

UDK 621.311-52:004.93:004.05

MODELIRANJE PROCESNIH INFORMACIJA ELEKTROENERGETSKOGA POSTROJENJA USLIJED NOVIH TEHNOLOŠKIH DOSTIGNUĆA, STANDARDIZACIJE I LIBERALIZACIJE SUBSTATION PROCESS INFORMATION MODELING DUE TO TECHNOLOGICAL ACHIEVEMENTS, STANDARDIZATION AND LIBERALIZATION

Vibor BELAŠIĆ – Juraj ŠIMUNIĆ – Branka DOBRAŠ

Sažetak: U radu su predloženi osnovni koncepti modela procesnih informacija koji će zadovoljiti većinu potreba suvremenoga elektroenergetskog sustava u okolnostima novih tehnoloških dostignuća, standardizacije i liberaliziranoga elektroenergetskog sektora. Za sustav automatizacije elektroenergetskog postrojenja predložena su nova tehnološka dostignuća koja se koriste u radu sustava. Predloženi su dosadašnji modeli procesnih informacija koji se koriste u modeliranju elektroenergetskog postrojenja. Predstavljene su osnovni koncepti za definiranje „novog“ modela procesnih informacija elektroenergetskog postrojenja koji je temelj za definiranje inteligentnih rješenja za učinkovitije vođenje cjelokupnoga elektroenergetskog sustava.

Ključne riječi:

- sustav automatizacije elektroenergetskog postrojenja
- modeliranje procesnih informacija
- inteligentni elektronički uređaj
- logički uređaj
- logički čvor

Abstract: This paper represents the basic concepts for a process information model that will satisfy all the needs of a modern power system under the circumstances of new technological achievements, standards and the liberalized power sector. New technological solutions that are used in substation automation systems are shown. Previous process information models used in the power system are presented. Basic concepts to define a new power system substation process information model are presented, which is the basis for the definition of intelligent solutions for efficiently managing the entire power system.

Keywords:

- substation automation systems
- process information modeling
- intelligent electronic device
- logical device
- logical node

1. UVOD

Sustavi vođenja u elektroenergetskim sustavima pripadaju skupini vrlo složenih sustava za upravljanje procesom u realnom vremenu. Uzrok je tome složenost primarnoga elektroenergetskog sustava kao cjeline, te geografska rasprostranjenost elektroenergetskih postrojenja uz zahtijevanje vremenske istodobnosti provedbe procesa. Razvojem novih tehnologija, posebice razvojem na području informatičkih tehnologija i sekundarne opreme temeljene na mikroprocesorima, dolazi do povećanja broja informacija iz pojedinog EEP-a. Sukladno tome pojavila se i potreba za definiranjem

2. INTRODUCTION

Management systems in electrical power systems are in a group of very complex systems for managing the process in real time. The reason for this complexity is the primary power system as a whole and the spatial distribution of electric power plants along with the requirement of a simultaneous time implementation process. Development of new technologies and especially development in the field of information technology and secondary equipment based on microprocessor lead to an increase in the amount of information from the individual power system substation. The need arose to define a single procedure

jedinstvenoga kriterija zahvata i obrade procesnih podataka u nadređenim centrima vođenja. Sekundarnu opremu temeljenu na mikroprocesorima predstavljaju inteligentni elektronički uređaji (IEU) koji su „sposobni“ istodobno provoditi više funkcija neophodnih za rad elektroenergetskoga postrojenja [1]. Zbog velikog broja različitih uređaja u sekundarnoj opremi te različitih mogućnosti komunikacije među njima javlja se potreba za standardizacijom. Upozorava se na potrebu za jedinstvenim standardom na razini elektroenergetskog postrojenja i to predočuje standard IEC 61850 - Komunikacijske mreže i sustavi u transformatorskim stanicama.

U zadnjim desetljećima liberalizacija je bila osnovna tema širom svijeta koja je dovela od privatizacije i konkurencije u elektroenergetskome sektoru. Zbog procesa liberalizacije pojavljuje se potreba za većom učinkovitošću i sigurnošću rada elektroenergetskoga sektora u cijelosti. Zbog nastajanja tržišta električnom energijom pojavljuju se i novi subjekti koji funkcioniraju u tome novom okruženju (npr. nezavisna proizvodnja, nezavisna opskrba kupaca). Liberalizacijom tržišta novi subjekti u elektroenergetskom sustavu zahtijevaju dobivanje što brže i pouzdanije informacije o stanju sustava. Zbog toga dolazi do potrebe definiranja novijega modela procesnih informacija EEP-a koji će omogućiti da se na jednostavan način dobiju potrebne informacije o svakom elementu unutar sustava.

2. MODELIRANJE PROCESNIH INFORMACIJA

Specificiranje svih funkcija u sustavu vođenja omogućuje identificiranje informacija i razmjenu informacija u sustavu. Pritom kategorizacija funkcija pomaže pri razmatranju funkcija koje su, kako je već napomenuto, vrlo velike, a u sustavu se zahtijevaju i različite značajke izvođenja pojedinih funkcija. Za identifikaciju informacija procesa potrebno je provesti informacijsko modeliranje postrojenja [2].

Prvi korak pri informacijskom modeliranju jest podjela EEP-a na sastavne dijelove. Promatrano s tehnološkog stanovišta, svako se elektroenergetsko postrojenje može podijeliti na određeni broj dijelova – tehnoloških cjelina. Ovisno o tipu postrojenja, identificiranje tehnoloških cjelina može biti težak zadatak. Za većinu postrojenja kriterij za definiranje tehnoloških cjelina može biti “dio postrojenja na istoj naponskoj razini”. Nadalje, svaki se od tih dijelova (cjelina) može dalje, prema nekom drugom kriteriju, dijeliti na manje podcjeline i tako redom dok se ne dođe do tehnološke cjeline koja više u tom smislu nije djeljiva. Na taj se način dobiva temeljna tehnološka cjelina – tehnološki modul. Tehnološki modul je najmanja tehnološka cjelina i predočuje građevni blok za sve složenije tehnološke cjeline.

criteria and methods for processing process data in control centers. Secondary equipment based on microprocessors is represented by intelligent electronic devices (IED) that are capable of simultaneously performing multiple functions necessary for normal operation of the substation [1]. Due to the large number of different devices in the secondary equipment, and various opportunities for communication among them, there is a need for standardization. As a result, there is a need for a unified standard at the substation level and that standard is IEC 61850 - Communication networks and systems in substations.

