



Elektroprivreda

ČASOPIS ZAJEDNICE JUGOSLOVENSKE ELEKTROPRIVREDE • THE JOURNAL OF THE UNION OF YUGOSLAV
ELECTRIC POWER INDUSTRY • REVUE DE L'UNION YOUGOSLAVE DE L'ELECTRICITE • ЖУРНАЛ ОБЪЕДИНЕНИЯ
ЮГОСЛАВСКОГО ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВА • ZEITSCHRIFT DES JUGOSLAVWISCHEN ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT

Godina
Year

LVIV

April-Jun
April-June

Broj
No.

2

Sadržaj

Strana
Page

Content

	<i>Milan Vukasović i Sreten Škuletić</i>		
PRIMJENA DNEVNE EKSPLICITNE AUKCIJE ZA PROCES ALOKACIJE PRENOSNIH KAPACITETA UPOTREBOM INTERNET RAZVOJNIH ALATA	3	IMPLEMENTATION OF DAILY EXPLICIT AUCTION FOR CROSS-BORDER CAPACITY ALLOCATION BY USING INTERNET DEVELOPMENT TOOLS	
	<i>Dragoljub Matić</i>		
TESTIRANJE ALGORITAMA ZA RAČUNANJE IMPEDANSE VODA	12	TESTING OF ALGORITHM FOR CALCULATION OF POWER LINE IMPEDANCE	
	<i>Jordan Radosavljević i Miroljub Jevtić</i>		
UPRAVLJANJE NAPONIMA I MINIMIZACIJA GUBITAKA ENERGIJE U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI SA DISTRIBUIRANIM GENERATORIMA	20	VOLTAGE CONTROL AND POWER LOSSES MINIMIZATION IN A RADIAL DISTRIBUTION NETWORK WITH DISTRIBUTED GENERATORS	
	<i>Ilija Stevanović, Zoran Ćirić i Dušan Arnautović</i>		
KLASIFIKACIJA I PRIKAZ STANJA SISTEMA POBUDE SINHRONIH GENERATORA U ELEKTROPRIVREDI SRBIJE	31	CLASSIFICATION AND ESTIMATION OF THE LIFETIME OF EXCITATION SYSTEMS OF SYNCHRONOUS GENERATORS IN ELECTRICAL INDUSTRY OF SERBIA	
	<i>Slobodan Škundrić, Srdan B. Milosavljević, Nidžo Miladinović, Srboľjub Vukovojac i Dragan S. Kovačević</i>		
SISTEM ZA MONITORING DOPREME UGLJA U TE – „NIKOLA TESLA – B”	39	THE MONITORING SYSTEM FOR COAL DELIVERY IN POWER PLANT „NIKOLA TESLA – B”	
	<i>Dejan Pešić</i>		
MATEMATIČKI MODELI TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE	51	MATHEMATICAL MODELS OF ELECTRICITY MARKET	
	<i>Milan B. Radunović</i>		
REINŽENJERING POSLOVNIH PROCESA	57	BUSINESS PROCESSES REENGINEERING	
	<i>Slobodan Plazinić</i>		
TESLA I GRMLJAVINE U KOLORADU 3. JULA 1899.	72	TESLA AND THUNDERSTORMS IN COLORADO ON JULY 3, 1899	
	<i>UPUTSTVO AUTORIMA ZA SARADNJU U STRUČNOM GLASILU „ELEKTROPRIVREDA”</i>	83	INSTRUCTION TO AUTHORS FOR COOPERATION IN THE SPECIALIZED JOURNAL „ELEKTROPRIVREDA”
	<i>ODLUKA O STRUČNOJ PLATFORMI ZA UREĐIVANJE STRUČNOG GLASILA „ELEKTROPRIVREDA”</i>	84	DECISION ON EXPERTS' PLATFORM FOR EDITING THE SPECIALIZED JOURNAL „ELEKTROPRIVREDA”
	<i>Dragan Petrović</i>		
TESLINA INDUKCIONA MAŠINA – TEORIJSKO OBJAŠNJENJE DELOVANJA ELEKTROMAGNETNIH SILA I PRORAČUNA INDUKOVANE ELEKTROMOTORNE SILE	86	TESLA'S ELECTRO-MAGNETIC MOTOR - THEORETICAL EXPLANATION OF BOTH ELECTRO-MAGNETIC FORCES AND CALCULATION OF INDUCED ELECTRO-MAGNETIC FORCE	
	<i>Jovan Nahman, Dragoslav Perić, Dragutin Salamon i Ivana Vlajić-Naumovska</i>		
PRORAČUNI POUZDANOSTI DISTRIBUTIVNIH SISTEMA PRIMENOM KORELACIONIH MATRICA	90	EVALUATION OF DISTRIBUTION SYSTEMS DEPENDABILITY BY APPLICATION OF CORRELATION MATRICES	
	<i>Jovan Nahman</i>		
Prikaz knjige DISTRIBUCIJA ELEKTRIČNE ENERGIJE	99	Review of book ELECTRIC POWER DISTRIBUTION	

IZDAVAČ:
PUBLISHER:

ZAJEDNICA JUGOSLOVENSKE ELEKTROPRIVREDE
UNION OF YUGOSLAV ELECTRIC POWER INDUSTRY

11 000 Beograd, Balkanska 13

Telefon: 2686-633, 2643-823, 2688-092, 2687-199 (centrala)

Telefaks: 686-398

Internet strana: www.eps.co.yu; www.epcg.cg.yu;

Elektronska pošta: jugel@sezampro.yu; jugel@beocity.net

VD DIREKTORA I GLAVNOG I ODGOVORNOG UREDNIKA
ACTING DIRECTOR AND CHIEF EDITOR

Branislav A. Bošković, dipl. ing. el.

IZDAVAČKI SAVET
PUBLISHING COUNCIL

Branislav A. Bošković, dipl. ing. el.,

Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd, predsednik;

Prof. dr Jeroslav Živanić, dipl. ing. el., predsednik Upravnog odbora JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd, član;

Dr Duško Tubić, dipl. ing. el., JP „Elektromreža Srbije”, Beograd, član;

Dr Slobodan Ružić, dipl. ing. el., Agencija za energetske efikasnost, inženjering i konsalting
„Energy Saving Group”, Beograd, član;

Vladimir Vujović, dipl. ing. el., „Elektroprivreda Crne Gore” AD, Nikšić, član;

Dragutin Martinović, dipl. ing. el., „Elektroprivreda Crne Gore” AD, Nikšić, član;

REDAKCIONI ODBOR
EDITORIAL BOARD

Prof. dr Miroslav Benišek, dipl. ing. maš., Mašinski fakultet, Beograd, član;

Prof. dr Ilija Vujošević, dipl. ing. el., Elektrotehnički fakultet, Podgorica, član;

Prof. dr Branislav Đorđević, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet, Beograd, član;

Prof. dr Jovan Nahman, dipl. ing. el., Elektrotehnički fakultet, Beograd, član;

Prof. dr Dragan Popović, dipl. ing. el., Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Beograd, član;

Prof. dr Dragutin Salamon, dipl. ing. el., Elektrotehnički fakultet, Beograd, član;

Dr Petar Vukelja, dipl. ing. el., Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Beograd, član;

Dr Veselin Ilić, dipl. ing. el., „Elektroprivreda Crne Gore”, AD, Mojkovac, član;

Dr Branko Stojković, dipl. ing. el., „Elektroprivreda Crne Gore”, AD, Nikšić, član;

Dr Duško Tubić, dipl. ing. el., JP „Elektromreža Srbije”, Beograd, predsednik;

Dr Rade Filipović, dipl. ing. el., Beograd, član;

Mr Dragan Vlasisavljević, dipl. ing. el., JP „Elektromreža Srbije”, Beograd, član;

Mr Gojko Dotlić, dipl. ing. el., JP „Elektromreža Srbije”, Beograd, član;

Mr Radmilo Ivanković, dipl. ing. el., Beograd, član;

Mr Miroslav Marković, dipl. ing. el., „Elektroprivreda Crne Gore”, AD, Nikšić, član;

Gojko Vlasisavljević, dipl. ing. el., JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd, član;

Aleksandar Vlajčić, dipl. ing. el., pomoćnik ministra za rudarstvo i energetiku u Vladi Republike Srbije, Beograd, član;

Mihajlo Gavrić, dipl. ing. građ., JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd, član;

Milan Jakovljević, dipl. ing. rud., JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd, član;

Mladen Serventi, dipl. ek., JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd, član;

Vojislav Škundrić, dipl. ing. el., JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd, član;

Momčilo Gojgić, dipl. pravnik, Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd, član;

Lela Lončar, dipl. filolog, Beograd, član.

TEHNIČKI UREDNIK
TECHNICAL EDITOR

Jovo Todorović dipl. teh.

LEKTOR I PREVODILAC
LINGUISTIC REVIEW
& TRANSLATION

Zlata Milinović,
dipl. filolog

CIP – Katalogizacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

620.9

621.31

ELEKTROPRIVREDA : časopis Zajednice
jugoslovenske elektroprivrede / glavni i
odgovorni urednik Branislav A. Bošković. –
God. 1, br. 1 (1948)– . – Beograd
(Balkanska 13) : Zajednica jugoslovenske
elektroprivrede, 1948– (Beograd :
Kultura). – 28 cm

Tromesečno

ISSN 0013-5755 = Elektroprivreda

COBISS.SR-ID 32023

Časopis „Elektroprivreda” izlazi kvartalno.

The „Elektroprivreda” journal is issued quarterly.

Štampa: „Kultura”, Beograd, Maršala Birjuzova 28

Printed by: „Kultura”, Beograd, Maršala Birjuzova 28

Tiraž: 1 000 primeraka

Circulation: 1,000 copies

Primjena dnevne eksplicitne aukcije za proces alokacije prenosnih kapaciteta upotrebom internet razvojnih alata

Stručni rad
UDK: 621.31

Rezime:

Zagušenja koja nastaju u prenosnoj mreži predstavljaju prepreku za slobodnu trgovinu električnom energijom, te je prenosni kapacitet potrebno što efikasnije i bolje iskoristiti. U radu je detaljno opisan metod eksplicitne aukcije, kao jedne od najpopularnijih tržišnih metoda u Evropi koja se koristi za alokaciju oskudnih prenosnih kapaciteta. Upotrebom internet razvojnih alata (PHP, JavaScript, DHTML i MySQL/PostgreSQL baze podataka) autori su kreirali Dnea portal koji je omogućio praktičnu primjenu i testiranje opisane metode, i to na satnom nivou na unaprijed izabranom profilu (tj. granicama). Rezultati pokazuju da eksplicitna aukcija, kao tržišno zasnovan metod, može biti prelazni korak ka koordinisanoj metodi alokacije koja će u obzir uzimati i kružne tokove. Međutim, za primjenu ovakve metode potreban je visok nivo saradnje i razmjene podataka između operatora prenosnog sistema.

Ključne reči: upravljanje zagušenjima, alokacija prenosnog kapaciteta, eksplicitna aukcija, internet, NTC

Abstract:

IMPLEMENTATION OF DAILY EXPLICIT AUCTION
FOR CROSS-BORDER CAPACITY ALLOCATION BY USING INTERNET DEVELOPMENT TOOLS

Congestion in transmission network makes limitation for free energy trade, and therefore transmission capacity should be used more efficiently. In this paper, explicit auction method is described in detail, as one of the most popular market-based capacity allocation methods in Europe. With the use of internet development tools (PHP, JavaScript, DHTML and MySQL/PostgreSQL database) Dnea portal was created and it allowed practical implementation and testing of described method, on the hourly level and on in advance chosen profile (that is borders). Results show that explicit auction, as market-based method, can be a transitional step towards coordinated allocation method that would take into account loop-flows. However, for the implementation of this method a high level of cooperation and data exchange between TSOs (Transmission System Operators) is requested.

Keywords: congestion management, capacity allocation, explicit auction, internet, NTC

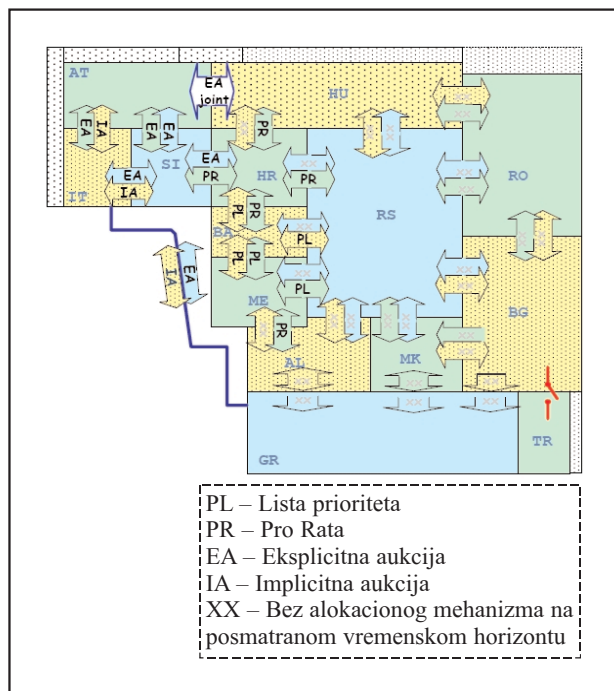
1. UVOD

U deregulisanom okruženju, upravljanje zagušenjima u prenosnoj mreži je jedan od osnovnih za-

dataka za operatora prenosnog sistema (TSO). U novom okruženju, TSO, kao jedinstveni subjekat potpuno nezavisan od drugih tržišnih učesnika, mora

Milan Vukasović, dipl. ing. el. – NDC Podgorica, FC Prenos, EPCG, Moskovska 39, 81 000 Podgorica, Crna Gora.
Prof. dr Sreten Škuletić, dipl. ing. el. – Elektrotehnički Fakultet Podgorica, Univerzitet Crne Gore,
Cetinjski put bb, 81 000 Podgorica, Crna Gora.

naći nove metode za siguran i pouzdan rad prenosne mreže, a ujedno dozvoliti ostalim tržišnim učesnicima slobodan pristup mreži. Prekogrančni kapaciteti su bili, prije svega, građeni sa ciljem međusobne ispomoći u havarijskim situacijama, a ne za međudržavnu trgovinu električnom energijom. Zagušenje u prenosnoj mreži smanjuje mogućnost slobodne trgovine električnom energijom, te je potrebno primijeniti metode za upravljanje zagušenjima. Trenutno nema jedinstvenog metoda za upravljanje zagušenjima i alokaciju prenosnog kapaciteta u Evropi, a na nekim granicama nije primjenjen ni jedan metod. Na većini granica u Evropi prevladavaju tržišno orjentisane metode alokacije prenosnog kapaciteta: eksplicitne aukcije, koordinisane eksplicitne aukcije i podjela tržišta („market splitting”). Trenutno primjenjene metode alokacije u regionu jugoistočne Evrope prikazane su na slici 1 [1]. Alokacija fizičkih prava na prenos električne energije mora biti u skladu sa karakteristikama tržišta sa jedne i druge strane granice. Na bilateralnom tržištu („over-the-counter”), na kojem je i dalje obim trgovine električnom energijom najveći, tržišni učesnici trguju sa standardizovanim ugovorima (npr. za baznu ili vršnu energiju) na različitom vremenskom horizontu (godina, mjesec, dan-unaprijed). Eksplicitne aukcije prenosnih kapaciteta mogu biti prilagođene različitim načinima organizacije nacionalnih tržišta električne energije sa obje strane granice (bilateralna razmjena i berze električne energije) [2,3].



Slika 1. Metodi alokacije na dnevnom nivou u jugoistočnoj Evropi (oktobar 2006).

U ovom radu objašnjene su različite vrste eksplicitnih aukcija, primjenjena pravila kao i proces kreiranja centralnog algoritma korištenog za proračun marginalne cijene eksplicitne aukcije. Nakon toga prikazani su rezultati simulacije za proizvoljno izabrani sat i granicu (profil), a zatim su dati i rezultati primjene na granicu Crna Gora – Albanija za period mjeseca januara 2006. Na kraju rada, istaknute su sve prednosti koje donosi dati internet portal, prije svega visok nivo automatizacije procesa alokacije prenosnih kapaciteta na fer i nediskriminatoran način i mogućnost pristupa registrovanih tržišnih učesnika portalu sa bilo koje lokacije upotrebom web preglednika („web-browser”).

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE EKSPPLICITNE AUKCIJE

Eksplicitne aukcije (EA) su nediskriminatoran, transparentan i tržišno orjentisan metod alokacije prenosnih kapaciteta. Ovaj metod alokacije prenosnog kapaciteta je, kao što mu i samo ime kaže, eksplicitan, jer zahtjeva posebne procedure za električnu energiju i zasebne za zakup prenosnog kapaciteta, što može biti smatrano i kao mana ali i kao prednost. Obično se aukcije obavljaju na nekoliko vremenskih horizonata (godišnje, mjesečne, dnevne). Na primjer, odnos prenosnog kapaciteta koji je ponuđen na godišnjoj i mjesečnoj eksplicitnoj aukciji na granici Češka Republika – Austrija je 85 % : 15 % [4]. Kapacitet koji bi eventualno preostao bio bi ponuđen na dnevnoj eksplicitnoj aukciji. Ovaj metod alokacije je najpopularniji u zapadnoj Evropi, a njegove osnovne prednosti i nedostaci su prikazani u tabeli I.

Prvi i osnovni preduslov za implementaciju metoda eksplicitne aukcije je ex-ante proračun komercijalne vrijednosti prenosnog kapaciteta između dvije države – *NTC* (Net Transfer Capacity), uz uvažavanje analiza sigurnosti sistema, koji će biti ponuđen na korištenje tržišnim učesnicima. Kapacitet je dodjeljen na korištenje zainteresovanim stranama sve do unaprijed proračunate vrijednosti, poznate kao *ATC* (Available Transfer Capacity). Veza između vrijednosti *NTC* i *ATC* je data relacijom (1) [5].

$$ATC = NTC - AAC \quad (1)$$

gdje je *AAC* (Already Allocated Capacity) dio prenosnog kapaciteta koji je već alociran na prethodnim aukcijama ili je zauzet korištenjem dugogodišnjih bilateralnih ugovora (npr. dugogodišnji ugovor EPS – EPCG za HE Piva).

Osnovne karakteristike eksplicitnih aukcija

Prednosti:	Nedostaci:
<ul style="list-style-type: none"> – Efikasni ekonomski signali tržišnim učesnicima za vrednovanje prenosnog kapaciteta i njegov značaj za normalno funkcionisanje mreže, – Nije diskriminatorna, – Transparentna, – Ne zahtjeva prisustvo berze električne energije i – Mogućnost da se prilagodi različitim tipovima i načinima organizacije nacionalnih tržišta električne energije sa obje strane granice (bilateralna trgovina i berza električne energije). 	<ul style="list-style-type: none"> – Ne uzima se na pravi način u obzir upetljanost prenosne mreže, tj. činjenicu da prijavljena komercijalna transakcija na granici između dva susjedna sistema može dovesti do povećanih neželjenih tokova snaga u trećem sistemu i – Operatori prenosnog sistema moraju biti u potpunosti odvojeni od strana koje trguju električnom energijom i koje vrše prijavu komercijalne transakcije.

Postoji nekoliko tipova eksplicitne aukcije: [6]

- *Unilateralna* – oba susjedna operatora prenosnog sistema (TSO-a), nezavisno jedan od drugoga, alociraju svoj dio prenosnog kapaciteta, i to na osnovu prethodnog dogovora – npr. svaki operator prenosnog sistema dodjeljuje na korištenje polovinu ukupne proračunate količine za uvoz i za izvoz;
- *Bilateralna* – oba susjedna operatora prenosnog sistema se dogovaraju da čitava alokaciona procedura bude obavljena od strane jednog od njih ili od strane nezavisne aukcijske kuće (NAK) i
- *Multilateralna* – tri ili više operatora prenosnog sistema zajednički organizuju aukcije na međusobnim granicama po unaprijed utvrđenim i usaglašenim pravilima. I u ovom slučaju je takođe moguće, i mnogo je češći slučaj, da sama alokaciona procedura bude sprovedena od strane nezavisne aukcijske kuće.

Kao što je naglašeno u Regulativi Evropske Komisije br. 1228/2003, alokacija prekograničnih prenosnih kapaciteta treba da bude sprovedena korištenjem tržišno orijentisanog i nediskriminatornog mehanizma. Cilj koji se postiže primjenom metoda eksplicitne aukcije je maksimizacija tržišne vrijednosti ponuđenog prenosnog kapaciteta određenog vrijednošću *ATC-a* (2), a sve to poštujući ograničenje dato relacijom (3).

$$\max \sum_{i=1}^n C_i \times P_i \quad (2)$$

$$\text{Uz poštovanje: } \sum_{i=1}^n P_i \leq ATC \quad (3)$$

gdje je:

i – broj ponude;

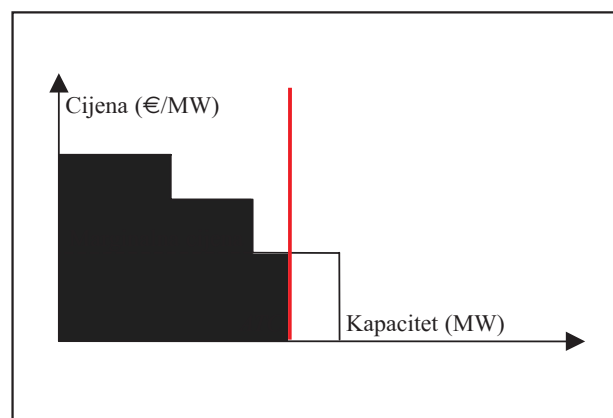
n – ukupan broj predatih ponuda;

C_i – ponuđena cijena za zakup prenosnog kapaciteta navedena u predatoj ponudi i (€/MW) i

P_i – dodjeljena količina prenosnog kapaciteta za ponudu i (MW);

Postoje dva osnovna metoda koja se primjenjuju prilikom proračuna cijene eksplicitne aukcije [7]:

- a) naplata po cijeni ponude („pay-as-bid”) – gdje svaki tržišni učesnik koji je „prošao” na aukciji plaća cijenu zakupa koja je upravo jednaka cijeni navedenoj u njegovoj ponudi (ponuđena cijena za zakup) i
- b) princip marginalne cijene („pay-as-clear”) – gdje svaki tržišni učesnik koji je „prošao” na aukciji plaća istu marginalnu cijenu za zakup prenosnog kapaciteta. Ovu cijenu postavlja zadnja ponuda



Slika 2. Princip marginalne cijene („pay-as-clear”) mehanizam

koja je prihvaćena djelimično ili u potpunosti (slika 2).

Naplata po cijeni ponude dovodi tržišne učesnike u situaciju da plaćaju različite cijene zakupa za isti proizvod (tj. kapacitet). Stoga, primjenom ovog metoda tržištu se ne šalju pravi ekonomski signali za vrednovanje prenosnog kapaciteta [8]. Sa druge strane, princip marginalne cijene dovodi do pravih tržišnih signala koji su posljedica jedinstvene cijene zakupa. Širom Evrope uglavnom je u upotrebi princip marginalne cijene, a izbor između dva metoda

naplate isključivo zavisi od primjenjenih pravila za implementaciju metoda eksplicitne aukcije [9].

3. IMPLEMENTACIJA EKSPLICITNE AUKCIJE I PRIMJENJENA PRAVILA ZA IZRADU SIMULATORA

Eksplicitna aukcija predstavlja nadmetanje između različitih tržišnih učesnika koji žele da zakupe prenosni kapacitet između dvije zone (obično su to države), tj. između dvije kontrolne oblasti. U ponudama koje dostavljaju, tržišni učesnici navode količinu prenosnog kapaciteta koju žele da zakupe (izraženu u aktivnoj snazi – MW) kao i cijenu koju se spremni da plate (izraženu u €/MW).

Sve primljene ponude se poređaju po opadajućem redosledu i to sa obzirom na ponuđenu cijenu (ponude sa većom cijenom imaju prednost). U slučaju da dvije ili više ponuda imaju istu ponuđenu cijenu po MW za zakup prenosnog kapaciteta, ponuda koja je ranije pristigla ima prioritet (kriterijum za odlučivanje je tzv. „vremenska oznaka” ponude, tj. važi princip „first-come, first-served”). Ponude se slažu po opadajućem redosledu sve dok zbir količine zakupa (u MW) svih prethodno prihvaćenih ponuda ne premaši ponuđenu vrijednost *ATC-a*. Ako je ukupna količina zahtjevanog kapaciteta manja ili jednaka vrijednosti *ATC-a*, naplata za upravljanje zagušenjima će biti jednaka nuli, tj. svaki tržišni učesnik će dobiti besplatno na korištenje zahtjevanu količinu prenosnog kapaciteta. Ako je ukupna količina zahtjevanog kapaciteta veća od vrijednosti *ATC-a*, jedinstvena cijena zakupa se određuje na osnovu zadnje ponude koja je prihvaćena, i to djelimično ili u potpunosti. Po ovoj cijeni određenoj primjenom eksplicitne aukcije (marginalna cijena), izvršiće se naplata za alokaciju prenosnog kapaciteta svim tržišnim učesnicima koji su „prošli” na aukciji. Nakon procesa alokacije prenosnog kapaciteta, tržišni učesnici su u obavezi da izvrše i odgovarajuću nominaciju transakcija.

Specijalni uslovi za prihvatanje ponude su takođe mogući: tzv. sve-ili-ništa punude („all-or-nothing”) će biti jedino prihvaćene u slučaju da je tržišnom učesniku dodjeljen kompletan prenosni kapacitet naveden u njoj.

Kapacitet dodjeljen na korištenje jednom tržišnom učesniku na dnevnom nivou ne može biti prenesen i dat na korištenje drugom tržišnom učesniku. Potvrda o korištenju prenosnog kapaciteta alociranog na godišnjim, sezonskim ili mjesečnim eksplicitnim aukcijama mora biti dostavljena najkasnije do 8:00 na dan aukcije. U suprotnom, taj kapacitet će biti ponuđen na dnevnoj aukciji (koristi se princip „use-it-or-lose-it”).

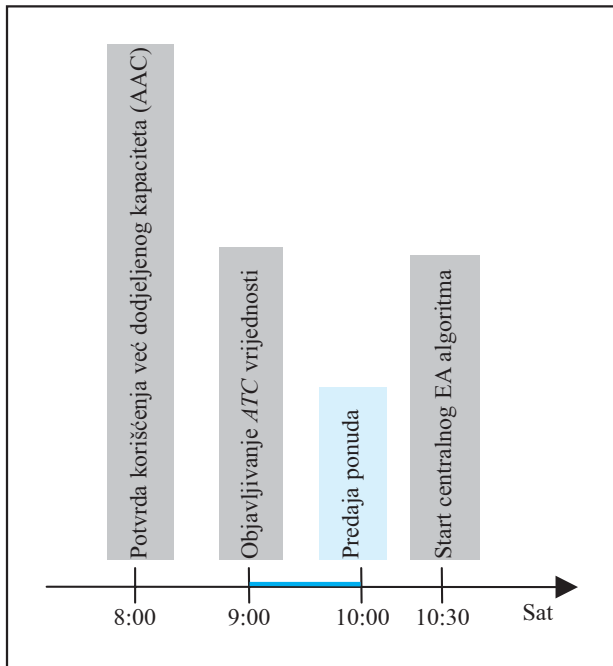
Centralni algoritam eksplicitne aukcije za proračun marginalne cijene, koji takođe vrši i proračun količine prenosnog kapaciteta koji će biti alociran zainteresovanim tržišnim učesnicima koji su dostavili ponude, kreiran je upotrebom prethodno opisanih pravila. Specijalni Internet simulator, Duea (daily unilateral explicit auction) Portal, je razvijen za proces alokacije prenosnih kapaciteta primjenom unilateralne eksplicitne aukcije koristeći sledeće razvojne alate: PHP (PHP: Hypertext Preprocessor), JavaScript, DHTML (Dynamic HyperText Markup Language) i MySQL/PostgreSQL baze podataka. Sam simulator, bez ikakvih modifikacija, može biti korišten i za primjenu bilateralne eksplicitne aukcije.

4. NUMERIČKI PRIMJER FUNKCIONISANJA DUEA PORTALA

Da bi se prikazale osnovne karakteristike i način rada Duea Portala, u sledećem primjeru je veoma detaljno opisana svaka faza rada portala: predaja ponuda, proračun cijene zakupa prenosnog kapaciteta i obavještenje tržišnih učesnika o rezultatima alokacije.

Dnevna satna vrijednost *ATC-a* za dan D+1 je objavljena i unesena u portal ne kasnije od 9:00 na dan aukcije, tj. dan D (slika 3). Na taj način svaki TSO može izvršiti neophodne izmjene *ATC-a* na dnevnom nivou, koje mogu biti prouzrokovane promjenama u mreži. Aukcija za dane vikenda (D+1 i D+2), kao i za ponedjeljak (D+3), obavlja se u petak. Svaki registrovani tržišni učesnik treba da dostavi svoje ponude u periodu koji započinje objavljivanjem finalnih satnih *ATC* vrijednosti za dan D+1 (9:00) i traje do 10:00. Da bi učestvovao u dnevnoj proceduri dodjele prenosnog kapaciteta, svaki zainteresovani tržišni učesnik treba da se uloguje na web portal pomoću prethodno dodjeljenog i jedinstvenog korisničkog imena i šifre, a nakon toga i da unese svoje ponude koristeći specijalnu HTML formu. Svaka dostavljena ponuda sadrži sledeće specifikacije:

- Identifikacija korisnika;
- Specifikacija profila (tj. izbor smjera zakupa);
- Dan na koji se ponuda odnosi (uvijek D+1, osim za zadnji radni dan sedmice kada je moguće predati ponude za tri dana unaprijed);
- Količina zahtjevanog prenosnog kapaciteta u MW za izabrani sat dana D+1 (cijeli pozitivni broj, maksimalna vrijednost je objavljeni satni *ATC*) i
- Ponuđena cijena zakupa prenosnog kapaciteta izražena u €/MW za izabrani sat – mora biti jednaka ili veća od nule (zaokruženo na dvije decimale).



Slika 3. Vremenski raspored mehanizma eksplicitne aukcije

Ponuda mora da sadrži najveću cijenu koju je tržišni učesnik spreman da plati za zakup prenosnog kapaciteta. Tržišni učesnik može predati ukupno 3 potpuno nezavisne ponude za jedan sat na izabranom profilu. Ponude koje su unesene poslije 10:00, tj. nakon vremena dozvoljenog za njihovu predaju, biće sačuvane u bazi podataka, ali neće biti uzete u razmatranje prilikom procesa određivanja tržišne cijene i alokacije prenosnog kapaciteta.

U primjeru su prikazana četiri tržišna učesnika koji predaju svoje ponude putem interneta. U tabeli 2 prikazane su dostavljene ponude za prvi sat alokacije (dan D+1, sat 1) i profil CG > AL (Crna Gora – Albanija), kao i ponuđena satna vrijednost *ATC*-a. Cijene

Tabela 2.

Predate ponude za 2005-12-01; sat: 01; CG>AL

Vremenska oznaka	Tržišni učesnik	Zahtjevana količina kapaciteta (MW)	Cijena ponude (€/MW)	Sve ili ništa („all-or-nothing“)	Dodjeljena količina kapaciteta (MW)
09:21:21	A	10	100	N	10
09:12:53	C	15	70	Y	15
09:12:12	B	40	50	N	40
10:01:34	C	20	40	N	0
09:32:42	A	40	20	N	40
09:42:11	B	30	20	Y	0
09:44:11	B	30	20	N	16
09:10:08	D	30	15	N	0
09:53:17	A	20	15	N	0
					ATC=121

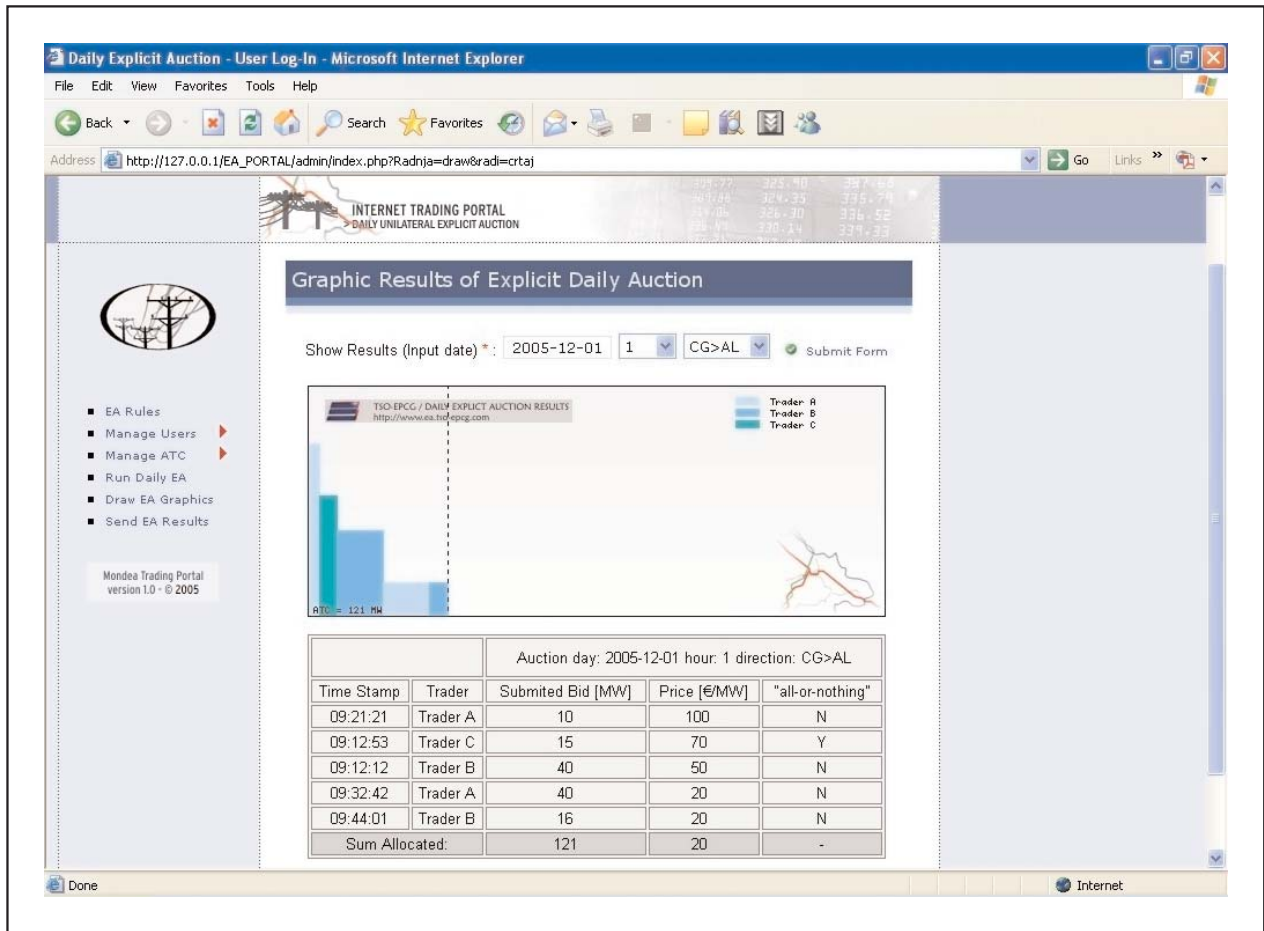
navedene u ponudama su korištene samo za proces simulacije i prikaz rada portala, te ne predstavljaju stvarnu situaciju na izabranom profilu CG > AL.

Nakon što je period za predaju ponuda istekao, administrator sistema (u ovom slučaju TSO) se u periodu od 10:00 do 10:30 loguje na Dnea Portal, selektuje „Run Daily EA” link iz padajućeg menija, bira datum za koji želi da izvrši alokaciju prenosnog kapaciteta kao i profil (smjer), a svoj izbor potvrđuje sa „Submit form” dugmetom (slika 4). Centralni algoritam za metod eksplicitne aukcije, koji je kodiran koristeći već opisana pravila, vrši proračun jedinstvene satne cijene zakupa kapaciteta (marginalne cijene), kao i satnu količinu prenosnog kapaciteta alociranu svakom tržišnom učesniku na određenom profilu. Osim toga, administrator sistema može dobiti i grafički prikaz rezultata ako izabere „Draw EA Graphics” link iz padajućeg menija (slika 5). Na kraju, TSO šalje rezultate eksplicitne aukcije za svaki sat dana D+1, za svaki profil i svakom tržišnom učesniku koji je učestvovao u predaji ponuda. Fajl sa rezultatima eksplicitne aukcije može biti prikazan za odgovarajući e-mail tržišnog učesnika i može biti po potrebi specijalno formatiran (npr. kao Microsoft Excel – .xls fajl, Extensible Markup Language – .xml fajl, HyperText Markup Language – .html fajl).

Slika 4. Interfejs za proračun marginalne satne cijene eksplicitne aukcije

Važno je napomenuti da svaki tržišni učesnik dobija samo svoje rezultate alokacije, a osim toga ima uvid i u ukupni alocirani kapacitet. Takođe, DHTML meni koji je dostupan tržišnim učesnicima je potpuno različit (posjeduje samo link na sekcije gdje tržišni učesnici mogu predati ponude, promijeniti trenutnu šifru za pristup sistemu i vidjeti zbirne rezultate eksplicitne aukcije) od onoga koji je dostupan administratoru sistema.

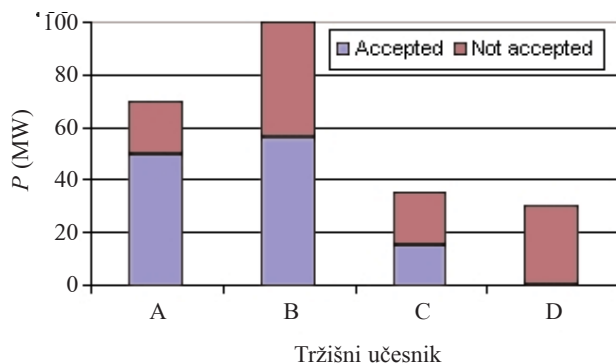
U ovom primjeru, koristeći ulazne podatke koji su prikazani u tabeli 2, određena je satna marginalna cijena eksplicitne aukcije za izabrani profil od 20 €/MW. Tržišni učesnik A dobija na korištenje satnu količinu prenosnog kapaciteta od 50 MW i za to na satnom nivou mora platiti 1 000 €, B dobija ukupno 56 MW i mora platiti 1 120 €, C dobija ukupno 15 MW i mora platiti 300 €. Treća dostavljena ponuda tržišnog učesnika B je smanjena, tj.



Slika 5. Grafički i numerički prikaz rezultata dnevne unilateralne eksplicitne aukcije

djelimično prihvaćena, a jedina ponuda dostavljena od strane tržišnog učesnika D je u potpunosti odbijena (slika 6).

Druga ponuda tržišnog učesnika C nije razmatrana zbog „vremenske oznake”, a druga ponuda tržišnog učesnika B ne može biti u potpunosti ispunjena („all-or-nothing”), pa je stoga takođe odbačena u potpunosti. Rezultati eksplicitne aukcije u dužem vremenskom periodu treba da daju prave ekonom-



Slika 6. Rezultati eksplicitne aukcije za 2005-12-01, CG > AL, sat: 01

ske signale TSO-ima, i ukažu na mjesto gdje je potrebno graditi novi prenosni kapacitet, jačati prenosnu mrežu i ublažiti njeno zagušenje. U ovom slučaju, ukupan prihod koji dobija TSO koji vrši alokaciju prenosnog kapaciteta je 2 420 €, a ta novčana sredstva treba da budu korištena za investicije u prenosnu mrežu, tj. njeno jačanje i smanjenje tačaka zagušenja [10].

5. PRIMJENA EKSPPLICITNE AUKEIJE I DUEA PORTALA U PRAKSI

Rezultati prezentirani u ovom radu dobijeni su primjenom Duea Portala (bilateralna eksplicitna aukcija) na granici između Crne Gore i Albanije za mjesec januar 2006, i nisu bili obavezujući za tržišne učesnike. Ove dvije države povezane su samo jednim dalekovodom, 220 kV Podogrica – Vau i Dejes. Kao što se primjećuje na slici 7, alocirani kapacitet na granici između TSO – EPCG (crnogorski operator prenosnog sistema) i ATSO (albanski operator prenosnog sistema) se mjenja tokom mjeseca (dnevna vrijednost ATC je konstantna tokom mjesec-

ca i iznosi 140 MW za oba smjera). Na mjesečnom nivou, čitav ponudeni kapacitet je alociran (20 MW) primjenom eksplicitne aukcije. Uslijed kvara na dalekovodu između Crne Gore i Albanije u periodu 24. januar – 26. januar, nije bilo alociranog dnevnog prenosnog kapaciteta, a tržišni učesnici koji su obezbjedili kapacitet na mjesečnoj aukciji nisu bili u mogućnosti da ga koriste. Ova situacija se smatra kao „viša sila” („Force Majeure”), a tržišni učesnici koji su obezbjedili kapacitet na mjesečnom nivou nemaju prava na dodatnu kompenzaciju osim vraćanja novčanih sredstava utrošenih početkom mjeseca za njegov zakup. Novčana sredstva vraćena trgovcu A su:

$$\sum_{i=1}^n C_{marg_i} \times P_{aloc_trgovcu_A_sat_i} \quad (4)$$

gdje je:

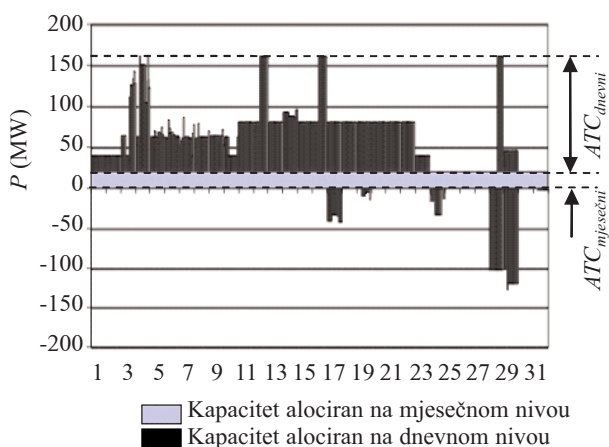
C_{marg_i} – marginalna satna cijena zakupa prenosnog kapaciteta;

$P_{aloc_trgovcu_A_sat_i}$ – alocirani kapacitet trgovcu A za sat i

n – broj sati kada je dalekovod bio van pogona.

Uslijed činjenice da ne postoji organizovano tržište električne energije u regionu jugoistočne Evrope, tržišni učesnici i dalje trguju bilateralno. Tokom većeg dijela mjeseca, energija je tranzitirana preko teritorije Crne Gore prema Albaniji, a uglavnom je ulazna tačka bila granica NOS (operator prenosnog sistema BiH). Uslijed relativno velike ATC vrijednosti na granici NOS > TSO - EPCG (500 MW), zagušenje ne postoji u tom smjeru.

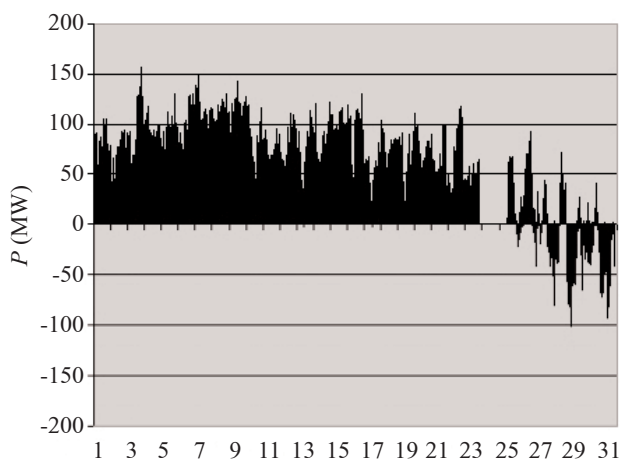
Na slici 7. se takođe primjećuje krajem mjeseca povećano interesovanje za zakup prenosnog kapaciteta u suprotnom smjeru, ATSO > TSO - EPCG, kada su određeni tržišni učesnici iskoristili mogućnost



Slika 7. Alokacija prenosnog kapaciteta (granica TSO-EPCG – ATSO, januar 2006)

trgovine u suprotnom smjeru nego što je to obično slučaj (uzrok takođe može biti i ispad određenih proizvodnih jedinica, te obaveza tržišnog učesnika da ispuni obavezujući ugovor). „Ponor” datih transakcija je bio uglavnom unutar regulacione oblasti kontrolisane od strane TSO - EPCG. Na slici 8. prikazan je mjesečni tok snaga na dalekovodu 220 kV Podgorica-Vau i Dejes.

Zanimljivo je primjetiti da su dva dijagrama, alokacije prenosnog kapaciteta i toka snage na granici TSO - EPCG - ATSO veoma slični, što je prije svega posljedica izvora i ponora komercijalnih transakcija (BiH, Crna Gora, Albanija, Grčka), ali i slabe električne povezanosti tog dijela sistema sa sistemom regiona. Ipak, kao što je već ranije istaknuto, neželjene tokove koji se zatvaraju preko trećih sistema nije moguće u potpunosti izbjeći primjenom bilateralnih NTC metoda alokacije već se mora težiti ka koordinisanim metodama zasnovanim na stvarnim tokovima snaga. Kao što se može primjetiti sa slike 7, samo 4,97 % ukupnog vremena u mjesecu januaru 2006 (koji je uzet kao mjesec maksimalnog uvoza EES-a Albanije) postoji zagušenje u smjeru TSO-EPCG > ATSO. Za očekivati je da se, uslijed deficita električne energije u regionu jugoistočne Evrope, povećá zainteresovanost tržišnih učesnika za prijavljivanje komercijalnih transakcija na datoj granici u toku čitave godine. Informacije o marginalnoj satnoj cijeni i ukupnom prihodu za TSO-EPCG i ATSO nisu prikazane.



Slika 8. Tok snage na DV 220 kV Podgorica 1 – Vau i Dejes (januar 2006)

6. ZAKLJUČCI

Ovaj rad se bavio dnevnim eksplicitnim aukcijama kao jednim od metoda za alokaciju prenosnog kapaciteta između dva operatora prenosnog sistema. Autori su, nakon detaljnog opisa date metode i

kreiranja internet simulatora, prezentirali rezultate iz prakse koji su na jasan način pokazali osnovne prednosti i nedostatke eksplicitne aukcije. Dvea portal aplikacija je razvijena krajem 2005. godine korištenjem posljednjih objektno-orientisanih internet tehnologija [10] – [14] i tročvorne klijent-server arhitekture, te je stoga veoma lako izvršiti eventualne korekcije (npr. promjenu primjenjenih pravila) i nadogradnju. Da bi administrator dodao ili promijenio trenutne granice na kojima se obavlja alokacija, samo je potrebno modifikovati odgovarajuću tabelu unutar baze podataka [15].

Dnevna eksplicitna aukcija još uvijek nije u primjeni ni na jednoj od granica u regionu jugoistočne Evope, a grčki operator prenosne mreže (HTSO) bi trebao od početka jula 2007. godine početi sa bilateralnom primjenom datog metoda na svojim sjevernim granicama. Kao što je prikazano kroz praktični primjer, u nisko-upetljivoj mreži rezultati alokacije mogu djelimično odgovarati stvarnim tokovima snaga.

7. LITERATURA

- [1] SETSO, NETWORK ACCESS, CONGESTION MANAGEMENT AND POWER FLOW, SUB WORKING GROUP – OVERVIEW OF CURRENTLY APPLIED METHODS FOR CROSS-BORDER TRANSMISSION CAPACITY ALLOCATION, Document for 9th Athens Forum, October 2006.
- [2] Z. Vujasinović, M. Apostolović, S. Mijailović, DEVELOPMENT OF CONGESTION MANAGEMENT PROCEDURES IN SOUTH-EAST EUROPE, Proc. 5th Balkan Power Conference, Sofija, 2005.
- [3] B. Stojković, V. Stojković, DEREGULACIJA I TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE, Pobjeda, 2002.
- [4] RULES FOR COORDINATED AUCTIONS OF TRANSMISSION CAPACITY AT THE COMMON BORDERS OF ČEPS – PSE-Operator S.A., Vattenfall Europe Transmission GmbH for the year 2005.
- [5] ETSO, DEFINITIONS OF TRANSFER CAPACITIES IN LIBERALIZED ELECTRICITY MARKETS, April 2001.
- [6] M. Apostolović, S. Mijailović, Z. Vujasinović, EKSPPLICITNE AUKCIJE PRENOSNIH KAPACITETA – OSNOVNI PRINCIPI, VARIJANTE I PRIMJENA, R C5-11, Juko Cigre, Zlatibor, 2005.
- [7] EKC – Centar za permanentnu inovaciju znanja, UPRAVLJANJE ZAGUŠENJIMA: LITERATURA ZA PREDAVANJA, Beograd, Srbija, EKC Beograd, 2005.
- [8] EDF position paper, REGIONAL MARKET INTEGRATION BETWEEN THE WHOLESALE ELECTRICITY MARKETS OF THE NETHERLANDS, Belgium and France, September 2005
- [9] Loi Lei Lai, POWER SYSTEM RESTRUCTURING AND DEREGULATION, John Wiley & Sons, 2001, 100 – 103.
- [10] J. Pollock, JavaScript – A Beginner’s Guide: SECOND EDITION, McGraw Hill/Osborne, 2004.
- [11] T. Converse, J. Park and C. Morgan, PHP5 and MySQL Bible, Wiley Publishing Inc., 2004, 775 – 797.
- [12] B. McCarty, PHP4: A Beginner’s Guide, London, Osborne/McGraw-Hill, 2001.
- [13] M. Walker, R. Cox, N. Anders, Instant PHP4, McGraw-Hill, 2001.
- [14] J. Meloni, Teach Yourself MySQL in 24 hours, Sams Publishing, 2002.
- [15] SOFTWARE FOR DAILY UNILATERAL EXPLICIT AUCTION (DUEA) OF TRANSMISSION RIGHTS, Instructions for use, dostupno na http://www.starrwebdesign.net/DUEA%20-%20uputstvo%20za%20koristenje_engleski.pdf

Rad je primljen u uredništvo 31. 03. 2007. godine



Milan Vukasović rođen je 26. oktobra 1981. godine u Sarajevu, BiH. Diplomirao je na ETF-u u Podgorici 2004. godine, na katedri za Elektroenergetske sisteme, gdje je trenutno student postdiplomskih studija. Zaposlen je u Elektroprivredi Crne Gore, FC Prenos, NDC Podgorica, Odjeljenje za Upravljanje EES-om. Njegova glavna interesovanja su vezana za upravljanje zagušenjima prenosne mreže, analizu tokova snaga i primjenu kompjuterskih aplikacija u energetici. Član je SETSO/SUDEL NACMPF („Network Access, Congestion Management and Power Flows”) radne grupe kao predstavnik crnogorskog operatora prenosnog sistema.

Kao autor ili koautor objavio je tri rada na međunarodnim konferencijama i jedan rad na domaćem CIGRE savjetovanju. Koautor je jednog rada u časopisu „Elektroprivreda”. Elektronska adresa: milan.vukasovic@tso-epcg.com



Sreten Škuletić rođen je 24. juna 1949. godine, u Nikšiću, Crna Gora, SFRJ. Diplomirao je 1972. godine na Elektrotehničkom Fakultetu u Titogradu, magistrirao 1975. godine na ETF-u u Beogradu, a doktorirao 1981. godine na ETF-u u Titogradu. Redovni je profesor na Elektrotehničkom Fakultetu u Podgorici, Univerzitet Crne Gore. Njegove glavne oblasti istraživačkog rada su vezane za elektroenergetske sisteme, a posebno: analiza i ocjena pouzdanosti, tehnika visokog napona, racionalno korištenje električne energije, konvencionalni i obnovljivi izvori energije... Do sada je objavio 186 naučnih radova. Njegova elektronska adresa je skuletic@cg.ac.yu

Dragoljub Matić

Testiranje algoritama za računanje impedanse voda

Stručni rad

UDK: 621.3.05; 621.3.011.21; 537.311.6

Rezime:

U radu se obrađuje deo problematike vezane za praćenje impedanse i prilika u vodovima visokog napona i njihove zaštite. Prikazane su osnove kontinualnog računanja impedanse i računanja impedanse koje pokreće poseban algoritam. Rezultati testiranja primenjenih metoda računanja impedanse koje pokreće poseban algoritam dati su u vidu grafičkog prikaza. Takođe su dati zaključci o uticaju pojedinih algoritama na računanje impedanse Z_k kao osnove reagovanja distantne zaštite.

Ključne reči: zaštita, algoritmi, impedansa, metode računanja

Abstract:

TESTING OF ALGORITHM FOR CALCULATION OF POWER LINE IMPEDANCE

This paper elaborates a part of the problems connected to the monitoring of impedance and circumstances in power lines and their protection. The bases of both continuous calculations of impedance and calculations of impedance initiated by a special algorithm are presented. The testing results of applied methods of calculation of impedance initiated by a special algorithm are given in the form of graphic presentation. The paper also gives conclusions related to influence of certain algorithms on calculation of impedance Z_k as the basis of distant protection reaction.

Key words: protection, algorithm, impedance, methods for calculation

1. UVOD

Za poboljšanje kvaliteta, efikasnosti i ekonomičnosti u procesu prenosa električne energije od izvora do potrošača neophodno je pratiti sve veći broj informacija. Nadzor, upravljanje i vođenje procesa, naročito pri havarnim situacijama, zahteva veliku brzinu, tačnost, preglednost i pouzdanost u radu. Postizanje željenog stanja i predviđenih promena u po-

strojenju ili delu mreže odvija se na osnovu podataka o trenutnom stanju i programiranih podataka.

Činjenica je da relejna zaštita i upravljanje koriste informacije i tipične signale koji se mogu posredstvom pretvarača pretvoriti u standardizovane strujne i naponske signale. Iskorišćenje signala koji se prikupljaju iz elektroenergetskog sistema su osnova za razmatranje načina računanja impedanse voda što bi se moglo iskoristiti za realizaciju digitalnog distantnog releja.

Dr Dragoljub Matić, dipl. ing. el. – 38 220 Kosovska Mitrovica, Kolašinska 46, 8/35
e-mail: maggi@gonet.co.yu ili maggi@beotel.yu

2. KONTINUALNO RAČUNANJE IMPEDANSE VODA

Kontinualno računanje impedanse voda je izuzetno pouzdan način praćenja impedanse voda u toku prenosa energije elektroenergetskim sistemom. Štićeni vod je pod stalnim i kontinualnim nadzorom u realnom vremenu čak i onda kada kvar ne postoji. Pri pojavi kvara lako se beleži promena impedanse i zaštita može brzo i efikasno da ostvari svoju osnovnu funkciju.

S obzirom na to da mora sve vreme da se računava impedansa, i kada nema kvara, to prateći softver zatrpava kompjuter jalovim podacima. Ovo je nepoželjno jer se kompjuter preopterećuje nepotrebnim podacima tražeći da hard disk stalno radi, što ovu komponentu, koja ima dosta mehanike u sebi, dovodi u položaj kritične tačke sistema zaštite.

Upravo zato što je kompjuter stalno opterećen računanjem impedanse, a najveći deo vremena se na šticeu vodu ništa ne događa, to ovaj način softverskog rešenja praćenja impedanse postaje nepogodan kao način rešenja za realizaciju digitalnog distantnog releja.

2.1. Računanje impedanse koje pokreće poseban algoritam

Računanje impedanse koje pokreće poseban algoritam tek pri pojavi kvara na šticeu vodu ne opterećuje kompjuter kao prethodni način. Ovaj način zahteva pouzdan algoritam za pokretanje postupka računanja impedanse pri pojavi kvara na šticeu deonici voda.

Najefikasnije iskorišćenje rada kompjutera se može postići tako što će odgovarajući algoritam računati impedansu voda samo u slučaju kada se kvar stvarno pojavi. Nastanak kvara bi se otkrio nekom od metoda, koje u suštini moraju biti veoma brze. Ovaj zahtev pooštrava kriterijum projektovanja softvera za praćenje pogonskih prilika elektroenergetskog sistema i računanje impedanse kvara kada taj deo softvera bude pokrenut.

Samo nepogrešivost u određivanju postojanja kvara može učiniti digitalni distantni relej primenljivim, preciznim i selektivnim u izvršavanju zadataka zaštite šticeu dela voda elektroenergetskog sistema.

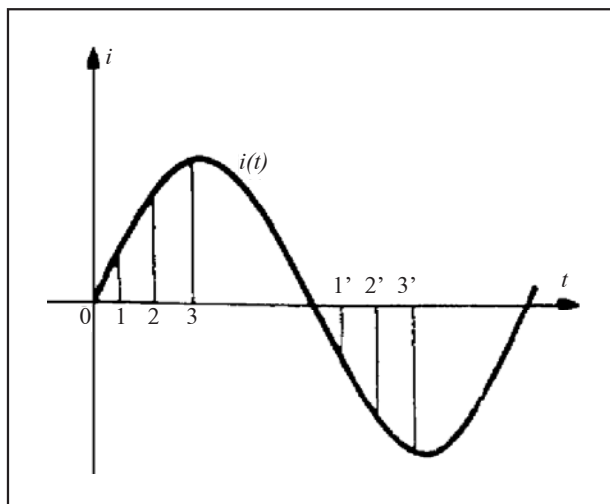
U principu svi načini određivanja postojanja kvara u elektroenergetskom sistemu mogu se podeliti u dve osnovne grupe:

- indikacija postojanja kvara praćenjem strujnih prilika i

- indikacija postojanja kvara praćenjem i upoređivanjem naponskih prilika na visokonaponskom vodu.

3. INDIKACIJA POSTOJANJA KVARA PRAĆENJEM STRUJNIH PRILIKA

Praćenje strujnih prilika se u osnovi zasniva na upoređivanju amplituda i faza struja posle sakupljanja svake grupe podataka (uzoraka).



Slika 1. Grafički prikaz metode upoređenja merenja (uzorkovanja) u slučaju kada kvar ne postoji

Kada kvar ne postoji (slika 1), kada se veličine $1'$, $2'$ i $3'$ po amplitudi ne razlikuju od merenja (uzoraka) iz prethodne grupe 1, 2 i 3, tada algoritam za računanje impedanse treba da miruje i ne opterećuje kompjuter nepotrebnim računanjem.

Praćenje strujnih prilika u sledećim slučajevima aktivira algoritam za računanje impedanse šticeu deonice voda:

- kada dođe do naglog porasta struje;
- kada dođe do naglog smanjenja struje i
- kada dođe do faznog pomeraja struje bez promene amplitude.

