

Nebezpečenstvo blackoutov stále hrozí

Zabezpečenie trvalo udržateľného ekonomického rastu je podmienené zabezpečením spoľahlivej dodávky elektrickej energie pri optimálnych nákladoch a primeranej ochrane životného prostredia. Trvalo udržateľný rozvoj musí zabezpečiť súčasné potreby obyvateľov bez obmedzenia možnosti budúcich generácií uspokojovať ich vlastné potreby. Aby sa dosiahol trvalo udržateľný rozvoj, treba v súčasnosti využívať nové technológie, postupy a návyky na strane jej výroby, prenosu aj na strane spotreby. Permanentne pokračujúci celosvetový rozvoj je spojený so stúpajúcou spotrebou pri obmedzených možnostiach zdrojov a výroby energie. Sektor energetiky, na globálnej či lokálnej úrovni, sa v posledných rokoch dostáva do popredia záujmu nielen zainteresovanej odbornej verejnosti, ale aj popredných politikov, rozhodujúcich činiteľov a zákonodarcov. V súčasnej energetike sa okrem moderných „klasických“ elektrární objavuje čoraz viac malých lokálnych energetických jednotiek pracujúcich na rôznych fyzikálnych princípoch. Tým vznikajú veľké technické problémy pri riadení zložitej elektrizačnej sústavy, ktorá je rozložená v celom priestore kontinentálnej Európy. Zvyšuje sa riziko vzniku blackoutu, spojeného s ohromnými ekonomickými stratami a technickými poruchami zariadení. Ved' si stačí predstaviť, ako by vyzeral čo len jeden deň bez elektriny. Úloha riadenia ES je globálny problém nielen z hľadiska systémových porúch, ale aj z hľadiska trhu s elektrickou energiou, čo má tiež vysoký strategický význam pre celú Európu.

Je blackout významná udalosť?

Význam činností zameraných na predchádzanie veľkým poruchám (ďalej systémovým), najmä typu blackout, sa znásobil vytvorením veľkých prepojených elektrizačných sústav (ES). V roku 2003 bolo sedem blackoutov [3] v priebehu šiestich týždňov, ktoré sa dotkli 112 miliónov obyvateľov piatich krajín:

- 14. augusta – USA/Kanada, strata 62 GW výkonu, 50 miliónov ľudí bez dodávky elektrickej energie, obnova dodávky trvala niekoľko dní,
- 23. augusta Helsinki,
- 28. augusta 2003 – južný Londýn, strata 724 MW výkonu, 410-tisíc ľudí, metro a vlaky v čase špičky bez dodávky elektrickej energie, obnova dodávky trvala 40 minút,
- 5. september – východný Birmingham, strata 250 MW výkonu, 220-tisíc ľudí bez dodávky elektrickej energie, obnova dodávky trvala 11 minút,
- 23. september – Švédsko a Dánsko, 5 miliónov ľudí bez dodávky elektrickej energie, obnova dodávky trvala 4 hodiny,
- 28. september 2003 – celé Taliansko okrem Sardínie, 57 miliónov ľudí bez dodávky elektrickej energie, obnova dodávky trvala 4 hodiny,
- 22. október Cheltenham a Gloucester.

Veľké systémové poruchy sa vyskytujú neustále, napr. v roku 2006 bola v Európe veľmi vážna situácia hroziaca totálnym blackoutom, čo by znamenalo veľké a nielen ekonomické straty. Takže otázka predchádzania takýmto nežiaducim stavom je mimoriadne aktuálna. Okrem toho je veľmi častým javom vznik menších, územne ohraničených blackoutov; napr. v USA [2] sa frekvencia malých blackoutov zvyšuje zo 14 dní v 70. rokoch na 13 dní v súčasnosti.

