



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Katedra elektroenergetiky

Fakulta elektrotechnická

Přechodové děje v ostrovních systémech

Transients in Island Operation

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektroenergetika

Vedoucí práce: Müller Zdeněk doc. Ing., Ph.D.

Jaroslav Kalus

Praha 2016

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Jaroslav Kalus**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Přechodové děje v ostrovních systémech**

Pokyny pro vypracování:

1. Popište princip ostrovního provozu
2. Proveďte vyhodnocení stability autonomního systému s obnovitelnými zdroji
3. Navrhněte technická opatření pro zvýšení stability tohoto systému a proveďte jejich zhodnocení

Seznam odborné literatury:

- [1] Obnovitelné zdroje energie, FCC Public ISBN 80-901985-8-9, 2001.
- [2] Obnovitelné zdroje energie 1, ISBN 978-80-969777-0-3, Bratislava 2007.
- [3] Mastný a kol.: Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha, 2011.

Vedoucí: doc. Zdeněk Müller Ing., Ph.D.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2017/2018



doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 18. 4. 2016

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na provoz autonomního systému, který je situován do výrobního prostředí menší společnosti. Společnost vedle běžných spotřebičů využívá zařízení požadující vyšší krátkodobý výkon, než může být ze standardního zálohování dodán, to může mít za následek ztrátu stability systému. Cílem práce je popsat jednotlivé části autonomního systému a zhodnotit jejich možnosti využití pro zmírnění či odstranění přechodových jevů spojených s provozem větších zařízení.

Klíčová slova

ostrovní provoz, autonomní systém, měnič, střídač , fly-wheels, superkapacitor, asynchroní motor, simulace, záběrný proud, statická stabilita, dynamická stabilita, hybridní systém, MATLAB, simulink, přechodový jev

Abstract

This diploma thesis deals with the workings of an autonomous system implemented into a production environment of a small business. Apart from regular appliances, small businesses use devices requiring short-term high intensity power output that cannot be provided by a standard power backup, which can make the system unstable. The aim of the thesis is to describe individual parts of the proposed autonomous system and assess their potential to reduce or eliminate transitional phenomena connected with the operation of larger devices.

Keywords

island operation, autonomy system, inverter, regulator, fly-wheels, supercapacitors, asynchronous machine, simulation, starting current, static stability, dynamic stability, hybrid system, MATLAB, simulink, transient phenomenon

Prohlášení

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

V Praze dne

.....

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D. za časovou flexibilitu a rady při vypracovávání práce.

Obsah

Seznam použitých symbolů.....	8
Seznam obrázků	11
Seznam příloh.....	13
1. Úvod.....	14
1.1. Cíle práce.....	14
1.2. Zaměření práce.....	15
2. Ostrovní provoz.....	15
2.1. Vlastní spotřeba.....	16
2.1.1. Výpočet příkonu.....	16
2.1.2. Úložiště elektrické energie	17
2.1.3. Akumulátory.....	18
2.1.4. Flywheels.....	21
2.1.5. Superkapacitory.....	23
2.1.6. Měniče.....	25
2.2. Zátěž.....	28
2.2.1. Elektromotory.....	28
2.2.2. Zařízení s asynchronními motory.....	29
3. Stabilita systému.....	32
3.1. Statická stabilita	32
3.1.1. Závislost stability na buzení.....	35
3.2. Dynamická stabilita.....	37
3.2.1. Metoda ploch.....	37
3.2.2. Spouštění největšího spotřebiče	39
4. Popis a dimenzování systému.....	41
4.1. Vybavení objektu	41
4.2. Využití obnovitelných zdrojů.....	41
4.2.1. Rozložení výkonu.....	43
4.2.2. Předpokládaná výroba	44

4.2.3.	Akumulace	46
4.2.4.	Střídač	47
4.3.	Modelování energetického systému	49
4.3.1.	Model systému	50
4.3.2.	Měnič	50
4.3.3.	PV Modul.....	51
4.3.4.	Baterie	51
4.3.5.	Superkapacitor	52
4.3.6.	Flywheels	52
4.3.7.	Vybavení objektu	53
4.3.8.	Simulace odporové zátěže.....	53
4.3.9.	Spínání největšího spotřebiče.....	55
4.3.10.	Spínání série zařízení	56
4.3.11.	Implementace superkapacitoru.....	58
4.3.12.	Implementace Fly-Wheels	59
4.3.13.	Výpadek měniče – Zálohování pomocí Fly-Wheels.....	60
5.	Závěr	62

Seznam použitých symbolů

P_{ni}	Instalovaný výkon všech spotřebičů objektu (kW)
S_p	Zdánlivý výkon (kW)
$\cos\varphi$	Účinník (°)
η_m	Střední účinnost spotřebičů při daném využití (%)
η_S	Účinnost napájecí soustavy od místa napojení VS (%)
P_{Si}	Instalovaný výkon spotřebičů, které jsou současně v chodu (kW)
P_i	Skutečný výkon spotřebičů, které jsou současně v chodu (kW)
P_i	Skutečný výkon spotřebičů, které jsou současně v chodu (kW)
E_{fw}	Kinetická energie setrvačnicku (kJ)
I	Setrvačnost rotující masy ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)
ω	Uhlová rychlost ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$)
m	Hmotnost (kg)
r	Poloměr (mm)
C_{sc}	Kapacita superkapacitoru (F)
A	Plocha (m^2)
ε_0	Permitivita vakua ($\text{F}\cdot\text{m}^{-1}$)
ε_r	Relativní permitivita ($\text{F}\cdot\text{m}^{-1}$)
d	Vzdálenost mezi deskami kondenzátoru (μm)
E_{sc}	Energie superkapacitoru (J)
U_{sc}	Napětí superkapacitoru (V)
M	Moment motoru ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)
M_z	Moment zatížení ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)
J	Moment setrvačnosti hmot ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)
ω_m	Mechanická uhlová rychlost ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$)
t	Čas (s)
S_o	Plocha střechy (m^2)
α_o	Sklon střechy (°)
a_o	Šířka objektu (m)
b_o	Délka objektu (m)
a_{pv}	Délka panelu (mm)

b_{PV}	Šířka panelu (mm)
β_{PV}	Sklon panelu ($^{\circ}$)
S_{PV}	Plocha panelu (m^2)
c_{PV}	Výška modulu (mm)
d_{OPV}	Vzdálenost další řady modulů (m)
S_{OPV}	Plocha odsazení (m^2)
S_P	Plocha panelu včetně odsazení (m^2)
n_r	Počet řad
n_{PVR}	Počet řad fotovoltaických panelů v řadě
n	Počet fotovoltaických panelů
P_{PV}	Výkon panelu (kW)
P_{IN}	Instalovaný výkon (kW)
P_i	Výkon nového systému v měsíci (kW)
P_{ir}	Naměřený výkon referenčního systému v měsíci (kW)
P_{is}	Instalovaný výkon referenčního systému (kW)
P_n	Instalovaný výkon nového systému (kW)
E_d	Průměrná denní produkce elektřiny z daného systému (kWh)
E_m	Průměrná měsíční výroba elektřiny z daného systému (kWh)
H_d	Průměrný denní součet záření na metr čtvereční modulu (kWh / m^2)
H_m	Průměrný součet záření na metr čtvereční modulu daného systému (kWh / m^2)
P_{zm}	Ztráty měniče (W)
P_d	Denní spotřeba (kW)
n_d	Počet dní bez dobíjení
k_b	Koeficient využitelnosti baterii
S_q	Zdánlivý výkon měniče (kW)
K	Koeficient zohledňující neharmonický průběh proudu
η_m	Účinnost motoru (%)
$\cos\varphi_m$	Účinník motoru ($^{\circ}$)
x_z	Celková reaktance (Ω)
x_{vs}	Reaktance vlastní spotřeby (Ω)

x_m	Náhradní reaktance motoru (Ω)
i_{zm}	Záběrný proud motoru (A)
S_{nT}	Vztažný výkon transformátoru (kW)
S_{nm}	Vztažný výkon motoru (kW)
S_{vS}	Vztažný výkon vlastní spotřeby (kW)
M_{zab}	Záběrný moment ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)
U	Napětí (V)
R	Odpor (Ω)
Z	Impedance (Ω)
C	Činitel rozptylu
I_{zab}	Záběrný proud (A)
u_s	Napětí statoru (V)
u_r	Napětí rotoru (V)
ψ	Spřažený magnetický tok (Wb)
L	Indukce (H)

Seznam obrázků

1. Smart grid [9].....	15
2. Způsoby uložení energie [6]	18
3. Staniční akumulátory[6].....	18
4. Flywheels 120 a 300 kVA [7].....	22
5. Flywheels schéma [7]	23
6. Superkapacitor [5].....	24
7. Rozdělení střídačů [3].....	25
12. T-článek [2].....	32
13. T-článek nahradní schéma [2].....	32
14. Superpozice [2]	33
15. Křivka funkce stability [2].....	34
16. Závislost stability na buzení [13].....	36
17. Schéma pro ukázkou metody ploch [2].....	37
18. Znázornění metody ploch [2].....	38
19. Reaktance při spouštění spotřebiče ve VS [13].....	40
8. Vzdálenost FV Panelu [12].....	42
9. Naměření hodnoty referenčního systému	44
10. Porovnání výpočtů	46
11. Zátžitelnost měniče [9]	48
20. Model měniče.....	50
21. Podsystem měniče - hradlo k PV Modulu	51
22. PV Modul.....	51
23. Model Baterie.....	51
24. Superkapacitor model	52
25. Fly-Wheels model.....	52
26. Zátěž schéma.....	53
27. VSC - Odporová zátěž	54
28. Vdc - Odporová zátěž	54
29. VSC - Největší spotřebič	55
30. Vdc - Největší spotřebič.....	56
31. Tabulka spuštěných strojů.....	56
32. VSC - Série zařízení.....	57
33. Vdc - Série zařízení.....	57
34. VSC Superkapacitor.....	58
35. Vdc - Superkapacitor	59

36. VSC - Fly-Wheels 59
37. Vdc - Fly-Wheels 60
38. VSC - Fly-Wheels RUPS 61
39. ISC - Fly-Wheels RUPS..... 61

Seznam příloh

Akumulátor KatalogOPzS_en0312

CATERPILAR - FlyWheels

ERP Dimenzování MK

FlyWheels MATLAB

MATLAB_ostrovni_system

MATLAB_ostrovni_system_Flywheels

MATLAB_ostrovni_system_nejvetsi_spotreba

MATLAB_ostrovni_system_serie_stroju

MATLAB_ostrovni_system_supercapacitor

Product_Comparison_Matrix

PVGIS

Rozložení spotřeby

Seznam přístrojů

Střídač Datasheet

Superkapacitor MATLAB

System MATLAB

Výpočet plochy

1. Úvod

Směr energetiky se v několika posledních letech zásadně změnil. Snižování emisních limitů a navyšování povinného procenta obnovitelných zdrojů ve výrobním mixu, vede k budování nových zdrojů využívajících výhradně obnovitelné zdroje. Dochází tak k tříštění výkonu zdrojů na stále menší jednotky, které jsou rozesety po celém světě. Nemožnost předpovídat dodávku těchto zdrojů, má již dnes za následek výkonové výkyvy. Rostou tak požadavky na primární regulaci, která vyrovnává výkonové saldo, ale zároveň se projevují i do cen elektrické energie pro koncového zákazníka. Toto vede k dalšímu vývoji energetické sítě, který můžeme nazvat decentralizace.

Decentralizace sama o sobě říká, že požadovaný výkon má být vyroben co nejefektivněji a co nejbližší spotřeby. Proto jsou ideálním řešením FVE, VTE a kogenerační jednotky, avšak využití obnovitelných zdrojů sebou nese další požadavky na regulaci a zálohování energie pro vykrytí období, kdy je energie z obnovitelných zdrojů méně.

Rodinné domy dnes již mohou být vybaveny akumulátorovými sklady, které dodají potřebný výkon v době snížené dodávky z obnovitelných zdrojů. Další skupinou odběrných míst jsou výrobní podniky, které mají na zálohování objektů a strojů potřebných k výrobnímu procesu jiné požadavky. V práci je řešeno dimenzování přístrojů umožňující práci v ostrovním provozu pro větší a náročnější celky, jako jsou výrobní společnosti.

V ideálním případě by samostatné systémy mohly fungovat plně autonomně nebo ve spolupráci se sousedními systémy. Ostrovní provoz systému s sebou nese určitá úskalí, která jsou také předmětem řešení této práce.

1.1. Cíle práce

1. Popište princip ostrovního provozu

Obsahuje popis funkce systému v ostrovním provozu a popis použitých prvků.

2. Definujte objekt, pro který má být provedeno vyhodnocení.

Definuje potřeby a specifika projektu, který odpovídá menší, dřevo zpracovávající, společnosti.

3. Proveďte vyhodnocení stability autonomního systému s obnovitelnými zdroji.

Zaměřuje se na využití obnovitelných zdrojů pro napájení společnosti s jednosměrným provozem. Definuje způsoby ukládání elektrické energie pro režim v ostrovním provozu.

4. Navrhněte technická opatření pro zvýšení stability tohoto systému a proveďte jejich zhodnocení.

Zabývá se průběhy napětí, proudů a vyhodnocením při použití různých prostředků pro zvýšení stability systému.

1.2. Zaměření práce

Práce se svým obsahem zaměřuje na omezený druh problémů, jež mohou nastat v případě oddělení části systému od veřejné distribuční sítě. Předpokládá, že vyjmutá část, neboli vlastní systém obsahuje dostatečný zdroj elektrické energie a úložiště elektrické energie pro svůj nepřetržitý provoz. Stav tohoto systému je zkoumán z hlediska přechodových jevů, tedy stavy mezi ustáleným stavem a akcí, které vedou k novému ustálenému stavu.



1. Smart grid [9]

2. Ostrovní provoz

Ostrovní provoz může mít v energetice několik významů. Je tak označován chybový stav, kdy je zdroj oddělen od spojené soustavy a pracuje pouze pro pokrytí vlastní spotřeby. Tento stav v přináší vysoké nároky na regulační schopnosti zdroje. Vzhledem k tomu, že zdroj pracuje v izolovaném systému, musí zvládat značné změny frekvence a napětí. Tento stav nastává zpravidla při zvláštních událostech, jako jsou poruchy vedení, transformátoru, zdrojů nebo velkým nárůstem výkonového salda.

Rovněž se tak označují systémy, které svou výrobou nemusí dosahovat potřebného výkonu pro svůj provoz a jsou tedy připojeny do veřejné sítě. Tyto systémy se mohou ve veřejné síti chovat jako odběry, nebo zdroje. V případě, že jejich výroba přesahuje vlastní spotřebu, může se také jednat o ostrovní provoz.

Poslední variantou jsou plně autonomní systémy, které nejsou připojeny k veřejné síti a jejich kombinace výroby a zálohování plně pokrývají vlastní spotřebu.

2.1. Vlastní spotřeba

Vlastní spotřebou se u elektrárenských bloků se rozumí pokrytí spotřeby strojů potřebných pro zjištění chodu bloku. V systémech, kde je zdrojem fotovoltaická elektrárna a které obsahují zálohování, použijeme pro dimenzování zálohování a dalších prvků systému následující princip..

2.1.1. Výpočet příkonu

Součtem výkonů všech zařízení získáme maximální možný výkon, který by mohl být vyžadován. Dle této hodnoty pomocí koeficientu náročnosti stanovíme požadovaný příkon.

