



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

REALIZAČNÍ PROJEKT FV SYSTÉMU O VÝKONU 250 KWP S AKUMULACÍ EL. ENERGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Nikodém Kovař

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Morávek, Ph.D.

BRNO 2022

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Nikodém Koval

ID: 203264

Ročník: 2

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Realizační projekt FV systému o výkonu 250 kWp s akumulací elektrické energie

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

- 1.) Rešerše aktuální požadavků na připojování výroben do sítě a jejich dispečerské řízení.
- 2.) Návrh uspořádání systému pro vybraný objekt.
- 3.) Tvorba realizační projektové dokumenta FV systému s bateriovým akumulačním systémem (technická zpráva, situační výkresy, jednopólové schéma systému, schémata AC i DC rozváděčů, výkres střechy objektu, výkres slaboproudých a komunikačních rozvodů, rozpočet).

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího závěrečné práce

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 24.5.2022

Vedoucí práce: Ing. Jan Morávek, Ph.D.

prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Táto práca je rozdelená do troch častí. Prvá časť je zameraná na zoznámenie sa s aktuálnymi požiadavkami na pripojovanie výrobní do sietí, ich dispečerské riadenie a možnosti vyhotovenia FVS. Druhá časť je zameraná na návrh usporiadania fotovoltaiického systému s výkonom 250 kWp vrátane akumulácie elektrickej energie. Posledná časť tejto práce je zameraná na tvorbu realizačnej projektovej dokumentácie FVS s batériovým akumuláčnym systémom, ktorá zahŕňa technickú správu, situačné výkresy, jednopólovú schému systému, schémy AC a DC rozvádzačov, výkresy strechy objektov, výkresy slaboprúdych a komunikačných rozvodov a rozpočet.

Kľúčové slová

fotovoltaiická elektrárň s akumuláčnym systémom, pripojenie výrobnie do siete, paralelná spolupráca výrobní so sieťou, obnoviteľný zdroj, technická správa FVS

Abstract

This thesis is divided into three parts. The first part is focused on getting familiarization with the current requirements for connecting power plants to networks, their dispatch management and options for the construction of photovoltaic systems. The second part is focused on the design of a photovoltaic system with an output power of 250 kWp, including electricity storage. The last part is focused on the creation of implementation project documentation of FVS with battery storage system, which includes technical report, situation drawings, single-pole system diagram, diagrams of AC and DC switchboards, roof drawings, drawings of low-voltage and communication lines and budget.

Keywords

photovoltaic power plant with storage system; connection of the power plant to the grid; parallel cooperation of the power plant with the network; renewable resources, technical report of FVS

Bibliografická citace

KOVAL, Nikodém. Realizační projekt FV systému o výkonu 250 kWp s akumulací elektrické energie [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/142407>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Jan Morávek.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: Bc. *Nikodém Koval'*

VUT ID studenta: 203264

Typ práce: *Diplomová práce*

Akademický rok: 2021/22

Téma závěrečné práce: *Realizační projekt FV systému o výkonu 250 kWp s akumulací el. energie*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne: 24. května 2022

podpis autora

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce Ing. Jan Morávek, Ph.D. za pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní tejto diplomovej práce.

V Brně dne: 24. května 2021

podpis autora

Obsah

ZOZNAM OBRÁZKOV	9
ZOZNAM TABULIEK	10
1. ÚVOD.....	11
2. PREHĽAD LEGISLATÍVNYCH PODMIENOK PRE PRIPOJENIE DO DS.....	13
2.1 TECHNICKÉ PODMIENKY PRE PRIPOJENIE K DS	13
3. PRIHLASOVACIE KONANIE PRE PARALELNÚ PREVÁDZKU S DS	17
3.1 MATERIÁLY POTREBNÉ PRE PODANIE ŽIADOSTI O PRIPOJENIE K DS	17
3.1.1 <i>Podklady potrebné pre PDS.....</i>	<i>17</i>
3.1.2 <i>Podklady potrebné pre ERÚ</i>	<i>18</i>
3.2 ŠTÚDIA PRIPOJITELNOSTI.....	18
3.3 PRVÉ PARALELNÉ PRIPOJENIE.....	19
4. MOŽNOSTI VYHOTOVENIA FVS.....	21
4.1 ZÁKLADNÉ DRUHY FVS	21
4.1.1 <i>Ostrovne FVS.....</i>	<i>21</i>
4.1.2 <i>Sieťové FVS.....</i>	<i>22</i>
4.2 TOPOLOGIA FV SYSTÉMOV	23
4.3 AKUMULAČNÉ ZARIADENIA	25
4.3.1 <i>Možnosti pripojenia akumuláčného zariadenia do FVE.....</i>	<i>26</i>
4.4 RIADENIE FVS	27
4.4.1 <i>Lokálne monitorovanie a riadenie FVS</i>	<i>27</i>
4.4.2 <i>Diaľkové monitorovanie a riadenie FVS.....</i>	<i>27</i>
4.5 DIAĽKOVÉ DISPEČERSKÉ RIADENIE	28
4.5.1 <i>Zaistenie komunikácie s dispečingom PDS.....</i>	<i>28</i>
4.5.2 <i>Komponenty diaľkového dispečerského riadenia.....</i>	<i>29</i>
4.5.3 <i>Technické požiadavky zariadení na reguláciu a ovládanie.....</i>	<i>31</i>
5. CHRÁNENIE FVS.....	33
5.1 VÝROBNÉ MODULY A1 (MIKROZDROJE)	33
5.2 VÝROBNÉ MODULY A2,B1,B2,C,D	33
6. SPRÁVANIE VÝROBNÍ V SIETI	35
6.1 NORMÁLNE PREVÁDZKOVÉ PODMIENKY	35
6.1.1 <i>Prevádzkový frekvenčný rozsah</i>	<i>35</i>
6.1.2 <i>Rozsah trvalého prevádzkového napätia.....</i>	<i>35</i>
6.2 PODPORA SIETE	36
6.2.1 <i>Statická podpora napätia</i>	<i>36</i>
6.2.2 <i>Dynamická podpora siete.....</i>	<i>36</i>
6.3 RIADENIE ČINNÉHO VÝKONU	38
6.3.1 <i>Zníženie činného výkonu pri nadfrekvencii</i>	<i>38</i>
6.3.2 <i>Prípustné zníženie činného výkonu pri podfrekvencii</i>	<i>39</i>
6.3.3 <i>Frekvenčná odozva činného výkonu akumuláčného zariadenia pri podfrekvencii</i>	<i>40</i>
6.3.4 <i>Zníženie činného výkonu závislé na napätí – funkcia P(U).....</i>	<i>41</i>

6.3.5	<i>Riadenie činného výkonu v závislosti na prevádzkových podmienkach</i>	42
6.4	RIADENIE JALOVÉHO VÝKONU	43
6.4.1	<i>Spôsoby riadenia jalového výkonu</i>	43
6.4.2	<i>Jalový výkon závislý na napätí – funkcia $Q(U)$</i>	44
6.5	AUTOMATICKÉ OPĀTOVNÉ PRIPOJENIE VÝROBNÍ.....	45
7.	NAVRHOVANÝ OBJEKT	47
7.1	VOEBA A VÝPOČET FV MODULOV	47
7.2	VOEBA STRIEDAČOV	49
7.3	VOEBA BATÉRIOVÉHO SYSTÉMU	51
7.4	ROZLOŽENIE A VYHOTOVENIE FVS	52
7.4.1	<i>Zapojenie FV modulov</i>	53
7.5	VOEBA OCHRANNÝCH PRVKOV A VODIČOV.....	55
8.	ZÁVER	57
	LITERATÚRA	58
	ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK	60
	ZOZNAM PRÍLOH	61

ZOZNAM OBRÁZKOV

4.1	Bloková schéma zapojenia hybridného ostrovného systému doplneného o záložný generátor [6] ...	22
4.2	Bloková schéma zapojenia sieťového FVS [6]	22
4.3	Jednotlivé topológie FVS [3]	24
4.4	Porovnanie jednotlivých druhov akumulčných systémov elektrickej energie [8]	25
4.5	Bloková schéma a) DC couplingu a b) AC couplingu [4]	26
6.1	Časový priebeh napätia v mieste pripojenia za podmienok poruchy pre nesynchronne výrobné moduly kategórie A-C [1]	37
6.2	Schopnosť preklenutia krátkodobého napätia pre výrobné moduly kategórie A-C [1]	37
6.3	Schopnosť frekvenčnej odozvy činného výkonu VM v obmedzenom frekvenčne závislom režime pri nadfrekvencii [1]	39
6.4	Maximálne zníženie činného výkonu s klesajúcim kmitočtom [1]	40
6.5	Ilustratívne znázornenie frekvenčnej odozvy činného výkonu na podfrekvenciu pri akumulčných zariadeniach [1]	41
6.6	Charakteristika funkcie $P(U)$ [1]	42
6.7	Charakteristická funkcia $Q(U)$ [1]	44

ZOZNAM TABULIEK

2.1	Výkonové kategórie výrobných modulov [1].....	14
2.2	Súhrnný prehľad požiadaviek PPDS [1].....	15
4.1	Monitorované parametre pri lokálnom riadení FVS [9].....	27
5.1	Ochrany výrobní s prúdom do 16 A [1]	33
5.2	Ochrany rozpadového miesta výrobní s VM A2, B1, B2, C [1].....	34
6.1	Prevádzkový frekvenčný rozsah výrobní v sieťach nn, vn, 110 kV [1].....	35
6.2	Rozsah napätí výrobní pripojených do siete nn [1]	35
6.3	Rozsah napätí výrobní pripojených do siete vn [1]	35
6.4	Rozsah napätí pre výrobné moduly D v sieti 110 kV [1]	35
6.5	Parametre FRT krivky na Obrázku 6.1 [1]	36
7.1	Technické údaje FV modulu Longi LR4-60HH-370M [14]	47
7.2	Technické údaje optimizéru Tigo TS4-A-O [17]	48
7.3	Technické údaje striedača Fronius symo 15.0.3-M 15 kVA 21,7 A [12].....	49
7.4	Technické údaje striedača Fronius Tauro 50-3-D [13].....	50
7.5	Technické údaje modulárnej batérie EVE M38210-S [15]	51
7.6	Technické údaje batériového systému Storion-T100 [16].....	52
7.7	Rozmiestnenie FV modulov a striedačov na jednotlivých objektoch.....	53
7.8	Zapojenie FV modulov jednotlivých striedačov	54

1. ÚVOD

V uplynulých rokoch sledujeme zvýšenie dopytu po elektrickej energii, čo nás núti zvyšovať, zdokonaľovať a presadzovať získavanie elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov. K zvýšeniu podielu obnoviteľných zdrojov na celkovej výrobe elektrickej energie nás ženú aj záväzky voči EU a v neposlednom rade aj zlepšenie ekológie. Za obnoviteľné zdroje považujeme zdroje využívajúce slnečnú, veternú, geotermálnu energiu a energiu vody alebo iné zdroje, ktoré svoju energiu obnovujú prirodzeným kolobehom.

Za posledné desaťročie nastal prudký nárast počtu výrobní, ktoré premieňajú solárnu energiu na elektrickú od malých domácich fotovoltaických systémov na kompenzáciu vlastnej spotreby až po veľké komerčné výrobné. Zvýšenie dopytu po fotovoltaike malo za následok zníženie cien komponentov potrebných na prevádzku fotovoltaických systémov, čo opäť priaznivo ovplyvnilo využitie tohto obnoviteľného zdroja.

Táto práca sa zaoberá legislatívnymi požiadavkami na pripojovanie výrobní do distribučnej siete, ich riadením, možnosťami vyhotovenia FVS a realizačným návrhom FVS. Pripojenie výrobní k distribučnej sieti podlieha viacerým ekonomickým a technickým podmienkam, ktoré stanovujú viaceré inštitúcie.

Technické podmienky pri pripojovaní nových zdrojov elektrickej energie sa riadia hlavne Pravidlami prevádzkovania distribučných sústav (PPDS), ktoré schvaľuje Energetický regulačný úrad (ERÚ), v ktorých sú implementované aj požiadavky dané Nariadením komisie (EU) 2016/631 (RfG).

Výkon navrhovaného FVS je 250 kWp. Podľa RfG je táto výrobná zaradená do kategórie B1, takže podmienky pre pripojenie k DS sú často zamerané len do tohto rozsahu.

2. PREHĽAD LEGISLATÍVNYCH PODMIENOK PRE PRIPOJENIE DO DS

Pre pripojenie výrobného modulu a elektrického akumuláčného zariadenia do distribučnej siete je potrebné dbať na platné nariadenia a predpisy, ktoré zabezpečujú, aby navrhnutý systém bol vhodný na paralelnú prevádzku so sieťou PDS a aby bolo vylúčené rušivé spätné pôsobenie na sieť alebo zariadenia ďalších odberateľov.

Pri zriaďovaní a prevádzke elektrických zariadení je potrebné dodržiavať:

- Súčasne platné zákonné a úradné predpisy
- Platné normy ČSN, PNE, prípadne PN PDS
- Predpisy pre ochranu pracovníkov a bezpečnosť práce
- Nariadenia a smernice PDS

Projektovanie, výstavbu a pripojenie výrobné a elektrického akumuláčného zariadenia k sieti PDS je potrebné zadať odbornej firme.

Pripojenie k sieti je potrebné prejednať a odsúhlasiť s PDS.

PDS môže v zmysle zákona č. 458/2000 Sb (Energetický zákon) požadovať zmeny a doplnenia na zriaďovanom alebo prevádzkovanom zariadení, ak je to nutné z dôvodu bezpečného a bezporuchového napájania, popr. z hľadiska spätného ovplyvnenia DS.

2.1 Technické podmienky pre pripojenie k DS

Tieto pravidlá platia pre plánovanie, zriaďovanie a úpravy výrobní elektriny, pripojených do siete nn, vn alebo 110 kV PDS a prevádzku takto pripojovaných zariadení.

Takými výrobňami sú napríklad:

1. vodné elektrárne
2. veterné elektrárne
3. generátory poháňané tepelnými strojmi, napr. blokové teplárne, kogeneračné jednotky, spaľovanie biomasy a bioplynu
4. fotočlánkové zariadenia
5. geotermálne elektrárne

Platnosť týchto pravidiel sa tiež vzťahuje na:

- I. Výrobné 1.) až 5.) s akumuláciou elektrickej energie
- II. Samostatne pripojené elektrické akumuláčné zariadenia
- III. Odberné elektrické zariadenia s akumuláciou energie

IV. Predávacie miesta lokálnych distribučných sústav s výrobnami elektriny bez akumulačného zariadenia a s akumulačným zariadením

Zaistenie bezpečnej a spoľahlivej prevádzky pri bezporuchovej prevádzke aj pri prechodných javoch v ES ČR, vyžaduje zjednotenie technických parametrov a požiadaviek na správanie výrobní. K tomu slúži NARIADENIE KOMISIE (EU) 2016/631 – RfG, ktoré podľa menovitých činných výkonov P_{NE} výrobných modulov definuje nasledujúce kategórie výrobných modulov triedy A až D uvedené v tabuľke 2.1 s tým, že príslušný PPS môže stanoviť odlišné medzné výkony, ktoré však nesmú byť vyššie ako udáva RfG. [1]

Tabuľka 2.1 Výkonové kategórie výrobných modulov [1]

Kategória výrobného modulu	Limit	Podkat.	Hranica PDS	Najvýznamnejšie požiadavky
A	800 W	A1	$\geq 800 \text{ W}$ $\leq 11 \text{ kW}$	podľa čl. 13 pre výrobné moduly A
		A2	$> 11 \text{ kW}$ $< 100 \text{ kW}$	podľa čl. 13 pre výrobné moduly A a čl. 14.2, 14.3, 14.4, 14.5 pre výrobné moduly B a čl. 20 pre nesynchronne výrobné moduly kategórie B
B	1 MW	B1	$\geq 100 \text{ W}$ $< 1 \text{ MW}$	podľa čl. 14 pre výrobné moduly B, čl. 17 pre synchronne výrobné moduly B a čl. 20 pre nesynchronne výrobné moduly kategórie B
		B2	$\geq 1 \text{ MW}$ $< 30 \text{ MW}$	podľa čl. 14 pre výrobné moduly B, čl. 17 pre synchronne výrobné moduly B a čl. 15.4, 15.5a, 15.5b, 15.5c, 15.6a, 15.6b, 15.6c pre výrobné moduly C podľa čl. 18 pre synchronne výrobné moduly kategórie C a podľa čl. 21 pre nesynchronne výrobné moduly kategórie C
C	50 MW	C	$\geq 30 \text{ MW}$ $< 75 \text{ MW}$	podľa čl. 15, čl. 18 a čl. 21
D	75 MW	D	$\geq 75 \text{ MW}$	podľa čl. 16, čl. 19, čl. 22

Pre zaradenie do jednotlivých výkonových kategórií platí:

Podľa veľkosti výkonu jednotlivých VM sú posudzované synchronne moduly, ako sú parné, vodné, plynové, kogeneračné, bioplynové a veterné elektrárne, so synchronnými generátormi bez výkonovej elektroniky na výstupe.