3.1. Indikacija postojanja kvara praćenjem i upoređivanjem naponskih prilika na visokonaponskom vodu

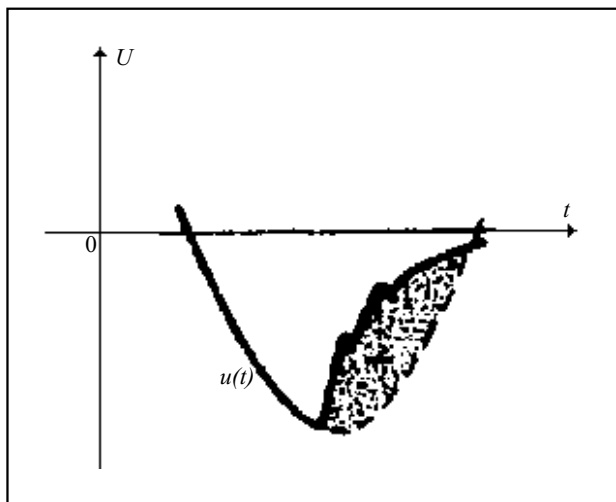
Slika 2. pokazuje detekciju kvara upoređivanjem naponskih prilika. Indikacija nastanka kvara i pokretanje softverskog modula za analizu vrši se posle određivanja odstupanja merene (uzorkovane) veličine od očekivanog sinusnog talasnog oblika napona.

Nastalo odstupanje praćenog napona se može izračunati na sledeći način:

$$\Delta = |u_i - 2u_{i-1} + u_{i-2}| \quad (1)$$

gde je:

u_i – poslednji uzorak funkcije napona $u(t)$,
 u_{i-1} – uzorak koji je dobijen pre 1/2 ciklusa T_0 ,
 u_{i-2} – ozorak dobijen pre jednog ciklusa T_0 .



Slika 2. Grafički prikaz metode praćenja promene napona za otkrivanje kvara

Ako je $\Delta \geq \varepsilon$, gde je ε podešeni prag koji definiše dopušteno odstupanje od sinusnog talasnog oblika, tada se pokreće algoritam za određivanje impedanse voda u kvaru.

Jasno je da za obe metode koje detektuju kvar u elektroenergetskom sistemu moramo da planiramo mogućnost memorisanja merenih (uzorkovanih) veličina za nekoliko prethodnih perioda. Sasvim je dovoljno da se podaci o strujama i naponima čuvaju do najviše 10 perioda, jer će to zadovoljiti sve metode za otkrivanje kvarova na šticeonom vodu.

4. ALGORITMI ZA IZRAČUNAVANJE IMPEDANSE VODA PRI KVARU

Klasifikacija algoritama koji se koriste za izračunavanje impedanse voda pri kvaru može se izvršiti na osnovu vrste ulaznih signala:

- algoritmi zasnovani na parametrima voda (metoda Mann-Morrison, metoda Gilbert i Shovlin, metoda Gilcrest Rockfeller, metoda integracije, T2-metoda, Metoda Furiea i modifikovana metoda Furiea);
- algoritmi zasnovani na signalima struje i napona koji sadrže više harmonike (metoda najmanjih kvadrata);
- algoritmi zasnovani na signalima struje i napona osnovne učestanosti (metoda Lobos 3 i metoda Lobos 4) i

– algoritmi zasnovani na teoriji putujućih talasa.

Algoritmi zasnovani na parametrima voda polaze od jednačine:

$$v = Ri + L \frac{di}{dt} \quad (2)$$

Algoritmi zasnovani na signalima struje i napona koji sadrži osnovni i više harmonike polazi od pretpostavke da se ulazni signal može predstaviti funkcijom koja sadrži više harmonike. Izraz od koga se polazi je

$$v(t) + s(t) = Ri(t) + L \frac{di}{dt} \quad (3)$$

gde $s(t)$ sadrži komponente viših harmonika.

Algoritmi zasnovani na signalima struje i napona osnovne učestanosti polaze od izraza:

$$v = V_m \sin(\omega t) \quad (4)$$

$$i = I_m \sin(\omega t - \varphi) \quad (5)$$

Algoritmi koji su zasnovani na teoriji putujućih talasa polaze od pretpostavke da ulazne veličine sadrže jednosmernu komponentu, osnovni član i više harmonike. Izrazi od kojih se polazi su:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -L \frac{\partial i}{\partial t} \quad (6)$$

$$\frac{\partial i}{\partial x} = -C \frac{\partial v}{\partial t} \quad (7)$$

Izrazi za određivanje impedanse voda pri kvaru za neke od navedenih metoda su:

– Metoda Mann-Morrison

$$|Z| = \sqrt{\frac{v'^2 + \left(\frac{v''}{\omega}\right)^2}{i'^2 + \left(\frac{i''}{\omega}\right)^2}}, \quad \varphi = \arctg \frac{\omega \cdot v'}{v''} - \arctg \frac{\omega \cdot i'}{i''} \quad (8)$$

– Metoda Gilcrest-Rockfeller

$$|Z| = \sqrt{\frac{v''^2 + \left(\frac{v''''}{\omega}\right)^2}{i''^2 + \left(\frac{i''''}{\omega}\right)^2}}, \quad \varphi = \arctg \frac{\omega \cdot v''}{v''''} - \arctg \frac{\omega \cdot i''}{i''''} \quad (9)$$

– Metoda Gilbert-Shovlin

$$R = \frac{v_2 i_2 - \frac{(v_1 i_3 + v_3 i_1)}{2}}{i_1^2 - i_1 i_3}, \quad X = \sin \Delta \frac{v_2 i_3 - v_3 i_2}{i_1^2 - i_1 i_3} \quad (10)$$

– T2-metoda

$$R = \frac{v_1(i_1 - i_2 \cos \Delta) + v_2(i_2 - i_1 \cos \Delta)}{i_1(i_1 - i_2 \cos \Delta) + i_2(i_2 - i_1 \cos \Delta)},$$

$$X = \frac{v_1 i_2 - v_2 i_1}{i_1(i_1 - i_2 \cos \Delta) + i_2(i_2 - i_1 \cos \Delta)} \cdot \sin \Delta \quad (11)$$

– Lobos 3

$$R = \frac{i_1(v_2 + v_3) - i_2(v_1 + 2v_2 + v_3) + i_3(v_1 + v_2)}{2(i_1 i_3 - i_2^2)}$$

$$L = \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} \cdot \frac{i_1(v_2 + v_3) - i_2(v_1 - v_3) - i_3(v_1 + v_2)}{2(i_1 i_3 - i_2^2) \omega} \quad (12)$$

– Lobos 4

$$R = \frac{v_2(i_4 - i_2) - v_3(i_3 - i_1)}{[i_2(i_4 - i_2) - i_3(i_3 - i_1)] \cdot \omega},$$

$$L = 2 \sin \Delta \cdot \frac{v_3 i_2 - v_2 i_3}{[i_2(i_4 - i_2) - i_3(i_3 - i_1)] \cdot \omega} \quad (13)$$

– Metoda Furiea

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{V_s + jV_c}{I_s + jI_c} = R + jX = \frac{V_s I_s + V_c I_c}{I_s^2 + I_c^2} + j \frac{V_s I_c - V_c I_s}{I_s^2 + I_c^2},$$

$$\varphi = \arctg \frac{V_s I_s - V_c I_c}{V_s I_s + V_c I_c} \quad (14)$$

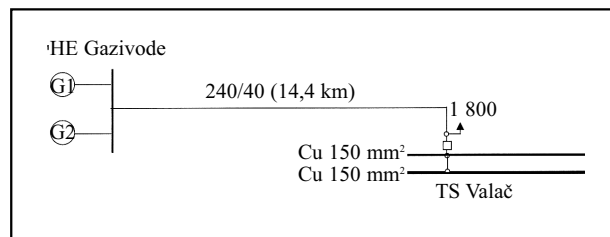
– Modifikovana metoda Furiea

$$\left. \begin{aligned} V_s &= V_{s1} + \frac{V_{s3}}{3} + \frac{V_{s5}}{5} + \dots + \frac{V_{s2n+1}}{2n+1} \\ V_c &= V_{c1} - \frac{V_{c3}}{3} + \frac{V_{c5}}{5} - \dots + (-1)^n \frac{V_{c2n+1}}{2n+1} \\ I_s &= I_{s1} + \frac{I_{s3}}{3} + \frac{I_{s5}}{5} + \dots + \frac{I_{s2n+1}}{2n+1} \\ I_c &= I_{c1} - \frac{I_{c3}}{3} + \frac{I_{c5}}{5} - \dots + (-1)^n \frac{I_{c2n+1}}{2n+1} \end{aligned} \right\} (15)$$

5. REZULTATI TESTIRANJA POJEDINIH METODA ZA IZRACUNAVANJE IMPEDANSE KRATKOG SPOJA

Da bi se odredilo koja od metoda za izračunavanje impedanse kratkog spoja daje najbolje rezultate, urađeno je niz testiranja.

Testiranje pojedinih metoda za određivanje impedanse kratkog spoja je izvršeno za realan energetski dalekovod, tj. dalekovod koji povezuje HE Gazivode i transformatorsku stanicu Valač (slika 3).



Slika 3. Dalekovod HE Gazivode – TS Valač (110 kV)
*G1, G2: $U_n = 10,5 \text{ kV}$, $S_n = 19,5 \text{ MVA}$, $P_n = 18 \text{ MW}$;
 DV 1800: $3 \times 240 \text{ A}$ + $1 \times 50 \text{ Če}$, red. fak. 0,95, $r_1 = 0,12 \text{ } \Omega/\text{km}$, $x_1 = 0,408 \text{ } \Omega/\text{km}$*

Za distantnu zaštitu je potrebno poznavati struje troleznog kratkog spoja i jednofaznog kratkog spoja za čvor u kome se ona nalazi.

Simulacijom troleznog kratkog spoja na sabirnicama HE Gazivode dobijeni su sledeći rezultati:

- ukupna struja troleznog kratkog spoja:
 $I_{k3} = 6\,406 \cdot e^{j77,6} \text{ A}$
- udeo TS Valač: $I_{TS} = 5\,741 \cdot e^{j70,4} \text{ A}$;

Simulacijom jednofaznog kratkog spoja na sabirnicama HE Gazivode dobijeni su sledeći rezultati:

- ukupna struja jednofaznog kratkog spoja faze u kvaru: $I_{kl} = 5\,535 \cdot e^{j78,8} \text{ A}$
- udeo TS Valač: $I_{TS(1)} = 4\,424 \cdot e^{j76,9} \text{ A}$

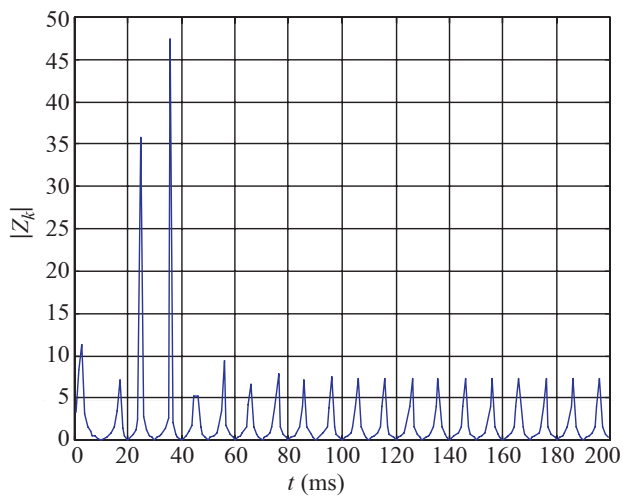
Za testiranje metoda za računanje impedanse kratkog spoja napisano je niz programa pomoću kojih su dobijeni rezultati koji će dalje u tekstu biti prezentovani u vidu grafičkih prikaza.

Delovi ovih programa mogu se iskoristiti u izvršnom modulu. Jasno je da je u izvršnom modulu računanje svedeno na računanje u jednoj tački ili u najviše tridesetak, što je daleko od broja tačaka čiji je broj bio potreban da bi se dobili dijagrami koji će biti prikazani dalje u tekstu. Ovo je bitno jer smanjenje broja posmatranih uzoraka rapidno povećava brzinu programa za računanje impedanse kratkog spoja za bilo koju metodu i time ga čini upotrebljivim za primenu u digitalnoj distantnoj zaštiti.

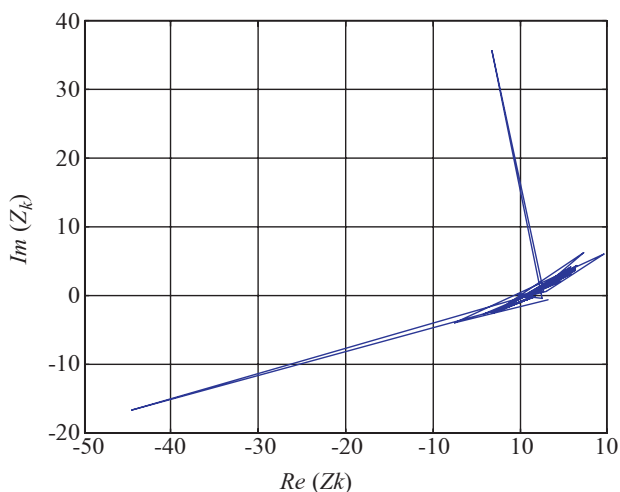
Sve metode, za grafički prikazane rezultate, su startovane sa istim početnim uslovima, tj. kao da su dobile digitalizovan signal struje troleznog kratkog spoja i napona dalekovoda na obradu.

Na dijagramima (slike 4 do 17) su prikazani rezultati testiranja algoritama za računanje impedanse kratkog spoja i to na osnovu ostvarenih uzorkovanja u toku 200 ms pri nastalom kratkom spoju na petom kilometru dalekovoda HE Gazivode-TS Valač, gledano od HE Gazivode ka TS Valač. Rastojanje od 5 km, na kome se dogodio trolezni kratki spoj, uzeto je sasvim proizvoljno i moglo je biti uzeto i bilo koje drugo.

Metoda Mann-Morrison

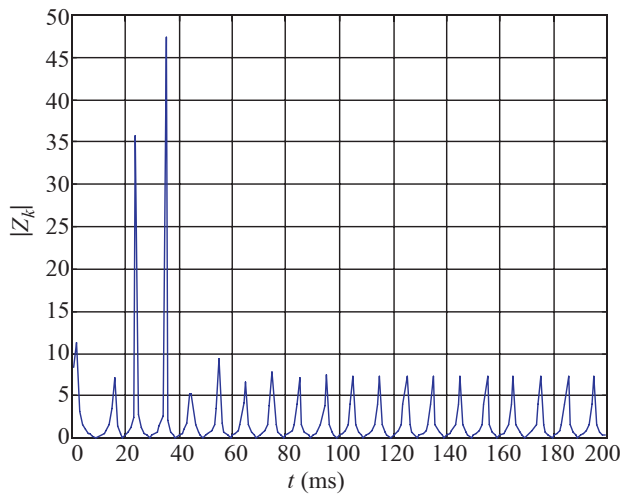


Slika 4. $|Z_k|$ po metodi Mann-Morrison

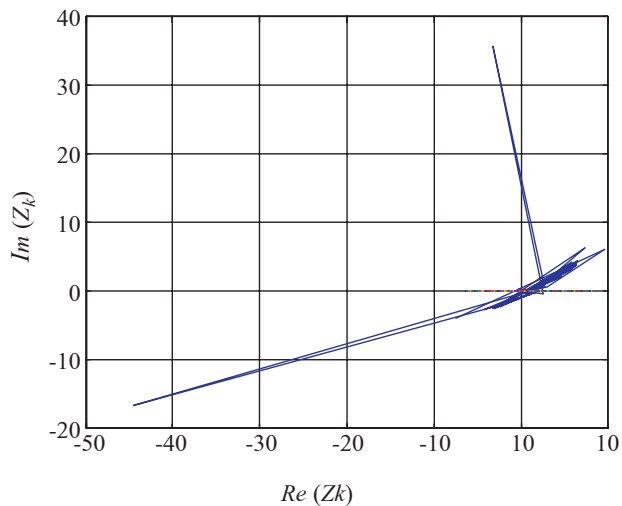


Slika 5. Z_k po metodi Mann-Morrison

Metoda Gilcrest-Rockfeller

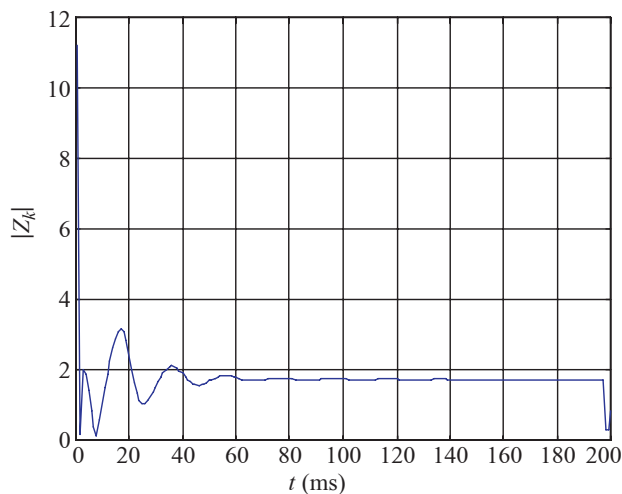


Slika 6. $|Z_k|$ po metodi Gilcrest-Rockfeller

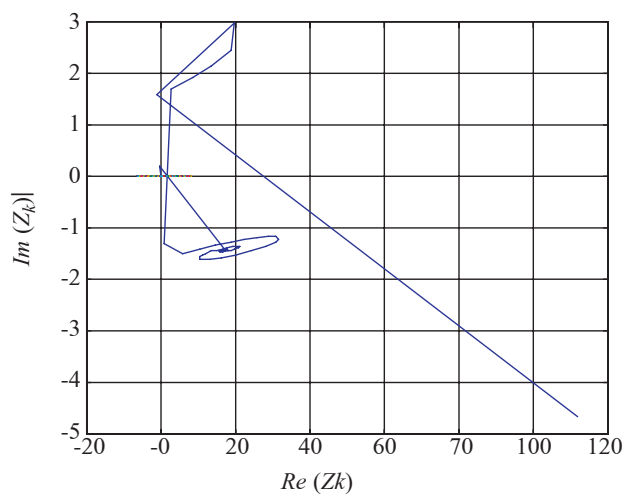


Slika 7. Z_k po metodi Gilcrest-Rockfeller

Metoda Gilbert-Shovlin

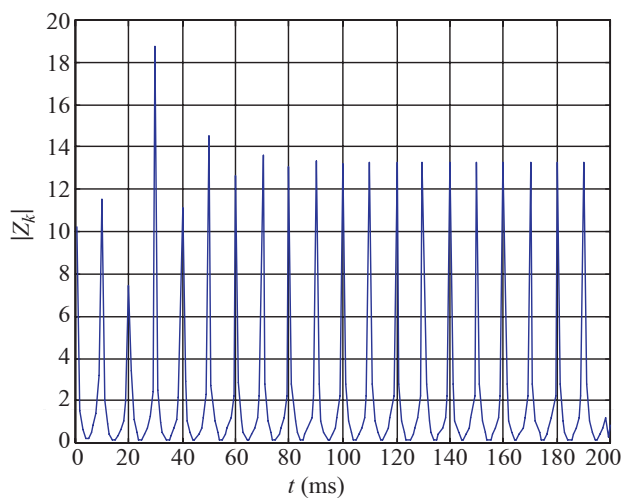


Slika 8. $|Z_k|$ po metodi Gilbert-Shovlin

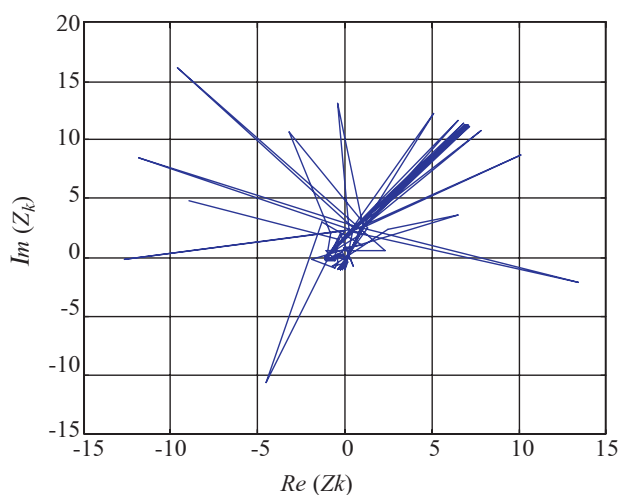


Slika 9. Z_k po metodi Gilbert-Shovlin

T2 metoda

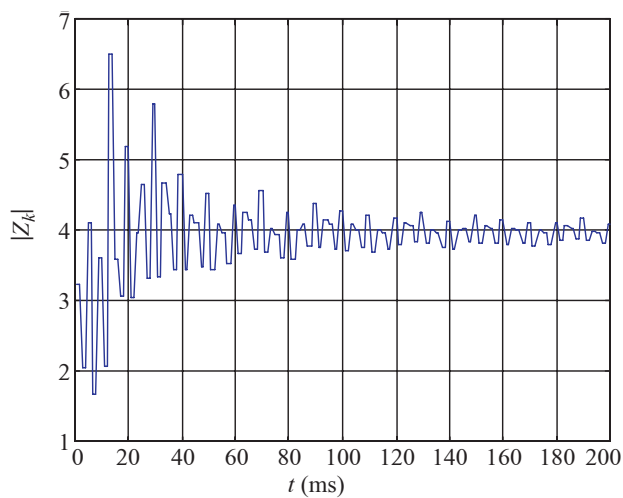


Slika 10. $|Z_k|$ po T2 metodi

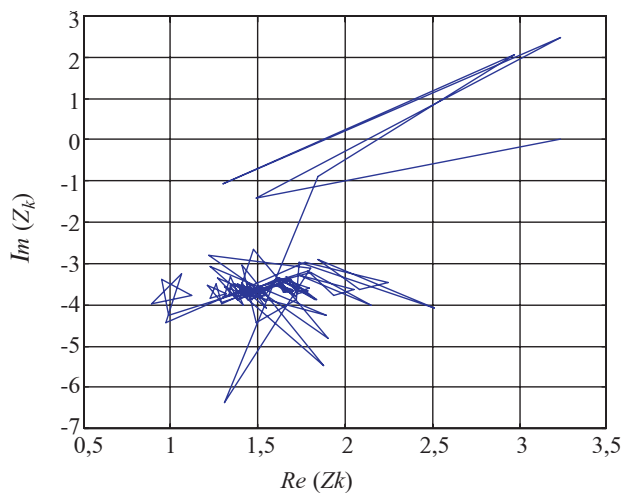


Slika 11. \bar{Z}_k po T2 metodi

Modifikovana metoda Furiea

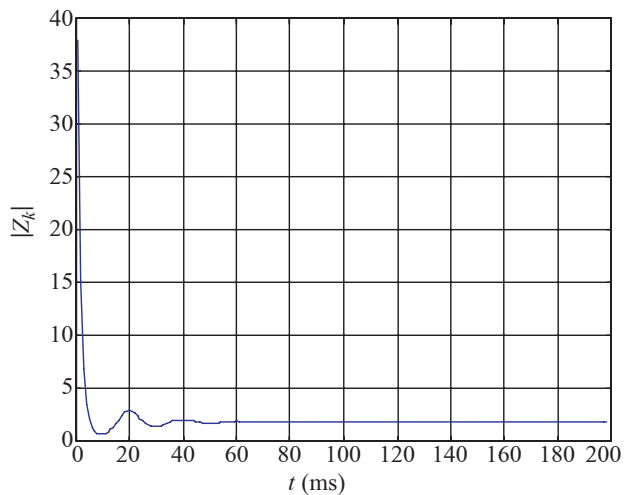


Slika 12. $|Z_k|$ po modifikovanoj metod Furiea

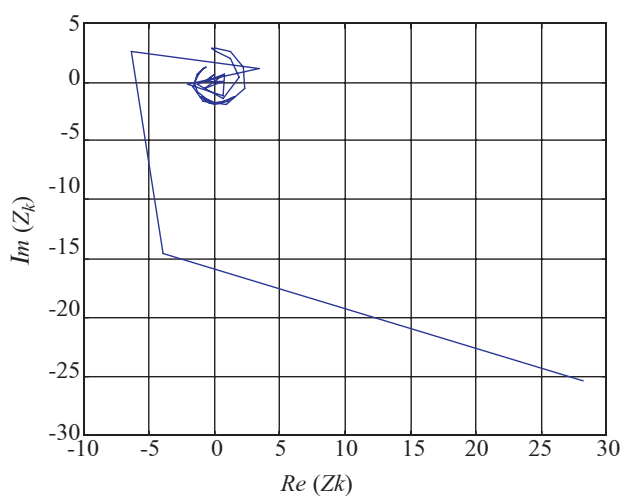


Slika 13. \bar{Z}_k po modifikovanoj metodi Furiea

Metoda Lobos 3

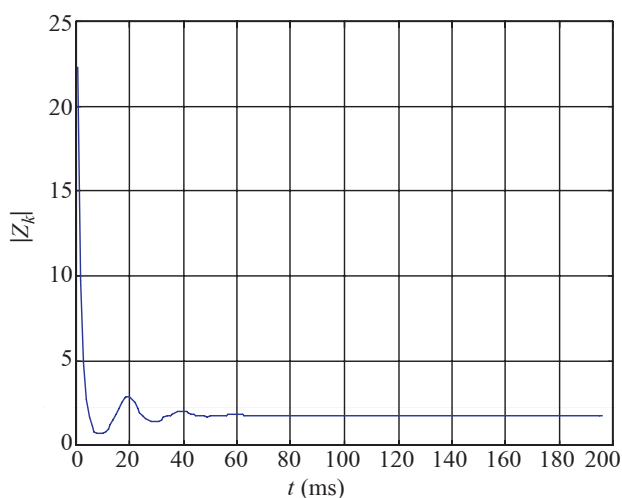


Slika 14. $|Z_k|$ po metodi Lobos 3

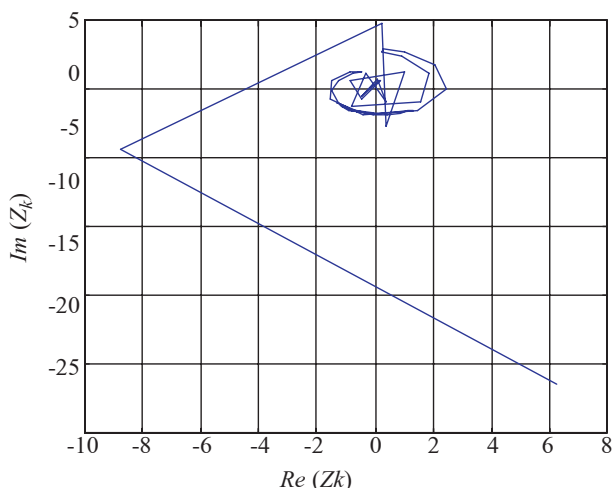


Slika 15. \bar{Z}_k po metodi Lobos 3

Metoda Lobos 4



Slika 16. $|Z_k|$ po metodi Lobos 4



Slika 17. Z_k po metodi Lobos 4

6. ANALIZA UTICAJA ALGORITAMA ZA PRORAČUN Z_k

Za pouzdan rad distantne zaštite od velikog je značaja tačnost proračuna Z_k , jer je povezana sa selektivnošću i vremenskim stepenovanjem distantne zaštite. Tačnost proračuna Z_k može se proceniti pomoću četiri stepena ispitivanja:

- tačnost proračuna uz pretpostavku da su struja i napon sinusoidalni;
- uticaj jednosmerne komponente struje kratkog spoja;
- uticaj viših harmonika struje i napona i
- uticaj analogno/digitalnog pretvaranja na veličine koje učestvuju u algoritmu za računanje impedanse kvara.

Analizu pouzdanosti algoritama treba realizovati sistematskim ispitivanjima i beleženjem rezultata da bi se mogla izvršiti naknadna procena i upoređivanje dobijenih rezultata.

Analize urađene za realan dalekovod HE Gazivode – TS Valač, primenjujući neke od metoda, pokazuju da je metoda Mann i Morrison osetljiva na struju koja sadrži prigušenu jednosmernu komponentu i drugi harmonik. Metoda zasnovana na Furieovoj analizi spada u sporije metode ako se uzima veliki broj uzoraka. Metoda Lobos 3 je osetljiva na neparne više harmonike, dok je metoda Lobos 4 nešto manje osetljiva na neparne više harmonike. Metoda T2 spada u red tačnijih metoda, mada su joj odstupanja nešto veća pri prigušenoj jednosmernoj komponenti i drugom harmoniku struje. Metoda Gilbert i Shovlina osetljiva je na više harmonike.

Kada se analizira uticaj promene perioda uzimanja uzoraka i to 0,5 ms, 1,0 ms i 2,0 ms dolazi se do zaključka da se sa smanjenjem perioda uzimanja uzoraka na 0,5 ms uz minimalan broj uzoraka dobijaju tačniji rezultati. Udvostručenje perioda uzimanja uzoraka uz zadržani minimalan broj uzoraka dovodi do povećanja greške. Analize takođe pokazuju da ne postoji neka tačno određena zavisnost frekvencije uzimanja uzoraka u odnosu na korišćene metode, jer ovaj faktor različito utiče na pojedine metode, pa je zbog toga i relativno približavanje tačnim rezultatima različito.

Od distantnog releja, uopšteno, se zahteva da deluje u prvom stepenu veoma brzo, zato je potrebno napisati algoritam za računanje impedanse kvara i celog izvršnog modula i izvršiti njegovu optimizaciju tako da on reaguje pravovremeno, brzo i selektivno.

Ovde treba napomenuti da svi algoritmi za računanje impedanse kvara ne daju podjednako tačne rezultate obzirom na isti broj uzorkovanja. Testiranja su pokazala da Furieova analiza daje tačne rezultate pri 30 uzorkovanja, a da Lobos 3 isto to postiže i sa 10 uzorkovanja. Previše bi jednostavno bilo reći da treba onda primeniti metodu Lobos 3 jer je ona osetljiva na više harmonike neparnog reda, dok metoda Furieove analize to nije. Zato treba sprovesti pažljiva ispitivanja i analizirati svaki deo izvršne strukture i svakog elementa digitalnog distantnog releja iz svih uglova da bi se dobila najbolja varijanta. Od toga koliko će se u tome uspeti zavisi i koliko bi bili dobro šticeeni dalekovodi ovim tipom distantne zaštite, odnosno kolika bi bila pouzdanost digitalnog distantnog releja.

7. ZAKLJUČAK

Rezultati testiranja različitih metoda računanja impedanse kvara prikazani na brojnim diagramima su omogućili vizuelno predstavljanje veoma mnogo sračunatih brojčanih podataka. Kodovi korišćenih programa mogu biti implementirani u izvršnom modulu uz zadavanje dužine intervala koji se ciklično prati unutar samog modula. To je potrebno da bi se povećala brzina programa jer izvršna struktura zapravo prati zbivanja u realnom vremenu. Ovo znači da se mora odabrati najpovoljnija varijanta računanja impedanse kvara da bi se još više povećala brzina izvršenja kôda, što se postavlja kao jedan od osnovnih uslova za uspešnu realizaciju zaštite.

Pored zaključaka koji proizilaze iz analize uticaja algoritama za proračun impedanse kvara, tokom testiranja metoda za njeno računanje do izražaja je dolazio i način na koji su realizovani programi. S obzirom na to da programi treba da budu brzi, pokazalo se kao izuzetno važno, za ispunjenje tog uslova, da kôd bude optimizovan. Izuzev što je potrebno da kôd bude kratak, potrebno je i, kad god je moguće, izbeći složene matematičke operacije. Istovremeno se pokazalo važno i to kolika je frekvencija rada

procesora jer to direktno utiče na izvođenje pojedinih instrukcija i algebarskih operacija.

8. LITERATURA

- [1] V. Centeno: MIMIC CIRCUIT SIMULATION IN REAL TIME, Virginia, 1988.
- [2] Stivenson W. D.: ELEMENTS OF POWER SYSTEM ANALYSIS, MCGRAW-HILLBOOK, 1982.
- [3] Clark E.: CIRCUIT ANALYSIS OF A-C POWER SYSTEMS, Wiley, New York, 1973.
- [4] B. Jeyaurya, W. J. Saolinski: IDENTIFICATION OF BEST ALGORITHM FOR DIGITAL DISTANCE PROTECTION OF TRANSMISSION LINES, IEEE Trans, PAS-102. N 10, 1983.
- [5] E. A. Lamagna: FAST COMPUTER ALGEBRA, Computer, Vol. 15, No 9, 1982.
- [6] K. V. Desikachar, L. P. Singh: DISTANCE TRAVELLING – WAVE PROTECTION OF TRANSMISSION LINES, Electric Power Systems Research, No. 1, 1984.
- [7] P. A. Crossley, P. G. McLaren: DISTANCE PROTECTION BASED ON TRAVELLING WAVES, IEEE Trans., PAS-102, No 9, 1983.
- [8] K. Suzuki: INTERACTIVE COMPUTATION SYSTEM OF DISTANCE RELAY FOR EHV POWER SYSTEM, IEEE PAS-98, 1983.

Rad je primljen u uredništvo 01. 04. 2005. godine



Dragoljub Matić, doktor tehničkih nauka u oblasti elektrotehnike, profesor Više tehničke škole u Zvečanu za predmete: Elektroenergetska postrojenja, Električne instalacije i osvetljenja i Primena računara. Profesor za predmet Informatika na Filozofskom fakultetu u Kosovskoj Mitrovici.

U periodu od 1984. do 1991. godine radio kao odgovorni projektant električnih i gromobranskih instalacija i kao nadzorni organ.

Upravljanje naponima i minimizacija gubitaka energije u distributivnoj mreži sa distribuiranim generatorima

Originalni naučni rad
UDK: 621.31; 621.316

Rezime:

U ovom radu se predlaže jedan postupak za optimizaciju rada distributivne mreže sa distribuiranim generatorima. Cilj optimizacije je minimizacija gubitaka aktivne energije i padova napona u mreži. Primenom genetičkog algoritma određuju se optimalni položaji regulatora na distributivnim transformatorima, snage injektiranja distribuiranih generatora i snage uređaja za kompenzaciju reaktivne snage na zadatim lokacijama, za više nivoa i tipova opterećenja u određenom vremenskom periodu. Pri tome se vodi računa o pogonskim ograničenjima, u smislu dozvoljenih odstupanja napona i propusnih mogućnosti elemenata distributivnog sistema. Verifikacija je izvršena na realnoj distributivnoj mreži.

Ključne reči: distributivna mreža, distribuirani generator, genetički algoritam, gubici energije, padovi napona

Abstract:

**VOLTAGE CONTROL AND POWER LOSSES MINIMIZATION
IN A RADIAL DISTRIBUTION NETWORK WITH DISTRIBUTED GENERATORS**

A procedure for optimization of operating conditions in a radial distribution network with distributed generators is presented in this paper. The proposed optimization procedure aims at minimization of active power losses and voltage drops in the distribution network. Optimal tap-changer position on the distribution transformers, generating power of distributed generators, and the size of reactive power compensation capacitors at specified locations are determined using a genetic algorithm for several transient load types. In order to respect permissible voltage and ampacity variations on the distribution elements all operating constraints are preserved. The procedure is tested on a real distribution system.

Keywords: distribution network, distributed generator, genetic algorithm, power losses, voltage drops

1. UVOD

Distributivna preduzeća su u obavezi da potrošačima isporučuju kvalitetnu električnu energiju. Jedan od najvažnijih parametara kvaliteta električne energije je napon. Vrednost napona mora biti u okviru propisanih granica. Svaki električni uređaj ima

optimalne parametre rada pri određenoj, obično nominalnoj vrednosti napona. Odstupanje napona izvan propisanih granica može uzrokovati nepravilan rad, smanjenje stepena iskorišćenja a ponekad čak i kvar na potrošaču. Granične vrednosti napona su standardizovane.

Mr Jordan Radosavljević, dipl. ing. el., prof. dr Miroljub Jevtić, dipl. ing. el.
– Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica, 38 220 Kosovska Mitrovica, Kneza Miloša 7

Trgujući električnom energijom distributivna preduzeća ostvaruju profit. Samim tim imaju interes da izgube što manje energije na putu od tačke kupovine do tačke prodaje. Prenos električne energije je proces koji neminovno prate gubici usled nesavršenosti provodnika. Uticajem na tokove snaga, može se uticati i na veličinu gubitaka energije u distributivnoj mreži. Uglavnom se to postiže odgovarajućim upravljačkim šemama za regulaciju napona i kompenzaciju reaktivnih snaga. Upravljanje naponima se vrši promenom prenosnih odnosa transformatora i kompenzacijom reaktivnih snaga. Transformatori VN/SN ili SN/SN u napojnim tačkama SN mreža imaju mogućnost regulacije napona pod opterećenjem, dok se kod distributivnih SN/SN i SN/NN transformatora promena položaja regulacionih izvoda može vršiti samo u beznaponskom stanju (ručno). Uređaji koji se koriste za kompenzaciju reaktivnih snaga su baterije kondenzatora, koje su uglavnom nepromenljivih kapaciteta ili statički VAR kompenzatori koji imaju mogućnost promene kapaciteta.

Sa većim učešćem distribuiranih generatora (DG) u distributivnim mrežama (DM) otvorila se mogućnost za delovanje i na tokove aktivnih snaga. S obzirom na radialan karakter DM i jednosmernost tokova snaga (od napojne transformatorske stanice ka potrošačima), prisustvo DG može promeniti smer toka snage u delu mreže gde je lociran. Na taj način dolazi do promene naponskog profila i nivoa struje kratkog spoja mreže.

U zavisnosti od veličine i tipa DG zavisi kakva će biti upravljačka šema za regulaciju napona i reaktivnih snaga. U principu postoje tri tipa DG [1]:

1. Kada je DG preko distributivnog voda priključen zajedno sa velikim potrošačem konstantne aktivne i reaktivne snage kaže se da je „u paralelnom radu”. U ovom slučaju efekat DG se svodi na smanjenje ukupnog opterećenja u tački priključenja. Čvor u koji je priključen DG može se predstaviti kao PQ čvor, pri čemu se DG može modelovati kao negativno opterećenje.
2. Drugi slučaj je da DG injektira aktivnu snagu uz približno konstantan faktor snage, bez uređaja za regulaciju napona. Drugim rečima, napon u tački priključenja DG raste sa rastom aktivne snage DG. Obično se ovaj tip DG, pri proračunima tokova snaga i napona u distributivnim mrežama, označava kao PQ čvor. Ograničenost aktivne snage ograničava primenu ovakvog tipa DG za regulaciju napona.
3. DG injektira snagu sa zadatim naponom u tački priključenja. Ovi DG imaju uređaj za regulaciju injektiranja reaktivne snage a time i napona u tački priključenja. To ih čini pogodnim za značajnije učešće u upravljačkoj šemi regulacije napona i re-

aktivnih snaga u DM. Obično rade sa zadatom aktivnom snagom i zadatim i konstantnim naponom. U analizi se mogu predstaviti kao PV čvorovi.

Učešće DG u upravljačkim šemama DM za određivanje optimalnog režima rada nameće potrebu za istovremenim koordinisanjem više upravljačkih promenljivih: aktivnih i reaktivnih snaga DG, položaja izvoda za regulaciju napona transformatora, vrednosti kapaciteta kondenzatora ili statičkih VAR kompenzatora. U distributivnim mrežama realnih dimenzija treba obuhvatiti veliki broj promenljivih. Primena klasičnih optimizacionih metoda je u ovom slučaju teška i komplikovana. Zato se sve više koriste optimizacione tehnike bazirane na pretraživanju skupa mogućih rešenja [1–3]. U ovom radu se predlaže jedan postupak za optimizaciju režima rada mreže, određivanjem optimalnih vrednosti upravljačkih promenljivih pretraživanjem zadatog opsega mogućih vrednosti, pomoću genetičkog algoritma (GA).

Prednosti GA u odnosu na klasične heurističke optimizacione metode su [8]:

- Za kriterijumsku funkciju koju treba optimizirati nema posebnih zahteva kao što su neprekidnost, diferencijabilnost i sl.;
 - Primenljiv je na veliki broj problema različite prirode;
 - Pouzdanost rezultata se može povećati jednostavnim ponavljanjem postupka;
 - Rezultat je skup rešenja a ne jedno rešenje. Ako već ne nađe globalni optimum, daje nekakvo dobro rešenje koje se može prihvatiti;
 - Rešava sve probleme koji se mogu predstaviti kao optimizacioni. Jednostavno se primenjuje na višedimenzionalnim problemima i
 - Dostupnost programske podrške (gotovi programski paketi koji se mogu primeniti za rešavanje konkretnih problema).
- GA ima i neke mane:
- Potrebno ga je prilagoditi datim ograničenjima;
 - Često je potrebno problem prilagoditi algoritmu;
 - Veliki uticaj parametara na efikasnost. Ne postoji univerzalno pravilo za podešavanje parametara;
 - Konvergencija je sporija od ostalih numeričkih metoda. Zbog izvođenja velikog broja operacija GA je spor i
 - Ne može se postići 100 % pouzdanost rešenja.

2. OBJEKTIVNA FUNKCIJA

Određivanje optimalnog stacionarnog režima rada radialne distributivne mreže sa DG može se predstaviti kao optimizacioni problem sa ograničenjima. Cilj optimizacije je određivanje upravljačkih

promenljivih koje će implicirati promenljive stanja tako da se minimiziraju gubici energije i padovi napona u mreži u određenom periodu. Treba dakle, za poznatu konfiguraciju mreže, poznat dijagram potrošnje (prognoziran i aproksimiran sa m reprezentativnih stanja), izračunati nepoznate upravljačke promenljive (y), koje se mogu podeliti u dve grupe:

- sezone upravljačke promenljive: položaji regulacionih izvoda transformatora sa regulacijom u beznaponskom stanju,
- tekuće upravljačke promenljive: m položaja regulacionih izvoda transformatora sa automatskom regulacijom (za svaki segment dijagrama opterećenja), m vrednosti injektiranja reaktivnih snaga DG (odnosno napona u PV čvorovima) i m vrednosti reaktivnih snaga statičkih VAR kompenzatora.

2.1. Sezonsko (godišnje) upravljanje naponima i gubicima energije

Cilj je određivanje sezonskih (godišnjih) upravljačkih promenljivih. Kod distributivnih SN/SN i SN/NN transformatora promena položaja regulacionih izvoda može se vršiti samo u beznaponskom stanju (ručno), jednom ili najviše dva puta godišnje. Zato je potrebno najpre odrediti upravljačke promenljive na nivou sezonskog planiranja. Zbog radikalnog karaktera DM, regulacija napona na distributivnom transformatoru utiče na promenu napona potrošača koji se napajaju sa tog transformatora ali ne utiče na napone potrošača koji se napajaju sa drugih transformatora. Ako se ovo ima u vidu, može se pri kreiranju plana regulacije izvršiti prostorna dekompozicija DM [4] na regulacione putanje. Regulacionu putanju čini skup grana od NN sabirnica distributivnog transformatora do napojne tačke distributivne mreže. Time se značajno smanjuje broj kombinacija koje treba uzeti u obzir. Praktično, za svaku regulacionu putanju imaju se dva do tri transformatora. Broj regulacionih putanja je jednak broju distributivnih transformatora za koje treba odrediti sezonski plan regulacije, odnosno sezonski položaj regulacionih izvoda. Za svaku regulacionu putanju se primenjuje optimizaciona pretraživačka procedura.

Pošto se ovde radi o planiranju pogona za veći vremenski period (godinu dana), u kome je prisutna promena opterećenja potrošača, pogodno je kao objektivnu funkciju uzeti ukupne alocirane gubitke energije regulacione putanje u posmatranom periodu. U distributivnoj mreži u kojoj su zanemareni otočni parametri, alokacija gubitaka aktivne snage putanje p se može odrediti nakon jednog proračuna raspodele napona i tokova snaga primenom izraza (1) [5]:

$$L_p = \operatorname{Re} \left\{ I_p^* \cdot \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \alpha_p}}^{N_{gr,p}} r_i \cdot \frac{\Delta U_i}{(r_i + jx_i)} \right\} \quad (1)$$

gde su:

L_p – alocirani gubici snage putanje p ;
 I_p – struja injektiranja u krajnjoj tački putanje p (struja opterećenja distributivnog transformatora na kraju putanje p);
 r_i, x_i – aktivni otpor i reaktansa grane i na putanji p ;
 ΔU_i – pad napona u grani i ;
 α_p – skup grana koje čine putanju p i
 $N_{gr,p}$ – ukupan broj grana koje čine putanju p .

Ukupni alocirani gubici energije putanje p se izračunavaju na osnovu alociranih gubitaka snage L_p i vremena u kome se ostvaruju ti gubici. Dijagram opterećenja se aproksimira stepenastom krivom sa m nivoa, slika 1. Objektivna funkcija gubitaka energije se može formulisati na sledeći način:

$$\min F_{obj1} = \sum_{j=1}^m L_{p,j} \cdot \Delta T_j \quad (2)$$

gde su:

$L_{p,j}$ – alocirani gubici snage putanje p pri nivou opterećenja j ;
 ΔT_j – trajanje nivoa opterećenja j i
 m – broj segmenata dijagrama opterećenja potrošača.

Pri određivanju sezonskih upravljačkih promenljivih, tekuće upravljačke promenljive se postavljaju na srednje vrednosti iz opsega mogućih vrednosti.

2.2. Tekuće upravljanje naponima i gubicima energije

Cilj je određivanje tekućih upravljačkih promenljivih. Na osnovu sezonskog (godišnjeg) plana upravljanja naponima mogu se za svaki segment sa dijagrama snage opterećenja odrediti tekuće upravljačke promenljive: položaji regulacionih izvoda transformatora sa automatskom regulacijom, vrednosti injektiranja reaktivnih snaga DG (odnosno napona u PV čvorovima), vrednosti reaktivnih snaga statičkih VAR kompenzatora i, eventualno, vrednosti aktivnih snaga generisanja DG tipa PQ. U ovom slučaju se posmatra jedinstvena mreža, bez ranijih regulacionih putanja. Položaji regulacionih izvoda transformatora za regulaciju bez opterećenja se postavljaju na vrednosti određene u sezonskom planu. Objektivna funkcija se može kreirati po više kriterijuma: prema gubicima snage, sumi padova napona, šteti koju trpe potrošači usled odstupanja napona i sl. Pošto gubici snage zavise od kvadrata napona, za

objektivnu funkciju je uzeta suma gubitaka snage svih grana, odnosno ukupni gubici snage u mreži:

$$\min F_{obj2} = \sum_{i=1}^N \frac{r_i}{r_i^2 + x_i^2} |\Delta V_i|^2 = P_{gub} \quad (3)$$

$|\Delta V_i|$ – moduo pada napona u grani i ,
 P_{gub} – ukupni gubici snage u distributivnoj mreži za dati nivo snage opterećenja.

Objektivne funkcije (2) i (3) treba minimizirati uz sledeća ograničenja:

Jednačine tokova snaga $g(x,y) = 0$:

$$x = [V_1, V_2, \dots, V_n; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n]$$

$$y = [n_1, \dots, n_{NT}; Q_{G1}, \dots, Q_{GNPV}; Q_{C1}, \dots, Q_{CNC}; P_{G1}, \dots, P_{GNPQ}]$$

Ograničenja promenljivih stanja (funktionalana ograničenja):

$$V_{\min,i} \leq V_i \leq V_{\max,i} \quad i=1,2,\dots,N$$

$$I_i \leq I_{\max,i} \quad i=1,2,\dots,N$$

Ograničenja koja definišu oblast mogućih vrednosti upravljačkih promenljivih:

$$n_{i\min} \leq n_i \leq n_{i\max} \quad i=1,2,\dots,NT$$

$$Q_{Gi\min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi\max} \quad i=1,2,\dots,NGPV$$

$$Q_{Ci\min} \leq Q_{Ci} \leq Q_{Ci\max} \quad i=1,2,\dots,NC$$

$$P_{Gi\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi\max} \quad i=1,2,\dots,NGPQ$$

gde su:

V, V_{\min}, V_{\max} – naponi čvorova, minimalna i maksimalna dozvoljena vrednost napona čvorova, respektivno;

I, I_{\max} – struje grana i maksimalno dozvoljene struje grana, respektivno;

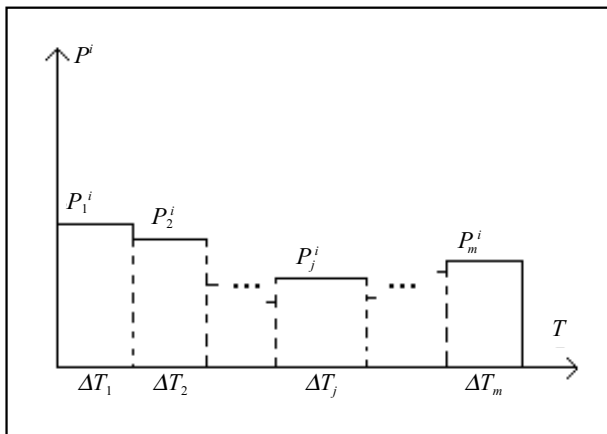
n, n_{\min}, n_{\max} – položaj regulatora na izvodu namotaja za regulaciju napona transformatora, minimalni i maksimalni položaj izvoda, respektivno;

$Q_G, Q_{G\min}, Q_{G\max}$ – reaktivna snaga, minimalna i maksimalna reaktivna snaga DG tipa PV, respektivno;

$Q_C, Q_{C\min}, Q_{C\max}$ – reaktivna snaga kompenzatora, minimalna i maksimalna snaga kompenzatora reaktivne snage;

$P_G, P_{G\min}, P_{G\max}$ – aktivna snaga, minimalna i maksimalna aktivna snaga DG tipa PQ, respektivno i

$N, N_T, N_C, N_{GPV}, N_{GPQ}$ – ukupan broj čvorova (grana), broj transformatora, broj uređaja za kompenzaciju reaktivne snage, broj DG tipa PV i broj DG tipa PQ, respektivno.



Slika 1. Godišnji dijagram opterećenja potrošača i

3. PRORAČUN TOKOVA SNAGA

Od ključnog značaja je efikasnost primenjenog metoda proračuna tokova snaga i napona u radijalnoj distributivnoj mreži. Primenjuje se brz i efikasan „backward/forward sweep” metod za proračun tokova snaga [6,7]. Pretpostavlja se da je distributivna mreža trofazna i uravnotežena.

Mreža se predstavlja u obliku grafa čiji su čvorovi numerisani po nivoima ili po ograncima, u zavisnosti koji je način u konkretnom slučaju prikladniji.

Vodovi su modelovani rednom impedansom Z_L .

Dvonamotajni transformatori su modelovani preko impedanse Z_T i nenominalnog odnosa transformacije $t = 1 + n\Delta t$, pri čemu je n ceo broj koji pokazuje položaj regulatora na regulacionom izvodu. Za transformatore sa ručnom regulacijom je obično $n = \pm 2$ a za transformatore sa automatskom regulacijom $n = \pm(10 \div 12)$. Napon jednog diskretnog stepena Δt u relativnim jedinicama, obično je 0,025 odnosno 0,015 ili 0,0125.

Potrošači kao i kompenzatori reaktivne snage se modeluju kao PQ čvorovi sa poznatim i konstantnim snagama.

Napon korenog (0) čvora je poznata i konstantna vrednost. U početnoj, nultoj iteraciji, pretpostavlja se da su naponi u svim čvorovima mreže jednaki nominalnim vrednostima sa nultim faznim stavom.

Korak 1.

Kretanje unazad (backward sweep):

Proces izračunavanja počinje od poslednjeg N -tog čvora (zamena unazad). Kompleksna struja koja ulazi u čvor i po grani i u iteraciji k je:

$$\underline{I}_i^{(k)} = \frac{P_{Pi} - jQ_{Pi}}{\underline{V}_i^{*(k-1)}} - \frac{P_{Gi} - jQ_{Gi}}{\underline{V}_i^{*(k-1)}} + \frac{jQ_{Ci}}{\underline{V}_i^{*(k-1)}} + \sum_{\substack{\ell=1 \\ \ell \neq i}}^{\alpha_{ii}} \underline{I}_\ell^{(k)} \quad (4)$$

$i=N, N-1, \dots, 0$;

gde su:

P_{Pi}, Q_{Pi} – aktivna i reaktivna snaga potrošača u čvoru i ;

Q_{Ci} – reaktivna snaga kompenzatora u čvoru i ;

$\underline{V}_i^{(k-1)}$ – fazor napona čvora i u prethodnoj $(k-1)$ iteraciji.

P_{Gi}, Q_{Gi} – aktivna i reaktivna snaga DG u čvoru i .

$\underline{I}_i^{(k)}$ – struja na ulazu u i -tu granu koja je incidenta istom čvoru, u k -toj iteraciji i

α_{ii} – ukupan broj grana incidentnih čvoru i .

Način proračuna struje $\underline{I}_i^{(k)}$ zavisi od tipa konkretne grane (l). Ako je u pitanju vod, pošto je zanearena otočna admitansa voda, struja na početku grane jednaka je struji na kraju grane:

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 \quad (5)$$

Ako se radi o transformatoru, tada je struja na primarnom kraju grane, uvažavajući nenominalni odnos transformacije:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{I}_2}{t \underline{m}_n} \quad (6)$$

Korak 2.

Kretanje unapred (forward sweep):

Nakon izračunavanja struja grana, sledi zamena unapred, gde se počevši od korenog čvora izračunavaju padovi napona po granama, i konsekvntno, naponi čvorova.

Kada je grana vod, primenjuje se izraz:

$$\underline{V}_i^{(k)} = \underline{V}_j^{(k)} - \underline{Z}_{Vi} \underline{I}_i^{(k)} \quad (7)$$

a ako je u pitanju transformator:

$$\underline{V}_i^{(k)} = \frac{\underline{V}_j^{(k)}}{t_i \underline{m}_{ni}} - \underline{Z}_{Ti} \frac{\underline{I}_i}{\underline{m}_{ni}^2} \quad (8)$$

Korak 3.

Provera konvergencije

Kao kriterijum konvergencije u proračunu tokova snaga može se koristiti razlika modula napona u dve uzastopne iteracije.

$$|V_i^{(k)} - V_i^{(k-1)}| \leq \varepsilon_V = (10^{-3} - 10^{-5})$$

Modelovanje DG u proračunu tokova snaga zavisi od načina priključenja i rada.

U slučaju da se čvor u koji je priključen DG može predstaviti kao PQ čvor, u algoritmu proračuna tokova snaga se ovakvi PQ generatorski čvorovi zapravo mogu tretirati kao „negativni potrošači” sa konstantnom snagom.

Međutim, kada DG injektirajući snagu kontroliše napon u tački priključenja, neophodno je takav čvor tretirati kao PV čvor. U ovom slučaju je potrebno u svakoj iteraciji proračuna tokova snaga u okviru koraka 2, izračunavati reaktivne snage injektiranja PV čvorova na osnovu odstupanja specificiranih (zadatih) i izračunatih vrednosti napona u PV čvorovima:

$$[Q_G^{(k+1)}] = [Q_G^{(k)}] + \text{Im} \left[\underline{V}_G^{spec} \cdot ([Z_{PV}]^{-1} [\Delta V^{(k)}])^* \right] \quad (9)$$

gde je:

$[Q_G] = [Q_{G1}, Q_{G2}, \dots, Q_{GN_{GPV}}]$ – vektor injektiranja reaktivnih snaga PV čvorova,

$$[\Delta V] = [\Delta V_1, \Delta V_2, \dots, \Delta V_{N_{GPV}}]^T = |V_G^{spec}| - |V_G^{izr}|$$

$[\Delta V]$ – vektor odstupanja zadatih i izračunatih vrednosti napona u PV čvorovima,

$|V_G^{spec}|$ – vektor zadatih modula napona PV čvorova,

$|V_G^{izr}|$ – vektor izračunatih modula napona PV čvorova,

$[Z_{PV}]$ – matrica osetljivosti PV čvorova, čiji se dijagonalni elementi Z_{Pvii} izračunavaju sumiranjem modula impedansi grana između PV čvora i i korenog čvora. Ukoliko dva PV čvora i i j nemaju zajedničke grane na putanjama do korenog čvora, tada je odgovarajući element Z_{Pvij} jednak nuli, a ukoliko imaju zajedničke grane na putu do korenog čvora tada je element Z_{Pvij} jednak sumi modula impedansi tih zajedničkih grana.

N_{GPV} – broj PV čvorova (DG koji se modeluju kao PV čvorovi).

$k+1$ – tekuća iteracija proračuna tokova snaga.

Ukoliko je izračunata reaktivna snaga PV čvora Q_{Gi} izvan propisanih granica $Q_{Gimin} < Q_{Gi} < Q_{Gimax}$, reaktivna snaga generatora se postavlja na zadati limit i u daljem proračunu se tretira kao PQ čvor sa zadatom aktivnom i reaktivnom snagom. Matrica osetljivosti $[Z_{PV}]$ se koriguje u skladu sa trenutnim stanjem.

4. GENETIČKI ALGORITAM

Genetički algoritmi (GA) su optimizacione procedure bazirane na oponašanju procesa prirodne evolucije [8]. Pripadaju metodama usmerenog slučajnog pretraživanja prostora rešenja u cilju pronalazjenja globalnog optimuma. Klasične optimizacione metode polaze od jednog početnog mogućeg rešenja i iterativnim putem, primenom heurističkih pravila, dolaze do optimuma. GA polaze od populacije, koja je skup individua. Svaka individua ili jedinka predstavlja potencijalno rešenje optimizacionog problema. Individue se predstavljaju na isti način, obično preko niza ili stringa podataka. Kvalitet svakog rešenja ili individue određuje se na osnovu vrednosti fitness funkcije (ili funkcije dobrote). Kroz niz operacija GA dobija se nova populacija čije individue nastaju od individua iz prethodne populacije po principima prirodne evolucije: izbor roditelja, ukrštanje i mutacija.