In the last decades, liberalization was a major issue around the world that led to privatization and competition in the area of the electric power sector. Due to the liberalization process, there appears a need for greater efficiency and security of the whole electric power sector. Due to the emergence of the electricity market, new entities that operate in this new environment are created (e.g. independent production, customer independent supply). New entities in the electric power system demand faster and more accurate information about the state of the system. Therefore, there arises a need to define a new model of power system substation process information that will enable the necessary information about each element in the system to be obtained easily.

2. PROCESS INFORMATION MODELING

Specification of all functions in the system allows the identification of information management and exchange of information in the system. Categorization of functions helps in the consideration of functions which, as already mentioned, are numerous, and the system requires different performance in certain functions. Information identification is necessary for the process of power system substation information modeling [2].

Division of the power system substation based on the component parts is the first step in information modeling. Viewed from a technological standpoint, the power system substation can be divided into a number of components, or technological units. Depending on the type of plant, identifying technological units can be a difficult task. For most plants, the criteria for defining technological segments may be “part of the plant at the same voltage level”. Furthermore, each of these parts (units) can, according to other criteria, be divided into smaller parts, and so on, until they become technological units which are not divisible. That technological unit is the basic technological unit - the technological module. The technological module is the smallest unit and the technological building block for complex technological units.

2.1. Tehnološko-funkcijski model

Prvu generaciju u sustavu modeliranja procesnih informacija elektroenergetskog postrojenja (EEP-a) predočuje model naziva „tehnološko-funkcijski model“ [3]. Definiran je početkom osamdesetih godina dvadesetog stoljeća. Temelj modela su tehnološki moduli EEP-a, te informacije vezane uz njegovu funkciju u cijelom EEP-u. Za taj model, procesne informacije EEP-a definirane su prema lokaciji (određeni tehnološki modul unutar EEP-a) i funkciji. Tehnološki moduli smatraju se „izvorima“ i „ponorima“ informacija, te se informacije kategoriziraju prema funkciji.

Temeljni tehnološki moduli elektroenergetskoga postrojenja su:

- generatorsko polje (GP),
- sabirnice s mjernim i spojnim poljem (SP),
- transformator s transformatorskim poljem (TRP),
- dalekovodno polje (DVP),
- pomoćni pogoni (PP),
- procesna mikroprocesorska oprema (R).

Svaki od navedenih tehnoloških modula (TM) opisan je statički, nizom informacija koje pripadaju različitim funkcijskim modulima (FM), a u pogonu dinamika navedenih informacija opisuje rad odgovarajućega tehnološkog modula. Za EEP-e moguće je izdvojiti sljedeće funkcijske module:

- signalizacija zaštite i dojave (sz),
- signalizacija grupnih signala (sg),
- signalizacija sklapanja (ss),
- signalizacija računalne opreme (sr),
- mjerenja (mj),
- upravljački nalozi (up),
- instrukcijske poruke (ip).

Na temelju prethodno definiranih tehnoloških i funkcijskih modula može se definirati skup procesnih informacija EEP-a kao zbroj određenih podskupova informacija. Podskupovi informacija mogu se oblikovati na temelju tehnoloških modula ili na temelju funkcijskih modula.

Uvođenjem trećega elementa informacije – vrijednost, struktura informacija iz EEP-a može se definirati kao trodimenzionalni vektor (slika 1).

Skup S informacija na razini EEP-a za sve tehnološke module i sve tipove signala može se definirati na sljedeći način:

$$S = \{\alpha_{xyz}\} \quad \begin{aligned} x &= 1, 2, 3, \dots, m \\ y &= 1, 2, 3, \dots, n \\ z &= 1, 2, 3, \dots, r \end{aligned} \quad (1)$$

gdje α_{xyz} predstavlja informaciju, definiran pomoću funkcije x , lokacije y i vrijednost z .

2.1. Technological-functional Model

The first generation of power system substation (PSS) process information modeling is a technological-functional model [3]. It originated from the early eighties of the twentieth century. It is based on the technological models of a PSS and information related to its function in the entire PSS. For this model, process information of a power system substation are defined by location (the technological module in the PSS), and function. Technological modules are considered to be sources and sinks of information, and information is categorized by function.

Basic technological modules for the power system substation are:

- generator field (GP),
- bus (SP),
- transformer with the transformer field (TRP),
- transmission field (DVP),
- auxiliary drives (PP),
- process microprocessors equipment (R).

Each of these technological modules (TM) is described with a series of static information that belong to different functional modules (FM). In operation, the dynamics of the above information describes the working condition of appropriate technological modules. For PSS's, the following functional modules can be singled out:

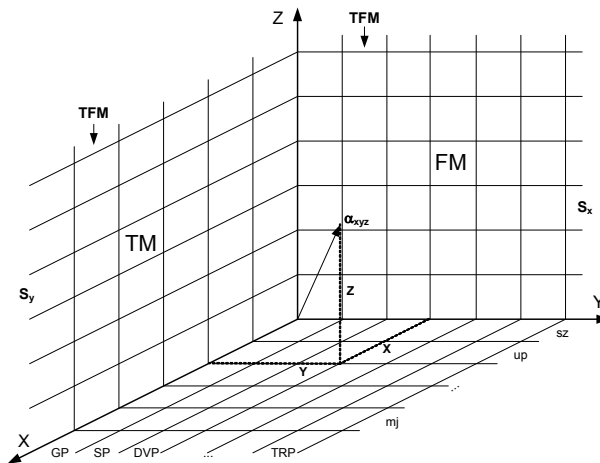
- protection and alert (sz),
- group signals (sg),
- switching signals (ss),
- computer equipment signals (sr),
- measurement (mj),
- commands (up),
- instructional messages (ip).

