

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROTECHNOLOGIE



Dálkově ovládaná chytrá zásuvka
Remote controlled smart power plug

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vedoucí práce: Ing. Karel Künzel, CSc.

Kateřina Nováková

Praha 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Nováková** Jméno: **Kateřina** Osobní číslo: **474740**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektrotechnologie**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Dálkově ovládaná chytrá zásuvka

Název bakalářské práce anglicky:

Remote controlled smart power plug

Pokyny pro vypracování:

Realizace funkčního vzorku zásuvky pro bezdrátové ovládání včetně měření do průmyslové stavebnice.

1. Seznamte se s IoT stavebnicí HARDWARIO
2. Vyberte vhodný adaptér průchozí zásuvky 230 V AC
3. Vyberte vhodný obvod měření spotřeb zátěže včetně izolovaného napájecího zdroje
4. Navrhněte zapojení s bezdrátovým řídicím modulem
5. Navrhněte potřebné programové vybavení pro integraci do SDK IoT stavebnice HARDWARIO
6. Sestavte funkční vzorek a ověřte funkci zařízení
7. Navrhněte vzorový firmware pro demonstraci použití zařízení 8. Zpracujte přehled potřebných zkoušek pro uvedení zařízení na trh

Seznam doporučené literatury:

GOOK, M.I. Hardwarová rozhraní: průvodce programátora. Brno: Computer Press, 2006. UPTON, E., HALFACREE, G., Raspberry Pi: uživatelská příručka. Brno: Computer Press, 2016.
SHOVIC, J. C. Raspberry Pi IoT projects: prototyping experiments for makers. New York: Apress, 2016.
ZÁHLAVA, V. Návrh a konstrukce desek plošných spojů. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Karel Künzel, CSc., katedra elektrotechnologie FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **31.01.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **22.05.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2021**

Ing. Karel Künzel, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Říčanech.....

.....

Kateřina Nováková

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Karlu Künzlovi, CSc. za přínosné rady při návrhu DPS a za ochotu a trpělivost při konzultacích zaměřených na ožívování zařízení. Dále děkuji konzultantům z firmy Hardwario za počáteční nasměrování a poskytnutí potřebných součástek a modulů. Děkuji své rodině za podporu v průběhu celého studia.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá vývojem dálkově ovládané chytré zásuvky. Cílem práce je navrhnout desku plošného spoje a programové vybavení zařízení a následné ověření funkčnosti při kontrolním měření v laboratoři. Pomocí zařízení je možné dálkově měřit činný, jalový a zdánlivý výkon, odebranou elektrickou energii, účinník, efektivní hodnoty napětí a proudu a bezdrátově sepnout a odepnout zátěž od sítě. Pro měření je použit integrovaný obvod ACS71020 od firmy Allegro Microsystems, bezdrátové ovládání zásuvky je zajištěno modulem Cloony s 32bitovým ARM mikrokontrolerem. Data jsou přenášena pomocí komunikačního modulu na frekvenci 868 MHz do komunikační brány na modulu Radio Dongle, který je zapojený v PC, kde jsou data vykreslována a případně mohou být ukládána. Deska plošného spoje je navržena v programu EAGLE education. Firmware je napsán v programovacím jazyce C s využitím předpřipravených knihoven ze Software Development Kitu pro IoT stavěnici Hardwario. K zobrazování dat je využita aplikace Hardwario Playground.

Abstract

This bachelor thesis deals with design and realization of remote controlled smart power plug). The goal is to design a printed circuit board, software and subsequently check the functionality in a laboratory. It is possible to remotely measure active, reactive, apparent power, consumed energy, power factor, current RMS value and voltage RMS value. Measurements are processed by integrated circuit ACS71020 by Allegro Microsystems company, wireless control is provided by modul Cloony. Data is transmitted by integrated sub-GHz radio for the 868 MHz band, which sends it off to a PC. There the data is portrayed and alternatively saved. Printed circuit board was designed in EAGLE Education programm. Firmware is written in C programming language with the use of prepared libraries from Software Development Kit IoT Hardwario. The data is showed in application Hardwario playground.

Klíčová slova

chytrá zásuvka 230 V, měření výkonu, návrh DPS, Hardwario Cloony, IoT

Keywords

smart socket 230 V, power measurement, design PCB, Hardwario Cloony, IoT

Obsah

Úvod	1
1. Chytré zásuvky s dálkovým měřením výkonu	2
1.1. Přehled vybraných chytrých zásuvek	2
1.2. Obecné blokové schéma chytrých zásuvek	3
2. Měření výkonu elektrického proudu	4
2.1. Měření jednofázového výkonu	5
2.2. Obvody pro měření výkonu	5
3. Návrh zapojení chytré zásuvky	7
3.1. Blokové schéma navrhované chytré zásuvky	7
3.2. IoT stavebnice Hardwario.....	7
3.2.1. Modul Cloony.....	8
3.2.2. Bezdrátová komunikace	8
3.2.3. Software Development Kit pro IoT stavebnici Hardwario.....	8
3.2.4. Hardwario Playground.....	9
3.3. Komponenty pro realizaci chytré zásuvky.....	10
3.3.1. Krabička	10
3.3.2. Napájecí zdroj TMPS-05-105.....	11
3.3.3. Elektromagnetické relé FTR-K1CK005W	11
3.3.4. Lineární stabilizátor napětí LP5907MFX-3.3	12
3.3.5. Modul Cloony.....	12
3.4. Návrh druhého vzorku	13
4. Tvorba vzorového firmware.....	14
4.1. Sběrnice SPI.....	14
4.2. Driver pro komunikaci s obvodem ACS71020.....	15
4.3. Bezdrátová komunikace modulu Cloony a Radio Dongle.....	16
4.4. Tvorba grafického rozhraní v aplikaci Hardwario Playground	16
5. Ověření funkčnosti zařízení	18
5.1. Měření zásuvky EMOS P5801 a VOLTCRAFT SEM 6000.....	18
5.1.1. EMOS P5801	19
5.1.2. VOLTCRAFT SEM 6000	20
5.2. Měření prvního vzorku	21
5.3. Měření druhého vzorku.....	22
5.4. Měření výkonu odebíraného sekačkou	23

6. Přehled zkoušek potřebných pro uvedení zařízení na trh	25
Závěr	27
Literatura.....	28
Seznam obrázků	30
Seznam tabulek	31
Seznam zkratk	32
Příloha 1 – Elektrické schéma chytré zásuvky	33
Příloha 2 – Layout DPS prvního vzorku.....	34
Příloha 3 – Layout DPS druhého vzorku	35
Příloha 4 – Dokumentace vzorového firmware chytré zásuvky	36
Seznam souborů	36
Dokumentace souboru ACS71020.h.....	36
Definice typů.....	36
Výčty.....	36
Funkce.....	36
Dokumentace definic typů	38
Dokumentace výčtových typů.....	38
Dokumentace souboru ACS71020.c.....	39
Definice maker.....	39
Funkce.....	39
Dokumentace k definicím maker	41
Dokumentace funkcí	41
Dokumentace souboru application.c	46
Funkce.....	46
Proměnné	46
Dokumentace funkcí	46
Dokumentace proměnných	47
Příloha 5 – Seznam komponentů návrhu chytré zásuvky	48
Příloha 6 – Elektronické přílohy	49

Úvod

Internet věcí je celosvětově se rychle rozvíjející technologie, která umožňuje vzájemnou komunikaci zařízení připojených k internetu a jejich vzdálené ovládání dle parametrů zadaných uživatelem nebo v reakci na stav některého ze zařízení, které je součástí sítě.

V poslední době se stále více rozšiřuje trend chytré domácnosti, kde spotřebiče fungují z části autonomně, aby jejich použití bylo co nejšetrnější z hlediska spotřeby energie a zároveň splňovalo požadavky majitele.

Jedním ze základních parametrů každého elektrického zařízení je jeho příkon. Informace o velikosti okamžitého odebíraného výkonu může posloužit ke znalosti energetické náročnosti zařízení. Pokud se zaměříme nejen na okamžitý výkon, ale budeme sledovat chování zátěže v delším časovém úseku, můžeme komplexněji analyzovat fungování zařízení a případně odhalit nežádoucí stavy.

Jedním z prvků chytré domácnosti souvisejících se spotřebou elektrické energie, které zaznamenaly v posledních letech masivní rozvoj, jsou chytré zásuvky. Ty nejjednodušší mají jen jednoúčelový dálkový ovladač, propracovanější zařízení umožňují kromě vzdáleného zapnutí a vypnutí také vzdálené sledování výkonu a odebrané energie, případně dalších veličin.

Tato bakalářská práce se zabývá vývojem chytré zásuvky, která měří jednofázový výkon, spíná a odepíná zátěž a měří spotřebu energie. Informace o výkonu, odebrané energii, proudu, napětí a účinníku jsou přímo ze zařízení odesílána radiovým vysílačem, pomocí rádiového přijímače zapojeného do PC jsou přijímána, a poté mohou být zobrazována přímo v PC nebo odesílána do mobilní aplikace.

Téma práce vzniklo na podnět liberecké firmy Hardwario, která se zaměřuje na projekty pro internet věcí a do své nabídky výhledově zvažuje přidání právě chytré zásuvky, proto je práce navázána na prostředky používané a vyvíjené zmíněnou firmou. Cílem bakalářské práce je návrh funkčního vzorku chytré zásuvky a ověření jeho funkčnosti, neklade si za cíl kompletní vývoj od počátku po komerční produkt.

Úvodní kapitoly práce se věnují teoretickému rozboru postupu práce a využitých technologií, výstupem praktické části práce je funkční vzorek zařízení včetně grafického rozhraní, který bude využit jako podklad pro vývoj komerčního produktu firmy Hardwario.

1. Chytré zásuvky s dálkovým měřením výkonu

Využití přístrojů pro měření výkonu v domácnosti v posledním roce zaznamenalo velký rozmach. V chytrých domácnostech je měření výkonu a sledování energetické spotřeby jednotlivých zařízení nejčastěji realizováno právě s využitím chytrých zásuvek. Jen za tento rok, kdy se chytrým zásuvkám věnuji v rámci mé bakalářské práce, se chytré zásuvky masivně rozšířily a na trhu je možno vybírat z nepřeberného množství výrobků na rozdíl od minulého roku, kdy byly chytré zásuvky v sortimentu firem, které se zaměřují na IoT, spíše okrajovým zbožím.

1.1. Přehled vybraných chytrých zásuvek

Z důvodu intenzivního rozmachu chytrých zásuvek bylo nutné doplnit přehled trhu zpracovaný v rámci bakalářského projektu, aby bylo možné posoudit přesnost měření chytrých zásuvek ve srovnání s profesionálními přístroji, rozmezí měřeného výkonu, způsob přenosu dat a také posoudit konkurenceschopnost zásuvky vyrobené v rámci bakalářské práce. Všechny zásuvky je možné dálkově zapínat a vypínat, další parametry jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 1).

Zařízení	I_{max} [W]	Komunikace	Měřené veličiny	Ovládání
Fibaro FGWPE/F-102	10 A	Z-Wave	výkon, teplota, odebraná energie	mobilní aplikace Fibaro/Google home
TP-link HS110	16 A	WiFi	výkon, odebraná energie	Kasa Smart/hlasem
EVOLVEO Porta U2	16 A	WiFi	výkon, odebraná energie	mobilní aplikace Evolveo Porta
Eve Energy EU	10 A	Bluetooth 4.0 Smart	výkon, odebraná energie	Apple Home Kit
Ezviz T31	16 A	WiFi	okamžitý výkon	mobilní aplikace Ezviz
Vocolinc PM5	16 A	WiFi	odebraná energie	mobilní aplikace LinkWise
BeeWi Wattmeter	16 A	Bluetooth	okamžitý výkon	mobilní aplikace BeeWi
VOLTCRAFT SEM6000	16 A	Bluetooth	činný výkon, odebraná energie, účinník	mobilní aplikace Voltcraft SEM 6000
Smart Socket	16 A	Radio 868 MHz	činný výkon, účinník, odebraná energie	desktopová/mobilní aplikace

Tabulka 1: Srovnání vybraných zásuvek s navrhovanou zásuvkou (Smart Socket)

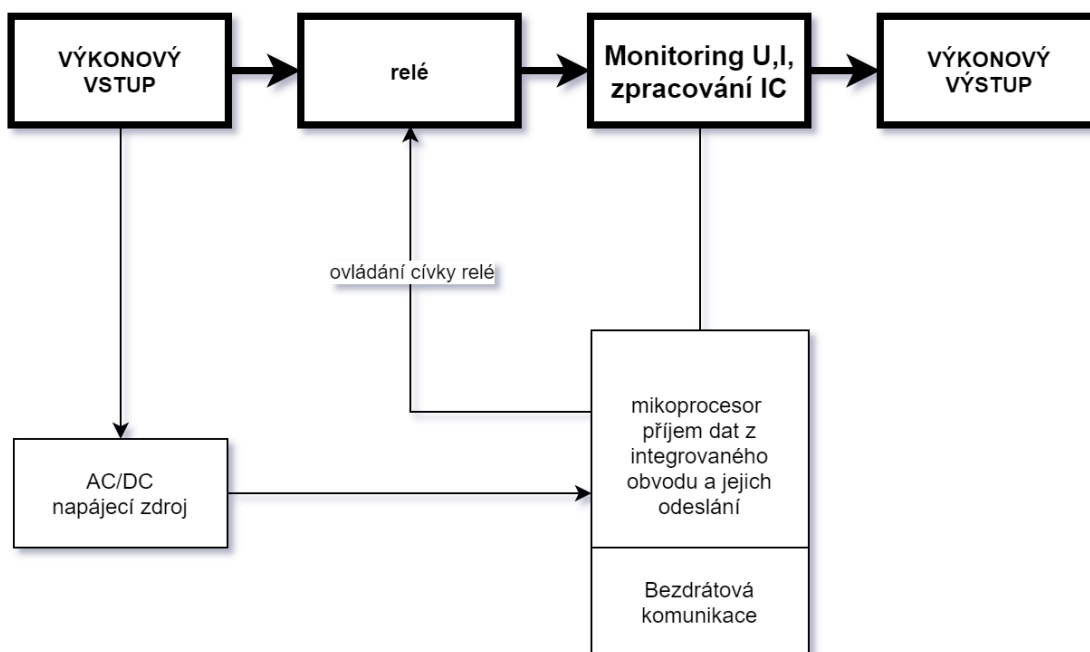
Jak je vidět z výše uvedené tabulky, některé z chytrých zásuvek počítají s domovním jističem pouze na 10 A, nejsou tedy zcela univerzální pro domácí aplikace. Dále se pak

zásuvky liší ve způsobu bezdrátové komunikace. Zásuvky, které pro komunikaci používají Bluetooth, jsou využívány v systémech s centrální gateway připojenou k internetu. Samotná síť chytré domácnosti je pak založena na hvězdicovité topologii, kde je gateway centrálním prvkem.

Mnou vytvářená chytrá zásuvka počítá s maximálním proudovým zatížením 16 A, bude schopna měřit výkon, účinník a bude umožňovat měření odebrané energie. Ovládání zásuvky a zobrazování měřených dat bude realizováno v desktopové aplikaci.

1.2. Obecné blokové schéma chytrých zásuvek

Na níže uvedeném obrázku (Obrázek 1) je uvedeno obecné blokové schéma chytrých zásuvek. Ze síťového napětí je napájena řídicí elektronika. Relé slouží k odpínání zátěže a je ovládáno mikroprocesorem. Za relé se nachází integrovaný obvod, který měří napětí a proud a informace odesílá do mikroprocesoru, odkud jsou bezdrátově vysílána.