Příkon je hlavním parametrem pro definici střídače daného systému. [14]

$$\sum S_p = \frac{\sum_i P_{ni}}{\cos \varphi} \beta$$

Suma výkonů [kW] (2,1)

P_{ni} Instalovaný výkon všech spotřebičů objektu [kW]

S_p Zdánlivý výkon [kVA]

$\cos \varphi$ Účinník

$$\beta = \frac{k_V k_S}{\eta_m \eta_S}$$

Koeficient náročnosti (2,2)

η_m Střední účinnost spotřebičů při daném využití [%]

η_S Účinnost napájecí soustavy od místa napojení VS [%]

Stanovení β v případě, že nejsou známy spotřebiče, nebo jejich provoz. Součinitel náročnosti lze v tomto případě stanovit - odhadem na základě porovnání s existujícími podobnými objekty daného odvětví - využitím informativních hodnot z ČSN 34 1610. [14]

$$k_S = \frac{\sum_i P_{Si}}{\sum_i P_{ni}}$$

Koeficient současnosti (2,3)

P_{Si} Instalovaný výkon spotřebičů, které jsou současně v chodu [kW]

Definuje skupinu zařízení, u kterých se předpokládá, že budou pracovat současně.

$$k_V = \frac{\sum_i P_i}{\sum_i P_{Si}}$$

Koeficient využití (2,4)

P_i Skutečný výkon spotřebičů, které jsou současně v chodu [kW]

$$S_M \geq \sum S_P$$

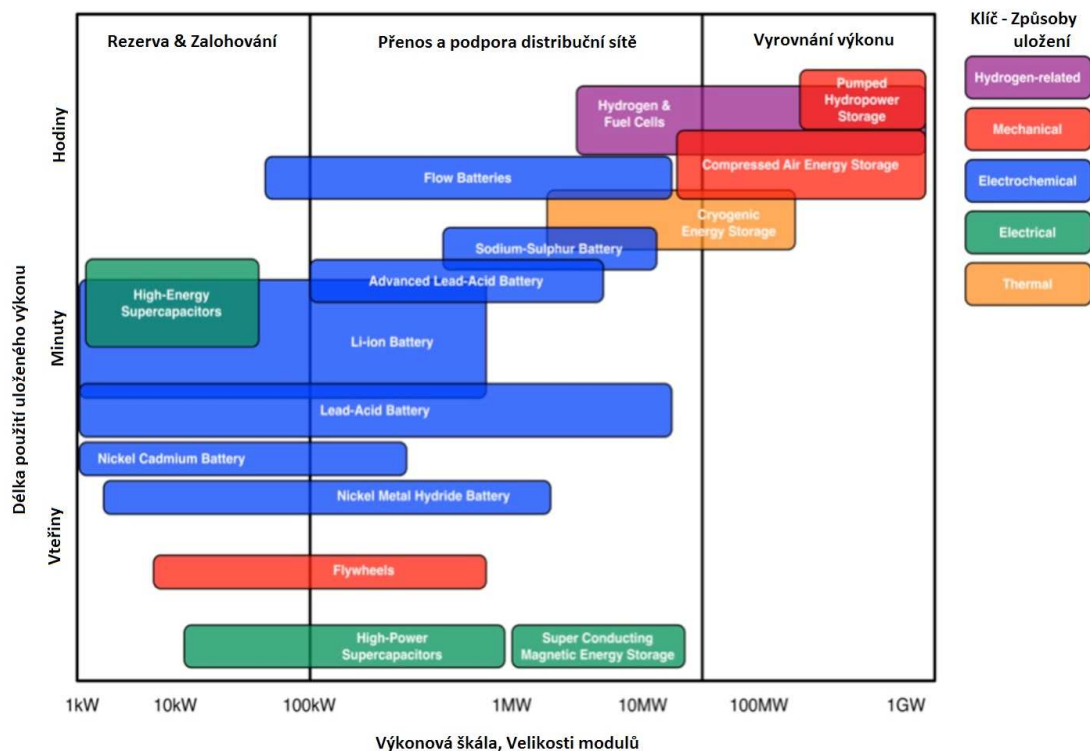
Jmenovitý příkon (2,5)

P_i Skutečný výkon spotřebičů, které jsou současně v chodu [kW]

2.1.2. Úložiště elektrické energie

Skladování elektrické energie je dnes v hledáčku energetických společností jako klíčový prvek energetických sítí budoucnosti. Jedná se o jedinou odpověď na maximální využití obnovitelných zdrojů. Díky vhodnému ukládání elektrické energie by bylo možné získaný výkon v době, kdy ho je nadbytek, uchovat na doby, kdy ho bude nedostatek. S ukládáním výkonu v akumulátorech se můžeme setkat u projektu „Virtuální elektrárna“ nebo u bateriových skladů zbudovaných v blízkosti společností s velkou spotřebou elektrické energie.

Využitelnost technologie akumulace určuje cena uložení energie a výkon, který je možné uložit. Rozdělíme-li způsoby uložení dle výkonu a doby po jakou je možné uložiti výkon dodávat, dostaneme se k technologiím, které odpovídají pro použití v definovaném systému.



2. Způsoby uložení energie [6]

2.1.3. Akumulátory

Akumulátor jako elektrochemické uložení elektrické energie je neznámější a nejpoužívanější druh úložiště. Pouzdra akumulátorů se vyrábí v různých variacích a velikostech. Akumulátory pro zálohování budov nazýváme akumulátory staniční. Tyto akumulátory můžeme porovnávat buď dle použitých materiálů, které definují vlastnosti chování akumulátorů, nebo dle zadaných parametrů jako jsou napětí, kapacita a počet cyklů. Výběr akumulátoru pro autonomní, nebo hybridní systém musíme volit dle plánovaného zatížení a potřebné délky zálohování. [3]

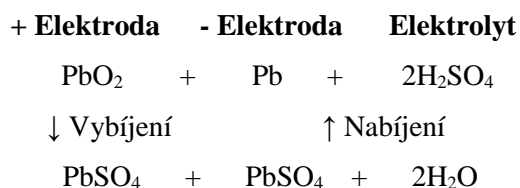


3. Staniční akumulátory[6]

2.1.3.1. Olověné akumulátory

Chemická reakce u olověných akumulátorů spočívá v přeměně aktivní hmoty kladné a záporné elektrody na síran olovnatý (PbSO_4) kdy elektrolyt je ochuzován o kyselinu sírovou a obohacován o vodu. Proto při vybití koncentrace elektrolytu klesá a při nabíjení roste. S tím souvisí, že stav baterii jde určit dle hustoty elektrolytu. [3]

Celková reakce vybití:

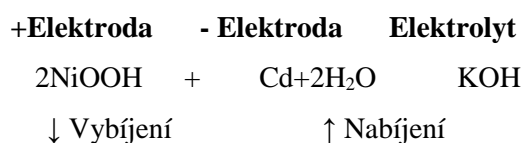


Olověné akumulátory mají široké spektrum využití. Od záložních baterii (UPS), startovacích baterii (autobaterie) po trakční baterii (vysokozdvížené vozíky, manipulátory). Kvůli širokému použití je také nutné upravit typ uložení článků.

Konstrukce baterii se odlišuje ve vrchní části, kde jsou vyvedeny póly baterie a zátky pro odpouštění plynů při dobíjení a doplňování elektrolytu. Uložení článku je řešeno dvěma způsoby. Jedná se buď o vícečlánekový akumulátor, kdy každý článek má svoji zátku, nebo je odvětrávací kanál sveden do odvětrávací šachty pod krytem a od vnějšího prostředí je oddělen speciální zátkou zajišťující odvod plynů. Toto uspořádání napomáhá bezpečnosti, neboť odbourává možnost zpětného zášlehu při vznícení plynů během dobíjení. Ventilem řízené akumulátory umožňují práci akumulátoru v různých polohách a jsou většinou gelového, nebo vlietového typu [3].

2.1.3.2. NiCd akumulátory

Tyto akumulátory již patří do rodiny alkalických akumulátorů. Alkalické kovy se vyznačují vlastnostmi, které částečně odbourávají některé nežádoucí procesy jako je například samovybití. Je-li akumulátor plně nabit, tvoří kladnou elektrodu oxid-hydroxidu niklitého a zápornou kadmium. Elektrolyt je zásaditý vodní roztok hydroxidu draselného. Stejně jako u olověných akumulátoru je i zde možnost doplňování elektrolytu demineralizovanou vodou [3].





Využití těchto akumulátorů je možné rozdělit dle očekávaného vybíjecího režimu. Dle normy musí být na hranolových článcích uvedena značka předpokládaného vybíjecího režimu a hodnota definující jmenovitou kapacitu C_5A v Ah. U plastových boxů je za označením uvedeno P. [3]

- L – Dlouhodobé, vybíjecí proudy do 0,5 CA
- M – Střednědobý, vybíjecí proudy do 0,5 až 3,5 CA
- H – Krátkodobý, vybíjecí proudy od 3,5 do 7 CA
- X – Velmi krátké - vybíjecí proudy nad 7 CA

Autonomní a hybridní systémy pracující především v ostrovním provozu jsou vybaveny bateriemi pro dlouhodobé zálohování s označením L. To je i příčinou problému při spouštění větších spotřebičů. Baterie tohoto typu nemusí dodat potřebný proud pro rozběh přístroje. Využití nacházejí při zálohování signalizační, telekomunikační techniky a nouzového osvětlení. [3]

Staniční akumulátory s niklokadmiovými články jsou vyráběny zpravidla v hranolových pouzdrech. Elektrody ať už deskové, kapsové nebo tyčové jsou uloženy svisle a jsou zality elektrolytem. V horní části nalezneme vývody článků a tlakovzdušné ventily. [3]

2.1.3.3. Porovnání olověného a niklo-kadmiového článku

	Pb	NiCd
Napětí článku	2,1 V	1,2 V
Výkon článku	30 Wh/kg	22 Wh/kg
Skladování	-30 až +40 °C	-30 až +50 °C
Nabíjení až	0,2 CA	2 CA
Cykly	800	2 000
Samovybíjení	3-20 %/měsíc	10 %/měsíc
Efektivita	50-92%	70-90%

2.1.3.4. Životnost a provozní podmínky

Životnost akumulátorů je udávána počtem cyklů plného nabití a vybití, nebo časovým údajem v letech. Vybitím akumulátoru se rozumí u článku snížení hodnoty napětí na napětí konečné. V případě, že akumulátory neabsolvuji celý cyklus vybíjení a jsou dobity dříve,

než dosáhnou svého minima, jejich životnost rapidně stoupá. Výjimkou jsou niklo-kadmiové články ve svinuté provedení. Ty tímto mohou o část své kapacity přijít. Dalším faktorem ovlivňujícím životnost akumulátorů je provozní teplota. Kapacita článku je vždy vztažena k ideální provozní teplotě viz tab. Proto je vhodné bateriové sklady navrhovat tak, aby byla zajištěna konstantní definovaná teplota.

2.1.4. Flywheels

Setrvačníky, neboli Flywheels, dále „RUPS“ (rotační UPS) akumulují energii pomocí přeměny elektrické energie na kinetickou energii. Hmota rotující na hřídeli pak dodá energii dle vzorce. [7]

$$E_{fw} = \frac{1}{2} I \omega^2$$

Uložená energie (2,6)

E_{fw} Kinetická energie setrvačníku

I Setrvačnost rotující masy

ω Uhlová rychlost

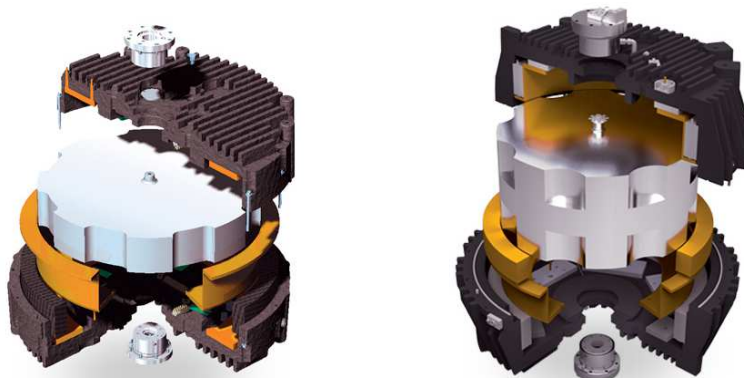
$$I = \int x^2 dm_x = mr^2$$

Setrvačnost (2,7)

m Hmotnost

r Poloměr

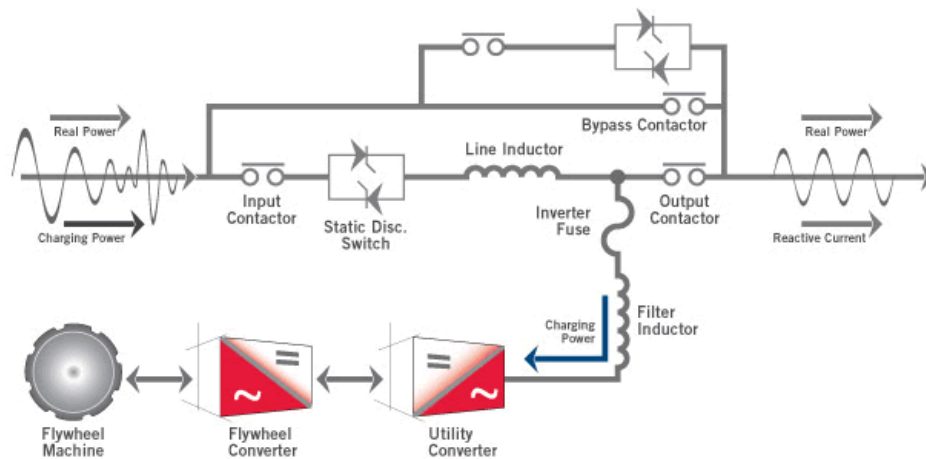
Disk setrvačníku tvořený z kvalitní oceli rotuje v boxu, který je z důvodu odstranění třecích ploch vybaven vakuovými ložisky. Hodnota jmenovitých otáček činí 3000 ot/min. V případě, že by bylo potřeba modifikovat systém pro vyšší výkony, je možné upravit hmotnost nebo velikost disku. Na obrázku níže je zobrazen rozdíl mezi setrvačníky s výkony 120kW a 260kW. Na trhu jsou nabízeny varianty ve s výkony od 120kW do 900 kW. Ve speciálních aplikacích se můžeme setkat i s vyššími výkony. Stejně jako u baterií i tyto zdroje lze spojovat. [7]



4. Flywheels 120 a 300 kVA [7]

2.1.4.1. RUPS pracuje v několika režimech.

- **Běžný provoz:** V případě, že nenastal žádný výpadek sítě, pracuje v normální režimu jako aktivní filtr a odstraňuje rušivé vlivy sítě. Generátor pracuje jako motor a pohání vnější rotor indukční spojky. Otáčky dosahují 3 000 ot/min. čímž se energie ukládá do hybnosti rotoru. Vnější rotor indukční spojky oddělen od diesel agregátu oddělen volnoběžnou spojkou.
- **Přechod na záložní zdroj:** V případě selhání, nebo neudržitelných podmínek je síť odpojena a budící vinutí indukční spojky je vybuzeno. Umožní tak přenos kinetické energie z vnitřního do vnějšího rotoru. Zároveň je spuštěn diesel agregát, který po naběhnutí nahradí chybějící dodávku.
- **Režim diesel motoru:** Požadovaný výkon je dodáván diesel motorem a rychlost vnitřního rotoru je vrácena zpět na hodnotu 3 000 ot/min.
- **Zpětné připojení:** Systém je automaticky přifázován k síti a chod diesel motoru je dále spuštěn s uvolněnou volnoběžnou spojkou, aby byl ochlazen. [7]



5. Flywheels schéma [7]

2.1.4.2. Životnost a provozní podmínky

Vzhledem k tomu, že se jedná o mechanické zařízení, je imunní proti přepětím, nebo náhlým výpadkům. Takové krátkodobé děje nejsou schopny výrazně ovlivnit vysokou rychlost otáčení hmoty setrvačníku. Tyto setrvačníky však poskytují ochranu pouze na dobu 10-20sec, proto musí být používány v kombinaci s bateriovými UPS, nebo diesel agregáty. RUPS jsou navrženy pro výkony desítek kW. S tím souvisí skutečnost, že jsou konstruovány pro vysoký výstupní proud v porovnání s elektronickými UPS, a jsou tak lépe schopny poskytnout spínací proud pro indukční zátěže.

