

Frekvenční stabilita při přechodu do ostrovního provozu města – porovnání nástrojů frekvenčního odlehčování

Václav Mužík

Katedra Elektroenergetiky a Ekologie
Fakulta Elektrotechnická
Západočeská Univerzita v Plzni
vmuzik@kee.zcu.cz

Frequency Stability during Transition in to Island Operation of a City – Comparison of Under Frequency Load Shedding Tools

Abstract – The island operation of a larger part of the power grid (such as a city) is a commonly discussed topic in the view of rising need of dynamic power system being able to withstand power balance changes that are given by large connection of the RES and also by price changes on the electricity market. Despite doubts in the financial side of island operations (no financial motivation for DSOs or producers to secure such a difficult operation status) there are technical issues that need to be solved. This paper makes a quick examination of the differences between currently installed UFLS tool in the 110kV and 22kV substations and possible RoCoF instead of the first levels of current UFLS.

Keywords – Frequency Load Shedding; Rate of Change of Frequency; Island Operation; Frequency Control.

I. ÚVOD

Ostrovní provoz části elektrizační soustavy, jakou je například město, je diskutovaným tématem na úrovni ENTSO-E. Vzhledem k faktu, že současné závazky dané technicko-legislativním dokumentem Evropské Unie „Clean Energy For All Europeans“ lépe známým jako „Winter Package“, který klade velký důraz na modernizaci trhu s elektřinou, ekologii, snižování emisí, rozvoj zdrojů pod 50kW a maximalizaci výroby z OZE, bude provoz elektrizační soustavy rok od roku náročnější a bude potřebovat více dynamických podpůrných služeb a nástrojů pro možnost provozu mimo současné provozní podmínky. [1]

Současná legislativa se zavazuje, že do roku 2030 bude celková spotřeba ENTSO-E pokryta z 27% výrobou OZE. Dle dostupných zdrojů tvořila výroba elektřiny v roce 2016 z OZE 33%, což je nad touto mezí. Nicméně dále je závazné, že do roku 2030 bude všech 35 členských států generovat 10-49% elektrické energie z OZE. V současné době hranici 10% nesplňuje jen jeden členský stát, hranici 25% nesplňuje již 13 států a hranici 25 států. Česká republika v současné době (2016) pokrývá výrobou z OZE 12,97% spotřeby a trend je v posledních letech stagující. [2][3]

Z výše uvedených důvodů lze očekávat, že do roku 2030 budou probíhat zásadní změny v elektrizační soustavě, které nahrávají potřebě nové definice podpůrné služby

(PpS) „Ostrovni provoz“ (dale OP). Velkou prekážkou při prechodu do OP muze byt soucasne nastaveni frekvencni ochran při frekvencni propadech daných nenulovou bilancí činného výkonu při odpojení ostrova od zbytku elektrizační soustavy. [1]

II. NÁSTROJE FREKVENČNÍHO ODLEHČOVÁNÍ

V současné době je v Kodexu PS (5. část – Bezpečnost provozu a kvalita na úrovni PS) definován plán systémového frekvenčního odlehčování, který zabraňuje rozpadu ES vlivem frekvenčního kolapsu. Má čtyři stupně a aktivace každého z nich je realizována pomocí frekvenčních relé instalovaných v rozvodnách 110 kV a 22 kV. Aktivace prvního stupně začíná na 49 Hz a poslední stupeň je aktivován při dosažení frekvence 48,1 Hz (resp. Δf -1,9 Hz). Frekvenční odlehčování je nastaveno jako okamžité, tudíž dojde k odlehčení okamžitě po dosažení frekvenční meze. Právě toto nařízení může představovat velkou překážku při přechodu do náhlého ostrovního provozu s téměř vždy vysoce pravděpodobnou nenulovou bilancí činného výkonu. [4]

Naproti současné definici frekvenčního odlehčování stojí nástroj nazývaný „Rate of Change of Frequency“ (dale jen RoCoF), který lze také využít pro úkol odlehčení zátěže při poklesu frekvence. Je však pro potřeby dynamické elektrizační soustavy s častou rekonfigurací (smart grids, zapojování celků OZE, malé ostrovní provozy) vhodnější. RoCoF je hojně využívaná technologie v zemích s velkým podílem OZE jako například Dánsko, Spojené Království či Nizozemsko. Úkolem RoCoF ochran, je sledování změny frekvence df/dt . Podmínka pro odlehčení části soustavy nebo zátěže je pak definována v Hz/s . Výpočet pak probíhá následujícím způsobem:

$$\frac{df}{dt} = \frac{f_n - f_{n-3}}{T_{3cyklů}} \quad (1)$$

Z dostupných zdrojů, které popisují výsledky nasazení v praxi, uvádějí několik podmínek pro RoCoF dle typu použití (nejčastěji typ zdroje a stáří popř. testování daného zdroje). Níže jsou uvedeny 4 nejčastěji používané podmínky pro RoCoF:

- 0,2 Hz/s bez zpoždění
- 0,5 Hz/s se zpožděním 500ms
- 1 Hz/s se zpožděním 500ms

První a druhá podmínka RoCoF se nejčastěji využívá pro zavádění u starších zdrojů, u nichž tato zkouška nebyla provedena nebo neexistuje příslušná dokumentace. Snahou je se pohybovat u třetí podmínky, tedy změny $1Hz/s$ po dobu maximálně $500ms$. Pokud je tato doba dosažena, je zátěž okamžitě odepnuta. [5][6]

III. DEFINICE A MODELOVÁNÍ SYSTÉMU

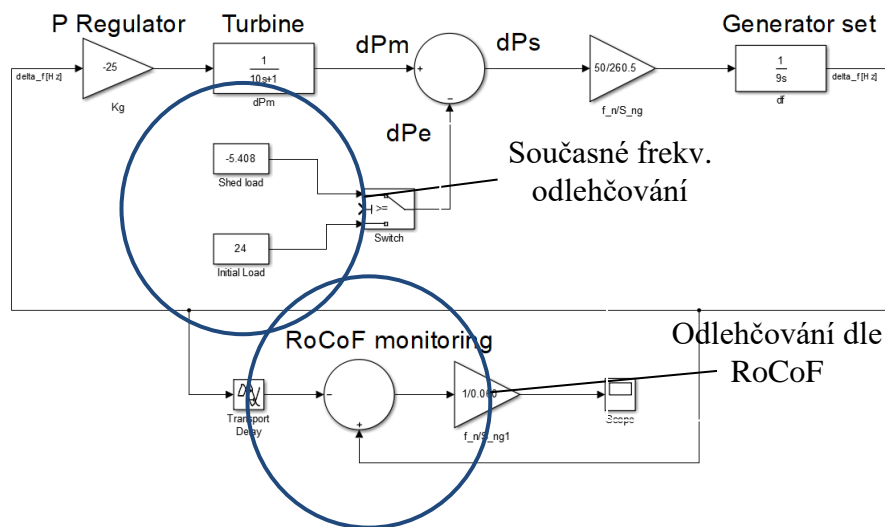
K OP lze přistupovat dvěma způsoby z hlediska jeho potřeby:

- Plánovaný
- Náhodný

V případě plánovaného OP je riziko kolísání frekvence při odepnutí relativně nízké, protože operátoři PS, DS i daného zdroje mají dostatek času na přípravu a mohou přizpůsobit výrobu co nejbližší spotřebě daného území ostrova. Při rozpojení pak dojde k primárnímu regulačnímu procesu, který se bude pohybovat v bezpečných mezích $49,8 - 50,2 Hz$ nepředstavující výrazné riziko.

Horší a pravděpodobnější případ je, pokud je OP potřebný nahodile, například vlivem vznikající poruše v ES, náhlých výpadků vedení (například potřeba OP v Plzni 11/2015), kdy lze téměř s jistotou říci, že se na daném území výroba a spotřeba elektrické energie nerovná a v průběhu primárního regulačního procesu při odpojení ostrova od zbytku ES dojde k významné změně frekvence v důsledku nenulové bilance činných výkonů. Tento stav je nejčastěji předmětem simulací.

Jako vzorový systém bylo vybráno město Plzeň vzhledem ke znalostem topologie, provozu a parametrů umístěných zdrojů elektrické energie a také zde byl v historii OP realizován. Cílem simulace frekvenčního odlehčování dle aktuální definice a s pomocí RoCoF je pak zjištění maximálních rozdílových bilancí činného výkonu, při kterých přechod do ostrovního provozu neznámá riziko odepnutí od elektrizační soustavy.

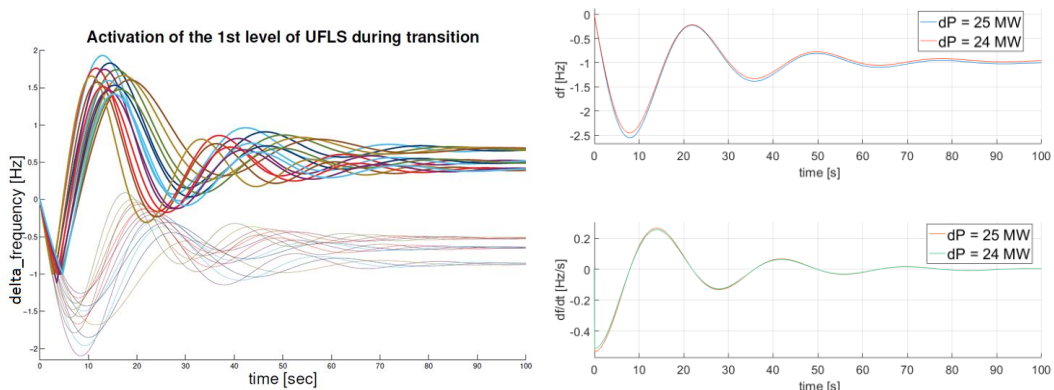


Obrázek I. SIMULINK model ostrova pro monitoring primárního regulačního děje při odpojení od ES