Osnovne operacija GA su:

4.1. Predstavljanje individua

Svi podaci (promenljive) koji čine individuu zapisani su u jednom stringu. String se sastoji od substringova. Svaki substring predstavlja jednu promenljivu po kojoj se vrši optimizacija, slika 2. Broj substringova, a time i veličina stringa, zavisi od broja promenljivih koje se optimiziraju. Prva odluka koju treba doneti je kako predstaviti promenljive u stringu. Najčešće se primenjuje binarno i Grayevo kodiranje, mada se mogu koristiti i drugi načini kao unošenje realnih vrednosti.

n_1	...	n_{N1}	Q_{G1}	...	$Q_{GN_{GPV}}$	Q_{CL}	...	Q_{CNc}	P_{GL}	...	$P_{GN_{GPQ}}$
-------	-----	----------	----------	-----	----------------	----------	-----	-----------	----------	-----	----------------

Slika2. Struktura stringa

4.2. Veličina i inicijalizacija populacije

Veličina populacije je broj individua. Obično se veličina populacije ne menja tokom izvršavanja genetičkog algoritma. Najčešće se početna populacija generiše slučajnim izborom rešenja (individua) iz domena rešenja. Početna populacija može biti i uniformna (sve individue su iste). Moguće je u početnu populaciju ugraditi individue koje su rešenja dobijena nekom drugom optimizacionom metodom. Na taj način se poboljšava konvergencija i brzina GA.

4.3. Fitness funkcija

Služi za ocenu kvaliteta individue i predstavlja ekvivalent funkcije koju treba optimizirati tj. objektivne funkcije. Veća fitness vrednost individue implicira veću verovatnoću preživljavanja i ukrštanja individue. Za dati optimizacioni problem često je najveća dilema definisanje fitness funkcije. Postoji više načina definisanja (skaliranja) fitness funkcije.

4.4. Selekcija

U procesu selekcije se biraju individue (roditelji) koji će učestvovati u reprodukciji. Svrha selekcije je čuvanje i prenošenje dobrih individua u sledeću generaciju. Najčešće se koriste: okretanje ruleta (roulette wheel selection), turnirska selekcija, eliminacijska selekcija, elitizam.

4.5. Ukrštanje

Način ukrštanja kodiranih delova nizova (substringova) čini jedan genetički algoritam. Ukrštanje je proces razmene delova nizova između dve individue, „roditelja”. Ukrštanjem nastaju dve ili jedna nova individua, „dete”. U procesu ukrštanja uvodi se verovatnoća sa kojom će „dete” nasledivati svojstvo prvog roditelja. Ta verovatnoća je između 0,65 i 0,80. Postoji više načina izbora delova individua (substringova) koji se ukrštaju, kao što su jedna tačka, više tačaka, ili uniformno ukrštanje.

4.6. Mutacija

Mutacija je način da se individui dodeli nova informacija. Mutacija je slučajna izmena bitova individue, generalno sa konstantnom verovatnoćom za svaki bit u populaciji. Verovatnoća mutacije može šire varirati u zavisnosti od veličine populacije, primene i preferencija istraživača. Za svaku generaciju se koristi jedna fiksna vrednost i često se održava tokom celog GA.

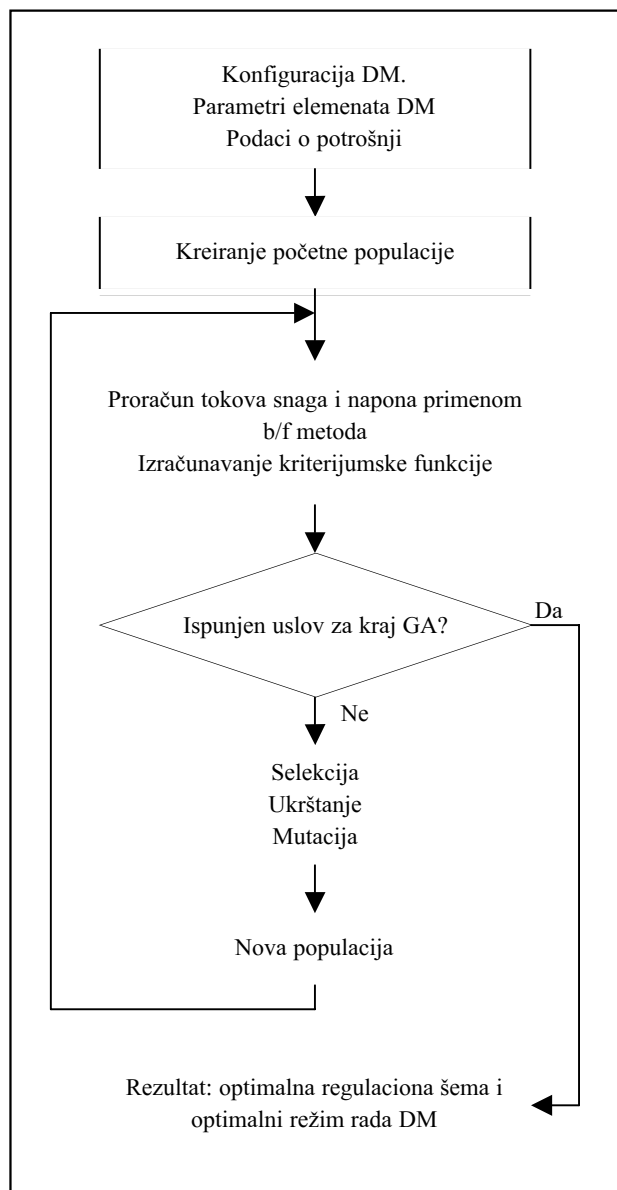
4.7. Kontrolni parametri GA

Tipične vrednosti za veličinu populacije, verovatnoću ukrštanja i verovatnoću mutacije su [30 do 200], [0,5 do 1] i [0,001 do 0,05] respektivno.

Proces nalaženja optimalnog rešenja primenom GA je iterativni proces koji se završava kada se dostigne maksimalni broj generacija ili neki drugi kriterijum kao što je npr. minimalno odstupanje najbolje fitness vrednosti i srednje fitness vrednosti svih individua u tekućoj generaciji.

5. DIJAGRAM TOKA

Dijagram toka je opšti za obe upravljačke šeme, sezonsku i tekuću.



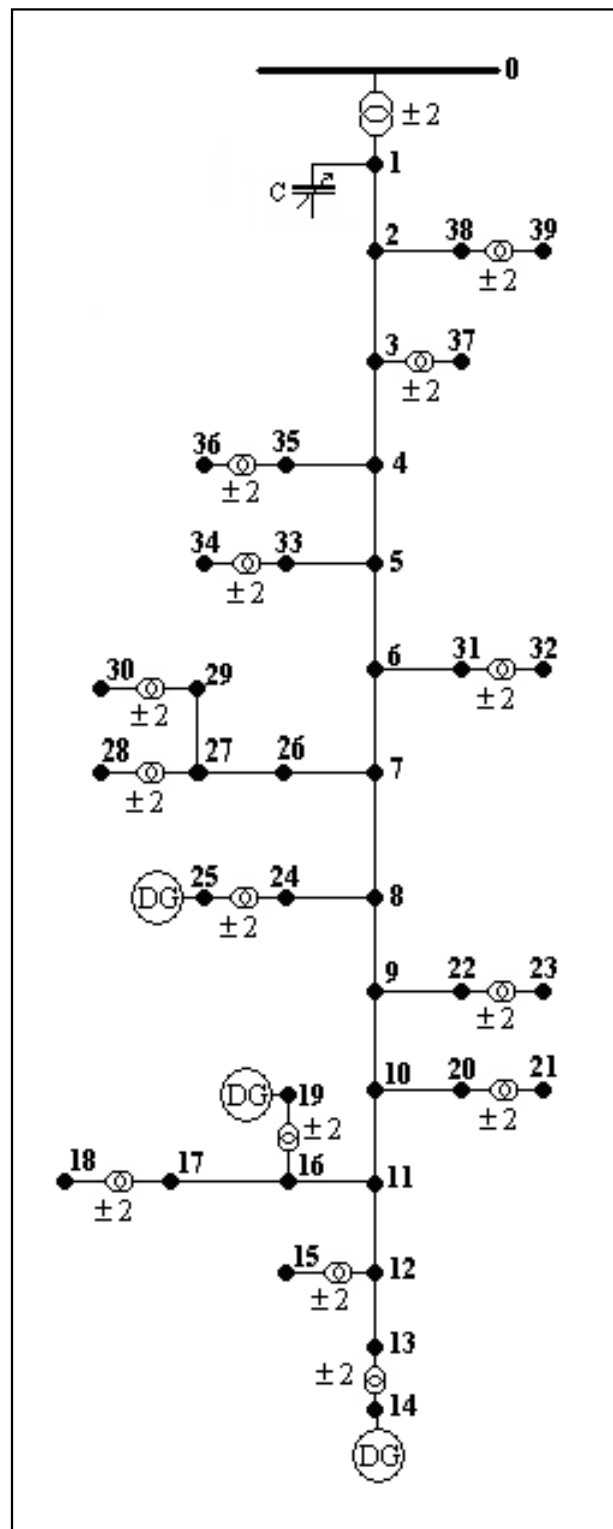
Slika 3. Dijagram toka predloženog postupka

6. TESTIRANJE

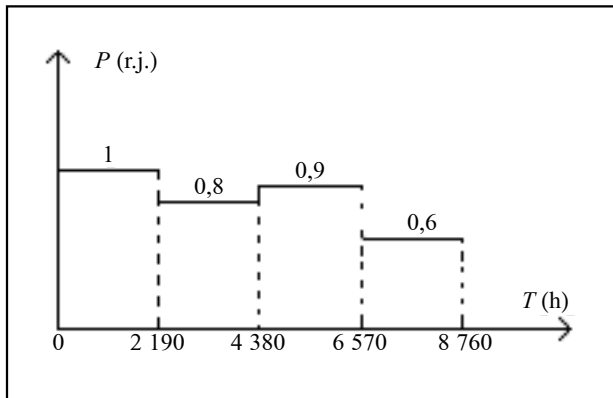
Za testiranje predloženog postupka korišćena je realna mreža, koja je data na slici 4.

Na slici 4 je pored svakog transformatora označen opseg regulacionog izvoda. Korak jednog diskretnog stepena je $\Delta t = 0,025$ r.j. Podaci o impedansama grana i nominalnim snagama potrošača su dati u tabeli 1. Pretpostavlja se da se potrošnja u čvorovima sinhrono menja i da svi potrošači imaju isti

normalizovani godišnji dijagram promene opterećenja, koji je dat na slici 5. Snaga opterećenja u datom periodu se dobija množenjem vrednosti nominalne snage sa odgovarajućom vrednošću sa normalizovanog dijagrama.



Slika 4. Test mreža



Slika 5. Promena snage potrošnje u toku godine u odnosu na nominalne vrednosti

Tabela 1.

Parametri elemenata (r , x) i nominalne snage potrošnje čvorova (P_p i Q_p)

Grana		r	x	Čvor	P_p	Q_p
i	j	(r.j.)	(r.j.)		(r.j.)	(r.j.)
0	1	0,001 0	0,007 4	1	0	0
1	2	0,001 0	0,000 6	2	0	0
2	3	0,001 1	0,000 6	3	0	0
3	4	0,0027	0,001 6	4	0	0
4	5	0,004 3	0,002 5	5	0	0
5	6	0,001 1	0,000 6	6	0	0
6	7	0,004 0	0,002 4	7	0	0
7	8	0,008 3	0,004 9	8	0	0
8	9	0,002 9	0,001 7	9	0	0
9	10	0,001 8	0,001 1	10	0	0
10	11	0,000 6	0,000 4	11	0	0
11	12	0,000 7	0,000 4	12	0	0
12	13	0,001 8	0,001 0	13	0	0
13	14	0,034 3	0,140 0	14	0	0
12	15	0,034 4	0,135 7	15	0,360	0,170
11	16	0,001 9	0,000 8	16	0	0
16	17	0,001 6	0,0003	17	0	0
17	18	0,117 2	0,220 8	18	0,144	0,070
16	19	0,068 8	0,153 3	19	0,225	0,109
10	20	0,000 4	0,000 2	20	0	0
20	21	0,200 0	0,346 4	21	0,090	0,043
9	22	0,001 2	0,000 7	22	0	0
2	23	0,200 0	0,346 4	23	0,090	0,043
8	24	0,001 5	0,000 9	24	0	0
24	25	0,034 4	0,135 7	25	0	0
7	26	0,010 5	0,003 3	26	0	0
26	27	0,000 6	0,000 2	27	0	0
27	28	0,200 0	0,346 4	28	0,090	0,043
26	29	0,007 7	0,003 3	29	0	0
29	30	0,480 0	0,640 0	30	0,090	0,043
6	31	0,007 2	0,002 2	31	0	0
31	32	0,480 0	0,640 0	32	0,090	0,043
5	33	0,001 1	0,000 6	33	0	0
33	34	0,480 0	0,640 0	34	0,090	0,043
4	35	0,004 8	0,001 5	35	0	0
35	36	0,200 0	0,346 4	36	0,090	0,043
3	37	0,034 4	0,135 7	37	0,360	0,170
2	38	0,002 1	0,001 2	38	0	0
38	39	0,034 4	0,135 7	39	0,360	0,170

Podaci o DG su dati u tabeli 2. U čvorovima 14 i 25 su DG koji daju konstantnu aktivnu snagu i imaju mogućnost regulacije injektiranja reaktivne snage a time i kontrole napona. DG u čvoru 19 daje aktivnu snagu u određenom opsegu, sa konstantnim faktorom snage.

Vrednosti parametara (r i x) i snaga (P_p i Q_p) u tabeli 1 su date za bazne vrednosti: $S_b=1$ MVA i $U_b=10$ kV.

Tabela 2.

Podaci o DG

Čvor	Tip	P (r.j.)	Q (r.j.)	U (r.j.)
14	PV	0,2	-0,2 ÷ 0,2	0,97 ÷ 1,02
25	PV	0,2	-0,2 ÷ 0,2	0,97 ÷ 1,02
19	PQ	0 ÷ 0,1	cos $\phi=0,7$	-

Napomena: DG u čvoru 14 realno postoji, dok su DG u čvorovima 19 i 25 simulirani.

Pretpostavlja se da u čvoru 1 postoji kompenzator C koji ima mogućnost promene reaktivne snage u opsegu:

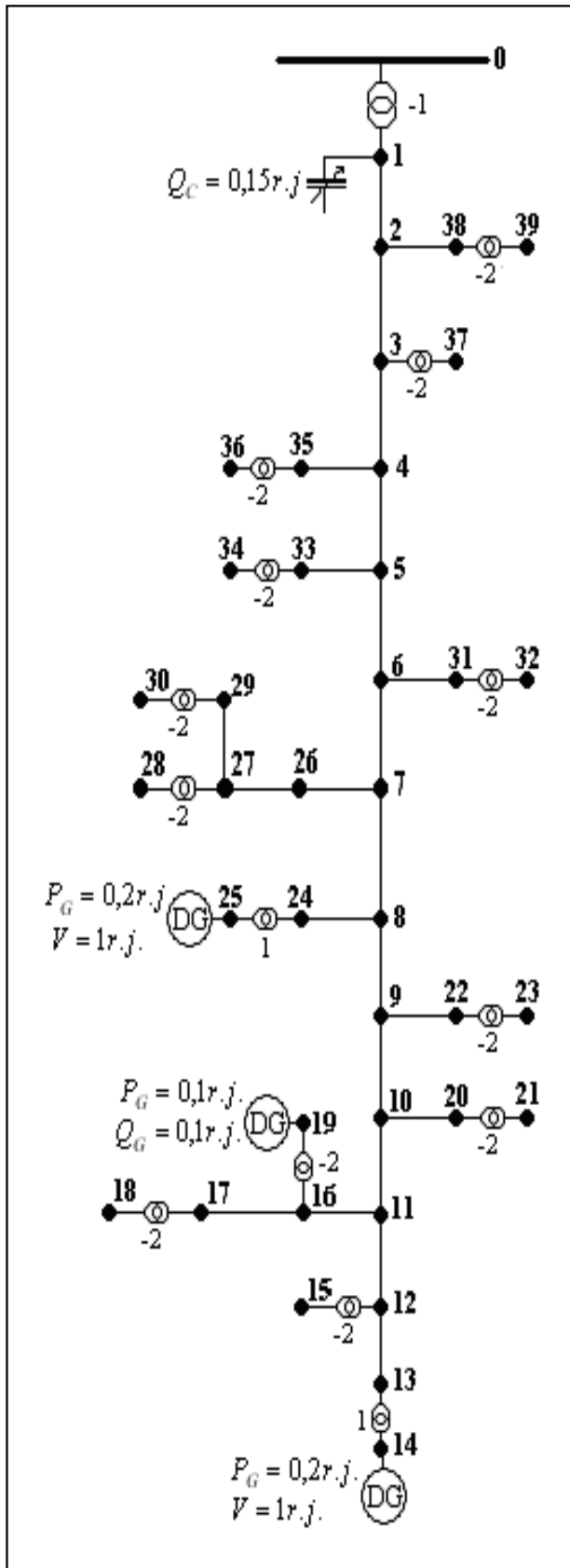
$$Q_C = (0 \div 0,3) \text{ r.j.}$$

Za rešavanje problema je iskorišćena programaska realizacija GA u okviru programskog paketa *MATLAB*. Opcije i parametri GA koji su korišćeni u ovom konkretnom slučaju su:

```

PopulationType: 'doubleVector'
PopInitRange: [2x1 double]
PopulationSize: 20
EliteCount: 2
CrossoverFraction: 0.8000
MigrationDirection: 'forward'
MigrationInterval: 20
MigrationFraction: 0,2000
Generations: 100
TimeLimit: Inf
FitnessLimit: -Inf
StallGenLimit: 50
StallTimeLimit: 20
TolFun: 1.0000e-006
TolCon: 1.0000e-006
InitialPopulation: []
InitialScores: []
InitialPenalty: 10
PenaltyFactor: 100
PlotInterval: 1
CreationFcn: @gacreationuniform
FitnessScalingFcn: @fitscalingrank
SelectionFcn: @selectionstochunif
CrossoverFcn: @crossoverscattered
MutationFcn: {[1x1 function_handle]}
HybridFcn: []
Display: 'final'
PlotFncs: {[1x1 function_handle]}
OutputFncs: []
Vectorized: 'off'

```

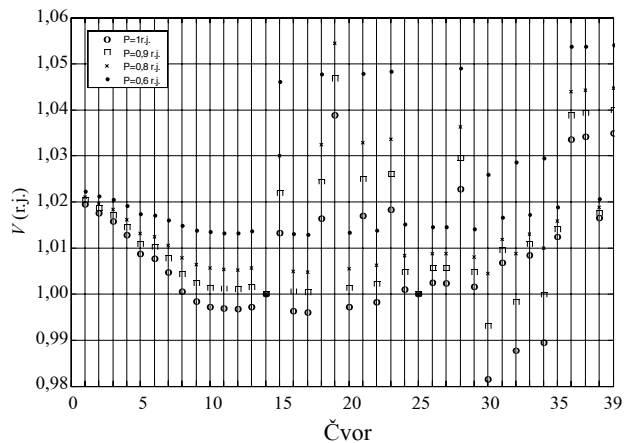


Slika 6. Sezonski (godišnji) plan upravljanja naponima i gubicima energije

6.1. Sezonsko (godišnje) upravljanje naponima i gubicima energije

Određuju se položaji regulacionih izvoda distributivnih transformatora kod kojih se regulacija vrši ručno. Vrednosti tekućih upravljačkih promenljivih su usvojene i date su na slici 6, na kojoj su predstavljeni rezultati. Rezultati su položaji regulacionih izvoda prikazani pored svakog transformatora.

Ukupni gubici energije u sistemu na slici 6 (za godišnji dijagram opterećenja sa slike 5) su 393,76 MWh. Naponski profil za pojedine nivoe snage opterećenja je dat na slici 7.



Slika 7. Naponski profil mreže za sistem na slici 6

6.2. Tekuće upravljanje naponima i gubicima energije

Polazeći od sezonskog plana upravljanja (određeni položaji regulacionih izvoda transformatora, slika 6), za svaki nivo opterećenja definisan dijagramom opterećenja, određuju se tekuće vrednosti upravljačkih promenljivih. U ovom slučaju to su naponi odnosno reaktivne snage DG u čvoru 14 i 25, reaktivna snaga kompenzatora u čvoru 1 i aktivna snaga DG u čvoru 19. Rezultati su dati u tabeli 3.

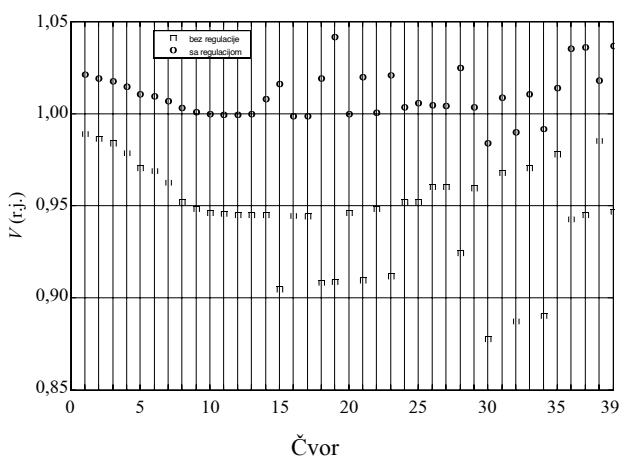
Tabela 3.

Tekuća upravljačka šema

	$P=1$	$P=0,9$	$P=0,8$	$P=0,6$
V_{14} (r.j.)	1,008	1,005	1,010	1,014
Q_{G14} (r.j.)	0,186	0,129	0,141	0,111
V_{25} (r.j.)	1,006	1,020	1,008	1,006
Q_{G25} (r.j.)	0,151	0,200	0,113	0,046
P_{G1} (r.j.)	0,100	0,100	0,100	0,100
Q_{C1} (r.j.)	0,300	0,300	0,250	0,250

U ovom slučaju, kada se za dati nivo snage opterećenja, upravljačke promenljive podese na vrednosti koje su određene u tabeli 3, ukupni godišnji gubici energije iznose 389,6 MWh. Ušteda u odnosu na odsustvo tekuće regulacije (kada bi se primenjivao samo sezonski plan regulacije) iznosi 4,16 MWh godišnje. Ušteda energije u odnosu na odsustvo bilo kakvog plana regulacije tj. kada bi regulacioni izvodi svih transformatora bili u srednjem položaju, DG i kompenzatori isključeni sa mreže, iznosi: 316,4 MWh. Ako se uzme da je cena jednog MWh 50 \$, to je onda ušteda od oko 15 820 \$/godišnje.

Na slici 8 su dati profili napona mreže za slučaj bez primene upravljanja i za slučaj sa primenom sezonskog i tekućeg upravljanja, pri nominalnom opterećenju ($P=1$).



Slika 8. Profil napona test mreže bez primene i sa primenom upravljanja naponima

7. ZAKLJUČAK

Predloženi postupak za upravljanje naponima i minimizaciju gubitaka se može primeniti na realne distributivne mreže sa i bez distribuiranih generatora. Primena genetičkog algoritma omogućava sigurno približavanje optimalnom rešenju koje predstavlja skup vrednosti upravljačkih promenljivih na sezonskom i tekućem nivou planiranja rada distributivne mreže.

Na test primeru je prikazana praktična primena opisanog postupka. Dobijeni rezultati ukazuju na značajne uštede koje se ostvaruju optimalnim upravljanjem rada mreže.

8. LITERATURA

- [1] T. Niknam, A.M. Ranjbar, A.R. Shirani.: IMPACT OF DISTRIBUTED GENERATION ON VOLT/VAR CONTROL IN DISTRIBUTION NETWORKS, IEEE Bologna Power Tech Conference, June 2003.
- [2] G. Celli, E. Ghiani, S. Mocci, F. Pilo: A MULTIOBJECTIVE EVOLUTIONARY ALGORITHM FOR THE SIZING AND SITING OF DISTRIBUTED GENERATION, IEEE trans. On Power Syst. Vol. 20, No.2, May 2005.
- [3] S. Shundhararajan, A. Pahwa: OPTIMAL SELECTION OF CAPACITORS FOR RADIAL DISTRIBUTION SYSTEMS USING A GENETIC ALGORITHM, IEEE Trans. Power Systems, Vol. 9, No. 3, Aug. 1994.
- [4] V. Strezoski, N. Katić, D. Janjić: REGULACIJA NAPONA KAO INTEGRALNI DEO DISTRIBUTIVNOG MENADŽMENT SISTEMA, Elektropriroda, br. 2, 2002.
- [5] E. Carpaneto, G. Chicco, J.S. Akilimali: BRANCH CURRENT DECOMPOSITION METHOD FOR LOSS ALLOCATION IN RADIAL DISTRIBUTION SYSTEMS WITH DISTRIBUTED GENERATION, IEEE Trans. Power Systems, 2006.
- [6] D. Shirmohammadi; H.W. Hong; A. Semlyen and G. X. Luo.: A COMPENSATION-BASED POWER FLOW METHOD FOR WEAKLY MESHED DISTRIBUTION AND TRANSMISSION NETWORKS, IEEE Trans. Power Systems, Vol. 3, No. 2, May 1988.
- [7] C.S. Cheng, D. Shirmohammadi: A THREE-PHASE POWER FLOW METHOD FOR REAL-TIME DISTRIBUTION SYSTEM ANALYSIS, IEEE Trans. Power Systems, Vol 10, No. 2, May 1995.
- [8] K.Y. Lee, M.A. El-Sharkawi: TUTORIAL ON MODERN HEURISTIC OPTIMIZATION TECHNIQUES WITH APPLICATIONS TO POWER SYSTEMS, IEEE Power Engineering Society

Rad je primljen u uredništvo 31. 07. 2006. godine



Jordan Radosavljević (1973) je diplomirao na Elektrotehničkom fakultetu u Prištini 1998. godine i magistrirao na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu 2003. godine. Zaposlen je na Fakultetu tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici kao asistent. Oblast njegovog interesovanja je analiza prenosnih i distributivnih mreža i distribuirana proizvodnja električne energije.



Miroljub Jevtić (1950) je diplomirao, magistrirao i doktorirao na Elektrotehničkom fakultetu u Skoplju na smeru za Elektroenergetske sisteme. Odbranio je i drugi doktorat, na Elektrotehničkom fakultetu Sankt Peterburškog tehničkog univerziteta, na smeru za električnu izolaciju, kablove i kondenzatore. Bio je zaposlen u Fabrici kablova Zaječar (1981 - 1991) kao rukovodilac razvoja i na drugim rukovodećim mestima, zatim na Tehničkom fakultetu u Boru (1991-1997) kao docent i vanredni profesor i na Elektrotehničkom fakultetu u Prištini (sada Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica) kao vanredni i redovni profesor na energetskom smeru. Objavio je preko 80 naučnih i stručnih radova, među kojima i veći broj u vodećim međunarodnim časopisima (IEEE, IEE, Electrical Engineering i dr.)

Ilija Stevanović,
Zoran Ćirić i Dušan Arnautović

Klasifikacija i prikaz stanja sistema pobude sinhronih generatora u Elektroprivredi Srbije

Pregledni rad
UDK: 62-523; 621.311.18; 621.313.1

Rezime:

U radu se analiziraju vrste pobudnih sistema primenjenih u Elektroprivredi Srbije. Prvo je izvršena opšta podela sistema pobude prema konstrukciji, načinu i vrsti napajanja. Zatim je, prema utvrđenoj podeli sistema pobude, izvršena klasifikacija sistema pobude pojedinih generatora u Elektroprivredi Srbije. Na osnovu izvršene analize procenjena je potreba za njihovom revitalizacijom.

Ključne reči: sistem pobude, klasifikacija, revitalizacija

Abstract:

**CLASSIFICATION AND ESTIMATION OF THE LIFETIME OF EXCITATION SYSTEMS
OF SYNCHRONOUS GENERATORS IN ELECTRICAL INDUSTRY OF SERBIA**

In this paper all types of the excitation systems of synchronous generators in Electrical Industry of Serbia are analysed. First, the excitation systems are classified according to construction, mode and kind of supply. After that, the excitation systems of all generators in power plants of Serbia are classified. At the end, the necessity for their revitalisation is estimated and defined.

Key words: excitation system, classification, revitalization

1. UVOD

Sistemi pobude sinhronih generatora su osnovni elementi koji vrše primarnu regulaciju u elektroenergetskom sistemu (EES). Zbog toga je potrebno dobro poznavati njihove tehničke karakteristike i mogućnosti. Radi lakšeg sagledavanja ovih parametara potrebno je izvršiti klasifikaciju sistema pobude u Elektroprivredi Srbije prema opšte definisanim kategorijama.

2. OPŠTA PODELA SISTEMA POBUDE

Moguće je izvršiti klasifikaciju sistema pobude sinhronih generatora na više načina u zavisnosti od izbora kriterijuma za analizu [1].

Prema načinu napajanja sistemi pobude se dele na:

- sisteme pobude sa nezavisnim napajanjem i
- sisteme pobude sa samopobudom.

Kod sistema pobude sa nezavisnim napajanjem izvor napajanja je ostvaren iz sopstvene potrošnje elektrane ili iz mreže sa strane generatorskog prekidača prema blok transformatoru.

Samopobudni sistemi pobude se napajaju sa šina generatora.

Prema konstrukciji moguće je podeliti sisteme pobude na:

- elektromašinske;
- statičke i

Mr Ilija Stevanović, dipl. ing. el., Zoran Ćirić, dipl. ing. el., dr Dušan Arnautović, dipl. ing. el.
—Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, 11 000 Beograd, Koste Glavinića 8a

– mešovite (mašinsko-statičke).

Elektromašinski sistemi pobude kao osnovni konstrukcioni element koriste generator jednosmerne struje, *statički sistemi pobude* upravljivi ispravljač, a *mešoviti* generator naizmenične struje i neupravljivi pretvarač (ispravljač).

Prema vrsti izvora koji obezbeđuje jednosmernu pobudnu struju [2] sistemi pobude se dele na:

- sisteme pobude sa jednosmernom budilicom (DC),
- sisteme pobude sa naizmeničnom budilicom (AC) i
- statičke sisteme pobude (ST).

Sistemi pobude sa jednosmernim budilicama (DC), kao izvor struje pobude, koriste generator jednosmerne struje. Pogon generatora jednosmerne struje se ostvaruje preko zajedničke osovine sa sinhronim generatorom ili preko asinhronog motora napojenog iz sopstvene potrošnje elektrane.

Tipične šeme ovog tipa sistema pobude date su na slikama 1 i 2 [3]. Sistem pobude sa jednom budilicom prikazan je na slici 1.

Budilicu čini generator jednosmerne struje sa paralelnom pobudom.

Ako generator jednosmerne struje ima nezavisnu pobudu, tada u sistemu pobude sinhronog generatora postoji i pomoćna budilica koja je realizovana

na kao generator jednosmerne struje sa paralelnom pobudom. Šema ovog tipa sistema pobude data je na slici 2.

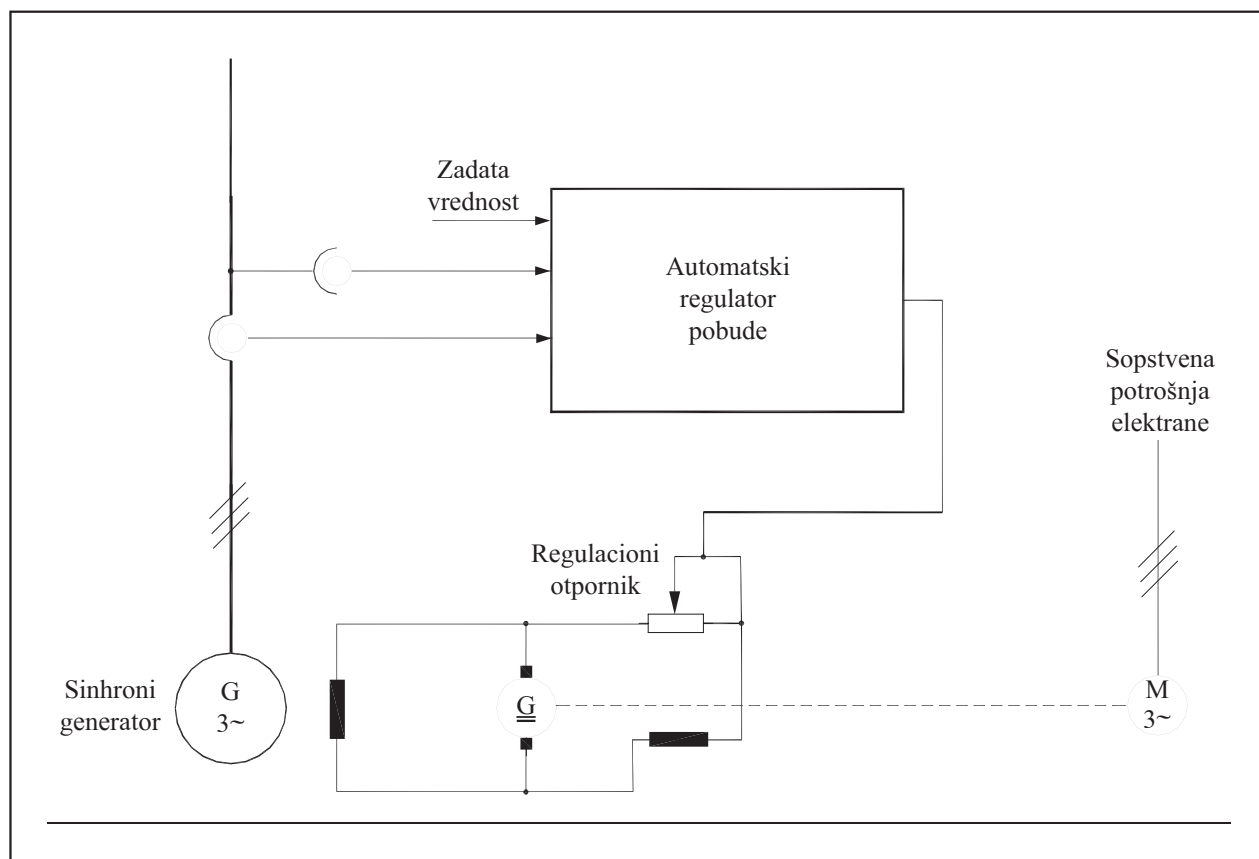
Regulacija napona generatora se vrši delovanjem na regulacioni otpornik u kolu pobude generatora jednosmerne struje sa paralelnom ili nezavisnom pobudom.

Generalno, pomoćna budilica može da bude i neka naizmenična mašina koja služi za napajanje upravljivog izlaznog stepena regulatora pobude koji pobuđuje glavnu budilicu.

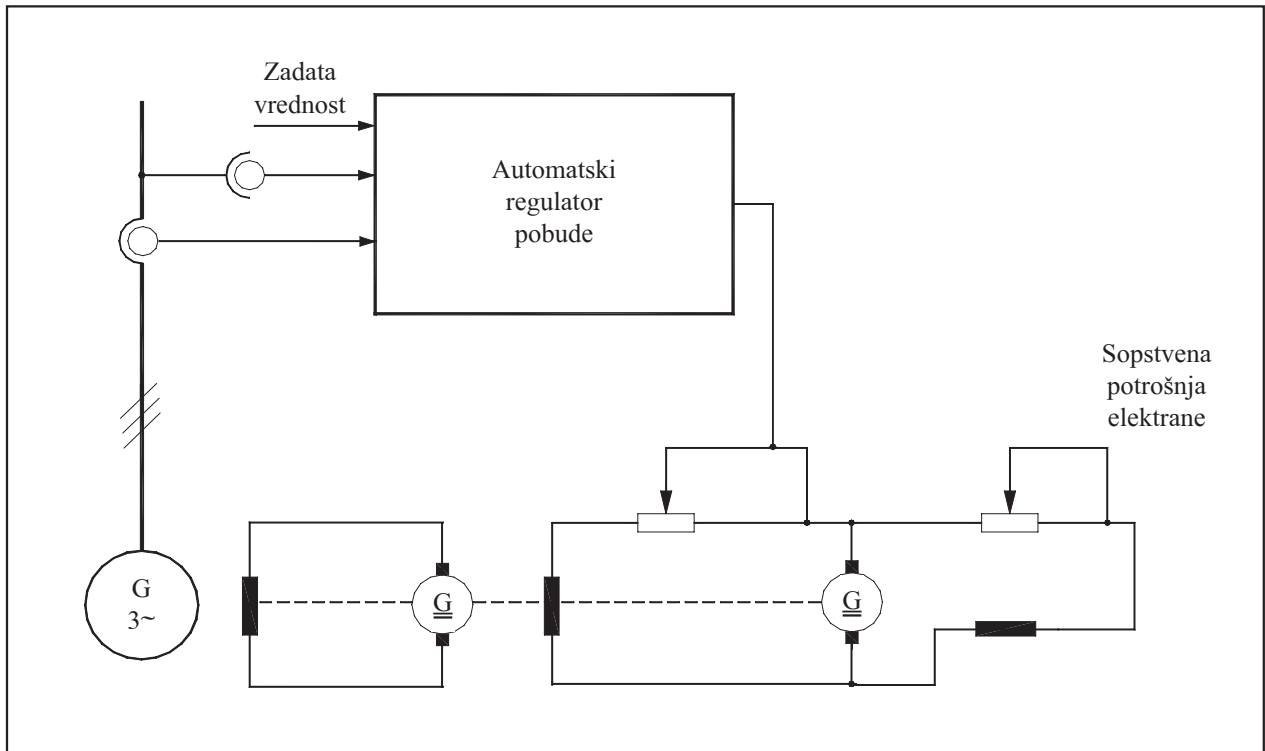
Upotrebljeni regulatori su elektromehaničkog tipa sa promenljivim otpornikom, elektromagnetni sa selenskim ispravljačima ili elektronski sa tiristor-skim ili tranzistorskim izlaznim stepenom.

Sistemi pobude sa naizmeničnom budilicom (AC) kao izvor energije za pobudni namotaj sinhronog generatora koriste pomoćni sinhroni generator i neupravljive (diode) ili upravljive (tiristori) energetske pretvarače.

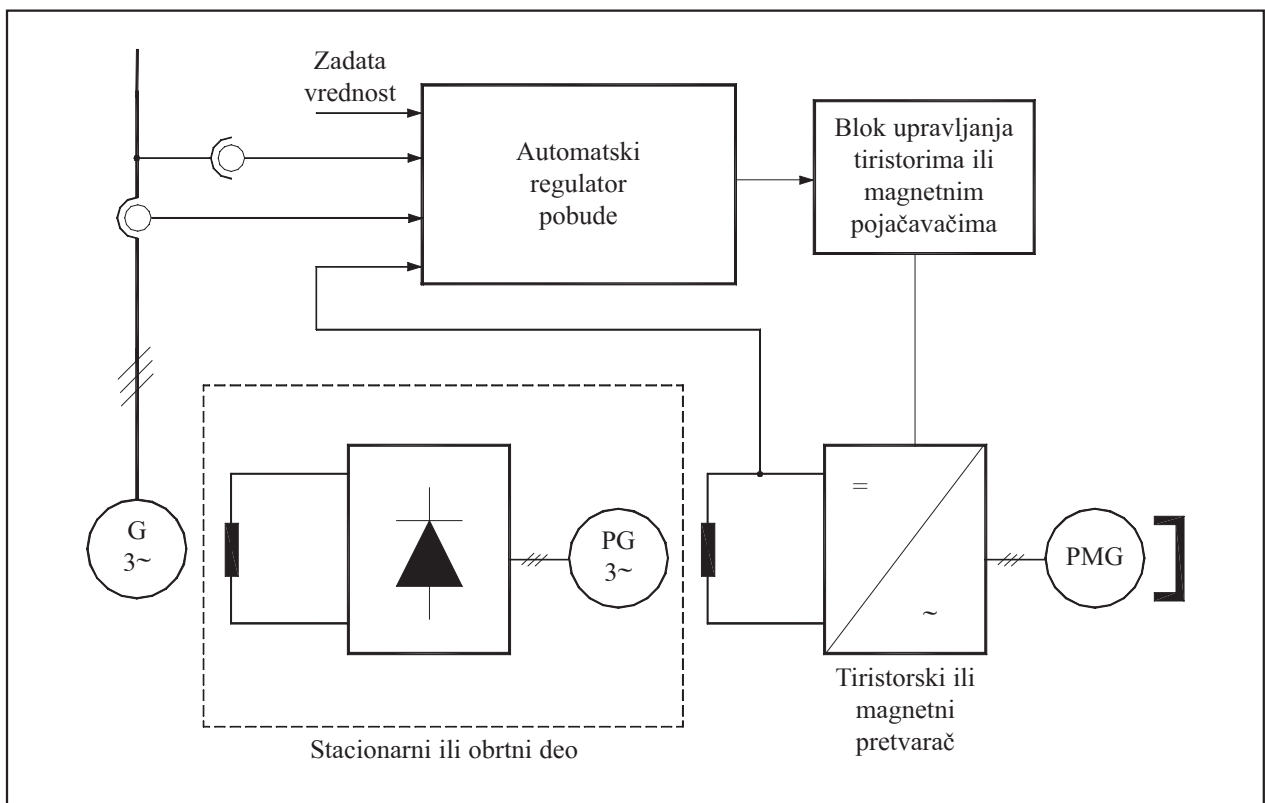
Pobudni energetske pretvarači mogu biti stacionirani ili obrtni. Ako je energetske pretvarač obrtnog tipa onda se nalazi na rotoru glavne pobudne mašine zajedno sa njenim trofaznim naizmeničnim namotajem.



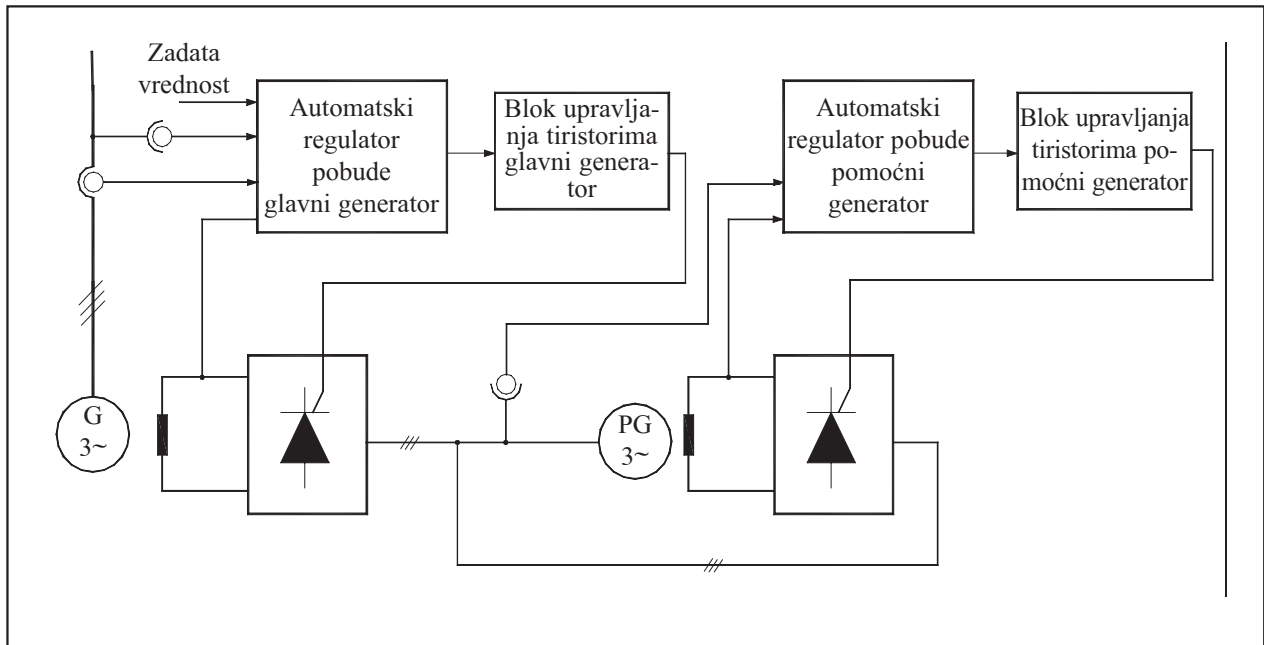
Slika 1. Sistem pobude sa jednom jednosmernom budilicom



Slika 2. Sistem pobude sa glavnom i pomoćnom jednosmernom budilicom



Slika 3. Sistem pobude sa naizmeničnom budilicom i neupravljivim pretvaračem



Slika 4. Sistem pobude sa naizmjeničnom budilicom i upravljivim pretvaračima

Dakle, pobudni namotaj sinhronog generatora, diodni ispravljač i indukt glavne budilice su povezani čvrstim vezama i obrću se istom brzinom. Oni čine jedan beskontaktni sistem u kome nisu neophodne četkice pa je olakšano njihovo održavanje.

Pobudni namotaj glavne budilice (induktor) se nalazi na njenom statoru i kroz njega protiče promjenljiva jednosmerna struja.

Da bi se povećala brzina odziva sistema pobude, pobudni generatori su konstruisani da rade sa višim frekvencijama (100 Hz do 400 Hz). Pogon pomoćnog generatora je sa istog vratila kao i sinhronog generatora.

Na slici 3 je prikazan sistem pobude sa naizmjeničnom budilicom i neupravljivim energetskim pretvaračem u pobudnom kolu sinhronog generatora. Napajanje diodnog ispravljača se vrši od pomoćnog generatora naizmjenične struje čija se pobuda reguliše. Prethodno opisani deo pobude može da bude stacioniran ili da se obrće, kao što je slučaj kod beskontaktnog sistema pobude. Pobuda pomoćnog generatora dobija energiju od generatora sa permanentnim magnetima, a regulisanje struje pobude se ostvaruje tiristorskim ili magnetnim pretvaračima.

Ako je upotrebljen magnetni pretvarač, onda glavna naizmjenična budilica ima tri pobudna namotaja.

Jedan pobudni namotaj daje osnovnu pobudu, a preostala dva pobudna namotaja služe za regulaciju napona. Pri tome, jedan od njih stvara magnetnopoludnu silu u smeru povećanja pobude, a drugi u smeru njenog smanjenja. Na preseku ovih karakteri-

stika nalazi se radna tačka magnetnih pojačavača [4].

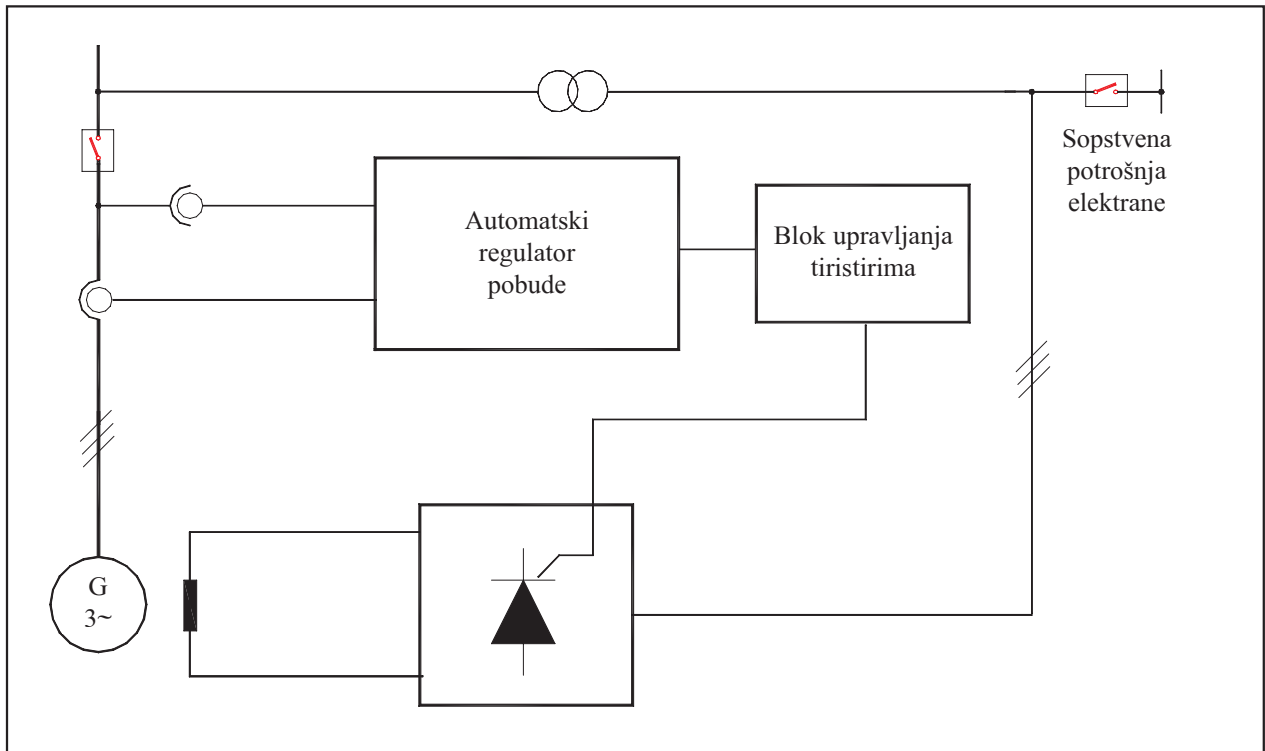
Na slici 4 je prikazan sistem pobude sa naizmjeničnom budilicom i sa upravljivim energetskim pretvaračima (tiristorima). Upravljanje energetskim tiristorima se vrši pomoću bloka upravljanja tiristorima i automatskog regulatora pobude glavnog generatora.

Pomoćni sinhroni generator obezbeđuje napajanje energetskog pretvarača glavnog generatora i nalazi se na istom vratilu sa njim. On se pobuđuje po principu samopobude i ima svoj tiristorski pretvarač i automatski regulator napona za održavanje konstantnog napona na svojim izvodima. Za regulaciju napona pomoću ovog tipa sistema pobude koriste se magnetni ili elektronski regulatori pobude.

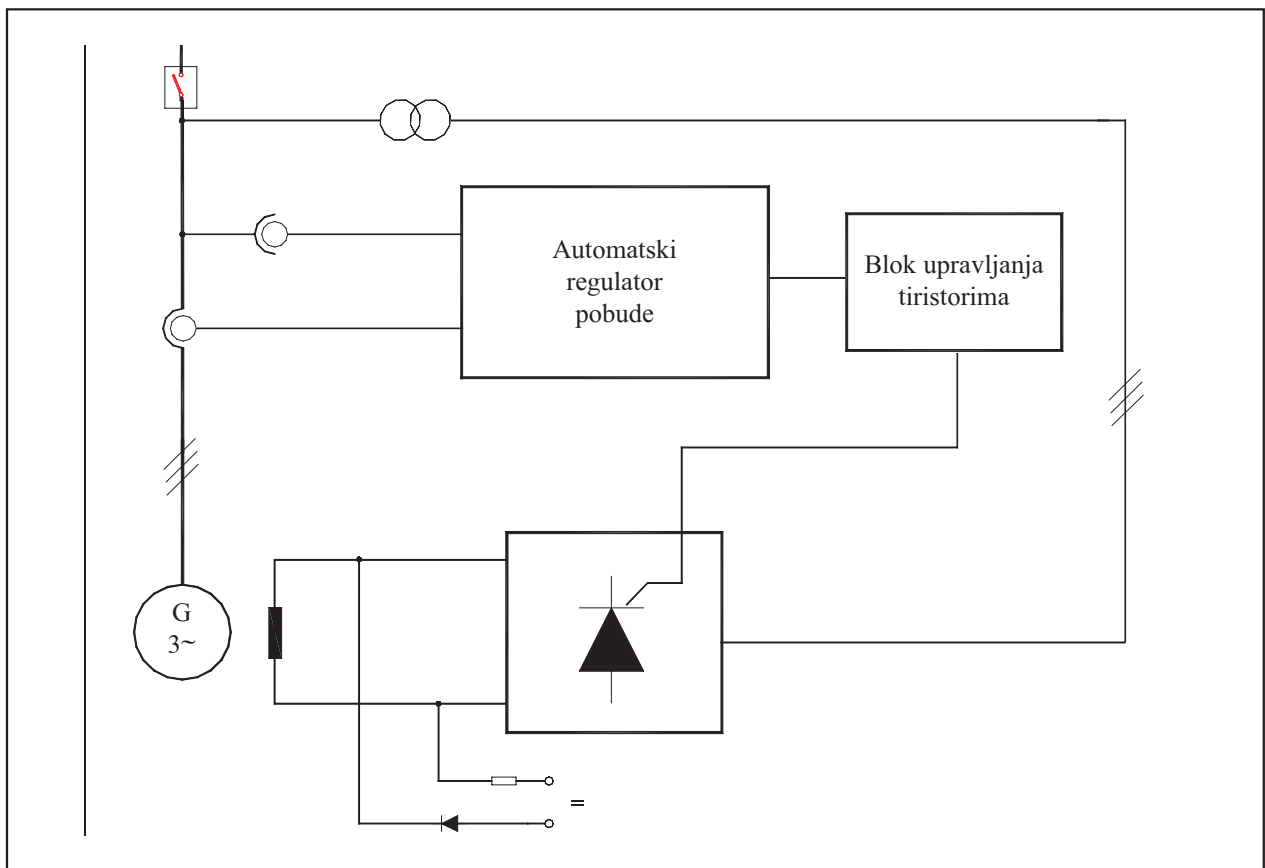
Statički (ST) sistemi pobude uzimaju energiju za pobudu sa krajeva generatora koga pobuđuju (samopobuda) ili sa sabirnica sopstvene potrošnje elektrane (nezavisna pobuda). Energetski deo se sastoji od upravljivih energetskih pretvarača (tiristora) i pobudnog transformatora.

Pobudni transformator može biti obični energetski transformator ili kompaundni transformator sa strujnom ili faznom kompaundacijom. Kompaundni pobudni transformator se koristi za kompenzaciju pada napona napajanja tiristorskih pretvarača pri bliskom kratkom spoju u mreži i sistemu pobude sa samopobuđivanjem.

Na slici 5 je prikazan statički sistem pobude sa nezavisnim napajanjem. Nezavisno napajanje sistema pobude je ostvareno ili iz sopstvene potrošnje



Slika 5. Statički sistem pobude sa nezavisnim napajanjem



Slika 6. Statički sistem pobude sa samopobuđivanjem

elektrane ili iz mreže, povezivanjem primarne strane pobudnog transformatora na stranu generatorskog prekidača prema blok transformatoru.

Na taj način stalno je obezbeđen naizmjenični napon na tiristorskim mostovima.

Slika 6 prikazuje osnovnu šemu statičkog sistema pobude sa samopobuđivanjem.

Da bi sistem pobude započeo indukovanje napona u sinhronom generatoru, neophodnog za napajanje tiristorskih mostova, potrebno je izvršiti početno pobuđivanje generatora. Ono može biti realizovano iz akumulatorske baterije ili iz sopstvene potrošnje elektrane preko neupravljivog ispravljača. Ovako dobijen jednosmerni napon kratkotrajno se dovodi na pobudni namotaj sinhronog generatora pri čemu indukuje napon na izvodima generatora dovoljno velik da bi se započelo vođenje tiristorskih mostova. Posle toga, osnovna tiristorska pobuda obezbeđuje potrebnu energiju za pobuđivanje generatora. Sve komponente statičkog sistema pobude su bez pokretnih delova, a upotrebljeni regulatori su elektronski (analogni i digitalni).

3. KLASIFIKACIJA SISTEMA POBUDE U ELEKTRANAMA ELEKTROPRIVREDE SRBIJE

U tabeli 1 data je podela sistema pobude sinhronih generatora u Elektroprivredi Srbije prema vrsti izvora pobudne struje [5].

Prema toj podeli, sisteme pobude sa jednosmernom budilicom ima 31 generator od kojih je 14 sa jednom budilicom, a 17 sa glavnom i pomoćnom budilicom. Pomoćna budilica je u većini slučajeva generator jednosmerne struje, dok je u jednom slučaju iskorišćen generator naizmjenične struje sa stalnim magnetima (TE „Kolubara A”, generator G5), u jednom slučaju naizmjenični generator frekvencije 100 Hz (TE „Morava”) i u još jednom slučaju generator frekvencije 400 Hz (TE „Kostolac A”, generator G2).

Ovi sistemi pobude su u većini slučajeva instalisani na hidrogeneratorima, dok samo 5 turbogeneratora ima jednosmerne budilice. To su uglavnom mašine ranije proizvodnje, snage do 100 MW.

Sistemi pobude sa naizmjeničnom budilicom se nalaze na 10 agregata, i to 4 generatora poseduju diodne ispravljače u glavnom energetsom sklopu, a 6 upravljive (tiristorske) energetske pretvarače. Jedan od generatora ima obrtni diodni ispravljač, čime je izbegnut sistem sa četkicama (TE -TO „Sremska Mitrovica”, generator G3). Diodni pretvarači su primenjeni na termo jedinicama, a tiristorski na hidro jedinicama.

Statički sistem pobude je instalisan na 31 generatoru. Od toga 7 agregata ima sistem pobude sa ne-

Tabela 1.

Klasifikacija sistema pobude prema vrsti izvora pobudne struje

1. SISTEMI POBUDE

SA JEDNOSMERNOM BUDILICOM

1.1. Sistemi pobude sa jednom jednosmernom budilicom

- TE Kostolac A – G1
- HE Ovčar Banja – G1, G2
- HE Medjuvršje – G1, G2
- Vrla 1 – G3, G4
- Vrla 2 – G2
- Vrla 3 – G2
- Vrla 4 – G2
- HE Zvornik – G1, G2, G3, G4

1.2. Sistemi pobude sa glavnom

i pomoćnom jednosmernom budilicom

- TE Kolubara A – G1, G2 (G=)
- TE Kolubara A – G3, G4 (G≈)
- TE Kolubara A – G5 (PMG)
- TE Morava – G1 (G≈, 100 Hz)
- TE Kostolac A -G2 (G≈, 400 Hz)
- HE Vrla 1 – G1, G2 (G=)
- HE Vrla 2 – G1 (G=)
- HE Vrla 3 – G1 (G=)
- HE Vrla 4 – G1 (G=)
- HE Kokin Brod – G1, G2 (G=)
- HE Potpeć – G1, G2, G3 (G=)

2. SISTEMI POBUDE

SA NAIZMENIČNOM BUDILICOM

2.1. Sistemi pobude sa naizmjeničnom budilicom

i neupravljivim energetsom pretvaračem

- TE Nikola Tesla A – G3, G4, G5
- TE-TO Sremska Mitrovica – G3

2.2. Sistemi pobude sa naizmjeničnom budilicom

i upravljivim energetsom pretvaračem

- HE Đerdap I – G1, G2, G3, G4, G5, G6

3. STATIČKI SISTEMI POBUDE

3.1. Statički sistemi pobude sa nezavisnim pobuđivanjem

- TE Nikola Tesla A – G1, G2, G6
- TE Kostolac B – G1, G2
- HE Bistrica – G1, G2

3.2. Statički sistemi pobude sa samopobuđivanjem

- TE Nikola Tesla B – G1, G2
- TE-TO Zrenjanin – G1
- TE-TO Novi Sad – G1, G2
- HE Đerdap II – G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, G8, G9, G10
- HE Pirot – G1, G2
- HE Bajina Bašta – G1, G2, G3, G4
- RHE Bajina Bašta – G1, G2
- HE Uvac – G1

Napomena: Oznake u tabeli 1 za tačku 1.2 su:

- G= – pomoćna budilica je generator jednosmerne struje;
- G≈ – pomoćna budilica je generator naizmjenične struje i
- PMG – pomoćna budilica je generator sa stalnim magnetima.

zavisnim pobuđivanjem, i to su uglavnom termoblo-kovi. Preostala 24 agregata su opremljena sistemima pobude sa samopobuđivanjem. Ovakav sistem po-bude se nalazi na 5 turbogeneratora, kao i na dva agregata u jedinoj reverzibilnoj hidroelektrani u elektroenergetskom sistemu Srbije (RHE „Bajina Bašta”). Statički sistem pobude je ugrađen na 10 tur-bogeneratora i 21 hidrogeneratoru.