Obrázek 1: Obecné blokové schéma chytré zásuvky

2. Měření výkonu elektrického proudu

Dle [1] platí následující. Okamžitá hodnota výkonu je definována součinem okamžitých hodnot napětí a proudu

$$p(t) = u(t)i(t). \quad (1)$$

V obvodech stejnosměrného proudu, kde je proud i napětí konstantní, pak platí

$$P = p(t) = UI. \quad (2)$$

V obvodech střídavého proudu definujeme střední hodnotu výkonu za periodu vztahem

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt. \quad (3)$$

Činný výkon spotřebovaný v zátěži považujeme za kladný, výkon dodávaný zdrojem za záporný. V případě harmonických průběhů napětí a proudu s efektivními hodnotami U a I a fázovým rozdílem φ pak platí

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{T} u(t)i(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U\sqrt{2}\sin\omega t I\sqrt{2}\sin(\omega t + \varphi) dt = \\ &= \frac{2}{T} UI \left[\frac{1}{2} \int_0^T \cos\varphi dt - \frac{1}{2} \int_0^T \cos(2\varphi t) dt \right] = UI\cos\varphi. \end{aligned} \quad (4)$$

Pro harmonické průběhy dále definujeme jalový výkon Q a zdánlivý výkon S vztahy

$$Q = UI\sin\varphi \quad (5)$$

$$S = UI \quad (6)$$

Pro neharmonické průběhy je činný výkon dán součtem výkonů jednotlivých harmonických složek, tedy

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt = U_0 I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} U_n I_n \cos\varphi_n, \quad (7)$$

kde U_n a I_n jsou efektivní hodnoty jednotlivých harmonických složek a φ_n jejich fázové rozdíly. Obvykle je jalový výkon a zdánlivý výkon v tomto případě definován jako

$$Q = \sum_{n=1}^{\infty} U_n I_n \sin\varphi_n, \quad (8)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}, \quad (9)$$

kde D je tzv. deformační výkon. Pak lze definovat tzv. zobecněný účinník λ vztahem

$$\lambda = \frac{P}{UI}. \quad (10)$$

Ze základů číslicové techniky je známo, že procesor nepracuje spojitě, ale vzorkuje se vzorkovací periodou T . To vyžaduje popisovat závislosti místo spojitou funkcí sledem hodnot se vzorkovací periodou T . Spojitou funkci mezi dvěma body nahradíme lineární aproximací

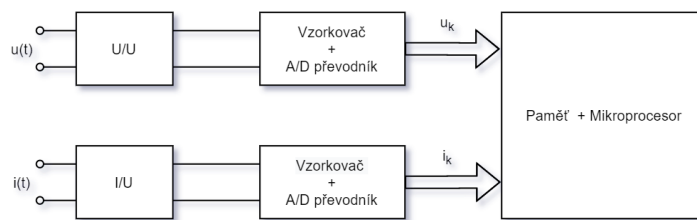
$$dt \Rightarrow \Delta t = t(k) - t(k-1) = T. \quad (11)$$

A/D převodník vytvoří z analogové spojité závislosti posloupnost čísel–vzorků, sejmutých v časových okamžicích s konstantní periodou vzorkování T . Hodnotu vzorku v určitém okamžiku označíme $x(k)$, předcházející vzorek označíme $x(k-1)$ a vzorek v následujícím okamžiku $x(k+1)$. Pro zpracování získaných hodnot je nutné použít prostředky diskretní matematiky.

Při přechodu z analogového k digitálnímu zpracování dat je nutné zohlednit maximální možnou vzorkovací periodu. Vzorkovací perioda je omezena Shannon-Kotělnikovým teorémem, který říká, že vzorkovací frekvence musí být alespoň dvojnásobkem nejvyšší frekvence obsažené v signálu. Dále je třeba vzít v úvahu počet bitů registru kam je číslo ukládáno. Čím méně bitů, tím více se zvyšuje nepřesnost měření.

2.1. Měření jednofázového výkonu

V současné době se v naprosté většině používají číslicové wattmetry. Základní blokové schéma číslicového wattmetru je na obrázku (Obrázek 2) níže. Vstupním signálem je napětí a proud. Analogově číslicovým převodníkem je hodnota převedena ze spojitého signálu na nespojitý, a poté jsou data číslicově zpracována procesorem. Z ovzorkovaných průběhů je dále možné dopočítat efektivní hodnoty napětí, proudu a případně další veličiny.



Obrázek 2: Blokové schéma číslicového wattmetru

Napětí je prakticky vždy měřeno na odporovém děliči, který je paralelně zapojený k zátěži. Měření na odporu je realizováno především kvůli snížení napětí na vstupních kontaktech měřicího obvodu. Proud je nejčastěji měřen na bočníku zapojeném v sérii se zátěží, kromě této metody se stále častěji realizuje měření proudu pomocí Hallovy sondy nebo Rogowského cívky. [1]

2.2. Obvody pro měření výkonu

Poptávka po měření výkonu vede výrobce integrovaných obvodů k nabídce jednoúčelových integrovaných obvodů, které usnadňují práci vývojářům a snižují výslednou cenu zařízení. Odpadá tak nutnost řešení s mikroprocesorem, převodníky a příslušným programem

Základní matematické operace jsou vykonány integrovaným obvodem a z obvodu je možné rovnou získat informace o efektivních hodnotách napětí a proudu, činném výkonu a případně další veličiny. Pro realizaci chytré zásuvky jsem zvolila právě tuto cestu a bylo tedy nutné sestavit přehled obvodů pro měření výkonu, které jsou momentálně na trhu, a vybrat nejvhodnější.

	ACS71020	STPM33	MCP39F521	CS5463	78M6613
Výrobce	Allegro Micro-Systems	STMicro-electronics	Microchip Technology	Cirrus Logic	Maxim Integrated
Vzorkovací frekvence	32 kHz	7,8125 kHz	4 MHz	156 kHz - 20 MHz	32 kHz
Filtr signálu	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Měření I	Hallova sonda	Rogowského cívka	bočník	bočník	bočník
Měření U	paralelní rezistor	paralelní rezistor	paralelní rezistor	paralelní rezistor	paralelní rezistor
Rozhraní	SPI, I2C	UART, SPI	I2C	SPI	UART

Tabulka 2: Srovnání obvodů pro měření výkonu

Z výše uvedeného přehledu vybraných obvodů pro měření výkonu (Tabulka 2) se základní funkce všech integrovaných obvodů shodují. Ze všech výše uvedených obvodů můžeme získat informaci o okamžitých a efektivních hodnotách proudu a napětí, informaci o činném, jalovém i zdánlivém výkonu a účinníku.

Standardním doplňkem všech zkoumaných integrovaných obvodů je nízkofrekvenční filtr, u obvodu od firmy Cirrus Logic nalezneme i filtr stejnosměrné složky.

Dalším parametrem, kterým se liší jednotlivé obvody, je vlastní způsob měření okamžité hodnoty proudu. U většiny obvodů nalezneme klasický způsob měření, kdy je proud měřen na bočníku. Inovativní řešení nalezneme u obvodu od firmy Allegro MicroSystems, kde je proud měřen pomocí Hallovy sondy, která je implementována přímo v integrovaném obvodu.

Zajímavou funkci můžeme nalézt u obvodu od firmy Cirrus Logic, který si v režimu automatického spouštění nahraje z externí EEPROM paměti požadované příkazy a data a automaticky začne provádět měření energie.

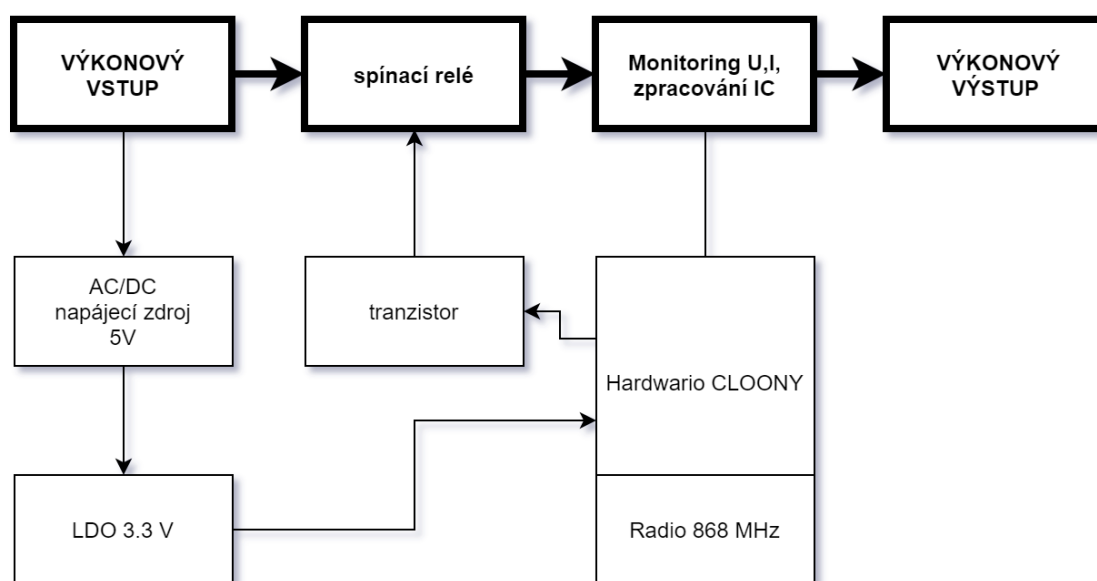
3. Návrh zapojení chytré zásuvky

3.1. Blokové schéma navrhované chytré zásuvky

Na níže uvedeném obrázku (Obrázek 3) je uvedené blokové schéma návrhu zařízení. Zleva vidíme napájecí zdroj 5 V se stabilizátorem LDO 3.3 V, který slouží k napájení modulu Hardwario Cloony a měřicího obvodu. Spínací relé sloužící ke spínání napájení zátěže a je ovládáno tranzistorem, který je řízen signálem z mikroprocesoru.

Blok „Monitoring U, I, zpracování IC“ symbolizuje zapojení integrovaného obvodu pro měření výkonu, ze kterého jsou čtena data k dalšímu zpracování. Pro realizaci úlohy jsem vybrala integrovaný obvod od ACS71020 z důvodu zajímavého řešení měření proudu.

Podrobný popis jednotlivých součástí včetně jejich zapojení je uveden v kapitole 3.3.



Obrázek 3: Blokové schéma chytré zásuvky

Elektrické schéma obvodu je uvedeno v příloze 1. Níže uvádím seznam všech použitých součástí. Kapitola 3.3 se věnuje podrobnějšímu popisu jednotlivých součástí. Zapojení jsem navrhla dle doporučení v katalogových listech jednotlivých součástí, dopočtené parametry jsou případně uváděny přímo u popisu konkrétní součástky. DPS je navržena v program EAGLE 9.5.2 education a vyrobena firmou Pragoboard. Layout prvního i druhého vzorku DPS je uveden v příloze. Na prvním vzorku jsem ověřila základní funkčnost zařízení, nesplňoval však všechny základní požadavky jako například dostatečnou proudovou zatížitelnost, proto jsem původní návrh opravila, provedené změny jsou popsány v kapitole 3.4.

3.2. IoT stavebnice Hardwario

Chytrá zásuvka je vyvíjena ve spolupráci s firmou Hardwario, proto byla vybrána pro realizaci chytré zásuvky IoT stavebnice Hardwario.

Tato modulární stavebnice je vyvíjena libereckou firmou Hardwario. Své uplatnění nachází zejména v pilotních projektech průmyslu 4.0 a projektech chytré domácnosti. Jejimi hlavními přednostmi, kterými se snaží konkurovat všeobecně mnohem více

známému Arduinu, je vzájemná bezdrátová komunikace modulů a dlouhá výdrž při provozu z baterií. Nízké spotřeby energie je docíleno především událostmi řízenou architekturou software, které Arduino nemůže dosáhnout, jelikož základní program běží v nekonečné, stále se opakující smyčce. Další z předností je kompatibilita jednotlivých prvků stavebnice, jejichž propojování je možné bez nutnosti pájení.

Stavebnice se skládá z hlavního programovatelného modulu Core module, ke kterému existuje stále se rozšiřující sada modulů, senzorů a zařízení, která jsou vzájemně jednoduše propojitelná. Celý projekt stavebnice je open-source a spolu s aplikací Hardwario Playground, která využívá prvky jednoduchého grafického programování cílí i na netechnicky zaměřené zájemce o chytrou domácnost.

3.2.1. Modul Cloony

Tento modul je kompaktní verzi prototypovací desky Core module, který je klíčovým prvkem celé stavebnice. Základem modulu Cloony je 32bitový ARM mikrokontrolér STM32L083CZ s 192 kB flash paměti a 20 kB RAM.

Na desce je integrovaný rádiový modul, který komunikuje v pásmu 868 MHz, digitální senzor teploty a programovatelná signalizační LED dioda.

Od základního Core modulu se liší především absencí akcelerometru a USB rozhraní, programování tedy musí být provedeno pomocí ladicího prostředí SWD nebo pomocí komunikačního rozhraní UART s využitím USB – UART převodníku.

Do projektu chytré zásuvky byl vybrán především kvůli jeho malým rozměrům 23 mm × 23 mm.

3.2.2. Bezdrátová komunikace

Bezdrátová komunikace je jedním ze základních principů stavebnice a počítá s ní již od začátku, což je jednoznačně výhodné právě pro laickou stavbu chytré domácnosti. Pro přenos zpráv je použit rádiový přenos založený na čipu SPIRIT1 od firmy STMicroelectronics, který pracuje v pásmu 868 MHz. Rádiový vysílač je integrovaný na základní desce.

Bezdrátová síť stavebnice má hvězdicovitou topologii. Centrálním prvkem je modul Radio Dongle, který funguje jako brána pro maximálně 32 zařízení. Přes USB rozhraní může být modul připojen například k PC nebo Raspberry Pi, odkud je řízena celá síť. Pro komunikaci mezi zařízeními je použit komunikační protokol MQTT.

3.2.3. Software Development Kit pro IoT stavebnici Hardwario

Vývojáři stavebnice si jsou vědomi, že jedním z důvodů masivního rozšíření Arduina je fakt, že na internetu je možno dohledat vzorový kód pro nespočet širokého spektra aplikací, a díky tomu má tolik příznivců. Pokud má tedy stavebnice konkurovat Arduinu a získat si stejně rozsáhlé portfolio uživatelů, je nutné nabídnout vzorový firmware a alespoň základní knihovny pro práci s nejpoužívanějšími IoT periferiemi tak, aby uživatel nebyl nucen programovat procesor od základů.

Z tohoto důvodu vznikl Software Development Kit, který má usnadnit programování začátečníkům. SDK je sada knihoven psaných v jazyce C (ISO C99), které zjednodušují vývoj embedded firmware. Další usnadnění má zajistit Makefile psaný na míru pro

tvorbu projektů se stavebnicí. SDK obsahuje drivery pro běžně využívané IoT periferie a založené na událostně řízeném programování. Dokumentace je automaticky generována za pomoci dokumentačního nástroje Doxygen. [6]

Chceme-li vytvořit jednoduchou aplikaci, ke které sice neexistuje vzorový firmware, ale SDK obsahuje driver pro konkrétní periferii, není nutné do hloubky porozumět programování embedded systémů, pro sestavení funkčního programu stačí pouze vhodně zvolit parametry připravených ovládacích funkcí.

U Hardwaria nenajdeme vlastní editor kódu. Pro vlastní psaní kódu je tedy možné použít jakýkoliv editor a pro komunikaci s Core modulem je využíván jednoduchý program BigClown Toolchain s vlastním textovým rozhraním, který pomocí jednoduchých příkazů umožňuje tvorbu nových projektů s předpřipravenou kostrou, kompilaci a nahrání kódu do mikrokontroleru a případně zobrazovat data čtená z Core modulu.

3.2.4. Hardwario Playground

Jedná se o open-source software, který slouží k ovládání stavebnice bez nutnosti programování modulů v jazyce C a má být nástrojem především pro uživatele, kteří nechtějí psát vlastní kódy a využívají pouze připravený firmware, který následně nemění.

Aplikace slouží k

- nahrávání připraveného firmware do Core modulu,
- nastavení vlastní bezdrátové sítě vyživající Radio Dongle,
- tvorbě vlastních programů grafickým programováním v Node-REDu,
- zobrazování měřených hodnot a k ovládání jednotlivých zařízení.

Toto rozhraní bylo využito pro zobrazování měřených dat a dálkovému ovládání zásuvky. Flow v Node-RED pro potřeby chytré zásuvky je uvedeno v kapitole 4.4.

3.3. Komponenty pro realizaci chytré zásuvky

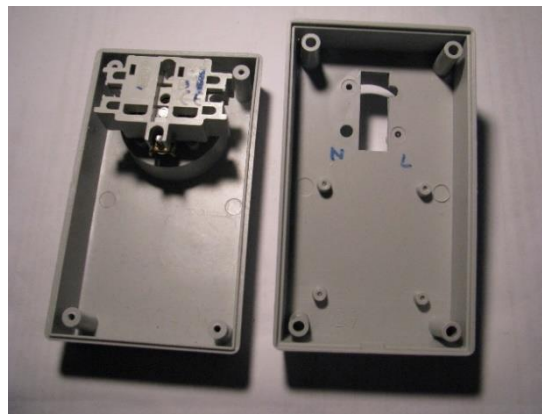
Přehled všech použitých komponentů je uveden v příloze 5.

