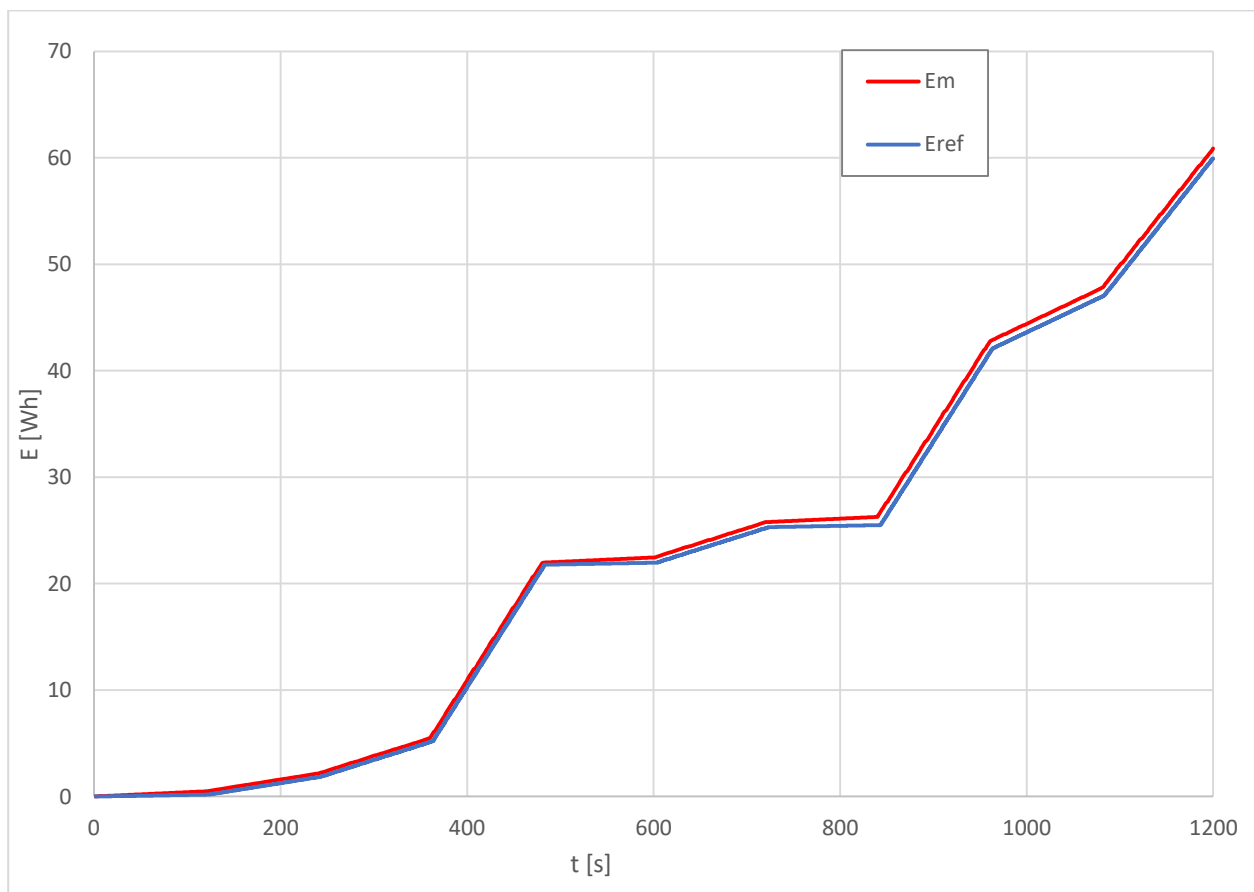
Obr. 6-11: Průběh referenčního a změřeného odebíraného činného výkonu - 2. měření

Stejně jako v předchozí kapitole, jsou vysoké odchylky v grafu na obr. 6-12 způsobeny vyšší vzorkovací frekvencí osciloskopu.

Graf na obr. 6-6 vykazuje vždy při změně zátěže vysokou odchylku, to je způsobeno vyšší vzorkovací frekvencí. Prototyp smart meteru vzorkuje přibližně 20krát pomaleji, zde vzniká vysoký rozdíl hodnot.



