



ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Optimalizace spotřeby výkonu z malé fotovoltaické elektrárny

Autor práce: Ing. Libor Skala
Vedoucí práce: Ing. Milan Bělík, Ph.D.

Plzeň 2016

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Libor SKALA**
Osobní číslo: **E13N0138P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Optimalizace spotřeby energie z malé fotovoltaické elektrárny**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

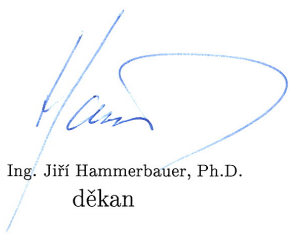
1. Popište aktuální využití zvolené fotovoltaické elektrárny.
2. Vysvětlete současný způsob optimalizace využití dodávaného výkonu.
3. Navrhněte systém pro zvýšení spotřeby lokálně vyrobené energie.
4. Zhodnoťte efektivitu navrhovaného řešení.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


1. přednášky KEE/SOES

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milan Bělík, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **16. května 2016**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

SKALA, Libor. *Optimalizace spotřeby výkonu z malé fotovoltaické elektrárny*. Plzeň, 2016. Magisterská práce. Západočeská univerzita. Fakulta elektrotechnická. Katedra elektroenergetiky a ekologie. Vedoucí: Milan Bělík

Rozvoj fotovoltaiky a jejich řídicích systémů v posledních několika letech nabývá velkého významu. Zejména díky snižování ceny jednotlivých komponent se zrychluje návratnost investice. Mnohé instalace z počátku období rozvoje však používají „zastaralé“ střídače, které umí pouze transformovat síťové parametry. Moderní střídače umožňují řízení spotřeby vyrobené energie v místě případně její uchování. Cílem práce je připravit zařízení, které nahrazuje funkce moderních střídačů a zvyšuje energetickou soběstačnost domácnosti.

Klíčová slova

Fotovoltaická energie, hybridní střídač, energetická soběstačnost, řízení spotřeby.

Abstract

SKALA, Libor. *Household photovoltaic power consumption optimization*. Pilsen, 2016. Master thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Electric power engineering and Ecology. Supervisor: Milan Bělík

Photovoltaic and its driving systems became a great importance in few past years. Mainly due to the components price lowering will increase return on investment. Many plants, mostly from the early period of PVE development, use deprecated inverters that only transform current parameters. Modern inverters are able to drive local consumption or energy storage. The thesis aim is an device developing that simulates modern inverters function and increase household energy self-sufficiency.

Keywords

Photovoltaic energy, hybrid inverter, self-sufficiency, consumption driving.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 15. května 2016

Ing. Libor Skala

.....

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, co měli dostatek trpělivosti s mojí osobou během přípravy a tvorby této práce čímž mi umožnili její dokončení.

Obsah

Seznam obrázků	vii
1 Popis výrobní	2
1.1 Umístění a parametry instalace	4
1.2 Fotovoltaické panely	5
1.3 Střídač	7
1.4 Měření vyráběné energie	10
1.5 Historické údaje o výrobě	11
1.5.1 Celková vyrobená energie a podíl vlastní spotřeby	11
1.5.2 Řízení spotřeby	12
1.5.3 Doba provozu výrobní	12
2 Výchozí stav využívání vyrobené energie	14
2.1 Napojení výrobní na síť domu a distribuční síť	14
2.2 Řízení napájených zařízení	14
2.3 Využívaný tarif	15
2.4 Záznamy o výrobě	16
3 Systém pro zvýšení vlastní spotřeby	18
3.1 Blokové schéma	18
3.2 Měření dopadající sluneční energie	20
3.3 Měření výkonu za střídačem	21
3.4 Řízení výstupního výkonu	21
3.5 Ovládání připojených spotřebičů	22
3.6 Popis bloků zařízení	23
3.6.1 Přepínání výstupu střídače	23
3.6.2 Detektor průchodu nulou	24
3.6.3 Napájení desky	24
3.6.4 Generátor sinusového průběhu napětí pro fázování	25
3.6.5 Pulzně-šířková modulace a její řízení	26
3.6.6 Řídící logika přepínání stykačů	28
3.6.7 Řídící mikrokontroler	30
3.7 Priorita napájení	30
3.7.1 Ukládání momentálně nevyužitelné energie	32

4 Efektivita nového řešení	33
4.1 Kalkulace úspor	33
4.2 Současný stav	34
4.3 SWOT analýza nového řešení	35
4.3.1 Silné stránky	35
4.3.2 Slabé stránky	35
4.3.3 Příležitosti	36
4.3.4 Hrozby	36
Reference, použitá literatura	38
Přílohy	39
A Panely SL240CE–30P	39
B Střídač Sunny Boy SB 2500	42

Seznam obrázků

1.1	Blokové schéma napojení výroby na síť	2
1.2	Zapojení instalace v zeleném bonusu	3
1.3	Zapojení instalace v režim povinný výkup	4
1.4	Změření úhlu sklonu instalace	5
1.5	Umístění panelů na střeše	6
1.6	Střídač SunnyBoy SB2500	7
1.7	Schéma střídače [4]	8
1.8	Záznamník údajů a síťové rozhraní SMA WebBox [5]	9
1.9	Objem vyrobené energie v jednotlivých měsících v průběhu provozu	11
1.10	Procentuální využití vyrobené energie ve vlastní spotřebě	12
1.11	Doba provozu v jednotlivých měsících	13
2.1	Vyhodnocovací tabulka měsíčního výkazu	17
3.1	Blokové schéma zapojení	19
3.2	Zapojení detektoru průchodu nulou	23
3.3	Zapojení detektoru průchodu nulou	24
3.4	Napájecí obvod pro desku	25
3.5	Generátor sinusového průběhu napětí	25
3.6	Výkonová část pulzně šířkové modulace	26
3.7	Řídící část pulzně šířkové modulace	27
3.8	Logické obvody přepínání fází	29

Seznam symbolů a zkratk

EMC	Elektromagnetická kompatibilita
FVE	fotovoltaická elektrárna
HDO	Hromadné dálkové ovládání
MPPT	Maximum power point tracking – Sledování bodu s maximálním výkonem
PWM	Pulse–width modulation; pulsně–šířková modulace
Wp	Watt peak – maximální možná získaná energie při ideálním osvitu panelu

Úvod

Fotovoltaická energie vyráběná v malém množství pro částečné pokrytí vlastní spotřeby je budoucností zásobování elektrickou energií pro rodinné domy. Po době pozvolného vývoje technologie panelů, střídačů nastal díky finanční podpoře a poklesu ceny všech prvků velký rozvoj tohoto odvětví v České republice. Výrobci fotovoltaické techniky však pokračovali ve vývoji od jednoduchých zařízení, která umí pouze dodávat energii bez jakéhokoli řízení, po sofistikované modely. Zejména u střídačů byl obrovský skok kupředu v řešeních s optimalizací spotřeby v místě výroby. Vznikají tak hybridní střídače spojující on-grid technologii a ostrovní režim s akumulací energie. Bohužel pro ty co svoji výrobu vybavili verzí jednoduchého střídače se jeho výměna za sofistikovanější model v celkovém ekonomickém hodnocení vyplatí jen velice málo.

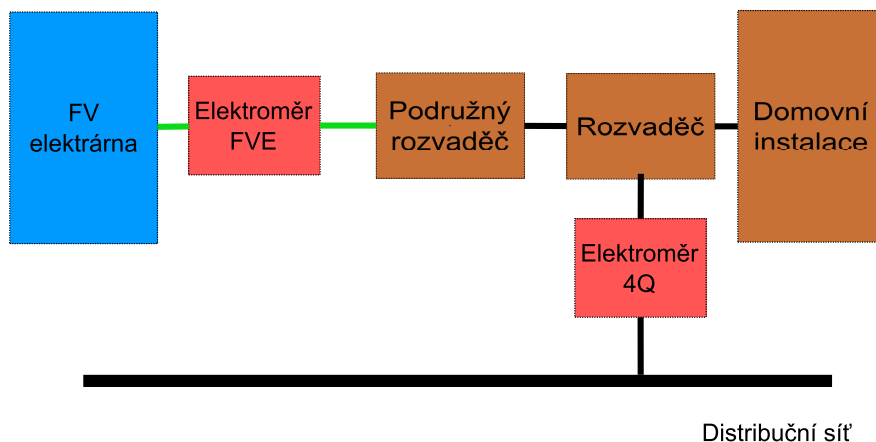
Řízení zapínání spotřebičů je dalším bodem v optimalizaci. Běžný spotřebič neodkládá spotřebu na vhodné podmínky, kdy by mohl spotřebovat lokálně vyrobenou energii. Existují řešení na základě průmyslových počítačů, která zapínají spotřebiče v návaznosti na aktuálním výkonu elektrárny. Jsou však omezena nutností převisu výroby nad spotřebou.

Tato práce si klade za cíl navrhnout rozšíření stávající malé výroby s jednoduchým střídačem o další prvek, který by umožnil napájení spotřebičů u nichž předpokládáme každodenní spouštění. Dále by měl maximalizovat využití energie i v době, kdy je výkon v řádech stovek wattů po celý den, které nastává především v zimním období.

1 — Popis výroby

K instalaci fotovoltaické elektrárny vedla provozovatele klesající cena komponent, velký rozmach odvětví v předchozích letech a touha po částečné energetické soběstačnosti. Podpora státu byla v této oblasti velice dobrá, ale období s nejvyššími cenami příspěvků již odeznělo. Pro následující roky byl předpoklad útlumu až ukončení podpory. Nicméně stále trvala podpora pro solární výroby do 30 kW instalovaného výkonu tj. zejména pro malé domácí výrobce.

Během konce léta a začátku podzimu roku 2012 byl vypracován projekt a zahájeny přípravné práce na instalaci. Na podzim pak proběhla samotná montáž, vyjednání licencí a v listopadu oživení systému. Projekt byl připraven na instalaci 10 panelů, každý o výkonu 240 Wp tj. souhrnně 2,4 kWp. Největší slabinu projektu vidím v neochotě provozovatele investovat do střídače s uchováváním přebytků energie do baterií v době, kdy je vyrobené energie přebytek. V aktuálním zapojení se veškerá nespotřebovaná energie dodává do rozvodné sítě. V době instalace však byly tyto střídače na trhu málo zastoupeny a náklady na pořízení byly nesrovnatelné se základními střídači.

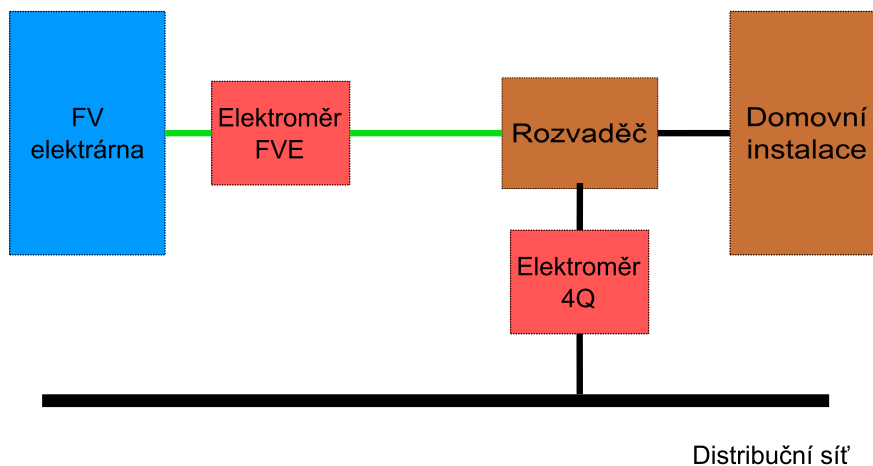


Obrázek 1.1: Blokové schéma napojení výroby na síť

Výše státní podpory závisí na způsobu připojení výroby do distribuční sítě. V případě Povinného výkupu je podpora obnovitelného zdroje energie o něco vyšší než v případě Zeleného

bonusu. Podpora je pravidelně každoročně valorizována o 2% pro pokrytí inflace. Principy podpory a připojení jsou následující:

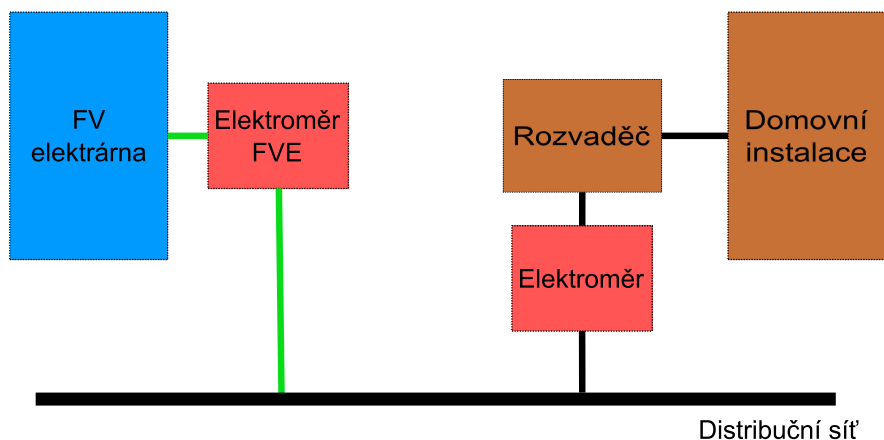
Zelený bonus je vyplácen jestliže je výrobná začleněna do stávající elektroinstalace domu. Vyrobena elektřina je měřena elektroměrem umístěným mezi střídačem a přípojným místem v rozvaděči. Podporována je veškerá vyrobená energie i ta, co je v místě spotřebována. Výrobce tak spotřebovává vlastní vyrobenou energii a nemusí spotřebovaný objem energie nakupovat od distributora. Pokud není v místě veškerá energie spotřebována, jsou její přetoky dodávány do distribuční sítě.



Obrázek 1.2: Zapojení instalace v zeleném bonusu

Povinný výkup pro provozovatele distribuční sítě nastává v případě, že výrobná předává veškerou vyrobenou energii do distribuční sítě samostatným přípojným místem opatřeným elektroměrem. Výrobce nespotřebovává žádnou lokálně vyrobenou energii přímo, ale pouze přes distribuční síť. Výrobce tak nakupuje veškerou energii od distributora.