Podľa celkového výkonu VM výrobne sú posudzované nesynchrónne výrobné moduly, ako sú fotovoltaické elektrárne, fotovoltaické elektrárne s akumuláciou a elektrické akumulčné systémy s výkonovou elektronikou na výstupe, vodné a veterné elektrárne s asynchrónnymi generátormi, kogeneračné a bioplynové elektrárne s asynchrónnymi generátory alebo výkonovou elektronikou na výstupe.

Výkonové kategórie uvedené v tabuľke 2.1 nemajú priamu väzbu na napätovú úroveň prípojného bodu výrobné do DS. Pre napätie v mieste pripojenia platí podľa čl. 5 RfG, že u kategórie VM A až C je napätie v mieste pripojenia nižšie ako 110 kV a u kategórie D je napätie v mieste pripojenia 110 kV alebo vyššie.

Minimálny výkon, od ktorého je nutné pripojenie k sieti vn alebo 110 kV a maximálny výkon, do ktorého je možné pripojenie do siete nn, resp. vn závisí na druhu a spôsobe prevádzky výrobné, rovnako ako na sieťových pomeroch príslušnej časti DS. Do sietí nn sú z pravidla pripojované výrobné do 800 W a VM kategórie A1 a A2 (VM kategórie A2 výnimočne do sietí vn), do sietí vn VM kategórie B1 a B2 a C (do sietí nn výnimočne kategória B1), do sietí 110 kV výrobné moduly kategórie D z pravidla o výkone nad 10 MW a výnimočne i nižšie.

U výrobní pripojovaných do sietí nn je pri jednofázovom pripojení obmedzený ich inštalovaný výkon v jednom prípojnom bode na 3,7 kVA/fázu (inštalovaný výkon striedača).

Maximálny výkon na výstupe striedača (maximálna 10-minutová stredná hodnota) musí byť obmedzená na najvyššie 110 % menovitého výkonu.

Tabuľka 2.2 Súhrnný prehľad požiadaviek PPDS [1]

Článok RfG	Požiadavky RfG	Typ výrobného modulu					
		A1	A2	B1	B2	C	D
13.1a	Frekvenčné rozsahy a časové limity pre VM	X	X	X	X	X	X
13.1b	Hodnota rýchlosti zmeny frekvencie (RoCoF)	X	X	X	X	X	X
13.2	Obmedzený frekvenčne závislý režim pri nadfrekvencii	X	X	X	X	X	X
13,4;13,5	Dovolené zníženie činného výkonu pri klesajúcej frekvencii sústavy	X	X	X	X	X	X
13.6	Logické rozhranie pre prerušenie dodávky činného výkonu*	X	X	X	X		
13.7	Podmienky pre automatické pripojenie k sústave	X	X	X	X	X	
14.2	Rozhranie pre zníženie činného výkonu		X	X			
14.3	Preklopenie zníženia napätia (FRT)	X	X	X	X	X	

14.4	Opätovné pripojenie po poruche		X	X	X	X	X
14.5d	Komunikácia a výmena informácií			X	X	X	X
15.2a,b	Regulovateľnosť činného výkonu			X	X	X	X
15.2c	Obmedzený frekvenčne závislý režim pri podfrekvencii (LFSM-U)				X	X	X
15.2d	Frekvenčne závislý mód (FSM)					X	X
15.2g	Komunikácia a výmena informácií o režime FSM					X	X
15.5a	Schopnosť štartu z tmy				X	X	X
15.5b	Schopnosť ostrovej prevádzky					X	X
15.5c	Rýchle opätovné prifázovanie					X	X
15.6a	Kritéria pre detekciu straty uhlovej stability alebo straty regulácie					X	X
15.6b	Prístrojové vybavenie			X	X	X	X
15.6c	Simulačné modely				X	X	X
15.6e	Min. a max. limity rýchlosti zmien činného výkonu				X	X	X
16.2b	Doby pripojenia VM k sústave v prípade prepätí a podpätí						X
16.2c	Automatické odpojenie na základe hodnoty napätia						X
16.3	Preklopenie poklesu napätia (FRT)						X
16.4	Nastavenie synchronizačných zariadení						X
17.2a	Dodávka jalového výkonu			X			
17.3	Obnova činného výkonu po poruche			X	X	X	X
18.2	Dodávka jalového výkonu				X	X	X
20.2a	Dodávka jalového výkonu pri nesynchronných VM		X	X			
20.2b,c	Rýchly poruchový prúd v prípade poruchy			X	X	X	X
20.3	Obnova činného výkonu po poruche		X	X	X	X	X
21.2	Umelá zotrvačnosť				X	X	X
21.3b,c	Dodávka jalového výkonu				X	X	X
21.3d	Režimy regulácie jalového výkonu				X	X	X
21.3e	Priorita príspevku činného alebo jalového výkonu			X	X	X	X
21.3f	Tlmenie výkonových oscilácií				X	X	X

*Článok 13.6 RfG platí podľa článku 14.1 aj pre kategóriu VM B

3. PRIHLASOVACIE KONANIE PRE PARALELNÚ PREVÁDZKU S DS

V prípade záujmu o výstavbu VM a jeho pripojenie do DS je nutné dodržať PPDS, vyplniť dotazník s technickými údajmi o zariadení, podať žiadosť príslušnému PDS a poskytnúť všetky ostatné dokumenty, ktoré PDS vyžaduje. PDS po obdržaní žiadosti v predpísanej lehote rozhodne: [1]

a) či je pripojenie možné s ohľadom na:

I. Rezervovaný výkon P_{rez} predávacieho miesta medzi PS/DS a hodnotou limitu pripojiteľného výkonu odberného miesta PDS stanovených prevádzkovateľom PS v zmluve o pripojení medzi PPS a príslušným PDS. Pre stanovenie bilančnej hodnoty pripojiteľného rezervovaného výkonu výrobní FVE a VTE sa vychádza zo súdobosti 0,8, ak nie je v zmluve o pripojení medzi PPS a PDS stanovené inak.

II. voľnou distribučnou kapacitou na úrovni transformácie 110 kV/vn

b) či je nutné, aby žiadateľ nechal možnosť pripojenia výrobne k DS overiť štúdiou pripojiteľnosti

3.1 Materiály potrebné pre podanie žiadosti o pripojenie k DS

3.1.1 Podklady potrebné pre PDS

Pre zahájenie konania o súhlase s pripojením výrobne do siete je potrebné predložiť PDS včas žiadosť o pripojenie a nasledujúce podklady: [1]

- Katastrálnu mapu s vyznačením pozemku alebo výrobne, výpis z katastru nehnuteľností
- Údaje o skratovej odolnosti predávacej stanice
- Popis ochrán s presnými údajmi o druhu, výrobcovi, zapojení a funkcie
- Príspevok vlastnej výrobne k skratovému prúdu v mieste pripojenia k sieti, jeho trvanie a priebeh
- Pri striedačoch, meničoch frekvencie a synchronných generátorov s budením napájaným usmerňovačmi: skúšobné protokoly k očakávaným prúdom harmonických a medziharmonických, impedancie pre frekvencie HDO (183 až 283 Hz)
- Pri veterných elektrárnach: osvedčenie a protokol k očakávaným spätným vplyvom podľa normy ČSN EN 61400-21 (33 3160)): Větrné elektrárny - Část 21
- Súhlas vlastníkov nehnuteľností dotknutých výstavbou objektu

- Požadovaná hodnota rezervovaného výkonu a príkonu pri všetkých uvažovaných prevádzkových stavoch
- Aktuálna hodnota rezervovaného výkonu a príkonu

Veľmi dôležitou súčasťou žiadosti je dotazník s technickými údajmi o zriaďovanom zariadení.

3.1.2 Podklady potrebné pre ERÚ

Licenciu na výrobu elektrickej energie vydáva Energetický regulačný úrad. Žiadateľ o udelenie licencie musí byť zapísaný v živnostenskom registri. Ak v dobe podania žiadosti nemá žiadateľ pridelené IČO, vyplní dodatočnú žiadosť o pridelenie a ERÚ prostredníctvom Českého štatistického úradu žiadateľovi IČO prideli. ERÚ je povinný sa k žiadosti vyjadriť maximálne do 30 dní.

3.2 Štúdia pripojiteľnosti

Štúdia pripojiteľnosti výrobne obsahuje technické posúdenie možného pripojenia výrobne podľa platných PPDS a je často vyžadovaná PDS podľa jeho uváženia.

Táto štúdia sa spracováva s ohľadom na:

- Skratovú odolnosť zariadení
- Napätové pomery vo všetkých posudzovaných uzloch siete
- Zaťažiteľnosť jednotlivých prvkov siete
- Dodržanie parametrov spätných vplyvov na DS podľa kritérií v PPDS Prílohe č. 4 časti 10 a 11
- Dodržanie požiadaviek na dynamické podpory siete

PDS poskytne podklady potrebné pre vypracovanie štúdie pripojiteľnosti a náklady na jej spracovanie hradí žiadateľ o pripojenie.

Podklady poskytované PDS:

- Skratový výkon vvn alebo vn v napájacej rozvodni alebo mieste od ktorého bude vplyv počítaný
- Aktuálne a výhľadové hodnoty zaťaženia v sústave
- Súvisiace výrobne elektriny pripojené k DS v predmetnej časti DS
- Parametre transformátoru vvn/vn, resp. vn/nn
- Aktuálny a výhľadový stav HDO
- Parametre vedenia k miestu pripojenia – dĺžka, typ, prierez
- Možné prevádzkové stavy (základné zapojenie + zapojenie pri náhradných dodávkach)
- Zjednodušený mapový podklad
- Dáta poskytnuté žiadateľom

Rozsah štúdie výrobní pripojovaných do siete nn a vn je daný spravidla stanicou s napájacím transformátorom siete, vedením s posudzovanou výrobňou a jeho doporučeným prípojným bodom a ďalšími vedeniami s prevádzkovanými či plánovanými výrobňami aj záťažami týchto vedení. Posudzované sú prevádzkové stavy definované PDS. Ďalej sa v štúdií posudzujú prípadné pretoky do vyšších napäťových hladín a ich vplyv na činnosť na činnosť regulácie napätia transformátora.

Potrebné výpočty chodu siete sa vykonávajú podľa požiadaviek PDS pre letné minimálne zaťaženie a zimné maximálne zaťaženie prípadne také zaťaženie, pri ktorom bude dosahované maximum výroby v danej sieti. [1]

3.3 Prvé paralelné pripojenie

Pre pripojenie výrobní do distribučnej sústavy je potrebné požiadať o prvé paralelné pripojenie. Žiadosť o PPP sa podáva prostredníctvom formulára daného PDS. Výrobňu nie je možné pripojiť do DS skôr, než po odsúhlasení tejto žiadosti.

Pre prvé paralelné pripojenie potrebujeme nasledujúce dokumenty:

- Uzatvorenú zmluvu o pripojení alebo podanú žiadosť o jej uzavretie a doklad o uhradení platieb podľa zmluvy o pripojení
- PDS odsúhlasená projektová dokumentácia aktualizovaná podľa skutočného stavu vyhotovenia výrobní v jednom vyhotovení v rozsahu podľa časti prílohy č. 4 PPDS
- Jednopolové schéma zapojenia zdroja
- Správa o východzej revízií elektrického zariadenia výrobní a prípadne ďalšieho elektrického zariadenia novo uvádzaného do prevádzky, ktoré súvisí s výrobou a bez ktorého nie je možné pripojenie k PDS
- Protokol o nastavení ochrán
- Správa o východzej revízií el. zariadenia – prípojky vo vlastníctve výrobcu
- Protokoly o úradnom overení MTP / MTN
- Miestne prevádzkové predpisy (pre výrobní nad 100 kW v súlade s prílohou č. 4 PPDS)

Ďalšie povinné doklady pre pripojenie VM k DS v rámci procesu overovania súladu s čl. 41 odst. 3 NARIADENIA KOMISIE (EU) 2016/631 (RfG):

- Štúdia vykonaná vlastníkom výrobní k preukázaniu očakávaného správania v ustálenom stave a dynamického správania
- Harmonogram poskytnutia systémových údajov
- Certifikáty zariadení, ktoré vydal certifikátor

Pred PPP výrobní k sieti je nutné:

- Vykonať prehliadku zariadenia
- Vykonať porovnanie vybudovaného zariadenia s projektovaným
- Skontrolovať prístupnosť a funkcie spínacieho miesta v predávacom mieste k DS

- Skontrolovať prevedenie meracieho a účtovacieho zariadenia podľa zmluvných a technických požiadaviek, ak je inštalované
- Skontrolovať prevedenie prípravy pre inštaláciu meracieho a účtovacieho zariadenia podľa zmluvných a technických požiadaviek, ak nie je inštalované

Po preverení úplnosti žiadosti o PPP vykoná PDS v lehote do 30 kalendárnych dní prvé paralelné pripojenie k sieti, ak pripojovaný objekt splnil všetky potrebné požiadavky. PDS rozhodne, či proces PPP výrobne k DS prebehne za prítomnosti ich zástupcu alebo ho vykoná ním poverená odborná firma sama bez prítomnosti zástupca PDS. [1]

4. MOŽNOSTI VYHOTOVENIA FVS

Fotovoltaické elektrárne sa môžu vyhotovovať v rôznych vyhotoveniach. Pri voľbe a následnom návrhu FVS vychádzame hlavne z definície jej využitia. Základné druhy FVS môžeme rozdeliť na ostrovné (off-grid) a sieťové (on-grid). Obidva tieto systémy môžu byť doplnené aj o akumuláciu elektrickej energie.