Životní cyklus je ve srovnání s bateriovými systémy podstatně delší. Životnost RUPS je uváděna 30 a více let. Vyžadují pravidelné odstávky pro mechanickou údržbu. Novější RUPS jednotky používají technologie, jako jsou magnetická ložiska a vzduch-vakuové uložení. [7]

2.1.5. Superkapacity

Superkapacity pracují na stejném principu jako běžné kondenzátory. Energie je uložena v kondenzátoru pomocí separace náboje.

$$C_{sc} = \frac{A \epsilon_0 \epsilon_r}{d}$$

Kapacita superkapacitoru [4] (2,8)

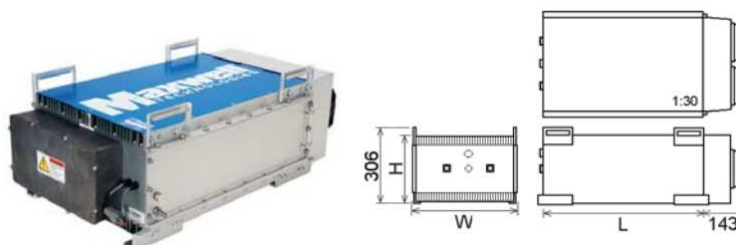
C_{sc}	Kapacita superkapacitoru
A	Plocha
ϵ_0	Permitivita vakua
ϵ_r	Relativní permitivita
d	Vzdálenost mezi deskami kondenzátoru

$$E_{sc} = \frac{1}{2} CV^2$$

Uložená energie superkapacitoru (2,9)

E_{sc} Energie superkapacitoru

V_{sc} Napětí superkapacitoru



6. Superkapacitor [5]

Pro uložení co největšího množství energie musí být relativní permitivita desky kondenzátoru vysoká. Vzdálenost mezi deskami musí být naopak tak malá. Vlastnost úložiště s krátkým časem nabíjení a vybíjení je ideální pro využití v hybridních a elektrických vozech. Jsou také opravdu účinné pro řešení špičkového zatížení. Naleznou využití i u elektromotorů, které mají velký rozběhový proud. Je možné je i využít v aplikacích s vyšším výkonem. V distribuční soustavě mohou napomáhat plynulosti přechodů z ostrovního provozu, nebo vyrovnávat špičkový výkon dodaný například z obnovitelných zdrojů. [4]

2.1.5.1. Elektrické parametry superkapacitorů

Elektrické parametry superkapacitorů jsou srovnatelné s elektrochemickými zdroji (bateriemi, akumulátory). Vzhledem k použitým materiálům a technologii je energie uložená v superkapacitoru desetkrát vyšší než v normálním kapacitoru. Vnitřní odpor je velmi malý a umožňuje tak rychlé vybití. Špičkový výkon dodaný superkapacitorem dosahuje hodnot řádu kW na 1kg hmotnosti. [5]

2.1.5.2. Porovnání:

Parametr	Akumulátor	Kondenzátor	Superkapacitor
Hustota energie	100 Wh / kg	0.2 Wh / kg	10 Wh / kg
Měrný výkon	1kW / kg	500 kW / kg	10 kW / kg
Doba nabíjení/vybíjení	5 h	0.001 s	10 s
Životnost	1000 cyklů	1 000 000 cyklů	1 000 000 cyklů

1. Porovnání zálohování

2.1.5.3. Životnost a provozní podmínky

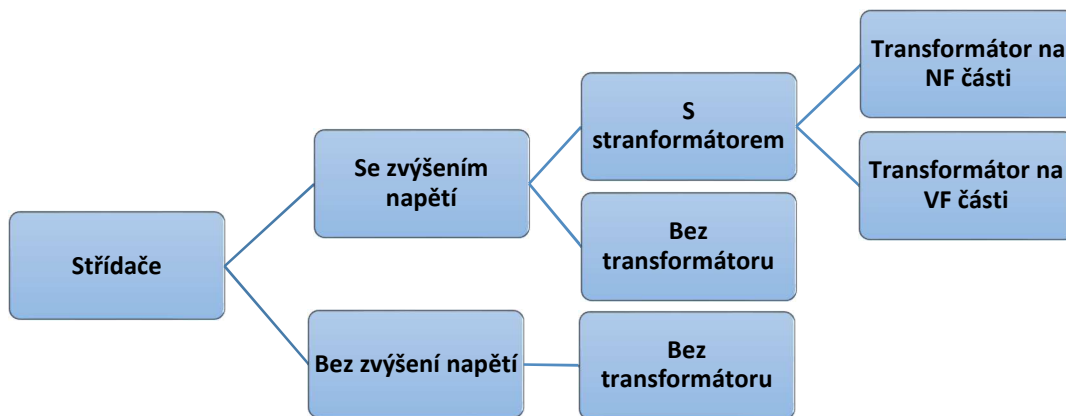
Životnost těchto zařízení je určena počtem cyklů kdy dochází k plnému nabití a vybití superkapacitoru za definované teploty (cca 25 °C). Při každém tomto procesu se kapacita nenávratně snižuje a roste sériový odpor R_s . Dobou životností je pak stanoven počet cyklů, za který dosáhne kapacita superkondenzátoru 80% jmenovité hodnoty, nebo zvýšením sériového odporu na dvojnásobek jmenovité hodnoty.

V aplikacích, kde by docházelo k opakovanému nabití a vybití v intervalu 10 sec je nutné počítat s chlazením superkapacitorů. V takových případech se teplota zvýší o 15°C. Superkapacitor by neměl být vystaven vyšší teplotám neboť bod varu elektrolytu je 83°C. Došlo by tedy k jeho zničení.

2.1.6. Měniče

Jedním ze základních stavebních kamenů systémů, ve kterých dochází k změnám parametrů napětí, jsou měniče. Do kategorie měničů patří: střídače, usměrňovače a regulátory napětí. Díky střídačům může systém obsahovat spotřebiče pracující na síťovém napětí a zároveň může být připojen do veřejné sítě. Členění můžeme provést dle výkonu. Ve větších fotovoltaických elektrárnách se střídače zapojují přímo k jednotlivým panelům, jsou to tedy modulové střídače, nebo k jednotlivým řetězcům, pak jsou to střídače řetězcové. V případě autonomních systémů se nejčastěji setkáme se střídači centrálními. [12]

2.1.6.1. Další rozdělení střídačů můžeme provést dle vnitřního zapojení.:



7. Rozdělení střídačů [3]

Výstupní napětí střídačů můžeme dále rozdělit na čistý a modifikovaný sinus. Modifikovaný, neboli trapézový sinus je podobný obdelníkovému průběhu a lze použít v nenáročných aplikacích na kvalitu průběhu napětí. Dle toho se odvíjí i nižší cena těchto střídačů.

Měniče obsahující transformátor dokáže napětí převést na vyšší hladinu. Může být tedy na výstupu sinusové napětí o velikosti 230V. Transformátory u měničů nepřinášejí jen efekt zvýšeného napětí, ale rovněž odstraňují parazitní kapacity jednotlivých fotovoltaických modulů. Parazitní kapacity vznikají mezi fotovoltaickým článkem a rámem modulu. Nabíjením a vybíjením parazitní kapacity vzniká svodový proud. Ten může mít za následek degradaci modulů, nebo nebezpečí při dotyku rámu modulu. Velikost parazitní kapacity závisí na napětí a frekvenci.

$$C_p = \frac{I_{cp}}{2\pi f U_{cp}}$$

Parazitní kapacita modulu (2,10)

C_p Parazitní kapacita modulu

I_{cp} Proud kapacitou

U_{cp} Napětí

Beztransformátorové měniče by neměly být používány v kombinaci s tenkovrstvými moduly, kde by hrozil vznik elektrochemické koroze na TCO, nebo u modulů s krystalického křemíku s vysokou účinností. Zde dochází k polarizačním efektům mezi EVA – ARC, což má za následek zvýšení povrchové rekombinace. [12]

Měniče s transformátorem mají o něco menší účinnost než beztransformátorové, ale jejich použití je univerzálnější a bezpečnější.

$$\eta = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

Účinnost střídače (2,11)

η Účinnost střídače

P_{DC} Výkon před střídačem

P_{AC} Výkon za střídačem

2.1.7.1. Elektrické parametry

Nejdůležitějším parametrem střídače pro jakýkoliv systém je jeho samotný výkon. Střídač musí mít dostatečný jak vstupní výkon vzhledem k dimenzování zdroje tak výstupní výkon z hlediska zátěže. Příklad katalogových hodnot měniče, který dokáže pracovat v režimech on-grid a off-grid uveden v příloze „Střídač Datasheet“.

Při práci střídače vznikají ztráty díky polovodičovým součástkám, ochranám a řídicím prvkům. Ztrátový tepelný výkon ohřívající okolí způsobuje degradaci materiálu a musí být z daných oblastí odveden. Ztrátová energie nesmí být za určitý časový úsek větší než je udána výrobcem. V případě přetížení je nutné střídač odlehčit. [11]

$$\Delta P = u_0 + ki^2$$

Okamžité ztráty střídače (2,11)

ΔP	Ztrátový výkon
u_0	Konstantní napětí
i	Okamžitý proud

$$\Delta P = u_0 I_{av} + k I_{ef}^2$$

Výkonové ztráty v časovém intervalu (2,12)

I_{av}	Střední hodnota proudu
I_{ef}	Efektivní hodnota proudu

2.1.7.2. Životnost a provozní podmínky

Proti fotovoltaickým panelům, které mají životnost okolo 20let a bateriím s životností cca 15 let, mají střídače poměrně malou životnost. Někteří výrobci sice garantují životnost 15 let, ale pouze s pravidelným servisem kdy jsou závady řešeny výměnou za nový přístroj. Průměrná životnost dle dostupných informací od výrobců je 10 let. Intenzita servisních kontrol je u každého dodavatelů jiná a liší se i podmínkami stanovenými v servisních smlouvách se zákazníky. Obecně, je dodavateli doporučována servisní prohlídka jedenkrát ročně.

2.2. Zátěž

Veškeré spotřebiče ať jsou součástí zásuvkového, nebo světelného okruhu jsou zátěží pro systém a odebírají potřebný výkon pro svou funkci. Ve snaze snížit ztráty transformací napětí z 12V na 230V může být světelný obvod napájen 12V. Zásuvkový okruh, do kterého jsou zapojeny všechny spotřebiče, je již řazen za střídač. Střídač s vlastním transformátorem vytvoří sinusový průběh s hodnotou napětí 230V. V tomto obvodu nalezneme běžné spotřebiče, které mají stabilní neměnný odběr, ale také elektromotory, které se vyznačují značnými rozběhovými proudy. Stálý odběr budeme využívat pro posunutí hranice základního výkonu při simulacích přechodových jevů.

2.2.1. Elektromotory

Z elektrických zařízení, které může systém obsahovat vybereme asynchronní elektromotor pro jeho velký záběrný proud při spínání. Synchronní elektromotory spouštěné frekvenčními měniči nejsou tolik běžné v zařízeních a počáteční proudový náraz u nich díky frekvenčnímu rozběhu nevzniká. Dalším typem motorů jsou stejnosměrné motory. U těchto motorů při rozběhu na prázdno také nedochází k velkým nárůstům proudu. Proto se pro studium přechodových jevů budeme dále zabývat pouze asynchronními motory. [1]

Spínání pohonů je označováno dle stanovených skupin S1–S9. S1 je označení běžného provozu při definovaném výkonu. Dle zatížení motoru, které odpovídá časovým úsekům, rozdělujeme na následující skupiny. Jmenovitý výkon daných skupin je určen testem, kterému je každý motor vystaven a nesmí u něj dojít k zvýšení teplotní hranice dle *IEC 34-1 a SS 426 01 01*. Ve skupině S2 musí za označením následovat doba trvání zatížení, u S3 a S6 následuje čas přerušení zatížení. U skupin S4, S5, S7 S8 a S9 následuje moment setrvačnosti. [6]

Označení	Popis
S1	Kontinuální provoz
S2	Krátkodobý provoz, kdy motor během dané doby dosáhne povolené tepelné hranice. Následující přestávka provozu musí být tak dlouhá, aby motor znovu nabyl okolní teplotu.
S3	Provoz s přestávkami, sekvence stejných pracovních period, kde každá perioda se skládá z dílu s konstantním výkonem a dílu s přestávkou. Pracovní perioda je tak krátká.
S4	Provoz s rovnoměrně rozloženými starty, zátěžemi a přestávkami.
S5	Provoz s rovnoměrně rozloženými starty, zátěžemi, brzděním nebo reverzním chodem a přestávkami.
S6	Kontinuální pohon s periodickým zatěžováním a chodem naprázdno.
S7	Provoz s rovnoměrně rozloženými starty, zátěžemi, brzděním nebo reversním chodem bez přestávek.
S8	Kontinuální pohon s občasným zatěžováním změnou otáček.
S9	Kontinuální pohon s neperiodickým zatěžováním a změnami otáček. (typický provoz s frekvenčním měničem)

2. Skupiny využití motoru [6]

2.2.2. Zařízení s asynchronními motory

V uvedené oblasti dřevozpracujících podniků nalezneme nejčastěji asynchronní motory. Jsou instalovány v kotoučových pilách, štípačích i nakladačích.

Spouštění asynchronních motorů je akcí, kterou musíme provést, abychom způsobili rozběh motoru. Rozběh je přechodový děj, kdy otáčky motoru vzrůstají z nulových do provozní otáček. Připojíme-li motor s kotvou na krátko, chová se podobně jako transformátor. Motorem protéká záběrný proud, který je omezen pouze impedancí motoru na krátko. Pro záběrný proud odpovídá u běžných motorů přímo připojených na síť cca 4 až 7 násobek jmenovitého proudu [1].

Asynchronní motor můžeme popsat pěti dynamickými rovnicemi.

$$u_s = R_s i_s + \frac{d\psi_s}{dt} + j\omega_s \psi_s$$

$$u_r = R_r i_r + \frac{d\psi_r}{dt} + j\omega_r \psi_r$$

Napětové rovnice

(2,13)

$$\psi_s = L_s i_s + L_m i_r$$

$$\psi_r = L_r i_r + L_m i_s$$

Rovnice spřažených magnetických toků (2,14)

$$m = \frac{3}{2} p I m (i_r^* \psi_r)$$

Rovnice elektromagnetického momentu motoru (2,15)

$$m = \frac{1}{3} J \frac{d\omega_r}{dt} + \frac{1}{p} B \omega_r + m_z$$

Pohybová rovnice motoru (2,16)

V případě spouštění motoru jeho záběrný moment odpovídá mechanickým ztrátám motoru.

$$M - M_z = J \frac{d\omega_m}{dt}$$

Mechanické ztráty motoru (2,17)

M	Moment motoru
M _z	Moment zatížení
J	Moment setrvačnosti hmot
ω _m	Mechanická uhlová rychlost
t	Čas

Záběrný moment můžeme odvodit z obecné rovnice momentu, při skluzu s = 1.

$$M_{zab} = \frac{m_1 U_1^2 R_2'}{\omega_{1m} [(R_1 + C_1' R_2')^2 + (X_{1\sigma} + C_1' X_{2\sigma}')^2]}$$

Záběrný moment (2,18)

Kde činitel rozptylu odpovídá

$$C_1' = \frac{Z_0 + Z_1}{Z_0} \cong 1$$

Činitel rozptylu (2,19)

Pro záběrný proud tak dostáváme

$$I_{zab} = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{1}{C_2} R'_2\right)^2 + \left(X_{1\sigma} + \frac{1}{C_2} X'_{2\sigma}\right)^2}}$$

Záběrný proud

(2,20)

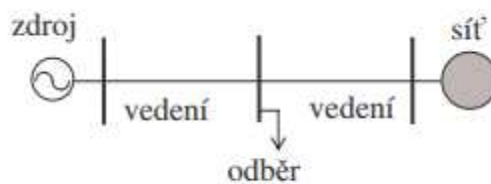
Počáteční proudový náraz při spouštění motoru lze zmírnit několika způsoby. Vzhledem k použitým strojům připadá v úvahu pouze doplnění o frekvenční měnič, neboť stroje nedosahují takových výkonů, aby byly opatřeny přepínačem trojúhelník-hvězda, autotransfornátorem, nebo rozběhovým odporem.

3. Stabilita systému

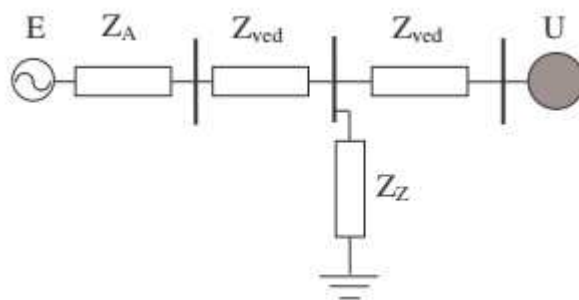
Stabilitu energetické soustavy chápeme jako schopnost soustavy vrátit se do původního rovnovážného stavu nebo nového rovnovážného stavu po proběhnutí přechodového děje. V závislosti na velikosti a rychlosti přechodového děje, rozdělujeme statickou a dynamickou stabilitu. Staticky stabilní nazýváme soustavu v případech, kdy po velmi malém přechodovém ději zůstane soustava ve stejném nebo blízkém rovnovážném stavu. Dynamicky stabilní soustavu nazýváme soustavy, které po proběhnutí přechodového děje obnoví rovnovážný stav. Stabilitu části soustavy lze řešit v případě, že zbytek soustavy nahradíme tvrdou sítí. Ta udržuje konstantní napětí a frekvenci.