Jelikož je výrobná připojena Zeleným bonusem, uvádím v Tabulce 1.1 hodnoty bonusu podle roku uvedení výrobný do provozu. Výše podpory je stanovena výměrem Energetického regulačního úřadu. Výše podpory v tabulce nezahrnuje valorizaci a popisuje tak cenu v době uvedení výrobný do provozu.



Obrázek 1.3: Zapojení instalace v režim povinný výkup

Tabulka 1.1: Vývoj podpory Zelený bonus v Kč na 1 MWh podle roku uvedení výroby do provozu [3]

Výkon [kW]	2005	2006	2007	2008	2009	2010
0-5	6 688	14 835	14 450	14 450	13 543	12 665
5-30						
30-100					13 409	12 431
<100						

Výkon [kW]	2011	2012	1-6/2013	7-12/2013	2014	2015
0-5	7 359	5 810	2 878	2 450	0	0
5-30			2 287	2 287		
30-100	5 534	0	0	0		
<100	5 107					

1.1 Umístění a parametry instalace

Panely jsou umístěny na nosné hliníkové konstrukci nad střešní krytinou rodinného domu. Pro připevnění byly povoleny vruty kotvící střešní krytinu z eternitu a nahrazeny novými. Instalace je orientována jihovýchodním směrem se sklonem střechy asi 40°. Sklon střechy jsem odvodil ze snímku na Obrázku 1.4. Pro sklon střechy jsem pořídil fotografii ze štítové strany domu přibližně ve výšce okapu tak, aby nebyl úhel zkreslen pozorováním ze země.

Umístění panelů ovlivnil i komín, který se nachází na stejné straně jako instalace. Proto jsou panely umístěny pod ním směrem k hraně střechy. K této pozici vedou dva důvody. Tím prvním z nich je zastínění panelů komínovým tělesem při denním slunečním cyklu a tím výpadku výroby na jednom z panelů a narušení funkce hledání bodu nejvyššího dodávaného výkonu *MPPT*.



Obrázek 1.4: Změření úhlu sklonu instalace

Funkce MPPT hledá optimální stav, kdy při odběru maximálního možného proudu z připojené větve panelů ještě nedochází k poklesu napětí. Zastíněný panel není schopný dodat takový proud jako plně osvětlené panely a systém MPPT se proto zastaví na hodnotě proudu, kterou je schopný poskytnout nejméně osvětlený panel. Změřený proud je vždy nižší než u vhodně osvětlených panelů a tato větev neposkytuje takový výkon jako by mohla.

Moderní systémy umožňují připojení MPPT regulátorů na každý z panelů zvlášť a následné spojení v hlavním střídači, který má za úkol pouze transformaci na síťové napětí distribuční sítě. Zmíněné *miniregulátory* umožňují výrazně omezit vliv zastínění a ztráty na objemu vyrobené energie. Pokud by byla výroba dále rozšiřována, bylo by vhodné pro panely, které by mohly být zasaženy zastíněním, instalovat tyto regulátory. Nevýhoda řešení je nutnost použít pro takto připojené panely zvláštní střídač nebo dovybavit stávající panely těmito regulátory a použít nový střídač.

1.2 Fotovoltaické panely

Projektant navrhl na instalaci použít 10 ks panelů *Solar Electrical Appliance SL240CE-30P*, každý o výkonu 240 Wp. Panel je složen z článků v 6 sloupcích a 10 řádcích, celkem tedy 60 článků. Účinnost jednotlivých článků je 16,49% a celková účinnost celého panelu je 14,78%. Panely jsou klasické konstrukce s hliníkovým rámem a sklem odolným povětrnostním vlivům. Některé



Obrázek 1.5: Umístění panelů na střeše

parametry uvádím v Tabulce 1.2 níže. Další údaje a parametry včetně grafu průběhu výkonové charakteristiky naleznete v Příloze A – Panely SL240CE–30P.

Tabulka 1.2: Parametry panelu SL240CE–30P [2]

Technologie	Polykrystalické
Maximální výkon	240 W
Napětí v bodě optimálního výkonu	30,72 V
Proud v bodě optimálního výkonu	7,81 A
Napětí naprázdno	36,6 V
Proud nakrátko	8,36 A
Účinnost článku	16,43%
Účinnost panelu	14,78%
Garance výkonu	25 let
Hmotnost	18,6 kg

Na Obrázku 1.5 jsem zachytil polohu panelů na střeše domu. Instalace je ovlivněna polohou komínu, který by mohl stínit. Vstup vodičů do střešní části je pod krycím plechem otvoru pro komín. Další řada panelů se stejnou orientací se už při případném rozšiřování výroby pod současné panely nevejde.



Obrázek 1.6: Střídač SunnyBoy SB2500

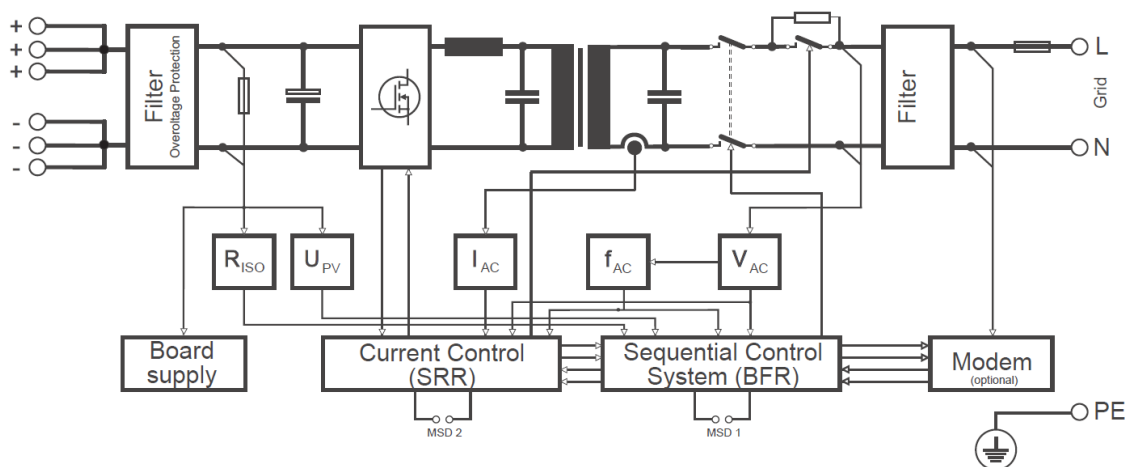
Panely jsou spojeny do tzv. stringů¹. To jsou jedním vodičem propojené panely do série. Minimální počet panelů na jeden string je dán minimálním napětím, které je potřebné pro připojení střídače do sítě (asi 250 V). Každý z panelů při výrobě vytváří napětí asi 30 V, proto je minimum 9 panelů. Pokud by některé panely byly nerovnoměrně osvětlené, je vhodné je oddělit do zvláštního stringu aby nesnižovaly výkon dalších panelů.

1.3 Střídač

Základním účelem střídače je zajistit transformaci napětí na hladinu, která je v rozvodné síti domu. Střídač sleduje napětí a frekvenci v síti a upravuje podle toho své parametry. Sleduje napětí na panelech a jestliže překročí stanovenou hladinu napětí, zajistí střídač synchronizaci s frekvencí v napájecí síti. Jakmile je synchronizace dokončena, střídač začíná propouštět proud do sítě, ale stále průběžně střeží pokles nebo nárůst napětí a kolísání frekvence mimo bezpečné hodnoty.

Střídač také zabezpečuje měření provozních parametrů, zejména celkové vyrobené energii, vyrobené energii během jednoho dne a dobu strávenou dodáváním energie do sítě. Z těchto

¹Smyčka vodiče propojující panely a vstup střídače. Slouží zejména k oddělení skupin panelů s různými podmínkami osvětlenosti nebo pokud by součet maximálních parametrů panelů překračoval vstupní parametry střídače.



Obrázek 1.7: Schéma střídače [4]

parametrů se dá vypočítávat statistika výroby. Tato měřidla ale nejsou stanovená, a nelze z nich odečítat oficiální hodnoty pro výstup Operátora trhu s elektřinou. Náhled na systém měření poskytuje následující část.

V systému je použit střídač SunnyBoy SB 2500 od společnosti SMA o maximálním výkonu 2,5 kW. Je připojen jednofázově do rozvodné soustavy domu. Některé parametry uvádím v Tabulce 1.3 níže. Celkové technické údaje uvádím i v Příloze B – Střídač Sunny Boy SB 2500.

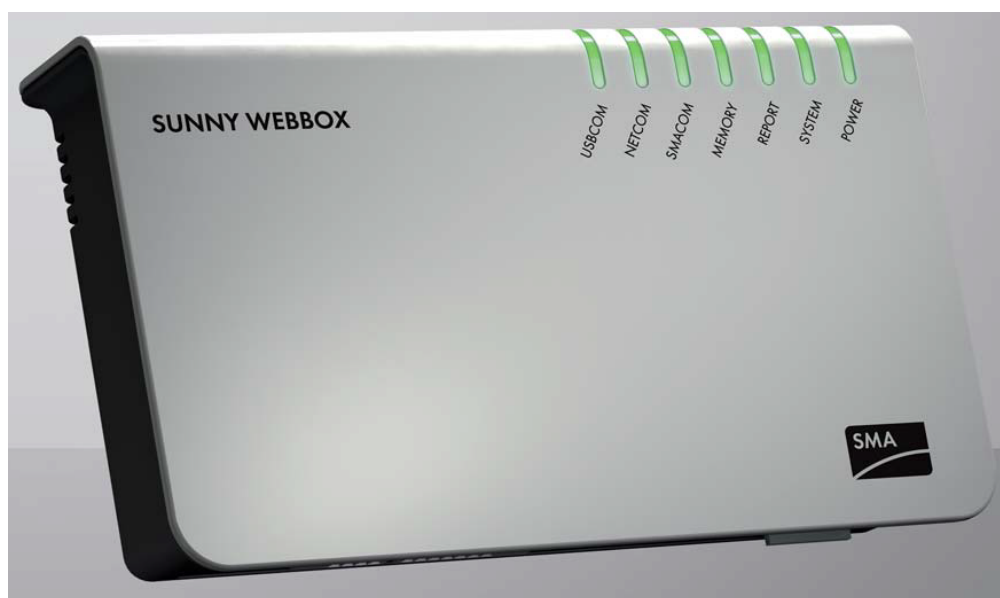
Střídač má velice široký rozsah pracovního napětí oproti požadavku na změny napětí v distribuční síti, kdy je tolerováno $\pm 10\%$ z hladiny 230 V. To odpovídá maximu 253 V a minimu 207 V. Tolerance střídače je však daleko větší. Stejně tak i k frekvenci poskytované síti, kdy všeobecné podmínky na stabilitu sítě udávají maximální odchylku $\pm 1\%$ tj. 0,5 Hz do dobu 99,5% roku. Pro ostrovní síť je tato norma benevolentnější a poskytuje až 2% po dobu 95% týdne a ve zbytku doby $\pm 15\%$.

Tabulka 1.3: Výběr parametrů střídače SunnyBoy SB2500 [4]

Max. vstupní napětí	600V
Vstupní napětí pro MPP	224 V – 480 V
Max. vstupní výkon/proud	2700 W/12 A
Jmenovitý/maximální výstupní výkon	2300 W/ 2500 W
Jmenovitý výstupní proud	10 A
Síťové napětí (pracovní rozsah)	180 V – 265 V
Síťová frekvence (pracovní rozsah)	45,5 Hz – 54,5 Hz

Na Obrázku 1.7 je schéma instalovaného střídače prezentovaného v návodu k použití [4]. Střídač se sestává se sběrného vedení jednotlivých stringů a filtru odstiňující vliv elektromagnetického rušení vznikající při transformaci parametrů napětí a proudů ve střídači a také ochranu proti přepětí. Dále následuje měření napětí na vstupu z panelů, izolačního stavu a filtrační kondenzátor proti prostupu rušení. Další blok obsahuje řízený tranzistorový můstek propouštějící vyrobený proud v různých směrech do transformátoru přes další filtr. Následuje sada ochrany a vypínačů a na výstupu další filtr zajišťující elektromagnetickou kompatibilitu a neprostupnost pro vyšší harmonické frekvence do napájecí sítě. Součástí střídače jsou i elektronické řídicí prvky sledující parametry napětí, proudu a frekvence. Tyto prvky zajišťují nastavování parametrů pro správnou funkci a zabezpečují dodržování mezních parametrů.

Střídač je z rodiny základních typů, tudíž neoplývá mnoha funkcemi jako u moderních střídačů, které umožňují připojení do domácí počítačové sítě bez používání přídatných zařízení. Nové střídače mohou odesílat informace přes Internet na úložiště výrobce, který sbírá provozní data a může je vyhodnocovat jak pro svůj další technický vývoj, tak je i poskytuje provozovateli fotovoltaické elektrárny pro vlastní potřebu. Provozovatel si tak může vést podrobnější statistiku o objemu získané energie než jen z měsíčního záznamu pro výkaz Operátora trhu s energiemi. Tato data jsou dostupná v archivu zejména přes webové rozhraní převážně v grafické podobě případně i v tabulkové podobě pro další zpracování provozovatelem. Použitý střídač nedisponuje připojením k počítačové síti, nicméně přídatný modul připojitelný přes konektor RS235 umožňuje tuto komunikaci.



Obrázek 1.8: Záznamník údajů a síťové rozhraní SMA WebBox [5]

Pokud bychom připojili i tento modul (SunnyBoy WebBox) na Obrázku 1.8, provádí tento modul průběžné ukládání dat, případně lze záznam provádět i na paměťovou kartu jednorázově z paměti přístroje. Data jsou pak při dostupnosti internetu odesílána buď pomocí počítačové nebo telefonní sítě do úložiště výrobce. Toto rozhraní umožňuje komunikovat až s 50 střídači připojenými vodičem délky až 1200 m a nastavovat jejich parametry. Připojení mnoha podružných výroben se však hodí pro rozlehlejší systémy s více střídači a rozdílnou dopadající intenzitou slunečního záření.