4.1 Základné druhy FVS

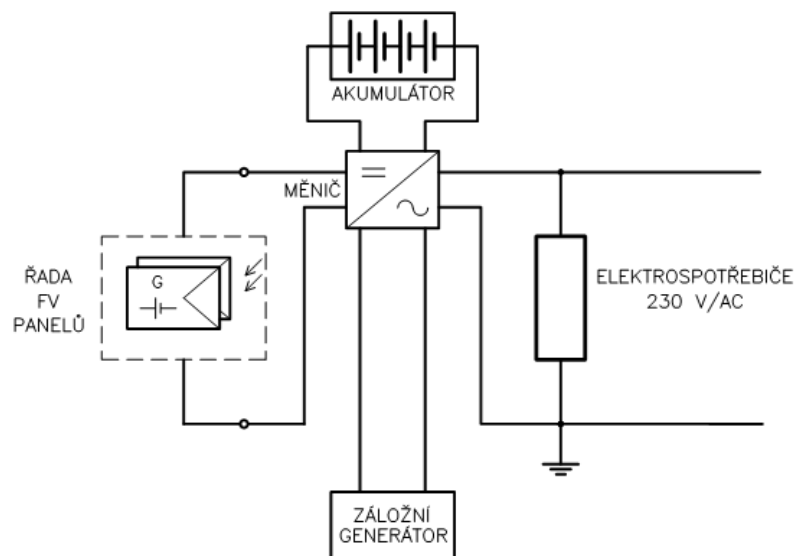
4.1.1 Ostrovné FVS

Ostrovné FV systémy sú nezávislé na rozvodnej sieti. Zhotovujú sa na miestach, kde sa nenachádza elektrická prípojka alebo jej zhotovenie by bolo neekonomické. Výkony ostrovných systémov sa pohybujú od jednotiek W až po jeden kW. K týmto systémom sa dajú pripojiť spotrebiče napájané jednosmerným prúdom pri napätí 12/24 V alebo spotrebiče napájané striedavým prúdom pri napätí 230 V – 50 Hz pomocou striedača. Ostrovné systémy sa delia na tri základné kategórie: s priamym napájaním, s akumuláciou elektrickej energie a hybridné. [2]

FV systémy s priamym napájaním: Dodávajú energiu iba po dobu, kedy sú FV panely dostatočne osvetlené. Najčastejšie sú používané na pohon zavlažovacích čerpadiel alebo ventilátorov. Ich výhodou je jednoduchosť. [7]

FV systémy s akumuláciou elektrickej energie: V čase dostatočného osvetlenia FV panelov sa potrebná energia využíva a nepotrebná uskladňuje do akumulátorov. Pri nedostatočnom osvetlení FV panelov, napríklad pri vysokej oblačnosti alebo v noci, sa potrebná elektrická energia odoberá z akumulátorovej batérie. Optimálne nabíjanie a vybíjanie akumulátora riadi elektronický regulátor. [7]

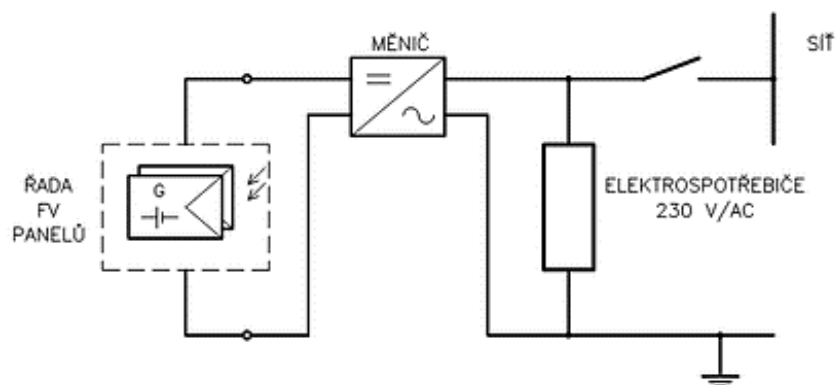
Hybridný FV systém: Zhotovuje sa tam, kde je potrebný celoročný chod a je znázornený na obrázku 4.1. Tieto systémy obsahujú doplnkový zdroj elektrickej energie, ktorý pokryje potrebu elektrickej energie v obdobiach s nedostatočným osvetlením FV panelov. Doplnkový zdroj elektrickej energie môže tvoriť napr. malá vodná alebo veterná elektrárň popripade kogeneračná jednotka. [7]



Obrázok 4.1 Bloková schéma zapojenia hybridného ostrovného systému doplneného o záložný generátor [6]

4.1.2 Sieťové FVS

Princíp využitia vyrobenej energie pri sieťových FVS (znázornené na obrázku 4.2) spočíva v tom, že denná spotreba domácnosti odoberá energiu primárne z FV elektrárne. Pokiaľ výkon FV elektrárne nie je postačujúci na pokrytie spotreby celej domácnosti, energia je doplnená z distribučnej siete. V prípade prebytku vyrobenej elektrickej energie sa prebytočná energia púšťa do distribučnej siete bezplatne alebo nám za ňu distribučná spoločnosť platí (závisí na zmluvných podmienkach). Prebytočnú elektrickú energiu môžeme pomocou regulátora prebytkov efektívne využiť aj na ohrev vody v bojleri alebo na vykurovanie. Chod takýchto systémov je plne automatický, riadený mikroprocesorom sieťového meniča. Takéto systémy dosahujú výkony kW až MW. [5]



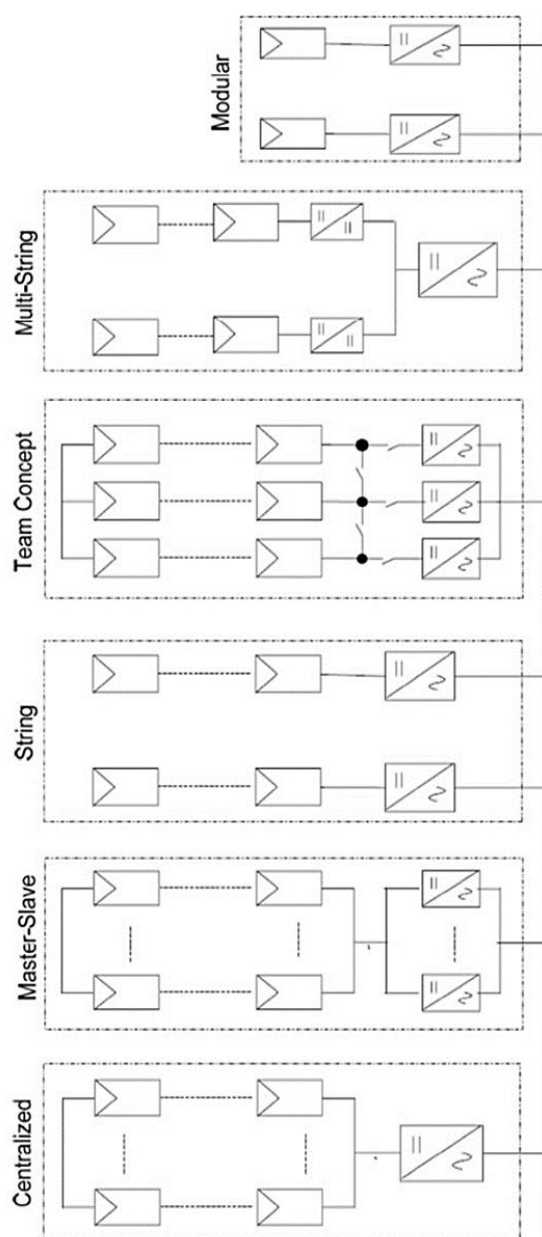
Obrázok 4.2 Bloková schéma zapojenia sieťového FVS [6]

4.2 Topológia FV systémov

FV systémy môžu mať odlišné topológie zapojenia meničov vzhľadom k počtu fotovoltaického systému a ich zapojenie je znázornené na obrázku 4.3: [3]

- **Modulárny** – V tejto topológii je na každý panel jeden vlastný inverter. Výhodou tejto topológie je zníženie výkonových strát vzhľadom k zatieneniu FV panelov, lepší monitoring zlyhania a flexibility jednotlivého poľa. Táto topológia sa využíva hlavne pri nízko výkonových aplikáciách. Ich cena je relatívne vysoká vzhľadom k obstarávacím nákladom na každý inverter. Životnosť inverterov sa taktiež znižuje, pretože sú inštalované v otvorenom priestranstve a pôsobia na nich vonkajšie vplyvy a termálne zaťaženie.
- **Multi-string** – V tejto topológii je každý string pripojený k DC-DC konvertoru, aby mohol byť použitý systém sledovania bodu s maximálnym výkonom. Všetky DC-DC meniče sú pripojené k jednému invertoru. Táto topológia kombinuje výhody stringovej a centralizovanej topológie a tiež zvyšuje energetický výstup vďaka sledovaniu MPP (maximum power point) pomocou centrálného striedača, čo vedie k nižším nákladom. Spoľahlivosť tohto systému klesá v porovnaní so stringovou topológiou a do celkových strát prispievajú aj straty spôsobené DC-DC konvertormi.
- **Team concept** – Používa sa pre rozsiahle FV systémy a kombinuje stringovú a Master-Slave topológiu. Pri nižších hodnotách ožiarenia je celé FV pole pripojené iba k jednému invertoru a so zvyšujúcou hodnotou ožiarenia sa FV pole rozdeľuje na menšie stringy, kým striedač každého stringu nepracuje v blízkosti jeho menovitého výkonu. V tomto režime pracuje každý string nezávisle s jeho vlastným MPPT.
- **Stringová topológia** – V tejto topológii každý je každý string pripojený k vlastnému invertoru, čím sa zlepšuje spoľahlivosť systému. Znižujú sa aj straty spôsobené zatienením FV panelov, pretože každý string môže pracovať samostatne so svojim vlastným MPP. Táto topológia tiež zvyšuje flexibilitu v návrhu FVS, pretože kedykoľvek môžeme pridať nový string a tým zvýšiť menovitý výkon daného systému. Jednotlivé stringy majú obvykle výkon 2-3 kWp. Hlavnou nevýhodou tejto topológie sú zvýšené náklady v dôsledku zvýšenia počtu inverterov.
- **Master-Slave** – Táto topológia je zameraná na zlepšenie spoľahlivosti centralizovanej topológie. V tomto zapojení sú počty paralelných inverterov, zapojených do FV poľa a počty prevádzkových inverterov zvolené tak, že ak jeden menič zlyhá, ostatné môžu dodať výkon celej FVE. Pri nízkom ožiarení môžu byť niektoré striedače vypnuté. Hlavnou výhodou tejto topológie je zvýšenie spoľahlivosti systému, predĺženie životnosti striedačov a zvýšenie celkovej prevádzkovej účinnosti. Náklady na túto topológiu sú vyššie ako na centralizovanú. Problémom tejto topológie sú straty výkonu spôsobené nesúlalom modulov a problém so zatienením.

- **Centralizovaná** – Táto topológia patrí medzi najrozšírenejšie topológie. Používa sa pre rozsiahle FV systémy s výkonom v jednotkách MW. Topológia obsahuje jeden striedač pripojený do FV poľa. Hlavnou výhodou tejto sú nízke náklady v porovnaní s ostatnými topológiami a jednoduchá údržba jedného striedača. Nevýhodou je nízka spoľahlivosť, pretože porucha striedača zabraňuje fungovaniu celého FVS. Taktiež dochádza k výraznej strate výkonu v prípade nesúladu medzi panelmi a zatienením, pretože je použitý len jeden inverter so sledovaním MPP.



Obrázok 4.3 Jednotlivé topológie FVS [3]

4.3 Akumulačné zariadenia

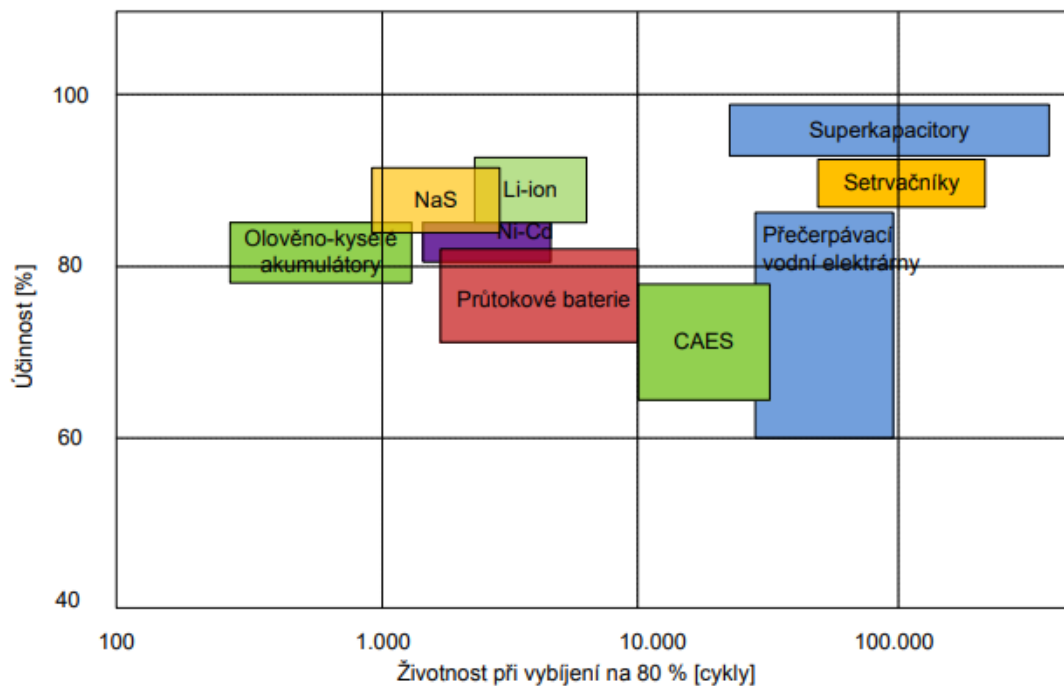
Akumulačné zariadenia slúžia na uchovanie elektrickej energie a na jej neskoršie využitie. Problematika akumulácie elektrickej energie je v súčasnej dobe skloňovaná predovšetkým s riešením v oblasti eliminácie diskontinuity dodávky elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov a vychádza z princípov jednotlivých alternatívnych zdrojov energie a z problémov spojených s časovo premenlivým výkonom týchto zdrojov.

Akumulácia elektrickej energie slúži aj na obmedzenie náhlych odberov a dodávok v čase, zrovnomenenie dodávok energie a zníženie cien za energiu (nenakupujeme v dobe vysokých cien).

Aplikácie, ktoré budú využívať elektrickú akumuláciu, musia byť vyriešené aj napäťové potreby daného objektu. Pre malé objekty, ako sú chatové oblasti a podobne je montáž jednoduchšia a lacnejšia, pretože rozvod je dostačujúce realizovať na napäťovej hladine 24 V (12 V). Pre väčšie objekty na ktoré kladieme vyššie požiadavky (napätie, prúd a výkon), zložitosť systému sa zvyšuje a s tým rastie úmerne aj cena. Obrázok 4.4 znázorňuje porovnanie jednotlivých druhov akumuláčnych zariadení. [8]

Dostupné druhy batérie:

- Olovené batérie
- Lithiové akumulátory
- Sodium – Sulfurové batérie
- Prítokové batérie



Obrázok 4.4 Porovnanie jednotlivých druhov akumuláčnych systémov elektrickej energie [8]

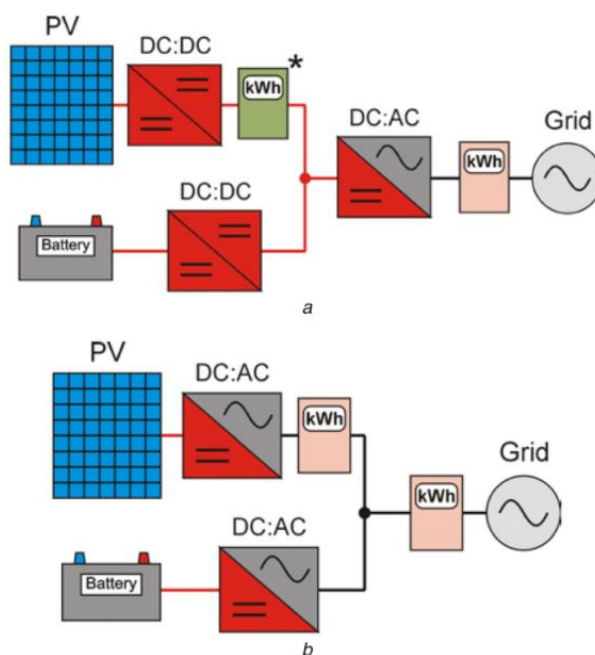
Pre malé fotovoltaické systémy sú vhodné elektrochemické systémy alebo moderné zotrvačníky. V domových inštaláciách sa používajú hlavne batérie. Priemyslové aplikácie vyžadujú komplexnejší prístup a návrh.

Kvôli náhlým zmenám výkonu FVS sú kladené vyššie požiadavky na akumuláciu týchto systémov. Na tieto systémy je kladená požiadavka na okamžitú dodávku elektrickej energie, poprípade okamžité krytie nadvýroby. Vhodné pre takéto systémy sú prietokové batérie, klasické olovené akumulátory alebo lítiové akumulátory.

