

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta – Katedra aplikované fyziky a techniky

**Optimalizace využití elektrické energie vyrobené domácí solární
elektrárnou**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Šerý

Autor: Bc. Karel Cichra

Anotace

Cílem předkládané diplomové práce je navrhnout, zkonstruovat, otestovat řídicí systém na bázi jednočipového mikropočítače Atmel AVR pro malou solární elektrárnu. Navržený systém umožní optimalizovat využití elektrické energie vyrobené solární elektrárnou instalovanou na rodinném domě. Cílem optimalizace je minimalizovat množství elektrické energie odevzdané do distribuční sítě a maximálním možným způsobem omezit nákup elektrické energie ze sítě.

V první části práce je uveden přehled a analýza několika možných řešení a jejich ekonomické porovnání. V další části jsou popsány základní vlastnosti použitých HW komponent a okomentované zdrojové kódy vytvořených programů. V závěrečné části jsou uvedeny výsledky testovacího provozu a další potenciální úpravy vytvořeného systému pro další možné rozšíření a zefektivnění provozu.

Annotation

The subject of this thesis is to design, construct and test the control system based on single-chip microcomputer Atmel AVR for a small solar power plant. The proposed system will enable to optimize the use of electricity generated by solar power installed at the family house. The objective is to minimize the amount of power sent to the distribution network and maximize the reduction of purchase of electricity.

The first section provides an overview and analysis of several possible solutions and their economic comparison. The next section describes basic characteristic of the hardware components and the source code of programs with additional comments. The final section presents the results of test operation a further potential improvements of the system for future expansion and better operation efficiency.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě, elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách.

31. prosince 2012

.....
Karel Cichra

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Michalovi Šerému za odborné vedení, připomínky a cenné rady potřebné k vypracování této práce.

1 Obsah

1	Obsah	5
2	Úvod	6
3	Teoretická část	7
3.1	Charakteristika fotovoltaické elektrárny.....	7
3.1.1	Základní prvky fotovoltaické elektrárny.....	9
3.2	Finanční hledisko malé fotovoltaické elektrárny	13
3.2.1	Vyrobená elektrická energie	13
3.2.2	Nakupovaná elektrická energie.....	13
3.2.3	Roční výroba a spotřeba el. energie.....	15
3.3	Optimalizace využití přebytků výroby fotovoltaických elektráren	18
3.4	Návrh systému pro optimalizaci přebytků fotovoltaické elektrárny	20
3.4.1	Charakteristika spotřebičů v domácnosti.....	20
3.4.2	Návrhy řešení pro optimalizaci využití vyrobené el. energie	22
3.5	Návrh řídicího systému	35
3.5.1	Sběr vstupní informace pro mikroprocesor	35
3.5.2	Řídící mikroprocesor	36
3.5.3	Regulace výkonu	36
3.6	Vývojové prostředí	38
3.6.1	Vývojový kit EvB 4.3 v4.....	38
3.6.2	ISP programátor	39
3.6.3	SW - vývojové prostředí	39
3.6.4	Extreme Burner – AVR.....	41
3.7	Specifikace vstupu a výstupů regulace	42
3.8	Řídící programy	42
3.8.1	Měření aktuálního výkonu a stavu soustavy.....	43
3.8.2	Regulace připojené zátěže	49
3.8.3	Identifikace vstupů a výstupů mikroprocesorů.....	56
4	Testovací provoz	58
5	Následující úpravy řídicího algoritmu	59
6	Závěr.....	61
7	Použitá literatura.....	62
8	Příloha 1:Fotovoltaické panely ASEC.....	63
9	Příloha 2 Fotovoltaické panely JAP6-60-245	64
10	Příloha 3: Parametry střídače Solutronic	65

2 Úvod

Cílem této práce je navrhnout systém, který bude optimálním způsobem využívat elektrickou energii vyrobenou malou domácí fotovoltaickou elektrárnou. Navržený řídicí systém by měl výrazně zlepšit stávající poměr využití vyrobené elektrické energie, který je zhruba 30 %, a snížit tak i objem nakoupené el. energie od dodavatele. V přímé souvislosti je i úspora finančních nákladů spojených s nákupem el. energie potřebné pro provoz vlastní domácnosti. Součástí práce je i ekonomická optimalizace navrženého řídicího systému s ohledem na náklady a návratnost vlastní realizace.

Tato práce v první části obsahuje popis výchozí situace domácnosti po zprovoznění fotovoltaické elektrárny a jejím připojení do energetické distribuční sítě. Podrobněji popíše stávající energetickou bilanci domácnosti. Součástí je i zpracování přehledu stávajícího využití elektrické energie vyrobené fotovoltaickou elektrárnou včetně finančního modelu, který se zabývá finančním dopadem při lepším využití vyrobené el. energie. Nedílnou součástí je i navržení vhodného způsobu pro využití vyrobené energie.

Dále jsou popsány dva návrhy řešení. První je bez řídicího systému. Druhý obsahuje aktivní řídicí prvek. Pro zvolenou variantu pak následuje návrh zvoleného řešení.

Další část se pak zabývá vlastní realizací zvoleného řešení.

Závěrečná část je pak shrnutím práce a porovnává cíle s dosaženým výsledkem.

Toto téma jsem si zvolil především proto, že jsem identifikoval potřebu zlepšení procentuálního využití vyrobené el. energie vlastní fotovoltaickou elektrárnou. Při hledání možných hotových řešení jsem nenašel takové, které by uspokojilo mé představy o jeho funkcích.

3 Teoretická část

V prosinci roku 2009 jsem získal licenci na provozování malé fotovoltaické elektrárny. Tato elektrárna byla v březnu 2010 spuštěna do trvalého provozu. Od tohoto data je elektrárna trvale připojena do energetické distribuční sítě jako další zdroj elektrické energie.

Pro provoz každé takové elektrárny je možno zvolit jeden ze dvou způsobů provozu:

- a) Dodávka elektrické energie, kdy je veškerá vyrobená elektrická energie dodána do distribuční sítě. Majitel nemá možnost přímo spotřebovat žádnou vyrobenou elektrickou energii a musí veškerou svou spotřebu pokrýt nákupem od dodavatele.
- b) Vlastní spotřeba – tak zvaný zelený bonus, kdy je možno využít vyrobenou elektrickou energii pro vlastní spotřebu. V případě, že FV elektrárna dodává více energie, než aktuálně domácnost potřebuje, je tato odevzdána do distribuční sítě. Naopak ve chvíli, kdy výroba domácí elektrárny plně nepokrývá aktuální spotřebu, je možno zbývající množství dočerpat z distribuční sítě.

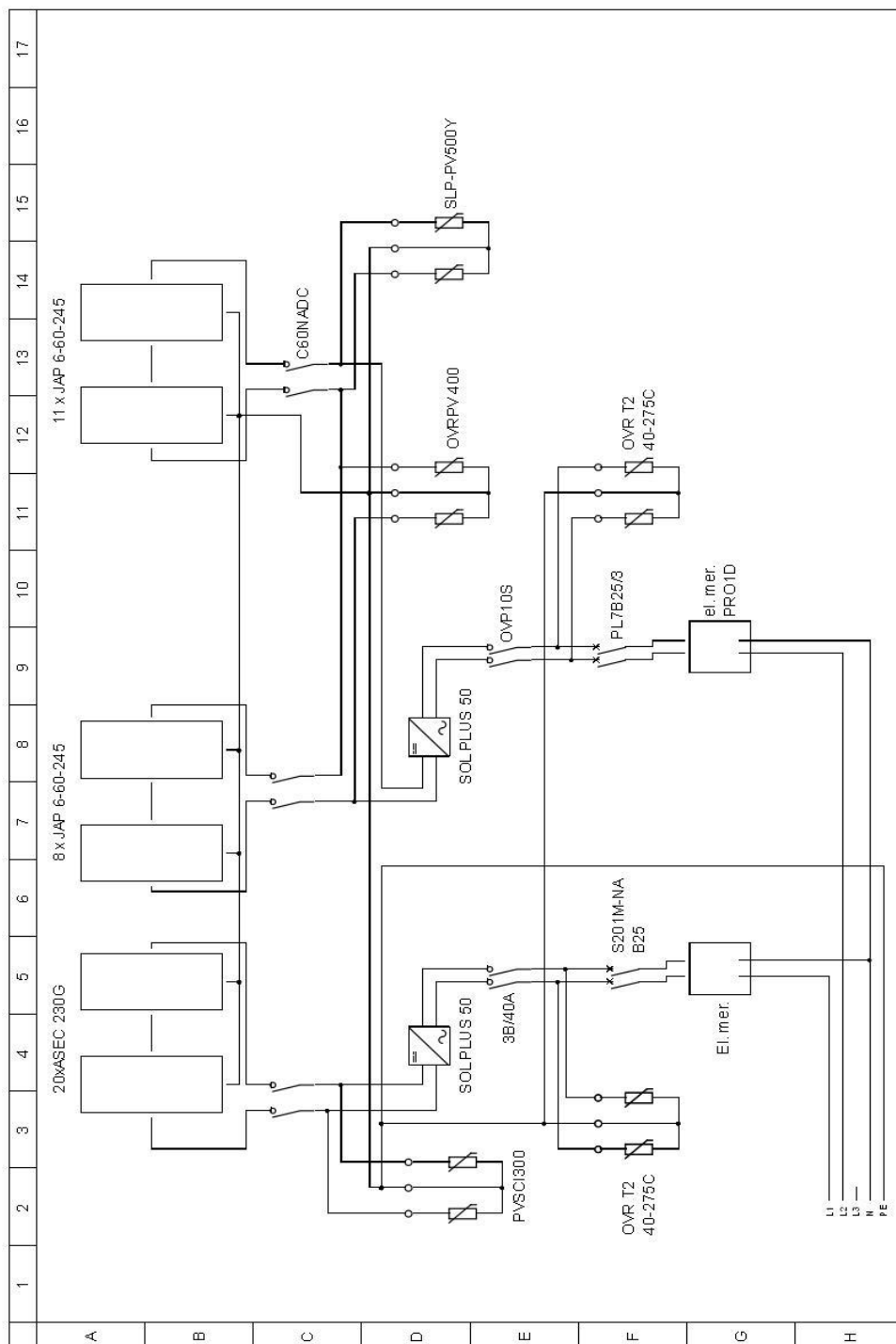
Uvedená fotovoltaická elektrárna je provozována v režimu zelený bonus vlastní spotřeba. Hlavním důvodem pro volbu tohoto režimu byla jednoznačně možnost využití vlastní vyrobené elektrické energie.

3.1 Charakteristika fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaická elektrárna má maximální výkon 9,2 kW. Elektricky je řešena jako dvoufázová s výkonem 2x 4,6 kW, kdy je celý dodávaný výkon připojen do dvou fází distribuční soustavy. S ohledem na zajištění stability distribuční soustavy je 4,6 kW maximální výkon připojený do jedné fáze. U vyšších výkonů je nutno řešit výrobu do 3 fází.

Výkon 2x 4,6 kW byl zvolen jako optimální kombinace výkonu fotovoltaických panelů, účinnosti střídače, a ekonomických nákladů na realizaci elektrárny. Na obrázku číslo 1 je schéma zapojení FV elektrárny.

Fotovoltaická elektrárna byla v prosinci 2012 rozšířena o druhou část o výkonu 4,6 kW. Veškerá dále uvedená data odpovídají původnímu výkonu elektrárny 4,6 kW.



Obrázek číslo 1 Schéma FV elektrárny 2x4,6 kW

3.1.1 Základní prvky fotovoltaické elektrárny

3.1.1.1 Fotovoltaické panely

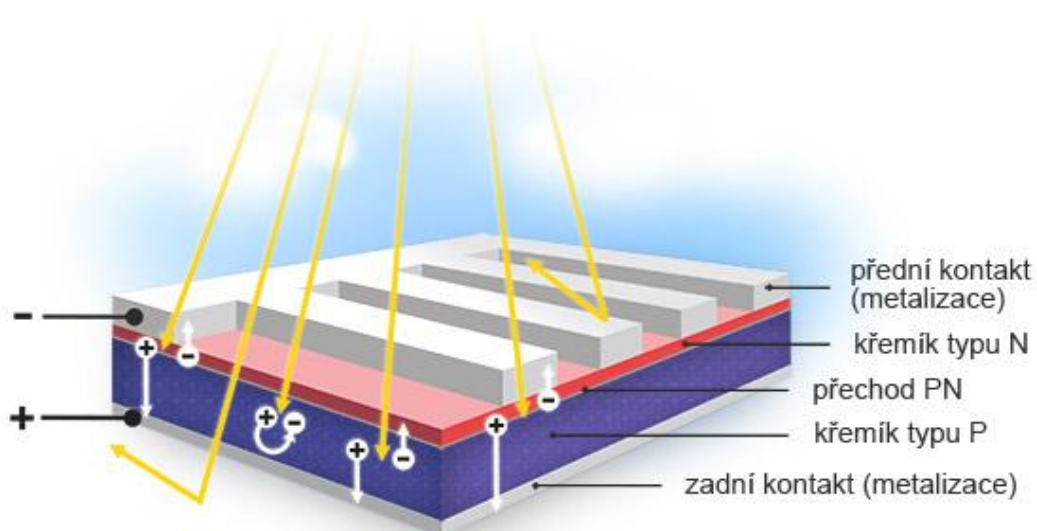
Zdrojem elektrické energie jsou fotovoltaické panely, které mění energii dopadajícího slunečního záření na energii elektrickou. Fotovoltaický panel je v podstatě velkoplošná křemíková dioda. Křemíkový krystal má vodivost P. Přidáním fosforu na jednu stranu destičky se vytvoří polovodičový přechod PN. Křemíkový krystal je citlivý na světlo. Při jeho osvětlení pak dopadající fotony předávají svou energii elektronům v N vrstvě. Uvolnění se elektrony z krystalické mřížky a na PN přechodu vzniká elektrické napětí. Připojíme-li k PN přechodu elektrický vodič, začne protékat elektrický proud.

Podle typu základního křemíkového polotovaru dělíme fotovoltaické panely na monokrystalické a polykrystalické. Monokrystalické panely mají vyšší účinnost a s časem jejich účinnost nevykazuje takový pokles jako u panelů polykrystalických. Výroba monokrystalických panelů je náročnější a dražší.

Pro konstrukci elektrárny byly zvoleny

- monokrystalické panely ACES 230 G6S .Tyto panely mají výkon 230 W. Charakteristika panelu viz: Příloha 1.
- polykrystalické panely JAP 6-60-245. Tyto panely mají výkon 245 W. Charakteristika panelu viz: Příloha 2.

Na obrázku číslo 2 je znázorněn princip činnosti fotovoltaického článku.



Obrázek číslo 2 Fotovoltaický panel – převzato z [1]

3.1.1.2 Střídač

Fotovoltaické panely vyrábějí stejnosměrný elektrický proud. Z toho důvodu je nutno pomocí střídače změnit stejnosměrný proud na střídavý. Je nutno vždy volit takový střídač, který provede přeměnu s co nejvyšší účinností. Pro instalaci byly zvoleny dva střídače Solutronic SolPlus 50. Detailní parametry střídačů jsou v příloze číslo 3. Výstup střídačů je připojen do domovního rozvaděče. Jak je vidět na obrázku číslo 1, jsou střídače zapojeny do dvou fází.

3.1.1.3 Měření výkonu a vyrobené elektrické energie

Na obrázku číslo 1. jsou vidět i dva elektroměry, které jsou nedílnou součástí fotovoltaické elektrárny. Jedná se dva fakturační elektroměry 101 Bs a PRO1D

Fakturační elektroměry - slouží k měření celkové výroby fotovoltaické elektrárny. Podle měření na těchto elektroměrech je fakturována částka odpovídající smlouvě mezi výrobcem a odběratelem vyrobené el. energie. Z těchto elektroměrů je možno odečítat i aktuální výstupní výkon jednotlivých částí elektrárny.

Součástí připojení fotovoltaické elektrárny do distribuční soustavy je i elektroměr na předávacím místě mezi výrobnou (fotovoltaickou elektrárnou) a veřejnou distribuční sítí. Jedná se o tzv. čtyř kvadrantový elektroměr. Tento měří jak elektrickou energii přenesenou ze sítě distributora k odběrnému místu, tak i směrem do sítě distributora.

Údaje z obou těchto elektroměrů jsou pak dále využity k sestavení pravidelných výkazů o výrobě a dále k finančnímu vypořádání smluvních vztahů mezi dodavatelem a výrobcem.

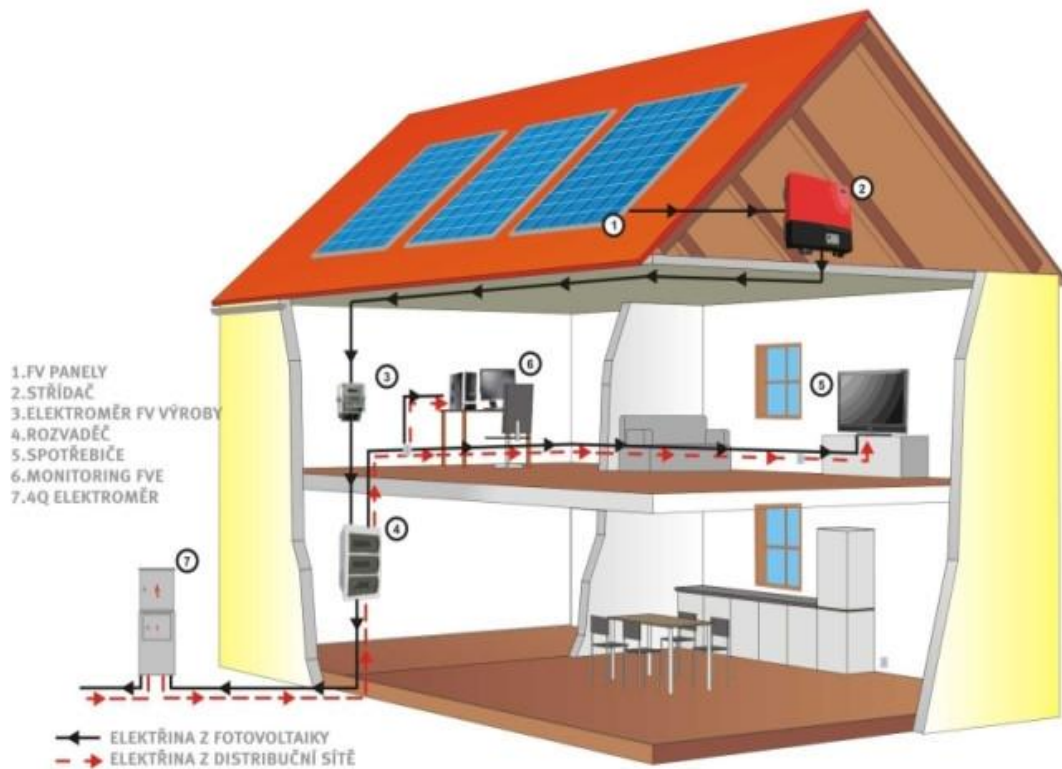
3.1.1.4 Charakteristika provozu sluneční elektrárny

Sluneční elektrárna jako zdroj elektrického napětí má charakteristické rysy chování vyplývající z použité technologie. Touto charakteristikou je velmi kolísavý výkon elektrárny v závislosti na intenzitě dopadající slunečního záření. Rozsah kolísání výkonu se dá odhadnout podle dílčích měření v rozsahu 20-100 % . Kdy 100 % je uvažovaný maximální výkon elektrárny za plného osvětlení v aktuálním ročním období a denní době.