1.4 Měření vyráběné energie

Měření vyráběné energie probíhá v místě připojení výroby do domácí sítě za přepětovými ochranami a za ochranou proti nadproudům. Pro toto měření je nutné mít ověřené zařízení pro množství přenesené energie tj. klasický elektroměr. Měření prováděné samotným střídačem, není možné použít jelikož neplní podmínky pro stanovené měřidlo z pohledu národní legislativy.

Druhý měřící bod je hlavní domovní čtyřkvadrantový elektroměr. Tento elektroměr, stejně jako ostatní elektronické elektroměry, měří energii dodanou do odběrného místa z distribuční sítě. Dále je schopný měřit také energii tekoucí z odběrného místa, tím pádem i z výroby do distribuční sítě. V obou směrech provádí měření jak pro činný výkon, tak pro jalový výkon. Měří tedy současně čtyři veličiny v rovině tj. měří ve čtyřech kvadrantech.

Tento elektroměr nahradil při připojení výroby předcházející digitální dvoukvadrantový. Součástí nového elektroměru je i komunikační modul pro přenos naměřených údajů přímo distributorovi. K přenosu je využívána datová komunikace přes síť mobilních operátorů. Odečet naměřených hodnot je automatický a hodnoty jsou předávány přímo Operátorovi trhu s energiemi pro pravidelné měsíční výkazy.

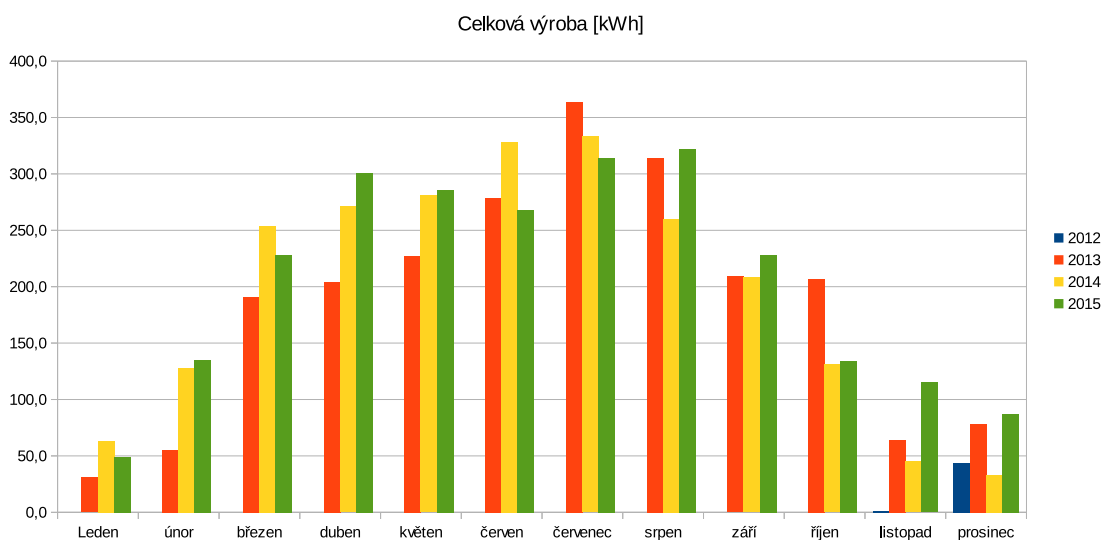
Z naměřených hodnot se několika výpočty provede vyhodnocení výroby za uplynulý měsíc. Zaznamenávají se údaje o vyrobené energii, celkově spotřebované energii v předávacím místě, tj. energie vyrobená, zároveň i spotřebovaná v místě a energie dodaná z distribuční sítě. Dále se vypočítává energie, která byla spotřebována v místě a energie dodaná do distribuční sítě. Odečet hodnot v místě výroby probíhá přímým odečtem provozovatele z hodnot uvedených na elektroměrech. Čtyřkvadrantový elektroměr disponuje pamětí na hodnoty měření čtyři měsíce zpětně. Elektroměr u výroby má pro výstup pouze číselník bez uchování hodnot.

1.5 Historické údaje o výrobě

Již od spuštění výroby bylo nutné zaznamenávat data pro měsíční vyhodnocování. Záznamy jsou dostupné od listopadu 2012, kdy v posledních dnech tohoto měsíce byla elektrárna připojena do sítě. V prosinci pak byl první kompletní měsíc v provozu. V následujících bodech popíší naměřená data a chování výroby v jednotlivých fázích roku.

1.5.1 Celková vyrobená energie a podíl vlastní spotřeby

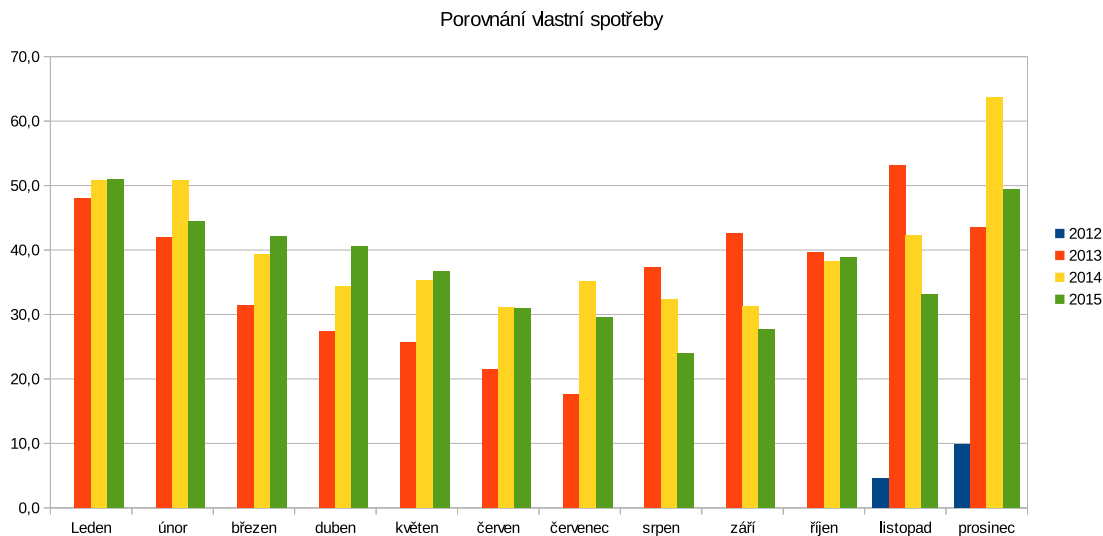
Na prvním obrázku jsou objemy vyrobené energie v jednotlivých měsících roku. Každý rok je označen jinou barvou sloupce a umožňuje porovnání jednotlivých let mezi sebou. Na záznamu je názorně vidět závislost vyrobené energie na délce slunečního svitu během dne. Rozdíl mezi jednotlivými roky může být ovlivněn počtem dnů se silně zataženou oblohou.



Obrázek 1.9: Objem vyrobené energie v jednotlivých měsících v průběhu provozu

Druhý obrázek ukazuje jaký podíl energie vyrobené fotovoltaikou byl spotřebován v místě výroby. Zatímco v zimních měsících je vyrobené energie spotřebováno více, v letních měsících je vlastní spotřeba výrazně nižší. To souvisí s množstvím vyrobené energie, neboť v letním období je dvakrát až třikrát vyšší co v zimním období (viz Obrázek 1.9). Přebytek se pak dodává do distribuční sítě a není využíván místně.

Jestliže si všimnete na Obrázku 1.10 celkového podílu spotřebované energie, došlo v srpnu 2013 k výraznějšímu nárůstu lokálně spotřebované energie. To souvisí s přepojením další, často



Obrázek 1.10: Procentuální využití vyrobené energie ve vlastní spotřebě

připojené, zátěže do domácí sítě jako jsou například lednice, bojler, myčka. Nicméně celkové využití vlastní vyrobené energie asi 36% je velice malé. V ideálním případě by bylo vhodné dosahovat alespoň obráceného poměru tj. minimálně 65% spotřebované vlastní vyrobené energie.

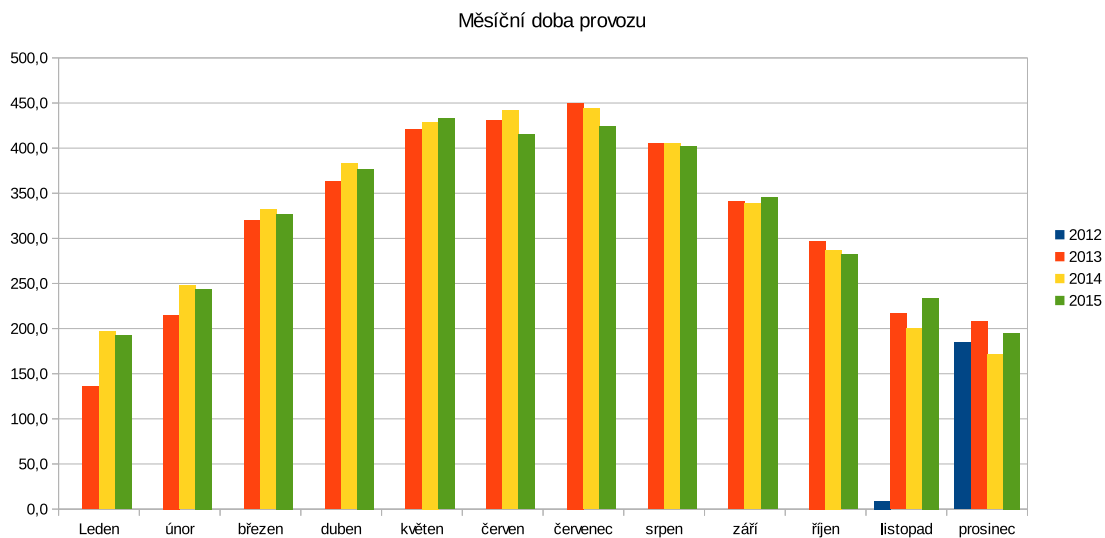
1.5.2 Řízení spotřeby

Balancování místní výroby a spotřeby je také závislé na době, kdy probíhá výroba. Po většinu světlé části dne je dům bez přítomnosti osob kvůli zaměstnání. Energie je spotřebována pouze automaticky spínanými zařízeními a v topné sezóně i elektrickým podlahovým vytápěním. Vyšší spotřeba nastává v přítomnosti obyvatel domu, kdy se vaří, uklízí, běží televize nebo radiový přijímač, případně se pere prádlo. Používaný střídač je však jednofázový, ale domovní instalace je navržena pro rovnoměrný odběr ze všech fází. Střídač tak dodává energii přibližně pro třetinu zařízení, které jsou připojena. V tomto modelu pomíneme třífázové spotřebiče jako motory čerpadel vody ze studny atp. Elektrickou varnou desku můžeme považovat také za jednofázový spotřebič, byť je připojena na třífázový přívod, ale jednotlivé ploténky jsou napojeny jednofázově. Proto ani při vaření není možné spotřebovávat veškerou vyrobenou energii z vlastní elektrárny.

1.5.3 Doba provozu výroby

Střídač také automaticky měří dobu provozu při výrobě energie. Tato doba je také evidována (viz Obrázek 1.11), ale pouze pro statistické účely a pro účely sledování změn. Můžeme tak vytvořit ucelený obraz o tom, kolik energie je elektrárna schopna dodat za jednotku času a efektivnost výroby.

V letních měsících je v porovnání k zimnímu období denní doba běhu asi dvojnásobná, je elektrárna schopna dodat až trojnásobek energie. Vše souvisí s postavením slunce na obloze, kdy v zimním měsíci je slunce nízko na obloze a delší dobu se nachází mimo směr orientace panelů. Intenzita slunečního záření tak není schopná dodat tolik energie pro napájení, ale stále dokáže udržet střídač v režimu dodávky do sítě. V létě pak slunce výše na obloze umožní výrobu i když se nachází mimo hlavní orientaci instalace. Navíc se na objemu výroby může projevit i východnější orientace, kdy ranní nižší teploty nezpůsobují silné ohřívání panelů a jejich snížení výroby. S rostoucí teplotou totiž účinnost přeměny energie v panelech klesá a v případě směrování výroby západnějším směrem, by slunce kulminovalo okolo 14 hodiny, kdy je teplota vzduchu nejvyšší.



Obrázek 1.11: Doba provozu v jednotlivých měsících

2 — Výchozí stav využívání vyrobené energie

V této kapitole se seznámíme s aktuálním stavem zapojení výroby do rozvodné sítě rodinného domu s výrobnou. Dále bych chtěl ukázat vývoj zapojení spotřebičů na výrobnou od počátku výroby přes úpravy v zapojení spotřebičů na stejnou fázi s výrobnou. Následně bych se chtěl dotknout aktuálního stavu řízení napájení spotřebičů a vedení záznamů o výrobě.

2.1 Napojení výroby na síť domu a distribuční síť

Instalace je napojena na distribuční síť přes vnější samostatně stojící sloupek s pojistkovou skříní a elektroměrovým rozvaděčem. Přívod do domu končí v hlavním rozvaděči v 1. nadzemním patře, kde je připojena instalace přízemí a 1. NP. Z tohoto rozvaděče je napojen podružný rozvaděč ve 2. NP. Do tohoto rozvaděče je napojena výrobná.

Volba tohoto místa napojení je zejména z důvodu omezení délky vodičů stejnosměrného vedení pro snížení ztrát a prostor pro instalaci technického vybavení výroby. Střídač má rozměry asi 44 cm na šířku, 34 cm na výšku a hloubku asi 22 cm. Jeho umístění do jiné než technické místnosti je komplikované a je nevhodné ho umísťovat do běžně průchozí místnosti, ve které je umístěn hlavní rozvaděč. V podružném rozvaděči bylo také místo pro instalaci nadproudových ochran a přepěťových ochran.

