



Cesta k smart gridu (1)

História technológie „pohybu“ elektriny ďaleko od miesta, kde bola generovaná, siaha ku koncu 19. storočia. Rozdiel medzi prenosom („pohybom elektriny vo veľkom“) a dodávkou elektriny („distribúciou“) neexistoval. Od tohto začiatku po súčasnosť prešla elektrizačná sústava nesmiernymi zmenami. Od prioritného poháňania strojov sa elektrina stala v „civilizovanom“ svete komoditou určujúcou fungovanie a nefungovanie života. Vysoká variabilita nárokov spotrebiteľov (v čase a v objeme spotreby) sa odzrkadlila v zložitosti riadenia distribúcie elektrickej energie, znížení efektivity jej výroby a častých výpadkoch. Klasická distribučná sieť tak prestáva byť flexibilnou. Aká bude nová generácia elektrizačnej sústavy? Odpoveď ponúka smart grid.

Smart grid je elektrická sieť, ktorá používa informačné a komunikačné technológie na získavanie informácií (napr. o správaní zákazníkov a dodávateľov). Cieľom je automatizované zvýšenie efektivity, návratnosti, ekonomickosti a udržateľnosti produkcie a distribúcie elektriny (vo všeobecnosti aj iných energií). Zavedenie technológie SG tiež zahŕňa fundamentálne prestavanie odvetvia elektrických služieb (hoci typické použitie pojmu SG je zamerané na technickú infraštruktúru).

Historický vývoj elektrickej siete

Dnešná sieť striedavého prúdu sa vyvinula po roku 1896, čiastočne na základe návrhu Nikolu Teslu, publikovaného v roku 1888. V tom čase sieť pozostávala z centrálného jednosmerného systému prenosu elektrickej energie, distribúcie a ovládania riadeného požiadavkami energie.

V 20. storočí vznikali energetické siete ako lokálne siete, ktoré časom rástli a spájali sa na ekonomické účely. V 60. rokoch sa elektrická sieť rozvíjajúcich sa krajín stala obrovskou, zrelou a vysoko prepojenou sieťou s tisíckami centrálnych generátorových staníc, ktoré distribuovali elektrinu menším priemyselným a domácim používateľom po celej dodávanej oblasti. Topológia siete tejto doby bola výsledkom silných úspor v ponímaní danej doby: veľké uhoľné, plynové a ropné elektrárne v škále od 1 GW do 3 GW (stále sú považované za cenovo efektívne).

Elektrárne sa umiestňovali strategicky blízko rezerv fosílnych palív (v blízkosti baní alebo železničných a cestných uzlov alebo prístavov). Umiestnenie vodných priehrad v horských oblastiach tiež silne ovplyvnilo štruktúru vznikajúcej siete. Jadrové elektrárne boli umiestňované z hľadiska možnosti chladenia vodou. Elektrárne spaľujúce fosílna palivá veľmi znečisťovali prostredie a boli umiestňované čo najďalej (pokiaľ to bolo ekonomicky možné) od obývaných centier. Koncom 60. rokov bola elektrická sieť dostupná pre väčšinu obyvateľov rozvinutých krajín, iba pár oblastí zostalo bez elektriny.

Vzhľadom na rozdielnu spotrebu odberateľov bolo pre správne účtovanie nevyhnutné merať spotrebu elektriny každého z nich samostatne. Vzhľadom na to, že zber dát a ich spracovanie bolo obmedzené, v čase budovania sietí sa vytvárali fixné aj duálne tarify, v ktorých bol nočný odber spojatelný nižšou sadzbou (motiváciou pre duálne tarify bol nižší nočný odber energie ako cez deň). Duálne tarify umožnili väčšie využívanie lacného prúdu vyrobeného v noci, čo pomohlo „hladkému“ dodávaniu elektrickej energie cez deň a znížilo počet turbín, ktoré museli byť cez noc vypínané, čím sa zvýšilo využitie a ziskovosť výrobných a prenosových zariadení. Meracie možnosti sietí 60. rokov mali mnohé technické obmedzenia.

Od 70. do 90. rokov 20. storočia narastal dopyt po zvýšení počtu elektrární. V niektorých oblastiach nemohli dodávky elektriky (hlavne v špičkových časoch) pokračovať pri existujúcom dopyte, čo vyústilo do slabej kvality dodávky elektriny vrátane výpadkov. Od elektriny

čoraz viac závisel priemysel, vykurovanie, komunikácie, osvetlenie, a preto zákazníci požadovali čoraz väčšiu spoľahlivosť dodávok.

