

Koncepce aktivní ochrany turbosoustrojí energetickým úložištěm

Pracoviště: RICE
Číslo dokumentu: 22190-038-2022
Typ zprávy: Výzkumná zpráva
Řešitelé: Ing. et Ing. Martin Vinš, Ing. Jaroslav Dragoun
Vedoucí projektu: Ing. Martin Sirový, Ph.D.
Počet stran: 19
Datum vydání: 9. 1. 2023
Oborové zařazení: 2.2 Electrical engineering, Electronic engineering,
Information engineering - Electrical and electronic
engineering

Zpracovatel / dodavatel:
Západočeská univerzita v Plzni
Research and Innovation Centre
for Electrical Engineering
Univerzitní 8
306 14 Plzeň
Kontaktní osoba:
Ing. et Ing. Martin Vinš
tel. 377 634 195
mvins@fel.zcu.cz

Tato výzkumná zpráva vznikla s podporou projektu SGS-2021-021.

Anotace

Tato výzkumná zpráva uvádí koncepci aktivní ochrany pro stabilizaci turbosoustrojí při negativních elektrických jevech vybuzených ze strany sítě, identifikuje potenciálně nejvíce problematická frekvenční pásma rušivých napětí, navrhuje detekci daných složek napětí, a předkládá simulační studii proveditelnosti (jaký výkon a kapacita úložiště je třeba pro stabilizaci a zda je navržená ochrana fyzikálně realizovatelná), následně identifikuje klíčové faktory ovlivňující aplikovatelnost navržené aktivní ochrany a nastiňuje směr další práce.

Klíčová slova

Aktivní ochrana, Bateriové energetické úložiště, FFT, Fourierova transformace, Generátor, Stabilizace, Turbosoustrojí

Report title

Concept of Active Protection of Turbomachinery by Energy Storage

Anotace v anglickém jazyce / Abstract

This research report presents an active protection concept for the stabilization of turbomachinery in case of negative electrical phenomena excited by the power grid, identifies the potentially most problematic frequency bands of disturbing voltages, proposes the detection of these voltage components, and presents a simulation feasibility study (what power and storage capacity is needed to stabilize and whether the proposed protection is physically applicable), then identifies the key factors affecting the applicability of the proposed active protection and outlines the direction of further work.

Keywords

Active Protection, Battery Energy Storage, FFT, Fourier Transform, Generator, Stabilization, Turbomachinery

Seznam symbolů a zkratk

BESS

Battery Energy Storage

DFT

Discrete Fourier Transform

FFT

Fast Fourier Transform

Obsah

ÚVOD	5
1 POPIS MODELU	6
2 CITLIVOSTNÍ ANALÝZA DOPADU SUBHARMONICKÝCH, MEZIHARMONICKÝCH A VYŠŠÍCH HARMONICKÝCH SLOŽEK NAPĚTÍ NA ZÁKLADĚ MODELU	8
2.1 ÚVOD.....	8
2.2 CITLIVOSTNÍ ANALÝZA	8
2.3 DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	9
3 NÁVRH IDENTIFIKACE SUBHARMONICKÝCH A MEZIHARMONICKÝCH FREKVENCÍ NAPÁJECÍCH NAPĚTÍ	10
4 VAZEBNÍ ŘETĚZEC.....	11
5 STUDIE PROVEDITELNOSTI	13
5.1 ÚVOD.....	13
5.2 METODIKA KOMPENZACE	13
5.3 SIMULACE	14
5.3.1 Proudové vyhodnocení	14
5.3.2 Napěťové vyhodnocení.....	14
5.3.3 Mechanické vyhodnocení	15
ZÁVĚR	16

Úvod

Existuje rostoucí trend v integraci bateriových energetických úložišť (BESS) do elektrizační soustavy. Samostatně stojící instalace mohou poskytovat libovolné systémové služby, účastnit se trhu s energií nebo mohou být užitečná jednoduše při vyrovnávání bilance činného a jalového výkonu [1]. Na druhou stranu instalace umístěné v areálech stávajících elektráren mohou zajišťovat další funkce související s elektrárnou samotnou. Mohou to být zejména:

- Zlepšení flexibility připojeného generátoru/ů (spolupracujících s nadřazeným řízením elektrárny), což může např. rozšířit (nebo vylepšit parametry) portfolio síťových podpůrných služeb poskytovaných elektrárnou [2].
- Aktivní ochrana generátoru, která je předmětem této výzkumné zprávy.
- Zálohování napájení kritické infrastruktury v elektrárně [2].

Integrace v areálu elektrárny je výhodná také pro:

- Dostupnost dostatečně dimenzovaného elektrického vedení [2].
- Dostupnost volného místa pro umístění samotného zařízení [2].
- Žádná zvláštní stavební nebo environmentální povolení [2].

Rostoucí integrace obnovitelných zdrojů energie [3], těžký průmysl využívající elektrické pece, rekonfigurace topologie sítě nebo jakékoli jiné prvky nestability v elektrické síti obecně jsou zdrojem přechodových jevů, které vyvolávají různé harmonické, subharmonické, nebo mezharmónické složky (odlišné od složky 50 Hz) v síťových napětích [4]. Obecně řečeno, jsou tyto složky v síťových napětích výsledkem všech přechodových jevů v síti (např. spínání výkonové elektroniky nebo výše zmíněných) dle Fourierovy řady [5].