2.2 Řízení napájených zařízení

Instalace je připojena na druhou fázi a může napájet pouze spotřebiče, které jsou připojeny na stejnou fázi. Nejprve byla domovní instalace bez jakýchkoli úprav. Později došlo k přepojení některých spotřebičů s pravidelným odběrem, jako jsou chladnička s mrazničkou, právě na tuto fázi. Nakonec byly přesunuty i další spotřebiče, například bojler v přízemí.

Problém s tímto neřízeným zapojením je nevhodné rozvažování spotřeby. Spotřebiče totiž využívají svůj maximální příkon nehledě na lokální výrobu. To znamenalo i menší využití vlastní vyrobené energie v různých situacích. Zpravidla se dá očekávat, že výroba bude nižší než lokální spotřeba, proto je část výkonu spotřebovávána z distribuční sítě. Například u bojleru to v zimním období znamená využití většiny energie z distribuční sítě. Výrobna dle pozorování může poskytovat přibližně 200 W výkonu po dobu 5 hodin. Pokud běží bojler získává výkon 200 W od výroby, ale 1800 W ze sítě. Ohřátí vody na stanovenou teplotu tak proběhne rychle, ale z větší částí energií ze sítě a výrobna pak zbytek provozního času dodává přebytky. Jediná regulace je zařízena pomocí spínacích hodin, které zamezí sepnutí bojleru na nízký tarif v době tmavé části dne, kdy neprobíhá výroba. Tato regulace je hrubá a neumožňuje efektivně využívat vyrobenou energii od začátku výroby po východu slunce.

Dále je také v zimním období možné spotřebovávat vyrobenou energii pro podlahové vytápění. To je ale řízené pomocí HDO s pevně nastavenými časy a také termostatem. HDO spíná od 9 hodin vysoký tarif na dobu 60 minut, pak následuje opět 60 minut nízký tarif. Tyto bloky vysokého tarifu jsou celkem 4 hodiny denně.

Jestliže zakrývá oblačnost oblohu je dodáváno malé množství energie, které nepokryje celou spotřebu. Pokud je slunečno a výroba je vyšší, dochází díky orientaci hlavních obytných částí na jih k jejich ohřívání slunečním zářením a tím pádem vypnutí prostorovým termostatem.

2.3 Využívaný tarif

Pro vyúčtování s ohledem na využívání elektrické energie byl zvolen tarif distribuční společnosti ČEZ D45d Přímotop Comfort [1]. Tarif je volen zejména z důvodu, využívání elektrického podlahového topení jako hlavního zdroje tepla. Jeho určení podle dodavatele je pro přímotopné elektrické vytápění a ohřev teplé užitkové vody. Nízký tarif smí být rozdělený až do 7 samostatných úseků. Souvislá délka vysokého tarifu nesmí překročit jednu hodinu. Dále je jako podmínka pro využívání tarifu minimálně 40% z příkonu domácnosti v přímotopných spotřebičích.

Součástí jsou dvě tarifní pásma, jenž jsou řízena pomocí HDO. Spínání topných spotřebičů musí zajistit odběratel vhodnými technickými prostředky. Po výměně elektroměru související s připojením rozvodny byl změněn způsob přepínání tarifů na pevné časy popsané výše. V Tabulce 2.1 uvádím ceny za rezervovaný příkon a odebrané množství energie.

Tabulka 2.1: Regulované sazby spotřeby elektřiny [1]

Regulované sazby spotřeby elektřiny		
Měsíční plat za příkon podle jmenovité proudové hodnoty jističe před elektroměrem nad 3x20 A do 3x25 A včetně	Odpovídající distribuční sazba	
	bez DPH	s DPH
	315,00	381,15
Ostatní služby za 1MWh		
cena systémových služeb	99,71	120,65
cena na podporu výkupu elektřiny Kč/A/měsíc	23,96	29,00
cena za činnosti zúčtování OTE Kč/OM/měsíc	6,58	7,97
Silová elektřina		
pevná cena za měsíc	10,00	12,10
cena za 1 MWh VT	1448,00	1752,08
cena za 1 MWh NT	1261,00	1525,81

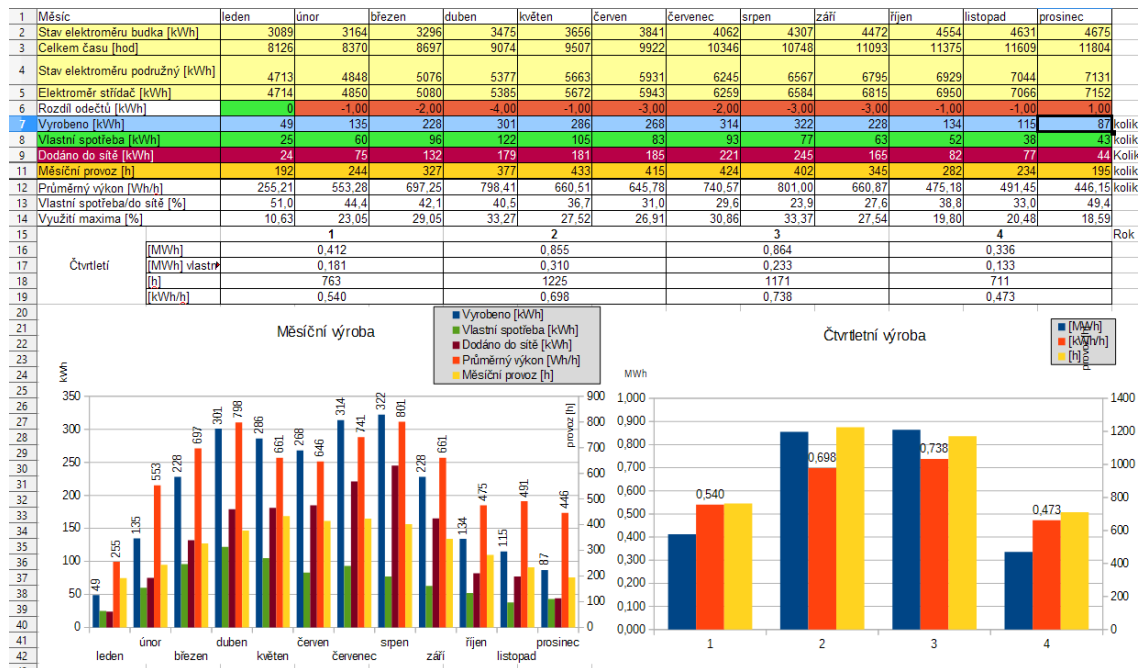
Dodavatel energie garantuje pro tento tarif alespoň 20 hodin nízkého tarifu. Před instalací čtyřkvadrantového elektroměru byl systém spínán pomocí signálu HDO podle dispečerského rozhodnutí.

2.4 Záznamy o výrobě

Záznamy jsou vedené zejména pro účel vyúčtování vyrobené energie za uplynulý měsíc. Do záznamu se uvádí:

- celková vyrobená energie
- energie dodaná do distribuční sítě
- energie vyrobená i spotřebovaná v místě
- energie dodaná z distribuční sítě a objem ve vysokém a nízkém tarifu
- celková doba výroby

Pro měsíční elektronické vyhodnocení jsem připravil tabulku, do níž se zadávají opsané údaje z elektroměrů a střídače. Pomocí vzorců jsou vypočítány hodnoty pro výstup k operátorovi s trhem. Dále je součástí tabulky i grafické vyhodnocení měsíční výroby s celkovou výrobou, vlastní



Obrázek 2.1: Vyhodnocovací tabulka měsíčního výkazu

spotřebou a přetokem do sítě. Orientačně je zařazena i hodnota průměrného výkonu na hodinu běhu a doba výroby. Náhled na tabulku naleznete na Obrázku 2.1.

Tyto záznamy jsou však závislé na odečtu osobou přímo na místě. V případě že není na místě nikdo, kdo by mohl odečet provést, například z důvodu dovolené, vyvstává problém. Proto by bylo vhodné zajistit odečet elektronicky.

3 — System pro zvýšení vlastní spotřeby

Pro zvýšení vlastní spotřeby je nutné upravit výrobu tak, aby uměla hospodařit s dodávaným výkonem a buď ho při přebytku ukládat pro následné použití v době bez slunečního svitu, nebo připojovat spotřebiče postupně, pokud není aktuální výroba dostačující k pokrytí požadavků spotřeby.

Na počátku je nutné se rozhodnout, zda je vhodné zakoupit nový střídač s následným prodejem původního zejména kvůli snížení nákladů na pořízení. Nový střídač již může mít požadované funkce vestavěné, umožní ukládat energii do akumulátorů a tuto energii v době potřeby opět použít. Celá tato sestava je odladěná, odzkoušená vývojovým pracovištěm a poskytuje základní jednoduchou obsluhu. Cena těchto střídačů se pohybuje mezi 30 a 60 tisíci korunami. Otázkou je, zda je starý střídač ještě prodejný a za jakou cenu. Původní nákupní cena byla na hladině 30 000 Kč.

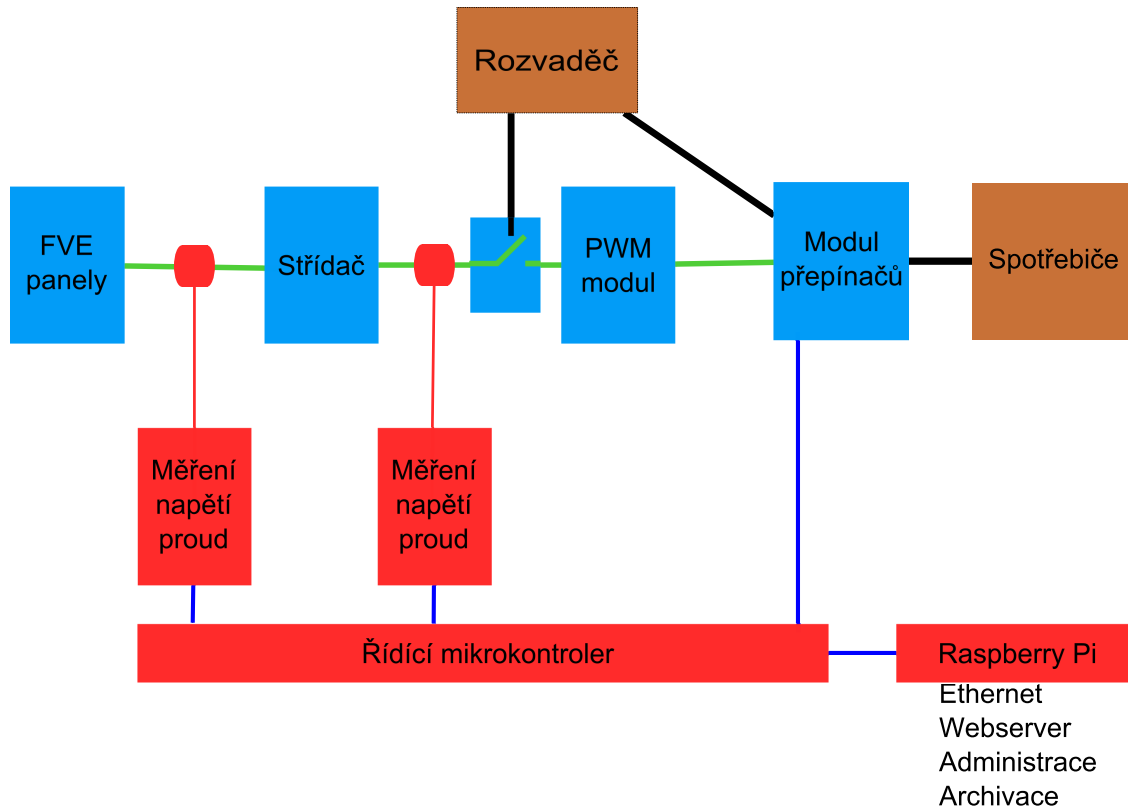
Druhou volbou bylo použít nadstavbu k současnemu střídači a připravit zařízení, které by mělo minimálně umožnit:

- řídit zapínání spotřebičů pro plné využití výroby.
- umožnit „ostrovní provoz“ pouze s několika spotřebiči v době, kdy by lokálně vyrobená energie byla schopna pokrýt jejich požadavky po dobu běhu za slunečné části dne a nahradit nutnost sfázování s distribuční sítí.
- umožnit napájení spotřebičů i s vyšším příkonem než je aktuální dodávaný výkon výrobnou.
- umožnit připojit volitelně akumulaci elektrické energie jako další spotřebič.
- měřit vyrobený proud pro účely řízení a zaznamenávat vyrobenou energii.

3.1 Blokové schéma

Před započítáním stavby a úpravy stávajícího stavu jsem navrhl blokové schéma stávajících a nových modulů na Obrázku 3.1. Levá strana, obsahuje úvodní část fotovoltaických panelů se

střídačem. Na spoj mezi panely a střídač přibývá měřící člen napětí a proudu připojený na vyhodnocovací mikrokontroler. Měření je taktéž připojeno za střídačem pro pokrytí evidence dodávaného výkonu.



Obrázek 3.1: Blokové schéma zapojení

Novým blokem je následující přepínač, který vyvádí výkon výroby buď do rozvodné sítě domu potažmo distribuční sítě a přímo ke spotřebičům. Ovládán bude řídicím signálem z mikrokontroleru. Bude zajišťovat odpojení výroby od sítě v době, kdy může dodávat energii do spotřebiče po celou dobu výroby avšak s nižší hodnotou výkonu, než je příkon spotřebiče. Omezí se tak nákup energie z distribuční sítě zejména pro ohřev teplé vody.

Následující modul řídí tok energie mezi výrobou a spotřebou. Obecně lze prohlásit, že poptávka po energii při velikosti této instalace bude vždy vyšší než je možnost dodávky výrobnou. Proto musíme tok energie ke spotřebičům omezit a vhodně řídit. K tomu bude sloužit modul pulzně-šířkové modulace. Podrobněji se úvahou zabývá část 3.4 Řízení výstupního výkonu.

