

# Dynamická stabilita v elektrizační soustavě ČR

Aleš Hromádka

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

aleshrom@kee.zcu.cz

## Dynamic stability of the power system CZ

**Abstract – In this article is mentioned several important aspects of dynamic stability of power system in the Czech Republic. All necessary explanations about dynamic stability are explained below. In the conclusion is shown possible solution of problem with overflow of performance from German side and possibility using other technologies on supporting of dynamic stability of power system in the Czech Republic.**

*Keywords – Dynamic stability; Power system; Regulation of P/f and U/Q; Phase Shifting Transformers; Decentralization of generation; Modern battery.*

### I. ÚVOD

Stabilita elektrizační soustavy (dále ES) je ovlivňována celou řadou věcí: rovnováhou výroby a spotřeby elektřiny, výpadky, zemním spojení, poruchami na elektrárnách, atd. Existují čtyři klíčové parametry, které udržují ES stabilní. Jsou to síťové napětí a frekvence, dále pak sinusový průběh a fázová symetrie. V současnosti je aktuální otázka týkající se mezistátní stability evropských ES a přeshraničních přenosů elektřiny. V ČR je tento problém spojen s přetížením naší ES a to z ES SRN. Relativně výhodné řešení tohoto problému se jeví umístění PST (Phase Shifting Transformers), transformátorů na přeshraniční česko-německé elektrické stanice (např. Hradec u Kadaně). Tyto transformátory s regulací fáze umožňují řízení protékaného činného výkonu regulací fázového úhlu napětí mezi vstupem a výstupem transformátoru. Mimo snížení činného výkonu může PST transformátor také činný výkon mírně zvýšit. Pro eliminaci problémů se stabilitou ES lze využít kromě PST také decentralizované výroby elektřiny, resp. nových bateriových systému pro uchování energie.

### II. DYNAMICKÉ VLASTNOSTI ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

Dynamická stabilita ES je definovaná takto: „Dojde-li v soustavě k rozruchu, musí se soustava vrátit do rovnovážného stavu s veličinami v dovozených mezích a soustava jako celek zůstane nedotčena. Pod pojem rozruch si můžeme představit tyto „změny“:

- provozní charakter (změna výkonu, plánované změny topologie sítě),
- poruchy zařízení (skryté vady nebo zrychlené stárnutí),
- poruchy (klimatické vlivy, údery blesku, silný vítr, vysoká teplota atd.),
- poruchy způsobené lidským faktorem. [2]

Dynamické vlastnosti soustav jsou matematickým vyjádřením mezi změnou vstupního signálu a změnou výstupního signálu. Tyto vlastnosti se nejčastěji popisují diferenciální rovnicí nebo soustavou diferenciálních rovnic. Sestavování rovnic v dynamických soustavách je velmi složité, proto se využívají statistické metody pro data

získaná v minulosti z důvodu zjištění co nejrepresentativnějších koeficientů v diferenciálních rovnicích.

Bilanční rovnice vychází ze zákona o zachování energie pro danou ES:

$$S_v(t) = S_s(t) + S_z(t) + S_a(t), \quad (1)$$

kde  $S_v(t)$ ,  $S_s(t)$ ,  $S_z(t)$ ,  $S_a(t)$  jsou časové průběhy zdánlivých výkonů - vyráběný, spotřebováváný, ztráty v ES a vlastní spotřeba el. zařízení. [1]

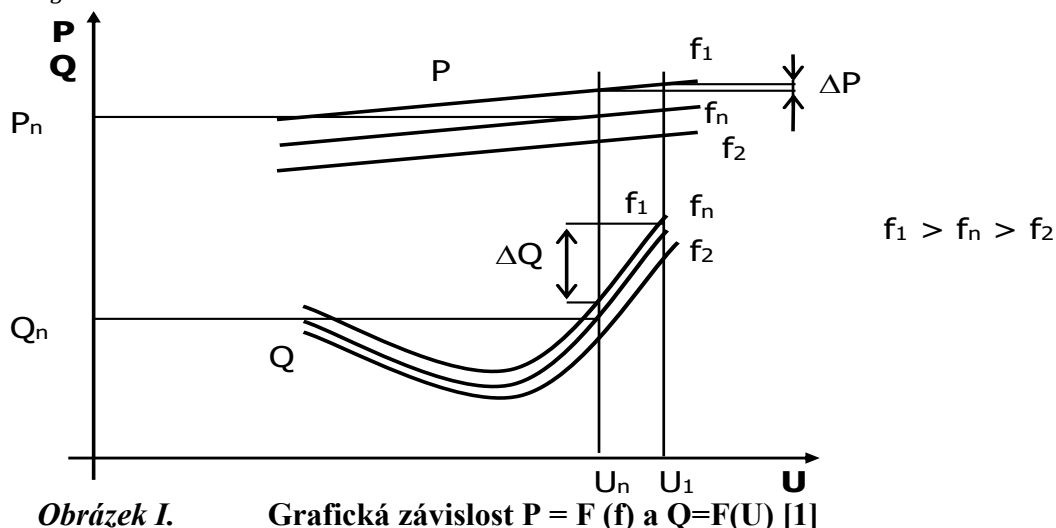
### III. REGULACE F/P A U/Q V ES

#### A. Regulace f/P

Síťová frekvence úzce souvisí s velikostí činného výkonu v soustavě. Pro činný výkon existuje také bilanční rovnice:

