

**T**ermín stabilita se používá v mnoha oblastech, a to jak technických, tak společenských. Zatímco v technických oborech se stabilita systému kontroluje již při návrhu systému (*ex ante*), ve společenské, a zvláště politické praxi se zpravidla stabilita hledá, až když nastane nestabilita. Důležitým momentem je správné a reálné stanovení kritérií stability systému, tzn. při jakých odchylkách od rovnovážného stavu se musí systém do rovnovážného stavu vrátit. Působí zde jak samoregulace systému, tak záměrně navržené (v technických oborech vesměs automatické) zásahy. Pro jejich návrh je nezbytné systém

*Systém  
provázaný  
jako živý  
organizmus*

# Stabilita elektrizační soustavy

**KAREL MÁSLA  
PAVEL ŠVEJNAR**

Ing. Karel Máslo, CSc., (\*1956) vystudoval silnoproudou elektrotechniku na Fakultě elektrotechnické ČVUT, kde obhájil disertační práci Stabilita synchronního stroje. Pracoval v Československém státním energetickém dispečinku, v Energetickém ústavu (EGÚ) a v ČEZ. Nyní je specialistou v sekci Rozvoj a bezpečnost provozu přenosové soustavy v ČEPS, a. s. Zabývá se analýzou provozu elektrizační soustavy, zejména dynamickou stabilitou.

Ing. Pavel Švejnár (\*1948) vystudoval obor výroba a rozvod elektrické energie na Fakultě elektrotechnické ČVUT. Pracoval v Energoprojektu Praha, Státním energetickém dispečinku, ČEZ a ČEPS. V současné době zastává funkci ředitele sekce Rozvoj a bezpečnost provozu přenosové soustavy v ČEPS, a. s.

správně modelovat, testovat a výsledky testů správně interpretovat.

Protože je celá problematika dost složitá, omezíme se na jeden typ stability.

## Co je to elektrizační soustava

Tato soustava se skládá ze zdrojů, sítě a spotřebičů (viz obr. 1).

Základ elektrizační soustavy<sup>1</sup> – jakousi páteř – tvoří *přenosová soustava*, která je charakterizována:

- sítě o napětí 400 a 220 kV,
- vyvedením výkonu velkých, tzv. systémových elektráren,
- transformační vazbou na napětí 110 kV,
- propojením do soustav sousedních států pomocí hraničních vedení.

Na přenosovou soustavu navazuje *distribuční soustava*, kterou charakterizuje:

- několik napěťových úrovní od 110 kV až po sítě nízkého napětí (nn),
- sítě radiální nebo okružní,
- zásobování jsou z ní buď velkoodběratelé (z vyšších napěťových hladin), nebo maloodběratelé (ze sítě nízkého napětí 380/220 V),
- vyvedeny jsou do ní zdroje nižšího výkonu (nazývané také distribuovaná nebo vnořená výroba).

## Co je to stabilita

Zatímco je poměrně snadné zjistit, jak byla elektrizační soustava spolehlivá v minulosti, jen obtížně lze předvídat, jak bude náchylná k výpadkům v budoucnosti. V souvislosti se stabilitou elektrizační sítě budeme používat také netechnické termíny *přiměřenost* a *bezpečnost*. V laické řeči přiměřeností rozumíme sku-

tečnost, že soustava má dostatečné rezervy jak ve zdrojích, tak v přenosových linkách, aby se vyrovnala s projektovanými potřebami odběratelů a také s nepředvídatelnými událostmi.

Nepředvídatelné (nadprojektové) události jsou rozsáhlé výpadky zdrojů a vedení způsobené vesměs ataky počasí a teroristickými útoky. Předvídatelné (projektové) události jsou ty, které jsou v průběhu rozvoje, přípravy provozu a reálném čase kontrolovány (výpadek jednoho libovolného vedení, výpadek největšího bloku...).

V kodexu přenosové soustavy je definována stabilita provozu jako schopnost soustavy udržet rovnovážný stav během normálního provozu i po přechodných dějích způsobených vnějšími vlivy, dispečerským řízením i poruchovými výpadky zařízení a jinými rozruchy.<sup>2</sup>

Pod pojmem rozruch si můžeme představit: ■ změny provozního charakteru, např. v odebraném nebo dodávaném výkonu, plánova-



né změny topologie sítě (např. vypínáním nebo zapínáním vedení kvůli nutné údržbě),

- poruchy zařízení působené skrytými vadami nebo zrychleným stárnutím,
- poruchy způsobené klimatickými vlivy, jako jsou údery blesku, silný vítr, vysoká teplota ad.
- poruchy způsobené lidským faktorem.

