

Marek Hvizdoš

Komunikačné systémy distribuovaných zdrojov energie

Tento príspevok popisuje problematiku komunikácie v elektrických staniách s dôrazom na komunikačné systémy pre distribuované zdroje energie. Uvádza rôzne komunikačné protokoly používané v praxi. Podrobnejšie rozoberá a charakterizuje medzinárodný štandard IEC 61850. Analyzuje v ňom logický model, typy správ, mapovanie na reálne protokoly a konfiguračný jazyk elektrickej stanice. Uvádza koncepciu usporiadania logických zariadení a logických uzlov pre DZE podľa IEC 61850-7-420.

Kľúčové slová: distribuované zdroje energie; komunikácia; IEC 61850

I. ÚVOD

Dôležitou súčasťou prevádzky elektrizačnej sústavy bola vždy komunikácia. V začiatkoch pozostávala z telefónnej linky, kedy na dispečerskom stredisku a v rozvodnej stanici si pracovníci vymieňali informácie pomocou dvoch telefónov. V súčasnosti je veľkosť sústavy, v porovnaní s minulosťou, niekoľkonásobne väčšia, pričom sa zároveň zvyšuje dôraz na kvalitu a spoľahlivosť dodávky elektrickej energie. Aby boli splnené všetky požiadavky spotrebiteľa je nutné zhromažďovať a posielat' čoraz viac informácií a tento proces musí byť uskutočnený v čo najkratšom čase s čo najväčšou spoľahlivosťou. Pri prenose týchto informácií požadujeme, aby systém, ktorý bol zvolený dnes, bol schopný adaptácie v budúcnosti, kedy sa predpokladá ďalšie zväčšovanie sústavy a zvyšovanie nárokov na kvalitu dodávky elektrickej energie. Dôraz sa pritom kladie na kompatibilitu zariadení rôznych výrobcov, ktoré zabezpečujú chránenie, meranie, riadenie, monitorovanie, zaznamenávanie a mnoho ďalších funkcií v elektrických staniách. Tieto zariadenia by mali medzi sebou komunikovať pomocou spoľahlivého, jednoduchého a dostupného protokolu, čo spĺňa protokol IEC 61850 [1].

II. KOMUNIKÁCIA V ELEKTRICKÝCH STANICIACH

Pri komunikácii všeobecne sa využívajú dva druhy komunikácie, a to vertikálna a horizontálna (Obr. 1). Samotné údaje, ktoré sa prenášajú, môžu byť kritické alebo nekritické. Časovo kritické dáta zahŕňajú všetky informácie, ktoré sa zaoberajú vypínacími signálmi alebo operáciami súvisiacimi s výkonovými vypínačmi, ktoré izolujú časť systému. Časovo nekritické dáta obsahujú informácie, ktoré sú významné pre výpočet rôznych bodov nastavenia, napríklad počas odľahčovania siete, nemenia sa príliš často a ani tak rýchlo ako časovo kritické dáta. Pretože tieto časovo nekritické údaje nehrajú úlohu pri spínaní záťaží a generátorov, nemusia byť aktualizované tak často [2].



Obr. 1. Vertikálna a horizontálna komunikácia [3]

V elektrických staniách prebieha staničná komunikácia, či už vertikálna alebo horizontálna, na troch úrovniach:

- staničná úroveň (riadiaca jednotka stanice, HMI);
- úroveň poľa (elektrické ochrany, ochranné terminály);
- procesná úroveň (výkonové vypínače, prístrojové transformátory, senzory, ...).

Dátová komunikácia pre tieto aplikácie je riadená vertikálne, t.j. zo staničnej riadiacej úrovne nižšie do úrovne poľa (príkazy akéhokoľvek druhu z operačného strediska) alebo naopak (binárne údaje, ako pozície kontaktov výkonových vypínačov alebo odpojovačov, merania z prístrojových transformátorov a iných senzorov, udalosti a výstrahy).

Pri horizontálnej komunikácii sa výmena časovo kritických informácií môže uskutočňovať cez klasické vodiče, ktorými sú prepojené jednotlivé vstupy a výstupy (I/O) z ochrán, výkonových vypínačov, prístrojových transformátorov. Ide o výmenu informácií medzi poľami (napríklad pri staničných blokovacích podmienkach) a výmenu informácií v rámci jedného poľa (napr. výmena informácie medzi ochranou vedenia a recloserom) [4].