Based on the above defined technological and functional modules, a set of processing information of PSS can be defined as the sum of certain subsets of information. A subset of information can be formed from technological modules or functional modules.

Introducing the third element of information, value, the information structure from the PSS can be defined as a three-dimensional vector (Figure 1).

The set of information S on the level of a PSS for all technological modules and for all types of signals can be defined as:

where α_{xyz} represents information defined by function x , location y and value z .



Slika 1. Informacija iz EEP-a predočena kao vektor [3]

Figure 1. Information from the power system substation represented as a vector [3]

Podskup S_x predočuje većinu informacija jednog FM dobivenih iz svih tehnoloških modula EEP-a. Taj je podskup moguće definirati izrazom (2) gdje je $x = konst.$, dok yz ravnina (Slika 1) predočuje taj podskup.

Subset S_x represents all information of one FM from all technological modules of a PSS. It can be defined by the equation (2) with $x = konst.$, while the yz -plane (Figure 1) relates to this subset.

$$S_x = \{\alpha_{xyz}\} \quad x = konst. \\ y = 1, 2, 3, \dots, n. \\ z = 1, 2, 3, \dots, r \quad (2)$$

U konačnici podskup S_{xy} predočuje sve informacije jednoga tehnološkog modula i za samo jedne funkcije. Može se predočiti izrazom (3) uz veličine $x = konst.$ i $y = konst.$

Finally, the subset S_{xy} represents all information of one technological module and only one function. It can be defined by the equation (3) with $x = konst.$ and $y = konst.$

$$S_{xy} = \{\alpha_{xyz}\} \quad x = konst. \\ y = konst. \\ z = 1, 2, 3, \dots, r \quad (3)$$

Model procesnih informacija postrojenja na temelju tehnološko-funkcijskog modela definira se temeljom cjelovitog EEP-a za analizu i za estimaciju različitih tokova informacija. Predmetni model ima stanovita specifična ograničenja i nedostatke:

- procesne informacije su realizirane na razini tehnoloških modula u EEP-u,
- cjelokupnu proceduru treba ponavljati za svako pojedino postrojenje, model nije neovisan o EEP-u,
- uređaj, kao temeljni element EEP-a nije odvojen kao „nosilac“ informacija,
- stanja uređaja nije moguće definirati za potrebe suvremenoga dizajna procesnih informacija,
- nije moguće definirati povezanost među uređajima,
- redundancija unosa podataka je znatna.

The substation model of process information is based on the technological-functional model at the level of a power system substation and is used for operation analysis and estimation of various information flows. This model has some specific limitations and drawbacks:

- processing information are organized at the level of technological modules in the PSS,
- the entire procedure must be repeated for each PSS, the model isn't independent,
- the device, as a basic element of the PSS is not separated as carrier of information,
- device states cannot be defined for the needs of modern process information design,
- links among devices cannot be determined,
- redundancy of the data entry is great.

2.2. Model uređajnog dizajna

Drugi od modela, kronološki promatrano, kao temelj modela koristi uređaj u postrojenju, koji se promatra kao izvor informacija [4]. Svaki uređaj predočuje tzv. „entitet“ koji pruža informacije o stanju procesa ili dijela procesa. Model uređaja označava apstrakciju fizičkog uređaja u smislu njegovih informacijskih svojstava, gdje uređaj predočuje više tipova tzv. „fizičkog“ uređaja koji imaju jednaka svojstva s obzirom na procesne signale koje mogu uzrokovati. Pri dizajnu navedenog modela postoje tri karakteristična koraka:

- sistematizacija strukture signala prema tipu uređaja,
- analiza EEP-a prema tehnološkim modulima,
- pridjeljivanje signala tehnološkom modulu.

Struktura elektroenergetskog postrojenja definirana je tehnološkim modulima koji se sastoje od niza uređaja. Raspodjela postrojenja u dijelove koji predočuju tehnološke module slična je kao u prethodnom modelu. Definirani su sljedeći tehnološki moduli:

- dalekovodno polje (DVP),
- transformatorsko polje (TP),
- spojno polje (SP),
- mjerno polje (MP),
- transformator (T),
- generatorsko polje (GP).

Svaki od postojećih modula sadrži niz uređaja, a svaki je uređaj izvor informacija u postrojenju. Uređaji se mogu grupirati na sljedeći način:

- uređaji primarnog postrojenja,
- uređaji relejne zaštite,
- uređaji mjerenja,
- uređaji procesne informatike,
- uređaji pomoćnih pogona,
- uređaji elektrana.

Podaci o pojedinom uređaju, odnosno informacije koje daje taj uređaj (izvor informacija), definirani su u bazi informacija uređaja. Cjelokupna informacija iz uređaja sastoji se od:

- tipa uređaja,
- varijable (promjenjive veličine),
- vrijednosti varijable (promjenjive veličine).