Predchádzanie blackoutom

Základným nástrojom riadiacej činnosti ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity) v tejto oblasti je plán obrany národných elektrizačných sústav [1] pri pôsobení veľkých porúch. Ten je jedným zo základných strategických dokumentov pre oblasť predchádzania krízovým situáciám, ktoré môžu viesť k rozpadu sústavy. V tomto dokumente sú na základe výpočtov definované opatrenia, ktoré majú zabrániť vzniku systémových porúch, ale nerieši sa spôsob riadenia ES pri kolapse frekvencie, t. j. radikálnej zmene tohto systémového parametra mimo oblasti 52-48 Hz. Riadiaci orgán ES EÚ vydal len odporúčania na strohé vypínanie záťaží v národných sústavách zameraných na záchranu prevádzky celej sústavy. Tieto opatrenia sú však neúčinné, až škodlivé, ak sa národná elektrizačná sústava, a teda aj ES odpojí činnosťou automatík od synchronne pracujúceho celku. Táto situácia nastala aj počas poruchového stavu v Taliansku, keď po výpadku vedení zo Švajčiarska (do ES Talianska prebiehal v tom čase dovoz 6 700 MW) klesala frekvencia v ostrovej prevádzke až na úroveň 47,5 Hz, keď automatiky frekvenčného odľahčovania odopli 10 900 MW záťaží, ale aj zdroje s výkonom 7 500 MW a nastal skokový pokles frekvencie a po 2,5 min. bolo celé Taliansko s výnimkou Sardínie bez elektriny.

Obranný plán proti vzniku a šíreniu systémových porúch v ES je jedným zo základných strategických dokumentov prevádzkovateľov prenosových sústav (PPS). Je súčasťou dokumentu Defence plan zavedeného v rámci ENTSO-E. Územie systémového výpadku môže byť rôzne veľké a jeho hranice nemusia byť totožné s hranicami národnej regulačnej oblasti, národnej elektrizačnej sústavy, národnej prenosovej sústavy alebo štátu EÚ.

Ekonomická strata počas blackoutu je enormne vysoká pre všetky spoločnosti a obyvateľstvo krajiny, a teda ekonomický prínos je nespochybniteľný, i keď ťažko vyčísliteľný. Ak by sme uvažovali s totálnym európskym blackoutom, tak je pravdepodobné, že obnovenie normálnej prevádzky ES nastane až po niekoľkých desiatkach hodín, z čoho vyplýva nevyčísliteľná strata pre celú spoločnosť EÚ. Z toho vyplýva, že každý účastník ES EÚ musí prispieť k zvýšeniu bezpečnosti prevádzky a odolnosti proti systémovým poruchám, ktoré, aj keď sú spôsobené na území iného štátu, môžu spôsobiť kolaps aj u nás.

Z pohľadu obranného plánu proti šíreniu veľkých porúch v ES je dôležitá najmä funkčnosť tých regulačných opatrení, ktoré bezprostredne súvisia s prenosovou sústavou. Úloha regulácie napätia pri veľkých poruchách je v zásade podobná ako v bežnej prevádzke. Kvalitná a bezporuchová funkcia všetkých zložiek regulačnej štruktúry môže zamedziť vzniku veľkých porúch v ES, ktoré hrozia z dôvodu vysokého napätia, pri prebytku, ale najmä pri nedostatku disponibilného jalového výkonu (napätový kolaps). Rovnako je kvalitná napätová regulácia dôležitá pri nábehu činnosti ES po poruchách, prípadne v ostrovej prevádzke časti ES.

Obnovenie dodávky elektriny po poruche typu blackout

Pri plánoch obnovy sústavy je prakticky nemožné predikovať, ako sa bude vyvíjať potenciálny blackout, alebo určiť prípadné miesta rozdelenia systému. Blackout je často poslednou fázou komplexného deja a výsledkom sledu viacerých udalostí, ktoré je zložité, ak nie úplne nemožné definovať vopred. Nakoľko sú tieto počítačové podmienky procesu obnovy premenlivé, je takmer nemožné stanoviť komplexný preddefinovaný plán obnovy. Detailný proces obnovy sústavy je vo všeobecnosti založený na nasledujúcich princípoch:

- zabezpečenie schopnosti „štartu z tmy“ na vybraných generátoroch (schopnosť zdroja elektriny prejsť do prevádzkového stavu v situácii, keď rozvodná sieť stratila napätie; to väčšinou zabezpečujú dieselgenerátory),
- obnovenie napätia v prenosovej sústave pomocou domácich generátorov alebo zo susedných ES vrátane postupu pri resynchronizácii jednotlivých ostrovov (ostrovom sa nazýva časť elektrizačnej sústavy, ktorá pracuje lokálne a nie je spojená so synchronne pracujúcou sústavou – celkom),
- postupné obnovenie napájania v distribučných sústavách a obnovenie dodávky elektriny ostatným odberateľom.