Ku koncu 20. storočia boli vytvorené modely dopytu elektriny: kúrenie a klimatizovanie domácností viedlo ku každodenným špičkám, preto boli vytvorené „špičkové generátory“, ktoré museli byť pustené určitý čas počas dňa. To viedlo k vyšším cenám energie.

Možnosti modernizácie

Začiatkom 21. storočia sa dali využiť vylepšenia v elektronickej komunikačnej technológii na vyriešenie problému s obmedzeniami a cenami elektrickej energie. Technologické obmedzenia merania už nenútili výrobcov energií k vysokým špičkovým cenám, ktoré museli platiť všetci odberatelia rovnako. Súčasne rastúce obavy zo škôd na životnom prostredí z elektrární na fosilné palivá viedli k využívaniu veľkého množstva energie z obnoviteľných zdrojov. Dominantné formy ako veterná a solárna energia sú vysoko variabilné, a preto bola zjavná potreba sofistikovanej kontroly systémov (aj pre ulahčenie spojení zdrojov k inak vysoko riaditeľnej sieti). Energia z fotovoltaických článkov viedla k diskusiám o veľkých centralizovaných elektrárnach. Rýchlo klesajúce ceny znamenajú výraznú zmenu z centralizovanej siete na vysoko rozptýlenú (s energiou vytvorenou a spotrebovanou v hraniciach siete). Rastúci záujem ochrany pred teroristickými útokmi v niektorých krajinách viedol k tlaku po odolnejšej energetickej sieti, ktorá je menej závislá od centralizovaných elektrární pokladaných za ciele útokov.

Pôvod pojmu smart grid

Názov smart grid sa používa od roku 2005, keď sa objavil v článku „Smerom k smart gridu“ od Amina a Wollenberga [1]. Existuje viacero definícií SG. Niektoré opisujú funkčnosť, niektoré technológie a niektoré sú orientované na jeho benefity. Základný prvok väčšiny definícií je použitie digitálneho spracovania a komunikácie v elektrickej sieti. Z integrovaného použitia digitálnej technológie s elektrickými sieťami vyplýva viacero možností využitia. Integrácia nových sieťových informačných tokov k užitočným procesom a systémom je jednou z kľúčových záležitostí v navrhovaní SG. Elektrické nástroje vytvárajú tri triedy transformácie: vylepšovanie infraštruktúry, prídanie digitálnej vrstvy (je podstatou inteligentnej siete) a transformácia obchodných procesov. Veľká časť modernizačnej práce (najmä rozvodne a distribučná automatizácia) je zahrnutá do celkového konceptu inteligentných sietí, pričom rovnako sa vyvíjajú aj ďalšie možnosti.

Rané technologické inovácie

SG technológie boli vytvorené na základe skorších pokusov v elektronickej kontrole, meraní a monitorovaní. V 80. rokoch minulého storočia sa začal používať automatický merač na monitorovanie dodávok väčším zákazníkom, pričom sa vyvinul do vylepšenej monitorovacej infraštruktúry 90. rokov, v ktorej mohli merače ukladať informácie o tom, ako sa elektrina používala v rôznych častiach dňa. Inteligentné merače pridali neustálu komunikáciu, preto mohlo byť monitorovanie vykonávané v reálnom čase a použité ako brána k zariadeniam typu „odpovedaj na požiadavku“ a „inteligentné zásuvky“. Rané formy takto riadeného manažmentu boli dynamické požiadavky zariadení, ktoré pasívne vedeli o dodávke energie na sieť, monitorovaním zmien vo frekvencii energetického zdroja.

Zariadenia, ako napríklad priemyselné alebo domáce klimatizácie, chladničky a ohrievače, zmenili svoj pracovný cyklus, aby sa vyhli aktivácii počas špičky. Začiatkom roku 2000 bol taliansky Telegestore prvým projektom siete (pripojených 27 miliónov domácností), ktorý obsahoval inteligentné merače [2]. Nedávne projekty používali širokopásmové (BPL) alebo bezdrôtové technológie, ktoré sú obhajované ako vhodnejšie na pripojenia do rozdielnych zariadení v domácnostiach, ako aj na podporu merania iných médií (plyn a voda).