#### Rozdělení stability

Jelikož elektrizační soustava představuje složitý systém, který je vystaven neustálým změnám zvenčí i zevnitř, je při zkoumání odolnosti soustavy proti rozruchům užitečné rozdělit stabilitu na několik dílčích problémů (obr. 2). To při analýze umožňuje přijmout určité zjednodušující předpoklady pro reprezentaci soustavy a pro využití odpovídajících analytických metod.

Úhlová stabilita souvisí s pohybem rotorů synchronních strojů, které se nejvíce použí-

vají jako zdroje pro výrobu elektřiny. Vztahuje se tedy na schopnost synchronních strojů zůstat po nějakém rozruchu v synchronním provozu se zbytkem propojené soustavy. Tato schopnost souvisí se schopností udržet rovnováhu mezi *elektrickým* momentem generátoru a *mechanickým* momentem poháněcího stroje, kterým bývá nejčastěji turbína. Úhlová stabilita se tedy týká *elektromechanických přechodných dějů*.

**Snímek**

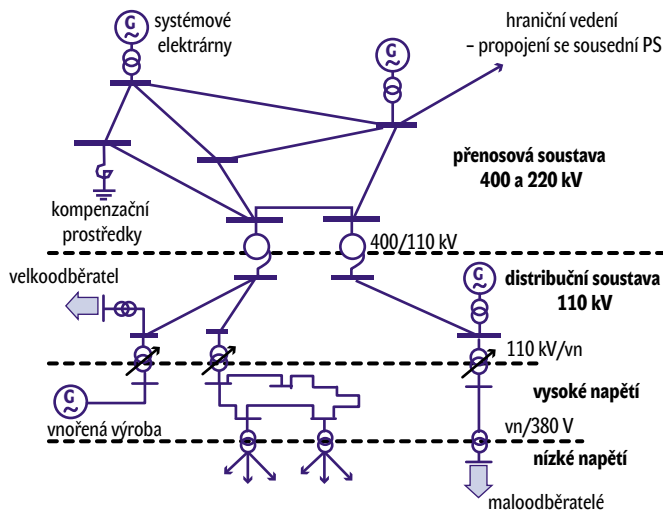
© Stanislav Vaněk.

1) Podle Kodexu přenosové soustavy [1] je elektrizační soustava vzájemně propojený soubor zařízení pro výrobu, přenos, transformaci a distribuci elektřiny, včetně elektrických přípojek a přímých vedení, a systémy měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky. Tato poněkud krkolomná definice převzatá z Energetického zákona [2] neuvažuje zařízení, které elektřinu spotřebovávají, i když bez spotřební strany by systém zcela logicky nemohl fungovat (nesplňoval by svůj účel).

2) Tato definice v podstatě odpovídá mezinárodním zvyklostem. Společná pracovní skupina IEEE a CIGRE definovala stabilitu elektrizační soustavy takto (citováno podle [3]):

„Power system stability is the ability of an electric power system, for a given initial operating condition, to regain operating equilibrium after being subjected to a physical disturbance, with most variables bounded so that practically the entire system remains intact.“

Volně přeloženo: Jestliže dojde v soustavě k rozruchu, musí se soustava vrátit do rovnovážného stavu s veličinami v dovolených mezích a soustava jako celek zůstane nedotčena.



**1. Zjednodušené zobrazení elektrizační soustavy. Elektrizační soustava se skládá ze zdrojů, sítě a spotřebičů.**

Úhlovou stabilitu můžeme dále rozdělit na *stabilitu malých kyvů* a *přechodnou stabilitu*.<sup>3</sup>

Pro rozlišení obou typů úhlové stability je rozhodující, jaké prostředky se mohou použít pro její analýzu. Velmi zjednodušeně řečeno, zda děje můžeme považovat ještě za lineární (a použít matematický aparát řešení soustav lineárních diferenciálních rovnic), anebo zda již jde o děje nelineární.<sup>4</sup>

V obou případech úhlové stability jde o krátkodobé děje, které za normálních podmínek stačí vyšetřovat do 10 sekund od rozruchu. Pro úplnost dodejme, že napěťová a frekvenční stabilita souvisí se schopností soustavy udržet stabilní napětí a frekvenci po rozruchu z daného výchozího stavu.