4.3.1 Možnosti pripojenia akumulačného zariadenia do FVE

Fotovoltaické elektrárne s batériami bývajú označované ako hybridné fotovoltaické elektrárne. Podľa miesta pripojenia batérie rozdeľujeme FVS na dva základné typy, ktorých zapojenie môžeme vidieť na obrázku 4.5:

1. **DC coupling** – Pri tomto zapojení je batéria pripojená na jednosmernej (DC) strane FVS, čo znamená, že vyrobená energia sa priamo pomocou regulátoru nabíjania ukladá do batérie. V prípade že z tejto batérie chceme napájať striedavé spotrebiče v domácnosti, musíme použiť striedač.
2. **AC coupling** – V tomto zapojení je batéria pripojená na striedavej (AC) strane FVS, čo znamená, že vyrobená energia ide priamo do fotovoltaického striedača, ktorý je pripojený na domáci striedavý rozvod, prípadne na distribučnú sieť. Prebytky, ktoré nie sú domácnosťou spotrebované sa pomocou batériového meniča ukladajú do batérie. V prípade potreby je energia pomocou meniča spätne dodaná do AC rozvodu objektu. Striedač a usmerňovač v tomto prípade býva v jednom prístroji, ktorý nazývame hybridný striedač.



Obrázok 4.5 Bloková schéma a) DC couplingu a b) AC couplingu [4]

4.4 Riadenie FVS

Monitorovanie a riadenie fotovoltických systémov je nevyhnutné pre spoľahlivé fungovanie a maximálny výnos každého FVS.

Riadenie a monitorovanie FVS môžeme rozdeliť na dva základné kategórie:

- Lokálne
- Diaľkové

4.4.1 Lokálne monitorovanie a riadenie FVS

Najjednoduchšie monitorovanie je možné vykonať odčítaním hodnôt na displeji striedača. V takom prípade sú najdôležitejšie parametre meniča a siete dostupné na LCD obrazovke. Zvyčajne sú dostupné hodnoty ako výkon FV poľa, výkon AC siete, prúd FV poľa. Na účely sofistikovaného monitorovania a riadenia môžu byť súčasťou zaznamenávania aj údaje o prostredí ako teplota modulu, okolia, slnečné žiarenie a rýchlosť vetra, ktoré sú ukladané a analyzované neskôr.

Medzi ďalšie možnosti lokálneho monitorovania patrí monitorovanie lokálnym PC cez pripojenie RS232 alebo vzdialený displej umiestnený napríklad v obytnom priestore (prepojenie medzi meničom a displejom je zvyčajne bezdrôtové). Parametre uvedené v tabuľke 4.1 sú zvyčajne monitorované, zaznamenávané a ukladané do pamäte meniča alebo externého záznamníka dát zvyčajne na 1 rok. [9]

Tabuľka 4.1 Monitorované parametre pri lokálnom riadení FVS [9]

Názov	Označenie	Jednotka
Napätie poľa	U_{DC}	V
Napätie siete	U_{AC}	V
Prúd poľa	I_{DC}	A
Sieťový prúd	I_{AC}	A
Výkon poľa	P_{DC}	W
Výkon siete	P_{AC}	W

4.4.2 Diaľkové monitorovanie a riadenie FVS

Diaľkové ovládanie a monitorovanie je možné vykonávať rôznymi vzdialenými pripojeniami: analógový modem, ISDN, GSM atď. Najbežnejšie pripojenia pre lokálne/diaľkové ovládanie sú USB (niekedy aj RS232) pre lokálny monitoring, RS485 a powerline pre prepojenie invertorov. Pre bezdrôtové pripojenie sa najčastejšie používa Bluetooth a Wi-Fi. [9]

Diaľkové ovládanie a komunikácia medzi invertormi môže byť realizované bezdrôtovým pripojením (bluetooth alebo Wi-Fi), cez rozhranie RS485 alebo cez sieť (elektrické pripojenie). Viacero meničov je možné zapojiť do série a súčasne monitorovať až do vzdialenosti 1200 m.

Pre vzdialené monitorovanie je možné použiť rôzne spôsoby komunikácie: Ethernet, Internet, dial-up prístup, GSM atď. Systém môže posielat' upozornenia a stavové správy do riadiaceho centra alebo do užívateľského rozhrania. Upozornenia a systémové správy je možné posielat' aj prostredníctvom SMS, GSM alebo faxu. [9]

4.5 Dial'kové dispečerské riadenie

Hlavným cieľom distribučných spoločností je kvalitne a spoľahlivo distribuovať elektrickú energiu, čo nám zabezpečuje účinné dispečerské riadenie. Úlohou dispečerského riadenia je zabezpečovanie bezporuchovej a bezpečnej prevádzky a zahŕňa prípravu prevádzky, operatívne riadenie a hodnotenie prevádzky DS.

Prevádzkovateľ distribučnej sústavy dispečersky riadi:

- Výrobne elektriny pripojené k DS
- Odberné elektrické zariadenia pripojené k DS
- Priame vedenia pripojené k DS

Dispečerské riadenie zahŕňa reguláciu činného a jalového výkonu, možnosť diaľkového odpojenia FVE od DS, signalizáciu stavu spínacích prvkov vo FVE, signalizáciu pôsobenia ochrán vo FVE, prenos hodnôt napätia, prúdu, činného a jalového výkonu z FVE na dispečing PDS. Povinnou súčasťou je aj diaľková regulácia jalového výkonu (regulácia účinníku).

Hromadné diaľkové ovládanie - HDO

HDO je súbor zariadení, ktoré umožňujú vysielanie povelov alebo signálov za účelom riadenia, zapínania alebo vypínania.

Tento technický systém HDO je súčasťou DS a je využívaný prevažne na optimalizáciu prevádzky DS a riešenie mimoriadnych situácií. Prevádzkovateľ DS môže HDO využívať aj ako prostriedok pre zaisťovanie podporných a systémových služieb alebo pre fakturačné účely (zmena tarify). HDO môže byť využívané aj v stavoch núdze a pre dispečerské riadenie výroby OZE (vyrábaného činného a jalového výkonu).

Prijímač HDO musí byť inštalovaný tak, aby zostal pod napätím aj po odpojení výrobne z paralelnej prevádzky s DS, takže napájaný priamo z DS bez záložného zdroja.

4.5.1 Zaistenie komunikácie s dispečingom PDS

Zo strany ČEZ Distribuce, a.s. je ako hlavný prostriedok k regulácii činného výkonu inštalovaný prijímač HDO a ako záložný prostriedok k tomuto účelu bude využitá jednotka RTU, ktorá je majetkom prevádzkovateľa elektrárne. V oblastiach bez signálu HDO je vybavenie regulácie rovnaké, ako v oblastiach s HDO, ale riadenie regulácie je uskutočňované iba prostredníctvom jednotky RTU.

Signalizácia stupňa regulácie činného výkonu na dispečing PDS má byť realizovaná prostredníctvom jednotky RTU. Pri výpadku dátovej komunikácie RTU, musí byť

zachované ovládanie regulácie činného výkonu prostredníctvom prijímača HDO. Prenos informácií bude realizovaný prostredníctvom GSM/GPRS protokolom IEC 60870-5-104.

Požiadavky PDS na prevádzkovanie FVE z pohľadu diaľkového dispečerského riadenia vieme rozdeliť na nasledujúcu sadu požiadaviek PQ bilancie:

- Udržiavanie účinníku v mieste fakturačného merania na základe povelu z dispečingu PDS (binárne signály, HDO, RTU).
- Dosiahnutie neutrálneho pásma indukčného účinníku $\cos\varphi$ 0,95ind až $\cos\varphi$ 1,00 v spotrebnom tarife.
- Behom dodávky dodržiavať zmluvný účinník $\cos\varphi$ s PDS. Induktívnejší účinník ako je zmluvný je penalizovaný za nedodržanie účinníku a kapacitnejší účinník ako zmluvný je považovaný za nevyžiadajú dodávku jalového výkonu do DS.
- Zamedzenie dodávky jalového výkonu späť do DS v spotrebnom tarife.

Činný výkon FVE je premenlivý, preto je nutné meniť aj jalový výkon, aby bol zachovaný ich pomer (účinník). Túto zmenu dosiahneme pomocou kompenzačných rozvádzačov s regulátormi, kde je tento pomer udržiavaný spätiväzobne na základe skutočného činného výkonu dodávaného výrobnou.

Inštaláciou kompenzačných rozvádzačov tiež odstraňujeme problémy s jalovým výkonom ako nedodržanie stanovených hraníc jalového výkonu alebo nesplnenie požiadaviek na diaľkové riadenie jalového výkonu, ktoré by mohli viesť k penalizácii alebo odpojeniu výrobnou od DS.

Prevádzka týchto rozvádzačov je plne automatizovaná a bezobslužná a ich parametre sú nastaviteľné miestne alebo diaľkovo. [10]

4.5.2 Komponenty diaľkového dispečerského riadenia

Monitorovacia a riadiaca jednotka RTU7M

RTU7M je modulárna riadiaca jednotka určená riadenie a zber dát v energetických DS (štandardne používaná spoločnosťou ČEZ Distribuce, a.s.). Jednotka sa skladá z hliníkovej konštrukcie, do ktorej sa inštalujú moduly v podobe zásuvných kariet a má malú hĺbku zástavby. Vyznačuje sa širokou škálou rôznych rozhraní, od optickej zbernice po rozhranie na prenos dát prostredníctvom GSM/GPRS. Spôsob komunikácie sa dá zmeniť výmenou komunikačného modulu. Komunikačný modul umožňuje tiež odosielanie textových správ SMS na určené čísla. K tejto jednotke je možné pripojiť aj káblovú sieť LAN. Jednotky v systéme sú časovo synchronizované prostredníctvom modulu pre príjem jednotného času zo signálu GPS. Jednotka RTU musí byť inštalovaná tak, aby zostala pod napätím aj po odpojení výrobnou z paralelnej prevádzky s DS. [10]

Dekompenzačné tlmivky

Tieto tlmivky slúžia k potlačeniu a eliminácii jalového výkonu kapacitného charakteru v el. sieti, ktorá vzniká na parazitných prvkoch rozvodnej siete ako napríklad dlhými káblovými vedeniami alebo dlhými nezaťaženými vedeniami. Jedná sa o netočivý elektromagnetický stroj dodávajúci do siete požadovanú indukčnosť a majú opačný účinok ako kompenzačné kondenzátory. Dekompenzačné tlmivky sa skladajú z jednotlivých stupňov s určitým výkonom, ktoré sú riadené regulátorom účinníku. [10]

Kompenzačné kondenzátory

Kondenzátory sa používajú na kompenzáciu jalového výkonu induktívneho charakteru v elektrickej sieti. Na životnosť kondenzátorov má negatívny vplyv zvýšená teplota a harmonické skreslenie. Ako ochrana pred týmto skreslením slúžia kompenzačné tlmivky. [10]

Druhy kompenzácie:

- Individuálna – kompenzácia každého zariadenia samostatne
- Skupinová – kompenzácia určitej skupiny zariadení
- Centrálna – vykompenzovanie celého odberu

Kompenzačné stýkače

Na spínanie kondenzátorových batérií sa v dnešnej dobe používajú špeciálne stýkače s dvojestupňovým spínaním (stýkače s odporovým spínaním). Stýkače sú vybavené pomocnými kontaktmi, ktoré spínajú v predstihu tlmiace odpory, čím znižujú prúdové rázy. Použitím týchto pomocných kontaktov nedochádza k opaľovaniu hlavných kontaktov až do 200 násobku menovitého prúdu. Eliminujú aj impulzné rušenie, ktoré sa šíri elektrickým rozvodom a môže nepriaznivo ovplyvniť činnosť výpočtovej, automatizačnej a telekomunikačnej techniky. [10]

Regulátory jalového výkonu (účinníku)

Regulátor účinníku je riadiaca jednotka na automatické riadenie kondenzátorových batérií. Spína kondenzátory tak, aby bola dosiahnutá požadovaná hodnota účinníku. [10]

Dnešné regulátory ponúkajú funkcie ako:

- Všetky spínacie parametre je možné naprogramovať automaticky alebo manuálne
- Možnosť programovať aj nočný a regeneratívny účinník okrem klasického
- Meranie
- Záznam dát a alarmových hlásení
- Kontrolu a testovanie stavu relé
- Komunikáciu s protokolom Modbus
- Vytlačenie nameraných hodnôt a parametrov
- Meranie teploty

4.5.3 Technické požiadavky zariadení na reguláciu a ovládanie

V prípade ohrozenia bezpečnej a spoľahlivej prevádzky elektrizačnej sústavy je nevyhnutné pri dispečerskom riadení dočasne obmedziť alebo odstaviť dodávku činného výkonu z výrobní elektrickej energie. [10]

Výrobne s výkonom od 30 kW do 100 kW pripojené do DS

Pre operatívne odpojenia výrobní od DS bude použité relé prijímača HDO ovládané z dispečingu PDS. V oblasti bez signálu HDO bude k regulácii použitá jednotka RTU v majetku PDS. Regulácia činného výkonu bude prebiehať stupňovito v režime 0 a 100% inštalovaného výkonu.

Prenos merania a signalizácie na dispečing PDS nie je z týchto zdrojov požadovaný. [10]

FV a VT výrobní s výkonom 100 kW a viac pripojené do DS

Zdroje musia byť schopné dostatočne rýchlo a presne reagovať na povely z dispečingu PDS k obmedzeniu činného výkonu na 60, 30 alebo 0 % menovitej hodnoty vrátane povelu na zrušenie obmedzenia. Z vyššie uvedeného vyplýva, že regulácia činného výkonu bude prebiehať stupňovito v režime 0, 30, 60 a 100 % inštalovaného výkonu a regulácia medzi jednotlivými stupňami musí prebiehať bez prechodu na medzistupeň 100 % alebo 0 %.

Na dispečing PDS musí byť zaistený prenos merania a signalizácie. Môže byť požadovaná plynulá regulácia napätia alebo jalového výkonu podľa pokynov dispečingu alebo systémom automatickej regulácie. Pri diaľkovom riadení U/Q bude použitý štandardný komunikačný protokol cez komunikačné rozhranie riadiacej jednotky. Požiadavky na reguláciu U/Q budú vždy upresnené na základe štúdie pripojiteľnosti.

Vlastníctvo riadiacej jednotky RTU je súčasťou stanovenia podmienok pripojenia a bude vo vlastníctve výrobcu výnimočne môže byť aj vlastníctvom distribútora.

V prípade, že jednotka RTU bude vo vlastníctve distribútora, výrobca pripraví napájanie 230 V AC pre napájanie RTU vrátane interného dobíjača riadiacej jednotky so samostatným ističom a skriňu na inštaláciu RTU so svorkovnicou rozhrania. Umiestnenie musí byť také, aby bol umožnený nepretržitý prístup pracovníkom DS.

V prípade, že jednotka RTU bude vo vlastníctve výrobcu, bude zaistená komunikácia na dispečing štandardným predpísaným protokolom. DS dodá SIM kartu. Ako hlavný prostriedok k regulácii činného výkonu je inštalovaný prijímač HDO, ktorý je vo vlastníctve PDS a ako záložný prostriedok k tomuto účelu bude využitá jednotka RTU.

[11]

5. CHRÁNENIE FVS

Opatrenia na ochranu vlastnej výroby je potrebné vyhotoviť v súlade s PPDS. Medzi takéto ochrany patria skratové ochrany, ochrany proti preťaženiam alebo ochrany pred nebezpečným dotykom a ich nastavenie určuje PDS.

5.1 Výrobné moduly A1 (Mikrozdroje)

Pre chránenie výrobní s fázovými prúdmi do 16 A prevádzkovaných paralelne s distribučnou sústavou nn, na ktoré sa vzťahuje ČSN EN 50549-1, platí tabuľka 5.1.

Tabuľka 5.1 Ochrany výrobní s prúdom do 16 A [1]

Parameter	Max. vypínací čas [s] ⁽²⁾	Nastavenie pre vypnutie
Nadpätie 1. stupňa ⁽¹⁾	3	230 V + 10 %
Nadpätie 2. stupňa	1	230 V + 15 %
Nadpätie 3. stupňa	0,1	230 V + 20 %
Podpätie	1,5	230 V - 15 %
Nadfrekvencia	0,5	52 Hz
Podfrekvencia	0,5	47,5 Hz

⁽¹⁾ Pre 1. stupeň nadpätia sa používajú 10-minútové hodnoty odpovedajúce ČSN EN 50160.