Monitoring a synchronizácia širokej oblasti sietí boli vynovené začiatkom 90. rokov, keď firma Bonneville Power Administration expandovala jej SG výskum s prototypom senzora, ktorý je schopný veľmi rýchlo analyzovať anomálie kvality elektriny vo veľkých geografických oblastiach. V roku 2000 bol vyvrcholením tejto práce prvý funkčný systém merania (WAMS) [3].

Charakteristika SG

SG reprezentuje kompletný rad existujúcich a navrhovaných odpovedí na výzvy dodávania elektrickej energie. Vzhľadom na škálu faktorov (aj protichodných) neexistuje žiadna dohoda na univerzálnej definícii.

Spôľahlivosť

SG bude využívať technológie, ktoré zlepšia rozpoznanie poruchy a umožnia „samoliečbu siete“ bez zásahov technikov. To zaistí spoľahlivejšie dodávky elektriny a zníži zraniteľnosť pri útoku alebo prírodnej katastrofe.

Prvotné elektrické vedenie bolo vybudované pomocou radiálneho modelu, neskôr bolo spojenie zaručené cez viacero vetiev podľa sieťovej štruktúry. Tým však vznikol nový problém: ak momentálny tok alebo súvisiace efekty naprieč sieťou prekročia limity ktoréhokoľvek sieťového prvku, ten môže zlyhať a prúd môže byť posunutý do iných prvkov siete, ktoré môžu zlyhať tiež a tak vytvoriť domino efekt.

Flexibilita v topológii siete

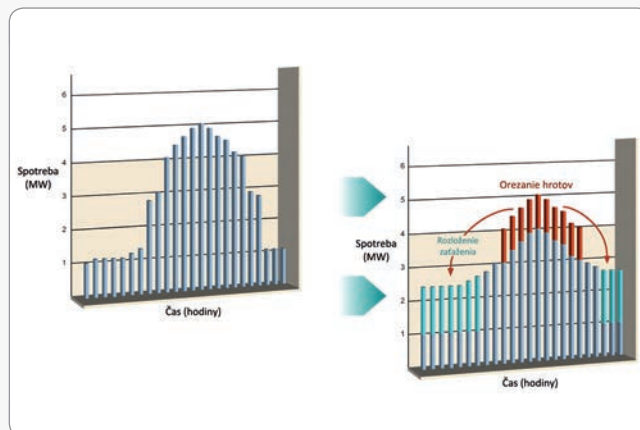
Klasické siete boli navrhnuté jednosmerným tokom elektriny, ale ak miestna podsieť generuje viac energie, ako spotrebuje, reverzný tok môže zvýšiť bezpečnosť a spoľahlivosť. Ďalšie generácie prenosovej a distribučnej infraštruktúry budú lepšie zvládať obojsmerné energetické toky s umožnením rozptýlenej výroby energie, napríklad z fotovoltaických panelov na strechách budov, veterných turbín, „prečerpávačiek“ vodnej energie a iných zdrojov. SG smeruje k riešeniu týchto problémov.

Efektívita

Od použitia technológie SG sa očakávajú mnohé prínosy, čo sa týka celkového zlepšenia efektivity energetickej infraštruktúry (vrátane riadenia na strane dopytu, napr. vypnutie klimatizácie počas krátkodobých špičiek). Celkový prínos je však aj v menšej redundancii v prenosných a distribučných kábloch a vo väčšom využití generátorov, čo by malo viesť k nižším cenám.

Prispôsobenie zaťaženia

Celkové zaťaženie pripojené k energetickej sieti sa môže v čase výrazne líšiť. Aj keď je to suma viacerých individuálnych možností klientov, nie je to stabilná (pomaly sa meniaci) priemerná elektrická spotreba. Predstavme si prírastok zaťaženia, ak začne populárna relácia a naraz sa zapnú milióny televízorov. (Rapidný nárast spotreby energie je pokrytý dopnutím náhradných generátorov, ktoré boli uvedené do „disipatívneho“ pohotovostného režimu, čo je rýchlejšie ako štart veľkého generátora.) SG tak môže upozorniť všetky televízne prijímače (alebo iných veľkých spotrebiteľov), aby dočasne redukovali zaťaženie s cieľom získať čas na spustenie veľkého generátora, alebo aby priebežne redukovali zaťaženie (v prípade obmedzených zdrojov). Použitím matematických prognostických algoritmov možno predpovedať, koľko záložných generátorov treba použiť, aby sa dosiahla určitá miera poruchovosti. V tradičnej sieti môže byť poruchovosť redukovaná za cenu viacerých pohotovostných generátorov.