Na obrázku výše je vidět model ostrova vytvořený v prostředí SIMULINK, díky kterému je možné jednoduše ladit parametry a sledovat vliv nerovnováhy bilance činných výkonů na změnu frekvence při odpojení od ES. Model je kombinovaný a podává výsledky jak pro frekvenční odlehčování, tak i pro aplikaci RoCoF. [7]

IV. ROZDÍLY MEZI JEDNOTLIVÝMI NÁSTROJI

Společným kritériem pro modelování obou stavů byla skutečnost, že po 100 sekundách dojde k ustálení frekvence (bez vlivu regulace) alespoň na úrovni 49 Hz, aby nedošlo k narušení ostatních podmínek bezpečného provozu daných kodexem PS.



Obrázek II. Porovnání frekvenčního odlehčení vs. nejhorší stav při RoCoF

Na grafu vlevo je vidět výčet všech primárních regulačních dějů, které při různých parametrech systému a vybraném jednom ΔP vyhovují podmínce ustálené frekvence rovné 49 Hz po 100 sekundách. Při současném nastavení frekvenčního odlehčení dojde kolem páté sekundy k aktivaci prvního stupně a vlivem odepnutí 12% spotřeby dojde ke skoku frekvence. Tento stav představuje v případě velkého vytížení výroby (až 250 MW) vysoké riziko pro samotné zdroje.

Na grafu vpravo je vidět vybraný nejhorší stav (z grafu vlevo), kdy by frekvence klesla po krátkou dobu až na 47,5 Hz, ale nakonec se ustálila na 49 Hz. Jedná se o bilanční nerovnováhu o velikosti -24 MW, což je z hlediska provozu města Plzně spíše menšinový stav. Na spodní části obrázku je vidět průběh df/dt , který přesně dosahuje na hranici 0,5 Hz/s, ale do doby 500ms se od této hodnoty vzdaluje a tedy nebyla by dosažena potřebná mez pro odepnutí zátěže, ostrovní provoz by byl úspěšně zahájen a s velkou pravděpodobností i úspěšně zregulován. Pro ilustraci, bilanční nerovnováha o velikosti -25 MW již tuto podmínku nespĺňuje.

V. ZÁVĚR

Z měsíčních zpráv o provozu ES (ČEPS, a.s.) vyplývá, že systémový parametr frekvence se jen zřídka dostane pod první bezpečnostní mez 49,8 Hz. Na druhou stranu, již roky nastávají okamžiky, kdy je ES provozována na hranici svých přenosových kapacit, které jsou velmi blízko lavinovitému šíření poruch vlivem přetížení. Tento fakt potvrzuje i nedávné spuštění provozu PST v RZ Hradec u Kadaně, který má tyto provozní stavy omezit. Pokud by však v budoucnu mělo dojít k potřebě rozdělit ES na více ostrovů, které jsou po nezbytně nutnou dobu schopny samostatně pracovat zpět se fázovat při pominutí potíží, je RoCoF nezbytnou součástí nastavení frekvenčního odlehčování daného území, která umožní posunout provozní limity při zachování bezpečnosti provozu.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2017-008 a projektu SGS-2015-031: Analýza, simulace a vyhodnocení provozu elektrizační soustavy s respektováním integrace distribuovaných zdrojů energie, včetně obnovitelných, při využití nových, pokročilých metod teoretického a aplikačního výzkumu v elektroenergetice.

LITERATURA

- [1] Energy Efficiency Directive Winter package, European Commission, 2016.
- [2] Statistical Factsheet 2016, Brussel: ENTSO-E AISBL, 2016.
- [3] Roční zpráva o provozu ES ČR, Praha:ERÚ, 2016.
- [4] Kodex přenosové soustavy – Část V., Praha: ČEPS, a.s., 2015.
- [5] Rate of Change of Frequency (ROCOF) Review of TSO and Generator Submissions Final Report. PPA Energy, 2013.
- [6] Dr Adam Dyško, Dimitrios Tzelepis, Dr Campbell Booth. Assessment of Risks Resulting from the Adjustment of ROCOF Based Loss of Mains Protection Settings. Glasgow, 2015.
- [7] K. MÁŠLO, Řízení a stabilita elektrizační soustavy. Praha: Asociace energetických manažerů, 2013. ISBN 978-80-260-4461-1.