### Koncept přechodné stability

Z hlediska stability si představme nejjednodušší situaci: síť tvořenou jedním zdrojem a jedním spotřebičem spojenými dvěma vedeními. Za běžné situace zdroj udržuje stálé napětí a stálou frekvenci. V ustáleném stavu je výkon turbíny roven odebíranému elektrickému výkonu (pro jednoduchost zanedbáváme jak mechanické, tak elektrické ztráty). Z hlediska stability nás zajímá, co se děje, jestliže spotřebič odebírá ze sítě větší výkon, než je zdroj schopen poskytnout. Extrémním případem pak je, jestliže dojde ke zkratu na vedení (a tedy odebraný proud roste skokem nad přípustnou mez).

Ztráta stability znamená, že stroj přejde do asynchronního chodu, což se projeví rázy činného výkonu, které namáhají hřídel a přes stator vázaný s rotorem elektromagnetickým polem se přenášejí na základy soustrojí a mohou je poškodit. Proto musí být takový stav včas vyhodnocen a generátor ochranami vypnut.

Podmínky pro udržení stabilního chodu synchronního generátoru se zhorší, jestliže dojde na jednom vedení ke zkratu a následně jeho odpojení ochranami. Skokově se te-

3) Z angl. „transient stability“. Zde není jednotná terminologie. Starší literatura [4] používá rozdílné pojmy, a to stabilitu v malém (statická stabilita) a stabilitu ve velkém (dynamická stabilita). V evropském kontextu se pojem dynamická stabilita používá v jiném významu než v Severní Americe, proto se bude v textu (v souladu s doporučením v [3]) používat pojem přechodná stabilita, i když u nás není rozšířen.

4) Nelineární soustava nemá analytické řešení, pro vyšetření přechodné stability se většinou používají síťové simulátory, které spočítají časové průběhy fyzikálních veličin.

dy změní parametry přenosu a zkoumá se, zda soustrojí turbína – generátor neztratí stabilitu.

Pro zachování stability je podstatné, aby doba trvání zkratu byla co nejkratší, tj. aby byl zkrat včas rozpoznán elektrickými ochranami a vypínači co nejrychleji vypnut. Moderní digitální ochrany a výkonné vypínače instalované v přenosové soustavě dokážou tento čas zkrátit pod 100 ms.

Jedno z opatření, jímž lze udržet stabilitu, je dostatečně rychlé snížení výkonu turbíny, a tím se přizpůsobí hnací výkon turbíny sníženému elektrickému zátěžnému výkonu generátoru. U parních turbín se to technicky provede elektrickým urychlovačem nebo rychlým řízením ventilů. V obojím případě se mžikem na krátkou dobu zavřou regulační ventily přívodu páry do turbíny. Popud k tomu dává čidlo akcelerace změny otáček.

Pro přechod do asynchronního chodu je typický pilovitý průběh výkonu generátoru. Projevu se mechanickými rázy na hřídel soustrojí, jež se přenášejí do jeho základů a ohrožují stroj. Počítačový program, který se dnes používá pro modelování složitých elektrizačních soustav, se nazývá síťový simulátor. Slouží nejen k modelování přetížení sítě, ale i k analýzám zkratu na vedení.

### Zdravá elektrizační soustava

Uvádí se, že elektrizační soustava je druhým nejsložitějším systémem po živém organizmu. Působí v něm různé autoregulace, a to na straně zdrojů i na straně spotřeby. Tak jako živý organizmus musí být správně vyživován, trénován a chráněn proti vnějším vlivům, je třeba, aby elektrizační soustava byla racionálně rozvíjena, udržována a obnovována. Musí být velmi podrobně modelována, což umožňuje nejen řádně připravovat její provoz, ale také zpětně vyšetřovat poruchy a přijímat nápravná opatření. Pro vytvoření modelu elektrizační soustavy je kromě teoretické výbavy modelerů nezbytné i množství velmi speciálních technických údajů od elektráren, sítí a spotřebičů. Velmi důležitá je správná interpretace výsledků výpočtů na modelech, z níž vycházejí návrhy opatření. V dnešní době pracuje elektrizační soustava ČR v synchronním provozu se soustavami kontinentální Evropy a tato skutečnost vyžaduje modelovat celý tento rozsáhlý fyzikální celek. Toho lze docílit díky spolupráci provozovatelů přenosových soustav sdružených v organizaci UCTE (www.ucte.org).

**2. Rozdělení pojmu stabilita elektrizační soustavy. Jestliže dojde v soustavě k rozruchu, musí se soustava vrátit do rovnovážného stavu s veličinami v dovolených mezích a soustava jako celek zůstane nedotčena.**