V případě elektrárny, která je provozována v režimu dodávka, kdy je veškerý objem vyrobené elektrické energie odevzdán do distribuční sítě, není kolísání výkonu elektrárny jevem, nad kterým je potřeba se zamyslet. V případě, kdy je však elektrárna provozována v režimu zelený bonus a uvažujeme o optimálním využití vyrobené elektrické energie, je kolísání okamžitého výkonu problémem, který je nutno brát v úvahu a přizpůsobit mu spotřebu domácnosti.

Z uvedené charakteristiky výkonu je vidět, že předpoklad výkonu je velkým problémem. Je tedy potřeba najít způsob, jakým by bylo možno i za proměnlivého výkonu elektrárny spotřebovávat větší podíl vyrobené elektrické

energie. Na obrázku číslo 3 je celkové schéma zapojení fotovoltaické elektrárny v režimu zelený bonus.



Obrázek číslo 3 Celkové schéma zapojení v režimu zelený bonus převzato z [2]

3.2 Finanční hledisko malé fotovoltaické elektrárny

V této kapitole se věnuji finanční problematice spojené s provozováním fotovoltaické elektrárny. Obsah kapitoly kvantifikuje důvody, pro lepší (maximální) využití vyrobené energie a snížení objemu elektrické energie, která je odevzdána do distribuční sítě.

3.2.1 Vyrobená elektrická energie

Na základě platné legislativy a rozhodnutí Energetického regulačního úřadu je za každou vyrobenou kWh změřenou fakturačním elektroměrem uhrazena předem stanovená částka. V tabulce 1 jsou ve sloupci Vyrobená - zelený bonus uvedeny ceny, které jsou proplaceny provozovateli FV elektrárny za každou vyrobenou kWh. Tato cena je stanovena Energetickým regulačním úřadem každý rok v rámci rozmezí stanoveného platným zákonem. Uvedená cena je pevná bez ohledu na to, zda je vyrobená kWh spotřebována v rámci výroby, nebo je jako nevyužitá odevzdána do distribuční soustavy.

Za každou kWh odevzdanou do distribuční soustavy je navíc uhrazena částka, která je uvedena v tabulce 1 ve sloupci Odevzdaná. Tato cena je stanovena Energetickým regulačním úřadem a není předem nijak stanovena.

Tabulka 1 Roční výkupní cena za 1 kWh vyrobenou a odevzdanou.

Rok	Vyrobená - zelený bonus Kč/kWh	Odevzdaná Kč/kWh
2010	11,28	0,4
2011	11,50	0,1
2012	12,61	0,3

3.2.2 Nakupovaná elektrická energie

Pro celkový přehled o finančních podmínkách provozu odběrného místa je nutno ještě zohlednit ceny el. energie, za které je kWh nakupována od dodavatele.

Rodinný dům je připojen k 3 fázové elektrické síti a využívá tarif, který kombinuje sazbu s vyšší tzv. denní sazbou a s nižší tzv. noční sazbou.

V tabulce 2 je rozpis aktuálních časových pásem pro denní a noční sazbu. V tabulce je i aktuální cena za kWh v příslušném pásmu. Ve sloupci Kč / kWh konečná cena je kompletní cena po započtení poplatků za distribuci a stálých měsíčních poplatků za připojení.

Tabulka 2 rozpis platností denní a noční sazby a cen v těchto pásmech

Tarif dodávka	Časová pásma	Kč / 1kWh	Kč/kWh konečná cena
Denní	6-14, 20-21,	2,011	2,78
Noční	14-19, 21-06	1,362	1,919

Z hodnot v tabulce 2 je vidět, že každá kWh, která je vyrobena fotovoltaickou elektrárnou může znamenat úsporu 1,919 až 2,78 korun, za předpokladu, že je spotřebována a není jí nutno nakoupit z distribuční soustavy.

3.2.3 Roční výroba a spotřeba el. energie

V tabulce 3 jsou hodnoty, které kompletně poskytují pohled na výrobu a spotřebu elektrické energie v období 5.2010 až 9.2012.

Tabulka 3 Přehled výroby a spotřeby el. energie v domácnosti

Měsíc	Výroba [kWh]	Dodávka [kWh]	VLS [kWh]	VLS/VYR [%]	NVT [kWh]	NNT [kWh]	NC [kWh]	CS [kWh]	VYR/CS [%]
5.2010	399	290	109	27,3	27	220	247	356	112,1
6.2010	524	382	142	27,1	17	179	196	338	155,0
7.2010	625	462	163	26,1	28	220	248	411	152,1
8.2010	483	328	155	32,1	62	217	279	434	111,3
9.2010	430	280	150	34,9	54	265	319	469	91,7
10.2010	358	212	146	40,8	50	308	358	504	71,0
11.2010	152	96	56	36,8	68	422	490	546	27,8
12.2010	134	69	65	48,5	74	1204	1278	1343	10,0
1.2011	162	122	40	24,7	62	1320	1382	1422	11,4
2.2011	387	248	139	35,9	49	839	888	1027	37,7
3.2011	469	320	149	31,8	27	367	394	543	86,4
4.2011	569	371	198	34,8	24	230	254	452	125,9
5.2011	800	594	206	25,8	24	228	252	458	174,7
6.2011	444	303	141	31,8	24	163	187	328	135,4
7.2011	506	336	170	33,6	39	221	260	430	117,7
8.2011	598	392	206	34,4	34	207	241	447	133,8
9.2011	451	304	147	32,6	35	221	256	403	111,9
10.2011	364	255	109	29,9	50	333	383	492	74,0
11.2011	168	116	52	31,0	39	608	647	699	24,0
12.2011	124	81	43	34,7	58	918	976	1019	12,2
1.2012	212	147	65	30,7	51	1091	1142	1207	17,6
2.2012	295	183	112	38,0	42	1482	1524	1636	18,0
3.2012	553	399	154	27,8	28	642	670	824	67,1
4.2012	521	405	116	22,3	35	293	328	444	117,3
5.2012	608	412	196	32,2	23	225	248	444	136,9
6.2012	508	366	142	28,0	18	192	210	352	144,3
7.2012	708	467	241	34,0	38	263	301	542	130,6
8.2012	414	288	126	30,4	31	172	203	329	125,8
9.2012	518	342	176	34,0	46	290	336	512	101,2

Popis dat v tabulce.

Měsíc – sledované období

Výroba – celkové množství vyrobené el. energie

Dodávka – celkové množství el. energie odevzdané do distribuční sítě

VLS – vlastní spotřeba vyrobené el. energie

VLS/VYR – vlastní spotřeba z vyrobeného množství

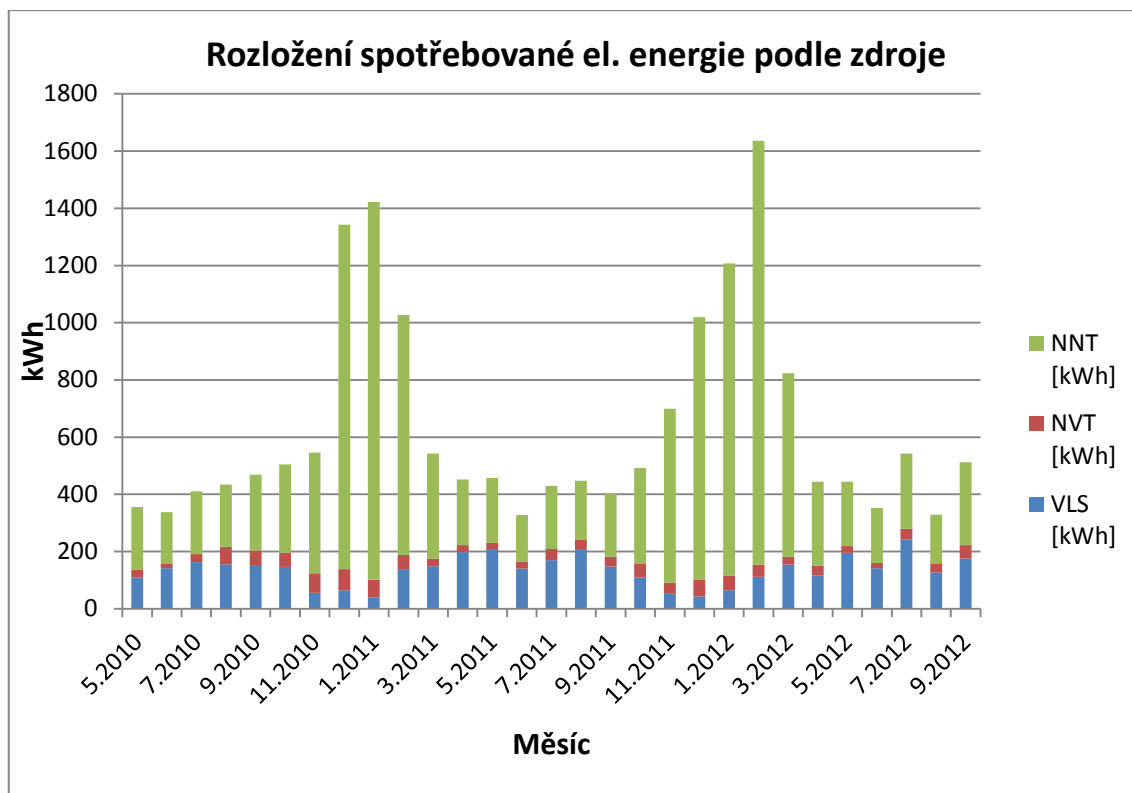
NVS – nákup el. energie v denním tarifu

NNT – nákup el. energie v nočním tarifu

NC – celkový nákup z distribuční soustavy

CS – celková spotřeba NNT + NVT + VLS

VYR/CS – Procento pokrytí spotřeby vlastní výrobou



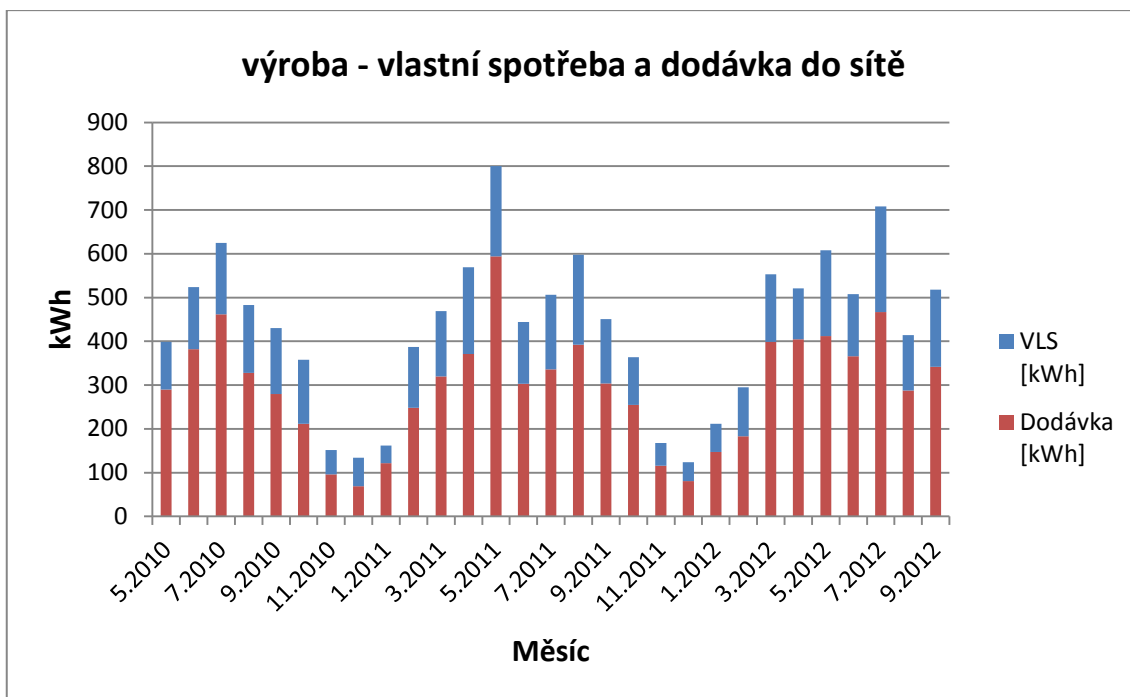
Graf 1 – Rozložení celkové spotřeby energie podle zdroje

VLS – vlastní výroba

NVT – nákup vysoký tarif

NNT – nákup nízký tarif

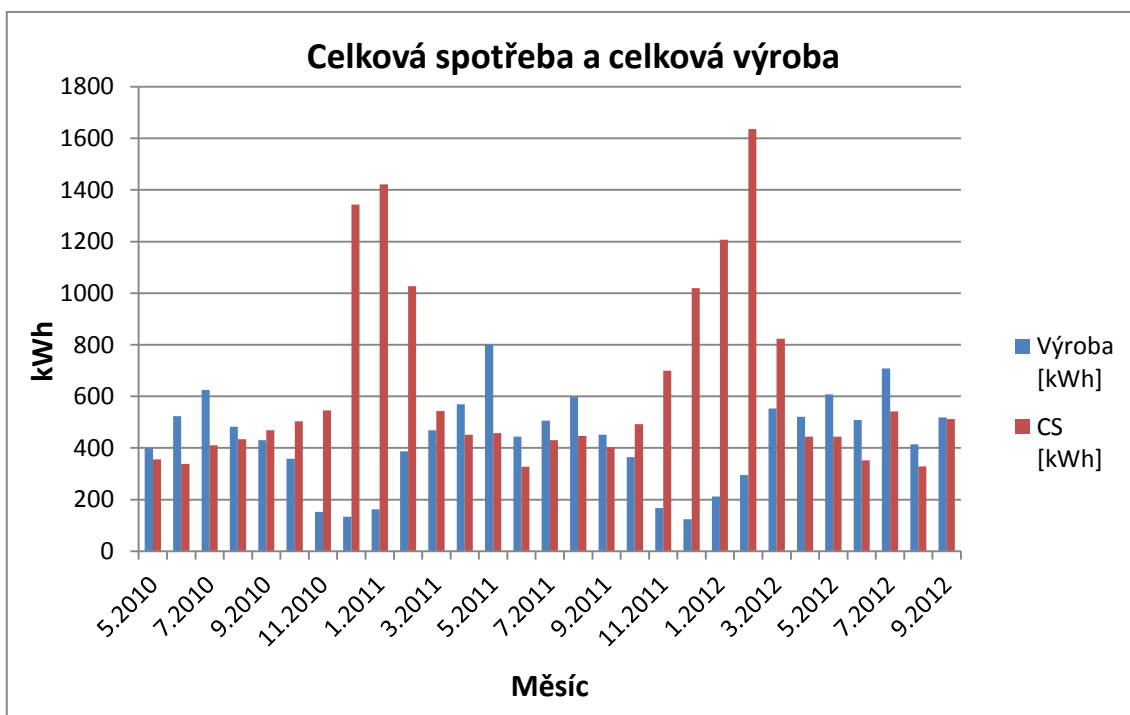
Na grafu 2 je vidět poměr mezi el. energií spotřebovanou a dodanou do distribuční sítě.. Průměrná hodnota vlastní spotřeby je 32,1 %. Spotřeba vlastní vyrobené el. energie se pohybuje v rozmezí od 24,7 % do 48,5 %.



Graf 2 – Rozložení celkové výroby na vlastní spotřebu a dodávku do sítě

VLS – vlastní spotřeba

Dodávka – dodávka el. energie do sítě



Graf 3 – poměr celkové výroby FV elektrárny a celkové spotřeby domácnosti

Výroba – celková výroba FV elektrárny

CS – celková spotřeba domácnosti

Z grafu 3 je dobře vidět, že fotovoltaická elektrárna je schopna v letních měsících vyrobit množství el. energie, které přesahuje případně se blíží celkové spotřebě. To platí v období od března do září kdy, poskytuje 80 – 100 % celkového spotřebovaného množství.

Za uvedené období od Května 2010 do Zář 2012 bylo celkem vyrobeno 12 484 kWh elektrické energie. Z toho bylo do distribuční sítě odevzdáno 8 570 kWh. To představuje 68 % vyrobené el. energie. Je možno říci, že odevzdaná el. energie byla ve stejném objemu opět nakoupena v době, kdy výkon solární elektrárny nepostačoval pro pokrytí aktuální spotřeby. Za toto období 29 měsíců lze odevzdanou el. energii ocenit přibližně na 20 130,- korun. Tento odhad je pouze orientační, vypočítaný na základě aktuálních nákupních 1 kWh od dodavatele.

Při přepočtu na období jednoho roku odpovídá tato energie přibližně částce 8 300,- korun.

Z finanční analýzy vyplývá, že je každý majitel fotovoltaické elektrárny, která je provozována v režimu Zelený bonus motivován k maximálnímu využití el. energie vyrobené vlastní elektrárnou.

3.3 Optimalizace využití přebytků výroby fotovoltaických elektráren

Spolu s rozvojem malých fotovoltaických elektráren se postupně objevují i komerční řešení, která mají za úkol optimalizovat využití vyrobené elektrické energie. Tato řešení lze poměrně jednoduše zařadit do domovních rozvodů a používat.