Dakle, kod 26 hidrogeneratora od ukupno 53, u okviru sistema pobude koriste se jednosmerne budilice što čini 49,1 %, kod 6 hidrogeneratora, odnosno 11,3 %, su to generatori naizmenične struje, a u preostalih 39,6 %, tj. kod 21 hidrogeneratora, su statički tiristorski pretvarači.

Kod turbogeneratora situacija je sledeća: 5 turbogeneratora od 19 ima ugrađenu jednosmernu budilicu u sistemu pobude ili 26,3 %, 4 generatora ili 21,1 % su sa naizmeničnom budilicom, a 10 turbo-generatora ili 52,6 % su sa statičkim sistemom po-bude.

Iz izvršene analize vidi se da 43,1 % sinhronih generatora u Elektroprivredi Srbije ima još uvek jednosmerne budilice u sistemu pobude, sistem pobude sa naizmeničnom budilicom primenjen je kod 13,8 % mašina, a statičke pobude su instalisane na 43,1 % agregata. U tabeli 2 je prikazana ova analiza.

Generatori jednosmerne struje u sistemu pobude sinhronih generatora su najstarije rešenje i najzahtevniji su u pogledu održavanja zbog prisustva komutatora i četkica.

Sistemi pobude sa generatorom naizmenične struje imaju tu dobru osobinu što su u stanju da nezavisno od mreže obezbede energiju za pobudu sinhronog generatora jer se sa njim nalaze na istom vratilu.

Nedostatak su mu prisustvo pokretnih delova, ležajeva, uljnog sistema, a vrlo često i reduktora.

Statički sistemi pobude poseduju najsavremenija rešenja jer se sastoje od suvih pobudnih transformatora i tiristorskih pretvarača. Prednost im je i u lakom održavanju jer nemaju delova koji se upotrebom troše i deformišu. Veoma su fleksibilni u pogledu snage i načina hlađenja. Pošto su modularne konstrukcije, jednostavnom zamenom oštećenih delova posle kvara na njima, sistem pobude je veoma brzo ponovo raspoloživ za pogon.

4. OCENA STANJA POBUDNIH SISTEMA U EPS-U

Zbog potrebe za održavanjem potrebnog kvaliteta električne energije, svi sistemi za održavanje i regulaciju napona u elektroenergetskom sistemu moraju da zadovoljavaju oštre kriterijume koji se odnose na njihovu funkcionalnost, pouzdanost i raspoloživost. Sistemi pobude sinhronih generatora, kao osnovni uređaji za regulaciju napona i održavanje statičke i dinamičke stabilnosti EES-a, moraju da imaju sve neophodne osobine koje bi ispunile ove kriterijume.

Pojedini sistemi pobude, kao što su sistemi pobude sa jednosmernim budilicama, nisu u stanju da odgovore savremenim zahtevima zbog tehničke, tehnološke i funkcionalne zastarelosti. Ove sisteme pobude potrebno je što pre zameniti novim statičkim sistemima pobude sa digitalnim regulatorima.

Kod sistema pobude sa naizmeničnim budilicama moguće je zadržati generatore naizmenične struje, a osavremenjavanje izvršiti kroz zamenu zastarelih selenskih i diodnih ispravljača savremenim tiri-

Tabela 2.

Pregled primenjenih vrsta sistema pobude u Elektroprivredi Srbije

Vrste sistema pobude	Sistemi pobude sa jednosmernom budilicom (DC)	Sistemi pobude sa naizmeničnom budilicom (AC)	Statički sistemi pobude (ST)	Ukupno generatora
Broj turbogeneratora	5 (26,3 %)	4 (21,1 %)	10 (52,6 %)	19 (100 %)
Broj hidrogeneratora	26 (49,1 %)	6 (11,3 %)	21 (39,6 %)	53 (100 %)
Ukupan broj generatora sa datim sistemom pobude	31 (43,1 %)	10 (13,8 %)	31 (43,1 %)	72 (100 %)

storskim pretvaračima i mikroprocesorskim upravljanjem.

Neke od postojećih statičkih sistema pobude je, zbog starosti i nedovoljne funkcionalnosti i fleksibilnosti, takođe, potrebno delimično ili potpuno zameniti savremenim sistemima pobude.

Konkretan plan, redosled i dinamiku zamene sistema pobude potrebno je uraditi u okviru planskih aktivnosti u „Elektroprivredi Srbije”.

5. ZAKLJUČAK

U radu je dat pregled vrsta i karakteristika sistema pobude koji se sada nalaze u upotrebi u elektranama Elektroprivrede Srbije.

S obzirom na zastarelost velikog broja sistema pobude u EPS-u, potrebno je izvršiti njihovu modernizaciju potpunom ili delimičnom zamenom svih sistema pobude čiji životni vek je prošao savremenim statičkim sistemima pobude opremljenim digitalnim regulatorima.

6. LITERATURA

- [1] M. Čalović: REGULACIJA ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA, TOM 2, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Beograd, 1997.
- [2] IEE Committee Report: PROPOSED EXCITATION SYSTEM DEFINITIONS FOR SYNCHRONOUS MACHINES, IEEE Trans. PAS, No 8, 1969.
- [3] Gumin, M. I.: RASČET REŽIMOV I VIBOR STRUKTURNIH SHEM REGULIROVANJA NAPRAŽENIJA NA ELEKTRIČESKIH STANCIJAH, BTI ORGRES, Moskva, 1970.
- [4] I. I. Solovev: AVTOMATIČESKIE REGULATORI SINHRONIH GENERATOROV, Energoizdat, Moskva, 1981.
- [5] I. Stevanović, Z. Ćirić, D. Arnautović: REGULACIJA NAPONA ODNOSNO POBUDNE STRUJE SINHRONIH GENERATORA U ELEKTRANAMA ELEKTROPRIVREDE SRBIJE SA GLEDIŠTA ZAHTEVA SISTEMA, studija urađena za EPS, Institut „Nikola Tesla”, Beograd, 2005. god., 188 strana.

Rad je primljen u uredništvo 27. 02. 2007. godine



Ilija Stevanović je rođen 1963. godine u Brčkom, BiH. Elektrotehnički fakultet, smer elektroenergetski, završio je 1987. godine u Tuzli. Posle završetka fakulteta, do 1992. godine je radio na Elektrotehničkom fakultetu u Tuzli kao asistent na predmetima „Električne mašine” i „Elektromagnetika”. Postdiplomske studije, smer „Električne mašine”, završio je 1992. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Od 1994. godine zaposlen je u EI „Nikola Tesla” u Centru za automatiku i regulaciju.

Profesionalno zanimanje mu je vezano za istraživanje, razvoj, projektovanje, ispitivanje, izradu i puštanje u rad: sistema pobude sinhronih generatora, električnih zaštita, uređaja za automatizaciju malih hidroelektrana i uređaja za napajanje i regulaciju elektrostatičkih filtera, kao i specijalna ispitivanja električnih mašina.



Zoran Ćirić je rođen 1950. godine u Izvoru kod Pirota. Gimnaziju je završio u Pirotu, a Elektrotehnički fakultet u Beogradu. Po završetku studija radio je u IGP „Tigar” Pirot i HE „Đerdap”. Od 1982. godine vrši nadzor, učestvuje u ispitivanjima i puštanju u rad HE „Đerdap II”. Po završetku prve faze izgradnje „Đerdapa II” radi na radnom mestu šefa elektro-mašinskog održavanja. Od 1989. godine radi u EI „Nikola Tesla” u Centru za automatiku i regulaciju gde se bavi: specijalnim merenjima na električnim mašinama, projektovanjem i izradom pobudnih sistema malih, srednjih i velikih generatora, automatizacijom malih hidroelektrana, ispitivanjima i otklanjanjem nedostataka na sistemima pobude u hidro i termoelektranama.



Dušan Arnautović rođen je 1950. godine u Beogradu, gde je završio osnovnu školu i gimnaziju. Diplomirao je 1973. godine na Energetskom odseku, magistrirao 1978. godine na smeru Elektroenergetski sistemi i doktorsku tezu odbranio 1988. godine, sve na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Od 1975. do 1977. godine je stažirao na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Godine 1977. zaposlio se u EI „Nikola Tesla”, Centar za automatiku i regulaciju, gde i danas radi na mestu direktora Centra.

Godine 1995. stiče naučno zvanje višeg naučnog saradnika. U dosadašnjem radu angažovan je u oblastima: regulaciji elektrana i elektroenergetskih sistema, modelovanju i simulaciji rada elektrana i elektroenergetskih sistema i primeni moderne teorije upravljanja u elektroenergetskim sistemima. Kao autor ili koautor do sada je objavio preko 85 međunarodnih i domaćih naučnih i stručnih radova. Rukovodio je i saradivao na izradi preko 50 studija i istraživačkih projekata.

*Slobodan Škundrić, Srđan B. Milosavljević,
Nidžo Miladinović, Srboљjub Vukovojac
i Dragan S. Kovačević*

Sistem za monitoring dopreme uglja u TE – „Nikola Tesla – B”

Stručni rad
UDK: 622.063.8; 622.69

Rezime:

U radu je prikazan sistem za monitoring dopreme uglja u TE-„Nikola Tesla- B”, razvijen u Elektrotehničkom institutu „Nikola Tesla” u Beogradu. Dat je sažet prikaz hardvera i softera monitoring sistema, sa posebnim osvrtom na rad vage na traci i merača brzine vetra kao sastavnih delova ovog sistema. Navedene su osnovne tehničke karakteristike i prednosti realizovanog sistema za monitoring dopreme uglja.

Ključne reči: *monitoring sistem, transportne trake, vage na traci, merenje brzine vetra*

Abstract:

THE MONITORING SYSTEM FOR COAL DELIVERY IN POWER PLANT „NIKOLA TESLA – B”

This paper presents the monitoring system for coal delivery in Power Plant „Nikola Tesla – B”, developed by Electrical Engineering Institute „Nikola Tesla”. Hardware and software that have been applied in this system are described, particularly subsystem elements such as belt scales and wind-vector velocimeter. The basic technical characteristics and construction advantages are also described.

Key words: *monitoring system, belt scales, wind-vector velocimeter*

1. UVOD

Termoelektre su nesumljivo vrlo značajni, ali i vrlo složeni elektroenergetski objekti. Efikasan i pouzdan rad jedne termoelektre zavisi od pouzdanosti i efikasnosti rada svih njenih delova. Na početku tog lanca sastavnih elektroenergetskih pogona nalazi se pogon za dopremu uglja. Ovaj pogon obezbeđuje kontinualnu i pouzdanu dopremu uglja neophodnog za rad termoelektre. Pogon za dopremu uglja obuhvata: železnički transport unutar termoelektre, postrojenje za istovar uglja iz vagona, sistem transportnih traka, presipne skretnice, odlagalište uglja sa odlagačem i bagerom. Složenost i va-

žnost ovog pogona podrazumevaju neprekidan nadzor i upravljanje od strane stručnog osoblja termoelektre. Postojeći sistem signalnih uređaja, za ključno sa sinopsis šemom celog pogona dopreme uglja olakšava upravljanje ovim pogonom.

Razvojem informacionih tehnologija stvoreni su uslovi da se upravljanje pogonom za dopremu uglja osavremeni, a rad ovog pogona učini još pouzdanijim, efikasnijim i komfornijim. Zato je sistem baziran na PC logičko rešenje za savremeno upravljanje pogonom za dopremu uglja. Stručnjaci termoelektre zaduženi za rad ovog pogona precizno su definisali tehničke zahteve za monitoring dopreme uglja. Monitoring sistem treba da omogućiti:

*Dr Slobodan Škundrić, dipl. ing. el., Srđan B. Milosavljević, dipl. ing. el.,
Nidžo Miladinović, dipl. ing. el., Srboљjub Vukovojac, dipl. ing. el. i dr Dragan S. Kovačević, dipl. ing. el.
– Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, 11 000 Beograd, Koste Glavinića 8a*

- trenutni i permanentni uvid u rad svih elemenata pogona;
- rad i rezultate merenja vaga na traci;
- rezultate merenja brzine vetra na odlagalištu uglja;
- dnevnu, mesečnu i ukupnu evidenciju mase dopremljenog uglja;
- potrošnju uglja po blokovima i
- realan uvid u stanje uglja na odlagalištu.

Na bazi ovih tehničkih zahteva razvijen je odgovarajući hardver i namenski softver sistema za monitoring dopreme uglja. Najvažnije karakteristike sistema kao i primenjena tehnička rešenja predstavljena su u ovom radu. Kako su vage na transportnim trakama R_{3L} i R_{3D} , kao i merač brzine vetra sastavni deo monitoring sistema za dopremu uglja, to su isti u radu posebno prikazani.

2. MONITORING SISTEM

Realizacija sistema za monitoring dopreme uglja prema postavljenim tehničkim zahtevima podrazumevala je razvoj odgovarajućeg hardvera i namenskog softvera. Tehnološka platforma za rad jednog monitoring sistema jeste PC, ali prikupljanje relevantnih podataka o aktivnosti elemenata pogona kao i rezultata merenja zahtevalo je razvoj i izradu specifičnih uređaja kao što su:

- uređaj za akviziciju i prenos digitalnih podataka;
- dve elektronske vage na transportnim trakama i

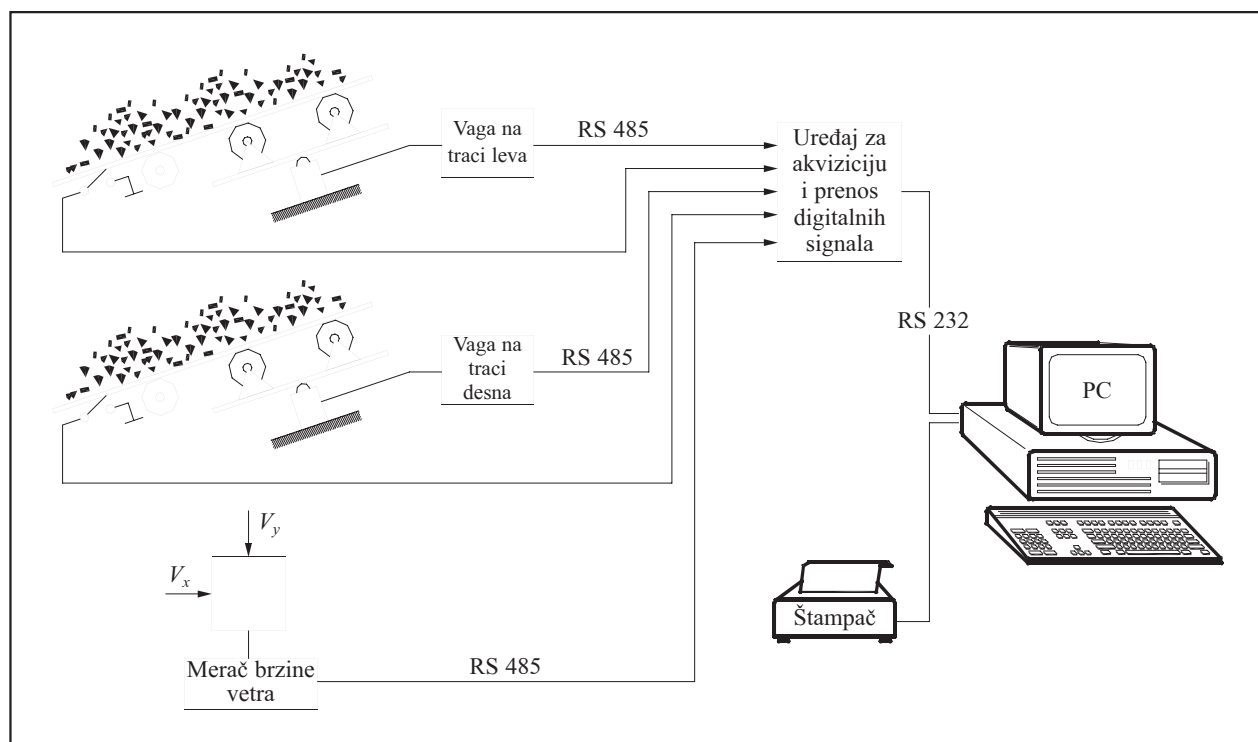
- merač brzine vetra.

Na slici 1. prikazana je blok šema sistema za monitoring dopreme uglja.

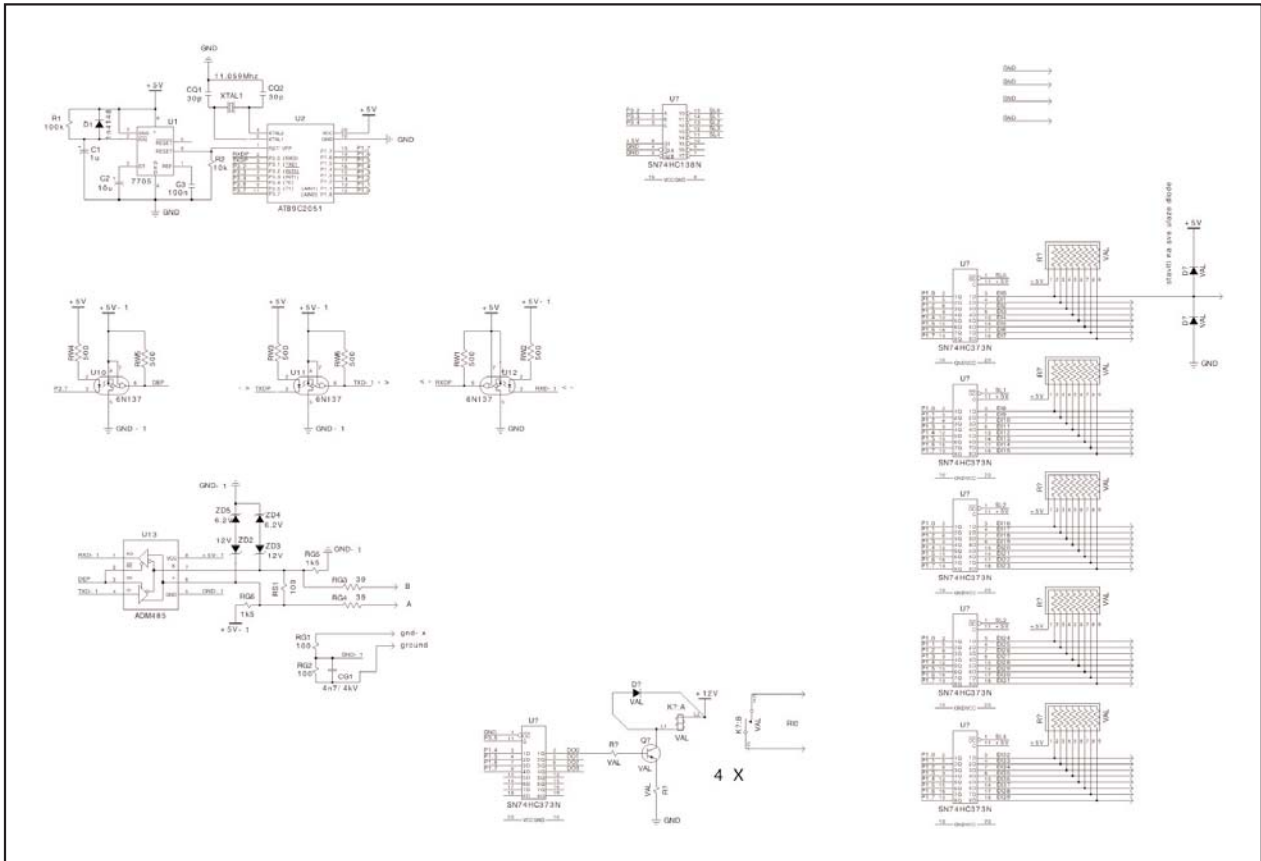
Pored standardnih elektronskih uređaja kao što su: PC, štampač, uređaj za besprekidno napajanje (UPS) koji su nabavljeni od renomiranih proizvođača, tu je i deo hardvera koji je razvijen za potrebe ovog monitoring sistema. To se pre svega odnosi na elektronski uređaj za akviziciju i prenos digitalnih podataka i merač brzine vetra. Vage na traci su već ranije našle primenu u praksi. Zbog originalnosti primenjenih tehničkih rešenja, a takođe i zbog mogućnosti nezavisne primene, elektronska vaga na traci i merač brzine vetra prikazani su u ovom radu u posebnim odeljcima. Uređaj za akviziciju digitalnih signala povezan je sa drugim uređajem preko serijskog interfejsa RS 485. Podaci o radu transportnih traka, skretnica, bagera i odlagača dostavljaju se akvizicionom uređaju preko slobodnih kontakata postojećih upravljačkih releja. Akvizicioni uređaj prikuplja i obrađuje ove informacije i prosleđuje ih PC preko serijskog interfejsa RS 232.

2.1. Opis hardvera

Kao što slika 1 pokazuje, hardver sistema za monitoring dopreme uglja sastoji se delom od standardnih informatičkih uređaja a delom od uređaja koji su razvijeni za potrebe ovog sistema. Primenje-



Slika 1. Blok šema sistema za monitoring dopreme uglja u termoelektrani



Slika 2. Električna šema uređaja za akviziciju i prenos digitalnih signala

ni uređaji: PC, printer i UPS su standardne konfiguracije i karakteristika pa neće biti detaljnije razmatrani. Uređaj za akviziciju i prenos digitalnih signala je ključni uređaj celog hardverskog rešenja. Električna šema uređaja za akviziciju data je na slici 2.

Ovaj uređaj prikuplja logičke signale o stanju transportnih traka, presipnih skretnica, rada bagera i odlagača, kao i merne podatke sa dve vage na traci i merača brzine vetra. Prijem digitalnih signala ostvaruje se preko optokaplera kao galvanske barijere između električno povezanih uređaja. Uređaj omogućava prijem četrdeset nezavisnih digitalnih signala. Rezultate merenja uređaj prikuplja preko serijskog interfejsa RS 485, prema određenom protokolu. Akviziciju i obradu prikupljenih podataka obavlja 8-bitni mikrokontroler firme „Atmel”, tip AT89C2051. Prenos prikupljenih podataka i rezultata merenja do PC ostvaruje se pomoću serijskog interfejsa RS 232 realizovanog sa integrisanim kolom MAX 232. Uređaj ima i nekoliko digitalnih izlaza koji se koriste za signalizaciju brzine vetra veće od 15 m/s ili za isključenje bagera i odlagača kod brzina vetra većih od 20 m/s.

Napajanje električnom energijom ovog uređaja ali i svih drugih u sistemu za monitoring dopreme

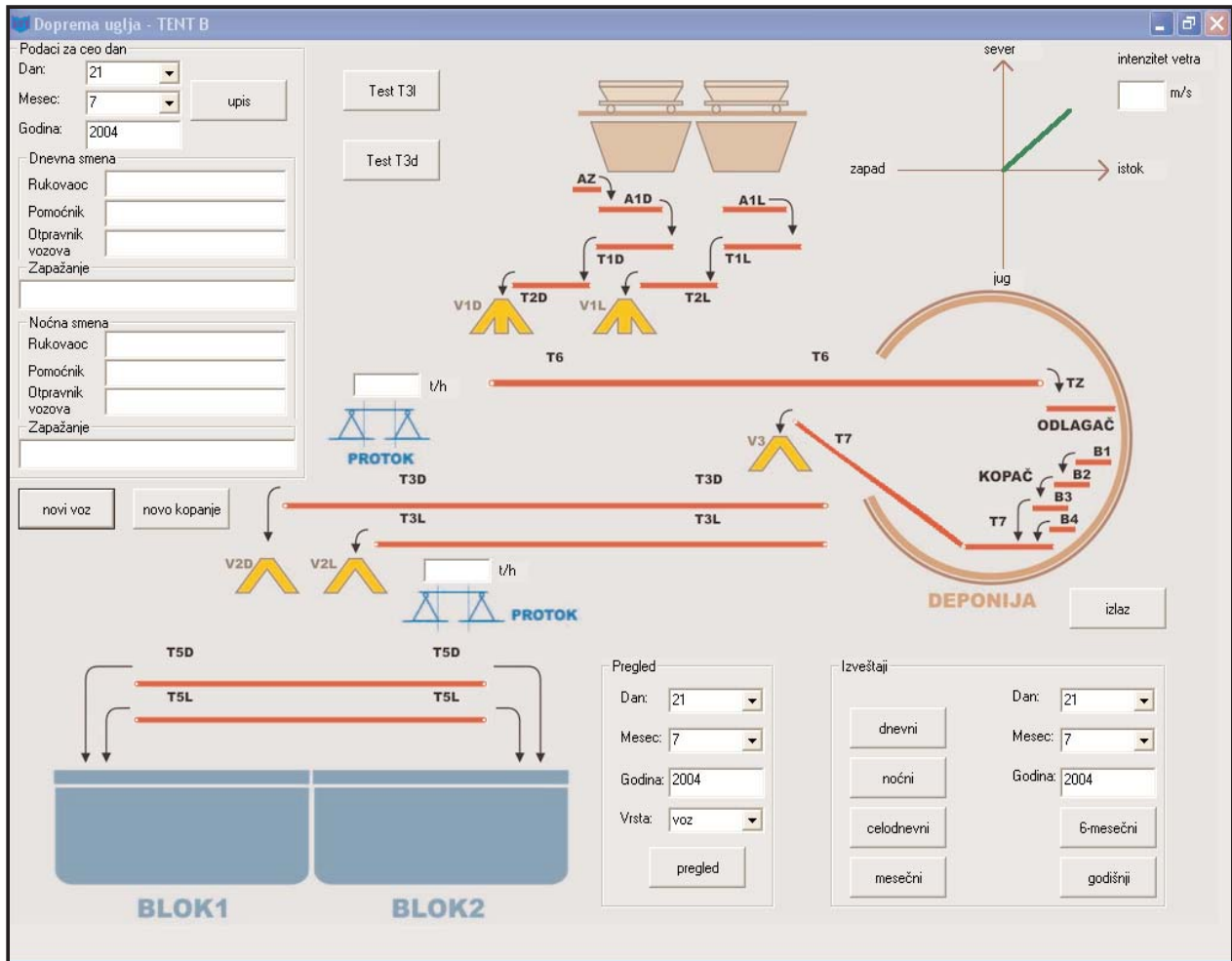
uglja ostvareno je pomoću uređaja za besprekidno napajanje (UPS).

2.2. Opis softvera

Ako hardver određuje mogućnosti nekog uređaja, od softvera zavisi koliko će te mogućnosti biti i ostvarene. Slobodnije rečeno, ako je hardver telo uređaja, softver je njegova duša U slučaju sistema za monitoring dopreme uglja to je zaista tako. Softver sistema za monitoring dopreme uglja objedinjuje nekoliko posebnih programa:

- program ugrađen u uređaj za akviziciju i prenos digitalnih signala;
- program ugrađen u vage na traci;
- program ugrađen u uređaj za merenje brzine vetra i
- program za prijem, obradu, prikaz i arhiviranje svih podataka pomoću PC.

Nesumnjivo je da su svi ovi programi značajni, jer bez njih navedeni uređaji ne bi mogli da rade ili bi radili sa puno problema i nedostataka. Međutim, za ovaj rad posebno je interesantan program za PC jer se ključna veza računar-čovek ostvaruje preko ekrana i tastature računara. Rukovaoc dopreme uglja



Sika 3. Sinopsis šema postrojenja za dopremu uglja

ima na ekranu, kao što to slika 3 pokazuje, kondenzovanu sinopsis šemu celog pogona, tako da rukovaoc ima trenutni uvid u rad svih elemenata pogona. Takođe ima se uvid u protok mase uglja preko vaga na traci kao i podatak o brzini i smeru vetra na odlagalištu. Odredene podatke rukovaoc mora da unese preko tastature, na primer: broj voza, naziv ili šifru isporučioaca, masu dopremljenog uglja, početak i završetak istovara uglja. Računar registruje sve ove podatke, a nekima daje i vremensko određenje.

Program na bazi kombinacije rada transportnih traka i izmerenih vrednosti protekle mase uglja pomoću vaga na traci, određuje potrošnju uglja po blokovima kao i količinu uglja na deponiji. Program omogućava štampanje smenskih, dnevnih i mesečnih izveštaja o svim relevantnim podacima vezanim za dopremu i potrošnju uglja u termoelektrani. Na slici 4. prikazan je izgled jednog menija na monitoru PC za pregled stanja.

Kao što se sa slike vidi, ovaj program pruža uvid u stanje ne samo dopreme već i potrošnje uglja

po blokovima, a takođe i uvid u realnije stanje količine uglja na odlagalištu. Sve to otvara nove mogućnosti u praćenju ukupnog rada termoelektrane. Tako se na bazi ovih podataka, dobijenih merenjem mase utrošenog uglja, koje govore o inputu termoelektrane i podataka o isporučenoj električnoj energiji kao autputu termoelektrane, može realno odrediti i efikasnost rada neke termoelektrane. Dosadašnja praksa u ovoj oblasti bazirala se uglavnom na procenjenim vrednostima.

3. VAGE NA TRACI

Procesno merenje velikih protočnih masa je složen i težak metrološki zadatak, koji se danas uspešno rešava primenom vaga na traci ili železničkim vagama sa merenjem mase vagona u toku vožnje. U okviru revitalizacije pogona za dopremu uglja urađena je rekonstrukcija dve tračne vage na kosim transportnim trakama za dopremanje uglja blokovima termoelektrane. Kako su ove vage uključene u si-

Pregled

Voz

Broj voza: T456

Težina: 1000

Vreme dolaska: 17:02

Špeditari za istovar: 17:02

Kombinacija: 8

Bunker

Početak punjenja: 12:54 Dan: 7

Završetak punjenja: 12:58 Dan: 7

Uluk1: 300

blok2: 500

Deponja

Početak odlaganja: : Dan: 7

Završetak odlaganja: : Dan: 7

zona: 1

Zastoj

Početak zastoja: : Dan: 7

Završetak zastoja: : Dan: 7

uzrok:

Dnevna smena

Rukovaoc: Milić

Pomoćnik: Simić

Otpisnik vozova: Dragan

Zapažanje: OK!

Noćna smena

Rukovaoc: Marko

Pomoćnik: Pejić

Otpisnik vozova: Šavić

Zapažanje: Super

Prvi

Sledeći

Prethodni

Poslednji

upis

izlaz

Stanje deponije na kraju smene

Dnevna: 2400

Noćna: 2600

Pregled

Dan: 7

Mesec: 7

Godina: 2004

Vrsta: voz

pregled

Redni broj: 1

Slika 4. Izgled menija „Pregled“

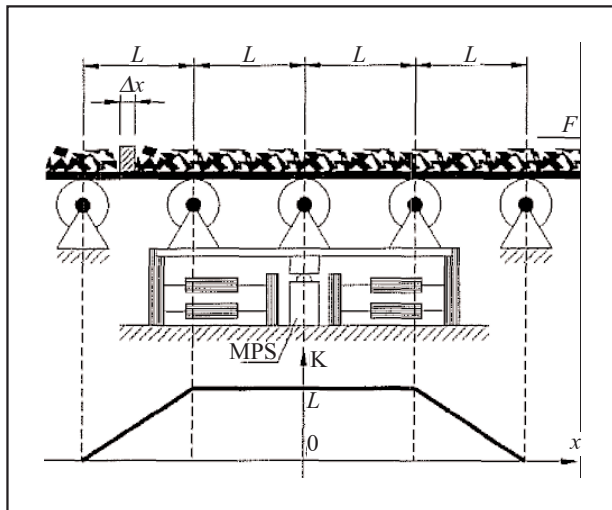
stem za monitoring dopreme uglja, našle su mesto i u ovom radu.

3.1. Princip rada

Posebna klasa protočnih vaga su vage na samoj transportnoj traci, bazirane na merenju specifičnog opterećenja transportne trake. Ovo su ne samo najstarije već i najčešće primenjivane vage za merenje protekle mase [1]. Raširenost primene ovih vaga, ni-

je posledica posebno visoke tačnosti merenja, već činjenice da su ove vage potpuno kompatibilne standardnim transportnim trakama. Jednostavno, jedan deo transportnih valjaka mehanički se tako poveže da predstavlja merni most vage. Kao ilustracija rečenog, a i radi sagledavanja principa rada ovih vaga poslužiće slika 5.

Određen broj transportnih valjaka konstruktivno je tako prilagođen da se vagom meri gravitaciona masa (težina) transportovanog materijala. Zbog



Slika 5. Princip rada vage na traci

transportne trake, merena sila obuhvata ne samo masu koja se nalazi na mernom mostu, već i deo mase koja se nalazi na susednim graničnim valjcima, ali ne direktno, već sa ponderisanom vrednošću. Koeficijent ponderacije (v) je promenljiv i funkcija je položaja (x) na vagi. Tako je unutar mernih valjaka jedinica, a na mestu graničnih valjaka nula. Između graničnih i mernih valjaka uzima se da se koeficijent ponderacije menja linearno, kako je to i prikazano na slici 5.

Na jednom delu transportne trake, delić protočne mase (Δm), može se izraziti kao funkcija specifičnog podužnog opterećenja (p_x):

$$\Delta m = p_x \Delta x \quad (1)$$

Merena sila (F_i), mase na traci u jednom posmatranom trenutku (t_i), može se izraziti jednačinom:

$$F_i = g \cdot L \cdot p_i \quad (2)$$

Merena sila (F_x) menja se u vremenu:

$$F(t) = \sum_1^n F_i = g \cdot L \cdot p_{sr}(t) \quad (3)$$

Protekla merena masa (m), može se odrediti na dva načina: metodom sumiranja ili metodom integracije. Metoda sumiranja ili takt metoda, bazira se na merenju sile opterećenja mernog mosta u određenom vremenskom intervalu (t_s) koji odgovara protoku materijala duž mernog mosta (L) i sabiranju tako izmerenih vrednosti

$$\sum_1^n F_i(t_i) = g \sum \Delta m \cdot (t_i) = g \cdot m \quad (4)$$

Kod ove, u osnovi jednostavne i tačne metode merenja protekle mase, postoji jedan ozbiljan pro-

blem: kako utvrditi stvarni vremenski interval u kome merena masa pređe merni most. Ovaj mernotehnički problem uspešnije se rešava kod manjih brzina transportne trake, gde varijacija vremenskog intervala i njegovo odstupanje od stvarnih (tačnih) vrednosti generira manje vrednosti greške merenja.

Umesto merenja vremenskog intervala, koje u konkretnom slučaju predstavlja ne mali problem, primenjuje se merenje brzine transportne trake (v) i množenje iste merenom silom:

$$y(t) = F(t) v(t) \quad (5)$$

Merena protekla masa (m), korespondira sa ovom funkcijom (y):

$$m = \frac{1}{g \cdot L} \int_t^{t+\tau} y(t) \cdot dt = \frac{1}{g \cdot L} \int_t^{t+\tau} F(t) \cdot v(t) \cdot dt \quad (6)$$

Jednačina (6) predstavlja teorijsku osnovu integracione metode protočnog merenja mase. Njena praktična realizacija obiluje nizom različitih rešenja: kako merenja sile tako i merenja brzine i njihove međusobne multiplikacije. Savremena merna tehnika, takođe i vagarstvo, upućeni su na elektronska rešenja. U ovom radu daje se opis vage na traci realizovan za potrebe sistema za monitoring dopreme uglja u TE-„Nikola Tesla-B”

3.2. Opis realizovane vage

Elektronska vaga na traci realizovana za potrebe merenja protočne mase uglja sastoji se od mehanizma sa polugama na koje se oslanjaju valjci transportera, mernog pretvarača sile, mernog pretvarača brzine trake i elektronskog digitalnog indikatora.

Težina uglja koju transportna traka prenosi preko valjaka deluje na merne valjke, a preko njih na sistem poluga koji je spregnut sa mernim pretvaračem sile koji tu težinu pretvara u milivoltni signal i prosleđuje digitalnom indikatoru tip BM-100-T na dalju elektronsku i računsku obradu. Na pogonskom bubnju transportne trake nalazi se inkrementalni merni pretvarač brzine. Okretanje bubnja prati okretanje osovine mernog pretvarača brzine što se prenosi na kodnu ploču sa 60 inkremenata, pa se tako preko para-optokaplera brzina trake pretvara u impulse koje elektronika u indikatoru koristi za obradu i izračunavanje brzine trake, protoka i mase materijala.

Proizvod sile opterećenja na mernom mostu i brzine transportne trake odgovara protoku materijala. Integracija protoka u vremenu daje merenu masu proteklog materijala.

Indikator ima mogućnost da prikazuje ukupnu sumu proteklog materijala, parcijalnu sumu materijala, trenutni protok mase i brzinu trake. Takođe po-

stoji mogućnost softverskog tariranja cele trake po potrebi, što znači da ovaj sistem ima dinamičku nulu. Dinamička nula vage uvažava činjenicu da transportna traka nije idealna po strukturi i dimenzijama, da nije idealno postavljena. Usled svih tih nesavršenosti javljaju se varijacije merene sile i odstupanja trenutnog protoka od nule. Tariranjem vage za puni broj okretaja trake, eliminiše se mogućnost da ove varijacije protoka izazovu pogrešno merenje protočne mase.

Na elektronskom indikatoru vage postoji serijski interfejs RS 485 koji omogućava vezu tračne vage i PC, tj. služi za prenos podataka o protoku i merenoj masi sa vage do nekog informatičkog centra. Dalja obrada rezultata merenja tračne vage pomoću PC je u okviru generalnog programa za monitoring sistem.

Merno-tehničke karakteristike vage na traci BN-100 su:

- maksimalan kapacitet vage 3 000 t/č;
- klasa tačnosti 1;
- radni opseg temperature od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- aktivna dužina mernog mosta 4 m;
- nazivna vrednost pretvarača sile 200 kg i
- osetljivost pretvarača sile 2 mV/V.

Digitalni indikator vage BN-100 uzrađen je sa savremenim elektronskim kolima koji obezbeđuju pouzdan i tačan rad vage, kao i prenos rezultata merenja. Indikator je smešten u metalni orman koji mu obezbeđuje odgovarajuću mehaničku zaštitu, ali i zaštitu od elektromagnetnih smetnji. Izgled ovog ormara sa digitalnim indikatorom nule prikazan je fotografijom na slici 6.



Sika 6. Fotografija ormara vage snimljena u pogonu

4. MERAČ BRZINE VETRA

Rad elektroenergetskih postrojenja na otvorenom prostoru izložen je često nepovoljnim atmosferskim uticajima: kiši, snegu, ledu, vetru. Udari vetra promenljivog intenziteta, pravca i smera mogu biti uzrok prekida rada nekih postrojenja, a u nekim slučajevima i težih oštećenja i havarija u postrojenju. To se posebno odnosi na rad bagera, odlagača i kopača na površinskim kopovima rudnika i termoelektrana. Ove mašine po pravilu moraju biti snabdene meračima brzine vetra. Rad ovih mašina dozvoljen je u uslovima kada intenzitet brzine vetra ne prelazi vrednost od 15 m/s. Uređaji za merenje brzine vetra treba da signaliziraju takva stanja, a da kod brzina vetra preko 20 m/s automatski onemoguće dalji rad ovih mašina.

Vetar, kao manifestaciju kretanja vazdušnih masa, karakteriše intenzitet brzine, pravac i smer. Merenje brzine kretanja gasova može se ostvariti na zaista mnogo načina. Navešće se samo neki od mernih principa koji su u praksi našli širu primenu:

- Merenje brzine kretanja vazduha pomoću Pitove cevi zasniiva se na merenju razlike pritisaka nastalih kao posledica kretanja vazduha (Bernulijev zakon kretanja fluida);
- Turbinski merači brzine vazduha pretvaraju pravolinijsko kretanje vazduha u kružno okretanje turbine povezujući intenzitet brzine vetra sa kružnom brzinom rotora turbine, odnosno brojem okretaja u jedinici vremena i
- Rad aneometarskih merača brzine kretanja vazduha bazira se na fizičkim procesima koji električno zagrevanje otpornog vlakna aneometra, njegovu temperaturu i vrednost otpora povezuju sa brzinom kretanja vazduha i hlađenja aneometra, odnosno odvođenja inicirane toplotne energije strujanjem vazduha.

Svaki od navedenih mernih principa ima određene prednosti, ali i evidentna ograničenja i nedostatke. Tako su merila sa Pitoovim cevima pogodna za merenje velikih brzina vazduha, dok se pri manjim brzinama dobijaju i vrlo male razlike pritisaka koje nije lako tačno meriti. Kod turbinskih merača, brzina vetra se svodi na merenje broja okretaja što je zaista pogodno, ali kao i sva kinematska merila imaju probleme vezane za promenljivo mehaničko trenje u ležištima rotora tokom eksploatacije, posebno u teškim ambijentnim uslovima. Aneometarski merači imaju mogućnost merenja ne samo modula brzine, već i pravca i smera, ali su dosta osetljivi na mehaničke vibracije, udare, kao i nečistoće u vazduhu.

Savremena rešenja merenja brzine vetra koriste prednosti koje pružaju elektronske i informacione tehnologije, posebno u pogledu obrade i prenosa

merne informacije. U ovom radu prikazano je jedno takvo originalno rešenje merenja brzine vetra, bazirano na merenju vektora mehaničke sile pomoću mernih pretvarača sa tenzometarskim trakama a koje je primenjeno u sistemu monitoringa dopreme uglja.

4.1. Princip rada

Poznato je da se snaga vetra manifestuje u vidu mehaničkih sila i momenata koji se generišu na određenoj fizičkoj prepreci postavljenoj u struji vetra. Ove sile i momenti su uzroci mogućih havarija građevinskih konstrukcija i mašina, pa je zbog toga i potrebno merenje brzine vetra. Između brzine strujanja vetra v i generisane mehaničke sile F , koja se javlja na prepreci karakteristične površine S , postoji fizička zavisnost opisana jednačinom (1):

$$F = C \cdot p_d \cdot S \quad (7)$$

gde su:

F – generisane mehaničke sile;

C – dinamički koeficijenti sile;

$p_d = \frac{1}{2} \rho_v V^2$ – dinamički pritisak;

ρ_v – gustina vazduha;

v – brzina vetra i

S – karakteristična površina mehaničke prepreke u struji vetra.

Jednačina (7) važi samo za slučaj kada je pravac brzine vetra normalan na ravan fizičke prepreke, što je samo specijalan a ne opšti slučaj u praksi. U opštem slučaju, rešenje se svodi na sistem od 6 jednačina. Pokazuje se da se merenje intenziteta i pravca brzine vetra za slučaj u ravni može rešiti merenjem intenziteta dve ortogonalne komponente sile [2].

Vektor brzine v i napadni ugao φ , na bazi izmerenih vrednosti dve ortogonalne sile u nepokretnoj ravni: F_x, F_y , određuju se prema jednačinama:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot F_R}{C \cdot \rho_v \cdot S_k}} \quad (8)$$

$$\varphi = \arctg \frac{F_y}{F_x} \quad (9)$$

gde je F_R rezultantna sila koja se izračunava prema jednačini (10) na bazi merenih komponenti sile: F_x i F_y .

$$F_R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (10)$$

Sa teorijskog aspekta, prema jednačinama (8), (9), (10) merenje vektora brzine, odnosno modula, pravca i smera brzine vetra moguće je na bazi merenja komponenti mehaničke sile, koje vetar generiše na mehaničkoj prepreci (prijemnik opterećenja) po-

znate površine i oblika. U realizaciji ovakvog koncepta merenja brzine vetra nudi se više mogućnosti, kako u pogledu oblika prijemnika opterećenja, tipova mernih pretvarača sile u električni signal, tako i u primenjenoj elektronici za obradu mernih signala.

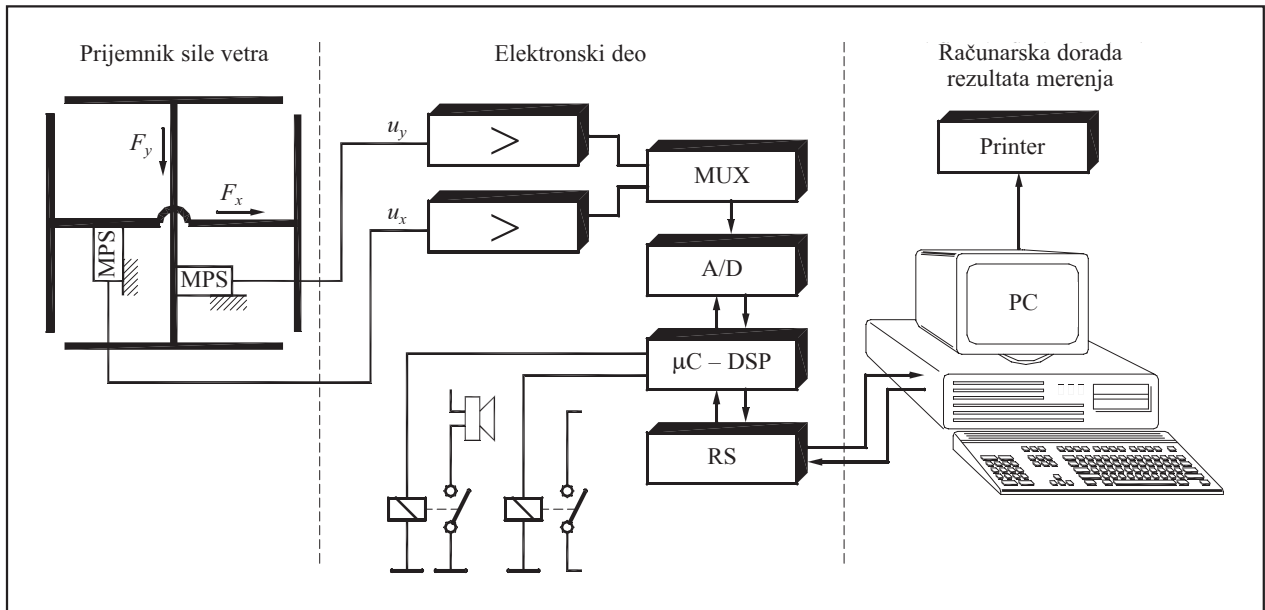
U aerodinamičkom smislu najčistiji model prijemnika sile vetra je telo u obliku lopte, koje se mehanički kruto poveže sa višekomponentnim pretvaračem sile. Višekomponentni merni pretvarači sile su u osnovi selektivni merni senzori koji reaguju samo na jednu određenu vrstu opterećenja (na primer na aksijalnu ili radialnu silu, ili na određeni moment) [3]. Međutim, ovakvi merni pretvarači nisu komercijalno dostupni, već se projektuju i izrađuju uglavnom strogo namenski, prema pojedinačnim zahtevima, što bitno određuje njihovu cenu. Druga mogućnost je primena visoko selektivnih mernih pretvarača sile, platformskog tipa sa tenzometarskim mernim trakama [4]. Ovi merni pretvarači sile razvijeni su za potrebe preciznog merenja mase i našli su vrlo široku komercijalnu primenu. Elektrotehnički institut „Nikola Tesla” već više od dvadeset godina radi na razvoju i primeni ovih mernih pretvarača, pa je i kod razvoja i realizacije merača vetra na odlagalištu uglja u TE „Nikola Tesla” odabrana takva koncepcija.

4.2. Realizovani merač brzine vetra

Strukturalna blok šema data na slici 7. pomaže da se sagleda koncept i realizacija merača brzine vetra. Kao što se sa slike 7 može uočiti, merač brzine vetra ima više funkcionalnih blokova:

- prijemnik sile vetra u vidu dva para paralelnih ploča, koji obrazuju omotač kocke;
- dva merna pretvarača sile (MPS) platformskog tipa, koji transformišu dve ortogonalne komponente sile vetra u određene električne signale;
- elektronski dvokanalni uređaj za analognu i digitalnu obradu mernih signala (u_x, u_y) generisanih na MPS;
- interfejs RS 485 za serijsku vezu elektronskog dela sa PC radi prenosa digitalnih signala i njihove dalje računarske obrade po namenski razvijenom softveru i
- PC za računarsku obradu digitalnih signala po matematičkom modelu iskazanom jednačinama (8), (9), (10), izračunavanje modula, pravca i ugla vektora merene brzine i prezentaciju ovih rezultata merenja na ekranu monitora u numeričkom i grafičkom obliku.

Prijemnik sile vetra u osnovi čine ravne aluminijske ploče, kvadratnog oblika, dimenzija 200 mm x 200 mm. Aerodinamički čeonni koeficijent za ravne ploče iznosi $C_c = 1,28$. Jedan par paralelnih ploča



Slika 7. Strukturna blok šema merača brzine vetra

(x osa), međusobno mehanički povezanih i geografski orijentisanih u pravcu sever-jug, prima i prenosi silu vetra (F_x) na merni pretvarač sile platformskog tipa koji transformiše ovu komponentu sile u korespondentni električni signal (u_x). Drugi par istovetnih paralelnih ploča postavljenih pod uglom od 90° u odnosu na prethodni, na opisani način prima i meri drugu ortogonalnu komponentu sile (F_y), koja odgovara pravcu istok – zapad i koja generiše odgovarajući napon (u_y).

Na slici 8a prikazan je spoljni, a na slici 8b unutrašnji izgled prijemnika sile vetra.

Realizovano rešenje omogućava merenje modula i pravca brzine vetra u horizontalnoj ravni. Omotač kocke koji obrazuju ravne ploče (prijemni-

ci opterećenja) zatvoren je sa gornje strane jednom dodatnom neaktivnom pločom, mehaničkim poklopcem (nadstrešnicom), koja štiti prijemnik vetra od atmosferskih padavina. Sami merni pretvarači sile su iz istih razloga dodatno zaštićeni tako što su oklopljeni sa elastičnim gumenim omotačem. Donja ploča prijemnika opterećenja je konstrukciono noseća ploča, na koju su postavljeni i montirani svi elementi prijemnika opterećenja, a takođe služi i za njegovo učvršćenje na mestu merenja brzine vetra.

Merni pretvarači sile platformskog tipa predstavljaju poseban tip mernih pretvarača sile, koji se odlikuje visokom selektivnošću merene sile. Uticaj parazitenih sila i momenata kod ovih pretvarača oslabljen je više od hiljadu puta [5]. U konkretnom



Slika 8a. Spoljni izgled prijemnika opterećenja



Slika 8b. Unutrašnji izgled prijemnika opterećenja

slučaju pod parazitnim silama i momentima podrazumevaju se svi momenti i sve sile koje odstupaju od osnog pravca merene sile. Takvi merni pretvarači omogućavaju precizno merenje određene orijentisane sile unutar neke površine nezavisno od njene napadne tačke. Platformski merni pretvarači razvijeni su uglavnom na bazi tenzometarskih traka (strain gage), jer su ove elektrootporne trake već samim dizajnom jedan od elemenata u ostvarenju selektivnosti merenja mehaničke sile. Drugi element je Vitstonov neuravnoteženi most, odnosno broj i raspored tenzometarskih traka u granama mosta. Elastični element mernog pretvarača, koji pretvara mehaničku merenu silu (naprezanje) u elastičnu deformaciju je takođe u funkciji selektivnog merenja sile. Merne pretvarače platformskog tipa odlikuju, pored visoke selektivnosti merenja sile, i odlične metrološke karakteristike, pre svega tačnost merenja, pouzdanost i trajnost rada u promenljivim ambijentnim uslovima. Zbog toga su ovi merni pretvarači sile našli široku primenu kod elektronskih vaga [6]. Oni takođe spadaju u grupu pasivnih mernih pretvarača, pa je za njihov rad potrebno napajanje električnom energijom, najčešće jednosmernim naponom od 5 V do 12 V. Pri nazivnoj (nominalnoj) merenoj sili ostvaruje se merni signal reda desetak mV pa je pre pretvaranja ovih signala u digitalni oblik potrebno da se isti u analognom obliku pripreme za A/D konverziju, odnosno da se pojačaju, filtriraju i nivelišu.

Obradu mernih signala sa oba merna pretvarača sile preuzima elektronski deo uređaja za merenje brzine vetra. Ovaj deo uređaja prostorno je dislociran od prijemnika opterećenja za više od 20 m. Ova udaljenost može biti u principu i nekoliko stotina metara, ali se napajanje mernih pretvarača u tom slučaju ostvaruje pomoću četiri žice (par sense krajeva). Prijemnik sile vetra u ovom slučaju postavljen je na krovu najviše zgrade u blizini odlagališta uglja, a elektronski deo i PC u komandnoj sali rukovaoca dopreme uglja.

Hardver elektronskog dela uređaja realizovan je sa savremenim elektronskim komponentama visokog stepena integracije, što celo elektronsko rešenje uređaja svodi praktično na tri elektronska čipa. Primenjeni su: 16-bitni A/D konvertor sa D-modulacijom, tip CS 5522, koji u strukturi sadrži programabilni diferencijalni pretpojačavač i serijski izlaz za vezu sa mikrokontrolerom, 8-bitni mikrokontroler tip AT 89C 4051-12 i adapter za serijsku komunikaciju MAX 232. Za primenjeni mikrokontroler razvijen je namenski program, koji omogućava odgovarajuću obradu mernih signala sa oba merna pretvarača sile.

Osnovne funkcije mikrokontrolera prema ovom razvijenom programu su: inicijalizacija, sinhronizacija, transformacija, usrednjavanje, kalibracija i serijski prenos rezultata merenja. Rezultati merenja komponenti sile vetra, nakon ove analogne i digitalne obrade dostavljaju se uređaju za akviziciju digitalnih signala, koji ih prosleđuje do PC serijskom vezom RS 485 svake tri sekunde, po definisanom komunikacijskom protokolu.

PC standardne konfiguracije vrši dalju računsku obradu primljenih rezultata merenja, po navedenom matematičkom modelu. Kao konačan rezultat ove matematičke obrade dobija se moduo i pravac brzine vetra. Ovi rezultati se prikazuju na ekranu monitora PC kao deo šireg monitoringa dopreme uglja blokovima termoelektrane (slika 3).

Komunikacija PC i elektronskog uređaja za akviziciju digitalnih signala je dvosmerna, pa ukoliko rezultati merenja brzine vetra pokazuju brzine iznad 15 m/s, računar zvučno signalizira i vizuelno upozorava rukovaoca dopreme uglja na ozbiljnost situacije, a kod brzina iznad 20 m/s daje komandu elektronskom uređaju da automatski isključi rad odlagača ili bagera.

Realizovani uređaj je funkcionalno ispitivan u laboratorijskim uslovima. Ispitivanje metroloških karakteristika, pre svega tačnosti merenja i uticajnih veličina, sprovedeno je pomoću tegova poznate mase. Postavljanjem ovih tegova na površinu prijemnika opterećenja izvršena je vrlo precizno (sa greškom manjom od 0,1 %) kalibracija mernih kanala, proverena linearnosti, histerezisa i selektivnosti merenja sile. Izvršena ispitivanja uticaja temperature na varijaciju nule i tačnosti merenja pokazala su da nula i tačnost instrumenta vrlo malo variraju, tačnije manje od 0,05 % /10 °C u celom opsegu radne temperature od -20 °C do 50 °C.

Pored ovih laboratorijskih ispitivanja, merač brzine vetra proveren je u Institutu za fiziku u Beogradu koji raspolaže aerotunelom u kome se obavljaju ispitivanja i kalibracije aneometara. Rezultati merenja u aerotunelu i rezultati merenja pomoću tegova nisu se razlikovali za više od ± 1 %.

5. ZAKLJUČAK

Monitoring sistemi bazirani na mikroracunari-ma su jedno od obeležja savremenog načina upravljanja proizvodnim procesima. Kada je reč o tako značajnim i složenim elektroenergetskim postrojenjima, kao što su termoelektrane, to nije samo tehnološki trend već sasvim realna potreba. Na prikazanom sistemu za monitoring dopreme uglja evidentno su iskazane mnoge prednosti u odnosu na klasični nadzor i upravljanje pogonom. Faktor „č-

vek" sa svim svojim mogućim slabostima i posledicama je značajno redukovana kod nadzora pogona pomoću monitoring sistema. Skup praćenih i dostupnih informacija i podataka značajno je proširen, a pristup podacima je neuporedivo efikasniji, pa su i odluke u upravljanju pravovremene i kvalitetnije. Uvođenjem savremenog sistema za monitoring dopreme uglja povećana je pouzdanost, efikasnost ali i komforan rada ovog pogona. Realizovani monitoring sistem može se integrisati i u neki budući sistem savremenog upravljanja (skada) u dopremi uglja.

Monitoring sistemi u proizvodnim procesima po pravilu podižu tehnološku disciplinu.

Dosadašnja iskustva iz rada sa ovim sistemom, pored nabrojanih dobrih strana, ukazala su i na određene probleme koji po pravilu prate uvođenje novih tehnologija. Rad mikroelektronskih uređaja u teškim ambijentnim uslovima (ugljena prašina, velike varijacije temperature i vlage) i u prisustvu izraženih elektromagnetnih smetnji zahtevao je dodatne konstruktivne zahvate ali i primerenije pogonsko održavanje sistema.