V inteligentnej sieti môže zníženie zaťaženia dokonca len o malú časť problém odstrániť.

Znižovanie špičky a cena doby použitia

O znížení dopytu počas drahej špičky informujú komunikačné a meracie technológie (inteligentné zariadenia v domácnosti alebo v priemysle). Pri vysokom energetickom dopyte sledujú časový priebeh a množstvo spotrebovanej elektriny. To umožňuje rozvodným spoločnostiam znižovať spotrebu (komunikáciou so zariadením priamo, aby sa zabránilo preťaženiu systému). Predpokladá sa, že zákazníci a spoločnosti budú spotrebúvať menej počas obdobia špičiek (ak je to pre zákazníkov možné, ich zariadenia sa takto vyhnú vysokým cenám – čerpaním energie v špičke). Niekedy to môže znamenať kompromisy, ako napríklad posun večery z piatej na deviatu. (Otázne tak ostáva obmedzenie komfortu zákazníkov.)

Udržateľnosť

Zvýšenie flexibility SG umožňuje širšie nasadenie vysoko variabilných energetických zdrojov, ako je napríklad solárna a veterná energia, aj bez ďalšieho energetického skladovania. Vybudovaná súčasná sieťová infraštruktúra neumožňuje mnoho „bodov prívodu“. Aj keď je ich pár povolených na lokálnej úrovni siete, prenosná úroveň infraštruktúry ich nemôže prijať. Rápidne výkyvy rozloženej produkcie, napr. oblačnosť alebo nárazové zmeny počasia, znamenajú značné výzvy pre energetikov, ktorí potrebujú zaistiť stabilnú úroveň výkonu pomocou viacerých lepšie riaditeľných výstupov generátorov (napr. turbíny na plyn a hydrogenerátory). Technológia SG je potrebná pre veľké množstvo obnoviteľných zdrojov v sieti práve pre spomínaný problém.

Využitie trhu

SG umožňuje systematickú komunikáciu medzi dodávateľmi a zákazníkmi, a tak im povoľuje byť v ich operačných stratégiách flexibilnejší a sofistikovanejší. (Iba nevyhnutné zaťaženia budú potrebovať energiu počas špičky a spotrebiteľia budú môcť lepšie plánovať využívanie energie.) Generátory s väčšou flexibilitou budú schopné vyrábať energiu s maximálnym ziskom, kým málo flexibilné generátory (napr. základné záťažové parné generátory a veterné turbíny) dostanú rôznu tarifu na základe úrovne dopytu a stavu prevádzky ostatných generátorov. Celkový efekt je signálom, ktorý oceňuje energetickú efektívnosť a spotrebu, ktorá je citlivá na časovo odlišné limity dodávok. Na úrovni domácností budú zariadenia so stupňom energetického ukladania alebo tepelnej hmoty (chladničky, tepelné banky alebo tepelné čerpadlá) správne spúšťané a zohrajú svoju rolu pri hľadaní minimalizácie energetickej náročnosti adaptovaním dopytu po nízko nákladových časoch dodávok energie. To predstavuje rozšírenie zmienenej duálneho spoplatnenia.

Reakcia na dopyt

Reakcia na dopyt (spotrebu) umožňuje generátorom a zaťaženiám interakciu automatizovaným spôsobom (v reálnom čase), čo vedie k „splošteniu hrotov“. Eliminovanie zlomku spotreby zapríčiňujúcej tieto hroty znižuje náklady na pridanie rezervných generátorov, ich opotrebenie, predlžuje životnosť zariadenia a umožňuje používateľom znížiť výdavky na energiu tým, že umožní zariadeniu využívať energiu, keď je to najlacnejšie.

Kvôli vysokej hodnote majú súčasné elektrické siete v rámci riadiacich systémov viacero stupňov komunikácie (elektrárne, prenosové systémy, rozvodne a väčšinu energetických používateľov atď.). Vo všeobecnosti informácie „tečú“ jedným smerom, od používateľov v bodoch zaťaženia, na základe ktorých sa späť riadia zariadenia elektrizačnej sústavy. Riadením zodpovedajúcich zariadení sa pokúša uspokojiť dopyt. V opačnom prípade sa nevybalancovanie môže prejaviť vo viacerých stupňoch (pokles napätia „bownout“, postupný výpadok, úplný výpadok „blackout“). Tento jednosmerný tok informácií je „drahý“ (z posledných 10 percent vygenerovanej kapacity môže byť potrebné menej ako 1 percento času, avšak musí byť generovaný, pretože výpadky môžu byť pre zákazníkov veľmi drahé).

