

# Analýza asynchronního chodu generátorů (1)

Karel Máslo, Ladislav Haňka

Příspěvek se zabývá příčinami a následky ztráty synchronismu synchronního generátoru. Na teoretických i praktických případech ukazuje časové průběhy fyzikálních veličin a činnost vybraných typů ochran. Pro výpočet časových průběhů a analýzu činnosti ochran je použit síťový simulátor MODES.

## Úvod

Ztráta stability synchronního stroje a přechod do asynchronního chodu je nepříznivý provozní stav, kterému je třeba předcházet a který je třeba rychle odstranit když už k němu dojde. Příčinou těchto dějů je neschopnost stroje přenést elektrický výkon  $P_E$  (odpovídající mechanickému výkonu dodávaného poháněcím strojem) do sítě. To může být způsobeno:

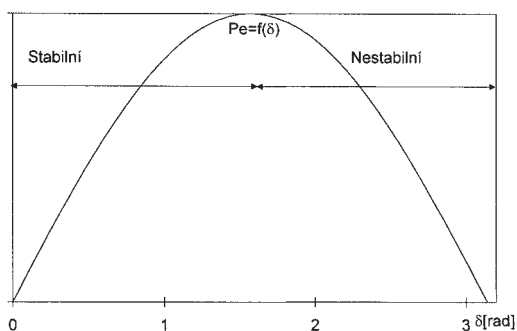
1. ztrátou buzení synchronního stroje, kdy výrazně poklesne vnitřní elektromotorické napětí,
2. oslabením přenosové sítě (např. výpadkem vedení) kdy výrazně vzroste reaktance  $X$  mezi zdroji,
3. zvyšováním přenášených výkonů, kdy dojde k výraznému překročení úhlu  $\delta$  přes mez  $90^\circ$ .

Principiálně lze výše uvedené mechanismy vysvětlit na závislosti výkonu přenášeného ze zdroje elektromotorického napětí  $E$  do sítě s napětím  $U_S$  přes sumární reaktanci  $X$ .

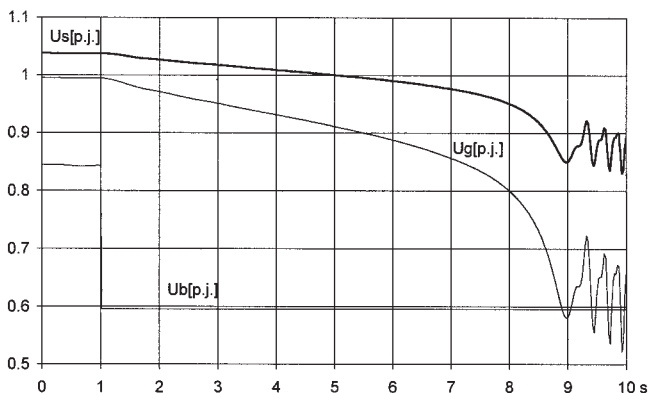
$$P_E = \frac{EU_S}{X} \sin \delta \quad (1)$$

Závislost  $P_E$  na zátěžném úhlu  $\delta$  je na obr. 1.

Ztráta buzení představuje pokles elektromotorického napětí  $E$  a stejně jako pokles  $U_S$  a nárůst reaktance  $X$  snižuje amplitudu pře-



Obr.1 Závislost přenášeného činného výkonu  $P_E$  na zátěžném úhlu  $\delta$



Obr.2 Průběhy napětí budiče, generátoru a sítě při přechodu do asynchronního chodu

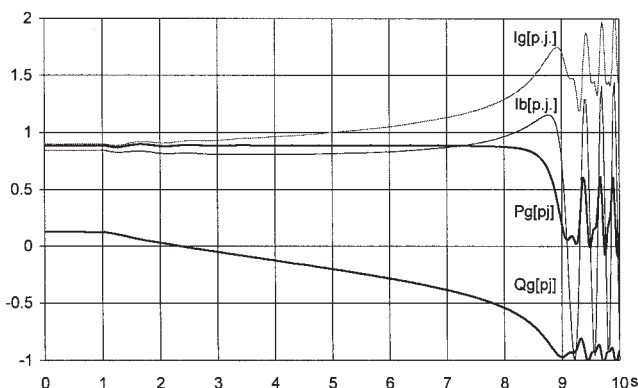
nášeného výkonu  $P_E$ . Zvětšování přenášeného výkonu při nezměněných parametrech sítě a napěťových poměrech zvětšuje zátěžný úhel  $\delta$ . Pokud překročí  $\delta$  hodnotu  $\pi/2$  dostaneme se do nestabilní oblasti a stroj přejde do asynchronního chodu – ztráty statické stability tzv. sklouzáváním.

Příspěvek nejprve ukazuje jednotlivé případy na síťovém simulátoru MODES (o programu MODES viz např. [1] – [19] nebo [www.modesinfo.com](http://www.modesinfo.com)). Modelové výpočty ukazují i činnost vybraných typů ochran, které chrání zařízení sítě i generátory před nepříznivými vlivy asynchronního chodu. Nakonec je uveden přehled ochran proti ztrátě stability a asynchronnímu chodu, které se používají na straně synchronního generátoru případně ve vybraných místech sítě.