Statički skup informacija prema modelu uređajnog dizajna [5] definiran je neovisno o nekom EEP-u, stoga se bilo koji njegov podskup može koristiti za bilo koje EEP. Struktura informacije kao i u slučaju tehnološko-funkcijskog modela također se može predočiti u trodimenzionalnom koordinatnom sustavu. Tip uređaja je predočen na osi x , ime promjenjive veličine na osi y , a vrijednost promjenjive veličine na osi z . Skup svih informacija prema tipu uređaja S_D definiran je kao točke u xyz prostoru, te se može predočiti izrazom:

2.2. Device Based Model

The second model chronologically observed used the device in the substation as the basis for model design, which is seen as a source of information [4]. Each device is an entity that provides information about the state of the process or part of the process. The model indicates the abstract of physical devices in terms of their information properties, where the device is representative of several types of physical devices that have the same properties given to the processing signals they initiate. In the design of this model, there are three typical steps:

- signal structure systematization by device type,
- PSS analysis by means of the technological module,
- signal assignment to technological module.

The structure of the power system substation is defined by the technological modules consisting of a series of devices. Distribution of the substation in areas that represent technological modules is similar to the previous model. Defined by the following technological modules:

- transmission field (DVP),
- transformer field (TP),
- bus coupler (SP),
- measuring field (MP),
- transformer (T),
- generator field (GP).

Each module contains a number of existing devices; each device is a source of information in the substation. The device can be grouped as follows:

- primary equipment devices,
- protection devices,
- measuring devices,
- information processing devices,
- auxiliary operation devices,
- power plant devices.

Data on individual device, or information provided by the device, are defined in the database of devices information. The complete information from the device consists of:

- device type,
- variable,
- variable values.

The static set of information based on device model design [5] is defined independently of a PSS, so it subsets can be used for any PSS. Also, as in the technological-functional model, information structure can be displayed in a three-dimensional coordinate system. The type of device is represented on the x axis, the name of the variable on the y axis, and the variable value on the z axis.

The set of all process information by device type S_D is defined by points of the xyz space, shown by the expression:

$$S_D = \{\sigma_{xyz}\} \quad \begin{array}{l} x = 1, 2, 3, \dots, m \\ y = 1, 2, 3, \dots, n \\ z = 1, 2, 3, \dots, r \end{array} \quad (4)$$

gdje σ_{xyz} predočuje informaciju definiranu pomoću tipa uređaja x , veličine y i vrijednosti veličine z .

Skup informacija samo jednog tipa uređaja definiran je kao yz ravnina, uz uvjet da je u izrazu (4) $x = konst.$ Skup informacija samo jedne veličine definiran je kao xz ravnina, uz uvjet da je u izrazu (4) $y = konst.$ Točke koje su paralelne a osi z predočuju informacije jednog uređaja i jedne veličine te se u izrazu (4) predočuju uz $x = konst.$ i $y = konst.$

2.3. Usporedba modela

Promatranjem ova dva modela mogu se uvidjeti sljedeće sličnosti i razlike. Usporedbom izraza (1) i (4) i njihovih zavisnih jednadžbi može se zaključiti sljedeće:

- formalno, strukturalni oblik izraza za specifični skup procesnih informacija je analogan,
- u osnovi skupovi S i S_D predstavljaju potpuno drugačije skupove procesnih informacija i omogućuju drugačiji pristup dizajniranju procesnih informacija,
- skup S je strogo vezan s tehnologijom pojedinog EEP-a i ne može se izravno koristiti za drugo EEP,
- skup procesnih informacija na osnovi uređaja S_D je općenit (tehnološki neovisan) i otvorenog dizajna te se može univerzalno primijeniti za više EEP,
- procesne informacije modela uređajnog dizajna predstavljaju tehnološki neovisnu bazu podataka informacija uređaja koju je moguće lako proširiti nekim novim informacijama.

U nastavku će biti objašnjeni novi pristupi i nove tehnologije koje se koriste u EEP [6] te utječu ne samo na modeliranje nego i na način vođenja samog EEP-a.

3. NOVI SUSTAVI AUTOMATIZACIJE ELEKTROENERGETSKOGA POSTROJENJA

Elektroenergetsko postrojenje sastoji se od primarne i sekundarne opreme. Informacije o sustavu dobivaju se putem sekundarne opreme koju predočuju različiti tzv. inteligentni elektronički uređaji – IEU [7], [8] koji su povezani komunikacijskom mrežom i čine sustav automatizacije elektroenergetskoga postrojenja (SAEEP). Uobičajeni IEU-i u sustavu automatizacije postrojenja mogu biti: zaštitni releji, upravljač prekidača, regulator napona, upravljač regulacijske preklopke transformatora, regulator kondenzatorske baterije, upravljač polja, itd.

where σ_{xyz} represents the information defined by device type x , variable y and variable value z . The set of information of one device type is defined on the yz plane, provided that in the expression (4) $x = konst.$ The set of information of only one variable is defined on the xz plane, provided that in the expression (4) $y = konst.$ The points on the axis parallel with z represent the information of one variable and one device type, provided that in the expression (4) $x = konst.$ and $y = konst.$

2.3. Comparison of Models

Inspection of these two models may reveal the following similarities and differences. Comparing expressions (1) and (4) and their dependent equation we can conclude the following:

- formally, the structural frame of the expressions of particular process information sets is entirely analogue,
- in essence, S and S_D sets represent completely different process information sets and enable different approaches to process information design,
- S sets are strictly tied with the technology of a particular PSS and cannot be directly applied to other PSS's,
- device based process information sets S_D are generic (technology independent) and open designed and they can be universally applied to a great array of PSS's,
- process information of the device based design represent the technology independent database of information which can be easily expanded with new information.

Original approaches and new technologies used in the PSS [6] below will be explained. They affect not only the modeling but also the management of the entire PSS.