6. LITERATURA

- [1] S. Škundrić, D. Kovačević, PROCESNO MERE-NJE PROTOČNE MASE, Procesna tehnika, Bd. 11, 1995, br. 3, st. 247-250.
- [2] S. Škundrić, S. Vukovojac, S. Milosavljević, N. Miladinović, MERAČ BRZINE VETRA. Zbornik radova Instituta „Nikola Tesla” Vol. 16, Beograd, 2006.
- [3] D. Kovačević, S. Škundrić, S. Vukovojac, VIŠE-KOMPONENTNI MERNI PRETVARAČI SILE. Zbornik radova Instituta „Nikola Tesla” Vol. 10, Beograd, 1993.
- [4] S. Škundrić, D. Kovačević, THE STRAIN GAUGE BASED LOAD CELL WITH BOLTED SPRING ASSEMBLY. Proceedings of 12th International Conference on Mass and Force, IMEKO, TC3, Szeged, 1990.
- [5] S. Škundrić, D. Kovačević, METODE I POSTUPCI OTKLANJANJA I SMANJENJA MEHANIČKIH UTICAJA KOD MERENJA MEHANIČKE SILE. Zbornik radova JUKEM-a, Beograd, 1986.
- [6] S. Škundrić, D. Kovačević, ELEKTROMEHANIČKE VAGE – MERENJE MASE MERNIM PRETVARAČIMA SILE SA TENZOMETARSKIM TRAKAMA, SMEIT- Srbije, Beograd, 1995.

Rad je primljen u uredništvo 04. 09. 2006. godine



Slobodan Škundrić je rođen u Beogradu 1945. godine. Elektrotehnički fakultet u Beogradu završio je 1972. godine. U Zavodu za mere i dragocene metale radio je kao metrolog za električne veličine od 1974. do 1978. godine. U Institutu „Nikola Tesla”, u centru Elektromerenja radi od 1978. godine. Magistrirao je 1995. godine, a doktorirao je 2000. godine sa tezom: „Ispitivanje tačnosti mernih transformatora metodom dvofazne konverzije”.



Srđan B. Milosavljević je rođen 1967. godine u Kruševcu. Diplomirao je 1993. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Od 1994. do 1995. je radio u P.P. Raskovnik na poslovima razvoja mikroprocesorskih sistema za upravljanje elektromotornim pogonima, kao i na razvoju i proizvodnji uređaja za procese automatizacije u industriji. U periodu od 1994. do 1998. godine, kao stručni saradnik na katedri za Elektromotorne pogone Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, učestvovao je na pripremi i izvođenju laboratorijskih vežbi iz predmeta Elektromotorni pogoni. Od 1. 7. 1995. godine zaposlen je u Elektrotehničkom Institutu gde radi na poslovima razvoja uređaja, hardvera i softvera za modernizaciju i tehnološko unapređenje opreme u elektroprivredi i industriji, kao i njeno povezivanje sa metrološkim i upravljačkim digitalnim sistemima. Ima objavljenih dvadesetak radova na domaćim i međunarodnim skupovima.



Nidžo Miladinović je rođen 06. 02. 1976. godine u Beogradu. Osnovnu i srednju školu je završio u Beogradu, nakon čega je upisao Elektrotehnički fakultet u Beogradu. Diplomirao je 20. 6. 2002. godine na katedri za računarsku tehniku i informatiku. Tema diplomskog rada je „Informacioni sistem fudbalskog kluba”. Radi u Elektrotehničkom Institutu „Nikola Tesla” u centru za električna merenja, kao saradnik. Bavi se izradom softverskih sistema i bazama podataka primenjenih u električnim merenjima.



Srboľjub Vukovojac je rođen 04. 06. 1942. godine u Rači. Osnovnu i srednju školu završio je u Beogradu, nakon čega je upisao Elektrotehnički fakultet u Beogradu. Diplomirao je 01. 03. 1966. godine na Energetskom odseku. Zaposlen je u Elektrotehničkom Institutu „Nikola Tesla“, u centru za električna merenja kao viši savetnik.

Radi na poslovima razvoja hardvera i softvera mikroprocesorskih uređaja namenjenih modernizaciji i tehnološkom unapređenju opreme u elektroprivredi i industriji.

Ima objavljenih dvadesetak radova na domaćim i međunarodnim skupovima.



Dragan S. Kovačević je rođen u Užicu 1957. godine. Elektrotehnički fakultet u Beogradu završio je 1982. godine, gde je magistrirao 1989. godine, a doktorirao je 1999. godine na Elektronskom fakultetu u Nišu. Sa naučnim zvanjem viši naučni saradnik radi u Elektrotehničkom institutu „Nikola Tesla“ na poslovima direktora Instituta. Bavi se preciznim merenjima električnih, neelektričnih i magnetskih veličina.

Dejan Pešić

Matematički modeli tržišta električne energije

Stručni rad
UDK: 339.13; 519.85; 537.214; 621.319

Rezime:

U radu su opisani matematički modeli tržišta električne energije. Date su osnovne karakteristike tri najkorišćenija tipa: Bertran (Bertrand), Kurno (Cournot) i SFE (Supply Function Equilibrium) model tržišta električne energije. Najpoznatiji SFE model tržišta električne energije detaljno je objašnjen i modifikovan u delu funkcije troškova, dodavanjem člana koji predstavlja fiksne troškove kompanije. Ovaj model daje rezultate koji su realniji u odnosu na svoja dva konkurentna, jer je sveobuhvatniji, naročito u odnosu na troškove kompanije. Prikazana je njegova linearizacija i iterativno rešenje koje je lako računarski implementirati i upotrebiti u praksi.

Ključne reči: matematički model, tržište električne energije, SFE model

Abstract:

MATHEMATICAL MODELS OF ELECTRICITY MARKET

This paper describes mathematical models of electricity market. It gives main characteristics of three types of mathematical models: Bertrand, Cournot and SFE (Supply Function Equilibrium). The most known SFE model is explained in detail and modified in the part of costs function by adding a parameter that represents company's fixed costs. This model gives more accurate results compared to the other two models, because it is more comprehensive, especially in the part of company's costs. The paper shows a linearized model and iterative solution of SFE model that enable easy computer implementation and use in practice.

Key words: Mathematical Model, Electricity Market, SFE (Supply Function Equilibrium) Model

1. UVOD

Mnoge zemlje u svetu inicirale su privatizaciju i/ili restrukturiranje svog tržišta električne energije implementirajući tehničke, pravne i strukturalne promene radi implementacije i podrške tržištu električne energije.

Osnovni elementi koji definišu tržište električne energije su [1]:

– fizičke osobine i topologija prenosnih puteva;

– ekonomskii pokazatelji proizvodnje i potrošnje električne energije (troškovi, ponuda i tražnja) i
– institucionalne norme i pravila tržišta električne energije (stepen vertikalne integracije kompanija, metod aukcije električne energije itd.).

Tipovi današnjih tržišta električne energije se nalaze između dva ekstremna slučaja [2]:

– Nepostojanja tržišta (monopol jedne obično državne kompanije) i

mr Dejan Pešić, dipl. ing. el., JP „EPS”, PD „Jugoistok” ogranak „Elektrotimok”, 19 000 Zaječar, Trg oslobođenja 37

– Potpuno slobodnog tržišta sa slobodnom konkurencijom.

Ukoliko su uspostavljena, tržišta u pojedinim zemljama se nalaze u sredini između ova dva ekstremna slučaja ili, preciznije, u tranziciji od prvog ka drugom slučaju (koji je samo teorijski ideal). Ovu središnju zonu između dva ekstremna slučaja možemo takođe podeliti na dva osnovna tipa nesavršenog tržišta električne energije:

- Konkurencija konkurenata na tržištu, karakterisanog time da postoji više ponuđača električne energije sa različitim ponudom, kao i sa slobodnim pristupom i sa mogućnošću slobodnog izlaska sa tržišta i
- Oligopolistički model tržišta je karakterisan ograničenim brojem ponuđača sa istom i/ili različitim ponudom na tržištu, sa ograničenom mogućnošću ulaska novih konkurenata na postojeće tržište i sa strateškom zavisnošću postojećih oligopolističkih takmaca na tržištu.

Za razmatranja u ovom radu biće analiziran uglavnom oligopolistički tip tržišta električne energije jer je on danas dominantan i primenjuje se, u teorijskom i praktičnom smislu, nekoliko tipova matematičkih modela.

2. NAJČEŠĆI MATEMATIČKI MODELI TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Tri osnovna matematička modela tržišta električne energije poznata u literaturi [2] jesu

- Cournot (Cournot) model;
- Bertranov (Bertrand) model i
- SFE model (Supply Function Equilibrium).

Osnovne zajedničke pretpostavke ovih modela jesu da svaki pojedinačni učesnik na tržištu želi da maksimizira svoj profit uzimajući u obzir sledeće uslove:

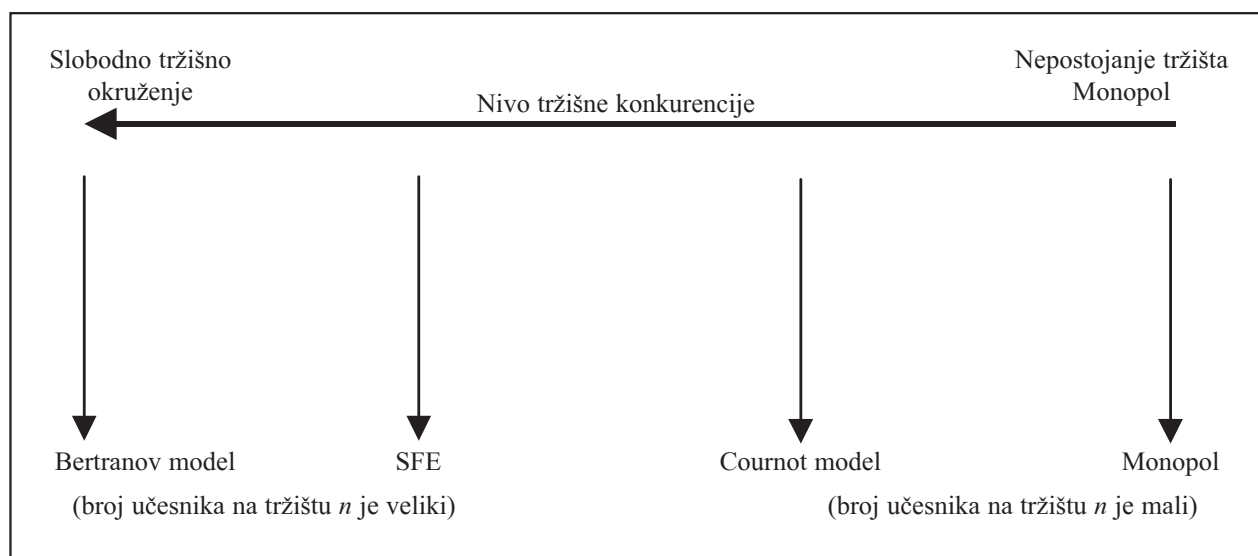
- tražnju na tržištu;
- strukturu svojih troškova i obim svoje ponude i
- pretpostavke kako će rivali na tržištu reagovati na odluke i akcije date kompanije, kao i druge uslove na tržištu.

Ključna razlika između modela je kako izbor strategije (cena, količina isporučene robe) utiče na stepen tržišnih odgovora rivala na spektru nivoa deregulisanosti tržišta, što je prikazano na sledećoj slici 1.

Strogo teorijski govoreći, nivo cena koji se dobija primenom teorije igara i Nash ekvilibrijuma opada sa rastom tržišne konkurencije, odnosno ravnotežna tržišna cena Bertrandovog modela je niža nego kod Cournot modela, a ova je niža od cene koju ostvaruje monopolista na tržištu. Ravnotežna cena kod SFE modela je po nivou između cena Bertrand modela i Cournot modela.

3. BERTRAND MODEL

Za potrebe ovog dela teksta analiziraćemo tržište sa svega dva rivala na njemu. Ovo je uobičajeno (ali ne sasvim dosledno i uopšteno rešenje) u literaturi [2], iako umanjuje matematičke poteškoće u prikazu Bertranovog modela. U klasičnom duopolnom Bertranovom modelu kompanije na tržištu koriste cenu kao svoj strategijski izbor, koristeći tri osnovne pretpostavke za formiranje tržišnog ambijenta:



Slika 1.

- 1) Kompanije na tržištu nude homogen (identičan) proizvod koji je savršeno zamenljiv sa aspekta kupca;
- 2) Kupac uvek kupuje dobra od ponuđača sa najnižom cenom i
- 3) U slučaju da obe kompanije na tržištu ostvaruju istu cenu, njihova realizacija je tačno jednaka polovini tražnje na tržištu.

Posmatrajući dve kompanije na tržištu (i, j) i tražnju na tržištu $q = T(p)$ gde je p ostvarena ravnotežna cena na tržištu, model funkcije tražnje je sledeći

$$T_i(p_i, p_j) = \begin{cases} T(p_i) & p_i < p_j \\ \frac{1}{2}T(p_i) & p_i = p_j \\ 0 & p_i > p_j \end{cases} \quad (1)$$

Obe kompanije, učesnici na tržištu, imaju identične troškove $C(q_i) = cq_i$ i uvek mogu da angažuju sve svoje kapacitete da zadovolje tražnju na tržištu, odnosno nema ograničenja kapaciteta u isporuci električne energije na tržištu.

Treće, kompanije na tržištu simultano biraju svoje strategijske promenljive (cenu) bez poznavanja odluke drugog rivala. Jedini kriterijum koji kompanije primenjuju na tržištu je maksimiziranje svog profita, a nikako smanjenje profita rivala (prospektivna igra, a ne destruktivna).

Ukupan profit svih kompanija na tržištu ne može preći profit monopoliste na tržištu (P^*) i svaki od učesnika na tržištu obezbeđuje sebe od gubitaka obezbeđujući cenu iznad svojih troškova, te se nameće zdravorazumski zaključak da mora da važi

$$0 \leq P^1 + P^2 \leq P^* \quad (2)$$

Pod prethodnim pretpostavkama Neš (Nash) ekvilibrijum Bertran modela par odabranih cena učesnika na tržištu (p_i^*, p_j^*), je takav da je $p_i^* = p_j^* = c$, gde je c konstanta troškova koje kompanije imaju. Ovaj rezultat je strogo teoretski i lako je dokaziv u literaturi [2].

Ovakav teoretski rezultat Bertan modela kreira Bertranov paradoks jer pri ovako određenom Nash ekvilibrijumu ne postoji profit koji učesnici na tržištu ostvaruju, te nema ekonomskih razloga za poslovanje na tržištu. Takođe, Bertran paradoks dovodi do činjenice da je monopolno tržište specijalan slučaj Bertran modela, iako se nalazi na suprotnoj strani skale nivoa tržišne konkurencije.

U slučaju da proizvod koji takmaci nude na tržištu nije homogen (identičan), tada se Bertran model ne može striktno teorijski primeniti jer tada strategijska promenljiva nije samo cena već i kvalitet i količina isporučenih dobara, a uticaj dobijaju i dru-

gi ne tako striktno matematički pokriveni faktori, kao što su pozicioniranje na tržištu, marketing itd.

Ovaj model je teoretski važan ali u praksi, na tržištu električne energije, teško ostvarljiv jer, čak i u slučaju nepostojanja ograničenja u smislu proizvodnje ili prenosa, on dovodi do Bertranovog paradoksa koji onemogućava njegovu praktičnu primenu. Eventualna dodatna razmatranja u smislu rešavanja Bertranovog paradoksa dovode do primene SFE modela koji će kasnije biti detaljno tretiran.

Teoretski gledano, Bertran model dovodi do tačke ekvilibrijuma gde je cena električne energije jednaka troškovima proizvodnje električne energije. U praksi, kompanije se susreću sa ograničenjima vezanim za kapacitet proizvodnje i prenosa, koja onemogućavaju primenu čistog teoretskog Bertran modela. Ukoliko kompanija poveća cenu iznad troškova, ona se suočava sa smanjenjem tražnje na tržištu, ali je primarni efekat ovakvog poteza smanjenje profita kompanije koja načini ovakav potez. Zbog toga je u eventualnoj praktičnoj primeni Bertran modela jako važno obraditi i ograničenja koja se javljaju u proizvodnji i prenosu električne energije.

Primena Bertran modela je ograničena na kraći vremenski rok jer ne može dati dobru predikciju ravnotežnih cena na duži vremenski rok. Razlog tome je veliki uticaj troškova prenosa na Bertranov model, te je on primenjiv samo na one kompanije na tržištu čiji su troškovi (relativno) konstantni u odnosu na tražnju, ponudu i isporuku. Uslov je takođe da tražnja na tržištu nije velika u odnosu na ponudu i da ne postoje značajna ograničenja vezana za kapacitet proizvodnje i prenosa električne energije. Sve navedene uslove je teško obezbediti na današnjim modernim tržištima električne energije, te Bertran model ima pre svega teorijski značaj u ovom trenutku.

4. COURNOT MODEL

U klasičnom Cournot modelu kompanije konkurišu na tržištu, koristeći količine električne energije koje isporučuju (svoju ponudu) kao strategijske promenljive kojima regulišu svoju kompetentnost. Tri osnovna uslova koja definišu Cournot model su:

- Kompanije nude homogen (identičan) proizvod na tržištu i imaju identične troškove po jedinici mere;
- Kompanije se susreću na tržištu “samo jednom”, odnosno svoje strategijske promenljive biraju simultano bez poznavanja odluka rivala i
- Kompanije biraju količine robe koju isporučuju tržištu kao strategijsku promenljivu od hipotetičkog aukcionara, po ceni koja zadovoljava ponudu i tražnju.

Razmotrimo duopolno tržište sa dve kompanije (i, j) po Cournot modelu. Profit i -te firme je

$$P_i(q_i, q_j) = Q(q_i + q_j) - C_i(q_i) \quad (3)$$

gde je Q funkcija tražnje na tržištu, a C_i je funkcija troškova i -te firme. Pretpostavimo da je funkcija profita i -te firme konkavna u prostoru q_i i dvaput diferencijabilna. Uslov za maksimizaciju funkcije profita po prvom izvodu je

$$P'_i = [Q(q_i + q_j) - C'_i(q_i)] + q_j Q'(q_i + q_j) = 0 \quad (4)$$

Izraz u uglastoj zagradi je margina odnosa cene i troškova i daje granicu profitabilnosti za isporučenu količinu robe tržištu. Drugi član daje efekat profita dobijen dodatnom produkcijom, umanjeno sa nagibom Q' (smanjenje tražnje), jer je već proizvedena određena količina robe koja je i -toj firmi već donela profit definisan prvim članom. Cournot model daje ravnotežno rešenje cene koje je manje nego kod monopolnog modela isporuke ali i veće nego kod potpuno slobodnog (čisto) tržišnog Bertrand modela. Ovo je posledica činjenice da i -ta firma određuje cenu sa količinom električne energije koju ona isporučuje tržištu q_i , a ne sa ukupnom isporukom energije na tržištu, što je zapravo $q_i + q_j$. Dalje, ponuda jedne kompanije opada sa rastom njenih troškova, ali raste sa rastom troškova rivala. To znači da visoki troškovi j -te firme primoravaju tu firmu da smanjuje svoju ponudu i time se vrši pritisak da i -ta firma poveća svoju ponudu.

U Cournot modelu broj konkurenata na tržištu je obrnuto proporcionalan profitu koji se može ostvariti na njemu. Pretpostavimo sledeće:

- 1) Postoje $1, 2, \dots, n$ kompanija na tržištu modeliranim po Cournot modelu i svaki rival nudi identičan proizvod,
- 2) Linearnu tražnju na tržištu $Q(U) = 1 - U$ u odnosu na ukupnu ponudu svih rivala U i
- 3) Sve kompanije imaju identičnu strukturu troškova $C_i(q_i) = cq_i$, gde je $c < 1$.

Svaka od firmi rešava sledeći matematički problem maksimizacije profita

$$\max P_i(q_i, q_{-i}) = [Q(U) - c] q_i, \text{ za } 0 = q_i < \infty \quad (5)$$

i gde je $q_{-i} = (q_1, q_2, \dots, q_{i-1}, q_{i+1}, \dots, q_n)$

Kako su sve kompanije identične i njihove ponude moraju biti identične, odnosno važi

$q = q_1 = q_2 = \dots = q_{i-1} = q_{i+1} = \dots = q_n$, te se prethodni uslov može napisati kao

$$\max P_i(q_i, q_{-i}) = [1 - (q_i + (n-1)q) - c] q_i, \text{ za } 0 = q_i < \infty \quad (6)$$

Uslov po prvom izvodu za maksimizaciju funkcije profita je

$$P'_i = 1 - 2q_i - (n-1)q - c = 1 - q_i - U - c = 0 \quad (7)$$

Uz uslov da je ponuda svake firme identična (odnosno da važi $q_i = q$), rešenje prethodne jednačine je

$$q^* = \frac{1-c}{1+n} \quad (8)$$

Ostvarena cena na tržištu je

$$p = 1 - \left[\frac{n(1-c)}{1+n} \right] = c + \left(\frac{1-c}{1+n} \right) \quad (9)$$

dok je profit i -te firme jednak

$$P^i = \left(\frac{1-c}{1+n} \right)^2 \quad (10)$$

Na osnovu prethodnih jednačina jasno je da je profit svake kompanije na tržištu obrnuto proporcionalan broju učesnika na tržištu, odnosno važno je uočiti i da cena ostvarena na tržištu takođe opada sa brojem učesnika na tržištu, a takođe i ukupni (agregirani) ostvareni profit nP opada sa brojem učesnika na tržištu. Strogo teoretski gledano, u slučaju velikog broja učesnika na tržištu ($n \rightarrow \infty$) Cournot model prelazi u Bertranov model jer ostvarena cena na tržištu postaje jednaka vrednosti troškova $p = c$.

U literaturi je Cournot model teorijski prilično popularan za modeliranje nesavršenog (oligopolnog) tržišta upravo zahvaljujući prethodnim zaključcima, ali i on ima neke nedostatke. Pre svega, Cournot model ne vodi računa o efektima ograničenja tržišta na nivo cena jer je kod njega ponuda jedina stratejska promenljiva. Drugi značajan nedostatak je da Cournot model ne vodi računa, kod izbora stratejske promenljive (ponuda), o strategiji cena rivala i o elastičnosti tražnje, te može dovesti do nereálnih rezultata.

5. SFE (SUPPLY FUNCTION EQUILIBRIUM) MODEL

Treći model, pored Bertrand i Cournot modela, jeste SFE model koji je danas najpogodniji za analizu i predikciju tržišta električne energije. Nedostatak prethodna dva modela (bez obzira na njihovu jednostavnu matematičku interpretaciju) je, pre svega, u tome što posmatraju samo jednu stratejsku promenljivu ili cenu (Bertrand) ili ponudu (Cournot) električne energije. Ovo je ozbiljan nedostatak jer najčešće na tržištu situacija nije tako jednostavna. Drugi ozbiljan nedostatak je u tome što oba modela

ne uzimaju u obzir promenljivost tražnje koja je izražena na tržištu električne energije.

Naime, menadžment svake kompanije određuje svoju funkciju ponude uzimajući u obzir promenljivost tražnje, svoju ponudu, ponudu rivala na tržištu i cenu koja se može ostvariti pri datim uslovima. Kod duopolističkih tržišta razvoj situacije na tržištu je relativno lako objasniti. Povećanjem cene prve firme doći će do smanjenja tražnje za njenom ponudom, uz povećanje tražnje za ponudom druge firme, uz povećanje njenog profita i uz mogućnost povećanja njenih cena. Ovo povećanje cena je moguće samo do određenog nivoa, te je osetljivost residualne tražnje za ponudom druge firme veća nego tražnja celog tržišta. Ovakav model je mnogo realističniji i od Bertranovog (kod koga tražnja ne zavisi od cena) i od Cournot modela (kod koga cena ne zavisi od ponude). Zapravo, moguće je dokazati da su i Cournot i Bertrand model ekstremni slučajevi SFE modela [2].

SFE model se u svakom pogledu nalazi između Bertrand i Cournot modela, pa tako i u pogledu ravnotežne cene koja se ostvaruje na tržištu. Razlog zašto se kompanije odlučuju za primenu SFE modela koji donosi manji profit u teorijskom smislu, nego recimo Cournot model, je u nesigurnosti realnog tržišta i nepoznate tražnje za bilo koju ostvarenu ravnotežnu cenu na tržištu (bez obzira na model aukcije koji je regulisan za dato tržište). SFE model dokazuje da je Cournot model pogodniji od Bertranovog u slučaju da je broj učesnika na tržištu mali (strogo oligopolističko tržište) i obrnuto, Bertran model je kvalitetniji od Cournot modela u slučaju tržišta sa velikim brojem učesnika.

Glavni nedostatak SFE modela je u složenosti matematičkog aparata u slučaju da se ne pretpostavljaju ograničenja u pogledu broja učesnika na tržištu, njihovih troškova, funkcije tražnje, ograničenja kapaciteta itd. Ovakvi slučajevi mogu dovesti pod određenim uslovima do nepostojanja Nash ekvilibrijuma (ravnotežne tačke) ili do postojanja višestrukog ekvilibrijuma, što otežava predikciju rezultata [2].

Bez obzira na nabrojane nedostatke, SFE model je danas najpogodniji model za simulaciju i predikciju nesavršenog tržišta, kao što je tržište električne energije. Ovo se naročito pokazuje u slučaju centralizovanog tipa aukcije kao što je POOLCO koji implementira ISO (Independent System Operator), gde svaki ponuđač nudi električnu energiju ograničenog kapaciteta i voljan je da je učini dostupnom na tržištu po određenoj, poznatoj ceni.

Dakle, osnovni nedostaci SFE modela počivaju na njegovoj matematičkoj složenosti i namera ovog rada je da ponudi doprinos u oblasti rešavanja mate-

matičkih problema SFE modela, čija se reprezentacija daje u nastavku.

6. MATEMATIČKI MODEL SFE MODELA

Generalno se polazi od funkcije tražnje u obliku linearne funkcije

$$T(p, t) = N(t) - \gamma p \quad (11)$$

gde su:

$N(t)$ – vremenski kontinualna funkcija tražnje, koju za kraći vremenski period možemo smatrati i konstantom, kao ukupnu količinu ukupne ponude na tržištu. Moguće je izvršiti i vremensku normalizaciju tako da je vremenski opseg od 0 do 1;

p – je cena koja se ostvaruje na tržištu i u čijem je prostoru funkcija tražnje linearna u odnosu na cenu sa nagibom $\gamma = -dT/dp$ i

γ – koeficijent za koji se pretpostavlja (razumno) da je pozitivan $\gamma > 0$ i karakteriše elastičnost cene.

Funkcija ukupnih troškova i -te kompanije je data kao konkavna kvadratna funkcija u odnosu na isporučenu količinu električne energije na tržištu [3]

$$\forall i, \forall q_i \geq 0, Ci(q_i) = \frac{1}{2} c_i q_i^2 + b_i q_i + a_i \quad (12)$$

$$\forall i, \forall q_i \geq 0, \frac{dCi}{dq_i}(q_i) = c_i q_i + b_i$$

gde je ispunjen uslov da je $c_i > 0$ za svaku firmu. Koeficijent b_i je različit od nule i specifičan je za svaku firmu ponaosob, dok koeficijent a_i predstavlja iznos fiksnih troškova za i -tu firmu. Dodavanje člana a_i u jednačinu (12) je doprinos ovog rada u realnijem sagledavanju troškova pojedinačne kompanije, a ne komplikuje se matematički aparat, što će biti pokazano u daljem delu teksta.

Zavisno od tržišnih pravila, funkcija ponude svake firme je zavisna od cene i u sledećem je obliku

$$\forall i, q_i(p) = \beta_i (p - \alpha_i) \quad (13)$$

gde je p cena koja je ostvarena na tržištu, a parametre α_i i β_i bira menadžment i -te firme kao strategijske parametre, uz ograničenje da parametar β_i mora biti pozitivan. Ovo ograničenje u krajnjem dovodi do činjenice da funkcija ponude u toku vremena ne može biti negativna, odnosno time je ispunjen zahtev regulisanog tržišta da se ponuda ne sme smanjivati pri rastu tržišne cene. Ovaj zahtev je tekovina moderne regulacije tržišta, čime se sprečavaju špekulativne operacije na regulisanom tržištu električne energije i, u krajnjem slučaju mogući raspadi sistema snabdevanja kupaca električnom energijom.

Rešenje problema SFE modela je rešenje sistema diferencijalnih jednačina u obliku [4]

$$\forall i, q_i(p) = \left(p - \frac{dC_i}{dq_i(q_i(p))} \right) \left(-\frac{dT}{dp} + \sum_{j \neq i} \frac{dq_j(p)}{dp} \right) \quad (14)$$

Ukoliko ne postoje ograničenja kapaciteta, svako rešenje q_i prethodnog sistema jednačina je neopadajuće u relevantnom opsegu cena p u SFE modelu. Ovo rešenje obuhvata i promenu (nagib) tražnje na tržištu dT/dp , odnosno elastičnost cena u odnosu na obim tražnje u odnosu na ravnotežnu tržišnu cenu..

Usvajajući da je $\beta_i = dq_i/dp$ i sređivanjem prethodne jednačine dobijamo

$$\forall i, \beta_i(p - \alpha_i) = (p - c_i \beta_i(p - \alpha_i) - a_i) \left(\gamma + \sum_{j \neq i} \beta_j \right) \quad (15)$$

Izjednačavajući po ceni p i po slobodnom članu, levu i desnu stranu prethodne jednačine dobijamo

$$\forall i, \beta_i = (1 - c_i \beta_i) \left(\gamma + \sum_{j \neq i} \beta_j \right) \quad (16)$$

odnosno

$$\forall i, -\alpha_i \beta_i = -(a_i - c_i \beta_i \alpha_i) \left(\gamma + \sum_{j \neq i} \beta_j \right) \quad (17)$$

Prethodne dve jednačine moraju biti zadovoljene za pozitivne vrednosti β_i za svaku firmu (za svako i) da bi rešenje SFE modela egzistiralo, te dobijamo

$$\forall i, -\alpha_i (1 - c_i \beta_i) \left(\gamma + \sum_{j \neq i} \beta_j \right) = -(a_i - c_i \beta_i \alpha_i) \left(\gamma + \sum_{j \neq i} \beta_j \right) \quad (18)$$

$$\forall i, -\alpha_i (1 - c_i \beta_i) = -(a_i - c_i \beta_i \alpha_i)$$

Prethodno skraćivanje je moguće uz razumne pretpostavke SFE modela (koje proističu iz regulativa tržišta električne energije) i da za svako i važi

$$\begin{aligned} \forall i, \beta_i &\geq 0 \\ \gamma &> 0 \\ \forall i, \forall j, \left(\gamma + \sum_{j \neq i} \beta_j \right) &> 0 \end{aligned} \quad (19)$$

Posledica prethodne jednačine je da važi:

- ako je $\alpha_i = b_i$ za svako i , onda je model (16) zadovoljen za pozitivne vrednosti β_i ,
- tada je jednačina (15) zadovoljena i daje vrednosti za β_i i α_i .

Ovakvo rešenje modela je lako računarski implementirati, ali u praksi se javljaju teškoće jer su moguća različita ograničenja vezana za regulaciju tržišta, iznenadna ograničenja u kapacitetu ponude i/ili u iznenadnom smanjenju tražnje.

7. ZAKLJUČAK

U radu su prikazana tri ekonomsko-matematička modela tržišta električne energije. Pored teorijski poznatih Bertrand i Cournot modela, detaljno je prikazan najrealniji i najupotrebljiviji u praksi SFE (Supply Function Equilibrium) model. On je modifikovan u delu funkcije troškova jer je dodat član koji estimira fiksne troškove kompanije i realnije odslikava situaciju na tržištu, bez dodatnih komplikacija matematičkog modela. Na kraju je dat iterativni SFE model, koji je lako računarski implementirati i njegova evaluacija je predmet daljih istraživanja.

8. LITERATURA

- [1] G.Rothwell, T.Gomez, ELECTRICITY ECONOMICS REGULATION AND DEREGULATION, IEEE Press, New York, 2003.
- [2] M.S.Blake, GAME THEORY AND ELECTRICITY MARKETS, Drayton Analytics Research Paper Series, www.plexos.info/kb, 2004.
- [3] R.Baldick, R.Grant, E.Kahn, THEORY AND APPLICATION OF LINEAR SFE IN ELECTRICITY MARKETS, The University of Texas at Austin, 2004.
- [4] R.Green, INCREASING COMPETITION IN THE BRITISH ELECTRICITY SPOT MARKET, Journal of Industrial Economics, 44(2), 205-216, 2003

Rad je primljen u uredništvo 07. 03. 2007. godine



Dejan Pešić je rođen 29. 12. 1963. godine u Zaječaru, gde je završio osnovnu i srednju školu. Diplomirao je na Fakultetu Tehničkih nauka u Novom Sadu 1988. godine, odsek elektrotehnički, a na smeru merna tehnika. Na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu je magistrirao 1991. godine sa temom „Numeričko diferenciranje na računaru“. Od 2001. do kraja 2006. godine radio je u JP „Elektrotimok“ Zaječar, na mestu direktora za informacione tehnologije i kvalitet. Od 01. 01. 2007. godine radi na mestu direktora za tehnički sistem u ogranku „Elektrotimok“ Zaječar, PD „Jugostok“ Niš.

Reinženjering poslovnih procesa

Pregledni rad

UDK: 001.82; 65.01; 311; 65.012.327; 65.012.325; 65.012.326; 612.012.3

Rezime:

Veoma je popularna misao da su prvi elementi reinženjeringa poslovnih procesa nastali sa uvođenjem automatske obrade podataka, te da je dalji uticaj na oblikovanje reinženjeringa imao nastanak Interneta, usvajanje standarda kvaliteta i seta protokola vezanih za internet i elektronsko poslovanje i td.

Mora se naglasiti da reinženjering poslovnih procesa ne donosi unapređenje postojećeg nivoa, već zahteva odbacivanje i ponovno započinjanje posla na nov način, tj. potrebno je rastaviti objekat na sastavne delove, a zatim ga ponovo sastaviti. Reinženjering je orijentisan prema izvodenju procesa, ukida fragmentaciju, jer zahteva timski rad i ima celovit (holistički) pristup procesima.

Za sprovođenje reinženjeringa poslovnih procesa potrebno je izvršiti sintezu procesa, vrsta ljudi, načina vrednovanja ljudi, kao i postavku nove organizacije poslova. Mora se voditi računa da ovako radikalni pristupi ne pogode ljude direktno, već se moraju izvoditi laboratorijske verzije reinženjeringa poslovnih procesa (simulacijsko modeliranje), gde je potrebno izvršiti proveru funkcionisanja, otkriti greške i nedostatke i sprovesti ispravke.

U trenutku promena koje slede u zemljama u tranziciji, pre svega vlasničkih promena, od interesa je sagledati i sprovesti istovremeno i proces reinženjeringa poslovnih procesa. U procesima koji se odvijaju u elektroprivredi od interesa je razmotriti i opravdanost primene reinženjeringa u procesima elektroenergetike.

U radu se dati rezultati istraživanja u domenu definisanja i sprovođenja procesa reinženjeringa.

Ključne reči: reinženjering, informacione tehnologije, poslovni proces, menadžment, kvalitet

Abstract:

BUSINESS PROCESSES REENGINEERING

It is very customary to believe that the first elements of business processes reengineering occurred with introducing the data processing, hence the further development of reengineering was influenced by development of internet, adoption of quality standards and sets of protocols related to internet and electronic business.

It is necessary to stress that the business processes reengineering does not result in upgrading the actual level, but requires restarting the business in another way, which necessitates dividing the object into sub particles and then putting it together again. Reengineering aims towards conducting the process, canceling the fragmentation, because it demands a team work and has an integral approach to processes. Business processes reengineering conduction requires synthesis of processes, types of people, systems of

valorizing people as well as setting the new business organization. It is important to ensure that this radical approach does not affect people directly, so it needs to be implemented through lab versions of business processes reengineering (simulation modeling), where it is necessary to check the functionality, find the errors, eliminate the malfunctions and correct mistakes.

At the exact moment of the change that is to occur, above all through ownership transformations, it is important to consider as well as conduct at the same time the business processes reengineering. When dealing with processes related to the power industry, it is of utmost interest to consider the justification of applying the reengineering processes in the energetic sphere.

The paper gives the research results in the domain of defining and conducting the reengineering processes.

Key words: reengineering, IT, business process, management, quality

1. UVOD

Generalno gledano, ne postoji opšteprihvaćena definicija reinženjeringa poslovnih procesa.

Razlog za ovakvo stanje stvari proističe iz činjenice da postoje mnoge zablude u vezi reinženjeringa poslovnih procesa, a koje se najbolje manifestuju u praksi, odnosno kroz pokušaj implementacije reinženjeringa poslovnih procesa.

U tom smislu, reinženjering poslovnih procesa se vrlo često poistovećuje sa menadžmentom totalnim kvalitetom (TQM), strategijom kontrakcije i zakreta, kontinualnim unapređenjem, kao i sa smanjenjem obima zaposlenih (downsizing).

Ove zablude doprinele su tome da reinženjering poslovnih procesa kao metod, kao filozofija, izade na loš glas, zahvaljujući neuspesima kompanija koje ga nisu implementirale na adekvatan način zahvaljujući činjenici da su ga poistovetile sa nekim drugim metodom unapređenja poslovanja.

Ono što se pri pokušaju definisanja reinženjeringa mora imati na umu jeste činjenica da reinženjering poslovnih procesa predstavlja radikalni redizajn poslovnih procesa organizacije.

U poslovnom svetu, kad neko spomene pojam reinženjering, obično se pod tim podrazumeva „početi iz početka”. Reinženjering zapravo predstavlja ponovni početak, tj. pokušaj da se celi posao radi bolje, na neki drugačiji način nego što se to radilo do sada.

Reinženjering poslovnog procesa je menadžment pristup koji izučava aspekte poslovanja i njegove interakcije, i teži da poboljša efikasnost potčinjenih procesa.

Redizajn/reinženjering poslovnog procesa može biti definisan kao: „analiza i dizajniranje toka rada i procesa u okviru i između organizacija”.

Reinženjering se često definiše i kao primena informacionih tehnologija u cilju poboljšanja performansi, kao i u cilju smanjenja troškova. Pri tome cilj reinženjeringa jeste utvrđivanje ciljeva organiza-

cije i redizajniranje procesa, a ne jednostavna automatizacija već postojećih procesa.

Reinženjering poslovnih procesa bismo mogli definisati i kao: proces redizajniranja ili ponovnog osmišljavanja načina na koji mi doživljavamo i izvršavamo svakodnevne aktivnosti unutar izvesnog sistema, i on predstavlja koncept koji je primenljiv u svim sektorima industrije, nezavisno od veličine, lokacije i tipa delatnosti.

Reinženjering je baza za mnoga skorašnja dostignuća u menadžmentu (primera radi: međufunkcijski timovi su postali veoma popularni usled zahteva za reinženjeringom odvojenih funkcionalnih zadataka u potpune međufunkcijske procese).

Reinženjering poslovnih procesa (BPR – Business Process Reengineering) je prelazak na novu tehnološku paradigmu (uzor) gde nema podele poslovnih procesa na: prodaju, marketing, računovodstvo..., već se organizovanje vrši oko kontinuiranih poslovnih procesa, čiji je osnovni cilj dostava proizvoda/usluge potrošaču/klijentu.

U cilju istinskog razumevanja reinženjeringa poslovnog procesa ključno je imati na umu da reinženjering poslovnih procesa nije „neočekivana sila koja se iznenada pojavljuje i rešava stvar”, već proces koji zahteva preduzimanje korenitih promena, nagli zaokret.

Aspekt reinženjeringa poslovnih procesa koji je povezan sa ljudskim resursima zahteva daleko veće angažovanje, i daleko je komplikovaniji i zahtevniji od tehnološkog aspekta reinženjeringa poslovnih procesa – dakle, reinženjering poslovnih procesa ne obuhvata samo implementaciju savremenih tehnologija, niti je jednostrano okrenut samo ka tom momentu.

2. ISTORIJAT RAZVOJA REINŽENJERINGA POSLOVNIH PROCESA

Sa pojedinim elementima reinženjeringa kao procesa susrećemo se već u XIX veku, međutim tek

u XX veku reinženjering poslovnih procesa dobija svoje novo ruho i postaje otelotvorenje težnje za sticanjem novih znanja i iskustava i inicijative za napretkom.

Termin „*reinženjering poslovnog procesa*” (BPR) uveo je u savremenu teoriju i poslovni svet Frederik Tejlor, i to u članku „*Principi naučnog upravljanja*”, koji je objavljen 1900. godine.

Sledeći ranije ideje koje su proisticale iz „*Studija o vremenu i kretanju*”, čiji su začetnici bili Frenk i Lilian Gilbert, naučno upravljanje je bilo prvi korak ka uvođenju reinženjeringa poslovnih procesa. Međutim, ispostavilo se da je taj korak bio neuspešan budući da je znatan broj ključnih pitanja ostao bez odgovora.

U Tejlorovo doba proizvodna radna snaga koja je smatrana, a tada je i predstavljala generator bogatstva, nije bila sačinjena od velikog ili barem znatnog broja obrazovanih ljudi.

Naučno upravljanje je dovelo do razbijanja proizvodnog procesa na cikluse mišljenja, jednostavnih sekvenci koje su bile ispunjene u najkraćem mogućem vremenskom intervalu, sa angažovanjem minimalnog napora.

Iako je ovaj metod doprinio tome da radnici češće ostvaruju pravo na povišice, on je istovremeno doprinio i tome da radnici jednako naporno rade do iscrpljenosti. Ova praksa unapređivanja efikasnosti u proizvodnji je uzrokovala da se ceo koncept pretvori u oruđe usmereno ka „*dehumanizaciji radnog mesta*”.

Metod naučnog upravljanja je doveo do stvaranja menadžmenta totalnim kvalitetom (TQM) u Japanu, nakon Drugog svetskog rata, koji je eliminisao mnoge nedostatke koje je imao raniji metod unapređenja poslovne strukture.

Vilijam Deming i dr Jozef Juran su pomogli Japanu da postane velika ekonomska sila, preuzimajući tržišno učešće od kompanija sa prostora Severne Amerike putem kvalitetnih proizvoda i usluga. Glavni cilj menadžmenta totalnim kvalitetom je unapređenje proizvodnih operacija.

Reinženjering poslovnih procesa je postao veoma popularan „*alat*” menadžmenta krajem 80-tih i početkom 90-tih godina XX veka.

Devedesetih godina XX veka, Majkl Hamer i Džejms Čampi predstavili su svoju knjigu „*Reinženjering korporacije*” koja je popularizovala termin „*reinženjering poslovnog procesa*”, ali i sam koncept.

Doprinos rada ovih autora unapređenju procesa veoma je često bio osporavan usled glasina koje su kružile povodom iznenađujućeg uspeha njihovog dela, ipak neosporno je da je njihov stav otvorio veoma konstruktivne rasprave.

Dakle, reinženjering je kompatibilan sa savremenim metodama upravljanja, i kao takav ne remeti kontinuum organizacije, već joj omogućava da ostvari radikalne promene na najbolji mogući način.

3. CILJEVI I SMISAO REINŽINJERINGA POSLOVNIH PROCESA

Prema Majklu Hameru i Džejmsu Čampiju tri ključna pokretača reinženjeringa su:

- želja za ostvarenjem visokog stepena konkurentnosti;
- radikalno unapređenje i
- želja da se prekine praksa glomaznog sistema upravljanja.

Uzrok reinženjeringa, tačnije potrebe da se isti primeni, jeste otvorenost tržišta, i samim tim, zahtev za visokim stepenom konkurentnosti.

Dakle, preduzeća više sebi ne mogu dopustiti luksuz snažne zaštite koju pružaju država i državne granice, kao što je to ranije bio slučaj.

Danas, u eri globalne ekonomije, potrošače odlikuju veoma sofisticiran ukus i zahtevnost.

Iako posledica reinženjeringa može biti drastično smanjenje broja radnih mesta u okviru jednog preduzeća (npr. od 200 zaposlenih na 50), krajnji cilj reinženjeringa kao oblika radikalne promene nije otpuštanje radnika, već je cilj maksimizacija satisfakcije potrošača poboljšanjem performansi (npr. umesto da od momenta prijema zahteva do momenta obrade istog ne prođe nedelju dana, već najviše 24 časa). Znači potrebno je ubrzati procese bez negativnog uticaja na njihov kvalitet.

Cilj reinženjeringa su radikalne, a ne inkrementalne promene.

Proces moderne industrijalizacije baziran je na teorijama o specijalizaciji, koje su doprinele tome da milioni radnika svakodnevno obavljaju monotone poslove.

To je doprinelo stvaranju mnoštva odeljenja, funkcija i poslovnih jedinica, kojima upravlja i po nekoliko slojeva menadžmenta koji predstavljaju u datom slučaju neophodan „*lepak*” za povezivanje mnoštva fragmentisanih funkcija.

Kako bi organizacija bila uspešna u budućnosti, odnosno kako bi mogla da se suoči sa izazovima koje savremeno poslovanje nosi a savremene informacione i komunikacione tehnologije omogućuju, organizacija će imati sve manji i manji broj slojeva i nivoa menadžmenta, a sve veći broj visokoobrazovanih radnika koji, osim znanja, poseduju i širok dijapazon veština.

Informacione tehnologije, čija je glavna namena u poslednjih pedeset godina bila automatizacija

manualnih zadataka i poslova, biće upotrebljene u cilju stvaranja novih modela rada.

Dakle, savremenom organizacijom neće upravljati savremene tehnologije, već će tehnologije biti samo provajderi daljeg razvoja.

Na osnovu svega napred navedenog dolazimo do zaključka da reinženjering poslovnih procesa ima sledeće tri kategorije ciljeva:

- cilj reinženjeringa poslovnih procesa jeste da se postigne konkurentski položaj, koji može biti dostignut jedino snabdevanjem klijenata onako kako to ne uspevaju ostali akteri na tržištu;
- efektivnost – kakva je efektivnost proizvoda ili usluge koju poslovna ili proizvodna kompanija plasira kupcu? Ako je bilo koji proizvod ili usluga koju preduzeće plasira kupcu uspešan, onda će kupci automatski želeti da kupe taj proizvod ili uslugu ponovo (na primer: Japanci su napravili automobile kao što su Honda i Tojota, čak iako su oni skuplji u poređenju sa domaćim automobilima, veoma su pouzdani – ovo dovodi do toga da kupci, uprkos višoj ceni, nastavljaju tokom godina da kupuju taj brend, jer je on simbol pouzdanosti) i
- efikasnost – kakva je efikasnost koja proizvodi proizvod pre njegovog uvođenja na tržište, sa aspekta minimiziranja troškova? Ovo je jedna od ključnih kategorija za koju se veruje da je važnija od drugih. Ako proizvodna kompanija može savladati sposobnost da bude efikasna, onda ona automatski može biti i naklonjena kupcu i efektivnija. Efikasnost nije cilj sama sebi, niti se odnosi samo na sektor proizvodnje – i menadžment nivo je u obavezi da bude efikasan (na primer: japanske kompanije su imale taj problem – efikasna je bila proizvodnja, ali ne i menadžment, međutim to je preokrenuto, i zahvaljujući tome japanska privreda napreduje).

Prvo pitanje sa kojim se suočavamo i koje sebi moramo postaviti u cilju kvalitetne implementacije reinženjeringa poslovnih procesa glasi:

Zašto sve ovo radimo?, odnosno
Šta želimo da postignemo?

Odgovor na ova pitanja označava početak neodložne, dramatične promene i primene tehničke podrške i biheviorističkih koncepata i alata koji su neophodni za implementaciju reinženjeringa poslovnih procesa.

Da bi se ovo postiglo, neophodno je da organizacije usvoje okruženje koje podstiče stvaranje kvantuma skokova usmerenih ka unapređenju, a to se postiže odbacivanjem postojećih sistema i procesa, i pronalaženjem novih.

Smisao i glavni cilj reinženjering procesa je da organizaciju učini značajno fleksibilnijom, odgovor-

nijom, efikasnijom i efektivnijom, zarad svojih klijenata, ali i zarad svojih zaposlenih i akcionara.

Ukoliko postoji namera da se reinženjering procesa implementira na valjan način, prioritetno je da se promene odvijaju na sledeći način:

- promena fokusa (pomeranje fokusa sa menadžmenta na klijenta);
- promena načina na koji se posmatraju radnici (preokret od stava da su radnici samo kontrolisana masa, i usvajanje stava da su oni punomoćnici, koji predstavljaju sastavni deo procesa i koji donose bitne odluke);
- orijentacija ka rezultatima, a ne ka aktivnostima;
- sa vodstva usmerenog ka očuvanju rezultata, na vodstvo usmereno na sticanje znanja, a sve u cilju toga da se postigne atmosfera u kojoj ljudi samokritično mere sopstvene rezultate;
- promena orijentacije od funkcionalne (vertikalne) na orijentaciju ka procesima (međufunkcijska ili horizontalna) i
- preusmeravanje snaga sa serijskih na konkurentske operacije;

4. NIVOI PRIMENE REINŽENJERINGA POSLOVNIH PROCESA I NJIHOVE KARAKTERISTIKE

Reinženjering poslovnih procesa predstavlja, dakle, primenu tehnologije i nauke o upravljanju sa zadatkom da se izvrši modifikacija postojećih sistema, procesa, proizvoda, a u cilju postizanja višeg stepena efikasnosti, efektivnosti, kao i radi uvećanja brzine odgovora na postavljeni izazov.

Međutim, zahtevi prilikom primene reinženjeringa kao alata razlikuju se, zavisno od toga na kom nivou se reinženjering primenjuje. Reinženjering se može primeniti na nivou celokupne organizacije, na nivou organizacionih procesa, ili na nivou proizvoda i/ili usluga koje predstavljaju polaznu osnovu aktivnosti organizacije.

Entitet koji će biti podvrgnut reinženjeringu može biti: sistemski menadžment; proces i proizvod/usluga ili kombinacija napred navedenih.

Nezavisno od toga o kom entitetu se radi, reinženjering podrazumeva trofazni ciklus koji uključuje: definisanje, razvoj i raslojavanje predmeta reinženjeringa.

4.1. Reinženjering na nivou sistemskog menadžmenta

Kada govorimo o reinženjeringu na nivou sistemskog menadžmenta mi zapravo govorimo o potencijalnim promenama koje će dodirnuti sve poslovne i organizacione procese.

Reinženjering na nivou sistemskog menadžmenta stoga se može definisati kao proces ispitivanja, proučavanja, uočavanja i promene unutrašnjih mehanizama funkcionisanja menadžment procesa u organizaciji, a u cilju rekonstituisanja istih.

4.2. Reinženjering na nivou procesa

Reinženjering se može sprovesti i na nivou organizacionih procesa.

Reinženjering na nivou procesa može se definisati kao proces ispitivanja, proučavanja, uočavanja i promene unutrašnjih mehanizama funkcionisanja, a u cilju iskorišćenja organizacionih ili tehnoloških mogućnosti.

4.3. Reinženjering na nivou proizvoda

Kada govorimo o reinženjeringu na nivou proizvoda zapravo podrazumevamo promenu već postojećeg proizvoda/usluge, što ne uključuje samo promene na fizičkom nivou, već podrazumeva i poboljšanje servisa. U datom slučaju reinženjering se može posmatrati i kao proces čiji je tok obratan od toka procesa inženjeringa procesa.

Postoji znatan broj sinonima kojima se označava reinženjering na nivou proizvoda: dorada, unapređenje proizvoda, modernizacija, ponovni razvoj i sl.

5. ZAHTEVI USPEŠNE IMPLEMENTACIJE REINŽENJERINGA POSLOVNIH PROCESA

Mnogi eksperti u oblasti reinženjeringa poslovnih procesa smatraju da postoji set zahteva koji moraju biti zadovoljeni kako bi došlo do uspešne implementacije reinženjeringa poslovnih procesa.

Taj set uključuje, između ostalih, sledeće zahteve:

- Inicijativa mora poteći sa „vrha”, a inicijator mora biti osoba sa vizijom, koja poseduje sposobnost da sagleda celokupan proces i sposobnost da svoju viziju plasira svim nivoima;
- Liderstvo koje stimuliše brze, dramatične promene;
- Sasvim novi sistem vrednosti koji stavlja naglasak na zadovoljenje potreba i želja klijenata, kao i na zadovoljenje interesa drugih akcionara;
- Ponovno osmišljavanje načina na koji članovi organizacije obavljaju svakodnevne aktivnosti, sa naglaskom na popravljavanje rezultata (pod rezultatima se podrazumevaju: kvalitet, troškovi, dužina trajanja ciklusa i drugi osnovni elementi);

- Stavljanje naglaska na rad međufunkcionalnih timova, čiji rezultat može biti strukturalno redizajniranje i redizajniranje procesa;
- Uvećavanje stepena disperzije informacija (što uključuje i kompjuterizaciju nakon procesa redizajna) a u cilju omogućavanja članovima organizacije da donose kvalitetnije odluke;
- Uključivanje i obuka pojedinaca koja za cilj ima postizanje kritične mase znanja koja daje moć da se sprovede reinvenija procesa i redizajn istih;
- Fokus na totalni redizajn procesa, što podrazumeva i nevoljno učešće svih internih članova (menadžera i drugih zaposlenih) i
- Nagrađivanje na osnovu ostvarenih rezultata i zauzimanja disciplinovanog i doslednog pristupa.

Naravno, to ne znači da je ovo finalna lista zahteva čijim ćemo jednostavnim ispunjenjem ostvariti preokret u načinu razmišljanja i funkcionisanja nekog sistema.

Reinženjering poslovnih procesa nije savršeni alat (savršeni alati ne postoje), već samo način razmišljanja i delanja koji omogućava da se kombinacijom odgovarajućih elemenata ostvari uspeh.

Ukoliko se ne prepoznaju kritični procesi, odnosno elementi koji su od vitalnog značaja za redizajn procesa, uspeh neće biti postignut, i već postojeći problem biće dodatno produbljen.

6. UZROCI NEUSPEHA PRI IMPLEMENTACIJI REINŽENJERINGA POSLOVNIH PROCESA

Generalno gledano, ne postoji precizna lista uzroka neuspeha prilikom implementacije reinženjeringa poslovnih procesa, jer mnogobrojni autori daju prioritet različitim elementima, odnosno uzrocima.

Organizacija će, prilikom pokušaja da implementira reinženjering poslovnih procesa, najverovatnije doživeti neuspeh ukoliko se ispune sledeći uslovi:

- Neuspeh da se ostvari fokus na kritične procese – Početni korak u sprovođenju reinženjeringa jeste odabir kritičnih procesa, jer samo usmeravanjem napora ka ključnim procesima može da se ostvari radikalna promena.;
- Ulaganje napora da se proces postepeno poboljša, umesto dramatične promene istog – jedan od najčešćih uzroka neuspeha reinženjeringa je upravo ovaj. Naime, znatan broj kompanija zapravo i ne sprovodi reinženjering procesa, već samo vrši neznatne promene koje naziva reinženjeringom. Ukoliko ne postoji radikalna promena, koja je dramatična i nagla – nema govora o reinženjeringu.;

- Davanje prioriteta reinženjeringu i ignorisanje ostalih dešavanja u sistemu (primera radi: zanemarivanje i potiskivanje u drugi plan strateškog planiranja; restrukturiranje na osnovu novih strategija i sl.);
- Zapostavljanje sistema vrednosti i kultura koje predstavljaju nužnu podršku procesu reinženjeringa, i dopuštanje postojanja kultura, stavova i ponašanja koja su u suprotnosti sa duhom reinženjeringa i koja omalovažavaju napore usmerene ka reinženjeringu – Ljudski resursi igraju veoma bitnu ulogu u uspešnom sprovođenju procesa reinženjeringa. Naime, ljudi se lakše identifikuju sa ciljevima ukoliko imaju motiv, zato menadžeri moraju da znatan deo svojih napora usmere ka motivisanju zaposlenih.;
- Zadovoljavanje sitnim uspesima, umesto zahteva dramatičnih rezultata – Obzirom na činjenicu da je reinženjering izuzetno bolan proces, sasvim je razumljiva pojava da se kompanije zadovoljavaju marginalnim promenama. Ovo predstavlja kapitalnu grešku, jer ne samo da ne dolazi do rešavanja problema, već se i postojeći problem višestruko uvećava.;
- Delegiranje ovlašćenja za upravljanje procesom reinženjeringa osobi koja ne razume prednosti reinženjeringa niti sagledava značaj promene – Upravljanje jednim ovako zahatevnim procesom ne sme biti prepušteno osobi koja ne poseduje dovoljno visok stepen stručnosti, koja nema dovoljno snage da proces privede kraju, koja je bezidejna, ne poseduje sposobnost da svoju viziju prenese drugima. Jednom rečju : potrebno je da se prava osoba nađe na pravom mestu, u pravo vreme;
- Rasipanje energije usmeravanjem na preveliki broj reinženjering procesa u istom trenutku – Reinženjering kao proces zahteva fokus i izuzetno visok stepen discipline. Ovo praktično znači da čak i najснаžnije kompanije moraju svoje napore usmeriti kao malom, ali odabranom broju procesa, inače ulaze u rizik da dožive neuspeh.;
- Zaustavljanje procesa reinženjeringa pre nego što se postignu rezultati ili pre nego što oni postanu vidljivi – Veoma često dolazi do toga da kompanije izgube početni elan, i da odustanu čim se suoče sa prvim problemom prilikom sprovođenja reinženjeringa. Međutim, neretko se dešava i da kompanije prekinu proces reinženjeringa čim se postigne i prvi uspeh.;
- Koncentrisanje na dizajn procesa, a zanemarivanje implementacije – Iako je redizajniranje procesa najvidljiviji deo procesa reinženjeringa, iako ima značajnu ulogu, ipak ne predstavlja i jedini deo tog procesa. Da li će neka kompanije izaći iz pro-

cesa reinženjeringa kao pobednik ili kao gubitnik ne zavisi samo od kvaliteta ideja, već i od toga kako će te ideje biti sprovedene u delo i

- Povlačenje kada dođe do otpora promenama koje proističu iz reinženjeringa kao procesa – Otpor prema promenama predstavlja sasvim normalnu pojavu, i ne bi trebalo da predstavlja iznenađenje ni za koga, a naročito ne za menadžera projekta. Ključ uspeha, dakle, jeste očekivati otpor i ne dozvoliti da taj otpor umanjí napore uložene u cilju ostvarenja promene;

Reinženjering zahteva otvoren um, spremnost na nagli zaokret, sposobnost da se sagleda „velika slika”.

Osim napred navedenog veoma je važno i odabrati pravi momenat za implementaciju reinženjeringa poslovnog procesa, inače bi u suprotnom efekti mogli biti pogubni.