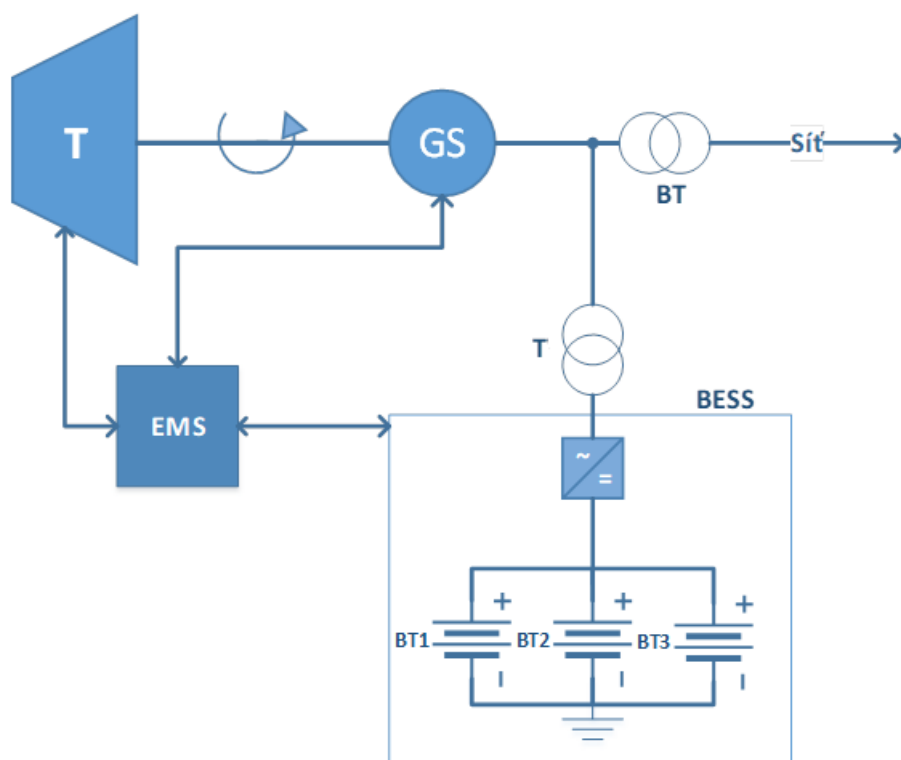
Funkce aktivní ochrany (mimo jiné chráněná českým patentem č. 309418) spočívá ve stabilizaci hřídele turbosoustrojí energetickým úložištěm. Toho je dosaženo stabilizací napětí zásahem úložiště ve společném uzlu s připojeným generátorem (bude blíže popsáno v dalších sekcích). V prvotním konceptu aktivní ochrany se počítá pouze se zásahem proti rušivým elektrickým jevům vyvolaným ze strany sítě. Avšak mechanické rušivé jevy ze strany turbosoustrojí (např. mechanické nevyvážení) se také budou propisovat do proudu generovaného synchronním generátorem. Pokročilejší design aktivní ochrany (pro jehož návrh je klíčová dostupnost měřených dat při konkrétních mechanických jevech) tak teoreticky může stabilizovat turbosoustrojí i v těchto případech.

Cílem této výzkumné zprávy je tedy uvedení koncepce aktivní ochrany pro stabilizaci turbosoustrojí při negativních elektrických jevech vyvolaných ze strany sítě, identifikace potenciálně nejvíce problematických frekvenčních pásem rušivých napětí, návrh detekce daných složek napětí, vypracování simulační studie proveditelnosti (jaký výkon a kapacita úložiště je třeba pro stabilizaci a zda je navržená ochrana fyzikálně realizovatelná), následná identifikace klíčových faktorů ovlivňujících aplikovatelnost navržené aktivní ochrany a nastínění směru další práce.

V předchozí práci [6 – sekce 3] byl popsán testovací model skládající se z parní turbíny a synchronního generátoru připojeného k síti a paralelně připojeného energetického úložiště. Simulační studie proveditelnosti je vypracována v prostředí Simulink (MATLAB), přičemž je v tomtéž simulačním rozhraní provedena i analýza potenciálně problematických frekvencí napěťových složek.

1 Popis modelu

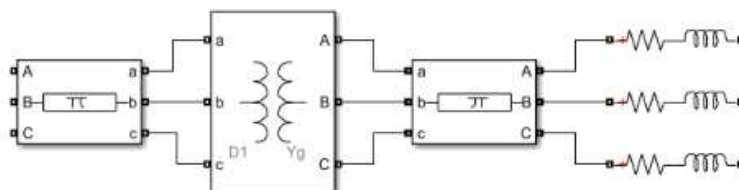
Jak již bylo naznačeno v úvodu, vlastní simulační model je popsán podrobněji v [6 – sekce 3], schématické znázornění modelu je uvedeno na Obr. 1.1.