⁽²⁾ Vypínacie časy pri nadpätí a podpätí je potrebné koordinovať s parametrami FRT kriek

V niektorých prípadoch môže byť s ohľadom na sieťové pomery nastavenie ochrán iné, preto je ich nastavenie vždy nutné odsúhlasiť s PDS.

Podpät'ová a nadpät'ová ochrana musí byť trojfázova. (V sieťach s izolovaným uzlom a kompenzovaných môže byť po dohode s PDS použitá ochrana jednofázová pripojená na združené napätie)

Podfrekvenčná a nadfrekvenčná ochrana môže byť jednofázová. [1]

5.2 Výrobné moduly A2,B1,B2,C,D

Ochrany pre výrobné elektriny s fázovým prúdom nad 16 A v sieťach nn a výrobné pripojené do sietí vn a 110 kV nastavujeme podľa tabuľky 5.2.

Tabuľka 5.2 Ochrany rozpadového miesta výrobní s VM A2, B1, B2, C [1]

Parameter	Rozsah nastavení	Odporučené nastavenie ochrany ⁽²⁾	
Nadpätie 3. stupeň U >>	1,00 – 1,30 Un	1,25 Un	0,1 s
Nadpätie 2. stupeň U >>	1,00 – 1,30 Un	1,2 Un	5 s
Nadpätie 1. stupeň U >	1,00 – 1,30 Un	1,15 Un ⁽¹⁾	≤ 60 s
Podpätie 1. stupeň U <	0,10 – 1,00 Un	0,7 Un	0 – 2,7 s
Podpätie 2. stupeň U <<	0,10 – 1,00 Un	0,3 (0,45) Un ⁽³⁾	≥ 0,15 s
Nadfrekvencia f >	50 – 52 Hz	51,5 Hz	≤ 100 ms
Podfrekvencia f <	47,5 – 50 Hz	47,5 Hz ⁽⁴⁾	≤ 100 ms
Smer jalového výkonu a podpätia (Q → &U<) ⁽⁵⁾	0,7 – 1,00 Un	0,85 Un	t1 = 0,5 s

⁽¹⁾ *Pre 1. stupeň nadpätia sa použijú 10-minútové hodnoty odpovedajúce ČSN EN 50160.

⁽²⁾ Vypínacie časy pri nadpätí a podpätí je potrebné koordinovať s parametrami FRT kriviek.

⁽³⁾ Nastavenie 0,3 Un volíme pre výrobné s meraním napätia na strane vn pripojené na hladinu 110 kV. Hodnotu 0,45 volíme pre výrobné pripojené do siete vn s meraním napätia na nižšej strane napätia.

⁽⁴⁾ Toto nastavenie je závislé na výkone výrobné a kmitočtovo závislom prispôsobení výkonu.

⁽⁵⁾ Ochrana sa použije pri výrobníach s inštalovaným výkonom nad 30 kVA, ak nestanoví PDS inak.

Nastavenie ochrán a ich časové oneskorenie udáva PDS v závislosti na koncepcii chránenia, spôsobe prevádzky, prípojnom bode a výkone výrobného modulu.

Nastavenia sa vzťahujú k združenému napätiu v sieťach vn a 110 kV. Časy vypnutia pozostávajú zo súčtu časového nastavenia a vlastných časov spínačov a ochrán.

Výrobca je povinný si zaistiť, aby spínanie, kolísanie napätia, krátkodobé prerušenia vrátane OZ alebo iné prechodové javy v sieti PDS nepoškodili jeho zariadenie.

Všetky ochrany a vypínacie obvody musia byť pripravené k zaplombovaniu. [1]

6. SPRÁVANIE VÝROBNÍ V SIETI

6.1 Normálne prevádzkové podmienky

6.1.1 Prevádzkový frekvenčný rozsah

Tabuľka 6.1 Prevádzkový frekvenčný rozsah výrobní v sieťach nn, vn, 110 kV [1]

Rozsah frekvencie	Minimálna doba prevádzky
47 – 47,5 Hz	20 s
47,5 – 48,5 Hz	30 min
48,5 – 49 Hz	90 min
49 – 51 Hz	neomezené
51 – 51,5 Hz	30 min

6.1.2 Rozsah trvalého prevádzkového napätia

Výrobne pripojené do jednotlivých napäťových hladín sietí musia byť schopné trvalej prevádzky, ak napätie v mieste pripojenia zostáva v danom rozsahu uvedenom v tabuľke 6.2., 6.3, 6.4. [1]

Tabuľka 6.2 Rozsah napätí výrobní pripojených do siete nn [1]

Rozsah napätia	Doba prevádzky
0,85 p.j. – 1,1 p.j.	neomezene

Tabuľka 6.3 Rozsah napätí výrobní pripojených do siete vn [1]

Rozsah napätia	Doba prevádzky
0,85 p.j. – 0,9 p.j.	60 min
0,90 p.j – 1,118 p.j	neomezene
1,118 p.j – 1,15 p.j	60 min

Tabuľka 6.4 Rozsah napätí pre výrobné moduly D v sieti 110 kV [1]

Rozsah napätia	Doba prevádzky
0,85 p.j. – 0,90 p.j.	60 min
0,90 p.j. – 1,118 p.j.	neomezene
1,118 p.j. – 1,15 p.j.	60 min

6.2 Podpora siete

Výrobne elektrickej energie musia byť schopné podieľať sa na udržiavaní napätia pri dodávke do siete. Podporu siete rozdelíme na statickú a dynamickú.

Požadované hodnoty a charakteristiky pre podporu siete udáva PDS. Dodržiavanie zadaných hodnôt zaisťuje automatické riadenie vo výrobní. [1]

6.2.1 Statická podpora napätia

Statické udržiavanie napätia v sieti je udržiavanie napätia v zmluvne stanovených medziach pri normálnej prevádzke v sieti pri pomalých zmenách napätia. Výkyvy napätia musia ostávať v povolených medziach. Výrobne musia byť schopné prispievať k tomuto požiadavku počas normálnej prevádzky siete.

Ak to vyžadujú podmienky v sieti a PDS uplatní tento požiadaviek, musí sa výrobné zariadenie podieľať na udržiavaní napätia pomocou jalového výkonu v rozsahu účinníku výrobné 0,9 kapacitný a 0,9 induktívny. [1]

6.2.2 Dynamická podpora siete

Dynamickou podporou siete sa rozumie udržiavanie napätia pri poklesoch napätia v sieťach vvn a zvn, zamedzujúce nežiaducemu odpojenia výkonov, ktoré napájajú siete nn, vn a rozpadu siete. [1]

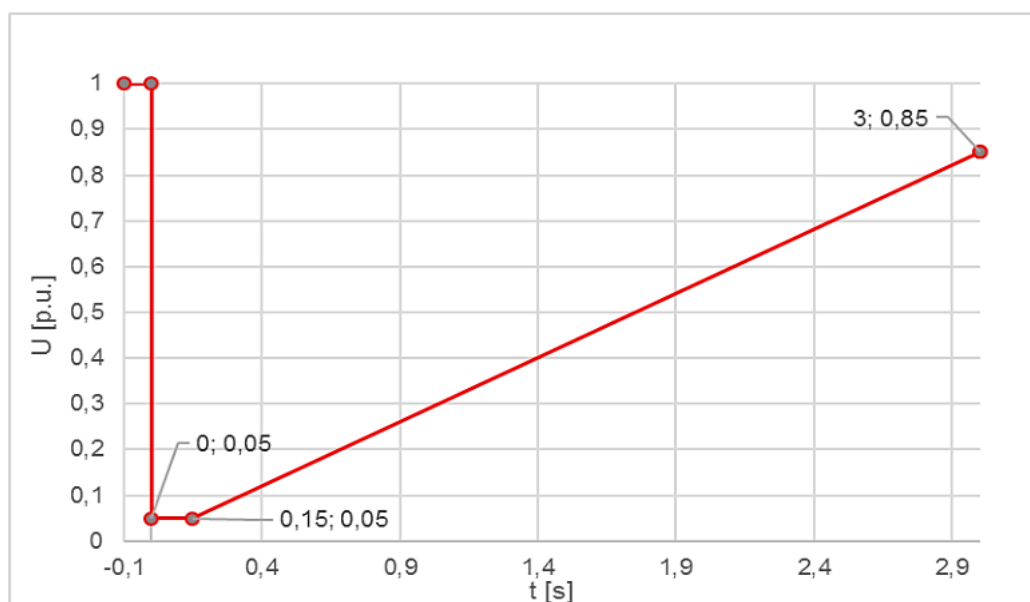
Preklopenie poruchy pri krátkodobom poklese napätia

Výrobne v sieťach nn, vn a 110 kV sa musia podieľať na dynamickej podpore siete. Musia byť technicky schopné zostať pripojené aj pri poruchách v sieti, pri ktorých dochádza k poklesom napätia.

Nesynchronne výrobné moduly A1, A2, B1, B2 a C sa nesmú odpojiť od sústavy v prípade poklesu napätia definované FRT krivkou na obrázku 6.1. Výrobný modul sa môže odpojiť v prípade, že napätie sa bude nachádzať pod definovanou krivkou, ktorej parametre sú uvedené v tabuľke 6.5. [1]

Tabuľka 6.5 Parametre FRT krivky na Obrázku 6.1 [1]

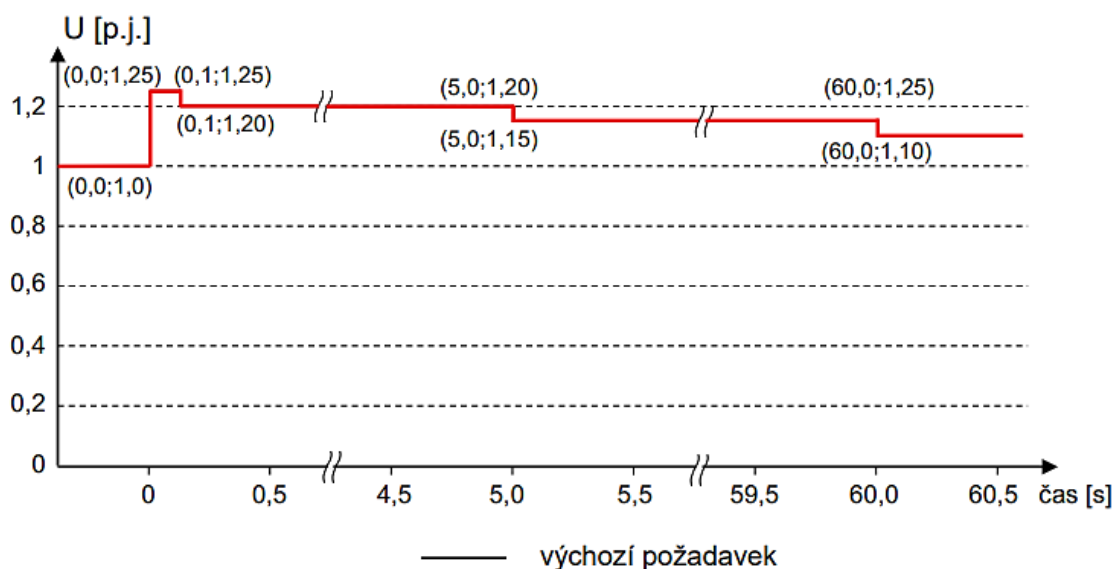
t [s]	U [p.j.]
0 – 0,15	0,05
3	0,85



Obrázok 6.1 Časový priebeh napätia v mieste pripojenia za podmienok poruchy pre nesynchronne výrobné moduly kategórie A-C [1]

Preklenutie poruchy pri krátkodobom vzraze napätia (nadväť)

Výrobné moduly A-C musia byť podľa PNE 33 3430-8-1 schopné zostať pripojené (podľa obrázku 6.2), ak napätie na vývodoch neprekročí hornú hranicu rozsahu napätia pre trvalú prevádzku až do úrovne 120% dohodnutého napätia po dobu 1 sekundy a 115 % po dobu 60 sekúnd. [1]



Obrázok 6.2 Schopnosť preklenutia krátkodobého nadväť pre výrobné moduly kategórie A-C [1]

Požiadavky na skratový prúd nesynchronných VM

Nesynchronne VM kategórie B – D musia byť podľa čl. 20.2 b,c) RfG schopné aktivovať dodávku skratového prúdu nasledujúcimi spôsobmi: [1]

- zaistením dodávky rýchleho poruchového prúdu v mieste pripojenia
- meraním odchýliek napätia na svorkách jednotlivých blokov nesynchronného VM a dodaním rýchleho poruchového prúdu na svorky týchto blokov

Veľkosť a doba obnovy činného výkonu po krátkodobom poklese napätia

Nesynchronne VM kategórie A2, B1, B2, C a D musia po poruche v sústave, ktorá nevedla k odpojeniu VM obnoviť činný výkon na hodnotu pred poruchou s dovolenou odchýlkou +/- 5 % do 1 sekundy po dosiahnutí 85 % napätia v mieste pripojenia. Ak VM dodáva počas poruchy prioritne jalový výkon, obnovy činného výkonu sa začne po dosiahnutí 95 % napätia v mieste pripojenia a ukončí sa do 1 sekundy. [1]

Priorita príspevku činného alebo jalového výkonu

Počas poruchy musia nesynchronne VM kategórie B1, B2, C a D dodávať prioritne jalový výkon pred činným. [1]

Tlmenie výkonových oscilácií

Nesynchronne výrobné moduly musia byť schopné tlmiť výkonové oscilácie, čo sa overuje meraním alebo simulačným výpočtom. [1]

6.3 Riadenie činného výkonu

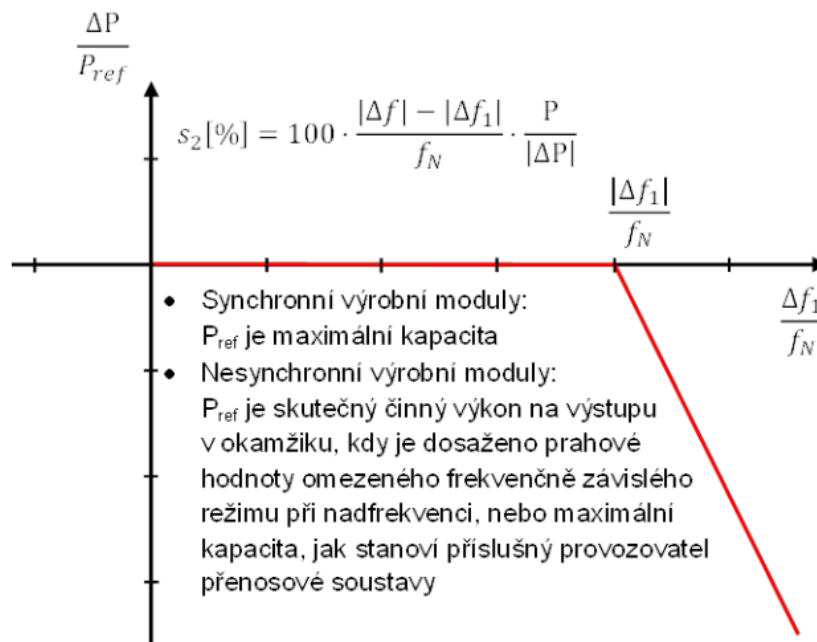
Všetky výrobné pripojené do DS musia byť schopné znižovať činný výkon automaticky v závislosti na kmitočte v sieti, podľa pomerov v sieti a podľa povelov z riadiaceho dispečingu PDS alebo sa automaticky odpojiť od DS. [1]

6.3.1 Zníženie činného výkonu pri nadfrekvencii

Výrobný modul musí byť schopný aktivovať poskytovanie frekvenčnej odozvy činného výkonu podľa obrázku 6.3 pri prahovej hodnote frekvencie a pri nastavenej statike, ktoré stanovuje príslušný prevádzkovateľ prenosovej sústavy.