3.1. Statická stabilita

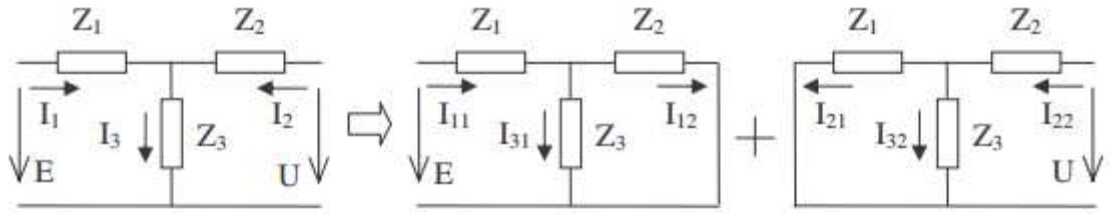
Statickou stabilitu chápeme jako schopnost soustavy udržet ustálený synchronní stav. Soustava musí udržet konstantní úhlové rozdíly mezi rotory alternátorů a výstupem střídačů ve stejném, nebo podobném stavu před přechodovým jevem. Stabilita ostrovního systému se stejnosměrnými prvky je dána vlastnostmi střídače. Při hledání vztahů mezi veličinami můžeme soustavu s generátorem nahradit jednoduchým T-článkem doplněným o odběr.



8. T-článek [2]



9. T-článek nahradní schéma [2]



10. Superpozice [2]

Při řešení volíme postup takový, že počítáme i napětím indukovaným na alternátoru se zkratovanou sítí – nulové napětí sítě. Dále provedeme výpočet sítě při zkratovaném alternátoru. Pak platí pro proudy admitance vztahy uvedené níže.

$$Y_{11} = [Z_1 + (Y_2 + Y_3)^{-1}]^{-1}$$

$$Y_{22} = [Z_2 + (Y_1 + Y_3)^{-1}]^{-1}$$

$$Y_{12} = Y_{21} = (Z_1 + Z_2 + Z_1 Z_2 Z_3^{-1})^{-1}$$

Admitance T-článku (4,1)

$$I_1 = I_{11} - I_{21}; I_2 = I_{22} - I_{12}; I_3 = I_{31} - I_{32}$$

Proudy T-článku (4,2)

$$I_{11} = EY_{11}; I_{21} = UY_{22}; I_{22} = UY_{22}; I_{21} = EY_{12}$$

Proudy T-článku v závislosti na napětí (4,3)

Vlastní vazební admitance Y_{11} , Y_{22} a vzájemné vazební admitance Y_{12} a Y_{21} vypočítáme stejně jako prvky admitanční matice. Příčná admitance se chová jako odběr a má velká vliv na velikost vazebních admitancí. Zmenšením vazebních admitancí dokážeme do jisté míry zmenšení vazebních admitancí. Získáme tak zeslabení vazeb mezi alternátory. Stejných výsledků dosáhneme zvýšením podélných admitancí. Zdánlivé výkony můžeme vyjádřit pro soustavu a alternátor. [2]

$$S_1 = P_1 - jQ_1 = 3UI_1^*; S_2 = P_2 + jQ_2 = 3UI_2^*$$

Zdánlivé výkony pro soustavu a alternátor (4,4)

$$Z = Ze^{\psi} = Ze^{90-\alpha}$$

Impedance pomocí úhlu ψ a doplňkového úhlu α (4,5)

$$P_1 = 3E^2 Y_{11} \sin\alpha + 3EUY_{12} \sin(\vartheta - \alpha_{12})$$

Zdánlivý výkon alternátoru (4,6)

$$P_2 = 3U^2 Y_{22} \sin \alpha - 3EUY_{12} \sin(\vartheta + \alpha_{12})$$

Činný výkon sítě (4,7)

Při zanedbání odporů budou úhly $\alpha_{11} = \alpha_{12} = 0$, při dosazení a úpravě se odvození zjednoduší

$$P = 3 \frac{EU}{X} \sin \vartheta$$

E Indukované napětí

X Synchronní reaktance

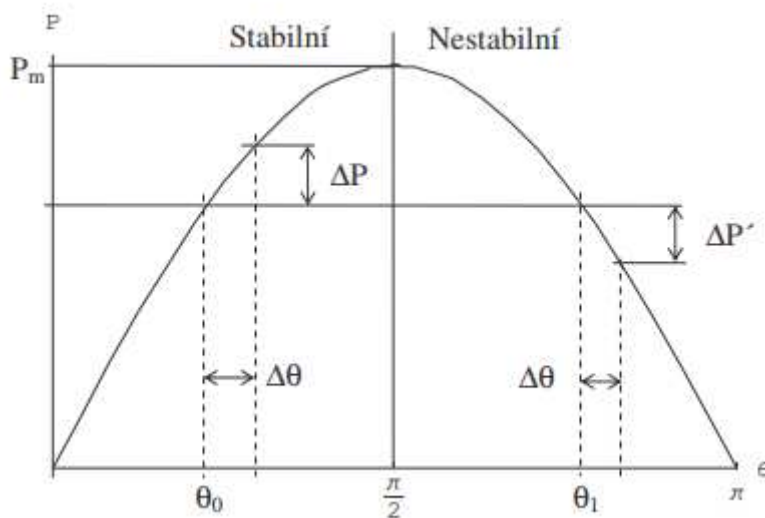
U Napětí sítě

Tímto odvozením jsme potvrdily závislost činného výkonu na zátěžném úhlu. Vzhledem k tomu, že vstupující veličiny jsou konstantní, je průběh charakteristiky sinusový. Pro získání maximálního výkonu musíme vztah derivovat a položit nule. [2]

$$\left(\frac{dP}{d\vartheta}\right)_{\vartheta=\vartheta_m} = 3 \frac{EU}{X} \cos \vartheta_m = 0 \quad ; \quad \cos \vartheta_m = 0 \Rightarrow \vartheta_m = 90^\circ \Rightarrow \sin \vartheta_m = 1$$

$$P = 3 \frac{EU}{X}$$

Maximální výkon (4,8)



11. Křivka funkce stability [2]

Grafické znázornění funkce popisuje kdy je soustava stabilní a kdy nestabilní. V případě, že je zátěžný úhel v intervalu $(0^\circ; 90^\circ)$ s úhlem θ_0 . Zvýší se zátěžný úhel a navýší se i odebíraný výkon. Převýšení odebíraného výkonu nad mechanický výkonu bude mít za následek zpomalování stroje a ten se vrátí do výchozího stavu. Nastane-li stav poklesu zátěžného úhlu

a mechanický výkon převyší odebíraný výkon. Stroj bude urychlován a také se vrátí do původního stavu, proto můžeme oblast $(0^\circ; 90^\circ)$ označit jako stabilní. V případě, že by stroj pracoval v oblasti $(90^\circ; 180^\circ)$ a došlo by k snížení odebíraného výkonu, nastane stav, kdy mechanický výkon bude vyšší než výkon odebíraný, tedy stroj začne zrychlovat. To má za následek dalšího navyšování zátěžného úhlu a nedojde k návratu do původního stavu. Z tohoto důvodu nazýváme oblast $(90^\circ; 180^\circ)$ jako nestabilní. [2]

$$P_c = \frac{dP}{d\theta} > 0$$

Přírůstek výkonu při nárůstu zátěžného úhlu (4,9)

P_c Synchronizační výkon

Hranice stability je tedy určena $\theta = 90^\circ$, pro předcházení překročení hranice stability je nutné vytvořit rezervu zátěžného úhlu. [2]

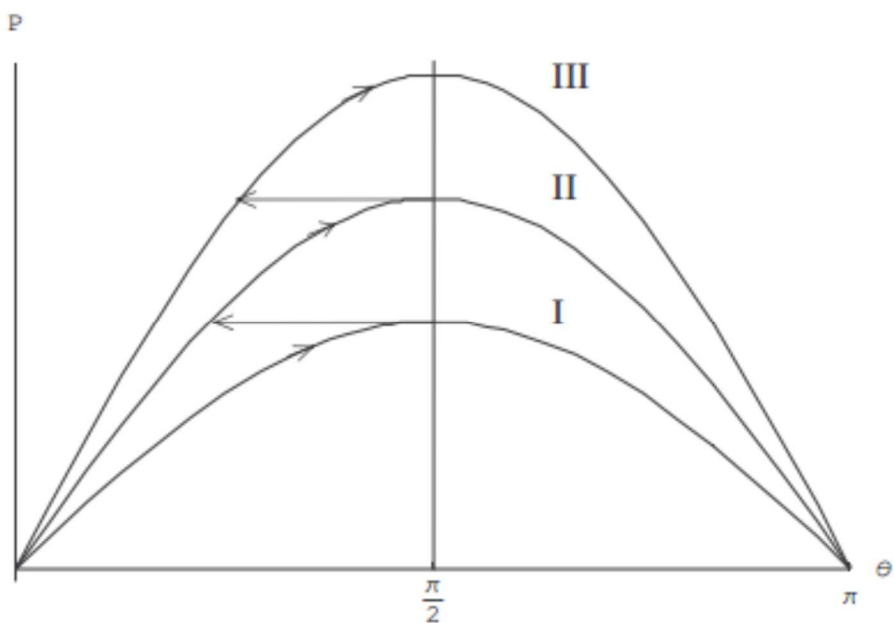
$$k_{p\%} = \frac{P_m - P_0}{P_0} 100$$

Rezerva zátěžného úhlu (4,10)

$k_{p\%}$ Činitel rezervy výkonu

3.1.1. Závislost stability na buzení

Předchozí kapitole jsme uvažovali se stálým buzením, v provozu však běžně nastávají změny zatížení, ty mají za následek změnu proudů statoru a tím i změnu úbytku napětí na impedanci stroje. To způsobuje změnu svorkového napětí, které musí být konstantní. Pro udržení konstantního napětí musí být magnetický tok svázaný se statorem také konstantní. Je-li následkem zatížení měněn magnetický tok, mění se také magnetický tok reakce kotvy. Má-li být zachováno konstantní napětí, musí být zároveň měněna velikost toku budícího vinutí, které může kompenzovat změny reakce kotvy. V případě změny elektromotorického napětí E , se průběh závislosti $P=f(\theta)$ mění na charakteristiky s rozdílnou amplitudou. [2]



12. Závislost stability na buzení [13]

Přibuzením stroje tak zůstává stejný výkon, ale je měněn zátěžný uhel. Navýšením buzení posuneme charakteristiku z průběhu I na průběh II. Buzení můžeme zvyšovat do dosažení jmenovitého proudu stroje. [2]

3.2. Dynamická stabilita

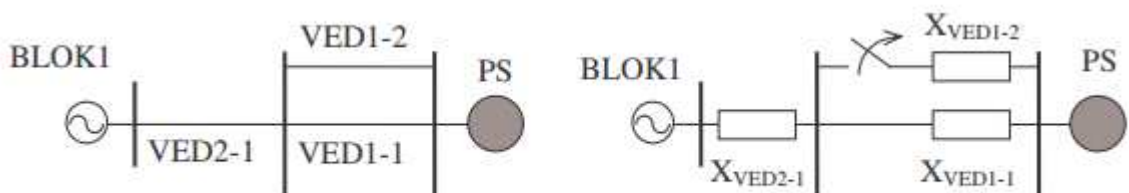
Dynamickou stabilitou rozumíme schopnost soustavy obnovit ustálený synchronní chod a obnovení konstantních fázových rozdílů mezi rotory alternátorů po odeznění přechodového děje. Tyto přechodové děje nastávají například při zkratech, změnách zatížení, spínání a dalších akcích. Změna parametrů soustavy je v těchto případech skoková. Skokovou změnu však nemůže provést stroj, neboť jeho setrvačnosti toto nedovolují, nasávají tedy elektromechanické kmity. V případech kdy se kmity zmenšují, nastane ustálení na nové hodnotě zátěžného úhlu, pokud by zátěžný uhel narůstal, soustava se stane nestabilní. V dalším řešení budeme uvažovat tyto předpoklady. [2]

- Výkon alternátoru do 1s bude konstantní
- Nízké otáčky soustrojí můžeme z vyjádření vztahu výkonu a momentu považovat za konstantní
- Zanedbáme vliv regulátoru buzení pro počáteční stadium přechodového jevu.
- Zátěž má konstantní impedanci

3.2.1. Metoda ploch

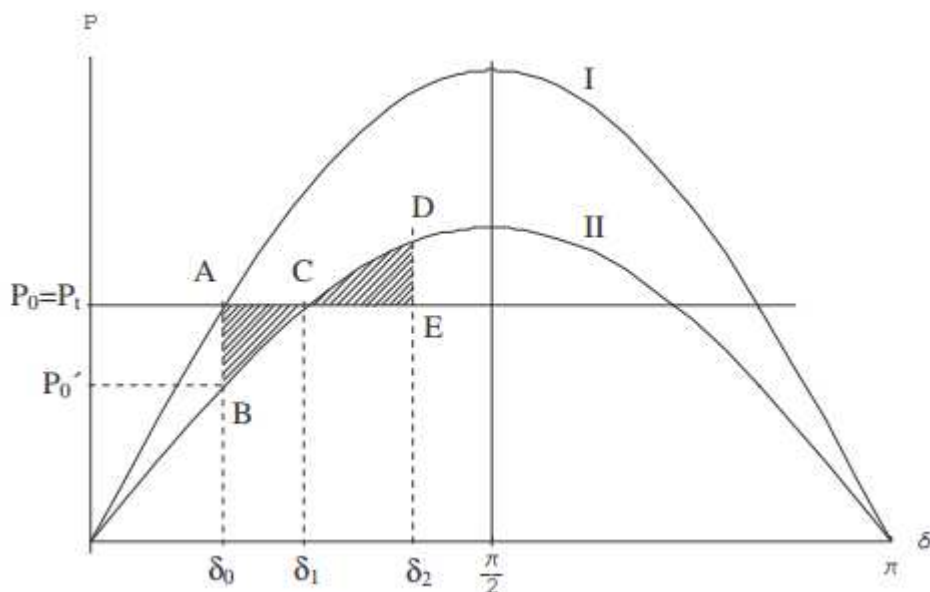
Stejně jako u stability statické je odvození zátěžného úhlu určeno vztahem (4,8). Jedou změnou je přechodné elektromotorické napětí E' které obsahuje přechodnou reaktanci alternátoru X' .

Metodu si popíše na následujícím příkladu dle níže uvedeného obrázku.



13. Schéma pro ukázkou metody ploch [2]

S uvedeným příkladem je výkon předáván z BLOK-1 přes vedení VED2-1 a paralelní vedení VED1-1 a VED1-2. V případě že vedení VED1-2 odepneme, dojde k změně reaktance dle rovnice (4,8) to způsobí snížení amplitudy křivky závislosti výkonu na zátěžném úhlu.



14. Znázornění metody ploch [2]

Na obrázku (obr.18) je zobrazen přechod z křivky I na křivku II. Náhlá změna není možná, protože ji brání setrvačnost setrvačné hmoty soustrojí. Následuje tedy změna odebíraného výkonu z hodnoty P_0 na P_0' , na obrázku (obr.18) přechod z bodu A do bodu B. Vzhledem k tomu, že konstantní zůstává mechanický příkon, dochází tak k urychlování stroje výkonem ΔP_0 . Důsledkem je zvýšení zátěžného úhlu δ . Rychlost stroje je navyšována dokud výkon nedorovná odebíraný výkon, tedy dosáhne bodu C. V bodě C, kdy se výkony rovnají, způsobí setrvačná síla hmot navýšení až do bodu D, kde je již stroj opět zpomalován, neboť odebíraný výkon převyšuje dodaný mechanický výkon. Tento jev způsobený kinetickými vlastnostmi stroje nazýváme kývání. Z tohoto důvodu jsou stroje vybaveny tlumením, které kývání omezuje a napomáhá tak rychlému dosažení rovnovážného stavu.