7. SLIČNOSTI I RAZLIKE IZMEĐU TQM-a I REINŽENJERINGA

Poslednjih godina veliki trend je uvođenje standarda kvaliteta ISO 9000, koji u svojoj nadgradnji treba da preraste u TQM (Total Quality Management). Osnovne sličnosti između reinženjeringa i TQM-a ogledaju se u:

- orijentisanosti ka procesima;
- inicijativu za uvođenje (i za TQM i za reinženjering) daje top menadžment;
- delegiranju odgovornosti i ovlašćenja;
- potrebi za edukacijom i obukom kadrova.

Pristup reinženjeringu poslovnih procesa i TQM metodologiju karakterišu i drastične razlike:

- TQM-om se dobijaju kontinuirana i mala poboljšanja, reinženjeringom poslovnog procesa dolazi do naglih i drastičnih poboljšanja;
- TQM zahteva uključivanje svih zaposlenih, dok reinženjering zahteva rad po timovima;
- TQM zahteva male, dok reinženjering zahteva velike investicije;
- TQM zahteva uključivanje svih procesa, dok reinženjering uključuje pojedine, kritične procese;
- TQM podrazumeva dobrovoljno uključivanje zaposlenih, dok se reinženjering sprovodi „na silu”, odnosno po naredbi.

8. SLIČNOSTI I RAZLIKE IZMEĐU KONTINUALNOG UNAPREĐENJA I REINŽENJERINGA

Osim što se reinženjering poslovnih procesa često neopravdano poistovećuje sa TQM-om, on se vrlo često poistovećuje sa kontinualnim unapređe-

njem. Međutim, razlike između ova dva koncepta su drastične. Primera radi:

- Razlog za promenu kod kontinualnog unapređenja jeste želja za unapređenjem već postojećeg procesa, dok je kod reinženjeringa razlog želja za redizajnom, za stvaranjem kompletno novog procesa – borba za opstanak;
- Pristup promenama kod kontinualnog unapređenja je nestrukturiran, dok je kod reinženjeringa struktuiran i disciplinovan;
- Organizaciona struktura je kod kontinualnog unapređenja vertikalna ili horizontalna, dok je kod reinženjeringa struktura otvorena horizontalna;
- Kod kontinualnog unapređenja fokus je na delovima sistema, dok je kod reinženjeringa fokus na vezama u sistemu i
- Kontinualno unapređenje podrazumeva postepeno i dobrovoljno uključivanje, dok reinženjering poslovnog procesa ne podrazumeva dobru volju, već izvršenje i sl.

U sledećoj tabeli prikazane su osnovne razlike između kontinualnog unapređenja i reinženjeringa poslovnog procesa.

9. MODEL DONOŠENJA ODLUKA U CILJU PRIMENE REINŽENJERINGA POSLOVNIH PROCESA

Za potrebe sprovođenja reinženjeringa razvijen je model donošenja odluka. Prikazani model donošenja odluka ne treba posmatrati kao algoritamski prikaz toka akcija pri donošenju, primeni odluka i merenju rezultata preduzetih radnji. Model je koncipiran u cilju pokušaja da se olakša razumevanje akcija koje se preduzimaju, prema tome numeričko naznačavanje svakog koraka treba posmatrati isključivo uslovno.

Osim što nam prikazuje da reinženjering kao proces podrazumeva da se nekoliko procesa odvija istovremeno, a radi ostvarenja jednog cilja, ovaj model nas upućuje na to da reinženjering ne predstavlja alternativnu strategiju, već je komplementaran sa ostalim strategijama, te ga radi ostvarenja boljih rezultata treba kombinovati sa drugim strategijama.

U konkretnom prikazu početnu tačku predstavlja identifikacija korisnika procesa.

Ovaj korak je od vitalnog značaja za kvalitet sprovođenja celokupnog procesa – iz istog razloga ne sme doći do greške. Jedan od ciljeva identifikacije korisnika jeste posmatrati proces iz ugla korisnika radi boljeg razumevanja – ovo obezbeđuje objektivnost razmišljanja. Naredni korak je prikupljanje podataka – kako ne bi došlo do nagomilavanja podataka. Optimalno bi bilo skoncentrisati se samo na re-

levantne podatke, međutim ovo često predstavlja problem.

Iz istog razloga, pre otpočinjanja procesa prikupljanja podataka treba definisati merilo relevantnosti.

Istovremeno, mora se voditi računa da ne dođe do preteranog sužavanja obima podataka koji će biti uzeti u razmatranje, jer bi moglo doći do zanemarivanja bitnih aspekata procesa.

Cilj prikupljanja podataka jeste utvrditi šta korisnici datog procesa žele, u tom smislu utvrđivanje potreba jeste naredni korak.

Momentom utvrđivanja dolazi do razdvajanja procesa razmišljanja i delanja na dva pravca: na korak koji podrazumeva utvrđivanje mernih alata i ključnih okvira procesa, i na korak koji podrazumeva iniciranje internog i eksternog benčmarkinga.

Utvrđivanje mernih alata i ključnih okvira procesa je korak koji prethodi sprovođenju prvog stepena promene.

Što se benčmarking procesa tiče, cilj je utvrditi potencijalne izvore konkurentske prednosti, ali i utvrđivanje uzroka slabosti.

Prilikom sprovođenja procesa benčmarkinga nipošto se ne smemo ograničiti samo na konkurentske poređenje, jer izvore poboljšanja treba tražiti svuda, i u celom sistemu.

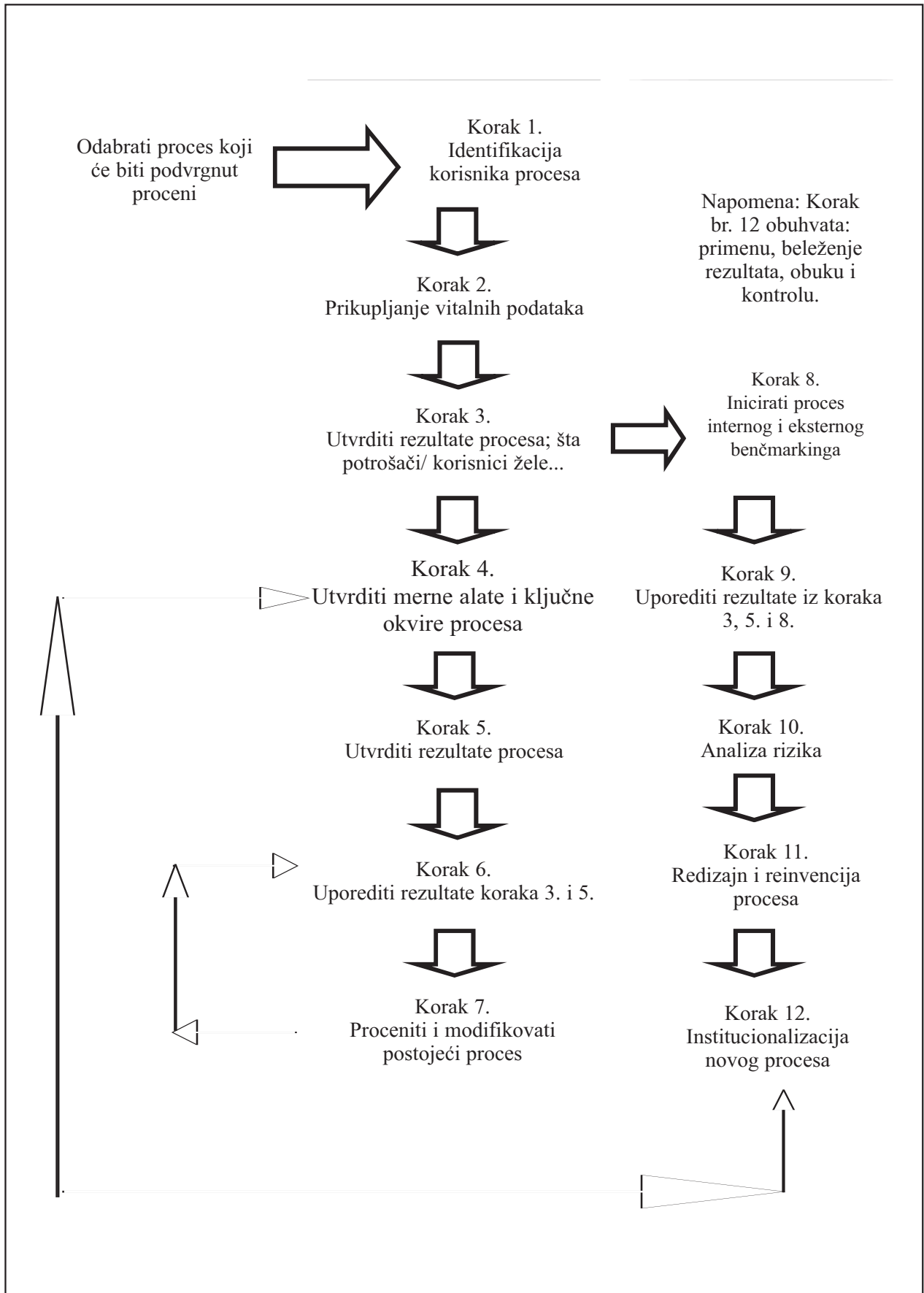
Kritični koraci su korak 11. i 12.

Kod koraka 11. mora se voditi računa da ne dođe do „*gušenja kreativnosti*”, kao i da ne dođe do kopiranja rešenja koja su već primenjena – cilj je stvoriti nešto istinski novo i bolje, a ne kopirati ili samo izmeniti redosled procesa mode radi.

Džon Majnard Kejns je kazao: „*Sve vidi i čuj, ali ne prepisuj niti pripisuj ono što je smučkano u tuđim retortama.*”, dakle treba učiti na tuđim greškama i uspesima, ali ne kopirati ih. Ukoliko dođe do kopiranja – onda zapravo ne dolazi do reinženjeringa, što znači da početni problem nije rešen, već je uvećan, a pride je nastao i novi problem koji je uzrokovan „*propalom investicijom*”.

Kod koraka 12. treba obratiti pažnju na znake otpora i samokritično beležiti rezultate. Prikrivanja neuspeha ne sme biti, kao ni prikrivanja postojanja otpora prema promenama, na taj način uspeh ne može biti ostvaren.

Momentom okončanja ciklusa reinženjeringa ne okončava se i nastojanje ka unapređenju performansi organizacije. Ključno je imati na umu da različite metodologije koje omogućavaju unapređenje (npr. kontinualno unapređenje i reinženjering poslovnih procesa) nipošto ne treba primenjivati odvojeno jedne od drugih ili tretirati kao alternativne opcije, već ih treba koristiti kao dva procesa kombinovana unutar jedinstvene inicijative za unapređenje.



Grafik kojim je prikazan model donošenja odluka u cilju primene reinženjering poslovnih procesa dokazuje da se u jednom ciklusu razmišljanja i delanja mogu kombinovati koraci usmereni ka unapređenju procesa i ka primeni reinženjeringa poslovnih procesa (nakon svega reinženjering poslovnih procesa i kontinualno unapređenje su deo jedinstvenog menadžmenta procesa).

Strategijski pristupi koji predstavljaju produžetak reinženjeringa poslovnih procesa su:

- Intenziviranje: unapređenje / reinvenija procesa u cilju satisfakcije potrošača/korisnika;
- Širenje: osvajanje novih tržišta;
- Strategija konverzije : uočavanje procesa koji valjano obavljate i pretvaranje istog u specijalizovanu uslugu koju pružate drugim preduzećima ;
- Strategija uvećanja: širenje procesa u cilju pružanja dodatnih usluga ili proizvoda;
- Strategija inovacije: korišćenje procesa i znanja u cilju poboljšanja načina isporuke proizvoda ili usluga i
- Strategija diversifikacije : stvaranje potpuno novih procesa.

Ukoliko se reinženjering kao alat menadžmenta primeni na valjan način, i ukoliko se kombinuje sa dopunskim strategijama, zasigurno će biti postignut uspeh. Ključni element uspeha, osim uvažavanja osnovnih koncepata i smernica, jeste rešenost: reinženjering predstavlja izuzetno grub, bolan proces (zbog svoje radikalnosti i dramatičnosti) i ključno je ne stati na pola puta i ne dopustiti da otpor prema promenama nadvlada pozitivna kretanja.

Ne postoji univerzalan primer, šablon, čijom primenom će se postići uspeh: svaka organizacija mora osmisliti sopstvenu shemu reinženjeringa i slediti je – iskustva drugih kompanija moraju se posmatrati tek kao primer.

Dva strategijska pristupa sa kojima ćemo se najčešće susresti prilikom sprovođenja reinženjeringa su „*top – down*” („*od vrha ka dnu*” ili „*odozgo – nadole*”) i „*bottom – up*” („*od dna ka vrhu*” ili „*odozgo – nagore*”).

Primena ovih strategijskih pristupa veoma je rasprostranjena (ovi strategijski pristupi igraju veoma značajnu ulogu u razvoju informacionih tehnologija i reinženjeringu softvera; primena ovih strategijskih pristupa značajna je i u nanotehnologiji ;značajnu ulogu igraju i u psihologiji, kao i u menadžmentu).

Obzirom na polja primene – postoje i različite definicije istih.

Posmatrano sa aspekta reinženjeringa poslovnog sistema možemo kazati da „*top-down*” strategija predstavlja širenje impulsa koji uzrokuju promenu od top menadžmenta ka nižim nivoima menadž-

menta, dok prema „*bottom-up*” pristupu ti impulsi kreću od najnižih nivoa menadžmenta ka top menadžmentu.

Mišljenja o ovim strategijskim pristupima su veoma podeljena.

Znatan je broj pobornika stava da je primena „*bottom-up*” strategije jedan od čestih uzroka neuspeha pokušaja da se sprovede reinženjering poslovnog procesa.

Istini za volju, zabeležen je i znatan broj slučajeva neuspešnog reinženjeringa u slučaju primene „*top-down*” strategije.

Oba strategijska pristupa imaju prednosti i mana (Primer radi: „*top-down*” pristup ne zahteva postojanje konsenzusa prilikom donošenja odluke, zapravo zanemaruje ga, dok je „*bottom-up*” strategija okrenuta ka potrebama zaposlenih u smislu satisfakcije u sudelovanju pri donošenju odluka koje su od uticaja na njihovu budućnost itd.

Naravno, postoji i stav da je poželjno kombinovati ova dva strategijska pristupa, i tretirati ih kao komplementarne, a ne kao alternativne.

Praksa je pokazala da je kombinovanje ovih pristupa povoljno kada se vrši reinženjering ljudskih resursa, jer tada dolazi do minimizacije negativnih efekata strategijskih pristupa, što rezultira minimizacijom otpora zaposlenih, ali i drugih stejkholdera poslovnog sistema.

Međutim, postoje i situacije kada je kombinovanje ovih pristupa praktično nemoguće, ili je iracionalno jer, za razliku od TQM-a, reinženjering ne podrazumeva voljno učestvovanje – već „*diktatorsko*” sprovođenja promena.

Pod pojmom „*diktatorsko sprovođenje*” ne podrazumeva se nametanje nekreativnih rešenja, već preduzimanje akcija na organizovan način koji omogućava minimalan utrošak energije sistema u cilju ostvarenja maksimalnog učinka.

Ono što je bitno pomenuti u vezi ova dva strategijska pristupa jeste činjenica da je primena i jednog i drugog jednako bolna, ali je neophodna budućći da omogućava identifikovanje i otklanjanje prepreka uspešnom sprovođenju reinženjeringa.

10. UTICAJ REINŽENJERINGA NA KONKURENTSKU SPOSOBNOST

Reinženjering poslovnih procesa je fundamentalna promena razmišljanja i shvaćanja poslovanja, gde se pre svega donosi odluka „*ŠTA?*”, pa onda i „*KAKO?*” da se uradi, a na kraju i šta treba da bude rezultat, imajući u vidu da je to dizajniranje popuno novog načina izvršenja poslovnih, tehnoloških i drugih procesa. Ovo rezultira dramatičnim unapređenjem kritičnih performansi u odnosu na konkurenciju.

ju, a vezano je za cenu, kvalitet i brzinu pojavljivajna na tržištu.

Praktična iskustva u firmama gde je sproveden reinženjering poslovnih procesa je:

Posmatrani parametar	Poboljšanje / promena (%)
Unapređenje kvaliteta	84
Brža pojava proizvoda	75
Troškovi razvoja (smanjenje)	54
Smanjenje izmena (na proizvodu)	48
Povećanje profita	35
Unapređena komunikacija	61

Na osnovu podataka navedenih u tabeli dolazimo do nedvosmislenog zaključka da reinženjering predstavlja veoma dobru osnovu za izgradnju trajne konkurentne prednosti.

Naravno, izlišno je pomenuti da neće svaki pokušaj reinženjeringa poslovnih procesa biti uspešan, a uzrok ne treba tražiti u nesavršenosti reinženjeringa kao alata, već isključivo u nesavršenosti onih koji pokušavaju da ga implementiraju.

Nijedan proces ne funkcioniše po automatizmu.

11. UTICAJ REINŽENJERINGA NA LJUDSKE RESURSE

Svaka nagla promena izaziva otpor, i ovo ne bi trebalo da predstavlja iznenađujuću informaciju.

Što je „sila” kojom se dejstvuje na sistem koji se želi izmeniti veća, to je veći i otpor koji pruža sistem : ovakav vid destruktivnog odnosa nije poželjan, zato treba težiti ka pronalaženju linije koja pruža niži stepen otpora, i preokrenuti sistem na način koji omogućava najniži stepen destrukcije.

Pronalaženje linije nižeg otpora ne treba posmatrati u negativnom smislu kao odbacivanje mogućnosti hvatanja u koštac sa velikim problemima, već kao strategiju koju primenjuju džudo borci: što snažnije nasrneš na neprijatelja – lakše će te pobediti, jer je tvoja sopstvena snaga protiv tebe.

Otpor prema promenama ne treba tumačiti isključivo u svetlu zakona inercije, jer to može dovesti u zabludu da je otpor uzrokovan intelektualnom lenjošću – otpor je proizvod straha od neizvesnog, od gubitka mesta u društvu.

Dakle, uticaj reinženjeringa na zaposlene je drastičan, oni se osećaju zbunjeno, potisnuto i ugroženo.

Zbunjenost, kao i osećaj potisnutosti i ugroženosti, proističe iz nemogućnosti da se sagleda „velika slika”, odnosno potreba za sprovođenjem promene.

Ovi osećaji koji uzrokuju otpor prema promenama jednim svojim delom proističu i iz vulgarizacije koncepta reinženjeringa, i poistovećenja istog sa automatizacijom.

Jedan od ciljeva reinženjeringa jeste i širenje di-japazona znanja koje poseduje pojedinac, odnosno raskidanje sa praksom uskospecijalizovanog znanja.

Definisani cilj podrazumeva stimulisane zaposlenih da samostalno proširuju svoja znanja, da svakodnevno stiču nove veštine – iz istog razloga menadžer u procesu reinženjeringa nužno preuzima ulogu trenera, i pridodaje je ostalim ulogama.

Jednu od bitnih prepreka efikasnosti i efektivnosti kompanije predstavljaju komunikacijske barijere, one uzrokuju gubitak energije koju poseduje sistem, i iz istog razloga treba ih eliminisati.

Uspešno sprovođenje reinženjeringa zahteva visok stepen lične odgovornosti, discipline i koherentnosti, međutim, ne treba uzaludno težiti ka tome da se koherentnost grupa ostvari tamo gde to nije moguće.

Dakle, iako kompanija ima društvenu odgovornost – ona nije socijalna ustanova, niti sebi sme dopustiti takvo ponašanje.

Jedno od veoma važnih pitanja jeste i timski rad, budući da timski rad omogućava da se na kvalitetan način iskoristi intelektualni kapacitet i potencijal pojedinca. Iskustvo je pokazalo da narod sa ovih prostora odlikuje izuzetno visok pojedinačni intelektualni kapacitet i potencijal, ali da on veoma teško dolazi do izražaja kod timskog rada.

Ovo nije još jedan u nizu pomodarskih trikova: samo uspostavljanjem veza između pojedinaca može se postići visok rezultat na polju iskorišćenja intelektualnog kapitala.

12. ANALIZA POSTOJEĆE ORGANIZACIONE KULTURE KAO PREDUSLOV ZA USPEŠNO SPROVOĐENJE REINŽENJERINGA

Organizaciona kultura, najjednostavnije rečeno, predstavlja skup vrednosti, moralnih šablona i načina ponašanja koji su usvojeni u jednoj organizaciji, prema kojima se članovi date organizacije ugledaju.

Organizaciona kultura se ne sme nametati na veštački način, ona nastaje sa protokom vremena – nametanje veštačke kulture je kontraproduktivno, jer uzrokuje otpor.

Jedan od najznačajnijih aspekata pri sprovođenju reinženjeringa jesu ljudski resursi, jer putem njih se ideja o promeni sprovodi u delo.

Iako je jedan od najčešćih uzroka otežanog sprovođenja reinženjeringa upravo otpor koji članovi organizacije pružaju, i iako bi bilo lakše da se taj otpor momentalno slomi i eliminiše, to nije u potpunosti moguće, niti je opravdano.

Nije mali broj kompanija koje nemaju vremena za sprovođenje analize organizacione kulture, kao i za razumevanje vrednosti i verovanja svojih zaposlenih – takve kompanije otpor eliminišu otpuštanjem radnika (metoda „*daunsajzinga*”). Na taj način, one stvaraju veštačku kulturu, što dugoročno posmatrano predstavlja problem, a ne rešenje.

Takve kompanije zapravo ne sprovedu reinženjering, jer iako reinženjering podrazumeva svođenje broja radnika u jednoj organizaciji na optimalan broj, kao i smanjenje broja slojeva menadžmenta – to nije jedini aspekt reinženjeringa, niti se pojam reinženjeringa time iscrpljuje.

Cilj reinženjeringa, barem kada je organizaciona kultura po sredi, jeste kreirati zdravu kulturu, optimalne odnose između zaposlenih i menadžera, i samim tim stepen produktivnosti, fleksibilnosti i kreativnosti podići na najviši mogući nivo.

Analiza postojeće organizacione kulture ima za cilj razumevanje vrednosti, mentalnih šablona i šablona ponašanja, kao i odnosa koji postoje u datoj organizaciji.

Ovo omogućava prepoznavaње ključnih procesa koji se odvijaju na nivou ljudskih resursa, kao i razumevanje uzroka nedovoljnog iskorišćenja raspoloživog intelektualnog kapitala, kao i utvrđivanje strategija i pristupa delovanja na zaposlene u cilju prihvatanja promena.

Reinženjering ne zahteva dobrovoljno učestvovanje zaposlenih, ali ipak zaposleni moraju biti motivisani, i mora im biti stavljeno do znanja da je njihovo učešće važno. Ovo se postiže delegiranjem ovlašćenja.

Na koji način će biti izvršena analiza postojeće organizacione kulture veoma zavisi od tipa organizacije koja se analizira, od stepena povezanosti zaposlenih, stepena koherentnosti i broja podgrupa koje postoje u toj organizaciji (npr. ne može se primeniti identičan model reinženjeringa u kompaniji koja se bavi proizvodnjom kablova i visokoškolskoj ustanovi – samo zato što se ove dve aktivnosti drastično razlikuju, ili zato što je organizaciona struktura drugačija, već i zato što su posledice njihovog delovanja na društvo drugačije, kao i zbog različitosti u organizacionim kulturama).

Ukoliko bi vršili analizu organizacione kulture u jednoj visokoškolskoj ustanovi, morali bismo posebno analizirati podkulture: menadžera, predavača, asistenata, pomoćnog osoblja u nastavi, administrativnih radnika i drugih radnika.

Tek nakon analiziranja ovih podkultura mogli bismo analizirati zajedničku kulturu, i pristupiti oceniti stepena koherentnosti i motivisanosti zaposlenih i menadžera, a nakon toga i formulisanju strategije uticaja na ljudske resurse i iskorišćenje intelektualnog kapitala.

13. REINŽENJERING I INFORMACIONE TEHNOLOGIJE

Informacione tehnologije danas imaju status uslova bez koga ne može opstati nijedna kompanija, bez obzira na to koju delatnost vrši (uslužnu ili proizvodnu; da li proizvodi poljoprivredne proizvode ili se bavi proizvodnjom kozmetičkih proizvoda), i bez obzira na to da li se radi o transnacionalnoj kompaniji ili o nekom regionalnom preduzeću. Ovakvo stanje stvari nametnuto je razvojem tržišta. Aktuelno stanje na tržištu istovremeno je i uzrok, ali i posledica globalizacije. Pored toga treba napomenuti i da su informacione tehnologije od alata u poslovnim procesima postale segment koji uslovljava kako organizovati taj proces da bi se ostvarila konkurentnost na tržištu.

Uloga informacionih tehnologija u procesu reinženjeringa poslovnih procesa veoma često se krivo tumači, što uzrokuje neuspeh sprovođenja procesa reinženjeringa.

Uvođenje/primena informacionih tehnologija nije sama sebi cilj, niti će do promene doći momentom uvođenja – naprotiv, proces promena tim momentom tek započinje.

Dokaz da ni najsavremenija tehnologija ne može da nadomesti izostanak ideja i stručnost menadžmenta nalazimo u našoj privredi: javna je tajna da su izvesne kompanije (koje su, uzgred budi rečeno, već bile na ivici propasti) pokušale da ostvare poboljšanje pribavljanjem sofisticirane i veoma skupe opreme, koja ili nije bila upotrebljavana na adekvatan način, ili nije bila upotrebljavana uopšte.

Takvo neodgovorno ponašanje doprinelo je stvaranju još većeg problema, tačnije uzrokovalo je prenošenje poremećaja iz jednog sistema (datog preduzeća) na veći sistem (tržište cele države).

Informacione tehnologije, baš kao i reinženjering, traže potporu u kvalitetnom menadžmentu, kao i u kvalitetnim ljudskim resursima. Menadžment, ljudski resursi i informacione tehnologije skupa čine „*sveto trojstvo*” koje predstavlja preduslov za opstanak na savremenom tržištu.

Pri tome, menadžment ima ulogu elementa koji integriše, odnosno elementa koji stimuliše da se proces unapređenja i redizajna sprovede iznova na kraju svakog ciklusa.

To, naravno, nipošto ne znači da menadžment ima primat nad ostalim elementima „trojstva”: iznalaženjem balansa na relaciji menadžment-ljudski resursi-informacione tehnologije kompanija bira svoju budućnost.

Iz istog razloga kompanija mora razviti sopstveni model, sopstvenu meru koja će biti u skladu sa njenim ciljevima, misijom i vizijom.

Može se reći da informacione tehnologije igraju bezbroj glavnih i epizodnih uloga u reinženjeringu poslovnih procesa, te je jako teško prepoznati sve i svaku od njih.

Znatan broj stručnjaka smatra da je za reinženjering poslovnih procesa informaciona tehnologija od presudnog značaja, i da reinženjering u današnjim tržišnim uslovima bez nje ne bi bio moguć.

Naime, informacione tehnologije u znatnoj mери poboljšavaju poslovne procese, jer se pomoću njih mogu obavljati razni složeni zadaci na daleko efikasniji način no što bi se obavljali na drugi način.

Sasvim je izvesno da organizacije koje ne prate razvoj informacionih tehnologija, a pri tome žele da ostvare uvećanje konkurentnosti, ne samo da neće moći da ostvare taj cilj, već će se suočiti sa ozbiljnim problemima.

Informacione tehnologije predstavljaju izuzetno značajnu podršku reinženjeringu kao složenom procesu, a najvažnija područja (ali ne i jedina) u kojima se informaciona tehnologija koristi kao potpora reinženjeringa poslovnih procesa su:

- formiranje kvalitetnih baza podataka: primena informacionih tehnologija omogućava da vitalne informacije budu dostupne u svakom momentu, svim nivoima menadžmenta, odnosno svim zainteresovanim stranama;
- ekspertske sistemi i sistemi za podršku procesu odlučivanja (decision support system) : informacione tehnologije omogućavaju da veći broj ljudi lakše obavlja posao za koji je ranije bilo potrebno posedovati znanje vrhunskog eksperta; ovo pozitivno utiče na donošenje relevantnih i kvalitetnih odluka, te na kredibilitet istih (naravno, to nipošto ne znači da zahvaljujući ovim sistemima ne postoji potreba za angažovanjem stručnih kadrova, već dati sistemi omogućavaju da se pojedine odluke donose brže i kvalitetnije);
- telekomunikacijske tehnologije: značaj i uloga istih ogleda se u brzom protoku informacija kroz različite hijerarhijske nivoe unutar organizacije;
- sistem mobilnih komunikacija: ovaj sistem omogućava da se komunikacija i poslovna aktivnost odvijaju van poslovnih prostorija (ovim dolazi do probijanja prostornih barijera), a zahvaljujući upotrebi mobilnih telefona, e-maila i drugih internet servisa i

– satelitska tehnologija – primena satelitske tehnologije omogućava organizacijama praćenje odvijanja poslovnih aktivnosti na pouzdan i jednostavan način, nezavisno od toga gde se odvija poslovna aktivnost. Ovo ima pozitivan uticaj na prevenciju i rano otkrivanje eventuanih poslovnih propusta i grešaka.

Naravno, nipošto ne smemo izgraditi stav na osnovu ovoga što je napred navedeno da se uloga informacionih tehnologija ograničava samo na data polja, već su konkretni primeri dati usled uočljivosti konkretnih uloga u poslovnim sistemima.

14. PRIMERI PRIMENE REINŽENJERINGA POSLOVNIH PROCESA

14.1. Okvirni primer

Banka „X” vrši standardne aktivnosti (investiranje, kartičarstvo, kreditiranje...), a jedna od značajnih dopunskih aktivnosti je povezana sa aktivnostima na preprodaji (npr. učešće u prodaji osiguranja i davanju garancija).

Ukoliko sektor koji je zadužen za obavljanje aktivnosti povezanih sa kartičarenjem ne funkcioniše na zadovoljavajući način, banka bi morala da preduzme akcije u cilju poboljšanja performansi tog odeljenja.

Neke od aktivnosti koje bi banka preuzela su npr.: smanjenje kamatne stope, dodatno angažovanje na polju prepakovanja zajmova, kredita, vođenje portfolia investicija...

Ovo nije reinženjering, ovo je tek poboljšanje postojećeg procesa u cilju sprovođenja redizajna i reinženjeringa poslovnog procesa.

Cilj je stvoriti mrežu pozitivnog uticaja koja će se proširiti po organizaciji, ali istovremeno treba imati na umu da, ukoliko preduzete akcije ne dovedu do poboljšanja stanja i uspeha, to će za posledicu sigurno imati drastične gubitke.

14.2. Primer kompanije „Bell Atlantic”

Bell Atlantic je američka komunikacijska kompanija koja posluje u srednjoatlantskim državama u uslovima gde nema konkurencije. Kompanija je odgovarala na zahteve korisnika prema nekom svom vremenskom rasporedu, bez preterane zainteresovanosti za kvalitet usluga koje je davala. Za procesiranje zahteva od predaje do uključenja korisnika trebalo joj je odprilike 15 dana ili 30 dana za veće korisnike. Budući da su bili jedini, nisu marili za to koliko dugo traje taj proces. Uskoro se pojavila pretnja iz druge kompanije koja je nudila optičke kablove, tehnologiju koju Bell Atlantic još nije imao, i to u

područjima gde je Bell imao velike korisnike sa velikim zahtevima za prenos podataka i video komunikacijama. Nova kompanija osiguravala je bolju tehnologiju, pouzdaniju, jeftiniju i zahteve su procesirali za samo četvrtinu vremena. Prema rečima Regis Filtz-a, jednog od direktora Bell Atlantica, prepoznata je razlika u performansama kompanije i konkurencije. Prema njegovim rečima kompaniji su trebale dramatične promene. Oni su proveli, uz pomoć nezavisnog konsultanata, analizu radnog procesa od primanja do procesiranja zahteva za uslugom. Analizom su utvrdili da od početka do kraja prođe 13 primopredaja između različitih radnih grupa i da je u to uključeno 27 različitih informacijskih sastava. Ne samo da je proces spor, nego je i jako skup. Daljom analizom se pokazalo da je za 15 dana napravljeno 10 sati posla, a za 30 dana 15 sati posla.

Za reinženjering su uzeta dva tima od kojih je jedan (core) bio zadužen za brainstorming, redizajn i plan novog procesa. Cilj im je bio naći način da se osigura usluga kupcima u što kraćem vremenu. Taj tim je redizajnirao novi proces koji je fizički povezao nekoliko funkcija starog procesa na istu lokaciju.

Nakon dizajniranja procesa uključio se i drugi tim (lab), a njihov zadatak je bio testiranje dizajniranog procesa i prosleđivanje rezultata testiranja natrag prvom timu. Tako se stvorio iterativni proces gde je drugi tim testirao proces koji je stvorio prvi tim.

Nakon nekoliko meseci, vreme se smanjilo na dane umesto na nedelje, a u nekim slučajevima i na sate. Kvalitet se takođe veoma poboljšao. Takav timski redizajn proveden je u svim podružnicama kompanije. Promene su se takođe dogodile i u menadžmentu, organizacijskoj kulturi, redizajnirane su vrednosti i kompanija je počela povećavati svoje znanje grupisanjem poslova.

14.3. Primer kompanije „Dženeral Motors“

Kompanija Dženeral Motors sprovela je trogodišnji plan koji je bio usmeren ka povezivanju višestrukih desktop sistema u jedan. Ovaj proces je u internim krugovima bio poznat pod nazivom : Formiranje doslednog radnog okruženja. Ovaj proces reinženjeringa je, između ostalog, uključivao svodenje broja prisutnih marki desktop sistema, mrežnih operativnih sistema, tehnoloških platformi i alata za razvoj aplikacionih sistema na prihvatljiv broj koji omogućava adekvatno upravljanje. Prema rečima Donalda Hedina, taj proces je „postavio temelje za primenu jednostavne komunikacione strategije“. Ova promena omogućila je da kompanija umanjí troškove opreme od 3 % do 5 %, troškove licenci za 60 %, a

istovremeno je znatno povećana efikasnost celog sistema zahvaljujući činjenici da je primena jedinstvene tehnološke platforme onemogućila pojavu problema uzrokovanih inkompatibilnošću.

14.4. Primer kompanije „Procter & Gamble“

Kapitalni problem kompanije Procter & Gamble bila je konkurentnost – kao i jedno od većitih pitanja koje muči svako veliko preduzeće: Kompanija koja ne inovira nestaje, ali da li je razumno inovirati onda kada najveći deo inovacija doživi neuspeh?

Rešenje je: inovirati inovaciju!

Primena savremenih informacionih tehnologija doprinela je ovoj kompaniji da uveća svoju prodaju na ukupnom nivou za 19 %, kao i da zarada po akciji naraste za 25 % u izuzetno kratkom roku. Najveći deo istraživanja i razvoja ove kompanije (planira se da se u budućnosti dosegne obim od 90 %) odvija se na virtualnom nivou, što predstavlja fantastičnu uštedu.

14.5. Primer kompanije „Ford“

Ford se suočio sa ozbiljnim problemom vezanim za opozivanje proizvoda sa tržišta i sa znatnim izdacima vezanim za servis u garantnom roku.

Uvođenje markiranja bar kodom svakog od delova (čak i najmanjih) i postavljanje skenera duž montažnih traka koji kontrolišu da li je svaki od delova montiran i da li je na mestu – znatno je umanjilo napred navedene troškove. Jedan od problema predstavljali su izuzetno visoki troškovi sastanaka predstavnika ogranaka – koji su smanjeni uvođenjem VOIP komunikacija.

15. MOGUĆA PRIMENA REINŽENJERINGA U PROCESIMA KOJI SE ODVIJAJU U ELEKTROPRIVREDI

U procesima koji se odvijaju u elektroprivredama zemalja u tranziciji, koji se uglavnom odnose na odvijanje delatnosti koje se direktno ne odnose na procese proizvodnje i distribuciju električne energije, proces reinženjeringa može dati značajne rezultate.

Pri tome potrebno je sagledati sledeće promene:

- Promena organizacione strukture: od hijerarhijske ka ravnoj, sa manje hijerarhijskih nivoa;
- Promena ćelije rada: od funkcionalnih odeljenja ka radnim timovima;
- Promena sadržaja rada: od jednostavnih poslova ka višedimenzionalnim, s ciljem da se maksimalno podigne stepen korišćenja radnog vremena;

- Promena uloge menadžera: od supervizora ka treneru i mentoru;
- Promena uloge zaposlenih: od kontrolisanih ka ovlašćenim akterima;
- Promena sistema vrednosti i korporativne kulture: radi za mušterije, a ne za šefa;
- Promena u pripremi za rad: od treninga (obuke) ka obrazovanju;
- Promene u merenju radnih performansi i kompenzacije: od aktivnosti ka rezultatima (ništa tako dobro ne uspeva kao uspeh) i
- Promene kriterijuma napredovanja: od performansi ka sposobnostima.

16. ZAKLJUČAK

Reinženjering poslovnih procesa treba da poboljša organizacionu strukturu.

Dakle, jedan od primarnih ciljeva reinženjeringa poslovnih procesa jeste stvaranje uslova za preorijentisanje ka spoljašnosti, omogućavanje zamene sporih i nefleksibilnih mera merama koje omogućavaju prilagodavanje brzim i drastičnim promenama, kao i preuzimanje uloge tvorca pravila, povećanje kvaliteta i smanjenje troškova, eliminisanje uzroka gubitka energije u sistemu putem eliminacije nepotrebnih aktivnosti, omogućavanje razvoja pozitivne korporativne kulture, kao i definisanje široke odgovornosti zaposlenih.

Međutim, postoje dve vrste opasnosti prilikom sprovođenja reinženjeringa:

- sprovođenje redizajna poslovnih procesa uslovljava i odgovarajuće poslovne i informacione promene – ako se ove izmene ne ostvare, može doći do nastanka uskih grla širom organizacije;
- druga opasnost vezana je za mišljenje da primena novih tehnologija treba automatski da doprinese direktnom unapređenju poslovnih procesa, što uopšte nije slučaj.

Praktična iskustva pokazuju da skoro 70 % tipičnih akcija usmerenih ka sprovođenju reinženjeringa ne daje rezultate na duži vremenski rok.

S obzirom na to da bi reinženjering trebalo da unese promene, kao i uzimajući u obzir visoke troškove koji su u sprezi sa reinženjeringom kao procesom, ovaj visok stepen neuspešnosti je problematičan.

Zbog čega je stepen uspešnosti tako nizak (svega 30 %)?

Da li je razlog u prekomernom planiranju ili u lošoj proceni procesa koji su morali biti podvrgnuti procenama, ili je po sredi ljudski faktor koji stvara otpor prema promenama?

Može se odmah istaći da rešenje jednim delom leži u ostvarivanju optimalnih veza na relaciji : in-

formacione tehnologije – ljudski resursi – reinženjering; međutim, izgledi za uspeh sprovođenja reinženjeringa pre svega zavise od uverenosti top menadžmenta u uspeh.

Poslovni procesi se analiziraju sa stanovišta najviših rukovodilaca, dok se uvođenje reinženjeringa izvodi na operativnom nivou.

Dakle, na nivou rukovodilaca, tj. na najvišem (strateškom) nivou postavljaju se odgovarajući ciljevi i planiraju se resursi, odnosno daje se odgovor na pitanje: šta treba raditi?

Srednji (taktički) nivo omogućuje upravljanje resursima, obezbeđuje ih i koristi. Ovaj nivo daje odgovor na pitanje: kako treba da se uradi?

Najniži (operativni) nivo treba da omogući izvođenje i kontrolu aktivnosti, i da radi ono što mu je postavljeno kao zadatak.

Samo ovaj vid odvijanja aktivnosti omogućuje da se proces reinženjeringa sprovede na valjan način.

Jedna od zamki u koje kompanija koja želi da sprovede reinženjering često upada predstavlja mentalni šablon, koji se u najkraćem svodi na sledeće: ljudski resursi su izvor troška, automatizacija (smanjenje učešća ljudskog rada u maksimalnoj mogućoj meri) je jedini lek.

Napred pomenuti mentalni šablon doveo je do obezvređenja koncepta reinženjeringa, budući da je zanemario jedan od nosećih stubova reinženjeringa, a to je kreativnost.

Dakle reinženjering se ne sme vulgarizovati svodenjem na termin i pojam kao što je masovno otpuštanje radnika ili iskorišćavanje prednosti jeftine radne snage nerazvijenih zemalja, jer se sam reinženjering time lišava svoje kreativne strane i svodi se na prost mehanizam koji može primeniti i najbezi- dejniji menadžer.

Upravljanje ljudskim resursima je samo jedan od elemenata radikalne transformacije, a instrument te transformacije jesu informacione tehnologije; znači, moguće je uspostaviti funkcionalne odnose između savremenih tehnologija i ljudskih resursa – uprkos sukobu koji postoji na toj relaciji.

Savremene informacione tehnologije predstavljaju suštinski faktor koji omogućava reinženjering poslovnih procesa. Stoga se ne može izvršiti reinženjering poslovnog procesa kompanije koja ne prihvata informacione tehnologije ili nije spremna da u iste investira ili ovaj proces identifikuje kao proces automatizacije. Uloga i značaj informacionih tehnologija u procesu reinženjeringa nipošto se ne svode samo na primenu u oblasti simulacionog modeliranja ili na primenu elektronskog poslovanja – mada ova dva aspekta primene informacionih tehnologija imaju izuzetno veliki značaj.

16. LITERATURA

- [1] Reengineering the corporation – A manifesto for business revolution, Michael Hammer and James Champy, London, 1995.
- [2] Reengineering Human Resources: Achieving radical increases in quality, Lyle M. Spencer, London, Wiley 1995.
- [3] Reengineering yourself and your company, Howard Eisner, Artech house Inc. , London, 2000.
- [4] Internet Governance – issues, actors and divides, Jovan Kurbalija & Eduardo Gelbstein, Diplo foundation, 2005.
- [5] Reengineering the corporation: A Manifesto for Business Revolution, Hammer M., Champy J., Harper Business, New York, 1993.
- [6] www.en.wikipedia.org (Bottom-up strategy, Business process architecture, Business process reengineering, Business transformation, Change management, Consumer protection, Continuous improvement, Contemporary business strategies, Downsizing method, Human resources management, Human capital, Internet governance, Principles of scientific management, Process change management, Process design, Redesign, Reengineering, System, Scientific management, Simulation modeling, Software redesign, Taylor, Time and Motion studies, Top-down strategy, Total quality management
- [7] www.controlchaos.com
- [8] www.arc.cmu.edu/cbpd
- [9] www.iwsp.human.cornell.edu
- [10] www.degw.com
- [11] www.workplayce.com
- [12] www.ifma.org
- [13] www.informit.com
- [14] www.lajollainstitute.org
- [15] www.reading.ac.uk/LM/LM/newtitle.html
- [16] www.future-at-work.org/

Rad je primljen u uredništvo 07. 02. 2007. godine



Milan B Radunović (1951) diplomirani elektroinženjer (ETF Beograd), magistar elektrotehnike (ETF Beograd), doktor ekonomskih nauka (Univerzitet Megatrend). Radio u Zajednici jugoslovenske elektroprivrede, RO za izgradnju dispečerskog centra, Elektroprivrednom inženjeringu, Univerzitetu Megatrend. Sada zaposlen u Višoj elektrotehničkoj školi, Beograd.

Ima veći broj objavljenih radova u zemlji i inostranstvu i realizovanih projekata iz domena elektroenergetike, upravljanja energetske sistemima, primene informacionih sistema, procene vrednosti kompanija, procesa privatizacije, prestrukturiranja pojedinih kompanija.

Slobodan Plazinić

Tesla i grmljavine u Koloradu 3. jula 1899.

Stručni rad
UDK: 551.596.5

Rezime:

Na osnovu Teslinih zapažanja vremenskih prilika u toku eksperimentalnih istraživanja u Kolorado Springsu analizirani su sinoptički podaci iz arhive Weather Bureau-a. Upoređene su Tesline detekcije atmosferskih električnih pražnjenja i brojača Republičkog hidrometeorološkog zavoda i CIGRE pri analognoj sinoptičkoj situaciji u Srbiji. Predlažu se uporedna merenja Teslinog detektora i brojača.

Elektroprivreda Srbije, odnosno elektroprenosno preduzeće „Elektroistok” i Hidrometeorološki zavod Srbije postavljaju mrežu brojača na sinoptičkim stanicama u 1966/67 godini.

Ključne reči: Tesla, atmosferska električna pražnjenja, sinoptičke karte, brojači

Abstract:

TESLA AND THUNDERSTORMS IN COLORADO ON JULY 3, 1899

On the basis of Tesla's perceptions on weather conditions during his experimental researches in Colorado Springs, the synoptic conditions from the Weather Bureau archive were analyzed. Tesla's detections of atmospheric electrical discharges were compared to the atmospheric electrical discharge counters RHMZ and CIGRE in similar weather conditions in Serbia. Comparative measurements of Tesla's receiver and counters RHMZ and CIGRE are suggested.

Electric power industry of Serbia (JP „Elektroistok”) and Hydrometeorological Institute of Serbia developed and installed the networks of lightning counters on synoptic stations of Serbia in 1966/67.

Keywords: Tesla, atmospheric electrical discharges, synoptic maps, counters

1. UVOD

U vreme Teslinih istraživanja u Koloradu 1899. Sjedinjene države imaju dobro organizovanu meteorološku službu koju vodi Weather Bureau u Ministarstvu poljoprivrede SAD. Mreža meteoroloških stanica je prostorno velika i relativno gusta, tako da pokriva sve Savezne države. Prognoza vremena i vremenska stanja se svakodnevno objavljuju, a podaci standardnih i specijalnih merenja i osmatranja

se redovno beleže u dnevnim, mesečnim i godišnjim izveštajima.

Pomenimo da su Meteorološke službe SAD i Kraljevine Srbije članice Međunarodne meteorološke organizacije i u ovom vremenu saraduju u razmeni meteoroloških podataka. Astronomska i meteorološka opservatorija u Beogradu dostavlja svoj Bulletin Mensuel, a od Weather Bureau-a prima Monthly Weather Review.

Slobodan Plazinić, dipl. meteorolog, – Meteorološko društvo Srbije, 11 070 Novi Beograd, Jurija Gagarina 187/95

Meteorološke karte i podaci osmatranja i merenja na sinoptičkim stanicama u državi Kolorado i u okolnim saveznom državama korisno će poslužiti u analizama Teslinih zapažanja grmljavina i atmosferskih električnih pražnjenja iz eksperimentalne stanice u blizini Kolorado Springsa, 3. jula 1899.

Teslina eksperimentalna stanica, kao što je poznato, nalazila se na velikoj visoravni istočnog Kolorada, na nadmorskoj visini oko 2 000 m. Visoravan je sa zapada zaštićena od prodora vazdušnih masa iz svih zapadnih kvadranta, jer se veliki i visoki planinski masivi Stenovitih planina pružaju skoro meridionalno. Istočni deo Kolorada, velika ravna visoravan i kako je Tesla opisuje „golo zemljište, praktično pustinja sa veoma malo zelenila” potpuno je otvorena prodorima vazdušnih masa iz severnog, severoistočnog, istočnog i jugoistočnog pravca.

Svoja zapažanja o grmljavinama i o detekcijama atmosferskih električnih pražnjenja Tesla je opisao 4. jula 1899. godine, dan kasnije nego što su se dogodile. Prema Teslinim rečima grmljavina se čula u ponedeljak uveče 3. jula, ali je dostigla veliku jačinu u toku noći između 3. i 4. jula. Grmljavinske nepogode su najčešće praćene pljuskovitim padavinama, jakim vetrom i atmosferskim električnim pražnjenjima. Meteorolozi kažu da su to najdramatičnije, najopasnije i najstrašnije, ali i najveličanstvenije pojave u atmosferi. A Tesla ih je ovako opisao: „Noćna zapažanja su bila takva da se ne mogu lako zaboraviti iz više razloga. Veličanstvenu sliku je davala neobična parada munja i bili smo očevici ni manje ni više no 10 do 20 hiljada pražnjenja za dva sata. Gotovo neprekidno je sevalo pa čak i docnije noću, kada je grmljavina jenjavala, moglo se izbrojati 15 do 20 munja u minutu. Neka pražnjenja su bila čudesno sjajna i često su se granala u 10 i dvostruko toliko munja... Grmljavina je dopirala iz daljine i kako se spuštao mrak bivala je sve jača...”.

2. SINOPTIČKE KARTE I VREME U SJEDINJENIM DRŽAVAMA I SAVEZNOJ DRŽAVI KOLORADO

Za opis vremenske situacije u istočnom Koloradu korišćene su sinoptičke karte Weather Bureau-a za 3, 4, i 5. jul 1899. godine, kao i podaci sinoptičkih stanica, reprezentativnih za šire područje Kolorada: Šejen, Nort Plat, Denver, Grand Džakšn, Pueblo, Dodž Siti, Santa Fe, Ameriljo i Oklahoma.

Opšta sinoptička situacija za 3. jul prikazuje oblasti visokog vazdušnog pritiska iznad južnih atlanskih država i iznad severozapadne obale Pacifika, a niskog vazdušnog pritiska u regionu jezera Mičigen i Iri i iznad jugozapadne obale Pacifika i zapadne Arizone. Velika dolina niskog vazdušnog pritiska širi se od Arizone do nižih oblasti jezera.

Greben visokog vazdušnog pritiska iznad Atlantika i dolina niskog vazdušnog pritiska uticali su na pojavu padavina u nedelju 2. jula. Široka zona padavina obuhvatila je severne delove Novog Meksika, srednje oblasti Stenovitih planina i niže delove regiona jezera.

Zona padavina prelazi preko istočne visoravni Kolorada i susednih saveznih država. Količine padavina, temperatura vazduha, ekstremne temperature, relativna vlažnost, pravac i brzina vetra date su za sinoptičke stanice koje se nalaze u bližoj i daljoj okolini Kolorado Springsa. U toku ovog dana meseca jula u Kolorado Springsu je padala kiša, temperatura se kretala od 12 do 25 °C, vetar je duvao iz severnog pravca brzinama koje su iznosile oko 5 m/s, vazdušni pritisak se menjao u toku dana od 1 015,9 do 1 013,3 mb. U tabeli 1 dati su podaci za okolne sinoptičke stanice za 2. jul 1899. godine.

Prema prognozi vremena Weather Bureau-a za sledeće dane predviđa se pogoršanje vremena praćeno grmljavinama i pljuskovitim padavinama koje će

Tabela 1.

2. jul 1899.

Sinoptičke stanice	Pritisak (mb)	Temperatura		Relativna vlažnost (%)	Pritisak vodene pare (mb)	Ekstremne temperature		Vetar		Padavine (mm)
		Suvi (°C)	Mokri (°C)			Min. (°C)	Max. (°C)	Pravac	Brzina (m/s)	
Šejen	1 015,2	11,1	8,9	75	9,9	11,1	25,6	SE	1,8	3,6
Nort plat	1 014,5	16,7	15,6	89	16,9	13,3	24,4	NW	slab	14,7
Denver	1 015,9	14,4	12,2	78	12,8	12,2	25,6	N	5,4	5,1
Grand Džankšn	1 015,2	14,4	12,2	78	12,8	13,3	28,9	SW	slab	0
Pueblo	1 012,8	13,3	12,2	88	13,5	12,2	31,1	NW	slab	5,6
Dodž siti	1 011,8	17,8	16,7	90	18,3	15,6	30,0	SW	slab	11,9
Santa fe	1 011,1	13,3	10,0	66	10,1	12,2	24,4	SE	slab	0
Amariljo	1 012,5	17,8	16,7	90	18,3	15,6	26,7	W	2,7	6,6
Oklahoma	1 014,5	20,0	20,0	100	23,5	20,0	28,9	S	3,6	0,3

prvo zahvatiti Nebrasku i istočne delove Kanzasa. U večernjim časovima grmljavine će se približiti zapadnim granicama ovih država.

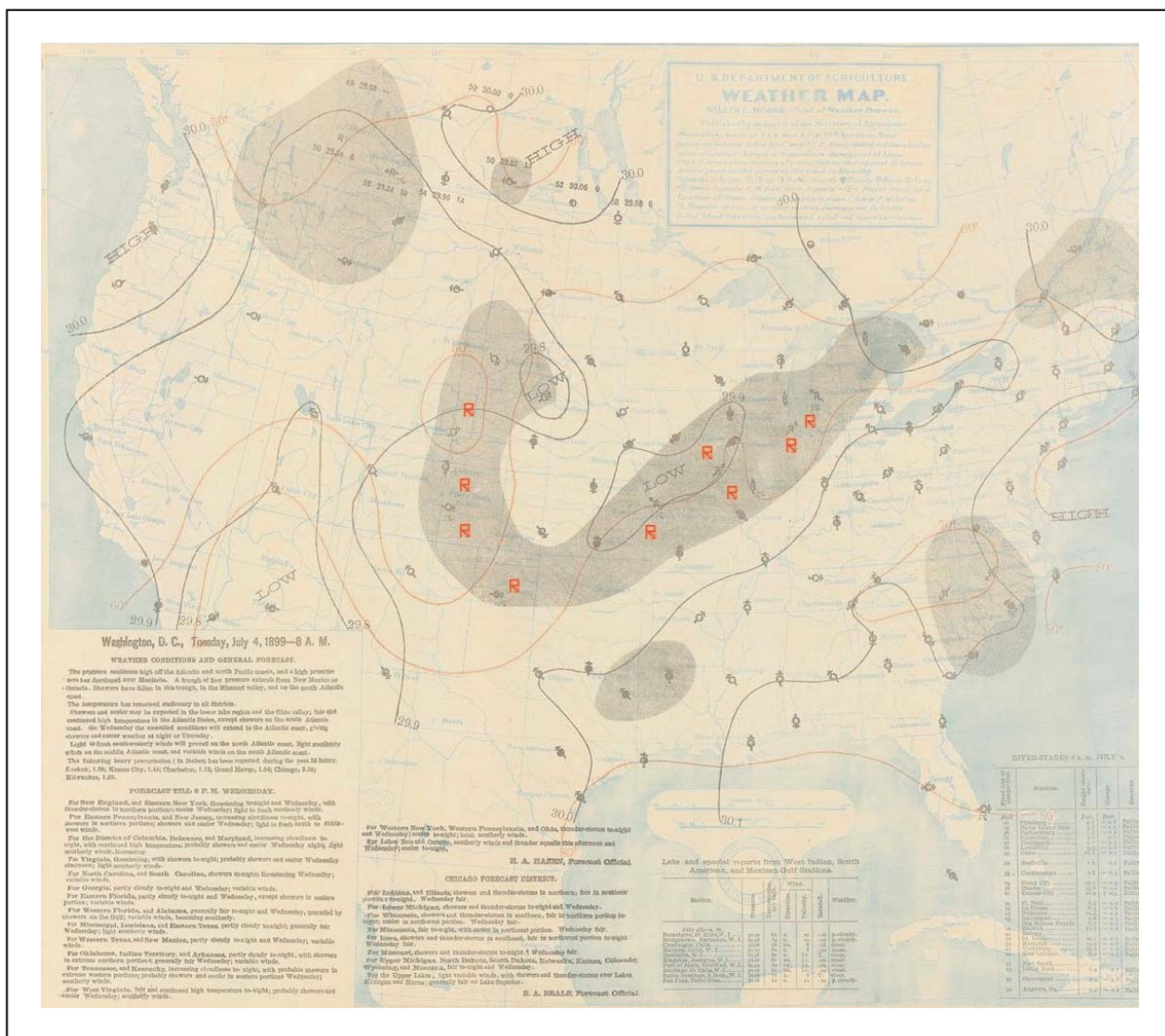
Na sinoptičkoj karti za 4. jul (slika 1), koja je pripremljena na osnovu podataka osmotrenim i izmerenim 3. jula, lako je uočiti oblasti visokog vazdušnog pritiska iznad Atlantika i severnog Pacifika sa centrima udaljenim od obala. Visok vazdušni pritisak se formirao i u oblastima Manitobe (Kanada). Dolina (niskog) vazdušnog pritiska se u toku dana proširila od Novog Meksika do Ontarija i od Vajominga do donjih oblasti regiona jezera. Na promene vremena u Koloradu, osim pomenute doline, utiču i dva novoformirana centra niskog pritiska, jedan u oblastima južne Dakote i Nebraske, a drugi u oblastima istočnog Kanzasa, zapadnog Misurija i južnog

Illinoisa. Frontovi se nalaze uvek u dolinama vazdušnog pritiska.

Zone kiše i pljuskovitih padavina su osenčene na sinoptičkoj karti, pokrivaju veće delove zapadne i srednje Amerike. Grmljavine i pljuskovite padavine su duž istočnih masiva Stenovitih planina, u južnim delovima Vajominga, u istočnom Koloradu, severnom Teksasu i istočnom delu Kanzasa, a zatim, u udaljenim delovima Misurija, Indijane i Ohaja.

Podaci sinoptičkih stanica (tabela 2) ukazuju na hladnu vazdušnu masu iznad severnog dela Kolorada, ali i na toplu vazdušnu masu u severnim delovima Novog Meksika i severnog Teksasa.

Prodorom hladne vazdušne mase sa severa prema toplijoj vazdušnoj masi u južnim oblastima stvoreni su uslovi za nastanak snažne konvektivne oblačnosti, kumuluskongestusa i kumulonimbusa. Ovi



Slika 1. Sinoptička karta Sjedinjenih država, 4. jul 1899. godine

Meteorološki podaci od 3. jula 1899.

Sinoptičke stanice	Pritisak (mb)	Temperatura		Relativna vlažnost (%)	Pritisak vodene pare (mb)	Ekstremne temperature		Vetar		Padavine (mm)
		Suvi (°C)	Mokri (°C)			Min. (°C)	Max. (°C)	Pravac	Brzina (m/s)	
Šejen	1 013,2	8,9	7,8	86	9,9	6,7	21,1	SW	slab	3,6
Nort plat	1 013,8	16,7	15,6	89	16,9	15,6	24,4	S	slab	0
Denver	1 013,6	11,1	8,9	75	9,9	10,0	23,3	S	slab	8,3
Grand Džankšn	1 012,5	15,6	10,0	48	8,5	11,7	30,0	SE	slab	0
Pueblo	1 013,2	14,4	11,1	67	11,1	12,2	28,9	W	slab	9,1
Dodž siti	1 013,2	18,9	17,8	90	19,6	17,8	27,8	NW	2,7	0
Santa fe	1 013,2	14,4	7,2	33	5,3	11,1	25,6	SE	1,8	0,3
Amariljo	1 013,2	17,8	17,8	100	20,3	16,7	27,8	W	slab	8,6
Oklahoma	—	—	—	—	—	—	27,8	—	—	—

oblaci hladnog fronta, delimično ili u osnovi, imaju osobnine grmljavinskih oblaka sa pljuskovima i jakim vetrom.