3. NEW SUBSTATION AUTOMATION SYSTEMS

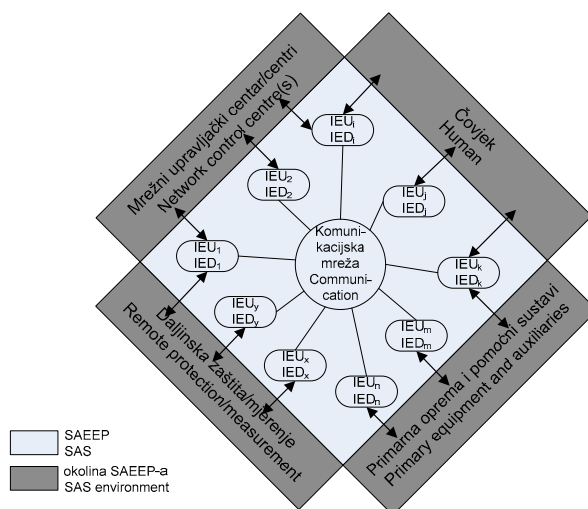
The power system substation consists of primary and secondary equipment. System information is obtained through the secondary equipment, which is represented by various intelligent electronic devices – IEDs [7, 8] that are connected to the communication network and make up substation automation systems (SAS). Common IEDs in substation automation systems can be: protective relays, a switches controller, a voltage regulator, a transformers tap changer controller, capacitor batteries, a regulator, or a bay controller, etc. SAS consists of

SAEEP se sastoji od različitih IEU-a koji komuniciraju međusobno korištenjem komunikacijskih kanala i provode zadatke koji se odnose na SAEEP okolinu (slika 2). Okolinu SAEEP-a moguće je raščlaniti na sljedeća područja:

- telekomunikacijsko okruženje (mrežni upravljački centri, daljinska zaštita/mjerenje),
- čovjek-stroj okruženje,
- procesno okruženje (primarna oprema, pomoćna postrojenja).

various IEDs that communicate through communication channels and perform tasks related to the SAS environment (Figure 2). The SAS environment can be divided into the following areas:

- telecommunication environment (network control centers, remote protection/measurement),
- human-machine environment,
- process environment (switchgear, transformer, auxiliaries).



Slika 2. SAEEP struktura i okolina [9]

Figure 2. Structure of the SAS and its environment [9]

3.1. Logička struktura elektroenergetskoga postrojenja

SAEEP je jedan od najvažnijih dijelova suvremenoga postrojenja. Taj sustav, pored lokalnog vođenja, omogućuje daljinsko vođenje iz nadređenoga mrežnog centra (MC-a) odnosno nacionalnoga dispečerskog centra (NDC-a).

Promotri li se s logičkog stajališta, sustav automatizacije elektroenergetskoga postrojenja predstavlja skup svih funkcija koje međusobno „komuniciraju“ i realiziraju sveobuhvatni zadatak vođenja elektroenergetskoga postrojenja. Logičku strukturu SAEEP-a predočuju funkcije i podaci raspodijeljeni unutar tzv. „fizičke“ strukture. Funkcije SAEEP-a moguće je raščlaniti na tri razine (slika 3):

- funkcije postrojenja,
- funkcije funkcionalne cjeline (polja),
- funkcije procesa (elementarne funkcije).

Navedene tri razine predočene su logičkim prikazom zajedno s logičkim sučeljima od 1 do 10. Logička sučelja definiraju razmjenu podataka između pojedinih razina i unutar same razine. Numeriranje sučelja korisno je za identifikaciju potrebnih sučelja u postrojenju i za određivanje mogućega protoka informacija.

3.1. Substation Logical Structure

SAS is one of the most important parts of modern facilities. This system, in addition to local control, allows remote control from the parent grid center (MC), and the national control center (NDC).

Considering it from a logical point of view, the substation automation system is a set of functions that interact with each other and perform a comprehensive job of operation of the power system substation. The logical structure of the substation automation system represents functions and data that are distributed within the physical structure. SAS functions can be divided into three levels (Figure 3):

- station level functions,
- bay level functions (unit),
- process level functions (elementary functions).

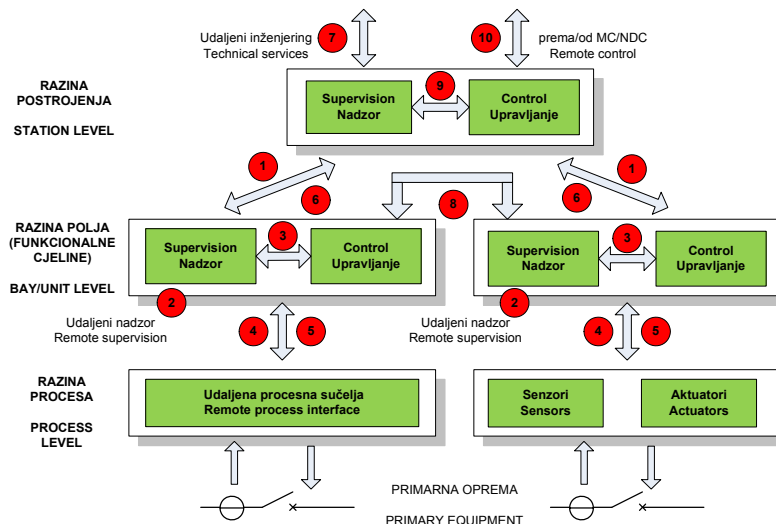
These three levels are shown together with the logical depiction of logical interfaces from 1 to 10. The logical interface defines data exchange between different levels and within the same level. Interface numbering is useful for identifying the necessary interfaces in the power system substation to determine the possible flow of information.

Značenje pojedinih logičkih sučelja:

1. razmjena podataka nadzora između razine polja i postrojenja,
2. razmjena podataka nadzora između razine polja i „udaljenog“ nadzora,
3. razmjena podataka unutar razine polja,
4. razmjena podataka mjernih transformatora između razine procesa i polja,
5. razmjena upravljačkih podataka između razine procesa i polja,
6. razmjena upravljačkih podataka između razine polja i postrojenja,
7. razmjena podataka između razine postrojenja i udaljenog inženjeringa,
8. izravna razmjena podataka između različitih polja, posebno za brze funkcije,
9. razmjena podataka unutar razine postrojenja,
10. razmjena podataka nadzora i upravljanja između postrojenja i udaljenog centra vođenja.