Elektrické zariadenia komunikujú v elektrických staniách pomocou komunikačného protokolu. Komunikačný protokol je súbor syntaktických a sémantických pravidiel určujúcich výmenu informácií medzi dvoma entitami spojenými napr. prostredníctvom počítačovej siete. Protokol riadi, ako sa správy obsahujúce dáta a informácie zhromažďujú v zdroji pre ich prenos cez sieť k cieľu. Medzi tieto komunikačné protokoly patria: DNP 3.0, Elcom-90, MODBUS RTU, Alstom Courier, INDUCTIC 2033, IEC 60870-5, IEC 61850, atď.

III. ŠTANDARD IEC 61850

Pre komunikáciu v elektrických staniách je v súčasnosti aktuálny komplexný súbor noriem IEC 61850 „Komunikačné siete a systémy automatizácie elektrických staníc“. Tento súbor noriem definuje pravidlá pre komunikáciu medzi zariadeniami v rozvodniach a stanovuje požiadavky, ktoré sú na rozvodne a ich zariadenia z hľadiska komunikácie kladené. Neobsahuje len definície komunikačných protokolov, ale tiež štandardy pre riadiace funkcie a inžiniering v rozvodniach [5]. Predstavuje teda jednotnú, štandardizovanú, na dodávateľovi nezávislú metódu pre tvorbu komunikačnej siete a integrácií jednotlivých zariadení rozvodne. Základným cieľom pri tvorbe tohto súboru noriem bolo umožniť vytváranie systému, v ktorých budú komunikovať zariadenia od rôznych výrobcov. Tieto zariadenia, spojené komunikačnou sieťou sa označujú ako IED (Intelligent Electronic Device), ktoré zaisťujú

ochranu rozvodní, kontrolu nad ich prevádzkou a automatizáciou, meraniami a reguláciou v rozvodni.

Medzinárodná norma IEC 61850 obsahuje desať hlavných častí, ako je to uvedené v Tab. 1 [6].

Tab. 1 Štruktúra normy IEC 61850

Číslo časti	Názov
1	Úvod a prehľad
2	Slovník
3	Všeobecné požiadavky
4	Systémové a projektové riadenie
5	Komunikačné požiadavky na funkcie a modely prístrojov
6	Jazyk na opis konfigurácie na komunikáciu v staniách s inteligentnými elektronickými zariadeniami (IED)
7	Základná komunikačná štruktúra
7-1	- Zásady a modely
7-2	- Abstraktné rozhranie komunikačnej služby (ACSI)
7-3	- Všeobecné triedy údajov
7-4	- Kompatibilné triedy logických uzlov a triedy údajov
8	Mapovanie špecifickej komunikačnej služby (SCSM)
8-1	- Mapovanie podľa MMS (ISO 9506-1 a ISO 9506-2) a podľa ISO/IEC 8802-3
9	Mapovanie špecifických komunikačných služieb (SCSM)
9-1	- Prenos vzorkovaných hodnôt po sériovom neorientovanom viacbodovom spoji bod-bod
9-2	- Vzorkované hodnoty z ISO/IEC 8802-3
10	Skúšanie zhody

Príslušná pracovná skupina IEC túto normu priebežne aktualizuje a dopĺňa. Takto pribudli špeciálne príbuzné normy, ktoré reagujú na aktuálny vývoj. Napr. štandard IEC 61850-7-420 definuje logické uzly pre komunikačné systémy distribuovaných zdrojov energie. IEC 61850-90-1 rozširuje pôsobnosť základnej normy aj na komunikáciu medzi elektrickými stanicami. Metodika IEC 61850 bola priamo prebraná aj pre komunikáciu a riadenie veterných elektrární v súbore noriem IEC 61400-25.

Digitálne ochrany sú v tomto systéme radené k inteligentným elektronickým zariadeniam (IED). Pri komunikácii medzi IED sa využíva logické zoskupovanie dát, ktorého súčasťou sú tzv. logické uzly. Časť informácie pre komunikáciu medzi dvoma uzlami sa označuje ako PICOM (Piece of Information for Communication).