Oneskorenie dátového toku je veľkou výzvou. Niektoré rané smart meter architektúry povoľovali 24-hodinové oneskorenie v prijímaní

dát, čo neumožňovalo vykonať žiadne opatrenia v rámci dodávateľských alebo odberateľských služieb.

Platformy pre pokročilé služby

Ako v iných oblastiach priemyslu, používanie odolných obojsmerných komunikácií, pokročilých senzorov a distribuovaných počítačových technológií zlepšuje efektívnosť, spoľahlivosť a bezpečnosť v dodávaní elektrickej energie aj v jej používaní. Tiež to otvára možnosti pre celkovo nové služby alebo vylepšenia už existujúcich riešení (napr. monitorovanie požiaru a alarmy, ktoré dokážu odpojiť elektrickú sieť alebo zavolať na tiesňovú linku).

Integrované komunikácie

Niektoré použité komunikácie sú síce moderné, ale nie sú jednotné, pretože boli vyvinuté prírastkovým spôsobom a nie ako plne integrované. Vo väčšine prípadov je dátový zber získavaný skôr pomocou modemu než priamo zo sieťového pripojenia. Oblasti zlepšenia tak zahŕňujú: automatizáciu rozvodní, odpovede zo strany dopytu, automatizáciu distribučnej siete, operátorské riadenie, zber dát, systém spravovania energie, bezdrôtové siete, komunikácie cez elektrické vedenie/optiku a iné technológie. Integrované komunikácie umožnia kontrolu v reálnom čase, poskytnú informácie a výmenu dát na optimalizovanie systémovej stability a bezpečnosti. Množstvo dát potrebných na monitorovanie a automatické vypínanie spotrebičov je pritom veľmi malé v porovnaní s hlasovými službami, internetom alebo TV službami.

Snímanie a meranie

Základnou úlohou je vyhodnocovanie preťažení a stability siete, monitorovanie „zdravia spotrebičov“, prevencia krádeže elektriny a podpora ovládacích stratégií. Technológie zahŕňajú: pokročilé merače s mikroprocesorom (smart meter) a čítacie zariadenia, širokú oblasť monitorovacích systémov, systémy DLR a RTTR (dynamic line rating, real time thermal rating), elektromagnetické podpisy merania/analýzy, pomocky na zisťovanie času používania a spotreby, pokročilé vypínače, kabeláž atď. SG nahrádzajú staré analógové mechanizmy digitálnymi meračmi, ktoré nahrávajú spotrebu v reálnom čase. SM sú podobné ako merače pokročilej meracej infraštruktúry (AMI) a ponúkajú komunikačnú cestu rozšírenú od zdrojov energie až k zásuvkám a iným SG zariadeniam.

Monitorovanie kvality

Vysoko rýchlostné senzory nazývané PMU (Phasor measurement unit) umiestnené po celej sieti môžu byť použité na monitorovanie kvality elektriny; v niektorých prípadoch môžu na jej kvalitu automaticky odpovedať presným riadiacim zásahom. Fázy sú reprezentantmi priebehu striedavého prúdu; sú ideálne identické všade v sieti a prispôbujú sa najvyššiemu tvaru. S veľkým počtom PMU a schopnosťou porovnávať krivky striedavého napätia všade v sieti vedci predpovedajú, že automatizované systémy prinesú revolúciu v riadení siete rýchlou odpoveďou na systémove podmienky [4]. Podľa mnohých expertov z tejto oblasti by mohutný výpadok siete na severovýchode USA v roku 2003 zasiahol oveľa menšiu oblasť, keby boli nainštalované široko oblasťné fázorové merače siete [5].

Pokročilé ovládanie

Automatizácia elektrických systémov dovoľuje rýchlu diagnostiku a presné riešenia špecifických sieťových narušení alebo výpadkov. Tri technologické kategórie na pokročilé ovládanie sú: distribuované inteligentné agenty (ovládacie systémy), analytické nástroje (softvérové algoritmy, vysoko rýchlostné počítače) a operačné aplikácie (SCADA, automatizácia rozvodní, odpovede na dopyt atď.). FUJIAN (energetická sieť v Číne) vytvorila použitím techník umelej inteligencie širokú oblasť ochranných systémov, ktoré sú schopné rýchlo a presne vyrátať riadiacu stratégiu a následne ju aj vykonať [6].