The meaning of each logical interface:

1. supervision data exchange between the bay and the station level,
2. supervision data exchange between bay level and remote supervision,
3. data exchange within bay level,
4. CT and VT data exchange between process and bay level,
5. control data exchange between process and bay level,
6. control data exchange between bay and station level,
7. data exchange between substation level and remote engineer's workplace,
8. direct data exchange between the bays, especially for fast functions,
9. data exchange within the station level,
10. control and supervision data exchange between the substation and a remote control center.



Slika 3. Razine i logička sučelja u sustavu automatizacije elektroenergetskog postrojenja [9]
Figure 3. Levels and logical interfaces in substation automation systems [9]

Brojčano označavanje sučelja omogućuje jednostavno definiranje dviju važnih lokalnih mreža ili podatkovnih sabirničkih sustava:

- sabirnica postrojenja – oblikuju je zajedno sučelja 1, 3, 6, 8, 9 te povezuju razinu postrojenja s razinom polja i različite IEU-e razine polja,
- procesnu sabirnicu – oblikuju je zajedno sučelja 4 i 5 te povezuju razinu polja s razinom procesa i različite IEU-e na razini procesa.

4. KONCEPTI MODELIRANJA NOVOG MODELA PROCESNIH INFORMACIJA

Metode razmjene informacija oslanjaju se u biti na dobro definirane informacijske modele i o njima ovise. U novom standardu IEC 61850 [9] koristi se pristup koji

The interface numbers allow the easy definition of the two important local area networks or bus systems:

- station bus – interfaces 1, 3, 6, 8, 9 together forming that bus, it connects the station level with the bay level and different IEDs within the bay level,
- process bus – interfaces 4 and 5 together form that bus, it connects the bay level and the process level and different IEDs within the process level.

4. MODELING CONCEPTS FOR NEW PROCESS INFORMATION MODEL

Methods of information exchange basically rely and depend on well-defined information models. The new standard IEC 61850 [9] used an approach that

modelira zajedničke informacije koje se mogu naći unutar realno korištenih uređaja. Pomoću toga načina modeliranja realizira se za SAEEP-a slika tzv. „analognog“ svijeta. Pristup informacijama i sama definicija razmjene informacija provode se na taj način da su neovisni o konkretnoj implementaciji, zbog toga je riječ o korištenju tzv. apstraktnog modela. Također, koristi se koncept tzv. virtualizacije, a s tim konceptom omogućuje se pogled na svojstva (informacije) dobivena od realnog uređaja koja su od interesa za razmjenu informacija s drugim uređajima. Pristup se temelji na razgradnji funkcija postrojenja u najmanje moguće entitete koji se koriste za razmjenu informacija. Znatost se postiže razumnom distribucijom tih entiteta prema namjenskim uređajima, odnosno IEU-ima.

4.1. Dekompozicija funkcija u SAEEP i koncept logičkoga čvora

Suvremeni SAEEP fizički se sastoji od niza fizičkih uređaja međusobno povezanih komunikacijskim mrežama. Funkcija ne treba biti locirana samo u jednom fizičkom uređaju već može biti dekomponirana u više podfunkcija (logičkih čvorova). Čvorovi mogu međusobno komunicirati, a locirani su u različitim fizičkim uređajima (slika 4).

Temeljna građevna cjelina modeliranja informacija prema standardu IEC je logički čvor (LC), on predočuje model realnog uređaja ili funkcije nekog uređaja (npr. prekidač).

Logički čvor je dio fizičkog uređaja (FU) i obuhvaća određenu funkcionalnost tog uređaja, a pri tome sadrži određeni skup informacija. Odnos logičkoga čvora i fizičkog uređaja može se predočiti izrazom:

$$FD = \{LN_1, LN_2, \dots, LN_m\}, \quad (5)$$

gdje FU predočuje jedan fizički uređaj, dok se taj fizički uređaj sastoji od m logičkih čvorova (LC).

Logički čvorovi međusobno su povezani korištenjem logičkih veza (LV), a fizički uređaji povezani su korištenjem fizičkih veza (FV).

Funkcija koju predočuju povezani logički čvorovi naziva se logički uređaj (LU). Realiziranje funkcija povezivanjem čvorova veoma je složen zadatak (slika 4). Grupiranjem logičkih čvorova koji zajedno obavljaju neki zadatak realizira se funkcija. To se može predočiti sljedećim izrazom:

$$f_n = \sum_{i=1}^m (LN)_i, \quad \begin{matrix} m \in 1, 2, \dots, k \\ n \in 1, 2, \dots, l \end{matrix}, \quad (6)$$

gdje je f funkcija u postrojenju kojih može biti l . Funkcije realiziraju logički čvorovi LC kojih u svakoj funkciji može biti najviše k .

models the common information that can be found within the real device. For SAS with this modeling method, a picture of an analog world is created. Access to information and the very definition of information exchange is conducted in such a manner that it is independent of specific implementation, because it is in terms of the use of abstract models. It also uses the concept of virtualization; this concept allows a view of its properties (information) obtained from real devices that are of interest in exchanging information with other devices. An approach is based on the decomposition of substation functions into the least possible entities that are used to exchange information. Granularity is achieved by a reasonable distribution of these entities by dedicated devices, or IEDs.

4.1. SAS Function Decomposition and Logical Node Concept

Modern SAS physically consists of a number of physical devices interconnected by communication networks. Functions are decomposed into logical nodes that may reside in one or more physical devices. Logical nodes can communicate with each other, and can be located in different physical devices (Figure 4).

The basic building block for information modeling by standard IEC 61850 is a logical node (LN). It represents a part of the real device or function of a real device (e.g., circuit breaker).