Obr. 1.1 Schématické znázornění uvažované topologie

Kde T je parní turbína, GS synchronní generátor, BT blokový transformátor a EMS energy management systém. Tento dříve popsáný model je doplněn o model sítě (resp. vedení, blokového transformátoru a sítě jako ideálního napěťového zdroje) s využitím toolboxu SimPowerSystems, kterým byl rovněž nahrazen toolbox Plecs použitý pro modelování některých komponentů energetického úložiště [7]. Model sítě je znázorněn na Obr. 1.2.

Pozn.: Napětí sítě je generováno tvrdým napěťovým zdrojem (do kterého mohou být zahrnuty i rušivé jevy). Eventuálně při uvažovaném provozu v ostrovním režimu bude smyčka ukončena pouze reaktancí na Obr. 1.2 uzemněnou a spojenou do hvězdy.



Obr. 1.2 Uvažovaný model sítě

Značný význam má hodnota impedance ve společném uzlu generátoru a energetického úložiště ze strany sítě (bude ovlivňovat jak samotné elektrické rušení ze strany sítě, tak schopnost úložiště jej kompenzovat), což bude rozvedeno v dalších sekcích. Uvažované základní parametry turbosoustrojí, energetického úložiště a impedance jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1 Základní parametry modelu turbosoustrojí a BESS

Turbosoustrojí	
Parametr	Hodnota
Maximální elektrický výkon	200 MW
Celkový moment setrvačnosti hřídele	22 161 kg·m ²
Jmenovité napětí	15.75 kV
Jmenovitý účinník	0,85
BESS	
Parametr	Hodnota
Bateriová technologie	Li-ion
Topologie měniče	CHB
Maximální elektrický výkon	10 MW
Kapacita baterie	2,5 MWh
Impedance ve společném uzlu	
Generátor (ustálený stav)	0,8299e ⁻³ +j1,0543 Ω
Blokový transformátor + síť (přepočteno)	95,185e ⁻³ +j0,1327 Ω

2 Citlivostní analýza dopadu subharmonických, meziharmonických a vyšších harmonických složek napětí na základě modelu

V této sekci je provedena citlivostní analýza dopadu subharmonických, meziharmonických a vyšších harmonických složek napětí (ze strany sítě) na stabilitu turbosoustrojí.

2.1 Úvod

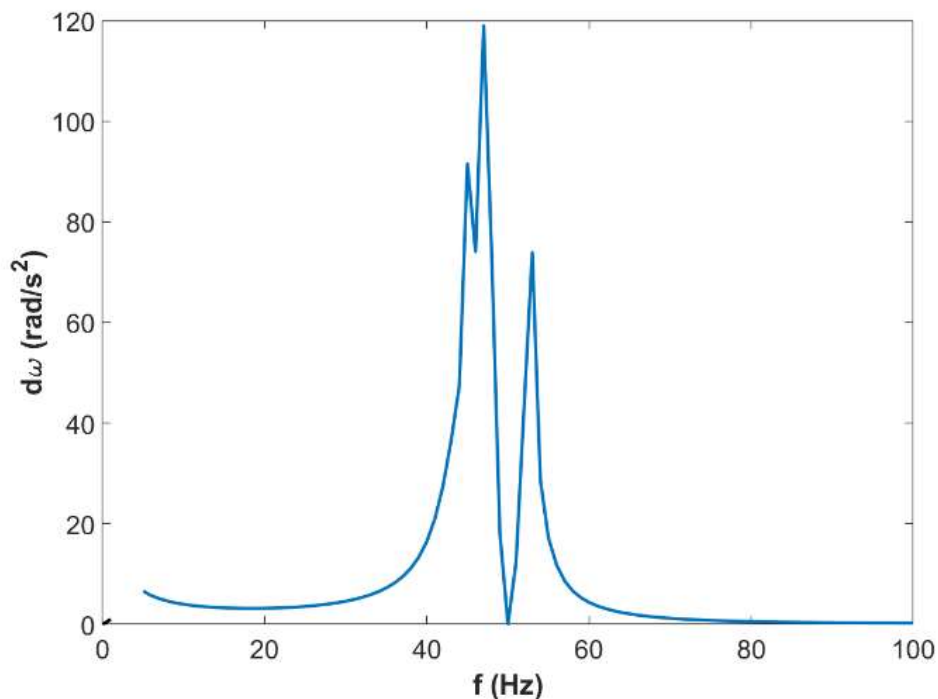
Pro navržení koncepce aktivní ochrany bylo nejprve třeba najít a kvantifikovat negativní vliv vybraných frekvencí v napájecím napětí generátoru. Výsledné (identifikované) frekvence a/nebo frekvenční rozsah slouží jako vstup pro další postup zaměřený na identifikaci takto vylíčených frekvencí v síťových napětích.

To je nutné pro správné nastavení kompenzace napěťových složek prostřednictvím BESS. Pro kvantifikaci je tedy provedena citlivostní analýza k identifikaci těch nejproblematictějších a zároveň průběhu velikosti odchylek mechanických otáček v závislosti na injektovaných frekvencích, aby byla zajištěna nejvyšší efektivita intervence, kterou pak lze přesněji zacílit.