Obr. 6-12: Rozdíl mezi naměřenou a referenční hodnotou činného výkonu - 2. měření



Obr. 6-13: Průběh odebrané činné energie v čase - 2. měření

Tab. 6-3: Vypočítané průměrné hodnoty v jednotlivých úsecích 2. měření

Pn	Uref	Um	$\delta u$	Iref	Im	$\delta i$	Pref	Pm	$\delta p$
[W]	[V]	[V]	[%]	[A]	[A]	[%]	[W]	[W]	[%]
0,05	223,721	223,366	-0,159	0,065	0,065	0,080	14,391	14,597	1,431
50	223,708	223,334	-0,167	0,225	0,225	-0,140	50,213	50,139	-0,149
100	223,256	222,904	-0,158	0,448	0,447	-0,240	99,924	99,571	-0,353
500	222,736	222,506	-0,103	2,233	2,217	-0,744	497,405	493,208	-0,844
0,05	223,445	223,077	-0,165	0,065	0,066	<b>0,978</b>	14,418	14,662	<b>1,694</b>
100	223,489	223,127	-0,162	0,447	0,447	-0,128	99,927	99,695	-0,232
10	223,803	223,419	<b>-0,172</b>	0,066	0,066	0,195	14,510	14,689	1,235
500	222,506	222,314	-0,086	2,235	2,219	<b>-0,751</b>	497,378	493,258	-0,828
150	223,115	222,769	-0,155	0,671	0,672	0,125	149,602	149,599	-0,001
400	222,909	222,633	-0,124	1,786	1,774	-0,698	398,147	394,909	-0,813

### 6.3 Shrnutí naměřených hodnot při pokusné instalaci

Napětí oscilovalo okolo 223 V, nejvyšší relativní chyba prvního měření napětí je -0,191 %, u druhého měření -0,172 %. U proudu byla nejvyšší relativní chyba naměřena při nejvyšším odebíraném výkonu, a tedy i proudu. Kalibrace nízkých proudů obsahuje více naměřených hodnot než kalibrace nad 1 A, to se odrazilo na přesnosti kalibračních konstant. Při prvním měření relativní chyba proudu dosáhla -0,817 % a při druhém měření -0,751 %, což jsou stále velmi přesné hodnoty.

V měření je zanedbána relativní chyba 0,978 % při odebíraném výkonu 0,05 W, kdy je odchylka mezi proudy rovna 0,006 A.

Nejvyšší relativní chyba odebíraného činného výkonu nastala při nejnižším nastaveném výkonu 0,5 W. Při prvním měření nabyla relativní chyba měření velikosti 1,59 %, při druhém měření dosáhla velikosti 1,697 %. Stalo se tak z důvodu nižší přesnosti počítaného účinníku při nízkých hodnotách činného výkonu.

Obě měření probíhala po 20 minutách, za tuto dobu se při prvním měření akumulovala činná energie o velikosti 66,97 Wh, prototyp chytré zásuvky naměřil 67,47 Wh. Odchylka tedy činí +0,5 Wh na 20 minut. Při druhém měření se akumulovalo 60,34 Wh, prototyp smart meteru přeměřil 60,89 Wh, což odpovídá odchylce +0,55 Wh. Obě tyto hodnoty jsou poměrně přesné.

## 7 NÁKLADY NA VÝROBU PROTOTYPU CHYTRÉ ZÁSUVKY

Tab. 7-1 zobrazuje přibližné náklady na výrobu prototypu chytré zásuvky, pokud by se nechala deska plošných spojů vyleptat a osadit externě. Výroba prototypu chytré zásuvky bez krabičky v aktuální podobě stála cca 500 Kč.

Pokud by se aktuální verze chytré zásuvky začala vyrábět sériově, náklady na výrobu jedné zásuvky by se snížily téměř o polovinu a cena by se dostala pod 390 Kč za kus. Za uvedené ceny lze součástky pořídit od společnosti Farnell z internetového portálu <http://cz.farnell.com>.

V případě umístění chytré zásuvky na trh by se prodejní cena včetně DPH mohla pohybovat okolo 750 Kč, což by řadilo tuto zásuvku k nejlevnějším chytrým zásuvkám na trhu se ziskem 97,75 % z výrobní ceny. Dále se naskýtá možnost výběrového řízení a po dohodě s jiným dodavatelem nakoupit součástky za příznivější ceny, a tak ještě více snížit náklady na výrobu chytré zásuvky a přirozeně zvýšit výnos.