The logical node is part of a physical device (FD) and includes specific functionality of the device and contains a particular set of information. The relationship of logical node and physical device can be displayed by the expression:

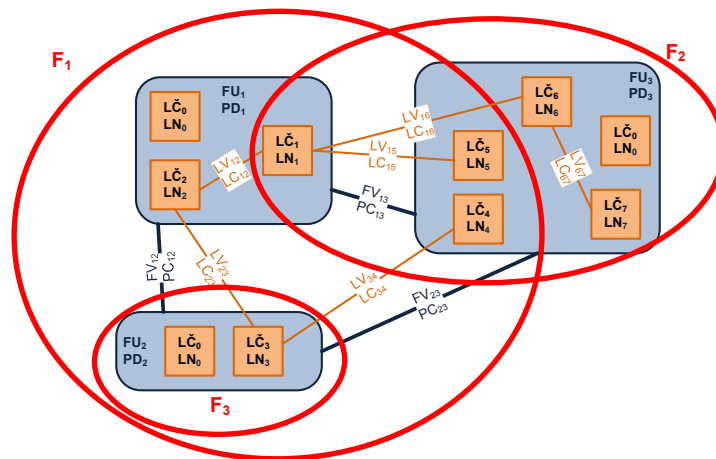
where FD is a physical device, while that physical device consists of m logical nodes (LN).

The logical nodes are linked by logical connections (LC), the devices by physical connections (PC).

The function is a combination of connected logical nodes, and it is called a logical device (LD). Creating a function of connecting nodes is a very complex task (Figure 4).

The grouping of logical nodes that together perform a task creates a function. The following equation shows that:

where f is a function of substation which can be l . Functions create logical nodes LN , which in each function can have a maximum of k logical nodes.



Slika 4. Definiranje funkcija kombinacijom logičkih čvorova iz fizičkih uređaja
Figure 4. Functions definition of a combination of logical nodes from physical device

Na temelju modela dekompozicije funkcija u SAEEP-u i koncepta logičkog čvora mogu se modelirati procesne informacije elektroenergetskog postrojenja.

Power system substation process information modeling is based on the model of function decomposition in SAS and the concept of the logical node.

4.2. Temelj modela

Logički čvor predočuje temeljnu građevnu jedinicu za novi model procesnih informacija. Prvo slovo u nazivu logičkog čvora označava skupinu kojoj određeni čvor pripada (C – kontrola, S – senzori i monitoring, P – zaštita). Logičke čvorove moguće je razvrstati prema razini na kojoj se nalaze u elektroenergetskom postrojenju, odnosno prema primjeni na:

- L – sistemski logički čvorovi,
- G – opća primjena,
- I – razina postrojenja,
- C, P, R, A, M – razina funkcionalne cjeline/polja,
- S, X, T, Y, Z – razina procesa/primarne opreme.

4.2. Model basis

The logical node is the basic building block for a new model of process information. The first letter in the name of the logical node indicates the group to which the node belongs to (C – control, S – sensors and monitoring, P – protection). Logical nodes can be classified according to the levels at which they are located in the power system substation, or by their application:

- L – system logical nodes,
- G – general use,
- I – station level,
- C, P, R, A, M – unit/bay level,
- S, X, T, Y, Z – process/equipment level.

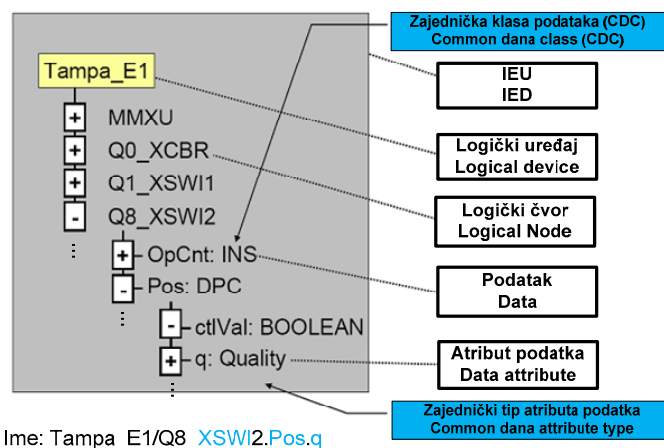
Primjer strukture informacija za logički čvor XCBR predočen je u tablici (tablica 1).

An example of information structure for the logical node XCBR is shown in (Table 1).

Tablica 1. Informacije sadržane u logičkom čvoru XCBR
Table 1. Information contained in the logical node XCBR

Logica I node	Data			Data attribute			Value range
	Name	Description	CDC	Attribute tag			
				Name	Type	FC	
XCBR	Pos	switch position	DPC	ctlVal	BOOLEAN	CO	off (FALSE) on (TRUE)
				stVal	ENUMERATED	ST	intermediate-state (0) off (1) on (2) bad-state (3)
				ctlNum	INTEGER	CO,S T	0..255
	BlkOpn	block opening	SPC	operTim	TimeStamp	CO	

Semantika logičkih čvorova predočena je preko podataka i atributa podataka. Logički čvorovi sadrže od nekoliko do 30 podataka, a podaci mogu sadržavati od nekoliko do 20 atributa podataka. Stoga se može zaključiti da logički čvor može sadržavati više od 100 individualnih informacija realiziranih u hijerarhijskoj strukturi (slika 5).



Slika 5. Hijerarhijski informacijski model
Figure 5. Hierarchical information model

Na slici 5 predočena je struktura hijerarhijskog informacijskog modela s jednim logičkim uređajem (Tampa_E1) koji se sastoji od nekoliko logičkih čvorova. Jedan od čvorova je Q8_XSW12 (rastavljač) koji sadrži podatke. Odabrani su podaci OpCnt (brojač rada) i Pos (pozicija). Svakom podatku standardnog tipa pridružena je zajednička klasa podataka (CDC). Za podatak Pos to je DPC (upravljivi dvostruki signal). Zajednička klasa podataka definira attribute podatka, u ovom slučaju ctVal (upravljanje) i q (kvaliteta). Svaki atribut ima svoj tip, primjerice ctVal je tip BOOLEAN (TRUE (on) ili FALSE (off)).