V době zadání diplomové práce bylo na trhu poměrně málo zařízení, které umožnily nějakým způsobem částečně optimalizovat využití přebytků z výroby fotovoltaických elektráren.

Téměř ve všech případech se jedná o zařízení, kdy je v reálném čase měřen aktuální výstupní výkon z elektrárny. Podle aktuálního výkonu pak

dochází k postupnému spínání jednotlivých výkonových výstupů regulátoru. Pro jednotlivé výstupy je předem definován připojený výkon spotřebiče. K připojení spotřebiče pak dojde ve chvíli, kdy je k dispozici dostatečný výkon pro daný spotřebič. Při poklesu pod nastavený výkon spotřebiče je tento odpojen.

Z popisu je patrné, že při tomto způsobu regulace je optimalizace výkonu řešena skokově podle výkonů jednotlivých spotřebičů. Celý výstupní výkon, který je mezi posledním sepnutým stupněm a nejbližším nesepnutým je pak odevzdán do distribuční sítě. Opět dochází ke stavu, kdy je vyrobená el. energie odevzdána do sítě a mohla by být spotřebována.

Postupem času se se stoupajícím počtem malých fotovoltaických elektráren stal pro výrobce regulátorů zajímavý i tento segment trhu. Začala se objevovat zařízení, která jsou schopna optimalizovat výrazně lépe využití přebytků z výroby fotovoltaické elektrárny. S nabídkou se výrazně snížila i cena těchto zařízení.

Souhlasím s tím, že je nutno hledat systém, který umožní optimálně využít vyráběnou el. energii. Nabízené komerční produkty jsou však často řešeny jako univerzální a tím pádem nenabízejí přílišnou variabilitu funkcí a zapojení. Z toho důvodu se budu dále věnovat návrhu a realizaci podobného zařízení, které bude splňovat mé požadavky na optimalizaci využití vyrobené el. energie.

Cílem bude najít takový řídicí systém, který bude umožňovat optimální využití vyrobené energie a bude minimalizovat množství el. energie odevzdané do distribuční sítě. Ideální by bylo takové řešení, které by umožnilo využít 100 % vyrobené el. energie. Pro přiblížení se k tomuto cíli by bylo nejvýhodnější navrhnout takovou regulaci, která umožní spotřebovat právě takový výkon, jaký je v danou chvíli dodáván sluneční elektrárnou.

3.4 Návrh systému pro optimalizaci přebytků fotovoltaické elektrárny

V této kapitole se budu věnovat možným variantám systému pro optimalizaci využití přebytků.

3.4.1 Charakteristika spotřebičů v domácnosti

V návrhu vlastního řídicího systému je nutno mimo jiné zohlednit i charakter spotřebičů, které jsou připojeny k elektrickému rozvodu. Spotřebiče lze rozdělit do několika skupin:

3.4.1.1 Trvale připojené spotřebiče

Jedná se o spotřebiče, které potřebují být trvale připojeny k el. rozvodu. Patří sem: lednička, mrazák, internetový router, domovní alarm, ostatní trvale zapnuté spotřebiče v režimu stand by a podobně

3.4.1.2 Spotřebiče spínané podle potřeby

Jedná se o elektrické spotřebiče, které je možno zapínat libovolně podle potřeby. Patří sem: elektrické vytápění 3 fázové, elektrické vytápění 1 fázové, varná deska, myčka, pračka, sušička ovoce a prádla, bojler, žehlička a další. Některé z těchto spotřebičů nutně potřebují pro svůj provoz plné napájecí napětí (pračka, myčka) a některé je možno provozovat se sníženým příkonem bez toho, aby to nějak ohrozilo jejich funkci (bojler, topení)

3.4.1.3 Sezónní spotřebiče

Jedná se o spotřebiče, jejichž využití je spojeno s letní či zimní sezónou. Patří sem bazénová filtrace, bazénové vytápění, rozmrazování okapů, rozmrazování schodů a podobně.

Z tohoto přehledu je nutno identifikovat takové spotřebiče, které jsou svým charakterem vhodné pro regulaci. A to jak pro regulaci vypnutím a zapnutím napájení bez omezení výkonu tak i spotřebiče, kde je možno omezit jejich výkon a nijak negativně neovlivníme jejich funkci či životnost. Kritéria: trvalá dodávka el. energie, nepřetržitá dodávka po definovanou dobu, nutný plný příkon spotřebiče (lze či nelze regulovat výkon).

Přehled elektrických spotřebičů a jejich spotřeby spojené s provozem

Spotřebič	Výkon kw	Spotřeba kwh / 24 h	Provoz	Poznámka
Lednička	0,16	0,85	Permanentní	Permanentní
mrazák	0,18	1,2	Permanentní	Permanentní
Myčka	2,3	1,2		
Sušička	1	1,2		
Pračka	1,1	1,2		
Elektrický bojler	3			
Elektrické vytápění	16			3 fázové
Elektrické vytápění	5			1 fázové
Bazénové příslušenství	0,65			
Ostatní spotřebiče	0,030			V klidovém stavu
Ostatní spotřebiče	0,15			V provozu
Osvětlení	0,15			

3.4.2 Návrhy řešení pro optimalizaci využití vyrobené el. energie

3.4.2.1 Řešení bez řídicího systému

V této části se budu zabývat optimalizací, kdy nebude potřeba využít žádný speciální řídicí systém pro optimalizaci využití přebytků.

3.4.2.1.1 Přepojení všech spotřebičů na jednu fázi rozvodu

Stávající elektrický rozvod domácnosti je 3 fázový. Celkově je domovní instalace řešena jako vyvážená, kdy jsou jednotlivé okruhy rozvodu (zásuvky, světla, atd.) připojeny střídavě k jednotlivým fázím. Tím nedochází k velkému přetížení jedné fáze. Připojením všech spotřebičů j jedné fázi, do které je připojena i FVE elektrárna je možné. Jsou zde dva možné dopady tohoto řešení:

- a) Dochází k nadměrnému zatížení jedné fáze při sepnutí více spotřebičů najednou. Velmi snadno může dojít k překročení vypínacího proudu jističe na příslušné fázi a k havarijnímu odpojení celé domácnosti.
- b) Není zajištěno, že v době sepnutí spotřebičů je elektrárnou dodáván dostatečný výkon a bude docházet k nákupu elektrické energie od dodavatele.

Použití:

Na jednu fázi domovního rozvodu je tedy vhodné připojit taková zařízení, která jsou v provozu neustále. Jedná se především o veškeré spotřebiče v stand by režimu, lednička, mrazák, domovní alarm, a podobně. U těchto spotřebičů je potřeba dodávat el. energii i v době platnosti denní sazby pro nákup el. energie. Zde je pak díky relativně malé spotřebě velká pravděpodobnost, že bude spotřeba těchto zařízení pokryta produkcí z FV elektrárny.

3.4.2.1.2 Spínání spotřebičů podle předpokládané výroby

Další jednoduchou variantou pro lepší využití vyrobené el. energie je spínání vhodných spotřebičů podle doby předpokládané výroby.

Zde je možno využít měření, která jsou realizována přímo střídačem u FEV. Podle denního průběhu výroby je pak možno v rámci delšího časového

úseku stanovit průběh výroby. Vždy se jedná o předpokládaný průběh. Podle předpokladu je pak možno nastavit na spotřebičích pomocí funkce odložený start nebo pomocí spínacích hodin dobu, kdy bude spotřebič zapnut.

Vhodné spotřebiče jsou pračka, myčka, sušička, bojler, 1 fázové topení a podobně.

V tomto případě je možno dosáhnout vyššího využití vyráběné el. energie. Opět jsou dvě možné varianty chování tohoto řešení:

- a) Aktuální výroba elektrárny je nižší než předpokládaná a při provozu spotřebičů dochází k nákupu el. energie od dodavatele.
- b) Aktuální výroba je vyšší, než spotřeba spuštěných spotřebičů. Přebytek výroby je opět dodán do distribuční sítě. Tento přebytek by mohl být využit pro aktuální potřebu domácnosti

3.4.2.1.3 Neřízené spínání spotřebičů

Neřízeným spínáním spotřebičů je myšleno spínání spotřebiče pomocí spínacích hodin, případně odloženého startu, který je dnes běžnou součástí domácí techniky.

Při použití tohoto režimu spínání spotřebičů lze zajistit to, že budou spotřebiče spuštěny v požadovaný čas a že se jejich provoz nebude kryt s tarifem denní spotřeby. Nelze však zajistit, že bude v době spuštění spotřebiče i dostatečný výkon sluneční elektrárny pro pokrytí celkové spotřeby. Tato problematika byla podrobněji rozebrána v kapitole o charakteristikách provozu sluneční elektrárny. V případě spuštění spotřebiče v době, kdy je nedostatečný výkon sluneční elektrárny dochází k tomu, že je spotřebováno 100 % vyrobené energie, ale musí se pro provoz i nějaká část energie dokoupit. V případě, že je malý výkon sluneční elektrárny, je většina jejího výkonu spotřebována spotřebiči, které jsou v nepřetržitém provozu. Hrozí tak, že při spuštění v nevhodnou dobu bude velká většina energie potřebné pro provoz spotřebiče nakoupena. Jedinou možností, jak se pokusit eliminovat tento fakt, je

automatické spuštění spotřebiče v denní dobu s předpokládaným maximálním výkonem sluneční elektrárny.

V dnešní době je však již většina spotřebičů vybavena odloženým startem. Vhodným nasměrováním spotřebiče do doby maximálního očekávaného výkonu fotovoltaické elektrárny, lze minimalizovat negativní dopad spuštění takového spotřebiče.

3.4.2.1.4 Ověření řešení v praxi

Obě více uvedená řešení jsem aplikoval i za cenu rizik, která jsou uvedena u jednotlivých návrhů. Při srovnání procentuálního využití vlastní vyrobené energie se tato úprava prakticky vůbec neprojevila. A to ani při meziročním srovnání ani při porovnání měření, která byla provedena před změnou i po ní.

Obě uvedené změny byly provedeny k 1. červenci 2011. Průměrná spotřeba za období od 12.2010 do 6.2011 je 33,3 % a za období od 7.2011 do 2.2012 je 33,1 %

Při meziročním srovnání je to pak za stejná období roku 2010 35 % a roku 2011 33,1 % Je tedy vidět, že procento využití vlastní vyrobené energie je před aplikací změny dokonce vyšší, než po ní. Vzhledem k tomu, že bylo provedeno lokální měření rozvodu, správnost zapojení byla ověřena je možno prohlásit, že dopad těchto opatření na procentuální využití energie byl tak malý, že celkový výsledek neovlivnil. Celkový výsledek byl nejspíše ovlivněn jinými faktory. V úvahu připadají proměnlivý výkon FV elektrárny, dočasné změny v chodu domácnosti a s tím související změny požadavků na využívání spotřebičů a podobně.

3.4.2.2 Řešení spotřeby s řídicím systémem

Jak vyplynulo z předchozích kapitol, k lepšímu využívání vyrobené energie ze solární elektrárny bude potřeba najít systém, který bude pružně reagovat na aktuální podmínky celé soustavy. Především to znamená, že musí zohlednit aktuální výrobu a spotřebu elektrické energie a požadavky domácnosti dané například roční dobou a podobně.

3.4.2.2.1 Předpoklady pro realizace

3.4.2.2.2 Vhodné spotřebiče

V rámci návrhu optimalizace je nutno nalézt vhodné elektrické spotřebiče, které jsou používány a jsou svých charakterem vhodné pro spouštění podle aktuálního stavu výroby (přebytku výkonu).

- Bojler
- Elektrické topení
- Rozmrazování
- Pračka
- Myčka
- Sušička prádla
- Sušička ovoce

V seznamu spotřebičů jsou takové, u kterých je možno regulovat celkový výkon vstupním napětím a proudem. To jsou bojler a elektrické topení, rozmrazování. Naopak pračka, sušička, myčka jsou spotřebiče, kde je po zapnutí a zahájení činnosti potřeba ponechat spotřebič zapnutý po celou dobu vykonávání naprogramované činnosti. To platí bez ohledu na to, zda FV elektrárna dodává do sítě dostatečný výkon nebo ne. Tyto spotřebiče proto nebudeme dále v řešení uvažovat.

3.4.2.2.3 Priorita spotřebičů

Pro jednotlivé spotřebiče je nutno sestavit prioritu spouštění tak, aby byla vyrobená energie využita optimálně vzhledem k potřebám domácnosti. Například v zimě bude mít prioritu vytápění objektu. V létě naopak vytápění bazénu a podobně.

3.4.2.2.4 Škálovatelnost výkonu

Pro optimální využití aktuálního přebytku vyráběné energie je vhodné najít takový spotřebič, případně kombinaci spotřebičů, která umožní nastavit spotřebu tak, aby byla co nejbližší k aktuálnímu přebytečnému výkonu. To může být větší množství spotřebičů s malým výkonem, které je možno postupně připojovat k elektrické síti. Stejně tak se může jednat o spotřebiče, jejichž výkon

je možno díky jejich konstrukci regulovat plynule podle potřeby vstupním napětím a proudem.

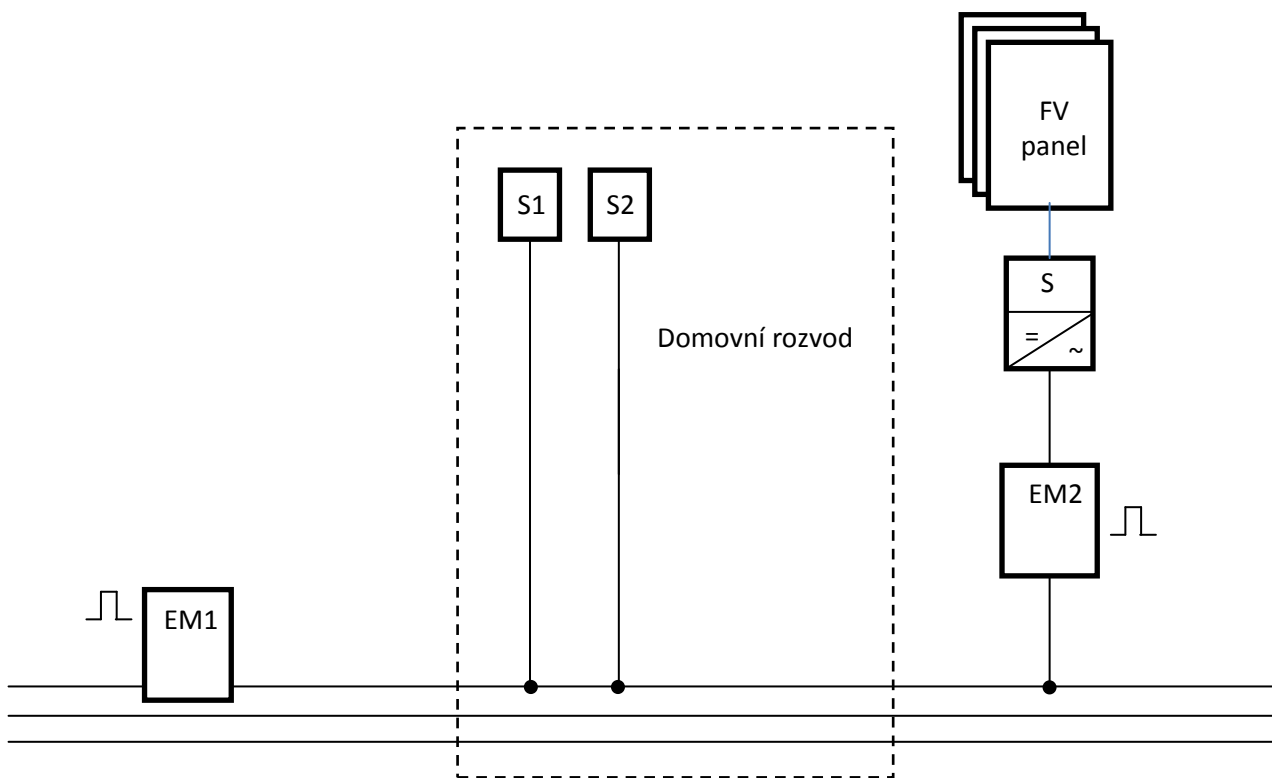
3.4.2.3 Informace o aktuálním stavu výroby a přebytku el. energie

Pro správné vyhodnocení a řízení spotřeby je nutno mít k dispozici informace o aktuálním stavu výroby a přebytku výkonu, který je odevzdáván do distribuční sítě. Měření výkonu lze realizovat dvěma způsoby.

3.4.2.3.1 Digitální měření aktuálního výkonu

Měření výkonu je možno realizovat pomocí elektroměru PRO1D. Tento elektroměr poskytuje na výstupních měřicích kontaktech digitální signál (impulzy). Tento konkrétní typ generuje 2000 impulzů na 1 změřenou kWh. Elektroměr je osazen za domovním rozvaděčem a měří aktuální hodnotu výkonu fotovoltaické elektrárny, který je odevzdáván do distribuční sítě. Tato hodnota je již snížena o výkon, který byl spotřebován na provoz domácích spotřebičů a podobně.

Pro měření aktuálního výkonu elektrárny je stejný elektroměr PRO1D osazen i za střídačem, kde měří okamžitou hodnotu výkonu fotovoltaické elektrárny. Na obrázku 3 je schéma zapojení digitálního sběru informací o výkonu fotovoltaické elektrárny.