Námietky a obavy

Najviac námietok a znepokojení sa týka smart metrov a zariadení na vzdialené ovládanie a odpojenie a variabilné oceňovanie, ktoré tieto

zariadenia ponúkajú. Keď sa vyskytnú námietky voči smart metrom, sú najčastejšie pripisované SG, ktorý je spájaný so smart metrami v očiach neprajníkov. Špecifické námietky a znepokojenia zahŕňajú:

- obavy z narušenia súkromia spotrebiteľa,
- sociálne obavy pred feroznosťou dostupnosti elektriny,
- znepokojenie, že „komplex rate systémy“ odstraňujú jasnosť a zodpovednosť,
- znepokojenie nad diaľkovo ovládaným kill switchom začleneným do väčšiny smart metrov,
- sociálne znepokojenia zo zneužívania informácií o spotrebiteľovi,
- znepokojenia nad poskytnutím mechanizmu vláde, nad kontrolou všetkých aktivít používajúcich elektrinu,
- obavy z RF emisií zo smart metrov.

Bezpečnosť

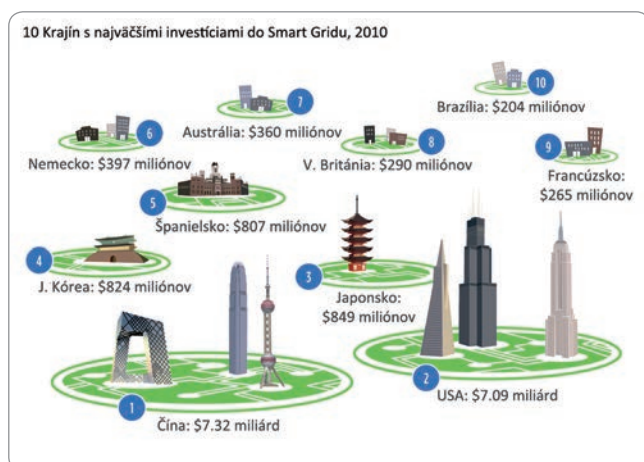
S príchodom kyberkriminality prichádzajú ďalšie obavy zo straty bezpečnosti infraštruktúry, týkajúce sa hlavne komunikačných technológií (najmä v „srdci“ smart gridu). Komunikácie v reálnom čase medzi zariadeniami na strane zákazníkov a smart metrami vytvárajú veľké riziko, že tieto možnosti môžu byť zneužitá na zločin alebo aj na teroristické účely. Jednou z kľúčových možností tejto konektivity je možnosť vzdialene vypnúť elektrické dodávky, povoľujúc zariadeniam rýchlo a jednoducho sa zastaviť alebo modifikovať dodávky zákazníkom, ktorí nezaplátili účet.

Toto je bez pochyb veľký prínos pre dodávateľov energií, tiež to však predstavuje niekoľko významných bezpečnostných problémov. Kyberzločinci sa už veľakrát infiltrovali do energetickej siete v USA. Mimo počítačovej infiltrácie existujú obavy aj z počítačového malveru ako Stuxnet, zacieleného na systémy SCADA, ktoré sú široko využívané v priemysle (podobne môžu byť použité na útok na SG sieť).

Krádež elektriny je ďalším problémom. V USA (na miestach, kde sa použili inteligentné merače pomocou RF technológie – FasTrak na komunikáciu s prenosovou sieťou) môžu ľudia so znalosťou elektroniky navrhnuť rušenie zariadenia a spôsobiť, že inteligentné merače hlásia nižšiu spotrebu, ako je skutočná. Podobne môže rovnaké rušenie spôsobiť, aby to vyzeralo tak, že energiu spotrebúva iný zákazník, čo zvýši jeho účet.

Oplatí sa SG?