Poslední nový blok je modul přepínačů, jenž bude v rozvaděči volit mezi napájením spotřebičů ze sítě domu nebo z výroby. Řízení bude zajištěno pravděpodobně na přídatné desce, ale provázané

s řídicí deskou komunikačním kanálem. Je nutné zajistit spínání vhodných spotřebičů vzhledem k předpokládanému vývoji dodávky energie během výroby a aktuálnímu výkonu. Pro stabilitu systému je vhodné zachovat rovnováhu mezi výrobou a přímou spotřebou, případně připojit akumulátory k uchování energie zejména po ukončení dodávky pro spotřebiče s dlouhodobým odběrem, například pro vytápění nebo ohřev užitkové vody. Přepojení celé výrobní na domovní síť pak zajistí tyto přepínače společně s přepínačem za střídačem.

3.2 Měření dopadající sluneční energie

Pro měření intenzity dopadající energie je možné použít specializované zařízení sestavené z fotovoltaických článků dané plochy. Tento detektor se nazývá *pyranometr*. Pokud nechceme instalovat další zařízení na střeche, můžeme si vystačit s měřením napětí a proudu na přípojných vodičích stejnosměrného proudu před vstupem do střídače. Měření těchto parametrů bude použito pro řízení zatížení střídače, protože v případě přetěžování bude prudce klesat napětí na panelech.

Pro měření proudů ve stejnosměrných soustavách můžeme použít buď kontaktní měřicí nástroje u nichž přes měřicí přípravek protéká proud dodávaný panely. Druhou volbou je bezkontaktní způsob, kdy jádrem cívky provlečeme měřený vodič. Ten, i v případě protékání stejnosměrným proudem, generuje magnetické pole v okolí. Do mezery jádra se vložena Hallova sonda měřící velikost magnetického toku procházejícího mezerou. Magnetické pole mění rozmístění nosičů náboje proudu protékajícího Hallovou sondou. Toto vychýlení způsobí polarizaci napěťových kontaktů a vznik napětí, jenž je výstupem ze sondy. Velikost napětí je úměrná protékajícímu proudu.

Měření proudu před střídačem ale není příliš nutné. Při nadměrném odběru bude strmě klesat hodnota napětí na panelech, protože tento systém má charakteristiku měkkého zdroje. Můžeme proto uvažovat nad náhradou pouze měřením napětí, i když tak přijdeme o možnost plně kontrolovat řízení. Výsledná konfigurace bude vyřešena až po ověření na reálném zařízení. Úsporou obvodu měření proudu můžeme ušetřit finanční náklady, neboť toroidní cívky s Hallovou sondou, které jsou schopné bezkontaktním způsobem měřit protékající stejnosměrný proud nejsou levné. Dále je potřeba řešit i jejich napájení a přepětíovou ochranu napájecích vodičů.

Měření napětí bude nutné „kontaktním“ způsobem. Pro fotovoltaické systémy existují slučovače–rozbočovače vodičů, které se přímo připojují na rychlospojky. Z těchto přípravků vyvedeme vodiče pro měření napětí. Měřicí zařízení bude muset být galvanicky odděleno buď transformátorem nebo optočlenem. Tato ochrana zabezpečí v případě přepětí na měřené části ochranu nízkonapěťové části.

3.3 Měření výkonu za střídačem

Za střídačem je možné měřit napětí a proud ve stejném rozsahu jako před střídačem. Je však třeba použít vhodné měřicí prostředky na hladinu napětí a protékané proudy. Měření bude určeno pro záznam dodané energie do domovní sítě a také pro řízení počtu a příkonu připojených spotřebičů.

Měření už je na střídavém proudu, proto bude muset vyhodnocovací prvek vypočítávat integrací průběhu efektivní hodnotu napětí a proudu. V porovnání s měřením stejnosměrných proudů je možné použít jednodušší nástroje.

Měření proudů je možné bezkontaktním způsobem pomocí proudových transformátorů vhodného převodového poměru. Proudový transformátor je cívka, jejíž volné konce jsou připojeny paralelně k rezistoru a analogově digitálnímu převodníku. Vodič protékaný proudem kolem sebe vytváří magnetické pole, které vybudí v cívce tok elektrického proudu a ten je snímán.

Měření napětí bude pravděpodobně nutné stejně jako před střídačem provést kontaktní způsobem. Zde je však činnost usnadněna použitím vodičů bez rychlospojek. Je možnost tedy připojit měřicí přípravek snadněji.

3.4 Řízení výstupního výkonu

Úkolem tohoto zařízení je i možnost napájet spotřebiče s vyšším příkonem, než je aktuální dodávaný výkon pro dosažení největší efektivity využívání vyrobené energie. Za tímto účelem by mělo zařízení umět i regulaci výstupního výkonu s co nejmenšími ztrátami.

Zároveň však musíme uvažovat i nad způsobem řízení na straně výroby centrálně, nebo pro každý spotřebičem odděleně. Pokud bychom používali regulaci spotřeby před každým spotřebičem, bylo by zapotřebí tato regulační zařízení navrhovat pro jednotlivé spotřebiče na míru. Množství součástek by bylo velké a řízení jednotlivých koncových regulátorů odebírané energie by muselo být zajištěné v každém případě centrálně, aby nedocházelo k přetěžování výroby. Naopak výhodou by byla menší náročnost na dimenzování součástek a celého zařízení z hlediska maximálních proudových toků. Na druhou stranu však nemusíme řešit přepojování spotřebičů i výroby od rozvodné sítě domu, neboť můžeme odběr spotřebiče řídit do maxima dodávaného výkonu výrobnou.

V případě centrálního řízení poskytovaného výkonu použijeme pouze jediný řídicí systém, avšak nemůžeme řídit spotřebu jednotlivých spotřebičů. Dále je nutné zajistit odpojení spotřebičů i výrobní od sítě v domácnosti. Pokud bychom chtěli napájet spotřebiče i v době, kdy vyrobená energie nepokrývá nároky spotřebičů, nedostatek by pokrývala distribuční síť. V tom případě musíme výrobní i spotřebiče odpojit a regulovat objem výkonu tak, aby se spotřeba rovnala výrobě.

Vhodným přístupem se jeví pulzně – šířková modulace. Její princip spočívá v tom, že jsou odebírány pouze proudové pulzy. Řídicí algoritmus nastavuje délku pulzů tak, aby celkový odebíraný výkon nepřekračoval aktuální výrobu a střídač nebyl přetěžován. Došlo by k aktivaci ochrany proti přetížení a střídač by se odepnul od sítě. Čím delší pulzy, tím vyšší je efektivní hodnota proudu a tím vyšší přenášený výkon.

Další výhodou tohoto typu modulace jsou nízké ztráty při spínání. Používají se tranzistorové prvky jejichž spínací doba je v nanosekundách a mají malý ztrátový výkon. Oproti řízení výkonu odporovou cestou není mařeno tolik energie. Nicméně při spínání v krátkých časech dochází k velkým proudovým změnám. Proto je potřeba hlídat správné časy spínání a uvažovat i s kapacitními vazbami a jistou setrvačností při spínání. V případě krátkých dob mezi spínáním může dojít ke zkratování a zničení celého obvodu.

3.5 Ovládání připojených spotřebičů

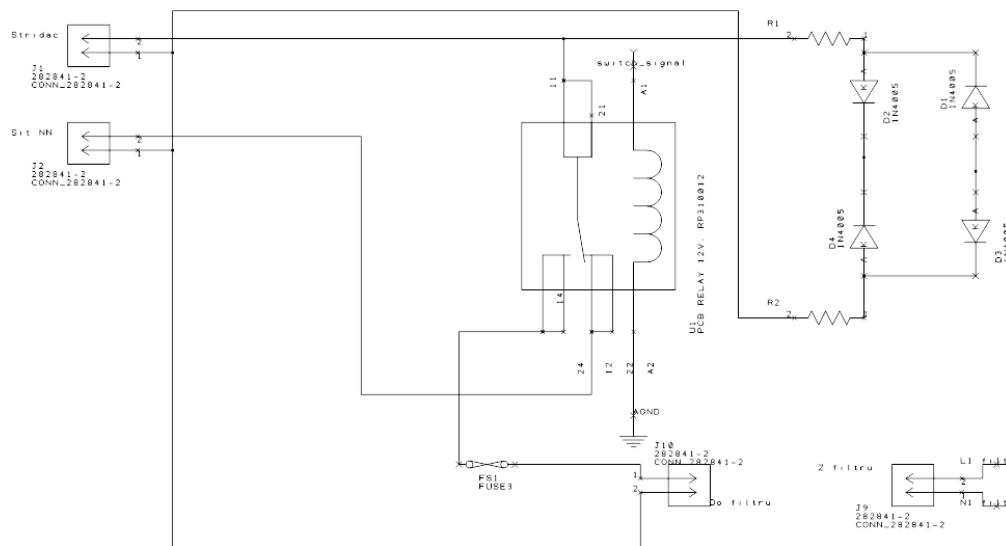
Výstup po PWM regulaci bude vyveden na svorkovnici, aby mohlo být navazující zařízení pro napájení spotřebičů oddělené. Zařízení by mělo umožnit propojit spotřebiče jak na napájecí síť, tak na přímé napájení z výrobní. K tomu budou sloužit pravděpodobně prosté přepínače na svorkovnici v rozvaděči. Protože přepínače mají nižší zhasací schopnosti elektrického oblouku při vypínání v zátěži, je potřeba řešit i ochranu kontaktů. Pro tento účel bude zařízení detekovat průchodu nulovou hodnotou proudu na měření výkonu, případně nulovou hodnotou průchodu proudu na základní desce.

Deska bude umožňovat i připojení měniče pro uchování elektrické energie v akumulátorech. Nabíjení akumulátorů by mělo být připojeno jako další spotřebič. Umožní to totiž budovat modulární systém, který akumulaci bude nebo nebude využívat. V prototypu nebude nabíjení akumulátorů uvažováno.

3.6 Popis bloků zařízení

3.6.1 Přepínání výstupu střídače

Střídač je v současné době připojen přímo do rozvodné sítě přes nadproudové a přepětové ochrany. K napájení zařízení pouze energií ze střídače v době, kdy by většina energie pro jejich běh musela být dodávána ze sítě, je potřeba umožnit odpojení střídače i spotřebičů. K tomu bude sloužit přepínač ovládaný mikrokontrolerem.



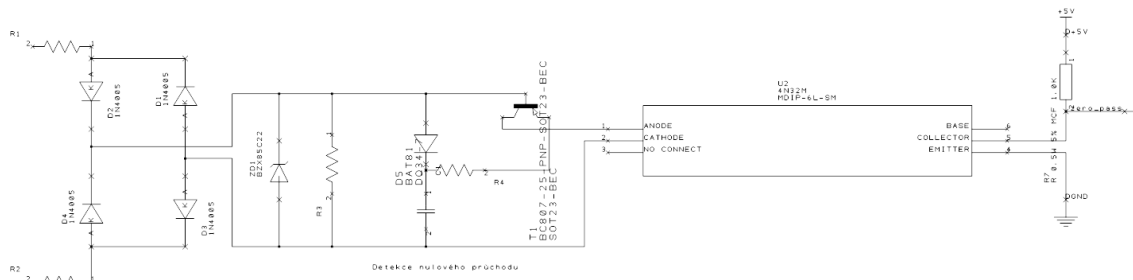
Obrázek 3.2: Zapojení detektoru průchodu nulou

(viz Obrázek 3.2) obsahuje schéma zapojení tohoto přepínače z návrhového softwaru. V levé horní části se nachází svorkovnice pro připojení výstupu střídače za ochranami. Pod ní se nachází svorkovnice pro připojení do sítě nízkého napětí. Následuje vlastní přepínač jehož cívka je řízena ovládacím signálem z mikrokontroleru. V pravé části pak navazuje usměrňovač detektoru průchodu nulou.

Mezi střídač a další části je zapotřebí vložit filtr. Filtr odstíní vyšší harmonické frekvence, které vznikají při změnách frekvence v následném zařízení. Tento filtr propouští pouze nízké frekvence napájecího napětí a proudu. Ostatní frekvence mohou být v následujících obvodech vyzařovány jako z antény a mohou rušit okolní elektrická zařízení. Toto rušení se přenáší až do napájecí sítě distributora a může působit problémy. Návrh filtru a hlavně jeho naladění je složitá záležitost a je proto vhodné používat již hotové řešení. Filtr tak bude připojen na svorkovnice za přepínačem. Před filtrem je ještě pro ochranu střídače před nadproudy umístěna proudová pojistka.

3.6.2 Detektor průchodu nulou

Detektor je sestaven z předřadných odporů snižujících tok proudu na minimum a usměrňovače, který převede sinusový průběh napětí na tepající. Na výstup usměrňovače je připojena paralelně Zenerova dioda propouštějící proud po překročení tzv. Zenerova napětí. Dioda je uzavřena pokud klesne napětí pod stanovenou mez a proud prochází do dalších částí obvodu. To způsobí otevření tranzistoru a přenesení impulzu při průchodu nulou do optočlenu. Optočlen izoluje ovládaný obvod od případného přepětí v napájecí síti. Z optočlenu přichází signální impulz do mikrokontroleru. Zapojení je na Obrázku 3.3.