Prahová frekvencia musí byť v rozmedzí 50,05 Hz až 50,5 Hz vrátane a nastavenie statiky musí byť v rozmedzí 4 % až 10 %.

Defaultná prahová frekvencia v ČR je 50,2 Hz a statika $s_2=5\%$.



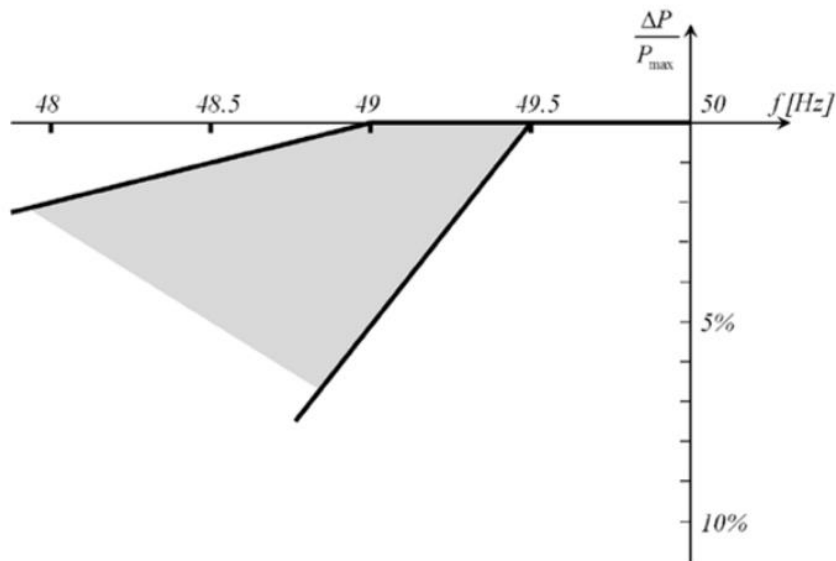
Obrázok 6.3 Schopnosť frekvenčnej odozvy činného výkonu VM v obmedzenom frekvenčne závislom režime pri nadfrekvencii [1]

Pri obmedzení činného výkonu vzrastom frekvencie môže byť činný výkon znova zvyšovaný až po znížení frekvencie na hodnotu $f \leq 50,05$ Hz alebo po povolení technického dispečingu PDS. [1]

6.3.2 Prípustné zníženie činného výkonu pri podfrekvencii

Príslušný prevádzkovateľ PS definuje dovolené zníženie činného výkonu z maximálnej hodnoty so znižujúcou sa frekvenciou v rozsahu podľa obrázku 6.4.

V oprávnených prípadoch s ohľadom na technické schopnosti VM A až D (v súlade s článkom 13 (4) Nariadenie komisie (EU) 2016/631) sa pripúšťa zníženie maximálneho výkonu pri poklese frekvencii siete pod hodnotu 49 Hz s maximálnou mierou zníženia 2% P_{max}/Hz . Tieto zníženia platia pre menovité podmienky okolitého prostredia stanovené výrobcom zariadenia. Ak VM nie je schopný plniť tieto požiadavky plniť, musí to byť doložené prevádzkovateľovi sústavy technickou štúdiou. [1]



Obrázok 6.4 Maximálne zníženie činného výkonu s klesajúcim kmitočtom [1]

6.3.3 Frekvenčná odozva činného výkonu akumuláčného zariadenia pri podfrekvencii

Elektrické akumuláčné zariadenia vo výrobni musia byť schopné aktivácie odozvy činného výkonu na podfrekvenciu.

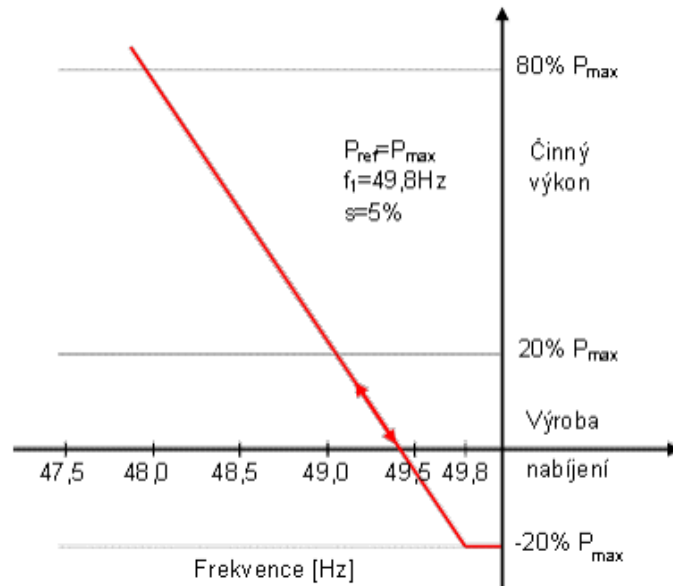
U elektrických akumuláčných zariadení musí byť frekvenčná odozva poskytovaná v režime dodávky aj odberu a zariadenie musí byť schopné pri poskytovaní frekvenčnej odozvy prechodu medzi nimi.

Odozva činného výkonu na podfrekvenciu musí byť poskytovaná pri programovateľnej hranici frekvencie, minimálne medzi 49,8 a 49,5 vrátane, pri programovateľnej statike od 0,1 % do 12 %. Referenčný výkon P_{ref} je P_{max} . Elektrické akumuláčné zariadenie musí byť schopné aktivácie frekvenčnej odozvy činného výkonu na podfrekvenciu tak rýchle, ako je to technicky možné s vlastným oneskorením maximálne 2 sekundy a z odozvou maximálne 30 sekúnd. Prídavné oneskorenie musí byť taktiež programovateľné k nastaveniu oneskorenia na hodnotu medzi vnútorným oneskorením a 2 sekundami.

Po aktivácii musí frekvenčná odozva činného výkonu používať aktuálnu hodnotu frekvencie a reagovať na jej nárast alebo pokles podľa naprogramovanej statiky s presnosťou ± 10 % menovitého výkonu. Nepresnosť merania frekvencie musí byť do ± 10 mHz.

Nastavenie hraničnej frekvencie f_1 , statiky a prídavného oneskorenia definuje PPS, ak nie sú definované, funkcia musí byť zablokovaná.

Pri poklese frekvencie na 49,0 Hz musí byť elektrické akumuláčn  zariadenie automaticky prepnut  do režimu dodávky alebo automaticky odpojen , ak to nedokážu splniť. Príklad frekvenčnej odozvy činného výkonu na podfrekvenciu je zn zornen  na obrázku 6.5. [1]

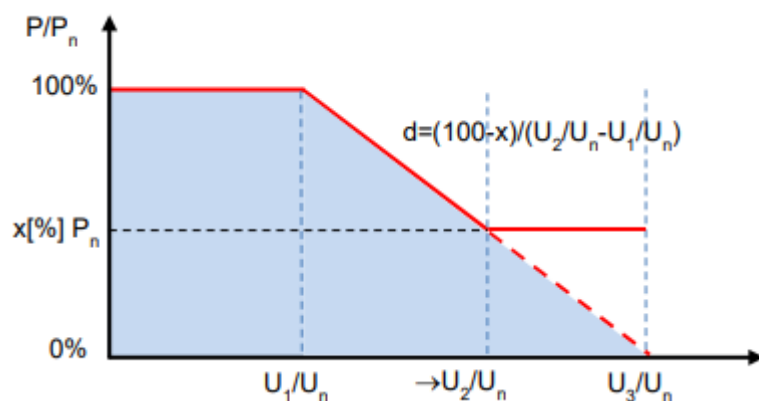


Obrázok 6.5 Ilustratívne znázornenie frekvenčnej odozvy činného výkonu na podfrekvenciu pri akumuláčných zariadeniach [1]

6.3.4 Zn izenie činného výkonu z visl  na napätí – funkcia P(U)

Všetky v robn e pripojen  pomocou striedača s výkonom do 16 A na fázu vrátane a d alej v šetky v robn e s výkonom nad 16 A na fázu pripojen  do DS na hladine nn budú vybaven  generátormi s funkciou na riadenie napätia činným výkonom podl a noriem ČSN EN 50 438 ed.2 a ČSN EN 50549-2. Konkrétne hodnoty funkcie P (U) zn zornen  na obrázku 6.6 stanoví podl a sieťových podmienok PDS.

Dôvodom je snaha zabrániť odpojeniu v robn  nadp ťov ymi ochranami, preto je pri výrobniach s mikrogener tormi a pri výrobniach s výkonom nad 16 A na fázu pripojených do DS na hladine nn povolen  zn izenie činného výkonu v závislosti na zvyšujúcom sa napätí. Ak je táto funkcia aktivovan  v robn  môžu zn ziť svoj inn  výkon podl a výrobcov zvolenej logiky . T to logika nesmie mať za následok zmenu výstupného výkonu po krokoch alebo kmitanie výstupného výkonu. [1]



Obrázok 6.6 Charakteristika funkcie P(U) [1]

6.3.5 Riadenie činného výkonu v závislosti na prevádzkových podmienkach

Výrobne elektriny s VM kategórie A2 a B1 aj akumulčné zariadenie (v stave nabíjania aj vybíjania) musia byť prevádzkovateľné so zníženým činným výkonom a vybavené rozhraním (vstupným portom) aby na pokyn na vstupnom porte mohli znížiť činný výkon na výstupe. PDS je v zmysle podľa zákona č. 458/2000 oprávnená k zmene činného výkonu v nasledujúcich stavoch siete:

- Potenciálne ohrozenie bezpečnej prevádzky systému
- Stav blackoutu alebo stave obnovy
- Nutné prevádzkové práce, poprípade nebezpečné preťaženie v sieti PDS
- Nebezpečie vzniku ostrovej prevádzky
- Ohrozenie statickej alebo dynamickej stability
- Vzrast frekvencie ohrozujúci systém
- Údržba alebo stavebné práce na zariadení DS alebo v jeho blízkosti

V týchto prípadoch má PDS právo vyžadovať automaticky pôsobiace prechodné obmedzenie dodávky činného výkonu alebo odpojenie zariadenia. PDS nezasahuje do riadenia výroby ale zadáva požadovanú hodnotu.

Zníženie dodávaného výkonu na hodnotu požadovanú PDS v prípojnom bode siete (napr. na 60, 30, 0 % inštalovaného výkonu FVE, akumulčných zariadení, výrobní elektriny s akumulčnými zariadeniami a 100, 75, 50 % pri BPS) musí byť bez oneskorenia maximálne v priebehu do jednej minúty, ale do 5 sekúnd po obdržaní pokynu na vstupnom porte VM. Musí byť technicky možné znížiť až na hodnotu 0 % bez automatického odpojenia celej výroby od siete.

Regulačný systém VM musí byť schopný upravovať zadanú hodnotu činného výkonu v súlade s pokynmi prevádzkovateľa sústavy (alebo obsahovať terminál elektrárne na diaľkové riadenie). Zadaná hodnota činného výkonu musí byť dosiahnutá v predpísanom čase s odchýlkou $\pm 5\%$.

VM musia byť schopné zvyšovať výkon s gradientom aspoň $2\%P_n/\text{min}$, ale nie rýchlejšie ako $40\%P_n/\text{min}$ a rovnako aj pri znižovaní.

Pri obmedzení činného výkonu vzrastom frekvencie môže byť činný výkon opäť zvýšený až po návrate frekvencie na hodnotu $f \leq 50,1$ Hz s rozsahom necitlivosti maximálne do 10 mHz. [1]

6.4 Riadenie jalového výkonu

Všeobecne spôsob riadenia jalového výkonu uávisí vždy na konkrétnom mieste distribučnej sústavy a určuje ho PDS po konzultácii s výrobcom. Možné spôsoby riadenia jalového výkonu generátorov vyplývajú z Nariadenia komisie (EU) 2016/631 - RfG a noriem ČSN EN 50549-1 a ČSN EN 50549-2. [1]

6.4.1 Spôsoby riadenia jalového výkonu

Výrobne do 100 kVA je jalový výkon riadený autonómne, PDS zadá jednu z ďalej uvedených variant.

Pri dodávke činného výkonu je nastavenie jalového výkonu zadávané PDS buď pevnou hodnotou alebo keď to prevádzka siete vyžaduje diaľkovo nastaviteľnú žiadanú hodnotu.

Žiadaná hodnota je:

- | | |
|---|----------|
| a) Pevná hodnota jalového výkonu | Q fix |
| b) Hodnota jalového výkonu závislá na napätí | Q (U) |
| c) Hodnota jalového výkonu závislá na činnom výkone | Q (P) |
| d) Pevná hodnota účinníku | cosφ fix |
| e) Hodnota účinníku závislá na napätí | cosφ (U) |
| f) Hodnota účinníku závislá na činnom výkone | cosφ (P) |
| g) Zadaná hodnota napätia | U |

Zvolený spôsob riadenia aj žiadané hodnoty zadáva PDS podľa potrieb prevádzky siete individuálne pre každú výrobnú elektrinu. Pri zadávaní vychádza PDS aj z technických možností danej výroby.

Zadávanie môže byť:

- Dohodou na hodnote/harmonograme
- On-line zadávanie

Pri variante on-line zadávania musí byť vždy po novom zadaní dosiahnutý nový pracovný bod výmeny jalového výkonu najneskôr do jednej minúty. Pri kompenzačných zariadeniach výroby je potrebné prihliadať na spôsob prevádzky vlastnej výroby a z toho vyplývajúcich spätných vplyvov na sieťové napätie.

Kompenzačné kondenzátory nesmú byť pripínané pred zapnutím generátoru a pri vypínaní generátoru musia byť odpojené súčasne.

Prevádzka výroby môže vyžadovať opatrenia k obmedzeniu napätia harmonických a pre zamedzenie neprípustného spätného ovplyvnenia HDO. S PDS je preto potrebné

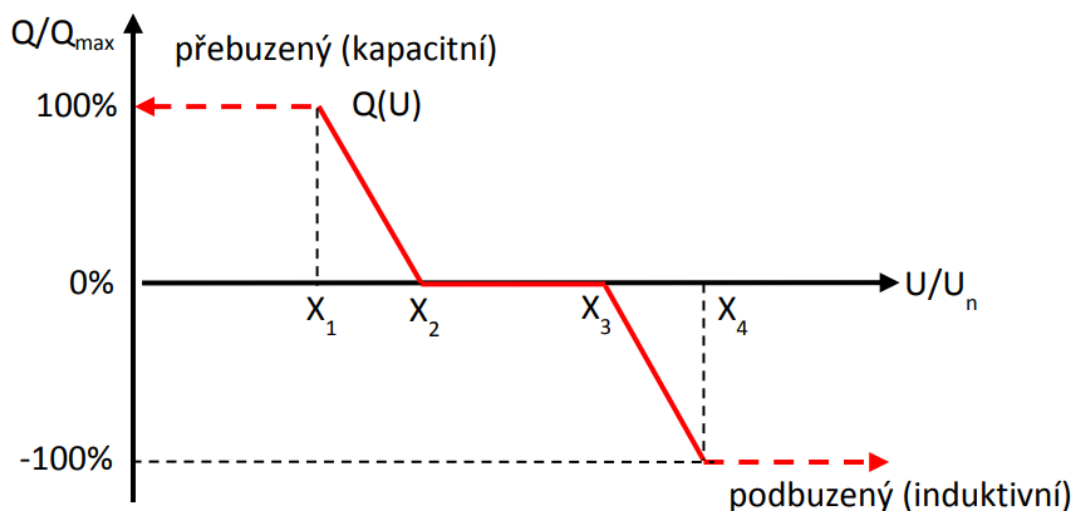
odsúhlasiť výkon, zapojenie a spôsob regulácie kompenzačného zariadenia prípadne aj hradenie harmonických alebo frekvencie HDO vhodnými indukčnosťami.

Spôsob kompenzácie vrátane rešpektovania vplyvu rozvodov výroby je nutné odsúhlasiť s PDS. [1]

6.4.2 Jalový výkon závislý na napätí – funkcia $Q(U)$

Táto funkcia vyžaduje vzhľadom na predpokladaný rozsah využitia u veľkého počtu blízkych zdrojov pripojovaných do siete nn koordináciu ich parametrov pre bezpečnú prevádzku.