Logické zoskupovanie dát a dátový model

Pri logickom zoskupovaní definovala pôvodne IEC 61850 spolu 13 hlavných skupín logických uzlov. Vo vydaní z roku 2010 k nim pribudlo ďalších 6 skupín (Tab. 2) [1].

Dáta, ktoré sa používajú v staniách sa takto zaradia do príslušných skupín. Každá zo skupín sa ďalej delí do logických uzlov. Každý z nich je zložený z dát reprezentujúcich rôznu špecifickú aplikáciu a sú zamerané na zabezpečenie oddelenia podkategórií dát.

Konkrétne, skupina funkcií chránenia obsahuje viac ako 30 rôznych logických uzlov. Označenie uzla, ktoré predstavuje štvorica písmen, v tomto prípade začína písmenom P. Napr. pre dištančnú ochranu sa použije logický uzol PDIS.

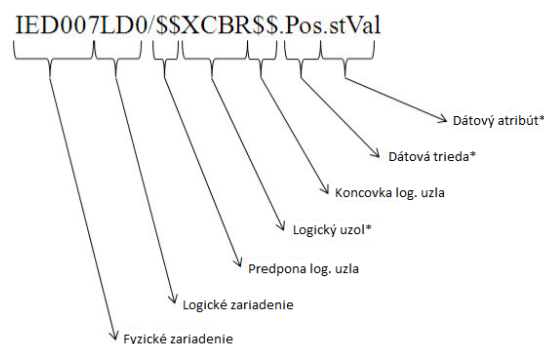
Tab. 2 Označenie skupín logických uzlov

Skupina logických uzlov	Indikátor
Systémové logické uzly	L
Funkcie chránenia	P
Príbuzné funkcie chránenia	R
Operátorské riadenie	C
Generické referencie	G
Prepojenie a archivovanie	I
Automatické riadenie	A
Meranie	M
Kontrola a monitorovanie	S
Spínanie	X
Prístrojové transformátory a senzory	T
Výkonové transformátory	Y
Ďalšie energetické zariadenia	Z
Distribuované zdroje energie	D
Funkčné bloky	F
Vodná energia	H
Mechanické a neelektrické primárne zariadenia	K
Sledovanie kvality elektrickej energie	Q
Veterná energia	W

Ďalej sa delia dáta do tzv. dátových tried. Existuje množstvo dátových tried, ktoré boli použité na zostrojenie logických uzlov. Logickým zoskupovaním dát sa teda vytvorí dátový model, ktorý má takéto hierarchické usporiadanie:

- fyzické zariadenie (so sieťovou adresou);
- logické zariadenie (LD – Logical Device);
- logický uzol (LN – Logical Node);
- dátová trieda (DC – Data Class);
- dáta.

Na základe takéhoto dátového modelu je možné vytvoriť aj názov objektu. Na Obr. 2, časti označené „*“ musia byť zadané podľa štandardu a ostatné časti môžu byť ľubovoľne pomenované výrobcom. Názov objektu podľa IEC 61850 pozostáva zo 62 znakov, medzi ktorými sú zahrnuté aj oddeľovače. Názov logického uzla môže pozostávať z 11 znakov vrátane oddeľovacej predpony a koncovky.



Obr. 2. Štruktúra označenia objektu podľa IEC 61850 [1], [4]

Dátové mapovanie

Model objektu popisuje všetky dáta generované IED abstraktným spôsobom, pričom zachováva priamy vzťah medzi funkciami, z ktorých vznikajú dáta. Kvôli prenosu týchto jednotne vytvorených dát bola definovaná služba na výmenu informácií. IEC 61850 používa koncept objektového orientovania ACSI (Abstract Communication Service Interface), čiže službu abstraktného komunikačného rozhrania. Tieto služby sú nezávislé od obsahu informácií a komunikačného protokolu. Umožňujú všetkým IED správať sa identicky z hľadiska komunikačnej siete. Takto sú nezávisle popísané služby pre prenos dát, a práve preto modely objektov a služby môžu byť mapované aj inými protokolmi.