Kada se analiziraju sinoptičke karte u vremenu Teslinih istraživanja mora se imati u vidu da se analiza vremenskih situacija zasnivala samo na horizontalnoj raspodeli pritiska, na tzv. baričkom reljefu. Smatralo se da horizontalna raspodela pritiska već potpuno definiše uslove vremena koji su sa ovom raspodelom funkcionalno povezani. Klasifikacije vazdušnih masa i frontovi, još nisu poznati, a temperatura, oblačnost, padavine i drugi meteorološki elementi i pojave još ne nalaze jedinstvenu vezu sa raspodelom pritiska. Aerologija je u povu i o višim i visokim slojevima atmosfere malo se zna, njihovi podaci nisu mogli da se koriste u operativnoj prognozi vremena.

U nedostatku pouzdanih podataka o atmosferskim procesima u toku 3. jula, za raspoznavanje toplih i hladnih vazdušnih masa koriste se podaci o temperaturi vazduha, oblačnosti i padavinama. Atmosferska električna pražnjenja su, uglavnom, povezana sa hladnim frontom ili sa pojavom toplotnih grmljavinskih nepogoda unutar hladnog vazduha.

U oblastima sa ciklonskim izobarama došlo je do pojačanja pljuskovitih padavina zbog divergencije, pogotovu u oblastima Milvokija, Čikaga, Čarlstona, Kanzas Sitija, Vičite i Valentine.

Prodorom hladnije vazdušne mase preko istočnog Kolorada došlo je do pada vazdušnog pritiska, ali ne i do znatnog pada temperature vazduha (tabela 2). Iz šarolike slike razbacanih tendencija pritiska nisu mogle jasno da se izdvoje glavne oblasti povećanja i smanjenja pritiska, kao ni položaj fronta preko istočnog dela Kolorada.

Dve duboke depresije u centralnim delovima Amerike i stabilizirani anticikloni iznad Atlantika i Pacifika usloviće pravce vazdušnih strujanja, a time

i pomeranje pokretnih ciklona. Ponovo stvoreni ciklonski poremećaji kreću se periferijom jače depresije u pravcu ciklonske cirkulacije. Za opis atmosferskih procesa u Istočnom Koloradu, osim podataka prizemnih meteoroloških stanica, bilo bi veoma značajno doći do podataka i planinskih meteoroloških stanica (Pajs Pik).

Uslov za frontogenezu pod uticajem deformacionog polja je njegov položaj u odnosu na polje temperature, izoterme su se približile jedna drugoj pokazujući veću ili manju zakrivljenost kod ose divergencije.

U istočnim oblastima Kolorada, iza hladnog fronta, u hladnoj vazdušnoj masi stvaraju se u toplom delu dana konvektivni oblaci. Ovi su posledica zagrevanja vazduha od toplijeg tla. Pri jačem dnevnom zagrevanju na raznim mestima nastali su grmljavinski oblaci, kumulonimbusi. Često jedna grmljavinska nepogoda izazove pojavu druge, a ova treće itd. tako da se u istoj vazdušnoj masi stvaraju sekundarni frontovi koji tokom noći, zajedno sa smirivanjem atmosfere, iščezavaju.

Prema Teslinim zapažanjima 3. jula uveče čuje se povremeno grmljenje. Grmljavina je bila udaljena od eksperimentalne stanice 130 do 270 km i sve se više približavala. Sinoptička situacija na karti ukazuje na postojanje oblačne formacije kumulonimbusa sa razmacima na maloj udaljenosti od Kolorado Springsa. Količina oblačnosti je različita od stanice do stanice, jer uporedo sa oblačnošću (Nort Plat, Ameriljo, Dodž Siti) postoji vedrina (Šejen, Denver, Pueblo). Prisustvo orografskih uslova na konvekciju prema zapadu od Kolorado Springsa, verovatno je stvorilo neprekidne oblačne sisteme.

Na sinoptičkoj karti (slika 1) grmljavinski oblaci se pružaju u velikom luku od Vajominga (Šejen), preko istočne visoravni Kolorada (Denver, Pueblo), severnog Teksasa (Ameriljo) i zatim, u prav-

cu severoistoka (Vičita, Kansas Siti, Konkordija, De Moin). Neobičan niz grmljavinskih nepogoda, koje skoro jednovremeno djeluju, na karti su označene usvojenim meteorološkim znacima obojenim crveno.

Na sinoptičkoj karti koja prikazuje Kolorado i susedne države (slika 2) ucrtani su znaci grmljavina osmotreni na sinoptičkim stanicama ili u njihovoj okolini. Grmljavine su poređane u nizu onako kako su ih osmotrili osmatrači na sinoptičkim stanicama od Šejena, preko Denvera i Puebla do Amerilja, a odavde na severoistok u pravcu Vičite, Konkordije i Kansas Sitija.

Posmatrajući snažne grmljavinske oblake-kumulonimbuse sa brojnim atmosferskim električnim pražnjenjima, munjama i gromovima, Tesla je oduševljen primetio „da je to neobična parada munja”.

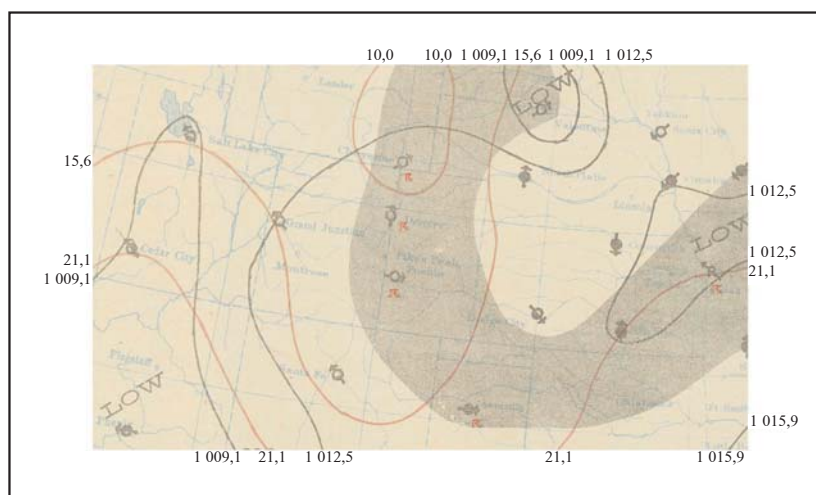
Određujući daljinu grmljavinske nepogode na osnovu brzine prostiranja zvuka Tesla podešava rele instrumenta na sve manju osetljivost kako se grmljavina približavala. „Ali i tada kada se postigla grani-

ca napregnutosti opruge instrument je detektovao prilikom svakog pražnjenja. Kada je nepogoda je-njavala zapažena je najinteresantnija i najvažnija pojava. Dogodilo se to ovako: instrument je prvo reagovao, a zatim, prestao. To se moglo pripisati udaljenosti pražnjenja koje se dešavalo možda na nekih 50 milja daleko. Kako se grmljavina brzo udaljavala, instrument je opet počeo da radi. Posle nekog vremena prestao je da radi, ali posle pola sata ponovo je počeo da beleži. Kada je opet stao, podešen je na još osetljivije reagovanje, ustvari na veoma osetljivo reagovanje. Ponovnim podešavanjem da bude veoma osetljiv, instrument je počeo da radi periodično. Grmljavinska nepogoda bila je tada daleko već više od 200 milja. Kasnije te noći instrument je ponovo radio i prestajao naizmenično u intervalima od blizu pola sata, mada se nebo potpuno razvedrilo”, opisuje Tesla svoja zapažanja.

Sve sinoptičke stanice oko Kolorado Springsa, u toku dana 4. jula, beleže da je nebo potpuno vedro, temperatura vazduha znatno porasla u odnosu na

prethodni dan. Maksimalne temperature u bližoj i daljoj okolini Kolorado Springsa i na čitavoj visoravni od Denvera do Puebla iznose preko 30 °C. Tesla je primetio da je u ranim jutarnjim časovima nebo bilo bez oblaka, da se razvedrilo. Isto potvrđuju i sinoptičke karte za Kolorado i Sjedinjene države za 5. jul. Kišna zona u toku 4. jula obuhvatila je severozapadne i severoistočne krajeve Amerike ostavljajući Kolorado i susedne države.

Tesla je primetio i jednu neobičnu pojavu pri pražnjenju munja i gromova: „Pražnjenja su bila deblja u donjem nego u gornjem delu. Može li to tako ili je to samo



Slika 2. Sinoptička karta Kolorada i susednih država, 4. jul 1899. godine



Slika 3. Uzlazno pražnjenje (a) i spori lider ovog pražnjenja (b), K. Berger, 1967. godine

prividno, jer je donji deo uz Zemljinu površinu bliži posmatraču”.

Pojava sporog lidera upravljenog nagore prema oblaku utvrđena je kod pražnjenja koja nastaju u planinskim krajevima. Posle višegodišnjih ispitivanja Berger (K. Berger, 1967) je utvrdio da se u planinskim krajevima javlja znatno veći broj uzlaznih pražnjenja nego silaznih, prema zemlji. Kod ovakvih pražnjenja debljina kanala je veća pri dnu (slika 3).

3. TESLIN DETEKTOR I BROJAČI ATMOSFERSKIH ELEKTRIČNIH PRAŽNJENJA - ANALOGIJA I UPOREDNA MERENJA

Tesla je u Kolorado Springsu detektovao brojna atmosferska električna pražnjenja pri prodoru hladnog fronta i formiranju snažnih grmljavinskih oblaka. U mnogim zemljama, danas, meteorološke službe koriste podatke brojača i imaju dobro organizovanu službu za istraživanja i operativna praćenja grmljavinskih nepogoda za potrebe prognoze vremena, protivgradne odbrane i u tehničkoj meteorologiji za potrebe projektovanja i održavanja elektroprenosnih sistema, dalekovoda.

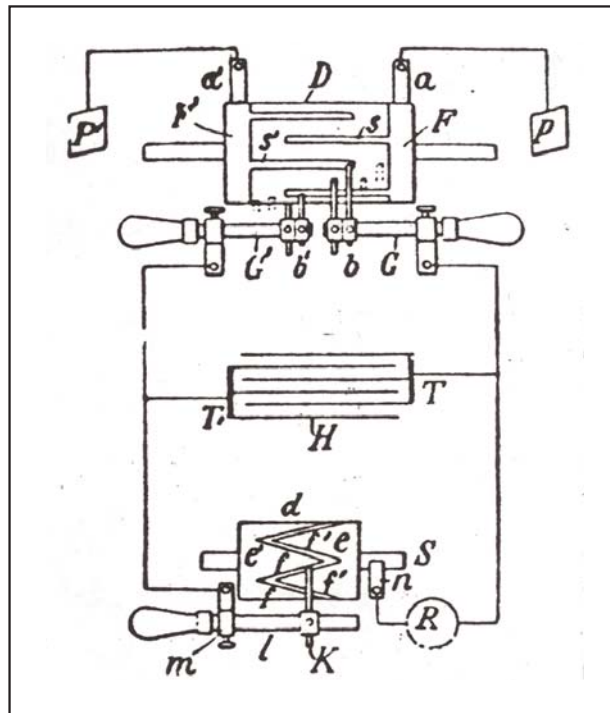
3.1. Teslin detektor

U uvodnom delu patentnog pisma br. 787.412 od 18. aprila 1905. godine (podnetog 16. maja 1900. godine a obnovljenog 17. juna 1902. godine) pod naslovom „Nauka o prostiranju električne energije kroz prirodnu sredinu” Tesla kaže: „Da bih proučio uticaje pražnjenja munja na električne osobine Zemlje postavio sam instrumente - osetljive prijemnike i podesio ih tako da su sposobni da prihvate električne poremećaje koji nastaju pri atmosferskim električnim pražnjenjima. Opazio sam da postoje periodi smanjenog prijema, pa sam pristupio ispitivanju ovih uzroka neobičnog ponašanja što me je i dovelo do otkrića prirode električnih talasa koji su nastali u Zemlji usled atmosferskih električnih pražnjenja i koji su imali niz čvorova, koji su se redali na određenoj udaljenosti u pravcu izvora poremećaja. Na osnovu dobijenih podataka iz brojnih osmatranja maksimuma i minimuma ovih talasa našao sam da se njihove dužine menjaju približno od 25 do 70 km, pa su me ovi rezultati i izvesna teorijska izvođenja dovela do zaključka da se talasi ove vrste mogu prostirati u svim pravcima zemljine lopte i da mogu biti različiti po dužini, i da ekstremne vrednosti zavise od fizičke veličine i svojstva Zemlje”.

U glavnom delu patentnog pisma Tesla opisuje svoj detektor: „Prikazao sam instrument za otkriva-

nje prisustva električnih talasa, koji sam koristio u metodi pojačavanja slabih efekata, a što sam opisao u svojim patentima br. 685.953 i br. 685.955”.

Na slici 4 je šema Teslinog detektora (patentno pismo br. 787.412).



Slika. 4. Teslin detektor
atmosferskih električnih pražnjenja.

Teslin detektor se sastoji od jednog cilindra D od izolacionog materijala koji se pokreće jednakom brzinom pod uticajem satnog mehanizma ili druge pogodne pokretačke sile i ima dva metalna prstena FF' na kojima se nalaze četkice a i a' koje su povezane na terminalne ploče P i P'. Iz prstenova FF' pružaju se uzani metalni segmenti x i x' koji se rotacijom cilindra D dovode naizmenično u kontakt sa dvostrukim četkicama b i b' koje nosi i postavlja u kontakt sa provodnim držačima h i h', a nalaze se u metalnim ležajevima G i G', kao što je prikazano. Oni su povezani na terminale T i T' kondenzatora H i treba shvatiti da ih je moguće ugaono razmeštati kao i obične četkice - nosače. Razlog korišćenja dve četkice b i b' na svaki od držača h i h' je da se po želji promeni trajanje električnog kontakta pločica P i P' sa terminalima T i T', na koji je povezano prijemno kolo, uključujući prijemnik R i uređaj d, koji služi za zatvaranje prijemnog kola u unapred predviđenim intervalima vremena i pražnjenja nagomilane energije u prijemniku. U ovom slučaju ovaj se uređaj sastoji iz cilindra koji je sačinjen delimično od provodnog a delimično od izolacionog materijala e i

e' i koji se okreće željenom brzinom. Provodni deo e je u dobrom električnom spoju sa osovinom S i ima konusne segmente f i f', na kojima klizi četkica k, pričvršćena na provodno vratilo l, koje može longitudinalno da se podešava u metalnom postolju m. Druga četkica m postavljena je tako da se odnosi na vratilo S, i videće se da, kadgod jedan od segmenata f' dođe u kontakt sa četkicom k, kolo se kompletno uključujući prijemnik R, a kondenzator se prazni kroz isti. Podešavanjem brzine rotacije cilindra d i pomeranjem četkice k duž cilindra može doći do otvaranja i zatvaranja željenom brzinom, ili pak, da pozicija otvorenog ili zatvorenog traje u željenim intervalima. Pločice P i P', kroz koje se električna energija sprovodi do četkica a i a' mogu da budu na znatnom međusobnom rastojanju jedna od druge u uzemljenju, ili jedna da bude uzemljena a druga u vazduhu, poželjno na malo većoj visini. Ako je samo jedna pločica povezana sa zemljom a druga se drži u vazduhu, položaj instrumenta mora da se odredi u odnosu na položaj stojećih talasa.

Treba napomenuti da za razliku od svih do tada konstruisanih detektora, Tesla u svoju aparaturu ugrađuje rotirajući koherer koji nije trebalo protresati posle prijema impulsa. „Ovaj se uređaj neprekidno dezintegrisao usled rotacije, što je imalo prednosti nad postojećim detektorima. Uz rotirajući koherer Tesla koristi kondenzator za akumulaciju energije pojedinih impulsa i tako povećava osetljivost svoje aparature” (A.Marinčić,1974)

Radi izrade Teslinog detektora u svrhu uporednih merenja sa brojačima u mreži meteoroloških stanica Srbije upućen je dopis Muzeju Nikola Tesla, a

zatim, dobijena potrebna dokumentacija. S obzirom na iskustvo u izradi Teslinih instrumenata i uređaja za dokumentarni film „Nikola Tesla”, opisi i šeme o Teslinom detektoru dostavljeni su Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu. Posle višegodišnje prepiske i dogovora saradnja je prekinuta, krajem osamdesetih godina. Zato se predlaže izrada Teslinog detektora, mada sa velikim zakašnjenjem, u Srbiji, u Institutu „Nikola Tesla” ili nekom drugom.

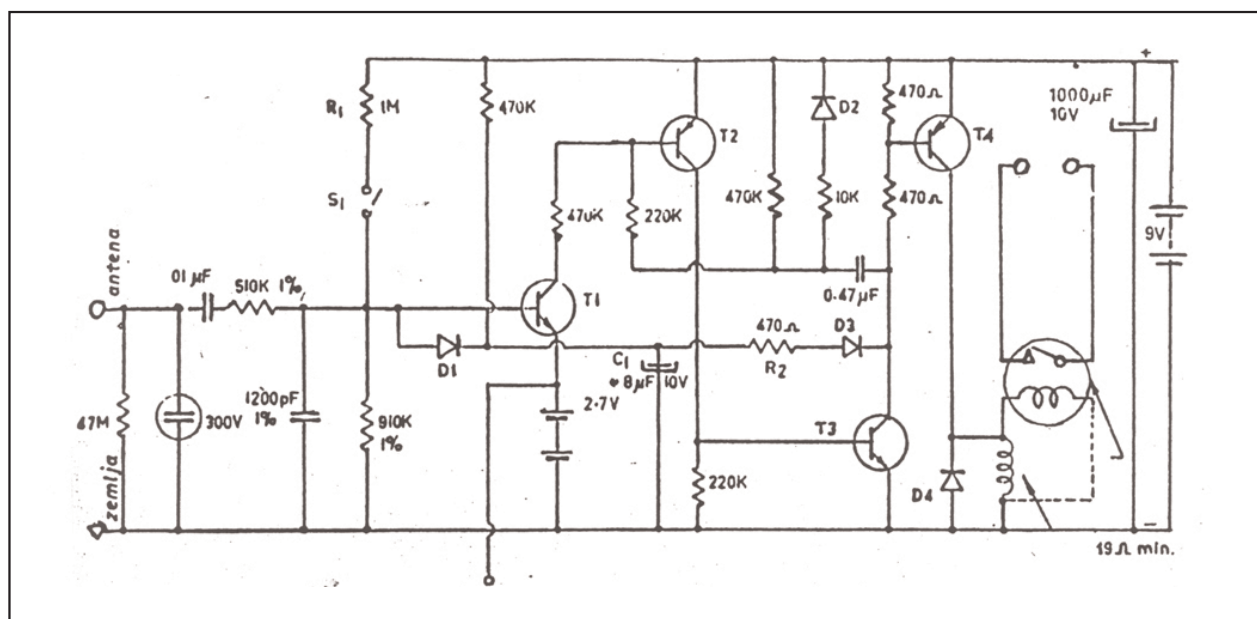
3.2 Brojači atmosferskih električnih pražnjenja „RHMZ” i „CIGRE”

Brojači atmosferskih električnih pražnjenja koji se primenjuju u meteorološkoj službi služe da se dobiju lokacije grmljavinskih nepogoda i registruju atmosferska električna pražnjenja u poluprečniku efektivnog prijema brojača. Brojači registruju ukupan broj pražnjenja ili samo pražnjenja između oblaka i zemljine površine. U mreži sinoptičkih i specijalnih stanica u Srbiji postavljeni su brojači koji registruju u većini slučajeva atmosferska električna pražnjenja između oblaka i zemljine površine.

Brojač „RHMZ” je konstruisan u Laboratoriji za fiziku Tehničkih fakulteta 1966. godine a brojač „CIGRE” u Institutu „Nikola Tesla” iz Beograda (po preporuci Međunarodne elektrotehničke komisije, Proc.IEE, 1971).

Opis konstrukcije brojača, rad, održavanje i primarna obrada podataka nalaze se u propisima Hidrometeorološkog zavoda i u literaturi (5), (9) i (10).

U svetu, danas, svakako postoje savremeniji brojači atmosferskih električnih pražnjenja, kao i ra-



Slika 5. Šema brojača „CIGRE”

diometeorološki sistemi koji jednovremeno broje atmosferska električna pražnjenja, određuju lokaciju grmljavinske aktivnosti i mere stepen intenziteta pojedinih impulsa pražnjenja.

U Hidrometeorološkoj službi Srbije nema savremenijih brojača i radiometeoroloških sistema, pa se, zato, za uporedna merenja Teslinog detektora i brojača „RHMZ” i „CIGRE” predlažu dopunska merenja sa meteorološkim radarima i podacima sinoptičkih stanica u Srbiji.

Ovde će se opisati, ukratko, šema brojača „CIGRE”.

Brojač automatski registruje nagle promene elektrostatičkog polja bliskih atmosferskih električnih pražnjenja. Podešen je da u većini slučajeva registruje atmosferska električna pražnjenja između oblaka i zemljine površine. S obzirom da u izvesnim slučajevima registruje i pražnjenja unutar oblaka, ukupni godišnji broj pražnjenja koji registruje brojač mora se odrediti primenom korekcionog faktora.

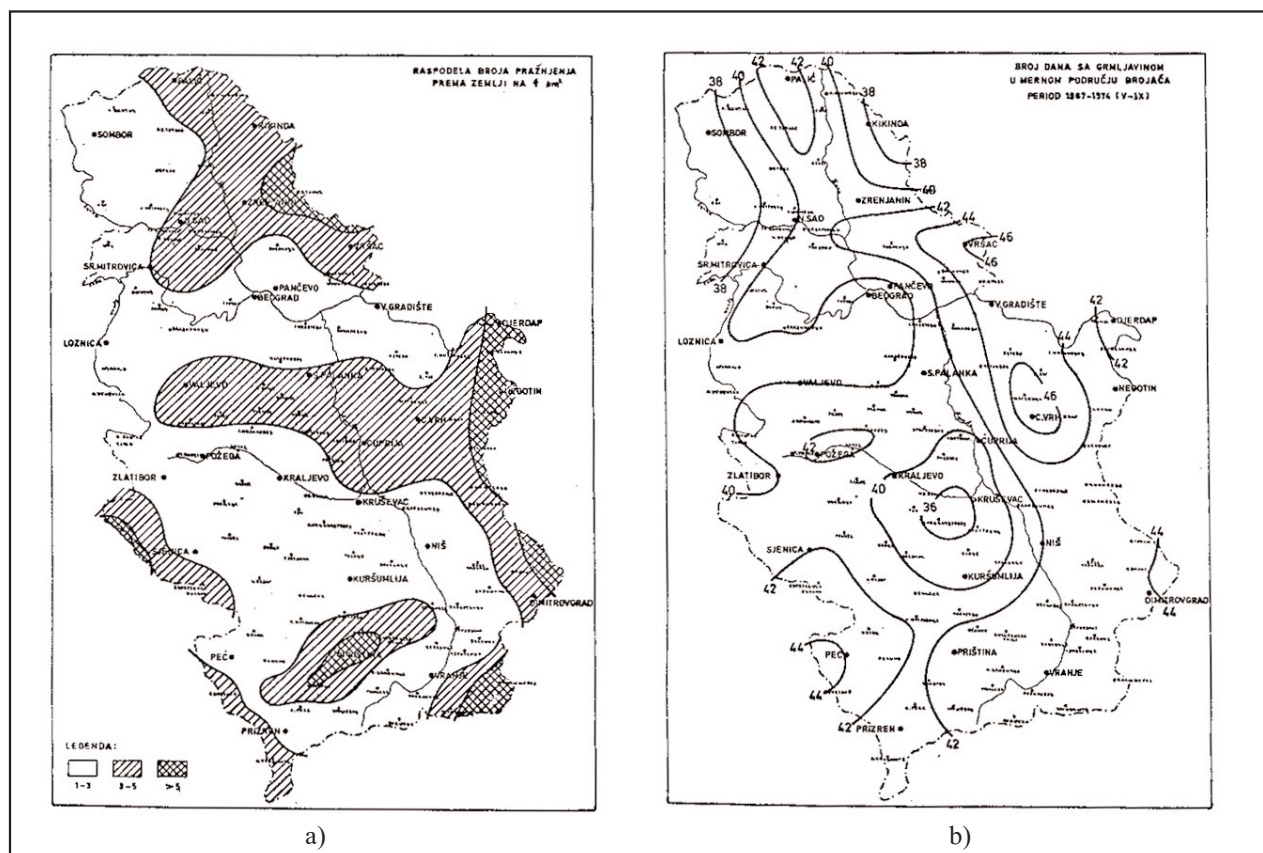
Na slici 5 je šema ovog brojača. Ulazne komponente zajedno sa serijskim kapacitetom od oko 220 pF proizvode željenu frekventnu karakteristiku. Tranzistor T1 postaje provodan kada napon na njegovoj bazi premašuje 3,3 V (koji se uspostavlja i na živinim ćelijama i na bazi – emiter tranzistoru). Ta-

da se dovodi struja na bazi tranzistora T2 koji sa T3 formira monostabilni multivibrator. Zbog toga, tek kada je T2 uključeno T3 ostaje, takođe, uključeno u trajanju od oko 50 mikrosekundi. Ovakvo stanje omogućuje da T4 provodi struju i pokrene brojilo brojača.

Da bi se obezbedilo „dovoljno vreme prekida” posle jedne „radne akcije” brojača, tranzistor T3 se prazni preko C1, D3 i R2. Na ovaj način, baza T4 neće postati dovoljno pozitivna da bi započela druga „radna akcija” brojača sve dok C1 ne obezbedi napon preko 3 V. Ispitivanje baterijskog kola vrši se preko R1 i S1. Brojač će raditi i kada se zatvori S1, ali je potrebno da baterijski napon premaši napon od 6,5 V (normalno 9 V).

Antenu brojača čini horizontalni antenski sistem sa prosečnom visinom oko 5 m iznad zemljine površine. Za postavljanje antene i uključivanje brojača u rad postoje posebna uputstva Međunarodne elektrotehničke komisije (IEC) sa kriterijumima o udaljenju antene od visoko naponskih i drugih objekata.

S obzirom da atmosferska električna pražnjenja imaju širok opseg vrednosti u odnosu na pražnjenja između oblaka i zemljine površine i u oblaku, efektivni poluprečnik (r) prijema brojača se može raču-



Slika 6. Raspodela broja pražnjenja a) i broja dana sa grmljavinama b)

nati samo za deo pražnjenja (koji nastaje u prostoru r i $r+dr$), jer se menja u zavisnosti od parametara grmljavinske aktivnosti i drugih geofizičkih parametara.

Metodi proračuna efektivnog poluprečnika prijema brojača dosta su složeni i detaljno su izloženi u navedenoj literaturi (9) i (10).

O rezultatima merenja brojača „RHMZ” i „CIGRE” treba ukratko reći da se podaci o broju atmosferskih električnih pražnjenja u Srbiji obrađuju prema preporukama Međunarodne elektrotehničke komisije i Svetske meteorološke organizacije.

Godišnji rezultati merenja, od 1966. godine pa sve do pred kraj prošlog veka, dostavljani su u vidu elaborata JP „Elektroistok”-u. Pre statističke obrade i izrade karata o prostornim i vremenskim raspodelama broja atmosferskih električnih pražnjenja na teritoriji Srbije primenjene su tehnička i logička kontrola podataka i proračunati su efektivni poluprečnici prijema za svaki brojač posebno.

Rezultati višegodišnjih merenja, međutim, korišćeni su za izrade studija o kompleksnim analizama broja atmosferskih električnih pražnjenja i atmosferskih procesa u karakterističnim lokalitetima na teritoriji Srbije ili duž budućih i postojećih trasa dalekovoda. Pomenimo da su radovi o broju atmosferskih električnih pražnjenja prikazani na stručnim savetovanjima JUKO CIGRE, na Konferencijama komiteta za geoelektricitet i gromobrane (u zemlji i inostranstvu), na Savetovanjima elektroenergetičara Jugoslavije i na drugim sličnim skupovima.

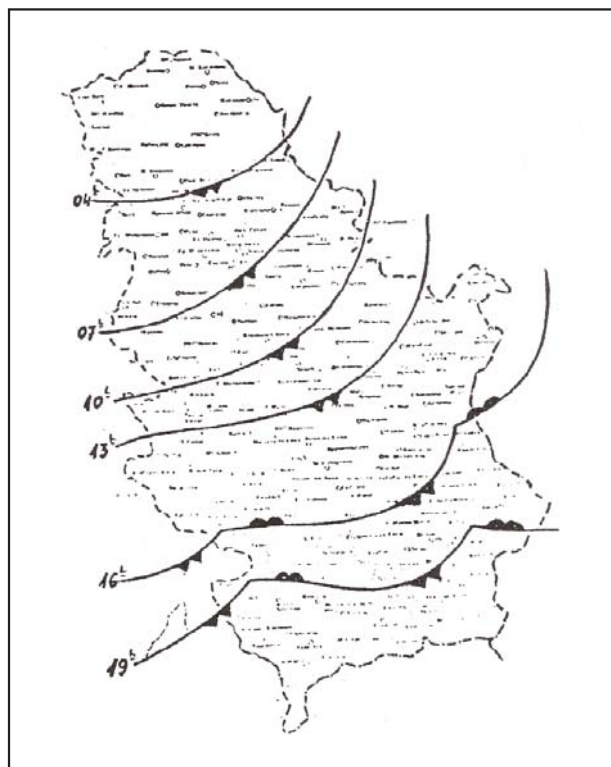
Radi primera, daju se karte Srbije sa prostornim raspodelama broja atmosferskih električnih pražnjenja i broja dana sa grmljavinama dobijene na osnovu podataka brojača u Srbiji (slika 6).

3.3. Analogija i uporedna merenja

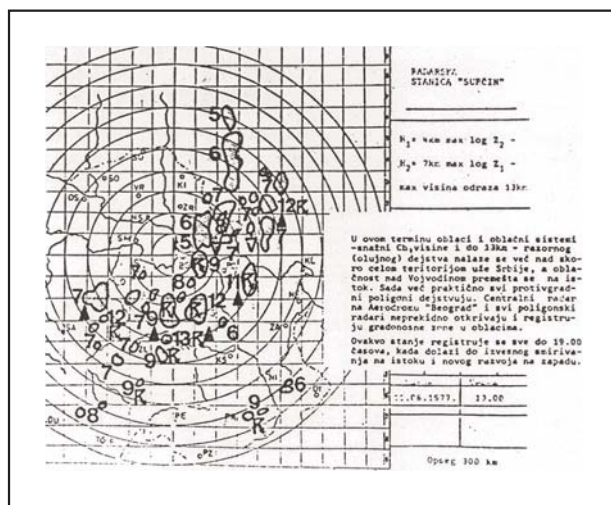
Tesla je u Koloradu Springsu detektovao brojna atmosferska električna pražnjenja pri prodoru hladne vazdušne mase i formiranju snažnih grmljavinskih oblaka. Iz višegodišnjih rezultata merenja brojača pražnjenja u Srbiji izdvojicemo karakterističnu sinoptičku situaciju kada je došlo do prodora hladne vazdušne mase i formiranja snažnih kumulonimbusa iznad Srbije.

Pod uticajem ciklonske aktivnosti iznad severnog Atlantika, posebno iznad Islanda, u toku 11. avgusta, 1977. godine došlo je do pljuskovitih padavina praćenih jakim vetrom. Iznad Britanskih ostrva, dela zapadne Evrope i Skandinavije zadržalo se suvo i toplo vreme sa temperaturom vazduha od 15 do 20 °C a pod uticajem povišenog vazdušnog pritiska. Istovremeno, preko severnih delova Sovjetskog Saveza prodirao je hladan vazduh ka jugu donoseći padavine i pad temperature vazduha, dok je u južnom

delu bilo toplo i nestabilno stanje sa lokalnim grmljavinskim nepogodama i pljuskovima. Pri ova-kvoj meteorološkoj situaciji u Panonskoj niziji i na Balkanskom poluostrvu prodire hladnija vazdušna masa iz oblasti Alpa i Srednje Evrope. Ovaj prodor hladnog i vlažnog vazduha (slika 7) izvršen je u Beogradu između 07 i 10 časova. U zoni hladnog fronta bilo je nestabilno sa čestim i snažnim grmljavinskim oblacima-kumulonimbusima.



Slika 7. Premeštanje hladnog fronta, 11. avgusta 1977. godine



Slika 8. Radarska karta sa rasodelom grmljavinske aktivnosti, 11. avgust 1977. godine u 13 časova

Brojači atmosferskih električnih pražnjenja u mreži sinoptičkih stanica u Srbiji beleže veliki broj pražnjenja, pogotovu u popodnevnom i večernjim časovima. Preko hiljadu pražnjenja u toku jednog časa registrovali su brojači, iznad kojih su radari osmotrili kumulonimbuse visine iznad 8 km (slika 8).

Da bismo analizirali detekcije broja atmosferskih električnih pražnjenja koje je Tesla dobio za vreme jakih grmljavinskih nepogoda u Colorado Springsu 3. jula 1899. godine predlažu se uporedna merenja Teslinog prijemnika i brojača „RHMZ” i „CIGRE”. U svrhu ocene efektivnog poluprečnika prijema Teslinog detektora korisno bi poslužila mreža meteoroloških radara u Srbiji i brojne meteorološke stanice.

4. ZAKLJUČAK

Sinoptičke karte Sjedinjenih država i meteorološki podaci potvrđuju Teslina zapažanja jakih grmljavinskih nepogoda u Colorado Springsu u predvečerje i noću 3. jula, 1899. godine.

Tesline detekcije atmosferskih električnih pražnjenja su jedinstvene u to vreme: Tesla registruje broj atmosferskih električnih pražnjenja u funkciji rastojanja i vremena.

Mnogi su pre Tesle ukazivali na mogućnost prognoziranja grmljavinskih nepogoda pomoću detektora atmosferskih električnih pražnjenja, ali je Tesla prvi uočio odnos broja atmosferskih električnih pražnjenja i lokacije grmljavinske aktivnosti.

Predlaže se izrada Teslinog detektora (prijemnika) kojim je detektovao atmosferska električna pražnjenja na istraživačkoj stanici u Colorado Springsu, 3. jula, 1899. godine.

Radi utvrđivanja efektivnog poluprečnika prijema Teslinog detektora i proračuna broja pražnjenja

na jedinicu površine predlažu se uporedna merenja Teslinog detektora i brojača „RHMZ” i „CIGRE” uz korišćenje meteoroloških radara i sinoptičkih i drugih meteoroloških stanica u Srbiji.

5. LITERATURA

- [1] SINOPTIČKE KARTE I METEOROLOŠKI PODACI, Arhive Weather Bureau, (U.S. Department agriculture, Weather map, U.S. Weather Bureau, Washington, D.C.)
- [2] Nikola Tesla: DNEVNIK ISTRAŽIVANJA IZ KOLORADO SPRINGSA 1899-1900 (preveo Ing. Vojin Popović, komentari i objašnjenja dr Aleksandar Marinčić), Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1966.
- [3] Beržeron, T.: SINOPTIČKA METEOROLOGIJA, Komanda vazduhoplovstva JA, Beograd, 1947.
- [4] Berger, K.: NOVEL OBSERVATIONS ON LIGHTNING DISCHARGES, J. Franklin Inst. No 6, june 1967.
- [5] Plazinić, S.: TEHNIČKA METEOROLOGIJA, Naučna knjiga, Beograd, 1985.
- [6] Marinčić, A.: TESLIN DNEVNIK, IT-novine, Beograd, 1974.
- [7] Plazinić, S.: TESLA, MUNJE I GROMOVI, Meteorološki bilten, Republički hidrometeorološki zavod SR Srbije, Beograd 1976.
- [8] Nedeljković, M.: IZVEŠTAJ OPSERVATORIJE VELIKE ŠKOLE I NJENIH METEOROLOŠKIH STACIJA, 1899-1903, Beograd, štampano u državnoj štampariji Kraljevine Srbije, 1904.
- [9] Kreielsheimer, K. S., Lodge-Osborn D.: NEW DEVELOPMENT IN LIGHTNING-COUNTER DESIGN, Proce. IEE, 118, No 1, Jan. 1971.
- [10] Pretince, S. A.: CIGRE LIGHTNING FLASH COUNTER, Elektra, Paris, 1972.

Rad je primljen u uredništvo 04. 01. 2007. godine



Slobodan Plazinić (1931. Kraljevo): diplomirao na Prirodno-matematičkom fakultetu u Beogradu, Meteorološko-klimatološka grupa, 1956. godine kada se i zaposlio na Aerološkoj opservatoriji Saveznog hidrometeorološkog zavoda i Komande ratnog vazduhoplovstva. U Vojnogeografskom institutu radio na poslovima radiometeorologije (goniometrisanje grmljavinskih oblaka, merenje broja i intenziteta atmosferskih električnih pražnjenja), a od 1964. je u Republičkom hidrometeorološkom zavodu na poslovima tehničke meteorologije: postavljanje instrumenata i uređaja za merenje zaleđivanja provodnika, uticaja vetra, atmosferskih električnih pražnjenja i drugih specijalnih meteoroloških merenja za potrebe projektovanja, gradnje i održavanja građevinskih objekata i konstrukcija, u prvom redu u elektroprivredi i građevinarstvu. U saradnji sa odgovarajućim organizacijama u JUGEL-u, ZEPS-u i naročito u Elektroistoku učestvuje u izradi studija i elaborata za potrebe projektovanja i održavanja dalekovoda, posebno za 380 kV i 220 kV (Đerdap-Beograd, Đerdap-Bor-Niš i dr.). U zaštiti i unapređivanju životne sredine učestvuje u primeni metoda proračuna prostorne i vremenske raspodele zagađujućih materija i meteorološko-klimatoloških podloga za potrebe projektovanja i gradnje termoelektrana: „Nikola Tesla”, „Kolubara „B”, „Kosovo „B”, „Drmno”, „Bitolj”, TE-TO „Novi Sad” i dr. Sa referatima učestvuje u radu mnogih savetovanja „JUKO-CIGRE”, na

međunarodnim konferencijama za zaleđivanje – „IWAIS”, na nacionalnim i međunarodnim meteorološkim savetovanjima za Alpsku i Karpatsku klimatologiju, u komisijama CIMO, TEKOMAP i dr. u organizaciji SMO-a, SHMZ-a i RHMZ-a.

Član studijskog komiteta za nadzemne vodove „JUKO-CIGRE” od 1968. do 2005.; bio je predsednik radne grupe za meteorologiju.

U znak priznanja za dugogodišnju saradnju i doprinos razvoju „JUKO-CIGRE” dobio zlatnu plaketu.

Uputstvo autorima za saradnju u stručnom glasilu „Elektroprivreda”

**U stručnom glasilu se objavljuju kategorisani članci:
originalni naučni radovi, prethodna saopštenja, pregledni radovi i stručni radovi
iz oblasti elektroprivrede, odnosno energetike.**

Pismo: ćirilica ili latinica. Na početku se navode imena autora sa zvanjima i akademskim titulama, naziv preduzeća, odnosno dela preduzeća ili ustanove sa adresom, kao i naslov rada (na srpskom i engleskom jeziku). Rezime rada (na srpskom i engleskom jeziku) sadrži kratko izloženu osnovnu strukturu i sadržaj rada, i ne treba da sadrži više od 200 reči. Ključne reči se takođe navode na srpskom i engleskom jeziku.

Treba izbegavati celovita matematička izvođenja vezana za relacije koje opterećuju praćenje rada. Neophodna matematička izvođenja mogu se dati, po potrebi, kao celine u vidu jednog ili više priloga. Treba obavezno koristiti SI sistem jedinica i opšte prihvaćene pojmove.

Jednačine treba numerisati uz desnu marginu teksta, u malim (okruglim) zagradama. Pozivanje na jednačine u tekstu vrši se pomoću malih zagrada, a pozivanje na literaturu pomoću srednjih (uglastih) zagrada. Značenje skraćenice objasniti pri njenom prvom korišćenju u tekstu. Strane reči se prevode na srpski, a original se piše u zagradi iza prevoda. Napomena u tekstu treba da bude što manje, a ukoliko ih ima, treba da budu kratke. Napomene se označavaju rednim arapskim brojevima i navode se na dnu stranice, kao fusnote. Napomene u tabelama označavaju se malim slovima i navode se odmah ispod tabele. Na kraju rada prilaže se spisak korišćene literature. Za članke, navode se prezimena i početna slova imena svih autora, naslov rada, pun naziv ča-

sopisa, broj i godina publikovanja i prvi i poslednji broj stranice. Za knjige, navode se prezimena i početna slova imena svih autora, naslov knjige, izdavač i godina izdanja. Za referate sa konferencija, navode se prezimena i početna slova imena svih autora, naziv referata, pun naziv konferencije, broj referata, mesto i vreme održavanja konferencije.

Rad ne treba da prelazi 15 kucanih strana formata A4 sa marginama od 3 cm. Tabele, slike i fotografije treba obeležiti po redosledu i uključiti u tekst.

Autor može dati predlog kategorizacije rada u skladu sa Uputstvom za uređivanje časopisa (originalni naučni rad, prethodno saopštenje, pregledni članak i stručni članak). Autor ne može istu ili sličnu verziju rada istovremeno ponuditi drugim časopisima radi objavljivanja.

Autor dostavlja rad u elektronskom obliku na disketi i na papiru, u tri primerka. Za elektronski oblik rada, preporučuje se autoru da koristi program za pisanje teksta Word i tip slova Times New Roman (font 12, a razmak 1,5).*

Rad se šalje na adresu:

**ZAJEDNICA
JUGOSLOVENSKE
ELEKTROPRIVREDE**
Balkanska 13/II, 11000 Beograd

** Slike korišćene u radu bi trebalo dostaviti posebno, a ne samo u Wordu. Tabele bi trebalo da budu rađene kao tekst, a ne kao slika. Nije potrebno uvlačenje prvog reda tabulatorom ili razmaknicama. Taster enter pritiskati samo na kraju pasusa, a nikako na kraju reda. Nije potrebno deljenje reči.*

Na osnovu člana 17. Pravilnika o informisanju u Zajednici jugoslovenske elektroprivrede (05295 br. 360/5. 2. 3. od 28. 06. 1984. godine) sa izmenama i dopunama, u skladu sa odredbama Osnivačkog akta za stručno glasilo „Elektroprivreda” (0113-20 br. 2825/4. 4. od 24. 06. 1991. godine) sa izmenama i dopunama, Izdavački savet stručnog glasila „Elektroprivreda”, na II sednici održanoj 26. oktobra 2001. godine, doneo je

Odluku o stručnoj platformi za uređivanje stručnog glasila „Elektroprivreda”

1. PROFIL STRUČNOG GLASILA, KONTINUITET IZLAŽENJA I RAZVOJ

Ministarstvo za industriju i rudarstvo FNRJ je počelo sa izdavanjem stručnog glasila „Elektroprivreda” u toku 1948. godine, a od 1955. godine osnivač i izdavač stručnog glasila je Zajednica jugoslovenske elektroprivrede.

Imajući u vidu intenzivan razvoj nauke i tehnike, zatim dostignuti stepen razvoja elektroprivrede u našoj zemlji i svetu, poštujući pozitivna iskustva u izlaženju stručnog časopisa preko pola veka i uvažavajući teškoće koje su se u tom vremenu pojavljivale, Izdavački savet će nastojati u budućnosti da održi kvalitet i reputaciju stručnog glasila, kao i da isti unapređuje.

2. UREDNIČKA KONCEPCIJA I TEMATIKA STRUČNOG GLASILA

U cilju obaveštavanja o dostignutim rezultatima u teoriji i praksi, stručnog usavršavanja i motivisanja za naučnoistraživački i stručni rad kadrova u elektroprivredi, uređivačkom koncepcijom afirmisaće se domaća naučnoistraživačka i praktičnostručna dostignuća, a objavljiće se i važnija svetska iskustva.

Razvoj, izgradnja i eksploatacija elektroenergetskog sistema su tematski okvir stručnog glasila.

Razvoj obuhvata istraživanje, planiranje i projektovanje u oblasti primarnih energetske resursa i elektroenergetskih objekata.

Izgradnja obuhvata prethodne radove, izradu tehničke dokumentacije, pripreme radove i gradeenje elektroenergetskih objekata, u skladu sa važećim propisima.

Eksploatacija obuhvata upravljanje elektroenergetskim sistemom u cilju obezbeđenja sigurnog, ekonomičnog i kvalitetnog snabdevanja potrošača električnom energijom.

Stručno glasilo podstiće objavljivanje radova naučnoistraživačkog i stručnog karaktera u okviru

razvoja, izgradnje i eksploatacije elektroenergetskog sistema sa svim pratećim fenomenima, a posebno radove iz oblasti primene i racionalne potrošnje električne energije, opštih uslova za isporuku električne energije, tarifnog sistema za prodaju električne energije, organizacije rada, ekologije, revitalizacije i pronalazaštva, imajući u vidu tehničke, ekonomske i pravne aspekte ovih oblasti.

Izdavački savet će nastojati da ostvari svrsishodnu i aktuelnu ravnotežu primerenu srazmeri između objavljenih radova iz oblasti elektrotehnike, mašinstva, rudarstva, tehnologije i drugih struka.

U stručnom glasilu će se objavljivati, povremeno ili stalno, značajne novine i dostignuća u domaćoj elektro i mašinskoj industriji.

U stručnom glasilu će se objavljivati povremeno tematski brojevi koji će delimično ili u celosti biti posvećeni značajnim naučnim i stručnim skupovima u oblasti energetike, a posebno iz elektroprivrede, odnosno elektroenergetike.

3. VRSTE ČLANAKA I PRILOGA U STRUČNOM GLASILU

U cilju ostvarenja kvaliteta i reputacije stručnog glasila, Izdavački savet će se truditi da obezbedi i objavljuje članke u skladu sa Uputstvom za uređivanje primarnih naučnih časopisa kako sledi:

a) originalni naučni članak sadrži rezultate izvornih istraživanja, a naučne informacije u radu moraju biti obrađene i izložene tako da se mogu eksperimenti ponoviti i proveriti analize i zaključci na kojima se rezultati zasnivaju;

b) prethodno saopštenje sadrži naučne rezultate čiji karakter zahteva hitno objavljivanje, ali ne mora da omogući proveru i ponavljanje iznesenih rezultata;

c) pregledni članak sadrži celoviti pregled nekog područja ili problema na osnovu već publikova-

nog materijala, a koji je u radu sakupljen, analiziran i razmatran;

d) stručni članak predstavlja koristan prilog iz područja određene struke čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja, a rad se odnosi na proveru i reprodukciju u svetlu poznatih istraživanja i predstavlja koristan materijal u smislu širenja znanja i prilagođavanja izvornih istraživanja potrebama nauke i prakse.

U informativnom delu stručnog glasila objavljujuće se aktuelni prilozi i informacije o najvažnijim događajima iz prakse, vesti o održavanju naučnih i stručnih skupova, prikazi održanih skupova, prikazi knjiga, časopisa i slična obaveštenja.

4. RECENZIJA RADOVA

U cilju ujednačavanja kriterijuma za izbor člana za objavljivanje i održavanje kvaliteta časopisa, originalni naučni i stručni radovi podležu recenziji. Za svaki rad obezbeđuju se po dva recenzenta. U slučaju da je jedna recenzija negativna, za takav rad obezbeđuje se treći recenzent.

Spisak recenzenata sadrži najmanje po 4 recenzenta za svaku oblast elektroprivrede, odnosno energetike, i isti na predlog Glavnog i odgovornog urednika utvrđuje Redakcioni odbor.

Recenzente za originalne naučne i stručne radove određuje pismenim putem Glavni i odgovorni urednik, sa spiska recenzenata, a izuzetno, recenzent može da bude i lice van spiska recenzenata, ako Glavni i odgovorni urednik utvrdi da spisak recenzenata ne sadrži odgovarajućeg stručnjaka za određenu oblast. U slučaju da je Glavni i odgovorni urednik sprečen da odredi recenzente, iste će odrediti Predsednik Redakcionog odbora.

Po oceni Redakcionog odbora, za originalne naučne radove mogu se angažovati i inostrani recenzenti.

Autoru originalnog naučnog rada, odnosno stručnog rada, po pravilu, nije poznato ko vrši recenziju njegovog rada.

Recenzentsko mišljenje sadrži ocenu prezentiranog rada i zahteve za izmene i dopune tekstova, priloga i literature, kao i predlog za kategorizaciju rada.

Autoru se, u roku od tri meseca od dana prijema rada, dostavlja izveštaj o tome da li je rad prihvaćen ili nije za objavljivanje. Glavni i odgovorni urednik nije dužan da da obrazloženje uz ovaj izveštaj.

Uz dostavu originalnog naučnog rada, odnosno stručnog rada, autor je dužan da da izjavu izdavaču kojom tvrdi da je autor rada, da dozvoljava da se rad objavi u stručnom glasilu, da li je rad ili deo rada do sada objavljen i gde.

5. AUTORI U STRUČNOM GLASILU

Izdavački savet će nastojati da angažuje kao autore što širi krug stručnjaka iz oblasti energetike, a posebno iz elektroprivrede, odnosno elektroenergetike.

Autor može da predloži kategorizaciju svog rada u smislu tačke 4. stav 6. ove odluke.

6. FIZIONOMIJA I OBIM STRUČNOG GLASILA

Obim stručnog glasila utvrđuje se za svaki broj pojedinačno, a u proseku jedan broj sadrži 12 štampanih tabaka na formatu A4.

U slučaju potrebe za povećanim obimom pojedinačnog broja stručnog glasila, Izdavački savet će dati posebno obrazloženje.

Izdavački savet, u saradnji sa Redakcionim odborom, nastojaće da stalno podiže stručni nivo radova za objavljivanje i unapređuje grafički izgled i kvalitet štampe stručnog glasila.

7. OSTALE AKTIVNOSTI

U cilju realizacije ove odluke, Redakcioni odbor će sačiniti uputstvo za autore i druga akta potrebna za objavljivanje radova u stručnom glasilu.

Izdavački savet može, po potrebi, sprovesti među autorima i čitaocima ankete o profilu stručnog glasila, uređivačkoj koncepciji i kvalitetu stručnog glasila i organizovati tribine ili druge prigodne skupove na kojima će se razmatrati problematika stručnog glasila.

8. ZAVRŠNE ODREDBE

Danom stupanja na snagu ove odluke prestaju da važe Odluka o stručnoj platformi za uređivanje stručnog glasila „Elektroprivreda” (01 br. 128/1. 1. od 3. maja 1995. godine) koju je doneo Izdavački savet stručnog glasila „Elektroprivreda”, na II sednici održanoj 3. maja 1995. godine, i Odluka o izmenama i dopunama Odluke o stručnoj platformi za uređivanje stručnog glasila „Elektroprivreda” (br. 350/2. 4. od 25. oktobra 1996. godine).

Ova odluka stupa na snagu osmog dana od dana objavljivanja u Informativnom biltenu Zajednice jugoslovenske elektroprivrede.

br. 252/2.4.
26. 10. 2001. godine, Beograd

VD PREDSEDNIKA
IZDAVAČKOG SAVETA
Branislav A. Bošković, dipl. ing. el., s.r.

Dragan Petrović

Teslina indukciona mašina – teorijsko objašnjenje delovanja elektromagnetnih sila i proračuna indukovane elektromotorne sile*

Stručni rad
UDK: 621.395.722

Rezime:

Provodnici smešteni u žlebovima obrtnih električnih mašina su izloženi promenljivoj magnetnoj polju čija indukcija je znatno manja od vrednosti indukcije u međugvožđu mašine. U ovom radu biće dato teorijsko objašnjenje proračuna kako indukovane ems tako i sile koja deluje na provodnike i na zupce jedne obrtne električne mašine. Time će biti pojašnjeno zašto Nikola Tesla u svom čuvenom predavanju 1888. godine objašnjavajući delovanje obrtnog magnetnog polja govori o stvaranju „pritiska” po obimu rotora, a ne o silama koje deluju na provodnike smeštene u žlebove, kao uzroku stvaranja obrtnog momenta, što je uobičajeno a u suštini pogrešno.

Ključne reči: električne mašine, indukovane elektromotorne sile, elektrodinamičke sile

Abstract:

TESLA'S ELECTRO-MAGNETIC MOTOR - THEORETICAL EXPLANATION OF BOTH
ELECTRO-MAGNETIC FORCES AND CALCULATION OF INDUCED ELECTRO-MAGNETIC FORCE

Conductors laid in slots of rotating electric machines are exposed to variable magnetic field the induction of which is considerably smaller than the value of induction in the air gap of a machine. This paper gives theoretical explanation of calculation as of induced electro-magnetic forces so of the force acting on conductors and teeth of a rotating electric machine. Thereby it will be explained why Nikola Tesla in his famous lecture in 1888, clarifying the action of rotating magnetic field talks about creating „pressure” on the rotor circumference, and not about forces acting on conductors laid in slots, as of the reason of creating the torque, which is usual but in fact wrong.

Key words: electric machine, induced electromotive forces, electrodynamic forces

1. UVOD

U cilju ostvarenja što veće vrednosti indukcije u magnetnom kolu električne mašine teži se da dužina međugvožđa bude što manja. To ostavlja manje prostora da bi se provodnici postavili baš u međugvožđe, te je nađeno rešenje da se oni smeste u izrezane uzdužne žlebove u magnetnom kolu, kako statora ta-

ko i rotora. Time je rešen i problem njihovog boljeg učvršćenja i zaštite od oštećenja usled vibracije. Žlebovi mogu imati različit oblik – otvoren, poluzatvoren ili zatvoren, i primenjuju se zavisno od veličine mašine i njenog napona. U svakom slučaju prisustvo žlebova remeti uniformnost magnetnog otpora, jer je on znatno veći u zoni žleba, u odnosu na zubac. Linije magnetnog polja se grupišu u zoni zubaca, a

* Rad je prethodno objavljen u „Elektroprivredi” br. 3/2006. sa znatnim greškama. Izvinjavamo se autoru i čitaocima. Ispravljen rad ponovo objavljujemo.

REDAKCIJA

Prof. dr Dragan Petrović, dipl. ing. el. – Elektrotehnički fakultet, 11 000 Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

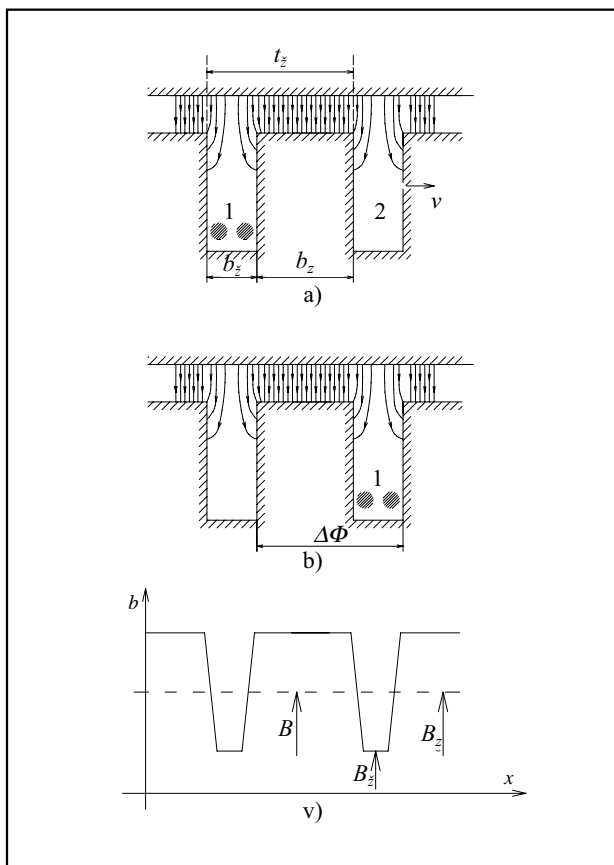
mali njihov deo prolazi kroz sam žleb. Dakle, sami provodnici u žlebu su izloženi dejstvu magnetnog polja čija indukcija je znatno manja od indukcije koja se ima u međugvožđu.

Usled ove činjenice postavlja se pitanje da li će i indukovana elektromotorna sila provodnika u žlebu biti značajno smanjena kao i šta je sa elektromagnetnom silom koja deluje na provodnike i na celo magnetno kolo. Uz pretpostavku da su provodnici smešteni u otvorene pravougaone žlebove u nastavku je prikazan način računanja indukovane ems i elektromagnetne sile.

2. INDUKOVANA ELEKTROMOTORNA SILA (EMS)

Faradej je još 1831. godine definisao zakon o računanju indukovane ems u provodniku dužine l koji se kreće brzinom v u magnetnom polju indukcije b :

$$e = l \cdot v \cdot b$$



Slika 1. Linije magnetnog polja i indukcija u međugvožđu i u žlebovima

Drugi način računanja te iste ems je na osnovu promene fluksa kroz površinu zamišljenog ili stvarnog strujnog kola čiji je element posmatrani provodnik:

$$e = -\frac{d\phi}{dt} \approx -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

Primenićemo taj zakon na proračun ems u provodnicima koji se nalaze u dnu žleba 1 prema slici 1 [1]. U posmatranom početnom trenutku provodnici u žlebu 1 se kreću zajedno sa žlebom brzinom v i presecani su sa malim brojem linija polja. U zoni žlebnog koraka t_z na slici 1.a, većina linija polja prolazi desno od posmatranih provodnika.

Posle vremena Δt usled brzine v žleb 1 dolazi u poziciju prikazanu na slici 1.b i većina linija polja u zoni t_z je sada sa leve strane žleba 1. Vreme za koje je provodnik prešao put t_z iznosi:

$$\Delta t = \frac{t_z}{v}$$

a promena fluksa kroz zamišljenu konturu čija je jedna strana posmatrani provodnik u žlebu 1 i čija dužina iznosi l je:

$$\Delta\phi = B_z \cdot b_z \cdot l + B \cdot b \cdot l = B \cdot t \cdot l$$

Prema slici 1.b srednja vrednost indukcije iznosi:

$$B = \frac{B_z \cdot b_z + B \cdot b}{b_z + b}$$

Prema Faradejevom zakonu je tada:

$$e = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = l \cdot v \cdot B$$

Dakle, indukovana ems je određena srednjom vrednošću indukcije u međugvožđu B a ne njenom znatno manjom vrednošću B_z koja se ima u žlebu.