Analýzu zpracujeme následujícím způsobem

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\omega_0 \Delta P}{T_m S_n}$$

Rovnice kývání stroje (4,11)

Prvky ω_0 , T_m a S_n můžeme brát jako konstantní $-\frac{\omega_0}{T_m S_n} = c = konst.$ Konstantu c násobíme

$2 \frac{d\delta}{dt}$ a upravíme do tvaru

$$2 \frac{d\delta}{dt} \frac{d^2\delta}{dt^2} = 2c \Delta P \frac{d\delta}{dt} \quad (4,12)$$

Vzhledem k tomu že $2 \frac{d\delta}{dt} \frac{d^2\delta}{dt^2}$ je derivací $\left(\frac{d\delta}{dt}\right)^2$

$$2 \frac{\left[\left(\frac{d\delta}{dt}\right)^2\right]}{dt} = 2c\Delta P \frac{d\delta}{dt} \quad (4,13)$$

Násobíme dt

$$\left(\frac{d\delta}{dt}\right)^2 = \int_{\delta_0}^{\delta_2} 2c\Delta P d\delta \quad (4,14)$$

Odmocníme

$$\Delta\omega = \left(\frac{d\delta}{dt}\right) = \sqrt{\int_{\delta_0}^{\delta_2} 2c\Delta P d\delta}$$

Změna uhlové rychlosti (4,15)

Dle tohoto výrazu můžeme zapsat vztah zachování stability. Za předpokladu $\Delta\omega = 0$ bude stabilita zachována.

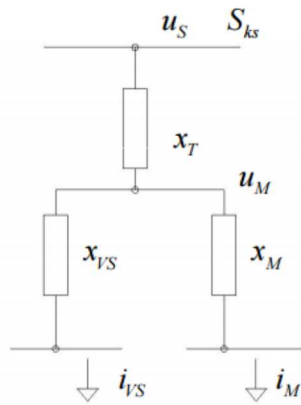
$$\int_{\delta_0}^{\delta_2} 2c\Delta P d\delta = 0$$

Součet urychlující a brzdné plochy (4,16)

Dle tohoto můžeme stanovit pravidlo, že hranicí stability je podmínka stejné velikosti urychlující a brzdné plochy. [2]

3.2.2. Spouštění největšího spotřebiče

Při spouštění největšího spotřebiče musí být zdroj dostatečně tvrdý a zároveň musí vyhovět i zkratovým výkonem.



15. Reaktance při spouštění spotřebiče ve VS [13]

$$x_z = \frac{x_{vs} * x_m}{x_{vs} + x_m}$$

Celková zátěž (4,17)

- x_z celková reaktance
- x_{vs} reaktance vlastní spotřeby
- x_m náhradní reaktance motoru

$$x_m = \frac{1}{i_{zm}} \frac{S_{nT}}{S_{nm}}$$

Vztažný výkon transformátoru (4,18)

- i_{zm} záběrný proud motoru
- S_{nT} Vztažný výkon transformátoru
- S_{nm} Vztažný výkon motoru

$$x_m = \frac{1}{\sin\varphi_{vs}} \frac{S_{nT}}{S_{vs}}$$

Náhradní reaktance předběžného zatížení vlastní spotřeby (4,19)

- S_{vs} Vztažný výkon vlastní spotřeby

4. Popis a dimenzování systému

Systém je koncipován do prostředí dřevozpracující společnosti. Provoz tohoto systému tedy odpovídá jednosměnnému provozu v pracovních dnech. Mimo pracovní část týdne je systém zatížen pouze osvětlením, zabezpečovacím a požárním systémem. Přebytky vzniklé v případě plně nabitých baterií jsou využívány pro přehřev v sušičce materiálu, nebo jsou odvedeny v případě potřeby do sítě.

4.1. Vybavení objektu

Skladba strojů a zařízení, jimiž je objekt vybaven odpovídá zaměření společnosti. Ta se specializuje na zpracování jak surového dřeva a produkcí stavebního materiálu tak finální úpravou a montáží nábytku. Další z aktivit společnosti je vysoušení materiálu. Pro vysoušení je skladovací místnost vybavena ventilací a akumulacími topnými tělesy.

Zařízení	Napětí V	Jmenovitý proud A	Příkon W	Otáčky/min	Typ zatížení
Hoblovka	400	7	3900	6500	S6 40%
Protahovačka	400	7	3900	6700	S6 20%
Pila	400	12	4500	1440	S6 20%
Cirkulárka	400	12	4400	2400	S6 40%
Dlabačka	400	13	5200	1400	S1,S6
Olepovačka	400	15	6000	12000	
Soustruh	400	2,3	1000	120-900	
Lis	400	40	16000		
Přímotop	400	13	9000		
Ostatní přístroje	230		3200		
Světla, EPS, EZS	12		200		

3. Seznam zařízení

Pro pozorování přechodných jevů v systému stanovíme scénáře spouštění jednotlivých zátěží. Budeme tak simulovat běžný provoz systému.

4.2. Využití obnovitelných zdrojů

Umístění objektu nedovoluje využití téměř všech typů obnovitelných zdrojů. Okolní zástavba a lokalita znemožňuje využití i větrné elektrárny. Jediná možnost je využití fotovoltaických panelů. Při zadávání stavební dokumentace bylo zamýšleno tento objekt koncipovat jako ekologickou stavbu s maximálním využitím obnovitelných zdrojů. Objekt je tudíž delší stranou natočen na jih a sklon střechy je projektován na 10°.

$$S_o = \frac{a_o}{\cos \alpha_o} * b_o$$

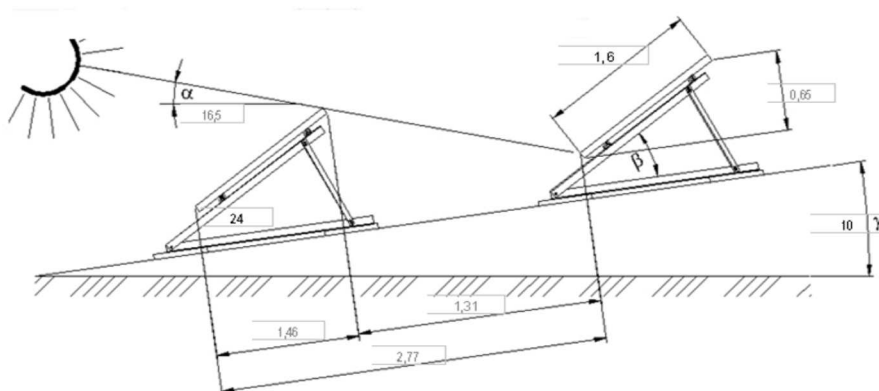
Výpočet rozlohy střechy pro montáž fotovoltaických panelů (3,1)

S_o Plocha střechy

α_o Sklon střechy

a_o Šířka objektu

b_o Délka objektu



16. Vzdálenost FV Panelu [12]

$$S_{PV} = a_{PV} * \cos(\beta_{PV} - \alpha_o) * b_{PV}$$

Plocha panelu při náklonu 35° (3,2)

a_{PV} Délka panelu

b_{PV} Šířka panelu

β_{PV} Sklon panelu

S_{PV} Plocha panelu

Plocha za modulem nutná pro odsazení další řady. V našich podmínkách obvykle volíme úhel $\alpha = 16^\circ$.

$$S_{OPV} = b_{PV} * \sin(\beta_{PV} - \alpha_o) * \tan(90 - \alpha)$$

Plocha za modulem (3,3)

c_{PV} Výška modulu

d_{OPV} Vzdálenost další řady modulů

S_{OPV} Plocha odsazení

$$S_P = S_{OPV} + S_{PV}$$

Celková plocha panelu s odsazením (3,4)

S_P Plocha panelu včetně odsazení

$$n_r = \frac{\frac{a_o}{\cos \alpha_o}}{a_{PV} * \cos(\beta_{PV} - \alpha_o) + d_{OPV}}$$

Počet řad fotovoltaických panelů (3,5)

n_r Počet řad

$$n = n_{PVR} * n_r$$

Počet instalovaných panelů na střeše objektu (3,6)

n Počet fotovoltaických panelů

$$P_{in} = n * P_{PV}$$

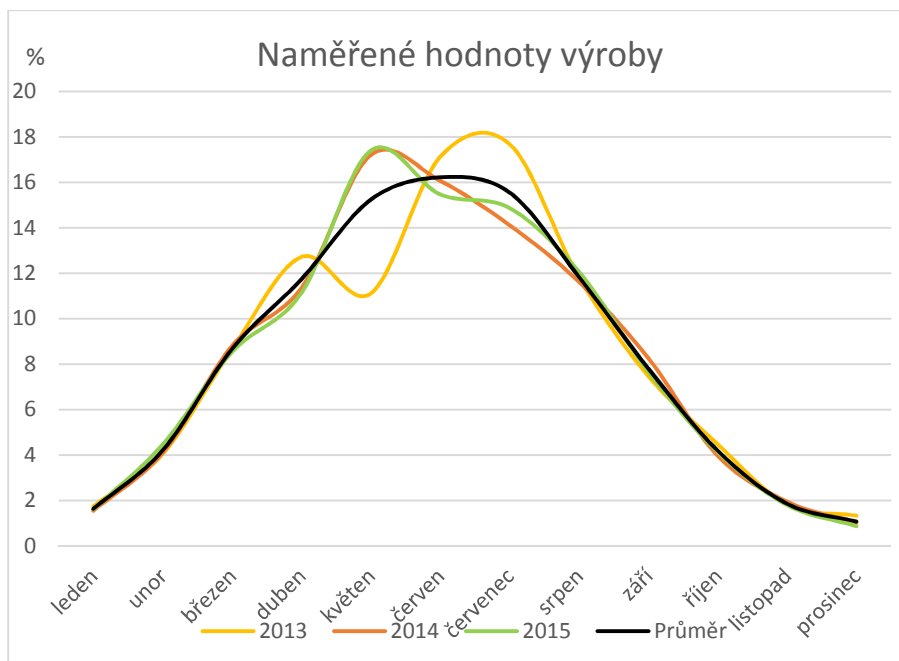
Instalovaný výkon (3,7)

P_{PV} Výkon panelu

P_{IN} Instalovaný výkon

4.2.1. Rozložení výkonu

Výkon dodaný fotovoltaickým systémem je silně závislý na ročním období. V průběhu roku se mění intenzita záření i délka slunečného dne. Na obrázku níže je znázorněn rozložení slunečního záření v průběhu roku.



17. Naměřené hodnoty referenčního systému

Hodnoty v grafu odpovídají naměřeným hodnotám fotovoltaického systému vybudovaného ve stejné lokalitě s instalovaným výkonem 2,1kWp.

4.2.2. Předpokládaná výroba

Předpoklad kolik daný systém dokáže vyrobit elektrické energie, můžeme zpracovat dvěma způsoby. Prvním, je využití referenčního systému, který již má dostatečnou historii naměřených hodnot. Vzhledem tomu, že může nastat situace, kdy nebude možné nalézt referenční systém. Použijeme data dostupná z meteorologických stanic.

4.2.2.1. Metoda referenčního systému

Naměřená data jsou buď volně dostupná na internetových stránkách, nebo je potřeba si o ně požádat u majitele systému. U systémů, které slouží pouze pro dodávání vyrobeného výkonu do sítě, je možné zažádat u příslušného distributora elektrické energie.

$$P_i = \frac{P_{ir}}{P_{is}} * P_n$$

Předpokládaný dodaný výkon (3,8)

P_i Výkon nového systému v měsíci

P_{ir} Naměřený výkon referenčního systému v měsíci

P_{is} Instalovaný výkon referenčního systému

P_n Instalovaný výkon nového systému

4.2.2.2. Analytická metoda

Pro systémy „na zelené louce“ bez referencí je možné využít portálu PVGIS který zpracovává data z meteorologických a zohledňuje zeměpisnou polohu, naklonění panelů a účinnost systému.

Data z PVGIS

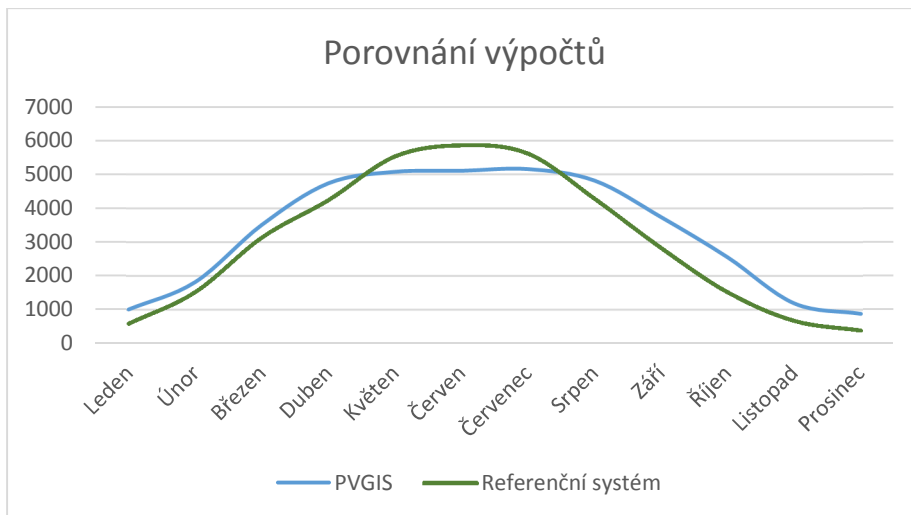
Fixní systém: náklon=35°, orientace=0°				
Měsíc	E_d	E_m	H_d	H_m
Leden	32.50	1010	42401	31.6
Únor	65.20	1820	42462	57.3
Březen	113.00	3510	20515	110
Duben	158.00	4740	35521	149
Květen	164.00	5080	42491	160
Červen	170.00	5110	13636	161
Červenec	166.00	5160	45413	162
Srpen	156.00	4820	32599	152
Září	125.00	3740	33664	117
Říjen	82.30	2550	21217	80.0
Listopad	39.70	1190	45658	37.4
Prosinec	28.40	882	0.89	42578
Roční průměr	110	3340	15036	104
Suma za rok	40100		1250	

4. Výstup z PVGIS

- E_d Průměrná denní produkce elektřiny z daného systému (kWh)
 E_m Průměrná měsíční výroba elektřiny z daného systému (kWh)
 H_d : Průměrný denní součet záření na metr čtvereční modulu systému (kWh / m²)
 H_m Průměrný součet záření na metr čtvereční modulu daného systému (kWh / m²)

4.2.2.3. Porovnání metod výpočtů

Při porovnání obou metod můžeme získat přehled, jak se mohou lišit data získaná měřením a výpočtem z naměřených dílčích parametrů.



18. Porovnání výpočtů

4.2.3. Akumulace

Dimenzování akumulace pro systémy, které jsou připojeny k distribuční síti, je otázkou definovaných požadavků na daný systém. S narůstající mírou samostatnosti objektu se zvyšují nároky na delší dobu zálohování. Mírou samostatnosti rozumíme období, kdy systém nebude mít dostatečnou dodávku ze svých zdrojů pro provoz systému bez omezení.

4.2.3.1. Dimenzování akumulace

Pro výpočet velikosti akumulátorů musíme znát denní využití strojů a rozložení využití v průběhu dne. Další důležitou součástí výpočtu je účinnost jednotlivých prvků podílejících se na provozu systému. Do této skupiny patří regulátory fotovoltaických panelů a měnič napětí neboli střídač. Vzhledem k tomu, že jeden z požadavků je aby se systém choval vůči distribuční síti z větší části jako zdroj. Vezmeme-li využití objektu a velikost instalované FVE stanovíme dobu bez dodávky na dva dny. V případě, kdy nebude akumulace dostačující, je systém zálohován z veřejné sítě. [12]

$$C_a = \frac{P_d * n_d}{P_{zm} * U_s} * k_b$$

Výpočet velikosti akumulátoru (3,9)

P_{zm}	Ztráty měniče
P_d	Denní spotřeba
n_d	Počet dní bez dobíjení.
k_b	Koeficient využitelnosti baterii
C_a	Kapacita baterie

4.2.4. Střídač

Srdce systému umožňující chod potřebných zařízení celého objektu a připojení do veřejné sítě, je vždy chráněno proti poruchám, které by jej mohly ohrozit. Při dimenzování je nutné brát ohledy na skladbu strojů, které jsou připojeny.