2.2 Citlivostní analýza

Analýza je provedena na simulačním modelu, výsledky byly získány v ustáleném stavu na jmenovitém napětí (složka 50 Hz) a jmenovitém elektrickém výkonu. Během čehož byly do síťových napětí injektovány selektivní frekvence napájecího napětí s amplitudou 1/10 jmenovité hodnoty (pouze demonstrativní hodnota). Krok analýzy je 1 Hz při rozsahu 5 – 100 Hz a následně jsou analyzovány také násobky základní harmonické (2, 3, 4, 5, 6, 7 a 8). Pro účely této výzkumné zprávy je však znázorněn pouze rozsah 5 – 100 Hz kvůli znatelně vyšší významnosti mechanických dopadů na turbosoustrojí.

Jako kritérium pro hodnocení vlivu takto upraveného napětí na chování turbosoustrojí je zvolena maximální naměřená hodnota úhlového zrychlení rotoru. Výsledky jsou uvedeny na Obr. 2.1.



Obr. 2.1 Maximální odchylka úhlového zrychlení jako následek injektovaných složek síťového napětí

2.3 Diskuze výsledků

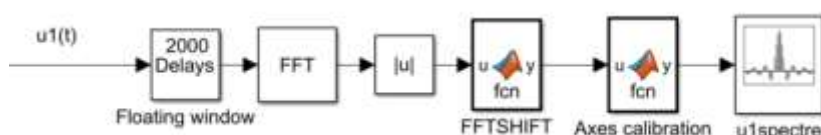
Z výsledků je zřejmé, že frekvence napěťových složek nejvíce ovlivňujících stabilitu hřídele (způsobujících největší oscilace) jsou v rozmezí 40 – 60 Hz. Vyšší harmonické nezpůsobují větší problémy se stabilitou hřídele, avšak mohou způsobovat problémy jiného charakteru. Proto je frekvenční rozsah analýzy napětí nastaven na 0 Hz - 1 kHz. Nad frekvencí 1 kHz se začíná překrývat s rezonanční frekvencí a útlumem výstupního filtru měniče BESS, takže složky s vyššími frekvencemi nelze kompenzovat.

3 Návrh identifikace subharmonických a meziharmonických frekvencí napájecích napětí

Pro identifikaci složek s problematickými frekvencemi v napětí na generátoru je navržen následující postup, přičemž pozornost byla věnována budoucí praktické aplikaci. Vzhledem k relativně širokému rozsahu analyzovaných frekvencí a kvůli požadavku na současnou analýzu více z nich byl zvolen algoritmus FFT (Fast Fourier Transform) namísto více DFT (Discrete Fourier Transforms).

Analýza se provádí v reálném čase v plovoucím okně. Na základě Nyquist-Shannonova vzorkovacího teorému, aby bylo dosaženo přesnosti analýzy 1 Hz v omezeném rozsahu analýzy do 1 kHz, byla nastavena vzorkovací frekvence 2 kHz (2000 vzorků za sekundu). Kromě toho je maximální simulační krok omezen na $1e-4$ s.

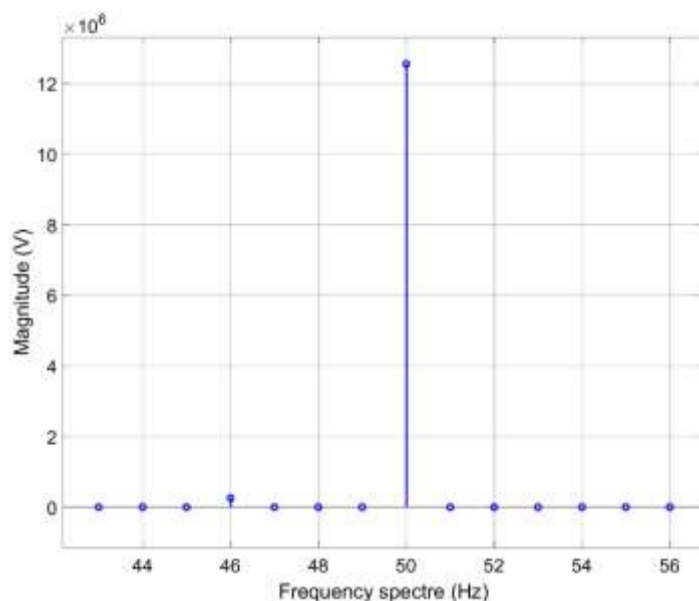
Navržená topologie nástroje pro analýzu napětí je znázorněna na Obr. 3.1



Obr. 3.1 Navržená topologie analýzy v Simulinku

Vstupem je tedy jednofázové měření napětí a výstupem frekvenční spektrum tohoto napětí.

Na obr. 3.2 je příklad výstupu napěťové spektrální analýzy, kdy na vstup byla přivedena složka 46 Hz s amplitudou 1 % nominální amplitudy složky 50 Hz.

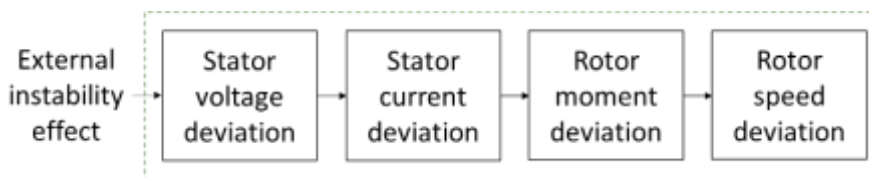


Obr. 3.2 Příklad spektrální analýzy napětí

Pozn.: doba trvání dané sub(mezi)harmonické frekvence musí být pro její úplnou identifikaci alespoň 1s, což souvisí s nejmenší identifikovatelnou frekvencí (1 Hz).