Pridaná hodnota prepojenej sústavy ENTSO-E spočíva v možnosti poskytnúť zdroj napätia na obnovu sústavy pomocou medzištátnych

vedení, čo je zabezpečené prostredníctvom bilaterálnych dohôd medzi PPS v rámci tzv. havarijnej výpomoci.

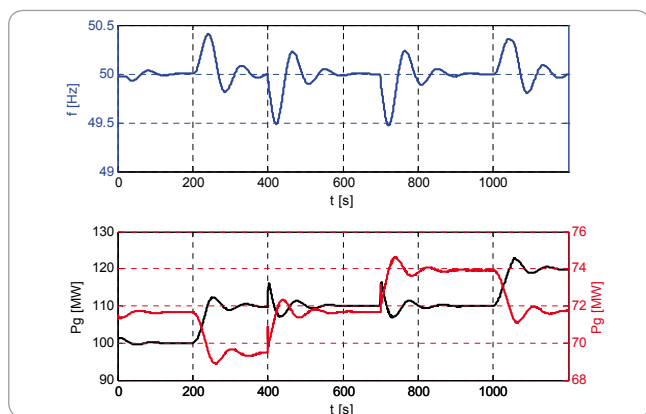
Cieľom plánu obnovy ES je uviesť postihnutú časť ES, prípadne celú ES, po poruche typu blackout opäť do normálnej prevádzky v najkratšom možnom čase a pri čo najmenších stratách na ľudských životoch a ľudskom zdraví, škodách na majetku, poškodeníach životného prostredia a v neposlednom rade i ekonomických stratách používateľov elektrizačnej sústavy. Počas realizácie obnovy prevádzky ES treba vhodnými dostupnými zariadeniami a v maximálnej možnej miere vopred prijatými postupmi zabezpečiť regulovateľnosť napätia, frekvencie a riadenia výkonových tokov tak, aby nedošlo k poškodeniu elektroenergetických zariadení používateľov sústavy a tiež zariadení samotnej sústavy, čo by mohlo viesť k opätovnému zrúteniu sústavy. Aj keď nie je vopred možné vylúčiť opätovné a dokonca viacnásobné zrútenie ES alebo jej častí pri jej obnove po veľkom systémovom výpadku typu blackout, mali by byť v maximálnej možnej miere vopred prijaté také opatrenia a vypracované a dohodnuté také postupy, aby nedošlo k opätovnému a dokonca viacnásobnému zrúteniu ES alebo jej častí pri jej obnove – to treba tiež považovať za základnú prioritu, nakoľko každé opätovné zrútenie vytvára rad rizík. V prvom rade by sa mal vždy hľadať spôsob, ako obnoviť prevádzku ES z okolitých synchrónne pracujúcich sústav. V tejto súvislosti treba zdôrazniť, že v prípade obnovenia prevádzky ES z okolitých synchrónne pracujúcich sústav pôjde vždy o postupné pripájanie častí ES k synchrónne pracujúcim častiam, čím sa do veľkej miery znižuje riziká z kruhovania.

Obnova prevádzky ES z miestnych zdrojov je zložitejšia ako zo zahraničných rozvodní. Bola stanovená základná myšlienka obnovy pomocou tzv. kmeňového ostrova (v súlade s Policy 5), keď sa vytvorí stabilný ostrov s vysokou schopnosťou regulovať frekvenciu na 50 Hz a udržať stabilitu aj pri pripájaní nových zdrojov a záťaží. Požiadavka na tieto schopnosti predurčuje, že súčasťou kmeňového ostrova musia byť vodné elektrárne s veľkým výkonom, prípadne paroplynové a tiež tepelné alebo jadrové zdroje schopné dodať do ostrova veľký stabilný výkon. Kmeňový ostrov musí obsahovať:

1. štartovaciu elektráreň – podanie prvého napätia,
2. elektráreň s dobrými regulačnými schopnosťami frekvencie a napätí v uzloch,
3. elektrárne s veľkým výkonom na dostatočné rozširovanie (rast) ostrova.