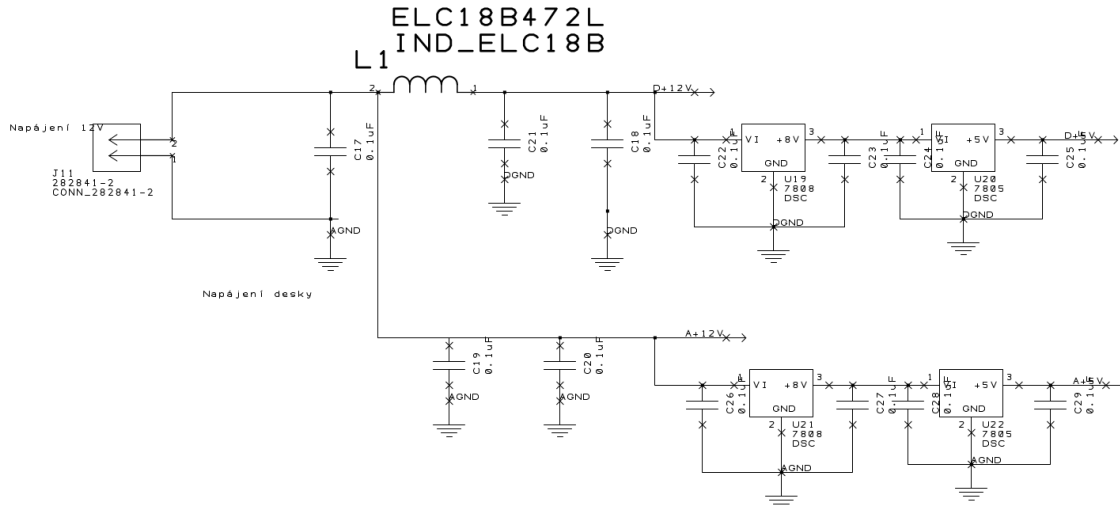
Obrázek 3.3: Zapojení detektoru průchodu nulou

3.6.3 Napájení desky

Napájení desky na Obrázku 3.4 je voleno s ohledem na připojení k akumulátoru o napětí 12 V jako záloze, případně napájení ze síťového adaptéru. Zakončení je připraveno pro svorkovnici při použití transformátoru v rozvaděči, které lze doplnit přípravkem s konektorem o správné konfiguraci pro napájení adaptérem. Napájení desky je potřeba rozdělit pro digitální i analogovou část zvlášť. Je nutné oddělit a přizpůsobit vazby mezi těmito dvěma napájecími obvody.

Digitální obvody při překlápění stavů způsobují v napájecí větvi napěťové pulzy. Vzhledem k možnému rychlému a častému překlápění číslicových obvodů může vzniknout neustálé rušení i v analogové části obvodu. Proto je potřebné tyto části oddělit od analogových obvodů. Tlumivka na vstupu analogové napájecí větve slouží k odstranění rušení šířícího se směrem k napájecímu zdroji i od napájecího zdroje do obvodů. Kapacitory za tlumivkou slouží k potlačení vazeb obvodů a k pokrývání napěťových a proudových špiček.

Protože elektronické součástky jsou navrženy pro napájení v hladině 5 V, je potřeba snížit napětí stabilizátory řady 78XX z hladiny 12 V. Pro snížení tepelného zatížení stabilizátorů je napětí sníženo s jedním mezistupněm. Kapacitory před i za stabilizátory slouží k vyhlazení napěťových výkyvů při spínání a slouží jako zásobník energie.

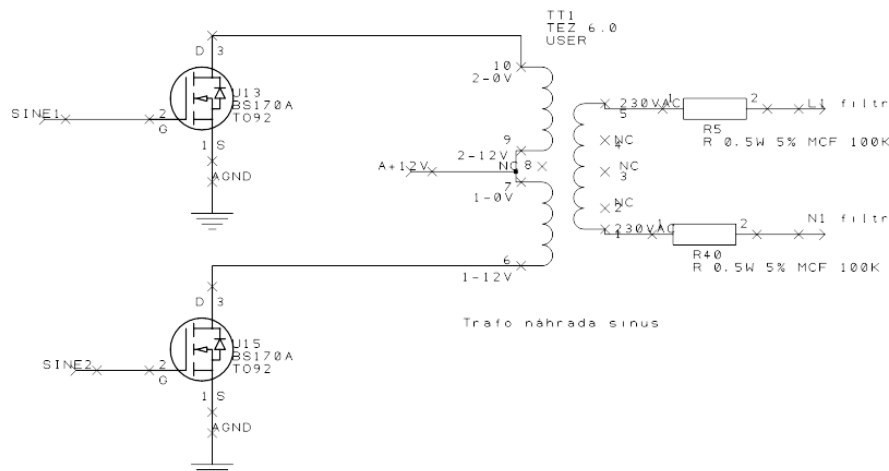


Obrázek 3.4: Napájecí obvod pro desku

Na vstupu do analogové napájecí větve jsou opět použity kapacity plnící funkci zásobníku energie při špičkových stavech a odstínily rušení jak z vnější sítě, tak i ze zařízení do napájecí sítě.

3.6.4 Generátor sinusového průběhu napětí pro fázování

Aby bylo zařízení schopné pracovat i bez přítomnosti síťového napětí rozvodné energetické sítě, je potřeba „podstrčit“ sinusový průběh napětí o frekvenci 50 Hz a efektivní hodnotě 230 V. K tomu slouží jednoduchý obvod s transformátorem z Obrázku 3.5. Tento transformátor se používá většinou jako snižující transformátor pro napájení dvou nízkonapěťových větví o stejném napětí.



Obrázek 3.5: Generátor sinusového průběhu napětí

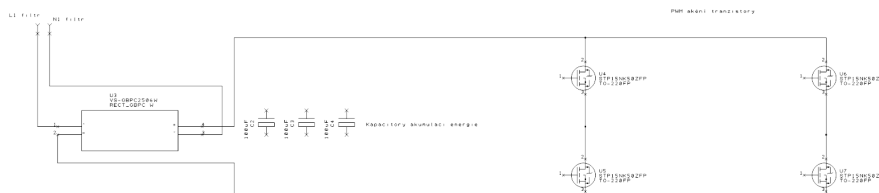
K napěťovým větvím se přes tranzistory připojí záporný pól napájecího zdroje. Kladný pól je připojen na střed vinutí. V momentě sepnutí tranzistoru protéká proud jednou polovinou vinutí a v sekundárním vinutí vzniká napětí na síťové hladině. Pro druhou půl vlnu průběhu napětí se první tranzistor uzavře a otevře se druhý pro opačnou větev. Proud teče v opačném směru než v první větvi a v sekundárním vinutí vytvoří druhou půl vlnu. K tomu, aby průběh sledoval křivku sinu, slouží kapacita obou vinutí, které působí proti změně, která proud vyvolala. Primární vinutí, chovající se jako cívka, tak způsobí postupný nárůst napětí na sekundární straně transformátoru. Pokud se tento stav v prototypu nepodaří navodit, je možné na střed primárního vinutí umístit cívku, která tento jev podpoří. Řízení spínání obou tranzistorů bude zajišťovat mikrokontroler.

Protože by si spotřebiče žádaly od tohoto zdroje více energie, než by byl schopný dodat, došlo by k proudovému přetížení. To by mělo za následek přehřátí, porušení izolačního stavu a následný zkrat. Pro sfázování střídače není podstatný proud, který je schopna síť dodat, ale pouze hladina napětí. Navrhl jsem přidat na svorky sekundárního vinutí rezistory o velkém odporu, které omezí dodávaný proud na minimum, ale přenos napětí neovlivní.

3.6.5 Pulzně-šířková modulace a její řízení

Pulzně-šířková modulace slouží k dosažení požadovaného výkonu na spotřebiči změnou frekvence a doby průběhu proudu spotřebičem. Modulace je založena na častém otevírání a zavírání spínacího prvku. Poměrem doby, kdy byl ovládací tranzistor v sepnutém stavu, a doby měření vynásobené vstupním napětím získáme střední hodnotu napětí na výstupu.

Blok pulzní modulace se sestává z výkonové a řídicí části. Výkonová část na Obrázku 3.6 obsahuje usměrňovač, který střídavé průběhy převádí na pulzní. Kapacitory opět slouží jako zásobárna energie pro spínací část. Dále následují spínací elementy z tranzistorů.



Obrázek 3.6: Výkonová část pulzně šířkové modulace

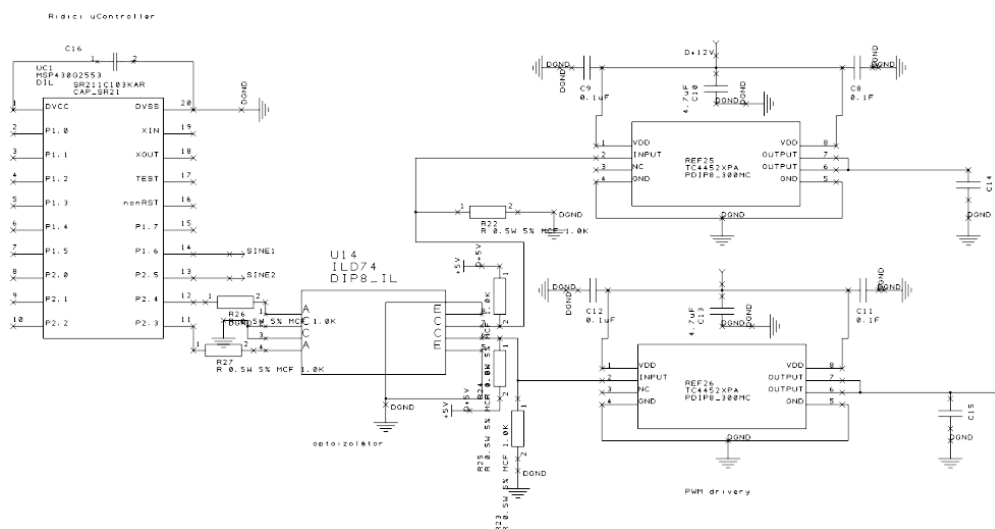
Volba vhodného typu tranzistorů závisí na spínací frekvenci a předpokládanému protékajícímu proudu. Pro vysoké proudy jsou vhodné IGBT tranzistory, které umožňují spínat desítky až stovky ampér. Použitelné frekvence jsou většinou v řádech kilohertzů. Dále jsou vhodné pro použití ve vysokonapěťových aplikacích.

Tranzistory MOSFET jsou vhodné pro nízká napětí a vysoké frekvence. Neumožňují propouštět takové proudy jako IGBT, proto jsou vhodné pouze pro nižší výkony v jednotkách kilowattů. Maximální výkon dodávaný výrobnou je 2,4 kW proto jsem si dovolil zvolit pro stavbu tranzistory MOSFET. V případě že by se zvolené tranzistory v prototypu neosvědčily, může být použit jiný typ.

Tabulka 3.1: Parametry tranzistoru STP15NK50ZFP [6]

Symbol	Parametr	Hodnota
V_{DS}	Napětí drain-source	500 V
V_{GS}	Napětí gate-source	30 V
I_D	Proud drain	14 A
I_{GS}	Proud gate-source	20 mA
dV/dt	Změna napětí pro uzavření ochranné diody	4,5 V/ns

Pro řízení spínacích prvků je vhodné zařadit i budič spínacích obvodů. Při otevírání tranzistoru v krátkém čase má součástka vysoký proudový odběr pro otevření vodivého kanálu. Budič je pro tuto potřebu navržen a dokáže pokrýt proudovou špičku. Řízení budiče bude zajišťovat mikrokontroler. Bude zajišťovat i dobu mezi spínáním obou větví můstku (tzv. mrtvou dobu). Jestliže by můstek spínal brzy za sebou bez mezičasu, kdy jsou obě větve v nevodivém stavu, mohlo by dojít ke zkratu. V případě okamžitého sepnutí by proud vznikající na kapacitních vazbách a protékající ochrannými diodami způsobil zkrat. Vhodné nastavení je potřeba odladit při sestavení obvodu.



Obrázek 3.7: Řídící část pulzně šířkové modulace

Většina komerčních modulů nabízí spínání a řízení zátěže spotřebičů pouze vypínači případně tyristory. Vypínače případně stykače nedokáží řídit výkon plynulým způsobem. Jsou vhodné pouze v případech, kdy výkon zdroje převyšuje příkon spotřebiče. Omezení pro spínání je také v počtu sepnutí těchto prvků za časovou periodu. V případě, že je tento počet překračován, dochází k poškozování kontaktů přehříváním a k opalování vytaženými oblouky. Tím se značně zkracuje jejich omezená životnost.

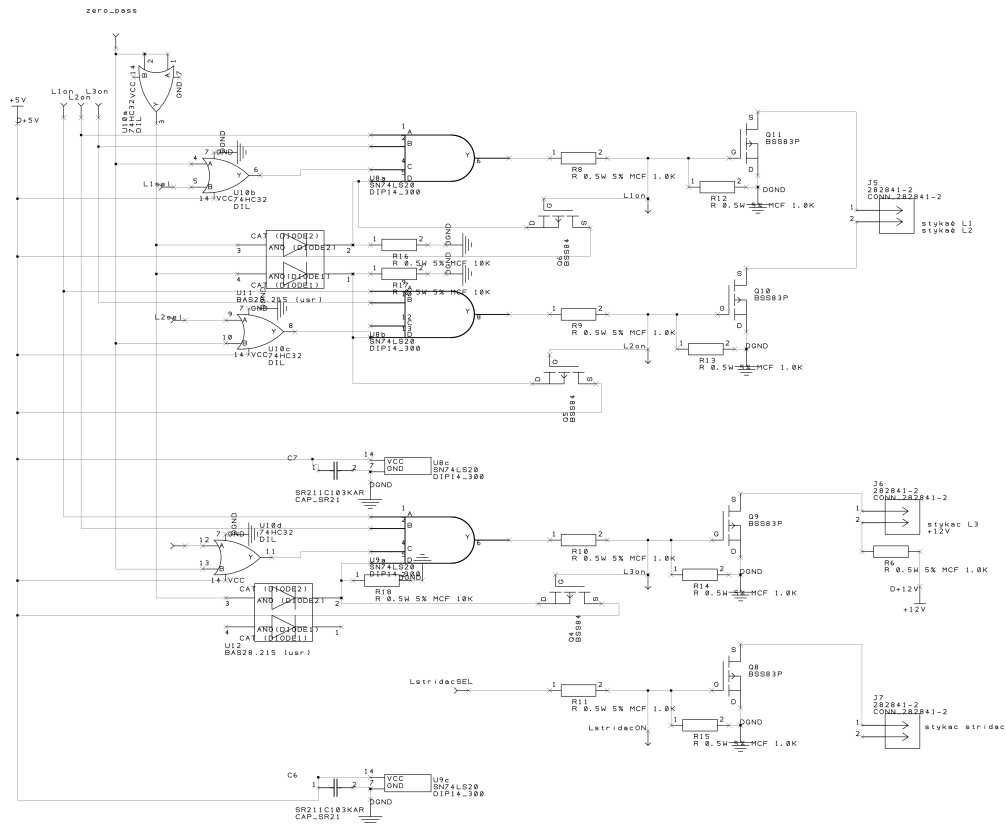
Tyto nevhodné vlastnosti odstraňují elektronické polovodičové prvky bez pohyblivých mechanických částí. Tyristory umožňují po přijetí řídicího signálu otevření přechodu a propuštění proudu. Proud je propouštěn do opětovného průchodu nulovou hodnotou. Pak se tyristor opět uzavírá. Pokud je tyristor otevřený, nedá se již odebráním napětí na řídicí elektrodě opět zavřít. Nicméně ani tento způsob spínání není vhodný, protože odběr po dobu sepnutí není žádným způsobem řízen.