3.3.1. Krabička

Aby bylo možné chytrou zásuvku využívat jako jeden z prvků chytré domácnosti, kde se předpokládá instalace osobami bez elektrotechnického kvalifikace, je nutné vybrat vhodnou krabičku, ve které bude bezpečně uzavřena veškerá ovládací a měřicí elektronika a výkonový obvod. Na konkrétní krabičce pak závisí rozměry desky plošného spoje, volba dalších součástek a jejich uspořádání. Vybrala jsem adaptér průchozí zásuvky od firmy Kradex Z27J. Vstupní i výstupní kontakt je zásuvka/zástrčka typu E.



Obrázek 4: Krabička – pohled zvenku



Obrázek 5: Krabička – pohled zevnitř

3.3.2. Měřicí obvod ACS71020

Vybraný měřicí obvod je vyráběn ve čtyřech variantách, které se liší jednak maximálním proudem (15/30/90 A), jednak komunikačním rozhraním (SPI/I2C). Zvolila jsem variantu ACS71020KMABTR-030B3-SPI s maximálním proudem 30 A. Nevýhodou je zbytečně velká chyba z rozsahu, menší rozsah by ale nesplňoval požadavek na maximální proud 16 A. Zapojení je provedeno podle doporučeného zapojení v dokumentaci k obvodu [2]. Na vstupech pro měření napětí může napětí dosahovat maximálně 275 mV, se zohledněním neočekávaných špiček napětí v síti jsem určila velikost měřicího odporu tak, aby maximální napětí na kontaktech obvodu dosáhlo mezní hodnoty při okamžité hodnotě napětí sítě 900 V. Velikost měřicího odporu jsem vypočetla následovně

$$R_1 = \frac{R_2}{\frac{U}{U_1} - 1} = \frac{4 \cdot 10^6}{\frac{900}{0,275} - 1} = 1223 \Omega, \quad (7)$$

kde R_1 je hodnota rezistoru, na kterém je měřeno napětí (ve schématu R8), R_2 je výsledná hodnota sériově zapojených rezistorů R3, R4, R6, R7, U je napětí mezi fází L a N a napětí U_1 je maximální povolené napětí na vstupních kontaktech měřicího obvodu. Měřicí rezistor v konkrétním zapojení má velikost 1 200 Ω .

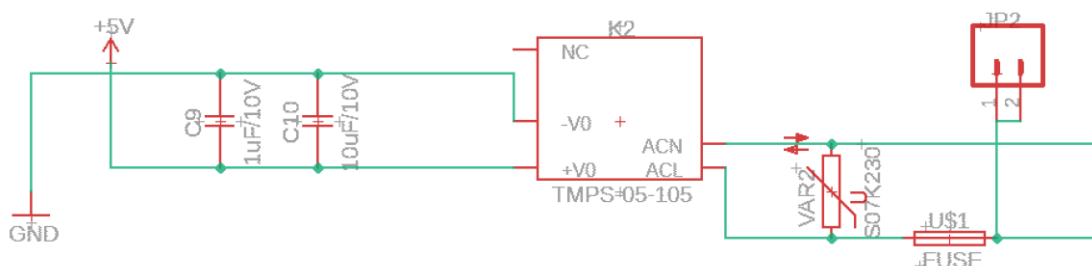
Pro návrh DPS jsem vycházela z doporučeného layoutu uvedeném v datasheetu [2] s přihlédnutím k faktu, že spoji bude protékat maximálně 16 A, jsem zmenšila šířku spojů.

3.3.3. Napájecí zdroj TMPS-05-105

Izolovaný napájecí AC/DC měnič slouží k napájení ovládací cívky relé a k napájení LDO stabilizátoru, ze kterého je napájen obvod pro měření výkonu a řídicí modul Cloony. Parametry napájecího zdroje jsou [3]:

- Vstupní napětí: 85–264 V AC
- Výstupní napětí: 5 V
- Maximální výstupní proud: 1 A

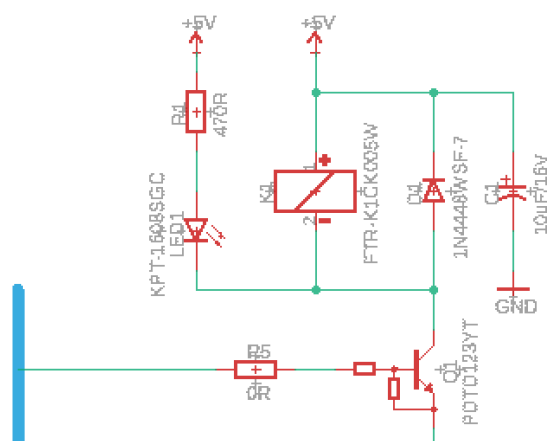
Obvod je chráněn pojistkou 0,25 A a varistorem dimenzovaným na 230 V. Na výstupní straně jsou dva blokovací kondenzátory C9 a C10.



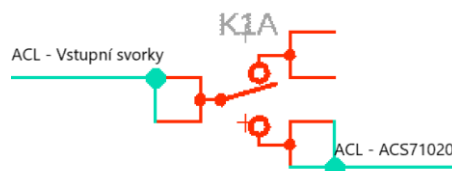
Obrázek 6: Schéma zapojení napájecího zdroje 5 V DC

3.3.4. Elektromagnetické relé FTR-K1CK005W

Relé v obvodu slouží k připínání a odepínání zátěže od sítě. Jmenovité napětí cívky je 5 V DC, cívka je napájena z AC/DC zdroje. Pokud je na bázi NPN bipolárního tranzistoru přiveden ovládací proud, začne cívkou v kolektorovém obvodu tranzistoru protékat proud a dojde k sepnutí výkonového obvodu. Dioda LED1 signalizuje stav obvodu. Pokud svítí, je chytrá zásuvka zapnutá.



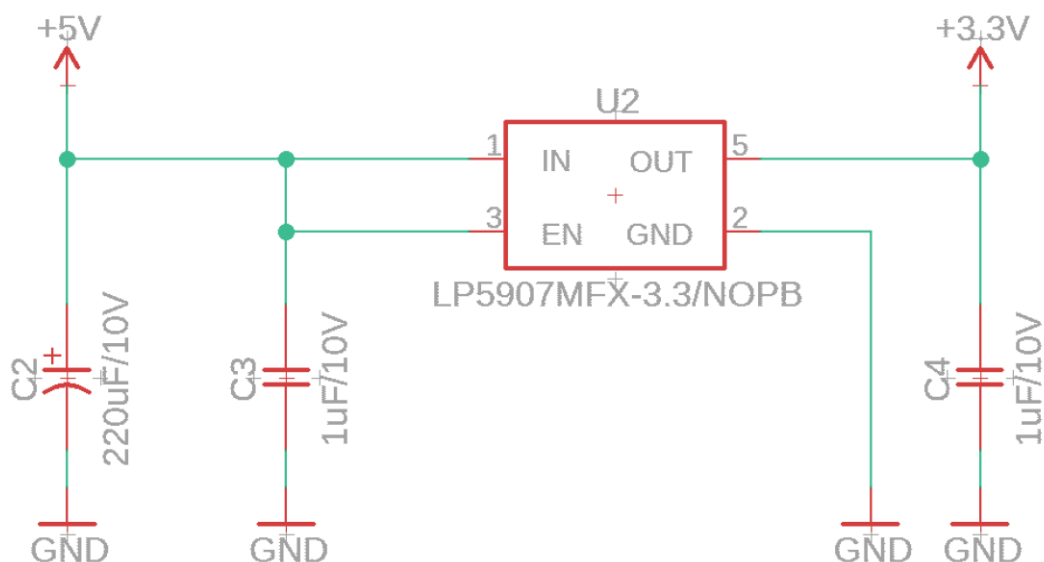
Obrázek 7: Zapojení ovládací cívky relé



Obrázek 8: Zapojení elektromagnetického relé – kontakty

3.3.5. Lineární stabilizátor napětí LP5907MFX-3.3

Lineární stabilizátor napětí slouží v obvodu ke změně napětí a udržení jeho velikosti na konstantní hodnotě 3,3 V, což je napájecí napětí modulu Cloony a měřicího obvodu ACS71020. Stabilizační kondenzátory na straně vstupu jsou mírně naddimenzovány oproti hodnotám doporučeným v datasheetu [4], aby nedošlo k nežádoucímu odepnutí zátěže při krátkodobém výpadku napětí.

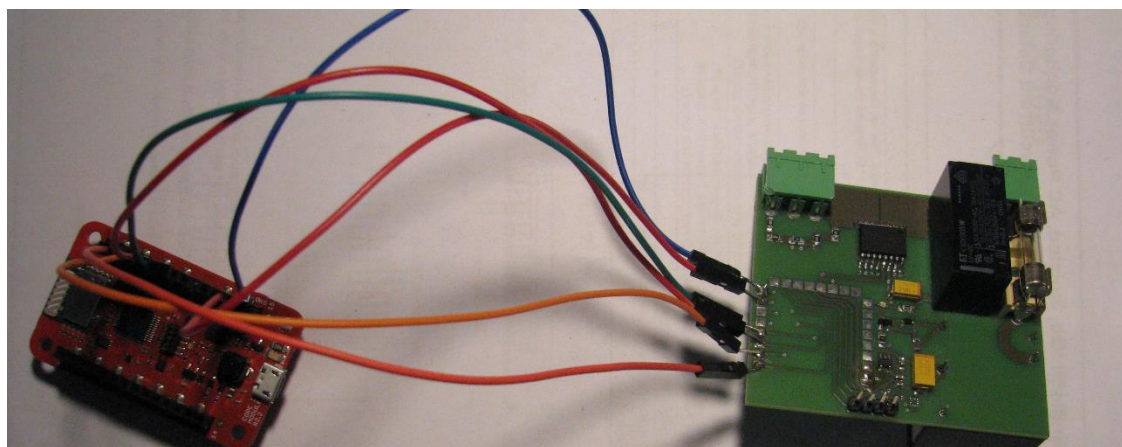


Obrázek 9: Zapojení stabilizátoru napětí

3.3.6. Modul Cloony

Prototypovací deska Cloony s mikroprocesorem STM32L083CZ je řídicím prvkem celého zařízení a zároveň zajišťuje bezdrátovou komunikaci. Pro naprogramování mikroprocesoru pomocí USB – UART převodníku jsou potřebné signály vyvedeny na pinovou lištu JP1. Podrobnější popis modulu je uveden v kapitole 3.2.1

Na obrázku (Obrázek 10) je fotografie prvního vzorku. Pro oživování jsem využívala Hardwarío Core Modul, jehož je Cloony zmenšeninou, především kvůli jednoduššímu způsobu nahrávání kódu.



Obrázek 10: Osazený první funkční vzorek (vpravo) a Core modul (vlevo)

3.4. Návrh druhého vzorku

Nedostatky prvního vzorku jsem se rozhodla opravit a z tohoto důvodu vznikl druhý funkční vzorek.

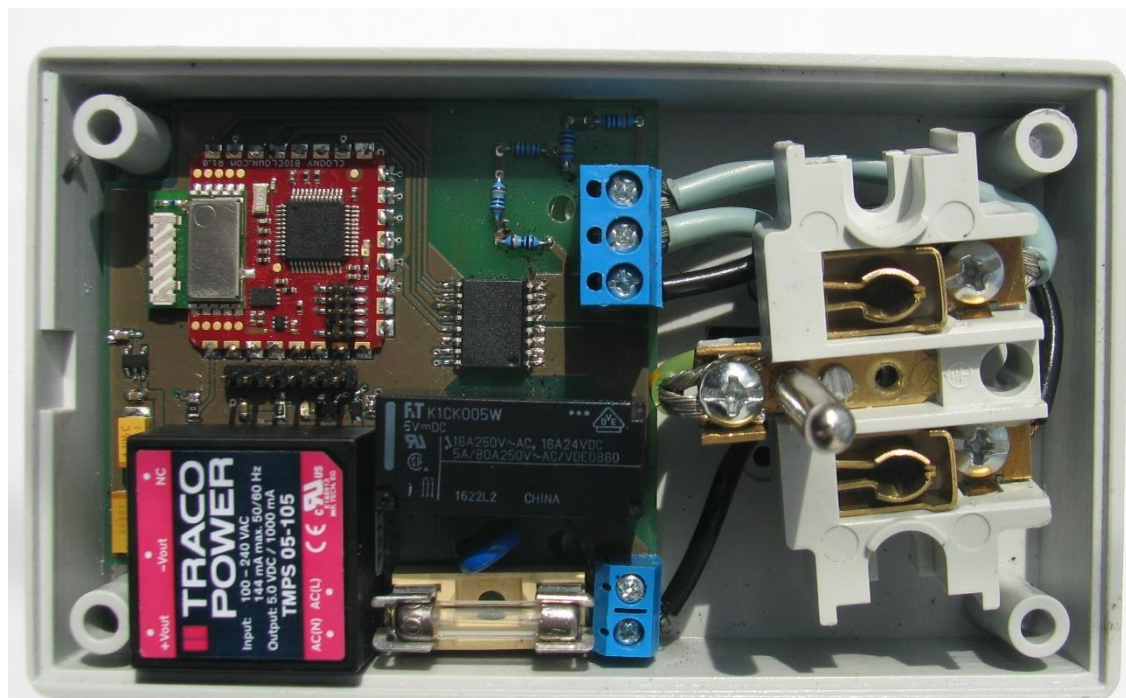
Nejdůležitější odlišností od prvního vzorku je šířka a výška spojů v silové části. Šířka spojů prvního vzorku byla maximálně 2,65 mm a tloušťka měděného spoje byla na celé desce 18 μm . Za předpokladu, že je trvalá provozní zatížitelnost plošného spoje 100 A/mm² [5], by nesplňoval plošný spoj požadavek na maximální proud 16 A. Z tohoto důvodu byly spoje rozšířeny a v místech, kde to bylo možné, vedeny po obou stranách DPS, aby byl spoj lépe chlazen.

První vzorek nebylo možné do krabičky jakkoliv uchytit, proto jsem návrh upravila a přidala dvě díry, kterými se šroubkem deska uchytila ke krabičce do připravených otvorů.

Radiový vysílač modulu Cloony by mohl být rušen signály vedenými po horní straně DPS, z tohoto důvodu jsou na opravené desce spoje vedeny po spodní straně. Aby bylo riziko rušení ještě více sníženo, je v části s řídicí elektronikou na obou stranách desky rozlita měděná zóna signálu GND.

V prvním vzorku jsem pro programování procesoru jsem vyvedla pouze signály TXD, RXD, BOOT a RESET, pro správné naprogramování jsou potřeba i signály GND a 3.3 V, proto bylo nutné opravit i tuto část.

Pro zvýšení ochrany řídicí elektroniky jsem přidala varistor VAR2 dimenzovaný na jmenovité napětí sítě 230 V AC pro zajištění funkce přepětové ochrany.



Obrázek 11: Druhý vzorek uložený v krabičce

4. Tvorba vzorového firmware

Software k chytré zásuvce je napsán v programovacím jazyce C. Kód jsem psala v prostředí Visual Studio Code. Pro nahrávání programu do mikroprocesoru jsem používala program BigClown Toolchain připravený na míru pro prototypovací desky od firmy Hardwario.

Při tvorbě programu jsem využívala API připravené firmou Hardwario, dostupné z webových stránek [6], což vedlo k významnému usnadnění tvorby programu.

Vzorový firmware vychází z obecné struktury projektu pro Core Modul. Hlavními soubory jsou: `application.h`, který vkládá do projektu veškeré již předpřipravené knihovny, `driver` pro obvod `ACS71020.c` a `application.c`, ve kterém je definována základní struktura programu pro chytrou zásuvku. V hlavičkovém souboru `ACS71020.h` jsou deklarovány veškeré dále použité funkce a definovány jsou v souboru `ACS71020.c`.

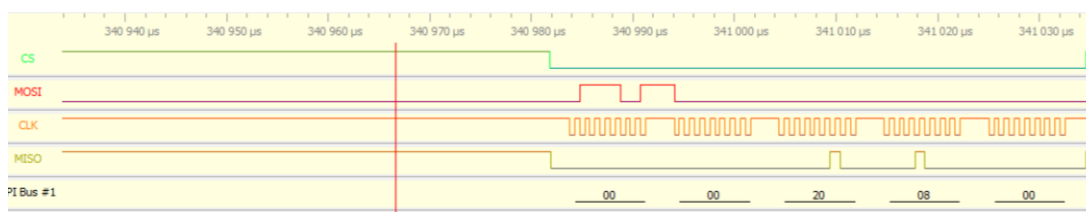
4.1. Sběrnice SPI

Obvod je vyráběn ve variantě s rozhraním I2C a s rozhraním SPI. Pro chytrou zásuvku jsem vybrala variantu s SPI.