Pred zavedením zariadení pokročilého meracieho systému alebo iného smart systému, musí byť vytvorená štúdia. Niektoré komponenty, napr. stabilizátory elektrického systému, nainštalované na generátoroch, sú veľmi drahé, vyžadujú komplexnú integráciu do sieťových systémov, sú potrebné iba v čase núdze a sú efektívne, iba ak ich má aj iný dodávateľ v sieti. Pri väčšine zariadení ťažko odôvodniť inštaláciu komunikačnej infraštruktúry pre jedinú aplikáciu. Preto musia zariadenia identifikovať viacero aplikácií, ktoré budú používať tú istú komunikačnú infraštruktúru (napr. čítanie merača, monitorovanie elektrickej kvality, vzdialené pripojenie a odpojenie zákazníkom, povolenie odpovede na dopyt). Ideálne nebude komunikačná infraštruktúra podporovať iba „near-term“ aplikácie, ale aj neočakávané aplikácie, ktoré sa objavia v budúcnosti.



Literatúra

- [1] Massoud Amin, S. – Wollenberg, B. F. 2005. Toward a smart grid: Power delivery for the 21st century. IEEE Power and Energy Magazine 3 (5): 34. doi:10.1109/MPAE.2005.1507024.
- [2] National Energy Technology Laboratory (2007-08) (PDF). NETL Modern Grid Initiative – Powering Our 21st-Century Economy. United States Department of Energy Office of Electricity Delivery and Energy Reliability. p. 17. Retrieved 2008-12-06.
- [3] Gridwise History: How did GridWise start?. Pacific Northwest National Laboratory. 2007-10-30. Archived from the original on 2008-10-27. Retrieved 2008-12-03.
- [4] Yilu Liu – Lamine Mili – Jaime De La Ree – Reynaldo Francisco Nuqui (2001-07-12). State Estimation and Voltage Security Monitoring Using Synchronized Phasor Measurement (PDF). Research paper from work sponsored by American Electric Power, ABB Power T&D Company, and Tennessee Valley Authority (Virginia Polytechnic Institute and State University). CiteSeerX: 10.1.1.2.7959. Simulations and field experiences suggest that PMUs can revolutionize the way power systems are monitored and controlled.
- [5] Patrick Mazza (2005-04-27). Powering Up the Smart Grid: A Northwest Initiative for Job Creation, Energy Security, and Clean, Affordable Electricity. Climate Solutions. p. 7. Retrieved 2008-12-01.
- [6] Wide Area Protection System for Stability. Nanjing Nari-Relays Electric Co., Ltd. 2008-04-22. p. 2. Archived from the original on 2009-03-18. Retrieved 2008-12-12. Examples are given of two events, one stabilizing the system after a fault on a 1 gigawatt HVDC feed, with response timed in milliseconds.
- [7] Building for the future: Interview with Andres Carvallo, CIO – Austin Energy Utility. Next Generation Power and Energy (GDS Publishing Ltd.) (244). Retrieved 2008-11-26.
- [8] Betsy Loeff (2008-03). AMI Anatomy: Core Technologies in Advanced Metering. Ultrimetrix Newsletter (Automatic Meter Reading Association (Utilimetrix)).
- [9] Enbysk, Liz (April 20, 2011). China Smart Grid Playbook: Should we steal a page or two? SmartGridNews. Retrieved December 1, 2011.
- [10] Lundin, Barbara (January 24, 2012). Honeywell builds on smart grid success in England. Fierce SmartGrid. Retrieved March 7, 2012
- [11] [L. D. Kannberg] – M. C. Kintner-Meyer – D. P. Chassin – R. G. Pratt – J. G. DeSteele – L. A. Schienbein – S. G. Hauser – W. M. Warwick (2003-11) (PDF). GridWise: The Benefits of a Transformed Energy System. Pacific Northwest National Laboratory under contract with the United States Department of Energy. p. 25. arXiv:nlin/0409035.
- [12] Smart Grid and Renewable Energy Monitoring Systems, SpeakSolar.org 03rd September 2010.
- [13] Jasminská, Natália: Measurement of Energy Flows and CO₂ Emissions Balance of the Low-Potential Heat Source in Combination with a Cogeneration Unit/2012. In: Topics in intelligent engineering and informatics. Vol. 12, no. 2 (2012), p. 63-84. ISSN 2193-9411.
- [14] Smart Grid. Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid#Deployments_and_attempted_deployments, last modified on 17 March 2013.

Pokračovanie v nasledujúcom čísle.

Ing. Stanislav Števo, PhD.
stanislav.stevo@stuba.sk

Ing. Jakub Osuský, PhD.
jakub.osusky@stuba.sk

Ústav riadenia a priemyselnej informatiky
Fakulta elektrotechniky a informatiky, STU Bratislava