Tab. 7-1: Přibližné náklady na výrobu vyvinuté chytré zásuvky

Součástka	Prototyp			Sériová výroba	
	Kusů	Kč/ks	Cena [Kč]	Kč/ks	Cena [Kč]
Elektrolytický C	2	8,089	16,178	2,140	4,280
Hliníkový C	2	1,938	3,876	0,555	1,110
Krystal	1	9,331	9,331	3,948	3,948
Keramický C	2	3,258	6,516	0,497	0,994
Svorkovnice	1	12,000	12,000	8,040	8,040
Hliníkový C	4	4,942	19,768	1,692	6,768
Elektrolytický C	1	1,367	1,367	0,353	0,353
Svitkový C	1	26,834	26,834	6,239	6,239
Svitkový X2 C	1	8,834	8,834	2,576	2,576
Elektrolytický C	1	1,286	1,286	0,389	0,389
Feritová perla	4	5,301	21,204	1,300	5,200
U regulátor	1	8,337	8,337	8,006	8,006
Odpor	4	2,600	10,400	0,360	1,440
Odpor	1	9,442	9,442	2,545	2,545
Odpor	1	15,101	15,101	3,589	3,589
Odpor	1	1,463	1,463	0,326	0,326
Odpor	1	44,723	44,723	18,110	18,110
Odpor	2	1,979	3,958	0,583	1,166
Pojistka	2	13,003	26,006	4,500	9,000
ESP8266	1	119,000	119,000	80,000	80,000
Schottkyho D	1	4,307	4,307	1,394	1,394
Zenerova D	1	2,046	2,046	1,298	1,298
ADE7753	1	107,115	107,115	71,226	71,226
Varistor	1	14,715	14,715	11,264	11,264
DPS	1	60,000	60,000	40,000	40,000
Ostatní (krabička atd.)	1	150,000	150,000	90,000	90,000
			<b>703,807</b>		<b>379,26</b>

## 8 OPTIMALIZACE

Prototyp chytré zásuvky měří poměrně přesně, nicméně je zde stále prostor pro přesnější měření. Rekalibrace zařízení by mohla přinést ještě lepší výsledky než doposud.

Samozřejmě se dále nabízí změna vývodových součástek na součástky v pouzdře SMD. Miniaturizace desky by vedla k možnému zmenšení celé chytré zásuvky a tím ke zvýšení kompaktnosti a snížení nákladů.

Dalším krokem při vývoji firmwaru by dozajista bylo připojení k webu a promítání naměřených dat bezdrátově, tedy bez pomoci USB. Nicméně ESP8266 NodeMCU nemá operační paměť na vyčítání z registrů, následným výpočtům a tvorbu bezdrátové sítě. Je tedy nutno do obvodu implementovat nový mikrokontrolér, který by zvýšil výpočetní potenciál a tím i umožnil zvýšení rychlosti vzorkování. ESP8266 NodeMCU by následně vykonávalo pouze funkci Hotspotu (přístupového bodu k Wi-Fi).

Nabízí se také implementace hodin reálného času. Společně s rozšířením stávajícího firmwaru by zásuvka mohla vytvořit MESH síť, čímž by byl rozšířen komunikační dosah. Ukládání hodnot do externího úložiště by po propojení s hodinami reálného času umožnilo na webu vyčítat zvolená data v časovém rozsahu přesněji, než kdyby se k odeslaným datům přiřazoval čas na webu.

## 9 ZÁVĚR

V bakalářské 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 měřícího 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 systémů 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, zdali 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 měřícím mikročipem, tak s uživatelem. Dále je popsán princip komunikace mezi zařízeními, vytvořená deska plošných spojů, čidla proudu i napětí.

Na teorii o hardwaru navazuje popis firmwaru a teorie vyčítání registrů. Dále jsou rozvedeny postupy pro přepočítání hodnot registrů na měřené veličiny. Následuje popis kalibračních postupů. Další část obsahuje data, grafy a vyhodnocení přesnosti měření z provedené pokusné instalace v prostorách UEEN. Následuje kalkulace nákladů a optimalizace prototypu chytré zásuvky.

Vyrobený prototyp chytré zásuvky není finální verzí, nicméně v tomto stavu předčil měřenou chytrou zásuvku od D-Linku a vyrovnává se komerčním zásuvkám přesností i s nízkými náklady.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Wink-Controlled Smart Plug with Energy Monitoring. *Smarthome: Home Automation Superstore* [online]. SMARTHOME®, 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/watrouter\\_function.html](http://www.solarcontrols.cz/cz/watrouter_function.html)
- [15] *WATROUTER 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](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](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](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. *Dealextrime: 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#.WS59E2jyjDd>
- [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](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](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](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] CMC 256plus: High precision relay test set and universal calibrator. *OMICRON* [online]. b.r. [cit. 2017-08-14]. Dostupné z: <https://www.omicronenergy.com/en/products/cmc-256plus/>
- [44] 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](https://raw.githubusercontent.com/nodemcu/nodemcu-devkit/master/Documents/NODEMCU_DEVKIT_SCH.png)