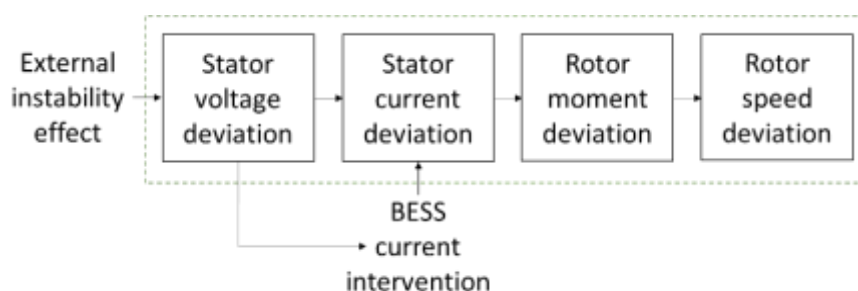
4 Vazební řetězec

Pro navržení metodiky kompenzace je třeba respektovat vzájemné vazby šíření nestability na turbosoustrojí, které se řídí podle řetězce na Obr. 4.1.



Obr. 4.1 Řetězec šíření nestability generátoru

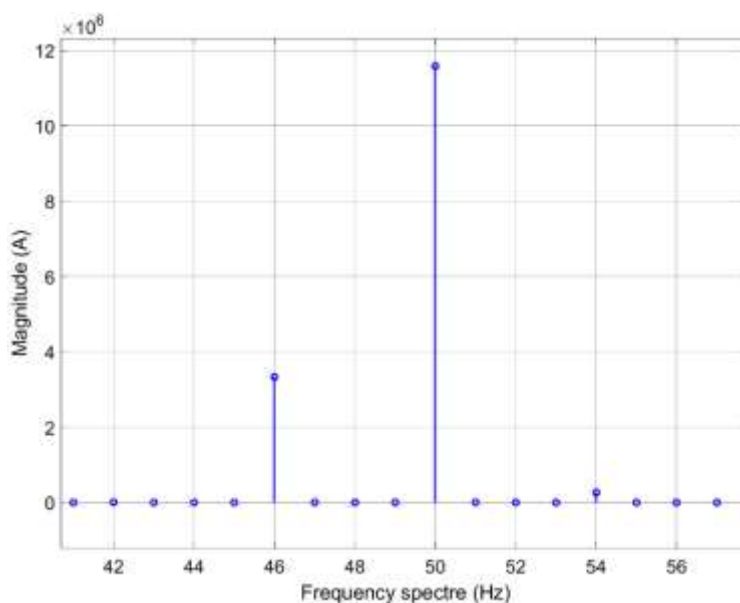
Z Obr. 4.1 je patrné, že při deformaci průběhu napětí na generátoru se deformace propíše do proudů, momentu a až poté do rychlosti otáčení rotoru. Zásah úložiště tedy musí mít proudový charakter a vycházet z reakce na napětí, jak je znázorněno na Obr. 4.2.



Obr. 4.2 Řetězec nestability se zásahem úložiště

Jako důsledek vzájemných vazeb uvedeného řetězce lze říci, že každá odchylka má sekundární vliv na ostatní parametry. Velikost odchylek také závisí na tvrdosti proudové smyčky. Se zvyšující se tvrdostí (klesající indukčností) budou zmírněny účinky nestability, ale také kompenzační účinky (a možnosti) energetického úložiště. Navíc BESS bude také působit jako pasivní prvek, než stihne aktivně reagovat, což pozitivně ovlivní i dopady nestabilit.

Jak je znázorněno na Obr. 4.1, odchylka napětí způsobuje odchylku výstupních statorových proudů, která je však u statorových proudů mnohem významnější, jak je vidět na Obr. 4.3 (předpokládáme spektrum i amplitudy statorového napětí v ustáleném stavu z Obr. 3.2).



Obr. 4.3 Příklad spektra složek statorového proudu

Konkrétní proudové spektrum a jeho velikosti závisí na konkrétním stroji a jeho parametrech (a také tvrdosti proudové smyčky). I když při správné parametrizaci výsledky na simulačním modelu případové studie mohou poskytnout dobrou představu o chování stroje. Při uvažovaných indukčnostech (uvedeny v Tab. 1), subharmonická odchylka o velikosti pouze 1 % jmenovitého napětí může vnést tuto frekvenci s mnohem vyšší (poměrnou) velikostí než 1 % do proudů (k jejich jmenovité hodnotě). Kromě toho je vybuzována také zrcadlová proudová frekvence (54 Hz). Výsledné proudové frekvenční spektrum (zrcadlová frekvence + další zrcadlové složky) bude také definováno tvrdostí proudové smyčky a frekvencí rušivého napětí (podle Obr. 2.1 citlivostní analýzy) a jeho velikosti.