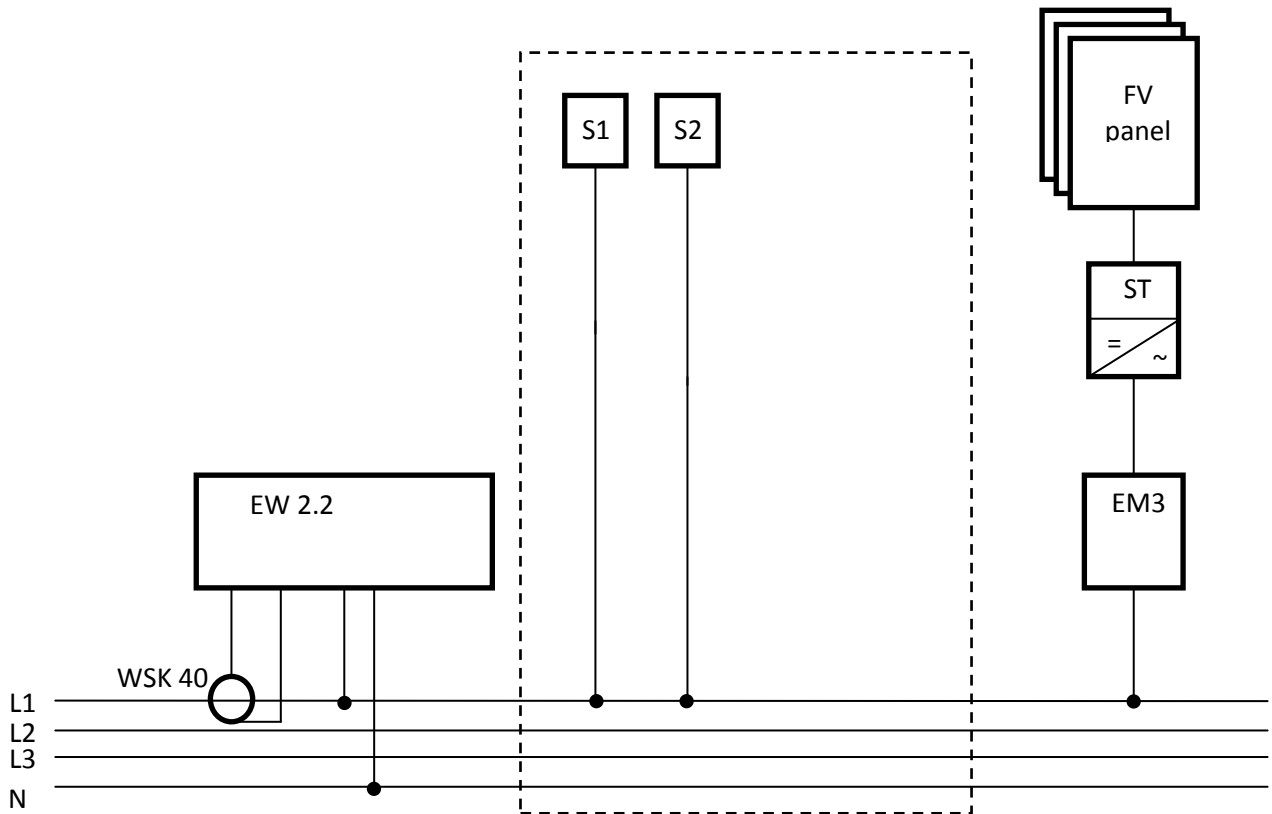
Obrázek číslo 4. Digitální měření aktuálního výkonu elektrárny a přebytku el. energie

EM1, EM2 – elektroměr PRO1D s digitálním výstupem
S1, S2 – domácí spotřebiče

3.4.2.3.2 Analogové měření aktuálního výkonu

Pro měření aktuálního výkonu a přebytku lze použít i analogové měření výkonu. Pro měření se většinou používají wattmetry s analogovým výstupním signálem. Na trhu je možno zakoupit širokou škálu wattmetrů, které poskytují na výstupních kontaktech analogový signál definované úrovně odpovídající aktuálnímu výkonu procházejícímu přes wattmetr. Wattmetr je často kombinován s měřícím transformátorem proudu z důvodu proudových omezení vlastního wattmetru. Dodavatel wattmetru na základě informací o instalaci, převodních poměrech transformátorů a požadované výstupní charakteristice napětí a proudu provede kalibraci přístroje. Takto kalibrovaný wattmetr je pak připraven právě pro konkrétní instalaci. Další změny v zapojení a použití jsou

buď obtížné, nebo nerealizovatelné. Na obrázku 4 je znázorněno zapojení wattmetru v domovním rozvodu.



Obrázek číslo 5 Zapojení wattmetru v domovním rozvodu

WSK 40 – transformátor proudu

EW 2.2 – wattmetr

S1, S2 – domácí spotřebiče

3.4.2.3.3 Analogové řízení spotřeby

V této kapitole se věnuji návrhu analogového řízení spotřeby domácnosti v závislosti na aktuálním výkonu fotovoltaické elektrárny. Z široké nabídky mne zaujal spínač firmy MAMAC SYSTÉM CT-815.... Viz [3]

Jak je patrné z popisu výrobce [3], jedná se o zařízení relé sloužící pro indikaci stavu a provozu určitého elektrického zařízení. Spínač CT-800 reaguje na dosažení určité hladiny procházejícího proudu sepnutím pomocných

spínacích kontaktů. Při poklesu proudu pak dojde k rozpojení pomocných kontaktů. V našem případě by bylo možno využít tento prvek pro indikaci, že FVE začala dodávat el. energii a je vhodné zapnout regulaci pro optimalizaci využití vyrobené el. Energie. Případně může sloužit pro nastavení celého systému do klidového mimo provozního stavu.

Výhody

Snadné spuštění požadovaného přístroje po dosažení úrovně nastaveného proudu resp. přebytku výkonu.

Snadná realizace řešení ve stávajících rozvodech.

Nevýhody

Po sepnutí přístroje by však došlo k poklesu proudu pod nastavenou úroveň a došlo by k rozpojení spínače. Tím by došlo k odpojení přístroje od sítě. V případě, kdy by se přebytečný výkon elektrárny pohyboval v okolí nastavené úrovně sepnutí, docházelo by zcela jistě po zapnutí spotřebiče k poklesu proudu pod nastavenou úroveň a automatickému odpojení spotřebiče. Tím by mohlo dojít ke stavu, kdy bude spotřebič cyklicky připojován a odpojován.

Uvedené nežádoucí chování by mohlo být vyřešeno za použití časového relé. Toto relé umožňuje nastavit časovou prodlevu po kterou bude obvod (spotřebič) sepnut od začátku sepnutí. Po uplynutí této nastavené doby by došlo k rozpojení obvodu (elektrického spotřebiče). V případě celkového dostatečného přebytečného výkonu by došlo opět k sepnutí spotřebiče.

Jako vhodný časovací prvek mohl být typ: CRM-81J /230V ZR-1-10s [4]

Další nevýhodou řešení je fakt, že přístroj bude sepnut i nastavený časový interval bez ohledu na to, zda je po celou dobu dostatek přebytečného výkonu sluneční elektrárny.

3.4.2.4 Akumulace vyrobené energie

Akumulace energie a její pozdější využití je dnes jedním z hojně diskutovaných témat v mnoha technických aplikacích. Mezi přední oblasti patří automobilový průmysl. Principem je uložení aktuálního přebytku vyráběné elektrické energie a její pozdější využití.

V oblasti fotovoltaických elektráren je tato problematika také často diskutována. Fotovoltaická elektrárna je zdroj elektrické energie, u kterého lze obtížně předpokládat, jaký výkon bude v průběhu dne poskytovat. Okamžitý výkon elektrárny je proměnlivý v závislosti na lokálních povětrnostních podmínkách. Hlavním faktorem je oblačnost, která je schopna snížit maximální předpokládaný výkon až o 80 %.

Denní průběh výkonu FV elektrárny je často takový, že v době maximálního výkonu elektrárny není odběrné místo schopno spotřebovat veškerou vyrobenou el. energii. V době, kdy je pak výkon FV elektrárny nedostatečný, je nutno el. energii nakupovat.

I z uvedeného důvodu je řešení problematiky akumulace vyrobené energie a jejího pozdějšího využití zajímavým problémem. Při úspěšném vyřešení by akumulace vyrobené energie poskytla možnost přebytečnou energii akumulovat a využít jí v době, kdy výroba FVE nepostačuje pro pokrytí spotřeby domácnosti.

Technicky je dnes možno uvažovat o několika způsobech akumulace vyrobené elektrické energie.

3.4.2.4.1 Akumulace v akumulátorech

Nejčastěji je akumulace elektrické energie řešena pomocí akumulátorů. V dnešní době však cena a životnost akumulátorů převyšuje vlastní pořizovací cenu FV elektrárny i o 200 %. Návratnost vložených investičních nákladů se je v horizontu 20-30 let. S podobným problémem ceny a životnosti akumulátorů se setkáváme i v automobilovém průmyslu.

3.4.2.4.2 Akumulace v setrvačnicku

Zajímavou možností je akumulace vyrobené el. energie. Jedná se o akumulaci energie v setrvačnicku, který se otáčí velkou rychlostí. Setrvačnick je spojen s elektromotorem, který v době přebytku el. energie setrvačnick roztáčí. V době nedostatku el. energie pak motor funguje v režimu generátor a el. energii vyrábí. Takovéto aplikace se zatím objevují jen ve velkých průmyslových aplikacích. Pro malé domácí použití se zatím nevyrábí.

Nejen o těchto ale i o dalších způsobech akumulace je možno najít informace na následující internetové stránce.

<http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/ukladani-elektriny-z-fotovoltaickych-a-vetrnych-elektren.aspx>

Problematice akumulace elektrické energie se věnuje diplomová práce Akumulace energie z OZE [5].

3.4.2.5 Spojité regulace výkonu spotřebičů

Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, žádný z doposud uvedených způsobů řízení neposkytuje takové možnosti, aby byl optimálně využit přebytek výkonu fotovoltaické elektrárny a nedocházelo ke zbytečnému nakupování el. energie. Z toho důvodu je nutno najít jiný způsob regulace, který bude poskytovat možnosti pro optimální řízení spotřeby.

3.4.2.5.1 PWM (Pulse Width Modulation) regulace

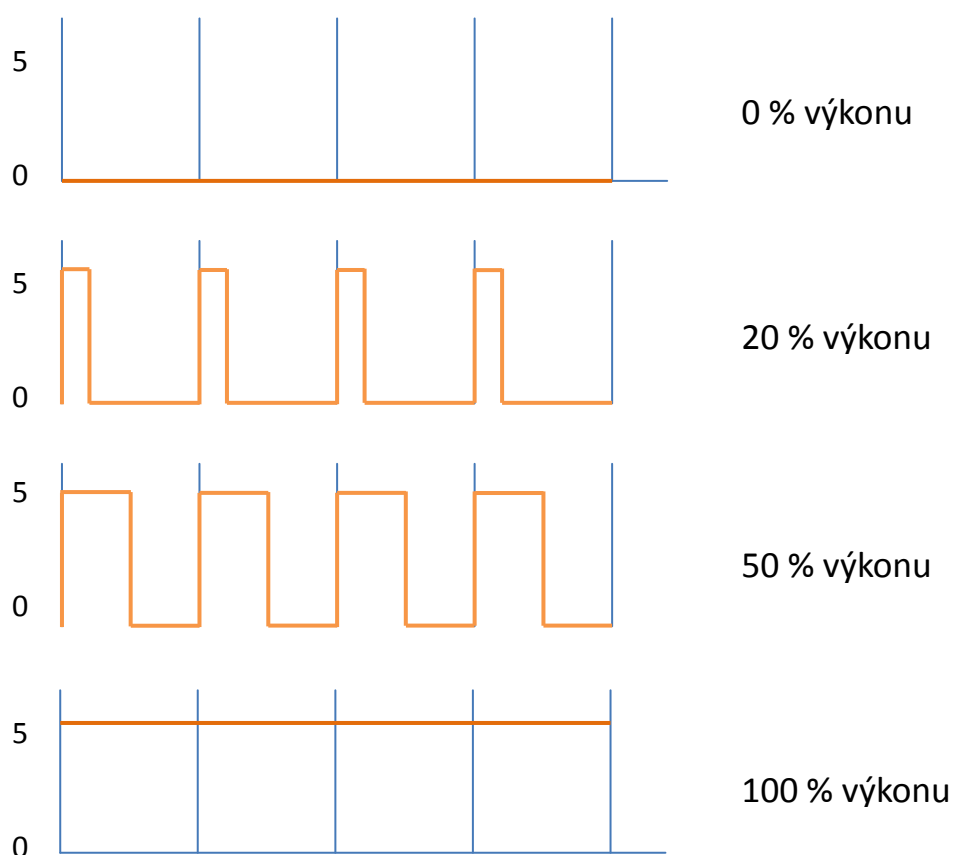
Jedná se o diskrétní modulaci pro přenos analogového signálu. Signál, který nese informaci o hodnotě regulace nabývá hodnot logická 0 / 1. Signál je přenášen pomocí střídavy.

Principem PWM regulace je opakované připojování a odpojování regulované zátěže ke zdroji el. proudu. Vlastní připojení a odpojení je dáno řídicím signálem (střídou). Perioda – doba, kdy dojde k přenosu jedné střídavy. Při změně výkonu regulovaného zařízení se pak mění poměr mezi dobou, jak

dlouho je regulovaný přístroj k síti připojena a jak dlouho je od sítě odpojen. Tomuto poměru pak odpovídá i výsledný výkon regulované zátěže.

Rozsah regulace zátěže je 0-100 %. Celý interval je rozdělen do kroků. Čím více kroků je nadefinováno, tím je regulace plynulejší. Počet kroků pak odpovídá vlastnostem zvolenému řídicímu systému.

Princip regulace PWM je znázorněn na obrázku 5.

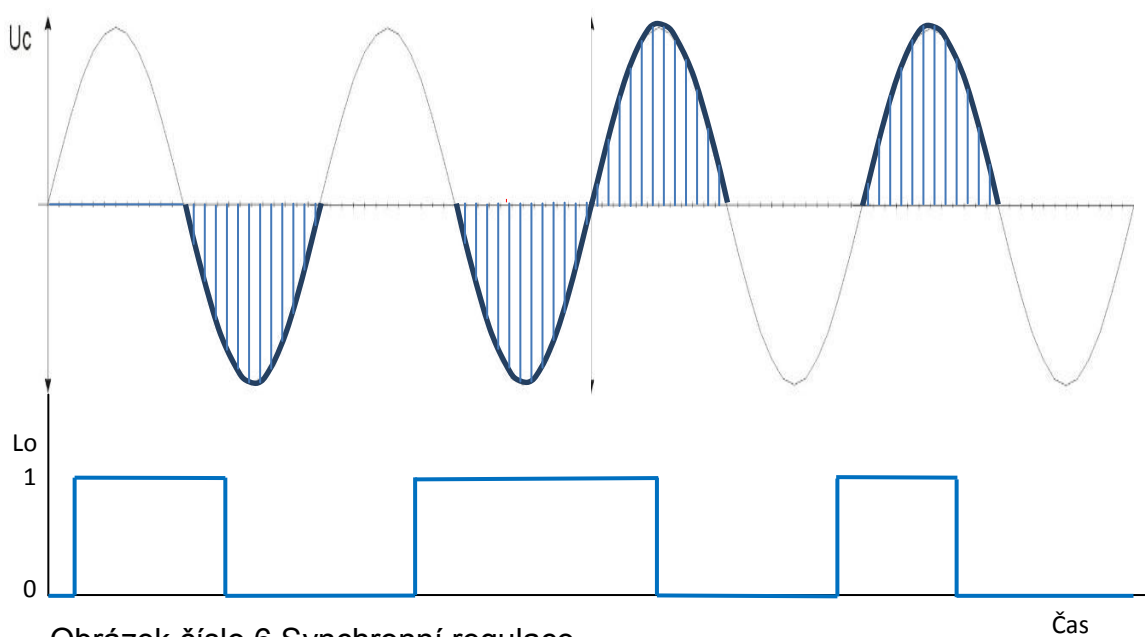


Obrázek číslo 5. Princip PWM regulace

3.4.2.5.2 Synchronní sinusová regulace

Jedná se o regulaci, kdy je regulovaná zátěž připojena ke zdroji střídavého proudu ve chvíli, kdy střídavý proud prochází nulou. Tento princip je znázorněn na obrázku číslo 6.

Pro správnou funkci je nutno použít vhodný spínací výkonový prvek. V tomto případě je vhodné použít výkonový tyristor. Ten je sepnut a rozepnut ve chvíli, kdy prochází síťové napětí nulou.

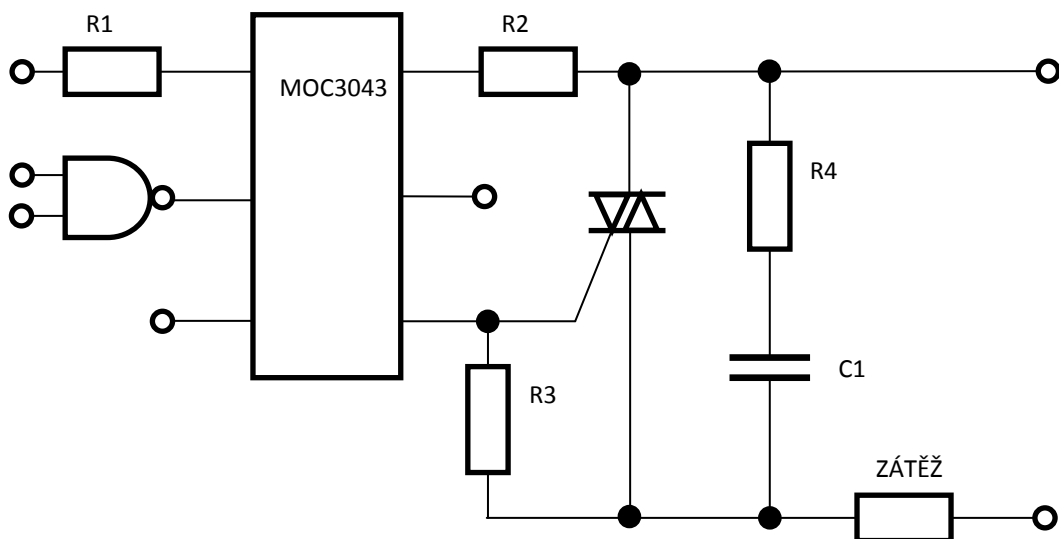


Obrázek číslo 6 Synchronní regulace

Výhody

Generování řídicího signálu není nijak závislé na synchronizaci se sinusovým průběhem v síti. Aktivní použitý prvek sám svou funkcí zajistí, že bude odpojen nebo naopak sepnut při nejbližším průchodu nulou. Toto řešení zcela eliminuje generování nežádoucího rušení do sítě.

Pro zajištění synchronního spínání triaku s frekvencí sítě je použito dále popsané zapojení [6]



Obrázek číslo 7 – Zapojení pro ovládání tyristoru v režimu SSR

Toto zapojení dále poskytuje galvanické oddělení řídicího prvku a výkonové části prostřednictvím prvku MOC3034. Tím je zajištěna ochrana řídicí části pro případ poruchy.