Na rozdíl od I2C rozhraní používá SPI samostatnou linku pro vstupní a výstupní data, poskytuje vyšší přenosovou rychlost dat a během každého synchronizačního hodinového impulsu lze souběžně vysílat i přijímat datový bit. Signály jsou

- SCLK (Serial Clock) – synchronizační signál, kterým řídicí zařízení vzorkuje jednotlivé bity,
- MOSI (Master Output Slave input) – data výstupu řídicího zařízení a vstupu podřízeného zařízení,
- MISO (Master Input, Slave Output) – data vstupu řídicího zařízení a výstupu podřízeného zařízení,
- SS (Slave Select) – výběr podřízeného nebo CS (Chip Select) výběr čipu.

Data se přenášejí počínaje nejvyšším bitem. Pro samotný přenos dat existují čtyři režimy přenosu (SPI režim 0 – SPI režim 3), které se liší polaritou a fází synchronizačních signálů [7]. Obvod ACS71020 využívá režim přenosu SPI 3, je v režimu slave. Obvod čeká na chvíli, kdy na lince CS master (modul Cloony) nastaví nízkou úroveň, v tuto chvíli začíná komunikovat. Přesná posloupnost bitů je uvedena na obrázku níže. Master pošle po lince MOSI 7bitovou adresu registru a osmý bit určí, zda má být z registru čteno nebo do něj zapisováno. Jednička znamená čtení, nula zápis. Pokud je z obvodu čteno, následuje 32 bitů, které vyšle obvod jako odpověď po lince MISO.

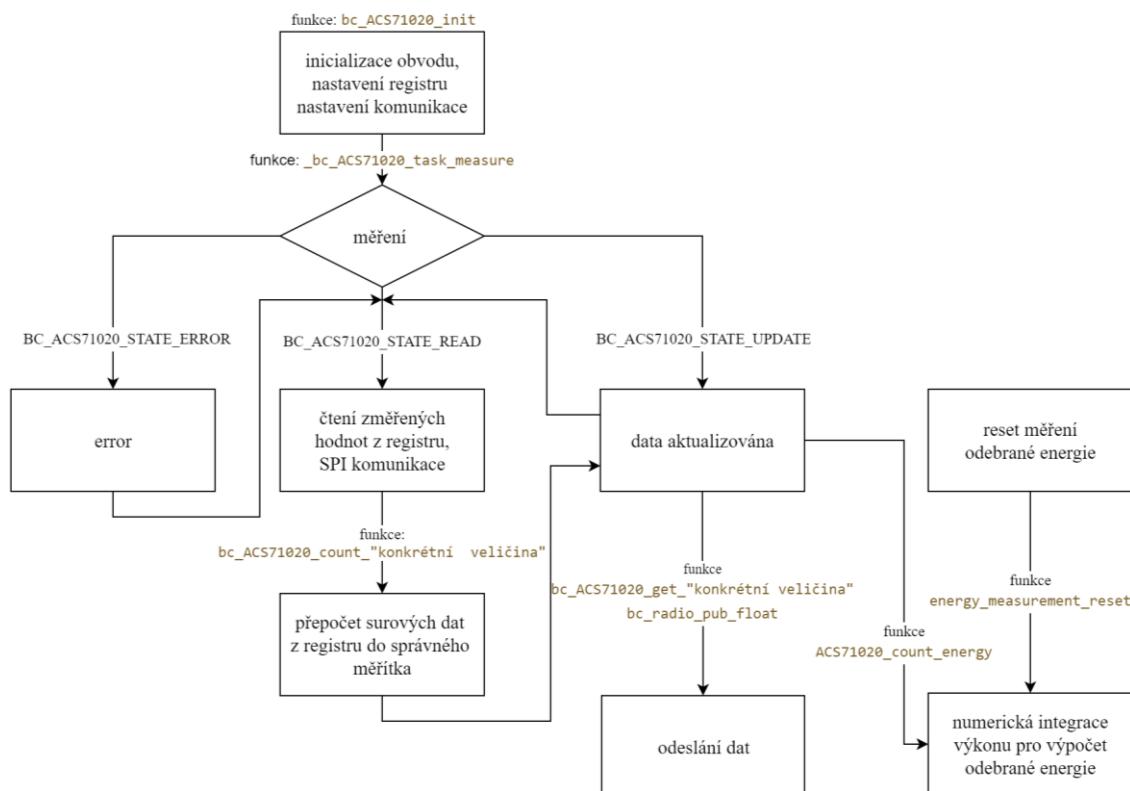


Obrázek 12: Záznam SPI komunikace mezi modulem Cloony a měřicím obvodem ACS71010

4.2. Driver pro komunikaci s obvodem ACS71020

Hlavičkový soubor ACS71020.h a soubor ACS71020.c jsou základními stavebními bloky celého programu chytré zásuvky. Podrobnou dokumentaci vytvořenou v programu Doxygen uvádím v příloze 4, zde tedy zmiňuji jen nejpodstatnější informace. Úvodní inicializační funkce nastaví komunikaci přes rozhraní SPI a nastaví potřebné registry měřicího obvodu zejména kvůli nastavení průměrování hodnot proudu. Funkce ve tvaru `bc_ASC71020_count_“veličina“` vezme surová data z registru, přečte je a vrátí hodnotu odpovídající velikosti dané veličiny v konkrétním okamžiku. Samotné čtení hodnot, které jsou uloženy v registrech provádí funkce `_bc_ASC71020_task_measure`.

V souboru `application.c` jsou funkcí `application_init` inicializovány veškeré potřebné periferie. Funkce `acs_event_handler` je volána na základě volitelného intervalu, pokud je zavolána, a od jejího posledního zavolání bylo provedeno měření, jsou nové hodnoty uloženy do proměnných. Funkce `bc_radio_node_on_state_set` je naopak zavolána ve chvíli, kdy je z centrální gateway zadán požadavek na sepnutí či rozepnutí relé. Odebraná energie je numericky integrována z okamžitých hodnot činného výkonu metodou levého odhadu.



Obrázek 13: Vývojový diagram pro měření

4.3. Bezdrátová komunikace modulu Cloony a Radio Dongle

S akcemi a reakcemi se v IoT pracuje obecně způsobem, kdy senzor odesílá informaci, ale neříká, co se s ní má stát. Informaci od senzoru přebírá akční člen, který řekne, co se má stát dále. Pokud mezi akční člen a senzor vložíme další vrstvu, rozšiřují se možnosti, jak senzory a akční členy využívat.

V IoT se pro přenášení naměřených informací využívá protokol MQTT. V MQTT síti je použit návrhový vzorec Publish–Subscribe. Zařízení, které data odesílá bez ohledu na to, kým budou přijata se nazývá Subscriber, Publisher je zařízení, které se přihlásí k odběru dat a data přijímá. Zařízení může být současně Publisher a Subscriber a data může odesílat i přijímat. Pro případ mé chytré zásuvky v režimu Publisher odesílá naměřená data a v režimu Subscriber přijímá informaci o tom, zda má být relé sepnuté nebo rozepnuté či zda má být resetováno měření energie. Předávání dat zprostředkovává MQTT Broker, který přijímá data od Publisheru a vysílá data Subscriberu.

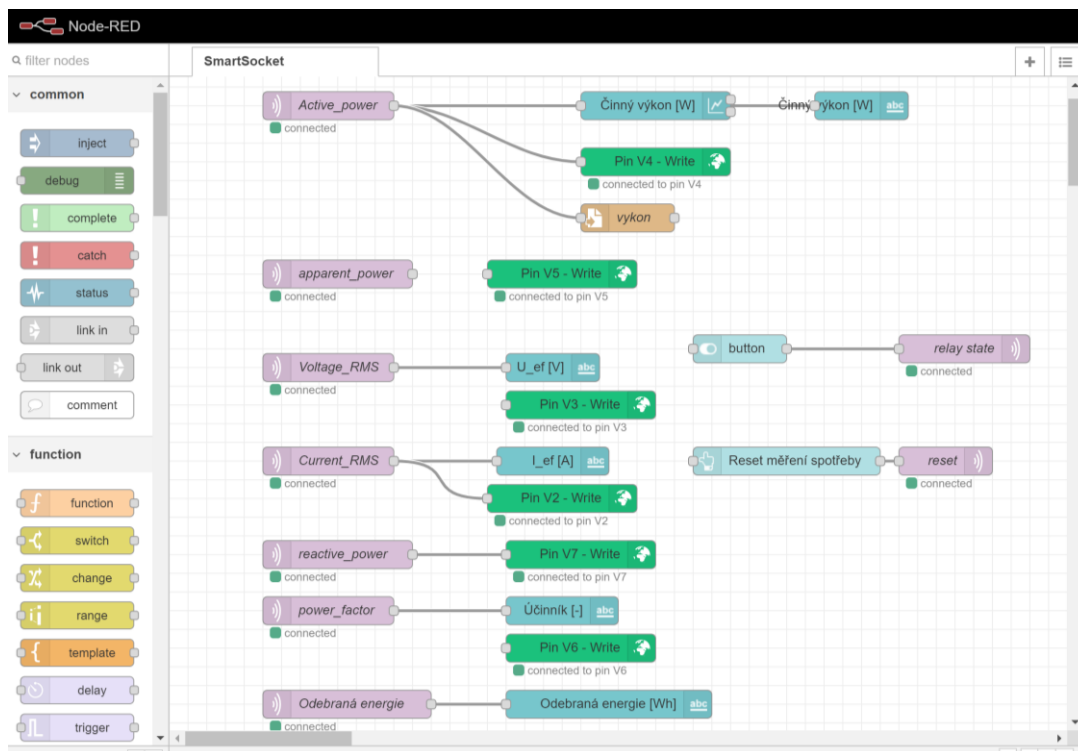
Vzájemná komunikace je založena na posílání zpráv, které se skládají z Topic (téma zprávy) a Payload (hodnota). Pokud chytrá zásuvka odesílá zprávu ve tvaru ACS71020:0/active_power:“payload“, její význam je

- ACS71020 značí, že se jedná o zprávu odesílanou chytrou zásuvkou,
- 0 quality of service (0 značí odeslání bez kontroly doručení),
- active_power říká, která proměnná je odesílána,

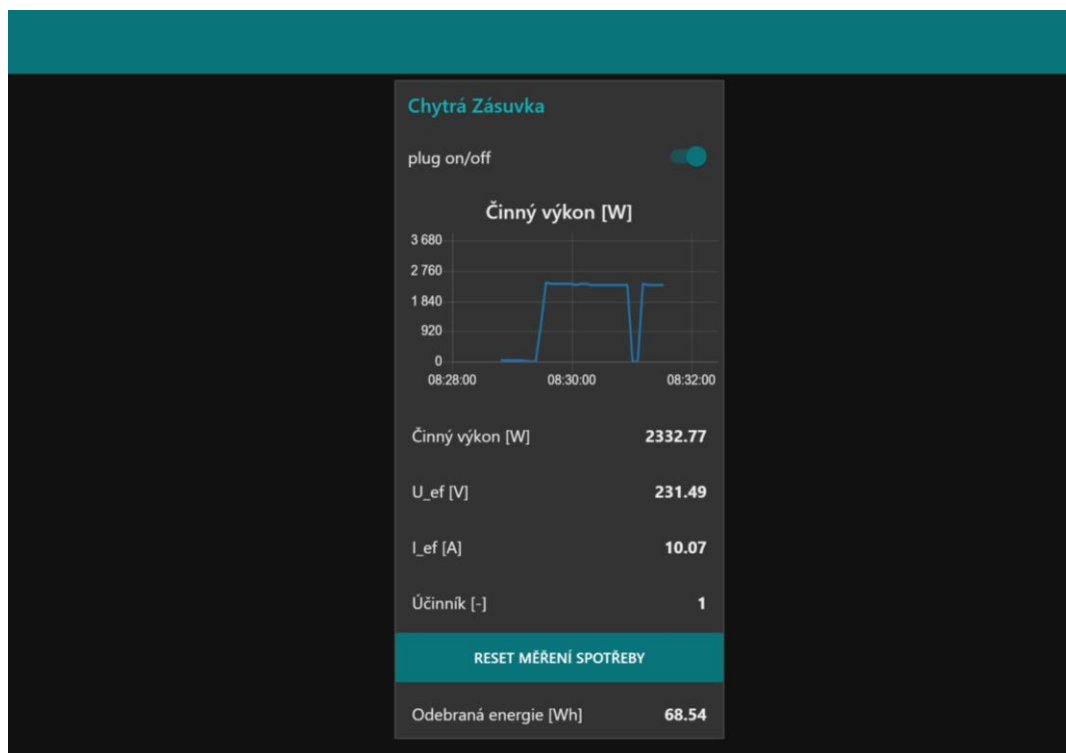
poté následuje payload, což je hodnota odesílané veličiny.

4.4. Tvorba grafického rozhraní v aplikaci Hardwario Playground

Pro jednoduché zobrazování hodnot jsem používala aplikaci pro IoT Hardwario stavebnici Hardwario Playground. Aplikace využívá nástroj pro grafické programování Node-RED s doplňky, které umožňují jednoduché propojení modulů stavebnice s Node-REDEM a usnadňují programování. Po nakonfigurování příjmu zpráv s využitím MQTT protokolu je možné jednoduše zobrazit naměřené hodnoty a nastavit switch pro přepínání relé. Na obrázku (Obrázek 14) je flow v programu Node-RED pro nakonfigurování zobrazování dat. Růžové bloky nastavují odeslání/příjem dat přes MQTT protokol, modré bloky zobrazují data ve zvoleném formátu na integrovaném dashboardu, button slouží ke spínání relé, zelené bloky mohou být použity v případě propojení s mobilní aplikací pro IoT systémy Blynk a hnědý blok slouží k zápisu měřených dat do souboru.



Obrázek 14: Flow v programu Node-RED pro zobrazení měřených hodnot a dálkové sepnutí



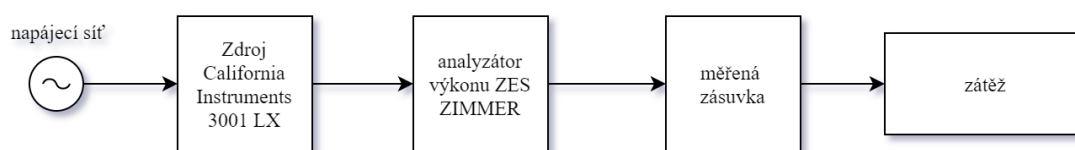
Obrázek 15: Dashboard v aplikaci Hardwarío Playground při dálkovém ovládní elektrického topení

5. Ověření funkčnosti zařízení

5.1. Měření zásuvky EMOS P5801 a VOLTCRAFT SEM 6000

Pro možnost objektivnějšího posouzení přesnosti měření dostupných chytrých zásuvek jsem vybrala dvě zařízení, na kterých jsem provedla měření. Testovala jsem parametry snadno dostupného měřiče výkonu a elektrické energie a porovnávala kvalitu jím získaných dat s daty naměřenými profesionálním měřicím přístrojem pro různé typy zátěže, pro různá napájecí napětí a pro různé napájecí frekvence. Toto měření bylo provedeno na měřiči spotřeby energie EMOS P5801 bez dálkového ovládání a na chytré zásuvce VOLTCRAFT SEM 6000. Totožné měření bude provedeno pro první i druhý vzorek, aby mohla být jednotlivá zařízení srovnána.