3.6.6 Řídicí logika přepínání stykačů

K řízení stykačů pro přepínání výstupu výroby a připínání spotřebičů bude fungovat samostatně. Zvláštní desku jsem zvolil z důvodu modularity systému, kdy je možné v malých instalacích s malými protékajícími proudy spínat spotřebiče přímo na desce. Jestliže bude spotřebičů víc, nebo jejich proudový odběr bude velký, lze koncipovat desku jako ovládací pro stykače v rozvaděči. Případně lze desku úplně vynechat a správu svěřit průmyslovému počítači v rozvaděči.

Vzhledem k nutnosti řešit priority spínaných zařízení je vhodné nabídnout uživateli rozhraní pro nastavování priorit. Uživatel si může navolit priority pro jednotlivé skupiny zařízení a v těchto skupinách zavést opět další priority. Dále je také potřeba do systému zadat očekávanou velikost odběru na daném spínači a také jakou prioritní skupinu a pozici ve skupině zaujímá. Ve fázi testování a vývoje bude dostupná pevná tabulka priorit bez možnosti volby, změn a úprav. Postupným vývojem by bylo možné dokončit tento nástroj, který se postará o automatizované připínání zátěže. V pozdější vývojové verzi by mohl poskytovat i webový výstup o právě sepnutých spotřebičích a možnost změny parametrů spotřebičů a jejich priorit.

Řízení bude svěřeno minipočítači, který bude sbírat údaje o aktuálně dostupném výkonu pro spotřebiče z mikrokontroleru a podle toho zvolí i velikost připínané zátěže dle priorit. Dále také bude mít informaci o průchodu proudu nulovou hodnotou a bude se snažit odpínat a připínat zátěž v okolí této hodnoty, aby minimalizoval opotřebení kontaktů zhášením oblouků, případně poruchový stav, kdy se kontakty obloukem nataví a nepůjdou odepnout.



Obrázek 3.8: Logické obvody přepínání fází

Možnost připojování výroby na jednotlivé fáze sítě je prozatím integrována na desce jako nadbytečná funkce, která ve vývojové fázi nebude provozována. Později umožní při měření proudů tekoucích z distribuční sítě připojit výrobu na právě nejvíce zatíženou fázi a tím minimalizovat odběr z distribuční sítě a pokrýt požadovanou spotřebu z vlastního zdroje. K tomu je potřeba další zařízení snímající proudy na vstupu z distribuční sítě pro každou fázi zvlášť a přenos informací k vyhodnocování.

Přepínání je chráněno logickými obvody (viz Obrázek 3.8) proti sepnutí dvou fází na stejné svorky, aby nedošlo k mezifázovému zkratu. Pro přepínání jsem navrhl vypínače, které budou na straně napájené výrobnou spojeny dohromady a na druhé straně budou připojeny každý na jinou fázi. Řízení spínání pak bude probíhat pomocí stejnosměrného proudu na hladině 12 V použitého k napájení celé desky. Protože tyto přepínače jsou málo dostupné, je možné na desku zabudovat elektronické spínače síťového napětí a tímto napětím pak ovládat spínače v rozvaděči. Toto řešení však neumožňuje ovládání při výpadku proudu z distribuční sítě, neboť vyžaduje již vygenerované síťové napětí, které v tu dobu nebude dostupné.

3.6.7 Řídící mikrokontroler

Pro řízení je vhodné použít nízkourovňové zařízení, které není zatížené okolními periferiemi a umožňuje snadné nastavování, programování a řízení dalších elektronických prvků. Jelikož jsem měl přístup k programátoru pro mikrokontrolery výrobce Texas Instruments pro řady MSP430 zvolil jsem pro řízení právě tento mikrokontroler.

Pro upřesnění zvoleného typu jsem použil verzi MSP430G2553. Jedná se o mikrokontroler s nízkou spotřebou proudu v řádech stovek mikroampér při aktivní činnosti a do 1 mikroampéru v nezatíženém stavu. Obsahuje dva časovače, které budou používány k řízení sinusového průběhu zdroje připojovaného při oddělení výroby a spotřebičů od sítě. Maximální pracovní frekvence je nastavena na 16 MHz. To umožní i řízení pulzní modulační na vysokých frekvencích a jemnější řízení propouštěného výkonu do spotřebičů.

Mikrokontroler také obsahuje takzvané univerzální sériové komunikační rozhraní (USCI), které umožňuje navazovat komunikaci mezi dalšími mikrokontrolery a periferiemi. Tato vlastnost je důležitá pro rozšiřitelnost zařízení. V dalších vývojových stádiích bude možné připojit i radiový modul, který by komunikoval s dalšími zařízeními sledujícími síť v domě. Zejména se jedná o snímání velikosti proudu tekoucího z distribuční sítě v jednotlivých fázích a volba nejvíce zatížené fáze pro připojení výroby.

3.7 Priorita napájení

Prvním úkolem prioritizace napájení znamená rozhodování, zda napájet spotřebiče lokálně z výroby, nebo přikročit k přetoku energie do distribuční soustavy. Rozhodnutí závisí na množství energie, které je schopna domácnost aktuálně spotřebovat. Jestliže spotřebiče přímo připojitelné na výrobu nebudou mít dostatečnou spotřebu, je nutné připojit výrobu do distribuční sítě.

Druhým stupněm řízení se budou přiřazovat jednotlivé spotřebiče od distribuční sítě k výrobě. Zároveň také může systém nechat některé spotřebiče jak mimo distribuční síť, tak mimo napájení z výroby. V úvaze je využití dvou bojlerů, které jsou v domácnosti. Je možné připojit více využívaný bojler jako prioritní k výrobě a druhý bojler mezi tím odpojit od distribuční sítě. Vzhledem k počtu hodin, kdy může domácnost čerpat proud v nízkém tarifu, netvoří jeho ohřívání problém z důvodu nízkého zisku energie.

Pro řízení bude prozatím vhodné zřídit dvě prioritní stupnice. Rozdělíme ji na skupinu „hlavní“ a „vedlejší“. Hlavní skupina bude mít 5 stupňů a řídí prioritu napájených skupin spotřebičů. Priorita

1 bude mít největší přednost. Řazení bude od jedničky zejména z důvodu přidávání dalších úrovní tak, aby nemusela být stupnice prioritizace přepracována. Pokud bychom nejvyšší prioritu dali třídě s nejvyšším číslem, museli bychom v případě nedostatku pozic zřídít kategorii vyššího čísla a měnit priority u mnoha spotřebičů. Každá prioritní třída bude v návrhu obsahovat dalších alespoň 5 stupňů pro řazení v rámci vedlejších tříd. Nejvyšší prioritu bude mít opět podtřída označená 1. Popis řazení naleznete v Tabulce 3.2.

Tabulka 3.2: Zařazení spotřebičů podle priority

		Vedlejší prioritní třída				
		1	2	3	4	5
Hlavní prioritní třída	1	bojler(PP)	bojler(2NP)			
	2	myčka	pračka			
	3					
	4					
	5					akumulace

Ke každému spotřebiči bude nutné doplnit i informace o příkonu, aby mohl systém vyhodnocovat možnosti připojení k využití maximálního množství energie. Pokud bude celkový dostupný výkon vyšší než příkon spotřebiče s nejvyšší prioritou, je možné opět zapojit další spotřebič.

Některé spotřebiče však vyžadují bezvýpadkovou technologii napájení. U bojleru je možné napájení vypnout a znovu připojit na jiný zdroj aniž by došlo ke ztrátě informací ve spotřebiči. Sepnutí totiž řídí pouze termostat uvnitř zařízení. Jiné spotřebiče, jako jsou elektronicky řízená pračka nebo myčka ztratí po výpadku napájení při přepojování mezi zdroji energie informaci o svém stavu a nebudou plnit svoji funkci. Schopnost bezvýpadkově přecházet z jednoho zdroje na druhý nebude v této práci řešena, neboť je nutné pozměnit princip a funkci přepínání výstupu výroby a systém generování sinusového průběhu fázovacího napětí.

Případ, který je ale nutné řešit, je zastavení odběru energie na straně spotřebiče, například rozpojením termostatu při dosažení požadované teploty v bojleru. V tomto případě dojde k poklesu odběru proudu na minimum a systém musí zareagovat připojením buď dalšího spotřebiče. Jestliže tento není dostupný v domácí síti, přepojí výrobu na výstup do distribuční sítě. Produkci tak mohou spotřebovávat i spotřebiče nezařazené do prioritní tabulky.

S přepínáním souvisí také zabezpečení zařízení proti rychlému přepínání mezi jednotlivými výstupy. Pokud zařízení nenalezne žádný vhodný spotřebič schopný odběru energie, bude po

přepnutí dodávky do distribuční sítě běžet ochranná doba, po kterou se nebude snažit systém přepnout zpět do oddělené sítě. Zamezí se tak častému vypínání a zapínání střídače a všech spínacích prvků.

3.7.1 Ukládání momentálně nevyužitelné energie

Celou soustavu je velice vhodné připojit na zásobárnu, která by zvyšovala podíl lokálně využívané energie. K akumulaci se v domácích podmínkách hojně využívají například trakční akumulátory, které umožňují hluboké vybití při dodávkách energie aniž by se snižovala jejich životnost zásadním způsobem. Vhodným zdrojem těchto akumulátorů jsou vozidla využívající elektrickou trakci jako například různé elektrické vozíky, vysokozdvizné vozíky nebo akumulátorové lokomotivy. O těchto „zdrojích“ lze uvažovat pouze v případě, že k nim má uživatel přístup buď sám nebo prostřednictvím osob ve svém okolí, které mohou zajistit odprodej použitých akumulátorů.

Druhou možností je pořídit vlastní nové akumulátory určené speciálně pro účely spojené s fotovoltaickou výrobou elektřiny. Ty umožňují, stejně jako trakční akumulátory, hluboké vybití aniž by se poškodily a dále mají nízké samovybití a vyšší počet nabíjecích cyklů bez poklesu kapacity než olověné akumulátory do motorových vozidel. Výrobce totiž garantuje životnost po určitý počet cyklů za dodržení hloubky vybití s výstupem do grafu závislosti počtu nabíjecích cyklů na hloubce vybití. Všechny akumulátory je zapotřebí sledovat, neboť se mohou při přebíjení poškodit. Náklady na doplnění výroby o akumulaci se pohybují v řádech desítek tisíc.

Ve velkých výrobnách se nabízí i jiné způsoby akumulace energie například do setrvačné energie. Dále je uvažováno akumulovat energii do komprese vzduchu ve starých důlních dílech. Pokud přeneseme toto řešení do domácích výroben, není tento systém vhodný, neboť by bylo nutné instalovat baterii tlakových lahví pro uchování plynu a instalovat zařízení pro přeměnu energie zpět na elektřinu. Převážně kompresor by mohl obtěžovat sousedy hlukem při běhu a stavební úpravy by nebyly jednoduché. Řešení na principu vodní přečerpávací elektrárny je možné pouze ve specifických případech. K uložení energie by bylo potřeba velké množství vody a zřejmě i speciální vodní turbína pro malé průtoky. Finanční náročnost těchto řešení je obrovská a pro malé výroby není rentabilní.

4 — Efektivita nového řešení

4.1 Kalkulace úspor

Nasazení tohoto systému s sebou nese i finanční rozvahu návratnosti celé investice. Musíme zohlednit náklady na elektronické součástky potřebné pro stavbu, tak i náklady na doplnění rozvaděčů přepínači, mikropočítač ale také na výrobu desek plošných spojů vyrobených u profesionální firmy. Návrh systému počítá s těmito náklady:

2000 Kč – elektronické součástky

3000 Kč – filtry pro dodržení EMC

1000 Kč – výroba desek plošných spojů

2000 Kč – doplnění rozvaděčů pro testovací provoz

Celkem tedy výsledné náklady bez započtení nákladů na vývoj a osazení dosahují 8 000 Kč pokud nedojde při zkušebním provozu k nehodě a poškození desky nebo součástek. Uvedená cena nezahrnuje náklady na akumulátory v ceně kolem 10 tisíc korun ve variantě gelových nebo v ceně od 25 tisíc pro akumulátory založené na Lithiu.

V roce 2015 bylo vyrobeno celkem 2467 kWh energie, z toho 857 kWh bylo spotřebováno v místě výroby a 1610 kWh přeteklo do distribuční soustavy. Přibližně třetina je spotřebována a dvě třetiny jsou v přetoku. Tabulka 4.1 uvádí závislost úspory na poměru lokální spotřeby celkové vyrobené energii.

Z tabulky vyplývá, že při obráceném poměru vlastní spotřeby ku přetoku ušetří domácnost ročně asi 2400 Kč. Proti současnému stavu optimalizace se jedná o úsporu asi 1100 Kč. Návratnost investice do zařízení bez akumulátorů je oproti současnému stavu asi 10 let. Pokud by výroba umožnila spotřebovat 90% své produkce lokálně, je možné počítat s návratností 5,5 roku až 6 let. Návratnost investice včetně pořízení jednoduché gelové baterie s dostatečnou kapacitou a invertoru by byla odhadem totožná s dobou životnosti výroby.