3.4.2.5.3 Solid State Rele (SSR)

Další z možností jak regulovat výkon připojené zátěže je Solid State Rele. Jedná se o polovodičový spínací prvek. Regulace sepnutí a tím i výsledného regulovaného výkonu je realizována pomocí řídicího napětí, které je přivedeno na ovládací kontakty SSR rele.

Na rozdíl od regulace Synchronní sinusově regulace i Power Waste Modulation, kde se pro regulaci využívá digitální signál generovaný řídicím prvkem, je zde řídicím prvkem generováno analogové ovládací napětí. Podle typu SSR relé je potřeba generovat řídicí napětí odpovídajícího rozsahu. Úroveň ovládacího napětí se nejčastěji pochybuje v rozmezí 3-32 V.

Řídicí napětí pro SSR relé je pak možno získat například pomocí wattmetru, který byl popsán v kapitole Analogové měření aktuálního výkonu.

Další možností je D/A převodník. V případech, kdy je k dispozici digitální signál nesoucí informaci o výkonu, je možno použít pro získání řídicího napětí D/A převodník. D/A převodník je možno zakoupit jako hotový komerční produkt, nebo zkonstruovat podle konkrétních podmínek aplikace.

3.5 Návrh řídicího systému

Na základě uvedených předpokladů a požadavků byl pro další realizaci zvolen systém, který bude řízen mikroprocesorem Atmel ATMEGA32. Jedná se o 8 bitový mikroprocesor, který disponuje dostatečným počtem portů pro vstupy a výstupy potřebné pro realizaci řídicího systému.

Podrobné informace o procesoru ATMEGA32 je možno najít na katalogovém listu [6]

Celý řídicí systém je možno rozdělit na 3 hlavní části

- Sběr vstupních informací
- Zpracování a generování řídicích instrukcí
- Výkonové regulační prvky

3.5.1 Sběr vstupní informace pro mikroprocesor

Pro dobré řízení celé regulace je nutno zajistit pro řídicí prvek vhodné a správné vstupní informace. Na základě těchto informací bude probíhat vyhodnocení aktuálního stavu a příslušná regulace.

Jak napovídá název kapitoly, jedná se o vstupní signál digitálního průběhu. Pro generování příslušného signálu je možno využít například 1 nebo 3 fázové digitální elektroměry, které mají standardní impulsní výstup. Vždy se jedná o výstup definovaný poměrem počet impulsů na kWh. Platí úměra - čím větší je počet impulsů na 1 kWh, tím je měření přesnější v čase a je pro potřeby

regulace lépe využitelné. Aktuálně je možno zakoupit zařízení s výstupem až 2000 imp / kWh.

Ve spojení s FVE je nutno znát stav tj. velikost a směr proudu na předávacím místě mezi odběrným místem a sítí dodavatele. Pro zjištění stavu tedy nestačí klasický elektroměr. Ten je sice schopen změřit velikost přenášeného výkonu, ale nedokáže identifikovat směr proudu. To znamená, že nerozliší stav výroba a dodávka. Pro tento případ je lze tedy použít elektroměr s brzdou, který měří proud v jednom směru.

Brzda způsobí, že je měřen jen proud protékající jedním směrem. Pro naše účely plně vyhovuje jednofázový elektroměr PRO1D V11.312 Tento elektroměr disponuje výstupem 2000 imp/kWh Úroveň výstupního impulsu je v rozmezí 5-24V podle přivedeného externího napájení.

3.5.2 Řídící mikroprocesor

Při návrhu a testech řešení bylo zjištěno, že bude vhodná varianta řídicí jednotky, která bude obsahovat 2 x mikroprocesory ATMEGA32 Hlavním řídicím procesorem bude Atmega ATM32, která bude realizovat vlastní řízení regulace.

Druhý procesor bude zajišťovat sběr vstupních informací a jejich přípravu pro hlavní řídicí procesor. Tímto řešením bude zajištěno, že hlavní řídicí procesor nebude nijak ovlivněn sběrem a přípravou dat. Informace bude k dispozici vždy, kdy bude požadována řídicím algoritmem.

Řešení pomocí dvou procesorů poskytuje i více možností pro další verze řídicího SW a variabilitu ovládaných zařízení do budoucna, kdy budou realizovány varianty s větším množstvím vstupů.

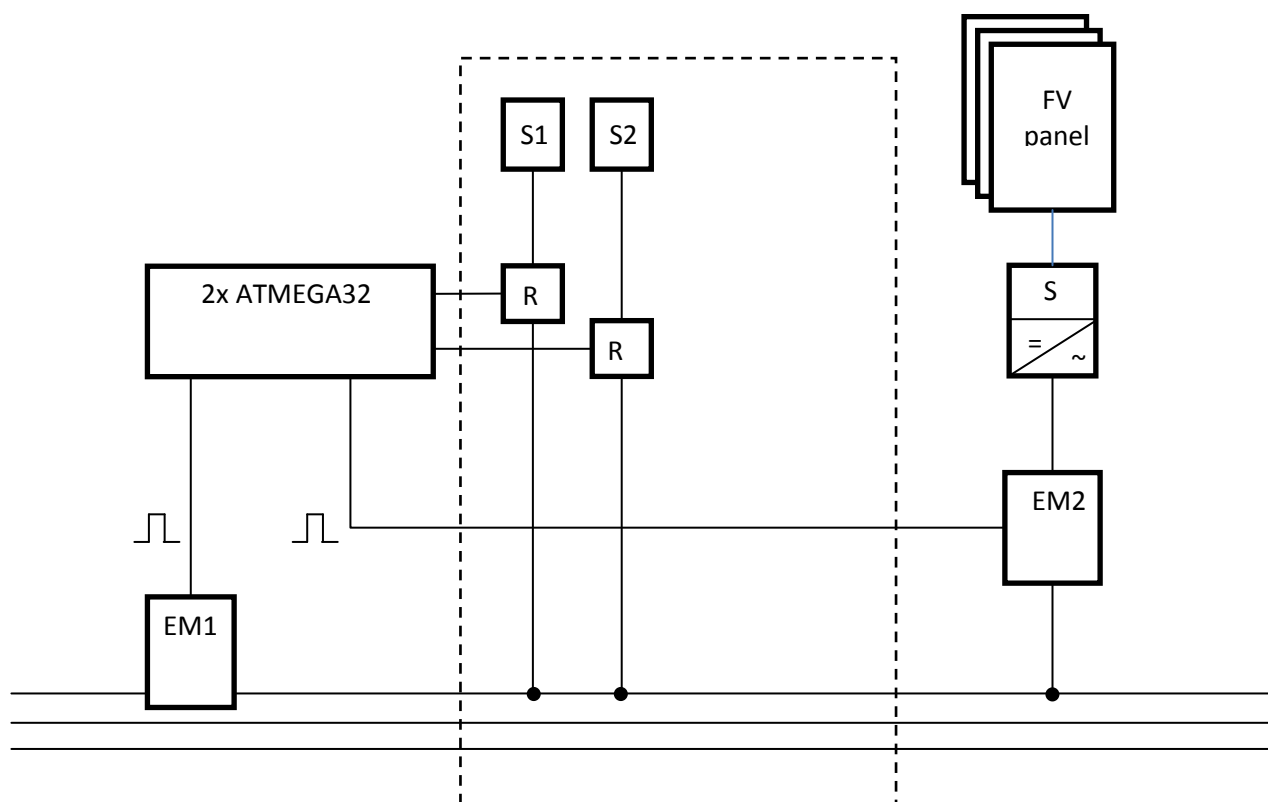
3.5.3 Regulace výkonu

Pro vlastní regulaci výkonu je zvolena tyristorová synchronní sinusová regulace, která je popsána v kapitole Synchronní sinusová regulace. Důvodem je především absence rušení v síti, jednoduchá a ověřená konstrukce řídicího

prvku. Tento typ regulace umožňuje snadné oddělení řídicí jednotky a vlastního řídicího prvku. Ten pak může být umístěn přímo u spotřebiče. Vlastní řídicí informace je pak mezi řídicím CPU a přenesena dvojicí signálních vodičů.

Při testech bylo ověřeno, že regulace funguje bez problémů na vzdálenost přesahující 10 m. To plně vyhovuje stavebnímu řešení rodinného domu, kde bude regulace realizována.

Na obrázku 7 je celkové blokové schéma navržené regulace



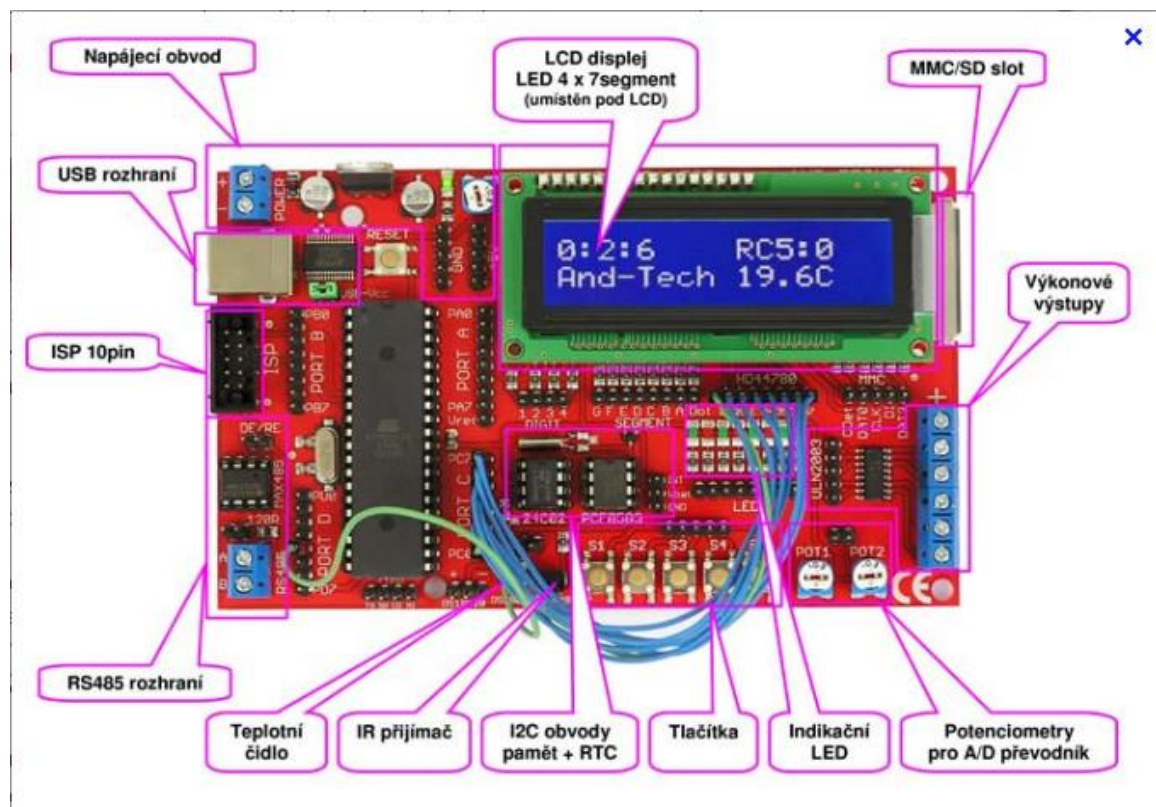
Obrázek číslo 7 Blokové schéma regulace

EM1, EM2 – elektroměr PRO1D s digitálním výstupem
S1, S2 – domácí spotřebiče
R – výkonový regulační prvek

3.6 Vývojové prostředí

3.6.1 Vývojový kit EvB 4.3 v4

Pro vývoj a test řešení byl zvolen vývojový kit EvB 4.3 v4. Tento kyt je možno běžně zakoupit v distribuční síti. Použitý vývojový kyt byl zakoupen u dodavatele AND-TECH [7]



Obrázek číslo 8 Vývojový kyt EvB 4.3 převzato z [7]

Kit obsahuje:

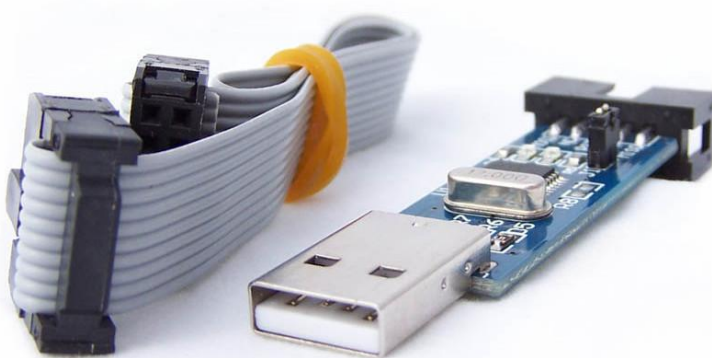
- Procesor AVR ATmega32, krystal 16MHz
- Obvod reálného času PCF8583
- Paměť EEPROM AT24C02
- Infračervený přijímač TSOP4836
- Teplotní čidlo DS18B20
- Převodník sběrnic RS485/RS232 - SN75176BP
- Patičky pro kartu MMC/SD
- 5 tlačítek
- 8 indikačních LED diod

- 2 potenciometry pro nastavení napětí
- 4 x sedmisegmentový LED zobrazovač
- 5 x výkonový výstup s otevřeným kolektorem ULN2003
- podsvětlený displej LCD 2x16 znaků (modrý)
- USB konektor
- ISP programovací konektor

Tento kyt poskytuje komplexní vývojové prostředí pro vývoj a testování navrženého řešení. Díky osazeným prvkům lze i snadno simulovat různé provozní stavy. Velkým pomocníkem je především LCD displej, kde lze snadno zobrazit potřebné informace o stavu a běhu programu.

3.6.2 ISP programátor

Pro přenesení programu do procesoru je nutné použít ISP programátor. Ten zajistí nahrání příslušného programu do procesoru ATM32 prostřednictvím ISP sběrnice.



Obrázek číslo 8 ISP programátor - převzato z [8]

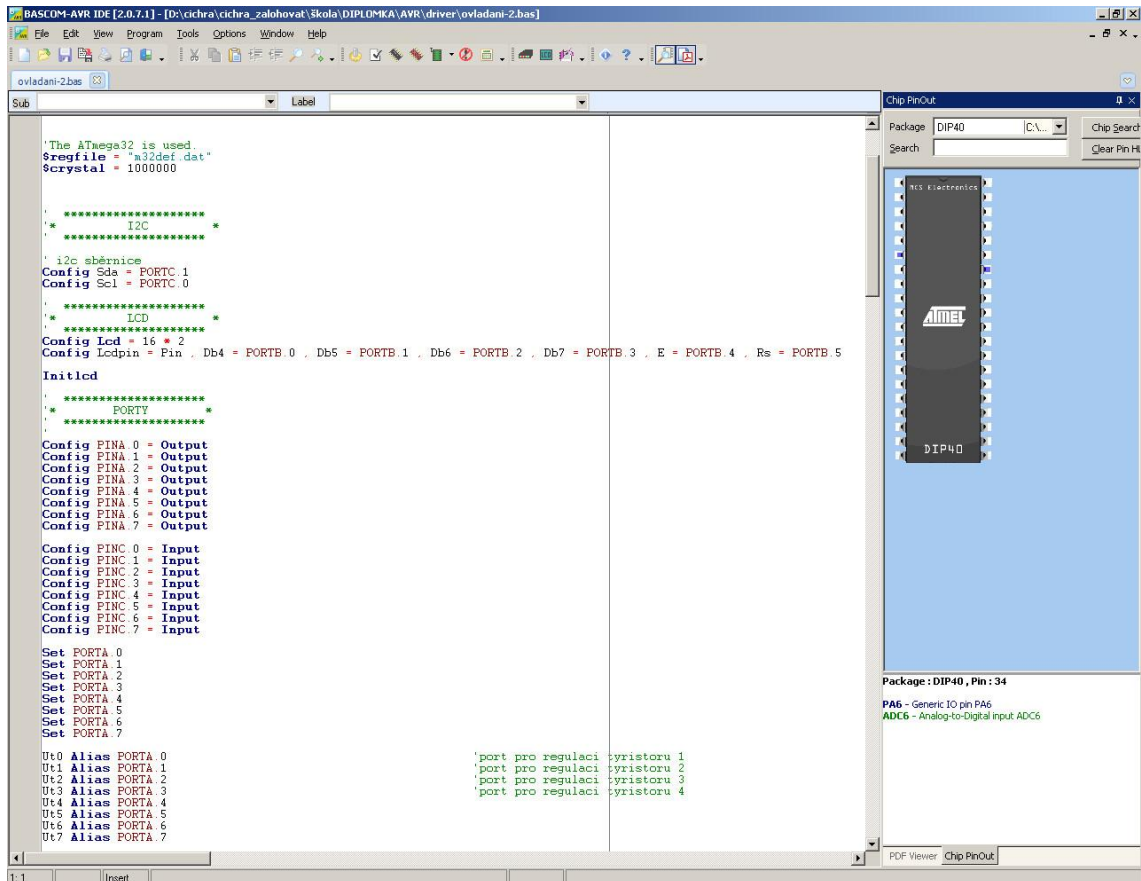
ISP programátor je možno zakoupit v běžné distribuční síti. Použitý programátor byl zakoupen u firmy Rybkalabs [8].

3.6.3 SW - vývojové prostředí

Pro vývoj příslušného programu je možno využít SW BASCOM-AVR od výrobce, MCS Electronics [9]. Výrobce poskytuje bezplatnou instalaci, programu, která je plně funkční. Jediným omezením je velikost generovaného kódu. Pro naše řešení bude tato velikost plně vyhovovat.

SW BASCOM –AVR lze nainstalovat na MS Windows Xp a další.

Po instalaci a spuštění programu se otevře základní okno programu.



Obrázek číslo 9 Bascom AVR

Okno obsahuje standardní menu, nástrojové lišty, okno pro psaní programu, a okno se zobrazením zvoleného procesoru, kde je možno si kliknutím na jednotlivé vývody procesoru zobrazit jejich funkci.