Schéma zapojení



Obrázek 16: Schéma zapojení pro měření chytrých zásuvek

Použité přístroje

Měřicí přístroj – přesný wattmetr

- ZES ZIMMER LMG 310

Laboratorní napájecí zdroj California Instruments

- Model 3001 ix
- 3 kVA AC Power source

Měřené zásuvky

Testovaný výrobek EMOS P5801

- Jmenovité napětí: 230 V AC, 50 Hz
- Jmenovitý proud: 16 A
- Maximální zatížení: 3680 W
- Pracovní napětí: 175–276 V, 50 Hz
- Měřicí rozsah: 2–3680 W

Testovaný výrobek VOLTCRAFT SEM 6000

- Jmenovité napětí: 230 V AC
- Jmenovitý proud: 16 A
- Maximální zatížení: 3680 W
- Pracovní napětí: 220 až 240 V/AC
- Měřicí rozsah: 0,23–3680 W

5.1.1. EMOS P5801

Zátěž	Měřicí přístroj: ZES ZIMMER				Měřicí přístroj: P5801				
	U_{ef} [V]	I_{ef} [A]	P [W]	λ [-]	U_{ef} [V]	I_{ef} [A]	P [W]	$\cos \varphi$ [-]	Δ_P [%]
R	234,7	0,03	2,5	0,42	234,8	0,01	1,9	1,00	24,90
R	234,9	0,03	3,2	0,48	234,5	0,01	2,5	1,00	20,63
R	234,9	0,13	30,2	0,99	234,2	0,12	29,0	1,00	3,97
R	234,2	1,32	308,8	1,00	232,5	1,28	298,7	1,00	3,27
R	233,5	2,15	500,9	1,00	232,4	2,09	485,6	1,00	3,05
<i>R*</i>	232,8	4,31	1002,0	1,00	231,3	3,21	743,0	1,00	25,85
R	233,1	4,30	1002,0	1,00	231,8	4,20	974,0	1,00	2,79
R	232,4	6,48	1504,0	1,00	230,0	6,32	1457,0	1,00	3,13
R	231,2	8,83	2042,0	1,00	228,6	8,66	1980,0	1,00	3,04
R	230,1	10,95	2520,0	1,00	227,7	10,77	2461,0	1,00	2,34
R	229,1	13,40	3071,0	1,00	225,9	13,18	2985,0	1,00	2,80
R	228,4	15,20	3470,0	1,00	225,8	15,03	3398,0	1,00	2,07
RL	234,2	2,11	337,0	0,68	233,7	2,08	330,0	0,70	2,08
RL	234,2	2,10	263,0	0,53	233,0	2,08	258,3	0,55	1,79
RL	233,3	2,37	159,0	0,29	234,0	2,36	161,4	0,29	1,51
<i>RL*</i>	233,9	0,58	31,2	0,23	233,9	2,38	139,5	0,26	347,12
<i>RC*</i>	234,6	0,87	26,6	0,13	234,7			0,26	
RC	235,0	0,31	3,9	0,05	235,0	0,28	3,1	0,04	20,51
RC	235,2	0,87	26,8	0,13	234,8	0,83	24,9	0,12	7,09
RC	235,4	0,88	4,6	0,02	235,2	0,84	3,3	0,01	28,57
RC	233,1	5,29	995,0	0,81	231,5	5,16	965,9	0,81	2,92
RC	234,2	8,82	373,0	0,18	235,1	8,63	436,0	0,17	16,89
Napájení ze zdroje California instruments									
Spínaný zdroj 12V/2A	230,4	0,05	2,4	0,20	230,1	0,02	1,5	0,28	38,52
jmenovitá zátěž 200 W	230,2	1,70	200,2	0,51	229,8	1,68	194,4	0,50	2,90
	229,1	6,43	1473,0	1,00	227,7	6,29	1435,0	1,00	2,58
Nestandardní napětí	173,3	9,65	1672,0	1,00	170,9	9,47	1620,0	1,00	3,11
	274,8	7,70	2115,0	1,00	273,5	7,54	2006,0	0,81	5,15
Napájecí frekvence 45 Hz	229,0	6,37	1463,0	1,00	227,4	6,27	1427,0	1,00	2,46
Napájecí frekvence 60 Hz	225,0	6,38	1461,0	1,00	227,8	6,26	1429,0	1,00	2,19

Tabulka 3: Naměřené hodnoty na zásuvce EMOS P5801

Zhodnocení měření

Z výše uvedené tabulky (Tabulka 3) můžeme posoudit přesnost naměřených dat zařízením P5801. V posledním pravém sloupci je vynesena relativní chyba měřeného činného výkonu.

Pro nízké výkony je chyba měření nezanedbatelná, nezkreslené hodnoty dostaneme až pro výkony v desítkách wattů. Řádky uvedené kurzívou a označeny hvězdičkou jsou změřeny po rozpojení obvodu. Pokud je obvod za měřícím přístrojem rozpojen a jsou změněny jeho parametry (pro měřený případ byla měněna Z), po jeho opětovném sepnutí jsou zobrazovány hodnoty z posledního měření. Pro získání správných hodnot musíme měřicí přístroj také odpojit, vypnout a znovu zapojit.

Příznivé výsledky jsme získali pro měření účinníku. Pro výrazně induktivní i kapacitní zátěž se hodnoty naměřené jednotlivými přístroji liší zanedbatelně.

S využitím zdroje California Instruments byla ověřována přesnost měření pro výrobcem udávané pracovní napětí odlišné od síťového. Z tabulky můžeme vidět, že při napájecím napětí 274 V neodpovídá naměřená hodnota účinníku skutečné hodnotě, ovšem již při snížení napětí na 250 V je zobrazována správná hodnota $\cos \varphi = 1$.

Napájecí frekvence	Zobrazovaná frekvence
45 Hz	50 Hz
60 Hz	60 Hz

Tabulka 4: Napájecí a zobrazovaná frekvence wattmetrem P5801

Zařízení EMOS P5801 má funkci zobrazování napájecí frekvence. Ve výše uvedené tabulce je zaznamenaná napájecí frekvence a zobrazená frekvence, je tedy zřejmé, že přístroj neumí měřit přesně frekvenci. Hodnota zobrazované frekvence může být pouze 50 Hz a 60 Hz, přístroj tedy nezobrazí přesnou frekvenci ale jen tu, ke které je skutečná frekvence blíže.

Z tabulky naměřených hodnot lze vyčíst, že přístroj dokáže měřit i nesinusové odběry, na displeji je však nesprávně uváděno, že jde o $\cos \varphi$, nikoli o účinník λ .

5.1.2. VOLTCRAFT SEM 6000

Zátěž	ZES ZIMMER				VOLTCRAFT SEM 6000				
	U_{ef} [V]	I_{ef} [A]	P [W]	λ [-]	U_{ef} [V]	I_{ef} [A]	P [W]	λ [-]	ΔP [%]
naprázdno	235	0,01	0,8	0,319					
R	234	0,07	16,7	0,991	233	0,09	20,6	0,974	23
R	233,8	0,45	105,1	1	232	0,59	134	0,981	27
R	232,8	1,33	309,5	1	231	1,76	400	0,984	29
R	233,1	2,19	501,1	1	231	2,90	657	0,983	31
R	231,7	5,07	1175,0	1	229	6,71	1511	0,981	29
R	228,9	9,95	2277,0	1	227	13,17	2932	0,984	29
R	228,8	10,94	2503,0	1	226	14,40	3216	0,981	28
spínaný zdroj	233,6	1,46	200,5	0,586	232	1,99	255,8	0,551	28
RL	234,3	2,84	68,8	0,13	232	3,70	104,2	0,12	51
L	234,4	2,86	33,5	0,05	233	3,37	54	0,067	61
C	234,6	7,52	7,5	0,004 c	233	9,90	0	0	-

Tabulka 5: Naměřené hodnoty chytrou zásuvkou Voltcraft SEM 6000

Zhodnocení měření

Tento přístroj je provedením typický představitel chytrých zásuvek momentálně dostupných na trhu. Ač je velmi dobře designově zpracován, má vlastní aplikaci pro ovládání a sledování spotřeby a je v porovnání s mnou vyráběnou zásuvkou několikanásobně menší, chyba měření je natolik výrazná, že lze přístroj používat pouze pro velmi přibližné sledování výkonu.

Výrobce uvádí maximální možný proud 16 A, jedná se ovšem pouze o teoretickou hodnotu. Zásuvka má vypnout při proudu 16 A, vlivem špatného měření dojde k vypnutí již při proudu 13 A, není tedy možné využít celý uváděný rozsah.

Pozitivním poznatkem je schopnost měřit nesinusový odběr, když byl ze zásuvky napájen počítačový spínaný zdroj, nedošlo ke změně chyby měření. Naopak při měření kapacitní či indukční zátěže chyba měření znatelně roste.

5.2. Měření prvního vzorku

Abych mohla ověřit funkčnost zařízení a porovnat jeho přesnost s konkurenčními přístroji, bylo provedeno kontrolní měření prvního vzorku. Zapojení bylo stejné jako v případě měření zakoupených chytrých zásuvek (Obrázek 16). Naměřené hodnoty uvádím níže v tabulce.

Zátěž	ZES ZIMMER				ACS71020			
	U_{ef} [V]	I_{ef} [A]	P [W]	λ [-]	U_{ef} [V]	I_{ef} [A]	P [W]	Δp [%]
R	230,3	0,1	22,9	0,99	231,1	0,12	22	5
R	230,2	0,2	46,0	0,99	231,22	0,2	45	5
R	230,1	0,4	92,0	1,00	232,2	0,4	90	5
R	229,7	1,0	229,8	1,00	231,66	1	230	5
R	229,8	2,0	458,0	1,00	231,53	1,96	454,0	5
R	229,5	3,0	688,9	1,00	231	3	694,0	5
R	229,2	4,0	917,2	1,00	230,75	3,98	919,0	5
R	229	5,0	1144,0	1,00	228,1	4,97	1144,0	5
R	228,7	6,0	1372,0	1,00	228,6	5,98	1371,2	5
R	228,9	8,1	1844,0	1,00	228,1	8,03	1830,0	5
RL	229,9	2,6	242,4	0,40	231,2	2,6	243,0	5
RC	229,2	5,0	1042,0	0,91	230,5	4,99	1042,0	5
P1*	230,1	1,7	201,9	0,53	232	1,6	202,0	5
P2*	229,7	2,8	633,3	0,99	230,2	2,77	638,0	5

Tabulka 6: Měření prvního vzorku

*P1: počítačový zdroj bez korekce účinníku, P2 spínaný zdroj s korekcí účinníku

Zhodnocení měření

Měřené efektivní hodnoty proudu a činného výkonu nebyly konstantní, v tabulce je zapsána jejich střední hodnota, chyby údajů zobrazovaných chytrou zásuvkou byly pro všechna měření v rozmezí $\pm 5\%$ hodnoty uvedené v tabulce. Obvod ACS71020 nabízí možnost průměrování, tento problém by tedy nemělo být složité odstranit. Mimo měření uvedených v tabulce jsem měřila chování při sníženém střídavém napětí, se stejnou přesností měření jako při jmenovitém napětí dokázal obvod měřit správně do 15 V.

Zkoušela jsem i elektromagnetickou odolnost zařízení při krátkodobém poklesu napětí, při krátkých přerušeních napětí a odolnost proti skupinám impulzů. Zařízení prošlo testem s následujícími výsledky:

- Zvládlo pokles napětí na nulu podle normy ČSN EN 61000-4-11 nejdéle po dobu 0,8 s (40 period) s funkčním kritériem A
- Pro skupinu impulzů dle normy ČSN EN 61000-4-4 s amplitudou 500 V a 1000 V prošlo s funkčním kritériem A, pro impulzy s amplitudou 2000 V s funkčním kritériem B.

5.3. Měření druhého vzorku

Pro ověření funkčnosti jsem provedla kontrolní laboratorní měření i na druhém vzorku. Parametry měření byly stejné jako v předchozích případech, použité měřicí přístroje jsou popsány v kapitole 5.1, schéma zapojení je totožné s předchozí kapitolou (Obrázek 16).

Zátěž	ZES ZIMMER				VOLTCRAFT SEM 6000				
	U_{ef} [V]	I_{ef} [A]	P [W]	λ [-]	U_{ef} [V]	I_{ef} [A]	P [W]	λ [-]	Δ_P [%]
naprázdno	234,2	0,0031	0,257	0,352					
R	234	0,071	16,69	0,992	232	0,07	12	0,7	28,1
R	233,9	0,215	50,26	0,99	231	0,22	48,5	0,96	3,5
R	233,9	0,447	104,6	1	231	0,44	101,5	1	3,0
R	232,6	2,586	601,4	1	230	2,58	594	1	1,2
R	231,5	4,89	1132	1	231	4,9	1140	1	0,7
R	230,1	7,07	1626	1	231	7,07	1587	0,97	2,4
R	227,8	10,5	2395	1	224	10,5	2357	1	1,6
R	227,3	13,37	3039	1	224	13,4	2985	1	1,8
R	226	16	3616	1	222	15,9	3538	1	2,2
spínaný zdroj	234	1,48	199,7	0,57	231	1,37	193	0,61	3,4
RC	233	6,96	581,2	0,358c	230	6,95	567	0,35	2,4
RC	234	7,41	253,7	0,146c	321	7,38	245	0,1	3,4
RC	234,3	7,552	8,9	0,005c	231	7,4	8,4	0,01	5,6
RL	233,4	2,55	254	0,427	232	2,74	257	0,41	1,2
RL	234	2,84	68,3	0,103	231	2,84	62	0,1	9,2
Napájení ze zdroje California instruments									
R, 50 Hz	228,8	6,45	1477	1	226	6,41	1451	1	1,8
R, 40 Hz	228,8	6,45	1475	1	226	6,41	1451	1	1,6
R, 60 Hz	228,2	6,45	1475	1	225	6,45	1444	1	2,1
R, 50 Hz, 50 V	49,75	4,11	70,4	1	49	4,1	67,99	1	3,4

Tabulka 7: Výsledky měření druhého vzorku

Zhodnocení měření

Vliv průměrování měřených hodnot je zřejmý na chybě v pravém sloupci. Zapsané hodnoty jsou na rozdíl od prvního měření hodnotami přímo zobrazovanými, které byly konstantní. Chyba měření je v průměru 3 % narozdíl od předchozích 5 %. Snížení chyby je dosaženo průměrováním hodnot činného výkonu.

Měřením bylo potvrzeno, že úpravy umožňují využít maximální rozsah proudového zatížení 0–16 A.

S využitím zdroje California Instruments byla ověřována přesnost měření při sníženém napětí a při frekvenci odlišné od síťové. Ani v jedné ze situací nedošlo ke zhoršení přesnosti měření.

Druhý vzorek jsem obdobě jako první testovala z hlediska jeho elektromagnetické kompatibility. Zkoušela jsem odolnost zařízení skupinou rychlých impulzů, rázovým impulzem a odolnost při krátkodobém poklesu napětí a krátkých přerušení napětí. Zkoušené zařízení bylo napájeno ze zkušebního generátoru a bylo zatíženo odporovou zátěží 570 ohm, jím měřený činný příkon byl přibližně 95 W. Zařízení prošlo testem s následujícími výsledky:

- Zvládlo pokles napětí na nulu podle normy ČSN EN 61000-4-11 nejdéle po dobu 0,8 s po 20 opakování s funkčním kritériem A
- Skupina rychlých impulzů dle normy ČSN EN 61000-4-4
 - Testované zařízení bylo položeno 10 cm nad rovinu
 - Parametry testu: ± 2 kV, 5/50 Tr/Th ns, opakovací frekvence 5 kHz po dobu 1 minuty

	Kladná polarita	Záporná polarita
L–N	A	A
L–PE	A	A
N–PE	A	A

Tabulka 8: Funkční kritérium testované zásuvky pro jednotlivá zapojení

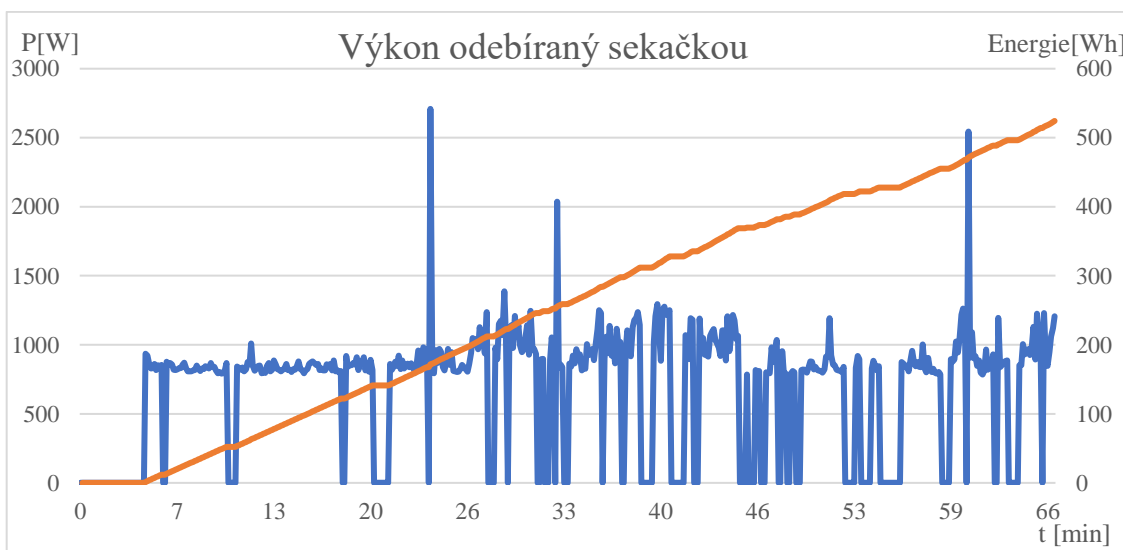
- Zkouška odolnosti rázovým impulzem podle normy ČSN EN 61000-4-5

Pulzy střídavé polarity o velikosti 1 kV byly generovány po dobu 5 minut, doba mezi pulzy byla 60 s.