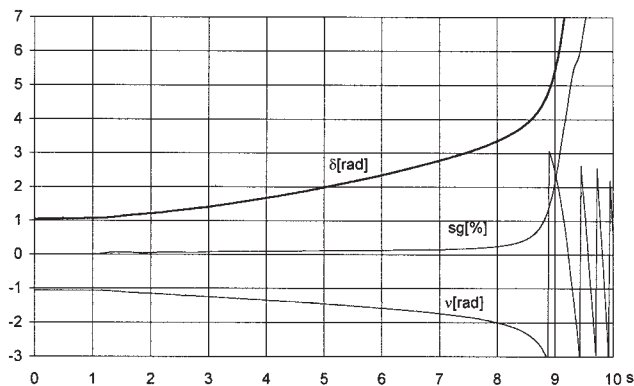
## 1. Ztráta buzení generátoru

Vliv ztráty buzení si ukážeme na příkladu skokového poklesu budičeho napětí generátoru na 60% jmenovité hodnoty jak je vidět z obr. 2. Skokovou změnou budičeho napětí  $U_b$  dochází k poklesu svorkového napětí  $U_g$ , které se odrazí i v napětí sítě  $U_s$ . Po 9s dochází k přechodu do asynchronního chodu a prokluzu pólů, což se projeví typickým pilovitým průběhem všech provozních veličin. Budičící vinutí nestačí dodávat jalový výkon na magnetizaci stroje a ten se odebírá ze sítě, což se projevuje razantním poklesem dodávky jalového výkonu  $Q_g$ , jak je vidět z obr. 3.

Odběr magnetizačního proudu ze sítě způsobuje nárůst proudu generátoru  $I_g$  nad jmenovitou hodnotu a vede k přetěžování statorového vinutí. Činný výkon generátoru klesá, protože klesá amplituda sinusovky podle (1) vlivem poklesu napětí a elektromotorické síly. Rázy činného výkonu po ztrátě stability namáhají základy soustrojí a negativně ovlivňují životnost stroje. Jelikož turbína dodává stejný výkon dochází k nárůstu otáček, které jsou v obr. 4 zobrazeny pomocí tzv. skluzu  $sg$  (procentního rozdílu skutečných a jmenovitých otáček). S nárůstem otáček je spojen i nárůst absolutního zátěžného úhlu  $\delta$  měřeného mezi synchronně se otáčející referenční osou a osou  $q$  rotoru generátoru. Vnitřní zátěžný úhel



Obr.3 Průběhy proudů a výkonů během přechodu do asynchronního chodu

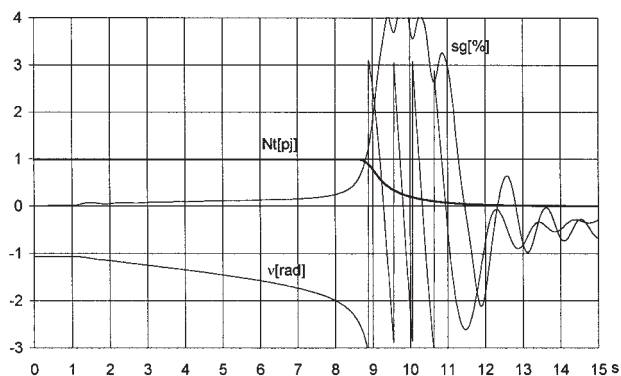


Obr.4 Průběhy skluzu  $sg$  a zátěžných úhlů během přechodu do asynchronního chodu

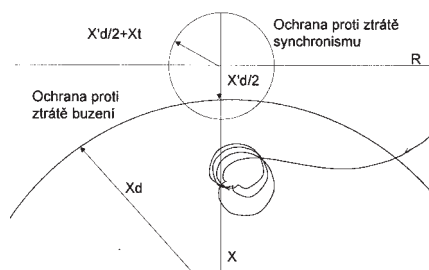
$v$  měřený mezi osou  $q$  a fázorem svorkového napětí se po přechodu do asynchronního chodu mění v mezích  $\pm\pi$ .

Některé bloky jsou vybaveny automatikami, které při vybočení otáček ze zadaných mezí přepínají regulaci turbíny do režimu regulace otáček. Samotná otáčková regulace nestačí k razantnímu snížení výkonu turbíny. Proto jsou moderní turbíny vybaveny akceleračním relé, které při nárůstu zrychlení nad zadanou mez, dává povel k rychlému zavírání ventilů turbíny. Rychlé snížení výkonu turbíny umožní resynchronizaci stroje a provoz při sníženém výkonu jak ukazuje obr. 5. Z průběhu je vidět, že k resynchronizaci došlo po čtyřech prokluzech stroje, což ovšem výrobce obvykle nedovoluje. V dosavadních simulacích nebyly dosud uvažovány ochrany proti ztrátě synchronismu a buzení, které vyhodnocují impedanci. Podrobnější popis nastavení ochran je v kapitole 4.