$$\sum P_g = \sum P_s + \sum P_z, \quad (2)$$

kde  $P_g$ ,  $P_s$ ,  $P_z$  jsou činné výkony elektrárenských bloků, spotřeby a zátěže. [1]



Narušením bilance činného výkonu následuje změna frekvence a při porušení bilance jalového výkonu se změní síťové napětí v ES. Bilance činných výkonů je zachována v celé ES, protože  $f$  je systémový parametr. Kdežto bilance jalových výkonů se udržuje v rámci konkrétní lokality v ES. Reakci na změnu parametrů popisuje výkonový součinitel zatížení. Tento součinitel je směrnici přímky, která ukazuje změnu zatížení při změně  $\Delta f$  v oblasti  $f_n$ .

$$k_z = \frac{\Delta P_z * f_n}{P_{zn} * \Delta f} [-], \quad (3)$$

kde  $k_z$  je výkonový součinitel zatížení,  $P_{zn}$ ,  $f_n$  jsou jmenovité hodnoty činného výkonu zátěže a síťové frekvence,  $\Delta P_z$ ,  $\Delta f$  jsou rozdíly od jmenovitých hodnot. [1]

Regulační proces při změně  $f$  v ES zahrnuje:

- Porušení bilanční rovnice  $\rightarrow$  klesne  $f$  v soustavě.
- Vznikne regulační odchylka  $\Delta f$ .
- K ES se připojí generátory resp. zátěže a vyrovná se bilanční rovnice.
- Rovnováha sítě se obnoví, ale na jiné frekvenci než původní. [1]

## B. Regulace U/Q

Síťové napětí úzce souvisí s jalovým výkonem v konkrétní části ES. I v rámci jalového výkonu existuje bilanční rovnice:

$$\sum Q_g + \sum Q_B + \sum Q_{kz} = \sum Q + \Delta Q, \quad (4)$$

kde  $Q_g$ ,  $Q_B$ ,  $Q_{kz}$ ,  $Q$ ,  $\Delta Q$  jsou jalové výkony generované, nabíjecí, kompenzace, vlastní spotřeby (rozveden a elektráren) a ztráty v ES. [1]

Snížení napětí na začátku vedení vyvolá pokles všech parametrů vedení na konci. V tomto případě dochází k samoregulačnímu efektu, kde novým hodnotám budou odpovídat nové bilance jalového výkonu.

Hladinu napětí v určeném místě ES lze měnit také změnou jalového výkonu:

- na straně odběru (kompenzace),
- na straně dodávky – změna Q u výrobců a regulačních prostředků,
- pomocí nastavitelného převodu transformátorů.

Změnou napětí v určité části ES ovlivníme i okolní uzly. Tato změna závisí na jalovém výkonu a také na zapojení daného uzlu. Lze definovat náchylnost uzlu ke změně napětí jako elektrickou tvrdost uzlu  $KQ = dU/dQ$  - což je množství Q nutné ke změně napětí o 1kV.  $KQ$  závisí na napěťové hladině a zatížení uzlu. Zatížení uzlu je dáno hodnotou a charakterem zatížení. Regulace U/Q se v ČR vykonává v pilotních uzlech elektrizační soustavy a vychází z určení poměru  $KQ$  v uzlu:

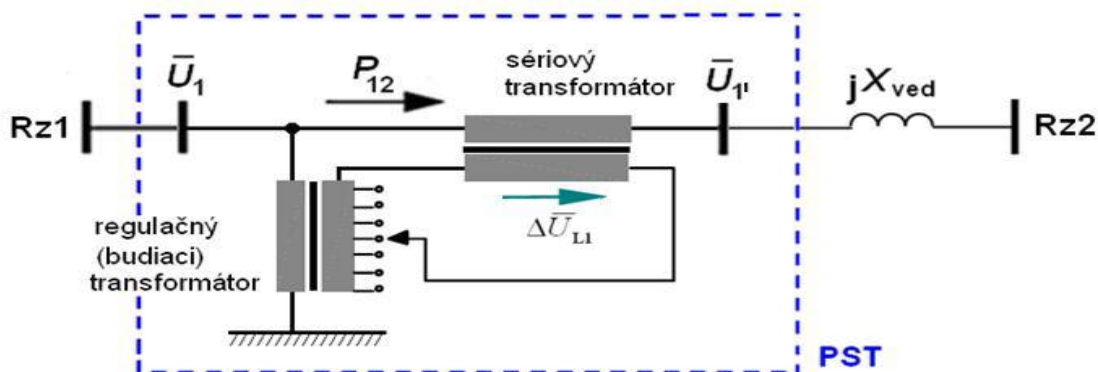
- Respektuje rozsah výroby Q každého stroje připojeného k tomuto uzlu.
- Sleduje tok Q mezi okolními uzly.
- Určuje rezervu U pro změny spotřeby a výroby Q → větší stabilita ES. [1]