Charakteristická $Q(U)$ krivka podľa obrázku 6.7 musí byť nastaviteľná a nastavenie určí PDS podľa miestnych sieťových podmienok.



Obrázok 6.7 Charakteristická funkcia $Q(U)$ [1]

$Q(U)$ charakteristika je definovaná štyrmi bodmi, ktoré definujú tvar regulačnej charakteristiky. Tieto body definujú, kedy zo siete jalový výkon odoberáme a kedy naopak jalový výkon do siete dodávame.

Pri nastavení parametrov regulačnej charakteristiky pre konkrétny prípad je potrebné brať ohľad na veľkosť kolísania napätia na prípojnici, veľkosť odbočiek nadržadného napájacieho transformátoru a vhodnom nastavení strmosti regulácie s ohľadom na stabilitu napätia pozdĺž vývodu vplyvom dodávky výkonu od výroby.

Po skokovej zmene napätia musí byť nesynchronný výrobný modul schopný dosiahnuť 90 % zmeny jalového výkonu na výstupe do doby t_1 , ktorú stanoví príslušný prevádzkovateľ sústavy v rozpätí 1 až 5 sekúnd a musí sa ustáliť na stanovenej hodnote pomocou strmosti do doby t_2 stanovenej príslušným prevádzkovateľom sústavy v rozpätí 5 až 60 sekúnd s prípustnou odchýlkou jalového výkonu. Tieto časové hodnoty stanovuje príslušný prevádzkovateľ sústavy. [1]

6.5 Automatické opätovné pripojenie výrobní

Automatické pripojenie je povolené, ak príslušný PDS v koordinácii s príslušným PPS nestanoví inak a PDS nezakázal opätovné pripojenie z dôvodu riadenia činného výkonu v závislosti na prevádzkových podmienkach.

Výrobne s výrobnými modulmi A až C podľa ČSN EN 50 438 ed.2 aj výrobne do 800 W odpojené od siete z dôvodu odchýlky napätia alebo frekvencie môžu byť opätovne automaticky pripojené k DS podľa nasledujúcich kritérií:

- Po dobu 300 sekúnd je napätie v rozmedzí 85 – 110 % menovitej hodnoty a frekvencia v rozmedzí 47,5 – 50 Hz
- Postupné zvýšenie výkonu od nuly s gradientom maximálne 10% P_n za minútu

V prípade, že výrobne s VM kategórie A až C nie sú schopné postupného zvýšenia výkonu sa výrobne pripoja k DS po dobe, ktorú stanoví PDS v intervale 0 – 20 minút.

Pri automatickom pripojení musí dodávaný výkon z výrobní rešpektovať požiadavky na výkonové obmedzenie z dôvodu riadenia činného výkonu v závislosti na prevádzkových podmienkach. Synchronizácia výrobní so sieťou musí byť plne automatická. [1]

7. NAVRHOVANÝ OBJEKT

Navrhovaný objekt bude fotovoltaická elektrárň s inštalovaným výkonom 250 kWp s akumuláciou elektrickej energie do batérií. Navrhovaný FVS bude umiestnený na objekte, ktorý pozostáva z troch budov. Voľba a rozmiestnenie jednotlivých zariadení je uvedená v nasledujúcich kapitolách.

7.1 Voľba a výpočet FV modulov

Zvolili sme FV moduly značky Longi s výkonom 370 Wp. Tieto FV moduly boli zvolené na základe ich pomerne vysokej účinnosti v danej výkonovej kategórii, ich rozmerom a dobrom pomere cena/výkon. Ostatné technické parametre zvolených modulov sú uvedené v tabuľke 7.1.

Tabuľka 7.1 Technické údaje FV modulu Longi LR4-60HIH-370M [14]

Elektrické parametre	
Maximálny výkon	370 Wp
Napätie naprázdno	40,9 V
Skratový prúd	11,52 A
Napätie pri maximálnom výkone	34,4 V
Prúd pri maximálnom výkone	10,76 A
Účinnosť	20,9 %
Výkonový tolerancia	0 ~ + 5 W
Prevádzkové podmienky	
Maximálne systémové napätie	1500 VDC
Prevádzková teplota	-40 °C ~ + 85 °C
Maximálne zaťaženie snehom	5400 Pa
Menovitá prevádzková teplota článku	45 °C +/- 2 °C
Teplotný koeficient napätia	+ 0,048 % / °C
Teplotný koeficient prúdu	- 0,270 % / °C

Výpočet potrebného počtu FV modulov:

$$n = \frac{P_i}{P_{i_{modFV}}} = \frac{250 \cdot 10^3}{370} = 675,68 \text{ ks}$$

Z výpočtu potrebného počtu FV modulov vyplýva, že navrhovaný systém bude pozostávať z 676 modulov.

Celkový výkon modulov:

$$P_{DC} = n \cdot P_{i_{mod}} = 676 \cdot 370 = 250\,120 \text{ Wp}$$

Ako doplnok bude na každý FV modul nainštalovaný DC optimizér Tigo TS4-A-O, ktorý zvyšuje výnosnosť FVS. Tento modul dokáže monitorovať a optimalizovať výrobu FVE na úrovni panelov, zmierniť následky nežiadúceho tienenia panelov alebo v prípade potreby odpojiť FVE na úrovni panelov (automaticky alebo manuálne). Pre zaistenie komunikácie týchto optimizérov s používateľským rozhraním budú na objektoch nainštalované Tigo Access Point (TAP), ktoré budú prenášať údaje do Tigo CloudConnect, ktorý bude umiestnený v rozvádzači R-AC3 v budove SO03. TCC bude pripojený k internetovej sieti a tým umožní vzdialený prístup k optimizérom. Technická špecifikácia zvoleného optimizéru je uvedená v tabuľke 7.2.

Tabuľka 7.2 Technické údaje optimizéru Tigo TS4-A-O [17]

Max. vstupné napätie	90 V
Rozsah napätia	16 – 90 V
Maximálny vstupný prúd	12 A
Maximálny pripojený výkon	500 W
Dĺžka výstupného kábla	1,2 m
Typ konektoru	MC4
Typ komunikácie	Bezdrôtová
Rozsah prevádzkových teplôt	-40 °C ~ +85 °C
Krytie	IP 68
Hmotnosť	520 g

7.2 Voľba striedačov

Špičkový výkon navrhovaného FVS je 250 kW a bude rozdelený medzi štyri 50 kW striedače a dva 15 kW striedače. Výkon zvolených striedačov P_{AC} bol navrhnutý v rozmedzí 1 – 1,15 maximálneho výstupného výkonu P_{DC} . Na trhu je dostupné množstvo striedačov v širokej škále výkonov od mnohých výrobcov. Zvolili sme striedače od nemeckého výrobcu Fronius. Ako striedače s výkonom 50 kW boli zvolené trojfázové striedače Fronius Tauro 50-3-D a striedače s výkonom 15 kW Fronius Symo 15.0-3-M. Tieto striedače boli zvolené na základe ich technických údajov a dobrej dostupnosti informácií. Ich technické údaje sú zobrazené v tabuľkách 7.3 a 7.4.

Tabuľka 7.3 Technické údaje striedača Fronius symo 15.0.3-M 15 kVA 21,7 A [12]

Vstupné parametre	
Počet MPP trackerov	2
Max. vstupný prúd PV1 / PV2	33/27 A
Max. skratový prúd	49,5/40,5 A
Rozsah vstupného napätia	200 – 1000 V
Užitočný rozsah napätia MPP	200 – 800 V
Štartovacie napätie dodávky	200 V
Max. DC výkon	22,5 kWp
Výstupné parametre	
Menovitý výkon	15 kW
Max. výstupný výkon	15 kVA
Výstupný prúd	21,7 A
Sieťové pripojenie	3 ~ NPE 400/230, 3 ~ NPE 380/220 V
Rozsah napätia	150 – 280 V
Frekvencia	50 / 60 Hz
Rozsah frekvencie	45 – 65 Hz
Činiteľ skreslenia	1,5 %
Účinník	0 – 1 ind./kap.
Krytie	IP65
Hmotnosť	43,4 kg
Kategória prepätia (DC/AC)	2 / 3
Max. účinnosť	98 %
Účinnosť Euro	97,6 %
Koncepcia	beztransformátorový
Inštalácia	vnutorná / vonkajšia
Chladenie	riadené chladenie vzduchom
Max. nadmorská výška	2000 / 3400 m
Rozhranie	WLAN / Ethernet LAN

Tabuľka 7.4 Technické údaje striedača Fronius Tauro 50-3-D [13]

Vstupné parametre	
Počet MPP trackerov	3
Max. vstupný prúd	134 A
Max. skratový prúd	240 A
Rozsah vstupného napätia	200 – 1000 V
Užitočný rozsah napätia MPP	400 – 870 V
Štartovacie napätie dodávky	200 V
Max. DC výkon	75 kWp
Max. vstupný / skratový prúd PV1	36 / 72 A
Max. vstupný / skratový prúd PV2	36 / 72 A
Max. vstupný / skratový prúd PV3	72 / 125 A
Výstupné parametre	
Menovitý výkon	50 kW
Max. výstupný výkon	50 kVA
Výstupný prúd	72,5 A pri 230 V
Rozsah napätia	180 – 270 V
Frekvencia	50 / 60 Hz
Rozsah frekvencie	45 – 65 Hz
Činiteľ skreslenia	< 3 %
Účinník	0-1 ind./kap.
Krytie	IP65
Hmotnosť	92 kg
Kategória prepätia (DC/AC)	2 / 3
Max. účinnosť	98,5 %
Účinnosť Euro	97,8 / 98,3 / 97,9 (400Vdc / 600Vdc / 800Vdc / 870Vdc)
Koncepcia	beztransformátorový
Inštalácia	vnutorná / vonkajšia
Chladenie	aktívne chladenie a dvojtenný systém
Max. nadmorská výška	4000 m
Rozhranie	WLAN / RS485 / USB / LAN RJ 45

7.3 Voľba batériového systému

Na trhu je dostupných mnoho typov akumulátorov, no nie každý z nich je pre účely akumulácie energie z fotovoltaickej elektrárne vhodný. V minulosti boli ako solárne batérie najčastejšie inštalovanými olovené batérie, no v súčasnosti sú najviac používanými lítiové batérie, ktoré odstraňujú ich nedostatky. Existuje mnoho typov lítiových batérií, no pre využitie v spojení s fotovoltaikou sa najviac osvedčili lítium-železo-fosfátové batérie. Navrhnuté akumulčné zariadenie typu LiFePO4 bolo zvolené na základe dobrých technických vlastností ako počet cyklov, hĺbka vybitia a dobrá odolnosť voči teplotným výkyvom. Celková kapacita navrhnutého akumulčného systému je minimálne 250 kWh a bude zložený z LiFePO4 modulárnych batérií M38210-S od výrobcu EVE. Technické parametre zvolených batériových modulov sú uvedené v tabuľke 7.5.

Tabuľka 7.5 Technické údaje modulárnej batérie EVE M38210-S [15]

Typ batérie	LiFePO4
Kapacita	8,1 kWh
Využitelná kapacita	7,3 kWh
Hĺbka vybitia DOD	90%
Menovité napätie	38,4 V
Prevádzkové napätie	36 – 43 V
Vnútorň odpor	$\leq 10 \text{ m}\Omega$
Životnosť batérie	≥ 6000 cyklov
Maximálny nabíjací prúd	105 A
Maximálny vybíjací prúd	105 A
Prevádzková teplota	-10 °C ~ 50 °C*
Vlhkosť vzduchu	15% ~ 85%
Zapojenie modulov	6 ~ 20 v sérií
Jednotka BMU	HV900105
Sledované parametre	Systémové napätie a prúd, napätie a teplota článku
Komunikácia	CAN / RS-485

*V prípade prevádzky v teplotách pod 0 °C alebo nad 40 °C bude výkon obmedzený.

Výpočet počtu batériových modulov:

$$n = \frac{P_i}{P_{i_{\text{modbat}}}} = \frac{250 \cdot 10^3}{8,1 \cdot 10^3} = 30,86 \text{ ks}$$

Z výpočtu potrebného počtu batériových modulov vyplýva, že navrhovaný batériový systém by mal pozostávať minimálne z 31 ks batériových modulov. Pre zaistenie

rovnakého počtu batériových modulov v jednotlivých clustroch bude akumulčný systém pozostávať z 33 ks modulov rozdelených do troch clustrov po 11 modulov. Výsledná kapacita akumulčného systému v tomto zapojení bude 267,3 kWh. Tento konkrétny batériový systém sa nazýva Storion T100 a jeho technické údaje sú uvedené v tabuľke 7.6.

Tabuľka 7.6 Technické údaje batériového systému Storion-T100 [16]

Systémové parametre	
Model	Storion-T100
Menovitý AC výkon	100 kW
Rozsah kapacity	34,4 – 1032,2 kWh
Typ batérie	LiFePO4
Model batériového modulu	M38210-S
Parametre striedača	
Max. nabíjací / vybíjací prúd	300 A
Max. nabíjací / vybíjací výkon	100 kW
Rozsah napätia batérie	520 ~ 900 V
Menovité napätie	400 V
Rozsah sieťového napätia	340 ~ 460 V
Menovitá frekvencia	50 / 60 Hz
Menovitý AC prúd	144 A
Rozsah napätia v ostrovnom režime	360 ~ 440 V
Účinník	0-1 ind./kap.
Parametre HV jednotky	
BMU model	HV900105 (pri zapojení viac ako 1 clustru)
Rozsah DC napätia	200 ~ 900 V
Menovitý výstupný prúd	105 A
Prepojenie batériových modulov	8 ~ 12 ks M38210-S v sérii v clustri
Prepojenie clustrov	Max. 20 clustrov v sérii

7.4 Rozloženie a vyhotovenie FVS

Fotovoltaický systém bude umiestnený na strechách podniku, ktorý pozostáva z troch budov. Počet panelov na strechách jednotlivých objektov bol zvolený na základe výkonu zvolených striedačov, rozmerov jednotlivých budov a ich geometrickom usporiadaní (vrátane objektov na strechách, ktoré by tienili FV modulom). Rozmiestnenie jednotlivých FV modulov a striedačov na jednotlivých objektoch je uvedené v tabuľke 7.7.

Tabuľka 7.7 Rozmiestnenie FV modulov a striedačov na jednotlivých objektoch

Budova	Počet a výkon modulov	Výkon striedačov P_{AC}
SO 01	296 x 370 Wp	2 x 50 kW
SO 02	296 x 370 Wp	2 x 50 kW
SO 03	84 x 370 Wp	2 x 15 kW, 1 x 100 kW (akumulácia 267,3 kWh)

Na budovách budú okrem zariadení spomenutých v tabuľke 7.7 umiestnené aj jednosmerné a striedavé rozvádzače.

Akumulačné batérie a ich striedač budú umiestnené v budove SO 03.

7.4.1 Zapojenie FV modulov

Pre správny návrh zapojenia FV modulov, aby neboli prekročené maximálne alebo minimálne vstupné parametre zvolených striedačov je nutné vypočítať maximálne a minimálne napätie naprázdno FV modulov. Z týchto vypočítaných hodnôt sme následne vypočítali minimálny a maximálny počet panelov v jednom stringu a maximálny počet paralelných stringov pripojených k danému striedaču.

Výpočet napätia naprázdno FV modulov pri teplote $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$U_{OC}(-15^{\circ}\text{C}) = U_{OC} \cdot (1 + (t_{min} - t_{STC}) \cdot k_{UOC})$$

$$U_{OC}(-15^{\circ}\text{C}) = 40,9 \cdot (1 + (-15 - 25) \cdot (-0,0027)) = 45,317\text{ V}$$

Výpočet maximálneho počtu FV modulov v stringu:

$$N_{max} = \frac{U_{max,striedac}}{U_{OC}(-15^{\circ}\text{C})}$$

$$N_{max} = \frac{1000}{45,317} = 22,067\text{ ks}$$

Z vypočítanej hodnoty vyplýva, že maximálny počet FV modulov v jednom stringu je 22 ks. Táto hodnota je rovnaká pre oba striedače, pretože oba zvolené striedače majú rovnaké maximálne vstupné napätie.