5 Studie proveditelnosti

5.1 Úvod

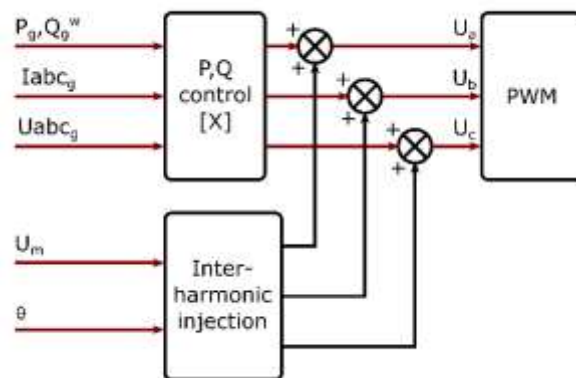
V této počáteční fázi návrhu koncepce aktivní ochrany je nutné vyhodnotit aplikační proveditelnost. Řízení BESS v následujících simulacích je založeno na řízení P, Q popsaném v [8]. Toto základní řízení zajišťuje synchronizaci napětí se sítí. Sub(Mezi)harmonická kompenzace v této vývojové fázi postrádá sofistikované řízení a je založena na injektování složky 46 Hz do výstupního napětí BESS – viz Obr. 5.1. Parametry přičítaného napětí jsou vypočteny podle rov. (1-3).

$$U_{ah} = U_m \sin(\omega_h t + \theta) \quad (1)$$

$$U_{bh} = U_m \sin\left(\omega_h t - \frac{2}{3}\pi + \theta\right) \quad (2)$$

$$U_{ch} = U_m \sin\left(\omega_h t + \frac{2}{3}\pi + \theta\right) \quad (3)$$

Kde U_m (V) je amplituda přičítaného napětí, ω_h je uhlová rychlost injektované sub(mezi)harmonické proudu (v tomto případě 289 rad/s) a θ (rad) je fázový posuv mezi základní harmonickou sítě a přičítaným napětím.



Obr. 5.1 Řízení BESS s injektováním sub(mezi)harmonických

5.2 Metodika kompenzace

Princip ochrany turbosoustrojí je navržen tak, aby stabilizoval (neutralizoval rušení) napětí ve společném uzlu.

Pro reakci na rozsah frekvencí, které mají být kompenzovány, je použita FFT. Algoritmus se pak zaměřuje na nejdominantnější frekvence identifikované ve společném uzlu, což souvisí také s jejich dopadem na stabilitu turbosoustrojí vyhodnoceným analýzou založenou na offline modelu – viz Obr. 2.1. Automatická adaptace však ještě není dokončena, nicméně hlavním cílem této fáze je vyhodnotit schopnost BESS chránit (stabilizovat) turbosoustrojí.

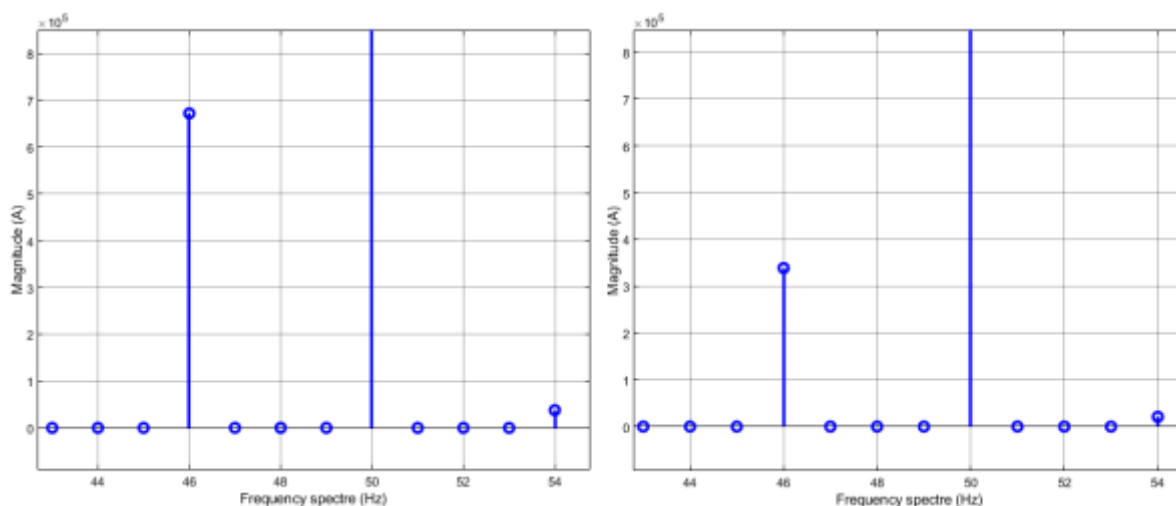
5.3 Simulace

Při simulacích funkce aktivní ochrany se předpokládá stejné napěťové spektrum statoru jako na Obr. 3.2 a spektrum proudu jako na Obr. 4.3. Injektovaná složka 46 Hz se jeví potenciálně nejproblematictější frekvencí podle Obr. 2.1. Jelikož rušení o velikosti 1 % jmenovitého napětí je značně pesimistická a v případě normálního provozního stavu pravděpodobně nedosažitelná hodnota, v následujících simulacích byla velikost složky 46 Hz snížena na 0,2 % jmenovité velikosti napětí.

Pozn.: všechny prezentované výsledky jsou zobrazeny při dosažení ustáleného stavu turbosoustrojí.