- L–PE zařízení prošlo testem s funkčním kritériem A
- L–N při testu na přepětí zareagoval varistor a došlo k přepálení pojistky, po vyměnění pojistky bylo zařízení dále plně funkční

5.4. Měření výkonu odebíraného sekačkou

Pro ověření chování zásuvky v reálných podmínkách jsem měřila výkon odebíraný sekačkou LUX Highwheel E-1600/38 s jmenovitým výkonem elektromotoru 1600 W při sekání travního porostu na zahradě.



Obrázek 17: Výkon odebíraný sekačkou a celková odebraná elektrická energie

Zhodnocení měření

V grafu (Obrázek 17) jsou vyneseny naměřené hodnoty. Odečet měřených hodnot byl prováděn a zapisován každých 5 s. Lze si všimnout, že odebíraný výkon není konstantní. Velikost odebíraného výkonu přímo souvisí s výškou travního porostu. V místech, kde byla znatelně vyšší tráva, vzrostl i odebíraný výkon. Špičky odebíraného výkonu souvisí se spouštěním sekačky. K vzorkování došlo přesně ve chvíli, kdy byl při spuštění odebíraný záběrný proud motoru násobně větší, než je jmenovitý proud.

Problémem při měření byla bezdrátová komunikace. Zásuvka po určité době přestane komunikovat s přijímačem v notebooku. Tento problém jsem řešila s konzultantem z firmy Hardwario. Problémem je struktura programu firmy Hardwario původně určeného pro méně intenzivní komunikaci. V aplikacích pro realizaci chytré domácnosti s využitím IoT stavebnice Hardwario jsou data odesílána s periodou několika minut nikoli sekund a ve většině případů je odesílána jen jedna hodnota. Z tohoto důvodu pravděpodobně dojde časem ke zhroucení programu. Pokud by měla být chytrá zásuvka použita v aplikacích, kdy je potřeba odesílat informaci o odebíraném výkonu s periodou v řádu sekund, bylo by nutné upravit software pro bezdrátovou komunikaci na míru chytré zásuvce.



Obrázek 18: Sestava pro měření výkonu odebíraného sekačkou při kontrolním měření

6. Přehled zkoušek potřebných pro uvedení zařízení na trh

Zákon č. 22/1997 o technických požadavcích na výrobky deklaruje, že stanovené výrobky mohou výrobci nebo dovozci uvést na trh, popřípadě do provozu, pouze tehdy, pokud tyto výrobky splňují technické požadavky všech nařízení vlády, které se na ně vztahují [12]. Tato kapitola se stručně zabývá přehledem zkoušek souvisejících s uvedením výrobku na trh nebo do provozu.

Splnění technických požadavků na výrobky daných především zákonem 22/1997 v aktuálním znění lze prokázat buď provedením zkoušek podle harmonizovaných norem nebo kontrolou dle vlastní metodiky. V tomto případě je nutné podrobně zpracovat dokumentaci k prováděným zkouškám včetně veškerých výkresů, výpočtů a zkušebních protokolů. Z důvodu náročnosti testování podle vlastní metodiky je standardním řešením testování dle zkoušek uvedených v harmonizovaných normách.

Harmonizované normy jsou zpracovány pro běžná zařízení. Pokud nespadá testované zařízení do kategorie popisované některou z norem, je třeba najít normy, které se věnují podobným zařízením. Pro posouzení shody chytré zásuvky bude vhodné uvažovat následující směrnice

- *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/35/EU o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se dodávání elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí na trh*
- *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/30/EU o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se elektromagnetické kompatibility.*

Pro chytré zásuvky neexistuje samostatná norma, pro posouzení shody jsem vybrala následující normy

- *ČSN IEC 60884-1 (354515) Vidlice a zásuvky pro domovní a podobná použití – Část 1: Všeobecné požadavky*
- *ČSN IEC 60884-2-7+A1 (354515) Vidlice a zásuvky pro domovní a podobná použití – Část 2-7: Zvláštní požadavky na prodlužovací přírůdky*
- *ČSN EN 61326-1 (356509) Elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení – Požadavky na EMC – Část 1: Všeobecné požadavky.*

Všechny normy se z části věnují testování mechanické odolnosti zařízení. Jelikož jsem pro uložení řídicí elektroniky použila standardizovanou krabičku, zkouškám vnější mechanické odolnosti jsem se nevěnovala.

Dle přílohy A normy ČSN IEC 60884-1 (354515) je nutné provést následující zkoušky:

- zkouška správného zapojení fázového (L) a středního vodiče (N),
- zkouška ochranného spojení,
- zkouška spojení nakrátko/nesprávného spojení a zmenšení povrchových cest a vzdušných vzdáleností povrchových cest mezi fázovým vodičem (L) nebo středním vodičem (N) a ochranným vodičem.

Dle normy ČSN EN 61326-1 (356509) pro základní elektromagnetické zařízení, ve kterém je předpokládáno použití chytré zásuvky, je nutné provést

- zkoušku elektromagnetické odolnosti při krátkodobém poklesu napětí podle normy ČSN EN 60001-4-11,
- zkoušku elektromagnetické odolnosti při krátkodobém přerušení napětí dle normy ČSN EN 61000-4-11,
- zkoušku elektromagnetické odolnosti při rychlých elektrických přechodných jevech/skupině impulsů podle normy ČSN EN 61000-4-4,
- zkoušku elektromagnetické odolnosti rázovým impulzem nesymetricky, symetricky podle normy ČSN EN 61000-4-5,
- zkoušku vedené RF dle normy ČSN EN 61000-4-6.

Další požadavky na zařízení plynou ze *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2011/65/EU o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních*. Tato směrnice omezuje použití olova a stanovuje maximální hodnoty hmotnostní koncentrace tolerované v homogenních materiálech, pro pájení je tedy nutné použít bezolovnatou pájku.

Zařízení nespadá pod žádné dosud vydané nařízení evropské komise pro ekodesign podle *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES o stanovení rámce pro určení požadavků na ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie*, přesto je vhodné obecné principy zohlednit. Příkladem může být pojistka, kterou je možné v případě přepálení vyměnit a nedojde k znehodnocení celého zařízení.

Závěr

Cílem této bakalářské práce byla výroba funkčního vzorku chytré zásuvky od výběru součástek přes návrh elektrického zapojení, návrh a realizaci desky plošného spoje po programové vybavení zařízení a celkové oživení a provedení vzorových měření.

Dle základních požadavků na zařízení byla provedena rešerše integrovaných obvodů pro měření jednofázového výkonu a na základě jejich výsledků byl vybrán obvod ACS71020 od firmy Allegro MicroSystems. K měření proudu využívá Hallovu sondu, napětí je měřeno na rezistoru napěťového děliče.

Následně bylo navrženo základní blokové schéma zařízení. Řídicím modulem je prototypová deska Hardwario Cloony s mikroprocesorem STM32L083CZ, která řídí spínání elektromagnetického relé pro možnost odpojení zátěže od sítě a komunikuje s měřicím obvodem přes sběrnici SPI. Napájení řídicí elektroniky je zajištěno izolovaným AC/DC zdrojem 230 V/5 V, ze kterého je napájena cívka relé, pro napájení modulu Cloony a integrovaného obvodu je napětí stabilizováno lineárním stabilizátorem napětí na 3,3 V.

Celé zařízení je uloženo v krabičce, která byla vybrána s ohledem na dostatečné místo uvnitř pro umístění řídicí elektroniky. Pro rozměry vybrané krabičky byla navržena deska plošného spoje. Při oživování prvního vzorku vznikly podněty, na základě kterých byl přepracován návrh DPS pro možnost vyššího proudového zatížení a pro ochranu řídicí elektroniky byl k stávající pojistce přidán varistor.

Základní software k chytré zásuvce je napsán v programovacím jazyce C s využitím API pro prototypovací desku Hardwario Cloony. Ze zásuvky jsou naměřené hodnoty odesílány radiovým vysílačem pracujícím v pásmu 868 MHz do přijímače zapojeného do PC nebo Raspberry Pi, kde jsou naměřené hodnoty zobrazovány, zpracovány a případně mohou být dále odesílány do mobilní aplikace nebo ukládány do databázového systému, z PC je naopak dálkově ovládáno relé.

Pro možnost objektivního srovnání vyrobené chytré zásuvky a komerčních produktů byly zakoupeny a proměřeny dvě odlišné chytré zásuvky. Zatímco přesnost měření zásuvky EMOS P5801 byla srovnatelná s přesností funkčního vzorku, přesnost měření zásuvky VOLTCRAFT SEM 6000 byla mnohonásobně nižší, z tohoto hlediska je zařízení plně konkurenceschopné.

Pro zjištění elektromagnetické kompatibility byla zkoušena odolnost vůči rychlým elektrickým přechodným jevům/skupině impulzů, rázovému impulzu nesymetricky, symetricky a odolnost zařízení při krátkodobém poklesu napětí a krátkých přerušení napětí. Pro možnost reálného uvedení na trh by bylo nutné provést další zkoušky, jejichž přehled je zpracován v kapitole 6.

Výsledkem práce je funkční vzorek chytré zásuvky, která měří činný výkon, odebranou energii, a umožňuje dálkové spínání a odepínání zátěže od sítě.

Literatura

- [1] HAASZ, Vladimír, Jan HOLUB, Michal JANOŠEK, Petr KAŠPAR a Vojtěch PETRUCHA. Elektrická měření: přístroje a metody. 3. přepracované vydání. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2018. ISBN 978-80-01-06412-2
- [2] Alegro Microsystems. [online katalogový list]. ACS71020. © 2019 [cit. 5. 6. 2020]. Dostupné z: <https://www.allegromicro.com/-/media/files/datasheets/acs71020-datasheet.ashx>
- [3] Traco Electronic AG. [online katalogový list]. TMPS 05. © 2016. [cit. 5. 6. 2020]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/d1c9cd5c900987a008a2a0454f3785a2/tmps05-datasheet.pdf>
- [4] Texas Instruments. Incorporated [online katalogový list]. LP5907. © 2018. [cit. 7. 6. 2020]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/gpn/lp5907>
- [5] ZÁHLAVA, Vít. Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu. Praha: BEN – technická literatura, 2010. ISBN 978-80-7300-266-4.
- [6] Hardwario [online dokumentace]. [cit 8.6. 2020]. Dostupné z: <https://sdk.hardwario.com/index.html>
- [7] GOOK, Michael. Hardwarová rozhraní: průvodce programátora. Brno: Computer Press, 2006. Hardware (Computer Press). ISBN 80-251-1019-2.
- [8] HEROUT, Pavel. Učebnice jazyka C. 4., přeprac. vyd. České Budějovice: Kopp, 2004. ISBN 80-7232-220-6.
- [9] ČSN IEC 60884-1-2. Vidlice a zásuvky pro domovní a podobná použití – Část 1: Všeobecné požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2003. Třídící znak: 354515
- [10] ČSN IEC 60884-2-7+A1. Vidlice a zásuvky pro domovní a podobná použití – Část 2-7: Zvláštní požadavky. na prodlužovací příklady Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2011. Třídící znak: 354515
- [11] ČSN EN 61326-1. Elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení – Požadavky na EMC - Část 1: Všeobecné požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Třídící znak: 356509
- [12] CETL, Tomáš. Profesionální vzdělávání v oblasti elektromagnetické kompatibility. Praha: Česká elektrotechnická společnost, 2010. ISBN 978-80-02-02225-1.
- [13] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2011/65/EU ze dne 8. června 2011 o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních Text s významem pro EHP. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32011L0065>
- [14] ČSN EN 61 000-4-11. Elektromagnetická kompatibilita (EMC), Část 4: Zkušební a měřicí technika, Oddíl 11: Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí – Zkoušky odolnosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1996. Třídící znak: 33 3432

[15] ČSN EN 61 000-4-4. Elektromagnetická kompatibilita (EMC), Část 4- 4: Zkušební a měřicí technika – Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů – Zkouška odolnosti Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2005. Třídící znak: 33 3432

[16] ČSN EN 61 000-4-5. Elektromagnetická kompatibilita (EMC), Část 4: Zkušební a měřicí technika, Oddíl 5: Rázový impuls – zkouška odolnosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1997. Třídící znak: 33 3432

[17] ČSN EN 61 000-4-6. Elektromagnetická kompatibilita (EMC), Část 4: Zkušební a měřicí technika, Oddíl 6: Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1997. Třídící znak: 33 3432

Seznam obrázků

Obrázek 1: Obecné blokové schéma chytré zásuvky	3
Obrázek 2: Blokové schéma číslicového wattmetru	5
Obrázek 3: Blokové schéma chytré zásuvky	7
Obrázek 4: Krabička – pohled zvenku.....	10
Obrázek 5: Krabička – pohled zevnitř	10
Obrázek 6: Schéma zapojení napájecího zdroje 5 V DC	11
Obrázek 8: Zapojení elektromagnetického relé – kontakty	11
Obrázek 7: Zapojení ovládací cívky relé	11
Obrázek 9: Zapojení stabilizátoru napětí	12
Obrázek 10: Osazený první funkční vzorek (vpravo) a Core modul (vlevo).....	12
Obrázek 11: Druhý vzorek uložený v krabičce.....	13
Obrázek 12: Záznam SPI komunikace mezi modulem Cloony a měřicím obvodem ACS71010	14
Obrázek 13: Vývojový diagram pro měření	15
Obrázek 14: Flow v programu Node-RED pro zobrazení měřených hodnot a dálkové sepnutí	17
Obrázek 15: Dashboard v aplikaci Hardwario Playground při dálkovém ovládní elektrického topení ...	17
Obrázek 16: Schéma zapojení pro měření chytrých zásuvek.....	18
Obrázek 17: Výkon odebíraný sekačkou a celková odebraná elektrická energie	23
Obrázek 18: Sestava pro měření výkonu odebíraného sekačkou při kontrolním měření	24

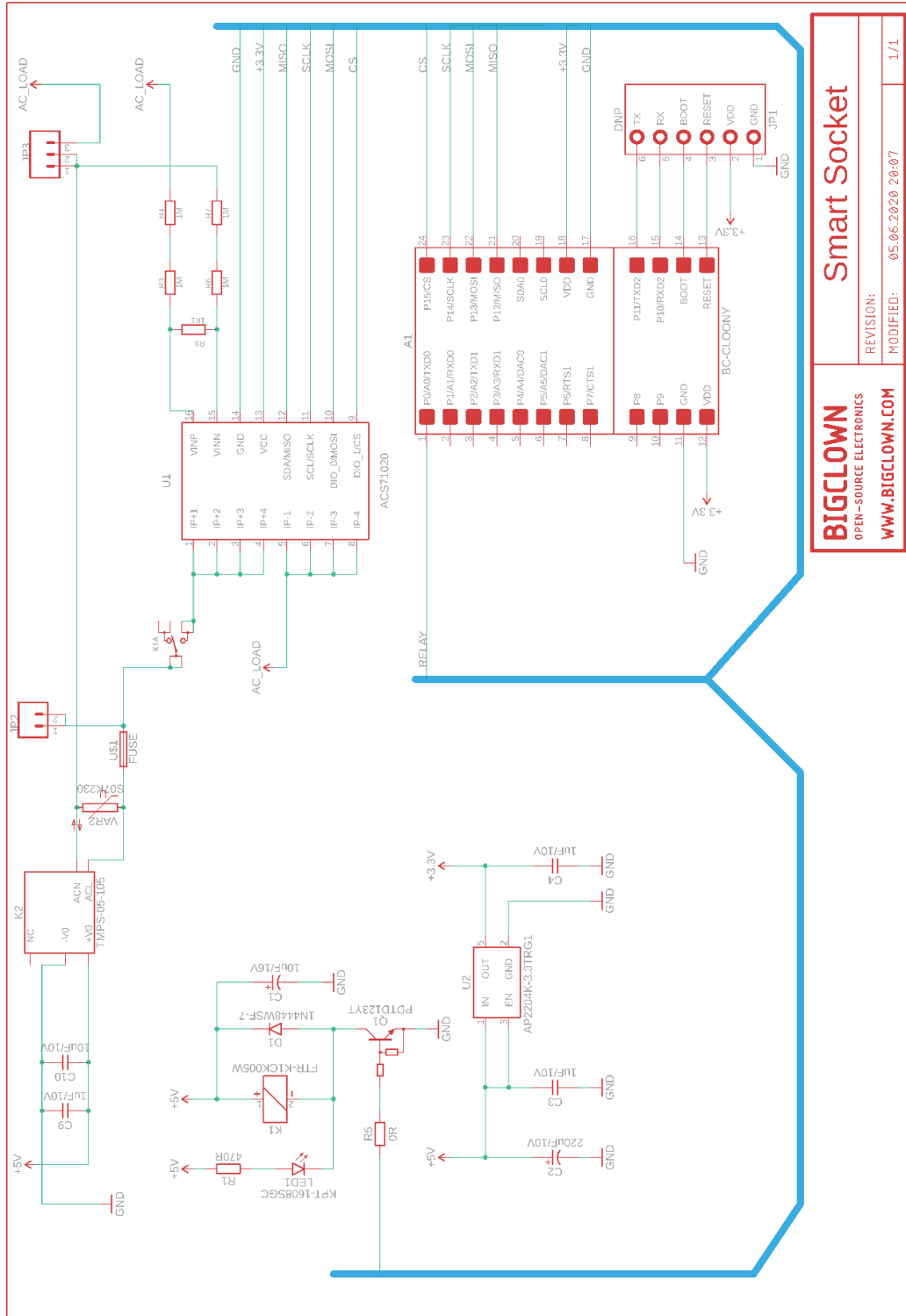
Seznam tabulek

Tabulka 1: Srovnání vybraných zásuvek s navrhovanou zásuvkou (Smart Socket).....	2
Tabulka 2: Srovnání obvodů pro měření výkonu	6
Tabulka 3: Naměřené hodnoty na zásuvce EMOS P5801	19
Tabulka 4: Napájecí a zobrazovaná frekvence wattmetrem P5801	20
Tabulka 5: Naměřené hodnoty chytrou zásuvkou Voltcraft SEM 6000.....	20
Tabulka 6: Měření prvního vzorku.....	21
Tabulka 7: Výsledky měření druhého vzorku	22
Tabulka 8: Funkční kritérium testované zásuvky pro jednotlivá zapojení	23
Tabulka 9: Seznam komponentů finálního návrhu chytré zásuvky	48