Tabulka 4.1: Úspora v závislosti na objemu vlastní spotřeby

Výroba 2015	celkem [kWh]	vlastní spotřeba [kWh]	přetok [kWh]	cena za kWh [Kč]	úspora proti nákupu ze sítě [Kč]
	2329	857	1610	1,52	1303

vlastní spotřeba [%]				úspora [Kč]	úspora proti současnému stavu [Kč]
40		932	1397	1416	113
50		1165	1165	1770	467
60		1397	932	2124	821
70		1630	699	2478	1175
80		1863	466	2832	1529
90		2096	233	3186	1883
100		2329	0	3540	2237

Z výše uvedených důvodů je nutné tyto projekty z důvodu jejich dlouhodobých návratností řádně připravit a vyhodnotit již před samotnou instalací. Návratnost často přesahuje polovinu předpokládané životnosti výroby a v případě jakéhokoli problému nebo závady je pravděpodobné, že celá výroba po ukončení životnosti bude ztrátová. Pokud by byla výroba osazena již od počátku výroby kvalitnějším střídačem hybridního typu, mohlo by těchto několik let mezi spuštěním a instalací systému rozhodovat o ziskovosti.

4.2 Současný stav

V době dokončování této práce stále probíhalo testování zařízení bez připojení na výrobu. Na nepájivých polích byly sestaveny některé části obvodů zejména určených pro řízení. Nepájivá pole jsou určena pro elektronické součástky zatížené malými proudy a napětími. Vzhledem k předpokládaným proudům v části pulzní modulace se tato zkušební pole pro ladění nehodí.

Prototypové zapojení výkonové části bude provedeno použitím svorkovnic a izolovaných vodičů dostatečného průřezu. S ohledem na počet spojů v kladině 230 V je relativně malý, nemusí být sestavení zkušebního modelu problematické z hlediska přehlednosti. Při manipulaci s prototypem může docházet k nahodilým dotykům částmi těla a živých částí obvodu. Nemusím připomínat, že hrozí, v případě kontaktu, vážné poškození zdraví.

Po řádném otestování funkčních vlastností zařízení bude nejprve proveden test na elektrické síti bez připojené fotovoltaické výroby. Součástí tohoto testu bude ověření řízení omezování výkonu ke spotřebiči. Jestliže se potvrdí správnost zapojení, může být zařízení připojeno k výrobě. V souběhu s tímto testem pak bude probíhat i zkouška generátoru sinového průběhu napětí pro sfázování střídače. Modul pulsní modulace bude po dobu tohoto testu ve vypnutém stavu a přemostěn, aby nemohl při nepředvídatelné závadě systému poškodit střídač. Pak se již můžeme pokusit oživit funkci buzení střídače a zároveň nastavování odebírané energie.

Vhodným objektem pro zkoušení může být sada klasických vláknových žárovek nebo halogenových svítidel, které simulují odporovou zátěž. Jejich příkon se snadno reguluje změnou počtu připojených prvků a v případě poškození spotřebiče nesprávnou funkcí nehrozí vysoké materiální škody.

4.3 SWOT analýza nového řešení

Výstupem tohoto průzkumu jsou silné a slabé stránky navrhovaného řešení. Některá hodnocení jsou zjevná již ve fázi analýzy nebo řešení problému, některá hodnocení mohou padnout až při testovacím provozu. Analýza rozděluje vlastnosti zařízení případně návrhu na čtyři části:

S – Strengths : silné stránky a výhody

W – Weakness : slabé stránky

O – Opportunities : příležitosti

T – Threats : hrozby

4.3.1 Silné stránky

Mezi silné stránky patří jednoznačně vývoj nového a prospěšného zařízení. Optimalizace pomůže ušetřit domácnosti nákup energie z distribuční soustavy. Umožní zvýšit energetickou soběstačnost a dalším stavitelům podobných systémů umožní zkrátit cestu k řešení.

4.3.2 Slabé stránky

Jako slabiny se určitě projeví samotný návrh i výroba řešená jednou osobou. Za profesionálním zařízením stojí celý tým vývojářů a techniků, kteří mají bohaté zkušenosti. Zařízení prověří po všech možných směrech a pak provádí zkušební provoz. Jestliže během testovacího provozu dojde k poškození vyvíjeného zařízení nebo na něho připojených dalších přístrojů, není takový problém

je nahradit. Jestliže by mnou navrhované zařízení poškodilo střídač, šplhala by se škoda do desítek tisíc korun jak kvůli odepsání původního střídače a nákupu nového tak i z důvodu výpadku výroby do doby instalace nového.

4.3.3 Příležitosti

Možnost postavit a třeba i nabídnout veřejnosti návrh na amatérskou stavbu je povzbuzující. Při vyhledávání zdrojů pro tuto práci jsem našel několik, stále ještě nedokončených, projektů na stavbu optimizérů. Jejich vývoj je dlouhodobá záležitost. Ladění a nastavování do optimálního stavu pro provoz není jednoduchou záležitostí.

4.3.4 Hrozby

Tento bod je navržen zejména pro hodnocení vnějších hrozeb. Jelikož se jedná o nekomerční zařízení, není nutné zamýšlet se nad vlivy konkurence, legislativy a jiných. Jak jsem již uváděl výše v části 4.3.2, je největší hrozbou poškození připojených zařízení při havárii řídicí části. Zkrat nebo přetížení poškodí opravitelně nebo neopravitelně drahé přístroje.

Závěr

Snaha doplnit přidanou hodnotu do malé a svým zapojením jednoduché fotovoltaické elektrárny mě vedla k nápadu zvýšit efektivitu vlastní lokální spotřeby elektřiny. Protože jsem se od počátku výroby staral o měsíční výkazy výroby, připravil jsem si evidenci a porovnání naměřených hodnot v průběhu roku i mezi lety samotnými. Výsledkem je málo uspokojivé zjištění, že lokálně vyrobená elektřina je ze 2/3 nevyužita a teče do distribuční soustavy.

To mě vedlo k myšlence, pokusit se navrhnout zařízení, které by doplnilo instalovaný střídač a umožnilo využívat většinu vyrobené energie lokálně. Po provedení rešerše a průzkumu pramenů, popisující vývoj zařízení obdobně smýšlejících stavitelů, jsem dospěl k závěru sestavení optimizéru využívajícího pulzně–šířkovou modulaci. Dále musí být zařízení doplněno i dalšími podpůrnými obvody, které řídí připojování spotřebičů buď do domácí sítě nebo přímo k výrobně. Cílem bylo dosáhnout maximální lokální spotřeby i v době, kdy je okamžitý výkon podstatně nižší než je příkon napájeného spotřebiče.

Zařízení se umístí bezprostředně za střídač a jeho ochranné prvky. Na vstupu se nachází přepínač volící mezi připojením výroby do sítě domu, nebo do bloku pulzně–šířkové modulace. Následují filtry zajišťující elektromagnetickou kompatibilitu a vlastní modulátor. Výstup je vyveden k přepínačům na vedení ke spotřebičům. Ty volí, zda bude spotřebič napájen z modulátoru, rozvodné sítě, nebo bude dočasně odstaven a bude čekat, než ho výroba bude napájet.

Vývoj a nasazení zařízení je pouze malá část celého procesu. Jelikož jakákoli chyba způsobená tímto zařízením může poškodit okolní techniku v ceně desítek tisíc, je vhodný zvlášť opatrný postup. V případě poškození střídače a nutnosti jeho výměny by se mohla celá výroba po dobu životnosti stát pro vlastníka ztrátová.

Literatura

- [1] ČEZ, a.s. *CENÍK ELEKTRINY ČEZ PRODEJ produkt COMFORT* [online]. Prosinec 2015. [cit. 30.4.2016]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2016/cez_cz_ele_cenikmoo_2016-01-01_comfort.pdf.
- [2] Ningbo Qixin Solar Electrical Appliance Co., Ltd. Solar Electrical Appliance SL240CE-30P datasheet, Únor 2012. Produktový list v projektové dokumentaci.
- [3] redakce TZB.info. *Výše výkupních cen a zelených bonusů* [online]. Listopad 2014. [cit. 18.3.2016]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/91-vyse-vykupnich-cen-a-zelenych-bonusu>.
- [4] SMA SOLAR TECHNOLOGY AG. *Návod k použití SunnyBoy SB2500* [online]. 2002. [cit. 12.2.2016]. Dostupné z: <http://files.sma.de/dl/5673/SB2500-11-EE4801.pdf>.
- [5] SMA SOLAR TECHNOLOGY AG. *Návod k použití SunnyBoy SB2500* [online]. Leden 2011. [cit. 12.2.2016]. Dostupné z: <http://files.sma.de/dl/2585/WEBBOX-DCZ110120W.pdf>.
- [6] ST MICROELECTRONICS. *STP15NK50ZFP datasheet* [online]. Říjen 2007. [cit. 12.2.2016]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/388a9de4c92f833b5e26bafbad355649/STP15NK50ZFP.pdf>.

Příloha A — Panely SL240CE-30P

Optimus A-Trade

Model (SL240CE-30P) Specifications



Applications

- ☐ On-grid residential roof-tops
- ☐ On-grid commercial/industrial roof-tops
- ☐ Solar power stations
- ☐ Other on-grid applications

Electrical Data

Maximum Power(W)	240W
Optimum Power Voltage(Vmp)	30.72V
Optimum Operating Current(Imp)	7.81A
Open Circuit Voltage(Voc)	36.6V
Short Circuit Current(Isc)	8.36A
Cell Efficiency (%)	16.43%
Module Efficiency (%)	14.78%
Tolerance Wattage(e.g. +/-3%)	±3%
NOCT	47°C +/-2°C

Benefits

- ☐ High efficiency solar cells with high transmission and textured glass are delivering high efficiency for modules;
- ☐ Bypass diode minimizes the power drop caused by shade;
- ☐ Tempered glass, EVA resin, and weatherproof film, plus aluminum frame for extended outdoor use;
- ☐ Modules independently tested to ensure conformance with certification and regulatory standards;
- ☐ Manufacturing facility certified to ISO 9001 quality management system standards.

Temperature Coefficients

Temperature Coefficients of Isc(%)/°C	+0.04
Temperature Coefficients of Voc(%)/°C	-0.38
Temperature Coefficients of Pm(%)/°C	-0.47
Temperature Coefficients of Im(%)/°C	+0.04
Temperature Coefficients of Vm(%)/°C	-0.38



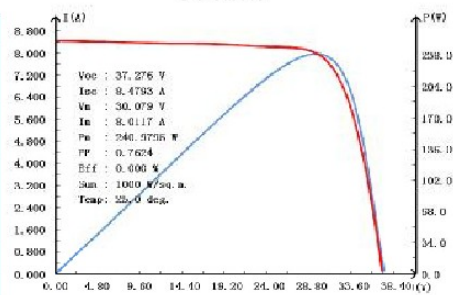
Optimus A-Trade

Model (SL240CE-30P) Specifications

Components & Mechanical Data

Solar Cell	156*156 Poly
Number of Cell(pcs)	6*10
Size of Module(mm)	1640*990*40
Front Glass Thickness(mm)	3.2
Surface Maximum Load Capacity	2400Pa
Allowable Hail Load	23m/s ,7.53g
Weight Per Piece(KG)	18.6
Junction Box Type	Pass the TUV Certificate
Bypass Diode Rating(A)	12
Cable & Connector Type	Pass the TUV Certificate
Frame(Material Corners,etc.)	40#
Backing (Brand Type)	TPT
Temperature Range	-40°C to +85°C
FF (%)	70-76%
Standard Test Conditions	AM1.5 1000W/m ² 25 +/-2°C

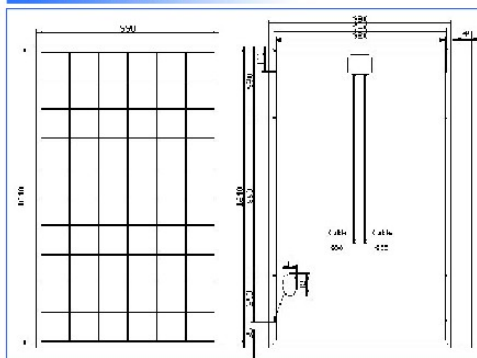
I-V Curves



Warranty & Certifications

Warranty	25 year limited power warranty
	10 year limited product warranty
Certifications	IEC 61215, IEC 61730

Engineering Drawings



Packing

Packing	Wooden Box
1*20'	14Pallets/332pcs
1*40'HQ	28Pallets/756pcs



Příloha B — Střídač Sunny Boy SB 2500

11 Technické údaje

Údaje přípojky FV generátoru		SB 2500	SB 3000
Max. vstupní napětí	UDC Max	600 V	
Vstupní napětí, rozsah MPP	UFV	224 V - 480 V	268 V - 480 V
Max. vstupní proud	IFV max	12 A	
Max. vstupní výkon	PDC	2700 W	3200 W
Činitel zvlnění	Uss	< 10 % vstupního napětí	
Vlastní spotřeba při provozu		< 7 W (pohotovostní režim)	
a) Maximální napětí naprázdno, které může vzniknout při teplotě článku – 10 °C, nesmí překročit maximální vstupní napětí.			

Údaje síťové přípojky		SB 2500	SB 3000
Výstupní jmenovitý výkon	PAC jmen	2300 W	2750 W
Maximální výstupní výkon	PAC max	2500 W	3000 W
Jmenovitý výstupní proud	IAC jmen	10 A	12 A
Max. výstupní proud	IAC max	12,5 A	15 A
Max. jištění		16 A	16 A
Činitel harmonického zkreslení výstupního proudu (při KU síť < 2 %, PAC > 0,5 PAC jmen)	KIAC	<3%	
Jmenovité AC napětí	UAC jmen	220 V / 230 V / 240 V	
Pracovní rozsah, síťové napětí	UAC	180 ... 265 V	
Síťová frekvence AC	fAC jmen	50 Hz / 60 Hz	
Pracovní rozsah, síťová frekvence	fAC	50 Hz: 45,5 Hz ... 54,5 Hz 60 Hz: 55,5 Hz ... 64,5 Hz	
Účinnost (při jmenovitém výstupním výkonu)	cos φ	1	
Kategorie přepětí		III	
Zkušební napětí (DC)		1,95 kV (1 s kusová zkouška / 5 s typová zkouška)	
Zkušební rázové napětí		4 kV (sériové rozhraní: 6 kV)	
Vlastní spotřeba při nočním provozu		0,25 W	