5.3.1 Proudové vyhodnocení

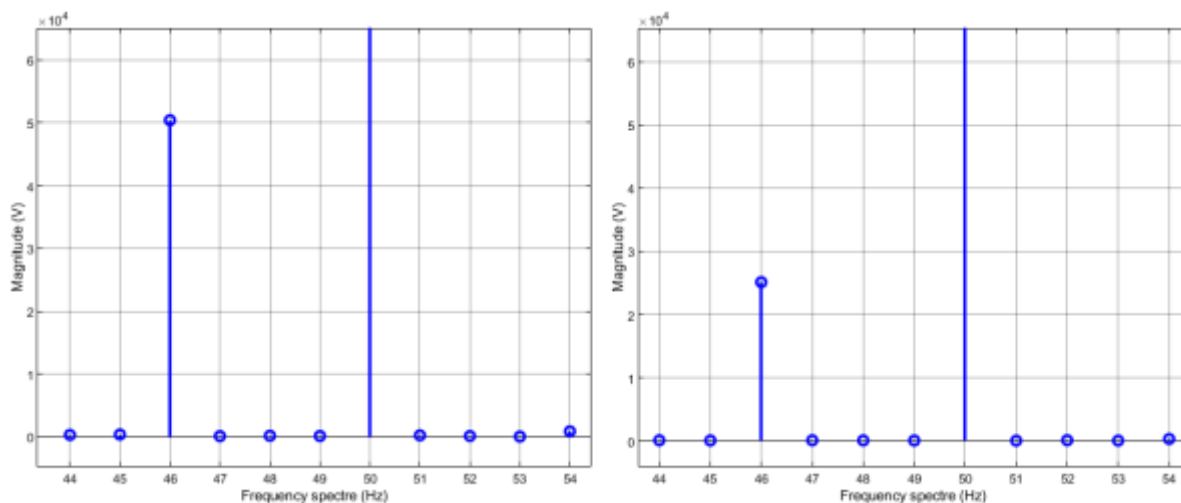
Výsledky frekvenčního spektra před a po zásahu jsou uvedeny na Obr. 5.2. Zásah BESS učinil parazitní 46 Hz složku téměř poloviční oproti stavu bez zásahu. Kompenzována byla pouze 46 Hz složka, a ne její zrcadlová složka (54 Hz), nicméně je vidět i snížení složky 54 Hz.



Obr. 5.2 Proudové frekvenční spektrum před a po zásahu BESS

5.3.2 Napěťové vyhodnocení

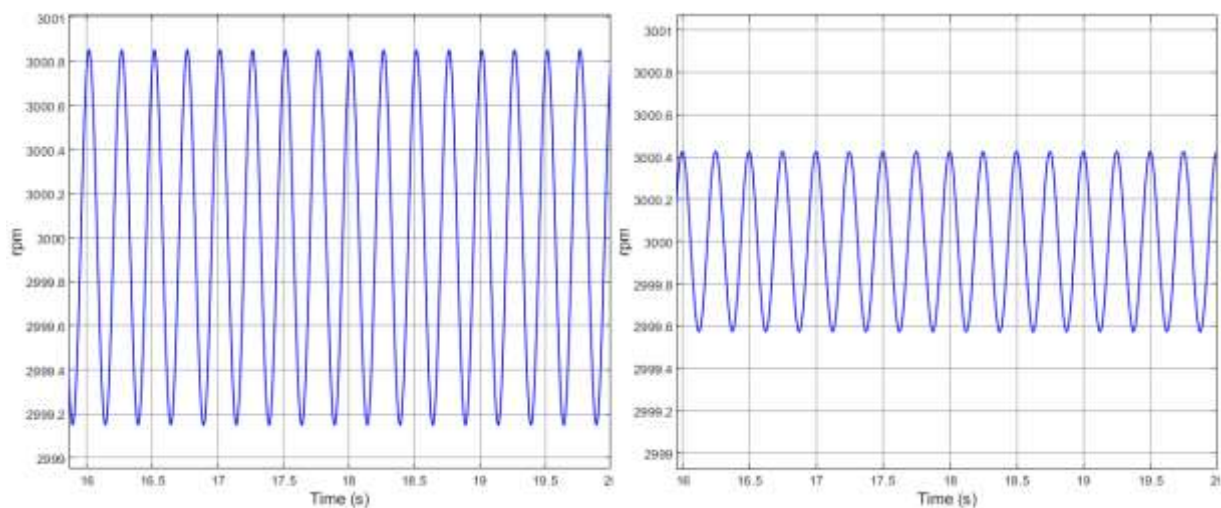
V napěťových složkách (viz Obr. 5.3) jsou výsledky podobné jako u proudových složek (Obr. 5.2). Je však třeba poznamenat, že napěťová parazitní frekvenční složka byla injektována přes síť (blokové trafo, atd.) a zásah BESS byl proveden prostřednictvím fázových proudů injektovaných ve společném uzlu. Snížení 46 Hz parazitní složky napětí je zpětnou vazbou k proudovému zásahu BESS. Výsledná amplituda parazitní složky je tedy také téměř poloviční oproti stavu bez zásahu BESS (stejně jako zrcadlová složka 54 Hz).