Na obr. 6 je vidět trajektorie impedance viděné ochranou na svorkách generátoru za blokovým transformátorem, která protíná charakteristiku ochrany proti ztrátě buzení a vstupuje do ní. Následně naběhne ochrana na ztrátu buzení a pokud impedance setrvá ve její vypínací charakteristice, vydá s mírným zpožděním (cca 1 – 2 s) povel v vypnutí. Podle simulovaného průběhu by naběh ochrany nastal cca po čase 5.2 s po skokové změně budícího napětí. Ochrana proti ztrátě synchronismu by nepůsobila, protože je nastavena na nabuzený generátor a má hlídat v zásadě prokluz plně nabuzeného generátoru.



Obr.5 Průběhy skluzu  $sg$  při přechodu do asynchronního chodu a resynchronizaci snížením výkonu



Obr.6 Charakteristiky ochran a trajektorie v impedanční rovině při přechodu do asynchronního chodu

Obě ochrany jsou nastaveny podle [20]. Ochrana proti ztrátě buzení je modelována kružnicí posunutou o hodnotu součtu synchronní a poloviny přechodné reaktance ( $X_d + X'_d/2$ ) v záporném směru osy  $X$  a poloměru  $X_d$ . Ochrana proti ztrátě synchronismu je modelována kružnicí o poloměru rovném součtu reaktance blokového trať a poloviny přechodné reaktance ( $X_t + X'_d/2$ ).

## Literatura

- [1] K. MÁŠLO, J. FEIST, Power system dynamics behavior, modeling and simulation of the primary control test, the 2nd Int. Workshop on El. Power System Control Centers, Alghero, Italy., 1993
- [2] „Long Term Dynamics Phase II“, CIGRE TF 38-02-08 Final Report, Jan. 1995
- [3] K. MÁŠLO, S. VNOUCEK, J. FANTÍK, Unit black start and power system restoration, International Symposium MEPS'96, Wrocław, Poland, 1996
- [4] K. MÁŠLO, J. FANTÍK: Dynamic analysis of the power system; the 2nd Int. Conf. ECPS'96., str.230-234, Bratislava, Slovensko
- [5] K. MÁŠLO, J. FANTÍK, Electromechanical and electromagnetic phenomena during power system restoration, the IXth Int. Scientific Conf. EE '98, str.185-188, St.Lesná, Slovensko, 1996.
- [6] K. MÁŠLO, I. PETRUZELA, J. PIROUTEK, Nuclear power plant in island operation, UPEC 1997, Manchester, England
- [7] K. MÁŠLO, J. ANDEL: Dynamic simulation of Nuclear Power Plant Auxiliaries, APSCOM '97, Hongkong, China
- [8] K. MÁŠLO: The general-purpose network simulator MODES, the 4th Int. Workshop on El. Power System Control Centers, Rethymno, Greece, 1997
- [9] K. MÁŠLO, P. NEUMAN: Power System and Power Plant Dynamic Simulation, the 15th IFAC World Congress, Beijing, China, 1999
- [10] K. MÁŠLO, S. VNOUCEK: Short Circuit Calculation Analysis, the IEEE PowerTech'2001, Porto, Portugal, 2001
- [11] K. MÁŠLO, S. VNOUCEK: Gas turbine model using in design of heat and power stations the IEEE PowerTech'2001, Porto, Portugal, 2001
- [12] P. ŠVEJNAR, K. MÁŠLO, S. VNOUČEK: Dynamická odezva ES na deficit činného výkonu; ENERGETIKA č.6/94
- [13] P. ŠVEJNAR, K. MÁŠLO, S. VNOUČEK: Spuštění bloku ze stavu bez napětí a obnova napětí v ES; ENERGETIKA č.2/97
- [14] K. MÁŠLO: Model dieselgenerátoru pro dynamické výpočty, časopis EE č.2/1999
- [15] K. MÁŠLO: Dynamika elektrizační soustavy, sborník 2.semináře E2000 -Sledování a řízení bezpečnosti provozu, Praha únor 2000
- [16] K. MÁŠLO: Dynamika distribučních soustav, setkání Dynamické modelování distribučních soustav, Praha červen 2000
- [17] K. MÁŠLO: Dynamické modely pro vyšetřování přechodných dějů v ES: seminář Aktuální otázky a vybrané problémy řízení ES, Poděbrady listopad 2001
- [18] J. ANDĚL, K. MÁŠLO: Využití modelu plynové turbíny při návrhu elektráren a tepláren, 1.mezinárodní vědecké sympozium ELEKTROENERGETIKA 2001, Stará Lesná
- [19] K. MÁŠLO: Model asynchronního motoru pro dynamické výpočty, AT&P Journal, č. 2 a 3./2002
- [20] Long-TermDynamics Simulation, Modeling Requirements, EPRI Final Report, 1989

**Karel Máslo**  
**Ladislav Haňka**

ČEPS, a. s.  
e-mail: maslo@ceps.cz

31