Seznam zkratek

IoT	Internet of Things – česky internet věcí
SDK	Software Development Kit
API	Application Programming Interface
SWD	Software Wire Debug
A/D převodník	analogově digitální převodník
DPS	deska plošných spojů

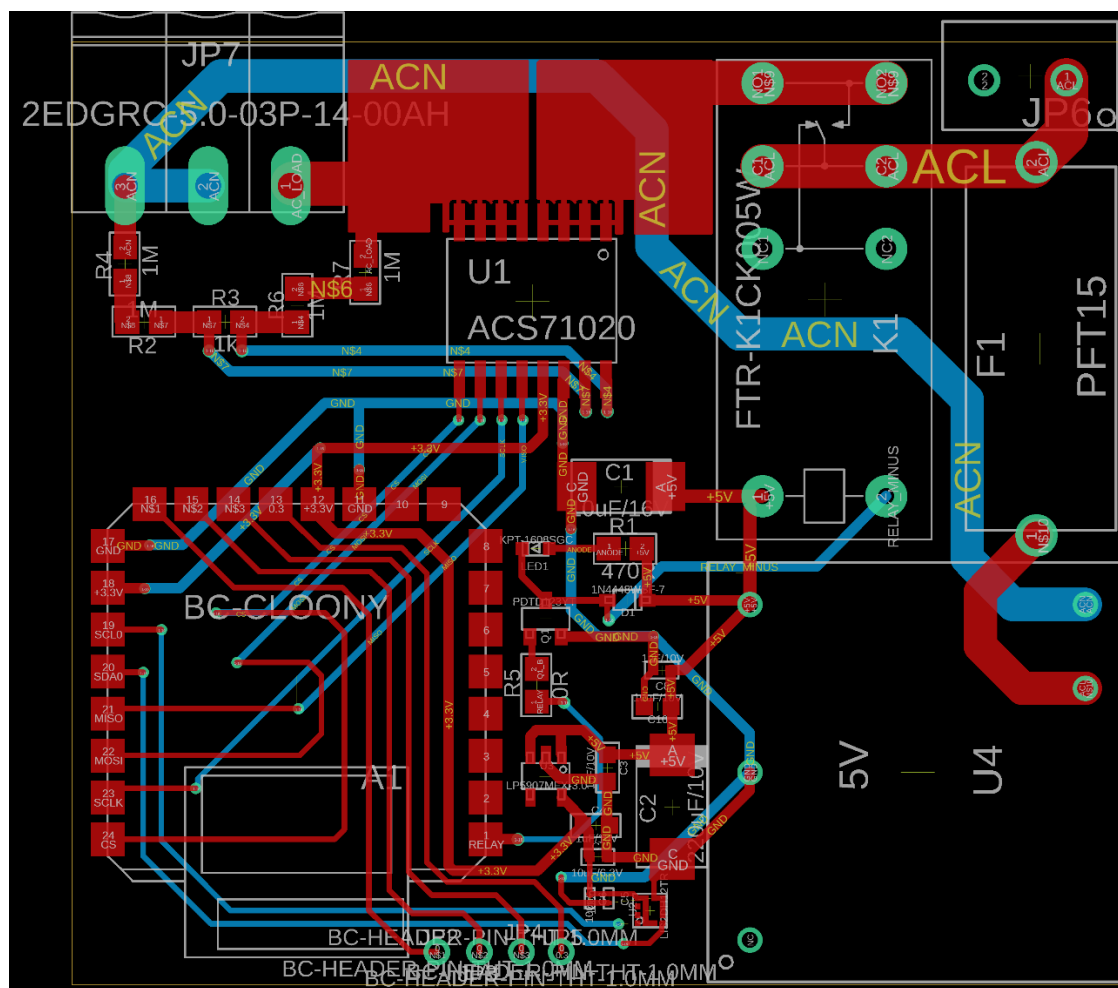
Příloha 1 – Elektrické schéma chytré zásuvky



Smart Socket	
BIGCLOWN OPEN-SOURCE ELECTRONICS WWW.BIGCLOWN.COM	REVISION: MODIFIED: 05.06.2020 20:07
	1/1

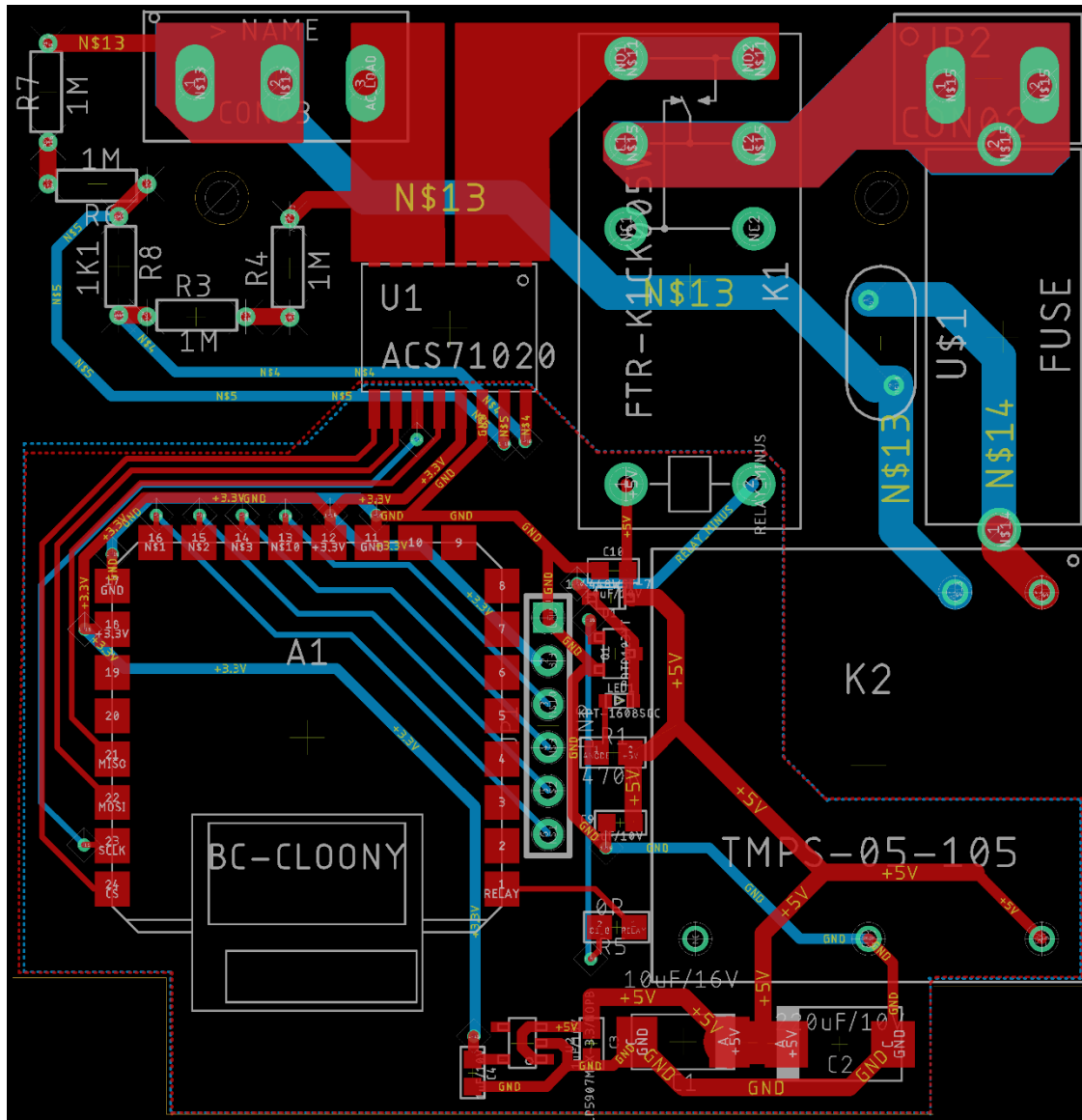
Příloha 1: Elektrické schéma chytré zásuvky

Příloha 2 – Layout DPS prvního vzorku



Příloha 2: Layout DPS prvního vzorku

Příloha 3 – Layout DPS druhého vzorku



Příloha 3: Layout DPS druhého prototyp

Příloha 4 – Dokumentace vzorového firmware chytré zásuvky

Seznam souborů

ACS71020.c

ACS71020.h hlavičkový soubor k souboru ACS71020.c

application.c

application.h hlavičkový soubor k souboru application.c

Dokumentace souboru ACS71020.h

```
#include <bc_common.h>
#include <bc_spi.h>
#include <bc_scheduler.h>
#include <bcl.h>
```

Definice typů

- typedef struct **bc_ACS71020_t** **bc_ACS71020_t**
Hardware Smart Socket instance.

Výčty

- enum **bc_ACS71020_event_t** { **BC_ACS71020_EVENT_ERROR** = 0, **BC_ACS71020_EVENT_UPDATE** = 1 }
Callback events.
- enum **bc_ACS71020_state_t** { **BC_ACS71020_STATE_ERROR** = -1, **BC_ACS71020_STATE_READ** = 0, **BC_ACS71020_STATE_UPDATE** = 1 }
Program state.

Funkce

- void **bc_ACS71020_init** (**bc_ACS71020_t** *self, **bc_spi_speed_t** speed)
Počáteční inicializace chytré zásuvky.
- void **bc_ACS71020_set_event_handler** (**bc_ACS71020_t** *self, void(*event_handler)(**bc_ACS71020_t** *, **bc_ACS71020_event_t**, void *), void *event_param)
Nastavení volání funkce.
- void **bc_ACS71020_set_update_interval** (**bc_ACS71020_t** *self, **bc_tick_t** interval)
Set measurement interval.
- bool **bc_ACS71020_measure** (**bc_ACS71020_t** *self)
Manuálně spustí měření
- bool **bc_ACS71020_get_voltage_RMS** (**bc_ACS71020_t** *self, float *voltage_RMS)
Čte efektivní hodnotu napětí

- bool **bc_ACS71020_get_current_RMS** (bc_ACS71020_t *self, float *current_RMS)
Čte efektivní hodnotu proudu.
- bool **bc_ACS71020_count_voltage_current_RMS** (bc_ACS71020_t *self, uint8_t *buffer)
Přepočte surová data z registru na skutečnou hodnotu I_{rms} a U_{rms} .
- bool **bc_ACS71020_count_active_power_av** (bc_ACS71020_t *self, uint8_t *buffer)
Přepočte surová data z registru na skutečnou hodnotu činného výkonu.
- bool **bc_ACS71020_get_active_power_av** (bc_ACS71020_t *self, float *pactive_av)
Čte hodnotu činného výkonu.
- bool **bc_ACS71020_get_reactive_power** (bc_ACS71020_t *self, float *preactive)
Čte hodnotu jalového výkonu.
- bool **bc_ACS71020_count_reactive_power** (bc_ACS71020_t *self, uint8_t *buffer)
Count Rective power value from raw data in register.
- bool **bc_ACS71020_get_apparent_power** (bc_ACS71020_t *self, float *papparent)
Čte hodnotu jalového výkonu.
- bool **bc_ACS71020_count_apparent_power** (bc_ACS71020_t *self, uint8_t *buffer)
Přepočte surová data z registru na hodnotu zdánlivého výkonu.
- bool **bc_ACS71020_get_power_factor** (bc_ACS71020_t *self, float *pfactor)
Čte hodnotu účinníku.
- bool **bc_ACS71020_count_power_factor** (bc_ACS71020_t *self, uint8_t *buffer)
Přepočte surová data z registru na účinník.
- bool **ACS71020_count_energy** (bc_ACS71020_t *self)
Numericky integruje odebranou elektrickou energii od posledního resetu.
- bool **bc_ACS71020_get_energy** (bc_ACS71020_t *self, float *energy)
Čte hodnotu odebrané energie.

- void **decode_buffer32b** (uint8_t *buffer)
Dekóduje surová data z registru a uloží je do pole 8bitových hodnot.

Dokumentace definic typů

typedef struct bc_ACS71020_t bc_ACS71020_t

Struktura měřicího obvodu ACS71020

Definice je uvedena na řádce 1 v souboru ACS71020.h.

Dokumentace výčtových typů

enum bc_ACS71020_event_t

Callback events.

Hodnoty výčtu:

BC_ACS71020_EVENT_ERROR	Error event.
BC_ACS71020_EVENT_UPDATE	Update event.

Definice je uvedena na řádce 15 v souboru ACS71020.h.

enum bc_ACS71020_state_t

Program state.

Hodnoty výčtu:

BC_ACS71020_STATE_ERROR	Error
BC_ACS71020_STATE_READ	Čtení hodnot
BC_ACS71020_STATE_UPDATE	Proměnné byly aktualizovány

Definice je uvedena na řádce 29 v souboru ACS71020.h.

Dokumentace souboru ACS71020.c

```
#include <ACS71020.h>
#include <bcl.h>
```

Definice maker

- #define **_BC_ACS71020_DELAY_RUN** 1000
- #define **_BC_ACS71020_DELAY_INITIALIZATION** 100
- #define **_BC_ACS71020_DELAY_MEASUREMENT** 1000
- #define **R_1** 4000000
- #define **R_2** 1200
- #define **MAX_SENSE_VOLTAGE** 0.275f
- #define **MAX_SENSE_CURRENT** 30
- #define **MAX_NUMBER_17B** 131072
- #define **MAX_NUMBER_16B** 65535
- #define **MAX_NUMBER_15B** 32767
- #define **MAX_NUMBER_14B** 16383
- #define **MAX_NUMBER_10B** 1023
- #define **MAX_NUMBER_9B** 511
- #define **JEDNA** 1

Funkce

- void **bc_ACS71020_init** (bc_ACS71020_t *self, bc_spi_speed_t speed)
Počáteční inicializace chytré zásuvky.
- void **bc_ACS71020_set_event_handler** (bc_ACS71020_t *self, void(*event_handler)(bc_ACS71020_t *, bc_ACS71020_event_t, void *), void *event_param)
Nastavení volání funkce.
- void **bc_ACS71020_set_update_interval** (bc_ACS71020_t *self, bc_tick_t interval)
Set measurement interval.
- bool **bc_ACS71020_measure** (bc_ACS71020_t *self)
Manuálně spustí měření
- bool **bc_ACS71020_get_voltage_RMS** (bc_ACS71020_t *self, float *voltage_RMS)
Čte efektivní hodnotu napětí
- bool **bc_ACS71020_get_current_RMS** (bc_ACS71020_t *self, float *current_RMS)
Čte efektivní hodnotu proudu.
- bool **bc_ACS71020_count_voltage_current_RMS** (bc_ACS71020_t *self, uint8_t *buffer)

Přepočte surová data z registru na skutečnou hodnotu I_{rms} a U_{rms} .