Výpočet napätia FV modulov pri teplote $35\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$U_{MPP}(35^{\circ}\text{C}) = U_{OC} \cdot (1 + (t_{max} - t_{STC}) \cdot k_{UOC})$$

$$U_{MPP}(35^{\circ}\text{C}) = 40,9 \cdot (1 + (35 - 25) \cdot (-0,0027)) = 39,796\text{ V}$$

Výpočet minimálneho počtu FV modulov v stringu pre striedač Fronius Tauro 50-3-D:

$$N_{min1} = \frac{U_{MPP,min,striedac1}}{U_{MPP}(35^{\circ}C)}$$

$$N_{min1} = \frac{400}{39,796} = 10,051 \text{ ks}$$

Výpočet minimálneho počtu FV modulov v stringu pre striedač Fronius Symo 15.0-3-M:

$$N_{min2} = \frac{U_{MPP,min,striedac2}}{U_{MPP}(35^{\circ}C)}$$

$$N_{min2} = \frac{380}{39,796} = 9,549 \text{ ks}$$

Výpočet maximálneho prúdu FV modulu pri teplote $-15^{\circ}C$:

$$I_{SC}(-15^{\circ}C) = I_{SC} \cdot (1 + (t_{max} - t_{STC}) \cdot k_{Isc})$$

$$I_{SC}(-15^{\circ}C) = 11,52 \cdot (1 + (-15 - 25) \cdot (-0,00048)) = 11,741 \text{ A}$$

Výpočet maximálneho počtu stringov pre striedač Fronius Tauro 50-3-D:

$$M_{max1} = \frac{I_{DC \text{ max,striedac1}}}{I_{SC}(-15^{\circ}C)} = \frac{134}{11,741} = 11,413 \text{ ks}$$

Výpočet maximálneho počtu stringov pre striedač Fronius Symo 15.0-3-M:

$$M_{max2} = \frac{I_{DC \text{ max,striedac2}}}{I_{SC}(-15^{\circ}C)} = \frac{51}{11,741} = 4,344 \text{ ks}$$

Z vypočítaných hodnôt vyplýva, že minimálny počet FV modulov v jednom stringu pripojených k striedaču Fronius Tauro 50-3-D je 11 ks a maximálny počet stringov pripojených k tomuto striedaču je 11 ks. Pre striedač Fronius Symo 15.0-3-M je minimálny počet FV panelov v stringu 10 ks a maximálny počet stringov pripojených k tomuto striedaču je 4 ks. Sério-paralelné zapojenie FV modulov na jednotlivých budovách je uvedené v nasledujúcej tabuľke 7.8.

Tabuľka 7.8 Zapojenie FV modulov jednotlivých striedačov

Striedač	Vstup	Počet paralelných stringov	Počet FV modulov v stringu
Fronius Tauro 50-3-D 50 kW	PV1	3	13
	PV2	3	13
	PV3	5	14
Fronius Symo 15.0-3-M 15 kW	PV1	2	14
	PV2	1	14

7.5 Voľba ochranných prvkov a vodičov

Medzi FV modulmi a striedačmi budú umiestnené DC rozvádzače, v ktorých budú umiestnené jednosmerné odpojovače s hodnotou 1000 V, 32 A. V odpojovači budú umiestnené poistky s hodnotou 1000 V, 16 A.

V jednosmerných rozvádzačoch budú umiestnené aj zvodiče prepätia, ktorých hodnotu určíme ako maximálnu hodnotu napätia v stave naprázdno v zimnom období s rezervou 15 %.

$$U_{zv1} = 1,15 \cdot n_{string1} \cdot U_{0C}(-15\text{ }^{\circ}\text{C}) = 1,15 \cdot 13 \cdot 45,317 = 677,489\text{ V}$$

$$U_{zv2} = 1,15 \cdot n_{string2} \cdot U_{0C}(-15\text{ }^{\circ}\text{C}) = 1,15 \cdot 14 \cdot 45,317 = 729,604\text{ V}$$

Na základe vypočítaných hodnôt sme zvolili prepäťovú ochranu Hakel PIIM PV 1000 DS Vseries.

Jednosmerný rozvod bude realizovaný solárnym káblom H1Z2Z2-K s prierezom 6 mm².

V striedavých rozvádzačoch v budovách SO 01 a SO 02 budú umiestnené aj ističe s hodnotou 80 A a v budove SO 03 s hodnotou 25 A, ktorých hodnota bola navrhnutá na základe výstupných údajov striedačov. Istia prepojenie medzi jednotlivými striedačmi a striedavými rozvádzačmi. Vývody zo striedavých rozvádzačov RAC-1 a RAC-2 budú pripojené k striedavému rozvádzaču RAC-3 umiestnenému v budove SO 03. V striedavých rozvádzačoch budú umiestnené aj zvodiče prepätia typu T1 + T2 na menovité prevádzkové napätie 400 V. Zvolili sme prepäťové ochrany Hakel HLSA12,5-440/3+0S.

Striedavý rozvod za striedačom bude v prípade striedača Fronius Tauro 50-3-D realizovaný káblom CYKY-J 5x35 mm² a v prípade striedača Fronius Symo 15.0-3-M káblom CYKY-J 5x4 mm². Výpočtovým programom Sichr bola overená vhodnosť zvolených prierezov vodičov. Žiadny z úbytkov napätí nepresiahol hodnotu 5 %.

Uzemnenie jednotlivých striedačov je realizované vodičom CYA 10 a uzemnenie zvodičov prepätia vodičom CYA 16.

8. ZÁVER

Cieľom tejto diplomovej práce bolo zoznámiť sa s požiadavkami pripojovania výrobných modulov do siete, ich dispečerské riadenie a následný návrh usporiadania systému pre vybraný objekt.

V prvej časti tejto diplomovej práce sme sa zoznámili s požiadavkami pre pripojovanie výrobní do distribučnej siete, s prihlasovacím konaním pre paralelnú prevádzku s DS a podkladmi potrebnými pre podanie žiadosti o pripojenie. Objasnili sme si základné možné vyhotovenia fotovoltaiických systémov, ich riadenie vrátane diaľkového dispečerského riadenia. Oboznámili sme sa so správaním výrobní v sieti a požiadavkami na statickú a dynamickú podporu siete.

V nasledujúcej časti sme navrhli fotovoltaiický systém s výkonom 250 kWp s akumulárnym zariadením. Zvolili sme jednotlivé zariadenia ako FV moduly, striedače, optimizéry výkonu a akumulárné zariadenie, ktorých technické parametre je možné vidieť v tabuľkách 7.1 až 7.6. Zvolili sme FV moduly značky Longi s výkonom 370 Wp a vypočítali sme ich potrebný počet, ktorý je 676 ks. Každý FV modul bude mať navyše nainštalovaný DC optimizér Tigo TS4-A-O, ktorý dokáže monitorovať a optimalizovať výrobu FVE na úrovni panelov, zmierniť následky nežiadúceho tienenia panelov alebo v prípade potreby odpojiť FVE na úrovni panelov. Následne bol zvolený potrebný výkon a počet striedačov. Použitie budú štyri striedače Fronius Tauro 50-3-D s výkonom 50 kW a dva striedače Fronius Symo 15.03-M s výkonom 15 kW. Ako akumulárné zariadenie bolo zvolené úložisko Storion T100 od výrobcu EVE, ktoré pozostáva z modulárných LiFePO₄ batérií. Celková kapacita navrhnutého akumulárného zariadenia je 267,3 kWh. Rozmiestnenie zvolených zariadení na jednotlivých budovách, je uvedené v tabuľke 7.7. Výpočtom bol overený maximálny a minimálny počet FV modulov v stringu a maximálny počet paralelných stringov pripojených k danému striedaču.

Ako posledné sme vyhotovili realizačnú projektovú dokumentáciu, ktorá pozostáva z textovej a výkresovej časti. Textová časť zahŕňa sprievodnú správu, technickú správu a rozpočet. Výkresová časť pozostáva zo situačných výkresov, jednopólových schém systému, schém jednosmerných a striedavých rozvádzačov, výkresov strechy objektov a výkresov slaboprúdových a komunikačných rozvodov. Keďže objekt pozostáva z troch budov a zapojenie jednotlivých zariadení nie je na každej budove identické, boli pre každú budovu vyhotovené vyššie zmienené výkresy osobitne.

LITERATÚRA

- [1] ČEZ Distribuce, a.s. [online]. [cit. 2021-12-15]. PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2021_priloha-4.pdf
- [2] JAKAMA-GE [online]. [cit. 2021-12-15]. Ostrovné elektrárne – Off-grid riešenie Dostupné z: <https://www.jakama-ge.sk/Ostrovne-fotovolticke-elektrarne>
- [3] H. Abdel-Gawad and V. K. Sood, "Overview of connection topologies for grid-connected PV systems," 2014 IEEE 27th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), Toronto, ON, 2014, pp. 1-8.
- [4] Hybrid PV/battery-storage unit for residential applications - Scientific Figure on ResearchGate. [online]. [cit. 2021-12-15]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Architecture-options-for-battery-PV-connection-a-DC-coupled-b-AC-coupled_fig3_332243769
- [5] SIEŤOVÉ ELEKTRÁRNE. JAKAMA-GE [online]. [cit. 2021-12-15]. JAKAMA-GE Dostupné z: <https://www.jakama-ge.sk/jakama-ge/eshop/2-1-SIETOVE-FV-ELEKTRARNE>
- [6] Solartec.eu [online]. [cit. 2021-12-15]. Schéma možných pripojení. Dostupné z: <https://www.solartec.eu/rodinne-domy-a-strechy/fotovoltaika/schema-moznych-pripojeni>
- [7] Motlík, Jan, et al. Obnovitelné zdroje energie a jejich využití v ČR. Praha: ČEZ a. s., 2007. ISBN 978-80-239-8823-9.
- [8] MASTNÝ, P. Studijní podklady předmětu Malé zdroje elektrické energie. Vydavatel: UEEN FEKT VUT v Brně, 2015
- [9] Photovoltaic system monitoring [online]. Dostupné z: <https://www.pvresources.com/en/inverters/monitoring.php>
- [10] V.E. Group. Dálkové dispečerské řízení [online]. [cit. 2021-12-15]. Dostupné z: http://www.ve-group.cz/images/Dalkove_dispecerske_rizeni_VE_GROUP.pdf
- [11] ČEZ Distribuce, a.s. [online]. [cit. 2021-12-15] PROVOZNÍ INSTRUKCE. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/provozni-instrukce-regulace.pdf>
- [12] ECO produkt [online]. [cit. 2021-12-15] Menič Fronius Symo 15.0.3-M. Dostupné z: <https://ecoprodukt.sk/p/77942-menic-fronius-symo-15-0-3-m-15kva-21-7a-18223>
- [13] Fronius solar energy [online]. [cit. 2021-12-15] Fronius Tauro 50-3D. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/solarni-energie/instalacni-firmy-a-partneri/technicke-udaje/vsechny-vyrobyk/stridac/fronius-tauro/tauro-50-3-d>
- [14] Ecoprodukt [online]. [cit. 2021-12-15] Solárny panel Longi 370Wp. Dostupné z: <https://ecoprodukt.cz/p/86434-solarni-panel-monokrystalicky-longi-370wp-cerny>

ram-32035?gclid=EAIaIQobChMIjo64mq-M9gIVTJBoCR02MgZ3EAQYAiABEgLCE_D_BwE

- [15] Alpha.ess [online]. [cit. 2021-12-15] BATTERY M38210-S. Dostupné z: <https://alpha-ess.co.nz/wp-content/uploads/2021/02/Datasheet-COMMERCIAL-M38210-S.pdf>
- [16] Alpha.ess [online]. [cit. 2021-12-15] STORION T50/T100. Dostupné z: <https://alpha-ess.co.nz/wp-content/uploads/2021/02/Datasheet-STORION-T50.pdf>
- [17] Tigoenergy [online]. [cit. 2021-12-15] Tigo TS4-A-O. Dostupné z: [https://assets-global.website-files.com/5fad551d7419c7a0e9e4aba4/60103c6ce1e19276818c61d5_TS4-A-O%20\(Optimization%20Add-on\)%20\(TU%CC%88V\).pdf](https://assets-global.website-files.com/5fad551d7419c7a0e9e4aba4/60103c6ce1e19276818c61d5_TS4-A-O%20(Optimization%20Add-on)%20(TU%CC%88V).pdf)

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

Skratky:

OZE	Obnoviteľné zdroje energie
FV	Fotovoltaický(á)
FVS	Fotovoltaický systém
FVE	Fotovoltaická elektráreň
VTE	Veterná elektráreň
VM	Výrobný modul
HDO	Hromadné diaľkové ovládanie
PPDS	Pravidlá prevádzkovania distribučných sústav
DS	Distribučná sústava
ES	Elektrizačná sústava
PDS	Prevádzkovateľ distribučnej sústavy
AC	Striedavý prúd (Alternating current)
DC	Jednosmerný prúd (Direct current)
PPP	Prvé paralelné pripojenie
ERÚ	Energetický regulačný úrad
MPPT	Sledovanie bodu maximálneho zaťaženia (Maximum power point tracker)
ČSN	Česká technická norma
PN	Podniková norma
PNE	Podnikové normy pre energetiku
RfG	Európsky sieťový kódex (Requirements for Generators)
RTU	Vzdialená terminálová jednotka (Remote Terminal Unit)
GSM	Telekomunikačný štandard (Groupe Spécial Mobile)
GPRS	Mobilná dátová sieť (General Packet Radio Service)
IZS	Integrovaný záchranný systém
BPS	Bioplynová stanica

Symboly:

U	napätie	(V)
I	prúd	(A)
P	činný výkon	(W)
Q	jalový výkon	(Var)
f	frekvencia	(Hz)
$\cos \varphi$	účinník	(-)

ZOZNAM PRÍLOH

PRÍLOHA A – PROJEKTOVÁ DOKUMENTÁCIA - UMIESTNENÁ V PRILOŽENEJ ZLOŽKE

OBSAH PRÍLOHY A:

TEXTOVÁ ČASŤ

A1 - SPRIEVODNÁ SPRÁVA

B1 - TECHNICKÁ SPRÁVA

B2 - ROZPOČET

VÝKRESOVÁ ČASŤ

C1 – SITUAČNÉ ROZMIESTNENIE OBJEKTU

D2.1.2 – SO 01 – JEDNOPÓLOVÁ SCCHÉMA ZAPOJENIA

D2.1.3 – SO 01 – ZAPOJENIE ROZVÁDZAČA R-FV1.1/2

D2.1.4 – SO 01 – ZAPOJENIE ROZVÁDZAČA R-AC1

D2.1.5 – SO 01 – REZ

D2.1.6 – SO 01 – ROZVRHNU Tie A ZAPOJENIE FV PANELOV NA STRECHE

D2.2.2 – SO 02 – JEDNOPÓLOVÁ SCCHÉMA ZAPOJENIA

D2.2.3 – SO 02 – ZAPOJENIE ROZVÁDZAČA R-FV2.1/2

D2.2.4 – SO 02 – ZAPOJENIE ROZVÁDZAČA R-AC2

D2.2.5 – SO 02 – REZ

D2.2.6 – SO 02 – ROZVRHNU Tie A ZAPOJENIE FV PANELOV NA STRECHE

D2.3.2 – SO 03 – JEDNOPÓLOVÁ SCCHÉMA ZAPOJENIA

D2.3.3 – SO 03 – ZAPOJENIE ROZVÁDZAČA R-FV3.1/2

D2.3.4 – SO 03 – ZAPOJENIE ROZVÁDZAČA R-AC3

D2.3.5 – SO 03 – REZ

D2.3.6 – SO 03 – ROZVRHNU Tie A ZAPOJENIE FV PANELOV NA STRECHE

D2.3.7 – SO 03 – UMIESTNENIE TECHNOLOGIE AKUMULÁCIE