4.2.4.1. Dimenzování dle výkonu

V systémech kde není zapotřebí krátkodobého přetěžování lze střídač dimenzovat dle určení zdánlivého výkonu.

$$S_q = k \frac{P_{max}}{\eta_m * \cos\varphi_m}$$

Zdánlivý výkon měniče (3,10)

S_q Zdánlivý výkon měniče

k koeficient zohledňující neharmonický průběh proudu

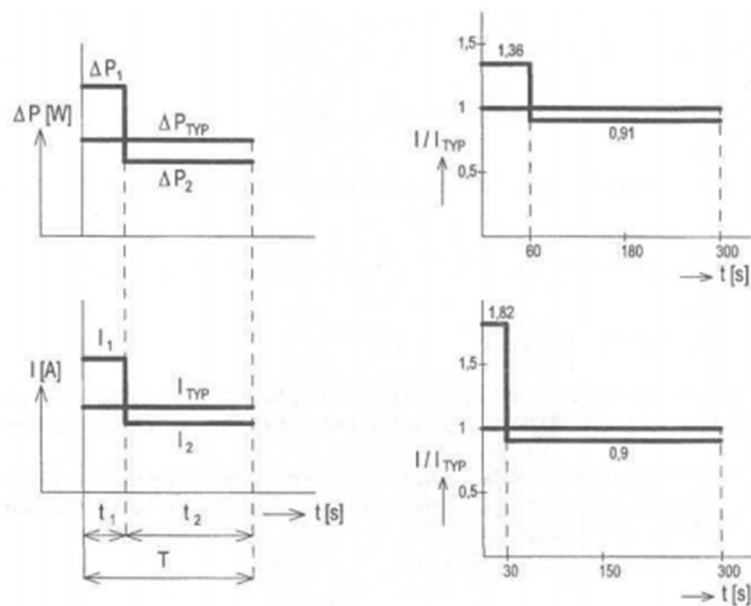
η_m účinnost motoru

$\cos\varphi_m$ účinník motoru

4.2.4.2. Přetížení střídače

Na rozdíl od motorů a vinutých dílů s velkou tepelnou kapacitou vinutí, s delší a větší přetížitelností, vznikají polovodičových měničů ztráty a PN přechodech o velmi malé hmotnosti. Přetížitelnost je tedy značně časově a proudově omezena. Údaje o zatížitelnosti jsou udávány pro určitý nosný kmitočet pulsní šířkové modulace. V případě využití jiného nosného kmitočtu musíme provést přepočet pro změnu typického zatížení.

Způsoby udávání zatížitelnosti:



19. Zatížitelnost měniče [9]

Informace o zatížitelnosti měniče jsou založeny na časovém intervalu T , ve kterém se může přeměnit výkon na ztrátový tepelný výkon v určitém čase.

$$\Delta P_{TYP}(I_{TYP})T = \Delta P_1(I_1)t_1 + \Delta P_2(I_2)t_2$$

Výpočet přetížení za časový úsek (3,11)

ΔP_{TYP} Definovaný výkon střídače

I_{TYP} Definovaný proud střídače

Všechny dílčí ztráty jsou uvedeny jako funkce proudu a při zjednodušení získáme:

$$(u_0 I_{TYP} + k I_{TYP}^2)T = (u_0 I_{1av} + k I_{1ef}^2)t_1 + (u_0 I_{2av} + k I_{2ef}^2)t_2$$

Výpočet tepelných ztrát pomocí proudu (3,12)

V případě přetížení pro interval T musí v časovém úseku t_1 a t_2 dojít k odlehčení aby byla ztrátová energie chladícím médiem odvedena. [9]

4.3. Modelování energetického systému

Modely systému byly zpracovány pomocí matematického solveru MATLAB ve verzi 2015b vytvořený společností MathWorks. Program svou univerzálností obsahuje knihovny pro modelování od matematických úloh přes automatizační celky, ale také knihovny pro výpočty parametrů, simulace chování energetických sítí. Program lze využít pouze na simulace s krátkým časem, výpočty složitějších celků jako jsou energetické systémy, svou náročností vylučují delší měření a zkoumání stavů. Prvky knihoven mohou být kombinovány nezávisle na využití v projektu. Širokou škálu průběhů, nezávislých i závislých proměnných a měřících přístrojů nalezneme v základní knihovně Simulink. Modely obsahující přechodové děje mohou být vytvořeny implementací vypínačů s nastavitelným časem spuštění před klíčové prvky. Pro modelování energetického systému byla využita modul Simulink s knihovnamí Simscape – SimPowerSystems.

MATLAB je schopen naměřené hodnoty prezentovat přímo na implementovaných měřidlech, z těchto modulů můžeme dále hodnoty exportovat v několika formátech. Vedle tabulkových hodnot se nabízí přímý tisk grafů do formátu PDF, bmp, jpg a dalších grafických formátů. Pro prezentaci naměřených hodnot byla data exportována do formátu BMP a dále zpracována pomocí programů Paintbrush. Data v podobě tabulkových výstupů byla zpracována pomocí sady Windows Office 2013.

Jedním ze základních bloků modelů je inicializační blok „powergui“, který určuje způsob přístupu programu k jednotlivým blokům, nebo jakým postupem bude simulace vypočítávána. Model systému pracujícího v ostrovním provozu je složen z jednotlivých bloků. Každý blok obsahuje parametry definující jeho chování. Vzhledem k rozsáhlosti systému a implementaci řízení, zejména střídače, je vytvořeno několik subsystémů sdružující další funkční bloky. V těchto blocích nalezneme řízení střídače, kombinaci měřících bloků pro výpočet požadovaných hodnot.

4.3.1. Model systému

Model můžeme rozložit na několik částí, ze kterých se skládá. Nejvíce jsou zastoupeny blokové moduly, které obsahují kompletní nastavení. V případě je schéma blíže rozpracováno do dílčích prvků.

4.3.2. Měnič

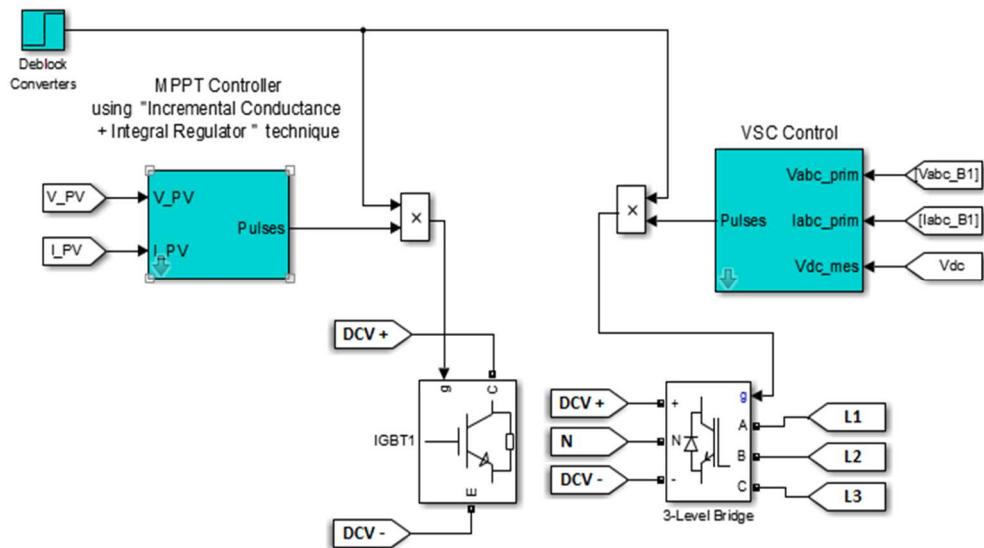
Prakticky nejsložitější na celém modelu je model měniče. Ten díky měřeným výstupům z PV Modulu a měření na stejnosměrné části generuje výstupní sinusový průběh. Vzhledem k tomu, že se jedná o šířkově pulzní modulaci, nejedná se tedy o čistě sinusový průběh. Vzhledem k potřebám a užití systému je toto řešení dostačující.

Deblock Converter - Generuje nosný signál pro pulzně šířkovou modulaci.

MPPT Controller - Řídí výstupní napětí z PV Modulu a reguluje jej na maximální možný výkon.

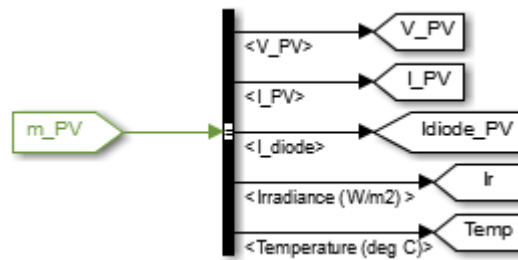
VSC Control – Řízení IGBT můstku v závislosti na vstupním napětí

3 – Level Bridge – Série IGBT součástek řízená VSC Controllorem pro generování sinusového signálu.



20. Model měniče

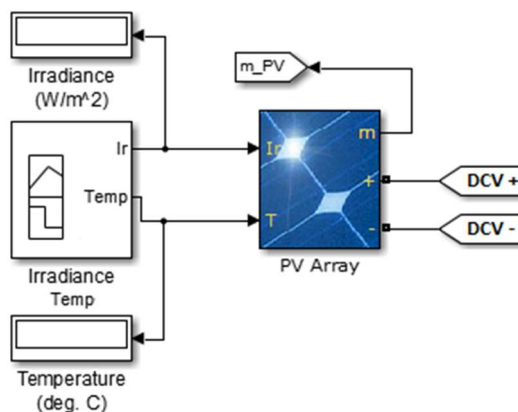
Nedílnou součástí je hradlo dělící signál z PV Modulu na jednotlivé veličiny. S těmi je nadále separátně pracováno



21. Podsystem měniče - hradlo k PV Modulu

4.3.3. PV Modul

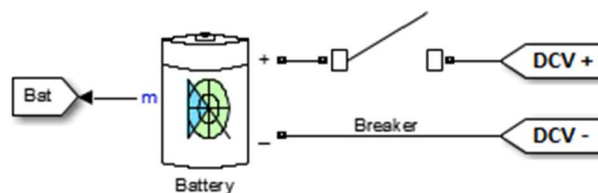
Hlavním zdrojem systému jsou PV Moduly. Pro potřeby simulace různých situací jsou vstupní veličiny nastavitelné pomocí proměnného vstupu. Můžeme tak simulovat různé průběhy osvětlení za veškerých teplot. V případě simulace zastínění části systému by musel model obsahovat více PV Modulů se samostatným nastavením. Pro přehled při simulaci je blok generující hodnoty vstupních veličin doplněn o zobrazení aktuální hodnoty.



22. PV Modul

4.3.4. Baterie

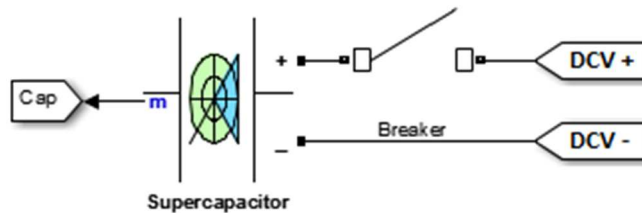
Baterie připojena ke stejnosměrnému obvodu před střídačem zajišťuje napájení v případě, že PV Modul svým aktuálním výkonem není schopen obsloužit potřeby systému. Parametry týkající se nabíjení a vybíjení jsou definované přímo v modulu baterie. Pro simulaci plného nabití a odpojení od systému je modul doplněn o vypínač.



23. Model Baterie

4.3.5. Superkapacitor

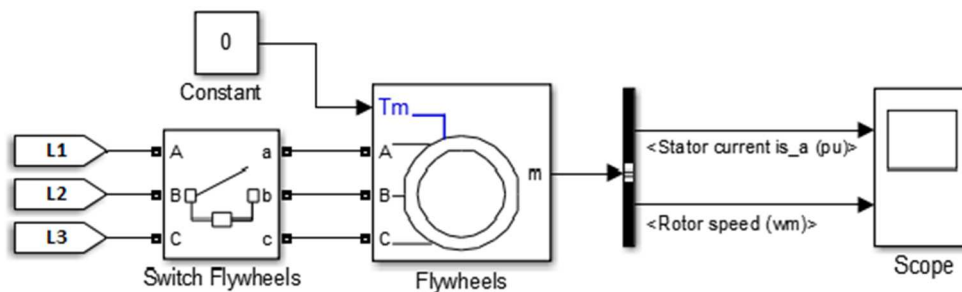
Superkapacitor nalezneme pouze v modelu určeném pro superkapacitor. Jedná se o prvek navyšující stabilitu systému. Pro své vysoké vybíjecí proudy je výborným zdrojem pro krátkodobé zátěže. Veškeré parametry a nastavení jsou také uvedeny přímo v daném modulu. Simulaci připojení v případě krátkého zatížení provádíme časově nastavitelným spínačem.



24. Superkapacitor model

4.3.6. Flywheels

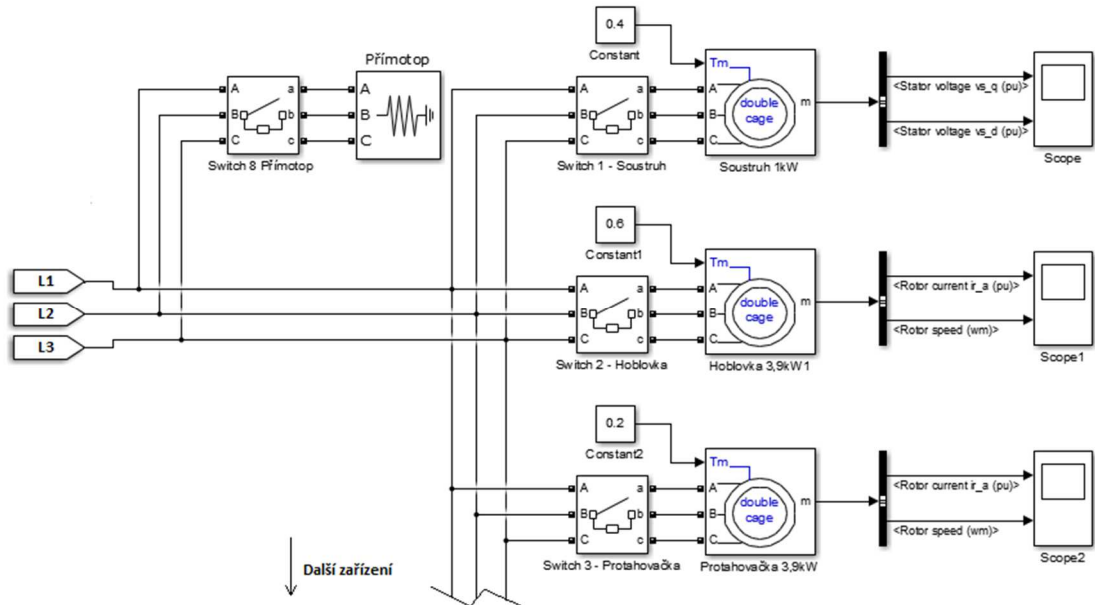
Stejně jako superkapacitor je flywheels jeden z prvků napomáhající stabilitě systému. Stroj je připojen do sítě za měnič. Pro vytvoření tohoto zařízení je upraven modul asynchronního motoru, který svými vychozími podmínkami odpovídá připojení roztočenému alternátoru s velkým setrvačným momentem. Simulace připojení do systému je také řešena časovým spínačem.



25. Fly-Wheels model

4.3.7. Vybavení objektu

Přístroje implementované v modelu odpovídají svými parametry skutečným zařízením využívaných v dřevozpracujícím odvětví. Pro definování přesných parametrů byla využita interní knihovna programu MATLAB, která nabízí různé druhy strojů. Na obrázku je pouze část ze sady používaných strojů. Kompletní seznam uveden v tab3.