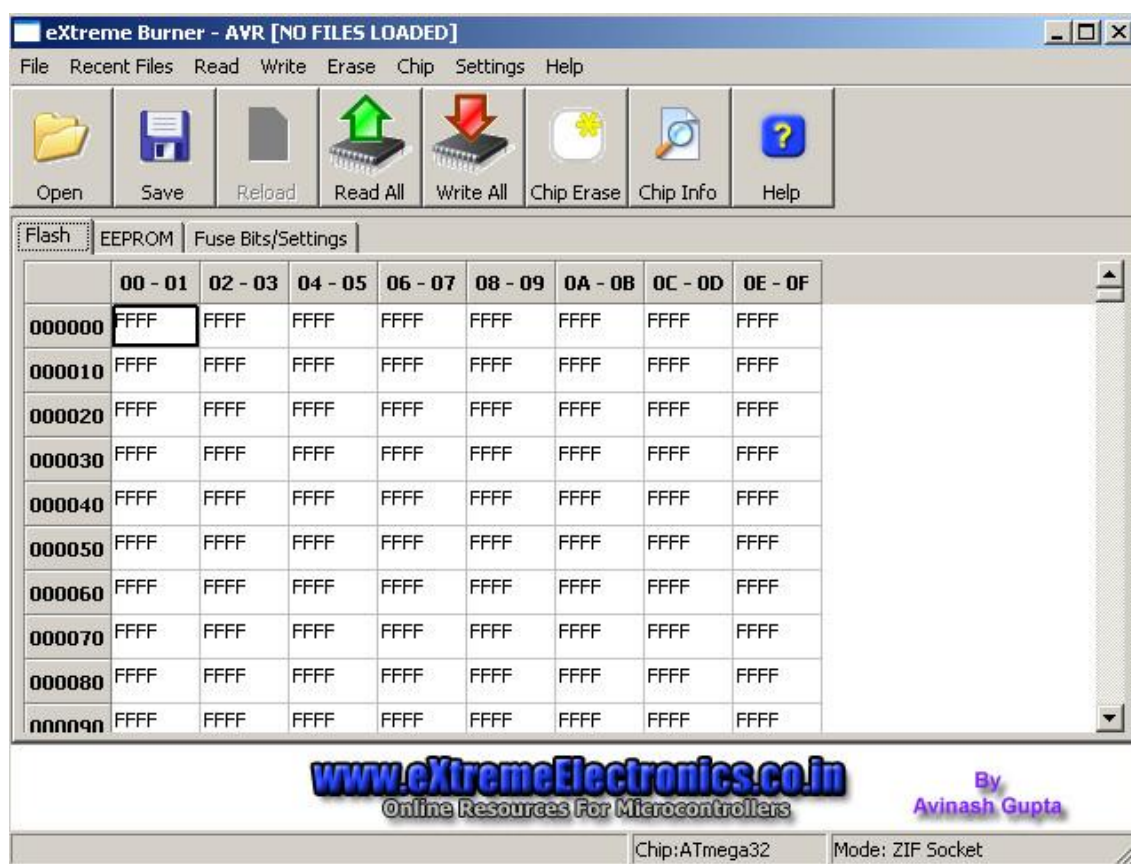
SW BASCOM-AVR je koncipován jednoduše a přehledně. Intuitivně vede uživatele. Velmi dobře doplňuje klíčová slova a formátuje vepsaný text. Obsahuje celou škálu nejrůznějších nástrojů pro plnohodnotné využití možností procesorů AVR.

Velmi zdařilou je funkce simulace programu, kde je možno velmi dobře simulovat běh programu a ladit ho.

Dokončený program je nutno přeložit do strojového kódu, který je možno nahrát do paměti procesoru. Výsledkem generování je soubor s příponou hex. Soubor typu hex je pak možno nahrát do paměti procesoru. Vzhledem k tomu, že použitý ISP programátor se nepodařilo přímo obsluhovat z programu BASCOM-AVR, použili jsme pro vložení kódu software Extreme Burner – AVR.

3.6.4 Extreme Burner – AVR

Program slouží pro nahrání případně pro extrakci strojového kódu z mikroprocesorů AVR. Výrobce SW je společnost extrémně Electronics [10].



Obrázek číslo 10 eXtreme Burner

Po instalaci a spuštění SW se zobrazí aplikační okno. Zde je nutno v menu Settings nastavit správný typ procesoru, který bude programován.

Přes USB port PC a ISP programátor připojit developer kit ATmega32. Po správném spojení dojde k oživení desky, která je napájena prostřednictvím USB.

V programu Extreme Burber pak otevřít ikonkou Open okno pro hledání souborů typu *.hex. Najít soubor vygenerovaný programem BASCOM-AVR. Po otevření pak ikonkou Write All zapsat program do paměti procesoru AVR. Úspěšné otevření i zapsání programu je oznámeno informačním oknem. Při zapisování se rozsvítí červená dioda na ISP programátoru. Po úspěšném nahrání začne procesor vykonávat vložený program.

3.7 Specifikace vstupu a výstupů regulace

Vstupy:

1 x vstup s informací o aktuálním přebytku výkonu odevzdávaného do distribuční sítě

1 x vstup s indikací stavu výroba nebo nákup

Výstupy:

4 krát spínaný regulovaný výstup (řídící signál) pro regulaci zátěže

Uvažované připojené zátěže

1. pro připojenou zátěž 0,5 kW RV1
2. pro připojenou zátěž 1 kW RV2
3. pro připojenou zátěž 2 kW RV3
4. pro připojenou zátěž 2,5 kW RV4

1x LCD display pro zobrazování aktuálních hodnot regulace

3.8 Řídící programy

Na základě testů a postupného vývoje byla zvolena varianta se dvěma CPU ATM32. Procesor CPU1 zajišťuje sběr dat potřebných pro správnou funkci regulace. Data zpracuje a poskytne je procesoru CPU2, který zajišťuje vlastní řízení výkonových prvků regulace. Touto architekturou je zajištěno, že se nebudou negativně ovlivňovat programy běžící na jednotlivých CPU. Rozdělení na dva CPU také poskytuje více možností pro další změny příslušných programových částí.

Oba programy pro CPU1 i PCU2 by bylo možno sloučit do jednoho programu. Vlastní program by se tím zkomplikoval bez dalšího výrazného přínosu pro celkovou funkci regulace. Výrazně by se zkomplikovalo ladění běhu programu i jeho změny pro další verze regulace.

3.8.1 Měření aktuálního výkonu a stavu soustavy

Pro správnou funkci regulace je nutno změřit, zda je soustava ve stavu nákupu nebo dodávky el. energie do rozvodné sítě. Pro realizaci této funkce byl vyčleněn samostatný procesor ATM32 (CPU1).

3.8.1.1 Algoritmus pro identifikaci stavu nákup / prodej

Základem pro správnou funkci mikroprocesoru řídicího koncové výkonové prvky je spolehlivá informace o tom, v jakém stavu se nachází celá soustava. Může se jednat o stav dodávka, kdy FV elektrárna vyrábí přebytek elektrické energie. Přebytek je odevzdáván do distribuční sítě. Stejně tak se může jednat o stav nákup, kdy FV elektrárna nevyrábí dostatek elektrické energie pro pokrytí aktuální spotřeby domácnosti. Nedostatek výkonu FV elektrárny je pak pokrývá odběrem (nákupem) z distribuční sítě. Jedním z hlavních cílů této práce je minimalizovat nákup el. energie z distribuční sítě.

Za účelem identifikace stavu soustavy byl do domovního rozvodu mezi domovní rozvaděč a přípojně místo k distribuční soustavě instalován elektroměr. Zapojení je vidět na obrázku 7. Elektroměr generuje impulsy o frekvenci odpovídající velikosti elektrického proudu procházejícímu ve směru do veřejné distribuční soustavy. Počet generovaných impulsů je 2000/kWh. V případě, že proud prochází směrem z distribuční soustavy do domovního rozvaděče, je na výstupu elektroměru konstantní napájecí napětí přivedené na impulzní výstupy elektroměru. Lze tedy odlišit směr protékajícího proudu. Pro naše potřeby to znamená identifikaci stavu nákup – konstantní napětí / prodej – generovány impulsy.

Signál z impulzního výstupu elektroměru je přiveden na vstup mikroprocesoru D0. Mikroprocesor zpracovává přivedený signál následujícím algoritmem

Algoritmus pro identifikace stavu nákup / prodej:

- Mikroprocesor v pravidelných intervalech kontroluje stav vstupního signálu přivedeného od elektroměru. Při každé kontrole je uložen aktuální stav vstupního portu D0 do pomocné proměnné. Celkem jsou uchovávány 4 poslední hodnoty vstupního portu.
- Při každém průchodu nekonečnou smyčkou je kontrolována sekvence stavů vstupního portu. Cílem je identifikovat časový okamžik, kdy přišel na vstup Impulz z elektroměru. Jestliže je nalezena sekvence hodnot na vstupu 0-0-1-1, je tato sekvence prohlášena za impulz. Sekvence 0-0-1-1 je zvolena z toho důvodu, aby byla identifikace impulzu ošetřena proti případným zákmitům vstupního signálu a podobně. Délka vstupního impulzu je přibližně 100 ms. Frekvence nekonečné smyčky je nastavena tak, aby nemohlo dojít mezi kontrolami ke stavu, kdy přijde na vstup další impulz.
- Při identifikaci impulzu je vypočten aktuální výkon, který je odevzdáván do rozvodné sítě. Výpočet se provede vynásobením počtu cyklů mezi po sobě jdoucími impulzy a konstantou. Hodnota aktuálního výkonu je uložena do interní proměnné. Po vypočtení výkonu je vynulováno interní počítadlo, které slouží k uchování počtu cyklů mezi po sobě jdoucími impulzy.
- Při každém průběhu smyčkou je kontrolován stav počtu cyklů mezi impulzy. V případě, že je počet cyklů větší než nastavená konstanta, je na výstup mikroprocesoru nastaven stav nákup. Konstanta je nastavena tak, aby maximální přípustný interval mezi impulzy odpovídal výkonu přibližně 50W. Toto je ochrana před tím, aby sestava oscillovala mezi stavem nákup a prodej. Stav nákup je především v době vysokého tarifu za nakoupenou elektrickou energii nežádoucí.
- Je dále stanoven maximální počet cyklů nekonečné smyčky pro provádění kontroly. Důvodem je stav, kdy je po delší dobu na vstupu mikroprocesoru konstantní signál. Jedná se o stavy, kdy je soustava dlouhodobě ve stavu nákup, nebo je výkon odevzdáván do distribuční

soustavy přibližně roven 0W. V případě dosažení maximálního definované počtu, je proměnná vytvořená pro tuto kontrolu vynulována.

3.8.1.2 Přepočítání impulsů na výkon

Elektroměr PRO1D použitý v řešení je výrobcem kalibrován na 2000 impulsů na 1 kWh, která přes tento elektroměr projde. Jednoduchým přepočtem lze zjistit, velikost výkonu v závislosti na intervalu dvou po sobě jdoucích impulsů. Několik hodnot je uvedeno v tabulce.

Přepočítání intervalu impulsů na odpovídající výkon	
Interval [s]	Výkon [W]
1	1800
1,8	1000
18	100
36	50
60	33.3
72	25
90	20

Pomocí uvedené tabulky lze stanovit algoritmus pro výpočet výkonu podle intervalu mezi impulsy.

Přepočítání výkonu podle času mezi impulsy:

$$3600/2000 = 1,8 \text{ s/imp}$$

$$P = 1,8/t_{\text{imp}} * 1000 \text{ [W]}$$

t_{imp} – čas mezi po sobě jdoucími impulsy [s]

1,8 – konstanta [-]

3.8.1.3 Program pro výpočet aktuálního výkonu

```
' Karel Cichra 1.12.2012
' verze 1.1
'---
' základní funkce:
' - identifikace impulsu z elektroměru na portu D.0
' - indikace impulsu na portu A.2
' - Indikace čekání na impuls na portu A.1
' - výpočet doby mezi po sobě jdoucím impulzem
' - Indikace stavu, výrova / nákup podle předem stanoveného intervalu pro
impulz
' - výpočet výkonu podle intervalu mezi impulzy. Konstanta elektoměru je 2000
imp / kWh
'
'-----

'The ATmega32 is used.
$regfile = "m32def.dat"
$crystal = 1000000

' *****
' *           ISP           *
' *****
' pro ATmega32 jsou to signály:
' PB.4 - /SS(CS) ; PB.5 - MOSI ; PB.6 - MISO ; PB.7 - SCK hodiny

' *****
' *           I2C           *
' *****
' I2c Sběrnice
Config Sda = Portc.1
Config Scl = Portc.0

' *****
' *           LCD           *
' *****
Config Lcd = 16 * 2
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portd.0 , Db5 = Portd.1 , Db6 = Portd.2 , Db7 =
Portd.3 , E = Portd.4 , Rs = Portd.5
Initlcd

' *****
' *           PORTY         *
' *****
'port A
Config Pina.0 = Output
Config Pina.1 = Output
Config Pina.2 = Output
Config Pina.3 = Output
Config Pina.4 = Output
Config Pina.5 = Output
Config Pina.6 = Output
Config Pina.7 = Output
```

```

'pojmenování pro port A
Ut0 Alias Porta.0
Ut1 Alias Porta.1
Ut2 Alias Porta.2
Ut3 Alias Porta.3
Ut4 Alias Porta.4
Ut5 Alias Porta.5
Ut6 Alias Porta.6
Ut7 Alias Porta.7

'port C
Config Pinc.0 = Input
Config Pinc.1 = Input
Config Pinc.2 = Input
Config Pinc.3 = Input
Config Pinc.4 = Input
Config Pinc.5 = Input
Config Pinc.6 = Input
Config Pinc.7 = Input

' * nastavení počátečních hodnot na portA - výstupy a indikace *
Set Porta.0
Set Porta.1
Set Porta.2
Set Porta.3
Set Porta.4
Set Porta.5
Set Porta.6
Set Porta.7

' *****
' * Definice proměnných *
' *****
Dim Mscount As Integer      'definice milisekund
Dim Pvyroba As Integer      'nese informaci o stavu: výroba = 1 nákup = 0
Dim Msgwait As Integer      'počtem milisekund čekání mezi cykly nekonečné
smyčky
Dim Vykon As Integer
Dim Pocet_cyklad_imp As Integer      'počet cyklů mezi impulzami (náběžnou
hranou) (long 2147483647)
Dim Vykkonst As Integer      'konstanta pro přečet času na výkon
Dim Lastvalpin3 As Integer      'hodnota portu při cyklu -3
Dim Lastvalpin2 As Integer      'hodnota portu při cyklu -2
Dim Lastvalpin1 As Integer      'hodnota portu při cyklu -1
Dim Curvalpin As Integer      'hodnota portu při aktuálním běhu
Dim Pmaximp As Integer      'hodnota maximálního počtu cyklů čekání na impulz
Dim Pocetcykladnaimp As Integer      'počet impulzů který je definován jako
hranice pro nákup prodej (long 2147483647)
Dim Pompoc As Integer
Dim Val0 As Integer
Dim Val1 As Integer

' *****
' * počáteční hodnoty *
' *****

```

```

' vyřadit Pkontrol = 100
Pvyroba = 0
Msgwait = 80          'konstanta pro čekání v cyklu 80 = 0,01 sekundy 8000
msgwait = 1 sekunda
Pocet_cyklu_imp = 0
Vykkonst = 250        'konstanta pro přepočítání intervalu na výkon
Lastvalpin3 = 0
Lastvalpin2 = 0
Lastvalpin1 = 0
Curvalpin = 0
Pmaximp = 600         '4500 maximální čekání na impuls 45 sekund
Pocetcyklinaimp = 300 '3000 maximální hranice pro změnu nákup/prodej 30
sekund

Cls                    'start a reset úvodní sekvence'
Lcd "Start"
Waitms 1
Reset Ut1
Reset Ut2
Reset Ut3
Reset Ut4
Waitms 5000
Set Ut1      '
Set Ut2
Set Ut3
Set Ut4
Waitms 5000
Reset Ut1
Reset Ut2
Reset Ut3
Reset Ut4
Waitms 5000
Set Ut1      '
Set Ut2
Set Ut3
Set Ut4

Do
  Lastvalpin3 = Lastvalpin2 'uchovává hodnotu portu z běhu -3
  Lastvalpin2 = Lastvalpin1 'uchovává hodnotu portu z běhu -2
  Lastvalpin1 = Curvalpin   'uchovává hodnotu portu z běhu -1
  Pocet_cyklu_imp = Pocet_cyklu_imp + 1
                        'počítá, kolik cyklů uplynulo mezi dvěma náběžnými hranami impulsu
  If Pinc.7 = 0 Then
    Curvalpin = 0          'uloží aktuální hodnotu portu
  Else
    Curvalpin = 1          'zhasne kontrolní led
  End If

  If Lastvalpin3 = 0 And Lastvalpin2 = 0 And Lastvalpin1 = 1 And Curvalpin = 1
  Then
    Cls
    Waitms 1
    Set Ut1                'rozsvítí kontrolní led 2 - impuls přijat
    Reset Ut2              'zhasne kontrolní led 3 - čekám na impuls
    Vykon = 0
    Vykon = Pocet_cyklu_imp * Vykkonst

```



```

'vypočte výkon který odpovídá intervalu mezi imp
Waitms 300 'pomocné čekání pro záznam impulsu 0,1
Reset Ut1 'zhasne led 2 - impuls přijat
Set Ut2 'rozsvítí led 3 - čekám na impuls
Lcd Pocet_cyklu_imp 'zobrazí na panelu počet cyklů mezi impulzy
Lcd " ; " 'zobrazí na panelu oddělovač
Lcd Vykon 'zobrazí na panelu vypočtený výkon
If Pocet_cyklu_imp > Pocetcyklinaimp Then
  Reset Ut3 'rozsvítí led 3 - stav nákup
  Set Ut4 'zhasne led 4 - stav výroba
  Set Ut0 'Nastaví pro CPU2 stav nákup (log 0)
  Pvyroba = 0 'proměnnou pvýroba = 0 (nákup)
  Lcd "nakup" 'zobrazí na panelu stav nákup
Else
  Set Ut3 'zhasne led 3 - stav nákup
  Reset Ut4 'rozsvítí led 4 - stav výroba
  Reset Ut0 'Nastaví pro CPU2 stav výroba (log 1)
  Pvyroba = 1 'nastaví proměnnou do stavu 1
  Lcd "vyroba" 'zobrazí na panelu stav výroba
End If
Pocet_cyklu_imp = 0 'vynuluje počet cyklů do dalšího stavu last 0 cur
1
End If
If Pocet_cyklu_imp = Pmaximp Then
  'kontrola počtu cyklů čekání na impuls. Když je čekání delší než limit ,
  'vynuluje počítadlo - ochrana přetečení
  Pocet_cyklu_imp = 0
  Reset Ut3
  Set Ut4 'zhasne led 4 - stav výroba
  Set Ut0 'Nastaví pro CPU2 stav nákup (log 0)
  Pvyroba = 0 'proměnnou pvýroba = 0 (nákup)
  Lcd "nakup" 'zobrazí na panelu stav nákup
End If
Waitms 80 'počká 0,01 sekund
Waitms Msgwait 'počká podle definované konstanty
Loop

```

3.8.2 Regulace připojené zátěže

Proces regulace je řízen samostatným mikroprocesorem. Tento mikroprocesor pracuje v celé regulaci jako master. Informace o aktuálním stavu si odebírá sám podle potřeby z CPU1. Touto architekturou je zajištěno, že není proces regulace výkonových stupňů ovlivněn okolím. Pro regulaci je implementován dále popsaný algoritmus.