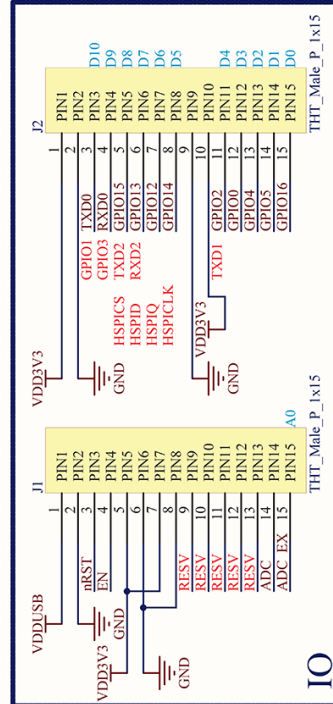
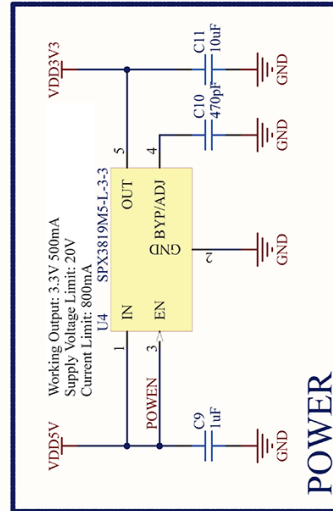
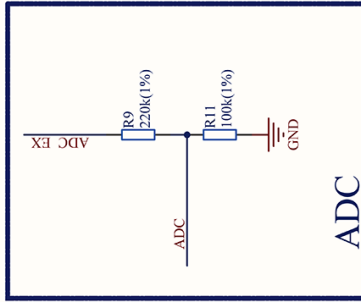
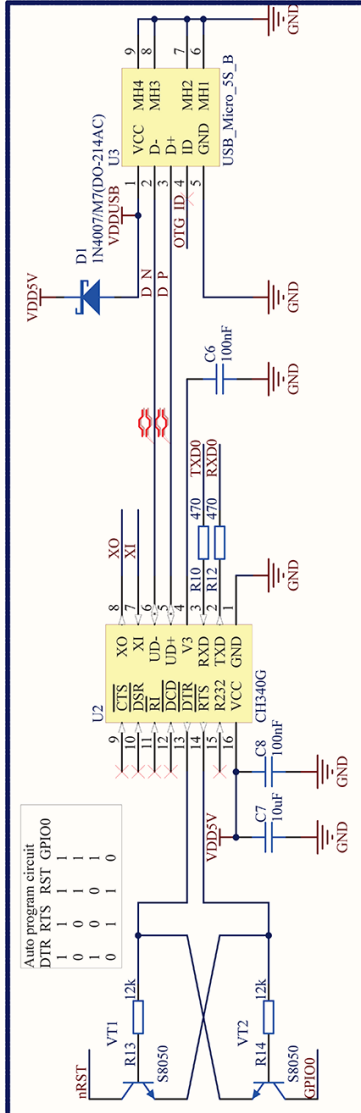
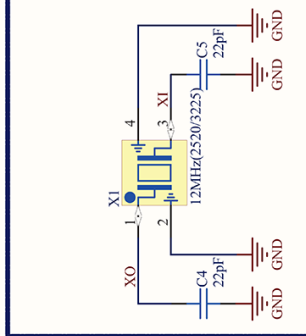
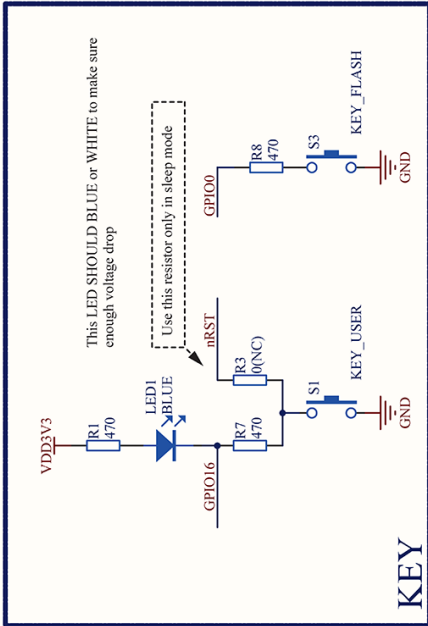
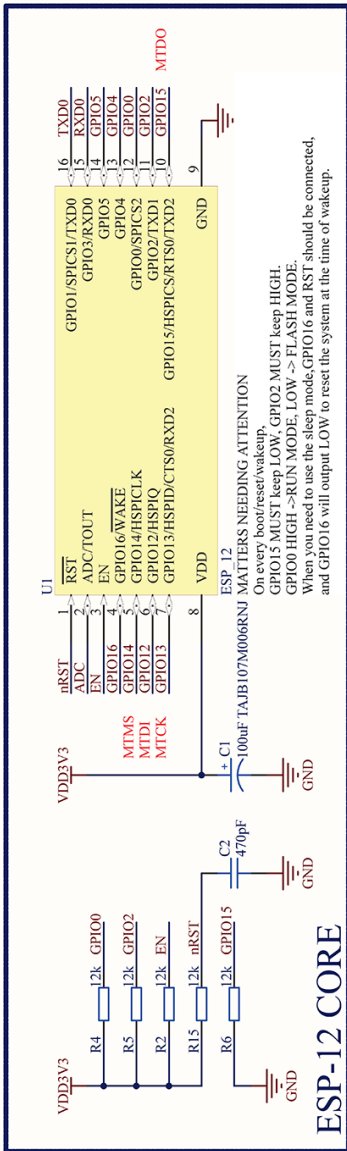
**SEZNAM PŘÍLOH**