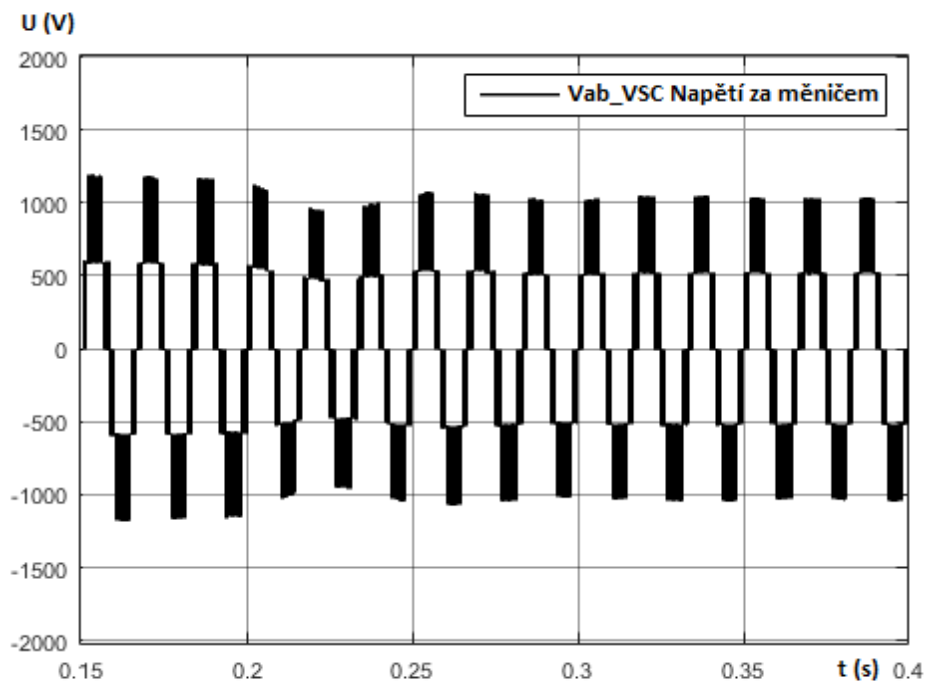
26. Zátěž schéma

4.3.8. Simulace odporové zátěže

V první simulaci provedeme připojení odporové zátěže v podobě akumulčního výhřevu o výkonu 9kW.

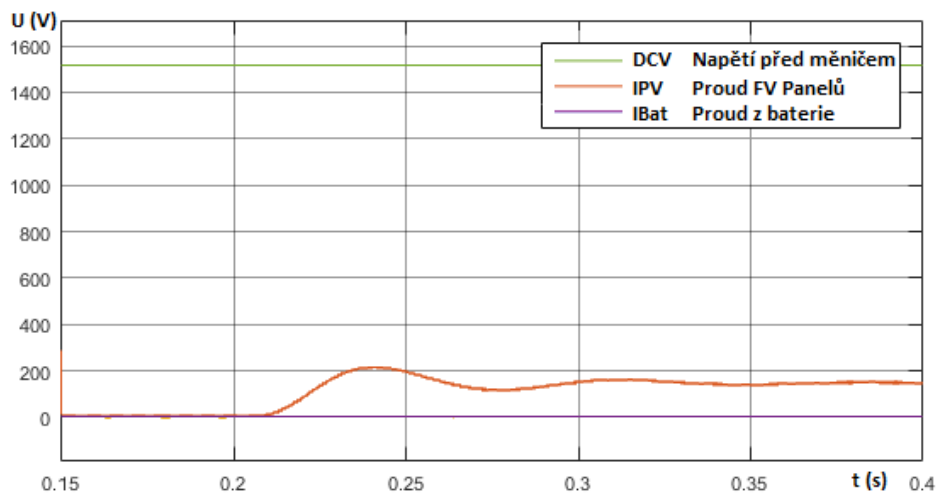
Toto zařízení je zároveň instalováno pro spotřebu přebytků ve dnech kdy fotovoltaické panely dodají větší výkon, než je provoz schopný spotřebovat.

Podmínky připojení tohoto spotřebiče odpovídají plně nabitým bateriím a plnému ozáření vlastních fotovoltaických panelů. V čase sepnutí $t = 0,2s$ je na střídavém napětí patrný malý pokles.



27. VSC - Odporová zátěž

Na straně stejnosměrného obvodu napájeného pouze z fotovoltaických panelů nedochází k žádným poklesům napětí. Při konstantní zátěži je zřejmý kolimační efekt měniče, který vyhledává bod maximálního výkonu.



28. Vdc - Odporová zátěž

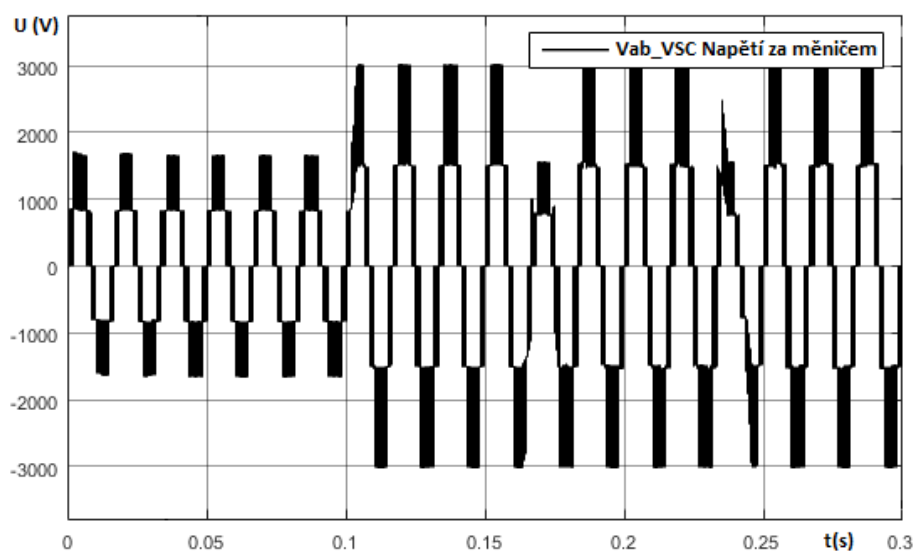
4.3.9. Spínání největšího spotřebiče

V simulaci provádíme sepnutí největšího spotřebiče. Tím je v našem systému lis s asynchronním motorem o výkonu 16 kW. Model s parametry motoru byl přebrán z knihovny MATLAB.

Využívání zařízení z hlediska provozu nepodléhá žádnému omezení a může být využíváno v průběhu cele pracovní doby.

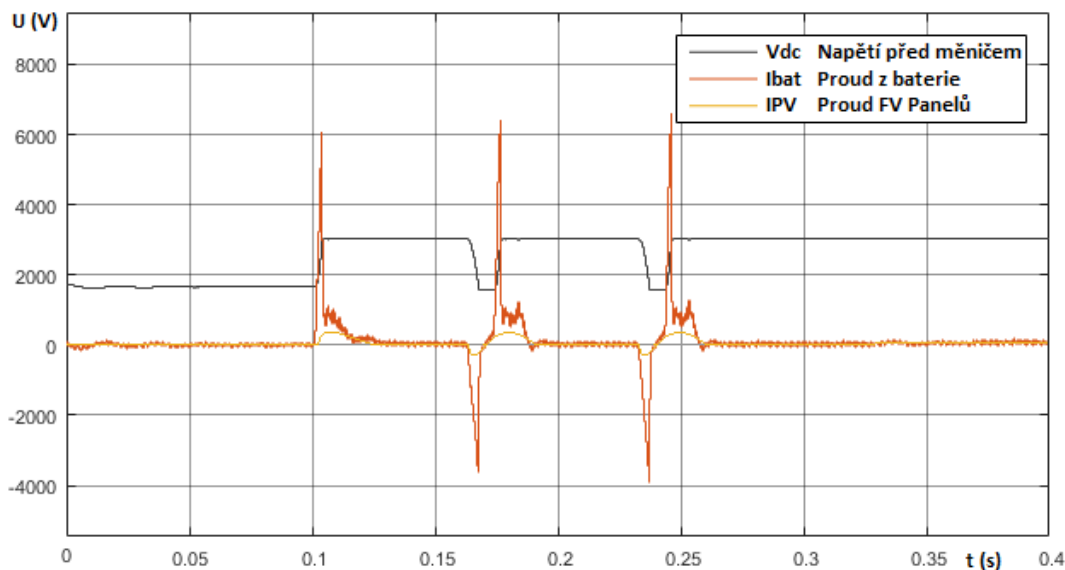
Podmínky pro simulaci byly nastaveny na sníženou intenzitu ozáření PV modulů na 500 W/m². Stav baterii byl stanovena na úroveň 70% nabití.

Lis byl uveden do provozu v čase $t = 0,1s$ kdy je v grafu vidět nárůst napětí. Nárůst napětí je způsoben vlivem jalové složky při vytváření elektromagnetického pole. Toto navýšení napětí by mělo za následek vybavení přepětíových ochran a odpojení měniče, ochrany však nebyly do modelu implementovány. Stav baterii a proud dodaný PV moduly nemohou stroj udržet v běhu, proto nastává znovu spouštěcí proces v čase $t = 0,16s$ a $t 0,28s$. Za tohoto stavu nelze stroj provozovat.



29. VSC - Největší spotřebič

Přepětí se díky dokonalému modelu měniče objevilo i na straně stejnosměrného napětí. V grafu jsou vyneseny průběhy proudů z baterie a PV modulů, které odpovídá stavu zdrojů a jejich poměru mezi velikostí zkratových proudů.



30. Vdc - Největší spotřebič

4.3.10. Spínání série zařízení

Série různých zařízení byla stanovena dle několika výrobních procesů, které mohou být využívány paralelně v nezávislosti na omezení jiného pracoviště. Na příklad, při výrobě trámů mohou být zároveň využívány stroje pila, hoblovka a protahovačka. Modely strojů byli převzaty z interní knihovny MATLAB.

Zařízení mohou být využívány v rámci celé pracovní doby. Sestava odpovídá maximálnímu využití. V praxi nebude tato kombinace příliš využívána.

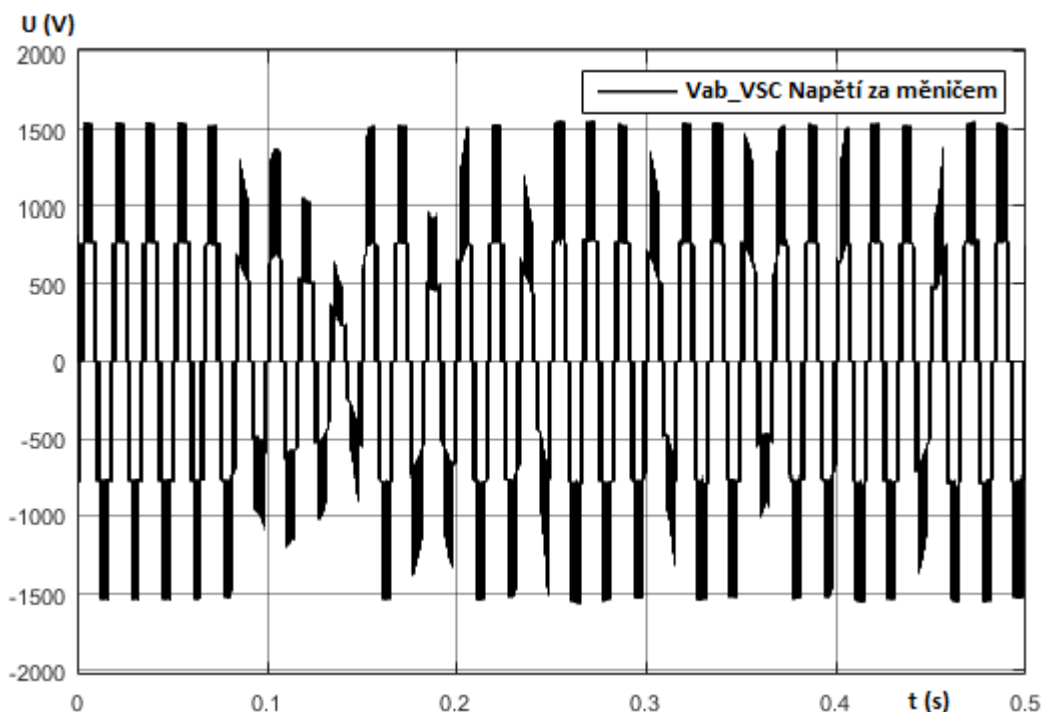
Zařízení	Jmenovitý proud A	Příkon W	Čas sepnutí
Hoblovka	7	3900	0,4
Protahovačka	7	3900	0,25
Pila	12	4500	0,6
Dlabačka	13	5200	0,8
Olepovačka	15	6000	0,8
Soustruh	2,3	1000	0,2

31. Tabulka spuštěných strojů

Podmínky pro simulaci byli nastaveny na sníženou intenzitu ozáření PV modulů na 500 W/m². Stav baterii byl stanovena na úroveň 70% nabití.

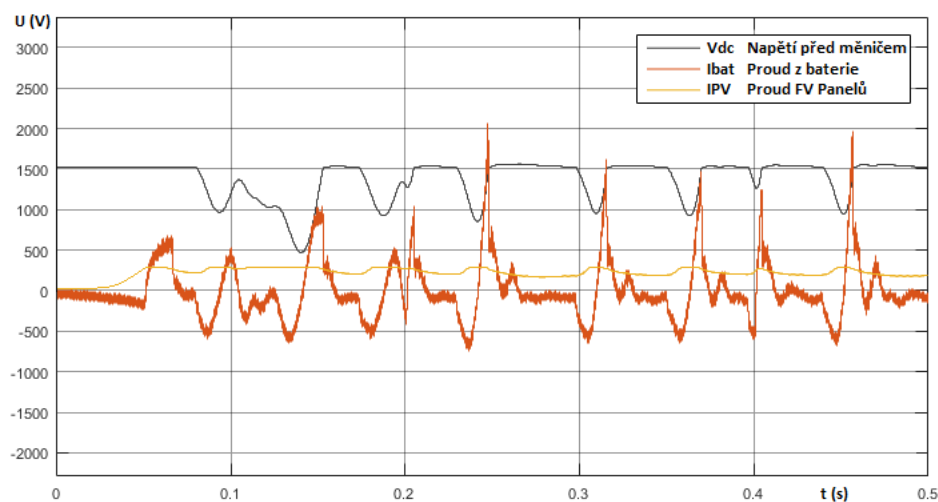
Při dané konstelaci zařízení a spuštění v krátkých intervalech po sobě, napětí kleslo pod hranici 500V. To může mít za následek snížení výkonu některých strojů, které by poklesem výkonu zcela zastavit. Takto nakumulované stroje mohou svým záběrným proudem zvýšit

vypočítaný maximální výkon v závislosti na koeficientu využití. Tím může dojít k odstavení, nebo i zničení měniče.



32. VSC - Série zařízení

Strana stejnosměrného napětí vykazuje poklesy při spínání jednotlivých zařízení. Sledování výkonu se snaží udržet maximální možný výkon, aby zařízení mohla být udržena v provozu. Rozdělení proudů ukazuje, že dominantní část stabilního zatížení převzal regulátor PV modulů a záběrný proud se omezena snaží vykrývat proud baterii. V průběhu simulace je i patrné nabíjení baterií.



33. Vdc - Série zařízení

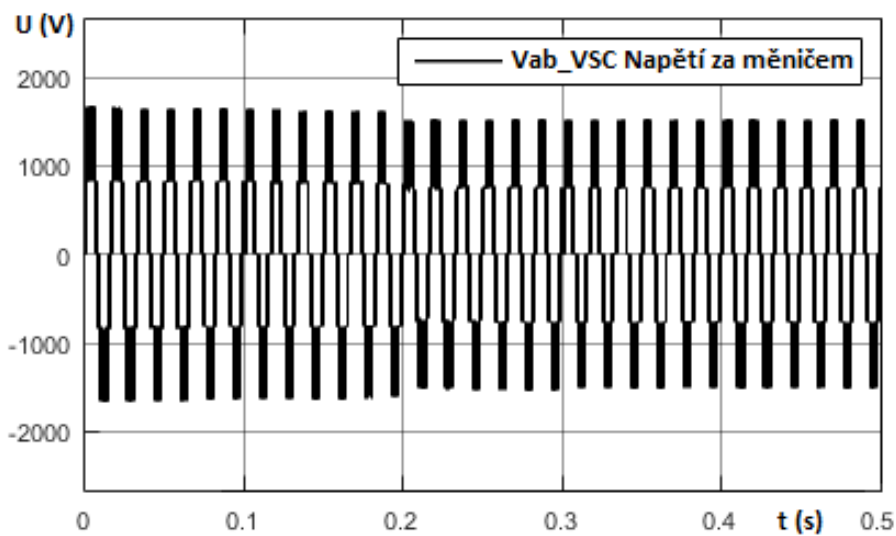
4.3.11. Implementace superkapacitoru

Model systému byl doplněn o modul superkapacitoru. V simulaci budeme znovu spínat největší spotřebič, kterým je lis s asynchronním motorem o výkonu 16 kW

Superkapacitor je k obvodu připínán pouze při nárůstu zatížení tak, aby vykrýval vysoké záběrné proudy a zároveň aby byl, v době kdy není potřeba, dobíjen.