Pro regulaci U/Q v elektrizační soustavě definujeme provozní kritéria:

- Napětí v uzlech ES 400 kV  $\pm 5\%$ , 220 kV  $\pm 10\%$  a 110 kV  $\pm 10\%$ .
- Jalový výkon by neměl být transportován mezi dílčími částmi ES - minimalizace spolupráce tuzemských a zahraničních ES.
- Jalový výkon zdrojů pro regulaci nesmí překročit dovolený rozsah, který je dán provozním PQ diagramem jednotlivých strojů.
- Snížení ztrát transportem elektřiny ke spotřebitelům. [1]

## IV. REGULAČNÍ PROSTŘEDKY V ES

V rozvodnách vn/nn a vvn/vn můžeme nalézt značné možnosti regulačních mechanismů, které ovládá dispečerské řízení. Větší počet regulačních prvků činí danou rozvodnu snadno regulovatelnou. Regulace P/f je naročnější, protože změna P je spojena se změnou fázového posunu. Toto řeší transformátory s úhlovou regulací, které ale nejsou na každé rozvodně. Pokud je rozvodna vybavena transformátory TPR – (příčná regulace) nebo transformátory PST, může pak regulovat tok činného výkonu a také frekvenci. Transformátory PST jsou v současnosti žádanější pro jejich ekonomičnost než TPR. Umísťují se na příhraniční rozvodny z důvodu přetoků výkonu z ES SRN. Tyto transformátory regulují i vysoké přetoky výkonů pomocí posutím fáze. Pracovní oblast u PST transformátoru je v rozmezí 30° až 40°. [2]



Obrázek II. Schéma PST transformátoru [2]

$$P_{12} = P_{12} \pm \Delta P = \frac{U_1 * U_2}{X_{ved.} + \Delta X} * \sin(\varphi_1 - \varphi_2 + \Delta \varphi) \quad (5)$$

Pro zvýšení amplitudy napětí slouží transformátory s odbočkami, které mění amplitudu dle potřeb soustavy. Další možnost regulace napětí je změnou jalového výkonu, která se realizuje kompenzátory, což jsou zařízení, která mění reaktanci a také vyrábí jalovou energii. Realizují se vysokokapacitní kondenzátory nebo přebuzené synchronní stroje naprázdno. Rozvodny umožňují pomocí přídatných zařízení regulovat jalový výkon a síťové napětí. [2]

Další možnost je decentralizovaná výroba přímo v místě spotřeby pro odlehčení distribučních a přenosových soustav, což redukuje ztráty na vedení. V decentralizované výrobě je klíčová otázka kogenerace, popřípadě trigenerace. Vše zaleží na potřebách odběratelů. S decentralizovanou výrobou souvisí také uchovávání elektřiny. U baterií využívaných pro energetiku odpadají problémy s nedostatkem místa, ale je zde velmi důležitý požadavek vysokého počtu spínacích cyklů a velkou trvale udržitelnou kapacitou baterie. Jsou využitelné nejen u decentralizované výroby, ale i v distribuční soustavě. Nejnovější využitelné energetické baterie jsou od firmy Tesla Powerwall, 7 až 10kW/h a Powerpack, 100kW/h na bázi Li-Ion a nebo technologie Redox flow battery na bázi vanadu, která dosahuje vysokého počtu cyklů a zachovává kapacitu baterie.

## V. ZÁVĚR

Tento článek objasňuje pojem dynamická stabilita a problémy s ní spojené. Dále jsou popsány regulační mechanismy P/f a Q/U v elektrizační soustavě. V další části je rozebrána možnost budoucího vývoje formou zavedení PST transformátorů na přeshraniční uzlové rozvodny. Poslední součástí je úvaha nad zvýšením podílu decentralizované výroby a zároveň zavedení pokročilých bateriových systémů.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK1-2016-006 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] DVORSKÝ, Emil. Odborné prezentace z měření a regulace elektrických stanic. 2. Plzeň, 2013.
- [2] Řízení a stabilita elektrizační soustavy. In: [Http://www.powerwiki.cz](http://www.powerwiki.cz) [online]. Praha: ČVUT, 2014 [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <http://www.powerwiki.cz/attach/PrilohyVyuka/%C5%98%C3%ADzen%C3%AD%20a%20stabilita%20elektriza%C4%8Dn%C3%AD%20soustavy.pdf>