V ACSI modeli sú dve skupiny komunikačných služieb. Prvá skupina používa model *client/server*, napr. získanie dát týkajúcich sa veličín z IED. Druhá skupina používa *peer-to-peer* model. Tento model sa používa pre rýchlu komunikáciu medzi IED na úrovni poľa a na prenos periodických vzorkových hodnôt [7]. Aby bolo možné komunikovať použitím OSI modelu, komunikačné služby musia byť mapované do reálnych komunikačných protokolov pomocou použitia rôznych komunikačných profilov (MMS a non-MMS) [1].

Správy GOOSE

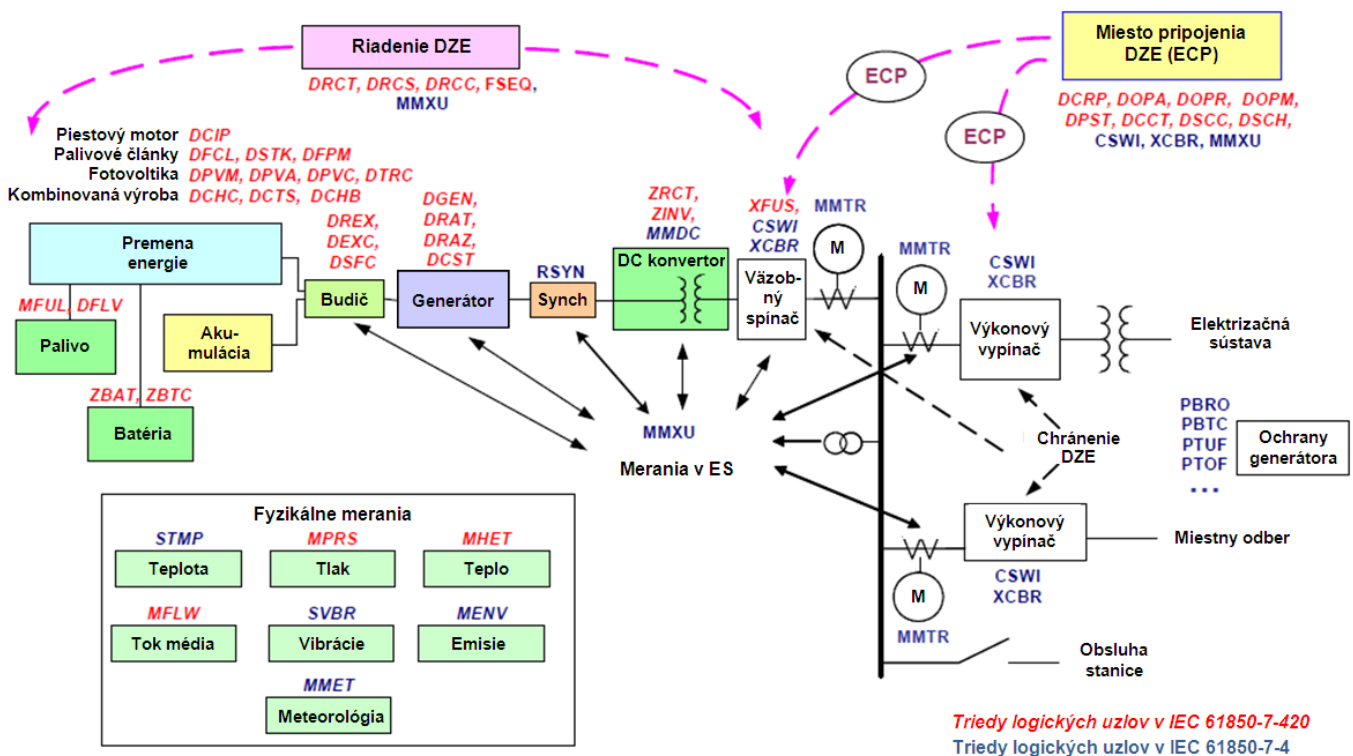
Časovo kritické správy GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) sú určené pre rýchlu horizontálnu komunikáciu medzi IED. Prenášajú sa stavové a riadiace informácie medzi IED ako napríklad TRIP signál alebo blokovacie povely, aby boli dosiahnuté navrhnuté podmienky pre systém ovládania a chránenia. GOOSE správy sú prenášané pomocou multicast cez lokálnu sieť LAN zo všetkých IED, ktoré sú nastavené ako odosielatelia správ. Požiadavka pre rýchly prenos je dôležitá, pretože veľa systémov ovládania a chránenia požaduje rýchle zaregovanie zariadení.