3.8.2.1 Algoritmus pro řízení spotřeby se řídí pravidly:

- V rámci regulace je možno ve stávající konfiguraci řídit 4 výkonové regulátory.
- Výstupní výkon všech regulátorů je možno řídit v rozsahu od 0 do 100 %.
- Krok pro řízení regulátorů je 1 %.
- Krok nelze ve stávajícím řešení zjemnit pod 1 %. Krok lze snadno programově zvětšit.
- Řízení jednotlivých regulátorů je nastaveno sekvenčně. Mikroprocesor postupuje při regulaci sekvenčně od prvního výstupu RV1 k RV4 a nijak nepřeskakuje pořadí.
- Na počátku regulace a po resetu mikroprocesoru jsou všechny regulační stupně nastaveny do stavu 0 %.
- V případě přebytku výkonu FVE a jeho odevzdávání do distribuční soustavy je postupně připojována zátěž s krokem 1 %. Postupuje se od RV1 – 0 % až k RV4 – 100 %
- V případě nedostatku výkonu FVE a jeho odběrem z distribuční soustavy je postupně odpojována zátěž s krokem 1%. Postupuje se od RV4 – 100 % až k RV1 – 0 %
- Nastavená úroveň regulace výkonových prvků je konstantní na dobu 5 s. Důvodem je poskytnutí dostatku času pro změření stavu soustavy. Při rychlejším kroku regulace než je krok měření, by docházelo k nestabilitě regulace a oscilaci mezi stavem nákup a prodej.
- Po 5 sekundách je zjišťován stav celé soustavy dotazem do CPU1. Zjišťuje se, zda VFE poskytuje dostatek výkonu. V případě stavu dodávka, je pomocí regulace s krokem 1 % zvětšena připojená zátěž. V případě stavu nákup, je připojená zátěž snížena o krok 1 %.

3.8.2.2 Program pro regulaci zátěže:

```
'-----
'Karel Cichra 12.2012
'verze 1.1
'PWM regulace 4 stupňů
'---
'-----

'The ATmega32 is used.
$regfile = "m32def.dat"
$crystal = 1000000

' *****
'|*           I2C           *
'| *****

' i2c sběrnice
Config Sda = Portc.1
Config Scl = Portc.0

' *****
'| *           ISP           *
'| *****

' pro ATmega32 jsou to signály:
' PB.4 - /SS(CS) ; PB.5 - MOSI ; PB.6 - MISO ; PB.7 - SCK hodiny

' *****
'|*           LCD           *
'| *****

Config Lcd = 16 * 2
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portd.0 , Db5 = Portd.1 , Db6 = Portd.2 , Db7 =
Portd.3 , E = Portd.4 , Rs = Portd.5
Initlcd

' *****
'|*           PORTY           *
'| *****
'|

Config Pina.0 = Output
Config Pina.1 = Output
Config Pina.2 = Output
Config Pina.3 = Output
Config Pina.4 = Output
Config Pina.5 = Output
Config Pina.6 = Output
Config Pina.7 = Output

Config Pinc.0 = Input
Config Pinc.1 = Input
Config Pinc.2 = Input
Config Pinc.3 = Input
Config Pinc.4 = Input
Config Pinc.5 = Input
Config Pinc.6 = Input
Config Pinc.7 = Input
```

```

Set Porta.0
Set Porta.1
Set Porta.2
Set Porta.3
Set Porta.4
Set Porta.5
Set Porta.6
Set Porta.7

Ut0 Alias Porta.0          'port pro regulaci 1. stupně
Ut1 Alias Porta.1          'port pro regulaci 2. stupně
Ut2 Alias Porta.2          'port pro regulaci 3. stupně
Ut3 Alias Porta.3          'port pro regulaci 4. stupně
Ut4 Alias Porta.4
Ut5 Alias Porta.5
Ut6 Alias Porta.6
Ut7 Alias Porta.7

' *****
'*          PROMENNE          *
' *****

Dim Mscount As Integer     'definice milisekund
Dim Msref As Integer
Dim Msgwait As Integer
Dim Ptyrist As Integer     'identifikace regulovaného stupně
Dim Pprebytek As Byte      'hodnota přebytku výroby 0-255
Dim Pmsgwait As Integer    'prom pro výpočet doby čekání v cyklu
Dim Pvyroba As Integer
Dim Pcyklu As Integer      'prom pro indikaci stav výr/dod
Dim Pwmintcykl As Integer  'po kolika cyklech inter. PWM vyskočí
Dim Kpwmintcykl As Integer
Dim I As Integer

' *****
'*          PROMENNE startovací hodnoty          *
' *****

Cls          'start a reset úvodní sekvence'
Lcd "Start"
Reset Ut1
Reset Ut2
Reset Ut3
Reset Ut4
Waitms 1000
Set Ut1
Set Ut2
Set Ut3
Set Ut4
Waitms 1000
Reset Ut1
Reset Ut2
Reset Ut3
Reset Ut4
Waitms 1000
Set Ut1
Set Ut2

```

```

Set Ut3
Set Ut4

Pprebytek = 3           'určuje, zda je přebytek výroby nebo ne
Ptyrist = 1            'číslo regulovaného stupně. Začíná od 0.
Msref = 0              'na kolik % regulovat
Msgwait = 0           'doba čekání
Pvyroba = 0           'indikace vý/dod 0-nákup, 1-výroba
Pcyklu = 0            'počet cyk pro zjištěné hodnoty regulace
Kpwmintcykl = 10
Do

Mscount = 0           ' na kolik ms má být regulovaný st. sepnut

Pcyklu = Pcyklu + 1

If Pcyklu = 10 Then
  'zjistí novou hodnotu pro výkon. Je-li výroba pak nastaví proměnnou pvýroba
  'na 1, nákup na 0
  ' #####

  If Pinc.7 = 1 Then           'vstup z CPU1 1 - výroba / 0 nákup
    Pvyroba = 1               'Výroba
  Else
    Pvyroba = 0               'nákup
  End If

  If Pvyroba = 1 Then
    Msref = Msref + 1         'nastavení % při výrobě
  End If

  If Pvyroba = 0 Then
    Msref = Msref - 1         'nastavení % při nákupu
  End If

  If Msref > 255 Then
    'ošetří dopočet % regulace jen k 255% další stupen je trvalé sepnutí
    Msref = 255
  End If

  If Msref < 0 Then
    'dopočet % regulace jen k nule
    Msref = 0
  End If

  Pmsgwait = 100 - Msref
    'pomocná proměnná pro výpočet jak dlouho musí počkat do 100%
  Msgwait = Pmsgwait * 10    'vypočte, jak dlouho má počkat do vteřiny
  Pcyklu = 0                 'nastaví počet cyklů na 0
End If
Cls
'Lcd Msref

If Pprebytek = 3 Then
  'Ovládání prvního stupně'
  If Ptyrist = 1 Then
    'Testuje ovládání 1. stupně
    If Msref > 0 Then
      'Při výrobě 0 (nákup) vypne všechny stupně
      If Msref < 255 Then
        Do
          'PWM regulace 1. stupně

```

```

Set Ut0
Reset Ut4                                'kontrolní dioda pro ovl. 1. tt.
For I = 0 To 255
  If I = Msref Then
    Reset Ut0
    Set Ut4
  End If
  Waitus 10
Next I
Incr Pwmintcykl
Loop Until Pwmintcykl > Kpwmintcykl
'opuštění regulace po definované době pro ověření stavu vstupu
Pwmintcykl = 0
Else
  Set Ut0                                'zapne 1. stupeň na 100% bez regulace
  Reset Ut4                              'kontrolní dioda 1. stupně svítí
  Ptyrist = 2                            'posun regulace na 2. stupeň
  Msref = 1                              'nastaví reg. pro 2. stupeň na 1/250
End If
Else                                     ,při nákupu vypne všechny stupně
  Reset Ut0
  Reset Ut1
  Reset Ut1
  Reset Ut3
  Set Ut4                                'Zhasne kontrolní diody všech stupňů
  Set Ut5
  Set Ut6
  Set Ut7

End If
End If
If Ptyrist = 2 Then                    'Testuje ovládání 2. stupně
  If Msref > 0 Then                    'Při výrobě 0 nas. Reg. na 1. stupeň
    If Msref < 255 Then
      Do                               'PWM regulace 2. stupně
        Set Ut1
        Reset Ut5                      ,kontrolní dioda pro ovl. 2. stupně
        For I = 0 To 255
          If I = Msref Then
            Reset Ut1
            Set Ut5
          End If
          Waitus 10
        Next I
        Incr Pwmintcykl
        Loop Until Pwmintcykl > Kpwmintcykl
        'opuštění regulace po definované době pro ověření stavu vstupu
        Pwmintcykl = 0
      Else
        Set Ut1                        'zapne 2. stupeň na 100% bez regulace
        Reset Ut5                      'kontrolní dioda 2. stupně svítí
        Ptyrist = 3                    'posun regulace na 3. stupeň
        Msref = 1                      'nastavení reg 3. stupeň na 1/255
      End If
    Else
      Ptyrist = 1                      'návrat k regulaci 1. stupně
      Msref = 254                      'nastavení reg 1. stupně na 254/255
    End If
  Else

```

```

End If

If Ptyrist = 3 Then
    If Msref > 0 Then
        If Msref < 255 Then
            Do
                Set Ut2
                Reset Ut6
                For I = 0 To 255
                    If I = Msref Then
                        Reset Ut2
                        Set Ut6
                    End If
                    Waitus 10
                Next I
                Incr Pwmintcykl
                Loop Until Pwmintcykl > Kpwmintcykl
                'opuštění regulace po definované době pro ověření stavu vstupu
                Pwmintcykl = 0
            Else
                Set Ut2
                Reset Ut6
                Ptyrist = 4
                Msref = 1
            End If
        Else
            Ptyrist = 2
            Msref = 254
        End If
    Else
        End If

If Ptyrist = 4 Then
    If Msref > 0 Then
        If Msref < 255 Then
            Do
                Set Ut3
                Reset Ut7
                For I = 0 To 255
                    If I = Msref Then
                        Reset Ut3
                        Set Ut7
                    End If
                    Waitus 10
                Next I
                Incr Pwmintcykl
                Loop Until Pwmintcykl > Kpwmintcykl
                'opuštění regulace po definované době pro ověření stavu vstupu
                Pwmintcykl = 0
            Else
                Set Ut3
                Reset Ut7
                Ptyrist = 4
            End If
        Else
            Ptyrist = 3
            Msref = 254
        End If

```

'Testuje ovládání 3. stupně
'Při výrobě 0 nas. reg. na 2. stupeň
'PWM regulace 3. stupně
'kontrolní dioda 3. stupně svítí
'zapne 3. stupeň na 100% bez regulace
'kontrolní dioda 3. stupně svítí
'posun regulace na 4. stupeň
'nastaví reg. pro 4. stupeň na 1/255
'návrat k regulaci 2. stupně
'nastaví reg. 2. stupně na 254/255
'Testuje ovládání 4. stupně
'Při výrobě 0 nas. reg. na 3. stupeň
'PWM regulace 4. stupně
'kontrolní dioda 4. Stupně svítí
'zapne 4. stupeň na 100% bez regulace
'kontrolní dioda 4. stupně svítí
'posun regulace na 4. stupeň
'návrat k regulaci 3. stupně
'nastaví reg. 3. stupně na 254/255

```

Else
End If

End If

'Cls
'Lcd "MScount "
'Lcd Mscount
'Cls
'Lcd "Msref "
'Lcd Msref
Loop
End

```

3.8.3 Identifikace vstupů a výstupů mikroprocesorů

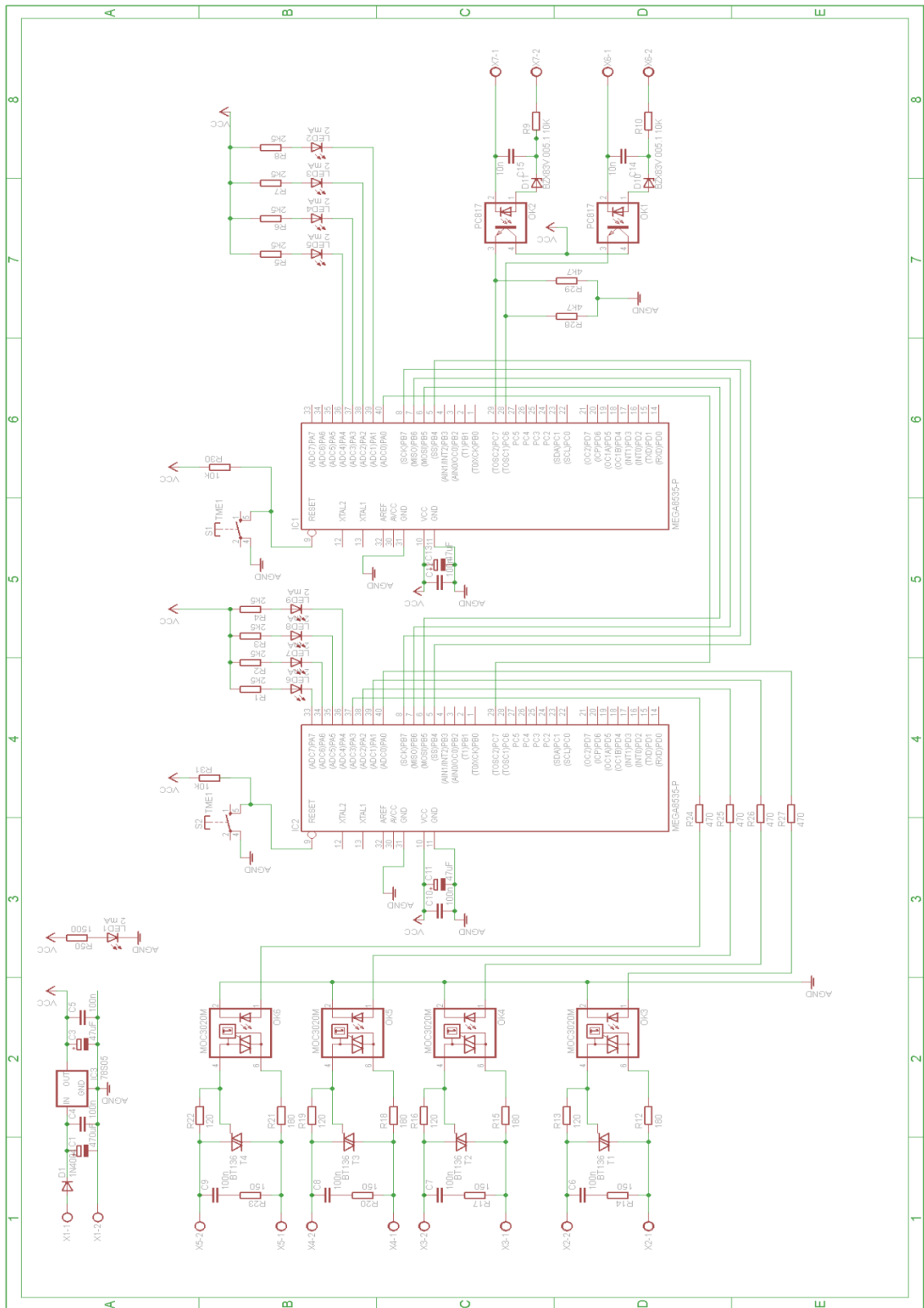
3.8.3.1 CPU1

PC6 - vstup signálu z elektroměru PRO1D
 PC7 - vstup signálu z elektroměru PRO1D
 PA0 – výstup – signál pro CPU2 – log 0 nákup, log 1 výroba
 PA1 – indikace přijetí impulzu z na vstupu PC7 LED2
 PA2 – Indikace čekání na impulz na vstupu PC7 LED3
 PA3 – indikace stavu nákup LED4
 PA4 – indikace stavu výroba LED5
 Pb4, PB5, PB6, PB7 - ISP sběrnice pro předávání dat mezi CPU1 a CPU2

3.8.3.2 CPU2

PC7 – vstup signál z CPU1 – log 0 nákup, log 1 výroba
 PA0 – signál regulace prvního výkonového stupně
 PA1 – signál regulace druhého výkonového stupně
 PA2– signál regulace třetího výkonového stupně
 PA3– signál regulace čtvrtého výkonového stupně
 PA4 – indikace regulace prvního výkonového stupně LED9
 PA5 – indikace regulace druhého výkonového stupně LED8
 PA6 – indikace regulace třetího výkonového stupně LED7
 PA7 – indikace regulace čtvrtého výkonového stupně LED6
 PB4, PB5, PB6, PB7 - ISP sběrnice pro předávání dat mezi CPU1 a CPU2

3.8.3.3 Schéma zapojení řídicí jednotky



Obrázek číslo 11 Schéma zapojení řídicí jednotky

4 Testovací provoz

Pro testovací provoz řídicího zařízení byl použit vývojový kit EvB 4.3 v4 popsáný v kapitole Vývojový kit EvB 4.3 v4 na straně 38. V procesoru byl nahrán hlavní program, který prováděl vlastní řízení výkonových regulačních prvků. Na univerzální pájecí desce byla sestavena druhá část obsahující druhý mikroprocesor. Tento mikroprocesor zajišťoval sběr dat z elektroměru, zpracoval a dále poskytl potřebné informace hlavnímu mikroprocesoru.

Na univerzální desce byl dále zkonstruován výkonový řídicí prvek pro regulaci připojených spotřebičů.