<i>Příloha A: Schéma zapojení chytré zásuvky s ADE7753 a NodeMCU .....</i>	<i>67</i>
<i>Příloha B: Vnitřní zapojení NodeMCU [41] .....</i>	<i>68</i>
<i>Příloha C: Osazovací plán DPS.....</i>	<i>69</i>
<i>Příloha D: Pohled na tištěné spoje DPS.....</i>	<i>69</i>
<i>Příloha E: Znázorněné drátové propojky.....</i>	<i>70</i>
<i>Příloha F: Vzhled vývojové desky .....</i>	<i>71</i>

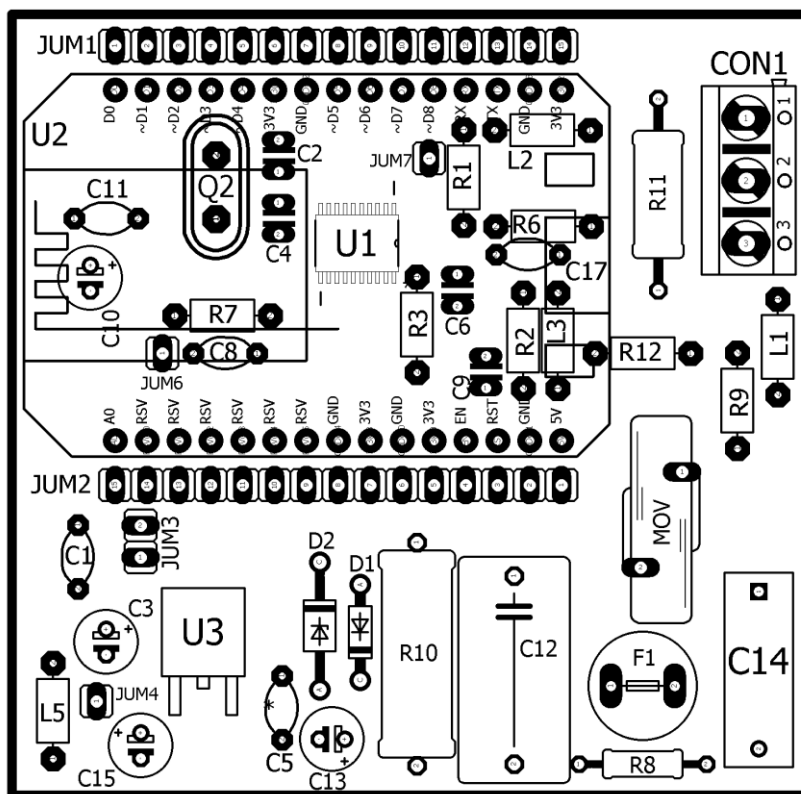
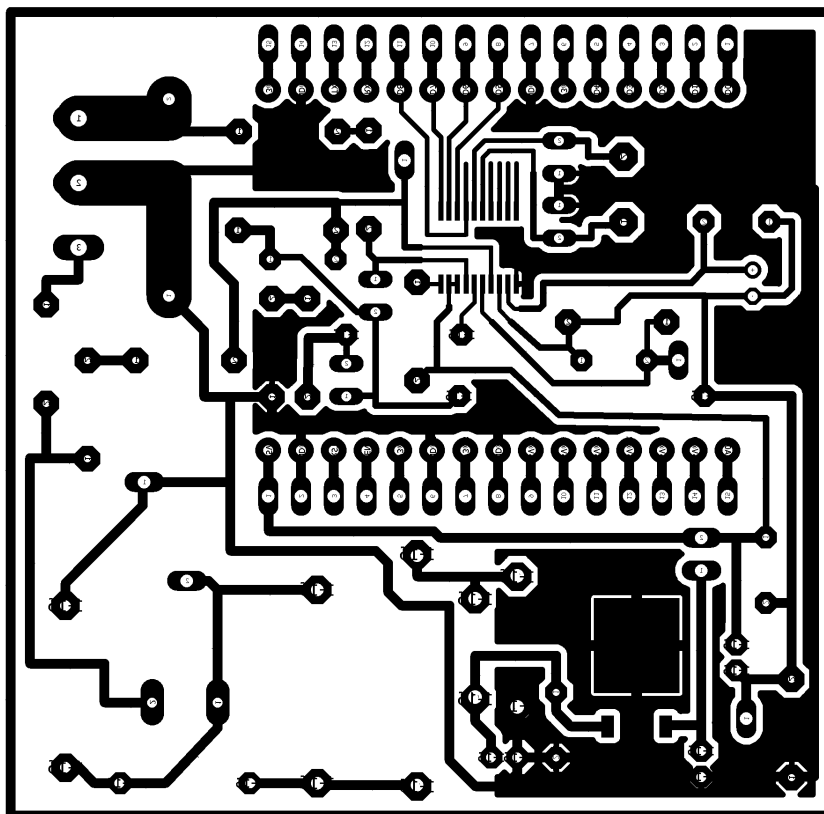