Primena pravila o presecanju provodnika linijama magnetnog polja daje isti prethodni rezultat uz pravilno računanje brzina kojom se linije polja prebacuju sa jedne strane provodnika na drugu. Ta brzina je različita u zoni zubaca v_z i žleba v_z i da bi se isti broj linija ($\Delta\phi$) prebacio u toku Δt mora biti zadovoljena relacija:

$$B_z \cdot v_z \cdot \Delta t = B \cdot v \cdot \Delta t = B \cdot v \cdot \Delta t$$

Iz čega proizilazi da su:

$$v_z = v \cdot \frac{B}{B_z} \quad \text{i} \quad v = v \cdot \frac{B}{B}$$

Brzina presecanja provodnika u žlebu v_z je znatno veća od brzine kretanja provodnika v , dok je br-

zina v_z manja. Time se objašnjava da u provodnicima u žlebu, iako su izloženi maloj indukciji B_z , usled povećanja brzine presecanja linijama polja indukovana ems ima vrednost kao da se ima uniformno polje čija je indukcija B i koje se kreće brzinom v .

3. ELEKTROMAGNETNE SILE U ZONI ŽLEBOVA [2]

U zoni žleba i susednih zubaca obično postoji magnetno polje koje potiče, s jedne strane od struja van te zone (namotaji statora ili rotora), kao i od struja koje prolaze kroz provodnike smeštene u posmatranom žlebu (fluks rasipanja). Neophodan uslov da bi se javila elektromagnetna sila na provodnik (ili na struju) jeste postojanje struje u provodniku i prisustvo linija magnetnog polja. Prema Laplasovom zakonu ta sila se računa prema relaciji $f = l \cdot i \cdot b$ gde je l – dužina provodnika kroz koji prolazi struja i , i nalazi se u magnetnom polju indukcije b .

Uz pretpostavku, koja odgovara realnom stanju kod električnih obrtnih mašina, da je provodnik smešten u žlebu i da kroz njega prolazi struja i_p , a da u međugvožđu mašine postoji magnetno polje koje stvaraju drugi provodnici (namotaji), tada u zoni žleba i susednih zubaca magnetno polje se sastoji iz dve komponente. Jedna je ona koja se ima u međugvožđu, a druga potiče od struje u posmatranom provodniku, koja se zove polje žlebnog rasipanja. Ove dve komponente uzrokuju sile na provodnik i na susedne zupce od kojih se kod obrtnih električnih mašina ostvaruje elektromagnetni moment.

Na slici 2.a je prikazana raspodela polja koja se ima u međugvožđu pri čemu je struja provodnika $i_p = 0$. Linije polja najvećim delom prolaze kroz zupce a samo mali deo kroz otvor žleba ulazi bočno u zupce ($B_{\delta 1}$ i $B_{\delta 2}$), dok sasvim malo linija preseca provodnik (B_p). To proizilazi iz činjenice da je magnetna otpornost feromagnetnog materijala zanemarljiva u odnosu na otpornost vazduha u žlebu. Ako je srednja vrednost indukcije u međugvožđu B_δ , tada je fluks na ulazu u žleb ($v=0$):

$$\phi_{z0} = l \int_{-b_z/2}^{b_z/2} B_y dx = l \cdot B_\delta \cdot b_z$$

a deo tog fluksa koji se ima u preseku žleba gde je centar provodnika (visina h_p):

$$\phi_{zhp} = l \int_{-b_z/2}^{b_z/2} B_{hp} dx = l \cdot B_{hp} \cdot b_z \approx (0,002 \div 0,001) \cdot \phi_{z0}$$

Ovo je realna procena smanjenja fluksa na ovom preseku koji proističe iz detaljnijih proračuna žleba za ovakvu geometriju. Dalje, u bočne delove zubaca ulazi fluks

$$\phi_b = \frac{\phi_{z0} - \phi_{zhp}}{2}$$

što se malo razlikuje od $\phi_{z0}/2$.

Indukcije koje potiču od polja u međugvožđu i imaju se na bočnim stranama žleba (zubaca) i eksponencijalno se smanjuju po visini tako da su na visini $y=h_p$ skoro zanemarujuće, te je odgovarajući fluks:

$$\phi_b \approx \frac{\phi_{z0}}{2} = l \cdot \int_0^{h_p} B_{\delta 1} dy = l \cdot \int_0^{h_p} B_{\delta 2} dy$$

Ako se imaju fluksovi ϕ_{z0} i ϕ_{zhp} , tada je indukcija kroz provodnik:

$$B_p = (0,002 \div 0,001) B_\delta$$

Na slici 2.b prikazane su linije polja koje potiču od struje u provodniku i_p , kao i raspodela indukcija B_{i1} i B_{i2} po visini žleba y . U delu $0 < y < h_p$ indukcije su praktično konstantne i međusobno jednake, ali suprotnog smera, za dve strane žleba i njihova približna vrednost je:

$$B_{i1} = B_{i2} = \frac{\mu_o \cdot i_p}{b_z}$$

S obzirom na to da ove indukcije imaju normalan smer na feromagnetni materijal, one izazivaju jednake sile privlačenja i imaju horizontalan smer (odnosno tangencijalan hod mašine). U bočne strane ulaze i linije polja iz međugvožđa čije su indukcije $B_{\delta 1}$ i $B_{\delta 2}$, tako da je rezultanta raspodela indukcije po visini h određena relacijom:

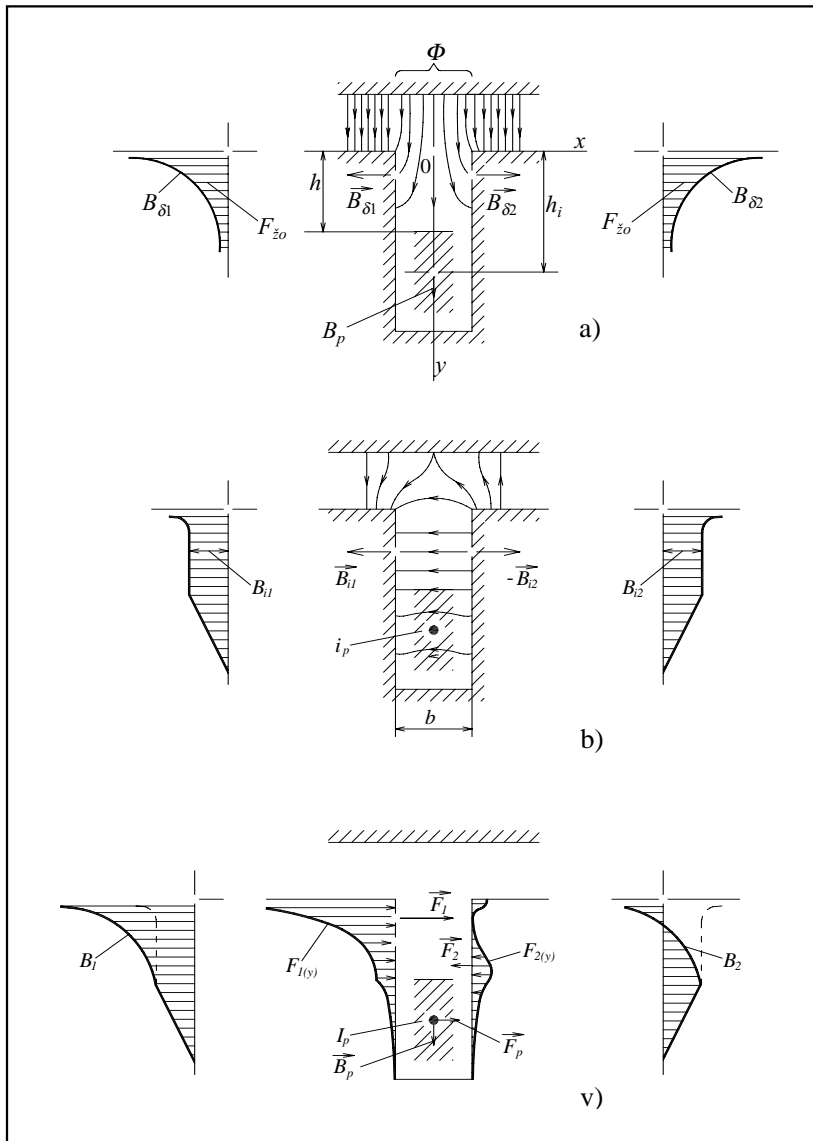
$B_1 = B_{\delta 1} + B_{i1}$ za levu stranu, a $B_2 = B_{\delta 2} - B_{i2}$ za desnu stranu zidova zubaca. Tangencijalna sila koja deluje na levi zubac iznosi:

$$F_2 = \frac{B_1^2}{2\mu_o}, \text{ a na površinu desnog zupca } F_1 = \frac{B_2^2}{2\mu_o}$$

Iznosi sila F_1 i F_2 i njihova promena po visini y su prikazani na slici 2v. One imaju smer prema sredini sa većim magnetnim otporom, tako da je rezultanta sila (odnosno momenta) usmerena sa leve na desnu stranu. Sila koja deluje na provodnik iznosi:

$$F_p = l \cdot B_p \cdot i_p \approx (0,002 \div 0,001) l \cdot B_\delta \cdot i_p = (0,002 \div 0,001) F$$

gde je F ukupna sila koja deluje u zoni žleba. Sila F_p ima takođe tangencijalan pravac, a smer joj se poklapa sa smerom rezultante sila privlačenja F_1 i F_2 . Dakle, na bočne strane žlebova tj. zubaca deluju



Slika 2. Elektromagnetne sile u oblasti žleba

tangencijalne sile $F_1 - F_2 = F_b$, a pošto je ukupna sila u zoni zupca :

$$F_y = F = F_p + F_\delta \text{ to je:}$$

$$F_\delta = F - F_p = [1 - (0,002 \div 0,001)]F = (0,998 \div 0,999)F$$

Znači da na provodnik u žlebu deluje sila od nekoliko promila od sile koja deluje na zupce, tj. na feromagnetni materijal. Inače, kada bi se taj provodnik našao na površini feromagnetnog materijala, na njega bi delovala ukupna sila F . Time što je provodnik smešten u žleb, elektromagnetne sile najvećim svojim delom deluju na zupce, a neznatna sila koja deluje na provodnike omogućava da mehanička čvrstoća njegove izolacije bude značajno smanjena.

4. ZAKLJUČAK

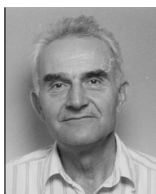
Dva su zaključka koja proizilaze iz prethodne analize:

1. Iako su provodnici smešteni u žlebovima izloženi smanjenoj vrednosti indukcije, indukovana ems u njima ima istu vrednost kao da se nalazi na površini feromagnetnog materijala (u međugvožđu) a da su izloženi srednjoj vrednosti indukcije međugvožđa.
2. Sile koje se javljaju u zoni zubaca najvećim delom deluju tangencijalno na bočne strane zubaca, a samo se sa nekoliko promila tih sila deluje na provodnike smeštene u žlebovima. Dakle, elektromagnetne sile i odgovarajući moment zubaca „potiskuju” rotor tj. njegov feromagnetni materijal, dok je udeo sila koje deluju na provodnike u žlebovima neznatan.

5. LITERATURA

- [1] Radenko Wolf – OSNOVE ELEKTRIČNIH STROJEVA, Zagreb, 1985.
- [2] A. B. Ivanov – Smoljenskij – ELEKTRIČNE MAŠINE (na ruskom), Energija, Moskva, 1980.

Rad je primljen u uredništvo 01. 04. 2005. godine



Dragan S. Petrović je završio 1964. godine ETF u Beogradu, energetski odsek. Magistrirao je 1968. na ETF-u u Beogradu, a doktorirao 1977. godine u Zagrebu, kod prof. B. Frančića. Oblast nastavnog, naučnog i stručnog rada su električne mašine, posebno asinhronne i sinhronne. Iz te oblasti je objavio značajan broj radova na domaćim i stranim konferencijama i časopisima. Na Pariskoj CIGRE-i izlagao je dva rada. Predsednik je komiteta A1- Obrtne električne mašine Juko - CIGRE. Redovan je profesor na ETF-u u Beogradu od 1991. godine.

Jovan Nahman,
Dragoslav Perić, Dragutin Salamon i Ivana Vlajić-Naumovska

Proračuni pouzdanosti distributivnih sistema primenom korelacionih matrica*

Originalni naučni rad
UDK: 621.311.1; 621.3.05; 512.643

Rezime:

Analize pouzdanosti su vrlo važne u okviru procena kvaliteta rada distributivnih mreža i postrojenja. Učestanost i trajanje prekida napajanja koje su posledice kvarova u distributivnom sistemu bitno utiču na štete/troškove kod potrošača električne energije. U većini deregulisanih elektroenergetskih sistema se prema pokazateljima pouzdanosti napajanja procenjuje kvalitet rada jedne distribucije na osnovu koga se odbrava njen profit i/ili odobravaju sredstva za dalje investicije. U mnogim zemljama distribucija je obavezna da, pod određenim uslovima, nadoknađuje štete potrošačima prouzrokovane prekidom napajanja. U radu se prikazuje jednostavna metoda za proračune svih bitnih pokazatelja pouzdanosti elemenata distributivnog sistema i načini njihovog obuhvatanja kod procena pouzdanosti napajanja potrošača na različitim naponskim nivoima. Uvodi se pojam korelacione matrice koja se sastavlja tabelarnim pregledom mogućih kvarova i njihovih efekata. Predložena metoda jednostavna je za praktičnu primenu i zasniva se samo na poznavanju delovanja zaštite i automatike i procedura kod nalaženja i otklanjanja kvara.

Ključne reči: distributivni sistemi, pouzdanost, korelaciona matrica

Abstract:

DEPENDABILITY EVALUATION OF DISTRIBUTION SYSTEMS BY APPLICATION OF CORRELATION MATRICES

The dependability analysis is a crucial task in assessing the quality performances of distribution systems. The frequency and duration of supply interruptions directly affect the cost of consumers of electrical energy as well as their comfort. In the majority of deregulated electric power systems the quality of operation of a distribution company is quantified by the Regulator by referring to their dependability indices. These indices affect the decisions on allowable profits and means for further system reinforcement and development. In many countries the distribution company pays, under certain conditions, the costs caused to the consumers due to interruptions of power delivery. This paper presents a simple practical method for the calculation of all of the dependability indices that affect the consumer costs, for all distribution voltage levels. The correlation tables and matrices are introduced as a new approach describing the correlation between the faults and associated activities with their consequences to the major system functions. The proposed approach is very simple for practical application, being only based upon the knowledge of the operation of the substations and networks, their relay protection and the procedures and means for fault location and associated switching manipulations.

Key words: distribution systems, dependability, correlation matrix

* Rad je prethodno objavljen u „Elektroprivredi” br. 1/2007. sa znatnim greškama. Izvinjavamo se autoru, koautorima i čitaocima. Ispravljen rad ponovo objavljujemo.

REDAKCIJA

1. POSTROJENJA

1.1. Modelovanje postrojenja

Da bi se utvrdile posledice prekida napajanja usled kvarova i održavanja potrebno je izračunati merodavne pokazatelje pouzdanosti postrojenja/mreže. Pomenuti proračun može se podeliti u nekoliko koraka :

- Obrazovanje funkcionalnih blokova.
- Utvrđivanje funkcija postrojenja čija se pouzdanost želi analizirati.
- Formiranje korelacione matrice između ispada funkcionalnih blokova i funkcija koje ovi ispadi prekidaju pri čemu se uzimaju u obzir kvarovi generalno, aktivni kvarovi i planske aktivnosti vezane za održavanje, neophodne manipulacije u eksploataciji i dr.
- Proračun pokazatelja pouzdanosti za obavljanje svake od razmatranih funkcija (učestanosti prekida različitog trajanja, trajanje pomenutih prekida, ukupno godišnje trajanje prekida, ukupni godišnji broj prekida, srednje trajanje prekida).
- Proračun šteta usled narušavanja razmatranih funkcija zavisno od strukture potrošnje kojoj se prekida napajanje.

Pod *funkcionalnim blokom* podrazumeva se skup elemenata postrojenja koji su funkcionalno povezani tako da isključenje iz pogona bilo kog elementa bloka isključuje iz pogona i ostale elemente bloka.

Pojam *aktivni kvar* odnosi se na kvarove koji zahtevaju delovanje zaštite i prekidača. Kvarovi uopšte izbacuju iz pogona blok u kvaru. Oni uključuju u sebi i aktivne kvarove. Međutim, aktivni kvar nekog elementa bloka, pored izbacivanja iz pogona odgovarajućeg bloka u kome se taj element nalazi, može da, zbog delovanja susednih prekidača, isključi i ispravne delove postrojenja i prekine i neke druge funkcije postrojenja. U proračunima se u vezi sa aktivnim kvarovima obuhvataju samo pomenuti dodatni efekti koji se odnose na elemente postrojenja van bloka.

1.2. Pokazatelji pouzdanosti funkcionalnog bloka

Neka se funkcionalni blok sastoji iz n elemenata. Učestanost kvarova bloka tada je jednaka zbiru učestanosti kvarova pojedinih elemenata

$$f_B = \sum_{k=1}^n f_k \quad (1)$$

Srednje trajanje prekida rada bloka usled kvarova njegovih elemenata jednako je

$$r_B = \frac{\sum_{k=1}^n f_k r_k}{f_B} \quad (2)$$

Simbol r_k u izrazu (2) označava trajanje kvara k -tog elementa bloka.

Ako blok sadrži prekidače, aktivni kvarovi bloka sa dodatnim efektima su aktivni kvarovi ovih prekidača. Naime, aktivni kvar prekidača dovodi do delovanja prekidača susednih blokova koji ih isključuju i tako mogu da uzrokuju dodatne prekinde nekih funkcija. Pomenuti dodatni efekti aktivnih kvarova traju onoliko vremena koliko je potrebno da se utvrdi vrsta kvara i izvedu potrebne manipulacije kako bi se isključeni ispravni delovi postrojenja ponovo stavili u pogon. Ovo vreme zavisi od toga da li je postrojenje posjednuto ili ne i od postojeće zaštite i automatike.

Racionalna je pretpostavka da se planski remont radi jednovremeno za sve elemente bloka za koje je to predviđeno. Tako je učestanost isključenja bloka zbog planskog remonta jednaka učestanosti zbog planskog remonta elementa bloka koji se najčešće remontuje

$$f_{Br} = \max_k (f_{rk}) \quad (3)$$

gde se indeks k odnosi na elemente bloka.

Primeru radi, na slici 1 su isprekidanim linijama označeni funkcionalni blokovi za jedno jednostavno postrojenje sa dve transformatorske jedinice jednakih snaga i jednim sistemom sabirnica na oba naponska nivoa. Granice blokova idu preko rastavljača jer se preko ovih blokova mogu rastaviti. Rastavljači su obično vrlo pouzdani elementi tako da se kod proračuna pokazatelja blokova njihovi kvarovi mogu izostaviti. Izuzetak su blokovi sabirničkih sistema. Ovde se kvarovi sabirničkih rastavljača uzimaju u obzir pri čemu se zbirna učestanost njihovih kvarova dodaje učestanosti kvarova samih sabirnica.

1.3. Korelaciona matrica kvarova i prekida funkcija

Da bi se formirala korelaciona matrica za šemu postrojenja treba utvrditi funkcije čija se pouzdanost želi analizirati. Za postrojenje na sl.1 te funkcije mogu biti:

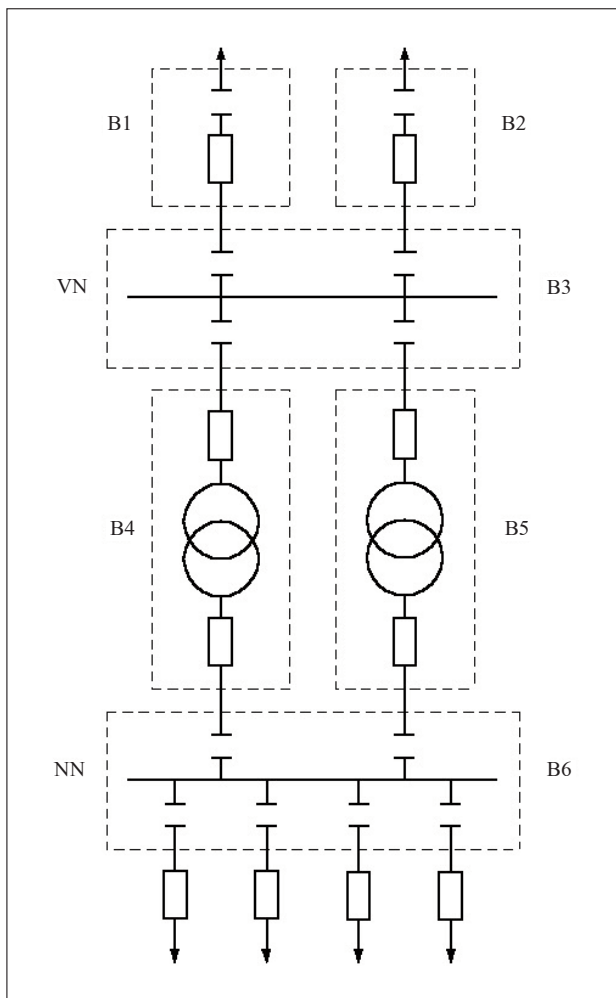
1. Prekid tranzita snage i energije kroz postrojenje na visokonaponskoj strani.
2. Ispad cele instalisane snage.
3. Ispad samo polovine instalisane snage.

Korelaciona matrica ima onoliko kolona koliko ima funkcija koje se analiziraju i onoliko redova koliko ima kvarova koji se mogu dogoditi u postroje-

nju. Ako kvar i dovodi do prekida neke od funkcija, u red i matrice upisuje se jedinica u kolonu koja se odnosi na tu funkciju. Ako kvar ne prekida neku od funkcija, u odgovarajuću kolonu upisuje se nula.

Ako se uzimaju u obzir samo kvarovi pojedinačno, a ne i njihove koincidencije, što je opravdano s obzirom na relativno veliku pouzdanost elemenata postrojenja, ukupan broj kvarova u srazmeri je sa brojem funkcionalnih blokova. U slučaju kada se imaju dodatni efekti kod aktivnih kvarova svih blokova, ukupan broj kvarova je bar dva puta veći od broja blokova.

Isključenje blokova zbog planskog održavanja obično se analizira odvojeno od kvarova jer se ove aktivnosti izvode u vremenskim periodima kada je to najpovoljnije za potrošače, pa su i moguće štete zbog prekida napajanja manje nego kod kvarova.



Slika 1. Distributivna transformatorska stanica

Podatke za proračune najjednostavnije je pripremiti u obliku tabele. U prvu kolonu tabele upisuje se učestanost kvarova blokova, u drugu trajanje

kvarova, a u ostale kolone jedinice i nule, u zavisnosti od toga koje funkcije postrojenja prekida razmatrani kvar. Za postrojenje na sl.1 pomenuta tabela imala bi izgled prikazan u Tabeli 1. Tri poslednje kolone Tabele 1 predstavljaju u stvari korelacionu matricu.

Aktivni kvarovi blokova B1 i B2 (prekidača vodova) dovode do delovanja prekidača na drugom napojnom vodu i, kao posledicu, do isključenja celog postrojenja. Ovo su dodatni efekti aktivnih kvarova koji se obuhvataju. Njihov efekat na sam blok kome pripadaju obuhvaćen je kvarom bloka.

Svaki kvar sabirničkog bloka B3 prekida tranzit kroz postrojenje i napajanje svih potrošača iz posmatranog postrojenja. Ovde nema efekata aktivnog kvara koji nisu obuhvaćeni kvarom pa zato ovih nema u tabeli.

Kvar bloka B4 dovodi do ispada polovine instalisane snage postrojenja. Aktivni kvar prekidača na višenaponskoj strani uzrokuje prekid tranzita kroz postrojenje i isključenje celog postrojenja zbog delovanja prekidača napojnih vodova. Aktivni kvar prekidača na niženaponskoj strani aktivira prekidače na višenaponskoj strani strani bloka B4 i na niženaponskoj strani strani bloka B5 čime se prekida napajanje potrošača, ali se ne narušava tranzit kroz postrojenje na višenaponskoj strani. Za blok B5 važi isto što i za blok B4.

Tabela 1.

Pokazatelji blokova i korelaciona matrica za TS na slici 1.

f_{B_i} , kvarova/godišnje	$r_{B_i, h}$	Funkcija 1	Funkcija 2	Funkcija 3
f_{B1}	r_{B1}	1	0	0
f_{aB1}	r_{aB1}	0	1	0
f_{B2}	r_{B2}	1	0	0
f_{aB2}	r_{aB2}	0	1	0
f_{B3}	r_{B3}	1	1	0
f_{B4}	r_{B4}	0	0	1
f_{aB4VN}	r_{aB4}	1	1	0
f_{aB4NN}	r_{aB4}	0	1	0
f_{B5}	r_{B5}	0	0	1
f_{aB5VN}	r_{aB5}	1	1	0
f_{aB5NN}	r_{aB5}	0	1	0
f_{B6}	r_{B6}	0	1	0
f_{aB6}	r_{aB6}	0	1	0

Svaki kvar sabirničkog bloka B_6 , u koji treba uračunati i sve vrste kvarova sabirničkih rastavljača, dovodi do prekida napajanja svih potrošača dok se kvar ne otkloni. Zato, kao i kod VN sabirnica, nema dodatnih efekata aktivnih kvarova ovog bloka koji već nisu obuhvaćeni kvarom. Kod sabirnica su ipak uvedeni efekti aktivnih kvarova, ne elemenata blo-

ka, već prekidača odvoda pošto ovi dovode do delovanja prekidača transformatora i isključenja svih potrošača. Učestanost aktivnih kvarova prekidača odvoda jednaka je

$$f_{ae} = f_a + p f_{av} \quad (4)$$

Sa f_a u (4) označena je učestanost aktivnih kvarova prekidača, f_{av} je učestanost aktivnih kvarova odvoda koji se napaja preko prekidača, a p je verovatnoća otkaza delovanja zaštite i/ili prekidača kod kvarova na odvodu. Učestanost f_{aB6} izračunava se kao zbir učestanosti f_{ae} prekidača odvoda.

Efekti planskih aktivnosti na postrojenju obuhvataju se na isti način kao u tabeli 1, sa odgovarajućim podacima o učestanosti i trajanju tih aktivnosti.

1.4. Pokazatelji pouzdanosti

Učestanosti narušavanja funkcije i postrojenja dobijaju se u obliku vektora kolone ako se iz prve kolone tabele 1 izdvoje oni elementi koji u koloni za funkciju i imaju jedinicu. Primenom istog postupka na drugu kolonu tabele 1 dobija se vektor kolona trajanja prekida funkcije i . Ako pomenute vektore označimo sa $[f_i]$ i $[r_i]$ ukupno trajanje prekida posmatrane funkcije (neraspoloživost), izraženo u časovima godišnje, biće

$$u_i = [f_i]^T [r_i] \quad (5)$$

Ukupna učestanost prekida funkcije i dobija se sabiranjem učestanosti kvarova koji prekidaju ovu funkciju

$$f_{is} = \sum_k f_{ik} \quad (6)$$

Sa f_{ik} označena je učestanost prekidanja funkcije i kod kvara k . Indeks k obuhvata sve kvarove koji prekidaju funkciju i .

Srednje trajanje prekida funkcije i kada dođe do prekida jednako je

$$r_{ia} = \frac{u_i}{f_{is}} \quad (7)$$

Vektori $[f_i]$ i $[r_i]$, neraspoloživost u_i , učestanost f_{is} i prosečno trajanje kvara r_{ia} su osnovni pokazatelji za procenu pouzdanosti sa kojom postrojenje obavlja funkciju i . Na osnovu njih mogu se proceniti i štete koje treba očekivati godišnje usled prekidanja ove funkcije. Kao što je poznato, štete zavise od vrste potrošača, učestanosti i trajanja prekida. Potrebni podaci o učestanosti i trajanju prekida sadržani su u vektorima $[f_i]$ i $[r_i]$.

1.5. MATLAB program nssavail.m

Program *nssavail.m* određuje ranije navedene pokazatelje pouzdanosti za svaku od analiziranih funkcija postrojenja. Ako se sa n označi ukupan broj kvarova u postrojenju, *ulazne veličine* su:

f – n dimenzionalni vektor kolona učestanosti kvarova u postrojenju, u kvarovima/godišnje;

r – n dimenzionalni vektor kolona trajanja kvarova u postrojenju, u h;

m – ukupan broj razmatranih funkcija postrojenja i g – ($n \times m$) dimenzionalna korelaciona matrica za kvarove i funkcije.

Izlazni podaci iz programa su:

r_i – vektor trajanja prekida funkcije i sa trajanjima poređanim po narastajućim vrednostima, u h;

f_i – vektor učestanosti prekida funkcije i sa različitim trajanjem prema r_i , u kvarovima/godišnje;

u_i – ukupno trajanje prekida funkcije i , u h/godišnje;

f_{is} – ukupna učestanost prekida funkcije i , u prekida/godišnje i

r_{ia} – prosečno trajanje jednog prekida funkcije i , u h.

Izlazni podaci se navode za svaku funkciju redom, onako kako su one numerisane.

Radi ilustracije, razvijeni program primenjen je na jednostavnom primeru postrojenja na slici 1. U tabeli 2 navedeni su potrebni podaci za postrojenje, saglasno tabeli 1.

Tabela 2.

Podaci za postrojenje na slici 1

Kvar	f_B , kvarova/ godišnje	r_B , h	Funkcija 1	Funkcija 2	Funkcija 3
B ₁	0.04	8.0	1	0	0
B _{a1}	0.02	0.1	0	1	0
B ₂	0.04	8.0	1	0	0
B _{a2}	0.02	0.1	0	1	0
B ₃	0.02	6.0	1	1	0
B ₄	0.10	12.0	0	0	1
B _{a4VN}	0.02	0.1	1	1	0
B _{a4NN}	0.02	0.1	0	1	0
B ₅	0.10	12.0	0	0	1
B _{a5VN}	0.02	0.1	1	1	0
B _{a5NN}	0.02	0.1	0	1	0
B ₆	0.05	6.0	0	1	0
B _{a6}	0.02	0.1	0	1	0

Ulazni podaci u MATLAB formatu su :

- m=3;
- f= [0.04 0.02 0.04 0.02 0.02 0.1 0.02 0.02 0.1 0.02 0.02 0.05 0.2]’;
- r= [8 0.1 8 0.1 6 12 0.1 0.1 12 0.1 0.1 6 0.1]’;

– $g = [1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0$
 $0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1$
 $0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]'$.

Izlazni rezultati iz programa :

– ans = Interrupted function index: $i = 1$
– $f_i = 0.0400 \ 0.0200 \ 0.0800$, $r_i = 0.1000 \ 6.0000$
 8.0000
– $u_i = 0.7640$, $f_{is} = 0.140$, $r_{ia} = 5.457 \ 1$
– ans = Interrupted function index: $i = 2$
– $f_i = 0.3200 \ 0.0700 \ 0$, $r_i = 0.1000 \ 6.0000 \ 8.0000$
– $u_i = 0.4520$, $f_{is} = 0.3900$, $r_{ia} = 1.1590$
– ans = Interrupted function index: $i = 3$
– $f_i = 0.2000 \ 0 \ 0$, $r_i = 12 \ 0 \ 0$
– $u_i = 2.4000$, $f_{is} = 0.2000$, $r_{ia} = 12.0000$

Ulazni podaci za MATLAB program unose se direktno iz tabele 2, naredbom *past*. Tako se, na primer, za vektor učestanosti u MATLAB radnoj površini upiše $f=[a$ zatim se iz tabele 2 naredbom *past* unesu podaci i onda ukuca]]; kako bi se vektor zatvorio i ne bi bio ponovo ispisan na ekranu. Kod matrice g kopiraju se odmah sve tri odgovarajuće kolone tabele 2. Nulte vrednosti u izlaznim rezultatima za poslednje elemente odgovarajućih vektora označavaju da ovi elementi ne postoje. Radi uštede u prostoru, navedene matrice/vektori su ispisane transponovano.

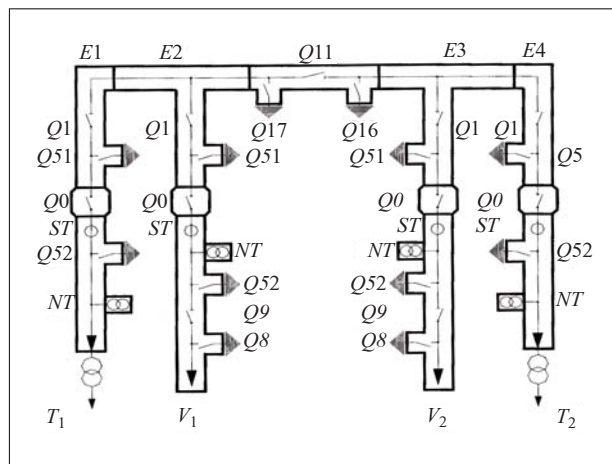
Obrazovanje korelacione tabele i matrice prikazaćemo na realnom primeru transformatorske stanice TS 110/10 kV/kV „Kalemegdan”. Na slici 2 prikazana je jednopolna šema višenaponskog dela ove transformatorske stanice.

Sekcioni rastavljač $Q11$ na višenaponskoj strani u normalnom pogonu je zatvoren.

Na niženaponskoj strani svaki transformator napaja dve sekcije sabirnica sa po devet odvoda. Svaka sekcija štiti se svojim transformatorskim prekidačem. Susedne sekcije sabirnica mogu se povezati sekcionim prekidačima i tako potrošači vezani za sekcije sabirnica jednog transformatora prebaciti na drugi transformator u slučaju potrebe, ako to ukupno opterećenje transformatorske stanice dozvoljava.

Kako se vidi, šema ove TS je simetrična što pojednostavljuje proračune.

U proračunima pokazatelja pouzdanosti koji su potrebni za procenu šteta usled prekida napajanja najracionalnije je odvojeno odrediti pokazatelje za višenaponski i niženaponski deo postrojenja. Pri tome se štete usled prekida određenih funkcija zbog kvarova u višenaponskom delu sabiraju sa štetama prekida istih funkcija usled kvarova na niženaponskom delu. To isto važi i za ukupnu učestanost prekida funkcija i ukupnu neraspoloživost postrojenja



Slika 2. Jednopolna šema višenaponskog dela TS 110/10 kV/kV „Kalemegdan”

za obavljanje tih funkcija. U narednom tekstu se pokazuje kako izgledaju korelacione matrice za oba razmatrana dela postrojenja.

Tabela 3 prikazuje korelacionu matricu za višenaponski deo postrojenja. Sa 1 je označen tranzit kroz postrojenje, sa 2 je označen ispad iz pogona cele TS, sa 3 je označen ispad transformatora T_1 , a sa 4 ispad transformatora T_2 .

Blok BR obuhvata elemente komore sa sekcionim rastavljačem višenaponskih sabirnica. Svaki kvar ovog bloka dovodi do istih ukupnih posledica tako da dodatnih efekata aktivnih kvarova nema. Blok BS1 obuhvata elemente sabirničke komore transformatora T_1 . Svaki kvar ovog bloka prekida rad transformatora T_1 i tranzit. Dodatni efekat aktivnog kvara bloka je ispad iz pogona cele TS. Sve što je rečeno za prethodno razmatrani blok važi i za blokove BS2 i BS2a, s tom razlikom što kvarovi bloka BS2 isključuju transformator T_2 . Blok BT_1V obuhvata sve elemente transformatorskog polja transformatora T_1 sa izuzetkom prekidača na niženaponskoj strani. Efekti aktivnih kvarova ovog bloka (aktivni kvarovi transformatorskog prekidača na višenaponskoj strani) su prekid tranzita i ispad cele TS. Efekti kvarova bloka BT_2V isti su kao i za blok BTV_1 , ali sada obuhvataju transformator T_2 . Blok BV_1 čine prekidač voda V_1 i prateća merna i zaštitna oprema polja. Smatra se da svaki od oba voda koji napajaju TS može sam da podnese celo opterećenje TS. Ako je to slučaj, kvar bloka BV_1 narušava samo tranzit. Dodatni efekat aktivnog kvara ovog bloka je ispad cele TS. Sve što je rečeno za blok BV_1 važi i za blok BV_2 .

Zbog simetrije šeme TS dovoljno je odrediti pokazatelje pouzdanosti samo za napajanje sekcija niženaponskih sabirnica transformatora T_1 . Pokazatelji pouzdanosti ovih sekcija transformatora T_2 jedna-

ki su pokazateljima za transformator T_1 . Tabela 4 prikazuje korelacionu matricu za sekcije niženaponskih sabirnica transformatora T_1 .

Tabela 3.

Korelaciona matrica za višenaponsku stranu TS

Blok	Funkcija			
	1 – prekid tranzita	2 – ispad cele TS	3 – ispad T_1	4 – ispad T_2
BR	1	1	0	0
BS ₁	1	0	1	0
BS _{1a}	0	1	0	0
BS ₂	1	0	0	1
BS _{2a}	0	1	0	0
BT ₁	0	0	1	0
BT _{1a}	1	1	0	0
BT _{2V}	0	0	0	1
BT _{2Va}	1	1	0	0
BV ₁	1	0	0	0
BV _{1a}	0	1	0	0
BV ₂	1	0	0	0
BV _{2a}	0	1	0	0

Tabela 4.

Korelaciona matrica za sekcije nižeg napona sabirnica transformatora T_1

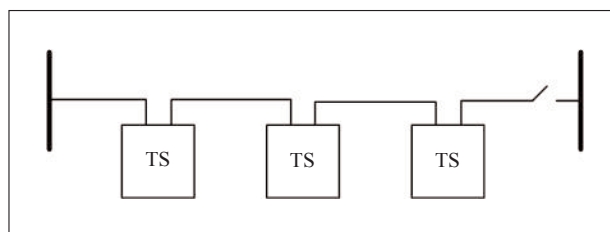
Blok	Funkcija		
	1 – napajanje obe sekcije	2 – napajanje prve sekcije	3 – napajanje druge sekcije
BP1	0	1	0
BP1a	1	0	0
BP2	0	0	1
BP2a	1	0	0
BSEK1	0	1	0
BSEK1a	1	0	0
BSEK2	0	0	1
BSEK2a	1	0	0

Blok BP1 je prekidač na niženaponskoj strani transformatora T_1 kojim se isključuje prva sekcija sabirnica koje transformator napaja. Efekat aktivnog kvara ovog prekidača je jednovremeno isključenje obe sekcije. Blok BP2 je prekidač na niženaponskoj strani transformatora T_1 kojim se isključuje druga sekcija sabirnica. Efekat aktivnog kvara ovog prekidača je takođe jednovremeno isključenje obe sekcije. Blok BSEK1 je prva sekcija sabirnica. Kvar bloka BSEK1 isključuje ovu sekciju dok se kvar ne otkloni. Sa BSEK1a obuhvaćeni su aktivni kvarovi (izvlačivih) prekidača od voda koji polaze sa razmatrane sekcije. Ovi se kvarovi razmatraju posebno jer kod njih prekid rada sekcije traje samo onoliko vre-

mena koliko je potrebno da se prekidač u kvaru otkloni/zameni. Sve rečeno za BSEK1 i BSEK1a važi i za BSEK2 i BSEK2a.

2. NAPOJNI VODOVI

Napojni vodovi mogu značajno da utiču na pokazatelje pouzdanosti i troškove i smetnje kod potrošača usled prekida napajanja. Način proračuna ovih pokazatelja i efekata napojnog puta biće prikazan na primeru voda na slici 3. Na pomenutoj slici je prikazana najprostija šema napajanja radi jednostavnosti. Sva razmatranja u ovom odeljku i navedeni izrazi međutim važe i u slučaju bilo kakve razgranate radialne mreže. U opštem slučaju termin „vod” zamenjuje se terminom „napojni put” do posmatrane TS ili potrošača za koji se određuje pouzdanost napajanja.



Slika 3. Primer napojnog voda

2.1. Mreže 110 kV i 35 kV sa dvostranim napajanjem

Prvo se razmatra slučaj kada se na sabirnice u prolaznim TS vod priključuje preko prekidača, što je uobičajeno kod vodova 110 kV i 35 kV, kao i da postoji mogućnost napajanja sa drugog kraja. Učestanost i trajanje prekida napajanja k -te TS tada su jednaki

$$[f_k] = \left[\lambda_k + \sum_{i=1}^{k-1} f_{Ti} \right] \quad (8)$$

$$[r_k] = [s] \quad (9)$$

U (8) i (9) su

λ – broj kvarova voda po 1 km dužine godišnje;

l_k – dužina puta napajanja do k -te TS;

f_{Ti} – učestanosti prekida tranzita u svim TS ispred k -te TS gledano od izvornog postrojenja i

s – trajanje prebacivanja na napajanje sa drugog kraja.

Kako se vidi, vektori i učestanosti trajanja prekida koji su ulazni parametri za program *nssavail.m*, imaju u razmatranom slučaju samo jedan element jer se kod svih prekida napajanja pogon nastavlja nakon vremena koje je potrebno da se postrojenja koja su ostala bez napona priključe na napajanje sa drugog kraja.

Ako se intenziteti otkaza razlikuju na pojedinim deonicama puta napajanja, prvi član na desnoj strani

izraza (8) treba zameniti sa $\sum_{i=1}^{k-1} \lambda_i l_i$ gde su sa λ_i

označeni intenziteti otkaza na deonicama puta, a sa λ_i njihove dužine.

2.2. Mreže 110 kV i 35 kV bez dvostranog napajanja

U posmatranom slučaju napajanje TS koja zbog kvarova na napojnom putu ostaje bez napona ponovo će se uspostaviti kada se otklone efekti kvarova. Efekti aktivnih kvarova prolaznih postrojenja na tranzit otklanjaju se manipulacijama unutar postrojenja, a kvarovi u postrojenjima koji prekidaju tranzit i kvarovi na vodu otklanjaju se opravkom ili zamenom. Učestanost i trajanje prekida napajanja k -te TS jednaki su

$$[f_k] = \left[\lambda l_k \quad \bigcup_{i=1}^{k-1} [f_{Ti}] \right]^T \quad (10)$$

$$[r_k] = \left[r_v \quad \bigcup_{i=1}^{k-1} [r_{Ti}] \right]^T \quad (11)$$

Simbol \bigcup u ovim izrazima označava da se vektori kolone učestanosti i trajanja obrazuju nastavljanjem jedan na drugi odgovarajućih vektora za prolazne TS. Sa r_v je označeno trajanje opravke napojnog puta.

2.3. Mreže 20 kV i 10 kV sa dvostranim napajanjem

U TS 10(20)/0,4 kV/kV napojni vodovi se sa višenaponskim sabirnicama vezuju preko rastavljača koji ne isključuju struje kvara. Ove struje se isključuju prekidačem u izvornoj TS. Zato kvarovi na celoj dužini mreže prekidaju napajanje k -te TS. Vreme trajanja prekida napajanja jednako je vremenu potrebnom da se locira kvar i izvedu manipulacije potrebne da se iz šeme napajanja izdvoji deo u kvaru, a TS iza mesta kvara, gledano sa strane izvorne TS, priključe na izvor na drugom kraju. U posmatranom slučaju učestanost i trajanje prekida napajanja k -te TS izračunava se primenom izraza

$$[f_k] = \left[\lambda l + \sum_{i=1}^n f_{Ti} \right] \quad (12)$$

$$[r_k] = [s] \quad (13)$$

gde je n ukupan broj TS koje vod napaja. Ostali simboli imaju isto značenje kao u izrazima (8) i (9). Vreme s kod vodova 110 kV i 35 kV je znatno duže jer obuhvata i vreme traženja mesta kvara koje nije kratko ako ne postoji daljinski nadzor i upravljanje.

2.4. Mreže 20 kV i 10 kV bez dvostranog napajanja

Kvarovi na dužini napojnog puta koji je iza k -te TS, gledano sa strane izvora, isključuju iz pogona ovu TS samo za vreme koje je potrebno da se locira kvar i izvedu manipulacije potrebne da se iz šeme napajanja izdvoji deo u kvaru. Kod kvarova ispred k -te TS, računato sa strane izvora, prekid napajanja ove TS traje toliko vremena koliko je potrebno da se manipulacijama u prolaznim postrojenjima otklone efekti aktivnih kvarova transformatorskih prekidača, odnosno da se poprave ili zamene elementi u kvaru. Učestanosti i trajanja prekida napajanja k -te TS u razmatranom slučaju su jednaki

$$[f_k] = \left[\lambda(l-l_k) + \sum_{i=k+1}^n f_{Ti} \quad \lambda l_k \quad \bigcup_{i=1}^{k-1} [f_{Ti}] \right]^T \quad (14)$$

$$[r_k] = \left[s \quad r_v \quad \bigcup_{i=1}^{k-1} [r_{Ti}] \right]^T \quad (15)$$

sa istim značenjem simbola kao ranije.

2.5. Mreže 0,4 kV sa dvostranim napajanjem

Prekid napajanja potrošača k traje onoliko vremena koliko je potrebno da se ustanovi mesto kvara i prevezivanjem potrošač priključi na napajanje sa drugog kraja. S obzirom na prethodno, i u razmatranom slučaju se za proračun trajanja i učestanosti prekida napajanja koriste izrazi (8) i (9).

2.6. Mreže 0,4 kV bez dvostranog napajanja

Uslovi napajanja su slični onima za vodove 20 (10) kV. Jedina razlika se sastoji u tome što u razmatranom slučaju nema prolaznih TS i njihovih efekata. Trajanja i učestanosti prekida napajanja jednaki su

$$[f_k] = [\lambda(l-l_k) \quad \lambda l_k]^T \quad (16)$$

$$[r_k] = [s \quad r_v]^T \quad (17)$$

sa istim značenjem simbola kao ranije.

Ilustracije radi, razmotrimo sledeći primer proračuna: Vod 35 kV napaja tri TS 35/10 kV/kV bez mogućnosti dvostranog napajanja. Treba ustanoviti

uticaj voda na pouzdanost napajanja potrošača krajnje transformatorske stanice. Pokazatelji za napojni vod su $\lambda = 0,1$ kvar/(km godina), $l = 10$ km, $r_v = 8$ h, a za prolazne transformatorske stanice su

$$[f_{t1}] = [0.32 \quad 0,07] \quad [r_{t1}] = [0.1 \quad 6.0]$$

$$[f_{t2}] = [0.24 \quad 0.05] \quad [r_{t2}] = [0.1 \quad 6.0]$$

Prema navedenim podacima i izrazima (10) i (11) je

$$[f_k] = [1 \quad 0.32 \quad 0,07 \quad 0.24 \quad 0.05]$$

$$[r_k] = [8 \quad 0.1 \quad 6.0 \quad 0.1 \quad 6.0]$$

Ulazni podaci za program *nssavail.m* su, napisani u MATLAB formatu su

$$m = 1; f = [1 \quad 0.32 \quad 0.07 \quad 0.24 \quad 0.05]';$$

$$r = [8 \quad 0.1 \quad 6.0 \quad 0.1 \quad 6.0]';$$

$$g = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1]';$$

Matrica-vektor g sastavljena je isključivo od jedinica jer svi događaji prekidaju istu, jedinu funkciju - napajanje k -te TS.

Primenom programa *nssavail.m* dobija se

ans = Interrupted function index: $i = 1$

$$f_i = 0.5600 \quad 0.1200 \quad 1.0000,$$

$$r_i = 0.1000 \quad 6.0000 \quad 8.0000$$

$$u_i = 8.7760, f_{is} = 1.6800, r_{ia} = 5.2238$$

3. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana jednostavna praktična metoda za proračune pokazatelja pouzdanosti distributivnih postrojenja i mreža radialne strukture. Uveden je pojam korelacione matrice kojom se uspostavlja veza između kvarova i njihovog uticaja na pouzdanost izvršavanja određenih funkcija. Korelaciona matrica neposredno se sastavlja iz radne tabele postrojenja ili napojnog puta u mreži za čije je obrazovanje potrebno jedino poznavanje rada postojeće automatike i zaštite i pokazatelja pouzdanosti osnovnih elemenata postrojenja i mreža. Proračunom se dobijaju podaci o učestanosti prekida napajanja potrošača različitog trajanja koji predstavljaju osnovne ulazne parametre za procene šteta kod potrošača i stepene neprihvatljivosti.

4. LITERATURA

- [1] METHODS TO CONSIDER CUSTOMER INTERRUPTION COSTS IN POWER SYSTEM ANALYSIS, CIGRE Task Force 38.06.01 report, convener R. Billinton, Paris, 2002.
- [2] J. Nahman sa saradnicima, VREDNOVANJE ŠTETA OD PREKIDA NAPAJANJA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM POTROŠAČA DISTRIBUTIVNIH MREŽA J. P. „ELEKTRODISTRIBUCIJA BEOGRAD”, studija urađena za J. P. „Elektrodistribucija Beograd”, april, 2005.
- [3] J. Nahman sa saradnicima, POUZDANOST DISTRIBUTIVNIH SISTEMA, Studija urađena za EPS, oktobar 1999.
- [4] Warren C.A., R. Ammon, G. Welch, A SURVEY OF DISTRIBUTION RELIABILITY MEASUREMENT PRACTICES IN THE U.S., IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 14, No 1, 1999, pp.250-257.
- [5] Billinton R., DISTRIBUTION SYSTEM RELIABILITY PERFORMANCE AND EVALUATION, Electrical Power & Energy Systems, Vol. 10, No 3, 1988, pp.190-200.
- [6] Brown R.E., i dr., DISTRIBUTION SYSTEM RELIABILITY ASSESSMENT: MOMENTARY INTERRUPTIONS AND STORMS, IEEE Trans. Power Delivery, Vol.12, No 4, 1997, pp. 1569-1575.
- [7] Pearson D. J., Rose V. G., RISK ASSESSMENT MODEL FOR DISTRIBUTION SYSTEM RELIABILITY, CIRED 97, Conference Publication No 438, 1997, pp. 6.38.1-4.
- [8] Nippert T., IMPROVEMENT OF THE (N-1) CRITERION INTRODUCING A PROBABILISTIC FAILURE RATE RELIABILITY CRITERION, CIRED 97, Conference Publication No 438, 1997, pp. 6.37.1-6.
- [9] Niechziol R., STRATEGY FOR THE RENEWAL OF 110 kV SUBSTATIONS, CIRED 97, Conference Publication No 438, 1997, pp. 6.33.1-6.
- [10] Backes, J., Koglin, H.,J., Klein, L., NETWORK PLANNING UNDER ECONOMIC ASPECTS WITH SPECIAL REGARD TO RELIABILITY, CIRED 97, Conference Publication No 438, 1997, pp. 6.02.1-5.
- [11] FAULT MANAGEMENT IN ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEMS, CIRED Working Group WG-03, final report, CIRED Conf. Nice, 1999.
- [12] Brown R.E., ELECTRIC POWER DISTRIBUTION RELIABILITY, Marcel Dekker Inc., New York, 2002.
- [13] J. Nahman, D. Perić, I. Vlajić-Naumovska, ANKETIRANJE DOMAĆINSTAVA O STEPENU NEPRIHVATLJIVOSTI PREKIDA NAPAJANJA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM, ETRAN, Zlatibor, 2001.

Rad je primljen u uredništvo 09. 12. 2006. godine



Jovan Nahman rođen je u Beogradu. Na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, na Energetskom odseku, diplomirao je 1960. godine i doktorirao 1969. godine. Do 2001. godine bio je stalno zaposlen na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu kao redovni profesor. Na diplomskim studijama predavao je predmete Elektrane i razvodna postrojenja i Opšta energetika, a na postdiplomskim studijama predmete Visokonaponska postrojenja i Pouzdanost elektroenergetskih sistema. Drži nastavu iz navedenih predmeta na postdiplomskim studijama. Bavi se problematikom projektovanja, eksploatacije, planiranja i održavanja elektroenergetskih postrojenja i mreža.



Dragoslav M. Perić je rođen 1958. godine u Rači. Diplomirao je 1983. na Energetskom odseku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, gde je i magistrirao 1989. na smeru Elektroenergetski sistemi i odbranio doktorsku tezu 1997. godine. Radi kao profesor na Višoj elektrotehničkoj školi u Beogradu i kao nastavnik, u zvanju docenta, na Fakultetu za dizajn. Objavio je više naučnih i stručnih radova i knjiga. Bavi se elektrodistributivnim sistemima i primenom softverskih alata u projektovanju.



Dragutin D. Salamon rođen je u Vukovaru, Republika Hrvatska, 1949. godine. Na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu diplomirao je 1973. godine, na Energetskom odseku. Na istom fakultetu magistrirao je 1978, a doktorirao 1992. godine. Od 1973. godine stalno je zaposlen na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, trenutno u zvanju vanrednog profesora. Na diplomskim studijama predaje predmete iz oblasti električnih merenja na Energetskom odseku, dok na postdiplomskim studijama drži nastavu iz predmeta Merne sprege i merni transformatori i Merne metode i instrumentacija u elektroenergetici na smeru za Metrologiju. Bavi se problematikom merenja u elektroenergetici i projektovanja, eksploatacije i održavanja elektroenergetskih postrojenja i mreža.



Ivana Vlajić-Naumovska rođena je u Smederevskoj Palanci. Na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu diplomirala 1998. godine na Energetskom odseku, na smeru za Energetske pretvarače i pogone, a magistrirala 2003. godine na smeru Elektroenergetska postrojenja i oprema. Od 1999. godine radi na Višoj elektrotehničkoj školi u Beogradu kao asistent, a od 2004. godine kao predavač na predmetima Električne instalacije i osvetljenje, Elementi elektroenergetskih sistema i Aplikativni softver. Bavi se pouzdanošću distributivnih sistema i primenom računara u elektroenergetici i obrazovanju.

„Distribucija električne energije”

Autori: dr Miladin Tanasković, dipl. ing. el. Tomislav Bojković i dr Dragoslav Perić

Knjiga se bavi aktuelnom problematikom planiranja, izgradnje i eksploatacije savremenih distributivnih sistema svih naponskih nivoa od 0,4 kV do 110 kV. Materija je razdvojena u devet poglavlja koja izlažu teorijske osnove pojedinih proračuna, prikazuju odgovarajuća tehnička rešenja i sadrže više urađenih primera analiza i proračuna i tabele sa tipskim podacima o elementima postrojenja i mreža.

U prvom poglavlju daje se kratak pregled istorijskog razvoja elektrodistributivnih sistema u našoj zemlji u tehničkom i organizacionom smislu, sa posebnim osvrtom na uslove rada u delimično deregulisanom elektroenergetskom sistemu kakav je trenutno elektroenergetski sistem Srbije. Problematikom proračuna struja simetričnih i nesimetričnih kratkih spojeva u distributivnom sistemu i izbora i provere opreme na termička i mehanička naprezanja bavi se drugo poglavlje. Ovde se posebno detaljno obrađuju efekti jednofaznih zemljospojeva, karakteristike složenog sistema uzemljenja koji čine uzemljivači postrojenja i vodovi distributivne mreže i prikazuju metode za analizu bezbednosti od opasnih napona dodira i iznesenih potencijala. Treće poglavlje prikazuje tipska rešenja za transformatorske stanice svih razmatranih naponskih nivoa. Razmatraju se pitanja načina uzemljenja

neutralne tačke i zaštite od atmosferskih i pogonskih prenapona. Takođe se, vrlo detaljno, prikazuju vrste zaštita transformatora i nadzemnih i kablovskih vodova u mrežama svih obuhvaćenih distributivnih napona i postojeća automatika. Problematiki izbora kablova s obzirom na očekivana strujna opterećenja, način polaganja i uslove na trasi posvećeno je četvrto poglavlje. Posebno se razmatraju efekti cirkulacionih struja u električnoj zaštiti kablova i načini za njihovo suzbijanje. Peto poglavlje detaljno razmatra sve aspekte projektovanja i izgradnje nadzemnih vodova uključujući i savremena rešenja sa slaboizolovanim provodnicima, kao i rešenja sa telekomunikacionim vodovima na istim stubovima. Posebna pažnja poklanja se proračunima mehaničkih naprezanja provodnika i dimenzionisanju stubova u različitim okolnostima. U šestom poglavlju opisuju se karakteristične vrste potrošača i izlažu metode za procenu njihovih glavnih energetske pokazatelja od značaja za projektovanje mreža i postrojenja. Prikazuju se vrste merenja i prateća tehnička rešenja i mere zaštite od opasnih napona. Sedmo poglavlje bavi se problematikom kvaliteta električne energije. Daje se pregled karakterističnih pokazatelja pouzdanosti napajanja i izlažu metode za njihove proračune. Pored ostalog, navode se po-

daci o štetama i stepenu neprihvatljivosti prekida napajanja za karakteristične distributivne potrošače do kojih se došlo sprovođenjem anketa u inostranstvu i u našoj zemlji. Definišu se osnovni pokazatelji za karakterizaciju sadržaja viših harmonika napona i struja i nesimetriju napona i daju njihove dozvoljene granične vrednosti. Pitanjima planiranja distributivnih mreža posvećeno je osmo poglavlje. Izlažu se metode prognoze potrošnje električne energije i vršne snage za različite tipove domaćinstava i industrijskih potrošača. Prikazuju se osnovni tipovi mreža za sve razmatrane naponske nivoe i analizira njihova pouzdanost i ukupni troškovi koji uzimaju u obzir i štete usled prekida napajanja. Deveto poglavlje bavi se pitanjima uključenja malih elektrana u distributivne mreže. Razmatraju se različiti tipovi elektrana i mogući načini povezivanja sa distributivnom mrežom. Analizira se uti-

caj malih elektrana na rad mreže, delovanje zaštite i kvalitet električne energije.

Knjiga „Distribucija električne energije” vrlo detaljno obrađuje sve osnovne aspekte planiranja, eksploatacije, projektovanja i izgradnje distributivnih mreža svih naponskih nivoa, od 0,4 kV do 110 kV. Prikazuju se proverena moderna tehnička rešenja i izlažu postupci za tehničke analize i proračune koji se ilustruju velikim brojem urađenih primera. U domaćoj stručnoj literaturi ne postoji tekst koji se na tako detaljan i sveobuhvatan način bavi problematikom distributivnih sistema. Ova knjiga će značajno doprineti daljem stručnom obrazovanju inženjera koji rade u distributivnim preduzećima kao i studentima elektroenergetike.

Prof. dr Jovan Nahman, dipl. ing. el.

Izdavač: Akademska misao, Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73, tel. 011 3218-354

Za izdavača: Marko Vujadinović

Recenzenti: Prof. dr Jovan Nahman i Prof. dr Dragan Tasić

Dizajn korica: Zorica Marković, akademski slikar

Tehnički urednik: Tomislav Bojković

Štampa: Planeta print, Beograd

Tiraž: 500 primeraka