GOOSE správy sú užívateľom definovaný súbor dát, ktorý je „zverejnený“ na náhodnú detekciu v niektorej z používaných dátových položiek. Niektoré zariadenia v LAN, ktoré sa zúčastňujú na zverejňovaní dát môžu „prijímať“ zverejňované GOOSE správy a následne podľa potreby použiť iné dáta. GOOSE správa ako taká je správa tzv. „zverejnená-prijatá“. S binárnymi hodnotami zistí zmenu *false-to-true* alebo *true-to-false* prechodu. Pri analógovom meraní IEC 61850 definuje pásma necitlivosti (deadband) a pri jeho prekročení bude odoslaná GOOSE správa so zmenou analógovej veličiny.

IEC 61850 vyžaduje, aby na komunikáciu medzi ochrannými IED na úrovni poľa bola použitá Ethernetová LAN. Informácia zaslaná pomocou siete môže zahŕňať I/O pripojenie zariadenia, stavy ochranného elementu a stavy programovateľnej logiky. Zasielanie správ medzi ochranami je možné uskutočniť v časoch 1 až 2 ms. IEC 61850 taktiež umožňuje výmenu analógových dát medzi úrovňami, pričom v správe sú tiež umiestnené aktuálne hodnoty prúdov, napätí, výkonov atď.

IV. KOMUNIKAČNÉ SYSTÉMY PRE DISTRIBUOVANÉ ZDROJE ENERGIE PODĽA IEC 61850-7-420

Ako distribuované zdroje energie (DZE) sú označované rôzne druhy výrobní elektrickej energie, ktoré sa pripájajú do elektrizačnej sústavy (ES) pomocou distribučnej siete VN alebo NN. DZE sú často vo forme obnoviteľných zdrojov energie, ktorých počet rýchlo narastá. V distribučnej sústave (DS), ktorá bola pôvodne určená len na odber elektrickej energie, preto dochádza k novej situácii. K riešeniu problémov, ktoré takto vznikajú v prevádzke DS, môže prispieť aj vhodný systém komunikácie. Kompatibilitu komunikačných systémov DS a distribuovaných zdrojov energie má zabezpečiť štandard IEC 61850. Časť 7-420 tejto normy definuje logické uzly pre komunikačné systémy DZE.



Obr. 3. Konceptcia usporiadania logických zariadení a logických uzlov pre DZE

Na Obr. 3 je znázornené usporiadanie logických zariadení a logických uzlov pre DZE. Farebne sú pritom rozlíšené kompatibilné triedy LN podľa časti 7-4 štandardu IEC 61850 a triedy LN pre distribuované zdroje podľa časti 7-420 [1].

Zariadenie na premenu môže predstavovať mikroturbíny, palivové články, fotovoltické systémy, veterné turbíny, dieselové generátory, spaľovacie turbíny. K zariadeniam na akumuláciu patria batérie, prečerpávacie vodné elektrárne, supravodivé akumulčné zariadenia, mechanické akumulčné zariadenia. DC konvertor zahŕňa striedač (DC/AC), invertor a transformátor na príslušné sieťové napätie.

V. ZÁVER

Pri riadení a chránení elektrických zariadení zohráva kľúčovú úlohu komunikácia IED v elektrických staniách. Aktuálnym riešením pre rôzne požiadavky pri komunikácii je použitie protokolu IEC 61850, ktorý pracuje na báze Ethernetu. Jednotlivé aplikácie musia byť upravené tak, aby informácie k zariadeniam boli doručené v požadovanej kvalite a so stanovenými časovými požiadavkami. Takouto aplikáciou je GOOSE správa, ktorá spĺňa požiadavky na prenos informácií v staničných automatizovaných systémoch.