Příloha B: Vnitřní zapojení NodeMCU [41]

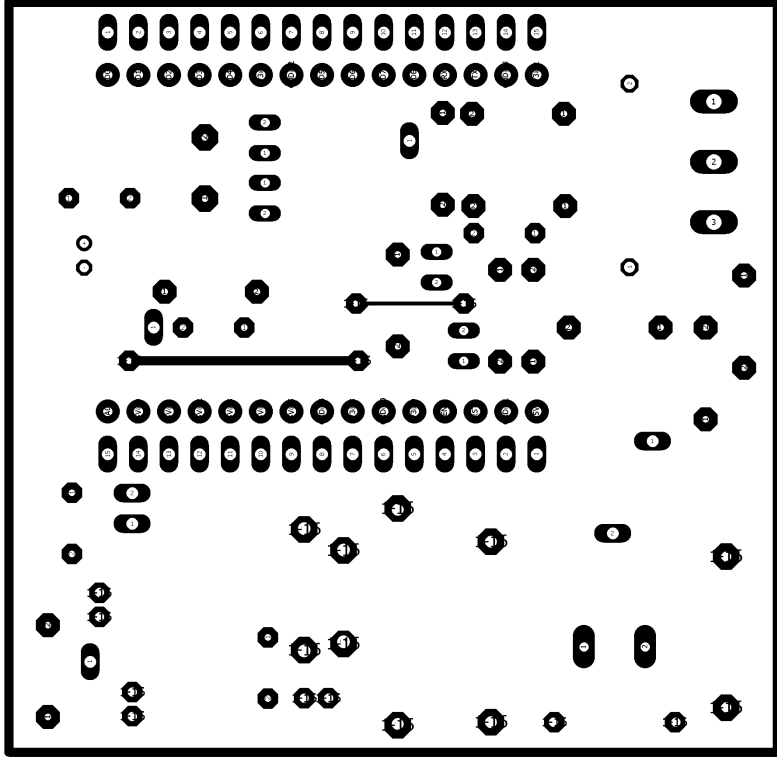
NODE MCU ESP12



VER	DATE
0.9	20/11/2014
ORGANIZATION	NODE.MCU TEAM
WEBSITE	WWW.NODEMCU.COM

*Příloha C: Osazovací plán DPS**Příloha D: Pohled na tištěné spoje DPS*

Příloha E: Znárodné drátové propojky



Příloha F: Vzhled vývojové desky