Obr. 5.3 Napěťové frekvenční spektrum před a po zásahu BESS

5.3.3 Mechanické vyhodnocení

Účinek aktivní ochrany BESS má téměř totožný dopad na mechanické kmity hřídele synchronního turbosoustrojí, jako na parazitní napěťové a proudové frekvence (kompenzace na téměř poloviční hodnotu) viz - Obr. 5.4.



Obr. 5.4 Mechanické oscilace rotoru v ustáleném stavu před a po zásahu BESS

Závěr

Úroveň kompenzace dosažená při simulacích vyžaduje BESS s výstupním výkonem 9 MVA. Avšak je třeba poznamenat, že při kompenzaci teče do sítě konstantní proud o frekvenci 46 Hz, ale jelikož výstupní napětí je stále tvořeno převážně složkou 50 Hz, dochází k pulzování výkonu na frekvenci 4 Hz. To má za následek rychlé přechody měniče z režimu provozu střídače do režimu provozu usměrňovače. Výkon 9 MVA je tedy vázán na aktuální zatížení komponent měniče a není přímo vázán na kapacitu BESS, tedy dobu trvání kompenzace. Skutečný činný výstupní výkon použitý pro kompenzaci je pouze 250 kW. Na základě výše provedené studie proveditelnosti lze říci, že BESS je schopno redukovat oscilace turbosoustrojí, ale tato schopnost redukce je navázána na výkonové omezení měniče, přičemž jsou také výsledky silně ovlivněny impedančním poměrem mezi generátorem, BESS a elektrickou sítí.

Pozn.: delší doba identifikace frekvenčního spektra statorového napětí (1 s + doba reakce BESS) není zásadní překážkou. Předpokládá se poměrně velký synchronní stroj s poměrně velkou hmotností a díky této skutečnosti se budou elektromechanické přechodové jevy pohybovat v řádu sekund až desítek sekund, jak je vidět také na prezentovaných simulacích. A předpokládá se i kompenzace déle trvajících nežádoucích stavů.

Pozn.: vzhledem k zásadnímu významu výkonu měniče BESS by se většího (významnějšího) efektu ochrany mohlo docílit na menších turbosoustrojích např. v teplárnách, kde poměr výkonu generátoru a BESS bude nižší a také setrvačnost turbosoustrojí bude nižší.

Literatura

- [1] J. Rocabert, R. Capó-Misut, R. S. Muñoz-Aguilar, J. I. Candela and P. Rodriguez, "Control of Energy Storage System Integrating Electrochemical Batteries and Supercapacitors for Grid-Connected Applications," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 55, no. 2, pp. 1853-1862, March-April 2019
- [2] Xiaojuan Han, Tianming Ji, Zekun Zhao, Hao Zhang, "Economic evaluation of batteries planning in energy storage power stations for load shifting, " in Renewable Energy, Volume 78, 2015, Pages 643-647, ISSN 0960-1481,
- [3] Simon R. Sinsel, Rhea L. Riemke, Volker H. Hoffmann, Challenges and solution technologies for the integration of variable renewable energy sources—a review, Renewable Energy, Volume 145, 2020, Pages 2271-2285, ISSN 0960-1481.
- [4] R. Abdulveleev, T. R. Khramshin, G. P. Kornilov and R. R. Abdulveleeva, "Experimental Study of the Impact of a DC Electric Arc Furnace on a Power Grid," 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2021, pp. 214-218.
- [5] Francesco Bonavolontà, Massimo D'Apuzzo, Annalisa Liccardo, Gianfranco Miele, Harmonic and interharmonic measurements through a compressed sampling approach, Measurement, Volume 77, 2016, Pages 1-15, ISSN 0263-2241.
- [6] Teze disertační práce (2021) – Martin Vinš
- [7] J. Dragoun, M. Vins and M. Sirovy, "Synchronous Generator Active and Reactive Power Oscillations Reduction by BESS," 2022 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), 2022, pp. 1-4.
- [8] J. Dragoun, J. Talla and T. Košan, "Control of Multilevel CHB Converter for Battery Energy Storage System", 2021 IEEE 19th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC) , 2021, pp. 836-842.

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Schématické znázornění uvažované topologie	6
Obr. 1.2 Uvažovaný model sítě	6
Tab. 1 Základní parametry modelu turbosoustrojí a BESS	7
Obr. 2.1 Maximální odchylka úhlového zrychlení jako následek injektovaných složek síťového napětí	9
Obr. 3.1 Navržená topologie analýzy v Simulinku	10
Obr. 3.2 Příklad spektrální analýzy napětí	10
Obr. 4.1 Řetězec šíření nestability generátoru	11
Obr. 4.2 Řetězec nestability se zásahem úložiště	11
Obr. 4.3 Příklad spektra složek statorového proudu	11
Obr. 5.1 Řízení BESS s injektováním sub(mezi)harmonických	13
Obr. 5.2 Proudové frekvenční spektrum před a po zásahu BESS	14
Obr. 5.3 Napěťové frekvenční spektrum před a po zásahu BESS	15
Obr. 5.4 Mechanické oscilace rotoru v ustáleném stavu před a po zásahu BESS	15

Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum	Jméno
0	Všechny	Publikování dokumentu	9. 1. 2023	M. Vinš