Tato architektura byla zvolena proto, že vývojový kit umožňuje díky displeji a instalovaným led diodám snadno monitorovat funkci regulace. V případě potřeby je pak možno snadno upravit jak SW tak i HW konfiguraci. Jako testovací zátěž byl připojen přímotop s maximálním výkonem 2 kW.

Pro ověření účinnosti regulace byl použit klešťový ampérmetr, kterým byl měřen proud protékající do spotřebiče.

Jako první byla použita regulace popsáná v kapitole Synchronní sinusová regulace na straně 32. Tato regulace se ukázala jako neúčinná. Při měření bylo zjištěno, že při regulaci dochází k nežádoucímu odběru části elektrické energie z distribuční sítě. Důvodem bylo to, že spotřebič je vždy zapojen na celou půlvlnu střídavého proudu. V rámci této půlvlny pak spotřebič odebere ze sítě proud odpovídající jeho maximálnímu výkonu. Po dobu, kdy je spotřebič od sítě odpojen, je pak přebytečný výkon elektrárny odevzdáván do distribuční sítě. Toto chování je nežádoucí. Z toho důvodu byla otestována varianta s PWM regulací popsáná v kapitole PWM (Pulse Width Modulation) regulace na straně 31.

V kapitole na straně 51 je již verze programu v implementovanou PWM regulací.

Při testu PWM regulace se projevilo správné chování celé soustavy. V první fázi testu bylo ručně nastaveno omezení výkonu spotřebiče postupně na 5,25,50,75 a 100%. Ve všech případech odpovídal proud, který tekla do

spotřebiče nastavené úrovni regulace. V druhé fázi bylo provedeno testování celého systému s regulací závislou na měření přebytku elektroměrem PRO1D.

Po správném nastavení řídicích programů pomocí konstant se podařilo stabilizovat celý systém ve stavu, kdy byl do distribuční sítě odevzdáván výkon v rozmezí 50 – 500 W. K těmto výkyvům došlo ve chvíli, kdy se rychle změnil výkon fotovoltaické elektrárny vlivem přechodu mraků. V případě, kdy byl výkon konstantní nebo se měnil jen pomalu, byl výkon odevzdávaný do distribuční sítě stabilizován v rozmezí 50 – 150 W. Jen výjimečně docházelo ke stavu, kdy byla soustava v režimu odběr z distribuční soustavy. To bylo způsobeno rychlým poklesem výkonu elektrárny, nebo spuštěním jiného domácího spotřebiče s velkým výkonem. Pro tento případ je regulace nastavena tak, aby došlo k rychlému snížení regulované zátěže, případně k jejímu odpojení.

Testovací provoz probíhal po dobu jednoho týdne v době nízkého tarifu. Regulace výkonu tepelného spotřebiče fungovala správně podle předpokladů. V případě, kdy byl výkon elektrárny větší, než je maximální výkon regulovaného spotřebiče, byl přebytek výkonu odevzdán do distribuční soustavy. Při výkonu nižším než je výkon spotřebiče, byl plynule regulován jeho výkon na hodnotu, kdy byl do distribuční sítě odevzdáván jen malý přebytek.

Na základě výsledku bude proveden dlouhodobý test regulace rozšířený na celý den, kdy fotovoltaická elektrárna vyrábí el. energii.

Vzhledem k tomu, že jeden výkonový prvek neumožňuje, v případě plného výkonu elektrárny, využít více než 2 kW elektrické energie, bude testovací systém rozšířen o další výkonově regulované spotřebiče.

5 Následující úpravy řídicího algoritmu

Jednotný způsob regulace výkonových výstupů – zapojení je možno doplnit o přepínač, kterým se vyřadí nebo naopak aktivuje sekvenční řízení regulace jednotlivých výkonových prvků. V tomto případě algoritmus podle stavu tohoto spínače bude přepínat mezi dvěma režimy:

Sekvenční – probíhá postupná regulace jednotlivých výkonových prvků od prvku číslo 1 k prvku číslo 4. Krok regulace je 1% z

Jednotný – probíhá regulace všech výstupů číslo 1 až 4 ve stejném režimu. Krok regulace je 4%

Jednotný režim může být v některých aplikacích výhodný. Jedná se především o takové zapojení, kdy je potřeba zajistit alespoň částečný výkon pro všechny výkonové prvky. Takovým případem je například připojení malých přímotopných těles ke všem regulovaným výkonovým prvkům. Při umístění těchto těles do různých prostor nemovitosti požadujeme, aby byly částečně vytápěny všechny prostory. Podobných aplikací je možno nalézt více.

Sledování aktuálního výkonu FVE – v případě, kdy bude do algoritmu zapojeno i sledování aktuálního výkonu FVE, je možno bez ohledu na stav soustavy – nákup nebo prodej, zohlednit tento stav. To by bylo vhodné v případě, kdy potřebujeme pro některý z regulovaných spotřebičů minimální výkon. V takovém případě by bylo možné odpojit některé spotřebiče s nižší prioritou a zajistit dostatečný výkon pro cílový spotřebič. Zde by se mohlo jednat například o spotřebiče, kde není možno regulovat jejich výkon – myčka, automatická pračka, sušička prádla a podobně. U těchto spotřebičů by pak bylo trvalé sepnutí po předem definovanou dobu nezbytnou pro dokončení pracovní operace praní, sušení a podobně). Bylo by nutné zohlednit i dobu dodávky denního a nočního proudu.

Sledování teploty v bojleru - při poklesu teploty pod definovanou mez v kombinaci s denní dobou (z toho lze předpovědět pravděpodobnost nahřátí bojleru) by se pak v době noční proud dohřál bojler na požadovanou minimální teplotu. To by bylo z toho důvodu, aby byla zajištěna dodávka teplé užitkové vody pro domácnost vždy o minimální definované hodnotě.

Toto je nutno aplikovat v pro případy, kde je FVE odstavena z důvodu údržby, poruchy, zasněžení kolektorů a podobně

Kontrola teploty v domácnosti – V případě připojení FVE k topným tělesům domácnosti pak při překročení určité maximální teploty vypnout ovládáním napájení topných těles. Výsledkem by bylo zajištění optimální

tepelné pohody v domácnosti a omezení tepelných ztrát. Z fyziky je známo, že se zvětšujícím se rozdílem mezi dvěma prostředími, se zvětšují i ztráty způsobené vedením tepla. Dalším kladným efektem by byla možnost využití zbývající energie pro jiný typ spotřebiče.

Rozmrazování schodů, okapů - V případě, kdy by bude plně pokryta spotřeba domácnosti a byl by k dispozici další volný výkon FVE, by bylo možno zapnout rozmrazování schodů, okapů a podobně. To by v zimním období vedlo nejenom ke zvýšení bezpečnosti obyvatelů domu, ale i mohlo předejít škodám způsobeným zamrznutím okapů (poškození tíhou ledu, zatečení vody do nemovitosti a podobně). Zde je nezbytná kombinace s ovládacím prvkem (spínač na ovládacím panelu), kterým se tato funkce jednoduše aktivuje jen v případě potřeby.

6 Závěr

Podle výsledků testovacího provozu je možno konstatovat, že se podařilo naplnit zadání diplomové práce. Navržený zkonstruovaný a otestovaný řídicí systém splnil očekávání a výraznou měrou zajistil využití přebytků elektrické energie vyrobené fotovoltaickou elektrárnou. V případě, že je v domácnosti dostatek spotřebičů, které jsou schopny spotřebovat veškerou produkci elektrárny, minimalizuje systém množství el. energie odevzdané do distribuční sítě. Řídicí systém také minimalizuje množství el. energie nakupované z distribuční soustavy.

Celý systém je navržen tak, aby umožnil snadnou změnu některých z komponent. To umožní pružně systém přizpůsobovat na základě vyhodnocení dlouhodobého testu.

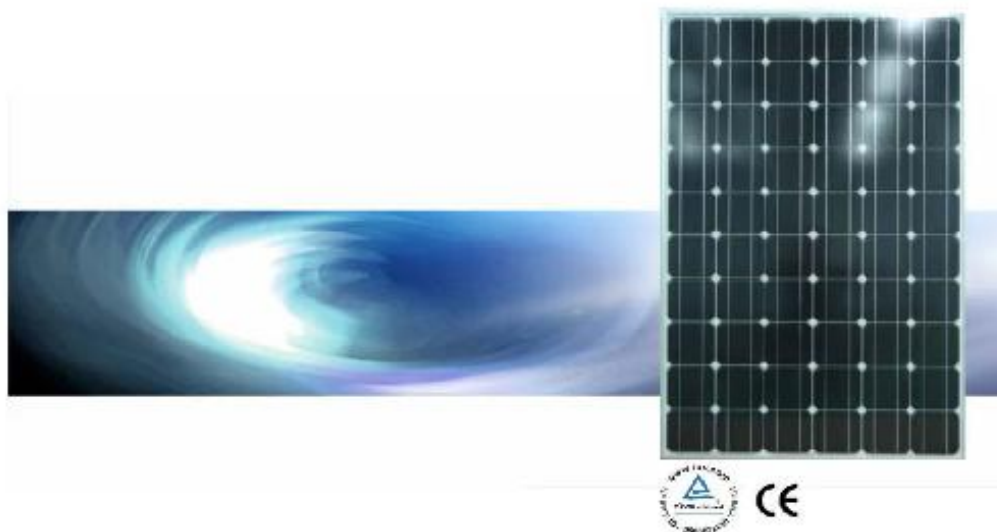
7 Použitá literatura

- [1] – Solartec *Http://www.solartec.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-12-15]. Dostupné z: <http://www.solartec.cz/male-instalace-do-30kwp/informace-o-fotovoltaice/princip-fotovoltaiky>
- [2] – Solarni-system *Http://www.solarni-system.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-12-15]. Dostupné z: <http://www.solarni-system.cz/fotovoltaika/zjednodusene-schema-zapojeni-fotovoltaicke-elektrarny-v-rodinnem-dome>
- [3] – Yatun *Https://www.yatun.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-12-15]. Dostupné z: https://www.yatun.cz/media/files/Mamac-CT-805-proudem-rizene-spinace_1.pdf
- [4] – Elkoep *Http://eshop.elkoep.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-12-15]. Dostupné z: <http://eshop.elkoep.cz/crm-81j--230v--zr-1-10s-detail-4K60000101.aspx>
- [5] – Vutbr *Http://www.vutbr.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-12-15]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=26904
- [6] – Atmel *Http://www.atmel.com* [online]. 2011 [cit. 2012-12-15]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc2503.pdf>
- [7] – Evb.and-tech *Http://www.evb.and-tech.pl* [online]. 2012 [cit. 2012-12-15]. Dostupné z: <http://www.evb.and-tech.pl>
- [8] – Rybkalabs *Http://rybkalabs.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-12-15]. Dostupné z: <http://rybkalabs.cz/usb-programator-avr.html>
- [9] – Mcselec *Http://www.mcselec.com/* [online]. 2012 [cit. 2012-12-15]. Dostupné z: <http://www.mcselec.com/>
- [10] – Extremeelectronics *Http://extremeelectronics.co.in* [online]. 2012 [cit. 2012-12-15]. Dostupné z: <http://extremeelectronics.co.in/>

8 Příloha 1:Fotovoltaické panely ASEC



SPECIFIKACE PRODUKTU



ASEC-230G6S

Monokrystalický křemíkový fotovoltaický modul

- Vysoce výkonný modul využívající 6" monokrystalický solární fotoelektrický článek
- 60 solárních fotoelektrických článků v sériovém zapojení
- Konverzní účinnost celého modulu je 14.84%
- Tři bypass diody minimalizují výkyvy výkonu způsobené zastíněním
- Využití laminátu EVA, tedlaru a vysoce průsvitného tvrzeného skla s nízkou hladinou železa
- Značkový vodotěsný TYCO box a kabel průřezu 4 mm² o délce 2400 mm s TYCO konektory
- Ochranný rám z eloxovaného hliníku
- Výroba dle standardu ISO 9001:2000
- Certifikace CE a TÜV: IEC61215:2005 ed.2, TÜV IEC61730
- Záruka 5 let na materiál výrobku
- Záruka 25 let na výkon panelu*

* záruka 12 let na min. 90% výkonu a 25 let na min. 80% výkonu panelu

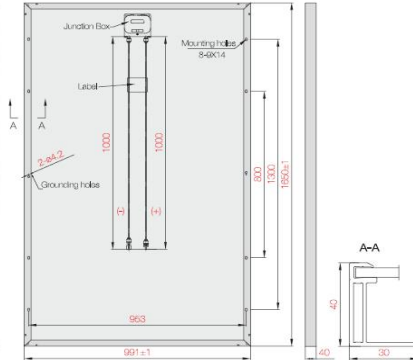
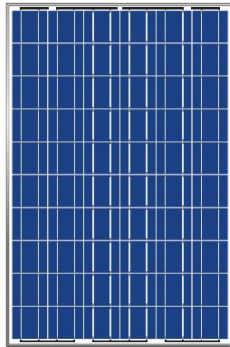
Další informace: www.soleco.cz

9 Příloha 2 Fotovoltaické panely JAP6-60-245

JA SOLAR

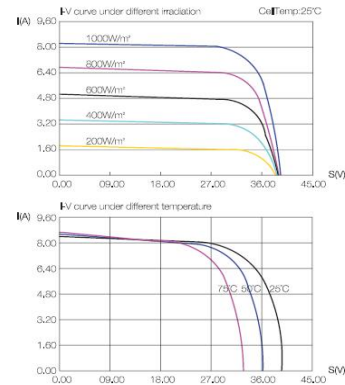
JAP6 60/225-250

SOLAR PHOTOVOLTAIC MODULE



I-V CURVE

Output under different irradiation and the correlation between $I_{sc}/V_{oc}/P_{max}$ and Temperature map



MECHANICAL PARAMETERS

Cell (mm)	Poly 156×156
Weight (kg)	19.5
Dimensions (L×W×H) (mm)	1650×991×40
Cable cross section size (mm²)	4
No. of cells and connections	60 (6×10)
No. of diodes	3 / 6
Packing configuration	25Pcs. / Carton

WORKING CONDITIONS

Maximum System Voltage	DC 1000V (IEC) / 600V (UL)
Operating Temp.	-40°C~+85°C
Maximum Series Fuse	15 A
Max. Wind Load / Max. Snow Load	2400Pa 50 lb/ft²; 5400Pa 112 lb/ft²
NOCT	47±2°C
Application Class	Class A

ELECTRICAL PARAMETERS

TYPE	JAP6-60-225	JAP6-60-230	JAP6-60-235	JAP6-60-240	JAP6-60-245	JAP6-60-250
Rated Maximum Power at STC (W)	225	230	235	240	245	250
Open Circuit Voltage (Voc/V)	37.00	37.17	37.34	37.51	37.68	37.85
Maximum Power Voltage (Vmp/V)	29.12	29.32	29.52	29.72	29.92	30.12
Short Circuit Current (Isc/A)	8.23	8.31	8.40	8.48	8.57	8.65
Maximum Power Current (Imp/A)	7.73	7.84	7.96	8.08	8.19	8.30
Module Efficiency [%]	13.76	14.07	14.37	14.68	14.98	15.29
Power Selection (W)	-0~+5 W					
Temperature Coefficient of Isc (Isc)	+0.062%/°C					
Temperature Coefficient of Voc (Voc)	-0.330%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax (Pmp)	-0.450%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m², Module Temperature 25°C, Air Mass 1.5					
Power Production Tolerance	± 3%					

GUARANTEE

10-year Limited product warranty

Limited performance warranty: 10 years at 90% of the minimal rated power output, 25 years at 80% of the minimal rated power output



10 Příloha 3: Parametry střídače Solutronic



**SOLU
TRONIC**

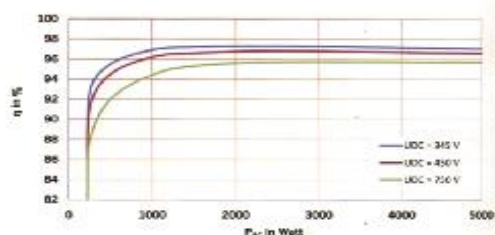
Obchodní zastoupení a servis pro ČR:
Solutronic s.r.o.
Jílova 36
639 00 Brno
tel: +420 533 433 443, mob: 774 676 501
www.solutronic.cz

SOLPLUS 50 Technická specifikace

Základní parametry	
Krytí	IP 21 nebo IP54
Hmotnost IP21/IP54	18 kg/21 kg
Rozměry IP21	450x303x130
Rozměry IP54	510x315x130
Provozní teplota	-15 C - + 40 C
Skladovací teplota	-20 C - + 70 C
Max.vlhkost vzduchu	Max. 90%
Technologie	jednofázový , bez transformátoru
Chlazení	pasivní chladič a vniř.ventilátor
Hladina hluku	35 dB
DC konektory	Tyco/MC4
Stejnoseměrné parametry	
Max. DC napětí	850 V
Vstupní proud	345 V / 14,5 A
Max. vstupní DC proud	16,2 A
Doporučený rozsah DC výkonu	4200- 6000 Wp
Regulace MPP	rychlé, přesné řízení MPP
Spínací DC napětí	280 V
počet MPP trackers	1
Střídavé parametry	
Napětí sítě	230 V +/- 15%
Frekvence sítě	50 Hz +/- 1% - nastavitelné
Účinnost	> 0.99
Harmonické	cca 2%
Nom. AC výkon	4600 W
Max. AC výkon	5000 W
Trvalý AC proud	21,7 A
Nastavení ochrany	
DC přerušení	o
Monitorovací jednotka unikajícího proudu	o
Zemní monitoring	o
Uzamykatelný kryt	-
Kontrola sítě	jednofázová (dle VDE 0126,ENS)
Třída ochrany II	IEC 62103/ DIN EN 50178
Komunikace	
Display	20 znaků, 4 řádky
Jazyk	CZ-Ger-Eng-Spa-Fre-Ita-Tur
Velikost paměti	32 KB
Rozhraní	RS 485,RS232, Ethernet
Data logger	integrovaný, programovatelný

Účinnost	
Max. účinnost	97,4%
Euro účinnost	97.00%
Vlastní spotřeba	cca 9 W
Noční spotřeba	0,01 W

KŘIVKA VÝKONU SOLPLUS 50



Prohlášení o shodě a záruka	
Prohlášení o shodě	www.solutronic.de
EU shoda	o
VDEW shoda	o
ENEL DK5940	o
AS 4777.2	o
Záruka	6 let standardní 12 let prodloužená