- **bool bc_ACS71020_get_active_power_av (bc_ACS71020_t *self, float *pactive_av)**
Čte hodnotu činného výkonu.
- **bool bc_ACS71020_count_active_power_av (bc_ACS71020_t *self, uint8_t *buffer)**
Přepočte surová data z registru na skutečnou hodnotu činného výkonu.
- **bool bc_ACS71020_get_apparent_power (bc_ACS71020_t *self, float *papparent)**
Čte hodnotu jalového výkonu.
- **bool bc_ACS71020_count_apparent_power (bc_ACS71020_t *self, uint8_t *buffer)**
Přepočte surová data z registru na hodnotu zdánlivého výkonu.
- **bool bc_ACS71020_get_reactive_power (bc_ACS71020_t *self, float *preactive)**
Čte hodnotu jalového výkonu.
- **bool bc_ACS71020_count_reactive_power (bc_ACS71020_t *self, uint8_t *buffer)**
Count Rective power value from raw data in register.
- **bool bc_ACS71020_get_power_factor (bc_ACS71020_t *self, float *pfactor)**
Čte hodnotu účinníku.
- **bool bc_ACS71020_count_power_factor (bc_ACS71020_t *self, uint8_t *buffer)**
Přepočte surová data z registru na účinník.
- **bool ACS71020_count_energy (bc_ACS71020_t *self)**
Numericky integruje odebranou elektrickou energii od posledního resetu.
- **bool bc_ACS71020_get_energy (bc_ACS71020_t *self, float *energy)**
Čte hodnotu odebrané energie.
- **void decode_buffer32b (uint8_t *buffer)**
Dekóduje surová data z registru a uloží je do pole 8bitových hodnot.

Dokumentace k definicím maker

#define BC_ACS71020_DELAY_INITIALIZATION 100

Definice je uvedena na řádce 7 v souboru ACS71020.c.

#define BC_ACS71020_DELAY_MEASUREMENT 1000

Definice je uvedena na řádce 8 v souboru ACS71020.c.

#define BC_ACS71020_DELAY_RUN 1000

Definice je uvedena na řádce 6 v souboru ACS71020.c.

#define JEDNA 1

Definice je uvedena na řádce 21 v souboru ACS71020.c.

#define MAX_NUMBER_10B 1023

Definice je uvedena na řádce 19 v souboru ACS71020.c.

#define MAX_NUMBER_14B 16383

Definice je uvedena na řádce 18 v souboru ACS71020.c.

#define MAX_NUMBER_15B 32767

Definice je uvedena na řádce 17 v souboru ACS71020.c.

#define MAX_NUMBER_16B 65535

Definice je uvedena na řádce 16 v souboru ACS71020.c.

#define MAX_NUMBER_17B 131072

Definice je uvedena na řádce 15 v souboru ACS71020.c.

#define MAX_NUMBER_9B 511

Definice je uvedena na řádce 20 v souboru ACS71020.c.

#define MAX_SENSE_CURRENT 30

Maximální proud protékající obvodem

#define MAX_SENSE_VOLTAGE 0.275f

Maximální možné napětí na vstupních kontaktech pro měření napětí.

#define R_1 4000000

Celková hodnota odporu ve větvi pro měření napětí vyjma měřicího odporu.

#define R_2 1200

Hodnota měřicího odporu.

Dokumentace funkcí

bool ACS71020_count_energy(bc_ACS71020_t * self)

Numericky integruje odebranou elektrickou energii od posledního resetu metodou levého odhadu.

Parametry

<i>in</i>	<i>self</i>	Struktura měřicího obvodu ACS71020
-----------	-------------	------------------------------------

Návratová hodnota

true Vrátí 1, pokud je hodnota platná

false Vrátí 0, pokud je hodnota neplatná

Definice je uvedena na řádce 257 v souboru ACS71020.c.

bool bc_ACS71020_count_active_power_av (bc_ACS71020_t * self, uint8_t * buffer)

Přepočte surová data z registru na skutečnou hodnotu činného výkonu.

Parametry

in	<i>self</i>	Struktura měřicího obvodu ACS71020
in	<i>pactive</i>	Pointer na pole, kde je uložen obsah registru

Návratová hodnota

true Vrábí 1, pokud je hodnota platná

false Vrábí 0, pokud je hodnota neplatná

Definice je uvedena na řádce 158 v souboru ACS71020.c.

bool bc_ACS71020_count_apparent_power (bc_ACS71020_t * self, uint8_t * buffer)

Přepočte surová data z registru na hodnotu zdánlivého výkonu.

Parametry

in	<i>self</i>	Struktura měřicího obvodu ACS71020
in	<i>buffer</i>	Pointer na pole, kde je uložen obsah registru

Návratová hodnota

true Vrábí 1, pokud je hodnota platná

false Vrábí 0, pokud je hodnota neplatná

Definice je uvedena na řádce 189 v souboru ACS71020.c.

bool bc_ACS71020_count_power_factor (bc_ACS71020_t * self, uint8_t * buffer)

Přepočte surová data z registru na účinník.

Parametry

in	<i>self</i>	Struktura měřicího obvodu ACS71020
in	<i>buffer</i>	Pointer na pole, kde je uložen obsah registru

Návratová hodnota

true Vrábí 1, pokud je hodnota platná

false Vrábí 0, pokud je hodnota neplatná

Definice je uvedena na řádce 227 v souboru ACS71020.c.

bool bc_ACS71020_count_reactive_power (bc_ACS71020_t * self, uint8_t * buffer)

Count Rective power value from raw data in register.

Parametry

in	<i>self</i>	Instance
in	<i>buffer</i>	Pointer to array where result will be stored

Návratová hodnota

true When value is valid

false When value is invalid

Definice je uvedena na řádce 208 v souboru ACS71020.c.

bool bc_ACS71020_count_voltage_current_RMS (bc_ACS71020_t * self, uint8_t * buffer)

Přepočte surová data z registru na skutečnou hodnotu I_{rms} a U_{rms}.

Parametry

in	<i>self</i>	Struktura měřicího obvodu ACS71020
in	<i>buffer</i>	Pointer na pole, kde je uložen obsah registru

Návratová hodnota

true Vráť 1, pokud je hodnota platná

false Vráť 0, pokud je hodnota neplatná

Definice je uvedena na řádce 126 v souboru ACS71020.c.

bool bc_ACS71020_get_active_power_av (bc_ACS71020_t * self, float * pactive_av)

Čte hodnotu činného výkonu.

Parametry

in	<i>self</i>	Struktura měřicího obvodu ACS71020
in	<i>buffer</i>	Pointer na adresu, kam bude uložena skutečná hodnota

Návratová hodnota

true Vráť 1, pokud je hodnota platná

false Vráť 0, pokud je hodnota neplatná

Definice je uvedena na řádce 151 v souboru ACS71020.c.

bool bc_ACS71020_get_apparent_power (bc_ACS71020_t * self, float * papparent)

Čte hodnotu jalového výkonu.

Parametry

in	<i>self</i>	Struktura měřicího obvodu ACS71020
in	<i>papparent</i>	Pointer na adresu, kam bude uložena skutečná hodnota

Návratová hodnota

true Vráť 1, pokud je hodnota platná

false Vráť 0, pokud je hodnota neplatná

Definice je uvedena na řádce 181 v souboru ACS71020.c.

bool bc_ACS71020_get_current_RMS (bc_ACS71020_t * self, float * current_RMS)

Čte efektivní hodnotu proudu.

Parametry

in	<i>self</i>	Struktura měřicího obvodu ACS71020
in	<i>current_RMS</i>	Ukazatel na adresu, kam má být zapsána hodnota I _{rms}

Návratová hodnota

true Vráť 1, pokud je hodnota platná

false Vráť 0, pokud je hodnota neplatná

Definice je uvedena na řádce 114 v souboru ACS71020.c.

bool bc_ACS71020_get_energy (bc_ACS71020_t * self, float * energy)

Čte hodnotu odebrané energie.

Parametry

in	<i>self</i>	Struktura měřicího obvodu ACS71020
in	<i>energz</i>	Pointer na adresu, kam bude uložena skutečná hodnota

Návratová hodnota

true Vrábí 1, pokud je hodnota platná

false Vrábí 0, pokud je hodnota neplatná

Definice je uvedena na řádce 279 v souboru ACS71020.c.

bool bc_ACS71020_get_power_factor (bc_ACS71020_t * self, float * pfactor)

Čte hodnotu účinníku.

Parametry

in	<i>self</i>	Struktura měřicího obvodu ACS71020
in	<i>pfactor</i>	Pointer na adresu, kam bude uložena skutečná hodnota

Návratová hodnota

true Vrábí 1, pokud je hodnota platná

false Vrábí 0, pokud je hodnota neplatná

Definice je uvedena na řádce 219 v souboru ACS71020.c.

bool bc_ACS71020_get_reactive_power (bc_ACS71020_t * self, float * preactive)

Čte hodnotu jalového výkonu.

Parametry

in	<i>self</i>	Struktura měřicího obvodu ACS71020
in	<i>preactive</i>	Pointer na adresu, kam bude uložena skutečná hodnota

Návratová hodnota

true Vrábí 1, pokud je hodnota platná

false Vrábí 0, pokud je hodnota neplatná

Definice je uvedena na řádce 200 v souboru ACS71020.c.

bool bc_ACS71020_get_voltage_RMS (bc_ACS71020_t * self, float * voltage_RMS)

Čte efektivní hodnotu napětí

Parametry

in	<i>self</i>	Struktura měřicího obvodu ACS71020
in	<i>voltage_RMS</i>	Ukazatel na adresu, kam má být zapsána hodnota U_rms

Návratová hodnota

true Vrábí 1, pokud je hodnota platná

false Vrábí 0, pokud je hodnota neplatná

Definice je uvedena na řádce 101 v souboru ACS71020.c.

void bc_ACS71020_init (bc_ACS71020_t * self, bc_spi_speed_t speed)

Počáteční inicializace chytré zásuvky.

Parametry

in	<i>self</i>	Struktura měřicího obvodu ACS71020
in	<i>speed</i>	SPI rychlost komunikace SPI linky

Definice je uvedena na řádce 28 v souboru ACS71020.c.

bool bc_ACS71020_measure (bc_ACS71020_t * self)

Manuálně spustí měření

Parametry

in	<i>self</i>	Struktura měřicího obvodu ACS71020
----	-------------	------------------------------------

Návratová hodnota

true Vráť 1, pokud je hodnota platná

false Vráť 0, pokud je hodnota neplatná

Definice je uvedena na řádce 86 v souboru ACS71020.c.

void bc_ACS71020_set_event_handler (bc_ACS71020_t * self, void(*) (bc_ACS71020_t *, bc_ACS71020_event_t, void *) event_handler, void * event_param)

Nastavení volání funkce.

Parametry

in	<i>self</i>	Struktura měřicího obvodu ACS71020
in	<i>event_handler</i>	Adresa funkce
in	<i>event_param</i>	Možné další parametry (možno i NULL)

Definice je uvedena na řádce 64 v souboru ACS71020.c.

void bc_ACS71020_set_update_interval (bc_ACS71020_t * self, bc_tick_t interval)

Set measurement interval.

Parametry

in	<i>self</i>	Instance
in	<i>interval</i>	Measurement interval

Definice je uvedena na řádce 70 v souboru ACS71020.c.

void decode_buffer32b (uint8_t * buffer)

Dekóduje surová data z registru a uloží je do pole 8bitových hodnot.

Parametry

in	<i>buffer</i>	Pointer na pole dat z registru
----	---------------	--------------------------------

Definice je uvedena na řádce 297 v souboru ACS71020.c.

Dokumentace souboru application.c

```
#include <application.h>
```

Funkce

- void **energy_measurement_reset** (uint64_t *id, const char *topic, void *value, void *param)
Funkce pro bezdrátový reset měření odebrané elektrické energie.
- void **bc_radio_node_on_state_set** (uint64_t *id, uint8_t state_id, bool *state)
Funkce pro bezdrátové obvládnání relé
- void **acs_event_handler** (bc_ACS71020_t *self, bc_ACS71020_event_t event, void *event_param)
Pokud jsou od posledního volání funkce, přečte aktuální hodnoty a uloží je.
- void **application_init** (void)
Inicializační funkce, pouze jednou po resetu.
- void **application_task** (void)
Funkce sloužící k bezdrátovému odesílání dat do gateway.

Proměnné

- bc_led_t led
- bc_button_t tlacitko
- bc_ACS71020_t obvod
- float vrms
- float irms
- float pactive
- float power_factor
- float energy

Dokumentace funkcí

void acs_event_handler (bc_ACS71020_t * self, bc_ACS71020_event_t event, void * event_param)

Pokud jsou od posledního volání funkce, přečte aktuální hodnoty a uloží je.

Parametry

in	<i>self</i>	Struktura měřicího obvodu ACS71020
in	<i>event</i>	Momentální událost v procesu měření
in	<i>event_param</i>	Parametr události

Definice je uvedena na řádce 61 v souboru application.c.

void application_init (void)

Inicializační funkce, pouze jednou po resetu.

Definice je uvedena na řádce 84 v souboru application.c.

void application_task (void)

Funkce sloužící k bezdrátovému odesílání dat do gateway.

Definice je uvedena na řádce 111 v souboru application.c.

void bc_radio_node_on_state_set (uint64_t * id, uint8_t state_id, bool * state)

Funkce pro bezdrátové ovládání relé

Parametry

in	<i>id</i>	Id zařízení
in	<i>state_id</i>	Id stavu relé
in	<i>state</i>	Nastavený stav relé

Definice je uvedena na řádce 46 v souboru application.c.

void energy_measurement_reset (uint64_t * id, const char * topic, void * value, void * param)

Funkce pro bezdrátový reset měření odebrané elektrické energie.

Parametry

in	<i>id</i>	Id zařízení
in	<i>topic</i>	Topic zprávy MQTT protokolu
in	<i>value</i>	Hodnota bool - jednička pro reset

Definice je uvedena na řádce 36 v souboru application.c.

Dokumentace proměnných

float energy

Odebraná energie od posledního resetu.

float irms

Efektivní hodnota proudu

bc_led_t led

Struktura integrované LED diody

bc_ACS71020_t obvod

Struktura měřicího obvodu ACS71020.

float pactive

Činný výkon

float power_factor

Účinník

bc_button_t tlacitko

Struktura tlačítka Core modulu

float vrms

Efektivní hodnota napětí.

Příloha 5 – Seznam komponentů návrhu chytré zásuvky

	Popis	Specifikace
	krabička	Kradex Z27J
A1	modul s mikroprocesorem	Hardwario Cloony
C1	elektrolytický kondenzátor 10 μ F/ 16 V	TPSE227K016T0150V
C2	elektrolytický kondenzátor 220 μ F/ 16 V	TPSD227K010T0150V
C3	Kondenzátor 1 μ F/10 V	CL10A105KP8NNNC
C4	Kondenzátor 1 μ F/10 V	CL10A105KP8NNNC
C9	Kondenzátor 1 μ F/10 V	CL10A105KP8NNNC
C10	Kondenzátor 10 μ F/10 V	CL10A106KP8NNNC
D1	dioda	1N4448WSF-7
JP1	hřebíkový konektor programování mikroprocesoru	
JP2	svorkovnice	ARK500/2EX
JP3	svorkovnice	ARK210/3EX blue
K1	relé	FTR-K1CK005W
K2	AC/DC izolovaný zdroj	TMPS-05-105
LED1	signalizační led dioda	KPT-1608SGC
Q1	NPN tranzistor	PDTD123YT
R1	SMD rezistor 470 Ω / 0,25 W	ERJT06J471V
R3	metalizovaný THT rezistor 1 M Ω / 0,4 W	MF0204FTE52-1M
R4	metalizovaný THT rezistor 1 M Ω / 0,4 W	MF0204FTE52-1M
R5	SMD rezistor 0 Ω / 0,125 W	0805S8J0000T5E
R6	metalizovaný THT rezistor 1 M Ω /0,4 W	MF0204FTE52-1M
R7	metalizovaný THT rezistor 1 M Ω / 0,4 W	MF0204FTE52-1M
R8	metalizovaný THT rezistor 1200 Ω / 0,4 W	MFR040SFTB-1K2
U\$1	držák na trubičkovou pojistku, pomalá pojistka	199015; 179 120-0,25 A
U1	integrováný obvod pro měření výkonu	ACS71020
U2	LDO stabilizátor napětí 3,3 V	LP5907MFX-3.3
VAR 2	varistor	S07K230

Tabulka 9: Seznam komponentů finálního návrhu chytré zásuvky

Příloha 6 – Elektronické přílohy

Součástí práce je CD s elektronickými přílohami, které obsahují zdrojový kód v jazyce C k chytré zásuvce a návrh DPS v programu EAGLE.