K výzvam, pred ktorými stojí prevádzkovatelia distribučnej sústavy, patrí aj to, ako sa prispôbiť narastajúcemu množstvu pripájaných obnoviteľných zdrojov energie do DS. Najčastejšie pritom ide o distribuovanú výrobu. Nutným predpokladom pre riešenie problémov vznikajúcich pri prevádzke je zabezpečenie kompatibility komunikačných systémov distribučnej sústavy a DZE. Túto úlohu plní štandard IEC 61850-7-420. Táto norma zohľadňuje viacero výziev pri prevádzke systému prepojených DZE [8]:

- inžiniering prepojenia DZE s distribučnou sieťou;
- prevádzka distribučnej siete s významným zastúpením DZE za normálnych podmienok;
- prevádzka distribučnej siete s významným zastúpením DZE pri poruchových stavoch;
- plánovanie výroby v DZE podľa rôznych kritérií;
- monitorovanie a riadenie väčších DZE v reálnom čase na zabezpečenie podporných služieb pre ES;
- monitorovanie a riadenie výroby elektrickej energie v jednotlivých DZE;
- monitorovanie a riadenie rôznych systémov premeny energie v DZE;
- monitorovanie a riadenie pomocných systémov, ako napr. fakturačné meranie, palivový systém, batérie;

- sledovanie fyzikálnych vlastností zariadení, ako napr. teplota, tlak, teplo, vibrácie, emisie, meteorologické informácie.

Protokol IEC 61850 teda nachádza v súčasnosti uplatnenie aj pri riešení problematiky, ktorá sa týka decentralizovaných zdrojov energie [9], [10]. Metodika tejto normy bola priamo prebraná aj pre komunikáciu a riadenie veterných elektrární, čo prispieva k riešeniu problémov pri ich prevádzke a chránení [11], [12]. Zároveň dochádza k rozšíreniu tohto protokolu aj na komunikáciu medzi elektrickými stanicami.

LITERATÚRA

- [1] IEC 61850, *Communication Networks and Systems for Power Utility Automation*, Parts 1-10.
- [2] N. C. Seeley, "Automation at Protection Speeds: IEC 61850 GOOSE Messaging as a Reliable, High-Speed Alternative to Serial Communications," Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2008, pp. 1-6.
- [3] A. Masarovič, *Komunikácia digitálnych ochrán pomocou protokolu IEC 61850*, Diplomová práca, TU v Košiciach, 2012.
- [4] S. Bucko, *Komunikácia ochrán v elektrických staniách pomocou protokolu IEC 61850*, Diplomová práca, TU v Košiciach, 2013.
- [5] B. Forgue, P. Vladyka, "IEC 61850: Soubor norem pro komunikaci v energetice," in *Pandatron.cz – Elektrotechnický magazín*, Praha, Apr. 2011, ISSN 1803-6007.
- [6] R. E. Mackiewicz, "Overview of IEC 61850 and Benefits," in *Power Engineering Society General Meeting*, IEEE, Oct. 2006, pp. 1-8.
- [7] K. Kulski, D. Tholomier, "Impact of IEC 61850 on Substation Automation and Protection," in *4th International Scientific Symposium Elektroenergetika 2007*, Stará Lesná, Sept. 2007, pp. 505-511, ISBN 978-80-8073-844-0.
- [8] F. M. Cleveland, "IEC 61850-7-420 Communications Standard for Distributed Energy Resources (DER)," in *Power and Energy Society General Meeting*, IEEE, 2008, pp. 1-4, ISSN 1932-5517.
- [9] M. Hvizdoš, "Podmienky pre pripojenie decentralizovaných zdrojov elektriny do distribučnej sústavy z hľadiska chránenia," in *Elektroenergetika*, vol. 5, no. 2, 2012, pp. 45-47, ISSN 1337-6756.
- [10] D. Medved, "Utilising of EMTP ATP for Modelling of Decentralized Power Sources Connection," in *Transactions on Electrical Engineering*, vol. 2, no. 1, 2013, pp. 26-29, ISSN 1805-3386.
- [11] J. Tkáč, B. Dolník, J. Kurimský, "Problémy prevádzky veterných elektrární," in *EE – Časopis pre elektrotechniku a energetiku*, vol. 16, no. 5/S, 2010, pp. 248-251, ISSN 1335-2547.
- [12] J. Tkáč, B. Dolník, J. Kurimský, "Ochrana veterných elektrární pred bleskom," in *Energie 21*, no. 5, 2010, pp. 34-36.

ADRESA AUTORA

Marek Hvizdoš, Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská republika, Marek.Hvizdos@tuke.sk