Struktura informacija definirana standardizacijom je kompleksna u odnosu na prijašnje modele.

5. ZAKLJUČAK

Upoznavanjem s dosadašnjim modelima procesnih informacija iz elektroenergetškoga postrojenja dobivene su potrebne informacije o poznavanju metodologije modeliranja postrojenja. Stalnim napretkom tehnologija i novonastalim uvjetima u elektroenergetskom sektoru dolazi do potrebe realiziranja „novog“ modela procesnih informacija iz elektroenergetškoga postrojenja.

Sustav automatizacije elektroenergetškoga postrojenja realiziran suvremenim inteligentnim elektroničkim uređajima daje znatno veću mogućnost upravljanja postrojenjem i nadzora nad njim. Uvođenjem standardizacije omogućuje se interoperabilnost u postrojenju između sve složenijih IEU-a različitih proizvođača, čime se olakšava projektiranje i održavanje

The semantics of logical nodes is represented by the data and attribute data. Logical nodes contain a few to 30 data and the data may contain from a few to 20 attributes of data. Therefore, we can conclude that a logical node can contain more than 100 individual types of information organized in a hierarchical structure (Figure 5).

The figure (Figure 5) shows the structure of hierarchical information model with a single logical device (Tampa_E1) which consists of several logical nodes. One of the nodes is Q8_XSW12 (disconnecter) that contains data. Selected data are OpCnt (operation counter) and Pos (position). Each standard data type is associated with common data class (CDC). For data Pos CDC is DPC (controllable double point). Common data class defines the attributes of data, in this case ctVal (control) and q (quality). Each attribute has a type, for example ctVal type is BOOLEAN (TRUE (on) or FALSE (off)).

Information structure defined by standardization is very complex compared to previous models.

5. CONCLUSION

Introduction into the current models of process information from the substation was necessary to receive information about the knowledge of the methodology for modeling power system substations. Constant progress in technology along with emerging conditions in the electric power sector have lead to the need for creating a new model of process information from the power system substation.

The substation automation system realized with modern intelligent electronic devices provides a much greater ability to manage and control the facility. Introduction of standardization has enabled interoperability between complex IEDs from different manufacturers, making it easier to design and maintain power system substations.

elektroenergetskih postrojenja.

Novi uređaji pružaju dobivanje višestrukih informacija koje nisu vezane samo uz nadzor i upravljanje. Potrebno je načiniti „novi“ model koji će biti primjenjiv za sve nove subjekte u elektroenergetskom sustavu.

Predočavanjem postrojenja pomoću funkcija, gdje je logički čvor temeljna građevna jedinica i izvorište informacija, moguće je realizirati učinkovitije vođenje elektroenergetskoga postrojenja.

6. POPIS OZNAKA

skup svih informacija za TFM model	S ,	set of information for TFM model
informacija definirana funkcijom x , lokacijom y i nazivom z	α_{xyz} ,	information defined by function x , location y and value z
skup svih informacija po tipu uređaja	S_D ,	set of information by device types
informacija definirana tipom uređaja x , varijablom y i vrijednosti varijable z	σ_{xyz} ,	information defined by device type x , variable y and variable value z
fizički uređaj	FD ,	physical device
logički čvor	LN ,	logical node
funkcija u postrojenju	f ,	function of substation

LITERATURA REFERENCES

- [1] M. Shahidehpour and Y. Wang, *Communication and Control in Electric Power Systems – Applications of Parallel and Distributed Processing*, 1st ed., A John Wiley & Sons, 2001.
- [2] J. Šimunić, B. Dobraš, V. Belašić, „Tokovi procesnih informacija EES-a u okruženju novih tehnologija i standarda“, 9. savjetovanje HRO Cigre, Cavtat, 2009.
- [3] J. Šimunić, „Model stohastičkih procesnih informacija elektroenergetskog sistema“, doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet, Zagreb, 1991.
- [4] J. Šimunić, M. Randić, M. Živić, „A Device-Based Process Signal Design of Electric Power Plants“, *Journal of Computing and Information Technology – CIT*, vol. 9, 29-42, Jan. 2001.
- [5] J. Šimunić, M. Randić, G. Gudac, B. Dobraš, „Baza signala procesa za automatizirani SDV-a u HE Vinodol“, Tehnički fakultet Rijeka, 1999.
- [6] J. Šimunić, R. Rubeša, K. Žubrinić-Kostović, T. Babić, G. Furač i drugi, „Procesne informacije elektroenergetskog sustava u postrojenjima i mrežnim centrima prijenosa“, HEP-Prijenos d.o.o. Zagreb, 2003.
- [7] J. Liden, „Design and Implementation of an IEC 61850 gateway for PLC Systems“, M. Eng. thesis, KTH Electrical Engineering, Stockholm, Sweden, Mar. 2006.
- [8] B. Dobraš, J. Šimunić, G. Furač, K. Žubrinić-Kostović, G. Gudac, „Modeliranje elektroenergetskih postrojenja prema IEC normama“, Tehnički fakultet Rijeka, 2003.
- [9] IEC 61850 Communication networks and systems in substations – Part 3, 5, 7-1, 7-2, 7-3, 7-4, CEI/IEC 61850, 2003.

Primljeno / Received: 16.03.2010.

Prihvaćeno / Accepted: 07.05.2010.

Izvornoznanstveni članak

Original scientific paper

Adresa autora / Authors' address:

Vibor Belašić, dipl. ing.

red. prof. dr. sc. Juraj Šimunić, dipl. ing.

mr. sc. Branka Dobraš, dipl. ing.

Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci

Vukovarska 58

51000 Rijeka

HRVATSKA