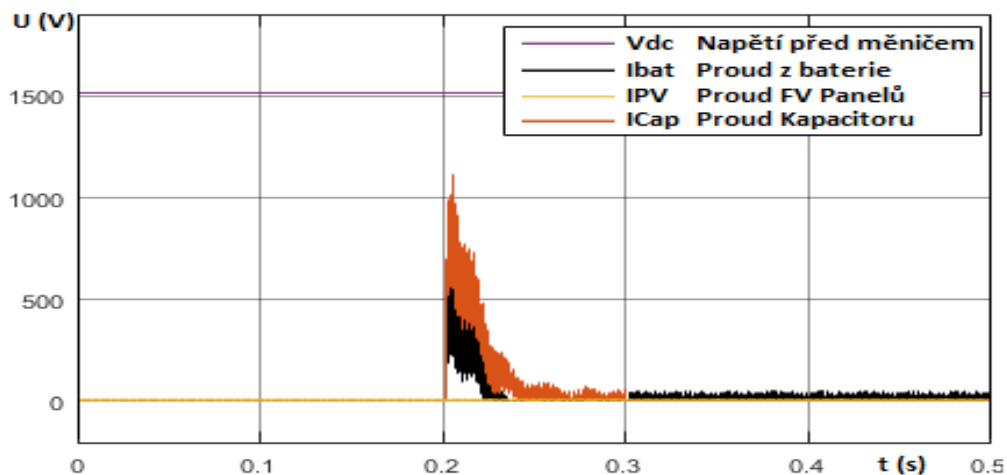
Podmínky pro simulaci byly nastaveny na sníženou intenzitu ozáření PV modulů na 500 W/m². Stav baterii byl stanovena na úroveň 70% nabití.

Stroj byl spuštěn v čase $t = 0,2\text{s}$ kdy je na průběhu patrné lehké snížení napětí.



34. VSC Superkapacitor

Superkapacitor díky své vlastnosti velkých vybíjecích proudů převzal většinu záběrného proudu asynchronního stroje. V simulaci byl připnut pouze na vykrytí záběrného proudu potřebného pro rozběh motoru. Dále již stroj pracoval pouze z dodávky baterie a PV Modulu.



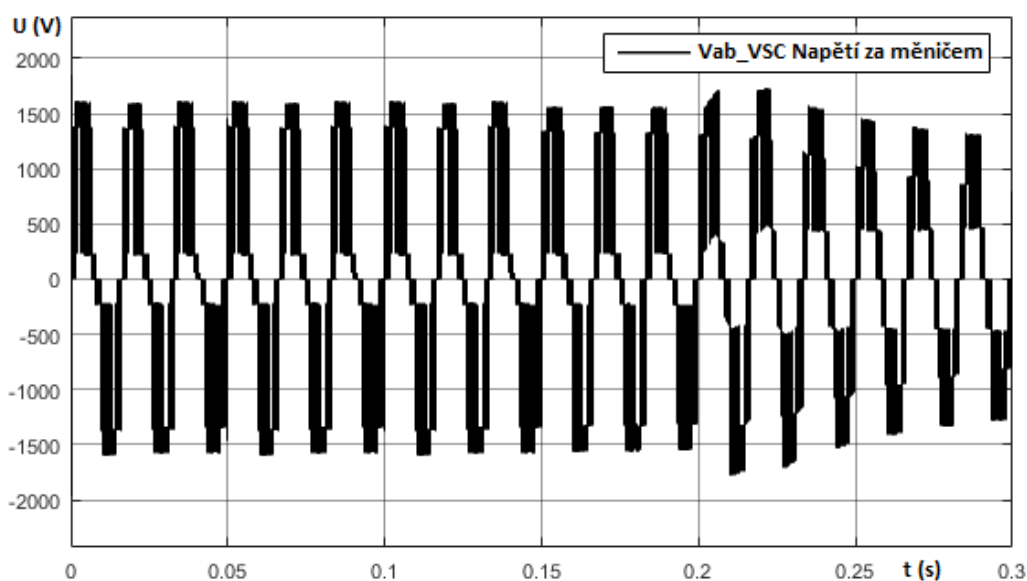
35. Vdc - Superkapacitor

4.3.12. Implementace Fly-Wheels

Dalším z možných posílení systému je vybavit jej zařízením Fly-Wheels. Model tohoto stroje není součástí knihovny MATLAB, byl proto nahrazen modelem asynchronním s upravenými parametry tak, aby se co nejvíce přiblížil reálnému stroji. Využit byl motor z interní knihovny MATLAB o výkonu 50 kW, kterému byl upraven moment setrvačnosti.

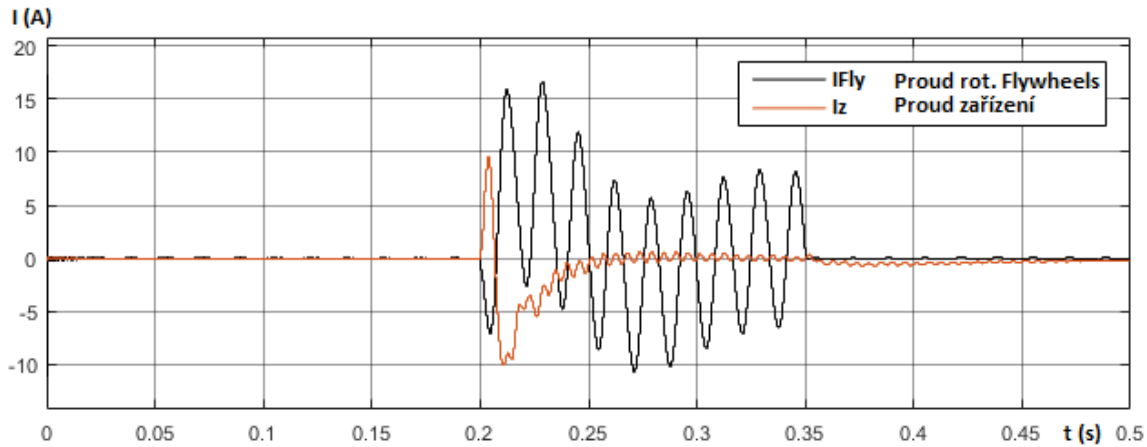
Využití Fly-Wheels je obdobné jako u superkapacitoru. Generátor je připínán pouze na vykrytí záběrných proudů a odlehčení stejnosměrnému obvodu.

Podmínky pro simulaci byly nastaveny na sníženou intenzitu ozáření PV modulů na 500 W/m². Stav baterii byl stanovena na úroveň 70% nabití. Výchozí nastavení Fly-Wheels odpovídá motoru v běhu na jmenovitých otáčkách, plným nabuzením a nulovým skluzem.



36. VSC - Fly-Wheels

Při porovnání proudu rotoru Fly-Wheels a proudu zátěže vidíme vykrytí záběrného proudu. Snížení proudu rotoru je úměrné proudu odebranému zátěží. Po dokončení procesu rozběhu je Fly-Wheels odpojen a zátěž je již napájen jen z baterii a PV modulů. V případě kdy Fly-Wheels není zatížen, chová se jako zátěž a opět navyšuje své otáčky na původní hodnotu.



37. Vdc - Fly-Wheels

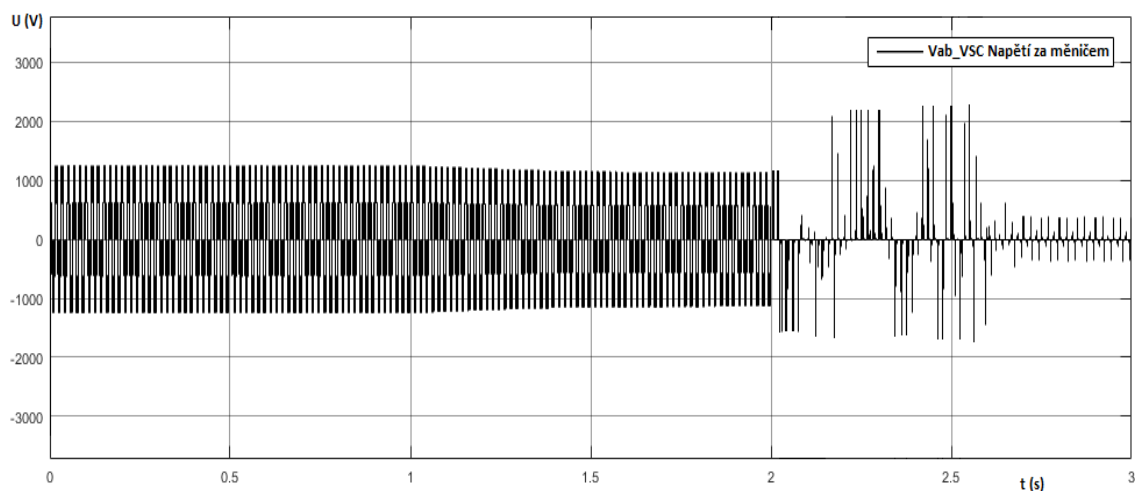
4.3.13. Výpadek měniče – Zálohování pomocí Fly-Wheels

Simulace napodobuje výpadek měniče. Veškerý výkon, který je tvořen největším spotřebičem, je nahrazen systém Fly-Wheels. Měnič stále napájí systém, však velikost zátěže je stále vysoká a nemůže být plně převedena pouze na základní systém.

Systémy Fly-Wheels jsou zároveň konstruovány jako rotační UPS které mají za úkol v případě výpadku sítě nahradit dodávku. Využití nalézají v systémech kdy odstavení bloku, nebo výroby může způsobit finanční ztrátu.

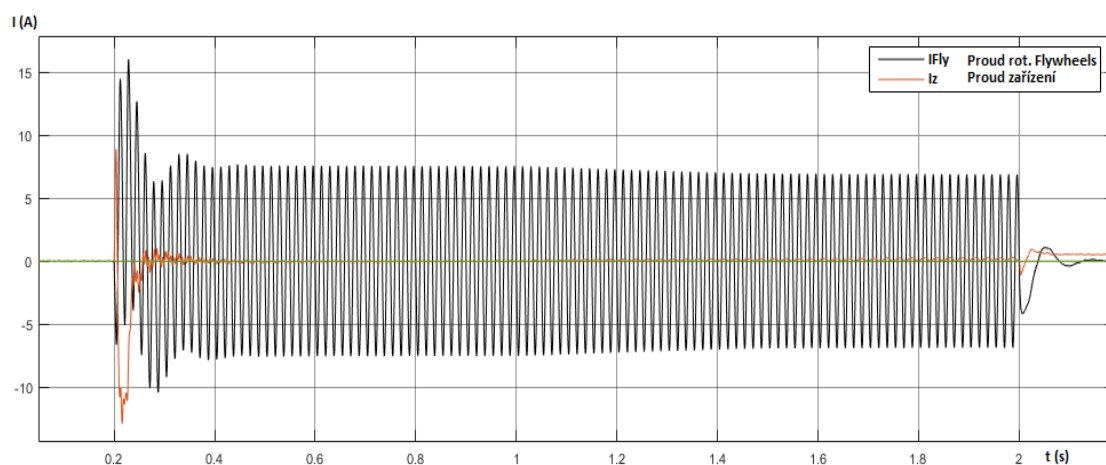
Podmínky pro simulaci byli nastaveny na sníženou intenzitu ozáření PV modulů na 50 W/m². Stav baterii byl stanovena na úroveň 10% nabití.

Systém je napájen již jen z Fly-Wheels. Na průběhu je zná pozvolné klesání napětí až v čase $t = 2$ s k úplnému zhroucení. V tomto čase otáčky největšího spotřebiče klesly na minimum a motor se začal znovu rozbíhat. V tomto případě již není v systému žádný zdroj, který by systém dále udržel v chodu.



38. VSC - Fly-Wheels RUPS

Pro tyto případy jsou systémy RUPS vybaveny diesel agregátem který v případě této situace dodá potřebný výkon po dobu nezbytně nutnou. V simulaci je Fly-Wheels dimenzován na velmi krátkou dobu zálohování. V praxi jsou tyto prvky dimenzovány na plné zastoupení po dobu 10-20sec. Za toto dobu musí být nastartován a připojen dieselagregát.



39. ISC - Fly-Wheels RUPS

5. Závěr

V práci je dokázáno, že s využitím moderních technologií je možné hybridní systémy se zvýšenými nároky na provoz provozovat bez větších obtíží. Je však nutné zvážit jaká z technologií má být využita. Pro zaměření objektu ve smyslu dřevozpracující společnosti mohou být využity popsané varianty.

V práci je detailněji rozpracován způsob využití superkapacitoru a Fly-Wheels. Oba systémy mohou být využity v průmyslových aplikacích.

Využití superkapacitoru představuje pro uvedenou oblast ideální prvek. Díky jeho využití může být systém s poddimenzovanými zdroji schopný provozovat zařízení s vyšším výkonem, než může systém poskytnout. Nevýhodou zůstává samovybíjení, které by mělo být kompenzováno přebytkem výkonu v časech, kdy nejsou zdroje plně využity. Ceny superkapacitorů se pohybují v řádech desetitisíců za kW.

Fly-Wheels oproti superkapacitorům nabízejí možnost kombinace s dieselagregáty, zároveň svými rozměry mnohonásobně převyšují prostor potřebný pro uskladnění superkapacitorů. Principiálně je možné je využít, ale nejmenší instalace začínají ve stovkách kWh. Jejich smysl tedy nabývá účelu u průmyslových objektů většího rázu. Investiční náklady těchto systémů jsou nižší než u superkapacitorů, ale stále se pohybují v řádech desetitisíců za kW.

Hybridní poloprůmyslové objekty budou mít v budoucnu své místo v energetických soustavách vedle solárních systémů, větrných elektráren a dalších obnovitelných zdrojů. Svým instalovaným výkonem budou schopny doplnit klasické zdroje a i přes svou vlastní spotřebu se tak podílet na dodávkách do distribuční sítě. Již dnes jsou využívány principy virtuálních elektráren, které slouží jako výpomoc při regulaci výkonového salda.

Zdroje:

- [1] Měřička, J., Hamata, V., Voženílek, P.: Elektrické stroje, Vydavatelství: ČVUT. 2001
- [2] Trojánek Z.: Přejchodné jevy v elektrizačních soustavách, Vydavatelství ČVUT,
a. 1987.
- [3] Pavelka Jiří ,Čeřovský Zdeněk, Lettl Jiří: Výkonová elektronika, Skriptum ČVUT,
ISBN: 978-80-01-03626-6
- [4] Cetl Tomáš: Aplikace elektrochemických zdrojů, Skriptum ČVUT, 2004 ISBN:
9788001028599
- [5] Maxwell technologies. BC series ultracapacitors – firemní dokumentace. [cit. 2011-
1005]. Dostupné z: www.maxwell.com
- [6] Storage Battery Systems, LLC – firemní dokumentace [online]. Dostupné z
<http://www.sbsbattery.com>
- [7] CAT, CATERPILLAR– firemní dokumentace [LEHE0027-08 (11/13)]
- [8] Activepower - firemní dokumentace [online]. Dostupné z: <http://www.activepower.com>
- [9] Studijní materiály: Vysoká škola báňská [online]. [cit. 2016-05-21]. Dostupné z:
<http://fe1.vsb.cz/kat430/data/erp1>
- [10] PVGIS – nástroj pro výpočet výkonu fotovoltaických systémů
- [11] 3m - Prezentace společnosti [online]. [cit. 2016-05-21]. Dostupné
z: <http://www.3m.com/>
- [12] Studijní materiály: ČVUT FEL [online]. [cit. 2016-05-21]. Dostupné z:
<http://pasan.feld.cvut.cz/a1b13svs/index.php>
- [13] Studijní materiály: ČVUT FEL [online]. [cit. 2016-05-21]. Dostupné z:
<http://powerwiki.cz>