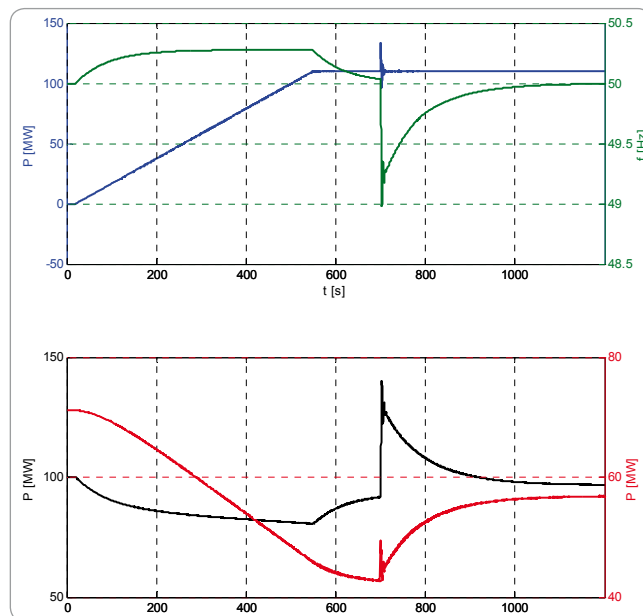
Základným predpokladom správnej funkcie kmeňového ostrova je schopnosť zvyšovať sumárny výkon spotreby (rozširovanie ostrova) pokrytý vyrobeným výkonom. Pri tom musí byť zabezpečená schopnosť regulácie frekvencie v ostrove. Základné zaťaženie ostrova musí postupne preberať zdroj s veľkým výkonom, napr. jadrová a vodná elektráreň, tak aby boli schopné regulovať frekvenciu, t. j. znižovať aj zvyšovať dodávaný výkon. Na obr. 1 sú uvedené výsledky simulačného experimentu kmeňového ostrova, pričom v prvej fáze sú v ostrove vodné zdroje a zdroj s paroplynovým cyklom (PPC). Načasovanie experimentu je nasledujúce:

- 20 s – prepnutie PPC do výkonovej regulácie,
- 200 s – zvýšenie žiadanej hodnoty PPC o 10 MW,
- 400 s – zvýšenie záťaže o 10 MW,
- 700 s – zvýšenie záťaže o 10 MW,
- 1000 s – zvýšenie žiadanej hodnoty PPC o 10 MW.



Obr. 1 Budovanie kmeňového ostrova po blackoute – 1. fáza

Simulačný experiment na obr. 1 ukazuje bezproblémové zaťažovanie ostrova pri zvyšovaní požiadaviek dodávky výkonu od PPC, pokiaľ nie je jadrový blok pripojený do ostrova, a tiež pri skokovom pripájaní záťaže, ktoré je potrebné pri rozširovaní ostrova (zvyšovanie záťaženia).



Obr. 2 Budovanie kmeňového ostrova po blackoute – 2. fáza

Na obr. 2 je uvedený simulačný experiment, pri ktorom je ukázaná schopnosť kmeňového ostrova s jadrovými, vodnými a paroplynovými blokmi. V hornej časti obrázku vidno postupné zvyšovanie výkonu jadrového zdroja v čase 0 – 600 s, pričom výkon vodných blokov klesá zo 70 na približne 42 MW a výkon paroplynového cyklu klesá zo 100 MW dole. Táto časť experimentu dokazuje schopnosť ostrova prenášať základnú časť výroby z vodného a tepelného bloku na jadrový. Druhá časť experimentu ukazuje schopnosť ostrova udržať stabilitu aj pri výpadku menšieho bloku (v čase 700 s).

Záver

Cieľom príspevku bolo ukázať riešenie problematiky, ako predchádzať veľkým systémovým poruchám v elektrizačnej sústave, a načrtnúť spôsob obnovenia prevádzky v podmienkach prepojených národných elektrizačných sústav.

Príspevok vznikol za podpory Centra excelencie STU SMART II, ITMS: 26240120029.

Literatúra

- [1] Murgaš, J. a kol.: Plán obrany a obnovy po poruche typu blackout. Správa pre SEPS, a. s., 2011.
- [2] Carreras, B. A. – Lynch, V. E. – Dobson, I. – Newman, D. E.: Complex dynamics of blackouts in power transmission systems. CHAOS, vol. 14, no. 1, 2004. American Institute of Physics.
- [3] Bialek, J. W.: Wide-area blackouts: why do they happen and how can modeling help. Durham University, 2010.

prof. Ing. Ján Murgaš, PhD.

Ing. Martin Ernek

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Ústav riadenia a priemyselnej informatiky
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava